

東京都下水道局技術調査年報

-2009-

平成 21 年 12 月
東京都下水道局

技術調査年報の発刊にあたって



120 年余の歴史を持つ東京の下水道は、今日の東京の発展や都民の皆さまの快適な生活を実現するために大きな貢献を果たしてきました。こうした下水道を築き上げた裏には、先人達が日々、技術力の向上に磨きをかけてきた一方で、様々な課題に遭遇する度に国内外の幅広い技術情報などを収集し、現場の創意工夫と合わせて新たな技術を開発・導入してきた過程が存在しています。これを示す賜物として、当局の保有する特許等の件数

があります。平成 20 年度末現在の当局の特許等の件数は 270 件を超え、第三セクターの保有件数を含めると 450 件におよんでおり、この数は都庁の中でも抜きん出た実績となっています。

一方で、下水道を取り巻く環境は絶えず変化し、新たな課題が従来にも増して次々と現れています。その一つが世界規模で課題となっている地球温暖化対策です。都の事務事業活動で排出される温室効果ガスの 4 割を排出している当局は、2000 年比で 2020 年までに温室効果ガスを 25%削減する「カーボンマイナス東京 10 年プロジェクト」への貢献、電力や燃料などに由来する二酸化炭素の削減義務を課す環境確保条例の遵守等に率先的に取り組む必要があります。

また、東京湾の富栄養化対策としての放流水質の向上や、ヒートアイランド現象等により発生する局所的豪雨への対応など、多岐にわたって解決しなければならない課題も山積しています。

こうした困難な課題を解決することは、容易ではありません。先人の歩んできた道程と同様に、職員一人ひとりが技術力を日々磨き、起こっている問題等の分析や、その要因に基づく調査・研究を行い、解決策を着実に見出す必要があります。幅広く技術情報や技術ニーズを発信し、下水道分野に限らず様々な技術者と交流を重ね、斬新なアイデアを生み出していく努力がこれまで以上に求められています。これに対応するため、新たな取り組みとして、当局の抱える技術ニーズを発信したり、民間等が持つシーズを提供してもらい、それらについてノウハウを持つ関係者が議論を行う「下水道テクノ・カンファレンス」などを今年度から実施しているところです。

本技術調査年報は日々の問題を解決するための調査や研究内容をまとめたものです。当局のパートナーである他自治体や民間企業、国、大学・研究機関、関係団体の方々の情報源として利用していただくとともに、新たな技術を開発するために活用していただければ幸いです。

平成 21 年 12 月

下水道局長 松田 二郎

目 次

本書をご利用いただく前に

要旨集	1
-----	---

1 安全性の向上

(1)再構築技術

1. シールド切替型推進工法による施工について 31
2. 新タワー周辺地区開発に伴う主要枝線の北十間川横断工事の設計について
—耐震護岸直下のシールド横断— 35

(2)浸水対策技術

- 1 建設局、区と連携した浸水対策事例 47
- 2 流出解析モデルを用いた雨水の効果的な貯留システムに関する検討 53
- 3 光ファイバーを用いた水位検出システムの開発 63

2 快適性の向上

(1)高度処理技術

- 1 砂町水再生センターにおける LAC 注入によるりん除去効果について 75
- 2 東陽Ⅲ系（ステップ A₂O 法）の稼働状況（中間報告） 83

3 地球温暖化対策

(1)温室効果ガス削減技術

- 1 多層燃焼による温室効果ガス排出抑制技術について 93
- 2 混合汚泥に対する二重円筒加圧脱水機の脱水性能について 101
- 3 薄膜型太陽電池による太陽光発電システムの開発 111
- 4 アンモニア計と DO 計を用いた送風量制御システムの開発 121
- 5 水処理実験プラント水理特性把握調査 137
- 6 水処理から発生する一酸化二窒素（N₂O）の削減技術の開発 151
- 7 小菅水再生センター東系反応槽における N₂O 発生に関する調査 167

4 事業の効率化

(1)維持管理技術

- 1 下水道管渠内に敷設する光ファイバーネットワークの
現状と今後の展開について・・・・・・・・・・181
- 2 光ファイバーケーブル断線予防技術調査・・・・・・・・・・185
- 3 下水道台帳情報システム（S E M I S）の機能について・・・・・・・・197
- 4 マイクロウェーブ法導入による重金属前処理方法の迅速化・・・・・・・・209
- 5 下水水質シミュレータの活用による処理水りん濃度予測・・・・・・・・215
- 6 水再生センター内工事に起因する水質悪化対策・・・・・・・・225
- 7 降雨初期のりん上昇の原因とその制御・・・・・・・・231
- 8 溶存硫化物の処理に与える影響・・・・・・・・235
- 9 鉛の超過原因とその改善指導方法について・・・・・・・・239
- 10 みやぎ水再生センターにおける落合・中野汚泥の三河島送泥開始による
処理水質改善状況・・・・・・・・・・247

5 国際論文

1 【EWA/WEF/JSWA特別会議英文】

下水汚泥と木質系バイオマスを使用した高効率ガス化発電システムの開発・・・・・・・・・・259

2 【WEF 英文】

近隣自治体との連携によるレーダー降雨情報システムの
精度向上・・・・・・・・・・267

Copyright©(2009) by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government

All rights reserved. No Parts of this report may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government.

The mention of trade names or commercial products in this report is for illustrative purposes and does not constitute endorsement of recommendation for use by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government.

この報告書に関する権利は、東京都下水道局にあります。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、東京都下水道局長の文書による承認が必要です。また、この報告書の中の商品名又は製品名は、事例として示したものであり、東京都下水道局が使用上の性能を確認したり、推奨したりするものではありません。

本書をご利用いただく前に

■目的

本書は、東京都下水道局で行った下水道技術の研究と開発の成果を共有し、将来へ技術を継承することを通じて、下水道技術の維持向上を図ることを目的としています。

- ① 局内の技術情報を網羅し、技術情報の共有による職員相互の技術力の維持向上と技術の継承及び技術的課題の糸口となること
- ② 下水道事業に関わる課題と課題解決への取組みの成果について、先駆的に情報発信を行ない、産学公の技術交流を深め、局の事業運営の効率化に寄与すること

■構成

本書は、平成19年度に局内各部所が実施した下水道技術に関する調査・研究についてまとめたものです。各成果は、平成20年7月に策定した「技術開発推進計画2009(東京都下水道局)」における5つの技術開発テーマ(安全性の向上、快適性の向上、地球温暖化対策、資源の有効利用、事業の効率化)に沿って分類しています。

・要旨集:第1章から5章の本文の概要を1頁程度にまとめたものです。

- ・第1章「安全性の向上」 : 5編
- ・第2章「快適性の向上」 : 2編
- ・第3章「地球温暖化対策」 : 7編
- ・第4章「事業の効率化」 : 10編
- ・第5章「国際論文」 : 2編

■お知らせ

本書は、昭和52年9月の「技術調査報告書」を初版として、昭和54年度からは「技術調査年報」として毎年発行しており、局内および都庁内の各局、研究機関、大学、政令指定都市等に2005年版まで配布していましたが、2006年版からは東京都下水道局公式ホームページでの掲載を主体として利活用をはかることとし、各機関への冊子の配布を取りやめています。

下水道局技術調査年報の本文や過去の論文は、東京都下水道局公式ホームページ(<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/>)に掲載しています。

なお、都民情報ルーム(都庁第一本庁舎3階)、都立多摩図書館、都立中央図書館、都立日比谷図書館において本書を閲覧することができます。

○用語の使用

本文中の用語は、「下水道用語集 2000年版」((社)日本下水道協会)に準拠しています。ただし、以下の用語は、東京都下水道局で使用している用語としています。

- ・人孔(マンホール)
- ・ポンプ所(ポンプ場)
- ・第一沈殿池(最初沈殿池)
- ・第二沈殿池(最終沈殿池)

(本書に関するお問合せ先)

東京都新宿区西新宿2-8-1 東京都庁第二本庁舎7階中央
東京都下水道局 計画調整部 技術開発課 電話 03-5320-6606

要 旨 集

番号	1-(1)-1	件名	シールド切替型掘進工法による施工について	
内 容	1. 工事概要 本工事は、北区中十条三丁目付近を発進立坑、北区十条仲原二丁目付近を到達立坑とし、全路線昼間施工で特殊推進工法（内径φ1100：シールド切替型推進工法・泥濃式）により施工するものである。施工環境としては、南北に縦貫する都道 460 号線、東西に横断する区道での施工である。都道は赤羽～王子駅間の抜け道として交通量が昼夜間とも非常に多い。区道は狭く曲がりくねっており、工事車両の出入りは困難を環境である。町並みは古くから現存する家屋が密集しており、まとまった空地はない。 このような厳しい施工環境の中、既設管の能力不足を解消するため、新設する主要幹線の効果的なルートを選定し、適切な箇所へ分水人孔を配置することで再構築を進めることとした。 施工方法は、施工区間内に急曲線部（R＝12 m）が4箇所あり、作業基地となる用地がないため、路面覆工下にプラントが設置でき、急曲線・長距離施工が可能なシールド切替型推進工法（デュアルシールド工法）を採用した。 今回の施工では、近隣のお客さまへの配慮として、車両通行時の振動をできる限り振動を抑えるための覆工板裏に防振ゴムの設置したり、夜間に作業エリアを内照灯で明るくし、通過車両が意識的に減速をするような工夫をしている。 また、工事の進捗状況等を地元のお客さまにいち早くお知らせをするために、現場に隣接する民家を作業詰所として借用し、作業掲示板に予定表等を張り出している。			
	2. 工事場所 北区中十条三丁目、十条仲町二丁目付近			
	3. 工事内容 鉄筋コンクリート管（特殊推進工法） ◎1100mm 667.35m 立 坑			

番号	1-(1)-2	件名	新タワー周辺地区開発に伴う主要枝線の北十間川横断工事の設計について ―耐震護岸直下のシールド横断―		
内 容	本工事は、墨田区押上一丁目、横川二丁目付近再構築工事を仕上り内径1800mm延長約950mをコンパクトシールド工法で施工するものである。				
	シールド掘進途中で北十間川の耐震護岸を通過するため、事前に切断する耐震護岸周囲の補強並びに河川の地盤改良を行う。				
	施工手順は、次の通りである。				
	① 北十間川左岸側に推進用立坑を設け、刃口推進（φ2600mm）で耐震護岸まで進む。				
	② 河川上にステージを組み、ステージ上を機器を移動させながら耐震護岸周囲及び河底を地盤改良する。				
	③ 耐震護岸矢板切断周囲を鋼材で補強し、シールド通過部分の鋼矢板を切断する。				
	④ 推進管内にセメントミルクを充填する。				
内 容	⑤ 右岸側についても上記手順と同じように施工する。				
	⑥ シールドを通過させる。				
	キーワード 耐震護岸、北十間川、コンパクトシールド工法、再構築、新タワー、区画整理事業				
	処理区名 砂町処理区		位置区分	管きょ	
	職種区分 土木		施策区分	再構築、浸水対策	
	状態区分 設計		技術区分	新規知見あり	
	実施年度 平成20、21年度		全体期間	平成20年度～平成23年度	
担当部所		東部第一下水道事務所 建設課			
出 展 等		なし			
調査方法		実施設計			
関連情報		なし			

番号	1-(2)-1	件名	建設局、区と連携した浸水対策事例	
内 容	通常、道路拡幅工事では、道路の両側に歩道が整備され、下水道管は、この歩道部分に新たに整備される。この結果、既設の下水道管は不要となり、道路管理者からは撤去を求められる。口径が小さく、損傷が進んでいる場合等は、将来的な管理の問題もあり、道路管理者の指導に応じて撤去することになる。しかし、管の劣化も進んでおらず、ある程度の口径があるものについては、下水道機能の充実、向上に向け活用策を検討すべきと考えられる。道路拡幅によって不要となる下水道管の貯留管としての活用について、浸水被害の軽減、既設管の撤去に係る費用の節減を図るため、道路管理者と実施協議を以下の通り行った。 ①補助26号線（都道鮫洲大山線）板橋区 大谷口地区 この地区の雨水は、石神井川に吐口がある合流式で向原幹線に流入しているが、川沿いの低地部を中心に浸水の恐れがある。このため、上流域で少しでも雨水を貯留することにより、浸水の軽減に寄与することができる。また、管渠の劣化は進んでおらず、道路構造にも支障がないこと、道路拡幅により雨水流出が増加することなどを協議し、残置、活用について理解を得ることができた。 ② 主要地方道8号線（富士街道）練馬区 石神井町地区 この地区も石神井川に吐口がある合流式で高野台幹線の上流に位置している。幹線への雨水流出を抑制し浸水を軽減する趣旨や、管の状態等を踏まえ協議し、理解が得られた。			
キーワード	雨水貯留管			
処理区名	新河岸処理区	位置区分	管きょ	
職種区分	土木	施策区分	浸水対策、効率化	
状態区分	工事	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成21年度以降（予定）	全体期間	平成21年度以降（予定）	
担当部所	西部第二下水道事務所施設課建設工事係			
出 展 等	平成20年度第1回工事事例発表会			
調査方法	直営			
関連情報				

番号	1-(2)-2	件名	流出解析モデルを用いた雨水の効果的な貯留システムに関する検討		
内 容	1 時間に 50mm の降雨に対応した効率的な下水道整備を行っていくことを目的に、雨水流出解析モデルを用いて、効果的な貯留施設について検討を行った。 都内の下水道管網から、地形によって傾斜地、窪地、平坦地の流域を抽出して、それぞれについて、最適な貯留方法（インライン、オフライン）や整備方法（集約設置、分散設置）を検討した。 その結果、検討流域毎に最適な貯留方法、整備手法の抽出が可能であることを示すことができた。 以上から、雨水流出解析モデルを活用した下水道設計の有効性を確認することができた。				
キーワード	雨水流出解析モデル、最適貯留方法				
処理区名	技術開発課		位置区分	管きょ	
職種区分	土木		施策区分	浸水対策	
状態区分	調査 研究		技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 19～20 年度		全体期間	平成 19～20 年度	
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（土木）				
出 展 等					
調査方法	委託調査				
関連情報					

番号	1-(2)-3	件名	光ファイバーを用いた水位検出システムの開発		
内 容	近年、都市化の進展による下水道への雨水流入量の増大、地球温暖化やヒートアイランドによる局所的な集中豪雨の多発などによって、都市型水害のリスクが高まっている。当局では浸水対策の一つとして幹線水位計を設置し、ポンプ運転や危機管理等に活用している。そこで使用している光ファイバー水位計は、水位変化の計測が可能であり、浸水対策に有効な設備であるが、広範囲な導入にはコストの低減が課題となっていた。 そこで、光ファイバー網を利用した、より安価なシステムを開発することとなった。 開発したシステムは、光パルス試験機（OTDR）とファラデー近接センサを利用した検出器からなり、ある水位への水位到達の有無を判定するものである。 今回、有効性の検証を行うことを目的とした実証試験を行った結果、本システムが、管きょ内の水位上昇を遠隔地から即座に捉えられることを確認した。 本システムは浸水対策として開発したが、合流改善や管きょ内作業時の安全管理への適用といった幅広い応用が考えられることから、更なる研究を行っていく予定である。				
キーワード	水位検出器、管きょ破損検知、光パルス試験機				
処理区名		位置区分	管きょ		
職種区分	設備	施策区分	浸水対策、危機管理		
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり		
実施年度	平成 20 年度	全体期間	平成 1 8 年～ 2 1 年		
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（設備技術） 永野雅博、田崎敏郎				
出 展 等	光ファイバーを用いた異常防止システムに関する調査委託その 2 報告書				
調査方法	委託調査				
関連情報	経営計画 2007、技術開発推進計画 2008				

番号	2-(1)-1	件名	砂町水再生センターにおける LAC 注入によるりん除去効果について		
内 容	砂町水再生センター内の東部スラッジプラントにおいて、りん負荷の低減を目的としたりん固定剤（LAC）注入設備が、三河島・落合受泥の分配槽と、濃縮汚泥貯留槽の 2 箇所に設置され、平成 20 年度から LAC 注入が開始されることとなった。そこで、ラボ実験の結果をもとに、実施設における LAC 注入条件を決定し、各条件におけるりん負荷の低減効果について検証した。 その結果、LAC を注入することにより、各注入ユニット内でりん酸性リンがある程度固定され、水処理施設に戻る返水中のりん酸性リン負荷が減少することが確認された。さらに、LAC の効果により、平成 20 年度の処理水のりん酸性リン濃度が非常に低い状態で保たれていることが確認された。				
キーワード	LAC、りん負荷、りん酸性リン				
処理区名	砂町処理区	位置区分	処理場 水再生センター		
職種区分	水質	施策区分			
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり		
実施年度	平成 20 年度	全体期間	平成 20 年度		
担当部所	東部第一下水道事務所 砂町水再生センター 水質管理係 佐々木啓行				
出 展 等	平成 20 年度 水質技術研究発表会				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	2-(1)-2	件名	東陽Ⅲ系（ステップA ₂ O法）の稼働状況（中間報告）		
内 容		平成 20 年 3 月より東陽Ⅲ系（ステップA ₂ O 法）が稼働した。当施設は、60 千m ³ ／日という大きな施設規模での、初めてのステップA ₂ O 法施設である。このステップA ₂ O 法については、まだ知見も少ないことから稼働状況を調査した結果、次のことが明らかになった。 (1) 第一好気槽の硝酸は、第二無酸素槽でほぼ全量が脱窒されていた。 (2) 第二好気槽の硝酸は、一部は硝化液循環で第一無酸素槽に戻り、脱窒されていた。 (3) 嫌気槽でのりんの吐き出し濃度は、反応槽流入水中の酢酸濃度と相関があることが確認された。 (4) その傾向は、第二無酸素槽でも同様であった。 (5) 5 月、6 月、7 月の除去率の平均は、窒素が 86%で、りんは 89%であった。 (6) りん処理が悪化する理由として、降雨以外にも原因のあることが予想された。			
キーワード		東陽Ⅲ系、ステップA ₂ O 法			
処理区名		砂町処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分		水質	施策区分	高度処理	
状態区分		調査 研究	技術区分		
実施年度		平成 20 年度	全体期間		
担当部所		東部第一下水道事務所 砂町水再生センター 水質管理係 内多 美穂子			
出 展 等		水質技術研究発表会			
調査方法		直営調査			
関連情報					

番号	3-(1)-1	件名	多層燃焼による温室効果ガス排出抑制技術について		
内 容	多層燃焼とは、流動焼却炉において砂層部への燃焼用空気量を絞って N₂O の生成を抑制するとともに、フリーボード部にも空気を供給することで、発生した N₂O を分解する方式である。 実験の結果、多層燃焼は高温焼却と比較して、N₂O 排出量と燃料使用量を同時に低減できる技術であることが確認できた。特に N₂O 排出量については、高温焼却（850℃）と比べて約 6 割削減、通常焼却（800℃）と比べて約 9 割削減することができた。 既存の流動焼却炉からの改造も容易であり、温室効果ガス排出抑制の方策としてきわめて有効である。				
	キーワード 多層燃焼、N ₂ O 削減、高温場				
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター		
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策		
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり		
実施年度	平成 19～20 年度	全体期間	平成 19～20 年度		
担当部所	施設管理部 施設管理課 境野 祐毅、小沢 尚				
出 展 等	二段燃焼による温暖化対策技術の開発に関する簡易提供型共同研究報告書				
	下水道新技術公開研修、下水道研究発表会				
調査方法	簡易提供型共同研究				
関連情報					

番号	3-(1)-2	件名	混合汚泥に対する二重円筒加圧脱水機の脱水性能について	
内 容	目的 本研究は、金属ろ材を使用した脱水機の二重円筒加圧脱水機を実機規模で脱水性能及び当局における実用化の可能性について検証するため共同研究を実施した			
	構造 本脱水機は縦軸同心配置された大小 2 つの金属製円筒ろ材(内筒・外筒スクリーン)、その間に固定されたスパイラル板、ケーキ排出部の背圧板によって構成される			
	結論 スクリーン両面ろ過及びスクリーン両面搬送の機構により、脱水汚泥の低含水率化が図れ、焼却炉の効率化が期待できる			
	縦型配置のため設置面積が小さく、高さも、設置架台を簡素化できるため既存の遠心脱水機とほぼ同等で建設費の縮減やスペースの有効利用が図れる			
	低速回転であるため消費動力を低減できる			
	遠心脱水機と比べて部品の組み立て精度を要しないため現場でのオーバーホールが可能である			
	処理量重視の運転から含水率重視の運転まで、幅広い範囲で任意の運転方法を選択できる。 共同研究を通して、二重円筒加圧脱水機が流域下水道の水再生センターにおいて従来の遠心脱水機と同等の性能を発揮できること及び省エネルギー等の面でも既設遠心脱水機に比べて優位であることを確認した。			
キーワード	二重円筒加圧脱水機、ろ過面積、ろ過速度、含水率、SS 回収率			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター、汚泥	
職種区分	設備	施策区分	騒音振動対策、温室効果ガス削減対策、汚泥処分 汚泥資源化、エネルギー 熱利用、効率化	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 1 9 年度	全体期間	平成 1 9 年度～平成 2 0 年度	
担当部所	流域下水道本部 技術部 施設管理課 鈴木 勝(現 施設管理部 施設保全課)			
出 展 等	設備研究発表会			
	混合生汚泥に対する二重円筒加圧脱水機の脱水性能の共同研究			
調査方法	ノウハウ+フィールド提供型共同研究			
関連情報				

番号	3-(1)-3	件名	薄膜型太陽電池による太陽光発電システムの開発	
内 容	近年、再生可能エネルギーの一つとして太陽電池が注目されている。太陽電池は、クリーンな太陽エネルギーを利用して発電するもので、温室効果ガス排出量の削減に寄与できる。また、電源の多様化、ピーク電力の削減、危機管理対応の一環などの効果も期待できる。 太陽電池の導入にはコストが課題であったが、従来型に比べてシリコンの使用量が約1/100である薄膜型太陽電池などの新技術が開発されており、将来大幅なコスト低減が期待できるようになってきた。 当局には水再生センターなど広い敷地を有する施設が多く、太陽光発電設備の導入可能場所は多いとみられる。しかし、水再生センターなどの上部は、点検や工事の際にスペースが必要であり、こうした空間を有効活用できる太陽光発電システムが必要であった。 本研究は、こうした背景から、下水道施設の環境に適した太陽光発電システムを開発し、地球温暖化対策に貢献することを目的としたものである。 本研究では、太陽の動きによってモジュールが可動する一軸追尾架台と、薄膜型太陽電池を採用した、1kWの新型太陽光発電システムを水再生センターに設置し、日射量、発電電力量、系統への影響、劣化傾向などの評価を行った。なお、一軸追尾架台による発電電力量増加効果を検証するため、固定架台型も同時に設置した。 今回の実験結果では、一軸追尾架台により固定架台に比べて発電量を増加できること、系統連系時にも系統への影響は見られないことなどが確かめられた。			
キーワード	薄膜型太陽電池、一軸追尾、温室効果ガス削減			
処理区名	葛西処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 20 年度	全体期間	平成 2 0 年	
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（設備技術） 田崎敏郎			
出 展 等	「薄膜型太陽電池による太陽光発電システムの開発」成果報告書			
調査方法	ノウハウ＋フィールド提供型共同研究			
関連情報	経営計画 2007、技術開発推進計画 2008			

番号	3-(1)-4	件名	アンモニア計と D0 計を用いた送風量制御システムの開発	
内 容	当局では、国際的な課題となっている地球温暖化の対策として「アースプラン 2004」を策定し、温室効果ガス排出量の削減に取り組んでいる。中でも「水処理工程で消費する電力量の削減」を大きな柱として位置づけており、水処理工程で消費する電力量の多くを占める反応槽への送風用電力量を削減することが課題となっている。 現在、当局で送風量制御システムとして広く使われているのは、D0 濃度のみを制御の指標として用いる D0 一定制御である。また、処理水質を維持しつつ送風量を削減する対策として、一部の水再生センターにアンモニア濃度のみを制御の指標とする硝化制御システムの導入を行ったが、状況によっては送風量の削減効果が低い場合もあった。 このような背景から、安定して処理水質を維持しつつ送風量を削減できる、新たな送風量制御システムとして、「D0 安定制御」と「可変 D0 制御」を考案した。 これらの新制御システムは D0 濃度とアンモニア濃度両方を制御の指標とする。これにより、安定して処理水質を維持しつつ送風量の削減を行うことをねらったものである。 また、この新制御システムにはリアルタイム性に優れたアンモニア計が必要であることから、今回採用した、新たなタイプの電極式アンモニア計についても、フィールドテストを行った。 新制御システムの送風量削減効果を検証した結果、D0 一定制御比で最大 1 割程度の送風倍率低減効果が得られた。 また、電極式アンモニア計は、手分析値と相関を示すとともに、故障も発生せず、実用可能であることが確認できた。			
キーワード	硝化制御、D0 安定制御、可変 D0 制御、電極式、アンモニア計			
処理区名	小菅処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	設備	施策区分		
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 20 年度	全体期間	平成 19 年～20 年	
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（設備技術） 田崎敏郎			
出 展 等	設備研究発表会			
	アンモニア計による可変 D0 制御調査委託その 2 報告書			
調査方法	委託調査			
関連情報	技術開発推進計画 2008			

番号	3-(1)-5	件名	水処理実験プラント水理特性把握調査		
内 容	下水道技術開発センターに水処理プラントが設置された。この施設はステップA₂O法、A₂O法、標準法の3系列が並列に配置されており、処理法の違いによる比較試験などが容易にできる。さらに、流入条件や運転条件を幅広く変更することが可能なため、特定の因子が水処理に及ぶ影響などの確認が行えるなど、今後の技術開発に大変有用な施設である。 本調査では、水処理プラントの性能を評価する目的で、各処理法ごとの基本的な水理特性の測定や設置された散気装置の酸素溶解効率の確認を行った。また、あわせて次年度に実施予定の温室効果ガス実態把握調査に向けて、反応槽から発生する排ガスを高精度に採取する手法の確立も行った。				
キーワード	水理特性、酸素溶解効率、混合特性				
処理区名	技術開発課		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質		施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究		技術区分		
実施年度	H20		全体期間	H20～H23	
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（水質）				
出 展 等					
調査方法	委託調査				
関連情報					

番号	3-(1)-6	件名	水処理から発生する一酸化二窒素（N2O）の削減技術の開発		
内 容	温室効果ガスの排出削減対策への取組が全地球的に求められている。 汚泥焼却過程と水処理過程から発生するN2O(一酸化二窒素)は、当局事業から発生する温室効果ガス全体の中で主要な部分を占めている。焼却過程での発生については、既に高温焼却などの対策が進められている。一方で水処理過程からの発生については、「なぜ生成するのか」という最も基本的な生成メカニズムの部分が十分には解明されておらず、削減対策も進んでいないのが現状である。排出削減を一層進めていくためには、削減余地が大きく残されている水処理過程からの生成・発生抑制技術を開発していくことが必要となっている。 本報告書は、そのような背景から水処理におけるN2Oの生成メカニズムの解明に向けて東京工業大学と実施した共同研究の結果をまとめたものである。 【成果】 ・アイソトポマー(安定同位体分子種)分析によりN2Oの生成するルート(硝化、脱窒、その他)を分けて解析することが可能となった。 ・アイソトポマーの分析結果を解析し、N2Oが生成する複数のルートをほぼ解明した。 ・実施設において硝化過程、脱窒過程からどのような比率でN2Oが生成しているのか明らかにした。主要生成個所を特定することで削減を効果的に行うための対策位置に関する知見が得られた。 ・反応槽で生成するN2Oが曝気排ガスに含まれるだけでなく、処理水中にも含まれていることを確認した。				
キーワード	アイソトポマー、一酸化二窒素、N2O、ヒドロキシルアミン				
処理区名	技術開発課		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質		施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究		技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 19～20 年度		全体期間	平成 19～23 年度	
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（水質）				
出 展 等					
調査方法	共同研究（大学）				
関連情報					

番号	3-(1)-7	件名	小菅水再生センター東系反応槽における N2O 発生に関する調査	
内 容	温室効果ガスの排出削減対策への取組が全地球的に求められている。 下水道局が排出する温室効果ガスには、電力使用に基づく CO2 や汚泥の焼却に伴う N2O があり、これらは低動力設備の導入や汚泥の高温焼却などを通して、排出量削減の取り組みを続けている。下水道局がこれまで対策を講じていない温室効果ガス排出源に、総排出量の約 10% を占める水処理施設から発生する N2O がある。対策を講じてこなかった背景のひとつは、水処理からの N2O の発生機構が複雑で解明が難しく、有効な対策が明らかでないことが挙げられる。水処理からの N2O 発生量は水再生センターによって 10 倍以上の差があり、発生量の少ない水再生センターには、発生が抑制されるいくつかの要因があると考えられる。その要因を明らかにして発生機構を明確にし、N2O 削減につながる運転手法等への反映ができれば、排出量の大幅な削減につながることを期待できる。これらのことから、技術開発課では共同研究や委託調査を通して発生機構の解明に関する調査を進めている。さらに、実施設でのデータ蓄積を目的に直営での N2O 発生調査を実施している。 本報告は、平成 20 年度小菅水再生センターで行ったアンモニア計を活用した新しい送風制御方法の開発調査に合わせて実施した各制御法と N2O 発生状況の関係、および硝化悪化時の N2O の発生挙動についての結果をまとめたものである。 【成果】 ① 完全硝化の反応槽（1 号・3 号）の N2O 濃度は、10mL/m3 程度で、時間変動は少ない。 ② 溶存 N2O のガス側への移行が、曝気風量に依存している傾向が見られる。 ③ 完全硝化している反応槽では、D0 設定値を高めにしても N2O 濃度に違いは見られなかった。省エネ観点だけでなく、N2O 発生量の点からも D0 設定値には適正値があると推測される。 ④ 窒素負荷量が増加すると、硝化速度が遅くなり N2O が発生する可能性がある。 ⑤ 制御方法（アンモニア制御・D0 制御）の違いは、N2O 濃度に影響を及ぼさなかった。 ⑥ 各回路間の N2O 発生量の違いは、回路ごとの風量の差、あるいは反応槽全体としての D0 分布による硝化状況の差の影響を受けていると考えられた。			
キーワード	一酸化二窒素、N2O、水再生センター			
処理区名	技術開発課	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 20 年度	全体期間		
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（水質）			
出 展 等				
調査方法				
関連情報				

番号	4-(1)-1	件名	下水道管渠内に敷設する光ファイバーネットワークの現状と今後の展開について	
内 容	当局では、下水道管渠内に光ファイバーを敷設し、水再生センターやポンプ所の遠方監視制御や業務に必要な情報の伝送路として活用している。 昭和 61 年度に幹線内の水位情報の伝送路として初めて光ファイバーを敷設し、平成元年からポンプ所の遠方監視制御に採用して以来、平成 20 年度末までに約 775km もの大規模ネットワークを独自で所有している。本稿ではこのネットワークの現状と課題について概説し更新時期を迎えた光ファイバーネットワークの更新の考え方、光ファイバーケーブルの破断対策、さらに他行政機関と連携したネットワークの利用拡大など、今後の下水道光ファイバーネットワークの今後の展開について説明したものである。			
キーワード	大規模ネットワーク、ネットワークの更新、ネットワークの有効利用			
処理区名		位置区分	管きょ、ポンプ所、水再生センター	
職種区分	土木 設備	施策区分	高度情報化技術	
状態区分	計画	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 20 年度	全体期間	平成 20 年度	
担当部所	計画調整部事業調整課			
出 展 等	第 45 回下水道研究発表会			
調査方法	直営			
関連情報				

番号	4-(1)-2	件名	光ファイバーケーブル断線予防技術調査	
内 容	本調査は、光ファイバーケーブルの断線原因の特性を把握し、断線が起きやすい箇所、留意すべき施設、維持管理上のポイント等进行分析し、対策箇所を選定した。また、既存の対策技術の問題点や改善点を整理し、文献等により最新の技術情報も収集し、新たな断線予防対策について検討した。 光ファイバーケーブルは、昭和 63 年度に敷設され 20 年が経過している。その間、断線事故による伝送障害が 47 件発生し、その原因は人為的によるもの、水撃・落下水等によるものに大別される。このうちの 14 件が管路施設の構造によるものである。 対策箇所としては、①大口径管きょ（φ2000mm 以上）②90 度屈曲人孔③落差の大きい人孔④伏越管きょの管口部⑤引き流し路線であり、人孔数で 348 箇所である。 断線予防対策としては、上記箇所を優先的に既存の防護材による予防を行うことである。しかし、現況の防護方法にいくつかの問題がある。①斜め引き出しや側方引き出しの場合、垂直及び水平カバーの接続が難しく個別にカバーの設計を行う必要がある。②想定される衝撃の強さから既存より厚みの大きいものが要請される。③カバー形状が多様で水理性能、施工性、コスト等で多面的な確認が必要である。④水理的安定性が増すカバーの形状が好ましいが、加工が困難になり、材料も割高になる。などである。 そこで新しい防護材の検討をするにあたり考慮すべき点は、屈折部分で強い流れにより激しく振動し、直近サドルが繰り返し引張を受け脱落する危険性があること。側方からの流れには衝撃の強さにより振動を繰り返すことである。 人孔管口部の防護カバーの新提案として、これまでの個別の形状設計を行う問題を解消する方式として矩形プリカチューブによる防護である。断面を円形でなく矩形にすることで側圧に抵抗できる。現時点では、光ファイバーケーブルを切断することなく、矩形プリカチューブに内装でき、長さが調整可能な市販品はないが、近似材料があることから開発することは可能であると考ええる。			
キーワード	光ファイバーケーブル、断線原因分析、断線予防技術			
処理区名		位置区分	管きょ	
職種区分	土木	施策区分	危機管理	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 20 年度	全体期間	平成 20 年度～平成 21 年度	
担当部所	計画調整部 技術開発課 管路技術担当 大岡隆志			
出 展 等	平成 20 年度光ファイバーケーブル断線予防技術調査報告書			
調査方法	委託調査			
関連情報	経営計画 2007			

番号	4-(1)-3	件名	下水道台帳情報システム（SEMIS）の機能について		
内 容	下水道普及拡大に伴い膨大となった台帳データを適切に管理するため、下水道台帳情報システム（SEMIS）を導入した。平成20年度、TAIMS用パソコンのOS変更に伴い下水道台帳情報システム（SEMIS）をTAIMS上で稼働するシステムとして再構築し維持管理業務等の効率化を図った。				
	下水道台帳情報システム（SEMIS）は、下水道施設情報を一体としてデータベース化し管理できる地理情報システム（GIS）です。データベース情報は、図形情報と属性情報及び画像情報で構築されている。				
	【下水道台帳情報システムの代表的な機能】				
	(ア) 図面検索機能				
	(イ) 表示機能				
	● 表示制御機能				
	● 表示切替機能				
	(ウ) 属性確認機能				
	(エ) 下水機能				
	● 上下流追跡機能				
	(オ) 条件別検索機能				
	● 管路診断結果の色分け				
	● 条件指定による条件検索色分け				
	(カ) クリップボードコピー機能				
	(キ) 印刷や出力機能				
	● 図面印刷及びPDFファイル作成機能				
	● SXFデータの出力面機能				
キーワード	下水道台帳、SEMIS、TAIMS、GIS				
処理区名		位置区分	管きょ		
職種区分	土木	施策区分	高度情報化技術		
状態区分	維持管理	技術区分	新規知見あり		
実施年度	平成20年度	全体期間	継続中		
担当部所	施設管理部管路管理課施設情報管理係				
出 展 等	局公開研修「下水道新技術」				
調査方法	委託調査				
関連情報					

番号	4-(1)-4	件名	マイクロウェーブ法導入による重金属前処理方法の迅速化		
内 容	【背景・目的】 水質事故等が発生した場合、被害を最小限に抑え迅速な対応をとるためには、有害物質濃度を迅速に把握することが必要である。 有害物質である重金属の測定においては、試料の分解などの前処理が不可欠である。しかし、従来の前処理方法では、試料の加熱分解に1時間を要し、試料採取から測定結果の確定まで2時間を要していた。 近年、迅速な試料分解方法としてマイクロウェーブ法（以下、「MW法」という）が注目されている。この方法は、周波数の高い電磁波を照射し、試料を迅速に加熱分解するものである。そこで、事故等の緊急時における重金属の測定時間の短縮を図るため、MW法の工場排水への適用可能性について検討した。				
	【検討内容】 初めに、工場排水等を用いて、MW法による分解条件を検討した。次に、ここで得られた条件に基づき実試料の分析を行い、回収率と再現性について、従来法による結果と比較した。さらに、MW法と従来法による分析結果の相関を求めた。				
	【検討結果】 試料採取量5 mLに対して、硝酸 2.5mL を添加し、MW法により1分間で試料を分解することができ、回収率と再現性も良好であった。また、MW法と従来法による分析結果の相関係数は0.998、分析値は従来法：MW法＝1：1.04であった。 これにより、緊急時等における代替利用の可能性が確認された。既存の緊急時重金属分析フローへ今回検討したMW法を導入することで、試料採取から測定結果の確定までの作業時間が、これまでの2時間から1時間に短縮できた。				
	キーワード マイクロウェーブ 重金属分析 試料分解方法 事故対応				
	処理区名		位置区分		
職種区分	水質	施策区分	効率化 危機管理		
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり		
実施年度	平成20年度	全体期間			
担当部所	施設管理部 環境管理課 市川 豊				
出 展 等	平成20年度 水質技術研究発表会				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	4-(1)-5	件名	下水水質シミュレータの活用による処理水りん濃度予測		
内 容	本調査は、下水水質シミュレーターを利用し、浮間水再生センターの A2O 法施設に事業場から高濃度の硝酸性窒素を含んだ排水を受け入れた場合の放流水質の影響について、シミュレーションしたものである。 【シミュレーション条件】 ① 流入条件：スポット流入、常時流入の 2 条件 ② 濃度条件：スポット流入 50mg/L、常時流入 8.4mg/L 濃度の設定は、硝酸性窒素排水の流入幹線と他の幹線の下水が合流した地点において、過去に浮間水再生センターが調査した硝酸性窒素濃度の日変動値から、各流入条件における最大濃度値を決定した。 上記の条件で放流水中のりん濃度への影響についてシミュレーションを行った結果、硝酸性窒素排水をまったく受け入れない時の放流水のりん濃度の 0.1mg/L と比較すると、スポット流入条件では 0.7mg/L、常時流入は 0.6mg/L と 6～7 倍りん濃度に上昇し、処理状況が悪化した際には、放流基準値 1mg/L の遵守も難しくなる結果が得られた。 施設の運転条件（施設の稼動・休止、流入幹線の切り回し等）を変更する場合に、事前にシミュレーションを行い放流水質への影響の有無や影響の程度を予測することは、水質管理における危機回避にとって有効な一手法であると考えられる。				
キーワード	A 2 O 法 下水水質シミュレータ 硝酸性窒素				
処理区名	新河岸処理区		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	環境検査		施策区分		
状態区分	調査 研究		技術区分		
実施年度	平成 20 年度		全体期間		
担当部所	施設管理部環境管理課水質調査係 増田 龍彦				
出 展 等	平成 20 年度 水質技術研究発表会				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	4-(1)-6	件名	水再生センター内工事に起因する水質悪化対策		
内 容	落合水再生センターでは、平成 20 年 12 月から年度末にかけて反応槽の設備補修や散気板取り換え工事などが行われ、南・北施設の反応槽 10 槽中最大 3 槽が停止した。特に南側施設で反応槽の水量負荷が増大し、硝化不足から放流水質の悪化・再生水事業への悪影響も懸念されたため、硝化を促進しこれまで以上に効率よくアンモニアを除去する必要が生じた。				
	そこで、机上実験により、回路別送風比率の最適化による効率的硝化促進について検討した。酸素要求量の多い反応槽前半部分に現行よりも多く空気を送り込む、つまり A 回路から D 回路の送風比率をそれぞれ 10%：30%：30%：30%から 15%：35%：35%：15%に変更することで硝化を進めることができるという結果が得られた。この結果を基に送風比率の変更を反応槽 1 槽で試行したところ、アンモニアの処理で良好な結果が得られたので全槽で実施し、こちらも良好な結果を得た。工事中も水質の悪化を抑えることができた。				
キーワード	硝化促進				
処理区名	落合処理区		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質		施策区分	効率化	
状態区分	調査 研究		技術区分		
実施年度	平成 2 0 年度		全体期間	平成 2 0 年度	
担当部所	西部第一下水道事務所 落合水再生センター				
出 展 等	2 0 0 8 年度水質管理研修				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	4-(1)-7	件名	降雨初期のりん上昇の原因とその制御	
内 容	みやぎ水再生センターでは、東・西 2 つの水処理施設のうち東処理施設のみで降雨初期に処理水中のりん濃度上昇が顕著に現れ、PAC が注入される現象が起こっていた。そこで、平成 19 年度末に水質試験室に導入された水処理施設の監視端末を活用して原因調査を行った。 その結果、以下の因果関係が推察された。 ①降雨により反応槽水位上昇 ②散気装置にかかる水頭圧の上昇により送風圧力が不足 ③供給空気量が不足 ④DO（溶存酸素）低下 ⑤反応槽出口のりん酸性りん濃度が上昇 ⑥PAC 注入 これを受けて、送風圧力の設定値を上げたところところ、反応槽の水位が上昇しても PAC が注入されることはなくなった。 本報告は、監視端末を活用した原因の調査過程と、推測された原因に対する対応策、及び、その効果をまとめたものである。			
キーワード	りん DO 降雨 監視端末 データ解析			
処理区名	小台処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	効率化	
状態区分	調査 研究	技術区分		
実施年度	平成 20 年度～	全体期間	平成 20 年度～	
担当部所	北部第二下水道事務所みやぎ水再生センター水質管理係			
出 展 等	平成 20 年度水質技術研究成果発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	4-(1)-8	件名	溶存硫化物の処理に与える影響		
内 容	芝浦水再生センター(以下、芝セ)では、単位流入水量当たりの空気量が多いという問題がある。この要因の一つに、本系反応槽流入水の溶存硫化物(以下、硫化物)濃度が高いため、硫化物の影響も考えられる。高濃度の硫化物が流入すると、反応槽中の酸素供給や活性汚泥処理など、特に酸素を多く消費する硝化に対して大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで今回、硫化物による硝化、脱窒の影響を調査したので報告する。 この調査により、溶存硫化物は下水処理における好気状態に大きな影響を及ぼすことが示唆された。特に硫化物濃度が高いと、硝化の進行を妨げるため、より多くの空気量が必要となる。従って、この結果は現在の芝セの処理水量当たりの空気量が多いという問題に一致する。一方で嫌気状態のみを見ると、硫化物により脱窒の進行、ORP の急激な低下、りんの吐き出し量が多くなるなどのメリットがある。また、溶存硫化物による好気処理への悪影響を嫌気部分で排除出来る可能性がある。そのため下水処理全体にとっての溶存硫化物による影響はデメリットだけでは無いと言える。				
キーワード	硫化物、硝化、脱窒、ORP				
処理区名	芝浦処理区	位置区分	処理場 水再生センター		
職種区分	水質	施策区分			
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり		
実施年度	平成 19 年度～20 年度	全体期間	平成 19 年度～20 年度		
担当部所	中部下水道事務所芝浦水再生センター水質管理係				
出 展 等	平成 20 年度水質技術研究発表会				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	4-(1)-9	件名	鉛の超過原因とその改善指導方法について	
内 容	事業場への立入検査結果において、鉛の違反件数は重金属類の中で最も多く、事業場指導に苦慮している。平成１９年度の除害施設水質規制技術検討会において、違反件数の低減を目指し、過去の違反原因を解析した。 違反原因を検証した結果、原因の半数はpH電極、濃厚廃液、汚泥処理などの維持管理不良に起因するものであり、違反件数は維持管理指導を徹底することにより半数程度にまで削減可能であることが判明し、これまで以上にきめ細やかな事業場指導の必要性が示唆された。 また、原因調査する際の立入手順、違反原因別の具体的な改善方法を整理し、原因解明をより効率的かつ迅速に行える調査手順フローシートを作成し、事業場指導に活用している。			
キーワード	鉛 違反原因 改善方法			
処理区名		位置区分		
職種区分	水質	施策区分	流入水質規制	
状態区分		技術区分		
実施年度	平成１９年度	全体期間		
担当部所	８下水道事務所業務課水質規制係 施設管理部排水設備課技術指導係 柳下正美			
出 展 等	平成２０年度東京都下水道局水質技術研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	4-(1)-10	件名	みやぎ水再生センターにおける落合・中野汚泥の三河島送泥開始による処理水質改善状況		
内 容	みやぎ水再生センターでは、従来、落合・中野水再生センターの汚泥を、みやぎ水再生センターで発生した汚泥とともに処理していた。これを平成 20 年 4 月 8 日から、三河島水再生センター経由で東部スラッジプラントに送泥を開始した。これにより、汚泥処理工場からの返流水負荷が低減し、公共用水域への放流水質が向上した。本報告は、返流水負荷の低減に伴う、放流水質の向上について状況を報告したものである。 三河島送泥の開始により、当センターにおける汚泥処理量は半減し、返流水の濃度(SS、COD、T-N、T-P)と負荷量は約 6 割低減された。その結果、放流水質が、BOD で 2mg/l、COD で 6mg/l、T-N で 6mg/l、T-P で 0.6mg/l 程度改善し、流入水に対する除去率は、T-N で 15 ポイント、T-P で 10 ポイント程度向上した。 一方で、汚泥の質が返流水・放流水の水質に影響を及ぼすことが示唆され、汚泥処理施設の集約化が、処理の高効率化をもたらす反面、腐敗が進行した汚泥を受け入れることとなる処理施設への負荷が重くなることに対する対処の必要性を逆説的に明らかにした。				
	キーワード	三河島送泥、汚泥処理施設、集約化、返流水、水質向上			
	処理区名	小台処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
	職種区分	水質	施策区分		
状態区分	調査 研究	技術区分			
実施年度	平成 2 0 年度	全体期間			
担当部所	北部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 松本大吾				
出 展 等	平成 2 0 年度 水質技術研究発表会				
	平成 2 0 年度 東京都環境行政交流会				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	5-(1)-1	件名	Development of High-Efficiency Gasification Power Generating System Using Sewage Sludge and Woody Biomass (下水汚泥と木質系バイオマスを使用した高効率ガス化発電システムの開発)	
内 容	世界的にエネルギー、環境への意識が高まっている中、化石燃料の代替としてバイオマスエネルギーの利活用が注目されている。このような背景を鑑み、これまでの“省エネルギー”の観点から一歩踏み出し、下水処理場を“創エネルギー”の拠点として捉えて、下水処理場が豊富に有するバイオマスの”下水汚泥“から、電力や熱等のエネルギーを効率的に創出するシステムの開発を行った。 さらに、下水汚泥対して木質系バイオマスを混合することで、化石燃料使用量・購入電力量の削減を目指し、化石燃料由来エネルギーに依存しない、エネルギー自立型システムの可能性について検証をおこなった。 本システムは下水汚泥と木質系バイオマスを酸素の少ない雰囲気下で加熱分解し、発生させた高濃度の熱分解ガス（水素、一酸化炭素、メタン等）をガスエンジンに供給し、高効率な発電を行うシステムである。 本システムの実証試験を行い、以下の確認をした。 ・ ガスエンジンの発電性能を含めたシステム全体の安定性 ・ N₂O等の温室効果ガス排出量の大幅な削減 ・ 化石燃料使用量・購入電力量の大幅な削減			
キーワード	下水汚泥、木質系バイオマス、ガス化発電システム			
処理区名		位置区分		
職種区分	土木	施策区分	汚泥資源化、温室効果ガス削減対策	
状態区分	計画	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成19年度	全体期間	平成17年度～平成18年度	
担当部所	流域本部技術部計画課 泉谷 信夫（現 都市整備局都市基盤部交通企画課）			
出 展 等	EWA/WEF/JSWA特別会議			
調査方法	実証実験			
関連情報				

番号	5-(1)-2	件名	Improvement of Accuracy in Rader Precipitation Gauge System by an Alliance between Tokyo and neighboring Municipalities (近隣自治体との連携によるレーダー降雨情報システムの精度向上)		
内 容		東京都下水道局は、時間 50mm の雨水排除に対応できる施設整備を進めているが、近年、都市型の集中豪雨など、短時間的にはこれを上回る降雨が頻発している。23 区内は、舗装率が高く、自然排水ができない土地の住宅地利用が進んでおり、浸水を防ぐための雨水排除を目的とした設備運転業務は容易ではない。また、当局は、効率的な維持管理体制として、運転管理業務の集約化を積極的に推進してきた。現在、区部にある 83 のポンプ所のうち 66 か所は、遠方制御で運転され、少数の運転員で広域的な施設の運転管理にあたっている。 降雨情報システム「東京アメッシュ」とは、2 基のレーダー雨量計による観測にもとづく最小 250m メッシュ単位で都内の降雨情報をリアルタイムで提供するものである。同情報は、運転員が降雨状況を正確に把握することを可能とし、雨水排除の的確な運転対応に資する。 すでに運用 20 年を経過し、レーダー雨量計の観測精度の進歩は著しいが、レーダー固有の課題である「降雨減衰」及び「ブライトバンド」への対策はなされていなかった。さらに、変化しやすい気象に対する広域監視の必要性もあって、昨年、独自に降雨レーダーシステムを運用する隣接 3 自治体（埼玉県、横浜市、川崎市）と連携して、降雨データを共有化し、観測情報を大幅に増やし、広域化することによってこれらの課題解決に大きな進展を図った。 その取り組みとレーダー雨量計データの合成技術について紹介する。			
キーワード		東京アメッシュ、メッシュ、レーダー、降雨減衰、ブライトバンド、広域化			
処理区名		位置区分			
職種区分		設備	施策区分	高度情報化技術	
状態区分		維持管理	技術区分	新規知見あり	
実施年度		平成 19 年度	全体期間	平成 17 年度～平成 19 年度	
担当部所		施設管理部施設管理課 横田 雅仁			
出 展 等					
調査方法		委託調査			
関連情報					

1. 安全性の向上

(1) 再構築技術

- 1 シールド切替型推進工法による施工について
- 2 新タワー周辺地区開発に伴う主要枝線の北十間川横断工事の設計について

—耐震護岸直下のシールド横断—

(2) 浸水対策技術

- 1 建設局、区と連携した浸水対策事例
- 2 流出解析モデルを用いた雨水の効果的な貯留システムに関する検討
- 3 光ファイバーを用いた水位検出システムの開発

1-(1)-1 シールド切替型推進工法による施工について

北部第二下水道事務所 建設課 工事第一係
田村 基

1. 施工の経緯

本工事は、北区中十条三丁目付近を発進立坑、北区十条仲原二丁目付近を到達立坑とし、全路線昼間施工で特殊推進工法(内径φ1100:シールド切替型推進工法・泥濃式)により施工するものである。(図-1)

施工エリアは、十条幹線から十条台幹線へ切り替わる部分にあたり、基幹施設である十条台幹線は平成18年度にφ2100～3000mm、L=1,598.55mで整備済みである。このことにより流域内の50mm/hr-80%相当の再構築が可能となったことから、今回工事において流域内に配置する分水(3Q)人孔により雨水を取水し、新設主要枝線により十条台幹線

に取り込み、石神井川へ放流する。分水後の汚水は既設枝線を経由して十条幹線へ流入し、最下流の分水人孔により石神井川幹線へ取り込み、みやぎ水再生センターで処理し隅田川へ放流する。

施工環境としては、南北に縦貫する都道460号線、東西に横断する区道での施工である。都道は赤羽～王子駅間の抜け道として交通量が昼夜間とも非常に多い。東西に走る区道は比較的交通量は少ないが、その他の区道は狭く曲がりくねっており、工事車両の出入りは困難な環境である。また、町並みは古くから現存する家屋が密集しており、まとまった空地はない。

本流域の既設管は昭和20年代に布設された管渠が大半を占めている。このため多くの管渠に損傷や劣化が見られている状態となっており、一部で能力不足を起こしている。

このような厳しい施工環境の中、既設管の能力不足を解消するため、新設する主要幹線の効果的なルートを選定し、適切な箇所へ分水人孔を配置することで再構築を進めることとした。

施工は、施工区間内に急曲線部(R=12m)が4箇所あり、作業基地となる用地がないため、路面覆工下にプラントが設置でき、急曲線・長距離施工が可能なシールド切替型推進工法(デュアルシールド工法)を採用した。(写真-1)

デュアルシールド工法は、推進工法による掘削



図-1 工事箇所図



写真-1 デュアルシールド掘進機

方式や施工設備を採用し、シールド機においても推進工法用の掘進機を用いることを前提とした工法である。第1段階として、最初の一定区間を推進工法で推進管を布設し、第2段階として、掘進機に続いてセットしたジャッキ筒(シールドジャッキとセグメントを組み立てるエレクターを装備)の中でセグメントを組み立てながら、前方の掘進機を推進させ管路を構築するものである。(図-2)

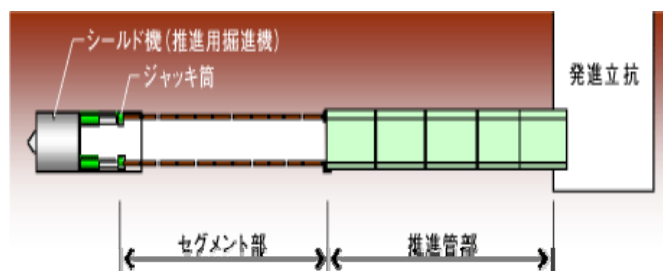


図-2 泥濃式デュアルシールド工法

2. 作業環境の工夫・お客さまへの配慮

今回の現場においては、長期に亘り車道に覆工立坑を設置し掘進作業を行うため、作業環境面での工夫及び近隣のお客さまの日常生活に配慮した施工面の工夫をそれぞれ行っている。

2. 1 作業環境面での工夫

今回、作業用プラントは、道路幅員の関係で、24m×5m、深さ3.6～6.8mという幅の中で路面覆工下に作業スペースとプラント設置スペースを構築する必要があった。このため、覆工桁や山留材等の位置を考慮し、狭い作業空間を最大限活用して推進プラントなどの仮設備(貯泥槽・掘削管理室・加泥材ポンプ・ミキサー等)やシールド(φ1100mm)配管等を配置している。(図-3)(写真-2)

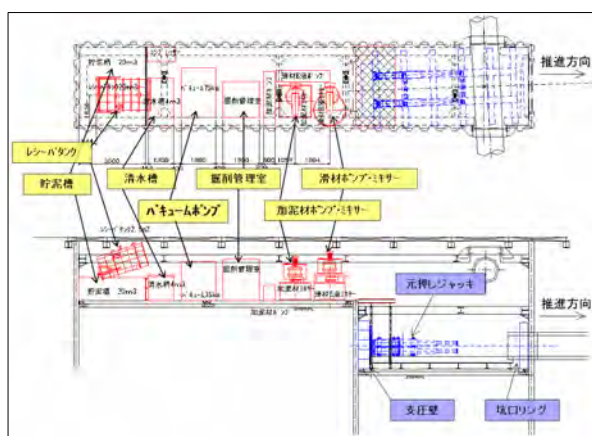


図-3 プラント配置図



写真-2 プラント設置状況

推進からシールドに切り替えた後に、管内に軌条を敷き、バッテリーロコにより、セグメント等の資材を運搬する。推進管内部は内径1100mmで、かつ、配管等が設置されているので非常に狭い。

坑内の安全管理としては、バッテリーロコの定速運行や立入禁止の周知徹底、切羽間の連絡合図の徹底など作業内ルールを厳守して作業している。(写真-3)



写真-3 坑内作業状況

2. 2 お客さまへの配慮

近隣のお客さまへの配慮としては、路面覆工が全長24mあり、車両通行時に振動が生じることから、できる限り振動を抑えるべく、覆工板下に防振ゴムを設置し振動の低減に努めている。

また、近隣のお客さまの要望により、夜間に作業エリアを内照灯で明るくし、通過する車両が意識的に減速をするような現場環境にしている。(写真－4)(写真－5)



写真－4 防振ゴムの設置



写真－5 内照灯による減速効果

また、工事の進捗状況等を地元のお客さまにいち早くお知らせするために、現場に隣接する民家を作業詰所として借用し、作業掲示板に作業予定表等を張り出している。(写真－6、7)



写真－6 民家を借用した作業詰所



写真－7 作業掲示板

3 今後の施工に向けて

本工事は、平成22年3月に完了する予定であるが、今後、急曲線部の施工及びJR軌道下を通過する際には、さらに慎重かつ細心の注意を払うとともに地元のお客さまに配慮した施工に努めて行く必要がある。

今後とも引き続き工事の安全管理と地元の環境に配慮した施工に努めていく。

参考文献

「デュアルシールド工法」福田組技術カタログ

1-(1)-2 新タワー周辺地区開発に伴う主要枝線の北十間川横断工事の設計

について ―耐震護岸直下のシールド横断―

担当者；東部第一下水道事務所 建設課
設計係 源 隆博

1. 主要枝線建設の経緯

墨田区押上・業平橋地区において土地区画整理事業に合わせて新タワー建設（東京スカイツリー）が進められている。

同事業は、平成23年度の街開きに向けて、道路、その他ライフライン等のインフラの整備が急ピッチで実施されている。

下水道施設についても土地区画整理事業地からの排水を受け入れるため、周辺管渠の再整備が必要になり、土地区画整理組合との間で基本協定を締結し、当初計画の再構築計画を前倒して区画整理事業と合わせて一体的な街づくりに取り組むこととした。

土地区画整理事業地内の汚水・雨水は、分かれて排水される。今回は、土地区画整理地東側の雨水を収容する主要枝線（内径1800mm、延長約1km）のルート決定理由と北十間川を横断する際の耐震護岸防護の設計について報告する。

1. 1 主要枝線のルート選定

主要枝線のルート選定理由を平面線形と縦断線形から説明する。

1. 1. 1 平面線形について

主要枝線は、現在業平橋雨水渠に流入している土地区画整理地東側及び押上一丁目付近の雨水を取水して新設する駒形幹線に流入させるものである。

発進立坑基地については、土地区画整組合との間で締結した協定に基づき、京成電鉄株式会社本社東側の駐車場を使用することができた。

本主要枝線が流入する駒形幹線は、浅草通りに建設されるため、北十間川を北側から南側へ横断する必要がある。そこで、発進立坑になるべく近く、管渠が通過可能な道路が河川の両岸にあり、途中で区画整理地内及び再構築エリアからの雨水を収容できるルートを選定した。

この結果、京成電鉄（株）東側から一旦北側へガーデン通りを斜め横断し、押上一丁目24番地から同25番地まで半回転する。

ここから北十間川を業平四丁目18番地へ横断し、浅草通りを超えて業平四丁目7番地まで南進する。

ここで右折して、都道四ツ目通りを横断し、横川二丁目3番まで東進する。

さらに、左折して春日通り（横川二丁目10番地）まで掘進する。

このルート選定の結果、急曲線に対応するためシールド工法を採用した。また、雨水管であるため、コンパクトシールド工法とし、他工事からのマシンの転用を考慮した。

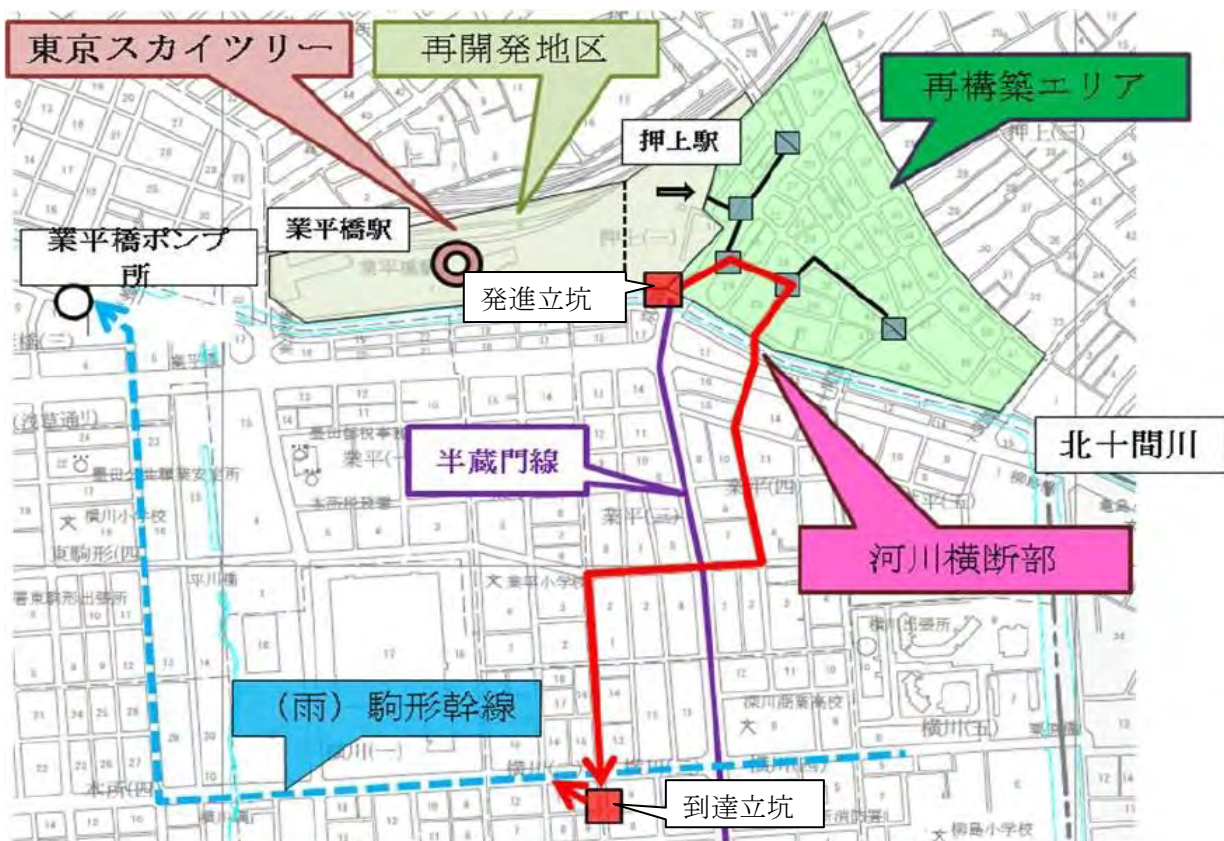


図1 平面線形及び案内図

1. 1. 2 縦断線形について

本主要枝線の縦断線形を決めるポイントは、他企業埋設物と北十間川の横断位置である。

第1案は、耐震護岸の下部を通過することとした。

この案は、都道四ツ目通りを横断する際、地下鉄半蔵門線が障害になる。また、地下鉄半蔵門線を避けて下越しすると、主要枝線が流下先の駒形幹線より下がってしまい、接続出来ないので不採用とした。

第2案は、北十間川旧護岸基礎の松杭を除去し、かつ耐震護岸を貫通させることとした。

この案は、シールドを耐震護岸の地盤改良体の中を通過させることになるため、河川管理者との協議が整わなかった。

第3案は、河川管理者と協議した結果、横断位置は次の条件を遵守する深さとした。

- ② 旧護岸基礎松杭から一定の離れを取る。
- ③ 既設地盤改良体の中をシールドを通過させない。
- ④ 耐震護岸矢板を一部除去する場合、適切な補強をすること。

最終的には、上記第3案に加えて東京電力管路との離隔を考慮して縦断線形を決定した。

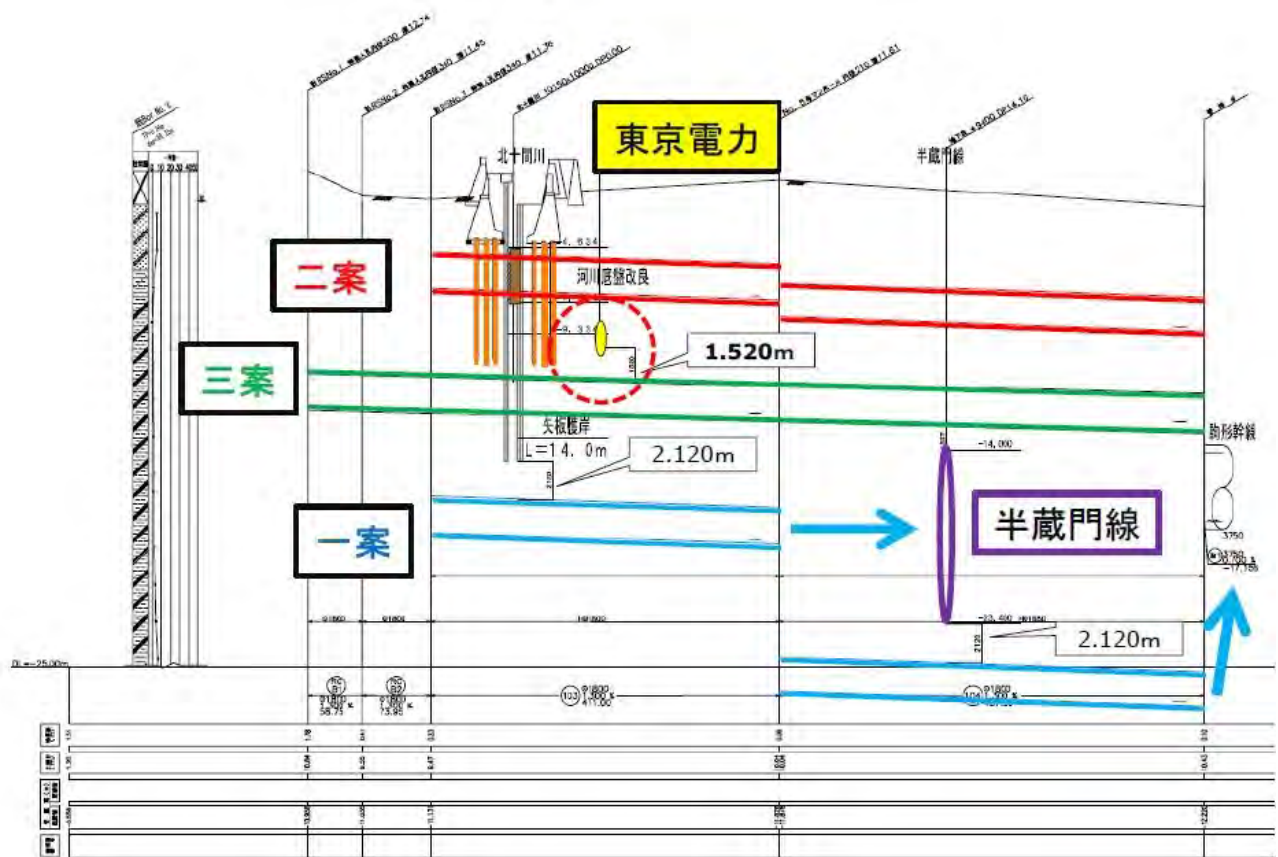


図2 縦断線形

2. 耐震護岸部の河川横断

主要枝線をシールド工法で河川横断する際、北十間川兩岸の旧矢板護岸と最近設置した耐震矢板護岸が支障する。

なお、河川管理者へ耐震矢板護岸の設計上の考え方を確認したところ、次のことが判明した。

- ① 耐震矢板護岸の安定計算を検討する際、旧矢板護岸の存在を考慮していない。
- ② 河床部の地盤改良体は構造物として考えていない。

したがって、耐震矢板護岸の安全性検討の際、同じ考え方で設計した。

2. 1 河川横断に伴う耐震矢板護岸の安全性検討

シールド通過により矢板が分断され、矢板のつりあい深さが確保できなくなり、護岸が転倒する恐れがあるため、この対策を検討した。

旧矢板護岸は、耐震護岸の構造計算上考慮していないため、この一部を切断しても河川防災上なんら影響しない。

したがって、シールド通過に伴う護岸の防護検討は耐震護岸のみを対象とした。

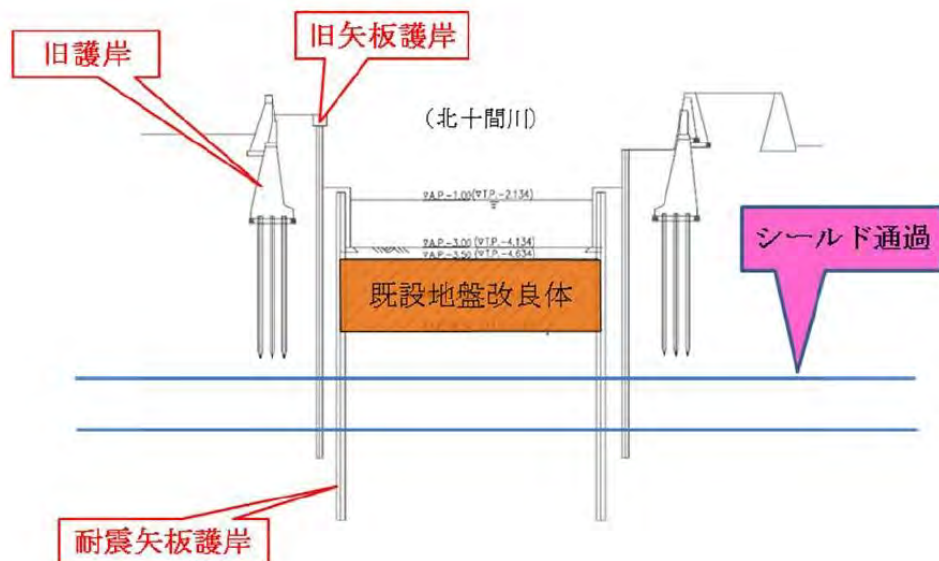


図3 既設護岸概要

2. 1. 1 耐震矢板護岸の転倒対策

耐震矢板の背後に補強H鋼杭を6本打設する。H鋼杭は切断する矢板と同等の断面二次モーメントを有するものとする。

補強H鋼杭と耐震矢板頭部を連結材で結合する。切断される矢板に作用する側圧は、矢板頭部の連結材を介して背後の補強H鋼杭に伝達し、転倒しようとする力に対抗させる。

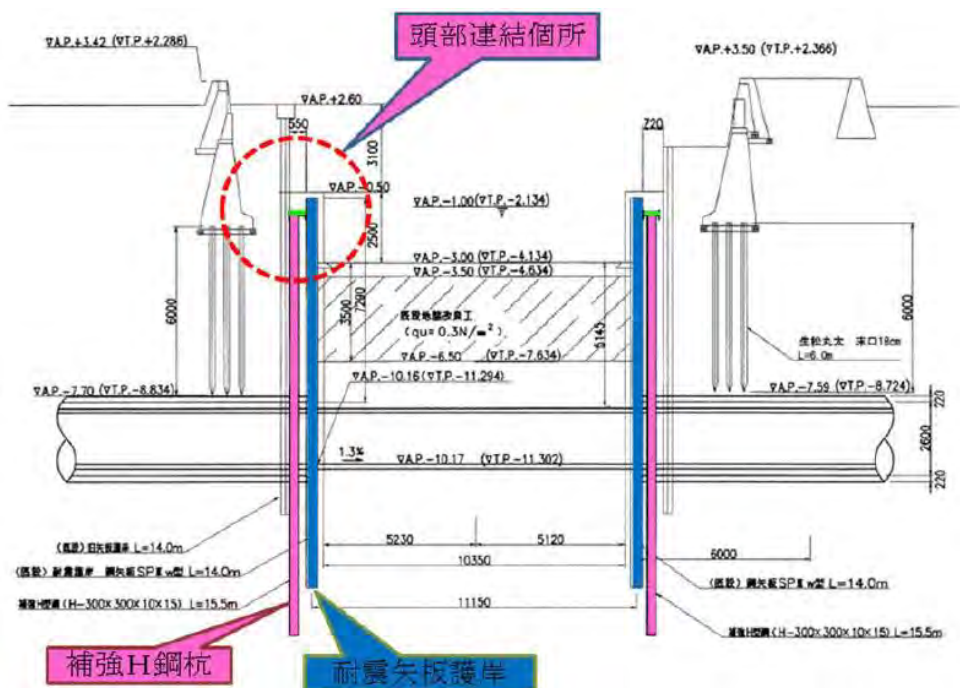
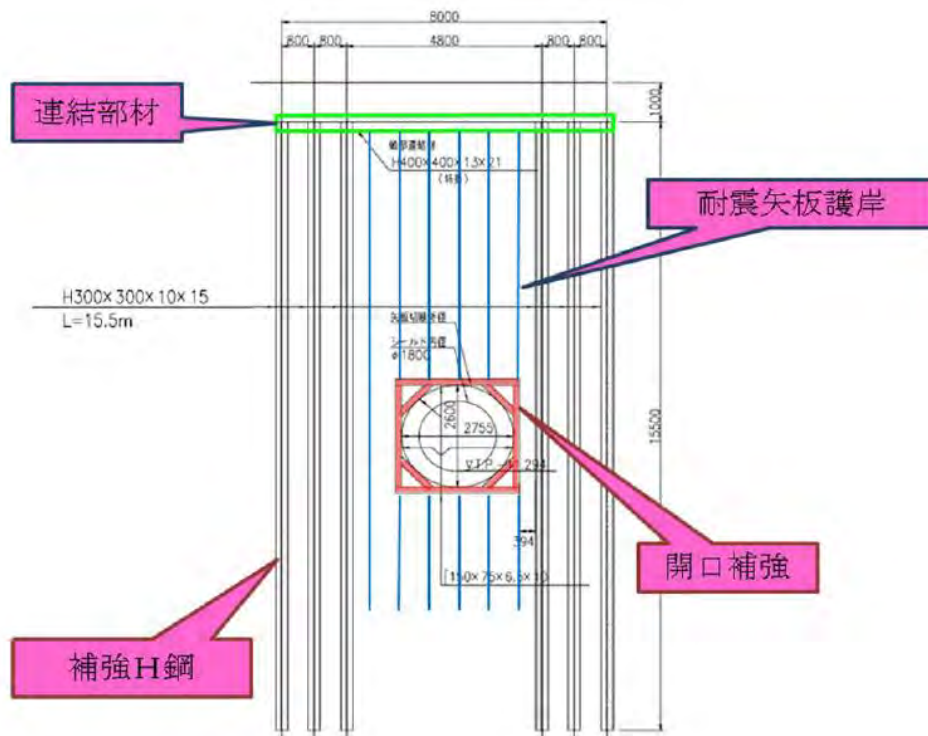


図4 河川横断面図

2. 1. 2 開口部の補強

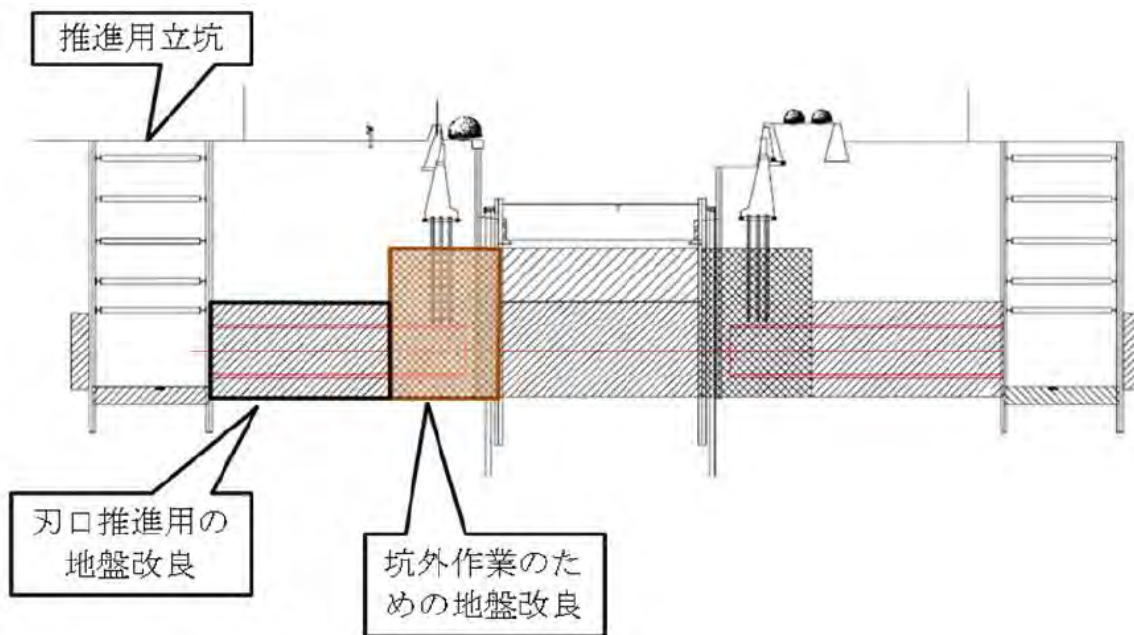
シールドが貫通する箇所は、矢板切断部の外側を鋼材で井桁に組んで開口部補強する。



2. 1. 3 開口部補強方法

障害物の除去方法にはD o -Jet 工法などのシールド機械本体で行う工法もある。

本件では、河川管理者との協議の結果、シールド通過に伴い護岸に与える影響を最小限すること、合わせて護岸の開口部補強を行うという条件を満たす工法を採用した。



北十間川の両岸に推進用立坑を設け、刃口推進工法で矢板護岸まで掘進し、旧矢板を切断撤去し、さらに進めて、耐震矢板護岸の開口部補強、切断を行う。

2. 1. 4 河床の沈下対策

既設地盤改良体の直下をシールドが通過するときの河床の沈下等の挙動をFEM解析した。

この結果、本工事では既設の地盤改良体を沈下させないためにシールドの管底－1.0mから上方の既設地盤改良体までの地盤改良を行うこととした。

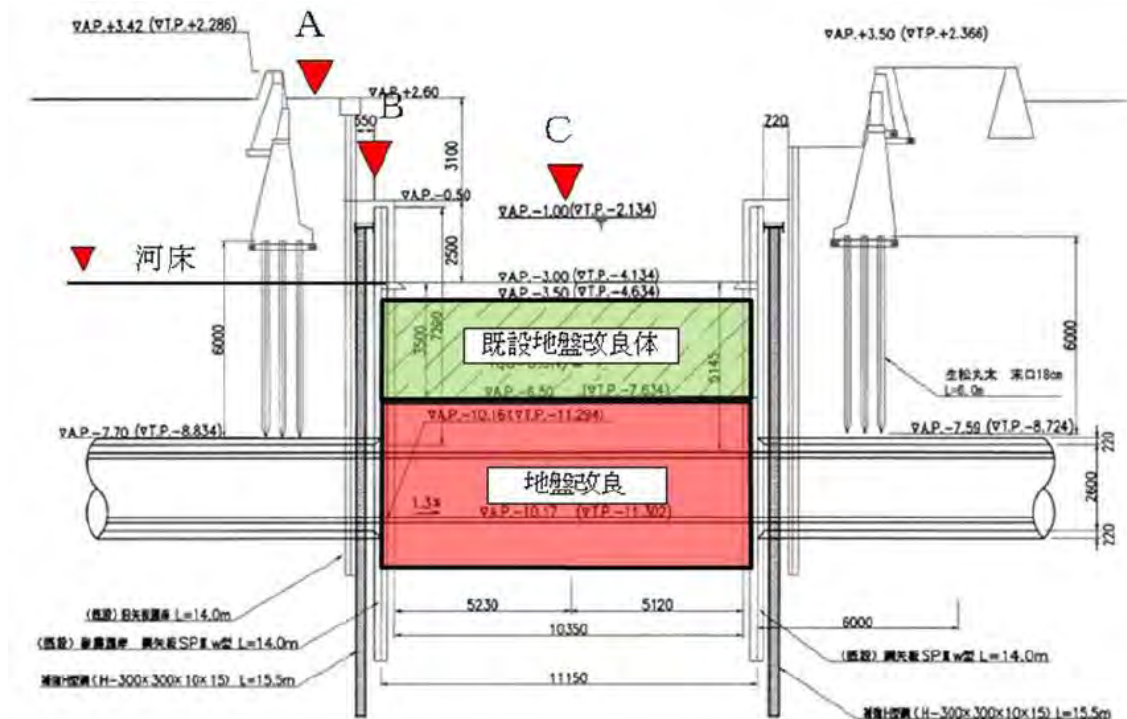


図7 河川内地盤改良図

2. 1. 5 河床の沈下量

計算結果、地盤改良前は、測点A、B、Cとも沈下が発生する。

地盤改良後は、測点A、B、Cとも河川管理者の了解が得られる変位置量であった。

※測点A、B、Cは河川内の平面的な位置を示す。

表1 河床の変位置量

	河床の沈下量		
	A断面	B断面	C断面
改良前	－3.8mm	－3.6mm	－2.3mm
改良後	＋0.6mm	＋0.5mm	＋0.7mm

なお、河川内の地盤改良は、河床の沈下対策とともに刃口推進工法で耐震護岸鋼矢板を切断する際の矢板背面地盤を自立させる目的がある。

また、設計協議において、施工中は計測管理にて堤体の挙動を監視することとした。

3. 施工フロー

河川横断の施工手順を以下に説明する。

旧護岸鋼矢板と耐震護岸鋼矢板の間にH型鋼（H-300×300×10×15）L=15.5mを打設する。

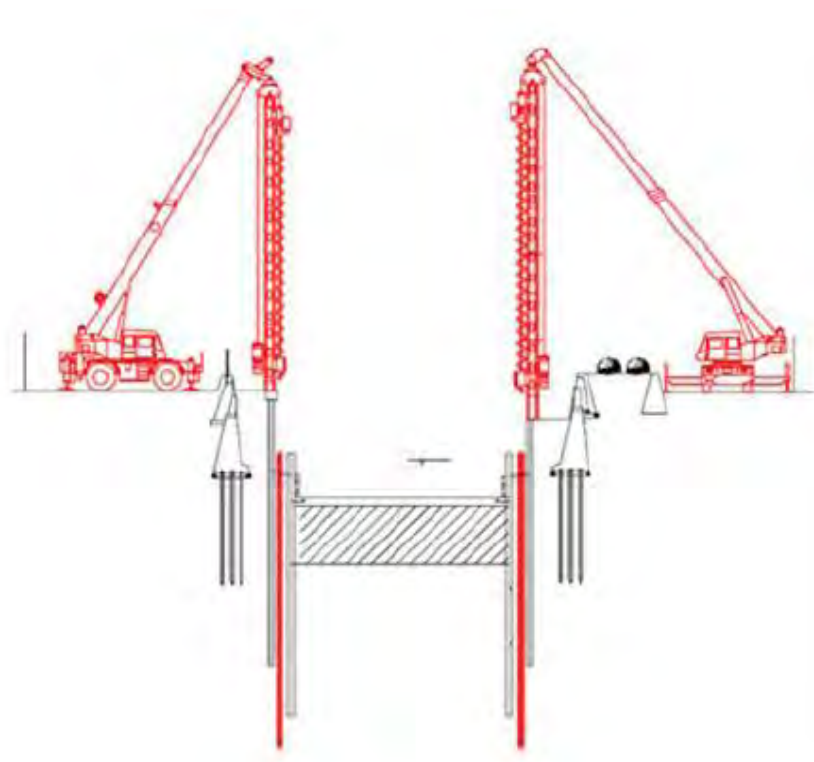


図7 河川内地盤改良図

シールド通過に伴う河床の沈下を防止するため既設地盤改良体下部に地盤改良施工する目的で、河川内に作業架台（栈橋）を設ける。

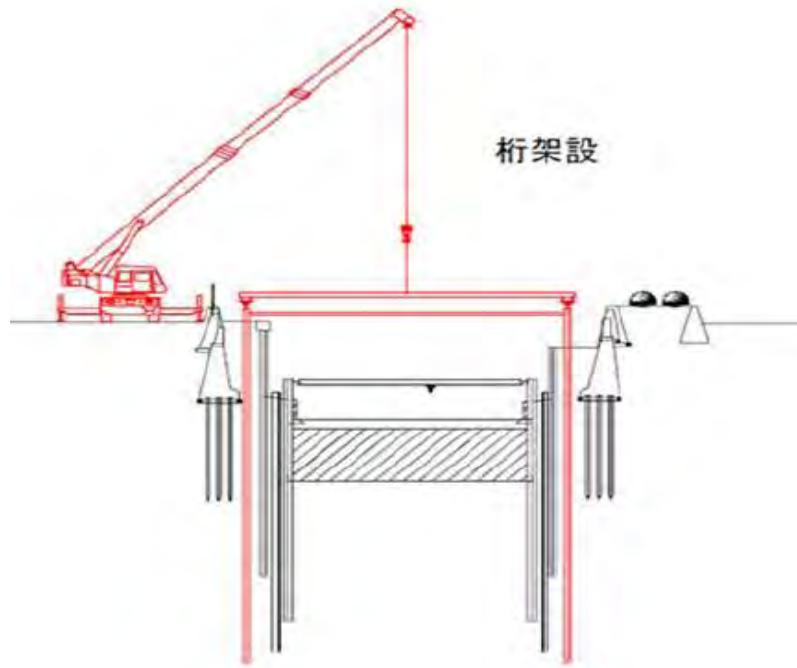


図 8 - 2 地盤改良用棧橋

地盤改良は、棧橋上を移動しながら高圧噴射攪拌工法（二重管工法）を施工する。

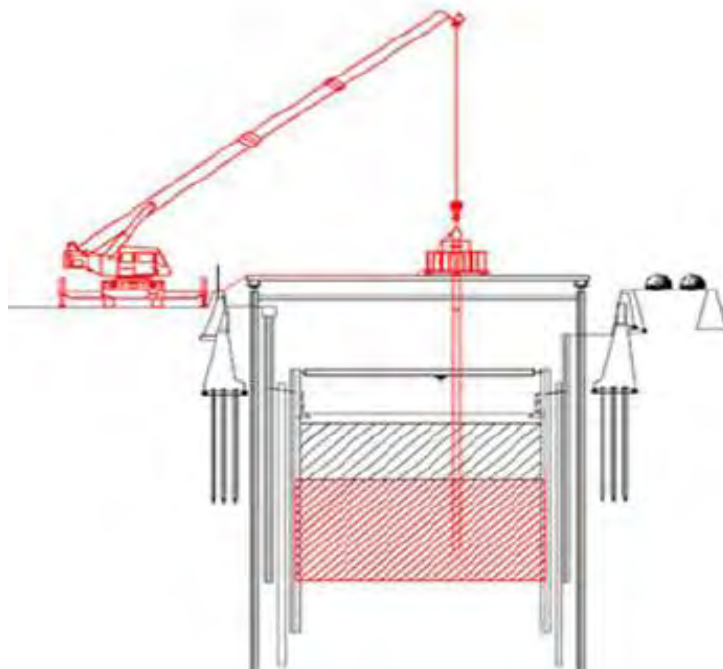


図 8 - 3 地盤改良

頭部連結材を設置して耐震護岸鋼矢板切断後、矢板の転倒を防止する。

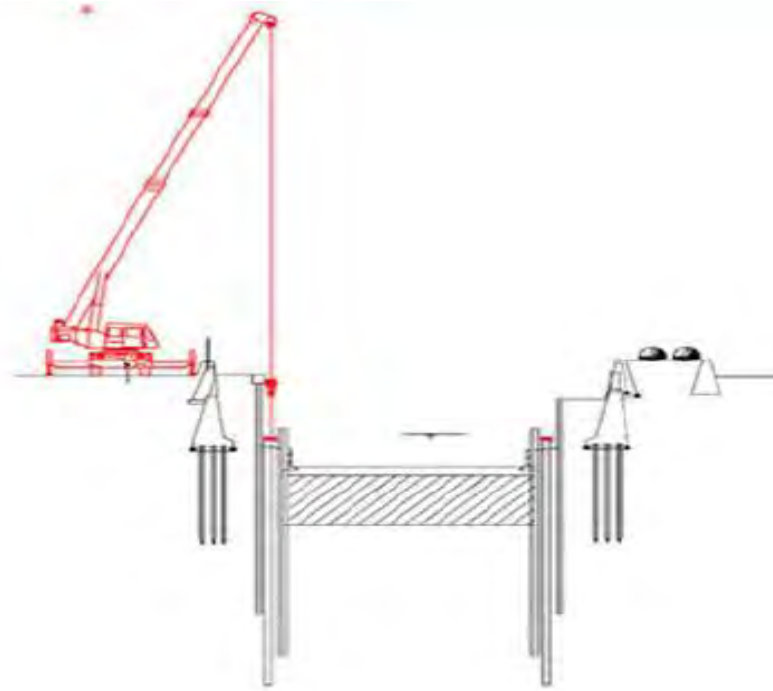


図 8 - 4 杭頭部連結

推進用立坑は、位置掘削底面から 45 度の影響線が河川内に入らない位置に埋設物を避けやすいライナープレート工法で設ける。

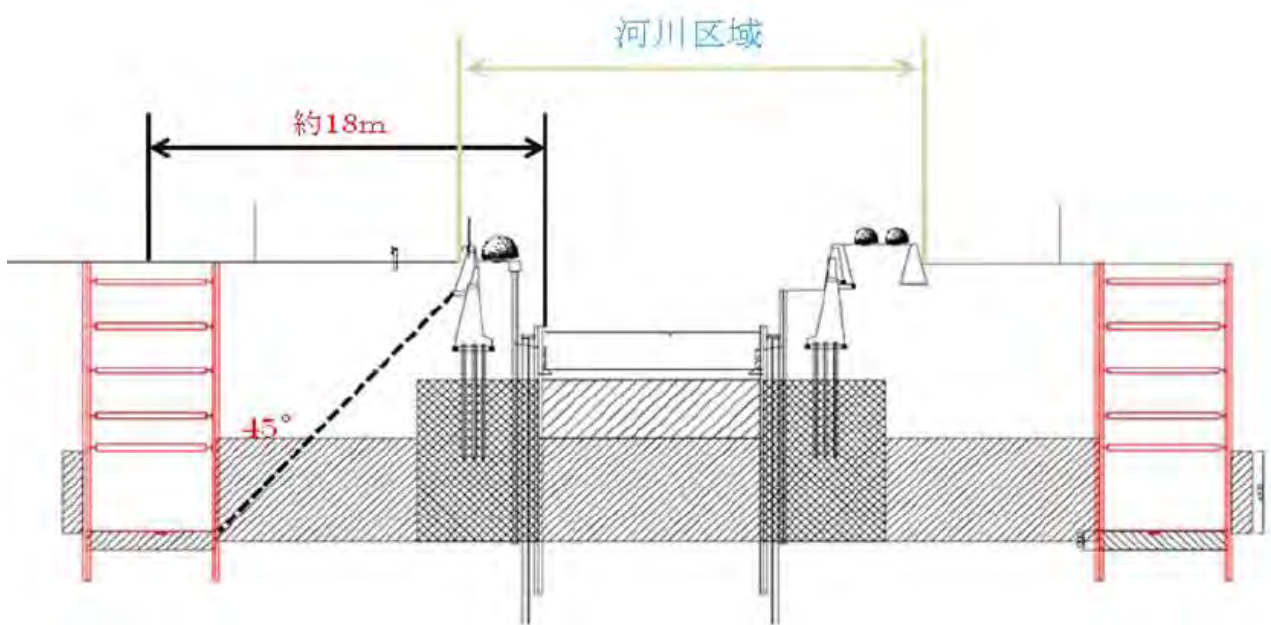


図 8 - 5 推進用立坑

延長が短いことと、先端で人が出て矢板を切断する必要があるため刃口推進とする。なお、推進工に先立ち、推進区間を高圧噴射攪拌工法（二重管工法及び三重管工法）で地盤改良する。

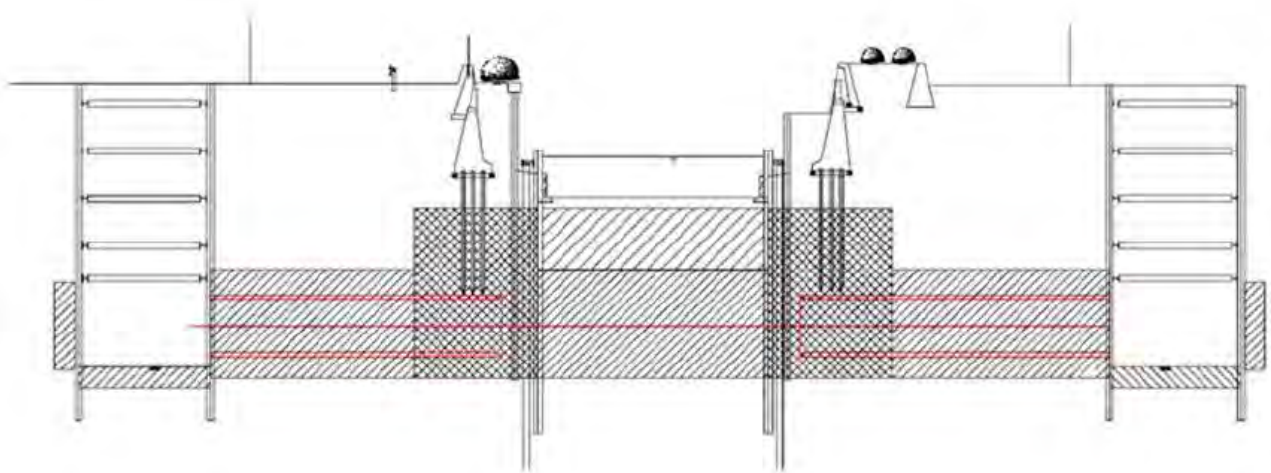


図 8 - 6 刃口推進工

切断形状は円形とし、この周囲を口の字型にH鋼材を溶接する。

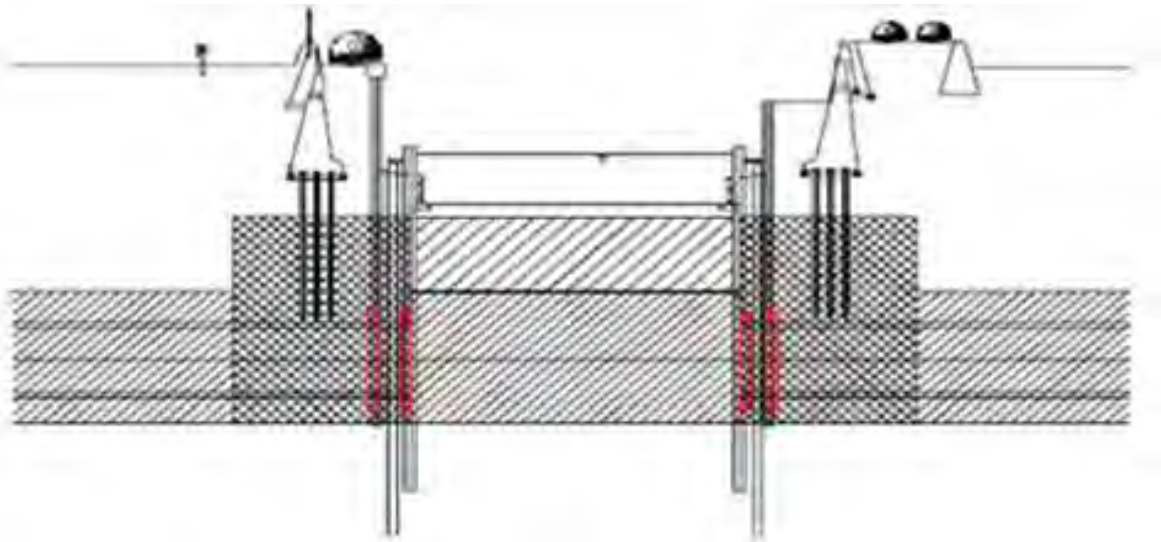


図 8 - 7 矢板切断部周囲の補強

矢板の切断径は2.6 mとする。なお、シールド外径は、2.1 mである。

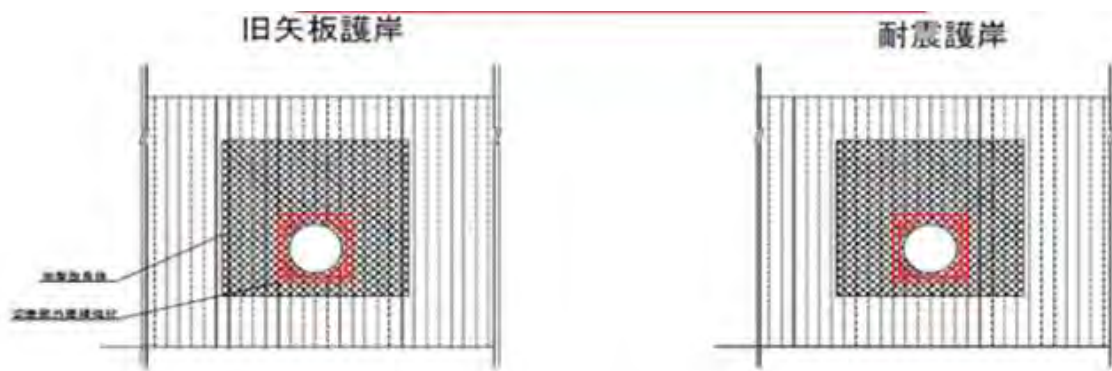


図 8 - 8 耐震護岸矢板の切断

シールド掘進に先立ち、推進管内はエアミルクを充填し、発進立坑は埋戻し、仮設山留ライナープレートは撤去する。

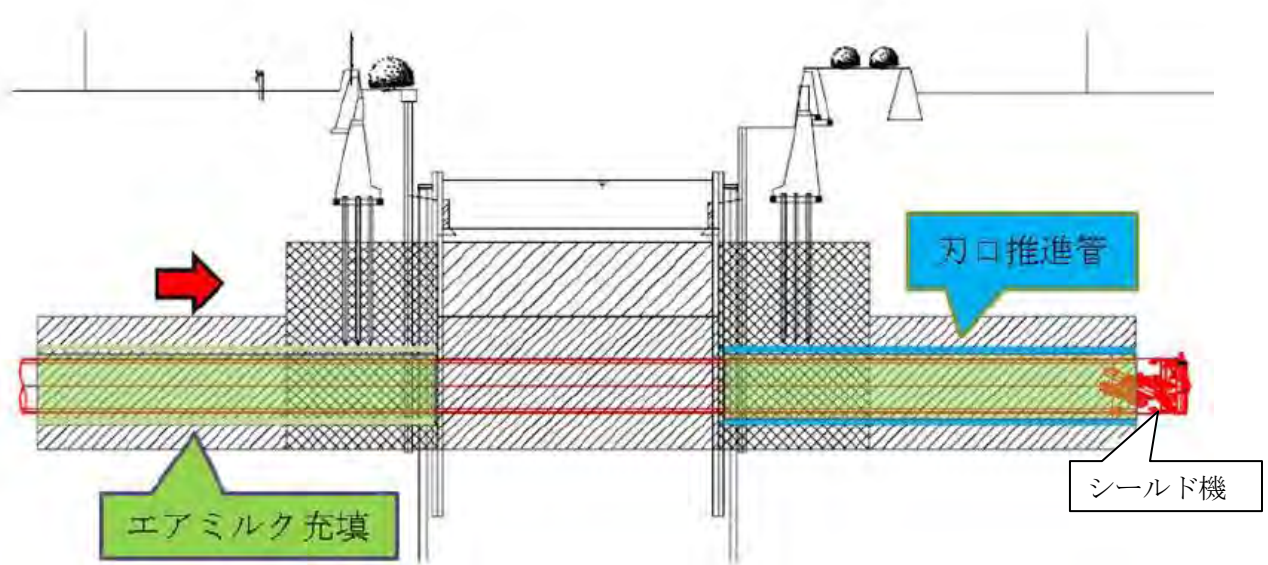


図 8-9 エアミルク充填・シールド通過

全ての工程において、護岸に与える影響を把握するため、施工前、施工中、施工後の沈下、傾斜の計測管理が河川管理者との設計協議条件である。

4. 終わりに

既に完成した耐震護岸の一部を切断撤去してシールド通過させた事例が無いため、河川管理者との設計協議に時間を要した。

我々は、押上・業平橋地区区画整理事業並びに新タワー事業に協力し、さらに今後の再構築事業に弾みをつけるため、河川管理者の理解を得るべく鋭意努力した。

ここまでは、旧北部建設事務所設計課の成果である。

この甲斐があり、河川管理者の理解を得て、現在、実施に移したところである。

今後、シールド工事は平成 23 年 12 月完成を目途に残り半分を発注する予定である。

本設計は、特殊な施工法を採用したが、一つの設計事例として、今後の参考になれば幸いである。

最後に、本設計・工事にご理解とご協力を賜った、建設局河川部、第五建設事務所、江東治水事務所、墨田区、押上・業平橋地区土地区画整理組合、UR（都市機構）及び健生堂病院に感謝申し上げます。

