

東京都下水道局技術調査年報

- 2001 -

平成13年10月

東京都下水道局

技術調査年報の発刊にあたって

下水道局長
鈴木 宏



今日、東京の下水道には、快適な水環境や生活環境の創造、循環型社会の構築、安全性・信頼性の確保など、多くの取り組まなければならない課題が山積しています。しかし、お客様である都民の方々の中には、「なぜ、100%普及後においても継続して事業が必要なのか」、「なぜ財政状況が厳しい今、事業を実施しなければならないのか」といった疑問を持つ方も少なくありません。

このため、「下水道構想 2001」を策定・公表し、下水道事業の必要性、重要性を広く都民に明らかにしたところです。当局としてはこの構想を具体化し、期待される効果を早期に実現させることが、今、何よりも重要です。

このためには、職員一人ひとりが、自分にできる最大限の目標を設定し、その達成のため技術や経験を生かしながら、そこに新しい調査、研究の成果を融合させるなどの創意工夫をこらし職務遂行に努めることが従来にも増して必要となっています。

本技術調査年報は、局内における1年間の技術的成果をまとめたものです。その内容は、計画、設計、施工、維持管理、下水処理、汚泥処理、雨天時対策、環境対策、資源化、再利用など多くの分野に及んでおり、今日の下水道に求められている課題に広く関わりを持つものです。これらは、当面する技術課題の解決に必要な情報を提供するものであることはもとより、職員の技術力の向上や下水道技術の継承に役立つものであると確信します。

日々の業務の中で皆様が積極的に活用されることを期待しています。

平成 13 年10月

[大目次へ](#)

大目次

・ 技術調査年報の発刊にあたって

1 . 計画・設計・施工

2 . 維持管理

3 . 下水の処理

4 . 汚泥の処理

5 . 雨天時対策

6 . 環境対策

7 . 資源化・再利用

[表紙へ](#)

1 . 建設・設計・施工

1 - 1 沈砂池の省スペース化に関する調査

[要旨](#)

[本文](#)

1 - 2 シールド急曲線施工に関する調査

[要旨](#)

[本文](#)

[大目次へ](#)

2 . 維持管理

2 - 1 管渠周辺空洞調査機の開発

要旨

本文

2 - 2 速効性消毒剤を用いた注入システムの開発

要旨

本文

2 - 3 塩素消毒の効率化に関する調査

要旨

本文

2 - 4 アルキルフェノール類の分析法の検討及び

下水処理場における実態調査

要旨

本文

2 - 5 下水汚泥中のアルキルフェノール類の分析法の検討及び汚泥処理工程

におけるアルキルフェノールと非イオン界面活性剤の挙動調査について

要旨

本文

2 - 6 下水中のフタル酸エステル類の分析法の検討

要旨

本文

2 - 7 好気槽における脱窒に関する調査

(浅川処理場と小菅処理場の共同調査)

要旨

本文

2 - 8 深槽生物反応タンクにおける

超微細気泡散気装置の適用に関する調査研究

要旨

本文

2 - 9 下水道における白色固形物の成分組成変化調査

要旨

本文

2 - 10 冷蔵式自動採水器に関する調査

要旨

本文

2 - 11 葛西処理場 北系反応槽性能調査報告

要旨

本文

2 - 12 降雨履歴と流入SSについて

要旨

本文

2 - 13 南多摩処理場硫化水素実態調査

要旨

本文

大目次へ

3 . 下水の処理

3 - 1 生物学的窒素・りん同時除去の

高効率化技術の開発その3

要旨

本文

3 - 2 生物学的高度処理運転支援ソフトの

適用性に関する調査

要旨

本文

3 - 3 高度処理施設設計諸元に関する基礎調査

要旨

本文

3 - 4 オゾン耐性膜による

再生水製造システムの開発その3

要旨

本文

3 - 5 効率的な汚泥濃度計の開発

要旨

本文

3 - 6 活性汚泥中含有りんの効率的除去技術の開発

要旨

本文

3 - 7 ダイナミックろ過法を用いた

生物学的高度処理法の開発に関する研究 その2

要旨

本文

3 - 8 担体添加法の深槽反応タンクへの適用調査

要旨

本文

3 - 9 不織布を用いたろ過による活性汚泥混合液の

固液分離技術の実用化研究

要旨

本文

3 - 10 有明処理場における安定的な窒素・りん削減

のための調査報告書(その2)

要旨

本文

大目次へ

4 . 汚泥の処理

4 - 1 ろ布ろ過汚泥濃縮機の連続運転調査

[要旨](#)[本文](#)

4 - 2 既存流動焼却システムの高効率化技術の開発

[要旨](#)[本文](#)

4 - 3 脱水分離液からのりん除去調査

[要旨](#)[本文](#)[大目次へ](#)

5 . 雨天時対策

5 - 1 貯留とネットワークによる効率的な再構築に関する調査（その3）

Study of Efficient Rehabilitation Method by Storage and Networking()

リスクマネジメントに基づく下水道管渠再構築マニュアル（案）の提言

[要旨](#)

[本文](#)

5 - 2 ポンプ所における越流負荷の効率的除去技術の開発

[要旨](#)

[本文](#)

5 - 3 篠崎ポンプ所流域におけるリアルタイムコントロール現状調査

[要旨](#)

[本文](#)

[大目次へ](#)

6 . 環境対策

6 - 1 放電式脱臭技術に関する調査その2

[要旨](#)[本文](#)

6 - 2 ダイオキシン類による健康障害防止のための作業環境調査結果

[要旨](#)[本文](#)

6 - 3 下水道施設における温室効果ガス排出量実態調査

[要旨](#)[本文](#)

6 - 4 生物生息空間を考慮した緑化調査

[要旨](#)[本文](#)[大目次へ](#)

7 . 資源化・再利用

7 - 1 焼却炉高温排ガスの有効利用調査その3

[要旨](#)[本文](#)

7 - 2 下水汚泥焼却灰の資源化技術の基礎調査その2

[要旨](#)[本文](#)

7 - 3 汚泥の燃焼を伴わない資源化技術基礎調査その2

[要旨](#)[本文](#)[大目次へ](#)

1 - 1 沈砂池の省スペース化に関する調査

(調査部課所名) 計画部 技術開発課

1. 調査目的

本調査は、ポンプ所全体面積の約6割をしめるといわれる沈砂池の省スペース化について可能性を検討し、ポンプ所建設費や運転管理費の軽減を図ることを目的に行ったものである。

2. 調査内容

平成12年度の調査内容は、区部の全ポンプ所から代表ポンプ所6箇所を選定し、沈砂池に係る運転管理アンケート調査及び雨天時における沈砂池の沈殿状況の実態調査を行った。また、選定した代表ポンプ所流域において流量と沈砂量のシミュレーションを行ない、沈砂池の面積減少に伴う水位の変化、沈砂量の変化についてケーススタディを行った。

ポンプ設備メーカーに、沈砂の汲み上げ可能な製品に関するアンケート調査を行った。

3. 調査結果と考察

調査結果をまとめると、

- 現地実態調査の結果、汚水沈砂池及び雨水沈砂池それぞれの設計粒径より小さな粒子が沈殿していた。
- 沈砂池面積を7割に減少させ沈砂池理論により沈砂量を検討した結果、汚水沈砂池では常に、また、雨水沈砂池では降雨強度2mm/時以下の降雨において、ほぼ標準的な沈砂量が算出された。
- メーカー調査の結果、雨水ポンプの高流速部の材質を耐磨耗性のものに変化させることで沈砂の吸上げによる磨耗を防止できることが示唆された。
- 沈砂池の面積を減少させることによる上流管路施設への水理的影響をシミュレーションモデルにより検討した結果、調査対象のポンプ所では浸水被害は生じなかった。
- また、シミュレーションの結果、沈砂池の省スペース化によるポンプ井水位の急激な変動は、条件さえ整えば先行待機型ポンプを導入することで対応できると考えられた。

大目次

目次

本文

1 - 2 シールド急曲線施行に関する調査

(調査部課所名) 北部建設事務所 設計課

1. 調査目的

市街地におけるシールド工事は、埋設物等の影響で立坑設置が困難であり、地上部から地盤改良をして急曲線施工を行うことが多い。しかし、地盤改良に伴う工事費の増大、交通への傷害等多くの課題を抱えている。一方、シールドマシンは、中折れ装置等の技術的向上をしているにもかかわらず設計に反映されていないのが現状である。そこで、シールド急曲線のより合理的な設計を行うため調査を行った。

2. 調査内容

第二東雲幹線をモデル工事に、中折れ装置を装備したシールドマシンで予想されるトンネル挙動ならびに仮定した解析モデルからセグメントの構造を設定し、妥当性について研究を行った。

3. 調査結果と考察

平成12年度の結果は以下のとおりである。

(1) 中折れ装置を反映させた設計法を用いることにより、地盤改良の省略、直接工事費で10%のコスト縮減を行うことができた。

しかし、平成12年度は、設計法を設定するにとどまり、現場計測の結果より設計法の妥当性について検証を行うことができなかった。このため、平成13年度は、妥当性の検証を行った時点で設計法の改正を行う必要がある。

大目次

目次

本文

2 - 1 管渠周辺空洞調査機の開発

(調査部課所名) 計画部 技術開発課

1. 研究目的

管渠周辺に発生する空洞は、道路陥没事故の原因となるため、その対策が望まれている。そこで、人が入れない小口径管渠や、土被りが大きく地表から調査できない管渠を対象に、管内から空洞の位置や規模を調査できる自走式の小型レーダ調査機の開発を行った。

2. 研究内容

ヒューム管は、鉄筋が密に配筋されていて電波が透過しにくいいため、従来、管内からの空洞調査は困難となる場合が多かった。このため、アンテナの長さ、間隔、方向といったアンテナ構成要素を検討し、管内での計測に適した新しいアンテナを開発した。また管内から任意の方向を計測可能な機構と、空洞を明確に表示するソフトの開発も同時に行った。

3. 研究成果

平成12年度は、自走式調査機的设计・製作および実証実験を行った。その結果、以下の成果が得られた。

- (1) ヒューム管の曲率に適応した形状で、ヒューム管に含まれる鉄筋の影響を低減したレーダアンテナを開発した。これにより空洞検知性能を向上できた。
- (2) レーダアンテナの制御に、管径 250～800 mmに対応する伸縮機構と、360°の管周計測に対応できる回転機構を設けることで、調査機の実用性を高めた。
- (3) 空洞の有無を判定可能な自動空洞抽出ソフトを開発した。これにより調査員の技量に依らず、容易に空洞判定が可能となった。



写真 - 1 調査状況

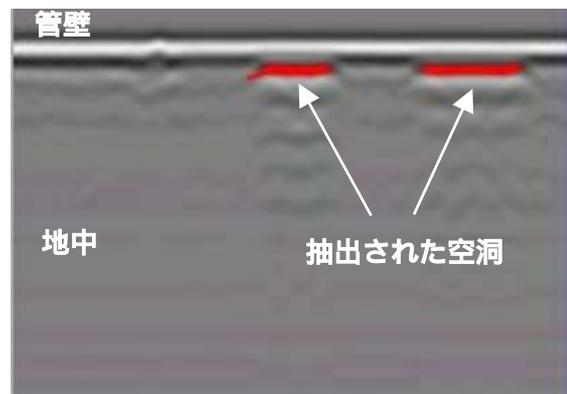


図 - 1 調査結果 (空洞抽出画面)

[大目次](#)

[目次](#)

[本文](#)

2 - 2 速効性消毒剤を用いた注入システムの開発

(調査部課所名) 施設管理部 施設管理課

1. 調査目的

下水の消毒剤は次亜塩素酸ソーダが主流であり、その効果発揮には15分以上の接触時間が必要である。合流式下水道からの雨天時排水の消毒は、これより短時間(数分)で消毒可能な技術が必要となる。本調査では、速効性に優れた消毒剤として臭素系消毒剤プロモ・クロロ・ジメチル・ヒダントイン(以下、BCDMH)を選定して、実用化に向けての注入制御システムの開発を行った。

2. 調査内容

ポンプ所の雨天時排水、および処理場の簡易放流水を対象に、粉末BCDMHを使って、実験プラントによる消毒実験を行った。調査内容は、次のとおりである。

臭素系消毒剤の速効性の確認、実用規模での消毒効果の検証。

消毒剤を下水に投入した場合の環境への影響、危険物・労働安全取扱等の安全性について。

消毒設備の自動化に向けた制御システムの開発。

3. 調査結果と考察

業平橋ポンプ所沈砂池入口に消毒剤を投入し、沈砂池流入水、沈砂池出口及び放流渠において大腸菌群数を測定した結果、消毒剤量2~5mg/l(有効塩素量)投入により、沈砂池出口で大腸菌群数を排除基準(3000個/ml)以下にすることができた。この時の沈砂池接触時間は概ね30秒~6分であり、BCDMHの速効性、および消毒効果を検証した。

消毒後の排水の環境への影響評価:急性毒性試験、藻類生長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、及び変異原性の発現は、次亜塩素酸ソーダと同程度であった。副生成物質調査では、トリハロメタンは水道水基準値以下であり、発ガン性の疑がある臭素酸イオンの生成は認められなかった。また、BCDMHは、現在のところ消防法、毒劇法、労働安全衛生法、大気防止法、PRT法、ダイオキシン類対策措置法のいずれの規制にも該当しない物質である。

ポンプ所の雨水ポンプ稼働信号、放流量等のと連動により、消毒剤の注入制御を自動化させた。制御は、放流量比例注入制御を基本として、流入水の濁度と降雨状況等から大腸菌群数等の水質状況による制御を可能とした。

大目次

目次

本文

2 - 3 塩素消毒の効率化に関する調査

(担当部課所名) 施設管理部 施設管理課

1. 調査目的

本調査は、大雨時の塩素注入量の増加及び放流水の残留塩素の増加を軽減するため、現行の塩素消毒法に JD (ジェット・ディスインフェクション) システムという強制攪拌を付加した技術の実用化に向けた基礎調査として行ったものである。

2. 調査内容

芝浦処理場内のテストプラントを用い、沈殿下水と二次処理水及び雨天時沈殿下水を対象に消毒効果の調査とデータ解析を行った。

3. 調査結果と考察

今回の調査で得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 沈殿下水 (大腸菌群数 100,000 個/ml 程度) を原水とした場合、大腸菌群数 3,000 個/ml を安定して達成するためには、JD システムでは次亜塩素酸ソーダ薬注率 15mg/l 程度、滞留時間 4 分以内であった。これに対して、従来法では薬注率 20mg/l、接触時間は JD システムの 2 倍程度必要であった。また降雨時の簡易放流水では、通常の沈殿下水よりも少ない薬注率で消毒できる可能性が示唆された。
- (2) 二次処理水 (大腸菌群数 100 ~ 10,000 個/ml 程度) を原水とした場合、JD システムは従来法に比べて薬注率で 1/2 以下 (1 ~ 2mg/l)、接触時間 3 分以内で良好な消毒効果が得られた。
- (3) JD システムは、水量・水質変動に対して、短時間の接触時間でも安定した消毒効果が得られた。
- (4) JD システムは、従来法に比べて薬注率を低減できるため、残留塩素排出量を削減し、かつ、トリハロメタンの生成量も少なかった。

以上の調査結果から、実用化の検討を行い次の結果を得た。

- (1) JD システムは従来法に比べて薬注率を削減でき、かつ短時間 (1 ~ 4 分) の塩素接触時間で消毒効果が得られるので、接触時間を十分に確保できない既存消毒施設や雨天時簡易放流時の消毒法として有効と判断される。
- (2) JD システムは、従来法に比べてランニングコストを削減できる可能性がある。

大目次

目次

本文

2 - 4 アルキルフェノール類の分析法の検討及び

下水処理場における実態調査

(担当部課所名) 施設管理部 施設管理課

1. 調査目的

環境ホルモン物質として指定されている物質の中で、下水中に含まれる濃度が高いことがわかっている 4-ノルフェノール、t-オキルフェノール、ビスフェノール A の 3 物質の分析を行う。この調査で行った分析法は、抽出を行った固相から目的物質を溶出させる際、溶媒を変えることで、ビスフェノール A の分析も可能となり、前処理に要する時間を短縮する事ができる。

本調査では、この分析法が下水試料に適するかの確認を行うとともに、下水処理過程における除去率の把握を目的としている。

2. 調査内容

分析精度管理のため、検出下限、定量下限値が目標値を満たしているかの確認及び標準試料を用いて、本手法(固相抽出法)の回収率を求めた。また、処理場の流入水と処理水の分析を行い、サンプルの変動係数から本分析法が下水試料に適した手法であるかの評価をおこなった。

3. 調査結果と考察

調査結果等は、次のとおりである。

本手法は、定量下限値・検出下限値はともに目標値を下回っており、回収率についても良好な結果が得られたことから、精度の高い分析法であることが分かった。

流入水、処理水ともに変動係数は20%未満であり、本分析法が下水試料に適した手法であることがわかった。

下水処理における除去率は、4-ノルフェノールは90%、ビスフェノールAは80%と、高い除去率であったが t-オキルフェノールについては、流入水中の濃度が定量下限値付近であったことから、約40%の除去率であった。

大目次

目次

本文

2 - 5 下水汚泥中のアルキルフェノール類の分析法の検討および汚泥処理工程

におけるアルキルフェノール類と非イオン界面活性剤の挙動調査について

(担当部課所名) 施設管理部 施設管理課

1. 調査目的

環境ホルモン物質に指定されたアルキルフェノール類は、非イオン界面活性剤が酸化・還元分解されることにより、アルキルフェノールに変化する。特に、消化槽を設置した下水の汚泥処理工程では、このような分解により大量のアルキルフェノール類が生成されていると言われていたことから、汚泥中からのアルキルフェノール類の抽出法も含め精度の高い分析法の確立と、汚泥処理工程におけるアルキルフェノール類の実態把握についてもあわせて調査を行った。

2. 調査内容

汚泥中の環境ホルモン物質を精度よく分析するためには、汚泥中から目的物質を効率よく抽出するかが重要な要素である。そこで、抽出方法は、常に新鮮な溶媒を循環抽出することにより、抽出効率と再現性に優れていると考えられるソックス抽出法を採用し、抽出後の操作方法については固相抽出 乾燥 溶出 TMS 化の[°] 0tXで分析法の検討を行い、下水汚泥処理工程内のすべての汚泥について、アルキルフェノール類と非イオン界面活性剤の分析を行い、汚泥処理工程内におけるこれらの物質の挙動(物質収支)について調査した。

3. 調査結果と考察

調査結果等は、次のとおりである。

本手法の定量下限値・検出下限値はともに目標値を下回っており、ブランク値及び回収率等についても、良好な結果が得られたことから、精度の高い分析法であることが分かった。

消化槽におけるアルキルフェノール類の挙動は、生汚泥を消化槽で嫌気分解することにより、t-オクチルフェノールが約9倍、4-ノニルフェノールが約18倍と多量に増加することが分かった

イオン界面活性剤の消化槽内における挙動は、アルキルフェノール類とは逆の挙動をしていることがわかった。これは、非イオン界面活性剤がアルキルフェノール類に変化したことがあらためて確認できた。また、アルキルフェノール類の増加量から推測するとアルキルフェノールイソプレートの割合は大きいことが分かった。

泥処理工程内で増加したアルキルフェノール類は、BP排水中の濃度から推測すると、オクチルフェノール・ノニルフェノールとも、ほぼ100%が脱水ケーキとして汚泥処理工程から系外に排出され、全量焼却処分されている。

大目次

目次

本文

2 - 6 下水中のフタル酸エステル類の分析法の検討

(担当部課所名) 施設管理部 施設管理課

1. 調査目的

環境ホルモン物質に指定されたフタル酸エステル類は、樹脂の可塑剤や塗料、ゴム等の添加剤として広く使用されている。そのため、下水の流入水中に流入する可能性が高いと考えられることから、下水試料における精度の高い分析法を確立し、下水処理場においてこれらの物質の実態を把握するための調査を行った。

2. 調査内容

フタル酸エステル類の分析は、作業環境、溶媒その他の影響により、測定値の信頼性や再現性に大きく影響することがあり、定量下限値が大きくなるなど問題の多い分析法である。

そこで、高い精度と簡便で多くの試料を測定することが可能な手法の確立と、下水処理場におけるこれらの物質について、どのような挙動をしているか把握するために、流入水と放流水について分析を行った。なお、この調査は、アジピン酸ジエチルヘキシルについても抽出操作が液・液抽出法であることから、5物質について一括分析を行った。

3. 調査結果と考察

調査結果等は、次のとおりである。

本手法は、検出下限値及び定量下限値は目標値を十分満たしており、回収率及び再現性とも良好な結果であり、精度の高い分析法が確立できた。

下水処理によるフタル酸エステル類の除去効果は、これらの物質は疎水性が高いことから、汚泥中に吸着され水処理系から除去されるために、高い除去率であることが分かった。

アジピン酸ジエチルヘキシルについては、濃縮倍率の関係から目標検出下限値及び目標定量下限値について十分な結果が得られていないことから、今後検討を行う予定である。

大目次

目次

本文

2 - 7 好気槽における脱窒に関する調査

流域下水道本部 北多摩二号処理場

1．調査目的

下水処理場において、富栄養化の原因物質の一つである窒素の除去の実態、特に脱窒によるものについては十分明らかになっておらず、正確な実態把握が必要と考えられる。

通常、脱窒については、無酸素槽や（含、嫌気槽）制限曝気槽における脱窒が評価の対象となっているが、好気槽においても脱窒が起きている可能性が考えられる。そこで、好気槽における脱窒量の把握を目的として二処理場（浅川、小菅）による共同調査を行った。

2．調査内容

水処理工程で脱窒反応がおきる場所として制限曝気槽、第二沈殿池（含む、返送汚泥管）好気槽等が考えられるが、これらの場所における窒素の収支をとることにより、好気槽における脱窒量を調べた。

3．調査結果と考察

浅川処理場における調査結果は、以下の通りである。

（1）生物反応槽流入水窒素の処理の内訳は、水温条件に関わらず、余剰汚泥（汚泥転換分）として除去されるもの：20%、脱窒により除去されるもの：28%、処理水中に残存するもの：52%であった。（返送率は：30~40%）

（2）脱窒の内訳としては、概ね水温条件（18~26℃）に関わらず、制限曝気槽：34~41%、好気槽：32~43%、第二沈殿池：23~28%であり、好気槽においても、制限曝気槽に匹敵する量の脱窒があることが確認された。

（3）脱窒量の算出に用いられた余剰汚泥の窒素含有量について、有機分当りの窒素含有率で見ると、10~11%であった。

好気槽では、硝化と脱窒の両反応が平行して進行していることが示唆された。この原因の一つとして、硝化の初期には若干の基質の残存と共に DO 濃度が低い等、脱窒が起こりやすい条件が整っていることが考えられる。

大目次

目次

本文

2 - 8 深槽生物反応タンクにおける 超微細気泡散気装置の適用に関する調査研究

流域下水道本部 技術部 設計課

1. 調査目的

本共同研究は、深槽反応タンクでの超微細気泡膜散気装置の適用性、動力およびCO₂の削減効果を検討、調査するものである。

2. 調査内容

多摩川上流処理場第4系列の反応タンクの一區画に超微細気泡散気装置を設置した深槽反応タンクにおいて、バッフル板を池幅方向に対して1:1、2:1の位置で取り付け、それぞれについて槽内攪拌性能調査と酸素供給性能調査を行った。

3. 調査結果と考察

槽内攪拌性能調査においては、槽内流速を測定した結果、槽内攪拌に必要な旋回流が得られていた。散気装置下部と、底部隅において平均流速が10cm/秒に満たない点がみられたが、瞬時的には10cm/秒以上の流速が得られており、実用送風量範囲内においては、汚泥の堆積は起こらないと考えられる。また槽内のD0上昇傾向を測定した結果、槽内にはデッドゾーンは存在せず、均一に酸素が供給されることを確認した。酸素移動効率はバッフル板位置1:1槽で24.5~30.5%、2:1槽で21.4~24.7%と散気板(16.3%)、水中式機械攪拌機(20%)に比べ高く、多摩川上流処理場第4系列(約44,800m³)に超微細気泡散気装置を設置した場合、散気板に比べ約33%、水中機械式攪拌機に比べ約42%の電力およびCO₂が削減できると試算された。

これらの結果より、深槽の散気装置として超微細気泡散気装置を適用することが可能であり、また動力、CO₂削減効果も非常に大きいものと考えられる。

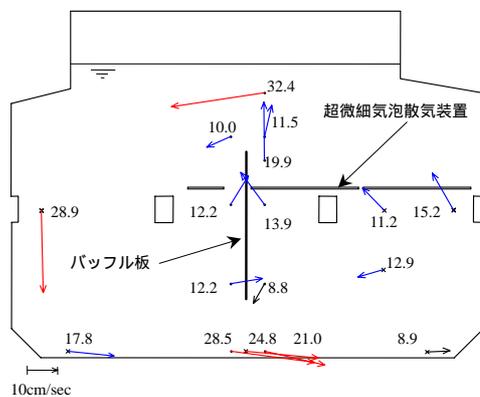


図1 槽内流速分布

(バッフル板位置 1:1 空気吹込率 0.63m³/h・m³)

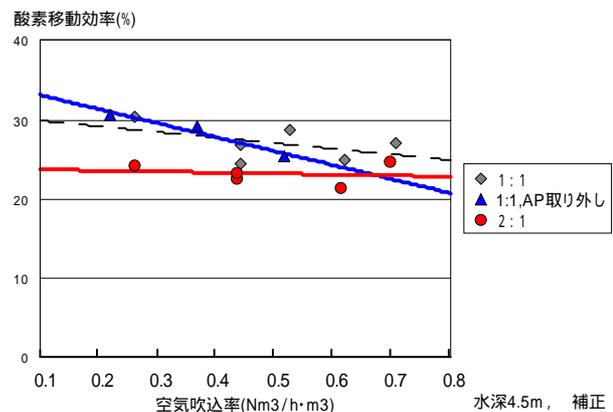


図2 空気吹込率と酸素移動効率の関係

大目次

目次

本文

2 - 9 下水道における白色固形物の成分組成変化調査

(調査部課所名) 中部管理事務所 芝浦処理場

1. 調査目的

いわゆる白色固形物問題は当局の重要課題の一つで、平成13年度中部管理事務所経営管理会議でも重要項目として取り組んでいるところである。白色固形物の成分は、これまでの調査から高級脂肪酸を主成分とした生物由来の油脂をベースにしたものであることが知られている。特に、パルミチン酸の含有比は70～80%と高いのが特徴である。天然の油脂やそれを原料とした石けん等の製品はパルミチン酸の含有比が20～30%であり、本固形物のように含有比が極めて高い物質は既存の油脂製品としては考えにくい。

そこで今回、ラードの高級脂肪酸が下水に長時間接触することで、どのように成分が変化するかを調査した。

2. 調査内容

市販のラードを複数のガラス板に薄層状に塗り、それをステンレスカゴに入れ、芝浦処理場本系第一沈殿池上部の緩やかな水流部分に浸せきするように吊した。調査開始から10, 20, 30, 70日後にラードを回収し、高級脂肪酸等の濃度を測定した。

3. 調査結果と考察

ラードの成分は下水と接触すると時間経過とともにパルミチン酸の含有比が増加し、オレイン酸の含有比は減少していくことが明らかとなった。一般に、高級脂肪酸はその化学構造(飽和脂肪酸、不飽和脂肪酸)により生物分解され易いものとされ難いものがある。オレイン酸は不飽和脂肪酸で生物分解され易く、パルミチン酸は飽和脂肪酸で生物分解され難い。したがって、白色固形物のパルミチン酸の含有比が高いのは、他の高級脂肪酸が生物分解等で減少したため、相対的に高くなったものと考えられる。今回の調査結果から白色固形物は下水に流入した油脂類が下水中で固化し、生物分解を受けながら白色状の油塊が生成されるものとするのが妥当である。

表-1 ラードの高級脂肪酸含有比の変化

	パルミチン酸	オレイン酸
0 日後	25.0 %	46.3 %
10 日後	29.6 %	45.5 %
20 日後	38.0 %	42.4 %
30 日後	40.0 %	36.8 %
70 日後	52.0 %	27.7 %

大目次

目次

本文

2 - 10 冷蔵式自動採水器に関する調査

(調査部課所名) 中部管理事務所 芝浦処理場

1. 調査目的

水質管理に伴う試料採取の簡便化、省力化を図るため、自動採水器が利用されている。しかし、微生物の分解作用等をうけ水質が変化すること、実際の使い勝手が不便なことにより通日試験等の採取には使用できていない。そこで、採取試料を冷蔵保存できる冷蔵式自動採水器を設置して、水質分析データの比較、使い勝手等を調査し、通日試験への適用を検討した。

2. 調査内容

通日試験時に時間毎試料と混合試料について、通常採水試料と冷蔵式自動採水器試料の分析を行い結果を比較した。また、6ヵ月間通日試験に冷蔵式自動採水器試料を使用し、使い勝手、問題点等を調査した。

3. 調査結果と考察

- (1) 分析結果を比較すると概ね同じ値となった。
- (2) 硝酸、全窒素(紫外線吸光光度法)の分析結果は、誤差が大きかったが、これは分析法自体に問題がある可能性が強かった。
- (3) 使用上の問題点として、採水ミスの不具合発生、採水量の不足、pHデータ回収に時間がかかる、pH標準液が米国仕様のため特別注文する必要がある等があった。

総合的調査結果として冷蔵式自動採水器を通日試験に使用可能であることが認められた。

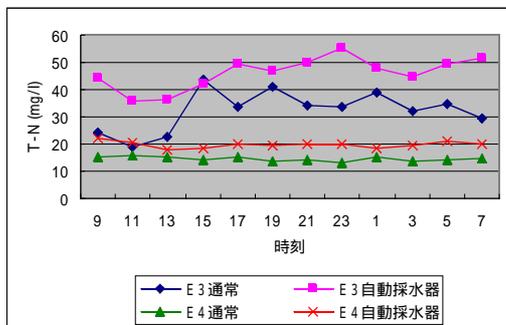


図 - 1 T - N 測定結果

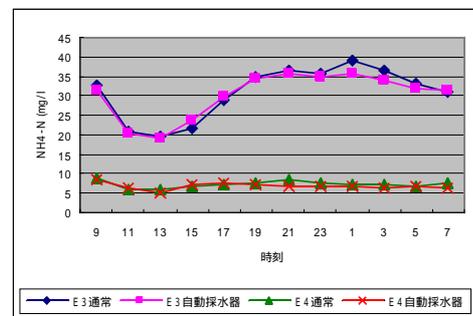


図 - 2 NH4 - N 測定結果

大目次

目次

本文

2 - 11 葛西処理場 北系反応槽性能調査報告

東部第二管理事務所 葛西処理場 水質管理係

1. 調査目的

当処理場北2系反応槽5～8号は、開設当初の昭和56年から使用してきたが、溶存酸素の低下が著しくなり、平成9年度～11年度にかけて散気設備に関する大規模な更新工事を行った。

そこで、本調査は、北2系反応槽及び整備を実施していない北1系反応槽(4号槽)の散気性能を把握するために実施したものである。

2. 調査内容

北系反応槽4～8号(6号槽の整備前及び整備直後は実施せず)の各回路から採水し、(1)オフガス法による酸素移動効率の測定、(2)槽内混合特性、(3)各回路における水質分析結果から、散気性能を調査した。また、散気板の目詰まり進行状況を確認するために、北1系4号槽の各回路から散気板を抜き出し、(4)通気抵抗測定、(5)溶解試験も試みた。

3. 調査結果と考察

(1) オフガス法による酸素移動効率の結果を下記の表に示すが、整備前後で1.2～1.6倍程度回復していることが分かった。なお、表中の()は、測定年月を表す。

表 オフガス法による酸素移動効率測定結果

	5号槽	6号槽	7号槽	8号槽	4号槽
整備前	12.5%(97.6)		8.4%(98.9)	9.2%(99.10)	12.6%(00.10)
整備直後	17.7%(98.9)		13.3%(00.3)	13.6%(00.3)	
整備後(再測定)	14.7%(00.10)	15.2%(00.10)	13.3%(00.10)	13.7%(00.10)	
回復率(再測定/前)	約1.2倍		約1.6倍	約1.5倍	

(2) 槽内の混合特性を調べるために、表層・中層・底層でMLSS及びDOの測定を行った。その結果、整備後のMLSSの値は各層で大きなバラツキは見られず、縦方向の旋回流も概ね良好であった。一方、DOの垂直分布では、整備の効果により、B回路でのDO上昇が見られた。

(3) 各回路における水質状況では、DOの上昇に伴い、整備前後で変化が見られた。

窒素(アンモニア性窒素)除去については、整備前に比べ、B回路での除去率が向上した。

りん除去については、整備前に嫌気であったA・B回路が好気的な状態に変わったため、A回路での吐き出し量が少なくなり、処理水の除去率が低下したと考えられる。

(4) 通気抵抗測定の結果、新品(0.8kPa)の散気板と比べ、3回路の平均で6.6kPaとかなり目詰まりが進行していた。また、同じ散気板を水中でブラシ洗浄し、同じように通気抵抗測定を行ったが、洗浄前とあまり変化がみられず、目詰まりは内部まで進行していたことが分かった。

(5) 散気板を5cm角に切り取り、粉碎機で粉碎後、王水にて分解溶出し、ICP-MS分析を行ったところ、多い順に鉄、アルミニウム、カルシウム、カリウム、マグネシウムが検出された。

今後は、北1系についても更新工事の必要性を検討するとともに、北2系についてはりん除去に向けて擬似嫌気好気法の導入を進めて行く予定である。

大目次

目次

本文

2 - 1 2 降雨履歴と流入 SS 量について

(調査部課所名) 砂町水処理センター

1 . 調査目的

平成 1 1 年に行った「遮集幹線における雨天時流入水調査」で、雨天時に高濃度の SS が長時間にわたって流入することがわかった。これが晴天時に幹線内に堆積したものであることから、降雨履歴と流入水質の関係を解析し、汚泥処理の平準化に向けた対策を検討した。

2 . 調査内容

降雨時の流入 SS 量を処理汚泥量、滞留汚泥量から推定し、降雨状況との関係を調べた。また、流入水の SS 濃度を測定できた場合にはその流入 SS 量を算出し、推定結果の検証を行うとともに、運転方法との関係を検討した。

3 . 調査結果と考察

総雨量が 5mm 以下の場合には流入 SS 量の増加はみられなかった。100t/日以上の流入は 5mm 以上の雨で起こっている。受水量で見ると 50 万 m³/日をこえると流入 SS 量が急増した。流入 SS 量は雨量が多いほど増加する傾向にあり、最大は 300t/日を超えた。また、晴天が続いた後の降雨による流入 SS 量の増加は、晴天日数が長いほど大きい傾向であった。

受水量が 3 万 m³/時を超えると流入 SS 濃度が高くなり、幹線水位が - 24.5m 以下になるとやはり流入 SS 濃度が高くなった。低水位運転は幹線に滞留する SS の取り込みに若干の効果があることがわかったが、雨天時の SS 流入量を低減するほどのものではなかった。

[大目次](#)

[目次](#)

[本文](#)

2 - 1 3 南多摩処理場硫化水素実態調査

(調査部課所名) 流域下水道本部 技術部 北多摩一号処理場

1. 調査目的

今回の調査は、「平成 11 年度南多摩処理場汚泥処理設備硫化水素抑制調査」(以下、前回の調査と呼ぶ)の結果を踏まえ、設備の腐食がもっとも著しいポンプ棟の低段沈砂池において、硫化水素濃度の 24 時間連続測定と硫化水素発生に関連する水質項目について調査を行い、夏期における硫化水素の発生状況など要因等を把握し、前回の調査との比較検討を通じて今後の維持管理の基礎資料に資することを目的として実施した。

2. 調査内容

- (1) 低段沈砂池の硫化水素発生実態調査: 8 月 4 日より 9 月 14 日まで、硫化水素濃度測定器を設置し、24 時間連続測定を行った。
- (2) スポット日常調査 8 月 25 日～9 月 13 日の 7 回の日常試験時に、低段沈砂池流入水・総合返水及び揚水後低段汚水の 3 試料について硫化水素発生の指標となる項目の測定を行った。
- (3) スポット通日調査 9 月 13 日～14 日の通日試験時に(2)と同じく測定を行った。

3. 調査結果と考察

- (1) 今回の低段沈砂池の硫化水素連続測定値は、前回の調査の約 1/4 であった。
- (2) 前回の調査と今回の調査での総合返水のスポット調査データの比較では、硫酸イオン及び硫化物の値に差はみられなかったが、COD・SS・ORP 及び濃縮槽汚泥堆積高の値から、前回は今回より、一層腐敗が進んだ状態の総合返水が沈砂池に戻っていたと考えられる。
- (3) 低段沈砂池では総合返水が主な原因で硫化水素が発生し、しかも汚泥循環に伴う腐敗の進行によって発生する硫化水素濃度が高くなるものと考えられる。また、当场固有の問題として、総合返水が沈砂池内で霧状に噴霧された状態となるため、水中に溶解していた硫化水素が、低段沈砂池でより多く気体となって拡散していると考えられる。
- (4) 硫化水素抑制対策は、薬剤注入を第一に考えるのではなく、管渠を含めた下水処理システムの中で下水及び汚泥ができるだけ腐敗しないような運転管理を行うのが望ましいと考えられる。

大目次

目次

本文

3 - 1 生物学的窒素・りん同時除去の高効率化技術の開発その3

計画調整部技術開発課

1. 調査目的

本調査は、厳しくなった窒素・りん規制に対応するため、コンパクトで除去率が良好であり、かつコストも削減できる効率的な生物学的窒素・りん同時除去法を開発をおこなったものである。

2. 調査内容

芝浦処理場内のパイロットプラントを用い、ステップ流入式嫌気無酸素好気法により、従来の嫌気無酸素好気法に比べて、HRT(水理的滞留時間)の短縮、窒素・りん除去率の向上、硝化液循環率の低減、等を目的とする研究開発を平成10年度よりおこなった。

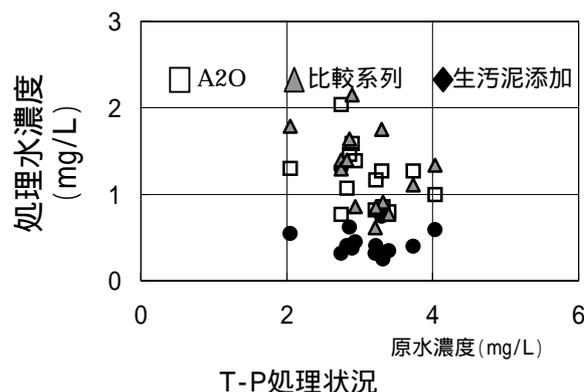
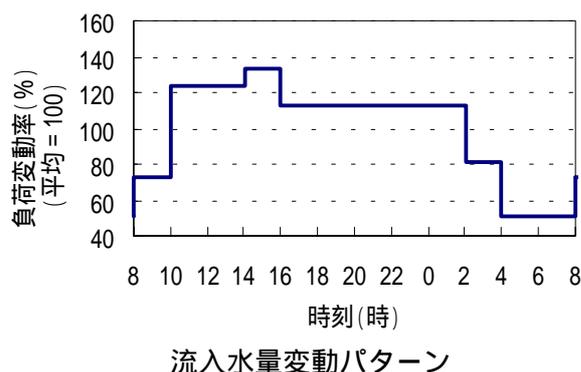
平成12年度の研究項目は、りん除去安定化、流入の負荷変動が除去率に与える影響、脱窒速度定数の検討、等について研究をおこなった。

3. 調査結果と考察

りん除去安定化の方策として、生污泥添加の効果をみた。効果の指標として嫌気槽MLSS 1gあたりのりん吐き出し量で比較検討した結果、発生汚泥量の50%以上を投入することによりりん除去性能が向上することが認められた。負荷変動比を51~133%とした結果、開発プロセスと従来プロセスでT-N除去率はほぼ同等であった。限界脱窒速度を出すために、好気槽に硝酸イオンを添加することにより測定を行った。

$$K_{DN} = \frac{1}{\theta} \cdot \exp(-T) \times L_{ABODSS} + \dots$$

K_{DN} : 脱窒速度定数 (mg-N/g-SS・h) T : 水温 ()
 L_{ABODSS} : A-BOD-SS 負荷 (kg-BOD/kg-SS・d)
、 、 : 係数「係数 $\cdot \exp(-T)$ が 4.5 ~ 7.8 , $= 0.2 \sim 0.6$ 程度



大目次

目次

本文

3 - 2 生物学的な高度処理運転支援ソフトの適用性に関する調査

計画調整部技術開発課

1. 調査目的

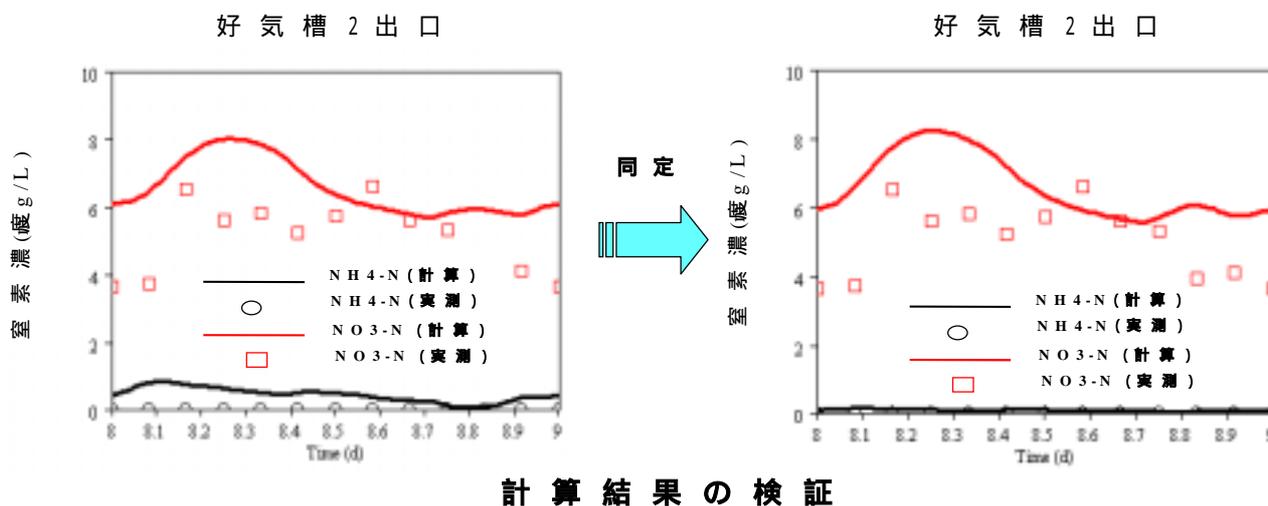
本調査は、IWA（国際水協会）が提唱する活性汚泥モデルとそのモデルを動かすソフトの高度処理運転への適用性について検討するために、実際の処理場でのデータ収集をおこない、シミュレーション等の解析を行うものである。

2. 調査内容

IWAモデルに必要な入力データを、高度処理対応の水処理運転を行っている、中川処理場、小菅処理場、有明処理場で運転情報と水質データを収集した。モデルの適用性検討を行うためには、通常では水質分析していない項目を必要とするので、COD(Cr)、有機酸、呼吸速度より算出される有機物等の項目を測定した。そのデータを、IWAモデルを搭載したソフト(AQUASIM)に投入し、実測値とシミュレーション結果の適合性について調査した。

3. 調査結果と考察

65個のパラメータにデフォルト値を使用して計算した結果、モデル及びソフトの適用性は、概ねよかったものの、項目によっては、適用できないものもあった。反応に関わる細菌の増殖速度、死滅速度等のパラメータを変えることにより、実測値とシミュレーション値を近づけることはできたが、今後は、現場の情報を生かし、これらパラメータの最適化を含むキャリブレーション手法の確立をすることが、重要である。また、モデルの入力データはCOD(Cr)値であるので、現場で測定可能な入力データと、COD(Cr)との相関関係をとることが必要である。



大目次

目次

本文

3 - 3 高度処理施設設計諸元に関する基礎調査

計画調整部技術開発課

1. 調査目的

本調査は、「高度処理施設設計マニュアル(案)」(高度処理会議)の改訂を行う際の基礎資料とするとともに、東京都において高度処理対応の施設を建設する際の基準となる基礎資料として役立たせるため、区部処理場での精密水質調査及びデータ解析を行ったものである。

2. 調査内容

調査対象プロセスは、中川処理場の嫌気-無酸素-好気法系列とした。水質調査内容は以下の項目とし、夏冬2回実施した。

(1) 24時間採水調査：

測定場所：1 沈流出水、嫌気槽、無酸素槽、好気槽、2 沈流出水、返送汚泥

測定項目：T-BOD,S-BOD,T-TOC,S-TOC,COD(Cr)NH₄-N,NO₂-N,NO₃-N,

Kj-N,PO₄-P,T-P, 易分解性有機物、有機酸、その他

(2) 脱窒速度試験：次の3条件で試料を混合し、机上で回分の脱窒速度試験を行った。

流入水、返送汚泥、循環水を実施設と同じ混合比で混合後、試験実施。(循環法を想定)

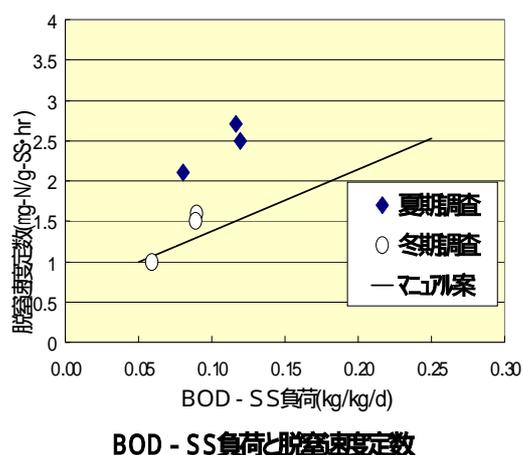
流入水と返送汚泥を実施設と同じ混合比で混合し、嫌気処理を行った後、循環水と混合し、試験実施。(嫌気-無酸素-好気法を想定)

水道水で1.5倍に希釈した流入水と返送汚泥を実施設と同じ混合比で混合し、嫌気処理を行った後、循環水と混合し、試験実施。(20mm相当の降雨時の嫌気-無酸素-好気法を想定)

3. 調査結果と考察

高度処理施設設計マニュアル(案)では、安定的な硝化維持に必要なA-SRTは、数式で示されている。今回の精密測定は限界の必要A-SRTを設定することはできなかったが、マニュアルの式を満足していれば、完全硝化を確保できることがあきらかとなった。

また、脱窒速度の調査からは、BOD-SS負荷、水温との関係が明確になった。現マニュアルでは水温との関係、嫌気-無酸素-好気法における無酸素槽での脱窒速度については明確な考えが示されておらず、今回の調査結果がよい基礎資料となった。



大目次

目次

本文

3 - 4 オゾン耐性膜による再生水処理システムの開発

計画調整部 技術開発課

1. 調査目的

衛生的で良好な水質を有する再生水を二次処理水から安価に製造するシステムを開発するため、オゾン処理とオゾンに耐性を持つ膜を組み合わせたシステムの有効性を調査する。

2. 調査内容

プレオゾン処理 生物膜ろ過 オゾン処理 オゾン耐性膜、の4段階からなる再生水製造システムの長期運転(5ヶ月)を芝浦処理場東系二次処理水を原水として用いて行い、処理後の水質を調べるとともに、残留オゾン濃度の最適化、使用後の膜の強度測定等を行った。さらに、フィージビリティスタディとしてコスト試算を行った。

3. 調査結果と考察

本システムによる処理水の水質は表に示したように良好である。また、大腸菌群や一般細菌が全く観察されず、内分泌攪乱化学物質の濃度も大幅に低減している。従って、このシステムは安定して衛生的な再生水を供給できるシステムであると考えられる。色度成分に関しては、オゾンによる溶解性色度成分の凝集化、次いで、膜による凝集した成分の除去、というオゾンと膜の効果が組み合わせられたことにより、ここまでの低減を図ることができたものである。

表 処理前後の平均水質

	原水	処理水
BOD(mg/l)	16	2.1
COD(mg/l)	11	5.7
NH4-N(mg/l)	10.8	3.6
色度	31	1

膜による水処理システムの長期運転を行うには膜間差圧の増加を抑える必要があるが、本システムでは残留オゾン濃度の最適化により膜間差圧の増加を少なく抑えることができた。オゾンによる中空糸の耐久試験でも良好な結果が得られ、半年は連続運転可能なシステムであると考えられる。実際、5ヶ月運転後の膜間差圧はシステムの運転に影響を与えるほどの増加はしておらず、膜の強度も十分に有していた。

処理水量 3000m³/day を想定してコスト計算を行ったところ、53 円/m³ 程度となった。砂ろ過 + オゾンと比較するとややコストがかかるが、逆浸透膜と比較すると大幅に安価であり、処理水の水質を考慮すると安価なシステムであると考えられる。また、この処理水量の場合、20m × 10m 程度の設置面積でシステムを構築できると考えられる。

大目次

目次

本文

3 - 5 効率的な汚泥濃度計の開発

計画調整部 技術開発課

1. 調査目的

本研究は、汚泥の性状に影響を受けず、維持管理が容易で、測定精度が高く、かつ廉価な汚泥濃度計を開発することを目的に、新たな測定方式である“レーザー光”を用いた各種の基礎調査を実施した。レーザー光の特徴である、単色光で指向性の強い光及び、被測定物質に照射した時の反射効率が高いことに着目し開発を行った。

2. 調査内容

センサー受発光部の異なる配列形状を考案し、イースト菌を疑似汚泥とした出力試験、森ヶ崎水処理センター及び南部スラッジプラントの実汚泥を用いたピーカ試験を行い最も適切なセンサー形状と仕様を確認した。さらに 森ヶ崎水処理センター余剰機械濃縮汚泥・南部スラッジプラント脱水機供給汚泥を対象に小型試験装置を用いた連続試験を行った。

3. 調査結果と考察

(1) 疑似汚泥を用いた試験ではランダムタイプ、先端外径 10 mm、接液部は 1 mmの平板ガラスを装着したセンサーが最適であった。

(2) 実汚泥を用いた濃度測定試験では、ランダムタイプを用い、レーザー光出力が 5mW 及び 10mW のセンサで行った。濃度と出力電圧値の相関が極めて高かったのは、森ヶ先水処理センター余剰汚泥と余剰機械濃縮汚泥であった。次いで相関が良好であったのは、一沈引抜汚泥と送泥用の混合汚泥であった。逆に、相関の認められなかったのは、消化工程後に洗浄した洗浄汚泥であった。センサ出力では、10mW 用が高い感度で良好な相関特性を示したため、10mW のセンサを用いることとした。

(3) 実汚泥を用いた小型試験装置の連続試験では、余剰機械濃縮汚泥及び脱水機供給汚泥ともに、良好な相関特性を確認することができた。図からも明らかのように、汚泥濃度と出力電圧値との相関は極めて高く、再現性のある結果が得られ、汚泥の濃度測定に適用可能な汚泥濃度計を開発することができた。

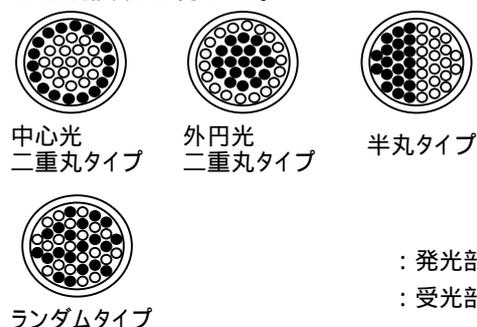


図 1 受発光部の配列

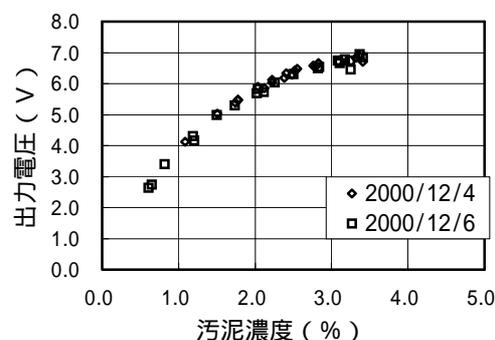


図 2 余剰機械濃縮汚泥の濃度と出力電圧値

大目次

目次

本文

3 - 6 活性汚泥中含りんの効率的除去技術の開発

(調査部課所名) 計画部 技術開発課

1. 調査目的

生物学的りん除去法においては、活性汚泥中にりんが高濃度に蓄積されるので、雨天後の流入水有機物が少ないときに活性汚泥がりんを摂取せず、りんを除去できない現象が発生する。そのため、活性汚泥から晶析法でりんを回収するりん回収システムの開発を行った(図1)。

2. 調査内容

小菅処理場東系に設置したパイロットプラントを用いて、返送汚泥からのりん放出、固液分離、晶析法によるりん回収からなる、活性汚泥からのりん回収システムの安定性と回収後の晶析材の肥料効果を確認した。

3. 調査内容と考察

平成12年度の調査結果は以下の通りである。

(1) りん放出槽、固液分離槽、りん回収槽で構成された活性汚泥からのりん回収システムを長期連続運転し、その処理性能と安定性を確認した。

(2) りん回収槽では、珪酸カルシウム水和物を材料とした晶析材を用いて、pHの前調整、NaOHの3点注入を備えた2段式晶析装置を考案し、原水の脱炭酸操作なしにりん回収率 75%を安定して達成した。

(3) りん放出槽、固液分離槽、りん回収槽それぞれの設計緒元を得た。

(4) りんを回収した晶析材を用いて肥料試験を行い、りんを回収した晶析材が肥料として十分利用可能であることを確認した(図2)。

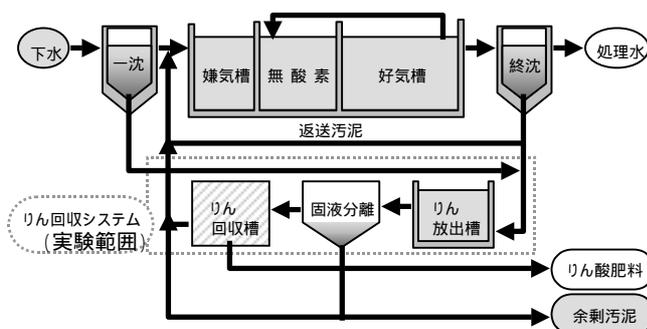


図1 りん回収システム



図2 肥料試験結果

大目次

目次

本文

3 - 7 ダイナミックろ過法を用いた生物学的高度処理法の開発に関する研究 その2

(調査部課所名) 計画調整部 技術開発課

1. 調査目的

現状の第二沈殿池は、汚泥性状や流入変動の影響を受けやすく、汚泥のキャリオーバー、MLSS管理、糸状性パルキング・スカム対策など、清澄な処理水を得るために運転管理に多大な労力を要する。そこで安価な膜素材を用いて、わずかな水頭差をろ過駆動力として安定した固液分離が行えるダイナミックろ過法の開発を行った。

2. 調査内容

落合処理場内に設置したパイロットプラントで循環式硝化脱窒法による運転を行い、本装置にて固液分離することで高度処理法への適用性を検証した。また標準活性汚泥法にて運転の実曝気槽一部にユニットを浸漬し実機実証実験を実施した。

3. 調査結果と考察

平成12年度の結果は以下のとおりである。

(1) 硝化脱窒処理での連続運転の実証

- ・パイロットプラント規模のクローズド系硝化脱窒運転でろ過特性を評価した。
- ・設定ろ過流速 2.0 m/d、全 HRT 10.5 時間の条件にて、脱窒率 70% を達成した。
- ・MLSS 3,500 mg/L の条件下で安定運転を確認した。

(2) 実曝気槽に浸漬した装置での冬期運転確認

- ・四季に亘って活性汚泥性状が変化する状況においても、簡単な運転操作の変更によって安定運転できることを確認した。冬期・夏期洗浄モードを提案した。
- ・初沈流入水量の変動をろ過流速の自然変動で吸収出来ることを確認した。

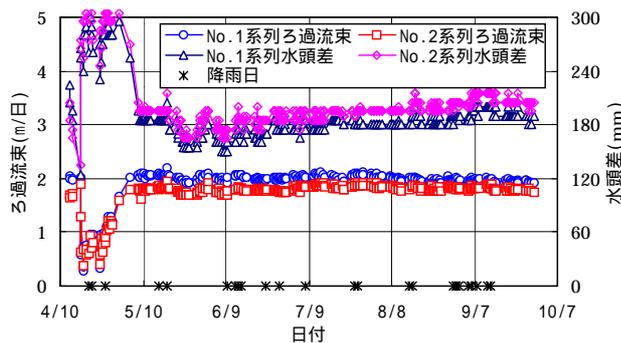


図 1 ろ過流速の推移 (パイロットプラント)

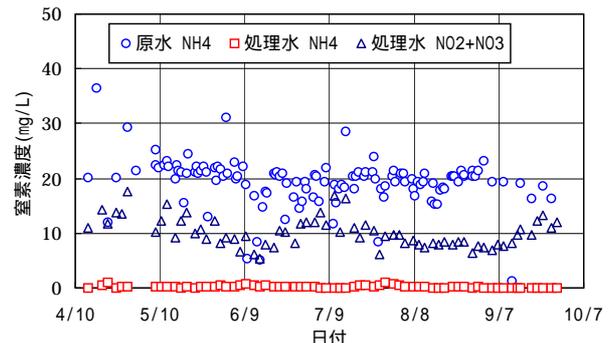


図 2 窒素濃度の推移 (パイロットプラント)

大目次

目次

本文

3 - 8 担体添加法の深槽反応タンクへの適用調査

(調査部課所名) 計画部 技術開発課

1. 調査目的

施設拡張の余地のない既存の処理場において、高度処理を可能にする方法として担体添加法がある。しかし、東京都等の大都市で採用例の多い、深槽反応タンクにおいて実証された例はほとんど無い。そこで深槽反応タンクに、担体添加法を導入するための各種の調査を行った。

2. 調査内容

調査の内容は以下の通りである。

旧建設省土木研究所の水深 10m 水槽を用いての、攪拌装置性能、担体流動状況、円筒スクリーン、溶存窒素の調査

使用担体：PEG（ポリエチレングリコール）結合担体、比重 1.007、球状径 4mm

使用攪拌機：ドラフトチューブ型エアレータ（下吐き出し式、送気可能）チューブ径 1000mm
× 電動機動力 30KW

担体加速試験（担体破壊試験）

無酸素槽へ投入する脱窒担体の性能調査（中川処理場 A20 法系列にて）

3. 調査結果と今後の課題

今年度の調査結果として以下のことが分かった。

ドラフトチューブ型エアレータの酸素溶解効率は 40%以上（清水・20 ）

担体の流動状況は良好で、破壊・摩耗はなかった

溶存窒素が高くなるため、汚泥浮上対策として 30 分以上の再曝気が必要

円筒スクリーンは、通過流速 200m/h（清水）で目詰まりなし

脱窒担体については冬季 3 ヶ月で馴養せず、脱窒速度は表れなかった

今後は、脱窒担体の性能再確認、円筒スクリーンの最大通過流速の確認、洗浄方法などを検討し、実施への導入を図っていく。



図-1 土研水槽と散気・攪拌装置

大目次

目次

本文

3 - 9 不織布を用いたろ過による活性汚泥混合液の

固液分離技術の実用化研究

(調査部課所名) 計画部 技術開発課

1. 調査目的

活性汚泥法で用いられる最終沈殿池における固液分離は水と汚泥の僅かな比重差を用いた重力沈殿であるため、流入水量や汚泥性状の変化による影響を受けやすく、また、特に都市部においては施設の省スペース化が課題となることから、これらの問題点を解決できる新たな固液分離技術が求められており、東京都は省スペース化が可能でかつ効率的な固液分離が行える不織布を用いた固液分離技術の実用化を目指した。

2. 調査内容

平成9年度より落合処理場において、実負荷運転を行っているパイロットプラントを設置し、長期運転における安定性、洗浄方法の検証、流入変動への追従性等、基礎技術の研究を行った。実施してきた。

3. 調査結果と考察

平成12年度の結果は以下のとおりである。

- (1) 長期連続運転における膜ユニットの耐久性があることを確認した。
- (2) ろ過流束を2～3m/日で変化させ、流入変動への対応性を確認した。
- (3) ろ過性能は活性汚泥の凝集性に関係がある。
- (4) ろ過流束が2m/日の場合、良好な固液分離ができるMLSS濃度は4,000mg/l程度までである。
- (5) BOD、COD共に安定しており、処理性能は確認された

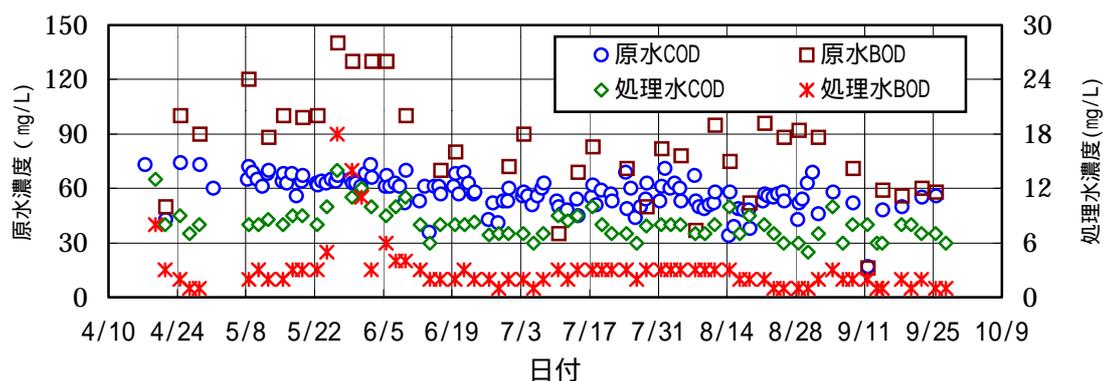


図 1 原水水質と処理水質

大目次

目次

本文

有明処理場における安定的な窒素・りん削減のための調査報告書（その2）

施設管理部 施設管理課

1．調査目的

有明処理場は、現在、施設能力に較べ流入水量が少なく、このため反応タンク1系列の1/3を部分使用している。A₂O法の機能面や有明処理区特有の流入負荷変動等から、窒素、りん除去の安定化が難しい状況にある。このため、今後の施設運転の適性化の指針を得ることを目的にプラント実験を行った。

2．調査内容

処理場に1.5m³/日のA₂O法実験プラントを設置して、平成11、12年度と処理実験を行った。11年度は、通常時、高負荷時の適性運転、およびPAC添加によるりん除去の補完について提案した。12年度は、実施設の施設改造を見込んでの調査として、反応タンク1/3系列の処理限界、2/3系列の稼動開始時期、ならびに反応タンクの嫌気、無酸素、好気槽の配分を提案するための処理実験を行った。また、窒素・りん除去に係わる反応速度の測定値や実際施設のデータを解析し、シュミレーションすることで、有明処理場の流入水量に見合った適性運転を提案した。

3．調査結果と考察

調査結果等は、次のとおりである。

反応タンクを2/3系列使用しての適性運転は、流入水量が14,000～27,000m³/日程度と推測できた。また、反応タンクは、嫌気：無酸素：好気＝1：3：4の槽配分が1：1：2よりも余裕のある運転ができることが分かった。

反応タンク1系列分の使用時期は、流入水量が22,000m³/日程度以上で、概ね安定した運転が可能と推測できた。

硝酸性窒素の排出負荷が大きい処理区域（13年度稼動予定の新河岸東処理場）を想定して流入下水にNO₃-Nを6mg/l添加して調査したが、実験プラントでは嫌気槽の機能等に影響は見られなかった。

大目次

目次

本文

4 - 1 ろ布ろ過汚泥濃縮機の連続運転調査

(調査部課所名) 計画部 技術開発課

1. 調査目的

東京都区部においては、汚泥処理の集約化による長距離輸送によって、汚泥が腐敗し浮上しやすくなっており、低濃度で処理量の多い汚泥を効率良く濃縮する装置の開発が望まれていた。

本研究の目的は、有効ろ布幅3mのろ布ろ過濃縮機と付帯装置を備えた実証設備を葛西処理場内に建設し、原汚泥濃度0.2～0.5%の汚泥に対し、原汚泥供給量40m³/h以上、濃縮汚泥濃度4%、SS回収率95%以上を目標とし、処理性能の調査及び維持管理に関する検討を行うものである。

2. 調査結果

本研究は、新世代下水道支援事業制度機能高度化促進事業（新技術活用型）として、平成11年度、12年度の2ヶ年、(財)下水道新技術推進機構と共同研究したものである。そのうち平成11年度における実験では、目標とする濃縮汚泥濃度が得られなかったため、装置を改良して平成12年度の実験を行った。

1) 性能の調査

運転条件の調査

- ・余剰汚泥固形分比率が平均27%の混合生活污水を供試体とした場合、上記目標を達成するためには、ろ布走行速度20m/min、ポリ鉄添加率を15%とすることが必要であった。
- ・余剰汚泥固形分比率が50%以上の混合生活污水に対しては、ろ布走行速度20m/min、ポリ鉄の添加率20%に上げる必要があったが、前処理として硫酸でpH調整するとポリ鉄添加率15%でも上記目標を達成できた。

その他の性能

- ・葛西の分配槽汚泥を用いて濃縮汚泥濃度一定制御を行った結果、原汚泥濃度(0.2～0.5%)の変動があっても4%以上の濃縮汚泥を安定して得ることができた。
- ・処理能力は40m³/h以上であった。
- ・運転期間中、スカムおよび沈砂の発生は認められなかった。
- ・本試験で得られた濃縮汚泥は葛西処理場の濃縮汚泥とほぼ同等の脱水性であった。
- ・ろ液中のSS、リン濃度が低く、返流水のリン、SSの負荷が低減することを確認した。

2) 濃縮設備の配置および運転管理手法の検討

- ・構成機器が簡素であり、設置スペースも小さい。運転管理項目は、凝集剤量、ろ布洗浄状況のチェックの他に、汚泥濃度計の定期調整、ろ布の薬液洗浄等がある。

3) 経済性評価

- ・遠心濃縮機に対し、建設費、維持管理費、保守点検費を総合的に比較した結果、コストの低減が図れることを確認した。

大目次

目次

本文

4 - 2 既存流動焼却システムの高効率化技術の開発

施設管理部 施設保全課

1．調査目的

近年の汚泥処理の集約化にともなう長距離送泥などにより、汚泥や脱水ケーキの性状には変化が生じ、焼却炉の安定した運転が困難な状況も見られるようになった。さらに、将来、しさの混焼などにより被焼却物が高カロリー化することも考慮すると、焼却設備には今まで以上に安定した運転が可能なシステムが必要とされる。また、維持管理経費の低減のため、焼却設備の点検や補修工事の周期を延長することも重要なことである。本研究は、これらの課題を解決するために、既存の流動焼却設備の改良に適用可能で、汚泥性状の変動に柔軟に対応でき、安定的運転及び維持管理費の低減を実現する流動焼却システムの開発を行うものである。

2．調査内容

平成12年度は、流動焼却設備に関する以下の調査・研究を行った。

- (1) 現状の把握
- (2) 燃焼改善・広範囲性状汚泥への対応

3．調査結果と考察

- (1) 現状の把握

将来の汚泥処理は、高効率型遠心脱水機での脱水処理が主体になると判断し、含水率は75%、発熱量は18,900 kJ/kg-DS（低位発熱量）程度になると考えられる。

汚泥としさの発生割合からしさの混焼率は10%程度になると考えられ、将来、しさの混焼が行われた場合、混焼汚泥の性状は、含水率76%、発熱量は19,400 kJ/kg-DS（低位発熱量）程度になると考えられる。

故障頻度が多く、補修工事等の周期を延長することの妨げとなる主な機器は、ガスガン、一軸ケーキポンプ等である。

- (2) 燃焼改善・広範囲性状汚泥への対応

砂層燃焼率制御（高含水率脱水ケーキへの対応）

実験炉（8t-cake/d）において、炉内の砂量を増加、空気顕熱（空気量・比熱・空気温度の積）を増加させた場合、処理量の確保が確認できた。また、燃料の低減効果も確認できた。

砂層温度制御（低含水率脱水ケーキへの対応）

実験炉（8t-cake/d）において、処理量を確保する方法としては、炉内から砂を抜き出し、冷却して再び炉内へ戻す、砂循環方式が有効であるという手掛かりが得られた。

大目次

目次

本文

4 - 3 脱水分離液からのりん除去調査

(調査部課所名) 砂町水処理センター水質管理係

1. 調査目的

生物学的りん処理では、除去されたりんは余剰汚泥に取り込まれるため、分離濃縮を行っても脱水処理過程からの廃水中のりん濃度が高くなり、水処理系に悪影響を及ぼす。そのためこの脱水分離液中のりん濃度を安定的に低下させる技術の開発が必要である。

本調査では、珪酸カルシウム水和物を種結晶とした、晶析脱りん法を東部スラッジプラントの遠心脱水分離液に適用し、そのりん除去性能について基礎的な調査を行った。

2. 調査内容

脱水分離液の性状を把握するために、その水質を調査した。

晶析材を充填したカラムにより、脱水分離液に対するりん除去最適処理条件を求め、その条件におけるりん除去率、晶析率を評価した。また、晶析材の物性についても調査した。

3. 調査結果と考察

脱水分離液のSSは大幅に変化したが、これは脱水機の運転条件と投入汚泥の性状の変化による。りん酸性りんは平均で46mg/L、最大で81mg/Lであった。これが水処理系に戻され大きな負荷となっている。溶解性CODは約200mg/L、同BODは約1,000mg/Lと高い値を示したが、BOD/COD比が高いことから生分解性の高い廃水である。

りん除去率は平均で63.1%、晶析率は58.3%という結果を得た。水処理への負担を軽減するには80%程度の除去が必要であると考えられるので、それをやや下回った結果であった。分離液の変動に対し、晶析を安定化させるのに、pHを前調整することが効果的であった。晶析材表面を調べたところ、通水41日で晶析したりんの重量%は3.6%(P₂O₅として)であった。

実施に適用するには更に除去率を向上させる必要があるが、予備試験では目標の除去率を得ており、今後更に調査を行っていく。

大目次

目次

本文

5 - 1

貯留とネットワークによる効率的な再構築に関する調査 その3

(調査部課所名) 計画調整部 技術開発課

1. 調査目的

区部の下水道管渠は、昭和30年以降に集中的に整備されてきたため、今後急速に、膨大な量の管渠が更新時期を迎えようとしている。この状況を踏まえ、従来よりも経済的で投資効果の早期発現性の高い再構築手法の確立を目標として、調査・検討を行った。

2. 調査内容

海外で多くの実績を持つ WRC(Water Research Centre, UK)の、「下水道再構築マニュアル」(Sewerage Rehabilitation Manual)の東京都下水道再構築事業への適用性検討と、その中で用いられる分布系モデル(雨水流出解析モデル)や、それを活用した新しい雨水整備手法「貯留とネットワーク方式」の提案を行った。

3. 調査結果と考察

WRC のマニュアルでは、「リスクマネジメント」(地域・管渠の重要度による対応)を基本理念とした再構築事業を推奨しており、東京都の推進する「ライフサイクルアセスメント」(経年度による対応)とは対照的である。また、再構築事業を「構造面」、「水理面」、「環境面」から包括的に捉えているのが特徴的である。

この WRC の再構築マニュアルを東京都へ適用するに当たり、「戸山・戸塚東幹線流域」をケーススタディーとして取り上げ、検討を行った結果、東京都にも適用可能であることを検証した。特に水理面では、東京都の下水道整備において従来行われてきた「流下型」と、新手法「貯留とネットワーク方式」による整備計画とを比較した結果、「コスト面」、「段階整備の柔軟性」、「河川への放流抑制効果」等において、後者が優れているという知見を得るに至った。

大目次

目次

本文

5 - 2 ポンプ所における越流負荷の効率的除去技術の開発

(調査部課所名) 計画調整部 技術開発課

1 調査目的

本共同研究は、合流式下水道の雨天時越流水対策として、超高速凝集沈殿処理技術を、ポンプ所に適用するために、実負荷連続運転、性能評価、維持管理課題、雨天時流入特性等の調査研究を通じて、合流改善技術としての実用化を確立することを目的としている。なお、本共同研究における開発目標は以下のとおりである。

- (1) 処理対象をSS除去とし、目標処理性能は除去率を80%以上とする。
- (2) ポンプ所における適切な運転方法と維持管理手法を確立する。
- (3) 実規模化を想定したシミュレーションにより、ポンプ所における本技術の適正規模や合流改善対策における役割・位置付けを検討する。
- (4) 本技術の計画・設計・維持管理手法を確立する。

2 調査内容

本共同研究は、砂町処理区の大島ポンプ所をモデルポンプ所として研究を行っている。

(1) 基礎性能調査

大島ポンプ所における降雨及びポンプ所流入水の水量・水質調査を行い、排水区を流出解析モデル(MOUSE)でモデル化し、シミュレーションを行うことで雨天時越流水の特性の把握や本技術の適正規模の検討を行う。

(2) パイロットプラントの設計・製作

本共同研究で実用化の対象とする超高速凝集沈殿法を用いた雨天時越流水の合流改善技術を実証するために、本技術のパイロットプラントの設計・製作を行う。

3 調査結果と考察

本技術の規模を決定する検討として、処理量(=規模)から見た、ポンプ所の「未処理放流回数」・「未処理放流量」・「放流負荷量」・「放流負荷削減率」・「放流水質」・「費用効果」・「貯留池規模相当」等の比較を行った。

右図にその結果の一例として、超高速凝集沈殿法の処理量を変えたときのポンプ所放流SS負荷量の削減効果を示す。

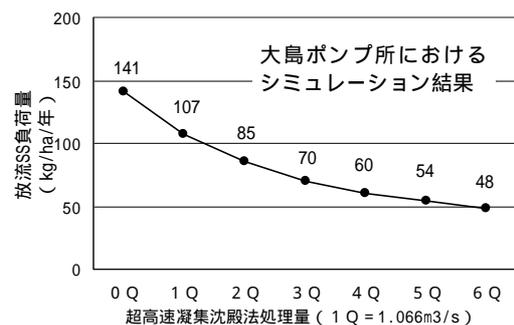


図 超高速凝集沈殿法処理量とポンプ所放流SS負荷量の変化

大目次

目次

本文

5 - 3

篠崎ポンプ所流域におけるリアルタイムコントロール現状調査

施設管理部 施設保全課

1．調査目的

本調査は、第二世代下水道マスタープランにおける合流改善事業の緊急対策の一環として、既存施設の貯留能力や排水能力を有効に活用するリアルタイムコントロール（以下R T Cと略す。）を篠崎ポンプ所流域に適用する。

このため、既設篠崎ポンプ所ほか3か所及び流域管渠の現状を把握し、リアルタイムコントロールシステムを構築するための基本調査を行うものである。

2．調査内容

調査の内容は、篠崎ポンプ所流域の諸元、降雨時のポンプ運転状況把握。R T Cの基本機能の調査、導入する流出解析モデルの選定及びシミュレーションの実施。ポンプ所の流入制御システム及び運転支援システムの検討。降雨時の管渠内水位把握のための水位計設置場所及び測定方式の検討。管内貯留による浸水に対する検討を行った

3．調査結果と考察

調査結果は、篠崎ポンプ所流域においてR T Cを導入した場合、合流改善において下記のような効果があると結果を得られた。

表 - 1 R T Cによる合流改善効果

	現況施設(a)	R T C方式(b)	R T C効果(b/a)
越流回数	4 1回/年	1 6回/年	6 1%
越流量	4 5 3 m ³ /年	2 1 9 m ³ /年	5 2%
越流負荷	1 8 1 t/年	5 9 t/年	6 7%

大目次

目次

本文

6 - 1 放電式脱臭技術に関する調査その2

(調査部課所名) 計画調整部 技術開発課

1. 調査目的

本調査は、水処理施設から発生する臭気ガスに対し放電方式による脱臭技術を調査し、活性炭に代わる低コストで臭気濃度の変動に強い次世代型脱臭装置を開発することを目的とし、平成11年度の成果を踏まえて放電式脱臭装置に関してより適正な処理条件の確立を目的として行った。

2. 調査内容

放電式脱臭装置の実臭気に対する処理能力の確認のため葛西処理場に実験装置を設置して処理試験を行うとともに、下水臭気に適応した放電式脱臭装置開発のため、実験室でも基礎実験を行った。調査項目は、臭気ガスの連続処理性能、温室効果ガスの挙動調査、電極洗浄システムの改良、高圧電源装置の改良、放電モニタによる放電エネルギーの制御、無負荷運転による触媒再生、放電電極の耐久性向上に関する調査、処理副生成物に関する調査、湿度の影響に関する調査である。

3. 調査結果と考察

原臭気の臭気濃度は41~5,500まで変動しているが、処理臭気はおおむね300以下を維持しており、良好に処理されていることが確認された。メタンは放電式によって若干の濃度低下が考えられたが、亜酸化窒素・二酸化炭素は低減効果は認められなかった。電極洗浄時、放電式脱臭装置内に流通ガスを、切り替えバルブによって原臭気から外気に変更することで、処理臭気の悪化も無く良好に処理できることが確認された。電極の乾燥時間は少なくとも5分以上必要であると考えられた。高圧電源装置の一次電圧を100Vから200Vとすることで、電極洗浄などの影響を受けない安定した放電が可能になることが認められた。周波数は13.5~16kHzの範囲に設定することが好適であると考えられた。放電モニタを一定化する制御を行うことによって、臭気濃度の変動に対して自動制御で常時適切な臭気の処理が行われることが確認された。触媒の効果が低下した場合、放電処理を行っている装置に外気を流通させて処理を行うことにより、触媒の効果が復活することが確認された。放電電極にアルミニウムを用いることにより、従来よりも電極寿命を長くすることが可能になると考えられた。アセトアルデヒド、プロピオン酸に関しては若干の増加が認められたものの、臭気としての寄与は非常に小さく問題ない範囲であると考えられた。相対湿度が90%以下でも触媒部分で結露しない条件であれば、良好な処理が可能であることが認められた。ヒータが一定時間後とに稼動するようタイマー制御等を併用することが好ましいと考えられた。

放電式脱臭装置は下水水処理系臭気の処理に対し、十分な実行可能性を有する技術であると考えられた。

大目次

目次

本文

6 - 2 ダイオキシン類による健康障害防止のための作業環境調査結果

(調査部課所名) 施設管理部 施設管理課

1. 調査目的

本調査は、ダイオキシン類に関して污泥焼却炉等の作業環境を評価するために、「ダイオキシン類による健康障害防止のための対策について(労働省労働基準局長、平成11年12月2日付基発第688号)」に基づき、実施した。

2. 調査内容

下記の対象事業所において、総粉じん及びダイオキシン類を測定し、作業環境の評価を行った。

対象事業所：砂町水処理センター、東部スラッジプラント、南部スラッジプラント、
葛西処理場、小台処理場、新河岸処理場、ミキシングプラント

測定場所：焼却灰搬出所、焼却炉周辺、集塵機周辺など

3. 調査結果と考察

調査結果の一例を表に示す。焼却灰搬出所の測定結果は、全て管理濃度 $2.5\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$ を下回った。このため、焼却灰搬出所は、適切に作業環境管理されている第1管理区分であった。同様に、焼却炉周辺、集塵機周辺等、全ての測定場所において、作業環境は第1管理区分であった。

ダイオキシン類測定試料における総粉じん濃度とダイオキシン類濃度との関係を図に示す。両者には相関が見られず、粉じん濃度の高い作業場がダイオキシン類濃度が高いという傾向を示さなかった。ダイオキシン類測定試料の総粉じんとダイオキシン類濃度から単位粉じんあたりのダイオキシン類濃度を求め、作業時の粉じん濃度により作業環境を評価する本方法は、一時的に粉じんが高くなる作業場では、評価値が過大になる可能性があるかと推測された。

表 焼却灰搬出所における作業環境測定結果
(管理濃度： $2.5\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$)

事業所	回数	A測定第1評価値	B測定値	評価結果(管理区分)
砂町	1	0.54	0.16	第1
	2	0.29	0.20	第1
東ブラ	1	0.015	0.0079	第1
	2	0.022	0.0079	第1
南ブラ	1	0.0048	<0.00034	第1
	2	0.0044	<0.00034	第1
葛西	1	0.0030	0.0048	第1
	2	0.0096	0.011	第1
小台	1	0.061	<0.018	第1
	2	0.37	0.099	第1
新河岸	1	0.54	<0.096	第1
	2	0.29	0.096	第1

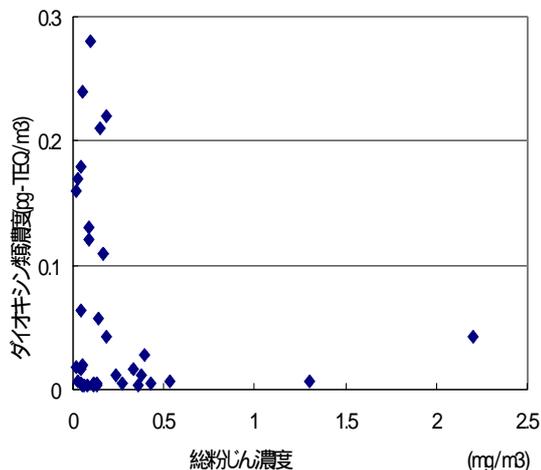


図 総粉じんとダイオキシン類濃度の関係

大目次

目次

本文

6 - 3 下水道施設における温室効果ガス排出量実態調査

(調査部課所名) 施設管理部 施設管理課

1 . 調査目的

下水道施設からの温室効果ガス排出量の実測調査を実施した後、データ解析を行い、排出係数(単位下水処理量あたりの各温室効果ガス排出量)を把握し、温室効果ガス排出量削減計画の策定のための資料作成とすることを目的として実施した。

2 . 調査内容

(1) 水処理プロセスにおける排出量実態調査

「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き(平成11年8月 社団法人日本下水道協会)」(以下「手引き」)を参考に、4区分の処理状況(硝酸型、亜硝酸型、硝化脱窒型、未硝化型)別に、第一沈殿池、生物反応槽、第二沈殿池から発生する一酸化二窒素、メタンの測定(スポット及び連続)を行った。

(2) 汚泥焼却プロセスにおける排出量実態調査

「手引き」を参考に、汚泥焼却炉から排出されるガスの実態と、既存排煙処理装置等による温室効果ガス排出除去効果について、流動炉及び多段炉で実施した。測定項目は一酸化二窒素、メタン(スポット及び連続)である。

3 . 調査結果と考察

(1) 水処理プロセスにおける排出量実態調査

4処理場の生物反応槽で実施した連続測定は7日~数ヶ月間実施したが、一酸化二窒素の濃度は一日のなかでも大きく変動しており、連続測定の有効性が示された。この濃度変動は水温や処理水量、ばっ気風量などが変動するため硝化が進みにくいなど生物反応槽内の処理状況が変化することが原因と考えられる。

また、排出係数の算定の結果、最も排出係数が大きいのは亜硝酸型の場合で処理水量1Lあたりの一酸化二窒素排出量は0.199mg、最も小さいのは硝化脱窒型の場合で0.012mgであった。

(2) 汚泥焼却プロセスにおける排出量実態調査

多段炉での一酸化二窒素濃度は100ppm前後、流動床炉では250ppm前後で変動しているが、変動幅は水処理プロセスのものと比較すると小さい。

大目次

目次

本文

6 - 4 生物生息空間を考慮した緑化調査

(調査部課所名) 施設管理部 施設管理課

1. 調査目的

下水処理場の広大な敷地は、都心部における貴重な緑の空間となっており、場内に生物の生息空間を整備することで周辺地域における生物生息の核となることができる。しかし、従来の場内整備手法は景観や管理のしやすさを重視しており、生物の生息については配慮されておらず生息する生物種は少ない。そこで、場内緑化手法の視点を変え、多様な生き物が共生できるような生物生息空間を考慮した緑化手法による場内整備を全処理場を対象に導入するにあたり、その方向性を示す緑化指針マニュアルを作成する。

2. 調査内容

下水処理場内に「身近な生き物の生息空間」の構築の可能性を検討するため、まず現状の生物相について把握した。現況調査は三河島処理場、落合処理場、砂町水処理センターについて場内及びその周辺において実施した。

現況調査の結果を踏まえ、下水処理場における「身近な生き物の生息空間」整備の基本的な考え方と整備の手順を整理し、これに基づき、誘致可能な生物種、生物生息空間整備の各手法、及び周辺住民への提供など活用の方法を検討し、一例として上記3処理場については生物生息空間を考慮した場内整備案を作成した。

3. 調査結果と考察

現地調査では砂町水処理センターで7目15科21種の鳥類や、11目40科97種の昆虫類などを確認し、これらのなかから下水処理場内の生物生息空間に誘致する目標となる種（鳥類22種、トンボ類13種など）を抽出した。

また、整備のフローの一例を示し、生物生息空間の整備や管理にあたっては具体的な各手法を草地、林地、水辺、建物まわりなど地形のタイプ毎にとりまとめた。生物の実地調査を行った3処理場についてはケーススタディとして、整備フローの一例に沿って、場内整備案を整備による各方面からの効果、影響の予測を含めて策定した。

なお、マニュアルについては、製本し各処理場、管理事務所に配布している。

大目次

目次

本文

7 - 1 焼却炉高温排ガスの有効利用調査その3

計画調整部 技術開発課

1．調査目的

本調査は、地球温暖化防止に寄与する技術として、汚泥焼却炉から排出される高温排ガス中の熱の有効利用を図るため、高効率で高温(800～900℃)集塵できるハニカム型セラミックフィルタ(CF)を用いたろ過装置の開発を目的とし、高温集塵システムの性能調査及び実用化検討を行ったものである。

2．調査内容

実験装置は、循環流動炉、後燃焼炉、高温CF、スクラバ、排ガスファン等で構成した。CF仕様はコーゼライト材質であり、セルピッチは6mm、4mm、2.5mmの3種類とした。

- (1) CFの性能調査を行うため、高温での長期(100時間)連続運転により、運転圧力損失、排ガス性状測定、CFへのダスト侵入状況、CF強度評価、ダイオキシン類の測定などを行い適用性の確認を行った。
- (2) 高温場における最適なCF形状の検討のため、矩形及び円柱状フィルタの熱応力解析、CF保持方法の検討を行った。
- (3) 高温集塵した灰の性状調査を行うため、集塵灰の組成分析及び溶出試験を行った。
- (4) 最適逆洗条件の検討を行った。
- (5) 低温集塵システムと高温集塵システムの比較検討を行った。

3．調査結果と考察

- (1) セルピッチの異なる3種類のCFの運転圧力損失調査では、4mmピッチが最小値であった。排ガス測定では、CF出口で0.002g/m³N以下のダスト濃度であり高効率除去が可能であった。CFへのダスト侵入状況については、100時間使用後のフィルタ断面を観察をしたが、ダスト侵入は見られなかった。CF強度試験は、30時間使用後のCFでは強度が初期の85%まで低下したが、100時間使用後ではそれ以下の低下は見られなかった。ダイオキシン類測定結果は、0.02ng-TEQ/m³Nと焼却炉規制値(10ng-TEQ/m³N)を下回った。
- (2) 高温での熱応力解析の結果、緩和及び熱伸びによる熱歪の防止には、円柱状CFが有効であった。CF保持方法では、キャニング法(圧入式)の適用可能性が実証された。
- (3) 高温集塵灰は、As・Pb等の重金属成分の含有低減と溶出低減が可能であった。
- (4) 逆洗条件は、逆洗間隔20min/回にて100時間の安定ろ過が可能であった。
- (5) 低温集塵システムと比較した場合、集塵装置自体の設置スペースは大きくなるが、廃熱ボイラ及び空気予熱器のコンパクト化より、システム全体としては同等である。コスト面では廃熱ボイラ及び熱交換器のコンパクト化から、システム全体としてコストダウンが可能である。

大目次

目次

本文

7 - 2 下水汚泥焼却灰の資源化技術の基礎調査その2

計画調整部 技術開発課

1．調査目的

本調査は、11年度の調査に引き続いて下水汚泥焼却灰から溶出する重金属物質の抑制し、資源としての利用を可能にすることを目的に、焼却灰に含まれる重金属類、特に砒素、セレンの溶出抑制技術を開発したものである。

2．調査内容

砒素の溶出が多い葛西焼却灰、セレンの溶出が多い新河岸焼却灰、砒素・セレンともに溶出が多い東プラ焼却灰について、11年度調査結果に基づき硫酸第一鉄添加+加熱処理による溶出防止を行い、土壤環境基準のクリアする。

3．調査結果と考察

(1) 薬品添加と加熱処理による溶出抑制について

- 1) 硫酸第一鉄添加(3~5%) + 放置期間7日間 + 加熱処理1時間の組み合わせによって葛西・新河岸の焼却灰は砒素・セレン・カドミウムともに溶出が抑制できることが判明した。
- 2) 葛西焼却灰では硫酸第一鉄添加率は3%または5%、加熱温度は200 または 400 のいずれの条件でも各金属の溶出を抑制できた。また、新河岸焼却灰の場合には硫酸第一鉄添加率5%、加熱温度400 が最も望ましい条件となった。
- 3) 東プラの焼却灰については、本処理ではセレンの溶出を抑制できなかった。また、還元セレン溶出防止のために前処理(硫酸アンモニウム)を組み合わせたか、カドミウムの溶出量が増加し、セレンとカドミウムの溶出防止が同時にできないことがわかった。
- 4) 既存の重金属溶出防止策(消石灰添加法)との比較を行ったところ、硫酸第一鉄添加(5%) + 加熱処理法(220、420)は消石灰添加法に比較して優位であることがわかった。

(2) 無害化された処理灰有効利用のための造粒技術調査

葛西処理灰ではバインダーとして廃糖蜜、消石灰、これらの組み合わせが適用でき、新河岸処理灰については廃糖蜜が適している。高温処理していないため強度が弱いもののハンドリングは向上し、土壤改良材や園芸用土壌としての利用できることが判った。

(3) 実施化可能性調査

重金属溶出防止と造粒による資源化施設の検討を行い、セメント原料化と同等の焼却灰1t当たり約15000円の処理コストで資源化が行えるとの結果を得た。

大目次

目次

本文

7 - 3 汚泥の燃焼を伴わない資源化技術基礎調査その2

計画調整部 技術開発課

1. 調査目的

平成11年度については、汚泥自身の持つ発熱量を有効利用する技術として下水汚泥を400～500程度で熱分解した後に生成されたガス及びチャー（炭化物）などの性状について基礎調査し、さらに各生成物の利用用途についての検討を行った。今年度は連続運転による生成物収集の安定性確認、収率や生成物の特性などの定量的把握、チャーを脱水助剤として再利用する可能性について調査を行った。

2. 調査内容

- (1) 実プラントを想定した連続運転による熱分解システム構築
- (2) 各生成物の定量的把握
- (3) チャーの脱水助剤としての可能性調査

3. 調査結果及び考察

- (1) 10時間連続運転を行い、各生成物が量・質ともに安定的に得られることを確認した。
- (2) 熱分解反応を行うリアクタの温度を変化させ、各生成物の発生量の変化と最も効率の良い温度と生成量を把握した。(下表)
- (3) チャーを脱水助剤として脱水工程に添加する場合の脱水効率や最適な添加率を調査したが、脱水効率を向上させる添加率は80%と大きく、脱水ケーキのボリュームが増加するため、脱水助剤としての適用は困難であることがわかった。
- (4) 生成物を利用した汚泥資源化システムとして、ガスを燃料電池用燃料に、油は乾燥機燃料に、チャーは重金属溶出試験（環境庁告示46号）でほぼ計量下限値以下となり、土壤環境基準値を満たすため埋立材料に再利用することを検討した。その結果、ガスの前処理・改質が必要なこと、乾燥機では補助燃料が必要であり、効率性に問題があることが判明した。

表 CH₄ガスを最も多く発生させる時（リアクタ温度550）の各生成物の状況概略

	収率(%)				可燃ガス(%)				総発熱量(MJ/kg)				備考
	ガス	油	チャー	水分	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂	ガス	油	チャー	水分	
小台	33	10	40	17	19	15	22	18	26	35	14	3	
葛西	33	10	41	16	20	15	23	19	26	34	15	3	
砂町	37	12	40	11	22	12	15	23	31	34	17	5	粗脂肪が多い
東プラ	37	10	42	11	23	12	14	24	31	34	13	6	粗脂肪が多い
森ヶ崎	22	5	62	11	15	9	26	35	24	38	5	2	有機分少ない
南プラ	33	10	42	15	19	14	21	22	25	34	13	3	

大目次

目次

本文

- 1 沈砂池の省スペース化に関する調査

計画調整部技術開発課

鈴木 建、杉本克美

並木芳憲、秦 健司

1. はじめに

1.1 調査目的

1.1.1 背景

近年、ポンプ所の深層化を背景に後方配置型の沈砂池が採用されてきていることや、舗装率の上昇や空き地の減少による沈砂の減少など、水面積負荷等従来の沈砂池設計の考え方が現状に必ずしも適さなくなってきていると考えられる。

ポンプ所の沈砂池は、維持管理用のスペースなどを含めるとその平面積規模がポンプ所全体の約6割を占めるといわれ、沈砂池の省スペース化を図ることは、ポンプ所自体の省スペース化からポンプ所建設費や維持管理費の軽減をもたらすものと考えられる。また、将来のポンプ所再構築時における用地確保、費用軽減などに、沈砂池の省スペース化が大きく貢献するものと考えられる。

一方、沈砂池の省スペース化に伴い、雨水ポンプ所における雨天時のポンプ所内水位の急変動や、除砂機能の低下、放流先の負荷増大等、様々なりスクの発生が予想されるため、事前に水理・水質的な視点からの検証や設備の耐久性に関わる検証を行い、沈砂池の省スペース化に関する十分なリスクマネージメントを検討しておく必要がある。

1.1.2 目的

本調査ではポンプ所における沈砂池に関し、水理や水質、運転管理におけるリスク分析を詳細に行うことにより、許容可能なリスクの範囲内で必要な機能を確保しながら、沈砂池の省スペース化を図ることを目的とする。また沈砂池の省スペース化によるポンプ所再構築時におけるコスト縮減等の可能性についてもあわせて調査を行う。

1.2 調査内容

調査項目及び調査フローを図1に示す。

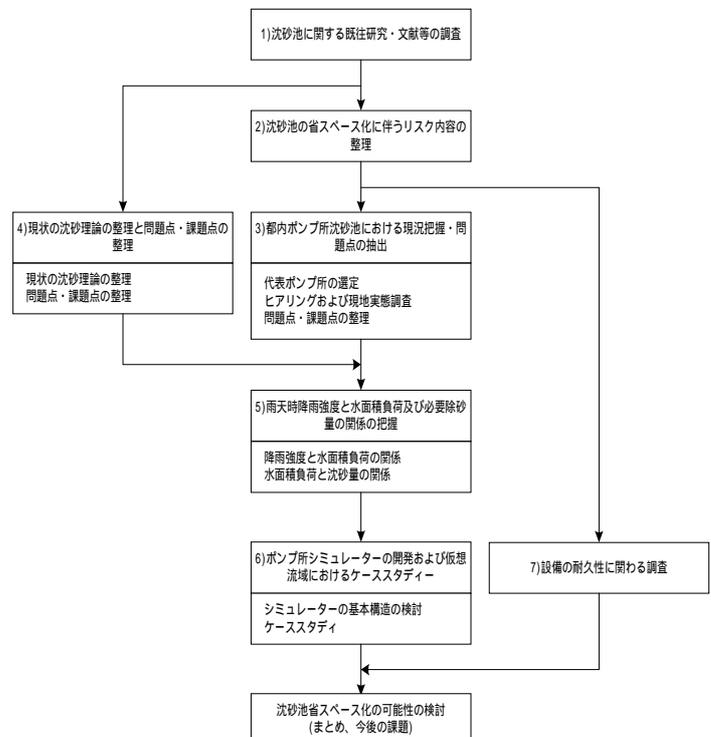


図1 調査項目及び調査フロー

2. 沈砂池に関する既往研究・文献等の調査

2.1 既往研究・文献の収集

既往研究、文献等を収集した結果、最近の沈砂池に関する研究課題をみると、日本では、沈砂池設備における臭気問題、円形沈砂池の設計、沈砂かき寄せ装置の性能評価等の現施設を中心とした研究が、海外では沈殿池における浮遊粒子の挙動を示す方程式や実用的な数学モデルの提案、数値実験を通して水面積負荷や滞留時間が除去率へ及ぼす影響についての感度分析等、沈砂理論を中心とした研究が行われている。

2.2 問題点・課題点等の整理

既往研究・文献等の資料収集結果およびアンケート結果から、沈砂池の省スペース化に伴う影響は、大きく次の4点が示された。

- | | |
|----------|----------------------|
| 水理的な影響 | : 集中豪雨時の対応が困難など |
| 水質的な影響 | : 土砂が川へ出て環境を汚すなど |
| 設備への影響 | : ポンプ弁類の摩耗、ポンプ井の砂没など |
| 維持管理への影響 | : 管理スペースの確保など |

3. 沈砂池の省スペース化に伴うリスク内容の整理

沈砂池の省スペース化に伴って発生するリスク内容について、表1に示す。

表1 リスク内容と想定される対応策

視点	リスク内容	想定される対応策
水理的影響	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ井水位の急上昇 ポンプ所上流管への水位上昇 	<ul style="list-style-type: none"> 先行待機運転 水密構造
水質的影響	<ul style="list-style-type: none"> 放流先での汚染・堆砂 ポンプ井や汚水流入管、処理場内の水路や管路に土砂が堆砂 ポンプ所下流の水処理機能の低下 沈砂分離機能低下によるポンプおよびバルブの閉塞 	<ul style="list-style-type: none"> 初期汚濁対策用の貯留池併設 放流口構造の工夫 第1沈殿池構造、運転方法の工夫 ポンプ井構造の工夫 揚砂装置の改善(雨天時の揚砂)
設備への影響	<ul style="list-style-type: none"> 混砂によるポンプの摩耗、ポンプ効率の低下 起動停止回数(on, off)の増加 	<ul style="list-style-type: none"> 材質の変更 回転数制御運転 最適な単機容量、起動・停止水位の設定
維持管理への影響	<ul style="list-style-type: none"> 運転管理の煩雑化(降雨予測と連動、モニタリング情報) 	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転 リアルタイムコントロール

4. 都内ポンプ所沈砂池における現況把握・問題点の抽出

区部78箇所(H10年度現在)のポンプ所から代表的な汚水・雨水沈砂池を8箇所選定し、現地調査やヒアリング調査から現状を把握し、問題点・課題点を整理した。

4.1 代表ポンプ所の選定

4.1.1 選定方法

運転管理上の課題が偏らないよう、水面積負荷と沈砂量の関係が異なるポンプ所を選定。平成11年度の沈砂実績値を勘案し、現地調査期間内(1月～2月)に沈砂が期待できるポンプ所を選定。

4.1.2 選定結果

表2 代表ポンプ所の選定結果

番号	ポンプ場	沈砂池種別	処理区	行政区	稼動年	揚水能力		水面積		年間実績					
						汚水	雨水	汚水	雨水	揚水量 千m ³ /年	沈砂量 年間				
						千m ³ /日	千m ³ /日	m ²	m ²		1月	2月	3月		
6	銭瓶町	セニカメチヨ	合流汚水	芝浦	千代田	1931	919	0	404	0	54,405	172	9	7	16
35	東雲南	シノミナミ	分流汚水	砂町	江東	1971	72	0	43	0	3,464	6	0	0	0
14	小松川	コマツカ	合流雨水	砂町	江戸川	1962	0	2,513	0	392	760	52	0	4	0
54	細田	ホソタ	合流雨水	葛西	葛飾	1981	0	1,613	0	355	601	111	37	34	10
20	志茂	シモ	合流汚水・雨水	小台	北	1966	69	2,290	495	460	5,194	132	8	15	4
51	梅田	ウメダ	合流汚水・雨水	中川	足立	1977	367	10,649	270	1,279	28,524	200	4	0	6

注1) 揚水能力、水面積の値は現有能力

注2) 年間実績値は平成11年度の値

注3) 合流汚水:合流式下水道地区のポンプ所で雨水は分流し放流、汚水のみ揚水しているポンプ所
 分流汚水:分流式下水道地区のポンプ所で汚水を揚水しているポンプ所
 合流雨水:合流式下水道地区のポンプ所で汚水は遮集化し、雨水のみ揚水しているポンプ所
 合流汚水・雨水:合流式下水道地区のポンプ所で汚水・雨水ともに揚水しているポンプ所

4.2 現地実態調査およびヒアリング

4.2.1 実態調査における分析項目

各ポンプ場の沈砂池で、以下の項目の分析を行った。

- 1) 堆積物(沈砂)の粒径分布
- 2) 粒径毎の強熱減量(有機物及び無機物の割合)
- 3) 粒径毎の比重

4.2.2 実態調査結果

沈砂池の実態調査における除去対象粒子以下の粒径割合を表3に示す。

表3 各ポンプ所沈砂池における沈降粒子の特徴のまとめ

ポンプ所沈砂池		沈砂中の指針値以下の粒子の割合	設計指針値 (除去対象粒子)
		%	mm
汚水	銭瓶町	約15	0.2以上
	梅田	約9	
	東雲南	約54	
雨水	梅田	約29	0.4以上
	志茂	約70	
	細田	約52	
	小松川	約42	

汚水・雨水に係わらずどのポンプ所においても、指針において除去対象とされている粒径よりも小さい粒径のものが非常に多く沈砂中に含まれている状況が判った。現行の設計指針に示された粒子径(汚水:0.2mm, 雨水:0.4mm)以上が除去出来れば良いという点に関しては、今回調査を行った沈砂池に限り、沈砂池の省スペース化の可能性を十分有した状況であると思われる。

各ポンプ所沈砂の通過重量百分率の粒径加積曲線とその他の結果を図2に示す。

これらから、東雲南ポンプ所を除いたどのポンプ所の沈砂も、粒径0.1 mmから2 mm程度の粒子が最も多く(60~80%)含まれている状況であった。

東雲南ポンプ所の沈砂については、粒径0.075 mm以下の微細粒子が50%程度を占めており、他のポンプ所とは異なる傾向が見られた。

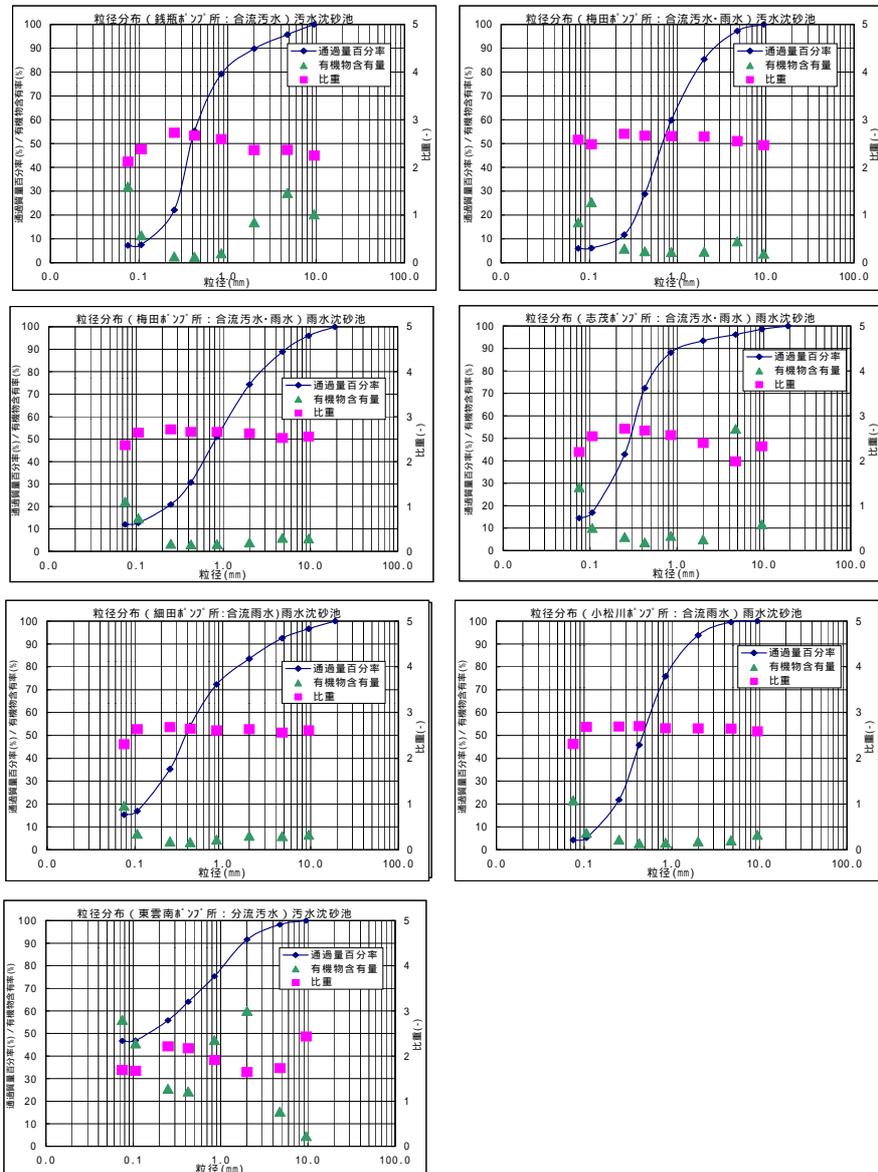


図2 粒径毎の通過百分率、有機物含有率及び比重

4.3 問題点・課題点の整理

実態調査結果は、以下の点について留意する必要があるものと思われる。

4.3.1 汚水系沈砂池

汚水沈砂池については、以下の点から相当の余裕をもって運転されていることが予想され、沈砂池の省スペース化の可能性が示唆された。

- 1) 実態調査から：晴天時で池を限定して使用している状況においても、粒径(0.2

mm)以下の粒子まで沈殿していることが判った。

- 2) ヒアリングから：東雲南ポンプ所より「沈砂量が極端に少ないため、浚渫で対応した方が経済的。」との意見が出されている。

実態調査を行った污水系沈砂池は、合流2箇所（梅田ポンプ所及び銭瓶ポンプ所）と分流1箇所（東雲南ポンプ所）であった。晴天時に堆積していた沈砂については、類似が見られることが予想されたが、分析結果では、東雲南ポンプ所が大きく異なる傾向を示していた。原因として、以下の2点が考えられる。

- 1) 揚砂機の種類違い。：東雲南はパケット式。銭瓶、梅田はポンプ式(混気ジェット式)揚砂機を採用。ポンプ式では沈砂に付着していた有機物が水流により剥離したと予想される。
- 2) 流入水質の違い。：直前の降雨と降雪で、合流式の2ポンプ所には砂を大量に含む水(汚水よりむしろ雨水に近い水)が大量に流入していたことが予想される。

4.3.2 雨水沈砂池

雨水沈砂池については、粒径(0.4 mm)以下の粒子まで沈殿していることが判った。ポンプ井における沈砂状況の把握が必要である。

ヒアリングでは細田ポンプ所から、ポンプを全台運転した際に、沈砂池の流速が設計値を越えるため、揚砂作業を行っていても格機及びポンプ井まで砂が流出しているとの意見が出されている。省スペース化を進める際には、このような状況も十分考慮して検討する必要がある。

具体的な対応策としては以下のような項目が挙げられる。

現況レベルでの対応

- ・緊急時を除き、沈砂池の能力を超えるポンプの運用をできるだけ避ける。
- ・雨水沈砂池においては、沈殿した砂の再浮上とポンプ井への流入を防ぐため、揚砂作業を確実に行う。

施設更新時における対応

- ・ポンプ設備の性能アップ

5. 現状の沈砂理論の整理と問題点・課題点の整理

5.1. 現状の沈砂理論の整理

5.1.1. 粒子の沈降速度

沈砂池における粒子沈降速度は、単粒子自由沈降速度式から求められている。沈降速度式は各 Reynolds 数領域別に実験的もしくは理論的に定めると次式が得られる。¹⁾

$$[\text{Stokes 式}] \quad R_e < 1 \text{ のとき } w = \frac{1}{18} \frac{g(\rho' - \rho)d^2}{\mu}$$

$$[\text{Allen 式}] \quad 1 \leq R_e < 100 \text{ のとき } w = 0.233 \left[\frac{(\rho' - \rho)^2 g^2}{\rho \mu} \right]^{1/3} d$$

$$[\text{Newton 式}] \quad 10^3 \leq R_e < 2.5 \times 10^5 \text{ のとき } w = 1.82 \left[\frac{(\rho' - \rho)gd}{\rho} \right]^{1/2}$$

ここに、 w ：粒子の終末沈降速度(cm/s)、 g ：重力加速度(cm/s^2)、 ρ' ：粒子の密度(g/cm^3)、 ρ ：媒体の密度(g/cm^3)、 d ：粒子の直径(cm)を表わす。

5.1.2. 沈砂池の設計諸元

水面積負荷

下水道設計指針にある水面積負荷の設定根拠は、汚水沈砂池、雨水沈砂池でそれぞれ除去対象とする最小粒子径を 0.2mm、0.4mm としている。この粒径に対して得られる沈降速度を水面積負荷としおり、汚水沈砂池が 1,800m/日、雨水沈砂池が 3,600m/日である。

除去率

$$[\text{押し出し流れ}] \quad E = \frac{w}{w_0}, w < w_0, \quad E = 1.0, w \geq w_0$$

$$[\text{完全混合流れ}] \quad E = 1 - \frac{1}{1 + w/(Q/A)}$$

ここに、 E ：除去率、 w ：沈降速度、 w_0 ：沈砂帯の上面より流入し流出端でちょうど底へ達する粒子の沈降速度、 Q ：流入下水量、 A ：沈砂池の表面積である。

平均流速：沈砂池内の平均流速 0.30m/s

5.2 問題点・課題点の整理

5.2.1 問題点・課題点

沈砂粒子の沈降速度

実際に流入してくる粒子は単純なものではなく、砂粒子に細かい有機物が付着して沈降している。よって、沈降速度を算定する際には砂粒子の付着物を考慮する必要がある。

除去率の算定式

矩形沈砂池において理想的沈殿池状態、つまり押し出し流れとなることは考えにくい。除去率を算定する際、安全側から判断すると完全混合流れとして扱う方が適切と思われる。

水面積負荷(流入下水量/沈砂池面積)の設定

雨水沈砂池の水面積負荷は設計指針の中で、ポンプ所設計においては合理式により求められた流入下水量(ピーク流量)に対し、原則として水面積負荷 3,600m³/m²・日が確保されるように沈砂池の大きさを決めている。

沈砂の再浮上

沈砂池内の平均流速は 0.30m/s を標準としている。この流速が大きくなると除去目標とする土砂の限界掃流力を超え、一度沈殿した土砂を再浮上させることになる。ポンプ揚水能力は変えずに沈砂池を省スペース化した場合には、このような現象の発生が想定される。

5.3 水面積負荷(流入下水量/沈砂池面積)の設定

5.3.1. 実降雨を考慮した水面積負荷の概算

前述の問題点・課題点のうち、水面積負荷の設定に着目し、本調査で選定した代表ポン

プ所における実降雨を考慮した水面積負荷の概算を試みた。

対象降雨：平成 11 年

対象ポンプ所：現地実態調査を行った 6 ポンプ所(8 沈砂池)

沈砂池・ポンプの運転方法

- 1) 1 台のポンプにつき、沈砂池 1 池。
- 2) 沈砂池への流入は汚水沈砂池、雨水沈砂池の順番とする。
- 3) ポンプ稼働台数は、流入量<揚水量に設定。

流入量の概算：降雨強度別に合理式により算定

実績水面積負荷の推定結果

実績水面積負荷の推定結果を表 4 に示す。

- 1) 汚水沈砂池の場合、年間を通してみると降雨による流入水量の変動が少ないことから、水面積負荷は設計(現有能力)と実績(H11 年推定値)による違いがほとんどない。多少異なるのは、設計が沈砂池、ポンプ施設をフル稼働させた場合であるのに対し、実績は実際に使用している沈砂池、ポンプ施設が反映されているためと考えられる。なお、実績の水面積負荷は概ね $1,800\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ であり、標準的な水面積負荷である。
- 2) 雨水沈砂池の場合、実績の水面積負荷が設計に対して 20%～40%程度にまで減少している。これは、全体降雨の 95%までもが降雨強度 $18\text{mm}/\text{hr}$ 以下の雨により占められているため、沈砂池およびポンプ施設をフルに稼働する機会が少ないことが起因していると考えられる。つまり、ポンプ施設の現有能力からみた水面積負荷は標準的な値よりも大きい、実際のポンプ揚水量(ポンプ所流入量)が少ないため、水面積負荷は標準より小さい値となっていると考えられる。

表 4 設計と実績の水面積負荷の関係

ポンプ所		現有	H11 推定
銭瓶町	汚水	2,274	1,260
東雲南	汚水	1,667	2,010
志茂	汚水	140	1,027
梅田	汚水	1,360	2,257
小松川	雨水	6,417	2,550
細田	雨水	4,548	1,720
志茂	雨水	4,977	1,266
梅田	雨水	11,654	2,350

6 . 雨天時降雨強度と水面積負荷及び必要除砂量の関係の把握

ポンプ所流入水量と除砂量の実績、および現地実態調査結果等から、雨天時の降雨強度や水面積負荷と沈砂量との関係を定量的に検討した。

6 . 1 . 降雨強度と水面積負荷の関係

降雨強度と水面積負荷の関係について、「東京都下水道局施設建設部土木設計課・設備設計課；21 世紀へ向けてのポンプ建設にあたって-これからの施設整備の方向-、平成 3 年 3 月」によれば、沈砂池の大きさ、沈砂池流入量を降雨強度で表現している。

- 1) 全体降雨の 95%までもが降雨強度 $18\text{mm}/\text{hr}$ 以下の雨により占められていることを考えると、 $75\text{mm}/\text{hr}$ 対応の沈砂池でみた場合、水面積負荷は大きくて $864\text{m}^3/\text{d}\cdot$

m²であり、大部分の降雨に対して沈砂池は大きな余裕を持っている。

- 2) 75mm/hr 対応の沈砂池を基準とすると、50、25、12.5mm/hr 沈砂池の面積は各々67、33、17%である。

6.2. 水面積負荷と沈砂量の関係

ここでは、データ収集により得られた流入水量の実績と除砂量の実績、および現地実態調査結果等を用いて、沈砂池面積を変更した場合(ポンプ揚水能力は固定)、沈砂量にどのような影響があるか把握する。また、沈砂池の面積をどの程度まで変更可能か検討する。

6.2.1. 沈砂量の算定手順

沈砂池面積：現状を 100%として、67%、33%、17%に変更

算定にあたっての仮定

- 1) 流入砂粒子の粒径分布は降雨強度、水面積によらず同じと仮定。
- 2) 汚水沈砂池の場合、沈砂池面積 100%の除砂量合計は実績値とする。
- 3) 沈砂池流入砂は完全混合流れの除去率と除砂量より逆算する。
- 4) 沈砂池面積 100%以外の沈砂池流入砂は沈砂池面積 100%の場合と同値とする。

6.2.2. 算定結果

沈砂池面積と沈砂量の関係を図3に示す。

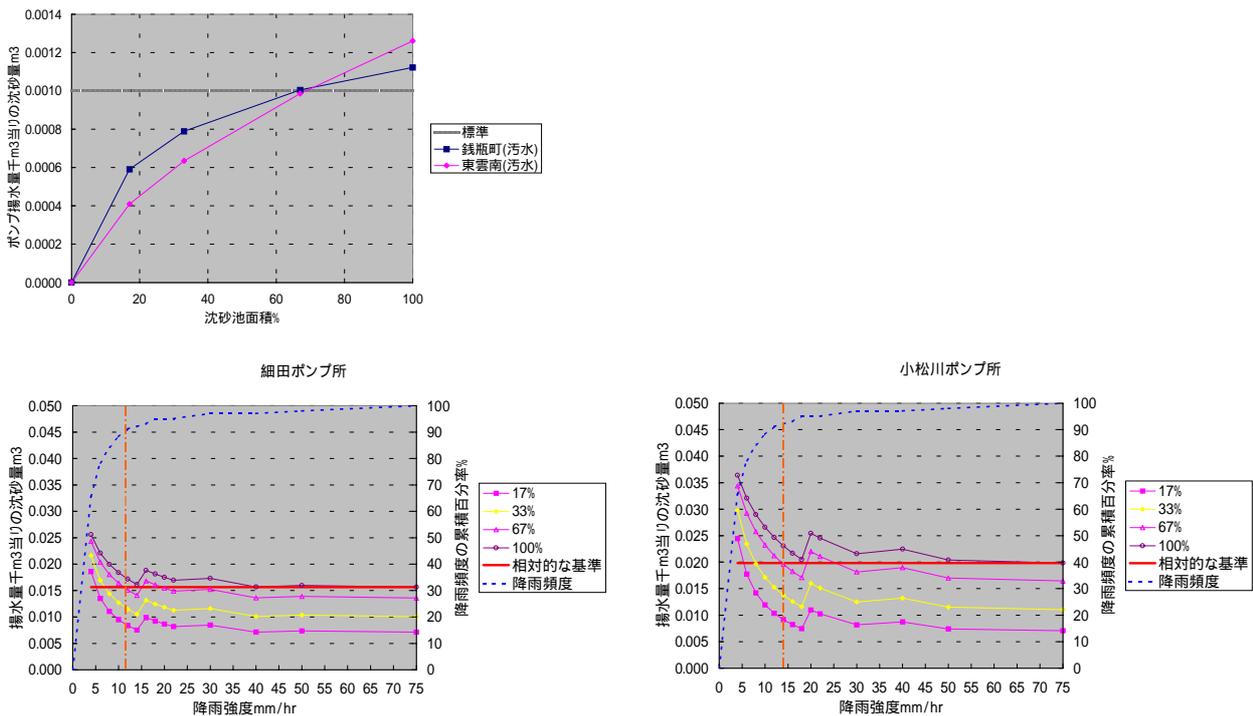


図3 沈砂池面積と沈砂量の関係(上：汚水沈砂池、下：雨水沈砂池)

- 1) 現地調査を実施した施設においては、汚水沈砂池は沈砂池面積を67%程度より小さくすると沈砂量が標準よりも少なくなる可能性がある。
- 2) 将来75mm/hr対応のポンプ施設を設置した場合、沈砂量からみると汚水沈砂池面積を50mm/hr対応としても標準的な沈砂量が得られると考えられる。

- 3) 雨水沈砂池の場合、沈砂池面積 100%の最小沈砂量(75mm/hr 降雨強度時)を基準に各沈砂池面積別降雨強度別沈砂量をみると、沈砂池面積 67%では降雨強度にして約 12mm/hr 以下のときに基準以上の沈砂量が確保できる。
- 4) 降雨強度 12mm/hr の雨は全体降雨の 9 割以上を占めており、沈砂池の省スペース化を図ったとしても、年間の総沈砂量はそれ程変わらないことが示唆される。

7. ポンプ所解析モデルの開発および仮想流域におけるケーススタディ

ポンプ所解析モデルの基本構造及びモデルの動作確認を目的とした検討を行った。

7.1 シミュレータの基本構造の検討

7.1.1 解析モデル

解析モデルは基本的に海外パッケージソフトの Hydro-Works を用いる。ただし、沈砂池での沈降を再現するのは困難であるため、モデル計算された沈砂池への流入水質および流入量結果を用いて、沈砂理論式及び現地実態調査における粒径分布および比重を用いて沈砂量を算定する。

7.1.2 Hydro-Works の概要

地表面流出解析：降雨が下水道システムに流入するまでの水の流れを評価するモデルで、降雨損失過程を有効降雨量算定モデル及び降雨流出過程を純流出量追跡モデルとしてモデル化している。

管渠内水理解析：管渠、せき、ポンプ所など下水道施設における水の流れを評価するモデルで、連続式と運動方程式を基礎式として使い、これらの差分方程式を解くことにより管渠内の水の挙動を求めている。また、管渠は閉水路として解析し、仮想のスロット（プライスマンスロット）を設けて開水路、圧力管、およびその遷移状態における水の挙動を基礎式の切り替えなしに解析できるようにモデル化を図っている。

汚濁負荷流出解析：生活排水、工場排水及び地表面や管渠内に堆積した汚濁負荷が降雨によって流出する量を評価するモデルで、汚濁負荷の流出過程を地表面流出過程と管渠内流出過程にわけ、各々の過程を地表面負荷流出モデル、管渠内負荷流出モデルとして水理解析との整合を計りつつモデル化している。

7.2 ケーススタディ

ケーススタディでは、仮想流域を定め、ポンプ所内沈砂池を省スペース化した場合及びポンプを先行待機形とした場合の水位の変化状況をシミュレーションにより把握した。

7.2.1 対象降雨

50mm/hr 計画降雨(前方集中型、時間間隔：5 分間、継続時間：3 時間)とした。²⁾

$$50\text{mm/hr 計画降雨} : I = \frac{5000}{t+40}$$

7.2.2 検討ケース

検討は沈砂池の面積を省スペース化した場合とポンプ施設(ポンプの起動所要時間)を変更した場合について行い、ケース数は 5 ケースとする。検討ケースを表 5 に示す。

表 5 検討ケース

Case	沈砂地面積	ポンプ施設
1	現状(100%)	現状
2-1	現状の面積に対し67%にした場合	現状
2-2		先行待機型
3-1	現状の面積に対し33%にした場合	現状
3-2		先行待機型

7.2.3 シミュレーションモデルの作成

対象流域：小松川ポンプ所集水域(砂町処理区)

管渠データ：東京都下水道データベース SEMIS を用いて幹線ベースで設定。

管渠ネットワーク：SEMIS データから砂町処理区の小松川ポンプ所流入幹線(小松川幹線、逆井幹線)におけるネットワークを図 4 示す。

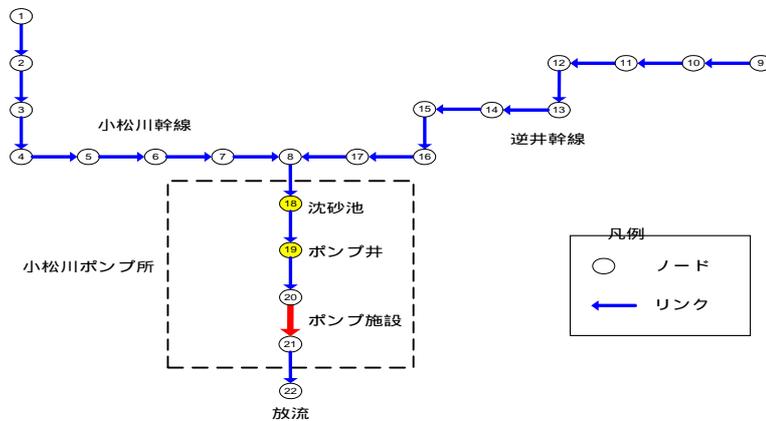


図 4 管渠ネットワーク

ポンプ諸元

- ポンプ台数と揚水能力：
4 台 @ 6.5m³/s = 26m³/s
- 起動水位および停止水位
- ポンプ起動所要時間
現状：5 分
先行待機型ポンプ：1 分

表 6 起動水位および停止

ポンプ	起動水位m	停止水位m
1台目	8.6	7.2
2台目	9.1	7.7
3台目	9.6	8.1
4台目	10.1	8.6

注1)-15.0T.P.mを基準面0mとしている。
注2)ポンプ井底面高=2.5m
注3)ポンプ運転方法は細田ポンプ所の運転方法を参考

表 7 設定条件

case	沈砂地面積ha	ポンプ起動所要時間min.
1-1	313.3	5
2-1	209.9	5
2-2		1
3-1	103.4	5
3-2		1

設定条件を表 7 に示す。

7.2.4 解析結果

評価指標

- ポンプ井・ポンプ上流幹線の最高水深(人孔番号 5 番、19 番)
- ポンプ井の水深変動(人孔番号 19 番)

計算時間間隔：15s

解析結果: 解析結果を図5に示す。各ケースの水位挙動を要約すると次のようである。

- 1) ポンプ起動所要時間5分、沈砂池の面積100%(313.2m²)を基準とすると、面積率を67%、33%に縮小するにつれ、ポンプ井およびポンプ所上流幹線の最高水深が高くなる。これは、沈砂池がクッションタンクの役割を果たしていることから、沈砂池の省スペース化に伴い、バッファ効果は減少し、ポンプ井への急激な流入が生じ水深が高くなったものと考えられる。
- 2) ただし、ポンプ施設を先行待機型ポンプとみたと、ポンプ起動所要時間を1分とすると沈砂池の面積を小さくしても、最高水深は沈砂池面積100%のそれよりも低い結果となり、水深の変動がポンプの起動所要時間に依存している、つまり、ポンプのかけ遅れが解消されることにより、水位の上昇に対応できるものと考えられる。

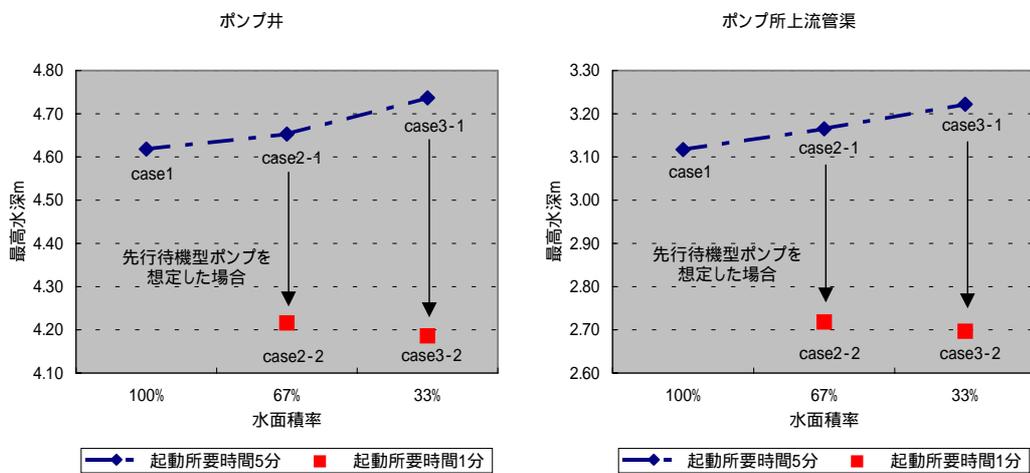


図5 沈砂池面積と最高水深の関係(左:ポンプ井、右:上流管渠)

8. 設備の耐久性に関わる調査

8.1 現状および沈砂池を省スペース化した際の材質比較

ポンプ設備の材質

表8 材質比較³⁾

材質	特徴
BC 青銅鑄物	耐摩耗性、耐食性等に優れていることから、従来最も一般的な材質として使用されてきたが価格が高いため、現在では小型ポンプにしようが限定されてきた。
FC ねすみ鑄鉄	小型の低揚程ポンプに一般的に使用される。
SC 炭素鋼鑄鋼品	強度に富み揚程の高い場合に使用される。
SCS13 クロムニッケルステンレス鋼鑄鋼	耐食性に優れ機械的性質として伸びじん性があり加工性、溶接性も良好であることから海水ポンプ用として多用される。
SCS1 クロムステンレス鋼鑄鋼	熱処理条件を変えて硬さを調節することができ耐摩耗性、耐食性共比較的優れている。

現状および沈砂池を省スペース化した際の材質

沈砂池を省スペース化し沈砂が直接ポンプに流入すると考えられ、ポンプの高流速部となる羽根車の材質は耐摩耗性の高いSCS1が推奨されている。

表 9 材質比較

	標準材質				沈砂池を省スペース化した場合			
	A社	B社	C社	D社	A社	B社	C社	D社
羽根車	SCS13	SCS13	SCS13	SCS13, SCS1	SCS1	SCS13, SCS1	SCS13	SCS1
ケーシング	FC250	FC250	-	-	FC250, SC450	FC250	-	-

*出典：本調査のメーカーヒアリング結果

8.2 急激な水位変動への対応策

沈砂池の省スペース化を行った場合、急激な水位変動により、ポンプの起動・停止の頻度が高くなることが想定され、ポンプの耐久性に影響を与えることが考えられる。この対応策としては、次のようなことが挙げられる。

先行待機型ポンプの採用

ポンプ回転数制御

大ポンプ、小ポンプの組み合わせ(最適なポンプ単機容量の検討)

8.3 沈砂池がない場合もしくは後沈砂池方式の場合の事例

沈砂池がない場合もしくは後沈砂池方式の場合、ポンプ施設に関する異常、問題が生じていない事例がある。

9. おわりに

本調査の結果をまとめると次のようである。

現地実態調査：汚水沈砂池においては0.2mm以下、雨水沈砂池においては0.4mm以下の比較的小さい沈砂粒径の占める割合が高い結果が得られ、沈砂池の省スペース化に伴い、これらの比較的小さい粒径範囲の沈砂の占める割合が減少することが予想される。

降雨強度と水面積負荷：全体降雨の95%までもが降雨強度18mm/hr以下の雨により占められていることを考えると、沈砂池およびポンプ施設をフルに稼働する機会が少ない。これら発生頻度を考慮した設計による沈砂池の省スペース化の可能性が示唆された。

降雨強度と沈砂量：本調査で対象とするポンプ所において、汚水沈砂池の場合は沈砂池面積を現施設に対し7割程度まで縮小しても、標準的な沈砂量を得た。雨水沈砂池の場合は沈砂池面積を現施設に対し7割程度まで縮小しても、全体降雨の9割程度(12mm/h程度まで)は現施設と変わらない沈砂量が得られると推測された。

設備の耐久性：揚砂に伴うポンプの羽根車、ケーシング等の対磨耗性は、高流速部の材質を変更することにより維持できるものと考えられる。沈砂地の縮小に伴うポンプの起動停止頻度増加に対する耐久性に関しては、先行待機型ポンプの採用により対応できるものと思われる。

ケーススタディ：沈砂池面積を小さくするにつれ、ポンプ井およびポンプ所上流幹線の最高水深が高くなる。しかし、ポンプ起動所要時間の短い先行待機型ポンプにすることで、これら急激な水位変動に関しては対応できると考えられる。

調査対象としたポンプ所においては、沈砂池の省スペース化について、水理面ではポンプ施設を先行待機型ポンプ等にすること、設備面では高流速部の材質を硬質な素材にすることなどが、水質面では年間数回の豪雨時を除いては現施設と変わらない沈砂量が得られることが示唆された。一方、ポンプ井における沈砂量の増加によるポンプ吸込口の閉鎖の検討など、沈砂池の省スペース化の可能性に関しては、さらに詳細な基礎調査が必要となっている。

今後、一般のポンプ所ではどうかという点について、区部のポンプ所流域の特性(土地利用やポンプ所流入管の形状等)を類型化し、流域特性に応じた沈砂池の省スペース化への可能性を検討していくことが重要である。

< 参考文献 >

- 1) 水理公式集(昭和 60 年度版)、土木学会
- 2) 東京都；地下河川構想に関わる施設計画調査 降雨強度式の検討報告、昭和 62 年 3 月
- 3) 三菱重工業株式会社；三菱ポンプ設備計画便覧本編

大目次

目次

要旨

- 2 シールド急曲線施工に関する調査

北部建設事務所 設計課 碓谷 歩
水落 孝弘

1. はじめに

軟弱地盤におけるシールド急曲線施工では、従来、トンネル線形確保のため曲線外側に地盤改良による反力壁が造成されている。しかしながら、一般に急曲線部は埋設物が輻輳する交差点内に多く、地盤改良工事のための工事費増大、路上工事による道路交通への影響、場合によっては工期延伸等の問題が生じている。

一方、近年、シールド機は中折れ装置を装備し曲線施工能力が格段に向上している。また、シールドトンネルの構造解析技術の進歩により、セグメントリング間の継手挙動を考慮した解析手法が提案されている¹⁾。このようなことから、シールド急曲線施工時の実際のトンネル挙動を適切に反映した解析手法を適用することにより、設計の合理化を図ることができると考えられる。

本稿は、シールド急曲線部の地盤改良を省略し得る合理的な設計法について検討し、予想したトンネル挙動ならびに仮定した解析モデルについて述べたものである。

2. シールド急曲線部の設計・施工の現状

2.1 シールド急曲線施工の実績

東京都下水道局におけるシールド急曲線施工の実績（平成10～12年度）は、図1(a)に示すとおりであり、曲線半径R = 70m未満のシールド急曲線工事が全体の91%を占めている。曲線半径別にはR = 20m未満が最も多く、急曲線工事の中の45%を占める。また、シールド急曲線工事における反力壁の施工実績（平成10～12年度）は、図1(b)に示すように、急曲線部123ヶ所中43ヶ所（35%）で反力壁が造成されており、曲線半径が小さくなるほど反力壁を造成する割合が多くなる傾向がある。

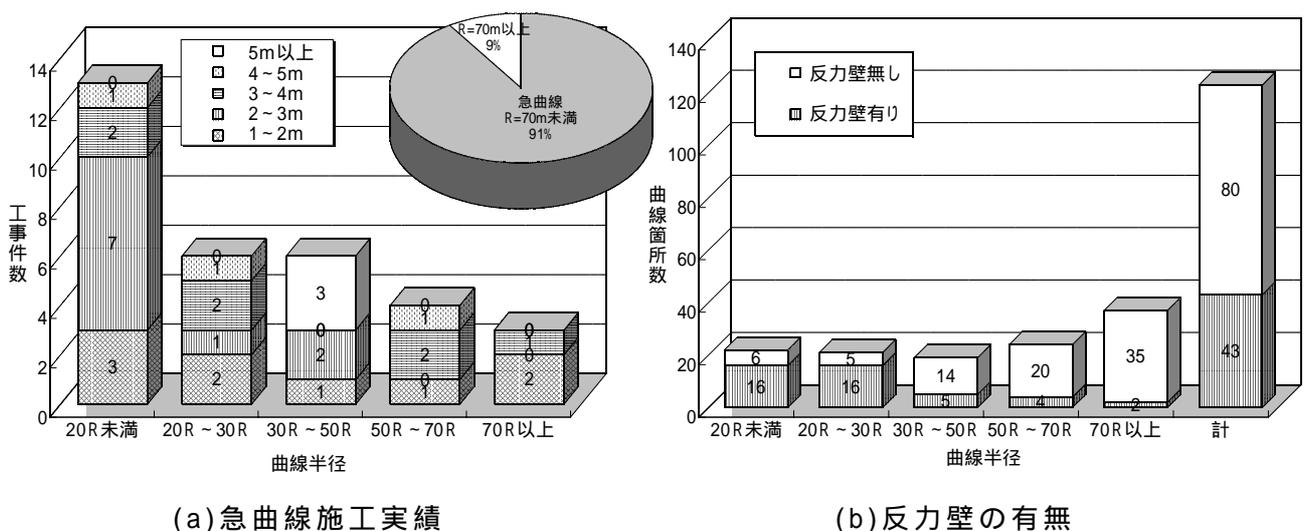


図1 東京都下水道局におけるシールド急曲線施工の実績（平成10～12年度）

2.2 従来の設計方法

シールド急曲線部の従来の設計では、シールド機はその先端部が曲線外側の地盤に反力をとることによって曲がるという考え方にに基づき、反力が期待できないような軟弱地盤では、地盤改良により反力壁を造成するように設計されている（図2参照）。

しかしながら、このような設計の考え方は、シールド機の中折れ装置が開発される以前の考え方であり、中折れ装置が実用化されて久しい現在においても、経験的に用いられているのが実状である。

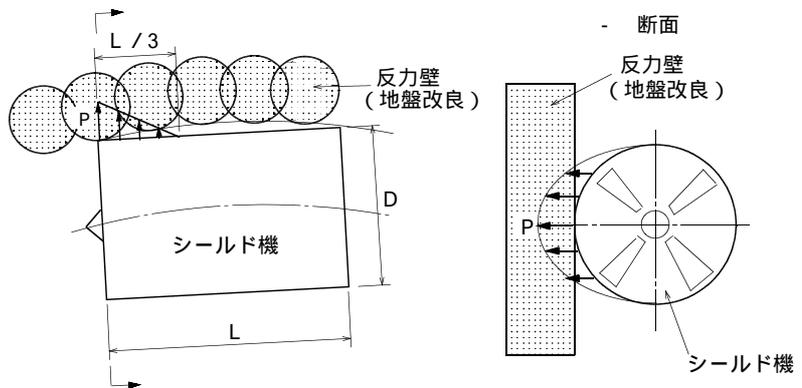


図2 急曲線部（補助工法）の従来の設計方法

3. シールド急曲線部の設計方法の提案

3.1 急曲線施工時の実際の挙動

近年のシールド機は、中折れ装置を装備することにより、曲線線形に追従しやすい構造となっている。そのことにより、従来の設計で考えられていたシールド機先端部での曲線外側からの地盤反力を期待しなくても、シールド機を曲げることが可能であると考えられる。

そこで、反力壁を造成し中折れ式のシールド機を用いて施工された急曲線シールド工事における、シールド機通過前後の地盤変位ならびに土中土圧に関する既往の計測事例²⁾を調査した。その結果、急曲線部周辺の地盤は、シールド機先端（切羽）到達時には曲線外側・内側ともシールド側に変位し、テール脱出時には曲線外側方向に変位していることがわかった。また、土中土圧については、シールド機中央が通過するまでは、曲線内側の土圧の方が曲線外側より若干大きく、シールド機中央が通過した後は、曲線外側の土圧の方が大きいことがわかった。すなわち、シールド機先端部が曲線外側の地盤を押し出すような傾向は見られず、むしろ、シールド通過後に後方のセグメントが地盤を押し出す傾向が見られた。

また、同様に既往の計測事例では、急曲線施工時のジャッキ推力により、曲線外側へのトンネルの変位、およびトンネル軸方向の曲げモーメントが生じていることが確認されている³⁾。

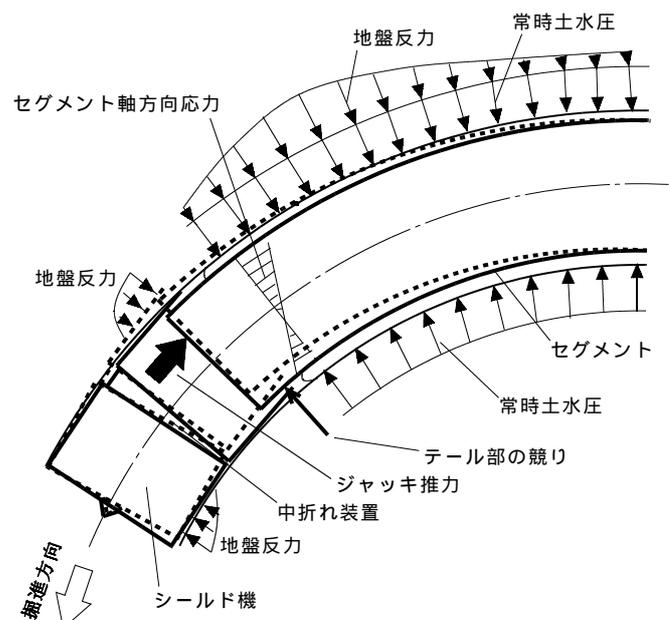


図3 急曲線施工時に予想される挙動

これらのことから、急曲線施工時のシールドトンネルには、図3に示すようなジャッキ推力の偏心荷重によるトンネル全体の曲線外側への変位、およびそれに伴うセグメントへの地盤反力ならびにトンネル軸方向の曲げ変形が生じているものと考えられる。

したがって、シールド急曲線部の設計では、これらの挙動を考慮して設計を行うことが必要である。

3.2 急曲線部の合理的な設計方法

前章に示したシールド急曲線施工時の挙動実態より、中折れ式のシールド機による急曲線施工での反力壁の役割は、従来の設計で考えられていたようなシールド機先端部での曲線外側の反力確保ではなく、シールド機の掘進反力によりトンネル全体が曲線外側へ変位するのを抑制することであるといえる。従来の設計では、軟弱地盤ではほとんどの場合、まず反力壁を造成するような設計としているため、反力壁が結果的に上記の役割を果たしていたといえるが、本来、その役割を考慮して反力壁の必要性を最初に評価するべきである。

この場合、トンネル全体の曲線外側への変位を抑制するための方策として、従来のように反力壁でトンネルを押さえること以外にも、セグメントに働く地盤反力に対抗するためにセグメントの剛性を高めることが考えられる。これにより、セグメントは地盤反力を受容でき、軟弱地盤においても反力壁なしで安定した構造形を保持できるものと考えられる。すなわち、本体構造物であるセグメントに僅かな費用をかけることにより、仮設工事である地盤改良工事を省略して工事費を大きく低減することができる。

以上より、急曲線部の合理的な設計手法として、シールド機を含むトンネル全体の挙動を解析により評価する方法を適用することとした。

解析手法としては、急曲線部シールドトンネルを、地盤ばねで支えられたトンネル軸方向のはり-ばねモデルで模擬し、これに急曲線施工時のジャッキ推力を作用させることとした。シールド機についても地盤ばねで支えられるものとして支承ばねを設置した(図4参照)。また、テール部に競りが生じた場合を想定し、モーメントのつり合いによりリング継ぎ手部に作用するせん断力の算定を行う。

そして、解析で得られる地盤応力と原地盤の強度との比較により、反力壁の必要性を判定するとともに、トンネルの変位量および曲げ応力等の照査により急曲線部セグメントの設計を行うこととした。

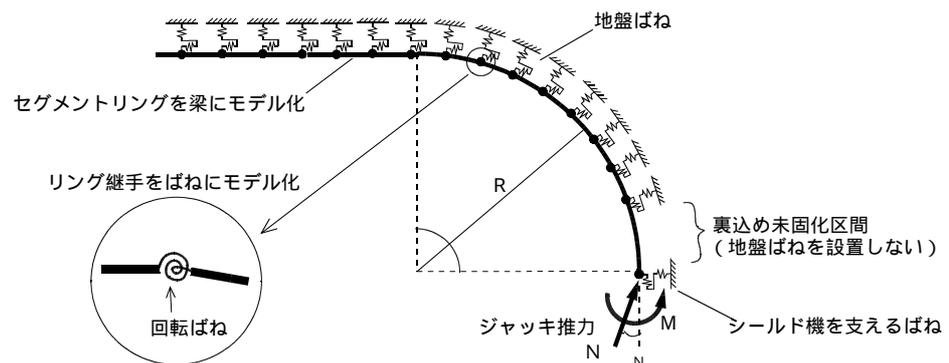


図4 解析モデルの概念図

4．モデル工事を対象とした検討

4．1 モデル工事の概要

急曲線シールドのモデル工事として、次の工事に対して上記の考え方を適用して急曲線部セグメント（鋼製セグメント）の設計を行った。

モデル工事の概要は以下のとおりである。

- ・工事件名：第二東雲幹線工事
- ・工事場所：江東区潮見一丁目付近
- ・急曲線部曲線半径： $R = 30\text{m}$ （中心角約 85° ）
- ・セグメント外径：2950mm
- ・土被り：23～25m
- ・土質条件：沖積粘性土（N値2～3）
- ・補助工法：遮へい袋付きセグメント
- ・シールド機：土圧式シールド機、中折れ装置装備

当該工事の平面図を図5に示す。

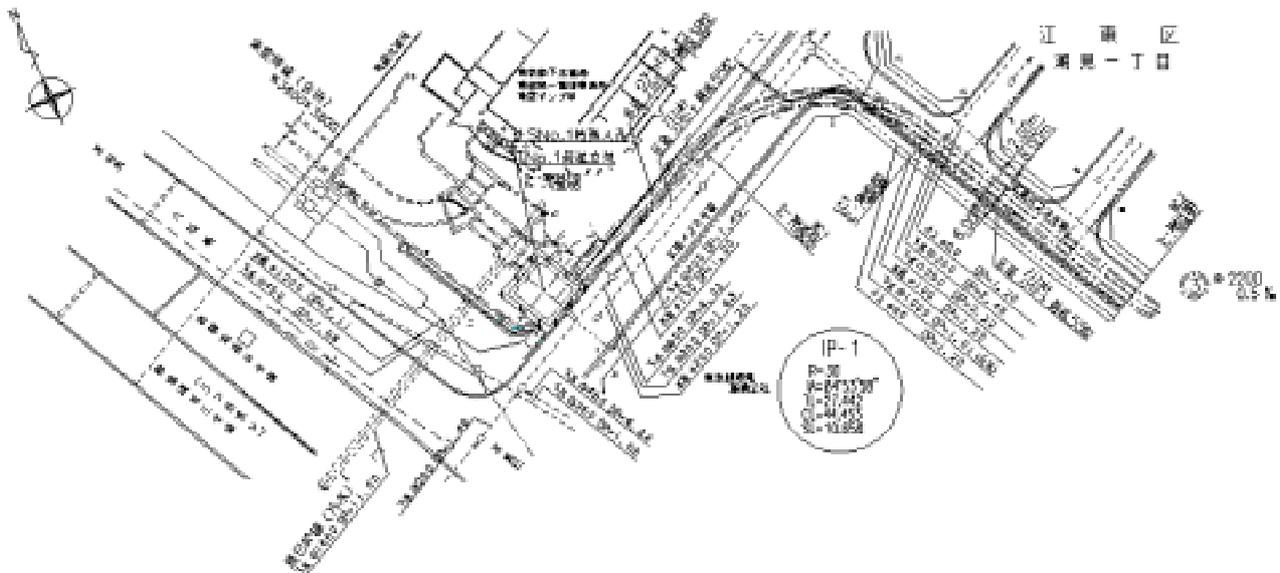


図5 モデル工事の平面図

4．2 急曲線部の設計結果概要

(1) トンネル軸方向の構造解析

前述した解析モデルにより、急曲線施工時のジャッキ推力を作用させた場合のトンネル軸方向の構造解析を行い、地盤反力および断面力等を算定した。解析の結果、最大地盤反力は 54kN/m^2 と地盤の強度（ 662kN/m^2 ）を下回ることから反力壁造成のための地盤改良は必要ないと判断した。しかし、原設計のセグメント（主桁厚 12mm ）では、主桁の曲げ応力度が許容応力度を超えたことから、主桁厚を 14mm に変更することにより、最大曲げ応力度 304N/mm^2 と、許容応力度（ 350N/mm^2 ）を満足する結果となった。

(2) テール部の競りに対する安全性評価

シールド機テール部とセグメントに競りが生じた場合を想定し、リング継手断面のせん断力に対する照査を行った。その結果、原設計のリング継ぎボルト（強度区分4・6）では強度が不足することが判明したことから、強度区分8・8のボルトに変更することにより、せん断応力度 $248\text{N}/\text{mm}^2$ と、許容応力度（ $300\text{N}/\text{mm}^2$ ）を満足する結果となった。

(3) トンネル横断面の構造解析

トンネル軸方向の構造解析で得られた最大地盤反力を偏荷重として作用させた横断面の構造解析により、トンネルの断面力を計算して応力度照査を行った。その結果、横断面の安全性に問題ないことが確認された。

4.3 設計合理化による効果

シールド急曲線部の設計合理化に伴い、反力壁造成を目的とした地盤改良工事が省略されたことにより、当該工事では約10%（シールド直接工事費）と大幅なコストダウンを図ることができた。

5. おわりに

以上に示したように、平成12年度は、シールド急曲線工事の実態を把握するとともに、シールド急曲線施工時のトンネル挙動をばねモデル解析で予測することにより反力壁としての地盤改良を省略するための設計方法を提案した。また、軟弱粘性土地盤で計画されたモデル工事に上記設計方法を適用し、急曲線部のセグメント設計を行い、反力壁としての地盤改良を行わずに急曲線部の構造安定性を確保できることを確認した。

今後は、解析で予測したトンネルの挙動を確認して解析手法の検証を行う必要があると考えられる。そのため、平成13年度に、上記モデル工事を対象に現場計測を実施する予定である。計測計画としては、トンネル軸方向の構造解析の結果より、断面力が比較的大きかった曲線部前半の3断面を計測対象とし、曲線外側の圧縮応力（縦リブのひずみ）ならびに地盤反力（セグメント背面の土圧）、曲線内側の引張応力（リング継ぎボルト軸力、縦リブのひずみ）、トンネルの変位量（レーザーによる測量）、およびトンネル周辺の地盤変位等を、シールド掘進データ（総推力、ジャッキパターン等）とともに自動計測する計画である。

そして更に、現場計測結果と解析結果を比較して、解析モデルの妥当性評価、解析精度向上のための条件設定方法等の検討を行った上で、その成果を反映したシールド急曲線部の合理的な設計方法の確立、標準化を図っていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 例えば，小泉淳・村上博智・石田智郎・高松伸行：急曲線施工用セグメントの設計法について，土木学会論文集No.448 / -19，pp.111～120，1992.6
- 2) 濱田光久：大断面泥土圧シールドの急曲線施工 東京都下水道局大田幹線その1工事，トンネルと地下Vol.18，No.2，pp.101～110，1987.2
- 3) 富沢璋夫：急曲線推進時におけるシールドトンネルの挙動，トンネルと地下，Vol.19，No.1，pp.31～38，1988.1

大目次

目次

要旨

- 1 管渠周辺空洞調査機の開発

計画調整部 技術開発課 山田 信夫
 現建設局道路建設部関連街路課 船山 吉久
 (旧下水道局計画部技術開発課)

1. 研究の概要

管渠空洞調査機の開発は、平成11年度および12年度の2年間の共同研究であり、開発の背景等11年度の調査研究については、平成12年度の技術調査年報で報告してきたところである。

今回、平成11年度に実施した調査手法の選定、レーダ適応性実験、調査機の設計等に引き続き、平成12年度に実施した、調査機の製作、現場実験結果などについて報告を行う。

2. 平成11年度の研究概要

平成11年度の研究内容については、平成12年度の技術調査年報に詳しく報告したところであるが、平成12年度の研究内容を説明する前に、平成11年度の研究概要を述べる。

2.1 空洞調査手法の選定

下水管内からの空洞調査に適する現状の計測技術を表1に整理し、最も適応性の高いレーダ法による調査機を開発することとした。

表1 空洞調査手法の評価表

	計測対象項目					適応性				発展性			総合評価
	空洞位置	空洞奥行	鉄筋位置	管体厚さ	ひび割れ	管の曲率	防水性	含水土壌	崩積土	携帯性	無人化	画像表示	
レーダ法													
打音法			×										
超音波法											×		
赤外線法		×		×					-				×
中性子法		×	×	×					-	×			×
音響的方法		×	×	×					-	-			×

各評価の基準 【 : 適用可能性 有 : 適用可能性 小 × : 適用可能性 無】

総合評価の基準 【 : 適応性 高 : 適応性 有 : 適応性 低 × : 適応性 無】

2.2 管渠内におけるレーダの適応性

レーダ法は、図1に示すとおり、アンテナから電磁波を送信し、電気的性質の

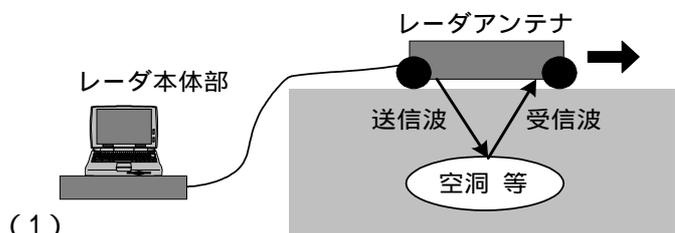


図1 レーダ法の原理

異なる物質境界面で反射した電磁波をアンテナで受信し、その反射時間から物質までの距離を求めるものである。

本調査は、下水道管渠内からレーダ法により、空洞を調査するものであるが、従来のアンテナでは、密に配筋された鉄筋が障害となり、調査が困難となる問題があった。そこで、管渠内からの空洞調査に最適なアンテナを選定するために、管渠下部の地盤内に模擬空洞を製作し、アンテナの空洞検知性能の実験を行った。実験では、6種類のアンテナを試作し、アンテナの長さ・間隔、偏波方向や形状等を検討した。実験の概念を図2に、実験状況を図3に示す。

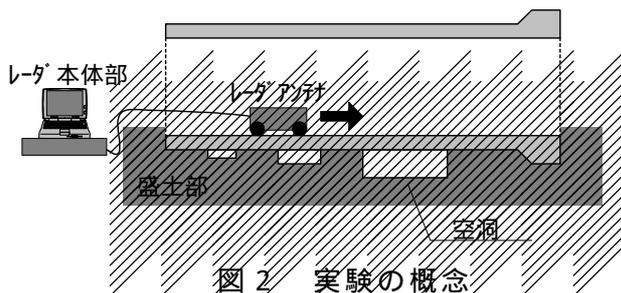


図2 実験の概念



図3 適応性実験状況

また、実験で得られた知見を基に、本調査機には、次のような特長を持つアンテナを採用した。

アンテナ偏波方向

鉄筋コンクリート管のらせん筋に対し、アンテナ偏波方向を垂直にした場合、空洞検知能力が向上することが判明したため、アンテナ偏波方向は垂直偏波とした。

アンテナ偏波方向の概念を図4に示す。

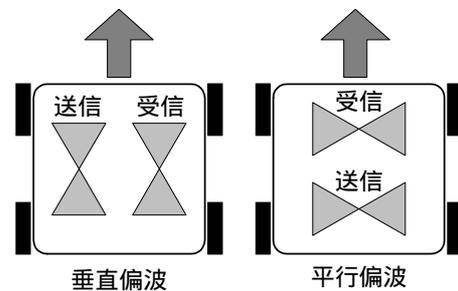


図4 アンテナ偏波方向

アンテナ形状

管径 250～400 mmの小口径の場合、管の曲率の影響で、アンテナと管壁の間にすきまが生じ、電磁波が管渠内に透過しにくいいため、V形の形状をしたアンテナを採用した。また450～800 mmまでの管渠には平面形状のアンテナに対応した。

アンテナ形状の概念を図5に示す。

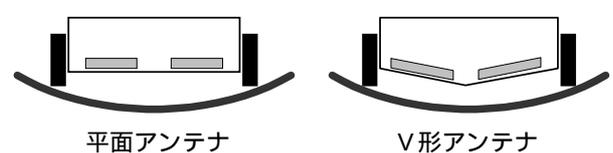


図5 アンテナ形状

3. 平成12年度の成果

平成11年度は、調査手法の選定やレーダの適応性、調査機の基本設計など、基礎的な研究が主であった。平成12年度は、管渠周辺空洞調査機の詳細設計・製作、画像表示ソフトの開発と表示方法を研究し、実際に現場で適応できるか検証を行った。

3.1 調査機的设计・製作

平成11年度の研究で得られた知見をもとに、調査機の詳細設計および製作を行った。

調査機は図6に示すシステムで構成される。自走式レーダ調査機は人孔から搬入され、地上のコントロール部でレーダ計測、アンテナの伸縮・回転、および調査機の走行を制御するとともに、TVカメラによるアンテナ接地状況の確認を行う。

また空洞調査では、調査機の走行とともに管軸方向に計測を行う管軸計測と、走行停止状態で管周方向に計測を行う管周計測を行うことにより、管全面の調査を可能とした。

調査機の外観を図7に、調査機の仕様を表2に示す。

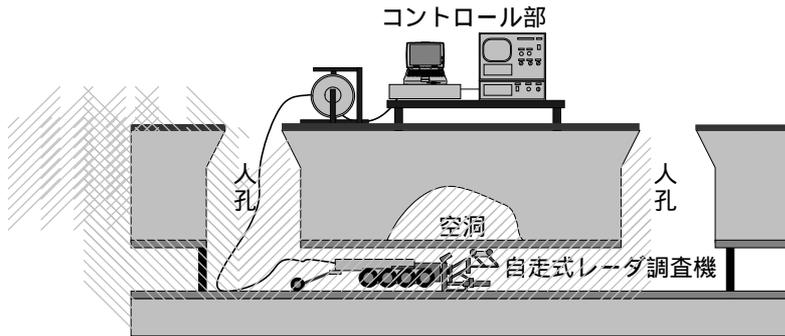


図6 調査機システム構成



図7 調査機外観

表2 調査機の仕様

項 目		仕 様
全体仕様	対応管径	250 ~ 800 mm
	検知対象空洞	管渠のすぐ外側に近接する空洞 【緩い砂や水で満たされた空洞、管渠から離れた空洞は、条件により調査可能】
	計測方向	管軸計測，管周計測
	計測速度	管軸計測時：10m/min（走行計測速度） 管周計測時：10°/sec（回転計測速度）
	調査機全長	約 900 mm（1号人孔から搬入可能な寸法）
	調査機重量	約 30 kg
	耐環境性	防滴構造
レーダ部仕様	レーダ出力	20 V (50)
	パルス繰り返し周波数	8 MHz
	パルス幅	0.4 ns (半値幅)
	周波数	1 GHz
	計測時間範囲	15 ns (空气中伝搬距離換算 往復約 2.0 m)
	アンテナ形状	V形アンテナ： 250 ~ 400 mm 平面アンテナ： 450 ~ 800 mm
	アンテナ偏波	垂直偏波
処理部仕様	表示機能	管軸計測表示，管周計測表示
	自動空洞抽出機能	平均差分処理，アダプティブ2値化処理

3.2 表示方法および画像処理

管軸方向計測時の表示画面例を図8に、管周方向計測時の表示画面例を図9に示す。管軸計測画面では、縦方向に管渠表面からの深度、横方向にアンテナの移動距離が表示される。また管周計測画面では、レーダチャート表示を採用したことで、管渠断面での空洞の分布が表示可能である。

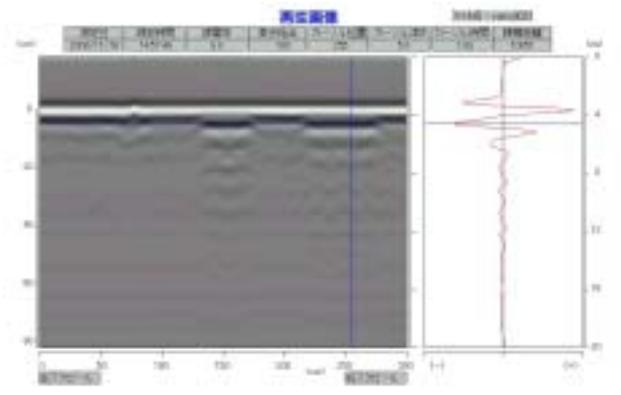


図8 管軸計測画面

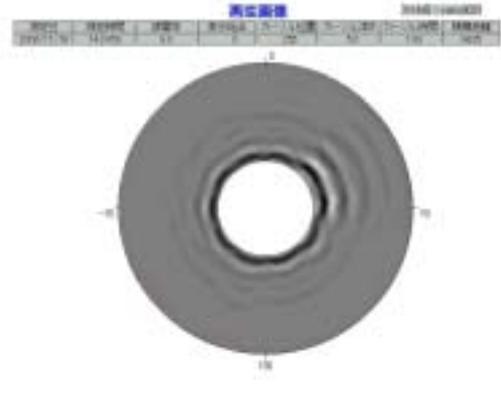


図9 管周計測画面

また従来のレーダ調査では、空洞の判定は専門調査員の判断に依るところが大きく、評価に個人差が生じていた。

そこで空洞判定の基準化を図るため、空洞の自動抽出ソフトを開発した。空洞自動抽出ソフトは、計測後、自動的に空洞を抽出し、画面上に空洞の規模を表示する。

この結果、調査員の技量に係わらず、現場で簡易に空洞判定が可能となり、データ処理能力が大幅に上昇した。空洞抽出画面例を図10に示す。

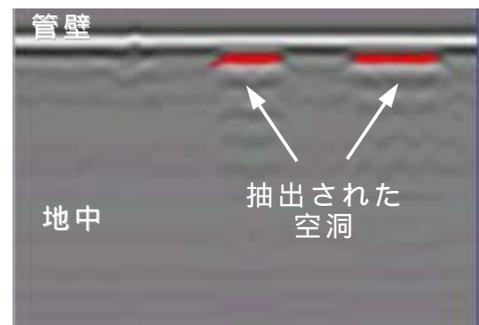


図10 空洞抽出結果

なお空洞抽出処理は、平均差分処理¹とアダプティブ2値化処理²を採用した。

1 平均差分処理：空洞での反射波を際立たせるため、波形の差分を求める(図11参照)。

2 アダプティブ2値化処理：空洞の有無を判断する際に、反射波の強さに応じた境界値を設定して、境界値以上の強さの反射波を空洞と自動判定する(図12参照)。

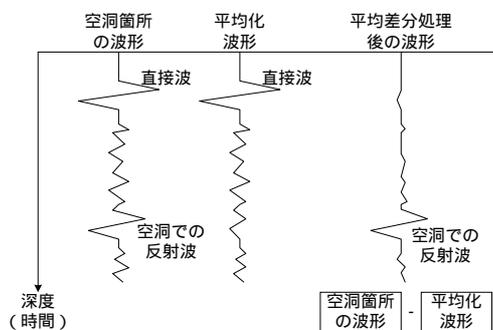


図11 平均差分処理の概念

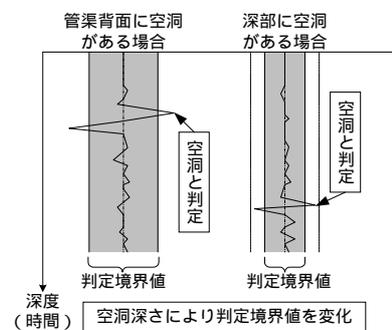


図12 アダプティブ2値化処理の概念

3.3 現場実験

3.3.1 モデル実験

モデル実験は、製作した調査機の性能検証を目的に、模擬空洞と管渠を埋設したものを試験体として、管渠内から空洞調査を行った。

実験の結果、空洞の検知、機器の動作、空洞抽出ソフトの機能に関する目標性能が実現できたことを確認した。

実験結果の一例を図13に示す。

3.3.2 現場実験

現場実験は、供用中管渠における調査機の性能を検証するため、西部第一管理事務所および中部管理事務所管内の2箇所で実施した。

実験では、空洞調査と併せてTVカメラ調査による空洞調査状況の確認を行った。なお実験では、水替工を行わなかったため、レーダ計測は気中部(3/4周程度)を対象とした。

実験の概念を図14に、実験状況を図15および図16に示す。

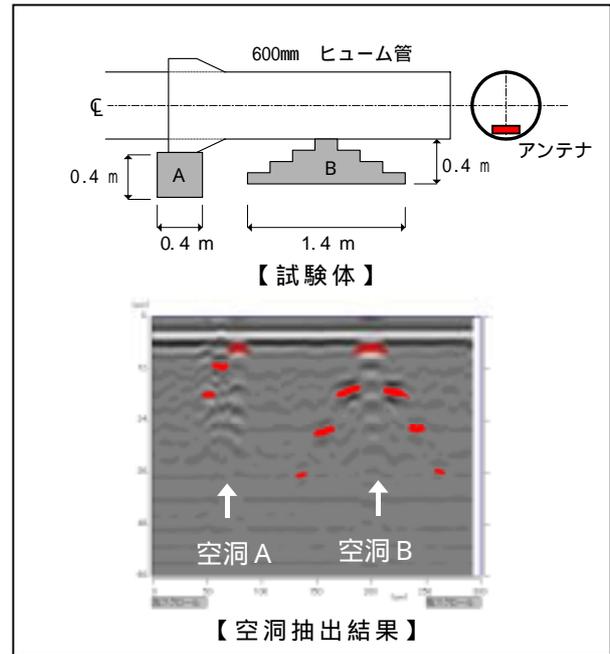


図13 モデル実験結果

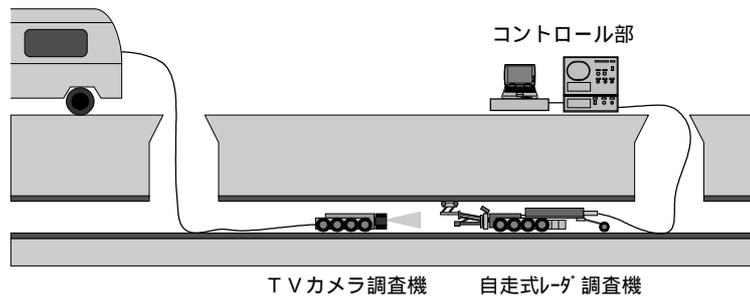


図14 現場実験概念図



図15 西部第一管理事務所管内実験状況



図16 中部管理事務所管内実験状況

実験の結果、西部第一および中部管理事務所の両管内とも空洞は検出されなかった。また、実験により供用管渠内での調査機の性能が確認されるとともに、機器設置の際、人孔部での調査機の取り回しが不便であったため、機器の寸法を小さくするといった対策を行った。

3.4 本調査機の調査手法

本調査機による空洞調査は、テレビカメラ調査（目視調査）後の二次調査として行うことを基本とした。

空洞調査では、テレビカメラ調査（目視調査）の結果、管渠破損などの異常がある箇所を、空洞調査箇所として提示される。

自走式調査機による空洞調査方法は図17に示すとおり、アンテナ接触面である管壁面を高圧洗浄車で洗浄した後、管軸方向にレーダ計測を行い、抽出された空洞箇所毎に管周方向にレーダ計測を行い、管渠周辺に存在する空洞の分布および規模を調査するものである。

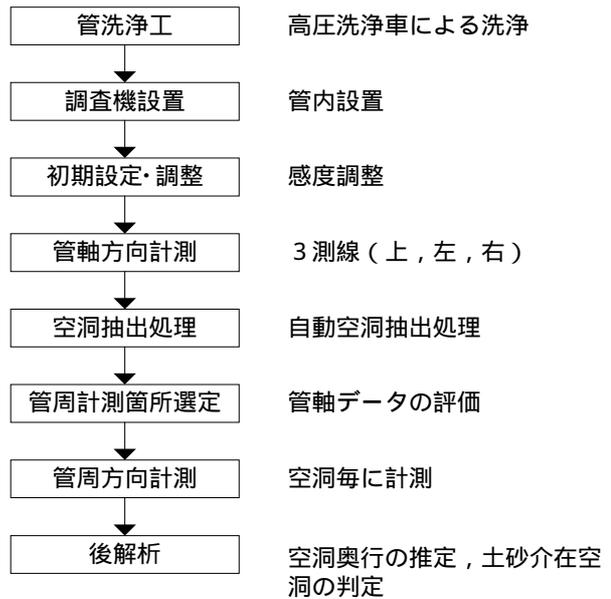


図17 空洞調査手法

3.5 携帯用調査機

管径900mm以上の管渠を対象に、調査員がアンテナを携帯することにより調査を行う携帯用調査機も同時に開発した。

携帯用調査機は、アンテナ部とレーダ計測用パソコンからなるシステム構成とした。携帯用アンテナの外観を図18に示す。



図18 携帯用アンテナ

3.6 高水位・大口径管渠用調査機

大口径管渠の維持管理作業は、主に人力により行われているが、今後の少子・高齢化に伴う労働力減少などから維持管理要員の確保が困難になるものと考えられる。そこで、効率的な維持管理を推進するための無人化・ロボット化が望まれていることから、今回開発した調査機を発展させ、高水位・大口径管渠に対する適応性についても検討を行った。

検討の結果、大口径に向けた自走ロボット型による対応の可能性があるが、移動機構、アンテナ走査機構、カメラ、照明、電源設備、ケーブル等の多くの検討すべき課題があり、今回の調査・研究で対応することは出来なかった。

4. まとめ

本共同研究で開発した自走式調査機は、下水管渠周辺空洞調査1号機として、現段階で考えられる最適なハードウェア、データ処理等のソフトウェアを組み込んで完成させた。今後多種多様な形式の供用管渠の調査に適用していく過程で、耐久性や操作性などの機構部やデータ処理におけるパラメータ設定値の良否などのソフト部について評価され、改善されていくものとする。また、下水管渠調査全体に目を向けると、テレビカメラによる外観調査や本調査機による管渠周辺空洞調査の後工程である、構造物に対する健全性診断及び補修技術・装置の開発が今後の課題として挙げられる。

【参考文献】平成12年度 管渠周辺空洞調査機

計画部技術開発課 船山吉久

(6)

大目次

目次

要旨

- 2 速効性消毒剤を用いた注入システムの開発

施設管理部 施設管理課

小峯純夫

名川 忠

安齋純雄

1. はじめに

下水の消毒には塩素系の次亜塩素酸ソーダが広く使用されており、その効果を発揮させるには15分以上の接触時間が必要なため（下水道施設設計・設計指針と解説）塩素接触槽が設置されている。また、アンモニア性窒素や有機物等を多く含む場合、次亜塩素酸ソーダの消毒力が著しく低下することが知られている。合流式下水道の雨天時放流水を消毒するには十分な接触容量（時間）がとれない場合や、アンモニア性窒素、有機物を多く含む水質を考慮した効果的な対応が必要となる。

そこで、有機物、アンモニア性窒素および濁度等が高い水質に影響されない。塩素接触槽が設置されていない場合でも短時間（数分）で消毒効果を発揮する。降雨時のみの緊急時使用となるため現場での長期保存が可能である。消毒装置がコンパクトである。この条件を満たす消毒方法として臭素系消毒剤ブロム・クロ・ジメチルダントイン（以下、BCDMH）を選定し、ポンプ所雨天時放流水、処理場簡易処理水を対象とした消毒施設の実用化に向けた注入制御システムの開発を行った。

2. 調査概要

2.1 調査場所及び調査期間

- ・実験場所：東部第一管理事務所 業平橋ポンプ所
：中部管理事務所 芝浦処理場
- ・研究期間：平成11年7月～平成13年3月

2.2 雨天時越流水の消毒実験

- (1) 消毒剤について
- (2) ポンプ所雨天時越流水及び処理場簡易放流水に対する消毒効果
- (3) 消毒剤注入率の制御指標

2.3 消毒剤の安全性調査

- (1) 変異原性試験（umu試験）
- (2) 急性毒性試験（マイクロトックス試験）
- (3) 水棲生物への毒性試験
 - ヒメダカによる急性毒性試験
 - ミジンコ類による急性遊泳阻害試験
 - Selenastrum Capricornutumによる藻類成長阻害試験
 - Tigriopus japonicusによる急性遊泳阻害試験

- (4) 副生成物質の生成調査
 臭素酸イオンの生成量測定
 トリハロメタンの生成量測定
- (5) 消毒剤の法規制

3. 消毒実験

3.1 消毒剤BCDMHについて

化学名：1-Bromo-3-chloro-5,5-dimethylhydantoin (ブロモ・クロロジメチルヒダントイン)

略称 : BCDMH
 分子式 : $C_5H_6BrClN_2O_2$
 分子量 : 241.5
 活性成分 : 93%以上
 有効臭素 : 61%
 有効塩素 : 27%
 有効ハロゲン : 54%
 (塩素換算値)

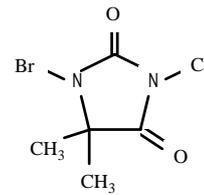
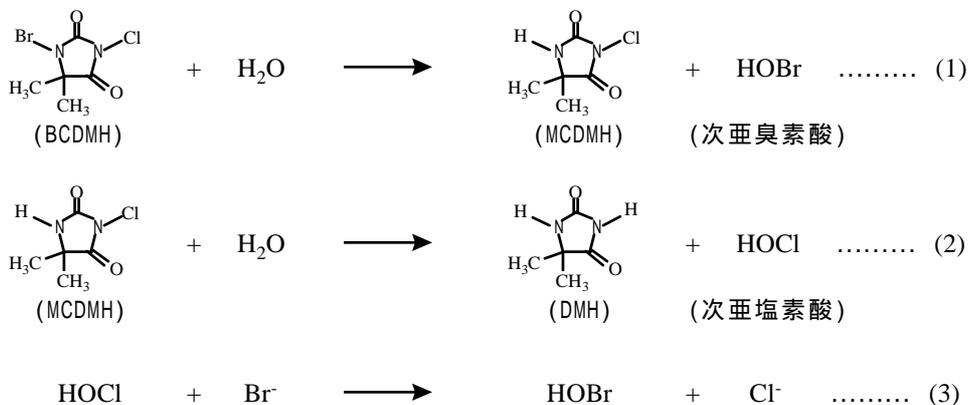


図1 BCDMHの構造式

BCDMHは水に溶解し加水分解すると、モノクロロジメチルヒダントイン(MCDMH)を経由して、ジメチルヒダントイン(DMH)、次亜臭素酸(HOBr)および次亜塩素酸(HOCl)を生成する((1)、(2)式)。また、生成した次亜塩素酸は臭素イオンの酸化にも関与する((3)式)。加水分解して生成した次亜臭素酸が主に消毒に関与する。



BCDMHの特徴を以下に示した。

次亜塩素酸ソーダは、アンモニア性窒素が存在すると速やかにクロラミン(NH_2Cl)を生成し消毒力が1/10以下に低下する。また、pH5.5~7.0の領域を外れると次亜塩素酸イオン(OCl^-)の生成率が高くなり消毒効果はさらに減少する。BCDMHも加水分解して次亜臭素酸を生成し、同様にプロモアミン(NH_2Br)及び次亜臭素酸イオン(OBr^-)を生成するが生成量は少なく、その消毒力は次亜臭素酸に匹敵する。

強い 消毒力 弱い



プロモアミンは、クロラミンと比べて残留性がないため環境に対し低負荷である。

BCDMH の形状は、個体（タブレット）や粉体であり、使用現場で長期保管（6ヶ月～1年）しても品質（有効ハロゲン）低下が見られない。次亜塩素酸ソーダは、経時とともに有効塩素量が低減するため、雨天時のみに対応し消毒効果を発揮させるには、使用しなくても定期的に更新する必要がある。

図2にポンプ所雨天時流入水を用いたビーカ-テストによる比較試験結果を示した。BGDMH はアンモニア性窒素に影響され難いため、次亜塩素酸ソーダより少ない注入量で速効性と優れた消毒効果が見られる。

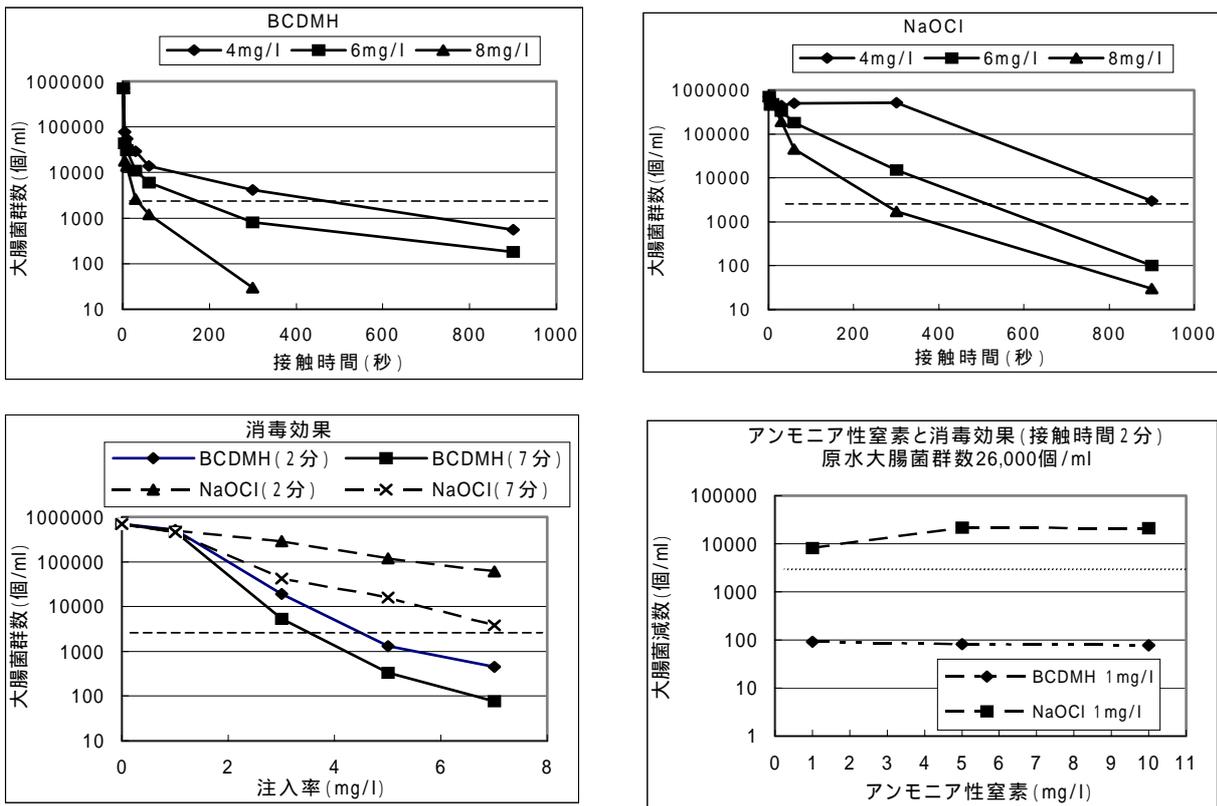


図2 ビーカ - テストによる比較試験結果

3.2 ポンプ所雨天時越流水の消毒効果の検証

3.2.1 消毒方法・消毒装置

業平橋ポンプ所における消毒処理フローと消毒実験装置を図3～4に示した。

雨水放流槽 から水中ポンプで汲み上げて、ストレーナーを通した放流水又は河川水を消毒剤溶解水としてエジェクターに供給し、消毒剤供給機からエジェクターに供給された消毒剤と混合する。さらに配管内で混合溶解させた消毒液を沈砂池入口 に送水し、フレキシブルホース（一池2本投入）により、水面下30cm（晴天時水位）の位置から投入した。消毒剤投入量（率）は消毒剤供給機で供給量を調整し、消毒液投入量は $1.2\text{m}^3/\text{分}$ に固定した。消毒液投入量を一定にするため各沈砂池入口配管に電磁流量計を設置した。

消毒剤の過注入防止措置として雨水放流槽に残ハロゲン計を設置した。

沈砂池 雨水ポンプ 雨水放流槽間の滞留時間及び流速による混合攪拌を利用して消毒効果を発揮させた。

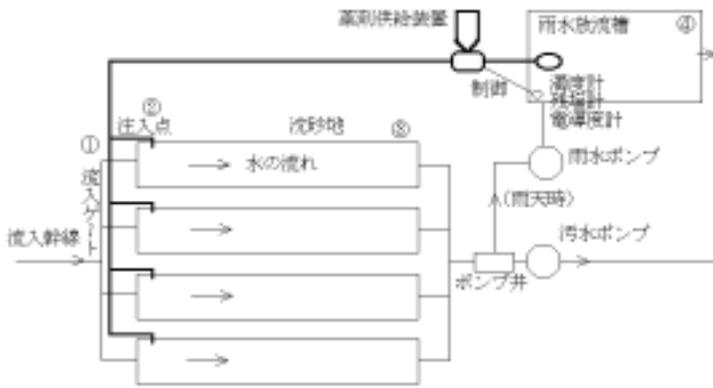


図3 ポンプ所消毒処理フロー

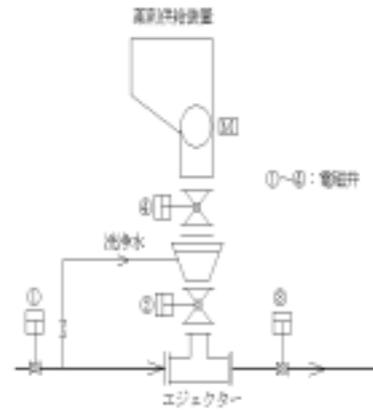


図4 薬剤供給装置

3.2.2 消毒実験結果

消毒剤投入の影響が無い流入ゲート、消毒剤投入以降の沈砂池出口及び雨水放流槽で大腸菌群数を測定し、消毒効果の確認を行った。(消毒剤量はすべて有効塩素換算値 mg/l)

平成11年10月～13年3月までの20降雨日の消毒実験から得られた流入大腸菌群数と消毒後の沈砂池出口大腸菌群数の関係を図5に示した。

流入大腸菌群数が 10^5 個/ml 以下に対して $2 \sim 4 \text{ mg/l}$ 、 $10^5 \sim 10^6$ 個/ml では $2 \sim 7.5 \text{ mg/l}$ のBCDMHを投入することで沈砂池出口大腸菌群数を概ね排水基準 ($3,000$ 個/ml) 以下にすることができた。この時の同箇所における残留ハロゲンほとんど検出されていない。

消毒に要した沈砂池滞留時間は、雨水ポンプ ($400 \text{ m}^3/\text{分} \times 4$ 台) の運転状況に応じて18秒～6分であった。

以上の結果から、BCDMHによる消毒方法は、アンモニア性窒素、有機汚濁負荷の高いポンプ所雨天時流入に対して、過注入することなく短時間で消毒効果を発揮することが判明した。

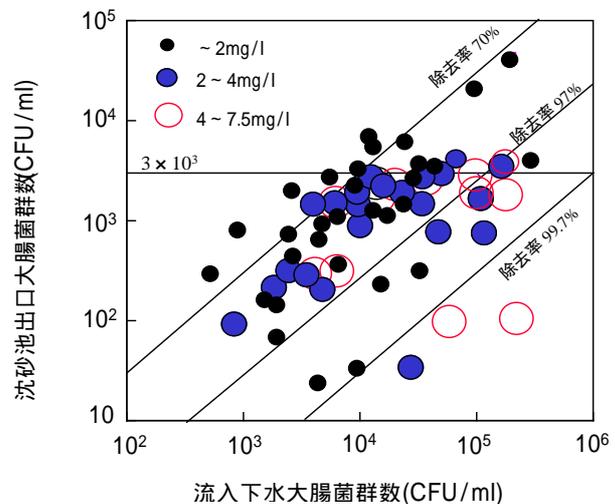


図5 流入水大腸菌群数と沈砂池出口大腸菌群数の関係

3.2.3 流入水質とBCDMH注入率の関係

雨水ポンプ運転開始からの流入大腸菌群数と濁度の変化を図6に示す。

雨水ポンプ運転開始30分間は濁度のばらつきが大きいものの、運転時間の経過とともに大腸菌群数と濁度は低下する傾向が見られる。

濁度と高い相関があるCOD、BOD分解や還元性物質により消毒剤を消費す影響を与えると考える。そこで、流入水の濁度範囲ごとに、流入水大腸菌群数と消毒後の沈砂池出口大腸菌群数の関係を求め(図7)そこから、大腸菌群数を排水基準(3,000個/ml)以下にするのに必要BCDMH注入率を決定し表1に示した。

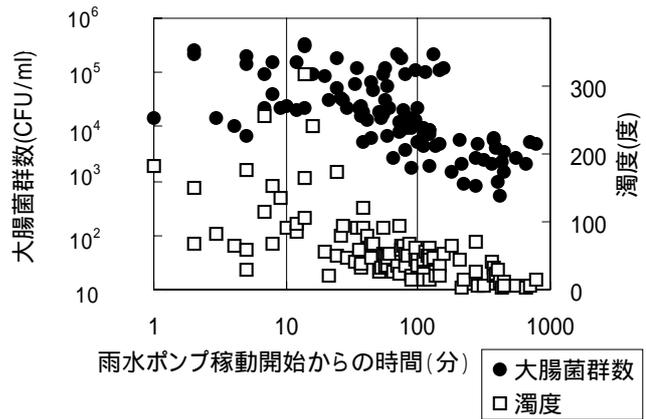


図6 雨天時流入水の大腸菌群数と濁度の関係

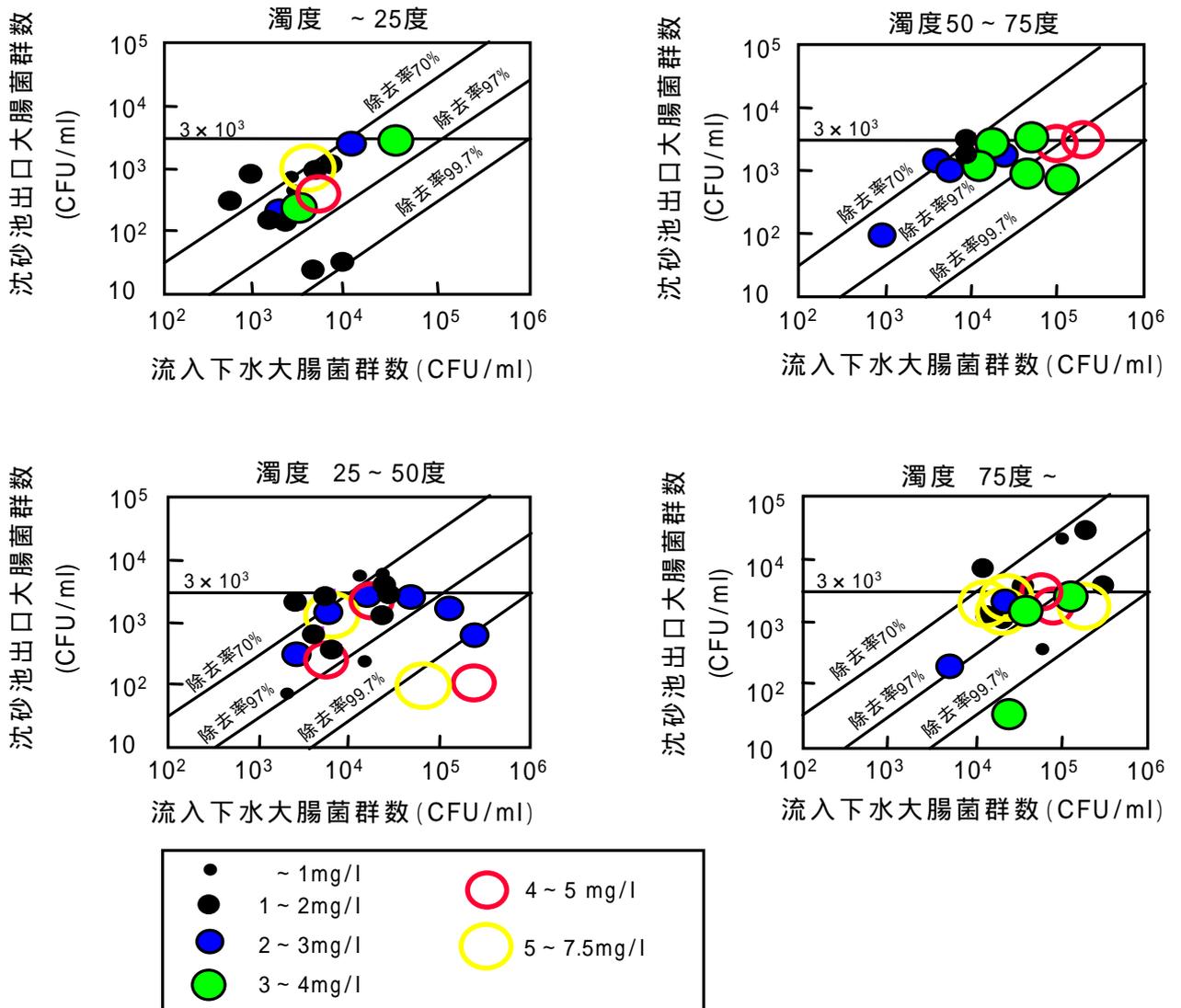


図7 濁度範囲ごとの流入水大腸菌群数と沈砂池出口大腸菌群数の関係

表 1 濁度範囲ごとの大腸菌群数とBCDMH注入率の関係

大腸菌群数除去率 (%)		~ 70	70.0 ~ 97.0	97.0 ~ 99.7
3,000 以下に消毒可能な大腸菌群数 (個/ml)		~ 10^4	$10^4 \sim 10^5$	$10^5 \sim 10^6$
		濁度 (度)		
BCDMH 注入率 (mg/l)	~ 25	1 ~ 2		
	25 ~ 50	1 ~ 2	2 ~ 3	2 ~ 3
	50 ~ 75	2 ~ 3	3 ~ 4	3 ~ 5
	75 ~		4 ~ 5	5 ~ 7.5