1-(2)-1 建設局、区と連携した浸水対策事例

研究担当者；西部第二下水道事務所 施設課
建設工事係 上之 義和

1. 頻発する浸水被害と当所の取組

都市気象の変化や都市化の進展による雨水流出の増大等に加え、管内の河川改修の遅れ、起伏が激しい地形等の要因から、河川沿いの低地や窪地等を中心に浸水の被害が頻発している（図1）。特に、平成17年9月4日の時間最大89mmの豪雨では、板橋・練馬両区を合わせ、床上浸水491件、床下浸水319件、合わせて810件に上る甚大な被害が発生した。



図1 平成14年から18年までの浸水被害状況

このような浸水被害の解消に向け、局では、クイックプランに基づき貯留管を整備するとともに更なる対策としてシールド工事により新たな下水管渠の整備を進めている。

当所では、このような大規模な対策と整合をとりつつ、窪地や河川沿いの低地を中心とした局所的な浸水の解消を図るため、バイパス管の設置や増補管、小規模の貯留管等の整備を進めてきた。さらに、地域の特徴に応じた効果的な対策として、建設局や区に働きかけ、校庭貯留や公園貯留等あるいは公園池の貯留スペースとしての活用、道路拡幅に伴って不要となる既設管の貯留管としての利用などの施策に取り組んでいる。

1. 1 建設局や区と連携した浸水対策

①西部第二下水道事務所 下水道施設の整備

- ・管渠のループ化
- ・小規模貯留管、増補管の整備

②都建設局（第四建設事務所、東部公園緑地事務所） 既存施設の活用

- ・道路拡幅工事に際し、既設下水道管活用に関する協力
- ・石神井公園の池の貯留スペースとしての活用

③区（練馬区、板橋区） 下水道施設への流出抑制

- ・校庭、公園、道路下への貯留施設の整備

・グレーチング集水溝の整備（歩道上への設置など、工夫を凝らしている）。

このうち、石神井公園の池を貯留スペースとしての活用は、台風の接近等、豪雨が予想される場合、事前に池の水位を下げおき、豪雨時に池からの当局雨水吐口への流出を抑制し、吐口周辺の浸水被害を軽減するものである（図2、3）。

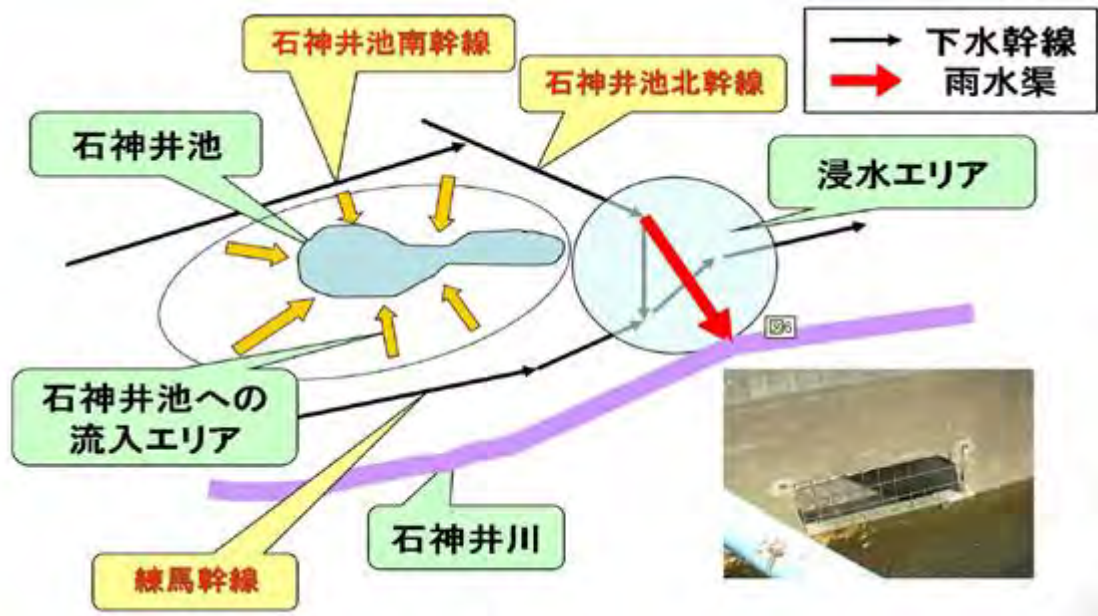


図2 石神井公園の池の貯留概要

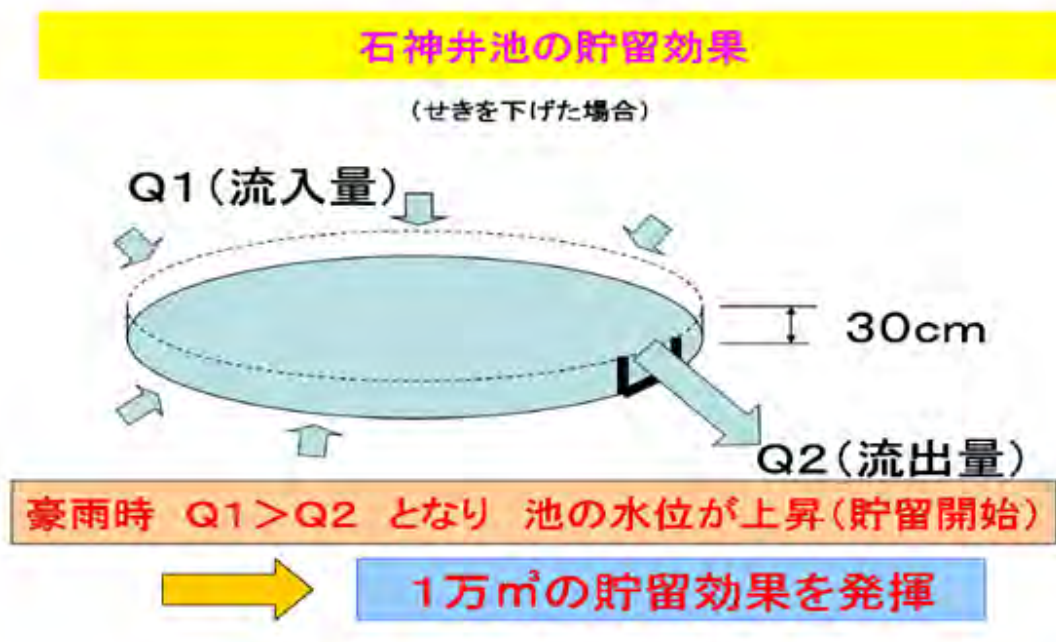


図3 貯留効果

また、練馬区では、浸水頻発地区で、歩道を乗り越えて雨水が家屋へ浸入するのを防ぐため、歩道上にグレーチング集水溝を設置するなどの工夫を行っている（図4）。

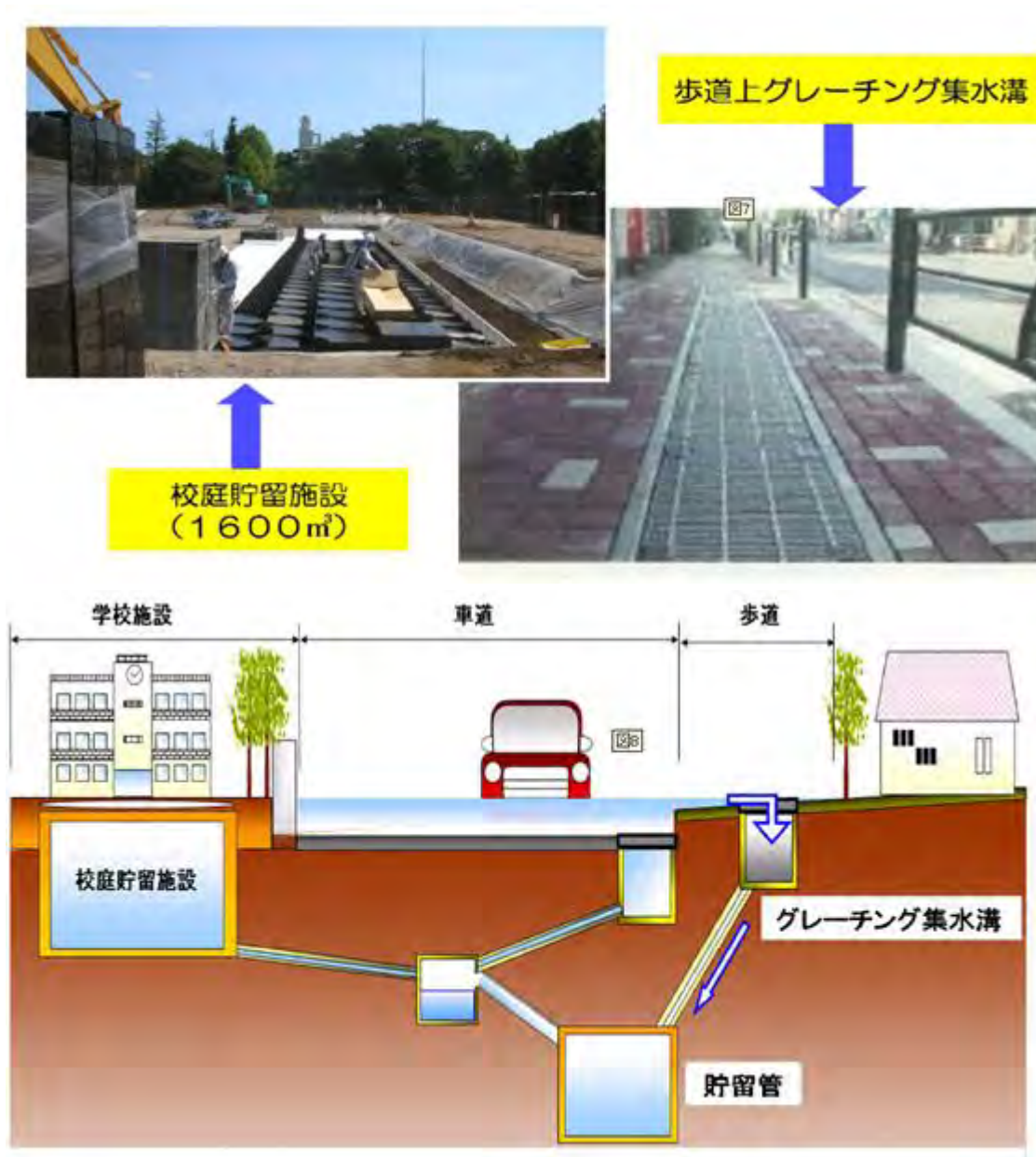


図4 練馬区と連携した雨水整備

以下、当所における特徴的な取り組みとして、既設下水道管を活用した雨水貯留管の整備について報告する。

2. 既設管を活用した貯留管の確保

通常、道路拡幅工事では、道路の両側に歩道が整備され、下水道管は、この歩道部分に新たに整備される。この結果、既設の下水道管は不要となり、道路管理者からは撤去を求められる。口径が小さく、損傷が進んでいる場合等は、将来的な管理の問題もあり、道路管理者の指導に応じて撤去することになる。しかし、管の劣化も進んでおらず、ある程度の口径があるものについては、下水道機能の充実、向上に向け活用策を検討すべきと考える。（図5）

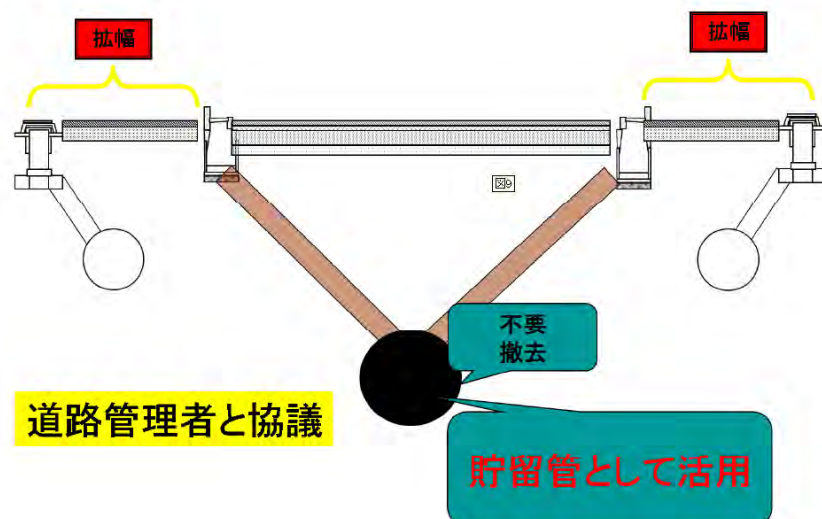


図5 既設管の有効活用

当所では、このような考え方から、口径800mm以上の既設管で土被りが3m以上ある場合、道路管理者と存置、活用について協議するという方針を定め、その具体的な取り組みを進めてきた。

2. 1 既設管利用の手順

以下に既設管利用に係る具体的な手順を説明する。

① 道路拡幅工事予定路線における状況の確認

周辺の浸水状況や既設下水管の口径、勾配、劣化の状況等を把握する。

② 活用策の検討

既設管を貯留管として活用することで、浸水被害の軽減が図れるかを検討する。

③ 道路管理者との協議

協議に当たっては、既設管の必要性を主張しました。具体的には、

- ・ 損傷がないことから既設管は貯留管として活用できる
- ・ 周辺に浸水被害がある
- ・ 既設管を活用することにより浸水被害の軽減が図れる
- ・ 道路拡幅により雨水の流出量が増大する

等を主張していきました。

2. 2 具体的な取り組み

以上の手順を経て、道路管理者と協議を進め、19年度、20年度において以下の2か所において、既設管の貯留管としての活用、存置について理解を得ることができた。

① 管内A地区

この地区の雨水は、石神井川に吐口がある向原幹線に流入しているが、川沿いの低地部を中心に浸水の恐れがある。このため、上流域で少しでも雨水を貯留することにより、浸水の軽減に寄与することができる。また、管渠の劣化は進んでおらず、道路構造にも支障がないこと、道路拡幅により雨水流出が増加することなどを説明し、存置、活用について道路管理者の理解を得ることができた。

道路改良工事により、両側に歩道が新設となる。下水道管をはじめ、他企業埋設管は、歩道部分に新たに整備される。

歩道に設置する下水管に分水人孔を設置し、新設管の能力を超えた分が、既設管に流入、貯留を開始する。既設管の流出口は絞り、下流側への流出を抑制するものである。（図6）

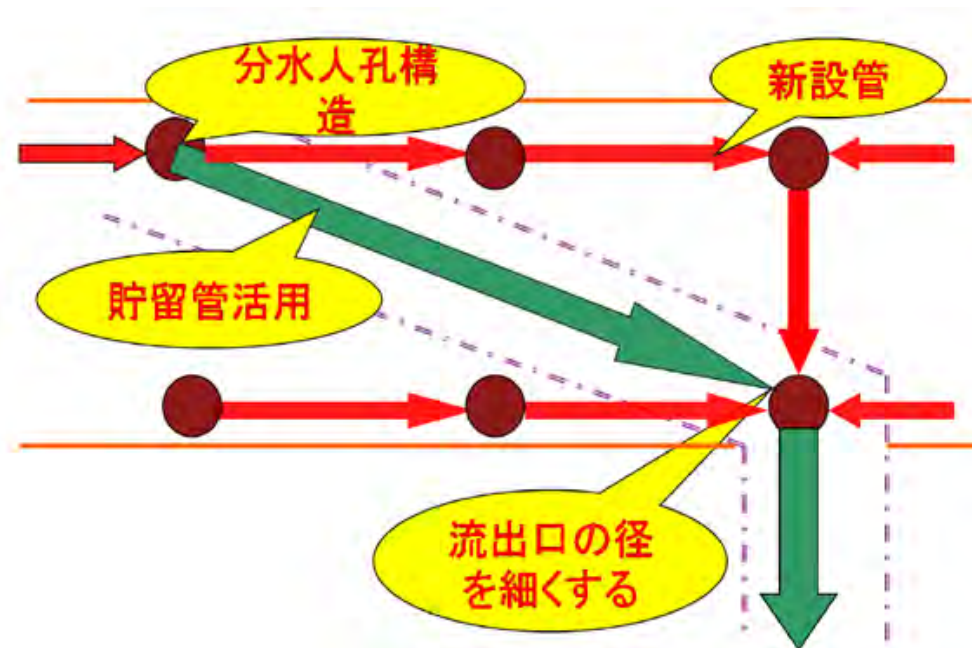


図6 既設管活用例（A地区）

② 管内B地区

この地区も石神井川に吐口がある高野台幹線の上流に位置している。幹線への雨水流出を抑制し浸水を軽減する趣旨や、管の状態等を踏まえて、道路管理者と協議を進め、理解が得られたものである。

①同様に道路拡幅工事と合わせ、両側の歩道に新設管を敷設するものである。人孔からループ管を新設して新設管の流下能力を超えた分が既設管に流入し貯留をする。（図7）

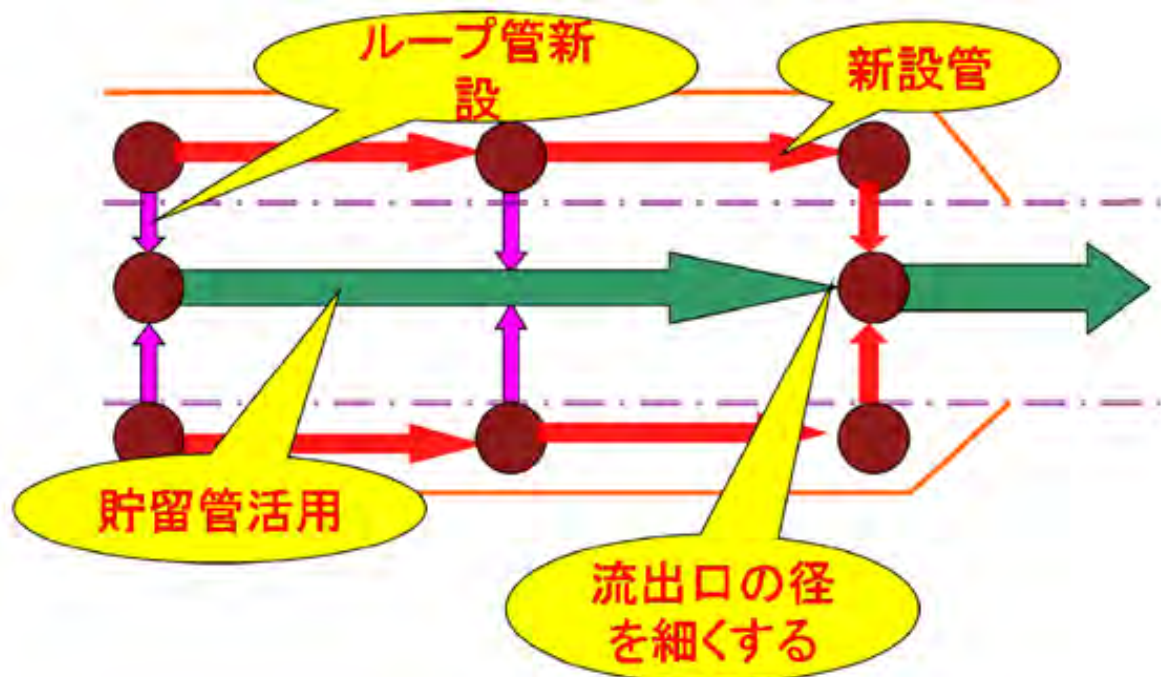


図7 既設管活用例（B地区）

以上のように、道路工事の拡幅に合わせ、既設管の活用によって貯留管を整備することで、より安い費用で、より早く効果的に浸水対策の促進を図ることが可能となった。

3. 今後の取り組み

道路拡幅によって不要となる下水道管を貯留管として活用することによって、浸水被害の軽減に役立つほか、既設管の撤去に係る費用の節減を図ることもできる。近年の都市気候の変化を背景とした局地的な浸水被害の発生に対し、平成 19 年 8 月、都は「東京都豪雨対策基本方針」を打ち出し、雨水の流出抑制に向けた流域対策を主要な施策の一つとして位置付けている。校庭や公園等の公的なスペースを活用した雨水貯留や浸透施設の設置促進を施策として打ち出している。このような施策を通して、今後も建設局や区との連携を深め、地域の特性に応じた効果的な浸水対策を推進してゆく必要があると考える。

1-(2)-2 流出解析モデルを用いた

雨水の効果的な貯留システムに関する検討

計画調整部 技術開発課 岡本 順

登坂昭二

(現基幹施設再構築事務所工事第二課)

1 はじめに

東京都区部下水道は概成 100%の普及率を達成し、再構築の時代を迎えている。一方、近年都市化の進展に伴う雨水流出量の増大や局所的な集中豪雨の頻発により浸水被害が発生しており、効率的・効果的な雨水整備を行うことが急務となっている。

東京都の管渠施設の設計は、これまで合理式によって雨水流出量を決定し、等流計算によって管渠の規模、勾配を決定してきた。しかし、この手法では、流域の地形や背水影響などを考慮して評価することが難しかった。このため、技術開発課では、地形や背水影響などを考慮するとともに、動水位による地表面流出が起こらないような設計を可能にすることを目的に、雨水流出解析モデルと SEMIS データを活用した効率的なモデル化手法の検討を行ってきた。平成 20 年度にこれら成果をまとめて、モデル地区を対象に雨水流出解析モデルを活用した最適貯留方法の検討を行った。本報はその検討結果を報告するものである。

2. 効率的な貯留施設整備の検討

2. 1 検討条件

今回の検討における前提条件を以下に示す。

- ・ 降雨条件 (図-1)

降雨強度 50mm/hr ($I=5,000/(t+40)$)

I: 降雨強度、t: 流達時間

- ・ 流出係数 80%相当

施設規模の決定は、これまで管渠個々の流下能力に注目していた。しかし、今回は流出解析モデルを使って効率的な対策案を検討するため、施設規模決定の条件は、ピーク動水位が枝線全域で地表面から 1m 以深となることとした。

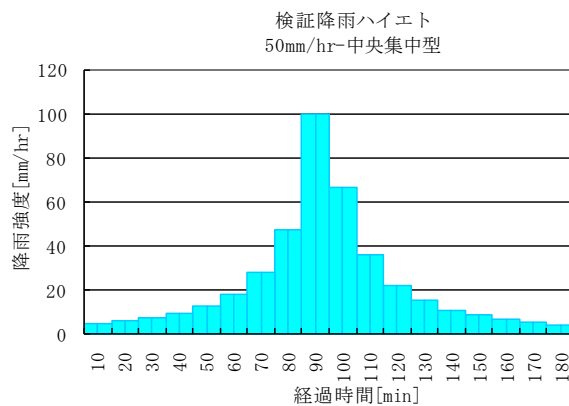
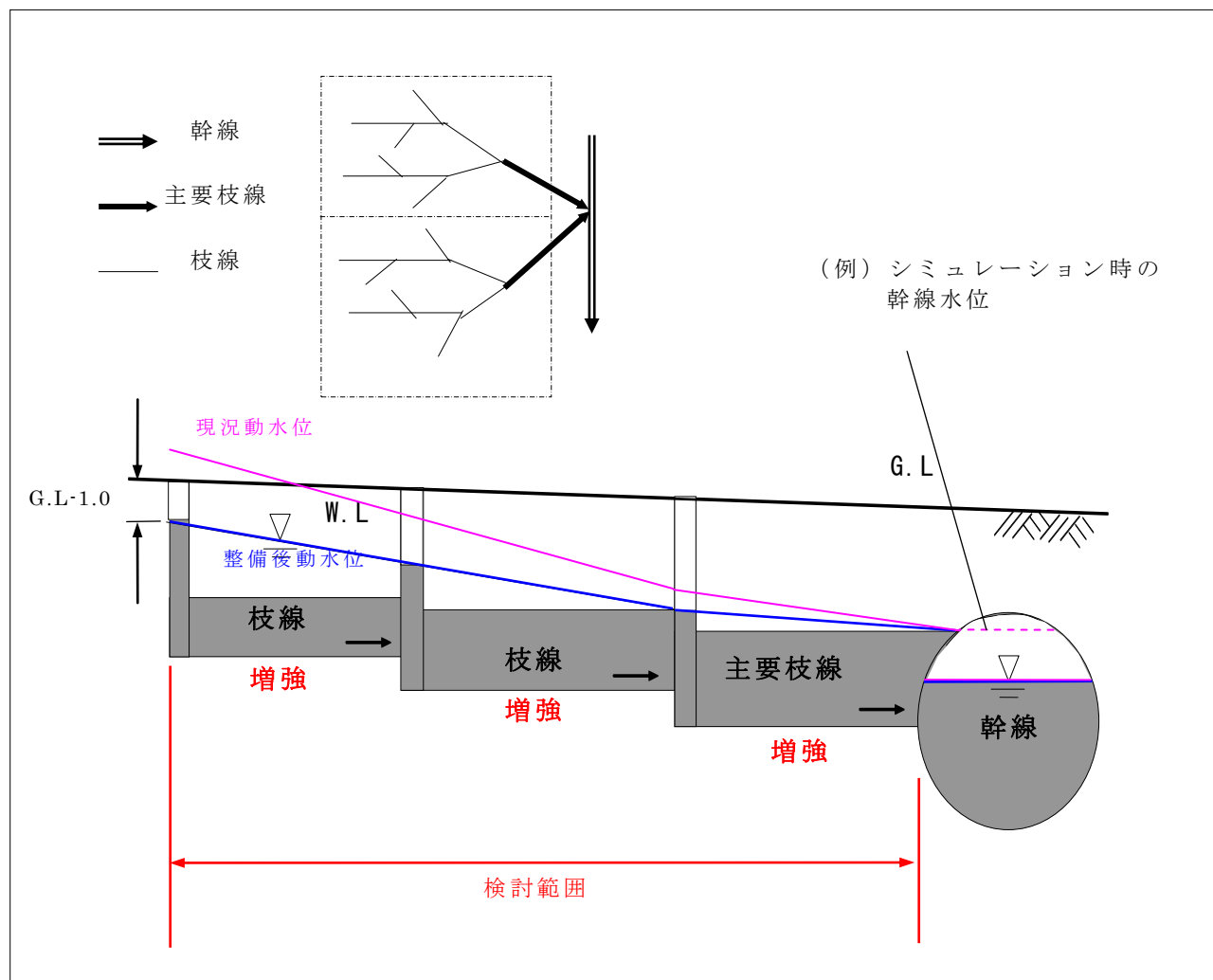


図-1 設計降雨強度



※幹線が降雨強度 50mm/h・流出係数 80%で整備済みで、枝線等を降雨強度 50mm/h・流出係数 80%で整備する場合

図-2 整備イメージ

2. 2 検討方法

雨水流出解析モデルを活用した設計を行うことで、これまで難しかった管渠網のネットワーク効果や複数地点での貯留効果といった整備の評価が可能となる。これによって、整備手法の選択肢が広がり、より効率的・効果的な整備が促進されと考えられる。

そこで、今回モデル地区を対象に最適な貯留手法について検討を行い、流出解析モデルを活用することの有効性について評価を行った。モデル地区は、都内の実流域から勾配地形、くぼ地地形、平坦地形の3つの地区を抽出した。検討は、貯留形式の違いや貯留施設の設置方法（集約，分散）の違いによる整備効果の差を計算することによって行った。ここで、貯留方式はオフライン型とインライン型の2タイプ（表-1）を想定した。なお、当検討で使用した流出解析ソフトはXP-SWMMである。

検討の手順は、最初に現況施設に対して雨水流出解析を行って、動水位が急激に上昇している箇所を対策箇所として抽出した。その後、抽出箇所の上流域を先行整備した場合の下流部に与える影響を地形区分毎に算出して評価した。

次に、貯留方法・配置の評価を行った。まず、上流域貯留施設をこの対策箇所の直上流に設置するケースを集約設置型とした。一方、対策箇所より上流の枝線で、管渠能力の不

足する各箇所と比較的規模の小さな施設を3～4箇所設置する場合を分散設置型とした(表-2)。各計算ケースに対して、対策箇所が自由水面となるような貯留施設規模の設定を行った。

表-1 検討した貯留形式¹⁾

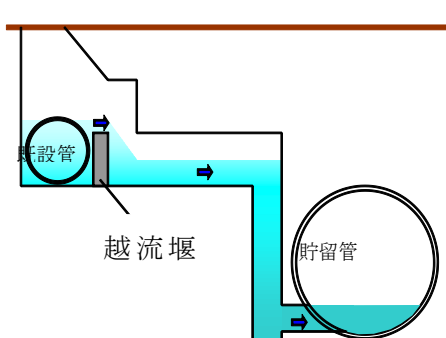
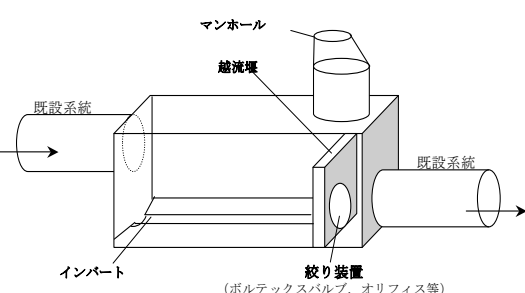
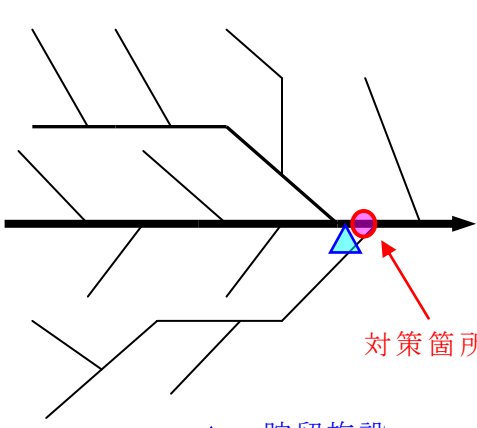
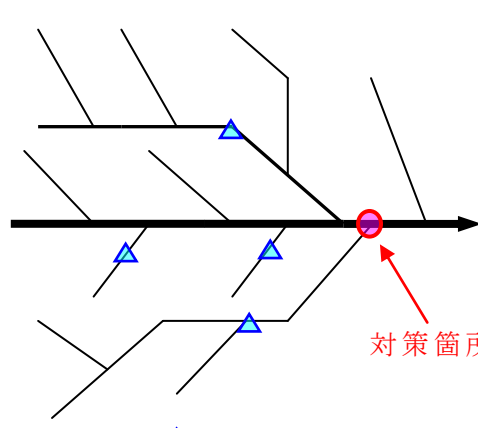
貯留形式	オフライン貯留	インライン貯留
概要図		
取水構造	既設流下系統からの堰分水	既設系統からの直接流入
貯留構造	既設流下系統より深い位置に設置され、溜り型。	既設流下系統と同等の高さに設置される。

表-2 集約設置型と分散設置型

Model	集約設置型	分散設置型
概要図		
規 模	対策箇所のピーク水位が圧力状態にならないような貯留規模	

2. 3 検討結果

2. 3. 1 上流先行整備に関する評価

再構築整備は、幹線などの基幹施設と共に面的な枝線管渠が同時進行している。しかしながら、幹線、主要枝線などはその規模が大きく、整備完了までに相当期間を要する場合

がある。このため、枝線管渠の再構築整備が先行して行われる可能性があることから、上流側再構築整備が先行して行われた場合の安全性と、その整備効果を検証する。

(1) 勾配地形での評価

勾配地形での計算結果を図-3に示す。発生している上流域に対して、先行して50mm/hr・80%整備を図った場合、上流域の浸水は解消される。また、下流へのピーク流量は増加すると共に動水位も若干上昇することになる。しかし、勾配地形の場合、管渠の土被りが比較的深い場合が多く、動水位が地表面近くまで上昇することはない。また管渠の接合部（人孔）において大きく段差があるため、動水位の上昇はこの段差に吸収され連続せず、動水位の上昇は単独スパンでの上昇に留まり、上下流側に影響を及ぼさない結果となった。なお、図中上流管渠の波線は、整備前管渠の管頂を示している。

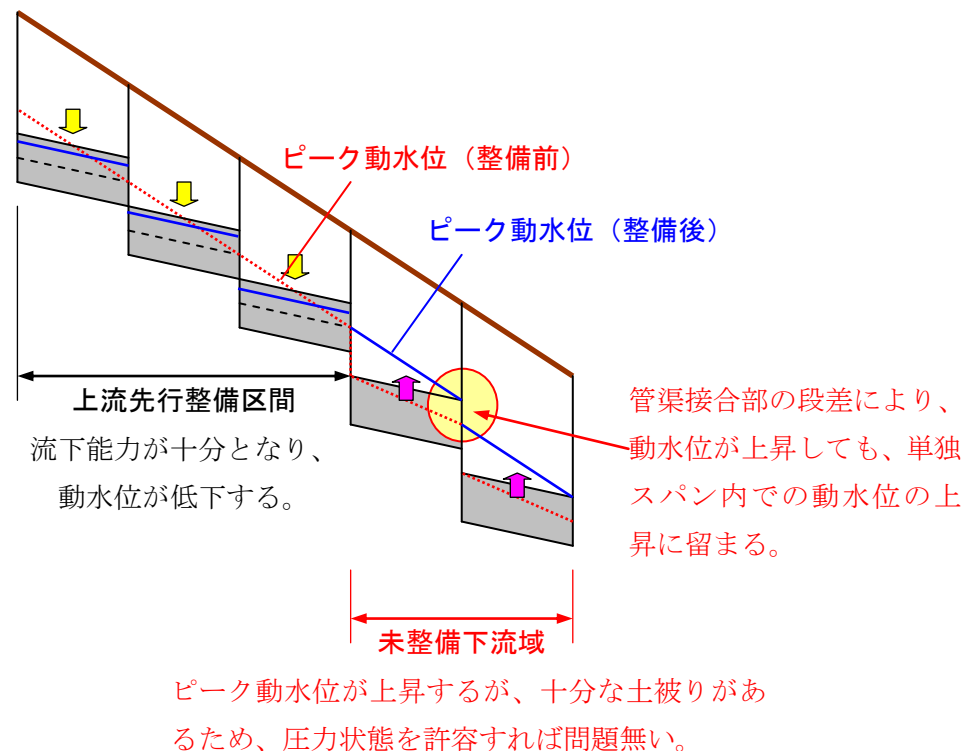


図-3 勾配地における上流先行整備後の動水位

(2) くぼ地地形での評価

くぼ地地形での計算結果を図-4に示す。浸水の発生している上流域を先行整備することによって、上流域の浸水は解消に至る。しかし、下流への流量負荷増大に伴い、下流側の水位が上昇し、新たな浸水箇所が発生してしまう浸水域の移動を招く結果が得られた。これは、くぼ地では、管渠の接合に段差が少なく、土被りも浅いことから、流量増加に伴う動水位の上昇が広範囲に影響するためである。

また、下流側の動水位は上流側に連続しており、下流の動水位上昇の影響が上流の動水位を上昇させてしまう。なお、図中上流管渠の波線は、整備前管渠の管頂を示している。

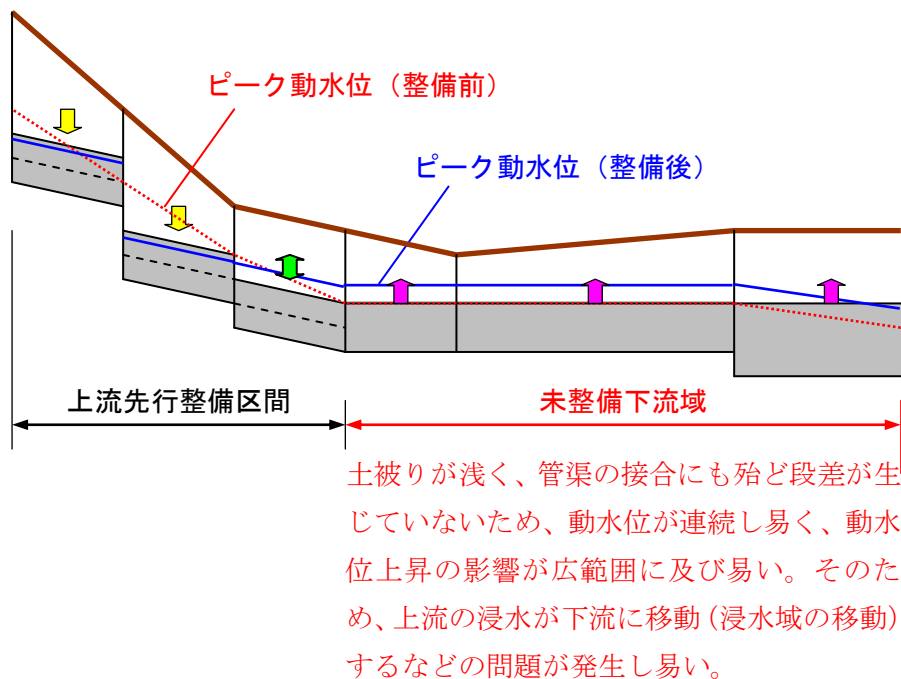


図-4 くぼ地における上流先行整備後の動水位

（３）平坦地での評価

平坦地での計算結果を図-5に示す。

浸水が発生している上流域を、先行して 50mm・80% 整備を図った場合、上流域の浸水は解消される一方、下流へのピーク流量が増加すると共に動水位も若干上昇することになる。しかしながら平坦地では下流に行くに従って管渠の土被りが大きくなるため、圧力状態となる場合があるものの、整備前の段階で下流部の動水位が十分に低い場合は、浸水することはない。なお、図中上流管渠の波線は、整備前管渠の管頂を示している。

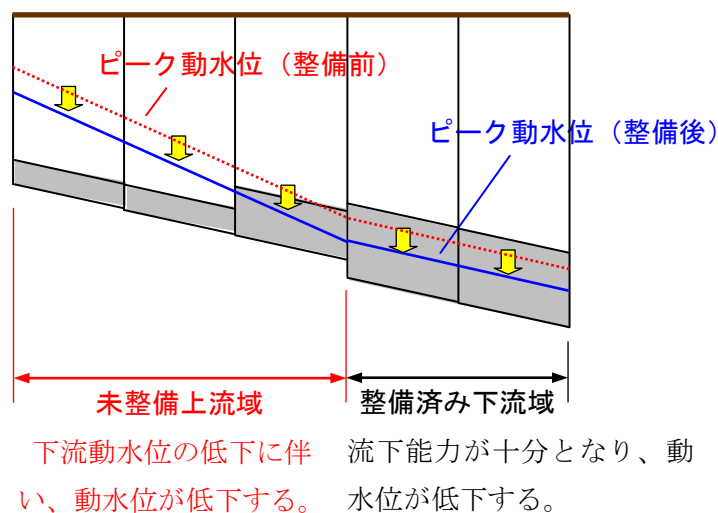


図-5 平坦地における上流先行整備後の動水位

また、管渠の接合部に大きな段差がないため、動水位線は上流から下流まで連続する傾向がある。このため、下流域を整備し動水位を低下させることで、上流域の水位低下を図ることも可能である。したがって、平坦地形では、上流域先行整備が効果的であることに加えて、下流域の先行整備を行うことも効果的と考えられる。

2. 3. 2 貯留方式及び貯留位置に関する評価

既存の管渠網の浸水軽減を目的として、効率的な貯留施設設置手法を検討する。

検討モデルの中で、現況の流出解析結果から、動水勾配が大きく変化し始める箇所を評価地点（懸案地点）と設定し、この地点が自由水面となる水位を対策効果の目標として評価を行った。

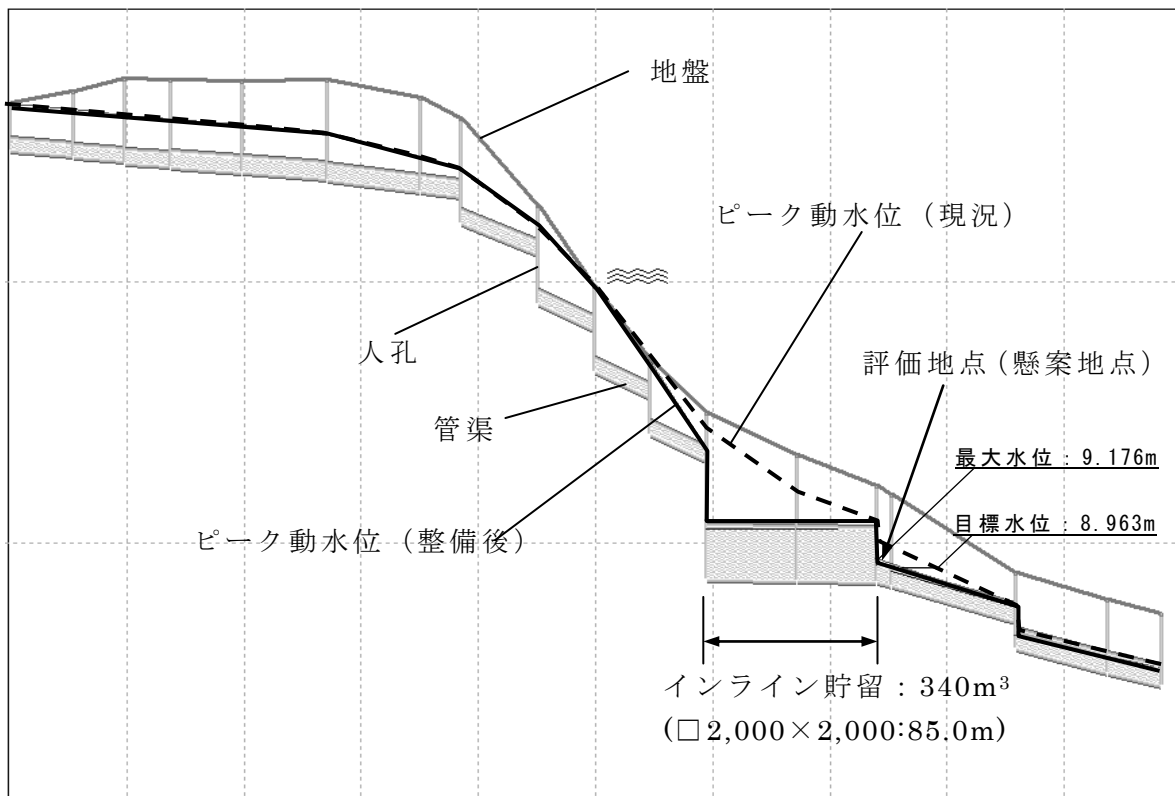
（１）インライン貯留施設の検討

１）勾配地形の検討

・ 検討ケース１（集約設置）

懸案地点の直上流にインライン貯留施設を整備する。なお、貯留容量が設定値以上に必要となる場合は原則として上流側に向けてインライン貯留の対象範囲を広げる。

計算結果を図-6に示す。図中の目標水位は、懸案地点での流れが自由水面を確保する限界である。計算結果から、懸案地点での動水位は低下する。しかし、管渠接合部の段差のため、上流域への動水位は連続しない。このため下流域での動水位低下の影響がほとんど上流域に及ばない。以上から、上流域の動水位は依然高く浸水箇所も解消されない。

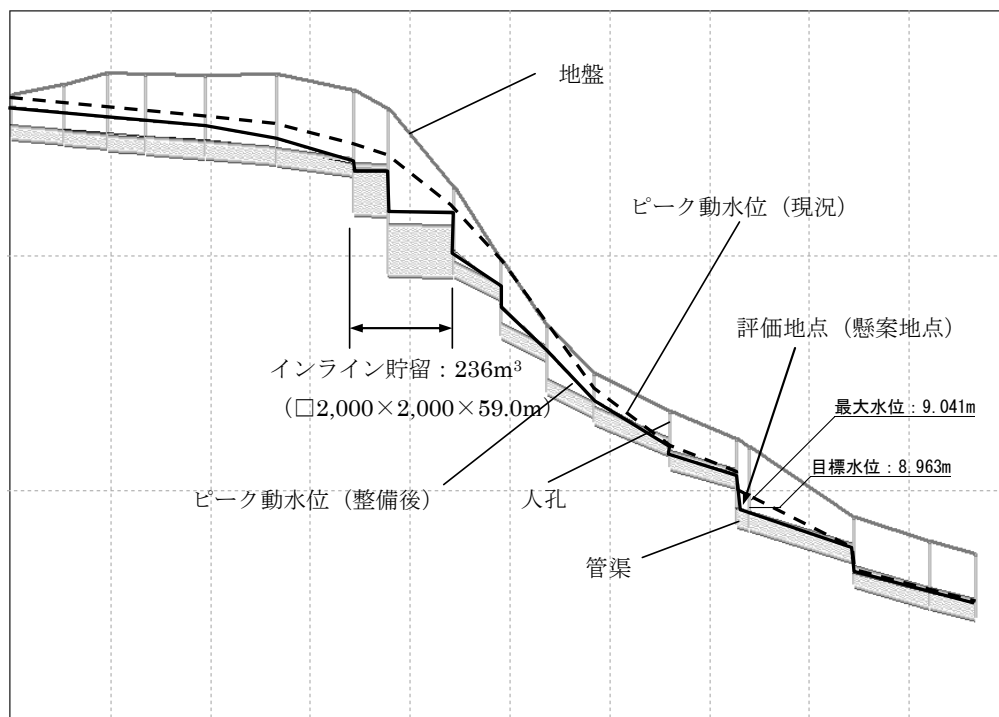


図－6 整備後縦断図（傾斜地のインライン貯留１）

・ 検討ケース２（分散設置）

懸案地点より離れた上流側の枝線系統にインライン貯留施設を整備する。設置箇所は、動水勾配のきつい（流下能力の不足する）路線に着目して行った。

計算結果を、図-7に示す。上流からの流出を抑制することで、貯留施設より下流域全体の動水位が低下する。また、動水位の連続する上流側も、水位低下の影響が及んでいる。



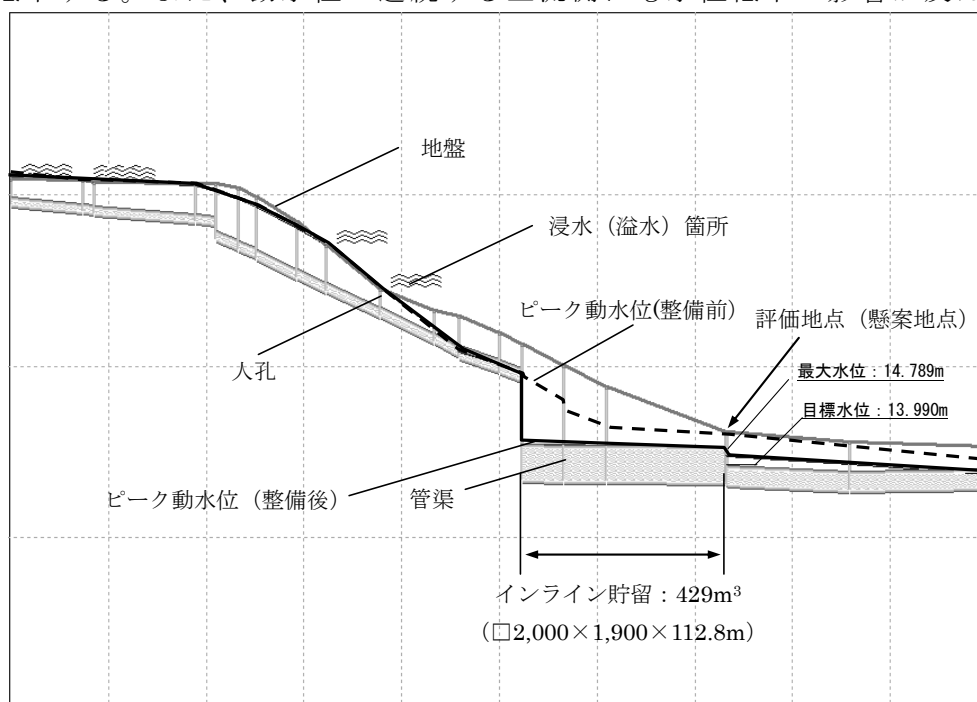
図－７ 整備後縦断図（勾配地のインライン貯留２）

２）くぼ地の検討

・検討ケース１（集約設置）

懸案地点の直近（上流側）にインライン貯留施設を整備する。貯留容量が設定値以上に必要となる場合は原則として上流側に向けてインライン貯留の対象範囲を広げる。

計算結果を図・８に示す。上流からの流出を抑制することで、貯留施設より下流域全体の動水位が低下する。また、動水位の連続する上流側にも水位低下の影響が及んでいる。



図－８ 整備後縦断図（くぼ地地形のインライン貯留１）

・検討ケース 2（分散設置）

懸案地点より離れた上流側の枝線系統に分散してインライン貯留施設を整備する。設置箇所は、動水勾配のきつい（流下能力の不足する）路線に着目して行う。

計算結果を図-9に示す。

懸案地点でのピーク動水位の低下は見られるものの目標を達成することができなかった。これは、対象地区のみの流出を抑制しても、その下流における流入の影響が大きいことが要因と考えられる。

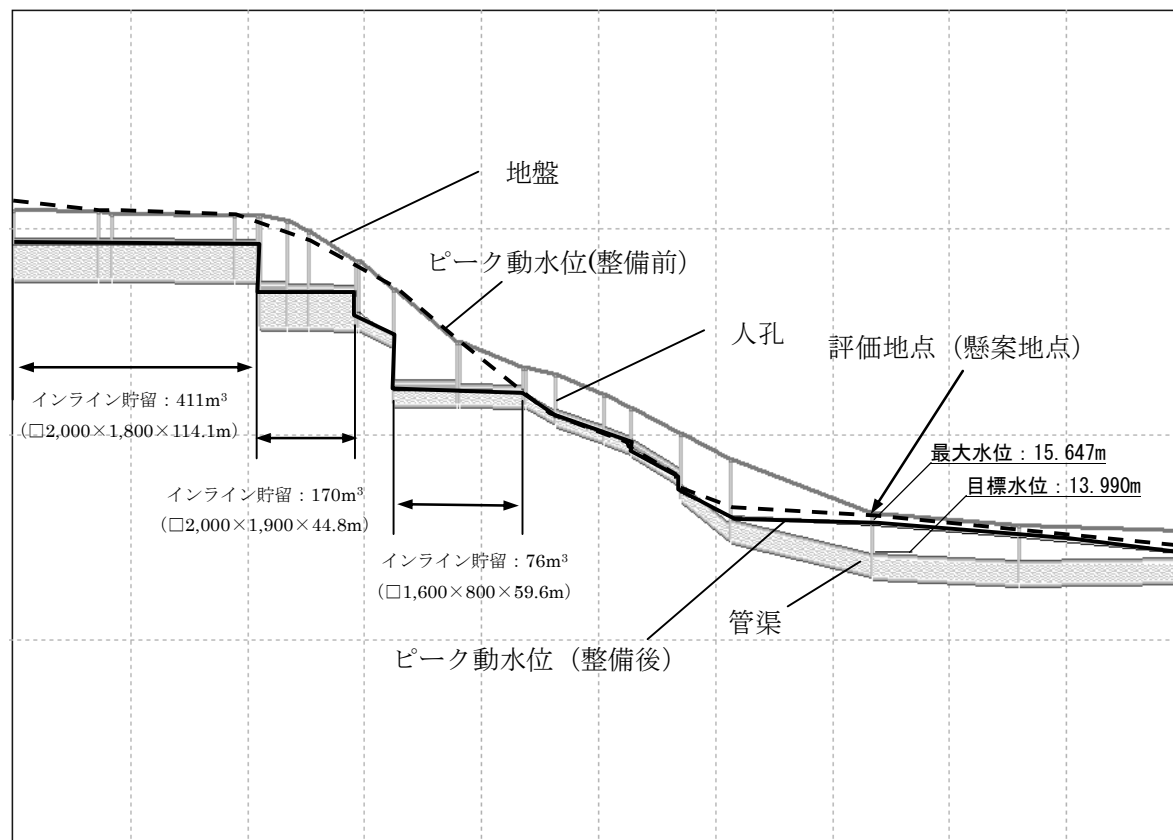


図-9 整備後縦断図（くぼ地地形のインライン貯留2）

3）平坦地の検討

・検討ケース 1（集約設置）

懸案地点の直近にインライン貯留施設を整備する。貯留容量が設定値以上に必要となる場合は原則として上流側に向けてインライン貯留の対象範囲を広げる。

計算結果を図-10に示す。懸案地点の水位はほぼ目標水位まで低下している。また、上流側管渠の水位も動水位が連続しているために下流と同様に動水位低下の効果が得られる。

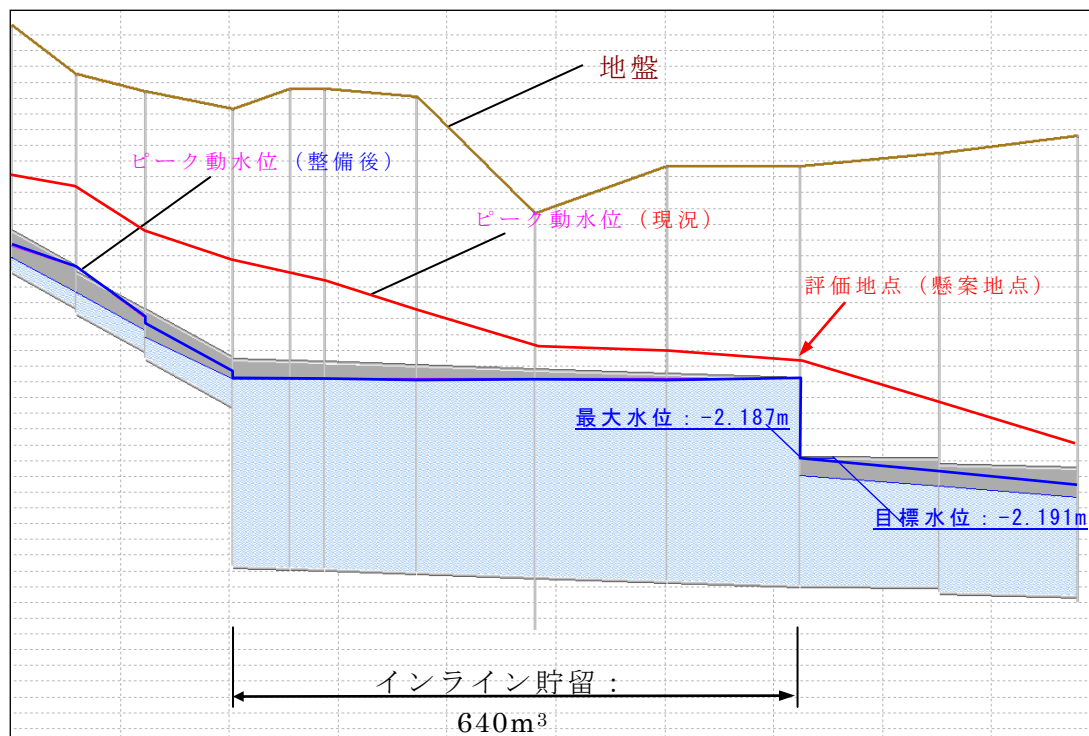


図-10 整備後縦断図（平坦地のインライン貯留1）

・検討ケース2（分散設置）

懸案地点より離れた上流側の枝線系統に複数のインライン貯留施設を整備する。設置箇所は、現況施設での解析結果において動水勾配が高くなる箇所とした。

計算結果を、図-11に示す。貯留施設の整備により、懸案地点の水位は低下している。また、上流側管渠の水位も低下する結果となり、分散型の整備による効果が表れている。

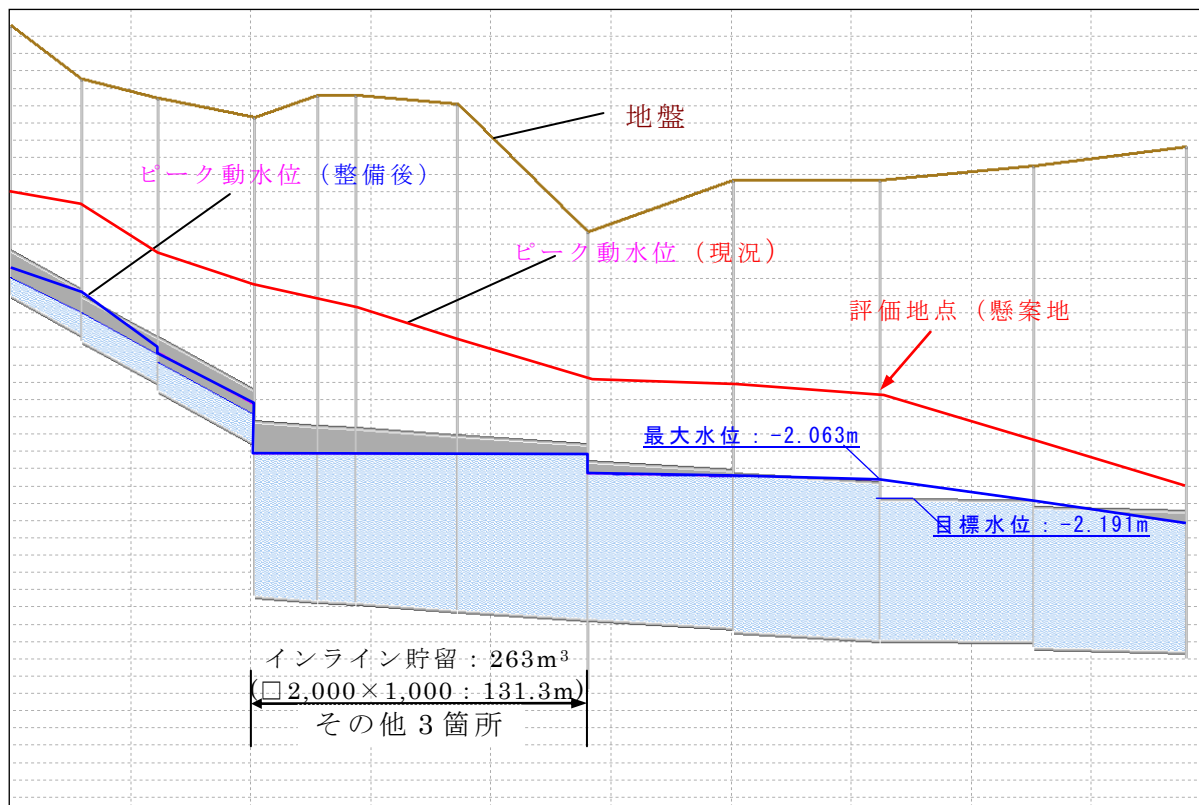


図-11 整備後縦断図（平坦地のインライン貯留2）

2. 3. 3 計算結果のまとめ

以上の計算をオフライン貯留に関しても行い、すべての計算結果をまとめて表・3に示す。

今回のモデル地区における検討では、平坦地形では貯留施設の形式・設置手法がどのような整備であっても効果的であったのに対して、くぼ地地形では効果的な手法が限定的で、整備方法によっては効果が得られない。また、勾配地形の場合、管渠接合部の段差により動水位が連続しない特性を活かすことで、これまであまり採用されていなかったインライン貯留が効果的であることが明らかになった。

表-3 地形状況に対する貯留施設の適応性（今回ケース）

地 形			勾配地形	くぼ地地形	平坦地形
上流先行整備			△	×	○
貯 留	インライン	集約設置型	△	△	○
		分散設置型	○	×	
	オフライン	集約設置型	△	○	
		分散設置型	×	×	

○：最適、△：適する、×：不適

3. まとめ

今回、雨水流出解析モデルを活用して、傾斜地、くぼ地、平坦地の各地形区分毎に最適な貯留施設の検討を行った。その結果、地形区分毎に貯留方式の優劣が評価でき、最適な貯留方式、配置方法の決定が可能であることが示された。

以上から、設計における代替案の比較検討において、雨水流出解析モデルを活用することは有効であると評価できる。

今後、より効率的、効果的に雨水整備を行っていく上で、設計における流出解析モデルの活用が進んでいくものと推察される。一層の普及のために、台帳システムからの煩雑なデータ抽出の単純化やS E M I Sに含まれていない水理構造物のデータベースの構築を検討していく必要がある。

【参考文献】

- (1)「流出解析モデル利活用マニュアル（雨水対策における流出解析モデルの運用の手引き）-2006年3月-」,(財)下水道新技術推進機構

1-(2)-3 光ファイバーを用いた水位検出システムの開発

計画調整部 技術開発課；遠藤 和広
田崎 敏郎
(現 建設部設備設計課)

1 はじめに

近年、都市化の進展による下水道への雨水流入量の増大、地球温暖化やヒートアイランドによる局所的な集中豪雨の多発などによって、都市型水害のリスクが高まっている。当局では浸水への対策として、幹線や雨水ポンプの能力増強などとともに、東京アメッシュによるお客さまへの降雨情報の提供や区への幹線水位情報の配信などを行っている。

このうち、幹線水位情報の計測に使用している光ファイバー水位計は、水位変化の計測が可能であり、浸水対策に有効な設備である。しかし、広範囲な導入にはコストの低減が課題となっている。

そこで、管きょ内水位が危険水位に達しているかどうかをリアルタイムに把握することに機能を限定し、コストの低減を図る技術の開発を行ってきた。また、様々な用途に活用できるように、併せて検出器部の小型化も図ることとした。

「光ファイバーを用いた水位検出システム」は、このような背景から開発したものである。本報告では、

- (1) システムの検出器に用いる「簡易型水位検出器」
 - (2) 「光ファイバーを用いた水位検出システム」
- の概要と、その実証試験等について紹介する。

2 簡易型水位検出器の概要

2.1 特長

図1に、簡易型水位検出器の外観写真を示す。

簡易型水位検出器は、光ファイバーを用いるため、電源が不要、長距離伝送が可能といった特長を有する。また、既存の光ファイバー水位計検出器はφ115mmの大きさであるが、簡易型水位検出器はφ34mmと小型である。



図1 簡易型水位検出器の外観

図 2 に、簡易型水位検出器の構造図を示す。

簡易型水位検出器は、水位の検出にファラデー近接センサを使用している。

ファラデー近接センサとは、ファラデー素子を利用した磁界センサであり、磁界が強くなると反射光が強くなる特性がある。

この特性のため、磁石内蔵フロートが水位によってファラデー近接センサに近付いたり離れたりすると、反射光が強弱に変化する。

簡易型水位検出器は、この反射光の強弱から、水位の有無を ON/OFF の 2 値で判定する。

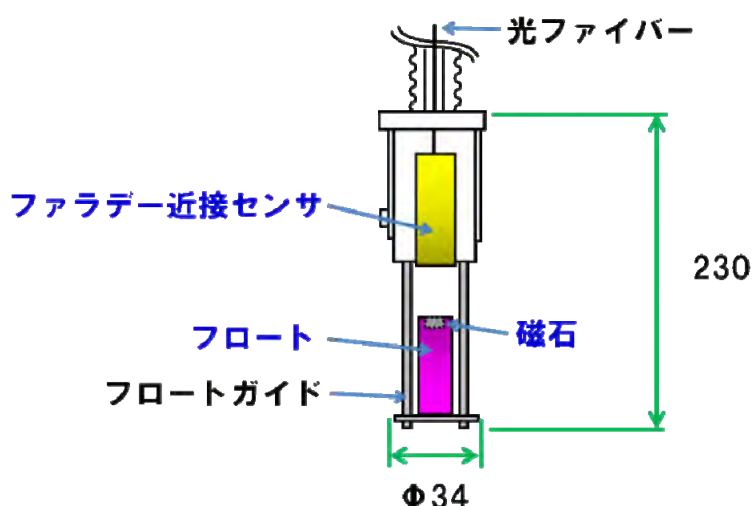


図 2 簡易型水位検出器の構造図

2.2 動作原理

簡易型水位検出器の OFF 状態を図 3 に、ON 状態を図 4 に示す。

水位が低いときは、ファラデー近接センサは作動しておらず、簡易型水位検出器は OFF 状態である。簡易型水位検出器からの反射光が弱いことにより、水位が検出水位以下であることを検出する。

水位が高くなると、磁石内蔵フロートが上昇し、簡易型水位検出器は ON 状態となる。簡易型水位検出器からの反射光は強くなり、水位が検出水位以上となったことを検出する。

その後、水位が低くなれば磁石内蔵フロートは下降し、簡易型水位検出器は OFF 状態に戻る。

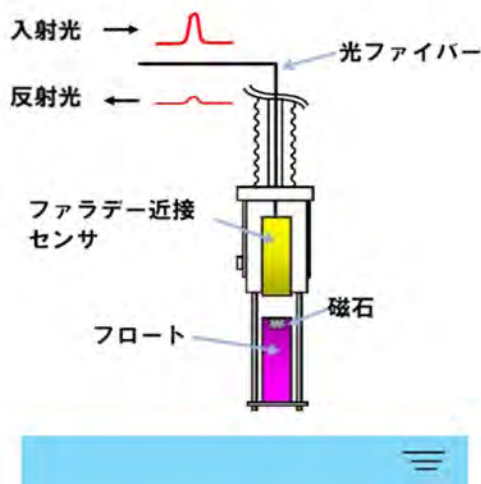


図 3 OFF 状態（水位低）

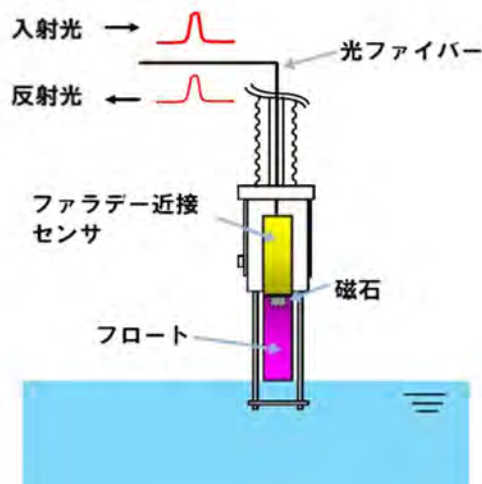


図 4 ON 状態（水位高）

2.3 設置状況

図 5 に簡易型水位検出器の設置状況例を示す。



図 5 簡易型水位検出器の設置状況例

簡易型水位検出器は、水位を検出したい高さにアンカーなどを用いて固定する。

水位上昇時には検出器底部からの水位が+80mm 程度で ON 状態となり、水位下降時には検出器底部からの水位が+55mm 程度で OFF 状態となる。

3 システム概要

3.1 特長

「光ファイバーを用いた水位検出システム（以下、「本システム」という）」は、光ファイバーを伝送路として用いた水位の検出システムであり、以下のような特長を有する。

- （１）水位上昇を即座に捉えられる
- （２）検出器に電源が不要
- （３）検出情報の長距離伝送が可能
- （４）落雷や電磁誘導による影響を受けない

3.2 システム構成

本システムのシステム構成図を図 6 に示す。

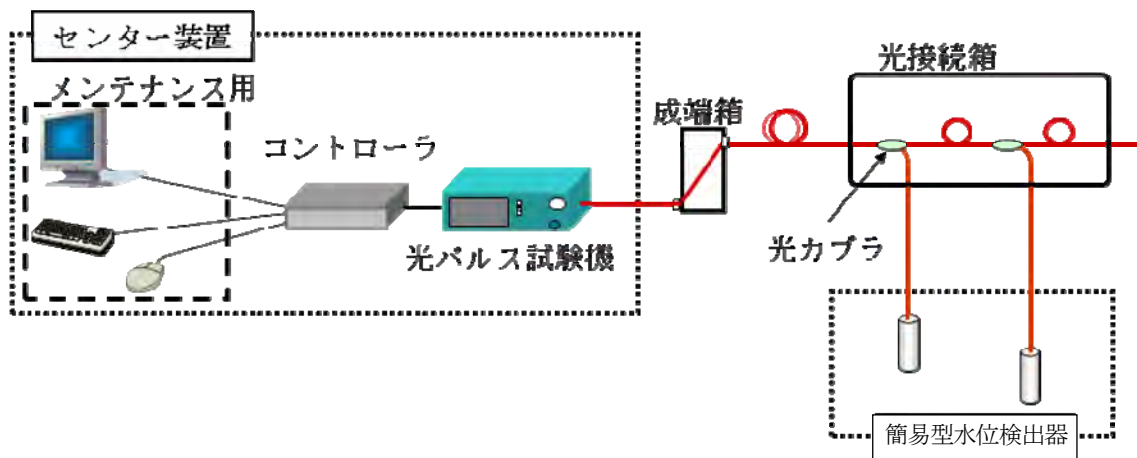


図 6 システム構成図

本システムは、光パルス試験機と簡易型水位検出器から構成される。

光パルス試験機は、光ファイバーに光パルスを入射し、後方散乱光強度や反射光強度の時系列変化を計測することで、光ファイバー内の損失分布を解析する機器である。

光パルス試験機で、簡易型水位検出器を接続した距離からの反射光を計測すれば、当該簡易型水位検出器設置場所の水位を知ることができる。

本システムは、現在の水位を計測するものではなく、ある一定水位に到達しているかどうかを ON/OFF の形で判定するものである。水位を検出したい高さに簡易型水位検出器を設置しておけば、その水位に達しているかどうか遠隔地から即座に分かる。

また、光ファイバーを光カプラで分岐させ、1 本の光ファイバーに多数の簡易型水位検出器を接続することも可能である。

3.3 水位検出イメージ

図 7 に本システムにおける水位検出イメージを示す。

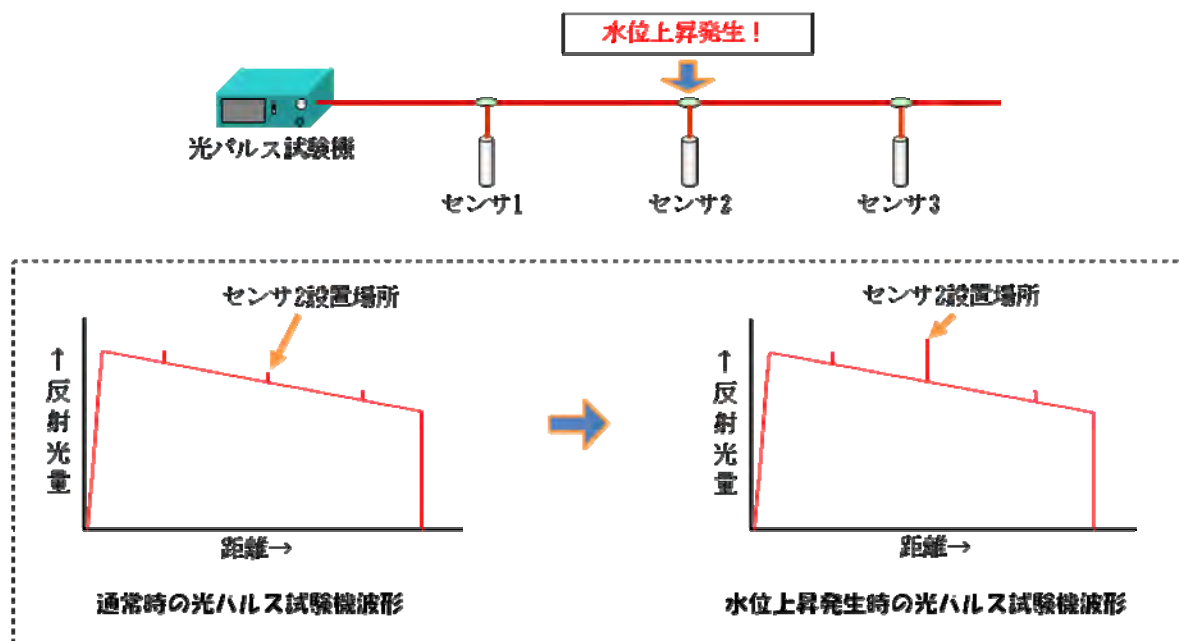


図 7 本システムにおける水位検出イメージ

図 7 の点線で囲んだ波形は、光パルス試験機で計測した、光ファイバーからの反射光強度の時系列変化を表している。横軸は時間とともに距離も表す。

例えば、水位上昇によってセンサ 2 設置場所からの反射光量が増えると、反射光量波形が変化する。それを光パルス試験機で検出し、センサ 2 設置場所における水位上昇として接点出力する。

4 実証試験

4.1 目的

光ファイバーを用いた水位検出システム及び簡易型水位検出器の実環境での動作検証

4.2 内容

- (1) 光ファイバーを用いた水位検出システムの動作検証
- (2) 簡易型水位検出器の動作検証（泥・ゴミ詰まり等の影響の確認）

4.3 期間

平成 19 年 1 月～平成 21 年 3 月

4.4 試験場所

- (1) 成城排水調整所汚水沈砂池
- (2) 田柄川幹線内

4.5 概要

以下の 2 点について実証試験を行った。

- (1) 検出水位への水位到達を即座に捉える事ができること
- (2) 簡易型水位検出器が、長期間にわたって泥やゴミなどの影響を受けないこと

試験は、成城排水調整所汚水沈砂池と田柄川幹線内の 2 か所で行った。これらの実験場所は通常の水位計が設置されており、この水位データを活用することで簡易型水位検出器の動作を確認できることから選定した。それぞれの場所における実験条件を表 1 に示す。

なお、田柄川幹線内の簡易型水位検出器設置場所は、普段は水位がない雨水きょであり、降雨時のみ雨水が流れる。

表 1 実験条件

	成城排水調整所汚水沈砂池	田柄川幹線内
設置日	平成 19 年 12 月 18 日	平成 20 年 11 月 14 日
設置台数	2 台	3 台
検出水位	T. P. +8. 28m T. P. +8. 48m	管底+0. 05m 管底+0. 50m 管底+1. 00m
定常水位	T. P. +8. 20m	—

5 試験結果

(1) 水位検出性能

成城排水調整所汚水沈砂池での水位検出状況を図 8 に、田柄川幹線内での水位検出状況を図 9 に示す。どちらも、最下部に設置した簡易型水位検出器の検出状況を示している。

青色の線は既設の水位計による水位である。赤色の線は、光パルス試験機で判定した、簡易型水位検出器の動作状態を描いた線である。

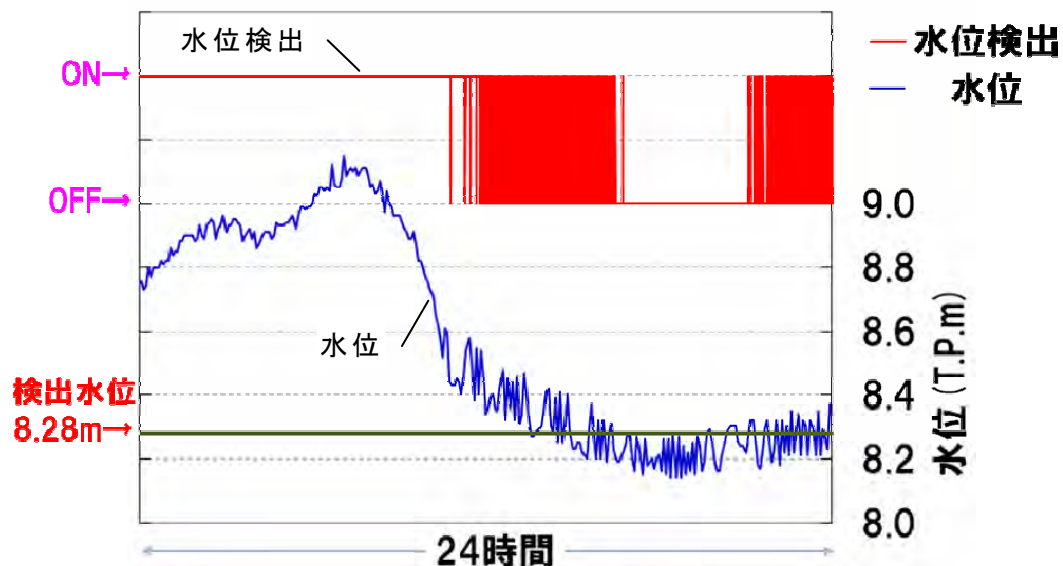


図 8 水位検出状況（成城排水調整所汚水沈砂池）

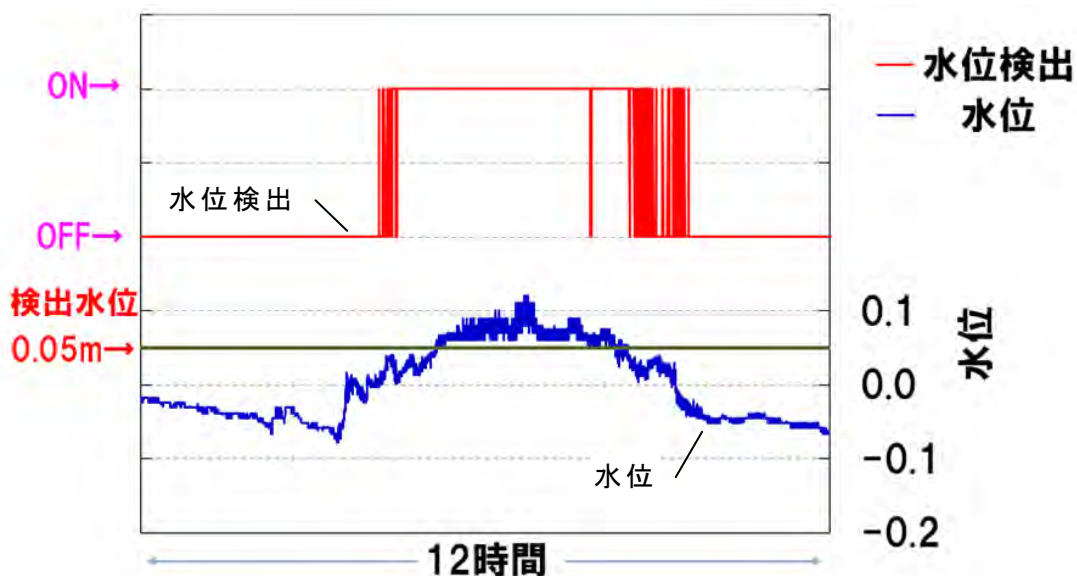


図 9 水位検出状況（田柄川幹線内）

図から分かるとおり、簡易型水位検出器は検出水位に応じて即座に ON/OFF 動作しており、簡易型水位検出器の水位検出性能は問題ないことを確認できた。

なお、検出水位付近で ON/OFF を繰り返しているが、これは検出水位付近での水面の波打ちによる影響である。横軸のスケールが大きいいため、既設の水位計では捉えきれないが、波打ちが大きい実験場所であったためこのような波形となっている。

(2) 簡易型水位検出器の検証—泥・ゴミ詰まり等の影響の確認

実験中に簡易型水位検出器に泥・ゴミ詰まりの影響が見られたため、簡易型水位検出器の構造改良などの対策を行っている。

開発当初に実験を行った成城排水調整所では、簡易型水位検出器の構造として、フロート部を全面的に覆ったフロートカバーを設けていた。

しかし、泥や油脂分がフロートとフロートガイド間に詰まり、動作不良が発生した。図 10 に開発当初の簡易型水位検出器の外観及びフロートとフロートガイド間の詰まり状況を示す。

そのため、フロートカバーを取り外した構造とし、泥や油脂分が詰まらない構造に改良した。対策の結果、泥や油脂分の詰まりは解消された。



図 10 開発当初の簡易型水位検出器の外観及びフロートとフロートガイド間の詰まり

一方、田柄川幹線内での実験においては、上記の改良を施したもので実験を行ったが、フロート部にゴミが付着することによる動作不良が発生した。図 11 にフロート部へのゴミの付着状況を示す。

この対策として、簡易型水位検出器の周囲を上下が開放となった半円形のカバーで覆った。図 12 はカバーの設置状況である。

対策の結果、ゴミが詰まることはなくなり、現在まで問題なく水位検出している。



図 11 フロート部に付着したゴミ



図 12 防護カバー設置状況（左：正面から 右：上部から）

6 まとめ

当課では、平成 19 年 1 月から、光ファイバーを伝送路とし、ファラデー近接センサを用いた簡易型水位検出器及び光パルス試験機からなる、光ファイバーを用いた水位検出システムを開発してきた。

今回の実証試験において、本システムが、管きょ内の水位上昇を遠隔地から即座に捉えられることを確認した。

試算では、本システムは光ファイバー水位計システムに比べて、安価に構成できる見込みとなっている。

本システムは当初、浸水対策として開発したが、合流改善や管きょ内作業時の安全管理への適用も考えられることから、今後、幅広いフィールドへの適用を検討していく。

2. 快適性の向上

(1) 高度処理技術

- 1 砂町水再生センターにおける LAC 注入による
りん除去効果について
- 2 東陽Ⅲ系（ステップ A₂O 法）の稼働状況
（中間報告）

2-(1)-1 砂町水再生センターにおける LAC 注入によるりん除去効果 について

砂町水再生センター 水質管理係 佐々木啓行
葛西水再生センター 水質管理係 野中時雄
北部第二下水道事務所 田村俊之

1 はじめに

当局においては汚泥の集約処理が進められてきており、砂町水再生センターの三河島受泥の量は、平成 20 年度より中野・落合の汚泥が加わったことにより増加し、それに伴ってりん負荷量も増加してきている。このような中、窒素・りんについて、平成 20 年 4 月より「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」の暫定基準が撤廃されたことにより、放流水への規制が強化された。

そこで、砂町水再生センターにおける放流水中のりん低減化対策の一つとして、東部スラッジプラント内に、汚泥処理施設返水によるりん負荷の低減を目的としたりん固定剤（LAC）注入設備が設置され、平成 20 年 5 月より稼動している。LAC 注入地点は、三河島受泥を重力濃縮する調整槽と、遠心脱水前のすべての濃縮汚泥が混合する濃縮汚泥貯留槽の二カ所にあり、現在まで継続して注入が行われてきている。今回、各注入地点における適切な注入率などを検討するため、汚泥を用いた卓上実験を行い、さらにその結果に基づき、実施設における注入を行い LAC の効果を検討したのでここに報告する。

2 現状について

平成 19 年度から平成 20 年度末における砂町水再生センターの三河島受泥量及び受泥からの全りん負荷量の変化を図 1 に示す。平成 20 年度の 4 月より受泥に中野・落合からの汚泥が加わったことにより、一日あたり 6 千～7 千 t 受泥量が増加していることが分かる。

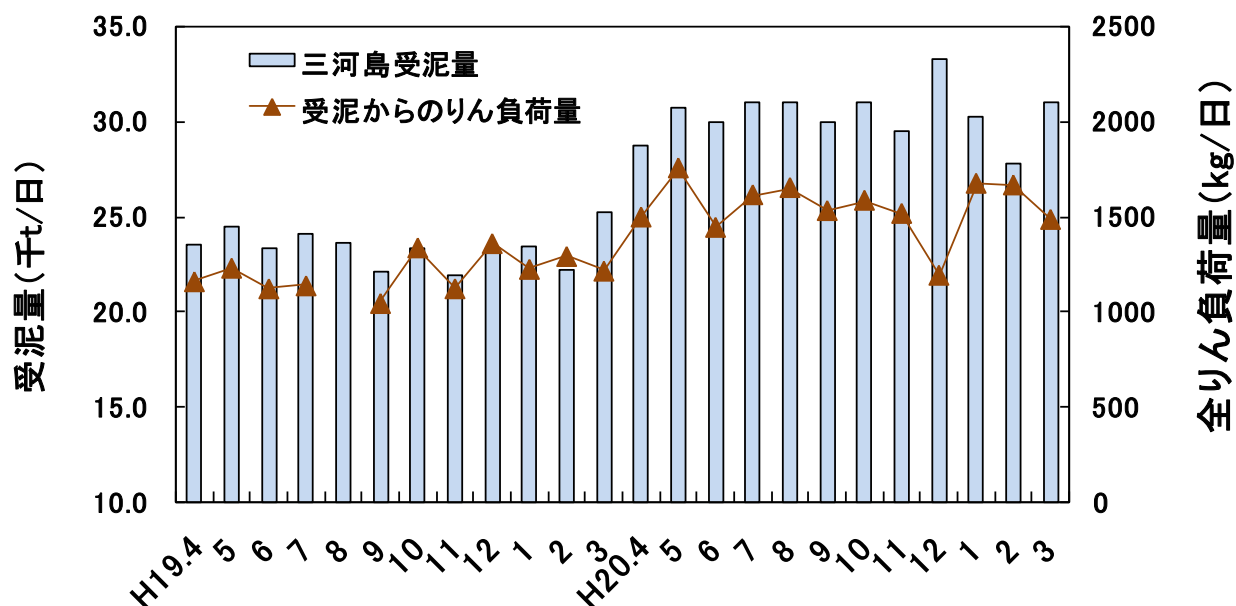


図 1 三河島受泥量と受泥からの全りん負荷量の変化

これにより、受泥による全りん負荷量は、平成 19 年度平均 1200 kg/日であったのに対し、平成 20 年度は 1550 kg/日にまで増加した（流入水負荷は平成 19 年度平均 1150 kg/日、平成 20 年度平均 1030 kg/日）。汚泥処理返水も含めたセンター全体への全りん負荷量に関して、平成 20 年度は平成 19 年度比で約 10%増加したことになる。

一方、平成 20 年 4 月から暫定基準が撤廃されたことにより、放流水の全りん濃度基準値が 3.0 mg/L に規制強化された。基準値が大幅に強化されたことに加え、受泥によるりん負荷量が増加した平成 20 年度以降においては、基準値超過が起こる可能性が非常に高くなっていると考えられる。この危険性への対策は以前から検討されてきており、返水のりん対策として東部スラッジプラント内に LAC の注入施設が設置され、H20 年 5 月より注入が開始されている。それに伴い、当センターでは適切な注入方法・注入率・LAC の効果などについて検討を行ってきた。

LAC とは液体塩化アルミニウムのことであり、PAC と同様に、水中の溶解性りん（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）を固定化し、固体分に移行する効果がある。PAC よりもりんとの反応性が高いが、やや高価である。また、強酸性であるために反応槽に使用することはほぼ不可能であり、汚泥処理施設への注入に適していると考えられている。

3 汚泥処理フローと LAC 注入地点について

砂町水再生センターの汚泥処理フローを図 2 に示す。大きく分けて砂町汚泥処理工場と東部スラッジプラントの 2 系列で処理を行っている。砂町汚泥処理工場では、当センターの一沈生汚泥・余剰汚泥の大部分と三河島受泥の約 30～40%を処理（濃縮）した後、混合して東部スラッジプラントへ送っている。東部スラッジプラントでは、当センターの生汚泥・余剰汚泥の一部と三河島受泥の約 60～70%を処理し、汚泥処理工場から送られてきた余剰混合濃縮汚泥（以下、余剰混汚泥）と混合した後に脱水・焼却処理を行っている。このように、砂町水再生センターの汚泥処理プロセスは他と比較して大変複雑となっている。

設置された LAC の注入点は二カ所である。一カ所は東部スラッジプラント内の三河島

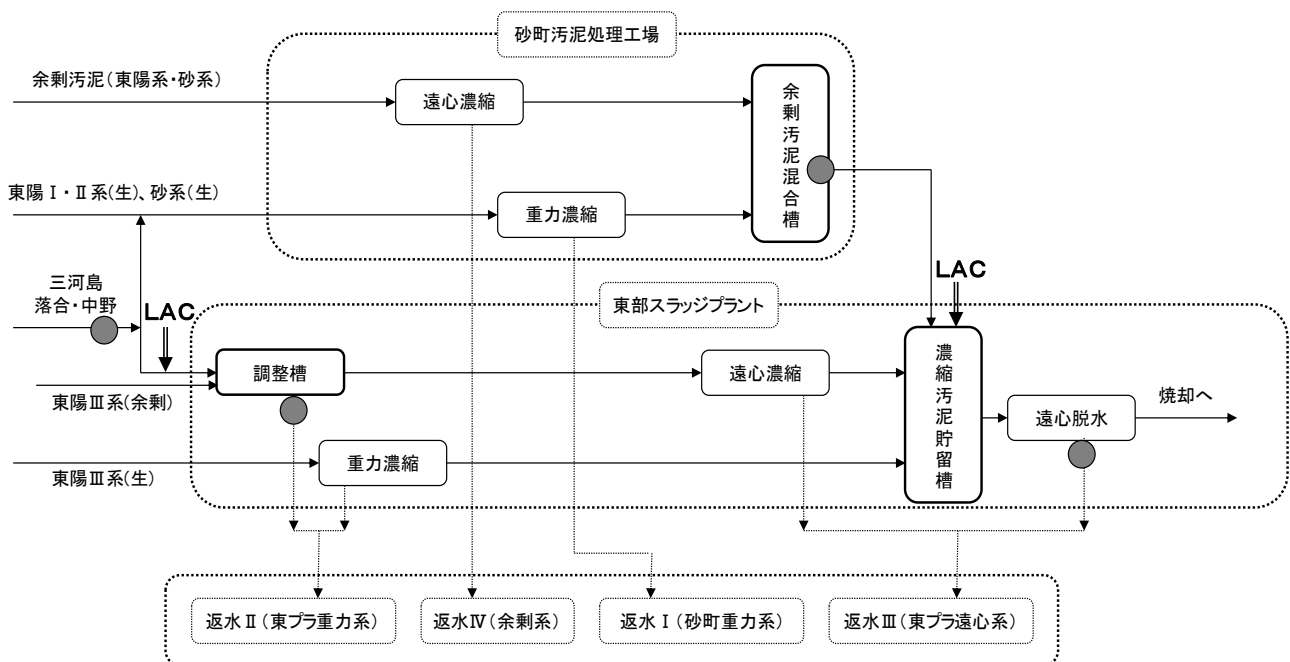


図 2 砂町水再生センターにおける汚泥処理フロー図

受泥が重力濃縮される槽（調整槽）へ入る直前であり、もう一ヵ所は砂町汚泥処理工場からの余剰混汚泥と東部スラッジプラントの濃縮汚泥が混合される濃縮汚泥貯留槽である。

4 調査方法

まず卓上実験により、LAC を三河島受泥及び濃縮汚泥貯留槽内の汚泥（ほぼ余剰混汚泥に等しい）に注入した際の、注入率と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の関係を調査した。それぞれの汚泥 1L に対し LAC を 6 段階の比率で注入し、30 分間一定強度で攪拌後、静置した後に $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度及び pH 等を測定した。その結果から適切と考えられる実施設への注入率を決定した。

実施設においては、卓上実験で決定した注入率を参考に、表 1 に示す RUN①～⑩の 10 通りの注入条件で注入を行った。RUN①～③における LAC の注入方法は、間欠的に槽に入ってくる汚泥量に対して、一定体積比率で換算した量の LAC を注入する比率注入とした。また、RUN④～⑩における LAC の注入方法は、一定の流量で LAC を注入する定量注入とした。各 RUN において LAC の効果の調査を行った。

実施設での調査方法は、まず LAC が注入されている各ユニットの前後で $\text{PO}_4\text{-P}$ が除去されていることを確認するため、調整槽に関しては三河島受泥とその濃縮ろ液である調整槽廃液、濃縮汚泥貯留槽に関しては余剰混汚泥とそのろ液である遠心脱水ろ液をサンプリングし、その $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度などを測定した（サンプリング箇所は図 2 中の●）。また、実施設ではそれぞれのろ液が返水として水処理施設に返っていくが、その返水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量の変化も調査するため、サンプリングを行い $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度などを測定した。各 RUN の期間中に調査を数日行い、サンプリングは一日一回とした（返水については二回の場合もある）。また、反応槽への $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷に関しては、日常試験の結果を参考にした。

5 結果

卓上実験における、三河島受泥及び余剰混汚泥への LAC 注入率(V/V%)と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の関係を図 3 に示す。三河島受泥、余剰混汚泥の両方において、LAC 注入率が高くなることにより $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が減少することが確認された。三河島受泥においては、注入率 0.04 V/V% で $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度がほぼ 0 mg/L となり、余剰混汚泥においても注入率 0.2 V/V% で $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度がほぼ 0 mg/L となった。三河島受泥に関しては昨年度も調査を行っており、今回の結果は昨年度のものと概ね一致していた。

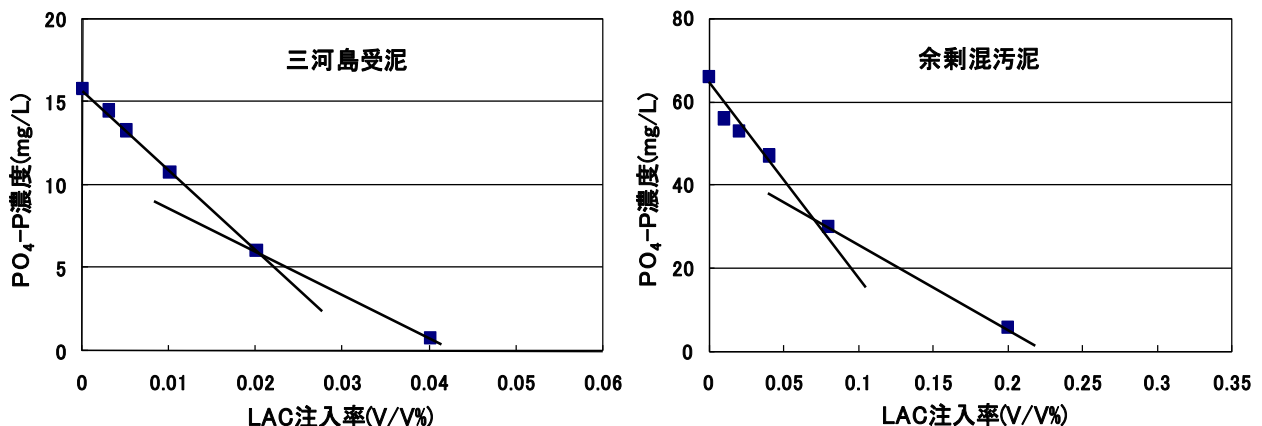


図 3 三河島受泥と余剰混汚泥への LAC 注入率と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の関係

表 1 実施設における LAC 注入条件

比率注入: V/V%	RUN①	RUN②	RUN③
期間	7/18~8/1	8/1~8/15	8/15~8/29
調整槽	0.02	0.01	0.007
濃縮汚泥貯留槽	0.07	0.04	0.02

定量注入: L/min	RUN④	RUN⑤	RUN⑥	RUN⑦	RUN⑧	RUN⑨	RUN⑩
期間	8/29~9/12	9/12~9/26	9/26~10/10	10/10~10/24	11/7~12/10	12/10~3/2	3/2~4/17
調整槽	0.7	1.3	2.6	3.9	1.8	0.9	1.8
濃縮汚泥貯留槽	0.9	1.8	3.1	1.8	1.9	0.9	1.9

LAC を実施設で注入していく際には費用対効果の高い注入率が望ましい。今回の卓上実験では、三河島受泥は注入率 0.02 V/V%、余剰混汚泥は注入率 0.07 V/V%以上になると $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の減少率が低下することが明らかになり、その結果をもとに表 1 に示す LAC の注入条件を決定した。最初に RUN①～③の注入率で実施設に比率注入を行い、調査を行った。

LAC 注入点である調整槽については、注入前である三河島受泥と注入後のろ液である調整槽廃液の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差が LAC による $\text{PO}_4\text{-P}$ 固定化効果によるものと考えられる (LAC 注入なしでも若干濃度が減少)。比率注入の RUN①～③においてその $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差の変化を調べた結果を図 4-1 に示す。三河島受泥の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差とも日間変動があるものの、平均的には RUN①の期間において最も $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差 (期間

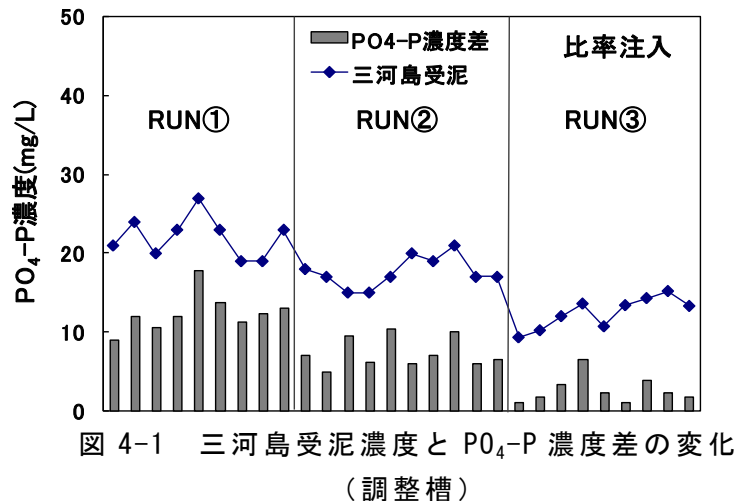


図 4-1 三河島受泥濃度と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差の変化 (調整槽)

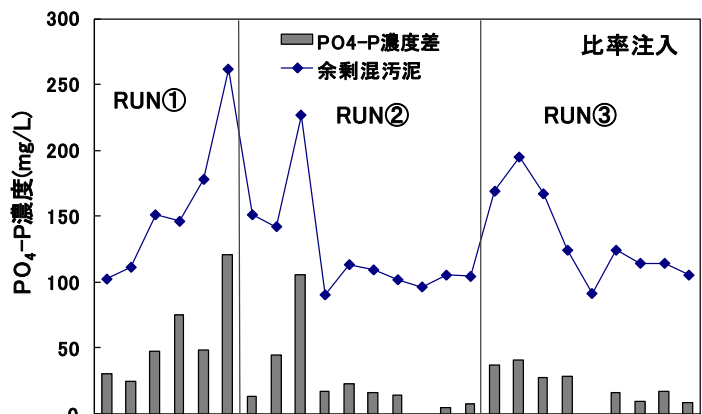


図 4-2 余剰混汚泥濃度と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差の変化 (濃縮汚泥貯留槽)

平均 12.4 mg/L) が大きく、次いで RUN② (期間平均 7.4 mg/L) が大きく、RUN③ (期間平均 2.7 mg/L) が最も少ないという結果になった。LAC 注入開始以前の平成 19 年度平均値では、三河島受泥の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が 20.3 mg/L、調整槽廃液が 16.0 mg/L ($\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差 4.3 mg/L) であった。平成 19 年度に比べ、RUN①及び RUN②においては $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差が大きくなっており、LAC による除去効果が現れていると考えることができる。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の減少率は、三河島受泥については卓上実験とほぼ同じ傾向になり、RUN①の注入率において 5 割強の $\text{PO}_4\text{-P}$ が固定されていた。

同様に、もう 1 カ所の注入点である濃縮汚泥貯留槽について、LAC 注入前である余剰混汚泥と注入後のろ液である遠心脱水ろ液の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差を調べた結果を図 4-2 に示す。こ

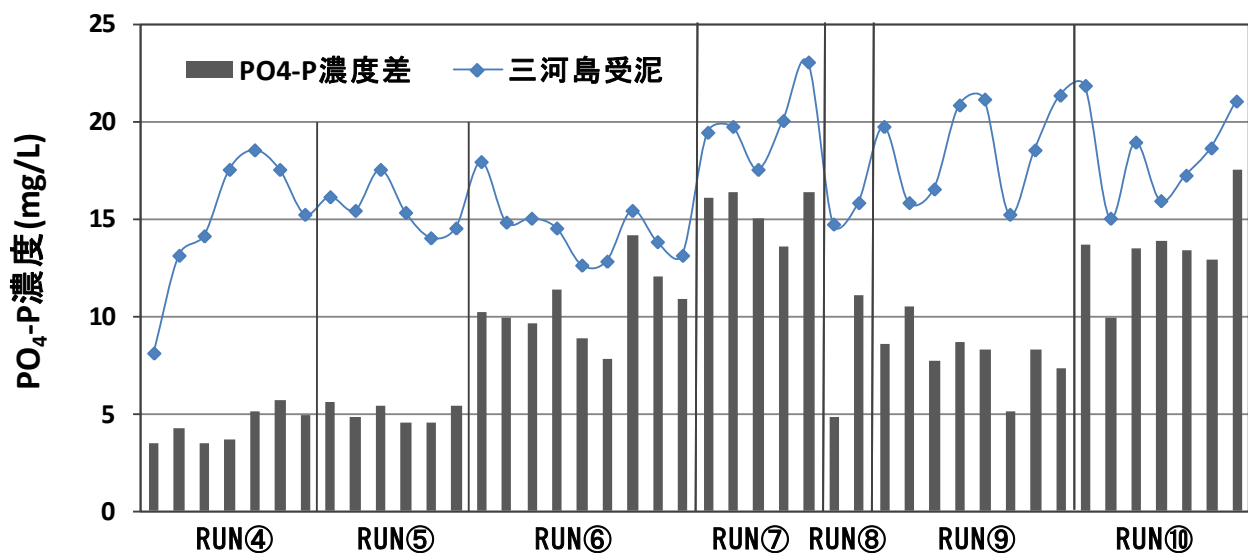


図 5-1 三河島受泥濃度と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差の変化(調整槽)

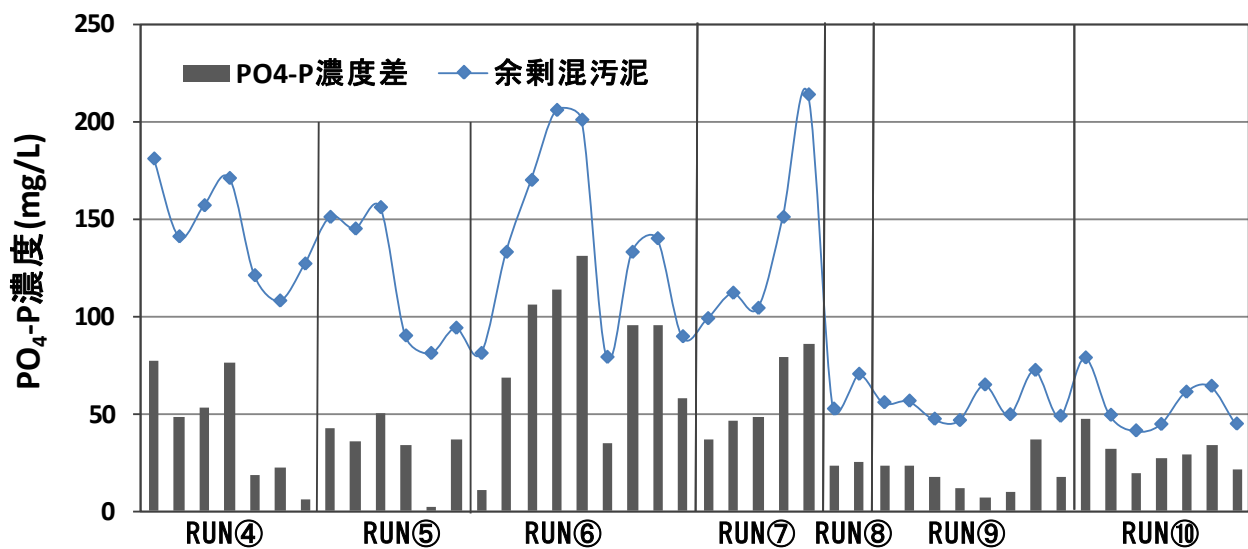


図 5-2 余剰混汚泥濃度と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差の変化 (濃縮汚泥貯留槽)

の場合も日間変動が大きい、平均的には RUN①の期間において最も $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差が大きくなった(期間平均 58.0 mg/L)。RUN②(期間平均 24.8 mg/L)と RUN③(期間平均 20.8 mg/L)の期間の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差は同程度であり、RUN①のみが大きくなったことから、このユニットに関しては、RUN①の期間に LAC の効果が現れていると考えることができる。しかし、RUN①における $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の減少率は 14%程度であり、卓上実験よりも小さい結果となった。

当初は比率注入が LAC の注入方法として適していると考えていたが、RUN①～③の期間中に、LAC の一日当たりの使用量の変動が大きく、現在設置してある LAC の貯留タンク(20 $\text{m}^3 \times 2$)で注入の管理・運営を行っていくことが困難であることが分かった。そのため、それ以降は定量注入を行っていくこととした。

定量注入を行った RUN④～⑩について、同様に調査した $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差の変化を、調整槽については図 5-1 に、濃縮汚泥貯留槽については図 5-2 にそれぞれ示す。RUN④と RUN③、RUN⑤と RUN②、RUN⑥と RUN①は、注入方法は異なるが、それぞれ一日あたりの LAC 注入量がほぼ等しい。調整槽について、RUN④～⑥のなかで注入量の最も多い RUN

⑥が最も $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差が多くなり（期間平均 10.5 mg/L）、RUN④（期間平均 4.4 mg/L）と RUN⑤（期間平均 5.0 mg/L）は同程度であったことから、RUN⑥については LAC の効果が現われていると考えることができる。濃縮汚泥貯留槽についても、注入量の最も多い RUN⑥（期間平均 79.1 mg/L）が最も除去量が多くなり、RUN④（期間平均 42.8 mg/L）と RUN⑤（期間平均 33.5 mg/L）は同程度であったことから、RUN⑥については LAC の効果が現われていると考えることができる。期間平均の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差に関して、調整槽においては比率注入・定量注入ともにほぼ同程度になり、濃縮汚泥貯留槽においては、定量注入のほうが $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差が比率注入と比較して大きくなっており、定量注入のほうが LAC の効果が大きくなる可能性が示唆された。濃縮汚泥貯留槽は水位制御を行っており、汚泥の供給が間欠である。比率注入では LAC の供給が間欠になるため、常時 LAC の注入を行う定量注入のほうが槽内での混合性が良くなっている可能性などが考えられる。

次に、RUN⑦ではさらに調整槽に注入する LAC の量を増加させて調査を行った。その結果、さらに $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差が大きくなり（期間平均 15.5 mg/L）、LAC の効果が大きくなることが確認された。今回の調査期間に加えた最大量であり、卓上実験では約 8 割の $\text{PO}_4\text{-P}$ が除去される LAC の量であるが、実施設でも約 8 割の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が低下し、調整槽に関してはこの注入量まで卓上実験と同程度の LAC の効果が期待できることが分かった。

以上の結果を踏まえ、反応槽の処理能力が低下する冬場にできるだけ多量の LAC を注入したいと考え、LAC の残量を鑑みて、RUN⑧の量で注入を行い続けることとした。しかし、メーカーによる LAC の生産・供給が追いつかなくなったため、RUN⑨においては注入量をやむを得ず減らすこととした。RUN⑩においては LAC の供給量が回復したため RUN⑧と同量の LAC 注入を行った。図 5-1 より、冬場の RUN⑧～⑩においても調整槽における $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差が確認され、高水温期とほぼ変わらない LAC の効果が確認された。一方、濃縮汚泥貯留槽においては、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差が小さくなっているが、RUN⑧～⑩の調査期間においては余剰混汚泥の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が非常に低かったため、あまり参考とすることはできないと思われる。

以上の結果より、LAC が注入されているユニットを介したろ液の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度に関して、注入量がある程度以上の期間において LAC の効果が確認された。これらのろ液は、返水Ⅱ及び返水Ⅲとしてセンターの東陽系水処理施設へ返っている。次に、今回の調査期間の各 RUN における、返水の総 $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量（返水Ⅰ～返水Ⅳの合計負荷量）の変化を調べた結果を図 6 に示す。一日当たりの LAC 注入量も同時に示してある。定量注入の RUN④

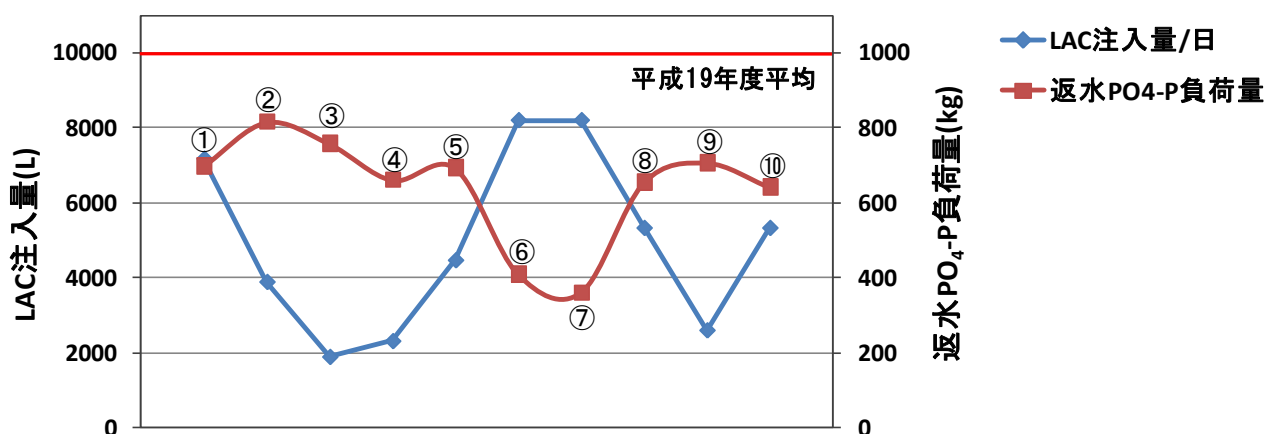


図 6 各 RUN における期間平均の LAC 注入量と返水の総 $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量

～⑩において、LAC 注入量が多いほど返水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量が小さくなる傾向が見られた。一方、平成 19 年度平均の返水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量は約 1000 kg/日であり、今回の調査期間においては、最も返水の負荷量が高い期間においても平成 19 年度より 200 kg/日程度低くなっていることから、今回の調査期間すべてにおいて、LAC の効果が現われていると考えることができる。RUN③④⑤の期間では、ユニットにおける調査によって LAC の効果を確認することはできなかったが、返水の負荷量において効果を確認することができた。ユニットにおける調査結果と同様に、LAC 注入量が多いほど返水への効果が大きいことも確認された。また、返水に関しても、定量注入の RUN⑥において、比率注入の RUN①よりも $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量が低減されていることから、LAC の注入量が多い場合には定量注入のほうが LAC の効果が大きく現われ、運営に適している可能性が示唆された。

次に、各 RUN 期間平均の LAC 注入量、PAC 注入量、東陽系反応槽流入水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を図 7 に示す。返水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量と同様に、定量注入で LAC 注入量が多い RUN⑥と RUN⑦において、他の期間よりも明確に反応槽流入水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が小さくなる傾向が見られた。また、PAC の注入量は、RUN③④⑨のように LAC の注入量が少なく、反応槽流入水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が比較的高い場合に多くなる傾向も見られた。RUN⑧⑩は LAC の注入量が比較的多いにも関わらず PAC の注入量が多くなったが、この期間は冬場であるために反応槽の処理能力が低いこと、また返水の負荷が高かったことなども関係していると考えられる。しかしながら、反応槽内の活性汚泥の状態が悪くない場合においても、反応槽流入水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が高い場合には、反応槽中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度高くなり PAC を注入せざるを得ない状況になる可能性が高くなることが示唆された。

図 8 に反応槽流入水と処理水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度に対する LAC 注入量の影響を示す。今回の調査期間においては一日あたりの LAC 注入量が約 5500L を超えると反応槽流入水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が明確に低下し、4.0 以下となる傾向となった。かなりの量の LAC を注入しないと反応槽流入水の濃度には明確な変化が見られないようである。しかし、今回の調査期間における処理水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、LAC 注入量が少ない条件でも、放流基準値を遵守する上で大きな問題がない濃度となっていた。反応槽の状態が良い場合には、反応槽流入水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が 2.0～5.0 の範囲で処理をすることができ、LAC 注入量を 5500L 以上にする必要はないと考えられる。そのため、LAC の適切な注入量は反応槽流入水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度で制御することは困難であると考えられる。

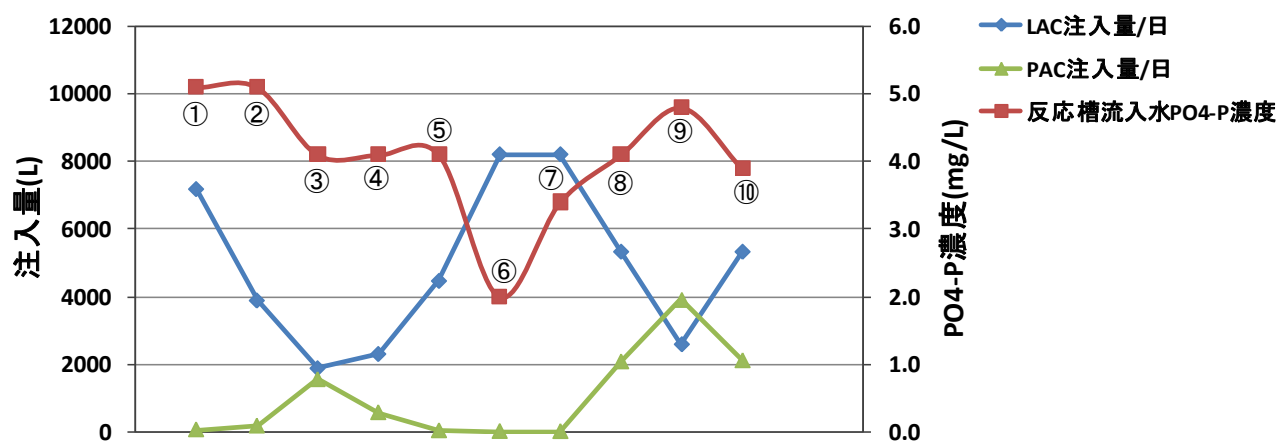


図 7 各 RUN における期間平均の LAC 注入量、PAC 注入量、反応槽流入水 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度

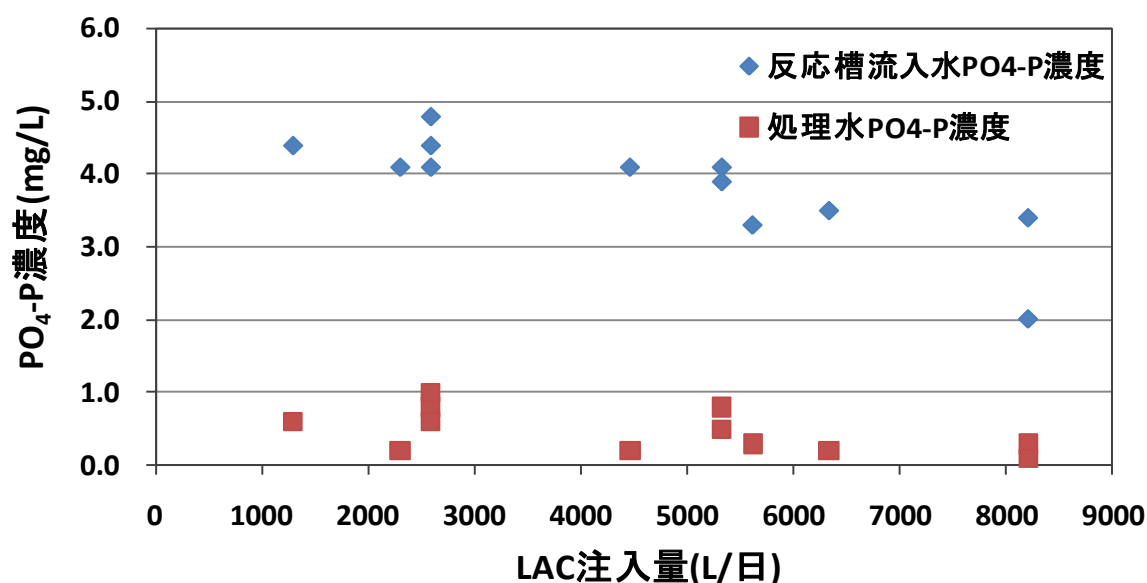


図 8 反応槽流入水と処理水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度に対する LAC 注入量の影響

LAC 消費量の削減を図りつつ適切な注入量を決定するためには、汚泥処理返水の状況や反応槽の処理能力などを日々調査したうえで、総合的に検討することが必要であると考えられる。

6 まとめ

平成 20 年度から稼動している LAC 注入施設に関して調査した結果次のことが明らかになった。

(1)LAC が注入されている実施ユニットにおいて、注入前の汚泥（三河島受泥及び余剰混汚泥）と注入後のろ液（調整槽廃液及び脱水ろ液）を調査した結果、それぞれのユニットにおいて、ある程度(卓上実験で $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が 5 割減少する量)の LAC 注入による $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度減少効果が確認された。しかし、注入量が少ない場合には効果を明確に確認することはできなかった。

比率注入と定量注入の二通りの注入方法を検討したところ、現状の施設では定量注入のみ運用が可能であることが分かった。また、LAC の効果についても、定量注入において比率注入よりも効果が大きく現われる場合が見られた。

(2)汚泥処理返水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量を調査したところ、今回の調査期間すべてにおいて H19 年度平均と比較して負荷量が小さいという結果になり、LAC 注入量が少ない場合にも効果が確認された。負荷量の低減量は 200～500 kg/日程度であり、LAC 注入量が多い時に低減量も多くなることが分かった。

(3)反応槽流入水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を調査した結果、LAC の注入量が約 5500L/日を超えた場合のみ明確に低下し、4.0 以下となる傾向が見られた。しかし、今回の調査期間においては、LAC の注入量が少ない場合でも処理水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は問題がなく、LAC の必要注入量は日々の反応槽の状態に大きく依存することが考えられる。

2-(1)-2 東陽Ⅲ系（ステップ A₂O 法）の稼働状況（中間報告）

東部第一下水道事務所 砂町水再生センター 水質管理係
野中 時雄、吉田 均、篠崎 真弓、小川 大介、林 継夫、○内多 美穂子

1 導入の背景

当初の施設計画において、東陽Ⅲ系施設は処理能力 20 万 m³/d で標準法施設の予定であった。その後、「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」における窒素・リンの規制強化に対応するため、施設計画が見直され、東陽Ⅲ系施設を処理能力 12 万 m³/d のステップ A₂O 法施設とした。今回は、そのうちの 6 万 m³/d 分が稼働した。

本報告は、平成 20 年 3 月から運転を開始した東陽Ⅲ系ステップ A₂O 法施設（10-1 系、10-2 系）の、立ち上げとその後の運転状況を報告するものである。

2 施設概要

砂町水再生センターに導入されたステップ A₂O 法施設の概要を図 1 に、設備形状を表 1 に示す。各反応槽には、図 1 に示すような連続測定器が設置されている。

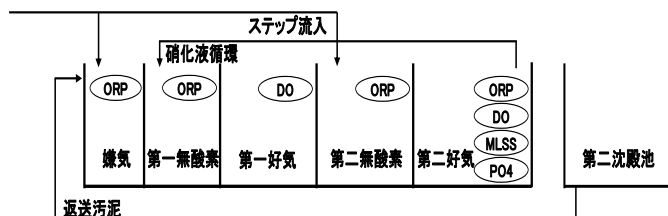


図 1 施設概要

表 1 設備形状（2 系列合計）

第一沈殿池	容量(m ³)	4,800
	水面積(m ²)	921
生物反応槽	嫌気槽容量(m ³)	2,326
	第一無酸素槽容量(m ³)	2,390
	第一好気槽容量(m ³)	7,206
	第二無酸素槽容量(m ³)	7,080
	第二好気槽容量(m ³)	9,568
	第二沈殿池容量(m ³)	5,560
第二沈殿池	水面積(m ²)	2,000
	堰長さ(m)	280

3 立ち上げ

立ち上げは、2 系列あるうちの 10-1 系から行った。2 月 25 日に種汚泥を投入し、28 日に通水（500m³/h）を開始した。3 月 4 日には、当初予定の 1,000m³/h を通水し、12 日にステップ運転を開始した。

10-2 系は、3 月 6 日より立ち上げ、3 月 9 日には、1,000m³/h を通水した。17 日から、10-1・2 系とも、処理工場返水の受け入れを開始し、通常運転に入った。

図 2 に、立ち上げ後の第二好気槽（10-1 系）の窒素・リン濃度と第二沈殿池の透視度を示す。

3 月中は処理が安定せず、透視度も 70 前後であったが、4 月中旬以降は透視度も安定し、第二好気槽の亜硝酸性窒素が無くなり、ほぼ硝酸性窒素となった。その後は、全窒素も 5.0～6.0mg/l 程度まで下がり、安定した運転状況になった。

水温が上昇する時期に立ち上げたこともあり、大きな問題もなく順調に立ち上げることができた。

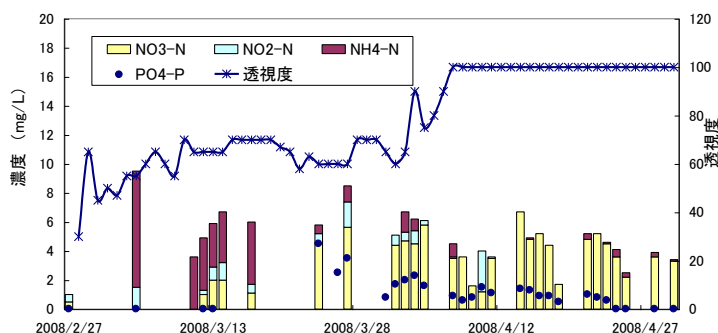


図 2 立ち上げの経過

4 運転状況

一年を通して処理水量は約 4 万 m³/d で、処理能力（6 万 m³/d）の 65%の負荷で運転した。5 月

までは、返送汚泥率 50%、硝化液循環率 40%で運転した。6 月からは、嫌気槽と第一無酸素槽の嫌気状態を確保する目的で、返送汚泥率を 40%に、硝化液循環率を 30%に変更した。一年を通して各月ともにステップ流入比は 50%とした。

ステップ A₂O 法は、ステップ流入比等の影響で、各反応槽の MLSS に大きな違いがでる。そのため、BOD-SS 負荷と A-SRT は、次のように求めた。

BOD-SS 負荷は、第二好気槽の MLSS より処理水量、返送汚泥量、硝化液循環量を求めて各反応槽の汚泥量を算出し、無酸素槽と好気槽の汚泥量 (DS-kg) で流入 BOD 負荷量 (kg) を除して算出した。また、A-SRT は、第一好気槽と第二好気槽の汚泥量 (DS-kg) の和を余剰汚泥量 (DS-kg) で除して算出した。

なお、各反応槽の滞留時間は、ステップ流入比、返送汚泥量、硝化液循環量を考慮せず、流入下水量 (沈殿処理水量) だけを用いて計算した。

平成 20 年度 5 月から 3 月のまでの運転状況を資料 1 に示した。

5 処理水質

5.1 経日変化

図 3 に、日常試験結果より、平成 20 年度 4 月から 3 月までの反応槽の水質と降雨量を示す。

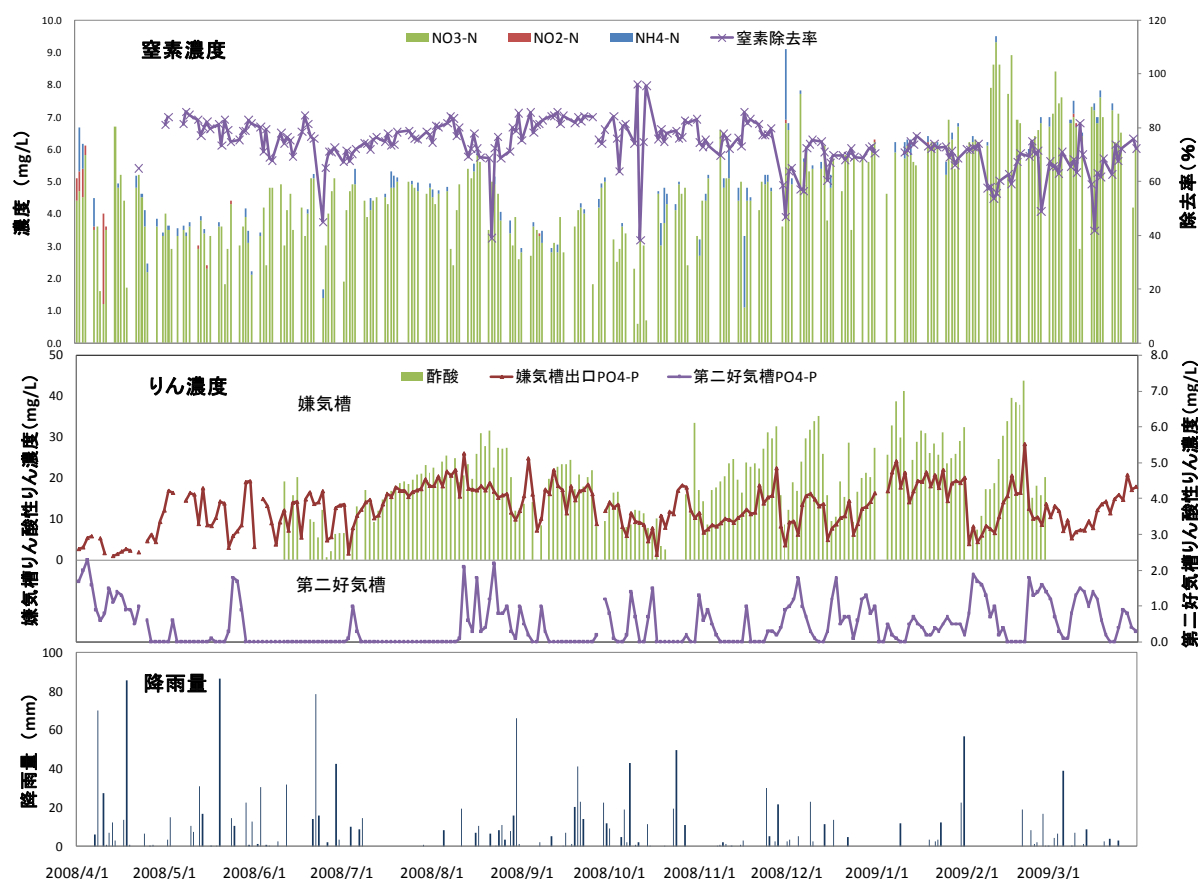


図 3 窒素・りんの処理状況

5.1.1 窒素

立ち上げ後の 4 月前半は、亜硝酸も検出され安定した処理はできていない。

4 月中旬以降は、第二好気槽出口でアンモニアが検出されることはほとんどなく、ほぼ硝酸性窒素だけであった。また、夏場は除去率が 80%付近で安定していたが、冬場は約 70%に落ち込ん

だ。

この図で、除去率が低い日が数日見られるが、これは、流入下水が雨水で希釈されたため、計算上では除去率が低下するためである。しかし、このときの処理水質は良好である。

5.1.2 りん

4 月前半は、第二好気槽で $1.0\sim 2.0\text{mg/l}$ を示し、嫌気槽でのりんの吐き出しが不十分であった。これは降雨の影響と思われる。5 月から 7 月下旬にかけては、ほぼ安定してりん酸性りん濃度を低く保っていたが、8 月に入り降雨の影響でりん酸性りん濃度が上昇してからは、 $0\sim 2.0\text{mg/l}$ の間を示し、不安定な状態が続いた。

また、りん濃度のグラフより、嫌気槽に流入する酢酸濃度と嫌気槽出口でのりん酸性りん濃度の関係を見ると、酢酸濃度の変動に伴ってりん酸性りん濃度が変動しており、酢酸濃度に相関してりんの吐き出しが行われていることがわかる。活性汚泥性状の違いによるものであることも考えられるが、図 4 より、りん濃度と酢酸濃度の相関性が高いことから、嫌気槽でのりんの吐き出しには、酢酸の影響が大きいことが確認された。

また、りんを安定して処理できていた 7 月下旬までの期間で、5 月 22 日～26 日と 6 月 30 日～7 月 3 日に第二好気槽出口でりん酸性りん濃度が上昇した。降雨量のグラフから、この原因は降雨の影響でりんの吐き出しが不十分であったことだと推定される。

しかし、降雨との関係性を否定する事例も確認された。一つは、5 月下旬から 6 月にかけての長期間の降雨である。この期間は継続して降雨を観測し、その影響により嫌気槽でのりんの吐き出しが不十分となっていた。それにもかかわらず、第二好気槽のりん酸性りん濃度は安定していた。また反対に 8 月以降には、降雨が少なく嫌気槽でのりんの吐き出しも十分であるにもかかわらずりん酸性りん濃度が高い場合が見受けられた。8 月 7 日はその一例で、第二好気槽出口でりん酸性りん濃度が 2.1mg/l という高い値を示した。

この 2 つの事例は、嫌気槽でのりんの吐き出しと処理水のりん濃度との関係性を否定するものではないが、りん処理に影響を与える因子は、嫌気槽でのりんの吐き出しだけでなく、他にも重要な因子があることを示しており、今後の研究課題である。

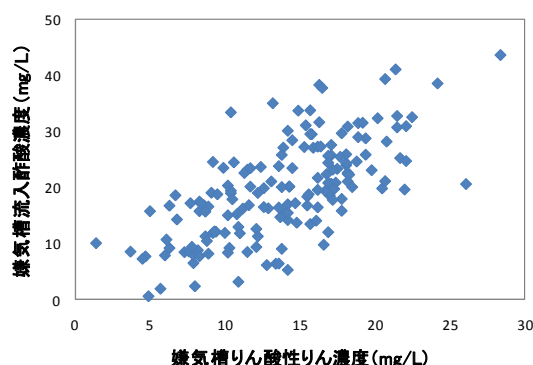


図 4 嫌気槽における流入酢酸濃度と出口りん酸性りん濃度の相関図

5.2 通日試験時の調査結果

平成 20 年度 5 月から 3 月の通日試験で、東陽Ⅲ系（反応槽）の調査を実施した。5 月から 11 月にかけては第一沈澱池、嫌気槽、第一無酸素槽、第一好気槽、第二無酸素槽、第二好気槽、第二沈澱池の末端から 2 時間ごとに採水し、それぞれの槽において時間ごとのアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、りん酸性りん、全窒素及び全りん濃度を測定した。このとき、紫外線吸光度法で求めた全窒素濃度をアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素濃度の合計値が上回る不具合を生じたため、全窒素及び有機性窒素の値が不明であった。そこで、12 月から 3 月にかけては、採水箇所に戻送汚泥を加えて 2 時間ごとに採水し、それぞれのろ液を等量混合したコンポジット試料について、分析項目にケルダール窒素を加えて測定した。ケルダール窒素を測定することで、全窒素と有機性窒素が算出され、各反応槽での窒素の挙動を把握することができた。また、窒素の各測定結果に水量を乗じ、各槽ごとに流出負荷量を求めた。資料 2 に各月の

水質測定結果及び算出した負荷量を示した。通日試験の結果、一年を通じて水質に大きな差は見受けられなかった。

この通日試験結果により得られた各反応槽の窒素・リンの挙動について検討した。

ここで、各反応槽での窒素・リンの挙動を検討するにあたり、「濃度」で評価するのではなく、「負荷量」で評価する必要があることを述べる。例えば、5月のアンモニア性窒素濃度についてみると、第一沈殿池出口では14.3mg/lだが、嫌気槽では6.3mg/lと大きく濃度が減少している。これは返送汚泥による希釈のためである。また、第一無酸素槽では4.9mg/lに濃度が減少しており、これは硝化液循環による希釈のためである。さらに同様に、第二無酸素槽ではステップ流入による希釈があるため、各槽の濃度を使用して処理性能を評価することは難しい。そこで、この影響を取り除くため、測定された各濃度にそれぞれの水量を乗じることで、実質的な処理量を負荷量で表し、ステップA₂O法の処理性能の評価をわかりやすくした。

表2に12月分の通日試験結果について、各測定結果に水量を乗じたそれぞれの槽ごとの流入及び流出負荷量を示す。またこの算出結果を図5にグラフで表した。

表2 各槽ごとの流入・流出負荷量（12月）

	Or-N負荷量	NH4-N負荷量	NO2-N負荷量	NO3-N負荷量
一沈出	2.5	9.5	0.0	0.0
嫌気入	2.9	9.7	0.0	0.2
嫌気出	1.4	9.3	0.0	0.1
一無入	1.5	9.3	0.1	1.6
一無出	1.2	9.4	0.0	0.1
一好入	1.2	9.4	0.0	0.1
一好出	0.8	0.0	0.1	9.6
二無入	3.3	9.5	0.1	9.6
二無出	1.5	7.8	0.1	0.3
二好入	1.5	7.8	0.1	0.3
二好出	0.8	0.0	0.1	8.6
二沈入	0.7	0.0	0.1	7.1
処理水	0.6	0.0	0.1	4.9

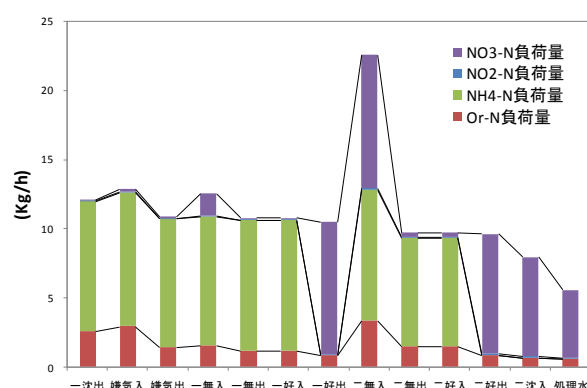


図5 各槽ごとの窒素の挙動（12月）

まず、第一無酸素槽に着目する。第一無酸素槽入口では嫌気槽出口ではなかった硝酸性窒素が増え、第一無酸素槽出口でなくなっている。この硝酸性窒素負荷量の増加分は第二好気槽からの硝化液循環によるものである。これは第二好気槽出口と第二沈殿池入口を比較すると、第一無酸素槽入口で増加した負荷量分だけ減少していることから分かる。また、第一無酸素槽出口において、増加した硝酸性窒素がなくなっていることから、硝化液循環による脱窒が確実に行われていることが分かる。

次に、第一好気槽に着目すると、全窒素量はほぼ変わらず、アンモニア性窒素から硝酸性窒素へと硝化が進んでいることが分かる。また、このことは第二好気槽でも同様である。

さらに第二無酸素槽について着目すると、第二無酸素槽入口では第一好気槽出口での硝酸性窒素負荷量はそのまま、アンモニア性窒素負荷量が増加しており、これはステップ流入による負荷である。第二無酸素槽出口では硝酸性窒素負荷量がほぼ無くなり、脱窒が行われていることが分かる。

また第二沈殿池入口と処理水の硝酸性窒素負荷量の減少分は、返送汚泥として嫌気槽入口に戻り、脱窒した分だと考えられる。

12月から3月における反応槽での窒素除去率の平均内訳は、第一好気槽から第二無酸素槽での脱窒で約65.4%、第二好気槽から第一無酸素槽の硝化液循環による脱窒で約12.5%、第一好気槽硝化過程での脱窒が2.7%、第二好気槽硝化過程での脱窒が2.1%、嫌気槽（返送汚泥）での脱窒

が 17.3%であった。このことから、窒素除去の中心は、第二無酸素槽であることが分かった。

一方で、硝化液循環による第一無酸素槽での除去率は低い。この原因として、設計マニュアルで設定されている硝化液循環率 80%に対し、東陽Ⅲ系施設では 30%で運転していることが大きな要因となっていると考えられる。

りんについても一年を通じて同様の傾向を示した。図 6 に 12 月の各槽入口及び出口におけるりん酸性りん負荷量の挙動を示す。ステップ流入比が 50%であることから、返送汚泥率を 50%とすると、前段の流入水に対しては実質 100%になる。そのことから返送汚泥の影響で、嫌気条件の保持や有機分が不足することで、りん処理に影響を与えるのではないかと懸念された。しかし、図 6 からわかるように嫌気槽ではりんの吐き出しが十分に行われており、第一好気槽ではりんの過剰摂取が行われていた。また第二無酸素槽で加えられる新たな負荷に対して、再度りんの吐き出しと過剰摂取が十分に行われていることが確認できた。

次に、6 月の 9 時から 19 時までの時間ごとのりん酸性りん濃度変化を図 7 に示す。第一沈澱池流出水のりん酸性りん濃度はほぼ同じだが、時間ごとの嫌気槽でのりん酸性りん濃度、すなわちりんの吐き出しに大きな差が出た。

表 3 りん濃度の時間変化（6 月）

	第一沈澱池流出水 酢酸濃度	第一沈澱池出口	嫌気槽	第一無酸素槽	第一好気槽	第二無酸素槽	第二好気槽	第二沈澱池
9時	8.5	1.6	7.3	6.0	0.0	0.5	0.0	0.0
11時	10.4	1.3	8.4	6.1	0.0	1.7	0.0	0.0
13時	7.1	1.3	10.5	7.2	0.0	2.4	0.0	0.0
15時	14.2	1.7	12.2	8.7	0.0	3.9	0.0	0.0
17時	10.6	1.4	12.5	10.2	0.0	4.3	0.0	0.0
19時	13.3	1.6	12.7	9.7	0.0	3.8	0.0	0.0

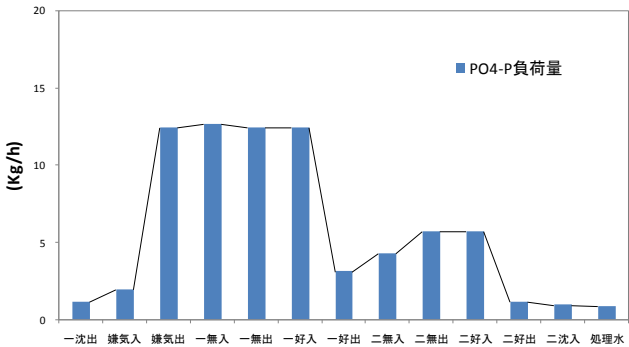


図 6 各槽ごとのりん酸性りん濃度（12月）

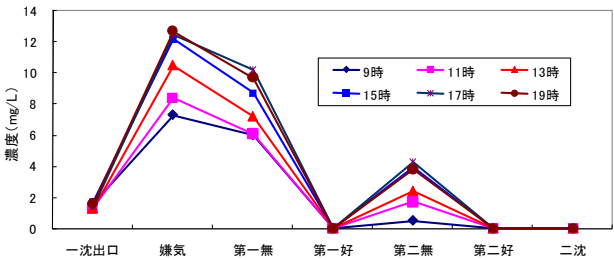


図 7 各反応槽の時間毎のりん酸性りん濃度（6月）

表 3 より、嫌気槽でのりんの吐き出し量と第一沈澱池流出水の酢酸濃度とは、相関性があるように見受けられる。またこの傾向は、第二無酸素槽でも同様であった。一日の間の短い測定期間中に活性汚泥性状に大きな変化があったとは考えられないことから、このりんの吐き出し量の変化は、酢酸濃度の違いによるものであると予想される。

6 汚泥処理返水と酢酸によるりん除去

砂町水再生センターでは、汚泥の集約化として三河島、落合及び中野水再生センターからの汚泥を処理工場で受けているため、汚泥処理工程からの返水負荷が大きい。そのため、水処理にも大きなりん負荷が返ってくる。図 8 に流入水酢酸濃度と汚泥処理返水を含んだ反応槽入口の酢酸濃度のグラフを示す。図 8 より、流入水よりも反応槽入口のほうが、酢酸濃度が高くなっていることが分かる。特に、降雨等の影響で流入水の酢酸濃度が低いときにも、処理工場返水が水処理工程に戻ってくことで、反応槽入口ではある程度の酢酸濃度が維持されていることが分かった。

例えば、流入水酢酸濃度が 0.0mg/l のときも、反応槽入口で最大 33.4mg/l の酢酸濃度が検出された。また、平均の酢酸濃度は流入下水で 14.9mg/L、反応槽入口で 19.1mg/L、返流水で 44.2mg/L であった。

通日試験調査結果より、嫌気槽でのりんの吐き出しと酢酸濃度の相関が明らかになったことから、反応槽入口で酢酸濃度を確保することが重要だと考えると、汚泥処理返水が返ってくることは、りん除去のために安定して有機物を供給するという観点から、適度な負荷を与えることができる利点になっていると考えられる。

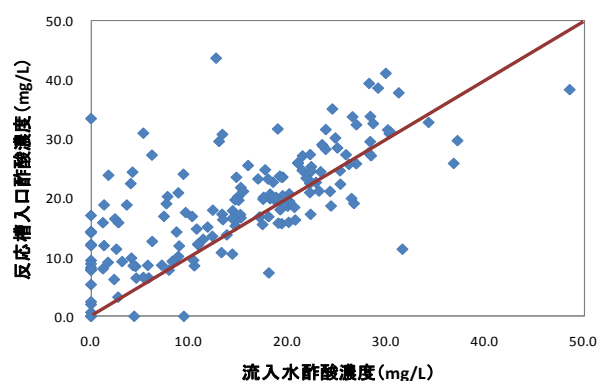


図 8 汚泥処理返水と酢酸濃度

7 調査結果

平成 20 年度に継続して東陽Ⅲ系の調査を実施してきた。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 第一好気槽で硝化された窒素は、第二無酸素槽でほぼ全量が窒素ガスとなって処理されていた。
- (2) 第二好気槽で硝化された窒素は、一部は硝化液循環で第一無酸素槽に戻り、脱窒されていた。
- (3) 嫌気槽でのりんの吐き出しは、第一沈殿池流出水の酢酸濃度と相関があることが確認された。
- (4) その傾向は、第二無酸素槽でも同様であった。
- (5) 反応槽内での窒素除去率の中心は、第二無酸素槽であった。
- (6) 5 月から 3 月の除去率の平均は、窒素が 82%で、りんが 81%であった。
- (7) りん処理が悪化する理由として、降雨以外にも原因のあることが予想された。
- (8) 汚泥処理返水が水処理に返ることで、反応槽流入水にある程度の酢酸濃度を維持できることが確認できた。

7 今後の課題

ステップ A₂O 法の目標設計値によると、窒素で 80%以上、りんで 75%以上の除去率が設けられている。上記の結果に示すように、東陽Ⅲ系のステップ A₂O 法施設では、設計値を超える除去率を示した。しかし、処理水量は一年を通じて約 4 万 m³/d で処理能力（6 万 m³/d）の 65%の負荷であった。今後、処理能力の 100%の負荷で、この水質を維持できるかが課題となる。

また、一年を通じて設定値よりも低い硝化液循環率で運転を行った。そこで、設計値により近い硝化液循環率に変更して運転することで、第一無酸素槽での窒素除去率をあげることも検討したい。しかし、窒素除去率が向上する一方で、第一無酸素槽、第一好気槽での実質的な滞留時間の減少や硝化液循環ポンプを稼働させるための動力費が増すことが予想される。

これらの課題を取り上げていく中で、東陽Ⅲ系施設の最適な運転管理方法について検討し、安定した窒素・りん処理を実現していきたい。

参考資料

資料 1 運転状況

		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
第一沈殿池	沈殿処理水量 (m ³ /日)	36,400	38,930	39,620	42,070	44,590	44,560	44,150	43,320	42,890	42,930	38,030
	沈殿時間 (時)	3.2	3.0	2.9	2.7	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	3.0
	水面積負荷 (m ³ /m ² ・日)	39.5	42.3	43.0	45.7	48.4	48.4	47.9	47.0	46.6	46.6	41.2
生物反応槽	高級処理水量 (m ³ /日)	36,400	38,930	39,620	42,070	44,590	44,560	44,150	43,320	42,890	42,930	38,030
	返送汚泥量 (m ³)	18,040	15,560	15,850	16,870	17,830	17,840	17,030	17,340	17,180	17,190	15,220
	返送汚泥率 (%)	50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	硝化液循環水量 (m ³)	14,400	11,710	11,930	12,750	13,410	13,410	13,270	13,030	12,880	12,910	11,440
	硝化液循環率 (%)	40	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	生汚泥投入量 (m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	送風量 (m ³)	111,250	114,120	136,800	166,850	154,830	128,970	152,590	141,320	154,010	154,790	128,890
	送風倍率(水量) (Nm ³ /m ³)	3.1	2.9	3.5	4.0	3.5	2.9	3.5	3.3	3.6	3.6	3.4
	嫌気槽滞留時間 (時)	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5
	第一無酸素槽滞留時間 (時)	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5
	第二無酸素槽滞留時間 (時)	4.7	4.4	4.3	4.1	3.8	3.9	3.8	3.9	4.0	4.0	4.5
	第一好気槽滞留時間 (時)	4.8	4.4	4.4	4.0	3.9	3.8	3.9	4.0	4.0	4.0	4.5
	第二好気槽滞留時間 (時)	6.3	5.9	5.8	5.5	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	5.3	6.0
	反応槽全滞留時間 (時)	18.8	17.6	17.3	16.3	15.4	15.5	15.5	15.8	16.0	16.0	18.0
	BOD-SS負荷 (kg/kg・日)	0.10	0.11	0.09	0.10	0.09	0.14	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15
	A-SRT (日)	9.4	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	7.1	5.7	6.3
	第二好気槽MLSS (mg/L)	1,770	1,700	1,610	1810	1930	1850	1950	2040	2500	2030	1690
第二沈殿池	余剰汚泥量 (m ³)	686	687	687	684	683	684	679	681	793	985	899
	沈殿時間 (時)	3.7	3.4	3.4	3.2	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.5
	水面積負荷 (m ³ /m ² ・日)	9.1	9.7	9.9	10.5	11.1	11.1	11.0	10.8	10.7	10.7	9.5
	堰負荷 (m ³ /m・日)	130	139	142	150	159	159	158	155	153	153	136

資料 2 各反応槽出口の濃度と負荷量

			濃度 (mg/L)								負荷量 (kg/h)							
			第一沈殿池	返送汚泥	嫌気槽	第一無酸素槽	第一好気槽	第二無酸素槽	第二好気槽	第二沈殿池	第一沈殿池	返送汚泥	嫌気槽	第一無酸素槽	第一好気槽	第二無酸素槽	第二好気槽	第二沈殿池
5月	窒素	アンモニア性窒素	14.3		6.3	4.9	0.4	3.9	0.4	0.1	5.2		4.6	5.0	0.3	5.4	0.6	0.1
		亜硝酸性窒素	0.0		0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
		硝酸性窒素	0.0		0.1	0.2	3.5	0.2	3.2	2.4	0.0		0.1	0.2	3.6	0.3	4.5	1.8
		ステップ負荷						(14.3)								(5.2)		
	りん	りん酸性りん	2.0		8.6	6.3	0.3	2.5	0.0	0.2	0.8		6.2	6.4	0.3	3.5	0.0	0.2
		ステップ負荷						(2.0)								(0.7)		
6月	窒素	アンモニア性窒素	14.7		7.1	5.1	0.0	3.9	0.0	0.0	6.1		5.3	5.1	0.0	5.4	0.0	0.0
		亜硝酸性窒素	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		硝酸性窒素	0.0		0.1	0.2	3.7	0.2	3.1	3.1	0.0		0.1	0.2	3.7	0.2	4.4	2.6
		ステップ負荷						(14.7)								(6.1)		
	りん	りん酸性りん	1.5		10.6	8.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.6		7.9	8.0	0.0	3.9	0.0	0.0
		ステップ負荷						(1.5)								(0.6)		
7月	窒素	アンモニア性窒素	16.1		7.9	5.6	0.1	5.4	0.0	0.1	6.9		6.1	5.7	0.1	7.7	0.0	0.0
		亜硝酸性窒素	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		硝酸性窒素	0.0		0.1	0.2	5.7	0.2	4.4	4.2	0.0		0.1	0.2	5.8	0.3	6.3	3.6
		ステップ負荷						(16.1)								(6.8)		
	りん	りん酸性りん	1.6		10.8	7.9	0.8	3.3	0.2	0.5	0.7		8.1	8.0	0.8	4.7	0.3	0.5
		ステップ負荷						(1.6)								(0.7)		
8月	窒素	アンモニア性窒素	19.2		10.7	8.3	0.3	4.5	0.3	0.0	8.8		8.8	9.1	0.3	7.0	0.4	0.4
		亜硝酸性窒素	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		硝酸性窒素	0.0		0.1	0.1	7.4	0.1	4.9	4.5	0.0		0.0	0.1	8.1	0.2	7.5	4.1
		ステップ負荷						(19.2)								(8.8)		
	りん	りん酸性りん	2.6		18.6	14.4	3.3	6.3	1.1	1.5	1.2		15.3	15.8	3.7	9.8	1.8	1.3
		ステップ負荷						(2.6)								(1.2)		
9月	窒素	アンモニア性窒素	15.5		9.1	6.1	0.0	4.0	0.0	0.1	7.0		7.3	6.6	0.0	6.2	0.0	0.1
		亜硝酸性窒素	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		硝酸性窒素	0.1		0.1	0.2	5.7	0.3	3.7	3.5	0.0		0.1	0.2	6.1	0.4	5.6	3.1
		ステップ負荷						(15.5)								(7.0)		
	りん	りん酸性りん	1.9		9.8	7.9	1.7	2.4	0.6	1.1	0.9		7.9	8.5	1.8	3.7	1.0	1.0
		ステップ負荷						(1.9)								(0.9)		

			濃度 (mg/L)							負荷量 (kg/h)								
			第一沈殿池	返送汚泥	嫌気槽	第一無酸素槽	第一好気槽	第二無酸素槽	第二好気槽	第二沈殿池	第一沈殿池	返送汚泥	嫌気槽	第一無酸素槽	第一好気槽	第二無酸素槽	第二好気槽	第二沈殿池
10月	窒素	アンモニア性窒素	14.7		11.2	8.5	0.2	4.3	0.2	0.0	7.1		9.8	9.9	0.3	7.1	0.3	0.0
		亜硝酸性窒素	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		硝酸性窒素	0.0		0.0	0.1	8.0	0.2	3.9	4.0	0.0		0.0	0.1	9.3	0.2	6.4	3.8
		ステップ負荷					(14.7)								(7.1)			
	りん	りん酸性りん	1.4		11.4	9.3	0.3	1.3	0.0	0.0	0.7		9.9	10.8	0.3	2.1	0.0	0.0
		ステップ負荷					(1.4)								(0.7)			
11月	窒素	アンモニア性窒素	26.0		13.7	10.5	0.4	6.7	0.2	0.2	12.3		11.7	12.0	0.4	10.8	0.3	0.2
		亜硝酸性窒素	0.1		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1		0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
		硝酸性窒素	0.0		0.1	0.1	7.4	0.3	4.6	4.5	0.0		0.1	0.1	8.4	0.4	7.5	4.2
		ステップ負荷					(26.0)								(12.3)			
	りん	りん酸性りん	2.6		10.3	8.0	0.2	2.1	0.0	0.0	1.3		8.7	9.1	0.2	3.4	0.0	0.0
		ステップ負荷					(2.6)								(1.3)			
12月	窒素	ケルダール窒素	25.0	1.6	12.4	9.2	0.7	5.7	0.5	0.6	12.2	0.6	10.7	10.6	0.8	9.3	0.8	0.6
		有機性窒素	5.3	1.0	1.6	1.0	0.7	0.9	0.5	0.6	2.5	0.4	1.4	1.2	0.8	1.5	0.8	0.6
		アンモニア性窒素	19.7	0.6	10.8	8.2	0.0	4.8	0.0	0.0	9.7	0.2	9.3	9.4	0.0	7.8	0.0	0.0
		亜硝酸性窒素	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
		硝酸性窒素	0.1	0.4	0.1	0.1	8.3	0.2	5.3	5.1	0.0	0.2	0.1	0.1	9.6	0.3	8.6	4.9
		ステップ負荷														(12.2)		
	りん	りん酸性りん	2.4	2.1	14.4	10.8	2.7	3.5	0.7	0.9	1.2	0.8	12.4	12.4	3.1	5.7	1.1	0.9
		ステップ負荷					(2.4)								(1.2)			
1月	窒素	ケルダール窒素	27.3	4.0	13.9	10.6	1.2	6.8	1.1	0.9	12.9	1.5	11.8	12.0	1.4	10.8	1.8	0.8
		有機性窒素	6.1	2.2	1.6	2.0	1.2	1.4	1.1	0.9	2.9	0.8	1.4	2.3	1.4	2.2	1.8	0.8
		アンモニア性窒素	21.2	1.8	12.3	8.6	0.0	5.4	0.0	0.0	10.0	0.7	10.4	9.7	0.0	8.6	0.0	0.0
		亜硝酸性窒素	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
		硝酸性窒素	0.0	0.2	0.1	0.1	8.5	0.1	5.5	4.7	0.0	0.1	0.1	0.1	9.6	0.2	8.8	4.4
		ステップ負荷														(12.9)		
	りん	りん酸性りん	3.3	8.2	19.4	13.3	3.1	4.3	0.8	1.2	1.6	3.1	16.4	15.0	3.5	6.9	1.3	1.1
		ステップ負荷					(3.3)								(1.6)			
2月	窒素	ケルダール窒素	24.4	2.8	11.8	8.3	1.4	6.0	1.2	1.1	10.6	1.0	9.3	8.7	1.5	8.9	1.8	1.0
		有機性窒素	5.8	1.9	1.8	1.4	1.4	1.2	1.2	1.1	2.5	0.7	1.4	1.5	1.5	1.8	1.8	1.0
		アンモニア性窒素	18.6	0.9	10.0	6.9	0.0	4.8	0.0	0.0	8.1	0.3	7.9	7.2	0.0	7.1	0.0	0.0
		亜硝酸性窒素	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
		硝酸性窒素	0.0	2.0	0.1	0.2	8.3	2.1	7.3	7.0	0.0	0.7	0.1	0.2	8.7	3.1	10.8	6.1
		ステップ負荷														(10.6)		
	りん	りん酸性りん	2.3	3.4	6.1	4.6	2.8	2.7	2.3	1.6	1.0	1.2	4.8	4.8	2.9	4.0	3.4	1.4
		ステップ負荷					(2.3)								(1.0)			
3月	窒素	ケルダール窒素	29.1	2.6	14.6	10.4	1.0	7.7	1.0	0.7	12.0	0.8	10.9	10.3	1.0	10.9	1.4	0.6
		有機性窒素	5.9	1.6	2.1	1.4	1.0	1.4	1.0	0.7	2.4	0.5	1.6	1.4	1.0	2.0	1.4	0.6
		アンモニア性窒素	23.2	1.0	12.5	9.0	0.0	6.3	0.0	0.0	9.6	0.3	9.3	8.9	0.0	8.9	0.0	0.0
		亜硝酸性窒素	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
		硝酸性窒素	0.0	1.6	0.0	0.1	9.1	0.1	6.6	6.4	0.0	0.5	0.0	0.1	9.0	0.1	9.3	5.3
		ステップ負荷														(12.0)		
	りん	りん酸性りん	3.2	1.8	13.5	9.4	1.9	3.5	0.8	0.5	1.3	0.6	10.1	9.3	1.9	4.9	1.1	0.4
		ステップ負荷					(3.2)								(1.3)			

3. 地球温暖化対策

(1) 温室効果ガス削減技術

- 1 多層燃焼による温室効果ガス排出抑制技術について
- 2 混合汚泥に対する二重円筒加圧脱水機の脱水性能について
- 3 薄膜型太陽電池による太陽光発電システムの開発
- 4 アンモニア計とDO計を用いた送風量制御システムの開発
- 5 水処理実験プラント水理特性把握調査
- 6 水処理から発生する一酸化二窒素（N₂O）の削減技術の開発
- 7 小菅水再生センター東系反応槽におけるN₂O発生に関する調査

3-(1)-1 多層燃焼による温室効果ガス排出抑制技術について

施設管理部施設管理課 境野 祐毅
(現建設部設備設計課)
小沢 尚

1. 目的

1. 1 当局区部の温室効果ガスの排出量

当局では、東京都環境局が定めた「地球温暖化対策都庁プラン」(以下、「都庁プラン」という。)に基づき、温室効果ガス排出量の算定を行っている。都庁プランは、温室効果ガス排出のプロセスごと・温室効果ガスごとに排出量算定方法を定めている。2007(平成 19)年度の当局区部の事業活動による温室効果ガス排出量を、「電気の使用」や「汚泥焼却」といったプロセス及びガスの種類ごとに分類したものを表 1 に示す。これを見ると、汚泥焼却プロセスから発生する N₂O が大きな割合を占めていることがわかる。

表 1 各プロセスから排出される温室効果ガス(区部)

2007(平成 19)年度
単位:t-CO₂

プロセス	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	SF ₆	合計	割合(%)
電気の使用	314,868					314,868	43.9
汚泥焼却		198	211,319			211,517	29.5
水処理・汚泥処理		30,758	82,555			113,313	15.8
燃料・熱の使用	58,718	110	27			58,855	8.2
その他	21,400	-12	-3,074	8	202	18,523	2.6
合計	394,986	31,054	290,827	8	202	717,076	100.0
割合(%)	55.1	4.3	40.6	0.0	0.0	100.0	

※ マイナス表記は、焼却廃熱の有効利用等による温室効果ガスの削減を示す。

※ 汚泥焼却や水処理・汚泥処理等の電気の使用は、「電気の使用」プロセスに計上した。燃料・熱の使用も同様。

1. 2 今までの温室効果ガス削減対策

区部の温室効果ガス排出量を、汚泥焼却とその他に分けた推移を図 1 に示す。

これをみると、排出量は 2003(平成 15)年度をピークとして、翌年のアースプラン 2004 策定以降低下傾向にあり、2007(平成 19)年度は 1990(平成 2)年度比 17.8%削減している。削減量のほとんどが汚泥焼却によるものである。

区部流動焼却炉(全 18 基)のフリーボード部における平均焼却温度と燃料使用量を図 2 に示す。図 1 と合わせて見ると、平均焼却温度が上昇するにつれて、温室効果ガス排出量が低下していることがわかる。

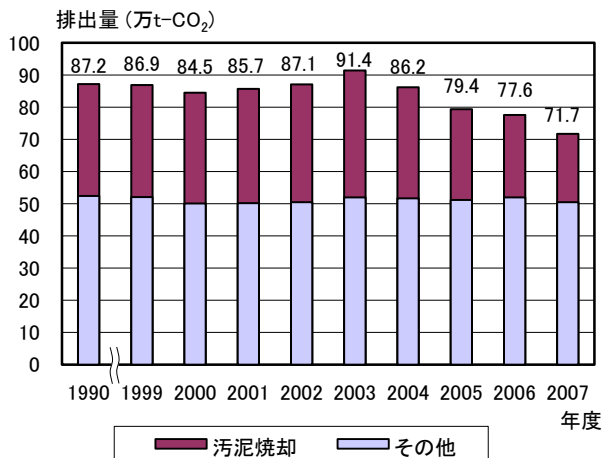


図 1 温室効果ガス排出量の推移 (区部)

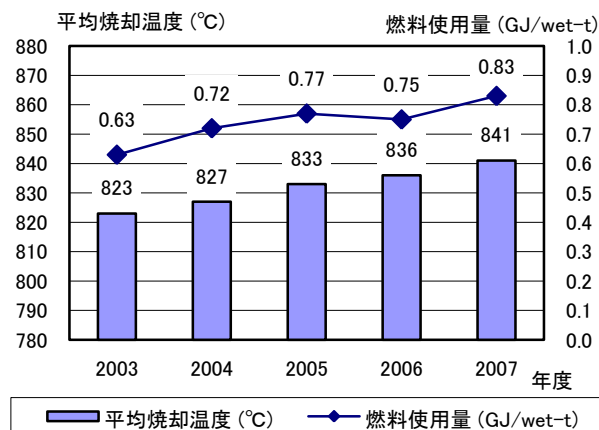


図 2 平均焼却温度と燃料使用量の推移

1. 3 高温焼却における課題

ところが、図 2 からわかるように、焼却温度を上昇させると燃料使用量が増加するという問題がある。

また、過去の調査から焼却温度が 850℃を超えると燃料使用量が急激に増加することがわかっており、850℃以上の高温焼却は困難である。

2007 (平成 19) 年度の平均焼却温度は 841℃に達し、高温化による温室効果ガスの更なる削減が困難となりつつある。

そこで、燃料使用量の増加を抑えつつ、温室効果ガスをさらに削減する手法の確立が求められている。

2. 多層燃焼の概要

高温焼却は温室効果ガスの削減効果は高いが、前述のような様々な問題が生じる。そこで、空気の吹き込み方法等を変えることで、炉内の燃焼状態をコントロールし、N₂O 排出量と燃料使用量の削減を試みた。

まず、通常の流動焼却炉の模式図を図 3 に示す。流動焼却炉では砂層部のみに燃焼用空気 (流動用空気) を送り、脱水ケーキを焼却している。

これに対し、新たな燃焼方法は、燃焼用空気を砂層部のほかフリーボード部に送る方式でありこれを多層燃焼と名付けた。多層燃焼による N₂O 排出抑制模式図を図 4 に示す。

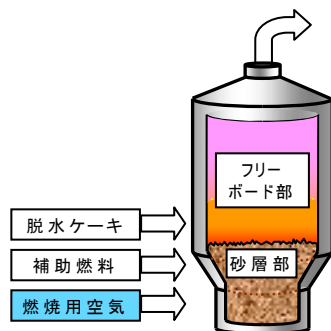


図 3 流動焼却炉模式図

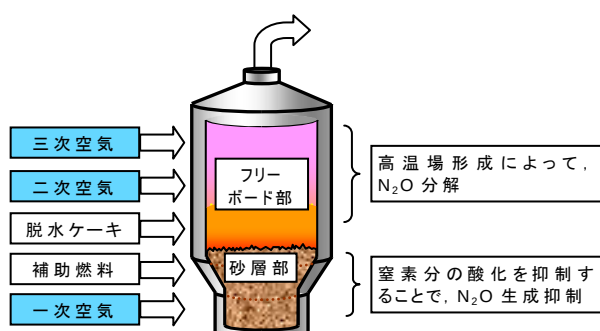


図 4 多層燃焼による N₂O 排出抑制模式図

砂層部では、空気量を低減させて汚泥中の窒素分の酸化を抑制することにより、 N_2O の生成を抑制する。

一方、フリーボード部にも空気を供給して、砂層部で生成された未燃ガスを完全燃焼させる。これにより、高温場が形成され、砂層部で生成された N_2O を分解する。

このように、多層燃焼は砂層部における N_2O 生成抑制と、フリーボード部での N_2O 分解の相乗効果により N_2O を削減する方式である。

3. 多層燃焼の実験

多層燃焼について、以下の実験を行った。なお、当実験はメタウォーター㈱との簡易型共同研究として行った。

ア ラボ試験

イ 実験炉（メタウォーター㈱）における実験

ウ 南部スラッジプラントにおける実験

まず、ラボ試験では、 N_2O を効率よく分解させるために必要な条件について実験を行った。次に、多層燃焼の効果についてメタウォーター株式会社が所有する実験用焼却炉（定格焼却能力 2.4t/日、以下、「実験炉」という。）で実験を行った。

その後、当局の南部スラッジプラント 3 号炉（定格焼却能力 300t/日）で多層燃焼の効果を実機検証した。

3. 1 ラボ試験

ラボ試験において滞留時間と N_2O 削減率の関係を調べた。実験結果を図 5 に示す。同じ滞留時間では、焼却温度が高いほど N_2O 削減率が高い。また同じ焼却温度でも滞留時間が長いほど、 N_2O 削減率が高くなる。この結果より、 N_2O を削減するためには、温度と滞留時間の両方が重要であることがわかった。

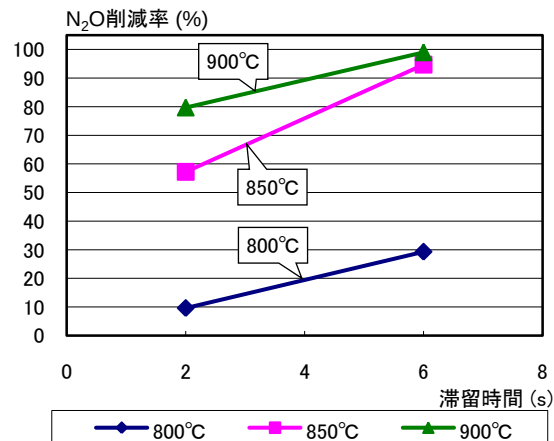


図 5 滞留時間と N_2O 削減率の関係

3. 2 実験炉における実験

3. 2. 1 実験目的

多層燃焼による N_2O 削減効果について実験を行った。

3. 2. 2 設備概要

実験炉の設備フローを図 6 に示す。当焼却炉の定格焼却能力は 2.4t/日であり、砂層部にある分散パイプから炉頂までの高さは 5,350mm である。脱水汚泥は汚泥供給ポンプ（図

中 A) により砂層部へ供給される。補助燃料は A 重油を使用しオイルガン（図中 B）にて炉内へ噴霧供給する。燃焼用空気は流動ブロワ（図中 C）にて一次空気を砂層部へ送り、バーナーブロワ（図中 D）にて二次空気及び三次空気をフリーボード部へ送る。二次空気と三次空気の供給位置は砂層部の分散パイプからそれぞれ 2,100mm, 3,650mm とした。N₂O 自動計測器（図中 E）は、高温サイクロン後に設置する。なお、N₂O 自動計測器は、堀場製作所製 VIA510-N₂O を使用した。

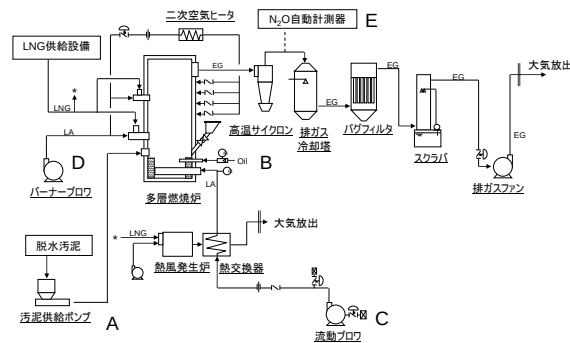


図 6 実験設備フロー

3. 2. 3 実験期間

平成 19 年 12 月 7 日～平成 20 年 3 月 13 日

3. 2. 4 実験条件

脱水ケーキ投入量を定格量の 100kg/h として、通常焼却（800℃）、高温焼却（850℃）及び多層燃焼を行った。多層燃焼では、燃焼用空気を一次空気～三次空気に分け、それぞれの空気比を変えて実験を行った。これを表 2 に示す。なお、実験炉に投入された脱水ケーキの含水率は、採取日により異なり、通常焼却、高温焼却が 78.0%，多層燃焼①～③については 78.9%である。

また、実験炉の処理能力は 2.4t/日で滞留時間約 4 秒に対し、南部スラッジプラント 3 号炉は 300t/日で滞留時間約 12 秒であり、規模や滞留時間も違うため、同一温度で実験を行うと、N₂O 排出量が異なってしまう。そこで実験炉では、南部スラッジプラント焼却炉 3 号炉の排出状態に合わせるため、アースプラン 2004 の N₂O 排出係数（通常焼却 800℃：8.19 kg-N₂O/DS-t，高温焼却 850℃：2.33 kg-N₂O/DS-t）に合致させるように温度を調整した。

表 2 実験条件

実験条件	空気比		
	一次	二次	三次
通常焼却	1.4	—	—
高温焼却	1.4	—	—
多層燃焼①	1.0	0.3	—
多層燃焼②	0.8	0.5	—
多層燃焼③	0.8	0.3	0.2

※ 空気比：理論空気量と実際に必要な空気量の比

3. 2. 4 実験結果

焼却炉の高さ方向の炉内温度を図 7 に示す。高温焼却は、通常焼却に比べ燃料を多く使用しているため、炉内温度は全体的に上昇した。一方、多層燃焼①～③では、砂層部の温度は低いですが、フリーボード温度は空気を吹き込んでいるため、高温焼却並みになることがわかった。特に、二次空気のほかに、三次空気も吹き込んだ多層燃焼③では、広い範囲の高温場を形成している。

このことと図 5 から、二次空気及び三次空気を吹き込んだ多層燃焼③は、他の条件に比べて N_2O をより削減できると考えられる。

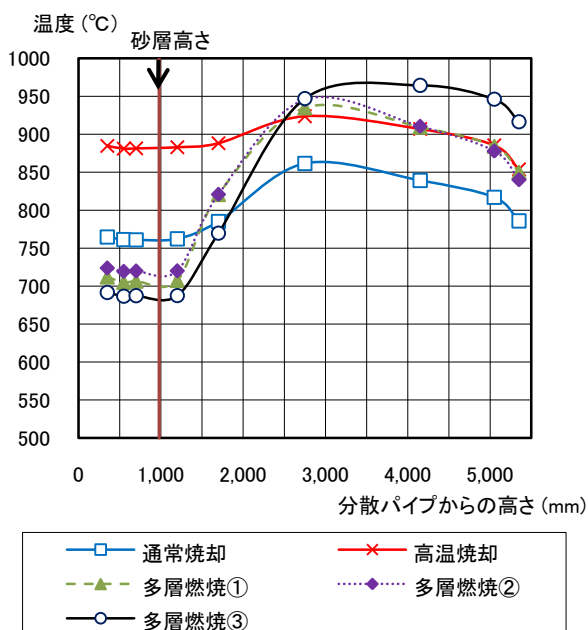


図 7 炉内温度分布図

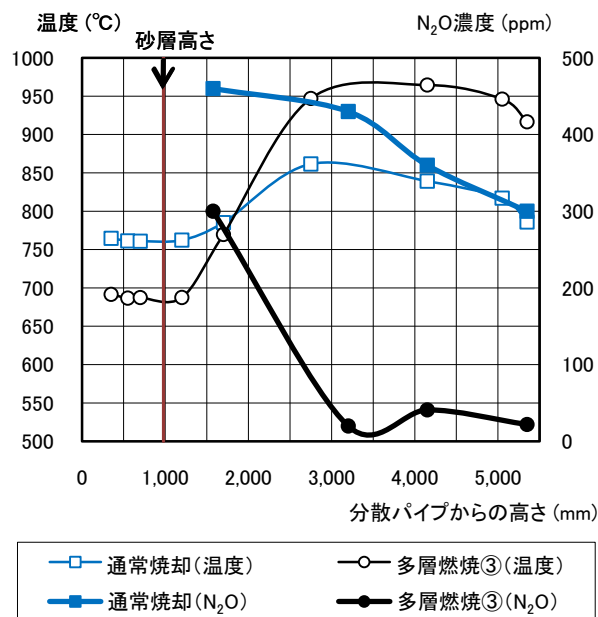


図 8 炉内温度と N_2O 濃度垂直分布図

次に通常焼却と多層燃焼③について炉内の N_2O 濃度と温度の垂直分布を図 8 に示す。多層燃焼③は、砂層部を低空気比にすることにより、 N_2O 発生量が通常焼却に比べて減少している。また、フリーボード部では、多層燃焼③は広い範囲で高温場を形成しているため N_2O の分解が進んでいることが確認された。

各条件における N_2O 排出量と燃料使用量を表 3 に示す。多層燃焼①～③では、いずれの条件においても N_2O 排出量は高温焼却に対して 6 割以上削減でき、通常焼却に対しては 9 割以上削減することができた。多層燃焼の燃料使用量は、通常焼却と比べると若干多いが、高温燃焼と比較すると大幅に少ない。

表 3 実験炉における N₂O 排出量・燃料使用量

実験条件	含水率 (%)	空気比※ ¹			N ₂ O 排出係数		燃料使用量	
		一次	二次	三次	(kg-N ₂ O /DS-t)	比率※ ²	(L/DS-t)	比率※ ²
通常焼却	78.0	1.4	—	—	6.49	100	205	100
高温焼却	78.0	1.4	—	—	1.82	28	289	141
多層燃焼①	78.9	1.0	0.3	—	0.58	8.9	213	104
多層燃焼②	78.9	0.8	0.5	—	0.29	4.4	213	104
多層燃焼③	78.9	0.8	0.3	0.2	0.24	3.7	213	104

※¹ 空気比：理論空気量と実際に必要な空気量の比

※² 通常焼却（800℃）を 100 とした値

以上のことから、多層燃焼は高温焼却と比較し、N₂O 排出量と燃料使用量を同時に低減できるという結果が得られた。

3. 3 南部スラッジプラントでの実験

3. 3. 1 目的

実機へ展開するために、当局南部スラッジプラント 3 号炉で多層燃焼の効果を検証した。

3. 3. 2 設備概要

南部スラッジプラント 3 号炉概略フローを図 9 に示す。定格焼却能力は 300t/日である。当焼却炉は通常の流動焼却炉であり、二次・三次空気の吹き込み口はないため、既設のフリーボードバーナー吹込口 2 か所を利用して二次空気を送ることにした。

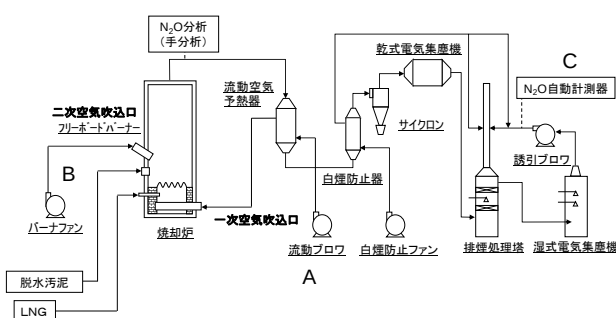


図 9 南部スラッジプラント 3 号炉概略フロー

今回の実験では、流動ブロワ（図中 A）にて一次空気を砂層部に送り、二次空気はフリーボードバーナー吹込口（図中 B）を使用し、フリーボード部へ送った。なお、N₂O 自動計測器（図中 C）は、実験炉と同様堀場製作所製 VIA510-N₂O を使用し、誘引ブロワの後段、煙突手前に設置した。

3. 3. 3 実験期間

平成 20 年 3 月 6 日～3 月 28 日

3. 3. 4 実験条件

脱水ケーキ投入量を定格焼却量である 12.5t/h として実験を行った。そのときの汚泥の

含水率は、78.9%である。

空気量は、一次空気量と二次空気量の和が南部スラッジプラント3号炉の日常の流動空気量と同量（20,000m³N/h）になるように調整した。燃料使用量は、増減させると空気比が変わってくるため、日常と同量で一定とした。

3. 3. 5 実験結果

実験のトレンドグラフを図10に示す。実験開始時から一次空気を減少させ、二次空気を吹き込んだ。この結果、N₂O濃度が大きく低下した。

ただし、実験開始後30分ごろから一次空気量及び二次空気量を一定としていたが、砂層温度の低下が続き、燃焼状態が不安定になった。そこで、100分後に、一次空気量を増加し、その分二次空気量を減少することにより砂層温度の低下が止まったので、この条件で実験を継続した。

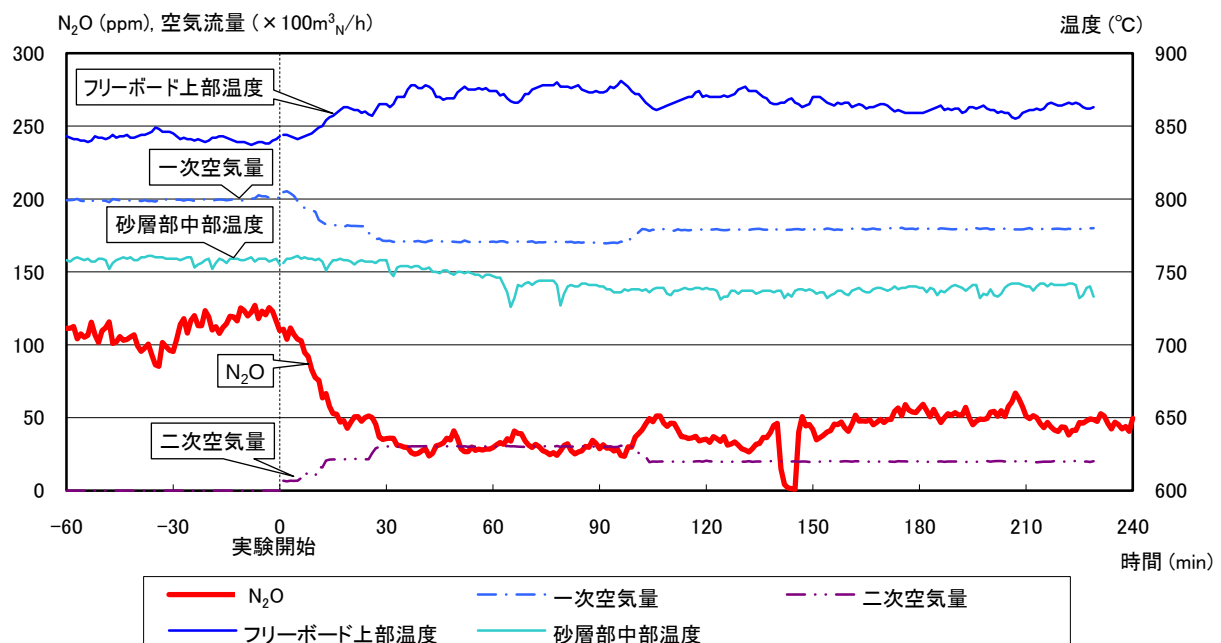


図10 南部スラッジプラント3号炉実験トレンドグラフ

なお、開始後140分頃にN₂O濃度が大きく低下しているのは、N₂O計測器の校正を行ったためであり、これも含め、N₂O自動計測器の測定に問題はなかった。

N₂O排出量を表4に示す。多層燃焼のN₂O排出量は、高温焼却の約6割減、通常焼却の約9割減となった。

今回の実験は、既設のフリーボードバーナーを利用して二次空気を送る簡易的な多層燃焼であり、N₂O排出量削減に最適な吹込位置ではなかったが、効果が確認できた。

なお、実験中に燃焼状態が不安定になったことについては、一次空気を減少させても砂層温度が低下しないような方策が必要と考える。

今後、改良工事を行い、空気吹き込み口の位置や数量等を最適化することにより、今回の実験結果よりも大きな効果が見込まれる。

表 4 南部スラッジプラント 3 号炉における N₂O 排出量

条 件	空 気 比		N ₂ O 排出係数	
	一 次	二 次	(kg・N ₂ O /DS・t)	比 率 ※ 1
通常焼却	—	—	8.19 ^{※2}	100
高温焼却	—	—	2.33 ^{※2}	28
多層燃焼	1.2	0.2	0.97 ^{※3}	12

※1 通常焼却（800℃）を 100 とした値

※2 アースプラン 2004 より

※3 実測値（排ガス量：26,500 m³_N /h，N₂O 濃度：49 ppm）より算出

4. 実験結果の考察

実験炉及び南部スラッジプラント 3 号炉での実験の結果から，多層燃焼は高温焼却と比較して N₂O 排出量と燃料使用量を同時に削減することが可能である。

さらに，排ガス成分や焼却灰の性状も通常焼却と変わらないことも確認した。

以上のことから，多層燃焼の有効性が確認でき，実用化への基礎データを得ることができた。

5. 今後の展開

既存の流動焼却炉からの改造については，主に二次・三次空気の配管を設置する等，比較的容易に行うことができる。

南部スラッジプラント 3 号炉では，2008（平成 20）年度から多層燃焼化の工事を行い，2009（平成 21）年度から多層燃焼を開始する。

今後，二次空気量，三次空気量，燃料使用量や汚泥性状の変化による N₂O 排出量の変動や継続的な安定運転について検証を行っていく。

3-(1)-2 混合汚泥に対する二重円筒加圧脱水機の脱水性能について

流域下水道本部技術部施設管理課 鈴木 勝
(現施設管理部施設保全課)

1. はじめに

従来下水道局では汚泥処理施設の脱水設備として主に遠心脱水機が採用されてきた。遠心脱水機は、維持管理性や操作性に優れており、当局の水再生センターのように多様かつ大量の汚泥を処理する施設に適していた。³⁾

しかし最近では、コスト縮減や地球環境保全へのニーズの高まりから、遠心脱水機に代わる脱水性能と省エネルギー性を両立させた汚泥脱水機が求められるようになっている。中でもスクリープレス脱水機や回転加圧脱水機等の金属ろ材脱水機はこの点で優れており、当局での採用も検討されてきた。

今回報告する「二重円筒加圧脱水機」(以下、「本脱水機」という)は、金属ろ材脱水機の一つで、脱水汚泥の低含水率化、省エネルギー性、縦型配置構造等の特徴としている。当課では、本脱水機の実機規模での脱水性能及び当局における実用化の可能性について検証するため、共同研究を実施した。その内容を報告する。

2. 構造・原理

2.1 構造・原理

図1に本脱水機の基本構造を示す。同心配置された大小2つの金属製円筒ろ材(以下、「内筒スクリーン・外筒スクリーン」という)、スパイラル板および背圧板により構成される。内外筒スクリーンは、同方向、同角速度で回転し、挟み込んだ汚泥を円周方向に搬送する。一方、スパイラル板は、内外筒間に位置し、上部で固定されており回転しない。

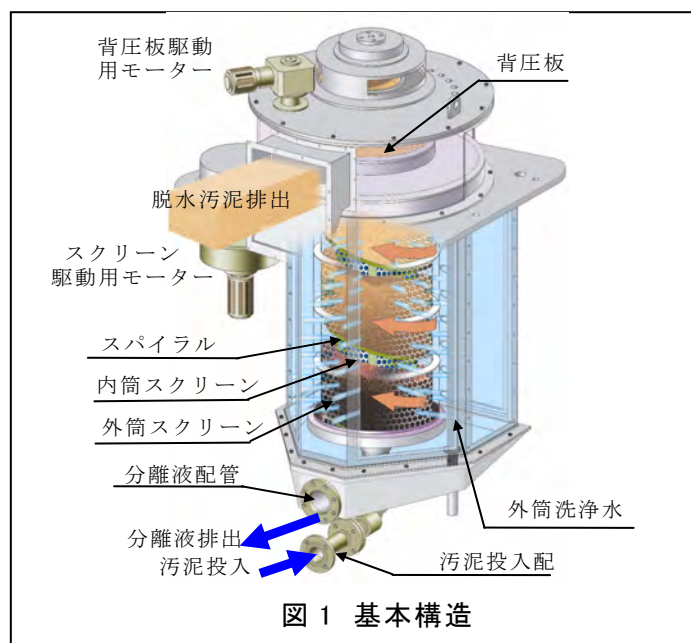


図1 基本構造

※補足説明：ろ過面積とろ過速度($\text{kg}\cdot\text{DS}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)について

本脱水機のサイズは、外筒ろ過面積(m^2)で示す。これにろ過速度($\text{kg}\cdot\text{DS}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)を掛けることにより、時間当たりの処理量($\text{kg}\cdot\text{DS}/\text{h}$)を算出できる。例えば、 5.0m^2 機で、濃度3.5%の汚泥をろ過速度 $140\text{ kg}\cdot\text{DS}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ で処理する場合、 $140 \times (100/3.5) = 4\text{t}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 、 $4\text{ t}/\text{m}^2\cdot\text{h} \times 5.0\text{m}^2 = 20\text{t}/\text{h} (= \text{m}^3/\text{h})$ となる。(汚泥 $1\text{t} = 1\text{m}^3$ とする)

2.2 脱水機構

図 2 に内部構造を示す。脱水機下部より投入された濃縮汚泥は、以下の 3 つのゾーンを経て脱水される。

2.2.1 ろ過濃縮ゾーン

高分子凝集剤により凝集された汚泥は、汚泥供給ポンプにより機器下部の汚泥投入管よりスパイラル板に圧入される。充填された汚泥は汚泥供給ポンプの圧入圧 (MAX50kPa) をろ過差圧として内外筒スクリーンでろ過濃縮される。

2.2.2 圧搾脱水ゾーン

ろ過濃縮された汚泥は、粘性が上昇し流動性を失って半固形物状となる。このため、内外筒と汚泥の間に摩擦が生じ、回転する内外筒に挟まれスパイラルに沿って円周方向の搬送作用を受ける。これを両面搬送という。両面搬送とスパイラルの間に生じる干渉により汚泥には大きなせん断効果が与えられ、脱水される。

2.2.3 背圧ゾーン

背圧板は汚泥の排出面積を減少させることで更に高いせん断および圧搾効果を生じさせる。この工程により、高い内圧 (MAX150~200kPa) にて汚泥を脱水し排出する。

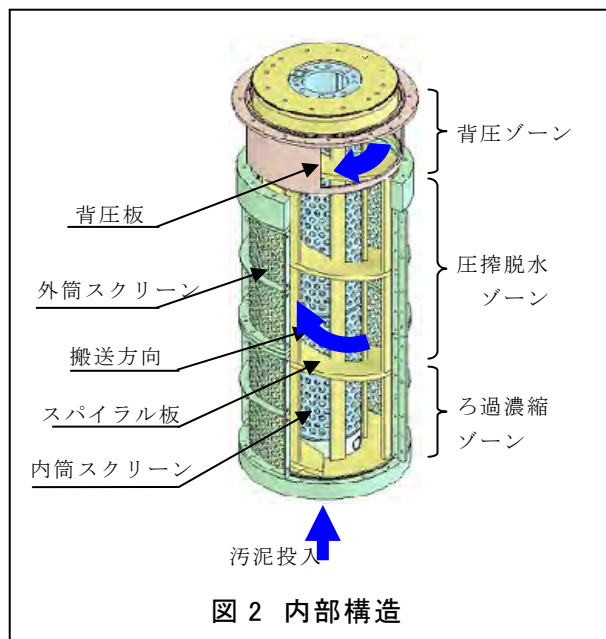


図 2 内部構造

2.3 特徴

2.3.1 汚泥の低含水率化が容易

本脱水機は、スクリーン両面ろ過及びスクリーン両面搬送の機構を有しているため、既存の脱水機と比べて脱水汚泥の低含水率化が容易である。

2.3.2 設置面積が小さい

本脱水機は、縦型配置であるため、脱水機の必要設置面積が小さい。また、設置架台を簡素化できるため、高さも既存の遠心脱水機とほぼ同等である。このため、建設費の縮減やスペースの有効利用が図れる。

2.3.3 所用動力が小さい

脱水中の内外筒スクリーンの回転数は $0.3 \sim 1.5 \text{min}^{-1}$ と低速回転であるため、消費動力を低減できる。

2.3.4 補修が容易

遠心脱水機と比べて部品の組み立て精度を要しないため、現場でのオーバーホールが可能であり、設備補修費を縮減できる。

2.3.5 柔軟な運転対応が可能

処理量重視の運転から含水率重視の運転まで、幅広い範囲で任意の運転方法を選択できる。

2.4 運転方法

2.4.1 処理フロー

本脱水機の処理フローは図3に示すとおり、一般的な汚泥脱水機とほぼ同じである。脱水機の前段に凝集混和槽が設置されており、ここで高分子凝集剤と濃縮汚泥を混合し凝集フロックを形成する。凝集混和槽は圧力タンクになっており、汚泥はその圧力で脱水機本体に圧入される。凝集混和槽内の圧力は汚泥供給ポンプの回転数によって制御される。

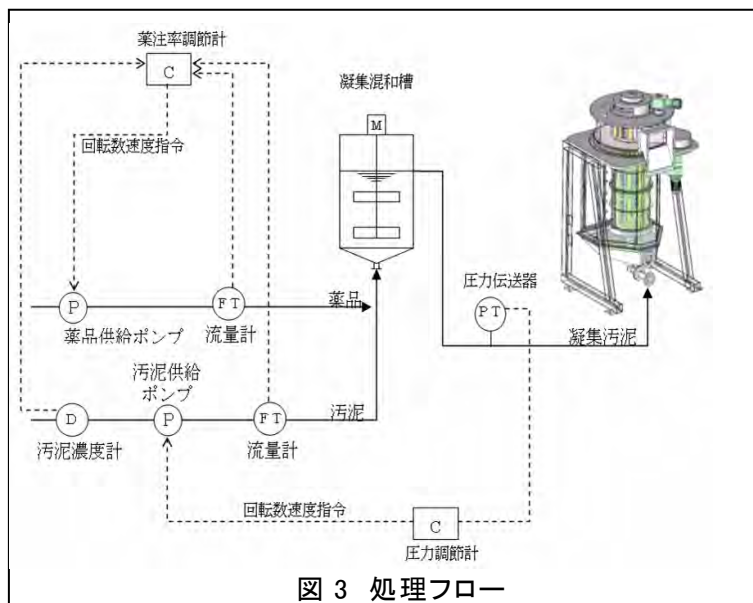


図3 処理フロー

2.4.2 制御方法

本脱水機は、以下の3つの方法で自動制御する。

(1) 圧入圧力一定制御

脱水機への汚泥投入圧力が一定となるように汚泥供給ポンプの吐出量を調整する制御。脱水機下部の汚泥配管に取り付けられた圧力伝送器で脱水機への汚泥投入圧力を検出し、圧力が一定となるように汚泥供給ポンプの回転速度指令を出力する。

(2) 薬注比例制御

脱水機に供給される汚泥に対し、一定の薬注率となるように薬品供給流量を調整する制御。汚泥流量計、汚泥濃度計の数値を制御盤に取り込んで固形物量(kg・DS)を演算し、それに対する薬品の注入率が一定となるように薬品供給ポンプの回転数を調節する。

(3) 含水率一定制御

本脱水機は、内外筒駆動機のトルクと含水率に一定の相関性が確認されている。この原理を利用して、駆動機のトルクで脱水汚泥含水率を検出し、一定の含水率になるようにスクリーン回転数を制御する方法である。この方法は現在試験段階で本研究では用いなかったが、本脱水機の弱点である急激な汚泥性状の変化に対する応答性の改善に効果が期待できる。

2.4.3 運転操作因子

本脱水機の脱水性能に影響を及ぼす運転操作因子及び操作因子を操作(上昇)させた場合の傾向を表1に示す。

表 1 二重円筒加圧脱水機の運転操作因子

操作因子	操作因子を上昇させた場合の傾向(参考)		
	処理量	含水率	SS 回収率
スクリーン回転数	増加	上昇	----
圧入圧力	増加	低下	低下
背圧板開度	増加	上昇	上昇
薬注率	過剰でも過少でも脱水性能が悪化する。		
凝集混和槽の攪拌機回転数	高速でも低速でも脱水性能が悪化する。		

3. 研究の概要

3.1 研究目的

多摩川上流水再生センターの濃縮汚泥を対象とした本脱水機の性能把握と、省エネルギー性、省スペース性の評価を実用規模で検証すること。

3.2 経緯

本脱水機については、(財)下水道新技術推進機構において 2 年間にわたって共同研究が実施され、平成 20 年 5 月には成果証明書が発行されている。この研究は、主に脱水汚泥の低含水率化を目指したもので、その研究成果として図 4 の「標準性能」が設定された。²⁾

一方、当局における実用化にあたっては、上の研究成果に加え、以下の課題をクリアする必要がある。

(1)十分な処理能力(処理量)

汚泥脱水機の更新は 1,2 台単位で行われることが多いため、全台の更新が完了するまでは、既設脱水機と混在して運転することになる。この場合、低含水率化できても既設脱水機と同等の処理量が確保できないと運転が煩雑になるため、十分な処理能力を確保する必要がある。

(2)良好な応答性

汚泥の性状は、天候や水質、汚泥の長距離輸送などによって急激に変化することがある。そうした変動にも追従できる応答性を有する必要がある。

3.3 研究目標

3.2 で述べた理由により、本研究では新たに以下の目標を設定した。(図 4「研究目標」)

研究目標 A: 既設遠心脱水機と同等の含水率 78%のとき、ろ過速度 140kg・DS/m²・h(5.0m²機で約 20m³/h 相当)の汚泥を処理できる。

研究目標 B: 後段の汚泥搬送設備(圧送ポンプ)で搬送できる最低の含水率 75%のとき、100kg・DS/m²・h(5.0m²機で約 14m³/h 相当)の汚泥を処理できる。

目標 A、B いずれにおいても SS 回収率 95%以上とする。

3.4 研究期間

平成 19 年 7 月 27 日から平成 20 年 7 月 31 日まで

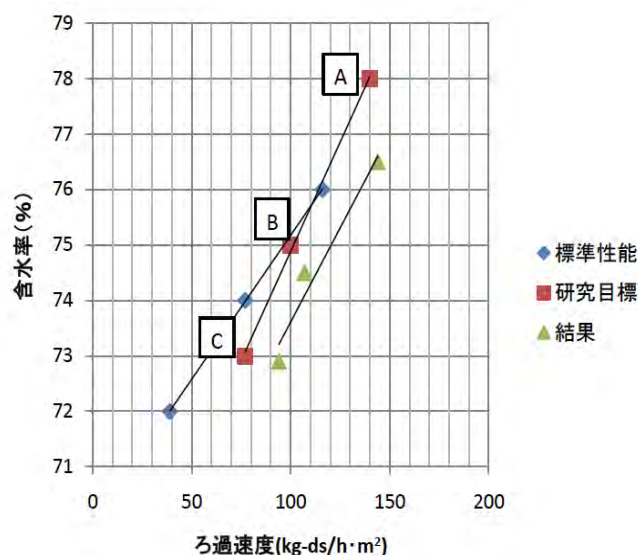


図 4 標準性能と研究目標

3.5 研究フィールド

3.5.1 フィールドの概要

東京都下水道局流域下水道本部 多摩川上流水再生センター(分流式)

・下水処理量:164,936m³/日(平成19年度実績)

・汚泥処理量:7,887m³/日(〃)

・脱水汚泥発生量:149t/日(〃)

3.5.2 汚泥処理施設の概要

多摩川上流水再生センター汚泥処理フローを図5に示す。

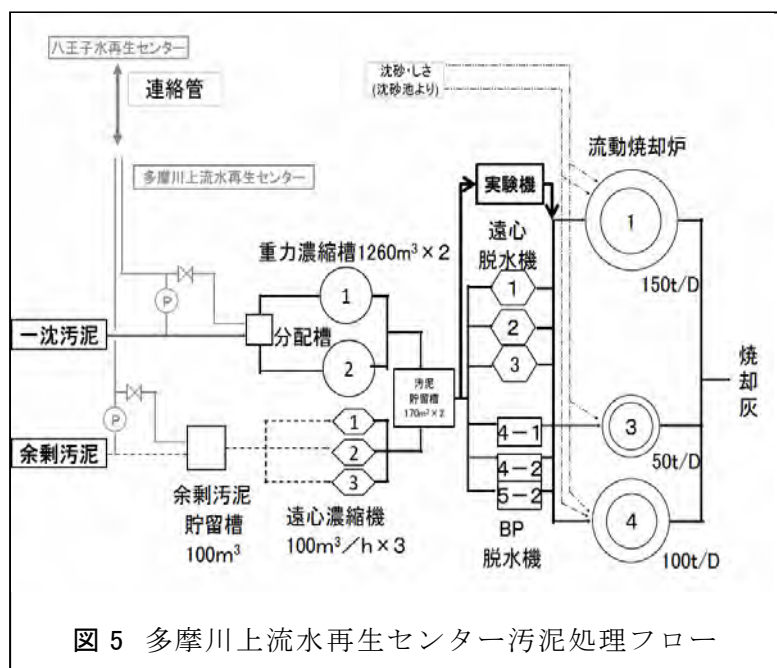


図5 多摩川上流水再生センター汚泥処理フロー

3.5.3 フィールドの汚泥性状

多摩川上流水再生センターの汚泥の特徴は以下のとおりである。

- (1) 全国的な傾向からすると、分流式下水処理場の混合生濃縮汚泥としては繊維質が多く、比較的脱水性の良い汚泥と言える。
- (2) 夏季の汚泥は、腐敗傾向がみられるものの脱水性が悪化するほどのものではない。
- (3) 冬季の汚泥は、有機分が高く脱水性が悪化する傾向がある。
- (4) 一沈汚泥と余剰汚泥の比は通常7:3程度であるが、水処理運転管理の都合上、遠心濃縮機の運転台数を変更した場合や、天候、工事等の事情によって5:5程度まで変動することがある。
- (5) 八王子水再生センターから汚泥を受け入れる際、連絡管内に残留している腐敗した汚泥の影響を受けることがある。

3.6 実験機仕様

実験に用いた二重円筒加圧脱水機の仕様を表2に示す。

本研究は実機規模での脱水性能の検証を目的としているため、5.0m²機をメインとして用いる。併用する1.5m²機は、パイロット機として随時基礎データの収集に使用する。これは、初期の調整段階において大型機で実験を行うと汚泥処理施設に与える影響が大きいためである。なお、実験機の電動機は、通常より大容量のものを使用している。

表2 実験機の仕様

型式	1.5m ² 機 二重円筒加圧脱水機
円筒スクリーン	φ500mm×1000mmH(外筒ろ過面積1.5m ²)
外形寸法(mm)	2000W*2000L*3200H(ユニット) 1500W*1500L*3000H(本体)
駆動用電動機	外筒スクリーン用:7.5kW/内筒スクリーン用:3.7kW