3.3 処理場簡易処理水の消毒試験

芝浦処理場東系に消毒用パイロットプラントを設置して雨天時の簡易処理水について消毒試験を行った。図 8 に第一沈殿池流出水の大腸菌群数を、図 9 に濁度の推移を示した。

ポンプ所雨天時流入水の大腸菌群数は、降雨状況が著しく変動しない場合、流域面積が狭く流入幹線少ないため、雨水ポンプ運転開始から 2 時間程度で概ね排水基準値以下になる結果が得られている。一方、下水処理場は、流域面積が広く流入幹線も膨大であるため、第一沈殿池流出水の大腸菌群数が排水基準以下に低下するのに 6 ~ 8 時間程度かかることが本調査から明らかとなった。しかし、第一沈殿池流出水は、場内で流入水の水質がある程度平準化され、さらに、沈殿処理されることからポンプ所雨天時流入水に比べて濁度が

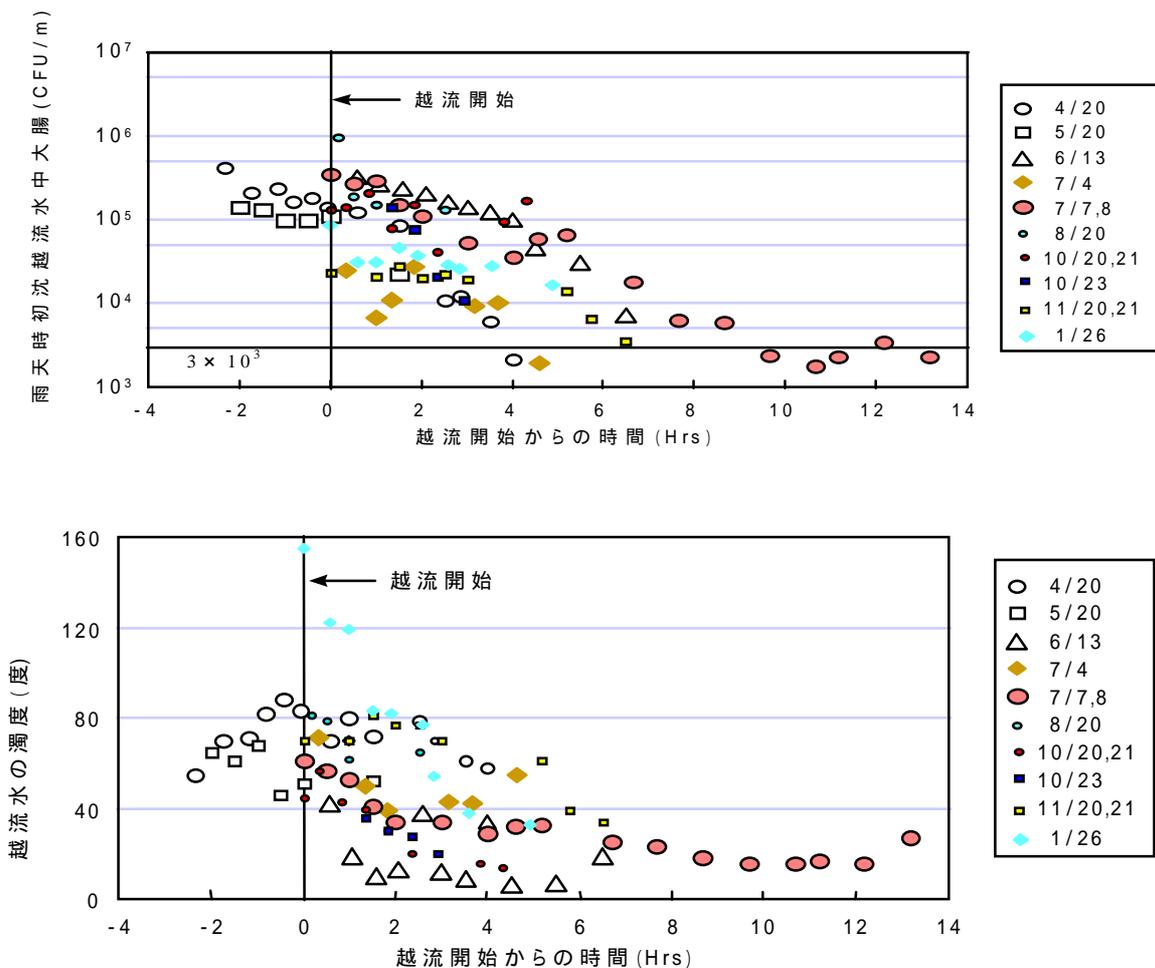


図 8 流出開始からの大腸菌群数の推移

低いことが特徴的であった。このことから、簡易処理水の消毒は、ポンプ所雨天時流入水に比べて、消毒剤注入率が低いと推定した。

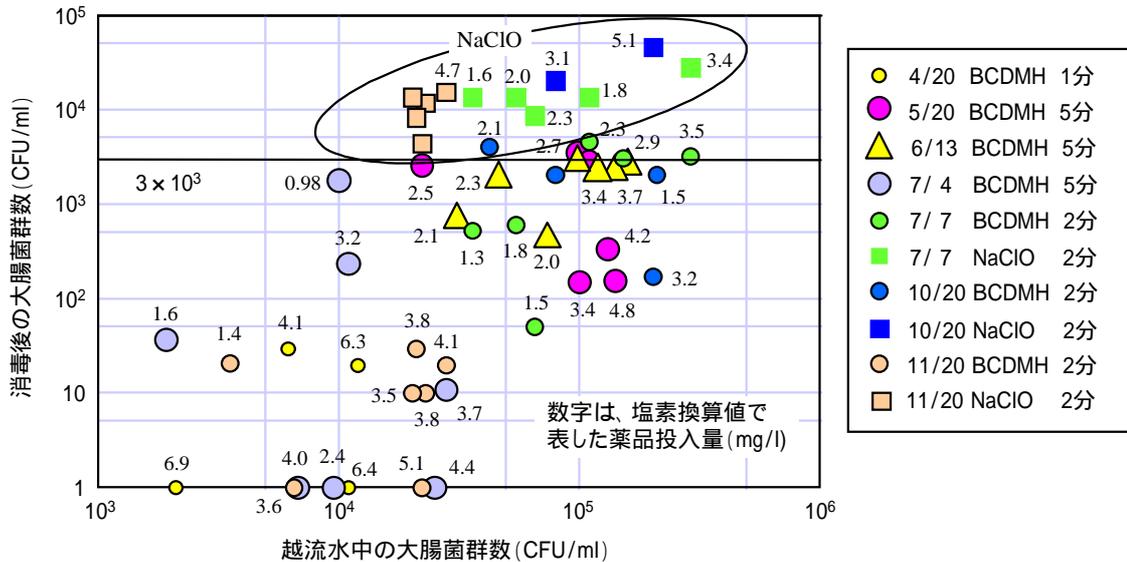


図 10 消毒前後の大腸菌群数の変化

図 10 に第一沈殿池流出水の消毒結果を示した。接触時間を 1～5 分で行った場合、大腸菌群数 300,000 個/ml に対し、BCDMH を 3.6mg/l、50,000 個/ml では、2.6mg/l の注入率で排水基準以下にすることができた。以上のことから、簡易処理水に対して BCDMH は、有効な消毒剤であることが検証された。

3.4 消毒剤注入率の制御指標

大腸菌群数の測定には 20 時間程度を要するため、降雨状況等で大きく変動する流入水中の大腸菌群数をリアルタイムで測定して消毒剤注入率を決定することは困難である。そこで、大腸菌群数を実測以外で、リアルタイムで大腸菌群数を推定する方法について検討した。

3.4.1 大腸菌群数と濁度を指標とした消毒剤注入率決定方法

本調査では、降雨量と流入水の濁度及び雨水ポンプ運転開始からの時間に着目した大腸菌群数の推定方法を検討した。降雨量と流入水大腸菌群数の関係を雨水ポンプ運転開始からの時間帯で区分したものを図 11 に示した。

運転開始 30 分以内の場合、降雨強度 10mm/H までは、強度が大きくなると大腸菌群数が増加し、降雨強度が 10mm/H 以上では、強度が大きくなると大腸菌群数が低下する傾向が認められた。同様に、運転開始 30 分～2 時間では、採水時刻から 3 時間前までの積算降雨量 (3H 降雨量) が 25mm/3H までは、降雨量が大きくなると大腸菌群数が増加し、25mm/3H 以上では、降雨量が大きくなると大腸菌群数が低下する傾向が認められた。

次に、雨水ポンプ運転時流入水の大腸菌群数と濁度の関係を図 12 に示した。高い相関は、ないものの濁度が高いと大腸菌群数も多くなる傾向が認められた。

降雨量又は降雨強度と大腸菌群数、濁度と大腸菌群数に相関が認められたことから、雨水ポンプ運転開始からの時間により場合分けして、濁度と降雨量又は降雨強度を独立変数にとり、大腸菌群数を従属変数として回帰分析を行った。

雨水ポンプ運転開始 30 分以内では、大腸菌群数は $10^4 \sim 10^6$ 個/ml の範囲にあり、濁度と降雨強度の独立変数に対して大腸菌群数と決定係数 (r^2) 0.57 以上の相関が得られた。

雨水ポンプ運転開始 30 分～2 時間では、大腸菌群数は、 $10^3 \sim 10^6$ 個/ml の範囲にあり濁度と 3H 降雨量を独立変数とした場合、大腸菌群数との間に決定係数 (r^2) 0.43 以上の相関が得られた。雨水ポンプ運転開始 2 時間以降の大腸菌群数は概ね 10^4 個/ml 以下であった。以上、降雨量又は降雨強度と濁度から推定した大腸菌群数を指標として、消毒剤注入率決定フローを作成し図 13 に示した。

雨水ポンプ運転開始からの時間 0.5H

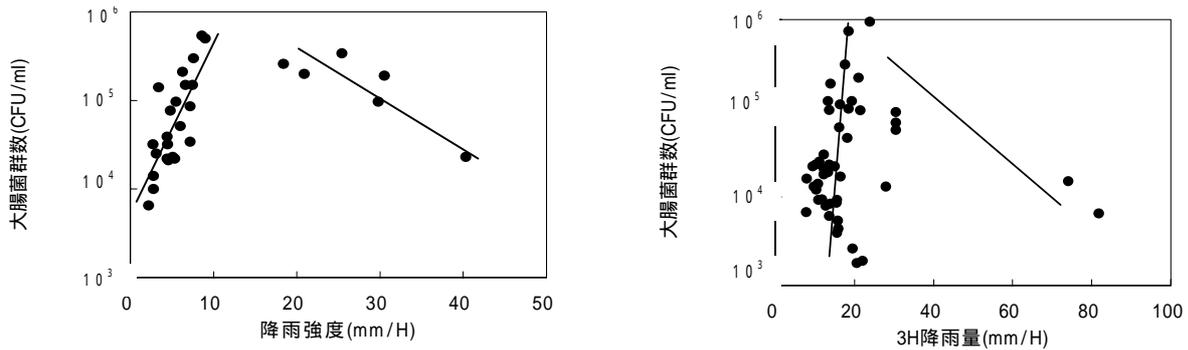


図 11 降雨量と大腸菌群数の関係

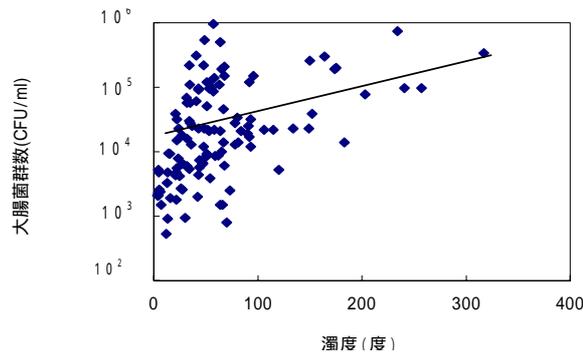


図 12 濁度と大腸菌群数の関係

大腸菌群数の推定

雨水ポンプ運転開始からの時間

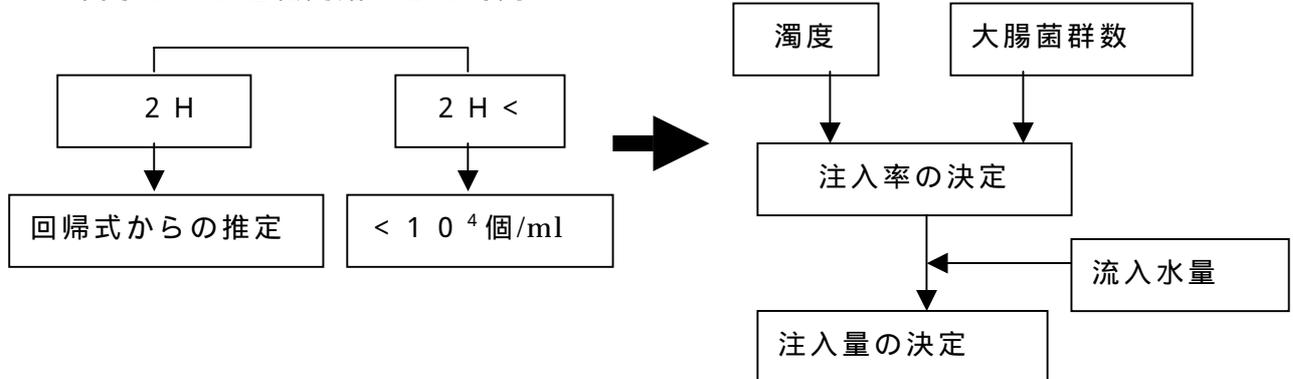


図 13 注入量決定フロー

4. BCDMHの安全性調査と法規制

雨天時放流水等にBCDMHを投入した場合の環境及び水棲生物への影響について安全性調査を行った。評価方法としては、次亜塩素酸ソーダとの比較により判断した。

また、BCDMHを消毒剤として使用した場合の法規制について検討した。

4.1 BCDMHの安全性調査

4.1.1 変異原性試験（umu試験）

生物のDNAに損傷を与え遺伝的変異を引き起こす物質を変異性物質という。化学物質には、そのままの状態に変異原性を示すものと、体内に取り込まれ、肝臓の酵素によって変異原性発現する二種類の物がある。また、変異原性試験には、エームズ試験とumu試験があり、本調査では感度の高いumu試験で行い、結果を表2に示した。

S9（代謝活性酵素）を加えた場合（S9+）、生水、生水+BCDMH、生水+次亜塩素酸とともに、濃縮倍率250で変異原性が発現した。この結果から、生水自体の毒性が強いため、BCDMHの変異原性については、生水と同等もしくは無いと判断した。

表2 変異原性試験結果判定値

濃縮倍率	生水		生水 + BCDMH10mg/l		生水 + NaClO 10mg/l	
	S9+	判定	S9+	判定	S9+	判定
BLANK	0	-	0	-	0	-
62.5	0.3	-	0.7	-	0.5	-
125	0.9	-	0.8	-	1.0	+
250	1.8	+	2.6	++	2.4	++
500	3.2	++	3.9	++	4.0	++
1000	6	+++	5.9	+++	7.4	+++
	S9-	判定	S9-	判定	S9-	判定
BLANK	0	-	0.1	-	0.2	-
62.5	0.3	-	0.5	-	0.5	-
125	1.5	+	1.5	+	0.9	-
500	0.6	-	1.1	+	1.2	+
1000	0	-	0	-	0	-

判定値 = (A - B) / B

A = 試料の β -galactosidase 活性値

B = 対象物質の β -galactosidase 活性値

陰性 (-) $1 > (A - B) / B$

陽性 (+) $2 > (A - B) / B > 1$

中陽性 (++) $5 > (A - B) / B > 2$

強陽性 (+++) $(A - B) / B > 5$

4.1.2 急性毒性試験（マイクロトックス試験）

マイクロトックス試験とは、海洋性発光細菌の吸収代謝による発光現象が、毒性物質の作用により機能障害を受け発光量が抑制されることを利用したものである。本試験では、海洋性発光細菌の発光量が50%減少するときの濃度（EC50）によって、急性毒性を調査した。表3に試験結果を示した。EC50値が小さい程毒性が強いため、BCDMHの毒性は次亜塩素酸ソーダと同等もしくは弱いと判断できる。

表3 急性毒性試験結果

	生水 + BCDMH10mg/l	生水 + NaClO 10mg/l
EC50 (倍)	0.588	0.222

4.1.3 水棲生物に対する急性毒性試験

BCDMH を投入した場合、公共用水域の水棲生物に対する毒性を明らかにすることが必要である。ヒメダカによる急性毒性試験、藻類成長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、を行うことにより、水棲生物に対する影響が概ね把握できるため、上記試験を行った。LC50、EC50 は数値が小さい程毒性が強いことを意味する。

表4に示した試験結果から、BCDMH と次亜塩素酸ソーダの毒性は、ほぼ同等であった。

表4 水棲生物に対する急性毒性試験結果

	BCDMH	次亜塩素酸ソーダ
ヒメダカ LC50 (24 時間)	0.42 ~ 0.69mg/l	0.29mg/l
Selenastrum capricornutum(藻類)EC50	0.045 ~ 0.059mg/l	0.026mg/l
ミジンコ遊泳阻害 EC50 (24 時間)	0.24mg/ml	0.07mg/l
Tigriopus japonicus LC50 (24 時間)	1.19mg/l	1.12mg/l

4.1.4 副生成物質の生成調査

BCDMH を消毒剤として投入した場合に生成される副生成物質に関する検討を行った。

(1) 臭素酸イオン (BrO_3^-) 生成量測定

発ガン性の疑いがある臭素酸イオン (WHO ガイドライン値 25 $\mu\text{g/l}$) は、臭素イオン (Br_2) が存在する水を酸化することで容易に生成されることが知られている。本調査では、処理場簡易処理水に BCDMH を投入した場合の臭素酸イオンの生成量を測定した。表5に簡易処理水水質、表6に臭素酸イオンの測定結果を示した。

BCDMH を 5mg/l 及び 10mg/l 投入しても臭素酸イオンは検出されなかった (検出限界 1 $\mu\text{g/l}$)。臭素イオン量は、投入した BCDMH から計算したものとほぼ等しかったことから、BCDMH の加水分解により生成する次亜臭素酸は消毒作用、有機物等によって還元され臭素イオンの状態で存在していると推定できる。

表5 簡易処理水水質

pH	電気伝導率 (mS/m)	SS (mg/l)	濁度 (度)	COD (mg/l)	アンモニア性窒素 (mg/l)
6.9	43	56	71	33	9.8

表6 臭素酸イオンの測定結果

試料名	BrO_3^- ($\mu\text{g/l}$)	Br^- (mg/l)	Br-増加量 (mg/l)	Br-増加量 (計算値) (mg/l)
簡易処理水	< 1	0.25		0.0
+ BCDMH5mg/l	< 1	1.7	1.45	1.58
+ BCDMH10mg/l	< 1	3.0	2.75	3.17

測定機器：イオンクロマトグラフィー (島津製作所製 LC-10A システム)

(2) トリハロメタン生成量測定

次亜塩素酸や次亜臭素酸は、下水中の有機物と反応して発ガン性を有するトリハロメタンを生成する。本調査では、簡易処理水に BCDMH を最大量 6mg/l、通常量 3mg/l を投入して 24 時間放置した試料についてトリハロメタン生成量の測定を行った。次亜塩素酸ソーダについても同様に測定した。

表 7 に簡易処理水水質、表 8 にトリハロメタンの生成量を示した。

測定結果では、次亜塩素酸ソーダよりも BCDMH の方がトリハロメタン生成量は多くなった。BCDMH の主成分である次亜臭素酸によるプロモホルムの生成が多いことが原因であるが、水道水の水質基準値（日本）及び WHO 基準値を下回っていた。

表 7 簡易処理水水質

pH	電気導電率 (ms/m)	SS (mg/l)	濁度 (度)	COD (mg/l)	アンモニア性窒素 (mg/l)
7.3	82	48	36	43	15.1

表 8 トリハロメタン生成量分析結果

消毒剤	投入量 (mg/l)	簡易処理水	トリハロメタン生成量 (mg/l)				
			CHCl ₃	CHBrCl ₂	CHBr ₂ Cl	CHBr ₃	T-THM
BCDMH	6	原水	0.002	< 0.001	0.003	0.019	0.025
	6	2 倍希釈	0.002	0.002	0.005	0.027	0.036
	6	4 倍希釈	< 0.001	0.002	0.011	0.039	0.053
	6	6 倍希釈	< 0.001	< 0.001	0.005	0.030	0.037
	3	8 倍希釈	0.001	< 0.001	0.002	0.009	0.013
NaClO	6	原水	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005
	3	原水	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.004
水道水の水質基準（日本）			0.06	0.03	0.1	0.09	0.1
WHO 基準			0.2	0.06	0.1	0.1	(*)

(*) 個々の測定値のガイドライン値に対する比を求め、それらの総和が 1 を越えないこと

4.2 BCDMH の法規制

BCDMH は、化審法の整理番号 5 類（有機複素環式低分子化合物）6327 として登録される物質である。この BCDMH を消毒剤として使用した場合、BCDMH 自体及びその取り扱いに係る法規制について調査した。

調査は、環境六法（中央法規出版株式会社発行 平成 12 年度）に記載された法令のうち薬品に関する法令の記載事項に該当するか否かについて行った。結果としては、下記に記載のいずれの法令にも該当しない結論に達した。

- ・ 消防法
- ・ 毒物劇物取締法
- ・ P R T R 法
- ・ 水質汚濁防止法
- ・ 大気汚染防止法
- ・ 労働安全衛生法
- ・ 特定化学物質等障害予防法
- ・ ダイオキシン対策特別措置法
- ・ 有機溶剤中毒予防法
- ・ 鉛中毒予防法
- ・ 四アルキル鉛中毒予防法
- ・ 電離放射線障害予防規則
- ・ 酸素欠乏症等防止規則
- ・ 粉塵障害防止法
- ・ 化学物質管理指針

5.まとめ

合流式下水道における雨天時越流水等の消毒を目的として「速効性消毒剤を用いた注入システムの開発」を平成 11～12 年度に株式会社荏原製作所と共同研究を行った。

アンモニア性窒素、有機汚濁負荷の高い雨天時放流水を短時間で効果的に消毒するための方法として臭素系消毒剤 BCDMH を選定して実施した本共同研究の成果を以下にまとめた。

業平橋ポンプ所における実規模消毒実験では、集中豪雨や台風等の約 20 降雨について調査を実施し、BCDMH 投入量 2～7.5 mg/l で大腸菌群数を概ね排水基準（3,000 個 mg/l）以下にできることを確認した。芝浦処理場実験プラント（反応槽 7.5m³）における簡易処理水でも同様の消毒効果が得られた。

薬剤供給装置、制御装置等はコンパクト化し、ポンプ所等の設置スペースが少ない場所における消毒を可能とした。

薬剤注入制御は、流入水量に応じた注入率一定制御を基本とし、さらに、濁度と降雨量から大腸菌群数を求めて薬剤率を決定する制御方法を開発した。

BCDMH の安全性調査では、変異原性試験、急性毒性試験等が、次亜塩素酸ソーダと同等の評価であった。また、発ガン性の疑いのある臭素酸イオンの生成は見られなかった。トリハロメタンの生成量は、次亜塩素酸ソーダより若干、多い数値であったが、水道水の水質基準（日本）及び WHO 基準以下であった。

以上、本共同研究で構築した、臭素系消毒剤 BCDMH を用いた消毒装置、制御システム等の手法が、合流式下水道の雨天時放流水の消毒を可能とした。

さらに、現在、合流改善クイックプランの中で研究が行われている雨天時越流水の簡易処理施設と一体化させることにより、少ない消毒剤量で、より効果的な消毒が期待できる。

大目次

目次

要旨

- 3 塩素消毒の効率化に関する調査

施設管理部 施設管理課
佐藤義文

1. はじめに

下水道における放流水の消毒は、塩素消毒による衛生学的安全性の確保を目的として運用されてきた。しかし、塩素消毒により大腸菌群数を指標として、病原性微生物をできるだけ削減し安全性を高めるといった目的に対し、消毒後の残留塩素や副生成物による環境への影響が懸念されている。その対応策として、塩素消毒の効率的注入法や塩素代替消毒剤の研究が進められている。

ここでは、塩素消毒に於いて、効率的な方法といわれる強制攪拌システムの中から、JD（ジェット・ディスインフェクション）システムを取り上げ、実用化のための調査を12年度に行ったので報告する。

2. 調査目的

本調査は、大雨時の塩素注入量の増加及び放流水の残留塩素の増加を軽減するため、現行の塩素消毒法に JD（ジェット・ディスインフェクション）システムという強制攪拌を付加した技術の実用化に向けた基礎調査として行なったものである。

3. 調査方法

3.1 消毒効果調査

予備実験後、テストプラントを用いて、芝浦処理場の第一沈殿池流出水（以下、沈殿下水と記載）、第二沈殿池流出水（以下、二次処理水と記載）を対象に、塩素注入率や強制混合攪拌のためのジェット噴出水量（以下、図表中では JD 噴出量と略記）を変えての消毒効果調査を行った。また、強制攪拌しない従来方式について、代表的な条件での効率比較を行った。

3.1.1 装置

(1) JDシステム

JDシステムの概念図を図-1に示す。

原水は、一部が水中ポンプで圧送され、混合ノズル部で消毒剤と混合されジェット噴出される。その時生じるジェット水流は周辺水を同伴し円錐混合域を作り、1秒以内で瞬間的に主混合を完了させる。次に反応チューブ内の円柱混合域では、乱流プラグ流の中で消毒剤との

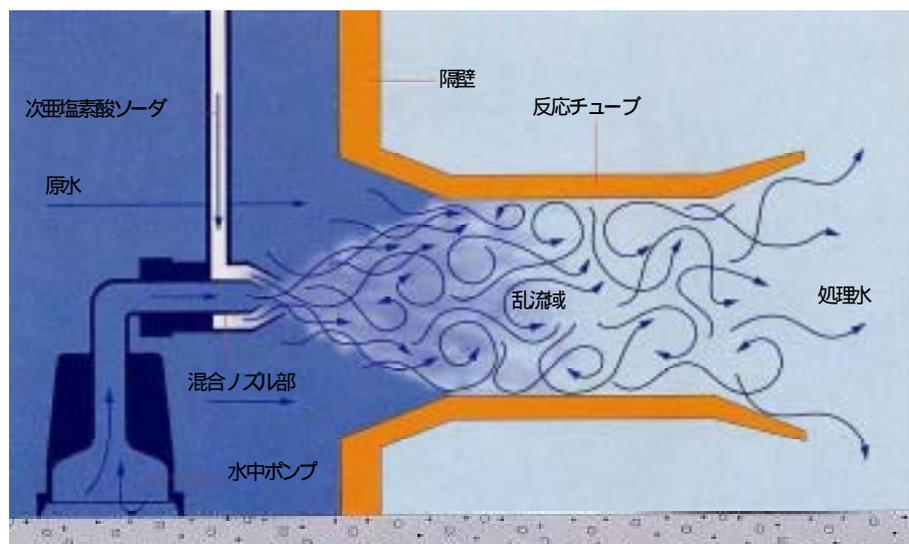


図-1 JDシステム概念図

反応が補完継続される¹⁾。ジェット噴出水量は強力であるほど、浮遊物質に隠蔽された細菌の分散化や消毒剤と原水との混合攪拌力が高まるが、エネルギー効率、維持管理費などから最適な水量が決定される。

(2) フローシート

実験装置のフローシートを図 - 2 に示す。実験装置は対象原水毎に処理量，薬注率，ジェット噴出水量の調整が可能で各原水の混合比の変更も可能である。

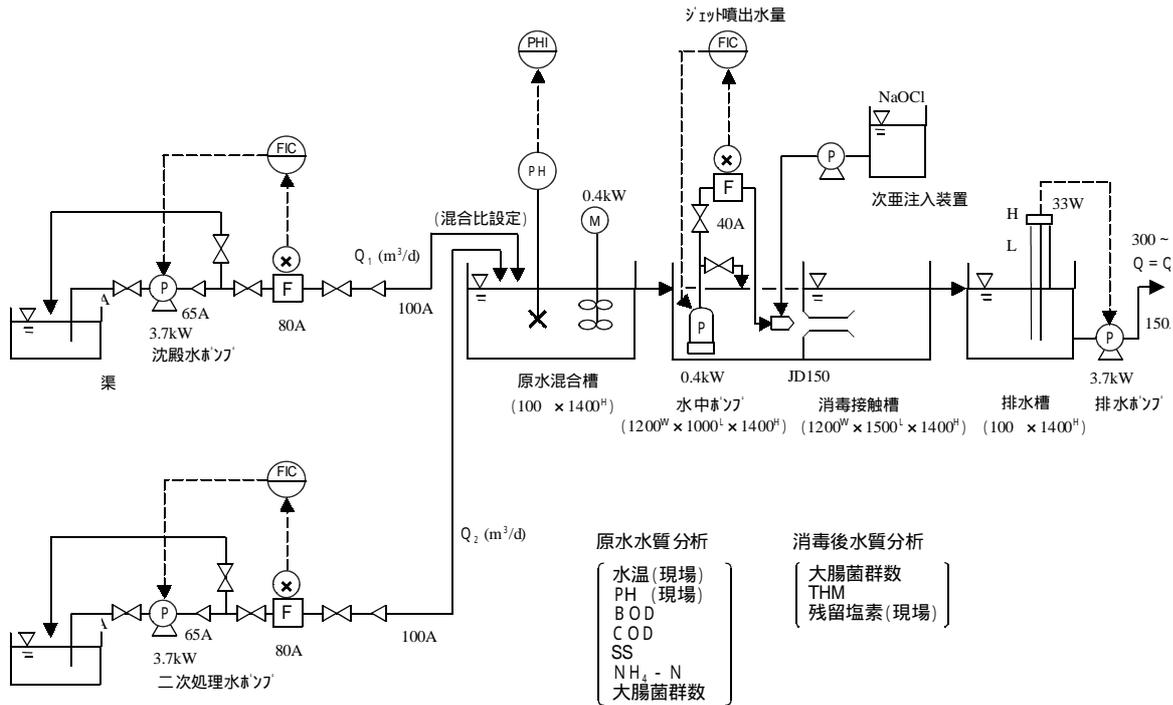


図 - 2 フローシート

3.1.2 運転条件

流入水量：300 ~ 800m³/日

次亜塩素酸ソーダ注入率：1.0 ~ 20mg/l (有効塩素として)

ジェット噴出水量比率：15 ~ 30%

(ジェット噴出水量 / 処理水量)

予備調査のピーカーテストより消毒剤注入率範囲及びジェット噴出水量比率範囲を決定した。

3.1.3 調査内容

ジェット噴出水量比率の消毒効果への影響	: RUN1
処理水量変動時の消毒効果の調査	: RUN2
沈殿下水の短時間消毒効果の調査	: RUN3
二次処理水消毒時の消毒効果の確認	: RUN4
雨天時沈殿下水の消毒効果の調査	: RUN5

3.1.4 水質測定項目、評価項目

流入水測定項目：調査条件毎に代表水質を把握する。

- ・水温、pH、SS、COD、BOD、NH₄ - N

評価項目：大腸菌群数、残留塩素、トリハロメタン 4 項目

3.2 データ解析

調査データを解析し、下記の事項について評価、考察した。

JD システム導入による消毒効果の向上について評価した。

JD システム導入による放流水域への残留塩素の排出量削減効果について評価した。

塩素消毒の効率向上のメカニズムについて考察した。

4. 調査結果

4.1 ジェット噴出水量比率の消毒効果への影響調査（従来法との比較）：RUN1

沈殿下水を対象に処理量 500m³/日の条件で、薬注率、ジェット噴出水量を変化させて従来法との比較を行った。従来法とは当該実験装置でジェット噴出水量をゼロとした時の消毒状況のことである。

大腸菌群数の除去が確認された各薬注率でのジェット噴出水量と大腸菌群数との関係を図 - 3 に示す。

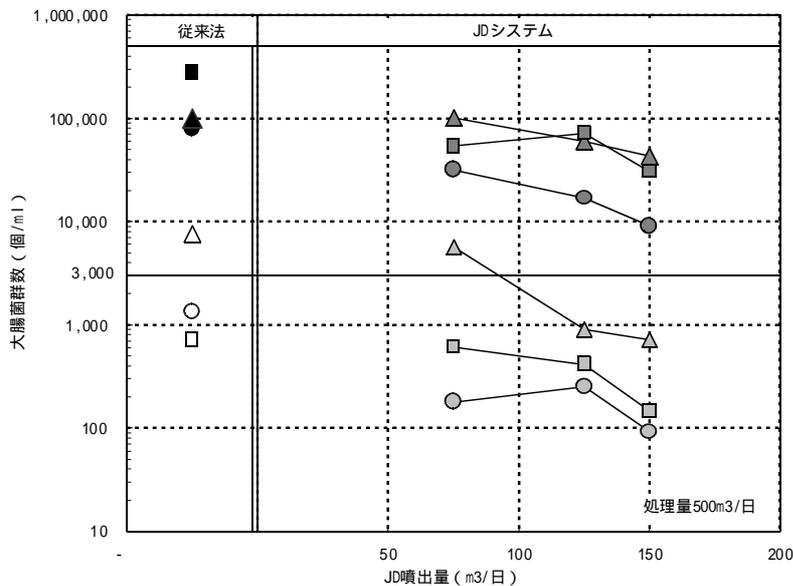


図 - 3 より反応チューブ出口部及び処理水での大腸菌群数は、ジェット噴出水量の増加に伴い減少する傾向を示した。処理目標値 (3,000 個/ml) は今回の原水水質変動内で従来法 (JD=0) の条件で薬注率 15mg/l 時に満足しないが、JD システムではジェット噴出水量の増加によりいずれの条件でも満足する結果であった。

薬注率	従来法	JDシステム
10mg/l	● 原水	○— 反応チューブ出口 (3秒)
	○ 処理水 (4.3分)	○— 処理水 (4.3分)
15mg/l	▲ 原水	▲— 反応チューブ出口 (3秒)
	△ 処理水 (4.3分)	△— 処理水 (4.3分)
20mg/l	■ 原水	■— 反応チューブ出口 (3秒)
	□ 処理水 (4.3分)	□— 処理水 (4.3分)

図 - 3 大腸菌群数とJD噴出量の関係

4.2 処理水量変動時の消毒効果の調査（従来法との比較）：RUN2

沈殿下水を対象にジェット噴出水量 125m³/日の条件で処理量を 300, 500, 800m³/日と変化させ、従来法との比較を行った。条件の厳しい 800m³/日の場合の大腸菌群数と滞留時間の関係を図 - 4 に示す。

JD システムでは処理量を増加させ接触時間が短くなっても良好な性能を示したのに対して、従来法では十分な効果が得られなかった。滞留時間は処理量で異なるが、接触時間 4 分以下で処理目標値を満足する条件はいずれの処理量でも薬注率 15mg/l 以上であった。

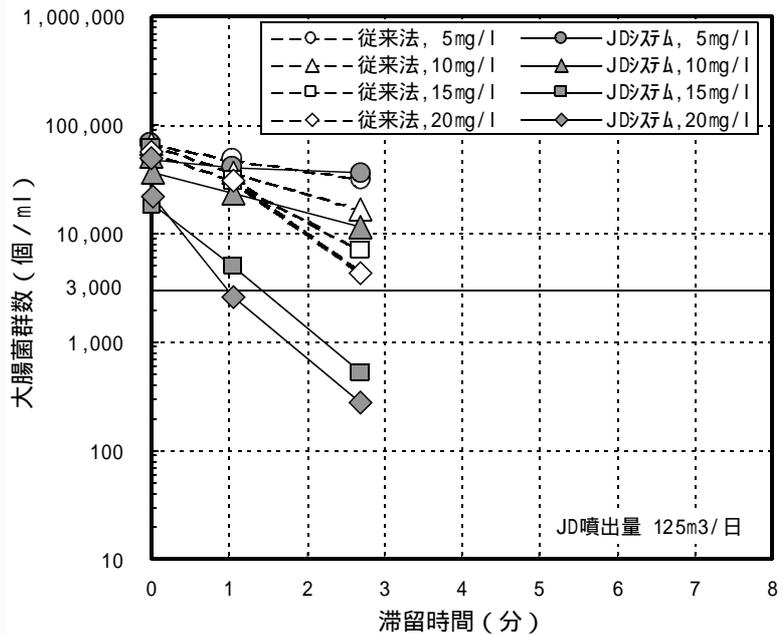


図 - 4 大腸菌群数と滞留時間の関係(処理量800m³/日)

4.3 沈殿下水の短時間消毒効果の調査：RUN3

簡易放流時には流入下水が降雨により希釈される事が想定されるので、模擬簡易放流水として沈殿下水及び二次処理水の混合水を調整し、処理量 500m³/日、ジェット噴出水量 125m³/日の条件で、原水混合比及び薬注率を変化させ比較を行った。

処理量 500m³/日，ジェット噴出水量 125m³/日，薬注率 5, 15mg/l の条件での、原水混合比の違いにおける滞留時間と大腸菌群数の関係を図 - 5 ~ 6 に示す。

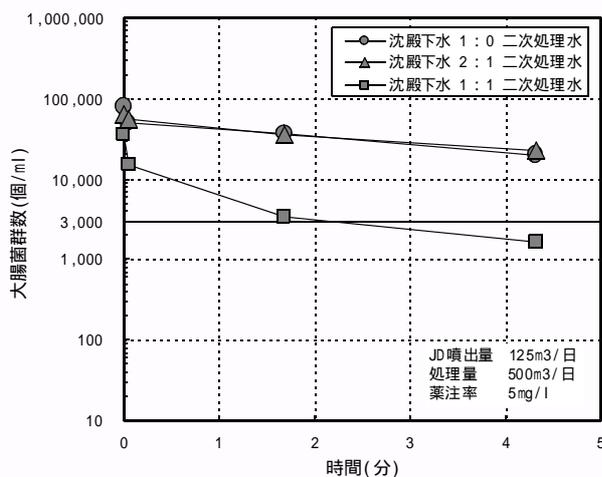


図 - 5 原水混合比の違いによる消毒効果の変化（薬注率 5mg/l）

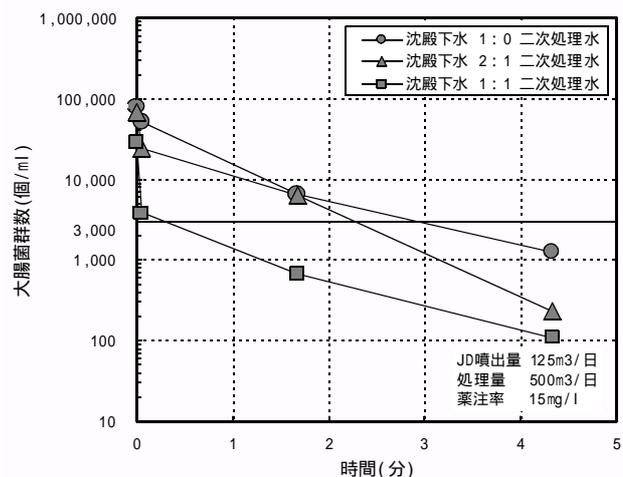


図 - 6 原水混合比の違いによる消毒効果の変化（薬注率 15mg/l）

図 - 5 ~ 6 より、原水混合比が沈殿下水に対して二次処理水の比率が大きいほど良好な消毒効果が得られ、混合比 1 : 1 では薬注率 5mg/l で大腸菌群数 3,000 個/ml 以下を達成することができた。一方、原水混合比が 2 : 1 以上では薬注率 10mg/l 以上が必要であった。

4.4 二次処理水消毒時の消毒効果の確認：RUN4

二沈処理水を対象にジェット噴出水量 125m³/日の条件で処理量を 300, 500, 800 m³/日と変化させ、従来法との比較を行った。また、処理場の二次処理水の大腸菌群数が低い値だったので、大腸菌群数を高くするために沈殿下水を混合した調整二次処理水についても比較を行った。

800 m³/日の場合と調整二次処理水を用いた場合を図 - 7 ~ 8 に示す。

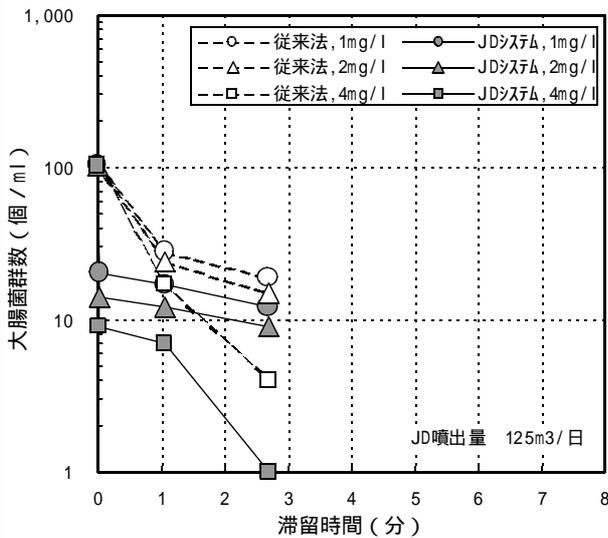


図 - 7 大腸菌群数と滞留時間の関係
(800m³/日)

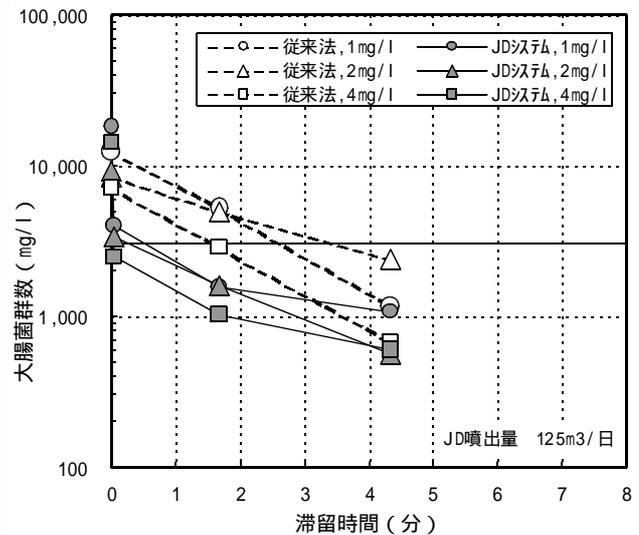


図 - 8 大腸菌群数と滞留時間の関係
(500m³/日)
(調整二次処理水、原水混合比3:17)

図 - 7 ~ 8 より、二次処理水の場合でも、JD システムは従来法と比較して良好な性能を示した。

JD システムは、攪拌混合直後の消毒効果が高く大腸菌群数 10,000 個/ml 前後の調整二次処理水では、薬注率 4mg/l のとき接触時間がわずか 3 秒程度の反応チューブ出口で既に 3,000 個/ml 程度まで減少した。

4.5 雨天時沈殿下水の消毒効果の調査：RUN5

雨天時沈殿下水を対象に、処理量 500m³/日、ジェット噴出水量 125m³/日、薬注率 15mg/l の条件での経時変化を調査した。大腸菌群数の経時変化を図 - 9 に示す。

図 - 9 より、降雨時の沈殿下水の消毒では、薬注率 15mg/l で常に安定した消毒効果が得られた。

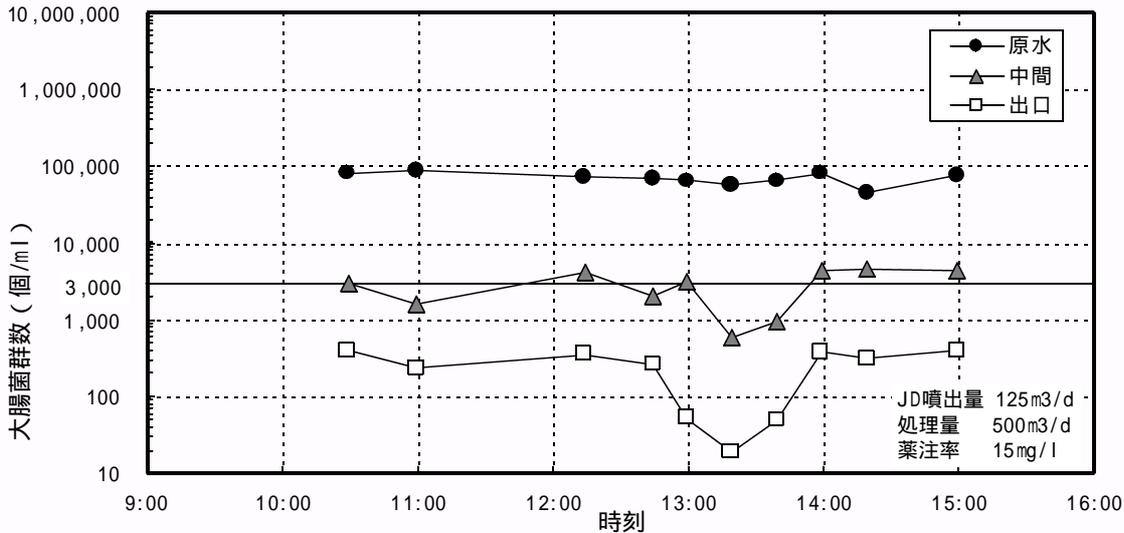


図 - 9 大腸菌群数の経時変化

4.6 影響調査

本調査期間中に沈殿下水及び二次処理水について、それぞれの消毒（従来法、JD システム）前後のトリハロメタン分析を行った。沈殿下水での消毒前後の結果を表 - 1 に、二次処理水での消毒前後の結果を表 - 2 に示す。

表 - 1 沈殿下水の消毒前後におけるトリハロメタン分析結果（2/26採取）

		一般細菌数 (個/ml)	トリハロメタン (mg/l)					残留塩素 (mg/l)	
			総THM	CHC ₁₃	CHC ₁₂ Br	CHC ₁ Br ₂	CHBr ₃		
消毒前	原水 (沈殿下水)	1.1 × 10 ⁶	0.0029	0.0023	0.0006	0.0005	下限値未満		
消毒後	従来法	薬注率 10mg/l	6.5 × 10 ⁵	0.0019	0.0019	下限値未満	下限値未満	下限値未満	
		薬注率 20mg/l	3.1 × 10 ⁴	0.0057	0.0043	0.0008	0.0006	下限値未満	
	JDシステム JD噴出量 =125m ³ /日	薬注率 10mg/l	3.2 × 10 ⁵	0.0019	0.0019	下限値未満	下限値未満	下限値未満	
		薬注率 20mg/l	1.5 × 10 ⁴	0.0172	0.0077	0.0063	0.0032	下限値未満	

表 - 2 二次処理水の消毒前後におけるトリハロメタン分析結果（3/6採取）

		一般細菌数 (個/ml)	トリハロメタン (mg/l)					残留塩素 (mg/l)	
			総THM	CHC ₁₃	CHC ₁₂ Br	CHC ₁ Br ₂	CHBr ₃		
消毒前	原水 (二次処理水)	3.7 × 10 ⁴	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満		
消毒後	従来法	薬注率 1mg/l	3.6 × 10 ³	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満	
		薬注率 4mg/l	2.1 × 10 ²	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満	
	JDシステム JD噴出量 =125m ³ /日	薬注率 1mg/l	1.7 × 10 ³	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満	
		薬注率 4mg/l	2.0 × 10 ²	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満	下限値未満	

参考 水道水質基準値（健康に関する項目）²⁾

- 総 THM : 0.1mg/l 以下
- CHCl₃ : 0.06mg/l 以下
- CHCl₂Br : 0.03mg/l 以下
- CHClBr₂ : 0.1mg/l 以下
- CHBr₃ : 0.09mg/l 以下

表 - 1 , 2 より、JD システム処理水のトリハロメタン濃度は、二次処理水消毒では定量下限値未満であり、沈殿下水消毒では薬注率 20mg/l で従来法より若干高かったが、水道水質基準値を大きく下回る値であった。

5 . データ解析

5 . 1 JDシステム導入による消毒効率の向上

処理量変動時 (RUN2) の調査結果から処理量 300 ~ 800m³ / 日 , 薬注率 15 ~ 20mg / l での Ct 値 (薬注率 × 接触時間) と大腸菌群数の関係を図 - 10 に示す。

図 - 10 より、運転条件の広い範囲で求めた Ct 値は大腸菌群数の除去率と相関が見られた。JD システムは従来法と比較して同一 Ct 値における除去率が高く、同一除去率における Ct 値が低くなる傾向を示した。またその効果は Ct 値の低い領域で顕著であり、JD システムによる短時間での消毒効率の向上が確認された。

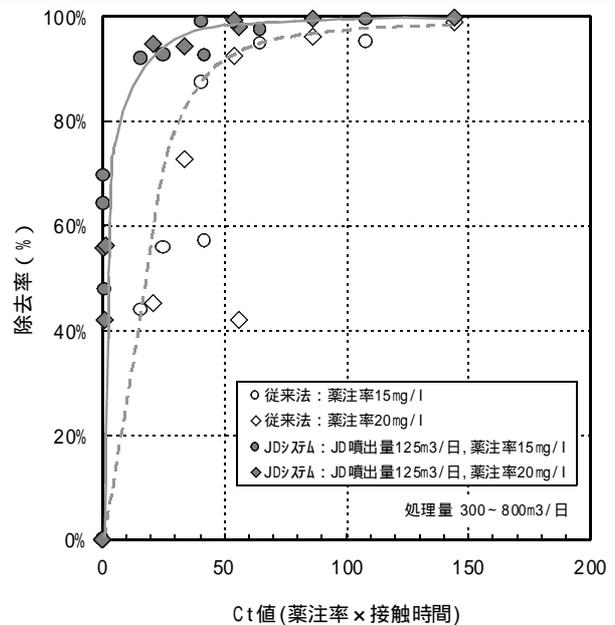


図 - 10 Ct 値と大腸菌群数の関係

5 . 2 JDシステム導入による放流水域への残留塩素の排出量削減効果の評価

二次処理水および沈殿下水の混合原水においては、JD システムと従来法では同一薬注率での残留塩素濃度はほとんど差がなかった。調査結果から、消毒槽出口で水質基準値の大腸菌群数 3,000 個/ml³⁾ 以下を満たす薬注率はおおよそ次の範囲であった。

従来法 : 薬注率 = 15 ~ 20mg/l

JD システム : 薬注率 = 10 ~ 15mg/l

(ジェット噴出水量 125m³/日)

一方、この薬注率での残留塩素は RUN2 の結果より次の範囲であった。

従来法 : 残留塩素 = 9.0 ~ 11mg/l (平均 10.3mg/l)

JD システム : 残留塩素 = 1.8 ~ 12mg/l (平均 7.4mg/l)

(ジェット噴出水量 125m³/日)

JD システムは、従来法に比べて薬注率を下げられることから 30% 前後の残留塩素削減効果があると思われる。

残留塩素の存在がもたらすと予想される消毒副生成物に関して、今回行ったトリハロメタン生成量の分析結果をみると、薬注率 20mg/l 以下の次亜塩素酸ソーダ消毒では、極めて微量もしくは検出限界以下であり、水道水質の基準以下であった。トリハロメタンは遊離塩素の存在下では生成が顕著であるがクロラミンの下では、ほとんど生成されない。これは、下水の消毒においては、NH₄-N の存在から塩素注入後短時間でクロラミン化し結合塩素による消毒に移行してしまうのでトリハロメタンが生成されないと考えられる。

5.3 塩素消毒の効率向上のメカニズムの考察

5.3.1 細菌の塩素による消毒機構

塩素による消毒は、

- (イ) SH 酵素（例えばグリセルアルデヒド-3-リン酸脱水素酵素）の SH 基が酸化され触媒力を失う。
- (ロ) 細胞壁、細胞膜を含めた細胞構造を破壊し、透過性を阻害する。
- (ハ) その他の酵素や補酵素と反応し、さらに塩素化した毒性物質を形成する。
- (ニ) 核酸にも作用して増殖阻害をもたらす。

と報告されている。⁴⁾

いずれも塩素による強力な酸化力によるものである。

5.3.2 消毒操作上の効率向上策

本実験での JD システムが従来法に比べて優れた消毒効果を得られたのは、上記消毒機構のうち以下の特性を発揮したためと考えられる。

強力な攪拌による大腸菌の分散効果

大腸菌は、水中では浮遊物質に付着内蔵したり、クラスタを形成して集合体として存在するといわれているが、このような状態では大腸菌と消毒剤の接触が不完全になり消毒効果が不十分になりやすい。大腸菌を分散状態にすれば極めて高い消毒効果が得られることが知られている。JD システムはジェット水流により浮遊物質の微細化や、クラスタを破壊し大腸菌を分散させる効果がある。その結果、大腸菌と消毒剤の接触効率が高まり高い消毒効果が得られたものと考えられる。

急速混和攪拌効果

JD システムはジェット水流による強力な周辺水の同伴と反応チューブでの乱流域を短時間に形成する構造である。その結果、消毒剤と原水が確実に混合接触しあい高い消毒効果を発揮するものと推定される。

遊離塩素による消毒効果

遊離塩素は消毒効果が極めて強いが、被対象液に $\text{NH}_4 - \text{N}$ 等が存在すると短時間に消毒効果の弱いクロラミンでの消毒が主体であるために十数分と長い接触時間を必要とした。したがって、消毒剤と被対象液を極めて短時間に急速混合し遊離塩素の状態で大腸菌と接触させることができれば、極めて高い消毒効果が得られる。JD システムは強力なジェット水流により被対象液と消毒剤を数秒以内と瞬時に攪拌混合するので、従来法に比較すると遊離塩素と大腸菌の接触時間が飛躍的に増すものと考えられる。実験結果でも接触時間がわずか 2 ~ 3 秒という極めて短い接触時間において大腸菌群数が減少することが確認された。

なお今回の実験で、強力な攪拌混合特性をもつ JD システムでも薬注率 5mg/l 以下ではほとんど消毒効果が得られなかったことから、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ や SS、有機物など還元性物質濃度が高く、かつ大腸菌群数が多い沈殿下水では、一定以上の薬注率が必要であることがわかった。

6.まとめ

今回の調査で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 沈殿下水(大腸菌群数 100,000 個/ml 程度)を原水とした場合、大腸菌群数 3,000 個/ml を安定して達成するためには、JD システムでは次亜塩素酸ソーダ薬注率 15mg/l 程度、滞留時間 4 分以内であった。これに対して、従来法では薬注率 20mg/l、接触時間は JD システムの 2 倍程度必要であった。
- (2) 二次処理水(大腸菌群数 100 ~ 10,000 個/ml 程度)を原水とした場合、JD システムは従来法に比べて薬注率で 1/2 以下(1 ~ 2mg/l)、接触時間 3 分以内で良好な消毒効果が得られた。
- (3) JD システムは、水量・水質変動に対して、短時間の接触時間でも安定した消毒効果得られた。
- (4) JD システムは、従来法に比べて薬注率を低減できるため、残留塩素排出量を削減し、かつ、トリハロメタンの生成量も少なかった。

以上の調査結果から、実用化の検討を行い次の結果を得た。

- (1) JD システムは従来法に比べて薬注率を削減でき、かつ短時間(1 ~ 4 分)の塩素接触時間で消毒効果が得られるので、接触時間を十分に確保できない既存消毒施設や雨天時簡易放流時の消毒法として有効と判断される。
- (2) JD システムは、従来法に比べてランニングコストを削減できる可能性がある。ただし、JD による強制攪拌により、消毒剤中の遊離塩素が被対象液に含まれるアンモニア等により結合型塩素(クロラミン)に変化する前に大腸菌に接触して消毒効果を高めているか否かは解明できなかった。

参考文献

- 1) 古里ら(1983), PPM 1986/6
- 2) 水道設計指針(2000度版), (社)日本水道協会
- 3) 下水道施設計画・設計指針と解説(1994度版), (社)日本下水道協会
- 4) 金子光美(1997), 水の消毒, (財)日本環境整備教育センター

大目次

目次

要旨

- 4 アルキルフェノール類の分析法の検討及び 下水処理場における実態調査

施設管理部 施設管理課

河野里名 石井祐子 古谷達夫

1 はじめに

環境ホルモン物質の1つである、4-ニルフェノールは工業用洗剤として広く用いられており、下水処理場流入水に高濃度で検出されている。そのため、試験係では、区部処理場における4-ニルフェノールの実態調査を行うためGC/MSを使った分析法の検討に着手した結果、精度の高い分析手法を確立した。

本手法は、下水中に検出する割合の高いt-オキルフェノール、ビスフェノールAも同時に前処理を行うことが可能であることから、分析時間の短縮、分析費用の削減が期待できる手法である。

2 分析法の検討

2.1 試薬及び器具

(1) 試薬

アルキルフェノール類標準試薬：Riedel-dehaen 社製

ビスフェノールA標準試薬：Riedel-dehaen 社製

内部標準物質：Aldrich Chem 社製

BSTFA：メルク社製

アセトン、メタノール：関東化学製 酢酸エステル試験用

ジクロロメタン：関東化学製 残留農薬試験用

(2) 装置、器具

超純水製造装置：オルガノ社製 PURIC-MX

濃縮装置：Waters 社製 sep-pak コンセントラータ

固相カートリッジ：Waters 社製 Oasis HLBplus

精製用シリカ：Waters 社製 sep-pakplus シリカ

ガラス器具：200度にて8時間以上焼いたもの

ガラス繊維ろ紙：Whatman 社製 GF/R (口径 1 μm)

2.2 分析操作

(1) 前処理方法

分析操作フローを図.1に示す。

スタンダードの調整方法は、超純水1Lに対しそれぞれの濃度が0.02～1.0 μg/lになるように標準試料を添加する。下水試料の調整方法は、ガラス繊維ろ紙を用いてろ過を行う。ろ紙はアセトン10mlを加え超音波抽出を行い、抽出後のアセトン

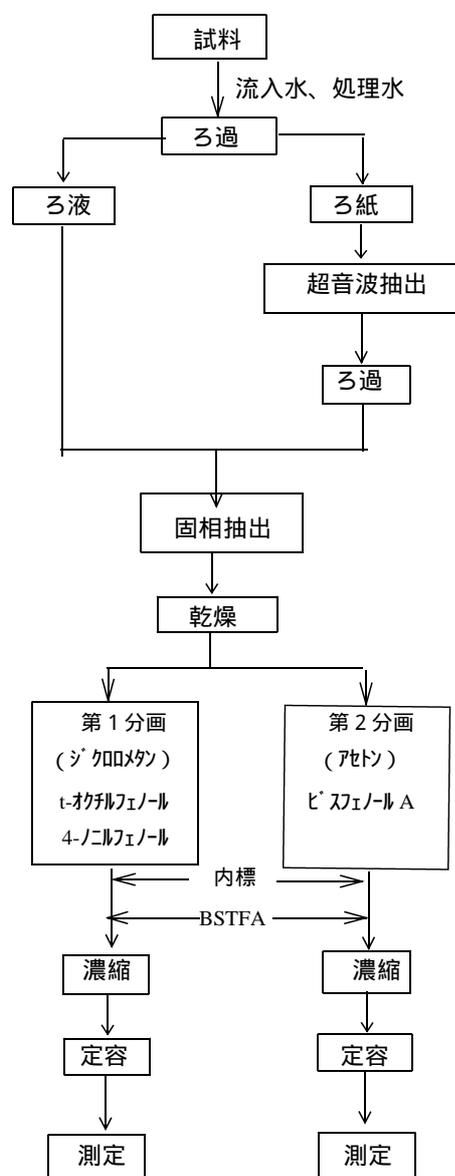


図.1 操作フロー

は、シリカカラムを用いてろ過をする。この操作を2回行い、ろ液に加える。

調整した標準試料、サンプルは、事前にアセトン 50ml、メタノール 40ml、超純水 25ml でコンディショニングを行った固相カートリッジに、流速 20ml/分でコンцентрレーターを用いて通水する。通水後 20%メタノール 20ml を固相に通水して夾雑物を除去する。窒素を通気させて、固相を乾燥する。乾燥後ジクロロメタン 10ml で *t*-オクチフェノール、4-ニルフェノールを溶出させ、その後に同じ固相にアセトン 10ml を通し、ビスフェノール A を溶出させる。溶出液に内部標準物質 10mg/l を 20 μ l 添加後に、BSTFA を加え、トリメチルシリル化を行う。窒素気流下で 1ml に濃縮後、GC/MS にて測定を行う。

(2)GC/MS 分析条件

GC/MS : サーモクエスト社製 trace MS

キャピラリカラム : HP 製 HP5 traceAnalysis (幅 0.25mm 長さ 30m 膜厚 0.25 μ m)

注入口温度 : 280 度 検出器温度 : 280 度 インターフェース温度 : 280 度

注入量 : 2 μ l

注入方法 : スプリットレス

昇温条件 : 50 度 - (50 度/分) - 130 度 - (5 度/分) - 210 度 - (50 度/分) - 280 度 (5 分)

測定イオン	定量イオン(T)	参照イオン(Q)
<i>t</i> -オクチフェノール	207	208
4-ニルフェノール	207	208
ビスフェノール A	357	358
アントラセン d10	188(<i>t</i> -オクチフェノール、4-ニルフェノールの内部標準物質)	
フルオランテン d10	212(ビスフェノール A の内部標準物質)	

2.3 結果と考察

(1) クロマトグラム

アルキルフェノール類、ビスフェノール A と内標 2 物質のトータルイオンクロマトグラム (TIC) を図.2 に示す。4-ニルフェノールは多くの異性体から構成される複合ピークとなり、その他の *t*-オクチフェノール、ビスフェノール A、内標 2 物質は単ピークとなった。

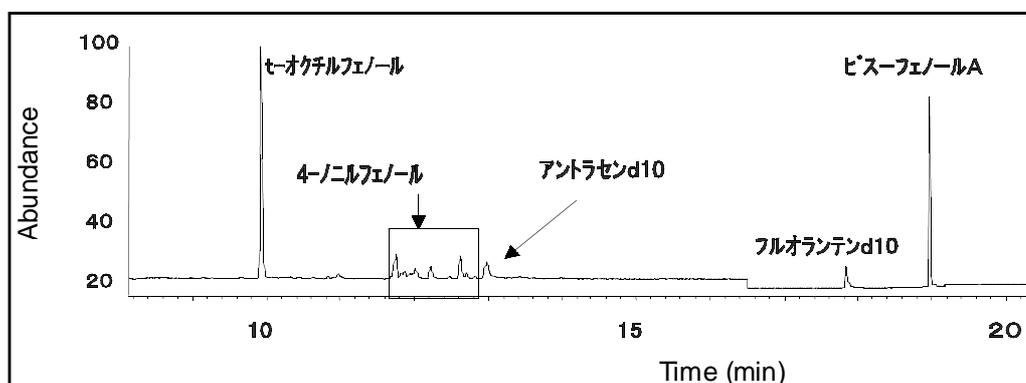


図.2 アルキルフェノール類のトータルイオンクロマトグラム

(2) 4-ノルフェノールの定量方法

4-ノルフェノールの定量イオンのイオンクロマトグラムを図.3に、小台処理場処理水のクロマトグラムを図.4に、流入水のクロマトグラムを図.5に示す。

4-ノルフェノールのイオンクロマトグラムは、図.3に示すとおり複合ピークとなり、このような異性体は、物質の濃度を変えても異性体ごとの面積比率は一定であるため、未知試料の定量を行う際、複合ピーク全体、もしくは1つのピークを使って得られる濃度はすべて同じになる。

しかし、図.4に示すように、放流水のイオンクロマトグラムでは、異性体ごとの比率が標準物質の比率と異なる場合が見られる。このような試料では、表.1に示したように、ピークごと(A~D)とピーク全体(E)についてに検量線を作成し、濃度を求めると、 $0.15 \mu\text{g/l} \sim 0.86 \mu\text{g/l}$ となり、ピークごとに定量値に大きな差が出ることがわかった。

なお、この定量に用いた検量線は、図.6に示すとおり、相関係数はすべて 0.999 と高い直線性があるため、検量線に問題はなく、流入水では、図.5に示すとおり、このようなピークの形状の変化は見られないことから、下水処理過程での影響と考えられるが、原因については不明である。

以上のことから、4-ノルフェノールの定量方法については、Eの異性体すべてのピークを積分する方法で求めた濃度が、5つの定量方法の中間値となり、真値と大きくずれていないと考えられるため、4-ノルフェノールの定量方法は、すべての異性体のピークから作成した検量線で行うことにした。

表.1 ピーク区分ごとの濃度

ピーク区分	濃度 ($\mu\text{g/l}$)
A	0.34
B	0.45
C	0.86
D	0.15
E	0.35

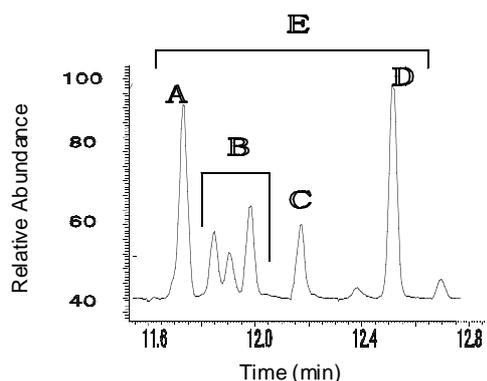


図.3 4-ノルフェノール標準物質のイオンクロマトグラム

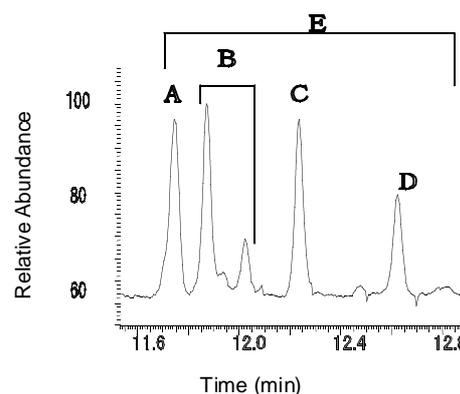


図.4 小台処理場放流水の4-ノルフェノールのイオンクロマトグラム

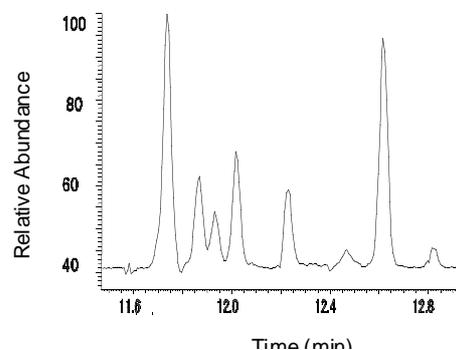


図.5 小台処理場流入水の4-ノルフェノールのイオンクロマトグラム

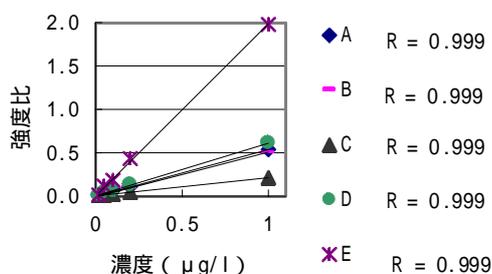


図.6 ピーク区分ごとの4-ノルフェノールの検量線

(3) 検量線の作成

検量線は、強度比（クロマトグラムから得られた対象物質の面積値 / 内部標準物質の面積値）と濃度で作成した。今回の測定の濃度ごとの強度比と変動係数を表. 2 に、検量線を図. 7 に示す。なお、データは $n=3$ の平均値である。

表. 2 標準試料の強度比と変動係数

濃度 ($\mu\text{g/l}$)	t-オクチフェノール		4-ニルフェノール		ビスフェノール A	
	強度比	変動係数	強度比	変動係数	強度比	変動係数
0.05	0.32	3.0 %	0.13	2.0 %	0.05	2.2 %
0.20	1.30	4.5 %	0.42	4.7 %	0.31	5.1 %
0.50	3.27	7.8 %	0.97	4.4 %	0.91	0.6 %
1.00	7.16	3.9 %	2.07	6.6 %	2.01	3.9 %

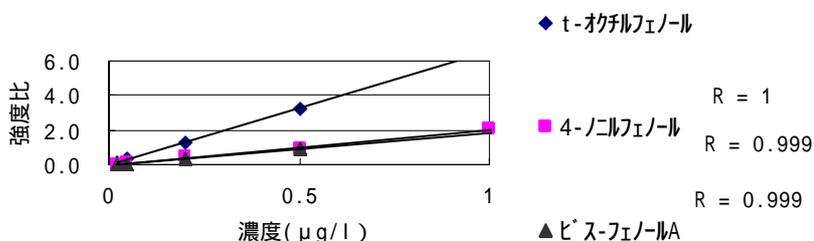


図. 7 アルキルフェノール類とビスフェノールAの検量線

3物質の検量線は、ともに高い相関係数が得られた。また、変動係数もすべて10%以下であり、再現性の高い分析法であることがわかった。

(4) 検出下限値および定量下限値

本測定の検出下限値及び定量下限値を表. 3 に示す。

今回の分析では、定量下限値付近の標準液及びブランクを3回測定したときの標準偏差の高い方の3倍を検出下限値、10倍を定量下限値とした。

表. 3 に示すとおり、3物質とも、両目標値を下回っており、本手法が高い精度管理のもとで行われていることが確認できた。

表. 3 本測定における検出下限値及び定量下限値

	検出下限値 ($\mu\text{g/l}$)	目標検出下限値 ($\mu\text{g/l}$)	定量下限値 ($\mu\text{g/l}$)	目標定量下限値 ($\mu\text{g/l}$)
t-オクチフェノール	0.003	0.1	0.008	0.3
4-ニルフェノール	0.043	0.1	0.144	0.3
ビスフェノール A	0.002	0.01	0.005	0.03

(5) 固相回収率

回収率は、各濃度別の固相の強度比を直打ち強度比で割って求めた。

表. 4 固相抽出による回収率

標準物 質濃度 ($\mu\text{g/l}$)	t-オクチルフェノール			4-ニルフェノール			ビスフェノール A		
	直打ち 強度比	固相 強度比	回収率 (%)	直打ち 強度比	固相 強度比	回収率 (%)	直打ち 強度比	固相 強度比	回収率 (%)
0.2	1.47	1.30	88.4	0.46	0.42	91.3	0.34	0.31	91.2
1.0	7.64	7.16	93.7	2.41	2.07	85.9	2.57	2.01	78.2
2.0	16.77	14.85	88.6	5.24	4.68	89.3	5.50	4.98	90.5
平均			90.2			88.8			86.6

表. 4 のとおり、3 物質ともに回収率の平均は 85%以上となった。下水道における内分泌攪乱物質調査マニュアルによると、液 - 液抽出における回収率は t-オクチルフェノール 79%、4-ニルフェノール 68%、ビスフェノール A 78 %となっているため、固相抽出の法が 3 物質ともに高い回収率となることが確認できた。また、濃度を変えてもほぼ一定の割合での回収率されていた。

3 下水処理場における実態調査

3.1 分析結果

検討した分析結果を用いて中川処理場、小台処理場について調査を行った。流入水は沈砂池後の水、処理水は塩素接触前の水を用いた。表. 5 に両処理場の流入水と放流水の分析結果と下水処理工程における除去率を示す。

表. 5 中川処理場、小台処理場流入水、放流水の測定結果

		t-オクチルフェノール			4-ニルフェノール			ビスフェノール A		
		濃度 ($\mu\text{g/l}$)	変動係数 (%)	除去率 (%)	濃度 ($\mu\text{g/l}$)	変動係数 (%)	除去率 (%)	濃度 ($\mu\text{g/l}$)	変動係数 (%)	除去率 (%)
小台処理場	流入水	0.24	7.5	20.8	3.28	2.1	89.3	0.92	2.6	80.4
	放流水	0.19	0.5		0.35	2.7		0.18	1.8	
中川処理場	流入水	0.12	6.4	41.7	2.74	1.0	93.4	0.93	4.1	84.9
	放流水	0.07	0.6		0.18	2.7		0.14	1.1	

3.2 結果及び考察

表. 5 のとおり、流入水、放流水の変動はすべて 10 %以下であり、精度の高い分析値が得られた。下水処理の工程によるアキルフェノール類の除去率は、4-ニルフェノール、ビスフェノール A は 80 ~ 90 %と、高い除去率であったが、t-オクチルフェノールは 50%に満たない除去率であった。

4 まとめ

- 1) 3物質ともに、0.999 ~ 1 の高い相関を示す検量線が得られた。
- 2) 検出下限値、定量下限値は、3物質とも両目標値を十分満たす分析が行うことができた。
- 3) 固相抽出の回収率の平均は3物質ともに 85 % 以上であり、液 - 液抽出よりも高い回収率となった。また、濃度を変えても回収率の変動は少なかった。
- 4) 変動係数は標準試料、下水試料ともに 10% 以下であり、夾雑物の多い下水試料においても安定した分析を行う事ができた。
- 5) 下水処理工程による除去率は、4-ノルフェノール、ビスフェノール A が 80 % 以上となり、下水処理工程においてかなり除去されていることが確認できた。しかし、t-オクチフェノールは 50% 以下の除去率となった。

以上のことから、下水中のアルキルフェノール類とビスフェノール A について、本手法を使って、分析することにより、再現性がよく、精度の高い分析が可能であることが確認できた。

参考文献

下水道における内分泌攪乱物質調査マニュアル（下水道新技術推進機構 2000年3月）

大目次

目次

要旨

- 5 下水汚泥中のアルキルフェノール類の分析法の検討及び 汚泥処理工程におけるアルキルフェノールと 非イオン界面活性剤の挙動調査について

施設管理部施設管理課

島田 誠一

河野 里名

1. はじめに

外因性内分泌攪乱化学物質（環境ホルモン）に指定されたアルキルフェノール類は、非イオン界面活性剤の一つで、主成分はアルキルフェノール[®]リエチキレートである。中でも生産量の約80%がノニルフェノール[®]リエチキレートで、洗浄剤の他、乳化剤として広く工業用に使用されている。

文献によると、アルキルフェノール[®]リエチキレートは、酸化・還元等により中間体が形成されるが、この中間体は元のアルキルフェノール[®]リエチキレートよりも水棲生物に対する毒性が高く、特に、このような反応が下水処理場の消化槽で汚泥を嫌気分解すると、図.1に示した分解により、親水基の末端がカルボキシル基やエノ基まで酸化され、毒性の高いアルキルフェノール類が生成されているとされている。

そこで、汚泥中からの抽出法を、抽出効率に最も優れていると考えられるソックス抽出法で行い、抽出液の前処理については、基本的に水試料と同じ操作法を用いて、処理場の汚泥を使って、下水汚泥中のアルキルフェノール類について、精度の高い分析法を確立することを目的に、検討を行った。

また、小台処理場には消化槽が設置されていることから、下水汚泥処理工程におけるアルキルフェノール類の挙動についても調査を行ったので、合わせて報告する。

2. 試験方法

汚泥中の環境ホルモンを精度よく分析するためには、汚泥中から目的物質をいかに効率よく抽出するかが最も重要な要素である。そこで、常に新鮮な溶媒を循環抽出することにより、抽出効率と再現性に優れていると考えられるソックス抽出法を採用し、抽出後の分析操作法は、固相抽出 乾燥 溶出 TMS化の[®]で[®]で行った。

なお、分析を行った物質は、アルキルフェノール類のうち下水中に流入する可能性が高いと考えられる、*t*-オクチルフェノールと4-ノニルフェノールである。

3. 試薬及び器具

使用した試薬と器具は以下のとおりである。

1) 試薬

- ・アルキルフェノール類標準物質 : Riedel-dehaen社製
- ・内部標準物質 : Aldrich Chem.社製
- ・BSTFA : メルク社製
- ・メタノール、ヘキサン : 脂肪酸エステル試験用

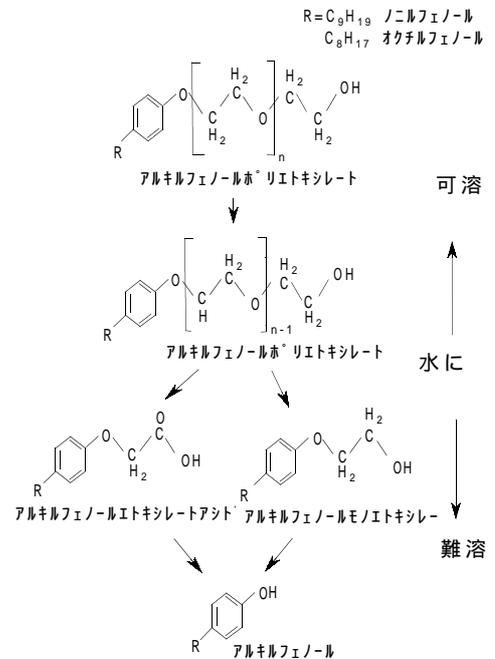


図. 1 アルキルフェノール生成過程

- ・ジクロロメタン : 残留農薬・PCB用
 - ・超純水 : 超純水製造装置（逆浸透+イオン交換）ルガノ社製 オスモリア-R0-P60
比抵抗17.0MΩ/cm以上の水を使用した。
 - ・固相抽出カートリッジ : OasisHLB Plus ウォータース社製
 - ・クリーンアップ用シリカラム : Sep-Pak Plusシリカ ウォータース社製
 - ・窒素ガス : 固相乾燥用
- 2) 器具及び装置
- ・ソックスレー抽出管 : 使用前に200℃で8時間以上焼いたもの
 - ・ソックスレー抽出用円筒ろ紙 : シリカ製円筒ろ紙、使用前に200℃で8時間以上焼いたもの
 - ・抽出用試料採取ビン : 使用前に200℃で8時間以上焼いたもの
 - ・ピペッター、メスシリンダー : SPC濃縮管：使用前に200℃で8時間以上焼いたもの
 - ・シリンジ : 内部標準物質添加用 50μlハミルトン社製
 - ・GC/MS : HP5890/HP5972
 - ・キャピラリーカラム : HP-5 Trace Analysis 0.25mm×30m×0.25μm

4. 試験操作

1) 分析操作

分析操作フローを図. 2 に示す。

汚泥試料中に含まれる物質を精度よく分析するためには、汚泥中から目的物質をいかに効率よく抽出するかが、最も重要な要素である。

汚泥中のアルキルフェノール類の抽出法については、環境庁からアセトンを用いた超音波抽出法や、(財)下水道新技術推進機構から加熱還流法が提案されている。

どちらの手法も回収率や再現性について、かなり改善がなされてきてはいるが、操作が煩雑であるなど統一された抽出法は確立されていない。

このような理由から、操作性にすぐれ、常に新鮮な溶媒を循環抽出することにより、抽出効率と再現性に優れていると考えられる、ソックスレー抽出法を採用し、以下に記載する手法で検討を行った。

汚泥については10~20ml、脱水ケーキは1~2gをソックスレー抽出用の円筒ろ紙に分取し、メタノール100mlを受け器に入れ、マントルヒーターで約80℃に加熱し、4時間抽出した。抽出後、冷却したものを溶媒洗浄を行ったシリカカートリッジを用いて、抽出液中の浮遊物質を

除去し800mlの超純水に添加した。この添加液を、コンデューシングしたオアシスで固相抽出した。

通水した固相は、窒素気流で2時間乾燥後、シリカカートリッジをオアシスに接続し、n-ヘキサンでクリーンアップ後に、ジクロロメタンで溶出した。次に、溶出液に内標準物質10mg/lを20μlと、BSTFAを0.2ml添加しTMS化を行った後に、窒素気流で1mlに濃縮した。

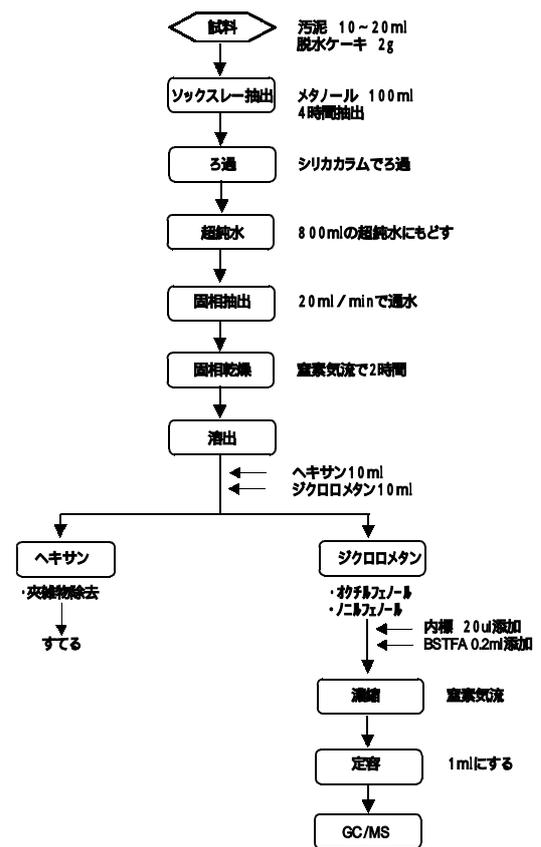


図. 2 アルキルフェノールの分析方法

2) GC/MS

ガス炉は分析用カラムにHP-5(内径0.25mm×長さ30m×膜厚0.25um)を使用した。分析はスプリット注入で行い、温度条件は注入口温度280、カラム流量1.22 l/分の一定流量モードとした。

昇温条件は50で1.5分保持した後に、50/分昇温で130まで昇温し、温度保持することなく5/分昇温で210まで昇温後、50/分昇温で290まで昇温しこの温度を8分間保持した。

質量分析部は、イオン化を電子イオン化法で行い、分析は特定のイオンだけを測定するSIM法で行った。モニターしたイオンは、*t*-オクチルフェノール、4-ニルフェノールとも、測定イオンを207、参照イオンを208とした。また、内標であるアントラセン-d10は188を測定イオンとした。

5. 結果及び考察

5.1 クロマトグラム及びモニターイオン

分析法の検討を行ったアルキルフェノール類2物質のクロマトグラムを、図.3に示す。

t-オクチルフェノールは、単ピークであるが、4-ニルフェノールについては図のような多くの異性体で構成された複合ピークであり、この異性体を構成しているフラグメントイオンの主な質量数は、 $m/z=107$ 、121、135、163、191である。

しかし、150以下の質量数については、ガス炉の昇温により、カラム内の液層部から、フリーズされる物質に同じ質量数のものがあり、感度の低下がある。

そのため、この調査では、バックグラウンドを低くすることにより、測定物質の感度を上げ、精度の高い分析をすることを目的に、BSTFAによるTMS化を行なった。

アルキルフェノール類をTMS化した場合、フェノール水酸基中の水素原子がトリメチルシリル基に置き換わることから質量数が72増加し、測定質量数は、*t*-オクチルフェノールと4-ニルフェノールとも、 $m/z=207$ となる。

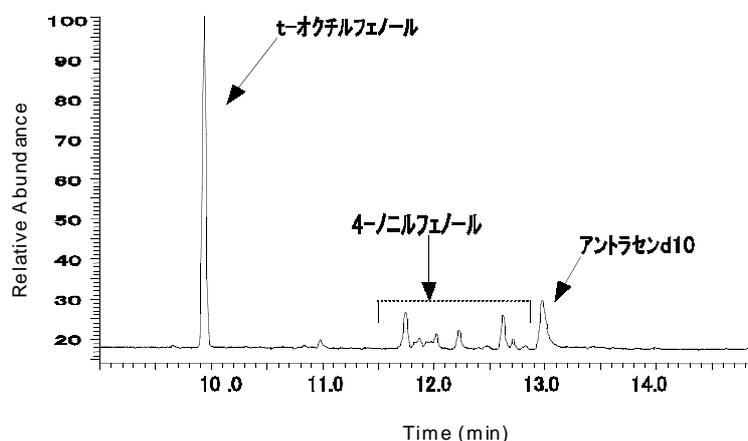


図.3 アルキルフェノール類のクロマトグラム(TIC)

5.2 定量方法

GC/MSによる定量方法は、ある時間からある時間までに検出されたすべてのピークの面積値を積分する方法と、最も強度の強いピークを選択して積分する方法がある。環境水のような試料では、標準物質と試料のクロマトグラムのピークパターンに差異がないことから、どちらの積分方法で定量を行っても同様の定量値が得られる。

しかし、図.4と5に示すように、下水汚泥のような夾雑物(有機物)を多量に含んだ試料の場合は、ピークパターンが標準物質のピークパターンと異なる場合があり、図.5のクロマトグラムについて、各ピークごとに検量線を作成して定量を行った結果、定量値がすべて違う結果になった。

原因は、すべてのピークが何らかの影響を受けているためにこのような結果になったと考えられる。また、すべてのピーク的面積値から作成した検量線で定量すると、各ピークごとの検量線で求めた定量値の、ほぼ平均値の濃度が得られることがわかった。

以上のことから、下水汚泥中のアルキルフェノール類のうち、4-ニルフェノールの定量方法は、単ピークによる積分方法よりも、異性体すべてのピーク的面積値で定量した方が、より真値と思われる定量値が得られることから、この方法で定量を行った。

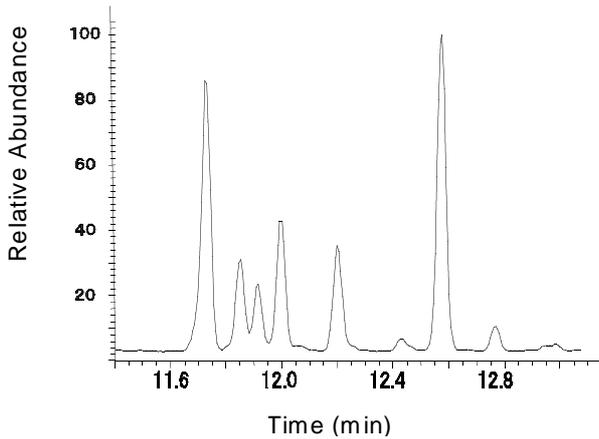


図 . 4 標準物質の 4 - ニトロフェノールのクロマトグラム

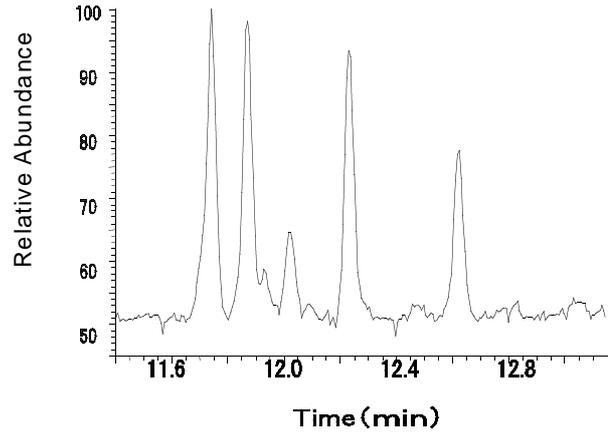


図 . 5 下水汚泥の 4 - ニトロフェノールのクロマトグラム

5.3 検量線

2 物質の検量線を、図 . 6、7 に示す。

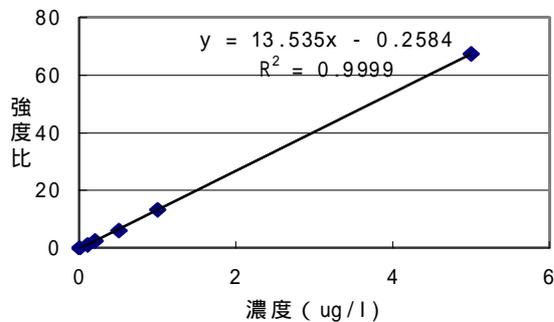


図 . 6 t-オクチルフェノール検量線

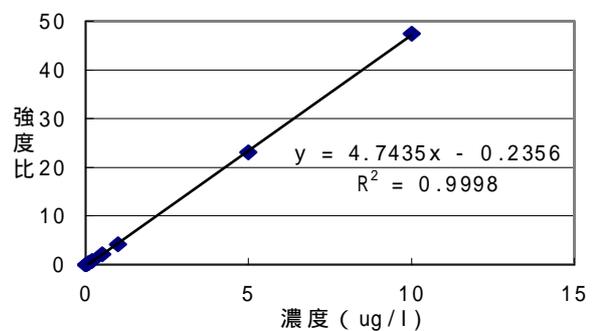


図 . 7 4-ニトロフェノール検量線

検量線は、アルキルフェノール類の標準液をGC/MSで直打ち（標準液の濃度を0.1、0.2、0.5、1.0、5.0、10.0 $\mu\text{g}/\ell$ に調製したものに、内標準物質とBSTFAを添加し、窒素気流で1mlに濃縮したもの。）して、作成したものである。

相関係数は、t-オクチルフェノールが $R^2=0.9999$ 、4-ニトロフェノールが $R^2=0.9998$ と、ともに良好な直線性が得られた。

5.4 操作ブランク

環境中の分析は、環境中や使用器具から測定目的物質が混入し、正確な分析値が得られないことがあることから、汚泥の代わりに超純水20mlを使って、図.2の分析操作を行ない、本手法の操作ブランクがどの程度か調査した。結果を表.1に示す。

操作ブランクは、4-ニトロフェノールは検出されたが、t-オクチルフェノールは不検出であった。

また、検出された4-ニトロフェノールの操作ブランク0.300 $\mu\text{g}/\ell$ は、汚泥中に含まれている4-ニトロフェノールの濃度にはるかに低いことから、分析値にほとんど影響

しない濃度であり、変動係数も5.0%以下であったことから、分析値への影響もほぼ一定していると考えられる。

表 . 1 操作ブランク値 (n=5)

	t-オクチルフェノール	4-ニトロフェノール
濃度 ($\mu\text{g}/\ell$)	ND	0.300
変動係数 (%)	----	3.06

5.5 検出下限値及び定量下限値

本手法の検出下限値と定量下限値を求めるため、超純水1ℓに標準液を添加し、2物質の濃度が1.0～5.0μg/ℓになるように添加し、図.2の分析操作を行った。

結果を表.2に示す。

下水道における環境モニタリング調査・分析マニュアルでは、検量線の作成に使用する定量下限値付近の標準溶液と、操作ブランク確認用試料溶液の2種類についてそれぞれ5回以上分析を行い、水中濃度に換算した時の標準偏差を算出し、両者の標準偏差のうち大きい方の3倍を検出下限値、10倍を定量下限値とすると記載されている。

これに当てはめると、2物質の検出下限値及び定量下限値は、t-オクチルフェノールが検出下限値0.276μg/ℓ、定量下限値0.919μg/ℓ、4-ニルフェノールが検出下限値0.260μg/ℓ、定量下限値0.865μg/ℓであり、環境庁が定めている目標検出下限値5ug/lと目標定量下限値15μg/ℓをともに大きく下回っており、本手法は、下水汚泥中のアルキルフェノール類の定量法として、有効な手法であることがわかった。また、標準液濃度1.0μg/ℓの変動係数はすべて10%を下回っており、再現性も高い分析法であることがわかった。

表.2 本手法における検出下限値及び定量下限値

	標準液	濃度 μg/ℓ	標準偏差	検出下限 3	定量下限 10	変動係数 n=5
t-オクチル フェノール	BI	0.000	0.000	0.000	0.000	
	1.0	0.966	0.092	0.276	0.919	9.51
	2.0	2.010	0.175	0.526	1.754	8.72
	5.0	4.976	0.215	0.644	2.145	4.31
4-ニルフェ ノール	BI	0.086	0.018	0.053	0.177	20.60
	1.0	0.920	0.086	0.260	0.865	9.40
	2.0	1.878	0.191	0.574	1.913	10.18
	5.0	4.866	0.241	0.722	2.407	4.95

標準液：μg/ℓ

5.6 ソックスレ抽出法の回収率評価

水試料の場合は、試料にある既知濃度の標準物質を添加して測定した結果から、標準液を添加しない試料の濃度を差し引いて、回収率として評価する。

しかし、下水汚泥のような試料では、汚泥中に含まれる目的物質の濃度が水試料に比べ高濃度であることから、汚泥に添加する標準液の濃度も、さらに高濃度の標準液を添加しなければならないために、汚泥中に含まれていた濃度が、添加した標準液の濃度の中に埋没して、正確な濃度を定量することが難しいと考えられることから、次の方法でソックスレ抽出法の回収率の評価を行った。

結果を表.3に示す。

ソックスレ抽出を行う汚泥量を段階的(0.5～2.5g)に変えて抽出を行ない、汚泥量と強度比から求めた直線性の傾きと相関係数から、ソックスレ抽出法の回収率として評価した。

結果を図.8と9に示す。

表.3 抽出汚泥量別の強度比 (n=3)

汚泥量 (g)	t-オクチルフェノール		4-ニルフェノール	
	強度比	変動(%)	強度比	変動(%)
0.5	1.67	13.4	12.58	11.1
1.0	3.49	5.3	18.89	11.2
1.5	4.29	38.7	30.97	4.0
2.0	6.45	0.7	40.13	4.3
2.5	8.67	7.5	57.08	17.9

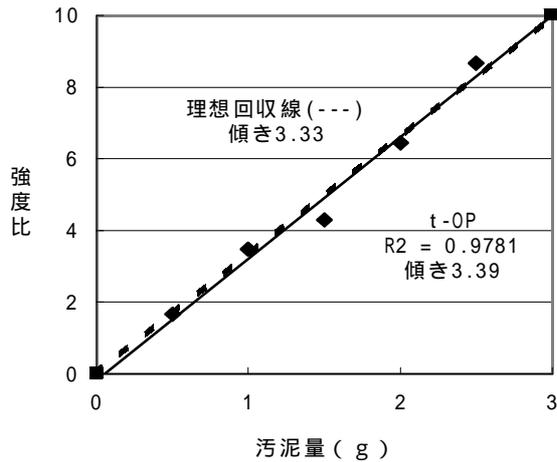


図. 8 t-オクチルフェノールの回収率

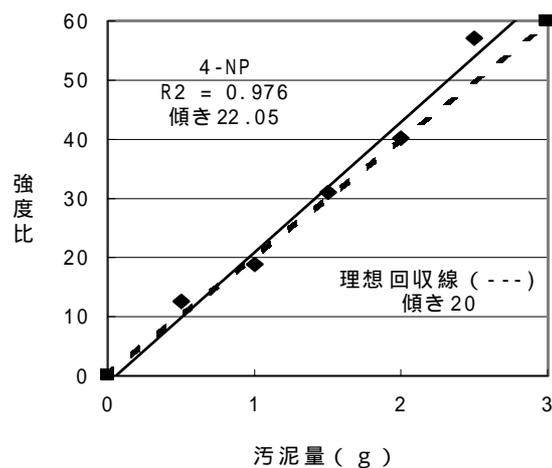


図. 9 4-ニルフェノールの回収率

抽出を行った汚泥量とその時の強度比から求めた直線の相関係数は、 $R^2=0.9781$ と 0.976 と高い直線性があり、直線の傾きは、t-オクチルフェノール、4-ニルフェノールとも45度の破線上付近に強度比がプロットされたことから、本手法の汚泥中のアルキルフェノール類の回収率は、安定した回収ができることが分かった。

5.7 ソックス抽出法と他法との抽出効率の比較

ソックス抽出法、アセトンを用いた超音波抽出法、加熱還流法の3法について、小台処理場の脱水ケーキ1gを使ってそれぞれの抽出を行い、抽出後の前処理はすべて図.2の操作で測定を行った。結果を表.4に示す。

表. 4 ソックス抽出法と他法との抽出効率の比較 (n=3)

	ソックス抽出法		還流法		超音波抽出法	
	濃度 ($\mu\text{g}/\ell$)	変動 (%)	濃度 ($\mu\text{g}/\ell$)	変動 (%)	濃度 ($\mu\text{g}/\ell$)	変動 (%)
t-オクチルフェノール	521.2	1.0	389.2	4.1	451.3	1.9
4-ニルフェノール	6118	1.6	7293	3.0	4878	13.6

超音波抽出法のばらつきは、15%以下と良好であったが、濃度は2物質とも2法に比べると低い濃度であった。

還流法は、4-ニルフェノールについては、ばらつきも小さく良好な抽出結果が得られたが、t-オクチルフェノールは2法よりも低い濃度であった。

ソックス抽出法については、ばらつきがすべて10%以下であり、濃度についてもおおむね良好な分析値が得られることがわかった。

以上のことから、ソックス法は、他の2法と比較すると抽出効率と再現性に優れた抽出法であることが確認できた。

5.8 ソックスの抽出時間の検討

一般的にソックス抽出法の抽出時間は10時間程度と言われているが、これは油脂類のような粘性のある試料の場合の時間である。今回抽出実験を行ったアルキルフェノール類は、粘性もなく、容易にメノール等の有機溶媒に抽出されることから、抽出時間がどれだけ短縮できるか検討を行った。

脱水ケーキ1gについて、ソックスの抽出時間を変えて、図.2の操作を行った。

結果を表.5に示す。

9月7日に4時間から16時間で測定を行った結果、4時間抽出の時に一番高い濃度が得られたことから、9月25日に1時間から4時間の抽出実験を行った。

表.5 抽出時間の違いによるアルキフェノール類の測定結果

その結果、t-オクチルフェノールと4-ニルフェノールとも、3時間から4時間でほとんど抽出出来ることがわかった。

以上の結果から、ソックスレー法を用いた、汚泥中のアルキフェノール類の抽出時間は、4時間で十分可能であることがわかった。

		t-オクチルフェノール		4-ニルフェノール	
		濃度 μg/ℓ	変動 (%)	濃度 μg/ℓ	変動 (%)
9/7	4 H	423.8	1.9	6017	1.1
	8 H	388.8	7.1	5632	10.0
	12 H	347.6	1.9	4422	5.7
	16 H	366.9	2.2	5398	1.3
9/25	1 H	490.8	7.3	6315	7.0
	2 H	496.5	3.5	6089	6.6
	3 H	515.2	1.6	6825	1.7
	4 H	516.3	2.3	6059	2.6

(n=3)

6. 非イオン界面活性剤の分析方法

非イオン界面活性剤は嫌気分解されることにより、アルキフェノール類に変化するといわれているものはオクチルフェノールホリトキシレートとニルフェノールホリトキシレートである。

これらの物質を定量するためには、HPLC(蛍光検出器)かLC/MSを使用しなければ分析は難しい。しかし、これらの分析機器を所有していないことから、この調査では非イオン界面活性剤の総量(アルキフェノールホリトキシレート以外の非イオン界面活性剤も発色)を定量する分析方法として、JISK0102工場排水試験方法に記載されている、チオアノコバルト法で分析を行った。

1) 試薬

- ・ベンゼン : 残留農薬・PCB用
- ・チオアノコバルト酸アンモニウム : 特級和光純薬製
- ・硝酸コバルト(Ⅱ)六水和物 : 特級和光純

2) 装置

- ・分光光度計 : UV-2400PC 島津製
- ・振とう器 : 伊キKMシエカー

3) 分析操作

分析操作方法を図.10に示す。

非イオン界面活性剤は、水溶液中で解離する官能基を有しないことから中性の界面活性剤である。この分析法はアルキフェノール類の元物質であるアルキフェノールホリトキシレートの他に、エチルアルキエーテル類、アルキエステル類も発色することから非イオン界面活性剤の総量が測定される。

試料を(汚泥は50ml、脱水ケーキは10g)メタノール100mlで2時間加熱還流した抽出液を、ろ過と濃縮操作を行い、水で全量を100mlに調製し、200mlの分液ロートに移す。

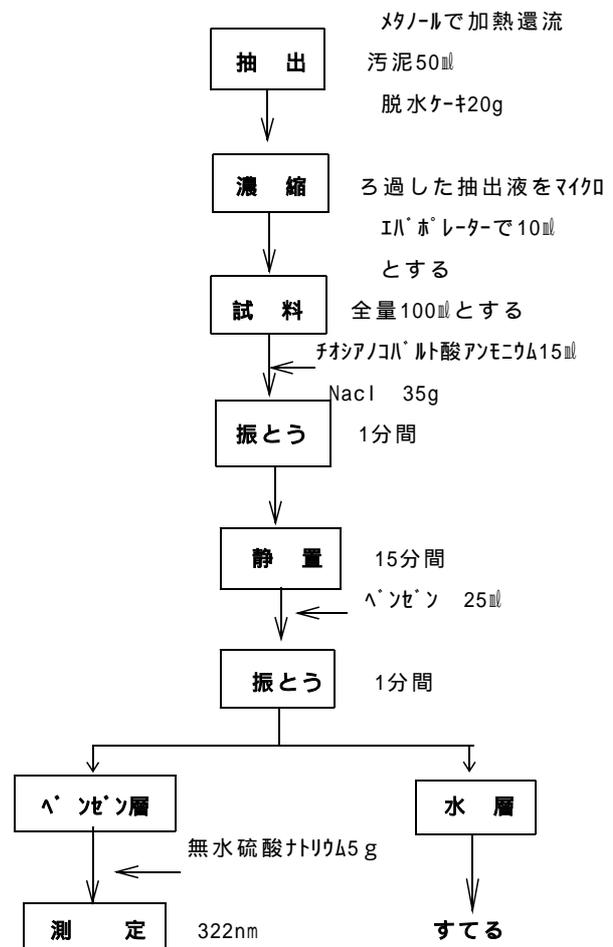


図.10 非イオン界面活性剤の分析操作方法

これにナトリウムドデシル硫酸アンモニウム15gと塩化ナトリウム35gを加え、1分間振とうし15分間静置する。静置後、ベンゼン25mlを添加し1分間振とうする。ベンゼンが分離するまで静置し水層部分を捨て、ベンゼン層を無水硫酸ナトリウム5gで脱水し、ベンゼン層を分光光度計(波長322nm)で測定する。

4) 検量線

検量線を図.11に示す。

非イオン界面活性剤標準液(0.1mg/l)をそれぞれの濃度が1.0、3.0、5.0、10.0、20.0mg/lになるように調整し、図.3の前処理操作を行い、分光光度計で測定した。

その結果、非イオン界面活性剤の検量線の相関係数は、 $R^2=0.9965$ と良好な直線性が得られた。

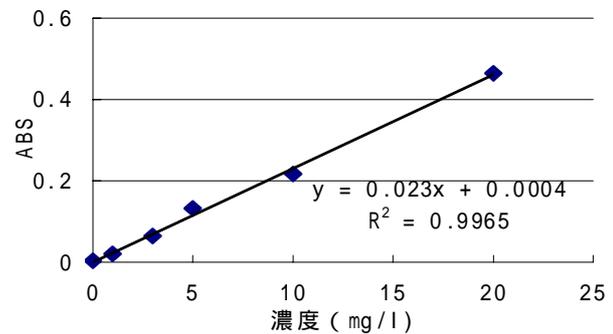


図.11 非イオン界面活性剤の検量線

5) 定量範囲

本手法における非イオン界面活性剤の定量範囲は、0.2mg~2mgである。

7. 汚泥の分析結果

この調査は、環境中に存在する物質の中でも界面活性剤という身近な物質が分解され、生成されている非イオン界面活性剤と、*t*-オクチルフェノールおよび4-ノニルフェノールの関係を明らかにするとともに、下水汚泥処理工程におけるこれらの物質の詳細な挙動を把握することを目的に、調査を行ったものである。

7.1 分析対象

小台処理場の汚泥処理工程を図.12に示す。

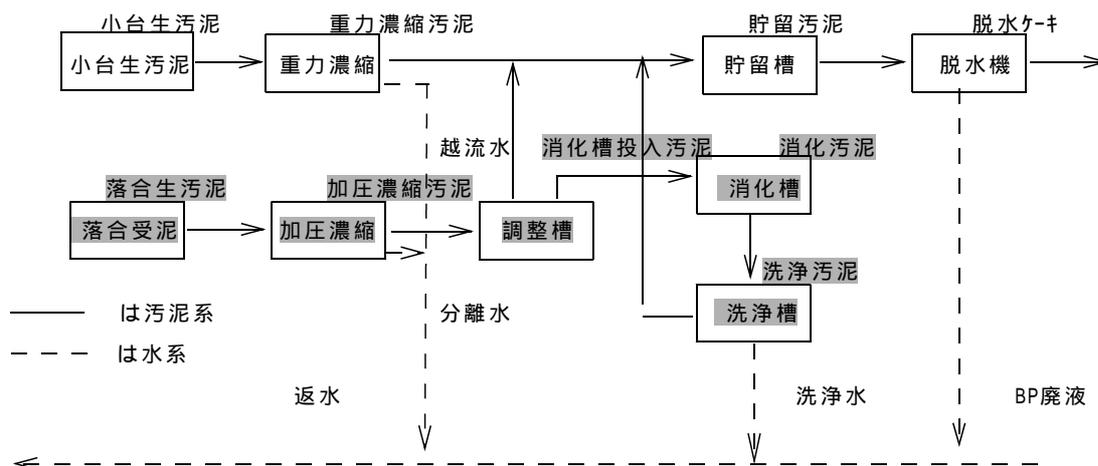


図.12 小台処理場汚泥処理工程

分析を行った汚泥は、小台処理場汚泥処理工程の全工程を対象とした。具体的には、小台処理場生活污水(初沈引き抜き汚泥)、東系重力濃縮汚泥、落合生活污水(落合受泥)、加圧濃縮汚泥、消化槽投入汚泥、消化汚泥、洗浄汚泥、貯留汚泥、脱水ケーキの9種類と、

水系では 重力濃縮越流水、加圧浮上分離水、洗浄水、BP廃液、返水の5種類の計14試料である。

分析項目は、アルキルフェノール類のうち下水で検出される可能性が高いt-オクチルフェノール、4-ニルフェノール2物質と非イオン界面活性剤である。

試料は、平成13年2月6日(火)にスポットで採取した。

なお、落合の生污泥処理を行っている、網掛けをした消化污泥処理系統について主に検討を行った。

7.2 アルキルフェノール類の分析結果

アルキルフェノール類の分析結果を表.6と7に示す。

表.6 污泥処理工程別のt-オクチルフェノールの濃度

	小台 生污泥	重力 濃縮污泥	落合 生污泥	加圧 濃縮污泥	消化槽 投入污泥	貯留污泥	消化污泥
濃度(μg/l)	2.6	6.9	2.1	5.9	6.5	19.5	56.2
	洗浄污泥	脱水 ケーキ	重力濃縮 越流水	加圧濃縮 分離水	洗浄排液	BP排液	総合返水
濃度(μg/l)	75.0	157	0.7	0.6	1.4	0.8	1.1

脱水ケーキは μg/Kg

表.7 污泥処理工程別の4-ニルフェノールの濃度

	小台 生污泥	重力 濃縮污泥	落合 生污泥	加圧 濃縮污泥	消化槽 投入污泥	貯留污泥	消化污泥
濃度(μg/l)	16.4	61.5	18.5	50.5	52.1	265	940
	洗浄污泥	脱水 ケーキ	重力濃縮 越流水	加圧濃縮 分離水	洗浄排液	BP排液	総合返水
濃度(μg/l)	1145	1917	5.6	3.6	31.5	4.7	14.3

脱水ケーキは μg/Kg

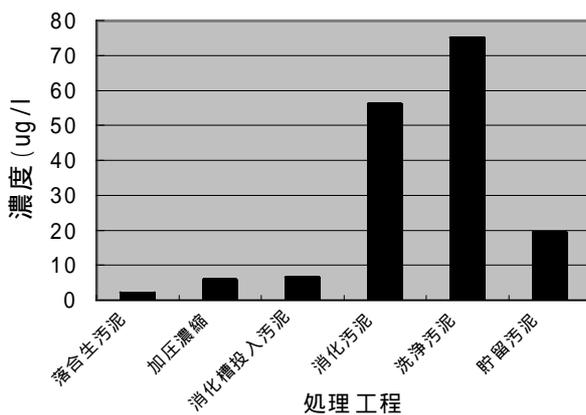


図.13 t-オクチルフェノールの濃度変化

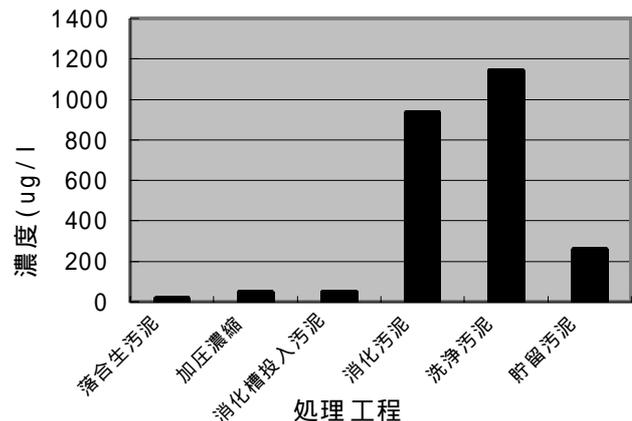


図.14 4-ニルフェノールの濃度変化

図.12に示した、消化污泥処理系統(落合受泥 加圧濃縮槽 調整槽 消化槽 洗浄槽 貯留槽)別の、t-オクチルフェノールと4-ニルフェノールの挙動は、図.13と14に示したとおり、濃度の違いはあるが、2物質とも加圧濃縮槽や調整槽では濃度変化は見られないが、消化槽において嫌気分解され、消化污泥中の濃度は投入污泥と比較すると、t-オクチルフェノール、4-ニルフェノールとも増加した。

しかし、その後は、重力濃縮污泥と混合され2物質とも濃度が低下した。

7.3 非イオン界面活性剤の分析結果

非イオン界面活性剤の結果を表.8に示す。

表.8 汚泥処理工程内における非イオン界面活性剤の濃度

	小台 生汚泥	重力 濃縮汚泥	落合 生汚泥	加圧 濃縮汚泥	消化槽 投入汚泥	貯留汚泥	消化汚泥
濃度(mg/l)	101	942	146	504	535	594	102
	洗浄汚泥	脱水 ケーキ	重力濃縮 越流水	加圧濃縮 分離水	洗浄廃液	BP廃液	総合返水
濃度(mg/l)	251	3285	7.3	4.2	310	1.4	3.5

脱水ケーキはmg/Kg

消化汚泥処理系統における、非イオン界面活性剤の挙動を図.15に示す。

非イオン界面活性剤は、加圧濃縮槽で5倍程度に濃縮されるが、消化槽で嫌気分解されることにより、投入汚泥中の濃度と比較すると80%程度減少した。しかし、貯留槽で重力濃縮汚泥と混合された後は、投入汚泥と同じ濃度まで戻ることがわかった。

これは、図.13、14のt-オクチルフェノールと4-ニルフェノールの濃度と比較すると、正反対の挙動をしていることが明らかになった。

t-オクチルフェノール、4-ニルフェノール、非イオン界面活性剤3物質の消化汚泥処理系統別の濃度変化については、図.16(界面活性剤は1/1000濃度である。)に示したとおり、消化槽でアルキルフェノール類が増加するのは反対に、非イオン界面活性剤は減少した。

これは、非イオン界面活性剤中のアルキルフェノール^ホリトキシレートが分解され、アルキルフェノール類に変化したためと考えられる。

また、アルキルフェノール類の元物質である、オクチルフェノール^ホリトキシレートとニルフェノール^ホリトキシレートの割合を、t-オクチルフェノールと4-ニルフェノールの増加割合(1:9)と3物質の挙動結果から推測すると、下水中に流入している90%はニルフェノール^ホリトキシレートと推測される。

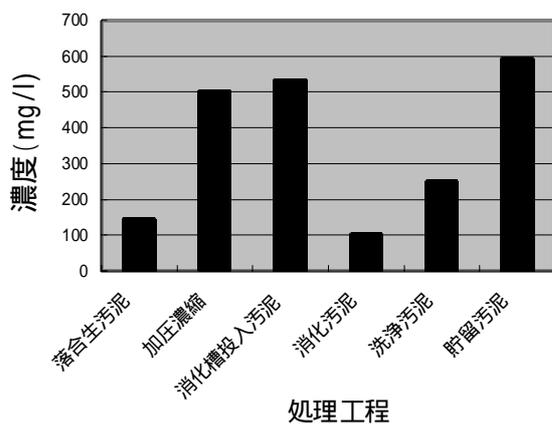


図.15 非イオン界面活性剤の濃度

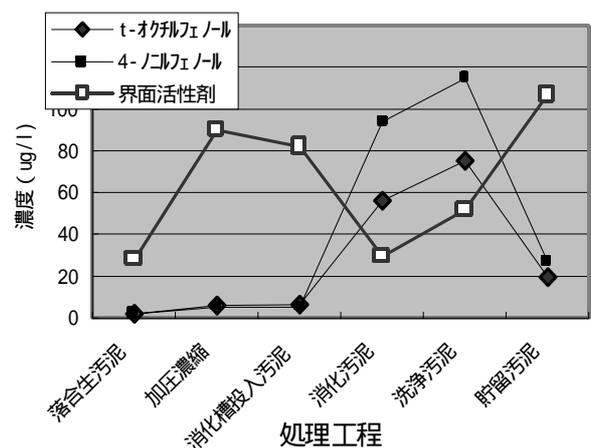


図.16 アルキルフェノール類と非イオン界面活性剤の濃度変動

8. 汚泥処理工程における物質収支

汚泥処理工程別のt-オクチルフェノールと4-ニルフェノールの物質収支を、汚泥処理水量と表6と7の濃度から調査した。なお、汚泥処理水量は平成13年2月の月平均値(表.9に示した。)である。結果を図.17、18に示す。

表. 9 平成13年2月の小台処理場の汚泥処理水量

	小台 生汚泥	重力 濃縮汚泥	落合 生汚泥	加圧 濃縮汚泥	消化槽 投入汚泥	貯留汚泥	消化汚泥
(m ³ /日)	12,530	1,580	7,260	1,820	1,020	3,860	1,020
	洗浄汚泥	脱水 ケーキ	重力濃縮 越流水	加圧濃縮 分離水	洗浄排水	BP排水	総合返水
(m ³ /日)	630	324	9,730	6,510	5,980	1,540	40,760

図. 17、18の汚泥処理工程別における、アルキルフェノール類の物質収支図から本分析法の分析精度について評価を行った。

その理由は、処理された汚泥はすべて貯留槽に投入されることから、分析から求めた汚泥貯留槽の入口の固形物量の合計値と、出口の固形物量の差が小さければ、本手法が汚泥試料中のアルキルフェノール類の分析法として精度の高い分析ができたと言えるからである。

その結果、t-オクチルフェノールは、計算値63.4g(重力濃縮汚泥10.9g+貯留汚泥投入汚泥5.2g+洗浄汚泥47.3g)に対して、実測値は75.3g(BP投入汚泥)であった。

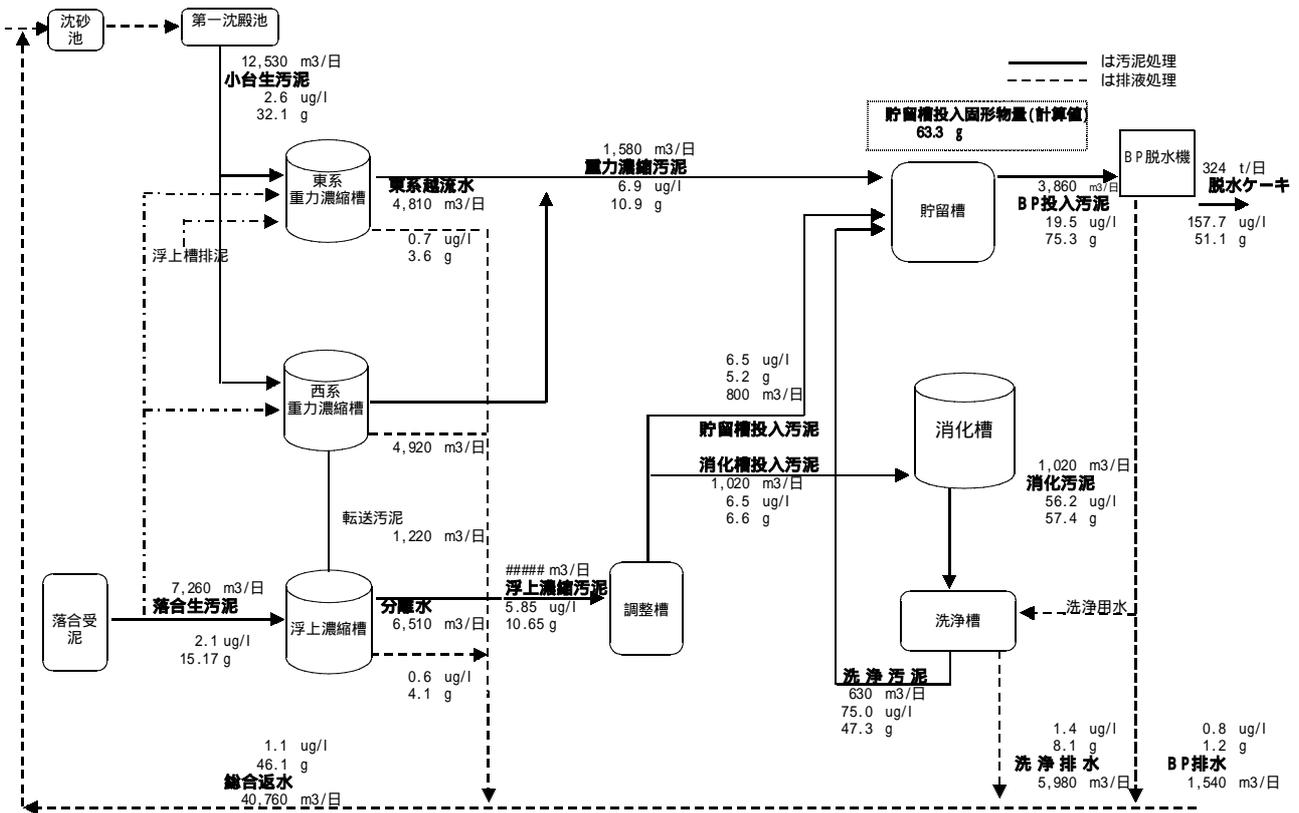


図. 17 小台処理場汚泥処理工程内におけるオクチルフェノールの物質収支図

4-ニルフェノールは、計算値860.4g(重力濃縮汚泥97.1g+貯留汚泥投入汚泥41.7g+洗浄汚泥721g)に対して、実測値は1021g(BP投入汚泥)で、2物質とも汚泥の採取方法がスポットであるに

にもかかわらず、信頼性の高い物質収支が得られた。

以上の結果から、本手法はアルキルフェノール類の分析法として精度と再現性に優れた分析法であることが分かった。

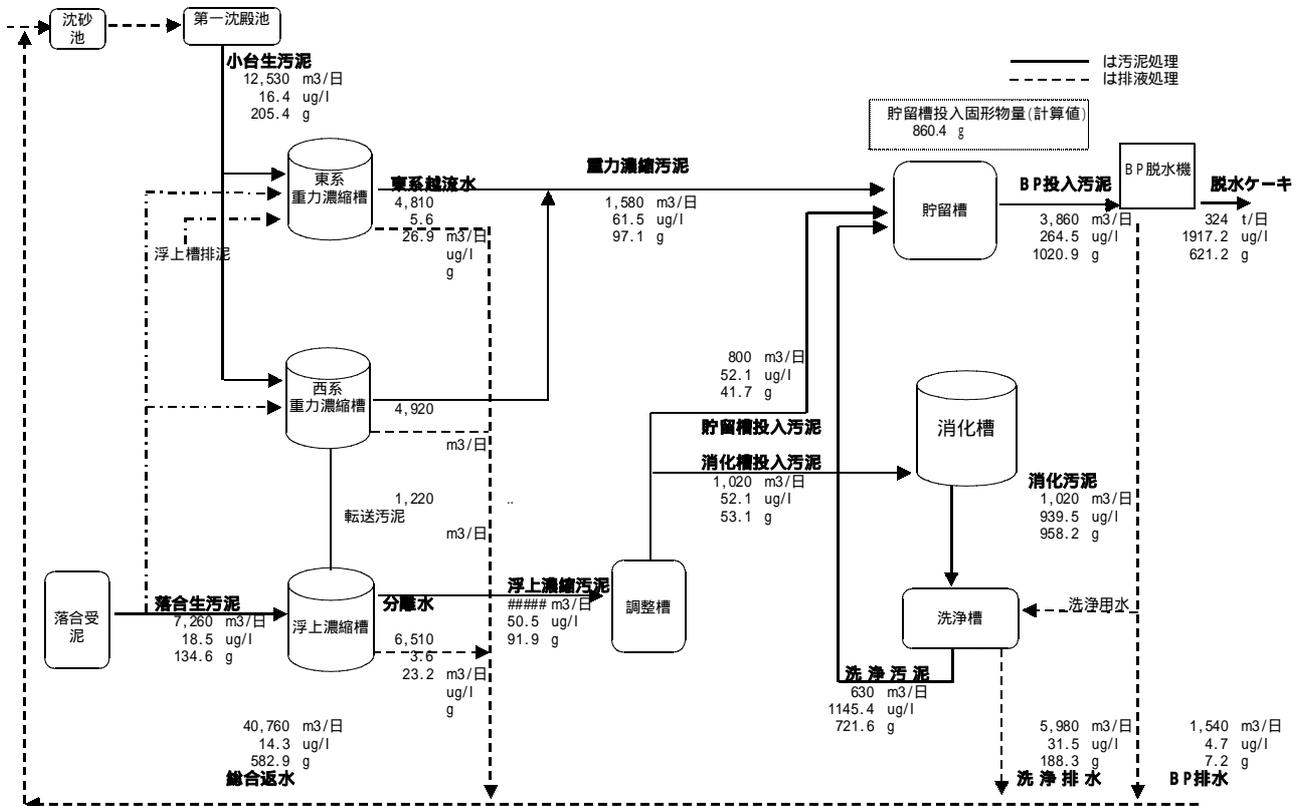


図 18 小台処理場汚泥処理工程内におけるノニルフェノールの物質収支図

9. まとめ

外因性内分泌攪乱化学物質の可能性を指摘されたt-オクチルフェノール、4-ニルフェノールの2物質について、汚泥試料における分析方法の検討ならびに、汚泥処理工程内における挙動について調査した結果、以下のことがわかった。

- 1) 本手法における操作プランクでは、t-オクチルフェノールは検出されなかった。また、4-ニルフェノールは検出されたものの $0.300 \mu\text{g}/\ell$ 、変動係数3.06%であり、分析値にほとんど影響しない濃度であった。
- 2) 本手法の検出下限値と定量下限値については、環境庁の目標検出下限値 $5.0 \mu\text{g}/\ell$ 、目標定量下限値 $15 \mu\text{g}/\ell$ をとともに下回る数値が得られた。
- 3) 汚泥中からのアルキルフェノール類の抽出効率について、ソックスレ抽出法・還流法・超音波抽出法の3法で比較した結果、ソックスレ抽出法は抽出効率と再現性に優れた方法であることがわかった。
- 4) ソックスレ抽出法の回収率を、抽出する汚泥量と強度比から求めた直線性とその傾きで評価した結果、t-オクチルフェノール、4-ニルフェノールとも良好な回収がされていることがわかった。

5) 下水汚泥中からのアルキルフェノール類の抽出時間について検討した結果、4時間で十分抽出できることがわかった。

6) 下水汚泥処理工程におけるアルキルフェノール類の挙動については、*t*-オクチルフェノール、4-ニルフェノールとも良好な物質収支が得られた。

7) アルキルフェノールの元物質といわれているアルキルフェノール^oリトキレートは、消化槽における*t*-オクチルフェノールと4-ニルフェノールの増加量から推測すると、90%がニルフェノール^oリトキレートと考えられる。

8) 汚泥処理工程別にアルキルフェノール類の挙動は濃縮処理ではほとんど変化はないが、消化槽で嫌気分解されることにより、*t*-オクチルフェノールは6.49 μg/ℓが56.24 μg/ℓに、4-ニルフェノールは52.09 μg/ℓが939 μg/ℓと増加することがわかった。

9) 汚泥処理工程内で増加したアルキルフェノール類は、BP排水中の濃度から推測すると、オクチルフェノール・ニルフェノールとも、ほぼ100%が脱水ケーキとして汚泥処理工程から系外に排出され、全量焼却処分されている。

10) 下水に流入しているオクチルフェノール^oリトキレートとニルフェノール^oリトキレートについては、現在製造メーカー等で使用を自主規制していると言われていたが、今回の結果から推測するに限り、現在も使用されている可能性がかなり高いと推測される。

以上のことから、下水汚泥中の*t*-オクチルフェノールと4-ニルフェノール分析に本手法を用いて分析することになり、精度と再現性の高い定量が可能な方法であることがわかった。

なお、今後の課題としては、アルキルフェノール類の元物質である非イオン系界面活性剤中のアルキルフェノール^oリトキレートの分析法を早急に確立し、汚泥処理工程内における、元物質の詳細な挙動について明らかにすることが重要であると考えられる。

参考文献

下水道における内分泌攪乱化学物質調査マニュアル（下水道新技術推進機構）

大目次

目次

要旨

- 6 下水中のフタル酸エステル類の分析法の検討

施設管理部 施設管理課

島田 誠一

清水 康之

知久 達也

1. はじめに

外因性内分泌攪乱化学物質(環境ホルモン)に指定されたフタル酸エステル類について、平成11年7月から下水道における分析方法の検討を進めてきたところである。

下水中のフタル酸エステル類に関する分析方法については、平成11年3月(財)下水道新技術推進機構から環境庁の分析手法をもとに、より下水試料に適した測定方法が提案された。

しかし、提案された手法では、多くの試料を前処理することが難しいと考えられたことから、より多くの試料を前処理することが可能な分析法を確立することを目的に、検討を行った。

なお、検討を行った物質はフタル酸ジフェニル(以下DEP)、フタル酸ジブチル(以下DBP)、フタル酸ブチルベンジル(以下BBP)、フタル酸ジフェニルヘキシル(以下DEHP)と、アジピン酸ジフェニルヘキシル(以下DOA)を含めた5物質について検討を行った。

2. 環境ホルモン物質(フタル酸エステル類)について

そして、現在環境庁から「内分泌攪乱作用を有すると疑われる化学物質」として67種類がリストアップされ、フタル酸エステル類(アジピン酸を含め)は8種類である。これらフタル酸エステル類の主な用途は、プラスチックの可塑剤、塗料の添加剤、塩ビの可塑剤、接着剤、ゴムの軟化剤等に主に使用されており、それぞれの物質の主な生産量はDEP:700t/1994年度、DBP:17,033t/1994年度、BBP:3,000t/1994年度、DEHP:291,551t/1994年度、DOA:25,406t/1986年度となっている。

また、これらの化学物質に対する基準値については現在も設定されていない。

3. 試薬および器具

1) 試薬

フタル酸混合標準液	: Dr.Ehrenstorfer社製
内部標準液(フルオレン-d10)	: Aldrich chem.社製
ヘキサン、メタノール	: フタル酸エステル試験用
使用水	: 天然水(エビアン)
高純度窒素	: 試料濃縮用
塩化ナトリウム	: 電気炉で600℃で6時間以上焼いたものを、200℃の乾燥器に保管

2) 器具および装置

抽出器具	: ガラス製透明すりあわせ250ml分液ロートを使用直前まで200℃の乾燥器に入れたもの
バイアルビン	: HP製2ml、使用前にマッフル炉(400℃)で焼き、使用直前まで200℃の乾燥器に入れたもの

バイアルキャップ : テフロンディスクを2枚重ねで使用。使用直前まで200 の乾燥器
 に8時間以上入れたもの
 GC / MS : HP 5 8 9 0 / HP 5 9 7 2
 キャピラリカラム : HP - 5 Trace Analysis 0.25mm × 30m × 0.25 μ m

4 . 試験操作

試験操作方法を図 . 1 に示す。

なお、この手法と環境庁から提案された手法の大きな違いは、以下のとおりである。

	提案法	変更法
抽出器具	メスフラスコ	分液ロート
抽出時間	20分間 (10分 × 2)	15分間の2点である。

(1) 分析操作

フタル酸エステル類の試験方法は、n - ヘキサンを用いた溶媒抽出法である。

そのため、試料中に含まれている物質を100%抽出することが難しく、夾雑物を多く含んだ流入下水では、回収率が大きく低下することが考えられることから、標準液の調整についても、抽出操作を行った。

操作方法は、抽出に使用する分液ロートを乾燥機から取り出し放冷後に、溶媒洗浄(n - ヘキサン20ml程度を用いて15分振とう)を行った。これに、ブランク水または試料200 ml を入れ、フタル酸混合標準液を、それぞれの濃度が0.1~5.0 μ g / l になるように添加し、塩化ナトリウム50gと n - ヘキサン20mlを添加し、振とう器 (350SPM) で15分間抽出する。抽出後、水層部分をすて、ヘキサン層を遠心分離器 (3000rpm5分間) で分離後、ヘキサンを10mlを分取

した。これを、窒素気流で1mlに濃縮したものを、溶媒でコンデ`イ`ジョン`を行ったフロリジルカラムを用いて分画を行う。分画を行ったアセトニトリル飽和ヘキサンに内標準物質10mg / l を10 μ l を添

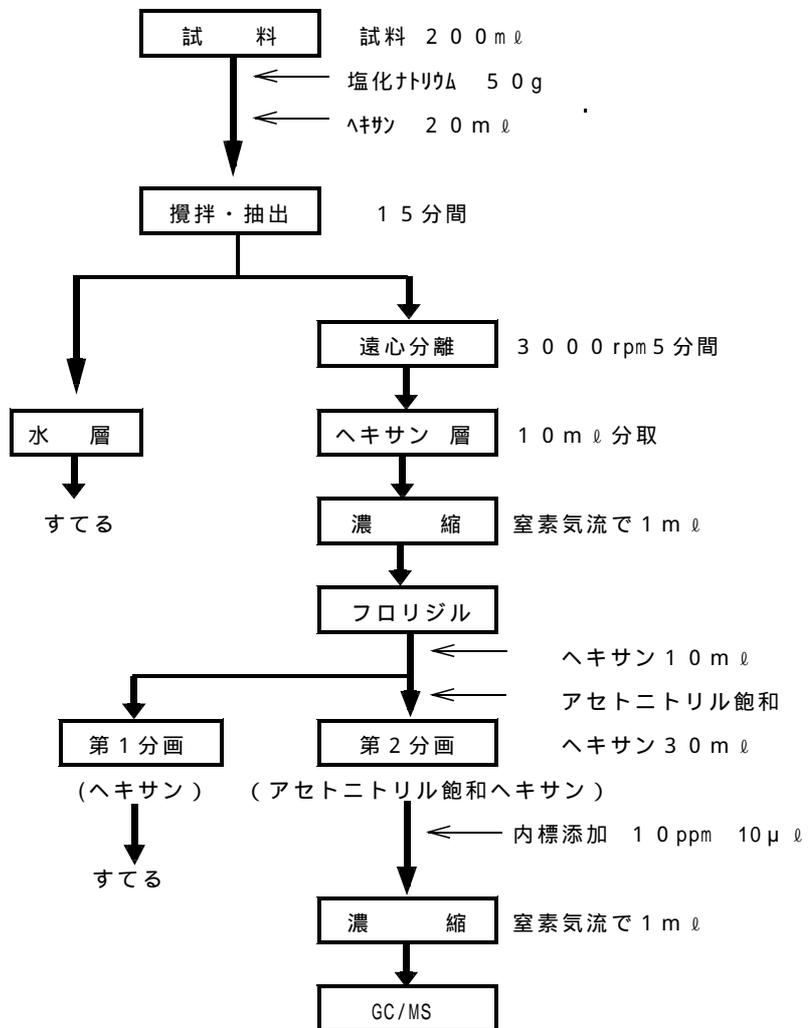


図 . 1 フタル酸エステル類の分析操作

加し、窒素気流で1mlに濃縮したものを、GC/MSで測定を行った。

(2) GC/MS測定条件

GCの昇温条件は、初期温度を100で1分保持した後に、20/分昇温で220まで昇温し、温度保持することなく、2/分昇温で240まで昇温後、40/分昇温で280まで昇温し、この温度を5分間保持した。

注入口温度は、260、注入方法はスプリットレス法で2μl注入した。

MSの測定条件は、イオン化はEI法(電子イオン化法)、イオン化電圧は70eVとし、測定はSIMモードで行った。

フタル酸エステル類5物質の測定質量数(m/z)は、フタル酸エステル類が149、アジピン酸は129とした。また、確認質量数(m/z)はDEP 177、DBP 223、BBP 206、DEHP 167、DOA 112とした。

内標準物質(m/z)についてはフルオランテン-d10 212を測定質量数とした。フタル酸エステル類のクロマトグラム(TIC)を図.2に示す。

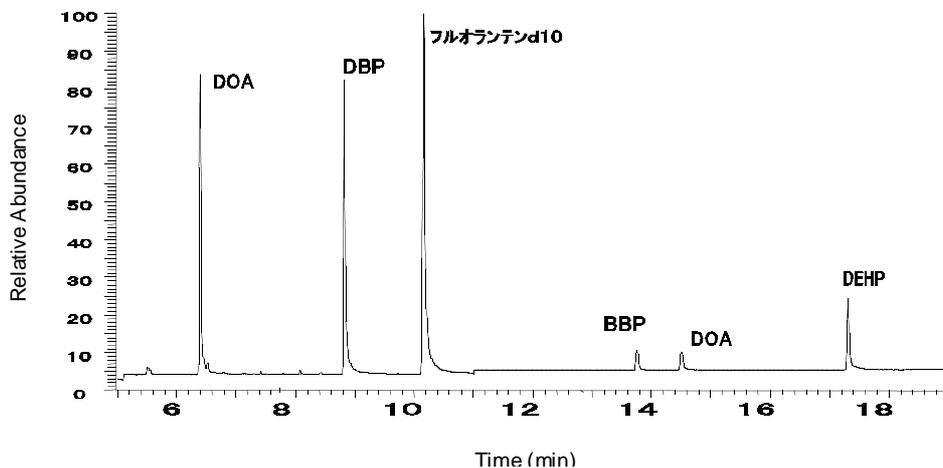


図.2 フタル酸エステル類のクロマトグラム(TIC)

5. 検討結果及び考察

5.1 ブランク水調査

フタル酸エステル類は、環境中やブランク水中に混入している可能性が高く、精度の高い測定を行うためには、ブランク値を可能な限り低くすることが重要である。

そこで、ブランク値に最も影響すると考えられる、ブランク水の調査を行った。調査に使用したブランク水は、水道水、蒸留水、超純水、天然水の4種類である。試験操作については、図.1のフタル酸エステル類の分析操作を行い、定量は抽出を行った標準液で作成した検量線から求めた。結果を表.1に示す。

調査の結果、ブランクが低いと思われた蒸留水と超純水から、高い濃度のDEHPが検出された。

特に蒸留水では水道水の約1250倍の200μg/lが検出された。

表.1 ブランク水中のフタル酸エステル類測定結果 n=3

試料名	DEP	DBP	BBP	DOA	DEHP
水道水	0.085	0.173	0.000	0.000	0.160
蒸留水	0.190	0.108	0.000	0.000	200
超純水	0.114	0.068	0.000	0.000	0.806
天然水	0.082	0.083	0.000	0.000	0.192

濃度：μg/l

また、超純水からも、水道水や天然水の約4～5倍にあたる $0.806\mu\text{g}/\ell$ が検出された。この原因としては、蒸留装置内の配管や接続部分（ガラスの接続部品やパッキン等）に使用されている樹脂等からの溶出によるものと考えられる。また、その他の物質についてすべてのブランク水からほとんど検出されなかった。

この調査の結果から、フタル酸エステル類のブランク水及び器具の洗浄用に用いる水については、これまで使用していた超純水よりも天然水か水道水を使用した方が、ブランク値への影響を小さくできることがわかった。

5.2 汚染調査

フタル酸エステル類は、実験室内の環境からの汚染が高いと言われている。そこで、実験室内においてどの程度汚染があるか、以下の条件で調査を行った。

水の汚染を調査するために実験室内に、1ℓのビーカーにブランク水（天然水）を入れ、開放状態で放置。

器具の汚染を調査するために、攪拌・抽出に使用している分液ロートを実験室内に一週間放置した場合と、200の乾燥器中に1週間保管。

結果を表.2、表.3に示す。

水・器具とも実験室内に放置すると、DEP、DBP、DEHP3物質の汚染が確認され、放置日数が長いほど汚染の程度も大きいことがわかった。

また、汚染の状態は、水ではDEPとDBPが汚染し、器具ではDEHPの汚染が大きいことが確認された。

特に水では、DEPとDBPは実験開始前と比較すると、7日目には約7～9倍に増加した。

今回の実験で特に注目する点は、200の乾燥器中に保管した器具と試験室内に7日間放置した器具の濃度を比較すると、DEHPについては、実験室・乾燥器とも濃度に差がなかったことである。

この原因としては、フタル酸エステル類に使用する器具は、窒素置換

された300～400の電気炉で4時間以上加熱を行い、冷却についても窒素置換した状態で使用直前まで保管する方法が良いと言われているが、器具の加熱温度が200までしかあげられないため、DEHPの沸点に達していないに加え、放冷（200から室温）も実験室内に放置して行っていることから、環境中に存在するこれらの物質が、冷却の時には器具への吸着度が高くなるためと考えられる。

そこで、実験室内に1週間放置した器具について、n-ヘキサンを用いて溶媒洗浄を行ったものを行わないものについて、図.1の操作を行ない比較実験を行った。

表.2 水の汚染実験結果 n=3

	DEP	DBP	BBP	DEHP	DOA
0日	0.080	0.087	0.000	0.094	0.000
3日後	0.248	0.190	0.000	0.145	0.000
7日後	0.742	0.635	0.000	0.173	0.000

濃度： $\mu\text{g}/\ell$

表.3 器具の汚染実験結果（7日目） n=3

	DEP	DBP	BBP	DEHP	DOA
乾燥機	0.121	0.066	0.000	0.964	0.000
実験室	0.169	0.201	0.000	0.821	0.000

濃度： $\mu\text{g}/\ell$

表.4 溶媒洗浄効果実験結果（強度比）n=3

	DEP	DBP	BBP	DEHP	DOA
洗浄有	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00
洗浄無	0.07	0.08	0.00	0.03	0.00

結果を表．4に示す。(なお、強度比はMSのイオンクロマトグラムにおける測定物質の面積値/内標準物質の面積値で、濃度に比例する。)

その結果、溶媒洗浄をすることにより、3物質の汚染は大きく減少することがわかった。特に、DEPとDBPには4物質洗浄をすることで、1/4～1/5程度低下した。

以上の結果から、当係では使用するガラス器具を200の乾燥器内に保管する方法から、使用時に超音波洗浄とヘキサン洗浄を行ない、攪拌・抽出する方法に変更した。

5.3 振とう時間調査

分液ロートを用いた本手法が、十分な抽出が得られているか、以下の実験を行った。

分液ロートに超純水200mlと流入水200mlを分取し、フタル酸エステル類のそれぞれの濃度が10μg/lになるように標準液を添加し、塩化ナトリウム50gとn-ヘキサン20mlを加え、振とう時間を5分、10分、15分間で抽出を行った試料について、図．1の分析操作を行った。

結果を表．5に示す。

表．5 抽出時間調査結果(強度比)

実験の結果、超純水では5分、10分、15分ともほとんど差が見られなかった。しかし、流入水にフタル酸エステル類の標準液を5物質とも5.0μg/l添加し、同様に抽出操作を行った結果、流入水では、抽出時間は15分抽出したときの強度比が最大であったことから、抽出時間は15分間とした。

	時間	DEP	DBP	BBP	DEHP	DOA
超純水	5分	21.5	27.7	3.8	6.1	2.9
	10分	21.7	27.7	3.8	5.9	2.8
	15分	21.6	27.8	3.9	6.3	2.9
流入水	5分	2.12	5.98	0.91	2.52	0.32
	10分	2.16	6.22	0.93	4.73	0.52
	15分	2.19	6.54	0.89	4.88	0.54

6. 分析精度

6.1 操作ブランク

環境ホルモン物質の測定は、操作過程および環境中からの汚染を減らし、検出下限値と定量下限値をいかに低くできるかが重要である。

そこで、ブランク水(天然水)を用いて図．1の操作を行った。結果を表．6に示す。

検討を行ったフタル酸エステル類4物質と、アジピン酸を含めた5物質の操作ブランクは、DEHPの0.151を除いてすべて0.1μg/l以下であり、変動も20%前後とおおむね良好な結果が得られた。

表．6 操作ブランク値測定結果

	濃度平均 μg/l	変動 n=5
DEP	0.061	18.4
DBP	0.055	22.7
BBP	0.000	-
DOA	0.000	-
DEHP	0.151	16.8

6.2 検出下限値および定量下限値

本試験法における検出下限値および定量下限値を求めるために、ブランク水(天然水)200mlにフタル酸エステル類の各物質の濃度が、0.1～1.0μg/lになるように添加し、図．1の操作を行なった。結果を表．7に示す。

下水道における分析マニュアルには、適当な濃度の標準液とブランクを複数回測定した

時の標準偏差のうち、大きい方の3倍を検出下限値、10倍を定量下限値として記述されている。これにあてはめると、本手法の検出下限値および定量下限値濃度は以下のとおりであった。

DEPは 検出下限値 0.038 $\mu\text{g}/\ell$ 、定量下限値 0.128 $\mu\text{g}/\ell$ 、DBPは0.061 $\mu\text{g}/\ell$ 、0.203 $\mu\text{g}/\ell$ 、BBPは0.015 $\mu\text{g}/\ell$ 、0.049 $\mu\text{g}/\ell$ 、DEHPは0.128 $\mu\text{g}/\ell$ 、0.425 $\mu\text{g}/\ell$ と4物質については、目標検出下限値及び目標定量下限値を十分満たす結果が得られた。

しかし、DOAについては、検出下限値0.040 $\mu\text{g}/\ell$ 、定量下限値0.132 $\mu\text{g}/\ell$ と、目標検出下限値及び目標定量下限値を満たすことができなかった。

これは、環境庁から提案されたDOAの分析法は1000倍濃縮と記載されている。しかし、DOAについても、フタル酸エステル類と同時に、100倍濃縮による一括分析を行っているためである。

しかし、下水中の濃度及び夾雑物等を考慮すると、今回100倍濃縮で得られた検出下限値0.040 $\mu\text{g}/\ell$ 、定量下限値0.132 $\mu\text{g}/\ell$ で測定を行っても、ほとんど問題はないと考えられることから、当面はこの濃縮倍率でDOAについては測定を行う予定である。

なお、DOAの目標検出下限値及び目標定量下限値は、今後、注入方法の変更等により検討を行なう予定である。

表 . 7 検出下限値及び定量下限値結果

n=5

	目標検出下限値	標準濃度 $\mu\text{g}/\ell$	濃度 $\mu\text{g}/\ell$	標準偏差	検出下限値	定量下限値	変動 係数 %
	目標定量下限値				3	10	
DEP	0.2 $\mu\text{g}/\ell$	0.0	0.063	0.013	0.038	0.128	20.2
	0.6 $\mu\text{g}/\ell$	0.1	0.108	0.010	0.031	0.105	9.8
DBP	0.2 $\mu\text{g}/\ell$	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0
	0.6 $\mu\text{g}/\ell$	0.1	0.155	0.020	0.061	0.203	13.2
BBP	0.2 $\mu\text{g}/\ell$	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0
	0.6 $\mu\text{g}/\ell$	0.1	0.077	0.005	0.015	0.049	6.4
DOA	0.01 $\mu\text{g}/\ell$	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0
	0.03 $\mu\text{g}/\ell$	0.1	0.087	0.013	0.040	0.132	15.1
DEHP	0.2 $\mu\text{g}/\ell$	0.0	0.151	0.042	0.125	0.417	16.8
	0.6 $\mu\text{g}/\ell$	0.1	0.326	0.043	0.128	0.425	13.1

6.3 検量線

ブランク水（天然水）200 ml に、フタル酸エステル類のそれぞれの濃度が、0.1、0.2、0.5、1.0、5.0、10 $\mu\text{g}/\ell$ になるように標準液を添加し、図 . 1 の操作行ない、フタル酸エステル類の検量線を作成した。

測定結果を表 . 8 に、検量

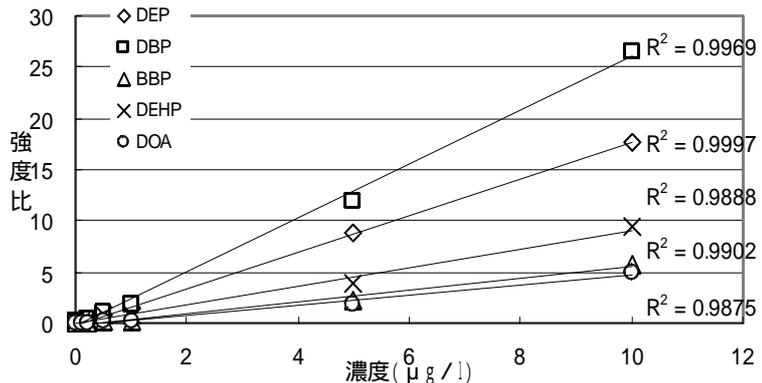
表 . 8 抽出標準液測定結果（強度比） n=5

濃度	DEP	DBP	BBP	DOA	DEHP
0.0	0.05	0.10	0.00	0.00	0.20
0.1	0.12	0.30	0.02	0.02	0.27
0.2	0.30	0.47	0.07	0.05	0.37
0.5	0.76	1.04	0.15	0.13	0.75
1.0	1.46	1.85	0.30	0.21	0.91
5.0	8.74	11.9	2.28	1.89	3.84
10	17.7	26.6	5.7	4.90	9.50

線を図．3に示す。

その結果、5物質の相関係数は、 $R^2=0.9875 \sim 0.9997$ と高い直線性が得られた。

なお、検量線の作成にあたっては、 $0.0 \mu\text{g}/\ell$ の強度比を各濃度の強度比から、引いて作成した。



図．3 フタル酸エステル類の検量線

6.4 添加回収実験

結果を表．9に示す。

ブランク水（天然水）と放流水に、フタル酸エステル類の混合標準液を添加濃度が $1.0 \mu\text{g}/\ell$ になるように添加したものと、無添加のものについて図．1の分析操作を行ない、それぞれのブランクを差し引いた濃度を、各添加濃度で除したものである。

実験の結果、ブランク水の回収率89.8～105%、変動係数

1.9～12.0%と良好な結果が得られた。また、放流水についても、回収率88.6～108%、変動係数6.7～15.6%と良好な結果が得られた。

表．9 添加回収実験結果

n=5

	ブランク水		放流水	
	回収率 (%)	変動係数 (%)	回収率 (%)	変動係数 (%)
DEP	89.8	1.9	88.6	6.7
DBP	96.6	5.1	102	9.4
BBP	98.7	2.6	92.9	10.0
DOA	93.7	3.2	96.2	9.6
DEHP	105	12.0	108	15.6

6.5 クリーンアップ調査

流入水では夾雑物等の影響による着色があり、分析装置および分析値への影響が考えられることから、フロリジルを使ったクリーンアップについて調査した。

結果を表．10に示す。

流入水についてクリーンアップを行って測定した結果、落合、中野処理場とも、クリーンアップを行うことにより、50%～80%程度、クリーンアップを行っていない定量値よりも低くなることがわかった。

表．10 クリーンアップ調査結果

	クリーンアップ	DEP	DBP	BBP	DOA	DEHP
落 合	無	1.65	3.24	0.50	0.48	25.1
	有	0.24	0.74	0.14	0.23	5.28
中 野	無	1.65	2.05	0.69	0.29	20.1
	有	0.23	0.55	0.14	0.13	3.46

濃度： $\mu\text{g}/\ell$

この結果から、特に、抽出液の着色が大きい流入水については、分析値への影響が大きいことが分かったことから、分析装置への汚染を小さくするためにもクリーンアップは必要であることが分かった。

7. 下水中のフタル酸エステル類の測定結果

処理場のフタル酸エステル類の測定結果を表. 11及び12に示す。

表. 11 流入水中のフタル酸エステル類の測定結果 n=4

試料名	採水日	DEP		DBP		BBP		DOA		DEHP	
		濃度 μg/ℓ	変動 %								
小台	00/05/23	1.52	7.6	4.01	4.4	0.66	1.5	0.62	6.7	42.7	3.9
中川	00/06/01	1.48	3.9	3.89	2.1	0.89	0.6	1.00	1.9	41.6	2.2
落合	00/08/01	1.65	2.2	3.24	6.1	0.50	3.6	0.48	9.5	25.1	6.2

表. 12 放流水中のフタル酸エステル類の測定結果 n=4

試料名	採水日	DEP		DBP		BBP		DOA		DEHP	
		濃度 μg/ℓ	変動 %								
小台	00/05/23	0.07	8.8	0.63	14.9	0.00	0.0	0.00	0.0	0.30	12.8
中川	00/06/01	0.12	1.2	0.12	7.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.52	7.9
落合	00/08/01	0.00	0.0	0.31	1.6	0.00	0.0	0.00	0.0	0.01	60.6

流入水の変動係数は10%を下回っており、再現性良く定量できることがわかった。また、放流水についても、中川処理場のDEHPの変動係数（検出下限値以下のため）を除くと20%以下であり、おおむね良好な結果が得られた。

3処理場の流入水・放流水中のフタル酸エステル類の濃度は、処理場間で大きな違いは見られなかった。

フタル酸エステル類の下水処理における除去率は、3処理場とも高い除去率であることが分かった。原因は、これらの物質は疎水性が高いことから、活性汚泥に吸着され水処理系から汚泥処理系に排出されていると考えられる。

8. まとめ

外因性内分泌攪乱物質として環境庁からリストアップされた、フタル酸エステル類4物質とアジピン酸を含めた5物質について、下水における定量法を確立することを目的に検討を行った結果、以下のことがわかった。

1) 超純水と蒸留水は高い濃度のDEHPが含まれていたが、天然水と水道水にはフタル酸エステル類は、ほとんど含まれていないことがわかった。

また、ガラス器具の保管方法については、200 ℓの乾燥器と実験室内に放置しても、DBP以外の物質を除くとほとんど差がないことがわかった。

2) 攪拌・抽出時間は、流入水の抽出効率調査の結果から抽出時間は15分間とした。

3) 検出下限値及び定量下限値は、環境庁が定めた目標検出下限値0.2ug/lおよび目標定量下限値0.6ug/lに対して、両目標値を十分満たしており、変動係数もすべて20%以下であった。

なお、DOAについては、環境庁が定めた目標検出下限値0.01ug/lと目標定量下限値0.03ug/lに対して、0.040ug/l、0.132ug/lであった。これは、環境庁から提案されたDOAの濃縮倍率が1000倍濃縮と記載されているが、DOAについてもフタル酸エステル類と同様の100倍濃縮を行っているためであり、DOAの検出下限値等については今後、大量注入等での検討を行う予定である。

4) 検量線については、5物質の相関係数は $r^2 = 0.9875 \sim 0.9997$ と良好な直線性が得られた。

5) 添加回収率は、ブランク水は89.8~105%、放流水88.6~108%と良好な結果が得られた。

6) クリーアップについては、抽出液の着色が大きい流入水では分析結果への影響が確認された(測定値が最大80%程度減少)ことから、特に、流入水の抽出液のクリーンアップは必要であることが分かった。

7) 下水処理場におけるフタル酸エステル類の除去率は、これらの物質は疎水性が高いことから、活性汚泥に吸着され汚泥処理系に排出されることにより、高い除去率であることが分かった。

以上のことから、この分析方法を用いて下水中のフタル酸エステル類を測定することにより、精度と再現性の高い定量が可能であることがわかった。

大目次

目次

要旨

- 7 好気槽における脱窒に関する調査 (浅川処理場と小菅処理場の共同調査)

流域下水道本部 北多摩二号処理場

星加 昭代、新井 義人、尾又 広喜

勅使川原 秀和、中東 寛和

東部第二管理事務所 小菅処理場

高須 弘、山本 孝幸、天野 博史

千明 聡、高橋 好子、森田 健史

1. はじめに

下水処理場において、閉鎖性水域における富栄養化の原因物質である窒素、リンの除去に関し、特にリンでは除去のメカニズムの解明、窒素では除去の実態の正確な把握が現状の重要な課題であると考えられる。

このうちの、窒素除去に関し、生物学的窒素除去法では、余剰汚泥（汚泥転換分）として除去されるものに加え、脱窒作用により窒素ガスとして除去されるものがあるが、後者の脱窒作用による窒素除去の実態については十分明らかにされていない。

通常、水処理工程（生物反応槽、第二沈殿池）における脱窒については、無酸素槽（含、嫌気槽）や制限曝気槽における脱窒が評価の対象となっているが、活性汚泥まわりの嫌気化が進行し、脱窒反応がおきる場所として、上記の場所以外にも第二沈殿池、返送汚泥管、余剰汚泥貯留槽等が考えられる。

更に、好気槽においても場所的、時間的に嫌気状態が存在し、脱窒反応がおきている可能性があると考えられるが、なかでも、好気槽における脱窒現象に関しては、上述のように曝気槽内が局部的に嫌気状態となり脱窒がおきるという解釈以外にも、活性汚泥フロック内で局部的な嫌気状態が生じ脱窒がおきる好気条件下で脱窒を行う菌が存在する等の解釈が提唱されている。¹⁾

しかしながら、このような好気槽における脱窒に関しては、詳細な調査は実施されていない。そこで、好気槽における脱窒量の把握を目的として、二処理場（浅川、小菅）による共同調査を実施した。

2. 結果のまとめ

1)生物反応槽流入水窒素の処理の内訳は、水温条件（浅川 18～26、小菅 17～23）に関わらず、浅川処理場では余剰汚泥（汚泥転換分）として除去されるもの：20%、脱窒により除去されるもの：30%、処理水中に残存するもの：50%となり、小菅処理場ではそれぞれ30%、40%、30%となった。なお、返送率は、浅川：30～40%、小菅：47～51%であった。

2)全脱窒量に対する各槽での脱窒の内訳は、概ね水温条件に関わらず、浅川処理場で、制限曝気槽：34～41%、好気槽：32～43%、第二沈殿池：23～28%となった。又、小菅処理場ではそれぞれ、13～23%、70%、4～17%となり、好気槽において、少なくとも制限曝気槽に匹敵する量の脱窒があることが確認された。

3)脱窒量の算出に用いられた余剰汚泥の窒素含有量について、有機分当りの窒素含有率で

みると、浅川処理場 10~11%、小菅処理場 9~10%であった。

3. 調査内容及び方法

両処理場では、脱窒による窒素除去率の向上をめざして、生物反応槽の前段部で制限曝気を行い、後段部では硝化を十分促進させるような運転を行っている。この調査では、水処理工程における窒素の収支をとることにより、各槽における脱窒量を求めた。物質の収支をとるにあたって、出来るだけ系が定常に近い状態で管理されていることが望ましいので、夏季から冬季にかけて系が安定した状態、即ち流入条件及び運転条件が出来るだけ安定している時期を選んで調査を実施した。なお、余剰汚泥貯留槽（含、余剰汚泥管）での脱窒量も算出したが、全脱窒量の1%未満であったので、脱窒量の算出から除外した。

また、参考のため、好気槽における DO 分布を調査した。

3.1 施設概要と運転状況

調査系列の施設概要を表1、運転状況を表2に示す。

表.1 施設概要

種別	形状その他		
	施設名	浅川処理場	小菅処理場西系
生物反応槽	回路数	3(A~C)	4(A~D)
	流入方式	迂回型押し出し流れ	直線型押し出し流れ
	散気方式	片側旋回流	片側旋回流
	散気装置	散気板(気孔径300 μ)	散気板(気孔径400 μ)
	散気水深(m)	4.5	4.0
	有効水深(m)	10	10
	有効容量(m ³)	7,300	37,840
第二沈殿池	有効水深(m)	3.55	3.50
	有効容量(m ³)	3,770	15,760

表.2 運転状況

	浅川処理場			小菅処理場西系		
	平 12.7.18 ~19 (1)	平 12.10. 17~18 (2)	平 13.2.15 ~16 (3)	平 12.6.7 ~8 (1)	平 13.2.20 ~21 (2)	
高級処理水量(m ³ /日)	13,040	13,270	12,810	55,830	63,190	
生物反応槽流入水温()	26	24	18	23	17	
返送汚泥率(%)	30	30	40	51	47	
送風倍率(倍)	4.3	4.3	6.3	5.7	5.9	
HRT(時間)	制限曝気槽	4.4	4.4	4.6	3.0	2.7
	好気槽	9.0	8.8	9.1	9.1	8.1
余剰汚泥量(m ³ /日)	200	200	150	1,150	1,050	
A-SRT(日)	6.0	6.0	9.5	9.5	7.5	
MLSS(mg/l)	1,170	1,120	1,850	1,510	1,730	
DO(最終回路)(mg/l)	1.5	1.5	1.9	1.7	2.7	

3.2 測定項目と測定頻度

測定項目と測定頻度を表3に示す。生物反応槽流入水や処理水等に比べ、余剰汚泥・返送汚泥の T-N 濃度は、濃度が高くかつ変動も大きいので、高い精度で測定値を得ることが難しい。

表.3 測定項目と測定頻度

試料	測定項目	測定頻度	
		浅川処理場	小菅処理場
生物反応槽流入水	T-N	1時間 毎24回	1回目:1時間 毎24回 2回目:2時間 毎12回
	NO ₃ -N、NO ₂ -N	2時間 毎12回	2時間 毎12回
制限曝気槽出口	NO ₃ -N、NO ₂ -N	2時間 毎12回	2時間 毎12回
好気槽出口	NO ₃ -N、NO ₂ -N	2時間 毎12回	2時間 毎12回
処理水	T-N、NO ₃ -N、NO ₂ -N	2時間 毎12回	2時間 毎12回
返送汚泥	T-N、SS(小菅のみ)	2時間 毎12回	1回目:2時間 毎12回 2回目:1時間 毎24回
	NO ₃ -N、NO ₂ -N	2時間 毎12回	2時間 毎12回
余剰汚泥	T-N、NO ₃ -N、NO ₂ -N、SS、VSS	4~5回	返送汚泥の値で代用 VSSは直近の値で代用

そこで各処理場の特性も考慮し、それぞれ以下のように工夫して試料の採取及び T-N 濃度の測定を行った。

浅川処理場

現場に設置されている返送汚泥濃度計では、約 5 分毎に濃度の高低が生じていた。5 分毎に濃度の高低が生じる原因については、第二沈殿池のクロスコレクタのフライトでかきよせられた活性汚泥が、返送汚泥ピットに落下する時間間隔によるものと考えられた。フライト取付ピッチは 152cm、かきよせ速度は 30cm/分なので、活性汚泥がフライトから返送汚泥ピットに落下する時間間隔を計算すると約 5 分となり、推測と一致した。

以上のことから、余剰汚泥試料については、スポット試料ではなく、余剰汚泥引抜き時間中の混合試料（定量ポンプにより 60ml/分程度で約 1 時間分を連続採取したもの）とした。この混合試料を 20 倍希釈し、スターラー攪拌下で試料採取を行い、混合液の T-N 濃度（3 検体平均値）を求めた。また、混合試料中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度については、6mg/l 程度なので T-N 濃度からの差引きは行わなかった。

小菅処理場

小菅処理場では、余剰汚泥を適宜採取することは困難であったため、返送汚泥の値で代用した。返送汚泥については、分単位での T-N 濃度、SS の変動は見られなかった。しかし時間的なオーダーで見ると、T-N 濃度の変動が大きく、収支計算に大きく影響する可能性があることが分かった。そこで 2 回目の調査では、採取間隔を 2 時間から 1 時間に増やして調査を行った。なお、試料は 10 倍希釈したものを測定した。

3.3 脱窒量の計算方法

図 1 の水処理工程における窒素処理のフローから、はじめに生物反応槽流入水、処理水、余剰汚泥（汚泥転換分）の各窒素量を計算し、流入窒素量から余剰汚泥として除去されるものと処理水中に残存するものを差し引いて系全体での脱窒量を求めた。次に制限曝気槽、第二沈殿池、での脱窒量を求め、系全体の脱窒量からそれらの値を差し引いて好気槽での脱窒量とした。

その算出式を表 4 に示す。

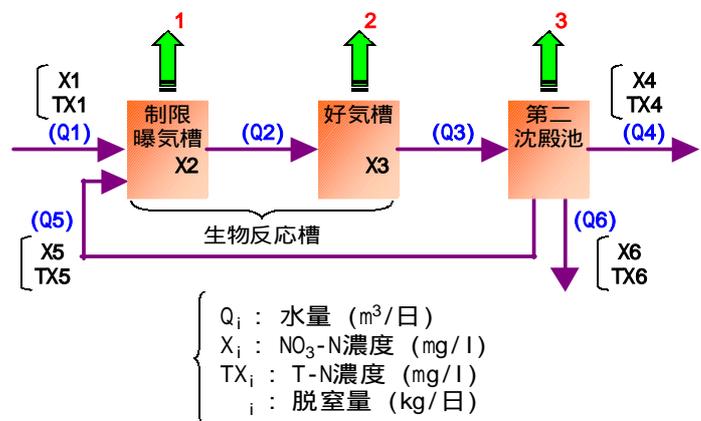


図 1 水処理工程での窒素処理のフロー

表 4 脱窒量の算出式

場所	脱窒量
制限曝気槽(含、返送汚泥管)	$i_1 = Q_1 \cdot X_1 + Q_5 \cdot X_5 - Q_2 \cdot X_2$
第二沈殿池	$i_3 = Q_3 \cdot X_3 - Q_4 \cdot X_4 - Q_5 \cdot X_5 - Q_6 \cdot X_6$
好気槽	$i_2 = Q_1 \cdot TX_1 - \{ Q_4 \cdot TX_4 + Q_6 \cdot TX_6 \} - (i_1 + i_3)$
制限曝気槽での理論脱窒量	$i_{th} = (\text{曝気槽流入水N-汚泥転換分N}) \cdot R / (1+R)$ R: 返送率

i : 脱窒量(kg/日) , Q_i : 水量(m^3 /日) , X_i : $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度(mg/l) , TX_i : T-N 濃度(mg/l)

3.4 DO分布の測定

好気槽（浅川：B回路、小菅：C回路）の出口部分で、DO計を用いて旋回流の上向流側と下向流側各部の深さ方向のDO分布を調査した。測定には2～3分の安定時間を取り、数値が安定した時点でDO値を読み取った。

4. 結果及び考察

< 浅川処理場 >

窒素濃度の経時変化を図2～7、窒素の収支を表5、水処理工程の試料採取個所における窒素濃度、及び水量（汚泥量）、負荷量の経時変化を表6～11に示す。

生物反応槽流入水のT-N濃度については、冬期に高くなっているものの、図2～7の窒素濃度の経時変化のパターンは、水温条件に関わらず同じようであった。

表5の窒素の収支結果から、生物反応槽流入水窒素の処理の内訳をみると、冬期は好気槽における脱窒の割合が少なくなるのではという予想に反し、水温条件に関わらず、その割合はほぼ同じで、余剰汚泥（汚泥転換分）として除去されるもの：20%、脱窒により除去されるもの：30%、処理水中に残存するもの：50%であった。

次に、脱窒の内訳としては、制限曝気槽での脱窒が全脱窒量の34～41%、好気槽では32～43、第二沈殿池では23～28%であった。余剰汚泥として除去されるものを除いた正味の全脱窒量（1+2+3）は、一般的に脱窒の評価の対象となっている制限曝気槽での理論脱窒量に比べ20～50%大きい値であった。

3回の調査における窒素の収支の内訳については、ほぼ同様の結果が得られたことから、良好な精度で調査が出来たと考えられる。

従って、当場の運転条件（概ね完全硝化達成、返送率30～40%）のもとでは、好気槽においても、制限曝気槽における脱窒量にほぼ匹敵する量の脱窒が起きていると考えられる。

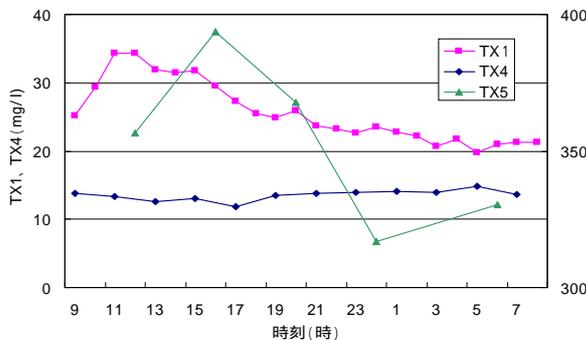


図. 2 T-Nの経時変化(浅川1回目7月)

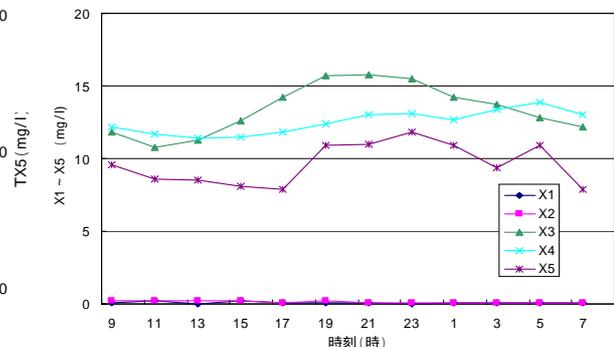


図. 3 NO₃-Nの経時変化(浅川1回目7月)

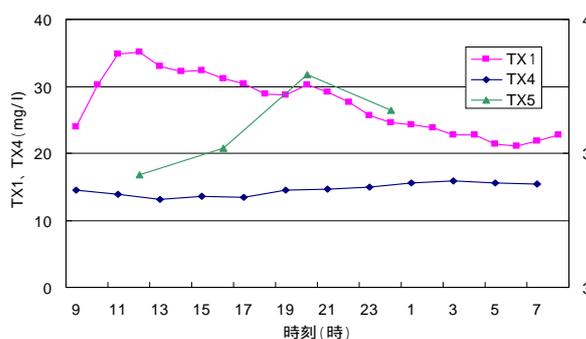


図. 4 T-Nの経時変化(浅川2回目10月)

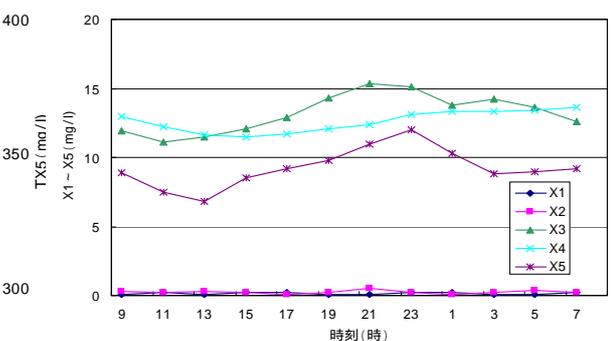


図. 5 NO₃-Nの経時変化(浅川2回目10月)

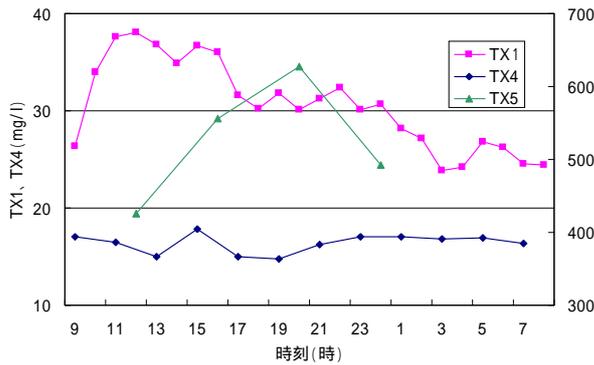


図 . 6 T-N の経時変化 (浅川 3 回目 2 月)

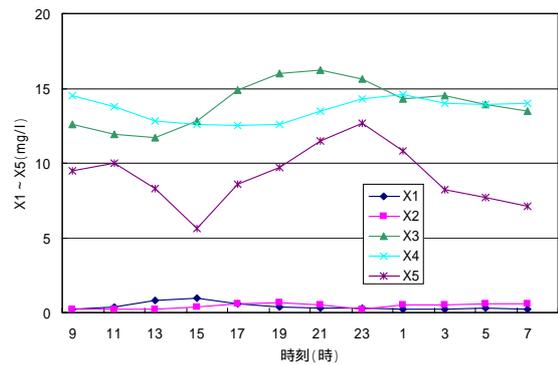


図 . 7 NO₃-N の経時変化 (浅川 3 回目 2 月)

表 . 5 窒素の収支

月日		浅川処理場						小菅処理場(西系)			
		平12.7/18~19		平12.10/17~18		平13.2/15~16		平12.6/6~7		平13.2/20~21	
水温 ()		26		24		18		23		17	
項目		N量 (kg/日)	構成比 (%)	N量 (kg/日)	構成比 (%)	N量 (kg/日)	構成比 (%)	N量 (kg/日)	構成比 (%)	N量 (kg/日)	構成比 (%)
負荷量	TW1: 生物反応槽流入水	337	100	366	100	399	100	1,032	100	1,421	100
	TW4: 処理水	174	52	190	52	208	52	290	28	465	33
	TW6: 余剰汚泥	72	21	73	20	80	20	290	28	388	27
脱窒量	1: 制限曝気槽	37	11(40)	35	10(34)	46	11(41)	107	10(24)	78	5(13)
	2: 好気槽	30	9(32)	44	12(43)	37	9(33)	327	32(72)	396	28(70)
	3: 第二沈殿池	25	8(28)	24	6(23)	29	7(25)	19	2(4)	94	7(17)
	1+ 2+ 3	92	27	103	28	111	28	453	44	568	40
	th: 制限曝気槽での理論脱窒量	61	18	68	18	91	23	353	34	454	32
(1+ 2+ 3) / th		1.5		1.5		1.2		1.3		1.3	
返送率 (%)		30		30		40		51		47	
余剰汚泥	T-N/SS (%)	8.3		9.3		9.1		6.4		7.9	
	T-N/VSS (%)	9.9		10.9		10.6		8.5		9.8	
	VSS (%)	84.1		85.1		85.0		75.3		80.6	

() 内は全脱窒量 (1+ 2+ 3) に対する構成比

好気槽で脱窒がおきている原因の1つとして、硝化の初期には、若干の基質の残存と共に DO 濃度が低い等、脱窒が起こりやすい条件が整っていることが考えられる。曝気槽の散気方式が片側旋回流方式の場合、槽内の DO 濃度は場所的に不均一で、DO 濃度の低い部分が存在することが報告されている²⁾。

浅川処理場の好気槽における DO 分布を図 8 に示す。浅川処理場では、好気槽内の DO 濃度は不均一で 0.1mg/l と低値の部分のあることが確認された。

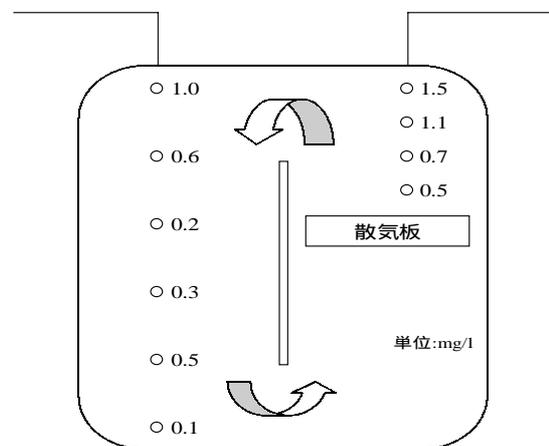


図 . 8 浅川 DO 分布 (B 回路出口)

(5)

また、このとき測定した好気槽（B回路出口）のNO₃-N濃度は、約5mg/l（RQflex）であった。尚、測定出来なかったが、散気板の下部及びバツフル板に近接した中央部付近のDO値は最も低値であると考えられる。このような場所において、部分的な嫌気状態が生じ、脱窒反応が進行しているものと考えられる。

<小菅処理場>

窒素濃度の経時変化を図9～12、窒素の収支を表5、水処理工程の試料採取個所における窒素濃度、及び水量（汚泥量）、負荷量の経時変化を表12～15に示す。

窒素濃度の経時変化については、流入水、放流水ともに大幅な変動は見られなかった。冬季には生物反応槽流入水のT-N濃度が若干高くなっているが、放流の値はほとんど変わらず、約70%の高除去率を維持している。

表5の窒素の収支結果から、生物反応槽流入水窒素の処理の内訳をみると、水温条件に関わらず、概ね余剰汚泥（汚泥転換分）として除去されるもの：30%、脱窒により除去されるもの：40%、処理水中に残存するもの：30%であり、脱窒により除去される割合が高いことが分かった。

脱窒の内訳としては、制限曝気槽での脱窒が全脱窒量の13～24%、第二沈殿池での脱窒が4～17%と、2回の調査で多少変動があったが、好気槽での脱窒は約70%と共通であった。余剰汚泥として除去されるものを除いた正味の全脱窒量（1+2+3）は、制限曝気槽での理論脱窒量に比べ、30%大きい値であった。

したがって当场（概ね完全硝化達成、返送率47～51%）では、制限曝気槽のみでなく、好気槽でもかなりの脱窒が起きていることが実証された。

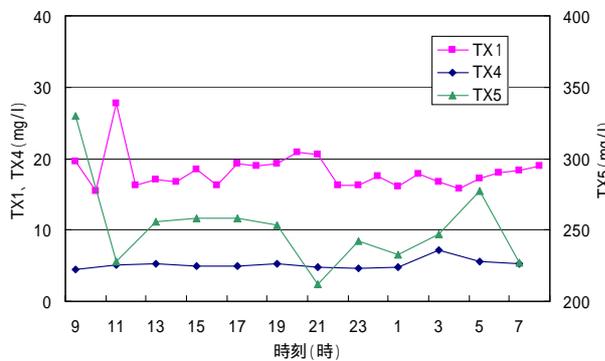


図. 9 T-Nの経時変化(小菅1回目6月)

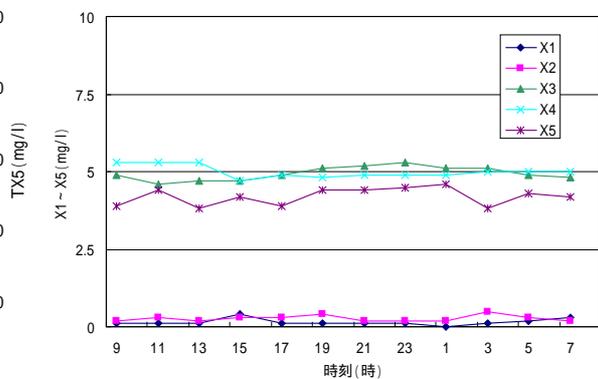


図. 10 NO₃-Nの経時変化(小菅1回目6月)

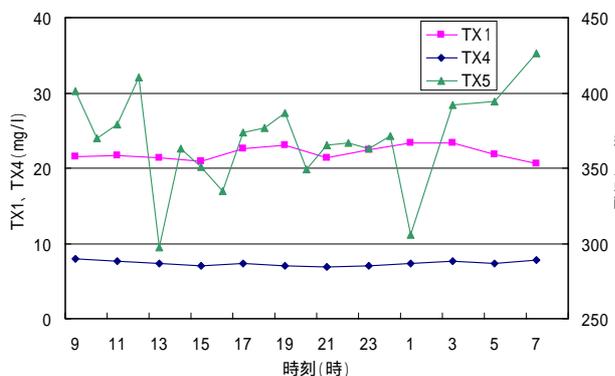


図. 11 T-Nの経時変化(小菅2回目2月)

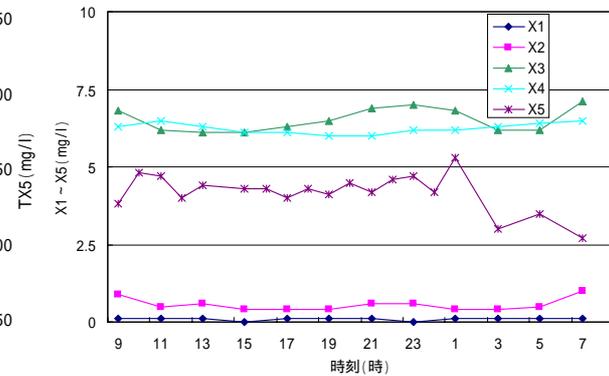


図. 12 NO₃-Nの経時変化(小菅2回目2月)

小菅処理場の好気槽における DO 分布を図 13 に示す。このとき測定した好気槽（C 回路出口）の NO₃-N 濃度は、約 1 mg/l (RQflex) であった。小菅処理場では、下向流の表層部で若干高い部分があるものの、それ以外ではほぼ均一であり、局部的に DO 値の低い場所は確認できなかった。しかし浅川処理場同様、バツフル板に近接した中央部付近等に、DO 値の低い部分が存在し、そこで脱窒反応が進行しているものと考えられる。その他、脱窒の原因としては、好気性条件下で脱窒を行う菌の存在によるものと考えられる。

< 両処理場 >

両処理場の窒素処理の内訳を図 14、15 に示す。生物反応槽流入水中の窒素のうち、浅川処理場で約 1 割、小菅処理場で約 3 割が好気槽で脱窒しており、両場の運転条件のもとでは、好気槽において、少なくとも制限曝気槽に匹敵する量の脱窒が起きていることが確認された。

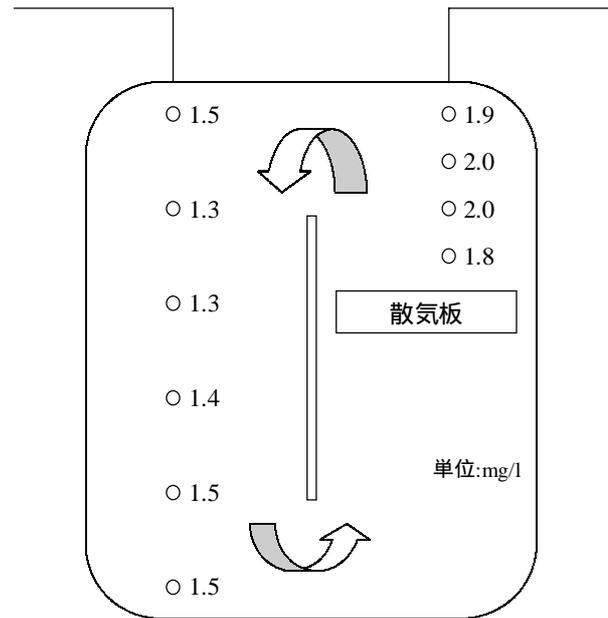


図 13 小菅 DO 分布 (C 回路出口)

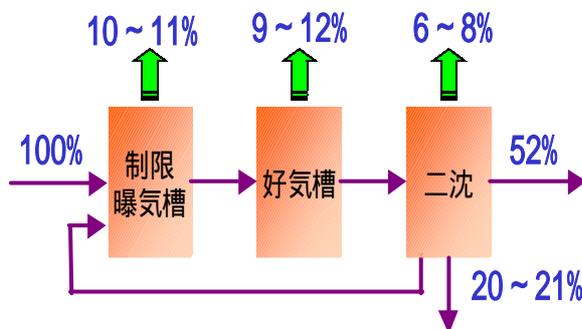


図 14 窒素処理の内訳 (浅川処理場)

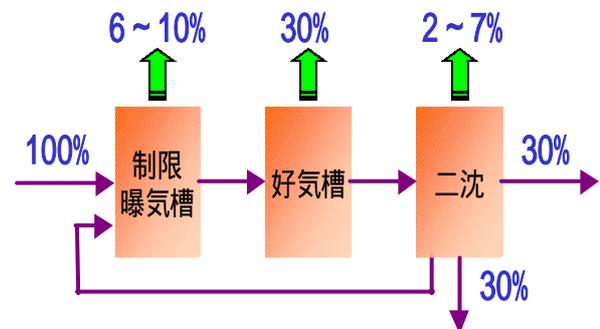


図 15 窒素処理の内訳 (小菅処理場)

また、脱窒量の算出に用いられた余剰汚泥の窒素含有量について、有機分当たりの窒素含有率は、浅川処理場 10~11%、小菅処理場 9~10%であった。

この値は菌体 (C₆₀H₈₇O₂₃N₁₂P) 当たりの窒素含有率とされる 12.2%より若干低い、有機分の中には菌体以外のものが含有されているためだと考えられる。

5. おわりに

今回実施した調査は、流入形態の異なる、区部の処理場と流域の処理場が、同時期に共同で生物反応槽における窒素の挙動を調べた。その結果、活性汚泥中の窒素の含有率にそれほど差がなく、また生物反応槽好気部で相当量の脱窒が起きていることが両場ともに確認され、共同して行った調査の意義はあったと考えている。

好気部における脱窒は、反応槽内での局部的な嫌気状態や活性汚泥フロック内の局部

的な嫌気状態からおきる 好気性条件下において脱窒を行う菌が反応を進行させる、などが考えられる。

いずれにしても好気槽での脱窒は、脱窒効果を評価するうえで無視できない量であり、今後高度処理を進めていくなかで、硝化と脱窒を一つの好気槽で同時に行う、新しい水処理法の開発につながる可能性もあると考えられる。

そのためには、好気性脱窒菌の動向を検証していく調査が必要であり、また、それと共に窒素、りん除去に関わる処理場流入基質の特性把握等、現場における基礎的実態調査の充実を図ることが急務であり、これについては、処理場に従事する水質職の役割と考える。

6 . 参考文献

- 1) 宗宮 功, 山田 登志夫, 津野 洋, 山下 洋正, 脱窒菌における脱窒機能発現機構に関する研究, 下水道協会論文文集, 11, 86 - 99, 1994
- 2) 東京都下水道局 “三河島処理場藍染東系曝気槽特性調査報告書” 平成 4 年 3 月

表 . 6 窒素濃度、水量（汚泥量）の経時変化（浅川 1 回目 7 月）

時間	採水場所 記号	T-N [mg/l]			NO ₃ -N [mg/l]					SS (VSS) [mg/l]	水量 [m ³]				
		流入水 TX1	処理水 TX4	返送=余剰 TX5=TX6	流入水 X1	制限曝気槽 X2	好気槽 X3	処理水 X4	返送汚泥 X5=X6	余剰(返送) C _{RS}	流入水 Q1	生物反応槽 Q2 = Q3 = Q1+Q5	処理水 Q4 = Q1-Q6	返送汚泥 Q5	余剰汚泥 Q6
9:00		25.2	13.8	-	0.1	0.2	11.8	12.2	9.6	-	463	1,417	1,092	325	0
10:00		29.4									629				
11:00		34.3	13.4	360	0.2	0.2	10.8	11.7	8.6	4,360 (3,646)	651	1,723	1,288	397	38
12:00		34.3									675				
13:00		31.9	12.6	-	0.0	0.2	11.3	11.4	8.5	-	577	1,531	1,178	353	0
14:00		31.5									601				
15:00		31.8	13.0	399	0.2	0.2	12.6	11.5	8.1	4,544 (3,808)	575	1,428	1,056	331	41
16:00		29.5									522				
17:00		27.2	11.9	-	0.1	0.1	14.2	11.8	7.9	-	462	1,212	932	280	0
18:00		25.4									470				
19:00		24.9	13.5	374	0.1	0.2	15.7	12.4	10.9	4,244 (3,542)	481	1,289	954	296	39
20:00		25.9									512				
21:00		23.7	13.8	-	0.1	0.1	15.8	13.0	11.0	-	518	1,345	1,035	310	0
22:00		23.2									517				
23:00		22.6	13.9	324	0.0	0.1	15.5	13.1	11.8	4,256 (3,546)	548	1,418	1,053	326	39
0:00		23.5									544				
1:00		22.8	14.1	-	0.1	0.1	14.2	12.7	10.9	-	583	1,530	1,178	352	0
2:00		22.1									595				
3:00		20.6	13.9	-	0.1	0.1	13.7	13.4	9.4	-	538	1,294	994	300	0
4:00		21.7									456				
5:00		19.8	14.8	337	0.1	0.1	12.8	13.9	10.9	4,034 (3,368)	612	1,468	1,086	339	43
6:00		20.9									517				
7:00		21.3	13.7	-	0.1	0.1	12.2	13.0	7.9	-	504	1,289	991	298	0
8:00		21.2									487				
合計		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,037	16,944	12,837	3,907	200
平均		25.6	13.5	359	0.1	0.1	13.4	12.5	9.6	4,288	543	1,412	1,070	326	17
最小値		19.8	11.9	324	0.0	0.1	10.8	11.4	7.9	4,034	456	1,212	932	280	0
最大値		34.3	14.8	399	0.2	0.2	15.8	13.9	11.8	4,544	675	1,723	1,288	397	43

表 . 7 窒素負荷量の経時変化 (浅川 1 回目 7 月)