型式	5.0m ² 機 二重円筒加圧脱水機
円筒スクリーン	φ 800mm×2000mmH(外筒ろ過面積 5m ²)
外形寸法(mm)	2020W*2020L*5550H
駆動用電動機	外筒スクリーン用：22kW／内筒スクリーン用：15kW

3.7 実験方法

四季を通じて実験を行い、各季の汚泥性状に対応できることを確認する。

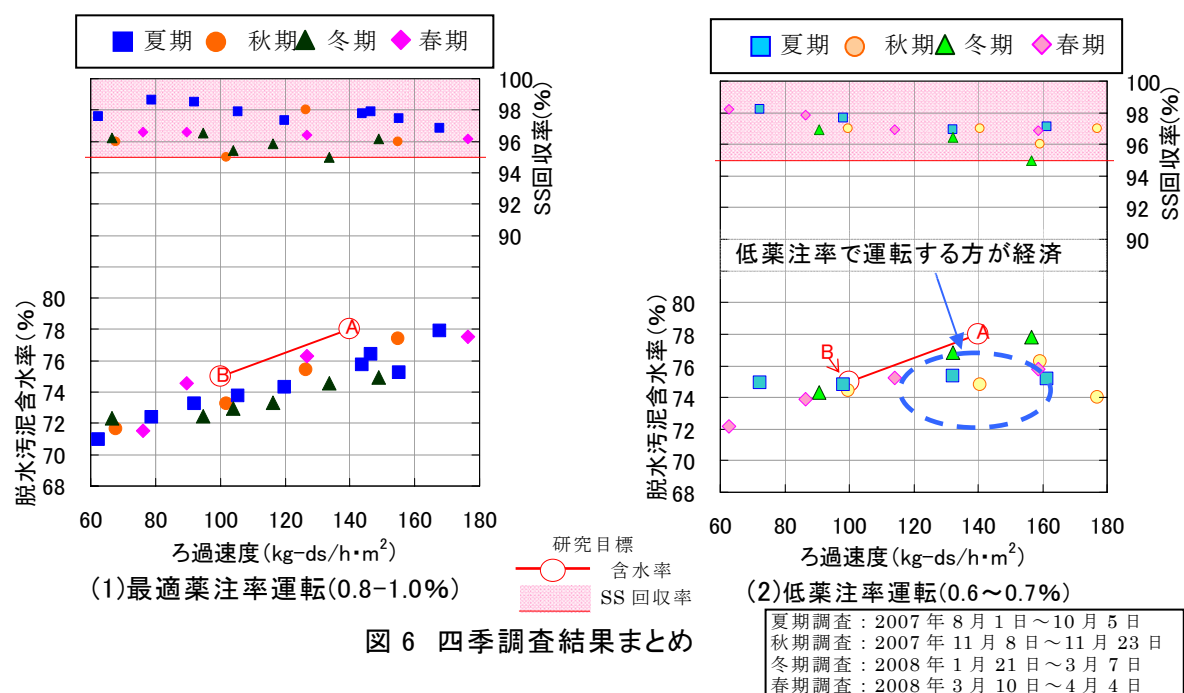
1.5m²機による実験データに基づき、5.0m²機でスケールアップ検証を行う。

24時間連続運転を行い、安定性の検証を行う。

4. 研究結果

4.1 薬注率

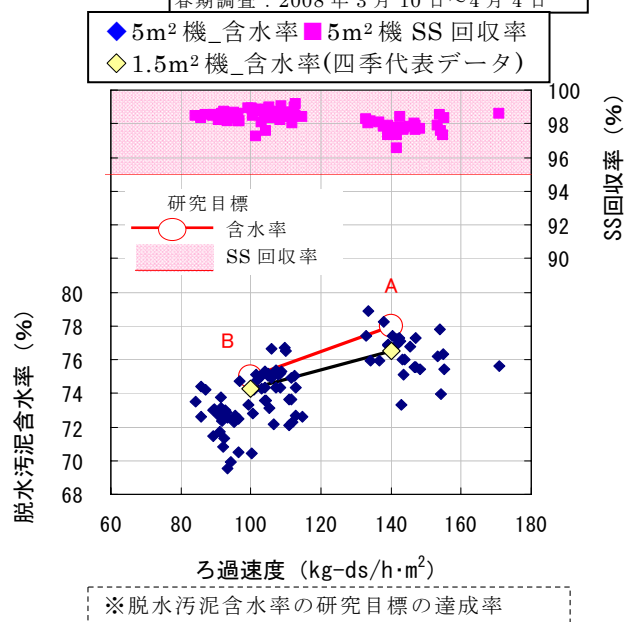
本研究では、フィールドで使用されている薬品とほぼ同等の高分子凝集剤(高カチオン)を



使用した。四季調査の結果を図 6 に示す。

目標 A：最適薬注率(0.8～1.0%)と低薬注率(0.6～0.8%)において良好な脱水性能を確認した。この結果より、目標 A では低薬注率で運転できることが分かった。

目標 B：最適薬注率では良好な脱水性能が確認できたが、低薬注率では、目標性能を逸脱する傾向が見られた。このため、目標 B では、最適薬注率で運転することとした。



なお、1.5m²機、5.0m²機とも同様の傾向が確認された。

4.2 処理量・含水率

処理量及び含水率の結果を図 7 に示す。

目標 A：1.5m²・5.0m²機とも、含水率 78%のとき、ろ過速度 140kg-DS/m²・h を達成した。

目標 B：1.5m²・5.0m²機とも、含水率 75%のとき、ろ過速度 100kg-DS/m²・h を達成した。なお、図 7 では 1.5m²機のデータは四季代表データをポイントしているのに対し、5.0m²機のデータは春季データのみとなっている。その理由については(3)で述べる。

4.3 SS 回収率

1.5m²機の SS 回収率は、図 6、7 のとおりどの運転条件でも常に目標とした 95%以上を達成した。

5.0m²機の SS 回収率は、夏季から冬季試験において目標 A では常に 95%以上の回収率を達成したものの、目標 B では 95%以下となることが多かった。このため、夏季から冬季試験中は運転操作によって回収率の向上を目指したが、目標を達成できなかった。

そこで、春季試験では、外筒・内筒スクリーンの目幅の変更(細孔化)を行った。(表 3)その結果、SS 回収率が改善され、目標性能を達成することができた。なお、細孔化後のスクリーンを 1.5m²機に取り付けて実験したところ、問題なく運転することができた。

表 3 細孔化前後のスクリーン目幅

機種	細孔化前	細孔化後
スクリーン目幅 (mm)	φ 0.6、0.6、0.35、0.28	φ 0.48、0.35、0.35、0.28

※スクリーン目幅は機器下部～上部にかけてのろ材の孔径で表記する。

下水道新技術推進機構の研究結果よれば、本脱水機は単純なスケールアップが可能とされており、本研究においても実験前はそうになるものと考えられた。しかし、実際には SS 回収率においては単純なスケールアップが成立しなかった。その理由として以下の点が考えられる。

(1)圧入圧力の影響

3.2 で述べた実験条件の違いから、本研究では比較的高い圧入圧力を設定して運転することとなった。特に目標 B ではこの傾向が顕著なため、SS 回収率が悪化しやすい条件下での実験となった。

(2)スクリーン回転数の影響

研究目標のろ過速度は、100～140kg-ds/h・m² で、標準性能値(39～116kg-ds/h・m²)より大きく、通常よりも速いスクリーン回転数で運転することとなった。このため、大型機と小型機の回転数の差が相対的に大きくなり、変更前のろ材構成では、高処理量において特に初段部（ろ過濃縮ゾーン）における SS 分の流出が顕著であった。

(3)汚泥性状の変動に対する応答性

一般に、ろ過式脱水機は遠心脱水機に比べて汚泥性状の変動に対する応答性が悪いと言われている。そこで、本研究では、脱水機の 24 時間連続運転を実施し、応答性の検証を行った。その結果を図 8、9 に示す。

この結果より、応答性については遠心脱水機に比べ若干劣ることが確認されたが、実験中供給汚泥濃度が大きく変動したにもかかわらず、本脱水機の含水率は約 80%以上のデータが±2%以内にとどまり、運転上支障の無い範囲であった。なお、今回の実験では

薬注率比例制御と圧入圧力一定制御の併用制御を行っているが、含水率一定制御を加えることにより、応答性の改善が期待できる。

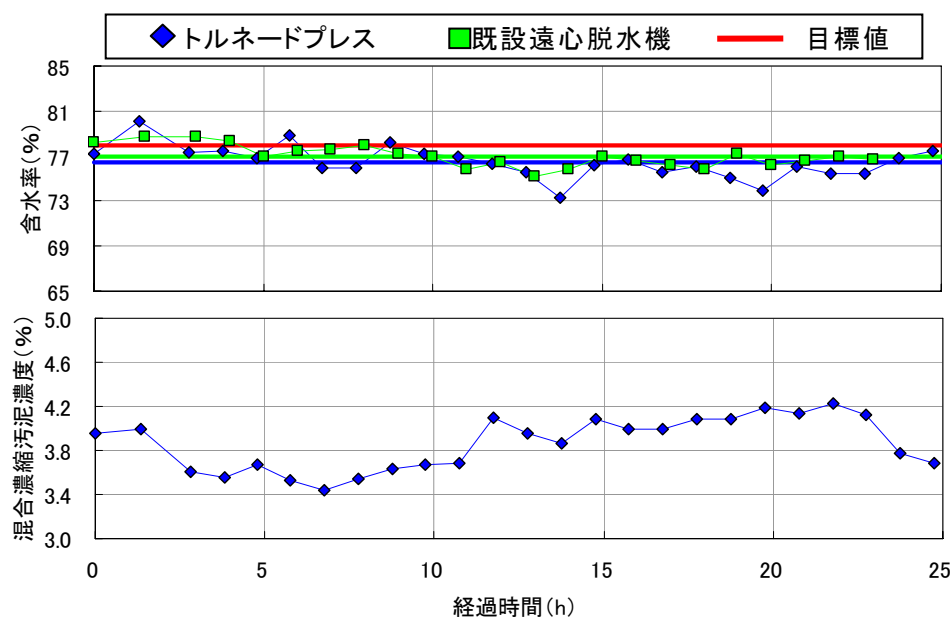


図 8 連続運転結果_研究目標 A(5m² 機)

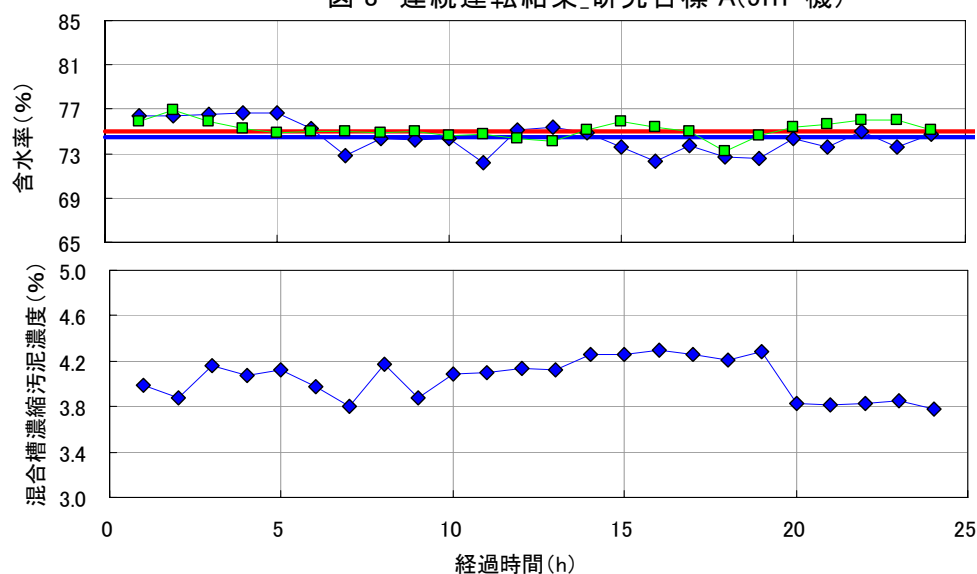


図 9 連続運転結果_研究目標 B(5m² 機)

4.4 消費電力

本研究での実績をもとに、既設遠心脱水機(20m³/h)と本脱水機を同一条件下で運転した場合の消費電力量を試算した。その結果を図 10 に示す。本脱水機の消費電力は、内筒スクリーン駆動用電動機、外筒スクリーン駆動電動機、凝集混和槽攪拌機電動

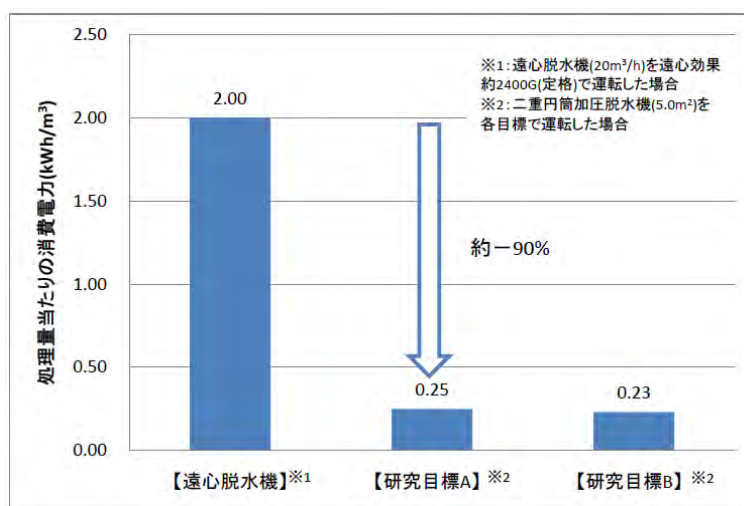


図 10 処理量あたりの消費電力比較

機の消費電力の合計とした。

4.5 設置スペース

実験機(5.0m²機)の設置面積(点検架台、凝集混和槽等含む)は約 16m²で、遠心脱水機(20m³/h 機)の 76m²に比べ約 80%小さかった。実験機の高さは 5.85m(補修に必要な維持管理スペース含む)で、遠心脱水機の 5.35m に比べやや高いものの、設置に支障のない範囲であった。床面にかかる荷重は、設置架台に本体をつりさげる構造で分散できるので、問題なく設置できた。

4.6 コスト試算結果

本研究での実績をもとに、既設遠心脱水機(20m³/h)とのコスト試算を行った。その結果を図 11 に示す。

トータルでは、目標 A,B とも約 30%のコスト削減が見込まれた。その内訳は次のとおりである。

建設費は、約 50%の低減が見込まれる。これは、本脱水機が低速回転機器であり、遠心脱水機ほどの精度を要しないこと、また、設置スペースの縮小、点検架台の簡素化等の要因による。

維持管理費は、12~17%程度の低減が見込まれる。電力購入費及び設備補修費は、目標 A,B ともに大幅に低減される。污泥焼却設備における補助燃料購入費は、目標 A ではほぼ同等、目標 B では大幅減となる。一方、薬品購入費は、目標 A で若干増、目標 B で大幅増となる。

4.7 温室効果ガス(GHG)排出量試算結果

本研究での実績をもとに、既設遠心脱水機(20m³/h)との GHG 排出量の比較を行った。その結果を図 12 に示す。

目標 A においては、遠心脱水機とほぼ同等となる。これは、電力由来分は削減されるものの、薬品由来分が増加するためである。

目標 B では、遠心脱水機より約 37%の削減が可能である。これは、主に含水率の低減に

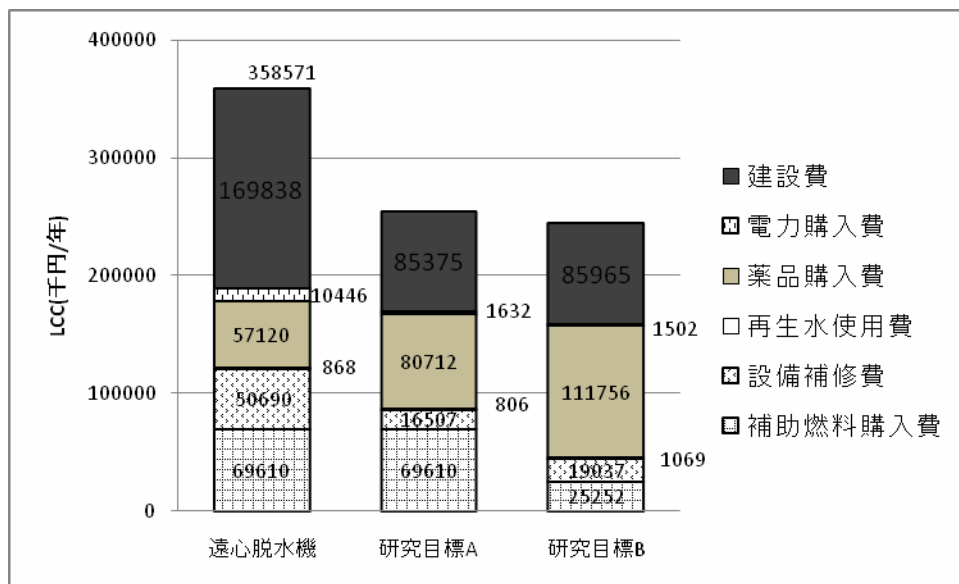


図 11 コスト試算結果

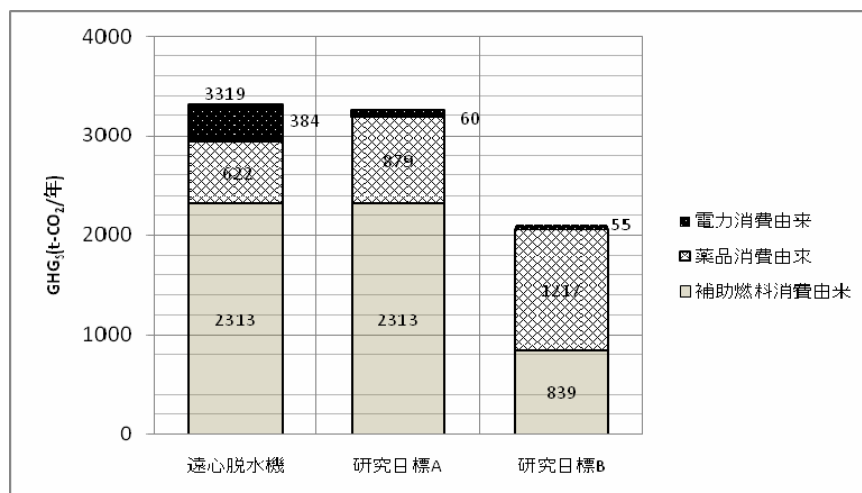


図 12 GHG 排出量試算結果

よる後段の汚泥焼却炉での補助燃料削減によるものである。

5. まとめ

本研究を通して、二重円筒加圧脱水機について以下の知見を得ることができた。

- (1)目標 A,B とともに当初の目標を達成したことにより、遠心脱水機の代替として実用可能な機器であることが確認された。
- (2)処理量重視－含水率重視運転のいずれにも柔軟に対応可能であることを確認した。
既設遠心脱水機に対し、コスト削減、温室効果ガス排出量削減の点で優位であることが確認された。
- (3)維持管理費削減及び温室効果ガス排出量削減については、目標 A より目標 B のほうが効果的であることが確認された。搬送設備や汚泥処理量等の問題を解決できれば、できる限り低含水率で運転することが望ましい。
- (4)薬注率、汚泥処理量、含水率等については単純なスケールアップが成立するが、SS 回収率は成立しない場合がある。大型機を導入する場合は、スクリーン目幅を慎重に選定する必要がある。
- (5)本研究は、流域下水道における汚泥を対象にしたものである。難脱水性汚泥を対象とする場合は、別途検討する必要がある。

6. おわりに

今回の研究に際して比較した遠心脱水機は、平成 17 年度に多摩川上流水再生センターに設置された「直胴型遠心脱水機」である。最新の遠心脱水機はさらなる低動力化等の改良が加えられており、現時点ではどちらが有利か一概には言えない。しかし、本脱水機は開発されて間もないため、今後、薬品使用量の低減や応答性の向上、軽量化等の改良が期待できる。また、本研究では、汚泥搬送設備の制約により含水率の下限を 75%としたが、実際には 72%程度の運用も可能である。縦型配置による省スペース性と併せて考えると、ガス化炉・炭化炉や脱水機から焼却炉への直接投入、汚泥処理のユニット化等、新たな技術へ応用できる可能性があり、今後、当局のコスト削減や温室効果ガス排出量削減等の取り組みに貢献するものと思われる。

参考文献：

- 1) ノウハウ+フィールド提供型共同研究報告書「混合生汚泥に対する二重円筒加圧脱水機の脱水性の共同研究」 流域下水道本部技術部施設管理課・月島機械株式会社 平成 20 年 1 月
- 2) 二重円筒加圧脱水機技術マニュアル 財団法人下水道新技術推進機構 2008 年 3 月
- 3) 下水汚泥処理の維持管理 東京都下水道サービス株式会社 平成 17 年 3 月
- 4) 汚泥処理設備設計マニュアル(1/2)(汚泥処理・脱水設備編) 東京都下水道局建設部 平成 19 年 3 月

3-(1)-3 薄膜型太陽電池による太陽光発電システムの開発

計画調整部 技術開発課；遠藤 和広

田崎 敏郎

(現 建設部設備設計課)

1 はじめに

現在、地球温暖化は世界的に喫緊の課題となっており、その対策の必要性は論をまたない。地球温暖化は、二酸化炭素などの温室効果ガスがその原因の一つと言われている。その対策として、東京都では「カーボンマイナス東京 10 年プロジェクト」を策定するなど、全庁的な取り組みを行っている。

当局でも、「アースプラン 2004」を策定し、下水処理により発生する温室効果ガスの削減や、温室効果ガスの排出が少ない資源・エネルギーへの転換などの対策に取り組んでいるところである。「再生可能エネルギーの活用」は、これらの取り組みにおける大きな柱の一つであり、これまで、小水力発電設備やバイオマス発電設備などを導入している。

近年、再生可能エネルギーの一つとして太陽電池が注目されており、これまでの課題であったコストも急速に低下している。太陽電池は、クリーンな太陽エネルギーを利用して発電するもので、温室効果ガス排出量の削減に寄与できる。また、外部に頼らない自前の電源であることから電源の多様化につながり、危機管理対応の一環としても期待できる。さらに、正午ごろに最も発電量が多くなることから、ピーク電力の削減に貢献できる。

当局には広大な敷地を有する施設が多く、太陽光発電設備の導入可能場所は多いとみられる。しかし、そのうちの多くの面積を占める水再生センターなどの上部は、点検や工事の際にスペースが必要である。再生可能エネルギーの更なる導入のためには、水再生センターなどの上部の空間を有効に活用できる太陽光発電システムが必要であった。

本研究は、こうした背景から、下水道施設の環境に適した太陽光発電システムを開発し、地球温暖化対策に貢献することを目的とした。

本報告では、今回用いた太陽光発電システム及び太陽電池モジュールについての概要と、研究概要、実験内容、実験結果及びそこから得られた知見について述べる。

2 太陽光発電システム及び太陽電池モジュールの概要

本研究で用いたシステムは、「一軸追尾架台」及び「薄膜型太陽電池モジュール」を採用している。以下にその特徴を述べる。

2.1 一軸追尾架台

水再生センターの反応槽や沈殿池の上部は広い空間があるものの、処理設備の操作盤や、メンテナンス等に必要な点検蓋などが設けられている。作業時にはこれらの周辺にスペースが必要であるため、地面などに据え付ける通常の固定架台を用いることができない。そこで、本システムでは、「一軸追尾架台」を採用することとした。

一軸追尾架台は、地面と水平な一軸の可動機構をもった架台であり、太陽の方位変化に合わせて太陽電池モジュールを傾斜させることができる。

一軸追尾架台は以下の点で、水再生センターでの設置に適した方式である。

- (1) 覆蓋部や点検蓋を避けて支柱を立てることができる。
- (2) 処理設備の操作やメンテナンス時には、ドライブユニットで太陽電池モジュールを一時的に傾けることにより、作業スペースを確保できる。
- (3) 太陽の方位を追尾することによって、発電量の増加が期待できる。

2.2 薄膜型太陽電池モジュール

本研究では、太陽電池モジュールとして薄膜型太陽電池モジュールを採用した。薄膜型太陽電池は、現在主流の結晶型太陽電池に比べ、主原料のシリコンの使用量が約 1/100 であり、製造工程に要する時間も概ね 1/7 と短い。結晶型太陽電池に比べて、発電効率は多少低下するものの、大幅なコストダウンが期待できることから、設置面積に制約の少ない場所への導入に適している。

3 研究概要

3.1 概要

本研究は、当局の共同研究形態の一つである「ノウハウ+フィールド提供型共同研究」で実施した。

(1) 共同研究者

シャープ株式会社

(2) 目的

下水道施設に適した太陽光発電システムの開発

(3) 内容

太陽の動きによってモジュールが可動する一軸追尾架台と、薄膜型太陽電池を採用した、新型の太陽光発電システムを水再生センターに設置し、日射量、発電電力量、経時変化傾向、系統への影響などの評価を行う。なお、一軸追尾架台による発電電力量増加効果を検証するため、固定架台型も同時に設置した。

(4) 研究場所

葛西水再生センター（東京都江戸川区臨海町 1-1-1）内 南系処理施設

北緯 35° 38.7'

東経 135° 51.1'

図 1 に太陽光発電システム設置場所の平面図を示す。

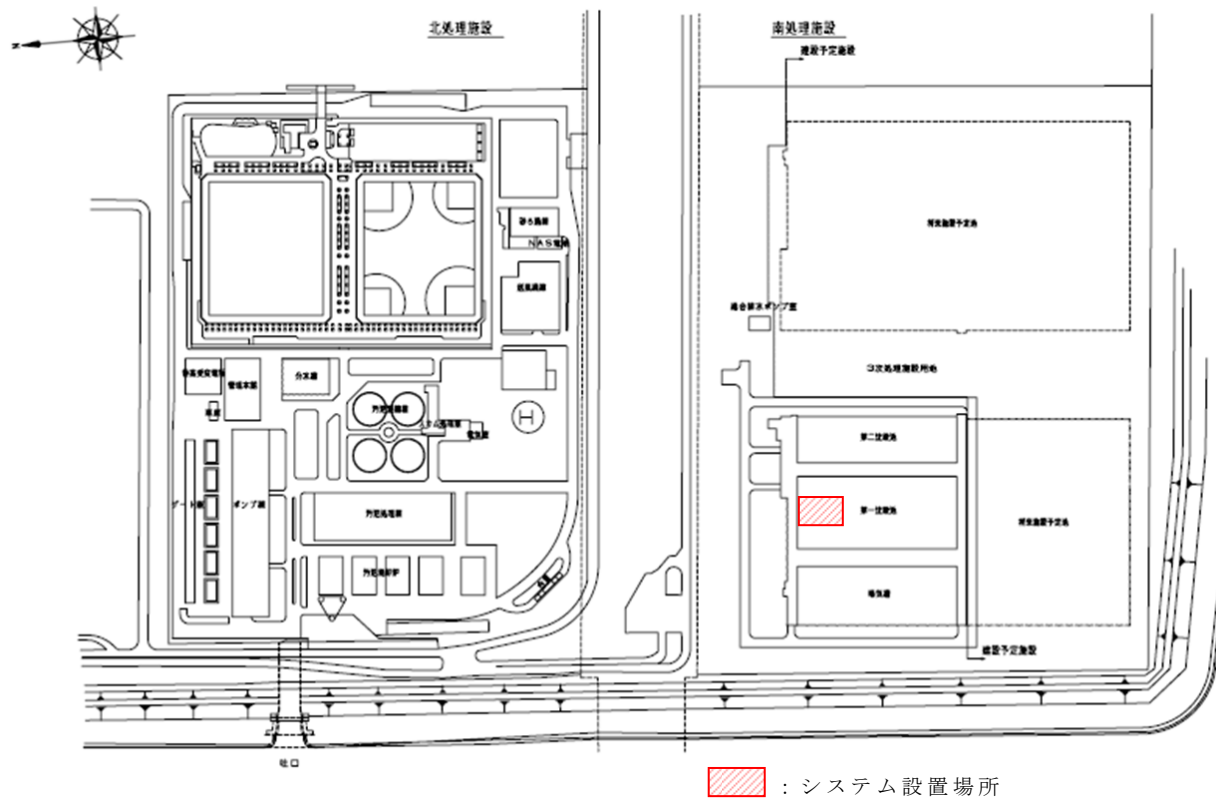


図 1 設置場所平面図

3.2 システム構成

図 2 にシステム構成、図 3 にシステム機器配置を示す。一軸追尾架台型、固定架台型とも、太陽電池の容量は 1kW とした。

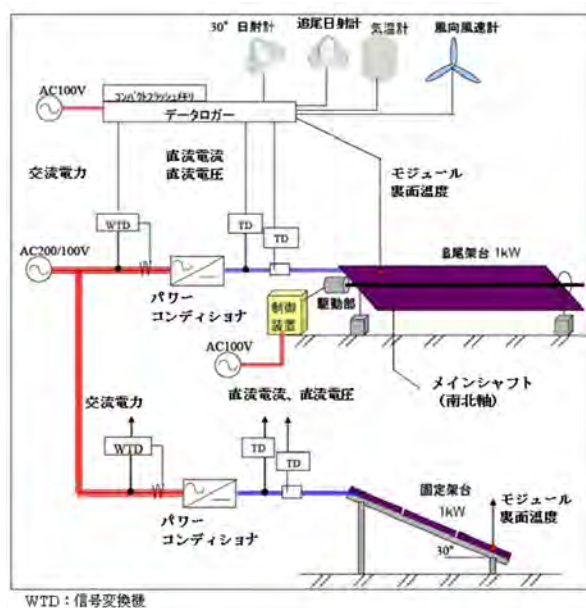


図 2 システム構成

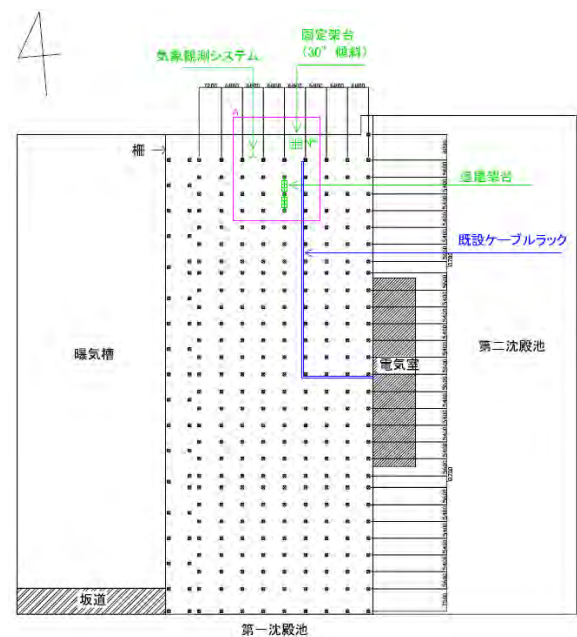


図 3 システム機器全体配置
(南系処理施設第一沈殿池上部)

表 1 に、システムを構成する主要機器のリストを示す。

表 1 主要機器リスト（太陽光発電システム）

機器名	員数	単位	備考
薄膜型太陽電池モジュール（定格出力 90W）	24	枚	
パワーコンディショナ	2	台	
一軸追尾架台	1	式	SS 製
固定架台	1	式	SS 製

3.3 システム仕様

（1）システム容量

定格出力 90W の薄膜型太陽電池モジュールを、一軸追尾架台型、固定架台型とも各 12 枚使用した。

以下に、モジュール 12 枚分の出荷データから算出したシステム容量を示す。

一軸追尾架台型 : 1.0896kW

固定架台型 : 1.0904kW

（2）モジュールの接続構成

4 直列×3 並列（一軸追尾架台、固定架台ともに）

（3）一軸追尾架台構成

一軸追尾架台のメインシャフトに薄膜型太陽電池モジュールを 6 枚取り付け、これを 2 セット用いた。なお、一軸追尾架台は、第一沈殿池上部に既設の未利用の上部施設用基礎に支持架台を固定して設置した。

（4）一軸追尾架台の追尾方式

一軸追尾架台は、南北方向にほぼ水平なメインシャフトを軸として、モジュールに固定したセンサーを用いて太陽を追尾する。メインシャフトは真南から +5°（時計回りをプラス）の方位を向いている。これは、葛西水再生センター南系処理施設全体がその方位を向いているためである。

傾斜角は約 ±45° の間で駆動する。

（5）固定架台設置条件

固定架台の設置条件は以下とした。

方位角：真南から +5° 方向

傾斜角：30°

（6）系統連系点

葛西水再生センター南系処理施設照明分電盤

3.4 システム外観

図 4 に一軸追尾架台、図 5 に固定架台の太陽光発電システムの外観を示す。



図 4 一軸追尾架台＋薄膜型太陽電池



図 5 固定架台＋薄膜型太陽電池

3.5 薄膜型太陽電池モジュールの仕様・寸法

表 2 に薄膜型太陽電池モジュールの電気的特性（定格値）を示す。

表 2 薄膜型太陽電池モジュールの電気的特性（定格値）

	記号	特性値		単位
最大出力 (許容範囲)	P _{max}	90		W
		+ 10	－ 10	
開放電圧	V _{oc}	65.2		V
短絡電流	I _{sc}	2.11		A
最大出力動作電圧	V _{mpp}	49.3		V
最大出力動作電流	I _{mpp}	1.83		A

図 6 に薄膜型太陽電池モジュールの外形寸法を示す。

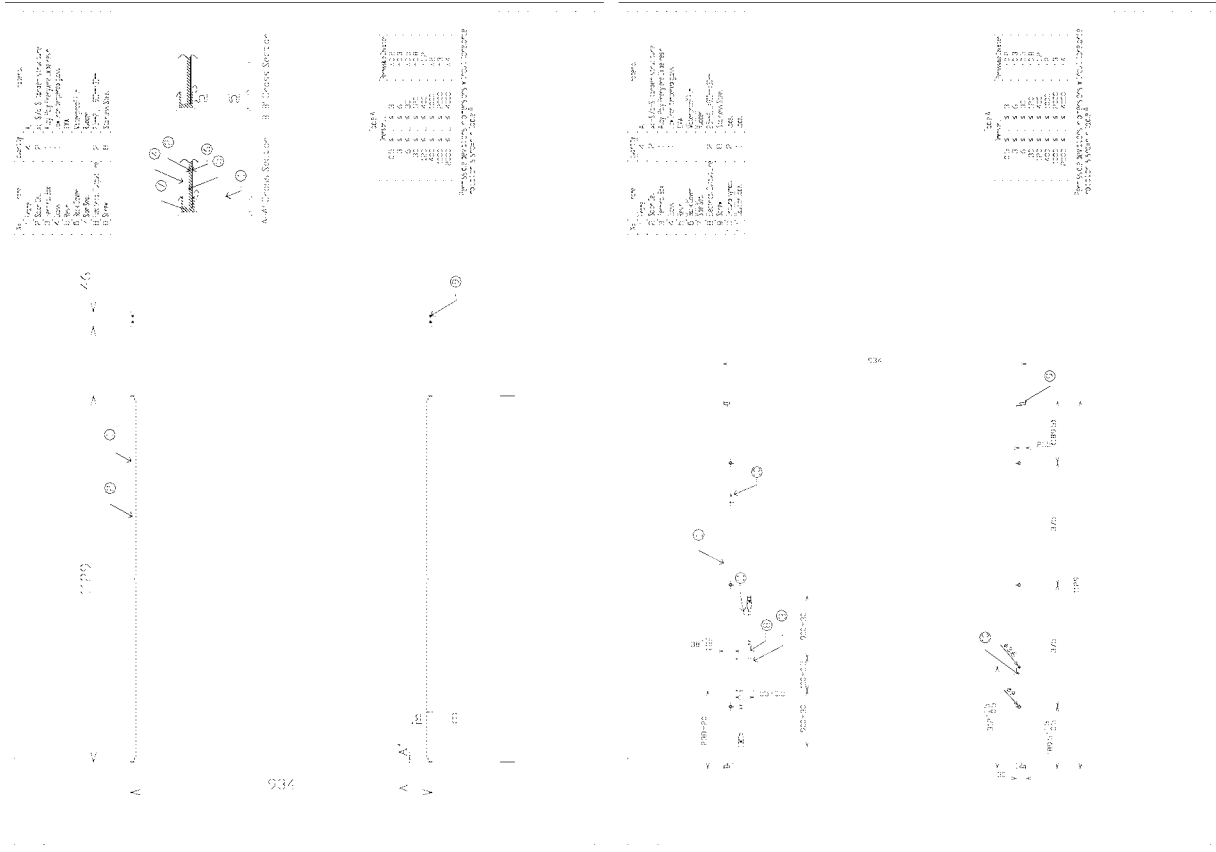


図 6 薄膜型太陽電池モジュールの外形寸法

4 実験内容

実験では、一軸追尾型及び固定型の太陽光発電システムの日射量・発電量等を計測・記録した。

4.1 計測期間

2008 年 6 月～2009 年 5 月

4.2 評価項目

- (1) 日射量・発電量
- (2) 太陽電池モジュールの経時変化傾向
- (3) 系統連系時の系統への影響
- (4) 一軸追尾架台の駆動電力

4.3 計測項目

表 3 に計測項目を示す。また、表 4 に日平均データ記録項目を示す。

表 3 計測項目

No.	項目	追尾・固定	単位	No.	項目	追尾・固定	単位
1	気温	—	℃	9	直流電圧	固定	V
2	風速	—	m/s	10	直流電流	追尾	A
3	風向	—	Degrees	11	直流電流	固定	A
4	最大風速	—	m/s	12	交流電力	追尾	W
5	最大風速時風向	—	Degrees	13	交流電力	固定	W
6	モジュール温度	追尾	℃	14	モーター消費電力	追尾のみ	W
7	モジュール温度	固定	℃	15	日射強度	追尾	W/m ²
8	直流電圧	追尾	V	16	日射強度	固定	W/m ²

※風向は北方向が「0°」、時計回りがプラス。

表 4 日平均データ記録項目

No.	項目	追尾・架台	単位	備考
1	日射量	追尾	kWh/m ²	
2	日射量	固定	kWh/m ²	
3	直流電力量/システム容量	追尾	kWh/kW	直流電圧×直流電流/システム容量
4	直流電力量/システム容量	固定	kWh/kW	直流電圧×直流電流/システム容量
5	交流電力量/システム容量	追尾	kWh/kW	交流電力/システム容量
6	交流電力量/システム容量	固定	kWh/kW	交流電力/システム容量
7	日射量比	追尾/固定	—	日射量（追尾）/日射量（固定）
8	発電量比	追尾/固定	—	No. 5/No. 6
9	天気概況（東京、9 時～18 時）	—	—	出典：気象庁ホームページ

4.4 計測機器

表 5 に計測に使用した機器のリストを示す。日射計及び熱電対はそれぞれの架台に一つずつ取り付け付けた。風向・風速計及び気温計は、太陽光発電システムの近傍に設置した三脚ポールに設置した。

表 5 使用機器リスト

機器名	員数	単位
日射計	2	個
熱電対	2	個
三脚ポール	1	台
気温計	1	個
風向・風速計	1	個
信号変換器（AC）	1	個
信号変換器（DC）	1	個
計測収納 BOX	1	個
データロガー	1	個

5 実験結果及び考察

5.1 日射量・発電量

一軸追尾架台＋薄膜型太陽電池及び固定架台＋薄膜型太陽電池それぞれの、月平均日射量及び月積算発電量の推移を図7及び図8に示す。

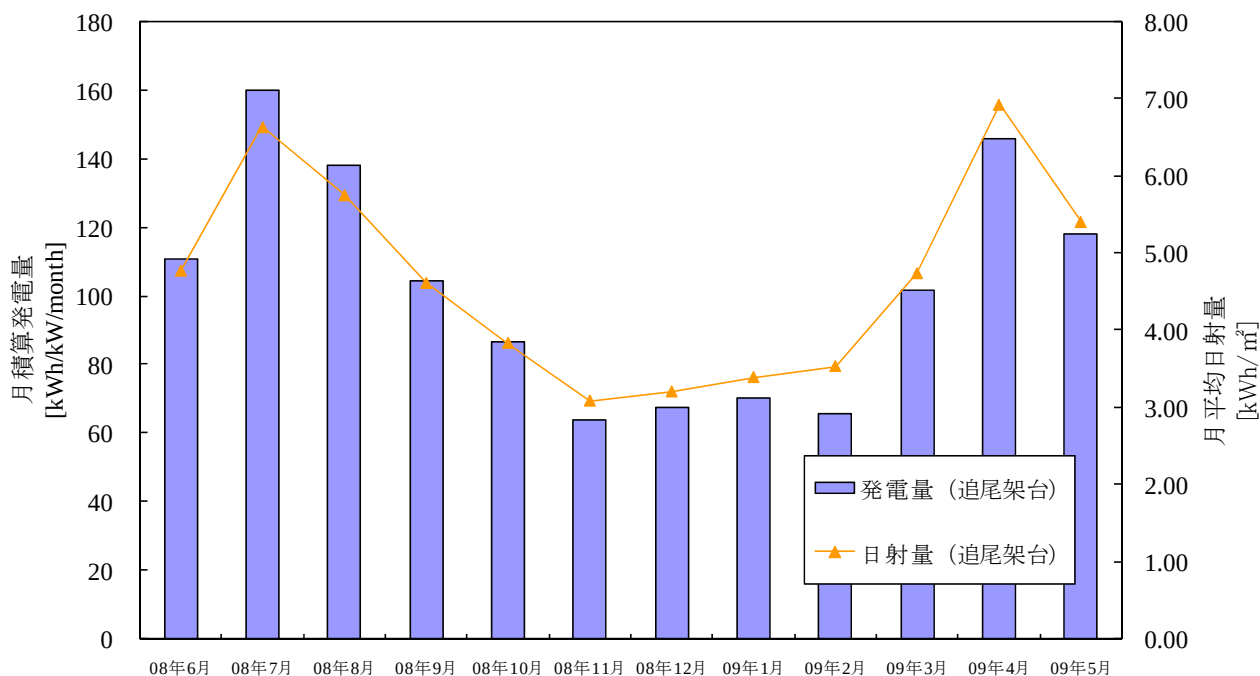


図7 一軸追尾架台＋薄膜型太陽電池の月積算発電量・月平均日射量推移

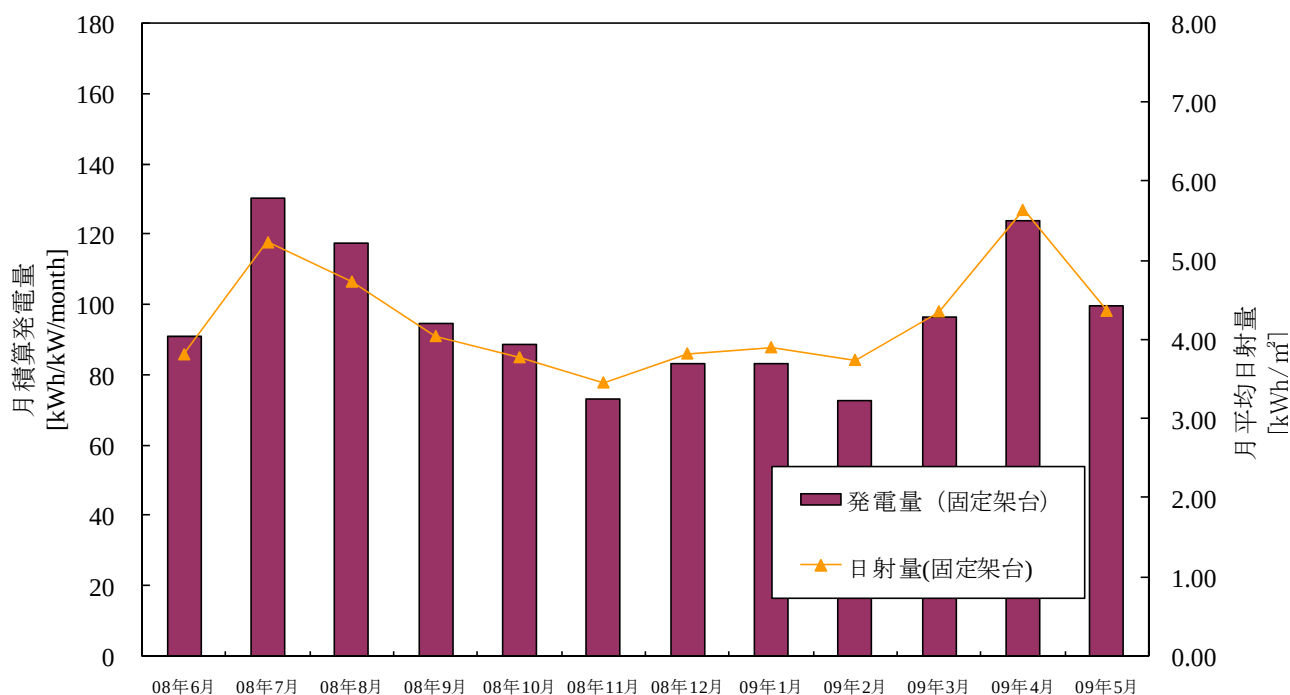


図8 固定架台＋薄膜型太陽電池の月積算発電量・月平均日射量推移

(1) 月別日射量について

図 7・図 8 とも、冬季に日射量が低くなっていることが分かる。これは、一般に冬季は太陽高度が低く太陽電池にあたる受光面日射強度が低くなること、冬季は日照時間が短いことが原因である。

一軸追尾架台と固定架台を比較すると、一軸追尾架台日射量は 6 月～10 月、3 月～5 月の期間で固定架台日射量を上回り、最大+26.8%（7 月）であった。逆に、11 月～2 月は固定架台日射量を下回り、最大-16.3%（12 月）であった。

これは、固定架台は南向きに 30° の傾斜がついているため、軸が地面と水平である一軸追尾架台よりも、太陽高度の低い冬季は日射を受けやすいためである。

図 9 に、一軸追尾架台と固定架台での月別日射量比を示す。それぞれの年平均日射量は以下の通りである。

一軸追尾架台：4.65(kWh/m²/day)

固定架台：4.24(kWh/m²/day)

これにより、一軸追尾架台での日射量増加メリットはおよそ+9.7%となった。

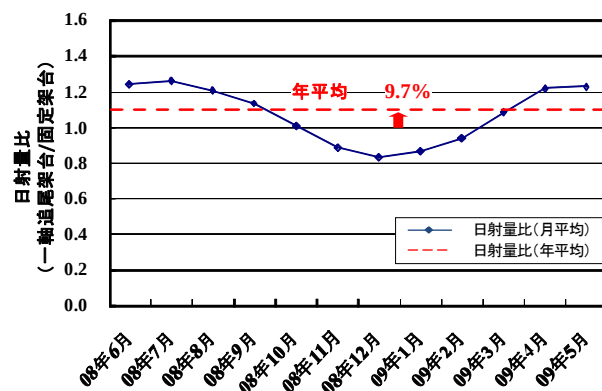


図 9 一軸追尾架台と固定架台での月別日射量比

(2) 月別発電量について

一軸追尾架台発電量は、固定架台発電量に対し、夏季で最大+23.1%（7 月）、冬季で最大-19.2%（12 月）であった。一軸追尾架台では冬季の発電量の低下分を、夏季の増加分が上回るため、年間で考えると一軸追尾架台のほうが固定架台より多くの発電量を得ることができた。

図 10 に一軸追尾架台と固定架台での月別発電量比を示す。一軸追尾架台と固定架台の年間発電量は以下の通りである。

一軸追尾架台：1,232(kWh/year)

固定架台：1,154(kWh/year)

これにより、一軸追尾架台での発電量増加メリットはおよそ+6.8%となった。

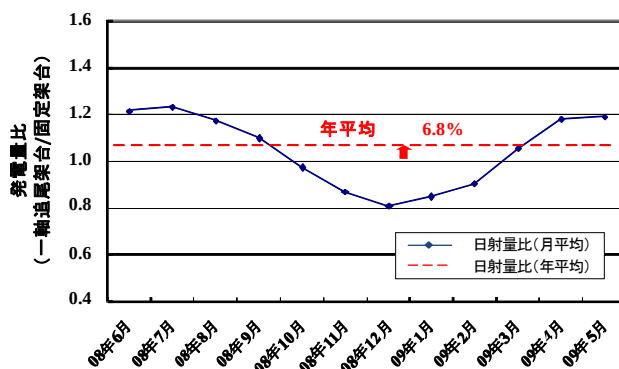


図 10 一軸追尾架台と固定架台での月別発電量比

(3) 日射量比と発電量比の差異

上記のとおり、一軸追尾架台での固定架台に対する日射量及び発電量の増加割合は、以下の通り差がある。

日射量比：+9.7%

発電量比：+6.8%

日射量の増加に対して発電量の増加が少なかった要因としては、薄膜型太陽電池のスペクトル特性の影響が挙げられる。

薄膜型太陽電池は短波長成分に対して効率よく発電する。また、一軸追尾架台は固定架台に比べ、朝夕の日射量を多く得ることができる装置である。図 11 の太陽光スペクトルの例が示すとおり、一般に朝夕の太陽光スペクトルは短波長成分が少ない。これは、短波長成分は大気中で散乱しやすく、朝夕は太陽光線の大気通過距離が正午よりも長くなるため、短波長成分が地表面に到達しにくくなるためである。このため、日射量比ほど発電量比が増加しない。

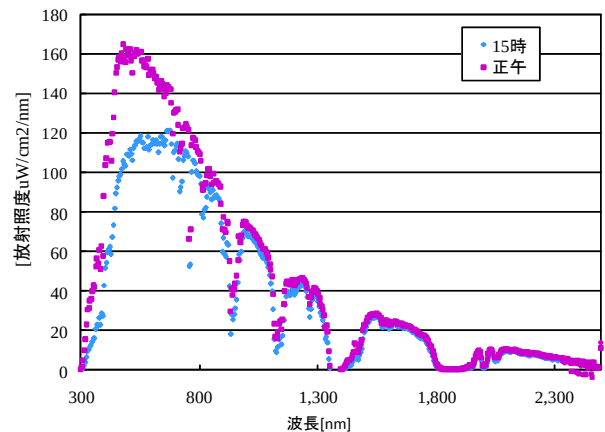


図 11 太陽光スペクトルの例

5.2 太陽電池モジュールの経時変化傾向

本研究における経時変化傾向及び共同研究者の独自の手法を用い、15年後の発電量を推定したところ、定格発電量に対して80%以上の発電量を確保する見込みを得られた。

5.3 系統連系時の系統への影響

本システムは水再生センターの低圧母線に系統連系し、2kWの規模であるが本研究期間において問題は発生しなかった。

5.4 一軸追尾架台の駆動電力

ある晴天日におけるモーターの駆動電力量は47.1Whであった。これは、発電量の1%程度であり、ごく小さいことから、システムの発電量への影響はほぼない。

6 まとめ

今回、水処理施設上部に設置した太陽光発電システムを用いて、日射量、発電電力量、経時変化傾向、系統への影響などの評価を行った。一軸追尾架台により、固定架台に比べて発電量を増加できることが確かめられた。一軸追尾架台は、反応槽や沈殿池の上といった固定架台の据え付けが困難な場所にも有効なことから、水再生センターなどの下水道施設に適した設備である。また、薄膜型太陽電池は主原料使用量・製造工程とも少なく済み、今後もコストダウンが期待できる。

しかし、今回実験対象とした太陽光発電システムは2kWの容量であったため、数千kW級の負荷を持つ水再生センターの電力系統への影響を確認していく必要がある。このため、当局施設への太陽光発電システムの本格的な導入を図っていくためには、少なくとも数百kW程度の容量を持ったシステムを用いて、電源系統への影響を詳細に調査する必要があると考える。

3-(1)-4 アンモニア計と D0 計を用いた送風量制御システムの開発

計画調整部 技術開発課；遠藤 和広
田崎 敏郎
(現 建設部設備設計課)

1 はじめに

現在、国際的な課題となっている地球温暖化の原因の一つが、二酸化炭素などの温室効果ガスによるものであることは広く知られている。こうした中、東京都では温室効果ガスの排出量を 2020 年までに 2000 年比で 25%削減する「カーボンマイナス東京 10 年プロジェクト」を策定し、対策を進めている。

一方、東京都は都民生活や都市活動に必要な様々な事業を行っており、それに伴い二酸化炭素換算で 209 万トン（平成 19 年度実績）の温室効果ガスを排出しているが、そのうちの約 4 割が下水道事業活動の中で発生している。また、下水道局の使用電力量は、東京電力が東京都内で販売する電力の約 1%を占めている。

このため、当局では「アースプラン 2004」を策定し、温室効果ガス排出量の削減に取り組んでおり、中でも「水処理工程で消費する電力量の削減」を大きな柱として位置づけている。

水処理工程で消費する電力量のうち、最も大きなものは送風機によるもので、その 4 割を占めている。そのため、反応槽への送風量を削減することが、水処理工程で消費する電力量の削減に大きな効果がある。

そこで、当局では、処理水質を維持しつつ送風量を削減する対策の一つとして、一部の水再生センターに硝化制御システムの導入を行っている。しかし、状況によっては送風量の削減効果が低い場合もあり、より安定して処理水質を維持しながら送風量を削減できる送風量制御システムが必要であった。

このような背景から、新たな送風量制御システムを考案し、その送風量制御効果を検証した。また、新制御システムに必要なリアルタイム性に優れた、電極式アンモニア計についても、今回、フィールドでのテストを行ったので、併せてその報告も行う。

本報告では、以下の流れに沿って報告を行う。

- (1) 従来の送風量制御システムの特徴と課題
- (2) 新制御システム及び電極式アンモニア計の特徴
- (3) 新制御システム及び電極式アンモニア計について行った調査の概要
- (4) 調査結果の報告
- (5) まとめ

2 従来の送風量制御システムの課題

従来の送風量制御は大きく三つに分類される。風量一定制御・D0 一定制御・硝化制御の三つである。これらの制御システムの特徴と課題を以下に示す。

(1) 風量一定制御

オペレータが目標送風量を設定し、設定された送風量になるように制御する方式である。シンプルな制御方式であるが、常に一定の空気を送り込むため、送風量の無駄が多くなる。

(2) D0 一定制御

反応槽の目標 D0（溶存酸素）濃度を設定し、設定された D0 値になるように送風量を制御する方式である。制御が安定しており、反応槽に流入する水量・水質に応じて送風量が変わるため、送風量の無駄が少ない。しかし、急激な負荷変動の際には、D0 変動後の対応となりリアクションが遅れることから、常に余裕をもった送風を行う必要がある。

(3) 硝化制御

反応槽の目標アンモニア濃度を設定し、設定されたアンモニア値になるように送風量を制御する方式である。硝化促進が安定している場合、無駄な送風量を最も小さくできる。しかし、低水温などの理由から硝化が進まない時には、送風量が上限に張り付いてしまう問題があった。また、雨などで流入基質が薄まった場合、有機物の酸化に必要な空気が供給されなくなる場合がある。これは、アンモニア濃度が低くなることで硝化が完了したと判断し、送風量を絞ってしまうためである。

D0 一定制御のリアクションの遅れは、D0 のみが送風量制御の指標であることに起因する。送風量増減のフィードバックが、D0 の変動によってのみ起こる制御であるためである。

また、硝化制御の抱える課題も、アンモニア濃度のみを指標とすることが原因である。

これらの課題は、D0 又はアンモニア濃度のみを指標とするのではなく、その両方を指標とする送風量制御を行えば、常に最適な送風が行える可能性を示している。

3 新制御システム及び電極式アンモニア計の特徴

上記の課題をふまえ、D0 及びアンモニア濃度両方を指標とした送風量制御システムを考案し、その効果を検証することとした。

3.1 新制御システムの概要

本調査で新たに考案した送風量制御システムは、以下の二つである。

(1) D0 安定制御

(2) 可変 D0 制御

それぞれの特徴を以下に示す。

D0 安定制御のフロー図を図 1 に示す。本制御は、基本となる送風量を D0 一定制御と同じ手法で算出し、算出された送風量に、反応槽内のアンモニア濃度によって増減を行う補正をかける制御である。本制御は、急激な負荷変動に対しても、アンモニア濃度を計測して補正することで、D0 が低下する前に送風量を増やすなどの対応が可能である。そのため、純粋な D0 一定制御の場合のように、D0 に余裕を持たせておく必要がなく、送風量を低く抑えることが可能である。

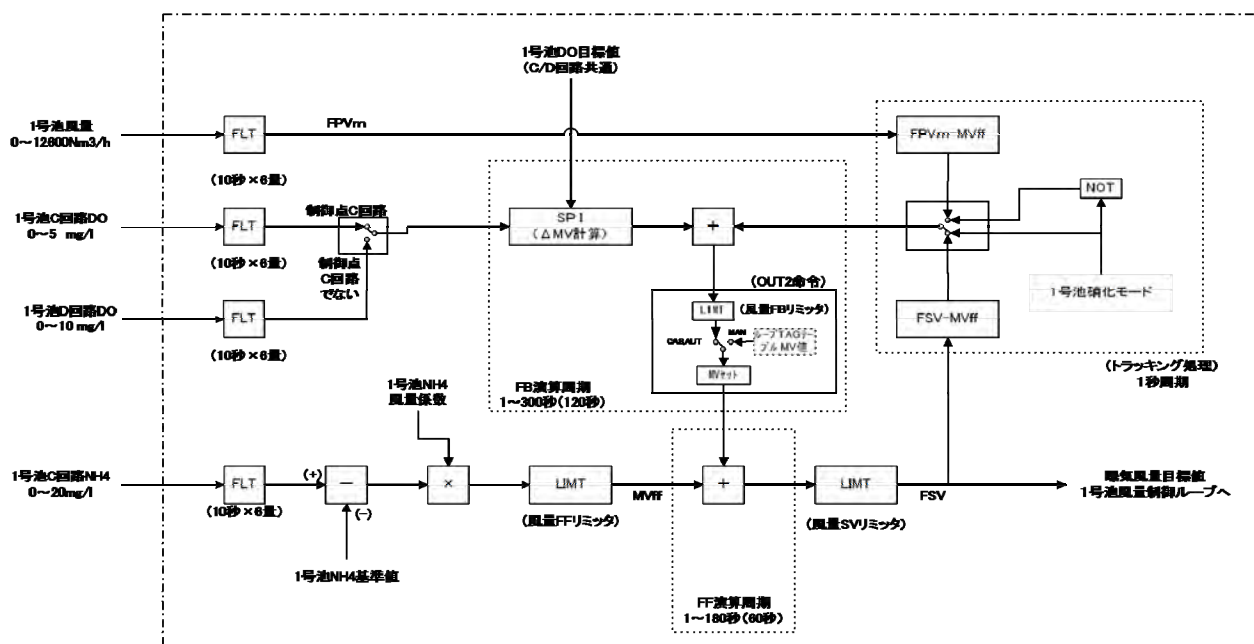


図 1 D0 安定制御のフロー図

3.1.2 可変 D0 制御

可変 D0 制御のフロー図を図 2 に示す。本制御は、反応槽内のアンモニア濃度に応じ、本来は手動で設定する D0 一定制御の D0 設定値を、自動的に変える制御である。本制御は、反応槽内の負荷に応じて D0 設定値を自動的に変えるため、常に必要十分な D0 設定値での運転が行える。通常の D0 一定制御では、雨天時等に負荷に応じてオペレータが随時 D0 設定値を変えることは、非常に困難を伴う。本制御はその操作を自動で行うため、通常の D0 一定制御に必要な余裕を持たせた運転が不要で、送風量を低く抑えることが可能である。

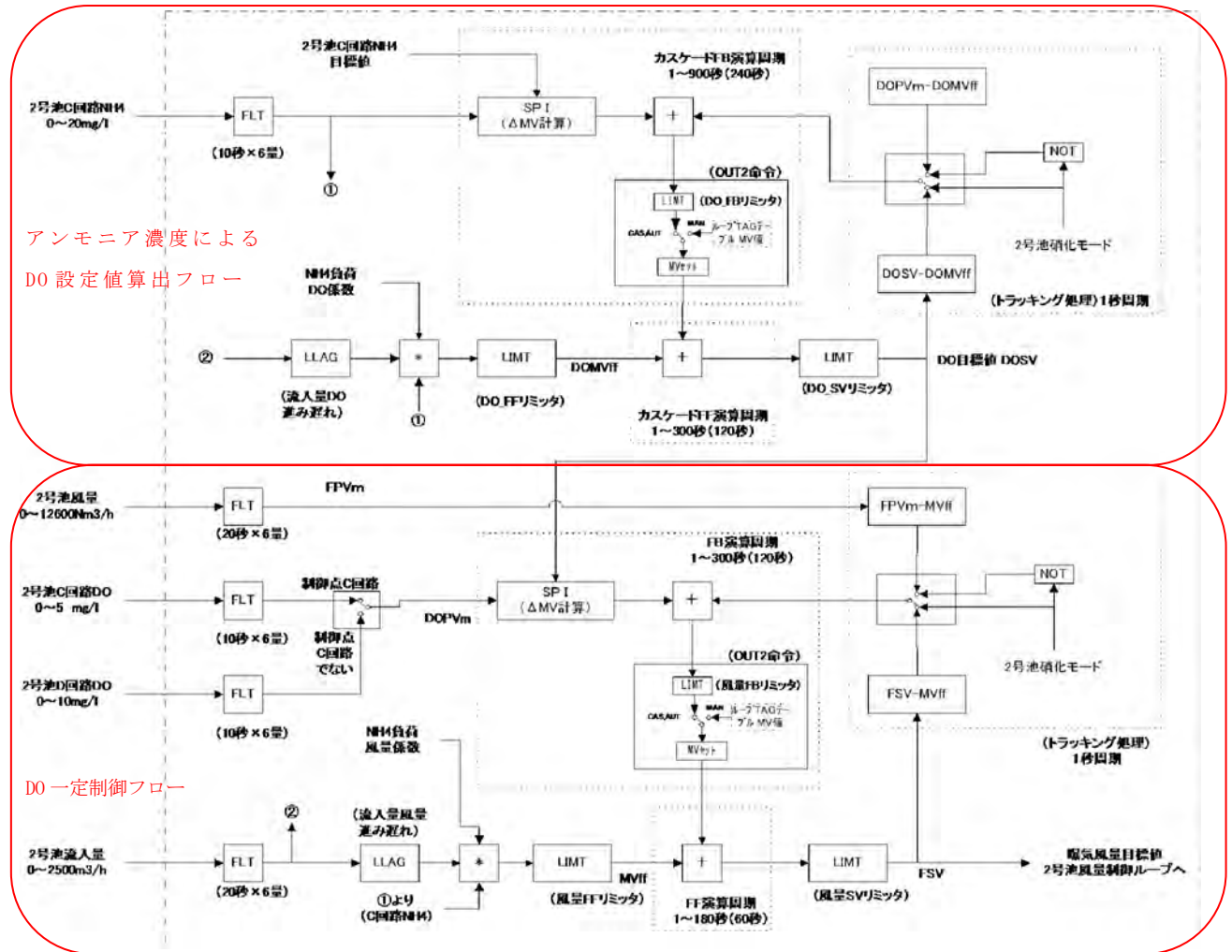


図 2 可変 D0 制御のフロー図

3.2 電極式アンモニア計の概要

3.1 項で述べた新制御には、連続的に計測できるアンモニア計が不可欠である。しかし、当局で用いている「インドフェノール青吸光光度式アンモニア計」（以下、「既存アンモニア計」という）は、試料水をポンプで採水し試薬を用いて計測する方式である。そのため、計測時間が長く、リアルタイムな送風量制御には適していない面があった。そこで、本調査においては、新しい計測方式の「電極式アンモニア計」を用いることとした。

これらは、当局ではまだ導入実績のない方式の計器であったため、既に商品化されている 2 社の電極式アンモニア計を 1 台ずつ反応槽に設置してフィールドテストを行い、送風量制御への有効性についても評価することとした。

電極式アンモニア計は、アンモニウムイオンを選択的に透過するイオン選択電極を利用

し、参照電極との電位差から試料水中のアンモニウムイオン濃度を計測する。電極式アンモニア計は、既存アンモニア計と比較して次のような特徴を持つ。

(1) 連続的な計測

既存アンモニア計は 15 分ごとの計測であるのに対し、電極式アンモニア計は連続的に計測できる。

(2) 浸漬式の検出器

既存アンモニア計は試料水をポンプで採水する必要がある、前処理装置が必要で維持管理の面で課題があった。電極式アンモニア計は、検出器を試料水に浸漬するだけで計測できる。

(3) 試薬不要

試薬が不要なため、毒物・劇物の保管や廃液処理の問題がない。また、維持管理コストも低く抑えることができる。

評価を行った電極式アンモニア計 2 台（それぞれ「電極式アンモニア計 A」、「電極式アンモニア計 B」と呼ぶ）の仕様を表 1 に示す。

表 1 電極式アンモニア計の仕様

		電極式アンモニア計 A	電極式アンモニア計 B
寸法 質量	検出器	φ 120×L600[mm]、2.7kg	φ 47.5×L350[mm]、1.3kg
	変換機	W240×H185×D120[mm]、4.75kg	W144×H144×D154[mm]、1.6kg
計測範囲		0.02～19.99[mg/L] 20.0～99.9[mg/L] 100～1000[mg/L]	0.2～999[mg/L]
応答速度		1[min]	1[min]
精度		±3[%FS]	±5[%] ±0.2[mg/L]

4 調査内容

4.1 調査場所

調査は、既存アンモニア計と電極式アンモニア計の比較を行うため、既存アンモニア計が設置されている小菅水再生センター東系処理施設で実施した。東系処理施設は、1-1 号槽～1-4 号槽までの 4 槽の反応槽を持っている。東系処理施設の特徴としては、全槽 A0 法を採用していること、本田ポンプ所から長時間かけて圧送された汚水が第一沈殿池に直接流入するため負荷及び水量の変動が多いことがあげられる。図 3 に調査時の小菅水再生センター東系処理施設の構成を示す。

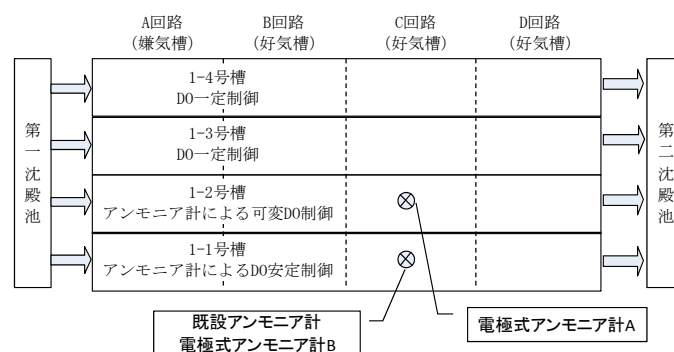


図 3 調査時の小菅水再生センター東系処理施設の構成

新制御システムの検証、電極式アンモニア計の評価それぞれの調査内容を以下に示す。

4.2 新制御システムの検証

1-1号槽を「DO安定制御」で、1-2号槽を「可変DO制御」で制御し、検証試験を行った。その他の槽はDO一定制御で運転し、比較対象として1-3号槽を用いた。

検証は2回、計2日間行った。調査を行った日を以下に示す。

- 第1回目
- 平成20年12月4日9:00～平成20年12月5日9:00
- 第2回目
- 平成21年1月14日9:00～平成21年1月15日9:00

本検証試験におけるシステム構成を図4に示す。小菅水再生センター東系処理施設は、既存アンモニア計がC回路に設置されており、比較のため電極式アンモニア計をC回路に設置した。DO計は、D回路の既設DO計を用いた。

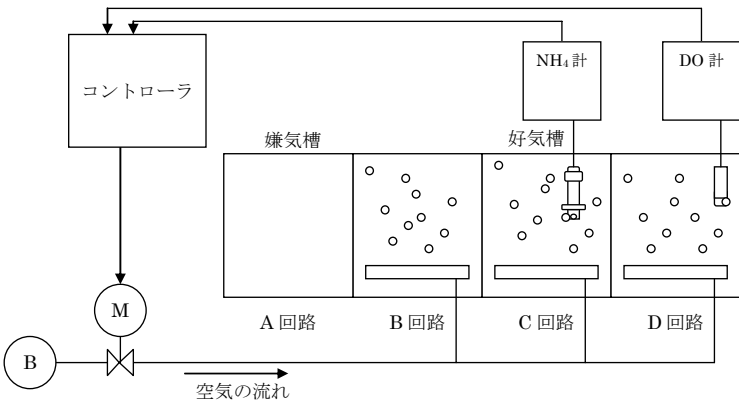


図4 本検証試験のシステム構成

検証に当たっての計測項目を表2に示す。

表2 計測項目

計測項目（既設計器）	流入量、風量、アンモニア濃度（1-1号槽のみ）、C回路DO、D回路DO、MLSS、流入・流出TNTP、水温
計測項目（電極式アンモニア計）	アンモニア濃度（1-1号槽、1-2号槽のみ）
計測項目（手分析）	流出NH4-N、流出NO3-N、流出NO2-N、流出PO4-P

既設計器及び電極式アンモニア計による計測項目は連続計測、手分析による計測項目は2時間おきの計測とした。これらの計測データから、送風量削減効果と放流水の処理水質、制御の安定性について検証した。送風量削減効果は、異なる制御システム間での送風倍率（送風量/流入量）の比較で検証することにした。なお、各槽とも検証を行う前日には、DO一定制御から新制御システムへの切り替えを行っている。

各制御システムにおけるパラメータを次に示す。

4.2.1 D0 安定制御のパラメータ（1-1 号槽）

D0 安定制御におけるパラメータを表 3 に示す。

表 3 D0 安定制御のパラメータ

項目	単位	設定値	備考
D0 制御点			D 回路
D0 目標値	mg/l	3.0	
比例ゲイン		0.6	
積分定数		5	
風量 FB ^(※1) 上限リミット	m ³ /h (N)	6,000	
風量 FB 下限リミット	m ³ /h (N)	2,000	
FB 演算周期	秒	300	
NH4 基準値	mg/l	2.0	
NH4 風量係数		500	
風量 FF ^(※2) 上限リミット	m ³ /h (N)	1,000	
風量 SV 上限リミット	m ³ /h (N)	6,000	
風量 SV 下限リミット	m ³ /h (N)	2,000	
FF 演算周期	秒	60	

※1 FB:フィードバック

※2 FF:フィードフォワード

D0 目標値は、通常の C 回路 D0 一定制御を行った際の D 回路 D0 値を参考に、水処理に影響が出ないと思われる値で設定した。

4.2.2 可変 D0 制御のパラメータ（1-2 号槽）

可変 D0 制御におけるパラメータを表 4 及び表 5 に示す。なお、パラメータは D0 設定値算出部と D0 一定制御部とで 2 通りある。

表 4 可変 D0 制御のパラメータ（D0 設定値算出部）

項目	単位	設定値	備考
NH4 目標値	mg/l	2.00	
比例ゲイン		0.5	
積分定数		3	
DO_FB 上限リミット	mg/l	3.5	
DO_FB 下限リミット	mg/l	2.4	
FB 演算周期	秒	360	
NH4 負荷 DO 係数 $K1 \times 0.01$		0.01	
流入量 DO 遅れ時間	分	180	
流入量 DO 進み時間	分	120	
DO_FF 上限リミット	mg/l	0.5	
DO_SV 上限リミット	mg/l	3.5	第 1 回目
		3.0	第 2 回目
DO_SV 下限リミット	mg/l	2.5	
FF 演算周期	秒	60	

表 5 可変 D0 制御のパラメータ（D0 一定制御部）

項目	単位	設定値	備考
D0 制御点			D 回路
比例ゲイン		0.6	
積分定数		10	
風量 FB 上限リミット	m ³ /h (N)	6,000	
風量 FB 下限リミット	m ³ /h (N)	2,000	
FB 演算周期	秒	60	
流入量風量遅れ時間	分	150	
流入量風量進み時間	分	30	
NH4 負荷風量係数	Nm ³ /g-NH4	0	
風量 FF 上限リミット	m ³ /h (N)	3,000	
風量 SV 上限リミット	m ³ /h (N)	6,000	
風量 SV 下限リミット	m ³ /h (N)	2,000	
FF 演算周期	秒	60	

DO_SV 上限リミットについては、第 1 回目では余裕をみて 3.5 に設定した。第 2 回目では第 1 回目の結果を受け、処理水質を維持しつつ更なる送風量削減を行えるものと考え、3.0 に設定した。

4.2.3 D0一定制御のパラメータ（1-3号槽）（比較対象）

C回路D0一定制御のパラメータを表6に示す。

表6 D0一定制御のパラメータ

項目	単位	設定値	備考
D0制御点			C回路
D0目標値	mg/l	1.5	第1回目
		2.0	第2回目

D0目標値は、通常の運転状況における設定値である。

4.3 電極式アンモニア計の評価

1-1号槽C回路に電極式アンモニア計Bを、1-2号槽C回路に電極式アンモニア計Aを設置し、新制御システムの検証試験に用いた。既設アンモニア計と計測値の乖離がないか、メンテナンスの際の作業性、メンテナンス周期の点から評価を行った。

電極式アンモニア計の設置期間を以下に示す。

設置期間 平成19年12月～平成21年3月

5 結果

5.1 新制御システムの検証結果

5.1.1 第1回目

前後1日を含む各槽の流入量の推移を図5に、風量の推移を図6に示す。

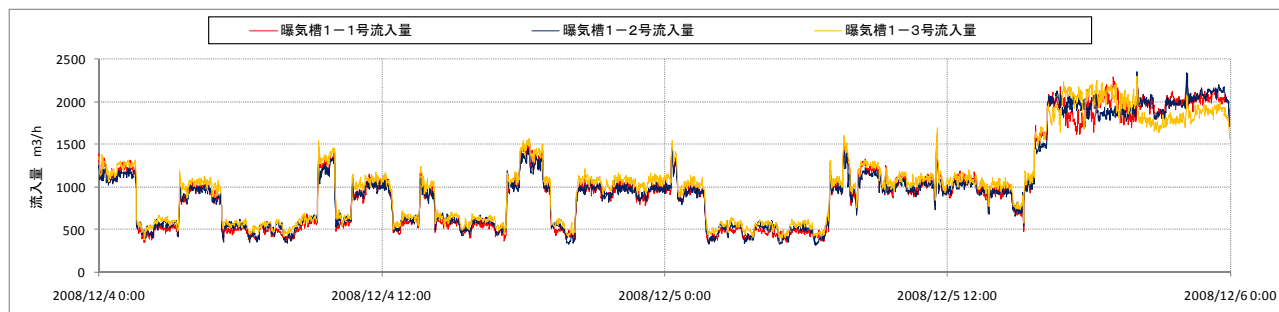


図5 各槽の流入量の推移（第1回目）

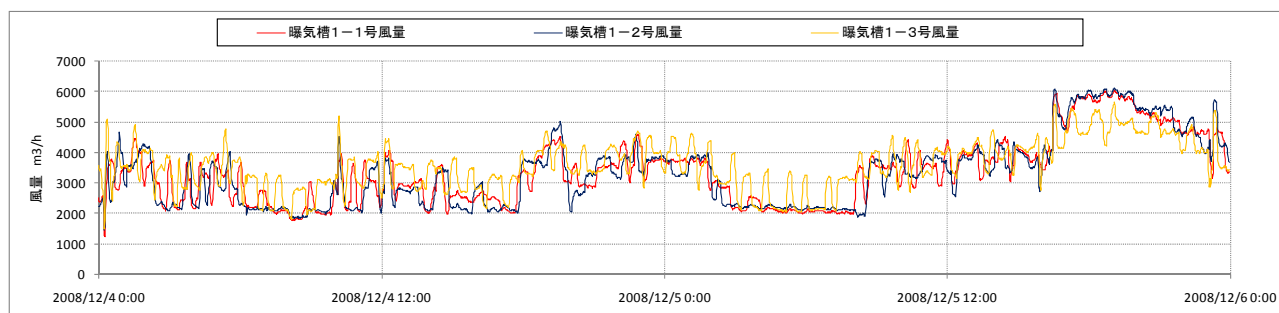


図6 各槽の風量の推移（第1回目）

第 1 回目の平均流入量及び風量を表 7 に示す。

表 7 第 1 回目の各槽の平均流入量及び平均風量

	1-1 号槽	1-2 号槽	1-3 号槽
	D0 安定制御	可変 D0 制御	D0 一定制御
平均流入量[m ³ /h]	790	793	858
対基準値[%]	-7.9%	-7.6%	基準値
平均風量[m ³ /h]	2,900	2,850	3,321
対基準値[%]	-12.7%	-14.2%	基準値

1-1 号槽は 1-3 号槽に比べ、平均流入量は約 7.9% 少なく、平均風量は約 12.7% 少なくなっている。また、1-2 号槽は 1-3 号槽に比べ、平均流入量は約 7.6% 少なく、平均風量は約 14.2% 少なくなっている。1-1 号槽と 1-2 号槽を比べると、平均流入量はほぼ同じであったが、平均風量は 1-2 号槽が 1-1 号槽に比べて約 1.7% 少なかった。

得られたデータを基に送風倍率を計算したものを表 8 に示す。

表 8 第 1 回目の各槽の送風倍率

	1-1 号槽	1-2 号槽	1-3 号槽
	D0 安定制御	可変 D0 制御	D0 一定制御
送風倍率	3.67	3.59	3.87
対基準値[%]	-5.2%	-7.1%	基準値

このことから、第 1 回目の送風倍率においては

「可変 D0 制御」<「D0 安定制御」<「D0 一定制御」であるとの結果が得られた。

各制御システムによる処理水質を、手分析による水質データから検証した。その結果を表 9、図 7～10 に示す。

表 9 第 1 回目の各種水質データ（平均値）

	1-1 号槽	1-2 号槽	1-3 号槽
	D0 安定制御	可変 D0 制御	D0 一定制御
流出アンモニア性窒素[mg/l]	0.6	0.6	0.6
流出亜硝酸性窒素[mg/l]	0.0	0.0	0.0
流出硝酸性窒素[mg/l]	10.0	9.8	10.3
流出りん酸性りん[mg/l]	0.0	0.0	0.0

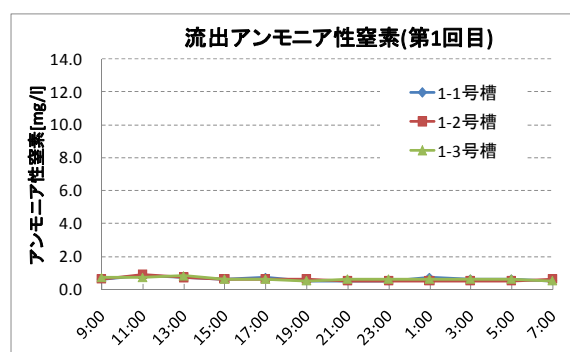


図 7 流出アンモニア性窒素濃度の推移

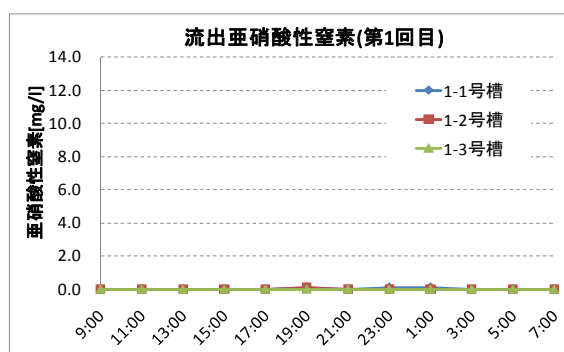


図 8 流出亜硝酸性窒素濃度の推移

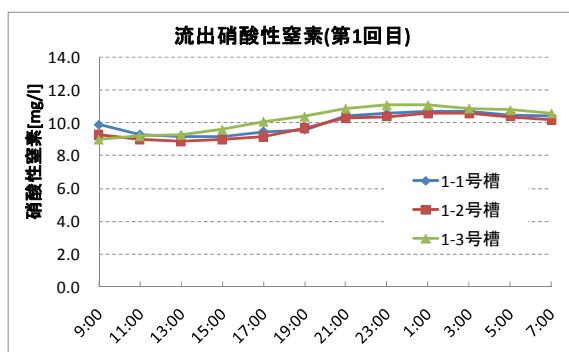


図 9 流出硝酸性窒素濃度の推移

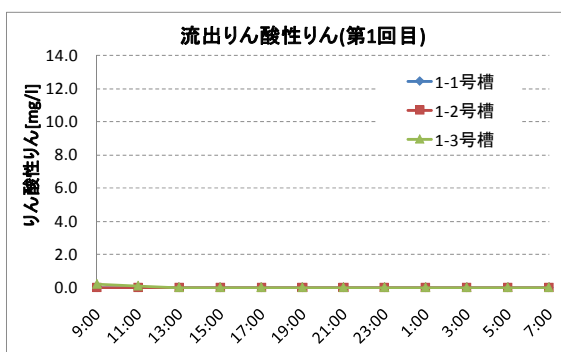


図 10 流出りん酸性りん濃度の推移

各槽の各種水質データを比較すると、1-3 号槽の流出硝酸性窒素濃度が他よりも僅かに高い他は、処理水質に目立った変化は見られなかった。このことから、水処理はどの制御システムであっても良好に行われていると評価した。

5.1.2 第 2 回目

前後 1 日を含む各槽の流入量の推移を図 11 に、風量の推移を図 12 に示す。

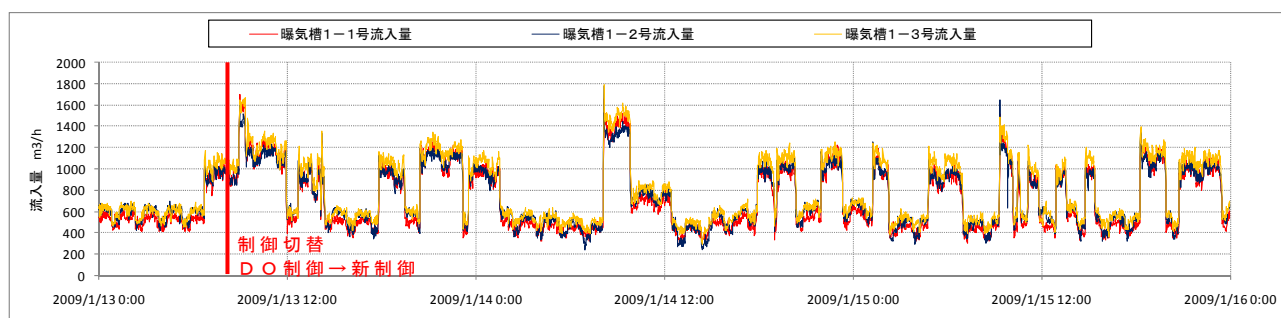


図 11 各槽の流入量の推移（第 2 回目）

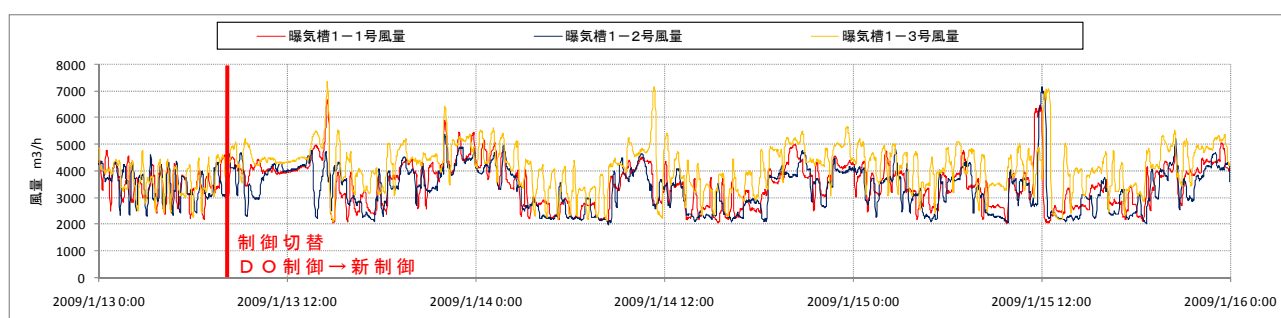


図 12 各槽の風量の推移（第 2 回目）

第 2 回目の各槽の平均流入量及び風量を表 10 に示す。

表 10 第 2 回目の各槽の平均流入量及び風量

	1-1 号槽	1-2 号槽	1-3 号槽
	D0 安定制御	可変 D0 制御	D0 一定制御
平均流入量[m ³ /h]	675	698	758
対基準値[%]	-10.9%	-7.9%	基準値
平均風量[m ³ /h]	3,454	3,321	4,179
対基準値[%]	-17.3%	-20.5%	基準値

1-1 号槽は 1-3 号槽に比べ、平均流入量は約 10.9%少なく、平均風量は約 17.3%少なくなっている。また、1-2 号槽は 1-3 号槽に比べ、平均流入量は約 7.9%少なく、平均風量は約 20.5%少なくなっている。1-1 号槽と 1-2 号槽を比べると、平均流入量は 1-1 号槽が約 3.3%少ないが、平均風量は約 4%多かった。

得られたデータを基に送風倍率を計算したものを表 11 に示す。

表 11 第 2 回目の各槽の送風倍率

	1-1 号槽	1-2 号槽	1-3 号槽
	D0 安定制御	可変 D0 制御	D0 一定制御
送風倍率	5.12	4.76	5.51
対基準値[%]	-7.2%	-13.7%	基準値

このことから、第 2 回目の送風倍率においては

「可変 D0 制御」<「D0 安定制御」<「D0 一定制御」であるとの結果が得られた。

各制御システムの処理水質を、手分析による水質データから検証した。その結果を表 12、図 13～16 に示す。

表 12 第 2 回目の各種水質データ（平均値）

	1-1 号槽	1-2 号槽	1-3 号槽
	D0 安定制御	可変 D0 制御	D0 一定制御
流出アンモニア性窒素[mg/l]	0.6	0.7	0.6
流出亜硝酸性窒素[mg/l]	0.0	0.1	0.0
流出硝酸性窒素[mg/l]	11.3	11.1	12.5
流出現酸性りん[mg/l]	0.0	0.0	0.0

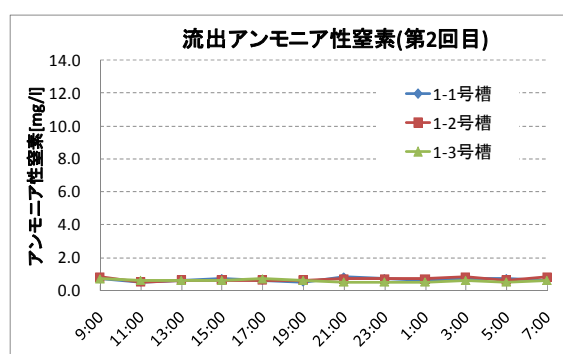


図 13 流出アンモニア性窒素濃度の推移

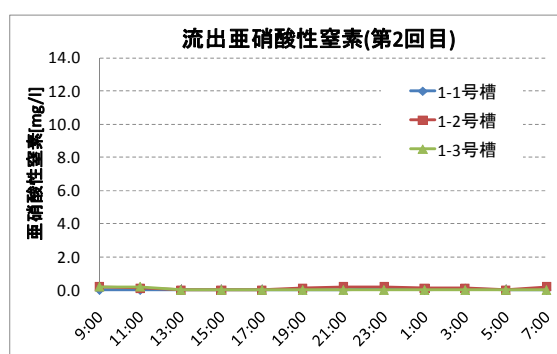


図 14 流出亜硝酸性窒素濃度の推移

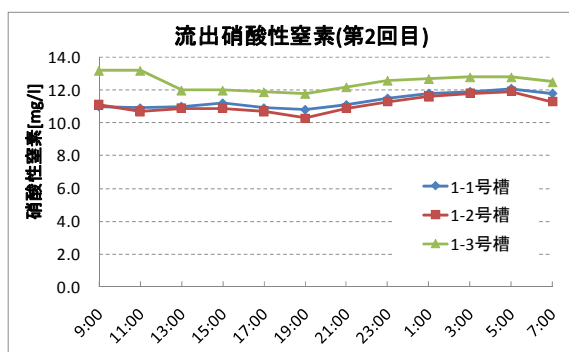


図 15 流出硝酸性窒素濃度の推移

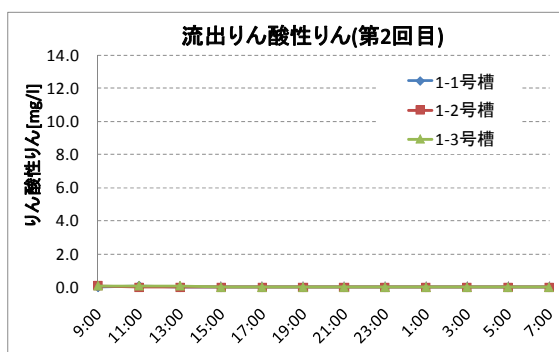


図 16 流出現酸性りん濃度の推移

各槽の各種水質データを比較すると、1-3 号槽の流出硝酸性窒素濃度が他の槽よりもやや高いことが分かる。これは、D0 安定制御及び可変 D0 制御は、D0 一定制御よりも送風量を絞った運転となることから、D0 一定制御よりも脱窒が進みやすいためと考えられる。

他は、処理水質に目立った差は見られなかった。このことから、水処理はどの制御システムであっても良好に行われていると評価した。

5.1.3 各制御システムにおけるパラメータ変更の影響についての考察

第 1 回目、第 2 回目の各制御におけるパラメータの影響を考察する。

1-1 号槽の D0 安定制御は、第 1 回目、第 2 回目でパラメータを変更せずに運転したため、パラメータによる影響はなかったと考えられる。

一方、1-2 号槽の可変 D0 制御では、“D0_SV 上限リミット”を下げ、1-3 号槽の D0 一定制御は“D0 目標値”を上げている。

このことから、1-1 号槽の第 1 回目と第 2 回目での送風倍率の変化率を計算することで、流入水質の変化などによる送風倍率への影響をある程度把握できる。

1-1 号槽の第 1 回目及び第 2 回目の送風倍率と、その変化率を表 13 に示す。

表 13 1-1 号槽の送風倍率

	1-1 号槽
	D0 安定制御
第 1 回目送風倍率	3.67
第 2 回目送風倍率	5.12
送風倍率変化率[%]	39.4%

この送風倍率の変化をもたらした要因が、1-2 号槽、1-3 号槽にも同様に作用し、送風倍率を、第 1 回目の送風倍率から同じだけ変化させたとする。その計算結果を表 14 に示す。

表 14 送風倍率の計算結果

	1-2 号槽	1-3 号槽
	可変 D0 制御	D0 一定制御
第 1 回目送風倍率	3.59	3.87
第 2 回目送風倍率（計算）	5.01	5.40

第 2 回目の実際の送風倍率、計算した送風倍率及び送風倍率の変化率を表 15 に示す。

表 15 送風倍率削減効果

	1-2 号槽	1-3 号槽
	可変 DO 制御	DO 一定制御
第 2 回目送風倍率（実際）	4.76	5.51
第 2 回目送風倍率（計算）	5.01	5.40
送風倍率変化率[%]	-5.03%	2.18%

以上をまとめると、第 1 回目と第 2 回目の比較においては、

- 可変 DO 制御において、“DO_SV 上限リミット”を下げた効果は、送風倍率の 5.3% 低下であった。
- DO 一定制御において、“DO 目標値”を上げた影響は送風倍率の 2.1% 増加であった。

5.1.4 電力量削減効果試算

この結果を基に、小菅水再生センター東系処理施設に新制御システムを導入した場合の、送風機電力量削減効果を試算することにする。試算に当たっての条件は以下のとおり。

- (1) 小菅水再生センターは、西系処理施設と東系処理施設に分かれているが、送風機は両系統で共通なため、送風機電力量はそれぞれの系統の送風量に応じて按分する
 - (2) 新制御システムの送風倍率低減効果は、2 回の実験の平均値を用いる
 - (3) 1-1 号槽から 1-4 号槽まで、すべての槽で同じ送風倍率低減効果が得られるとする
 - (4) 平成 19 年度の月平均データを試算に用いる
 - (5) 平成 19 年度のデータはすべて DO 一定制御を行っているものと仮定する
 - (6) 送風量が減少すると、送風機電力量も同じ割合で減少すると仮定する
- 試算に用いた平成 19 年度の小菅水再生センターの各種データを表 16 に示す。

表 16 平成 19 年度の小菅水再生センターの各種データ

	送風機電力量 [kWh/月]	西系処理施設処理水量 [m3/月]	東系処理施設処理水量 [m3/月]	西系処理施設送風量 [Nm3/月]	東系処理施設送風量 [Nm3/月]	東系処理施設 送風倍率
DO一定制御	512,322	2,241,595	2,702,458	9,420,617	9,734,125	3.60

このデータから、小菅水再生センター東系処理施設に新制御システムを導入した場合の、送風機電力量削減効果を試算し、表 17 にまとめた。

表 17 平成 19 年度の小菅水再生センターの各種データ

	東系処理施設 送風倍率	東系処理施設送風量 [Nm3/月]	送風機電力量 [kWh/月]	削減電力量 [kWh/月]	削減率
DO安定制御	3.38	9,130,609	496,180	16,142	3.2%
可変DO制御	3.23	8,721,776	485,245	27,077	5.3%

この試算では、

- DO 安定制御を導入した場合、月に 3.2%の電力量削減効果が得られる
- 可変 DO 制御を導入した場合、月に 5.3%の電力量削減効果が得られると試算された。

なお、このことによる小菅水再生センターにおける温室効果ガス排出量削減効果は、CO2 排出係数 0.386kg-CO2/kWh を用いると、

- D0 安定制御を導入した場合、月に 6,230kg-CO₂ の削減効果が得られる
- 可変 D0 制御を導入した場合、月に 10,451kg-CO₂ の削減効果が得られると試算される。

5.2 電極式アンモニア計の評価結果

電極式アンモニア計 A 及び B と、既設アンモニア計との計測結果例を図 17 に示す。

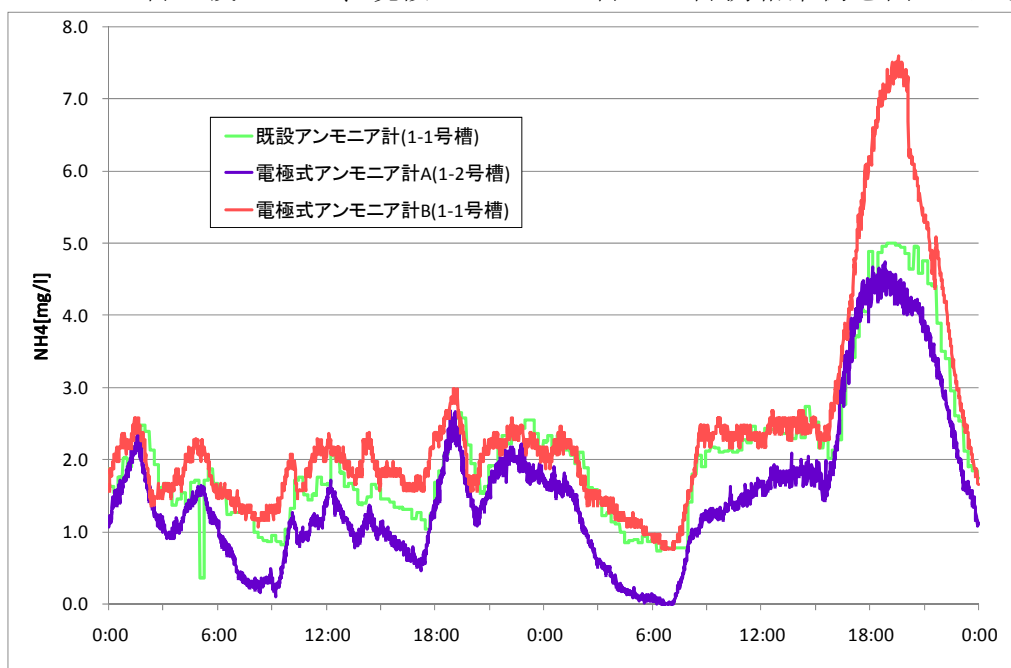


図 17 電極式アンモニア計と既設アンモニア計の計測結果例

既設アンモニア計は最大で 5.0[mg/l]までの計測である。図から分かるとおり、どのアンモニア計も同じ推移をしており、既設アンモニア計と電極式アンモニア計との相関が良好であることが分かる。なお、アンモニア計 A は 1-2 号槽に設置されているため、1-1 号槽に設置されている既設アンモニア計及び電極式アンモニア計 B とは値としては差がある。

また、電極式アンモニア計 A 及び B と手分析値とは、決定係数 $R^2 > 0.85$ が得られており、正確に計測できていたと評価した。

電極式アンモニア計 A 及び B とも動作は良好で、故障も発生しなかった。

電極式アンモニア計 A 及び B とも、電極部は 3～6 か月ごとに交換が必要であるが、交換作業自体は、古い電極部を抜き取り新しい電極部を差し込むだけである。試薬の補充や廃液処理、試薬ポンプやチューブ、吸光光度計など、多くの部品のメンテナンスが必要な既存アンモニア計に比べ、メンテナンス性にも優れていた。

6 まとめ

本調査により、D0 及びアンモニア濃度両方を指標とする送風量の制御を行うことで、アンモニア値のみ又は D0 値のみで制御する場合に比べ、安定して送風量の削減が行え、なおかつ処理水質も維持できることが示された。

また、本調査では 2 種の電極式アンモニア計を制御に用いたが、いずれも実用化に対応できるものと評価した。

なお、本調査では送風量と送風機電力量の相関についての詳細な調査は行っていないが、

送風量の削減による送風機電力量の削減効果を最大限に得るには、送風機のインバータ化などの対策も有効と思われる。

今後は、この調査の結果を基に最適なパラメータの設定や、適用に関する条件などを検討し、新制御システムの他機場への導入を図ることで、「水処理工程で消費する電力量の削減」に貢献していく所存である。

3-(1)-5 水処理実験プラント水理特性把握調査

計画調整部技術開発課 塩見 浩
河野 里名

1. はじめに

東京都下水道局では、昭和47年に芝浦水再生センターへ水処理実験ヤードを、また昭和62年に砂町水再生センターへ汚泥処理実験ヤードを設置し、技術開発の拠点として活用することでさまざまな成果を上げてきた。しかしながら、設置より長期間が経過したことによる施設の老朽化等から、平成20年7月に両ヤードを集約して、下水道技術研究開発センターを砂町水再生センター内に開設した。

下水道技術研究開発センターでは、水処理に伴う新たな課題に対応する技術開発を行うため、「水処理実験プラント」を設置している。

本調査は、この新しく設置された水処理実験プラントの酸素溶解効率や混合特性等の水理特性を測定し、今後同プラントを活用して調査を行うにあたり、必要な基礎データを取得する目的で実施したものである。