		T-N負荷量 [kg]				NO ₃ -N負荷量 [kg]						脱窒量 [kg]		
時間	採水場所	流入水	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	流入水	制限曝気槽	好気槽	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	制限曝気槽	好気槽	第二沈殿池
	記号	TW1	TW4	TW5	TW6	W1	W2	W3	W4	W5	W6	1	2	3
9:00		11.7				0.1	0.3	16.7	13.3	3.1	0.0	2.9	11.9	0.3
10:00		18.5	15.1	-	0	0.1	0.3	16.7	13.3	3.1	0.0	2.9	11.9	0.3
11:00		22.3				0.3	0.3	18.6	15.1	3.4	0.3	3.3	11.4	-0.2
12:00		23.2	17.3	143	14	0.3	0.3	18.6	15.1	3.4	0.3	3.3	11.4	-0.2
13:00		18.4				0.0	0.3	17.3	13.4	3.0	0.0	2.7	18.9	0.9
14:00		18.9	14.8	-	0	0.0	0.3	17.3	13.4	3.0	0.0	2.7	18.9	0.9
15:00		18.3				0.2	0.3	18.0	12.1	2.7	0.3	2.6	-1.8	2.8
16:00		15.4	13.7	132	16	0.2	0.3	18.0	12.1	2.7	0.3	2.6	-1.8	2.8
17:00		12.6				0.1	0.1	17.2	11.0	2.2	0.0	2.2	7.2	4.0
18:00		11.9	11.1	-	0	0.1	0.1	17.2	11.0	2.2	0.0	2.2	7.2	4.0
19:00		12.0				0.1	0.3	20.2	11.8	3.2	0.4	3.1	-10.1	4.8
20:00		13.3	12.9	111	15	0.1	0.3	20.2	11.8	3.2	0.4	3.1	-10.1	4.8
21:00		12.3				0.1	0.1	21.3	13.5	3.4	0.0	3.4	2.2	4.4
22:00		12.0	14.3	-	0	0.1	0.1	21.3	13.5	3.4	0.0	3.4	2.2	4.4
23:00		12.4				0.0	0.1	22.0	13.8	3.8	0.5	3.7	-9.7	3.9
0:00		12.8	14.6	106	13	0.0	0.1	22.0	13.8	3.8	0.5	3.7	-9.7	3.9
1:00		13.3				0.1	0.2	21.7	15.0	3.8	0.0	3.8	3.1	2.9
2:00		13.1	16.6	-	0	0.1	0.2	21.7	15.0	3.8	0.0	3.8	3.1	2.9
3:00		11.1				0.1	0.1	17.7	13.3	2.8	0.0	2.8	2.8	1.6
4:00		9.9	13.8	-	0	0.1	0.1	17.7	13.3	2.8	0.0	2.8	2.8	1.6
5:00		12.1				0.1	0.1	18.8	15.1	3.7	0.5	3.7	-10.9	-0.5
6:00		10.8	16.1	114	15	0.1	0.1	18.8	15.1	3.7	0.5	3.7	-10.9	-0.5
7:00		10.7				0.1	0.1	15.7	12.9	2.4	0.0	2.3	4.7	0.5
8:00		10.3	13.6	-	0	0.1	0.1	15.7	12.9	2.4	0.0	2.3	4.7	0.5
合計		337.2	173.9	-	72	1.3	2.4	225.3	160.3	37.6	2.0	36.5	29.8	25.3
平均		14.1	14.5	121	6	0.1	0.2	18.8	13.4	3.1	0.2	3.0	2.5	2.1
最小値		9.9	11.1	106	0	0.0	0.1	15.7	11.0	2.2	0.0	2.2	-10.9	-0.5
最大値		23.2	17.3	143	16	0.3	0.3	22.0	15.1	3.8	0.5	3.8	18.9	4.8

表 . 8 窒素濃度、水量（汚泥量）の経時変化（浅川 2 回目 10 月）

時間	採水場所 記号	T-N [mg/l]			NO ₃ -N [mg/l]					SS (VSS) [mg/l]	水量 [m ³]				
		流入水 TX1	処理水 TX4	返送=余剰 TX5=TX6	流入水 X1	制限曝気槽 X2	好気槽 X3	処理水 X4	返送汚泥 X5=X6	余剰(返送) C _{RS}	流入水 Q1	生物反応槽 Q2 = Q3 = Q1+Q5	処理水 Q4 = Q1-Q6	返送汚泥 Q5	余剰汚泥 Q6
9:00		24.0			0.1	0.3	11.9	13.0	8.9		562				
10:00		30.2	14.5	-	0.1	0.3	11.9	13.0	8.9	-	645	1,567	1,207	360	0
11:00		34.8			0.2	0.2	11.1	12.2	7.5	3,728	682	1,648	1,218	381	49
12:00		35.1	13.9	348	0.2	0.2	11.1	12.2	7.5	(3,152)	585	1,648	1,218	381	49
13:00		33.0			0.1	0.3	11.5	11.6	6.8		529	1,342	1,033	309	0
14:00		32.2	13.2	-	0.1	0.3	11.5	11.6	6.8	-	504	1,342	1,033	309	0
15:00		32.3			0.2	0.2	12.1	11.5	8.5	3,944	516	1,351	991	311	49
16:00		31.2	13.6	356	0.2	0.2	12.1	11.5	8.5	(3,356)	524	1,351	991	311	49
17:00		30.4			0.2	0.1	12.9	11.7	9.2		552	1,407	1,082	325	0
18:00		28.8	13.4	-	0.2	0.1	12.9	11.7	9.2	-	530	1,407	1,082	325	0
19:00		28.7			0.1	0.2	14.3	12.1	9.8	4,044	534	1,406	1,032	324	50
20:00		30.2	14.5	386	0.1	0.2	14.3	12.1	9.8	(3,462)	548	1,406	1,032	324	50
21:00		29.2			0.1	0.5	15.3	12.4	11.0		547	1,481	1,140	341	0
22:00		27.6	14.6	-	0.1	0.5	15.3	12.4	11.0	-	593	1,481	1,140	341	0
23:00		25.7			0.2	0.2	15.1	13.1	12.0	3,838	626	1,663	1,228	383	52
0:00		24.6	14.9	374	0.2	0.2	15.1	13.1	12.0	(3,266)	654	1,663	1,228	383	52
1:00		24.2			0.2	0.1	13.8	13.3	10.3		634	1,564	1,203	361	0
2:00		23.8	15.5	-	0.2	0.1	13.8	13.3	10.3	-	569	1,564	1,203	361	0
3:00		22.7			0.1	0.2	14.2	13.3	8.8		519	1,278	983	295	0
4:00		22.8	15.9	-	0.1	0.2	14.2	13.3	8.8	-	464	1,278	983	295	0
5:00		21.3			0.1	0.4	13.6	13.4	9.0		454	1,201	924	277	0
6:00		21.0	15.5	-	0.1	0.4	13.6	13.4	9.0	-	470	1,201	924	277	0
7:00		21.8			0.2	0.2	12.6	13.6	9.2		476	1,330	1,024	306	0
8:00		22.8	15.4	-	0.2	0.2	12.6	13.6	9.2	-	548	1,330	1,024	306	0
合計		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,265	17,238	13,065	3,973	200
平均		27.4	14.6	366	0.2	0.2	13.2	12.6	9.3	3,889	553	1,437	1,089	331	17
最小値		21.0	13.2	348	0.1	0.1	11.1	11.5	6.8	3,728	454	1,201	924	277	0
最大値		35.1	15.9	386	0.2	0.5	15.3	13.6	12.0	4,044	682	1,663	1,228	383	52

表. 9 窒素負荷量の経時変化 (浅川 2 回目 10 月)

		T-N負荷量 [kg]				NO ₃ -N負荷量 [kg]						脱窒量 [kg]		
時間	採水場所	流入水	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	流入水	制限曝気槽	好気槽	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	制限曝気槽	好気槽	第二沈殿池
	記号	TW1	TW4	TW5	TW6	W1	W2	W3	W4	W5	W6	1	2	3
9:00		13.5												
10:00		19.5	17.5	-	0	0.1	0.5	18.6	15.7	3.2	0.0	2.9	13	-0.2
11:00		23.7	16.9	133	17	0.3	0.3	18.3	14.9	2.9	0.4	2.8	7.3	0.2
12:00		20.5												
13:00		17.5	13.6	-	0	0.1	0.4	15.4	12.0	2.1	0.0	1.8	17	1.3
14:00		16.2												
15:00		16.7	13.5	111	17	0.2	0.3	16.3	11.4	2.6	0.4	2.6	-2.4	1.9
16:00		16.3												
17:00		16.8	14.5	-	0	0.2	0.1	18.2	12.7	3.0	0.0	3.1	12.0	2.5
18:00		15.3												
19:00		15.3	15.0	125	19	0.1	0.3	20.1	12.5	3.2	0.5	3.0	-9.3	4.0
20:00		16.5												
21:00		16.0	16.6	-	0	0.1	0.7	22.7	14.1	3.8	0.0	3.1	7.8	4.8
22:00		16.4												
23:00		16.1	18.3	143	19	0.3	0.3	25.1	16.1	4.6	0.6	4.5	-14	3.8
0:00		16.1												
1:00		15.3	18.6	-	0	0.2	0.2	21.6	16.0	3.7	0.0	3.8	4.6	1.9
2:00		13.5												
3:00		11.8	15.6	-	0	0.1	0.3	18.1	13.1	2.6	0.0	2.4	1.8	2.5
4:00		10.6												
5:00		9.7	14.3	-	0	0.1	0.5	16.3	12.4	2.5	0.0	2.1	1.7	1.5
6:00		9.9												
7:00		10.4	15.8	-	0	0.2	0.3	16.8	13.9	2.8	0.0	2.8	4.3	0.0
8:00		12.5												
合計		366.0	190.3	-	73	2.0	4.1	227.6	164.7	36.9	1.9	34.8	43.6	24.0
平均		15.3	15.9	128	6	0.2	0.3	19.0	13.7	3.1	0.2	2.9	3.6	2.0
最小値		9.7	13.5	111	0	0.1	0.1	15.4	11.4	2.1	0.0	1.8	-13.9	-0.2
最大値		23.7	18.6	143	19	0.3	0.7	25.1	16.1	4.6	0.6	4.5	16.9	4.8

表 . 10 窒素濃度、水量（汚泥量）の経時変化（浅川 3 回目 2 月）

時間	採水場所 記号	T-N [mg/l]			NO ₃ -N [mg/l]					SS (VSS) [mg/l]	水量 [m ³]				
		流入水 TX1	処理水 TX4	返送=余剰 TX5=TX6	流入水 X1	制限曝気槽 X2	好気槽 X3	処理水 X4	返送汚泥 X5=X6	余剰(返送) C _{RS}	流入水 Q1	生物反応槽 Q2 = Q3 = Q1+Q5	処理水 Q4 = Q1-Q6	返送汚泥 Q5	余剰汚泥 Q6
9:00		26.4	17.0	-	0.2	0.2	12.6	14.5	9.5	-	483	1,544	1,104	440	0
10:00		34.0									621				
11:00		37.6	16.5	434	0.4	0.2	11.9	13.8	10.0	5,106 (4,318)	610	1,713	1,187	489	37
12:00		38.1									614				
13:00		36.8	15.0	-	0.8	0.2	11.7	12.8	8.3	-	613	1,755	1,254	501	0
14:00		34.9									641				
15:00		36.7	17.8	562	1.0	0.4	12.8	12.6	5.6	6,078 (5,158)	623	1,724	1,192	493	39
16:00		36.0									608				
17:00		31.6	15.0	-	0.6	0.6	14.9	12.5	8.6	-	581	1,517	1,083	434	0
18:00		30.2									502				
19:00		31.8	14.8	632	0.4	0.7	16.0	12.6	9.7	7,023 (5,974)	420	1,213	829	346	38
20:00		30.1									447				
21:00		31.2	16.3	-	0.3	0.5	16.2	13.5	11.5	-	495	1,447	1,035	412	0
22:00		32.4									540				
23:00		30.1	17.1	502	0.3	0.2	15.6	14.3	12.7	5,148 (4,392)	656	1,859	1,292	531	36
0:00		30.7									672				
1:00		28.2	17.1	-	0.2	0.5	14.3	14.6	10.8	-	653	1,866	1,333	533	0
2:00		27.2									680				
3:00		23.9	16.8	-	0.2	0.5	14.5	14.0	8.2	-	529	1,302	929	373	0
4:00		24.2									400				
5:00		26.8	16.9	-	0.3	0.6	13.9	13.9	7.7	-	426	1,056	754	302	0
6:00		26.2									328				
7:00		24.5	16.4	-	0.2	0.6	13.5	14.0	7.1	-	306	933	666	267	0
8:00		24.4									360				
合計		-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,808	17,929	12,658	5,121	150
平均		30.6	16.4	533	0.4	0.4	14.0	13.6	9.1	5,839	534	1,494	1,055	427	13
最小値		23.9	14.8	434	0.2	0.2	11.7	12.5	5.6	5,106	306	933	666	267	0
最大値		38.1	17.8	632	1.0	0.7	16.2	14.6	12.7	7,023	680	1,866	1,333	533	39

表 . 11 窒素負荷量の経時変化 (浅川 3 回目 2 月)

		T-N負荷量 [kg]				NO ₃ -N負荷量 [kg]						脱窒量 [kg]		
時間	採水場所	流入水	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	流入水	制限曝気槽	好気槽	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	制限曝気槽	好気槽	第二沈殿池
	記号	TW1	TW4	TW5	TW6	W1	W2	W3	W4	W5	W6	1	2	3
9:00		12.8												
10:00		21.1	18.8	-	0	0.2	0.3	19.5	16.0	4.2	0.0	4.1	11.7	-0.7
11:00		22.9	19.6	212	16	0.5	0.3	20.4	16.4	4.9	0.4	5.0	6.9	-1.3
12:00		23.4												
13:00		22.6	18.8	-	0	1.0	0.4	20.5	16.1	4.2	0.0	4.8	21.0	0.3
14:00		22.4												
15:00		22.9	21.2	277	22	1.2	0.7	22.1	15.0	2.8	0.2	3.3	-5.7	4.1
16:00		21.9												
17:00		18.4	16.2	-	0	0.6	0.9	22.6	13.5	3.7	0.0	3.5	8.5	5.3
18:00		15.2												
19:00		13.4	12.3	219	24	0.3	0.8	19.4	10.4	3.4	0.4	2.9	-17.6	5.2
20:00		13.5												
21:00		15.4	16.9	-	0	0.3	0.7	23.4	14.0	4.7	0.0	4.3	7.0	4.7
22:00		17.5												
23:00		19.7	22.1	267	18	0.4	0.4	29.0	18.5	6.7	0.5	6.8	-9.9	3.3
0:00		20.6												
1:00		18.4	22.8	-	0	0.3	0.9	26.7	19.5	5.8	0.0	5.1	7.6	1.5
2:00		18.5												
3:00		12.6	15.6	-	0	0.2	0.7	18.9	13.0	3.1	0.0	2.6	1.3	2.8
4:00		9.7												
5:00		11.4	12.7	-	0	0.2	0.6	14.7	10.5	2.3	0.0	1.9	3.5	1.9
6:00		8.6												
7:00		7.5	10.9	-	0	0.1	0.6	12.6	9.3	1.9	0.0	1.5	2.5	1.4
8:00		8.8												
合計		399.0	207.9	-	80	5.5	7.3	249.7	172.2	47.6	1.4	45.7	36.8	28.6
平均		16.6	17.3	244	7	0.5	0.6	20.8	14.3	4.0	0.1	3.8	3.1	2.4
最小値		7.5	10.9	212	0	0.1	0.3	12.6	9.3	1.9	0.0	1.5	-17.6	-1.3
最大値		23.4	22.8	277	24	1.2	0.9	29.0	19.5	6.7	0.5	6.8	21.0	5.3

表 . 12 窒素濃度、水量（汚泥量）の経時変化（小菅 1 回目 6 月）

		T-N [mg/l]			NO ₃ -N [mg/l]					SS (VSS) [mg/l]	水量 [m ³]				
時間	採水場所	流入水	処理水	返送=余剰	流入水	制限曝気槽	好気槽	処理水	返送汚泥	余剰(返送)	流入水	生物反応槽	処理水	返送汚泥	余剰汚泥
	記号	TX1	TX4	TX5=TX6	X1	X2	X3	X4	X5=X6	C _{RS}	Q1	Q2 = Q3 = Q1+Q5	Q4 = Q1-Q6	Q5	Q6
9:00		19.6								4430	2350	3530	2350	1180	0
10:00		15.4	4.5	330	0.1	0.2	4.9	5.3	3.9	-	2440	3670	2340	1230	100
11:00		27.7								3780	2270	3440	2270	1170	0
12:00		16.2	5.1	228	0.1	0.3	4.6	5.3	4.4	-	2480	3740	2380	1260	100
13:00		17.0								4010	2280	3440	2280	1160	0
14:00		16.8	5.3	256	0.1	0.2	4.7	5.3	3.8	-	2480	3760	2380	1280	100
15:00		18.5								3940	2250	3400	2250	1150	0
16:00		16.3	5.0	258	0.4	0.3	4.7	4.7	4.2	-	2450	3710	2350	1260	100
17:00		19.3								4460	2330	3530	2330	1200	0
18:00		19.0	5.0	258	0.1	0.3	4.9	4.9	3.9	-	2370	3580	2270	1210	100
19:00		19.3								3790	2370	3570	2370	1200	0
20:00		20.9	5.3	253	0.1	0.4	5.1	4.8	4.4	-	2340	3550	2240	1210	100
21:00		20.6								3840	2440	3680	2440	1240	0
22:00		16.2	4.8	212	0.1	0.2	5.2	4.9	4.4	-	2270	3440	2170	1170	100
23:00		16.2								3550	2510	3790	2510	1280	0
0:00		17.5	4.6	242	0.1	0.2	5.3	4.9	4.5	-	2290	3460	2200	1170	90
1:00		16.1								3400	2470	3730	2470	1260	0
2:00		17.9	4.8	233	0.0	0.2	5.1	4.9	4.6	-	2270	3430	2180	1160	90
3:00		16.8								3650	2500	3780	2500	1280	0
4:00		15.7	7.2	247	0.1	0.5	5.1	5.0	3.8	-	2280	3440	2190	1160	90
5:00		17.2								4280	2420	3670	2420	1250	0
6:00		18.0	5.5	277	0.2	0.3	4.9	5.0	4.3	-	2350	3550	2260	1200	90
7:00		18.4								3930	2400	3620	2400	1220	0
8:00		19.0	5.2	227	0.3	0.2	4.8	5.0	4.2	-	2370	3580	2280	1210	90
合計		-	-	-	-	-	-	-	-	-	56980	86090	55830	29110	1150
平均		18.2	5.2	252	0.1	0.3	4.9	5.0	4.2	3922	2374	3587	2326	1213	48
最小値		15.4	4.5	212	0.0	0.2	4.6	4.7	3.8	3780	2250	3400	2170	1150	0
最大値		27.7	7.2	330	0.4	0.5	5.3	5.3	4.6	4460	2510	3790	2510	1280	100

表 . 13 窒素負荷量の経時変化 (小菅 1 回目 6 月)

		T-N負荷量 [kg]				NO ₃ -N負荷量 [kg]						脱窒量 [kg]		
時間	採水場所	流入水	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	流入水	制限曝気槽	好気槽	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	制限曝気槽	好気槽	第二沈殿池
	記号	TW1	TW4	TW5	TW6	W1	W2	W3	W4	W5	W6	1	2	3
9:00		46.1	11	389	0	0.2	0.7	17	12	4.6	0.0	4.1	31.1	0.2
10:00		37.6	11	406	33	0.2	0.7	18	12	4.8	0.4	4.3	-10.7	0.4
11:00		62.9	12	267	0	0.2	1.0	16	12	5.1	0.0	4.3	48.3	-1.4
12:00		40.2	12	287	23	0.2	1.1	17	13	5.5	0.4	4.7	2.0	-1.4
13:00		38.8	12	297	0	0.2	0.7	16	12	4.4	0.0	3.9	23.1	-0.3
14:00		41.7	13	328	26	0.2	0.8	18	13	4.9	0.4	4.4	-0.7	-0.2
15:00		41.6	11	297	0	0.9	1.0	16	11	4.8	0.0	4.7	25.1	0.6
16:00		39.9	12	325	26	1.0	1.1	17	11	5.3	0.4	5.2	-3.5	0.7
17:00		45.0	12	310	0	0.2	1.1	17	11	4.7	0.0	3.9	28.3	1.2
18:00		45.0	11	312	26	0.2	1.1	18	11	4.7	0.4	3.9	2.7	1.3
19:00		45.7	13	304	0	0.2	1.4	18	11	5.3	0.0	4.1	27.5	1.6
20:00		48.9	12	306	25	0.2	1.4	18	11	5.3	0.4	4.1	6.0	1.6
21:00		50.3	12	263	0	0.2	0.7	19	12	5.5	0.0	5.0	31.9	1.7
22:00		36.8	10	248	21	0.2	0.7	18	11	5.1	0.4	4.7	-1.2	1.7
23:00		40.7	12	310	0	0.3	0.8	20	12	5.8	0.0	5.3	21.8	2.0
0:00		40.1	10	283	22	0.2	0.7	18	11	5.3	0.4	4.8	1.5	1.9
1:00		39.8	12	294	0	0.0	0.7	19	12	5.8	0.0	5.1	21.7	1.1
2:00		40.6	10	270	21	0.0	0.7	17	11	5.3	0.4	4.7	3.5	1.1
3:00		42.0	18	316	0	0.3	1.9	19	13	4.9	0.0	3.2	18.9	1.9
4:00		35.8	16	287	22	0.2	1.7	18	11	4.4	0.3	2.9	-7.0	1.8
5:00		41.6	13	346	0	0.5	1.1	18	12	5.4	0.0	4.8	23.0	0.5
6:00		42.3	12	332	25	0.5	1.1	17	11	5.2	0.4	4.6	-0.2	0.5
7:00		44.2	12	277	0	0.7	0.7	17	12	5.1	0.0	5.1	26.3	0.3
8:00		45.0	12	275	20	0.7	0.7	17	11	5.1	0.4	5.1	7.3	0.3
合計		1032.4	290	7328	290	8.1	23.7	425	279	122.3	4.8	106.7	326.8	19.2
平均		43.0	12	305	12	0.3	1.0	18	12	5.1	0.2	4.4	13.6	0.8
最小値		35.8	10	248	0	0.0	0.7	16	11	4.4	0.0	2.9	-10.7	-1.4
最大値		62.9	18	406	33	1.0	1.9	20	13	5.8	0.4	5.3	48.3	2.0

表 . 14 窒素濃度、水量（汚泥量）の経時変化（小菅 2 回目 2 月）

時間	採水場所 記号	T-N [mg/l]			NO ₃ -N [mg/l]					SS (VSS) [mg/l]	水量 [m ³]				
		流入水 TX1	処理水 TX4	返送=余剰 TX5=TX6	流入水 X1	制限曝気槽 X2	好気槽 X3	処理水 X4	返送汚泥 X5=X6	余剰(返送) C _{RS}	流入水 Q1	生物反応槽 Q2 = Q3 = Q1+Q5	処理水 Q4 = Q1-Q6	返送汚泥 Q5	余剰汚泥 Q6
9:00				401					3.8	5000	2420	3620	2420	1200	0
10:00		21.5	8.0	370	0.1	0.9	6.8	6.3	4.8	4440	2530	3780	2520	1250	10
11:00				379					4.7	4480	2380	3560	2260	1180	120
12:00		21.7	7.7	410	0.1	0.5	6.2	6.5	4.0	4200	2590	3870	2590	1280	0
13:00				297					4.3	4380	2400	3580	2390	1180	10
14:00		21.3	7.3	363	0.1	0.6	6.1	6.3	4.4	4620	2560	3830	2440	1270	120
15:00				351					4.3	4540	2430	3630	2430	1200	0
16:00		20.9	7.0	335	0.0	0.4	6.1	6.1	4.3	4680	2530	3800	2520	1270	10
17:00				374					4.0	4220	2460	3670	2340	1210	120
18:00		22.6	7.3	377	0.1	0.4	6.3	6.1	4.3	4560	2440	3650	2440	1210	0
19:00				387					4.1	5680	2500	3740	2490	1240	10
20:00		23.1	7.0	349	0.1	0.4	6.5	6.0	4.5	5400	2430	3630	2310	1200	120
21:00				365					4.2	-	2560	3830	2560	1270	0
22:00		21.4	6.8	367	0.1	0.6	6.9	6.0	4.6	-	2400	3580	2390	1180	10
23:00				363					4.7	-	2590	3890	2470	1300	120
0:00		22.4	7.0	371	0.0	0.6	7.0	6.2	4.2	-	2390	3570	2390	1180	0
1:00									-	-	3680	5150	3670	1470	10
2:00		23.4	7.3	306	0.1	0.4	6.8	6.2	5.3	-	3610	5080	3490	1470	120
3:00									-	-	3710	5180	3710	1470	0
4:00		23.4	7.7	392	0.1	0.4	6.2	6.3	3.0	-	3500	4970	3490	1470	10
5:00									-	-	3580	5050	3460	1470	120
6:00		21.8	7.3	394	0.1	0.5	6.2	6.4	3.5	-	2250	3360	2250	1110	0
7:00									-	-	2140	3210	2130	1070	10
8:00		20.6	7.8	426	0.1	1.0	7.1	6.5	2.7	-	2160	3240	2030	1080	130
合計		-	-	-	-	-	-	-	-	-	64240	94470	63190	30230	1050
平均		22.0	7.4	369	0.1	0.6	6.5	6.2	4.2	4683	2677	3936	2633	1260	44
最小値		20.6	6.8	297	0.0	0.4	6.1	6.0	2.7	4200	2140	3210	2030	1070	0
最大値		23.4	8.0	426	0.1	1.0	7.1	6.5	5.3	5680	3710	5180	3710	1470	130

表 . 15 窒素負荷量の経時変化 (小菅 2 回目 2 月)

		T-N負荷量 [kg]				NO ₃ -N負荷量 [kg]						脱窒量 [kg]		
時間	採水場所	流入水	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	流入水	制限曝気槽	好気槽	処理水	返送汚泥	余剰汚泥	制限曝気槽	好気槽	第二沈殿池
	記号	TW1	TW4	TW5	TW6	W1	W2	W3	W4	W5	W6	1	2	3
9:00		52.0	19	481	0	0.2	3.3	25	15	4.6	0.0	1.5	26.3	4.8
10:00		54.4	20	462	4	0.3	3.4	26	16	6.0	0.0	2.9	23.9	3.8
11:00		51.6	17	448	46	0.2	1.8	22	15	5.5	0.2	4.0	-16.9	1.6
12:00		56.2	20	525	0	0.3	1.9	24	17	5.1	0.0	3.4	30.8	2.0
13:00		51.1	17	350	3	0.2	2.1	22	15	5.2	0.0	3.3	25.8	1.6
14:00		54.5	18	461	44	0.3	2.3	23	15	5.6	0.2	3.5	-12.6	2.2
15:00		50.8	17	421	0	0.0	1.5	22	15	5.2	0.0	3.7	27.9	2.2
16:00		52.9	18	426	3	0.0	1.5	23	15	5.5	0.0	3.9	25.6	2.3
17:00		55.6	17	452	45	0.2	1.5	23	14	4.8	0.2	3.6	-13.8	3.8
18:00		55.1	18	456	0	0.2	1.5	23	15	5.2	0.0	4.0	30.4	2.9
19:00		57.8	17	480	4	0.3	1.5	24	15	5.1	0.0	3.8	28.3	4.3
20:00		56.1	16	419	42	0.2	1.5	24	14	5.4	0.2	4.2	-10.3	4.1
21:00		54.8	17	464	0	0.3	2.3	26	15	5.3	0.0	3.3	28.4	5.7
22:00		51.4	16	433	4	0.2	2.1	25	14	5.4	0.0	3.5	23.0	4.9
23:00		58.0	17	472	44	0.0	2.3	27	15	6.1	0.2	3.8	-12.3	5.6
0:00		53.5	17	438	0	0.0	2.1	25	15	5.0	0.0	2.8	28.8	5.2
1:00		86.1	27	450	3	0.4	2.1	35	23	7.8	0.0	6.1	45.7	4.5
2:00		84.5	25	450	37	0.4	2.0	35	22	7.8	0.2	6.1	11.2	4.9
3:00		86.8	29	576	0	0.4	2.1	32	23	4.4	0.0	2.7	51.2	4.3
4:00		81.9	27	576	4	0.4	2.0	31	22	4.4	0.0	2.8	43.9	4.4
5:00		78.0	25	579	47	0.4	2.5	31	22	5.1	0.2	3.0	-1.4	3.9
6:00		49.1	16	438	0	0.2	1.7	21	14	3.9	0.0	2.4	27.6	2.5
7:00		44.1	17	456	4	0.2	3.2	23	14	2.9	0.0	-0.1	17.3	6.0
8:00		44.5	16	461	55	0.2	3.2	23	13	2.9	0.1	-0.1	-33.4	6.7
合計		1420.9	465	11173	388	5.4	51.4	615	394	124.2	1.6	78.3	395.7	94.5
平均		59.2	19	466	16	0.2	2.1	26	16	5.2	0.1	3.3	16.5	3.9
最小値		44.1	16	350	0	0.0	1.5	21	13	2.9	0.0	-0.1	-33.4	1.6
最大値		86.8	29	579	55	0.4	3.4	35	23	7.8	0.2	6.1	51.2	6.7

大目次

目次

要旨

- 8 深槽生物反応タンクにおける 超微細気泡散気装置の適用に関する調査研究

流域下水道本部 技術部 設計課

星谷 勇

富澤千里

1. 実験目的

本実験は、深槽反応タンクでの超微細気泡散気装置の適用性と、動力および CO₂ の削減効果を検討するため、実設備の反応タンクを用いた実証実験設備において、槽内攪拌性能と酸素供給性能について調査を行った。

2. 実験方法

2.1 実験設備

実験槽は、多摩川上流処理場第4系列反応タンクの一区画を使用し、図1に示すように、バッフル板を槽の池幅方向を1:1に分ける位置と、2:1に分ける位置(2が曝気部)に設置した2系列とした。なお1:1槽には、非曝気部側にもデッドゾーン防止用の散気装置を設置した。実験槽の仕様を表1に示す。

表. 1 実験槽仕様

		1 : 1 槽	2 : 1 槽
槽形状		15.9m ^(W) × 9.4m ^(L) × 11.8m ^(H)	15.9m ^(W) × 9.5m ^(L) × 11.8m ^(H)
有効水深		10m	同左
散気水深	1	4.2m	同左
有効槽容量	2	約 1,330m ³	約 1,344m ³
バッフル板	取付位置 (w/W)	1/2	2/3
	上部開口部	3m	同左
	底部開口部	2m	同左
散気装置	方式	超微細気泡散気装置	同左
	寸法	1.2m ^(W) × 3.6m ^(L)	同左
	有効発泡面積	3.71m ²	同左
	枚数	12枚 (曝気部 : 10, 非曝気部 2)	12枚 (曝気部 : 12枚)
	曝気部 開口面積比	41.2%	47.4%

1 実験時の散気水深は、水位の変動により 3.82m ~ 3.78m であった。

2 水深 4.2m とした場合

2.2 実験方法

2.2.1 実験条件と実験項目

実験条件と実験項目を表2に示す。本実験では、槽内攪拌性能および酸素供給性能の両調査とも、空気吹込率(送風量/槽容量)を操作因子とし、0.72, 0.63, 0.53, 0.45, 0.27Nm³/h・m³と変化させ測定を行った。また、1:1槽については非曝気部のデッドゾーン防止用の散

気装置の有無による攪拌性能、酸素移動効率への影響についても調査を行った。この槽における空気吹込率と設計流入水量(44,786m³/日)に対する送気倍率の関係を表3に示す。

表. 2 実験測定条件

測定日	実験	測定項目(目的)			空気吹込量(m ³ /h・m ³)					測定槽			備考
		流速	酸素移動効率	デッドゾーン	0.72	0.63	0.53	0.45	0.27	1:1			
										非曝気部の散気装置			
										2:1	あり	なし	
											発泡あり	発泡なし	
H12.6.4	A-a-1												
	A-a-2												
	A-a-3												
H12.6.5	A-b-1												中央断面のみ
	A-b-2												"
	A-b-3												"
	B-a-1												
H12.6.6	B-a-2												
	B-a-3												
	B-a-4												
H12.6.7	B-a-5												
	B-a-6												
H12.6.8	A-c-1												流速は固定流速計のみ
	A-c-2												"
	A-c-3												"
	B-b-1												
	B-b-2												
	B-b-3												

*7 は塩濃度が濃くなるため、参考試験とした。

表. 3 空気吹込率と送気倍率の関係

空気吹込率 (Nm ³ /h・m ³)	送気倍率
0.72	5.7
0.63	5.0
0.53	4.3
0.45	3.6
0.27	2.1

2.2.2 槽内攪拌性能調査

(1) 流速分布

流速測定点を図2～図5に示す。1:1槽については、センサーを槽に固定したものと(以下、固定流速計と表す)棒の先端に付け測定点までおろしたものと(以下、移動流速計と表す)の2種類の流速計で測定し、データロガに記録した。2:1槽については、全ての測定点を移動流速計で測定した。測定は、固定流速計は8～24分間(各条件により異なる)移動流速計は2分間測定しその平均値を求めた。流速は、槽の長手方向V_x、槽水深方向V_y、槽幅方向V_zの3成分を測定し、次式により合成流速V(cm/秒)、および流向を求めた。

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

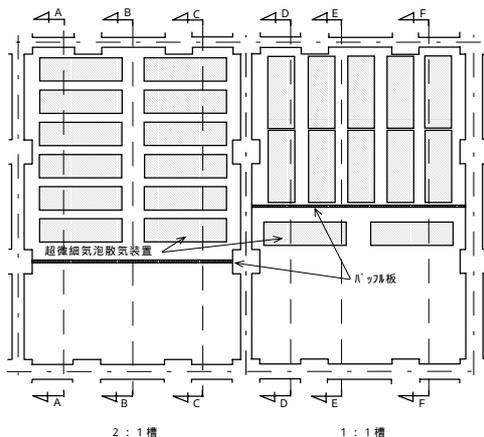


図 . 1 超微細気泡散気装置取り付け位置及び流速測定断面位置

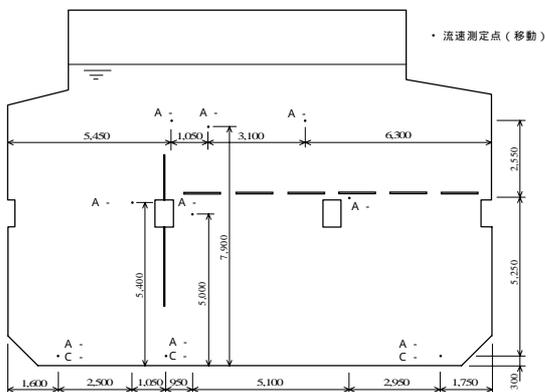


図 . 2 2:1 槽、A,C 断面流速測定位置

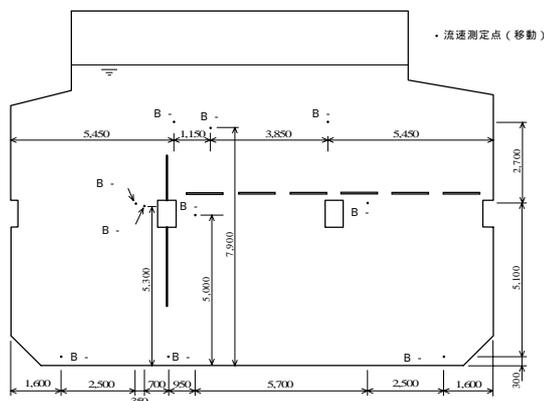


図 . 3 2:1 槽、B 断面流速測定位置

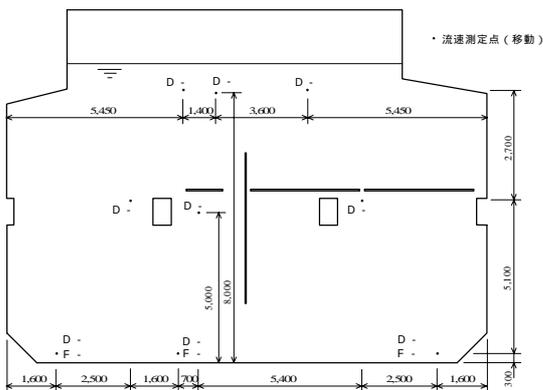


図 . 4 1:1 槽、D, F 断面流速測定位置

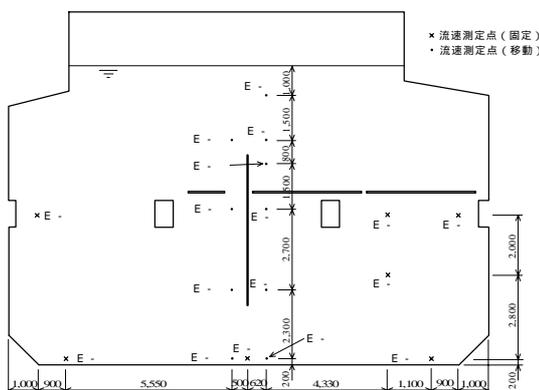


図 . 5 1:1 槽、E 断面流速測定位置

(2) D0 上昇傾向比較

槽内に酸素が供給されにくいデッドゾーンが存在するかどうかを確認するため、酸素移動効率測定時に図 6、図 7 に示す位置に D0 計を設置し、D0 の上昇傾向を比較した。

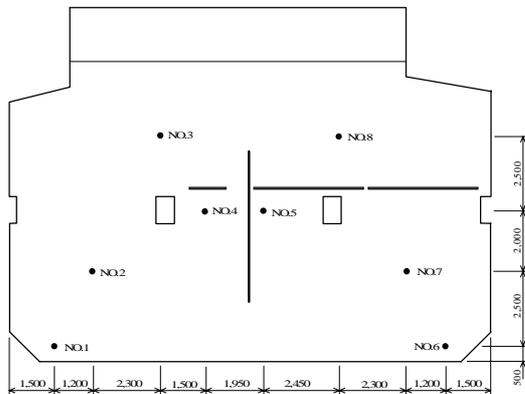


図 . 6 1:1 槽、D0 計設置位置

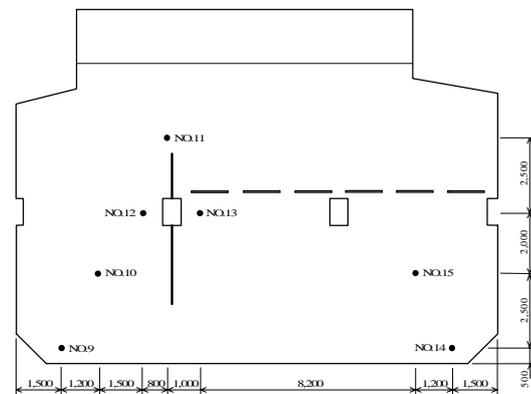


図 . 7 2:1 槽、D0 計設置位置

2.2.3 酸素供給性能調査

(1) 酸素移動効率

散気装置の酸素供給性能を評価する指標としては、酸素移動効率がある。本調査では、非常法により総括酸素移動容量係数 (K_{La}) を求め、酸素移動効率 η を求めた。非常法による K_{La} の測定手順を以下に示す。

設定送風量で曝気しながら槽内の D0 が 0 になるまで亜硫酸ナトリウムを添加する。引き続き曝気しながら D0 を上昇させ、D0 の経時変化を測定する。なお、測定の初回のみ触媒として塩化コバルトを添加する。

K_{La} の算出方法は以下の通り。

酸素の水への溶解速度は、次式で表される。

$$\frac{dc}{dt} = K_{La} (C_s - C)$$

これを積分し、整理すると

$$K_{La} = \frac{2.303}{t_2 - t_1} \log \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2}$$

C : 溶存酸素濃度 (mg/λ)

C_1, C_2 : t_1, t_2 時間後の溶存酸素濃度 (mg/λ)

t_1, t_2 : 測定時間

となり、 $t_2 - t_1$ に対して $C_s - C$ の変化を片対数グラフにプロットすれば、その傾きが K_{La} となる。

酸素移動効率は、曝気空気の酸素量に対し、液中に移動した酸素の割合を示すもので、次の式によって算出される。

$$e = \frac{C_s \times K_{La}(20) \times V \times 10^{-3}}{1.293 \times 0.233 \times Q} \times 100(\%)$$

e	: 試験水における酸素移動効率	(%)
C_s	: 測定時の散気水深、水温20 での飽和溶存酸素濃度	(mg/λ)
$K_{La}(20)$: 水温20 での総括酸素移動容量係数	(1/h)
V	: 槽容量	(m ³)
1.293	: 空気密度	(kgAir/Nm ³)
0.233	: 空気中の酸素含有量	(kgO ₂ /kgAir)
Q	: 送風量	(Nm ³ /時)

$K_{La}(20)$ は、非定常法で得られた K_{La} を次の式で水温 20 時の K_{La} に補正したものである。

$$K_{La}(20) = K_{La}(t) \times 1.024^{(20-t)}$$

今回の調査では、試験水に処理水を使用するため、処理水の e 値を非定常法により求め次の式にて酸素移動効率を補正した。

$$e_0 = \frac{e}{e_0}$$

e_0 : 清水における酸素移動効率 (%)

e_0 値は、清水（水道水）と処理水の K_{La} をそれぞれ 3 回測定し、その平均値をもとに算出した。

3. 実験結果および考察

3.1 槽内攪拌性能

(1) 流速分布

1:1 槽の中央断面の流速を図 8 に、2:1 槽の中央断面の流速を図 9 に示す。図中の点は、流速測定点を示す。また大カッコ内の数値は上から順に、槽の単位体積あたりの空気吹込率 (Nm³/h・m³) が、0.72 Nm³/h・m³ (1:1 槽のみ)、0.63 Nm³/h・m³、0.45 Nm³/h・m³、0.27 Nm³/h・m³ の時の平均流速である。平均流速が 10cm/秒に満たないものについては、大カッコの隣に小カッコで瞬間最大流速を示した。

1:1 槽、2:1 槽とも、送風量が増えるほど槽内各点の流速は早くなる傾向が見られた。図 10 に槽底面の流速の時間変化を示す。1:1 槽の曝気部下隅の流速は、頻繁に 10cm/秒以上の流速が得られている。2:1 槽の曝気部下隅の流速は、0.63 および 0.45Nm³/h・m³ の時は流速の強弱の波も大きく 10cm/秒を越える値が得られている。乱流を生じる流れのある場合には、流速 10cm/秒前後でも汚泥の堆積は見られないという報告^{1), 2)}もあることから、これらの条件では汚泥の堆積は生じないものと考えられる。一方、0.27Nm³/h・m³ では波も小さく 10cm/秒を越えていない。しかし、この槽での実用送風量は 0.45Nm³/h・m³ 以上であると予想されるため、どちらの配置においても実際の運転状況下では十分な旋回流が得られるものと考えられる。

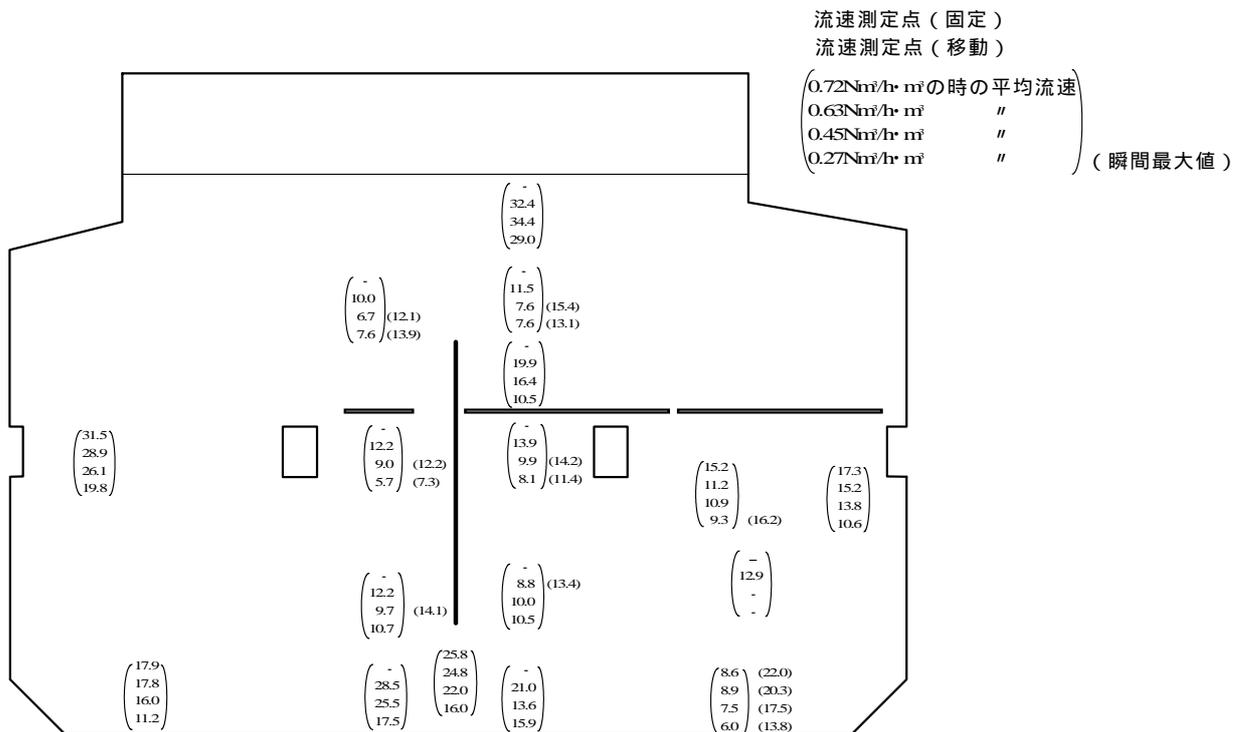


図 . 8 1:1 槽、E 断面の平均流速

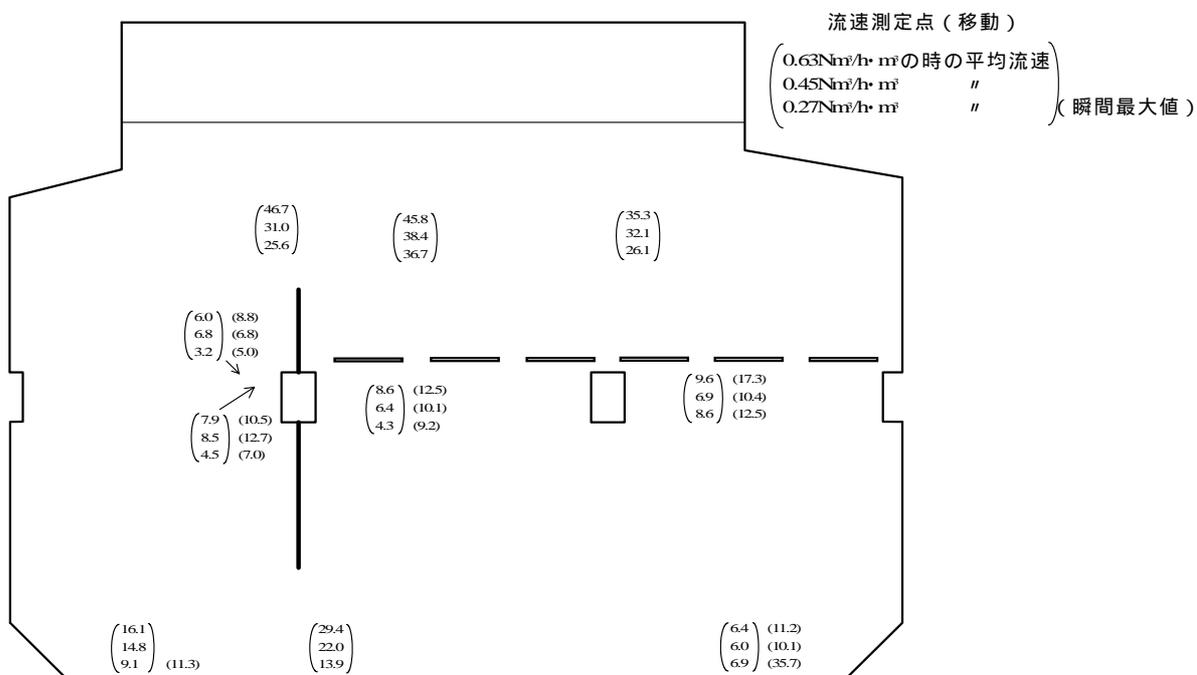


図 . 9 2:1 槽、B 断面の平均流速

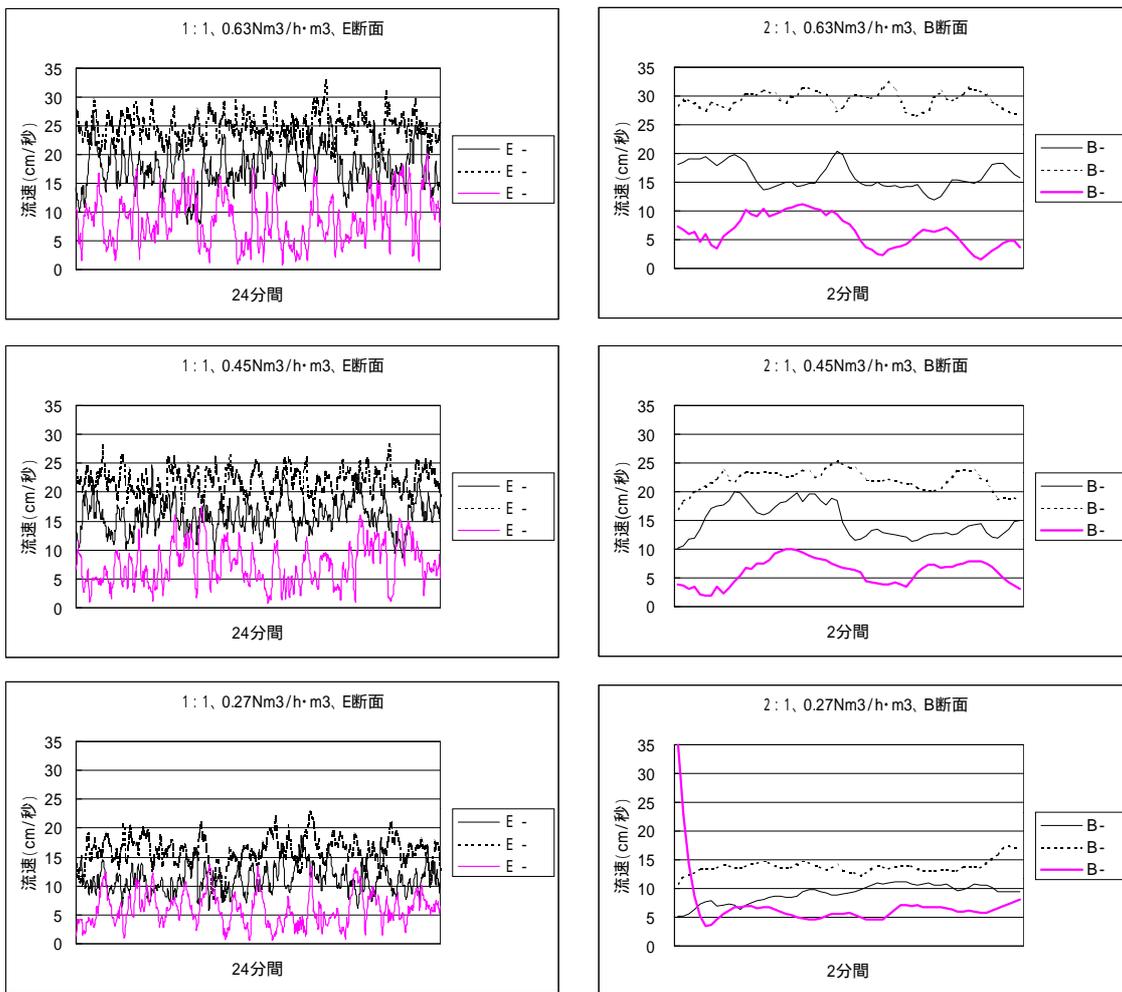


図 . 10 槽底面流速の時間変化

更に、底部流速の速度分散値が $4\text{cm}^2/\text{秒}^2$ 以上あれば、汚泥の堆積が生じないという報告³⁾もあることから次式にて E- , B- 点について速度分散値を求めた。その結果を表 4 に示す。

$$V^2 = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N \{V(i) - \bar{V}\}^2$$

- V^2 : 速度分散 (cm²/秒²)
- $V(i)$: 流速測定値 (cm/秒)
- \bar{V} : 時間平均流速 (cm/秒)
- N : 測定データ数

表 . 4 速度分散値

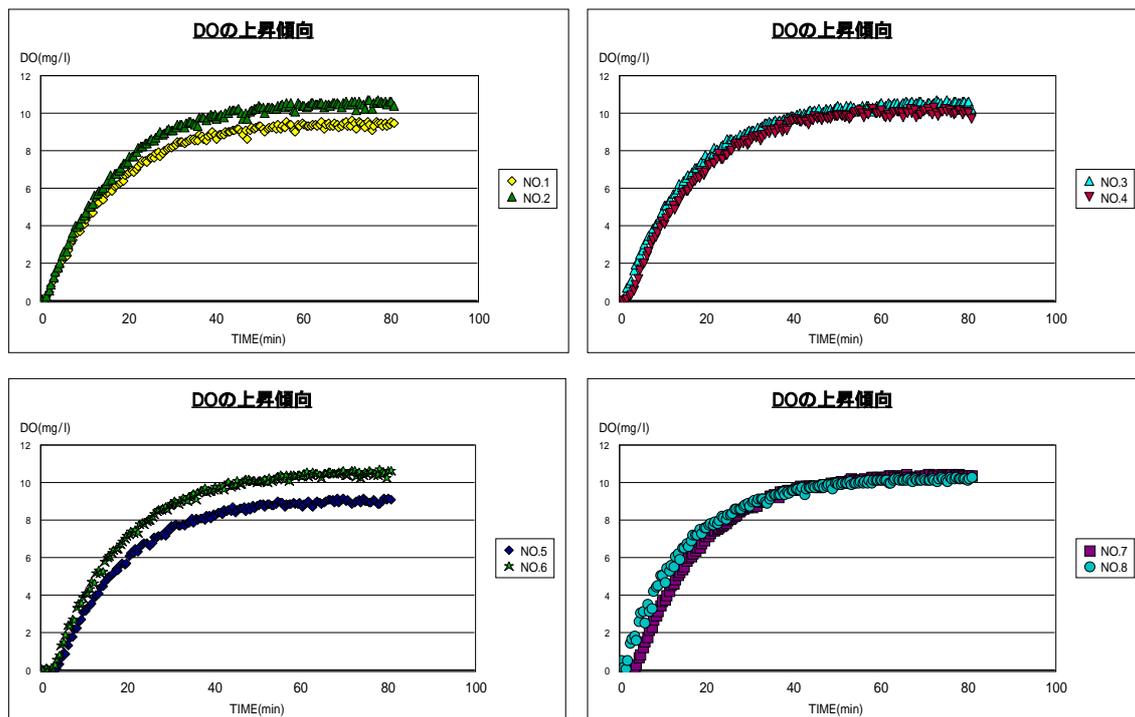
空気吹込率(Nm ³ /h・m ³)	1:1 槽 E-	2:1 槽 B-
0.63	17.7	7.4
0.45	12.4	4.9
0.27	7.7	1.9

(単位：cm²/秒²)

この表からも、2:1 槽の空気吹込率 0.27(Nm³/h・m³)以外では、4cm²/秒²以上の速度分散が得られていることより、実用風量範囲では汚泥の堆積は生じないと考えられる。

(2)DO 上昇傾向比較

送風量 0.63Nm³/h・m³での 1:1 槽の各 DO の上昇傾向を図 11 に、2:1 槽の各 DO の上昇傾向を図 12 に示す。槽内の流速の測定結果から、デッドゾーンになる可能性があると思われる位置は流速の遅いバッフル板の左右、および曝気側の下隅である。この位置に相当する DO 計は、1:1 槽で NO.4、NO.5、NO.6 であり、2:1 槽では NO.12、NO.13、NO.14 である。図 11、図 12 より、これらの点の DO 上昇傾向が他の点とほとんど変わらないことがわかる。これは、これらの点に他の点と同じように酸素が供給されていることを示している。したがって、デッドゾーンは生じていないと考えられる。

図 . 11 1:1 槽の DO 上昇傾向比較 (空気吹込率：0.63Nm³/h・m³)

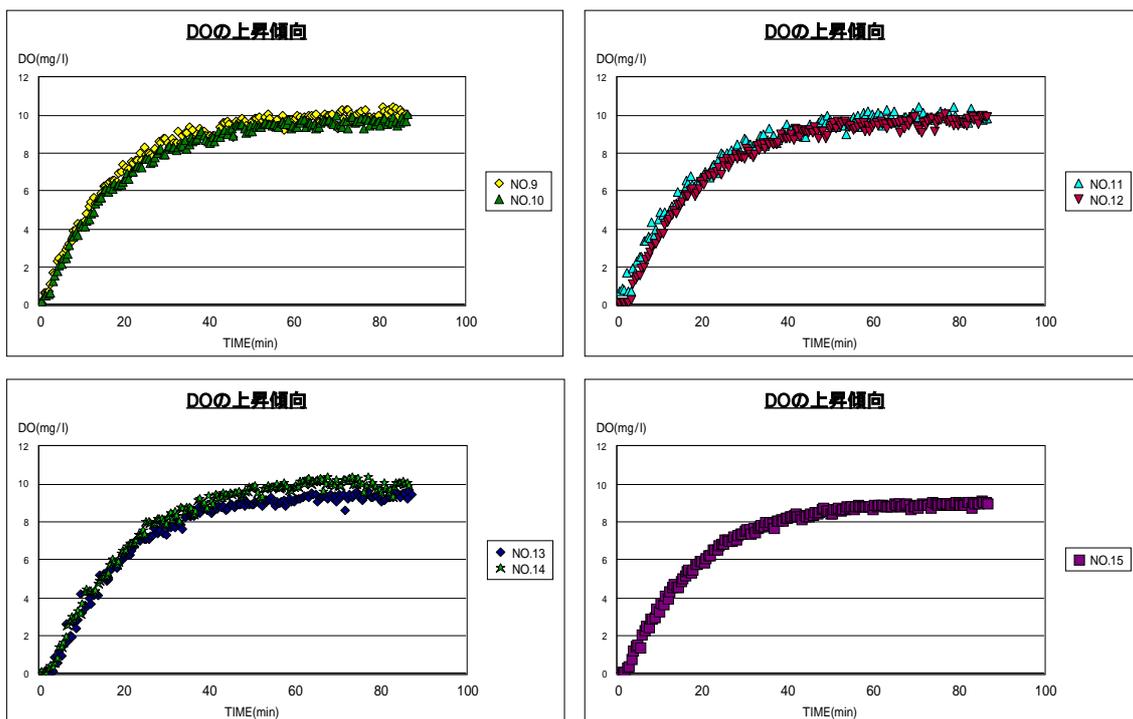


図 . 12 2:1 槽の DO 上昇傾向比較 (空気吹込率 : $0.63\text{Nm}^3/\text{h}\cdot\text{m}^3$)

3.2 酸素供給性能

(1) 酸素移動効率

図 13 に空気吹込率と酸素移動効率の関係を、表 5 に空気吹込率に対する K_{La} 、酸素移動効率の測定値を示す。図中の値は、実際の測定散気水深 (3.78 ~ 3.82m) での値を散気水深 4.5m に水深補正し、さらに補正 (= 0.97) したものである。

水深補正式は、次の式を使用した。

$$4.5\text{m} = H \times \left(\frac{4.5}{H} \right)^{0.7}$$

H : 散気水深 (m)

$\frac{H}{H}$: 散気水深 H での酸素移動効率 (%)

酸素移動効率は、1:1 槽で 24.5 ~ 30.5%、1:1 槽、デッドゾーン防止用散気装置を取り外した場合で 25.4 ~ 30.6%、2:1 槽で 21.4 ~ 24.7% であった。この値は、他の深槽実験槽や浅槽での値に比べ、やや低い値となっている。これは、槽形状の影響により、通常の槽に比べると攪拌流速が低下していることが原因と推測される。更に、デッドゾーン防止用の超微細気泡散気装置を取り外しても (図中凡例 : AP 取り外し) 酸素移動効率の値に大きな差はなかった。1:1 槽と 2:1 槽を比較すると高風量ではほぼ同じ値が得られたが、低風量では 1:1 槽のほうが若干高い値を示した。各条件での空気吹込率と酸素移動効率の関係の回帰式を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned}
 1:1 & : Y = 30.6 - 7.09 X \\
 1:1, AP \text{ 取り外し} & : Y = 34.9 - 17.7 X \\
 2:1 & : Y = 23.9 - 1.25 X
 \end{aligned}$$

(いずれも散気水深：4.5m)

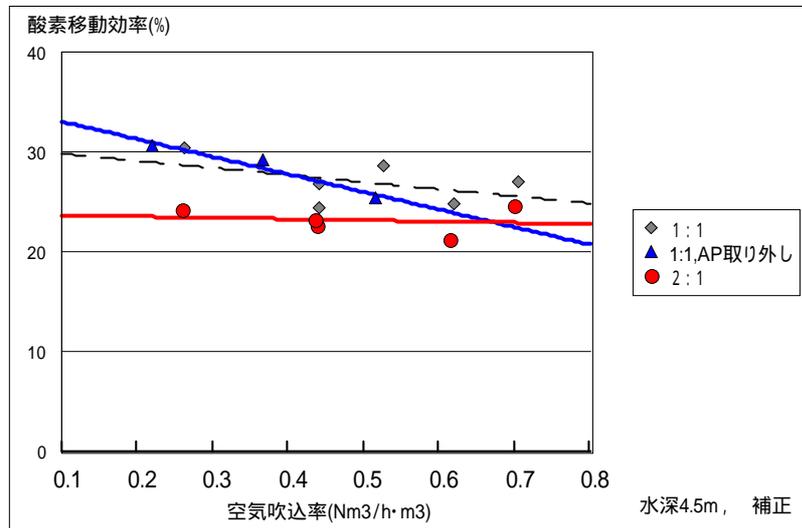


図 . 13 空気吹込率と酸素移動効率の関係

表 . 5 空気吹込率と $K_{La}(20)$ 、酸素移動効率の関係

条件	空気吹込率(Nm ³ /h·m ³)	$K_{La}(20)$	酸素移動効率(%)
1:1	0.71	4.14	27.1
	0.62	3.71	24.9
	0.53	3.20	28.7
	0.44	2.87	26.8
	0.44	2.76	24.5
	0.26	1.95	30.5
1:1, AP 取り外し	0.52	2.95	25.4
	0.37	2.49	29.2
	0.22	1.66	30.6
2:1	0.70	3.68	24.7
	0.61	3.23	21.4
	0.44	2.48	22.6
	0.44	2.65	23.2
	0.26	1.69	24.4

3.3 電力およびCO₂削減効果

酸素移動効率の結果から、多摩川上流処理場殿第4系列の好気タンクの散気装置として超微細気泡散気装置を採用した場合と、散気板あるいは水中機械式攪拌機を採用した場合の電力削減効果およびCO₂削減効果を算出した。

各散気装置の比較設計条件を表6に、算出結果を表7に示す。また表8に各算出根拠を示す。この表からわかるように、超微細気泡散気装置は年間電力費で散気板に対し約1,160万円、水中機械式攪拌機に対し約1,690万円削減できる。CO₂排出量は、散気板に対し約33%、水中機械式攪拌機に対し約42%削減することができることがわかった。

表. 6 設計条件

必要酸素量(kgO ₂ /日)	18,910	
バツフル板位置	1:1	
散気水深 (m)	散気板	4.5
	水中機械式攪拌機	5
	超微細気泡散気装置	4.1
好気タンク容量(m ³)	15,741	

表. 7 電力およびCO₂排出量削減効果

	散気板	水中機械式攪拌機	超微細気泡散気装置
清水での酸素移動効率 (3) (%)	16.3	20	24.2
必要空気量 (m ³ /min)	287.0	233.9	193.3
プの吐出圧力 (4) (mmAq)	5,355	5,300	5,350
プの吸込圧力 (mmAq)	-200	-200	-200
断熱効率	0.6	0.6	0.6
プの理論軸動力 (kW)	368.7	297.9	248.2
攪拌動力 (5) (kW)	-	125.9	-
合計必要動力 (kW)	368.7	423.9	248.2
電気代 (円/kW)	11	11	11
年間電気代 (千円)	35,530	40,844	23,913
差額 (散気板に対し) (千円)	-	-	-11,617 (-32.7%)
差額 (Iア-外に対し) (千円)	-	-	-16,931 (-41.5%)
CO ₂ 排出量 (6) (kgCO ₂ /年)	1,227,409	1,410,982	826,085
CO ₂ 削減量(散気板に対し) (kgCO ₂ /年)	-	-	-401,324 (-32.7%)
CO ₂ 削減量(水中機械式攪拌機に対し) (kgCO ₂ /年)	-	-	-584,897 (-41.5%)

()は削減率

表. 8 算出根拠

3 各散気装置の酸素移動効率根拠	散気板	下水道施設計画・設計指針と解説より、散気水深5m時の酸素移動効率=15~20% 中間値17.5%をとり散気水深4.5mに補正。
	水中機械式攪拌機	メーカーカタログの定格値
	超微細気泡散気装置	好気タンクに134枚設置するため、1枚あたりの送風量を80Nm ³ /hとすると空気吹込率は次のようになる。 $\frac{80\text{Nm}^3/\text{h} \times 134\text{枚}}{15,741\text{m}^3} = 0.68\text{Nm}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$ この値を、3-3式(水深4.5mの値)に代入し、さらに水深4.1mに水深補正した。
4 プの吐出圧力	散気板	散気水深:4,500mm + 配管圧損:300mm + 散気板圧損:230mm + 圧損の経年上昇分:325mm (65mmAq×5年)
	水中機械式攪拌機	散気水深:5,000mm + 配管圧損:300mm
	超微細気泡散気装置	散気水深:4,100mm + 配管圧損:300mm + 補圧損:950mm (at 80m ³ /時・枚)
5 水中機械式攪拌機の攪拌動力	8W/m ³	
6 CO ₂ の排出量の算出	0.38 kgCO ₂ /kWh ⁴)	

4. まとめ

多摩川上流処理場における本調査研究の結果、次のことが明らかとなった。

(1) 槽内流速

バッフル板位置 1:1 槽、2:1 槽とも、槽内攪拌に必要な旋回流が得られた。散気装置下、底部隅の点は平均流速 10cm/秒に満たないものの、瞬時的には 10cm/秒以上の流速が得られており、実用送風量範囲内においては、汚泥の堆積はないものと考えられた。

(2) DO 上昇傾向

槽内各点の DO 上昇傾向の差はほとんど見られなかったことからデッドゾーンは生じることなく、槽内に均一に酸素が供給されていた。

(3) 酸素移動効率

酸素移動効率は、1:1 槽で 24.5～30.5%、2:1 槽で 21.4～24.7%であり、1:1 槽の方が若干良い値が得られた。また、非曝気側のデッドゾーン防止用散気装置を取り外しても、酸素移動効率に大きな差は見られなかった。

(4) 電力および CO₂ 削減効果

多摩川上流処理場第 4 系列（約 44,800m³）に超微細気泡散気装置を設置した場合、散気板に比べ約 33%、水中機械式攪拌機に比べ約 42%の電力および CO₂ が削減できると予想される。

これらの結果より、深槽の散気装置として超微細気泡散気装置を適用することが可能であり、また動力および CO₂ 削減効果も非常に大きいものと考えられる。

さらに、特殊な形状であるこの槽(H/W 0.6)で適用可能であると評価できたことから、通常の形状(H/W=0.8～1.3程度)の反応タンクでは、さらに高い性能が期待できる。

5. 今後の課題

今回得られた酸素移動効率の値は、浅槽での実績や深層実験槽（水深 10m）での値と大きく異なる値であり、その原因として槽形状の影響が考えられる。したがって、今回のような槽形状に超微細気泡散気装置を適用する場合、最適な散気装置の据え付け高さ 配置，バッフル板設置高さ等を考慮し、通常の槽形状と同等の性能を発揮させることが今後の課題である。

(参考文献)

- 1) : 「Wastewater treatment plant design」 WPCF P241 (1977)
- 2) : 「東京都下水道局技術調査 3.小台処理場における曝気槽設備の更新」 P40 (1987)
- 3) : 「脱窒槽並びに硝化槽における省エネルギー型水中機械攪拌・ばっ気装置の性能評価」下水道協会誌 vol.21, NO.240, P8, (1984)
- 4) : 「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」社団法人日本下水道協会 P19 表 3-2 (1999)

大目次

目次

要旨

- 9 下水道における白色固形物の成分組成変化調査

中部管理事務所 芝浦処理場

安田 勉

庄司 桂子

1. はじめに（調査の背景）

いわゆる白色固形物問題*は当局の重要課題の一つで、平成13年度の中部管理事務所経営管理会議でも重要項目として対策に取り組んでいるところである。

白色固形物の成分はこれまでの調査（芝浦処理場分析調査委託）から表-1に示すとおり、パルミチン酸、ステアリン酸、ミリスチン酸、オレイン酸等の高級脂肪酸及びその金属塩を主成分とした生物由来の油脂をベースにしたものであることが明らかとなっている。特に、パルミチン酸の含有比が70～80%と高いのが特徴である（低いものも1検体見つかっている）。天然の油脂やそれを原料とした石けん等の製品はパルミチン酸の含有比が20～30%であり、本固形物のように含有比が極めて高い物質は既存の油脂製品としては考えにくい。しかし、一方でこのような物質がどこかで使われている可能性も否定できない。

そこで今回、白色固形物の起源を探るためラードの成分組成に着目し、下水に長時間接触した場合どのように構成成分が変化するかを調査した。その結果2, 3の知見が得られたので報告する。

表1 白色固形物の脂肪酸基組成一例

脂肪酸基 試料	含有比（%）			
	ミリスチン酸	パルミチン酸	オレイン酸	ステアリン酸
試料1	5.3	73.2	4.5	16.9
試料2	4.5	86.4	2.3	6.9
試料3	4.1	83.0	2.1	10.8
試料4	2.1	40.0	30.7	10.3
ラード	1～2	24～33	40～60	8～15
大豆油	-	5～12	20～35	2～7

*備考：白色固形物問題（下水道局；下水道における白色固形物流出緊急対策報告書より一部抜粋）

白色固形物が表面化したのは、平成9年4月に産経新聞が「お台場に流れ着く生ゴミや白い油塊」と報道したのが最初であった。白色を呈した固形物がお台場海浜公園に漂着し、美観上の問題と共に同公園の利用者に不快感を与えることが問題となった。

この報道を契機として、東京海上保安部は白色固形物の発生由来を明らかにする取り組みを行ってきた。その中で、屋形船からの排水も検討されたが、白色固形物の発生原因として特定することはできなかった。

その後、平成11年8月には再び産経新聞が「お台場海浜公園に大量オイルボール」との見出しで、引き続き白色固形物の漂着は続いていること、原因特定が進んでいないことを報道した。

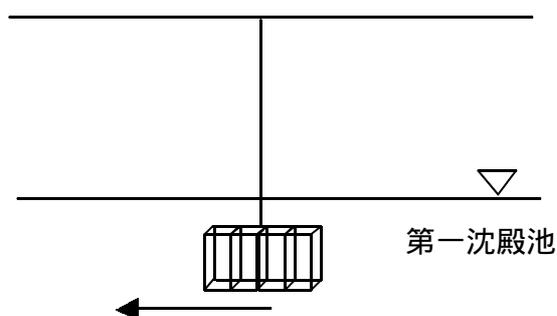
このような状況の中で、平成11年11月に海上保安庁海上保安部から芝浦処理場が白色固形物と下水道施設からの雨天時排水との関連性について事実確認を受けた。下水道局では施設内の点検や成分分析等によりその関連性について調査した。その結果、類似の白色固形物が下水道施設内で確認されたことや成分の類似性、漂着状況から雨天時に下水道施設から流出している可能性が類推された。

そこで、下水道局は次長を委員長とする「東京都下水道局白色固形物等流出対策検討委員会」を設置し（平成12年10月）、同年12月に「下水道における」白色固形物流出緊急対策を発表した。

2. 調査方法

2.1 試料の作成

市販の食用ラードを複数のガラス板(100×200mm)に薄層状(約3mm厚)に塗り、それをステンレスカゴに固定し、芝浦処理場本系第一沈殿池上部の緩やかな水流部分に浸せきするように吊した。調査開始から10, 20, 30, 70日後にガラス板を順次回収し、高級脂肪酸等の分析・測定を試料に供した。



2.2 分析・測定方法

調査項目及び各項目の分析・測定方法を表-2に示す。詳細は別添資料1, 別添資料2に示す。

表2 調査項目の分析・測定方法

調査項目	分析・測定方法
油分組成	赤外分光法(IR)
脂肪酸濃度	ガスクロマトグラフ質量分析法(GC/MS)
高級脂肪酸塩の対イオン分析	プラズマ発光分光分析法(ICP) 炎光光度法

3. 調査結果及び考察

3.1 浸せきラードの外観

ガラス板に塗ったラードは調査期間を通して、剥がれ落ちることはなく、1週間目頃からラード表面が固くなり始めるという変化がみられた。また、試料の一つには、ラード表面にマジックで文字を書いていた。しかし、調査期間中その文字が消えることはなかった。すなわち、ラード表面には下水中の油状物質等が付着しなかったことが確認できた。

3.2 水温

調査期間中の水温は表-3に示す。
本調査は水温が低い時期（平成13年2～4月）に実施したものである。

表3 調査期間中の水温

調査期間	平均水温（
0～10日	16.3
11～20日	15.2
21～30日	18.7
31～70日	20.4

3.3 油脂量の変化

浸せきラードの構成成分の経時変化を表-4及び図-1に示す。

これによれば、ラードの油脂は10日目で約1/2に減少し、時間経過と共にさらに減少し、70日目では8.5%になった。逆に、高級脂肪酸と脂肪酸塩の割合が時間経過と共に増加していくのが分かる。これは油脂が加水分解により高級脂肪酸になり、さらに下水中の金属イオンと反応して脂肪酸塩（金属セッケン）を生成したものと考えられる。このように、下水に浸せきしたラードの成分組成は速やかに変化することがわかった。

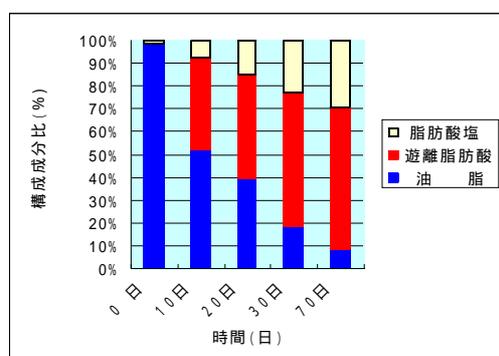


表4 ラードの構成成分の経時変化

	構成成分比 (%)		
	油脂	高級脂肪酸	脂肪酸塩
0日	99以上	0	1以上
10日	51.9	40.6	7.5
20日	39.7	45.7	14.6
30日	18.8	58.0	23.2
70日	8.5	62.6	28.9

図1 ラードの構成成分の経時変化

3.4 高級脂肪酸基組成変化

浸せきラード中のオレイン酸、リノール酸、パルミチン酸、ステアリン酸の高級脂肪酸基組成比の経時変化を表-5及び図-2に示す。

これによれば、0日目のラードの脂肪酸組成比は一般に云われているラードの組成比である。これが時間経過と共にオレイン酸は減少し、パルミチン酸が増加していることが明らかとなった。また、これほど顕著でないが同様にリノール酸は減少し、ステアリン酸は増加している。

この理由は次のように考えられる。一般に、高級脂肪酸はその化学構造から飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸に分かれる。動物油に多く含まれるパルミ

表5 浸せきラード中の脂肪酸基組成比の経時変化

	脂肪酸成分 (%)			
	オレイン酸	リノール酸	パルミチン酸	ステアリン酸
0日	46.3	7.5	25.6	14.7
10日	45.5	10.2	29.6	6.9
20日	42.4	6.3	38.0	8.4
30日	36.8	3.3	40.0	14.8
70日	27.7	1.7	52.0	13.8

チン酸やステアリン酸は飽和脂肪酸で、動物及び植物油の両方に多く含まれるオレイン酸や植物油に多く含まれるリノール酸等は不飽和脂肪酸である。

また、飽和脂肪酸は生物分解速度が遅く、不飽和脂肪酸は生物分解速度が速いといわれている。このことから、オレイン酸やリノール酸は短時間で生物分解されて減少し、その結果、生物分解速度が遅いパルミチン酸の比率が相対的に高くなったものであろう。

さらに時間が経てば高級脂肪酸基は白色固形物に類似した組成に達すると思われる。

図-3はこれまで各現場で採取した白色固形物のオレイン酸とパルミチン酸の含有比をプロットしたものである(印)。さらに、同図に本調査における浸せきラードの経時変化試料のオレイン酸とパルミチン酸の含有比を同様にプロット(印)したところ、両者は一直線上にきれいに並んだ。このことから、白色固形物の油脂はラードを主成分したものが下水中で変化した可能性が高いといえる。

4.5 脂肪酸基の対イオン

浸せきラードの脂肪酸塩中のイオンの経時変化を表-6に示す。この結果から、脂肪酸塩の対イオンは主にカルシウムで、経時変化は見られない。つまり、浸せきラードで生成された金属セッケンは大部分がカルシウムによるものである。これは白色固形物調査の高級脂肪酸塩がどれもカルシウム塩であったことと一致している。

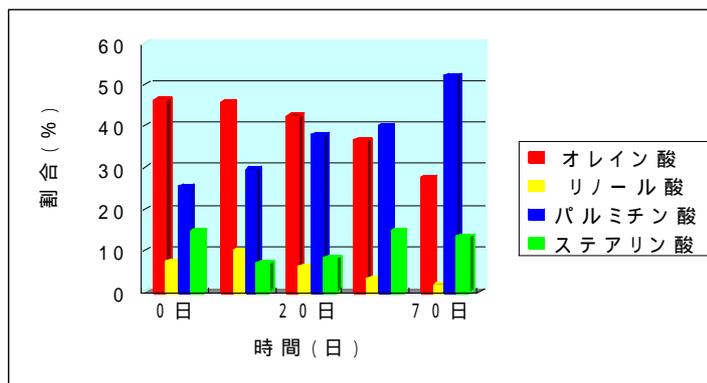


図2 ラード中の脂肪酸基組成比の経時変化

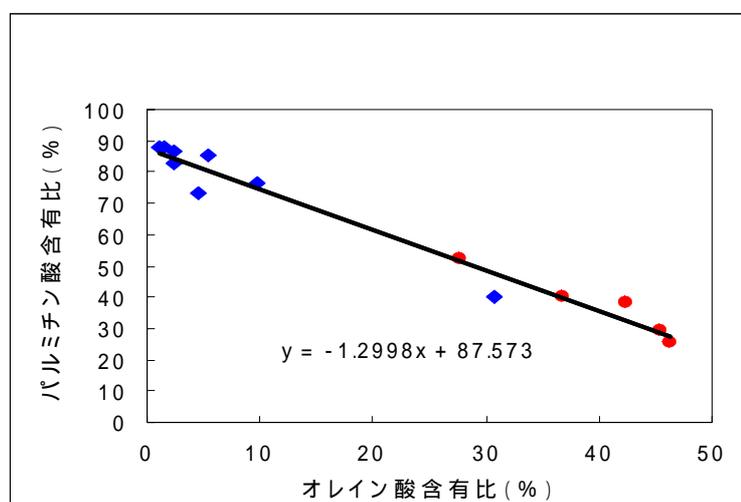


図3 オレイン酸・パルミチン酸含有比の関係

表6 各脂肪酸塩中の対イオン含有量

試料	含有量 (wt%)		
	カルシウム	ナトリウム	カリウム
10日後脂肪酸塩	5.4	0.11	0.034
20日後脂肪酸塩	5.8	0.05	0.018
30日後脂肪酸塩	5.8	0.05	0.018
70日後脂肪酸塩	6.5	0.02	0.005

4．白色固形物の生成過程

これまでの白色固形物の性状分析や生成実験及び今回の調査結果から、同固形物の生成過程は以下のとおり考えられる。

事業所等から下水に排出された液状の油脂（ラード等）は流下しながら一部は、管壁等に付着したり流れの緩やかなところでスカムとして堆積する。ラード等は管渠内で固化し、粘着性が強く他の夾雑物も取り込んで塊り（白色固形物）となりやすい。

同時に、下水道施設内に滞留したラード等は下水中の微生物（細菌）の加水分解酵素（リパーゼ等）あるいは一部には酸等の化学物質による触媒作用で加水分解が速やかに進行する。

このようにして加水分解された白色固形物は、高級脂肪酸とグリセリンに分かれる。高級脂肪酸は下水中の主にカルシウムイオンと反応して容易に金属セッケンを生成するが、この反応は白色固形物の表面で起っている。

さらに、白色固形物は下水中の微生物（細菌）により生物分解を受ける。この生物分解の速度は高級脂肪酸の種類により異なる。このため、パルミチン酸のように生物分解速度が遅い物質の含有比が高い白色固形物となる。

以上のようにして、下水に流入したラード等は下水に滞留しながら微生物の分解を受け、特有の成分組成を持った白色固形物が形成される。さらに、白色固形物は海水と接触することにより一層金属セッケン化が進行すると考えられる。

5．おわりに

今回の調査によって、いわゆる白色固形物は既製品としてそのような物質が存在するものではなく、大部分は人々が日常社会生活で使用しているラード等が下水道施設内で変化して生成されることが明らかとなった。したがって、下水道施設からの白色固形物流出防止対策は、すでに当局が実施している緊急対策3本柱： 施設改善対策 維持管理対策 ラード等の発生源・排出者対策を確実に実行することである。

中でも、管渠清掃への期待は大きいですが、清掃方法については白色固形物を確実に回収し、系外へ搬出する方法を早急に確立しなければ、ほとんど効果はないであろう。

また、これまで一部では検討されているが有用微生物の活用等による白色固形物の削減技術の開発も積極的に進める必要があると考える。

「謝辞」

本調査に関して貴重な助言を頂きました東京都生活文化局消費生活総合センター商品テスト課高橋課長、宮元課長補佐、(株)分析センター小林主任研究員に謝意を表します。

別添資料 1 分析条件

1) 赤外分光法 (I R)

装置 : 島津製作所製 IR-460 型
 測定範囲 : 4000~400
 測定方法 : KBr 錠剤法

2) ガスクロマトグラフ質量分析法 (GC/MS)

装置 : 日本電子社製 AUTOMASS-50 型
 MS 条件 : イオン化法 . . . EI
 イオン化電圧 . . . 70eV
 イオン源温度 . . . 250
 GC 条件 : カラム . . . CP-sil 5CB 30m × 0.25mm
 カラム温度 . . . 40 ~ 250 (15 /min)
 キャリア-ガス . . . He 1 ml/min
 試料導入 : スプリットレス法

3) プラズマ発光分光法 (ICP)

装置 : 島津製作所製 ICPS-8000 型
 焦点距離 : 1000 mm
 測定波長 : 160 ~ 850 nm
 定量元素 : Ag、Al、As、Ba、Be、Bi、Ca、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、Ge
 K、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、Pb、Sb、Sn、Sr、Ti、V、Zn、Zr
 . . . 計 27 元素

4) 炎光光度法

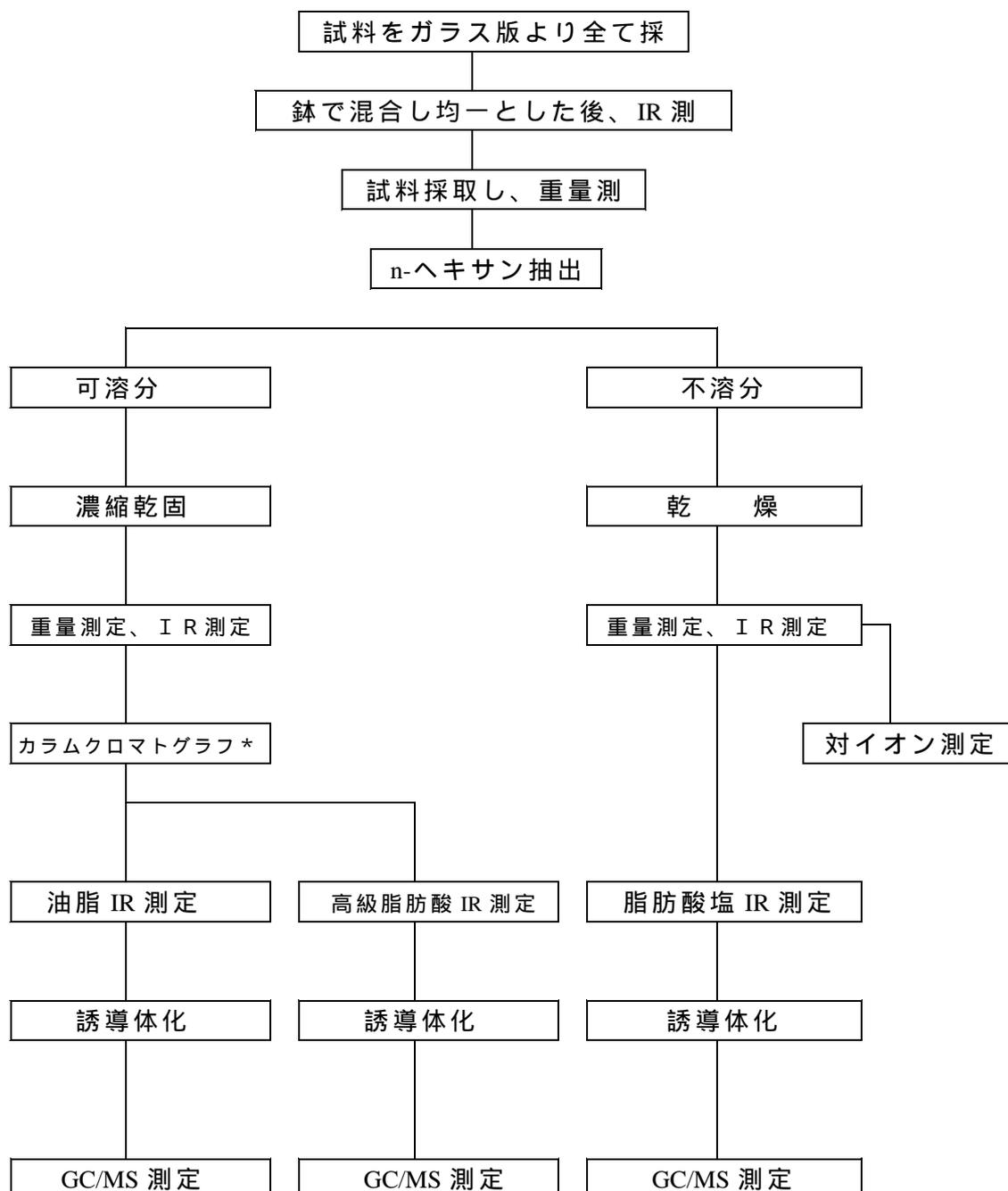
装置 : VALIAN 社製 SPECTRA AA 50 型
 定量元素 : Na、K

5) シリカゲルカラムクロマトグラフ法

シリカゲル : Silica gel 60
 展開溶媒 : クロロホルム / n-ヘキサン 3/1
 検出方法 : よう素

別添資料 2 試験操作

本試験操作フローを以下に示す。



* IR により高級脂肪酸、脂肪酸塩が認められた 10、20、30、70 日後について実施。

大目次

目次

要旨

- 1 0 冷蔵式自動採水器に関する調査

中部管理事務所 芝浦処理場

安田 勉 粕谷 修司 横山 弘 坂元 忠明
豊嶋 喜貴 中村 敬臣 庄司 桂子 井上 毅

1. はじめに

水質管理に伴う試料採取の簡便化、省力化を図るため、自動採水器が利用されている。しかし、微生物の分解作用等をうけ水質が変化すること、実際の使い勝手が不便なことにより通日試験等の採取には使用できていない。自動採水器は、主として特別調査に使用されるのみで、その利用実績は高くはない。そこで、芝浦処理場では平成11年度末に採取試料を冷蔵保存できる冷蔵式自動採水器を設置して、水質分析データの比較、使い勝手等を調査した。

この装置の有効性等一定の知見が得られたので、報告する。

2. 調査概要

2.1 調査期間

平成12年5月～平成13年3月

2.2 冷蔵式自動採水器設置場所

芝浦処理場東系 流入下水 一沈流出水 処理水 の3か所に現場設置

2.3 冷蔵式自動採水器の機能概要

(ISCO社製ウォーターサンプラー)

(1) 採水方法について(下記3方法で使用可能)

- ・ 1ボトル1サンプル ボトル本数 24 (1リットル)
- ・ 複数ボトル1サンプル 8 (2リットル)
- ・ 1ボトル複数サンプル 4 (3.7リットル)

(2) 採水プログラムについて

- ・ 曜日と時間を設定しておいて、採水を開始できる。
- ・ 複数の曜日を選択しておく、選択した曜日のうちのいずれかが来たら設定時間に採水を開始する。
- ・ pH、温度、水位、水量、流速、雨量の値が設定値を超えたら採水するようにセットできる。ただしそれぞれモジュールが必要。
- ・ 流量計をセットすれば、流量に比例した量のサンプルを採水できる。ただし、あらかじめ毎回異なる採水量を設定しておくことはできない。
- ・ 採水間隔を毎回変更して採水することができる。

2.3 調査内容

(1) 時間毎試料の分析結果の比較

通日試験の時間毎試料について通常データと自動採水器のデータの分析結果を検証した。通常データは、通常通り2時間毎採水の度に分析を行った。

自動採水器のデータは、自動採水器を回収後に各2時間毎検体を分析した。

分析方法は、公定法その他窒素、リンは通常日常試験で用いている簡易法によった。

5月に1回だけ行った。

(2) 混合試料の分析結果の比較

通日試験混合試料について通常データと自動採水器のデータの分析結果を検証した。

通常データは、2時間毎に採水試料から流量比例した量を採取し混合試料を作り、採水終了後に分析した。

自動採水器データは、自動採水器を回収後に各検体から通常の場合と同じ流量比で混合試料を作り、分析した。

分析方法は、通常の日通試験の通り公定法で行った。

6月と9月の2回行った。

(3) 実使用調査

実際の通日調査に自動採水器を使用し、使い勝手、問題点等を調査した。

10～3月の通日に合計6回実施した。

3. 調査結果

3.1 通常採水試料と自動採水器による採水試料の分析比較

(1) 時間毎試料について

時間毎試料の通常採水試料と自動採水器による採水試料の分析比較結果を図1～7に示す。また、各測定項目毎の比較結果を表1に示す。

表1 通常採水と自動採水器の水質分析結果の比較

項目	分析方法	試料	結果
T - N	紫外線吸光度法 (公定法)	沈殿下水 放流水	沈殿下水は自動採水器の方が常に値が大きく、また変化が少ない。特に9時、11時、13時の値は自動採水器の方が2倍程度大きい。放流水は1日の変化が少なく、ほぼ平行で自動採水器の方が5mg/l程度大きい。
NH4-N	NH4-Nメーター (簡易法)	沈殿下水 放流水	放流水、沈殿下水とも一日中よく一致。
NO2-N	RQフレックス (簡易法)	沈殿下水 放流水	ほぼ近い値である。
NO3-N	RQフレックス (簡易法)	沈殿下水 放流水	上下にかなりずれる。沈殿下水は値が低いため、ほぼ一致した。
T - P	ホルクリン分解法 (公定法)	沈殿下水 放流水	放流水、沈殿下水とも一日中よく一致。
COD	(公定法)	沈殿下水 放流水	ほぼ一致しているが、たまにずれることがある。
SS	ろ紙法 (公定法)	沈殿下水 放流水	ほぼ一致しているが、たまにずれることがある。

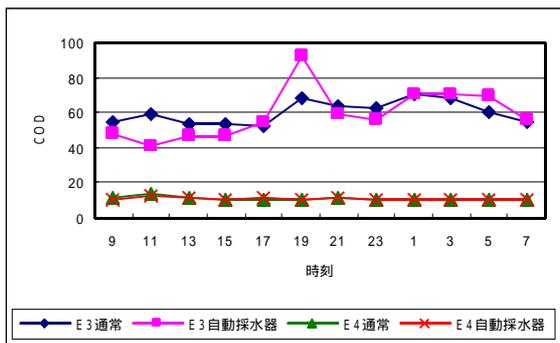


圖 1 C O D 分析結果

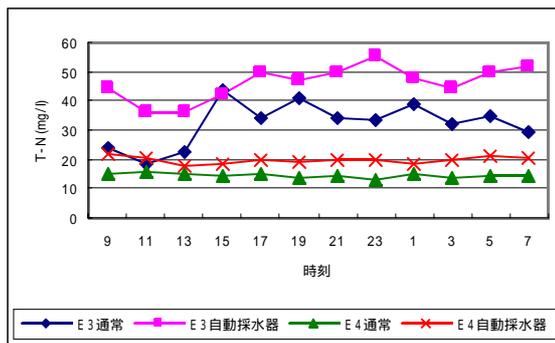


圖 4 T - N 分析結果

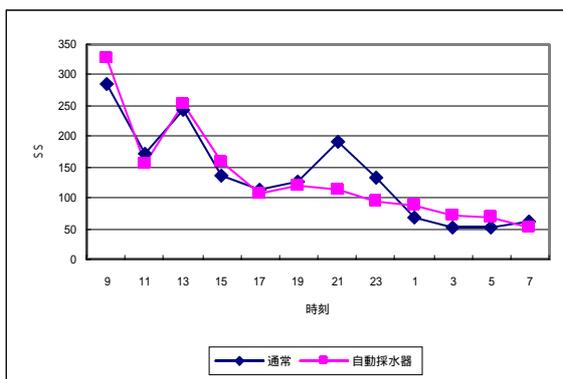


圖 2 S S 分析結果

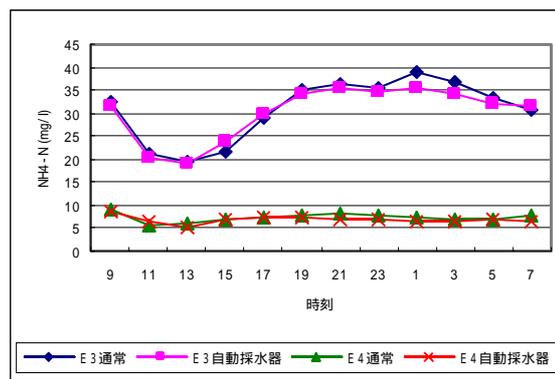


圖 5 N H 4 - N 分析結果

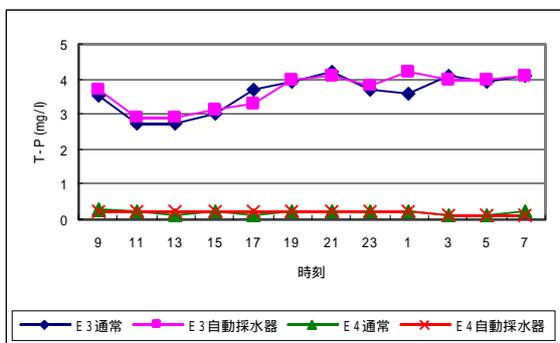


圖 3 T - P 分析結果

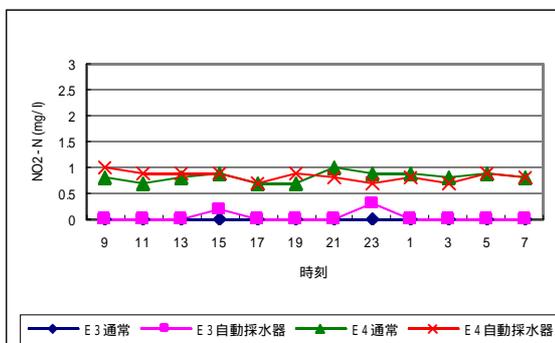


圖 6 N O 2 - N 分析結果

圖表示例

- * E 3 一沉出口水
- * E 4 放流水

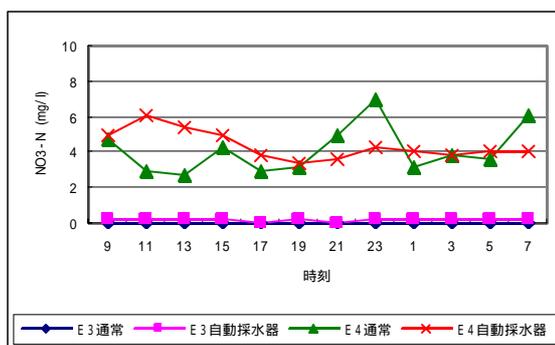


圖 7 N O 3 - N 分析結果

NO₃-N、T-Nを除くと多少の誤差はあるが、概ね一致していた。誤差の原因は次の3点が考えられる。

- ・採水時間誤差 通常採水は自動送水機を利用して実験室内で採水しており、自動採水器と採水時間にタイムラグがある。
- ・採水誤差 流入水では、同時採水をしていてもSS分に差が生じることがある。SSの差が他の項目にも影響を与える。
- ・分析誤差 分析には誤差は必ずあり、値は完全には一致しない。

NO₃-N、T-Nを除く項目では、実用可能な誤差の範囲であると考えられる。

NO₃-NのRQフレックス法は、簡易測定器を使用した測定結果であり、測定方法自体に問題点があると考えられる。非常に簡単に測定できるので、日常試験に活用し硝化促進の水処理運転管理に利用するのは良いが、分析の精度は低い。

T-Nの分析結果も後述するよう、分析方法自体に問題点があると考えられる。

(2)混合試料について

混合試料の通常採水試料と自動採水器による採水試料の分析比較結果を図8に、分析データを表2に示す。誤差が10%の範囲を実用上問題のない目安とすると、大半のデータはこの範囲に入ったが、一部のデータははずれていた。その原因として次の事が挙げられる。

* 放流水のSS、BOD等は値が小さいため、わずかな差が比率としては大きく評価されたのが原因と考えられる。

* 強熱減量は計算で出す項目のため、蒸発残留物と強熱残留物の結果によって、誤差が拡大する場合がある。有機性窒素も同様の事情が考えられる。

* 硝酸性窒素は公定法のブルシン法で測定したが、放流水でやや誤差が出た。値が小さいことと分析精度がやや低いためと考えられる。

* 紫外線吸光光度法全窒素は(1)で述べたように分析方法自体の誤差と考えられる。公定法の総和法で求めた全窒素は、誤差が小さかった。また、試料を冷蔵保存することによって分析値が変動するか調べたが、

総和法全窒素の値は冷蔵保存によってはほとんど変化しなかった。従って紫外線吸光光度法全窒素において誤差が大きくなったのは、分析方法自体の問題である可能性が大きいと考えられる。紫外線吸光光度法も公定法であるが、分析精度が低いようである。窒素、りんの水質規制が始まり、平成16年度よりCODと同様に総量規制が導入される。今後、全処理場に全窒素、全りん計を設置予定であるが、全窒素については特に水質計器の精度

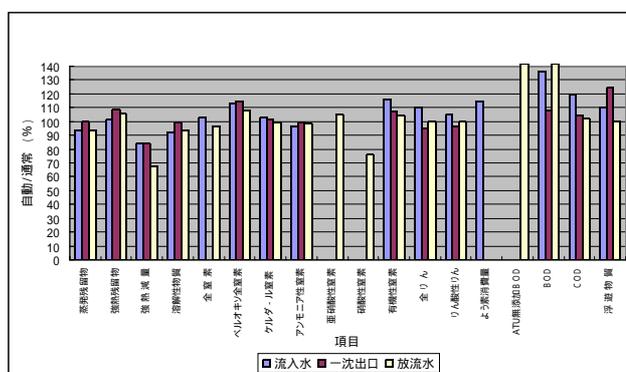


図8-1 混合試料分析比較結果(6月)

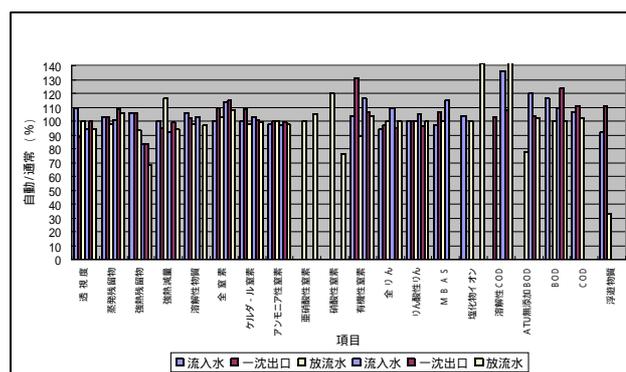


図8-2 混合試料分析比較結果(9月)

管理に十分な注意が必要となる。

表 2 混合試料の分析結果 (H12.6月)

	流入水		一沈出口		放流水	
	通常	自動採水器	通常	自動採水器	通常	自動採水器
蒸発残留物 (mg/l)	1094	1032	966	970	922	870
強熱残留物 (mg/l)	668	674	628	686	646	682
強熱減量 (mg/l)	426	358	338	284	276	188
溶解性物質 (mg/l)	954	878	921	914	921	869
全窒素 (mg/l)	37.6	38.8	35.3	35.8	19	18.5
紫外線吸光度全窒素	31.8	35.8	31.1	35.7	17.2	18.6
ケルダ-ル窒素 (mg/l)	37.6	38.8	35.3	35.8	14.9	14.8
アンモニア性窒素 (mg/l)	25.7	25	25.4	25.2	12.6	12.4
亜硝酸性窒素 (mg/l)	0	0	0	0	2	2.1
硝酸性窒素 (mg/l)	0	0	0	0	2.1	1.6
有機性窒素 (mg/l)	11.9	13.8	9.9	10.6	2.3	2.4
全りん (mg/l)	3.9	4.3	3.9	3.7	0.2	0.2
りん酸性りん (mg/l)	2.1	2.2	2.3	2.2	0.1	0.1
M B A S (mg/l)	2	-	1.4	-	0	0
よう素消費量 (mg/l)	16.5	19	-	-	-	-
ATU無添加BOD (mg/l)	-	-	-	-	4	8
BOD (mg/l)	140	190	92	99	2	3
COD (mg/l)	83	100	57	59	12.7	13
浮遊物質 (mg/l)	140	154	45	56	1	1

以上の結果より、冷蔵式自動採水器を利用した事による水質の変質はなく、通日試験に適用可能と認められた。

3.2 使用上の問題点について

12年度下半期に自動採水器を使って6回通日調査を行った。全体的にはほぼ順調に通日の採水を行うことができたが、実用上のいくつかの問題点も浮かんできている。ここではそれらの問題点について報告する。

(1) 試料採取量の精度について

流入水及び一沈出口において、試料がボトルからあふれたり、逆にほとんど入っていないというトラブルがいくつかの試料で見られた。メーカーの説明によれば、この自動採水器は、採水系にかかる水圧を検知して汲み上げ水量を測定しているが、滝落としの下など泡の多い状態だと、水が汲まれているにもかかわらずほとんど水圧を検知しないため、汲みすぎてしまうことがある、とのことであった。この説明だけですべてのトラブルを説明するのは無理であるが、設置に当たっては、極力水面が静かな場所を選ぶのが望ましいと思われる。

(2) 採水量の精度

採水量の精度を確認したところ、1000mlの設定に対して800～900ml汲んでいた場合が

(5)

あった。一方ばらつきについてはきわめて少なく、(1)の場合を除けば、一連の採水ではほとんどの試料が±20ml程度の範囲に入っていた。採水量が設定からずれていることについては、キャリブレーションが可能なので、修正できるものと思われる。

(3) データ回収について

データ回収には Flowlink 4 という装置を使って pH データ及び採水データを回収するが、通常の日の場合で、1台につき回収に10分弱かかった。試料回収作業は2～3人で行くとこれほどかからないので、結果的にデータ回収を待つことになってしまった。自動採水器の台数分 Flowlink 4 を用意して、平行してデータ回収を行うのが好ましい。また、一番望ましいのは、汎用のメモリースティックを使用できる機種である。

本体のメモリーは128KBであるが、通日調査に使用するには問題ない。

(4) pH 標準液について

pH 標準液が米国仕様のため pH = 4.01、7.00、10.01 を使用することになっているが、このうち 7.00 は日本のメーカーが製造していない。このため標準液を特別注文する必要がある。通常標準液を利用できる機種が望ましい。

(5) 採水チューブについて

採水チューブが透明のため、使用後放置すると藻が発生して水質に影響を与える恐れがある。このため使用後にチューブをはずして洗浄しておく必要がある。

(6) 採水器設置場所について

下水道局として、今後冷蔵式自動採水器を全局的に設置し、通日試験に活用する予定である。水処理系列が複数ある処理場では、採水器の設置数も多くなる。採水器を現場に設置すると、準備や回収に時間、人がかかるため、放流水以外の場所については現在使用している自動送水機を利用し実験室内で採水する必要がある。なお、当採水器は移設可能である。

4. まとめと考察

採取試料を冷蔵保存できる冷蔵式自動採水器を設置して、水質分析データの比較、使い勝手等を調査し、通日試験への適用を検討した。通日試験時に時間毎試料と混合試料について、通常採水試料と冷蔵式自動採水器試料の分析を行い結果を比較した。また、6ヵ月間通日試験に冷蔵式自動採水器試料を使用し、使い勝手、問題点等を調査した。

(1) 分析結果を比較すると概ね同じ値となった。

(2) 硝酸、全窒素(紫外線吸光光度法)の分析結果は、誤差が大きかったが、これは分析法自体に問題がある可能性が強かった。

(3) 使用上の問題点として、採水ミスの不具合発生、採水量の不足、pH データ回収に時間がかかる、pH 標準液が米国仕様のため特別注文する必要がある等があった。

(4) 自動採水器は、放流水を除き現在設置してある自動送水機を利用すべきである。

総合的調査結果として冷蔵式自動採水器を通日試験に使用可能であることが認められた。

大目次

目次

要旨

- 1 1 葛西処理場 北系反応槽性能調査報告

東部第二管理事務所 葛西処理場 水質管理係
 工藤 繁、黒田 茂晴、神谷 宇一郎
 山田 欣司、宅間 大吉、三浦 美穂

1.調査目的

当処理場北 2 系反応槽 5～8 号は、開設当初の昭和 56 年から使用してきたが、溶存酸素の低下が著しくなり、散気設備の更新工事的必要性が浮上してきた。そこで、平成 6 年度に 5・6 号槽のみを対象に破損した散気板やライザー管、ホルダーの補修工事を行った後、平成 9 年度～11 年度にかけて北 2 系反応槽 5～8 号槽の散気設備に関する大規模な整備工事を行った。この工事では、散気板の総取替えをはじめとして、腐蝕や破損していたヘッダー管、ライザー管、散気板ホルダー、バフプレートを更新を行うとともに、槽内の混合特性を高める目的で非曝気側に散気板を一列増設した(図-1)。



図-1 新しくなった散気設備

一方、整備工事前の北 2 系と同様に各回路での溶存酸素の低下や透視度の悪化傾向が見られる北 1 系は、北 2 系に続く昭和 61 年の運転開始以降、整備工事はほとんど行われておらず、既に約 14 年が経過している。そのため、北 2 系とは対称的に散気板の目詰まりや設備の老朽化が懸念されている。

そこで本報告は、北 2 系反応槽の整備工事前と整備工事後、北 1 系 4 号槽の現状の反応槽性能を把握するために日本碍子㈱が行った酸素移動効率(オフガス法)の測定や当処理場水質管理係で行った槽内混合特性(垂直方向分布)、回路ごとの水質等の試験結果についてまとめたものである。

また、散気板の目詰まり進行状況を調査するために、北 1 系 4 号槽の各回路から 2 枚ずつ抜き出し、通気抵抗調査及び溶解試験(粉碎後、王水で溶出させ、ICP/MS で測定)も試みたのであわせて報告する。

2.北系反応槽の概要

北系反応槽の概要は表-1 のとおりである。なお、北系は 1 系(1～4 号槽)と 2 系(5～8 号槽)の合計 8 槽で構成されており、全槽ともほぼ同型・同規模である。

表-1 北系反応槽の概要

	北 2 系 5～8 号槽	北 1 系 1～4 号槽
散気方式	深層曝気式散気装置(散気水深 4.5m、散気板式)	
槽形状	幅 9.8×水深 10.0×長さ 163m/槽=約 15,974m ³ (ABC 3 回路)	
計画流入量	40,000m ³ /日・槽(北系全体で 320,000m ³ /日)	
散気板仕様	寸法：300×300×30mm・材質：セラミック・最大気孔径：400μm	
散気板枚数	1,728 枚(整備前は 1,440 枚)	1,440 枚
稼働開始	昭和 56 年(平成 11 年度末に全て更新済)	昭和 61 年～

3. オフガス法と酸素移動効率の測定

酸素移動効率(酸素利用速度)の測定は従来、¹⁾下水道試験法に基づく Rr 法が主流であった。しかし、省エネ型散気装置の性能評価に利用するには、測定精度の面で問題があったため、最近では、より測定誤差要因の少ない測定方法として、反応槽の排ガス中に含まれる酸素等の各成分を直接測定し、酸素移動効率(%)を算出する²⁾オフガス(off-gas)法が普及している。このオフガス法は、実稼動中の反応槽での測定が可能であり、変化しやすい流入水質に対して安定した結果が得られる方法として、各地で行われている。本調査でもこのオフガス法を採用し、測定を行った。

3.1 オフガス法の原理と測定

散気装置の酸素移動効率は、反応槽の $\cdot KLa$ を測定し、算出する。この $\cdot KLa$ を求めるのに、反応槽の供給空気と排ガスの成分収支から計算する方法がオフガス法である。具体的には、散気板を通じて反応槽に供給される酸素は、液相へ移動し、活性汚泥により消費されるので、供給空気中と排ガス中の酸素濃度を測定し、反応槽内で消費された酸素量を求めれば、酸素移動効率を算出することができる。実際の排ガスの測定結果を表-2に示す。

また、測定時のイメージ図を図-2に示す。調査当日は、表-3のように、反応槽流入水量や返送汚泥量、曝気風量が一定になるよう運転しながら、反応槽の脱臭ダンパーを閉にした。図-2に示すように覆蓋の点検口及び計器取付口より1m下の排ガスをサンプリングする。排ガスはポンプを用いてゴム球に採取し、排ガス中に含まれる O_2 濃度と CO_2 濃度を酸素・二酸化炭素計(富士電機(株)製 ZRH 型 赤外線吸収式、日本碍子(株)製 ジルコニア電池式)にて測定し、 KLa を算出した。

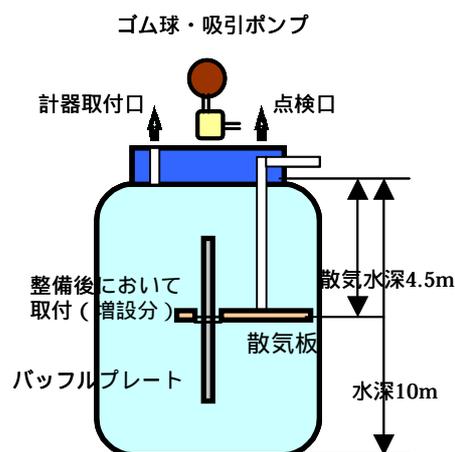


図-2 排ガス法の測定(反応槽断面)

表-2 排ガス測定結果 (8号槽整備後第1回目曝気側の例)

測定時間	測定箇所	O_2 濃度	CO_2 濃度	%	水温	DO	GS	V	$KLa(T)$	$KLa(20)$	-	%
		%	%									
9:00	A回路	19.57	1.113	6.62	23.2	0.0			1.23	1.14	0.91	6.56
		19.57	1.114	6.62								
11:30	B回路	19.53	1.263	6.68	23.5	0.1	16.38	15,974	1.21	1.11	0.93	6.54
		19.52	1.262	6.74								
14:00	C回路	19.67	1.260	5.85	23.5	3.2			1.55	1.43	0.95	8.58
		19.68	1.259	5.79								
平均		19.59	1.21	6.38	23.4	1.1			1.33	1.23	0.93	7.22

表-3 調査当日の運転状況

	5号槽			6号槽	7号槽			8号槽			4号槽
	整備前	整備後	再測定	整備後	整備前	整備後	再測定	整備前	整備後	再測定	現状
流入水量	2,109	2,095	1,887	1,606	2,970	1,546	2,089	1,972	1,656	1,960	2,080
曝気風量	6,428	7,501	7,742	7,636	8,700	8,132	8,014	9,157	8,047	7,707	8,533
返送汚泥量	267	275	305	306	280	355	297	350	354	297	271
空気倍率	3.05	3.58	4.10	4.75	2.93	5.26	3.84	4.64	4.86	4.04	4.10
測定月	H9.6	H10.9	H12.10	H12.10	H10.9	H12.3	H12.10	H11.10	H12.3	H12.10	H12.10

注)表中の単位は、流入水量(m^3/hr)、曝気風量(Nm^3/hr)、返送汚泥量(m^3/hr)である。

排ガスの採取は、A(9:00)、B(11:30)、C(14:00)回路の順に行った。各採取場所にて2回採取(2回目は、1回目の採取から1時間後に採取開始とする)を行い、2回の分析値の平均を測定値とした。また、垂直分布調査及び回路ごとの水質分析の採水は、日本碍子の排ガスサンプリング箇所(非曝気側のみ)と同じ場所で行った。

3.2 酸素移動効率の算出方法

定常状態において $\alpha \cdot KLa$ と反応槽の DO 濃度との間に次の(1)式が成り立つ(数式の係数等は表-4を参照)。

$$\alpha \cdot KLa \cdot (\beta \cdot C_s - C_L) \cdot V \times 10^{-3} = a \cdot G_m \cdot \eta_e \times 10^2 L \quad (1)$$

表-4 数式の係数等

KLa	総括酸素移動容量係数(1/hr)		
	KLa の下水への補正係数 (=反応槽混合液の KLa / 清水の KLa)		
	C_s の下水への補正係数 (=反応槽混合液の C_s / 清水の C_s)		
$C_s \cdot C_s(20)$	散気水深における飽和溶存酸素濃度(mg/L) $\cdot 20$ の飽和溶存酸素濃度(mg/L)		
C_L	反応槽内の溶存酸素濃度(mg/L)	Z_0	供給空気中の酸素モル分率
V	反応槽容積(m ³)		酸素1モル当たり発生するCO ₂ モル数
G_m	吹き込み空気量(m ³ /hr)		1 -
η_e	反応槽での実酸素移動効率(%)		

η_e を求めるために供給空気中の各成分の収支をとると表-5のようになる(この時、不活性成分は変化しないものとする)。

表-5 反応槽まわりのガスの収支

	Total	O ₂	CO ₂	不活性成分
供給空気中	G_m	$G_m \cdot Z_0$	0	$G_m \cdot (1 - Z_0)$
排ガス中	$G_m(1 - \delta \cdot \eta_e)$	$G_m(1 - \eta_e)$	$G_m \cdot Z_0 \cdot \delta \cdot \eta_e$	$G_m \cdot (1 - Z_0)$

排ガス中の酸素モル分率 Z は式(2)で与えられるので、実酸素移動効率 η_e は(3)となる。

$$Z = \frac{G_m \cdot Z_0 \cdot (1 - \eta_e)}{G_m \cdot (1 - \delta \cdot Z_0 \cdot \eta_e)} L \quad (2) \quad \eta_e = \frac{Z_0 - Z}{Z_0 \cdot (1 - \delta \cdot Z)} L \quad (3)$$

今、排ガス中の酸素と二酸化炭素モル比 = λ は、排ガス中の二酸化炭素モル分率を Z_c とすれば式(4)で与えられる。

$$\lambda = \frac{Z_c}{Z} = \frac{G_m \cdot Z_0 \cdot \varepsilon \cdot \eta_e}{G_m \cdot Z_0 \cdot (1 - \eta_e)} = \frac{\varepsilon \cdot \eta_e}{1 - \eta_e} L \quad (4)$$

式(4)に式(3)を代入して η_e 消去して ε について次式(5)を得ることができる。

$$\varepsilon = \frac{\lambda \cdot Z \cdot (1 - Z_0)}{Z_0 - Z - \lambda \cdot Z_0 \cdot Z} = \frac{Z_c \cdot (1 - Z_0)}{Z_0 - Z - Z_0 \cdot Z_c} L \quad (5)$$

反応槽供給空気及び排ガス中の酸素と二酸化炭素の濃度を測定し、式(3)及び式(5)から実酸素移動効率 η_e が計算できる。前述の式(1)から式(6)を求め、 η_e 値を代入すると KLa の値が求まる。

$$\alpha \cdot KLa = \frac{a \cdot G_m \cdot \eta_e}{(\beta \cdot C_s - C_L) \cdot V \cdot 10^{-3}} L \quad (6)$$

次に、ガス収支法から求めた槽水温 T の時の $\alpha \cdot KLa$ を $\alpha \cdot KLa(T)$ とし、同一温度で比較するため式(7)を用いて、 20 における値 $\alpha \cdot KLa(20)$ に換算する。

$$\alpha \cdot KLa(20) = \alpha \cdot KLa(T) \times 1.024^{(20-T)} \quad (7)$$

更に 20 、 $MLDO=0\text{mg/L}$ での酸素移動効率 η_0 は式(8)により求められる。

$$\eta_0 = \frac{\alpha \cdot KLa(20) \cdot \beta \cdot C_s(20) \times 10^{-3}}{a \cdot G_m / V} \times 10^2 \quad (8)$$

3.3 値・ 値の測定

値

反応槽混合液の性状(表面張力、塩類濃度など)が変化すると、酸素移動効率()も変わるので、酸素移動効率そのものの評価には混合液性状との関係を把握する必要がある。しかし、この関係を知ることは難しいため、通常、混合液の 値(清水の KLa に対する混合液の KLa の比)で代替する。本調査においても図-3の装置に清水(水道水)及び混合液の上澄水を張り、亜硫酸ナトリウムによる非定常法で各 KLa を求め、(9)式にて 値を計算した。

$$\alpha = \frac{KLa(20)(\text{混合液上澄液})}{KLa(20)(\text{清水})} \quad (9)$$

値

一方、飽和 DO が変化すると、反応槽の酸素移動効率()の値も変わるので、混合液の飽和 DO を知るため、図-4に示す装置で、清水に対する補正 値を求めた。測定は、図の反応槽に混合液の上澄水を入れ、曝気して飽和 DO を求め、同温度における飽和 DO 表の読みから(10)式により 値を計算した。

$$\beta = \frac{\text{飽和}DO(\text{混合液上澄液})}{\text{飽和}DO(\text{清水})} \quad (10)$$

今回の調査では整備前後で下水性状が大幅に異なっているので、 η_0 をそのまま比較することはできない。このため、 η_0 を清水ベースに換算し、比較する必要がある。清水ベースに換算した酸素移動効率()の値は(11)式となる。

$$\text{清水}\eta = \eta_0 \times \frac{1}{\beta} \times \frac{1}{\alpha} \quad (11)$$

4. 酸素移動効率測定結果

表-6に 値や 値、酸素移動効率等の測定結果を示す(ここで言う酸素移動効率は、回路ごとに測定し、その平均値を槽の代表として表示したものである)。

整備前の酸素移動効率()(表-6の網かけ部分)を見ると、5号槽(6号槽は整備前と整備

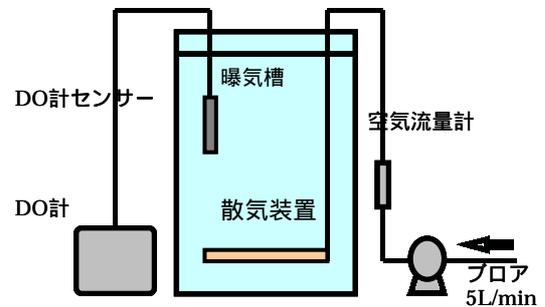


図-3 値測定装置

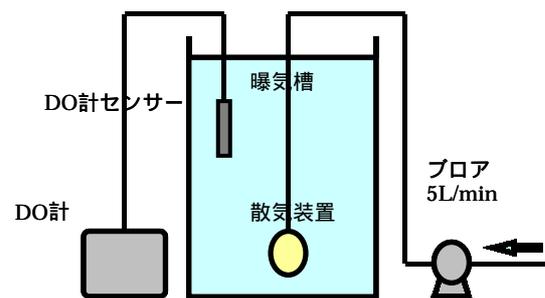


図-4 値測定装置

後の測定を行っていない)に比べ、7・8号槽の整備前の方が低い値を示した。特に7号槽は、整備工事前から溶存酸素の低下が著しく、散気設備の腐蝕や破損が激しいのでは、と言われていた。この数字からも曝気の状態があまり良くなかったことが読み取れる。また、5号槽整備前が高いのは、原水値が極端に低いためであり、その分、結果が高めに出たと考えられる。

反対に、表-7に示すとおり、整備工事を行っていない4号槽の発泡状態等の外観調査結果は、予想に反して良好であり、設備の腐蝕もあまり進行していなかった。

表-6 酸素移動効率 (%)の測定結果

槽 No.	整備状態	実施日	原水値	o(汚水条件)		タンク 値		タンク 値		o(汚水条件)		
				1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	平均
5号	整備前	H10.6.12	0.32	6.90	7.10	0.93	0.93	0.64	0.57	11.60	13.40	12.50
	整備後	H10.9.25	0.48	14.00	15.80	0.92	0.94	0.88	0.93	17.30	18.10	17.70
	再測定	H12.10.11	0.41	11.49	11.70	0.92	0.92	0.85	0.86	14.70	14.80	14.70
6号	整備後	H12.10.11	0.41	11.68	11.94	0.90	0.91	0.86	0.86	15.10	15.30	15.20
7号	整備前	H10.9.25	0.48	6.90	7.00	0.91	0.93	0.88	0.93	8.60	8.10	8.40
	整備後	H12.3.7	0.43	10.27	10.06	0.91	0.91	0.84	0.84	13.40	13.20	13.30
	再測定	H12.10.12	0.43	11.52	11.88	0.91	0.93	0.96	0.96	13.20	13.30	13.20
8号	整備前	H11.10.21	0.45	7.39	7.65	0.93	0.92	0.87	0.85	9.10	9.80	9.50
	整備後	H12.3.8	0.46	11.78	11.80	0.92	0.92	0.95	0.93	13.50	13.80	13.60
	再測定	H12.10.12	0.43	11.56	12.04	0.92	0.91	0.94	0.94	13.40	14.10	13.70
4号	現状	H12.10.13	0.43	9.35	9.53	0.92	0.93	0.81	0.81	12.50	12.70	12.60

表-7 4号槽の外観調査結果(H12.3.9実施)

調査項目	状況等
発泡状況	特に異常発泡は見られなかった
散気設備の外観	A～C回路まで全体的に同様な汚泥付着が見られた 洗浄後の散気板は、流入側より流出側の方が汚れていた ライザー管・散気ホルダーで SUS304 製品は腐蝕もなく良好であった ホルダー架台・パツフルプレート受枠は、B・C回路に腐蝕を確認した
散気板の破断面	流出側の散気板は、表面から約 1/3 程度まで茶色く侵食していた
槽内壁面の様子	B回路の途中から C回路の壁面に赤い虫(糸ミミズ)のような生物がびっしり付着していたため、壁面が赤色に見えた

一方、整備後で当初予想していた 15%以上を上回った槽は、5号槽と6号槽であり、他は 15%を下回る結果となった(通説では新設の散気板式反応槽で約 15%以上と言われている)。

また、5号槽の再測定と整備後の酸素移動効率に大きな差が見られたが、7・8号槽の再測定の結果は、整備後とほぼ同じ数値となり、当測定方法における再現性が確認された。いずれにしても、今回の整備工事による回復率は 1.2 倍(5号槽)～1.6 倍(7号槽)となった。

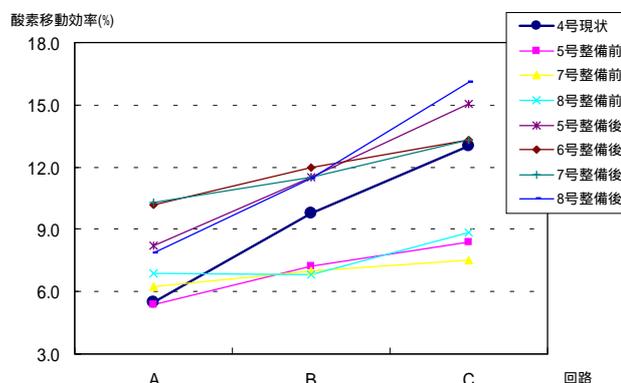


図-5 回路ごとの酸素移動効率結果

次に、回路ごとの酸素移動効率の測定結果をグラフ化したものを図-5に示す(なお、回路ごとの、値や値の測定を行っていないため、両値とも1.0として計算した)。この結果では、整備前と整備後でそれぞれ2つのグループに分かれ、最終回路に行くほど、数値が高くなっており、回路ごとに数値にバラツキがあることが分かった。また、4号槽(グラフの中央太線)だけが、両グループにまたがっており、A回路は北2系の整備前とほぼ同じ数値に、C回路は、整備後の6・7号と同じ数値になっていた。

5. 溶存酸素(DO)計の変化

各槽に設置されているDO計(工業計器)のデータから、更新工事の効果及び4号槽の現状を調査した。図-6に降雨量及び4・6・8号槽の溶存酸素の経月変化を示す。全体的な傾向としては、降雨量の多い月にDO値が高くなっており、逆に少ない月は、DO値も低くなっていた。

槽別で見ると、10年度中に更新工事が完了した6号槽のDOは、更新工事の効果からか、他の2槽(4・8号)に比べ、高い値で推移していた。

一方、8号槽は、11年度末の工事完了後、即DOの向上が図られると期待していたが、実際は、4号槽に近い変動をしていた。これは、8号槽への流入水量が計測値より多かったためと考えられ、同じ空気量でもDOの上がり弱かったものと推測される。

なお、12年度は11年度に比べ、DOの変動が激しく、平均的に見ても12年度の方が高い値で推移した。これは年間降雨量の違い(12年度:1,534mm、11年度:1,290mm)や、工事等で停止した反応槽がなかったこと(11年度は9月から2月末まで1槽停止していた)によるものと推測される。

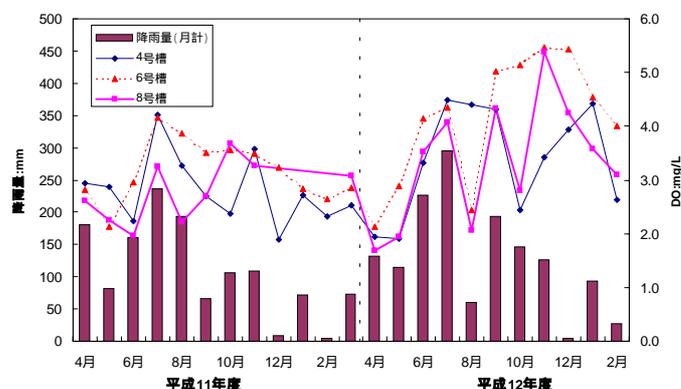


図-6 降雨量及び溶存酸素変化

6. 垂直分布測定結果

酸素移動効率調査と同時に、DOとMLSSの縦方向の分布(垂直分布)調査を行った。ここでは、回路ごとの表層0m、0.5m、3.5m、7.0m、底層9.5mの5ヶ所でサンプリングし、分析を行った。なお、DOの測定は、表層を除いて現場におけるDO計(YSL58MODEL及び東亜電波(株)製DO-14P)を用いて行い、MLSSは、蒸発皿やろ紙を使用した。

6.1 DO測定結果

表-8にすべてのDO垂直分布結果を示す。各槽の整備前を見ると、B回路からC回路にかけての上昇幅が小さかった。逆に5~7号の再測定では、B回路(1.0mg/L程度)に対してC回路は5.0~6.0mg/Lと急激に上昇していた。一方、外観調査で良好な結果であった4号槽も各槽の整備前と近い数値で推移しており、C回路でのDOの上昇が見られなかった。

また、整備前5・7・8号槽のA回路はともに0.1mg/L程度であったが、整備後にはA回路でも0.5mg/L程度、B回路では、2.0~3.0mg/Lまで回復しており、改良工事の成果がうかがえる。また、深さに対する数値の変動が小さいことから、整備後の垂直方向の巡回も概ね良好であると予想される。

表-8 DO 垂直分布結果

水深 m	4号槽現状			5号槽整備前			5号槽整備後			5号槽再測定		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
表層	0.2	0.9	1.2	0.4	0.8	2.6				0.4	0.7	5.4
0.5	0.2	0.4	0.6	<0.1	0.3	2.2	2.4	2.8	7.4	0.3	0.4	5.4
3.5	<0.1	0.2	0.6	<0.1	0.1	1.5	2.2	2.5	7.1	0.1	0.1	5.2
7.0	<0.1	0.1	0.6	<0.1	<0.1	1.4	1.8	2.2	7.0	<0.1	0.1	5.3
底層 9.5	<0.1	0.1	0.6	<0.1	<0.1	1.7	2.0	2.5	7.3	<0.1	0.1	5.2

水深 m	6号槽整備後			7号槽整備前			7号槽整備後			7号槽再測定		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
表層	0.4	0.6	5.9	0.5	3.0	1.9	0.6	2.5	3.3	0.4	1.4	6.0
0.5	0.2	0.4	5.2	<0.1	2.8	2.5	0.5	2.4	2.7	0.2	1.4	5.7
3.5	0.2	0.2	5.7	<0.1	2.6	2.1	0.1	1.5	2.3	0.1	0.4	5.6
7.0	0.1	0.2	5.4	<0.1	2.5	2.1	<0.1	1.6	2.2	0.1	0.4	5.3
底層 9.5	0.1	0.2	5.5	<0.1	2.5	2.3	0.2	1.5	2.1	<0.1	0.4	5.3

水深 m	8号槽整備前			8号槽整備後			8号槽再測定			備考
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
表層	0.9	2.7	3.7	0.5	3.1	4.2	0.2	0.3	1.8	<0.1は0.1未満 単位:すべて mg/L
0.5	0.1	0.2	3.4	0.3	3.1	3.9	0.2	<0.1	1.7	
3.5	0.2	<0.1	3.0	0.2	2.1	3.3	<0.1	<0.1	0.9	
7.0	0.2	<0.1	3.0	0.2	1.9	3.3	<0.1	<0.1	0.8	
底層 9.5	0.1	<0.1	3.2	0.2	2.3	3.3	<0.1	<0.1	0.8	

6.2 MLSS 測定結果

DO 測定と同様、MLSS の垂直分布測定を行った。表-9 にすべての測定結果を示す。

表-9 MLSS 垂直分布結果

水深 m	4号槽現状			5号槽整備前			5号槽整備後			5号槽再測定		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
表層	980	930	880	922	944	948		1,016	836	1,080	1,060	1,020
0.5				892	956	996	870	940	880			
3.5	1,010	950	950	888	916	972	810	950	930	1,080	1,030	1,020
7.0				850	946	968	860	940	890			
底層 9.5	1,070	990	950	900	924	986	890	930	940	1,090	1,030	1,030

水深 m	6号槽整備後			7号槽整備前			7号槽整備後			7号槽再測定		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
表層	900	1,010	990	698	598	720	1,104	1,104	1,052	1,120	1,090	1,190
0.5				680	710	760	1,062	1,084	1,050			
3.5	840	1,020	960	650	700	710	1,024	1,096	1,000	1,090	1,030	1,280
7.0				650	720	740	1,018	1,078	1,052			
底層 9.5	870	1,030	1,020	710	730		1,022	1,066	1,072	1,090	1,100	1,170

水深 m	8号槽整備前			8号槽整備後			8号槽再測定			備考
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
表層	966	992	844	1,062	1,026	986	1,010	990	1,010	網かけ部の 3.5m は 5.0m(中層)で測定 単位:すべて mg/L
0.5	1,050	980	912	1,060	1,038	1,010				
3.5	1,042	972	872	1,070	1,004	988	1,030	960	1,010	
7.0	1,054	976	846	1,020	1,014	988				
底層 9.5	1,042	946	876	1,086	1,054	982	1,020	990	990	

各槽とも、深さによる数値の変動が小さいことから、汚泥の堆積等は見られず、活性汚泥の巡回もおおむね良好であると予想される。

7.窒素・りん等、水質分析結果

図-7 に代表槽として 7 号槽整備前及び整備後(再測定)のアンモニア性窒素及び上澄水の全りんの比較を示す。

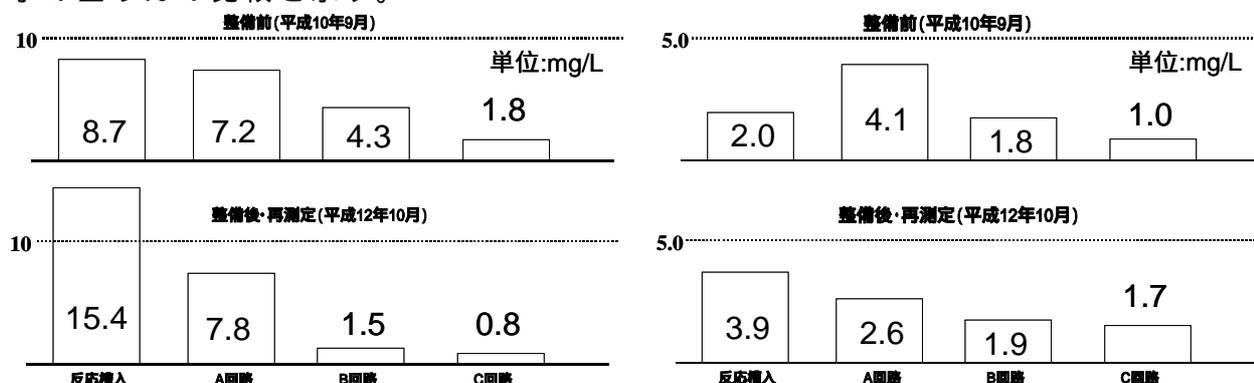


図-7 回路ごとの除去状況 (左)アンモニア性窒素、(右)全りん

アンモニア性窒素の除去状況を見ると整備前では、反応槽流入から A 回路出口にかけて、8.7mg/L から 7.2mg/L とほとんど変化していなかった。しかし、整備後では、15.4mg/L から 7.8mg/L と半分近く除去されていた。また、整備後の B 回路出口では、1.5mg/L と B 回路までで、ほぼ処理が終わっていることが分かった。

硝化についても、整備後は、ほぼ硝酸性窒素まで完全硝化しており、亜硝酸性窒素の残留も少なかった(表-11 参照)。

りんの除去状況については、A 回路の吐出しで整備前の方が整備後より多く吐出しが進んでおり、これは整備工事の影響で今まで嫌気であった A 回路が、好気部が変わったためと考えられる(ORP の値もプラス側で変動)。また、4 号槽については、A 回路でりんの吐出しが若干見られたことから、北 2 系とは対称的に A 回路での嫌気が保たれていると考えられる。

次に、北系処理水の窒素・りんの過去 5 年の経年変化(通日試験混合試料)を表-10 に示す。経年的に見ても、更新工事を行った 9 年～11 年度にかけて、アンモニア性窒素の値が減少しており、硝酸性窒素も増加傾向にある。反対に、りんは 8 年度から上昇傾向にある。各年度における気象条件や運転方法の違いによる数値の変動等も考えられるが、傾向としては、更新工事による影響が大きいと推測される。

表-10 北系処理水 窒素・りん経年変化(通日試験混合試料)

	8 年度	9 年度	10 年度	11 年度	12 年度
全窒素	17.3	16.2	15.0	13.6	13.0
アンモニア性窒素	12.4	11.0	7.9	5.7	1.1
硝酸性窒素	2.2	2.2	5.7	6.2	9.9
亜硝酸性窒素	0.9	1.1	0.5	0.7	0.6
有機性窒素	1.8	1.9	0.9	1.0	1.4
全りん	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5
りん酸性りん	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3

注) 単位は、すべて mg/L である

さらに、窒素・りんデータも含め、表-11 に回路ごとにおける水質分析結果を示す。紙面の都合上、代表槽として、4号槽現状・6号槽整備後・7号槽整備前後のみを掲載した。

表-11 回路ごとにおける水質分析結果

分析項目	4号槽現状				6号槽整備後			
	反応槽入	A回路	B回路	C回路	反応槽入	A回路	B回路	C回路
採水時刻	8:00	8:55	11:30	13:45	8:00	9:00	11:00	14:00
水温()		25.7	25.8	26.0	25.0	25.4	25.2	25.9
表層 DO		0.7	0.9	1.1		1.1	0.7	5.4
PH	7.1	7.2	6.9	6.8	7.1	7.1	6.9	6.9
COD	46	26	27	24	43	23	23	24
S-COD	31				31			
SV(%)		15	14	13		16	15	13
SS・MLSS	42	980	930	880	41	1,000	1,010	990
SVI(計算)		153	151	148		160	149	131
Rr		26.5	23.1	19.8		29.8	26.9	11.3
ATU-Rr		14.3	9.1	8.4		13.5	10.6	7.5
ORP(mV)		-18	-11	+78		-30	+55	+118
T-N	21.1	13.8	12.9	12.8	21.5	10.1	9.8	11.2
NH ₄ -N	16.0	11.5	8.3	1.6	14.9	9.0	4.8	0.8
NO ₂ -N	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.2	0.3	0.0
NO ₃ -N	0.5	0.9	3.6	9.9	0.9	1.6	5.9	11.3
T-P	4.7	4.9	3.0	2.3	3.9	2.2	1.8	1.6
PO ₄ -P	3.7	4.9	2.9	2.2	2.8	2.2	1.7	1.5
BOD	86	9	9	4	69	5	4	3
S-BOD	45				43			
ATU-BOD		7	4	2		3	3	2

分析項目	7号槽整備前				7号槽整備後・再測定			
	反応槽入	A回路	B回路	C回路	反応槽入	A回路	B回路	C回路
採水時刻	8:00	9:30	11:30	14:00	8:00	9:25	11:30	13:30
水温()	25.9	25.7	26.0	26.0		25.9	25.8	26.1
表層 DO		0.5	3.0	1.9		0.6	0.8	5.2
PH	7.0	7.2	7.3	7.2	7.1	7.0	6.8	7.0
COD	30	33	24	27	47	22	21	21
S-COD	26				33			
SV(%)		18	8	8		15	15	14
SS・MLSS	32	698	598	720	43	1,120	1,090	1,190
SVI(計算)		115	134	111		134	138	118
Rr		13.0	12.6	11.1		34.2	29.4	9.6
ATU-Rr		10.2	7.3	6.6		13.8	10.5	7.4
ORP(mV)						+85	+94	+136
T-N	10.9	8.1	6.8	8.0	23.6	11.8	11.8	12.4
NH ₄ -N	8.7	7.2	4.3	1.8	15.4	7.8	1.5	0.8
NO ₂ -N	0.0	0.0	1.5	3.0	0.0	0.2	0.4	0.0
NO ₃ -N	0.2	0.2	1.1	2.9	0.9	2.0	9.7	9.7
T-P	2.0	4.1	1.8	1.0	3.9	2.6	1.9	1.7
PO ₄ -P	1.5	3.8	1.9	1.2	2.8	2.6	1.8	1.5
BOD	45	15	7	3	70	4	2	4
S-BOD	34				33			
ATU-BOD		10	4	3		2	2	2

注) 水質分析方法

T-N・T-P: ペルオキシ分解法、 NO₂-N、NO₃-N: RQ フレックス、 NH₄-N: 電極法(MT-1)、

ORP: 投げ込み式 ORP 計

また、pHを除いて単位のないものはすべて mg/L である

8. 散気設備現況調査

散気板の目詰まり進行状況を調査するために、北1系4号槽の各回路から2枚ずつ抜き出し、散気板通気抵抗調査及び溶解試験を実施した。

8.1 散気板通気抵抗調査結果

反応槽内の水位を下げて、A・B・Cの各回路から散気板を2枚ずつ取り出し、洗浄前後(水中でブラシにて表面を洗浄)の通気抵抗を測定した。測定方法は、**図-8**のように散気板の中心より50mmの水を張り、40・60・80・100・120L/min空気を5段階に変化させた時の通気抵抗値から算出した。

その結果を**図-9**に示すが、新品の散気板(洗浄前)を見ると、通気量に関係なく通気抵抗は、0.7~0.8kPa(kPaとは、圧力のSI単位で単位面積当たりの力)であったが、採取した散気板はすべて、通気量とともに通気抵抗も右上がりに増えていた。

ここで、通常の運転を想定し、80L/min通気時の通気抵抗の平均を代表値として新品の通気抵抗と比べたところ、採取した散気板の平均が約6.6kPaに対して新品は約0.8kPaであった。また、洗浄後にも同じ調査を行ったが、洗浄前と比べて、採取場所によっては若干の回復は見られたものの、全平均にするとほとんど差が見られなかった。

以上のことから、散気能力は確実に低下しており、洗浄の効果が見られなかったことから、目詰まりは、表面だけでなく、内部にまで進行しているものと考えられる。

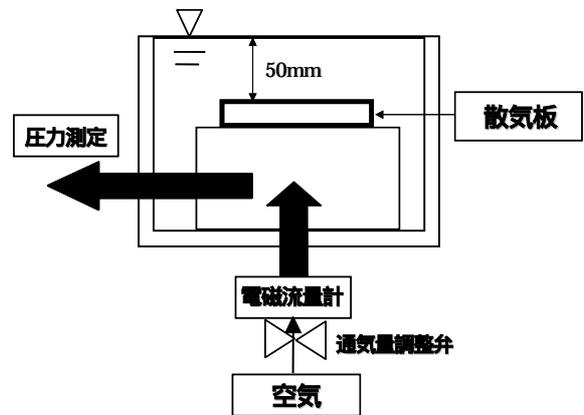


図-8 通気抵抗測定方法

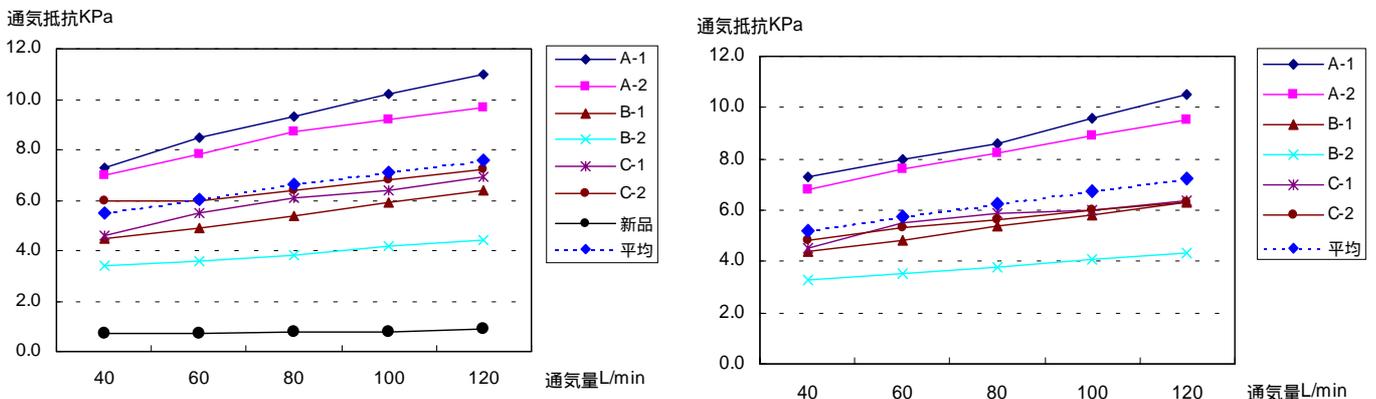


図-9 洗浄前及び洗浄後の通気抵抗測定結果 (左)洗浄前 (右)洗浄後

8.2 溶解試験

散気板の目詰まり物質や原因を調査するために、散気板をノコギリで5cm角に切り取り、粉砕機で粉砕後、それぞれを0.5gずつ採取し、王水(硝酸と塩酸の混合溶液)にて分解溶出した。その後、ICP-MS(誘導プラズマ発光分光・質量分析装置:金属元素等を精度良く一括分析できる装置)にて金属元素等の分析を行った。

なお、各散気板からサンプルを2検体(散気板の角、角と角の中心付近)ずつ作り、その平均値を算出した。

表-12 散気板溶出試験結果

化学元素名	A 回路平均	B 回路平均	C 回路平均	3 回路の平均	新品(ブランク)
Fe	33.2	68.5	29.0	43.6	0.0
Al	26.8	29.2	36.5	30.9	9.5
Ca	5.3	5.2	8.9	6.5	0.0
K	3.0	5.3	7.2	5.2	0.0
Mg	3.7	4.1	6.5	4.7	2.3
Mn	1.2	3.4	2.3	2.3	0.6
Cr	1.4	1.3	1.4	1.4	1.1
Li	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0

注) 各回路の数値は、新品(ブランク)の数値を差し引いて計算した。単位は、すべて mg/L である
シリカ(Si)は、散気板本体が Si で構成されているので、測定の対象外とした

3 回路の平均値が 1.0mg/L 以上の化学元素を測定値の高い順に並べたのが表-12 である。この表では、Fe や Al といった金属元素で大半を占め、Ca や Mg といった水道水中に含まれている物質も若干見られた。これらの物質は酸化物として散気板に付着し、その一部は汚泥等とともに目詰まりの原因になっていたものと考えられる。

9. 考察・今後の展開

以上の結果から、当処理場北系反応槽の性能について、以下のような知見が得られた。

- (1) 整備工事を実施した北 2 系の酸素移動効率は整備工事前と比べ、約 1.2 ~ 1.6 倍向上したが、予想以上の向上は見られなかった。
- (2) 整備工事後に 2 回、同じ槽の酸素移動効率測定を行ったところ、7・8 号槽については、2 回ともほぼ同じ数値となり、オフガス法による測定の再現性が確認された。
- (3) 垂直分布の結果から、各槽の縦方向の旋回状況は、良好で汚泥の体積も少ないと考えられる。また、非曝気側に一列増設した散気板の効果については、今回の調査では良く分からなかった。
- (4) 酸素移動効率の向上で硝化促進運転には有利な状況になったが、反応槽最初回路で嫌気部を必要とするりん除去についてはやや不利な状況となった。
- (5) 散気板目詰まり調査結果から、散気能力低下の原因物質の情報が得られた他、通気抵抗測定により、散気能力の低下が測定値から推定することができた。

今後は、対称的な北系 1・2 の両系統について、回路ごとの水質分析等を進めるとともに、北 1 系についても整備工事の必要性を検討するために引き続き、酸素移動効率の測定を実施する予定である。また、処理水で上昇傾向にあるりん濃度を抑制するために、北 2 系についても、りん除去に向けた擬似嫌気好気法の導入を進める(1 槽ずつ順次実施する予定)一方で、将来的には機械攪拌の設置等を視野に入れ、データの集積や解析を実施する予定である。さらに、局で測定装置の購入を検討し、オフガス法による酸素移動効率測定が各処理場で気軽にできるよう、体制を整える必要があると考える。

参考文献

- 1) 下水試験法 1984 年版 P.289 ~ 292
- 2) 松原 極、環境装置技報(日本碍子株)No.3、P.8 ~ 14、酸素利用速度と排ガス収支法の比較

- 1 2 降雨履歴と流入SSについて

砂町水処理センター 石井 英俊
山本 央

1. はじめに

合流式下水道の改善策として、砂町水処理センターでは遮集化が進められてきた。その効果により、ポンプ所等での雨天時の放流水質は改善されてきたが、一方で処理場への流入SS量は増加している。特に幹線の構造上の問題から、降雨時に多量のSSを処理場に運んでくるため、従来の初期汚濁では捉えきれない状況を生じていることを平成11年度の調査¹⁾で明らかにしてきた。図-1に平成12年度の流入水の推定SS量を示した(算出方法は2-2で記す)が、降雨によって流入するSSの量は大きく変動していることがわかる。流入SS量の急激な増加は、汚泥処理に負担を与えるだけでなく、大腸菌群数などの雨天時の放流水質にも大きな影響を及ぼす。

こうした状況に対処するために、雨天時のSS流入特性を把握しておくことが必要となる。平成11年度は雨天時の流入SS量の測定を行い、SS濃度1,000以上の場合があること、高濃度の流入が5~6時間継続すること等の実態を把握した¹⁾。12年度は雨天時の流入水質の測定を継続するとともに、流入SS量の変化を処理SS量等から求め、降雨量、降雨強度、降雨前の晴天継続日数(以下「先行晴天日数」という)との関係を調べた。

2. 調査方法

調査は平成12年4月から13年2月までのデータを用いた。

2-1 降雨時の流入SS量の測定

降雨時に東陽・大島系流入水の流入SS濃度を測定した。しかし降雨は休日、夜間にかかることも多く、データの不足を補うために自動採水器を利用した。また、通日試験時に雨が降ったこともあったので、この結果も参考とした。

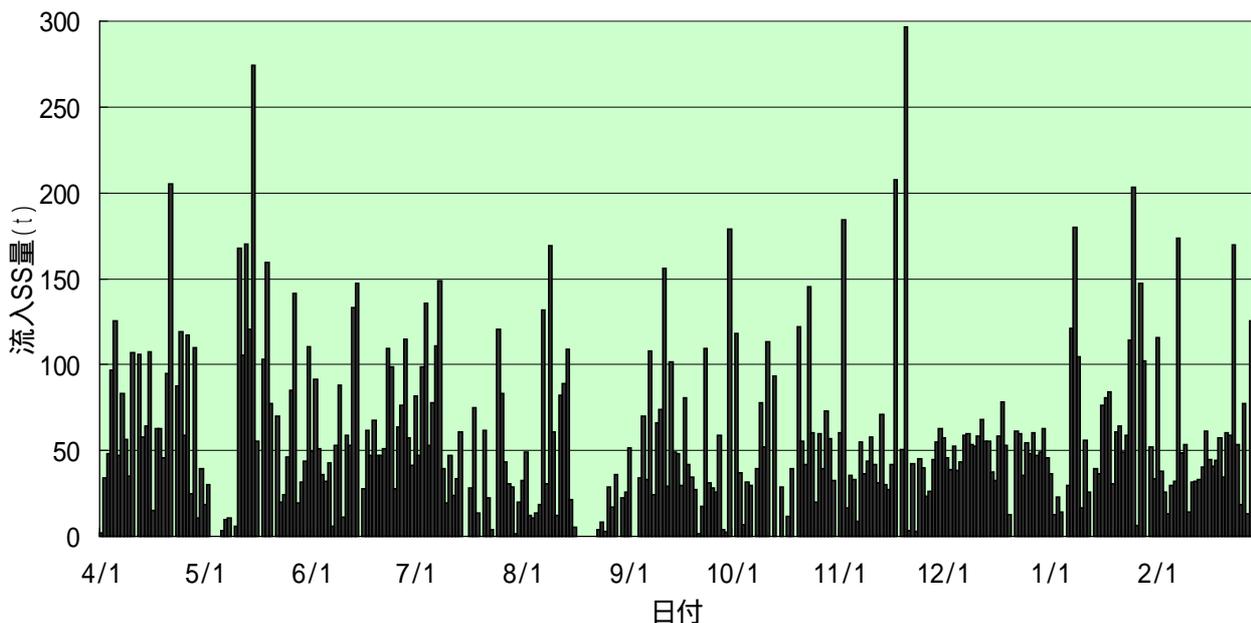


図1 流入汚泥の経日変化

2 - 2 流入SS量の推定

日々の流入SS量を測定できない。そこで流入SS量を、排出された汚泥の量および汚泥処理系内に堆積している量から、三河島処理場から送られる汚泥量を差し引いて推定した。すなわち以下の式によって算出した。(単位はすべてt/日)

$$S_{in} = S_t + S_s + W_h + W_s - S_m + (L_2 - L_1)$$

S_{in} ; 流入SS量

S_t ; 東部汚泥処理プラント汚泥焼却量 (DS量)

S_s ; 砂町汚泥処理工場汚泥焼却量 (DS量)

W_h ; 高級処理放流水のSS量

W_s ; 簡易処理放流水のSS量

S_m ; 三河島受泥のSS量

L_1 ; 濃縮槽の堆積汚泥量

L_2 ; 翌日の濃縮槽の堆積汚泥量

雨量、受水量は水処理月報、焼却量は汚泥処理月報、また汚泥堆積量はスラッジ管理係りで作成する日報(濃縮槽濃度分布図:12年度から断面積から汚泥量を推定している)から得た。簡易放流SS量は11年度の調査結果の平均を用いた。雨量は砂町水処理センターにおけるもので、流域全体のものを示すものではない。

3 . 結果および考察

3 . 1 平成12年度の降雨状況

降雨が連続して観測された場合には通算して1回とした。平成12年度(13年2月まで)の降雨は合計48回あり、総雨量5mm以下が8回、5~10mmが5回、以下~20mm10回、~30mm7回、~40mm8回、40mm以上10回であった。降雨強度が20mmを超える降雨が5回あり、最大は85.5mmという豪雨も記録した。

年間の総雨量は2月末時点で1483mmと例年の総雨量を越えており、雨の多い年であった。梅雨明けからの2週間と11月下旬から6週間は、ほとんど降雨がなかったのも特徴的であった。

3 . 2 降雨時調査の結果

降雨時の調査結果を表-1にまとめた。採水した時間だけのデータであるので、後で示す推定結果とは合わない場合が多い。4月5日、11日、26日、7月26日は自動採水器を用いて夜間のデータも得た。1時間の受水量が25,000 m³を超えるとSS濃度が高くなり、35,000~40,000 m³以上になるとSSは1,000mg/Lを超える場合が出てくる。このような状態が1~2時間継続

するので、このときの流入SS量は非常に大きなものになる。最大では1時間で84tもの流入があった。これは通常時の2日分にあたる。

水量が多い状態が続くとSSも高い値で推移し、6時間ほどたってようやく流入濃度が低くなる。40,000 m³程度の流入が続いた7月26日の例では、SS濃度のピークが2つあり、これは大島幹線に複数の伏越・逆勾配部分あることによるとも考えられる。

表 - 1 降雨時の流入SS量

調査日	最大SS濃度 (mg/L)	雨天時流入SS負荷量 (t)
4月5日	1080	172
4月11日	1090	200
4月26日	236	71
6月9日	640	43
6月23日	680	75
6月28日	600	126
7月26日	1105	196
10月23日	373	41
11月17日	975	239

同じ7月26日の例であるが、前日から雨が予想されたため、25日は雨水の流入に備えて幹線水位を下げて運転されていた。25日から26日にかけての幹線水位と流入SS濃度との関係を図-2に示した。幹線水位が-24m以下になると200mg/Lを超える濃度で流入する。水量で15,000 m³/時以下だとSS濃度は低いままであった。負荷量で見ると低水位運転を行っていた6時間で約30tのSSの流入があったが、通常の運転で流入すると見られる12tを差し引き、18tが低水位運転により取り込まれたことになる。この量は、このときの降雨時の時間最大流入量45tに比べると小さいが、それでもいくらかの効果はあったといえる。

通日試験時にも数回降雨があり、このときにはやはり高濃度のSSの流入があった。また、通日試験時には処理水量を安定させるように運転係で配慮してもらっているが、このため早朝の水量の少ない時間帯には幹線の水位が低くなっていることが多い。幹線水位が-24mを下回ったのは14回あるが、そのうち4回のSS濃度が200mg/Lを超え、最大値は510mg/Lであった。図の中で低水位でもSS濃度が低い例があるが、これは水量の少ない場合で、やはり水量が少ないとSSの取り込みはないことがわかった。

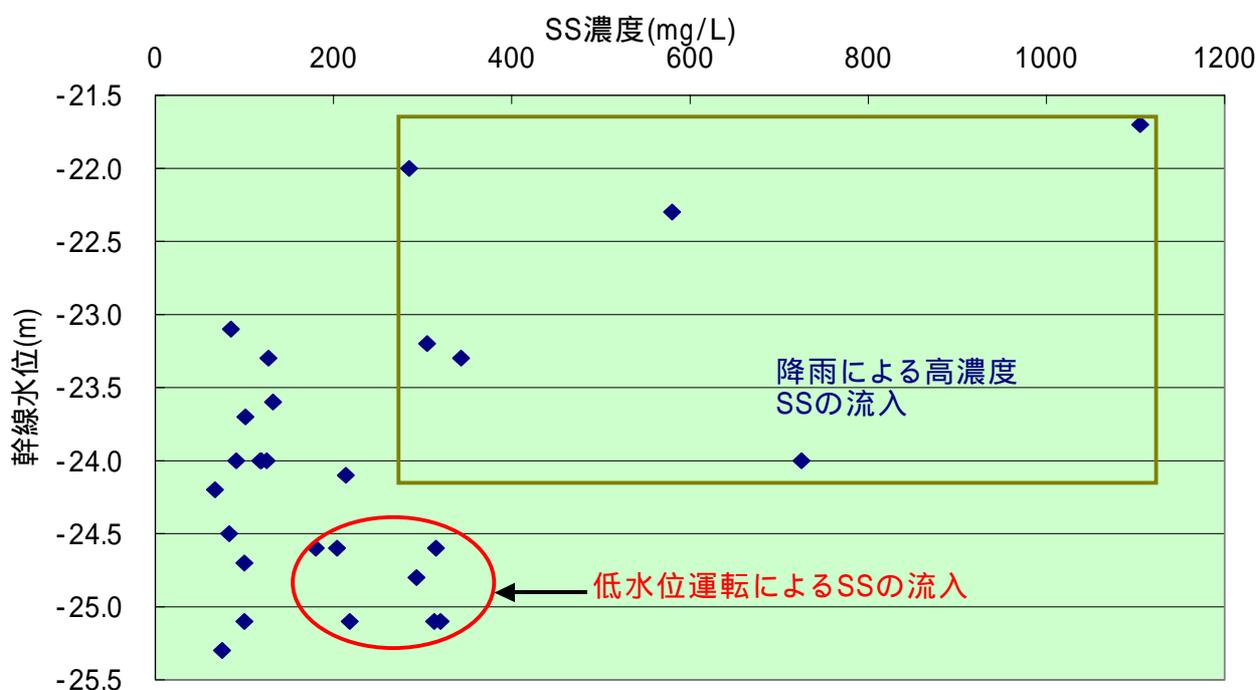


図-2 幹線水位と流入SS濃度

3.3 流入SS量の推定結果と考察

図-1に示したとおり、流入水の推定SS量は0~300t/日の範囲で推移した。5月、8月にSS量が0になっている期間があるが、もちろん流入SSが無くなるということはないので、これは推定値の誤差である。流入SS濃度が低いときでも30~50mg/Lであるので、少なくとも10~20t/日の流入はあったと考える。

比較的降雨の全体を捉えたと見られる7月26日(表-1)の実測による負荷量は196tで、推定値の7月25~27日の248tと若干開きがあるが、個々の数値にはこの程度の誤差があると見ている。ただし全体の傾向は十分考察可能であると判断した。総じて降雨時には大量のSSが流入し、降雨後は極端に減少することが繰り返されている。

表 - 2 平成12年度の降雨状況と流入SS量

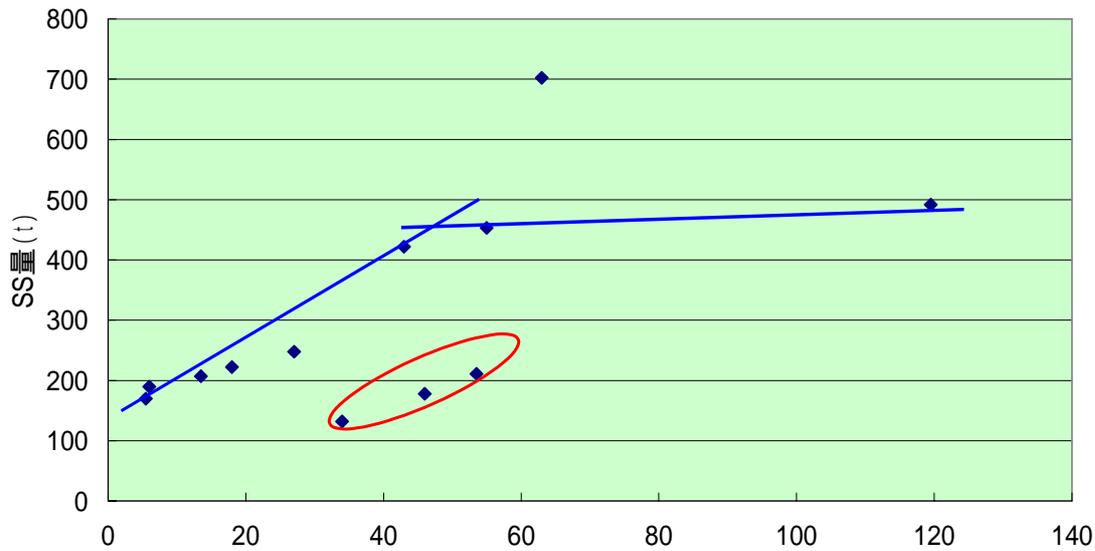
降雨日	総雨量	降雨強度	晴天日数	流入SS量	降雨日	総雨量	降雨強度	晴天日数	流入SS量
	m/日	mm/時	日	t/日		m/日	mm/時	日	t/日
4.5	25.5	6		125	9.5-7	53.5	14	2	211
4.11	8.5	6.5	5	106	9.11	36	11.5	3	156
4.15-16	21.5	4	3	146	9.13	11.5	6.5	1	102
4.20-22	34	7.5	3	338	9.16-17	33.5	10.5	2	110
4.24	10.5	8	1	119	9.23-24	40	9.5	5	141
4.26-27	19.5	2.5	1	184	9.30-10.4	30	5.5	5	334
5.12-15	63	31	14	702	10.9	19.5	8	4	78
5.18	7.5	2.5	2	131	10.15	1	0.5	5	29
5.20-21	32.5	5.5	1	98	10.20-21	46	12	4	178
5.27-28	17	4.5	5	226	10.23	27.5	8	1	146
5.31-6.1	17.5	6.5	2	160	10.25	1	1	1	20
6.9-14	119.5	6.5	7	492	10.28-30	16	2.5	2	162
6.17-18	11	6.5	2	109	11.1-2	24.5	8	1	245
6.23-26	46.5	10	4	300	11.7	2.5	1.5	4	55
6.28	34	13	1	115	11.14-15	4	1	6	101
6.30	1.5	1.5	1	41	11.17	13.5	5.5	1	207
7.2-4	110.5	85.5	1	282	11.20-21	81	39	2	300
7.7-8	175.5	24	2	260	12.17-19	6	1.5	25	190
7.25-27	27	5.5	16	248	1.7-10	43	8	18	422
8.2	0.5	0.5	5	49	1.21	3	2	9	61
8.7	34	17	4	132	1.25-27	55	5	4	453
8.9-10	40	23.5	1	230	2.1	3	1	4	116
8.12-15	20.5	8.5	1	302	2.7-8	18	1.5	5	222
9.2	8.5	8.5	17	51	2.24	5.5	1.5	15	170

特徴として、5月初めと8月半ばに一時減少が見られること、夏期には総じて減少すること、また12月から1月上旬にかけては比較的安定している傾向が見られた。5月初めの減少は、直前の降雨により堆積した汚泥が流入した後で、連休に入り水量が減少したことによると見られる。また8月の場合も、7月末から8月中旬にかけて降雨が続き、幹線中の堆積汚泥が無くなったために処理場への流入が少なくなったものだろう。11月中旬から約6週間は6mmの降雨があっただけで、12月に入ったころには幹線内の伏越・逆勾配部分に堆積した汚泥が飽和したと見られる。そのため冬季の平均的な流入SS量である50t/日で安定したと考える。

次に平成12年度4月～2月の降雨状況とそのときの流入SS量を表-2にまとめた。降雨が連続して観測された場合は通算して1回とし、総雨量、最大降雨強度、先行晴天日数とともに示した。

先行晴天日数が5日以下というのが合計で39回と全体の8割以上を占め、7日以上は9回であった。しかし、降雨があってもSSの異常な流入がなかった例が、特に総雨量5mm以下でみられた。また9月2日の場合は、8.5mmの雨量であったが局地的なわか雨であり、水量を押し上げるものでなかったようで、SSの流入量も通常と変わらなかった。これらは本調査では降雨からはずすこととし(水色で表示)、これを除くと降雨は39回、先行晴天日数7日以上は12回となった。この7日という数字は、図-1から以前の雨の影響がほぼなくなる、すなわち流入SS量が40～50t程度になるまでの日数と考えた。

図-3に先行晴天日数7日以上 of 降雨時の流入SS量と総雨量の関係を示した。雨量が多くなるとSSの流入量が増加する傾向が見られる。10mm程度の雨でも200tほどのSSが流入していた。この図で、赤円で囲んだ3回はいずれも夏季の短時間に集中して降った雨の場合で、雨量は多いものの局地的な雨である可能性がある。このような雨では比較的SSの流入量は多くならない。この3点を除くと青線で示すような傾向が見えてくる。総



雨量 50mm 程度までは雨量にしたがって流入 SS 量は増加するが、それ以上の雨量ではほとんど増加しない。これは幹線内に体積した量をほぼ洗い流したことを示している。幹線内に堆積していた量は、図 - 3 から 450 ~ 500 t 程度と推定される。

次に図 - 4 に先行晴天日数 5 日以内の降雨時の流入 SS 量と総雨量の関係を示した。図 - 4 も全体的な傾向としては、雨量の増加に従って流入 SS 量が増加している。図 - 3 に比べデータ数が多いこともあるが、雨量 20 ~ 40mm で流入 SS 量が大きくばらついている。また、晴天日数にも影響されない。これは前回の雨で、どれだけ幹線内の SS の堆積が解されたかによるとみられる。また、40mm 以上では流入量に差がなくなり流入 SS 量は 300 t 程度になっている。

図 - 3, 4 の結果から、40 ~ 50mm の降雨により、幹線内に堆積した SS はほぼ解消されるものと判断できる。

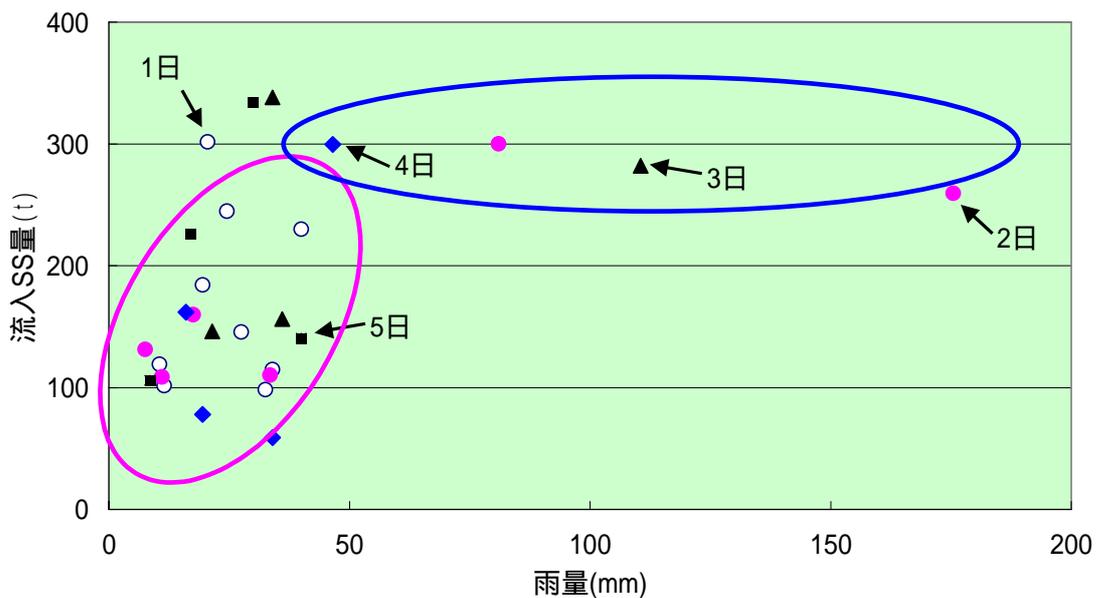


図 - 4 雨量と流入SS量 (先行晴天日数5日以下)

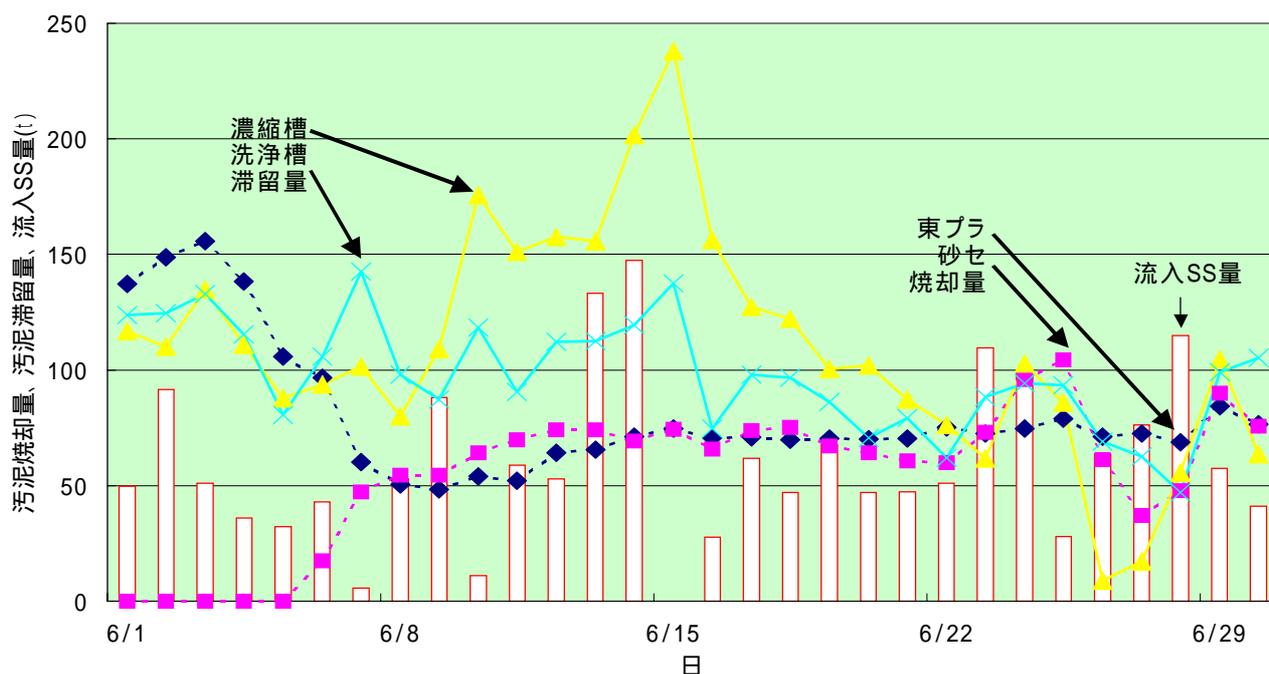


図 - 5 汚泥処理量と滞留量(平成12年6月)

4 . 降雨時流入SSと汚泥処理

本調査の目的のひとつに、降雨による流入SS量の増加を予測し、汚泥処理の安定化に資することがあった。しかし結果として流入SSの増加量は、降雨の状態によって変動し、これを事前に予測するのは難しいことがわかった。むしろ現状行っている、濃縮槽の滞留量から判断するほうが良いと考える。

図 - 5 に平成 12 年 6 月の SS 流入量、濃縮槽汚泥滞留量、汚泥焼却量を示す。このときの汚泥処理の状況は、6 月 5 日より東部汚泥処理プラント焼却炉定期点検のため 1 炉停止（この間 1 炉運転：300t/日）となった。これを補うため、砂町水処理センター汚泥処理工場で脱水・焼却を立ち上げた。濃縮槽は 8 槽あり、うち 4 槽は砂町生汚泥用（図 - 5 で濃縮槽）、4 槽は三河島受泥用（図 - 5 で洗浄槽）で、槽容量は 2,200 m³/槽である。各槽の滞留量を 10～15 t 程度、全体で 100 t 以下（日処理量の約 70%）を目標にしているが、5 月末の降雨により約 240 t の滞留があった。なお、三河島処理場からの受泥量は 70～80 t/日である。

濃縮槽滞留量は図 - 5 にあるように、汚泥処理切り替え時に若干増加したがその後減少傾向にあった。しかし 9 日の降雨で一気に増加、その後も降雨が続いたため 15 日の滞留量は 380 t まで増加した。この滞留量を解消できたのは 26 日で、ほぼ 1 ヶ月の間汚泥が水処理と汚泥処理の間を循環する状態が続いた。循環汚泥の濃縮・脱水処理は難しくなり、さらに汚泥処理を不安定なものにする。

こうした汚泥処理の状況は水処理にも大きな影響を与える。循環汚泥の増加は BOD、SS、NH₄-N 等の反応槽流入濃度を押し上げ、エアレーション量を増加させるとともに、雨天時簡易処理水質の低下の要因にもなる。

平成 12 年度は、汚泥処理の主体が砂町水処理センターから東部汚泥処理プラントへ移行する過渡期で、6 月の状態は汚泥処理能力が不足していたことが悪循環を生んだといえ

る。しかし、13年度以降も東部汚泥処理プラントの3号炉稼働、遠心濃縮機の導入、葛西処理場への送泥ラインの供用開始等プラスの要因はあるものの、砂町汚泥処理の能力減、および老朽化、東部汚泥処理プラント3炉体制に対する脱水能力不足、送泥の受け手側の状態（降雨時のSSの増加は葛西処理場にもある問題）等、汚泥の滞留を解消できる能力があるとは言いがたい。

3.2で述べたように、低水位運転で伏せ越部の堆積汚泥の一部を取り込めることがわかったが、降雨時の流入量を効果的に軽減できる量には少ない。

5. まとめと今後の課題

流入水の測定では十分把握できなかった降雨ごとの流入量を、汚泥処理量と系内の滞留量（濃縮槽で代表した）から推定した。個々のデータはそれぞれ誤差を持つが、大まかな傾向の分析はできたと考える。

降雨時のSS流入量は、総雨量と相関が大きいといえる。総雨量5mm以下では流入SS量の増加はみられない。また40～50mm以上で、幹線内の堆積汚泥はほぼ処理場に流入する。前の降雨が5日前以内ならば、流入SS量は減少するが、そのときの雨量、前の雨量によってその量は変化する。

効果は大きくないとみられるが、低水位運転により伏せ越部堆積SSの取り込みを検討していく予定である。水量変動、最低水量確保（場内用水）等を考慮しながら、効果のある方法を実現していく。

また、13年度に流入水に濁度計を設置する予定なので、これを用いて流入SS濃度の連続したデータをえることができる。これにより、正確なSSの流入実態、低水位運転の効果等を把握していく。

参考文献

- 1) 遮集幹線における雨天時流入水調査：東京都下水道局技術調査年報、平成12年10月

大目次

目次

要旨

- 13 南多摩処理場硫化水素実態調査

流域下水道本部

技術部 北多摩一号処理場

南多摩水質管理係

1. 調査目的

南多摩処理場では、汚泥処理設備及び水処理設備で高濃度の硫化水素ガスが発生し、処理場建屋内での作業環境及び設備の腐食が問題となっている。そこで、平成 11 年度に「南多摩処理場汚泥処理設備硫化水素抑制調査」(以下、前回の調査と呼ぶ)として、汚泥処理を中心とした各処理設備での硫化水素発生実態の把握と、ポリ硫酸第二鉄(以下、ポリ鉄と呼ぶ)を濃縮槽に添加した際の硫化水素発生抑制効果の検証を行った。

今回の調査は、上記調査の結果を踏まえ、設備の腐食がもっとも著しい低段沈砂池において、硫化水素濃度の 24 時間連続測定と硫化水素発生に関連する水質項目について調査を行い、夏期を中心とした高水温期における硫化水素の発生状況など要因等を把握し、前回の調査との比較検討を通じて今後の維持管理の基礎資料に資することを目的として実施した。

2. 調査対象施設の概要

今回の調査対象施設は、ポンプ棟内の低段沈砂池である。ポンプ棟には、中段沈砂池と低段沈砂池とがあり、それぞれ大栗幹線と稲城幹線からの汚水が流入する。また、汚泥処理工場と濃縮槽の排水及びその他雑用水が、総合返水として、ろ格機と主ポンプとの間に設置された返水管を經由して、中段沈砂池と低段沈砂池に約半分ずつ戻される。沈砂池流入水と総合返水は沈砂池内で混ざり合い、主ポンプによって揚水され、東分水槽に流入する。

低段沈砂池は、長さ 15m 幅 3.5m 有効水深 0.89m 有効容量 46.7m³のものが 2 池あり、平成 12 年度日平均の稲城・大栗系流入水量は 41,190 m³、総合返水量は 6,720 m³である。また、沈砂池の水位と返水管の吐き出し口との間の間隔が約 7~8m あり、総合返水が沈砂池内で霧状に噴霧された状態となる構造であった。

3. 調査方法

3.1 調査内容

3.1.1 低段沈砂池の硫化水素発生実態調査

8 月 4 日より 9 月 14 日まで、低段沈砂池に硫化水素濃度測定器(ガステック社 GHS-7A)を設置し、24 時間連続測定を行った。

3.1.2 スポット日常調査

8 月 25 日・8 月 29 日・9 月 1 日・9 月 5 日・9 月 8 日及び 9 月 12 日の合計 6 回の日常試験時(10 時)にスポットサンプリングを行い、硫化水素発生の指標となる項目の測定を行った。

サンプリング箇所

低段流入水(ろ格機前より手汲みにてサンプリング)

総合返水(中段沈砂池にあるサンプリング設備よりサンプリング)

揚水後低段汚水（揚水後の導水渠より手汲みにてサンプリング）

測定項目

水温・pH・COD・SS・硫酸イオン・硫化物・硫化水素発生試験

3.1.3 スポット通日調査

9月13日から14日の通日試験時にスポットサンプリングを行い、硫化水素発生指標となる項目の測定及び分析を行った。

サンプリング箇所

低段流入水（9時・17時）

総合返水（9時・13時・17時・21時・1時・5時）

揚水後低段汚水（9時・17時）

測定項目

水温・pH・COD・SS・硫酸イオン・硫化物（9時・17時のみ）・硫化水素発生試験

ORP（総合返水のみ）

3.2 硫化水素濃度測定器の設定

硫化水素測定器は以下の設定とした。

測定範囲：0～100ppm 分解能：1ppm 精度：±5ppm

ロギング間隔設定：1分（約8日間連続測定可能） サンプリング方法：平均値

3.3 分析方法

各項目の分析方法は以下のとおりである。

水温	下水試験方法(1997)2.2.2 棒状温度計
pH	下水試験方法(1997)2.2.8.1 ガラス電極法
COD	下水試験方法(1997)2.2.22.1 100 過マンガン酸カリウム法
SS	下水試験方法(1997)2.2.12.1 ガラス繊維ろ紙法
硫酸イオン	下水試験方法(1997)2.2.32.4 イオンクロマトグラフ法
硫化物	下水試験方法(1997)2.2.36.1 ヨウ素滴定法
硫化水素発生試験	前回の調査と同じ方法（水中に溶解する硫化水素を測定する）
ORP	下水試験方法(1997)2.3.5 酸化還元電位

4. 調査結果

4.1 低段沈砂池の硫化水素発生実態調査

硫化水素濃度グラフを図1～図2に示す。また、表1に各期間の濃度の平均と最大を示す。

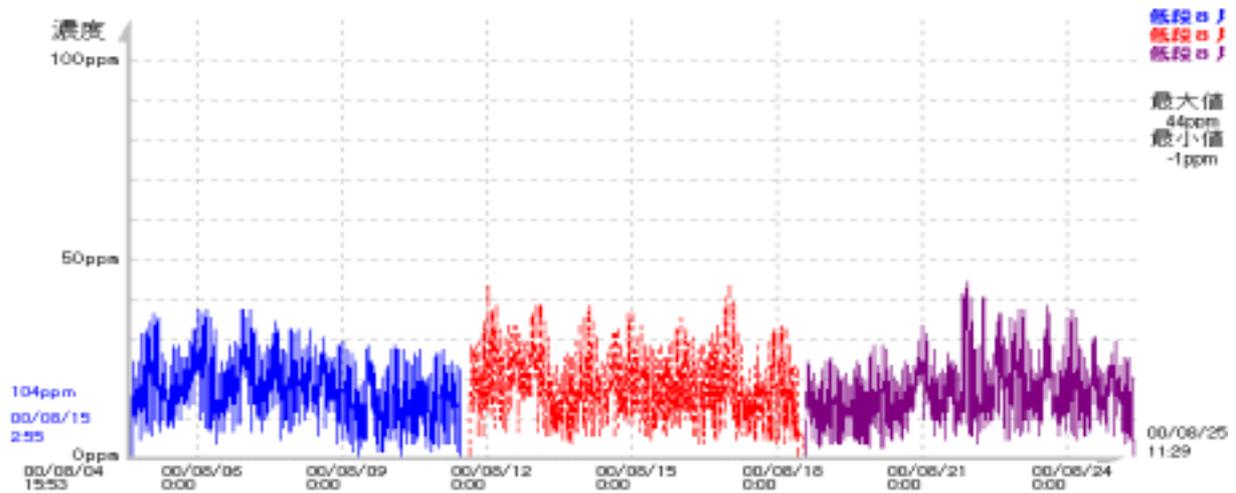


図1 8月4日～8月25日の硫化水素濃度

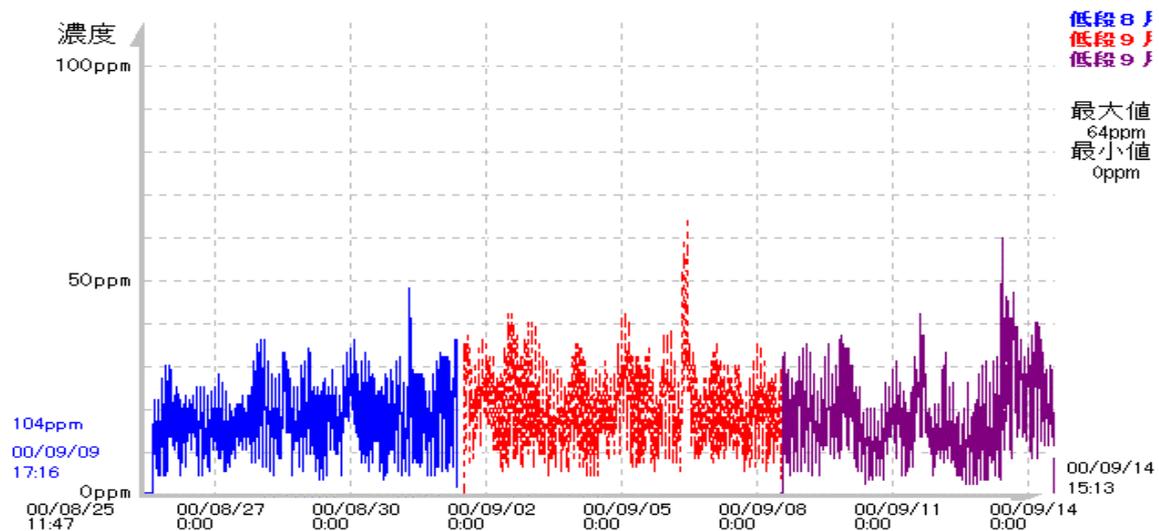


図2 8月25日～9月14日の硫化水素濃度

表1 低段沈砂池の硫化水素濃度測定結果(単位 ppm)

	第1週 H12.8.4 ～8.11	第2週 H12.8.11 ～8.18	第3週 H12.8.18 ～8.25	第4週 H12.8.25 ～9.1	第5週 H12.9.1 ～9.8	第6週 H12.9.8 ～9.14	全期間
平均	17.4	18.3	16.8	17.9	20.9	19.0	18.4
最大	37.8	43.8	44.9	48.8	64.0	60.7	64.0

なお、第6週の9月13日から14日にかけて硫化水素濃度がやや高くなった。これは、通常は総合返水を中段沈砂池と低段沈砂池とに振り分けて返水しているが、当日は全量を低段沈砂池に返水したことが原因と考えられる。