2. 水処理実験プラントの概要

2. 1 処理フロー

水処理実験プラントの処理フローを図1に示す。流入した汚水は、第一沈殿池（1槽）を経由し、各反応槽へポンプにて分配される。反応槽は3系列あり、各系列の容量は、 14m^3 （池幅1m×池長7m×水深2m）である。処理方法は、ステップA₂O法（以下、1系）、標準法（以下、2系）、A₂O法（以下、3系）で、各系列とも可動式の隔壁により槽内が分割されている。反応槽で処理された後は、個別の第二沈殿池に流入し、固液分離され上澄みが処理水槽に送られる。

2. 2 反応槽の概要

反応槽には、嫌気槽や無酸素槽など各機能槽を仕切る目的や、押し出し流れを確保する目的で隔壁が入れている。この隔壁は、短絡流防止の観点から上下で互い違いに開口部が設けられている。また、嫌気槽・無酸素槽には、活性汚泥を均質に保つために攪拌機が、好気槽には、メンブレン方式の散気装置が設置されており、各系列2台ずつのブロワで必要な空気量が送られている。水質計器は、溶存酸素計（以下、DO計）、酸化還元電位計（以下、ORP計）、アンモニア計、水温計が設置されており、測定値は、記録計により一括して記録し、保存されている。隔壁や散気装置、水質計器は、固定されておらず設置箇所を変えることができ、例えば水質計器を全て同じ系列に集めて、データ取りを行うことも可能である。

ブロワなどの機器は、インバータ制御のものが設置されており、設定値を一定の範囲内で変えることができる。表1にそれぞれの設定範囲を示した。この設定値を自由に変更することで、それぞれの調査に見合った最適な運転条件を作り出すことができる。また、曝気風量の制御では、一定の風量に設定するものやDO計の測定値から行うもの、またアンモニア計の測定値から行うものの3種類の中から選択することができる。

表 1 計器の設定範囲

	設置箇所	設定範囲
原水流入ポンプ	全系列	0.5 ～ 2.0 m ³ /hr
ステップ流入ポンプ	1系	0.5 ～ 1.5 m ³ /hr
循環ポンプ	1系	0.25 ～ 1.6 m ³ /hr
	3系	0.34 ～ 2.6 m ³ /hr
返送汚泥ポンプ	全系列	0.25 ～ 1.8 m ³ /hr
曝気ブロウ	1系(前段)	3 ～ 24 m ³ /hr
	1系(後段)、2系、3系	3 ～ 18 m ³ /hr
攪拌機	1系(嫌気、第一無酸素)、3系	0～ 85 rpm
	1系(第二無酸素)	0～ 50 rpm

3. 水理特性把握調査

3. 1 調査目的

本調査は、当プラントの基本的な水理特性（酸素溶解効率、混合特性）を測定し、実施設との違いを明らかにすることを目的としている。これにより、当プラントで得られた実験結果を、実施設へ適用するときに考慮しなければならない点を明確にする。

3. 2 調査期間と機器の標準条件

調査期間は、酸素溶解効率調査を平成 21 年 1 月 26 日から 29 日までの期間で実施し、次いで 1 月 30 日から 3 月 19 日までの期間で混合特性調査を実施した。

各機器では、標準となる設定値を定めており、その内容は、表 2 に示すとおりである。開口部の大きさは、流入水量 2m³/hr、攪拌強度を最大とした時に、隔壁の上を越流しない大きさを確認し、その条件を標準とした。流入水量と曝気風量については、設計上の標準値を用い、攪拌強度は、目視により十分に攪拌強度が得られている最低回転数を標準とした。

この標準条件に対し、対象とする各項目のみの設定値を変更して調査を行った。

表 2 機器の標準設定値

	攪拌機回転数			循環水量 m ³ /hr	流入水量 (返送水量) m ³ /hr	流入水量 (返送水量) m ³ /hr	曝気風量		隔壁 開口部断面 cm
	嫌気槽 rpm	無酸素槽 rpm					ブロウ1 m ³ /hr	ブロウ2 m ³ /hr	
1系	35.0	第一 21.0	第二 24.0	1.0	1.0	0.5	6.0	6.0	8.0
2系	---	---		---					
3系	35.0	21.0、20.0※		1.0					

※3系の無酸素槽は2台の攪拌機が設置されており、前段が21rpmで後段が20rpmに設定した。

3. 3 調査内容

3. 3. 1 酸素溶解効率調査

好気槽における、もっとも基本的な性能である「酸素溶解効率 Ea（水中に吹き込んだ空気に含まれている酸素が水中に溶け込む割合（％）」の測定を行った。調査は、各系列の好気槽に対して、曝気風量の条件を3通りに変化させ、この時の酸素溶解効率を測定することで行った。

(1) 酸素溶解効率の算出方法

測定により得られた結果の評価を行う指標である、総括酸素移動係数 (KLa) や酸素溶解効率 (Ea) の算出については、「下水道試験法」¹⁾および「下水道施設設計計画・設計指針と解説」²⁾に準拠して行った。

① 総括酸素移動容量係数 KLa(20)〔水温 20℃に換算した KLa〕の算出

$$KLa(T) = 1/t_2 - t_1 \cdot \ln (Cs(T) - Ct_1 / Cs(T) - Ct_2)$$

Ct₁ : t₁ 時間後の溶存酸素濃度(mg/L) Ct₂ : t₂ 時間後の溶存酸素濃度(mg/L)

KLa(T)から水温・塩分補正を行い、KLa(20)を算出する。

$$KLa(20) = 1/\gamma \cdot KLa(T) \cdot 1.024^{(20-t)}$$

γ : 塩分濃度による KLa の補正 ($\gamma = 8.8 \times 10^{-6} \times Cz + 1$)

Cz : 亜硫酸ナトリウム濃度(mg/L)

ただし、測定 DO の採用範囲は、2mg/L 以上 9mg/L 未満とした。

また、2 系好気槽 3 および 3 系好気槽は、2 本の DO 計で測定を行っているが、いずれも値に大きな差が認められないことから、前段に設置された DO 計の値を採用した。

② 酸素溶解効率 Ea(20)〔水温 20℃〕の算出

$$Ea(20) = (Cs(20) \cdot KLa(20) \cdot V \times 10^{-3} / Gs(20) \cdot \delta) \times 100 \quad (\%)$$

KLa(20) : 20℃における総括酸素移動容量係数(1/hr)

Cs(20) : 20℃における液相の飽和溶解酸素濃度(mg/L)

Gs(20) : 20℃、1 気圧における通気量(m³/hr) V : 水槽有効容積

δ : 20℃、1 気圧における空気中の酸素密度(0.277kgO₂·kg/m³·air)

③ 酸素溶解効率 Ea(20,5m)〔水温 20℃、散気水深 5m における酸素溶解効率〕の算出

$$Ea(20,5m) = Ea(20) \times (5/H)^{0.68}$$

ここにあげた項目について、当プラントの測定により算出された値と、実施設の既存値から、十分な散気効率が得られているかの評価を行う。必要であれば、補正についての検討も行う。

(2) 測定方法

当プラントは、好気槽が 6 槽に分割されている。(図 1) それぞれの槽において酸素溶解効率を求めた。

1 系 : 第 1 好気槽、第 2 好気槽

2 系 : 好気槽 1、好気槽 2、好気槽 3

3 系 : 好気槽

測定方法を以下に示す。

- ① 槽内を三次処理水で満たし、水温、DO を測定して飽和状態における溶存酸素濃度を算出する。同時に電気伝導度と S S の分析も行う。
- ② DO1.0mg/L に対して、亜硫酸ナトリウム約 10mg/L の割合になるよう添加し、DO $\approx$ 0.0mg/L とする。
- ③ 槽内濃度が 0.05mg/L 程度となるように、塩化コバルトを添加する。
- ④ 攪拌した後に DO が 0.0mg/L となっていることを確認し、調査開始時の水温の測定を行う。
- ⑤ 調査条件で設定した空気量で曝気し、DO 濃度の時間変化を測定する。
- ⑥ DO 濃度が飽和濃度付近になったら、曝気を止めて測定を終了する。
- ⑦ 再度、亜硫酸ナトリウムを添加し、DO が 0.0mg/L になったのを確認した後、次の

条件に変更して測定を行う。

3. 2. 2 混合特性調査

混合特性調査は、水処理実験プラント内の水の流れが、水処理に理想的な「完全押し出し流れ」とどの程度乖離しているかを測定するものである。この特性把握をすることで、本プラントと実施設との水処理特性の違い等を検討することが可能となる。

各槽における混合特性や平均滞留時間を支配する要因として、開口部の断面、流入水量、攪拌強度、曝気風量が考えられる。そこで、これらの設定値を変更してトレーサー調査（染料を流して、その広がり測定することで、水の流れを解析する手法）を実施し、混合特性の把握を行った。

（１）調査条件

各要因の影響を確認する調査は、代表系列とした 3 系のみとし、1 系と 2 系については標準設定条件（表 2）で行った。表 3 に各要因による影響調査の設定条件を示す。

表 3 混合特性調査の設定条件

		小	中	標準	大
①開口部断面(cm)		5.0	---	8.0	15.0
②攪拌機回転数(rpm)	嫌気槽	11.0	18.0	35.0	53.0
	無酸素槽	7.0	10.0	20.0	31.0
③曝気風量(m ³ /hr)	ブロウ(前段)	4.5	---	6.0	18.0
	ブロウ(後段)	2.3	---	6.0	19.0
④流入水量(m ³ /hr)		0.5	---	1.0	2.0

（２）測定方法

混合特性試験の測定方法を以下に示す。なお、試験に用いるトレーサー物質としては、青色 1 号を使用した。添加は、流入部ヘジョッキにて一気に投入することで行った。ただし、逆混合試験では、トレーサー溶液入りの風船を使い、対象槽内の流入部付近で破裂させて投入した。

- ① 制御盤でポンプの吐出量や攪拌機の回転数を調査条件にあわせて設定する。
- ② 各槽の末端部付近に採水用チューブを設置し、採水場所まで配管する。
- ③ 槽内の水流が安定したら、採水チューブの流出量を測定し、チューブによるタイムラグを算出する。
- ④ 調査前の流入水、各反応槽、返送水を採水し、ブランクの吸光度を測定する。
- ⑤ 記録計への記録を開始させる。
- ⑥ トレーサー溶液（青色 1 号 15g を約 150mL の水に溶かしたもの）を投入し、各槽の試料は採水用チューブのタイムラグを考慮して採水（返送水は返送ラインより直接採取）を行う

1hr まで：各槽水は 5 分間隔、返送水は 30 分間隔（採水量：約 10mL）

1hr 以降：各槽水は 10 分間隔、返送水は 30 分間隔（採水量：約 10mL）

- ⑦ 17 時以降、好気槽末端からを自動採水器で翌 9 時まで 1 時間間隔で採水（採水量：500mL）する。

⑧ 実験終了時に流入水、各反応槽、返送水から採水し、吸光度を測定する。

4. 調査結果

4. 1 酸素溶解効率調査

各系列の好気槽の調査結果に基づいて、 $KLa(20)$ の算出結果を表4に示す。

表4 酸素溶解効率調査の測定結果

対象系列		通気量 (m^3/hr)		水温 $^{\circ}C$	KLa ($1/hr$)		酸素溶解効率 (%)	
		設定条件	実測値		実測値 $T^{\circ}C$	$20^{\circ}C$ 補正	$20^{\circ}C$	H=5m 補正
1系	第1好気槽	標準風量	6.0	12.6	11.1	13.2	32.0	62.0
		中風量	10.0	11.7	16.0	19.5	30.3	58.7
		最大風量	20.2	11.1	28.1	34.6	27.8	53.7
	第2好気槽	標準風量	6.0	11.5	9.1	11.1	36.6	70.8
		中風量	10.0	11.0	12.3	15.2	32.4	62.8
		最大風量	16.6	10.5	20.5	25.7	34.2	66.2
2系	好気槽1	最小風量	1.5	11.4	3.4	4.1	26.9	52.0
		標準風量	2.2	10.4	5.7	7.1	34.0	65.7
		最大風量	8.5	10.8	17.7	21.9	31.8	61.4
	好気槽2	最小風量	3.5	11.6	4.8	5.9	38.2	73.9
		標準風量	4.5	10.8	5.9	7.3	37.7	72.9
		最大風量	18.6	11.0	16.7	20.7	27.8	53.8
	好気槽3	最小風量	1.9	11.3	2.1	2.6	25.1	48.5
		標準風量	2.2	12.4	3.0	3.6	29.6	57.2
		最大風量	10.2	10.8	8.6	10.7	20.6	39.9
3系	好気槽	最小風量	7.0	11.3	5.5	6.8	36.0	69.6
		標準風量	12.0	12.0	9.6	11.5	37.4	72.4
		最大風量	37.0	10.7	22.1	27.5	31.6	61.1

※網掛け部は、各好気槽の調査結果のうち酸素溶解効率が最も高い値を示す

ここで、2系は、ブロワ2台で3槽の好気槽を曝気しており、3系はブロワ2台で1槽の好気槽を曝気している。したがって、結果の取り扱いにあたっては、2系は以下のとおり、各槽の曝気風量を案分して推定し、3系は、2台のブロワ量を合計して曝気風量を算定した。

調査は、当プラントの制御盤で設定可能なブロワ送風量の上限から下限の範囲で実施しており、送風量が大きい条件の結果からは、 $KLa(20)$ が35($1/hr$)程度と大きな値が得られた。なお、設計上の標準風量における $KLa(20)$ は3.6～13.2($1/hr$)の範囲であった。

また、酸素溶解効率 $Ea(20)$ の値は、20.6～38.2%の範囲に入っており、これまで当局で測定されている値³⁾と同程度以上のものとなっていた。詳細に見ると、酸素溶解効率は、各系列の好気槽で異なる数値を示しており、散気装置の配置状況が各好気槽によって異なること(図1)、また各好気槽の容量が異なることが原因と考えられた。

また、各系列における調査結果のうち、2系好気槽2の結果を除くと、設計上の標準風量における結果が最も高い酸素溶解効率となっていた。通気量が多い場合の効率低下は、曝気による攪拌の強度が上がることにより、気泡と水の接触時間の減少し、また気泡の合一化により接触面積の減少が生じたことによるものと考えられる。当プラントにおける設

計上の標準風量としては、酸素溶解効率にとって最適な値が設定されていることが推測された。

4. 2 混合特性試験

4. 2. 1 有効容量の確認結果

各系列の基本条件における測定結果のうち、3系における標準条件の結果を図2に示す。流出ピークの時間は水利学的な理論上の滞留時間より短くなっていた。これは、流入量の大小や攪拌強度の強弱にかかわらず同じ傾向を示していた。嫌気槽は無酸素槽や好気槽に比べて理論上の滞留時間とのずれは小さいものの、槽の流下方向に進んだ無酸素槽や好気槽などでは短時間側へのずれが大きくなる反面、長時間滞留しているものも多くなっていた。

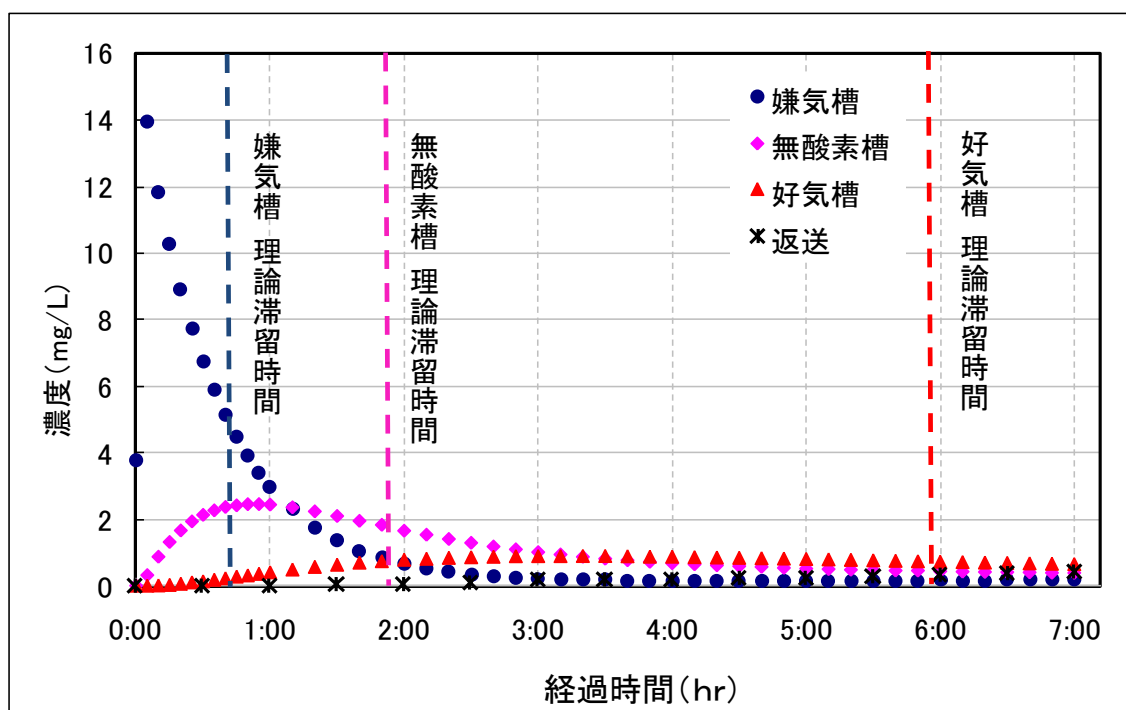


図2 3系におけるトレーサー物質の濃度変化

この結果から、完全混合モデルを用いてシミュレーションを行い、各反応槽の死水域を推定した。測定結果を表5に示す。3系では、嫌気槽においてどの条件においても有効容量が 0.95m^3 と推定され、5%程度の死水域があると考えられた。無酸素槽は流入水が少ない条件において死水域が存在し、好気槽では、どの条件においても死水域がなかった。

一方、1系では、反応槽の小さい嫌気槽から第二無酸素槽の各槽に死水域があるとみられ、2系では、各槽の容量が大きいこともあり、死水域はないものとみられた。

これらの結果から、死水域が存在すると推定された反応槽においても死水域の割合は、数%程度であり、当プラントの反応槽は、ほぼ完全な混合特性を示していると評価できる。

表 5 槽別の有効容量

ケースNo.		嫌気槽 (m^3)	無酸素槽 (m^3)		好気槽 (m^3)		
1系	反応槽容量	1.00	0.70	3.60	3.70	5.00	
	標準※1	0.95	第一 0.65	第二 3.50	第一 3.60	第二 5.00	
2系	反応槽容量	---	---	---	3.00	6.00	5.00
	標準※1	---	---	---	第一 3.00	第二 6.00	第三 5.00
3系	反応槽容量	1.00	3.00		10.00		
	小※1	0.95	2.95		10.00		
	中※1	0.90	3.00		10.00		
	標準※1	0.95	3.00		10.00		
	大※1	0.95	3.00		10.00		

※1 各条件の測定結果から計算された容量を示す

※2 網掛け部分は、死水域があると推測される箇所

4. 2. 2 逆混合の検討結果

ここでは、3系を代表系列として、好気槽にトレーサーを注入した時の無酸素槽への逆混合、また無酸素槽にトレーサーを投入した時の嫌気槽への逆混合を確認した。

図3は、逆混合が「無い」とした場合のシミュレーション結果と、実測値を比較したものである。立ち上がり後60分程度の濃度変化は同等であるが、ピーク濃度は実測値のほうが低くなっていた。逆混合があると仮定した場合、実測値は、計算値より高濃度となるため、逆混合が存在しないと判断できる。

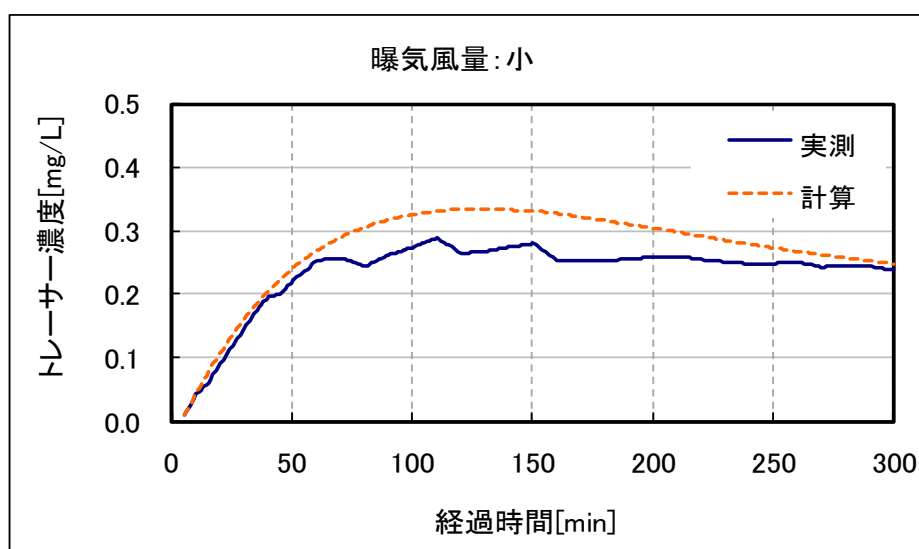


図3 逆混合調査結果（逆混合なし）

また、無酸素槽投入時の嫌気槽の評価については、攪拌強度が小、中、標準の条件で無

酸素槽と同様、実測値が計算値より低濃度となっていたので、逆混合が無いものと判断することができる。しかしながら、大の条件では、立ち上がり部分で実測値が計算値よりも濃度が高くなっており、逆混合が生じていると考えられた。立ち上がり部分の挙動を再現するためには、逆混合の割合を 8% にする必要があった。(図 4)

そのため、以下の各影響因子について行った試験では、攪拌強度を大の条件にした時に、逆混合を考慮して結果の評価を行った。

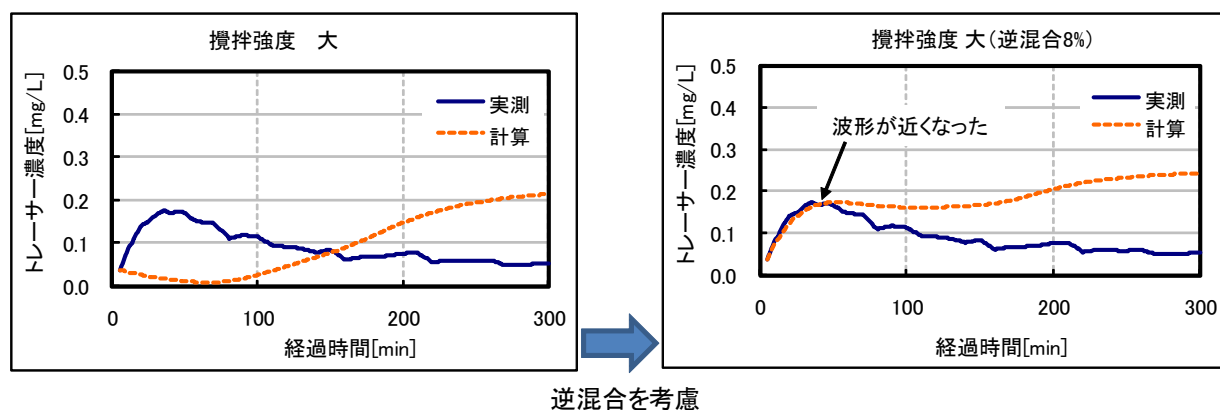


図 4 逆混合調査の結果（逆混合あり）

4. 2. 3 各影響因子での解析結果

(1) 開口部の影響

嫌気槽では、開口部が 15cm の場合、計算値よりも実測値が低濃度となる状況みられた。(図 5) ここから、トレーサー物質が槽内で完全混合せずに、短絡流が発生しているものと考えられる。短絡流を抑制するためには、開口部を 8cm 以下で設定する必要がある。

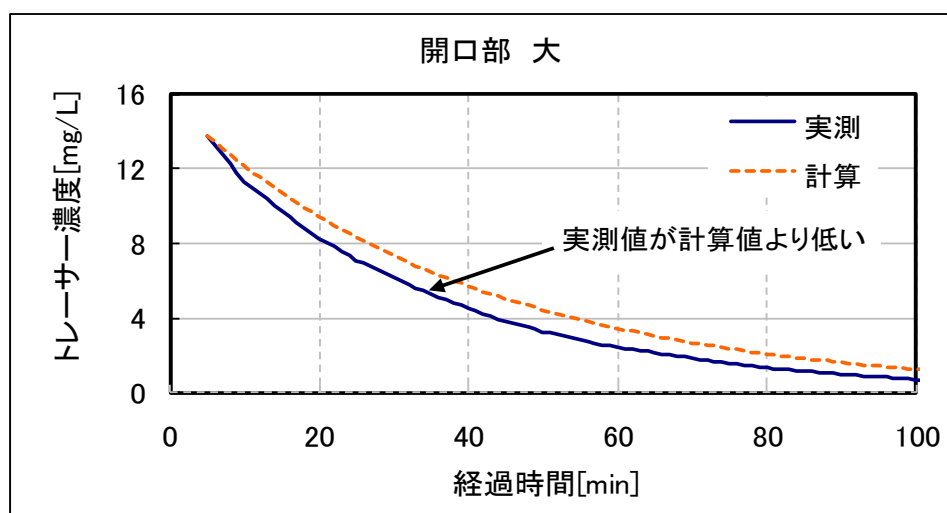


図 5 開口部の影響：嫌気槽（短絡流あり）

無酸素槽では、開口部が大きいほど計算値よりも実測値のピーク濃度が高くなる状況がみられ、嫌気槽の短絡流の影響や無酸素槽内に死水域が影響しているものと考えられた。(図 6)

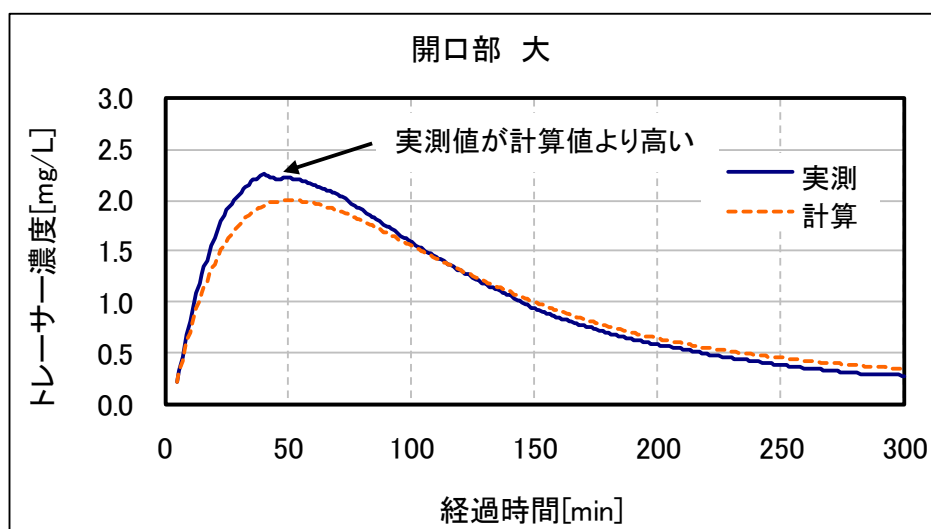


図6 開口部の影響：無酸素槽（死水域あり）

（2）攪拌強度の影響

攪拌強度が最大のものについては、前述の逆混合の検討実験の結果から、無酸素槽から嫌気槽への逆混合を8%として評価を行った。

嫌気槽では、攪拌強度が標準よりも小さい条件で、計算値よりも実測値が低濃度となる状況が見られていた。攪拌強度が弱いと、トレーサー物質が槽内で完全混合せずに、高濃度のまま流出する短絡流が起きていると推測された。

無酸素槽では、攪拌強度が標準よりも小さい条件で、計算値よりも実測値が高濃度となる状況がみられている。（図7）これは、攪拌強度が小さいと槽内に死水域が発生しやすいことが原因と考えられた。

これらの結果から、攪拌強度が大きいと逆混合が生じ、小さいと短絡流等が起きると考えられるため、標準値付近での設定が望ましいと判断できる。

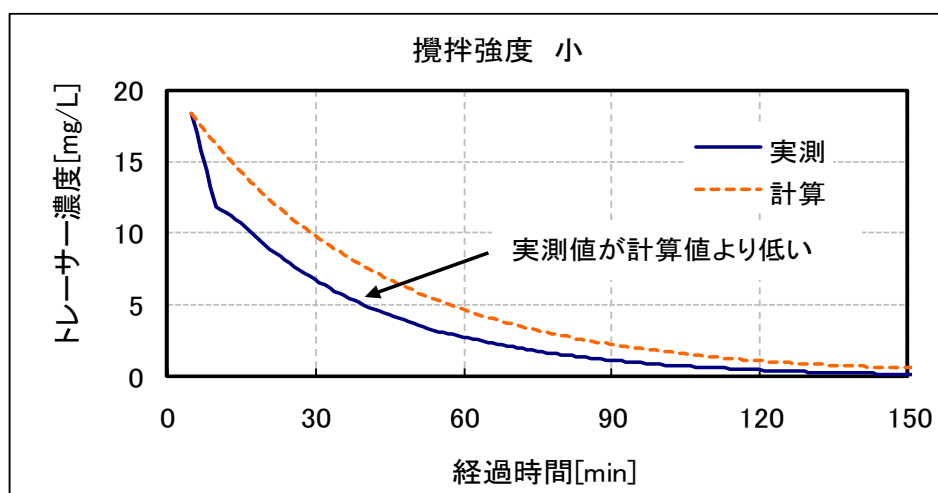


図7 攪拌強度の影響：嫌気槽（短絡流あり）

(3) 曝気風量の影響

好気槽から無酸素槽への逆混合がないため、嫌気槽、無酸素槽とも曝気風量の影響を受けず、各実験の結果に大きな差は認められなかった。

(4) 流入水量の影響

嫌気槽では、流入水量が小さいほど、計算値と実測値の差が大きく、計算値よりも実測値が低濃度となる状況がみられた。計算値よりも実測値が低濃度となるのは、トレーサー物質が槽内で完全混合せずに、高濃度で流出する短絡流が考えられる。この原因としては、死水域や時間遅れによる見かけの有効容量の減少があるが、他の実験結果を考慮すると、水量が少ない条件では、時間遅れが大きくなる傾向にあると考えられた。

無酸素槽では、経過時間を圧縮することで各実験結果がほぼ同様の波形になることから、流入水量の影響は滞留時間のみで、時間遅れの差は嫌気槽よりも少ないと考えられた。

4. 2. 4 1系および2系における調査結果

1系や2系についても3系と同様に測定を行った。2系については、第2槽から第1槽への逆混合がないものとした計算結果が実測値とほぼ一致しており、第2槽からの逆混合はないものと考えられた。一方、第3槽から第2槽については、30%程度の逆混合を見込まないと計算値と実測値が一致しない結果となり、大きく逆混合が生じている可能性が示唆された。

逆混合の原因としては、第2槽と比べて第3槽の曝気風量が多いことが可能性としてあげられる。すなわち、ブロワ2から各散気装置への送風量が送風配管のバルブ開度等の設定によるアンバランスにより同等でないことや、散気装置と隔壁との距離など、設置位置が影響を及ぼしている可能性が考えられる。

1系については、各槽において逆混合がないものとした計算値を実測値と比較すると、いずれの槽においても、計算結果が実測値とほぼ一致しており、1系では、標準的な運転条件で運転する範囲においては、逆混合は生じないことが示唆された。

4. 2. 5 水処理プラントの設定条件

トレーサー調査の結果から得られた、運転条件における状況の一覧を表6に整理した。

この結果から、今後の水処理実験においては、開口部を8cm以下、攪拌強度を標準値程度で設定する必要がある。ただし、開口部大きさは、隔壁上部から越流しない大きさとして8cm以上とする必要があることから、開口部は8cmの条件とすることが望ましい。

流入水量および曝気風量は混合特性への影響が認められなかったため、設定を自由に變更することに問題は生じない。

1系・2系の系列についても同様の傾向にあると考えられるが、標準法系列では、第3槽から第2槽への逆混合があると考えられるため、曝気風量の配分や散気装置の位置等について確認をしておくことが必要である。

表 6 水処理プラントにおける設定条件の影響

		流入水量	開口部断面	攪拌強度	曝気風量
1系		○	○	○	○
2系		○	○	○	×
3系	小	○	×	×	○
	中	---	---	×	---
	標準	○	○	○	○
	大	○	×	×	○

○:問題なし

×:逆混合などあり 設定時には注意が必要

5 実施設と水処理実験プラントの混合特性の比較

本調査で行った混合特性調査結果より、3系の好気槽入口に瞬時にトレーサー物質を投入し、好気槽末端でトレーサー物質濃度を測定した結果、初期の時間帯に最大濃度を示し、以降は、徐々に濃度が低くなるという、完全混合槽の挙動を示していた。

同様に、2系における混合特性調査結果から、2系全体の水理学的滞留時間に対する比率として整理した結果、実施設と同様に、押し出し流れに近い混合特性となっていたが、実施設よりも早い時間帯で濃度ピークが現れていた。

さらに、好気槽のみならず、嫌気槽や無酸素槽においても完全混合を示す結果が得られており、各槽は、完全混合槽としての特徴を有していると判断できる。

実施設においては、ある程度の押し出し流れが確保されており、実施設と当プラントでは、下水の流下特性や混合特性が異なることに起因して、処理特性が異なることが考えられる。特に3系のように好気槽に仕切りがない場合に、槽全体が一体となってしまう、前段のDOが下がりにくくなってしまう。そのため、早い段階から硝化が進んでしまうことが懸念される。

そこで、今後、当プラントで調査を行う際には、以上にあげた要因を十分考慮に入れて、プラントの運転や結果の評価を行っていくことが必要である。

6 まとめ

本調査では、下水道技術研究開発センターに設置された水処理実験プラントの基本的な水処理特性を把握することを目的として、酸素溶解効率および混合特性に関する調査を行った。

その結果、以下の事項が明らかとなった。

(1) 酸素溶解効率

- ① 酸素溶解効率 $Ea(20)$ の値は、20.6～38.2%の範囲に入っており、これまで当局で測定されている値と同程度以上のものとなっていた。
- ② 設計上の標準風量における酸素溶解効率 $Ea(20)$ が最も高い値となっていたことか

ら、当プラントにおける設計上の標準風量としては、酸素溶解効率にとって最適値が設定されているといえる。

(2) 混合特性

- ① 隔壁の開口部の最適な大きさは、8cm であることがわかった。
- ② 各系列の標準的な運転条件での混合特性調査結果からは、いずれの反応槽とも水理学的滞留時間よりも短い時間で濃度ピークが出た。これは、槽内が完全の混合に近い状態で、トレーサー物質が投入と同時に分散したことによるものと推察された。
- ③ 1系では嫌気槽～第2無酸素槽の各槽、3系では嫌気槽についてわずかに死水域があると推定されたものの、その割合は小さく、反応槽全体の混合特性には影響を与えないものと考えられた。また、2系では死水域はないものと推察された。
- ④ 死水域が生じる要因として、嫌気槽はトレーサーが最初に流入する反応槽であることや、反応槽容量が小さい場合に攪拌が不十分となることの影響が考えられた。
- ⑤ 3系を対象に混合特性調査を実施した結果、攪拌強度を最大とした場合には、攪拌に伴う逆混合が生じてしまうものの、他の運転条件については、逆混合を生じないものと推察された。
- ⑥ 1系および2系を対象として、標準的な運転条件にて混合特性調査を実施した結果、1系では逆混合は認められなかったが、2系では第3槽から第2槽への逆混合が認められた。原因としては、ブロワ2から各散気装置への送風量のアンバランスがあげられ、配管のバルブ開度や、散気装置の設置位置が影響している可能性が考えられた。
- ⑦ 当プラントで実施設と同様の押し出し流れを確保するには、隔壁を設けることが必要となるが、装置の制約があるため困難である。したがって、DO制御を行う場合には、反応槽末端にDO制御槽を設けるか、あるいは制御するDO値を調整することにより、好気槽全体のDOが高くなりすぎないように留意した運転を行うことが必要である。
- ⑧ 当プラントでは、各槽が完全混合槽としての特徴を有していると判断できる。なお、調査を行う際には、実施設と処理特性が異なることを十分に考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 下水試験方法：日本下水道協会 1997年版
- 2) 下水道施設設計計画・設計指針と解説：日本下水道協会 2001年版
- 3) 散気装置の効率化に関する調査：東京都下水道局技術調査年報（2002）

3-(1)-6 水処理から発生する一酸化二窒素(N₂O)

の削減技術の開発

計画調整部技術開発課 本間誠二
河野里名

1 はじめに

近年、地球温暖化による地球環境や生態系への影響が強く懸念されている。東京都は、平成 13 年、温室効果ガス(GHG)の排出削減に取り組む「地球をまもる都庁プラン」を策定し、さらに平成 18 年には、最先端の省エネルギー技術を駆使して世界で最も環境負荷の少ない都市の実現を目指した「カーボンマイナス東京 10 年プロジェクト」を策定し、具体的な削減に向けた行動を進めている。

下水道事業は、ポンプ所や水再生センター等において多大の電力を消費し、汚泥焼却では、化石燃料を大量に使用するエネルギー消費型事業である。さらに、エネルギー消費による CO₂ の排出に加えて、下水の処理の過程で一酸化二窒素(N₂O)、メタン(CH₄)等の GHG が生成・排出されている。このような背景の中で下水道局は、平成 16 年に自主的かつ積極的に地球温暖化防止対策を図るための「アースプラン 2004」(平成 18 年追補)を策定して GHG の排出削減に努めてきた。アースプランは、京都議定書の目標である 2009 年度までに 1990 年度比で 6 %削減することを目指しているが、「カーボンマイナス東京 10 年プロジェクト」では、新たな目標として 2020 年までに 2000 年比で 25 %の削減目標が示され、今後、一層の排出削減に取り組む必要がある。

しかし、電力使用量の削減や汚泥焼却に伴う N₂O の排出削減は、既にアースプランによる削減対策が進められており、残された削減余地は少ない。新たな目標の到達には、削減余地が大きく残されている部分に注目していく必要がある。

N₂O は、当局事業が排出する GHG 全体のなかで主要な部分を占めている。発生源は、汚泥焼却過程と水処理過程であるが、汚泥焼却には、高温焼却などの対策が進められている。一方、下水の処理過程で非意図的に生成・発生している N₂O は、GHG 総発生量の 1 割を占めているが有効な削減技術は開発されておらず削減余地が残されている。新たな削減目標の達成には、下水処理過程から発生する N₂O を削減する技術の開発が必要である。

技術開発課では、平成 19 年度から「水処理から発生する一酸化二窒素(N₂O)の削減技術の開発」をテーマに調査、研究を行っている。本報告は、その技術開発の全体像を示すとともに開発の第一段階として東京工業大学と共同研究で実施した浮間水再生センターにおける N₂O の発生実態と N₂O 生成機構に関する調査結果を報告するものである。

2 開発の全体像

水処理から発生する N_2O の削減対策が取られていない理由のひとつは、削減対策の最も基本となる「なぜ生成するのか」、「生成の条件は何か」という生成の機構や影響因子が十分に解明されていない点にある。反応槽から発生する N_2O 濃度は、異なる水処理施設間で10倍以上の差があることが過去の実態調査から明らかになっている。このことは、 N_2O の生成や発生を左右する何らかの影響因子があることを意味するとともに、影響因子を明らかにすることで N_2O の排出量を大幅に削減する制御技術を開発できる可能性のあることを意味している。

そこで、現在進めている排出削減技術の開発では、はじめに生成の機構と関連因子を解き明かす基礎的な研究を先行して進め、次いで得られた知見を活用しつつ生成量の少ない運転方式や運転条件を明らかにして運転制御方法の開発につなげるという方向性で取り組んでいる。また、 N_2O 濃度は、短時間に大幅に変動するのでスポットや短期的な連続測定では、平均的な濃度の把握が困難なことが知られている。このため、調査を進めるうえでの計測機器として、また年間の排出量を排出係数から求めるのではなく、連続測定計器による実測値から求めることを念頭に水処理施設で利用できる N_2O の連続測定計の開発も進めている。図1に現在進めている調査研究の全体像を示す。

(注) 【 】内は、研究の主な実施箇所

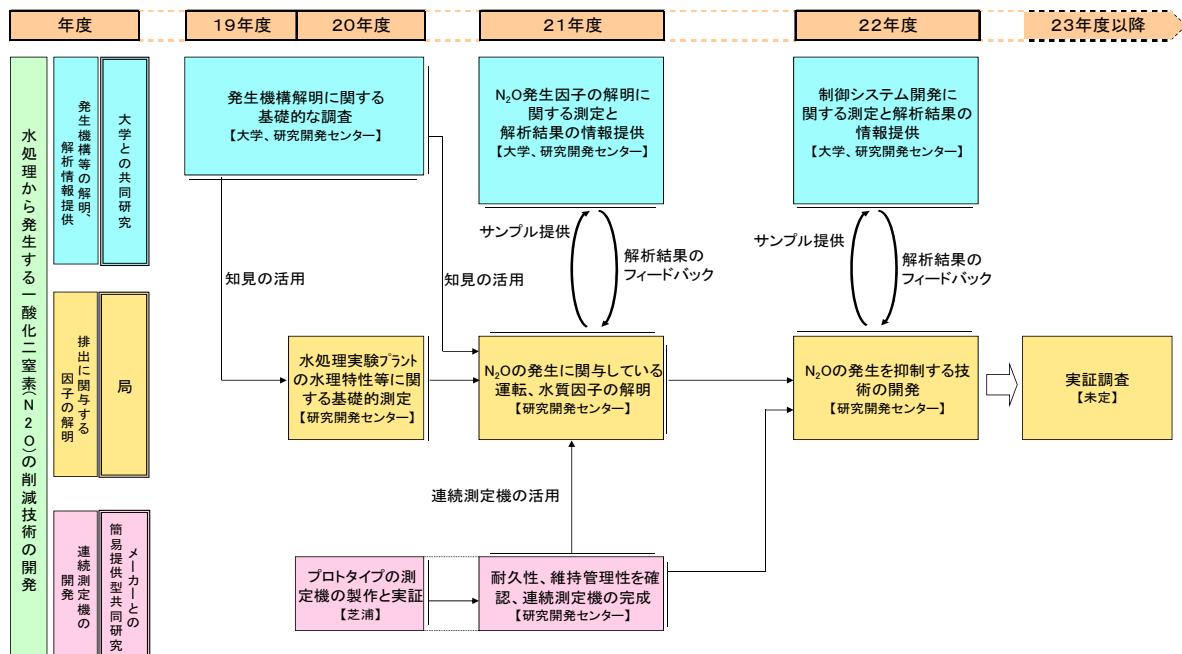


図1 排出削減技術の開発の進め方

3 発生機構解明の手法

3-1 生成機構

水処理における N₂O の生成は、アンモニアの硝化、脱窒反応に伴うものであり、図 2 のような発生機構が考えられている。

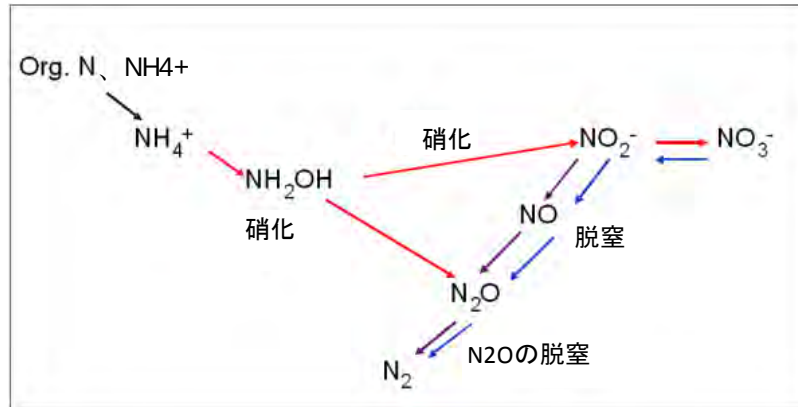


図 2 硝化、脱窒による N₂O の発生機構

この図から硝化反応による N₂O の生成は、NH₂OH(ヒドロキシルアミン)から NO₂-N になるのか N₂O になるのかの競合的な反応になっており、N₂O の生成は、副次的と考えられる。脱窒反応では、反応中間体として N₂O が生成しており、N₂O を通過しないと N₂ まで脱窒されないことになる。この図は、生成の機構について示されているが、実際に観察される N₂O がどの経路から生成しているのか、また実施設で反応の方向性を決定している因子が何であるのかは、わからない。効果的な削減技術の開発には、生成量の多い反応経路を特定し、その影響因子と制御方法を見つけることが重要になってくる。そのためには 硝化、脱窒で生成する N₂O をそれぞれ区別して測定することが必要となる。そこで、N₂O を発生原因別に区別する手法としてアイソトポマー(安定同位体分子種)分析に着目し、地球規模での窒素循環をアイソトポマー分析から研究している東京工業大学と共同して N₂O の生成過程に関する検討を行っている。

3-2 アイソトポマー分析

(1) 安定同位体

元素には質量数の異なる同位体が存在するが、このうち放射壊変しない安定同位体の組成は自然界ではほぼ一定であることが知られている(表 1)。これらの元素の化学的性質はよく似ているが、物理・化学・生物学的な変化を受ける場合は、質量数の違い(重さの違い)に基づき、微小ではあるが同位体ごとに異なる挙動を示す。このため変化を受ける前後で安定同位体比に微小な違いが生ずる。この違いは、特定の反応で特有の違いを示すことから、安定同位体比には、物質の起源やどのような反応を受けたかの履歴が残されているともいえる。この変化の大きさを標準物質に対する相対偏差として以下のように千分率で表し、物質の起源や反応履歴の推定に利用されている。

$$\delta X = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000 \quad (\text{‰})$$

$$X = \text{D(重水素)}, {}^{13}\text{C}, {}^{15}\text{N}, \text{他} \quad R = \text{D/H}, {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}, {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}, \text{他}$$

表 1 標準試料と同位体組成

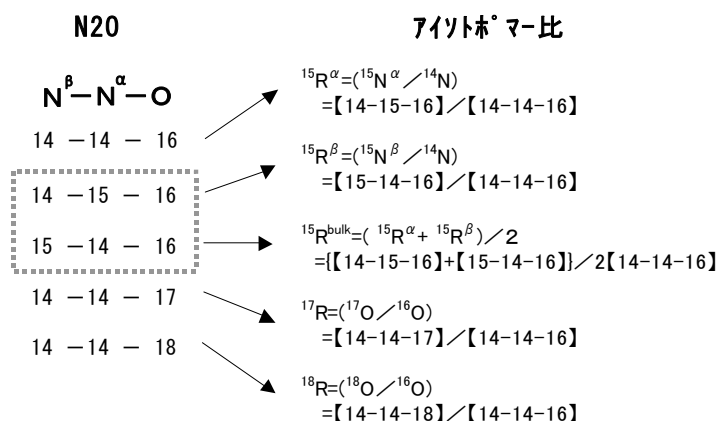
元素	同位体組成 (%)	標準試料
H	1H : 99.9844 2H : 0.0156	標準平均海水
C	12C : 98.89 13C : 1.11	C a C O 3
N	14N : 99.64 15N : 0.36	大気中の窒素
O	16O : 99.763 17O : 0.0375 18O : 0.1995	標準平均海水

(2) アイソトポマー分析による物質起源の特定

アイソトポマー（同位体分子種）とは分子内に種々の同位体を含む分子種であり、さまざまな分子について存在するが、 N_2O の場合は主として図 3 に示した 5 種類が挙げられる。 N_2O 分子は、N 原子を 2 個持っているので、それら二つの N の分子内での位置の違いを考慮して酸素原子からみて近い方、すなわち中央の N を α 位、遠い方、すなわち端の N を β 位と定義すると、 α -窒素アイソトポマー

($^{14}N^{15}N^{16}O$)、 β -窒素アイソトポマー ($^{15}N^{14}N^{16}O$)、および酸素アイソトポマー ($^{14}N^{14}N^{17}O$ 、 $^{14}N^{14}N^{18}O$) が存在している。各アイソトポマーの $^{14}N^{14}N^{16}O$ (最も存在量の多い標準となる N_2O) に対する存在比として、 $^{15}R^{\alpha}$ 、 $^{15}R^{\beta}$ 、 ^{17}R 、 ^{18}R が図 3 のように定義される。また、分子内の ^{15}N が α 、 β 位置のどちらに偏って存在しているかを表す指標として $SP = \delta^{15}N^{\alpha} - \delta^{15}N^{\beta}$ が定義される。

反応の前後で生ずるアイソトポマー比の変化を利用して、どのような反応が生じているのかを推定することで物質の起源を明らかにしていく手法がアイソトポマー分析である。

図 3 N_2O のアイソトポマー

4 調査概要

調査は、浮間水再生センター 6 号槽で実施した。N₂O の生成に關与している窒素關連の水質項目とガス態、溶存態 N₂O のアイソトポマー分析などを行い N₂O の排出実態、窒素の形態変化と N₂O 生成の關連ならびに生成の機構について検討した。

調査日時 : 平成 20 年 3 月 25 日

調査場所 : 浮間水再生センター A2O 法 6 号槽

採取試料 : ①流入水

②反応槽混合液(垂直方向に 3 段階の水深でポンプ揚水して採取)

③処理水

④塩素接触後の放流水

⑤返送汚泥

採取容器 : アイソトポマー分析用: バイアルビン (100mL)

水質分析用: ポリビン

反応槽排ガス: キャニスター(1L)

分析項目 : 水試料

アイソトポマー分析: N₂O, NH₃, NO₂, NO₃, CH₄

水質分析: NH₃, NO₂, NO₃、硝化・脱窒速度

大気、反応槽排ガス試料

N₂O, CH₄

保存方法 : 反応槽混合液は、飽和塩化水銀溶液 5 mL を添加し、その他の試料は、1 mL 添加。

反応タンクの採取位置を図 6 に、分析内容を表 3 に示す。

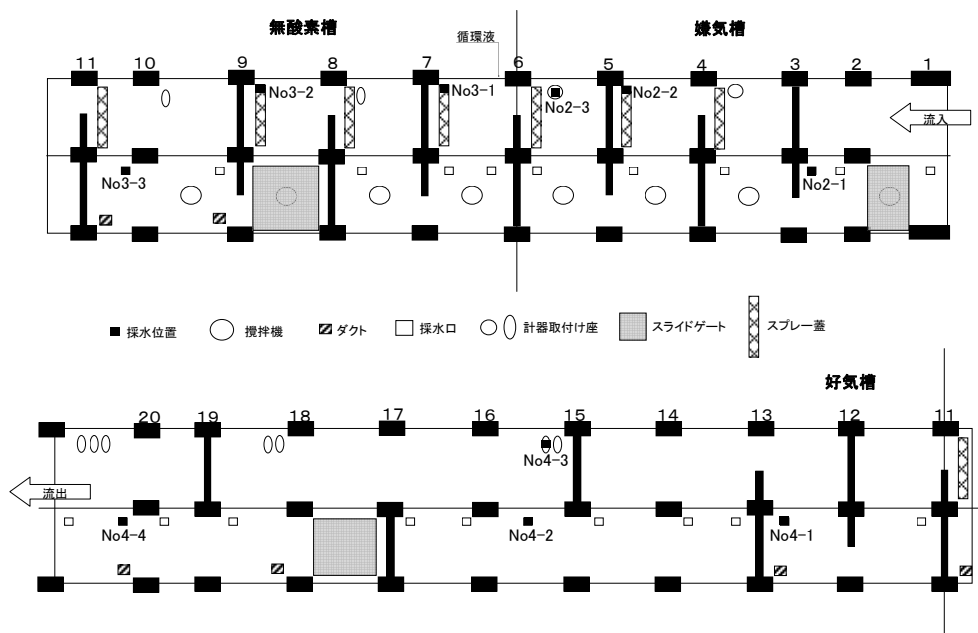


図 6 浮間水再生センター 6 号槽採水箇所

表3 採水場所及び分析項目

試料種	試料種No	位置NO	水深NO	垂直位置	溶存N2O	NH3 溶解性	NO2 溶解性	NO3 溶解性	T-N	硝化速度	脱窒速度	Rr	MLSS	DO	備考
流入水	1	1	1	表層	○	○	○	○	○						反応槽入口
	2	1	1	表層(50cm)	○	○	○	○						○	入口部
			2	中間(5m)											
			3	下部(10m)	○	○	○	○						○	
		2	1	表層	○									○	中間部
			2	中間											
			3	下部	○	○	○	○						○	
		3	1	表層	○	○	○	○						○	出口部 死水域
			2	中間											
			3	下部	○	○	○	○						○	
	3	1	1	表層	○	○	○	○		○				○	入口部
			2	中間											
			3	下部	○	○	○	○						○	
		2	1	表層	○	○	○	○						○	中間部 死水域
			2	中間											
			3	下部	○	○	○	○							
		3	1	表層	○	○	○	○						○	出口部
			2	中間	○	○	○	○	○				○	○	
			3	下部	○									○	
6号槽	4	1	1	表層	○									○	入口部
			2	中間	○	○	○	○						○	
		3		下部	○										
		2	1	表層	○	○	○	○				○		○	中間部
			2	中間	○	○	○	○						○	
			3	下部	○	○	○	○						○	
		3	1	表層	○	○								○	中間部 死水域
			2	中間	○									○	
			3	下部	○									○	
			1	表層	○									○	入口部
			2	中間	○	○	○	○						○	
			3	下部	○	○	○	○						○	
第二沈殿池出口 放流水 返送汚泥	5	1	1	表層	○	○	○	○	○					○	
	6	1	1	表層	○	○	○	○	○						
	7	1	1	表層	○	○	○	○	○				○		

5 調査時の運転状況

N2O の生成は、処理状況に大きく左右されることから、調査当日の運転状況等を表 4 ～ 6 に示す。

表 4 運転状況(6号槽)

流入水量	m3/h	479
ばっ気風量	m3/h	2,065
硝化液循環率	%	50
返送汚泥率	%	50
余剰引抜量	m3/日	1,300

表 5 運転条件(6号槽)

ORP	mv	嫌気出口	-450
		無酸素出口	-327
MLDO	mg/L	好気出口	4.1
SV	%	—	24
SVI	mL/g	—	111

表 6 水質状況(センター全体)

水質項目	単位	流入下水	一沈流入水	一沈流出水	処理水
透視度	cm	5.0	1.5	10.0	100
pH	—	7.2	6.8	7.1	6.9
COD	mg/L	110	400	49	12.3
全窒素	mg/L	27.5	—	20.2	10.5
アンモニア性窒素	mg/L	11.9	—	8.9	0.2
硝酸性窒素	mg/L	—	—	—	9.5
りん酸性りん	mg/L	1.6	—	1.1	0.04

運転状況等から調査当日の水処理状況は、良好に行われていたことがうかがえる。処理水質は、窒素、りん処理を含めて A2O 法の処理施設として標準的な数値であることから、本調査で得られた N2O 関連の結果は、A2O 法として標準的なものといえると考えている。

6 調査結果

分析結果の一覧を表 7 に示す。

表 7 分析結果

試料種	試料種No	位置NO	水深NO	垂直位置	溶存 N2O mgN2O/L	溶解性				T-N mg/L	硝化速度 mgN/gMLSS	脱窒速度 mgN/gMLSS	Rr mgO2/h	MLSS mg/L	DO mg/L	
						NH3 mg/L	NO2 mg/L	NO3 mg/L								
6号槽	流入水	1	1	1	表層	0.0172	12.5	0.43	0.23	24.9						
		2	1	1	表層(50cm)	0.0004	7.89	<0.04	0.07						0.8	
				2	中間(5m)											
				3	下部(10m)	0.0007	6.53	<0.04	0.09						0.3	
			2	1	表層	0.0007									0.3	
				2	中間											
				3	下部	0.0003	7.96	<0.04	<0.02						0.3	
			3	1	表層	0.0023	6.02	<0.04	0.04						0.5	
				2	中間											
				3	下部	0.0010	6.39	<0.04	0.02						0.4	
	無酸素槽	3	1	1	表層	0.0142	5.9	0.06	0.23			3.6			0.03	
				2	中間											
				3	下部	0.0103	6.86	<0.04	0.08						0.03	
			2	1	表層	0.0044	5.59	0.05	0.03						0.03	
				2	中間											
				3	下部	0.0040	6.78	<0.04	<0.02						0.01	
			3	1	表層	0.0039									0.01	
				2	中間	0.0024	7.85	0.04	0.03	9.5			1900		0.01	
				3	下部	0.0041									0.02	
			4	1	1	表層	0.0023								1.2	
	好気槽			2	中間	0.0068	5.99	0.07	0.1						0.5	
				3	下部	0.0045									0.6	
			2	1	表層	0.0132	3.93	0.16	2.51				26.74		1.8	
				2	中間	0.0149	4.68	0.15	2.18						1.9	
				3	下部	0.0150	4.12	0.18	2.22						0.4	
			3	1	表層	0.0186	4.59								0.9	
				2	中間	0.0180									0.4	
			3	下部	0.0186	3.09	0.18	2.36						0.7		
		4	1	表層	0.0185						1.0			3.9		
			2	中間	0.0170	0.25	<0.04	6.42	8.6				2100	3.3		
			3	下部	0.0125	0.21	0.07	6.4						2.8		
第二沈殿池出口 放流水 返送汚泥		5	1	1	表層	0.0081	0.18	0.06	7.84	9.8						
		6	1	1	表層	0.0062	0.24	0.1	8.49	10.5						
		7	1	1	表層	0.0391	0.76	0.15	3.86	6.3				6480		

6-1 反応タンク内の濃度分布

硝化過程での N_2O の生成は、 DO 濃度との関係が指摘されている。 DO が低いと硝化反応が阻害され生成しやすいとされている。そこで DO の分布を測定したものが図7である。好気-2は、底部の DO が表層、中間に比べて低くなっていた。また、隔壁の設置構造から死水域になりやすいと考えられる好気-3は、垂直位置の全ての点で低くなっていた。これに対して、窒素態の分布は、代表として図8に示したアンモニア濃度のように好気槽内での顕著な違いは見られなかった。このことは、 N_2O の消長を考える上で垂直方向による影響を考慮する必要のないことを表している。

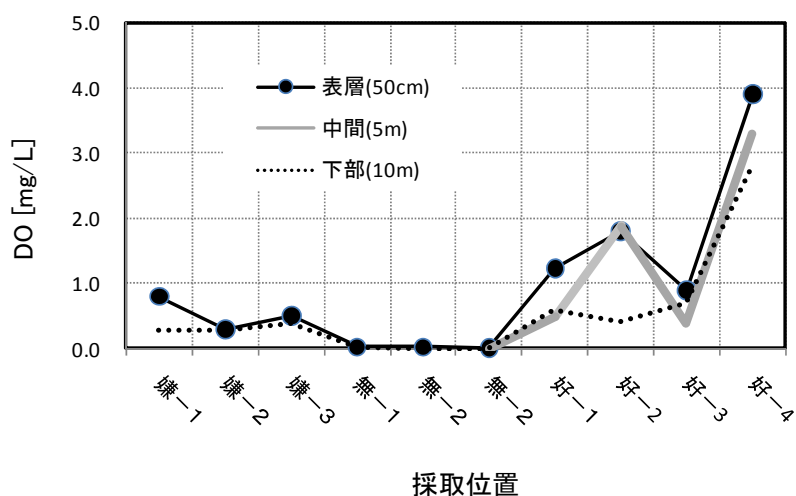


図7 流下、垂直方向の DO 濃度分布

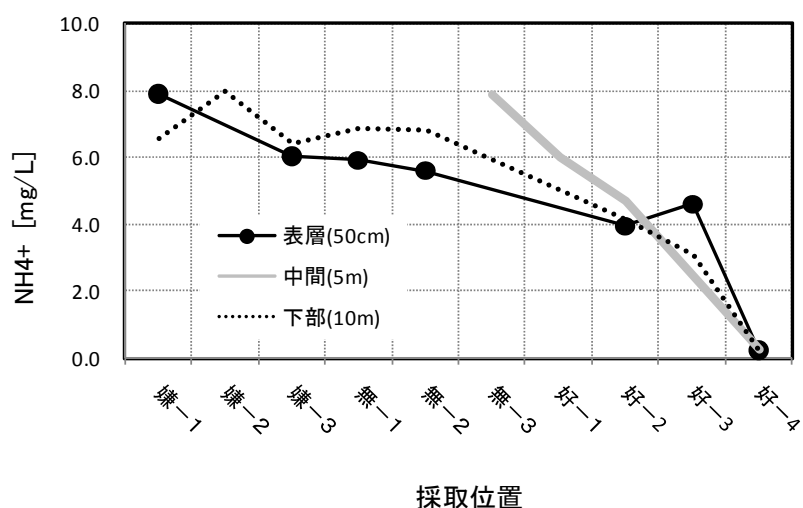


図8 流下、垂直方向のアンモニア濃度分布

6-2 溶存 N2O の挙動等

図 9 は、溶存 N2O の分布を示したものである。反応槽内の垂直分布は、無酸素－1 を除いてほぼ一様の濃度であり、窒素態の分布と同じように槽内は、ほぼ均一混合攪拌しているものと思われる。採取地点ごとの濃度から以下のことが推察される。

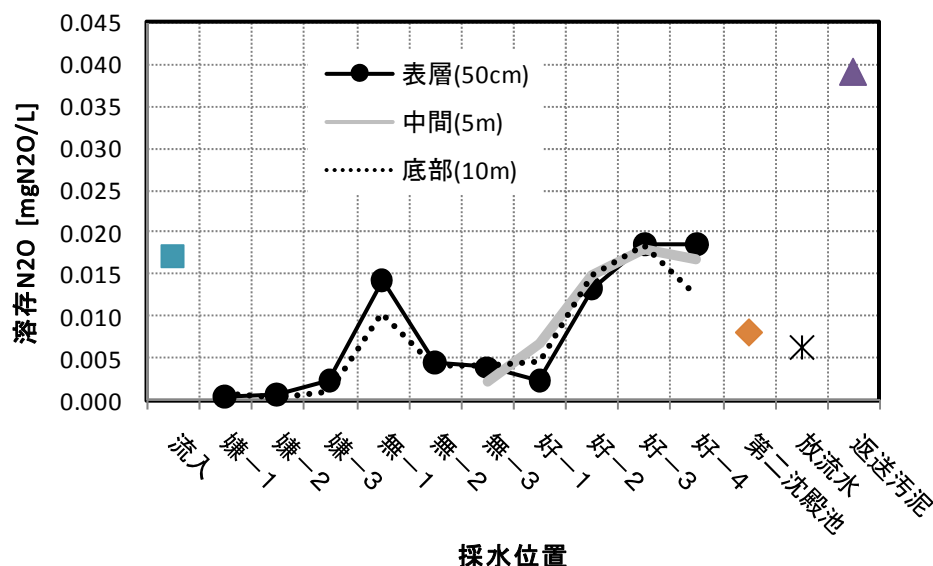


図 9 溶存 N2O 濃度と反応槽内の垂直分布

1) 流入水

流入水には、0.02mgN2O/L 程度の N2O が含まれていた。N2O の大気濃度は、0.3ppm 程度であり、大気平衡の溶存濃度は、0.0004mgN2O/L 程度になることから流入水中の濃度は、50 倍程度高い。浮間水再生センターの流入水には、通常のセンターでは検出されない N03-N が検出されることがあり、今回の測定でも 0.23mgN03-N/L 検出されている。工場排水等による N03-N の存在により下水管きょ内で不完全な硝化、脱窒が起こっているとすれば、流入水に大気平衡を上回る N2O が含まれていたとしても矛盾しないと思われる。今後は、他センターの測定を行い検証していく。

2) 嫌気槽

嫌気槽入口(嫌－1)の N2O 濃度は、返送汚泥からの持込みを考慮すると返送汚泥率 50% であるから返送の 1/3 程度が検出されてもおかしくないが、実際は、ほとんど検出されていない。図 2、N2O の生成機構が示しているように N03-N 脱窒では、N2 まで還元される途中の中間体として N2O が生成するとされているので、返送汚泥とともに持ちこまれた N2O は、N2 まで還元されているので濃度が低くなっていると考えられる。嫌気－1 の採取位置は、入口から 7～8m の地点であることから N2O は、短時間に脱窒されて N2 になっていると推察され、N2O の脱窒速度は、かなり速いことが想定される。

3) 無酸素槽

無酸素槽入口(無－1)は、嫌気槽出口の濃度よりも高い N2O が検出された。硝化液循環(50%)として好気槽末端からの N2O の持込を考慮すると無酸素槽入口濃度は、好気槽末

端の1/4程度の濃度となるが、実測値は、それよりも高くなっている。次項で示すように無酸素－1地点ではNO₂-Nが検出されていることから、ここでは脱窒に伴うN₂Oの生成が起きていると思われる。また、無－1では、垂直方向での濃度の違いが見られるが詳細は不明である。無酸素槽全体としては、流下方向にN₂O濃度が減少している。これは、嫌気槽と同様に脱窒の進行に伴ってN₂Oも合わせて脱窒されていることを示していると考えられる。

4) 好気槽

好気槽では、無酸素槽と反対に流下方向に沿ってN₂O濃度が大きく上昇している。ここでは、無酸素槽と同様にNO₂-Nが検出されていることから、N₂Oは、硝化に伴って生成していると推測される。

5) 返送汚泥

返送汚泥中には、今回の測定で最も高い濃度が観察された。第二沈殿池上層から採取した試料の濃度は、0.008mgN₂O/Lと低いことから、返送汚泥で高くなる原因は、第二沈殿池下部の汚泥層での脱窒により生成していると考えられ、このことは、返送汚泥中のNO₂-Nが比較的高濃度で検出されていることからもうかがえる。

6-3 亜硝酸性窒素濃度との関係

過去に当局が実施した調査からN₂Oの発生には、NO₂-Nとの強い関連性が指摘されている。浮間水再生センターは、処理方式がA₂O法で、かつ施設の余裕があることからNH₄-Nは、完全に硝化されてしまい放流水中の亜硝酸は、通常0.1mg/以下である。この程度のNO₂-N濃度によるN₂O生成との関連は、ほとんど無いと考えてきたが、図10に示した流下方向のNO₂-Nの存在パターンと図9に示した溶存N₂Oのパターンは、似かよっている。N₂Oは、たとえ低濃度であってもNO₂-Nが存在していれば生成していると考えられる。NO₂-Nの存在は、N₂O生成の良い指標となっていることが改めて確認された。一方、図11は、N₂O濃度とNO-N濃度との関係を示したものであるが、両者の関係は、一定の相関性が見られるものの、NO₂-N濃度だけでは説明しきれない部分が残されている。これは、溶存N₂O濃度が生成、脱窒(N₂O→N₂)、持込みなどの複合的要素で常に変動しているためと考えられる。

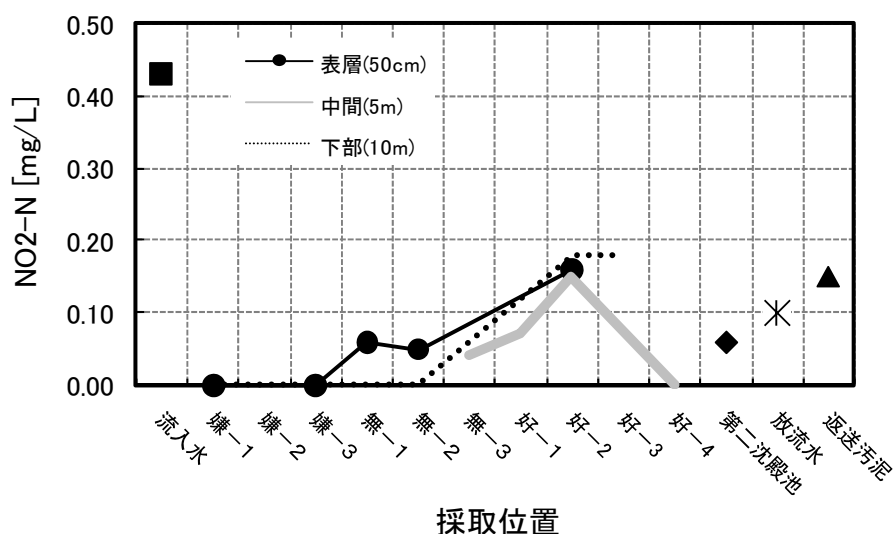


図10 流下、垂直方向のNO₂-Nの濃度分布

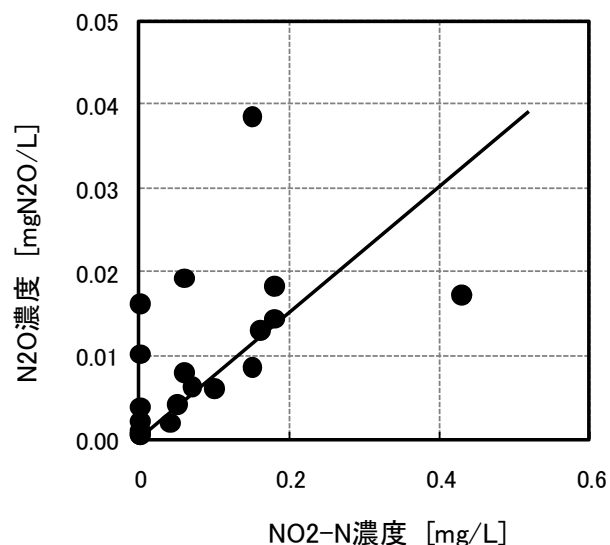


図 1 1 N2O 濃度と NO-N 濃度との関係

6-4 N2O 排出係数の試算

今回の調査では、ばっ気排ガスの N2O 濃度を好気槽入口から 3/4 ほど流下した地点で 2 回測定した。測定値は、0.694mL/m3、0.540mL/m3 であった。この値と放流水の溶存 N2O から放流水を含めた 6 号槽の排出係数を試算した。試算に用いた測定値および試算値を表 8 に示す。

現在、法令で定められた排出係数は、下水処理量 1m3 あたり 0.16gN2O である。今回、実測に基づいて行った試算値は、法令値を大きく下回っている。ばっ気排ガスとしては、約 1/32、放流水に溶存した N2O を加えたとしても 1/14 程度であった。このことから、硝化、脱窒過程を余裕を持って行っている処理施設の排

出係数は、法令で定められている数値よりもかなり低くなっていることが想定される。また、転換率は、排ガス部分で 0.013%、溶存態を含めると 0.029%であった。IPCC は、不確実性が大きいとしながらも自然界での窒素成分の N2O 転換率を 1%程度と見積もっていることから、下水道施設内での管理された窒素処理(アンモニアの硝化、脱窒)は、地球温暖化防止に有効な手法であろう。今回の試算は、スポットサンプルのデータによるものであるが、当該センターは、年間を通じて安定した処理が行われていることから、ここでの数値に大きな変動はないと考えている。ただし、N2O 濃度は、流入水質、運転条件等に変動のある場合に時間変動が大きいとされていることから排出係数の精度を上げるには、連続測定計で計測

表 8 排出係数および使用データ

流入水量		m3/日	11,496	
ばっ気量		m3/日	49,560	
N2O濃度	ばっ気排ガス	mLN2O/m3	一回目	0.694
			二回目	0.540
			平均	0.617
	放流水	mgN2O/L	0.0062	
N2O排出量	ばっ気排ガス	gN2O	60.0	
	放流水		71.3	
排出係数	ばっ気排ガス	gN2O/m3	0.005	
	放流水		0.006	
	トータル		0.011	
転換率 Nベース	ばっ気排ガス	%	0.013	
	放流水		0.016	
	トータル		0.029	

* ガス温度は、同じと仮定
* 送風量＝ばっ気排ガス量とする
* 流入水量＝処理水量とする
* 転換率は、T-Nに対するN2O-Nの比

した N2O 値を用いることが必要である。

6-5 アイソトポマー分析

図 1 2 は、N2O、アンモニアの同位体比を各採水位置(反応槽は、水深による変化が小さいので N2O は表層を示した。NH4+は、表層の測定を行わなかった嫌-2、無-3、好-1、好-3 の 4 点は、表層のデータの代わりに低部の値を示した)ごとに示している。同位体比の変化から反応槽内で同位体分別が起きていると見られる位置は、無酸素槽前段部と好気槽である。文献等により NH4+起源の硝化から N2O が生成する場合は、N2O の $\delta^{15}\text{N}_{\text{bulk}}$ は、NH4+ の $\delta^{15}\text{N}$ よりも 40~60‰低くなることが示されている。好気槽での変化は、この値に近いことからアンモニアの硝化起因による生成と考えられる。一方、無酸素槽での変化は小さい。無酸素槽では、硝化液循環液により持ち込まれた N2O、持ち込まれた NO3-N の脱窒による N2O の生成、N2O の脱窒による N2 への還元など、N2O に関する複雑な反応が同時進行していると考えられ、同位体比だけでは、脱窒による N2O の生成かどうかは不明である。ただし、NH4+の分別が小さいので硝化による生成の可能性は、低いと思われる。無酸素槽での N2O の消長については、今後、硝酸の同位体変化も合わせて測定するなど、今後の詳細な調査が必要である。これらのアイソトポマー分析の結果は、図 9 に示した反応槽内での N2O の濃度変化とよく一致しており、反応槽内の N2O の消長は、硝化・脱窒起因であり、好気槽における溶存 N2O 濃度の上昇を考慮すると硝化過程での生成量がより大きいことが示唆される。

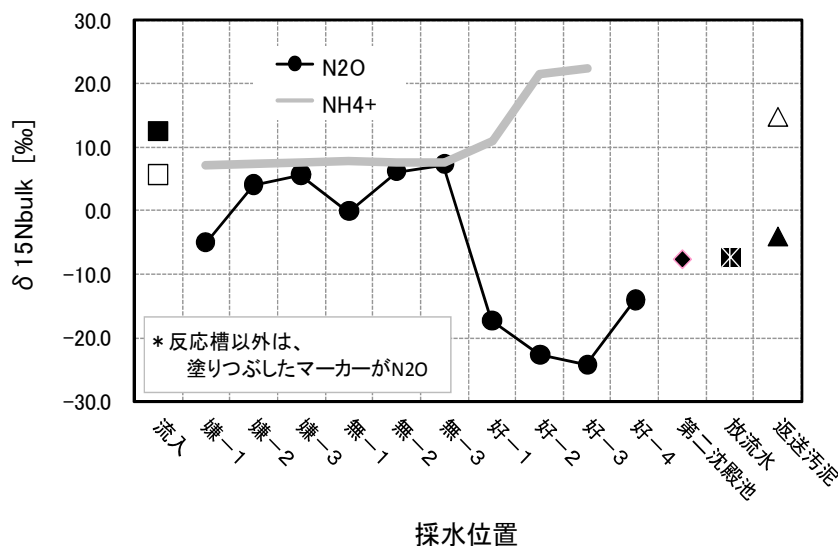


図 1 2 N2O, NH3 の窒素平均同位体比

図 1 3 は、溶存 N2O の $\delta^{15}\text{N}$ と SP との関係を下処理の流下過程ごとにグループ化して図示している。図中の矢印は、N2O の同位体比と SP が処理方向に向かって変化していく方向を示している。矢印が長いほど、その過程での物質変化が大きいことを意味する。アイソトポマー比が大きく変化する過程は、「③:無酸素槽→好気槽」、「④、⑤好気槽前段→中段→後段」、「⑥好気槽→第二沈殿池」に見られる。③~⑤までの変化は、前述した N2O の

消長が見られた位置と一致している。⑥の変化は、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{bulk}}$ の変化を示した図 1 2 では大きくないが、SP を解析因子として加えると、この部分でも大きく変化している。図 9 に示したように返送汚泥中の N_2O 濃度は、反応槽出口よりも 2 倍程度高くなっていることから、脱窒による N_2O の生成が疑われる。

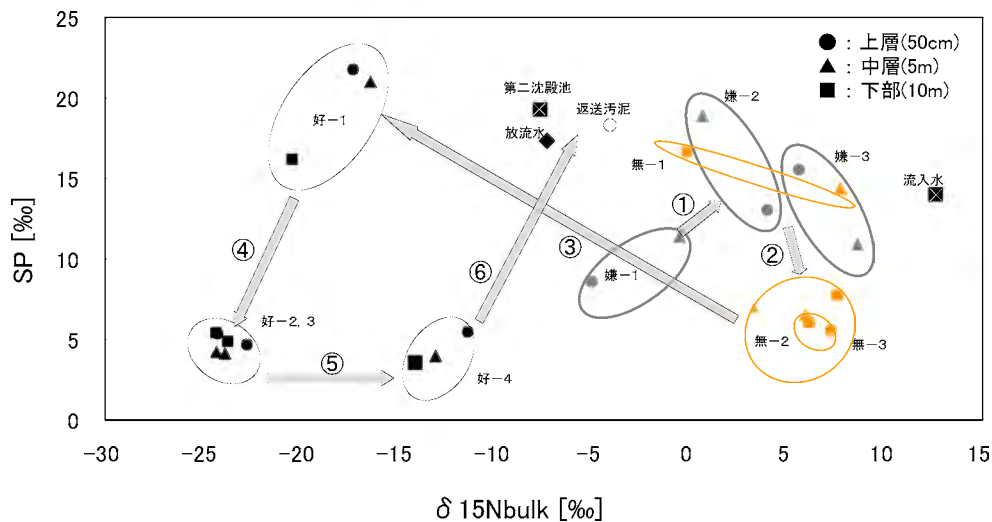


図 1 3 溶存 N_2O のアイソトポマー比の相関

今回実施したアイソトポマー分析による解析は、現段階でのデータ蓄積が不十分であり、十分な解析ができていない。本調査は、現在も継続実施しているのでデータの蓄積を待つて N_2O の発生に関する解析をさらに進める予定である。

7 -まとめ

水処理に伴い発生する N_2O に関する実態調査とアイソトポマー分析による発生機構に関する調査を実施し、以下の知見を得た。

- 1) 水質、溶存態、ガス態の N_2O を測定した結果から、既存文献等で報告されている硝化過程、脱窒過程での生成および反応槽からの排出が再確認された。
- 2) 第二沈殿池の底部では、脱窒による N_2O の生成が起きていると考えられるが、放流水への影響は見られなかった。
- 3) 返送汚泥とともに嫌気槽に持ち込まれた N_2O は、嫌気内ではほぼ完全に脱窒されていた。また、その脱窒速度は、速いと想定される。
- 4) N_2O が生成していると思われる処理過程では、 $\text{N}_2\text{O}-\text{N}$ の存在が確認された。たとえ低濃度であっても $\text{N}_2\text{O}-\text{N}$ の存在は、 N_2O 生成の良い指標となるため、 N_2O の生成抑制技術の開発に活かせるものと思われる。
- 5) 今回得られた実測値をもとに排出係数を試算したところ法令値に比べて著しく低い値であった。
- 6) アイソトポマー分析の結果、硝化、脱窒過程で採取した N_2O 中の $\delta^{15}\text{N}$ 構成比の変化は、

生物反応として既報されている特異な変化が見られ、N₂O の発生には、生物的な作用が働いていることが確認された。

今回の調査は、アイソポトマー分析という新しいツールによる取り組みということもあり、この手法が水処理から発生する N₂O の発生メカニズムの解析に有効と成りえるかという視点で進めてきた。本手法とこれまでの水質的分析手法を組み合わせることでより深く発生メカニズムを明らかにできる可能性が示されたと考えている。今後は、硝化・脱窒速度、運転条件等と N₂O 発生の関係に関する調査を進め、メカニズムの解明と削減技術の開発につなげていきたい。

最後に本調査の実施に当たり水質分析を担当した浮間水再生センターの水質管理係、並びに調査準備、試料採取、分析を担当した施設管理部環境管理課水質調査係の皆様へ感謝いたします。

3-(1)-7 小菅水再生センター東系反応槽における N2O 発生に関する調査

技術開発課 河野 里名
小菅水再生センター 水質管理係

1 はじめに

下水道局は、都の事業活動に伴って発生する温室効果ガス排出量の 40%以上を占める最大の温室効果ガス排出者である。下水道局が排出する温室効果ガスには、電力使用に基づく CO₂ や汚泥の焼却に伴う N₂O があり、これらは低動力設備の導入や汚泥の高温焼却などを通して、排出量削減の取り組みを続けている。

下水道局がこれまで対策を講じていない温室効果ガス排出源に、総排出量の約 10%を占める水処理施設から発生する N₂O がある。対策を講じてこなかった背景のひとつは、水処理における N₂O の発生、発生機構が複雑で解明が進んでいないことから、有効な対策が明らかになっていないことが挙げられる。水処理からの N₂O 発生量は、水再生センターによって 10 倍以上の差があり、発生量の少ない水再生センターには、発生が抑制されるいくつかの要因があると考えられる。その要因を明らかにして発生機構を明確にし、N₂O 削減につながる運転手法等への反映ができれば、N₂O 排出量の大幅な削減につながることを期待できる。これらのことから、技術開発課では共同研究や調査を通して発生機構の解明に関する調査を進めている。さらに、実施設でのデータ蓄積を目的に直営での N₂O 発生調査を実施している。

本報告は、平成 20 年度小菅水再生センター東系で行ったアンモニア計を活用した新しい送風制御方法の開発調査に合わせて実施した各制御法と N₂O 発生状況の関係、および硝化状況が変化する時の N₂O の発生挙動についての結果をまとめたものである。本調査は、同センター水質管理係と共同で実施した。

2 水処理における N2O 発生機構等

水処理過程から発生する N₂O は、その多くが反応槽で発生している。反応槽好気部では図 1 で四角に囲った硝化反応が起こっている。N₂O の発生要因には、①～③の 3 経路が考えられており、①と②は硝化菌による硝化と脱窒(硝化菌の一部に脱窒を行うものが存在しているとされる)、③は脱窒菌による脱窒と言われている。N₂O₂-N 濃度が高いときは、N₂O の発生が確認されることから、発生量には②の経路の影響が強いことが想定される。

発生経路から N₂O の生成は、アンモニアの硝化・脱窒処理が原因であり、硝化処理を進めなければ(アンモニア処理を行わないことを意味する)N₂O の生成も低下する。しかし、アンモニアの残存した処理水の放流は、水環境保全上(T-N 規制値の法令順守、生物学的な毒

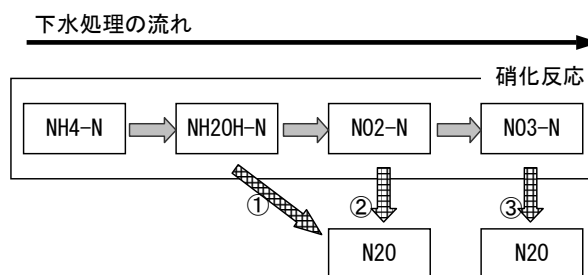


図 1 N₂O の発生経路

性など)の新たな課題が生ずる。N2Oの生成の少ない硝化、脱窒方法を開発し、水環境、大気環境の両立を図ることが求められる。

3 小菅水再生センター概要

今回調査を行った小菅水再生センター(以下、小菅)は合流式の水再生センターである。調査を行った東系水処理施設は、常時送水される梅田幹線経由の下水のほかにも、数キロ離れた本田ポンプ所から間欠で圧送された下水が混ざりあって流入する特色を持つ。流入負荷量と比べて反応槽容量に余裕があり(滞留時間11時間(年平均)、反応槽流入NH₄-N濃度は15mg/Lと低い)、工事による施設の停止や著しい水温低下がなければ年間を通して安定した硝化が可能な施設である。過去の調査でもN2Oの発生は、少ないとされている施設である。反応槽は4系列ありいずれもA0法(A回路が嫌気槽、B~D回路が好気槽)である。

4 調査概要

4-1 調査項目

調査は、以下の2項目について実施した。

(1) 制御方法の違いによるN2Oの発生変化

検討した制御方法は、下記の3方式である。

- ①制御1：既存アンモニア制御を改良した「DO安定制御」
- ②制御2：既存アンモニア制御を改良した「可変DO制御」
- ③制御3：従前の「DO一定制御」

*各制御法の詳細は、本年報の「3-(1)-4 アンモニア計とDO計を用いた送風量制御システムの開発」を参照いただきたい。

N2Oの発生は、流入水質や処理状況により短時間に大きく変動することが知られている。このため、制御方法の違いによるN2Oの発生状況を横並びに比較するには、3方法を同時に測定することが望ましいが、手持ちのN2O計が1台であることから、検討は、次の2段階で行った。

①連続測定(24時間の連続測定)

流入水質条件は、異なるが測定対象とした制御法の変動を一日単位で連続測定することで制御法による代表的な発生状況を把握する。

②同時測定(各槽試験)

各槽で短い間隔の測定をほぼ同時刻に行うことで、ほぼ同一の流入水を処理した時の発生状況の違いを把握する。

(2) 硝化状況変動時のN2O発生変化

N2Oの発生は、硝化、脱窒と関係しているが、硝化、脱窒状況と発生状況との関係を実機で測定して両者を関係づけた調査は少ない。そこで、N2Oの発生抑制技術を開発していく基礎データの一つとして、硝化状況が変化する機会をとらえて硝化状況とN2O発生の関係を把握する。

表 1 に調査に使用した各槽の調査内容等を示す。

表 1 調査内容等

槽No			1号	2号	3号
制御方式			DO安定制御	可変DO制御	DO一定制御
制御方法の概要			C回路に設置したNH3計で汚濁の処理状況を推定し、D回路DO計による送風量を補正する	C回路に設置したNH3計で汚濁の処理状況を推定し、D回路DO計の設定値を決めて送風量を制御する	C回路に設置したDO計で送風量を制御する
各測定調査内容	連続測定		測定日	平成21年1月15日 PM3～16日PM3	平成21年1月14日 PM3～15日PM3
			測定位置	D回路出口	D回路出口
	同時測定 (各槽試験)	一回目	測定日	平成20年12月4日 PM2～3、各槽15分程度測定	
		二回目	測定日	平成21年1月14日 PM2～3、各槽15分程度測定	
		三回目	測定日	平成21年1月16日 PM3～4、各槽15分程度測定	
		測定位置		C回路入口、C回路出口、D回路出口	
	硝化変動時		測定日	平成21年2月19日～20日	—
			測定位置	C回路出口	—

4-2 N2O 測定方法

図 2 は、調査に使用した N2O 連続測定計（GASMET 社製 DX-4000）である。

測定する反応槽排ガスは、ガスサンプリングホース(下記図のサンプリングプローブの先端に接続する)を反応槽水面から 50cm 程度まで降ろして吸引採取している。

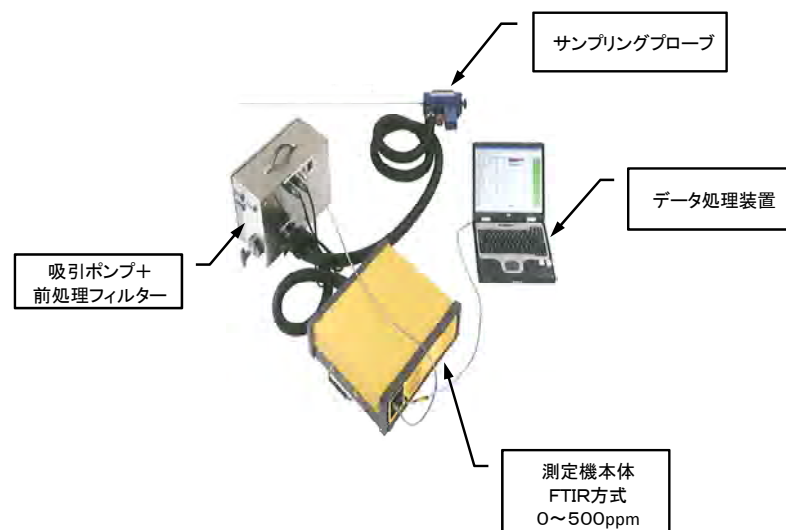


図 2 N2O 連続測定計

4-3 調査期間中の運転状況

N20 の生成や発生との関係が深いとされている運転条件等について調査時の状況を以下に示す。

(1) 水量

図 3 は、1 号槽の流入水量の経時変化である。流入水量は、10 時と 20 時前後に増加し、15 時～18 時は少ない。この傾向は調査期間中同じで、調査時間の平均水量は 13 日が若干多いものの、14～16 日はほぼ同水量であった。他の 2、3 号槽とも同様な変化であった。

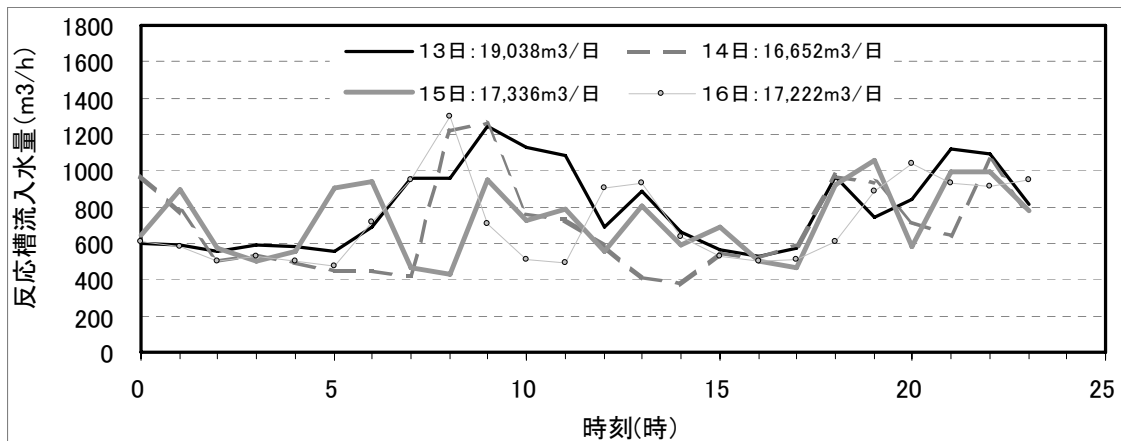


図 3 水量の変化

(2) DO

1、2 号槽は、1/13 の朝に新制御に切り替えた。そのため 1、2 号の DO は新制御方式開始後急激に低下している。1、2 号槽の C、D 回路の DO 値は、それぞれ 1～2mg/L、3mg/L であるのに対して、従来の DO 制御である 3 号槽は、C 回路で 2mg/L、D 回路で 6mg/L で、1、2 号よりも高くなっていた。

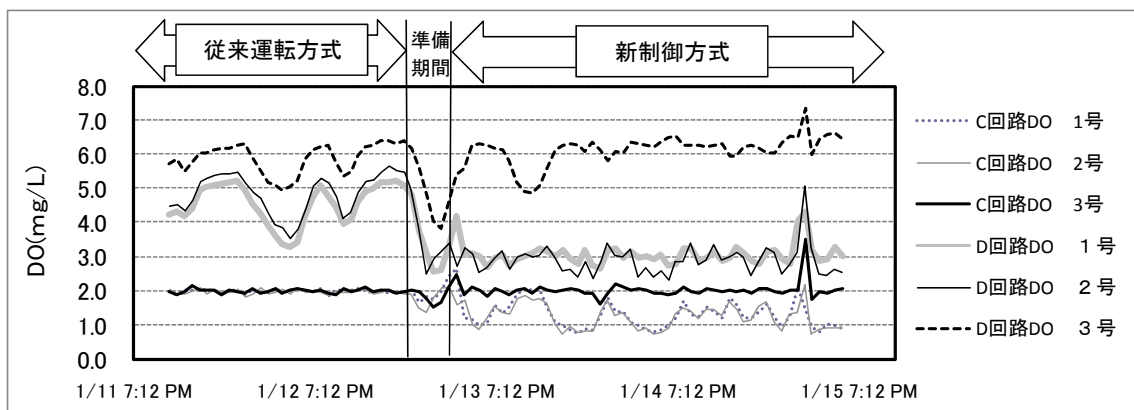


図 4 制御方式による DO 変化

4-4 アンモニア処理状況

連続測定調査を実施した14～15日については、各回路のアンモニア性窒素も同時に測定して処理状況の確認を行った。DOの高い3号槽（DO一定制御）は1，2号よりもアンモニアの濃度減少が速く、C回路出口で硝化がほぼ完了していた。

1，2号はC回路出口で2～3 mg/Lのアンモニア性窒素が残留しているが、反応槽出口は3号と変わらず、すべての槽で順調に硝化が進行していた。

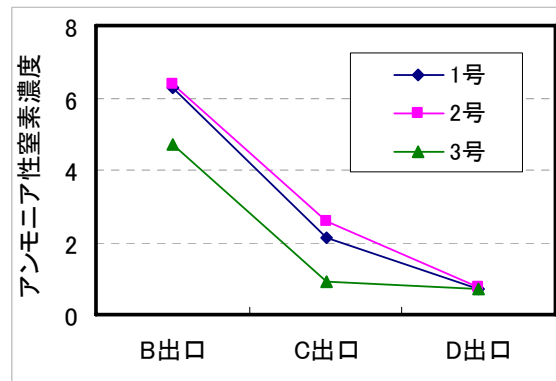


図5 アンモニア性窒素濃度の変化
(14・15日測定 n = 2、平均値)

5 調査結果

5-1 制御法の違いによる発生変化

(1) 連続測定結果

① DO一定制御(3号)

図6は、C回路出口でDO一定制御を行った3号槽のN2OとDO濃度、送風量の関係である。

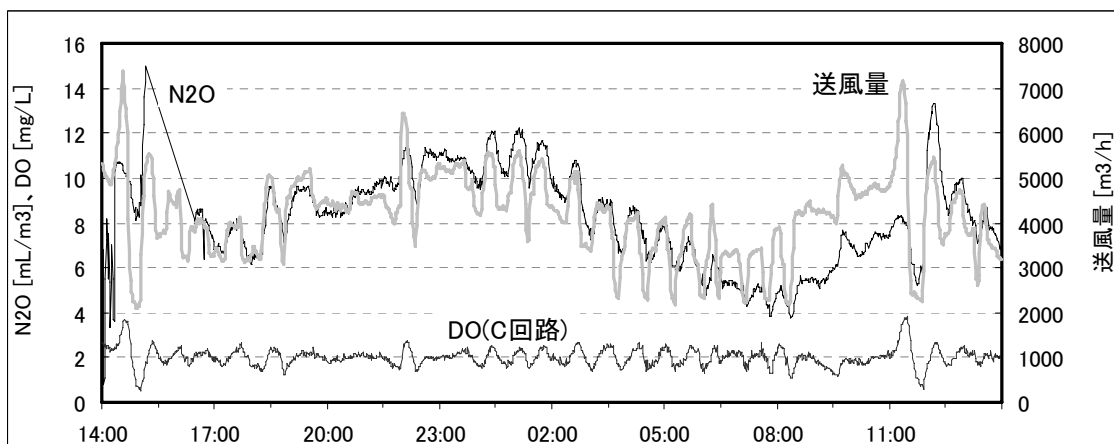


図6 N2O濃度とDO濃度の関係

N2O濃度は、平均6.9(範囲:0.8～15)mL/m3であり、低濃度で安定した値を示していた。N2O濃度は、反応槽内のNO2-N濃度に依存すると言われているが、NO2-Nがほとんど検出されない3号槽では、風量に依存した傾向が見られた。風量と連動する理由は、不明であるが、水中には溶存態のN2Oが多量（飽和濃度の数100～数1000%）に含まれている場合があり、送風量に比例して液側からガス側に移行するN2Oが増えている可能性が考えられる。つまり、《DOの変動→送風量増減→溶存N2Oの排出ガスへの移行量の増減→排出ガス濃度の変化》という因果関係が成り立っている可能性がある。

②DO 安定制御（1 号槽）

図 7 は、DO 安定制御を行った 1 号槽の結果である。

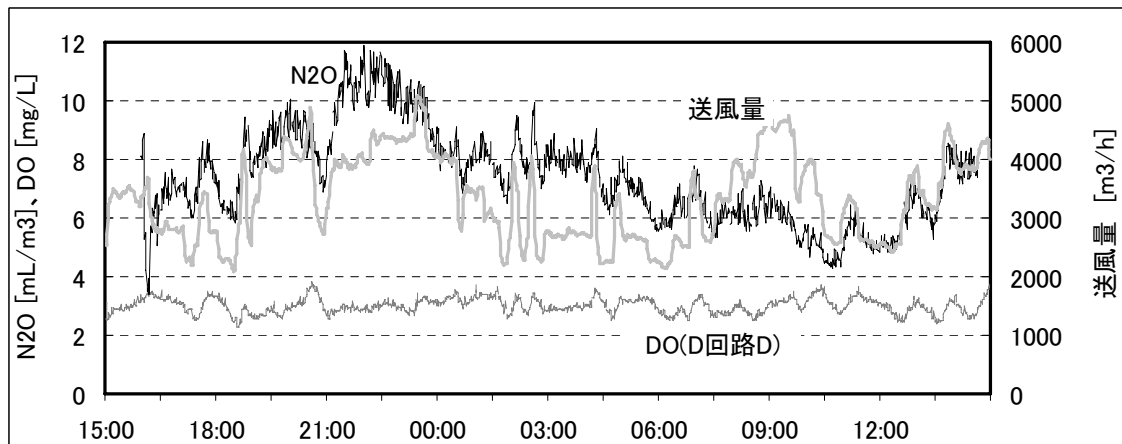


図 7 N2O 濃度と DO の関係

N2O 濃度は、平均 7.4 (範囲: 3.4～11.9) mL/m³ であった。N2O 濃度の変動幅は、3 号槽の DO 一定制御よりも小さい。3 号槽と同様に N2O 濃度の送風量との連動性が観測されるが、3 号槽ほどは明確に見られない。

③可変 DO 制御（2 号槽）

図 8 は、可変 DO 制御を行った 3 号槽の結果である。N2O 濃度は、平均 16.5 (範囲: 4.5～34.8) mL/m³ であった。N2O 濃度は、測定前半で 1、3 号槽と同様に 10 mL/m³ 以下であったが、測定後半にかけて上昇、その後低下しているが他の制御法に比べて平均値は、2 倍以上になっている。送風量との連動性もほとんど見られない。

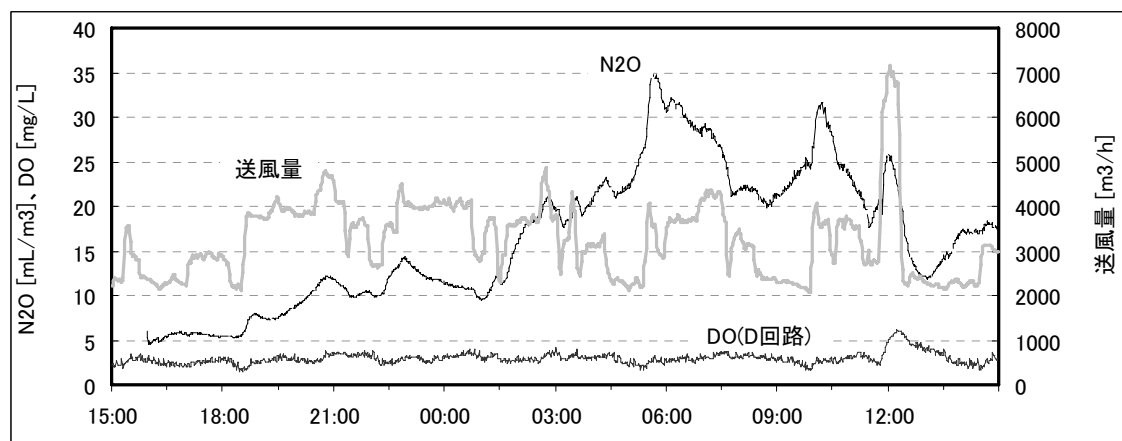


図 8 N2O 濃度と DO の関係

N2O 濃度の上昇は、負荷変動によるものと想定される。図 9 は、東系に送水している污水ポンプ井の水位と N2O 濃度の経時変化を合わせて示したものであるが N2O 濃度が上昇する前にポンプ井の水位が急激に低下している。