4.2 スポット日常調査結果及びスポット通日調査結果

各測定項目別に日常調査と通日調査の結果を示す。

4.2.1 水温

図3に日常調査、図4に通日調査の水温の変化を示す。

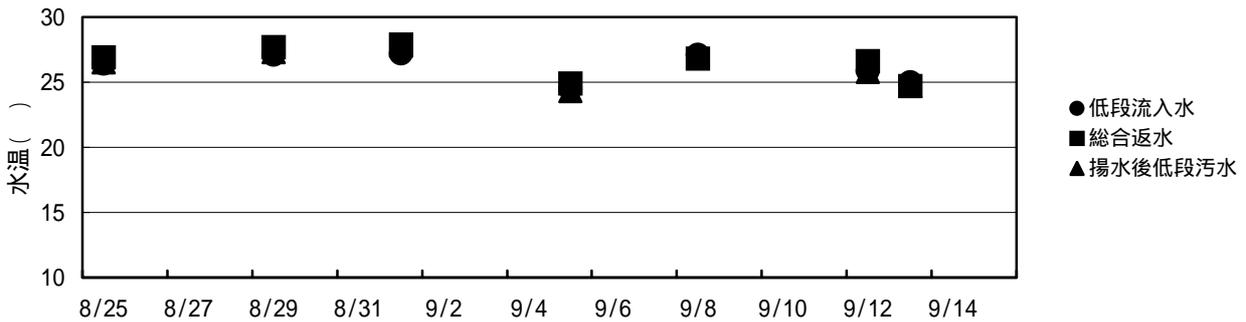


図3 日常調査の水温

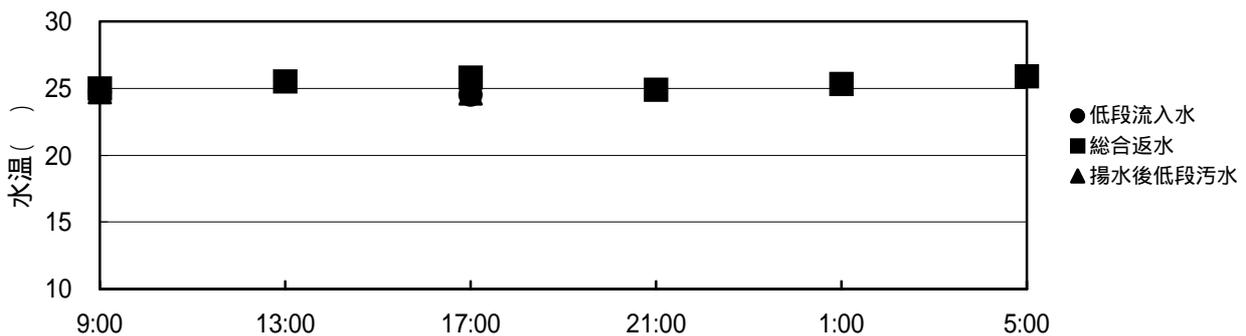


図4 通日調査の水温

日常調査では、3試料とも大きな差はなく、24～28 の範囲であった。変動は天候によるものと考えられる。

通日調査では、24～26 の範囲であった。

4.2.2 pH

図5に日常調査、図6に通日調査のpHの変化を示す。

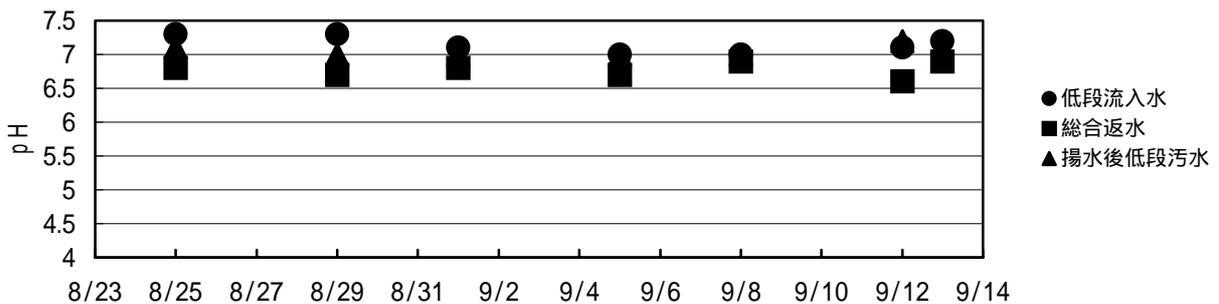


図5 日常調査のpH

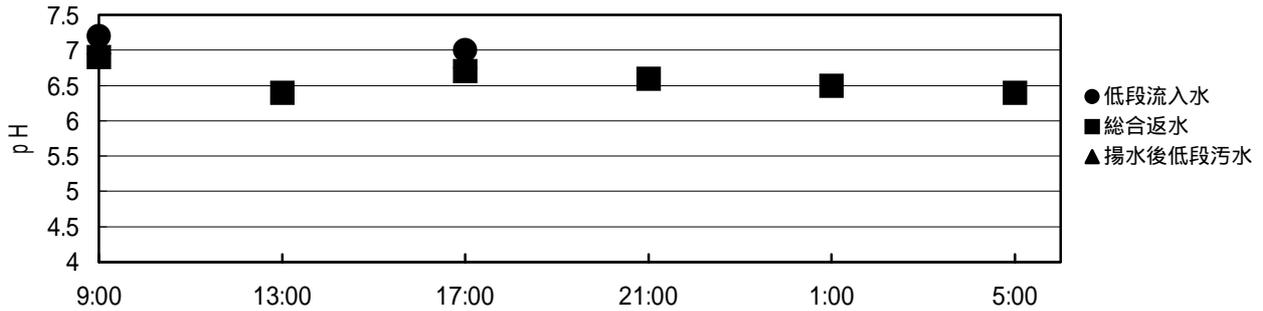


図6 通日調査のpH

日常調査では、最大は8月25日と8月29日の低段流入水の7.3であり、最小は、9月12日の総合返水の6.6であった。一般的に、総合返水の値が3試料の中で最も低い傾向であった。通日調査では、一般的に日常調査よりやや低めの値であったが、同様の傾向を示した。

4.2.3 COD

図7に日常調査、図8に通日調査のCODの変化を示す。

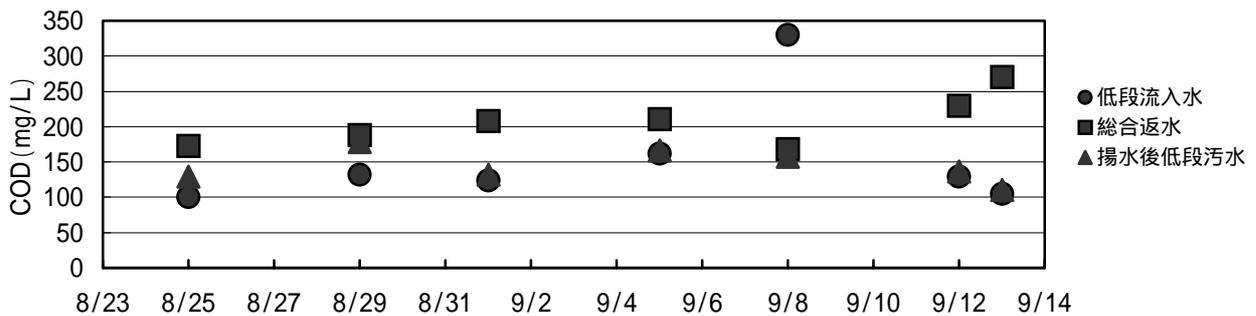


図7 日常調査のCOD

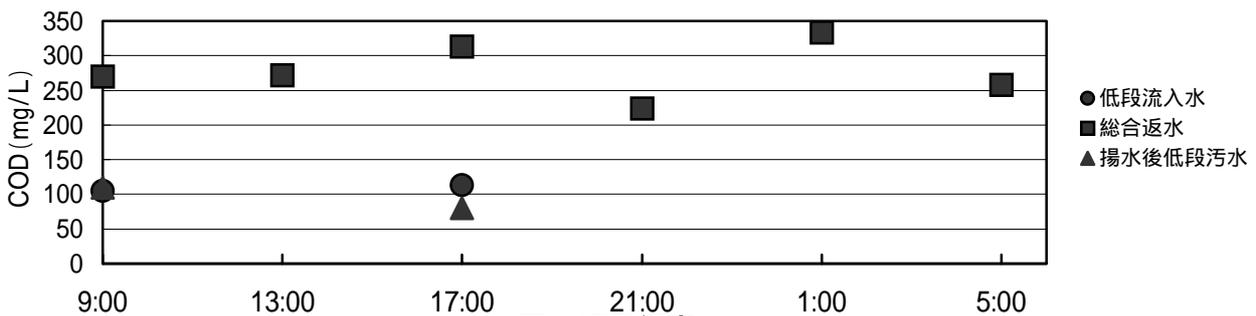


図8 通日調査のCOD

日常調査では、低段流入水の変化が大きく、156～330mg/Lの範囲であった。それに対して総合返水は変化の幅が小さく、173～270mg/Lの範囲であった。揚水後低段汚水は、低段流入水と総合返水の間値であった。

通日調査では、総合返水は224～333mg/Lの範囲で日常調査よりやや高めであった。低段流入水と揚水後低段汚水は、80～110mg/Lの範囲で日常調査より低めの値であった。

4.2.4 SS

図9に日常調査、図10に通日調査のSSの変化を示す。

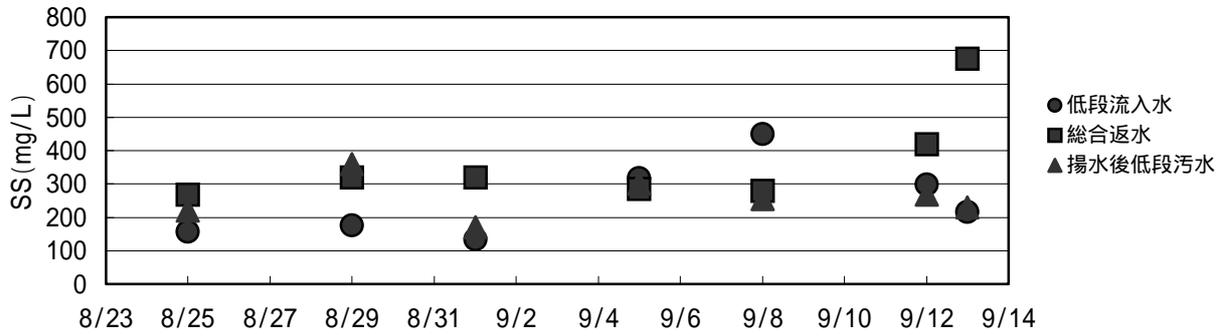


図9 日常調査のSS

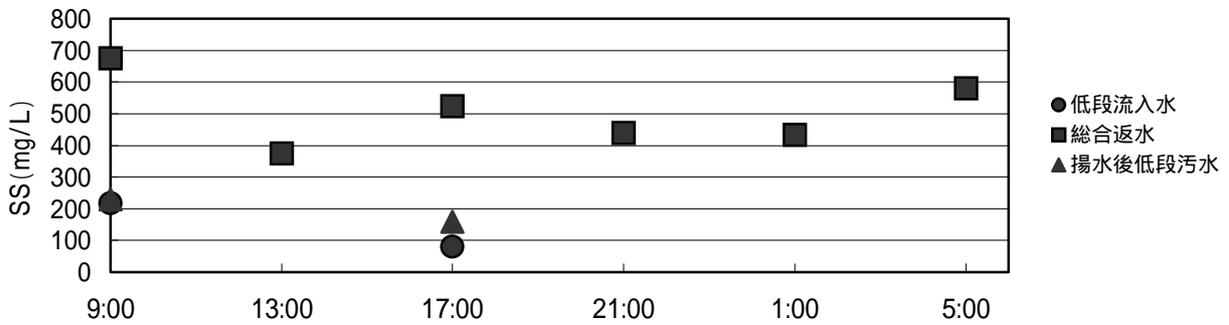


図10 通日調査のSS

日常調査では、9月13日の総合返水が675mg/Lと高めであったのを除けば、3試料とも150~450mg/Lの範囲であった。しかし、流入水による影響が大きく明確な傾向は把握できなかった。

通日調査では、総合返水が375~675mg/Lの範囲で日常調査より高めであった。他の2試料は日常調査と同じ傾向であった。

4.2.5 硫酸イオン

図11に日常調査、図12に通日調査の硫酸イオンの変化を示す。

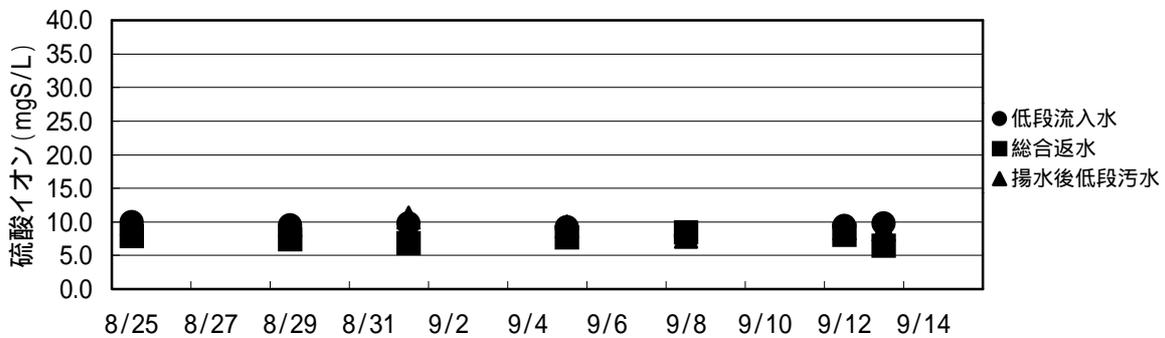
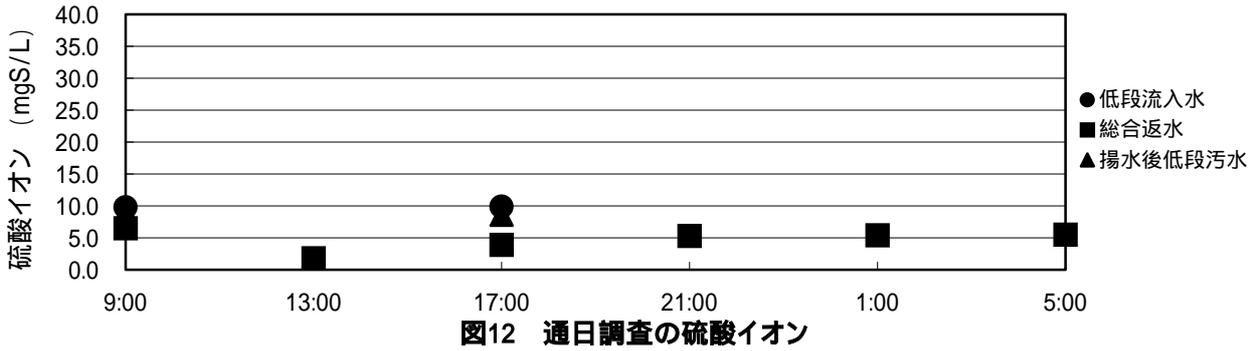


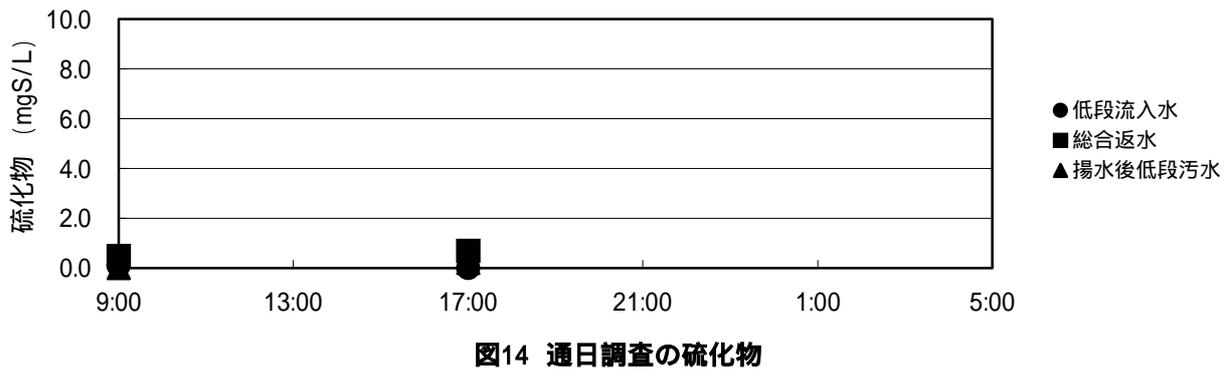
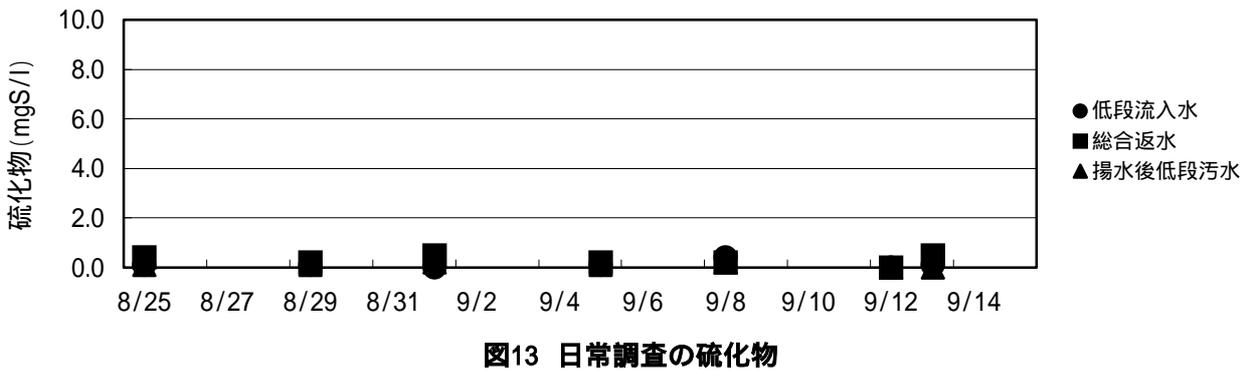
図11 日常調査の硫酸イオン



日常調査では、各試料とも 6.5～10.6mg-S/L の範囲で大きな差は無かった。
 通日調査では、総合返水は 1.8～6.5mg-S/L の範囲で日常調査より低めであった。他の 2 試料は日常調査と同じ傾向であった。

4.2.6 硫化物

図 13 に日常調査、図 14 に通日調査の硫化物の変化を示す。



日常調査及び通日調査の 3 試料とも 0～0.6mg-S/L の範囲であり低い値であった。

4.2.7 硫化水素発生試験

図 15 に日常調査、図 16 に通日調査の硫化水素発生試験の変化を示す。

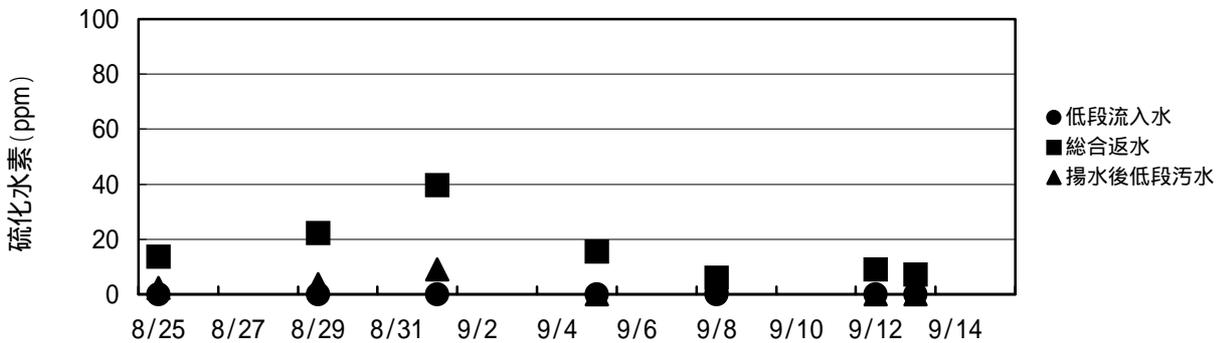


図15 日常調査の硫化水素発生試験

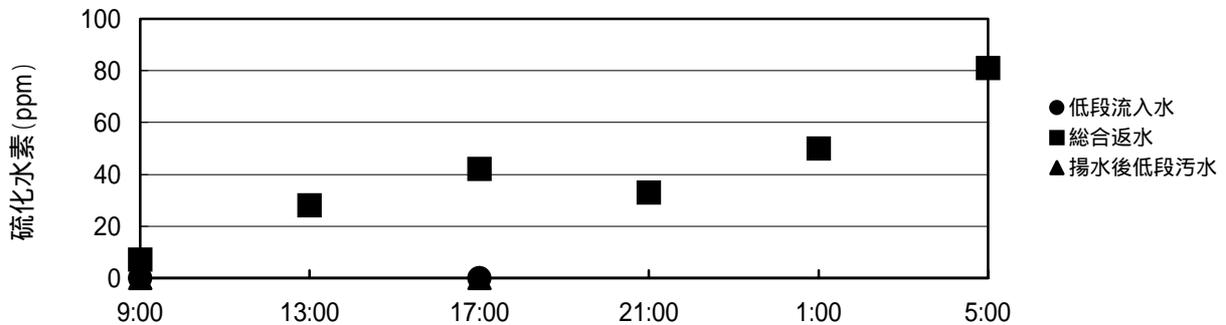


図16 通日調査の硫化水素発生試験

日常調査では、総合返水において 40ppm が 1 回あり、その他は 6～22ppm の範囲内であった。それに対して低段流入水はほとんど 0ppm であった。揚水後低段汚水は最大が 9ppm であり、その他は 5ppm 以下であった。

通日調査では、低段流入水と揚水後低段汚水が 0ppm であったのに対し、総合返水は 7～81ppm と日常調査より高めの値であった。

4.2.8 ORP

図 17 に通日調査の ORP の変化を示す。

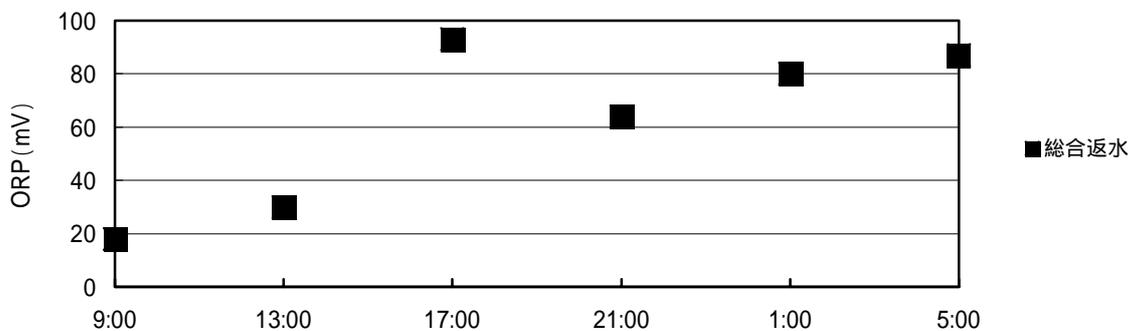


図17 通日調査のORP

+18～+93mV の範囲で酸化状態であった。

4.3 調査結果のまとめ

- (1)4.1 及び 4.2 により、低段沈砂池の硫化水素発生に総合返水が大きく影響を与えていることがわかった。
- (2)通日調査では、低段流入水と揚水後低段汚水に大きな変化はなく、総合返水では明確な傾向は確認できなかった。

5. 考察

5.1 前回の調査との比較

前回の調査では、汚泥処理設備を中心としてポリ鉄注入前と注入中に硫化水素濃度の連続測定とスポット測定調査を行った。以下(1)及び(2)は、前回の調査の中で今回と同一条件で実施した以下の項目について、相互のデータの比較検討を行う。

- (1)低段沈砂池でのポリ鉄注入前7日間にわたる硫化水素濃度の連続測定
- (2)ポリ鉄注入前のスポット測定調査における総合返水の水温・pH・ORP・SS・硫酸イオン・硫化物・硫化水素発生試験の測定

5.1.1 硫化水素濃度の連続測定

表2に前回の調査と今回の調査結果とを示す。

表2 低段沈砂池での硫化水素濃度測定結果(単位 ppm)

前回調査	第1週	第2週	第3週	第4週	第5週	第6週	H12.8.4 ~9.14の 平均
H11.11.4 ~11.11	H12.8.4 ~8.11	H12.8.11 ~8.18	H12.8.18 ~8.25	H12.8.25 ~9.1	H12.9. 1~9.8	H12.9.8 ~9.14	
68.8	17.4	18.3	16.8	17.9	20.9	19.0	18.4

注)前回の調査で、測定データの平均値がセンサ測定範囲(最大100ppm)を超えた場合は、測定の最大濃度として算出した。

今回の調査では、全測定期間において前回の調査よりも低い値であった。また、測定期間中の平均値を比較すると、今回は前回の約27%であった。また、前はセンサ測定範囲を超えた場合が多数あったが、今回は測定範囲を超えることはなく、最大が64ppmであり1週間毎の平均値にも大きな変化はなかった。

5.1.2 スポット測定調査

表3に前回の調査と今回の調査結果とを示す。

表3 総合返水でのスポット測定調査データの比較

項目	単位	前回の調査		日常調査			通日調査		
		1回目	2回目	平均	最大	最小	平均	最大	最小
水温		20.9	19.7	26.8	27.9	24.9	25.4	25.9	24.9
pH		5.9	6.5		6.9	6.6		6.9	6.4
COD	mg/L		590	196	230	168	278	333	224
SS	mg/L	1880	2140	315	420	267	504	675	375
硫酸イオン	mg-S/L	7.0	15.9	7.7	8.5	6.8	4.7	6.5	1.8
硫化物	mg-S/L	0.3	3.7	0.3	0.5	0	0.6	0.7	0.5
硫化水素発生試験	ppm	38	32	18	40	6	40	81	7
ORP	mV	-134	-131				62	93	18
(濃縮槽汚泥堆積高)	(m)	(4.0)	(4.0)	(0.8)	(2.4)	(0.2)			

濃縮槽汚泥堆積高は、管理委託JV測定の日平均の値である。

- ・水温は、前回の調査が11月・今回の調査が8～9月に行われたため差が生じていた。
- ・pHは、前回と今回ともほぼ同じと考えられる。
- ・CODは、日常が前回の約33%・通日が前回の約47%の低い値になっていた。
- ・SSは、日常が前回の約16%・通日が前回の約25%の低い値になっていた。
- ・硫酸イオンは、前回の2回目がやや高いものの、ほぼ同じと考えられる。
- ・硫化物は、硫酸イオンと同じ傾向であった。
- ・硫化水素発生試験は、今回の通日調査の最大値がやや高いが、ほぼ同じと考えられる。
- ・ORPは、前回がマイナスで還元状態を示していたのに対して、今回はプラスで酸化状態を示していた。これは、今回に比べて前はより腐敗が進んだ状態であると考えられる。
- ・濃縮槽汚泥堆積高は、前回が4.0mと濃縮槽に汚泥が堆積した状態であったが、今回は、平均が0.8mと汚泥の堆積は少なかった。

以上により、前回と今回のスポット調査データの比較から、イオウ化合物に関する項目に大きな差はみられなかったが、COD・SS・ORP及び濃縮槽汚泥堆積高の値から、前は今回より、一層腐敗した総合返水が沈砂池に戻っていたと考えられる。

5.2 硫化水素発生の原因

文献¹⁾によれば、下水道施設における硫化水素は、硫酸塩還元細菌の働きにより下水中の硫酸塩が還元されることによって発生する。また、硫酸塩還元細菌は下水管渠を例にとると管内の沈殿物中に多く存在する。

硫酸塩還元細菌の環境因子は温度・酸化還元電位・pH・硫化物濃度・塩分濃度・エネルギー源及び炭素源である²⁾。これらの因子のうち、今回の調査では、温度・酸化還元電位・pH・硫化物濃度の測定を行った。

低段沈砂池に流入する汚水は、稲城幹線からの低段流入水と汚泥処理工場等からの総合返水である。これら2つが沈砂池内で混合し、主ポンプによって揚水され、揚水後汚水となって分水槽に流入する。

低段流入水と総合返水の試料の温度・pH・塩分濃度は、いずれも硫酸塩還元菌の生育範囲内であった。また、硫酸イオン及び硫化物の濃度は、各場所及び各調査期間で大きな差はみられなかった。このことから、硫化水素発生の原因物質である硫酸塩は、同じ程度の濃度で存在していると考えられる。それにもかかわらず、硫化水素発生試験の値をみると、総合返水の発生量が際だって高い。このことは硫酸塩還元細菌の働きが流入水よりも総合返水のほうが活発であり、その結果、より多くの硫酸塩が還元され硫化水素が生成したのと考えられる。言いかえると、流入水がほとんど腐敗していないのに対して、総合返水のほうは腐敗が進んでいると考えられる。

腐敗の程度は、酸化還元電位によって表わされる。前回の調査と今回の調査との総合返水の酸化還元電位は、前回がマイナスであったのに対して、今回はプラスであった。また、表2のとおり発生した硫化水素濃度は前回が今回の約4倍であった。このことから、腐敗の進行とともに硫化水素の生成量が多くなっていくことが裏付けられたと考えられる。

なお、上記文献²⁾によれば、硫酸塩還元細菌のエネルギー源及び炭素源は、乳酸・酪酸・プロピオン酸等の炭素数が3から4程度の脂肪酸が中心である。これらは、揮発性有機酸として分類され、主に下水汚泥やし尿の嫌気性発酵(消化)の過程において、有機物の分解によって生じる酸³⁾であることから、腐敗の進行とともに硫酸塩還元細菌のエネルギー源及び炭素源が豊富に供給されることとなり、硫化水素の生成も多くなると考えられる。

また、南多摩処理場独自の問題として、低段沈砂池の返水管の位置の問題がある。総合返水はろ格機と主ポンプとの間に設置された返水管を使って沈砂池に戻されるが、沈砂池の水位と管の吐き出し口との間の間隔が約7～8mあり、返水は沈砂池内で霧状に噴霧された状態となる。このことによって、水中に溶解していた硫化水素が、沈砂池でより多く気体となって拡散していると考えられる。

5.3 硫化水素発生対策

5.2で述べたように、低段沈砂池では主として総合返水の腐敗により硫化水素が発生し、沈砂池内で霧状に噴霧されて溶存硫化水素が気体状態となるため、高濃度の硫化水素ガスが発生し、処理場建屋内での作業環境の悪化及び設備の腐食の原因となっていることが明らかとなった。

下水処理場における硫化水素対策は、下記の方法がある。⁴⁾

- (1) 下水を好気状態に保つ
- (2) 薬品を加えて
 - (2.1) 発生した硫化物を酸化する
 - (2.2) 硫酸塩還元作用を抑制する
 - (2.3) 発生した硫化物を不溶性沈殿物とする
 - (2.4) アルカリ性として溶存硫化水素の比率を低下させる

これらの対策のうち、前回の調査では、濃縮槽にポリ鉄を投入汚泥量に対しおおむね250・430・610ppm注入し、硫化水素発生抑制効果について検討を行った。この結果、低段沈砂池では250ppm注入で硫化水素発生抑制効果が現われた。ポリ鉄注入は臭気を抑制できる方法であるが、ポリ鉄に含まれる硫酸は条件によっては硫化水素に還元されるため、ポリ鉄を注入することでかえって大量の硫化水素が発生する場合がある。このことから、硫化水素抑制対策は、薬剤注入を第一に考えるのではなく、管渠を含めた下水処理システムの中で下水及び汚泥ができるだけ腐敗しないような運転管理を行い、必要があれば薬剤の注入を検討すべきである。

低段沈砂池における硫化水素発生の主たる原因である総合返水の腐敗防止対策として、汚泥堆積高にみられるとおり、汚泥滞留時間の長い濃縮槽の管理が重要であると考えられる。濃縮槽に必要以上の汚泥を貯留させると腐敗が進行し、濃縮槽越流水及び総合返水の水質悪化に直結するので、汚泥の堆積を適切な範囲に保持し、投入した汚泥は腐敗しないうちに濃縮し汚泥処理工場に送泥して脱水するようにする。また、計画的な保守点検及び整備工事によって、濃縮槽が停止する期間を可能なかぎり短くすることも重要であると考えられる。

また、今回の調査では、稲城幹線からの低段流入水はあまり腐敗していなかった。この良好な状態を維持するために、定期的なフラッシングを行い、硫酸塩還元菌の住みかとなる堆積物を除去することも必要と考えられる。

南多摩処理場固有の問題である低段沈砂池返水管の問題については、平成12年度の補修工事で投入位置を変更し、かつ、管の長さを延長しできるだけ水面に近づけて、返水が沈砂池内で霧状に噴霧された状態となりにくいように改良した。これによって硫化水素発生抑制に効果があると考えられる。

6. まとめ

- (1) 低段沈砂池の硫化水素連続測定値は、前回の調査の約1/4であった。
- (2) 前回の調査と今回の調査でのスポット調査データの比較では、イオウ化合物の値に差はみ

られなかったが、COD・SS・ORP 及び濃縮槽汚泥堆積高の値から、前回は今回より、一層腐敗が進んだ状態の総合返水が沈砂池に戻っていたと考えられる。

- (3) 低段沈砂池では主として総合返水の腐敗により硫化水素が発生し、しかも汚泥循環に伴う腐敗の進行によって硫化水素の濃度が高くなるものと考えられる。また、当场固有の問題として、総合返水が沈砂池内で霧状に噴霧された状態になるため、水中に溶解していた硫化水素が、低段沈砂池でより多く気体となって拡散していると考えられる。
- (4) 当処理場における硫化水素抑制対策は、薬剤注入を第一に考えるのではなく、管渠を含めた下水処理システムの中で下水及び汚泥ができるだけ腐敗しないような運転管理を行なうことが望ましい。

7. おわりに

今後とも硫化水素の発生を抑制するため、返水管の改良工事の効果を確認してゆくとともに、硫化水素発生により少ない運転方法の確立に向け検討してゆく所存である。

8. 参考文献

- 1) 森忠洋, コンクリート構造物の微生物腐食, 用水と排水 Vol31 No.5 (1989)
- 2) 竹内準一, 硫酸塩還元細菌の生理生態, 用水と排水 Vol31 No.4 (1989)
- 3) 下水試験方法 (1997)
- 4) EPA 設計マニュアル 下水道施設の臭気と腐食対策 (1988)

大目次

目次

要旨

- 1 生物学的窒素・りん同時除去の高効率化技術の開発その3

計画調整部技術開発課；佐久間真理子
曾根啓一、
渡部健一

1. はじめに

1. 1 背景と目的

東京都では、東京湾の富栄養化を防止するため、東京都公害防止条例（現、環境確保条例）の改正により、平成11年4月1日より窒素・りんの上乗せ規制が導入され、平成11年10月1日より適用された。

現在、生物学的窒素・りん除去技術として「嫌気-無酸素-好気法」が開発されているが、生物反応槽の容量が比較的大きく、窒素除去効率を向上するためには硝化液循環量を増加させる必要があるなどの課題をかかえている。

本研究は、これらの課題を克服するため、嫌気-無酸素-好気法を基本とし、それを発展させてさらに窒素・りん除去率の向上が見込める、効率の良い生物学的窒素・りん除去法の開発を行うことを目的とした。

目標設定値を表1に示す。嫌気-好気-無酸素法の設計滞留時間16時間に対し目標滞留時間を12時間以下とするとともに、窒素およびりんの除去率を向上させる。

表1 開発プロセスの目標設定値

項目	開発プロセス	嫌気-無酸素-好気法
反応槽滞留時間	12時間以下	16時間
窒素除去率	80%以上	70%程度
りん除去率	85%以上	75%程度

1. 2 結果の概要

芝浦処理場内、技術開発課実験ヤードのパイロットプラント（図1、表2）を用い、ステップ流入式嫌気無酸素好気法により、従来の嫌気無酸素好気法に比べて、HRT（水理的滞留時間）の短縮、窒素・りん除去率の向上、硝化液循環率の低減、等を目的とする研究開発を平成10年度よりおこなった。

平成10、11年度の結果は、ステップ流入比を0.5:0.5, 0.6:0.4としてT-N除去を検討した結果、T-N除去率の明確な差は確認できなかった。酢酸添加、生污泥投入により、生物学的りん除去性能が高められる事が認められた。水温から算出されるA-SRTを確保して運転管理を行えば、完全硝化となる事が認められた。開発プロセスはHRT=10h（定量負荷運転）、硝化液循環比=0.7で窒素除去率83%が達成でき、従来の嫌気無酸素好気法に対する優位性が示された。

平成12年度の研究項目は、りん除去安定化、流入の負荷変動が除去率に与える影響、脱窒速度定数の検討、等について研究をおこなった。平成12年度の結果は、りん除去安定化の方策として、生污泥添加について調査した結果、効果の指標として嫌気槽MLSS 1gあたりのりん吐き出し量で比較検討したところ、発生活泥量の50%以上を投入

することによりりん除去性能が向上することが認められた。負荷変動比を51～133%とした結果、開発プロセスと従来プロセスでT-N除去率はほぼ同等であった。脱窒速度定数は、次のような式が得られた。

$$K_{DN} = \dots \cdot \exp(-T) \times L_{ABODSS} + \dots$$

K_{DN} : 脱窒速度定数 (mg-N/g-SS・h) T: 水温 ()
 L_{ABODSS} : A-BOD-SS 負荷 (kg-BOD/kg-SS・d)
 , , : 係数 $\cdot \exp(-T)$ が 4.5~7.8 , = 0.2~0.6 程度

平成10年度から3年間にわたる研究により、当初の目標のうち、HRT（水理的滞留時間）の短縮、窒素除去率の向上、硝化液循環率の低減、について達成することができた。りん除去率の向上については、生污泥投入、有機酸添加等の対策をとることにより、達成することができた。

本報では、平成12年度の調査結果を中心に報告する。

2. 調査の内容

2.1 パイロットプラントの概要

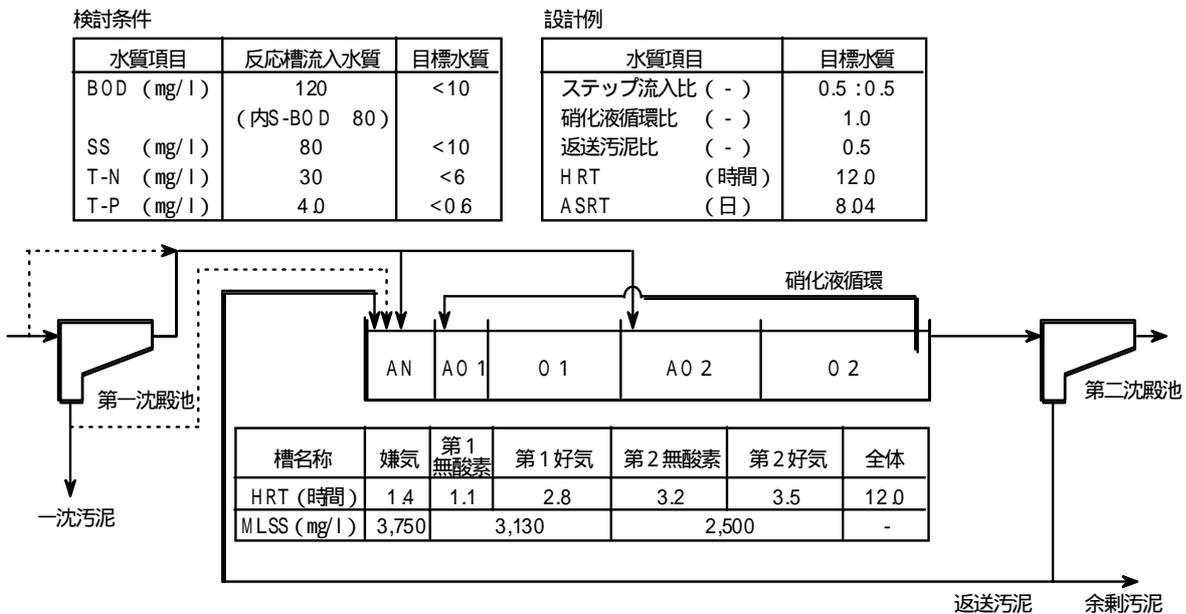


図1 反応槽の概要

表2 反応槽設計条件

	第1・第2系列		第3系列	
	槽割	滞留時間	槽割	滞留時間
嫌気槽	1.0 m ³	1.0 h	1.0 m ³	1.0 h
第一無酸素槽	1.0 m ³	1.0 h	4.0 m ³	4.0 h
第一好気槽	3.0 m ³	3.0 h	7.0 m ³	7.0 h
第二無酸素槽	3.5 m ³	3.5 h	-	-
第二好気槽	3.5 m ³	3.5 h	-	-
計	12 m ³	12 h	12 m ³	12 h

2.2 平成11年度までの調査結果概要

(1) ステップ流入比に関する検討

開発プロセスにおいて、前段ステップ流入比を大きく取れば、その分 T-N 除去率は高くなる。1系のステップ流入比を 0.5:0.5、2系のステップ流入比を 0.6:0.4 として T-N 除去率を検討した。結果として T-N 除去率の明確な差は確認できなかった。理由として、ステップ比を 0.6:0.4 とした系では、第二無酸素槽の NOx-N 負荷に対して流入 BOD 負荷が低かった為、脱窒速度が低下していた事が考えられる。

以後の検討においては、実施設に適用した際の維持管理性を考慮し、ステップ流入比は 0.5:0.5 として検討する事とした。

(2) リン除去の安定化に関する検討

生汚泥、有機酸の投入によるリン除去の安定化に関する検討を行った。下記の結果が認められた。

- 1) A₂O 法において酢酸を添加する事により、リン除去が安定し、悪化後の回復も早い事が認められた。生物学的リン除去に酢酸添加は有効であることが確認できた。
- 2) 生汚泥投入により、リン除去性能が高められる事が認められ、第一沈殿池生汚泥を添加した開発プロセスではリン除去率目標 85%を達成出来た。また、生汚泥添加の効果は、リン吐出吸収性能の向上より、MLSS を高める事によるリン取込量の増加の方が大きい事が認められた。

(3) A-SRT に関する検討

「高度処理施設設計マニュアル(案)」では、流入水温から算出される A-SRT を保った運転を行えば、80%の硝化率が達成できるとしている。

これに関して、東京都区部処理場における硝化性能に関する調査を行い、また、パイロットプラントを用いて A-SRT と硝化率の関係について検討を行った。

結果として、水温から算出される A-SRT を確保して運転管理を行えば、完全硝化となる事が認められた。

(4) 滞留時間、循環比に関する検討

開発プロセスと A₂O 法とを比較する為に、HRT・循環比を操作して窒素除去性能を評価した。開発プロセスは HRT=10h(定量負荷運転)、硝化液循環比=0.7 で窒素除去率 83%が達成でき、A₂O 法に対する優位性が示された。

(5) 新設処理場への適用に対する F/S(砂町処理場東陽系)

実用化に関する検討として開発プロセスと A₂O 法について、系列を新設する際のコスト比較を、砂町東陽系のデータを元に行った。その結果、開発プロセスは A₂O 法と比較して、建設費は同等、維持管理費は 80%となり、反応槽を 10%縮小出来る事が分かった。

(6) 設計マニュアルの作成

実験結果に基づき、窒素除去を中心とした開発プロセスの設計マニュアル案を作成した

2.3 平成12年度の調査内容と結果

平成12年度各 RUN を表3に示す。主な内容は以下のとおりである。

RUN 8 :(4/3~4/28)

夏期負荷変動運転による窒素除去性能の検討

RUN 9 :(5/1~7/7)

生汚泥投入によるリン除去性能の検討(発生汚泥量の100%、HRT12時間)

表3 平成12年度各RUN

		平成12年度		
		RUN8	RUN9	RUN10
目的		・負荷変動運転による窒素除去性能の検討 ・HRTの検討	・生汚泥投入によるりん除去性能の検討（発生汚泥量の100%）	・生汚泥投入によるりん除去性能の検討（発生汚泥量の100%） ・負荷量による処理性能の検討
期間		4/3～4/28	5/1～7/7	7/10～8/19
1系 (開発プロセス)	HRT (h)	12	12	10
	負荷変動比 (%)	51～133%	-	-
	ステップ流入比 (-)	0.5:0.5	0.5:0.5	0.5:0.5
	硝化液循環比 (-)	0.7	0.7	0.7
	流入水水温 (°C)	14.6～21.2	19.8～26.7	25.4～29.6
	A-SRT (日)	9.6	4.9～10.7	4.9
	MLSS (mg/L)	2,075～2,568	1,210～2,488	1,148～1,930
	生汚泥投入 (L/h)	-	10	12
2系 (開発プロセス)	HRT (h)	10	12	12
	負荷変動比 (%)	-	-	-
	ステップ流入比 (-)	0.5:0.5	0.5:0.5	0.5:0.5
	硝化液循環比 (-)	0.7	0.7	0.7
	流入水水温 (°C)	14.6～21.2	19.8～26.7	25.4～29.6
	A-SRT (日)	8.0	6.1～10.7	5.9
	MLSS (mg/L)	2,274～2,830	1,035～2,273	998～1,708
	生汚泥投入 (L/h)	-	-	-
3系 (AsO法)	HRT (h)	12	12	16
	負荷変動比 (%)	-	-	-
	ステップ流入比 (-)	-	-	-
	硝化液循環比 (-)	1.5	1.5	1.5
	流入水水温 (°C)	14.6～21.2	19.8～26.7	25.4～29.6
	A-SRT (日)	10.0	8.0	8.0
	MLSS (mg/L)	2,093～2,380	708～1,711	553～1,393
	酢酸投入 (mg/L)	-	-	-
結果		・負荷変動運転時において窒素除去率80%以上を達成出来た。 ・開発プロセスにおいて、HRT = 10hの処理が確認できた。	・生汚泥投入によるりん除去性能向上が確認できた。	・生汚泥を投入する事により、1系りん除去性能の向上が見られた。 ・夏期流入水量を想定したHRT = 10hの条件において処理が可能であった。

		平成12年度		
		RUN11	RUN12	RUN13
目的		・生汚泥投入によるりん除去性能の検討（発生汚泥量の50%） ・負荷量による処理性能の検討	・生汚泥投入によるりん除去性能の検討（発生汚泥量の25%） ・酢酸投入によるりん除去性能	・負荷変動運転による除去性能の確認
期間		8/21～9/29	10/2～11/9	11/14～2/16
1系 (開発プロセス)	HRT (h)	10	12	12
	負荷変動比 (%)	-	-	51～133
	ステップ流入比 (-)	0.5:0.5	0.5:0.5	0.5:0.5
	硝化液循環比 (-)	0.7	0.7	0.7
	流入水水温 (°C)	25.0～29.7	21.8～26.0	9.2～22.4
	A-SRT (日)	5.2	5.7～6.7	11.0
	MLSS (mg/L)	1,378～1,684	1,375～1,660	1,763～3,203
	生汚泥投入 (L/h)	6	2.5L/h	-
2系 (開発プロセス)	HRT (h)	10	12	12
	負荷変動比 (%)	-	-	-
	ステップ流入比 (-)	0.5:0.5	0.5:0.5	0.5:0.5
	硝化液循環比 (-)	0.7	0.7	0.7
	流入水水温 (°C)	25.0～29.7	21.8～26.0	9.2～22.4
	A-SRT (日)	5.9	6.1～8.0	11.0
	MLSS (mg/L)	1,265～1,850	1,070～1,469	1,543～2,925
	生汚泥投入 (L/h)	-	-	-
3系 (AsO法)	HRT (h)	16	12	12
	負荷変動比 (%)	-	-	51～133
	ステップ流入比 (-)	-	-	-
	硝化液循環比 (-)	1.5	1.5	1.5
	流入水水温 (°C)	25.4～29.6	21.8～26.0	9.2～22.4
	A-SRT (日)	8.0	5.7～8.0	11.0
	MLSS (mg/L)	708～1,711	1,191～1,891	1,413～2,865
	酢酸投入 (mg/L)	-	20	-
結果		・生汚泥を投入した1系において、りん除去性能が向上したが、効果はRUN10に比較して低かった。 ・夏期流入水量を想定したHRT = 10hの条件において処理が可能であった。	・生汚泥を投入した1系において、りん除去性能が若干向上した。効果は他のRUNよりも低かった。 ・酢酸20mg/L投入した3系において、りん除去性能の向上が見られたが、効果はRUN12の1系より低かった。	・負荷変動運転時において、定量負荷運転と変わらない除去性能が確認できた。

RUN 1 0 : (7/10 ~ 8/19)

生污泥投入によるりん除去性能の検討 (発生污泥量の 100%、HRT 10 時間)

RUN 1 1 : (8/21 ~ 9/29)

生污泥投入によるりん除去性能の検討 (発生污泥量の 50%、HRT 10 時間)

RUN 1 2 : (10/2 ~ 11/9)

生污泥投入によるりん除去性能の検討 (発生污泥量の 25%、HRT 12 時間)

RUN 1 3 : (11/14 ~ 2/16)

冬期負荷変動運転による窒素除去性能の検討

2. 4 原水について

平成 12 年度の各 RUN における原水の性状を表 4 に示す。

表 4 原水の性状

単位 mg/L	RUN 8	RUN 9	RUN 10	RUN 11	RUN 12	RUN 13	全体
	4/4 ~ 4/28	5/9 ~ 7/6	7/11 ~ 8/17	8/22 ~ 9/29	10/3 ~ 11/9	11/14 ~ 2/16	
T-N	35.0 22.3 ~ 42.4	30.8 13.9 ~ 45.3	27.0 15.1 ~ 34.6	29.0 20.1 ~ 34.3	33.6 21.1 ~ 39.8	37.4 20.9 ~ 45.1	32.2 11.2 ~ 45.3
NH ₄ - N	24.7 15.3 ~ 30.5	21.9 9.2 ~ 31.3	18.8 10.3 ~ 24.8	20.3 13.9 ~ 25.2	24.3 14.1 ~ 36.8	27.1 13.6 ~ 32.0	22.6 6.6 ~ 36.8
T-P	3.8 2.1 ~ 4.9	3.6 1.4 ~ 7.6	3.0 2.1 ~ 4.0	3.1 1.8 ~ 3.9	3.3 0.5 ~ 4.1	3.6 2.2 ~ 4.9	3.7 0.5 ~ 16.2
PO ₄ - P	2.2 1.2 ~ 2.9	2.0 0.6 ~ 3.6	1.7 1.1 ~ 2.6	1.8 0.9 ~ 2.2	2.2 0.9 ~ 3.7	2.1 1.1 ~ 2.8	2.2 0.1 ~ 11.9
T-BO D	151 101 ~ 179	117 45 ~ 178	77 40 ~ 110	96 64 ~ 122	131 61 ~ 303	131 90 ~ 179	129 31 ~ 303
S-BO D	49 28 ~ 78	40 10 ~ 72	23 8 ~ 40	27 13 ~ 33	42 21 ~ 106	45 22 ~ 69	43 8 ~ 106
T-CO D	76 57 ~ 89	67 32 ~ 102	65 46 ~ 82	64 42 ~ 80	69 45 ~ 90	76 45 ~ 90	70 26 ~ 102
SS	105 56 ~ 162	78 18 ~ 155	83 57 ~ 142	78 6 ~ 120	72 50 ~ 102	83 47 ~ 116	85 6 ~ 162

上段：平均値 下段：最小値～最大値

平成 11 年度 RUN 5 ~ 7 において T-P, PO₄-P 濃度の高い原水がしばしば混入したため、RUN9 期間中の 5 月末に原水取水地点を本系から東系へ変更した。

この期間の流入原水について、以下のような特徴が見られた。

- (1) T-N, NH₄-N や BOD, COD 濃度は、夏期において春期および秋期よりも低い値であった。
- (2) T-P, PO₄-P, SS 濃度は上記の項目ほど顕著ではないが、夏期において春期および秋期よりもやや低い値であった。
- (3) 各濃度とも、冬期には高い値を示した。
- (4) 梅雨期の RUN において、水質変動が他の RUN に比べて大きい傾向がみられた。

これら特徴については、平成 11 年度 (RUN1 ~ 7) および 12 年度 (RUN8 ~ 13) と同様の傾向が見られた。しかし T-BOD 濃度において、12 年度は 11 年度同期間に比べて値が若干低くなった。

流入原水の酢酸/T-P 比を図 2 に示す。酸/T-P 比が 4 以上ある場合、リン除去が良好に行

われることが報告されている。全 Run と通してこの条件を満たすことが多かったが、しばしば酢酸濃度の低い原水が流入していたが、これは降雨による影響であった。

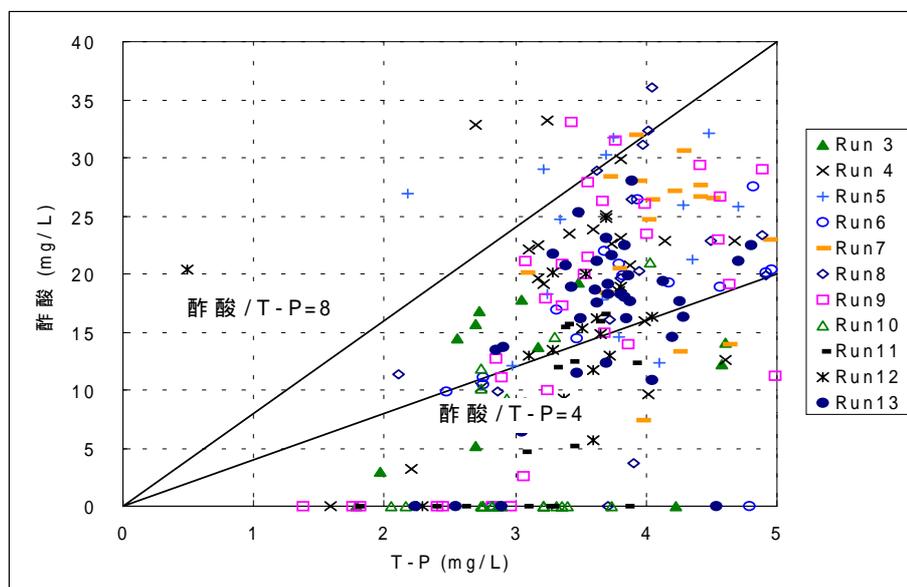


図2 流入原水の酢酸/T-P比

平成11年度のRUN3後半～RUN4(秋季)及び平成12年度のRUN9～RUN11(夏季)の、原水の酢酸濃度と芝浦処理場への降雨量の経日変化を図-3、4に示す。ここで「スポット原水」は当日の午前9時に採取した一沈流出水で、「原水」は24時間コンポジット採水したものである。コンポジットのほうが値が低いのは、日変動のうち午前9時が高濃度と考えられることと、コンポジットは採水時間から測定時間がずれるため若干低くなるためと思われる。

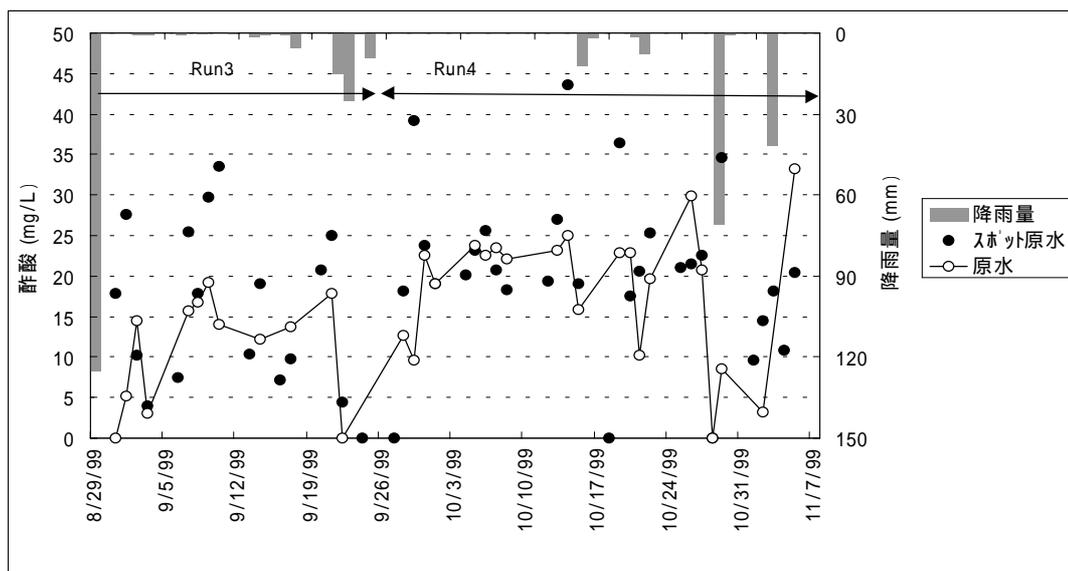


図3 秋季降雨量と流入水酢酸濃度

期間中、比較的激しい降雨の後は酢酸濃度が極端に薄くなる現象が見られた。この影響

は数日間に及んでいた。酢酸以外の有機酸（プロピオン酸，酪酸）はいずれもほとんど検出されなかった。

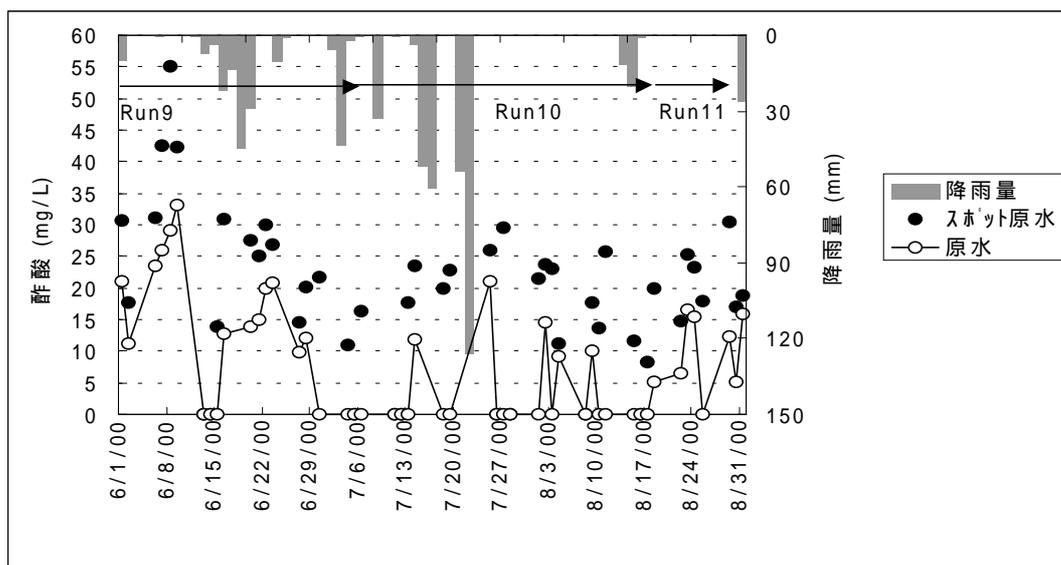


図4 夏季降雨量と流入水酢酸濃度

2.5 処理水の結果（主に窒素りんに関して）

表5 処理水平均窒素濃度

	1系	2系	3系
RUN1	5.1(85)	5.3(84)	6.7(80)
RUN2	4.8(82)	5.1(81)	5.7(78)
RUN3	4.6(82)	5.1(80)	5.0(80)
RUN4	5.2(83)	5.9(81)	6.3(79)
RUN5	7.0(80)	5.7(84)	6.0(83)
RUN6	8.9(76)	8.5(77)	8.1(78)
RUN7	6.6(83)	6.4(84)	8.3(79)
RUN8	7.4(79)	7.0(80)	10.0(70)
RUN9	6.0(79)	6.0(79)	8.4(72)
RUN10	6.3(76)	6.1(77)	11.0(58)
RUN11	5.9(79)	6.6(77)	10.4(64)
RUN12	7.3(78)	8.2(75)	10.2(70)
RUN13	9.0(75)	8.8(76)	11.8(68)

単位 mg/l

表6 処理水平均りん濃度

	1系		2系		3系	
	全体	安定期	全体	安定期	全体	安定期
RUN1	0.7(81)		0.9(76)		0.6(85)	
RUN2	2.3(24)	0.8(79)	2.2(28)	0.6(83)	1.9(38)	0.4(88)
RUN3	1.4(54)	0.7(78)	2.0(38)	1.1(62)	1.3(60)	1.0(68)
RUN4	1.5(57)	0.4(89)	2.1(38)	1.0(69)	1.9(46)	0.8(76)
RUN5	2.0(56)	1.1(74)	2.3(49)	1.4(66)	1.8(61)	0.9(79)
RUN6	3.7(28)	1.1(68)	3.6(30)	1.1(67)	3.2(37)	0.6(83)
RUN7	2.6(49)	1.2(75)	2.4(52)	1.1(78)	3.0(42)	1.5(69)
RUN8	2.7(31)		2.5(39)		3.0(23)	
RUN9	1.7(56)		1.9(48)		2.2(40)	
RUN10	0.8(74)	0.4(87)	1.3(53)	1.0(68)	1.4(49)	1.0(70)
RUN11	0.9(69)	0.6(82)	1.2(58)	0.6(83)	1.7(41)	1.5(55)
RUN12	1.1(68)	0.5(86)	1.6(55)	1.2(69)	1.4(62)	1.3(66)
RUN13	1.4(60)	1.3(65)	1.4(61)	1.3(65)	1.7(54)	1.5(60)

単位 mg/l

2.6 りん除去安定化に関する検討：RUN9～12（5/1～11/9）

平成11年度までは、原水中に高濃度のりんがたびたび流入する事があったため、りん除去に関して、安定したデータの取得が不可能であった。そのため、12年度調査においては、原水を本系沈砂池流出水から東系原水流出水として運転を行った。

2.6.1 生污泥添加による効果

平成12年度の調査内容は11年度の結果に基づき、生污泥の投入率を発生污泥量の100%、50%、25%と変化させ、りん除去安定化への効果について検討をおこなった。嫌気タンクへの生污泥添加を行ったRUN3～4、RUN9～12におけるT-P除去濃度の累積頻

度分布を図5示す。

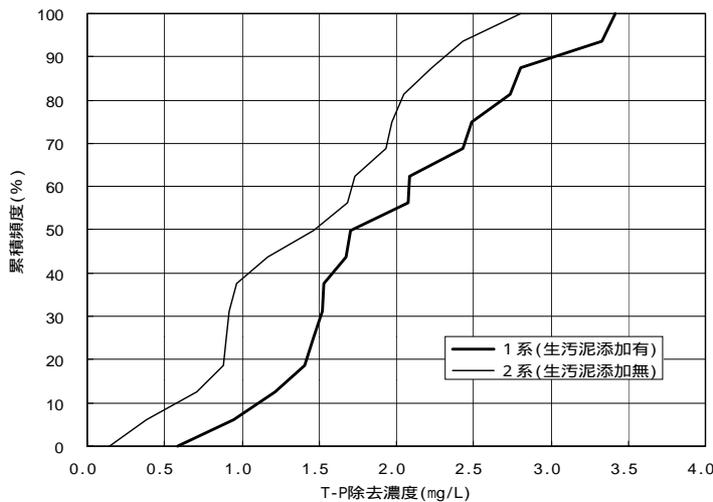


図5 りん除去における生汚泥添加の影響

これらに示すように、生汚泥の添加量にかかわらず各RUNとも生汚泥の添加を行った1系の処理水T-P濃度が低い傾向がみられ、生汚泥添加によるりん除去向上の効果が認められる。

RUN 9 ~ RUN 12の結果を図6、7に示す。RUN全体にわたって、生汚泥添加を行なった1系において、りん除去率の向上がみられた。しかし、高負荷流入時や降雨時において、各系とも除去率が低下した。添加率によるりん除去性能の差については、発生生汚泥全量相当を投入したRUN10のりん除去率が比較的高い結果を示した。

また、生汚泥添加効果の指標として、嫌気槽MLSS1gあたりの吐出しP04-P量を求めた所、生汚泥投入率50~100%の場合に、無添加対照系との差が大きく、投入率25%の場合はほとんど差が認められなかった。このことから、発生生汚泥量の50%以上を投入する事により、りん除去性能が向上する事が認められた。

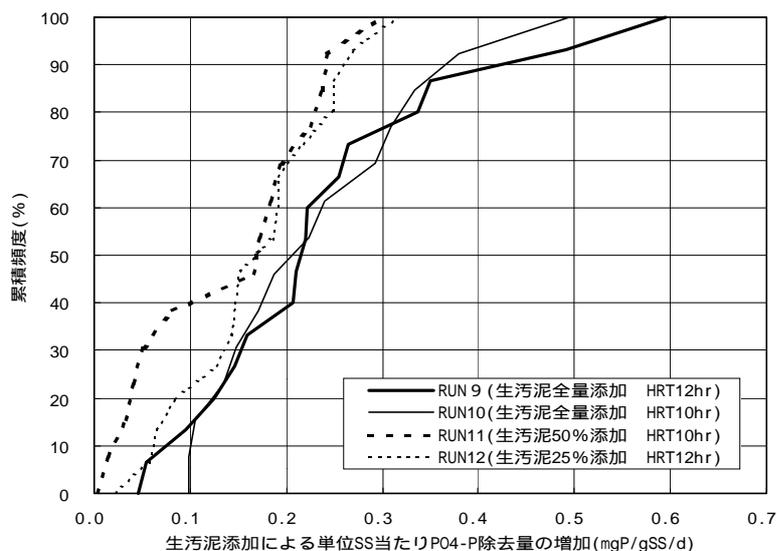


図6 りん除去における生汚泥添加量の影響

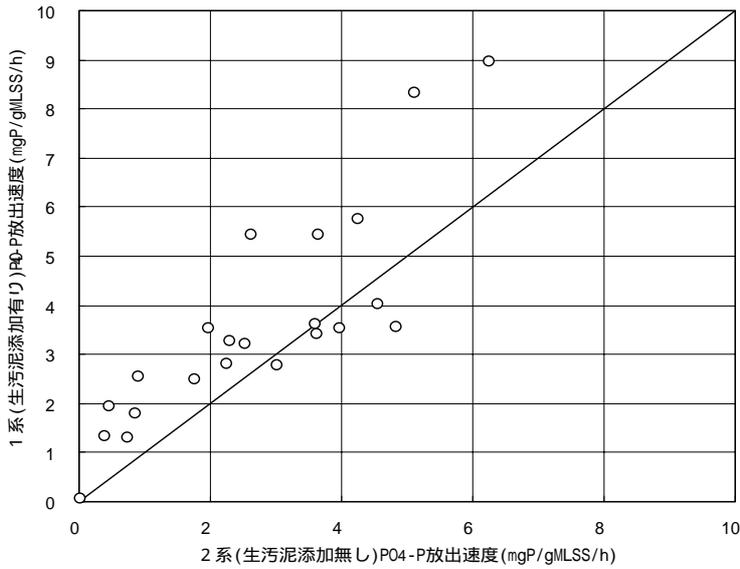


図7 りん除去における生汚泥添加の効果（1系2系の比較）

2.6.2 酢酸の効果

生汚泥や酢酸を添加していない期間のプロフィール試験結果における有機物-返送 SS 負荷と P04-P 放出速度の関係を図 8、9 に示す。これによれば、嫌気タンクでの P04-P 放出速度は、返送汚泥の単位 SS 量当たりに対する流入 BOD よりも、流入水に含まれる酢酸量との関係が強い傾向が見られる。

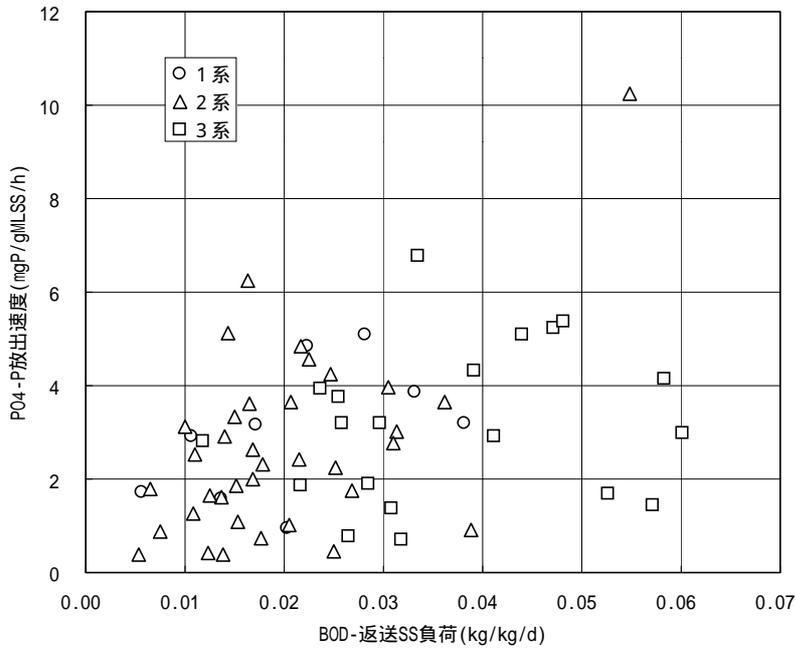


図8 BOD-返送 SS 負荷と P04-P 放出速度の関係

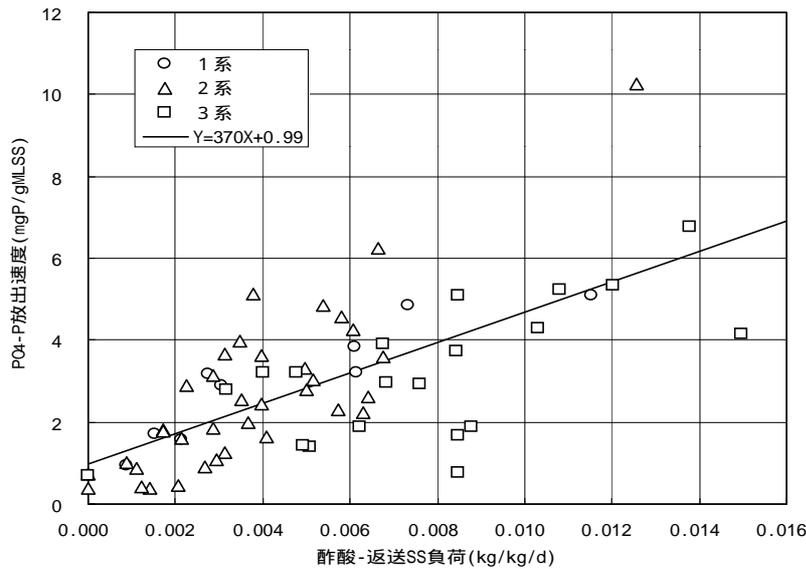


図 9 酢酸-返送 SS 負荷と P04-P 放出速度の関係

2.6.3 ステップA 2 O法におけるりん除去の特徴

(1) 嫌気槽

嫌気槽での P04-P 放出速度は、返送汚泥の単位 SS 量当たりに対する流入酢酸量が多いほど高くなる。(図 9)

(2) 第 1 無酸素槽

この槽では、りん放出と取り込みの両方が見られる。その挙動には、硝化液循環量が影響を及ぼす。ここでは、P04-P 放出量をプラス、P04-P の過剰摂取量をマイナスで表す。この流入量が少ないほど P04-P が放出され、多いほど P04-P が摂取される傾向がみられる。

(図 10)

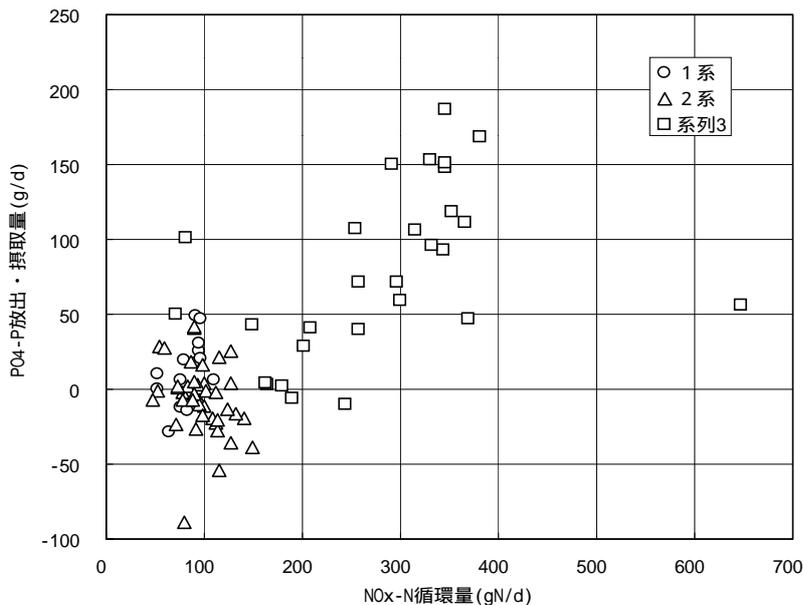


図 10 硝化液循環量と放出 P04-量の関係

(3) 第1好気槽

嫌気タンクから第1好気タンク(A2O法では好気タンク)までのP04-P収支の累積頻度分布を図11に示す。これらは、生活污水や酢酸を添加していない期間のプロフィール試験結果から算出したものである。

この図より、開発プロセスの前段部(嫌気タンク～第1好気タンク)においてP04-Pの過剰摂取がみられたのは3割程度であった。

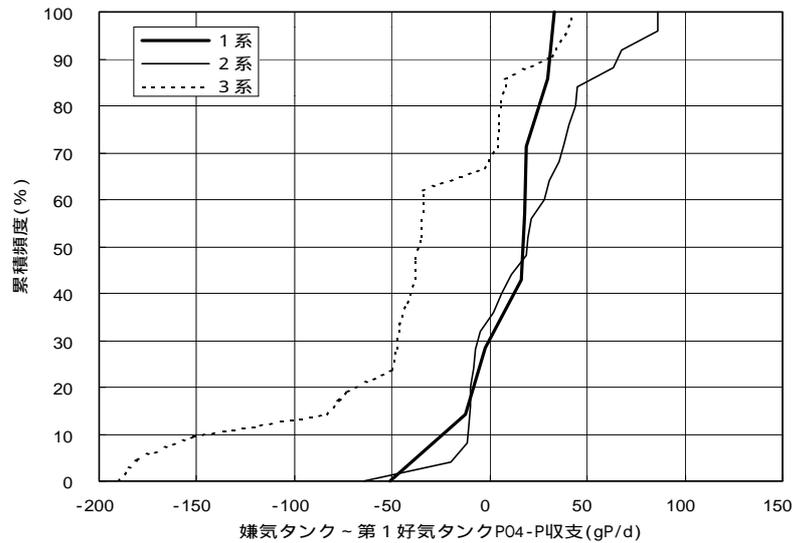


図11 第1好気槽におけるP04-P量収支

(4) 第2無酸素槽

第2無酸素タンクにおけるP04-P放出・摂取量の累積頻度分布を図12に示す。ここでは、P04-P放出量をプラス、P04-Pの過剰摂取量をマイナスで表す。これらは、生活污水や酢酸を添加していない期間である。この図に示すように、第2無酸素タンクでは、りんが放出されている場合もあれば、りんが摂取されている場合もみられ、割合としてはりん放出が多くなっている。

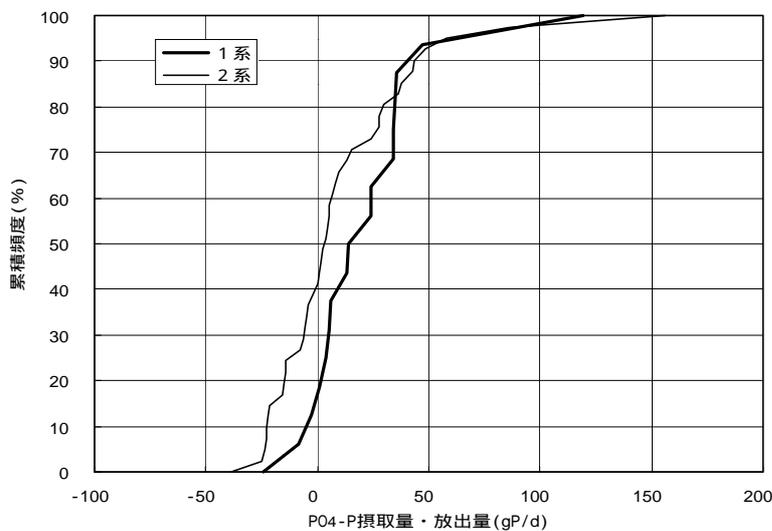


図12 第2無酸素槽におけるP04-P量収

(5) 第 2 好気タンク

嫌気タンクおよび第 1 無酸素タンクにおける P04-P 放出量と第 2 好気タンクでの P04-P 放出・摂取量の関係を図 1 3 に示す。この図より、嫌気タンクおよび第 1 無酸素タンクにおける P04-P 放出量が多いほど第 2 好気タンクでの P04-P 摂取量が大きくなる傾向がみられ、前段での P04-P 放出が第 2 好気タンクでの P04-P 摂取にも影響を及ぼしているといえる。

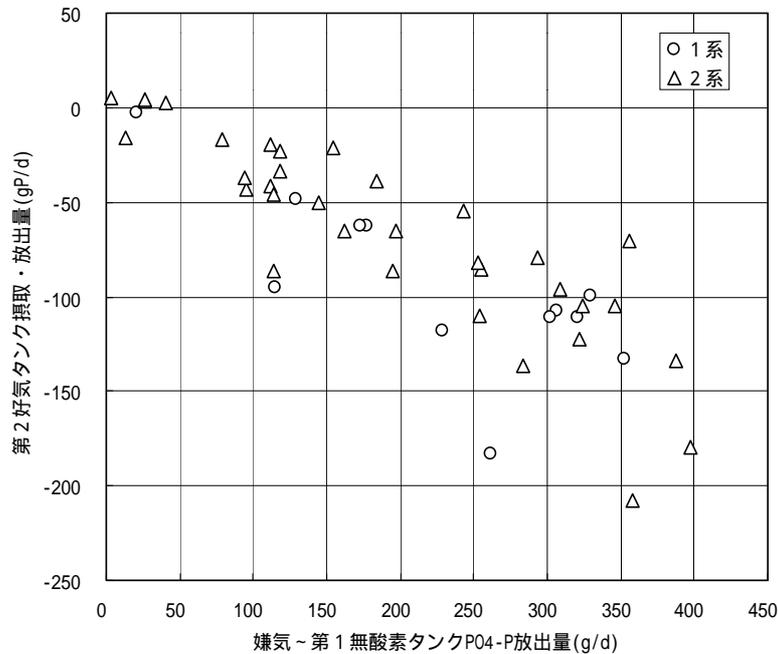


図 1 3 第 2 好気槽における P04- P の挙動

2. 7 負荷変動運転：RUN8，13 (4/1～4/28，11/14～2/16)

平成 1 1 年度までの調査において、定量負荷運転時における開発プロセスの T-N 除去性能を確認した。平成 1 2 年度では、RUN8 における 1 系、RUN13 における 1・3 系で負荷変動運転を行い、処理性能の評価を行った。負荷変動比は 51～133%とし、芝浦処理場本系流出水量に従って決定した。図 1 4 に負荷変動比の日間変動を示す。

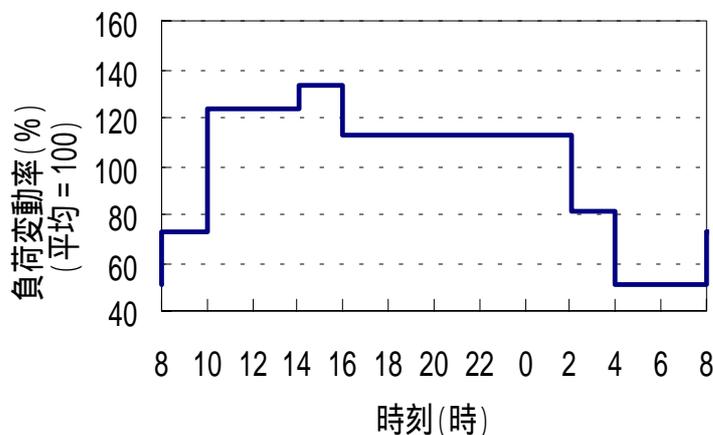


図 1 4 負荷変動パターン

RUN8, 13 とも, 負荷変動運転を行なった系と, 定量負荷運転であった系において, T-N 除去率はほぼ同等となった。(図 1 5、図 1 6) RUN13 では, 全体的に T-N 除去率が低下したが, 反応槽水温が設計水温の 15 以下となる日があり, 硝化に必要な A-SRT が確保されず, 処理水中に $\text{NH}_4\text{-N}$ が残留したためであると考えられる。

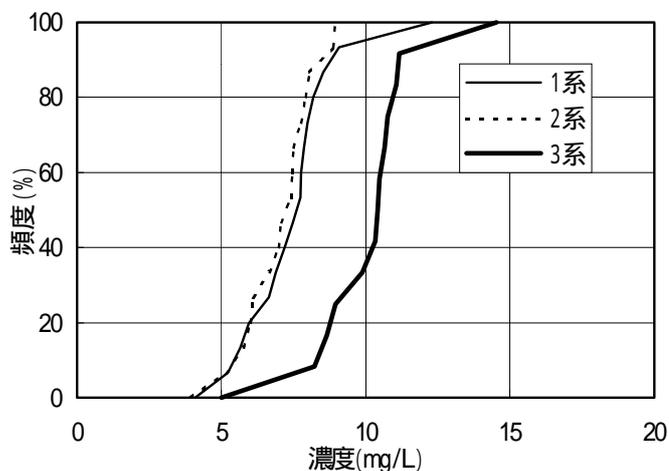


図 1 5 RUN 8 処理水窒素濃度の累積頻度分布

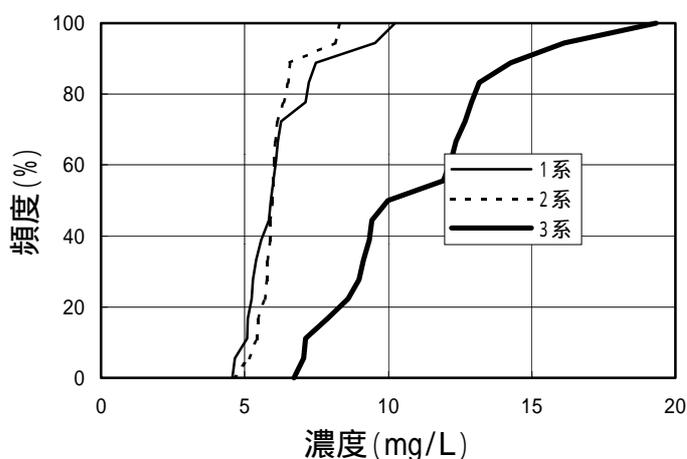


図 1 6 RUN 1 3 処理水窒素濃度累積頻度分布

・水量負荷変動運転における硝化性能

RUN8 と RUN13 において, 1, 3 系流入水量に図 1 4 のような日間変動をかけた負荷変動運転を行った。運転は低水温期に実施した。また, 生活污水や酢酸等の添加は行っていない。

平均水量を 100% とした場合, 今回の変動比は 135%, すなわち式 7.1.1 における $\beta = 1.35$ の条件となる。

図 1 7 に水量負荷変動運転中の硝化率と (1 系 A-SRT / 必要 A-SRT) の関係を示す。この図中に示したとおり, 定量負荷と違い負荷変動運転では, 1.35 程度の安全率を見込むことで完全硝化が達成されることが確認できる。

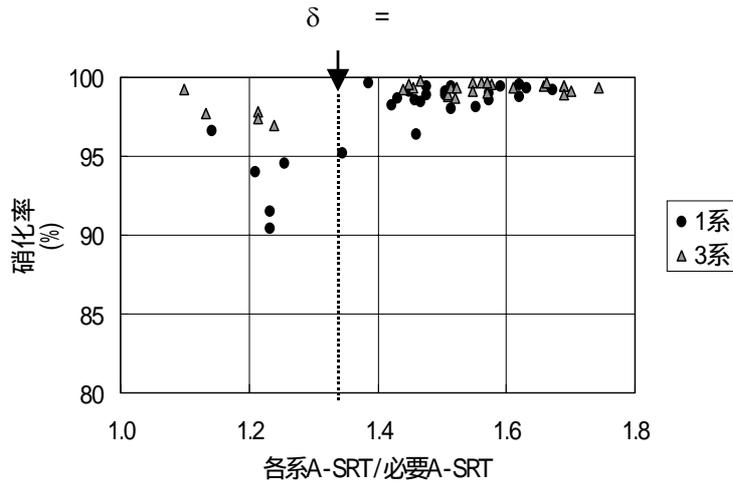


図 1 7 負荷変動時の硝化率と A-SRT の関係

2. 8 脱窒速度定数の検討

高度処理マニュアル（案）に示される脱窒速度算定式を以下に示す。

$$K_{DN} = 7.7 L_{BOD/X} + 0.6$$

K_{DN} : 脱窒速度 (mg-N/g-SS・h)

$L_{BOD/X}$: BOD-SS 負荷 (kgBOD/kg-SS・d)

本研究では、上式による脱窒速度設定方法では無酸素槽容量が一意に決定できないこと（BOD-SS 負荷を求めるときに無酸素槽容量を仮に設定し、算定結果が妥当な範囲かチェックする手順をふまなければならない）、およびその結果無酸素槽容量が大きめに設計される傾向となる、という理由から、好気槽容量から算出した BOD-SS 負荷（A-BOD-SS 負荷）より一意に算定する方法を検討している。昨年度研究報告書では、開発プロセスの槽割バランスから上式を補正して以下の式を提案し、プロフィール試験結果等から概ね本算定式の妥当性を確認した。

開発プロセスの設計マニュアルを作成するにあたり、脱窒速度定数算出方法の検討を行った。平成 11 年度調査は、各槽の実滞留時間に合わせてサンプル採取を行うプロフィール試験によって脱窒速度定数を求めていたが、完全脱窒となっているケースが多く、データの収集が困難であった。そこで、平成 12 年度において、各好気槽に硝酸を添加する事により限界脱窒速度の測定を行なった。

そこで得られたデータを好気槽 MLSS に対する BOD 負荷（以下、A-BOD-SS 負荷および水温を用いて、下記の式で表されるとして解析を行い、各係数を求めた。

$$K_{DN} = \quad \cdot \exp(T) \times L_{ABODSS} +$$

K_{DN} : 脱窒速度定数 (mg-N/g-SS・h)

T : 水温 ()

L_{ABODSS} : A-BOD-SS 負荷 (kg-BOD/kg-SS・d)

, , : 係数

$$\cdot \exp(T) = 4.5 \sim 7.8, \quad = 0.2 \sim 0.6 \text{ 程度}$$

本式の係数を検討するにあたり、プロフィール試験ではほぼ完全脱窒され限界脱窒速度が確認できないケースが多いため、実験プラント無酸素槽入口に NO₃-N を添加してプロフィール試験同様の方法で限界脱窒速度の測定を行った。は内生脱窒試験を行い求めた。

またデータ解析において、A-BOD-SS 負荷は試験実施時のスポットデータではなく、コンポジットデータを用いる方が、脱窒速度に影響する汚泥負荷条件を考えるうえで妥当と判断し、コンポジットデータから A-BOD-SS 負荷を求めた。そして図 18、19 の回帰式より求められた係数から上記係数を求めた。

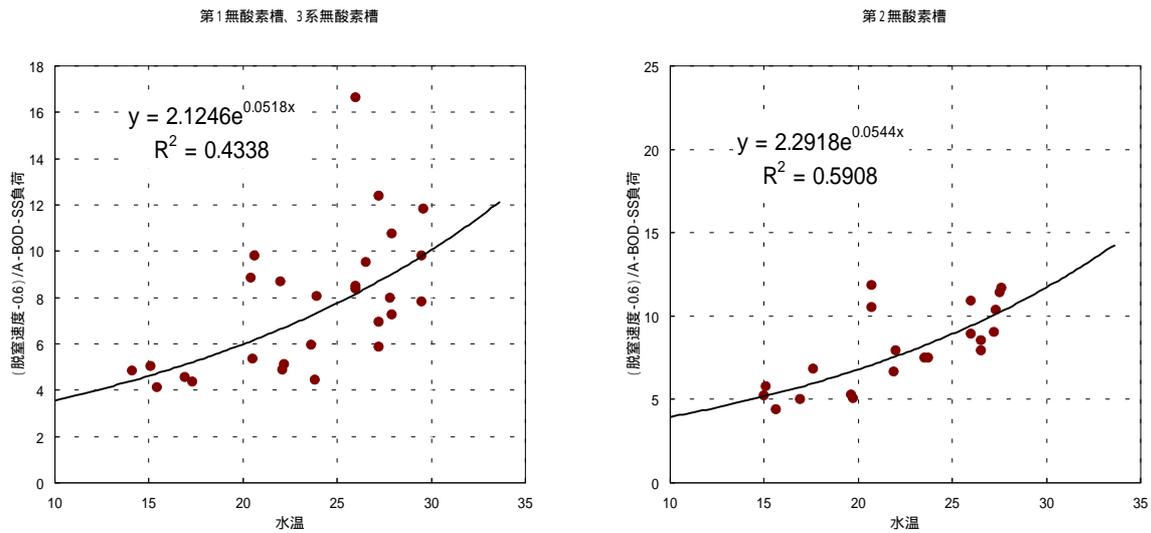


図 18 = 0.6 の場合の水温と脱窒の関係

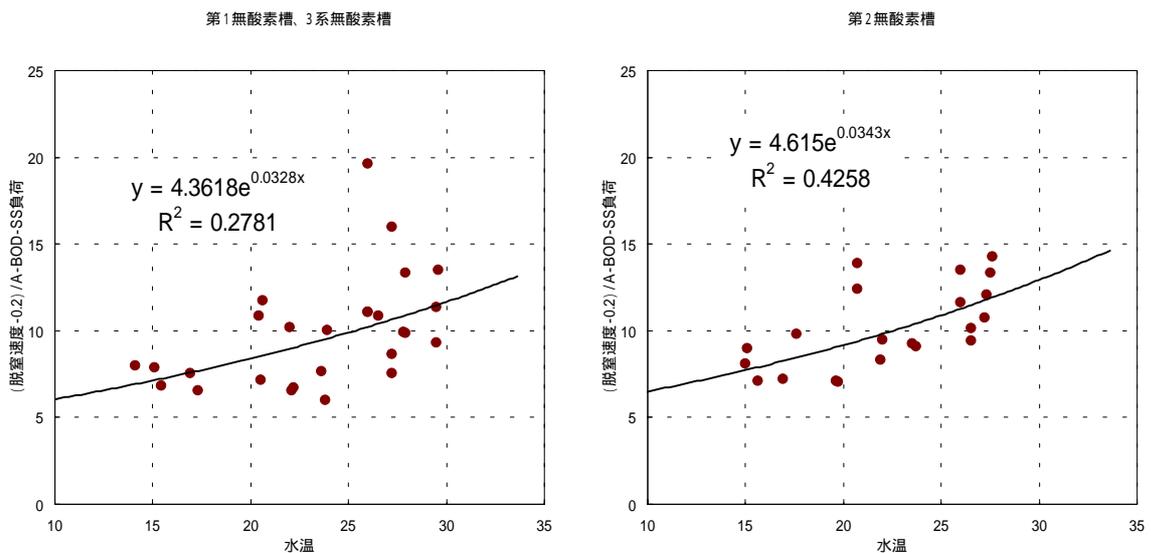


図 19 = 0.2 の場合の水温と脱窒の関係

3. リン除去安定化設備（案）

開発プロセスを含む生物学的リン除去プロセスにおいては、雨天時などにリン除去が不安定となりやすいため、これに備え、リン除去安定化設備を併設する必要がある。リン除去安定化設備としては、以下にあげた3種のもので考えられ、これらを組み合わせることにより対応する。ここで、(3)は、生物学的リン除去自体を促進・安定化する(1)(2)と異なり、生物学的リン除去を補完するものであり、通常設置することが望ましいと考えられる。

(1) 生汚泥発酵・添加設備

第一沈殿池生汚泥を発酵させる設備と、発酵生成物を嫌気槽に投入する設備よりなる。

(2) 有機酸添加設備

廃酢酸などの有機酸を貯留する設備とその添加設備よりなる。

(3) 凝集剤添加設備

PACなどの凝集剤を貯留する設備とその添加設備よりなる。

生汚泥発酵・添加設備としては、その方式としてさまざまなものが考えられるが、以下にあげた条件を満たすものがよい。

- ・加温・攪拌や膜分離等を用いない簡易な設備であること
- ・水処理施設内で実施できること
- ・既設にも改造により適用できること
- ・生汚泥発酵・添加が不要となった時に、他の施設として転用できること

大目次

目次

要旨

- 2 生物学的高度処理運転支援ソフトの適用性に関する調査

計画調整部技術開発課；佐久間真理子
渡部健一

1. はじめに

1. 1 調査の目的

本調査は、IWA（国際水協会）が提唱する活性汚泥モデルとそのモデルを動かすソフト（AQUASIM：スイス連邦化学技術研究所が作成）の高度処理運転への適用性について検討するために、いくつかの処理場でデータ収集をおこない、シミュレーション結果の解析を行うものである。

1. 2 結果の概要

（1）モデルの適用性：流入水の有機物濃度について、COD_{Cr} 値で定義し、65個のパラメータにデフォルト値を使用して計算した結果は、概ねよかったものの、項目によっては、適用できないものもあった。反応に関わる細菌の増殖速度、死滅速度等のパラメータを変えることにより、実測値とシミュレーション値を近づけることはできたが、今後は、現場の情報を生かし、これらパラメータの最適化を含むキャリブレーション手法の確立をすることが必要である。

（2）ソフトの適用性：IWAモデルのソフトであるAQUASIMは、海外ではおもに研究者用に使われることが多い。現状では、このソフトを現場で使用するには、以下のような課題があることが分かった。

- ・AQUASIMは、EXCELやWORDと同じく汎用ソフトであるために、モデルの組み込みを事前におこなわなければならない、専門の技術者を必要とする。
- ・反応速度論に関して、ある程度の知識を必要とするため、モデルそのものの理解に時間が必要である。
- ・英語仕様であるため、一般になじみにくい。
したがって今後シミュレーション手法を下水処理の分野に広く利用していくためには、これらの課題を克服する使いやすいソフトの開発を進める必要がある。

2. 調査内容

高度処理対応の水処理運転を行っている中川処理場、小菅処理場、有明処理場で、IWAモデルに必要な、運転情報、水質データ等を収集した。IWAモデルは、通常、処理場では水質分析していない項目を必要とする。今回の調査では、COD_{Cr}、有機酸、呼吸速度より算出される有機物等の項目を、通常の項目に加えて測定した。そのデータを、AQUASIMに投入し、実測値とシミュレーション結果の適合性について調査した。

2. 1 IWAモデルの特徴

IWAモデルは、ASM-1からバージョンアップを重ね、ASM-2、ASM-2d、ASM-3、ASM-3dがある。ASM-1、ASM-3、ASM-3dはりん除去を対象としていないため、本調査は、ASM-2dを使用した。

特徴としては次の点があげられる。

（1）動力学的モデルとして、流入水量・水質及び運転条件が変化する場合の非定常解析

が可能である。

(2) モデルはマトリクス方式で記述されているため、従来の活性汚泥モデルに比べてモデルの構造が分かり易く、モデルを容易に操作することができる。マトリクス方式では、反応槽内で行われている反応プロセスを縦軸に、またそのプロセスに関与する物質種を横軸にとり、各プロセスにおける関与物質間の量論関係をマトリクスとして示している。

(3) モデルは物質収支を基に構築されたため、各反応プロセスにおける関与物質の変換量(消費量と生成量)を把握することができる。また、ある物質に関与する反応プロセスの化学量論的關係を検討することによって、対象物質を量的に制御することができる。

(4) フレキシブルなモデル構造となっているため、適用対象に応じてモデルを自由に選択できるほか、モデルを改良・拡張することも可能である。

2.2 モデルの構造

モデル構造を図1に示す。またASM-2dに記述されている反応は全部で21個あり、以下の5つのグループに分けられる。

- ・加水分解反応(好気、無酸素と嫌気条件)
- ・従属栄養細菌に関わる反応
- ・リン蓄積細菌に関わる反応
- ・硝化細菌に関わる反応
- ・凝集剤添加に伴う反応

ASM-2d 構造上の大きな特徴は、微生物細胞の内部構造をモデル化し、リン蓄積微生物の細胞構成成分として蓄積有機物(PHA:ポリヒドロキシアルカノエイト)およびポリリン酸の2つの成分をモデルの独立変数として定義している。

好氣的有機物除去に関しては、従属栄養微生物が増殖することにより有機物を酸化分解し、有機物分解過程で生成したエネルギーをバイオマスへ転換する過程をモデル化している。また、窒素除去に関しては、独立栄養微生物である硝化細菌がアンモニアを硝酸に変えた後、従属栄養微生物が有機物を水素供与体、硝酸を水素受容体として増殖することを想定している。なお、リン蓄積細菌 PAO の一部は脱窒能力を持ち硝酸呼吸をするとともにリンを摂取する現象から、PAO に脱窒能力を付与させるモデル構造となっている。そして、各反応プロセスの速度式に対しモデル構成物質の生成速度係数(化学量論定数)をマトリクス形式で示したものである。従って、各モデル構成成分の生成速度は次のように表すことができる。

$$\gamma_i = \sum v_{ji} \cdot \rho_j$$

γ_i = i の生成速度 (g/m³/d) ρ_j = 反応プロセス j の反応速度

v_{ji} = 反応プロセス j に対して構成成分 i の生成速度係数(化学量論定数)

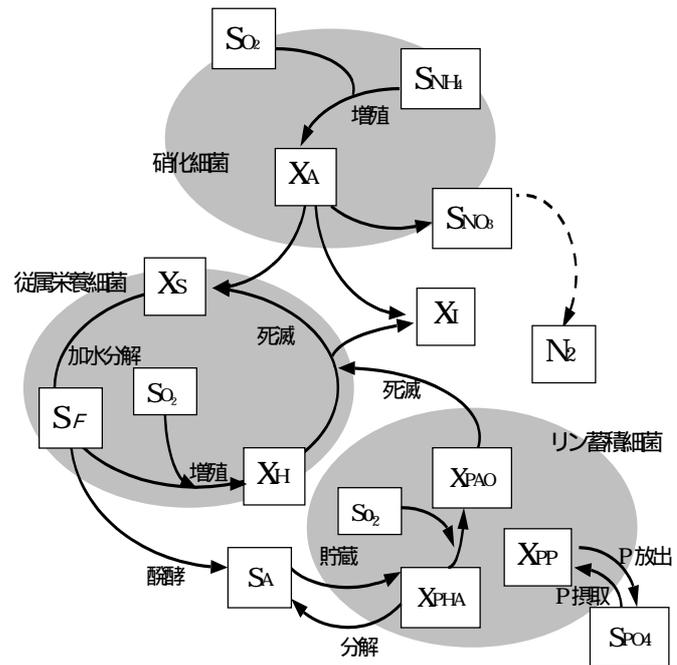


図1 IWAモデル

表1 WAモデル(ASM2d)の解析対象物質

N O	記 号	項 目	N O	記 号	項 目
1	S _{O2}	溶存酸素	11	X _S	生物遅分解性の懸濁態有機物
2	S _F	酸発酵可能な易分解性有機物	12	X _{AUT}	独立栄養細菌(硝化細菌)の菌体量
3	S _A	酸発酵から生成される有機物	13	X _H	従属栄養細菌(他栄養細菌)菌体量
4	S _I	生物非分解性有機物	14	X _{PAO}	リン蓄積細菌の菌体量
5	S _{NH4}	アモニア態窒素	15	X _{PP}	リン蓄積細菌の細胞内蓄積ホリリン酸
6	S _{NO3}	硝酸・亜硝酸態窒素	16	X _{PHA}	リン蓄積細菌の細胞内貯蔵有機物
7	S _{N2}	溶存窒素	17	X _{TSS}	TSS
8	S _{PO4}	オルトリン酸態リン	18	X _{MeO}	水酸化沈殿物(Fe(OH) ₃)
9	S _{ALK}	アルカリ度	19	X _{MeP}	リン酸塩沈殿物(FePO ₄)
10	X _I	生物非分解性の懸濁態有機物			

以下に、21個の反応式のうち代表的な反応速度式を3つあげる。

- 従属栄養微生物によるS_Fの分解に伴う好気性増殖

$$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$$

りん蓄積性微生物によるPHAの蓄積

$$q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP} / X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP} / X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$$

独立栄養細菌(硝化細菌)の増殖

$$\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$$

2.3 入力水質データの考え方

活性汚泥モデルでは流入水有機物を細分化しており、図2に示すような分画を行っている。そして、有機物分画成分の設定方法としてCOD_{Cr}や有機酸等の水質分析、呼吸速度実験およびモデルキャリブレーションを提案している。

しかし、当局ではCOD_{Cr}をこれまで測定しておらず、流入水の呼吸速度実験も行っていない。さらに、COD_{Cr}の分析は水銀やクロムを使用するため、今後も分析を行うことは困難であると考えられる。そこで、COD_{Cr}分析や呼吸速度実験を行わなくても有機物分

画成分を設定することができる方法を検討することが重要であり、本調査では次に示す視点で検討を行った。

流入下水の T-COD_{cr} を水質分析せず、将来的にも実際に測定可能な日常水質項目（たとえば T O C 等）との相関関係を用いて全有機物量を設定する。

処理水の S-COD_{cr} を水質分析せず、将来的にも実際に測定可能な日常水質項目（たとえば T O C 等）との相関関係を用いて非分解性有機物（S_I）を設定する。

流入下水の呼吸速度実験を行わず、将来的にも実際に測定可能な日常水質項目（たとえば簡易 B O D 等）との相関関係を用いて「呼吸速度より算出される有機物（S_A+S_F）」を設定する。

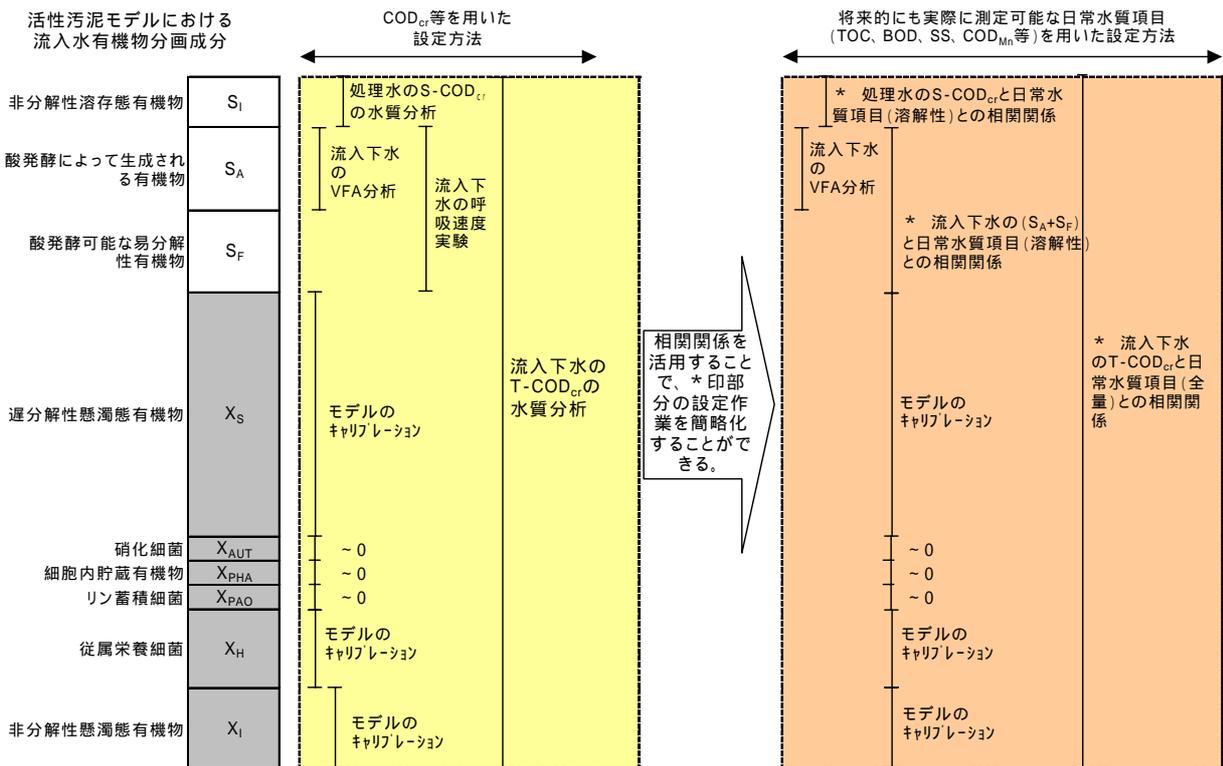


図 2 流入水の有機物分画

2. 4 相関係数の検討

モデルを実際に動かすためには、入力するデータができるだけ実際に入手可能なデータであることが必要である。そこで測定可能な項目と COD_{cr} との相関関係を調査した。その結果を表 2 に示す。図 3 に示すように、流入水の T - COD_{cr} については、T - COD_{MN} との相関が良好であったので、相関式をあてはめ、T - COD_{MN} 値から T - COD_{cr} 値へ変換することができる。しかし、図 4 に示すように、呼吸速度については、良い相関を得られる項目がないため、現在のところ呼吸速度実験を行う必要がある。

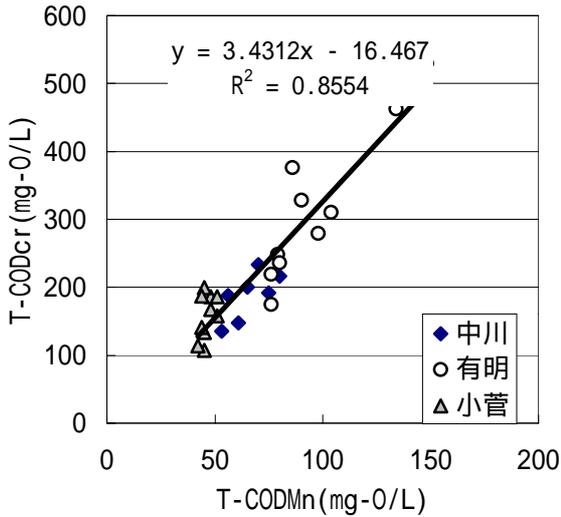


図3 T-COD (Cr) の推定

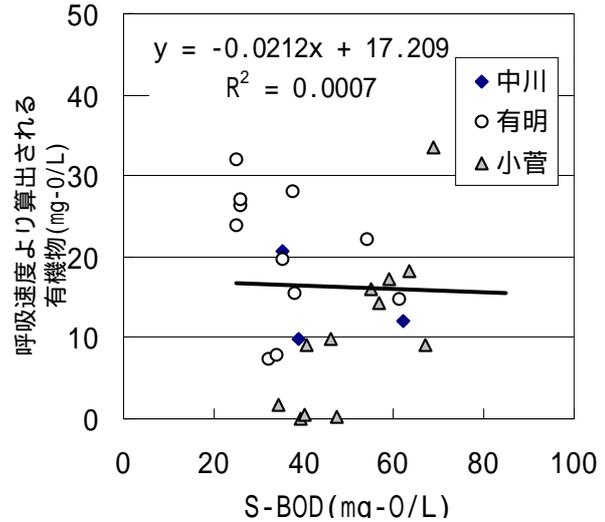


図4 呼吸速度からの有機物の相関

呼吸速度より算出される有機物の測定

バッチで OUR (酸素利用速度) 試験を 1 サンプルにつき 3 時間行い、経時的に酸素利用速度 (OUR) を求める。次に、その OUR を経時的にプロットし、そのパターンより、呼吸速度より算出される有機物濃度を決定する。(図6)

OUR の測定方法

- ・流入下水を 1.5L、その下水で馴致させた返送汚泥を 0.1L メスシリンダーで計りとる。
- ・マグネツスターで攪拌しながら、下水と汚泥を 1 リットルのガラス容器に入れ、混合する。その後、ATU 試薬を約 2mg/L になるように添加する。この時刻を開始時刻とする。
- ・曝気を開始し、6~7mg/L まで DO が上昇したら曝気を停止し、DO の変化状況を記録する。
- ・DO が 3mg/L 以下になったら、再度曝気し、この操作を繰り返す

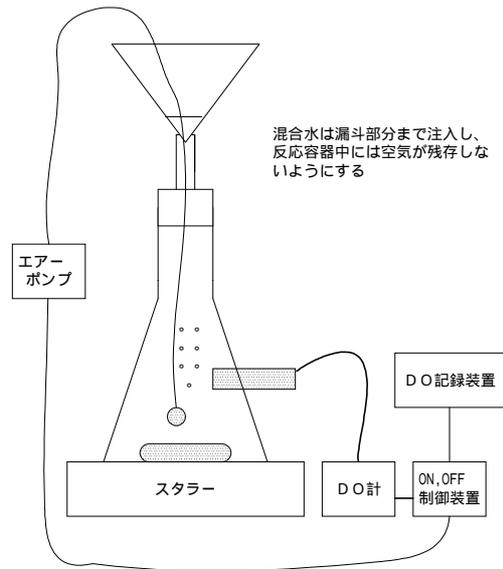


図5 呼吸速度実験

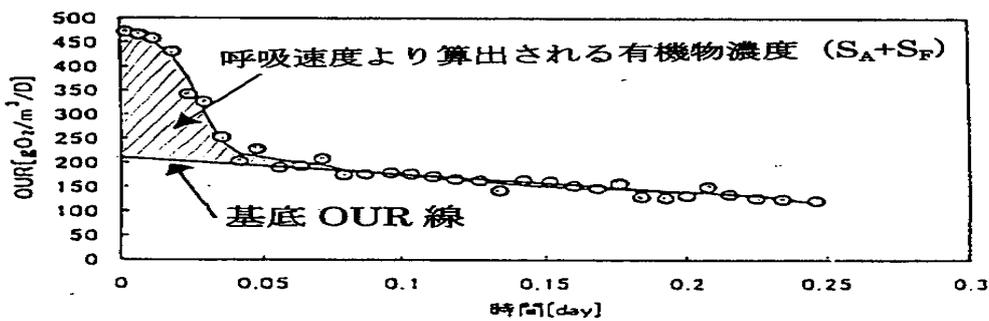


図6 OUR パターン

表2 COD (Cr) 等と各種有機物濃度の相関

推定対象項目	処理場名	比例係数 a	パラメータ	切片 b	分散	評価
流入下水全有機物 (T-CODcr)	(中川)	2.9	x T - CODMn	-4.8	R 2 =	0.78
	(有明)	4.1		-78		0.83
	(小菅)	4.8		-62		0.2
	(総合)	3.4		-16		0.86
	(中川)	1.7	x T - TOC	45		0.69
	(有明)	3.4		-110		0.6
	(小菅)	1.2		72		0.82
	(総合)	2.5		-13		0.76
	(中川)	1.3	x T - BOD	29		0.38
	(有明)	2.2		-8.4		0.74
	(小菅)	1.4		16		0.6
	(総合)	2.6		-86		0.75
非分解性有機物 (SI)	(中川)	-0.002	x S - CODcr	10	R 2 =	0.007
	(有明)	-0.04		22		0.12
	(小菅)	0.07		7.6		0.69
	(総合)	0.0009		15		0.00003
呼吸速度より算出 される有機物 (SA+SF)	(中川)	-0.24	x S - TOC	29	R 2 =	0.33
	(有明)	-0.08		26		0.007
	(小菅)	0.42		-11		0.67
	(総合)	0.17		8		0.07
	(中川)	0.04	x S - BOD	14		0.02
	(有明)	-0.03		23		0.001
	(小菅)	0.67		-24		0.63
	(総合)	-0.02		17		0.0007

備考：本検討で用いた相関関係式は「 $Y = aX + b$ 」である。
総合データにおける分散が0.5以上（相関関係が約0.7以上）である場合を「推定可能」と判断した。

2.5 パラメータ定数

ASM2d のパラメータはその性質によって、組成変換係数、化学量論定数と動力学定数に分けることができる。組成変換係数は流入下水の有機成分に対する窒素とリンの含有率を表すもので、流入水の組成分析から求められる。また、化学量論定数は反応プロセスの速度式に対しモデル構成物質の生成速度係数で、組成変換係数や菌体収率などの定数から算出する。

- ・組成変換係数（SI、SF、XS等の有機物の窒素りん含有率等）
- ・化学量論定数（従属栄養細菌の増殖収率、基質PHAに対する菌体収率、硝化菌の菌体収率等）
- ・動力学パラメータ（加水分解反応・各種細菌の生物反応における、速度定数、半飽和定数）

これらの数値が、シミュレーション結果に及ぼす影響は大きい。これらの数値や式が、シミュレーションの対象となるプロセスの条件、たとえば、施設の土木構造、機械設備、流入水の性質、運転状況によってどの程度変えていく必要があるかは、これからの課題である。

2.6 入力水質の設定

モデルに投入する主なデータを表3に示す。流入水の生データとの関係は以下のようになる。

SF : (易分解性有機物生データ) - SA

SA : (有機酸生データ) × 1.06

SI : 二沈流出水の S - CODcr 生データ

SNH4 : アンモニア性窒素の生データ

SNO3 : (亜硝酸性窒素 + 硝酸性窒素) の生データ

SPO4 : りん酸性りんの生データ

X_H : (流入水の T - COD_{cr} 生データ) と文献値から設定

X_S : (流入水の T - COD_{cr} 生データ) と文献値から設定

X_I : (流入水の T - COD_{cr} 生データ) と文献値から設定

表3 流入水質の設定

日付	S _F (mgCOD/L)	S _A (mgCOD/L)	S _I (mgCOD/L)	S _{NH4} (mgN/L)	S _{N03} (mgN/L)	S _{P04} (mgP/L)	X _H (mgCOD/L)	X _S (mgCOD/L)	X _I (mgCOD/L)
9/19									
11:00	11.3	5.3	11.0	19.9	0.0	1.4	11.3	47.2	9.4
13:00	12.6	8.5	10.7	20.6	0.0	1.9	13.1	54.6	10.9
15:00	13.9	5.8	10.3	15.9	0.0	1.5	15.9	66.1	13.2
17:00	7.5	14.4	10.0	15.4	0.0	1.3	18.0	75.1	15.0
19:00	1.1	18.0	9.8	12.9	0.1	1.1	18.3	76.4	15.3
21:00	6.3	20.0	9.7	14.8	0.1	1.2	17.0	70.9	14.2
23:00	11.4	15.3	9.5	13.2	0.1	1.0	16.8	70.0	14.0
9/20 1:00	10.5	17.3	9.8	13.4	0.1	1.0	16.0	66.5	13.3
3:00	9.5	16.3	10.2	13.2	0.1	1.1	15.6	65.1	13.0
5:00	7.4	16.6	10.5	13.0	0.0	1.1	15.2	63.5	12.7
7:00	5.4	17.8	10.7	13.2	0.0	1.1	13.7	56.9	11.4
9:00	8.3	15.5	10.8	14.6	0.0	1.2	11.9	49.4	9.9
平均 1	8.8	14.2	10.3	15.0	0.0	1.2	15.2	63.5	12.7
平均 2	9.1	13.9	10.2	15.4	0.0	1.3	15.2	63.2	12.6
最大	13.9	20.0	11.0	20.6	0.1	1.9	18.3	76.4	15.3
最小	1.1	5.3	9.5	12.9	0.0	1.0	11.3	47.2	9.4

注 1: 平均 1 は時間データの単純平均である。平均 2 は流入水量に対する加重平均値。

3. シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 7 ~ 図 14 に示す。有機物については、処理後の水質である、好気槽出口、第二沈殿池出口において、計算値と実測値がほぼ一致する。窒素については、データの傾向として概ね一致していると言える。しかし、りんについては、大きくかけ離れた。

有機物（中川処理場夏期）

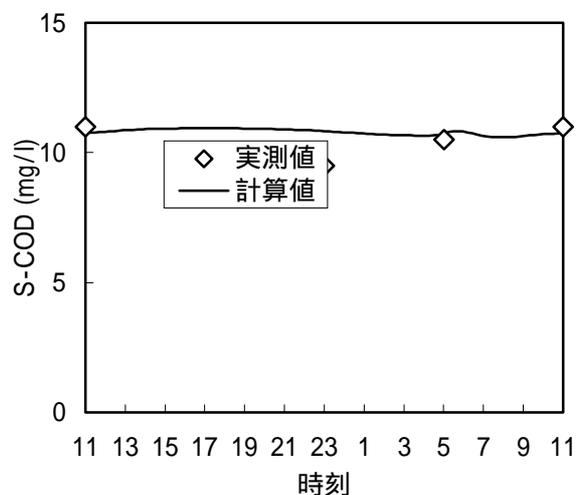


図7 好気槽2出口

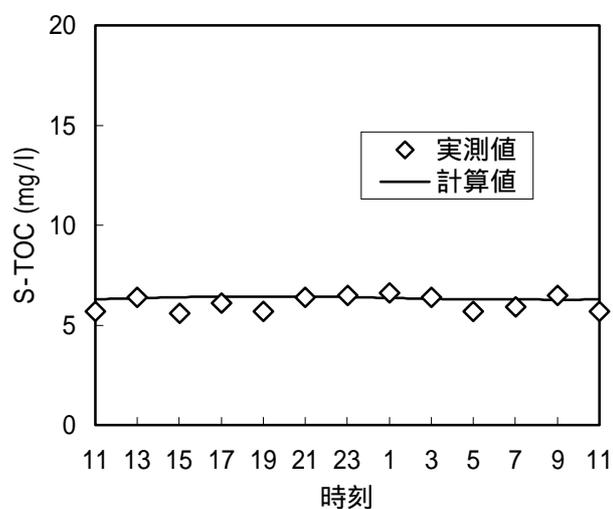


図8 最終沈殿池出口

窒素 (中川処理場夏期)

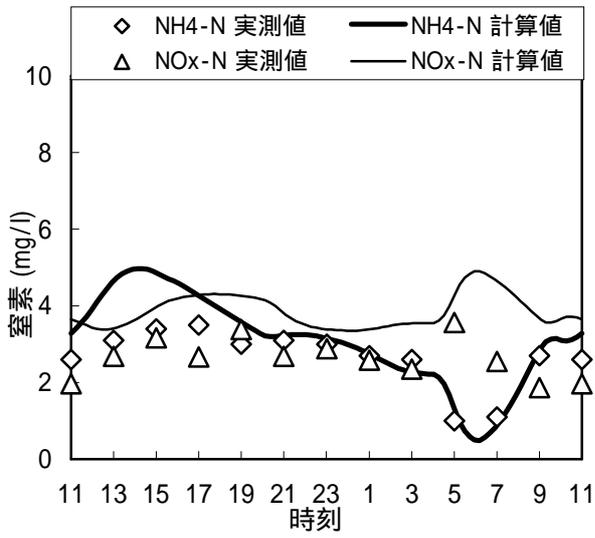


図9 好気槽1出口

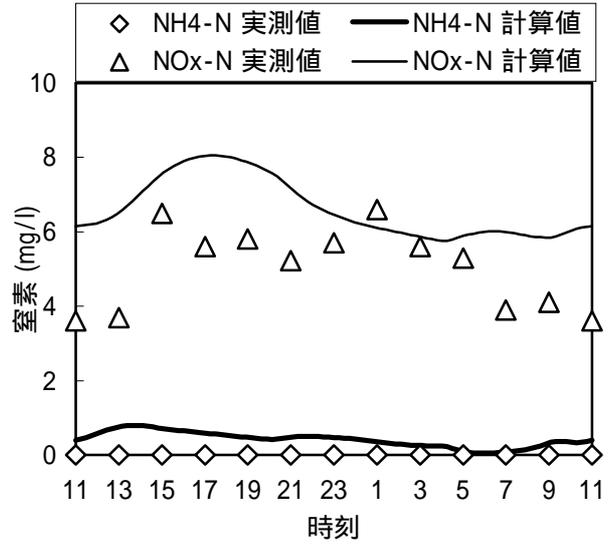


図10 好気槽2出口

りん (中川処理場夏期)

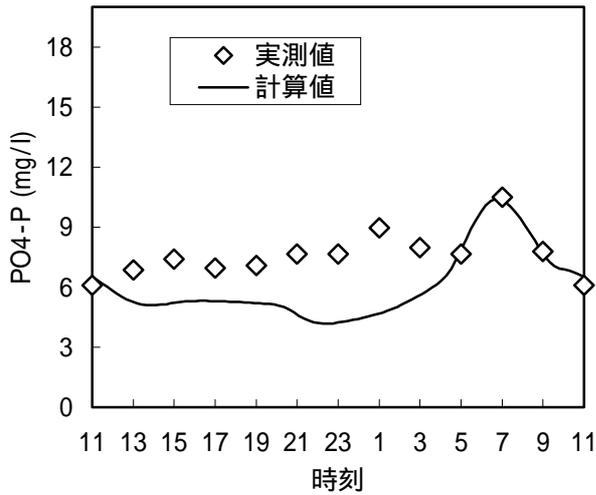


図11 嫌気槽出口

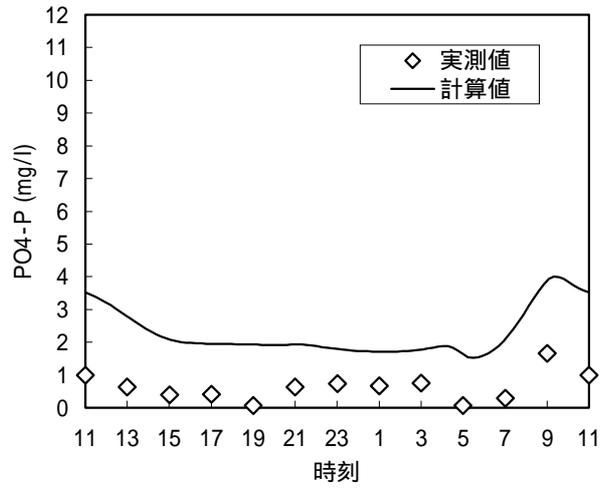


図12 好気槽1出口

有明処理場の窒素りん

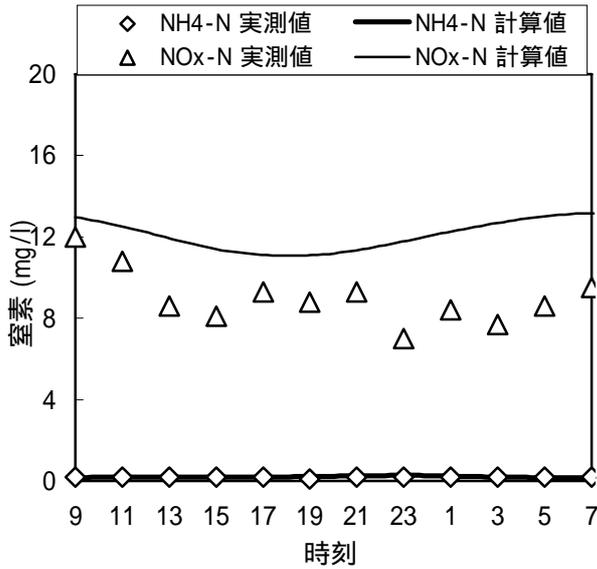


図13 最終沈殿池出口

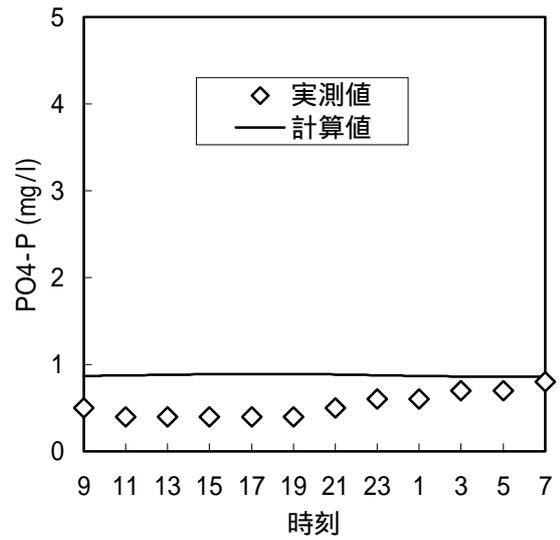


図14 最終沈殿池出口

小菅処理場の窒素りん

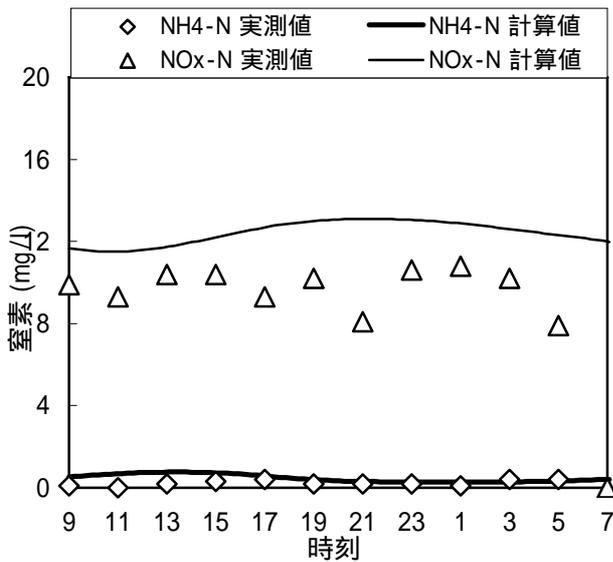


図15 最終沈殿池出口

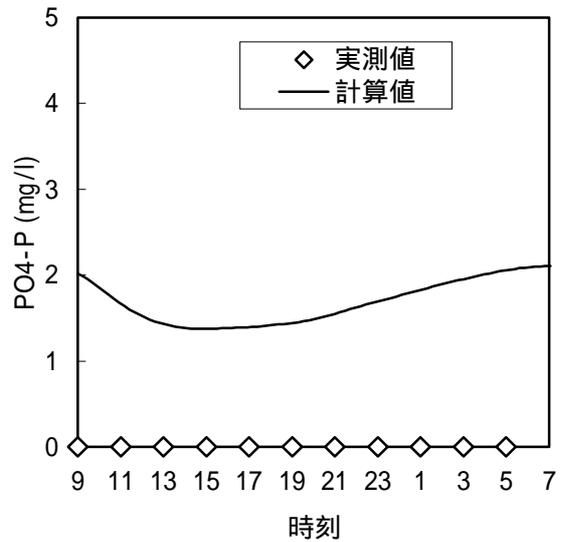


図16 最終沈殿池出口

4. まとめ

活性汚泥モデルの適用性を検討するために、実際の処理場の水質データを入力し、処理水質のシミュレーションを行い、必要な入力条件等の整理を行った。

モデルそのものの適用性については、モデルの構成成分、モデルの構造と基礎式、モデルパラメータの3要素について検討する必要がある。本調査は初めての調査であったので、すべてIWAの推奨値を使用した。そして、中川処理場、有明処理場と小菅処理場の

水質調査結果を基に水質シミュレーションを行い、処理水質の再現性について調べた。その結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) 生物反応過程からの処理水で評価すると、溶解性 COD_{Cr}、BOD 及び TOC の計算値が実測値とほぼ一致しており、処理水有機物濃度の再現性が概ね良好である。

(2) 反応槽別の処理水窒素濃度の予測結果によると、硝化及び脱窒反応に伴う窒素濃度の変化に対して、モデルの再現性が概ね良好である。また、水質の予測結果が実測の濃度変動パターンとほぼ一致しており、流入水質や運転条件の変化に対する処理水質の変動予測が可能と判断できる。ただし、無機態窒素で評価すると、窒素濃度の計算値が実測値より高くなっており、窒素収支が取れていない問題点がある。今後、処理水窒素濃度の予測精度を向上させるために、モデルパラメータの同定やモデル構造の改良が必要と思われる。

(3) リン処理の予測結果によると、嫌気条件でのリン放出及び無酸素槽でのリン摂取が概ね再現されている。ただし、好気槽でのリン摂取があまり進まなかったのが原因で、処理水リン濃度の予測結果が実測値と大きく乖離し、好気槽のリン摂取がうまく再現できなかった。今後、処理水リン濃度を再現するために、モデル構造の改良を含めたキャリブレーションが必要である。

大目次

目次

要旨

Ⅲ－３ 高度処理施設設計諸元に関する基礎調査

計画調整部技術開発課：佐久間真理子
武藤 真

1. 調査の目的

本調査は、「高度処理施設設計マニュアル（案）」（高度処理会議）の改訂を行う際の基礎資料とするとともに、東京都において高度処理対応の施設を建設する際の基準となる基礎資料として役立たせるため、区部処理場での精密水質調査及びデータ解析を行ったものである。

2. 調査概要

2. 1 既存施設設計資料について

東京都においては、「施設計画基準（案）の解説、H10.3、計画部施設計画課（以下、基準（案）と記す）」に基づいて、新たな施設計画や認可変更を行うこととしている。この基準（案）では、計画下水量の設定方法とともに、各種沈殿池、反応タンク等の施設容量に関する設計方法についてとりまとめられている。

一方、有明下水処理場における嫌気－無酸素－好気法の運転実績が平成8年度冬期から蓄積されつつあることや平成8年度から芝浦下水処理場の技術開発実験場において各種高度処理実験が進められている。また、この基準（案）を作成した時の参考資料である「高度処理施設設計マニュアル（案）、H6、(社)日本下水道協会」の改訂作業が高度処理会議で開始されたことも考慮し、基準（案）の内、反応タンク容量計算方法に関係する部分を中心に見直し検討項目を整理した。

主な見直し検討項目は、①好気タンク容量を決める必要 A-SRT ②無酸素タンクにおける必要脱窒量、③無酸素タンクにおける脱窒速度定数と BOD-SS 負荷との関係式、④余剰汚泥のリン含有率、⑤A₂O 法処理後の凝集剤添加量等、いくつか考えられるが、今回は特に以下の点の関して検討をおこなった。

(1) 好気タンク容量を決める必要 A-SRT

基準（案）においては、「高度処理施設設計マニュアル（案）」に示されている必要 A-SRT 値の 1.5 倍の A-SRT を確保するように好気タンク容量を計画することとしている。しかし、この安全率はマニュアルで記載されている範囲の上限値であることや、ステップ流入式多段硝化脱窒法においては反応タンクの形状等を考慮し、必要 A-SRT としてマニュアル値よりも低い値を採用していることなどを考慮すると、基準（案）における A-SRT 設定値（余裕値）は大きすぎる可能性がある。

(2) 無酸素タンクにおける脱窒速度定数

基準（案）においては、無酸素タンク容量の妥当性を確認するために、BOD-SS 負荷の影響を受ける脱窒速度定数を用いているが、この BOD-SS 負荷と脱窒速度定数との関係式はデータ数が少なく、あまり精度が高いものではない。また、有機物量も全体量で表現しており、当然脱窒反応に影響を及ぼすと考えられる溶解性成分と粒子性成分との比率等についても考慮されていない。これらの点を考慮すると、この関係式の精度を高める必要があると考えられる。

2.2 対象プロセス

調査対象プロセスを、中川処理場で運転されている「嫌気－無酸素－好気法」とし、図1に示す。

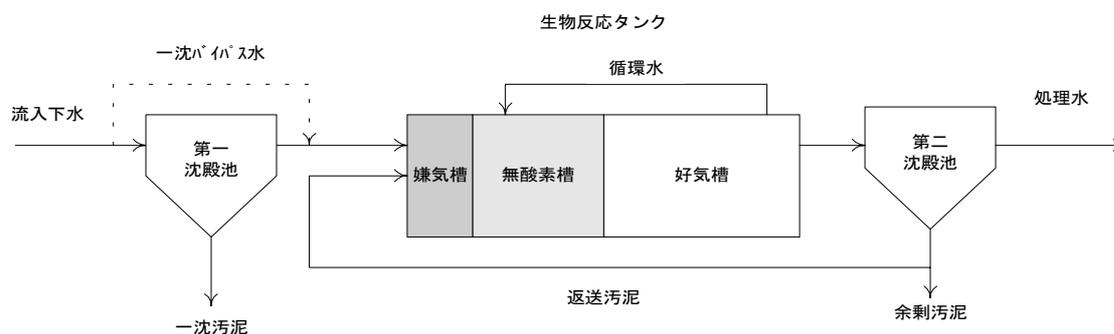


図1 中川処理場 A2O 法フロー

嫌気槽 (A, B 回路)	巾 12.2m × 長 10.6m × 1 分割	1,251m ³
無酸素槽 (C~E 回路)	巾 12.2m × 長 7m/分割 × 3 分割	2,479m ³
好気槽 (F~J 回路)	巾 12.2m × 長 (14.0+17.6) m × 2 分割	3,730m ³
槽全体容量 (比)	7,460m ³ (嫌気槽 : 無酸素槽 : 好気槽 = 1 : 2 : 3)	

2.2 水質分析内容

調査対象プロセスは、中川処理場の嫌気-無酸素-好気法系列とした。水質調査内容は表1の項目とし、夏冬2回実施した。

表1 水質分析項目

分析項目	一沈流出水	嫌気槽水	無酸素槽水	好気槽水	二沈流出水	返送汚泥	1回検本数	サンプラタイプ	1日検本数	年間測定回数	総検本数
T-BD	1				1		2	4回/日	8	2	16
S-BD	1				1		2	4回/日	8	2	16
T-TC	1				1		2	12回/日	24	2	48
S-TC	1	1	1	1	1	1	6	12回/日	72	2	144
M-TC				1			1	12回/日	12	2	24
NH-N	1	1	3	2	1	1	9	12回/日	108	2	216
NO2-N	1	1	3	2	1	1	9	12回/日	108	2	216
NO3-N	1	1	3	2	1	1	9	12回/日	108	2	216
TKj-N	1				1		2	4回/日	8	2	16
SKj-N	1				1		2	4回/日	8	2	16
M-Kj-N				1			1	4回/日	4	2	8
PO4-P	1	1	3	2	1	1	9	12回/日	108	2	216
T-P	1				1		2	4回/日	8	2	16
S-TP	1				1		2	4回/日	8	2	16
M-TP				1			1	4回/日	4	2	8
T-CD _{cr}	1				1		2	4回/日	8	2	16
S-CD _{cr}	1				1		2	4回/日	8	2	16
M-CD _{cr}				1			1	4回/日	4	2	8
汚濁度	1	1	1	1		1	5	4回/日	20	2	40
SS	1						1	4回/日	4	2	8
MSS				1			1	4回/日	4	2	8
RSS						1	1	4回/日	4	2	8
呼吸速度より算出される有機物	1						1	6回/日	6	2	12
DO				2			2	12回/日	24	2	48
ORP		1	3	2			6	4回/日	24	2	48

脱窒速度試験：次の3条件で試料を混合し、机上で回分の脱窒速度試験を行った。

- ① 流入水、返送汚泥、循環水を実施設と同じ混合比で混合後、試験実施。(循環法を想定)
- ② 流入水と返送汚泥を実施設と同じ混合比で混合し、嫌気処理を行った後、循環水と混合し、試験実施。(嫌気-無酸素-好気法を想定)
- ③ 水道水で1.5倍に希釈した流入水と返送汚泥を実施設と同じ混合比で混合し、嫌気処理を行った後、循環水と混合し、試験実施。(20mm相当の降雨時の嫌気-無酸素-好気法を想定)

表2 脱窒速度試験水質項目

分析項目	反応T流入	スタート時	15分後	30分後	60分後	90分後	120分後	1回検体数	試験回数	総検体数
T-BOD	1							1	2	2
S-BOD	1							1	2	2
T-CODcr	1							1	2	2
S-CODcr	1							1	2	2
T-TOC	1							1	2	2
S-TOC	1	3	3	3	3	3	3	19	2	38
NH4-N		3	3	3	3	3	3	18	2	36
NO2-N		3	3	3	3	3	3	18	2	36
NO3-N		3	3	3	3	3	3	18	2	36
S-Kj-N		3					3	6	2	12
PO4-P		3	3	3	3	3	3	18	2	36
MLSS		3					3	6	2	12
呼吸速度より算出される有機物	1							1	2	2
ORP		1	1	1	1	1	1	6	2	12

3. 調査結果

3.1 夏期調査

3.1.1 調査日程

調査は、平成12年9月19日(火)AM11時～20日(水)AM9時の時間帯において実施し、2時間間隔で採水した。

3.1.2 調査前1ヶ月間の運転処理状況

調査前1ヶ月間の運転状況は以下のものであった。特徴として、次の点が挙げられる。

(1) 1ヶ月間に10mm/d以上の降雨があった日数は6日間であった。なお、調査日の2日前に17mm/日の降雨があった。

(2) 1ヶ月間の平均HRTは約14時間であった。

(3) 1ヶ月間の平均A-SRTは約5日であり、27℃条件での必要A-SRT値よりも若干長い程度であった。なお、A-SRT算出に用いた余剰汚泥量は、調査日の余剰汚泥量比を用いて処理場全体の値から対象系列における値を推定した。

(4) 返送率と循環率は流入水量に比例する制御方式で運転されており、返送率は約50%、循環率は約100%である。

(5) 1ヶ月間の平均MLSS濃度は約1600mg/Lであり、RSSS濃度は5040mg/Lであった。

(6) 1ヶ月間の平均好気槽末端DO値は、2.2mg/Lであった。

(7) 1ヶ月間の平均SVIは130であり、沈降性が比較的良い汚泥であった。

3.1.3 調査当日の運転状況

調査日の運転条件の特徴を以下に示す。

(1) 調査時には降雨は全くなかった。

(2) HRTは1ヶ月前とほぼ同様に、14.5時間であった。

(3)

(3) 流量変動については、早朝の低水量時間帯を除き、約 0.93~1.3 程度の変動比（各時間帯の水量/日間平均水量）であった。

(4) 早朝の流入水量が極端に減少する時間帯を除き、返送率は約 50%、循環率は約 100% である。

(5) 調査期間中の余剰汚泥引き抜きは間欠的に行われており、その余剰汚泥量を元に算出した A-SRT は 8 日となった。前述した調査前 1 ヶ月間の平均的な運転状況では約 5 日と算出された。

(6) 好気槽の平均 DO 値は、2.5mg/L であった。なお、調査当日の DO 分布状況を図に示す。

(7) 好気槽の MLSS 濃度は 1400mg/L、RSSS 濃度は 3600mg/L であり、調査前 1 ヶ月間の平均値よりもやや低い濃度レベルであった。

(8) 最終沈殿池における汚泥界面を現地測定した結果、測定できる地点（汚泥かき寄せ機が稼働している部分）では、1 階、2 階ともに汚泥界面はほとんど観測されなかった。

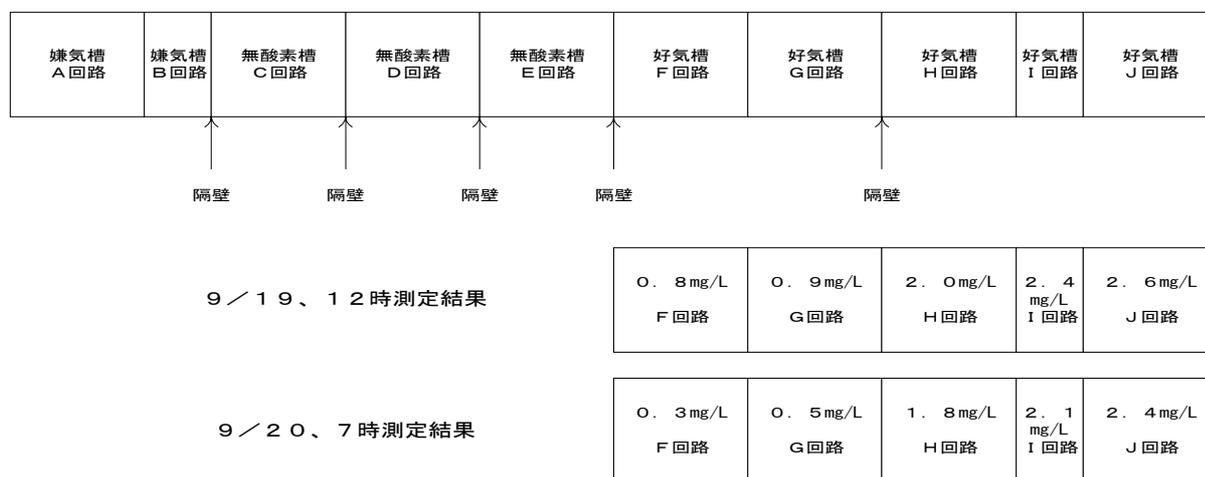


図 2 嫌気—無酸素—好気法施設における槽割と DO 分布（夏季）

3. 1. 4. 夏季の水質調査結果

水質調査結果を図 3～7 に示す。流入水の有機物のうち BOD については、全量、溶解性成分ともに夕食後の時間帯に高濃度となっていたが、COD_{Cr} においては溶解性成分は BOD と同様の变化を示していたものの、全量では 17 時の段階ですでに濃度が高くなっていた。これは、SS 性成分の影響を受けていることを示しており、SS 濃度は 17 時に高くなっていることと整合している。（BOD、SS については、「高度処理施設整一 本田係長系諸元に関する基礎調査報告書」参照）

酢酸は 17 時頃急激に濃度が 15mg/L 程度まで上昇し、それ以降翌日の早朝までほぼ同レベルで推移していた。一方、呼吸速度により算出される有機物濃度は 23 時に濃度がやや高くなっていた。また窒素についてみると、NH₄-N は、11 時～13 時の時間帯に高濃度となっており、その後は徐々に濃度は低下し、翌日の早朝に最低濃度を示していた。リンについてみると、PO₄-P は NH₄-N と同様に 13 時を中心とした時間帯に高濃度となっている状況を把握できている。T-P と S-TP については、早朝の 5 時に最も高い濃度が得られている。処理水については、完全硝化、完全なりん除去が達成されていた。

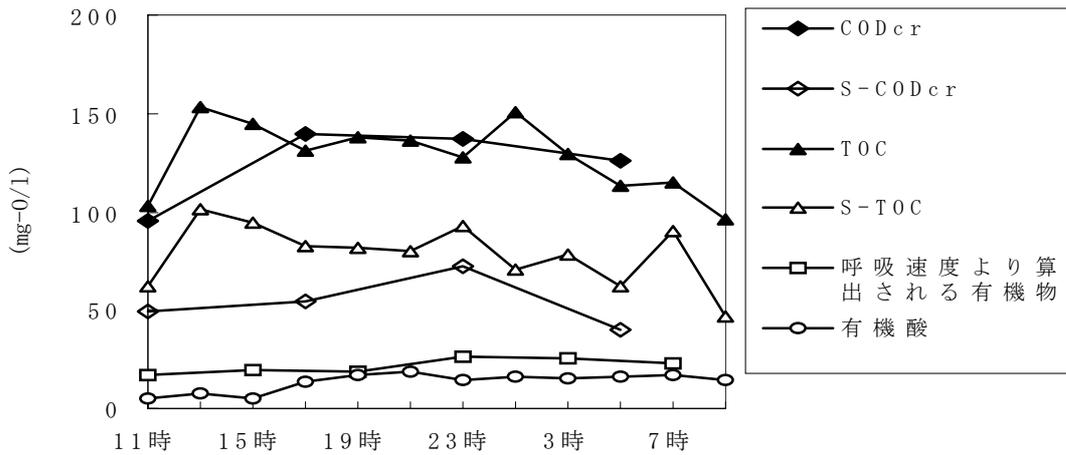


図3 流入水質結果（有機物）

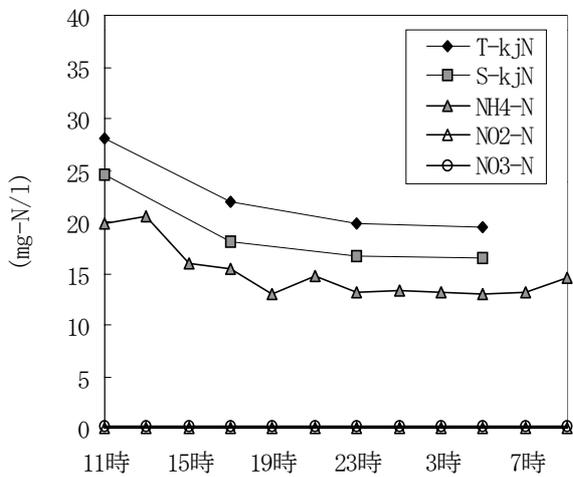


図4 流入水質結果（窒素）

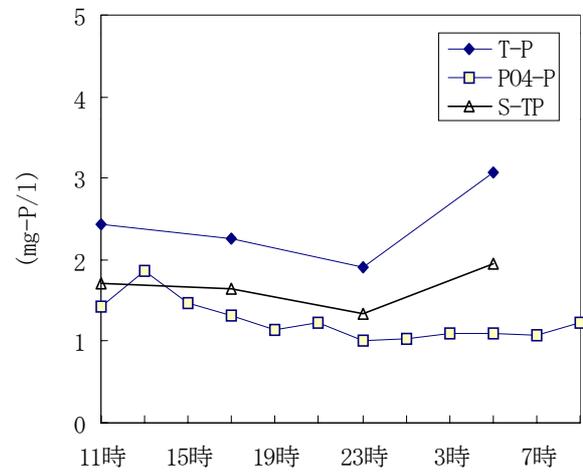


図5 流入水質結果（りん）

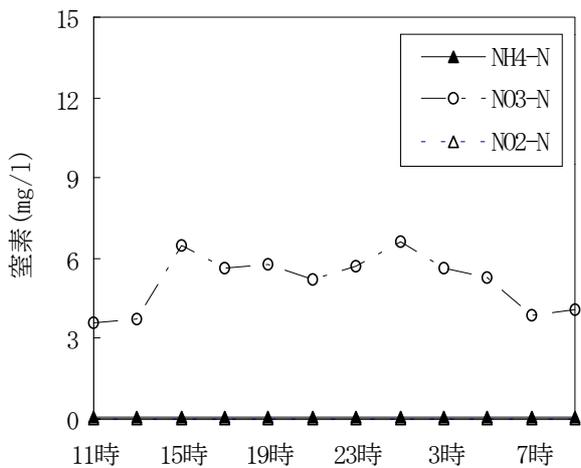


図6 処理水質結果（窒素）

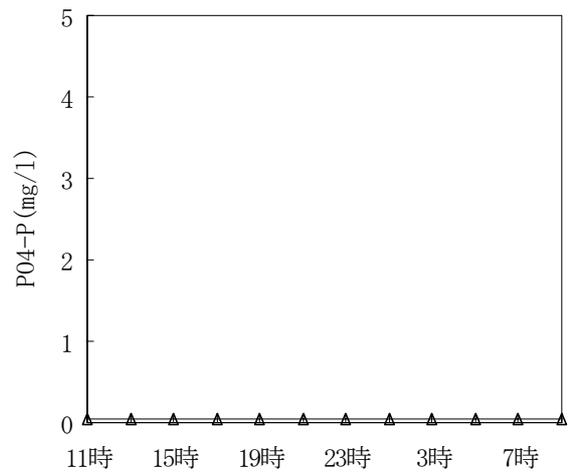


図7 処理水質結果（りん）

3. 2 冬期調査

3. 2. 1 調査日程

調査は、平成13年2月15日(木)AM11時～16日(金)AM9時の時間帯において実施し、2時間間隔で採水した。

3. 2. 2 調査前1ヶ月間の運転処理状況

調査前1ヶ月間の運転状況を以下に示す。特徴として、次の点が挙げられる。

(1) 1ヶ月間に10mm/d以上の降雨があった日数は4日間であった。なお、調査前1週間は無降雨状態がほぼ継続していた。

(2) 1ヶ月間の平均HRTは約15時間であった。

(3) 調査直前まで余剰汚泥の引き抜きを停止していたため、1ヶ月間の平均A-SRTについては評価できなかった。

(4) 返送率と循環率は流入水量に比例する制御方式で運転されており、返送率は約50%、循環率は約100%である。

(5) 1ヶ月間の平均MLSS濃度は約2460mg/Lであり、RSSS濃度は5960mg/Lであった。

(6) 1ヶ月間の平均好気槽末端DO値は、1.9mg/Lであった。

(7) 1ヶ月間の平均SVIは360であり、夏期調査時点と比べ沈降性が悪化していた。

(8) 調査前1ヶ月間の平均値でみると、処理水T-N濃度は4.6mg/Lと低い濃度を達成できており、NH₄-N除去についてもほぼ完全に達成できていた。また、処理水T-P濃度は0.3mg/Lであり、リンに関しても良好な処理ができていた。

3. 2. 3 調査当日の運転状況

調査前1ヶ月間の運転状況を以下に示す。特徴として、次の点が挙げられる。

(1) 調査当日には降雨は全くなかった。

(2) HRTは1ヶ月前とほぼ同様に、約17時間であった。

(3) 流量変動については、秋期調査と同様に、17時と早朝の時間帯を除き、概ね一定水量での運転となっていた。

(4) 早朝の流入水量が極端に減少する時間帯を除き、返送率は約50%、循環率は約100%である。

(5) 夏期調査及び秋期調査においては余剰汚泥引き抜きは間欠的に行われていたが、冬期調査では引き抜き頻度が高く、引き抜き量が平滑化されていた。その余剰汚泥量を元に算出したA-SRTは10日となった。

(6) 好気槽の平均DO値は、2.0mg/Lであった。なお、調査当日のDO分布状況を図8に示す。

(7) 好気槽のMLSS濃度は2020mg/L、RSSS濃度は5050mg/Lであり、調査前1ヶ月間の平均値よりもやや低い濃度レベルであった。

(8) 最終沈殿池における汚泥界面を現地測定した結果、測定できる地点(汚泥かき寄せ機が稼働している部分)では、1階、2階ともに汚泥界面はほとんど観測されなかった。

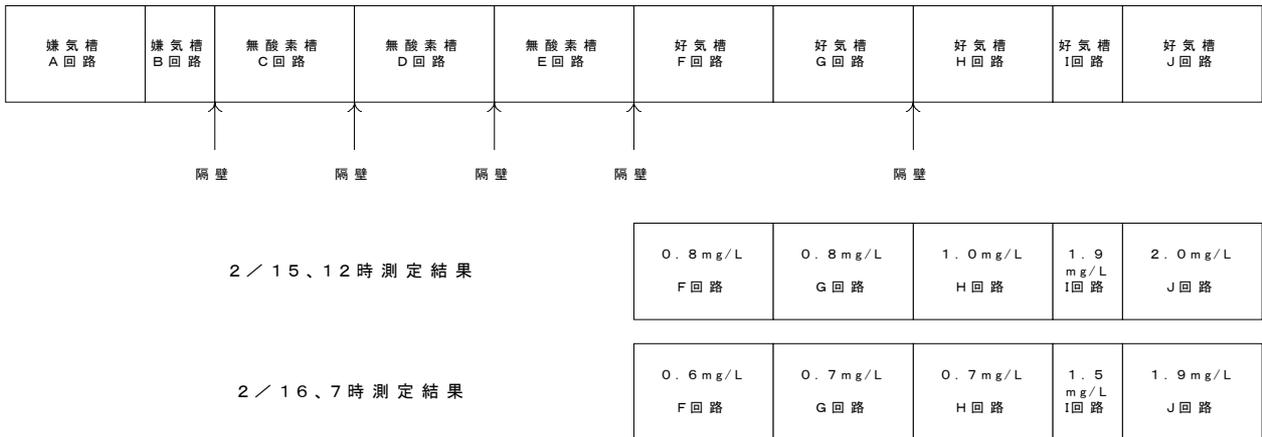


図8 嫌気—無酸素—好気法施設における槽割とDO分布

3. 2. 4 冬季の水質調査結果

流入水の有機物についての結果を図9に示す。CODcr においては溶解性成分、全量成分ともに、17時に尤も高濃度を示しその後は徐々に低下する様子が認められた。一方、TOC についてみると、午前中から夜間にかけて概ね同程度の濃度で推移していた。また、酢酸は2時間ごと、呼吸速度より算出される有機物については4時間ごとの分析を行っており、比較的詳細な経時変化を把握できている。呼吸速度より算出される有機物、酢酸ともに午前中から翌日の早朝にかけて徐々に濃度が高くなっていった。流入水の窒素りんについて、図10、11に示す。窒素についてみると、13時~17時の時間帯に高濃度となっており、その後は徐々に濃度は低下し、翌日の早朝に最低濃度を示していた。リンについてみると、NH₄-Nと同様に13時を中心とした時間帯に高濃度となっている状況を把握できている。

処理結果について図12、13に示す。夏季と同様に完全硝化、完全りん除去が達成されていた。

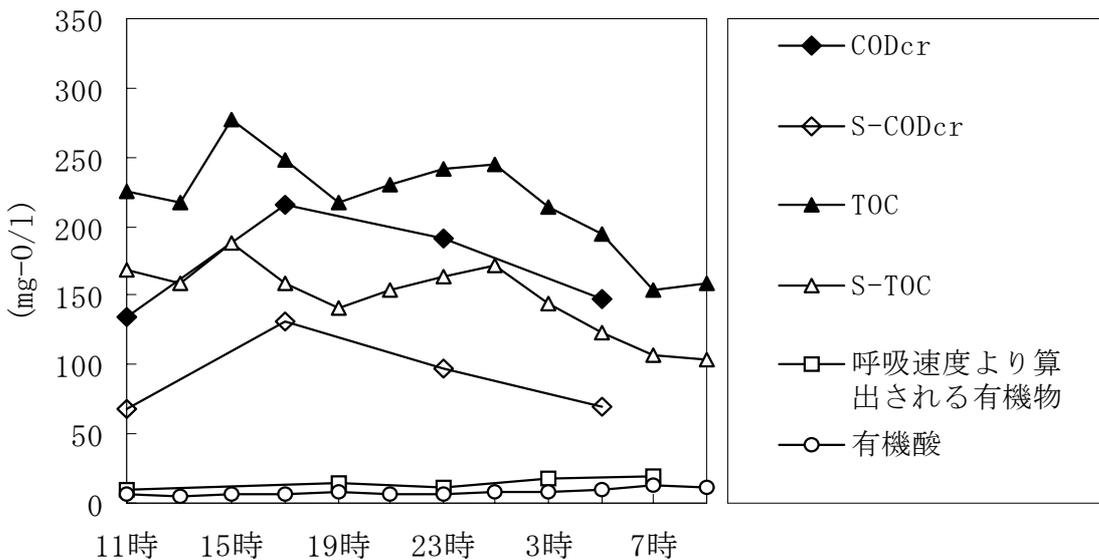


図9 流入水質結果 (有機物)

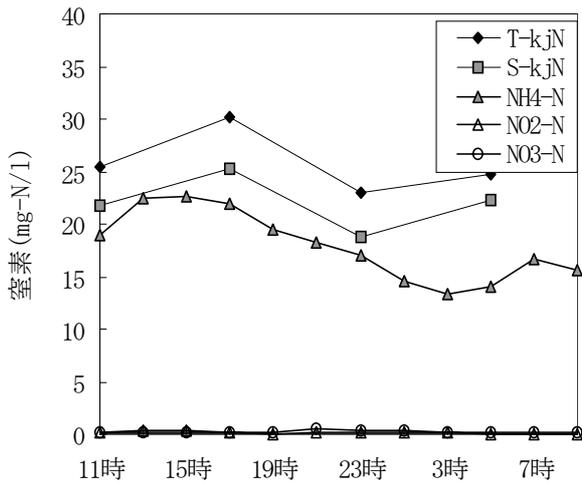


図 10 流入水質結果（窒素）

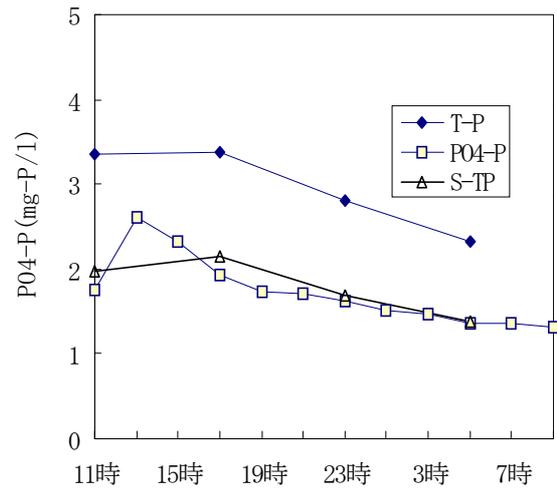


図 11 流入水質結果（りん）

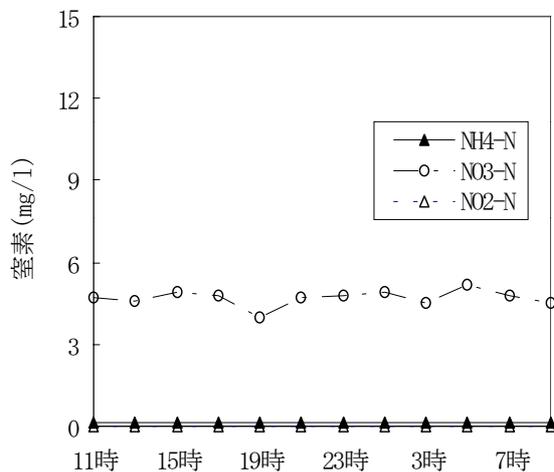


図 12 処理水質結果（窒素）

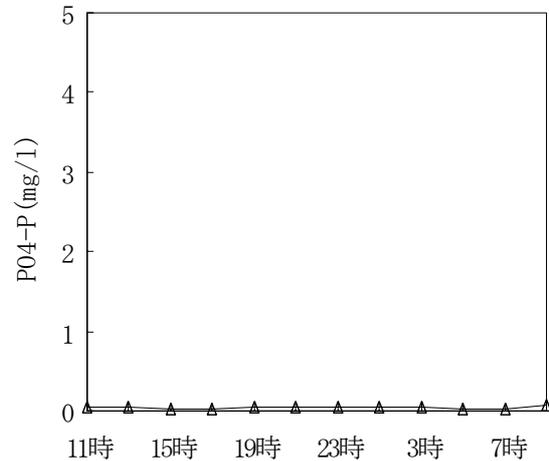


図 13 処理水質結果（りん）

4. 考察

4.1 槽内濃度変化

槽内濃度変化を図 14、15 に示す。図によれば、夏冬ほぼ同様な結果が得られた。窒素についてみると、好気槽末端の段階で完全硝化を達成できていた。一方、嫌気槽での脱窒反応は完全に進行しており、無酸素槽での脱窒反応も無酸素槽 1 の段階で達成できており、無酸素槽 2、3 における変化はほとんど認められなかった。

この結果を用いて硝化速度定数を解析することができ、 $1.4 \text{ mg-N/g-SS}\cdot\text{hr}$ との結果が得られている。しかし、脱窒速度に関しては、無酸素槽 1 においても完全脱窒を達成しているため、定量化は困難である。リンについてみると、嫌気槽におけるリン放出反応が認められ、無酸素槽 1 における無酸素環境でのリン摂取反応及び好気槽でのリン摂取反応が認められた。なお、好気槽 1 の段階ではリン摂取反応は完全には進んでおらず、好気槽 2 での処理が必要であることが明らかとなった。

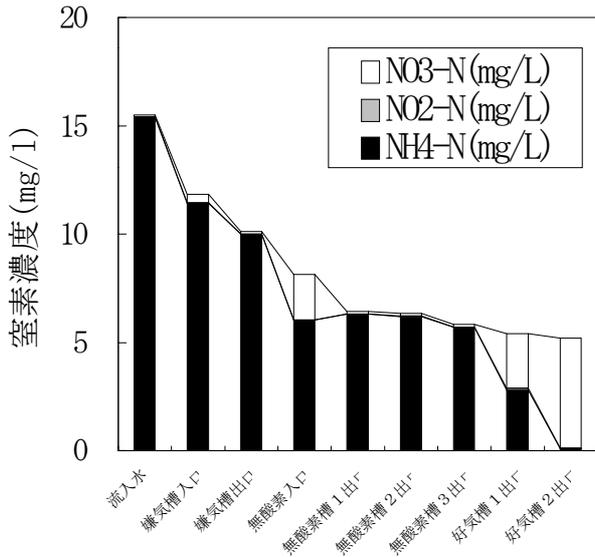


図 1 4 槽内窒素変化 (夏季)

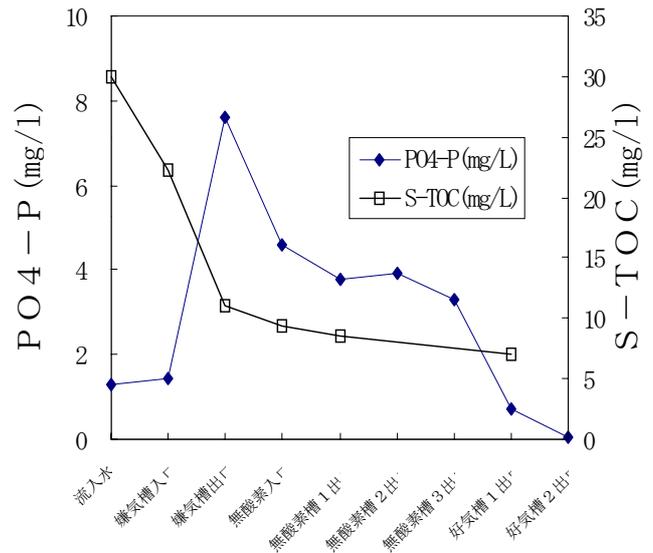


図 1 5 槽内りん・TOC変化 (夏季)

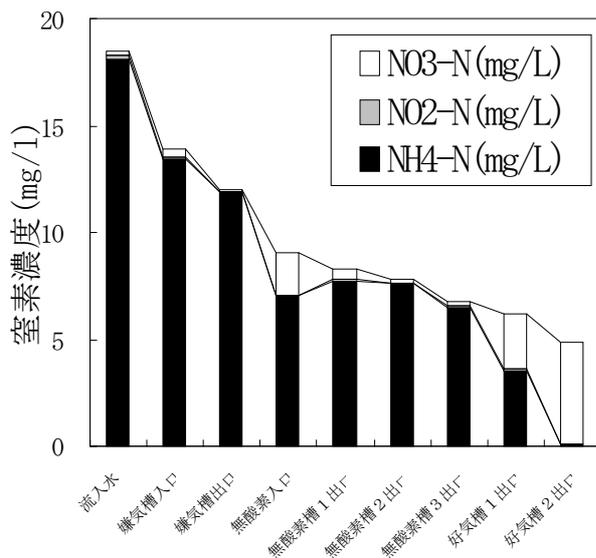


図 1 6 槽内窒素変化 (冬季)

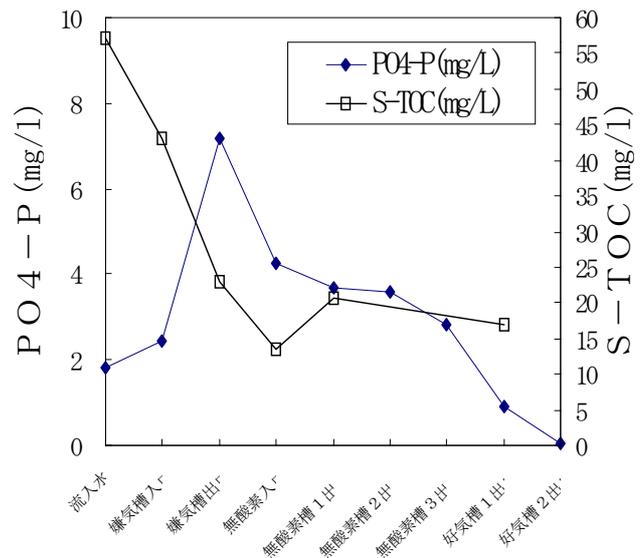


図 1 7 槽内りん・TOC変化 (冬季)

4. 2 安定的な硝化維持に必要な A-SRT

安定的な硝化維持に必要な必要 A-SRT は、高度処理施設設計マニュアル案において次式で示されている。

$$\text{必要 A-SRT} = 20.6 \times e^{x p - 0.0627 \times \text{水温}}$$

ここで、本調査結果を用いて、必要 A-SRT の検証を行った。その結果を図 1 8 に示す。

本調査時においては、夏期、冬期ともに上記の必要 A-SRT よりも長い A-SRT で運転を行っており、硝化反応も 90% 以上を達成できていた。そのため、A-SRT の必要値 (限界値) に関する検討は本調査結果からは行うことが困難であった。しかし、上記式が適用可能であることが確認された。

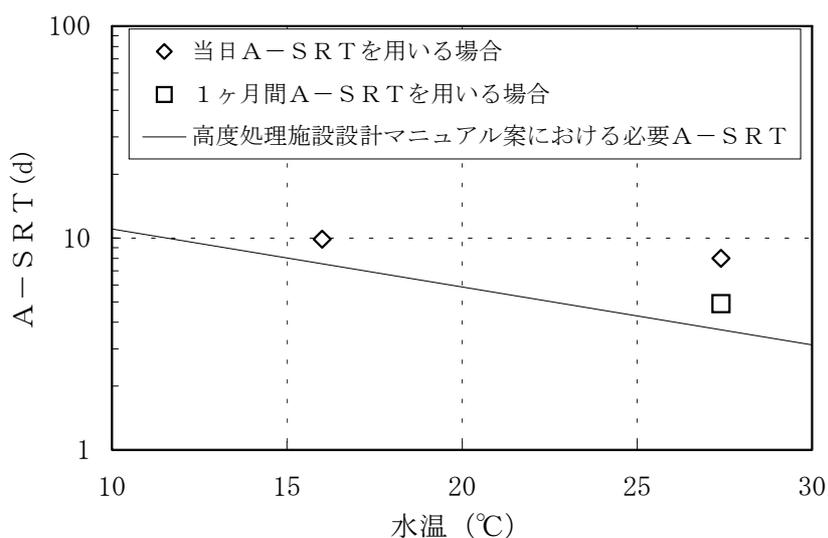


図 18 水温と A-SRT の関係

4.3 無酸素槽における脱窒速度

高度処理施設設計マニュアル案では、冬期における無酸素槽での脱窒速度を BOD-SS 負荷との関係式で表現しており、水温の影響や BOD で表現される有機物の組成（溶解性の割合や呼吸速度より算出される有機物の割合など）については言及していない。

そこで、回分実験の結果を用いて、それらの関係を整理した。実験の条件は、次ページの条件①②③の 3 条件である。実験結果を整理し図 19～21 に示した。その経時的な変化を解析すると、各条件ともに $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度は経時的に低下している様子が認められた。そこで、試験開始から 1 時間経過時点までの期間で回帰分析を行い、脱窒速度定数を算出した。なお、解析期間を 1 時間までと限定したのは、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度変化が徐々に緩やかになっていることに加え、実施の無酸素槽 3 での実処理時間が 0.6 時間、無酸素槽 2 まで加えると 1.2 時間となる点を考慮したためである。

ここで、循環法を想定した条件①と A20 法を想定した条件②を比較すると、脱窒速度定数はほぼ同程度の値を示しており、嫌気条件での処理を受けても脱窒反応には大きな影響は及ぼさない可能性がある。また、降雨時を想定した条件③の脱窒速度定数は条件②と比べ小さいことから、降雨時に流入下水が希釈されることで、脱窒反応の進み方が緩慢になる可能性を確認できた。

また、高度処理施設設計マニュアル案に示されている BOD-SS 負荷と脱窒速度定数との関係と本調査で得られたデータを図 22 に示したところ、本調査結果はマニュアル案よりも高い脱窒速度定数を示していることが分かった。なお、脱窒反応は総合的な有機物濃度の指標である BOD でなく、生物がより使いやすい溶解性有機物や呼吸速度により算出される有機物及び有機酸濃度との関係の方が脱窒反応を表現する指標として望ましい可能性がある。そこで、本実験だけでこれらの指標との関係を検討することはできないが、将来のために S-BOD 濃度と呼吸速度により算出される有機物濃度及び有機酸濃度の測定も行い、S-BOD—SS 負荷と脱窒速度の関係も図示した。

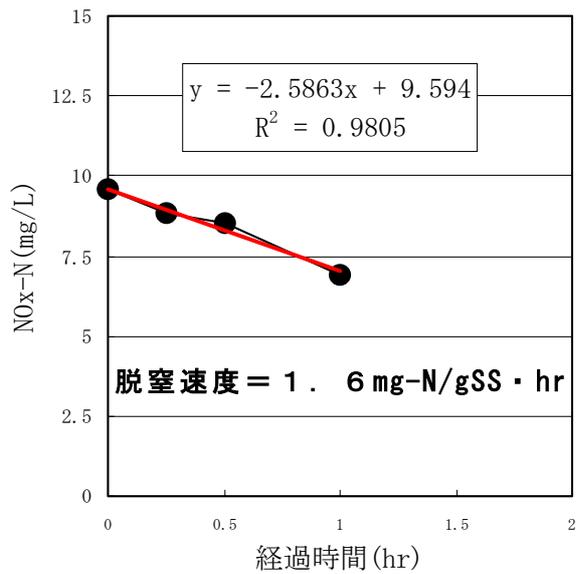


図 19 条件①

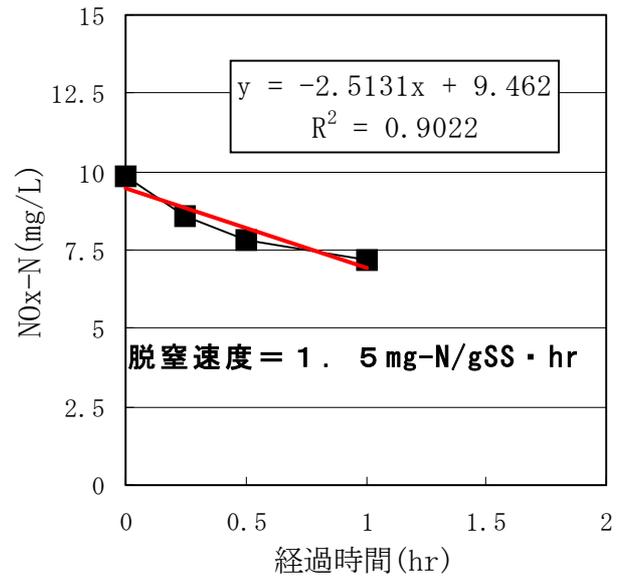


図 20 条件②

条件①：流入水、返送汚泥、循環水を実施設と同じ混合比で混合し、回分試験を実施する。この条件は、循環法を想定した条件となる。

条件②：流入水と返送汚泥を実施設と同じ混合比で混合し、実施設と同じ時間、嫌気処理を行った後、循環水と混合し、回分試験を実施する。①条件とは嫌気処理の有無が異なり、A20法を想定した条件となる。

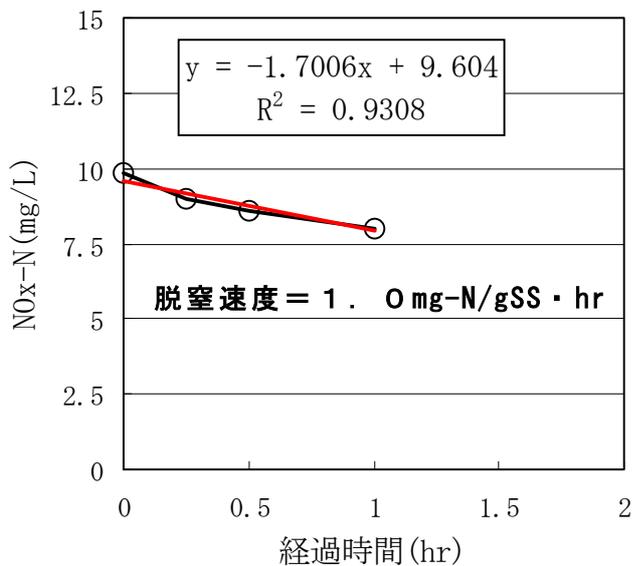


図 21 条件③

条件③：雑用水で希釈した流入水（希釈率 1.5 倍）と返送汚泥を実施設と同じ混合比で混合し、実施設と同じ時間、嫌気処理を行った後、循環水と混合し、回分試験を実施する。②条件とは流入水の有機物濃度が異なり、降雨時の A20 法を想定した条件となる。

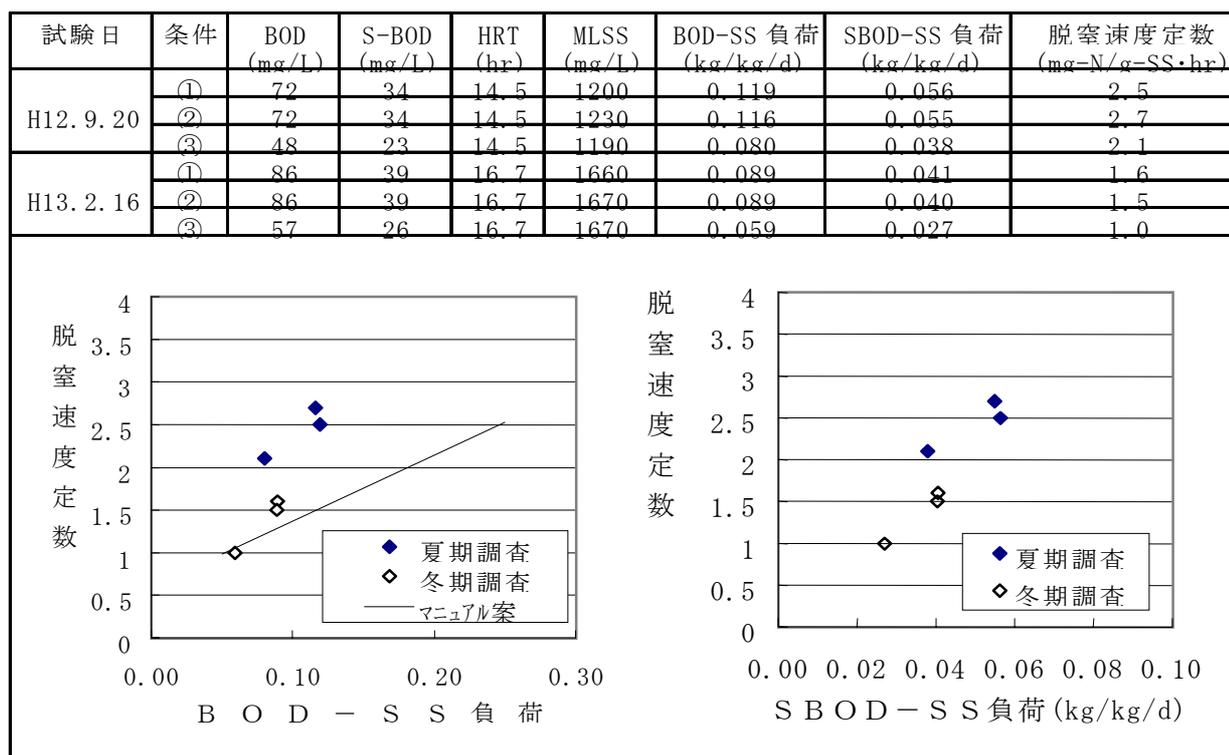


図 2 2 BOD-SS 負荷と脱窒速度

5 まとめ

本調査では、「高度処理施設設計マニュアル（案）」（高度処理会議）の改訂と東京都における高度処理対応施設建設の際の基礎資料として役立たせるため、中川処理場での嫌気無酸素好気法施設での精密水質調査及びデータ解析を行った。

各調査は、それ以前の運転・処理状況の影響を受けていることから、各調査前1ヶ月間の運転状況と処理状況を整理し、調査日の背景を把握した。

夏期調査と冬期調査においては、反応タンク流入水だけでなく、各反応槽の水質と終沈流出水の水質についても経時的で精密な調査を行っており、各単位反応プロセス（硝化反応、脱窒反応、リン摂取反応）ごとの把握を行うことができた。

また、反応タンク流入水の経時変動についても詳細な情報を得ることができ、将来行われる詳細な検討の基礎資料とすることができた。

なお、本調査で得られた嫌気無酸素好気法に関する詳細な基礎資料は、従来の統計的な手法に用いるだけでなく、IWA のタスクグループから提示されている活性汚泥モデル等を用いた手法に対しても活用することが望ましいと考えられる。

< 参考文献 >

- 1) 社団法人日本下水道協会 「高度処理施設設計マニュアル（案）」平成6年
- 2) 東京都 「東京都下水道事業年報」平成11年度
- 3) 東京都 「嫌気－無酸素－好気法運転管理マニュアル（案）」平成8年
- 4) 東京都 「施設計画基準（案）の解説」平成10年

大目次

目次

要旨

- 4 オゾン耐性膜による再生水製造システムの開発その3

研究担当者：計画調整部 技術開発課 曾根 啓一

上野 孝司

(現所属：流域下水道本部 技術部 施設管理課)

北村 清明

1. はじめに

再生水利用は、「下水道構想 2001」の中の施策として取り上げられたことからわかるように、当局の将来計画の中で大きく位置付けられている。事業の進め方のポイントとして「東京の貴重な水源として、下水再生水利用の拡大」「うるおいのある水環境の創出」が挙げられており、供給量、用途の拡大と水質の向上が望まれている一方、もう一つのポイントである「再生水供給に要するコストの縮減」も大きな課題である。

現在、再生水製造技術については二次処理水を砂ろ過するもの、砂ろ過後オゾン処理を行うもの、砂ろ過水を逆浸透膜ろ過するもの等が実施されている。しかしこれらの方法は、高品位な水質と低廉なコストの双方を満足するものではない。

従来よりも色度や臭気が少なく、最近問題となっている O-157 やクリプトスポリジウム等の衛生学的な安全性にも配慮した再生水製造システムとして、オゾン処理と膜処理を組み合わせた処理が検討されてきた。このシステムは、オゾンの殺菌、酸化力と膜による精密なる過で品質の高い水を供給できるが、膜の直前にオゾンを使うと膜がオゾンの酸化力に耐えられず劣化してしまうことから膜寿命が短くなること、またオゾンによる膜表面の防汚濁効果が期待されない条件下では従来以上に膜ろ過流束を上げることができずコストを押し上げること、などが実用化を阻んでいた。

近年、オゾンに耐性を持つフッ素系の中空糸膜が開発されたことから、この膜とオゾンとを組み合わせることにより安価で高品質な再生水を得られる可能性が生まれ出されてきた。そこで、オゾンとオゾン耐性膜、並びに生物膜ろ過を組み合わせ、色度、臭気が少なく、衛生学的に安全性の高い再生水を安価に製造するシステムを開発することとした。

本研究は、(財)造水促進センターと共同で平成 10～12 年度までの 3 年間行われたが、今回は最終年度である平成 12 年度実施分のうち、長期連続運転の結果を中心に報告する。

2. 調査

2.1 実験プラント

実験プラントは芝浦処理場内に設置した。実験プラントのフローを図-1に、主な機器の

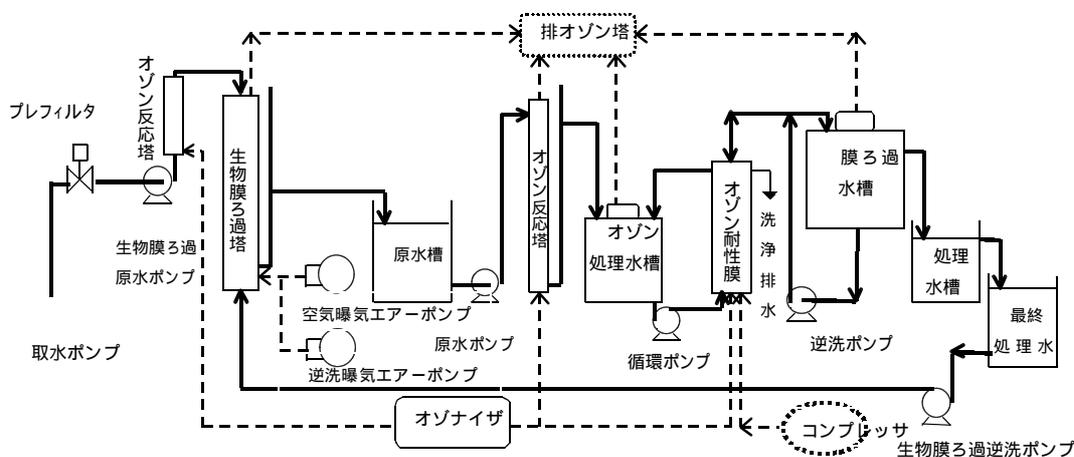


図-1 生物膜ろ過とオゾン耐性膜併用による実験フローシート

仕様を表 - 1 に示す。処理原水は、東系の第二沈殿池越流水を用いた。実験規模としては、最大処理水量 35m³/日、膜ろ過流束は 5m/日を目標とした。オゾン耐性膜のろ過方式としては、クロスフロー（循環方式）の外圧ろ過で行った。この方式は、全量ろ過方式に比べて動力費が必要なものの、ろ過時に膜表面への汚濁物の付着を抑制できるとともに、外圧式のためスクラビングによる洗浄も可能なことから流路閉塞の可能性が低い特徴を持っている。

2.2 オゾン耐性膜

従来の中空系膜は PAN（ポリアクリロニトリル）、酢酸セルロース等の汎用高分子を材質として用いて作られていた。これらの有機材料は加工性は良いものの、オゾンのような強力な酸化剤によって劣化して強度を失い、破断してしまう。今回検討した中空系膜は、フッ素系のポリビニリデンフルオライド（PVDF）を材料としている。膜の孔径は 0.1 μm の MF（精密ろ過）膜であり、モジュール 1 本当りのろ過面積が 5.37 m² のものを使用した。詳しい仕様を表 - 2 に示す。

2.3 システムの特徴

まずオゾンを微量注入した後、生物膜ろ過を行い、その後オゾン処理、精密膜ろ過を行うという平成 11 年度と同様の工程で長期運転を行った。

システムの狙いとしては以下の通りである。微量のオゾン注入（以下プレオゾンと略す）により二次処理水中の生物難分解性有機物を易分解性にし、生物膜ろ過によりアン

表 - 1 主な機器の仕様

No.	機器名	仕様
	原水槽	PE 製、200L
	オゾン処理水槽	SUS304 製、密閉型、100L
	膜ろ過水槽	SUS304 製、密閉型、100L
	処理水槽	PE 製、密閉型、500L
	最終処理水槽	PE 製、密閉型、100L
	取水ポンプ	2.4m ³ /h、0.75kW、揚程 30m
	原水ポンプ	1.2m ³ /h、0.66kW、揚程 49m
	循環ポンプ	5.4m ³ /h、0.77kW、揚程 38m
	逆洗ポンプ	5.4m ³ /h、0.77kW、揚程 38m
	オゾナイザ	PSA 式空冷、35g/h、1.1kW
	プレオゾン反応塔	塩ビ製(VP)、250mm、H5000mm
	オゾン反応塔	塩ビ製(VP)、350mm、H5000mm
	排オゾン塔	SUS316 製、400mm、H500mm(活性炭)
	プレフィルタ	自動逆洗式ストレナ、0.4kW
	オゾン耐性膜 (MF)	膜面積 5.37.m ² /本(3 個) 公称孔径 0.1 μm
	コンプレッサ	97L/分、0.75kW
	生物膜ろ過原水ポンプ	60L/min、0.46kW
	生物膜ろ過逆洗ポンプ	180L/min、1.28kW
	空気曝気エアープンプ	130L/min、0.75kW
	逆洗曝気エアープンプ	480L/min、1.5kW
A	生物膜ろ過塔	SUS 製、600mm 高さ 5000mm ろ材：アンスラサイト（粒径 3mm） ろ高：2000mm

表 - 2 オゾン耐性膜の仕様

種類		MF
ろ過方法		外圧ろ過
公称孔径		0.1μm
寸法	モジュール長	1126mm
	モジュール外径	89mm
有効膜面積		5.37m ² / モジュール
能力	初期純水透水性能	4.7m ³ /時at100kPa.25
使用条件	供給水圧力	200kPa以下
	洗浄水圧力	200kPa以下
部材材質	中空系材質	高結晶 PVDF
	ハウジング材質	硬質 PVC
	接着剤材質	シリコーン系

モニア性窒素とともに低減する。これにより、システムの総オゾン注入量を少なく抑えることができる。次にオゾンの強い酸化力で色度成分などの有機物質を分解すると同時に殺菌する。最後に残された濁質を精密膜ろ過で除去する。つまり、生物膜ろ過でアンモニア性窒素の酸化と有機物質の分解、オゾン処理で脱臭、脱色、殺菌を行い、精密膜ろ過で濁質を分離除去させるという、それぞれの工程の特徴を活かすことにより効率的に高品質の再生水を得ることを目的としたシステムである。

2.4 調査内容

2.4.1 長期運転のための膜モジュール及び運転条件の最適化

将来的な実用化のためには、長期連続運転が可能であり、メンテナンスが煩雑でないことが望まれる。そこで、目詰まりを起こさないようなモジュール内の中空系膜の最適充填率を求めるために、高濁質モデル液を用いて充填率を変えた場合の膜間差圧等を調べた。また、ろ過流束を維持するための膜表面の最適溶存オゾン濃度を求めるため、溶存オゾン濃度を变化させた場合の膜間差圧の挙動について検討した。

2.4.2 水処理性能の検討

長期連続運転期間中に安定した処理効果を発揮していることを確認するため、各水質項目の濃度等（BOD、COD、アンモニア性窒素、大腸菌群、色度、等）を月数回程度の頻度で調べた。これらは処理工程別にも調べているので、処理のメカニズムについても考察した。また、近年関心が高まっているクリプトスポリジウムや内分泌かく乱化学物質の処理効果についても検討した。

2.4.3 長期運転後の膜性能の確認

約5ヶ月間の長期連続運転を行っている間の膜間差圧の経時変化を調べ、システムの安定性を確認した。また、使用後の膜について物理的強度を調べ、膜の寿命の予測を行った。さらに、薬品洗浄による膜ろ過性能の回復効果を調べた。

2.4.4 他の処理場処理水に対するオゾン注入率の比較

原水水質の違いによるオゾン処理効果を調べるため、芝浦処理場以外に有明処理場、落合処理場、森ヶ崎処理場の計4処理場の原水（塩素処理前の二次処理水）を同日に採水して、必要な溶存オゾン濃度を得るためのオゾン注入率の違いを調査した。

2.4.5 フィージビリティスタディ

現在再生水製造システムとして実用化されている処理方式とオゾン耐性膜による再生水製造システムのコストを試算し、比較した。

3. 結果と考察

3.1 長期運転のための膜モジュール及び運転条件の最適化

モジュール内の中空系膜の充填率が高ければ高いほどモジュール当たりの処理水量は多くなり、効率のよいシステムとなる。しかし、充填しすぎると糸と糸との間に汚染物が蓄積して膜の目詰まりを生じるおそれがある。そこで、フミン酸とベントナイトの混合水溶液を高濁質モデル液として、中空系の充填率を24%、32%、40%とした場合の膜間差圧や濁質蓄積の変化を調べた。

実験開始約70時間経過後、モジュール内に濁質成分が残留する様子を観察すると、明らかに充填率40%の場合には濁質成分の蓄積が多く、32%、24%では蓄積は見られなかった。約550時間(23日間)経過後、充填率32%と24%では、膜間差圧、モジュール内の様子

に大きな差は見られなかった。したがって、膜目詰まりを抑制するための充填率としては32%程度が目安と考えられる。

膜処理システムの長期運転を行うと、所定のろ過流束を維持するために次第に膜間差圧が上昇してくる。本システムの場合、膜処理水側に溶存オゾンが残留するようにオゾンを膜流入水に注入し、膜の表面に付着する有機物を分解・除去することにより、膜間差圧の上昇を抑制し、ろ過流束を大きく保つことができるのが大きな特徴である。そこで、長期運転のための膜表面の溶存オゾン濃度の最適化を行った。

長期運転時と同じ膜ろ過流束 5m/日の場合に、膜表面の溶存オゾン濃度を変えた場合の膜間差圧の変化を図 - 2 に示す。まず、膜ろ過水の溶存オゾン濃度が 0.1mg/L になるよう

にオゾン注入率をコントロールし、膜ろ過を行ったところ、数時間で膜間差圧の急激な上昇が認められた。しかし、その後膜ろ過水の溶存オゾン濃度を 1.0mg/L にすると、膜間差圧はほぼ実験開始時の値まで回復し、運転を継続することができた。この操作を 2 回繰り返したところ、ほぼ同様の傾向が認められた。膜供給水の溶存オゾン濃度を 0.1mg/L に設定して膜間差圧を上昇させた後に膜ろ過水の溶存オゾンを 0.5mg/L にした場合には、膜間差圧が回復する

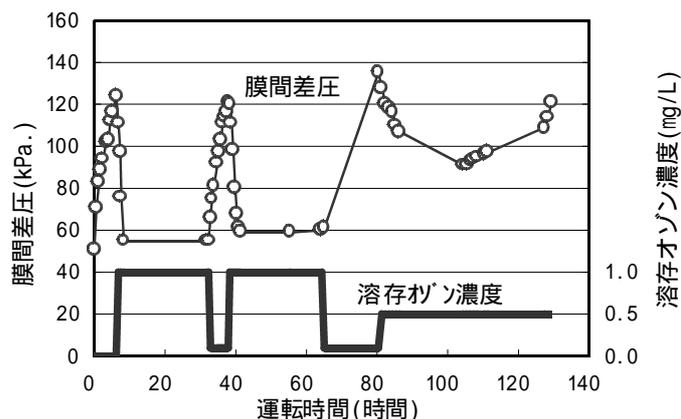


図 - 2 膜表面の溶存オゾン濃度の変化

傾向は認められるが、実験開始時の値までは回復せず、その後、徐々に上昇する傾向が見られた。以上の結果、膜ろ過流束 5m/日で膜間差圧の上昇を抑制するためには、膜ろ過水の溶存オゾン濃度を 1.0mg/L にする必要があると判断した。

3.2 水処理性能の検討

(1) 処理工程別各水質項目

表 - 3 に示すような条件でオゾン耐性膜による再生水製造システムの長期連続運転(約 5ヶ月)を行った。この間の各処理工程別(原水、プレオゾン、生物膜、オゾン処理、オゾン耐性膜)の各水質項目の測定結果について平均値(n=19)と範囲を表 - 4 に示した。

この表よりわかるよう

に、BOD、COD、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素のように、酸化により低減が可能な項目、及び、一般細菌や大腸菌群のように殺菌により除去が可能な項目が、予想通り低減、あるいは完全に除去されており、オゾンの殺菌・酸化効果と、生物の酸化作用が効率的に発揮されているシステムであることがわかる。また、表には示さなかったが、原水には臭気強度(TON)が 10 程度の下水臭があったが、処理水では無臭となっている。一方、全

表 - 3 長期連続運転条件

<ul style="list-style-type: none"> ・生物膜ろ過 LV 80m/日 処理水量 28.8 m³/日 600 × 5000 アンスラサイト(層厚 2000mm) ・オゾン耐性膜 膜ろ過流束 5m/日 処理水量 26.9 m³/日 膜モジュール 径3インチ×L1m、膜面積 5.37m²、充填率 24% 運転条件 ろ過15分 洗浄90秒：逆洗+スクラビング(30秒) 強制排出(60秒) ・オゾン注入率 膜ろ過水の溶存オゾンが1.0mg/Lになるように自動制御

表 - 4 処理工程別処理後水質

数値は平均値、()内は範囲

項目	原水	プレオゾン	生物膜	オゾン	オゾン耐性膜
T-BOD (mg/L)	16 (1.8 ~ 36)	15 (2.6 ~ 25)	4.4 (0.7 ~ 11)	2.3 (1.7 ~ 2.7)	2.1 (1.4 ~ 3.0)
ATU-BOD (mg/L)	3.0 (1.3 ~ 5.7)	2.8 (1.9 ~ 4.8)	1.2 (<0.5 ~ 1.7)	2.2 (1.6 ~ 2.7)	2.1 (1.3 ~ 2.6)
COD (mg/L)	11 (8.2 ~ 12)	9.3 (6.8 ~ 11)	8.2 (6.1 ~ 9.8)	5.9 (3.3 ~ 6.9)	5.7 (4.2 ~ 6.9)
TOC (mg/L)	7.1 (4.4 ~ 9.5)	6.9 (4.4 ~ 8.1)	5.8 (3.9 ~ 6.6)	5.5 (3.9 ~ 6.2)	5.2 (3.4 ~ 6.0)
一般細菌 (CFU/mL)	4.4E+04 (4.5E+03 ~ 2.0E+05)	1.1E+04 (1.1E+02 ~ 4.6E+04)	2.6E+03 (2.6E+02 ~ 6.1E+03)	0	0
大腸菌群 (CFU/100mL)	1.8E+05 (4.0E+04 ~ 6.7E+05)	7.1E+04 (1.0E+02 ~ 4.1E+05)	1.5E+04 (5.0E+02 ~ 2.3E+05)	0	0
糞便性大腸菌群 (CFU/100mL)	6.5E+04 (9.5E+03 ~ 2.2E+05)	3.6E+04 (1.0E+02 ~ 3.1E+05)	1.2E+03 (1.9E+02 ~ 5.5E+03)	0	0
アンモニア性窒素 (mg/L)	10.8 (0.09 ~ 20.6)	10.5 (0.09 ~ 20.3)	2.97 (<0.03 ~ 6.68)	3.34 (<0.03 ~ 6.14)	3.55 (<0.03 ~ 7.12)
亜硝酸性窒素 (mg/L)	1.66 (<0.03 ~ 4.12)	0.84 (<0.03 ~ 3.12)	0.44 (<0.03 ~ 0.94)	<0.03	<0.03
硝酸性窒素 (mg/L)	4.9 (0.5 ~ 13.3)	6.0 (1.2 ~ 14.2)	14.7 (8.4 ~ 18.1)	16.3 (8.9 ~ 19.3)	16.3 (8.9 ~ 19.4)
総マンガン (mg/L)	0.057 (0.021 ~ 0.110)	0.054 (0.021 ~ 0.110)	0.032 (0.012 ~ 0.051)	0.036 (0.021 ~ 0.054)	0.019 (<0.005 ~ 0.058)
総鉄 (mg/L)	0.08 (0.04 ~ 0.15)	0.07 (0.04 ~ 0.14)	0.07 (0.03 ~ 0.10)	0.07 (0.04 ~ 0.11)	0.05 (<0.01 ~ 0.09)
全窒素 (mg/L)	19.0 (8.3 ~ 24.7)	18.8 (8.4 ~ 24.1)	19.2 (8.8 ~ 24.3)	19.9 (9.3 ~ 25.5)	20.0 (9.2 ~ 24.8)
全リン (mg/L)	0.24 (0.09 ~ 0.77)	0.24 (0.09 ~ 0.78)	0.24 (0.12 ~ 0.69)	0.24 (0.12 ~ 0.69)	0.23 (0.11 ~ 0.62)
E260	0.131 (0.081 ~ 0.154)	0.110 (0.075 ~ 0.134)	0.100 (0.067 ~ 0.120)	0.036 (0.021 ~ 0.046)	0.035 (0.020 ~ 0.044)
色度 (度)	31 (20 ~ 37)	17 (6 ~ 23)	17 (6 ~ 23)	8 (3 ~ 10)	1

窒素、全りんのように、全工程においてほとんど濃度が変化しない項目もある。

処理工程別に見ると、生物ろ過膜までの工程で大幅に低減している項目は T-BOD、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素である。これのうちアンモニア性窒素以外はオゾンによっても低減可能な項目であるが、生物の作用により酸化・低減することにより、オゾンの総注入量を抑制することができる。逆にオゾン処理とオゾン耐性膜で大幅に低減しているのは一般細菌、大腸菌群（糞便性含む）、色度である。細菌類はオゾン処理により完全に殺菌されており、さらに後段の膜処理と合わせ、二重に衛生学的安全性が保たれている。

(2) オゾンによる色度成分の凝集効果

このシステムにより、原水では 30 度程度あった色度は、オゾン処理後の段階で平均で 8 度まで低減されており、オゾン耐性膜で処理することにより長期運転期間中全ての測定においてさらに 1 度にまで低減されている。これは、色度成分の中にはオゾン酸化により脱色を受けるものに加えて、オゾンにより脱色されない粒子状で存在する成分が含まれていることが考えられた。この色度低減の原理を追求すべく、原水中の懸濁物を 0.01 μ m の

膜で除去した後にオゾンを入力した場合のオゾン注入率による色度、溶存オゾン濃度変化を検討した。

原水中の懸濁物質を孔径 $0.01 \mu\text{m}$ の膜でろ過し、そのろ過水にオゾンを入力し、オゾン注入率による色度の変化および各々の $0.1 \mu\text{m}$ 、 $0.2 \mu\text{m}$ フィルターによるろ液の色度を測定した。実験は、本実験装置とは別に小型のオゾン反応装置を作成し、室内にて行った。結果を図 - 3 に示す。

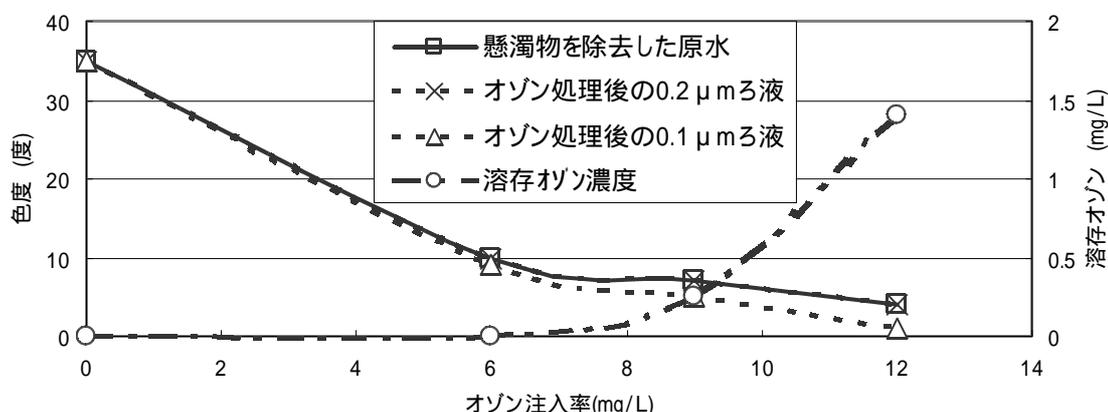


図 - 3 オゾンによる色度成分の凝集効果

オゾン注入率に対する色度変化は、溶存オゾンが検出されるオゾン注入率である 6mg/l まで急激に減少し、その後ゆるやかに減少した。しかし、オゾン注入率 12mg/L で溶存オゾンが 1mg/L 以上と十分存在する条件でも、色度は 4 度までしか処理されない。その処理水を $0.2 \mu\text{m}$ フィルターでろ過した液の色度は、原水と同じ 4 度であった。一方、 $0.1 \mu\text{m}$ フィルターのろ液中の色度は、オゾン注入率の上昇に伴い対象水との差が広がり、オゾン注入率 12mg/L で 1 度まで処理されている。このように、色度成分が $0.2 \mu\text{m}$ のフィルターは通過し、 $0.1 \mu\text{m}$ のフィルターでは除去されることから、色度低減に関しては、オゾン処理による凝集効果により溶解性の色度成分の一部が $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 程度の大きさに粒状化し、それらが孔径 $0.1 \mu\text{m}$ のオゾン耐性膜により除去されたものと考えられる。水質項目としては表 - 4 でオゾン処理後とオゾン耐性膜処理後の濃度に違いがある項目が色度成分に関係すると考えられ、鉄やマンガン等の金属化合物、及び有機化合物の一部が除去された色度成分に含まれると考えられる。

(3) 原虫、内分泌かく乱化学物質低減効果の検討

原虫除去効果の確認として、クリプトスポリジウムについて除去効果を検討した。クリプトスポリジウムの測定は、ろ過濃縮 蛍光抗体染色 (DAPI/PI) 法によった。結果を表 - 5 に示す。この表よりわかるように、オゾン耐性膜でろ過することによりクリプトスポリジウムの存在は認められなくなった。すなわち一般細菌、大腸菌群等の細菌類、クリプトスポリジウム等の原虫についてオゾン処理と膜処理の二重のバリアで完全に除去されていることが確認され、衛生的にも安全な水質が実証された。

表 - 5 クリプトスポリジウムの測定結果

Run	原水	膜ろ過水
1	11個/10L	0個/20L
2	32個/10L	0個/20L

内分泌かく乱化学物質(ヒト由来ホルモン含む)の濃度を測定した結果を表 - 6 に示す。いずれの物質もオゾン処理で定量下限以下の値となり、その後の膜ろ過でも変化は見られなかった。なお、いくつかの物質についてはプレオゾン処理や生物膜ろ過で濃度が増加

項目	原水	プレオゾン処理水	生物膜ろ過水	オゾン処理水	膜ろ過水
4-t-オクチルフェノール	0.06	0.11	0.02	0.01	<0.01
2,4-ジクロロフェノール	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
ノルフェノール	0.4	0.4	0.2	<0.1	<0.1
ビスフェノールA	0.06	0.14	0.76	<0.01	<0.01
17-β-エストラジオール	0.005	0.0026	0.0008	<0.0006	<0.0006

しているが、これは配管や水槽の材質として使用しているポリ塩化ビニルから溶出したものと考えられる。

3.3 長期運転後の膜性能の確認

(1) 膜間差圧の経時変化

表 - 3 に示した条件で長期連続運転を行ったが、この間の膜間差圧の経時変化を図 - 4 に示す。膜間差圧は全体的に徐々に上昇する傾向であり、週明けや降雨時の翌日等の原水水質が比較的良好な場合には回復する傾向が見られた。運転開始から約 3,800 時間経過した時点で膜間差圧は約 120kPa 程度であり、約 5 ヶ月間薬品洗浄を行わずに安定した運転が継続できた。

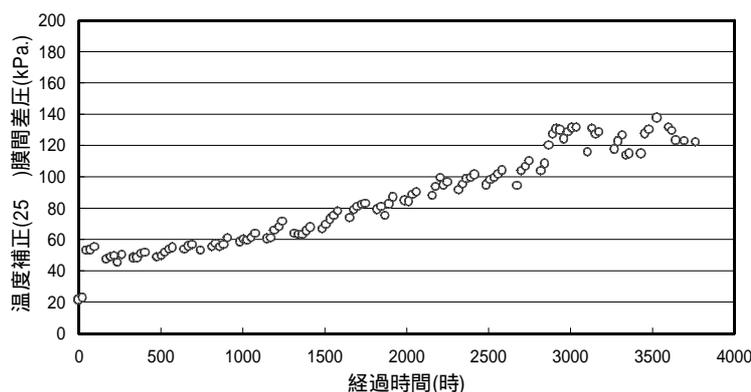


図 - 4 長期運転時の膜間差圧(25℃換算)の経時変化

(2) 使用済み膜の物理的強度の試験

連続実験で 5 ヶ月間使用した膜モジュールの中空系の引張伸度を測定し、物理的強度の変化を調査した。循環側、循環反対側の各々 10 サンプルについて測定した結果、膜の劣化の顕著な指標となる伸度保持率は平均で循環水出口近傍のサンプルが 79%、循環水出口の反対側のサンプルが 84%と、中空系の限界伸度保持率 10%に比べて高い値を保持していた。

(3) 伸度保持率から見た膜の寿命の予測

PVDF 製の中空系に関して、オゾンによる劣化からみた膜寿命の予測を試みた。まず、オゾン濃度 35mg/L の水溶液に膜単系を浸漬させて、経過時間ごとに伸度保持率を測定する加速試験を実施した。結果を図 - 5 に示す。累積オゾン注入量 300mg/L × 日程度までは、伸度保持率は低下傾向が認められる。しかし、その後の低下は緩やかであり、60 数%で安定し、オゾン濃度 1mg/L に換算した場合の 5 年経過でもほぼ同程度の伸度保持率を

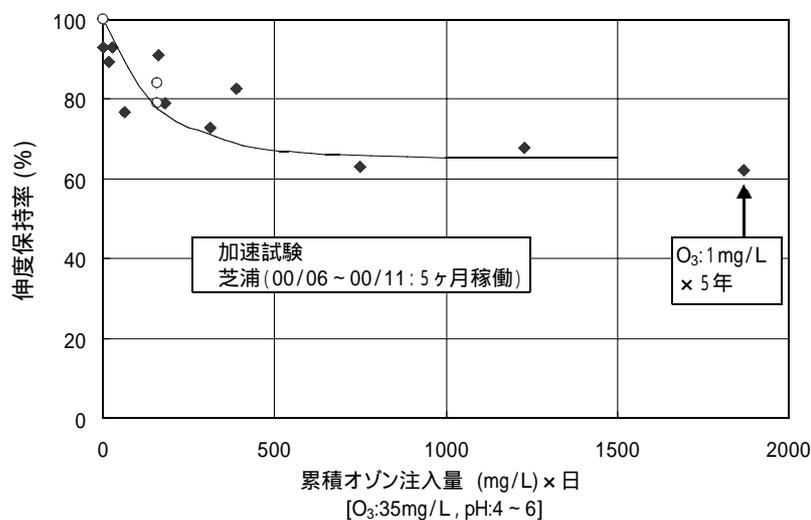


図 - 5 オゾンによる耐久試験結果

維持していることが分かる。

本実験に使用した膜についての累積オゾン量と伸度保持率をあわせて示した。加速試験結果に比べて、高い伸度保持率を維持している。加速試験は高オゾン濃度での苛酷な条件であり、やや低めの結果となっているものと考えられる。

今後、本実験のようなオゾン使用条件で運転した場合、5年程度は十分な伸度保持率を保持できるものと推察される。

(4) 薬品洗浄による膜ろ過性能回復効果

約5ヶ月間運転を行った膜について薬品洗浄を実施した。洗浄薬品として次亜塩素酸ソーダ(100mg/L) + 苛性ソーダ(0.04%)の混合薬品と0.2%のシュウ酸の2種類を用いた。薬品洗浄による膜ろ過性能回復効果は以下の手順により検証した。

- ・薬品洗浄前に、水道水を膜流束5m³/日で流し、膜間差圧を記録した。
- ・12Lの薬品を使用し、8L/minの流量で30分間循環洗浄後、30分間浸漬した。
- ・薬品を排出した後に、12Lの水道水を使用し、8L/minの流量で5分間循環洗浄(リンス)を行った。この作業を2回繰り返した。
- ・薬品洗浄後に、水道水を膜流束5m³/日で流し、膜間差圧を記録した。

洗浄前の膜間差圧は97kPaであったが、まず次亜+苛性ソーダの混合薬品で洗浄を行ったところ、膜間差圧は73kPaまで回復した。使用前の膜に水道水を膜流束5m³/日で流した場合の膜間差圧は36kPaであったので、この薬品洗浄により膜間差圧は39%回復したことになる。続いてシュウ酸で洗浄を行ったところ、膜間差圧は36kPaまで、つまり使用前の膜間差圧まで回復した。従って、この方法で長期運転後の膜の洗浄を行うことにより、再び長期運転に使用できると考えられる。

3.4 他の処理場処理水に対するオゾン注入率の比較

比較に用いた4処理場の二次処理水の採水時の水質を表-7に示す。長期連続運転の原水として用いた芝浦処理場の二次処理水は、他の3処理場と比較するとBODや亜硝酸性窒素の濃度が高かった。

表-7 原水水質の比較

項目 処理場	BOD mg/L	COD mg/L	色度 度	NO ₂ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	NH ₄ -N mg/L
芝浦	31	11.4	35	2.03	1.47	18.10
有明	4.3	10.2	33	0.07	9.26	0.07
落合	2.3	7.9	18	0.06	7.15	0.13
森ヶ崎	2.8	7	15	0.33	8.61	0.46

実験は、色度成分の凝集効果の検討に用いた小型のオゾン反応装置を使用して行った。

膜表面の溶存オゾン濃度を長期連続運転に必要な1.0mg/Lにするためのオゾン

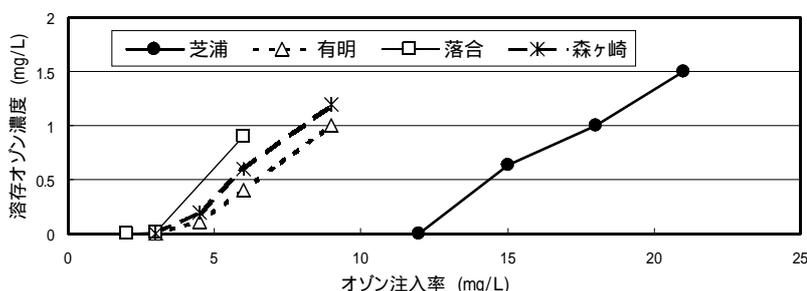


図-6 オゾン注入率による溶存オゾンの変化

注入率を検討したところ、図6に示すように他3処理場では6~9mg/Lであるのに対し、芝浦処理場二次処理水では18mg/Lのオゾン注入率が必要であった。これはオゾンが亜硝酸性窒素や一部の有機物の酸化に消費されてしまうことが主な原因と考えられる。本システムではオゾン処理の前段に生物膜ろ過装置を設けており、既に表-4に示したようにこの工程で亜硝酸性窒素やBODを大幅に低減しているため、このような原水の特性に問わずオゾン注入率の低減が可能なシステムとなっている。

3.5 フィービリティスタディ

本システムと、比較対象として「砂ろ過+オゾン」及び「MF膜+逆浸透膜」の場合についてコスト試算を行った。

本システムの試算結果を表-8に示す。処理水量 3,000 m³/日で 52.6 円/m³となった。一方、「砂ろ過+オゾン」システムの場合には、40.5 円/m³、「MF膜+逆浸透膜」

表-8 本システムと他のシステムのコスト試算(処理水量:3000m³/日)

	本システム	砂ろ過+オゾン	MF膜+RO膜
建設費(千円)	500,000	410,000	1,100,000
償却費(円/m ³) ・耐用年数20年 ・利率2.5%	26.4	21.6	58.0
維持管理費(円/m ³) [内訳]	26.2	18.9	70.0
電気代 ・14 円/kwh	(5.82)	(4.0)	(20.9)
膜又は砂の交換費 ・5年毎	(4.73)	} (0.4)	(23.5)
膜洗浄費又は砂補充費	(0.01)		(3.3)
人件費 ・専任者1名	(10.0)	(10.0)	(10.0)
点検補修費 ・工事費・経費を除いた 建設費の1.5%/年	(5.58)	(4.5)	(12.3)
償却費+維持管理費	52.6	40.5	128.0

システムでは 128.0 円/m³となった。従って、本システムは「砂ろ過+オゾン」システムと比較するとやや割高であるが、色度の低減効果のように「砂ろ過+オゾン」システムには見られない処理効果があり、最終工程で MF 膜で処理していることにより「砂ろ過+オゾン」システムより高品質の再生水が得られることから、より広いニーズに対して再生水を安価で供給できるシステムであると考えられる。

4.まとめ

低廉かつ安全で高品位な再利用水を得るための再利用水製造システムの開発を目的に、プレオゾン、生物膜ろ過、オゾン、オゾン耐性を有する有機性の MF 膜から構成されるシステムの検証を行ってきた。本報告では主に長期連続運転の結果についてまとめた。

長期連続運転を行うためには目詰まりを防ぎ、膜間差圧を少なく保つ必要があり、そのための条件を検討したところ、モジュール内の中空糸膜の充填率は 32%程度が目安と考えられること、膜ろ過流束 5m³/日で膜間差圧を抑制するためには膜ろ過水の溶存オゾン濃度を 1.0mg/L にする必要があり、がわかった。

約 5 ヶ月の連続運転を行って、その期間の処理水の各水質項目を調査した結果、平均除去率として、BOD が 87%、アンモニア性窒素が 67%等、酸化作用により処理される物質の濃度は大幅に低減していた。また、大腸菌群などの細菌類や原虫であるクリプトスポリジウムは全く観測されず、測定した数種類の内分泌かく乱化学物質は定量下限以下であり、色度は 1 度まで低減されていた。処理工程別に見ると、プレオゾン処理で有機成分の一部を分解し、生物膜ろ過処理で易酸化性物質を低減することで、後段のオゾン耐性膜に対する負荷の低減、オゾン注入率の低減の役割を果たしている。オゾン処理ではオゾンの極めて強い酸化力で脱色、脱臭、殺菌を行い、膜表面に溶存オゾンが存在させることで膜ろ過流束を維持して、膜の長期安定運転を可能としている。オゾン耐性膜ろ過処理は、濁質の除去、凝集された残存色度成分の除去、原虫や細菌類を完全に除去する役割を有している。これらの処理プロセスが組み合わされることにより、良好な水質が得られ、再生水製造に大きな効果がある。

約 5 ヶ月の長期連続運転期間中の膜間差圧は最高で 140kPa 程度であり、薬品洗浄を行

うことなく、安定した運転を行うことができた。使用後の膜の物理的強度として、伸度保持率が 80%程度と高い水準を維持しており、オゾンに浸漬した加速試験の結果から、5 年経過後でも同程度の物理的強度を有すると推定された。また、使用済みの膜について 2 種類の薬品で洗浄を行うことにより、使用前の膜間差圧まで回復できたことから、再び長期運転に使用できるものと考えられる。

さらに、コスト面でも、従来の「砂ろ過+オゾン」システムに近い低コストになることが試算された。

以上のように、オゾン耐性膜による再生水製造システムは、低コストで衛生的に安全で良好な水質である再生水を製造できるシステムであることがわかった。

[大目次](#)[目次](#)[要旨](#)

- 5 効率的な汚泥濃度計の開発

計画調整部 技術開発課

杉山 佳孝, 宮澤 裕三(現:清瀬処理場)

1. はじめに

下水道施設には、下水処理の効率的かつ経済的な運転を目的として、従来より各種水質計器が利用されている。この中で、汚泥濃度計は、水処理から汚泥処理までの各プロセスの管理に必要不可欠な機器として導入されている。汚泥濃度計は測定原理別により、超音波式、マイクロ波式、近赤外光式及び乾燥重量式等の測定方式に分けられる。これらの方式による汚泥濃度計は、精度は高いが高価で保守頻度の高い機種、保守頻度は低いが精度や再現性に乏しい機種、あるいは測定対象となる汚泥の種類によって制約を受ける機種などそれぞれ一長一短がある。このため、水処理や汚泥処理の各プロセスに組み込まれているものの、積極的に制御に使用されているものが少ないのが現状である。

一方、効率的でかつ安定的な汚泥処理を行うため、南部スラッジプラント、東部スラッジプラント等、汚泥処理施設の集約化が進められており、汚泥の長距離輸送が行われるようになってきている。この長距離輸送された汚泥は、時間経過と共に腐敗等による性状変化が生じ、濃度測定を一層困難なものとしている。

そこで、本研究では、従来の測定方式とは異なる、レーザーの反射光方式に着目した。レーザーは、単色光で指向性の極めて強い光であり、被測定物質に照射した時の反射効率が高い。この特長を活用し、レーザー反射光方式の下水汚泥への適応性について研究開発を行った。

本共同研究は、平成 12 年度より開始し、平成 13 年度まで実施する予定である。平成 12 年度では、レーザー光式汚泥濃度計に関する各種の基礎調査を実施したので、報告する。

2. 概要

2.1 目的

汚泥の性状に影響を受けず、維持管理が容易で、測定精度が高く、かつ廉価な汚泥濃度計を開発することを目的とした。

2.2 研究内容

- (1)各種汚泥の性状及び適用に関わる基礎データの収集
- (2)センサー部の検討・開発
- (3)計測システムの検討・開発
- (4)試作品の開発とフィールドテストによる性能評価
- (5)各種汚泥への適用調査

2.3 研究期間

平成 12 年 5 月 31 日～平成 14 年 3 月 28 日

2.4 試験場所

- (1)森ヶ崎水処理センター汚泥処理工場
- (2)南部スラッジプラント

3. レーザ光式汚泥濃度計の測定原理

3.1 開発に対する基本的な考え方

本研究では、従来方式とは異なるレーザー光の透過方式、反射方式及び散乱方式並びにこれらの組み合わせを含めて、汚泥濃度計へ適用の可能性について検討を行った。

このレーザー光を用いた機器は、バイオ関係で培養中の菌体濃度、増殖速度の測定、制御等に使用されている。本レーザー光を下水汚泥に適用するに当たり、汚泥の種類、性状、色などについてどのような挙動を示すか基本的な部分を含めて十分に検証する必要がある。また、レーザー光が汚泥に含まれる気泡、導電率などの影響などについても併せて検討する必要がある。

効率的汚泥濃度計を開発するにあたり、その開発目標である高濃度の汚泥濃度までを計測可能とすることを考慮した結果、レーザーを光源とした、反射方式を採用するが最も好ましいと判断した。

このレーザー光を用いた方式は、他の方式、例えば白熱電球、He-Neレーザー、LEDなどと比較して安定度が高いと考えられ、本研究にて適用が確認され、汚泥濃度計として完成した場合は、下水処理場全般に適用可能となり、濃度管理による効率的且つ経済的運転が期待できる。

3.2 レーザの特長

レーザーは、出力光の位相及び周波数が同一な光であるため、指向性の鋭い平行光であるとともに、スペクトル幅の極めて狭い単色光でもある。レーザーは、発光媒体により数種類に分類されるが、このうち半導体レーザーは、小型でエネルギー変換効率が高く、長寿命であるという特長がある。このことから、半導体レーザーを応用した濃度計が開発され、食品や化学工業等に用いられてきている。この濃度計は、濃度測定範囲が広い、精度が優れている、被測定物の色、導電率、pH等の影響を受けにくい、

気泡の影響を受けにくい、価格が安価であるという特長を持っている。

3.3 測定原理及び構成

基本的な測定原理を図1に示す。レーザー光を被測定物質である汚泥に照射すると、汚泥粒子に当たったレーザー光は反射する。この反射光を受光素子が受光し、光信号から電気信号に変換する。受光量は汚泥粒子の数量と相関を持つため、変換された電気信号の出力値により汚泥濃度の計測が可能となる。

汚泥粒子が少ない場合（濃度が薄い場合）は、レーザー光は透過量が多くなり、反対に反射光は少くなり、受光素子の電

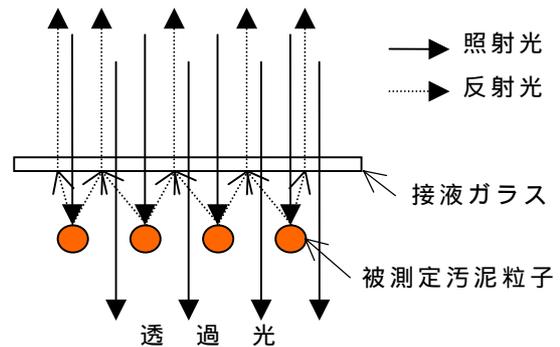


図1 測定原理

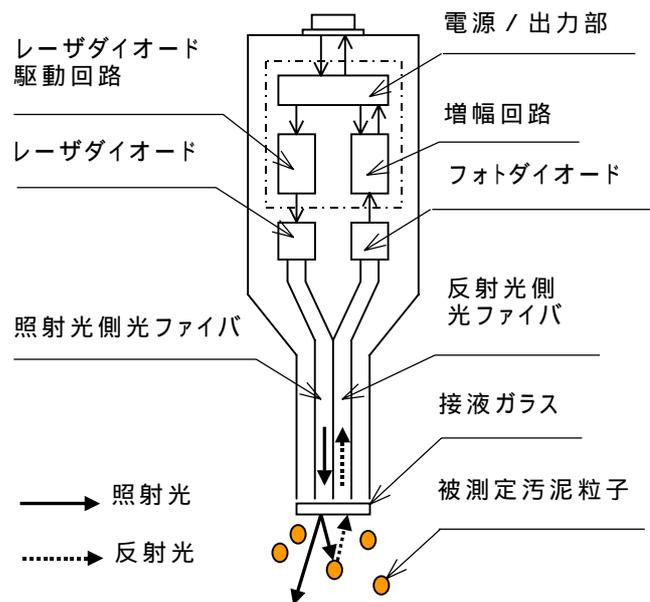


図2 センサー部構成

気信号は低くなる。

また、汚泥粒子が多い場合(汚泥濃度が濃い場合)は、反射光が多くなり透過光は少く、受光素子の電気信号は高くなる。汚泥粒子の数量に比例して電気信号が得られることを応用して濃度値として表示することができる。

汚泥粒子の色または明るさにより、反射光が変化し(特に明るさに影響が大きい)、汚泥粒子の形状や大きさによっても反射光が変化するため、センサー感度の選択が必要になる。

図2にセンサー部の構成を示す。

3.4 レーザダイオードの採用

レーザダイオードは、他の光線と比較して、小型で光源の強度が非常に強く、光の波長が単色光である。波長による選択性が高いので、再現性がよく、寿命が長いという利点を持っている。

レーザダイオードの特長を他の光源の比較を表1に示す。

表1 レーザダイオードの特長

項目	レーザダイオード	Ne-He レーザ	白熱電球	LED
発光強度	大	大	小	中
大きさ	小型	大型	大型	小型
発熱量	小	中	非常に大	小
光波長(波長幅 nm)	単波長 ±10	単波長 ±50	350 ~ 1000	±100
動作周波数	DC ~ 100MHz	DC ~ 10KHz	DC	DC ~ 2 KHz
パルス動作	最良	可能	不可	可能
光源面積	1 mm	2 mm	360 度	5 mm
安定するまでの時間	3 分	2 0 分	6 0 分	3 分
寿命	50000h	5000h	1000h	50000h
価格	廉価	高価	中程度	廉価

4. 疑似汚泥を用いた出力試験

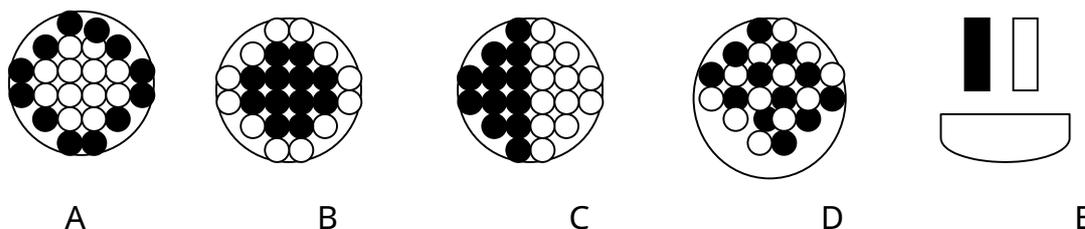
4.1 目的

前節で述べたレーザ光による汚泥濃度測定原理に基づき、レーザ光の受発光部の形状及び直径が異なる試作器を製作するとともに、焦点距離が異なるレンズを組み合わせて、それぞれについて、疑似汚泥を用いた出力試験を行い、実汚泥による出力試験に用いるセンサーの最適な組み合わせを決定することを目的とした。

4.2 各種試作器の検討

4.2.1 受発光部の形状

レーザの受発光部は、図3に示した5タイプを製作した。また、受発光部の直径は、各タイプ毎に5mm、10mm、20mmを製作した。タイプ毎に製作した直径は表2に示す。



白色部はレーザ発光部、黒色部分はレーザ受光部

図3 レーザ受発光部

図3に示した各形状は表2のように名称を付けた。

4.2.2 受発光部仕様

受発光部の先端は、反射光を効果的に集光するためのレンズと平板ガラスの2種類を用意した。

レンズは平凸レンズを用い、受発光部の直径に応じて、焦点距離が10~150mmの

異なるレンズを準備した。受発光部の直径と焦点距離の組み合わせを表3に示す。

平板は、外形10mm、板厚1mmのものを準備した。

表2 レーザ受発光部の名称

記号	名 称	受発光部直径
A	二重丸タイプ(中心光)	5mm、10mm
B	二重丸タイプ(外円光)	5mm、10mm
C	半丸タイプ	5mm、10mm
D	ランダムタイプ	5mm、10mm
E	2穴タイプ	20mm

表3 受発光部の直径と焦点距離の組合せ

外形 mm	焦点距離(mm)					平板 1mm
	10	20	30	80	150	
5			-	-	-	-
10	-		-		-	
20	-	-				-

注:「-」印の組み合わせについて試験を行い、「-」については実用性を判断し実施しないことにした

4.2.3 試作器の形状、直径、レンズの組合せ

前述の形状、直径及び先端部の仕様より、試験に用いた組み合わせを表4に示す。

なお、センサー出力はすべて5mWである。

表4 組合せ表

	呼 称	受発光部の形状	先端外径	レンズ焦点距離、平板厚さ
1	A - 5 - 10	二重丸(中心光)	5mm	焦点距離 10mm
2	A - 5 - 20	二重丸(中心光)	5mm	焦点距離 20mm
3	A - 10 - 20	二重丸(中心光)	10mm	焦点距離 20mm
4	A - 10 - 80	二重丸(中心光)	10mm	焦点距離 80mm
5	A - 10 - 1	二重丸(中心光)	10mm	平板厚さ 1mm
6	B - 5 - 10	二重丸(外円光)	5mm	焦点距離 10mm
7	B - 5 - 20	二重丸(外円光)	5mm	焦点距離 20mm
8	B - 10 - 20	二重丸(外円光)	10mm	焦点距離 20mm
9	B - 10 - 80	二重丸(外円光)	10mm	焦点距離 80mm
10	B - 10 - 1	二重丸(外円光)	10mm	平板厚さ 1mm
11	C - 5 - 10	半丸	5mm	焦点距離 10mm
12	C - 5 - 20	半丸	5mm	焦点距離 20mm
13	C - 10 - 20	半丸	10mm	焦点距離 20mm
14	C - 10 - 80	半丸	10mm	焦点距離 80mm
15	C - 10 - 1	半丸	10mm	平板厚さ 1mm
16	D - 5 - 10	ランダム	5mm	焦点距離 10mm
17	D - 5 - 20	ランダム	5mm	焦点距離 20mm
18	D - 10 - 20	ランダム	10mm	焦点距離 20mm
19	D - 10 - 80	ランダム	10mm	焦点距離 80mm
20	D - 10 - 1	ランダム	10mm	平板厚さ 1mm
21	E - 20 - 30	二穴	20mm	焦点距離 30mm
22	E - 20 - 80	二穴	20mm	焦点距離 80mm
23	E - 20 - 150	二穴	20mm	焦点距離 150mm

4.3 試験方法

異なるタイプの各種試作器を用い、イースト菌を擬似汚泥として試験を行った。試験はまず、試料液のイースト菌濃度が20%となるように調整した。この20%は、レーザ光の測定可能な最大濃度より定めた。次に、この試料液を水道水で希釈することにより、10%、5%、2.5%、1.25%、0.63%、0.31%の異なる濃度の試料液を調整し、この各試料液の入った容器に試作器のセンサプローブ部を入れ、出力電圧値を計測した。各々の試料液の実濃度は、蒸発乾燥することにより求めた。

試験装置フローを図4に示す。

4.4 試験結果

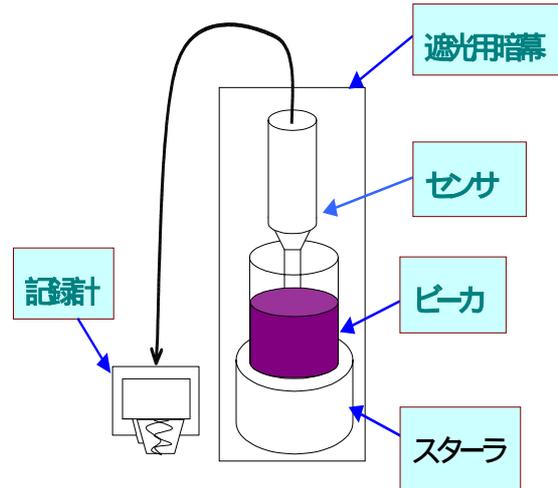


図4 試験装置フロー

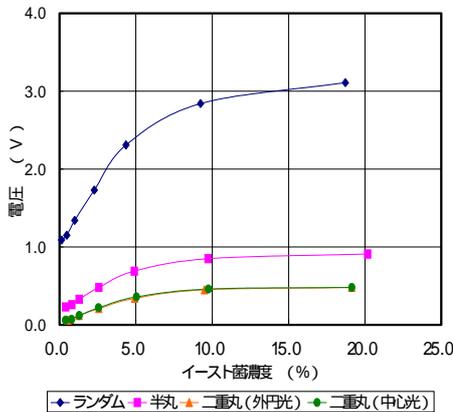


図5 外径5mm、焦点距離10mmのセンサー形状別擬似汚泥濃度試験結果

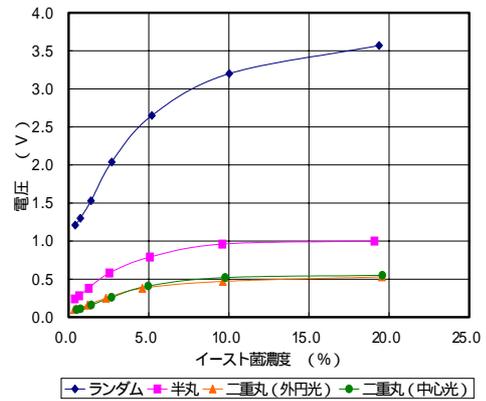


図6 外径10mm、焦点距離20mmのセンサー形状別擬似汚泥濃度試験結果

各種タイプの試作器による測定結果の主なものを図5・6・7に示す。

先端部に装着したレンズの焦点距離に関係なく、半丸タイプ、外円光二重丸タイプ及び中心光二重丸タイプは、擬似汚泥濃度に対する出力に大きな変化は見られなかった。

焦点距離の変化及び平板に関して、いずれにも濃度に対して出力変化が顕著に現れていたものは、ランダムタイプであった。

低濃度から高濃度までの範囲で、濃度と出力電圧値との相関が最も高かったタイプのセンサーは、受発光部の配列ではランダ

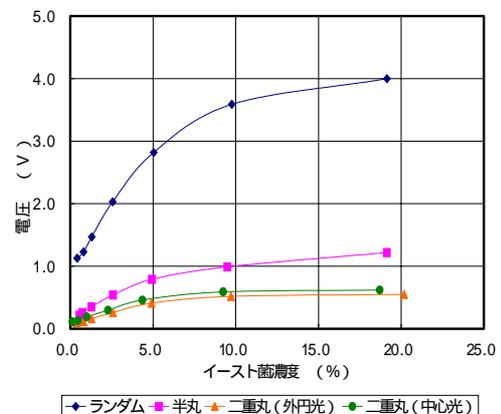


図7 外径10mm、平板1mmのセンサー形状別擬似汚泥濃度試験結果

ムタイプ、先端外径では 10mm、接液部は平板ガラスの試作器であった。

ランダムタイプを用いた各種組み合わせに対する試験結果を図 8 に示す。

以上の結果を総合的に判断し、形状はランダムタイプ、センサーの径は 10 mm、先端部に 1 mm の平板を装着したものに対して、次の段階である実際の汚泥による出力試験を行った。

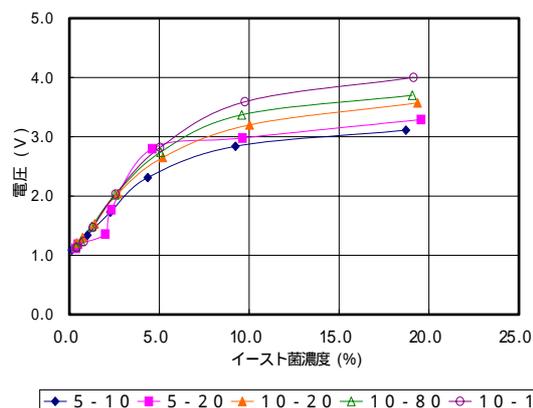


図 8 ランダムタイプによる試験結果

5. 実汚泥を用いた濃度測定試験

5.1 目的

前節で述べた、擬似汚泥を用いた試験結果に基づき、受発光部形状に「ランダムタイプ」を用いて、実汚泥による出力確認試験を行うことを目的とした。

5.2 センサー仕様

試験に用いたセンサーの仕様は表 5 のとおりである。なお、センサーの出力は、擬似汚泥出力試験に使用した 5 mW に加え、汚泥であることを考慮し、測定感度を高めるため、10mW のセンサーも準備した。

表 5 センサー仕様

センサー名称	形状	出力	平板
1 センサー	ランダムタイプ	10mW	1 mm
2 センサー	ランダムタイプ	5mW	1 mm

5.3 試験対象汚泥

試験対象汚泥は、次のとおりである。

- (1) 森ヶ崎水処理センター：余剰汚泥、余剰機械濃縮汚泥、一沈引抜汚泥、貯留汚泥（ 1 注記）、洗浄汚泥、送泥汚泥
- (2) 南部スラッジプラント：機械濃縮汚泥、重力濃縮汚泥、脱水機供給汚泥

注記： 1. 貯留汚泥とは、濃縮生汚泥と消化汚泥の混合汚泥であり、混合比率は一定ではない。

5.4 試験方法

擬似汚泥出力試験で最も相関の高かったランダムタイプを用い、実汚泥による試験を行った。試験は、採取した汚泥の原濃度、原汚泥を分離液または上澄水（機械濃縮汚泥は分離液、その他は重力沈降後の上澄水を使用）で 1.25 倍、1.5 倍、2 倍、3 倍、4 倍、5 倍に希釈し、試料液の濃度を、試作器で測定することにより実施した。実濃度は、擬似汚泥出力試験の場合と同様に、蒸発乾燥することにより求めた。

5.5 試験結果

試験の結果、濃度と出力電圧値の相関が極めて高かったのは、余剰汚泥と機械濃縮汚泥であった。次いで相関が良好であったのは、一沈引抜汚泥と送泥用の混合汚泥であった。逆に、相関の認められなかったのは、消化工程後に洗浄した洗浄汚泥であった。センサー出力では、各汚泥に対して出

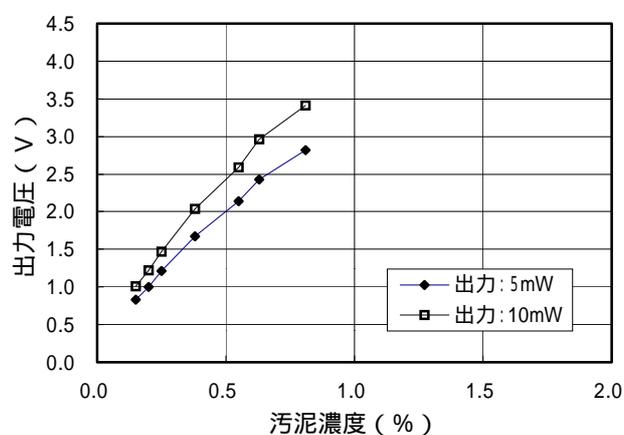


図 9 余剰汚泥の濃度と出力電圧値

力が異なるセンサーを用いた比較試験を行ったが、いずれの場合においても出力 10mW の方が、濃度に対する電圧値が直線性を示していることが確認された。これは、測定対象汚泥の粒子の色に関係しているものと考えられる。すなわち、汚泥粒子は黒色系の色を呈しており、センサー出力が小さいと照射した光が汚泥粒子に吸収されてしまうと判断できる。そのため、大きな出力をもったものが有効に作用しているものと思われる。よって 10mW の方が感度が高く良好な相関特性を示したため、今後は測定感度を高めるため、10mW のセンサーを用いることとした。図 9 に余剰汚泥の試験結果例を示す。

さらに、測定対象汚泥によって、測定が可能なものと困難なものに分類できることが判った。汚泥の種類とセンサーの出力による測定性をまとめた結果を表 6 に示す。

表 6 センサー出力と測定性

測定対象汚泥	センサー出力	
	5mW	10mW
森ヶ崎：余剰汚泥		
森ヶ崎：余剰機械濃縮汚泥		
森ヶ崎：一沈引抜汚泥	x	
森ヶ崎：貯留汚泥	x	x
森ヶ崎：洗浄汚泥	x	x
森ヶ崎：送泥汚泥		
南部プラ：機械濃縮汚泥		
南部プラ：重力濃縮汚泥	x	
南部プラ：脱水機供給汚泥		

記号説明：
 ; 出力差が大きく再現性がある
 ; 出力差は大きくないが再現性がある
 ; 出力差はあるものの再現性に乏しい
 x ; 出力差および再現性がない

6. 実汚泥を用いた連続濃度測定試験

6.1 目的

開発したセンサー部の実汚泥による試験結果を基に、低濃度から高濃度の各種汚泥を対象に、小規模の試験設備を用いた試験を行い、必要な機器仕様を決定することを目的とした。

6.2 試験対象汚泥

- (1) 森ヶ崎水処理センター：余剰機械濃縮汚泥
- (2) 南部スラッジプラント：脱水機供給汚泥

6.3 試験方法

余剰機械濃縮汚泥及び脱水機供給汚泥を対象に、小型試験装置を用いた連続試験を行った。この試験装置は、ポンプにより汚泥を循環させ、ヘッダー管に取り付けたセンサーで濃度を計測するものである。図 10 にその測定フローを示す。試験は、次に示す方法により、濃度を変化させて実施した。なお実濃度は、蒸発乾燥することにより求めた。

- (1) 原汚泥濃度から低濃度へ

原汚泥をタンクに入れて循環し、濃度を計測した。次に、ドレンより汚泥を少量抜き、同量の水道水をタンクに加え濃

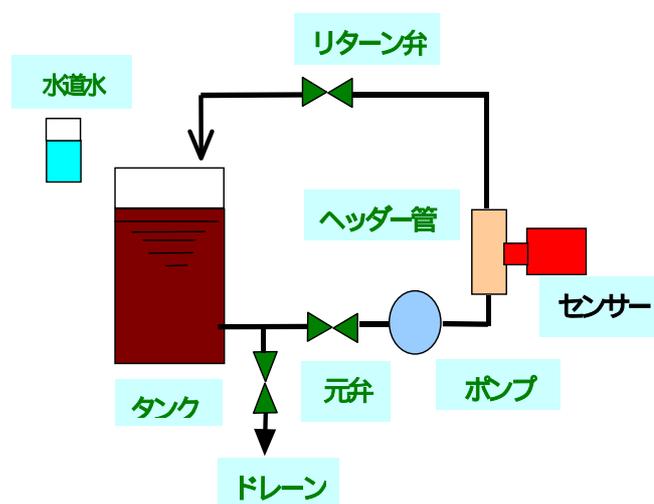


図 10 循環試験測定フロー

度を計測した。この作業を順次行い、濃度を徐々に下げていった。

(2) 低濃度から原汚泥濃度へ

水道水をタンクの1/3程度、原汚泥を2/3程度入れて循環し、濃度を計測した。次にドレンより汚泥を少量抜き、同量の原汚泥をタンクに加え濃度を計測した。順次この作業を行い、濃度を徐々に上げていった。

6.4 試験結果

連続試験の結果、余剰機械濃縮汚泥及び脱水機供給汚泥ともに、良好な相関特性を確認することができた。余剰機械濃縮汚泥の測定結果例を図11に、脱水機供給汚泥の測定結果例を図12に示す。この図からも明らかのように、汚泥濃度と出力電圧値との相関は極めて高く、再現性のある結果が得られた。

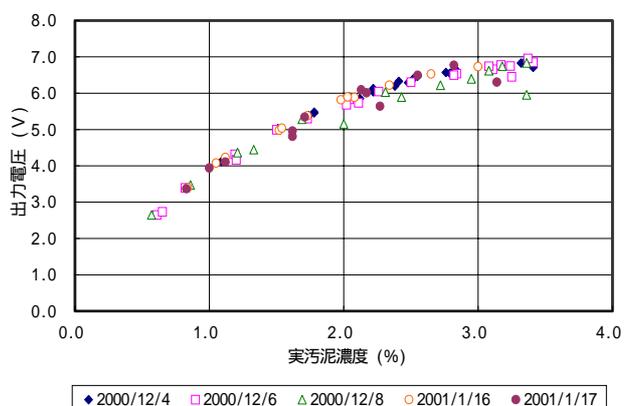


図 11 機械濃縮汚泥の濃度と出力電圧値

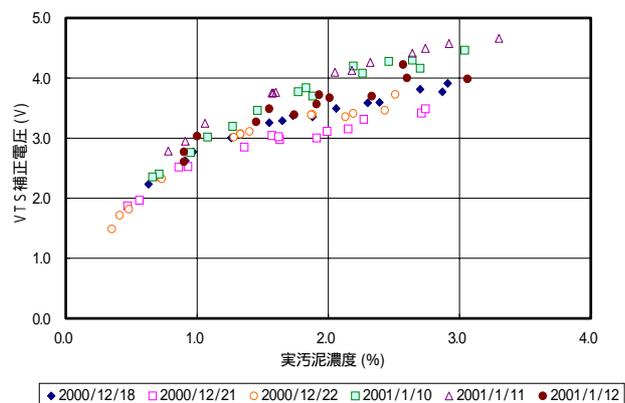


図 12 脱水機供給汚泥の濃度と出力電圧値

7. 計測器の検討

前述のように、センサー部の開発に始まり、それを用いて擬似汚泥による確認試験、実汚泥による出力確認試験、さらにバッチ連続試験を行い、センサーの特性を把握してきた。その結果、レーザを測定原理とする汚泥濃度計に必要な仕様を得ることができた。以下にここまで得られた結果を基にセンサー部、表示部等の基本仕様を記述する。

(1) センサー部仕様

光源	半導体レーザーダイオード
波長	650 nm
出力	10mW
ガラス板	サファイアガラス 1.0t テフロンコート
光ファイバー	ガラスファイバー
測定濃度	0～10% (DC 1～5V)
材質	接液部 SUS316 及びガラス 本体 SUS304

(2) 表示部仕様

表示	4桁 0～10.00%
電源	AC100～240V

8．まとめ

- (1)レーザの発光部、受光部の形状を数種類考案し、擬似汚泥を用いた試験の結果、ランダムタイプが最も効果的であることが判った。
- (2)これと並行して行った試験により、先端部は平板ガラスが好ましいことも判った。
- (3)レーザの出力は、黒色系の汚泥を考慮して 10mW が適切であると判断した。
- (4)濃度計としての基本であるスラリー中の粒子の大きさ、形状の影響を考慮した機能を考慮しなければならないことが判った。
- (5)様々な汚泥の中で、比較的測定しやすいもの、逆に非常に困難なものに分類することができた。

9．今後の課題

- (1)前項 6 で測定が困難な汚泥に対しては、平成 13 年度のテーマとして取り上げる。
- (2)試作器を製作し、森ヶ崎水処理センター及び南部スラッジプラントの汚泥を対象に、長期の測定安定性を課題にした試験を行う。
- (3)センサーの汚染防止は、測定場所や測定対象汚泥にかかわらず、汚泥を扱う機器に対する重要且つ基本的な課題である。平成 13 年度に予定されている長期確認試験の課題として取り上げ、基本仕様へ加えるべく対策をまとめていく。

10．おわりに

本研究により、汚泥の濃度測定に適用可能な汚泥濃度計を開発することができた。この研究では、比較的低濃度の汚泥を対象としたが、今後はさらに、本濃度計の実用化を目指し、測定対象とする汚泥の適用範囲の拡大、長期のフィールド試験による安定性の確認及び設置環境に対する耐久性の検討等を行い、精度が高く、長期安定性に優れた汚泥濃度計の開発を進めていく考えである。

なお、本共同研究は、東京都下水道局と、東京都下水道サービス株式会社、オルガノ株式会社、巴工業株式会社、株式会社明電舎、株式会社オートマチックシステムリサーチ、芝浦システム株式会社との間の共同研究として実施しているものである。

[大目次](#)[目次](#)[要旨](#)

- 6 活性汚泥中含りんの効率的除去技術の開発

研究担当者：鈴木 清志
渡部 健一

1. はじめに

下水中のりんを除去する方法として近年生物学的りん除去法が導入されつつある¹⁾。生物学的りん除去法ではりんは汚泥中にポリりん酸として蓄積され余剰汚泥として引き抜かれることにより除去される。活性汚泥中には常にりんが高濃度に蓄積されているので、雨天後など流入有機物濃度が低下した場合に、活性汚泥がりんを摂取せず、りんを除去できないことが問題とされている。こうした現象を最小限に抑えるため、また常に高いりん除去率を維持するために、活性汚泥中のりん蓄積量を低く保つ必要がある。また、余剰汚泥として引き抜かれたりんは、長距離送泥される場合は再放出してしまうので再度固定化するために凝集剤が必要がある。脱水ケーキ中に固定化されたりんは最終的に焼却されるが、りんは灰中に残留し、セメント原料として有効利用する際の障害となることが知られている。

こうした問題を解決するために、活性汚泥からりんを除去し回収する技術を開発した。この技術を導入することにより、高度処理におけるりん除去の安定化、りん除去率が低下したときに処理水に添加する凝集剤量の削減、集約汚泥処理でのりん固定化凝集剤の節減、回収したりんの肥料化、りん含有量の少ない焼却灰のセメント原料化利用、以上のような効果が期待できる。

りんを除去すると同時に回収する技術としては晶析法があげられる。晶析法は従来、晶析材としてりん鉱石などを用い、下水2次処理水のりん除去を対象として開発された技術であるが⁵⁾、森山らは脱炭酸処理が不要な新しい晶析材（珪酸カルシウム水和物）を用いて、下水処理場返流水のりんを高効率で回収し²⁾、さらに回収後の晶析材はりん酸肥料等として利用できることを示している^{3),4)}。そこで、この晶析材に着目し、活性汚泥からのりん回収システムに採用した。

本調査の範囲は、活性汚泥からのりん回収技術である。汚泥からのりんの放出条件と、放出されたりんを高濃度に含む含む上澄水から晶析法によってりんを回収する晶析条件について検討を行うとともに、りんの付着した晶析材について肥料化の検討を行ったものである。

なお、本調査は東京都下水道局、日立プラント建設(株)、前澤工業(株)及び三菱マテリアル(株)との共同研究として、平成11年9月から13年3月まで実施した。

2. 研究方法

2.1 開発システム

水処理系を含めた開発システムを図1に示す。りん回収システムは以下の通りである。

りん放出槽：返送汚泥の一部に最初沈殿池生汚泥を添加し嫌気状態で攪拌することにより、返送汚泥からりん酸を放出させる。

固液分離槽：りん酸を高濃度に含む上澄水と濃縮汚泥に分離する。濃縮汚泥の一部は生物反応槽に返送し、残りは余剰汚泥として引き抜く。りんを放出した汚泥を生物反応槽に返送することにより水処理系でのりん除去の安定化が期待できる。また余剰汚泥中のりん含有率が減少することによってりんの再放出量が減少する。

りん回収槽：上澄水から晶析法によってりんをヒドロキシアパタイト（以下アパタイトと略す。）として回収する。晶析材は珪酸カルシウム水和物が主成分の工業製品で、品質が安定しており、原水中に炭酸、懸濁物質（SS）が存在していても影響を受けにくいことが知られている。アパタイトの付着した晶析材はりん酸肥料として再利用する。

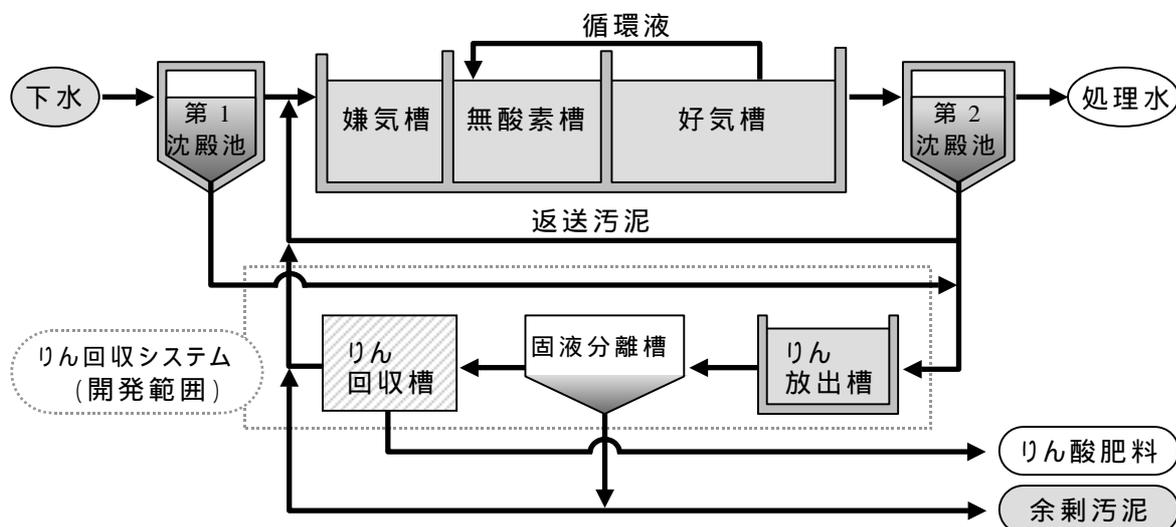


図1 開発システムフロー

2.2 実験装置

2.2.1 晶析材及び晶析の原理

本研究では、晶析材として人工的に製造したけい酸カルシウム水和物を用いた。けい酸質原料と石灰質原料を調整配合して球状に造粒後、オートクレーブで製造した。晶析材の仕様を表1に、外観図を図1に示す。

表1 晶析材の仕様

比重(-)	1.2
充填率(%)	60
単位容積質量 (g/cm ³)	0.72
粒度範囲(mm)	1.7 ~ 2.4

本晶析材の特長は以下の通りである。

工業的に製品化されているため、りん鉱石などに比べ品質が安定している。

比重、粒径の調整が容易であるため、各種反応形式に対応できる。

高濃度有機物共存下でも、生物膜、スライムなどの形成がない。

晶析材自体がけい酸質肥料であり、りん回収後の晶析材はりん酸肥料として有効利用できる。

晶析によるりん除去の原理は次式に示すアパタイト（ $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ ）を生成する反応に基づいている。



アパタイトの溶解度と過溶解度について、りん濃度とpH及びCa濃度との関係を模式的に図3に示す。



図1 晶析材外観

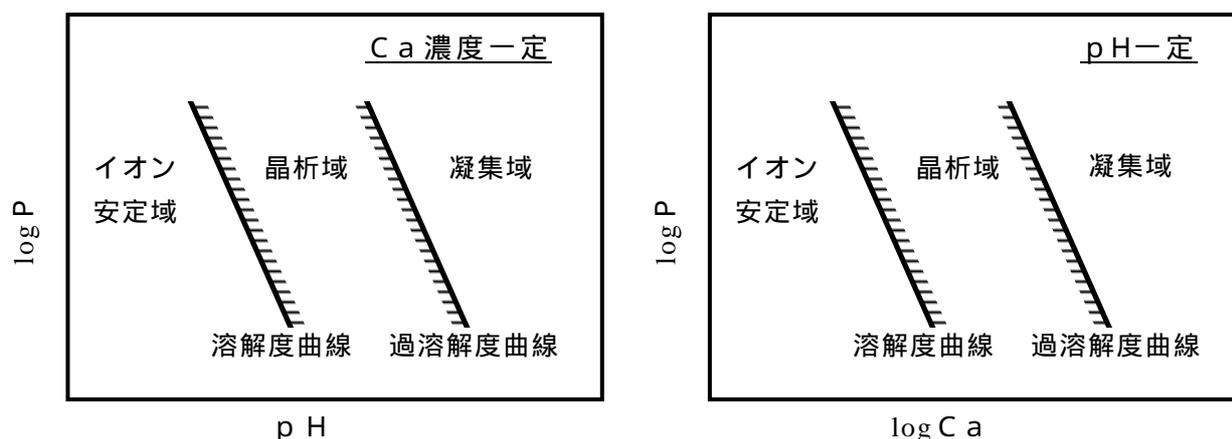


図3 アパタイトの溶解度と過溶解度

アパタイトの溶解度積はカルシウムイオン、りん酸イオン、水酸イオンの積で表され各々のイオン濃度 ($\log P$, pH , $\log \text{Ca}$) によって図3に示すようにイオン安定域、晶析域、凝集域に分かれる。凝集域でアパタイトの微細結晶が急速に析出するため、りん酸イオン濃度の低下に伴い多量のSSが発生し凝集沈殿を生じる。これに対し、晶析域では結晶核が存在しない場合りん酸イオンは溶解したままであるが、種結晶が存在するとアパタイトが析出し、この種結晶を回収することによりりんの有効利用が図れる。

2.2.2 パイロットプラントの概要

東京都小菅処理場内に設置した処理量 50L/h パイロットプラントの装置仕様を表2に、フローシートを図4に示す。

表2 パイロットプラント装置概要

機器名称	仕様	数量
初沈生污泥貯槽	ポリエチレン製 440×745H×100L	1
返送污泥貯槽	ポリエチレン製 970×870H×500L	1
初沈生污泥供給ポンプ	一軸ネジポンプ 0.083～0.42L/min	1
返送污泥供給ポンプ	一軸ネジポンプ 0.42～0.83L/min	1
りん放出槽	透明塩ビ製 600×1600H×300L	1
固液分離槽	透明塩ビ製 600×1250H×225L	1
pH前調整槽	PVCタンク 390×510H×50L	1
りん回収槽	透明塩ビ製 250×2400H×50L	2
カルシウム供給装置	PEタンク 50L ポンプ 0～20mL/min×25W	1
NaOH供給装置	PVCタンク 50L チューブポンプ 15L/h×3連	1

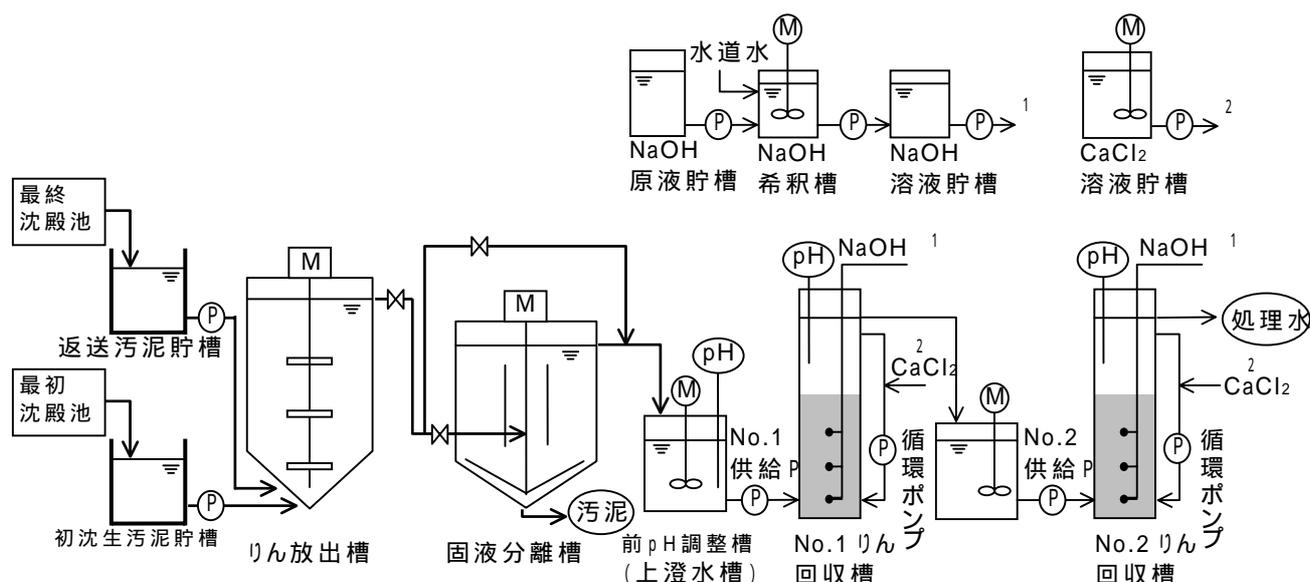


図4 パイロットプラントフローシート

返送汚泥及び最初沈殿池生汚泥は小菅処理場東系の返送汚泥ポンプ及び生汚泥引抜きポンプのサンプリング口から分岐し自動運転により各貯槽に投入した。りん放出槽は滞留時間3時間を基準とし、生汚泥を所定の割合で返送汚泥に混合し、嫌気条件下で返送汚泥からりんの放出を行った。りん放出後の汚泥は固液分離槽で沈降分離して、りん濃度の高い上澄水を得た。なお、固液分離した濃縮汚泥は連続的に引き抜いた。

上澄水はいったん貯留し pH の前調整を行った後、りん回収槽へ定量投入した。りん回収槽は2段とした。予備実験より、りん回収率を向上させるためには、りん濃度の高い領域では pH を中性域に近くするなど晶析条件を穏やかにするとともに、pH 調整用薬剤やカルシウム濃度の局所的高濃度から生じる凝集沈殿の発生を極力抑制する必要があることが分かった。このため、原水 pH の変動に対し前調整を行うとともに、回収槽を2段とし pH の制御が平滑にかつ容易に行えるようにした。各りん回収槽は循環ポンプにより槽内の流動状態を維持する膨脹床式（膨張率 20%程度）とした。これはりん放出汚泥の上澄水中に含まれる SS による閉塞を防止し、薬液の速やかな混合を促進し局所的な凝集沈殿の進行を防ぐためである。さらに、pH 調整用の NaOH 溶液、及び Ca イオン供給源の CaCl_2 溶液を各段に分割注入することで、反応条件を穏やかに制御した。さらに、NaOH は塔の高さ方向に3点分割注入を行った。りん回収槽の滞留時間は予備検討から各1時間を基準とした。

2.3 実験方法

2.3.1 パイロットプラントの運転条件

りん放出槽及び固液分離槽の運転条件を表3に示す。また、りん回収槽の運転条件を表4に示す。

表3 りん放出槽、固液分離槽の運転条件

槽	項目	数値
りん放出槽	HRT [*] (h)	3.0~3.3
	初沈汚泥混合比 (L-初沈/L-返送)	0.33~0.5
固液分離槽	水面積負荷(m/d)	6.4~8.5
	汚泥濃縮倍率(倍)	2.0~3.0

表4 りん回収槽の運転条件

	単位	RUN 1	RUN 2	RUN 3-1	RUN 3-2	RUN 4	RUN 5	RUN 6
りん回収槽								
処理量	L/h	50/50	50/50	100/100	100/100	50/50	50/50	50/50
HRT前段/後段	h	1/1	1/1	0.5/0.5	0.5/0.5	1/1	1/1	1/1
pH 前段/後段	-	7.8/8.3	7.5/8.0	7.5/8.0	7.5/8.0	7.5/7.5	8.0/8.0	7.8/8.3
Ca ²⁺ 添加量	mg/L	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
前調整		なし	なし	なし	pH=7	pH=7	pH=7	pH=7
NaOH注入点	ヶ	3	3	3	3	3	3	3

	単位	RUN 7	RUN 8	RUN 9	RUN 10	RUN 11
りん回収槽						
処理量	L/h	50/50	100/100	50/50	50/50	33/33
HRT前段/後段	h	1/1	0.5/0.5	1/1	1/1	1.5/1.5
pH 前段/後段	-	8.0/8.5	7.5/8.0	7.5/8.0	7.5/8.0	7.5/8.0
Ca ²⁺ 添加量	mg/L	50/50	50/50	100/0	50/50	50/50
前調整		pH=7	pH=7	pH=7	pH=7	pH=7
NaOH注入点	ヶ	3	3	3	1	3

運転条件は予備試験の結果から設定した。りん放出槽は滞留時間約3時間、返送汚泥に対する最初沈殿池生汚泥の混合比を0.33~0.5として実験を行った。固液分離槽は水面積負荷6.4~8.5m/d、汚泥濃縮倍率2~3倍の範囲で運転した。

りん回収槽は、凝集沈殿を極力抑制し晶析率を高く維持するpH条件について各段ごとに検討を行った。りん回収槽前でNaOHを添加してpH=7.0に調整した後、No.1回収槽のpHを7.5~8.0、No.2りん回収槽のpHを8.0~8.5の範囲に制御した。カルシウム添加量は処理水中の残存Ca²⁺濃度がおおよそ80mg/Lとなるように設定し⁵⁾、それぞれカルシウムを50mg/L添加した。また滞留時間は各槽0.5~1.0時間とした。

2.3.2 晶析材の肥料化試験

本開発システムによって回収したりんは、アパタイトとして晶析材表面に固定される。このアパタイトを、りん資源として有効利用する方法としてりん酸質肥料として利用する可能性を検討した。肥料取締法では、重金属含有率、重金属の溶出、栽培試験(肥効試験)などが規定されている。りん酸をアパタイトとして回収した晶析材について、重金属含有率及び金属などの溶出試験、並びに肥効試験(漬け菜)を行い、肥料製品としての評価を行った。

2.4 分析及び測定方法

2.4.1 水質分析

連続運転時の処理性能は、各流入水及び流出水について午前10時に採水を行ったサンプルの水質分析結果をもとに評価した。水質項目は、主にSS、生物学的酸素要求量(BOD)及び各形態のりん濃度とし、これらの分析は下水試験法に準拠した。

2.4.2 晶析材の分析

晶析材は、定期的に採取し、重金属及びりんの化学分析、SEM画像による表面観察、EDX(X線を照射し元素の定量を行う)及びEPMA分析(X線を照射し、元素マッピングを行う)

による元素量 (P) の分布状況、並びに X 線回折による結晶物 (アラタイト) の確認を行った。

2.4.3 晶析材の肥料化試験

(1) 重金属含有率：晶析材のサンプルを定期的に抜き取り重金属の分析を行い、重金属含有率の変化を調べた。

(2) 金属などの溶出試験：リン酸肥料のりん含有率 (P_2O_5 として) は 15.0% 以上と規定されているため、晶析材のりん含有率 (P_2O_5 として) が 16.1% に達した晶析材について、金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令 (昭和 48 年総理府令第 5 号の別表第六) の基準項目について溶出試験を行った。

(3) 肥効試験：試料には、植害試験と同じものを用いた。対照肥料には、熔成りん肥 (く溶性りん酸含有量 21.90%) を用い、広島菜を供試作物とし栽培試験を実施した。試験では栽培期間は 28 日間とした。表 5 に試験条件を示す。

表 5 試験条件

試験区		施肥量 (g/ポット)	成分量 P_2O_5 (g/ポット)
晶析材	少量	2.18	0.35
	多量	4.36	0.70
対照肥料	少量	1.60	0.35
	多量	3.20	0.70
無りん酸			

3. 結果及びその検討

3.1 パイロットプラント運転結果

3.1.1 りん放出及び固液分離試験結果

りん放出槽の PO_4 -P 濃度は小管処理場の返送汚泥及び生活污水の性状の変化により変動したが、滞留時間 3 時間でおよそ 30~60mg/L の範囲であった。

りん放出槽における返送汚泥からのりん放出速度は、返送汚泥 SS に対する生活污水 BOD 比との相関性が最も高いことが認められた。返送汚泥 SS に対する生活污水 BOD 比と返送汚泥からのりん放出速度との関係を図 5 に示す。

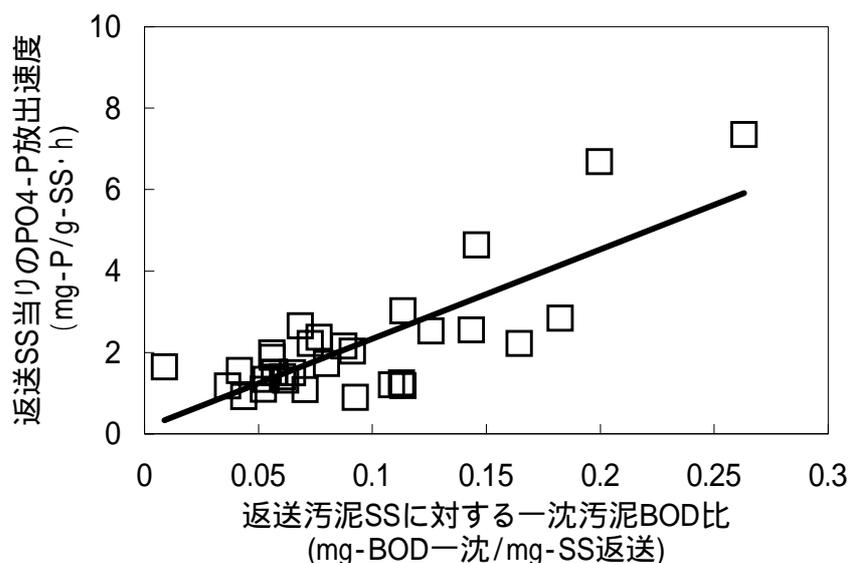


図 5 返送汚泥 SS に対する一沈汚泥 BOD とりん放出速度の関係

返送汚泥に対する生汚泥 BOD 比が高くなるに従いりん放出速度が高くなっている。返送汚泥に対する生汚泥 BOD 比と返送汚泥からのりん放出速度との関係から次式を得た。

$$r_p = 21.9 \times R_{BOD/SS} + 0.14 \quad \dots\dots (1)$$

r_p : 返送汚泥あたりのりん放出速度 (mg-P/g-ss 返送汚泥・h)

$R_{BOD/SS}$: 返送汚泥に対する生汚泥 BOD 比 (mg-BOD 生汚泥/mg-SS 返送汚泥)

固液分離槽における固形物負荷と上澄水 SS 濃度の関係を図 6 に示す。上澄水の SS 濃度は固形物負荷 $90\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 以下の実験条件ではおおよそ $300\text{mg}/\text{L}$ 以下で安定していた。上澄水の pH は $6.2 \sim 7.4$ の範囲であり、 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 濃度は $30 \sim 60\text{mg}/\text{L}$ であった。

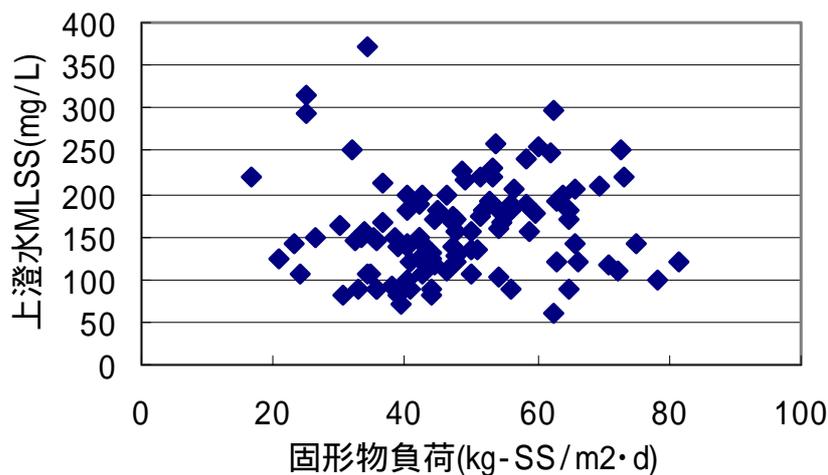


図 6 固形物負荷と上澄水 SS 濃度の関係

3. 1. 2 りん回収試験結果

各 RUN の原水・処理水水質の測定結果 (平均値) を表 6 に示す。

表 6 りん回収槽の運転結果

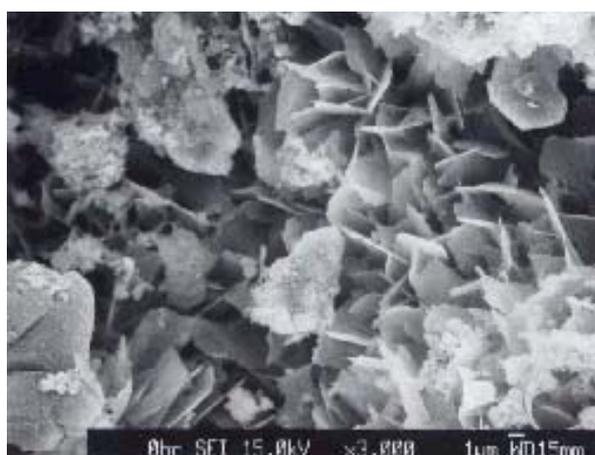
	単位	RUN 1	RUN 2	RUN 3-1	RUN 3-2	RUN 4	RUN 5	RUN 6
処理量	L/h	50/50	50/50	100/100	100/100	50/50	50/50	50/50
HRT前段/後段	h	1/1	1/1	0.5/0.5	0.5/0.5	1/1	1/1	1/1
pH 前段/後段	-	7.8/8.3	7.5/8.0	7.5/8.0	7.5/8.0	7.5/7.5	8.0/8.0	7.8/8.3
流入 T-P	mg/L	35	47	60	74	62	63	59
流入 $\text{PO}_4 - \text{P}$	mg/L	32	43	41	54	53	57	53
流出 $\text{PO}_4 - \text{P}$	mg/L	2	6	15	18	16	11	8
晶析率	%	72	81	34	44	41	72	75
凝沈率	%	22	5	20	23	22	8	9

	単位	RUN 7	RUN 8	RUN 9	RUN 10	RUN 11
処理量	L/h	50/50	100/100	50/50	50/50	33/33
HRT前段/後段	h	1/1	0.5/0.5	1/1	1/1	1.5/1.5
pH 前段/後段	-	8.0/8.5	7.5/8.0	7.5/8.0	7.5/8.0	7.5/8.0
流入T-P	mg/L	49	63	75	57	75
流入PO4-P	mg/L	43	54	72	52	68
流出PO4-P	mg/L	5	15	19	12	12
晶析率	%	76	47	60	52	70
凝沈率	%	12	22	10	21	10

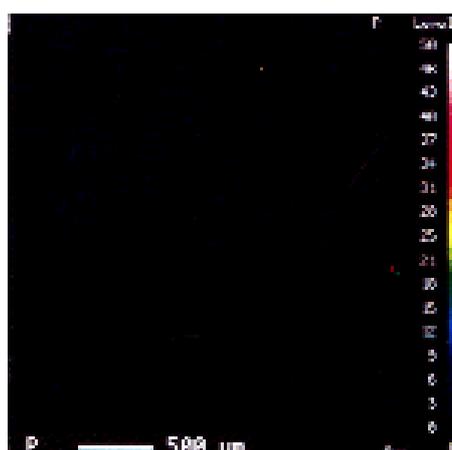
りん回収槽滞留時間(HRT)各1時間(全体2時間)、一段目のpH=7.5~8.0、2段目pH=8.0~8.5の条件で、平均晶析率70~80%が得られた。また滞留時間を1/2(全体1時間)に短縮したRUN3及びRUN8では晶析率が低下し凝集沈殿率が増加した。以上の結果から、各槽の滞留時間1時間、pHの制御条件は、前調整7.0、No.1りん回収槽7.5~8.0、No.2りん回収槽7.5~8.0が最適であることが分かった。

3.1.3 晶析材の経過変化

晶析材表面のSEM観察結果の経日変化、及びEPMA分析による晶析材断面のりんの経日変化を図7に示す。晶析材表面は当初けい酸カルシウム水和物がカードハウス状になっており、運転開始とともにアパタイトが形成されはじめ徐々に成長した後、表面全体を覆うようになる(176~230d)。また、EPMA分析でも、運転日数経過に伴い晶析材表面へのアパタイトの成長、肥厚が観察された。また、晶析の阻害となる炭酸カルシウムの付着、生物膜の成長は認められなかった。

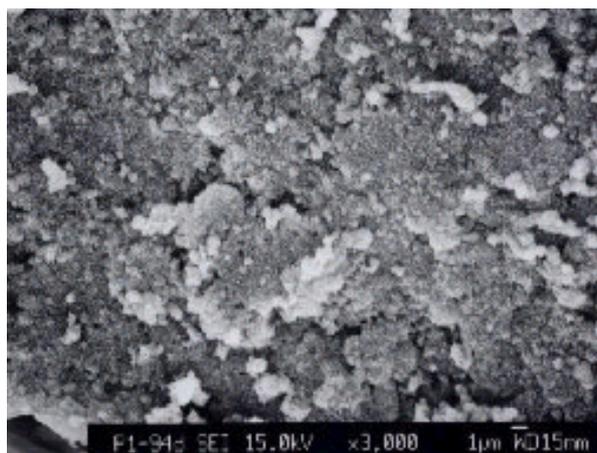


SEM画像(0d)(×3000)

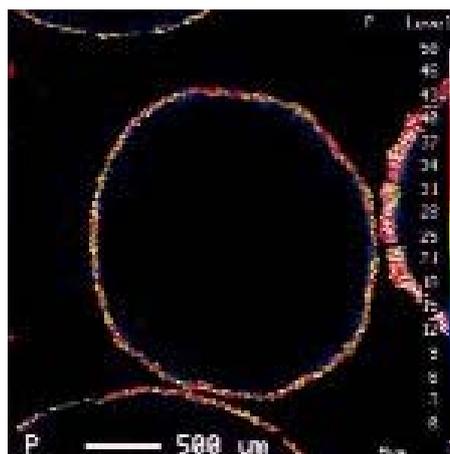


EPMA画像(0d)

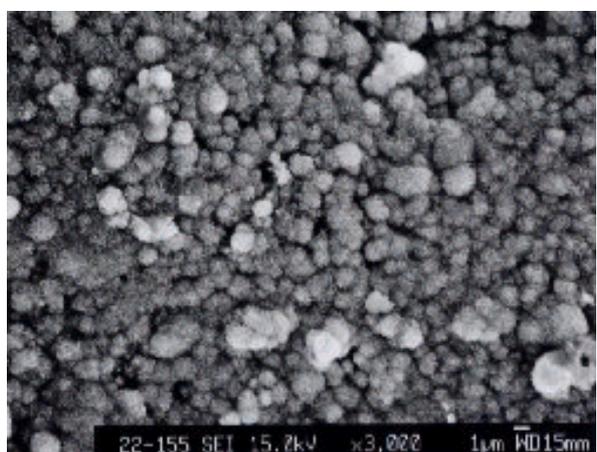
図7 SEM画像及びEPMA画像の経日変化(1)



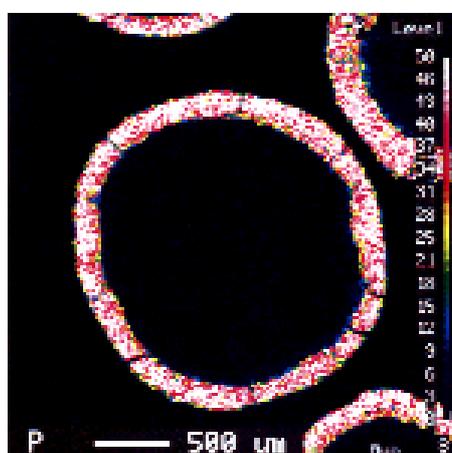
SEM画像 (90d)



EPMA画像 (90d)



SEM画像 (230d)



EPMA画像 (230d)

図7 SEM画像及びEPMA画像の経日変化(2)

3.3 晶析材の肥料化試験

3.3.1 重金属含有率

晶析材中の重金属濃度の初期値並びに運転経過に伴う値を表7に示す。基準値は特殊肥料に対するものである。重金属含有率はアパタイトの成長とともに、Niを除き横ばいか低下しており、230d運転後の晶析材の重金属含有率はいずれも基準値を満足していた。Niについては徐々に増加しており、運転日数をさらに継続した場合基準値を超過する可能性がある。特に、小菅処理場は流入下水のNi濃度が他場よりも高いので、Ni蓄積速度が大きいと思われる。なお、平成11年度の小菅処理場の流入下水Ni濃度は平均0.14mg/Lであった。東京都ではNiの上乗せ基準を設けていないので、流入下水のNi濃度が高くなる可能性があり、肥料として再利用する際には注意が必要である。

表7 重金属含有量の変化

(単位：mg/kg)

運転日数	As	Cd	Hg	Ni	Cr	Pb
0d	11.0	0.4	非検出	72	103	72
110d	8.5	0.2	非検出	49	68	94
140d	7.2	0.3	非検出	58	64	49
180d	6.3	0.3	非検出	127	59	31
230d	4.9	0.2	非検出	231	63	24
肥料規制値	50	5.0	2.0	300	500	100

3.2.2 金属などの溶出試験

金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令（昭和四十八年総理府令第五号）の別表第六の基準と、溶出試験結果を表8に示す。重金属をはじめいずれの項目についても基準値を下回り、肥料として問題のないことを確認した。

表8 金属等の溶出試験結果

	対象	単位	計量結果	判定基準
1	アルキル水銀化合物	mg/L	不検出(0.0005未満)	検出されないこと
	水銀又はその化合物	mg/L	0.0005未満	0.005以下
2	カドミウム又はその化合物	mg/L	0.03未満	0.3以下
3	鉛又はその化合物	mg/L	0.03未満	0.3以下
4	有機燐化合物	mg/L	0.1未満	1以下
5	六価クロム化合物	mg/L	0.15未満	1.5以下
6	砒素又はその化合物	mg/L	0.03未満	0.3以下
7	シアン化合物	mg/L	0.1未満	1以下
8	PCB	mg/L	0.0005未満	0.003以下
9	トリクロロエチレン	mg/L	0.03未満	0.3以下
10	テトラクロロエチレン	mg/L	0.01未満	0.1以下
11	ジクロロメタン	mg/L	0.02未満	0.2以下
12	四塩化炭素	mg/L	0.002未満	0.02以下
13	1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.004未満	0.04以下
14	1,1-ジクロロエチレン	mg/L	0.02未満	0.2以下
15	シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.04未満	0.4以下
16	1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	0.3未満	3以下
17	1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	0.006未満	0.06以下
18	1,3-ジクロロプロペン	mg/L	0.002未満	0.02以下
19	チラウム	mg/L	0.006未満	0.06以下
20	シマジン	mg/L	0.003未満	0.03以下
21	チオベンカルブ	mg/L	0.02未満	0.2以下
22	ベンゼン	mg/L	0.01未満	0.1以下
23	セレン又はその化合物	mg/L	0.03未満	0.3以下

3.2.3 肥効試験結果

晶析材と焼成りん肥のクエン酸溶解性りん酸（以下、く溶性りん酸と示す）含有率はそれぞれ 16.0%と 35.7%であった。晶析材のりん酸含有量は、16.1%であり、回収したりん酸のほとんどが肥料として有効な、く溶性りん酸であった。

生育調査結果を表 9 に、また、生育状況を図 8 に示す。

広島菜に対する肥効は、発芽及び発芽初期においては対照肥料と生育差は見られなかったが、晶析材は生育経過に従い対照肥料区を上回る成績を示し、収量調査時には、大幅に上回る成績を示した。以上の検討結果から、晶析材によって回収されたりんは、肥料として十分利用可能である。

表 9 生育調査結果

試験区	P ₂ O ₅ (g)	平均草丈 (cm)	平均葉幅 (cm)	地上部生茎葉	
				平均重量 (g)	指数
晶析材	0.35	15.7	5.3	56.9	158
	0.70	19.0	6.8	73.6	134
対照肥料	0.35	14.0	5.3	35.9	(100)
	0.70	16.0	6.0	55.0	(100)
無りん酸	0	8.3	2.8	10.3	29

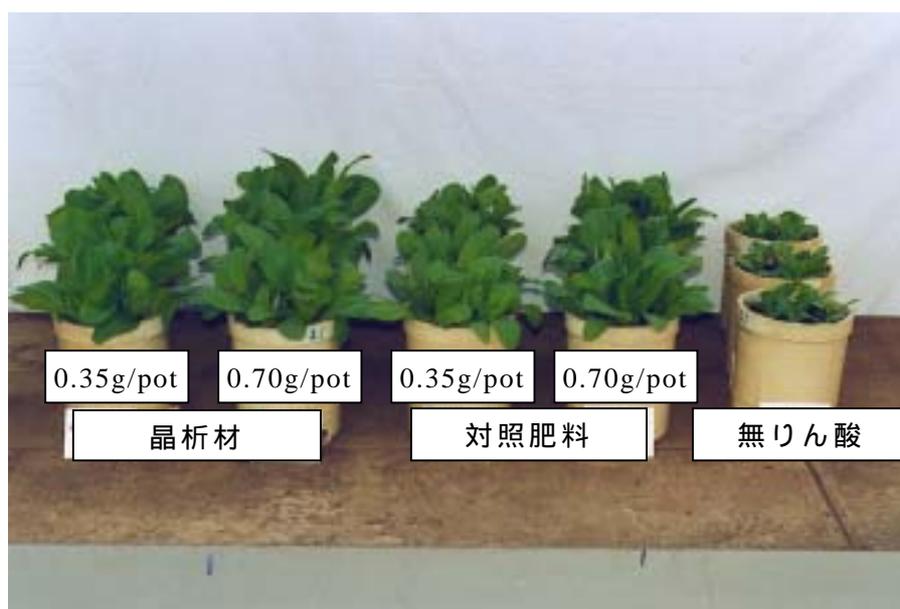


図 8 生育状況（肥効試験）

4．結論

生物学的りん除去法で除去されたりんは汚泥中にポリりん酸として蓄積され、嫌気条件下で液相に再放出されるため、水処理に悪影響を及ぼすことが懸念されることから、汚泥から晶析法でりんを回収する技術を考案し、パイロットプラントの実証運転により、りん回収率の安定性と回収後の晶析材の肥料効果を確認し、りんを回収し循環するシステム構築の見通しを得た。

(1) りん回収システム

返送汚泥よりりんを放出させ固液分離後、晶析法にてりんを回収するシステムの長期連続試験を行い、その処理性能と安定性を確認した。

(2) 晶析技術

けい酸カルシウム水和物を材料とした晶析材を用い、pH、Ca添加条件を変えた2段階晶析により、りんをヒドロキシアパタイトとして回収する技術を開発した。連続運転の結果、流入水のpHやりの水質変動にも対応でき、りん回収率75%を安定して達成した。

(3) 晶析材の性能評価

X線回折及びSEM観察などの結果から、晶析材表面に晶析の障害となる炭酸カルシウムや有機物の付着は認められず、ヒドロキシアパタイトが生成していることを確認した。

(4) 晶析材の肥料評価

ヒドロキシアパタイトが付着した晶析材を用いて栽培・肥効試験を行った結果、りん酸肥料として有効であり、市販の化学肥料と同様に流通できる見通しを得た。

5．参考文献

- 1) 高度処理施設設計マニュアル(案): 日本下水道協会(1994)
- 2) 森山克美 ほか 2名: 珪酸カルシウム水和物を種結晶とした晶析脱りん法 - 下水返流水からのりん回収 - : 99年土木学会第54回年次学術講演会講演概要集第7部, pp.336-337 (1999)
- 3) 森山克美 ほか 4名: 珪酸カルシウム水和物を種結晶とした晶析脱りん法: 下水道協会誌, 137, 455, pp.107-119(2000)
- 4) K. Moriyama, et al.: Development of Artificial Seed Crystal for Crystallization of Calcium Phosphate : CEEP (2001)
- 5) 森山克美 ほか 3名: 珪酸カルシウム水和物による2次処理水からのりん除去 - pH制御効果に関する検討 - : 99年土木学会第54回年次学術講演会講演概要集第7部, pp.338-339 (1999)

大目次

目次

要旨

- 7 ダイナミックろ過法を用いた

生物学的高度処理法の開発に関する研究 その2

研究担当者：計画調整部 技術開発課 杉本克巳、鈴木 建
並木芳憲、秦 健司

1. はじめに

標準活性汚泥法の第二沈殿池における固液分離方法は、汚泥と水のわずかな比重差に頼る重力沈降式であるため、汚泥性状や流入変動の影響を受けやすく、汚泥の越流対策、返送汚泥操作等の MLSS 管理、バルキング、スカム対策など、清澄な処理水を得るための運転管理に多大な労力を要している。

この問題を解決する重力沈降に頼らない固液分離法として、膜を利用する各種方法が実用化されている。これらは、第二沈殿池が不要で高 MLSS 濃度を確保でき、安定した固液分離が行える。しかしながら、従来の膜による固液分離技術は限外ろ過膜（UF）や精密ろ過膜（MF）などの緻密な材料を用い、高いろ過圧が必要である。また浸漬膜型においては、循環クロスフロー流速を確保するために多大な曝気量を必要とする。これらのろ過圧と循環曝気のために多大な動力が必要であり、膜素材も高価であることが、大規模下水処理場における実用化に向けた課題となっている。

この課題を解決するため、従来の膜素材よりもはるかに粗い目開き（200 μm 程度）を有する不織布を生物反応タンクに浸漬し、その不織布を支持体として膜表面に活性汚泥粒子が集まって形成するろ過層を利用する技術に着目し開発を行ってきた。活性汚泥粒子によるろ過層をダイナミック層という。この不織布を用いたダイナミックろ過技術は、わずかな水頭差で膜ろ過が可能で、ろ過に必要な新たな動力を必要とせずかつ安価な膜

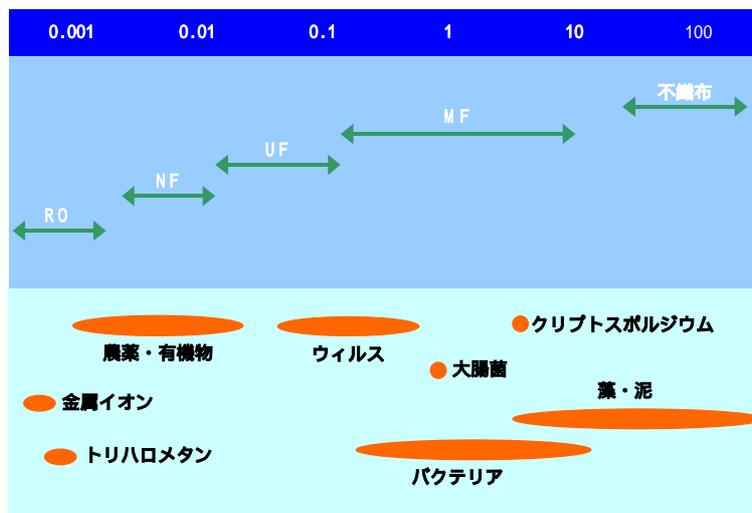


図1 各種膜素材の比較（数字は μm）

出展：朝日新聞

素材で連続的に活性汚泥混合液の固液分離ができる。各種膜素材の比較を図1に示す。

技術開発課では、これまでに落合処理場において下水活性汚泥に対する本法の固液分離特性に関する検討を行ってきた^{1)~4)}。平成12年度は、高度処理法への適用を確認するためパイロットプラントにおける循環式硝化脱窒運転及び標準活性汚泥法の実曝気槽に実機模擬ユニットを浸漬した長期運転を行ったので、結果について報告する。なお、平成12年度は、日立金属(株)、新日鐵(株)及び栗田工業(株)とノウハウ-フィールド提供型共同研究を行った。

2. パイロットプラントを用いた実験

2.1 実験方法

循環式硝化脱窒処理法にダイナミックろ過法が適用できるかどうかを検証した。実験フローを図2に、ろ過モジュールのイメージ図を図3に示す。

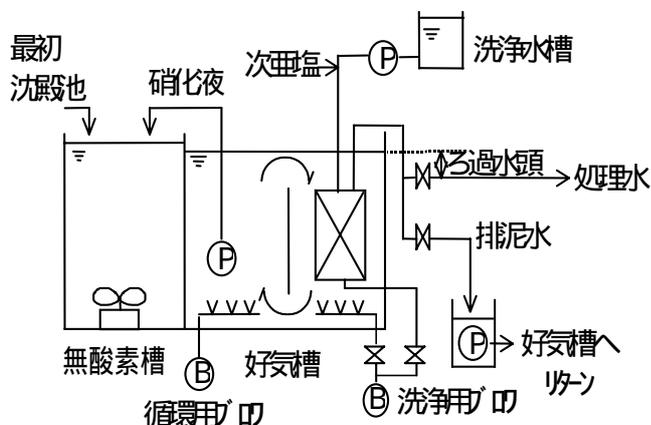


図2 循環式硝化脱窒処理法 装置フロー

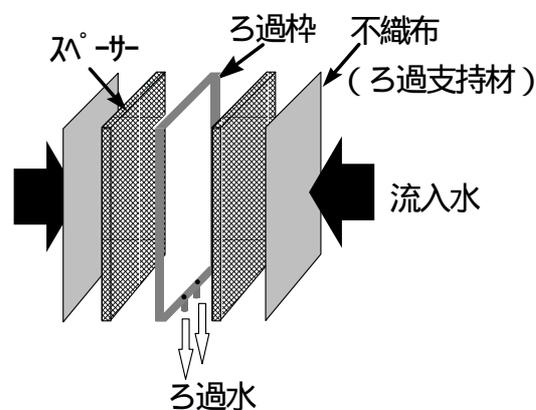


図3 ろ過モジュール イメージ図

実験条件を表1に、洗浄条件を表2に示す。

表1 実験条件

系 列	No.1	No.2
設定ろ過流速	2.0m/d	
不織布	注) Aタイプ (目付量: 15g/m ²)	
モジュール数	全23モジュール	
有効膜面積	3.5m ² /モジュール	
水頭差	約200mm	
洗浄パターン	表1 洗浄条件参照	
処理水引抜位置	モジュール下部	
洗浄水注入位置	モジュール上部	
洗浄頻度	一次側I7-・逆洗水	8回/日
	インライン薬品洗浄 (次亜塩素酸ナトリウム)	1回/日 (逆洗水に注入、有効塩素20mg/L)
	二次側I7-	8回/日
	排泥	8回/日
原水供給量	100L/min	
HRT	無酸素槽3.5 hr、好気槽7 hr	
硝化液循環量	200L/min (2.0 Q)	

実験に用いたパイロットプラントは、無酸素槽 18m³、好気槽 36m³(有効槽容積)の完全混合槽2槽から成る。原水として第一沈殿池越流水を無酸素槽に0.1m³/minで供給し、全HRTを10.5時間(嫌気3.5hr+好気7hr)として実験を行った。また好気槽から無酸素槽へ0.2m³/minで硝化液の循環を行い、曝気

表2 洗浄条件

ろ過	158分	1.5分
1次側I7-		3分
洗浄水		7分
排泥		4分
2次側I7-		1分
薬注		3分

量については硝化が十分行えるように $1.2\text{m}^3/\text{min}$ とした。

好気槽内の旋回流下向流部分に図 2 に示す有効ろ過面積 4m^2 (表裏合わせて) のモジュール 23 枚で構成したユニットを浸漬配置し、連続運転を行った。各モジュールは、ポリエステル不織布 (厚さ 0.22mm 、目付 $20\text{g}/\text{m}^2$ 、大きさ $1\text{m} \times 2\text{m}$ 、2 枚、) を支持体として使用している。ここに、目付とは、不織布の単位面積当たりの繊維量を言う。

ろ過水は各モジュールからヘッダー管にて集水して槽外に排出した。ろ過の駆動圧は好気槽内の水位とろ過水出口の水頭差 (約 20cm) を用いるものとした。ろ過速度を変化させるため、ろ過水出口の堰高を変化させ圧力調整を行った。

また、ろ過ユニットの下方には洗浄用の散気装置を設け、定期的に 1 日 8 回、3 分間の曝気洗浄を行うことでモジュール表面に過剰に生成したケーキ層の剥離洗浄を行った。このときモジュール内部へ活性汚泥が漏出して処理水質を悪化させるため、防止策としてモジュール内部へ再生水を圧送する逆洗浄を曝気洗浄から 4 分間行った。また主に不織布内部での目詰まり防止策として逆洗水に 1 日 1 回 $20\text{mg}/\text{L}$ の次亜塩素酸ソーダを注入する薬液洗浄を実施している。

今回の実験では、処理が閉鎖系であり全モジュールを同時に洗浄したため、逆洗水の全量が好気槽へ流入すると水頭差が大きくなりろ過流束が必要以上に増加するため、不織布の目詰まりが発生する。よって、洗浄時に逆洗水の全量が好気槽に流入しても水頭差が当初設定の 20cm 以下になるように、洗浄前に原水の供給を停止して曝気槽内の水位を一度低下させ、安定した処理が行えるようにした。

さらに洗浄後、ろ過再開時からダイナミックろ過層が再生されるまでは、活性汚泥が不織布を通過するため、処理水濁度は 100 程度となる。よって、洗浄後の 4 分間の処理水は、処理水配管から排泥水として排出した。

2. 2 実験結果

ろ過流束と濁度

ろ過流束の推移を図 4 に、濁度の推移を図 5 に示す。

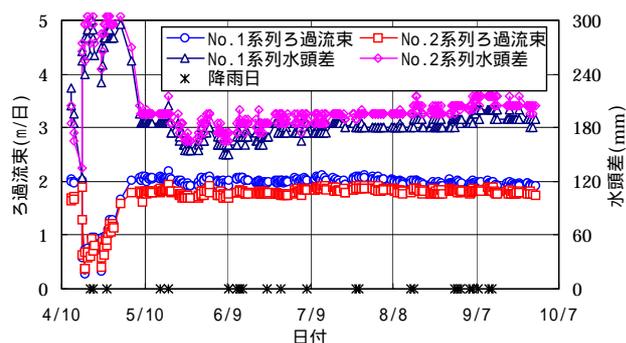


図 4 ろ過流束の推移

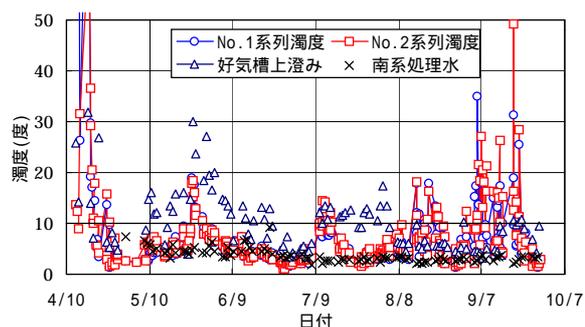


図 5 濁度の推移

平成 12 年 4 月 13 日に処理を開始した直後、原水ポンプが故障して原水の供給が止まりろ過圧力となる水頭差がなくなった。約 60 時間ろ過が停止した状態で曝気を継続したため、過曝気状態となって汚泥が分散化した。ポンプ復旧後は、ろ過流束の低下、処理水濁度の悪化及び水頭差の上昇が生じた。

この対策として 4 月 27 日から 5 月 15 日まで高分子凝集剤カチオンポリマー (栗田工業製; クリフロック CP-604) を槽当り $11.3\text{mg}/\text{L}$ (原水換算で $1.0\text{mg}/\text{L}$) 毎日添加することに

より汚泥の分散化を防止し、ろ過流束が設定値である 2m/d に回復するとともに濁度と水頭差も小さくなった。ろ過流束が回復した 5 月以降は、ポリマー無しで約 170 日間にわたり安定した運転ができた。

処理が不安定であった 4 月中は処理水の濁度は 20 度以上の高い値であったが、その後の処理回復により目標値の 10 度以下を達成できた。また、5 月末、7 月中旬及び 8 月以降は 10 度を超えることがあった。これは、5 月末は、好気槽内の MLSS 濃度をどこまで高くできるか確認するため、MLSS 濃度を上昇させたものの原水負荷が低いために低負荷分散系の汚泥となったからである。7 月中旬は原水ポンプの故障により原水流入が停止し、反応タンク内で処理水が過曝気された結果、分散系の汚泥性状となり、汚泥が不織布を通過したためである。8 月以降は、再度 MLSS 濃度上昇による汚泥分散化の再確認を行ったためである。上記の期間以外では、落合処理場の第二沈殿池処理水と比較してほぼ同等の水質が得られた。

汚泥性状とろ過

MLSS、SV₃₀、SVI の推移を図 6 に、BOD の推移を図 7 に、CST/SS 比の推移を図 8 に示す。

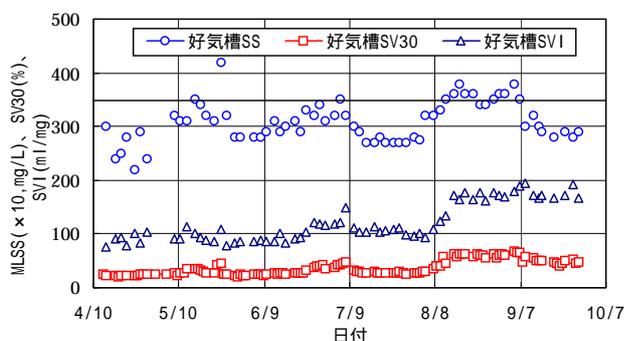


図 6 MLSS、SV₃₀、SVI の推移

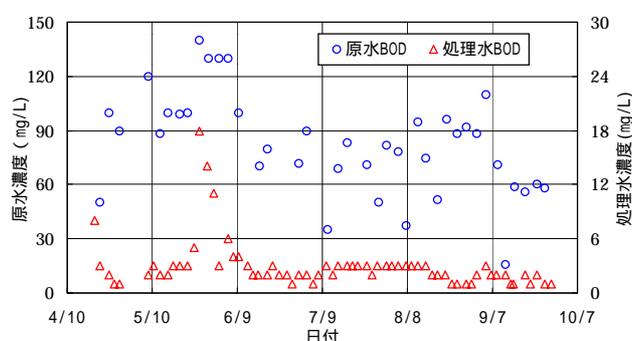


図 7 BOD の推移

実験期間を通して MLSS は 2,800 ~ 4,000mg/L、SV₃₀ は 30 ~ 80%、SVI は 80 ~ 200 で推移した。MLSS が 3,500mg/L を超えると分散系の汚泥となり処理水質が悪化する現象が生じた。これは、落合処理場の現状の流入 BOD 濃度 60 ~ 120mg/L 程度では、MLSS が 3,500mg/L 以上になると低負荷分散型の汚泥となり、不織布を通過した汚泥が処理水中へ漏れ始めるためである。また MLSS が 3,500mg/L 以下であっても、降雨により流入 BOD 負荷が低下すると同様の汚泥性状となり処理水質が悪化し易くなることがわかった。

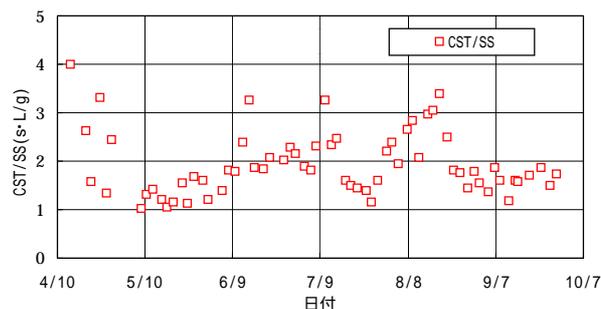


図 8 CST/SS 比の推移

このように処理水質が悪化した時は、通常 1.5 ~ 2 sec·L/g 程度である CST/SS 比が 2 ~ 4 sec·L/g 程度へ大きくなる傾向となった。ただし、低負荷分散型の汚泥の場合、ろ過流束の低下は見られていない。これは、低負荷分散系の汚泥は粘着性が少ないためであると考えられた。

窒素処理

窒素濃度の推移を図 9 に、硝化・脱窒率とアンモニア負荷の推移を図 10 に、ORP と DO の推移を図 11 に、水温の経時変化を図 12 に示す。

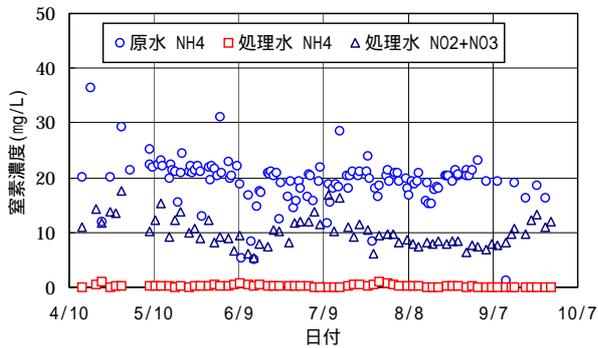


図 9 窒素濃度の推移

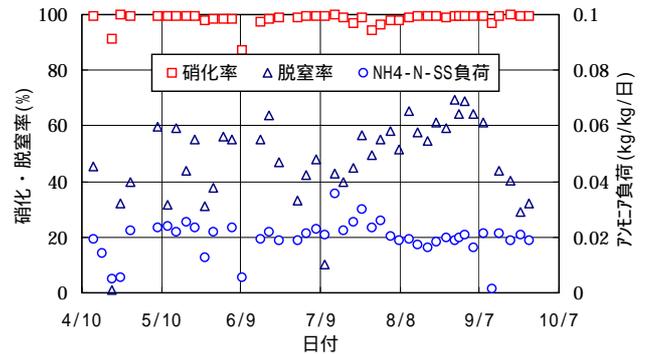


図 10 硝化・脱窒率とアンモニア負荷の推移

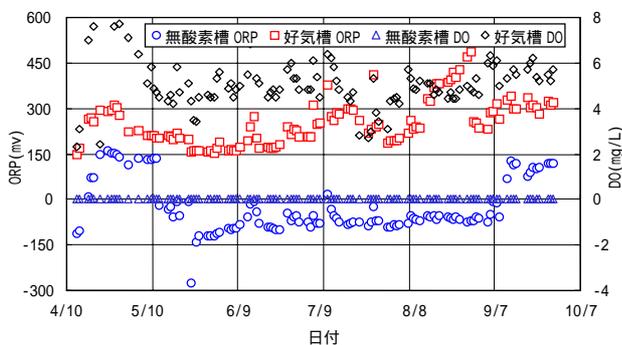


図 11 ORPとDOの推移



図 12 水温の推移

図 10 に示したように、硝化率は実験を通してほぼ 98%以上であった。処理水のアンモニア濃度は安定して 0.5mg/L 以下であった。

脱窒率は 40～70%の結果が得られた。

DO は実験を通して無酸素槽では 0mg/L，好気槽で 3～6mg/L の間で推移した。ORP は好気槽で +150mV 以上あり、無酸素槽については処理が悪化している 4月は+100mV 程度となったが、処理が安定してからは -50～-100mV となり脱窒処理も良好であった。8月と9月に好気槽と無酸素槽の ORP が上昇しているのは ORP 計の洗浄不足による誤測定のためである。

実験期間中水温は 20～30 で推移し、特に硝化・脱窒には影響を与えない水温範囲(15 以上)にあった。

リン処理

図 13 にリン濃度の推移を示す。処理水のリン濃度の低下はほとんど見られなかった。

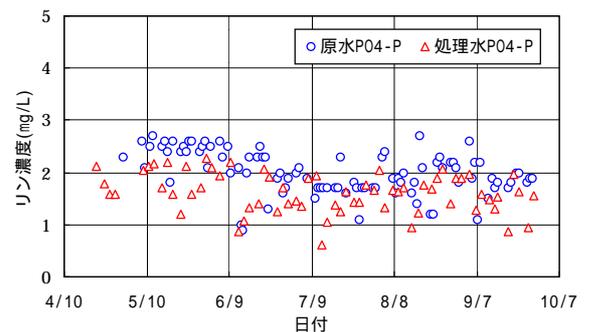


図 13 リン濃度の推移

3. 実曝気槽を用いた実験

3.1 実験方法

実験装置の概略図を図14に、実験条件を表3に示す。

落合処理場内の既存曝気槽内に、有効ろ過面積 2.3m^2 の平膜モジュール9枚で構成した実機模擬ユニットを2ユニット浸漬配置し、平成11年9月から処理量 $80\sim 230\text{m}^3/\text{日}$ の運転を行った。No.1ユニットは目付量の異なる不織布の評価を、No.2ユニットは長期運転データの採取を主目的として運転を行った。

処理水は、各モジュールからヘッダー管にて集水し、集水トラフへサイフォンで排出した。この時のろ過動力は水頭差のみとし、トラフ内に設けた可動堰にて調整を行った。

ろ過ユニットの洗浄方法は、パイロットプラントと同様である。各ユニット間には独立して効率よく洗浄できるように隔壁を設置した。洗浄条件を表4に示す。

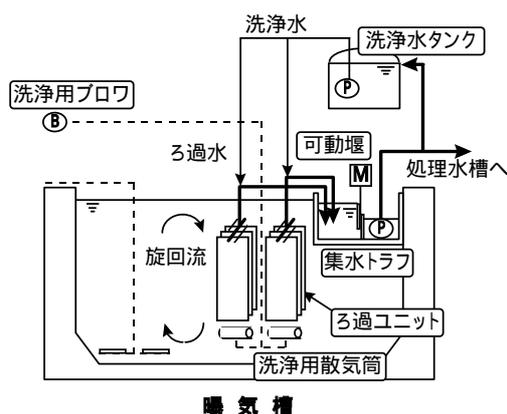


図14 実験装置概略

表3 実験条件

系 列		No.1	No.2
設定ろ過流束		1.5 ~ 5.5m/d	
不織布		Bタイプ (目付量 : 15g/m ²) (H11.9/3 ~ H12.8/14) Cタイプ (20g/m ²) (H12.8/28 ~ H13.3/15)	Bタイプ (15g/m ²) (H11.9/3 ~ H13.2/20)
モジュール数		9モジュール/ユニット	
有効膜面積		2.32m ² /モジュール	
水頭差		5 ~ 550mm	
洗浄パターン		洗浄シーケンス参照	
洗浄 頻 度	一次側I _A -・逆洗水	8回/日	
	インライン薬品洗浄 (次亜塩素酸ナトリウム)	夏期1回/日、冬期8回/日 (逆洗水に注入、有効塩素20mg/L)	
	二次側I _A -	8回/日	
	排泥	8回/日	
生物処理		標準活性汚泥法	

注) 可動堰動作条件：動作間隔3分、不感帯領域10mm

表4 > 洗浄条件

ろ 過	173分				
一次側I _A -		3分			
洗浄水			7分		
排 泥				3分	
二次側I _A -		1分			
薬 注		4分			
備 考	← 1サイクル (180分) →				

3.2 実験結果

No.1ユニット及びNo.2ユニットの運転条件を表5及び表6に示す。

表5 No.1ユニットろ過流速運転条件

RUN	運転条件	運転期間
	ろ過流速2.0m/d実験	H11. 9/ 3 ~ H12. 7/18 H12.11/24 ~ H12.12/ 6 H12. 1/11 ~ H12. 2/20
	ろ過流速1.5~4.0m/d時変動実験	H12. 7/18 ~ H12. 9/13
	ろ過流速5.5m/d実験	H12.10/ 2 ~ H12.11/24 H12.12/ 6 ~ H12. 1/11
	ろ過流速4.0m/d実験	H12. 2/20 ~ H12. 3/15

表6 No.2ユニットろ過流速運転条件

RUN	運転条件	運転期間
	ろ過流速2.0m/d実験	H11. 9/ 3 ~ H12. 6/ 8 H12.11/24 ~ H12. 2/20
	ろ過流速1.5~4.0m/d時変動実験	H12. 6/ 8 ~ H12. 9/13
	ろ過流速5.5m/d実験	H12.10/ 2 ~ H12.11/24 H12.12/ 6 ~ H12. 1/ 8

連続通水結果

各ユニットにおけるろ過流速の経日変化を図15及び図16に示す。

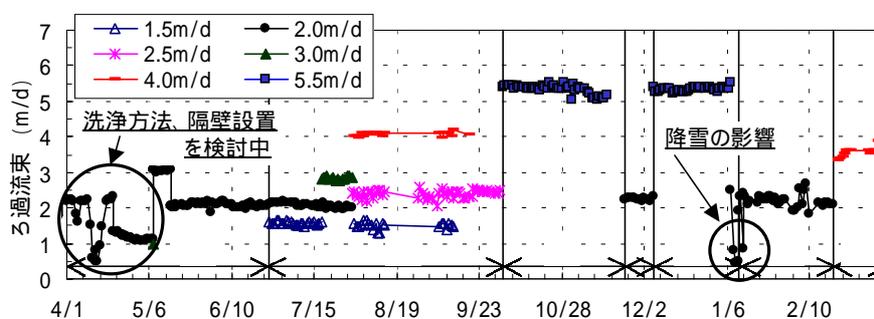


図15 ろ過流速の経日変化 (No.1ユニット、99.9/3運転開始)

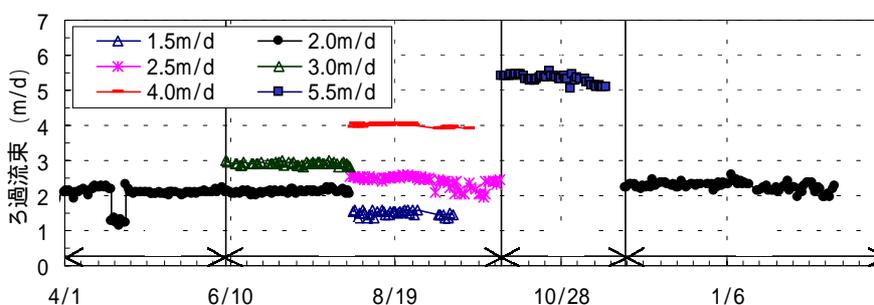


図16 ろ過流速の経日変化 (No.2ユニット、99.9/3運転開始)

平成 12 年度 4 月は、洗浄方法の調整段階にあり、No.1 ユニットのろ過流束が不安定となったが、排泥、薬液洗浄等の洗浄条件を適正化することで安定して連続運転が行えた。平成 13 年 1 月に、ろ過流束 5.5m/d で運転中に、降雪による原水水温低下の影響で汚泥性状が悪化し、目詰まりによるろ過流束の低下が生じたが、逆洗に約 300mg-Cl₂/L の高濃度次亜塩素酸ナトリウムを用いた滞留洗浄を実施することで速やかにろ過流束が回復した。

No2 ユニットでは、主に冬期洗浄条件⁴⁾の確認を行った。長期運転の結果、次亜塩素酸ナトリウム洗浄の頻度として、5~11月の夏期で 20mg-Cl₂/L×1回/日、12~4月の冬期で 20mg-Cl₂/L×8回/日の条件で、ろ過流束 2.0m/d の安定運転を行えることを確認した。

また、図 1 6 及び図 1 7 それぞれで示す期間で、両ユニットで曝気槽への流入水量変動に対する検証を行った。実験は、可動堰を自動制御することで実処理場の流入水量パターンを模擬した 3 段階の水頭差を与え、ろ過流束を時間毎に変化させて行った。この結果、1.5~4.0m/d の範囲でろ過流束を変動させても、処理水質は、目標値から悪化することなく、安定した運転ができることを確認した。

流量変動実験中、サイホン管内の流速が 0.5m/s 前後になると、サイホン管の下降管部で、空気の上昇速度と管内流束が均衡して管内に気泡が発生して、ろ過流束が低下するという現象が生じたが、下降サイホン管を傾斜させることにより、傾斜管上面で気泡を会合接触させ粗大化させて排出する方法で効果が得られている。

図 1 6 及び図 1 7 それぞれで示す期間で、最高ろ過流束 5.5m/d に保って長期間の連続運転ができた。

各ユニットにおける濁度の経日変化を図 1 7、図 1 8 に示す。

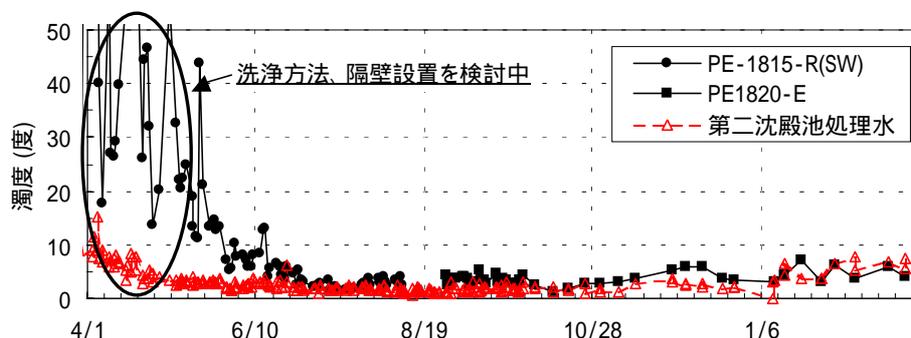


図 1 7 ろ過濁度の経日変化 (No.1ユニット)

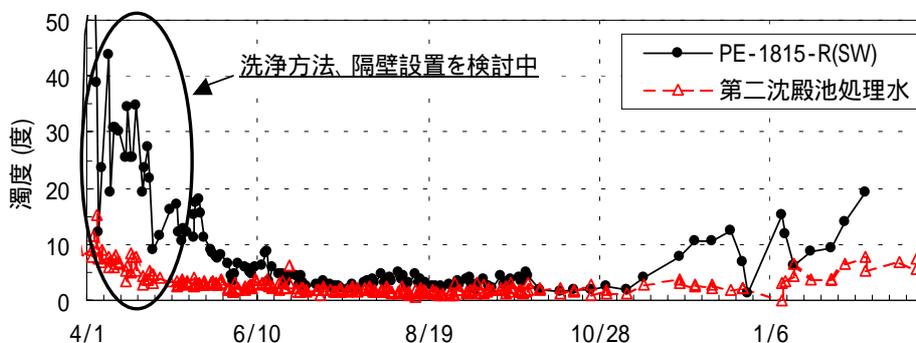


図 1 8 ろ過濁度の経日変化 (No.2ユニット)

処理水質については、曝気槽内の流速の大きさだけでなく、流れの乱れが大きい場合

もダイナミックろ過膜が剥離し、処理水が悪化することを確認した。これに対しては、ユニット間隔壁の高さを曝気槽水面よりも高くし、装置周辺の流れを整流化することで水質が改善された。また、平成 12 年度 8 月末からは No.1 ユニットの不織布を C タイプに交換したことで汚泥が分散化する冬期においても濁度 10 度以下の数値を得ることが可能であった。

第二沈殿池処理水との比較

ダイナミックろ過処理水と第二沈殿池処理水の濁度、SS 及び透視度の月平均値を表 7 に示す。

表 7 月別の処理水質

		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
濁度 (度)	No.1ユニット	56	19	6	2	3	4	2	4	5	4	5
	No.2ユニット	30	11	5	3	3	5	2	5	8	10	17
	第二沈殿池	7	3	3	2	1	3	2	3	2	4	7
SS (mg/L)	No.1ユニット	66	16	8	1	2	3	2	3	6	4	3
	No.2ユニット	39	8	4	2	3	5	2	4	10	5	10
	第二沈殿池	5	2	2	1	1	3	2	3	2	3	5
透視度 (cm)	No.1ユニット	7	16	32	76	60	65	90	68	53	78	66
	No.2ユニット	9	23	37	74	56	59	83	70	38	46	29
	第二沈殿池	36	54	54	90	87	82	98	80	70	69	45

洗浄方法、隔壁設置効果の確認を行っていた 4、5 月のダイナミックろ過の処理水質は第二沈殿池と比較すると濁度、SS が大幅に大きく、透視度は小さかった。ユニット間隔壁の高さを変更して槽内流を整流化制御した 7 月以降はダイナミックろ過がやや劣るものの、第二沈殿池と同等の処理水質であった。

水温が低下し汚泥性状が変化し始める 12 月以降は、C タイプの不織布を使用した。No.1 ユニットの処理水質は第二沈殿池同等であったが、B タイプを使用した No.2 ユニットの目付けが小さい為に、分散化して微細になった汚泥が透過し、濁度及び SS の値が上昇したが、SS は 10mg/L 程度にとどまった。

汚泥性状

MLSS、SVI の経日変化を図 19 に示す。

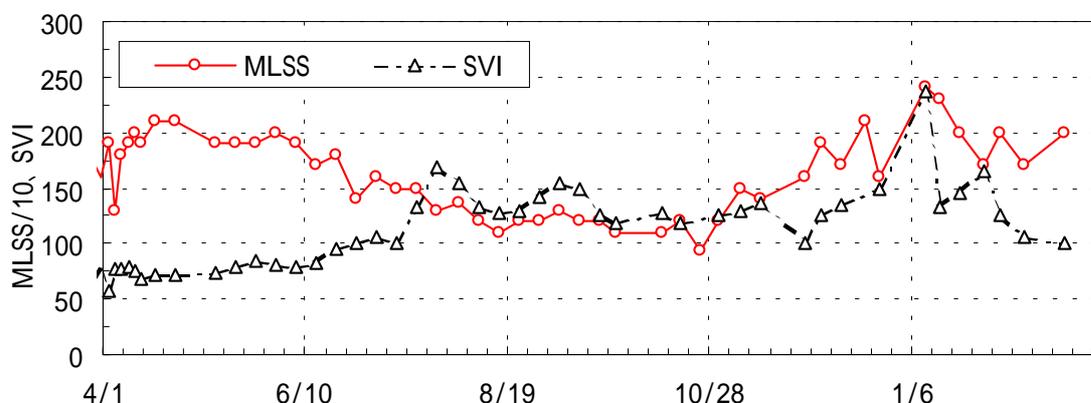


図 19 MLSS、SVIの経日変化

MLSS は、夏期 は 1,200mg/L 前後と低濃度、冬期 は 2,000mg/L 前後と高濃度で推移した。

SVIは降雪時を除き50~160mL/gで推移しており、汚泥の沈降性は良好であった。濁度の変化を図20に、透視度の変化を図21に示す。

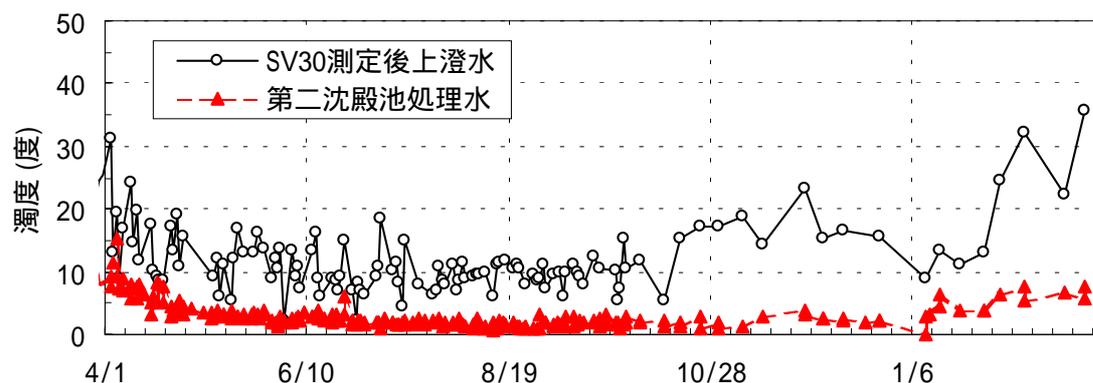


図20 その他濁度の経日変化

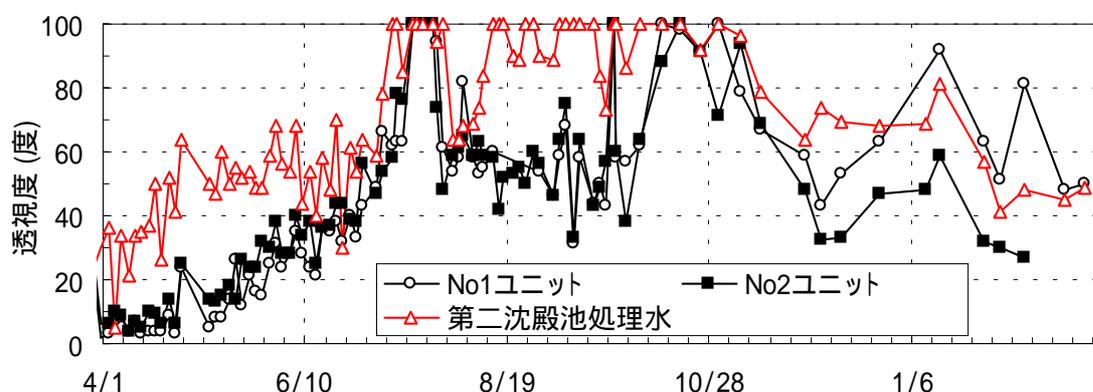


図21 透視度の経日変化

冬期になるとSV₃₀測定後の上澄水濁度が上昇しており、難フロック性の沈降性が悪く微細粒子の多い汚泥になったものと推測される。同じ時期に第二沈殿池処理水でも処理水濁度が上昇し透視度が低下する傾向を示した。濁度の上昇度に比べ、透視度の低下幅が大きいのは、透視度の値の方が懸濁物量の増減に敏感な為と推測される。

CSTの変化を図22に、SVの変化を図23に、水温の変化を図24に示す。

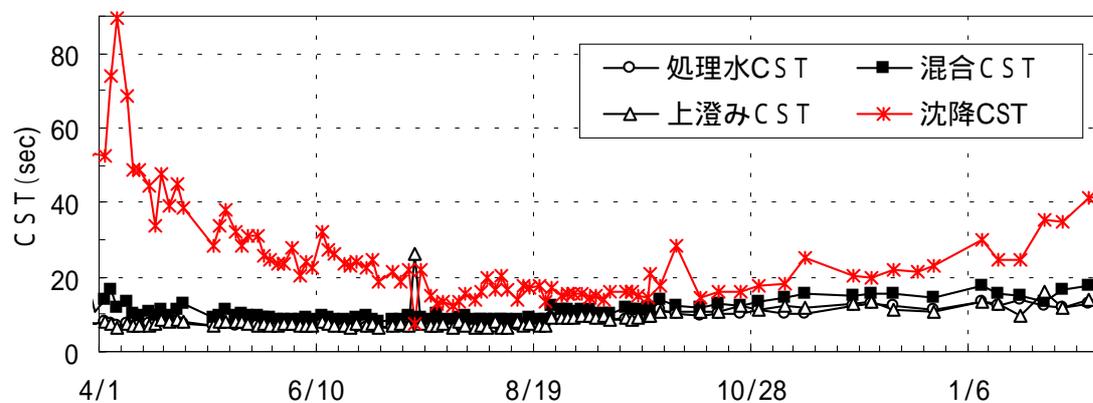


図22 CSTの経日変化

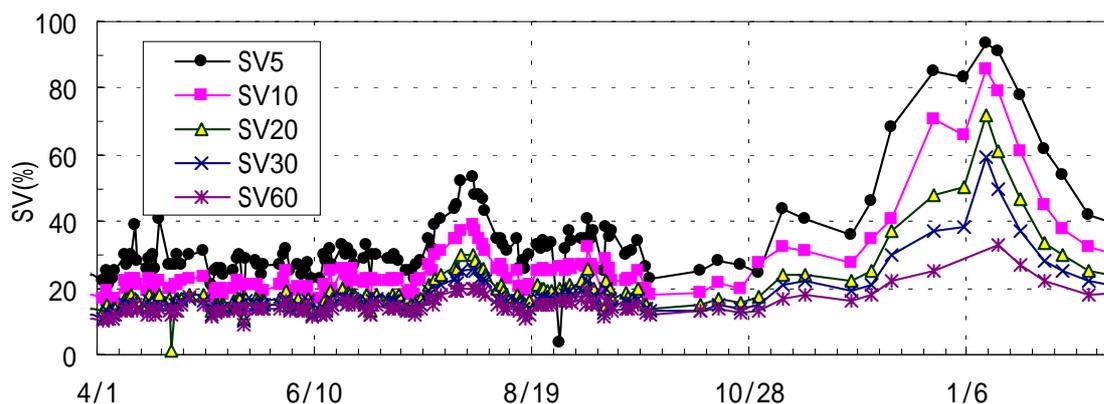


図 2 3 SVの経日変化

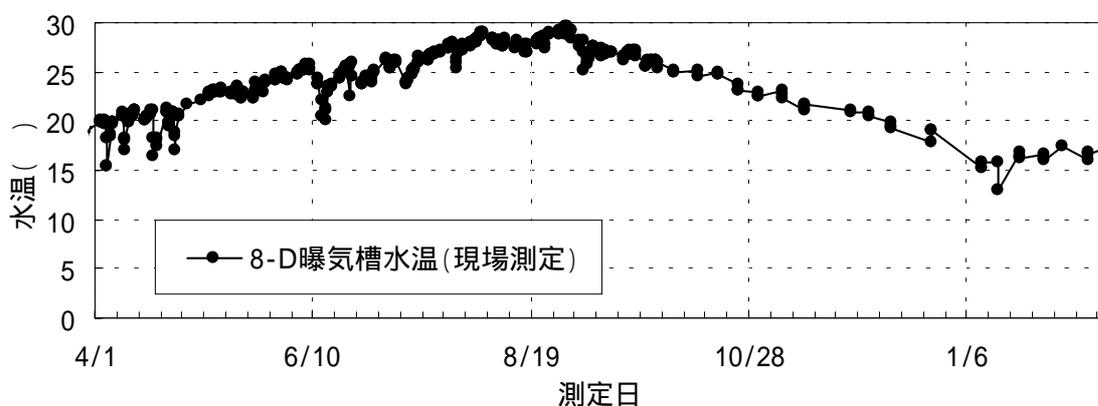


図 2 4 水温の経日変化

冬期に SV30 測定後のメスシリンダ底泥の CST が上昇しており、このことから冬期は汚泥の沈降が悪化していることが分かる。また、今年度は降雪に伴い水温が大幅に低下する場合、分散化した難フロク性で沈降性の悪い汚泥の発生があり、SV₅、SV₁₀ の値が上昇する結果となった。

水温が 20 以下になる 12 月頃から春先にかけて、上記に述べた水温の低下に伴う汚泥の分散化と処理水質の悪化が生じると推測される。

4. まとめ

(1) 硝化脱窒条件での連続運転の実証

落合処理場の第一沈殿池流出水を原水とし、有効要領 54m³ の閉鎖系パイロットプラントにおいて、ダイナミックろ過と硝化脱窒を組み合わせた処理特性を評価した。

4 月～9 月の夏期においてろ過流速を 2m/d に固定し、HRT を 10.5 時間とする条件にて、硝化脱窒運転を連続して行った結果、脱窒率 40～70% を達成した。

また、実用化に当たって押し出し流れ場にて MLSS 3,500 mg/L に濃縮される条件を想定して、MLSS 濃度を 3,500 mg/L に固定した継続運転において、安定した処理ができた。

今後の課題としては、実用化に向けて押し出し流れ場における MLSS 濃度勾配のある中でダイナミックろ過の検証を残している。

(2) 実曝気槽に浸漬配置した装置の冬期運転確認

平成 12 年度冬期において、水温低下にともなう活性汚泥の分散化傾向、ダイナミックろ

過水の濁度上昇及び不織布内部の閉塞にともなうろ過流束の低下が生じた。

水温が低下する冬期の11月～4月の間のみ冬期運転モードとして塩素洗浄頻度を通常の1回/日を8回/日に増やし、ろ過流束2 m/dで運転を継続したところ、処理水質が目標値に安定した運転を継続できた。2月後半にろ過ユニットを引上げ、不織布表面を観察したところ、目詰まりは生じておらず、清浄な状態を維持していることを確認した。

処理場の日間流量変動に対するダイナミックろ過の適応性を見るため、水頭差を自動制御し3段階の水位差によるろ過流束の変動実験を行った結果、1.5～5.5 m/dの範囲でろ過流束を変動させても、ダイナミックろ過が安定していることを確認した。

参考文献

- 1) 「活性汚泥の固液分離プロセスの開発」平成9年度東京都下水道局技術調査年報平成9年12月
- 2) 「活性汚泥の固液分離プロセスの開発その2」平成10年度東京都下水道局技術調査年報平成10年12月
- 3) 「活性汚泥の固液分離プロセスの開発その3」平成11年度東京都下水道局技術調査年報平成11年12月
- 4) 「ダイナミックろ過法を用いた生物学的高度処理法の開発に関する研究」平成12年度東京都下水道局技術調査年報平成12年12月

大目次

目次

要旨

- 8 担体添加法の深槽反応タンクへの適用調査

計画調整部技術開発課 曾根 啓一
渡部 健一

1. 調査目的

平成 11 年より、処理場放流水の窒素・りんに対して、環境確保条例の上乗せ基準がかかるようになった。また、平成 16 年度を目標年度とする第五次水質総量規制において、従来の COD に加えて窒素・りんの総量規制が導入される予定になっており、よりいっそうの窒素・りんの削減が必要となってきた。

一方、東京都区部には施設拡張の余地のない処理場も多く、このような処理場では、標準活性汚泥法と同程度の反応タンク滞留時間で高度処理を行う必要がある。現在、高度処理としては嫌気-無酸素-好気法(A₂O 法)が主流であるが、反応タンク滞留時間として 14~16 時間を必要とするため、導入にあたっては用地に余裕のある処理場に限定されてしまう。そのため、標準法と同程度の滞留時間(6~8 時間)で窒素・りんの除去可能な、よりコンパクトな高度処理法が求められている。

担体添加活性汚泥法は、反応タンクに硝化細菌を繁殖・固定化した担体を保持することで、短い滞留時間で窒素除去を可能とした高度処理の一方法である。しかし、今までの担体添加法は浅槽反応タンクへの適用例がほとんどであり、大都市で主流である深槽反応タンクへの適用例はほとんど無い。深槽反応タンクに担体添加法を導入するにあたっては、

反応槽底部への担体堆積防止のために、比重が水に近い担体の開発

酸素移動効率が大きく担体を堆積させない攪拌散気装置の選定

通過流速が大きく目詰まりの起こりにくい担体分離スクリーンの選定

が課題であった。

技術開発課では、反応タンク滞留時間 8 時間以内での窒素・りん同時除去を可能にするため、当課で開発を行ったステップ流入式嫌気-無酸素-好気法に、担体添加法を組み合わせた水処理法を深槽反応タンクへ導入する検討を開始し、各種の調査を行った。図-1 にその概念フローを示す。

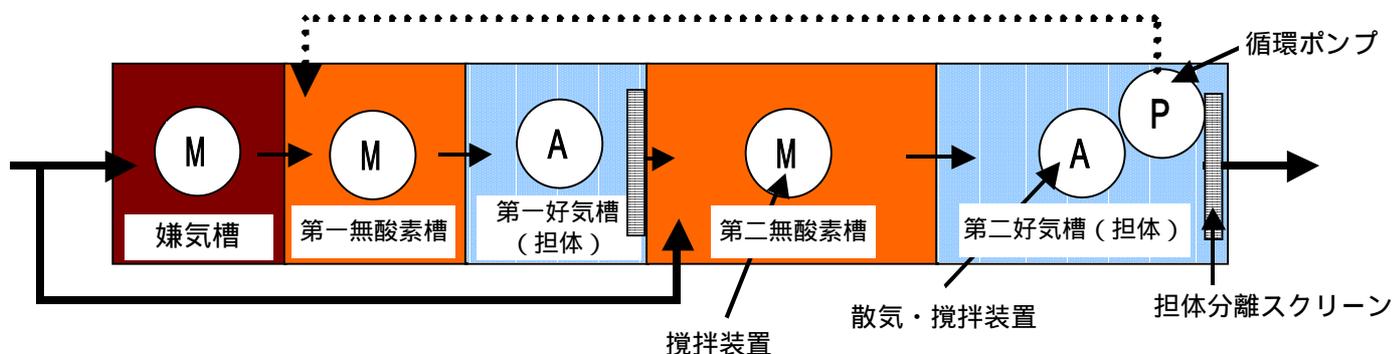


図-1 担体添加ステップ流入式嫌気-無酸素-好気法想定フロー

2. 深槽対応担体添加法で必要となる機器類の検討

2.1 担体

担体添加法は、プラスチックモジュール（担体）を生物反応槽に投入し、担体に付着・繁殖した硝化菌を利用して安定的に硝化を進める方法である。硝化細菌は増殖速度が極めて遅いため、特に、冬期には余剰汚泥の引抜速度（SRT）に増殖速度が追いつかず、標準活性汚泥法では大容量の好気槽がなければ硝化が進まないことになる。これに対し、硝化細菌の付着した担体を用いると、SRTに関係なく低水温期でも系内に硝化細菌を保持することが出来るため、短い反応タンク滞留時間での硝化が可能となる。

担体の種類は大きく分けて包括型と結合型がある。包括型担体はあらかじめ担体に硝化細菌を練りこんだもので、担体投入開始直後から硝化を進めることが出来る担体である。一方、結合型担体は担体の表面を硝化細菌が繁殖しやすい構造にして、反応槽の中で自然に硝化細菌を繁殖させるものであり、馴養期間が必要であるが、包括型と比較して強度があり機械攪拌に強い。また、結合型担体についてはさまざまな形状や材質のものが作られている。

今回の調査で、深槽反応タンク型担体添加法に用いる担体の選定条件として次の項目をあげた。

- 機械攪拌に強い結合型担体
- 水に近い比重を持つ軽い担体（比重 1.01 以下）
- 担体分離スクリーンの目巾があまり狭くならないようにある程度の大きさをもつ担体

以上の項目に該当するものとして、次の担体について検討を開始した。

担体・・・ポリエチレングリコール製
結合型担体（以下 PEG 担体とする）
比重 1.007 球形 径 4mm

PEG 担体の馴養前の外観を図-2 に示す。

また、担体はこれまで硝化担体として用いられることがほとんどであったが、今回の調査ではよりいっそうの施設のコンパクト化を図るため、PEG 担体に脱窒細菌を馴養させて脱窒担体として無酸素槽への適用の検討を行うこととした。



図-2 PEG 担体（馴養前）

2.2 攪拌散気装置

深槽反応タンクは通常散気板等を水深の中間点に設置した旋回流方式の散気・攪拌を行っているが、旋回流方式では担体の堆積防止は困難であった¹⁾。そこで、散気・攪拌は機械式で検討することとした。また、攪拌散気装置は上吐き出し式の採用例が多いが、担体の堆積防止に必要な槽底部流速が確保できると考えられる下吐き出し式を検討することとした。今回の調査で使用した攪拌散気装置を次に示す。

攪拌散気装置・・・ドラフトチューブ式攪拌散気装置（以下 DTA とする）

DTA は、インペラーによりチューブ内に下向きの流速を与えて攪拌を行うものである。曝気時には、インペラー下部のリング状の散気管より空気が入り、インペラーの回転により生じる下降流によって空気をせん断することで微細気泡となり、下向きの水流と共にチューブ内を気泡が下降する。電動機動力はインバーターにより可変であり、動力を変化させることでインペラーの回転数を変え、DTA の送水量及び空気量を変えることが可能である。DTA の概要図を図-3、インペラー部の写真を図-4 に示す。

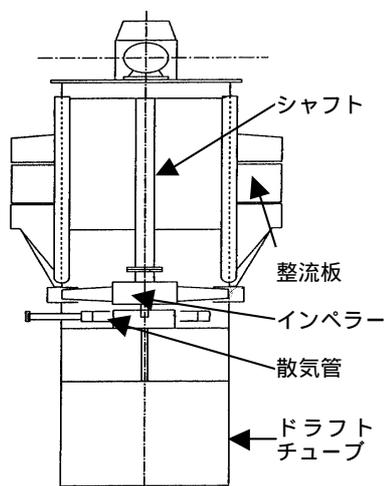


図-3 DTA の概要図



図-4 DTA 上部より

2.3 担体の分離方法（円筒スクリーン）

担体添加法において重要な項目の一つに担体と混合液の分離があり、担体を槽内に保持するためにスクリーンが必要となる。処理施設をコンパクトにした中で、変動する水量を安定して通過させるためには、スクリーンの通過流速を高めるか面積を大きくすることが必要となる。しかし、通常の平面スクリーンでは通過流速は 150m/h 程度（清水）が限界であり、大きなスクリーン面積を必要とする。一般的にスクリーン通過流速はスクリーン面の液流速に比例するものであるが、DTA を用いる場合はドラフトチューブ内の流速が最大（約 2m/s の下降流速）となる。そこで、DTA のチューブを二重にしてその内側にスクリーン（以下円筒スクリーン）を設置する方法を検討した。円筒スクリーンの概略図を図-5 に示す。

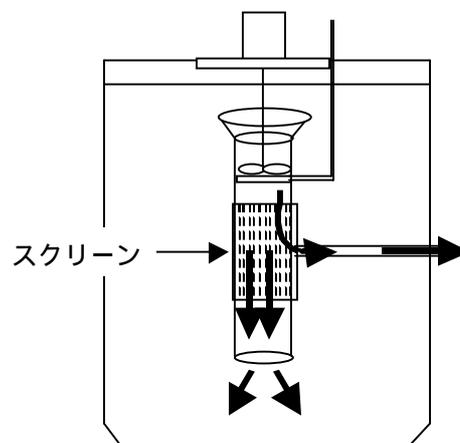


図-5 円筒スクリーン概略図

3. 調査内容

3.1 調査の目的

今回の調査は、担体添加法を深槽式でステップ流入式嫌気-無酸素-好気法に導入することを目指し、設計マニュアルを作成することを目的として、以下の項目について検討を行った。

- DTA の性能（機械特性、流速分布、酸素溶解効率、溶存窒素濃度）
- PEG 担体の流動性（担体分布濃度）
- 円筒スクリーンの通過特性
- DTA で攪拌した時の PEG 担体の耐久性
- 担体を無酸素条件で馴養したときの脱窒性能

3.2 水深 10m の水槽実験

深槽反応タンクへの担体添加法の適用調査には、担体の流動性を確認するため、実規模の水深 10m 程度の水槽が必要であった。そこで、国土交通省国土技術政策総合研究所の 10m 水深の水槽を借用して、DTA 性能・PEG 担体の流動性・円筒スクリーンの調査を行った。担体添加率は水槽容積に対して真容積当たり 5%（嵩容積で 9.1%）である。調査に使用した水槽と DTA の仕様は次の通りである。

（設備仕様）

深槽水槽・・・3mW × 10mL × 10mH=300m³

曝気ブロワ・・・15m³/分 × 98kPa(1.0kg/cm²) × 55kW

亜硫酸ソーダ溶解・注入設備有り

（DTA 仕様）

電動機動力 30kW（最大動力投入密度 100W/m³）

チューブ径 1000mm

解放水深 6m、8m（チューブ下端の水深のこと、図-6）

以下に深槽水槽で行った各調査について説明する。また、DTA 設置の様子を図-7 に示す。

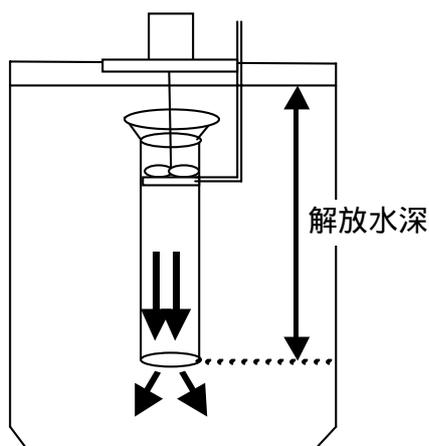


図-6 DTA の解放水深



図-7 DTA 設置

3.2.1 攪拌・散気装置 (DTA) の機械特性と空気供給特性

DTA は下降流により気泡を底部へ押し込むことで散気を行うため、一定以上の空気量では気泡の浮力が下降流速に勝り、気泡を底部へ運ぶことが不可能となる。そこで、動力と DTA のインペラー回転数及び各動力における供給可能空気量（これ以上空気を送ると下降流速に浮力が勝り送風が不可能となる空気量）の関係を調べた。

3.2.2 酸素溶解効率

解放水深、攪拌動力、空気量、担体の有無の条件を変えて、酸素溶解効率を調べた。酸素溶解効率は、亜硫酸ソーダを槽内に注入して溶存酸素を 0mg/L にし、その後 DTA により一定風量で散気を行って、溶存酸素の増加速度を調べる非定常法により求めた。

3.2.3 流速と担体流動特性

水槽内の各測定点（測定点は後述、図-17）に 3 次元流速計を設置し、DTA の各運転条件における X・Y・Z 軸の流速を 2 秒間隔で計 60 回調べた。これを下の式により測定時刻ごとに合成して総合流速を算出し、この総合流速 60 回の平均値を計算して、ある条件下における流速とした。また担体濃度は、蓋が可動のサンプル瓶で測定点の採水を行い、1L メスシリンダーに入れ、そのときの担体濃度を測定した。

$$\text{総合流速} = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$$

3.2.4 溶存窒素の影響

DTA は解放水深が深いため、酸素溶解効率とともに窒素の溶解効率も高くなり、溶存窒素濃度も高くなると予想される。この窒素は水圧が低くなることでガス化し気泡となって、第二沈殿池で汚泥の浮上を起こす可能性が考えられる。そこで、DTA を曝気運転した後採水し、溶存窒素濃度を溶存窒素計により測定した。また、中川処理場の余剰汚泥を用い、採水した曝気液と混合させ汚泥の浮上状況を目視で観察した。また、水槽内に散気管（散気水深 5m）を設置して、DTA により曝気を行った後に散気管によりポストエアレーションを行い、同様に溶存窒素濃度と汚泥の浮上状況を調べた。

3.2.5 担体分離の調査

担体分離法として円筒スクリーンについて調査した。今回の調査では小型の円筒スクリーンを DTA にとりつけ、清水中で通過流速 150～200m/h の時のスクリーン損失水頭について調べた。水頭差は図-8 のように水槽の一角を区切り、循環ポンプにより所定の通過流速になるように流量を調整し、その時の水位差により調べた。調査に使用した小型スクリーンを図-9 に、スクリーンの仕様を以下に示す。

（円筒スクリーン仕様）

$$\text{スクリーン面積} \cdots 1\text{m} \times 0.1\text{mH} = 0.31\text{m}^2$$

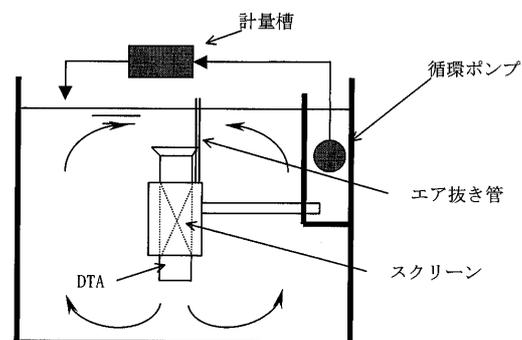


図-8 スクリーン調査概要図



図-9 調査用小型円筒スクリーン

目幅・・・2mm (ウェッジワイヤータイプ)
 (循環ポンプ)
 水中ポンプ・・・1.6m³/分 × 5mH × 5.5kW
 (計量槽)
 三角堰式計量槽・・・測定範囲 0.3～3m³/分

3.3 担体加速(破壊)調査

DTA に対する PEG 担体の耐久性を確認するため、小型水槽に小型 DTA を設置し、PEG 結合担体を嵩容量で水槽の 20%投入して、実施レベルより高い動力投入密度を与えて、担体の破壊・摩耗の状態を調査した。担体の摩耗や破壊の度合いを確認するため、担体を目巾 0.5mm、2mm、2.8mm、4mm の篩にかけ分級を適時行い、それぞれ 1L メスシリンダーにより担体嵩容量を測定した。試験設備の仕様を次に示す。また、調査の写真を図-10 に示す。

(試験設備仕様)

試験水槽・・・800mmW × 800mmL × 1000mmH (有効水深 900mm)
 DTA・・・吸込口径 400mm、チューブ径 264mm、電動機動力 3.7kW



図-10 担体加速調査

3.4 脱室担体性能調査

無酸素槽滞留時間の短縮を図るため、脱室担体の性能調査を行った。冬季の約3ヶ月間、中川処理場 A₂O 法系列の脇に試験装置を置き、脱室担体の馴養と性能調査を行った。担体には水深 10m 水槽試験に用いた PEG 結合担体と、ポリビニルアルコール製(PVA)結合担体(比重 1.03、球形 4mm)の2種類を用いた。装置の仕様を以下に示す。また、装置の概要を図-11 に、装置の写真を図-12 に示す。装置には、中川処理場の硝化循環液の戻りのある無酸素槽流入部の活性汚泥混合液を入れ、滞留時間2時間で運転し担体の馴養を行った。また、脱室担体の馴養の確認と担体の脱室性能を調べるため、活性汚泥単独、担体単独の脱室速度を回分試験により測定した。なお、装置へ流入する NO₃-N が少なかったため、運転開始 40 日後より硝酸カリウム 6mg/L(NO₃-N として)を添加、運転開始 75 日後より硝酸カリウム 18mg/L(NO₃-N として)に増加して調査を行った。

(調査装置仕様)

実験タンク・・・ポリエチレン円形槽、430mm × 745mmH=100L
 原水ポンプ・・・ローラーポンプ、830mL/分(200～1300) × 98kPa × 30W
 攪拌機・・・可変速型攪拌機、70～1400rpm × 70W
 前スクリーン、担体分離スクリーン有り

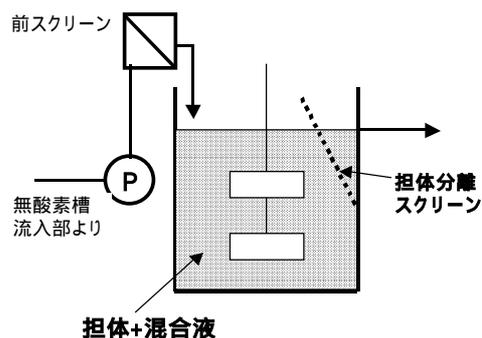


図-11 脱室担体性能実験装置概要図



図-12 脱室担体性能実験装置

4. 調査結果

4.1 DTAの性能(機械特性と空気供給特性)

DTAの電動機動力とインペラー回転数の関係を図-13に示す。DTAの動力が上がるにつれインペラー回転数も上昇する。この上昇傾向は送気の有無及び担体の有無によって差は認められなかった。

各動力における供給可能空気量は、動力が上がるにつれて多くなるが、水深5mにおける同機種に通気性能と比較すると、解放水深8m・担体ありで約25%減少した(図-14)。また、担体投入による供給可能空気量の減少は5%程度であった。また、解放水深8mと6mと比較すると、解放水深が深い方が供給可能空気量は多くなった。

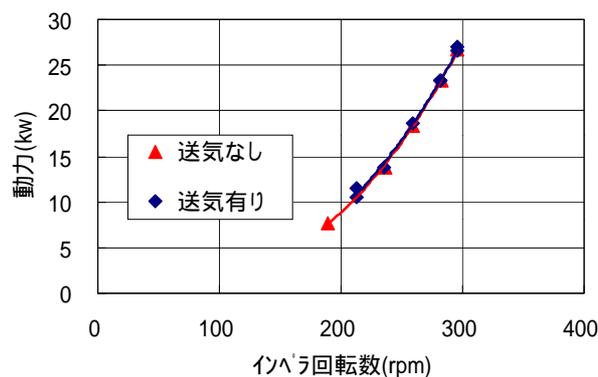


図-13 動力とインペラー回転数
(解放水深6m・担体有り)

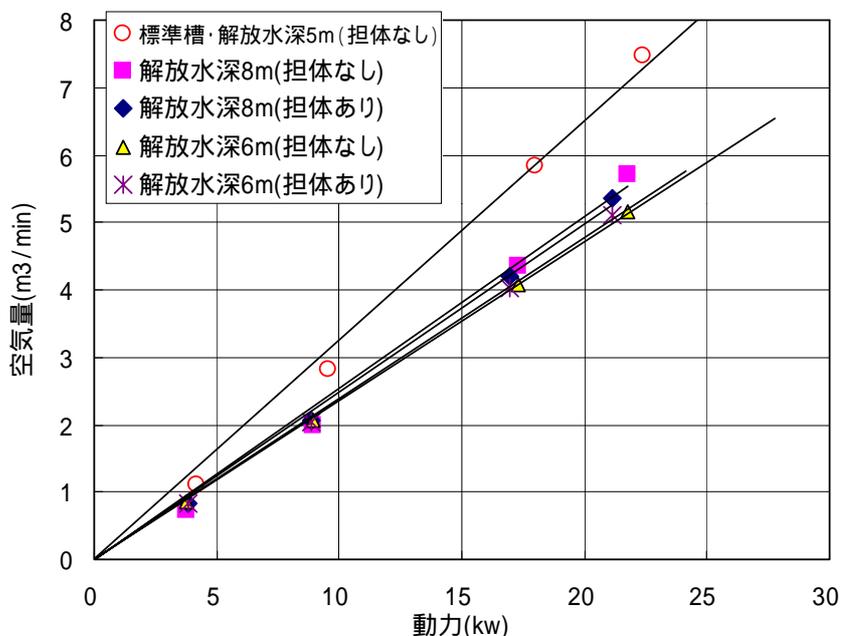


図-14 動力と供給可能空気量

4.2 酸素溶解効率

担体を投入しないときのDTAの各空気量に対する酸素溶解効率を図-15に示す。これは各動力における供給可能空気量の約90%の時である。担体を投入しない場合、清水・20で酸素溶解効率は40~50%となった。また、動力の増加とともに空気量も増加させたが、供給可能空気量の90%程度では、酸素溶解効率は空気量に依存しなかった。しかし、動力を変えずに空気量を供給可能空気量の約50%

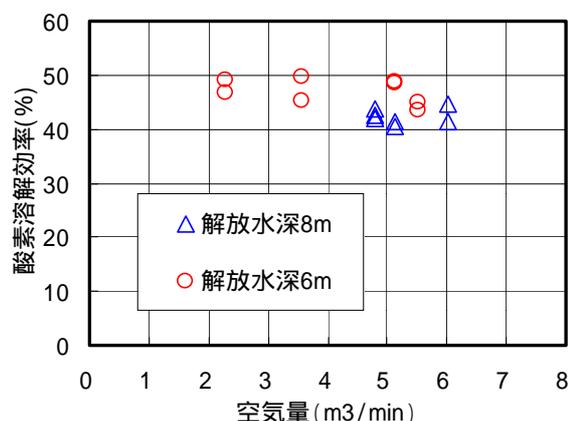


図-15 酸素溶解効率(担体なし)

程度まで下げると、酸素溶解効率は 50%以上に増加した。また、解放水深により酸素溶解効率に差はほとんど生じなかった。

担体を投入した時の酸素溶解効率を図-16 に示す。これは各動力における供給可能空気量の約 90%の時である。担体を投入しない時と比較して酸素溶解効率は若干低下するが、それでも 40%以上の値であった。また、供給可能空気量の 50%程度まで空気量を下げたときは、担体なしの時と同様に酸素溶解効率は増加する傾向を示した。

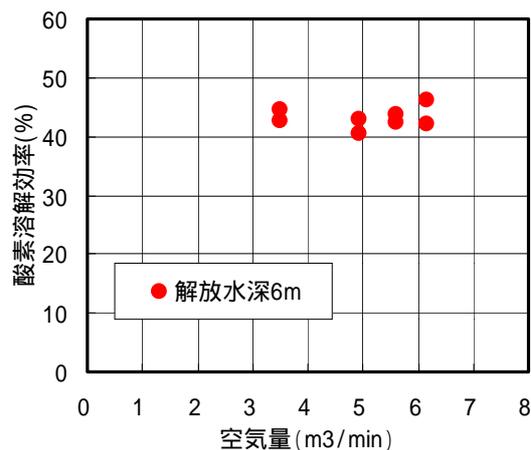


図-16 酸素溶解効率 (担体有り)

4.3 流速と担体流動特性

水槽内の流速と担体濃度の調査点を図-17 に示す。

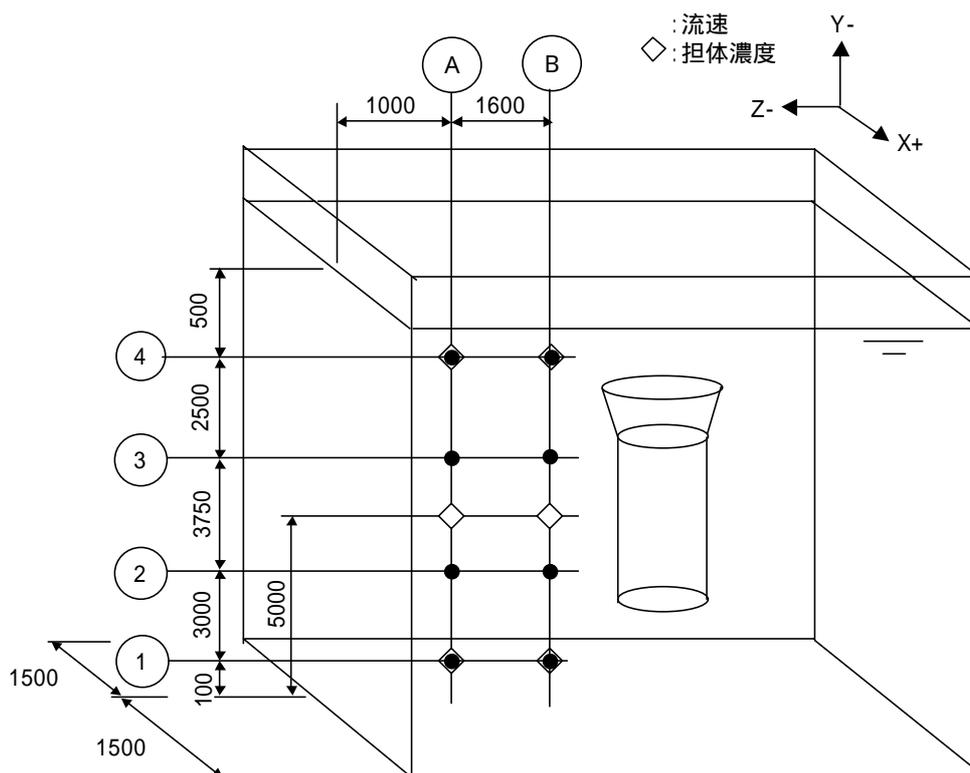


図-17 流速・担体濃度測定点

4.3.1 担体なし、送気なし（嫌気槽条件）

担体なし、送気なしの条件で電動機動力をさまざまに変えて、各点の流速を測定した。動力投入密度と各点の底部流速の関係を図-18に示す。解放水深6m・8mとも動力投入密度 $5\text{W}/\text{m}^3$ 以上で活性汚泥の堆積が生じないといわれる底部流速 $10\text{cm}/\text{s}$ を確保した。また、動力投入密度が高くなるにつれて底部流速も増加する傾向が見られた。この結果より嫌気槽では、動力投入密度 $5\text{W}/\text{m}^3$ 以上が必要であることが分かった。

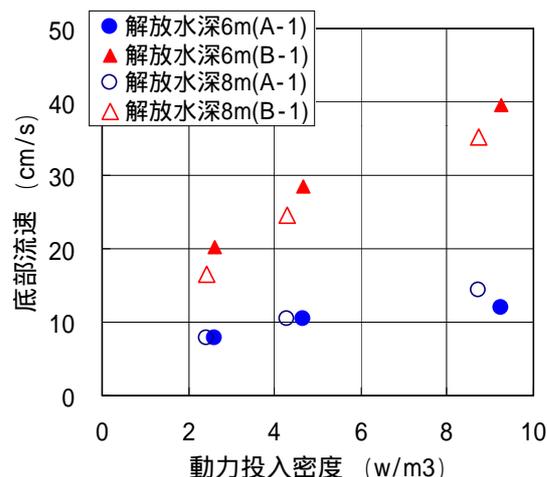


図-18 底部流速と動力投入密度（担体なし・送気なし）

4.3.2 担体有り、送気なし（脱窒担体投入時の無酸素槽条件）

担体あり、送気なしの条件で、電動機動力（動力投入密度）を変えて、各点の流速と担体濃度（嵩密度）を測定した。解放水深6mでの動力投入密度に対する底部流速を図-19に示す。動力投入密度が増加にするにつれて、底部流速も増加している。動力投入密度 $10\text{W}/\text{m}^3$ で、活性汚泥の堆積が生じないといわれる底部流速 $10\text{cm}/\text{s}$ を確保していた。また、解放水深6m、8mにおける各点の担体濃度をそれぞれ図-20、図-21に示す。なお、図の担体濃度はすべて嵩密度であり、担体が水槽内に均一に分布すると嵩密度は9.1%となる。担体濃度と動力投入密度は、解放水深による影響をほとんど受けなかった。また、動力投入密度 $10\text{W}/\text{m}^3$ 程度でも担体濃度は8~10%程度であり、担体の底部堆積は生じなかった。結果として脱窒担体を投入したときの無酸素槽では、担体投入密度 $10\text{W}/\text{m}^3$ 以上が必要であることが分かった。

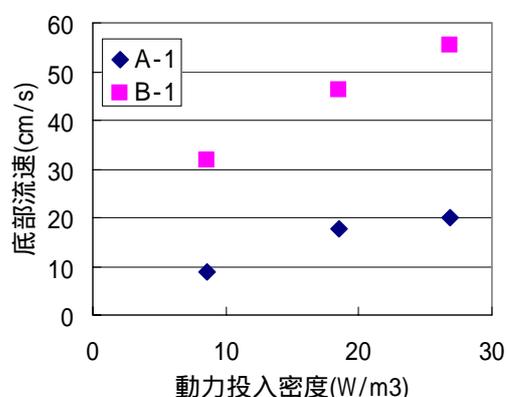


図-19 底部流速と動力投入密度（担体有り・送気なし・解放水深6m）

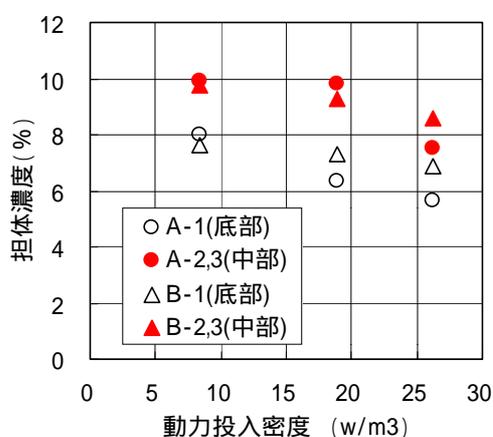


図-20 担体濃度と動力投入密度（担体有り・送気なし・解放水深6m）

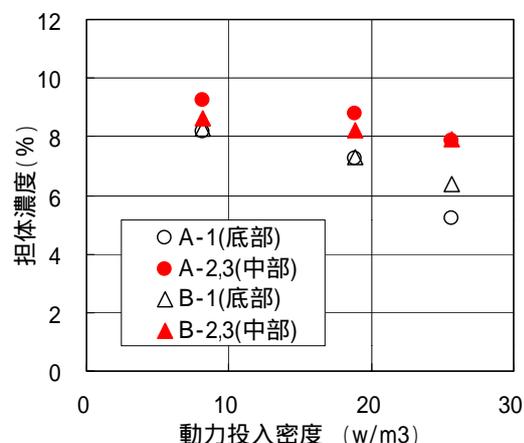


図-21 担体濃度と動力投入密度（担体有り・送気なし・解放水深8m）

4.3.3 送気有り（好気槽条件）

送気ありの条件で、電動機動力と空気量を変えて、各点の流速と担体濃度を測定した。担体無しにおける底部流速は、空気量を各動力における供給可能空気量の90%としたときは、散気水深によらずA-1地点では約10cm/s、B-1地点では約30cm/sとなった（図-22、図-23）。動力を変えずに空気量のみを下げると、底部流速はA-1・B-1地点ともに増加した。

散気水深6mで担体を添加したときの底部流速を図-24に示す。B-1地点では動力投入密度の増加につれて流速も増加しており、 $40\text{W}/\text{m}^3$ でも底部流速20cm/s以上であった。また、A-1地点では動力投入密度にかかわらず流速は10cm/s程度であったが、5cm/s程度と低いこともあった。A-1地点の流速が低い原因は、水槽形状が細長いためであると考えられる。また、同条件における底部の担体濃度は、A-1・B-1両地点とも堆積は見られず、ほぼ担体添加濃度と同じであった（図-25）。動力投入密度を $40\text{W}/\text{m}^3$ 以下とすると、A-1地点で担体濃度が高いことがあったが、それ以上では底部への堆積は認められなかった。また、解放水深8mにおいても動力投入密度 $40\text{W}/\text{m}^3$ 以上で、担体の堆積はなかった（図-26）。以上より好気槽では、動力投入密度 $40\text{W}/\text{m}^3$ 以上が担体の流動性確保のために必要である。

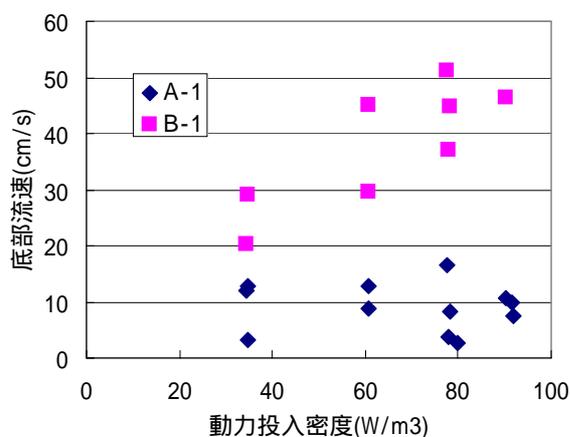


図-24 底部流速と動力投入密度
(担体有り・送気有り・解放水深6m)

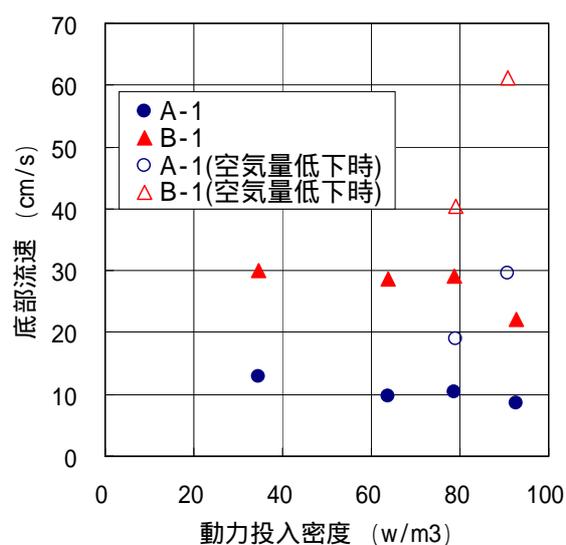


図-22 底部流速と動力投入密度
(担体なし・送気有り・解放水深6m)

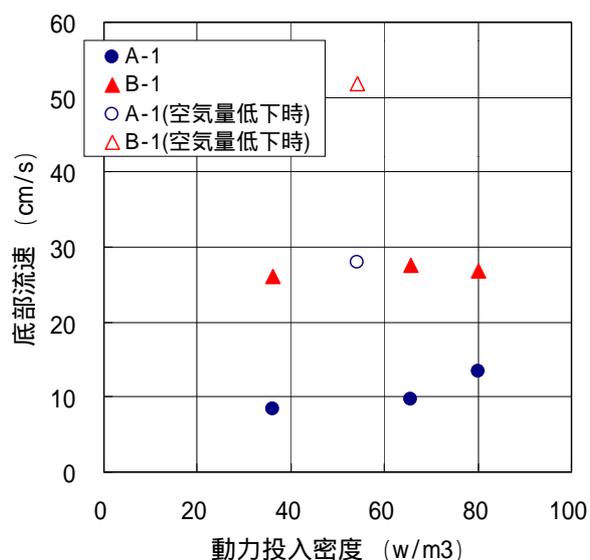


図-23 底部流速と動力投入密度
(担体なし・送気有り・解放水深8m)

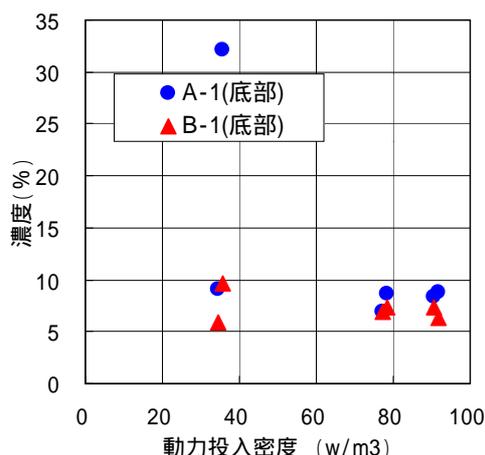


図-25 担体濃度と動力投入密度
(担体有り・送気有り・解放水深 6m)

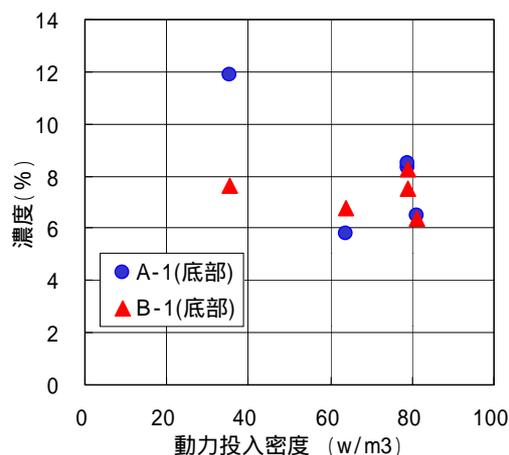


図-26 担体濃度と動力投入密度
(担体有り・送気有り・解放水深 8m)

4.4 溶存窒素とその影響

水深 10m の水槽試験において、DTA や散気管による曝気及びポストエアレーション後の清水中の溶存窒素濃度と、汚泥浮上の有無について調査を行った。その結果を表-1 に示す。また、汚泥浮上の様子を図-27 に示す。

DTA による曝気後の溶存窒素濃度は解放水深にかかわらず 20 ・1 気圧換算で 20mg/L を超え、飽和濃度である 19.4mg/L を上回り過飽和となった。この曝気液に余剰汚泥を混合させると汚泥が浮上した。これを実施設で考えると、導水渠や第二沈殿池で汚泥の浮上現象が生じることになる。これは、曝気液が水面近くに上昇して水圧が低くなることで、過飽和分の窒素がガス化して気泡となり、この気泡が汚泥に付着して汚泥が浮上するからである。

DTA による曝気後、散気管 (散気水深 5m) により空気量 460m³/h (容量当たりの送風倍率 1.53(1/hr)) で 30 分ポストエアレーションを行ったところ、溶存窒素濃度は 16~18mg/L となり過飽和濃度を下回り、余剰汚泥と混合させた時も汚泥の浮上は無くなった。しかし、空気量 300m³/h (容量当たり送風倍率 1.00(1/hr)) で 30 分のポストエアレーションでは、溶存窒素濃度は低かったが、汚泥の浮上を防止することはできなかった。この結果より、容量当たりの空気量が 1.5 倍以上 (1/hr) で、30 分以上のポストエアレーションが必要であることが分かった。



図-27 汚泥浮上の様子

表-1 溶存窒素と汚泥浮上の有無

散気装置	散気管	DTA(解放水深8m)	散気管(再曝気)	DTA(解放水深6m)	散気管(再曝気)	散気管(再曝気)	散気管(再曝気)
空気量(m ³ /h)	300	200	300	200	300	460	460
散気時間(分)	160	120	30	30	30	20	30
溶存窒素 (20 ,mg/L)	16.6	21.1	17.4	20.3	17.7	17.1	17.3
汚泥浮上	無	有	無	有	有	有	無
備考			DTA(解放水深 8m)運転後		DTA(解放水深 6m)運転後	DTA(解放水深 6m)運転後	DTA(解放水深 6m)運転後

* 散気管の散気水深はいずれも 5m

4.5 担体分離

DTA の送気有りの条件における円筒スクリーン通過流速を変えたときの、経過時間とスクリーン損失水頭の関係を図-28 に示す。送気有りで通過流速を最大 188m/h まで上げたところ、スクリーン損失水頭は時間とともにわずかに増加しているものの、担体のスクリーンへの目詰まりはなかった。スクリーン損失水頭の初期値が高い原因は、流出速度に対して流出管の管径が細いためと考えられる。また、時間経過につれて損失水頭が増加する原因としては、送気を行うことによって管内に気泡が徐々に溜まっていくため、エア抜きを行うと若干損失が下がることがあった。

また、水深 10m 水槽調査では通過流速 188m/h までしか調査が出来なかったため、水深 6m の水槽を用いて同様の調査を行った。結果を図-29 に示す。清水中で通過流速を 382m/h まで上げてもスクリーン損失水頭はほとんど増加せず、担体の目詰まりも生じなかった。

4.6 担体加速試験結果

DTA をインペラー回転数 679rpm の高い回転数で約 32 日間運転を行い、PEG 担体の破壊の程度を篩による分級試験により調査した。この時の分級の結果を表-2 に示す。表-2 より 32 日間の運転でほとんど分級の割合は変わらなかった。また、亀裂や切断のような明らかな破壊は目視によっても確認できず、この運転期間で担体の破壊は生じなかったと結論することができた。ここで 32 日間の運転期間は液循環回数より実施設に換算すると約 2.2 年分に相当するので、今回の PEG 担体と DTA の組み合わせによる担体の破壊の恐れは低いと考えられる。また、このときに 2.8mm の篩を通過する担体はほとんど増加していないため、磨耗についてもほとんど生じていないことが分かった。

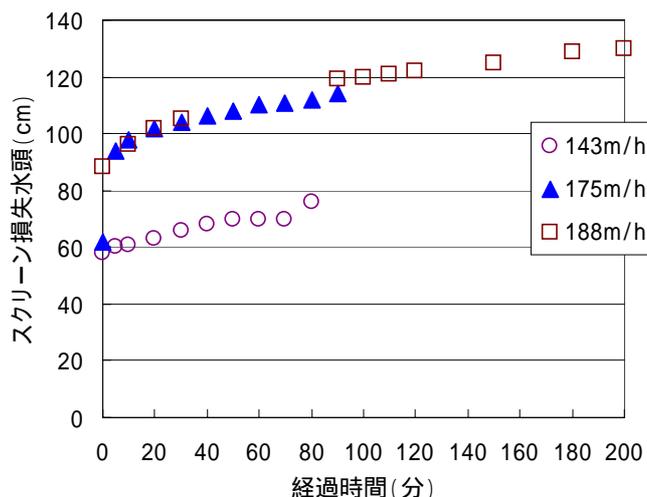


図-28 円筒スクリーン損失水頭(送気有り)

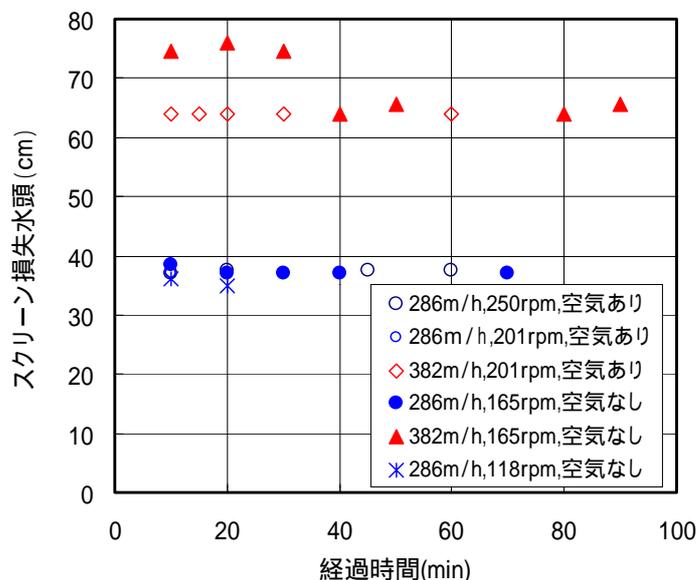


図-29 円筒スクリーン損失水頭(水深 6m 水槽)

表-2 担体加速試験結果

測定日数	篩に残った担体の全担体量に対する割合(%)			
	目巾0.5mm	目巾2.0mm	目巾2.8mm	目巾4.0mm
0日	0.01	0.00	4.00	96.00
6日	0.02	0.02	19.70	80.30
12日	0.05	0.04	11.80	88.10
32日	0.08	0.04	13.40	86.40

4.7 脱窒担体性能

中川処理場に設置した実験装置を用い、平成12年12月6日より馴養を開始した。運転開始2ヶ月後(57日)と3ヶ月後(97日)に脱窒速度試験を行った。結果を表-3に示す。運転開始3ヶ月でも脱窒担体に脱窒細菌の付着が認められなかった。脱窒担体が馴養しなかった原因としては、冬季3ヶ月では(硝酸カリウム補充後2ヶ月)馴養期間として短すぎる、又は、脱窒細菌の基質となるBODが無酸素槽では低いため、担体上で脱窒細菌があまり増殖できなかったからではないかと考えられる。

表-3 担体と活性汚泥の脱窒能力

		57日後	97日後
担体脱窒速度 (mgN/L担体・h)	PEG担体	0.0	0.0
	PVA担体	0.0	0.0
活性汚泥脱窒速度(mgN/gSS・h)		1.5	1.0

5. 調査結果のまとめ

調査結果を以下にまとめる。

供給可能空気量は解放水深8m・担体ありで、DTAの標準仕様(水深5m水槽)と比較して約25%減少した。また、解放水深が深いほど供給可能空気量は多くなった。

DTAの酸素溶解効率は担体投入時においても40%(清水中)以上であった。酸素溶解効率は解放水深にかかわらず、チューブから吹き出た空気が槽底部まで到達すれば、反応槽の水深に依存することが推察された。

嫌気槽(担体なし・送気なし)においては、動力投入密度 $5W/m^3$ 以上で攪拌に十分な底部流速を確保した。

無酸素槽(担体あり・送気なし)においては、動力投入密度 $10W/m^3$ 以上で担体の底部への堆積もなく攪拌に十分な流速を確保した。

好気槽(担体あり・送気あり)においては、動力投入密度 $40W/m^3$ 以上で担体の底部への堆積もなく攪拌に十分な流速を確保した。

本方式では溶存窒素が過飽和となり、この窒素が気泡となることで二沈や導水渠による汚泥の浮上を引き起こす可能性が高いことが示された。また、散気管により散気水深5mで容量当たり送風倍率1.5倍/hr以上の空気量で30分以上のポストエアレーションを行うことで、汚泥の浮上を防止できることが分かった。

円筒スクリーンは通過流速 $188m/h$ (清水)で担体による目詰まりは生じなかった。また、水深6m水槽における調査において、通過流速 $382m/h$ (清水)を確保することができ、担体による目詰まりは生じなかった。しかし、円筒スクリーンの限界流速は確認できなかった。

DTAとPEG担体の組み合わせによって実施設換算2.2年では担体の破壊は生じず、磨耗もほとんど認められなかった。

脱窒担体は今回の調査では馴養ができず、脱窒速度の確認はできなかった。

6. 担体添加型ステップ流入式嫌気-無酸素-好気法の実施設への適用可能性について

今回の調査から、無酸素槽についてはDTAの動力投入密度が低くても担体の流動性を確保し、担体分離も可能であるとの結論であったが、脱窒担体の性能評価が十分にできなかったことから、現時点における無酸素槽での担体投入は難しいと判断された。一方、好気槽についてはDTAの動力投入密度はやや高いものの、酸素溶解効率も高く担体分離も可能であり、すでにPEG担体は硝化担体としての実施設での実績もあることから、担体添加法

を深槽反応槽に適用することは可能と考えられる。

図-30 にステップ流入式嫌気-無酸素-好気法と担体添加法を組み合わせた槽割の事例を示す。好気槽にのみ担体を投入し、最後に散気管を用いた脱気槽を加える槽割となる。また、担体分離には円筒スクリーンを用いている。