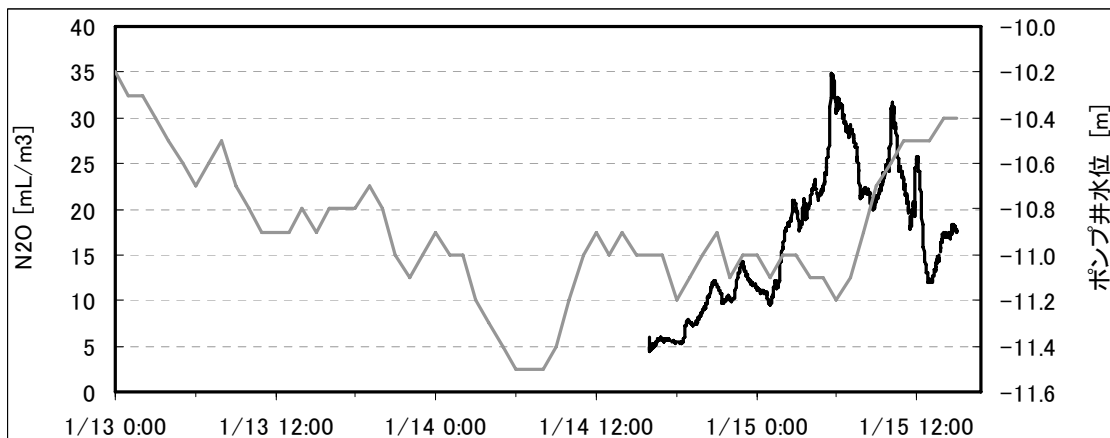


図9 ポンプ井水位と N2O 濃度

これは、合流改善対策のひとつとして幹線内に堆積している汚泥等を清掃する「フラッシング運転」を実施したことによるが、ポンプ井から N2O 測定点 D 回路までの滞留時間(約 12～14 時間程度)を考慮すると、2 号槽測定時に反応槽で処理していた下水は、フラッシング運転により管きよ内堆積物を巻き込んだ高汚濁質の下水であったと考えられる。

表 2 は、日常試験(毎 10 時採水)における第一沈殿池入口の水質であるが、COD は、前後の日とくらべて約 4 倍に増加している。また 14 日の反応槽入口の NH₄-N 濃度は、18.5 mg/L (14 日 9 時～15 日 7 時コンポジット試料)であった。この値は、過去 10 カ月で最も高く、反応槽 1 槽あたりのアンモニア性窒素負荷に換算すると、平均的な負荷に比較して 73kg 多い 308 kg/日であった。N₂O の生成が硝化に関連していることから考えると、このような反応槽への負荷変動が N₂O 濃度上昇の一因になっていると考えられる。

表 2 一沈流入水日常試験データ

	透視度	COD
13 日	10	67
14 日	2	280
15 日	10	80
16 日	9	57

③N₂O 排出係数

表 3 は、今回の 24 時間測定から各反応槽の N₂O 排出係数を求めたものである。排出係数は、どの制御方式とも法令値 0.16g-N₂O/m³ を下回っていた。N₂O 濃度は、DO 一定制御<DO 安定制御<可変 DO 制御の順であったが、送風量が加味される排出量、排出係数では、DO 一定制御と DO 安定制御が逆転している。処理水質が確保されるのであれば、送風量の削減が N₂O 排出削減のためのひとつの対策となることを示している。

表 3 排出係数等

項目		単位	1号槽	2号槽	3号槽
			DO安定制御	可変DO制御	DO一定制御
送風量		m ³ /h	3241	3260	4172
N ₂ O	平均濃度	mL/m ³	7.4	16.5	6.9
	排出量	g-N ₂ O/h	45	99	53
	排出係数	g-N ₂ O/m ³	0.064	0.139	0.067

(2) 各槽試験結果

12月4日、1月14日、16日の午後に1～3号槽それぞれについて3か所の測定を行った。測定結果を図10-1～3に示す。いずれも降雨やフラッシング運転の影響がない日である。

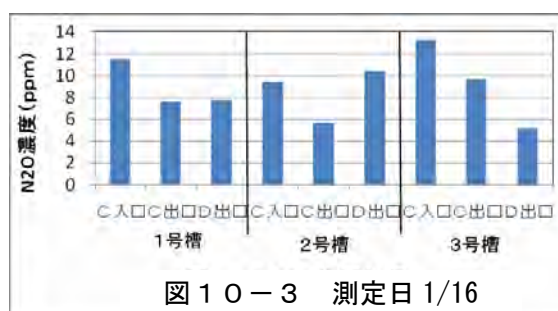
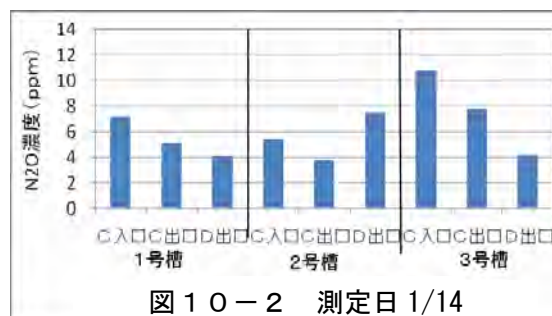
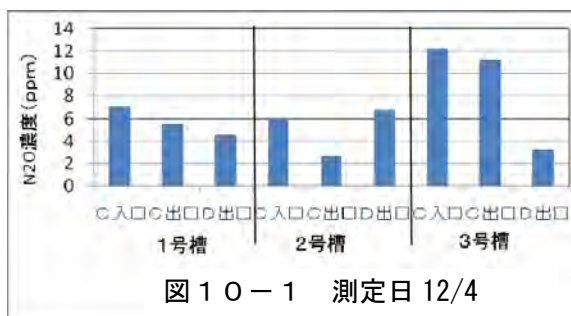


表4 槽ごとの N2O 平均濃度

	12月4日	1月14日	1月16日	平均
1号槽	5.8	4.0	6.6	5.5
2号槽	5.2	4.1	6.3	5.2
3号槽	9.0	5.6	6.9	7.2

N₂O 濃度は、すべての測定で 14mL/m³ 以下の低濃度であった。表4は、各測定日の平均、および3測定日の平均を示している。D0 一定制御の3号槽に少し高い傾向が見られるが、これが制御方法によるものかは不明である。

図4に示したように、3号槽は、1、2号槽と比較してD0が高く、送風量も多いにもかかわらずN₂O濃度が高い結果となっている。今回の調査では、高いD0での運転が必ずしもN₂O濃度の低減につながっていない。これは、測定をおこなった3日間とも、すべての槽で完全な硝化状態になっていたことからD0濃度が硝化過程の律速条件になっていないためと考えられる。

回路ごとのN₂O濃度の特徴として以下のことが挙げられる。

- ① 1号槽は、測定点3か所とも濃度差が少なく回路の違いは見られなかった。
- ② 2号槽は、C回路出口が低く、C回路入口とD回路出口の濃度差は少なかった。
- ③ 3号槽は、C回路入口・出口ともに8～12mL/m³の比較的高い濃度であったが、D回路出口は常に4.0mL/m³程度の濃度であった。

回路ごとのN₂O濃度に特徴が生ずる原因は、不明である。N₂Oの生成が硝化に起因していることから、D0濃度の高い3号槽は、図5にも示したように反応槽内の早い段階から硝化が進み、1、2号槽は、D0濃度が3号槽に比べるとD0濃度が低いことから反応槽内で均一に硝化が進んでいるためとも考えられる。あるいは、硝化進行具合とN₂O濃度の関連性は低く、各回路への送風量の違いにより、ガスとして排出されるN₂O量の変動していることも考えられる。今回の調査では、回路ごとの送風量が不明(設備的に計測できない)であっ

たことから解析は難しいが、今後これらの点についての詳細な調査が必要である。

5-2 硝化停滞による N2O 濃度の挙動調査

小菅水再生センターでは 2 月初旬より西系・東系の反応槽ともに 4 系列中 1 系列が改良工事のため運転を停止し、処理能力が 3/4 になった。そのため、1 槽あたりの処理水量は増加し、硝化も不安定になっていた。

そこで、最も硝化過程が変化すると思われる降雨時を中心とした反応槽内の N2O 発生状況の変化を調査した。

(1) 調査日の状況

小菅では 2 月に入ってから降雨はなかったものの、工事による反応槽の一部停止により一槽あたりの水量が多くなっていた。図 1 1 に示すように調査日の処理水量は、2,000m³/槽と通常の約 2 倍、滞留時間は通常の 1/2 程度、5 時間程度になっていた。実際の降雨は、総雨量は 18mm、時間最大 3.5mm の弱い雨であったが 20 日ぶりの降雨であり（前回総雨量 1/31 100mm）、ファーストフラッシュによる負荷の増大があったと思われる。風量は 6 時までは、6,000m³ で一定になっている。このとき図 1 2 に示すとおり、C 回路 DO は設定値の 2.0 mg/L を保っていた。流入水中の NH₄-N 濃度は、図 1 3 のように 19 時から 6 時まで約 18mg/L で小菅の流入水としては高濃度で、かつ長時間続いていた。そのため、次第に硝化が悪化し、図 1 4 に示すように処理水中の NH₄-N 濃度は最大 8mg/L (6 時) まで上昇している。9 時以降は降雨によって NH₄-N 濃度が低下した。

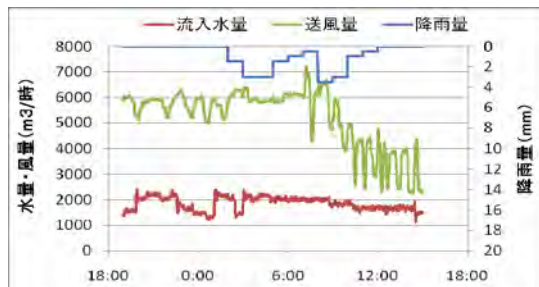


図 1 1 調査時の状況

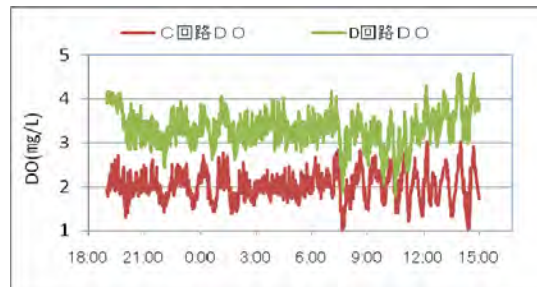


図 1 2 DO の変化

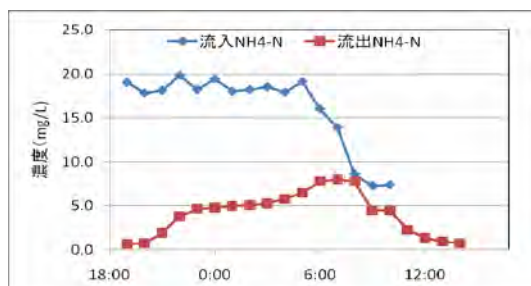


図 1 3 アンモニア性窒素の変化

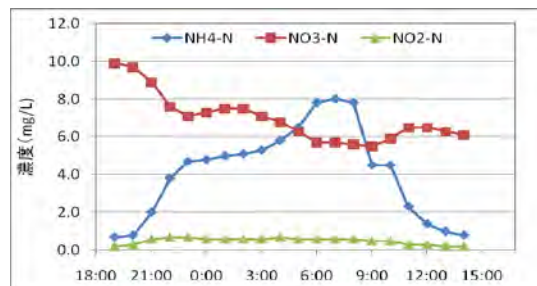


図 1 4 処理水硝化状況の変化

(2) N₂O 測定結果

N₂O の測定結果を図 1 5 に示す。

図 1 4 で示したように、19 時～22 時は、順調に進んでいた硝化が次第に悪化する時間に当たるが、この時の N₂O 濃度は 14 mg/L 程度で小菅水再生センターとしては、比較的高い濃度で変動していた。これは、NH₃ 負荷が通常よりも高い中で、硝化は、ほぼ完全に行われていたものの硝化過程に影響が現れることで N₂O の生成が多くなっていることを推測させる。22～6 時は、処理水中の NH₃ 濃度が上昇し、硝化の悪化が明確なる時間帯であるが、このとき N₂O 濃度は、緩やかに減少し 10mL/m³ まで低下した。さらに降雨の影響が加わったと思われる 6 時以降は、急激に低下した。その後も N₂O 発生量が上昇することはなかった。

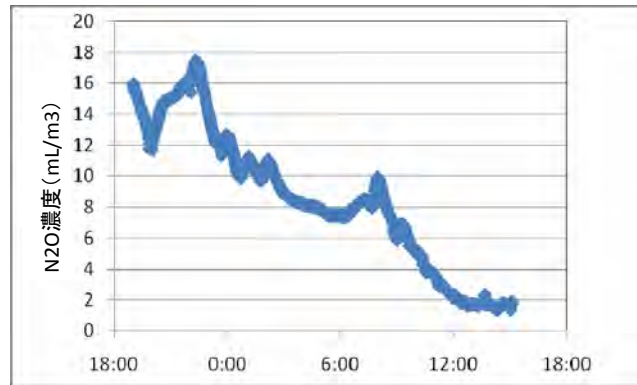


図 1 5 N₂O 発生濃度の変化

今回確認された N₂O 濃度の低下は、調査日前から行われていた工事により、滞留時間が短い運転を長期間にわたって継続していたために、槽内の硝化細菌数の減少、あるいは硝化速度の低下が NH₄-N 濃度の上昇に対応できずに、硝化が滞留したことにより起きていると思われる。反応槽での N₂O の生成には、アンモニア負荷、生物活性、滞留時間などが複雑に影響し合っているといえる。

6 まとめ

小菅水再生センター東系反応槽において N₂O 発生量調査を行った結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 制御方法の違いによる N₂O 発生量の変化

- ① 送風制御方式の違いによる N₂O 濃度に大きな差は、見られなかった。これは、どの反応槽も完全硝化していたからと思われる。
- ② N₂O 濃度が、送風量に依存している傾向が見られる。溶存 N₂O のガス側への移行が送風量に左右されていることが示唆される。
- ③ 完全硝化している反応槽では、DO 設定値を高くしても N₂O 濃度に違いが見られなかった。省エネ観点だけでなく、N₂O 発生量の点からも DO 設定値には上限値があると推測される。
- ④ 窒素などの負荷量が増加すると、硝化処理が影響を受けて N₂O がより多く発生する可能性がある。今後は、DO 管理に加えて負荷量も合わせて管理することが N₂O 排出量の削減に効果的と考えられた。

(2) 各槽試験

- ① 制御方法の違いによって N₂O 濃度に大きな差は、見られなかった。
- ② 各回路間の N₂O 発生量の違いは、回路ごとの風量の差、あるいは反応槽全体としての DO 分布による硝化状況の差の影響を受けていると考えられた。

(3) 硝化停滞過程での N₂O 発生量の変化

- ① アンモニア負荷が高いと N₂O 濃度は高くなることが想定された。
- ② 出口でアンモニアが検出される状況、つまり硝化反応が抑制されると N₂O 濃度は減少していることから、N₂O の生成には、アンモニア負荷、生物活性、滞留時間などが複雑に影響し合っていると思われた

今回の調査で実施設における N₂O の発生と運転条件などの関係の一端を明らかにすることができた。ご協力いただいたセンターの方々に深く感謝いたします。

4. 事業の効率化

(1) 維持管理技術

- 1 下水道管渠内に敷設する光ファイバーネットワークの現状と今後の展開について
- 2 光ファイバーケーブル断線予防技術調査
- 3 下水道台帳情報システム（S E M I S）の機能について
- 4 マイクロウェーブ法導入による重金属前処理方法の迅速化
- 5 下水水質シミュレータの活用による処理水りん濃度予測
- 6 水再生センター内工事に起因する水質悪化対策
- 7 降雨初期のりん上昇の原因とその制御
- 8 溶存硫化物の処理に与える影響
- 9 鉛の超過原因とその改善指導方法について
- 10 みやぎ水再生センターにおける落合・中野汚泥の三河島送泥開始による処理水質改善状況

4-(1)-1 下水道管渠内に敷設する光ファイバーネットワークの 現状と今後の展開について

計画調整部事業調整課 宇津木 正義
中村 匠
池永 義隆
(現 施設管理部施設管理課)

1. はじめに

東京都区部の下水道は 100%普及概成から十数年経過し、本格的な維持管理の時代を迎えている。

一方、多様な役割を担う下水道事業を効率的に運営するためには、業務情報を的確かつ迅速に処理するとともに、職員の高齢化や減少に対応するためにも、職場環境や勤務体制を改善していくことが強く求められている。

このため、東京都下水道局（以下当局）では、下水道光ファイバーケーブル敷設技術などの技術開発を行い、光ファイバーネットワークの構築を進め、ポンプ所の遠方監視制御を行うなど下水道事業の効率的な運営を図ってきたところである。

本稿では、東京都における下水道光ファイバーネットワークの活用について、その経緯と実施状況を述べるとともに現在進めているネットワーク利用拡大に向けた取組みを紹介する。

2. 東京都区部の下水道光ファイバーネットワークについて

2. 1 概要

当局では、昭和 61 年に水位測定用として下水道管渠に光ファイバーケーブルを敷設したのをはじめに、下水道事業全体の効率化と信頼性の向上を目指して、光ファイバーネットワークの整備を進めている。この事業をソフトプラン（SOFT PLAN : Sewer Optical Fiber Teleway Network PLAN）と呼んでいる。ソフトプランは、ネットワーク管理など中枢的役割のマスターステーションを中心に、東京 23 区内に点在するポンプ所や水再生センター、管理事務所など 164 か所の施設を 1,200km の光ファイバーネットワークで結び、施設の統括的な管理を行うものである。平成 18 年度末で約 759 k m の光ファイバーケーブルを敷設し、124 か所の施設をネットワーク化して、施設の遠方監視制御や降雨情報、管路管理台帳などの情報通信に活用している。

2. 2 利用システム

ソフトプランで利用するシステムは、FA 系システムと OA 系システムに分けられる。設備の制御信号や降雨情報など、下水道施設の管理に必要な情報を扱うシステムは FA 系システムに、電子メール、建設 CALS、下水道設計積算システムなど業務の効率化を図るシステムは OA 系システムに分類される。図 1 にソフトプランの概念を示す。

以下に利用系システムの一例を説明する。

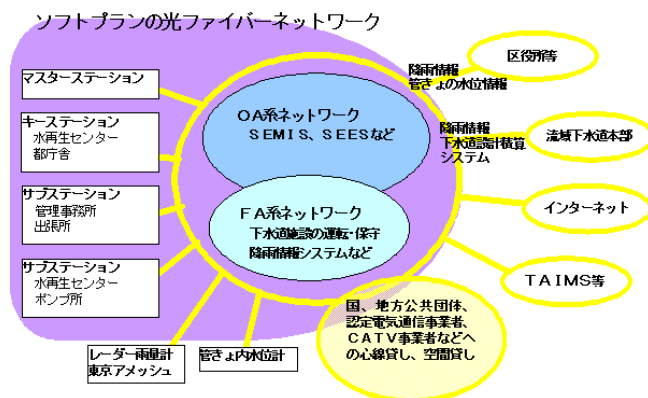


図1 ソフトプラン概念図

2.2.1 遠方監視制御システム

当局では、効率的かつ信頼性の高い施設管理を実現するため、ポンプ所及び水再生センターを遠方監視するシステムを導入し、平成19年度は、64箇所の下水道施設の遠方監視を行っている。

遠方監視システムでは、ポンプ等の下水道設備を遠方で運転するための制御信号、運転情報、施設の状況を把握する工業用テレビ（ITV）画像などの大容量データの伝送を行っている。

2.2.2 降雨情報システム（東京アメッシュ）

当局では、水再生センターやポンプ所の適切かつ迅速な運転を支援するため、リアルタイムできめ細かく都内及び近隣自治体の降雨情報を収集する降雨情報システムを運用している。システムは、降雨の強さを計測するレーダー基地局と雨量計、降雨データを処理・配信する中央処理・配信処理装置及び各下水道施設へ配信する端末より構成され、情報配信の通信網としてソフトプランを利用している。また、降雨情報を当局HPや携帯電話へ配信し、都民の生活情報や防災情報として役立てている。

2.2.3 幹線水位情報システム

浸水の危険が高い幹線などの管渠内に光水位計を設置し、当局の浸水対策に活用するとともに、水位情報を区などに配信して防災活動に役立てている。

光水位計は、水圧変化に対し光の波長を変化させ水位を検知する素子（FBG）を利用し、水位を測定する（図2）。光ファイバー網を利用するので、無電源で、かつ多点計測を長距離にわたり行うことができ、下水道において有効な計測手段である。

現在、立会川・戸越幹線水位情報の品川区への配信を始めとして、8幹線水位情報を6区へ配信している（表1）。平成20年度は、田柄川幹線の水位情報練馬区へ配信開始した。

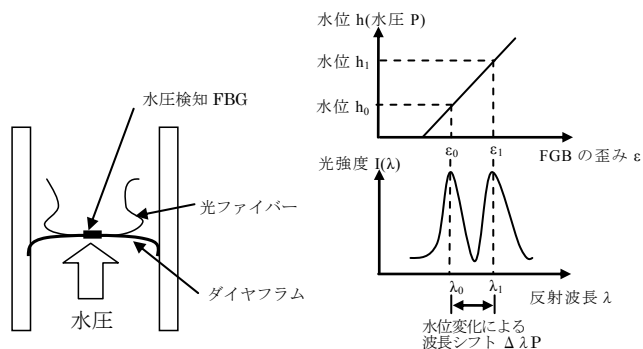


図2 光水位計の概要図と水位測定原理

表1 幹線水位情報システム一覧

幹線名	配信区	配信開始
立会川幹線	品川区	平成14年6月
戸越幹線		
桃園川幹線	中野区	平成15年4月
蛇崩川幹線	世田谷区 目黒区	平成16年4月
羅漢寺川幹線		
宇田川幹線	渋谷区	平成16年4月
千駄ヶ谷幹線		
田柄川幹線	練馬区	平成20年6月

3. ソフトプランネットワークの現状と課題

3. 1 光ファイバー網の老朽化と懸案箇所の存在

当局の光ファイバーケーブルは、古いもので敷設して約 20 年以上経過し(図 3)、平成 28 年末には光ケーブルの標準的耐用年数 15 年を超過したものが全体の約 8 割を占めると考えられる。現時点では伝送特性など品質に関する劣化は、全く発生していないが、下水道管渠内という特殊環境下、ポリエチレン外被の劣化等の進行が懸念される。このため、管渠の移設等で撤去したケーブルの状態を分析し、ケーブルの劣化メカニズムを明らかにしようとする検討を始めたところである。



図 3 管きょ内に敷設された光ファイバー

3. 2 伝送装置の老朽化

当局では、FA 系の伝送装置として ATM（非同期転送モード）機器を採用していた。ソフトプランネットワークの既設 ATM 機器の約 8 割が平成 20 年末には標準的耐用年数を迎える。また、ATM 機器の補修部品の確保は、市場の縮小もあって年々厳しくなる一方であり、故障時の保守対応が懸念されている。この伝送装置の老朽化対策について当局では、3 年前からネットワーク全体の更新方法を検討している。

3. 3 光ファイバー網の懸案箇所

大口径管渠（2,000mm 以上）の屈曲したマンホール部では、豪雨時に切れやすいということが課題である。特に下流部の管口では強い水流が働くため、サドルが外れると、管口が刃先となり完全に切断してしまうという事例がある。

4. ソフトプランネットワークの課題解決

ここでは、当局が現在取組んでいる課題解決策の一部を述べる。

4. 1 光ファイバー網と伝送装置の更新の考え方

4.1.1 光ファイバー網の更新

上述のとおり、豪雨時に切れやすい箇所その他、伏せ越しや高水位、ガス高濃度による点検困難箇所など、ソフトプランネットワークには現時点で懸案となっている箇所が存在する。今後課題となってくると予想される老朽化対策だけでなく、これらの不適合箇所の解消が急務となっており、ネットワークの信頼性向上のためにケーブル敷設替えを検討している。

4.1.2 伝送装置の更新

伝送装置の老朽化対策として、平成 20 年度より ATM 機器から汎用性・市場性の高い通信方式（LAN スイッチ）への切替えに着手する予定である。ATM 機器は、155Mbps 方式を採用していたため、今後、映像伝送など増加が予想される伝送容量への対応も柔軟に行えるものと期待される。さらに、汎用性の高い安価な機器の導入により機器構成の冗長化が可能となり、ネットワークの安全性向上につながると考えられる。

4.1.3 光ファイバーケーブルの破断対策

豪雨時に切れやすい箇所においてケーブル敷設替えをすぐに実施できない箇所などは、サドルの固定間隔を狭めたり、ステンレスカバーで防護することで補強を行い対策している。

最近までは、最短ルートを選択するなどの理由から光ファイバーケーブルを幹線管渠内に敷設してきたが、現在は障害の未然防止や障害発生時の対応を容易にする観点から、原則として幹線ではなく枝線にサドル固定し敷設する方法をとるようにしている。また、現状の心線監視装置では、実際に光ファイバーに障害が発生しないと検知できない方式であるが、現在、予防保全的に光ファイバー網の監視を行うため、OTDR（Optical Time Domain Reflectometer）方式を応用した技術を用いてサドルの脱落などを検知する方法を検討している。

5. 今後の展開（下水道光ファイバーの更なる活用に向けて）

ポンプ所などの遠方監視制御システムの他に 10 ものシステムを抱えるソフトプランネットワークであるが、今後、環境対策やプラント設備の広域監視など、当局事業環境の変化に沿って、利用システムの充実化がさらに進んでいくものと考えられる。これに対応するため、現状のソフトプランの更新と共に、一部データセンター的な役割を担っているマスターステーションの充実化や通信容量及び信頼性の強化のための光ファイバーネットワークの充実を図っていく。

また、利用システムの充実化とともに「10 年後の東京」実行プログラムに従い、行政機関と連携したソフトプランネットワークの利用拡大を進めている。これは、都区行政機関の利用を促進し、福祉目的や区への開放を行うものである。一般的に行政利用においては、光ファイバーの特長である鮮明な画像情報を中心に、次のような活用項目が挙げられる。

①防災情報、②防犯対策、③医療情報、④消防情報、⑤教育情報

特に基礎的自治体である区役所での利用は、防災情報や教育情報など住民に直結するものであることから、地域情報化推進のためにも大きな意義がある。

今後とも、ソフトプランの整備充実や他の公共機関の光ファイバーネットワークとの連携に努め、下水道事業の効率化や信頼性の向上を図るとともに、防災情報や教育情報などへの下水道光ファイバーの利用拡大を図り、首都東京の高度情報通信基盤の確立と牽引力の維持・向上に貢献していくことが重要である。

4-(1)-2 光ファイバーケーブル断線予防技術調査

計画調整部 技術開発課 大岡 隆志

1. はじめに

局内の光ファイバーケーブルは昭和 63 年度に敷設され、平成元年に供用開始されてから約 20 年が経過している。この間、伝送通信網にとって最も回避しなければならない断線事故による伝送障害が 47 件発生している。重要な通信網である光ファイバーケーブルがひとたび損傷を起こすと、遠制ポンプ所の安定運転やネットワーク機能が保持できなくなる。このため、現在敷設されている光ファイバーケーブルの断線を予防する技術を開発するため、断線原因の特性を分析し、断線が起きやすい箇所、留意すべき施設、維持管理上のポイント等を抽出した。また、既存の対策技術の問題点や改善点を整理、文献等により最新の技術情報を収集し、新たな断線予防対策について調査・検討¹⁾をしたので紹介する。

2. 調査内容

本調査の内容は、以下のとおりである。

- (1) 断線原因の分析
- (2) 対策必要箇所の抽出・検討
- (3) 断線予防対策の検討

3. 断線事故の集計・分類

まず、これまでに発生した断線事故の原因と事例について分析を行った。

3. 1 断線原因の分類

断線事故の原因は、下水道施設の構造等に起因する管きょ内の環境（水撃、落下水、管路内大気等）によるもの、人為的なものに大別される。これらの原因別に集計したものを表 1 に示す。

表 1 断線事故の原因別集計

断線事故原因			箇所数	適用・備考
施設の構造 に起因する 問題	洪水流等に よる水撃	90° 大口径	5	
		段差等大口径	4	
	伏越管内の引き流し区間		1	伏越管内の流れで底部摩擦
	大落差における落下水撃		4	
	計		1 4	
上記以外の 問題	人為的事故		1 8	取付管口穿孔時、管渠内補修時、近接工事等
	施工箇所		1	鋭角部での狭小半径敷設
	計		1 9	
原因不明			1 4	
計			4 7	

施設の構造以外の問題によるものが 19 件（約 40%）で、下水道工事（取付管新設、管路内清掃作業、管路内調査作業、下水道管路の取り替え工事など）によるものや、管路内を流下する浮遊物等が衝突しやすい構造などが挙げられ、事前調整や施工上の管理精度を高めることにより回避できるものである。一方、断線事故 47 件のうち 14 件（約 30%）が下水道管路施設の構造、機能上の問題に起因するものである。

3. 2 大口径の屈折・屈曲部での断線状況

下水道管路施設の構造、機能上の問題で最も多い原因として、大口径の屈曲・屈折部での断線事故が挙げられる。

図 1 は大口径管きよの屈折・屈曲部における豪雨時の水の流れと光ファイバーケーブルに与える影響の概要を説明したもので、各部分に作用する影響が光ファイバーケーブル断線事故につながっている。

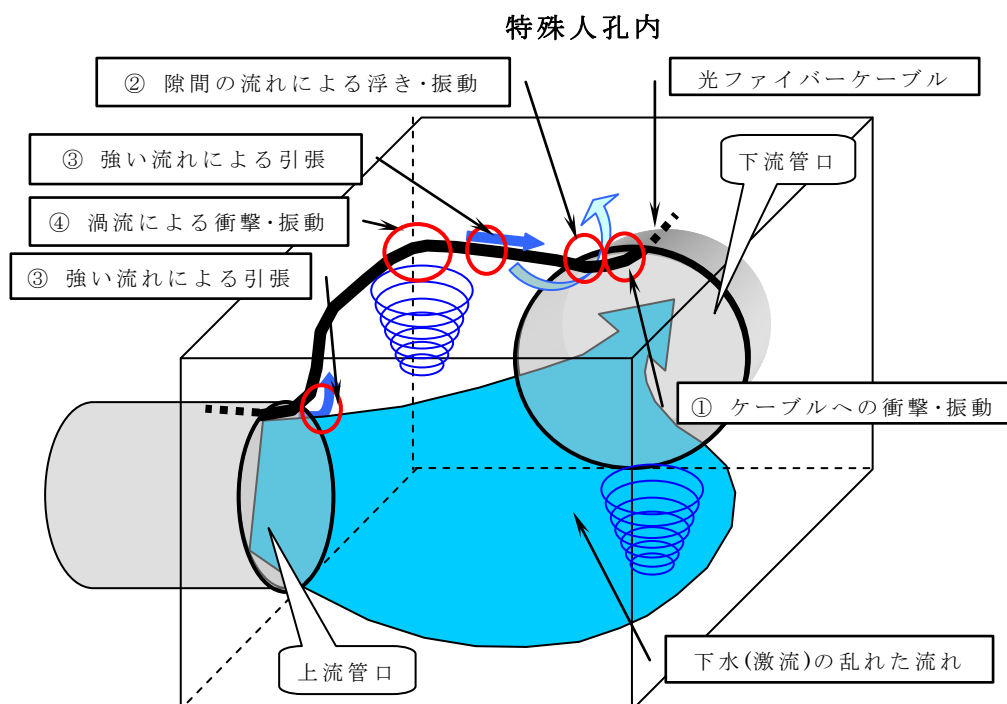


図 1 大口径の屈折・屈曲部での下水の流れによる光ファイバーケーブルへの影響（模式）

光ファイバーケーブルへの具体的な影響については、以下のとおりである。

- ① 下流管きよへの急激な絞り込み流による衝撃が人孔管口付近の光ファイバーケーブルに大きな衝撃となるとともに、固定用のサドル脱落を引き起こす振動が発生する。
- ② 人孔管口や壁面角部を通過する光ファイバーケーブルは、許容曲げ半径を確保するために壁面から浮いた状態となっている。この隙間に激しい乱流が通過することにより強い振動を引き起こし、壁面から一層引き離す力が働くため、この周辺の固定用サドルは脱落の危険性が高い。
- ③ 壁に沿う流れによって光ファイバーケーブルの軸方向に引張力が働き、後方に固定されているサドルを引き出す力が作用する。
- ④ 屈折・屈曲人孔内では直角方向に急激な流れの変化が発生し、人孔内は激しい乱流が生じる。この結果、多数の渦流が発生し、特に人孔内壁角部では光ファイバーケーブルに振動、引張等の強い衝撃が発生する。

3. 3 下水道施設の構造等に起因した水撃による断線事故事例

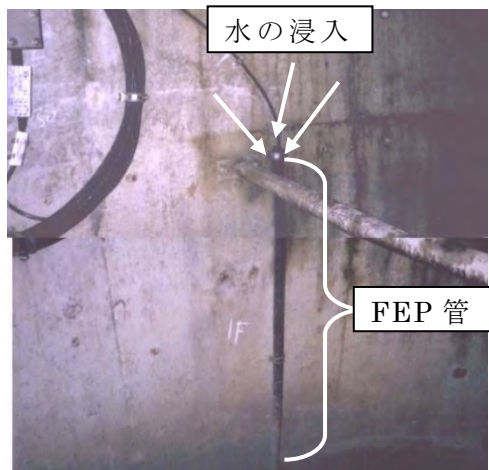


図2 周回余長固定部（竣工当時） っており、中間スラブの開口部を垂直に切り通す箇所固定されている。（図2）

ケーブル伝送異常発生後に現場確認した結果、施工時点で固定されていたF E P管が当初位置より1 m50cm程度下方にずれていた。（図3）

これは、異常出水により発生した雨水幹線からの越流水が人孔部の落下水となり、この強い叩きつけによりF E P管を下方にずらす結果となったと考えられる。F E P管は表面が波付きとなっており、通常の円形管に比べて表面積が大きく、落下水の抵抗をより多く受けたものと思われる。

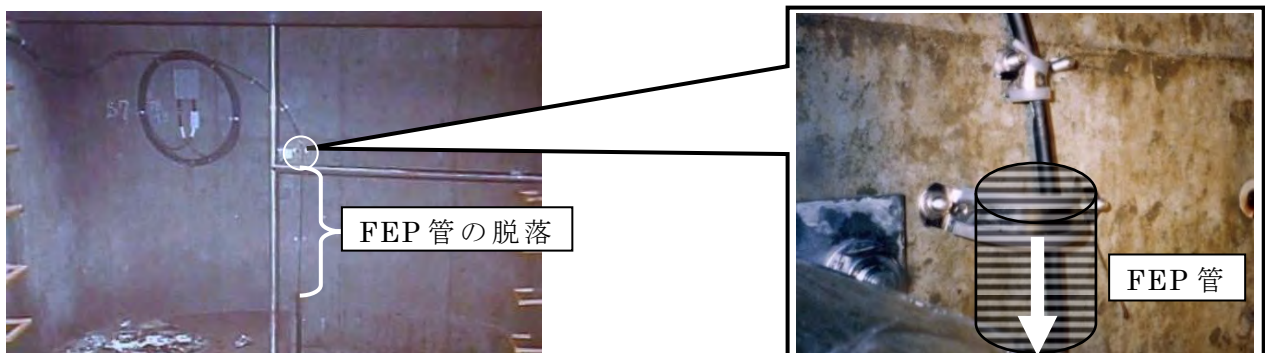


図3 F E P管脱落（固定最上部サドル付近）（事故発生後）

F E P管が強く下方にずれた際にケーブルも下方に引っ張られ、ケーブルのみを固定したサドル（人力にて光ファイバーケーブルを管路施設に固定する際に使用する固定具）を歪ませながらステー（サドルをアンカーで固定する部分）を引きちぎる寸前の状態となっている。この時、サドルの角を保護しているビニル保護材が外れ、ケーブルの外部シース（光ファイバーケーブルの外被）を削ぎ取っている。

雨水幹線から幹線への越流接続人孔下部のケーブルは、人孔内をF E P管でケーブル保護しながら垂直に固定されている。人孔から幹線へのケーブル浸入部分ではケーブルの許容曲げ半径を確保しつつ、やや大きいたるみを取りながら幹線の管頂部に固定されている。（図4）



図4 人孔下部ケーブル敷設状況
(竣工当時)



図5 伝送不能箇所付近のケーブル状況
(事故発生後)

異常出水時の落下水によるケーブル及びF E P 管の下方へ強い引っ張りで、中間部を固定していたサドルが全て脱落した。この時、ケーブルやF E P 管に残有していたひねり性状が、一気に脱落することによって下方に集中し、塑性変形が人孔下部に発生したものと考えられる。(図5)

この状況が発生した直接原因は、大量越流によるケーブル等への叩きつけ、引っ張り力であると思われる。しかし、F E P 管上部の開放固定と、下部のたるみ固定の両面から、F E P 管内に越流水が貯留され垂直固定部におもりとして機能することで、より強く引っ張り効果を高めたものと想定される。

4. 対策箇所の抽出・検討

今回の調査で、過去の光ファイバーケーブルの断線事故での損傷原因を整理した。その結果、下水道管路施設の構造、機能上の問題点として対策が必要となる箇所としては、以下の形態、または要素を含む人孔が抽出される。

- ①大口径管渠(2000mm以上)
- ②90°屈曲人孔(下水流に大きな乱れが発生する恐れあり)
- ③落差の大きい人孔(下水流が滝落としとなり、落下水が衝撃となる)
- ④伏越管渠の管口部(伏越管の両端部では急縮、急拡による流れの乱れが発生する)
- ⑤引き流し路線(90°屈曲、側方からの流入箇所など)

この条件に該当する人孔を行政区別に集計したものが表2であり、「ソフトプラン」では331箇所である。

表2 大口径屈折・屈曲箇所一覧

行政区	ソフトプラン	行政区	ソフトプラン	行政区	ソフトプラン	行政区	ソフトプラン
千代田	6	墨田	23	渋谷	8	板橋	14
中央	16	江東	21	中野	5	練馬	—
港	16	品川	20	杉並	—	足立	39
新宿	11	目黒	4	豊島	4	葛飾	41
文京	5	大田	29	北	10	江戸川	35
台東	11	世田谷	4	荒川	9	23区計	331

今後、抽出した危険箇所人孔に対して光ファイバーケーブル路線の安全性を向上させ、伝送路の信頼性を高めるために対策を実施していくことになるが、この場合の対策の優先度としては、以下の第1～第6の優先区分が考えられる。

①第1優先：遠年化稼働路線が敷設されている人孔

民間の心線に利用されている路線が敷設されている人孔

②第2優先：民間の空間利用路線が敷設されている人孔

③第3優先：多条敷設されている人孔

④第4優先：基幹ネットワークのスター路線が敷設されている人孔

⑤第5優先：基幹ネットワークのループ路線が敷設されている人孔

⑥第6優先：上記以外のその他の路線

上記の優先度の提案は、路線の重要度、緊急時の影響度を考慮しているが、その他、未供用路線も含んでいることから、今後の稼働計画等も考慮した検討が必要となる。また、民間利用路線が敷設されている人孔の優先度についてもソフトプランの重要路線との調整が必要である。

5. 今後の断線予防対策

5. 1 既設光ファイバーケーブルの問題点

断線予防のための対策方法としては、3で検討した断線原因に対応できるものでなければならない。

過去に発生した下水道管路施設の構造、機能上の問題点による断線事故は、どの場合にも下水道管路を流下する下水流が関係している。直接的には、強い下水の流れにより光ファイバーケーブルを固定しているサドルが脱落し、光ファイバーケーブルが緩むことによって振動、摩擦、引張力が繰り返し掛かり、光ファイバーケーブルの断線に至っている。

ケースによっては、一応、光ファイバーケーブルが防護はされているものの、防護材の脱落、変形が断線の原因となっているものもあり、いずれの場合も光ファイバーケーブル敷設位置と下水流の関係を絶つか、下水流から光ファイバーケーブル敷設箇所を防御することが対策を検討する場合の課題となっている。

5. 2 現在実施している防護方法と問題点

図6は、光ファイバーケーブル下水道管路内敷設設計指針²⁾に掲載されている人孔内における光ファイバーケーブルの防護方法である。

この図では、以下のように防護方法を説明している。

①下水道管路管理作業員が出入りする箇所にはステンレス鋼鋼管（特に、作業員の足元となる箇所）またはFEP管で防護

②人孔内の壁面角部やスラブ削孔箇所通過部分ではステンレス鋼鋼管で防護

③人孔管口部では、硬質スパイラルスリーブまたは必要に応じてステンレスカバー（満管想定箇所）にて防護

④縦型経路では、FEP管または必要に応じてステンレスカバー（下水流が当たる箇所）にて防護

しかし、対策が不十分であったり、指針での対策を行っても断線事故が起きるケースもあり、現実の問題として既設の光ファイバーケーブルの状況を的確に把握し、危険状況の回避、防御するための方法を検討しなければならない。

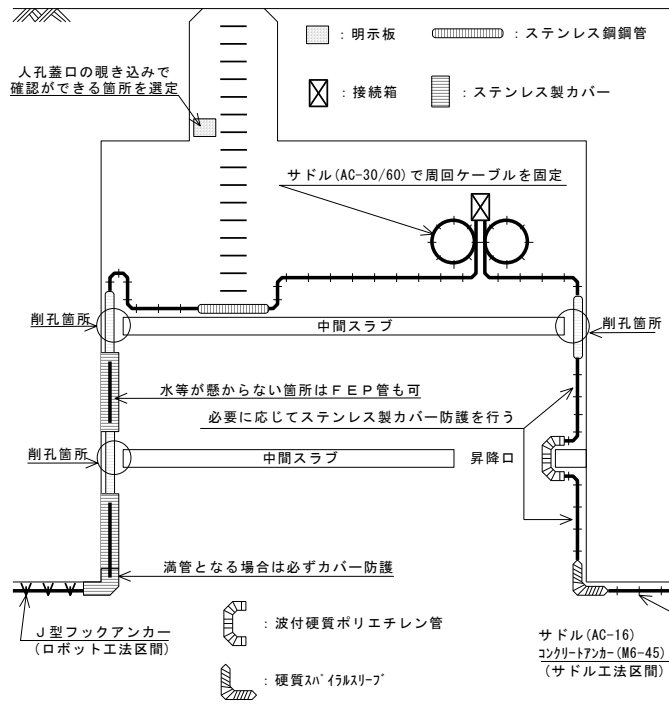


図6 人孔内の光ファイバーケーブル保護概念図（設計指針より）

図7は、現在使用されている光ファイバーケーブルの人孔管口における防護カバーを示したものである。この防護カバーは、人孔管口部の光ファイバーケーブルを人孔壁垂直部で50cm程度、管きょ内部の水平部で100cm程度の範囲を完全に覆い、管口屈曲部では光ファイバーケーブルの曲げ半径を安全に確保できる空間保護も行っている。

基本的には、人孔管口部における光ファイバーケーブルは、激しい水流や浮遊物の衝突から光ファイバーケーブルを確実に隔離防護している。

図8は、人孔管口部の光ファイバーケーブル防護カバーを設置したときの概念図を示している。この方法での問題点としては、以下に挙げるものがある。

- ①図9に示すとおり、人孔管口での光ファイバーケーブル引き出し形態で、直上引き出しの場合は、図7の防護形状で対応できるが、斜め引き出しや側方引き出しの場合は垂直カバーと水平カバーを屈折・屈曲部で重ね接続させることが難しく、設置箇所ごとに防護カバーの設計を行う必要がある。
- ②カバー自体の厚みは、現行では2mm厚（これまでの実績から衝撃防止力があることと、管路内搬送が人力で可能なことから採用）のステンレス板を使用して製作しているが、人孔の形態、規模、下水衝撃の想定される強さ等から、より厚いものが要請される可能性がある。
- ③下水道管きょが人孔内壁に垂直に接続されておらず、図10のとおり斜めから接続されている場合にも設置箇所ごとに防護カバーの設計を行う必要がある。
- ④防護カバーの形状についても、図11に示すとおり種々のものが提案され、水理性能、施工性、製作費など総合的に評価する必要がある。
- ⑤設置対象人孔、光ファイバーケーブルの引出し状況により、設置箇所ごとに防護カバーの設計を行う。

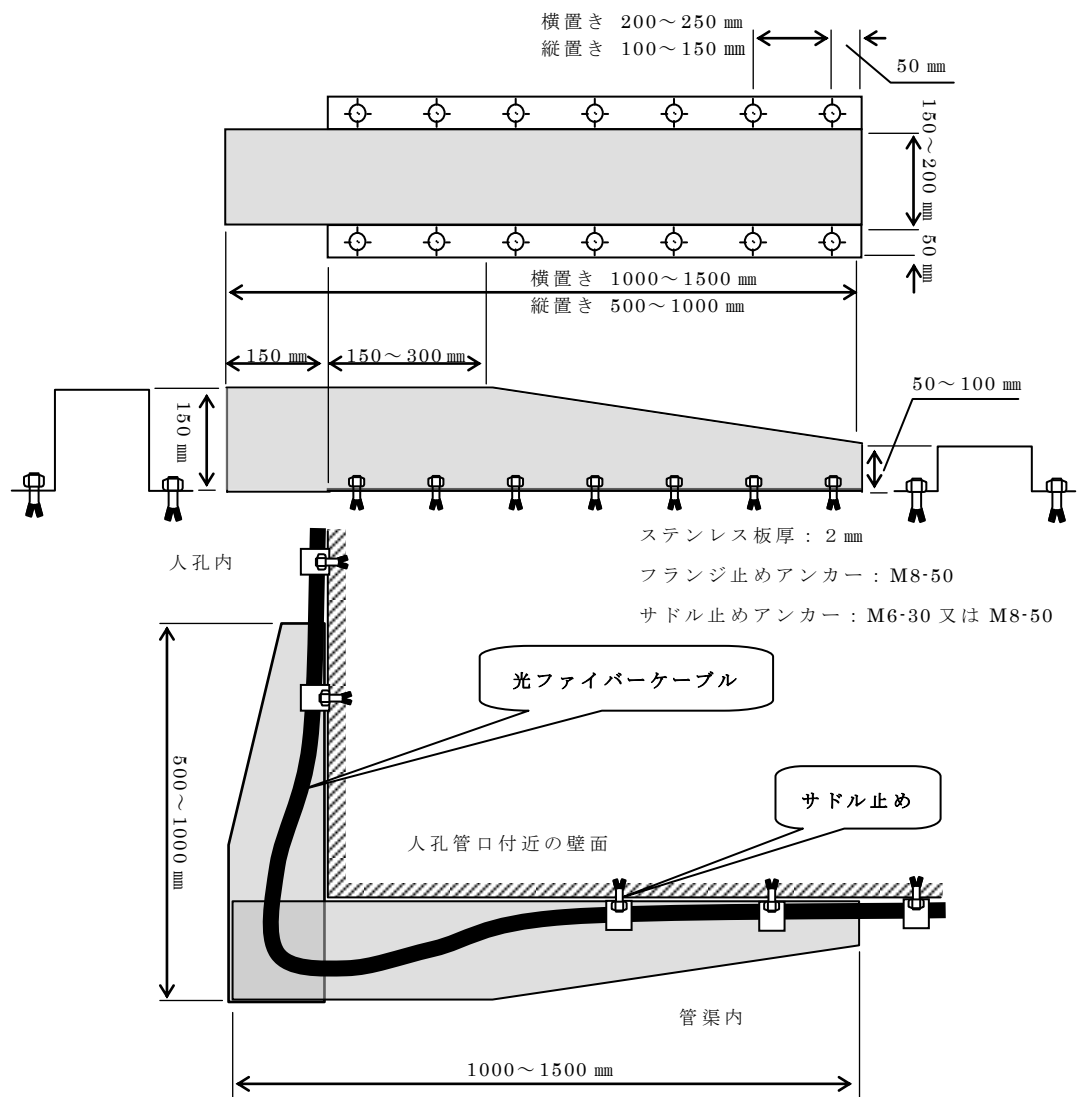


図7 現行方法での防護カバー

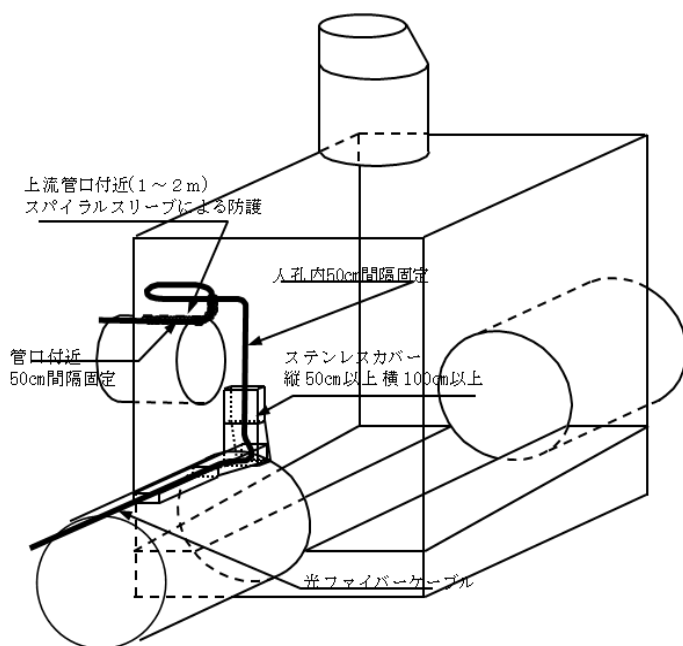


図8 人孔管口部の光ファイバーケーブル防護カバー概念図

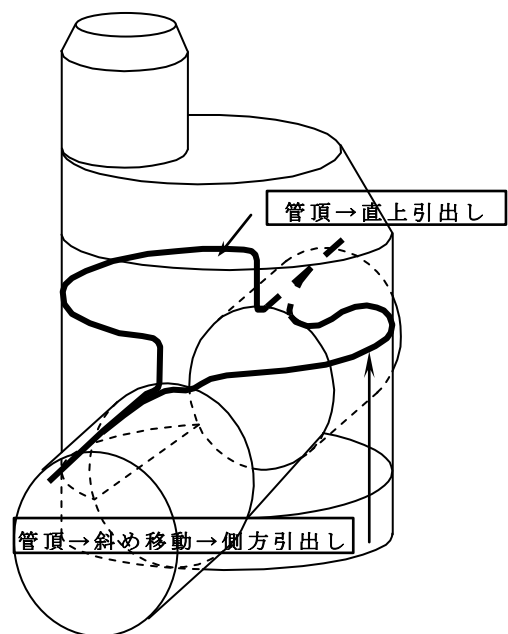
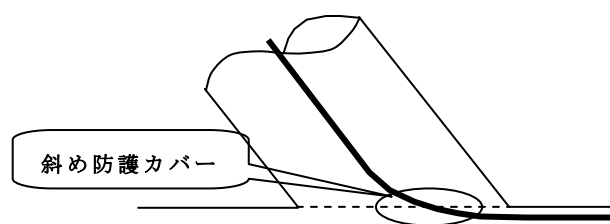
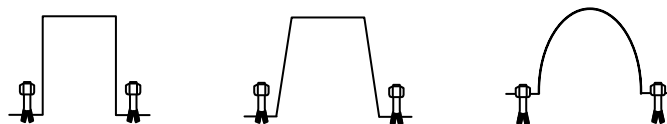


図9 人孔管口からの光ファイバーケーブル引出し形態



光ファイバーケーブルの人孔内への引出し形態や管渠の接続形態によりケーブル保護カバーの形状が異なる。このため、状態に応じた保護カバーの設計を行う必要がある。



水理的安定性が増す
フランジ幅が小さくでき施工性も良くなる

図 10 人孔と下水道管きよとの斜め接続

図 11 防護カバーの断面形状

現時点では、現行対応している防護カバーは、前述のとおり設置箇所ごとに設計を行う必要があり、施工性、コストも含めてさらに検討を進める必要がある。

5. 3 光ファイバーケーブルの防護方法の検討

防護方法を検討する場合に考慮すべき点として、以下の状況を整理する。

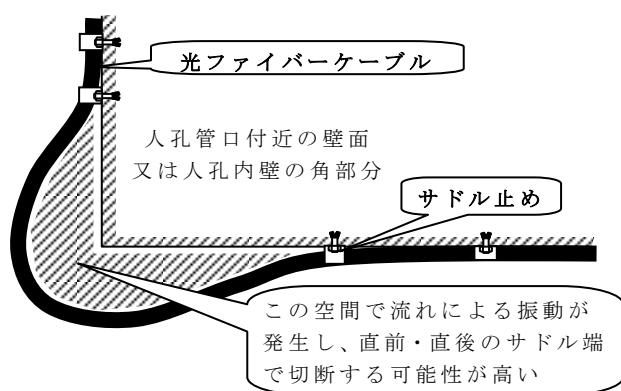


図 12 人孔管口または壁面角部での留意点

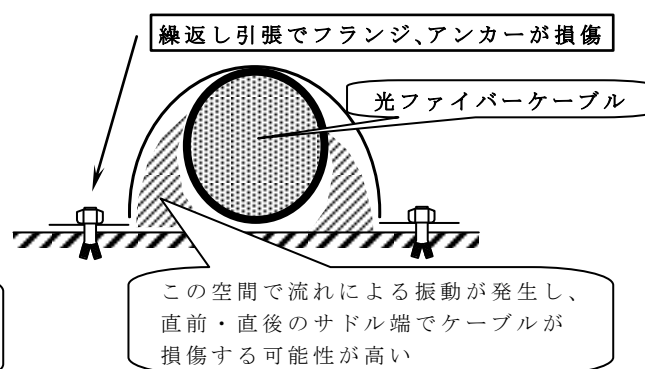


図 13 直近サドルへの引張（振動）負担

光ファイバーケーブルを壁面に固定する場合、角部や屈折部では安全な曲げ半径を確保するために、光ファイバーケーブルを壁面から浮かせることになる。（図 12）これによりできる空間は、強い流れ、乱れた流れによって著しく振動し、直近サドルが繰り返し引張を受けることによって脱落する危険性がある。この直近サドルの問題は、図 13 に示すとおりで光ファイバーケーブルが流れによって発生する振動で前後に激しく動き、その運動がサドルに伝搬されて、壁面との接触箇所であるフランジ部分、接続材のアンカーボルトがせん断あるいはひねり破損することが想定される。また、光ファイバーケーブル保護具として使用されているプリカチューブ（JIS 規格に適合する金属製可とう電線管）は、図 14 にあるとおり流れに沿った配置となっている場合には断線等の問題発生が見られない。

しかし、流れが側方からあたる配置では、その衝撃の強さにより振動を繰り返すことが確認されており、激しく振動する箇所では前後のサドル付近でプリカチューブ自体が破断して、光ファイバーケーブルの防護が逸失する。これは、F E P 管でも同様のことが確認されており、チューブの破断はプリカチューブよりも早く発生している。

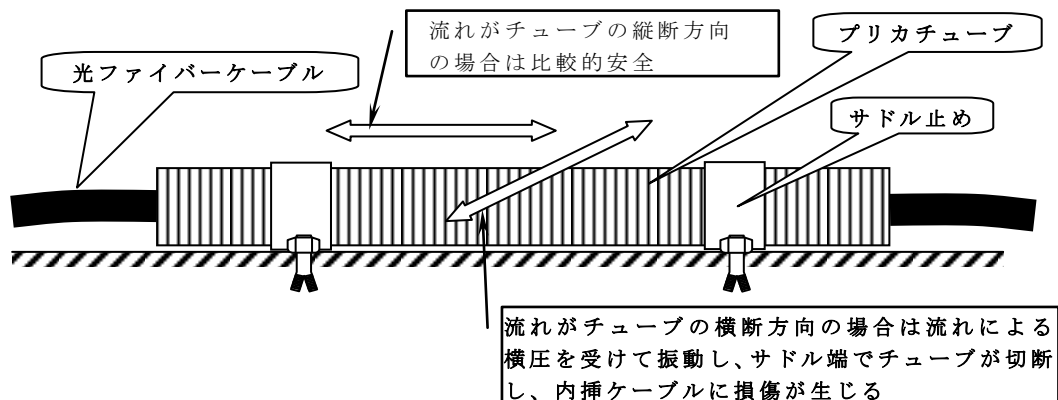


図 14 プリカチューブへの引張（振動）負担

また、高落差人孔（落下水が光ファイバーケーブルに直接あたる危険性があるもの）では、図 15 に示すとおり留意すべき点がある。

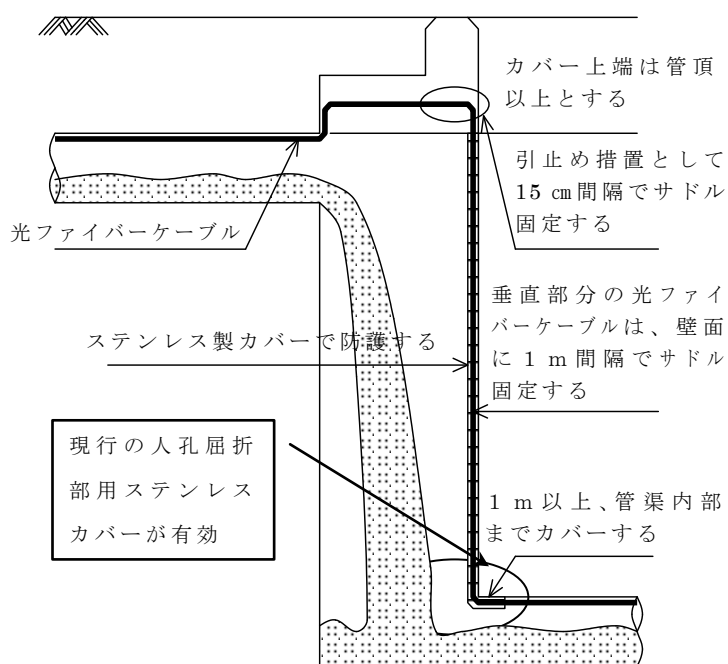


図 15 高落差（落下水が直接に光ファイバーケーブルに当たる場合）

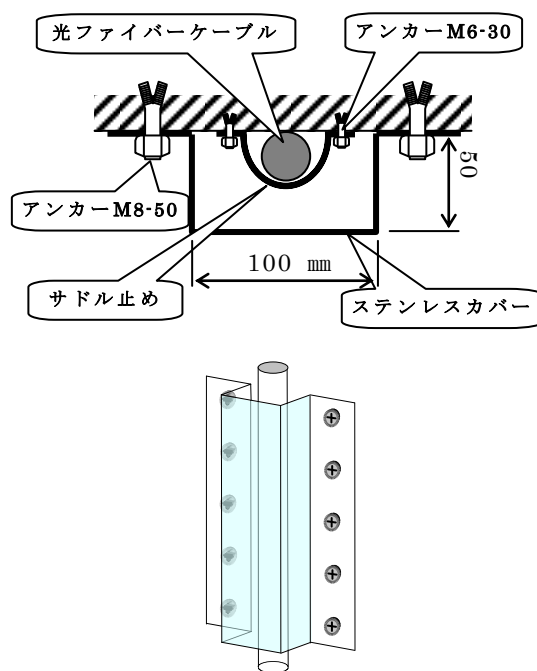


図 16 高落差人孔等で用いるステンレスカバー（直線用）の設置方法

図 16 で垂直部の光ファイバーケーブルにステンレスカバーを設置する場合、光ファイバーケーブルに係る垂直重力と万一に下部で引張が生じた場合などに対応できるように、ステンレスカバー内部においてもサドル固定が必要である。

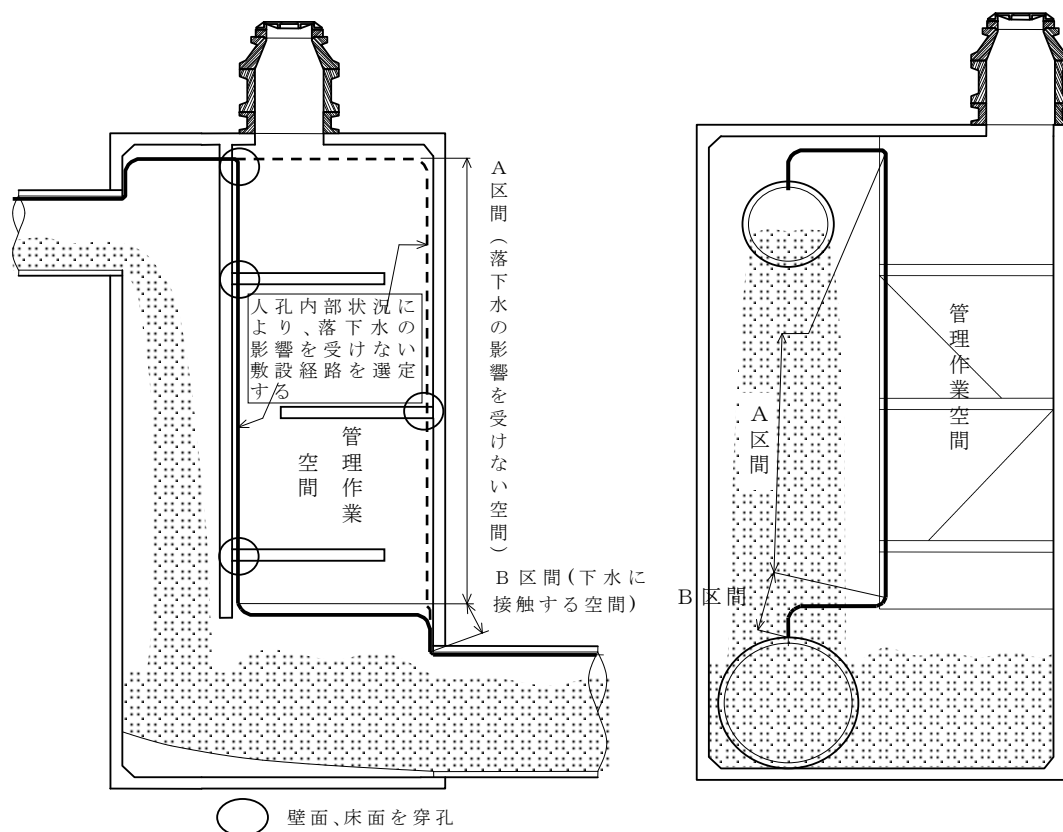


図 17 高落差人孔における光ファイバーケーブルの敷設経路

高落差人孔における光ファイバーケーブル敷設経路としては、落下水が直接に当たらないことが原則で、図 17 に示すと通りの経路を選定して、下水の流れとの接触は最小限に止めることが肝要である。

5. 4 人孔管口角部の防護方法の提案

現行の人孔管口角部の防護カバーは管口状況により個別の形状設計を余儀なくされている。この課題を解消する方式として、図 18 の矩形プリカによる防護を提案する。

プリカチューブの有利さは、防護管自体を自在に変形させることで既存の断面形状、ケーブル経路に対応できることである。また、FEP管に比較して腐食、劣化に強く、一定レベルの強度も有している。しかし、図 14 で指摘したとおり、側方からの振動、押圧に対して脆弱な面も見られることから、断面を円形でなく自在変形性を抑

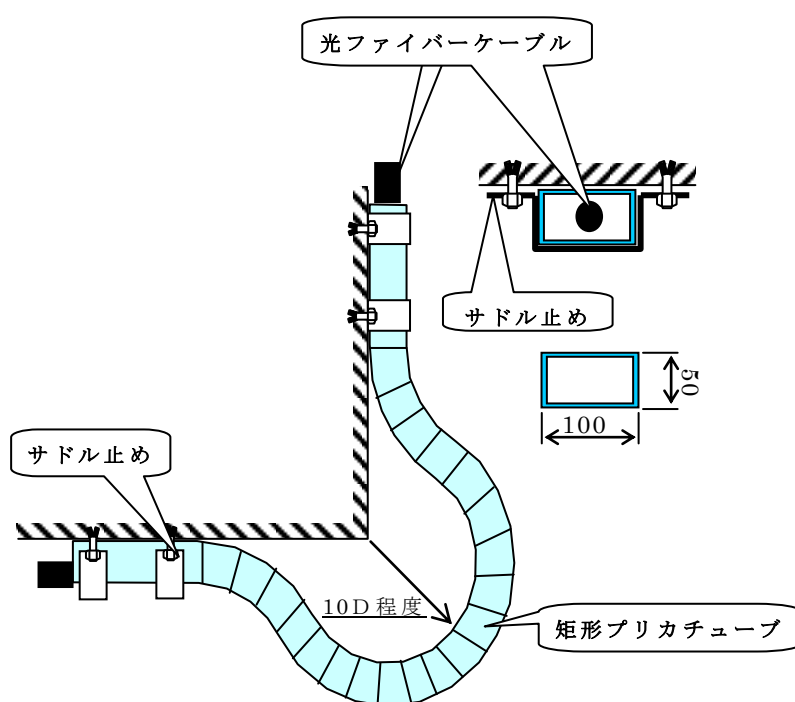


図 18 人孔角部防護カバーの提案

えた矩形にして側圧に抵抗するようにする。また、強度を増すために矩形材料の厚みを増し、各継ぎ手パーツの強度を向上させる。

現時点では、光ファイバーケーブルを切断することなく矩形プリカチューブに内装でき、長さ調節が可能な市販品は見当たらないが、近似材料も提供されていることから開発することは可能であると考えられる。

6. まとめ

今年度の成果から次年度は、光ファイバーケーブルの断線予防対策方法として、今回提案した防護について新しい防護材の開発と施工手順や施工管理方法などの検討、従来工法との比較を行い、今後断線予防対策を実施する際の効率的な運用について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 東京都下水道局計画調整部、東京都下水道サービス株式会社：光ファイバーケーブル断線予防技術調査 平成 21 年 3 月
- 2) 東京都下水道局：光ファイバーケーブル下水道管路内敷設設計指針 平成 17 年 10 月

4-(1)-3 下水道台帳情報システム（SEMIS）の機能について

東京都下水道局 施設管理部 管路管理課 松延 隆志

1 はじめに

東京都区部の下水道事業は、「神田下水」の建設に始まり、昭和 30 年代から本格的に普及事業を進めてきた結果、平成 6 年度末に 100 パーセント普及概成となった。平成 19 年度末には、東京都区部の管きょ管理延長は約 15,700km を超え、東京の都市活動を地下から支えている。しかし、下水道管きょの台帳図は、今日のように情報機器が発達する前までは、ケント紙ベース（昭和 6 年から）の公共下水道台帳の調製することで行ってきたが、下水道の整備が進むと共に公共下水道台帳の調製に労力と時間が多く必要となった、また、ケント紙（図 1）を使用しているため頻繁な図面修正も難しくなったことから、東京都下水道局では、下水道普及拡大に伴い膨大となった台帳図を適切に管理するため、昭和 60 年度に下水道台帳情報システム（SEMIS）を全国の地方自治体に先駆けて導入した。その後、平成 12 年度には、パソコンを活用したシステムを再構築し、各事務所の専用パソコンで下水道台帳情報システムの利用が可能となった。平成 21 年 4 月には、東京都高度情報化推進システム（TAIMS）の情報系ネットワークを利用した TAIMS 版下水道台帳情報システムが利用できるようになり、維持管理のため下水道管きょの情報を必要な職員はすべて利用できる環境が整った。



図 1

2 下水道台帳情報システムの概要

下水道台帳情報システムは下水道施設情報を一体としてデータベース化し管理できる地理情報システム（GIS）です。データベース情報は、図形情報と属性情報及び画像情報で構築されている。図形情報は施設情報、地形情報等で構成され、属性情報は管きょの管径、材質、工事年度、土地管理者等 90 項目以上の情報が登録されており、画像情報は完了図、特殊人孔構造図等を蓄積している。

この情報を活用するため、図面検索、ファイリング、工事件名簿、定型出図、集計、S X F データ（CAD データ交換標準）出力等の機能を付加している。図面検索機能には条件別表示、上下流追跡、流量計算、縦横断図作成、延長面積計算等があり、計画や設計業務で活用され業務の効率化に寄与している。このようにあらゆる情報を集計・集約できる GIS である。

2.1 開発の経過

システム開発の経過を次に示す。

昭和 55 年：下水道台帳情報の近代化に着手（管きょ・人孔情報、工事情報の電子データ化）

昭和 57 年：下水道台帳情報システムの開発に着手

昭和 60 年：ミニコンを使用した下水道台帳情報システム（SEMIS）の完成

昭和 61 年：下水道台帳情報システム（SEMIS）本格運用開始

平成 12 年：パソコンによる新下水道台帳情報システム（SEMIS）導入

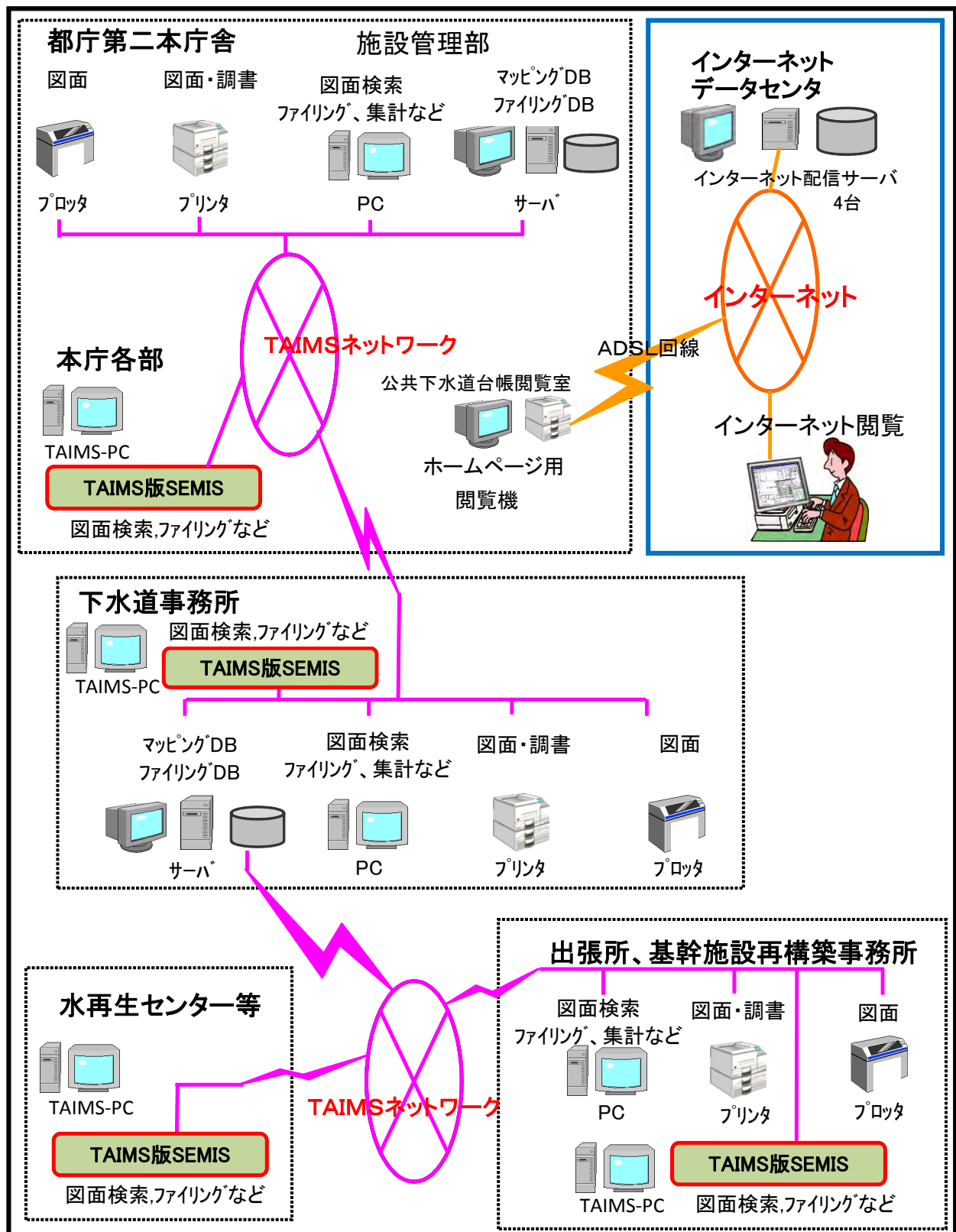
平成 17 年：下水道台帳情報システム（SEMIS）のインターネット閲覧開始

平成 18 年：実施設計作業等に下水道台帳情報の S X F データ提供開始

平成 21 年：TAIMS 情報ネットワークを利用した TAIMS 版の下水道台帳情報システム運用開始

2.2 下水道台帳情報システム（SEMIS）の構成

TAIMS 情報ネットワークを利用した職員用システムとインターネットを利用した下水道台帳閲覧用システムにより構成されている。



注) マッピング : 下水道台帳情報(下水道施設図形情報、施設詳細情報)
 ファイリング : 工事完了図・特殊人孔構造図情報
 TAIMS : 東京都高度情報化推進システム

図 2

3 下水道台帳情報システムの各機能

システムの代表的な機能について、表示画面等を使用して説明する。

3.1 図面検索機能

住所、下水道台帳図面番号、下水道関係施設等を目標とした目標物、人孔番号等各種条件により下水道台帳を画面に表示する機能である。

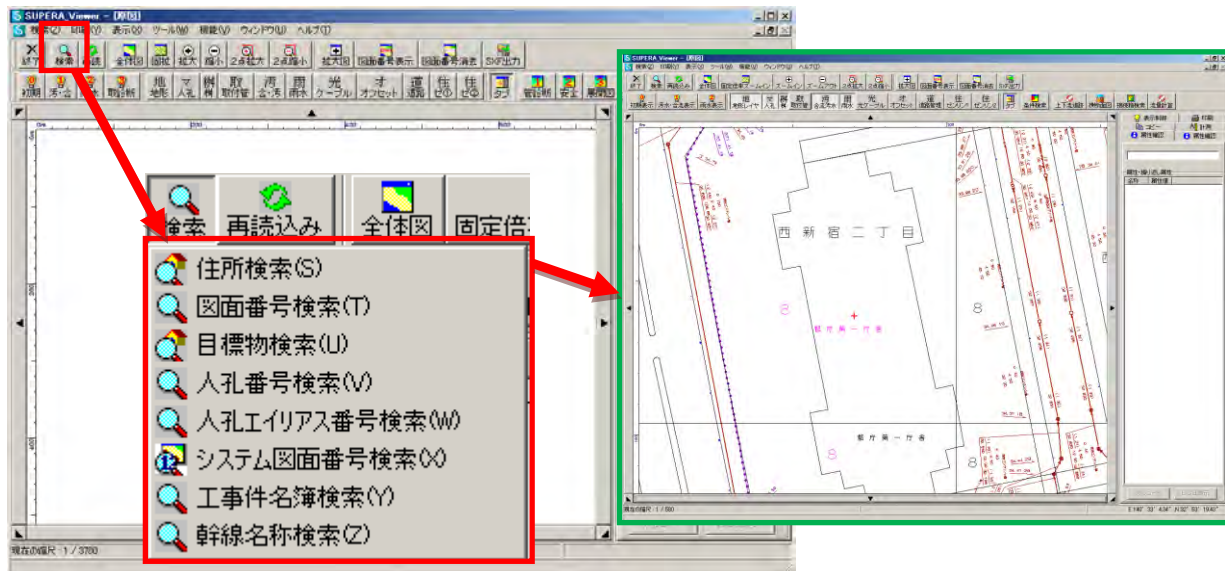


図 3

3.2 表示機能

「表示制御機能」で図形や引き出し線の表示の切り替えを、「表示切替機能」はツールバーボタン機能にある「表示切替」ボタンで簡易に行える。

3.2.1 表示制御機能

表示制御機能の例として「柵・取付管データ」の表示例を示す。

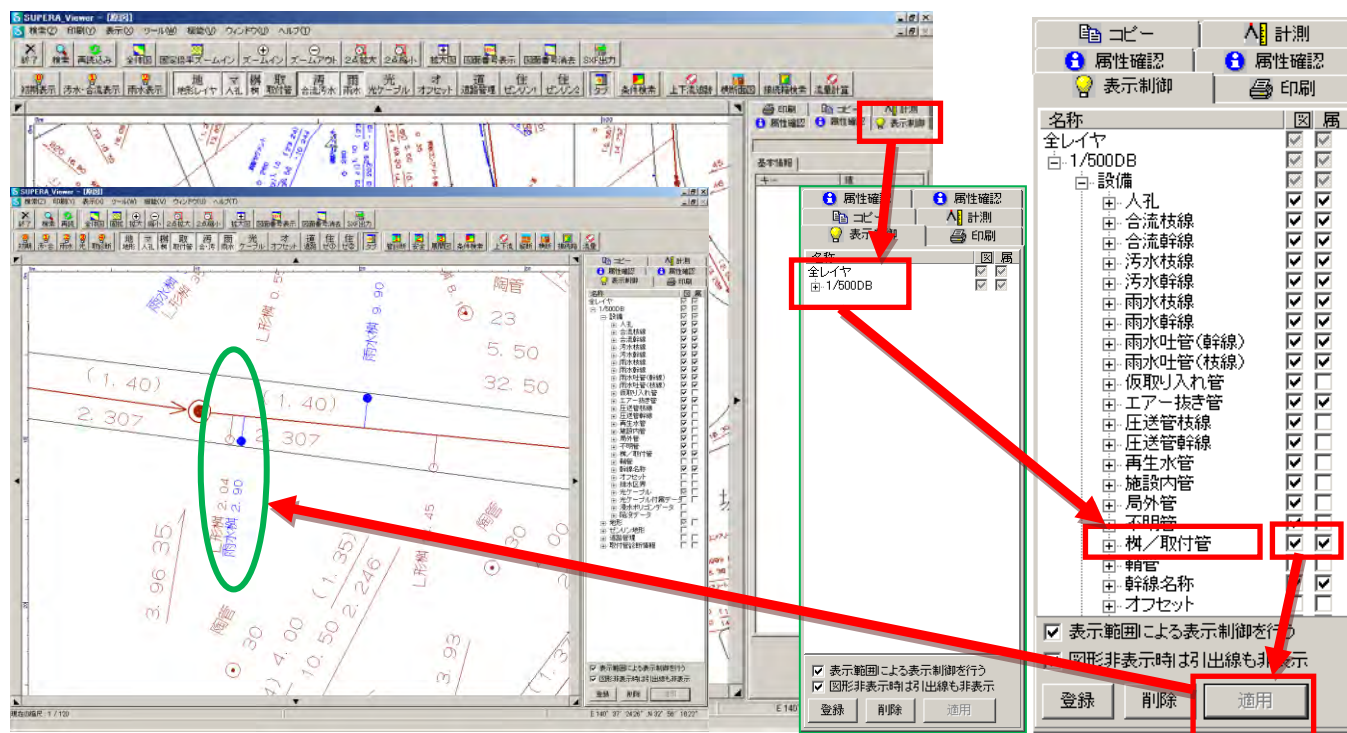


図 4

3.2.2 表示切替機能

ツールバーボタン機能にある「表示切替」ボタンでの道路管理センター地図表示切替例を示す。

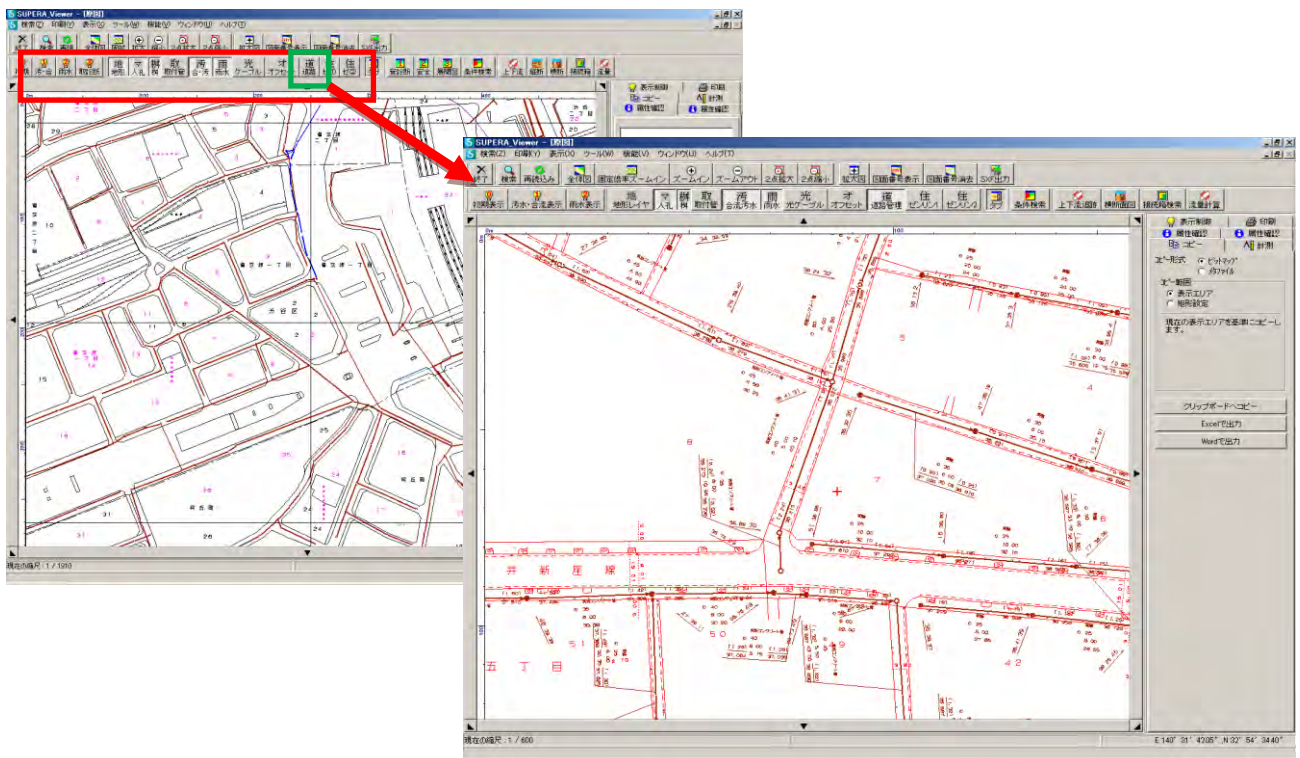


図 5

3.3 属性確認機能

「属性確認」タブをクリックすると属性内容が確認できます。以下は管渠を選択して連動する各機能の画面である。

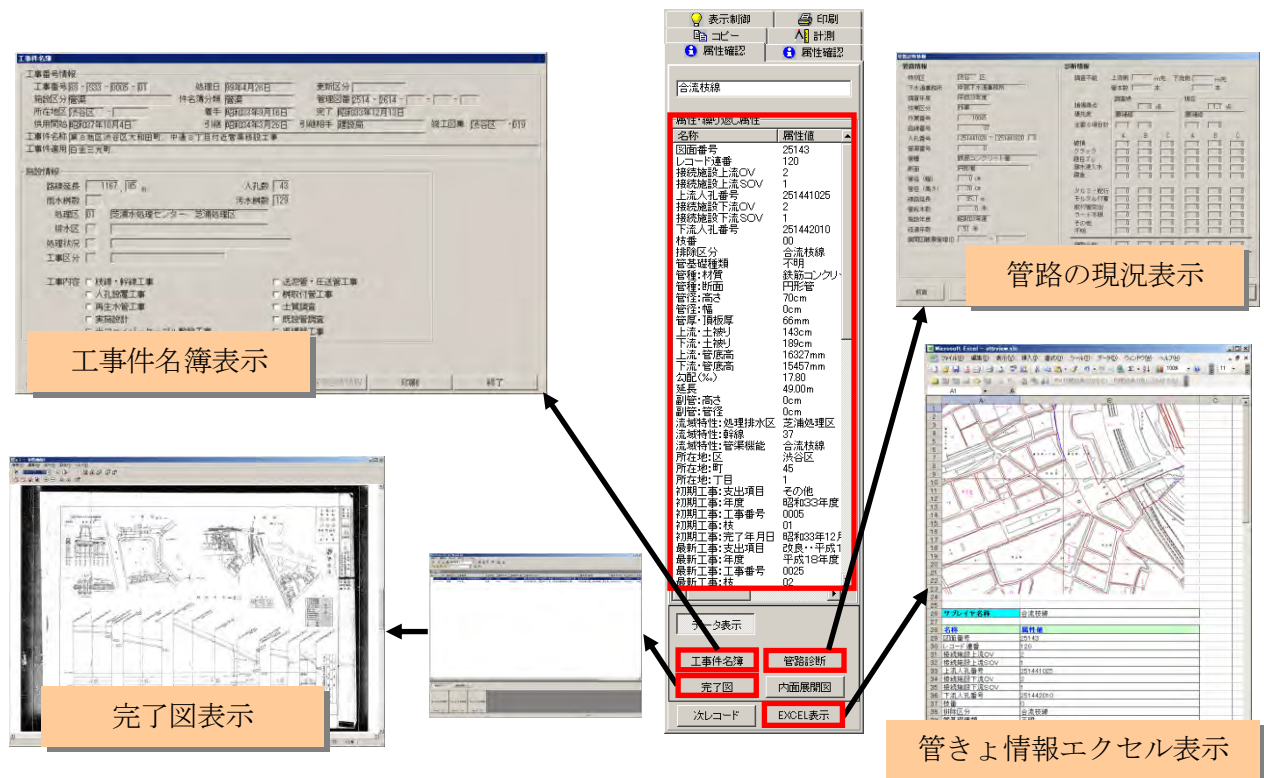


図 6

3.4 下水機能

ツールバーにある下水機能の各ボタンで、管きょ上下流追跡、流量表作成、縦断面図作成等が行える。

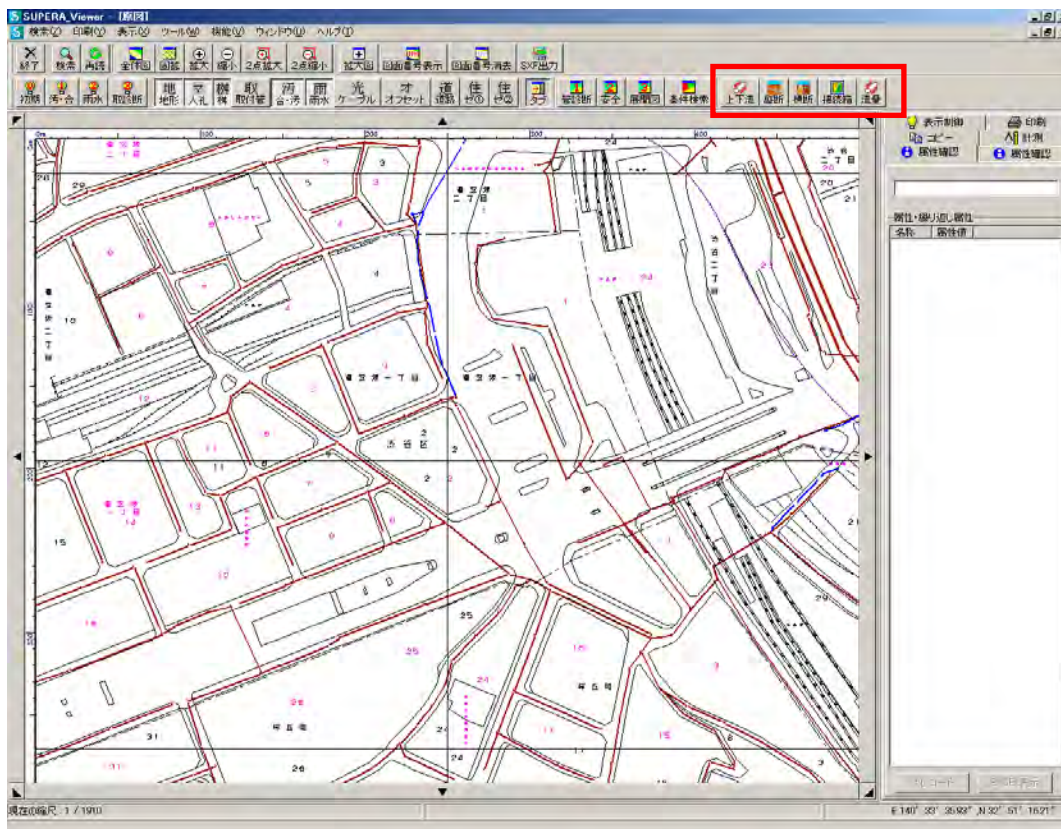


図 7

3.4.1 上下流追跡機能

ツールバーにある上下流追跡機能による上流追跡の例を示す

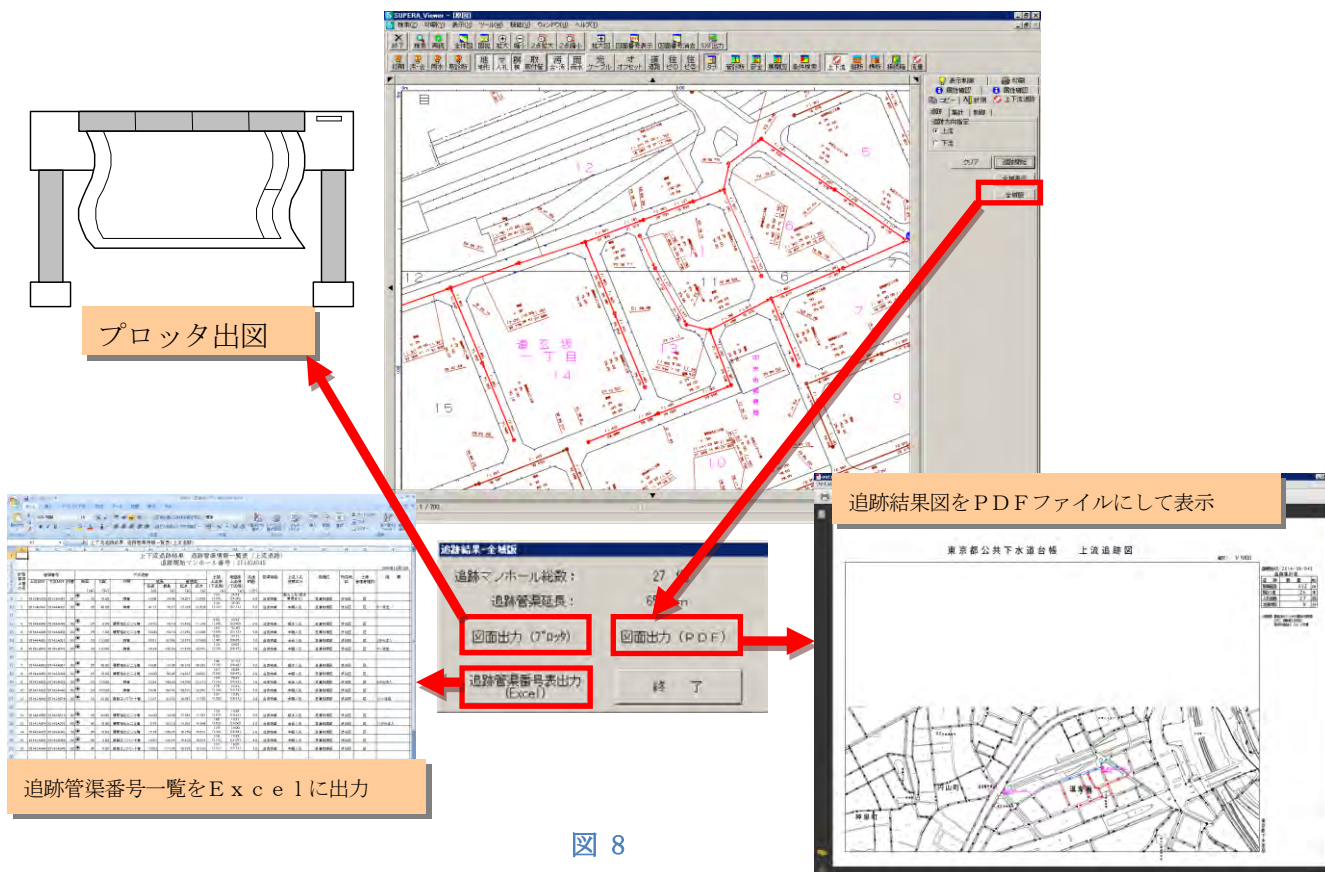


図 8

3.5 条件別検索機能

ツールバーにある条件別検索機能の各ボタンで、事前に登録してある情報を使用して、条件指定による条件検索色分け等が行える。

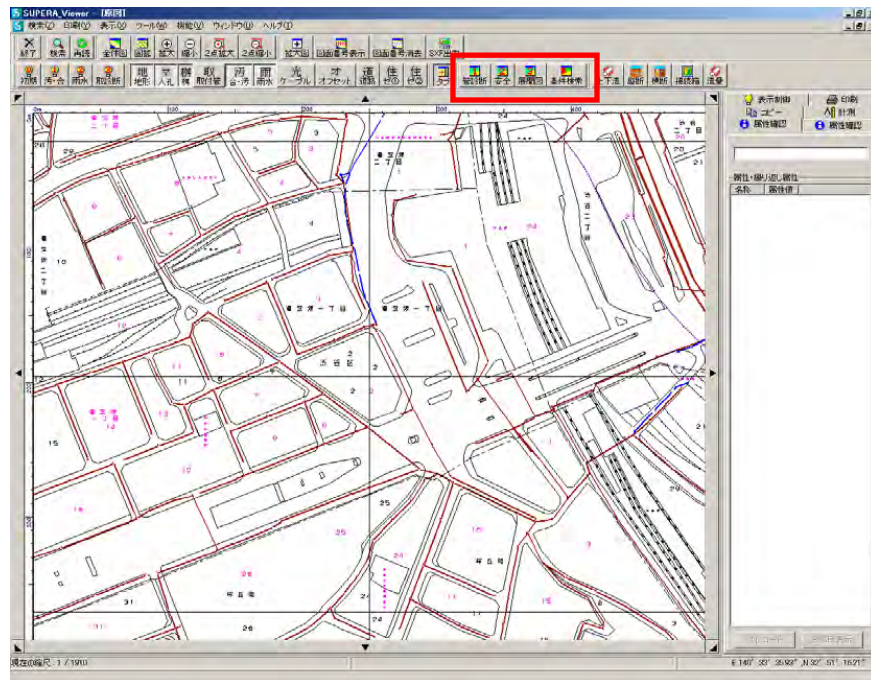


図 9

(1) 条件指定による条件検索色分け

ツールバーにある条件検索機能で条件指定を行い、条件検索色分けを行った例である。「条件検索」ボタンを選択すると、タブ機能に条件検索機能を起動する。条件指定ダイアログを表示して条件を指定して色分け表示を行う。

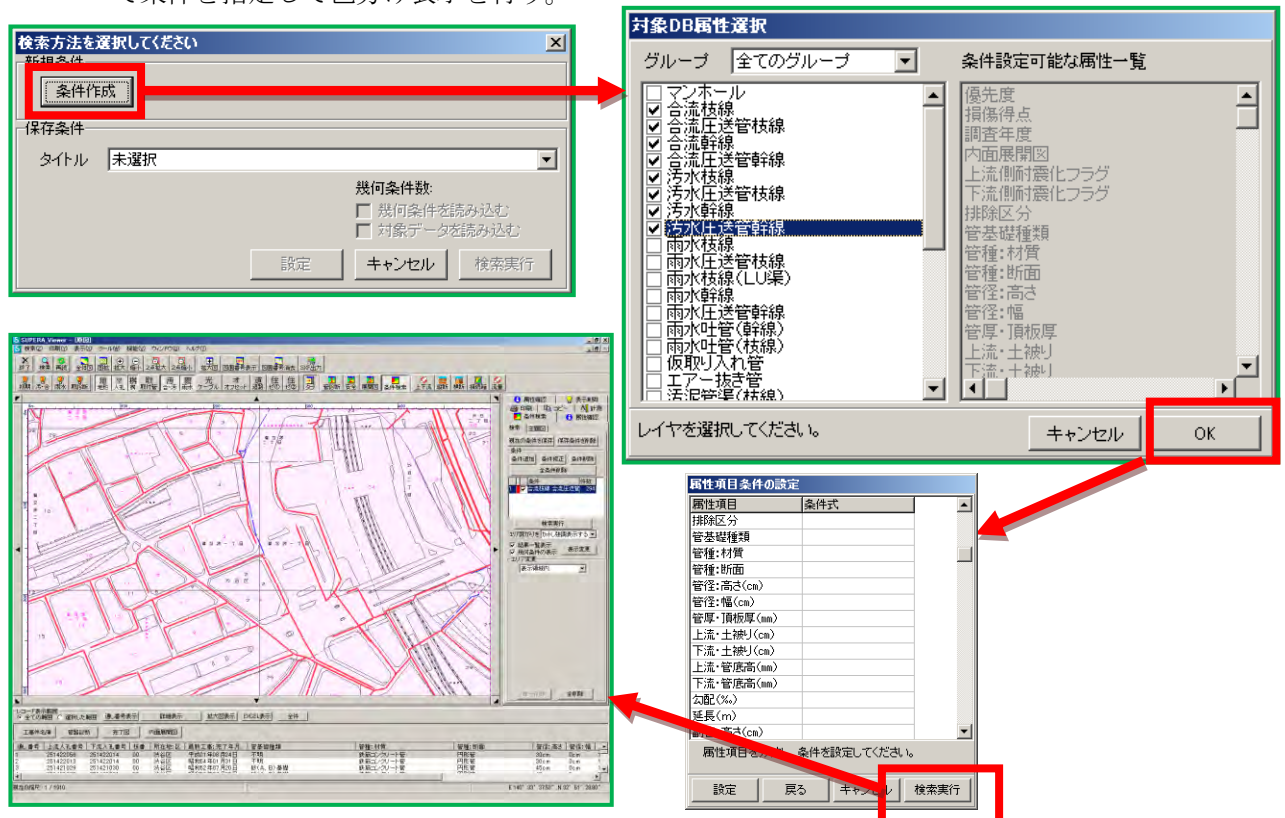


図 10

3.6 クリップボードコピー機能

地図上で指定した領域を、クリップボードにコピーが行える。

※システムでは、ビットマップイメージ以外にメタファイルで出力可能。

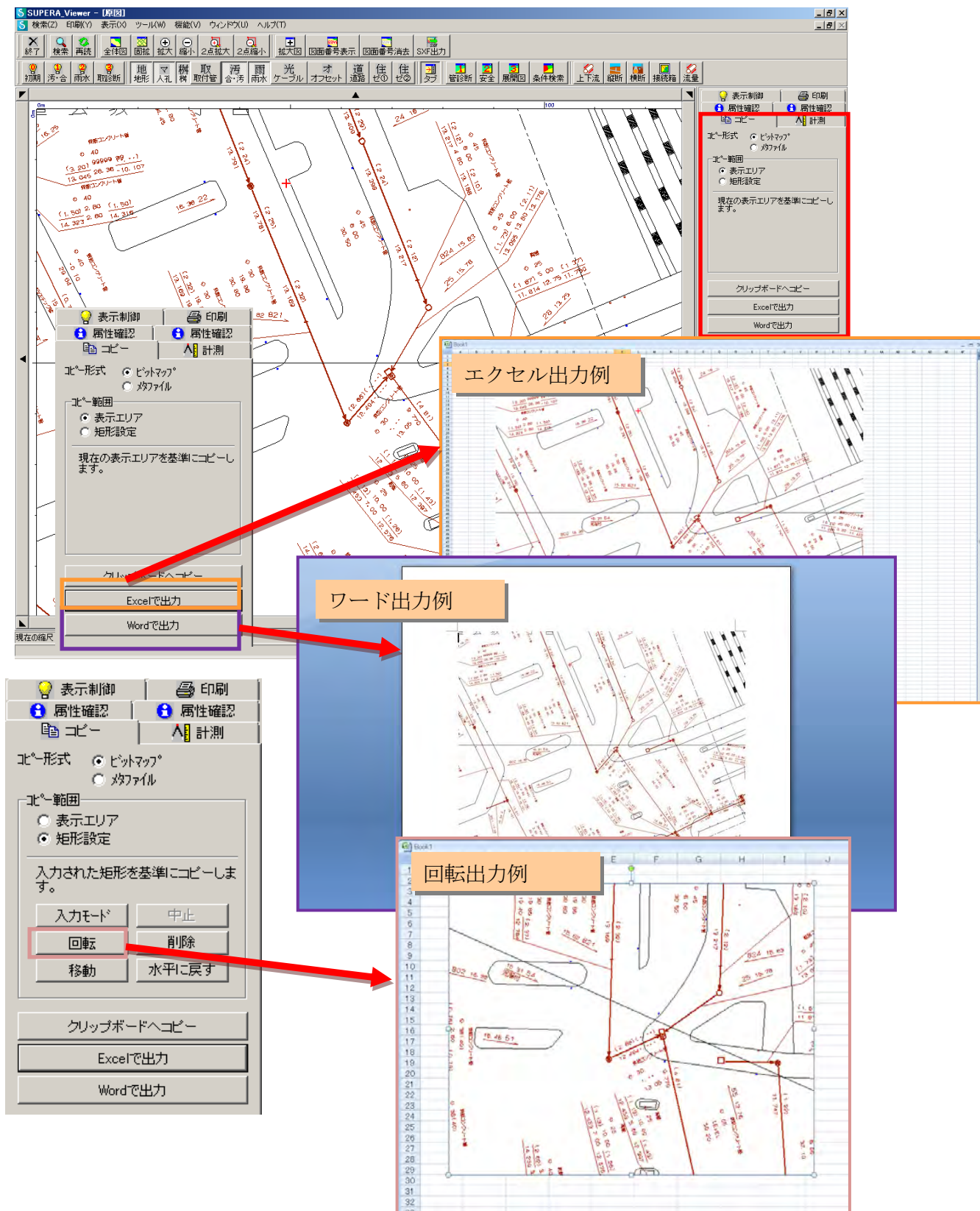


図 11

3.7 印刷や出力機能

プリンタやプロッタへの印刷、PDFファイル作成、CAD用データとしてSXFデータの出力が行える。

3.7.1 図面印刷及びPDFファイル作成機能

図面を印刷した例及びPDFファイル出力した例を示す。

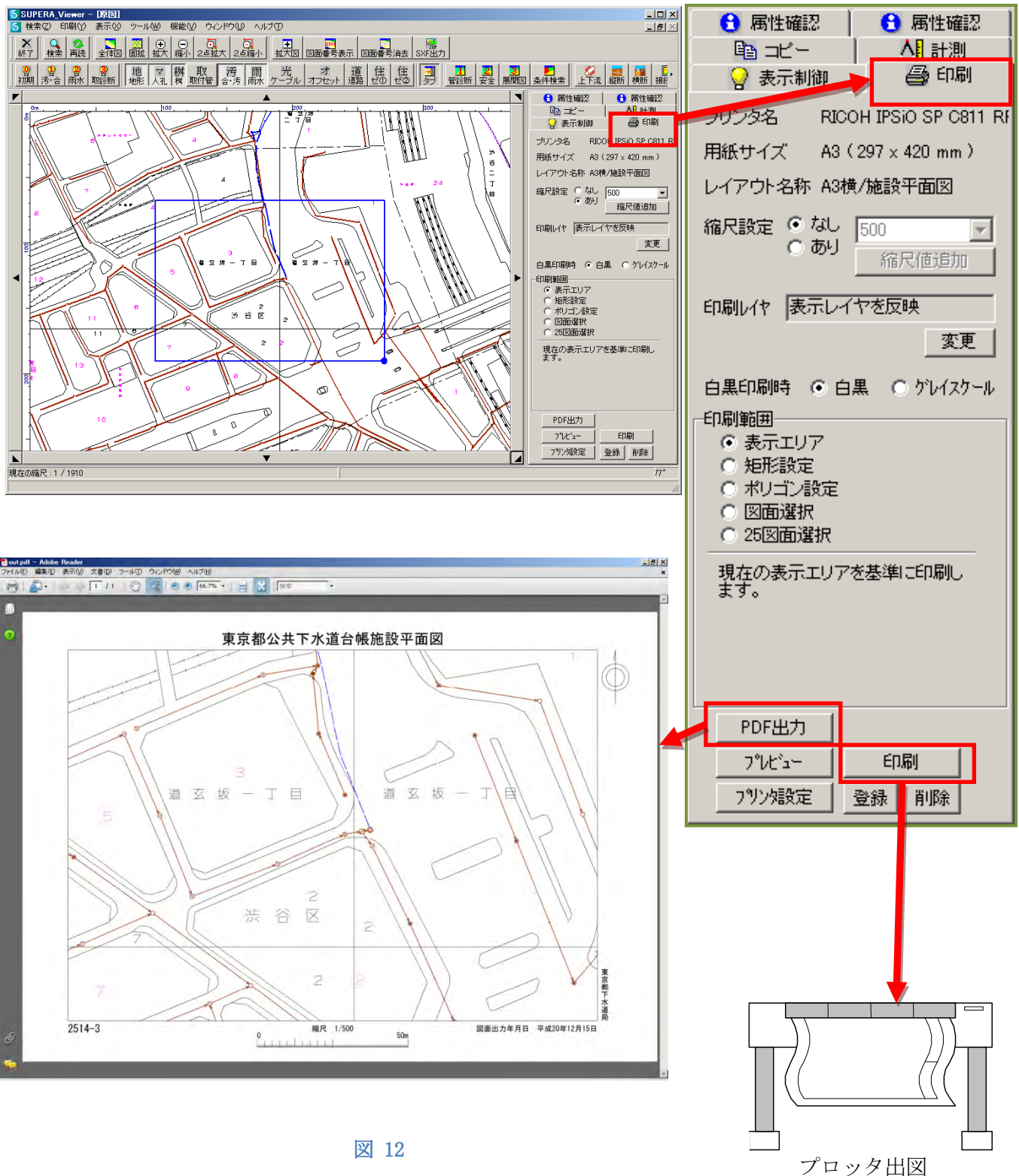


図 12

設計CAD用SXFデータを出力した例を示す。



3.8 下水道台帳情報のデータリサイクル

平成16年度から、下水道台帳の既存データを活用するため、全国に先駆けてSXF Ver3の入出力機能を追加した。これにより、施設情報をSXFファイルとして出力し、設計、工事で活用し、完了図を再び下水道台帳に戻すというデータリサイクルの仕組みを確立している。

(1) 管きょ設計CADシステムによるデータリサイクル

下水道台帳の既存データを管きょ設計CADシステムで利用した例を示す。

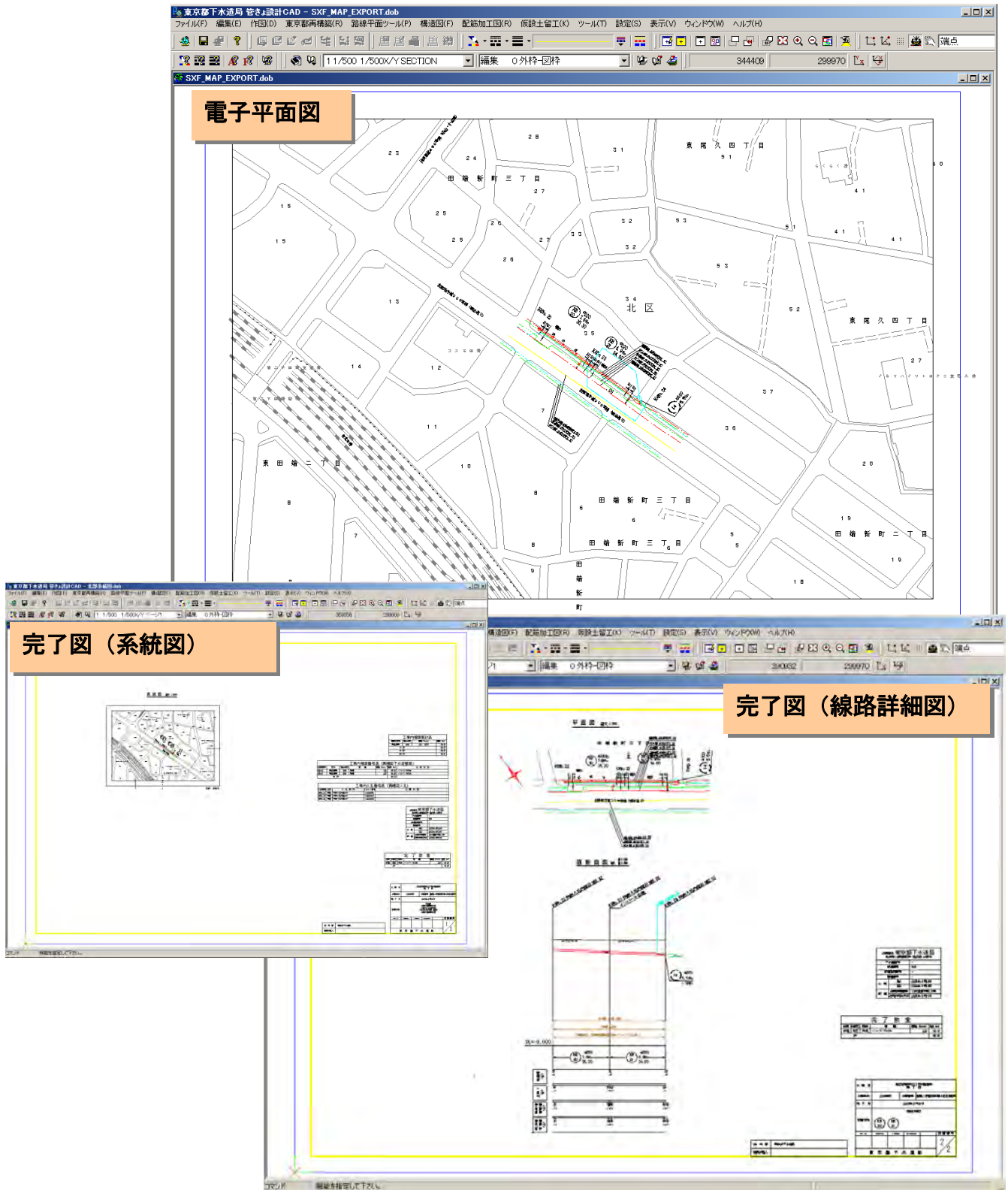


図 14

4 今後の課題

4.1 データ関係

下水道台帳情報システム（SEMIS）データの修正は主に再構築工事や改良工事が完了した際に提出される完了図をもとに行う。

しかし、下水道台帳情報システム（SEMIS）データは、その後の補修工事等による現場の変化に対応できていない場合がある。このような不整合データは日常業務を執行する中で発見され、所定の報告書にしたがって修正しているが、データの信頼性の向上に向け、修正可能な局面で確実にデータを直していく必要がある。

4.2 システム関係

現在、事務所では、「清掃必要箇所」や「臭気発生箇所」、「管渠の要補修、要改良」などの注意又は問題箇所などの現場情報（近年の発生記録等）を、白図上に手書きで作成し、予防保全対策として定期的なパトロールや計画的な補修・改良工事の立案や問題発生時の対応として活用している。しかし、手書きの図面なので、データの修正や追加などで図面が見づらくなったり、破損したりするため、再度、図面を作り直す作業が発生している。また、問題発生時は、施設平面図を出力し白図上の現場情報図等を照合した後、現地へ出動し対応を図っている。

そこで、T A I M S 版の下水道台帳情報システムを有効に使用し、現場で把握している経験情報や問題発生記録などを、直接下水道台帳情報システム（SEMIS）データに現場情報を登録及び管理を行い、参照・検索・印刷を行える等のシステムの充実が必要である。

5 まとめ

当初、下水道台帳情報システム（SEMIS）は膨大となった下水道台帳を効率的に管理するために開発された。その後、下水道台帳のデータを業務で活用し、データ集計や再構築事業計画などに役立てるため様々な機能を付加し順次システムの高度化を進めてきた。今後は、迅速かつ正確なデータ更新を図り、東京都下水道局の根幹となる情報システムとして情報の充実を図っていく。

4-(1)-4 マイクロウェーブ法導入による重金属前処理方法の迅速化

施設管理部環境管理課 市川 豊

三浦 美穂

保々 旭

1. はじめに

当局では、都内 23 区に存在する事業場を監視し、排水指導を行うことで、下水道施設の維持、公共用水域の水質保全を図っている。しかし、不測の事態により事業場から重金属などの有害物質を高濃度で含んだ排水が下水道施設に流入することがある。このような水質事故が発生した場合、被害を最小限に抑え迅速な対応を取るためには、有害物質濃度を素早く把握することが急務となる。

現在、当課における緊急依頼時の重金属分析フローは、図 1 のとおりであり、合計で約 120 分を要している。なかでも、全工程のうちホットプレート（以下、「HP」という。）での加熱による試料分解は、60 分間と最も時間が長く、これが時間短縮におけるボトルネックとなっている。

近年、重金属分析における試料分解方法として、マイクロウェーブ（以下、「MW」という。）法が注目されている。そこで、当課では緊急時における重金属測定的时间短縮を図るため、本法の工場排水への適用可能性について検討を行ったので、報告する。

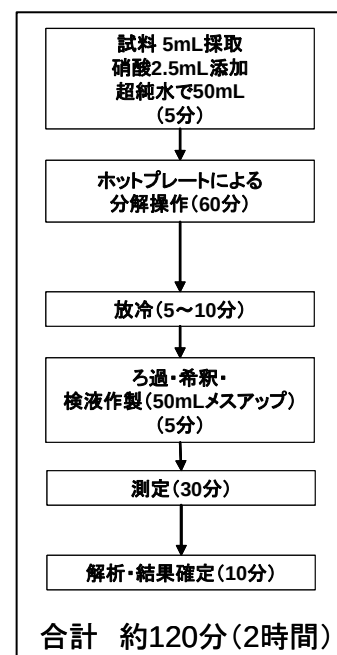


図 1 現行の緊急時重金属分析フロー（試料数：5 本程度）

2. MW 法の概要

2. 1 MW 法の原理

この方法は、図 2 のように HP による加熱分解法とは異なり、試料を耐圧分解容器に入れ、マイクロ波の照射により試料を高温・高圧下で直接加熱分解する方法であり、いわば電子レンジの原理を応用したものである¹⁾。密閉容器で分解することから、外部へ逃げる熱が少なく、急激に温度上昇させることが可能なことから、分解時間が大幅に短縮できる。また、外部からの汚染も少なく、気散しやすい元素（ヒ素・セレン・水銀）の分解にも適していると言われている²⁾。本法は、食品、清涼飲料水、土壌等の重金属測定時の試料分解方法として各方面で検討・実用化されている^{2, 3, 4)}。また、米国環境保護庁（U.S.EPA）では排水、底質、土壌などの環境試料中の重金属含有量測定の前処理方法として規定されている^{5, 6)}。

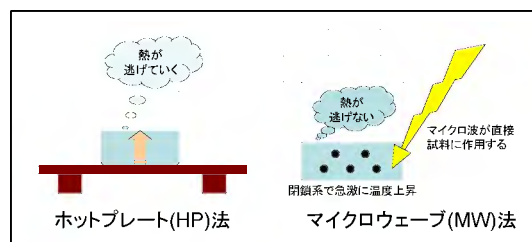


図 2 HP 法と MW 法との比較

2. 2 MW 分解装置

MW 分解装置として、クエストロン社製マイクロウェーブ分解システム Q45 を使用した。図 3 に装置の外観を示す。本装置の MW 出力は 750W であり、家庭用電子レンジと同程度の出力である。また、同時に 12 個の分解容器を並べて分解することができる。上部にはダクトホースが装備され、不測の事態の際には酸蒸気が外部に強制排気されるようになっている。

2. 3 分解容器

2. 3. 1 構造

分解容器として、サヴィレックス社製のテフロン製耐圧ジャー（図 4。以下、「分解容器」という。）を使用した。この分解容器にはガス抜き用の弁が付いており、分解時に高まった内圧を一旦下げてから開封する構造となっている。

2. 3. 2 耐圧性能の確認

液体の場合、採取量が多すぎると加熱により内圧が上昇して膨張し、容器がこれに耐えられず破裂や変形を起こす恐れがある。このため、分解容器内に採取する液体試料量は添加する酸も含めて 10mL 以下に抑えるよう、提言されている³⁾。そこで、採取量を 5mL と設定して分解容器の耐圧性能について予備試験を実施した。

MW 装置で 1 分間継続処理した場合、容器に異常は認められなかった。しかし、2 分間継続処理すると分解容器は膨張し、破裂する危険性が生じた。従って、分解時間を 1 分間以上設定することは困難であることが判明した。

2. 3. 3 分解後の処理

MW 装置から取り出した分解容器は非常に熱く、内圧が高いため、直ちに容器を開封すると酸を含んだ水蒸気やガスが噴き出る可能性があるため、分解容器を常温まで冷却することが必要である。MW 分解後の冷却方法として、空冷・水冷などの方法がある^{2, 3, 4)}。そこで、当課では流水中に分解容器を浸漬して冷却する方法を採用した。約 5～10 分間で内圧が下がり、開封時にガスが吹き出ることにはなかった。しかし、万一ガスが噴出した場合、人体への飛散防止の観点から、ガス抜きはドラフト内で体から離しながら行うことにした。

3. 分解条件の検討

工場排水中の重金属分析を行う場合、操作工程は試料分解を含めた前処理工程と測定操作の大きく 2 つに分けられる。このうち、測定操作については ICP 質量分析法（以下、「ICP-MS」という。）をはじめとした機器分析により 1 試料数分で分析することが可能であり、これ以上の時間短縮を図ることは困難である。

一方、試料分解には 60 分を要することから、この工程で時間短縮を図ることを検討した。工場排水を MW 法で分解するにあたり、分解時間、回収率、再現性に関して検討した。

なお、重金属を ICP-MS をはじめとした機器分析で測定する場合、分解に使用する酸は主に硝酸であることから、硝酸を使用することにした。



図 3 MW 分解装置



図 4 MW 用分解容器

3. 1 分解時間

分解時間は 2.3.2 で検討したように、分解容器の耐性を考慮し、最大分解時間を 1 分までとして検討することにした。

3. 1. 1 方法

供試試料として、めっき業排水の中でも重金属が高濃度で含まれ分解が困難と思われるもの（濃厚茶褐色スラリー状液体）を用いた。これを 5mL 採取して分解容器に入れ、硝酸 2.5mL を加えた。MW 装置の設定を 750W として分解時間を 30 秒及び 1 分間の 2 種類設定して比較した。この分解溶液を 50mL にメスアップして分析を行い、HP 法の測定結果と比較した。

3. 1. 2 結果

分解終了の目安としては、容器内の試料が完全に溶解し、分解液が無色あるいは若干黄みがかった透明であることである¹⁾。30 秒間分解したものは、まだ茶褐色を呈し分解が完全に進んでいなかった。一方、1 分間分解したものは、内容液が透明となった。これを HP 法と比較した分析結果は表 1 のとおりであり、最も分解が困難であると考えられる試料でも 1 分間で概ね分解できると考えられた。

表 1 HP 法と MW 法との比較（単位：mg/L）

Cr		Cu		Zn	
【HP】	【MW】	【HP】	【MW】	【HP】	【MW】
200	200	14	14	1600	1800

3. 2 超純水における添加回収試験

3. 2. 1 方法

超純水に各種重金属を添加した溶液を作製して添加回収試験を実施した。設定濃度は、下水排除基準値とした。これを 3.1 で定めた条件により MW 装置で分解を行った。これを 5 本繰り返し行い、回収率については平均値を求め、変動係数を算出して HP 法との比較を行った。

3. 2. 2 結果

結果は表 2 のとおりであり、回収率及び変動係数ともに良好であった。

表 2 回収率及び変動係数

MW法	Cr	Cu	Zn	Pb	Cd	B	HP法	Cr	Cu	Zn	Pb	Cd	B
設定濃度(mg/L)	2.0	3.0	2.0	0.10	0.10	10.0	設定濃度(mg/L)	2.0	3.0	2.0	0.10	0.10	10.0
測定値(mg/L)	2.08	3.02	2.08	0.102	0.102	10.7	測定値(mg/L)	1.97	3.04	2.06	0.102	0.101	10.5
回収率(%)	104	100	104	102	102	107	回収率(%)	99	101	103	102	101	105
変動係数(%)	1.2	3.4	2.7	1.4	2.1	2.7	変動係数(%)	1.5	1.0	2.2	1.2	2.5	1.0

3. 3 両分解方法における再現性の確認

MW 法と HP 法との間で分解時の測定結果の再現性に差がないことを示すためには、測定結果のばらつき及び平均値に差がないことを確認する必要がある。そこで、両分解方法で 5 本繰り返し分解したときの測定結果を有意水準 5% として F 検定及び t 検定を行った。

検定結果を表 3 に示す。この結果から、両分解方法間のばらつき・平均値には有意差はないと考えられた。

表 3 F 検定及び t 検定結果

めっき業排水(n=5)					機械製品製造業排水(n=5)				
	Cr	Cu	Zn	Pb		Zn	Pb	Cd	B
MW法最高	1.83	0.235	10.8	0.0150	MW法最高	12.1	0.0608	0.0514	8.33
MW法最低	1.75	0.225	10.3	0.0142	MW法最低	11.7	0.0515	0.0469	7.91
MW法平均	1.80	0.228	10.5	0.0146	MW法平均	12.0	0.0557	0.0490	8.16
変動係数(%)	1.78	1.78	1.79	2.38	変動係数(%)	1.42	7.78	3.87	2.20
分散(V ₁)	0.00102	1.65E-05	0.0357	1.21E-07	分散(V ₁)	0.0288	1.88E-05	3.59E-06	0.0323
HP法最高	1.84	0.233	10.7	0.0149	HP法最高	12.1	0.0559	0.0502	8.59
HP法最低	1.79	0.224	10.4	0.0144	HP法最低	11.6	0.0489	0.0463	7.87
HP法平均	1.82	0.229	10.5	0.0147	HP法平均	11.8	0.0526	0.0483	8.16
変動係数(%)	1.26	1.56	1.04	1.37	変動係数(%)	1.63	5.77	3.06	3.61
分散(V ₂)	0.000531	1.28E-05	0.0121	4.06E-08	分散(V ₂)	0.0368	9.23E-06	2.19E-06	0.0869
F(=V ₁ /V ₂)	1.92	1.29	2.94	2.97	F(=V ₁ /V ₂)	1.28	2.03	1.64	2.69
F _{0.05}	6.39	6.39	6.39	6.39	F _{0.05}	6.39	6.39	6.39	6.39
t	-1.48	-0.58	-0.10	-0.60	t	1.45	1.30	0.70	-1.15E-14
t _{0.05}	2.31	2.31	2.31	2.31	t _{0.05}	2.31	2.31	2.31	2.31

3. 4 両分解方法間の分析結果の比較

各種工場排水について、HP 法と MW 法とで分解した場合の測定結果を比較した。図 5 に、MW 法と HP 法について、それぞれの測定結果を下水排除基準値に対する比率（測定結果／下水排除基準値）を示す。MW と HP 法の測定結果には、 $r=0.9984$ という高い相関性が認められ、MW 法分解による測定結果は、HP 法分解による測定結果とほぼ同等であることが示され、緊急時等における代替利用の可能性が確認された。

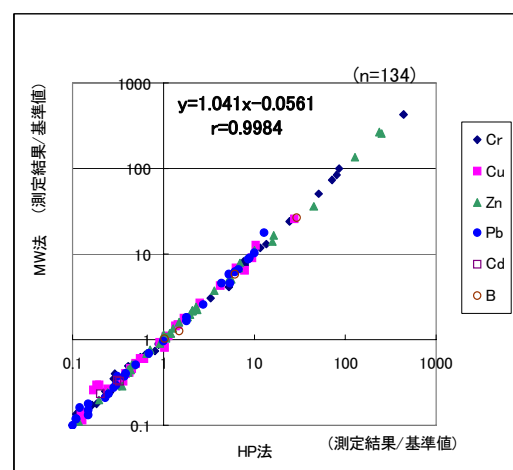


図 5 HP 法と MW 法との相関

3. 5 分解条件の確立

3. 5. 1 MW 法による分解条件

これまでの検討結果から、MW 法による試料分解等の条件を以下のように決定した。

試料 5mL を分解容器に採取→硝酸 2.5mL 添加→密閉し、MW 装置にセット→750W・1 分間処理→MW 装置から取り出す→流水中で約 5～10 分間冷却→ガス抜き（ドラフト内）

3. 5. 2 緊急時における重金属分析フローの見直し

確立した MW 分解条件を当課における緊急時の重金属分析フローに適用した（図 6）。分解時間は約 1 分間と大幅に短縮されたため、測定終了まで約 1 時間で完了することが可能である。

4. まとめ

重金属分析におけるマイクロウェーブ法による試料分解条件を検討したところ、以下の点について分かった。

- (1) 試料採取量 5mL に対して硝酸 2.5mL を添加し、MW 装置を用いて 1 分間処理することにより試料を分解することができた。

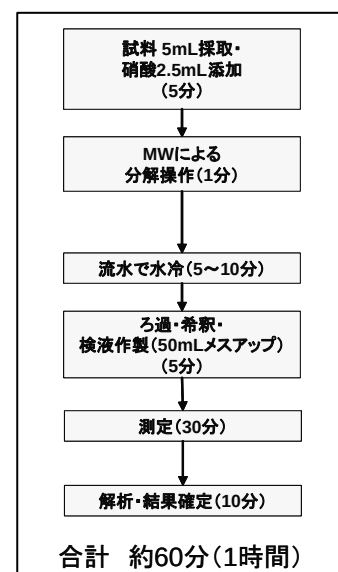


図 6 新たな緊急時重金属分析フロー（試料数：5 本程度）

- (2) 既存の緊急時重金属分析フローへ今回検討した MW による試料分解方法を導入することで、試料採取から結果確定までの作業時間が、これまでの 2 時間から 1 時間に短縮できた。
- (3) 通常の行政検体への導入にあたっては、分解容器が高価であることや、繰り返し使用により劣化する可能性があることから、コスト面の検討が必要である。

参考文献

- 1) 社団法人日本分析化学会：現場で役立つ化学分析の基礎、オーム社、2006、p135-151
- 2) 萩原ら：マイクロウェーブ加熱分解法による魚介類加工品中の総水銀分析、東京都健康安全研究センター年報、2006、p289-291
- 3) 伴埜ら：マイクロウェーブ分解装置を用いた食品中の重金属分析、京都市衛生公害研究所報、No. 70、2004、p127-130
- 4) 富田ら：電解法を用いた下水汚泥からの重金属除去技術に関する研究、北海道立工業試験場報告、No. 301、p49-59
- 5) U. S. EPA：Method 3015 Microwave assisted acid digestion of aqueous samples and extracts
- 6) U. S. EPA:Method 3051 Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils

4-(1)-5 下水水質シミュレータの活用による処理水りん濃度予測

施設管理部 環境管理課

増田 龍彦 村山 康樹 小林 政行 海老澤 雅美

1. はじめに

「東京都下水水質シミュレータ」（以下「シミュレータ」という。）は、簡単な操作で下水処理の水質予測を行い水質管理に利用するためのツールとして、東京都下水道局と民間企業の共同で開発したソフトウェアである。（図 1）ソフト上で水質予測等（シミュレーション）を行うことにより、実際に運転変更を行わずに処理水質の変動を予測することが可能であり、水質悪化のリスクを冒すことがない。

本稿では、嫌気－無酸素－好気法（以下「 A_2O 法」という。）

施設である浮間水再生センターにおいて課題となっている高濃度硝酸性窒素（以下「 NO_3-N 」という。）の反応槽流入におけるりん処理に与える影響についての知見を得る目的で、このシミュレータを用いて検討した結果を報告する。

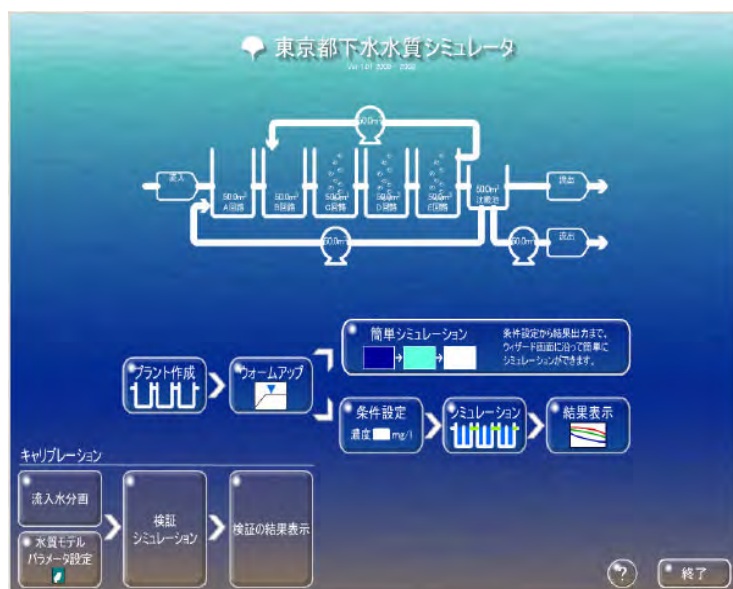


図 1 起動画面

2. シミュレータの概要

2. 1 シミュレータの概要

シミュレータでは、国際水協会（IWA）の活性汚泥モデル 2d（ASM2d）を基にしたシミュレーションを行い、流入水質や運転条件などを変化させた場合の処理水質や、反応槽各回路における基質濃度（水質）の推移などを予測することができる。

本シミュレータの特徴として、以下のことがあげられる。

- (1) 世界的に最先端の予測モデルを使用しており、これまでに蓄積したデータを用いることができ、新たな測定を必要としない。
- (2) 操作を行うために活性汚泥モデルの専門知識を必要としない。
- (3) 流入水質の入力に水再生センターでの測定項目を用いることができる。
- (4) シミュレーション結果を汎用表計算ソフト（MS-Excel）に出力でき、種々の条件で行なったシミュレーション結果を比較・検討できる。

2. 2 活性汚泥モデル（ASM2d）の構造

本シミュレータに採用されている活性汚泥モデルは、反応タンク内で実際に起こっている加水分解反応、従属栄養細菌に関わる反応、りん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を数式でモデル化し、反応タンク内の生物反応および物

質の濃度変化を計算している。(図 2)

① 好氣的有機物除去

従属栄養細菌の増殖により有機物を酸化分解し、その分解過程で生成した物質濃度の変化をモデル化している。

② 窒素除去

②-1 硝化

独立栄養細菌である硝化細菌がアンモニアを硝化する過程をモデル化している。

②-2 脱窒

従属栄養細菌が有機物を水素供与体として、また硝酸を水素受容体として還元する過程をモデル化している。

③ リン除去

リン蓄積細菌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をモデル化している。

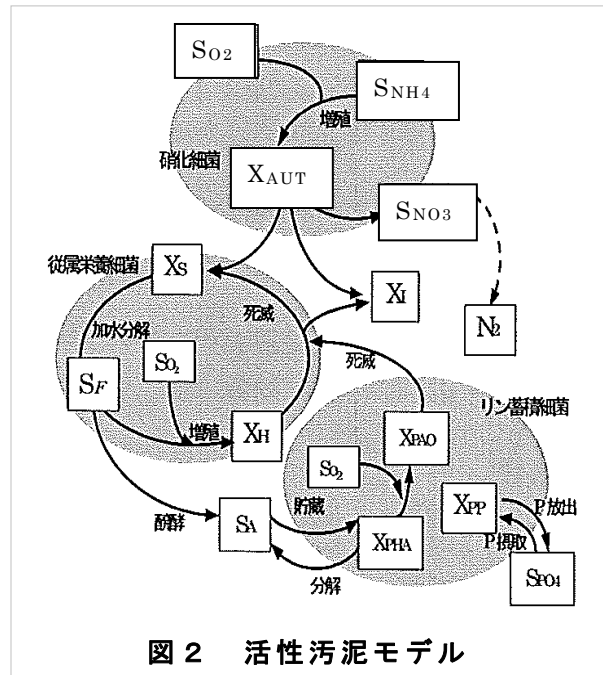


図 2 活性汚泥モデル

参考として表 1 に活性汚泥モデルの構成成分を示す。

表 1 活性汚泥モデルの構成成分

記号	項目	記号	項目
S_{O_2}	溶存酸素	X_s	生物遅分解性の懸濁態有機物
S_F	酸発酵可能な 易分解性有機物	X_{AUT}	独立栄養細菌(硝化細菌)の菌体量
S_A	酸発酵から生成される 有機物	X_H	従属栄養細菌の菌体量
S_I	生物非分解性有機物	X_{PAO}	リン蓄積細菌の菌体量
S_{NH_4}	アンモニア性窒素	X_{PP}	リン蓄積細菌の細胞内蓄積ポリリン酸
S_{NO_3}	硝酸・亜硝酸性窒素	X_{PHA}	リン蓄積細菌の細胞内貯蔵有機物
S_{N_2}	溶存窒素	X_{TSS}	TSS
S_{PO_4}	オルトリン酸態リン	X_{MeOH}	水酸化沈殿物
S_{ALK}	アルカリ度	X_{MeP}	リン酸塩沈殿物
X_I	生物非分解性の 懸濁態有機物		

2. 3 シミュレータ操作手順

シミュレーションは、大きく分けて 6 つの手順で行う。

(1) プラント作成

ソフトウェア上で作成するプラント(処理施設)は、系列数および回路数の設定で作成される基本プラントに、実施設の状況に応じて変更(槽容量、流入経路、ポンプの循環先

など）を加えることで容易に作成することができる。

（２）流入水質の設定（図３）

活性汚泥モデルでは、流入有機物を細分化しており、シミュレーションを行うためには、反応槽流入水中の有機性成分について、生物分解されるものとされないもの、また、生物分解されるもののうち分解が容易なものとそうでないものなどに分ける操作（流入水分画）を行う必要があり、次の式で定義されている。

$$\text{有機物 (COD}_{\text{Cr}}) = S_A + S_F + S_I + X_S + X_H + X_I$$

ただし、実測による分画操作には高度な技術および知識が要求されるため、シミュレータでは、過去に区部２水再生センターで行った分画結果の平均を標準値として採用し操作の簡便化を図っている。また、水再生センターで測定を行っている COD_{Mn} を利用することもでき、 COD_{Cr} に換算後、オランダ応用水研究財団（STOWA）が提案した有機物分画方法（表２）を基に、 COD_{Mn} 、溶解性 COD_{Mn} 、BOD 値から成分比率を算出して用いることも可能である。

表２ STOWA における有機物分画方法

項目	方法
S_F	流入水の S-COD _{Cr} (0.1 μm ろ過) を $S_F + S_A + S_I$ とし S_A と S_I を差し引いて算出
S_A	流入水の有機酸濃度から設定
S_I	処理水 S-COD _{Cr} 値 × 0.9
X_S	流入水の BOD* を推定し、それを $X_S + S_F + S_A$ とし、 S_F と S_A を差し引いて算出
X_I	流入水の T-COD _{Cr} を全有機物とし、他を差し引いて算出
$X_{\text{AUT}}, X_H,$ $X_{\text{PAO}}, X_{\text{PHA}}$	ゼロとみなす

※BCOD 値は流入水の BOD の経日変化より BOD_∞ を推定しその値を用いて推定する

図３ 分画面面

(3) ウォームアップ

ウォームアップとは、シミュレーション開始時の反応槽における各物質濃度の初期値を設定するために行う操作で、実施設における活性汚泥の馴致に相当する。具体的には、反応槽における物質の収支・生物反応の状態を安定させるため、平均的な流入水質・一定の運転条件の下で予測計算を行う。

(4) 条件設定

シミュレーションを行うために、反応槽へ流入する水量、水質（アンモニア性窒素（以下「 $\text{NH}_4\text{-N}$ 」という。）、りん酸性りん（以下「 $\text{PO}_4\text{-P}$ 」という。）などの濃度）を入力し、さらに流入水量、水温、MLDO、返送汚泥率、余剰汚泥量等の処理条件を入力する。

本シミュレーションの条件設定において流入水質・運転条件の日平均値を用いれば、平均的な処理水質が予測でき、24時間の流入水質・運転条件データを用いれば、処理水質の日変動を予測することができる。また、幹線の切替えや水処理施設の改良工事等による流入水質の急激な変化や運転条件の変更を行った際に、処理水質の変動を事前に予測することが可能であり、目的によって使い分けることが可能である。

(5) シミュレーション

条件設定で設定した条件でシミュレーションを行う。図4にシミュレーション時の画面を示す。

選択した任意の回路・水質項目について、シミュレーション結果がリアルタイムに表示される。また、計算の進捗状況は、画面上に％で表示される。



図4 シミュレーション画面

(6) 結果表示 (図 5)

シミュレーション結果は計算後に自動で保存される。このデータはシミュレータ上で読み出し、各水質項目について、時系列や回路別の推移、両者を組み合わせた 3 次元グラフなど様々な形式のグラフで表示させることができる。また、MS-Excel 形式で出力することも可能である。なお、同一条件のもとプラント作成から結果表示までのシミュレーション操作を行うために要する時間は 2 時間程度である。

2. 4 シミュレータ使用上の留意点

本シミュレータは、活性汚泥モデルに基づき膨大なパラメータを用いている。シミュレーション結果を実測値と一致させるには、施設や処理条件により異なる各パラメータを正確に設定する必要がある、それには複雑な調査・検討の実施など多大な労力が必要となり実用的でない。

そのためには、シミュレーション結果に過大な精度を求めず、ある程度の誤差の中で濃度変化の傾向（上昇か下降か、変化が大きい小さいか）の把握に用いるという利用方法が実用的であると考えられる。この方法では、実用上問題ないレベルの予測精度を得るために必要な最小限のパラメータのみ変更を行い、その他は標準値を用いればよい。また、処理水質予測において、シアンなど毒物流入による活性汚泥の活性度低下はシミュレータで再現できないことや、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の酸化により生成する亜硝酸性窒素はシミュレータ上では区別できず（合計が $\text{NO}_3\text{-N}$ として表示される）、亜硝酸蓄積は予測できないことにも留意する必要がある。

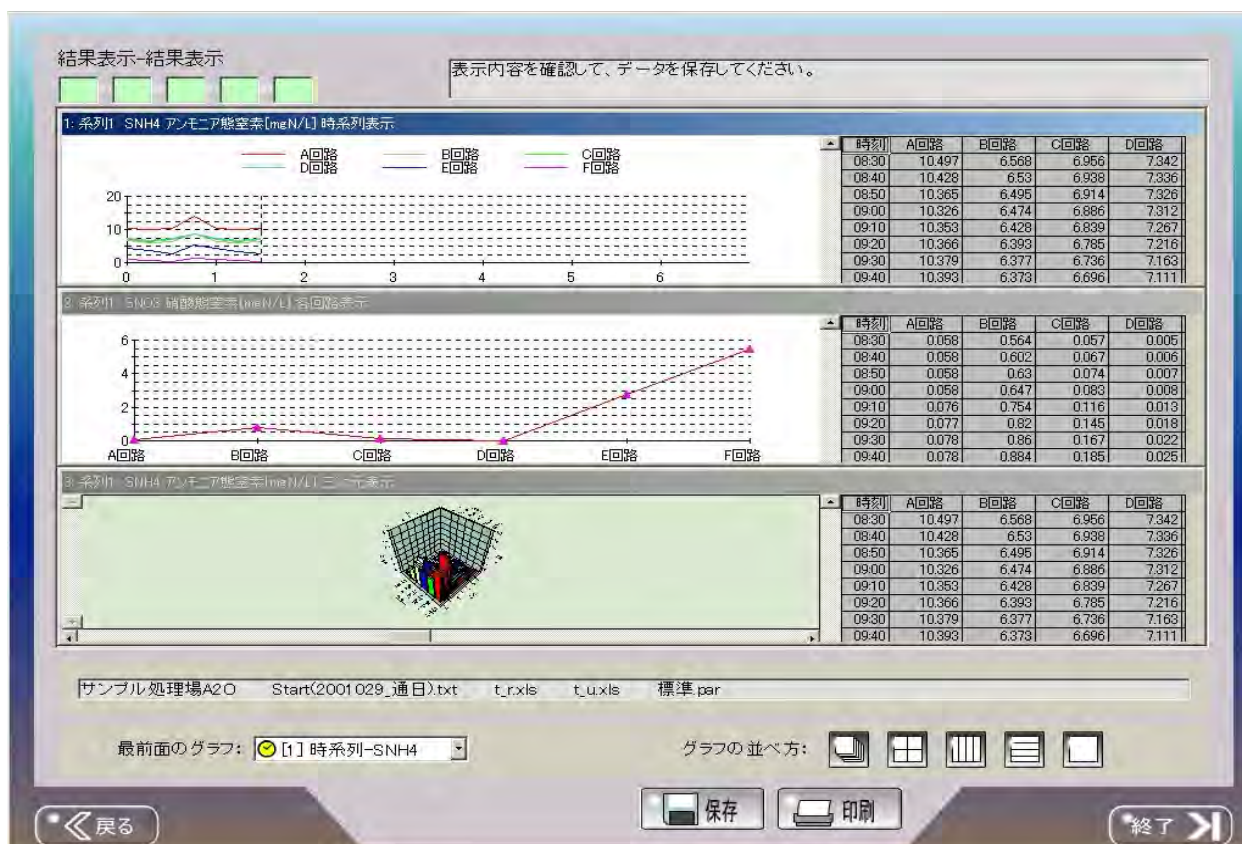


図 5 結果表示画面

3. シミュレーション（浮間水再生センター）

3. 1 プラントの作成

本検討では、浮間水再生センターの水処理施設をモデルとして A₂O 法のプラントを作成した。実施設および作成したプラントの諸元を表 3 および表 4 に示す。

実施設は嫌気槽 4 回路、無酸素槽 4 回路、好気槽 5 回路の計 13 回路×6 系列から成るが、シミュレーションではソフトウェアの制約と計算時間短縮のため 10 回路×1 系列のプラントに変更している。また、好気槽のうち I から L 回路の MLDO は実測データが不足しているため、事前の予備シミュレーションを基に表 4 に示した値とした。

表 3 実施設の諸元

回 路	嫌気槽				無酸素槽				好気槽				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
容量 (m ³)	905	544	544	544	544	544	544	906	1087	1087	1087	1087	906
MLDO (mg/L)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.5

表 4 作成したプラントの諸元

回 路	嫌気槽		無酸素槽			好気槽				
	A + B	C + D	E	F	G + H	I	J	K	L	M
容量 (m ³)	8694	6528	3264	3264	8700	6522	6522	6522	6522	5436
MLDO (mg/L)	0	0	0	0	0	1.2	1.8	2.5	3.2	3.5

3. 2 反応槽流入水質データ

反応槽流入水質のデータは、浮間水再生センターの通日試験結果を用いた。また、2.3 (2) で述べた STOWA の方法により、混合試料の COD_{Mn}、溶解性 COD_{Mn}、BOD 濃度を用いて流入水質の設定（有機性成分の分画）を行った。

3. 3 ウォームアップ

通日試験混合試料の流入水質及び運転データを用いて、90 日間分のウォームアップを行った。ウォームアップ終了時の処理水質（計算値）と通日試験（実測値）の結果を表 5 に示す。両者の差は、NH₄-N、NO₃-N で約 1mg/L、PO₄-P で約 0.1mg/L であり、NH₄-N の差は実測データ不足によるものである。作成したプラントは実施設の処理状況を概ね再現できていると判断した。

表 5 日平均値を用いたウォームアップ結果
計算値と実測値の比較

	流入水 (実測値)	処理水		
		(実測値)	(計算値)	差
NH ₄ -N (mg/L)	15	0.1 未満	1.1	約 1.0
NO ₃ -N (mg/L)	0.1 未満	8.8	7.9	0.9
PO ₄ -P (mg/L)	0.9	0.1	0.01	約 0.1

4. 高濃度 NO₃-N 含有排水流入時の対応シミュレーション

3.3 で、作成したプラントの再現性を確認できたため、次に、課題となっている高濃度 NO₃-N 含有排水流入時の対応を検討するためにシミュレーションを行った。

A₂O 法や嫌気好気活性汚泥法（AO 法）などの高度処理施設において、高濃度 NO₃-N の流入は、反応タンク嫌気槽での嫌気度が保てず、りんの吐出しが阻害され好気槽でのりんの過剰摂取が弱まることから、りん処理の障害となるといわれている。

浮間水再生センターが過去に行った調査では、高濃度 NO₃-N 含有事業場廃水が流入する幹線において、NO₃-N 濃度が 100～400mg/L 程度にまで上昇していることが観測されている。（図 6）

現在、この幹線の流入下水については新河岸水再生センターに全量送水されているが、今後、浮間水再生センターの施設増強に伴った幹線の切回しにより、浮間水再生センターへ流入させることも予定されている。

そこで、反応槽流入水中に高濃度の NO₃-N が存在する場合、りん処理にどのように影響するのかシミュレータを用い予測を行った。

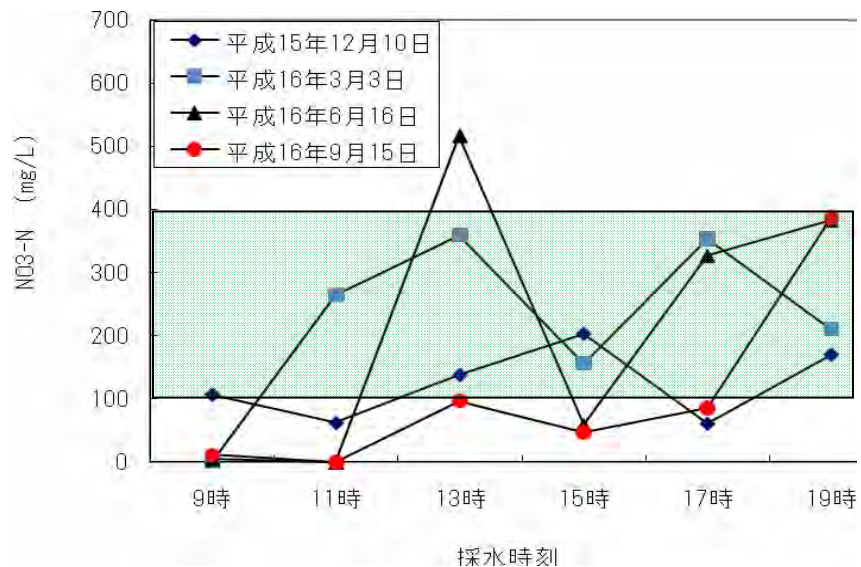


図 6 高濃度 NO₃-N 含有廃水流入幹線分析結果

4. 1 条件設定

反応槽への NO₃-N 流入条件としては、前述の幹線中の NO₃-N 濃度（100～400mg/L 程度）が他幹線と合流することにより反応槽流入水中での濃度は 1/10 程度に希釈されること、及び過去に行った高濃度 NO₃-N 含有事業所排水中の NO₃-N 濃度変動調査結果をもとに、以下の条件とした。

(1) シミュレーション条件 1 スポット流入

5、10、20、30、50mg/L の濃度の NO₃-N が、1 日 2 回、2 時間ずつ（3 時～5 時、14 時～16 時）スポット流入する場合。

(2) シミュレーション条件 2 常時流入

流入濃度変動を平準化した場合を想定し、3.4、5.0、8.4mg/L の濃度の NO₃-N が常時流入する場合。（流入負荷量としてスポット流入時の 20、30、50mg/L に相当する。）

5. シミュレーション結果

5. 1 シミュレーション条件 1 スポット流入予測（図 7）

高濃度 NO₃-N が反応槽へ流入する時間帯（3 時～5 時、14 時～16 時）による影響を受けた結果、グラフ上で濃度のピーク回数がそれぞれ 15 時と 1 時の 2 回となった。りん処理への影響は NO₃-N 濃度が 20mg/L 以上で顕著に現われ、50mg/L の場合、約 0.7mg/L まで上昇するという結果となった。予測誤差及び処理状況悪化などを考慮すると、処理水りん濃度が規制値である 1mg/L 付近まで上昇する可能性もある。また、H21 年度浮間水再生センタ

一自主管理基準値が 0.5mg/L であることから時間帯によっては PAC 添加で対応できる。

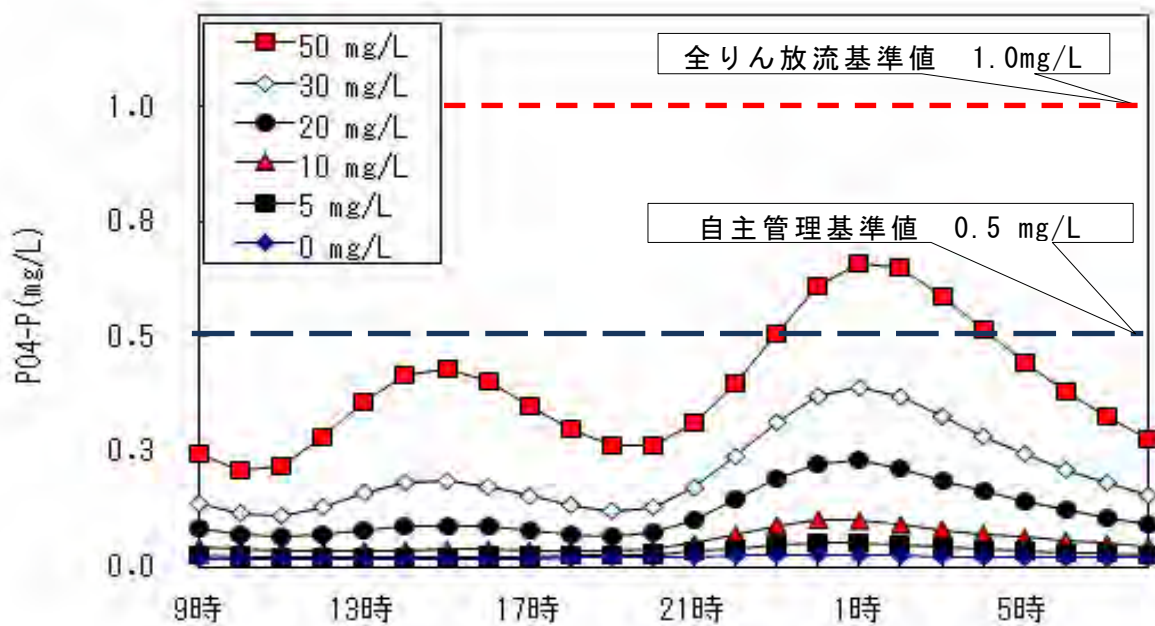


図 7 硝酸性窒素スポット流入条件でのシミュレーション

※図 7、図 8 についてシミュレーションでは処理水の SS は含まれない設定となっている。そのため PO4-P を全りんとみなし、全りん基準値と比較している。

5. 2 シミュレーション条件 2 常時流入予測 (図 8)

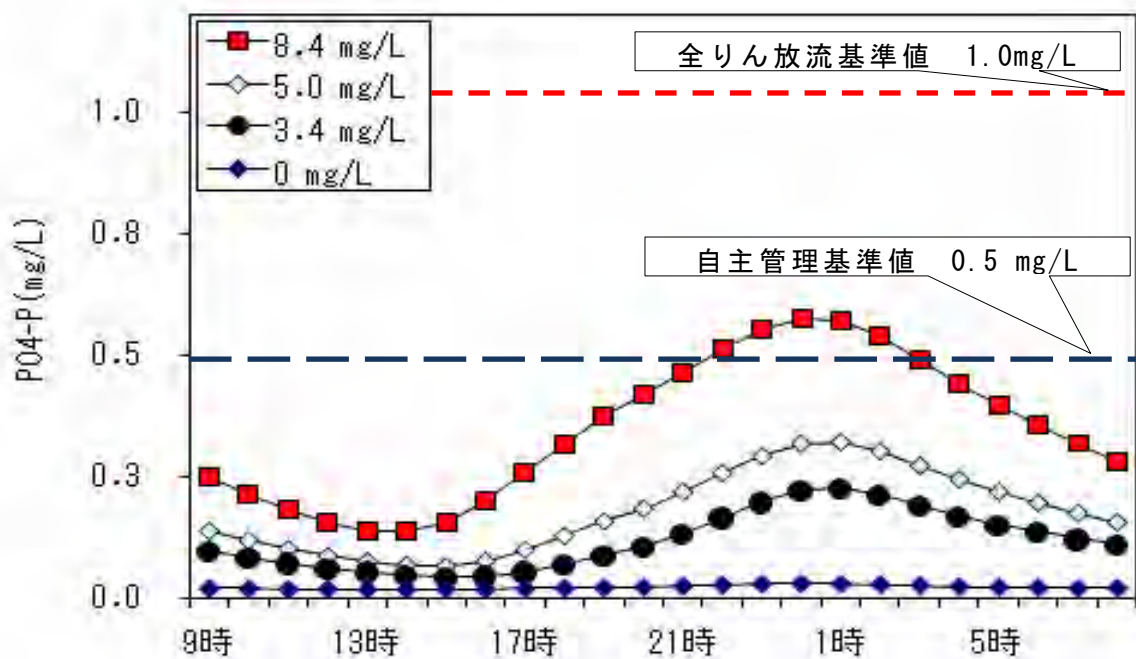


図 8 硝酸性窒素常時流入条件でのシミュレーション

スポット流入の場合と同様に、時間変化とともに処理水 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は変動している。これは反応槽に流入する $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度変動の影響を反映しており、ピーク回数は1時の1回となった。

流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 3.4mg/L（スポット流入 20mg/L 相当）、5.0mg/L（スポット流入 30mg/L 相当）及び 8.4mg/L（スポット流入 50mg/L 相当）の条件で、それぞれ 0.2mg/L、0.3mg/L、0.6mg/L 程度となった。流入濃度変動を平準化した場合、スポット流入に比べてりん処理への影響はやや小さくなっている。しかし、流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 8.4mg/L の条件については、スポット流入の場合と同様に、PAC 添加で対応が必要となる。

また、図 9 は、前述のそれぞれの場合における処理水 $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量（kg/日）を比較したものである。

流入負荷を平準化させた場合の処理水 $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量のほうがスポット流入の場合に比べて、幾分低くなる傾向がみられるが、平準化した場合でも十分な改善効果は得られていない。これは、どちらの場合においても、りんの吐出しが阻害され好気槽でのりんの過剰摂取が弱まり、りん処理の障害となっていることを示唆している。

ただし、H21年4月1日から適用された第6次総量規制において、浮間水再生センターのりん負荷量規制値は 130kg/日であるが、スポット流入、常時流入それぞれの条件ともりん負荷量は規制値以内であった。

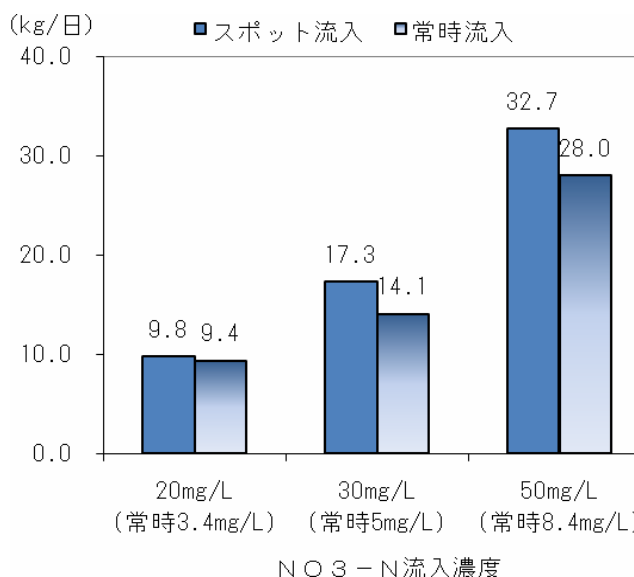


図 9 処理水 $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷量の比較

6. まとめ

高度処理施設への高濃度の $\text{NO}_3\text{-N}$ が流入した場合の放流水質への影響についてシミュレーションを行った結果、放流水のりん濃度が上昇し、PAC 注入が必要になることを予測できた。

一方、浮間水再生センターでは、現在他の水再生センターに送水している高濃度 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含有汚水を施設能力の増強に伴い幹線を切回し、汚水全量を当センターにおいて処理する計画が予定されていた。環境管理課では、今回の予測結果を関係部署及びセンターに対して全量受け入れた場合の放流水質への影響について説明を行った。その結果、高濃度の $\text{NO}_3\text{-N}$ 排出事業場への指導を行うと共に、浮間水再生センター新規稼働施設への流入幹線の切回しについて、再検討を行う等により安定した放流水質を維持することができた。

なお、本シミュレータの今後の活用については、水質事故等による水再生センターへの悪質廃水の流入や、施設の稼働・休止、流入幹線切回しに伴う施設の運転条件を変更する場合等において、事前に処理水質への影響の有無を予測することで即時対応が可能となるなど安定した水質管理を行うことが可能となることから、本シミュレータの活用を図っていききたい。

4-(1)-6 水再生センター内工事に起因する水質悪化対策

西部第一下水道事務所 落合水再生センター 水質管理係
○高橋麻由子 三好幸一郎 清水武司 古谷達夫 三石次雄

1 緒言

落合水再生センターでは、平成 20 年 12 月から年度末にかけて、反応槽の設備補修や散気板取り換え工事・返送汚泥濃度計設置工事が行われ、南・北施設の反応槽 10 槽中最大 3 槽が停止する予定があった。これに伴い、流入水の大部分を処理している南側施設は、北側停止分を含めた水量も流入することになるため反応槽の水量負荷が増大し、硝化不足による放流水質の悪化や再生水事業への影響も懸念された。このため、硝化を促進しこれまで以上に効率よくアンモニアを除去する必要が生じていた。そこで、机上実験により効率良く硝化促進できる条件について検討した結果、良好な成果を得られたため実施での試行を経て全槽で運転条件の変更を行った。今回は、この経緯について報告する。

2 対応策の検討

2. 1 予想される影響

表 1 に工事の経過、表 2 に工事期間中の反応槽予想滞留時間を示す。滞留時間は返送汚泥量を考慮に入れて計算したものである。工事期間中は、通常時と比較して滞留時間が最大 1.3 時間減少することが予想された。落合水再生センターの反応槽は A 回路から D 回路までの 4 回路で通常 4 時間の滞留時間を確保しているが、これが 2.8 時間になれば、通常時の C 回路末端に相当する水質にまで二次処理水の水質が低下してしまう恐れがある。

表 1 工事の経過

日付	経過
H20 年 9 月 18 日	南側 1 系 4 号槽返送汚泥流入バルブ損傷 返送汚泥投入量が減少したため南側 1 系 4 号槽の流入量を通常時の 30% に調整
H20 年 12 月 15 日 ～H21 年 3 月 25 日	北側 2 号槽散気板取り換え工事（北側 2 号槽停止）
H21 年 2 月 16 日 ～3 月 12 日	南側 1 系 4 号槽返送汚泥流入バルブ補修 及び 南側反応槽返送汚泥濃度計設置工事（南側 1 系 3 号・4 号槽、2 系 5 号・6 号槽が 2 槽ずつ停止）

表 2 反応槽の予想滞留時間

	南側 1 系	南側 2 系	北側
通常時	4.1	4.1	5.3
返送汚泥弁損傷後	3.3（4 号槽を除く）	3.7	5.0
北側 2 号槽停止後	3.1（4 号槽を除く）	3.7	4.7
北側 2 号槽＋南側 2 槽停止後	2.8（4 号槽を除く）	2.8	5.0

2. 2 硝化促進方法の検討

通常時の反応槽各回路の MLDO 及び酸素利用速度を図 1 に示す。A・B 回路で酸素を多く消費し、反応槽末端に進むに従い酸素利用速度は減少していく。また、MLDO は A 回路から C 回路で 0.5～1mg/L 程度と低い状態であるが、D 回路のみ他より高い値となっている。このことから、酸素を要求する A から C 回路では送風量が不足気味で、その反対に D 回路は送風量を下げられる可能性がある。これまでの送風比率は、A 回路から順に 10%・30%・30%・30%として運転していたが、これを変更して反応槽後半の余裕があると考えられる送風量を減らすことで、酸素要求量の大きい部分に減らした分の酸素を供給し、効率よく水処理ができると考えた。

3 机上実験

3. 1 実験条件

机上実験によって実施設で回路ごとの送風比率を変えた条件を模し、硝化の進行状況を調査した。図 2 のような装置を組み立て、返送汚泥 4L と一沈流出水 8L を混和したものをサンプルとして実験に供した。実験時間は実施設の平均滞留時間と同じ 4 時間、送風倍率は時間当たり 4 倍に設定し、表 3 に示すような送風比率で実験を行った。

測定項目は MLDO とアンモニア性窒素、硝酸性窒素、りん酸性りんとし、1 時間ごとに測定した。測定方法は、アンモニア性窒素はイオンメーター、硝酸性窒素は Merck 社製 RQ フレックス、りん酸性りんはモリブデン青法である。

3. 2 実験結果

まず、A 回路に相当する実験開始 0～1 時間後については比率を変えずに 10% とし、B 回路相当の 1～2 時間後については送風比率を 45% に増加させた条件 I で検討を行った。この条件では図 3 に示

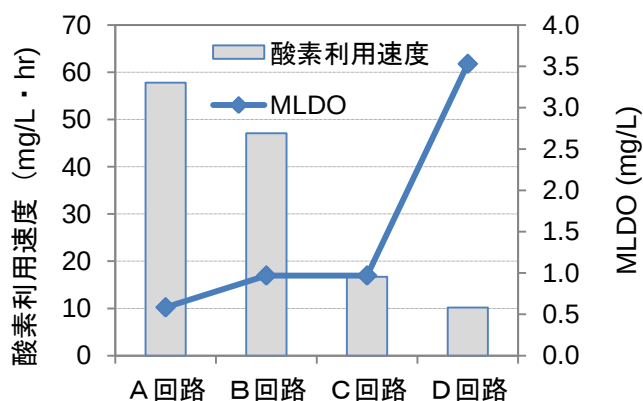


図 1 各回路の MLDO と酸素利用速度

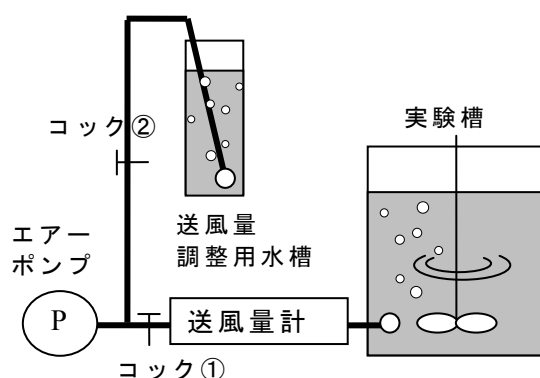


図 2 実験装置の概略

表 3 実験条件

送風比率 (%)	A 回路	B 回路	C 回路	D 回路
条件 I	10	45	30	15
II	10	50	25	15
III	15	35	35	15
対照	10	30	30	30

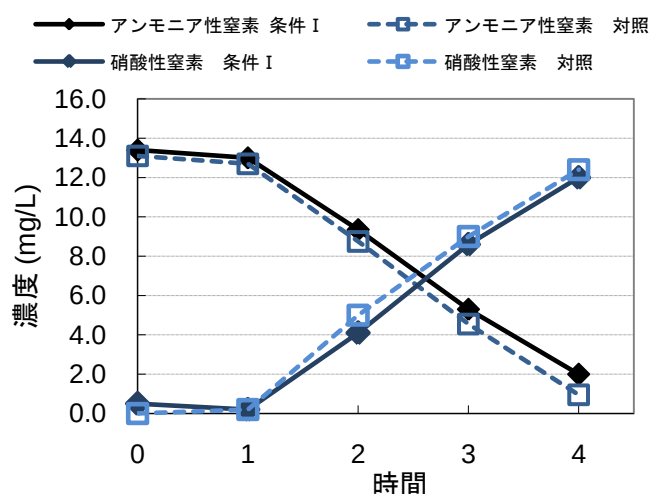


図 3 条件 I での各態窒素濃度の変化

す通り硝化の状況に改善はみられなかった。1～2 時間後の送風比率をさらに増やして 50%とした条件Ⅱの結果を図 4 に示すが、この条件でも硝化が促進するということとはなかった。

これらの結果から、1～2 時間後の送風比率を増加させただけでは硝化の促進はできないと考え、0～3 時間後までの比率を 5%ずつ増やした条件Ⅲで検討した。図 5 より、0～1 時間後のアンモニア消費速度・硝酸生成速度が対照よりも増加し、また、実験開始から 3 時間後のアンモニア性窒素も対照に比べ低下したことがわかる。A 回路の送風比率をこれまでよりも増加させることにより硝化を促進できるという結果である。また、りん酸性りんの推移は図 6 のように条件Ⅲと対照とで違いが見られず、0～1 時間の送風比率を変えたことによるりん処理への影響はなかった。

4 実施設での検討

4. 1 送風比率変更の試行

机上実験で良好な結果が得られたため、実証実験に向けてセンター内へ説明会を行った。説明会では、実験の結果をもとに、送風比率を現状の A 回路 10%・B～D 回路 30%から、A 回路 15%・B・C 回路 35%・D 回路 15%へ変更することを水質管理係から提案した。施設の特性上比率変更が実際にできるか否かや、実施方法などについて運転管理係・保全管理係と調整を図った。

その結果、南側反応槽の 1 槽を実験槽、もう 1 槽を効果検証のための対照槽として選び、平成 20 年 12 月 15 日から実証実験を実施した。そして、日常試験の際に実験槽と対照槽の各回路における各態窒素・りん酸性りん・COD を測定し、このデータから効果の検証を行った。

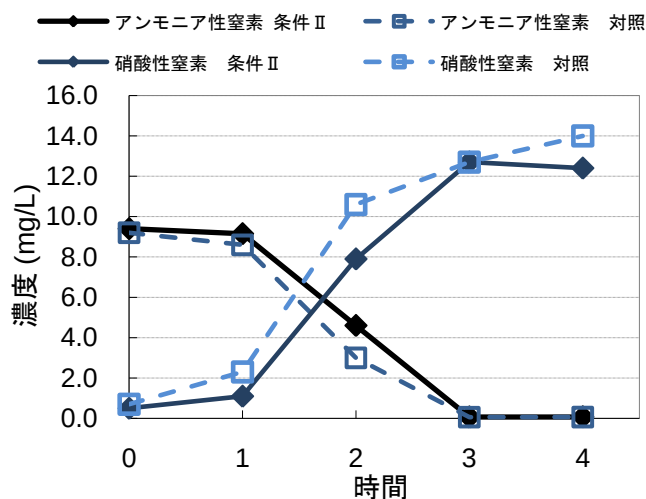


図 4 条件Ⅱでの各態窒素濃度の変化

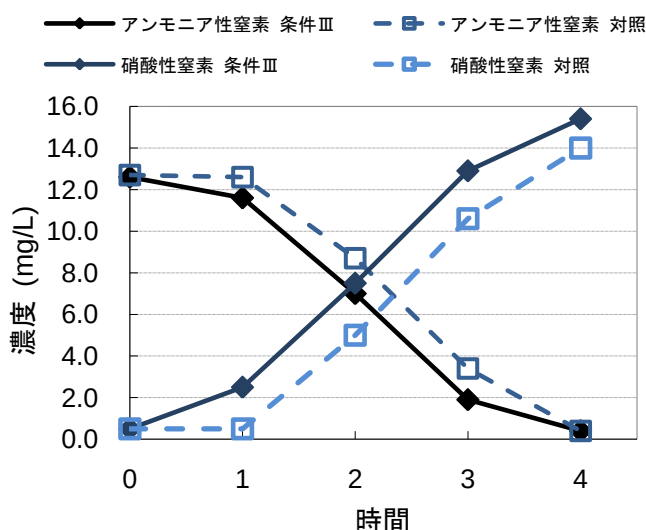


図 5 条件Ⅲでの各態窒素濃度の変化

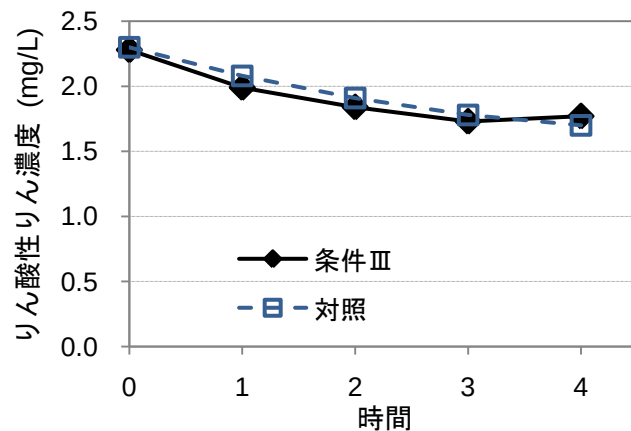


図 6 条件Ⅲでのりん酸性りん濃度の変化

4. 2 試行による効果の検証

送風比率変更前の各回路のアンモニア性窒素濃度は実験槽・対照槽とも同じであったが、変更の翌日から実験槽各回路の濃度が低下し、対照槽よりも低い値を維持していた。試行期間の各回路のアンモニア性窒素濃度の平均値を図7に示す。C回路で硝化がほとんど終了しており、机上実験と同等の成果が得られた。

図8・図9は反応槽D回路のろ液についてCODとりん酸性りんを測定した結果である。CODは対照槽と同程度、りん酸性りんも同等かやや低濃度の水質が得られており、送風比率を変更することで放流水質に悪影響を与えることはなかった。

4. 3 南側施設全槽での実施

実験槽で良好な結果が得られたので、運転管理係と再度調整し、平成21年1月13日から南側反応槽全槽で送風比率の変更を実施した。ただし、各槽のD回路でMLDOを監視しているため、D回路の比率を下げすぎるとDO制御の際に送風量を過剰に増やしてしまうおそれがあることから、試行時はA回路から順に15%・35%・35%・15%としていた送風比率を、15%・35%・30%・20%とした。日常試験で南側1系、2系の代表槽について水質分析し、処理状況を確認した。

比率を変更した翌日の1月14日から代表槽各回路のアンモニア性窒素濃度が下がり始め、C回路で0.5mg/Lになっていた。その後も、降雨により処理がやや不安定になることがあったが、良好な処理水質が得られた。1月14日から2月4日までの平均値を図10に示す。南側1系と2系の代表槽で大きな差はみられず、全ての反応槽で硝化を促進することができた。

5 南側施設工事開始後の状況

平成21年2月16日から南側反応槽の

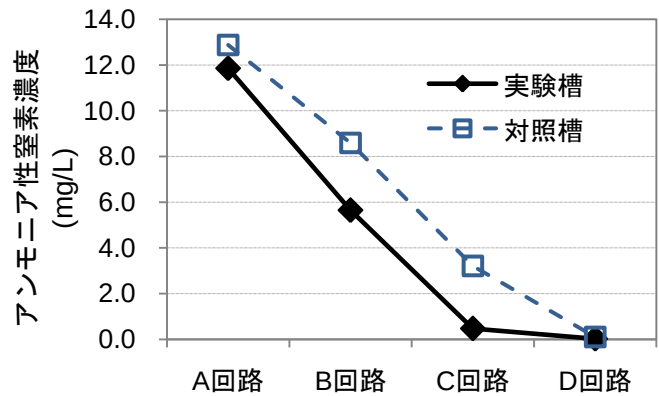


図7 アンモニア性窒素濃度の平均値

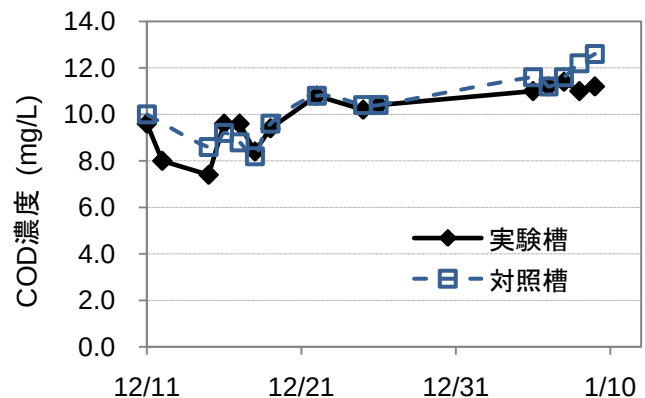


図8 試行期間中のCOD濃度

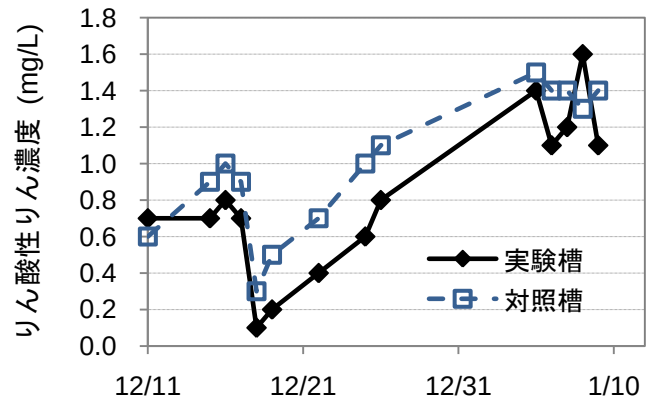


図9 試行期間中のりん酸性りん濃度

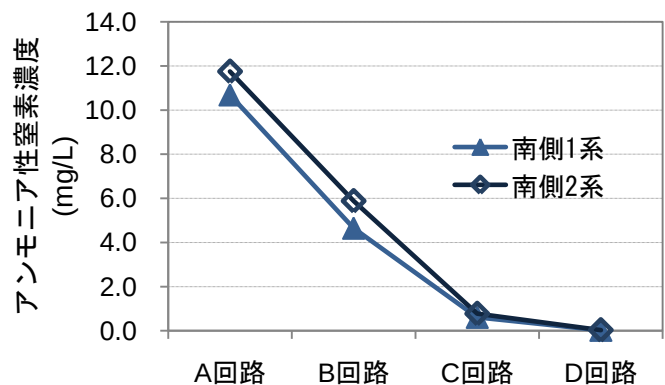


図10 アンモニア性窒素濃度の平均値

工事により反応槽が断続的に停止した。停止していた槽とその期間を表 4 に、返送汚泥量を含む滞留時間の状況を図 11 に示す。また、この間の南側 1 系・2 系処理水と放流水のアンモニア性窒素濃度は図 12 のようになっていた。

2 月 23 日～26 日および 3 月 9 日～11 日の間は、2 つの槽が 3 日ないし 4 日にわたり停止していた。表 2 より、通常時の南側反応槽滞留時間は 4.1 時間であるが、この期間の平均滞留時間は 3 時間以下にまで減少していた。このため、アンモニアが処理しきれず処理水に残存してしまうことがあった。しかし、アンモニアが残存していた期間は短く、また、それ以外の期間では硝化を進めることができており、全体的に見れば送風比率を変更した効果が挙がっていた。

6 まとめ・今後の課題

反応槽各回路の送風比率を変更することで硝化を効率よく進行できるという結果が机上実験から得られ、実施設で試行したところ実際に硝化を進めることができた。工事により停止した反応槽の影響を最小限に抑えられた。

この運転方法のリスクとしては、次のようなものがある。反応槽 D 回路の送風量を絞っているため、第二沈殿池で脱窒による汚泥浮上が起きたり、りんが溶出したりする可能性がある。また、A 回路の送風量を増やしているため、制限曝気部の嫌気状態が弱まり糸状性細菌によるバルキングが発生し易くなることも考えられる。また、南側全槽で送風比率を変更してからは MLDO の変動がこれまでよりも大きくなっており、DO が著しく低下したときに硝化が不十分になる可能性もある。

これらのリスクを低減させ、安定した効率のよい硝化を進めることで、処理水質の向上と、エネルギー使用量の削減を目指し、効率の良い運転条件を見つけ出すための調査を行う予定である。

表 4 南側反応槽の停止期間

月 日	停止槽
2/16	南側 1 系 1・3 号槽, 2 系 5・7 号槽
2/23～26	南側 1 系 3 号槽
2/23～27	南側 1 系 4 号槽
3/2～9	南側 1 系 4 号槽
3/9～11	南側 2 系 5 号槽
3/9～12	南側 2 系 6 号槽

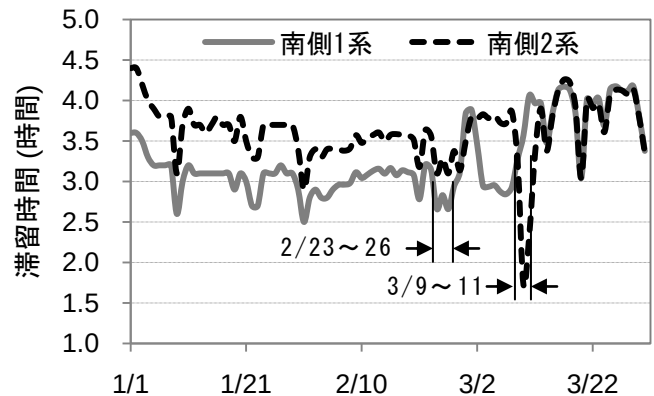


図 11 工事期間中の滞留時間の変動

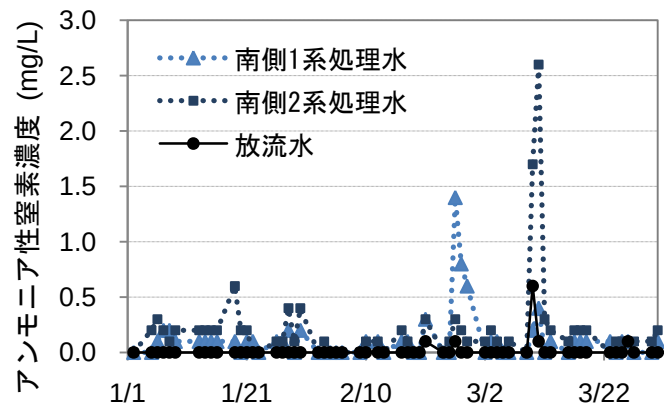


図 12 処理水・放流水のアンモニア性窒素濃度の推移

4-(1)-7 降雨初期のりん上昇の原因とその制御

北部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 水質管理係
宮岡 武志、渡邊 三雄、宮島 裕子、松下 文恵、松本 大吾、奈良 進

1 はじめに

みやぎ水再生センターでは、平成 20 年 4 月から強化された水質汚濁防止法の排出基準（窒素が 30mg/L、りんが 3mg/L）に対して、りんの目標処理水質「T-P2.8mg/L」を日常試験において 95%達成」を年間水質管理計画に掲げ、併せて、PAC の注入回数、注入量を平成 19 年度以下とすること等を目標に放流水質の改善に努めている。そうした中、平成 20 年 4 月から落合・中野水再生センターからの汚泥の全量が三河島水再生センター経由で東部スラッジプラントに送泥された結果、汚泥処理返水負荷が軽減され、窒素、りんともに安定した処理が行えるようになり、晴天日においては、りん濃度上昇による PAC の注入はほとんどなくなった。こうした晴天日の処理水質の向上により、送泥開始前には目立たなかった東処理施設での降雨時初期におけるりん濃度の上昇と PAC 注入が顕著に現れてきた。そこで、今年度から水質試験室に導入された監視端末によるデータ解析を中心に原因調査を行ったところ、反応槽の水位上昇に対して送風圧力が負け、空気量が不足することで DO が低下するという関係が推察された。これを受けて、送風圧力の設定値を上げたところ東処理施設における降雨時初期のりん濃度上昇が抑制されたので、その経緯について報告する。

2 原因調査の過程

当係では、今年度より監視端末（図 1 参照）が導入されたことを受け、日常的に運転状況等を監視している。そうした中で、平成 20 年 5 月 19 日から 20 日にかけての降雨（総降雨量 81mm、降雨強度 19.5mm/h）で、東処理施設のみ降雨時初期にりん濃度上昇に伴い PAC が注入されるという事例があった。

このような状況を受けて、監視端末を用いて運転状況等のデータを解析した。

図 2 には、平成 20 年 5 月 20 日から 21 日にかけての（a）反応槽流入水量、第一沈殿池流出渠水位、（b）主管送風圧力、反応槽風量調整弁開度、反応槽空気流量、（c）反応槽 C および D 回路 DO、（d）放流水 T-P、PAC 注入時間を示した。



図 1 監視端末

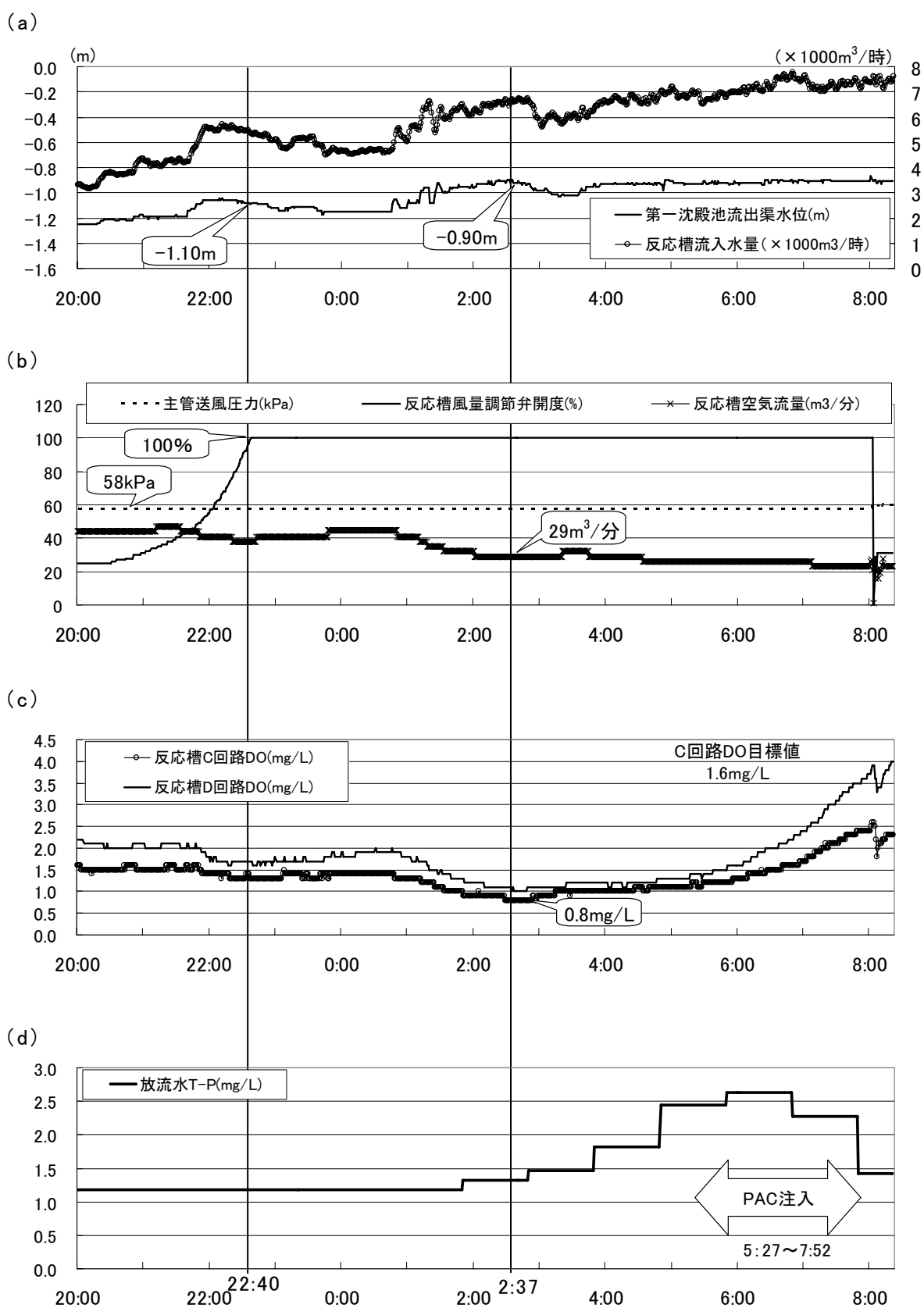


図 2 降雨時の運転状況（設定変更前）

図 2 (a) より、反応槽流入水量の増加に伴い、第一沈殿池流出渠水位が上昇しており、それに伴い反応槽内の水位も上昇していたと考えられる。また (b) より、主管送風圧力は 58kPa で一定で運転している一方、反応槽風量調整弁開度は、第一沈殿池流出渠水位が -1.1m に達した 22 時 40 分ごろに 100% となっている。その後、更なる第一沈殿池流出渠水位の上昇に伴い反応槽空気流量が減少し、C、D 回路 DO が低下している。この事例では、2 時 37 分ごろに第一沈殿池流出渠水位が -0.90m と最も高くなる一方で、反応槽空気流量が 29m³/分、C、D 回路 DO が 0.8mg/L で最も低くなっている。その後の C、D 回路 DO は第一沈殿池流出渠水位が高く空気流量が少ない状態でも上昇していることから、降雨による持ち込み DO の影響を受けたと考えられた。なお、この時の C 回路 DO 目標値は 1.6mg/L である。この最も DO が低下した時刻に C、D 回路に存在した水が放流される時刻を水量と施設容量から計算すると 5 時頃であり、放流水 T-P 計の測定に要するタイムラグ約 1 時間を考慮すると、放流水 T-P が最も高くなった 6 時頃とほぼ一致していた。

このことから、東処理施設の降雨時初期のりん濃度上昇は、降雨により反応槽流入水量が増加→第一沈殿池流出渠水位が高くなる（反応槽水位も高くなると考えられる）→送風圧力が不足する→空気量が不足する→DO が低下するという連鎖の結果、りんが活性汚泥に十分吸収されなかったことが原因ではないかと推察された。

3 運転条件の変更とその効果の検証

2 の推察結果から、水位上昇に負けない送風圧力を確保することで、りん濃度上昇を抑制できると考えた。そこで、風量調整弁開度 100% となった水位 (-1.1m) と最高水位 (-0.9m) の差、約 20cm に相当する送風圧力を確保するため、平成 20 年 5 月 21 日に主管送風圧力の設定値を 58kPa から 60kPa に変更した。（送風機定格 300m³/分、62kPa）

運転条件変更後の平成 20 年 5 月 24 日から 25 日にかけて降雨（総降雨量 25mm、降雨強度 4.5mm/h）があり、第一沈殿池流出渠水位が 5 月 19 日から 20 日にかけての降雨と同じレベルまで上昇した。この時の状況を図 3 に示す。

図 3(a)、(b) より、風量調整弁開度が 100% に達したのは、第一沈殿池流出渠水位が -0.86m に達した時点で、送風圧力変更前の -1.1m よりも水位が 24cm 高くなっている。また、その時の反応槽空気量も 32 m³/分となって、3m³/分増加した。その結果、C 回路 DO を 1.1 mg/L 確保することができ、放流水 T-P の上昇はゆるやかなものとなって PAC 注入には至らなかった。降雨やその他の運転状況が異なることから、この状況改善が主管送風圧力の設定変更によるものとは断定できないが、空気量が第一沈殿池流出渠水の上昇に対して設定変更前ほど落ち込まなかったことや、その後も降雨時初期に DO 低下を伴う放流水 T-P 濃度の上昇が見られないことから、一定の効果はあったものと考えている。

4 おわりに

本報告では、まったく水質分析を行わず、監視端末に集まった工業計器のデータを用いて、水質変化（りん濃度上昇）の原因を推察し、運転条件を変更して水質改善を図った事例を紹介した。このように監視端末は、水質分析では到底得ることが出来ない短い間隔（今回は 1 分）で多種類のデータを収集しており、その精度、信頼性を理解したうえで活用すれば、水質管理に大いに役立つツールである。

そこで、今後とも監視端末を活用し、良好な処理水質を確保したいと考えている。

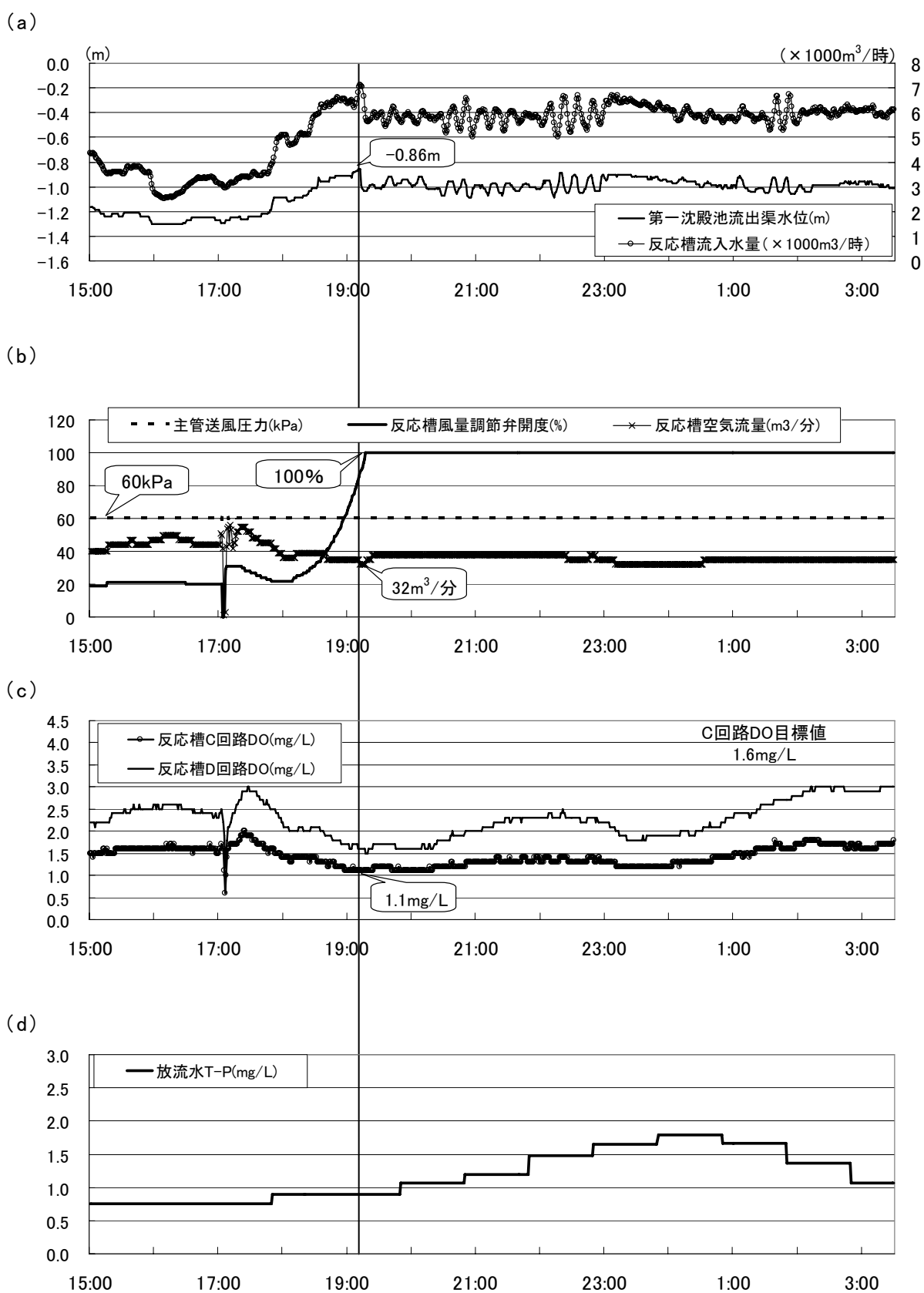


図 3 降雨時の運転状況（設定変更後）

4-(1)-8 溶存硫化物の処理に与える影響

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 水質管理係
島田祐介 田中英記 富田忍 吉野喜春 太田裕誌 大江修平 石井英俊

1 はじめに

芝浦水再生センター(以下、芝セ)では、本系反応槽流入部の R_r が異常に高いことがあり、単位流入水量当たりの空気量が多いという問題がある。この要因としては、センター流入水の有機物負荷が高いことが挙げられているが、他に本系反応槽流入水は溶存硫化物(以下、硫化物)濃度が高いことがあり、硫化物の影響も考えられる。高濃度の硫化物が流入すると、反応槽中の酸素供給や活性汚泥処理など、特に酸素を多く消費する硝化に対して大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで今回、硫化物による硝化、脱窒の影響を調査したので報告する。

2 各系統の反応槽流入水の硫化物

芝セには、本系水処理施設(浅槽系、深槽東系、深槽西系、西系)と東系水処理施設(東系)の計5系統の反応槽がある。それらの反応槽試験で測定した各反応槽流入水の硫化物を表1に示す。表1によると本系反応槽流入水では、 2.3mg/L から 3.2mg/L あり、東系の 1.3mg/L に比べて本系反応槽流入水の方が高い。これは、本系流入水は沈砂池と第一沈殿池を通るものの他に、高速ろ過施設のみを通るものがあるためと考えられる。本系一沈流出水と高速ろ過施設流出水の硫化物濃度を比較する(図1)と、後者の高速ろ過施設流出水の方が高い。

当調査では、本系反応槽流入水と違い、余剰汚泥を含まないことと、流入水の硫化物濃度が低いという理由により使用する沈殿下水は東系反応槽流入水とした。

3 酸素消費速度と硫化物の関係

図2に硫化ナトリウムを添加し、硫化物濃度を調整した東系反応槽流入水の酸素消費速度と硫化物濃度の関係を示す。これによると、硫化物濃度と酸素消費速度は対数関係にあり、低濃度域($1.0\sim 3.0\text{mg/L}$)では、硫化物濃度の増加に対する酸素消費速度の増加量($3.1\sim 15.7\text{mg/L}\cdot\text{hr}$)は大きい。

反応槽中混合液のように生物濃度(密度)が高いものでなく、沈殿下水のような生物濃度(密度)が低い場合でも、硫化物の有無は酸素消費速度に関わるため、硝化に大き

表1 芝セの系統別反応槽流入水の硫化物
(平成20年反応槽試験結果の平均値)

系統		溶存硫化物 [mg/L]
本系水処理施設	浅槽系	3.2
	深槽東系	2.7
	深槽西系	2.4
	西系	2.3
東系水処理施設	東系	1.3

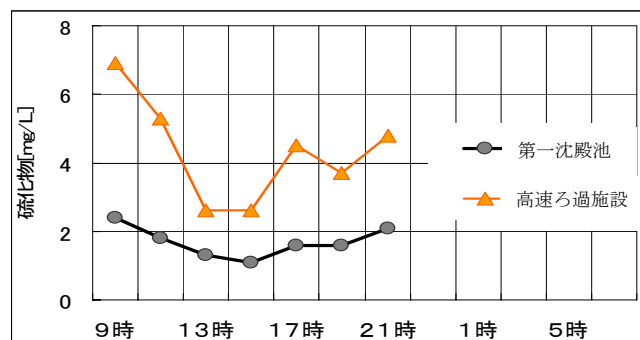


図1 本系第一沈殿池と高速ろ過施設流出水の硫化物の経時変化

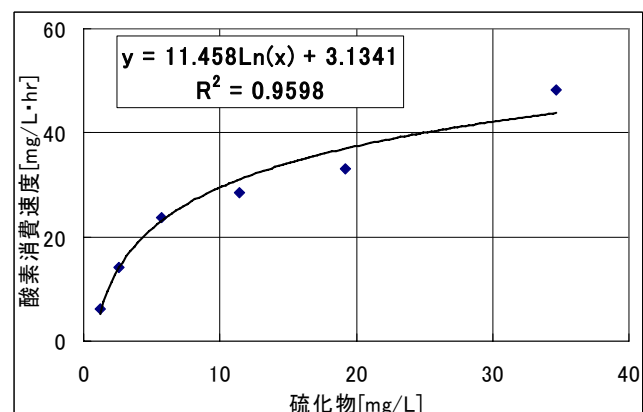


図2 東系反応槽流入水の酸素消費速度と硫化物濃度の関係

な影響を及ぼすと考えられる。

4 下水処理と硫化物の関係

硫化物が標準法(好気処理)と AO 法(嫌気-好気処理)の二通りの下水処理に及ぼす影響を調べるため、硫化物濃度を調整した東系反応槽流入水と東系返送汚泥を 2 : 1 の割合で混合した液を用いて机上実験を行った。処理方法は、標準法では「一定空気量で 4 時間曝気」、AO 法では「1 時間嫌気状態にした後、一定空気量で 3 時間曝気」とした。また、硫化物の調整は硫化ナトリウムの添加により行い、添加した試料は **6.5mg/L**、添加しない試料が **0.8mg/L** であった。今回使用した返送汚泥は東系返送汚泥であり、処理方法は AO 法で、硝化、りんの処理共に良好に進行している系統の汚泥を使用している。

4.1 硝化の状況

アンモニア性窒素(以下、アンモニア)の経時変化を図 3 に、硝酸性窒素(以下、硝酸)の経時変化を図 4 に示す。

4.1.1 標準法(好気処理)の場合

図 3 の①、②より、アンモニアの単位時間当たりの除去量はほとんど変わらなかったが、採水開始時において濃度差が生じており、アンモニアを完全に処理するまで約 30 分の時間差があった。硫化物濃度が低い①では、採水開始時すでにアンモニアの除去が始まっていると考えられる。