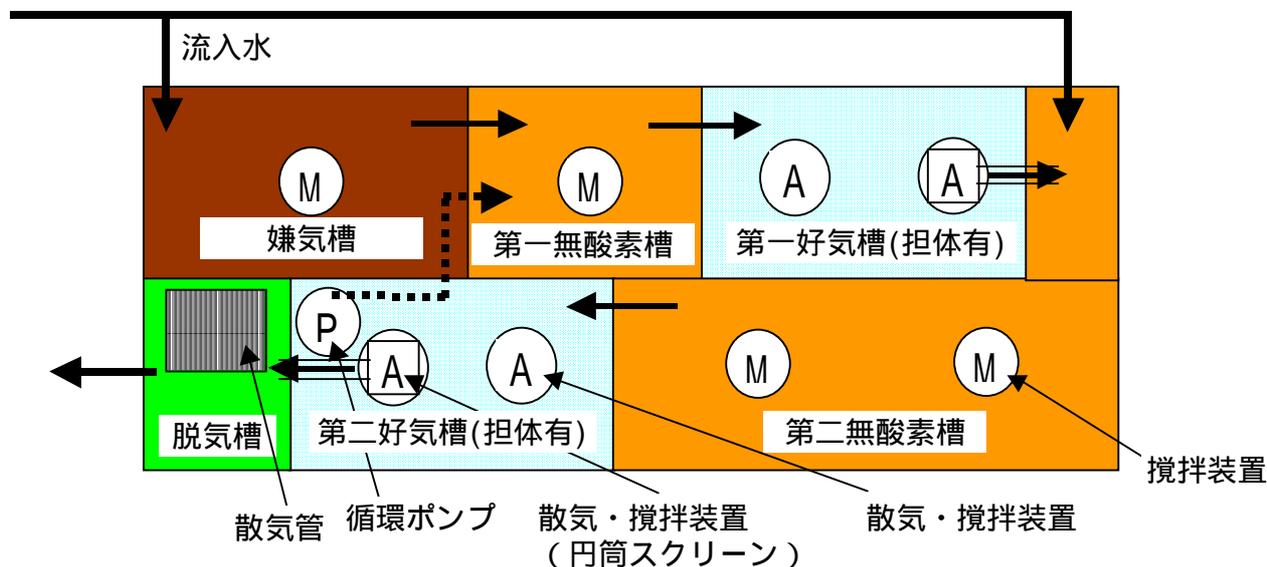


図-30 担体添加型ステップ流入式嫌気-無酸素-好気法フロー図

三河島処理場藍染系一沈流出水の水質を用い、上図の槽割で反応槽滞留時間が8時間以内になることを、以下の条件で容量計算を行い確認した。

- ・ 硝化担体の硝化速度・・・100mgN/L-担体・h
- ・ 硝化担体の添加率・・・12%
- ・ 活性汚泥の脱室速度・・・2.83mgN/gMLSS・h
- ・ 第二好気槽のMLSS・・・2,500mg/L

ここで、硝化担体の硝化速度は当局の調査¹⁾での実績を基にしている。

一方、活性汚泥の脱室速度は、技術開発課で作成した「ステップ流入式嫌気無酸素好気法設計マニュアル(案)」の脱室速度定数の算出式より得られた値を用いた。算出式を以下に示す。

$$K_{DN} = C_A \times L_{A-BOD} + 0.6$$

K_{DN} : 活性汚泥脱室速度 (mgN/gMLSS・h)

C_A : 脱室速度温度補正係数(A-BOD-SS負荷基準)(-) = 4.8

L_{A-BOD} : 流入水BODに対する好気槽のBOD-SS負荷(kgBOD/kgSS・日)

この式より、BOD-SS負荷が高いほど脱室速度は高くなる。担体添加型ステップ流入式A20法は他の高度処理法と比較して滞留時間が短いことから、好気槽のBOD-SS負荷は0.4kgBOD/kgSS・日程度と大変高く、脱室速度も大きくなる。

6. 今後の予定

今後は、今回の調査で確認できなかった以下の検討項目について調査を行うこととしている。

円筒スクリーンの限界流速の確認

脱窒担体の馴養条件と脱窒能力の確認

硝化担体の硝化能力の確認

散気攪拌装置の適正配置の検討

本システムにおける阻流壁構造の検討

連続押し出し流れ方式の反応槽における、担体の挙動把握

今回の調査結果を基に、深槽反応タンクにおいてステップ流入式嫌気-無酸素-好気法に担体添加法を組み合わせた方式を、三河島処理場北処理施設へ導入を図っていくこととしている。

参考文献

- 1) 船越 泰司、高島 正行、多目的下水処理システムの開発(その3): 東京都下水道局技術調査年報(1995)

大目次

目次

要旨

- 9 不織布を用いたろ過による活性汚泥混合液の 固液分離技術の実用化研究

計画調整部技術開発課 鈴木 建
秦 健司
現 建設部設計調整課 杉本 克美

1. はじめに

活性汚泥法における最終沈殿池は、固液分離による処理水質確保の役割を果たすとともに、活性汚泥を濃縮返送し、反応槽内の微生物量を保持する機能も担っている。しかし、活性汚泥フロックと水とのわずかな比重差を利用した重力沈降式である為、水量変動や汚泥性状の変動に弱い、SSのキャリーオーバー防止のため、高MLSSの返送汚泥が確保できないなどの課題を抱えている。

また、都市部に立地している処理場においては、高度処理改造や増設等により新たに用地の確保が必要な場合、その取得が困難であることから、既存用地の高度利用や施設の省スペース化等を図る必要がある。

特に、窒素、りんを対象とした生物学的高度処理法を導入する場合には、汚泥の難沈降性、高濃度化に対応した効率的な固液分離技術が必要である。

一方、膜(MF膜・UF膜)を用いて固液分離を行う生物学的处理法は、コンパクトな装置で極めて清澄な処理水が得られるが、膜素材が高価で、また多大な動力を必要とするため、下水のような大量処理システムへの適用には馴染まない。

本技術は、MF膜等よりも大きなろ過流束が得られ、廉価でもある不織布を用いた固液分離技術であり、不織布表面に形成される汚泥層を利用してろ過するため、新たな動力を必要とせずわずかな水頭差で固液分離する技術である。さらに、不織布を用いたろ過ユニットを生物反応槽に直接浸漬することで、従来の活性汚泥法に必須であった最終沈殿池を不要とする技術である。

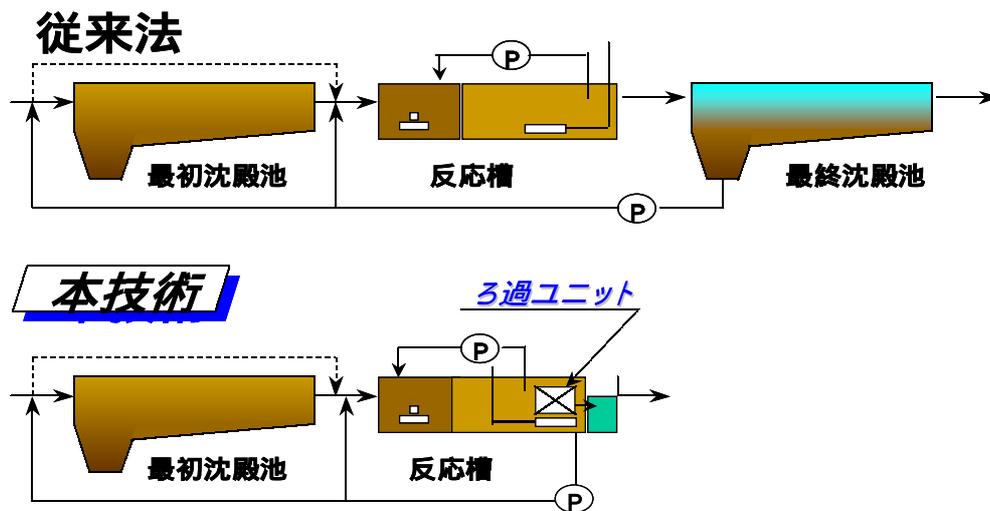


図1 本技術と従来法の比較

このシステムでは、ろ過ユニットを反応槽内の旋回流下降部に浸漬すると、不織布表面上に、活性汚泥粒子による緩やかな汚泥層が形成される。この汚泥層によって活性汚泥混合液の固液分離が行われるが、汚泥層はろ過時間の経過とともに厚くなり、ろ過流束が低下してくる。そのため、定期的にユニット下部に設置した洗浄用散気筒から曝気上昇流を生じさせることにより、汚泥層を順次剥離させ（空気洗浄）、長時間のろ過を継続することができる。

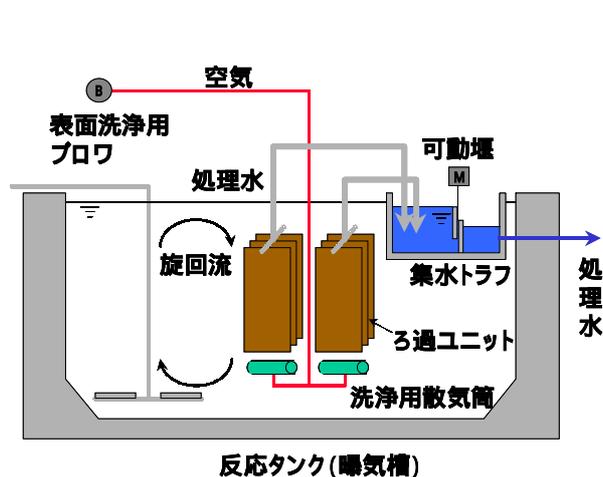


図2 浸漬ろ過ユニットイメージ図

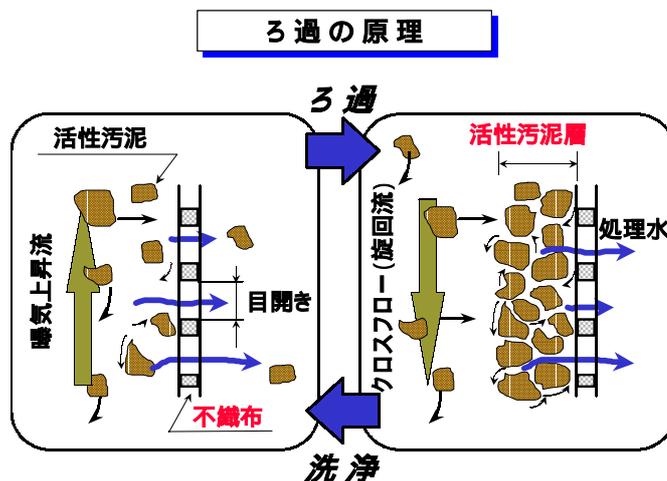


図3 ろ過の原理

また、反応タンクと集水トラフには、水位差がつけられており、サイホンの原理により動力を用いずにろ過される。

なお、本研究は、平成11年度より、新世代下水道支援事業 機能高度化促進事業（新技術活用型）の採択を受け、下水道局と（財）下水道新技術推進機構との共同で本技術の実用化に関する研究を実施しているものである。

2. 性能目標

本技術の性能目標の大きな柱としては、次の3つの目標を挙げることができる。

処理性能の確保（標準法と同等の性能）

本技術は、従来の標準活性汚泥法の代替技術として利用できる技術であり、標準法と同等以上の処理性能が確保できることが性能目標の1つとなる。

維持管理性の向上

本技術は、バルキング等の固液分離障害が回避できるなど維持管理性の改善に効果がある。一方、多数の膜を用いることによる膜の管理等の問題がでてくる。本技術の利点を活かしつつ、維持管理性をいかに向上させるかが目標となる。

高 MLSS の確保

本技術は、槽内 MLSS 濃度を高濃度に維持できることから、水質変動に対する安定性の他、発生活泥量の減量化、生物学的高度処理への適応などの可能性を有しており、標準法に対して優れた特長をもっている。これらの特長を把握するとともに、最適な設計諸元、運転管理手法を見出すことが目標となる。

3. 研究内容

3.1 研究項目

平成12年度は、平成11年度の検討結果を基に砂町処理場の実規模施設を建設する計画¹⁾であり、更にこれに並行して実規模施設における研究を補う意味でバッドプラントを用いた実験を行う計画であった。

平成12年度 実施予定項目(当初)

(1)実規模施設の建設(建設地として東京都砂町処理場を予定)

(2)バッドプラントを用いた補足実験

長期連続運転における膜ユニットの耐久性確認

M L S S 濃度と処理水質の関係把握

汚泥処理への影響(汚泥の濃縮性・脱水性の確認)

薬品の種類による洗浄特性の把握

ろ過抵抗とろ過流束の関連性把握

固形物収支によるメカニズムの把握

しかしながら、実規模施設建設においては、より慎重な検討が必要との見直しの結果平成12年度の建設は見送ることとし、このような状況から、平成12年度は下記に示した項目について、落合処理場で実施している浸漬式実験装置の性能評価びバッドプラントによる実験内容を充実させ、ろ過流束の変動影響についても検討を行った。

平成12年度の研究項目

(1)実曝気槽浸漬式実験装置における長期連続運転の確認

(2)バッドプラントを用いた循環式硝化脱窒運転における適用性確認

(3)活性汚泥性状と処理水質の関係把握

なお、実規模実証施設については、平成13年度以降芝浦処理場に実験施設を設けて続けていくこととし、施設の設計手法、平成13年度以降の研究計画等を策定した。

4. 平成12年度の研究成果

4.1 実曝気槽浸漬式実験装置における長期連続運転の確認

本技術は、ダイナミックろ過装置(ろ過ユニット)を落合処理場の既存曝気槽内の一部に浸漬配置して行ったもので、長期連続運転の安定性については、平成11年9月から継続して実施しており、平成13年2月までに約18ヶ月間の運転が確認できた。これによりろ過流束を2m/日とした場合の処理の安定性ならびに膜ユニットの耐久性については確認ができたものと考えられる。

平成12年度は、冬期における洗浄条件の確認に主眼を置いて実験を行っている。この結果、インラインで実施する次亜塩素酸ナトリウム洗浄の頻度として、5~11月の夏期で20mg-Cl₂/L×1回/日、12~4月の冬期で20mg-Cl₂/L×8回/日の条件で、ろ過流束2.0m/dの安定運転が行えることを確認している。

ろ過流束に関しては、表1に示す条件で運転を行っている。曝気槽への流入水量変動に対する検証として図中 に示す期間では、実処理場の流入水量パターンを模擬した3段階の水頭差を与え、ろ過流束を時間毎に変化させて運転を行った。この結果、1.5~4.0m/dの範囲でろ過流束を変動させても、処理水質は、目標値から悪化することなく、安定した運転ができることを確認した。

また図中 に示す期間では、ろ過流束を5.5m/dに保って長期間の連続運転を確認し、施設のコンパクト化の実現性を見出している。

表 1 ろ過流束運転条件

RUN	運転条件	運転期間
	ろ過流束2.0m/d実験	H11. 9/ 3 ~ H12. 6/ 8 H12.11/24 ~ H12. 2/20
	ろ過流束1.5 ~ 4.0m/d時変動実験	H12. 6/ 8 ~ H12. 9/13
	ろ過流束5.5m/d実験	H12.10/ 2 ~ H12.11/24 H12.12/ 6 ~ H12. 1/ 8

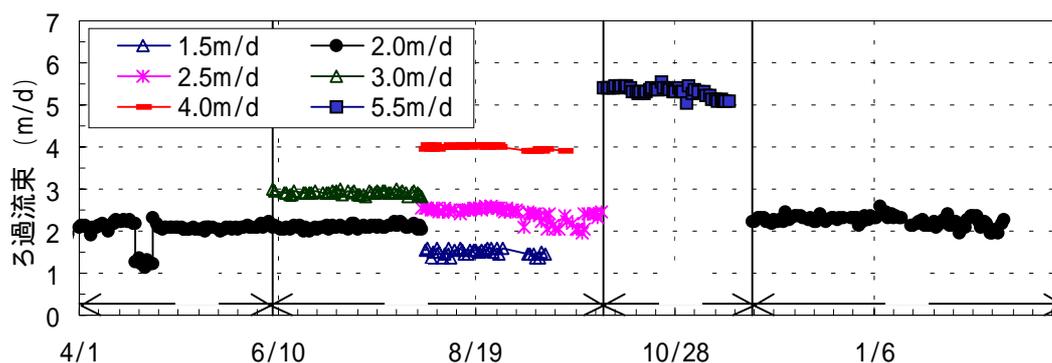


図 4 ろ過流束の通日変化〔計測日：'00/4/1(土)～'01/2/20(火)〕

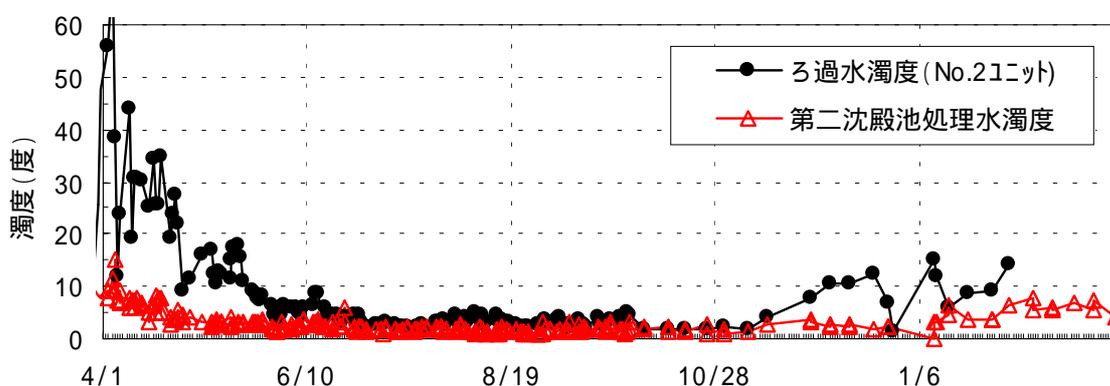


図 5 ろ過水濁度の通日変化〔計測日：'00/4/1(土)～'01/2/20(火)〕

4.2 1^o 1^o プラントを用いた循環式硝化脱窒運転における適用性確認

落合処理場に設置された1^o 1^o プラント(無酸素槽 18m³, 好気槽 36m³, 処理水量 161m³/日)を用いて、循環式硝化脱窒運転における本技術の適用性を確認した。

実験は、図 6 に示すようにろ過流束を 2m/日で保ちながら槽内の MLSS 濃度を 4,000mg/L 程度まで上昇させて行った。この結果のうち、図 7 に処理水濁度を、図 9 に処理水の BOD, COD を示す。また、図 10 に窒素濃度の推移を示す。

この結果、図 8 に示すとおり、MLSS を 4,000mg/L 程度まで上昇させた場合でも、BOD・COD 共に安定した処理を行うことが可能であった。しかしながら MLSS がおよそ 4,000mg/L を越えると、分散系の汚泥となり処理水質が悪化する現象が生じた。これは、落合処理場の流入 BOD 濃度 60 ~ 120mg/L 程度では、MLSS が 4,000mg/L 程度になると

低負荷分散型の汚泥となり、不織布を通過した汚泥が処理水中へ漏れ始めるためであった。また、降雨により流入 BOD 負荷が低下した場合でも同様の汚泥性状となり処理水質が悪化し易くなることがわかっている。運転期間中の脱室率は図 10 に示すとおり、40～70%の結果が得られている。

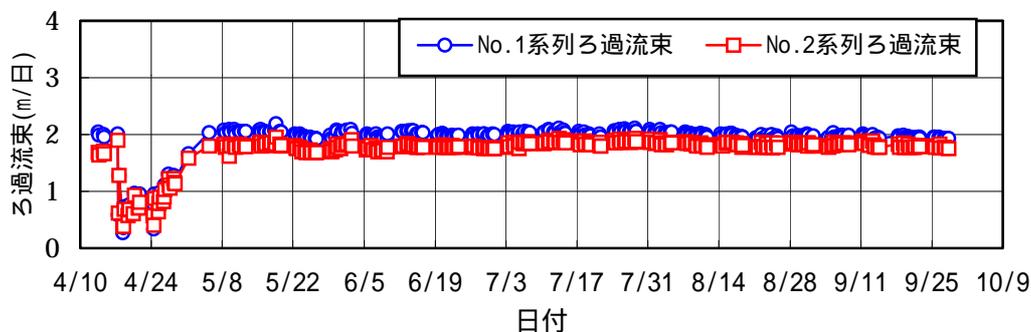


図 6 ろ過流束の経日変化

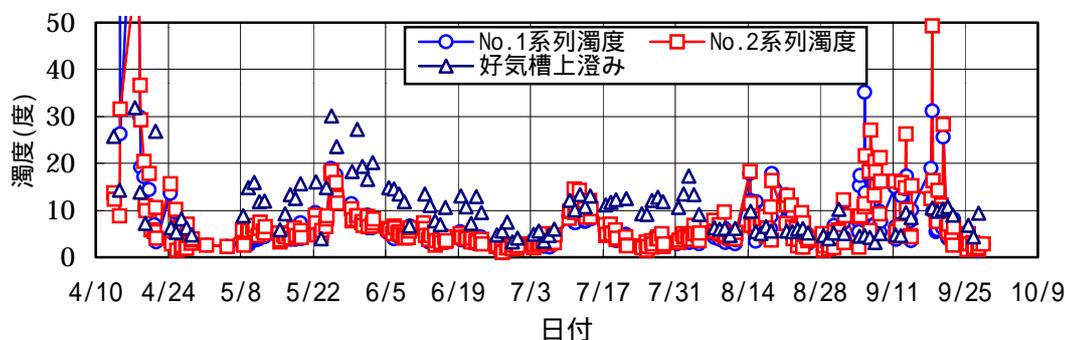


図 7 処理水濁度の経日変化

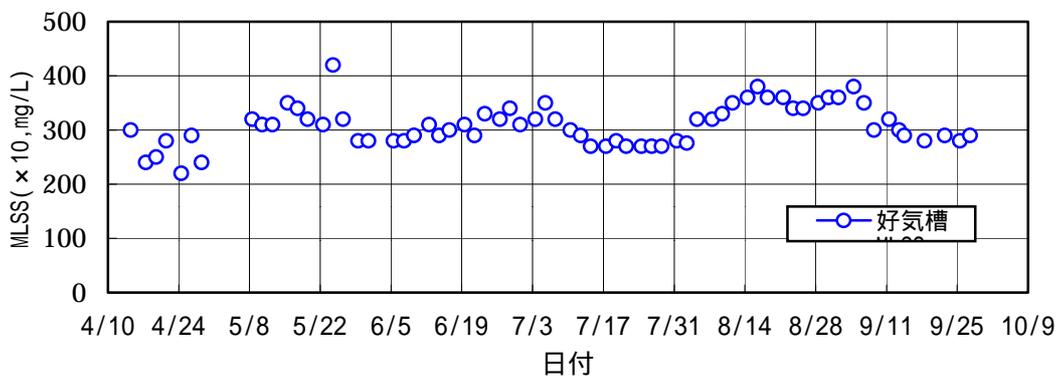


図 8 MLSS , SV , SVI の経日変化

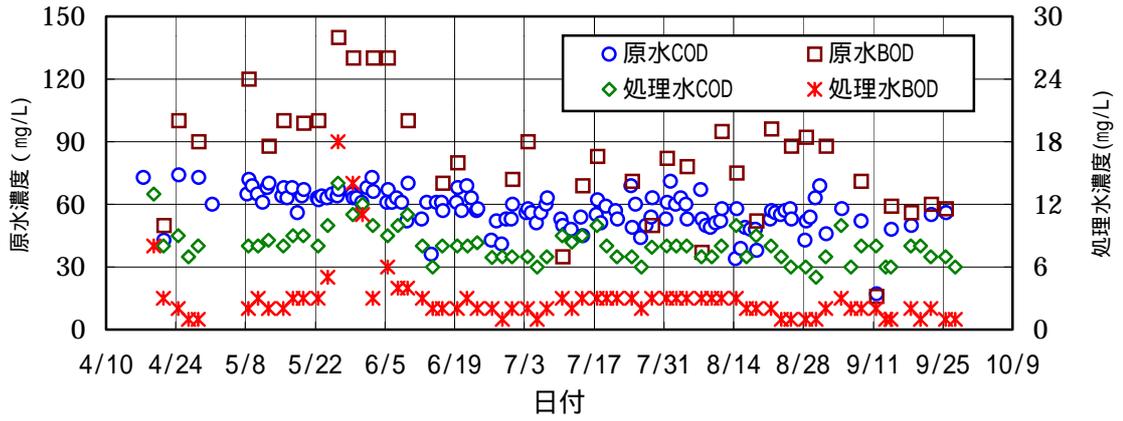


図9 流入水・処理水 BOD・COD の経日変化

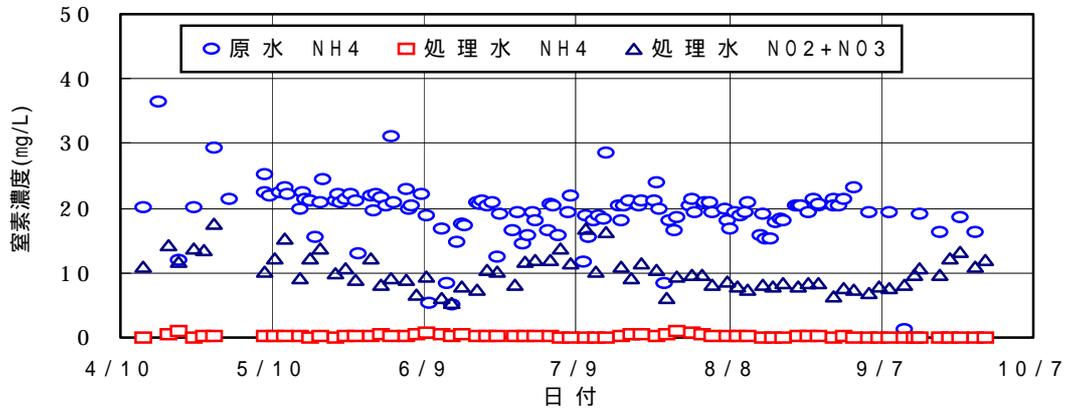


図10 窒素濃度の推移

4.3 活性汚泥性状と処理水質の関係把握

浸漬式実験装置による長期実験では、平成12年3~4月にかけて処理水の濁度の上昇が見られた。この期間において観察された特徴として、濁度の上昇を呈する場合には反応槽内のCST値(特に沈降汚泥において)が上昇を示す事が分かった。

CST値の上昇は、何らかの原因で活性汚泥の凝集性が悪化した事を示すことから、反応槽内のフロック径が細くなり、微細な粒子状の汚泥がろ過されずに通過する事を表すものと考えられる。

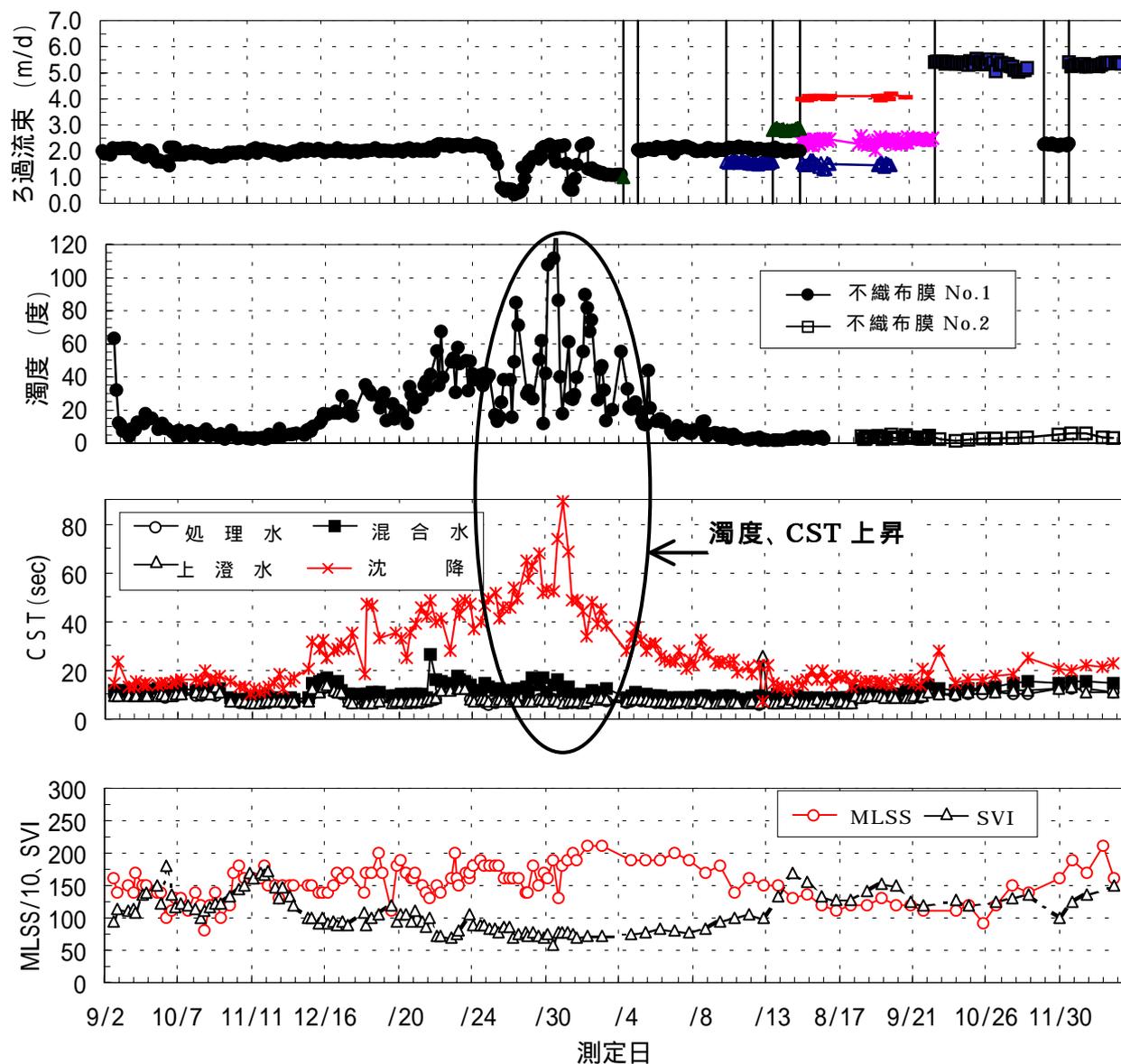


図1.1 活性汚泥性状と処理水質の関係

4.4 これまでの実験で得られた成果及び知見の整理

これまでの落合処理場での実験（浸漬式実験装置， μ ユニットプラント）で得られた成果、知見について下記の表に整理を行った。

表2 これまでの成果及び知見の整理

技術項目	知見・成果
不織布膜ろ過と活性汚泥	不織布膜ろ過処理における活性汚泥の性状について知見を得た。 低水温時の活性汚泥の維持について知見を得た。 硝化脱窒法の活性汚泥処理の知見を得た。 薬品洗浄が活性汚泥に悪影響を与えないことを確認した。
安定処理運転	浸漬式実験装置で一年以上の安定運転を継続した。 ろ過流束2～4m/dの負荷変動処理に対応できた。 機械的なトラブルを発生させていない。 沈殿池と同等の水質が得られた。
活性汚泥濃度	μ ユニット試験でMLSS1,500～4,000mg/Lまで変動しても運転できている濃度とろ過流束の関係をj確認している。
ユニットの自動運転	浸漬式実験装置， μ ユニットプラントで自動運転の技術を確立した。 機械的なトラブルを発生させていない。
洗浄方法	運転を継続するための洗浄ルーチンを確立した。 状況に応じて洗浄ルーチンを変えられる技術を確立した。 処理水洗浄が可能であることを実証した。
非常時対策	人為的に閉塞状態を生じさせ，洗浄で回復できる技術を確立した。 槽外洗浄を行わず連続運転が可能である。 検出法を確立した。
不織布	安定運転ができる不織布の材質，構造を決定した。 剥離，破れ等のトラブルを発生させていない。 商品管理して大量に製造できることを確認した。 耐久性に関して5年の見通しを得た。
モジュール構造	金型による製法で一定品質のものが大量生産できることを確認した。 W1.2m×H2.4mのモジュールを歪みなしで製造できる見通しを得た。
ユニット内の液・空気分配	均等分配の試験で20枚のモジュールに分配できることを確認した。 モジュールへの供給法，モジュールからの取出し法について知見を得た。

5. 今後の課題と研究の進め方

5.1 今後の課題

これまでの実験から新たな課題として浮かび上がってきたものについては、次のようなものが挙げられる。

- (1) これまでのろ過流束を2 m/日として検討してきたが、実際には5 m/日程度まで上げることが可能であった。したがって、最も効率的なろ過流束がどの程度かを再検討する必要がある。実施設においては、設置位置によって設計ろ過流束を変えることも考えられる。

(2)バロットプラントの高負荷による運転において、MLSS4,000mg/L 程度まで安定した処理が可能であった。固液分離可能な MLSS 濃度については水処理、汚泥処理の両方に係わる重要な項目であるため、実施規模での検討に先立って、小さめの実験施設で確認する方法を考える必要がある。

(3)ろ過水質は、活性汚泥の性状に左右されていることが CST の値からも確認されている。汚泥性状の悪い時の対策について検討しておく必要がある。

また、平成 11 年度の優先検討項目¹⁾として抽出した課題から、特に次の事項について検討しておく必要があるものと考えられる。

(1)維持管理性について、当初から管理が複雑にならないことが課題として挙がっていた。本システムでは、ろ過ユニット毎に 5 個の自動弁を使用するため自動制御を行うしくみが必要で、実施の場合ろ過ユニットの設置数に比例して自動弁が多くなると考えられる。したがって、自動弁の信頼性や維持管理手法が特に課題となると考えられる。

(2)返送汚泥濃度の確保についても前年度の優先検討項目として挙げている。新たに濃縮設備が必要とならないように十分な濃度の返送汚泥を安定して供給する事ができるようにすることが課題となる。

5.2 今後の研究計画

これまでの実験により、前述したように本技術の新たな課題点が浮かび上がってきた。それらの課題点については、今後、確認していく必要があるが、処理能力などの施設設計の基本となる部分の確認事項もあるため、当初計画のようにいきなり実規模施設を建設して実験することになると、後で施設の変更が必要になる可能性も考えられる。したがって、事前に実規模よりも小さめの施設で確認実験を行うこととした方が安全と考えられる。

このような事情から、実用化評価実験は芝浦処理場西系南側に設置してある 250m³の水槽を利用して行うこととする。

実験施設の改造にあたって、基本的な方針は次のように考えた。

(1)ろ過ゾーンと濃縮ゾーンを設ける。

ろ過ゾーンでは、当初の目標であったろ過流束 2 m/日を改め、4 m/日程度のろ過流束で処理を行い、処理能力の向上を図る。一方、濃縮ゾーンは十分な濃度の返送汚泥の確保を目的として、2 m/日のろ過を行うゾーンとして設ける。

(2)高濃度への対応が可能な構造とする。

これまで、本技術を標準法の代用技術という観点から評価することとしていたが、MLSS濃度を4,000mg/L程度まで上げられる用途がついたこと、及び今後の高度処理導入を考えた場合、高濃度運転への対応を調査しておくことが必要となることから、高濃度の硝化脱窒運転も可能な構造としておく。これにより、高度処理を見据えた高濃度運転についての評価も行うことができる。

参考文献

1) (財)下水道新技術推進機構：「不織布を用いたろ過による活性汚泥混合液の固液分離技術に関する実用化研究」'99下水道新技術研究所年報〔2/2巻〕, p 203 - 206

大目次

目次

要旨

- 10 有明処理場における

安定的な窒素・りん削減のための調査報告書(その2)

施設管理部施設管理課

安齋純雄

本間誠二

1. はじめに

有明処理場は、現在、施設能力に較べて流入水量が少なく、このため反応タンクの1系列の1/3を部分稼働している。このためA2O法の機能面や有明処理区特有の流入負荷変動等から、窒素、りん除去の安定化運転が難しい状況にある。

このため、平成11年度、有明処理場内に実験プラントを設置して運転方法の適正化調査を行った。この結果から実施設において、通常時、高負荷時、水量増加時の運転方法を提案したところである。

平成12年度は、今後の水量増加に対処するため、反応タンクの増設を見込んで窒素、りん除去の安定化を図ることを目的に、引き続き実験プラント調査を行うものである。流入負荷の増加と2/3系列への運転切り替え時期や反応タンクの嫌気・無酸素・好気槽の割振り等の適正化、ならびに流入負荷変動の影響を調査する。

2. 調査期間及び調査場所

調査期間：平成12年7月18日～平成13年3月23日

調査場所：有明処理場二次処理施設内

3. 調査概要

平成11年度調査結果を基に条件設定したプラント実験の処理性能、回分実験による反応速度の計測値と「高度処理施設設計マニュアル(案)」の計算手法を用い水量増加時の反応槽規模と切替時期を提案する。

3.1 調査目的

流入負荷の増加と反応タンク1/3系列から2/3系列の運転切り替え、それに伴う流入負荷変動に対応できる反応タンクの嫌気、無酸素、好気の槽の割振り、ならびに水質管理方法等を提案することを目的に実施した。

現状施設1/3系列における処理可能水量の上限について。

施設を2/3系列に増やし低負荷運転での処理可能な下限について。

系列運転における反応タンクの嫌気、無酸素、好気の槽の割振りについて。

再生水の循環や新河岸東処理場で想定される硝酸性窒素含有流入水の影響と運転対応について。

3.2 調査内容

実験プラントでの各種運転条件を変えての水質調査と、回分実験による反応槽内での窒素・りん除去に関わる反応速度等の測定を行う。これらの実験データと実機のデータ

を併せた解析を行い、シミュレーションすることで、流入水量増加に見合った段階的な施設規模を提案する。

4. 調査方法

(1) 実験プラント調査

有明処理場内に設置した実験プラントを用いて、以下の調査を行い、最適な運転方法を検討する。

流入水量、嫌気槽、無酸素槽、好気槽の HRT の条件を変え、りんの除去率及び窒素除去率との関係を調べる

りん放出速度、りん摂取速度、硝化速度、脱窒速度の机上実験を併用し、現状の反応槽内で起きている、りん、窒素除去メカニズムの解析を行いシミュレーションに反映させる。

有明処理場の原水に硝酸性窒素を添加した流入水で再生水の循環水や新河岸東処理場で想定される流入水への運転状況を確認する。

(2) 回分実験

実験プラントの活性汚泥を用いて、机上実験を行い、りん、窒素除去に係わる反応速度を求めた。

りんの放出・摂取速度

硝化・脱窒速度

(3) データ解析

実験プラント調査、机上実験および実機のデータを併せた解析を行い、シミュレーションすることで、有明処理場における流入水量増加に見合った段階的な施設規模及び適正運転を提案する。また、流入水に硝酸性窒素が含まれることが予想される新河岸東処理場の立ち上げ稼働時に処理水質を安定化させるための運転方法について検討する。

4.1 実験プラント調査

4.1.1 実験装置

図 1 に、実験装置のフローシートを示す。RUN ~ では、実施設の槽構成に合わせ、全 8 槽のうち嫌気槽 1 槽、無酸素槽 1 槽、好気槽 × 2 槽を使用した。

実施設の反応タンクの流入水には、生汚泥の投入が間歇的に行われていることから、実験プラントもこの流入水を使った。

4.1.2 実験条件

平成 11 年度の調査結果で提案した、2/3 系列運転時の低負荷運転の限界と高負荷運転の限界を参考に現状の実機運転を参考に運転条件を設定した。

実験プラントの各実験条件を表 1 に示す。

RUN : 現状施設 10000m³/d 対応設備で水量 10000m³/d 相当負荷運転

実施設と同じ運転条件に合わせるようにした。実施設の現状運転は、1/3 系列(反応槽 4 池区分で槽割 1 : 1 : 2) 10000m³/d 対応設備であり、処理水量 10000m³/d で運転している。

RUN : 現状施設 10000m³/d 対応設備で水量 14000m³/d 相当負荷運転

RUN では、現状施設において今後水量が増加して負荷が高くなった場合を想定した運転を行った。すなわち、現状施設 1/3 系列 10000m³/d 対応設備相当、槽割が 1 : 1 : 2 の条件で 14000m³/d 通水が安定して処理可能かどうかを調査した。

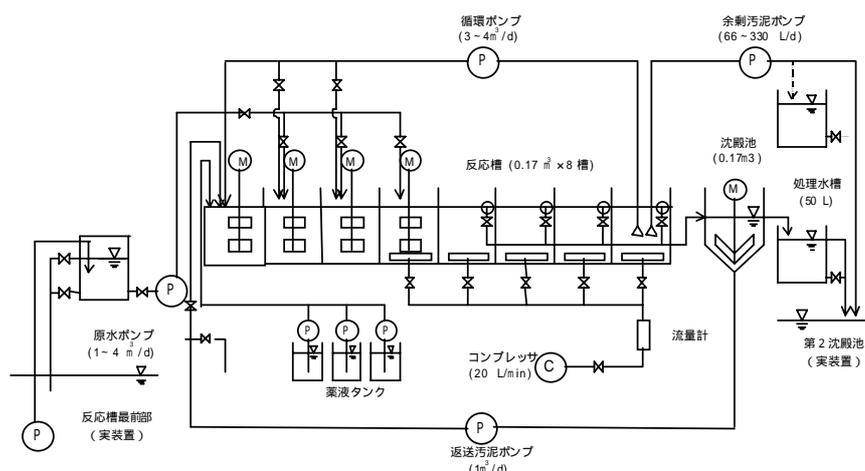


図1 実験装置のフローシート

RUN : 20000m³/d 対応設備で 14000m³/d 相当負荷運転

RUN では、反応槽を2/3系列(8池/12池)に増やし、14000m³/d通水による低負荷で安定した処理が可能であるかを調査した。RUN -1ではMLSS3000mg/L程度、RUN -2ではMLSS濃度2000mg/L程度で運転した。なお槽割は1:3:4の条件で行った。

RUN : 20000m³/d 対応設備で 14000m³/d 相当負荷運転

嫌気槽滞留時間の調査としてRUN を設定し、嫌気槽の滞留時間を2.7時間増やすことを目的として槽割を2:2:4に変更し、RUN の槽割1:3:4と比較した。MLSS濃度の設定は、RUN -1と -2のうち処理が良好な方を採用する。

RUN : 硝酸性窒素流入の影響調査

流入原水に硝酸性窒素を約 6mg/L 添加した流入水を用いて再生水の循環水や、新河岸東処理場で想定される流入水への運転状況を確認した。硝酸性窒素の流入は、嫌気槽の嫌気度の不足による ORP やりん放出への影響とりん摂取能力の低下が懸念される。RUN では MLSS を 3000mg/L 程度にし、20000m³/d 対応設備で 14000m³/d 相当負荷の条件で槽割を 1:3:4で行った。硝酸を添加しない RUN -1 を対照区として、硝酸添加の RUN -2 では NaHNO₃(硝酸ナトリウム)を 6mg/L となるように原水に添加して、RUN -1 と同条件で運転を行った。

表1 各RUNの実験条件条件

	実験期間	原水 水量(m ³ /d)	HRT(h)				循環率 (%)	返送率 (%)	SRT (d)	A-SRT (d)
			嫌気	無酸素	好気	合計				
RUN	7/18~9/17	1.04	3.8	3.8	7.7	15	130	30	20	10
RUN	9/18~11/21	1.46	2.7	2.7	5.5	11	110	30	14	7
RUN -1	11/23~12/26	1.46	2.7	8.2	11	22	150	30	30	15
立ち上げ	1/5~1/28	1.46	2.7	8.2	11	22	150	30	20	10
RUN -2	1/29~2/8	1.46	2.7	8.2	11	22	150	30	20	10
RUN	2/9~3/1	1.46	5.4	5.4	11	22	150	30	30	15
RUN -1	3/2~3/8	1.46	2.7	8.2	11	22	150	30	30	15
RUN -2	3/9~3/15	1.46	2.7	8.2	11	22	150	30	30	15

4.1.3 分析項目

分析用試料の原水と処理水は、自動採水機で30分、60分、90分間隔で24時間採取した混合試料を作成した。これは原水の採水箇所が反応槽流入水であり、一沈生汚泥が毎正時に投入されるため、平均的な水質を取るためである。他についてはスポットサンプルとした。

5. 結果および考察

5.1 プラント実験結果

5.1.1 処理成績

各RUNの運転状況概要を表2に、また水質結果概要を表3、4に示す。

表2 運転状況概要

		水温()	DO (mg/l)	ORP (mV)		MLSS (mg/L) 好気槽	MLVSS(%) 好気槽汚泥	BOD-SS負荷 (kg/(kg·d))	SV30 (%)	SVI (mL/g)
		好気槽		嫌気槽	無酸素槽					
RUN	範囲	27.7 ~ 29.4	0.0 ~ 5.6	-381 ~ -142	-233 ~ -24	2605 ~ 3312	79 ~ 92	0.05 ~ 0.16	20 ~ 36	65 ~ 130
	平均	28.5	1.9	-310	-74	2,869	82	0.10	28	89
RUN	範囲	18.8 ~ 28.5	0.0 ~ 4.0	-411 ~ -199	-314 ~ -85	2638 ~ 3970	71 ~ 91	0.06 ~ 0.24	16 ~ 29	44 ~ 95
	平均	24.0	1.4	-332	-190	3,052	83	0.14	22	72
RUN -1	範囲	16.7 ~ 20.9	0.1 ~ 4.8	-271 ~ -444	-399 ~ -98	3155 ~ 3610	73 ~ 83	0.04 ~ 0.12	23 ~ 25	67 ~ 79
	平均	17.7	2.9	-356	-207	3,314	79	0.07	25	75
RUN -2	範囲	13.4 ~ 14.5	2.9 ~ 4.8	-444 ~ -291	-368 ~ -139	1880 ~ 2430	81 ~ 86	0.12 ~ 0.18	15 ~ 17	66 ~ 90
	平均	13.9	4.0	-343	-188	2,139	82	0.14	16	75
RUN	範囲	13.1 ~ 16.9	1.0 ~ 5.4	-306 ~ -447	-234 ~ -17	2790 ~ 3265	76 ~ 90	0.08 ~ 0.12	18 ~ 22	61 ~ 75
	平均	14.7	3.1	-359	-169	3,030	83.3	0.10	21	69
RUN -1	範囲	14.6 ~ 16.5	1.9 ~ 4.0	-282 ~ -447	-80 ~ -233	3165 ~ 3367	83 ~ 83	0.07 ~ 0.11	23 ~ 26	71 ~ 77
	平均	15.5	3.6	-384	-189	3,257	83	0.09	24	73
RUN -2	範囲	14.3 ~ 16.1	1.6 ~ 3.7	-367 ~ -444	-170 ~ -190	3155 ~ 3310	79 ~ 85	0.08 ~ 0.10	27 ~ 33	85 ~ 100
	平均	14.8	3.0	-402	-173	3,231	82	0.09	30	94

(1) 実験プラントと実機の相関について RUN

実機の1/3系列10,000m³/日対応で槽割1:1:2の設備でA20法の処理成績を確認した。実機換算水量10000m³/d、循環率130%、返送率30%、HRT:15h、SRT:20d、A-SRT:10d、槽割を1:1:2にして、平均水温は28.5と高かった。平均MLSS濃度は2,869mg/lであり、平均BOD-SS負荷は0.10kg/(kg·日)であった。

<りん除去について>

表3に示すように、T-P除去率は76%、平均処理水T-P濃度0.9mg/lであった。りん放出速度は実機では1.5mg-N/(g-SS·h)、実験プラントでは1.1mg-N/(g-SS·h)、また好気槽でのりん摂取速度は実機で0.32mg-P/(g-SS·h)、実験プラントでは0.43mg-P/(g-SS·h)であった。

これらの結果から、りん除去に関して実験プラントは実機とほぼ同様の性能を発揮していることが分かった。

<窒素除去について>

表3に示すようにT-N除去率は69%であり、平均処理水T-N濃度9.1mg/lとなった。実機と実験プラントでの硝化・脱窒速度を比較すると、実機ではそれぞれ1.5、1.1mg-N/(g·SS·h)、実験プラントでは両方共に1.1mg-N/(g·SS·h)であった。窒素除去についても実機とほぼ同性能であるといえる。

表3 水質結果概要1

		pH		COD (mg/L)		BOD (mg/L)		SS (mg/L)		T-N (mg/L)		T-P (mg/L)	
		原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水
RUN	範囲	7.1~7.5	7.1~7.6	41~81	10~11	47~154	1.5~3.7	36~121	0.7~1.6	19~38	4.8~14	3.2~4.4	0.3~1.6
	平均	7.3	7.4	60	10	88	2.5	88	0.9	29	9.1	3.8	0.9
RUN	範囲	7.3~7.7	7.2~7.7	41~110	11~14	43~152	1.4~9.2	50~149	0.3~1.3	34~72	7.6~25	2.1~7.6	0.1~0.9
	平均	7.5	7.5	59	12	100	5.0	105	4.0	56	17	3.9	0.4
RUN -1	範囲	7.5~7.6	7.0~7.6	42~86	11~14	62~178	1.6~5.7	95~182	1.3~7.3	20~70	3.8~17	2.9~5.9	0.3~2.3
	平均	7.5	7.5	59	12	115	3.8	136	3.9	48	11	3.6	1.0
RUN -2	範囲	7.5~7.6	7.3~7.5	43~75	13~15	120~157	3.2~5.9	69~177	4.3~13	14~32	1.9~11	2.9~4.7	1.7~2.8
	平均	7.6	7.5	53	13	138	4.2	140	9.3	25	7.4	3.8	2.1
RUN	範囲	7.6~7.7	7.4~7.5	51~78	14~16	112~170	2.0~7.3	90~192	9.0~12	20~27	4.4~9.2	3.5~4.7	1.0~2.1
	平均	7.6	7.4	66	15	141	5.6	138	10	26	7.4	4.1	1.5
RUN -1	範囲	7.5~7.7	7.4~7.5	62~96	14~15	104~155	4.1~6.6	114~154	5.3~9.0	16~29	6.3~9.8	3.5~4.6	1.1~2.2
	平均	7.6	7.5	81	14	134	5.0	134	7.2	24	8.0	4.2	1.6
RUN -2	範囲	7.6~7.7	7.5~7.6	50~75	13~14	116~151	3.9~6.5	148~209	5.3~9.3	26~34	5.5~7.7	3.8~4.5	1.5~2.0
	平均	7.6	7.6	62	14	133	5.0	154	7.7	31	6.5	4.2	1.7

表4 水質結果概要2

		NH ₄ -N(mg/L)				NOx-N(mg/L)			PO ₄ -P(mg/L)			
		原水	無酸素	好気槽	処理水	無酸素	好気槽	処理水	原水	嫌気槽	好気槽	処理水
RUN	範囲	14~26	5~11	0.2~0.3	0.1~0.3	0.0~0.4	6.8~11	7.8~10	1.9~2.8	4.0~18	0.0~1.9	0.1~1.0
	平均	19	8.7	0.2	0.1	0.1	9.4	8.8	2.2	10	0.5	0.4
RUN	範囲	14~27	6.1~17	0.2~1.4	0.3~1.2	0.0~1.5	4.2~9.6	4.6~9.1	1.9~2.5	6.5~19	0.0~0.4	0.0~0.7
	平均	20	11	5.4	5.7	0.2	6.3	7.1	2.1	13	0.2	0.2
RUN -1	範囲	20~27	6.8~11	0.0~0.7	0.0~0.1	0.0~0.8	8.1~12	6.0~11	2.0~2.5	14~22	0.1~2.0	0.2~1.6
	平均	23	7.9	0.1	0.2	0.1	9.1	9.1	2.3	19	0.7	0.8
RUN -2	範囲	20~30	6.6~11	0.0~0.4	0.1~0.2	0.4~2.3	7.9~12	7.2~12	1.0~2.7	3.2~7.1	1.0~2.5	1.0~2.6
	平均	23	8.9	0.1	0.1	1.3	9.1	9.1	1.7	4.7	1.4	1.5
RUN	範囲	22~27	7.6~10	0.0~0.3	0.1~0.3	0.0~2.8	8.8~13	8.5~12	1.5~2.6	6.1~12	0.4~1.8	0.5~1.8
	平均	24	9.1	0.1	0.1	1.1	8.6	10	2.2	9.0	1.3	1.1
RUN -1	範囲	21~27	7.8~9.6	0.1~0.2	0.1~0.2	0.0~0.1	7.6~10	8.1~9.6	1.9~2.4	8.1~13	0.3~1.8	0.7~1.8
	平均	24	8.9	0.1	0.1	0.0	8.6	8.7	2.1	9.0	0.9	1.2
RUN -2	範囲	20~25	5.5~7.7	0.1~0.2	0.1~0.2	0.0~0.1	7.5~11	7.7~12	1.4~2.1	8.2~9.5	0.7~1.3	0.8~1.4
	平均	23	6.9	0.1	0.2	0.1	8.8	9.0	1.9	8.6	1.1	1.1

(2) 高負荷運転結果について RUN

現有の1/3系列で高負荷運転(10,000m³/d対応設備で14,000m³/d相当負荷運転)

施設を1/3系列で反応槽を4池(10,000m³/d)から8池(20,000m³/d)に増やし低負荷運転になった場合を想定して調査を行った。実機換算水量14000m³/d、循環率150%、返送率30%、HRT:22h、SRT:30d、A-SRT:15d、槽割を1:3:4の20,000m³/日対応設備の条件運転を行なった。これには、MLSSを約3,000mg/lと2,000mg/lに変えて実験した。

(3) 低負荷運転結果について RUN

2/3系列に増やした場合を想定した低負荷運転(20,000m³/d対応設備で14,000m³/d相当負荷運転でのMLSS濃度の影響)

施設を2/3系列に増やし、反応槽を4池(10,000m³/d)から8池(20,000m³/d)に増やし低負荷運転になった場合を想定して調査を行った。実機換算水量14000m³/d、循環率150%、返送率30%、HRT:22h、SRT:30d、A-SRT:15d、槽割を1:3:4の20,000m³/日対応設備の条件運転を行なった。これには、MLSSを約3,000mg/lと2,000mg/lに変えて実験した。

1) MLSS 3,000mg/lの場合 RUN -1

RUN -1では槽割1:3:4の20000m³/d対応設備に14000 m³/d通水し反応槽MLSSは3000mg/L程度で運転した場合を想定して実験を行った。

<りん除去について>

RUN -1は、BOD-SS負荷が0.07 kg-BOD/(kg-ss・d)と低いため処理水 T-P は1.0mg/L となった。嫌気槽の PO_4 -Pは19 mg/l であり、りん放出は良い値を示したが、好気槽では PO_4 -Pを摂取しきれず、0.7 mg/l 残り、この影響で処理水 T-P は1.0 mg/l となった。T-P 除去率は72%であった。

これはBOD-SS負荷が0.07と低くなったこと、平均水温が20 を下回ってりん摂取速度が低下したためと考えられる。

<窒素除去について>

処理水の平均 T-N 濃度は11mg/l であり、窒素除去率は77%を示し安定した窒素除去が行えた。無酸素槽での残留 NO_x -N もほとんど見られないので、循環率を上げれば、処理水 T-N はさらに下がると思われる。

2) MLSS 2,000mg/l の場合 RUN -2

RUN -2は、MLSS濃度を2000mg/L程度に下げ、BOD-SS負荷がRUN -1よりも高くなるようにした。

<りん除去について>

負荷が上がってりん除去性能の向上が期待されたが、嫌気槽の PO_4 -Pは4.7mg/L、好気槽の PO_4 -Pは1.4mg/L、処理水 T-P は2.1mg/lとなり、RUN -1よりも悪くなった。

水温平均が14 以下となったことが影響し、りん放出速度及びりん摂取速度の低下が起きたと思われる。RUN -2においてりん除去率は45%であった。

<窒素除去について>

MLSSを約2000mg/L程度にして運転したが、処理水の平均 T-N は7.4mg/Lであった。窒素除去率も70%であることから良好に処理できたと判断できる。

なお、無酸素槽で残留 NO_x -N が1.3mg/Lの残留が見られた。これは水温が14 と下がったため、脱窒速度が低下して影響したものと思われる。

(4) 槽割変更が運転にもたらす影響 RUN

RUN と同様の低負荷運転で槽割のみを2:2:4に変更し、嫌気槽の滞留時間を2.7hから5.4hに伸ばした運転を行なった。

RUN の実験期間において平均水温 14.7 、MLSS濃度は平均 3,030mg/l、平均 BOD-SS 負荷は0.10kg/(kg・d)となった。

<りん除去について>

BOD-SS 負荷はRUN の方が0.03kg/(kg・h)RUN -1よりも高く、嫌気槽での滞留時間についてもRUN の方が長い条件である。ところがRUN -1よりも嫌気槽でのりん放出濃度は低下した。このように嫌気槽の滞留時間を増やしてもりんの放出には有効ではなかったことから、RUN ~RUN -2まで行っていたように嫌気槽の滞留時間は2.7時間あれば十分であると思われる。

<窒素除去について>

平均処理水 T-N 濃度は10mg/lとなり、窒素除去率も70%と安定した窒素除去が行えた。しかし、RUN -1よりも無酸素槽滞留時間を短くしたため、無酸素槽の脱窒が不十分となった。

(5) 硝酸性窒素流入水の影響 RUN

有明処理場の原水に硝酸性窒素を約6mg/L添加して処理性能への影響について調べた。RUN -1では硝酸性窒素無添加の条件でMLSSを3000mg/L程度にし、槽割1:3:4

の20000m³/d対応設備に14000 m³/dの流量で7日間調査を行った。

RUN -2では、硝酸性窒素を約6mg/L添加してRUN -1と同一条件で運転することで硝酸性窒素の有無による相違を調査した。

<りん除去について>

実験期間を通じて嫌気槽 ORP は-350mV 以下を維持してした。また、嫌気槽の PO₄-P は 8.6mg/L、好気槽の PO₄-P は 1.1mg/L、処理水 T-P 濃度は 1.1mg/L であり、平均 T-P 除去率は 60%であった。硝酸性窒素無添加の RUN -1 もほぼ同様な値であったことから、6mg/L 程度の硝酸性窒素の流入はりん除去にほとんど影響ないと判断した。

<窒素除去について>

平均処理水 T-N 濃度は 10mg/l となり、窒素除去率も 70%と安定した窒素除去が行えた。窒素除去において影響を与えないことが分かった。

5.1.2 りん除去性能について

実験プラントの連続実験データを基に、窒素りん除去に関わる速度式等を求めた。これは、次章のシミュレーションに必要な得ることにある。なお RUN の実験は原水に硝酸性窒素を添加しているため、以下のグラフからは削除している。

(1) 水温の影響

処理水のりん濃度と水温の関係を図-3-6-3-2に示す。

平成11年度の調査結果から、良好なりん除去には、S-BOD/PO₄-Pで15以上確保することが望ましいとされた。今回この条件を満足しており、実験プラント特有の水温の低下によるりん除去の低下と判断した。概ね、りん除去率60%以上を確保するには水温15以上が、また除去率80%(処理水 T-P 0.5mg/l)を確保するには20以上が望ましいことが分かる。

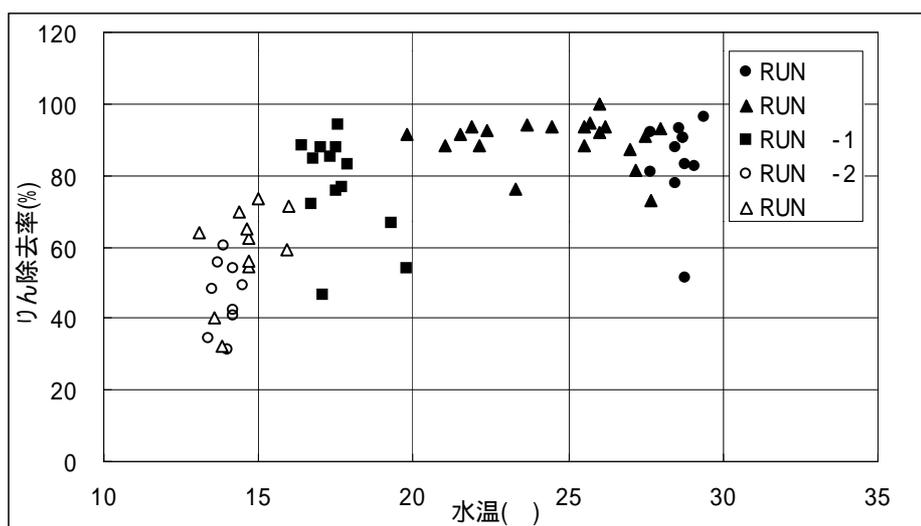


図2 りん除去率と水温の関係

(2) りん放出速度とりん摂取速度

各RUNの連続試験から求めた、りん放出・摂取速度を表5に示す。

表5 各RUNから求めたりん放出・摂取速度

条件		A-SRT	平均水温	嫌気槽ORP	BOD-SS負荷	BOD/P	S-BOD/PO ₄ -P	嫌気槽 りん放出速度	無酸素槽 りん摂取速度	好気槽 りん摂取速度	りん除去率
		d		mV	(kg/(kg·d))	-	-	mg-P/(g·SS/h)	L/(g·SS/h)	L/(g·SS/h)	%
7/18~9/17	RUN	10	28.5	-310	0.10	25	15	1.1	0.02	0.43	76.3
9/18~11/21	RUN	7	24.0	-332	0.14	25	14	1.7	0.16	0.55	89.7
11/23~12/26	RUN -1	15	17.7	-356	0.08	27	16	2.4	0.06	0.18	72.2
1/29~2/8	RUN -2	10	13.9	-343	0.14	36	19	0.8	0.04	0.06	44.7
2/9~3/1	RUN	10	14.7	-359	0.10	34	17	0.5	0.03	0.13	63.4

(3) りん摂取速度と水温

各RUNの連続実験から求めたりん摂取速度と水温の関係を図3に示す。水温が20以下でりん摂取速度が低下していることが分かる。

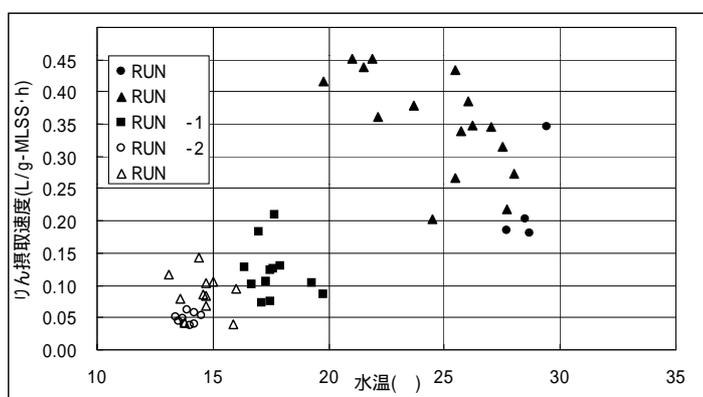


図3 りん摂取速度と水温の関係

5.2 回分実験

返送汚泥と原水を実験条件と同じ割合で混合し硝化速度、及び脱窒速度の調査を行った。

5.2.1 窒素除去性能について

回分実験データをもとに窒素除去性能に関わる硝化速度、脱窒速度と窒素除去との関係を求めた。

(1) 硝化速度

硝化速度と水温の関係を図4に示す。

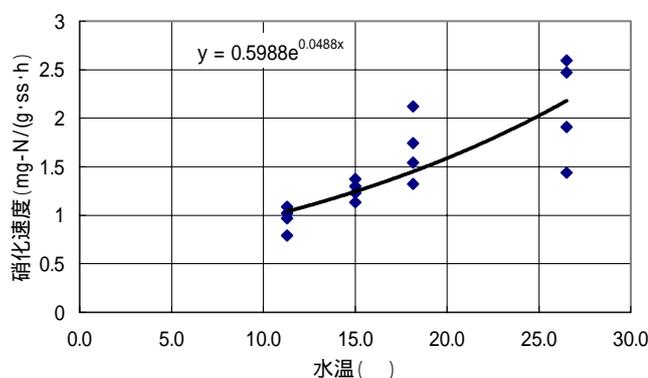


図4 硝化速度と水温の関係

(2) 脱窒速度

脱窒速度と水温の関係を図5に示す。

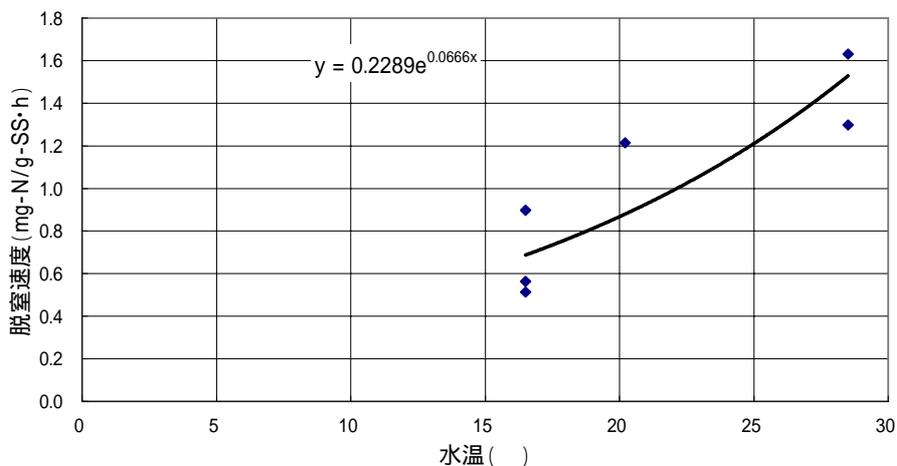


図5 脱窒速度と水温の関係

5.2.2 リン除去性能について

各々の回分試験時にはS-BOD源として酢酸を添加しS-BOD/PO₄-Pの違いがリンの放出・摂取速度に及ぼす影響についても調べた。回分試験では、回分実験時のプラントのA-SRT、BOD-SS負荷、S-BOD/P、S-BOD/PO₄-Pのいずれともリン放出、リン摂取速度との間に相関は無かった。

リン放出速度、リン摂取速度ともにS-BOD/PO₄-P 30程度で最高値を示していた。また、これ以上S-BOD/PO₄-Pを高くしても逆に速度が低下する傾向がみられることから、リン除去能力をあげる目的で酢酸等のS-BOD源を添加する場合もS-BOD/PO₄-Pで25~30程度にとどめる事が望ましい。リン除去に関する回分実験結果を表6に示す。

表6 リン除去に関する回分実験結果

回分試験実施時プラント実験条件					回分実験条件			
	A-SRT	BOD-SS負荷 kg/(kg·d)	BOD/P -	S-BOD/PO ₄ -P -	S-BOD/PO ₄ -P -	リン放出速度 mg-P/(g-SS·h)	リン摂取速度 L/(g-SS·h)	回分実験時水温
RUN	10	0.10	25	15	10	-	0.06	26.0
					26	5.4	0.48	
					41	5.9	0.32	
RUN	7	0.14	25	14	16	6.5	0.55	19.7
					34	10.5	0.37	
					52	9.3	0.35	
RUN -1	15	0.08	27	16	24	4.3	0.16	17.0
					41	5.0	0.31	
					56	4.9	0.12	
RUN -2	10	0.14	36	19	17	0.2	0.05	12.6
					33	0.9	0.06	
					49	0.9	0.04	
RUN	10	0.10	36	17	17	1.4	0.10	12.7
					33	2.6	0.15	
					49	1.5	0.04	

(1) リン摂取速度

回分実験より好気槽のリンの摂取速度として1時間当たりのSS 1g当たり0.35 mg/l摂取できるという数値を得た。

また、無酸素槽におけるりん摂取速度は、実機及び実験プラントの結果から、 0.05 mg/l 摂取できるという数値を得た。

5.3 シミュレーション結果

各RUNの流入水質の平均水質を使ってシミュレーションした結果から、運転方法と施設の増強方法について検討した結果を以下に述べる。

1) 現状の運転方法

<窒素除去>

処理水T-N目標値を満足している。しかし、無酸素槽については実滞留時間が1.49hであるのに対し、完全脱窒には1.40hは必要であり余裕がない。

<りん除去>

処理水T-Pは規制値を満足しているが、余裕はなくPAC添加の準備が必要であると考えられる。

2) 現状施設1/3系列において、今後水量が増加して負荷が高くなった場合

<窒素除去>

処理水T-N目標値を満足している。しかし、無酸素槽については実滞留時間が1.14hであるのに対し、完全脱窒には1.61hが必要である。無酸素槽出口においても $\text{NO}_x\text{-N}$ が残留していることから、流入変動を考慮すると、循環率・返送率の操作では対応できない可能性が高い。

<りん除去>

処理水T-Pは規制値に達しておりPAC添加が必要である。

3) 施設2/3系列に増強し低負荷の場合

流入水量 $14000 \text{ m}^3/\text{d}$ で槽割1:3:4

<窒素除去>

処理水T-Nは目標値を満たし、完全脱窒に必要な無酸素槽実滞留時間も余裕が生じるので、十分に対応できると考えられる。

<りん除去>

処理水T-Pは目標値をクリアーできる。また流入変動が起きても、PAC添加の頻度は現状よりもかなり減らせると予想される。

流入水量 $14000 \text{ m}^3/\text{d}$ で槽割1:1:2の場合

<窒素除去>

処理水T-Nは目標値を満たすことが可能であるが、完全脱窒に必要な無酸素槽実滞留時間が不足するために、流入水量変動時には水質悪化が予想される。

<りん除去>

処理水T-P濃度は規制値を満たしている。流入水量変動を考慮するとPAC添加の準備が常に必要であると考えられる。

4) 施設2/3系列にでの高負荷の上限について

高負荷運転流入水量27000m³/d 槽割1:3:4の場合

<窒素除去>

処理水T-N濃度は目標値を満たしているが、換算脱窒に必要な無酸素槽実滞留時間にあまり余裕が無く、流入水量変動が大きい場合には注意が必要であると思われる。

<りん除去>

処理水T-P濃度は規制値を満たしている。流入水量変動を考慮するとPAC添加の準備が常に必要であると考えられる。

流入水量27000m³/d 槽割1:1:2の場合

<窒素除去>

処理水T-Nは目標値を満たすことが可能であるが、完全脱窒に必要な無酸素槽実滞留時間が不足するために、流入水量変動時には水質悪化が予想される。

<りん除去>

処理水T-Pは規制値に達しておりPAC添加が必要である。

5) 施設を3/3系列に増強し低負荷の場合

流入水量22000m³/dで槽割1:2:3

<窒素除去>

処理水T-Nは目標値を満たし、完全脱窒に必要な無酸素槽実滞留時間も余裕が生じるので、十分に対応できると考えられる。

<りん除去>

処理水T-Pは目標値をクリアーできる。また流入変動が起きても、PAC添加の頻度は現状よりもかなり減らせると予想される。

6. まとめ

1/3系列における高負荷対応の上限としては、流入変動を考慮すると、平均流入水量14,000m³/日程度と推測された。

2/3系列に施設を増強する場合は、嫌気槽:無酸素槽:好気槽の比は1:3:4が窒素・りん除去に余裕のある運転ができ、平均流入水量27,000m³/日程度まで運転可能と推測された。

3/3系列に増強するのは、22,000m³/日程度以上であれば、低負荷による支障を生じない運転が可能であると推測された。

再生水の循環や新河岸東処理場で想定され硝酸性窒素の流入は、NO₃-N 6mg/L程度ではりん除去低下等の問題は見られなかった。

7. おわりに

本調査では、有明処理場において安定的な窒素・りんの除去を行うための運転管理条件を実験プラントを用いて調査し、今後の水量増加に対応した処理施設の運用、および水量

増加の各段階での運転方法を提案することができた。

当処理場の排水基準は、全窒素 20mg/l、全りん 1mg/l であり、実施設においては運転条件を大幅に変えるような試験運転をし難い状況にあり、本調査結果が今後の運転方法の指針として役立つものと考えます。

調査の過程で実験プラントを設置した有明処理場の方々に大変お世話になりました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 高度処理施設設計マニュアル(案) 平成 6 年:(社)日本下水道協会
- 2) 下水道施設計画・設計指針と解説 1994 年版:(社)日本下水道協会
- 3) 窒素りん削減に向けた既設の活性汚泥法の改良に関する調査報告書
平成 10 年度:東京都下水道局施設管理部施設管理課
- 4) 有明に処理場における安定的な窒素・りん削減のための調査報告書
平成 11 年度:東京都下水道局施設管理部施設管理課

大目次

目次

要旨

- 1 ろ布ろ過汚泥濃縮機の連続運転調査

研究担当者：計画調整部 技術開発課 鈴木 清志
河野 謹一郎

1. はじめに

汚泥の濃縮は汚泥処理における最初のプロセスであり、後続の処理施設の処理能力、施設規模を決定するための最も重要な処理工程であり、建設費及び維持管理費を低減するために重要なプロセスである。

従来は、一沈汚泥及び余剰汚泥を混合して重力濃縮する方法が主流であった。しかし、近年、汚泥中の有機分の増加による汚泥性状の変化や、汚泥を長距離輸送するようになった結果、重力濃縮では所定の汚泥濃度が得られなくなってきた。このため、汚泥濃縮は、重力濃縮から遠心濃縮に移行しつつあるが、遠心濃縮は建設費が高く、多量の電力を消費する点が課題である。

また、東京都区部処理場から圧送する汚泥濃度は0.5%前後と低く、処理量が多いため、遠心濃縮するのは効率が悪い。よって、低濃度汚泥を効率良く濃縮する装置が望まれていたが、東京都では、汚泥濃縮において凝集剤を添加し、ろ布を用いて濃縮する手法を見いだした。

2. 研究の目的

本研究は、平成11年度～平成12年度の2ヶ年間、(財)下水道新技術推進機構と共同で実施したものである。そのうち平成11年度における試験では、目標とする濃縮汚泥濃度が得られなかったため、装置を改良して平成12年度の実験を行った。

本研究の目的は、有効ろ布巾3mのろ布ろ過濃縮機と付帯装置を備えた実証設備を建設し、原汚泥濃度(0.2～0.5%)の汚泥に対し、原汚泥供給量40m³/h以上、濃縮汚泥濃度4%、SS回収率95%以上を目標とし、維持管理に関する検討を行い、ろ布ろ過濃縮技術の実用化を図ることである。

3. 技術の概要及び特徴

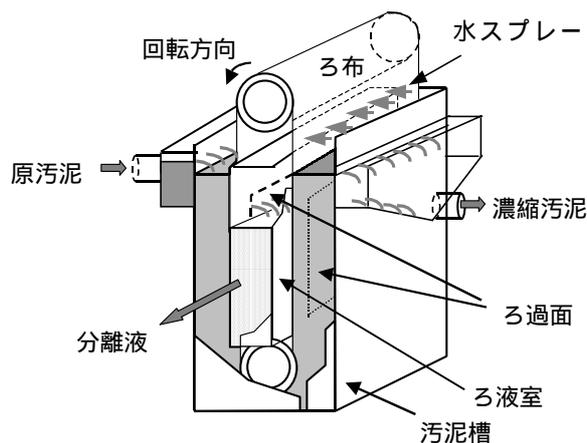


図1 ろ布ろ過濃縮機概略図

ろ布を使用してろ過濃縮する本方式は、汚泥処理における課題を克服し、従来の比重差を利用する重力濃縮、遠心濃縮方式に代わる技術である。

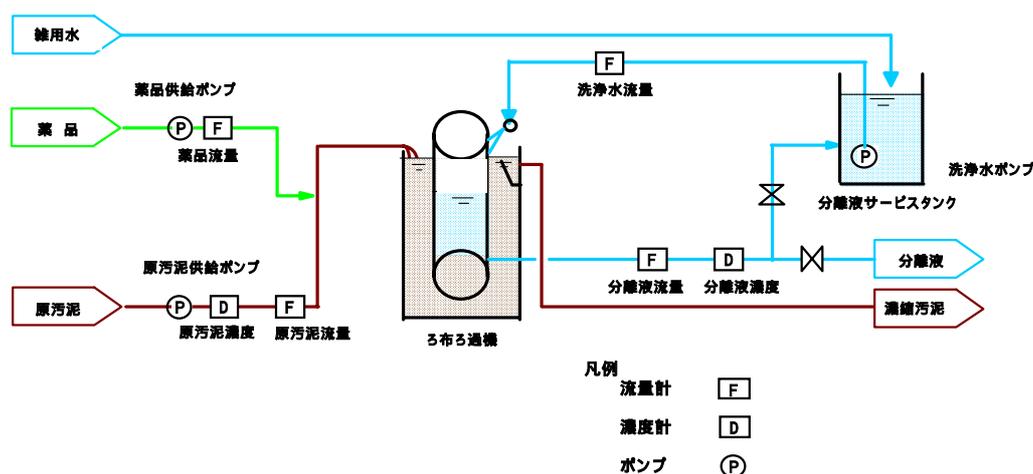


図2 ろ布ろ過汚泥濃縮フロー

ろ布ろ過濃縮技術は、硫化水素及びリン固定に有用なポリ硫酸第二鉄（ポリ鉄）を凝集剤として添加し、ろ布を使用してわずかな水頭差で汚泥を濃縮する技術である。

本技術は、低濃度の混合汚泥（0.2～0.5%）を濃度一定自動制御運転によって、安定的に4%に濃縮することを特徴としている。

図1にろ布ろ過濃縮機の概略構造を、図2に濃縮フローを示す。

ろ液室を挟んでろ布が回転し、装置左側から供給された汚泥は、ろ過面でろ過され、ろ液（分離液）はろ液室の中へ入り、右側にある堰を越えて排出される。ろ布外側の汚泥は、ろ布の回転により徐々に濃縮され、右上から引き抜かれる。また、水スプレーにてろ布洗浄を行う。

この装置を葛西処理場に設置し、同処理場の汚泥を用いて調査を行った。

4 . 研究内容

4 . 1 性能目標

(1) 適用範囲

運転の適用範囲は、原汚泥濃度（0.2～0.5％）の混合汚泥とし、次の3種類の汚泥について、調査した。

混合生汚泥 1

（葛西処理場一沈汚泥＋小菅・中川処理場送泥汚泥）

余剰汚泥固形分比率：平均値で27％

この汚泥は、調査を実施した平成11、12年度に実際に葛西の重力濃縮槽に流入していた汚泥である。平成11年度の調査では、この汚泥のみを供試体とした。

混合生汚泥 2

（葛西処理場一沈汚泥＋余剰汚泥＋小菅・中川処理場送泥汚泥）

余剰汚泥固形分比率：50％以上

これは、余剰汚泥を含めた全汚泥を受泥したときを想定したものであり、そのときは余剰汚泥の割合は50％に増加する。

余剰汚泥

（葛西処理場余剰汚泥）

余剰汚泥固形分比率：100％

これは余剰汚泥を分離濃縮する場合を想定したものである。

(2) 機器仕様及び性能目標

以下にろ布ろ過濃縮機の機器諸元と性能目標を示す。

表 1 ろ布ろ過濃縮機機器仕様

項 目	仕 様
有効ろ布巾	3.0m
ろ布走行速度	20m/min
ろ過圧力	500mmAq

表 2 ろ布ろ過濃縮機処理性能（目標値）

項 目	性 能
濃縮汚泥濃度	4.0％以上
汚泥供給量	40m ³ /h以上
分離液SS回収率	95％以上
ポリ鉄薬注率	15％DS程度
分離液SS回収率	8m ³ /h程度

4 . 2 研究内容

本研究では、実装置規模のろ布ろ過濃縮機を長期連続運転させることにより、性能調査、運転管理手法の検討、経済性の評価を行った。

4 . 2 . 1 性能調査

本濃縮機の性能として、運転条件、制御性、機能安定性及び本濃縮機導入による汚泥脱水性等に及ぼす影響について調査した。

(1) 運転条件の調査

運転条件を変化させて濃縮性の基礎調査を行う。

濃縮機の汚泥供給量、ろ布走行速度及びポリ鉄添加率等の条件変化に対する濃縮性能について調査する。

(2) 制御性の調査

本装置の制御性について、調査を行う。

濃縮機は、原汚泥の濃度変化があっても4%以上の一定濃度の濃縮汚泥を排出でき、運転制御がシンプルであることが必要である。

よって、濃縮汚泥濃度一定制御システムによる自動制御運転について検証する。

(3) 機能安定性の調査

本装置のろ布は、汚泥脱水機に使用されるろ布と同様に、長期運転を行った場合、徐々に状況が変化すると考えられる。また、濃縮機汚泥槽内のスカムの滞留や、汚泥槽底部での沈砂の堆積も運転に障害を及ぼす恐れがある。

よって、以下の項目を機能安定性に関わる調査項目として、約1ヶ月毎の経時変化を調査する。

- ・ろ布寿命
- ・スカム及び沈砂の発生状況

(ア) ろ布寿命の調査

以下の観測結果によりろ布寿命を判断する。

ろ布目詰まり量の経時変化の把握

- ・拡大写真による、表と裏の汚泥の付着状況、目詰まり状況の目視確認
- ろ布摩耗状態の把握
- ・拡大写真による、ろ布裏面の摩耗状態の経時変化の観察

(イ) スカム及び沈砂の調査

- ・スカムの発生状況の調査
- ・汚泥槽底部の沈砂量の定期的測定
(流入砂分総量 - 排出砂分量)
- ・沈砂の除去機構、除去装置の必要性の検討

(4) 本濃縮機導入による汚泥脱水性等に及ぼす影響の調査

本システムでは、凝集剤としてポリ鉄を添加しているが、ポリ鉄添加によるろ布ろ過濃縮システムが、後段の脱水性及び返流水水質に及ぼす影響について調査を行う。

(ア) 濃縮汚泥の脱水性への影響

- ・ベルトプレス脱水機に供給した場合を想定したリーフテストの実施

(イ) 返流水水質への影響

- ・分離液の水質データの分析

4.2.2 濃縮設備の配置及び運転管理手法の検討

本装置を適用した場合の機器及び付帯設備の配置及び運転管理方法について検討する。

4.2.3 経済性評価

建設費、維持管理費、保守点検費について、従来の濃縮方法と比較し、本装置の経済性を総合的に評価した。

5. 研究結果

5.1 性能調査

5.1.1 平成11年度の研究結果に対する装置改良の効果

前年度（平成11年度）の試験においては、ポリ鉄添加率15%で濃縮汚泥濃度は3.5%、原汚泥供給量は $30\text{m}^3/\text{h}$ 、SS回収率は95%であり、目標値を下回ったため、装置の改良を行った。

その結果、以下の効果が確認できた。

- ・濃縮汚泥排出側の槽内濃度分布が不均一だったため、排出側のろ布と汚泥槽壁内のクリアランスを狭めた結果、槽内濃度分布が均一となり、濃縮汚泥濃度が一定になった。
- ・汚泥供給方法については、越流方式からもぐり堰方式に変更し、同時に汚泥供給管径を大径化して管内流速を低下させた結果、供給量、濃縮汚泥濃度が安定した。
- ・スクレーパーのろ布への当たりを均一化した結果、汚泥の剥離が良くなり、洗浄排水のSS濃度が低下した。
- ・洗浄水の打力が弱く、洗浄ムラが生じていたため、ノズル数量を増やし、洗浄水量を $8\text{m}^3/\text{h}$ から $12\text{m}^3/\text{h}$ に変更し、スプレーノズルを千鳥格子にし、全面洗浄を行えるようにした。また、裏面も洗浄できるように改良した。その結果、ろ布の洗浄ムラがなくなった。

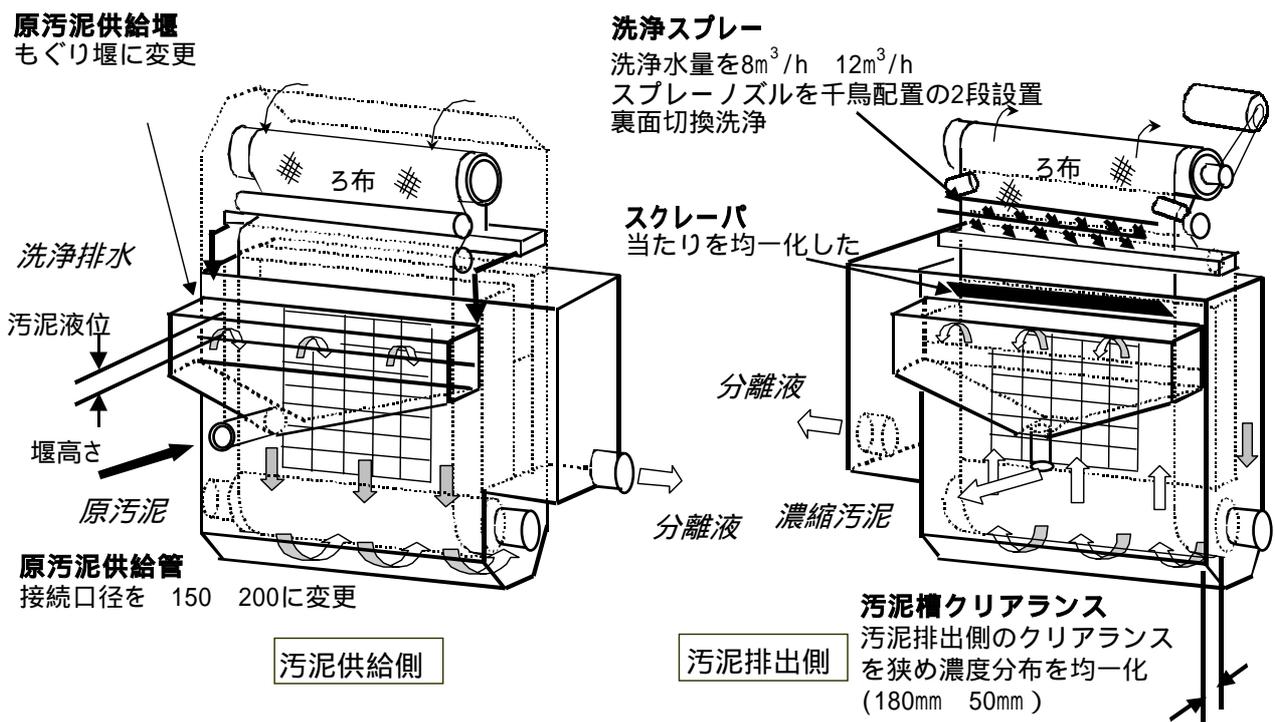


図3 改造概略図

5.1.2 実証設備による性能調査

(1) 運転条件の調査

混合生汚泥1を供試汚泥とした場合の調査結果を図4～図7に示す。ろ布走行速度の上昇に伴い処理量は若干上昇するが、SS回収率が大きく低下する傾向を示した。性能目標値である濃縮汚泥濃度4%以上、原汚泥供給量40m³/h、SS回収率95%を安定して維持するためには、ろ布走行速度20 m/min、ポリ鉄添加率の設定値を15%とすることが必要であった。

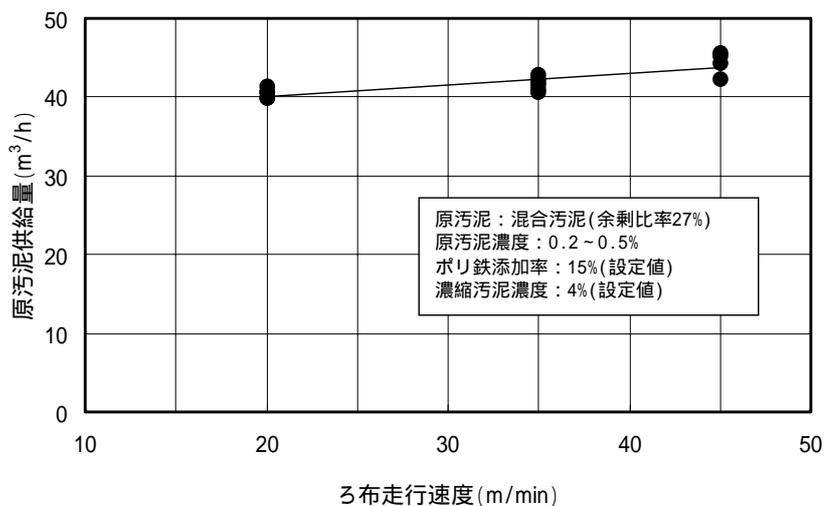


図4 ろ布走行速度と原汚泥供給量の関係

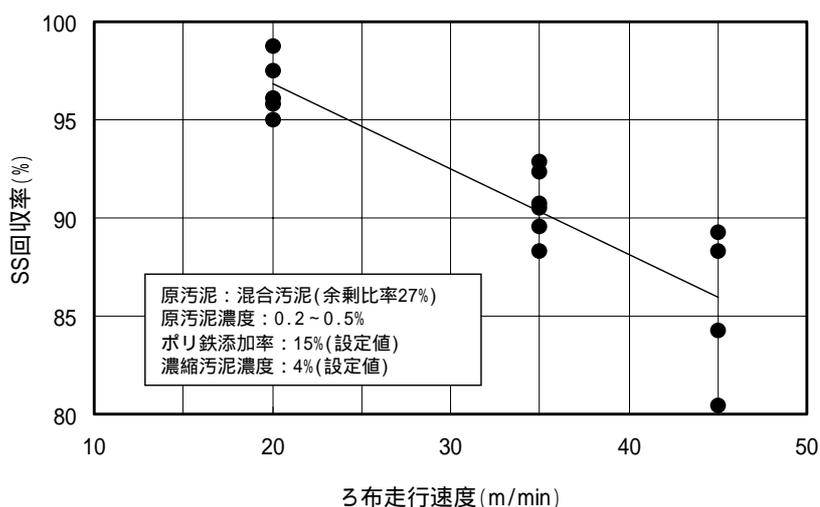


図5 ろ布走行速度とSS回収率の関係

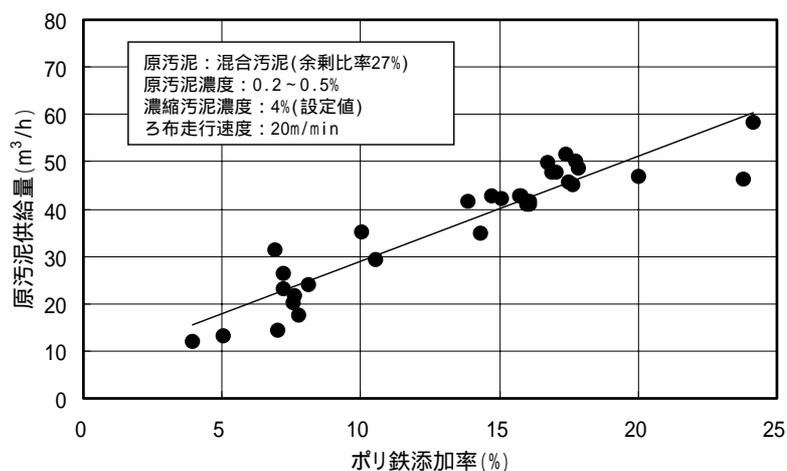


図6 ポリ鉄添加率と原汚泥供給量の関係

(6)

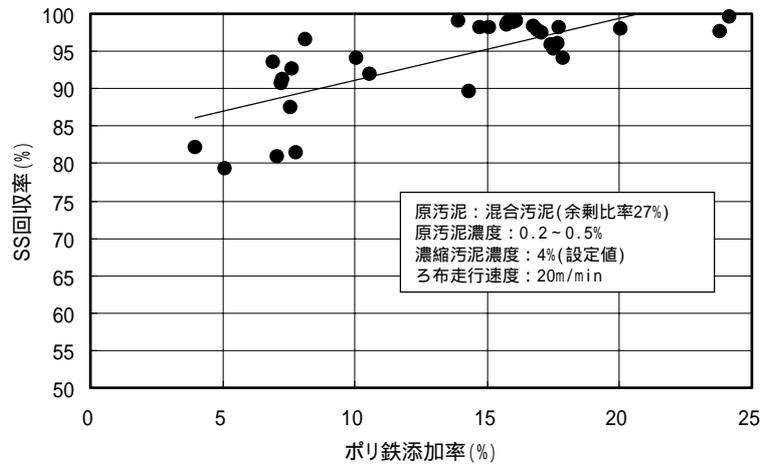


図7 ポリ鉄添加率とSS回収率の関係

混合生汚泥2を供試汚泥とした場合の調査結果を図8、図9に示す。性能目標値を達成するためには、ろ布走行速度を20m/minとし、ポリ鉄添加率を20%とすることが必要であった。

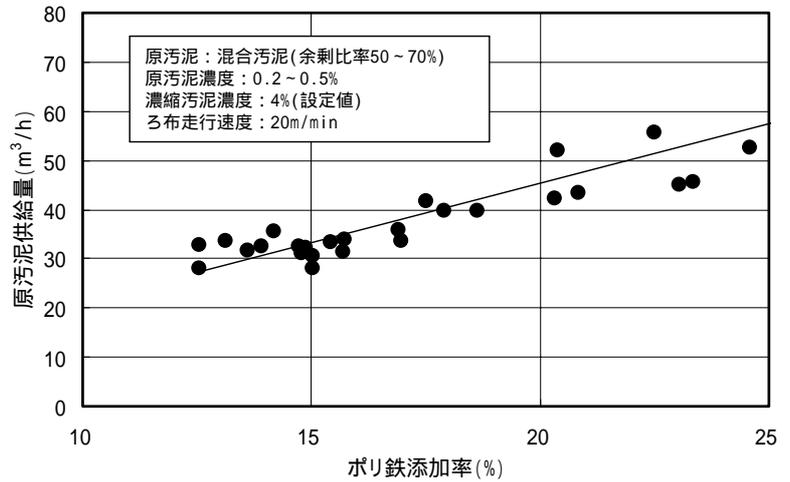


図8 ポリ鉄添加率と原汚泥供給量の関係

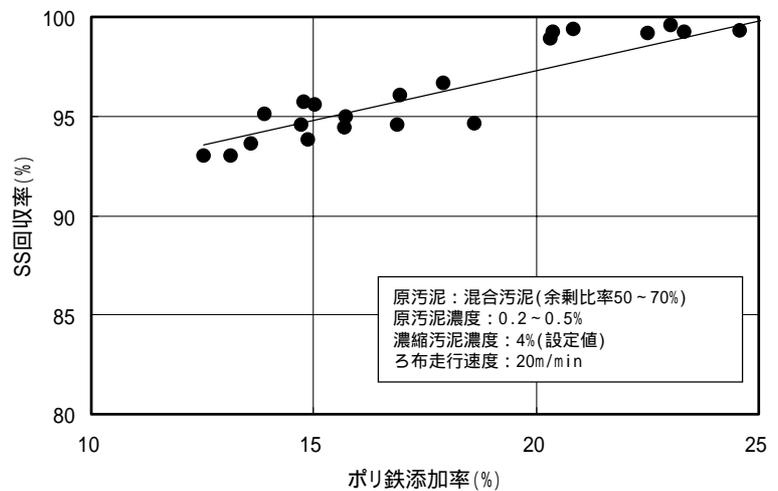


図9 ポリ鉄添加率とSS回収率の関係

一方、汚泥のpH値がフロック形成に影響を与えることがわかり、分離液のpHが6.0を越えると凝集性が悪くなる傾向であった。そこで、前処理としてpHを下げる操作をすれば、ポリ鉄添加率15%で濃縮汚泥濃度4%以上、原汚泥供給量 $40\text{m}^3/\text{h}$ 、SS回収率95%の目標性能を達成できた。(なお、pH調整としては、96%硫酸を $50\text{ml}/(\text{m}^3\text{-原泥})$ 添加を必要とした。)この結果を図10、図11に示す。

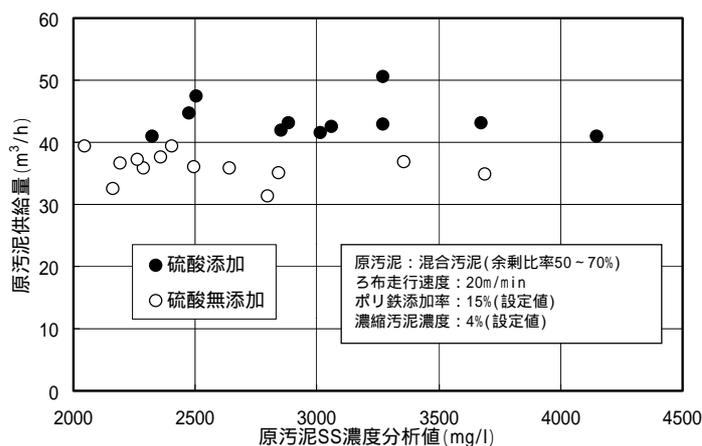


図10 原汚泥SS濃度と原汚泥供給量の関係

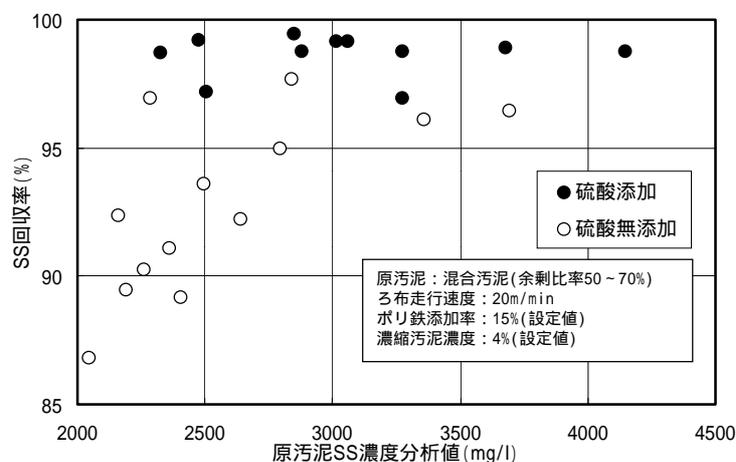


図11 原汚泥SS濃度とSS回収率の関係

(2) 制御性の調査

混合生汚泥2を供試汚泥とし、凝集剤として96%硫酸を $50\text{ml}/(\text{m}^3\text{-原泥})$ およびポリ鉄添加率15%、濃縮汚泥濃度の設定値を4%、ろ布走行速度 $20\text{m}/\text{min}$ として5日間連続運転を行ったときの処理結果を図12～図14に示す。5日間の原汚泥供給量は平均値で $40\text{m}^3/\text{h}$ 、濃縮汚泥濃度は平均値で4.4%、分離液濃度計の表示値および分離液SS濃度分析値は平均値でそれぞれ $48\text{mg}/\text{l}$ および $38\text{mg}/\text{l}$ であった。

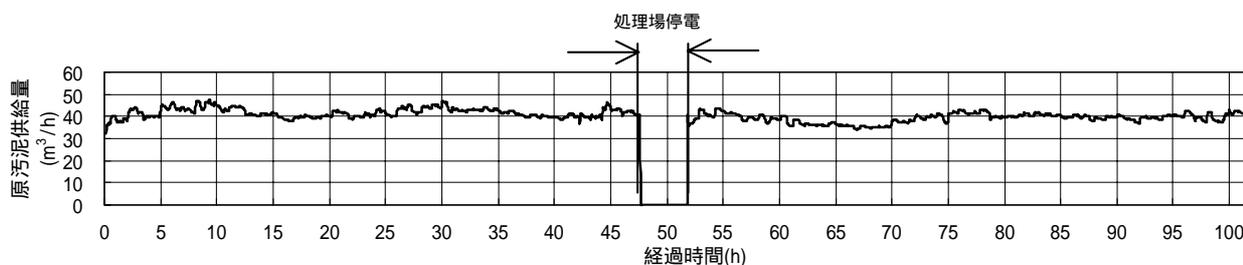


図12 原汚泥供給量の経時変化

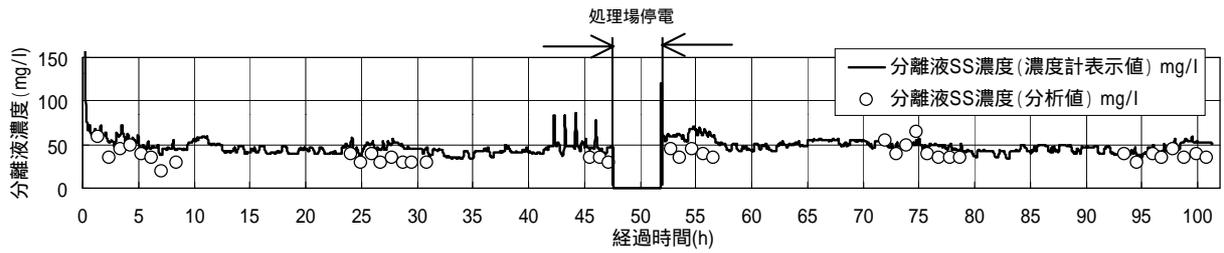


図 1 3 濃縮汚泥濃度の経時変化

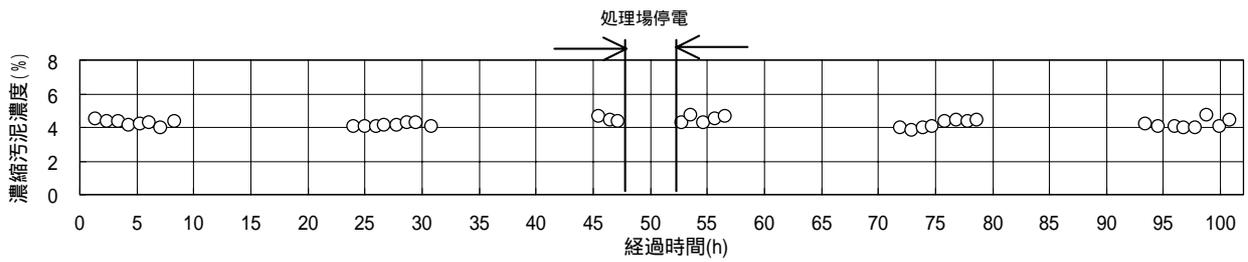


図 1 4 分離液濃度の経時変化

混合生汚泥 2 を供試汚泥とし、凝集剤として高分子凝集剤を平均で0.13%添加し、濃縮汚泥濃度の設定値を4%、ろ布走行速度20m/minとして4日間連続運転を行ったときの処理結果を図 1 5 ~ 図 1 7 に示す。4日間の原汚泥供給量は平均値で50m³/h、濃縮汚泥濃度は平均値で4.6%、分離液濃度計の表示値および分離液SS濃度分析値は平均値でそれぞれ146mg/l および91mg/lであった。

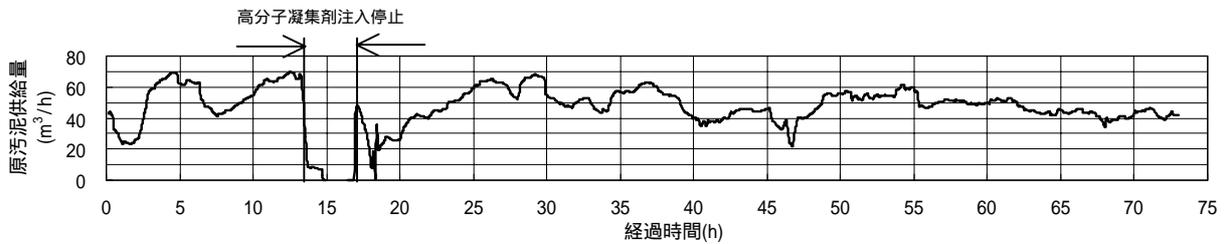


図 1 5 原汚泥供給量の経時変化

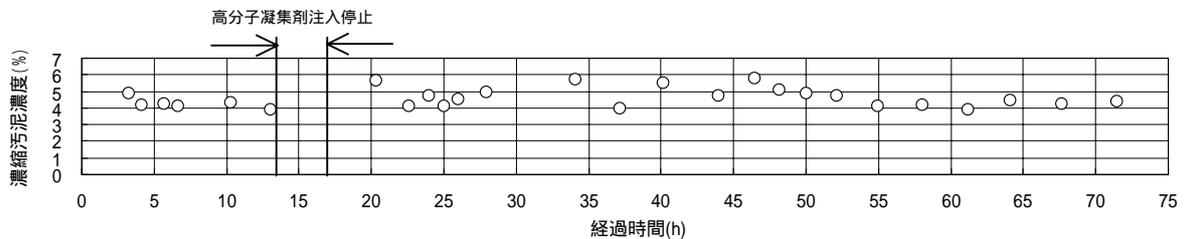


図 1 6 濃縮汚泥濃度の経時変化

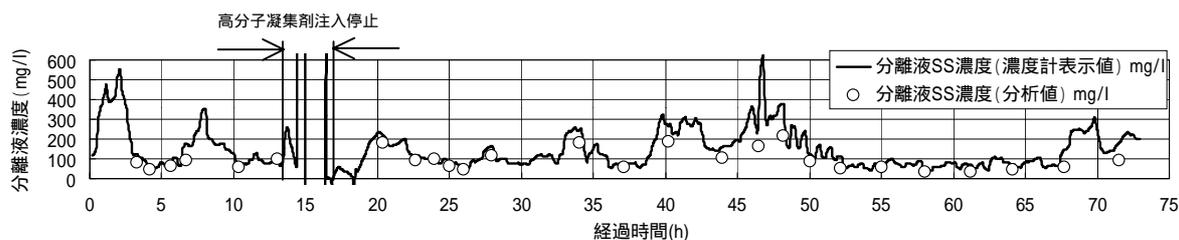


図 1 7 分離液濃度の経時変化

供試汚泥を余剰汚泥とし、凝集剤としてポリ鉄と高分子凝集剤を併用し、濃縮汚泥濃度の設定値を4%、ろ布走行速度20m/minとして5日間連続運転を行ったときの処理結果を図18～図20に示す。ポリ鉄添加率は5日間を通して13%一定で、高分子凝集剤の添加率は2.5時間から46.5時間および78時間から94時間是对TSあたり0.05%とし、55時間から70時間是对TSあたり0.1%とした。高分子凝集剤の添加率が0.05%の場合の原汚泥供給量の平均値は41m³/hであり、高分子凝集剤の添加率が0.1%の場合の原汚泥供給量の平均値は47m³/hであった。濃縮汚泥濃度は平均値で3.9%であった。分離液濃度計の表示値および分離液SS濃度分析値は平均値でそれぞれ80mg/lおよび106mg/lであった。

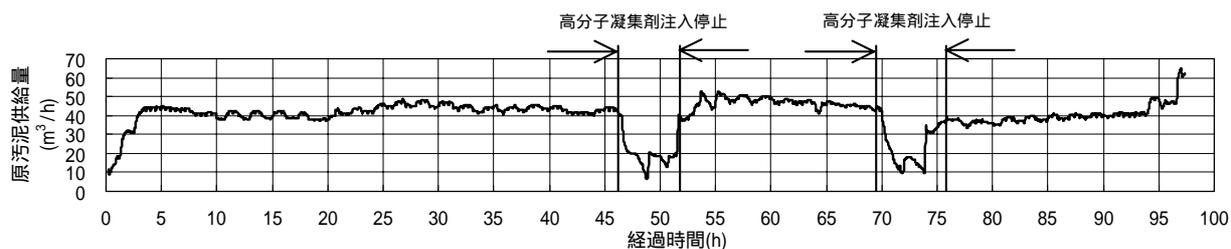


図 1 8 原汚泥供給量の経時変化

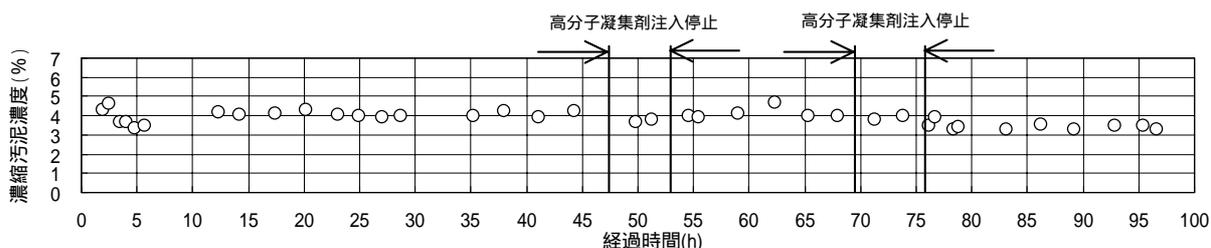


図 1 9 濃縮汚泥濃度の経時変化

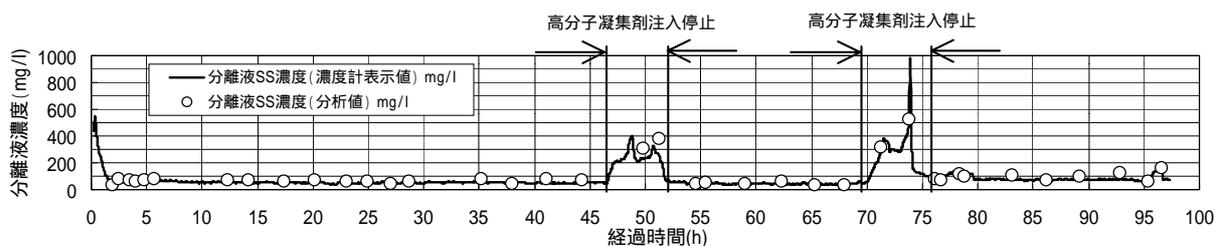


図 2 0 分離液濃度の経時変化

(2) 制御性の調査

混合生汚泥1を供試体として、濃縮汚泥濃度一定制御を行った結果、原汚泥濃度(0.2~0.5%)の変動があっても4%以上の濃縮汚泥を安定して得られることが確認できた。この場合、濃縮汚泥濃度を一定にするため、汚泥供給量を調節するが、流量変動範囲が狭いため、装置の実用化にあたって支障がないものと判断した。

(3) 機能性安定の調査

(ア) ろ布状況の調査

- ・ろ布の目詰まりによって処理能力が減少したが、ろ布を薬品洗浄することにより、目詰まりは解消し、処理能力を回復できた。従って、実装置では定期的な薬品洗浄が必要であると考えられる。(実験期間中では、約300hは薬品洗浄が不要であることを確認した)
- ・1年4ヶ月間の装置の稼働において、ろ布断片、ろ布の異常蛇行、ベアリングの異音・振動は認められず、また、その他の部品交換も不要であった。

(イ) スカム及び沈砂の調査

- ・運転期間中、装置内にスカムの発生は認められなかった。
- 沈砂は平均で18g/h発生することを確認した。

(4) 導入による影響の調査

- ・脱水試験の結果、本試験で得られた濃縮汚泥は、葛西処理場の濃縮汚泥とほぼ同等の脱水性があることを確認した。よって、脱水においては特に支障はないと考えられる。
- ・分離液の PO_4 -P濃度は0.06mg/l、SS濃度は70mg/lで低い値であった。よって、他の既存の技術と比較した場合に、返流水のリン、SSの負荷が低減することを確認した。

5.2 濃縮設備の配置及び運転管理方法の検討

- ・葛西処理場の150m³/h遠心濃縮機と設置スペースを比較した結果、ほぼ同等であった。
- ・同じく重力濃縮槽と比較した結果、本装置の設置面積の方が少なかった。
- ・本装置は構成機器が簡素であり、管理項目はろ布走行速度、凝集剤量及びろ布目詰まり状況のみであり、管理が容易である。
- ・装置の連続運転結果に基づき、運転方法と維持管理方法を策定した。

5.3 経済性評価

遠心濃縮機150m³/hと本装置4台(40m³/h×4台=160m³/h)の建設費、維持管理費、保守点検費を総合的に比較した結果、本装置によるコスト低減が図れることを確認した。

表3 汚泥処理量150m³/hの場合のコスト総合比較

単位：千円/年

	ろ布ろ過濃縮機	遠心濃縮機
建設費	60,336	91,677
維持管理費	ポリ鉄 + 硫酸	高分子凝集剤
	25,798	21,823
保守点検費	14,000	21,000
合計	100,134	134,500

6. まとめと今後の課題

6.1 まとめ

(1) 性能調査

(ア) 運転条件の調査

濃縮汚泥濃度4%以上、原汚泥供給量40m³/h、SS回収率95%を安定して維持するための運転条件はまとめると、図4に示すとおりである。

表4 運転条件のまとめ

汚泥性状	薬品	薬品添加量	ろ布走行速度
混合生汚泥その1 余剰固形分比率約27%	ポリ鉄のみ	15%対DS	20m/min
混合生汚泥その2 余剰固形分比率約50%	ポリ鉄のみ	20%対DS	20m/min
	ポリ鉄+硫酸	ポリ鉄15%対DS +硫酸50ml/m ³	20m/min
余剰汚泥 余剰汚泥固形分比率100%	ポリ鉄+高分子	ポリ鉄13%対DS +高分子0.05%対DS	20m/min

(イ) 制御性の調査

上記運転条件の調査結果を反映して、混合生汚泥1を供試体とした連続運転を行った結果、濃縮汚泥濃度一定制御を行うことで、原汚泥濃度の変化があっても4%以上の濃縮汚泥を安定して得ることができ、制御方法も有効であった。

(ロ) 機能安定性の調査

長時間の運転の結果、ろ布の摩耗は見られなかった。ろ布の目詰まりについては、定期的な薬品洗浄により、通気度が回復した。また、沈砂については、運転上支障はなかった。

(ハ) 導入による影響の調査

本試験で得られた濃縮汚泥は、葛西処理場の濃縮汚泥とほぼ同等の脱水性であることを確認した。

また、他の既存の技術と比較した場合に、返流水のリン、SSの負荷が低減することを確認した。

(ニ) 濃縮設備の配置及び運転管理手法の検討

設置面積は、葛西処理場に導入されている150m³/h遠心濃縮機とほぼ同等であり、重力濃縮槽より少ないことが確認できた。

また、運転管理手法は、構成機器が簡素であり、管理が容易であることが確認できた。

(ホ) 経済性評価

遠心濃縮機150m³/hと本装置40m³/h×4台の建設費、維持管理費、保守点検費を総合的に比較した結果、コスト低減が図れることを確認した。

6.2 今後の課題

今後、実用化に向けての課題としては、次のとおりである。

- ・ 最適な凝集剤の選定を、今後とも検討していく必要がある。
- ・ ろ布の薬品洗浄頻度及びろ布の寿命を調査するため、実装置での検証をする必要がある。

大目次

目次

要旨

- 2 既存流動焼却システムの高効率化技術の開発

研究担当者：施設管理部 施設保全課 島田俊哉

1. 研究目的

近年の汚泥処理の集約化にともなう長距離送泥などにより、汚泥や脱水ケーキの性状に変化が見られるようになった。そのため、汚泥処理工場では、時折、焼却炉の定格能力での運転が困難な状況になるなど、安定した運転に影響が生じている。さらに、将来、しさの混焼を行うとした場合、被焼却物が高カロリー化することも考慮すると、焼却設備には今まで以上に、広範囲な汚泥性状に対応した安定的な運転が可能な焼却システムが必要である。

一方、維持管理経費の低減のため、焼却設備の補修工事や点検の周期を延長することも重要なことである。そのためには、長期の連続稼働が設備機器へもたらす影響についても検討し、長期連続稼働が可能なシステムを構築する必要がある。

本研究は、既存の流動焼却設備において改良工事などで適用することが可能であることを前提に、汚泥性状の変動に柔軟に対応でき、安定的な運転や維持管理費の低減を実現する流動焼却システムの開発を行うものである。

2. 研究目標

本研究の目標は以下のとおりとし、既存の流動焼却設備の改良工事等で適用が可能なものとする。

- (1) 広範囲な性状の汚泥が安定的に燃焼可能なシステムの開発
- (2) 2年以上、補修工事や点検が必要のないシステムの開発

3. 研究の全体計画

3.1 共同研究

本研究は、焼却炉メーカー4社のJV（日本碍子株式会社、月島機械株式会社、三菱重工株式会社及び株式会社クボタ）との共同研究である。

3.2 研究期間

平成12年4月～平成15年3月の3カ年

3.3 研究の手順（全体計画）

(1) 現状の把握

研究を進めるにあたり、被焼却物である脱水ケーキや焼却炉の補修経歴など、流動焼却設備に係わる現状を調査する。

(2) 燃焼改善・広範囲性状汚泥への対応

広範囲な汚泥性状に対応した安定的な運転が可能な焼却システムの開発を行う。

(3) 既存流動焼却設備の稼働率の向上

2年以上の長期にわたって、補修工事や点検が必要のないシステムの開発を行う。

(4) システムの最適化

以上の開発を通して、あるべき最適なシステムを構築する。

4．本年度の研究成果

本年度に実施した研究の中で、成果が得られた以下のテーマについて報告する。

(1) 現状の把握

ケーキ・しさを性状の把握、将来汚泥の予測

(2) 燃焼改善・広範囲性状汚泥への対応

砂層燃焼率制御及び砂層温度制御を基本とした処理方式の確立

5．現状の把握

ケーキ・しさを性状の把握、将来汚泥の予測

研究概要

研究を進めるにあたり、研究の対象としている「既存の流動焼却炉」が焼却する脱水ケーキの性状を把握、又は予想しておく必要がある。ここでは、流動焼却炉で焼却する高分子系の脱水ケーキを生産している処理場の過去約15年間の脱水ケーキの性状を調査し（焼却設備の稼働開始時期により過去数年間の場合もある）、その傾向の分析を行った。さらに、しさを発生量と性状についても調査を行い、将来、しさを混焼を行うとした場合の被焼却物の性状を推測した。

(1) 脱水ケーキ含水率

過去15年間の含水率の推移を見ると、調査した処理場ではここ3～4年間は安定した含水率を示している。高効率型の遠心脱水機を使用している場合は73～77%程度、一般の遠心脱水機の場合は76～78%程度、ベルトプレス型の場合は72～78%程度（乾燥設備を用いる場合は除く）の脱水ケーキが生産され、今後もこの傾向は変化しないものと予想される。

(2) 脱水ケーキ発熱量

過去15年間の低位発熱量の推移を見ると、若干ではあるが上昇傾向を示している。しかし、最近では16,800kJ/kg-DS程度で安定しており、今後これ以上、上昇したとしても18,900kJ/kg-DS程度が限度であると予想される。

(3) 脱水ケーキ性状の年間変化

(1)(2)で述べたように、長期間の推移では大きな変動はない。しかし、1年間という期間で含水率、発熱量の推移を見ると季節変動が生じており、汚泥処理、焼却処理の運転に対して、影響を与えている。

(4) しさを混焼を行った場合の被焼却物の性状

平成11年度の処理場、ポンプ所の実績によると、東京都区部で発生するしさは、約0.6万t/年で、区部で生産される高分子系の脱水ケーキ約77万t/年と比較すると、重量比では1%に満たない。また、しさを低位発熱量は、数検体サンプリングを行い性状分析を実施したところ、17,300～24,400kJ/kg-DS程度であった。脱水ケーキの低位発熱量を18,900kJ/kg-DS、しさを低位発熱量を24,400kJ/kg-DS、混焼時間を8時間/日と仮定し、年間に発生するしさを混焼の対象とすると、混焼時の混焼率は約3%、混焼物の低位発熱量は19,100kJ/kg-DS程度になると推測される。

6．燃焼改善・広範囲性状汚泥への対応

砂層燃焼率制御及び砂層温度制御を基本とした処理方式の確立

6．1 ねらい

(2)

流動焼却炉は、自燃が可能な脱水ケーキに対しては、流動空気温度の調節などで炉内温度制御を行っている。しかし、一般的には、補助燃料を必要とする脱水ケーキを処理するときの方が多く、補助燃料による炉内温度制御を行っているのが現状である。しかしながら、脱水ケーキの性状において含水率がある一定の範囲から逸脱すると、補助燃料による炉内温度制御が困難な状況になる（図1参照）。そこで、砂層燃焼率制御及び砂層温度制御を基本とした処理方式を確立し、広範囲な性状の脱水ケーキが燃焼可能なシステムを開発する。

6.1.1 砂層燃焼率制御（高含水率脱水ケーキへの対応）

補助燃料を必要とする高含水率・高発熱量脱水ケーキの場合、砂量（砂層）に対する水分負荷が増加し、砂層温度の低下とともに砂層燃焼率が低下する。これにより、フリーボード（FB）が高温化する。排ガス処理機器の温度制約上、排ガス温度には上限があるため、場合によっては処理量を減らさざるを得なくなる。

本研究では、脱水ケーキの処理量を維持する方法として、砂層燃焼率制御を試みた。ここで砂層燃焼率制御とは、砂量の増減や空気量の増減あるいは空気温度の調節によって砂層での燃焼率をコントロールし、砂層燃焼率を上げることでFBの高温化を防ぎ、処理量を維持しようとする方法である（図2参照）。

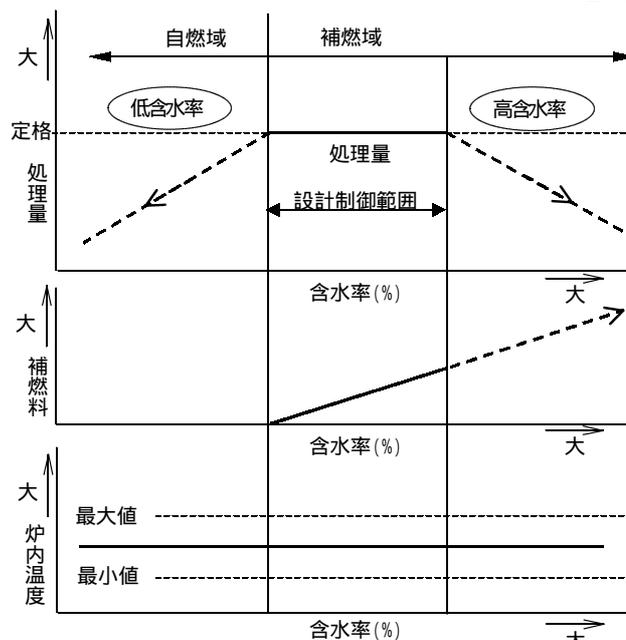
実験では、高含水率・高発熱量脱水ケーキ焼却における処理量維持のため、テストプラントを用いて砂層燃焼率制御の基本特性を確認した。

補足2）砂層燃焼率とは、燃焼帯を砂層部とFB部に分けて考え、脱水ケーキと補助燃料（オイルガン）が砂層部で燃焼する割合と定義する。

6.1.2 砂層温度制御（低含水率脱水ケーキへの対応）

自燃可能な低含水率・高発熱量脱水ケーキの場合、炉内に投入される熱量（熱負荷）が増加する。これにより炉内全体が高温化する。排ガス処理機器の温度制約上、排ガス温度には上限があるため、場合によっては処理量を減らさざるを得なくなる。

本研究では、脱水ケーキの処理量を維持する方法として、砂層温度制御を試みた。ここで砂層温度制御とは、炉内の砂を抜き出し冷却したのち再び炉内へ戻すことにより炉内温度をコントロールし、炉内全体



補足1）自燃域で定格処理量の運転が可能か否かは、個々の焼却炉の設計による。しかし、含水率が極度に低い場合には処理量は減少するのが一般的である。ここでは説明の都合上、上図のように考える。

図1 一般的な補燃制御概念

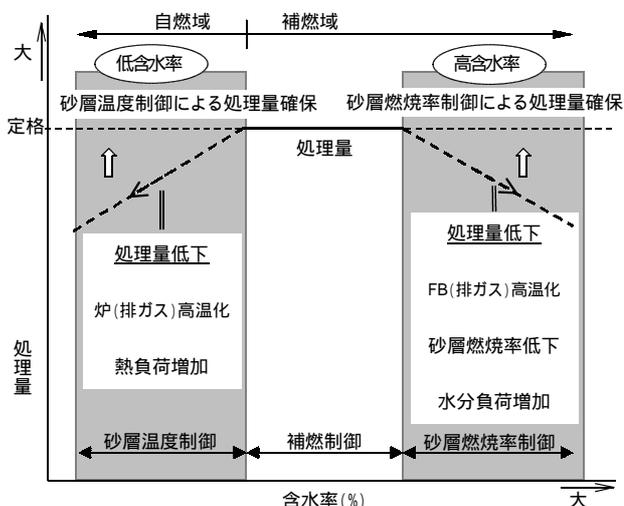


図2 含水率変化による処理量維持のための制御概念

の温度を下げることでFBの高温化を防ぎ、処理量を維持しようとする方法である（[図2](#)参照）。

実験では、低含水率・高発熱量脱水ケーキ焼却における処理量維持のため、テストプラントを用いて砂層温度制御の基本特性を確認した。

6.2 研究内容

実験は、焼却炉メーカー所有の気泡流動焼却テストプラントを用いて行った。その外形とプラントフローを[図3](#)、[4](#)に示す。

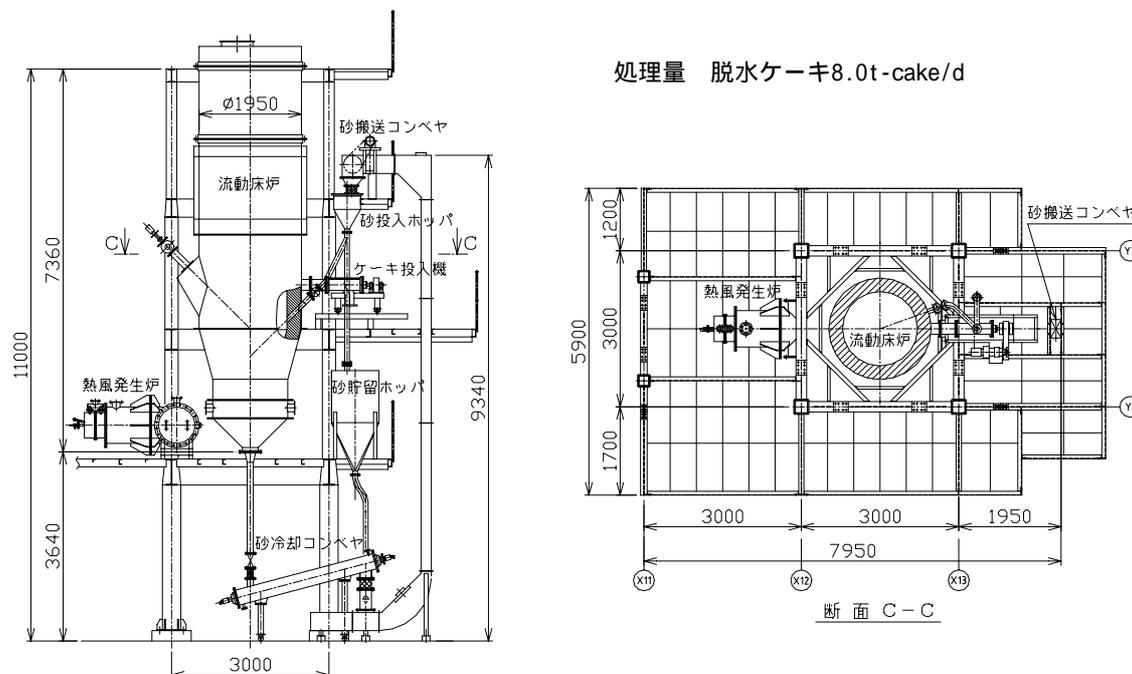


図3 テストプラント外形

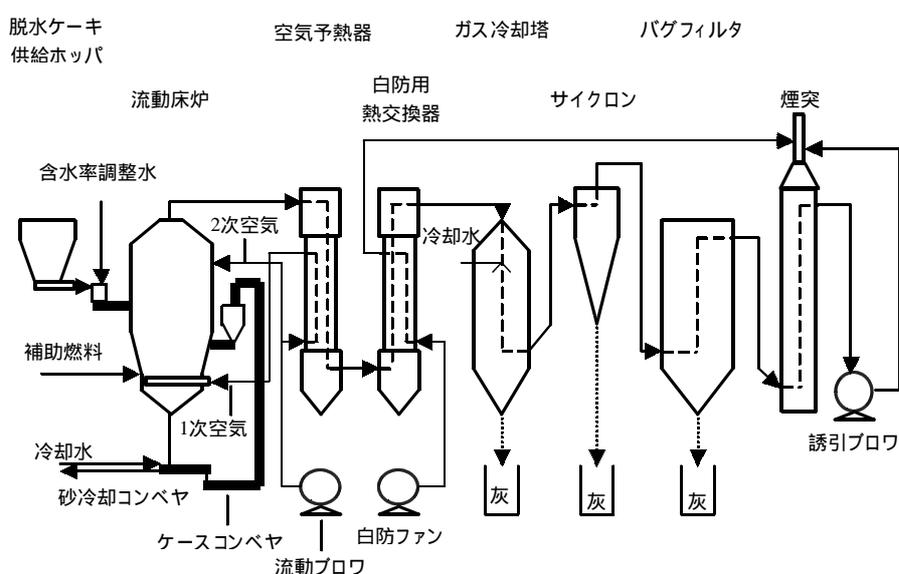


図4 テストプラントフロー

テストプラントの処理能力は約 8.0t-cake/dで、焼却炉本体の炉床は直径 645mm・テーパー高さ1370mm、フリーボードは直径1380mm・高さ5070mmである。脱水ケーキは、一軸ポンプにより送泥され、脱水ケーキ投入機（スクリーフィーダ）により炉内へ切り出される。

脱水ケーキの含水率を変える実験では、脱水ケーキ投入機部分に水を噴霧させる方法で、含水率の調整を行った。燃焼用空気は分散パイプから砂層部へ投入される流動空気（1次空気）とFBへ投入される2次燃焼用空気（2次空気）の2系統がある。1次空気は空気予熱器で加温された後さらに任意に空気を加温できるようになっており、他方2次空気は常温のままである。また、砂層部には補助燃料を供給するオイルガンが挿入されている。燃焼排ガスは、空気予熱器、白煙防止用熱交換器、ガス冷却塔で温度を下げ、バグフィルタ（消石灰吹き込み）によりSOx除去とダスト除去を行った後、煙突より排出される。

砂層燃焼率制御実験と砂層温度制御実験を行うにあたって、炉内の砂を抜き出すための砂排出装置、抜き出した砂を冷却するための砂冷却コンベヤ（水冷式スクリュウコンベヤ）、再び炉内へ砂を戻すためのケースコンベヤ（フライト式コンベヤ）などを新たに設けた。また、砂量の増減が必要となる砂層燃焼率制御実験用にバッファタンクとなる砂貯留ホップも新設した。この砂循環ラインを利用し、実験に応じて砂の増減あるいは冷却を行った。

それぞれの実験での排ガスと温度の測定場所、測定内容を図5に示す。

実験で使用した脱水ケーキ性状の分析結果を表1に示す。脱水ケーキ性状は、概ね含水率80%・可燃分80%・高位発熱量19,050

kJ/kg-dsである。

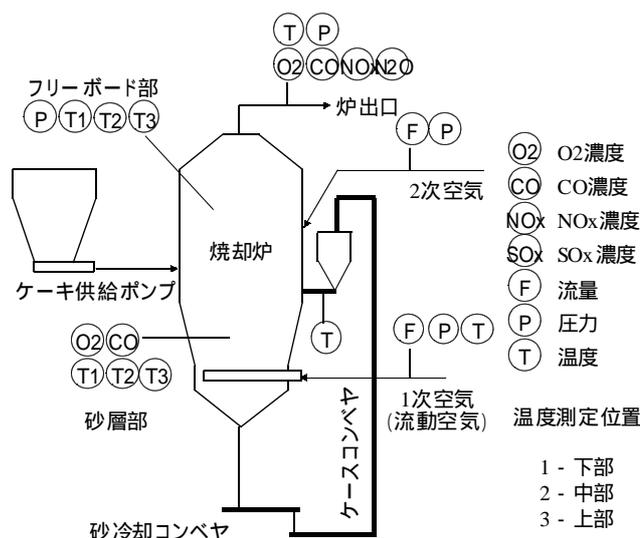


図5 プロセス値測定箇所

表1 脱水ケーキ性状一覧

項目	単位	ケーキ1	ケーキ2	ケーキ3	ケーキ4	ケーキ5	ケーキ6	ケーキ7	平均値	計量方法
含水率	%	80.26	80.12	81.01	80.52	80.10	79.02	78.94	80.00	環水管第127号
灰分	%	21.99	22.21	22.01	17.79	22.21	18.93	22.21	21.05	環水管第127号
可燃分	%	78.01	77.79	77.99	82.21	82.60	81.07	80.56	80.03	環水管第127号
高位発熱量	kJ/kg	18300	18340	18380	19900	19920	19304	19326	19067	JIS M 8814
	kcal/kg	4372	4381	4391	4754	4759	4612	4617	4555	
C	%	41.30	41.50	41.50	44.00	43.90	43.80	43.20	42.74	CHNコーダー方式
H	%	5.60	5.60	5.65	5.90	5.96	5.78	5.80	5.76	CHNコーダー方式
N	%	4.31	4.53	4.83	5.50	4.68	4.91	4.83	4.80	CHNコーダー方式
O	%	25.42	24.70	24.62	25.66	26.94	25.48	25.62	25.49	計算法
T-S	%	1.23	1.34	1.25	1.01	0.99	0.98	0.98	1.11	電量滴定法
T-Cl	%	0.19	0.18	1.19	0.17	0.16	0.17	0.17	0.32	電量滴定法
V-S	%	1.19	1.28	1.20	0.98	0.96	0.93	0.94	1.07	電量滴定法
V-Cl	%	0.19	0.18	0.19	0.17	0.16	0.17	0.17	0.18	電量滴定法

6.2.1 砂層燃焼率制御（高含水率脱水ケーキへの対応）実験

砂層燃焼率制御について以下の内容の実験を行った。

- (1) 含水率変化の影響と砂量増減の効果
- (2) 2次空気増減の効果
- (3) 空気顕熱増減の効果
- (4) 補助燃料増減の効果

(5)

補足3) 空気顕熱とは、空気の保有する熱量のことで、空気温度・空気量・比熱の積。

6.2.2 砂層温度制御（低含水率脱水ケーキへの対応）実験

砂層温度制御について以下の内容の実験を行った。

砂循環冷却運転

6.3 結果及び考察

6.3.1 砂層燃焼率制御（高含水率脱水ケーキへの対応）

(1) 含水率変化の影響と砂量増減の効果

含水率変化の影響と砂量増減の効果について、以下のような方法で砂層燃焼率の変化を確認した。

含水率に対する砂層燃焼率の変化を確認するため、砂層温度（730℃）・空気量（770Nm³/h）・空気温度（640～650℃）を固定し、含水率を操作因子として実験を行った。

砂量に対する砂層燃焼率の変化を確認するため、補助燃料量（17.7L/h）・脱水ケーキ投入量（300kg/h）・空気量（685Nm³/h）を固定し、砂量を操作因子として実験を行った。

実験結果を表2に示す。表2より、含水率を変えた場合について見ると、含水率の減少にともない、砂層燃焼率は大きくなり炉内温度差は小さくなっていることがわかる。このとき、固定因子である砂層温度を一定に保つために、結果として補助燃料使用量を減少させることができた。

次に、砂量を変えた場合について見ると、砂量の増加にともない、砂層燃焼率は大きくなり炉内温度差は小さくなっていることがわかる。このとき、補助燃料量が一定であるにも関わらず、砂層温度を上昇させることができた。

これらの結果から、砂層に対する水分負荷の減少により、砂層燃焼率は増加することがわかった。また、その結果として、炉内温度差は縮小し、補助燃料使用量は削減できることがわかった。

(2) 2次空気量割合増減の効果

2次空気量割合に対する砂層燃焼率の変化を確認するため、補助燃料量（17.7L/h）・脱水ケーキ投入量（300kg/h）・総空気量（685Nm³/h）を固定し、2次空気量割合を操作因子として実験を行った。

実験結果を図6のグラフに示す。図6より、同一砂量（図中同記号）で2次空気量割合を変えると、2次空気量割合の減少にともない、(a) 砂層燃焼率は大きくなり、(b) 砂層温度の上昇及び(c) 炉内温度差の縮小が見られる。

2次空気量の増加により砂層燃焼率が低下した理由は、次のようなことが考えられる。一つは、砂層での空気過剰率が低下し（2次空気量割合30% - 空気比1.0程度）、

(6)

表2 含水率変化の影響と砂量増減の効果

含水率		79.0%	80.5%	81.0%	82.5%
砂層燃焼率	ケーキA	-	0.876	0.773	0.744
	ケーキB	0.730	-	0.649	-
炉内温度差（℃）	ケーキA	-	92	128	143
	ケーキB	144	-	194	-
補助燃料使用量（L/h）	ケーキA	-	8.7	15.2	20.2
	ケーキB	14.2	-	25.7	-

砂層温度（730℃）固定、補助燃料量成り行き

砂量		815kg	555kg	495kg	405kg
砂層燃焼率	ケーキC	0.757	0.723	0.672	0.641
炉内温度差（℃）	ケーキC	96	121	193	236
砂層温度（℃）	ケーキC	725	705	656	624

補助燃料量（17.7L/h）固定、砂層温度成り行き

補足4) ケーキAは表1のケーキ5、ケーキBはケーキ7、ケーキCはケーキ1～3に対応する。

酸素の供給不足により砂層での燃焼率が低下したと考えられる。また、もう一つは、(d) 1次空気顕熱が減少し、これによって砂層燃焼率が低下したとも考えられる。さらには、空塔速度の減少、すなわち砂層での混合・攪拌が相対的に緩慢になり蒸発・熱分解・燃焼の速度が小さくなったことが原因とも考えられる。これらのことから、砂層燃焼率は空気過剰率、1次空気顕熱あるいは空塔速度が大きくなるとともに増加することが推察される。そこで、これらの影響を調べる実験を行った。次項に実験結果を示す。

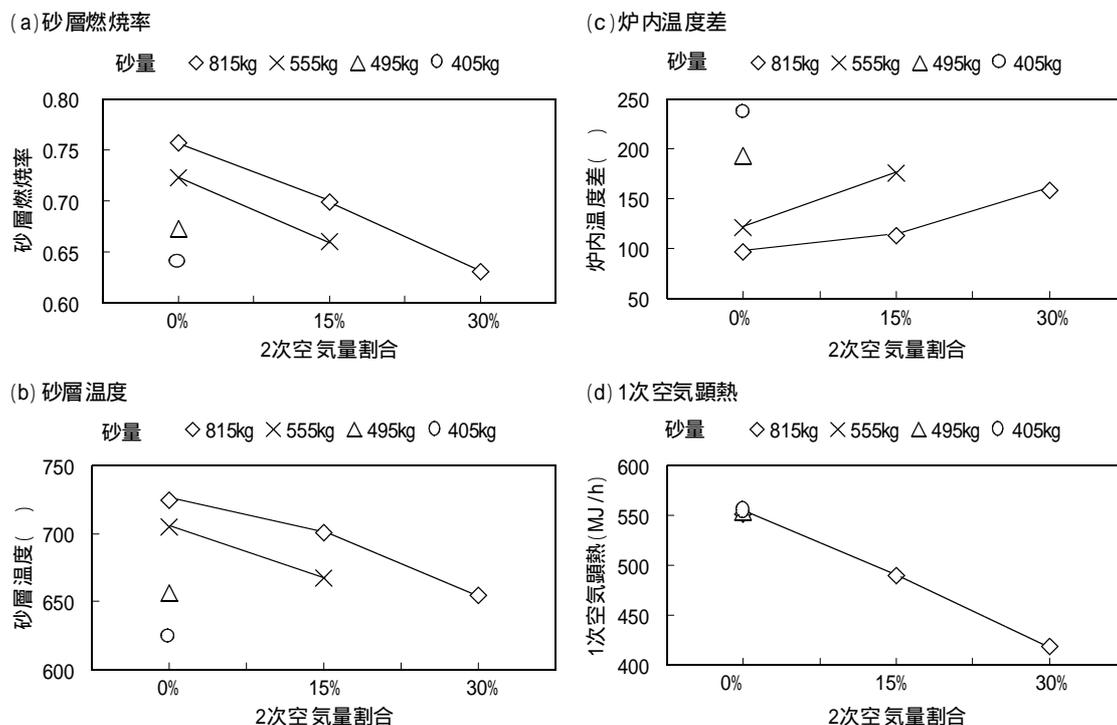


図6 2次空気量割合の増減の効果

(3) 空気顕熱増減の効果

空気顕熱の増減に対する砂層燃焼率の変化を確認するため、補助燃料量 (16.5L/h) ・脱水ケーキ投入量 (300kg/h) を固定し、空気量・空気温度及び砂量を操作因子として実験を行った。

実験結果を図7のグラフに示す。図7のグラフは横軸が空気量、縦軸が空気温度であり、濃淡(等高線)はそれぞれ(a)砂層燃焼率(b)砂層温度(c)炉内温度差を表している。図中の印(×)は実験結果のプロットで、濃淡(等高線)はそれぞれこのプロットをもとにしており、色が濃いほど値が大きいことを示している。また、図中の斜線は等空気顕熱線である。(a)砂層燃焼率のグラフについて見ると、空気温度を固定して空気量を増加させた(視点を図中横軸方向に移動させた)とき、濃淡(等高線)の色が濃くなっていくことがわかる。これは空気量の増加とともに砂層燃焼率が増加していることを意味している。空気量を固定して空気温度を上昇させた(視点を図中縦軸方向に移動させた)ときも濃淡(等高線)の色が濃くなっており、空気温度の上昇とともに砂層燃焼率が増加していることを意味している。

ここで、空気温度と空気量の効果を相対比較してみる。いま、同じ量だけ空気顕熱を上げる場合(例えば540 575MJ/h)、空気温度を上昇させるよりも空気量を増加し

た方が濃淡（等高線）は色が濃くなっている。すなわち、空気顕熱を同量増加させる場合、空気温度よりも空気量を増加させた方が砂層燃焼率の上昇幅は大きいということになる。このことは空気量の増加が空気顕熱増加以外の効果を有していることを示唆しており、その理由は空塔速度の増加が考えられる。

(b) 砂層温度 (c) 炉内温度差についても、同様の見方で、同一空気量で流入空気温度を変えると、空気温度の上昇にともない (b) 砂層温度の上昇及び (c) 炉内温度差の縮小が見られ、一方、同一空気温度で流入空気量を変えた場合も、空気量の増加にともない (b) 砂層温度の上昇及び (c) 炉内温度差の縮小が見られる。また、(c) 炉内温度差は、砂層燃焼率と同様、空気温度よりも空気量の効果が顕著であるのに対し、(b) 砂層温度は両者の効果が同程度であった。

また、砂量を変えて実験を行ったが、ここに述べたことと同様の傾向が見られ、かつ、砂量が多い方が砂層燃焼率は大きく炉内温度差は小さくなることがあらためて確認できた。

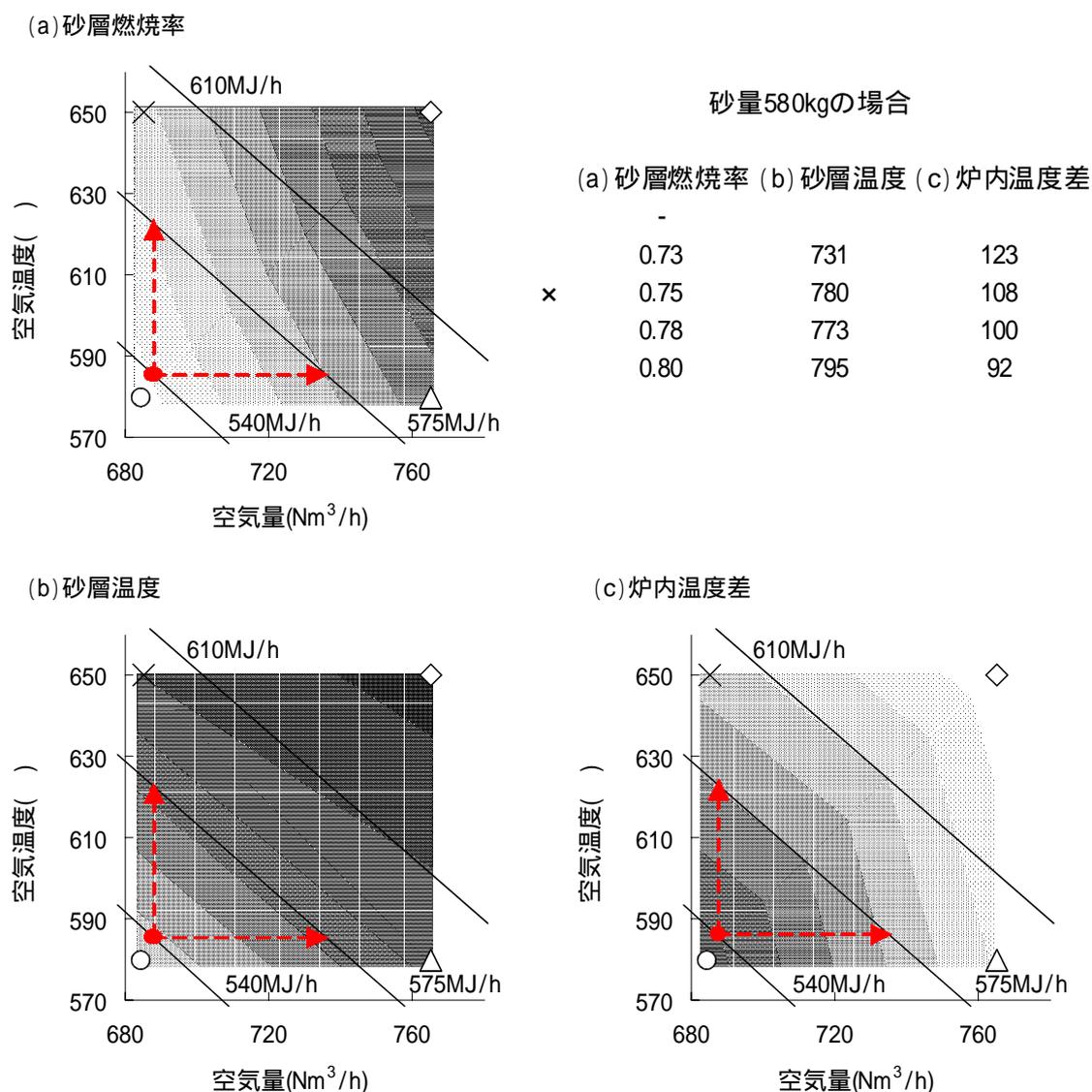


図7 空気量増減の効果

(4) 補助燃料増減の効果

砂層燃焼率におよぼす外部入熱のうち、空気顕熱と補助燃料の効果の違いを確認するため、外部入熱量・脱水ケーキ投入量を固定し、補助燃料量と空気温度を操作因子として実験を行った。表3より、外部入熱一定で補助燃料量と空気温度を変えると、補助燃料量の減少と空気温度の上昇にともない、砂層燃焼率は大きくなっており砂層温度の上昇と炉内温度差の縮小が見られる。

このことは、外部入熱のうち空気顕熱の増加は砂層燃焼率を上げる方向に働くが、補助燃料の増加は砂層燃焼率を下げる方向に働くことを示唆しており、高含水率脱水ケーキ燃焼時の補助燃料の増加が排ガス温度の高温化につながることを裏付けている。つまり、水分負荷の増加による砂層温度の低下ならびに砂層燃焼率の低下を改善する目的で補助燃料を投入した場合、投入した補助燃料の燃焼熱分がそのまま砂層温度の上昇に結びつかず、仮に砂層温度が回復しても、投入した補助燃料の燃焼熱分の一部がFBの温度上昇に結びつき、結果として排ガス温度の高温化に結びつくということである。

表3 空気顕熱と補助燃料の効果

Input	補助燃料量	L/h	16.6	11.3
	空気温度		520	650
Output	砂層燃焼率	-	0.72	0.76
	砂層温度		698	732
	炉内温度差		190.5	137.0

(5) 律速過程について

砂層温度と流動状態について述べておく。一般に、流動状態を表す指標の一つに無次元空塔速度(= u_0/u_{mf})がある。無次元空塔速度は、流速(空塔速度) u_0 を流動化開始速度 u_{mf} で除した値で、流動媒体と燃焼物との接触効率を示すパラメータである。すなわち、流動層の流動状態は無次元空塔速度の増加とともに激しくなる。流動化開始速度は、粉体層を流動化させるのに必要な最小流速のことで、温度の関数であり砂層温度の上昇とともに小さくなる。したがって、砂層温度が低下すると無次元空塔速度は小さくなり相対的に流動状態は悪化する。

ここで、(1)~(4)の実験結果を図8に無次元空塔速度と砂層燃焼率の関係として表してみた。砂層燃焼率は、無次元空塔速度の増加とともに増加しており、水分負荷の減少とともに増加していることがわかる。これらの理由として、無次元空塔速度が増加したことによって、砂層の混合・攪拌が促進され、砂と燃焼物との接触頻度が増加したことが、また、水分負荷の減少(砂量の増加)によって、砂と燃焼物との接触面積が大きくなったことが考えられる。いずれも、接触面積の増加により、水分の蒸発・熱分解・燃焼といった各種の反応速度が増加したと推察される。

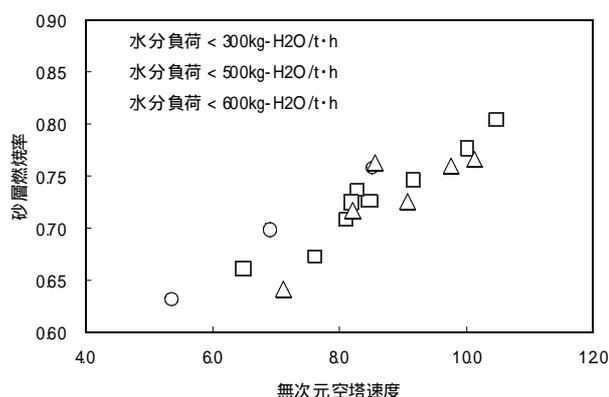


図8 水分負荷と律速過程

これらのことを踏まえて空気顕熱の効果を見直すと、空気量増あるいは空気温度高は、いずれの方法にせよ、空気顕熱の増加によって無次元空塔速度を増加させる。この結果、流動媒体と燃焼物との接触が良くなり、砂層燃焼率が上昇したと考えられる。

また、空気顕熱のうち空気量の効果が顕著であった理由は、砂層温度高による無次元空塔速度の増加に加えて、流量増による無次元空塔速度の増加があるため、このことは反応が温度よりも流動媒体との接触が支配的であることを裏付けている。

(6) まとめ

(1)～(4)の実験結果から、砂層燃焼率は、砂量の増減及び空気顕熱の増減により、表4のような因果関係で制御できることが確認できた。かくして、砂層燃焼率制御を行うことにより、フリーボード温度の高温化を避け、処理量の維持を可能にする手掛りが得られた。ただし、図9に示すように、同じ砂層燃焼率であっても水分負荷の大きさによって、結果としてあらわれる炉内温度差は異なる。すなわち、水分負荷が小さくなるほど、制御量に対する現象変化が小さくすることが予想される。したがって、テスト炉を用いた実験での砂層に対する水分負荷は300～600kg-H₂O/t・hであったが、実炉での水分負荷は100～300kg-H₂O/t・h程度とされており、実炉ではテスト炉ほどその効果が顕著に現れないことも考えられる。

表4 砂層燃焼率制御実験結果

制御対象	砂層燃焼率	増加	減少
操作因子	砂量	増加	減少
	流動空気顕熱	増加	減少
現象 (結果)	砂層温度	上昇	降下
	フリーボード温度	降下	上昇
	炉内温度差	縮小	増大
	補助燃料量	減少	増加

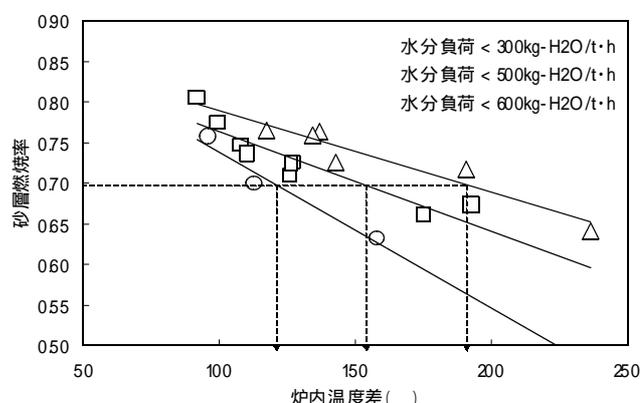


図9 砂層燃焼率制御実験結果

6.3.2 砂層温度制御（低含水率脱水ケーキへの対応）

今回は、低含水率・高発熱量脱水ケーキ（自燃汚泥）を使用する代わりに、補燃料を追い焚きする形で模擬的に過負荷状態を作り出し、砂循環抽熱による砂層温度制御実験を行った。実験結果を表5に、実験時のトレンドグラフを図10に示す。基準状態から補助燃料を6.3L/h追加することで過負荷状態（砂層温度777、FB温度896）とし、この状態から抽熱（砂冷却）を行い抽熱状態とした。また、抽熱及び補燃追加終了後のデータを基準とし、基準状態の確認を行った。

その結果、抽熱により砂層温度は定格時の温度まで下がった（ $T=64$ ）もののFBの温度はわずかに下がった（ $T=8$ ）のみであった。これは次のようなことが原因であると考えられる。砂循環による抽熱を行った際、炉外で砂が循環する分だけ炉内の砂量が減少した。砂層燃焼率制御実験の結果から、砂量が減少したことにより、砂層での燃焼率が下がり、相対的にFBでの燃焼率が上がったため、FBの温度が下がらなかったものと考えられる。したがって、今後の実験では、炉内の砂量が目減りしないよう砂を補充しながら抽熱を行うこととする。

・砂の損耗量について

砂層温度制御において砂冷却を行う際、ヒートショックによる砂の割れが懸念される。通常運転時の砂の損耗量は一般的に3～8kg/t-cake程度あり、テスト炉規模の短期間実験では砂冷却による砂の損耗量を把握することは困難である。したがって、砂冷却におけ

る砂の損耗量は実機での長期的な試験が必要になり、これは今後の課題である。

表5 砂層温度制御実験結果

	砂層温度	FB温度	補助燃料量 L/h	砂循環量 kg/h	抽熱量 MJ/h
1. 基準	713	833	12.5	-	-
2. 過負荷	777	896	18.8	-	-
3. 抽熱	711	888	18.8	185	604.4

表中の基準は、データが安定していた基準の数値を採用

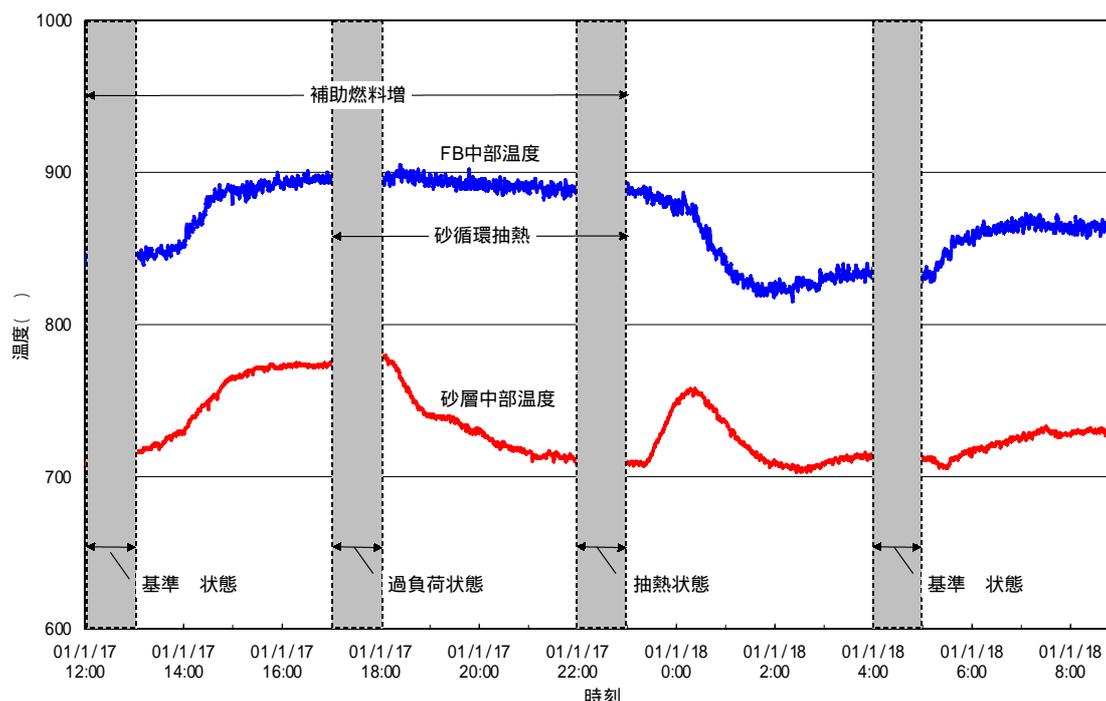


図10 砂層温度制御実験トレンドグラフ

6.3.3 まとめ

(1) 砂層燃焼率制御（高含水率脱水ケーキへの対応）について

実験の結果、砂層燃焼率を上昇させる方法として、空気顕熱の増加及び砂量の増加が有効な手段であることが確認できた。

補燃制御範囲を逸脱する含水率の増加が生じた場合、砂層温度の低下とともに砂層燃焼率の低下により、排ガスの高温化を招き処理量を確保できなくなる事態が生じる。このような場合、処理量を確保する手段として、砂層燃焼率制御を用いることができる。すなわち、砂量を増やすあるいは空気顕熱を増やすことにより、砂層燃焼率が上昇し排ガス温度が低下する。その結果、処理量を確保できるようになる。

ただし、この方法で制御可能か否かは制御における応答性の問題を考慮しなければならない。すなわち、砂層燃焼率制御の時定数が大きい場合、脱水ケーキ含水率の変化に追従することが難しくなる。この応答性（動特性）については次年度以降の実験で確認する。

(2) 砂層温度制御（低含水率脱水ケーキへの対応）について

実験の結果、炉内の高温化を回避する方法として、炉内の砂を抜き出し冷却したの

ち再び炉内へ戻す砂循環冷却方式が有効な手段となる手掛かりが得られた。

補燃制御範囲を逸脱する含水率の低下が生じた場合、熱負荷の増加により、排ガスの高温化を招き処理量を確保できなくなる事態が生じる。このような場合、処理量を確保する手段として、砂層温度制御を用いることができる。すなわち、砂を抜き出し冷却させ循環させることにより、炉内温度及び排ガス温度が降下する。その結果、処理量を確保できるようになる。

ただし、砂層燃焼率制御で述べたように、この方法についても制御可能か否かは制御における応答性の問題を考慮しなければならない。すなわち、砂層温度制御の時定数が大きい場合、脱水ケーキ含水率の変化に追従することが難しくなる。この応答性（動特性）については課題である。

7. 今後の計画

本研究では、高含水率・高発熱量脱水ケーキ及び低含水率・高発熱量脱水ケーキを想定し、テーマの検討及び研究計画を立て実施してきた。

本テーマに関する今後の計画は、低含水率・高発熱量脱水ケーキへの対応をテーマとした砂層温度制御について、今年度生じた課題の解決及び実際に即した低含水率脱水ケーキによる実験を行い、さらに運転方法の検討及び実機へのスケールアップを検討していく。

参考文献

- 1) 東京都下水道局施設管理部：処理場処理年報
- 2) 東京都下水道局施設管理部：下水道施設発生廃棄物等の分析調査委託報告書
- 3) 東京都下水道局施設管理部：水質試験年報

大目次

目次

要旨

- 3 脱水分離液からのりん除去調査

砂町水処理センター 水質管理係 望月あゆ子 山本央
石田宏一 石井英俊

1. はじめに

砂町水処理センターでは、平成 11 年度に汚泥処理返流水中のりんについて調査をおこなった¹⁾。擬似嫌気好気法で生物的にりんを除去しても、汚泥の濃縮・脱水の過程においてりんは再放出されて水処理系へ返り、りんは系外に排出されず系内を循環してしまう。このため、放流水中のりん濃度は高い傾向にある。りんを系外に排出するには、りんを物理的に固定して除去する必要がある。

今後はさらに汚泥処理の集約化が進み、受泥量の増加に伴い汚泥処理返流水からのりん負荷が増大することに加え、平成 20 年度には全りんの排水基準値が現在の暫定基準値 4.5 mg/L から 3.0 mg/L へと厳しくなるため、早急な対策が求められる。

これまでの調査で、遠心脱水分離液のりん酸性りんの濃度が高いことがわかったので、この廃液からのりん除去を目的に調査を行った。一つはポリ硫酸第二鉄（以下ポリ鉄という）によるりんの固定に与える硫化物の影響調査、もう一つは晶析脱りん法を脱水分離液に適用した調査である。これらの概要を報告する。

2. 砂町水処理センターにおけるりん処理の現状

平成 11 年度における汚泥処理返流水の窒素とりんについての調査結果から、汚泥処理返流水由来の溶解性りんは、流入のりん負荷にほぼ匹敵することが分かっている。

平成 12 年度の通日試験及び汚泥試験の結果から、りん収支についてまとめたところ、図 1 のようになった。ここから、汚泥処理返流水中のりん酸性りんは 0.8 t で、流入水中のりん負荷の 0.63 倍であることがわかる。また、曝気槽において 0.688 t のりん酸性りんが除去されているが、それ以上のりんが汚泥処理返流水として水処理系へ返り、負荷を高めていることがわかる。

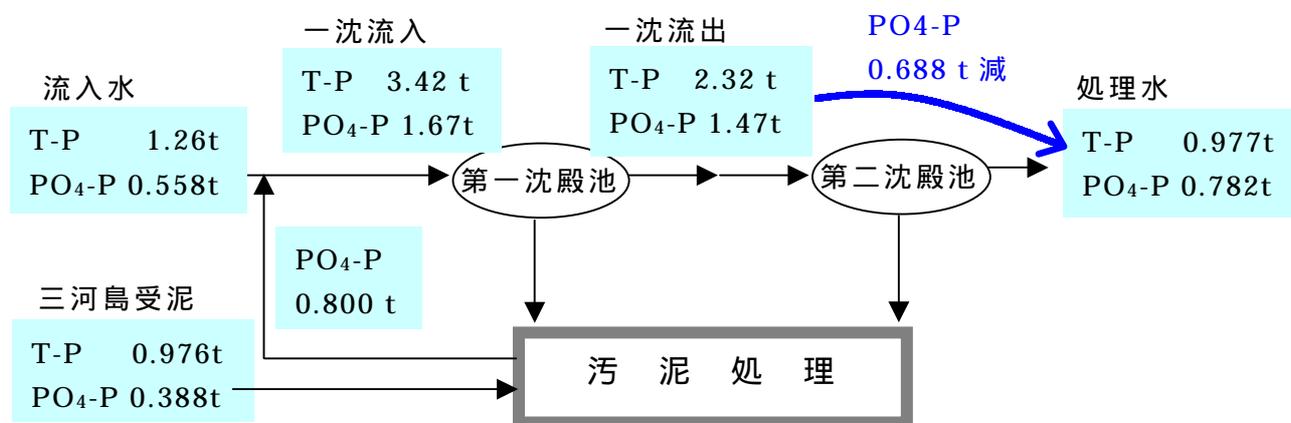


図 1 平成 12 年度のりん収支

3. ポリ鉄を用いたりん除去への硫化物イオンの影響

3.1 実験方法

りんの標準物質としてりん酸水素二カリウム水溶液(以下りん標準液という)、硫化物イオンの標準物質として硫化ナトリウム水溶液を用いた。

50 ml ~ 100 ml のサンプル(りん標準液、脱水分離液)を入れた 50 ml フラスコまたは 100 ml フラスコに、必要に応じて希釈したポリ鉄液と硫化ナトリウム水溶液を加え、よく攪拌した後 pH を測定した。pH の調整には、塩酸と水酸化ナトリウムを用い、pH6~7 とした。攪拌後、10 分以上静置したのち 5 C のろ紙でろ過、または 0.45 μm のフィルターでろ過後、ろ液中のりん酸性りんを測定した。りん酸性りん測定にはモリブデン青(アスコルビン酸還元)吸光光度法を用いた。

3.2 調査結果と考察

3.2.1 りん標準液中のりん除去

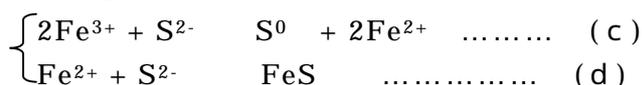
りん標準液にポリ鉄を添加し、ろ液中のりん酸性りんを測定した結果、りん酸性りんを固定化するのに必要なポリ鉄の添加率は、りん 1 モルに対して鉄は約 2 モル(りん酸性りん 1 mg/L に対し、ポリ鉄液は約 34 mg/L)であることを確認した。



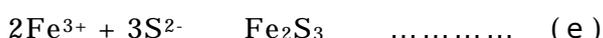
ここで、(a)式のように反応するりんと鉄のモル比が 1 : 1 とならない理由は、この実験での pH 域(6~7)では(b)式のように水酸化鉄が生じるからだと考えている。

次に、ポリ鉄を添加したりん標準液に硫化物イオン 0~120 mg/L を加え、ろ液のりん酸性りんを測定した(図 2)。硫化物イオン 40、80、120 mg/L を添加したときには、ポリ鉄液の添加量がそれぞれ 320、640、960 mg/L をこえるまで、りんは除去されていないことがわかる。つまり、硫化物イオン 40 mg/L につき、ポリ鉄液は 320 mg/L 消費されているといえる。モル比では S:Fe = 1.9:1 だった。

ここで起こっている反応として考えられるのは、



および



の反応である。(c)(d)の反応と(e)の反応がどのような割合で起きているかは、溶液の状態(酸化還元状態など)や反応時間によるものと考えている。(c)(d)の反応で仮に鉄()イオンが全て FeS になるまで反応しているとすると、反応のモル比は S:Fe = 1.5:1 である。(e)の反応でも、反応のモル比は S:Fe = 1.5:1 である。今回の実験で鉄 1 モルが影響を除去できる硫化物イオンは 1.9 モルで、これらの理論値 1.5 を上回っていた。この理由としては、

少量の硫化物イオンならりん除去にあまり影響を与えない、りんが除去される状況ではりん酸鉄のほかに水酸化鉄()が生じていると考えられ、この水酸化鉄()に遊離の硫化物イオンが吸着している、などのことが考えられる。

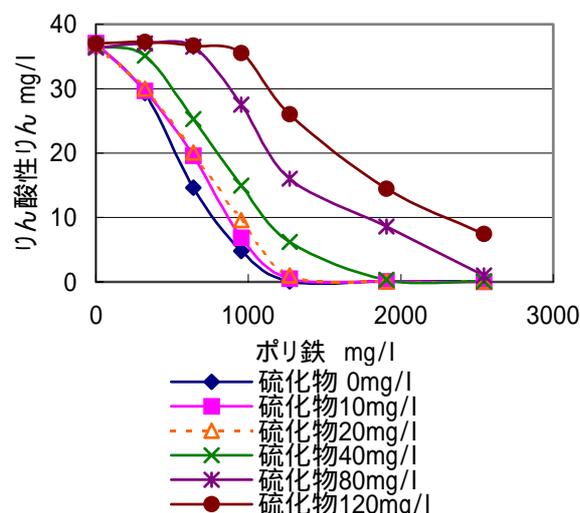


図2 硫化物イオン存在下でのりん除去

3.2.2 脱水分離液のりん除去

りん標準液のかわりに脱水分離液を用い、ポリ鉄、硫化物イオンを添加した実験もおこなった(図3)。

りん酸性りんの固定化に要するポリ鉄量はりん標準液のときとほぼ同量だった。また、りん標準液を用いた実験と同様に、硫化物イオンの添加量が増えとりん酸性りんが増加した。しかし、その増加の割合には差がみられた。硫化物イオン 20 mg/L 添加するごとに、りん標準液では平均してりん酸性りんは 4.8 mg/L 増加したのに対し、脱水分離液では平均して 7.3mg/L の増加とかなり高めだった。

3.2.3 遠心脱水分離液のりん除去の検討

以上の結果から、硫化物イオン非存在下で、りんを固定するのに必要なポリ鉄液の量は、りん酸性りん 1 mg/L に対し、約 34 mg/L、硫化物イオンの影響の大きさは、溶液により差があるが、硫化物イオンが 40 mg/L 存在するときはポリ鉄液を少なくとも 320 mg/L (硫化物イオン 1 mg/L に対しポリ鉄液 8 mg/L 以上) 添加しなければりんは除去できないことがわかった。

これらの結果をもとに、実際にポリ鉄を用いて遠心脱水分離液中のりんを除去する際のポリ鉄添加量について検討する。遠心脱水分離液のりん酸性りん 0.198 t/日(平成 12 年度の平均値)をすべて固定化するのに必要なポリ鉄を試算してみる。硫化物イオンの影響を考えなければ、必要なポリ鉄液は $0.198 \times 34 = 6.7$ t となる。今回の調査において、遠心脱水分離液には硫化物イオンが 1.8~8.2 mg/L 含まれていることがわかっている。この硫化物イオンの影響を除去するために、さらにポリ鉄を添加する必要がある。遠心脱水分離液の硫化物イオンを 8 mg/L であるとすると、 $8 \times 8 \times 4,830 / 10^6 = 0.31$ t がさらに必要となる。

4. 晶析脱りん法を用いたりん除去

晶析脱りん法の原理・機構等については「活性汚泥中含有りんの効率的除去技術の開発」²⁾を参照されたい。

4.1 調査内容

4.1.1 脱水分離液の性状調査

平成 12 年度の日常試験で脱水分離液の溶解性 COD、りん酸性りん、アンモニア性窒素、浮遊物質について調査をおこなった。また、晶析調査中は全りん、溶解性のケルダール窒素、BOD、TOC、Ca イオンについても調査した。

4.1.2 実験装置

りん除去に用いた晶析材は、珪酸質原料と石灰質原料を調整混合して球状に造粒した後、オートクレーブ養生を施し、トバモライト(珪酸カルシウム水和物)結晶を生成させたものである。

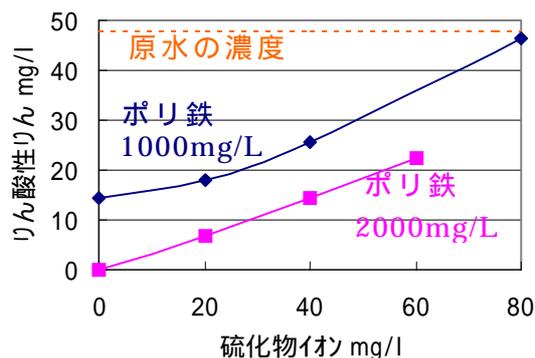


図3 硫化物イオン添加時における遠心脱水分離液のりん除去

実験装置のフローを図4に示す。東部スラッジプラントの汚泥脱水機より遠心脱水分離液を採取し、SS分離槽を経た後に晶析材を充填したりん回収槽にて分離液中の $\text{PO}_4\text{-P}$ を晶析反応により除去した。また、りん回収槽には晶析に必要な Ca^{2+} を添加するカルシウム添加設備、pHを一定に保つための NaOH 添加設備を備える。表1に装置の仕様を示す。

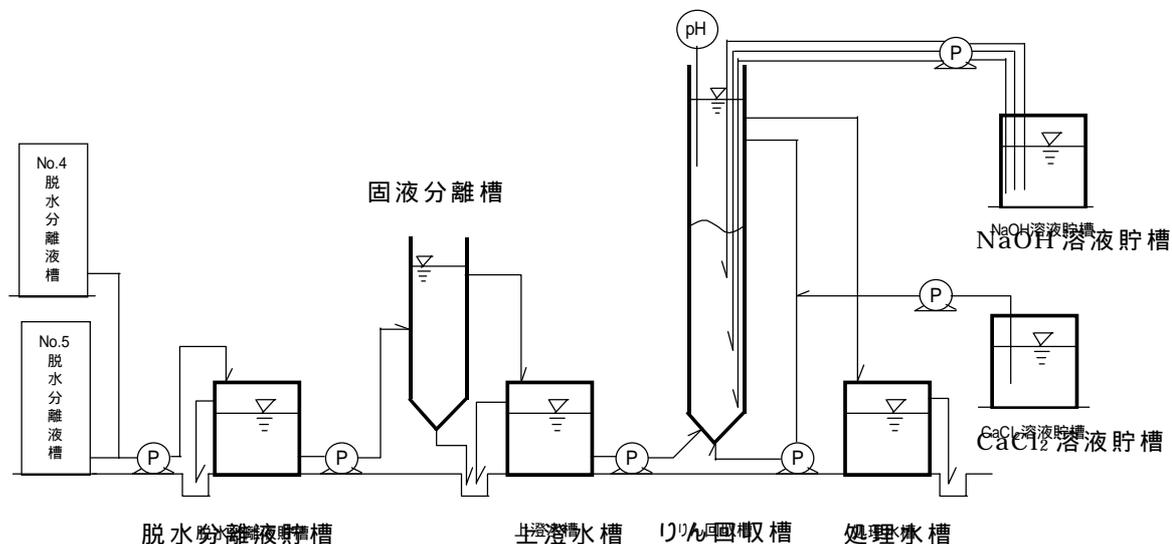


図4 実験装置のフロー

表1 実験装置仕様

装置名	仕様
原水ポンプ	6.5L/min
原水貯槽	50L
原水供給ポンプ	30L/h
固液分離槽	20L
汚泥引抜き弁	電動弁 25A
上澄水槽	20L
上澄水供給ポンプ	30L/h
循環ポンプ	1.0m ³ /h
りん回収槽	100 × 2500H (充填晶析材 10L)
カルシウム溶液貯槽	200L
水酸化ナトリウム溶液貯槽	200L
カルシウム溶液供給ポンプ	30mL/min
水酸化ナトリウム溶液供給ポンプ	0.8 ~ 80mL/min

4.1.3 実験条件

(1) 初期馴養期間

本実験に用いた晶析材は珪酸カルシウム水和物を主成分としていることから、実験初期は晶析材より OH^- および Ca^{2+} が放出される。そのため、晶析材表面にアパタイトが形成され OH^- および Ca^{2+} の放出が起こらなくなってから、 NaOH および Ca^{2+} の添加を開始した。添加開始の指標としてはりん回収槽内pHが8.0以下となった時とした。表2に初期馴養期間中の運転条件を示す。

表 2 初期馴養期間中の運転

項目	条件
HRT	1.0hr
SV	1.0hr ⁻¹
膨張率	120%
pH	制御なし
Ca ²⁺ 添加濃度	添加なし

(2) 連続制御運転

初期馴養期間の終了後は、晶析条件に係わるパラメーターを変化させることにより、りん回収率の安定した制御の検討を試みた。この期間中の運転条件を表3に示す。

表 3 運転条件

	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	RUN 5
期間	1/22 ~ 2/7	2/8 ~ 2/27	2/28 ~ 3/5	3/6 ~ 3/23	3/24 ~ 3/30
pH	8.0		8.3		
前調整 pH	前調整なし			6.8 ~ 7.0	
Ca 注入濃度 (mg/L)	80	注入なし			
SV (1/hr)	1				0.5
HRT (hr)	1				2
膨張率 (%)	120				

RUN 1 は、初期馴養運転の条件を継続し、Ca の注入を開始した。

RUN 2 は、原水そのものの Ca 濃度が高かったことから、CaCl₂ 溶液の注入を中止した。

RUN 3 は、晶析率を上げるために回収槽の設定 pH を 8.0 から 8.3 に上げた。

RUN 4 は、原水 pH の変動による影響の緩和、そして回収槽での NaOH 注入量を抑えるために pH の前調整を開始した。

RUN 5 は、晶析材との接触時間を増やすことにより、さらなる晶析率の改善を試みた。

4.1.4 計算方法

PO₄-P 除去率、晶析率は、以下の計算式により算出した。なお、原水（上澄水）濃度は薬品注入による希釈を考慮し、補正した値を用いて計算を行った。

(1) PO₄-P 除去率

PO₄-P 除去率は流入した PO₄-P のうち、回収槽で除去された割合を示す。

$$R_{rem} = (S_{P04-Pinca} - S_{P04-Pout}) \div S_{P04-Pinca} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

R_{rem} : PO₄-P 除去率 (%)

S_{P04-Pinca} : 計算原水 PO₄-P 濃度 (mg/L)

S_{P04-Pout} : 処理水 PO₄-P 濃度 (mg/L)

(2) 晶析率

晶析率は流入した PO₄-P のうち、アパタイトとして晶析剤に析出した割合を表す。

$$R_{cry} = (S_{T-Pinca} - S_{T-Pout}) \div S_{P04-Pinca} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

R_{cry} : 晶析率 (%)

S_{T-Pinca} : 計算原水 T-P 濃度 (mg/L)

S_{T-Pout} : 処理水 T-P 濃度 (mg/L)

4.2 調査結果と考察

4.2.1 脱水分離液の性状

脱水分離液の性状について表4にまとめた。日常試験結果から、脱水分離液のSSは45～17600 mg/Lと大きく変動していることがわかる。溶解性CODは104～380 (平均187) mg/Lだった。PO₄-Pの平均は40.5 mg/Lで、最大で81.4 mg/Lに達した。

晶析調査中では、脱水分離液のSSは108～3980 (平均1001) mg/Lと変動した。PO₄-Pは14.4～81.4 (平均47.6) mg/L、T-Pは28.0～121.4 (平均60.0) mg/Lだった。Caイオンは25～155 (平均110) mg/Lだが、1日を除くと80 mg/L以上であり、安定していた。また、BODは648～1515 (平均1022) mg/Lで、BOD/CODは平均で5となり、かなり高めであることがわかる。表中のケルダール窒素は溶解性のもので、82.3～123.2 (平均で106) mg/Lだった。

表4 脱水分離液の性状

日常試験結果	測定値 (平均値)
SS (mg/L)	45～17600 (890)
溶解性 COD (mg/L)	104～380 (187)
PO ₄ -P (mg/L)	10.8～81.4 (40.5)
晶析調査中の結果	
pH	5.18～6.54 (6.04)
SS (mg/L)	108～3980 (1001)
溶解性 COD (mg/L)	90～305 (205)
PO ₄ -P (mg/L)	14.4～81.4 (47.6)
T-P (mg/L)	28.0～121.4 (60.0)
Ca イオン (mg/L)	25～155 (110)
TOC (mg/L)	59.4～686 (435)
溶解性 BOD (mg/L)	648～1515 (1022)
ケルダール窒素 (mg/L)	82.3～123.2 (106)

4.2.2 最適晶析条件

小カラムによる机上実験で、pH 8.0、Caイオン 150 mg/LでPO₄-P除去率70%以上であったので、同条件で調査を開始した。

初期馴養期間の通水後5日で、pHは9.42から8.0まで低下したため、アルカリの注入を開始した。

RUN1では、原水Ca²⁺濃度が不明であったためCa²⁺80 mg/Lを添加していたが、原水Ca²⁺濃度が100 mg/L程度含まれていることが判明したため、RUN2以降は、Ca²⁺添加を停止した。

RUN3では、設定pHを8.0から8.3へ、NaOH添加位置をりん回収槽横部から上部へと変更し、実験を行った。設定pHを上げたことで、晶析率の多少の向上がみられたものの、安定した結果は得られなかった。

そこで、RUN4より上澄水槽でのpHの前調整を開始した。この時の前調整条件は、pH6.8～7.0、添加NaOH濃度0.3～0.5%で行った。58日目に運転停止した時、約70%の晶析率の上昇が確認できたことで、RUN5として62日目以降のHRTを1.0から2.0に変更して実験を行った。この結果晶析率が安定し、凝集沈殿も少なくなったので、同条件が最適であったと考える。

4.2.3 りん除去性能

PO₄-P 除去率の経日変化を図5に示した。PO₄-P 除去率は他の RUN に比べて RUN2 で低下がみられ 25.6~45.6%(平均 38.1%) だったものの、運転条件による変化はさほどみられず、40~60%(平均 50.8%) で推移した。

晶析率の経日変化を図6に示した。pH の前調整を行わなかった RUN3 まででは、凝集沈殿率と晶析率が相互に変動しており、原水性状の変化により、晶析域を安定して維持することが困難であったことがわかる。これに対し、pH の前調整を行った RUN4 以降では晶析率の変動幅が比較的安定しており、pH の前調整が原水性状の変動に対し、りん回収槽の晶析条件の安定化に効果のあることが分かった。前調整を開始してからの晶析率は、流入 PO₄-P 平均濃度 43.6mg/L に対して、25.8~70.1%(平均 43.4%) であり、前調整のない場合よりも安定した結果を得ることができた。

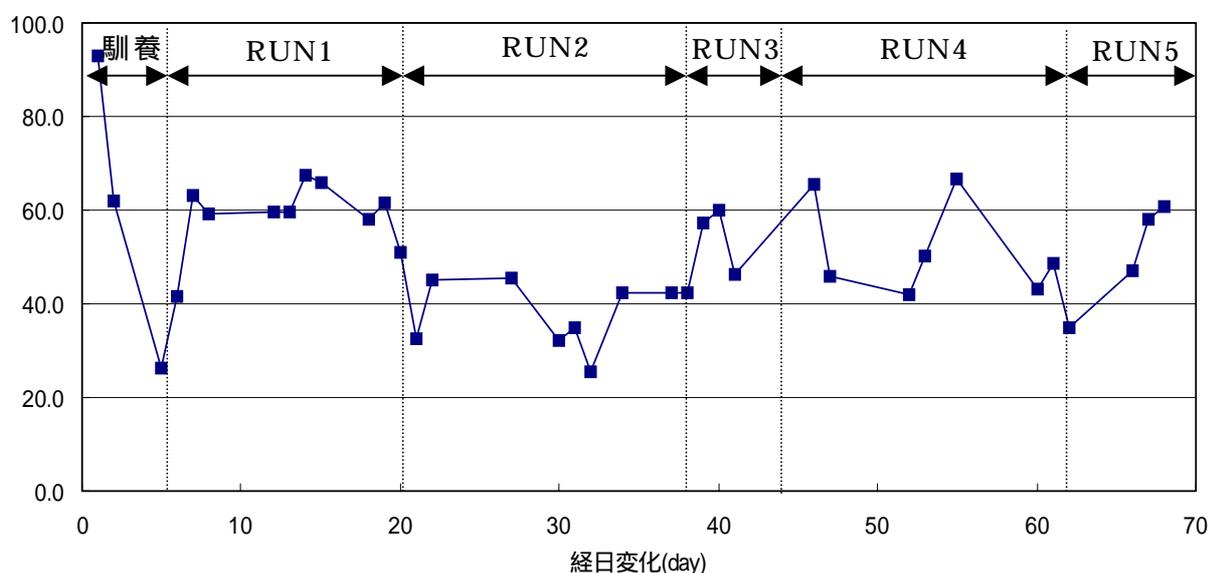


図5 各運転条件での PO₄-P 除去率

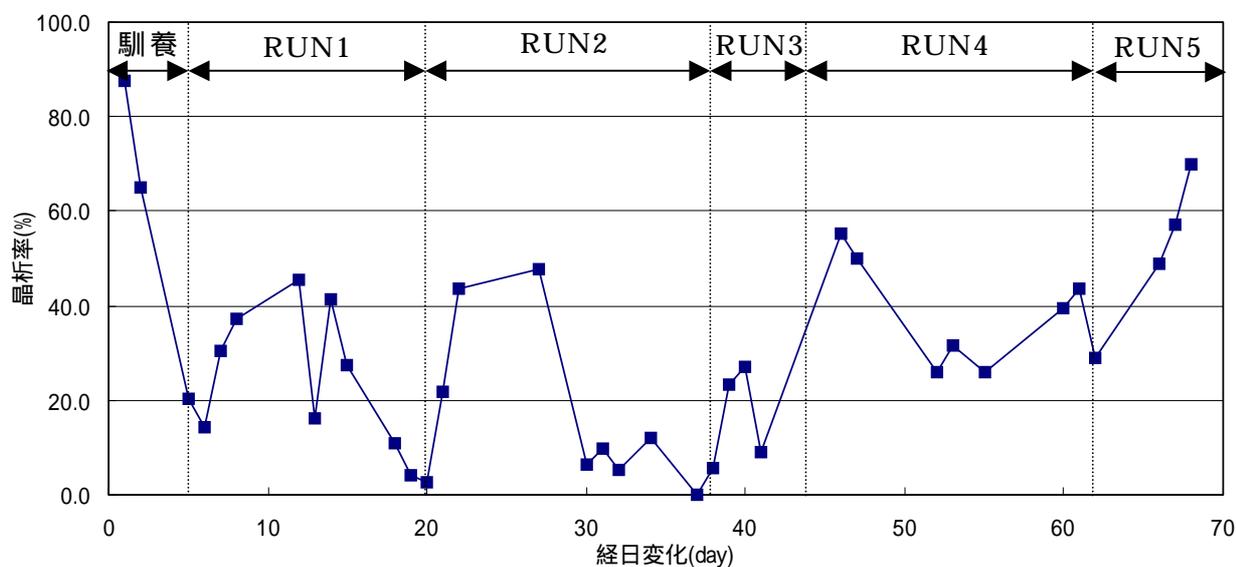


図6 各運転条件での晶析率
(7)

4.2.4 晶析材の評価

本法によるりん回収は、晶析材表面の結晶成長に基づくものである。そこでパイロットプラントに供した晶析材について、化学分析、SEM（走査型電子顕微鏡）、元素マッピング等の方法により、化学成分および表面状態等を調べ、りんの晶析状況を確認した。

化学分析の結果（ig.loss、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 P_2O_5 ）を表5に示す。日数の経過に伴ってりんが増加する傾向にある。したがって、りん回収槽内で晶析反応は確実に進行していると考えられる。69日のりんが58日よりも減少しているが、晶析材の採取場所等の影響と思われる。他の成分について、現時点では特徴的な変化は認められない。また重金属類（As、Cd、Hg、Sb、Se、Ni、Cr、Pb）の化学分析の結果、いずれの成分についても現時点では特徴的な変化は認められなかった。

SEMの結果は図7、8に示す。いずれの試験体でも、目視で確認できるような生物膜、スライムおよび炭酸カルシウムの付着は認められなかった。したがって、晶析反応に寄与する表面積が減少することなく、安定したりん回収が可能と考えられる。運転開始前はトバモライト結晶が確認され、日数の経過とともに平滑部分が晶析材表面を被覆していく傾向が見られた。平滑部分は微細結晶の集合と推察され、元素マッピングの結果から、りん酸カルシウム化合物であると考えられる。

表5 化学分析結果（単位：質量％）

名称	採取日	分析項目						
		ig.loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5
0 d	2001年1/17	12.9	40.2	3.2	1.8	38.6	0.8	0.2
5 d	1/22	14.6	40.1	3.2	1.8	36.7	0.9	0.9
41 d	3/ 2	14.3	37.5	3.0	1.8	36.7	1.0	3.6
47 d	3/ 8	15.6	35.6	3.1	1.9	36.7	1.1	4.2
58 d	3/19	15.6	34.1	2.9	2.0	36.5	1.1	5.6
69 d	3/30	15.7	34.8	3.2	2.2	35.6	1.1	4.8



図7 晶析材のSEM観察(0日目)

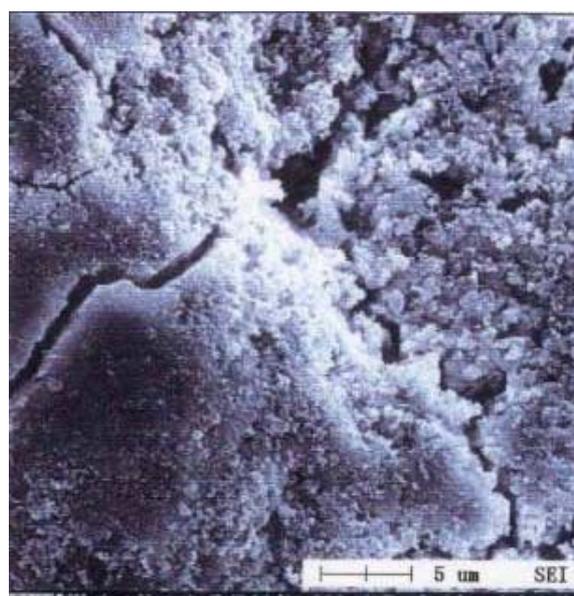


図8 晶析材のSEM観察(8日目)

5. まとめと今後の課題

ポリ鉄を用いたりん除去への硫化物イオンの影響調査の結果、硫化物イオンによる鉄の消費量がわかった。今後は、今回調査を行った硫化物イオンの影響に加え、標準液と実際の汚泥・汚泥処理返流水との違い、臭気やコスト等に考慮し、どこでポリ鉄を注入するのが効果的か検討する必要がある。

晶析材によるリン除去調査については

pHの前調整が原水性状の変動に対し、りん回収槽の晶析条件の安定化に効果のあることが分かった。

pHの前調整(pH6.8)を行った場合、Caイオン無添加、りん回収槽滞留時間2時間、槽内pH8.3の条件で、P04-P除去率52.5%、晶析率53.2%が得られた。

パイロットプラントに供した晶析材の化学成分および表面状態等を調べた結果、日数の経過に伴い晶析材表面のりんが増加する傾向にあり、晶析材表面で晶析反応は確実に進行していると考えられる。晶析したりん(P_2O_5)の重量%は、3.6%(通水41日)である。

参考文献

- 1) 汚泥集約処理における汚泥処理返流水の窒素とりん：東京都下水道局技術調査年報 平成12年10月
- 2) 活性汚泥中含有リンの効率的除去技術の開発：東京都下水道局技術調査年報 平成12年10月
- 3) 第16回水質事例研究発表会予稿集 p68-71 平成13年6月

大目次

目次

要旨

- 1

貯留とネットワークによる効率的な再構築に関する調査（その3） Study of Efficient Rehabilitation Method by Storage and Networking()

リスクマネジメントに基づく下水道管渠再構築マニュアル（案）の提言

計画調整部技術開発課 山田 信夫
船山 吉久

1. これまでの効率的な再構築手法の検討

東京都区部の下水管渠施設は、昭和30年代以降に集中的に整備されてきたため、今後急速に膨大な更新時期を迎えることが予測されている。このことから、東京都下水道局は、ライフサイクルアセスメント（LCA）と耐用年数をベースとした老朽管渠の布設替えや増補管渠、代替幹線、内面被覆工法等により管渠施設の再構築を行い、浸水対策や合流式下水道の改善、管渠破損等の防止など、管渠システムの機能向上を図っている。

しかし、現下の厳しい財政環境のなかで、従来の整備手法を踏襲したのでは、事業の進捗が遅れるなど、計画的な再構築の実施が出来なくなる恐れがある。

そこで、下水道の歴史が古く、効率性や合理性が高い整備手法として、世界の多くの都市から評価されている英国のWRC（Water Research Center）の再構築手法と下水道再構築マニュアル（Sewerage Rehabilitation Manual）の調査・研究を行い、東京都区部の下水管渠施設再構築への適応性について、平成10年度から12年度にかけて検討を行ってきた。

平成10年度は、WRC（Water Research Center）の再構築手法と下水道再構築マニュアル（Sewerage Rehabilitation Manual）の基本的な考え方、再構築事業の実例、区部下水道への適用効果、区部下水道再構築への適応性とその意義について検討を行った。（平成11年度技術調査年報報告）

平成11年度は、WRCの再構築手法と下水道再構築マニュアルの再構築手法の整理、東京都区部再構築手法との比較、戸山幹線流域及び戸塚東幹線流域でのケーススタディにおける水理的及び対費用効果の検証を行ってきた。（平成12年度技術調査年報報告）

平成12年度は、平成11年度にケーススタディを行った戸山幹線流域及び戸塚東幹線流域において、WRCの再構築整備手法や再構築マニュアルに基づいたモデルを構築してシミュレーションを行い、東京都区部に適した調査方法（重要地域、重要管渠の判断基準や設計手法等）、構造的な判定基準の詳細な整理・検討、再構築調査フローの検討を行い、東京都区部におけるより効率的な再構築整備手法として「リスクマネジメントに基づく下水道管渠再構築マニュアル（案）」を提案した。

また、環境面の影響についても、イギリスやアメリカでの合流改善の調査手法（URBAN POLLUTION MANAGEMENT）を調査・研究し、東京都区部における公共用水域に与える水環境面への影響の検討手法についても整理・検討し、東京都区部における効率的な再構築手法を提案した。

2. 重要地域 (Core Area)、重要管渠 (Critical Sewers) の判断基準の詳細な検討

効率的な再構築は、整備範囲の下水管渠の調査方法、整備優先度による計画の策定が大切である。

そのため、WRC の再構築マニュアルでは、下水管渠の再構築計画を策定する上で、下水道台帳や管渠内清掃などの維持管理記録の履歴調査に基づいた重要地域 (Core Area) と重要管渠 (Critical Sewers) の設定が非常に重要であるとしている。

このことから、WRC の運用方法や考え方に基づいて、東京における重要地域 (Core Area) と重要管渠 (Critical Sewers) の選定方法を提案する。

(1) 重要地域 (Core Area) の選定

浸水常襲地域、大規模な地下街や地下鉄の駅周辺、道路陥没頻発地域の他、管路内調査や優先的に再構築を行う費用が正当化できるような管渠 (Critical Sewers) を有し、合流式下水道の越流水 (CSO) が発生する地域と定義している。

多くの場合、“Core Area” 外の流域を詳細にモデル化してシミュレーションすることはない。

WRC は、重要地域 (Core Area) を次のように定義している。

WRC の定義に基づいて、東京都区部における重要地域の選定要件を整理すると次のようになる。

- ・ 重要管渠 (Critical Sewers) を含む地域。
- ・ 浸水常襲地域であるが、浸水そのものより、浸水の原因となっている下水道ネットワークを包括する地域。
- ・ 大規模な地下街や地下鉄の駅周辺、資産や人口が集中する商業地域や官庁街など、浸水によるリスクが大きい地域。
- ・ 道路陥没が頻繁に発生し、都市生活や都市活動の安全性や快適性が損なわれる地域。
- ・ 遮集が好ましくない構造などで水質汚濁が問題となっており住民等からの苦情がある排水区。

上記の重要地域の選定要件により、重要地域が決定した後は、表-1 に示した作業フローに従って重要管渠、構造判定基準、水理的検討を進め、最も効率的な再構築計画を策定する。

(2) 重要管渠 (Critical Sewers) の選定

重要管渠とは、管渠の破損によるリスクが著しく大きく、復旧費用が破損以前の再構築に要する費用と比較して遙かに大きい管渠としている。そのため、重要管渠の選定は、重要管渠の特徴や考慮すべき事項を具体的に表し、重要管渠のふるいわけ (スクリーニング基準となる「一次選定基準」と費用係数を加味した最終カテゴリーにより決定している。

本研究・調査では、WRC における一次選定基準を参考に、東戸塚幹線及び戸山幹線のデータを分析した結果、東京都区部の「一次選定基準」(案)を表-2 のように提案した。

表 - 1 WRC 再構築手法の概略フロー

WRC	
再構築フロー	備考
<pre> graph TD A[重要地域の決定] --> B[重要地域内管渠の 카테고리分類] B --> C[카테고리 A] B --> D[카테고리 B,C] C --> E[詳細調査 (管路内調査)] E --> F[等級分け] F --> G[構造的な優先度の決定] D --> G G --> H[Core Area 内の全管渠をモデル化] H --> I[水理解析 (現況)] I --> J[整備手法] J --> K[水理解析 (整備後)] K --> L[再構築案作成] L --> M[再構築案の比較・検討] M --> N[採用案の決定] </pre>	<p>重要地域は、浸水常襲地域や商業地域などの他、重要管渠 (Critical Sewers) を含む地域であるため、重要地域を決めるに先立って、重要管渠の分類を行う必要がある。 重要管渠とは後述の 카테고리 A,B に位置付けられる管渠である。</p> <p>카테고리分類対象管渠は、Core Area 内の管渠のみ。その他の管渠は、その場その場の対処療法的な対応で対応されると考えられる。</p> <p>【管路内調査】については、Category A のみ行い、Category B,C については、行わない。</p> <p>「構造」「地盤条件」「圧力管状態」の他、「管渠損壊の履歴」「建設時の状況」等の補足データを加味して行われる。</p> <p>Core Area 周辺部も簡単にモデル化する。</p> <p>解析は、流出シミュレーションモデルを用いて行う。</p> <p>Category A 以外は行わない。</p> <p>水理的処置で対象とするのは、Category A,B とその A,B を繋ぐ Category C に絞られる。</p>

表 - 2 東京都における重要管渠の一次選定基準

カテゴリー A	土被り 2 m 以上の煉瓦管及び陶管 土被り 4 m 以上のコンクリート管 管径 1,500 mm 以上の管 蓋かけ管 遮集污水管 国道の車道に埋設されている管 救急病院への交通障害となる管 広域避難場所から排水される管（幹線又は処理場まで） 右記の場所の下にある管：鉄道、運河、河川、高速道路、主要ショッピング街、工業用地への主要アクセス地点
カテゴリー B	土被り 1.9 m までの煉瓦管及び陶管 土被り 2 m ~ 4 m 未満のコンクリート管 管径 800 mm 未満の管 都道車道部に埋設されている管 遊歩道や観光地にある管 右記の場所の下にある管：主要工業地域、既リスクの高い施設（主要ガス、電気等）破損により河川等への汚濁負荷が引起こされる地域
カテゴリー A、B、C が不明な管	水管橋や橋梁添架された管 運動競技場、展示場、会議場などの地区にある管

：土被りと管径については、戸山・戸塚東幹線の SEMIS データにより分析を行ったものである。

また、一次選定により抽出された重要管渠は、下水管渠材料や地盤、交通条件に関するデータによる判断に加え、修理費用係数（RCF）、総費用係数（OCF）を考慮して決定する。修理費用係数や総費用係数は、英国の長い下水道歴史の中で、豊富なデータに基づいて設定されてきたものであるが、東京都区部ではデータが不足しているため、現時点で修理費用係数や総費用係数を設定することは困難であった。

このことから、今後東京都独自の十分なデータを収集していくこととし、そのデータに基づいた修理費用係数や総費用係数が設定されるまでは、表-3～表-6 に示したような WR C の基準値を最終カテゴリーの決定手順にすることとした。

表 - 3 修理費用係数(RCF)：口径 900mm までの管渠

埋設深(m)	1.0 ~ 1.99	2.0 ~ 2.99	3.0 ~ 3.99	4.0 ~ 4.99	5.0 ~ 5.99	6.0 ~
良い地盤	1.0	2.0	3.0	4.0	5.5	7.0
悪い地盤	1.5	2.5	3.5	5.0	6.5	8.5
カテゴリー	C		B		A	

表 - 4 修理費用係数 (RCF): 内径 900 mm より大きな管渠と煉瓦及び陶管

埋設深 (m)	1.0 ~ 1.99	2.0 ~ 2.99	3.0 ~ 3.99	4.0 ~ 4.99	5.0 ~ 5.99	6.0 ~
良い地盤	4.0	7.0	13.0	19.0	26.0	33.0
悪い地盤	5.5	9.0	16.0	24.0	31.0	40.0
カテゴリー	B			A		

表 - 5 交通量を加味した総費用係数 (OCF)

交通量 (台 / 日)	非常に重要な道路	やや重要な道路
5,000 ~ 7,499	4.8 × RCF	1.6 × RCF
7,500 ~ 9,999	6.3	1.9
10,000 ~ 12,499	7.8	2.1
12,500 ~ 14,999	9.3	2.4
15,000 ~ 17,499	10.8	2.6
17,500 ~ 19,999	12.3	2.9
20,000 以上	13.8	3.1

表 - 6 最終的なカテゴリー

総費用係数 (OCF)	0 ~ 2.9	3.0 ~ 5.9	6.0 以上
カテゴリー	C	B	A

これまでのカテゴリー分類の流れを示すと次のような図に整理できる。

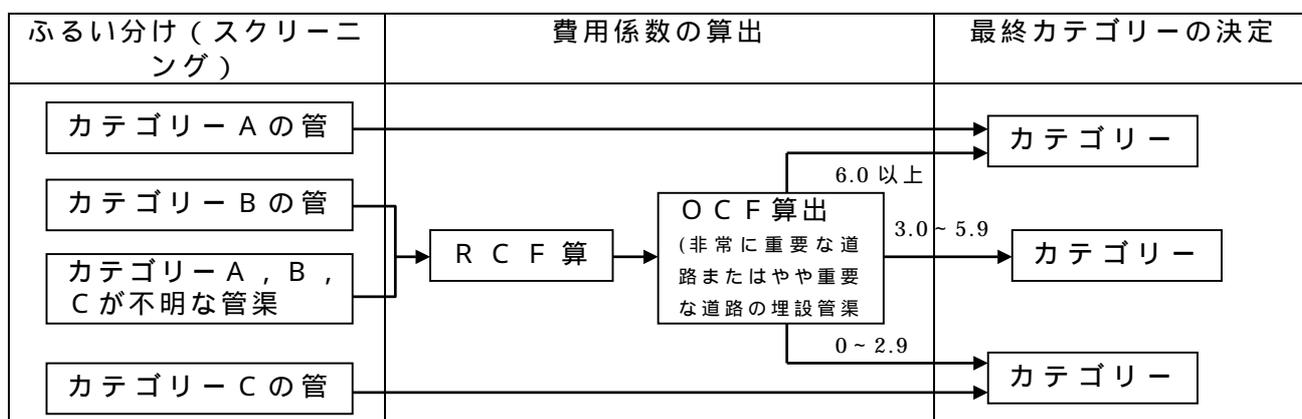


図 - 1 カテゴリー分類の流れ

3 . 構造判定基準の整理・検討

構造判定基準の整理・検討は、再構築優先順位を決定し、効率的で経済的な整備に欠くことが出来ない。構造判定基準の整理・検討は、重要管渠のうちカテゴリー A の管渠のみについて管路内調査を行い、再構築に必要な管渠の整備優先順位の決定と水理的機能評価のモデルを構築するための管渠性状等の情報収集を行うことが必要である。

構造的判定の順序は、 管路内調査による損傷程度の調査、 土質条件・圧力管状態の頻度による補正、 最終優先度の決定の順序で行う。

(1) 管路内調査

管路内調査は、重要管渠のうちカテゴリー A に属する管渠のみについて行い、管路内調査データや土質条件・圧力管状態（サーチャージ）の頻度を考慮し、構造的な観点から再構築の優先度を 5 段階で判別するなど、整備のコスト削減を図る手法である。

管路内調査の判定基準は、現在東京都が定めている「管路内調査工標準仕様書」と「大口径管路内調査・対策判断マニュアル（矩形渠・馬蹄渠編）」（案）と W R C の評価項目と相違がないことから東京都の基準で判断しても差し支えはない。

(2) 構造的条件の評価

構造的条件の評価は、管渠の損傷程度の点数化、優先度の一次選定、補足データ（土質・圧力管状態）による評価、優先度の最終判定の順で行われる。

ここで特徴的なのは、圧力管状態（サーチャージ）の頻度を補正条件として取り上げている点である。通常、下水管渠に水密性が無いか、または極めて水密性が低い場合、管渠が圧力管状態になると、水は下水管から管渠周辺地盤へ浸出する。これによって管渠周辺の地盤が侵食（吸出し）される可能性を増大させ陥没や管渠施設を破損させることとなるため、特にこれを考慮している。

1) 損傷程度の点数化

損傷程度の評価は、当局の「管路診断システム」により、管内調査で判明したスパン間の損傷の程度、種類、数量等を相対的に評価・分析の上、補修や改良、再構築等に分類し優先順位判定を行う。

判定は次のとおり行う。

人孔間（スパン）を 1 ユニットとして判定する。

管路内調査結果から「破損」「クラック」「継目ずれ」「腐食」「浸入水」の 5 項目について評価する。

スパン延長は 30 メートルとする。

損傷の程度（A B C）に応じて点数で重み分けする。

A ランク：2 点	B ランク：1 点	C ランク：0 点
-----------	-----------	-----------

損傷の分布状況と残存価値から補修と改良の種分け 総得点に基づいた改良工事優先度の判定

ここで、今回の調査では、 と については考慮しないこととした。その理由として W R C の基本理念は、「リスクマネジメント」による管渠の重要度や損傷の度合いによって再構築の必要性和優先順位を判断するものであり、残存価値を加味した「ライフサイクルマ

ネジメント」による評価は行わないとしていることによる。

また、総得点による優先度の一次選定の判定は、次の5段階とした。

表 7 優先度の一次選定

優先度	総得点	備考
	10	
	8	
	6	
	4	
	2	

2) 補足データ(土質・圧力管状態)による評価

この評価は、補足データとして取り扱うので、最終的な評価に影響を及ぼすと考えられる場合のみ行う。優先度 ~ のうち、評価は ~ について行う。

土質条件は下水道管渠へのリスク状況により、3タイプに分けられる。

高いリスク	シルト、砂質シルト、細砂
中位リスク	低塑性粘土、細かい砂利から中位の砂利、粒度調整砂利
低いリスク	中位から高い塑性粘土、トンネル工法により建設された粘土

圧力管状態(サーチャージ)の頻度による評価は、次の3つに分類される。

潮の干満	毎日発生する
年1回以上	時々
年に1回未満	希に

なお、現在東京都においては、優先度の構造判定根拠となるこれらのデータが蓄積・整理されていないため、明確な判定基準を作成することが困難である。従って、今後、管路内調査データや土質、圧力管状態(サーチャージ)頻度などの判断基準となるデータを区部全域を対象に収集・傾向分析を行い、東京都における構造的な判定基準を検討していく必要がある。

3) 構造特性の評価

管渠施設の整備優先度は、圧力管状態による周辺地盤への影響を次のような組み合わせで判定する。

項 目		優 先 度		
優先度	土壌タイプ	圧力管状態		
		希にある	時々ある	毎日ある
	高いリスク			
	中位のリスク			

項 目		優 先 度		
優先度	土壌タイプ	圧力管状態		
		希にある	時々ある	毎日ある
	低位のリスク			

その他、構造特性を評価するに当たっては、以下に留意することとした。

過去に損壊履歴のある管渠は、最低優先度を とする。

10%以上の勾配で欠陥のある管渠は、優先度を1ランク上げる。

過去からの調査で劣化が進行している場合は、優先度を1ランク上げる。

管渠がシルトやシルト質細砂等のリスクの高い地盤で地下水位より低く、優先度が 、 、 である場合、また、低塑性粘土や均等な細かい砂利等の中位リスクの地盤で地下水面より低く、優先度が の場合は、優先度を1ランク上げる。

(4) 優先度の最終判定

これまで検討した構造特性の表に基づき、最終的な管渠再構築の優先度の判定を行う。

構造判定による、管渠分類の概念図を図-2に示す。

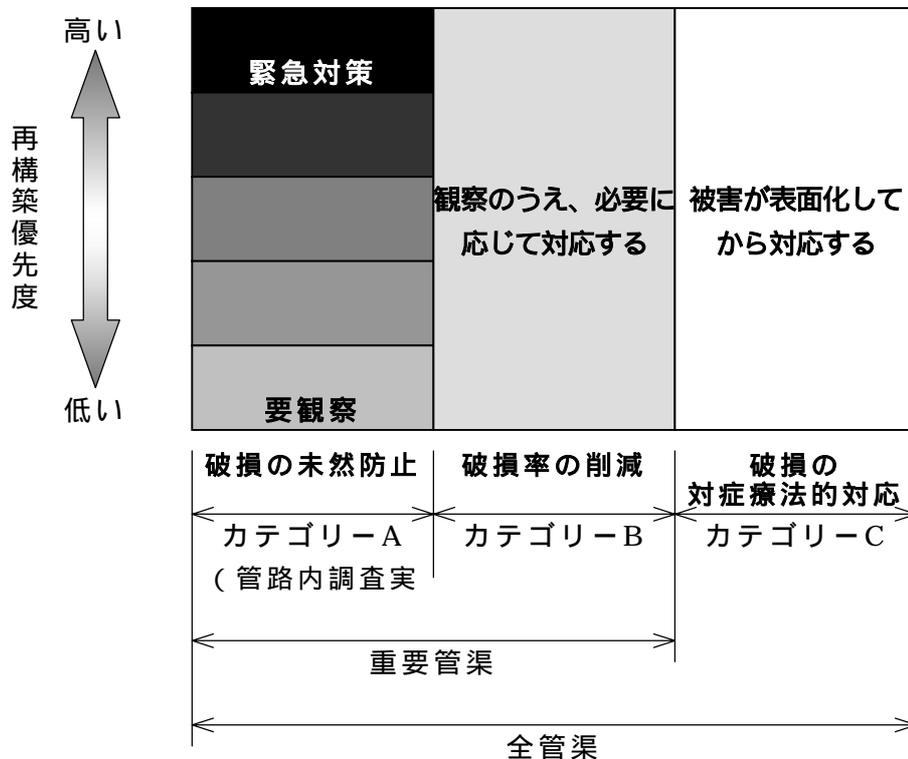


図-2 構造的条件下から再構築が必要と判断される管渠の分類

4．詳細な水理的検証

効率的な再構築は、水理的な検証も重要である。水理的な検証の目的は、シミュレーションモデルを用いて水理的な機能評価を行い、「水理的機能が不十分な管渠施設の抽出と原因把握」及び「整備の適性評価」を行うことである。

統合的な再構築計画を立案するためには、圧力管状態（サーチャージ）の頻度，浸水位置，雨水吐施設からの越流量や越流頻度の評価はもとより、複雑な水理構造物（堰，オリフィス，ポンプなど）を含んだ下水道システム全体としての水理面での評価を行う必要がある。

当局における従来の水理検証は、「合理式」+「等流計算」のような「集中系モデル」が広く用いられ、主として流下型の整備手法が採用されてきた。これは、計画降雨に対して簡便にピーク雨水量を算出する手法であるため、整備規模が大規模になるなど、今日の財政事情に対応できない状況となっている。

一方、欧米では、コンピューターの性能が良くなってきていることに伴い、空間的、時間的・連続性を考慮した、SWMM（アメリカ）や MOUSE（デンマーク）、Hydoroworks（イギリス）といった複雑・煩雑な「分布系モデル（流出解析モデル）」を用いて「貯留」や「ネットワーク」による新しい整備手法を導入している。

「分布系モデル」は、以下のような特徴を備えており、下水道システムの水理挙動を詳細に把握することが出来る。

空間的な降雨，流域特性を考慮する事ができる

ピーク時のみではなく、水理現象の時間的な変動を捉えることができる

圧力管状態における流況の把握や、各種損失などを容易に見込むことができる

貯留，ネットワークを含んだ複雑な管渠網の解析が可能である

堰，オリフィス，ポンプ等の、多様な水理構造物の組み込みが容易である

これにより、

1)問題（ネック）箇所の抽出

2)「貯留」,「ネットワーク」など様々な整備手法の評価

3)任意地点における水理状況の把握

など、従来適切に評価することが困難であった問題点の解明が容易となり、これまであまり用いられることの少なかった「貯留とネットワーク」による解析手法と整備手法が可能となり、整備手法選択の幅の拡大と適所での部分整備が可能になると考えられる。

また、貯留とネットワーク方式は、

「圧力管状態」を評価することにより、既設管渠の潜在能力の積極的活用

「貯留」による時間的なピークの平準化

「ネットワーク」による空間的なピークの平準化

により、既設下水道システムの能力を最大限発揮することが出来るため、流下型のようにピークに対応した施設整備ではなく、整備効果の早期発現、投資効果の発揮など効率的な整備が可能となる。

このことから、本研究・調査では、分布系モデルを用いたシミュレーションを行い、水理的な機能の面から早期再構築箇所の検証を行う事を提案した。（報告書：「リスクマネジメントに基づく下水管渠再構築マニュアル案」（平成13年度）、「分布系モデルによる雨水整備マニュアル案」（平成13年度）参照）

5 . 環境面の影響に対する検討

河川等の公共用水域への汚濁負荷量の削減（合流改善）についても、再構築の大きな目的の一つである。このことから、本調査・研究における環境影響の判定方法は、UPM (Urban Pollution Management) マニュアル (FOUNDATION for WATER RESEARCH October 1998) を参考にして検討を行い、環境部門との調整により環境への影響を抑制し、かつ、経済効果の高い対策手法を選定することとした。

現段階での合流式下水道の改善計画は、大幅な負荷削減を目指して分流式下水道並みを、第1段階の目標として策定している。また、長期的な目標として、水質汚濁防止法（一律排水基準や上乘せ排水基準）の遵守や、大腸菌等の病原性微生物などの環境リスク対策なども、今後の事業の進捗状況をみながら、段階的に対策を立案する必要がある。

合流改善の検討においては、代表的な年間降雨を選定し、分布系モデルを用いて解析を行うことが前提であるが、非常に膨大な作業が必要となる。東京都では、「合流改善マスタープラン」が既に策定されていることから、そこで用いられている20降雨を用いて検証を行うことも考えられる。

検討の際に注意しなければならないことは、単に雨水吐き口からの越流水（未処理放流）の汚濁放流負荷のみを対象にするのではなく、簡易処理，高級処理（滞水池貯留水の処理を含む）などの処理場からの放流負荷や自然吐口からの放流負荷を含めた、総放流負荷を対象とした水環境への負荷を検討することが大切である。

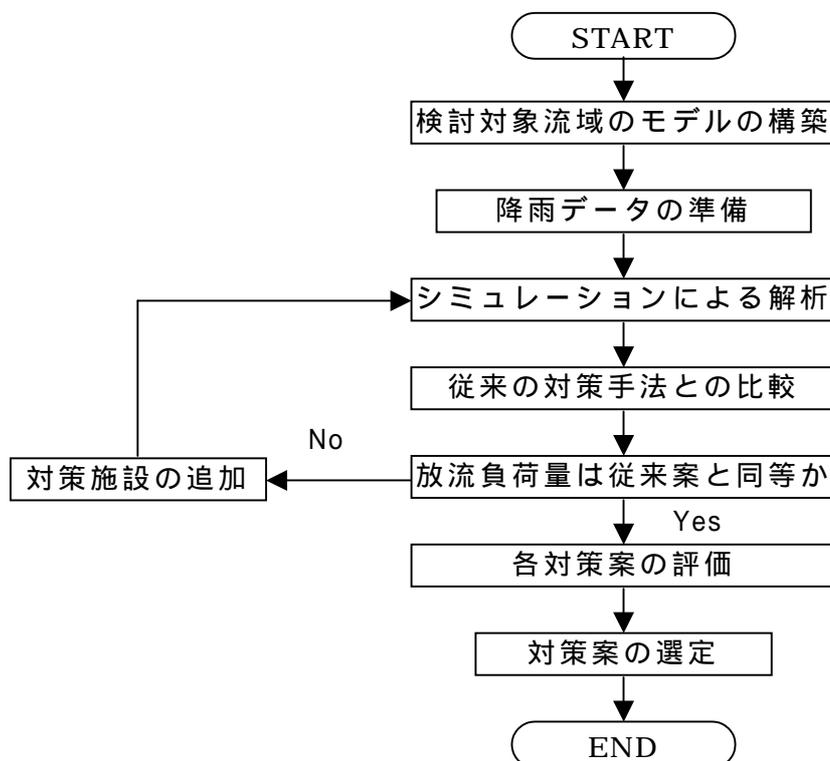


図-3 環境的影響の判定・検討フロー

6 . おわりに

東京都区部における下水道施設の再構築は、まだ緒についたばかりである。これから、膨大な施設を計画的に再構築していくためには、効率的で経済的な整備手法が一層求められるものと考えられる。

今回は、下水道の歴史が長い英国 W R C (Water Research Center) の再構築手法と下水道再構築マニュアル (Sewerage Rehabilitation Manual) を参考に東京都区部における効率的で経済的な再構築整備手法の検証を行った。その結果、W R C の検討の流れや検討方法は、東京都区部でも十分に利用できるものとする。

しかし、歴史が長い英国に比べ、東京都における維持管理記録や管渠内調査記録が不足しているため、重要管渠の最終的な判断に必要な修理費用係数 (R C F) や総費用係数 (O C F) を求めることが出来ないなどの問題があった。

今後、東京都区部の再構築計画の立案にあたり、構造的、環境的、水理的診断を基に、費用効果が最大となる整備計画を立案しなければならない。そのためには、日常行われている維持管理記録や管渠内調査記録などを蓄積し、効率的で経済的な再構築整備手法を確立していくことが肝要である。

参考文献：「貯留とネットワークによる効率的な再構築に関する調査（その１）」

平成 1 1 年 東京都下水道局計画部技術開発課発行

「貯留とネットワークによる効率的な再構築に関する調査（その２）」

平成 1 2 年 東京都下水道局計画部技術開発課発行

「リスクマネジメントに基づいた下水管渠再構築マニュアル」(案) 報告書

平成 1 3 年 3 月 東京都下水道局計画部技術開発課

「分布系モデルによる雨水整備マニュアル」(案) 報告書

平成 1 3 年 3 月 東京都下水道局計画部技術開発課

大目次

目次

要旨

- 2 ポンプ所における越流負荷の効率的除去技術の開発

研究担当者：計画調整部 技術開発課 安瀬 廣一
河野 謹一郎
武藤 真

1. はじめに

東京都区部の下水道の排除方式は、浸水の防除と都市環境の早期整備の必要性などから、大部分が合流式を採用している。しかし、雨天時には雨水吐きやポンプ所（場）から汚水の一部が雨水とともに流出しており、公共用水域の水質保全上、課題となっている。

東京都では快適な水辺環境の創出に向け、分流式下水道のレベルまで汚濁負荷量を削減することを目標に合流改善対策事業を進めている。主な対策としては、管渠の遮集量の増大と貯留施設の設置である。特にポンプ所流域では、平均 9mm 相当分の初期降雨を貯留することとしている。

しかしながら、貯留池の整備は相当の費用と期間がかかる上、都心部のポンプ所では用地の制約もあるため、現状では雨水貯留池の整備率は 8 %（平成 11 年度末）にとどまっている。そのため着実に対策を推進できるメニューが求められている。

そこで、ポンプ所における越流負荷の効率的な除去技術を開発するために広く民間企業等に公募を行った。そして複数提案のあった中から選定を行い、今回「超高速凝集沈殿法」の開発として(株)西原環境衛生研究所及び日本理水設計(株)と共同研究を実施することとなった。本報は、共同研究の平成 12 年度研究結果の報告である。主な検討内容は、処理性能の基礎調査と流入特性把握による適正処理規模である。

2. 共同研究の概要

2.1 研究目的

本共同研究は、合流式下水道の雨天時越流水対策として、超高速凝集沈殿処理技術を、ポンプ所に適用するために、実負荷連続運転、性能評価、維持管理課題、雨天時流入特性等の調査研究を通じて、合流改善技術としての実用化を確立することを目的としている。なお、本共同研究における開発目標は以下のとおりである。

- (1) 処理対象をSS除去とし、目標処理性能は除去率を80%以上とする。
- (2) ポンプ所における適切な運転方法と維持管理手法を確立する。
- (3) 実規模化を想定したシミュレーションにより、ポンプ所における本技術の適正規模や合流改善対策における役割・位置付けを検討する。
- (4) 本技術の計画・設計・維持管理手法を確立する。

2.2 工程表

本共同研究は、平成 12 年 5 月～平成 15 年 3 月の 3 ヶ年で実施する。初年度は、基礎性能調査等を実施、次年度以降はテストプラントによる処理性能等の把握を実施していく予定である。

実施内容	平成12年度				平成13年度				平成14年度			
	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3
基礎性能調査	—————											
テストプラントの設計				—————								
テストプラントの製作設置				—————								
処理効果と水理安全性の検証					—————							
運転・維持管理性能調査									—————			
設計諸元の確立									—————			
課題整理、長期的活用方策検討											—————	

3. 超高速凝集沈殿法の概要

3.1 処理原理

超高速凝集沈殿法とは、従来の凝集沈殿法の処理工程に、微粒砂（マイクロサンド）を添加することで、凝集フロックの沈降速度を高め、汚濁物質の固液分離効率、処理速度を高めた処理法である。

原水に無機凝集剤を添加して得られたフロックに、均質な微粒砂（マイクロサンド）と高分子凝集剤を添加すると、高分子凝集剤による架橋作用によって、微粒砂とフロックが強固に結合し、重く沈降しやすい凝集フロックを形成する（写真 - 1）。凝集フロックは、傾斜板を設置した沈殿槽において短時間の内に固液分離される。

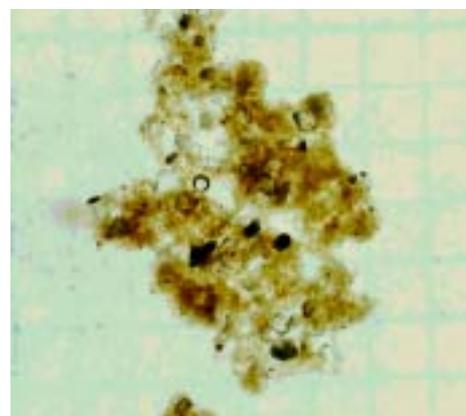


写真 - 1 凝集フロック拡大写真

3.2 各処理工程

処理フロー図を図1に示す。

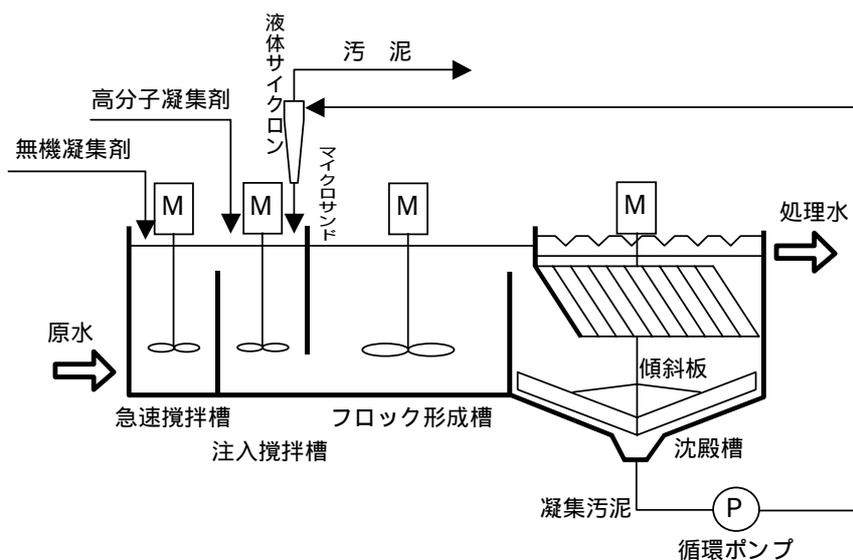


図 - 1 超高速凝集沈殿法フロー図

各処理工程の内容は表 - 1 のとおりである。

表 - 1 超高速凝集沈殿法処理工程

工程	処理内容	滞留時間
急速攪拌槽	原水に無機凝集剤を注入して急速攪拌を行い、フロックを形成させる。	約 1 分
注入攪拌槽	微粒砂と高分子凝集剤を注入し、フロックと混合させる	約 1 分
フロック形成槽	緩速攪拌を行うと、高分子凝集剤が微粒砂とフロックを強固に結合させるので、比重が大きく重い凝集フロックが形成される。	約 3 分
沈殿槽	重い凝集フロックを素早く沈降分離させる。上澄水は、傾斜板上部の集水樋を通して放流される。	約 2 ~ 5 分
循環ポンプ	引き抜かれた凝集汚泥は、循環ポンプで液体サイクロンに圧入される。	-
液体サイクロン	液体サイクロンの遠心力により、凝集汚泥を微粒砂と汚泥に分離させる。汚泥は系外に搬出、微粒砂については、注入攪拌槽に戻し、再利用する。	-

3.3 処理対象

超高速凝集沈殿法で処理する対象水のイメージを図 - 2 に示す。

超高速凝集沈殿法では、3Q 遮集を超えた越流水（ポンプ所流入水、図の太枠線内）について、その晴天時汚水量の n 倍分（nQ）を処理対象とする。

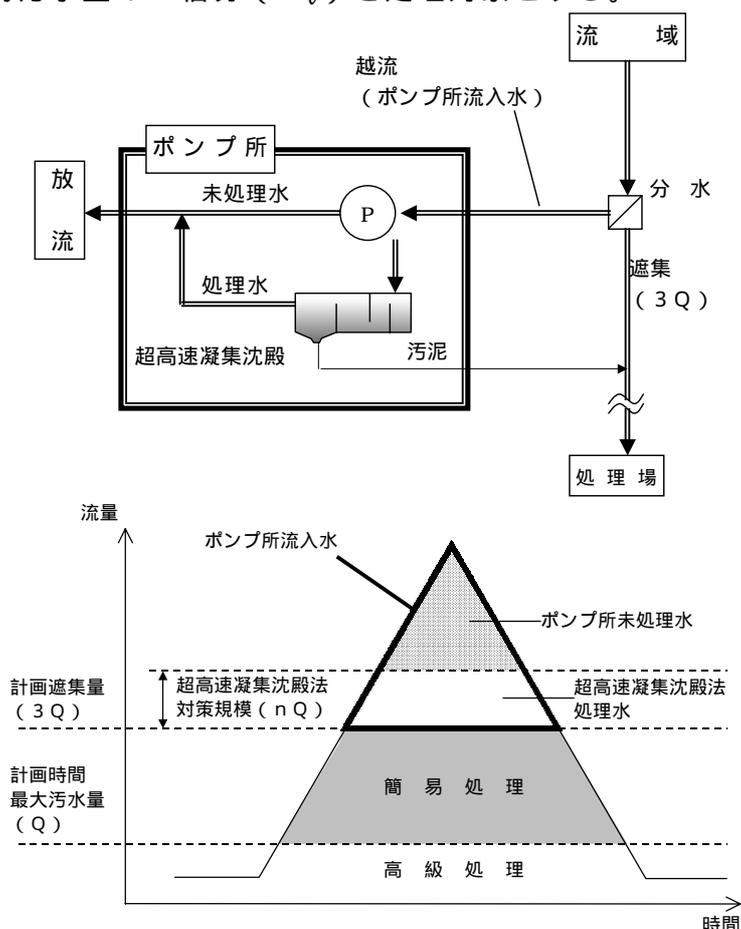


図 - 2 超高速凝集沈殿法の処理概念

3.4 基本性能

基本仕様は、共同研究で明らかにしていくこととなるが、海外での実績等から判断される現段階での性能及び仕様を示す。

表 - 2 基本除去性能

項目	除去性能
SS	約 80%
TP	約 80%
BOD	約 65%
COD	約 55%
TN	約 15%

表 - 3 基本仕様

処理能力（沈殿槽上昇速度）	80～160m/hr
沈殿槽水面積負荷	120m ³ /m ² /hr
微粒砂有効径	170 μm
薬注率	高分子 1.0mg/L
	無機 10mg/L

4. 超高速凝集沈殿法の適正規模の検討

これまでの合流改善計画では、雨天時に発生する負荷を削減することに対して本技術のような簡易合流改善施設の位置付けはなされていない。そのため、本技術をポンプ所に導入した影響についてシミュレーションを行い、本技術の合流改善効果を算出し、施設の適正規模について検討した。

4.1 検討方法

以下の流れに沿って適正規模の検討を行った

- (1) テストプラント設置予定であるポンプ所を対象とし、ポンプ所流域の地表面データ及び管渠施設をモデル化する。
- (2) 次にモデル降雨を対象としてシミュレーションを行い、ポンプ所における年間の流入量、流入負荷を算出する。
- (3) シミュレーション算出したポンプ所流入水データを解析し、超高速凝集沈殿法による処理の効果を試算する。処理効果の試算にあたっては、超高速凝集沈殿法の施設規模（処理量）を変えて効果を評価する。

4.2 検討結果

4.2.1 モデル化

シミュレーションにあたって「ポンプ排水区モデル」を用いて実施することとした。このモデルは東京都における合流改善計画を立案したときに用いたモデルで、一般的な「修正 RRL+土研式」¹⁾をポンプ所で適合するように改良したものである。この「ポンプ排水区モデル」を用いることで既計画との整合を図ることが可能である。

なお、次年度以降は近年国内でも導入が進んでいる分布型流出解析モデルのひとつである「MOUSE」を用いる予定である。

地表面のモデル化には GIS（地理情報システム）を活用し、対象区域の土地利用を分類した（表 - 4）。その結果、当該地域は屋根 33.1%、道路 20.7%と不浸透域が全体の約 54%を占め、その他、間地 40.1%、緑地 6.0%、水面 0.1%で構成されていることがわかる。

表 - 4 土地利用の分類

地表面の分類	不浸透域			半浸透域			浸透域	その他	合計
	屋根	道路	小計	間地	緑地	小計	森林、 農地等		
面積 (ha)	162.06	101.42	263.48	196.47	29.60	226.07	0.00	0.72	489.65
面積割合 (%)	33.1	20.7	53.8	40.1	6.0	46.2	0.0	0.1	100.0

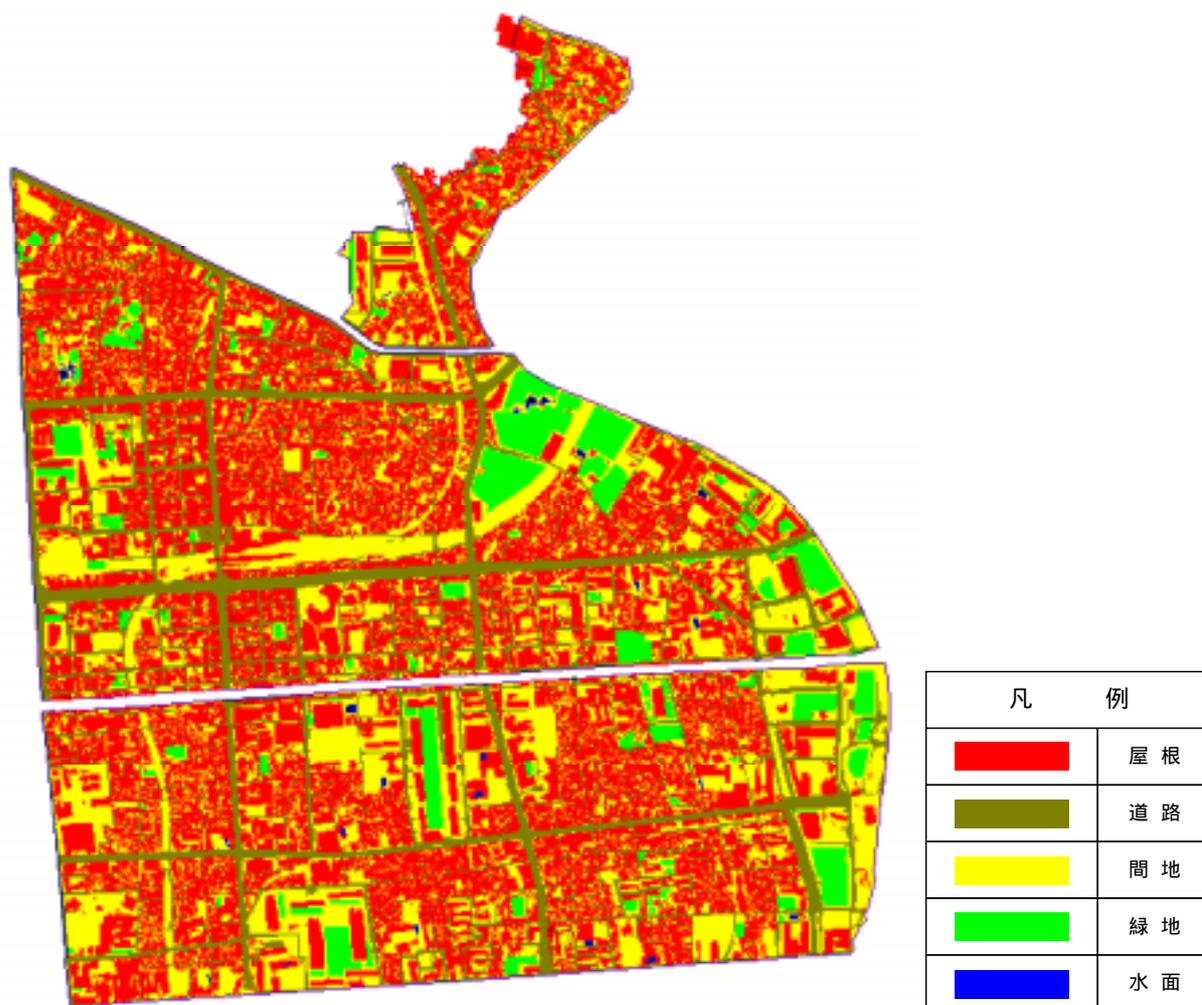


図 - 3 土地利用の分類結果

次に、管渠施設等のモデル化の状況を図 - 4 に示す。ポンプ所流域約 490 ヘクタールすべてを対象としたが、解析の効率化のため、人孔と管渠は以下の条件で抽出した。

- 内径 1,000mm 以上の管渠
- 管径が変化する地点の人孔
- 中間人孔のうち、大きく屈折しているもの

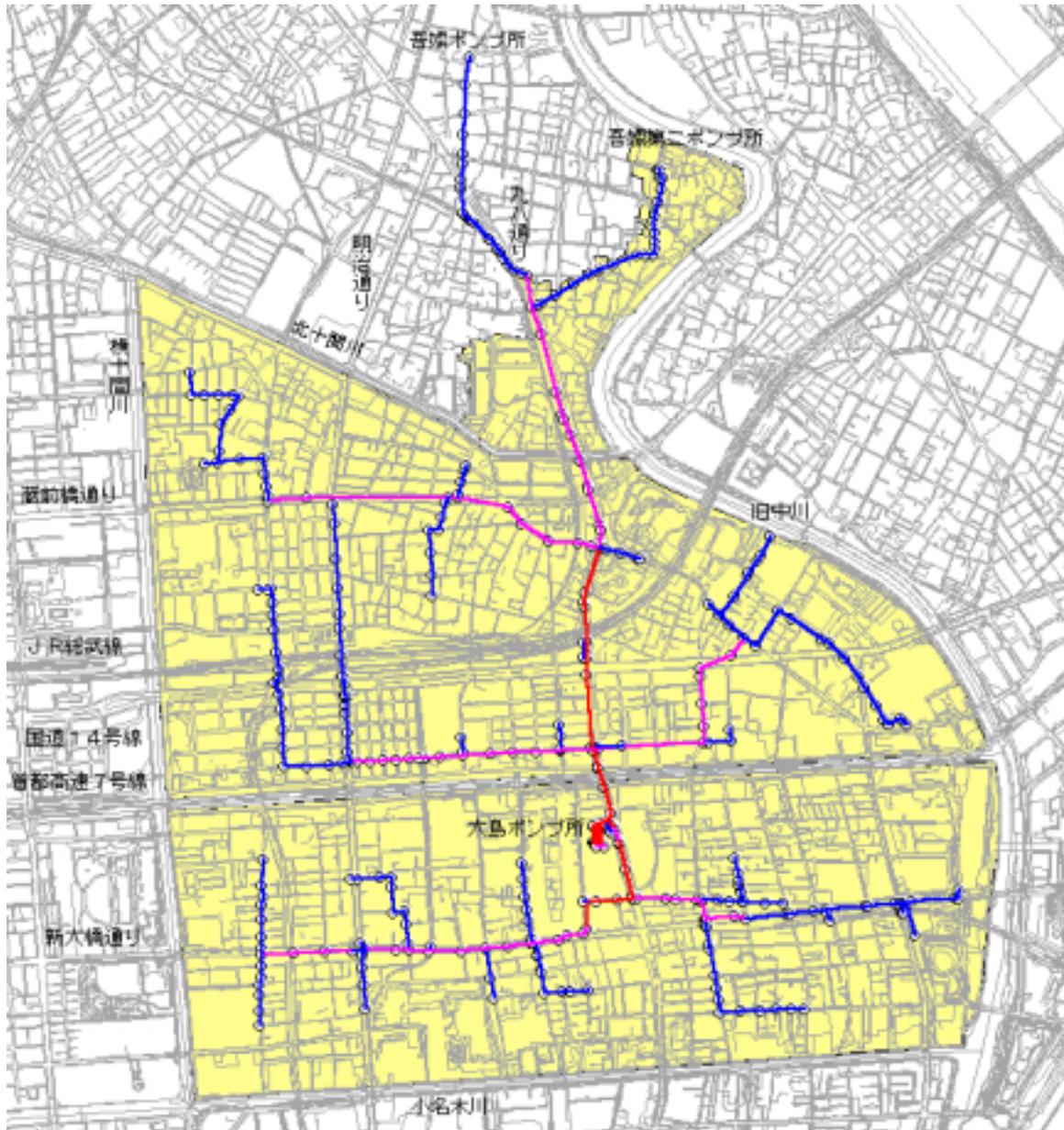


図 - 4 管渠施設等のモデル化状況

凡例	管渠 1.0m 以上 2.0m 未満
	管渠 2.0m 以上 3.0m 未満
	管渠 3.0m 以上 4.7m 未満
	人孔

4.2.2 シミュレーション結果

(1) 対象降雨

モデル化したポンプ所における流入水量、流入負荷量を算出するための降雨として、既計画で選定している「モデル 20 降雨」を用いた。「モデル 20 降雨」とは、昭和 37 年から昭和 56 年の 20 年間の降雨資料から、年間の代表的な降雨パターンを 20 種に分類したものである。以下にモデル 20 降雨の諸元を示す。

表 - 5 モデル 20 降雨の諸元

モデル 20降雨	モデル 20降雨 年月日	20年間 降雨頻度 (回)	年間平均 降雨頻度 (回)	1降雨当り 降雨量 (mm)	降雨 継続時間 (hr)	平均 降雨強度 (mm/hr)	30分 降雨強度 (mm/hr)
1	S54. 3. 24	17	0.85	63.0	10.6	6.0	45.0
2	S50. 7. 3	15	0.75	95.9	17.7	5.4	40.0
3	S51. 6. 15	28	1.40	39.2	4.1	9.6	30.2
4	S54. 5. 8	27	1.35	49.7	19.3	2.6	25.0
5	S39. 6. 27	31	1.55	28.1	14.8	1.9	20.8
6	S40. 6. 12	33	1.65	32.7	18.7	1.8	17.4
7	S39. 8. 20	39	1.95	29.1	7.2	4.1	15.0
8	S43. 3. 1	43	2.15	25.2	5.1	5.0	14.4
9	S40. 7. 5	52	2.60	23.5	11.6	2.0	11.6
10	S44. 11. 17	45	2.25	25.9	9.1	2.9	10.4
11	S40. 12. 23	51	2.55	20.2	6.8	3.0	8.6
12	S47. 4. 20	56	2.80	18.9	16.5	1.1	8.2
13	S39. 8. 29	65	3.25	16.0	18.7	0.9	7.0
14	S54. 7. 20	68	3.40	15.0	11.3	1.3	6.2
15	S37. 10. 20	91	4.55	11.6	4.3	2.7	5.2
16	S55. 5. 8	68	3.40	17.1	15.9	1.1	4.8
17	S37. 3. 15	87	4.35	13.1	6.3	2.1	4.4
18	S44. 2. 19	132	6.60	8.2	6.7	1.2	3.8
19	S54. 3. 14	173	8.65	5.8	4.4	1.3	3.2
20	S37. 3. 30	390	19.50	2.5	5.3	0.5	1.2
年間平均合計値			75.55	1,103.64	632.91		

モデル 20 降雨の降雨特性の特性を図 - 5, 6 に示した。降雨特性については、山浦らの報告²⁾により詳細な報告がなされている。

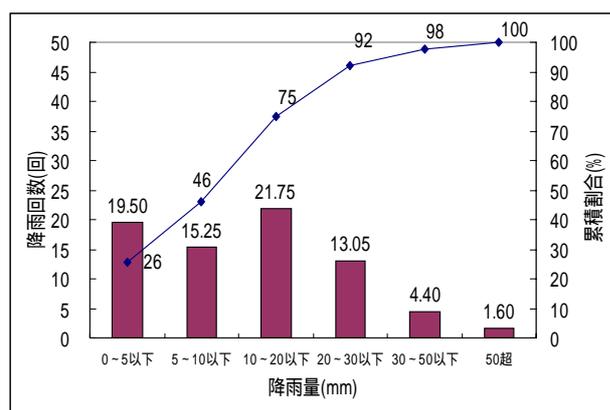


図 - 5 モデル 20 降雨の降雨量

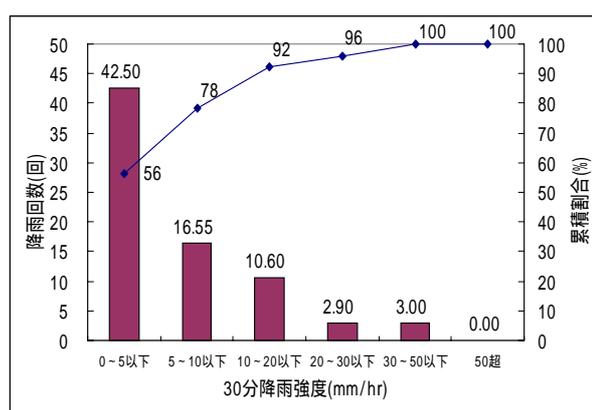


図 - 6 モデル 20 降雨の 30 分降雨強度

(2) 流入量・流入負荷の計算結果

大島ポンプ所におけるモデル 20 降雨のシミュレーションの結果、表 - 6 に示すデータが得られた。

表 - 6 シミュレーション結果

シミュレーション条件値	
ポンプ所流域面積	490ha
年間降雨回数	76回(0.5mm/hr以上の降雨)
年間降雨量	1,104mm/年
計画時間最大汚水量(1Q)	1.066m ³ /sec
計画遮集量(3Q)	3.198m ³ /sec
シミュレーション結果	
ポンプ所越流回数	56回/年
ポンプ所越流水量	3,068m ³ /年
ポンプ所越流時間	7,320分/年
雨天時発生負荷量SS	1,732kg/ha/年

なお、シミュレーションは、上流のポンプ所からの影響を除外し、ポンプ所流入直前の分水人孔の遮集量を3Qに固定して実施している。したがって、シミュレーションの結果は必ずしも現実の施設状況を表しているわけではない。

4.2.3 解析結果

シミュレーションで得られた結果を、(1)越流回数・水量、(2)放流負荷、(3)放流水質の面から年間のデータ集計し、処理施設の規模を0~6Qの範囲で変えた場合の処理効果を解析した。(1)越流回数・水量

図-7は、雨水ポンプから未処理で雨天時雨水が放流される回数を表している。(前節の図-2で「ポンプ所越流水」部分の年間における回数を表している。)シミュレーションではポンプ所からの越流回数は年間降雨76回に対して56回発生している計算になる。1Q規模の施設を設置した場合、年間56回の越流回数のうち、未処理分を含む放流回数が47回に減少している。

次に、未処理で雨天時雨水が放流される量を表したのが図-8である。ポンプ所からの年間放流量は3,068m³/haであるが、1Q規模の施設を設置した場合、未処理で放流される量が2,296m³/haまで減少している。施設規模が大きくなるしたが、未処理放流量の減少幅は小さくなっていることがわかる。

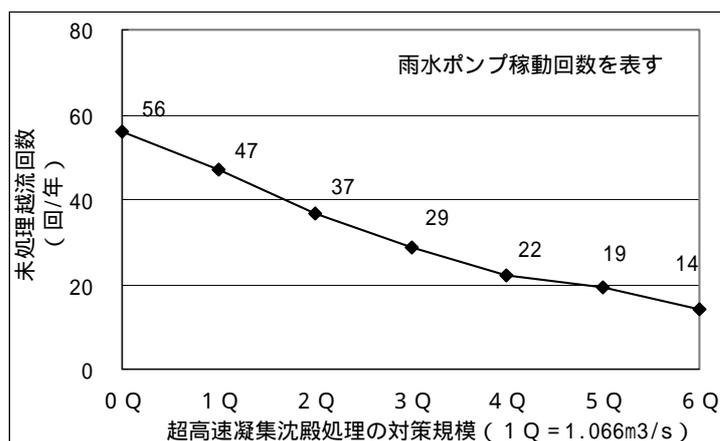


図 - 7 雨水ポンプからの未処理放流回数

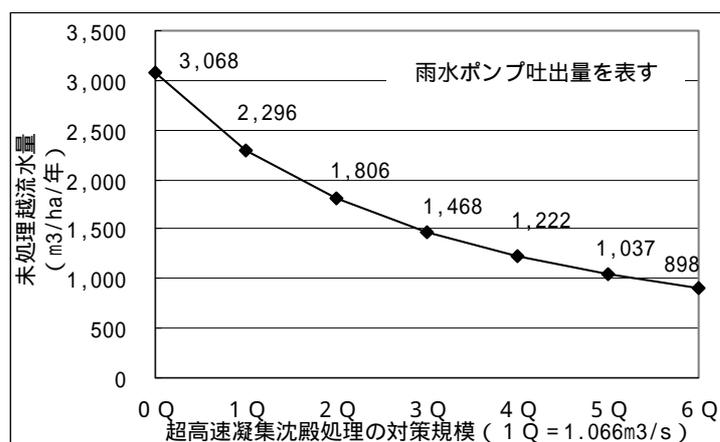


図 - 8 雨水ポンプからの未処理放流量

(2) 放流負荷

図 - 9 は、ポンプ所からの放流負荷の削減効果を示している。シミュレーションでは対策がない場合、年間 464kg/ha の SS 負荷が放流される計算になる。1Q 規模の施設を設置した場合、放流負荷は 340 kg/ha に削減され、約 27% の負荷を除去できている。6Q 規模では、約 66% の負荷を削減することができる。

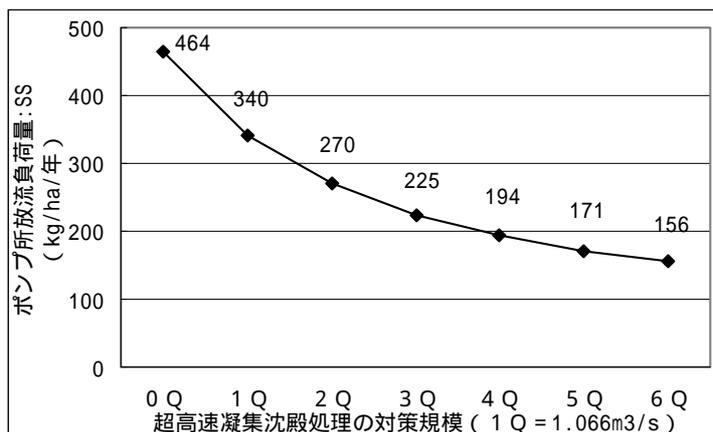


図 - 9 雨水ポンプからの未処理放流量

次に、東京都が目指している「分流式下水道レベル」まで負荷を削減できるかを検証した。分流式下水道レベルで目指しているのは雨天時における年間の汚濁発生負荷量を BOD で約 99% 削減することである。これは SS においても、約 99% 削減する必要がある。図 - 10 より、1Q 規模の施設を設置した場合、80.4% の雨天時発生負荷を削減できているが、例えば 6Q 規模の施設を設置したとしても 91% までしか雨天時発生負荷を削減できない計算になり、超高速凝集沈殿法のみでは「分流式下水道レベル」まで放流負荷を削減することは現実的にかなり難しいといえる。

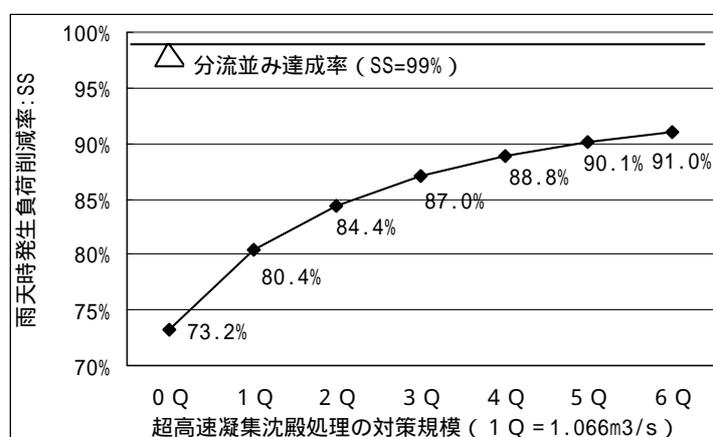


図 - 10 雨天時発生負荷削減率

(3) 放流水質

遮集管渠容量の増大や貯留施設の設置に見られる合流改善対策の既計画では、負荷の削減が主な目標となっている。しかし、超高速凝集沈殿法のような「処理施設」を合流改善対策として用いる場合は、前節で述べたとおり負荷の削減目標を達成することがかなり困難である。

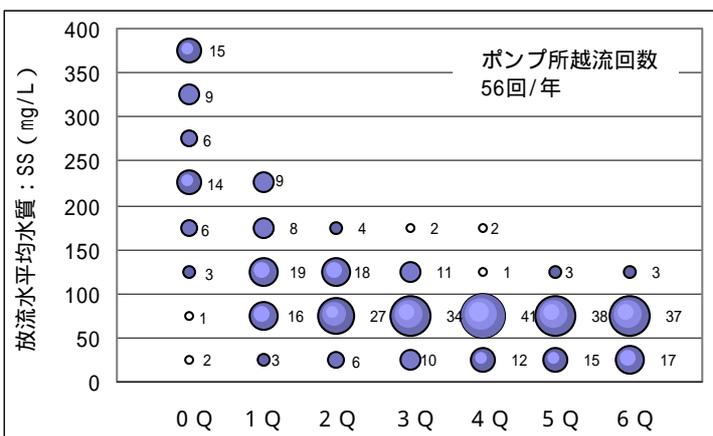


図 - 11 放流水平平均水質の度数分布

そこで水質面では、どの程度効果が見られるかを調べた。

各放流における平均水質を 50mg/L の幅で集計し図 - 1 1 に示した。0 Q のところを見ると、年間 56 回の放流のうち、平均水質が 350 ~ 400mg/L の範囲であったのが 15 回になることがわかる。1 Q 規模の施設を設置した場合、平均水質で 250mg/L を超える放流が無くなり、200 ~ 250mg/L の範囲であったのが 9 回になると計算される。

次に、放流水質 200mg/L を超える時間を集計し、図 - 1 2 に表した。

ポンプ所からの年間放流時間は、7,320 分あり、そのうち、3,919 分は放流水質が 200mg/L を超えるとシミュレーションにより計算される。1 Q 規模の施設を設置した場合は、その時間が 1,112 分、約 72% 減少させることができる計算になる。6Q 規模では 68 分、約 99% 減少させることができる。

4. 2. 4 まとめ

超高速凝集沈殿法の効果をシミュレーションにて試算した。その結果は以下のとおりである。

- ・ ポンプ所からの越流負荷を 1Q 規模の処理施設で約 27%、6Q 規模では約 66% を削減することができる。
- ・ 雨天時からの発生負荷を分流式下水道並にまで削減することは困難である
- ・ ポンプ所からの越流水質のうち SS200mg/L を超える時間を、1Q 規模の処理施設で約 72%、6Q 規模では約 99% 減少させることができる。

これより、超高速凝集沈殿法の施設だけでは合流改善対策の目標を達成することが困難なため、適正規模を設定するにあたっては別の観点からの検討が必要になるといえる。例えば、分流式下水道並にかわる新たな目標を据えることにより適正規模を設定するか、もしくは、貯留池等との組み合わせから適正規模の設定を行うことが考えられる。

5. 超高速凝集沈殿法基礎実験

本技術の特徴である微粒砂を添加した時の凝集沈殿処理性能を把握するために、ジャーテスト（ビーカーテスト）により基礎実験を実施し、凝集剤の添加率の把握、汚濁物質の除去能力を調査した。

5. 1 実験方法

超高速凝集沈殿法の特徴は、微粒砂を添加することによりフロックの沈降性を高めていることである。通常のジャーテストではこの微粒砂を添加する工程が考慮されていないため、表 7 に示す方法で試験を行った。

無機凝集剤としては PAC、高分子系凝集剤はアニオン系のものを用いた。

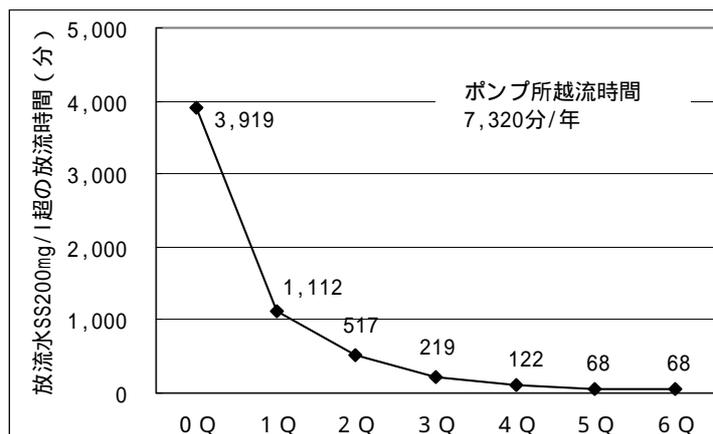


図 - 1 2 放流水質 SS200mg/L 超の放流時間

表 - 7 微粒砂添加ジャーテスト

今回ジャーテスト方法	超高速凝集沈殿フロー (120m ³ /hr 処理時の値)	
a) ビーカーにバツフルを入れる。 b) 原水 1L をビーカーに採る c) pH 等は任意の条件で設定する	原水	a) pH を中性 (7.5) に設定
d) 攪拌翼の回転数を 200r.p.m. で回転させる e) 無機凝集剤を所定量入れる f) 2 分間の急速攪拌	急速攪拌槽	b) 急速攪拌槽の回転数は 160r.p.m. a) スクリーン槽内の急速攪拌槽直前地点にて無機凝集剤を設定値入れる b) 40 秒の急速攪拌
g) 急速攪拌中の 1.5 ~ 2 分に微粒砂を 3,000mg 入れる h) 攪拌翼の回転数を 200r.p.m. のまま高分子凝集剤を所定量入れる i) 2 分間の攪拌	注入攪拌槽	c) 注入攪拌槽にて微粒砂が投入 (循環利用) 添加率 3,000mg/l d) 注入攪拌槽の回転数は 160r.p.m. e) 40 秒の注入攪拌
j) 攪拌翼の回転数を 140r.p.m. とする k) 3 分間フロック形成する	フロック形成槽	f) フロック形成攪拌槽の回転数は 110r.p.m. g) 2 分間フロック形成する
l) 3 分間の沈殿 m) サイホンもしくは傾斜法で上澄みを採取する	沈殿槽	j) 1 分間の沈殿

5.2 実験結果

対象原水は、晴天日 1 サンプル (Run-1)、雨天日 2 サンプル (Run-2、3) を用いた。原水の水質、実験条件、及び実験の結果については表 - 8 のとおりである。

表 - 8 水質分析結果

原水	Run-1: 晴天日 採水: 平成13年1月31日			Run-2: 雨天日 採水: 平成13年2月7日			Run-3: 雨天日 採水: 平成13年2月24日			
ジャーテスト実施日	平成13年2月1日			平成13年2月15日・16日			平成13年3月21日			
ジャーテスト条件	PAC: 6mg/l 高分子凝集剤: 0.75mg/l 微粒砂: 3,000mg/l			PAC: 9mg/l 高分子凝集剤: 0.5mg/l 微粒砂: 3,000mg/l			PAC: 6mg/l 高分子凝集剤: 1.0mg/l 微粒砂: 3,000mg/l			
分析項目	単位	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率
pH	-	9.75	6.63		7.21	6.84		7.67	6.38	
水温		15.1	-		11.1	-				
アルカリ度	度	860	-		130	-		268		
BOD	mg/l	1550	162	89.5	138	26.9	80.5			
CODMn	mg/l	575	124	78.4	53.3	17.7	66.8			
濁度	度	986	3.88	99.6	138	1.33	99.0	857	25.5	97.0
SS	mg/l	1080	17	98.4	123	4	96.7			
T-N	mg/l	160	54.7	65.8	26.8	16.4	38.8			
T-P	mg/l	6.29	0.8	87.3	2.26	0.14	93.8			
Cr	mg/l	17	-		0.41	-				
6価クロム	mg/l	<0.05	-		<0.05	-				
Na	mg/l	180	-							
K	mg/l	24	-							

5.3 超高速凝集沈殿法基礎実験まとめ

原水濁度が 138～986NTU と変化するなど原水基質の変動が大きい中で PAC6～9mg/l、高分子凝集剤 0.75～2mg/l マイクロサンド 3,000mg/l で超高速凝集沈殿法ジャーテストを行った結果、濁度、SS の除去率は 96%以上が得られ、BOD、COD、T-P の除去率は 60～90%前後であった。

6. おわりに

ポンプ所における越流負荷の効率的除去技術として、超高速凝集沈殿法の開発を平成 12 年度から平成 14 年度の 3 カ年の間、共同研究として実施することとした。

平成 12 年度は超高速凝集沈殿法の適正規模の検討、基礎実験等を主に行った。次年度以降は、実際にポンプ所にテストプラントを設置し、運転・維持管理性能調査、設計諸元の確立を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 合流式下水道越流水対策と暫定指針 - 1982 年版 - 、(社)日本下水道協会、昭和 57 年 7 月 5 日
- 2) 山浦 武ら、高速処理技術を応用した雨天時下水処理システムの開発(第 1 報)、東京都下水道局技術調査年報、平成 4 年 3 月

[大目次](#)[目次](#)[要旨](#)

- 3 篠崎ポンプ所流域におけるリアルタイムコントロール 現状調査

研究担当者 施設管理部 施設保全課 篠崎孝一

1. はじめに

今「合流式下水道の改善」は下水道局の最重要課題となっているが、第二世代下水道マスタープランでも、快適な水辺環境の創出に向け、分流式下水道のレベルまで汚濁負荷量を削減することを目標に、遮集量を現在の2倍から3倍に引き上げるとともに、流域平均8mm相当の初期雨水を貯留し処理する事業を進めている。

この合流改善において、より効率的な整備手法として、平成10～11年度に計画部技術開発課でリアルタイムコントロールシステム（Real Time Control System：R T Cと省略する）が王子ポンプ所を対象に調査され有効性が提案された。

さらに、短期的な取り組みとして、「合流改善クイックプラン」として具体的な対応を行う行動計画が検討され、このなかで技術開発の推進メニューの一つとして「リアルタイムコントロールによる流出負荷量の削減技術」が取りあげられている。このR T Cは、分布系モデルを中核として、雨量、管渠内水位、ポンプ運転情報などをリアルタイムに取り込み、ポンプ運転や管渠内可動ゲートなどを効率的に設置、運転・制御して小降雨時に雨水排水施設（管渠）の流下能力や貯留能力を活用することで合流改善を図ることを目的としている。

本調査は、既存施設の貯留能力や排水能力を有効に活用するR T Cを篠崎ポンプ所流域に適用するため3か年で計画され、平成12年度は篠崎ポンプ所ほか3か所及び流域管渠の現状を把握し、R T Cを構築するための基本調査を行うものである。

2. R T Cの基本概念

R T Cの基本概念は、図-1に示すように、雨量、流入量、水位データをリアルタイムで収集し、各水理施設（管渠・雨水貯留池・ポンプ場等）の能力を十分に引き出せるように、ゲート・堰・ポンプ等の運転制御を行うものである。

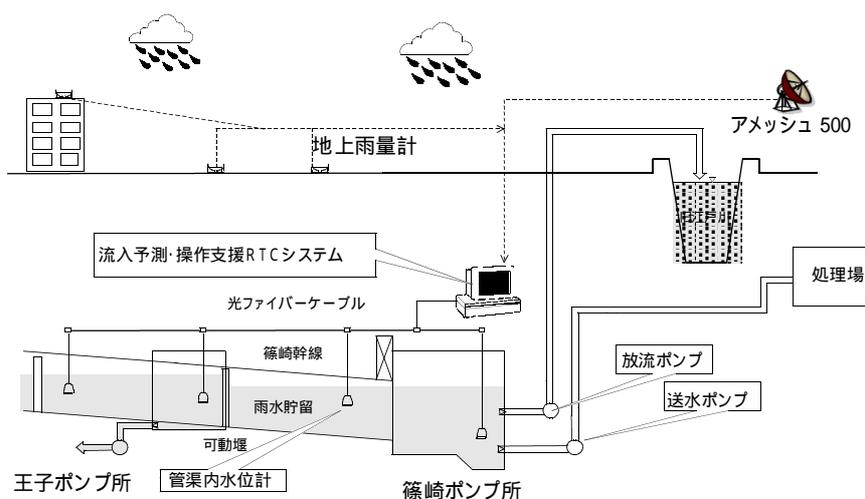


図 - 1 基本概念

3. 調査概要

3.1 現状調査

- (1) ポンプ能力・土木構造物等のポンプ所諸元、ポンプ運転時間・放流量及び回数等のポンプ運転状況、地上雨量計・アメッシュからの地域、時間分布などの降雨情報、管渠・面積・堰・流出係数・発生汚水量等の排水区域諸元、R T Cについて国内、海外の最新事例を基にしたR T C手法について整理する。
- (2) ポンプの運転操作について基礎知識のとりまとめ、浸水の実績・地域・降雨状況・原因等の状況把握、降雨情報として近20～30年を対象に降雨パターンの抽出等を行う。
- (3) 管内貯留による処理場への負荷、水処理上の問題把握と対策を整理する。

3.2 R T Cの基本調査

- (1) 基本調査は、長期にわたりR T Cが使用できる環境の構築、費用対効果、全体構想と段階的整備目標を考慮した策定方針を立案する。
- (2) R T Cの主要要素、機能について調査し、システムの概要を整理する。

3.3 流出解析モデルの検討

- (1) 流出解析モデルとして「分布型雨水流出モデル」を採用する。分布型モデルとしては、MOUSE、Hydro Works、XP-SWMM等があるが、モデルの完成度、実績、バックアップ体制、既存の制御システムとの親和性等を十分に検討するとともに、東京の特殊性（大規模施設、集中豪雨等）に十分適用可能で、他の流域にも基本的に適用が可能なモデルを検討する。
- (2) モデルは管渠ネットワーク、構造物、流域諸元をデータ化しシミュレーションを行い、再現性、計算時間等の面から評価を行う。

また、篠崎流域管内の貯留可能量の検討、計画貯留量の設定、水位計や地上雨量計の適正配置を検討する。

3.4 流入制御システムの検討

- (1) 既存の篠崎ポンプ所流入予測システムと、流出解析モデルの連携を取るための検討を行う。
- (2) 流出解析モデルから異常な値が出された場合の、バックアップ機能を目的とした検討を行う。

3.5 運転支援システムの検討

- (1) 第一段階R T C計画（目標：放流回数を50回/年から25回/年に削減するとともに、50mm、50%対応を図る）に対応した運転支援システムの検討を行う。
- (2) 流出解析モデル及び流入制御システムの情報と現状調査で得られた水位・雨量等の情報をもとに、運転を支援できるルールによるシミュレーションを行い、ルールの安全性、余裕度の確認を行う。

3.6 管渠内水位計等の検討

水位計、地上雨量計の配置場所、通信手段の検討を行う。なお、水位計は、管渠内に電源を必要としないもの、流量計は電源を容易に供給できる場合を検討し、コンパクトでシステムに適したものを検討する。

4 調査結果

4.1 調査対象流域の概要

篠崎ポンプ所流域は図 - 2 に示すように、葛西処理区に属し、篠崎、柴又の2大幹線を有する大規模な合流式下水道施設であり、両幹線は細田、南小岩、鹿骨の3バイパス管で結ばれている。篠崎幹線には上流側から新宿、細田、小岩、篠崎の4ポンプ所があり、上流3雨水ポンプ所では、雨水を中川、新中川に放流し、下流の篠崎ポンプ所では汚水を葛西処理場に送水し、雨水は旧江戸川に放流している。

上流3ポンプ所と篠崎幹線との接合点は分水人孔となっており、分水人孔内にはポンプ所側に越流堰、篠崎幹線側に下流堰（オリフィス）があり、越流堰を越える雨水がポンプ所側に流入する。

篠崎ポンプ所流域の諸元を表 - 1 に示す。

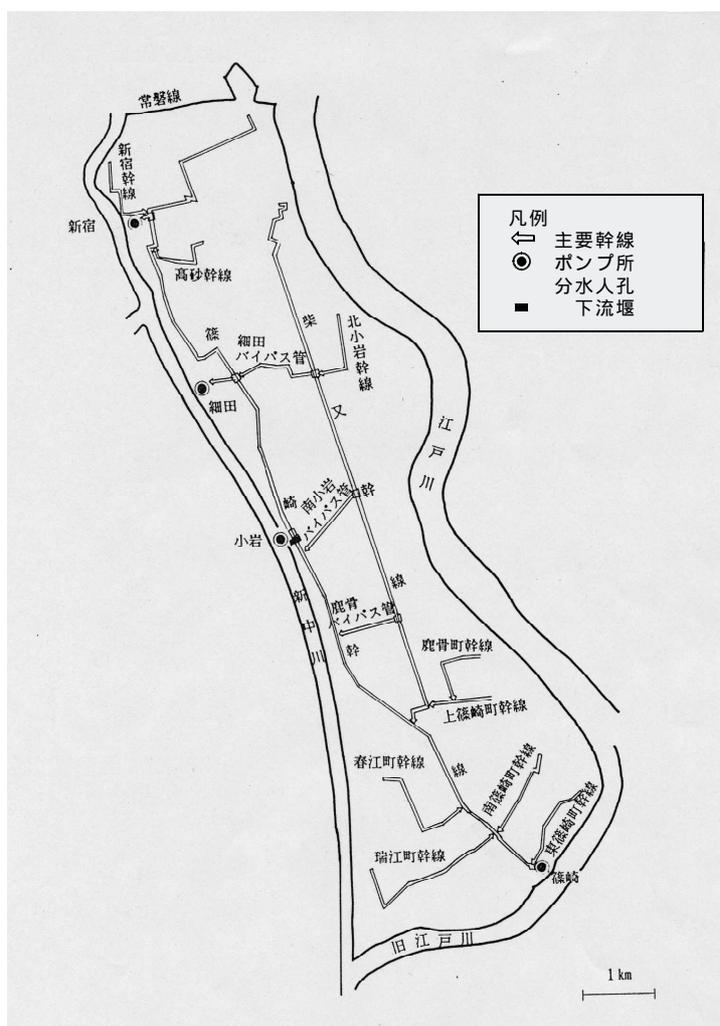


図 - 2 篠崎ポンプ所流域図

表 - 1 篠崎ポンプ所流域諸元

項目		諸元	備考
篠崎幹線 延長(km)		約12	
最大径(m)		7.0	
計画面積(ha)	汚水	2,097	
	雨水	2,108	
計画排水量	篠崎ポンプ所(m ³ /sec)	88.119	5,287(m ³ /min)
	新宿ポンプ所(m ³ /sec)	13.000	780(m ³ /min)
	細田ポンプ所(m ³ /sec)	14.000	840(m ³ /min)
	小岩ポンプ所(m ³ /sec)	13.000	780(m ³ /min)

4.2 RTCの基本機能

RTCの基本機能には水位、降雨データ等を収集するモニタリングシステム、降雨・水位等の予測、ポンプ・堰の運転特性を加味し運転制御を行う運転支援システム及びシミュレーションによる運転制御の過程を確認する、流入制御システムの機能が必要となる。

4.3 流出解析モデルの選定

従来、雨水流出解析手法としては、合理式、修正RRL法、拡張RRLが主に用いられていた。これらの手法は、ポンプ操作や越流を加味した任意地点の水位や流量を動的に計算することができない。パラメータのメンテナンスを的確に行う必要があり長期の信頼性に欠ける等の問題があった。

近年、種々の流出解析に係わるモデルが米国等を中心に実用化されている。これらのモデルは、雨天時越流による公共用水域の水質汚濁問題や浸水問題を解決するために開発されたもので、任意地点における地表面流出から複雑な管渠の流れなどを時系列的に取り扱うことができる分布系モデルとして実用化されている。

篠崎ポンプ所流域のRTCでは、次の主な理由によりMOUSE（マウス）を採用した。

河川、下水道の連携機能をもつ。

複雑系管路網に対して他のソフトに比較して信頼性、安定性が期待できる。

水質解析項目が他ソフトに比較して多く、かつ、水質の連動計算が可能。

プログラムの追加修正やバックアップ体制が十分であること。

RTCとして利用される割合が高い。

（MOUSE：8%、Hydro Works：3%、XP-SWMM：2%）

MOUSEは、表面流出や下水道の管内流出、水質及び堆積負荷の輸送計算ができる都市排水・下水道統合解析ソフトウェアであり、自由水面を持つ開水路や満管状態の流れが混在する都市排水の計算に有効なモデリングツールである。

4.4 篠崎ポンプ所流域のモデル化

篠崎、柴又両幹線に接続され流入する幹線（1,500～7,000mm）を、管径、勾配、延長、地盤高等のデータを竣工図及びSEMISより設定しモデル化した。

モデル化の概念を図-3に、篠崎ポンプ所流域のモデルを図-4に示す。

流出係数は既定計画で0.5であるが、実態としての流出係数は面整備率100%整備の現状では0.56～0.76と計画を上回っていることが過去の実績より実証された。

計画降雨や対策施設等に関するシミュレーションの実行に先立ち、管渠や流域の状況が適切にモデル化されているか、モデルを検証し確かめることが重要である。

特に、流域の状態を表現する各種のパラメータについては、実測により定めることは實際上困難であり、管渠内水理状況のキャリブレーションを行うことにより、実測値と計算値とが可能な限り近似するような適正值を定める必要がある。

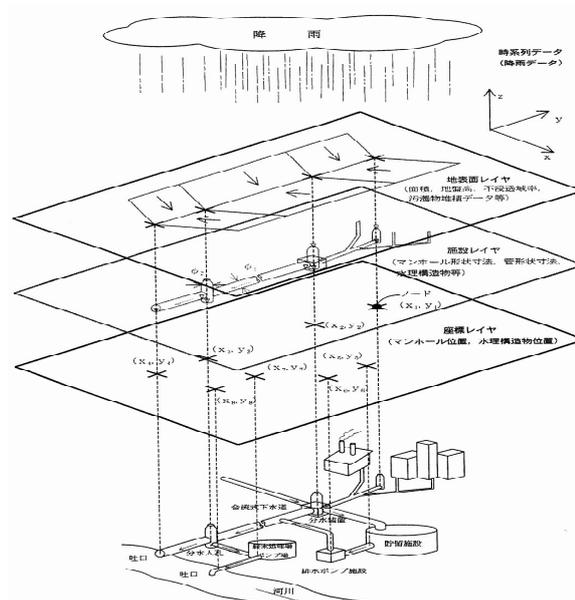


図-3 モデル化の概念

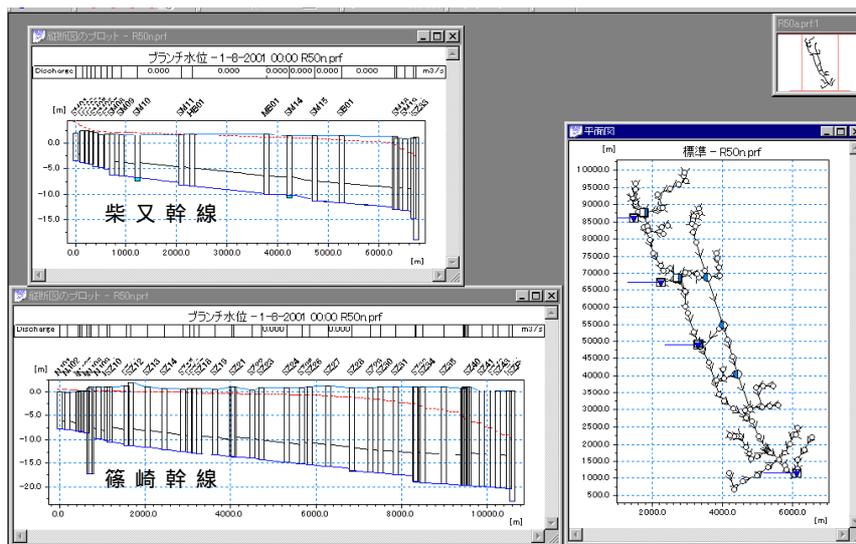


図 - 4 篠崎ポンプ所流域のモデル

表 - 2 過去の降雨実績

年月日 (面整備面積)		新宿	細田	小岩	篠崎	雨水流出率
1985/08/30 (527.17ha)	総雨量mm	46.0	63.0	71.0	62.0	0.59
	時間最大mm/h	15.0	11.0	15.0	10.0	
1985/09/06 (527.17ha)	総雨量mm	20.0	15.0	7.0	4.0	0.34
	時間最大mm/h	18.0	13.0	4.0	3.0	
1985/11/06 (527.17ha)	総雨量mm	32.0	32.0	36.0	37.0	0.39
	時間最大mm/h	11.0	11.0	12.0	10.0	
1991/09/08 (1991.85ha)	総雨量mm	70.0	70.0	79.5	89.5	0.56
	時間最大mm/h	30.0	25.0	32.0	38.0	
1991/09/18-19 (1991.85ha)	総雨量mm	214.0	191.0	200.0	222.0	前半 0.56
	時間最大mm/h	30.0	25.0	32.0	38.5	後半 0.88

篠崎ポンプ所流域のキャリブレーションは、幹線内に水位記録がある表 - 2 に示す 5 降雨についてシミュレーションを行い、関連するパラメータの調整を行った。

最終定数による再現再計算結果例を図 - 5 に示す。

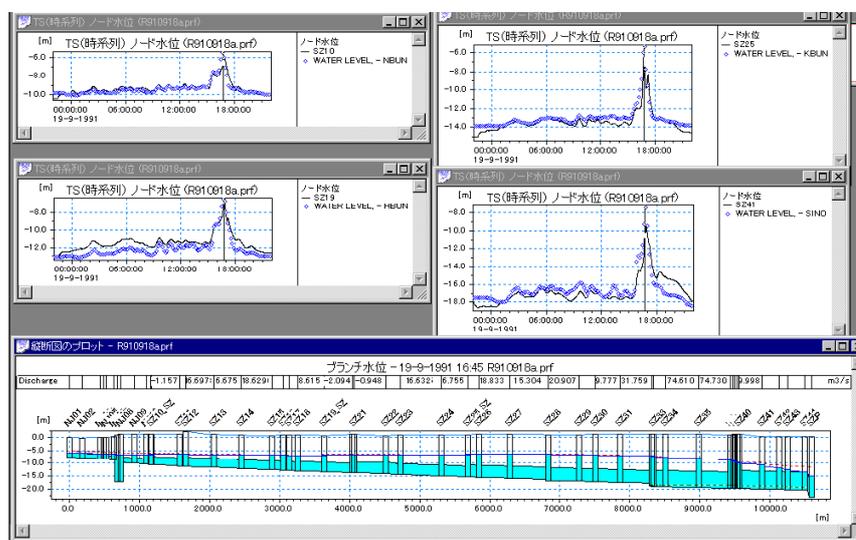


図 - 5 再計算結果例

4.5 RTCによる合流改善効果の予測

得られた水理モデルと合流改善マスタープランで用いられている、モデル20降雨及び合流改善基本計画で使用している昭和50年の年間降雨（年間降雨数71回）について日平均汚水量、流出率0.5を設定し、初期雨水を貯留した場合の予測を行った。

現況施設、RTC、従来型流域8mm貯留の3ケースについて越流回数、越流量、越流負荷量についてまとめ、表-3に表す。また、降雨群の総雨量と時間最大雨量をRTCの有無による越流降雨について整理すると、いずれの降雨群においても、総雨量が28~31mmを限界に越流が生じている。

表-3 RTCによる効果

降雨		越流回数		越流量		越流負荷量	
		回/年	現況施設に対する割合 (%)	千m ³ /年	現況施設に対する割合 (%)	t/年	現況施設に対する割合 (%)
モデル20降雨 (76降雨/年)	現況施設	41	100	4,525	100	181	100
	従来型8mm貯留	20	49	1,260	28	18	10
	RTC(篠崎幹線貯留)	16	39	2,187	48	59	33
1975年降雨 (71降雨/年)	現況施設	35	100	7,747	100	310	100
	従来型8mm貯留	15	43	5,732	74	80	26
	RTC(篠崎幹線貯留)	12	34	6,066	78	164	53

注) RTCでは最大限の貯留(篠崎ポンプ所床面-11.0T.p.mまで)した場合を想定。

モデル20降雨における貯留状況例を図-6に示す。この結果、RTCによる効果は、越流回数、越流量、越流負荷量ともに大きいといえる。

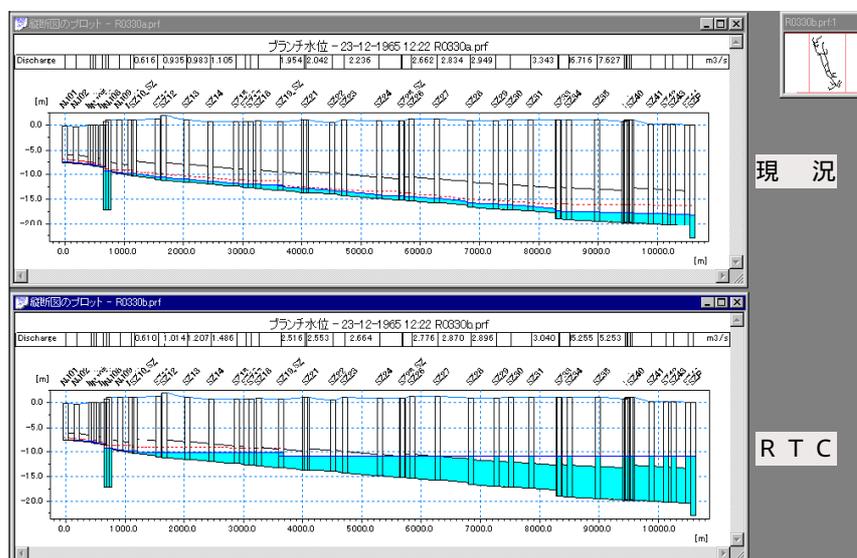


図-6 貯留状況例

4.6 計画降雨による流下状況予測

本調査での計画降雨量は、下水道既定計画の対象である時間最大雨量50mmの降雨規模を基本とし、以下の考え方により、5分ピッチ6時間の中央集中ハイレートグラフを適用するものとした。

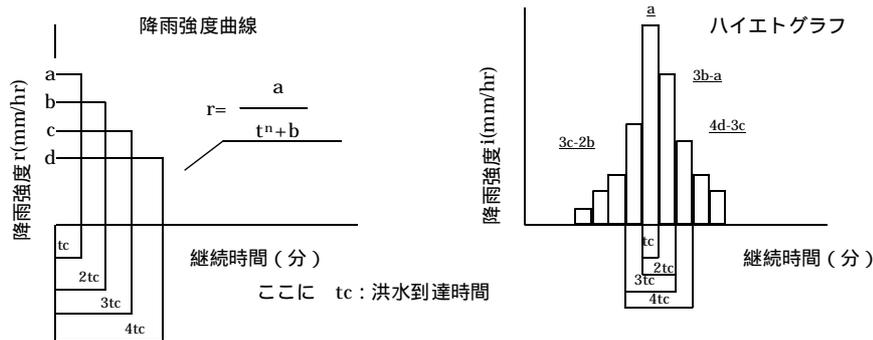


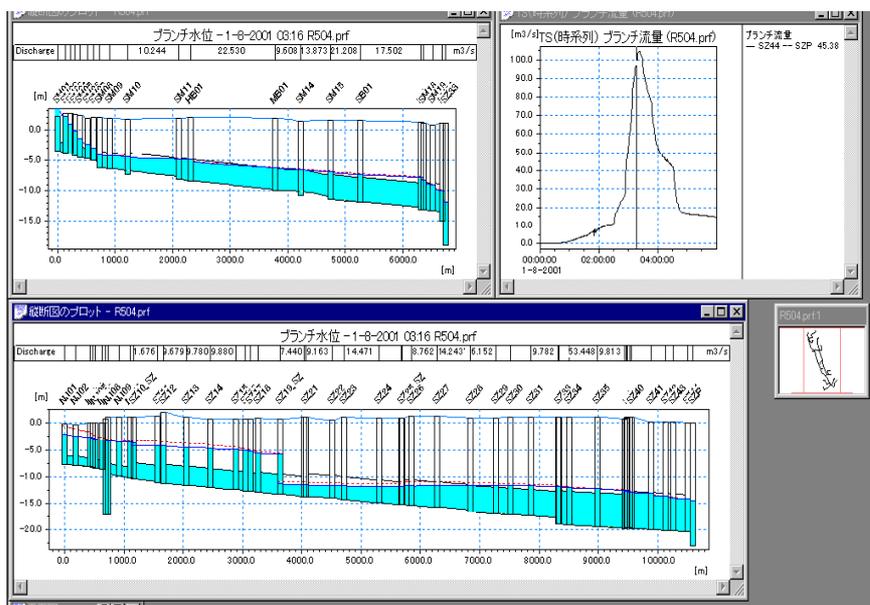
図 - 7 中央集中型ハイトグラフ

降雨波形は図 - 7 に示すように降雨継続時間の中心を原点とし、ここに降雨のピークをとり、雨の降り始めからピークまでとピークから降り終わりまでの時間について、洪水到達時間毎に強度を決めるもので、いずれの継続時間に対しても、平均降雨強度曲線の値を満足するように定める。

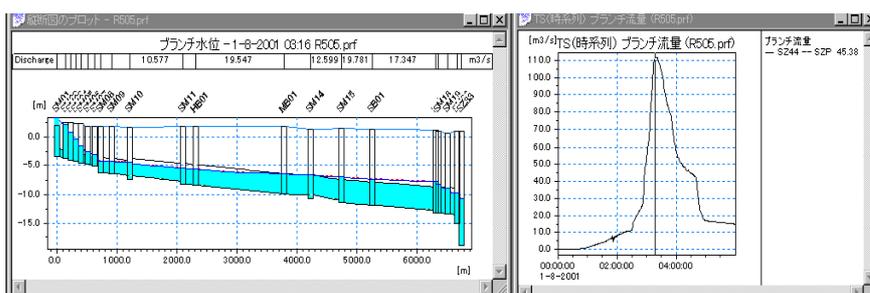
50mm/h降雨時の流出率0.5と0.7の2種の土地利用状況における、篠崎幹線及び柴又幹線の流下状況について、現況（下流堰設置）、下流堰全撤去、下流堰開口部拡大（平成5年検討最適値）とした場合のシミュレーションを行いその結果を次に示す。また、流出率0.5の場合のシミュレーション結果を表示例として図 - 8 に示す。

流出率0.5の場合は、細田分水人孔下流堰の開口部が小さいため下流側へ水が流れにくくなり、上下流の水位さが5m以上にも及ぶため上流部の水位上昇が著しい。

流出率0.7の場合は、流出率0.5の1.4倍もの水量が管渠へ流入するため、篠崎ポンプ所で放流しきれなくなり、幹線全体の水頭が地表面近く若しくは地表面に露出する状況となっている。

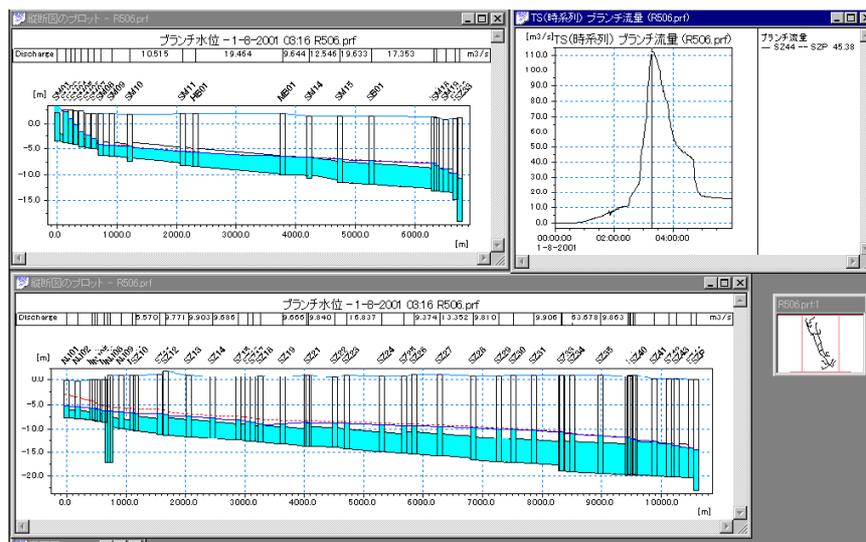


f = 0.5 現況（下流堰設置）



f = 0.5 下流堰全撤去

図 - 8 50mm/h降雨における流下状況 (7)



$f = 0.5$ 下流堰開口部拡大

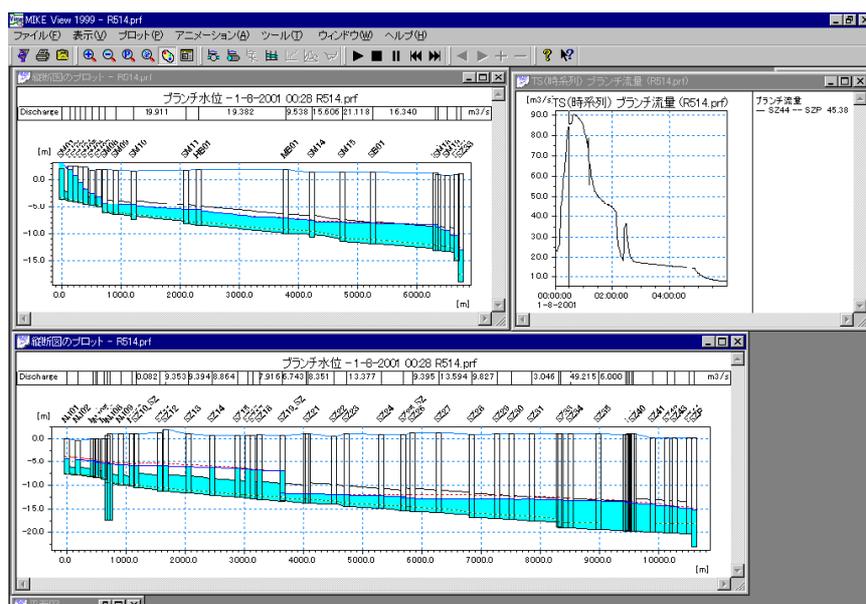
図 - 8 50mm/h降雨における流下状況

4.7 管内貯留による浸水の危険性に対する検討

篠崎幹線を貯留管として活用する場合、ポンプ井水位を高水位で運転する必要がある。

運転水位はモデルの安全性を確認しつつ、段階的に引き上げを予定していることから、ここでは、篠崎幹線末端管源 700cmの1/2水深になった時点で、50mm/h前方集中型降雨が生じた場合に、ポンプ操作がスムーズに豪雨時モードへ移行できるか否かの検討を行った。その結果、図 - 9 に示すように豪雨時モードへスムーズに移行ができるという結論を得た。(流出率：0.5)

したがって、既計画の施設状況(管渠、ポンプともに流出係数0.5)の場合に、RTCを行うことにより浸水の危険度が増すということはないと言える。



現況(下流堰設置)

図 - 9 浸水の危険性に対する検討結果(50mm/h前方集中型、 $f=0.5$)
(8)

4.8 浸水対策に対する検討

篠崎ポンプ所流域におけるRTCは、合流改善を主目的としている。

小降雨時の際の貯留操作による合流改善効果は4.5項で、また、貯留時に50mm/h前方集中型降雨が発生した時の安全性については4.7項で検討した。しかし、50mm/h中央集中型で計画流出係数0.7を想定した場合は、単純に言っても、1.4倍(=0.7/0.5)の総雨水量とピーク流量が発生することになるため、4.6項で明らかとなったように多くの地点で地表面すれすれ、若しくは、浸水を生ずることが予想された。浸水が生じると予想されるノードを平面的に表示し、図-10に示す。

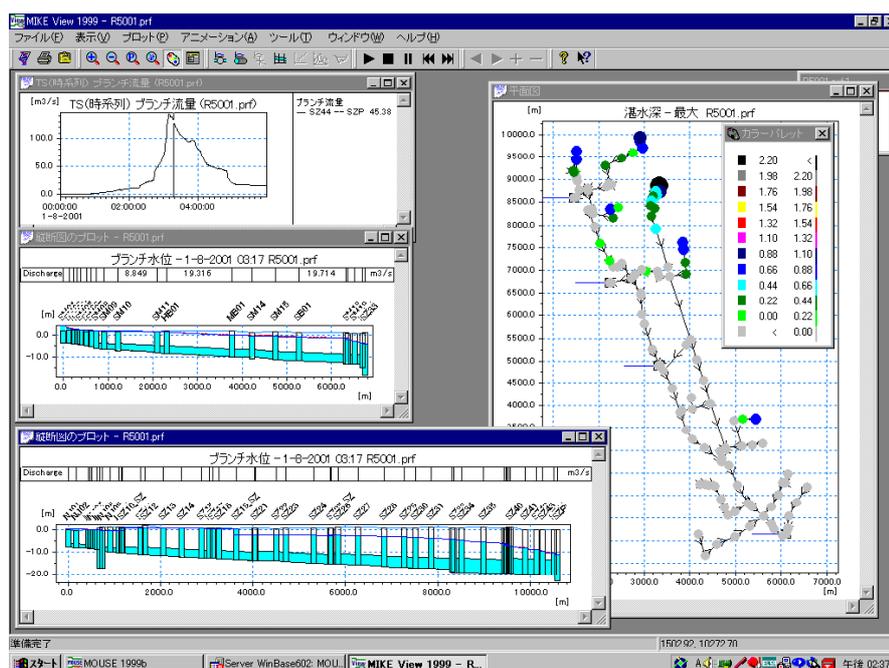
篠崎ポンプ所では用地の関係からポンプ増設が容易でない現状を考慮すると、貯留施設(貯留池、貯留管等)で対応せざるを得ないと考えられる。

0.5から0.7へ増大した雨水流出量をどの地点からどのように分水し貯留へ導くかについては現施設の状況、地下理設の状況等、詳細な状況把握を行ってその方策についてつめる必要があるが、それに対する十分なデータの集積がない現段階では、各流域でのハイドログラフを合成し、浸水を生じる地点の満管流量以上を貯留するというマクロナ検討にとどめることとする。

この結果、各流域で必要となる貯留容量は表-4のようになる。

表-4 浸水対策用の貯留施設容量

	貯留必要量 (m ³) (ネット)	貯留施設容量 (m ³) (2割の余裕込み)
篠崎幹線上流	19,920	24,000
新宿幹線上流	2,425	3,000
高砂幹線上流	719	900
柴又幹線上流	14,526	17,500
北小岩幹線	24,732	29,700
鹿骨町幹線	6,965	8,400
細田バイパス	911	1,100
合計	70,197	84,600



(50mm/hr中央集中型、f=0.7、：現況下流堰設置)

図-10 浸水が生じると予想される地点
(9)

一方、各流域で流出係数0.5から0.7への増分を貯留すると仮定して計算を行ってみると、必要貯留量はネットで68,102m³、2割の余裕をみて81,800m³となり、表-4に示した値とほぼ同等な値となる。この値は流域換算で4mmに相当する。

なお、現在の水理モデルでは柴又幹線筋の幹線上流部で水頭が地表を超えるような現象が生じると予想されたが、過去に浸水被害が生じていない等、実際現象

4.10 管渠内水位計等の検討

R T Cは、中小規模の降雨時に合流管内に雨水を一時的に貯留するため、雨量が管の貯留能力を超えると排水区内で浸水する可能性が生じるため、降雨及び管内の水位状況を把握する必要がある。

水位計の台数は多いほど管内の水位状況は把握し易いが、コスト・保守性を考慮すると基準観測地点を定めて必要最小限の水位計を設置した方が有利である。

水位計の測定方式は、電源を要しない光ファイバー水位計を採用することとし、設置個所は人孔内とするが、位置の選定にあたっては豪雨時の急激な水位上昇を検出でき、屈曲や落差が無く、水位勾配ができるだけ一様な地点を選定する。

設置個所の選定にあたって、流れの傾向を把握するため、MOUSEによるシミュレーション計算結果を参考にする。

図 - 12に水位計設置場所を示す。

雨量計の設置については、篠崎ポンプ所流域は約20km²の広さであり、当該流域でR T Cを実施する場合、流域内の雨量は全域的に把握することはもとより、局所的な豪雨も把握する必要がある。

一方、対象流域では篠崎、小岩、細田及び新宿の各ポンプ所において地上雨量計及び降雨強度計

が設置されており、実績豪雨における上記4ポンプ所での時間的な雨量分布は類似しており、実績降雨に関する限り、4ポンプ所での雨量観測で対象流域の降雨状況把握に支障は無いということいえる。また、当局にはアメッシュを有しており、遠からずその精度が向上することもあり、現状の配置でも十分降雨状況が把握できると考えられる。

以上のことから、対象地域での新たな雨量計の設置は考慮しないものとする。

5 まとめと今後の課題

R T Cの根幹となる水理モデルについては、幹線管渠内での水位の実測が5降雨程度と数少ない中での検討ではあったが、篠崎幹線筋については概ね実測を再現することができ

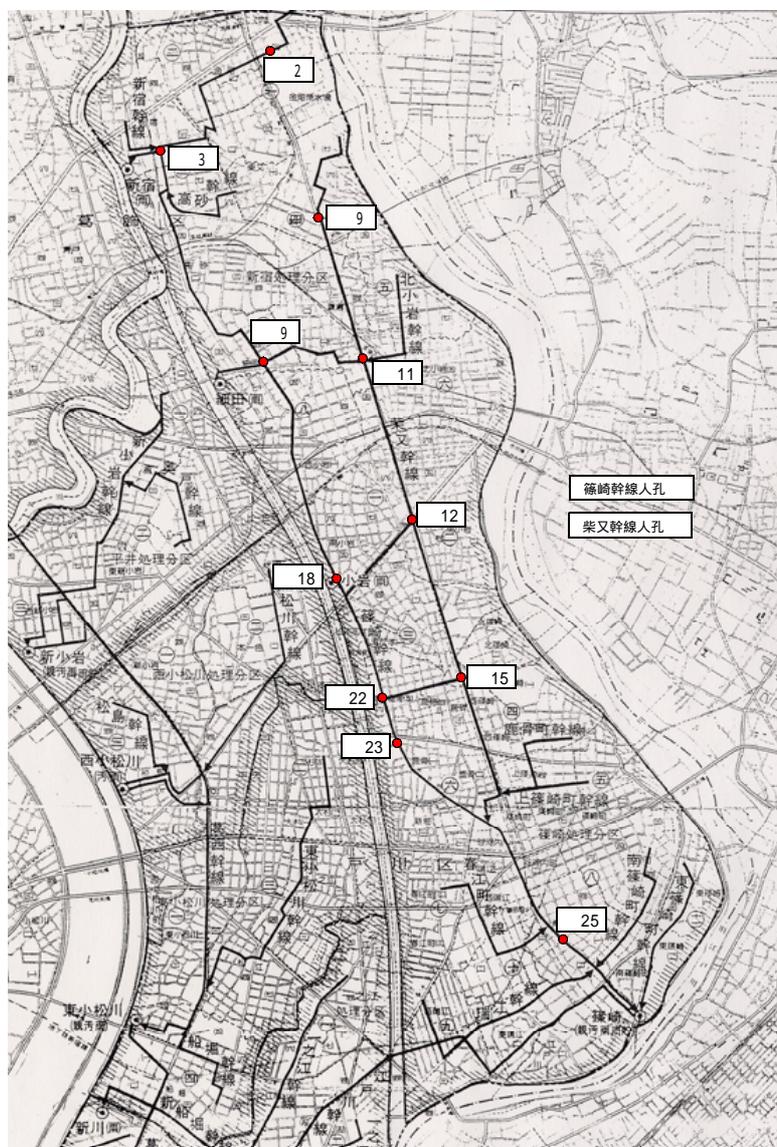


図 - 12 管渠内水位計設置場所

た。しかし、柴又幹線筋では、幹線上流部で水頭が地表を越えるような現象が生じることが予想されたが、過去に浸水被害が生じていない等、現段階では実際現象とモデルとに若干の差が生じているのが実態である。

また、降雨時や晴天時の水質についても、実測が得られておらず、汚濁負荷の抑制効果を明らかにするために、水質モデルの構築が必要である。

さらに、R T Cを実現するために、既存の通信システムとの連携も必要となる。

このように、R T Cの実現に向けての課題は多いが、課題の解決へ向けて平成13年度以降は次に示す検討を行う予定である。

(1) 雨量・水位・水質実態調査

- ・水理モデルの精度向上のため、幹線水位・各ポンプ所の降雨記録を収集整理
- ・水質モデル構築のため、晴天及び雨天時の管渠内・ポンプ井の水質、堆積物調査を実施

(2) MOUSE水理・水質モデル構築

- ・雨量・水位実態調査の現象を再現しうる定数を求め、水理モデルを確立
- ・水質実態調査の現象を再現しうる定数の決定

(3) 浸水対策施設計画及び段階貯留計画の立案

- ・平成12年度に検討した基本計画について、浸水対策施設計画の精度向上
- ・浸水に対する安全性を考慮した、管渠内貯留計画（貯留水位）の立案

(4) R T Cの構築

- ・実稼動可能なパイロットシステムの構築、稼動試験及びシステム改良
- ・R T C実用システムの構築

(5) アメッシュ情報を用いた降雨予測システムの検討

- ・既往の移動ベクトル法を利用し、アメッシュ情報を用いた降雨予測システムの検討

(6) R T Cゲート施設設置に向けての検討

- ・可動ゲートによる水理的効果の把握及び設置候補場所の基本条件整理
- ・ゲート施設構造検討及び工事に関する検討
- ・フェイルセーフに関する検討

(7) 他流域展開へ向けてのR T C検討マニュアル作成

- ・ポンプ運転支援に関する既往調査のレビュー結果・水理解析ソフトの詳細・R T C構築に必要な設定事項と設定のための検討事項などを整理し、R T C調査検討マニュアルの作成

(8) 外的要因による流域流出の変化等に関する検討

- ・ヒートアイランド現象などに関する既往調査結果を収集
- ・篠崎流域において同様な現象が起こった場合に想定される流域の変化や、水理・水質モデルでの対応の必要性などについての考察

(9) GISを利用した土地利用状況に関する検討

- ・GISを用いた水理計算モデル構築の検討、パラメータの作成検討

大目次

目次

要旨

- 1 放電式脱臭技術に関する調査その2

計画調整部 技術開発課 杉山 佳孝, 宮澤 裕三(現:清瀬処理場)
上野 孝司(現:流域下水道本部)

1. はじめに

下水処理場から発生する低濃度系の臭気は主として活性炭による吸着処理が行われてきた。活性炭吸着による臭気処理は最も一般的な臭気処理法の一つではあるが、活性炭の破過時間の確定が困難である、多量の活性炭は廃棄物として出る等、運転管理面及び環境負荷の両面から問題を抱えている。

また、活性炭は下水臭気の主原因の一つである硫化水素に対する吸着能力が小さく、一時的にでも高濃度の硫化水素が発生した場合には、たちまち破過してしまうというリスクがある。また、当然ながら破過した活性炭は廃棄物として処分されることとなるが、最終処分場が不足している現代に多量の廃棄物を発生させることは決して好ましいことではない。

このため、活性炭吸着法に代わり臭気の変動しても長期間安定処理することができる臭気処理システムの開発を行うことを目的として平成11年度から放電を利用した脱臭装置の下水処理場水処理施設臭気ガスへの適用の可能性を検討した。

2. 放電式脱臭技術について

今回使用している放電式脱臭設備の概要を図1に示す。高圧放電部と気相反応部、触媒部から構成されておりそれぞれの役割は次のとおりである。

(1) 高圧放電部

15kHz程度の高周波で8kV程度の沿面放電を行うことで、電極表面に非平衡プラズマを発生させる。非平衡プラズマは、熱プラズマ(火炎等)と異なり電子エネルギーは高いがイオン及び分子のエネルギーが低い状態であり、耐熱材料等を用いる必要がないため、設備を簡略化できる特徴を持っている。高圧放電部は、臭気ガスをこのプラズマの中に通して活性分子、オゾン等を発生させ、それらの酸化能力により臭気成分を処理する工程である。

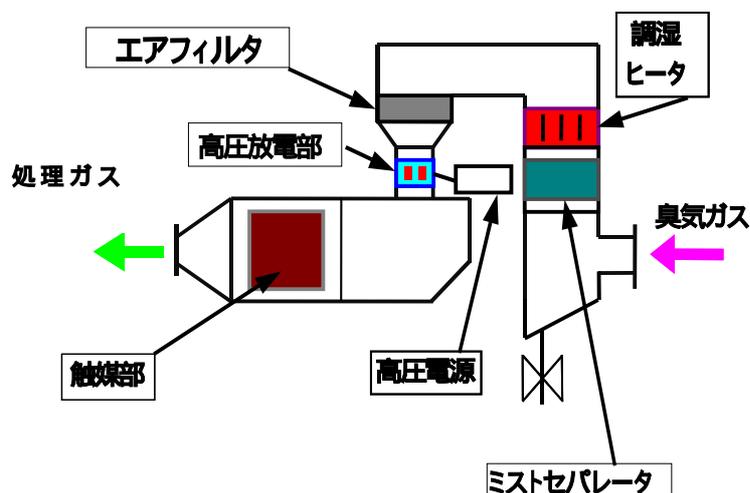


図1 放電式脱臭設備概要図

(2) 気相反応部

放電部で発生した活性分子、オゾン等と臭気成分を混合し酸化分解を促進する工程である。

(3) 触媒部

アルミナ・シリカ系の触媒を用いて、酸化分解反応を触媒上で促進させ、また消費しき

れなかったオゾンをここで分解する。

3. 調査内容

3.1 概要

平成 11 年度の成果を踏まえ、平成 12 年度は放電式脱臭装置に関してより適正な処理条件を確立するため、以下の事項について調査を行った。なお、放電式脱臭装置の実臭気に対する処理能力の確認のため、平成 11 年度に引き続き葛西処理場の実験装置を設置して処理試験を行うとともに、下水臭気に適応した放電式脱臭装置開発のため、実験室でも基礎実験を行った。

3.2 調査項目

本調査の項目は次のとおりである。

- (1)臭気ガスの連続処理性能
- (2)温室効果ガスの挙動調査
- (3)電極洗浄システムの改良
- (4)高圧電源装置（コールドプラズマ発生用）の改良
- (5)放電モニタによる放電エネルギーの制御
- (6)無負荷運転による触媒再生
- (7)放電電極の耐久性向上に関する調査
- (8)処理副生成物に関する調査
- (9)湿度の影響に関する調査

3.3 調査期間

平成 12 年 7 月 13 日から平成 13 年 3 月 23 日まで

3.4 実施場所

東京都下水道局 葛西処理場 北処理施設内：調査項目(1)～(6)、(8)、(9)
株式会社タクマ 中央研究所：調査項目(7)

4. 実験設備概要

図 2 に実験設備の概要フローを示す。また各設備詳細を下記に示す。

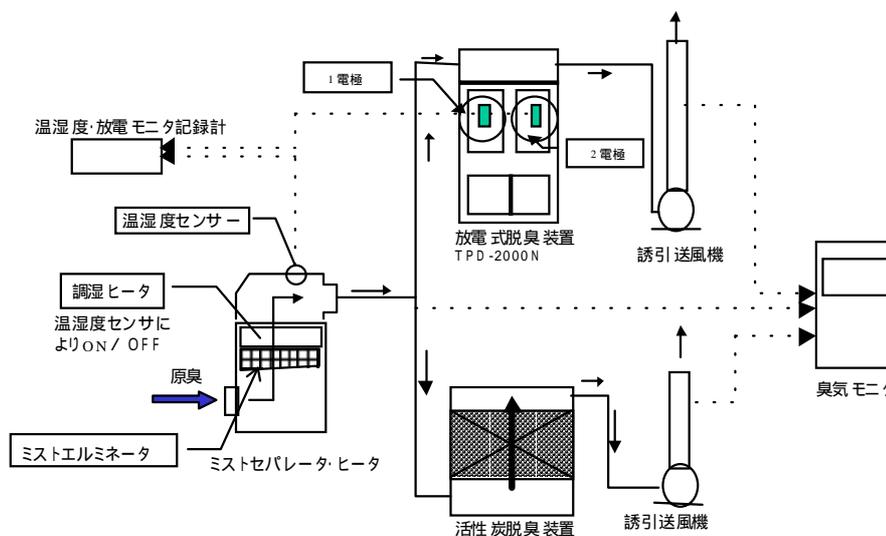


図 2 脱臭実験設備概略フロー

- (1)処理対象臭気ガス：葛西処理場 北系水処理施設（第一沈殿池、曝気槽）より発生する臭気ガス
- (2)放電式脱臭装置
 処理ガス量：2,000m³/時（電極1組2枚当たり1000m³/時）
 電極面積：2,500、電極間距離：2mm（電極1組当たり）
 放電電力：0.2～0.46Wh/m³
- (3)活性炭吸着装置（比較対照系）
 処理ガス量：1,000m³/時
- (4)その他
 ミストセパレータ、ヒータ、誘引ブローア

5. 調査

5.1 臭気ガスの連続処理性能の調査

5.1.1 目的及び調査内容

下水処理場水処理系の臭気濃度の変動を把握するとともに、放電式脱臭装置による臭気除去性能を活性炭吸着法と比較することを目的に調査を行った。測定項目と分析項目は次のとおりである。

(1)調査測定機器

臭気モニタ
 放電モニタ
 温度湿度センサ

(2)分析項目

臭気濃度及び臭気成分の分析は脱臭装置出入口で行った。

臭気物質濃度の測定

測定物質：アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、二硫化メチル、硫化メチル、アセトアルデヒド、プロピオン酸、n酪酸、n吉草酸、i吉草酸

臭気濃度：嗅覚測定法による

GC/MSによる有機物の探索

5.1.2 結果

(1)臭気の変動

原臭気の臭気濃度の測定結果を図3に示す。臭気濃度は41～5,500まで変動しており、変動幅は非常に大きいことがわかった。また、同時に測定した臭気物質の濃度の分析によると主要成分は、アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、二硫化メチル、硫化メチル、アセトアルデヒドであり、他は検出限界以下であった。臭気物質濃度としては硫化水素が高くなっているが、推定臭気濃度で評価するとメチルメルカプタンの寄与が大きいことが確認された。

また、常時測定を行っていた臭気モニタの指示値と臭気濃度の実測値の関係、および臭気センサの指示値の変動範囲より、実際の臭気濃度としては変動幅が大きく極めて低いレベルから臭気濃度10,000程度までを視野に入れた設計を行う必要があると考えられた。さらに、同日内でも時間によって発生する臭気濃度は大きく変化しており、効率よく処理を行うためには、原臭気の臭気濃度に応じた処理を行う制御が重要であることが示唆された。

(2)臭気処理能力

臭気の処理結果を図3に併せて示す。原臭気の臭気濃度は41~5,500まで変動しているが、処理臭気はおおむね300以下を維持しており、放電式脱臭法によって良好に処理されていることが確認された。

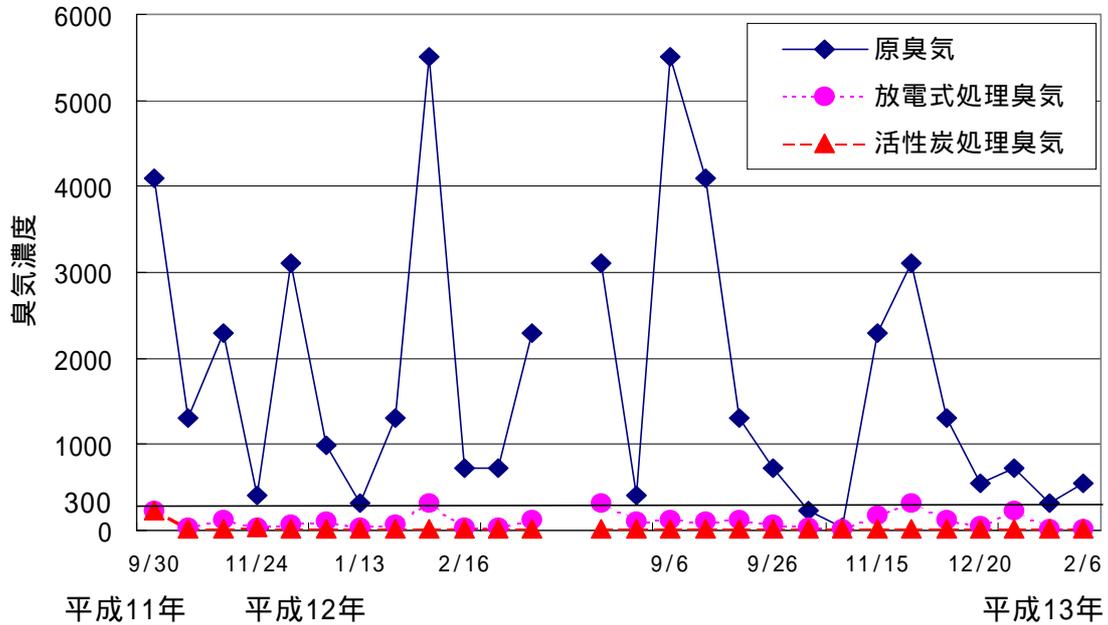


図3 臭気処理結果

5.2 温室効果ガスの挙動調査

温室効果ガス（メタン、二酸化炭素および亜酸化窒素）の発生状況と、放電式脱臭法および活性炭吸着法における温室効果ガスの挙動を把握することを目的とし、温室効果ガスの調査及び比較を行った。

その結果、各温室効果ガスの分析結果は図4・5・6に示すように亜酸化窒素、二酸化炭素は放電式、活性炭とも入口濃度と出口濃度に差は無く、低減効果は認められなかった。

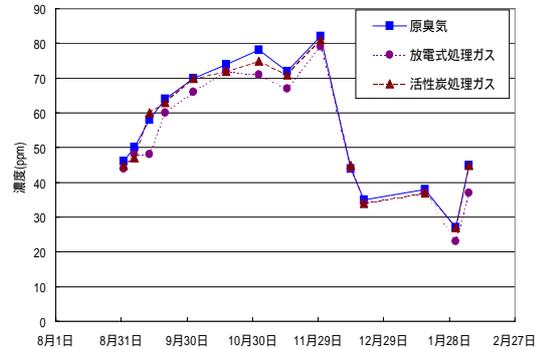


図4 温室効果ガスの濃度（メタン）

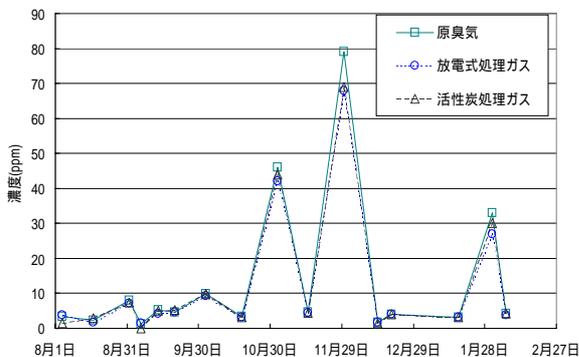


図5 温室効果ガスの濃度（亜酸化窒素）

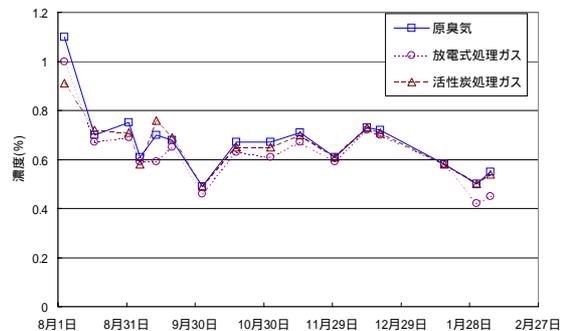


図6 温室効果ガスの濃度（二酸化炭素）

5.3 電極洗浄システムの改良

放電式脱臭装置では、効率のよい放電を維持するために放電電極を一定時間ごとに洗浄し、放電板状に析出した塩類を除去する必要がある。さらに、放電を再開するためには洗浄水を乾燥させなければならない。

放電電極を洗浄・乾燥させる際、平成 11 年度は原臭気を流入させて乾燥を行っていたが、その場合には放電を行わないまま未処理ガスが触媒のみの処理で流出することになり、処理臭気が悪化するとともに、触媒が汚染されて放電再開後しばらくは脱臭効率が低下する恐れがあった。これらの問題点を改善し、かつ電極洗浄システムを確立するために、乾燥方法、洗浄用水について検討を行った。

5.3.1 乾燥ガスの変更

改良を行った概略フローを図 7 に示す。電極の洗浄時には、新しく設置した切替バルブにより、原ガスから外気に切り替えてガスを流通させた。その後、4 ヶ月運転を行ったが良好に処理ができており、問題はないことが確認された。これにより、電極洗浄中及び放電再開後も臭気が悪化することなく処理できるようなシステムとなった。

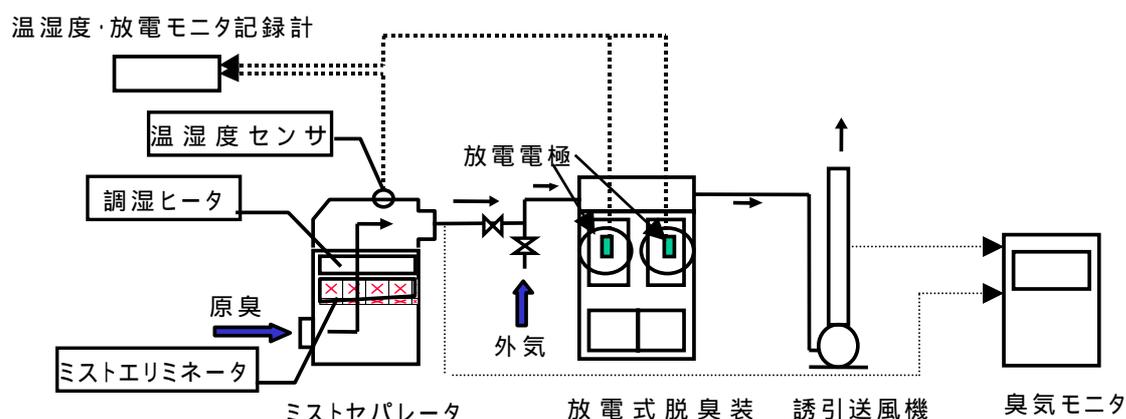


図 7 乾燥ガス変更後のフロー

5.3.2 乾燥時間の検討

電極洗浄時の乾燥用のガスに関し、外気を用いた場合の乾燥に必要な時間を実験的に検討した。その結果、乾燥時間を 3 分以上とした場合には放電が可能であるが、電極寿命や電流の短絡防止などの観点から、乾燥時間は少なくとも 5 分以上必要であると考えられた。乾燥時間と放電の状態は表 1 のとおりである。

5.3.3 電極洗浄水に関する検討

電極洗浄は、放電電極上に析出した塩類を除去して良好な放電を維持することを目的として行うが、洗浄水に要求される水質は表 2 の基準が適当であると考えられた。

表 1 乾燥時間と放電の状態

乾燥時間	状況
1 分	放電起動後、数秒で電源停止
3 分	放電直後、1/2 は未放電 2 分程度で完全放電
5 分	放電直後、一部未放電 20 秒程度で完全放電
10 分	初期より完全放電

表 2 洗浄水の水質基準

蒸発残留物	500mg/l 以下
濁度	2 度以下
硬度	300mg/l 以下
その他重金属類	水道水質基準以下

5.4 高圧電源装置の改良

湿度の変動や電極汚れの影響を受けにくいように電源装置を改良することを目的とし、一次電圧を平成11年度の100Vから200Vを用いた放電システムに変更し、安定性を調査した。また、放電に与える高圧電源の周波数の影響を、放電によって発生するオゾンガス濃度を用いて検討した。

(1) 電極汚れの影響

一次電圧に200V電源を用いることによって、一次電圧の変動や放電電極の汚れなどの影響を受けない安定した放電が可能であることが確認された。

(2) 周波数の影響

周波数が16kHz以下では、発生オゾン濃度は低下するが、16kHzと13.5kHzでは大きな差は認められなかった。発生オゾン濃度が高いことは、触媒に過剰な負担がかかって触媒寿命の短縮を招きかねないことから、周波数は13.5～16kHzの範囲内に設定することが好適であると考えられた。

5.5 放電モニタによる放電エネルギーの制御

放電モニタは、放電時に高圧回路から発生するノイズにより放電の強弱を測定し、放電状態を管理するものである。この放電モニタにより臭気濃度の変動に応じた制御方法を確立することを目的とし、原臭気の臭気濃度と放電モニタの相関を求めることによって、変動する臭気濃度に対する制御の可能性を検討した。さらに放電モニタ値を利用することによる臭気の変動に対する制御性を、硫化水素およびメチルメルカプタンをボンベから供給し、その濃度を変更することによって実験的に検討した。

(1) 原臭気の臭気濃度と放電モニタ値の関係

ニタ値の関係

高圧電源装置のチョッパ電圧を一定とした場合の、原臭気の臭気モニタ値と放電モニタ値の経時変化を図8に示す。原臭気の臭気モニタ値が高くなるほど放電モニタ値が相対的に低下していることが認められ、放電モニタを制御に用いることが可能であると考えられた。

(2) 放電モニタを用いた制御

放電モニタ値が一定となるようにチョッパ電圧を自動変動させた

結果を表3に示す。原臭気の臭気濃度は730～9,800まで変動させたが、いずれの場合も処理臭気の臭気濃度は130以下となっており、良好に処理できたことが確認された。また、放電モニタを一定化する制御を行うことによって、原臭気の臭気濃度の変動に伴ってチョッパ電圧が自動的に引き上げられて放電電力が増加し、本実験の手法で臭気濃度の変動に対して自動制御で常時適切な臭気の処理が行われることが確認された。

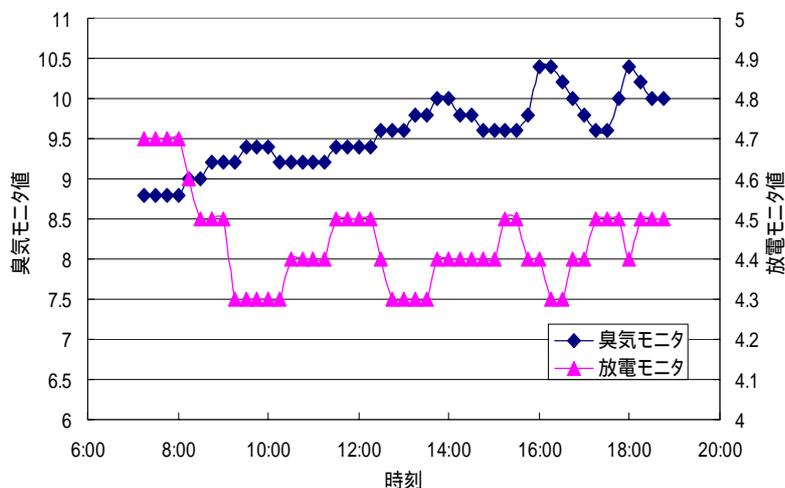


図8 原臭気の臭気モニタ値と放電モニタ値の経時変化

表 3 制御実験結果

Run 番号	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6
入気温度 ()	15.4	15.3	15.3	15.2	15.2	15.3
入気湿度 (%RH)	83.6	-	87.3	-	-	86.7
放電電力 (W)	248	303	389	387	420	415
発生オゾン濃度 (ppm)	1.4	1.8	2.0	2.0	2.0	1.9
硫化水素入口濃度 (ppm)	-	0.15	0.10	0.10	0.24	0.50
メチルメルカプタン入口濃度 (ppm)	-	1.1	2.0	2.5	2.4	-
入口臭気濃度	980	730	1700	2300	3100	9800
出口臭気濃度	41	31	98	31	130	73

Run 1 以外はメチルメルカプタンと硫化水素をガスボンベから供給して実験を行った。

5.6 無負荷運転による触媒再生

放電式脱臭法において、触媒の効果が一時的に低下した場合の対処方法を確立するため、放電式脱臭装置を約7ヶ月運転した後、切替バルブを操作することによって、放電している脱臭装置内に外気を流通させる無負荷運転を行い、無負荷運転前後の臭気処理効果を比較した。なお、無負荷運転は2.5時間行った。

無負荷運転前後の原臭気及び処理臭気の結果を表4に示す。無負荷運転前には臭気濃度低減率が90~92.5%であったものが、無負荷運転を行った後には97.6%まで上昇したことから、臭気除去効果が低下した場合、無負荷運転を行うことによって触媒側の臭気処理効果が復元可能なことが認められた。

表 4 無負荷運転前後の臭気処理状況

サンプル No.	原臭気 臭気濃度	処理臭気 臭気濃度	臭気濃度 低減率 (%)
無負荷運転前			
1	2,300	230	90.0
2	1,300	98	92.5
無負荷運転後			
3	5,500	130	97.6
4	4,100	98	97.6
5	3,100	73	97.6

5.7 放電電極の耐久性向上に関する調査

耐久性の高い放電電極について調査検討するため、従来型電極（銅箔に貴金属メッキを施したもの）とアルミニウム製電極の比較実験を、腐食性の高い硫黄系高濃度の模擬ガスを流通させて処理を行うことにより実験を行った。なお、耐久性の向上のため、アルミニウム電極は放電部の形状を従来型より変更した。

24時間処理を行った電極を写真1に示す。従来型電極は処理を行うことによって電極の劣化が極端に進行したが、それに比べてアルミニウム製電極の劣化は少なかった。したがって、アルミニウム製電極を用いることによって、電極寿命を長くすることが可能であると考えられた。



写真1 放電処理24時間後の電極

左側；アルミニウム電極
右側；従来型電極

5.8 処理副生成物に関する調査

放電式脱臭装置の副生成物を検索し、その毒性について評価するため、処理前後の臭気物質濃度を検討するとともに、処理ガス中の有機物のGC/MSによる探索、及びNO_x、SO₂濃度の測定を行った。

その結果、アセトアルデヒド、プロピオン酸に関しては若干の増加が認められたものの、臭気としての寄与は非常に小さく、また毒性としても問題のない範囲であると考えられた。その他の物質では、トルエンなどが増加傾向に認められる場合があったが、逆に原臭気に対して処理臭気が減少している場合もあり、触媒への吸着による時間遅れによって検出されている可能性があると考えられた。さらに、NO_x、SO₂とも検出限界（NO_x 0.0004ppm、SO₂ 0.0005ppm）以下であり、問題ないと考えられた。

5.9 湿度の影響に関する調査

放電式脱臭法では、触媒表面での結露により触媒が作用しなくなり臭気処理効果が低下することを防止するため、原臭気をヒータで調湿する。相対湿度が高い場合でも安定した処理が可能なシステムを構築すれば、ヒータの負荷が減少すると同時にヒータ稼働時間も短くなり、ランニングコストの低減が可能であると考えられる。このため、ヒータの稼働・非稼働時の臭気処理性能を調査し、さらに、ヒータの運転方法について検討を行った。

原臭気の相対湿度が処理に与える影響を検討した結果、相対湿度が90%以下でも触媒部分で結露しない条件であれば、良好な処理が可能であることが認められた。ただし、高湿度でヒータを稼働させず継続的な運転を行うと臭気除去効果は徐々に低下するため、ヒータが一定時間ごと（例えば30分毎）に稼働するようタイマー制御等を併用することが好ましいと考えられた。

また、気相反応部および触媒部を保温し、ヒータの制御範囲を相対湿度が80～90%とすることにより、ヒータの稼働時間を減少させることができることが示唆された。

6. 下水臭気の処理システムとしての実用性

従来、下水処理場から発生する低濃度系の臭気の処理は主として活性炭による吸着処理が行われてきたが、活性炭吸着法は運転管理面および環境負荷の両面から問題をかかえている。本調査は、活性炭吸着法に代わる低コストで臭気濃度の変動に強い次世代型脱臭装置を開発することを目的とし、平成11年度から放電を利用した脱臭装置の下水処理場水処理施設臭気ガスへの適用の可能性を検討した。

その結果、水処理系の原臭気の臭気濃度は変動幅が非常に大きいですが、放電式脱臭法の連続処理性能調査により、長期間安定した処理性能が得られることが確認された。

平成11年度の調査において課題として挙げられた、放電電極の耐久性の向上、電極洗浄システムの最適化、電源装置の改良および臭気の変動に応じた制御システムの確立に関しても、平成12年度の調査で改良がなされ、実用性を十分に有するレベルになったものと考えられる。

調査の結論として、放電式脱臭装置の特徴を以下にまとめた。

- (1)原臭気の臭気濃度が変動しても、放電モニタによる制御を行うことで常時適切で安定した処理が可能である。
- (2)原臭気の臭気濃度は設計値で10,000程度まで対応可能である。
- (3)寿命予測が困難な活性炭式脱臭に比べて放電式脱臭は消耗品の寿命が明らかであり、維持管理し易い。
- (4)充填材量は活性炭の1/5程度である。
- (5)放電電極の交換は非常に簡単であり、直営で対応可能である。
- (6)設置面積・荷重が小さく、設置場所が限定されにくい。

(7)放電による電力消費量が非常に小さい。

一方で、活性炭に比べて脱臭効果は同等もしくは若干劣るレベルと考えられるが、処理臭気濃度は常に300以下となっていたことが確認された。また、設備費、維持管理費とも活性炭吸着装置と同等以下と試算されている。

以上の事項より、放電式脱臭装置は下水水処理系臭気の処理に対し、十分な適用可能な技術レベルに到達したものと考えている。

なお、今後の課題としては、水処理系以外の臭気ガスに対する放電式脱臭装置の適用可能性の検討が挙げられる。

参考文献

- 1) 東京都下水道局技術調査年報、放電式脱臭技術に関する調査、
p.326～331、平成12年10月

大目次

目次

要旨

ダイオキシン類による健康障害防止のための作業環境調査結果

施設管理部 施設管理課 住田 裕
石田友紀
宮島 潔

1. 目的

強い毒性を有するダイオキシン類は、主に廃棄物焼却の過程で非意図的に生成するといわれている。そのため、廃棄物焼却施設に起因する環境汚染や健康影響が懸念されている。廃棄物焼却炉で点検・作業する人の労働安全衛生のために、労働省（現厚生労働省）は「ダイオキシン類による健康障害防止のための対策について（労働省労働基準局長、平成 11 年 12 月 2 日付基発第 688 号）」を通達として示した。

本調査は、この通達にしたがって、当局の污泥焼却施設における作業環境を評価することを目的とした。

2. 調査内容

2.1 調査場所

- (1) 葛西処理場
- (2) 砂町水処理センター
- (3) 東部スラッジプラント
- (4) ミキシングプラント
- (5) 南部スラッジプラント
- (6) 小台処理場
- (7) 新河岸処理場

2.2 調査期間

平成 12 年 8 月～平成 13 年 3 月

2.3 調査内容

区部污泥焼却炉の屋内作業場（焼却灰搬出所等）、屋外作業場（焼却炉周辺、集塵機周辺等）について、作業環境における空気中のダイオキシン類濃度及び総粉じん濃度を測定し、その結果から作業環境の評価を行った。また、バックグラウンドとして作業場の影響が少ないと考えられる事業所周辺において空気中のダイオキシン類濃度及び総粉じん濃度を測定した。

3. 測定方法

ダイオキシン類及び総粉じんの測定方法、並びに作業環境の評価方法は、「ダイオキシン類による健康障害防止のための対策について」の別紙「ダイオキシン類に係る作業環境測定及び評価方法」によった。

- (1) 測定点の位置及び数

屋内作業場所全体の粉じんの濃度分布を知るために実施する A 測定については、測定点の位置を単位作業場の床面上 0.5 ~ 1.5 m 以下とした。測定点の数は 5 点とした。

屋内及び屋外の作業場で発生源に近接した場所での総粉じん濃度を知るために実施する B 測定については、測定点の位置を粉じん発散源の近接場所とした。測定点の数は、1 点とした。

(2) 測定開始時刻

焼却灰搬出所

灰だし作業の際には粉じんの濃度変動があるため、測定開始時刻をアッシュ車がホッパー室を出て 10 分経過後とした。

焼却灰搬出所以外の作業場

施設が定常状態で稼働している時、粉じんの濃度変動はほとんどないと考えられるため、測定を始める時刻を特に設定しなかった。

(3) ダイオキシン類濃度等の測定方法

ダイオキシン類の測定及び D 値の算出

ダイオキシン類の濃度測定は、ろ過捕集方法及びガスクロマトグラフ質量分析方法により行った。試料採取は、ハイボリウムサンプラーを用いてオープンフェイス型ホルダーにろ過材としてグラスファイバーろ紙を装着し、毎分 500 ℓ の吸引量で行った。サンプリング時間は、ダイオキシン類分析に必要な粉じん量を確保するため 6 時間とした。

また、粉じん中のダイオキシン類含有率 (D 値) を算出するため、粉じんの試料採取をダイオキシン類のそれと同じ条件で別途実施した。D 値は、「空気中のダイオキシン類の濃度」及び「空気中の総粉じんの濃度」を用いて、次式により求めた。

$$D \text{ 値} = \frac{\text{空気中のダイオキシン類の濃度 (pgTEQ/m}^3\text{)}}{\text{空気中の総粉塵の濃度 (mg/m}^3\text{)}}$$

作業環境中の粉じんの試料採取

作業環境中の粉じんの試料採取は、ローボリウムサンプラーを用いてオープンフェイス型ホルダーにろ過材としてグラスファイバーろ紙を装着し、毎分 20 ~ 30 ℓ の吸引量で行った。サンプリング時間は、A 測定、B 測定のいずれも各測定点につき 1 時間とした。

作業環境中のダイオキシン類濃度の推定

で求めた D 値に A または B 測定による粉じん濃度を乗じて作業環境中のダイオキシン類濃度を推定した。

$$\begin{aligned} & \text{作業環境中のダイオキシン類濃度 (pgTEQ/m}^3\text{)} \\ & = D \text{ 値} \times \text{作業環境中の総粉じん濃度 (mg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

(4) ダイオキシン類の作業環境評価

作業環境の評価は、作業環境評価基準に準じて行った。

ダイオキシン類の管理濃度：2.5pgTEQ/m³

管理区分の決定方法

作業場が屋内の場合、A 測定値から推定ダイオキシン類濃度を求め、作業環境評価基準に従って第 1 評価値及び第 2 評価値を計算した。この評価値及び B 測定値から求めた推定ダイオキシン類濃度により、作業環境を第 1 管理区分、第 2 管理区分、

または第3管理区分に分類した。

作業場が屋外の場合、B測定値から推定ダイオキシン類濃度を求め、作業環境を第1管理区分、第2管理区分、または第3管理区分に分類した。

(イ)第1管理区分：ダイオキシン類濃度が管理濃度を超えない状態である。
適切に管理されている作業環境と判断される。

(ロ)第2管理区分：ダイオキシン類濃度が平均的には管理濃度を超えない状態である。改善の余地がある作業環境と判断される。

(ハ)第3管理区分：ダイオキシン類濃度が管理濃度を超える状態である。
改善が必要な作業環境と判断される。

4. 調査結果

(1) ダイオキシン類の測定及びD値の算出

各作業場のダイオキシン類濃度、総粉じん濃度及びD値を表1に示す。作業場におけるダイオキシン類濃度は、0.0028～0.28pg-TEQ/m³の範囲であり、全ての作業場において、

表1 作業場のダイオキシン類濃度、総粉じん濃度及びD値

事業所	測定場所		ダイオキシン類濃度 (pg-TEQ/m ³)	総粉じん濃度(mg/m ³)	D値 (= /)
葛西	焼却炉	焼却灰搬出所	0.0028	0.13	0.022
		集塵機周辺	0.0030	0.08	0.038
		焼却炉周辺	0.0038	0.05	0.076
		事業場周辺	0.0031	0.36	0.0086
砂町	焼却炉	焼却灰搬出所	0.11	0.17	0.65
		集塵機周辺	0.11	0.17	0.65
		焼却炉周辺	0.13	0.09	1.4
東プラ	焼却炉	焼却灰搬出所	0.028	0.39	0.072
		集塵機周辺	0.057	0.14	0.41
		焼却炉周辺	0.12	0.09	1.3
		事業場周辺	0.063	0.04	1.6
小台	焼却炉	焼却灰搬出所	0.018	0.02	0.90
		集塵機周辺	0.017	0.04	0.43
		焼却炉周辺	0.019	0.05	0.38
		事業場周辺	0.018	0.04	0.45
新河岸	焼却炉	焼却灰搬出所	0.24	0.05	4.8
		集塵機周辺	0.18	0.04	4.5
		焼却炉周辺	0.16	0.02	8.0
		事業場周辺	0.17	0.03	5.7
ミキシング プラント		混練機周辺	0.0071	0.53	0.013
		焼却灰搬入所	0.011	0.38	0.029
		養生床	0.0072	1.3	0.0055
		事業場周辺	0.21	0.15	1.4
南プラ	焼却炉	焼却灰搬出所	0.0047	0.27	0.017
		集塵機周辺	0.012	0.24	0.050
		焼却炉周辺	0.042	0.18	0.23
	溶融炉	焼却灰搬出所	0.016	0.33	0.048
		集塵機周辺	0.28	0.10	2.8
		溶融炉周辺	0.22	0.18	1.2
	焼成炉	灰ホッパー周辺	0.0041	0.43	0.0095
		段積み機周辺	0.0039	0.11	0.035
		プレス機周辺	0.042	2.2	0.019
		焼成炉周辺	0.0040	0.06	0.067
	細粒材	袋詰め作業所	0.0057	0.11	0.052
		焼成炉周辺	0.0071	0.03	0.24
造粒施設(1階)		0.0043	0.13	0.033	
事業場周辺		0.0056	0.04	0.14	

ダイオキシン類の管理濃度となる $2.5\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$ 未満であった。また、作業場のダイオキシン類濃度は、事業所周辺(バックグラウンド)と同程度であった。作業場によっては、ミキシングプラントのように、事業所周辺よりもダイオキシン類の濃度が低い測定場所もあった。

粉じん中のダイオキシン類含有率となるD値は、0.0055 ~ 8.0 の範囲であった。D値は、測定場所により3桁程度大きく異なっていた。

(2) 総粉じんから推定したダイオキシン類の濃度及び作業環境の評価

総粉じん濃度とD値から算出したダイオキシン類の推定濃度、作業環境の評価結果を表2~3に示す。A測定によるダイオキシン類推定濃度の第1評価値及びB測定によるダイオキシン類推定濃度は、全ての作業場で管理濃度 $2.5\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$ 未満であった。その結果、全ての作業環境は、作業環境管理が適切であると判断される第1管理区分となった。

表2 作業環境におけるダイオキシン類の推定濃度及び評価結果(その1)
(単位: $\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$)

事業所	調査箇所	A測定による ダイオキシン類濃度 の第1評価値	B測定による ダイオキシン類濃度	評価結果	
葛西	1回目	焼却灰搬出所	0.0030	0.0048	第1管理区分
		集塵機周辺	-	<0.00076	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	0.0015	第1管理区分
		事業所周辺	-	0.0015	-
	2回目	焼却灰搬出所	0.0096	0.011	第1管理区分
		集塵機周辺	-	0.0038	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	0.0015	第1管理区分
		事業所周辺	-	0.0015	-
砂町	1回目	焼却灰搬出所	0.54	0.16	第1管理区分
		集塵機周辺	-	<0.020	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	0.25	第1管理区分
	2回目	焼却灰搬出所	0.29	0.20	第1管理区分
		集塵機周辺	-	0.11	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	0.25	第1管理区分
東部スラ ブリ ン ト	1回目	焼却灰搬出所	0.015	0.0079	第1管理区分
		集塵機周辺	-	0.074	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	0.25	第1管理区分
		事業所周辺	-	0.14	-
	2回目	焼却灰搬出所	0.022	0.0079	第1管理区分
		集塵機周辺	-	0.078	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	<0.026	第1管理区分
		事業所周辺	-	<0.032	-
小台	1回目	焼却灰搬出所	0.061	<0.018	第1管理区分
		集塵機周辺	-	0.022	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	<0.0076	第1管理区分
		事業所周辺	-	0.0090	-
	2回目	焼却灰搬出所	0.37	0.099	第1管理区分
		集塵機周辺	-	0.026	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	0.014	第1管理区分
		事業所周辺	-	<0.0090	-
新河 岸	1回目	焼却灰搬出所	0.54	<0.096	第1管理区分
		集塵機周辺	-	<0.090	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	<0.16	第1管理区分
		事業所周辺	-	0.74	-
	2回目	焼却灰搬出所	0.29	0.096	第1管理区分
		集塵機周辺	-	<0.090	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	0.16	第1管理区分
		事業所周辺	-	<0.11	-

注) ダイオキシン類の管理濃度は、 $2.5\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$ である
(4)

表3 作業環境におけるダイオキシン類の推定濃度及び評価結果(その2)
(単位: pg-TEQ/m³)

事業所	調査箇所	A測定による ダイオキシン類濃度 の第1評価値	B測定による ダイオキシン類濃度	評価結果	
ミキシング プラント	1回目	混練機周辺	0.041	0.0040	第1管理区分
		焼却灰搬入所	-	0.0084	第1管理区分
		養生床	-	0.0013	第1管理区分
		事業所周辺	-	0.13	-
	2回目	混練機周辺	0.077	0.0046	第1管理区分
		焼却灰搬入所	-	<0.00058	第1管理区分
		養生床	-	0.00088	第1管理区分
南部 スラッ ジ プラ ント	1回目	焼却炉 焼却灰搬出所	0.0048	<0.00034	第1管理区分
		焼却炉 集塵機周辺	-	0.0060	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	0.018	第1管理区分
		溶融炉 スラッグ搬出所	-	0.0048	第1管理区分
		溶融炉 集塵機周辺	-	0.084	第1管理区分
		溶融炉周辺	-	0.74	第1管理区分
		焼成炉 灰ホッパ-周辺	0.016	0.0048	第1管理区分
		焼成炉 段積み機周辺	0.011	0.023	第1管理区分
		焼成炉 プレス機周辺	-	0.070	第1管理区分
		焼成炉周辺	-	<0.0013	第1管理区分
	2回目	細粒材 袋詰め作業所	0.014	0.029	第1管理区分
		細粒材 焼成炉周辺	-	0.017	第1管理区分
		細粒材 造粒施設	0.019	0.00099	第1管理区分
		事業所周辺	-	0.0084	-
		焼却炉 焼却灰搬出所	0.0044	<0.00034	第1管理区分
		焼却炉 集塵機周辺	-	0.0045	第1管理区分
		焼却炉周辺	-	0.028	第1管理区分
		溶融炉 スラッグ搬出所	0.030	0.0086	第1管理区分
		溶融炉 集塵機周辺	-	<0.056	第1管理区分
		溶融炉周辺	-	0.24	第1管理区分
焼成炉 灰ホッパ-周辺	0.025	0.0076	第1管理区分		
焼成炉 段積み機周辺	0.028	0.0095	第1管理区分		
焼成炉 プレス機周辺	-	0.040	第1管理区分		
焼成炉周辺	-	0.017	第1管理区分		
細粒材 袋詰め作業所	0.051	0.027	第1管理区分		
細粒材 焼成炉周辺	-	0.019	第1管理区分		
細粒材 造粒施設	0.026	0.0056	第1管理区分		
事業所周辺	-	0.0042	-		

注) ダイオキシン類の管理濃度は、2.5pg-TEQ/m³である

5. 考察

作業環境のダイオキシン類測定方法は、ほとんどのダイオキシン類が粉じんに吸着していることを前提にしている。この方法では、粉じんに吸着しているダイオキシン類の含有率(D値)を算出し、空気中の総粉じん濃度にD値を乗じて、ダイオキシン類の濃度を推定している。

したがって、作業環境中の粉じん濃度が増加するにしたがって、ダイオキシン類の濃度が増加することになる。中央労働災害防止協会労働衛生検査センターの報告¹⁾では、一般廃棄物焼却施設及び産業廃棄物焼却施設の灰だし作業場、電気集塵機等の粉じん発生源周辺、及び施設敷地内において、粉じん濃度及びダイオキシン類濃度を調査した結果、粉じん濃度とダイオキシン類濃度に高い相関関係があったと報告している。そこで、本調査における粉じん濃度とダイオキシン類濃度との関係を検討した。

図1に示すように、本調査では粉じん濃度とダイオキシン類濃度に相関が見られず、粉じん濃度の高い作業場がダイオキシン類濃度が高いという傾向は示していなかった。したがって、当局の施設に関しては、1回目の測定で算出したD値をもとにして、粉じんによりダイオキシン類の作業環境を管理することは、不適切な管理になる可能性が示唆された。

D値算出時の総粉じん濃度が少なく作業環境が比較的良いと考えられる作業場において、D値が大きくなる傾向があった。D値の大きな作業場では、作業等により粉じん濃度が

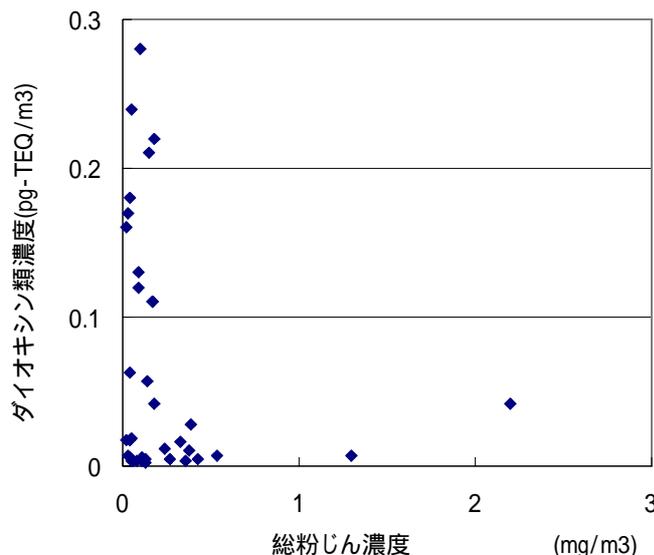


図1 総粉じんとダイオキシン類濃度の関係

高くなると、ダイオキシン類の推定濃度が管理濃度を超える可能性がある。例えば、新河岸処理場の焼却灰搬出所の場合、D値が4.8であるため、総粉じん濃度が $0.6\text{mg}/\text{m}^3$ 程度に上昇するだけで管理濃度 $2.5\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$ を超えてしまう。しかし、総粉じん濃度とダイオキシン類濃度には相関がないとすれば、総粉じん濃度が $0.6\text{mg}/\text{m}^3$ になっても、実際にダイオキシン類が管理濃度を超えることはないと推定される。

一方、総粉じん濃度が高い作業場ではD値が小さい傾向があり、2回目以降の総粉じん濃度の測定で推定ダイオキシン類濃度が管理濃度を超える可能性は低い。

このように、同種の下水汚泥焼却炉であっても作業

表4 焼却灰のダイオキシン類濃度（平成12年度）とD値
（単位：pg-TEQ /mg）

調査施設	調査箇所	焼却灰	D 値		
			灰搬出所	集塵機周辺	焼却炉周辺
葛西処理場	1号炉	0.000081	0.022	0.038	0.076
	2号炉	0.0000011			
	3号炉	0.000048			
	4号炉	0.000020			
砂町水処理センター	9号炉	0.00087	0.65	0.65	1.4
	10号炉	0.00011			
東部スラッジプラント	1号炉	0.000072	0.072	0.41	1.3
	2号炉	0.000021			
小台処理場	2号炉	0.000047	0.90	0.43	0.38
	3号炉	0.0000014			
	4号炉	0.000017			
新河岸処理場	2号炉	0.0016	4.8	4.5	8.0
	3号炉	0.000039			
	4号炉	0.000086			
南部スラッジプラント	1号炉	0.000019	0.017	0.050	0.23
	2号炉	0.000023			
	3号炉	0.000022			
	4号炉	0.000017			
	熔融炉	0.00013			

環境の評価が大きく異なる原因は、作業環境中のダイオキシン類が粉じんに吸着しているという通達の前提が実態と異なり、作業環境のダイオキシン類が粉じん濃度によらないためであると考えられる。焼却灰のダイオキシン類濃度は、表4に示すようにD値に比べ

で数桁小さい値であることから、粉じん濃度が作業環境のダイオキシン類濃度に与える影響は極めて小さいと推測できる。

6.まとめ

当局の污泥焼却施設におけるダイオキシン類の作業環境を調査した結果、以下のことがわかった。

- (1) 全ての作業場において、ダイオキシン類の推定濃度は、管理濃度 $2.5\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$ を下回った。その結果、全ての作業場は、適切に作業環境管理されている第1管理区分となった。
- (2) 作業環境中の総粉じん濃度とダイオキシン類濃度に、相関関係はみられなかった。したがって、D値及び粉じん濃度によりダイオキシン類の作業環境を評価する通達の方法は、当局の下水污泥焼却炉等に関しては適切な方法とはいえないと考えられた。

参考文献

- 1) . 労働省化学物質調査課編：ごみ焼却施設におけるダイオキシン類対策，p18-38, 中央労働災害防止協会（平成10年）

大目次

目次

要旨

- 3 下水道施設における温室効果ガス排出量実態調査

施設管理部施設管理課 住田 裕 鈴木 清志
小池 利和 宮本 彰彦

1. 調査の背景と調査目的

平成9年12月に京都にて開催された気候変動枠組条約締結国会議(COP3)において、日本は2008年から2012年までの期間中に、温室効果ガスの排出量を1990年比で6%削減することとされ、平成10年6月には政府として緊急に推進すべき地球温暖化対策が「地球温暖化対策推進大綱」としてまとめられた。

平成10年10月には「地球温暖化対策の推進に関する法律」(以下、推進法)が公布され、地方公共団体の事務及び事業に関し、温室効果ガス排出抑制等のための実行計画の策定並びに公表、及びその実施状況の公表が義務づけられた。下水道分野においても「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」(以下、「手引き」)が作成され、これに基づき排出量の算定及び計画策定を行うこととされた。

下水道事業は、水環境保全の主要な担い手として生活環境向上に大きく寄与してきた。その一方で、施設運転における電力・燃料等の消費による二酸化炭素(CO₂)の排出や、水処理及び汚泥焼却のプロセスでのメタン(CH₄)や一酸化二窒素(N₂O)の排出など、地球温暖化の原因者としての面も持ち合わせており、自ら出す温室効果ガス排出量の削減対策の積極的な推進が求められている。

推進法で規定した6種の温室効果ガスのうち下水道事業に関連するものはCO₂、CH₄、N₂Oである。N₂Oは表1に示すように地球温暖化に対する寄与の程度をCO₂の比で示した地球温暖化係数が310と最も大きく、その影響は大きい。また、総排出量は排出源毎に定められた排出係数(排出量原単位)を用いて算定することとされているが、N₂Oは、その発生メカニズム等未だ不明であり、水処理プロセスからの排出係数も確定していない。そのため、推進法でも「手引き」でも水処理プロセスからのN₂Oは考慮していないが、下水道施設から発生するN₂Oは無視できるほど少量ではなく、全体量(総排出量)への寄与が大きいと考えられる。

表1 温室効果ガス地球温暖化係数

物質名	地球温暖化係数
二酸化炭素(CO ₂)	1
メタン(CH ₄)	21
一酸化二窒素(N ₂ O)	310

政令では、自治体独自で排出係数を持っている場合には、それを用いて総排出量を算定してよいこととされており、今後の削減計画策定のためにも、N₂Oを含めた区部下水道独自の排出係数を調査する必要があると考えられる。

本調査は下水道施設からのN₂O、CH₄排出量の実測調査を実施し、データ解析を行い、排出係数(単位下水処理量あたりの各温室効果ガス排出量)を把握し、温室効果ガス排出量削減計画の策定のための資料作成を目的として行ったものである。

本調査は下水道施設からのN₂O、CH₄排出量の実測調査を実施し、データ解析を行い、排出係数(単位下水処理量あたりの各温室効果ガス排出量)を把握し、温室効果ガス排出量削減計画の策定のための資料作成を目的として行ったものである。

2. 調査内容

2.1 温室効果ガス(N₂O、CH₄)排出量の測定

調査対象事業所及び主な調査内容は表2のとおりである。

水処理プロセスにおける調査は、水処理状況から判断し、葛西、新河岸、芝浦、中川の

表 2 調査対象事業所

事業所名 (選定理由)	処理プロセス	調査対象系列	主な調査内容
葛西処理場 (硝化促進運転)	水処理	北系 5,6号槽 7,8号槽	<ul style="list-style-type: none"> 第一沈殿池のスポット測定 生物反応槽の連続測定 生物反応槽のスポット測定 第二沈殿池のスポット測定 脱臭設備のスポット測定
	汚泥処理	4号焼却炉(流動床炉)	<ul style="list-style-type: none"> 焼却排ガスのスポット測定
新河岸処理場 (硝化抑制運転)	水処理	南系 12号槽	<ul style="list-style-type: none"> 第一沈殿池のスポット測定 生物反応槽の連続測定 生物反応槽のスポット測定 第二沈殿池のスポット測定 脱臭設備のスポット測定
	汚泥処理	2号焼却炉(多段炉) 3号焼却炉(流動床炉) 4号焼却炉(流動床炉)	<ul style="list-style-type: none"> 焼却排ガスの連続測定 焼却排ガスのスポット測定
芝浦処理場 (と の 中間)	水処理	本系深層曝気 1,4号槽	<ul style="list-style-type: none"> 生物反応槽の連続測定 脱臭設備のスポット測定
中川処理場 (将来導入計画 の高度処理運転)	水処理	1-5,1-6号槽(A ₂ O法) 1-7,1-8号槽(AO法) 2-5~2-8号槽(標準法)	<ul style="list-style-type: none"> 生物反応槽の連続測定 生物反応槽のスポット測定

4 処理場とした。

また、焼却プロセスから排出されるガスの実態と、排煙処理装置等既存設備による温室効果ガス排出除去効果を調査するため、流動床炉、多段炉について実施した。

なお、N₂O、CH₄の濃度測定については、スポット測定と連続測定を行った。ここで、スポット測定とはガス試料を採取して試験室にて分析を行う方法であり、連続測定とは連続測定装置を使用して連続的にガス中濃度の挙動を把握する方法をいう。

2.2 測定・分析方法

2.2.1 スポット測定

スポット測定における分析方法を表3に示す。このうち、水処理プロセスにおいてはN₂O、CH₄を測定した。各項目とも、1回あたり3度採取、分析して平均値を採用した。

表 3 測定項目と分析方法

項目	分析方法
CH ₄	水素炎イオン化検出器(FID)付ガスクロマトグラフ法、JIS K 0114
N ₂ O	電子捕獲検出器(ECD)付ガスクロマトグラフ法、JIS K 0114
O ₂ , CO, CO ₂ , N ₂	オルザットガス分析等
NO _x	JIS K 0104
SO _x	JIS K 0103
水分量、流速、温度	JIS Z 8808
含水率及び強熱減量	JIS K 0102 又は下水試験方法 2 編 4 章 6 節
全窒素	下水試験方法 2 編 4 章 17 節

2.2.2 連続測定

連続測定は、分析計(非分散型赤外線分析計:堀場製作所VIA-510型分析計)及びサンプリングユニット(堀場製作所ES-510)を組み合わせで行った。測定結果は22.5秒毎に自動記録し、その10分平均値を1プロットデータとした。

2.3 検討内容

「手引き」を参考に次の各項目について解析し、温室効果ガス排出量削減計画についての基礎資料の作成を行った。

2.3.1 本年度測定結果

測定・分析した結果をとりまとめ、排出量の変動要因について解析を行った。

2.3.2 排出係数の確定

第一沈殿池、第二沈殿池、生物反応槽における各処理区分（硝酸型・亜硝酸型・硝化脱窒型・未硝化型）及び汚泥焼却排ガスについての N_2O 、 CH_4 の単量（水量、汚泥量）当りの排出量（排出量原単位、排出係数）を算出した。

3. 実態調査結果及び考察

スポット測定は、主として第一沈殿池と第二沈殿池、脱臭設備の出入口、及び焼却炉排ガスについて調査し、基本的に日間3回の試料採取を行い、各々の試料について分析を行った。連続測定は主に生物反応槽及び一部の焼却炉排ガスについて実施した。

3.1 水処理プロセスにおける調査結果

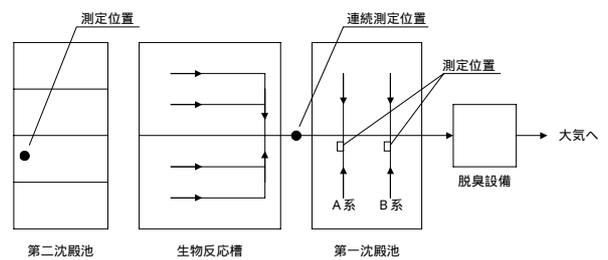
葛西処理場の水処理プロセスにおける調査箇所を図1、新河岸処理場の水処理プロセスにおける調査箇所を図2に示す。

3.1.1 第一沈殿池における実態調査

調査時の葛西処理場における水質状況については、夏季には処理水のアンモニア性窒素は0.1mg/Lと低く、硝化が充分進んでいたが、秋季から冬季にかけては処理水中にアンモニア性窒素が1.2mg/L、3.5mg/L残存していた。一方、新河岸処理場の水質状況については、夏季・秋季・冬季とも処理水のアンモニア性窒素が12~19mg/Lと高く、硝化がほとんど進まず未硝化の状況であった。

調査結果を表4に示すが、 N_2O については、葛西処理場で夏季3.0~5.3ppm、秋季5.3~6.8ppm、冬季は28~33ppmと冬季が高くなっている。新河岸処理場も同様である。これは、流入下水の全窒素濃度が冬季は高くなっていることと一致するが、第一沈殿池における N_2O の発生機構は明確でなく因果関係は不明である。

一方、 CH_4 については、 N_2O と傾向が逆になり、両処理場とも冬季が低くなっている。 CH_4 は汚水が嫌気状態で腐敗して発生することから、気温、水温の高い夏季は腐敗が進行しやすく、 CH_4 濃度が高くなると考えられる。腐敗の進行は、処理場までの流入管渠内や第一沈殿池内での滞留により生じると考えられる。



図中の矢印は排気の誘引方向を示す

図1 調査箇所（葛西処理場：水処理系）

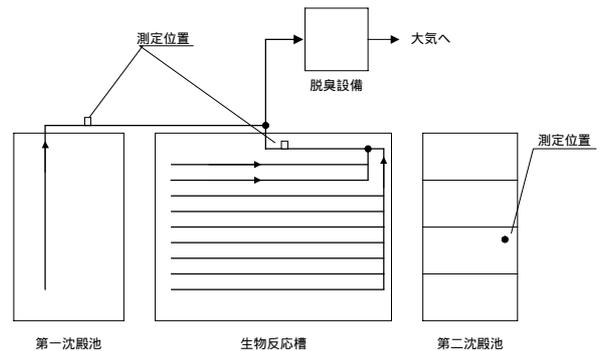


図2 調査箇所（新河岸処理場：水処理系）

表4 第一沈殿池におけるスポット測定結果

(単位 ppm)		葛西処理場			新河岸処理場		
		夏期	秋期	冬期	夏期	秋期	冬期
N_2O	A系	5.3	6.8	33	1.4	1.9	11.5
	B系	3.0	5.3	28			
CH_4	A系	587	570	108	687	530	340
	B系	207	333	104			

・ A系は生物反応槽側、B系は流入側
 ・ 各測定日とも値は3回の平均である

3.1.2 第二沈殿池における実態調査

調査結果を表5に示す。第二沈殿池は脱臭ダクトが無いため、水面から発生するガスを捕集器（チャンバー）により捕集し、当初の捕集器内濃度と約3時間後の捕集器内濃度の差を発生量とした。

表5 第二沈殿池におけるスポット測定結果

(ppm)	葛西処理場			新河岸処理場		
	夏期	秋期	冬期	夏期	秋期	冬期
	H12.9.12	H12.11.7	H13.2.13	H12.9.21	H12.11.7	H13.2.9
N ₂ O	0.5	1.3	15.5	0.5	0.3	0.2
CH ₄	24.9	2.1	2.6	2.0	2.0	1.5

・各測定日とも値は3回の平均である

葛西処理場では第一沈殿池の傾向と同じく、N₂Oについては冬季に高く、CH₄については夏期に高くなっている。原因として、処理水の全窒素濃度が冬季に高く（夏期 9.5、秋期 13.6、冬期 16.3mg/L）、後述するが生物反応槽からのN₂O濃度も2月、3月に高くなっており、曝気で気散しなかった残存分が第二沈殿池で気散したと考えられる。また、第二沈殿池におけるCH₄の発生は、沈殿した活性汚泥層内の嫌氣的な部分におけるメタン発酵が挙げられ、その他は第一沈殿池及び生物反応槽からの残存分であると考えられる。夏期に濃度が高いのは第一沈殿池と同様に腐敗の影響が考えられる。

一方、新河岸処理場についてはN₂O、CH₄とも季節による差は見られなかった。

3.1.3 生物反応槽における連続測定調査結果

(1) 葛西処理場

平成12年9月から平成13年3月までの約7ヶ月間実施した。

(N₂O)水中での微生物の活動に伴い発生するN₂Oは、硝化過程においても脱窒過程においても発生するため、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素との関連が大きいといえる。葛西処理場の生物反応槽においては完全硝化までは至らないものの硝化反応は進行しており、返送汚泥中の硝酸、亜硝酸による脱窒も行われている。

処理水の日常試験データを見ると、9月から11月まではアンモニア性窒素は2mg/L程度と低く、硝酸性窒素は10mg/L程度、亜硝酸性窒素は0.5mg/L以下であった。12月以降はアンモニア性窒素が徐々に増加し2月には4~12mg/L、硝酸性窒素はやや低くなったが、亜硝酸性窒素は増加し2月は1~2mg/Lであった。

このような水質の変化に対しN₂O濃度は、日間変動は大きいものの、11、2、3月は全体的に高くなった。また、11月中旬、年末年始、2月初旬に流入水量が急激に低下した際に高くなる傾向がみられた。これは、雨水による希釈の影響がなくなり、処理が安定してきたところに一時的に高くなるものと考えられる。他の調査事例においても突発的に高濃度となる現象がみられており、原因として流入水量の減少に伴う曝気風量の変化が考えられるが詳細は不明である。

(CH₄)N₂Oと同様に濃度の時間及び日間変動が

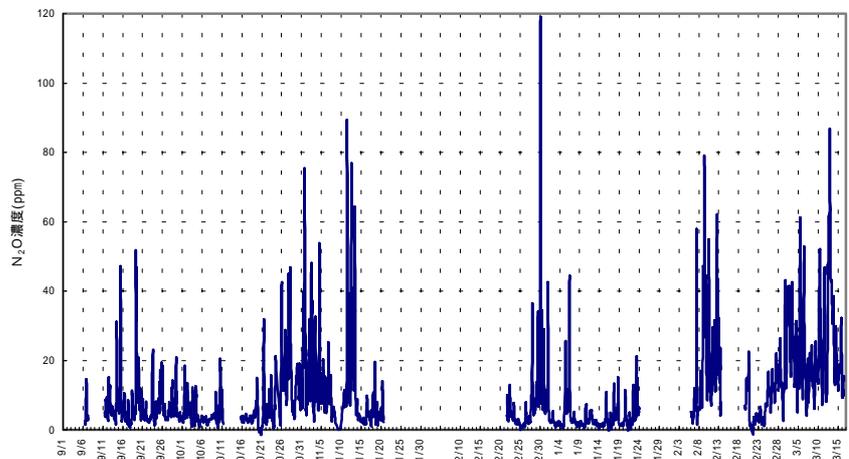


図3 生物反応槽におけるN₂O濃度変化 葛西処理場

大きい。時間変動のパターンは午前から昼頃までが高い時間帯であり、深夜から早朝にかけて低くなっている。ピーク濃度は夏期に高く 100ppm を越えることもあり、生物反応槽における CH_4 の発生は、生物反応槽で生成されたものが気散するというより、第一沈殿池までの過程で生成したものが、曝気されることにより気散する現象であると解釈できる。よって発生量は生物反応槽流入までに生成された CH_4 量に依存するため、第一沈殿池の変化の傾向と一致すると考えられる。

(2) 新河岸処理場

平成 12 年 9 月から 12 月までと、12 月末から平成 13 年 1 月までの期間、 N_2O の連続測定を実施した。結果は以下のとおりである。

葛西処理場と同様、時間、及び日間変動が大きい。

10 月に濃度が高くなる期間がみられるが、この期間はアンモニア性窒素が最高値で 10mg/L 以下で、亜硝酸性窒素の濃度が 1~2mg/L と高く、他の時期が未硝化の状態であるのに対し、硝化が多少とも進行したため N_2O が発生しやすくなったと考えられる。

10 月の中旬は降雨もなく、流入水量が少なく安定していたため、滞留時間が長くなり硝化がやや進行し、 N_2O が発生しやすくなった。

また、新河岸処理場では連続測定結果との比較のため、スポット測定も実施した。(表 6)

N_2O については連続測定と同様な濃度を確認でき、連続測定の有効性が確認できた。 CH_4 については夏期 75ppm、秋期 65ppm と比較して、冬期は 38ppm と低くなっており、第一沈殿池における傾向と同様であった。

(3) 芝浦処理場

平成 13 年 1 月、3 月に、 N_2O の連続測定を実施し、結果は以下のとおりである。他処理場と同様に時間、日間変動が大きい。

1 月の調査時前半は雪の影響による水温低下や希釈のため N_2O 濃度は低く、晴天の続いた数日後より高くなってきた。

3 月の調査時前半は降雨の影響のため N_2O 濃度は低く、10 日頃から高くなった。(図 5)

3 月の調査期間中は、10 日を境にしてアンモニア性窒素は最大 20mg/L であった

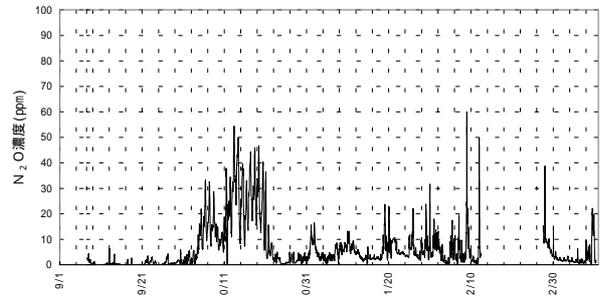


図 4 生物反応槽における N_2O 濃度変化 新河岸処理場

表 6 生物反応槽における測定結果 スポット測定：新河岸処理場

(単位 ppm)		夏期	秋季	冬季
		H12.9.21	H12.11.7	H13.2.9
N_2O	1 回目 10:30	3.3	7.4	0.6
	2 回目 13:30	1.2	6.5	0.6
	3 回目 16:20	0.4	5.3	0.6
	平均値	1.6	6.4	0.6
CH_4	1 回目 10:30	68	81	38
	2 回目 13:30	77	67	42
	3 回目 16:20	79	48	35
	平均値	75	65	38

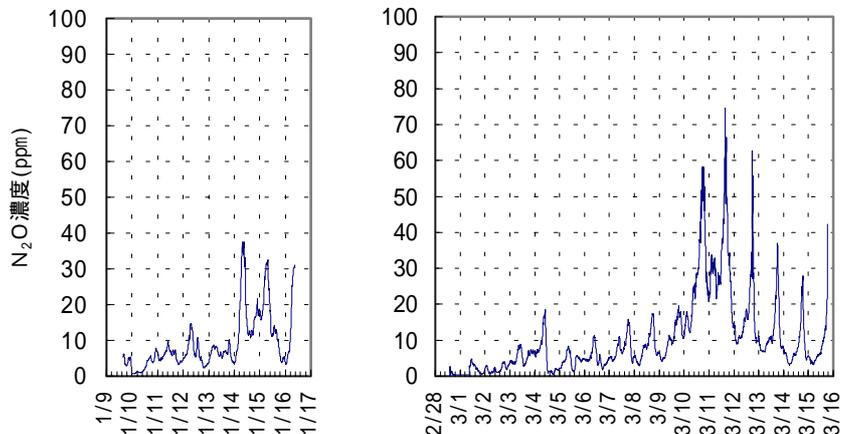


図 5 生物反応槽における N_2O 濃度変化 芝浦処理場

ものが最大 10mg/L と低くなっており、一方、硝酸性窒素は 1~6mg/L から 6~9mg/L と高くなっていることから、硝化が進み N₂O が高くなったと考えられる。日間変動では流入水量が少なくなると N₂O が高くなる傾向がみられる。

(4) 中川処理場

A₂O、A/O、標準法の各系列について、平成 13 年 1 月、2 月に N₂O の連続測定を、また、3 月 2 日には N₂O、CH₄ のスポット測定を実施した。結果は以下のとおりである。時間、及び日間変動がある。

A₂O 法については調査期間を通じて 0.3~2ppm と低い濃度で、突出したピークもない。A/O 法では 5~70ppm、標準法では 0~20ppm の範囲で A₂O 法に比較して高い濃度である。A/O 法及び標準法については、日間における変動パターンに規則性があるが、流入水量が増えると N₂O が高くなる傾向がある。スポット測定の結果は以下のとおりである。N₂O 濃度は、A/O 法 2.0ppm、標準法 1.7ppm に対し、A₂O 法は 0.4~0.5ppm と低く、その傾向は連続測定結果と同様であるが、その差は連続測定と比較してきわめて小さい。

CH₄ 濃度は、A/O 法が 37ppm、標準法が 28ppm、A₂O 法は 18~32ppm であり、各処理方法ともほぼ同レベルの濃度を示した。

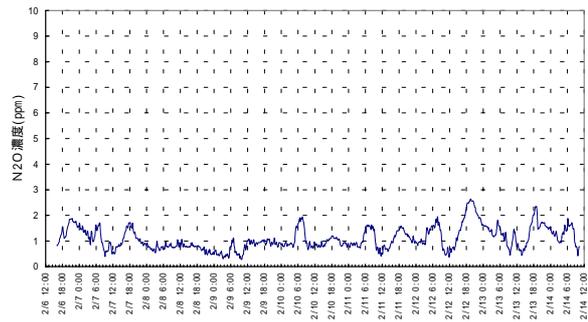


図 6-1 生物反応槽における N₂O 濃度変化
中川処理場 A₂O 法

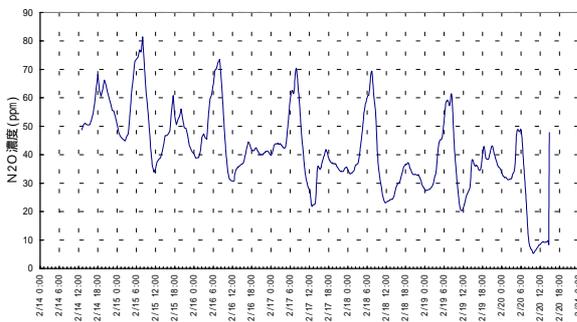


図 6-2 生物反応槽における N₂O 濃度変化
中川処理場：A/O 法

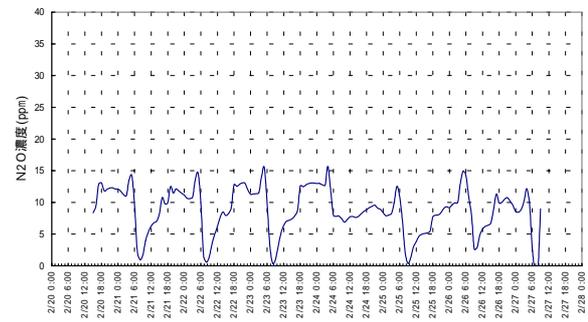


図 6-3 生物反応槽における N₂O 濃度変化
中川処理場：標準法

3.2 汚泥プロセスにおける調査結果

排ガス調査は葛西処理場及び新河岸処理場において実施した。測定箇所は、排ガス処理装置における温室効果ガスの除去状況を把握するため、排ガス処理装置の入口及び出口とし、N₂O、CH₄、窒素酸化物、硫黄酸化物、一酸化炭素、二酸化炭素、酸素等の濃度を調査した。葛西処理場では流動床焼却炉のガス試料のスポット測定を行い、新河岸処理場では流動焼却炉と多段焼却炉についてスポット測定及び連続測定を行った。

3.2.1 流動床炉における実態調査

測定箇所を、図 7 のフローに示す。

調査時における焼却炉の運転状況を、表 7 に示す。1 日の投入ケーキ量は、葛

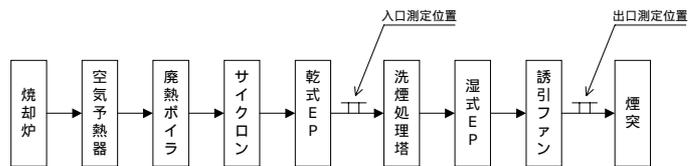


図 7 汚泥焼却炉調査箇所 (葛西処理場 4 号炉)

西処理場で 230～300 t / 日、新河岸処理場で 200～257 t / 日であった。排ガス量は投入ケーキ量に反して冬季に多かった。

表 7 焼却炉（流動床）の運転状況

	調査時期	投入ケーキ量	排ガス量
葛西・4号炉 定格 300t/日	夏期(H12.9.5)	300 t / 日	27,300m ³ N/h
	秋期(H12.11.9)	277 t / 日	27,700m ³ N/h
	冬期(H13.2.19)	234 t / 日	29,100m ³ N/h
新河岸・4号炉 定格 250t/日	夏期(H12.9.19)	257 t / 日	22,000m ³ N/h
	冬期(H13.2.26)	201 t / 日	26,200m ³ N/h

排ガス量は現場での実測値（3回測定の平均）

排ガスの調査結果を表 8 に示す。結果を整理すると以下のとおりである。

排ガス処理装置入口での排ガス中の各濃度は SO_x が 180～870ppm、NO_x は 10ppm 程度、N₂O は 260～530ppm、CH₄ については全て 1ppm 以下である。排ガス処理装置により除去されて

いるのは SO_x、NO_x であり、N₂O は装置前後の濃度差はほとんどない状況である。排ガス処理装置出口の N₂O の濃度は 260～520ppm の範囲である。

以上より、流動床焼却炉から排出される温室効果ガスは、CH₄ はほとんどないものの、N₂O が最大で 500ppm と高濃度であることが確認された。

3.2.2 多段炉における実態調査

新河岸処理場における多段炉排ガスの測定箇所を図 8 に示す。また、ここでは N₂O の連続測定も行った。調査時における焼却炉の運転状況を表 9 に示す。1 日の投入ケーキ量は、187 t であり、能力(250 t)に対して 75% 程度の運転であった

表 8 汚泥焼却炉（流動床炉）排ガス測定結果

		葛西処理場（4号炉）						新河岸処理場(3,4号炉)			
		夏季		秋季		冬季		夏季		冬季	
		入口	出口	入口	出口	入口	出口	入口	出口	入口	出口
N ₂ O	(ppm)	300	317	533	513	497	490	377	370	260	263
CH ₄	(ppm)	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
SO _x	(ppm)	870	<5	180	<5	370	<5	417	<5	360	<5
NO _x	(ppm)	10	<10	10	<10	12	<11	<10	<10	<10	<10
CO ₂	(%)	9.5	9.6	8.3	8.2	7.8	7.7	9.9	9.4	10.1	9.7
O ₂	(%)		9.4		10.1		11.3	9.1	9.6	8.8	9.5
CO	(%)		0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N ₂	(%)		81.0		81.7		81.0	81.0	81.0	81.0	80.9
温度	()		53		45		36	227	43	314	36
水分量	(%)		7.4		4.3		2.3	30.7	3.9	36.5	2.7
流量	(m ³ N/h)		27,300		27,667		29,133	19,333	21,967	23,100	26,233

葛西処理場の入口側は構造上流量については測定できなかった。各値は 3 回の平均値。

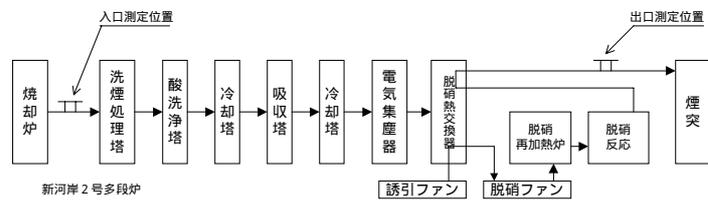


図 8 汚泥焼却炉調査箇所
新河岸処理場 2号炉

表 9 焼却炉（新河岸処理場：多段炉）の運転状況

調査時期	投入ケーキ量	排ガス量
秋季(H12.12.8)	187 t / 日	36,900m ³ N/h

測定結果を表 10 に示す。結果を整理すると以下のとおりである。

排ガス成分は、排ガス処理装置入口で、流動床と比較して SO_x が低く、 NO_x が高い。排ガス処理によって除去されているのは、 SO_x 、 NO_x 、 CH_4 であり、 N_2O は、排ガス処理装置前後の濃度差はほとんどない。

排ガス処理出口の N_2O の濃度は 110 ~ 130ppm の範囲であり、流動床の約 1/2 であった。

CO_2 、 N_2 、 CO 、 O_2 についても排ガス処理前後で大きな変化はなかった。

表 10 汚泥焼却炉（多段炉）
排ガス測定結果

		新河岸処理場 (2号炉)	
		秋季	
		入口	出口
N_2O	(ppm)	137	120
CH_4	(ppm)	20	12
SO_x	(ppm)	140	<5
NO_x	(ppm)	109	25
CO_2	(%)	6.9	6.7
O_2	(%)	12.8	13.1
CO	(%)	0.0	0.0
N_2	(%)	80.3	80.2
温度	()	336	162
水分量	(%)	27.6	3.8
流量	(m^3N/h)	27,100	36,933

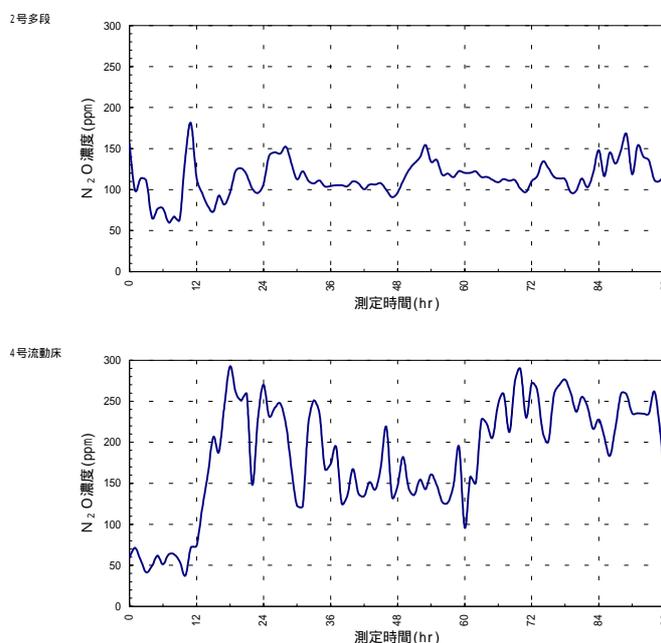


図 9 排ガス処理出口の N_2O 濃度
連続測定結果
(新河岸：上段が多段炉、下段が流動床炉)

3.2.3 連続測定結果

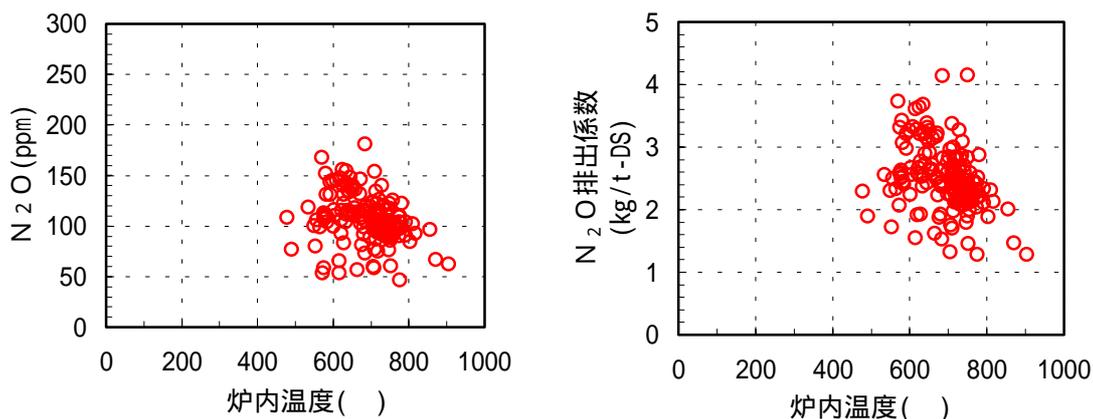
新河岸処理場では、流動床炉及び多段炉の排ガス処理出口の N_2O 濃度について、各 4 日間の連続測定を実施した。その結果を図 9 に示す。

排ガス中の N_2O 濃度は一定ではなく変動が見られるが、生物反応槽の濃度変動と比較するとその変動幅は小さい。スポット調査でも明らかのように、 N_2O 濃度は流動床炉が多段炉と比較して高い値を示している。

また、各運転データから N_2O 濃度の変動要因について検討を行ったところ、以下のような傾向がみられた。

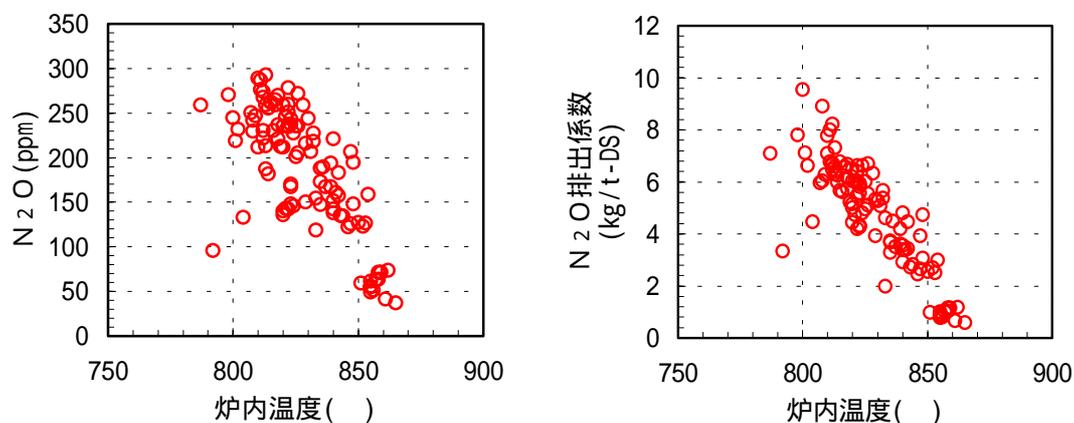
燃焼温度との関係では多段炉、流動床炉とも燃焼温度が高い方が N_2O 濃度は低い。また、後述する排出係数も同様である。(図 10) これは、「手引き」に示されている内容と一致する。

投入汚泥量の急激な変化は、炉内温度に変化が生じ、 N_2O の排出量に影響を与える。流動床炉では、排ガス中の O_2 濃度が高い方が N_2O 濃度は高くなり、同様に CO 濃度が高い方が N_2O 濃度は高くなる。(図 11)



炉内温度は5段目のものである。

図 10-1 炉内温度とN₂O濃度及び排出量との関係（多段炉）



炉内温度はフリーボード上部のものである。

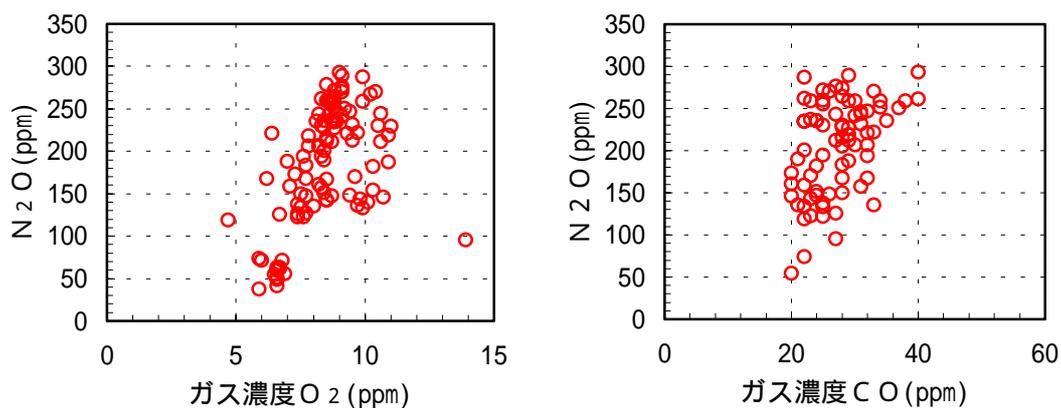


図 11 O₂及びCOとN₂O濃度との関係（流動床炉）

3.3 脱臭設備の実態

調査対象とした葛西処理場、新河岸処理場及び芝浦処理場の脱臭設備は活性炭吸着法である。脱臭設備前後のN₂O、CH₄の測定結果を表11に示す。N₂O、CH₄ともに活性

炭入口、出口ともほぼ同じ濃度であり、脱臭設備における減少（除去）は見られない。活性炭による温室効果ガスの除去はほとんど行われていないことが確認された。

なお、 CH_4 については出口の方が数ppm（5%程度）高くなっていることもあるが、ほとんど同濃度もしくは誤差範囲といえる。この原因としては、入口、出口のサンプリングに若干の時間差があったことから、このときに濃度変化があったこと、サンプリングそのものに要した時間が数秒程度と短く、このときに排ガス濃度が変化したことなどが考えられる。

表 11 脱臭設備における測定結果

処理場名	CH_4 (ppm)			N_2O (ppm)		
		活性炭入	活性炭出		活性炭入	活性炭出
葛西	10:00	28	31	10:00	7.4	7.5
	13:00	37	38	13:00	12.0	12.0
	16:00	65	63	16:00	8.3	8.0
	平均	43.3	44.0	平均	9.2	9.2
新河岸	10:00	85	87	10:00	15.0	15.0
	13:00	100	100	13:00	8.1	8.1
	16:00	84	95	16:00	3.9	4.0
	平均	89.7	94.0	平均	9.0	9.0
芝浦	9:45	48	48	9:45	3.4	3.6
	11:30	46	51	11:30	4.6	4.8
	平均	47.0	49.5	平均	4.0	4.2
	全平均	62	64	全平均	7.8	7.9

4. 排出係数の検討

「温暖化防止対策実行計画の策定」においては、既存施設からの排出量を算定する必要があり、発電エネルギーに要した温室効果ガス発生量等の項目別排出係数が定められている。この排出係数とはすなわち、単位量当りの温室効果ガスの発生量であり、下水道施設においては、水処理プロセス、汚泥処理プロセスが主な発生源となる。

本調査の目的は、実測を行った各プロセス毎に単位水量（もしくは単位汚泥量）当りの N_2O ガス排出量及び CH_4 ガス排出量を算出し、これを排出係数として削減計画資料作成のための基礎データとすることである。実態調査における N_2O 、 CH_4 濃度の測定結果及びダクトの風量測定結果を基に、各処理プロセスからの温室効果ガスの発生量を算出し、単位処理水量（もしくは脱水ケーキ）当りの排出係数を検討した。

なお、算出方法については「下水道の長期的技術開発に関する基礎調査完了報告書」（平成9年3月、下水道技術開発連絡会議）の資料編に示された、発生量の計算手法に従った。

また、排出係数の算出に際しては、連続測定を行った生物反応槽及び焼却炉については連続データを使用し、第一沈殿池および第二沈殿池についてはスポット調査の結果を用いることとした。

4.1 水処理プロセスにおける単位水量当りの排出量の算定

(1) スポット調査における排出量の算定

夏季、秋季、冬季それぞれのスポット調査結果と、調査時の施設運転状況から第一沈殿池及び第二沈殿池からの排出量を求めた。

第一沈殿池

実測した、第一沈殿池脱臭ダクトにおける N_2O 、 CH_4 濃度を重量濃度換算し、これに風量を乗じて1日当りの排出量を求める。次に、排出量を同一日の第一沈殿池流入水量で除したものが、流入水量当りの第一沈殿池からの排出量と表現することができる。第一沈殿池の風量等は常時計測されておらず、実測調査の数値によって求めることとする。

表12に上記の手順で算出した第一沈殿池からの排出量を示す。 CH_4 の排出量は、夏季、秋季、冬季の年間平均で、流入下水1 m^3 当り葛西処理場は0.090g、新河岸処理場は0.341

gである。2処理場を比較すると、新河岸処理場の方が排出係数は大きい。これは、測定濃度が新河岸処理場の方が高かったことと一致する。一方、N₂Oの排出量は、年間3回の平均値で流入下水1 m³当り、葛西処理場が 1.27 × 10⁻² g、新河岸処理場が 0.806 × 10⁻² gであり、新河岸処理場が排出係数が小さい。これについても、新河岸処理場の測定濃度が低かったことから推測できる。

第二沈殿池

第一沈殿池と同様に、実測したN₂O濃度を重量濃度換算し、これに沈殿池の水面積を乗じて1日当りの排出量を求める。

次に、排出量を同一日の第二沈殿池流入水量で除したものが、流入水量当りの第二沈殿池からの排出量と表現することができる。第二沈殿池水面はオープンの状態です。脱臭のために誘引されてもいないため、風量等は計測されておらず、全て実測調査の数値によって求めることとする。

表 13 に上記の手順で算出した第二沈殿池からの排出量を示す。CH₄の排出量は、年間3回の平均値で流入下水1 m³当り、葛西処理場は 0.817 × 10⁻³ g、新河岸処理場は 0.413 × 10⁻³ gであり、新河岸処理場の方が排出係数は小さい。原因として、沈殿池の形状、生物反応槽における曝気状況、第二沈殿池流入までの過程におけるメタン残存状況等が考えられるが、本調査結果からは特定できない。また、N₂Oの排出量は、年間3回の平均値で流入下水1 m³当り、葛西処理場は 0.301 × 10⁻³ g、新河岸処理場が 0.047 × 10⁻³ gであり、新河岸処理場の方が排出係数は小さい。これは、測定濃度が新河岸処理場の方が低かったことから推測できる。

(2) 連続測定における排出量の算定

生物反応槽からの温室効果ガスの発生量については、4処理場におけるN₂O濃度の連続測定、及び葛西処理場におけるCH₄濃度の連続測定データを図12に示す算出手順にしたがい、単位処理水量当りの排出量(排出係数)を算出した。

他の調査事例における単位処理水量当りの排出量の算出においては、主として1日数回測定したスポット測定値の平均を1日の代表値として用いているが、本調査での算定は、時間当りの積み上げ値となるためスポット測定に比べて時間変動を吸収し、スポット測定値よりも精度は高くなると考えられる。

表 12 第一沈殿池からの排出量

		CH ₄		N ₂ O	
		葛西	新河岸	葛西	新河岸
第一沈殿池	夏季	0.102	0.385	2.74 × 10 ⁻³	1.62 × 10 ⁻³
	秋季	0.130	0.428	4.62 × 10 ⁻³	3.46 × 10 ⁻³
	冬季	0.038	0.210	3.06 × 10 ⁻²	1.91 × 10 ⁻²
	平均	0.090	0.341	1.27 × 10 ⁻²	8.06 × 10 ⁻³

表 13 第二沈殿池からの排出量

		CH ₄		N ₂ O	
		葛西	新河岸	葛西	新河岸
第二沈殿池	夏季	2.02 × 10 ⁻³	1.07 × 10 ⁻³	0.121 × 10 ⁻³	0.073 × 10 ⁻³
	秋季	0.20 × 10 ⁻³	0.101 × 10 ⁻³	0.363 × 10 ⁻³	0.043 × 10 ⁻³
	冬季	0.23 × 10 ⁻³	0.067 × 10 ⁻³	0.420 × 10 ⁻³	0.026 × 10 ⁻³
	平均	0.817 × 10 ⁻³	0.413 × 10 ⁻³	0.301 × 10 ⁻³	0.047 × 10 ⁻³

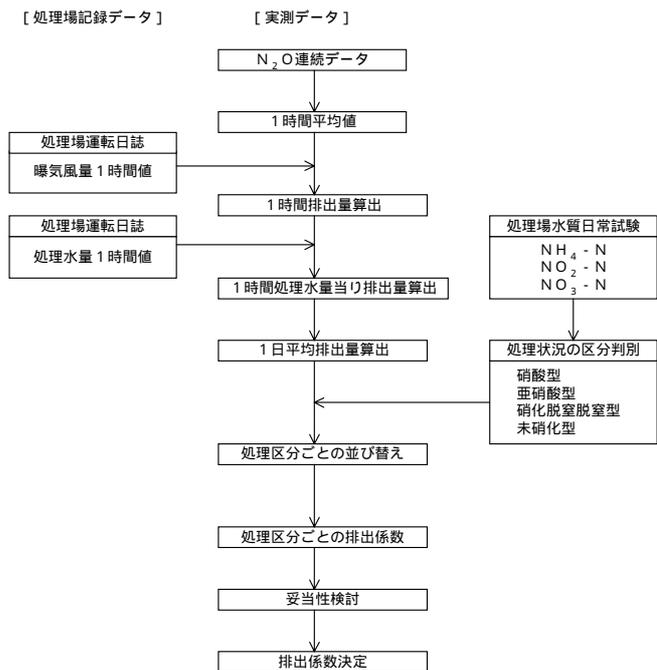


図 12 排出係数算出方法のフロー

(3) 処理区分別排出量の検討

ここでは水質による判定をする手法を用いて排出係数の妥当性を検討した。

「手引き」では、水処理プロセスの区分を生物反応槽における窒素態により表14-1のとおりとしているが、本調査では、表14-2に示すような判定基準に基づき区分した。NO₂-Nが1mg/L以上と高いグループは亜硝酸型に分類し、NH₄-Nが高く、NO₂-Nが1mg/L未満のグループは未硝化型とした。この区分は表14-3に示すとおりとなる。

表 14-2 生物反応槽の処理状況区分 (案)

水質	区分	範囲
NH ₄ -N	A 1	1未満
	A 2	1以上10未満
	A 3	10以上
NO ₂ -N	B 1	1未満
	B 2	1以上
NO ₃ -N	C 1	5以下
	C 2	5を超える

以上の区分により排出係数を整理すると表15のとおりとなる。また、測定データの排出係数及びそのときの水質範囲を表すと図13のようになり、亜硝酸型の水質範囲にばらつきが多い。これは、亜硝酸型の分類をNO₂-N濃度が1mg/L以上は全て亜硝酸型とするようにしたためである。

図13のNH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nのグラフ中の平均値を見ると、NH₄-Nは硝酸型及び亜硝酸型よりも未硝化型の方が高くなっており、NO₃-Nは硝酸型が高く、未硝化型が低くなっている。また、NO₂-Nは亜硝酸型が最も高く、硝化脱窒型はいずれの濃度も低いという傾向が示されている。

以上のことから、今回検討した新しい処理区分分類のための水質判定基準は、現時点において実測値に基づいた分類方法であると考えられる。今後のデータ収集、特に亜硝酸型のデータの蓄積によって更に細分化することや、新たな分類方法を検討することができるようになると思われる。

表 14-1 「手引き」による生物反応槽の処理状況区分 (mg/L)

区分	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
硝酸型	10	1	5 <
亜硝酸型	10 <	1 <	5
硝化脱窒型	1	1	5
未硝化型	NH ₄ -N 高く上記に該当しないもの		

表 14-3 生物反応槽の処理状況区分案

区分	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
硝酸型	10 >	1 >	5 <
亜硝酸型	1 <	1	
硝化脱窒型	1 >	1 >	5
未硝化型	1 <	1 >	5 <

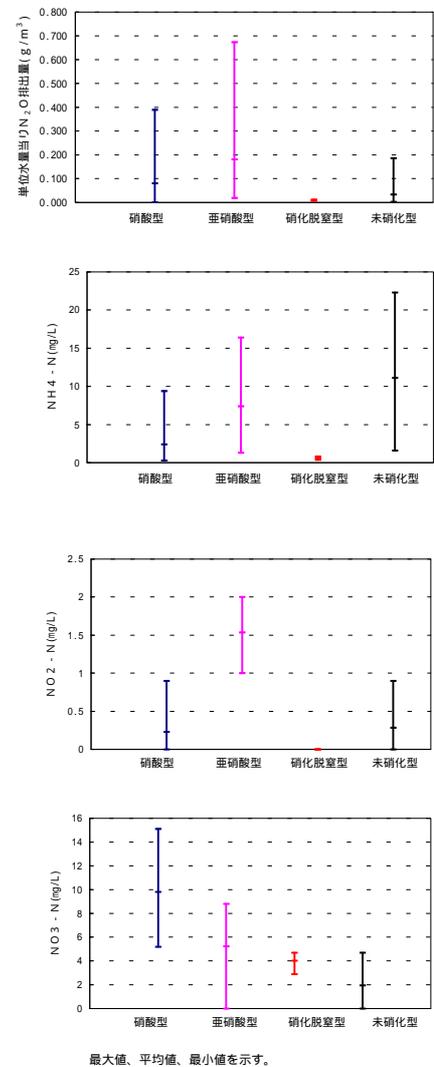


図 13 単位処理水量当り N₂O 排出量と水質範囲 (新しい判別基準による処理区分)

表 15 連続測定記録より算出した排出量（排出係数）
（新しい分類方法による処理区分分け）

処理区分	データ数	水質 (mg/L)						単位水量排出量 (g/m ³)		
		NH ₄ -N		NO ₂ -N		NO ₃ -N		平均	最小 ~ 最大	標準偏差
		平均	最小 ~ 最大	平均	最小 ~ 最大	平均	最小 ~ 最大			
硝酸型	83	2.4	0.3 ~ 9.4	0.2	0.0 ~ 0.9	9.8	5.2 ~ 15.1	0.080	0.001 ~ 0.389	0.072
亜硝酸型	28	7.4	1.3 ~ 16.4	1.5	1.0 ~ 2.0	5.2	0.0 ~ 8.8	0.181	0.019 ~ 0.674	0.166
硝化脱窒型	7	0.6	0.4 ~ 0.8	0.0	0.0 ~ 0.0	4.0	2.9 ~ 4.7	0.009	0.006 ~ 0.012	0.002
未硝化型	60	11.1	1.6 ~ 22.3	0.3	0.0 ~ 0.9	1.9	0.0 ~ 4.7	0.034	0.002 ~ 0.186	0.040

単位水量あたりの排出量（排出係数）

（４）検証

処理区分及びそれぞれの処理区別の排出係数を用いて、実際の測定期間における積算値との比較を行った。葛西処理場について月毎の算出結果を、図 14 に示すが、算定値と実績値は概ね同じ排出量で変動の傾向も同様であった。

以上のことから、今回算出した排出係数は、月別の N₂O 排出量を求めることに充分適用できると考えられる。

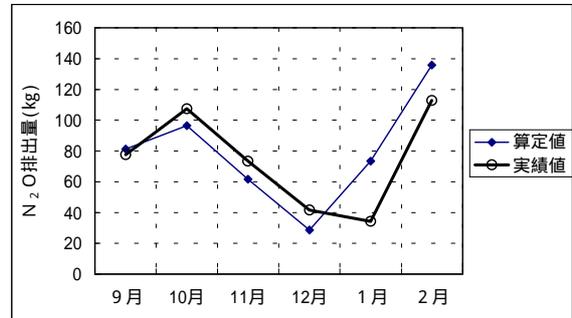


図 14 月別の実績値と算定値の変化（葛西処理場）

4.2 汚泥焼却プロセスの排出係数

新河岸処理場において流動床（250 t/日）、多段炉（300 t/日）の N₂O 連続測定を行った結果を用いて排出量を算出した。算定手順は、実測した N₂O 濃度を重量濃度換算し、これに排ガス量を乗じて 1 日当りの排出量を求める。次に、排出量を同一日の投入ケーキ量で除したものが、投入汚泥量当りの焼却炉からの排出量と表現することができる。

上記の手順で求めた汚泥焼却プロセスからの N₂O 排出係数を表 16 に示す。

多段炉における脱水ケーキ 1 t（DS-t）を焼却した際の排出係数は、2.39 kg、流動床炉における排出係数は 4.01 であり流動床炉の方が排出係数は大きかった。これはスポット調査結果および連続測定時における N₂O 濃度が、流動床炉 200~300ppm であるのに対し、多段炉は 100~150ppm と低かったことから推測でき、文献値と同様の傾向であった。

表 16 連続測定記録より算出した排出量

炉の型式	測定の日数	排出係数 kg/t-DS	排出係数 文献値
多段炉	6日 (144テ-タ)	2.39	3.0
流動床炉	6日 (144テ-タ)	4.01	5.2

1 焼却炉投入汚泥(乾燥重量 t)あたりの N₂O 排出量
2 排出係数参考値は含水率 75%として計算した
文献値)下水道における地球温暖化防止対策実行計画策定の手引き Q & A

5. まとめと課題

5.1 まとめ

(1) 連続測定調査について

連続測定装置を用いた N_2O ガス測定により以下のことが確認できた。

- 連続測定装置と手分析値は概ね相関があり、スポット測定と同等の実測値を得ることができた。
- 連続測定により、同一処理施設においても水処理及び焼却状況の変化によって N_2O の発生は時間変動、日間変動が大きい。
- CH_4 も同様に、同一処理施設においても、発生は時間変動、日間変動が大きい。

(2) 排出係数について

- 連続測定によって、スポット調査ではカバーできない時間帯を含めた排出係数の算定を行った。
- 水処理プロセスにおいては、 N_2O 排出係数が高いのは亜硝酸型(0.199 g/m³)で、低いのは硝化脱窒型(0.012 g/m³)であった。
- 焼却プロセスにおいては、 N_2O 排出係数が高いのは流動床炉(4.01 kg/t-DS)で、多段炉は(2.39 kg/t-DS)であるが、多段炉はその分 NO_x が高かった。

5.2 今後の課題

(1) 連続測定調査について

- N_2O については、測定処理場の追加や測定期間を延長し、季節や水温等による排出量の変動も考慮して、排出係数の精度を高める必要がある。
- CH_4 ガスについては、第一沈殿池については発生量が夏季と冬季では差が大きく、処理場毎に処理区域特性や流入形態によって違いがあると考えられるので、排出係数の精度を高めるためには、他箇所における測定や連続測定が必要かと思われる。

(2) 排出係数について

- N_2O ガスは、今回は既往調査に準じて便宜上、水質状況に応じて4区分の排出係数を算出したが、他の分類についても検討する。
- CH_4 ガスは、各処理場毎や季節毎などのグループ分けについて検討する。

大目次

目次

要旨

- 4 生物生息空間を考慮した緑化調査

施設管理部施設管理課 住田 裕
宮本 彰彦

1. はじめに

東京都は平成12年12月に、21世紀の東京を、環境と共生し、持続的発展が可能な都市とするために、緑の面から捉えた施策展開の道筋を総合的、体系的に示した「緑の東京計画」を発表した。計画は、緑が育む「生物の生存基盤」を視点とした施策の一つとして、下水処理場での「身近な生き物の生息空間」づくりの推進をあげている。

下水処理場は広大な敷地を有しており、区部においては貴重な緑の空間となっている。場内に生物の生存環境を整備することで周辺地域における生物生息の核となることができる。しかし、従来の場合緑化手法は景観や管理のしやすさを重視し、生物の生息について配慮していないため、生息する生物種は少ない。

そこで、従来緑化手法の視点を変え、多様な生き物が共生できるように植生や環境を整備する生物生息空間を考慮した緑化手法による場内整備を区部全処理場に導入することとした。生物生息空間が構築された下水処理場は、周辺住民に自然とのふれあいの場や環境学習の機会を提供することができ、下水処理場が地域に親しまれる地域の核となることも期待できる。

本調査では、下水処理場内に「身近な生き物の生息空間」の構築の可能性を検討するため、3処理場について場内及びその周辺における生物生息の現況を調査した。調査結果を踏まえ、下水処理場における「身近な生き物の生息空間」整備の基本的な考え方と整備の流れを整理し、誘致目標とする生物種、生物生息空間整備の各手法、及び周辺住民への提供など活用する方法を検討した。また、一例として、生物生息空間を考慮した場内整備案を、整備による各方面からの効果、影響の予測を含めて策定した。

以上をもとに、局内全処理場を対象として、生物生息空間を考慮した整備を行う際の方向性を示すものとして「下水道施設における『身近な生き物の生息空間』整備マニュアル」をとりまとめた。

2. 調査場所及び調査年月日

現地調査は表1に示すとおり実施した。

なお、平成11年度は生物相調査を砂町水処理センター、森ヶ崎水処理センターにて実施している。

表1 調査場所及び調査年月日

調査項目及び場所	調査年月日
生物相現地調査 三河島処理場	平成12年10月20日、27日
落合処理場	平成12年10月18日、31日
砂町水処理センター	平成12年8月30日
土壌動物相現地調査 砂町水処理センター	平成12年10月24日、12月6日

3. 調査方法

3.1 生物相調査

調査は、現地調査及び文献調査を行った。現地調査時には、処理場等の施設管理担当者にヒアリング調査を併せて行った。現地調査の方法は以下の通りである。

植物相調査は、処理場内及び上部利用公園内を踏破し、生育している植物の種名を記録する方法で行った。また、動物相（ほ乳類、鳥類、両生・爬虫類、昆虫類）調査は、主に目視によって生息種を確認する方法で行い、昆虫類の捕虫網による任意採集を併せて実施した。

3.2 土壌動物相調査

土壌動物相調査は、砂町水処理センター内の植生、植栽管理方法等の異なる3地点で行った。各調査地点において、25cm×25cmのコドラートを設置し、深さ5cmまでの土壌を採取し、その中に生息する体長2mm以上の土壌動物を調査した。採取した土壌動物は70%エタノール溶液中に保存し、実体顕微鏡で同定を行った。

4. 生物生息空間の基本的考え方

4.1 従来型緑化との相違点

生物生息空間を考慮した緑化と、従来型の緑化を比較し、表2に示す。緑化の視点が生物の生息に適する環境づくりに変わるため、従来とは異なった多様な整備手法や管理手法が求められ、整備される緑地の形態や生物の状況にも違いがみられる。

今後、処理場で行う整備は、既存の緑化整備に生物生息空間を考慮した新しい視点を加えていくものであり、新たに生物生息空間を設置するものとは基本的に異なる。

表2 従来型緑化と生物生息空間を考慮した緑化の比較

	従来型の緑化	生物生息空間を考慮した緑化
視 点	・見た目の良さ、管理のしやすさを重視するため、園芸種が主体となり、ガーデニング的、修景的な美観。	・在来種が優先され、見た目の派手さはない。
植 生 な ど の 構 造	・樹の本数が多いことの量的な面が重視される。面的な広がりとなる。 ・植生は同一種、同一規模の常緑樹が主体となる。従って、単純な階層構造となる。 ・落ち葉や下草は除去する。表土はむき出しとなり、固くなる。 ・生物の生息できる多孔質空間（石積み等）は考慮されない。 ・昆虫の種類や個体数は少なく、鳥類はスズメ、カラス、ムクドリ、ハト等が中心となり、豊かさはない。	・樹の種類や質の多様性が重視される。立体的な広がりとなる。 ・植生は落葉樹や食餌木が重視され、亜高木、低木、草本層などによる複雑な階層構造となる。 ・落ち葉や下草は大事な要素であり、適切な管理が求められる。表土はむき出しとならないため固くならない。 ・生物の生息できる多孔質空間は重要な要素となる。 ・多様な昆虫類の出現が期待できる。鳥類はヒバリ、セキレイ、シジュウカラ、メジロ、ツグミ等多様な種類や数が期待できる。
異 常 発 生 の 生 物	・農薬への依存度が大きく、周辺に生息する生物への影響は大きい。	・ある程度の生態系が成立していれば異常発生の可能性は少ない。

4.2 期待される効果

緑化の視点を生物生息空間を考慮したものに变えることにより、以下のような効果が期待できる。

処理場の緑化を生物生息のコア（核）として提供することで、今日的課題である多様な生き物が生息し、繁殖できる空間を創出できる。

処理場の広大な敷地を有効利用、活用できる。

生物生息空間は地域住民の理解や協力が必要となるため、地域住民との新たな接点としての場を提供できる。

処理場のイメージアップやPRとなる。

この他にも、場内の緑地や水辺には、都市部特有の課題といえるヒートアイランド現象や、騒音などを緩和する効果も期待できる。

4.3 生物生息空間の基本的考え方

市街地の拡大による緑の減少は深刻となっており、都市部では昆虫を見かけることも少なくなるなど生物の生存基盤も失われつつある。一方、市街地に身近な生物の生育、生息の場を積極的に創造し、生物にふれる体験を望む都民の声は高まってきている。

また、生息の場を失いつつある野生生物は絶滅も危惧されており、「東京都の保護上重要な野生生物種（東京都環境保全局 平成10年）」では、都区部で合計557種の動植物を挙げている。砂町水処理センターでは「東京都の保護上重要な野生生物種」該当の動物8種の生息が確認されるなど、都区部では広大な緑地と水辺を有する下水処理場は、現状でも野生生物にとって重要な生息場所のひとつとなっており、生物生息空間としてより一層の充実に努めることで、野生生物の保全に寄与することが可能となる。

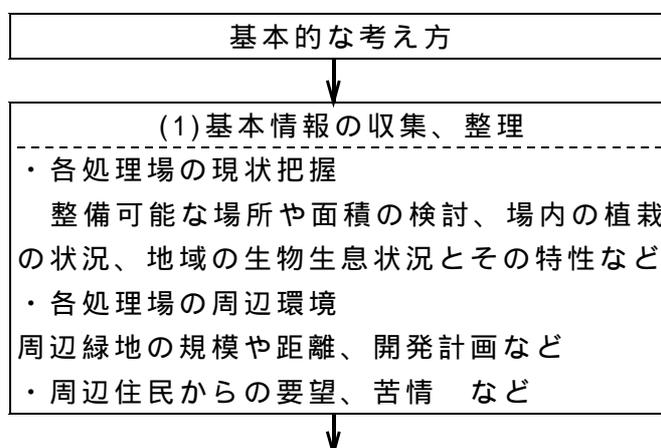
この他にも、一定規模以上の新築ビルの屋上は20%以上の緑化が義務づけられるなど、これまで緑化されていない部分への緑化も注目される。

以上を踏まえ、都区部の下水処理場での生物生息空間の整備にあたり、基本的な考え方を以下のとおりとする。

- ・下水処理場が地域における身近な生物の生息拠点となるよう、多様な生物の生息に配慮した植栽や水辺づくりを行う。
- ・各処理場の環境にあわせ、処理場ごとにテーマや目標とする生物種を設定し、処理場ごとに特徴づけたものとする。
- ・生物の生息に配慮した緑化整備にあっては、見た目のよさ、管理のしやすさを必ずしも重視しない。各処理場の状況に応じた整備手法を検討する。
- ・住宅などが近接している区部の下水処理場では、人間にとっても”うるおい、やすらぎ”が感じられるような配慮や、ヒートアイランド現象など都市部特有の問題にも配慮した生物生息空間づくりを心掛ける。

5. 「生物生息空間」整備の流れ

各処理場のおかれた周辺環境により生息できる生物も異なり、周辺住民の求める自然も様々であるため、生物生息空間の整備を全場において、画一的に行うのではその価値は低くなる。生物生息空間の整備にあたっては、前述の「基本的な考え方」をふまえ、各場の状況に応じ特徴づけたものとするため、場内やその周辺についての情報を最初に収集し、整理する。



整理した情報から各場における目標とする空間のイメージ（方向性）を設定する。空間は維持管理を継続して行うことで、時間をかけて変遷しつくられるものである。各人の生物生息空間におけるイメージは様々であり、整備当初にイメージを明確にしておかないと、変遷の途中で目標とする空間も曖昧となり、その方向の修正も難しくなる。このイメージは簡単なキーワードに表すことでより明確化する。

続いて、設定したイメージやキーワードをもとに、誘致する生物種及びそのための整備手法を検討し、場内の整備可能なエリアについて配置を計画する。このとき、整備後の効果を、生物的、社会的、経済的など複数の側面から検討するとよい。

施工にあたっては、全体計画と各エリアの個別計画について、年次計画を策定することが重要である。空間の整備や管理は、生物生息を制限する要因を取り除くこと基本とする。

なお、整備実施後は、定期的に事後評価を行う。当初の効果予測とのかい離を評価し、次回の整備や以後の維持管理、また他の処理場での整備にも反映させる。

生物生息空間整備フローの一例を図1に示す。

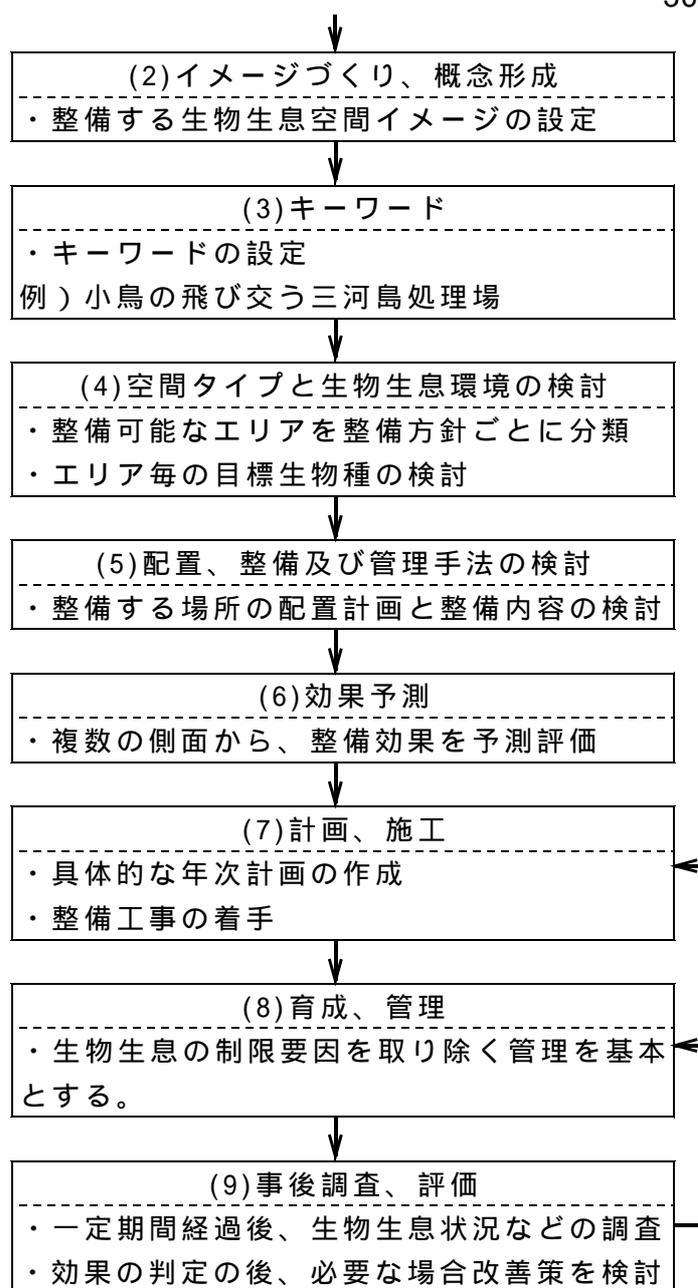


図1 生物生息空間整備フローの一例

6. 現地調査結果と生息環境条件

現地調査及び文献調査の結果（平成11年度調査結果を含む）から、処理場及びその周辺に生息する生物種を類ごとに整理した。

場内では生息空間の規模が小さいことや種々の生息を制限する要因（表3参照）のために、周辺部ではみられても場内では生息しない種も多かった。しかし、昆虫類などは餌量を増やしたり、多孔質空間を設置するなど、生息を制限する要因を取り除く整備を行うことで、場内で生息が可能と考えられる種もある。また、ほ乳類や鳥類は大きな生息空間を必要とする種が多く、対象とする種を絞り込む必要がある。

以上をふまえ、生息条件を考慮しながら、ほ乳類、鳥類など類ごとに下水道施設の空間への誘致目標とする生物種を選定した。

6.1 植物

調査対象の下水処理場内及びその周辺での生育種は、三河島処理場で143種、落合処理場で157種、砂町水処理センターで316種、森ヶ崎水処理センターで119種であった。いずれも木本類は植栽種がほとんどを占め、草本類では帰化種の占める割合が高いのが特徴である。以上のような特徴は、下水処理場に留まったことではなく、人工的につくられた都市部の公園等にもよくみられる。自然の森や草地を伐り開き、その土地以外の樹木や外国産の草花を植栽することは、持ち込まれる種によっては在来種を駆逐するなどの脅威をもたらす大きな問題となる。

しかし、古い時代からの人口密集地では、人工的に植栽された林や帰化種が多く混在する草地であっても、身近な動物たちに重要な生息場所を提供しているため、その価値は認められる。

6.2 ほ乳類

生息確認種は、アブラコウモリとタヌキの2種である。哺乳類の生息空間のスケールは大きく、特に都市部においては生息空間が分断されており、市街地でもよく観察されるアブラコウモリを除いては、都内の下水処理場における生物生息空間整備の対象種とすることは難しい。

アブラコウモリは、ユスリカ等の捕食者として不快害虫対策上、注目される。平成11年度調査では砂町水処理センターで、アブラコウモリを160個体確認しており、年間の活動日数を200日間、1個体が1日に500匹のユスリカを捕食すると想定すると、年間に捕食されるユスリカの個体数は1600万匹と推定される。アブラコウモリがユスリカ成虫の捕食者として大きな役割を果たしているといえる。

6.3 鳥類

処理場内及びその周辺での現地調査では三河島処理場で3目11科14種、落合処理場で3目8科10種、砂町水処理センターで9目23科53種（平成11年度分も含む）の鳥類を確認した。これらの種の多くは砂町水処理センター周辺の干潟やヨシ原で確認しており、他処理場ではヒヨドリ、スズメ、ハシブトガラスといった都市型鳥類を中心とした鳥類相であった。

これに文献調査で確認した種を含めた61種について、場内で整備可能な生息空間の規模を考慮し、規模の大きい草地や水辺が必要な種や都市部において個体数の増加が問題となっている種などを除いた22種（スズメ、カワラヒワ、ムクドリ、オナガ、ツバメ、イワツバメ、ヒヨドリ、キジバト、シジュウカラ、ハクセキレイ、メジロ、シロハラ、アオジ、ウグイス、アカハラ、エナガ、トラツグミ、エゾビタキ、サメビタキ、ジョウビタキ、ツグミ、ホオジロ）を下水道施設における対象種として抽出した。

6.4 は虫類・両生類

調査での確認種は、ニホンヒキガエル、カナヘビ、ヤモリ、シマヘビなど6種である。

表3 生物生息の制限要因

制限要因	内容
空間の規模	生き物が安心して生息できる、まとまった樹林草地、水辺が少ない。
空間の連続性	垂直面や段差、道路等による分断によって生き物の行き来が妨げられたり、生息域が確保できない。
空間の多様性	すみかや隠れ場所となる多孔質空間が少ない。また、飲み水やすみかとなる水辺が少ない。
餌の量	餌となる植物（葉や実、蜜が昆虫や野鳥の餌となる木や草?食草、食樹、蜜源植物、食餌木）が少ない。
基盤環境	自然生態系の基盤をなす物質循環や、雨水涵養を促す表土があまり発達していない。
生物相のバランス	観賞用のコイなど、生態系のバランスを考慮せず人為的に導入された生物が、他の弱い生き物の生息を脅かしている。

これらの生物は移動能力が小さく、都市部においては生息種数が減少しているため新たな種の誘致は難しく、現状で確認した種の生息環境を整備することが中心となる。

6.5 昆虫類

昆虫類は、生息空間の規模が比較的小さく、生息が確認されている種に加えて新たに誘致することが可能な種も多い。ここでは、生態が比較的明らかとなっているトンボ類、チョウ類等に着目した。これらの種の生息環境を整備することによって、その他の昆虫類についても生息環境が改善されるものと考えられる。

トンボ類の生息確認種は、アジアイトトンボ、ギンヤンマ、シオカラトンボ、アキアカネなどの10種である。これに生息環境が整備されれば、生息可能と考えられるクロイトトンボ、セスジイトトンボ、オオイトトンボを加えた13種を生息目標種とした。これらの種はすべて止水域のトンボ類で、水深が比較的浅く、多少汚れた水でも生息できる

同様にチョウ類の生息確認種は、ナミアゲハ、アオスジアゲハ、ベニシジミ、ゴマダラチョウなどの17種である。これらの種は主に「区部に共通して出現する種」や「市街地でも雑草の生える荒地、畑、林等がある環境に出現する種」によって占められている。これらの種に、さらに同様の環境に生息し、今後の整備次第では生息可能と考えられるキアゲハ、キチョウ、ツマキチョウ、ルリシジミなど8種を加えた25種のチョウ類を対象種とした。

6.6 土壌動物

砂町水処理センターで生息を確認した土壌動物は、陸生貝類のマイマイ類、ミミズ類、コウカク類、ヤスデ類、トビムシ類、クモ類、ムカデ類、ダニ類、ハサミムシ類、ハネカクシ類、アリ類、ハエ類（幼虫）の生物である。

ある特定の土壌動物を指標としてみると、自然環境が残されている地域に出現するとされるヒメフナムシは確認できず、人為的影響を受けた地域に出現するワラジムシやオカダンゴムシを多く確認したことから、センターの土壌は人為的影響を強く受けていることが示唆される。

土壌動物は、ミミズなどのように大型のものから、肉眼では見えないような小さなササラダニ類まで、大きさや含まれる分類群も多岐に渡っている。分類学上の問題を含めて未知の部分の多い動物群であり、これまでに明らかにされた種についても生態等の判明しているものが少ない。大まかな分類群ごとに「土壌形成」、「多孔質化」、「餌資源」といった土壌動物の果たす機能を整理し、それぞれの生息環境特性をにまとめ、確認した12類に、処理場内でも生息環境が整備されることによって生息可能と考えられるカニムシ類を加え、生息目標類とした。13類全ての土壌動物に共通することは、乾燥、踏圧に弱く、また、餌資源、すみかとして、落葉落枝の供給が必要である点があげられる。これらの土壌動物を増やすためには、林床内の落葉落枝を取り除かず蓄積させ、腐葉層を形成させることや、林内に倒木などを放置しさらに多様性を持たせること、林内にむやみに立入って土壌動物の重要な生息場所である土壌の間隙を潰さないことなどに注意しなければならない。

7. 生物生息空間の整備・管理手法

生物生息空間整備・管理の基本は、各生物の生息を制限する要因を取り除くことである。これらの制限要因を取り除くために、場内で実施可能と考えられる手法を草地、林地、土壌、水辺、建物周りなどの各空間別に説明する。

生物生息空間に適した整備及び管理内容は主に次のようなものがあげられる。

- ・食草、食樹、蜜源植物、食餌木を植栽する
- ・林床、土壌を保全する
- ・隠れ場、繁殖場所を創造する（巣箱、粗朶、石垣等）
- ・水飲場、水浴び場、池を創造する
- ・人間の立入りを制限する
- ・餌動物の多い草地を創造する

また、管理にあたっては、病害虫対策や除草のための薬剤使用を極力控えるようにする。

7.1 草地

処理場内の草地の多くは芝地である。芝地は害虫の発生を予防するための薬剤や除草剤、殺虫剤などが散布される。また、芝地を維持するため年数回の草刈りが行われるため、生物の生息空間としては適していない。各施設の玄関や建物の周辺など来訪者の目に付きやすく、景観を重視する場所では現状の芝地を維持し、それ以外の生物の生息を優先する場所では、多種類の植物種からなる草地に転換していく。

草地には低茎草地から高茎草地まで様々なタイプがあり、それぞれ構成する植物種が異なり、それを利用する動物相も異なる。様々なタイプの草地を配置することによって動物相を多様にすることができるため、場内により多くの草地タイプを創出することが、生物多様性の観点から望ましい。

関東地方に標準的に出現する草地を刈り取りの頻度を違えて管理した場合、年4～5回の草刈りでは、タンポポ、シロツメクサなどの草丈が10～20cm程度の低茎草地が形成される。刈り取り回数を年3回程度に減らすと、ハルジオン、ネズミムギなどの草丈1m前後の中茎草地が、さらに、年1～2回程度にすると、始めのうちは外来種であるセイタカアワダチソウや、オオアレチノギク、クズなどが侵入するが、次第にススキなどの高茎草地に変化する。

7.2 林地

処理場内の多くの林地はサクラ並木などの列植や、エントランス付近のシンボルツリーなどが中心で、生物生息空間として求められられる林としてまとまっている所は少ない。また、新たに林地を整備できるスペースも少ないため、林地の整備手法は既存林の再整備や、実のなる木などの補植が中心となる。

既存林の多くは、林床植物や灌木などの刈り取りや、落ち葉の除去が行われている。このため、林の構造は単純で、林内土壌は踏圧等により強く固められ、林の生物相は豊かにはなり得ない。

既存林を生物の生息空間として再整備するためには、部分的な客土や良質な土壌を盛り土することや、堆肥等を混入し、耕起するなどの整備があげられる。土壌環境の改善は、土壌養分を豊かにし、林床に起伏をつけて複雑化させる。

7.3 土壌

植栽にあたっては、まず植栽タイプに応じた土層を確保しなくてはならない。芝生や草本類による植栽では、有効土層が15～30cm程度、中、低木では50～60cm程度、高木植栽では90～150cm程度必要とされている。

土壌の診断は、植栽基盤として望ましい土壌の条件と比較し、土壌改良が必要と判断された場合、各種の土壌改良手法により実施する。土壌の栄養分や腐植が基準に満たない場合は有機物の投入が、土壌硬度や粗間隙などが基準に満たない場合はパーミキュライトやビーナスライトの投入が効果的である。透水係数や有効水分に問題がある場合、暗渠の設

置を検討する必要も出てくる。土壌条件が劣悪な場合には費用と時間はかかるが、客土により良好な植栽基盤を確保する。植栽が行われていない整備段階では、よい土壌を盛り土することが簡便である。

7.4 水辺

処理場内には、処理水を使ったせせらぎや池などが整備されている所が多い。しかし、これらの施設は景観を重視してつくられたものであり、現状では生物の生息空間としては適した環境とはいえない。

止水域は流水域と比較し、生物生息に適した環境をつくりやすいため、処理場内のせせらぎを利用し、止水域をつくることで、比較的容易に生物生息空間として再整備することが可能である。水辺空間の整備後、生物相は自然移入によって形成されるが、必要に応じて水生植物の植栽や移動性の少ない魚類の導入を行う。

水辺も草地や林地と同様に、様々な種の隠れ場、採餌場、繁殖場として多様な空間を創造していくことが重要である。

7.5 建物周り

建物周りでは、美観に配慮しながら小スペースを立体的に活用することが整備のポイントとなる。人目を考慮しなければならない建物周りでは、管理のしやすさも考慮しなければならない。コンクリートの露出した建物周りの四方がコンクリートで囲まれた植栽スペースや花壇等は、夏の酷暑、冬の寒風等厳しい生育条件下に置かれている。したがって、極度に大きくなる植物や、育てにくい植物は対象から省かれる。市場に出回っているものの中から、人工的な生育環境でも育てやすい植物を用いて、昆虫類などの小動物にとっての生息空間を創出することが建物周りでの整備の主体となる。

また、屋上や壁面は、人為的な助けがなければ植物の健全な生育が望めない空間で、従来は緑化困難な場所とされてきた。

しかし、昨今ではヒートアイランド現象や生物生息空間として、都市に残された植栽空間として屋上や壁面が注目されるようになってきた。生物生息空間を主体とした屋上緑化等の事例はまだ少ないが、他に整備できる空間がない場合、先進事例を参考に屋上や壁面での生物生息空間整備を積極的に進める。

7.6 多孔質空間等

草地、樹林、水辺などの基盤環境の中での、生物が必要とする隠れ場やすみかとなる局所的な空間の設置は、生物の生息空間を多様化する上で有効な方法である。こうした空間には、コウモリの休息場となるバットハウス、鳥類の営巣場所となる巣箱などがある。これらはいずれも小規模で身近にあるものが利用でき、設置も比較的容易であることから、各施設内の限られたスペースでも導入が可能である。

一例として、石やレンガ、丸太などを積んで小山をつくり、カナヘビをはじめ、ダンゴムシ類、コオロギ類、ゴミムシ類、カミキリムシ等の小動物の生息環境とすることや、落ち葉だめを設置し、腐葉土をつくり、ミミズ類、トビムシ類、ゴミムシ類の生息環境とすること、池の中に蛇籠やコンクリートブロック、石などを積み水中に住む小魚を始めとする水生小動物の隠れ場とすることがあげられる。



図2 バットハウス

8．生物生息空間の活用

各施設は、本来下水処理を行うための施設であることから、場内には危険な場所も多く、事故が発生した場合は管理責任も問われるため、地域住民への自由開放には課題がある。

しかし従来より都心部における貴重なオープンスペースとして、下水処理場の積極的な開放を求める住民の声もあがってきていた。このため、処理場ではこれまで施設見学会や各種イベントを実施し、可能な限り地域住民の要望に応えてきている。

今後、各施設で「身近な生き物の生息空間」が形成されると、従来の景観を重視した緑地に多様な生き物が生息できる緑地が加わるため、地域住民に自然とのふれあいの場や環境学習の機会を提供することができる。

「身近な生き物の生息空間」として新たな施設の活用方法及び地域住民への提供方法としては、場内の自由開放のほか、小鳥やチョウの見学会などのイベント、また小学校における学校教育との連携などが考えられる。

9．ケーススタディ

ここでは、ケーススタディとして落合処理場を例に、生物生息空間整備フローに沿って整備の進め方を示す。

9.1 基本情報の収集・整理

現地調査の結果、157種の植物、7種の鳥類、49種の昆虫類が確認した。植栽種以外の植物種はわずかしかみられず、鳥類はスズメ、ドバト、ヒヨドリなど都市環境に適応した種が中心となっている。昆虫類についても生息種は少ない。処理場内における生物相が貧弱であるのは、生物生息空間となる緑地のスペースが限られており、「せせらぎの里」を含む処理場内のいずれの緑地も景観を重視した集約的な管理が行われているためである。

落合処理場の周辺環境は、都心部の住宅地である。規模の大きな緑地としては、処理場の北東約1kmの地点に「おとめ山公園」があり、新宿区の調査では176種の植物、21種の鳥類、69種の昆虫類の生息が確認されている。これらの生物の生息圏は住宅地や道路によって分断されており、処理場への誘致は難しい。

9.2 イメージづくり、概念形成等

処理場内にオープンスペースが少なく、しかも周辺の都市型整備が進んでいるため、多くの生物群を豊富にすることは難しい。落合処理場では見た目にも美しく、しかも小スペースでも可能な屋上緑化やハンギングバスケットなどによる「チョウ」の生息環境を整備イメージとする。

9.3 キーワード

落合処理場整備計画案のキーワードを「チョウの舞う落合処理場」とする。

9.4 空間タイプと生物生息環境

キーワードであげたチョウの生息環境整備には、食草、吸蜜食物の植栽が必要であり、屋上、花壇、フェンス際の利用可能なスペースにプランター等を用いて行う簡易な手法もある。

落合処理場では、超低段ポンプ棟や本館の屋上を整備が可能なエリアとしてあげられる。また、処理場の敷地境界部は処理場内で成育したチョウが周辺地域へ分散するための経路となるような整備を行う。

生息目標种群の選定はチョウを中心として行った。当面の整備に向けた対象種を、調査で確認したアオスジアゲハ、モンシロチョウ、ヤマトシジミ、イチモンジセセリ、キタテ

八、チャパネセセリの6種の他に、生息が可能と考えられるナミアゲハ、クロアゲハ、スジグロシロチョウ、モンキチョウ、ベニシジミの5種を加えた11種とした。

9.5 配置、整備及び管理手法、住民とのかかわり

生物生息空間整備対象エリアを、図3示すA～Jまでの10のエリアに区分した。各エリアのイメージを表4に示す。

近隣住民に対しては、公道に面した処理場の境界部や玄関周辺、周辺の集合住宅より低く目に付く超低段ポンプ棟の屋上、開放されている「せせらぎの里」などにチョウの吸蜜食物を植栽することで、季節を通じた開花や、チョウの飛来により、住民の目を楽しませることができる。

イベントの一例としては、屋上でのチョウの観察会があげられる。また、食草や吸蜜食物の植栽は家庭でも簡単にできることから、これらの植物のリストを掲載した資料を作成し、配布することも、地域一帯のチョウ類の生息空間を豊かにする上で有効である。

Cエリア、Dエリアの整備及び管理プランを以下に示す。

【Cエリア】

現在芝生となっているこのエリアでは、来訪者の目に付きにくいいため、やや粗放的な管理に変更することによって、カタバミ、シロツメクサ、ムラサキツメクサ、ヒメジョオン、セイヨウタンポポ等、チョウの食草や吸蜜対象になる低茎草地への転換を図ることとする。管理にあたっては、除草剤などの薬剤は用いず、年4回(5月、6月、7月、9月)の草刈りを行う。

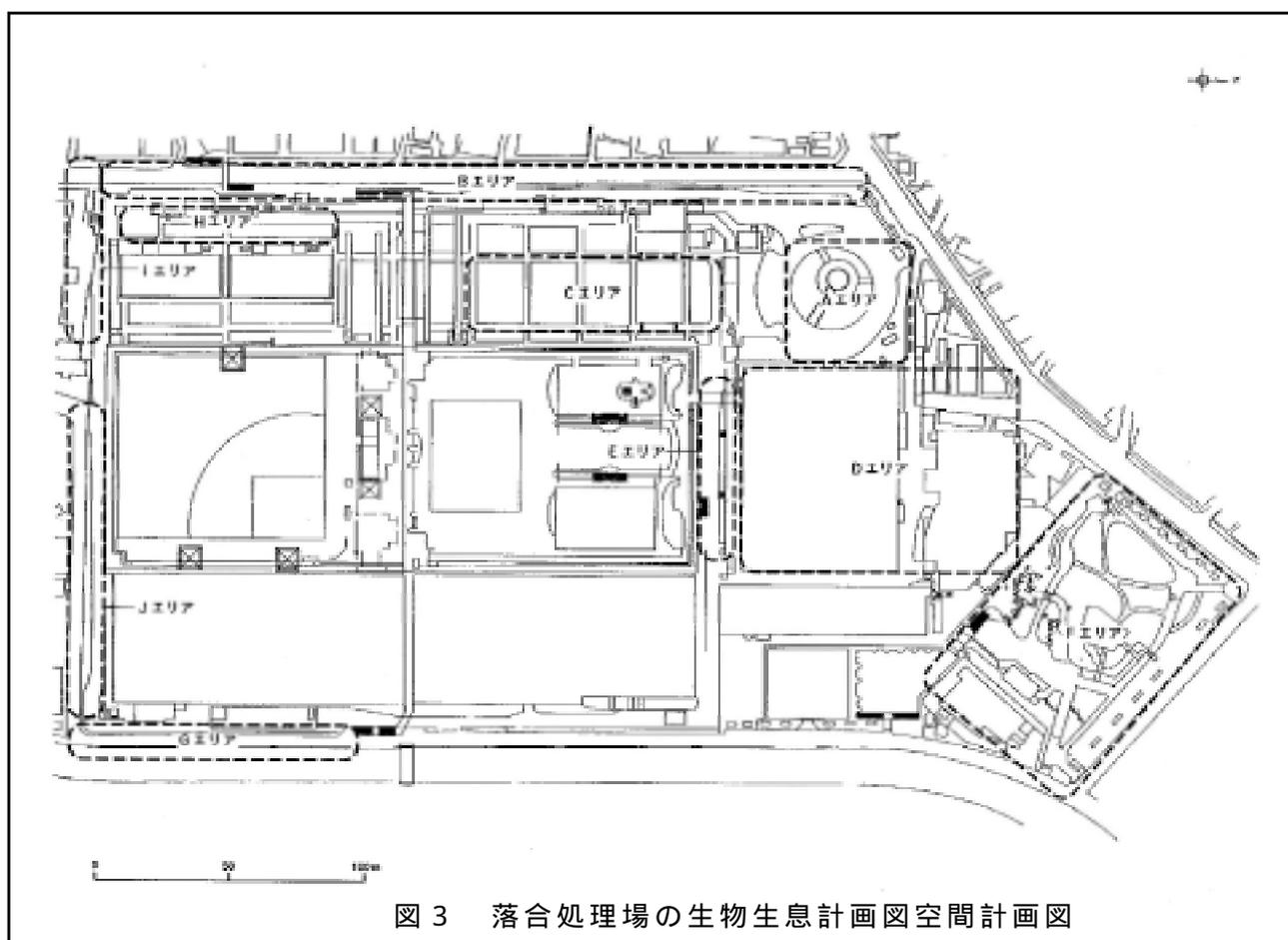


図3 落合処理場の生物生息計画図空間計画図

【Dエリア】

超低段ポンプ棟及び本館の屋上に、目標とするチョウの食草や吸蜜植物を植栽し、緑地とする。屋上は周辺からの眺望を除き、人目に付きにくいため、落合処理場内の生物生息空間整備の中核として位置づける。

屋上緑化では、夏場の日陰を創出するため一部にパーゴラを用いてフジを植栽する他、人工軽量土壌を用いたコンテナ植栽を行う。また、食草については、チョウの幼虫によって葉が食べ尽くされる前に入れ替えが必要となるため、容易に移動できるプランターを用いて植栽する。プランターは下からの熱を避けるため、丈夫な台の上に載せる。屋上緑化は人工基盤上の厳しい条件下での生息空間となるため、基盤整備後は夏場の遮光、照り返し緩和の措置、散水、防風措置等の管理を行う。

9.6 効果の予測と評価

落合処理場の場合は、屋上に食草を栽培し、エントランス部分に吸蜜植物を植えることによって限られた空間を有効的に利用し、より効率のよい生物生息空間を整備していく点が特徴である。「チョウの舞う処理場」づくりは、小スペースの生物生息空間の創出には効果的な内容であり、春から秋まで複数のチョウが生息し、来訪者や地域住民にとっても自然とのふれあいの場として価値が高い。芝生の粗放的な管理への転換は、昆虫類などの小動物を増やし、限られた空間の有効利用として注目される。

また、都心部の貧弱な生物相がここを拠点に分散し、生物の生息の場が広がっていく可能性を担っている。さらに、東京都の条例で指導されている屋上緑化を公共建築物である下水処理場が導入することで、屋上緑化のPRや環境に貢献する下水処理場のイメージアップにつながる。経済的には食草等の栽培費用や管理費が新たに発生するが、生物的側面からの効果、ヒートアイランド対策、地域住民を含めた社会的側面からの効果を加味すると、本生物生息空間整備の意義は少なくないものと考えられる。

表4 落合処理場における生物生息空間のイメージ

エリア	生物生息空間のイメージ
A 本館前噴水周辺 花壇及び植栽地	チョウの吸蜜エリア。本館正面の花壇や緩傾斜地にトレリス、フラワースタンドなどを用いて植栽植物の量を増加させ、吸蜜植物が季節を通じて咲くようにする。
B 西側境界接道部	チョウやその他の昆虫の吸蜜及び鳥類の採餌エリア。公道に面したフェンスにハンギングバスケットをかけたり、フェンスに沿ってプランターを並べ、チョウやハチ、アブなどの吸蜜植物や小鳥の餌となる実を付ける低木を植栽する。
C 南系第一沈殿池 覆蓋上部芝地	チョウ類の吸蜜、繁殖エリア。芝生を粗放的な管理により、チョウの食草や吸蜜対象となる低茎の草地に転換を図る。
D 超低段ポンプ棟 及び本館の屋上	落合処理場の生物生息空間整備のなかで中核となるエリア。屋上をチョウの食草や吸蜜対象となる植物を用いてコンテナ植栽を中心に緑化する。一部日陰を創出するためにパーゴラを用いてフジを植栽する。
E 本館南側植栽地	チョウの吸蜜、繁殖エリア。現在列植えされているナツミカンの薬剤散布などの管理を制限し、ナミアゲハ、クロアゲハなどが食樹として利用できるようにする。フェンスにはハンギングバスケットを用いて吸蜜植物を植栽する。
F せせらぎの里	チョウの吸蜜エリア。Aエリアと同様の手法を用いて、花壇の吸蜜植物の量を確保する。
G 東側境界部	チョウの吸蜜エリア。フェンスにハンギングバスケットを掛けてチョウの吸蜜対象となる植物を植栽する。
H 南西部テニス コート周辺植栽	鳥類の採餌、休息エリア。常緑のサンゴジュ、サザンカが列植えされており、ヒヨドリなどが採餌場、休息場として利用できるように配慮する。あわせて隣接するコウライシバを粗放的な管理により低茎の草地に転換し、エンマコオロギなど昆虫類の生息空間を確保する。
I 南西境界部植栽地	鳥類の採餌、繁殖エリア。巣箱を設置し、シジュウカラなどの繁殖を図る。ソメイヨシノの列植えされている傾斜地にはヤブランなどを植栽し、餌量の増加に努める。
J 南東境界植栽地	チョウやその他の昆虫の吸蜜及び鳥類の採餌エリア。現在列植えされているクスノキの薬剤散布などの管理を制限し、アオスジアゲハが食樹として利用できるようにする。フェンスにハンギングバスケットを掛けたり、フェンスに沿ってプランターを並べ、チョウやハチ、アブなどの吸蜜植物や小鳥の餌となる実を付ける低木を植栽する。

10．おわりに

場内に整備できる生物生息空間は、小さなものではマンションのベランダに置けるコンテナやプランターから、比較的用地のある場所では自然風の草地や樹林地まで可能である。しかし、場内の大部分は処理施設として稼働しており、それ以外の部分も既に植栽が施されているため、既存の緑や水辺をより生き物に配慮するよう改善すること、つまり場内整備の視点を変えることが生物生息空間づくりの中心となる。小さなスペースでの生物生息空間づくりは、都市部でも少しずつみられるようになってきている。ひとつひとつの空間の果たせる機能は必ずしも大きなものではないが、周辺の生息空間との連携を考慮することで整備効果をあげることができ、下水処理場の担う役割は大きいといえる。

今後、当局の各施設では、当調査で作成したマニュアルをもとに、自然豊かな下水道施設を目標とし、鳥類や昆虫などが生息できる空間の創出に取り組んでいく。あわせて、臭気などの環境対策を徹底し、地域に親しまれる施設、地域環境に貢献する施設を目指していく。

参考文献

- ・東京都下水道局（平成12年）：「不快害虫の飛行防止についての調査報告書」
- ・荒川区（平成元年）：「荒川区自然環境調査報告書」
- ・新宿区（平成7年）：「みどりによる生物生息環境形成計画」
- ・東京都環境保全局（平成10年）：「東京都の保護上重要な野生生物種」
- ・いきものまちづくり研究会（平成4年）：「エコロジカル・デザイン」
- ・寺田（昭和58年）：「自然公園内における小動物などの保護及び利用のあり方についての研究報告書」
- ・亀山（平成8年）：「雑木林の植生管理」
- ・杉山、牧（平成10年）：「野生を呼び戻すビオガーデン入門」
- ・（財）都市緑化技術開発機構（平成11年）：「屋上・壁面緑化技術の手引き」

[大目次](#)[目次](#)[要旨](#)

Ⅶ－１ 焼却炉高温排ガスの有効利用調査その３

計画調整部 技術開発課 杉山 佳孝，宮澤 裕三(現:清瀬処理場)
河野謹一郎(現:施設保全課)

１．はじめに

地球温暖化問題は、近年世界的な規模で関心が高まっており、各国とも温室効果ガスの排出抑制に向けた取り組みが求められている。下水道事業にあっても施設運転のため電力消費による間接的な二酸化炭素の発生や、化石燃料を消費することによる直接的な二酸化炭素の排出、水処理及び汚泥処理施設の運転で発生するメタンや一酸化二窒素の排出に対する削減が求められている。そこで、下水処理過程で発生する未利用エネルギーを積極的に活用する方策の重要性が増してきた。

このような中、廃熱エネルギーの利用技術として焼却炉廃熱を利用した発電技術が注目を集めている。

従来焼却炉廃熱を利用した発電システム（図１）は、焼却炉の排ガスを空気予熱器に導き、その後廃熱ボイラに導入することにより排ガス中の廃熱を効率的に回収し、蒸気タービンにより発電を行っている。この場合、排ガスは集塵を行う前であるためダスト濃度が高く、伝熱係数が高くとれないため熱交換器の伝熱面積が大きくなる。

そこで、焼却炉出口において集塵を行いクリーンな排ガスを得ることができれば、後段の空気予熱器及び廃熱ボイラの伝熱係数を高くとることができ高効率な発電が可能になる（図２）。

本調査は、上記の観点から地球温暖化防止に寄与する技術として、高効率で高温集塵できるろ過装置を開発するため、装置の性能調査及び実用化検討を行ったので報告するものである。

２．調査目的

本調査は、高効率に 800℃以上の高温集塵できるろ過装置の開発を目的とし、平成 10 年度から実施してきた。平成 10 年度調査においては、基礎実験等により素材がコーゼライトでハニカム構造のセラミックフィルタの適用可能性を見い出し、平成 11 年度調査においては、セラミックフィルタの運転性能を把握するために、基本性能調査、逆洗性能調査、セラミックフィルタ保持方法及び缶体材質調査及び集塵灰性状調査を行った。

平成 12 年度は、主に小型実験装置を用いた下水汚泥焼却排ガスによる長時間連続運転（100 時間以上）を実施して高温排ガス下での適用性を把握し、合わせて実機 1 モジュール相当（実機に装着するフィルタ 1 ユニット）の大型実験設備を設置して、缶体構造の最適化及びスケールアップによる問題点の抽出・検討を目的とした。

３．調査内容

(1) セラミックフィルタ連続運転性能調査

長時間連続運転（100 時間以上）によるろ過速度と圧力損失、排ガス性状、運転後のフィルタへのダスト侵入状況及びフィルタ強度評価、ダイオキシン類の測定を行い、高温での適用性を図った。

(2) フィルタ保持方法調査

高温場における最適なフィルタ形状を検討するため、シミュレーションによる熱応力解析と保持方法の検討を行った。

(3) 高温集塵灰性状調査

高温(800℃以上)で集塵した灰の性状を調査するため、組成分析及び溶出試験を行った。

(4) 大型セラミックフィルタ実験設備による性能調査

洗浄方法の違いによる逆洗性能調査と缶体構造・材質調査を実施した。

(5) フィージビリティスタディ

実験データを踏まえた実用化に向けた検討を行った。

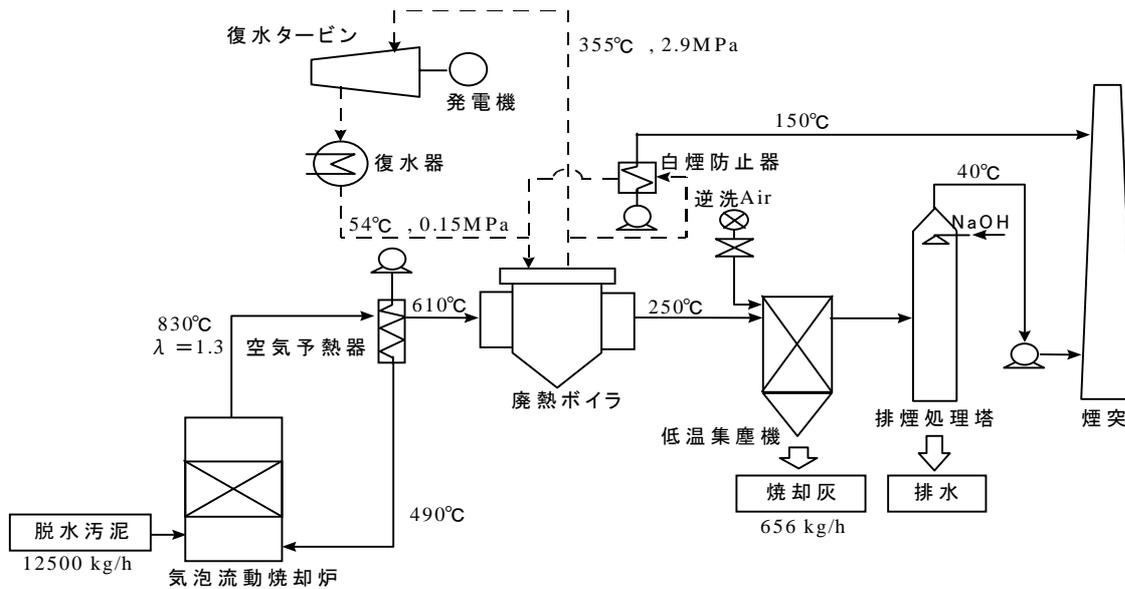


図1 従来の下水汚泥焼却発電フロー図

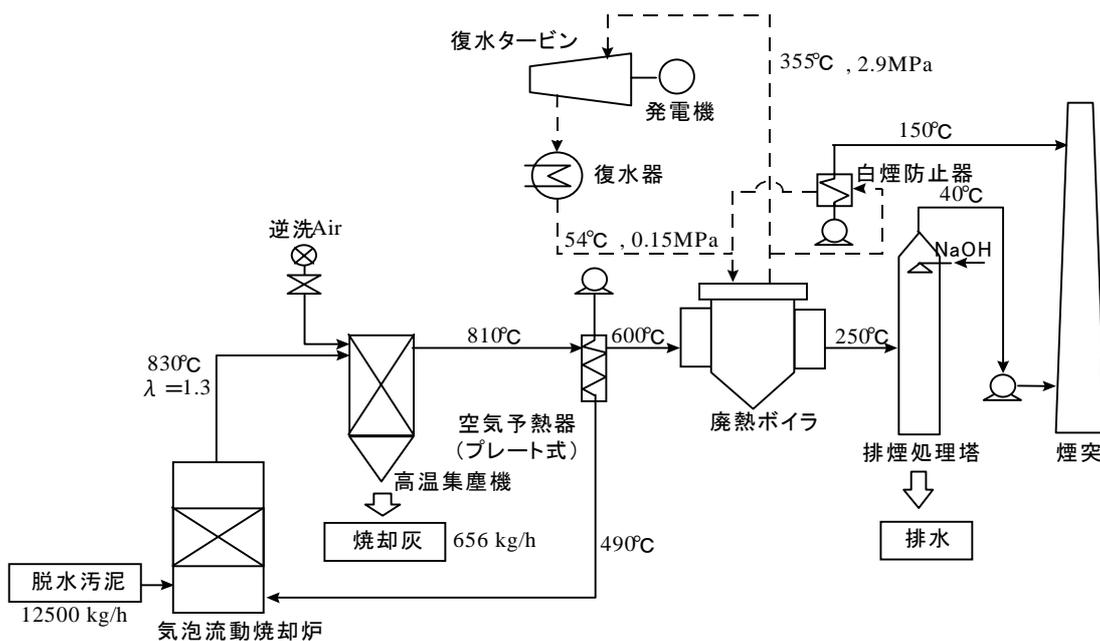


図2 高温集塵の下水汚泥焼却発電フロー図

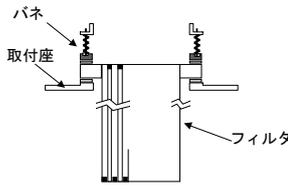
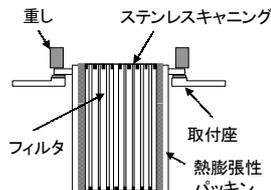
4. 調査方法

4. 1 実験設備

実験設備は、平成 11 年度使用した既設実験設備 (A) と実験設備 (B) 及び平成 12 年度新設した実験設備 (C) を用いて実験を実施した。実験設備 (A)・実験設備 (B) を図 3 に、実験設備 (C) を図 4 に示す。実験設備 (A) と実験設備 (B) は、3 項・調査内容の「(1)セラミックフィルタ性能調査」及び「(2)フィルタ保持方法調査」にて、長時間連続運転における性能評価を目的として使用した。実験設備 (A) と実験設備 (B) は、フィルタの保持方法が異なり、その比較を表 1 に示した。実験設備 (B) は、新規フィルタ保持方法 (キャニング法) の調査を行うために、実験設備 (A) は、実験設備 (B) との比較のため、矩形フィルタを用いた性能調査を実施した。

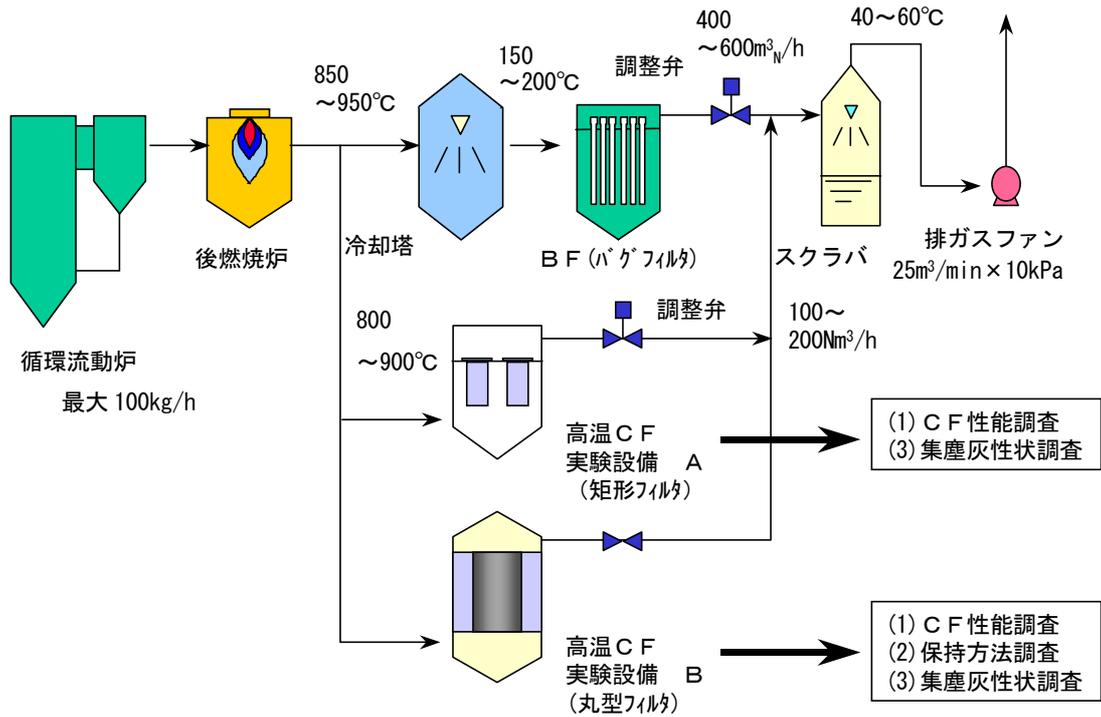
また、実験設備 (C) は、3 項・調査内容の「(4)逆洗性能調査と缶体構造・材質調査」を検証するために設置した。

表 1 実験設備 (A)・(B) 及び実験設備 (C) の比較

	実験設備 (A)	実験設備 (B)	実験設備 (C)
調査内容	(1)CF 性能調査 (3)高温集塵灰性状調査	(1)CF 性能調査 (2)フィルタ保持方法調査 (3)高温集塵灰性状調査	(4)逆洗性能調査 (4)缶体構造・材質調査
フィルタ保持方法	フランジバネ取付法	キャニング法	キャニング法
フィルタ保持形状			同左
フィルタ形状	□150mm×500mmL (矩形)	φ230mm×305mmL (円柱状)	φ200mm×500mmL (円柱状)
処理風量	100~200m ³ _N /h	100~200m ³ _N /h	800~1500m ³ _N /h
フィルタ本数	2 本	1 本	7 本

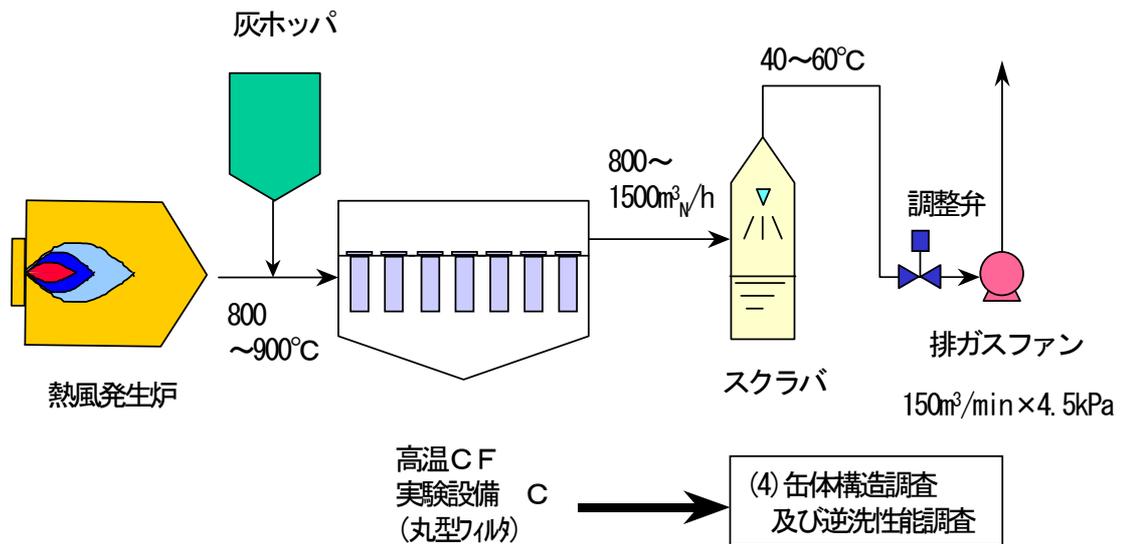
本調査に用いる実験設備 (A)、(B) は、焼却炉出口後の後燃焼炉出口に設置した。実験は、焼却炉を昇温し、同時にセラミックフィルタにもガスを流し、昇温を行った。焼却炉内が所定温度に到達後、汚泥投入を開始し、温度安定後諸調査を実施した。

実験設備 (C) は処理排ガス量が非常に大きいため実際の焼却排ガスではなく模擬排ガスにて実験を行った。実験は、熱風発生炉を昇温しセラミックフィルタに熱風を流し、熱風温度が所定温度に到達後、灰ホッパより焼却灰を熱風内に定量供給し実施した。



名称	循環流動炉	後燃焼炉	冷却塔	高温CF実験設備A	高温CF実験設備B	BF	スクラバ	排ガスファン
型式	外部循環式	縦式	スプレー式	ろ過式	ろ過式	ろ過式	スプレー式	ターボ式
容量	0.3m ^φ × 12m ^H	1.6 × 10 ⁵ kJ/h	7m ^φ × 5.5 ^H	0.8m ^W × 0.5m ^D × 2.3m ^H	0.5m ^φ × 2.0m ^H	0.7m ^W × 0.9m ^D × 4.3m ^H	0.5m ^φ × 5.0m ^H	25m ³ /min × 10kPa

図3 実験設備 (A)、(B) フロー



名称	熱風発生炉	灰ホッパ	高温CF実験設備C	スクラバ	排ガスファン
型式	横型	角型	ろ過式	スプレー式	ターボ式
容量	23 × 10 ⁵ kJ/h	1m ³	1.8m ^φ × 2.8m ^H	0.9m ^φ × 7.0m ^H	150m ³ /min × 4.5kPa

図4 実験設備 (C) フロー

4. 2 フィルタ仕様

調査に使用するフィルタの仕様を表2に示す。平成10年度調査において、適正と判断されたコーゼライトハニカムを用い、セルピッチの違いによる圧力損失等の性能評価を中心に実施した。フィルタAを基本とし、低ピッチ化による単位体積当りのろ過面積増大を狙ったフィルタを2種（B及びC）及び新規フィルタ保持方法（キャニング法）を評価するためにC、Dを使用した。

表2 使用フィルタ仕様

	フィルタA	フィルタB	フィルタC	フィルタD
材質	コーゼライト	←	←	←
セルピッチ	6mmピッチ	4mmピッチ	2.5mmピッチ	4mmピッチ
寸法	□150×500mmL	□150×500mmL	φ230×305mmL	φ200×500mmL
ろ過面積 (単位体積当り)	2.7m ² /本 (240m ² /m ³)	3.8m ² /本 (338m ² /m ³)	5.9m ² /本 (466m ² /m ³)	5.3m ² /本 (338m ² /m ³)
細孔気孔径	約15μm	←	←	←
気孔率	約40%	←	←	←
セル壁厚	0.8~0.9mm	0.6~0.7mm	0.4~0.5mm	0.6~0.7mm
保持方法	フランジハネ取付法	フランジハネ取付法	キャニング法	キャニング法
写真				
使用設備	実験設備(A)		実験設備(B)	実験設備(C)

4. 3 運転スケジュール

実験設備(A)、(B)は、焼却炉及び後燃焼炉を昇温し、同時にセラミックフィルタにも排ガスを流し昇温を行った。炉内が所定温度(800℃以上)に到達後、汚泥投入を開始し、汚泥投入量は80kg/hと一定とし100時間以上の汚泥焼却を行った。各Runの運転スケジュールを表3に示した。実験に使用した汚泥は、砂町水処理センター東部スラッジプラント(高分子系)、森ヶ崎水処理センター南部スラッジプラント(高分子系)、葛西処理場(古紙添加)の脱水汚泥を用いた。

表3 実験内容

	採取場所	実験内容	実験設備
Run 1	東プラ	性能調査(6mmピッチフィルタ:A)	(A)
Run 2	南プラ	性能調査(4mmピッチフィルタ:B)	
Run 3	葛西	性能調査(2.5mmピッチフィルタ:C)	(B)

東プラ：東部スラッジプラント
南プラ：南部スラッジプラント
葛西：葛西処理場

4. 4 実験条件

実験設備(A)、(B)を用いて、フィルタの圧力損失及び集塵性能を調査し、セラミックフィルタの連続運転性能を評価するための各実験条件を表4に示す。

表 4 実験条件一覧

Run-No.	Run 1	Run 2	Run 3
使用実験設備	実験設備(A)		実験設備(B)
汚泥投入量	80kg/h	80kg/h	80kg/h
汚泥種類	東プラ (高分子系)	南プラ (高分子系)	葛西 (古紙添加)
フィルタ仕様	□150×500mmL (6mmピッチ)	□150×500mmL (4mmピッチ)	φ230×305mmL (2.5mmピッチ)
フィルタ本数	2本	2本	1本
炉内燃焼温度	830~880℃	830~880℃	830~880℃
CF入口排ガス温度	800~830℃	800~830℃	800~830℃
CF排ガス量	140m ³ _N /h	150m ³ _N /h	130m ³ _N /h
CFろ過流速	0.028m/s	0.022m/s	0.025m/s
逆洗条件	0.2MPa×20min 間隔×0.6s (弁開時間)		

5. 調査結果

5. 1 セラミックフィルタ連続運転性能調査

5. 1. 1 運転圧力損失結果

6mm、4mmピッチ及び2.5mmの各フィルタを用いた運転(Run1~3)において、フィルタのろ過速度0.03m/s時の高温集塵運転時圧力損失を初期圧損と合わせて、表5に示す。本結果は平成11年度30時間連続運転を実施した結果と同様に若干ではあるが、6mmピッチより4mmピッチフィルタのほうが圧損が小さく、5.1kPaであった。

表 5 運転圧損 (0.03m/s の時)

	Run 1 フィルタA 6mmピッチ	Run 2 フィルタB 4mmピッチ	Run 3 フィルタC 2.5mmピッチ
ダスト無負荷時の 初期圧力損失(常温)	約 0.8kPa	約 0.8kPa	約 0.9kPa
運転圧力損失	約 5.4kPa	約 5.1kPa	約 6.2kPa

5. 1. 2 排ガス測定結果

Run2における排ガス測定結果を表6に示す。

これらの結果から、セラミックフィルタ出口で0.002g/m³_N以下のダスト濃度であり、精密集塵が継続されていることがわかる。これは、ろ過式集塵機であるバグフィルタと同等の値であり、他集塵機であるサイクロンや電気集塵機と比較して、1桁低い値であることから精密な集塵といえ、また、セラミックフィルタ出口ダスト粒径分布はND(検出限界値以下)であることから十分に集塵していることがわかる。

重金属濃度は、セラミックフィルタ出口ではほとんどの成分に対して濃度が非常に低い値を示した。但し、沸点が低いHgはほぼ全量が、Seに関しては半分程度がガス状態としてフィルタを通過することがわかる。また、セラミックフィルタ入口排ガス量に対し、セラミックフィルタ出口排ガス量が増加している原因は、長時間運転により、フィルタ取付部のフランジ部ボルトが熱伸びにより緩み、外気を吸引したため排ガス量が増加し、温度も低下したものと考えられる。

表6 排ガス測定結果（4mmピッチフィルタ使用）

		Run 2						
		1～6.5時間		50～53.5時間		94～100.5時間		
測定箇所		CF入口	CF出口	CF入口	CF出口	CF入口	CF出口	
排ガス量(湿ガス)	m ³ _N /h	160	170	150	160	150	160	
排ガス量(乾ガス)	m ³ _N /h	130	140	120	130	120	130	
排ガス温度	°C	830	635	835	637	827	630	
水分量	%	19.8	20.4	19.7	19.6	19.7	19.6	
O ₂	%	8.3	9.1	8.2	8.9	8.2	8.9	
ダスト濃度	g/m ³ _N	22	<0.002	22	<0.002	23	<0.002	
排ガス中重金属	Pb	mg/m ³ _N	0.16	<0.02	0.16	<0.02	0.16	<0.02
	Cd	mg/m ³ _N	0.015	0.00086	0.015	0.0017	0.015	<0.001
	As	mg/m ³ _N	0.0075	0.00020	0.0075	0.00010	0.0075	0.00025
	Hg	mg/m ³ _N	0.023	0.034	0.023	0.019	0.023	0.020
	Se	mg/m ³ _N	0.0053	0.0024	0.0053	0.0027	0.0053	0.0012
	T-Cr	mg/m ³ _N	0.60	<0.005	0.60	<0.005	0.60	<0.005

5.1.3 フィルタへのダスト侵入状況

フィルタの切断面と観察位置を図5に示す。ろ過後フィルタのダストの侵入状況の観察位置をフィルタの中心部とし、まず使用後フィルタを切断し、中心部から電子顕微鏡観察用のサンプルを採取した。また、図6に電子顕微鏡写真結果の模式図を示す。

30時間及び100時間運転後のフィルタ壁断面の走査電顕SEM写真と化学分析（Si、Al、Fe、P、Na、Zn、As、Cr、Cd、Pb、Cu、Hg、Se）の結果より、ダスト中に多く含まれる成分であるPに着目すると、フィルタ基材内での検出が30時間、100時間とも見られないことから、ダストのフィルタ基材への侵入はないと判断できる。また、フィルタピッチによる違いは見られなかった。

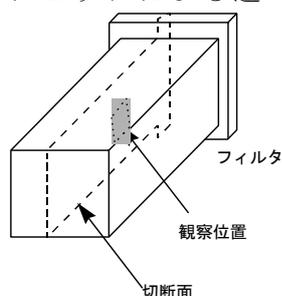


図5 フィルタの切断面と観察位置

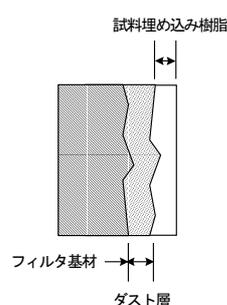


図6 観察結果の模式図

5.1.4 フィルタ強度評価

セラミックフィルタの運転前後のフィルタ強度変化を調査するため、6mmピッチのフィルタを切り出し（概ね40mm^W×5mm^D×1mm^t）、3点曲げ試験を実施した。その様子を図7に示す。

6mmピッチフィルタを選択した理由は、平成11年度調査において6mmピッチフィルタによる30時間経過後の強度測定を行ったためである。30時間及び100時間運転後のフィルタの3点曲げ試験（切り出しサンプル10枚の各測定値の平均）を実施した結果を表7及び図8に示す。使用前の平均曲げ強度は、11.3MPaであり、30時間使用後は9.5MPaであった。使用前の値を1とした場合、使用後の曲げ強度は約0.84であり、1.5割程度の強度

低下に至った。しかし、100 時間使用後では 9.35MPa であり、30 時間使用後の強度と比較してほとんど低下が見られず運転初期に強度低下した後は安定するものと考えられる。

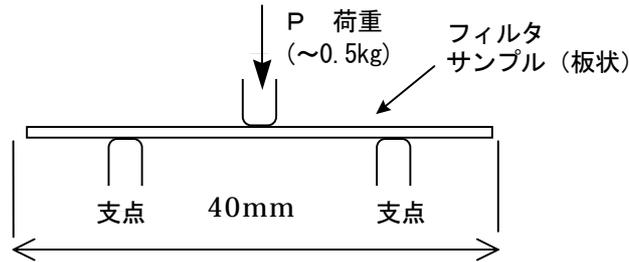


図7 3点曲げ試験の様子

表7 フィルタ強度測定結果 (6mmピッチフィルタ) (MPa)

試料 No	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	平均
使用前	12.0	10.2	11.0	11.3	10.3	11.4	12.1	12.4	11.4	10.4	11.3
30 時間使用後	9.7	9.0	9.6	9.6	8.7	9.5	9.7	9.7	9.6	9.5	9.5
100 時間使用後	9.2	10.7	8.7	8.9	9.3	9.6	9.4	9.0	9.4	9.3	9.35

* 3点曲げ試験の曲げ強さ計算方法は、参考資料の『ファインセラミックスの曲げ強さ試験方法』参照

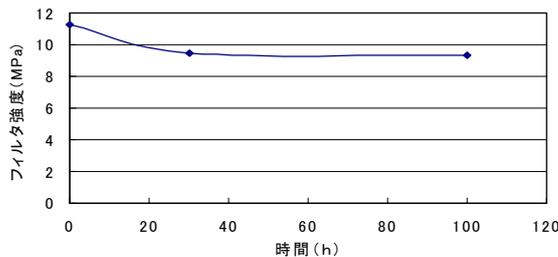


図8 フィルタ強度の経時変化

5. 1. 5 ダイオキシン類測定結果

東プラの脱水汚泥を使用した 100 時間実験 (Run1) において、焼却開始後 4 ~ 9 時間経過時に、煙突出口におけるダイオキシン類の測定を行った結果、濃度は 0.02ng-TEQ/m³_N で本処理規模の焼却炉の規制値である 10ng-TEQ/m³_N を大きく下回る結果となった。

5. 2 フィルタ保持方法調査

5. 2. 1 シミュレーションによる熱応力解析結果

高温場における最適なフィルタ形状を検討するため、矩形及び円柱状フィルタの熱応力解析を実施した。高温場では、低温の状態と異なり熱膨張等による熱応力が問題になる。解析条件を表8に示した。

表8 フィルタ熱応力解析条件

	フィルタ形状	フィルタ寸法	温度条件
その1* ¹	矩形	□150	20℃⇒350℃
その2	矩形	□150	20℃⇒850℃
その3	円柱状	φ286* ²	20℃⇒850℃

* 1 その1は比較のため低温での条件にて解析

* 2 現状フィルタでの最大径を設定

表9 熱応力解析結果

	最大変位量 (mm)	最大主応力値 (kgf/mm ²)
その1	0.925	1.63
その2	2.33	4.13
その3	1.66	0.635

解析の結果を表 9 に示す。矩形フィルタの場合、熱膨張による熱応力はフィルタコーナ部に集中し、最大主応力値は高温場では低温の 2.5 倍となった。一方、円柱状フィルタの場合、熱膨張による熱応力は周方向に均等に作用し、最大主応力値は矩形フィルタと比較し 1/6 に減少した。

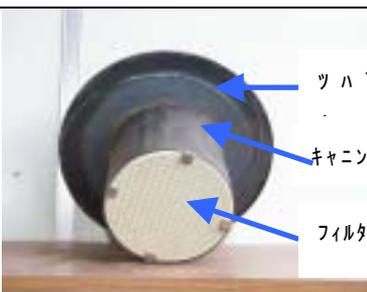
また、熱による歪（変位量）に関しても、矩形の場合はコーナ部において変位量が大きい、円柱状の場合は均等に歪位している。

本解析結果より、高温場においては熱応力の緩和並びに熱伸びによる熱歪を防止するために円柱状フィルタの有効性が明らかになった。

5. 2. 2 フィルタ保持方法検討結果

高温場でのフィルタ保持方法として平成 11 年度はキャニング法で分割式を採用したが、平成 12 年度はキャニングケースの簡素化を図るために新方式である圧入式にて実験を行った。各キャニング法の比較を表 10 に示した。今回キャニングに採用したパッキンは、平成 11 年度調査にて良好な結果が得られた熱膨張性パッキンである。

表 10 キャニング法比較

	分割式（従来式）	圧入式（新方式）
写真		
構成部品	①フィルタ ②パッキン ③キャニングケース（2分割） ④ツバ部	①フィルタ ②パッキン ③キャニングケース（ツバ一体）
特徴	・キャニングケースが2分割 ・ツバ部が脱着式	・キャニングケース、ツバ部共一体式
キャニング手順	①フィルタにパッキンを取付け ②キャニングケースをボルト・ナットにて締付け ③ツバ部をボルト・ナットにて取付け	①フィルタにパッキンを取付け ②キャニングケースにフィルタを圧入

本圧入方式にてキャニングを施工したフィルタを用いて長期連続実験（Run3）を実施した。

表 11 に排ガス測定結果を示した。これらの結果より、出口ダスト濃度は測定限界値以下であり、高温場で精密集塵されていることが確認された。

重金属濃度については、セラミックフィルタ出口ではほとんどの成分に対して濃度が非常に低い値を示したが、沸点が低いHgはほぼ全量が、Seに関しては半分程度がガス状態としてフィルタを通過しており、Run2と同様な結果となった。

また、実験使用後のキャニングケースを分解したところ、パッキン合せ面にてダストリーク跡が一部見られたが、フィルタ合せ面を図 9 に示すようなラビリンス構造にすることによりそれ以上のリーク進行は見られなかった。それ以外のフィルタ壁面には灰のリーク跡が見られないことから、キャニングケースとフィルタの隙間からのリークは防止されて

おり、圧入式キャニグ法にて十分シールされていることがわかる。

表 11 排ガス測定結果

		Run 3		
		CF 入口	CF 出口	
排ガス量 (湿ガス)	m ³ _N /h	130	130	
排ガス量 (乾ガス)	m ³ _N /h	110	110	
排ガス温度	°C	825	671	
水分量	%	19.0	19.0	
O ₂	%	8.7	8.7	
ダスト濃度	g/m ³ _N	17	<0.002	
平均ダスト粒径	μm	26.9	ND	
排ガス中 重金属	Pb	mg/m ³ _N	0.11	<0.02
	Cd	mg/m ³ _N	0.0018	<0.001
	As	mg/m ³ _N	0.0097	0.00034
	Hg	mg/m ³ _N	0.017	0.018
	Se	mg/m ³ _N	0.0077	0.0046
	T-Cr	mg/m ³ _N	1.4	<0.005

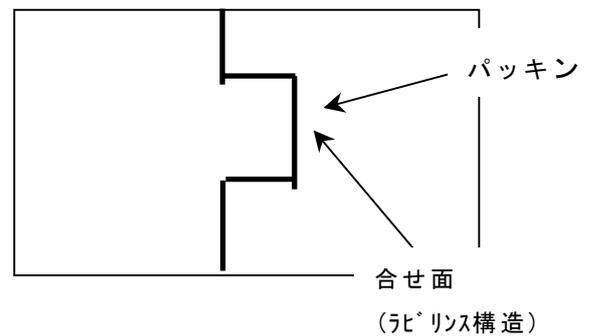


図 9 パッキン合せ面構造

5. 3 高温集塵灰性状調査

表12、表13に高温セラミックフィルタによる集塵灰の組成分析及び溶出試験結果を記した。比較のため、同一排ガスをバグフィルタにより低温で集塵した灰の組成分析及び溶出試験結果を合わせて示した。灰中の重金属は、含有・溶出量共に高温で集塵することにより低減されている。

表 12 集塵灰の組成分析結果

成分		単位	Run 1		Run 2		Run 3	
脱水汚泥		—	東プラ		南プラ		葛西	
セルピッチ	mm		6	—	4	—	2.5	—
集塵条件	—		高温	低温	高温	低温	高温	低温
集塵温度	(°C)		830	160	830	170	830	170
基本組成	含水率	wt% (W. B.)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	強熱減量	wt% (D. B.)	1.8	1.3	0.5	0.6	0.7	1.4
	SiO ₂	wt% (D. B.)	37.6	31.8	39.9	35.9	30.4	26.3
	Al ₂ O ₃		11.8	12.7	12.3	13.3	14.0	14.2
	CaO		10.0	11.9	11.7	13.1	11.1	11.8
	Na ₂ O		0.91	1.1	2.0	2.1	1.3	1.4
	K ₂ O		1.7	2.3	2.0	2.1	2.6	2.6
	P ₂ O ₅		16.6	18.8	11.7	13.2	20.9	21.9
Fe ₂ O ₃	9.2		9.9	7.2	7.4	10.0	9.9	
その他	Pb		ppm	59	170	170	200	97
	Cd	5.6		7.3	4.5	4.6	5.1	5.5
	As	8.4		9.5	7.7	10	22	28
	Se	<0.5		<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	T-Hg	<0.01		0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Cr ⁶⁺	<2.0		4.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
	T-Cr	wt%	0.46	0.51	0.09	0.06	0.12	0.12
	Zn		0.36	0.45	0.31	0.36	0.43	0.49
	Cu		0.20	0.23	0.17	0.15	0.18	0.20
Mn	0.13		0.15	0.08	0.08	0.42	0.42	

W. B. : 湿基準、D. B. : 乾燥基準

高温集塵 : セラミックフィルタ

低温集塵 : バグフィルタ

表 13 集塵灰の溶出試験結果

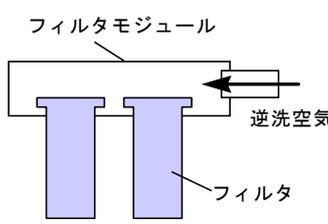
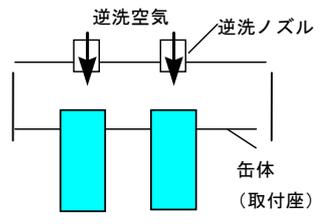
項目	単位	Run 1		Run 2		Run 3		埋立基準
		東プラ		南プラ		葛西		
セルピッチ	mm	6		4	—	2.5	—	—
集塵条件	—	高温	低温	高温	低温	高温	低温	
集塵温度	(°C)	830	160	830	170	830	170	
pH	—	6.8	7.4	9.5	11.1	8.5	7.5	—
Pb 及びその化合物	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.3(0.01)
Cd 及びその化合物		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.3(0.01)
As 及びその化合物		0.04	0.10	0.015	0.006	0.11	0.58	0.3(0.01)
Se 及びその化合物		<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	0.077	0.3(0.01)
Hg 及びその化合物		<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.005 (0.0005)
Cr 及びその化合物		0.08	0.12	0.10	0.04	0.06	0.02	—
Cr ⁶⁺		0.10	0.17	0.07	0.03	0.06	0.02	1.5(0.05)
CN 及びその化合物		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	ND
PCB		<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
Ar-Hg		ND	ND	ND	ND	ND	ND	—

() 内数値は土壤環境基準値を示す

5.4 逆洗性能調査

逆洗方法の検証は実験設備 (C) にて、表 14 に示される 2 種類の方式にて実施した。同じろ過面積フィルタと逆洗空気圧力で逆洗空気量の違いを測定し、逆洗空気量の調整は逆洗弁の開閉時間を変化させることにより行った。逆洗空気圧力は平成 11 年度調査において最適値であった 200 kPa を採用した。同逆洗空気圧力で比較して、タイプ B の方が逆洗空気量が少ない結果となり、逆洗方式としては有効であることがわかる。

表 14 逆洗方式と逆洗圧力測定結果

		タイプ A	タイプ B
構造			
方法		フィルタモジュール内へ逆洗空気を導入し、数本同時に逆洗	モジュール構造をなくし、フィルタ 1 本毎に逆洗空気を導入
特徴		<ul style="list-style-type: none"> 一方、モジュール内に大量の空気を導入する必要あり炉圧の上昇を加味する必要があり 高温高压に耐える高剛性構造が必要となり高価 	<ul style="list-style-type: none"> 逆洗空気をフィルタへの直接噴射する事で、より少ない空気量で効率的に逆洗圧力を発生させることが可能 逆洗空気量の低減により、焼却炉圧力上昇を抑えることが可能 高压部が少なく安価
実験	目的	同逆洗空気圧力にて、必要逆洗空気量を比較	
	条件	<ul style="list-style-type: none"> フィルタ：φ200×500 L×4 mm ピッチフィルタ (ろ過面積 5.3m²/本) 逆洗弁：125 A - ボール弁 	<ul style="list-style-type: none"> エアタンク圧力：200kPa 逆洗弁開閉時間：約 0.6s
		<ul style="list-style-type: none"> エアタンク圧力：200kPa 逆洗弁開閉時間：約 0.55s 	<ul style="list-style-type: none"> 逆洗弁開閉時間：約 0.55s
結果	逆洗空気量：0.060m ³ /m ² 回 (ろ過面積)	逆洗空気量：0.048m ³ /m ² 回 (ろ過面積)	

逆洗空気量の算出は、気体の状態方程式

$$P V = n R T \text{ より、}$$

P : 圧力(MPa)、 V : 体積()、 n : モル数(mol)、

R : 気体定数 (8.31×10^{-6} MPa・ /K・mol)、

T : 温度(K)

逆洗前後の状態方程式は、

$$(\text{逆洗前}) P_0 V_0 = n_0 R T \dots\dots ①$$

$$(\text{逆洗後}) P V_0 = n R T \dots\dots ②$$

(P_0 : 逆洗前、 P : 逆洗後)

①式及び②式より、逆洗空気のモル数 Δn を算出する

$$① - ② : (P_0 - P) V_0 = (n_0 - n) R T$$

よって、逆洗空気量 $\Delta n = (n_0 - n) = (P_0 - P) V_0 / R T$

表 15 逆洗空気量計算値

	タイプ A	タイプ B
逆洗前I7タンク圧 (P_0)	0.20MPa	0.20MPa
逆洗後I7タンク圧 (P)	0.143MPa	0.154MPa
Δn	98.7mol	79.7mol
逆洗空気量(標準状態)V	2.212	1.785
ろ過面積	37.1㎡	37.1㎡
逆洗空気量	0.060 /㎡	0.048 /㎡

(I7タンク+配管)容量: $V = 4.29$

I7タンク内空気温度: $T = 298 \text{ K} (25^\circ\text{C})$

1mol=0.0224

5.5 缶体構造および材質調査

5.5.1 缶体構造の検討

前項 5.2.1 フィルタ保持方法調査におけるシミュレーション熱応力解析結果より、高温場においては熱応力の緩和並びに熱伸びによる熱歪を防止するために円柱状フィルタの有効性が明らかになった。そこで円柱状フィルタを設置する缶体構造についても円形を基本とし検討を行った。フィルタ取付座の概念図を図 10 に示した。

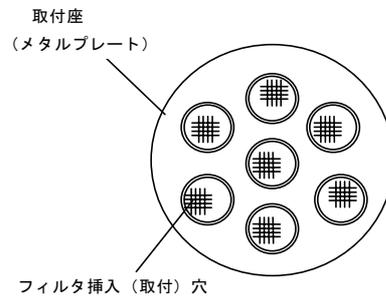


図 10 フィルタ取付座の概念図

5.5.2 缶体材質の検討

高温セラミックフィルタ集塵機の概念図を図 11 に示す。本図に示されるように、フィルタ、キャニング、フィルタ取付座、本体にて構成される。それぞれの適用材質を理由と共に表 16 にまとめる。

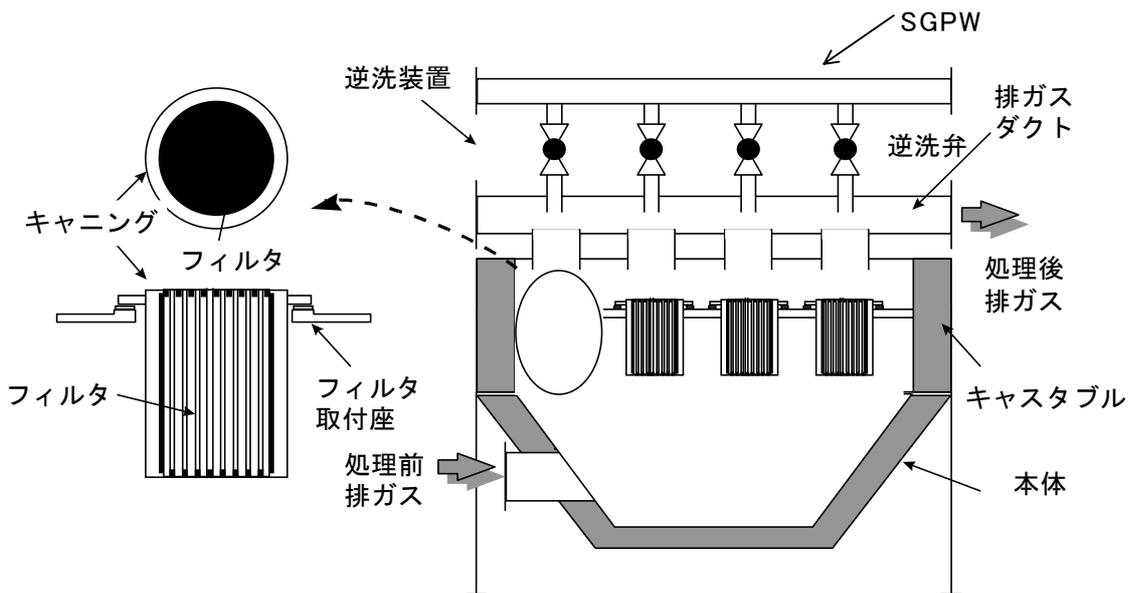


図 11 高温セラミックフィルタ集塵機の概念図

表 16 缶体材質

	材質	理由	備考
フィルタ	コーゼライト	・低熱膨張性 他セラミックス材料と比較し、低熱膨張性等によりコーゼライトが適する	平成10年度報告書参照注1)
キャニング	SUS310S	・低腐食性 ステンレス鋼は、耐腐食性大 ・高温強度 SUS310S (150~280MPa) > SUS316 (150~250MPa) > SUS304 (150~180MPa) ・汎用性 上記の材料の他に、耐腐食性及び高温強度を持つ材料は存在するが、一般に流通されておらず、高価。	()内は800~900℃の引張強度
フィルタ取付座	高温鋳鋼 (SUS310S 相当品)	・高温強度及び耐腐食性 SUS310S 相当品であれば、使用可能。 ・高剛性鋳鋼 取付座の歪みを低減させるために板厚を厚くする必要がある。取付られるフィルタ分が加工時に切り取られるため SUS310S では、費用が大。よって、費用を低減させるため鋳鋼とする。	取付座の様子は、図10に示した。
逆洗装置	接触排ガス部： SUS304 非接触排ガス部： SGPW	接排ガス部： 耐腐食性材料であり、SUS310S ほどの高温強度は不要。 非接排ガス部： 空気用標準材料として汎用性大	
キャストブル	耐火キャストブル (JISR2541 相当品) 断熱キャストブル (JISR2541 相当品)	金属のシェルだけでは、構造体として成り立たない。焼却炉、流動空気予熱器の実績を参考とした。	JIS R2541~2641
缶体本体	SS400	高剛性材料であり、耐食性に乏しいが排ガスに接触しないため、耐食性の高いステンレス鋼の必要なし。	

注1)「焼却炉高温排ガスの有効利用調査 報告書」(平成11年3月)

5.5.3 排ガス測定結果表

表 17 排ガス測定結果

前項 5.5.1, 5.5.2 にて検討を行った構造、材質にて実験設備 (C) を製作し排ガス測定を実施し集塵性能調査を行った。結果を表 17 に示す。本結果よりセラミックフィルタ出口ダスト濃度は $0.002 \text{ g/m}^3_{\text{N}}$ 以下と精密集塵されており、構造、材質共に適用性を見出せた。

測定箇所	CF入口	CF出口
排ガス温度	830℃	800℃
ダスト濃度	$32 \text{ g/m}^3_{\text{N}}$	$< 0.002 \text{ g/m}^3_{\text{N}}$

6. フィージビリティスタディ

前記実験結果をもとに、低温集塵システムと高温集塵システム のフィルタ使用本数及び集塵機設置面積を計算した。表 18 より、高温集塵機のフィルタ使用本数は 4 mm ピッチを採用することにより 1.15 倍程度であるが、設置面積は低温集塵機と比較して約 5 倍になる。

これは高温セラミックフィルタが、円柱状の場合デッドスペース (1 モジュール間のスペース) が矩形と比較し多くなるためである。

そこで、焼却及び集塵システムとしての評価の 1 つである設備全体の想定レイアウトを検討した。焼却設備全体の設置面積は、廃熱ボイラ及び空気予熱器の仕様の相違により集塵機の設置面積が大きくなっても、廃熱ボイラ及び空気予熱器のコンパクト化から、全体として低温集塵システムと同等であることが分かった。

表 18 フィージビリティスタディ結果

	低温 CF 集塵システム	高温 CF 集塵システム
処理規模	300t/d (高分子系汚泥)	
排ガス量	常用 : 34,000m ³ _N /h 最大 : 44,900m ³ _N /h	
集塵温度	250℃	830℃
許容ろ過速度	0.027m/s	0.025m/s
運転ろ過速度	0.020~0.024m/s	0.019~0.025m/s
必要ろ過面積	890m ²	2000m ²
必要本数	330本	378本
主寸法(概略)	4.4m ^W ×4.5m ^D ×11.8m ^H	17.4m ^W ×5.8m ^D ×16.5m ^H
設置面積	約 20m ²	約 100m ²
発電容量	720kW	750kW
イニシャルコスト	基準とする	8%低減
ランニングコスト	基準とする	310万円低減
評価	△	○

7. まとめ

平成 12 年度の調査結果より、以下の事項が判明した。

(1) セラミックフィルタ連続運転性能調査

- ① 3種のセルピッチのフィルタ（6、4及び2.5mmピッチ）の運転圧力損失は、4mmピッチが最小値を示した。
- ② セラミックフィルタにより、ダストの長時間高効率除去（出口ダスト濃度：0.002g/m³_N以下）が可能であった。
- ③ 100時間使用後フィルタの断面観察結果、30時間と同様にフィルタ基材内にダストの浸入が見られなかったが、更なる長期的な運転で判断する必要がある。
- ④ フィルタ強度試験の結果、30時間使用後のフィルタでは強度が初期の85%程度まで低下したが、100時間使用後のフィルタでは、その後の強度低下がほとんど見られなかったため、初期強度低下後は安定するものと考えられる。
- ⑤ ダイオキシン類測定結果は、0.02ng-TEQ/m³_Nと規制値10ng-TEQ/m³_Nを大きく下回る結果となった。

(2) フィルタ保持方法調査

- ① 高温場でのシミュレーション解析の結果、熱応力の緩和並びに熱伸びによる熱歪の防止を図るためには、円柱状フィルタが有効であることが確認された。
- ② 新規採用した圧入法によりキャニングした円柱状フィルタを用いて排ガス測定を行った結果、出口ダスト濃度は0.002g/m³_N以下であり、圧入式の適用可能性が実証された。

(3) 高温集塵灰性状調査

- ① 高温集塵灰の組成分析によりAs、Pb等の重金属成分の含有低減と、溶出試験により溶出低減が可能であった。溶出量は廃棄物埋立基準をクリアしたが、さらに土壤環境基準値以下にするためには、さらなる検討が必要であると考えられる。

(4) 大型セラミックフィルタ実験設備による性能調査

- ① 逆洗条件が、逆洗空気圧力：200kPa、逆洗間隔：20min/回、逆洗弁開閉時間：0.6s程度にて100時間の安定ろ過が可能であった。逆洗方式は、フィルタ個別を逆洗する方式のほうがモジュール一括で逆洗する方式より空気量が少ないことが確認された。
- ② 缶体構造及び材質は、実験設備（C）にて実証されたが、下水汚泥焼却実排ガスを使

用した長期ろ過試験にて更なる適用性を確認する必要がある。

(5) フィージビリティスタディ

① 実験データを踏まえ、低温集塵システムと比較した場合、装置自体の設置スペースは大きくなるが、廃熱ボイラ及び空気予熱器がコンパクトになることから、プラント全体では低温集塵システムと同等である。

② イニシャルコストは、廃熱ボイラ及び熱交換器のコンパクト化から、システム全体として8%のコストダウンが可能である。

8. おわりに

本調査は平成10年度より調査を実施し、平成10年度は高温セラミックフィルタの素材について、コーゼライトが最適であることが分かった。平成11年度の調査結果より、フィルタの基本性能、逆洗性能及び保持方法の検討から4mmピッチのフィルタが最適なことが分かった。平成12年度は大型の実験設備を用い更なる諸性能を調査し、実行化の検討を図った。

実用化にあたっては、汚泥焼却炉実排ガスを使用した長期ろ過試験を行い適用性を確認する必要がある。

用語説明

(1) ろ過式集塵機

ろ材を通して排ガスから飛灰を分離捕集する装置全般をいう。バグフィルタ及びセラミックフィルタは、ろ過式集塵機である。

(2) ハニカム型セラミックス

薄壁で仕切られた一定形状の多数のセルが貫通するセラミックスのことである。ハニカムセラミックスの構造はセル構造、セル壁厚、セルピッチにより決定され、用途に応じ必要とされる幾何学的表面積、圧力損失などの特性及び製造の難易を考慮して選択される。

(3) コーゼライト

シリカーアルミナーマグネシア系セラミックスであり、 $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ の組成である。低熱膨張特性を持ち、耐熱衝撃性に優れた特性を示し、自動車排ガス触媒担体、熱交換器に適用される。

(4) ばいじん、ダスト

排ガス中に含まれる固体粒子である。ほとんどが下水汚泥中の灰分であり、流動媒体である珪砂の微破砕物も含む。

(5) ダスト濃度

処理ガス（乾ガス）の単位体積に含まれるダストを質量で表したもの。

(6) 圧力損失

装置の入口及び出口における処理ガスの全圧力の差。

(7) ろ過速度

集塵装置において、集塵効果に影響する代表的な場所のガス流速。

(8) ろ過面積

気体が通過するろ過体の表面積。

(9) ダストホップ

捕集したダストを収める容器。

(10) 粒度分布

集塵機が捕集する粒子は、粒径が均一ではなく、いろいろな大きさの粒径をもった粒子が含まれている。粒径に対応して分布する状態を粒径分布といい、一般に質量基準で表示される。

(11) 走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope)

電子線を試料表面上に走査して、各走査点から放出される電子を検出器に受け、像として映し出すことのできる顕微鏡。電子と同時に各走査点から放出される特性X線をとらえて微小領域の元素分析装置としても用いられる。

(12) 乾ガス及び湿ガス

乾ガス＋水分（水蒸気）＝湿ガスであり、乾ガスは、湿ガスから水蒸気分を除いた乾燥空気である。

(13) キャニング方式

キャニング方式とは、自動車排ガス用触媒担体の保持方法として一般的に使用されており、その構造はフィルタの周りをパッキンで包み込み、更にその外周を金属容器(can)にて包み込んだものである。

参考文献

- 1) 東京都下水道局技術調査年報、焼却炉高温排ガスの有効利用調査、p. 329～336、平成 11 年 11 月
- 2) 東京都下水道局技術調査年報、焼却炉高温排ガスの有効利用調査その 2、p. 456～469、平成 12 年 10 月

[大目次](#)[目次](#)[要旨](#)

- 2 下水汚泥焼却灰の資源化技術の基礎調査その2

計画調整部技術開発課；坂本 達哉
宮澤 裕三
上野 孝司

1 はじめに

下水汚泥焼却灰の有効利用においては、利用のための安全性に関する基準がなく、改善の策として「土壌の汚染に係る環境基準（以下、土壌環境基準値）」が指標として用いられることが多い。しかし、処理場によっては重金属類、中でも特にヒ素やセレンの溶出が基準値以上となり、有効利用の妨げとなっている。

そこで本調査では、下水汚泥焼却灰を無害化し、資源としての利用を可能にすることを目的に、焼却灰に含まれる重金属類、特にヒ素、セレンの溶出抑制技術の開発に取り組み、有効な資源化技術を得たので報告する。

2 現状の問題点と開発のポイント

2.1 現状の問題点

温泉排水や工場排水の流入により、焼却灰からヒ素やセレンが土壌環境基準値以上に溶出するケースが見られる。

表1に葛西、新河岸、東部スラッジプラント、小台の各処理場焼却灰の重金属類溶出試験結果（環境庁告示第46号による：以下環告46号という）を示すが、そのほとんどがヒ素、セレンとも土壌環境基準である0.01mg/L以下を満たしていない。

表.1 種々の焼却灰の重金属類溶出試験結果 単位(mg/l)

焼却灰名	葛西		新河岸		東プラ		小台	基準値 (環告46号)	
	H12.6	H12.12	H12.6	H12.12	H12.6	H12.12	H11.11		
採取時期									
pH	7.4	6.7	7.8	7.7	6.5	6.6	9.6		
全Cr	T-Cr	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	
六価Cr	Cr ⁶⁺	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	0.05
Cd	Cd	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
鉛	Pb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.01
水銀	T-Hg	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
シアン	CN	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	不検出
ヒ素	As	0.30	0.42	0.14	0.15	0.27	0.52	<0.01	0.01
セレン	Se	0.03	0.03	0.21	0.12	0.45	0.92	0.03	0.01

2.2 開発のポイント

焼却灰からの溶出抑制技術の開発ポイントは以下の通りとした。

- ・ 安価であること。
- ・ 薬剤添加は必要最小限に抑え、できるだけ焼却灰量が増えないようにする。
- ・ 熱を利用する場合は、焼却炉廃熱を利用できる温度範囲内での処理にする。

3 平成12年度調査成果概要

平成11年度の成果では、焼却灰に硫酸第一鉄溶液を添加・混練（ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 添加率：3%以上）した後100～400程度で加熱することで、ヒ素、セレンを溶出抑制できることが明らかになった。しかし本処理により新たにカドミウムが溶出する可能性が確認され、また種々の焼却灰に対する汎用性もまだ確認できていなかった。そこで平成12年度調査では、硫酸第一鉄添加＋加熱処理を中心に、ヒ素、セレン、カドミウムを同時に溶出抑制できる技術を、種々の焼却灰を用いて探索することとした。また、溶出抑制処理済の灰の用途を拡大する一環として、焼却灰の取扱いを容易にするための造粒技術に関する調査も行い、資源化メニューの多様化を図ることとした。

3.1 重金属溶出抑制技術調査

平成12年度調査では、ヒ素の溶出が多い葛西焼却灰、セレンの溶出が多い新河岸焼却灰、ヒ素とセレン両者とも溶出が多い東プラ焼却灰の3種類の焼却灰を対象に、重金属溶出抑制技術の探索を行った。その結果、原灰性状により、以下の重金属類溶出抑制処理方法を見出した。各処理のヒ素、セレン、カドミウム溶出抑制効果は図1～3に示す（各図のデータは複数の実験結果の平均値である）。

3.1.1 硫酸第一鉄添加＋加熱処理

硫酸第一鉄添加＋加熱処理はヒ素溶出抑制には非常に効果的であり、図1に示した処理条件では、検討したいずれの焼却灰もヒ素の溶出は全く見られなかった（分析値：0.000 mg/L）。セレン溶出抑制効果については、原灰からのセレン溶出が少ない葛西焼却灰では硫酸第一鉄添加＋加熱処理によりセレン溶出量を0.01 mg/L以下に抑えられたものの、原灰セレン溶出量が多い新河岸焼却灰と東プラ焼却灰では同処理によるセレン溶出抑制は困難であった。またいずれの焼却灰も硫酸第一鉄添加＋加熱処理をする前の原灰からはカドミウムの溶出が確認されなかったにも関わらず、同処理をすることで新たにカドミウム溶出が起る問題も確認された。その結果、硫酸第一鉄添加率3%の条件では、葛西焼却灰に対し適用できる可能性が示せたものの、新河岸焼却灰、東プラ焼却灰では本処理の適用は難しいことが明らかになった。

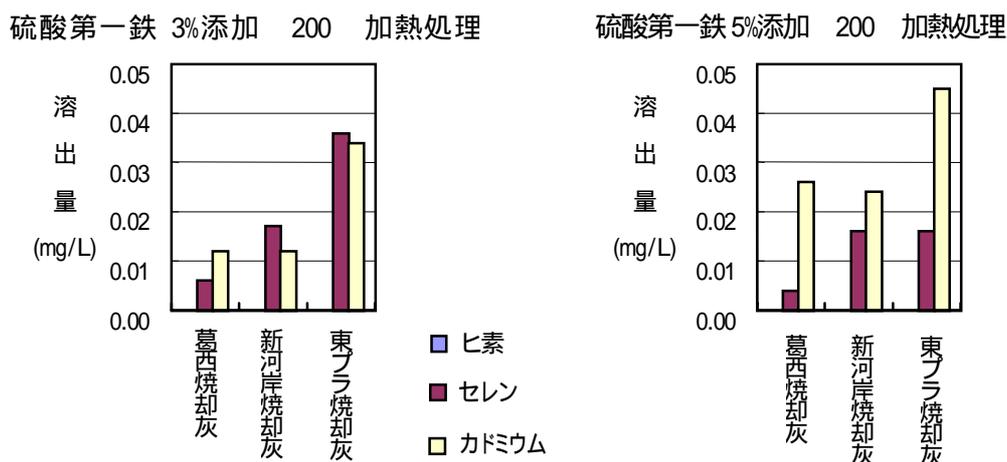


図1 硫酸第一鉄添加 加熱処理による砒素,セレン,カドミウム溶出抑制効果

3.1.2 硫酸第一鉄添加 + 放置 + 加熱処理

硫酸第一鉄添加 + 加熱処理に7日放置するプロセスを組み合わせることで、葛西焼却灰と新河岸焼却灰は砒素, セレン,カドミウムの溶出抑制が可能であることを示せた。葛西焼却灰では、検討した硫酸第一鉄添加率 3, 5%、加熱温度 200, 400 のいずれの条件でも砒素,セレン,カドミウムを抑制できたが、新河岸焼却灰では硫酸第一鉄添加率 5%、加熱温度 400 が最も望ましい条件となった。放置期間を長くとるほどカドミウム溶出量は低下する傾向を示したが、セレンは放置による明確な溶出量低減効果は見られなかった。そのため東プラ焼却灰は、本処理では特にセレン溶出を抑制できないことが問題として残った。

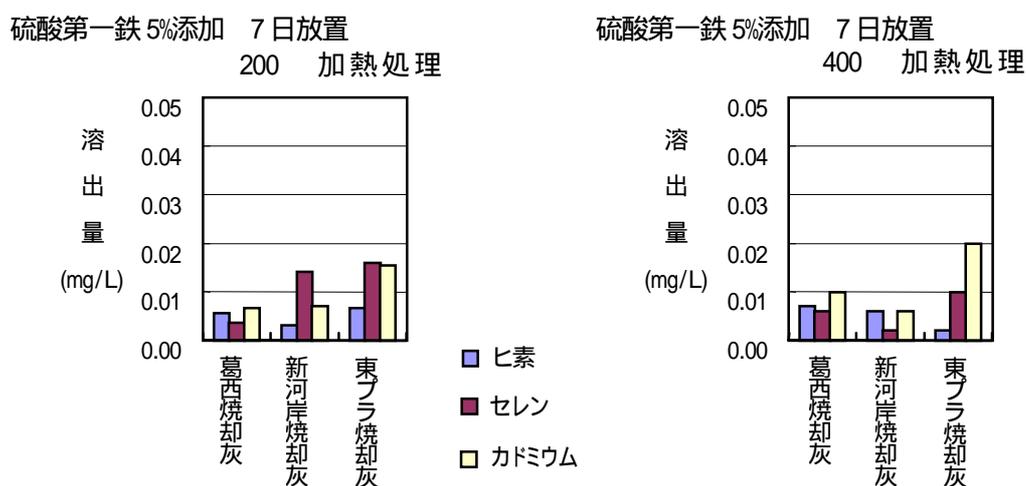


図2 硫酸第一鉄添加 放置 加熱処理による砒素,セレン,カドミウム溶出抑制効果

3.1.3 還元前処理を組み合わせた硫酸第一鉄添加 + 加熱処理

上記処理で東プラ焼却灰では特にセレンの溶出が抑制できない結果となったことから、セレン溶出抑制対策として硫酸第一鉄添加 + 加熱処理に還元前処理を組み合わせ

た。還元前処理ではアンモニア化合物を還元剤として用いる方法を中心に検討し、その中でも特に硫酸アンモニウムがセレン溶出抑制に効果的であることが明らかになった。セレン溶出量は、新河岸焼却灰と東プラ焼却灰いずれも再現性良く 0.01 mg/L 以下にでき、硫酸アンモニウム添加後の加熱処理は 200 よりも 400 の方がセレン溶出抑制効果が見られた。しかし同条件について、カドミウムは逆に 400 より 200 の方が溶出量は低くなり、セレンとカドミウムを同時に溶出抑制できない結果となった。この対策として、放置プロセスを組み合わせたり、後処理として中和プロセスや消石灰添加プロセスを組み合わせる方法を検討したが、いずれもセレンとカドミウムを同時に溶出抑制できなかった。そのため東プラ焼却灰に対しては効果的な重金属溶出抑制技術を見い出すことができなかった。

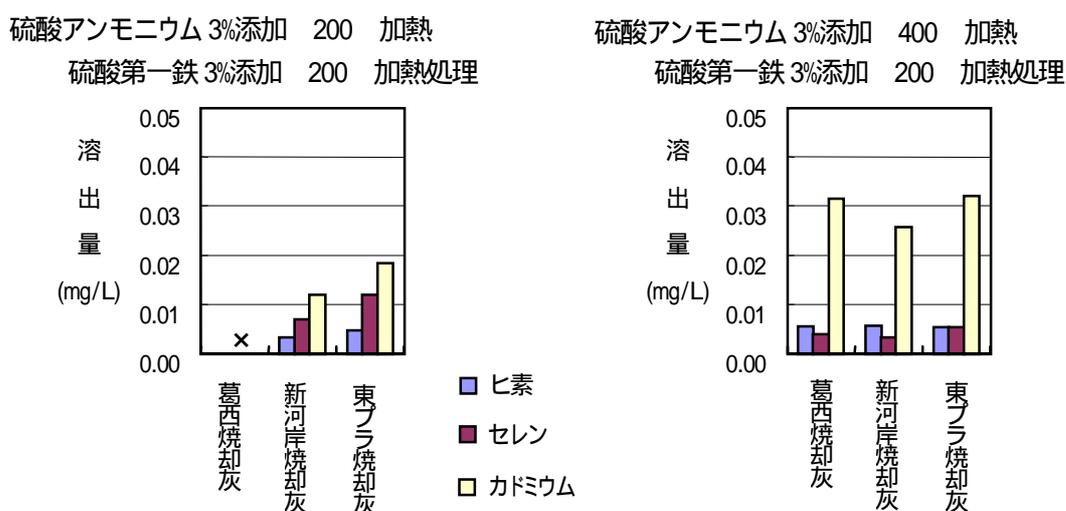


図3 還元前処理を組み合わせた硫酸第一鉄添加 加熱処理によるヒ素,セレン,カドミウム溶出抑制効果 (×印はデータがないことを表す)

以上の結果、葛西焼却灰、新河岸焼却灰に対しては、『硫酸第一鉄 5%(3%)添加 + 7日放置 + 400 加熱処理』が最適な重金属溶出抑制処理と考えられる。葛西焼却灰ではヒ素が多く溶出するのが特徴で、その最大溶出量は 0.42 mg/L であった。一方、新河岸焼却灰ではセレンが多く溶出するのが特徴で、その最大溶出量は 0.21 mg/L であった。以上の結果より、ヒ素,セレンが同程度の範囲内で溶出する焼却灰に対しては、本法による溶出抑制処理が適用可能であると考えられる。

なお、東プラ焼却灰のようにヒ素,セレンともに溶出量が非常に高い(ヒ素で 0.52 mg/L, セレンで 0.92 mg/L) 焼却灰に対しては、本法によっても溶出は抑制しきれないため、溶融処理や球状化処理等の別処理の検討が必要と考えられる。

3.2 既存技術との比較

ヒ素、セレンの溶出抑制を可能にする既存の技術に、消石灰添加方法がある。そこで重金属溶出抑制技術調査で検討したうち、硫酸第一鉄添加 + 加熱処理する方法について、消石灰添加処理法との比較を行う。葛西焼却灰を各々の方法により溶出抑制処理したものを、環告 46 号法，炭酸飽和法，炭酸連続法の各方法による溶出試験を行い、ヒ素とセレンの溶出量を調べた。

炭酸飽和法，炭酸連続法による溶出試験は日本ではまだ正式な溶出試験として認められてはいないが、今後酸性雨の問題との関係から、酸性条件においても重金属類の溶出が起らないことが求められてくるものと考えられ、溶出試験も現在よりさらに厳しい方法が制定されることが予想される。そこで、より厳しい溶出試験方法として、炭酸飽和法と炭酸連続法による溶出試験も行うこととした。表 2 に各種試験方法、表 3 に各種溶出試験における両者の比較を示す。

表 2 環告 46 号法，炭酸飽和法，炭酸連続法の各溶出試験方法比較

条件	環告 46 号法	炭酸飽和法	炭酸連続法
試料性状	5mm 以下に粉碎	有姿のまま	有姿のまま
溶媒	脱イオン水 (初期 pH=5.8 ~ 6.3)	CO ₂ 飽和水 (初期 pH=4.0)	CO ₂ 飽和水 (初期 pH=4.0)
pH 調整	溶出試験中は未調整	溶出試験中は未調整	CO ₂ ガスを連続吹き込み
溶媒/試料比	10/1	10/1	10/1
溶出時間	6 時間連続振とう (常温、常圧)	24 時間連続攪拌 (常温、常圧)	24 時間連続攪拌 (常温、常圧)
ろ紙	1.0 μm	0.45 μm	0.45 μm
攪拌方法	水平振とう 約 200 回/分	攪拌棒 約 200 回/分	攪拌棒 約 200 回/分

消石灰添加処理灰では、1.0%の消石灰添加率でも環告 46 号法による溶出試験では、ヒ素、セレンともに 0.01 mg/L 未満の溶出量となる。しかし炭酸飽和法や炭酸連続法による溶出試験では、消石灰添加率を 5.0%まで上げて 0.01 mg/L の溶出基準をクリアできない場合が出てくる。特に炭酸連続法では溶出基準のクリアは困難になってくる。

消石灰添加法では炭酸飽和法、炭酸連続法による溶出試験で 0.01 mg/L の溶出基準をクリアするのは困難であるが、硫酸第一鉄添加 + 加熱処理法では、炭酸飽和法、炭酸連続法による溶出試験でもヒ素、セレン溶出量を 0.01 mg/L 以下に抑制できることが明らかになった。

将来、溶出試験法は厳しくなることが予想され、硫酸第一鉄添加 + 加熱処理は、それにも十分対応可能となる。

表 3 消石灰添加法と硫酸第一鉄添加 + 加熱処理法の各種溶出試験結果

方法	処理方式			溶出試験結果 (mg/L)					
	薬剤	添加率	加熱温度	環告 46 号法		炭酸飽和法		炭酸連続法	
				ヒ素	セレン	ヒ素	セレン	ヒ素	セレン
硫酸第一鉄添加 + 加熱	硫酸第一鉄	3%	非加熱	0.04	0.03	< 0.01	< 0.01	0.01	< 0.01
			220	0.01	< 0.01	0.01	< 0.01	0.01	< 0.01
			420	0.01	< 0.01	0.01	< 0.01	0.04	0.02
		5%	非加熱	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
			220	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
			420	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
消石灰添加	消石灰	1%	-	< 0.01	< 0.01	0.07	0.010	0.24	0.02
		3%	-	< 0.01	< 0.01	0.04	< 0.01	0.24	0.02
		5%	-	< 0.01	< 0.01	0.01	< 0.01	0.17	0.02

■ : 土壤環境基準値をオーバー

3.3 焼却灰造粒技術調査

無害化された処理灰の埋め戻し材などの有効利用用途を拡大し、ハンドリングを改良するために、処理灰の造粒について検討した。造粒方式は押出し式とし、表 4 に無害化処理された焼却灰を原料とした造粒製品の総合評価を示す。

表 4 各下水汚泥焼却灰の造粒製品総合評価

焼却灰 / 採取時	バインダー			製品強度 [kg / 粒]		溶出試験 [mg / L]				総合評価
	種類	添加率 [wt%-灰]	単価 [円 / t-灰]	気中	水中	ヒ素	セレン	カドミウム	pH	
葛西 / H12.6	廃糖蜜	10	1,000	3.9	×	<0.01	<0.01	<0.01	4.4	
	消石灰	5.0	1,500	1.7	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	11	
	消石灰 + 廃糖蜜	5.0 1.0	1,600	2.1	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	11	
新河岸 / H12.6	廃糖蜜	10	1,000	5.3	×	<0.01	<0.01	<0.01	5.9	
	消石灰	5.0	1,500	1.6	0.6	<0.01	0.02	<0.01	9.4	×

葛西の処理灰については廃糖蜜、消石灰、消石灰 + 廃糖蜜の 3 種で造粒できるが、廃糖蜜では水中で崩壊する。新河岸処理灰については消石灰でセレンが溶出したため、廃糖蜜のみがバインダーに適用し得ることが判った。表 5 に各焼却灰についての製品の用途をまとめる。

表 5 焼却灰別造粒製品の用途一覧

焼却灰 /採取時	バインダー	製品強度 [kg / 粒]		製品用途
		気中	水中	
葛西 /H12.6	消石灰	1.7	0.3	・ <u>埋め戻し材</u> ・ 高ハンドリング性埋立て処分物
	消石灰 + 廃糖蜜	2.1	0.3	・ 土壤改良材 ・ 園芸用土壤
	廃糖蜜	3.9	-	・ 高ハンドリング性埋立て処分物
新河岸 /H12.6	廃糖蜜	5.3	-	・ 土壤改良材 ・ 園芸用土壤

3.4 実施設化可能性調査

図4に焼却灰別造粒プロセスフロー、図5に資源化施設の概略フローを示す。

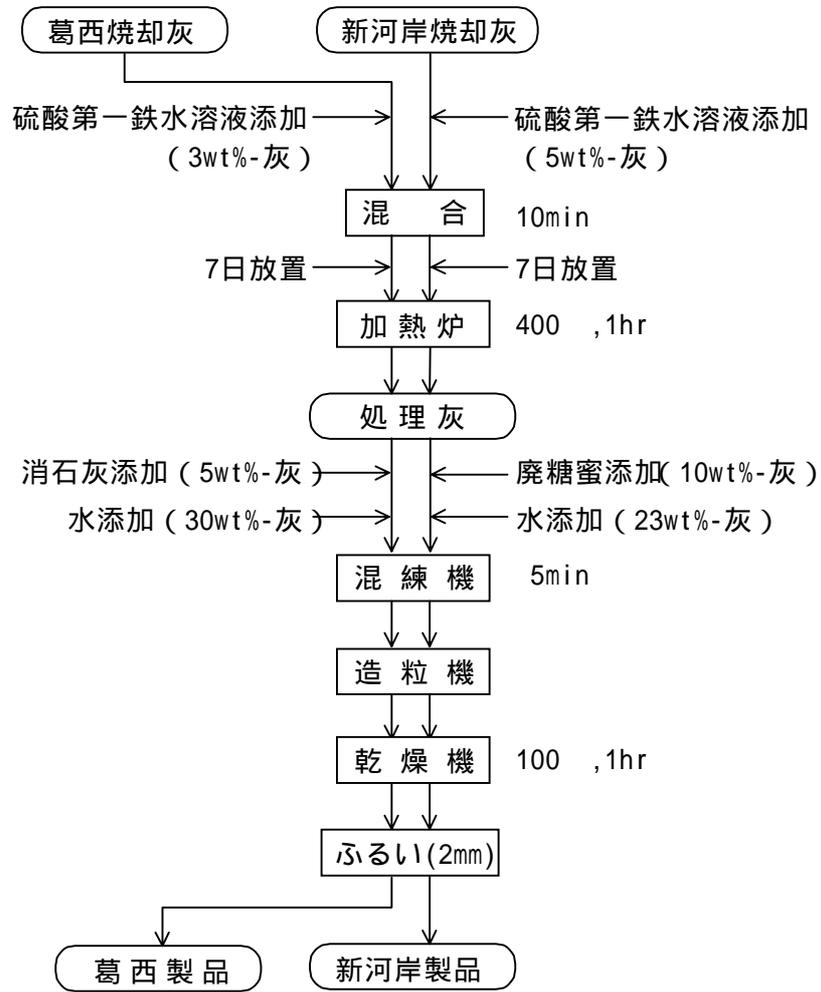


図4 焼却灰別造粒化プロセスフロー

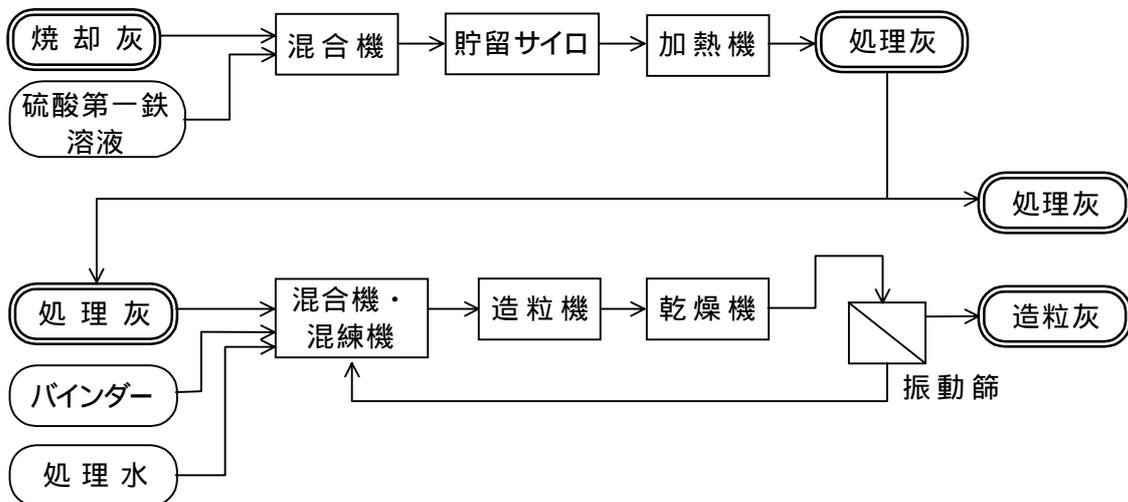


図5 資源化施設の概略フロー

設計条件を表 6 に示す。

表 6 設計条件

処理場名		葛 西	新河岸
共通	処理規模	10 t-ash/日 (3100 t-ash/年)	
	運転時間/年間稼働日数	24 hr/日 / 310 日/年	
処理条件	硫酸第一鉄(7 水和物)添加率	3 wt%-灰	5 wt%-灰
	貯留日数(放置)	7 日	7 日
	加温温度、時間	400 , 1 hr	400 , 1 hr
	バインダー種、添加率	消石灰, 5 wt%-灰	廃糖蜜, 10 wt%-灰
	加湿率	30 wt%-灰	23 wt%-灰
	乾燥温度、時間	100 , 1 hr	100 , 1 hr

(1) 薬品等用役単価

電気		12 円/kWh
FeSO ₄ (7 水和物)		25 円/kg-DS
バインダー	消石灰	30 円/kg-DS
	廃糖蜜	10 円/kg-DS

(2) 補修費

機械設備工事費 × 2%

(3) 人件費：既設焼却設備の運転管理人員に対する増員

750 万円/年・人 × 1 人

(4) 設備費

国庫補助率 50%

減価償却費 耐用年数 機電 17 年/土木 50 年

利子率 3%

コスト試算を表 7 に示す。

表 7 コスト試算

処理場名		葛西		新河岸	
		(百万円/年)	(円/t-ash)	(百万円/年)	(円/t-ash)
用役費*	電力	5.58		5.58	
	硫酸第一鉄	2.33		3.88	
	消石灰	4.65		-	
	廃糖蜜	-		3.10	
	小計	12.56	4,052	12.56	4,052
補修費		8.58	2,768	8.32	2,684
人件費		7.50	2,419	7.50	2,419
減価償却費		19.79	6,384	19.18	6,187
合計		48.43	15,623	47.56	15,342

* 加熱および乾燥用の熱風は、既設焼却炉の予熱空気および白防用空気の一部を利用するものとしているため、それらにかかる燃料費等は計上していない。

セメント原料化と同等の焼却灰 1t 当たり約 15,000 円の処理コストで資源化を行えることが確認でき、実施設としての実現性は高いものと判断される。

処理を止めることができない下水処理の性格上、生成される焼却灰の安定的な利用先の確保は、資源化事業の運営に不可欠である。現在セメント原料化への依存度は高く、事業の運営リスクを低減するために、セメント原料化と同等の処理コストで新たな資源化を可能にする技術の開発が求められてきた。用途は園芸用土壌など比較的低級なものに限定はされるが、本処理技術はそれを実現できるものである。今後は用途の拡大に加え、その販路を確立し安定した資源化事業の運営ができるよう検討していく必要がある。

4 まとめと今後の課題

4.1 まとめ

4.1.1 重金属溶出抑制技術調査

硫酸第一鉄添加 + 加熱処理を中心として、それらに放置処理あるいは前段に還元処理を組み合わせた方法について検討したところ、焼却灰の性状に応じてヒ素、セレン、カドミウムを同時に溶出抑制できる技術を見つけることができた。ヒ素のみが 0.4 mg/L 溶出する焼却灰、あるいはセレンのみが 0.2 mg/L 溶出する焼却灰に対しては、硫酸化第一鉄添加 + 放置 + 加熱処理によりそれらの溶出を 0.01 mg/L 以下にできた。一方、ヒ素が 0.9 mg/L、セレンが 0.5 mg/L 同時に溶出する焼却灰に対しては、この処理による溶出抑制は困難であり、その他の球状化処理あるいは熔融処理による重金属溶出抑制が必要となった。

4.1.2 焼却灰造粒技術調査

無害化処理灰の造粒システムを確立できた。造粒灰は高温処理されていないため比較

的強度が弱く、園芸用土壌などへの利用が可能である。

4.1.3 実施設化可能性調査

セメント原料化と同等の焼却灰 1t 当たり約 15,000 円の処理コストで、無害化・資源化できることが確認できた。

4.2 今後の課題

ヒ素，セレン，カドミウムの同時溶出抑制には『硫酸第一鉄添加 + 放置 + 加熱処理』が有効であることが、本調査の結果明らかになったが、本技術は完全に確立された技術ではなく、今後は以下の課題を検討していく必要がある。

- ・ メカニズムの解明
- ・ 長期安定性の確認
- ・ 適用条件の確認
- ・ スケールアップの検討

大目次

目次

要旨

- 3 汚泥の燃焼を伴わない資源化技術基礎調査その 2

計画調整部技術開発課 坂本 達哉
宮澤 裕三
河野 謹一郎

1 はじめに

下水処理に伴って発生する汚泥量は、平成 11 年度現在、都区部において脱水汚泥で 1 日約 3,000 t(年間約 110 万 t)に達し、その約 91%を焼却し 1日約 135 tの焼却灰が発生している。言うまでもなく焼却炉は、近年、地球環境問題で関心が高まっている二酸化炭素や一酸化炭素等の、いわゆる温室効果ガスを排出しており、温室効果ガス排出の削減が求められている。

このような中、下水汚泥自身の持つ発熱量を有効利用し、燃焼を伴わない新たな汚泥処理システムを確立していく必要がある。このシステムの一つとして、汚泥を常圧・低酸素中で熱分解させ、ガス、油、炭化物(チャー)、残りの水分(以下、反応水という)を生成させる熱分解システムがある。平成 11 年度は、この熱分解システムで、熱分解生成物の定量的把握、熱分解時の有害物の挙動把握及び利用用途について調査を行なった。本調査は、平成 11 年度に引き続き「燃焼を伴わない汚泥資源化技術基礎調査その 2」として熱分解システムの構築、各種汚泥での熱分解生成物の収率、特性調査、乾燥技術の検討について基礎的調査を行ったものである。

本熱分解システムは、脱水汚泥(含水率 75~80%)を、粗乾燥機、仕上乾燥機を通し、含水率 5%程度まで乾燥し、汚泥を常圧・低酸素状態の反応器に供給し、汚泥中の有機物を熱分解し、ガス、油、炭化物(チャー)及び反応水の生成物を得るものである。

汚泥の燃焼を伴わない資源化技術の熱分解基本フローを図 1 に示す。

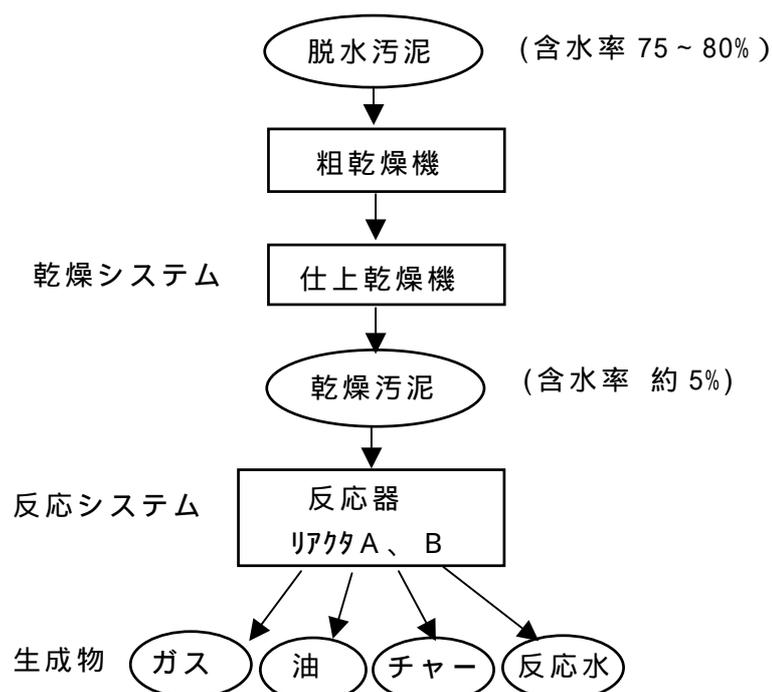


図 1 熱分解システム基本フロー

2 汚泥資源化実験装置

汚泥資源化実験装置の反応システムは反応器、凝縮器、供給装置及び付帯設備からなる。反応器はリアクタ A と B から成る。リアクタ A と B は温度を個々に設定できる。

汚泥資源化実験装置の反応システムのブロック図を図 2 に示す。

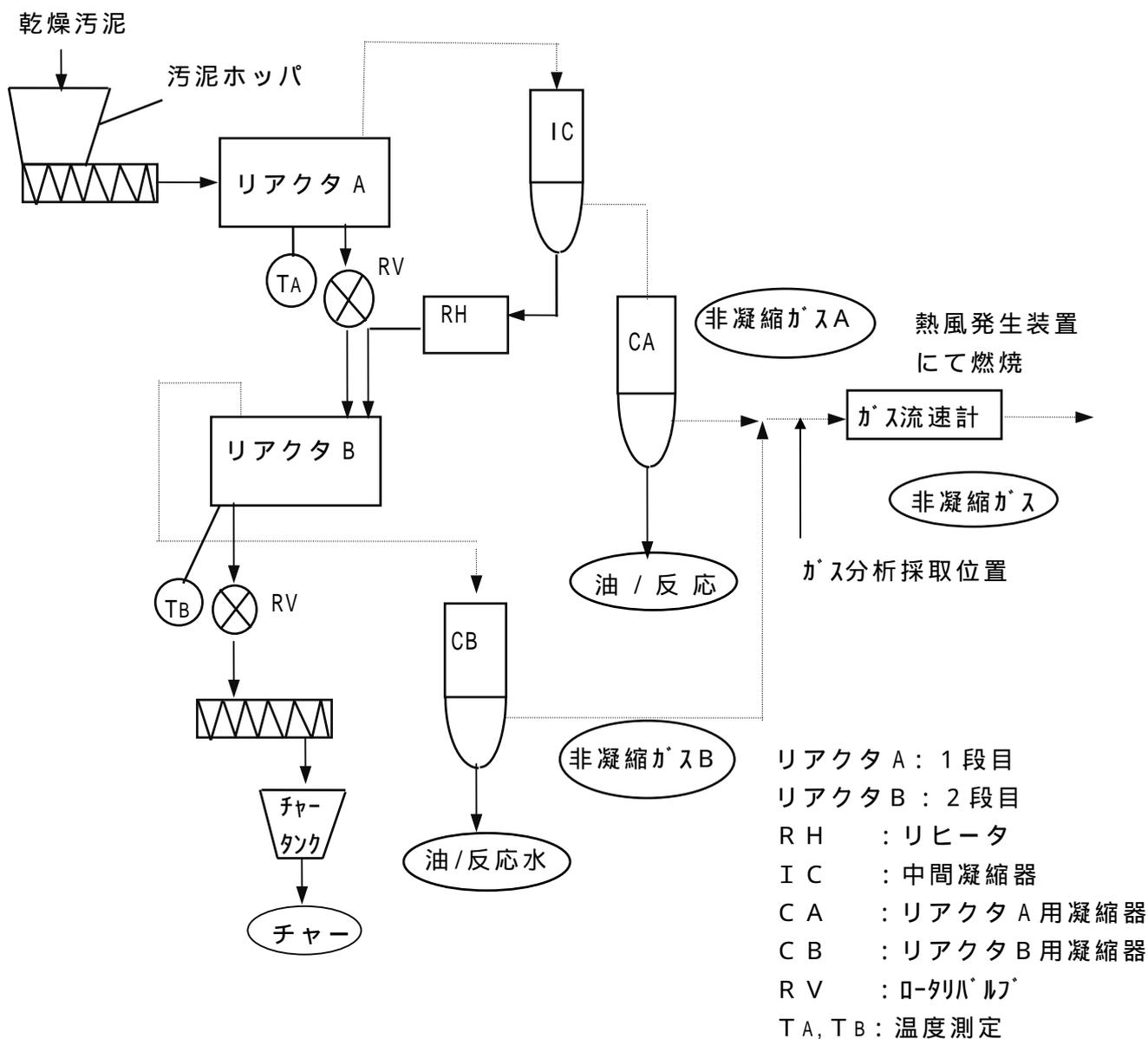


図 2 反応システムのブロック図

3 平成 11 年度調査結果まとめ

平成 11 年度の調査では次の事項を調査し、その結果を得た。

(1) 熱分解生成物の定量的把握

下水の高分子系脱水汚泥を乾燥機で含水率 5 % 程度まで乾燥し、常圧・低酸素中 400 ~ 600 の温度で熱分解し、生成物の収率・特性を調査した。その結果、450 付近では油の収率が高く、ガスの収率が低いこと、また、600 付近では、ガスの収率は高く、油の収率は低い。熱分解温度が高温になるに従い、チャーは少し減少することがわか

った。熱分解温度600℃ではガスの収率は40%程度、油は12%程度、チャーは40%程度、反応水は10%程度であった。ガスの低位発熱量は27～32MJ/kg、油の低位発熱量は31～33MJ/kgであった。

(2) 熱分解時の有害物の挙動把握

生成したチャーの溶出試験を行った結果、重金属の溶出は土壤環境基準値以下であった。汚泥からチャーへの移行割合は酸化鉛(PbO)と酸化クロム(Cr₂O₃)は100%、酸化カドミウム(CdO)は約70%、酸化ヒ素(As₂O₃)は約70%であった。

(3) 利用用途について調査

ガスは燃料電池とガスタービンへの適用を検討した。燃料電池への適用では、都市ガスと消化ガスの成分と総発熱量を比較した結果、ガスの総発熱量は十分適用可能な範囲であるが、C₂H₄、C₃H₆等の不飽和炭化水素成分とNH₃、H₂Sが多く、ガス改質と前処理が必要であることが分かった。

油はディーゼルエンジンへの適用を検討するため、試験用エンジンにて燃焼実験を実施した。その結果、軽油に比べ低位発熱量が小さいため燃料消費量が増えるが、発熱量に応じた出力が得られること、また排ガス中のCO、CH₃CHO、CH₄の排出濃度は高いが、燃料噴出時期を通常と比較して早めに制御することによって低減できることなどから適用の可能性のあることが分かった。

チャーは脱水助剤と活性炭への適用を検討した。脱水助剤では、ベルトプレス脱水機向けヌッチェ・圧搾テストを実施した結果、チャーを添加することにより汚泥の含水率を低減できる効果があることが確認できた。また活性炭としては、チャーを賦活処理することで、やし殻活性炭の1/4程度の性能が得られることが分かった。

4 平成12年度調査項目

平成11年度に引き続き、熱分解システムの安定性等を明らかにするため、以下の項目について調査を行なった。

(1) 下水汚泥熱分解システムの構築

前年度は下水汚泥の基礎的熱分解特性を把握するため、多数の条件で試験する必要があるが、少量汚泥による短時間試験であったが、本年度は、長時間の連続試験を行い収率や特性データを基にエネルギー収支とプロセスの安定性を評価した。

(2) 各種汚泥の熱分解生成物の定量的把握

前年度は下水汚泥の基礎的熱分解特性を把握するため、砂町水処理センターの高分子系汚泥1種類で温度条件を変え試験したが、本年度は前年度の結果から特性比較に適した条件を選定して、六ヶ所の各処理場(小台、葛西、砂町、森ヶ崎各処理場及び東部、南部各スラジプラント)の汚泥を熱分解試験し、生成物の収率、特性等を比較調査した。

(3) 炭化物を添加した乾燥技術の検討

前年度の調査で炭化物(チャー)が脱水助剤として適用できることが確認できたので、本年度は、この特性を利用して脱水汚泥にチャーを添加することで、乾燥効率が向上するかを調査した。またチャーを添加した乾燥汚泥を熱分解し、その生成物の収率及び特性を調査した。

5 調査期間・場所

期間 平成12年 8月9日から平成13年 2月28日まで

場所 計画部技術開発課実験ヤード（砂町水処理センター内）

6 平成12年度調査結果概要

6.1 下水汚泥熱分解システムの構築

前年度は下水汚泥の基礎的熱分解特性を把握するため、多数の条件で試験する必要があり、少量汚泥による短時間試験であったが、本年度は、長時間の連続試験を行い収率や特性データを基にエネルギー収支とプロセスの安定性を評価することを目的とした。試験条件は反応器のリアクタA温度を450、リアクタB温度を550、リアクタA、B共に汚泥滞留時間を25min、時間当りの処理量を3kg/hとして乾燥汚泥30kgを投入した。試験汚泥は東部スラッジプラントの脱水汚泥を使用した。

(1) 生成物の収量

生成物収量の変化を図3に示す。収量は1時間当りの値とした。

ガス、チャーの収量は、時間変動が少なく安定している。また、油、反応水の収量は僅かの変動があるが、全体として安定している。

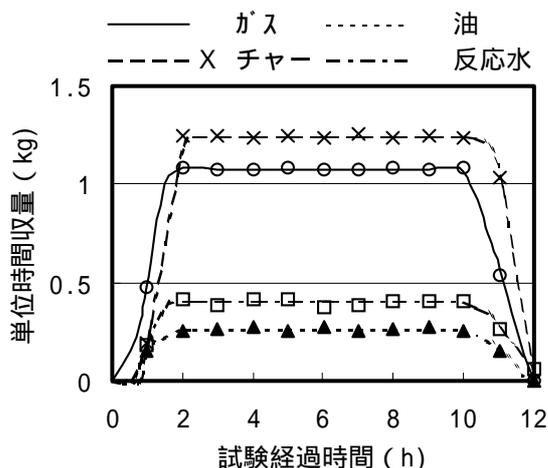


図3 生成物の収量

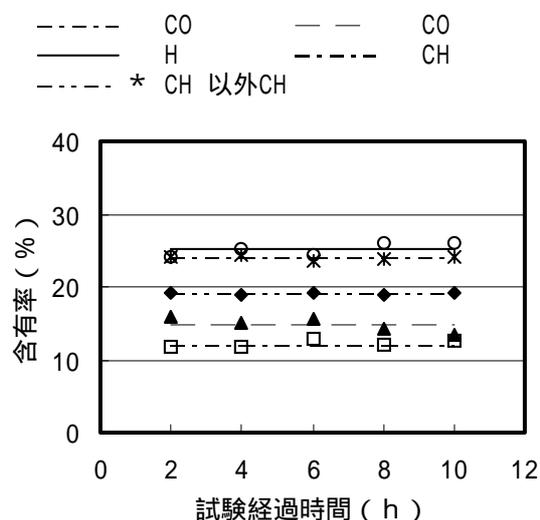


図4 ガス成分

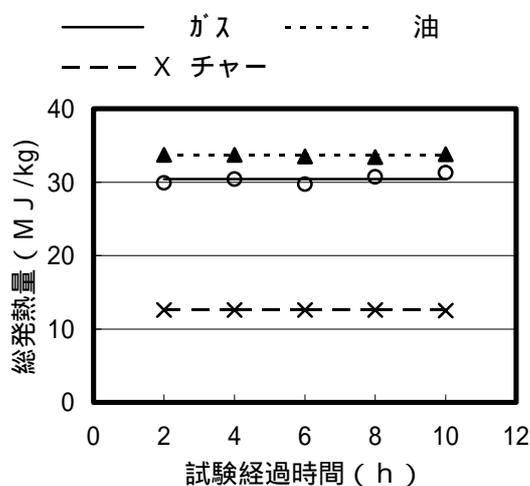


図5 生成物の総発熱量

表1 生成物の熱収率

熱収率	生成物	単位	2時間 運転	10時間 運転
	ガス	%	58.2	58.7
油	%	17.3	16.0	
チャー	%	27.0	28.3	
反応水	%	2.9	2.8	
合計	%	105.4	105.8	

(2) ガス成分

ガスの主成分はCO（一酸化炭素）、CO₂（二酸化炭素）、H₂（水素）、CH₄（メタン）、CH₄以外のCH（炭化水素）系ガスである。

ガス成分の含有率と試験経過時間の関係は図4に示すとおり、ガス成分の時間変動は少ない。

(3) 総発熱量

生成物の総発熱量と試験経過時間の関係を図5に示す。

ガスの総発熱量は30 MJ/kg、油の総発熱量は34 MJ/kg、チャーの総発熱量は13 MJ/kg程度であり、総発熱量の時間変動は少ない。

(4) 熱収率

熱収率とは、各生成物の収率に生成物の総発熱量を乗じたものを、各生成物の収率合計と汚泥総発熱量を乗じたもので除したものである。10時間連続運転試験と2時間の短時間運転試験の熱収率を表1に示す。10時間連続運転試験の熱収率は2時間運転試験とほぼ同じであった。

(5) 総括

10時間連続試験の結果、試験経過時間の生成物の収量及びガス成分、生成物の総発熱量特性の変動は少なく、装置電力量及び熱収率は通常2時間運転試験とほぼ同じであった。

下水汚泥熱分解システムは連続運転試験で生成物の収率、特性が安定していることが確認され、システム構築されたと判断される。

6.2 各種汚泥の熱分解生成物の定量的把握

前年度は基礎的熱分解特性を把握するため、砂町水処理センターの高分子系汚泥1種類で温度条件等を変えて試験したが、本年度は前年度の結果から特性比較に適した条件を選定し、東部スラッジプラント（以下、東プラと記載する）、南部スラッジプラント（南プラ）、葛西処理場（葛西）、森ヶ崎水処理センター（森ヶ崎）、小台処理場（小台）及び砂町水処理センター（砂町）の各処理場の汚泥を熱分解試験し、生成物の収率、特性等を比較調査する。ただし、森ヶ崎は石灰系、その他の汚泥は高分子系である。

反応器のリアクタA温度を450 に固定し、リアクタB温度を450、500、550 に変化させ試験した。脱水汚泥の特性を表1.6-2に示す。

強熱減量は、石灰系の森ヶ崎が45%程度と少なく、それ以外の高分子系が73～77%である。汚泥組成は、東プラ、砂町の汚泥で粗脂肪が多く、葛西処理場の汚泥で粗蛋白が多い特徴がある。

表2 各種汚泥の特性

脱水汚泥	汚泥	東プラ	南プラ	葛西	森ヶ崎	小台	砂町
採取日(2000年)	月/日	9/20	11/6	11/13	10/25	11/20	3/10
含水率	%	80.4	80.4	80.9	79.5	76.2	80.2
強熱減量	%	73.5	77.7	79.3	45.1	80.0	73.0
粗脂肪	%	19.4	13.2	10.9	6.0	11.9	20.3
粗繊維	%	22.0	23.6	21.2	14.0	18.3	12.0
粗蛋白	%	28.0	29.2	36.4	17.6	32.1	32.0
発熱量(高位)	MJ/kg	19.3	18.6	19.2	10.4	19.0	19.7
発熱量(低位)	MJ/kg	18.0	17.3	17.9	9.5	17.7	18.4

(1) 生成物の収率

ガスの収率とリアクタB温度との関係を図6、油の収率を図7、チャーの収率を図8、反応水の収率を図9に示す。各種汚泥とも前年度と同様に、リアクタB温度が450付近では、油の収率が高く、ガスの収率は低い。温度が高くなるに従いガス収率は増加し、油の収率は減少する。一方チャーと反応水の収率は若干減少する傾向にあった。

東プラ、砂町の汚泥では南プラ、葛西、森ヶ崎、小台に比べ、リアクタB温度が450での油の収率が高く、550でのガスの収率も高い。これは、東プラ、砂町の汚泥が南プラ、葛西、森ヶ崎、小台より、粗脂肪を多く含むことによるものと思われる。

森ヶ崎は他の高分子系汚泥に比べて、ガス、油の収率が低く、チャーの収率が高い。これは森ヶ崎の汚泥は嫌気性消化汚泥であり、脱水助剤として石灰を多く使用していることから、有機成分が大幅に少ないためである。

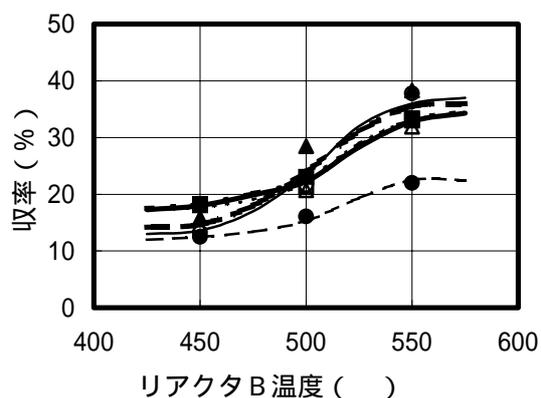
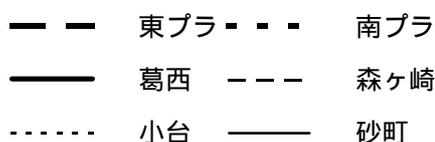


図6 ガスの収率

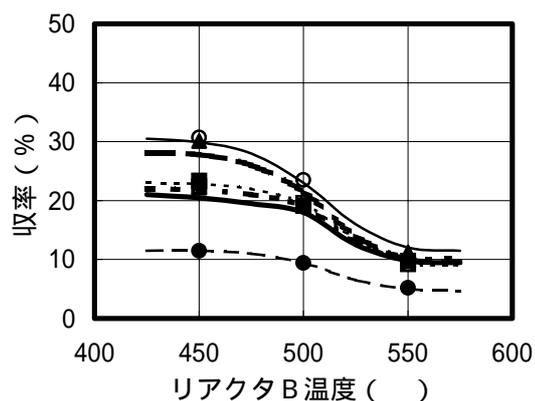


図7 油の収率

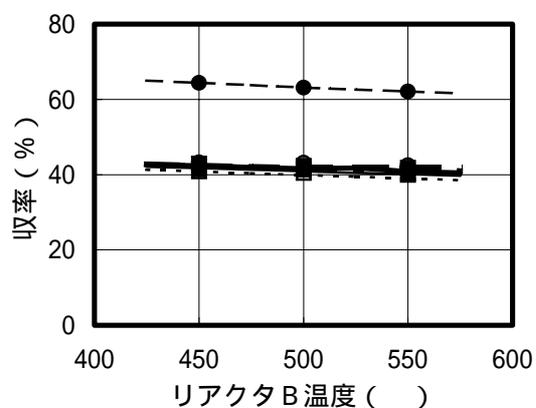


図8 チャーの収率

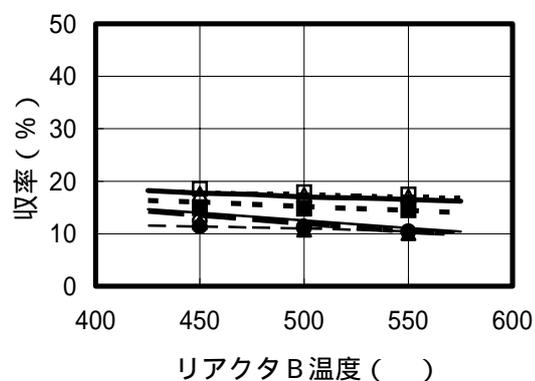


図9 反応水の収率

(2) ガス成分

COの含有率とリアクタB温度の関係を図10、CO₂の含有率を図11、H₂の含有率を図12、CH₄の含有率を図13に示す。

東プラ、砂町の汚泥は粗脂肪が多く酸素成分が少ないと考えられ、CH系ガスの放出が多い。森ヶ崎の汚泥は、石灰の影響により生成ガスの分解が進むため、ガスの最終形であるH₂の生成が多いものと考えられる。南プラ、葛西、小台の汚泥は有機成分中に粗脂肪が少なく石灰が用いられていない分、比較的酸素が多いと考えられ、熱分解過程でCO及びCO₂を多く放出する傾向がある。

温度条件は各種汚泥とも前年度と同様に、COはリアクタB温度が高くなるに従い若干増加し、CO₂は大きく減少し、H₂は森ヶ崎を除いて増加し、CH₄は増加する傾向にある。このことから、ガスの利用の面からは、リアクタBの温度は550程度の高温の方が望ましいことがわかる。

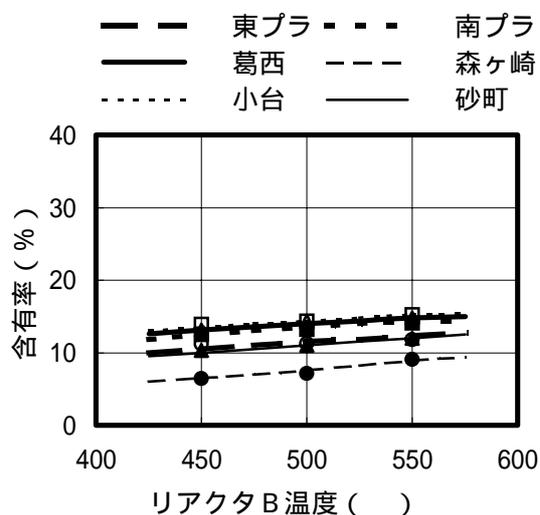
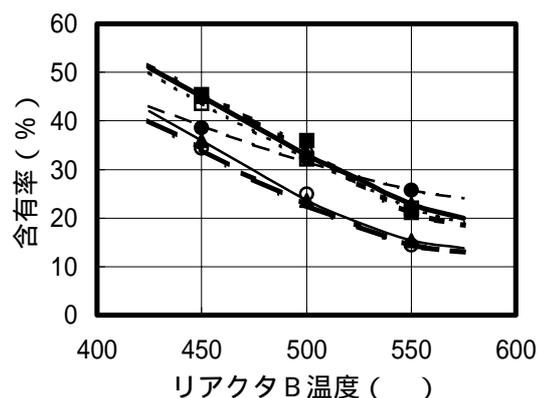
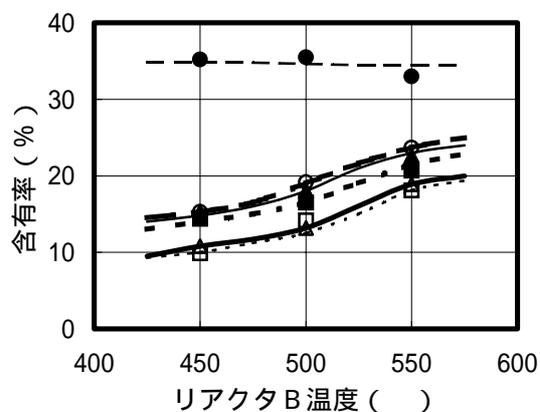
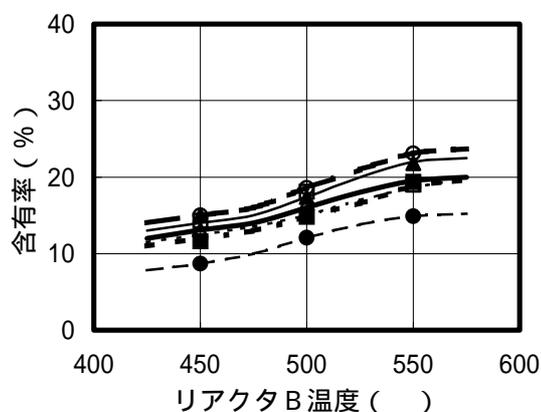


図10 COの含有率

図11 CO₂の含有率図12 H₂の含有率図13 CH₄の含有率

(3) 総発熱量

ガスの総発熱量とリアクタB温度との関係を図14、油の総発熱量を図15、チャーの総発熱量を図16、反応水の総発熱量を図17に示す。各種汚泥とも前年度と同様に、ガスの総発熱量はリアクタB温度が高くなるに従い大きく増加し、油も増加するが、チャーと反応水は少し減少する傾向であった。

東プラ、砂町の汚泥では南プラ、葛西、森ヶ崎、小台に比べ、ガスの総発熱量が高い。これは、東プラ、砂町の汚泥中の粗脂肪が多いことが、ガス成分にも影響していることによる。

森ヶ崎は他の汚泥に比べて、油の総発熱量が高く、チャーの総発熱量が低くなっている。生成物の総発熱量においても、汚泥の種類によって変化することが分かった。

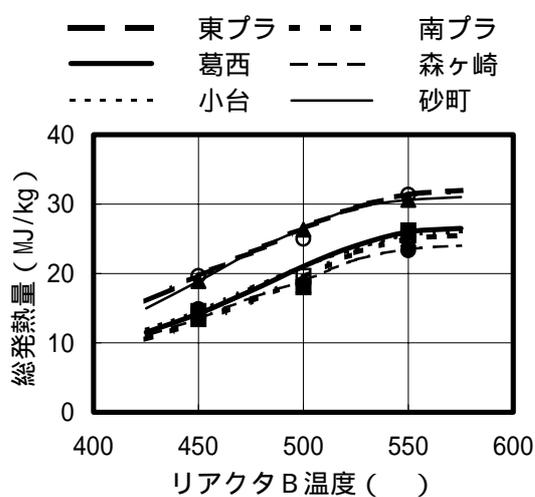


図14 ガスの総発熱量

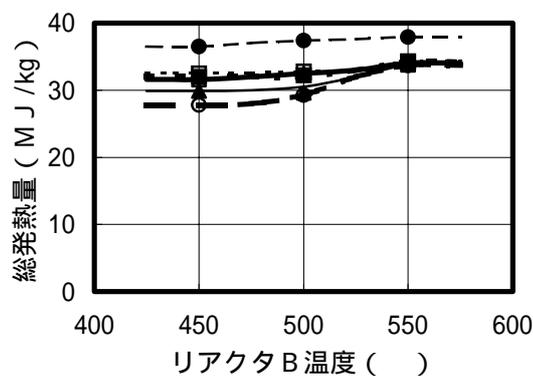


図15 油の総発熱量

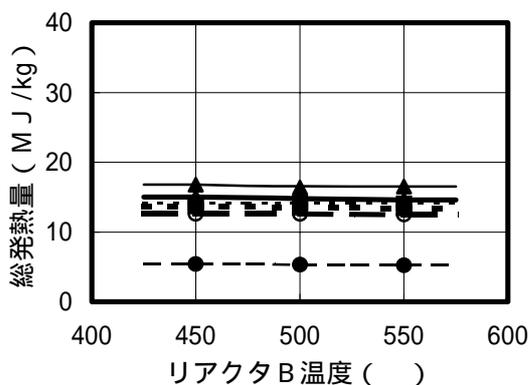


図16 チャーの総発熱量

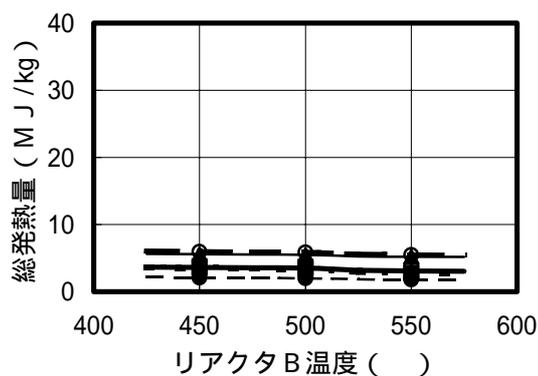


図17 反応水の総発熱量

(4) エネルギー収支

各生成物エネルギー収支の割合は次の式で求めた。

$$\text{エネルギー収支} = \text{収率} \times \text{総発熱量} / (\text{汚泥の総発熱量} + \text{熱分解電力量}) \times 100$$

リアクタB温度550でのエネルギー収支を表3に示す。ロスとは、汚泥の熱分解に寄与するエネルギー及び装置からの放熱エネルギーの合計値である。生成物のエネルギー収支の割合はガスが高く、チャー、油、反応水の順に低くなっている。特に、東プラ、砂町のガスのエネルギー収支割合が高く、汚泥の保有エネルギーの50%以上が回収できている。

汚泥種類によって生成物の収率、特性が変化し、汚泥の成分中の粗脂肪成分が多いとガスの収率、総発熱量共に高くなり、ガスのエネルギー収支の割合も高くなる。粗繊維、粗蛋白成分が多いとCO₂、H₂Oの発生が多く、ガスの収率、総発熱量が低くなる。

表3 エネルギー収支

汚泥			東プラ	南プラ	葛西	森ヶ崎	小台	砂町
エネルギー収支割合	ガス	%	55.9	42.6	37.6	41.6	40.1	51.5
	油	%	14.6	15.3	16.0	16.1	15.1	17.2
	チャー	%	25.0	27.2	28.0	26.2	26.9	27.8
	反応水	%	2.7	2.0	2.5	1.5	2.6	2.4
	ロス	%	1.8	12.9	15.8	14.6	15.3	1.0

リアクタA温度：450、B温度：550

6.3 炭化物を添加した乾燥技術の検討

高分子などの凝集剤節減と脱水効率向上を目的として、脱水汚泥にチャーを添加し、脱水助剤として利用した場合の挙動を把握する。また、チャーを添加した脱水汚泥を熱分解した時の生成物の収率や特性と添加率との関係を調査する。

(1) 乾燥試験

チャーの添加率を変えた直径25mmと12mmの試料を105℃オープン中で乾燥し、重量の時間変化を測定して乾燥速度を求めた。チャーの添加率と乾燥速度の関係を図18に示す。チャー添加率はチャーと汚泥固形分の合計を100として表したものである。

チャーの添加率を高くすると含水率が低下するため乾燥速度も低下していく。乾燥速度を向上させるためには、直径を小さくすることの方が効果は大きいことが分かった。

(2) 再結合性の調査

乾燥速度を上げるには、汚泥の形状を小さくすることが有利であるが、脱水汚泥の形状を小さくしても、乾燥機内で再び結合し大きな塊になる。この再結合状況を把握するため、乾燥機内を模擬した再結合試験を行い、その結果を表4に示す。

これにより、再結合しなくなるにはチャーを80%程度以上添加する必要があることが

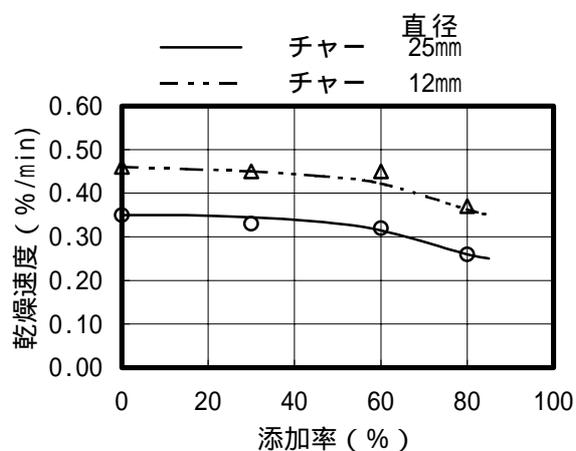


図18 チャー添加率と乾燥速度

分かった外、添加量の増加は脱水汚泥のボリュームを増やすことになるため、現実的ではないと判断した。

表 4 再結合試験結果

添加率 (%)	0	30	60	70	80	85
再結合状態	×	×				

X : 流れ再結合する、 : 一塊に再結合する、 : 再結合しない

(3) 熱分解試験

生成物の収率とチャー添加率との関係を図 19 に示す。チャーの添加率が増えるに従い、ガスの収率は減少し、チャーの収率は増加する。一方で油、反応水の収率は逓減する。チャー添加率が多くなるとガス、油の収率が減少していくことが予想された。

以上の結果から、チャーの脱水助剤としての添加は、多量に添加しないと、乾燥効率を向上させることができないこと、また熱分解試験ではガス、油の収率が低下するため、現実的ではないことがわかった。

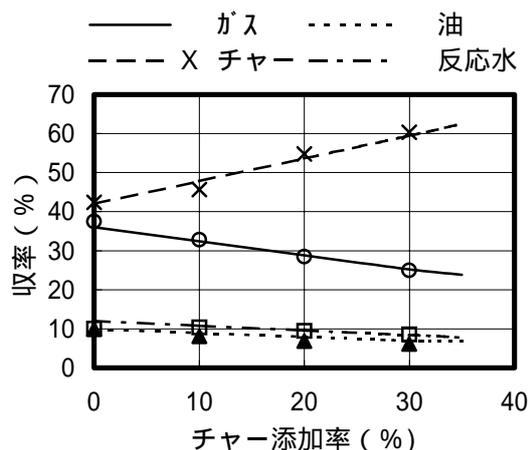


図 19 生成物収率

7 まとめ

平成 12 年度の結果より、以下の事項を明らかにした。

(1) 下水汚泥熱分解システムの構築

10 時間連続試験の結果、試験経過時間の生成物の収量及びガス成分、生成物の総発熱量特性の変動は少なく、熱収率は通常 2 時間運転試験とほぼ同じ安定した運転状況を確認できた。下水汚泥熱分解システムは連続運転試験で生成物の収率、特性が安定していることが確認され、システムの確立できたと判断される。

(2) 各種汚泥の熱分解生成物の定量的把握

各種汚泥の熱分解試験の結果、各汚泥とも熱分解温度が 450 付近では、油の収率が高く、600 への高温になるに従って、油の収率が低下して、ガスの収率が増加しており、総じて前年度の結果と同様な傾向の熱分解特性が得られることがわかった。ただし、詳細には各汚泥の組成に違いがあるため、定量的には各生成物の収率、特性が変化することが明らかになった。

生成物の収率に関して収率がピークを迎える点で見ると、熱分解温度が 550 でのガス収率は、東プラ、砂町が 37 ~ 38 % と高く、次いで南プラ、葛西、小台が 32 ~ 34 %、森ヶ崎が 22 ~ 23 % の順となっている。熱分解温度が 450 での油の収率は、東プラ、砂町が 30 ~ 31 % と高く、次いで南プラ、葛西、小台が 22 ~ 24 %、森ヶ崎が 11 ~ 12 % の順になっている。これは、東プラ、砂町の汚泥が、南プラ、葛西、小台に比べ、粗脂肪を多く含むことによる。粗脂肪が多いとガス、油の収率が高くなる。また、森ヶ崎の収率が低いのは、他の汚泥と異なって嫌気性消化汚泥であり、脱水助剤として石灰を多

く使用しており、有機成分が大幅に少ないためである。

生成物の特性に関して総発熱量がピークを迎える点で見ると、熱分解温度550 でガスの総発熱量は東プラ、砂町が30～31 MJ/kg と高く、次いで南プラ、葛西、小台が25～26 MJ/kg、森ヶ崎が23 MJ/kgの順になっている。このように、ガスの総発熱量が異なるのは、ガス成分の割合が異なっているためで、東プラ、砂町の場合は、他と比較してガス中のCO₂成分が少なく、CH₄が多いことによる。また、森ヶ崎の場合は、CO₂成分が多く、CH₄が少ない上、H₂の割合が多くなっている。

熱分解温度が450 での油の総発熱量は、森ヶ崎が37 MJ/kg と高く、次いで南プラ、葛西、小台が31～33 MJ/kg、東プラ、砂町が28～30 MJ/kgの順になっている。これは、油中の水分量が異なっているためで、東プラ、砂町の場合は、他と比較して油中の水分量が多いことによる。

生成物のエネルギー収支に関しては、熱分解温度550 では、ガスのエネルギー回収率45～56%と高く、特に、東プラ、砂町の場合は共に50%を越える。油の回収率は15～17%程度、チャーは25～28%程度である。

(3) 炭化物を添加した乾燥技術の検討

乾燥速度は、チャーの添加率を多くするよりも直径を小さくすることが乾燥速度をあげる効果は大きい。乾燥工程で汚泥の再結合が発生すると直径の増加を招き、乾燥速度は低下する。再結合を抑制できるチャーの添加率は80%程度以上が必要であるが、一方で熱分解試験ではチャーの添加率が増えるとチャーの収率は増加し、ガス、油の収率は減少するとの結果を得ている。このようなことから、チャーを脱水汚泥に添加して乾燥効率向上を図ることは現実的でないことが分かった。

(4) 現段階の評価

以上の結果から本システムでは、汚泥を熱分解することによって、生成物をそのまま処分あるいは、再利用可能な形の燃料として安定に回収できる目処は得られた。

しかしながら、実用化に至る迄には、生成物の有効利用においてガスの改質や前処理、チャーの利用方法の検討などの課題を解決する必要があること、さらに、実運用規模を想定した機器の仕様やコスト等の評価を行っていく必要があり、更なる検討を進めていかなければならない。

大目次

目次

要旨