図 4 の①、②より、硝酸の単位時間当たりの生成速度はほとんど変わらなかった。ただし、硝酸が上昇し始める時点で濃度差が生じており、硫化物濃度が高い②の方が低かった。そのため硝酸生成では、硫化物濃度が違う①と②は硝酸が最大値に達するまで約 1 時間の時間差があった。

従って標準法では、硫化物濃度が高いほどアンモニアの除去と硝酸の生成の開始時点で濃度差が生じてしまい、そのままその差を維持してしまう。よって硫化物が共存する条件での好気処理では、硝化のために A-HRT を長く取る必要がある。

4.1.2 AO 法(嫌気-好気処理)の場合

図 3 の③、④より、アンモニアの除去に関して開始時、終了時共に大きな相違は見られなかった。同じく、図 4 の③、④より、硝酸の生成に関しても大きな相違は見られなかった。

従って AO 法の硝化は、標準法と違い硫化物濃度にほとんど関わらない。これは硫化物が嫌気状態の脱窒反応によって処理されているためだと考えられる。

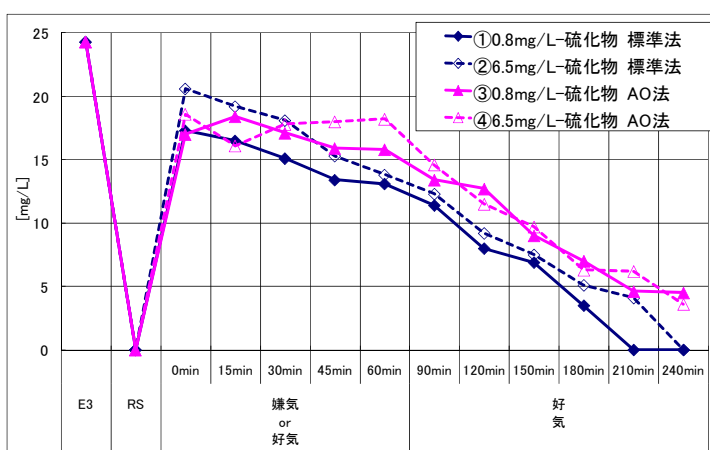


図 3 下水処理におけるアンモニア性窒素と硫化物の関係

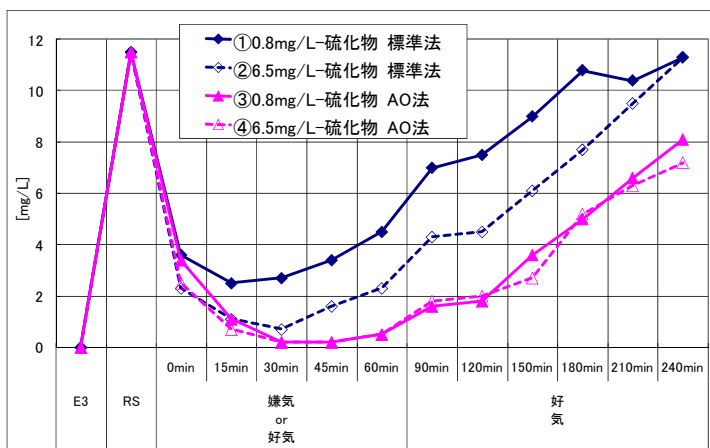


図 4 下水処理における硝酸性窒素と硫化物の関係

4.2 りん酸性りんの状況

りん酸性りん(以下、りん)濃度の経時変化を図5に示す。

4.2.1 標準法(好気処理)の場合

図5の①、②より、硫化物の有無に関わらず、りんの吐き出しのピークは殆ど同時であったが、吐き出し量は硫化物濃度が高い②が多かった。その影響でりんを完全に取り込むまでに差が生じ、硫化物濃度が低い①がより良い処理能力(処理時間に対してのりんの除去濃度)をもっていた。また、図4の①、②と図5の①、②を比較すると、脱窒反応が終了していない状態ですでにりんの吐き出しが始まっていることがわかった。

4.2.2 AO法(嫌気-好気処理)の場合

図5の③、④より、硫化物の有無に関わらず、りんの吐き出しのピークは嫌気状態が終わる時点で同時に迎えた。りんの吐き出し量は標準法と同様、硫化物濃度が高い④が多いため、りん濃度に差が生じ、最終的なりん濃度は硫化物が高い④が高かった。そのため、硫化物濃度が低い③がより良い処理能力をもっていた。

従ってりんの吐き出しは処理方法に関わらず硫化物の影響を受け、硫化物濃度が高いほど、りんの吐き出し量が多くなる。これは硫化物により ORP が低下し、より嫌気状態になったため、りんの吐き出し量が増加したと考えられる。そのため硫化物濃度が高い沈殿下水の処理では、りんの除去は通常より A-HRT を長くとる必要がある。

4.3 DO(溶存酸素)と硝化について

図6に好気処理における DO と窒素成分の関係を示す。硫化物に関わらず、脱窒による硝酸の減少が下げ止まると同時に DO が上がり始めたが、上昇量は硫化物濃度が低い方が大きかった。アンモニアや硝酸が同じ濃度になった DO を比べると、硫化物濃度が高い方が低い。また、アンモニアが完全に除去された時点で DO が急激に上昇し始めた。

従って一定量の空気を曝気しても、硫化物濃度が高いと硝化が阻害されるだけでなく、DO も上昇しない。硫化物の処理は、硝化反応より優先的に酸素が消費されるためだと考えられる。

5 嫌気状態と硫化物の関係

硫化物が嫌気状態での脱窒、りんの吐き出しに及ぼす影響を調べるため、机上実験を行った。東系反応槽流入水と東系返送汚泥を 6:5 で混合して嫌気状態で攪拌し、ORP の変化及び脱窒、りんの吐き出しとの関係について調査した。硫化物濃度の調整は、沈殿下水中の硫化物濃度として 0.5mg/L、4.5mg/L、8.5mg/L の3段階に相当する量を開始5分後に添加した。

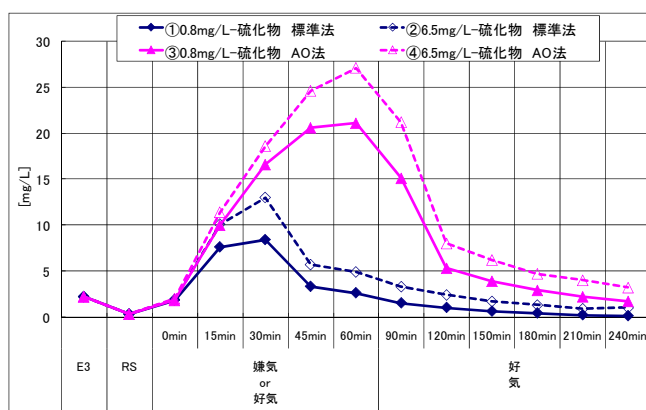


図5 下水処理におけるりん酸性りんと硫化物の関係

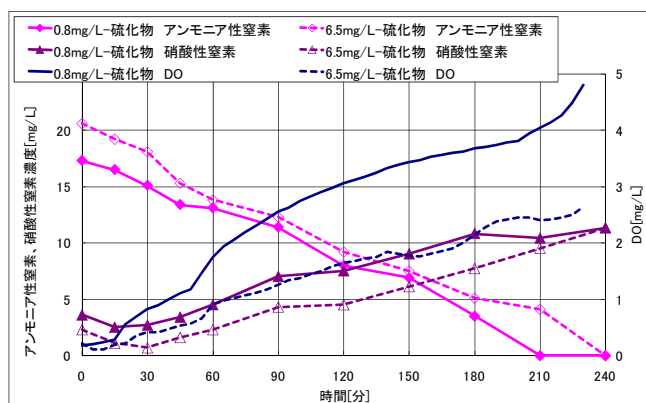


図6 好気処理におけるDOと硝化速度の関係

5.1 脱窒速度について

脱窒と ORP の関係を図 7 に示す。硫化物を加える前の 0～5 分の間では、ほとんど硝酸濃度の減少量は変わらなかった。しかし、5 分後に硫化ナトリウムを添加すると、ORP と共に硝酸も大きく減少し、②では、一時大幅に減少するが、ORP が上昇する際に減少速度が低下し、①と同様に緩やかな曲線になった。③も同様に ORP が上昇する際に緩やかな曲線になった。

従って脱窒速度は、①<②<③になり、硫化物濃度が高いほど嫌気状態における脱窒速度が速いことがわかった。

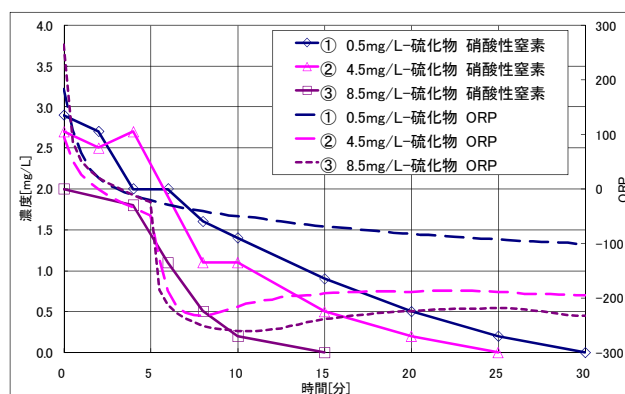


図 7 嫌気状態における脱窒と硫化物の関係

5.2 りんの吐き出しについて

りと ORP の関係を図 8 に示す。どの濃度の試料においても、ORP が減少している開始 15 分間に一時的にりんの吐き出しがあり、ORP が下げ止まる 15 分から 30 分まで吐き出しが止まった。再び ORP が減少し始める 30 分から 40 分の間にりんの吐き出しも再度始まり、硫化物濃度が高いほど多くのりんの吐き出しが見られた。ただし、図 5 の下水処理におけるりんの吐き出しに比べ、硫化物濃度の違いによるりんの吐き出し量に差があまり見られなかった。これは 4 章と 5 章の混合液では沈殿下水と返送汚泥の混合比が違い、混合した沈殿下水量が少ない 5 章の方が 4 章より嫌気でないため、りんの吐き出し量に明確な差が見られなかったと考えられる。

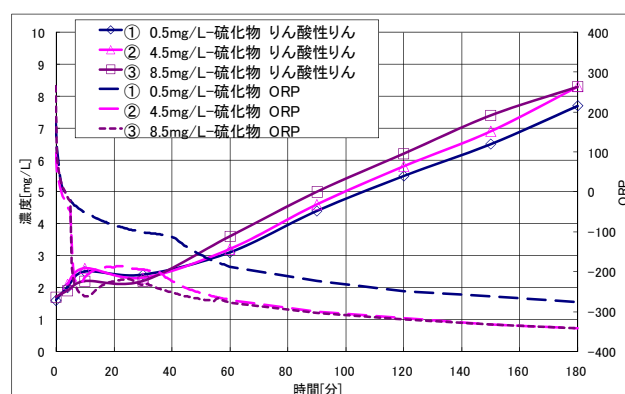


図 8 嫌気状態におけるりと硫化物の関係

6 まとめ

今回の調査により、溶存硫化物は下水処理における好気状態に大きな影響を及ぼすことが示唆された。特に硫化物濃度が高いと、DO が上がりにくいことや硝化の開始に遅れが生じる。これらのことは硝化の進行を妨げるため、より多くの空気量が必要となる。従って、この結果は現在の芝セの処理水量当たりの空気量が多いという問題に一致する。一方で嫌気状態のみを見ると、硫化物により脱窒の進行、ORP の急激な低下、りんの吐き出し量が多くなるなどのメリットがある。また、今回の調査であげた溶存硫化物による好気処理への悪影響を嫌気部分で排除出来る可能性がある。そのため下水処理全体にとっての溶存硫化物による影響はデメリットだけでは無いと言える。

現状では下水や汚泥の圧送により硫化物が生成され、臭気や腐食の問題を生じているが、今後さらに長距離送泥、下水のネットワーク化で硫化物の発生源が増加することが考えられる。溶存硫化物が下水処理に与える影響についての調査、対応の検討を、全局的に行っていく必要がある。

4-(1)-9 鉛の超過原因とその改善指導方法について

西部第一下水道事務所業務課 鍋島利美
現 流域本部北多摩二号水再生センター 松下勝一
施設管理部排水設備課 柳下正美

1 はじめに

排水中の鉛を除去する方法としては水酸化物凝集沈殿法が広く一般的に用いられている方法である。しかし、この方法では鉛濃度は、最も排水中の溶解度の小さくなる条件であるpH10付近においても下水排除基準の0.1mg/L以下にならないため、下水排除基準以下にすることは理論上困難とされている。

一方、鉛含有排水の発生する事業場においては、水酸化物凝集沈殿法と合わせて凝集剤の添加や全量ろ過の併用、鉛以外の含有金属による共沈効果などにより、処理困難物質ではありながらも下水排除基準が守られている現状がある。

排水処理に関する課題検討、処理技術の調査等、事業場指導上の見解統一を図ることを目的とする除害施設技術検討会では、鉛の処理困難性問題に着目し、平成19年度の技術検討会において、鉛含有量の超過・違反(以下、「超過」という。)の原因を調査・解析し、改善指導の方法を提起すると共に、原因調査手順を示したフローシートの作成も併せて行ったので報告する。

2 背景

鉛の使用用途は、各種ガラス製品を始めとして、鉛蓄電池や半田の材料、金属の快削性向上のための添加剤など、幅広い分野で一般的に使用されている物質である。

下水道法における鉛含有量の下水排除基準は平成5年12月の下水道法施行令の改正により、それまでの1mg/Lから0.1mg/Lへと大幅に強化された。その結果、過去5年間の鉛含有量の超過状況は重金属類で最多件数を記録している。また、その超過濃度分布は図-1に示すとおり、新下水排除基準の0.1mg/L近傍の低濃度域に集中しており、旧下水排除基準である1mg/L以内の超過が88%を占めている。

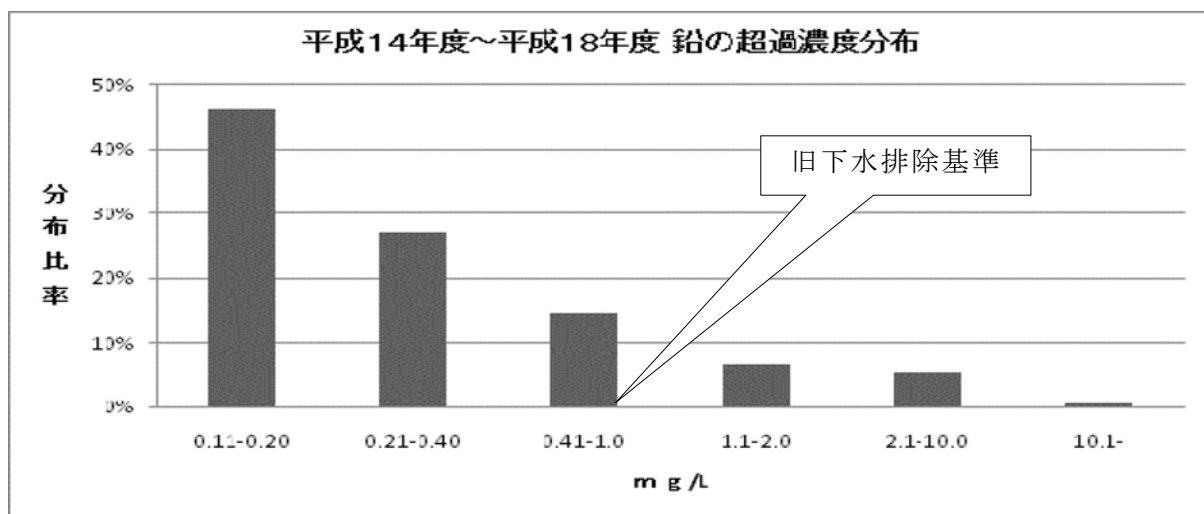


図-1 鉛の超過濃度分布

3 調査内容

3.1 調査対象

過去5年間に鉛含有量の超過があった344事例を調査した。解析結果の信頼性をより向上させるため、超過原因が不明な事例については解析事例から除き、170事例を解析対象とした。

3.2 超過原因分類

超過原因分類を表-1に示す。B分類については超過原因の多様性からさらに小分類化し、解析を行った。

- ・系統分離不良：処理系統以外の排水の混入によるもの
- ・凝集不良：pH計・薬品管理不良等によるもの
- ・汚泥管理不良：沈殿槽、ろ過脱水機の管理不良等によるもの
- ・未処理放流：未処理排水、漏水、処理施設なし、電源オフ等によるもの
- ・処理技術不完全：処理を行う知識が不完全によるもの

3.3 改善指導分類

超過に対する改善指導の内容について以下の4つに分類し、解析を行った。

- (1)維持管理の徹底
- (2)処理方法の改善
- (3)処理施設構造や作業内容の変更等
- (4)未処理排水の改善

3.4 業種分類

鉛の発生源及び超過原因を明確化にするために、業種ごとによる超過分類とその解析を行った。

表-1 超過原因分類

大分類		小分類	
A	系統分離不良	-----	
B	凝集不良	1	電極管理不良
		2	薬品管理不良
		3	構造不良
		4	高濃度排水
		5	その他
C	汚泥管理不良	-----	
D	未処理放流	-----	
E	処理技術不完全	-----	

4 調査結果

4.1 超過原因傾向

超過原因の分類分布を図-2に示す。凝集不良(B分類)は29%、汚泥管理不良(C分類)は28%であり、両者をあわせると6割近くが処理工程上に問題があった。

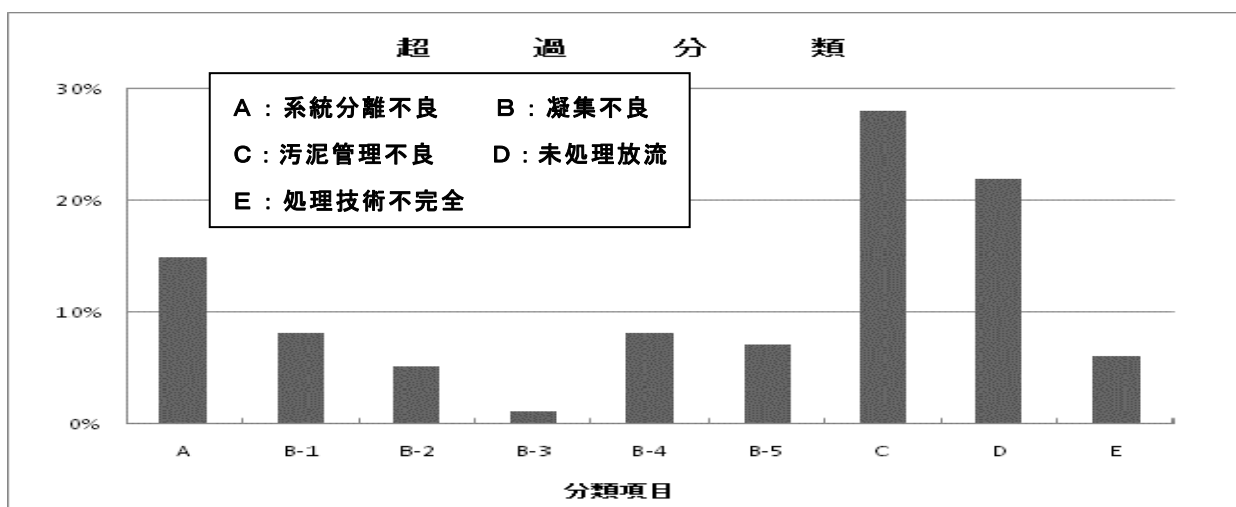


図-2 超過原因分類

4. 2 改善指導内容

改善指導内容の分類分布を図-3に示す。維持管理の徹底(49%)と未処理排水の改善(22%)、処理方法の改善(11%)をあわせると8割以上にのぼった。これらの主な改善指導例は以下のとおりである。

- (1)維持管理の基本事項の再確認
- (2)適切なpH設定値の変更
- (3)発生源の再調査

また、処理方法の変更が必要となる処理困難事例は1割程度であった。主な処理困難事例は錯体・キレート由来及びコロイド由来の事例であり、これに対する主な改善指導例は以下のとおりである。

- (1)使用薬品の代替や廃液回収
- (2)処理方法の変更(前処理工程を追加することにより、錯体・キレート態・コロイド態を処理しやすい遊離態とする)
- (3)硫化物系凝集助剤やアニオン系凝集剤の使用による固液分離の処理向上

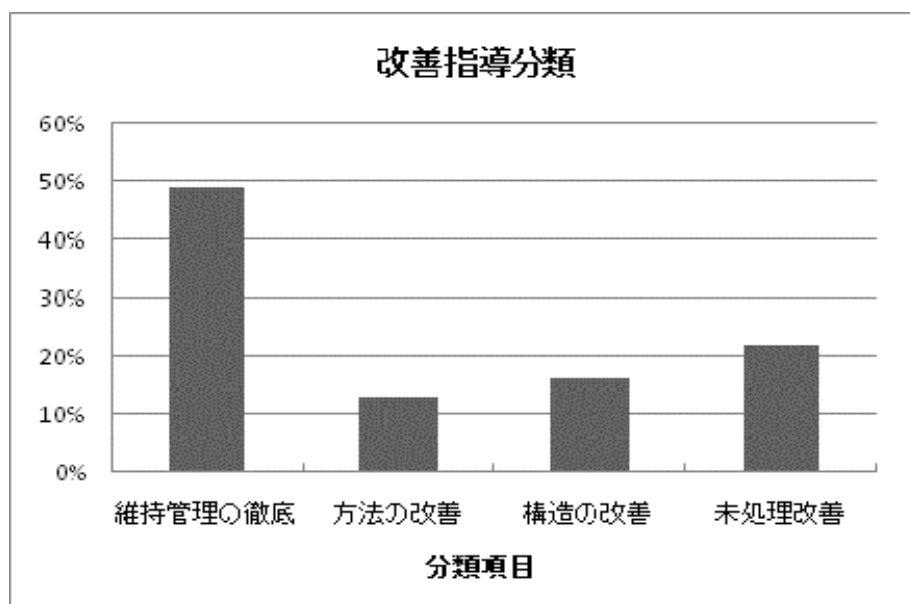


図-3 改善指導分類

4. 3 業種別の特徴

業種別の超過件数を表-2に示す。表-2に示すとおり超過事例の多い順にめっき業(42%)、金属製品製造業(25%)、ガラス製品製造業(18%)であり、これら3業種で全体の85%を占めていた。そのため、これら3業種におけるそれぞれの超過原因の特徴を図-4に示し、また、主な改善指導例は以下のとおりである。

4. 3. 1 めっき業

めっき業の超過原因は、凝集不良(B分類)を原因とする39%のうち維持管理不良によるものが28%を占めていた。また、汚泥の管理不良(C分類)が30%であることから、処理施設の維持管理不良が原因である事例は58%であった。

改善指導例としては、維持管理の徹底を促すためのマニュアル作成、発生汚泥記録や処理記録の提出である。

4. 3. 2 金属製品製造業

金属製品製造業の金属加工業の中でもアルマイト加工工程とバレル研磨工程からの排水が主な原因である。汚泥の管理不良(C分類)が38%、凝集不良(B分類)を原因とする26%のうち維持管理不良による凝集不良が21%であることから、処理施設の維持管理不良が原因である事例は59%であった。

改善指導例としては、沈降汚泥の引抜回数増加や脱水頻度等の具体的指導や電極や冷却管等の素材転換である。

4. 3. 3 ガラス製品製造業

ガラス製品製造業の超過原因のうち、未処理放流(D分類)及び処理技術不完全(E分類)をあわせると55%であった。これはガラス製品製造業特有の家内工業的な業務形態のひとつの特徴であり、排水量が極わずかであることに加え、作業内容により処理対象水の水質に大きなばらつきを生じることによって由来すると考えられる。なお、ここでいう「未処理放流」とは、原材料中の鉛含有に対する認識不足のため、排水処理を不必要と判断していた事例である。

改善指導例としては、個別に処理立会等による丁寧な指導やろ過材の変更など、事業場実態に即した具体的指導の実施である。

表-2 業種別超過件数

業 種	件 数	割 合
めっき業	71	42%
金属製品製造業	42	25%
ガラス製品製造業	31	18%
学校・試験研究・検査業	6	3%
その他の業種	6	3%
非鉄金属製造業	5	3%
機械器具製品製造業	5	3%
化学工業	2	1%
洗濯業	1	1%
繊維業	1	1%
計	170	100%

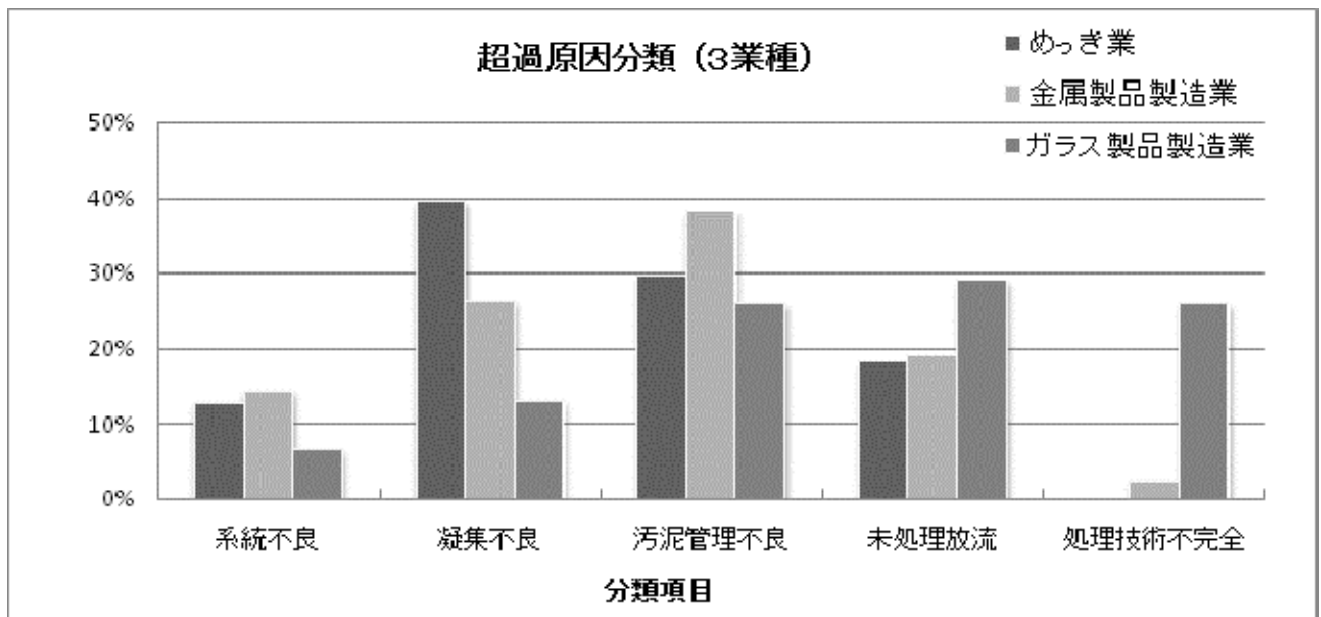


図-4 業種別超過原因分類

5 超過原因調査手順の作成

改善指導を行うにはその超過原因を把握しておくことが重要である反面、超過原因は前述のとおり多岐にわたる。また、鉛の簡易分析は感度が低いことから、pHや六価クロムのように、採水時に超過有無の判断がつかない。そのため、採水の数日後に判明した公定分析法による測定結果をもとに原因調査を行わざるを得ないが、その時点では既に試料採取時と状況が大きく変動していることも多く、的確な事業場指導を講じにくいことが、鉛含有排水に対する処理が改善しにくい大きな理由のひとつとなっている。

そこで、処理施設の各槽を処理過程ごとに分類し、調査方法と調査手順を整理した。その中で最も多くの超過原因となっていた汚泥処理に関する施設及び排水系統に着目して、以下の3点について調査方法、調査手順を作成した。調査手順は超過原因の解明はもとより、事業場指導に有効活用することを念頭に置いた形式のフローシートを作成した。

なお、図中の吹き出し部は主な調査箇所及び調査内容である。

- (1) 沈殿槽で固液分離している処理施設(図-5)
- (2) 全量ろ過機で固液分離している処理施設(図-6)
- (3) 複数の系統を持つ処理施設(図-7)

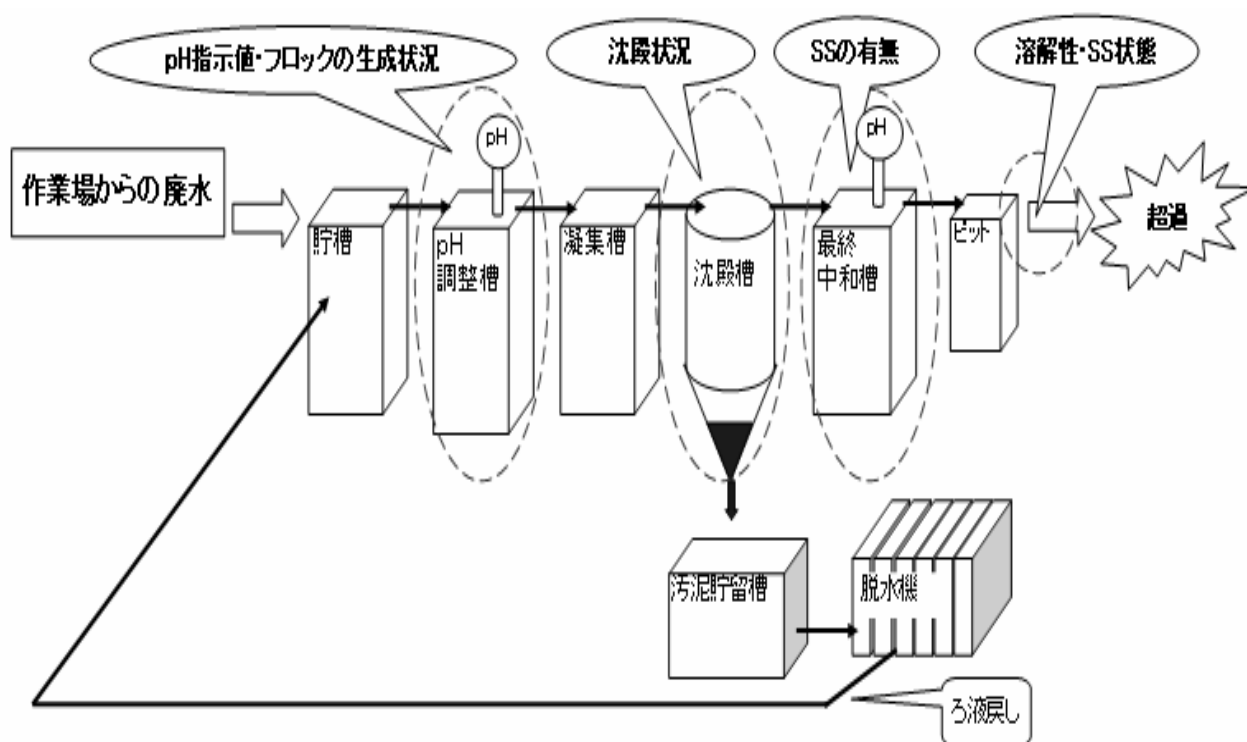


図-5 沈殿槽で固液分離している処理施設の調査手順

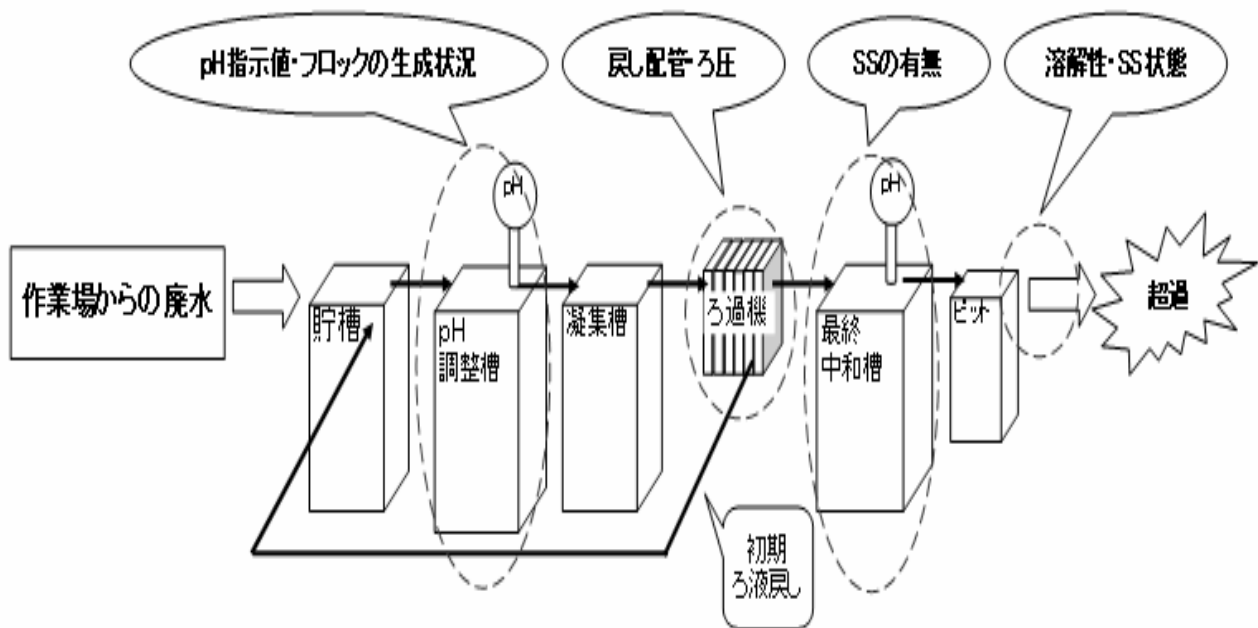


図-6 全量ろ過機で固液分離している処理施設の調査手順

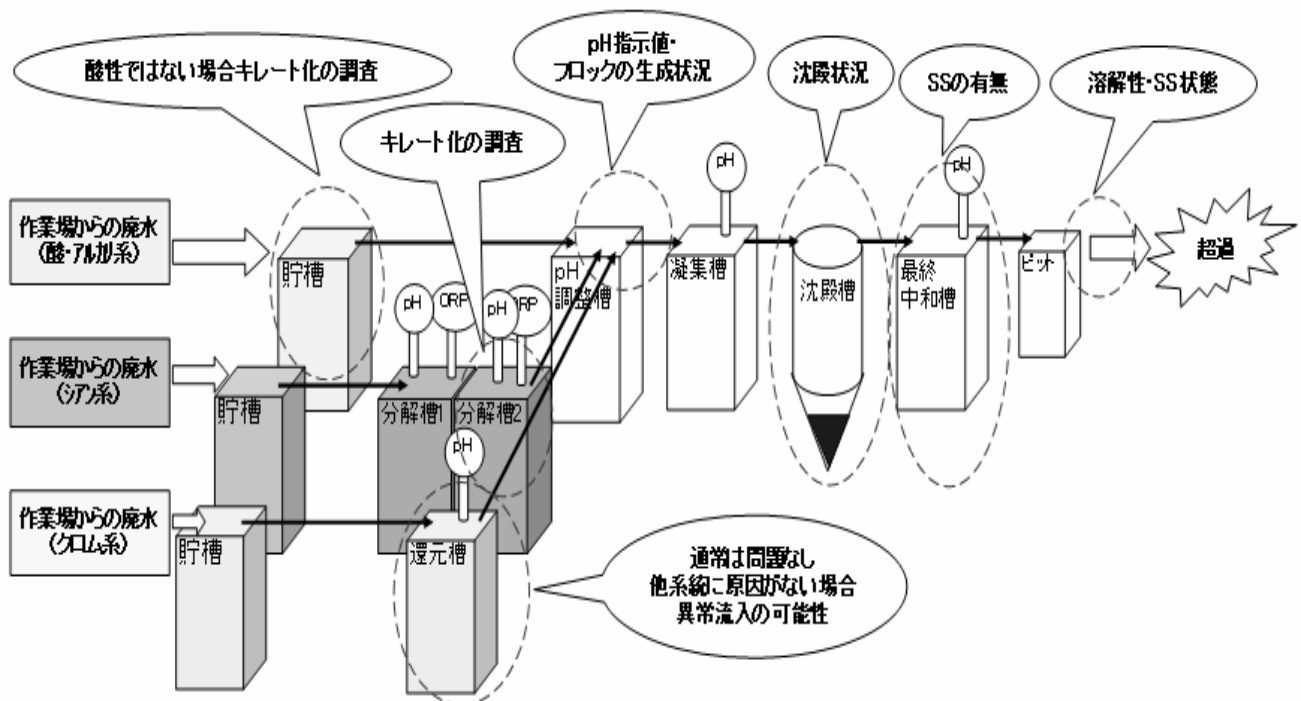


図-7 複数の系統を持つ処理施設の調査手順

このほか、現地確認で重要ポイントとなる「pH調整槽の確認要領」や「ブロックの状況の確認要領」については確認項目が多岐に及ぶため、わかりやすくする観点から、フローシートに直接記載せずに別手順としてまとめた。

6 おわりに

今回、鉛の超過原因の解析により、鉛は処理困難物質であるために超過件数が多いのではなく、超過原因の大半は維持管理不良に起因していることが判明した。このことから、徹底した維持管理の実施により超過件数は半減できる可能性のあることが示唆され、また、これまで以上にきめ細やかな事業場指導が必要であることも明確になった。

改善指導にあたっては、的確な超過原因の解明が何よりも重要かつ不可欠である。そのため、今回得られた解析結果を基にして、原因解明をより効率的かつ迅速に行えるよう調査手順のフローシートを作成した。

今年度も処理機構が論理的に明解であるシアンと六価クロムについて同様の解析調査を行っている。

これら超過原因の詳細解明及び調査手順の作成は、職員の事業場指導力の向上に役立てるばかりでなく、事業場の自主管理能力の向上のため広く活用することも主目的としており、排水処理に対する認識がより一層向上することにより超過件数の減少が期待される。

4-(1)-10 みやぎ水再生センターにおける落合・中野汚泥の三河島送

泥開始による処理水質改善状況

下水道局 北部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 水質管理係
○松本大吾・宮岡武志・渡邊三雄・宮島裕子・松下文恵・奈良進

要旨

みやぎ水再生センターでは従来、落合・中野水再生センターの汚泥を、みやぎ水再生センターで発生した汚泥とともに処理していた。これを平成 20 年 4 月 8 日から、三河島水再生センターに送泥を開始した。これにより、汚泥処理工場からの返流水負荷が低減した。本稿では、返流水負荷の低減に伴う、放流水質の向上について状況を報告する。

1. 背景

東京都では、下水汚泥処理の高効率化を目的として、汚泥処理施設の臨海部への集約化を進めている。これに基づき、みやぎ水再生センターの汚泥処理体制も順次縮小の方向にある。従来、当センターで発生した汚泥と共に処理していた落合・中野両水再生センターの汚泥（以下、「落合・中野汚泥」と言う）は、平成 20 年 4 月 8 日以降、当センターを経由して三河島水再生センターへと送泥（以下、「三河島送泥」と言う）されることとなった。これにより、当センターの汚泥処理体制は、当センターに流入する下水由来の汚泥処理のみを行うものへと切り替わった。

2. 経過

2. 1 三河島送泥開始に伴う、みやぎ水再生センター汚泥処理施設稼動状況の推移

4 月 8 日の三河島送泥開始に伴って、当センターでは 4 槽ある消化槽を 4 月 2 日から順次停止し、6 月 30 日に消化槽全槽への汚泥投入を停止した。この三河島送泥に関わる、消化槽全槽停止に至るまでの経過は表 1 の通りである。

本稿では、4 月 8 日の三河島送泥開始以降、6 月 30 日の消化槽全槽停止に至るまでの期間を、前年の同時期の水質処理状況と比較検討した。

表 1. 落合・中野汚泥の三河島送泥に関わる経過

日 付		経 過
平成 20 年	4 月 2 日	消化槽 5 号槽 汚泥投入停止
平成 20 年	4 月 8 日	落合・中野汚泥の三河島水再生センターへの送泥開始 西施設余剰汚泥全量を加圧浮上濃縮槽で処理開始
平成 20 年	4 月 21 日	消化槽 7 号槽 汚泥投入停止
平成 20 年	6 月 30 日	消化槽全槽(4 槽) 汚泥投入停止

2. 2 汚泥処理フロー

当センターの水処理施設は東西二つの処理施設からなり、汚泥処理工場を併設している。三河島送泥の開始に伴い、当センター内での汚泥処理フローも変更された。以下にその推移の詳細を述べる。

2. 2. 1 三河島送泥開始以前（平成 20 年 4 月 7 日以前）

落合・中野汚泥は、加圧浮上濃縮槽へと送られ濃縮された後、当センターの汚泥と共にベルトプレス脱水機で脱水（一部は消化槽経由）されて焼却炉で焼却処分されていた。また、これら加圧浮上濃縮槽・各重力濃縮槽・洗浄槽・ベルトプレス脱水機・焼却炉の各箇所からの返流水が水処理系へと戻されていた（→図 1a）。

2. 2. 2 三河島送泥開始以降（平成 20 年 4 月 8 日～6 月 30 日）

三河島送泥の開始によって、これまで落合・中野汚泥が投入されていた加圧浮上濃縮槽で西処理施設由来の余剰汚泥の全量を処理することが可能となった。これに伴い、重力濃縮槽 3 号槽は西処理施設の生汚泥のみが投入されるようになった（従来は余剰汚泥も重力濃縮槽に投入されていた）。汚泥処理施設からの返流水の経路は三河島送泥の開始に伴う変更はなかった（→図 1b）。

2. 2. 3 消化槽停止以降（平成 20 年 7 月 1 日以降）

全消化槽の停止に伴い、加圧浮上濃縮槽・重力濃縮槽の汚泥は全てそのままベルトプレス脱水機へと送られるようになった。加えて、洗浄槽からの返流水がなくなった（→図 1c）。

3. 汚泥処理量

従来、約 20,000m³/d であった当センターの汚泥処理量は、4 月 8 日の三河島送泥開始以降、約 13,000m³/d となり、日量にして約 7,000m³減った（→図 2）。その結果、三河島送泥開始から消化槽停止まで（平成 20 年 4 月 9 日から 6 月 30 日まで）の濃縮汚泥・脱水汚泥・焼却灰の量は、平成 19 年の同時期と比較して、それぞれ 51%、52%、57%減っていた（→表 2）。

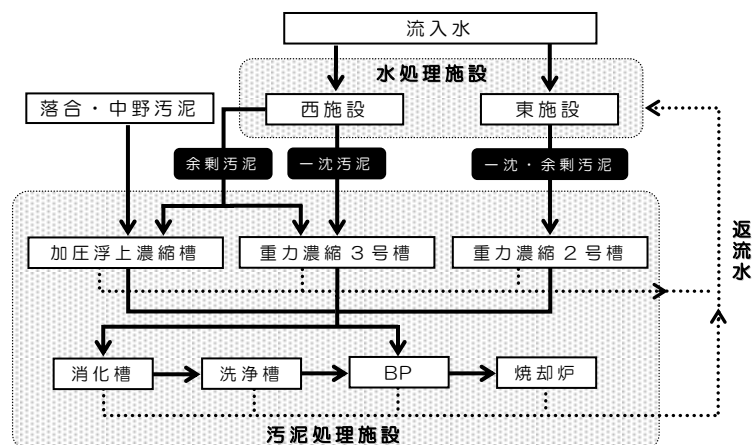
4. 汚泥処理工場返流水の水質

汚泥処理量が減ると共に長距離送泥汚泥がなくなったことにより、汚泥処理工場からの総合返流水の水質に変化が見られた（→図 3）。化学的酸素要求量（COD）・アンモニア性窒素含有量（NH₄-N）・りん酸性りん含有量（PO₄-P）の値は、平成 19 年の同時期と比較して、それぞれ 58%、60%、62%低下していた（→表 3）。

この総合返流水を構成する加圧浮上濃縮槽・重力濃縮槽・洗浄槽の各返流水について、三河島送泥開始の前後での水質を比較すると、浮遊物質（SS）・COD・NH₄-N・PO₄-P の値はいずれも低下していた（→図 4）。加圧浮上濃縮槽の水質の変化を見ると、固形物分離（濃縮）状況の影響を受け易い SS、COD のみならず、溶解性の NH₄-N、PO₄-P も低下していることから、この水質の変化には、投入汚泥量の縮減（2,310m³/槽・日→1,850m³/槽・日）と共に、投入された汚泥の質の変化が強く関与していると考えられた。これにより、当センターで発生した汚泥と、腐敗の進行した落合・中野汚泥とでは、総合返流水の水質に及ぼす影響に差異があることが示唆された。

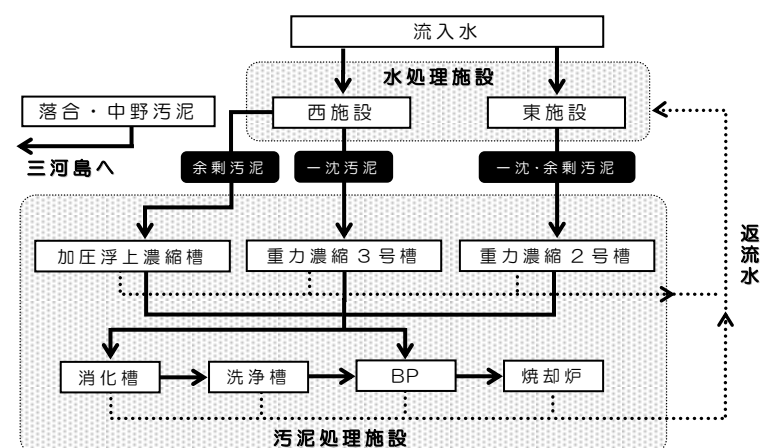
a. 三河島送泥以前

～平成 20 年 4 月 7 日



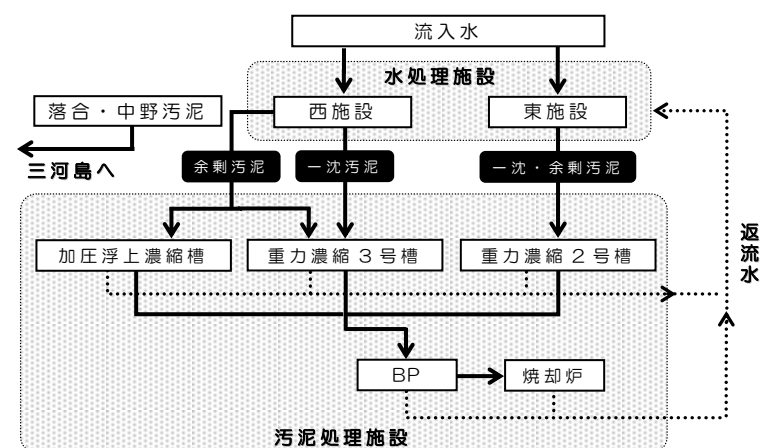
b. 三河島送泥以降

平成 20 年 4 月 8 日～6 月 30 日



c. 消化槽停止以降

平成 20 年 7 月 1 日～



← 汚泥の流れ
 <..... 返流水の流れ

図 1. 汚泥処理・返流水フローの推移

みやぎ水再生センター汚泥処理工場の稼動状況と返流水フローの、三河島送泥に関わる推移を示す。実線は汚泥、点線は返流水のフローを示し、「BP」はベルトプレス脱水機を示す。

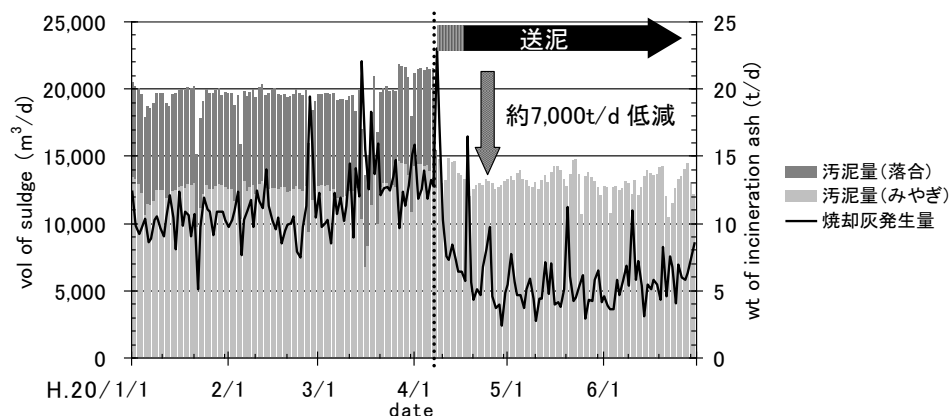


図 2. みやぎ水再生センターの汚泥処理量の推移

破線は三河島送泥開始日(平成 20 年 4 月 8 日)を示す。データは汚泥処理月報に基づいた。

表 2. みやぎ水再生センターの汚泥処理量の変化

		汚泥処理量		焼却灰量 (t/d)
		濃縮汚泥量 (m³/d)	脱水汚泥量 (t/d)	
送泥前	H19 年度平均	2,690	250	12.2
	H19. 4-6 月 平均	2,660	251	12.5
送泥後	H20. 4/ 9-6/30 平均	1,298	106	5.9
前年同月比		-51%	-52%	-57%

汚泥処理量の変化を示す。前年同期間比は、三河島送泥開始から消化槽停止までの期間における汚泥・焼却灰量の、平成 19 年 4-6 月の平均量に対する割合を示す。データは汚泥処理月報に基づいた。

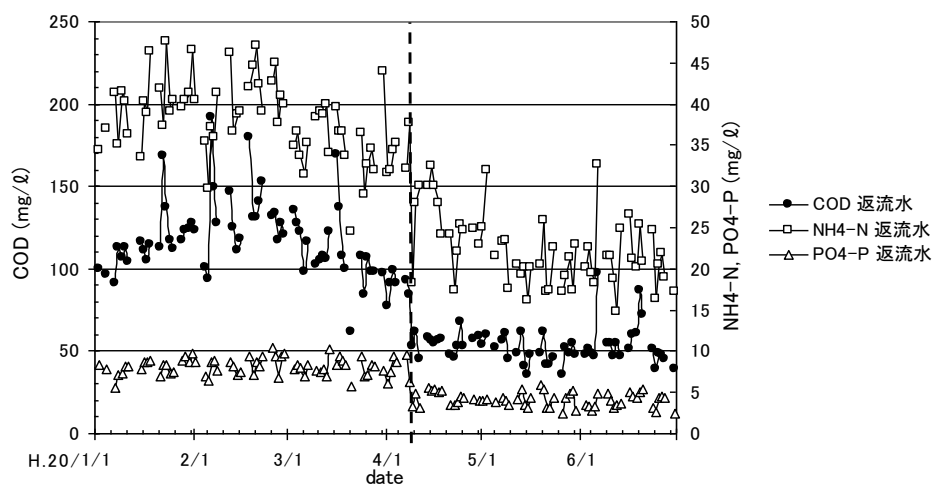


図 3. 総合返流水の水質

平成 20 年 1-6 月の、みやぎ水再生センターの総合返流水の水質の推移を示す。破線は三河島送泥開始日を示す。データは日常試験結果と水処理月報に基づき、推定降雨量がない日のデータのみを抜粋して用いた。

表 3. 総合返流水の水質と負荷量

		COD	NH ₄ -N	PO ₄ -P
水質 (mg/L)				
送泥前	H19. 4/1-6/30	112	45.0	9.0
	H20. 1/1-3/31	119	38.4	8.1
送泥後	H20. 4/9-6/30	53	22.0	4.0
前年同月比		-69 (-58%)	-23.0 (-60%)	-5.0 (-62%)
負荷量 (t/d)				
送泥前	H19. 4/1-6/30	5.7	2.07	0.43
	H20. 1/1-3/31	5.3	1.79	0.38
送泥後	H20. 4/9-6/30	2.3	0.94	0.17
前年同月比		-3.4 (-60%)	-1.13 (-55%)	-1.13 (-55%)

三河島送泥前後の総合返流水の水質の変化を示す。前年同月よりの低減率は、三河島送泥開始から消化槽停止までの期間における汚泥・焼却灰量の、前年の同期間の量に対する割合を示す。

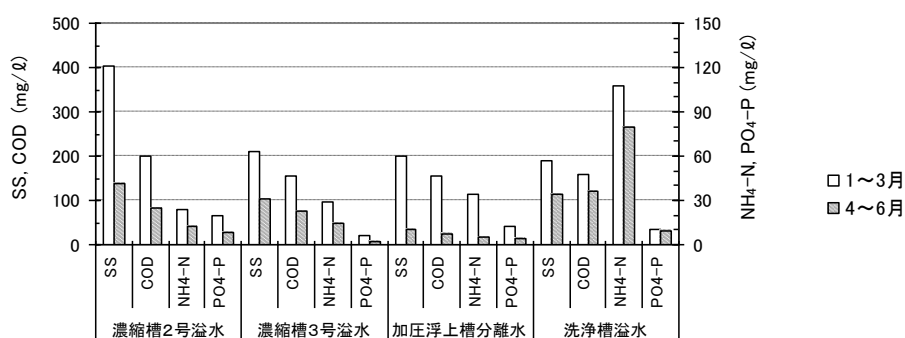


図 4. 各廃液の水質変化

みやぎ水再生センター汚泥処理施設各槽の廃液の三河島送泥前後の水質 (SS・COD・NH₄-N・PO₄-P) の平均値の変化を示す。白柱は平成 20 年 1-3 月、斜線柱は同 4-6 月を示す。データは汚泥試験結果に基づいた。

5. 水処理状況

5. 1 反応槽流入濃度

東西各施設の反応槽流入水の COD・NH₄-N・PO₄-P 値を比較すると、三河島送泥開始の前後で、東西両施設とも COD・NH₄-N・PO₄-P の全てについて、有意に値が低くなっていた (Wilcoxon rank sum test¹; COD 西施設: $p < 0.01$, $d.f. = 57$; COD 東施設: $p < 0.01$, $d.f. = 57$; NH₄-N 西施設: $p < 0.01$, $d.f. = 57$; NH₄-N 東施設: $p < 0.01$, $d.f. = 57$; PO₄-P 西施設: $p < 0.01$, $d.f. = 57$; PO₄-P 東施設: $p < 0.01$, $d.f. = 57$) (→ 図 5)。

¹ Wilcoxon rank sum test

正規分布の仮定出来ない互いに独立な 2 組の標本の有意差検定として用いる検定法のひとつ。二群の分布の重複の程度が偶然で期待されるよりも小さいか否かを検定する方法で、変数を順位としてとれる場合に用いられる。

当該の水質データには、天候や季節、人口動態などの複数の非独立的要因が寄与しており、各群の値は正規分布が仮定出来ない。ここでは、 $p < 0.01$ であれば、有意水準 1% で三河島送泥前後の水質の平均値に差があると言える。

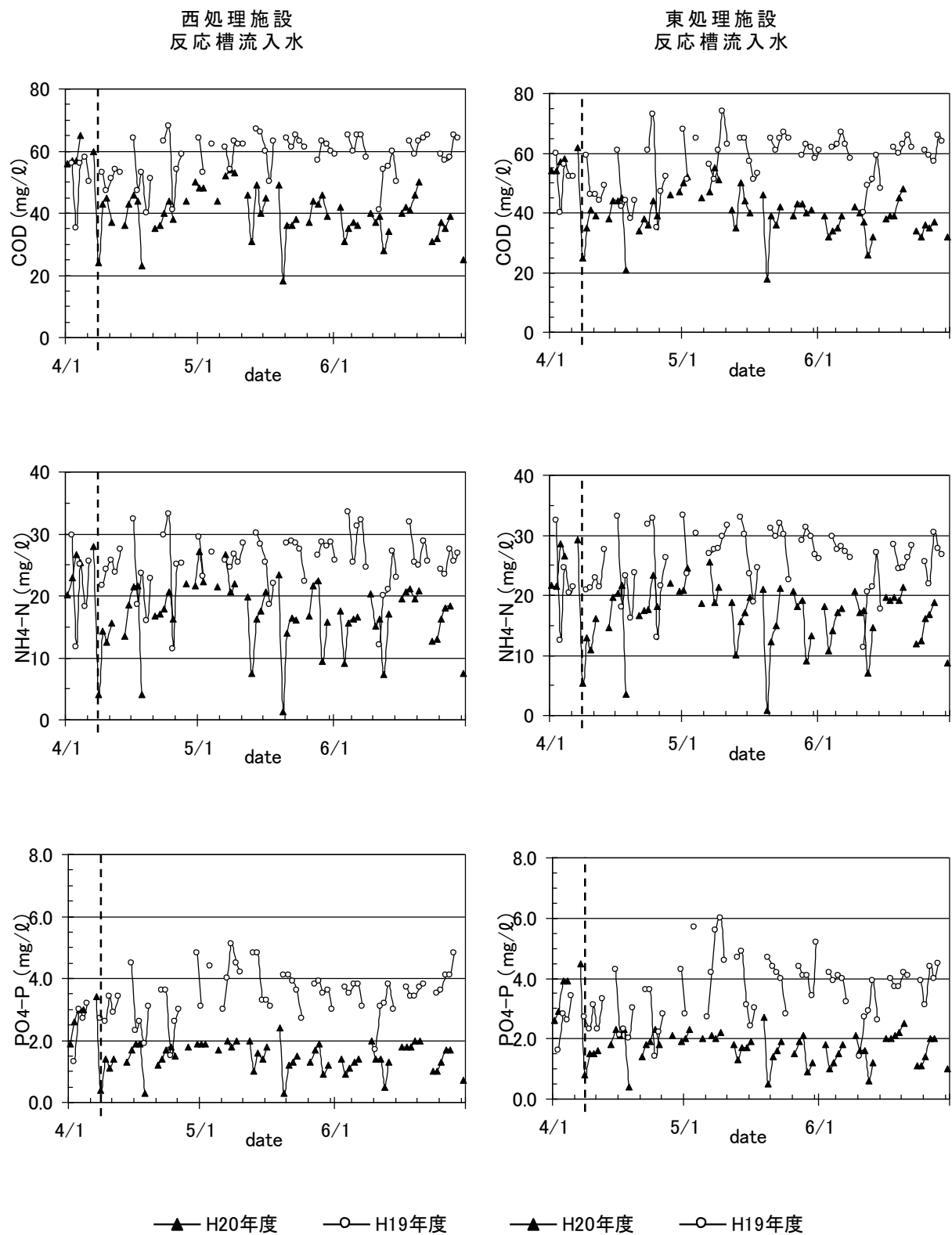


図 5. みやぎ水再生センターの反応槽流入水の水質

平成 19 年度 (○) 及び平成 20 年度 (▲) の 4-6 月の、みやぎ水再生センターの東西各処理施設の反応槽流入水の水質の推移を示す。破線は三河島送泥開始日。データは日常試験結果と水処理月報に基づき、推定雨水量がない日のデータのみを抜粋して用いた。

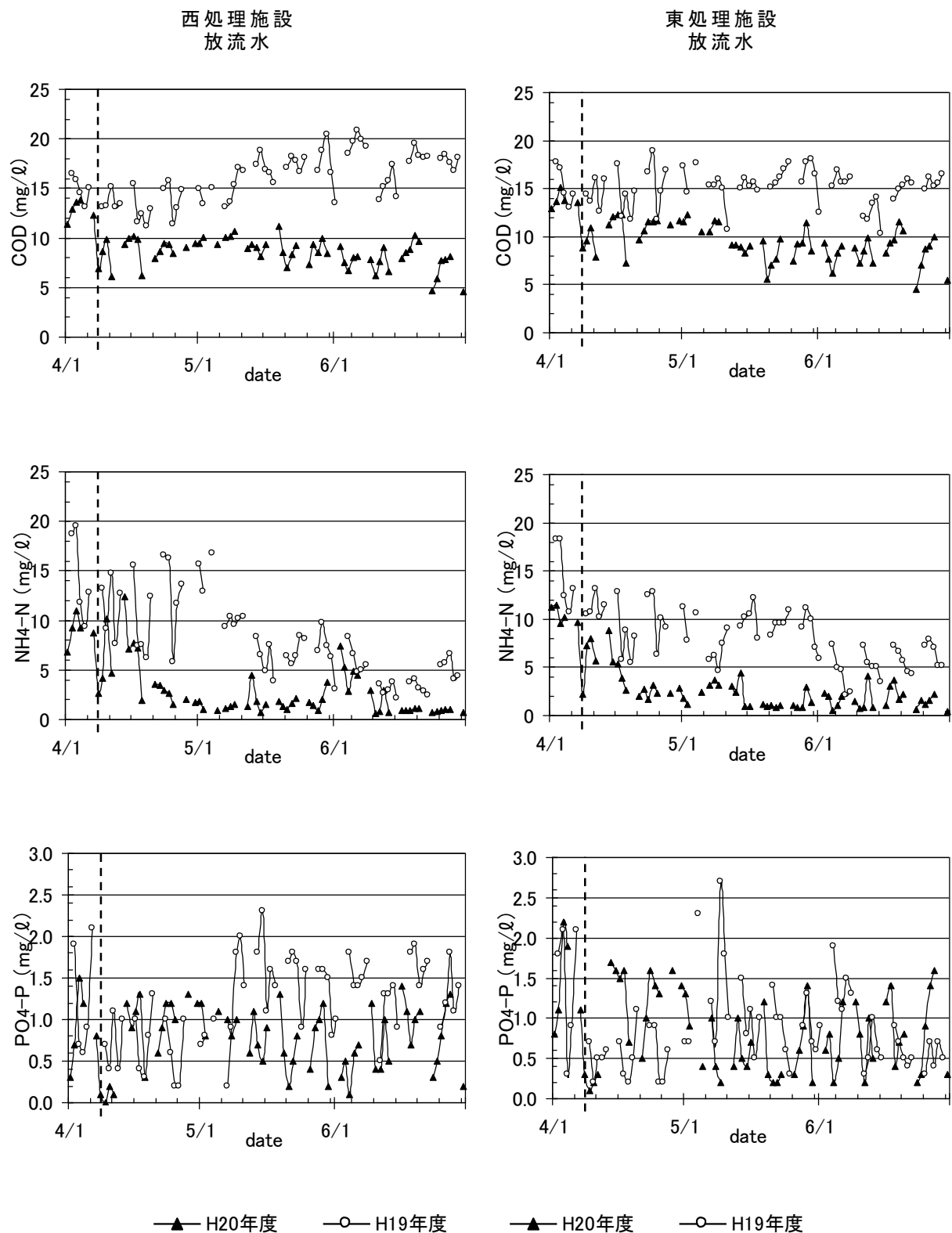


図 6. みやぎ水再生センターの放流水の水質

平成 19 年度(○)及び平成 20 年度(▲)の 4-6 月の、みやぎ水再生センターの東西各処理施設の放流水(PO₄-P は反応槽出口)の水質の推移を示す。破線は三河島送泥開始日。データは日常試験結果と水処理月報に基づき、推定降雨量がない日のデータのみを抜粋して用いた。

5. 2 放流水質

汚泥処理施設からの返流水質の向上が、反応槽の流入水質の向上をもたらしていることは、上述の通りであるが、同じく東西各施設の放流水質についても、COD・NH₄-N・PO₄-P 値の変化を比較した（→図 6）。尚、この際、PO₄-P 値に関しては凝集剤（ポリ塩化アルミニウム/PAC）の影響を排除するために、反応槽流出水の値を放流水質と見做して用いた。

その結果、三河島送泥開始の前後で、東西両施設の COD・NH₄-N 値及び、西施設の PO₄-P 値について、有意に値が低くなっていた（Wilcoxon rank sum test; COD_{西施設}: $p<0.01$, $d.f.=57$; COD_{東施設}: $p<0.01$, $d.f.=57$; NH₄-N_{西施設}: $p<0.01$, $d.f.=57$; NH₄-N_{東施設}: $p<0.01$, $d.f.=57$; PO₄-P_{西施設}: $p<0.01$, $d.f.=57$; PO₄-P_{東施設}: $p>0.05$, $d.f.=57$ ）。これは、三河島送泥による返流水負荷低減が放流水質の改善に影響を及ぼしたことを明確に示している。また、特に NH₄-N 値については水質の改善だけでなく、平成 20 年度の放流水質が平成 19 年度のものと比較して安定しており（NH₄-N_{西施設}: $\sigma^2_{H.19}=16.30$, $\sigma^2_{H.20}=6.25$; NH₄-N_{東施設}: $\sigma^2_{H.19}=7.56$, $\sigma^2_{H.20}=3.45$ ）、三河島送泥の開始以降、当センター反応槽の処理能力に余裕が生じ、安定した水処理を行っていると言える。

5. 3 除去率

以上のように三河島送泥開始以降、当センターでは汚泥処理量の低減に基づく返流水の水質向上によって、放流水の水質向上が確認された。これを、流入水に対する放流水中の各含有物質の除去率として比較した（→表 4）。その結果、三河島送泥開始の前後で、BOD・COD・T-N・T-P の流入水に対する除去率は、それぞれ前年度よりも BOD で 1 ポイント、COD で 3 ポイント、T-N で 15 ポイント、T-P で 10 ポイントと、窒素・りんにおいて大きな改善が見られた。

表 4. 反応槽流入水・放流水の汚濁量と除去率

		BOD	COD	T-N	T-P
汚濁量 (t/d)	反応槽流入水				
	送泥前（平成 19 年度）	17	9	5.00	0.72
	送泥後（平成 20 年度）	13	8	4.02	0.43
	前年同期間差	-4	-1	-0.98	-0.29
	放流水				
	送泥前（平成 19 年度）	0.36	2.43	2.87	0.26
	送泥後（平成 20 年度）	0.22	1.60	2.01	0.17
	前年同期間差	-0.14	-0.83	-0.86	-0.09
除去率 (%)	反応槽ベース*				
	送泥前（平成 19 年度）	98	72	43	64
	送泥後（平成 20 年度）	98	79	50	60
	前年同期間差	±0	7	7	-4
	流入水ベース†				
	送泥前（平成 19 年度）	98	85	39	55
	送泥後（平成 20 年度）	99	88	54	65
	前年同期間差	+1	+3	+15	+10

みやぎ水再生センターにおける、三河島送泥開始前後の反応槽流入水と放流水中の汚濁量と除去率の変化を示す。値は三河島送泥開始から消化槽停止までの期間（H20. 4/9-6/30）及び、前年の同期間（H19. 4/9-6/30）の水質の平均値で、それぞれ東西処理施設の平均値。データは通日試験の値より。

* 反応槽流入水に対する放流水中の各負荷分の除去率。

† 第一沈殿池流入水に対する放流水中の各負荷分の除去率。

6. 空気量減によるコスト削減効果の推定

三河島送泥の開始によって反応槽流入水の水質が向上した結果、反応槽の空気量は、前年の4-6月と比較して約11%の削減（実績）となった（→図7）。それに加えて三河島送泥の開始に伴う6月30日の消化槽停止の結果、7月の空気量は約18%の削減（実績）となった。ここで、散気装置の溶解効率を仮に20%として消化槽停止後の返流水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 低減量から削減可能な空気量を概算すると、一日あたり $197,000\text{m}^3$ の空気量が削減できることになる。これは実測削減空気量の $191,350\text{m}^3/\text{日}$ （7月前年度比）とほぼ一致する。この削減空気量の推定値は年間削減量にして約7,117万 m^3 に相当し、この値を空気量 $1,000\text{m}^3$ あたりの電力量（送風機）を 26.3kWh 、電力単価を11円/kWhとして、年間削減電力料金に換算すると約2,046万円となる（→表5）。

7. まとめ

三河島送泥の開始により、当センターにおける汚泥処理量は半減し、返流水の濃度と負荷量は約6割低減された。その結果、放流水質が、BODで 2mg/L 、CODで 6mg/L 、T-Nで 6mg/L 、T-Pで 0.6mg/L 程度改善し、流入水に対する除去率は、T-Nで15ポイント、T-Pで

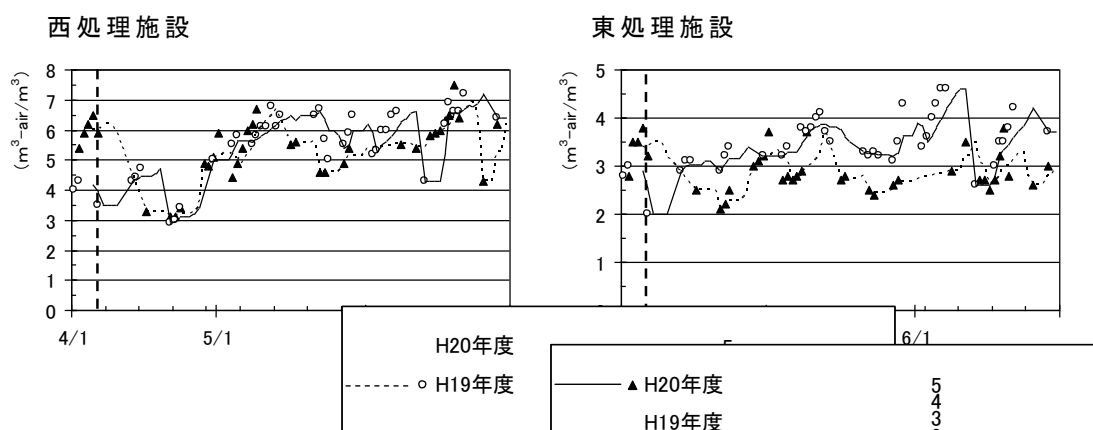


図7. みやぎ水再生センターの水処理施設反応槽の空気量の推移

平成19年度(○)及び平成20年度(▲)の、みやぎ水再生センターの東西各処理施設反応槽の単位流量あたりの空気量($\text{m}^3_{\text{air}}/\text{m}^3$)の推移を示す。破線は三河島送泥開始日。データは水処理月報に基づき、推定雨水量がない日のデータのみを抜粋して用いた。

表5. 三河島送泥による推計削減量

削減空気量	$71,170 \times 10^3$	$\text{m}^3_{\text{air}}/\text{年}$
削減電力量*	$1,870 \times 10^3$	kWh/年
削減電力料金†	$20,460 \times 10^3$	円/年
低減水処理電力原単位‡	21	kWh/ 10^3m^3

各々以下の平成19年度実績値を用いて算出した。

* 空気量千 m^3 あたりの電力量: $26.3 \text{ kWh}/10^3\text{m}^3_{\text{air}}$

† 電力単価: 11 円/kWh

‡ 高級処理水量: $87,117 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{年}$

10 ポイント程度向上した。一方で、汚泥の量及び質が返流水、ひいては放流水質に影響を及ぼすことが示唆された。

翻ってみれば汚泥処理を区部各水再生センターで行わず、処理施設を集約化することは、処理の高効率化をもたらす反面、腐敗が進行した汚泥を処理した返流水を受け入れることとなる水処理施設への負荷が重くなることを示唆しており、それに対する対処の必要性を示す一例とも言える。

5. 国際論文

- 1 Development of High-Efficiency Gasification Power Generating System Using Sewage Sludge and Woody Biomass
(下水汚泥と木質系バイオマスを使用した高効率ガス化発電システムの開発)
- 2 Improvement of Accuracy in Radar Precipitation Gauge System by an Alliance between Tokyo and neighboring Municipalities
(近隣自治体との連携によるレーダー降雨情報システムの精度向上)

5-1 Development of High-Efficiency Gasification Power Generating System Using Sewage Sludge and Woody Biomass

Nobuo Izumitani

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

1. INTRODUCTION

Amidst increasing demands for to the tackle of global warming in recent years we are undertaking research and development of technology capable of generating energy from biomass in various fields.

Sewage works are calling for the effective utilization of the sewage sludge that is produced in large quantities in the sewage treatment process.

Although sewage sludge has a high water content, the quantities in which it is generated and its quality change little with the seasons and is therefore an ideal biomass for use as energy.

Because of the difficulties in the acquisition of a landfill in Japan sewage sludge is in many cases incinerated in order to reduce bulk. Furthermore, incineration of sewage sludge gives rise a new problem in that large amounts of N₂O, a greenhouse gas with a global warming potential 310 times that of CO₂, is released into the air during sewage sludge incineration.

In this connection, we have developed a system in which woody biomass is added to the high-water sewage sludge to generate energy such as electricity at high efficiency. The system is also capable of reducing greenhouse gas emissions associated with the reduction(→incineration) of sewage sludge bulk.

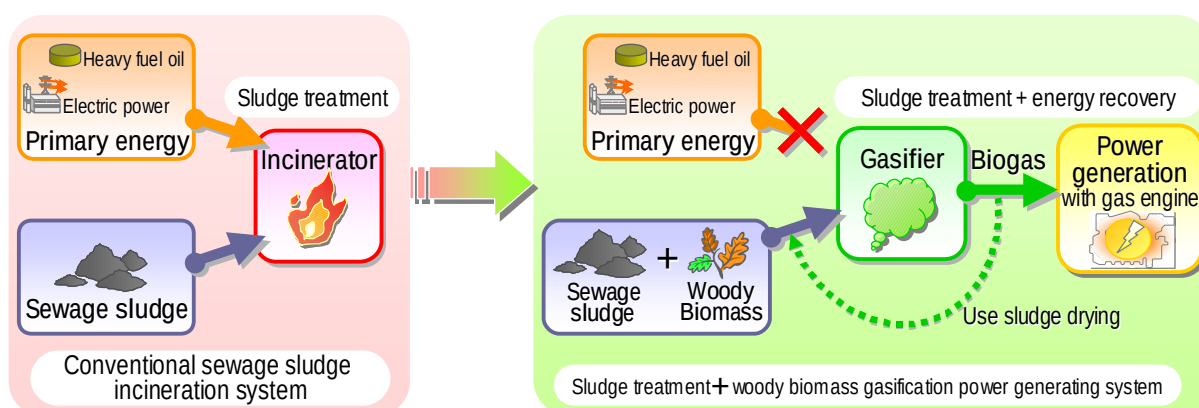


Fig. 1 Sludge Treatment System Overview

2. SYSTEM FLOW

This system is an advanced system that pyrolyzes the biomass such as sewage sludge, in a low oxygen atmosphere and the high-concentration pyrolysis gas (hydrogen, carbon monoxide (CO), methane, etc.) that is produced in this process is fed to a gas engine for high-efficiency electric power generation (see Fig.2)

The raw material for gasification consists mixture of woody biomass added dried sewage sludge. (This will be referred to as mixed biomass below.)

The mixed biomass feed is pyrolyzed in the gasification chamber of an internally-circulating fluidized-gas gasifier (referred to as ICFG below), which is maintained at a low-oxygen atmosphere. In the downstream gas reformer, the gas is reformed to hydrogen, carbon monoxide, and methane, and the biogas formed in this manner is fed as the gas fuel to a gas engine for power generation.

The waste heat present in the various exhaust gases including the gas engine exhaust gas is thermally recovered in heat exchangers. It is used as the heat source for drying the dehydrated sludge in a cascading style. The system is arranged in such a manner as to achieve maximum overall energy efficiency.

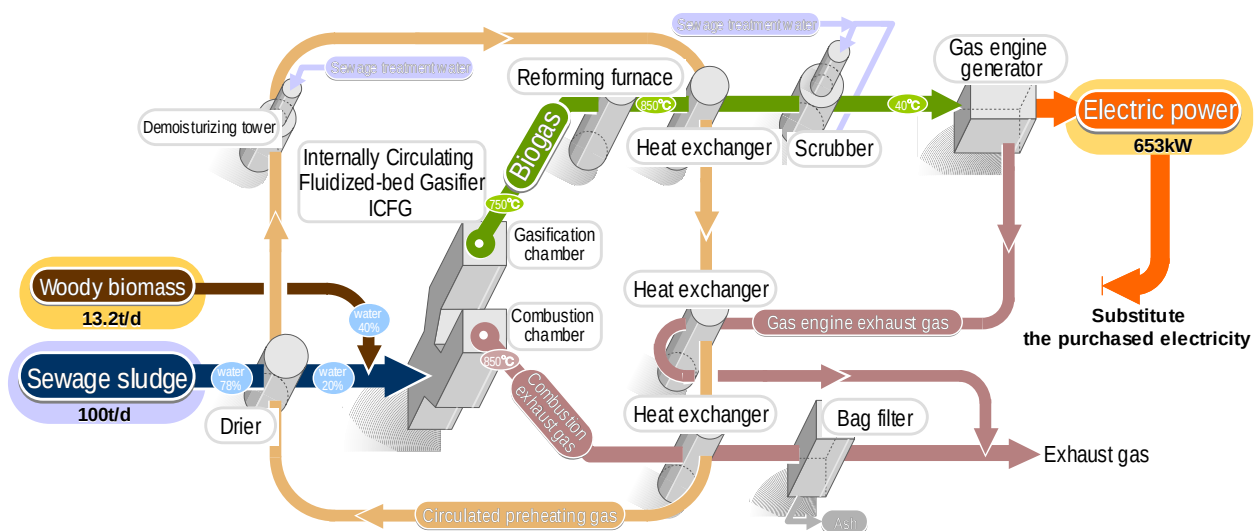


Fig. 2 Overview of Sewage Sludge Gasification –
Power Generating System Verification Facility

3. INTERNALLY CIRCULATING FLUIDIZED-BED GASIFIER (ICFG)

The most important characteristic feature of the ICFG is that the furnace interior into two chamber that have different functions.

1) Gasification Chamber (Gasification in a low-oxygen atmosphere)

By feeding only steam for fluidization it is possible to maintain this chamber at a low-oxygen atmosphere. The material to be gasified is introduced into the gasification chamber and pyrolyzed by the fluidized-bed material (sand) at around 600 – 750°C. As the interior of the gasification chamber has a low-oxygen atmosphere, losses do not occur due to the pyrolysis gas combustion

nor does dilution occur due to the combustion gas. It is thus possible to obtain a high-concentration combustible gas.

Together with the fluidized-bed material whose temperature has been reduced as a result of gasification the gasification residues, (sparingly combustible and incombustible components such as tars and chars) are transferred to the combustion chamber.

2) Combustion Chamber (Combustion in oxidizing atmosphere)

Air is admitted for fluidization and the interior of the chamber becomes an oxidizing atmosphere. The gasification residues carried over from the gasification chamber are combusted here. The residues are removed as a result of combustion and the heated fluidized-bed material is sent again to the gasification chamber to serve as a heat source for the gasification process.

In this manner, the residue components that are difficult to gasify are selectively used as a heat source for the gasification process so as to permit the effective use of the energy of the raw material for gasification. By using an ICFG it has been possible to obtain a relatively high-concentration pyrolysis gas even when a low-calorific material such as sewage sludge is used as the biomass to be gasified.

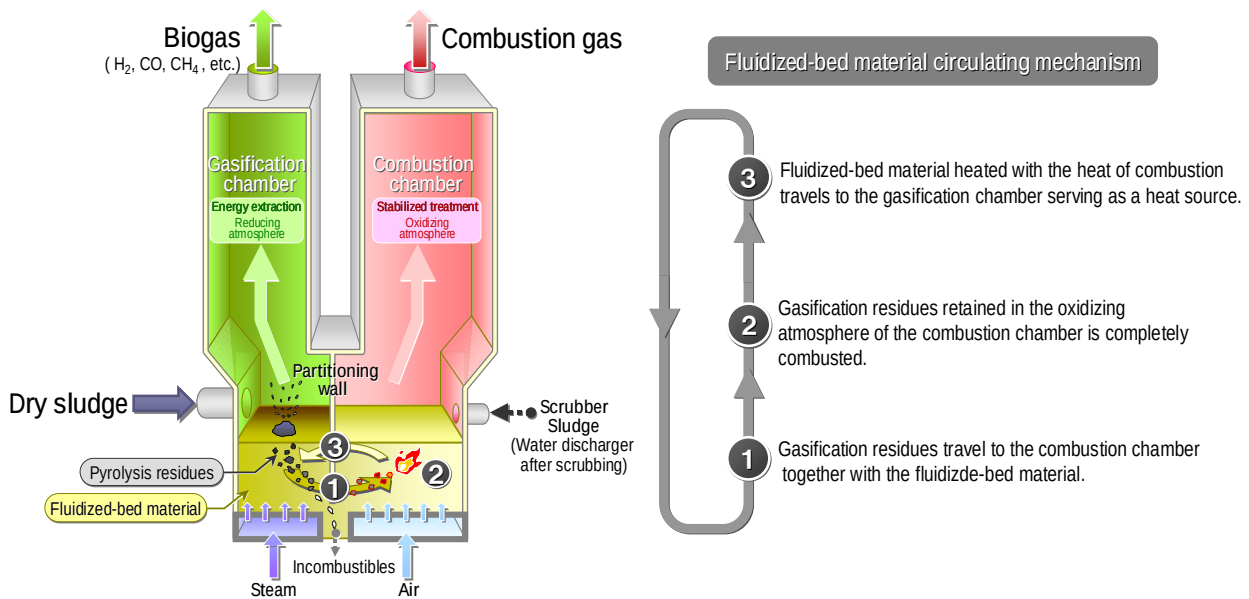


Fig. 3 Internally Circulating Fluidized-bed Gasifier (ICFG)

4. VERIFICATION TEST RESULTS

During the period from September 2005 through July 2006 verification tests were run for a total of 142 days. The gasification power generation tests were carried out using 1,758t of sewage sludge. Even when running the gasification tests with a mixed biomass the system will operate as steady and stable as when sewage sludge is gasified on its own. This permits a stable power output.

4.1 Composition of Raw Material for Gasification (Dry Sludge, Woody Biomass)

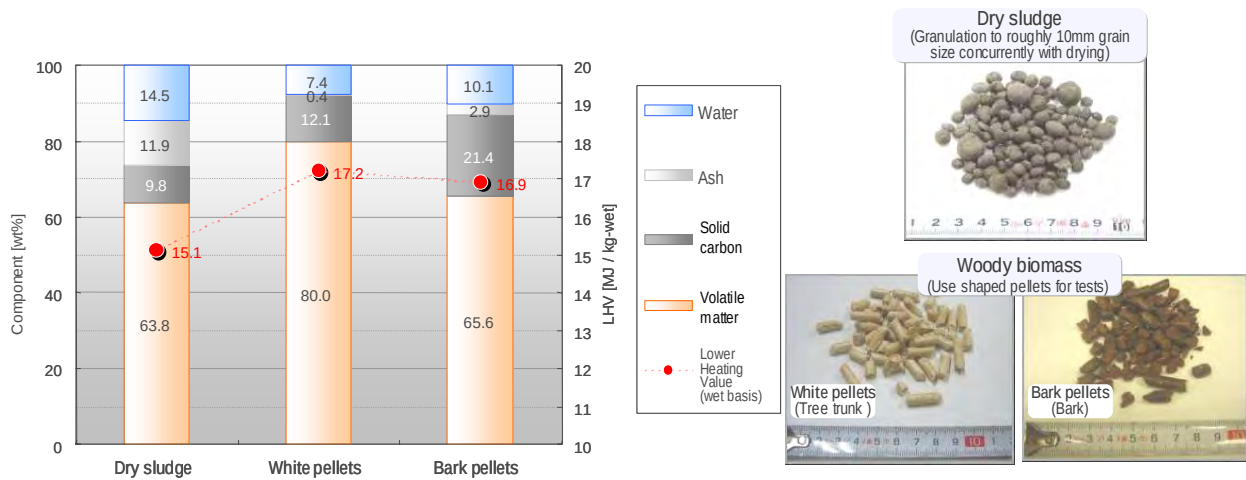


Fig. 4 Raw Materials for Gasification

The woody biomass that was used for the verification tests had water content in the order to around 7 – 10% and also a higher calorific value than dry sludge. For the verification test the woody biomass was added to the dry sludge so that heat output ratio is 20%. (The woody biomass calorific value/mixed calorific value – approx. 0.2)

4.2 Composition of Biogas, Cold Gas Efficiency

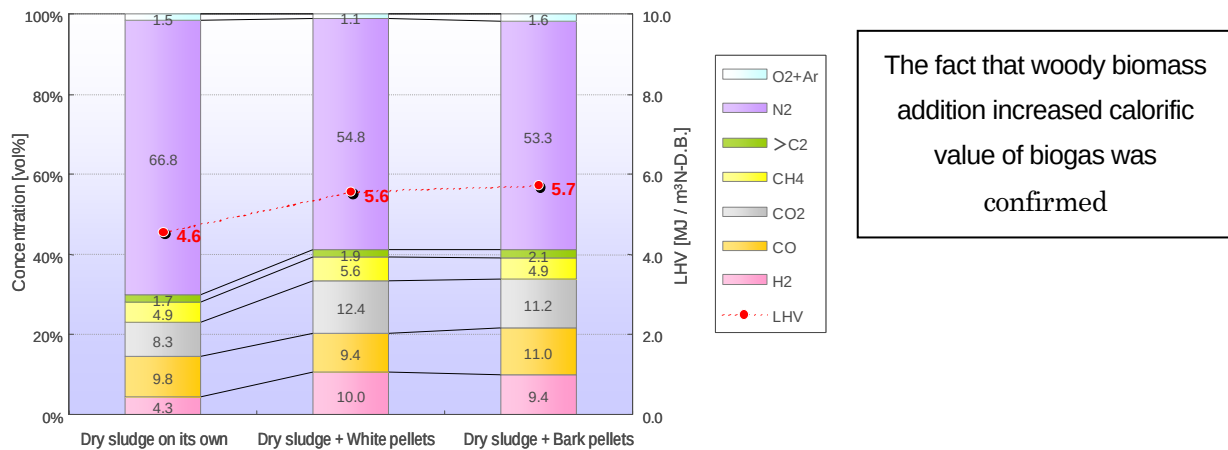


Fig. 5 Composition of Biogas

Next Fig. 6 shows the cold gas efficiency resulting the admixture of woody pellets.

(Cold gas efficiency = Biogas heat amount/Heat amount of raw material for gasification.)

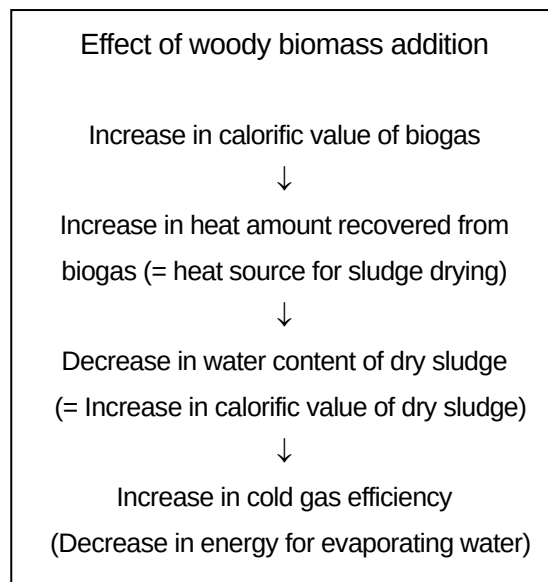
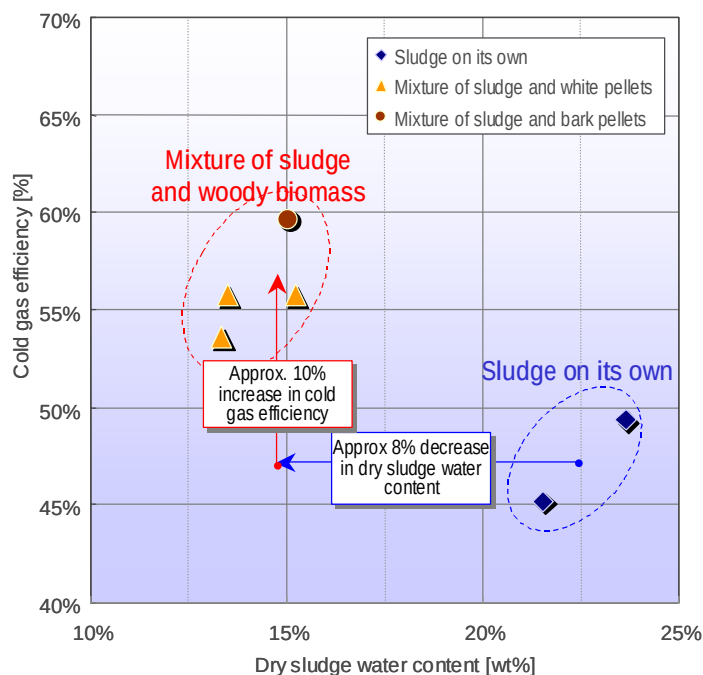


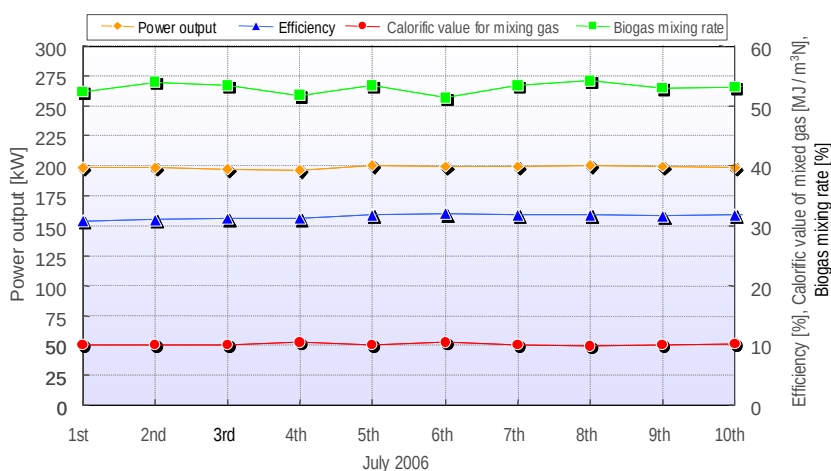
Fig. 6 Cold Gas Efficiency

It has been confirmed that when woody biomass is added to dry sewage sludge (water content 7 – 10%) at 20% heat amount ratio, cold gas efficiency is increased roughly 10%.

4.3 Gas Engine

In the test runs, biogas was added at 50 – 55% heat amount ratio to city gas.

(Biogas heat amount/Mixed gas (biogas + city gas) calorific value > 0.5)



At biogas mixing rate (heat amount ratio)—50% stable rated gas engine operation is possible.

Power generating efficiency during test runs was 31 – 32%.

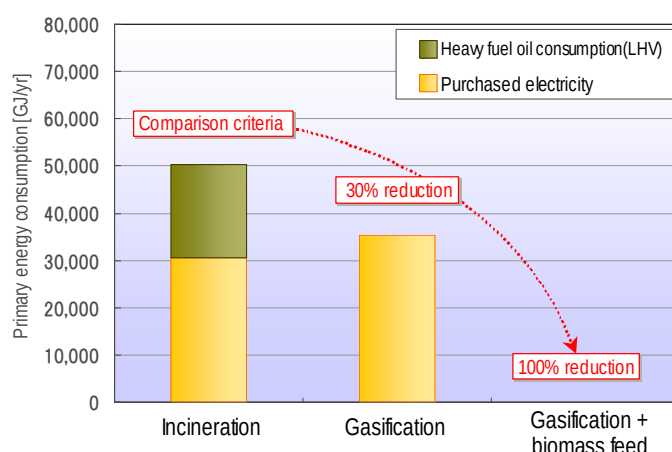
Mixed gas (biogas + city gas)
Calorific value: around 10MJ/m³N

Fig. 7 Gas Engine Operating Conditions

5. EFFECT FROM USE

Based on the results obtained this study we have done a trial calculation of the effect achieved from the use of 100 ton a day-scale facility. In this trial calculation case, we decided to use biogas as burner gas fuel for sludge drying and to generate power with the gas engine at a biogas surplus. The mixture amount of woody biomass was set to the calculated quantity* which would be enough for the biogas powered gas engine to generate the required electrical power for this 100t/d scale facility,(*the rate of woody biomass was set at approx. 13t/day (at heat amount ratio approx 35% compared to dry sludge)).

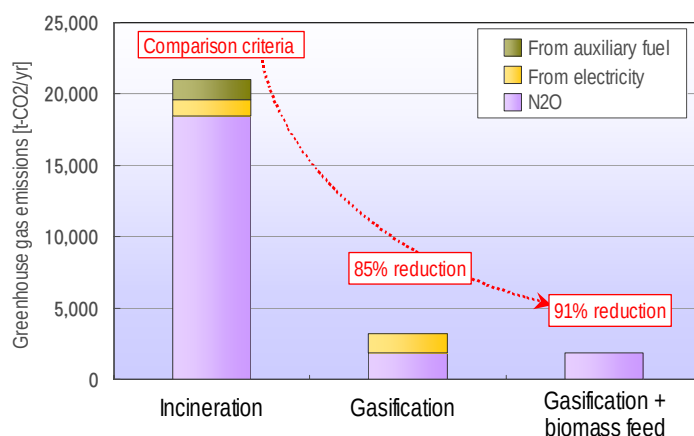
For comparison we used the incineration system (incineration at 800°C).



Through the introduction of the gasification system it is possible to achieve a major reduction in primary energy consumption as compared with the conventional incinerating systems. (Value of purchased electricity was converted to primary energy.)

Fig. 8 Energy Saving Effect (Primary Energy Consumption)

Based on the verification test results it has been confirmed that the substantial savings of fossil fuel consumption and purchased electricity can be achieved when gasifying a mixture of sewage sludge and woody biomass. Furthermore, our trial calculations have shown that a certain amount of addition of woody biomass helped reduce consumption of fossil fuels from outside the system and purchased electricity to zero. The results thus suggest that the system is not dependent on fossil fuel-derived energy and can be energy-independent (*Except for auxiliary fuel for system start)



Through the introduction of the gasification system it is possible to achieve a major reduction in greenhouse gas emissions as compared with the conventional incinerating systems.

Fig. 9 Effect of Reducing Greenhouse Gas Emission

Comparison of the GHG emission levels of the energy-independent system with the conventional sludge incineration systems (incineration temperature 800°C) has demonstrated that it is reasonable to expect a roughly 90% emission reduction. The reason for the GHG reduction is not only due to the above reduction in primary energy consumption but also to the fact that the potential for minimizing the formation of N₂O, which has an extremely high greenhouse effect, is an important factor (*N₂O has a greenhouse effect, 310 times that of CO₂.) because the nitrogen oxidation reaction is substantially inhibited in the reducing atmosphere in the ICFG gasification chamber.

6. SUMMARY

We have carried out verification tests on a power generating system using gasification of a mixture of sewage sludge and woody biomass and have obtained the following results.

It has been confirmed that:

- The system as a whole demonstrated that it has stable operation.
- A major greenhouse gas emission (notably N₂O) reduction effect can be achieved.
- A major reduction in fossil fuel consumption and purchased electricity can be achieved and that the system is energy-independent, not fossil fuel-derived.

This energy-independent system holds out significant potentialities.

7. CONCLUSIONS

Tokyo Metropolis has established its own target “ 25% reduction in greenhouse gas emissions by 2020 as compared with 2000 ” and embraces a positive commitment to greenhouse gas emission reduction measures.

The system we have developed will make a significant contribution to achieving these targets.

In the future, we will put the gasification of sewage sludge to practical use and extensive verification of both the energy saving effect and the greenhouse gas emission reducing effect of this system. Afterwards, we intend to promote and diffuse the use of the mixed woody biomass.

5-2 Improvement of Accuracy in Radar Precipitation Gauge System by an Alliance between Tokyo and Neighboring Municipalities

Kiyohito Kuno¹, Hideo Oohashi¹, Ken-ichiro Kobayashi¹, Masahito Yokota^{1*}

¹Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

*To whom correspondence should be addressed

Email: Masahito_Yokota@member.metro.tokyo.jp

ABSTRACT

“Tokyo Amesh” is real-time radar rain gauge system Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government operates. The information is available on our network and internet. The data source of it is two X-band radars, Minato and Inagi. The radar can observe rainfall intensity at the smallest unit of 250m by 250m square mesh. Operators make the best of the information for the safest pump operation. No good solution has been given to “rainfall attenuation” and “bright band”, the inherent problems for X-band radar. Also, for changeable movement of rain clouds broader panorama vision has been in demand from a standpoint of preventive operation. With these needs, Tokyo worked on allying with four neighboring municipalities to share rainfall information. By integrating data from the four systems into one, with a new composition method a great progress has been attained to solve the problems.

KEYWORDS: Tokyo Amesh, radar rain gauge system, mesh, rainfall attenuation, bright band, composition

INTRODUCTION

Background

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, has carried forward to establish discharge capacity of 50 mm/h rain, which is defined as the one-time per three years precipitation. In these years, however, rain often exceeds the definition for a span of time. Unpaved ground is scarce inside 23 wards in Tokyo as a result of urbanization, and lowlands of no-natural drainage topography are highly utilized for residential purpose. Thus, conditions surrounding rainfall drainage against inundation are very demanding. Also, operation jobs have been integrated by making use of remote-control system for efficient management, e.g. with small number of staff in charge of plural facilities. As of 2008, at 66 pumping stations of total 83, no operational men are staffed. In intensive operation to deal with rainwater, grasping the present state of rainfall closely is helpful for an operator to provide for his next action. “Tokyo Amesh” is a real-time radar rain gauge system Tokyo Sewerage operates. The data source of it is two X-band radars. They observe precipitation on and around Tokyo at twenty-four-hour basis.

In 2007, to improve “rainfall attenuation”, “bright band”, inherent problems for X-band radar, Tokyo worked on allying with neighboring municipalities to share rainfall information. From here, we call it “the new system” and we call the system before the allying “the old system”. The

new system has been successful to enhance accuracy and contributes for the safer operation.

System of Tokyo Amesh

“Amesh” is the combination of two words “Ame” and “Mesh”. “Ame” is the Japanese for rain and “Mesh” is a key word which characterizes the system. “Tokyo Amesh” has started in 1988, and the present Amesh, the 2nd system, has been in service since 2001. The data source of it is two X-band (9 GHz) radars, located at Minato and Inagi. The radar can observe rainfall intensity at the smallest unit of 250m by 250m square mesh within a circle of 50km radius. The data is updated every minute. Tokyo Amesh information has been open to the public on the Internet site since 2002. As a method of risk communication, it has contributed to crisis management.

System Configuration

Figure1 shows the configuration of the new system. We added the enclosed part by the dotted line in the figure for the new system. Data are collected from four municipalities to a processor which composes them. The composition job is consigned to an external agency which specializes in weather analysis. Consignment of the composition job is intended to facilitate procedure when a municipality begins to receive the composed information. Radar precipitation which Japan Meteorological Agency (JMA) deals with is also used to composition. In the figure, the general meteorological information means weather warnings/advisories thunderstorm, typhoon and more.

Composed data is received at the CPU-Distribution unit on Kuramae Water Reclamation Plant (WRP) and distributed to all operational and maintenance facilities. The unit also transmits the Amesh information to Internet, cellular phone and Disaster Information System which is managed by Disaster Prevention Division. Tokyo started to take in the composed data in 2007, and Saitama Prefecture has followed Tokyo from 2008. The other two are preparing now.

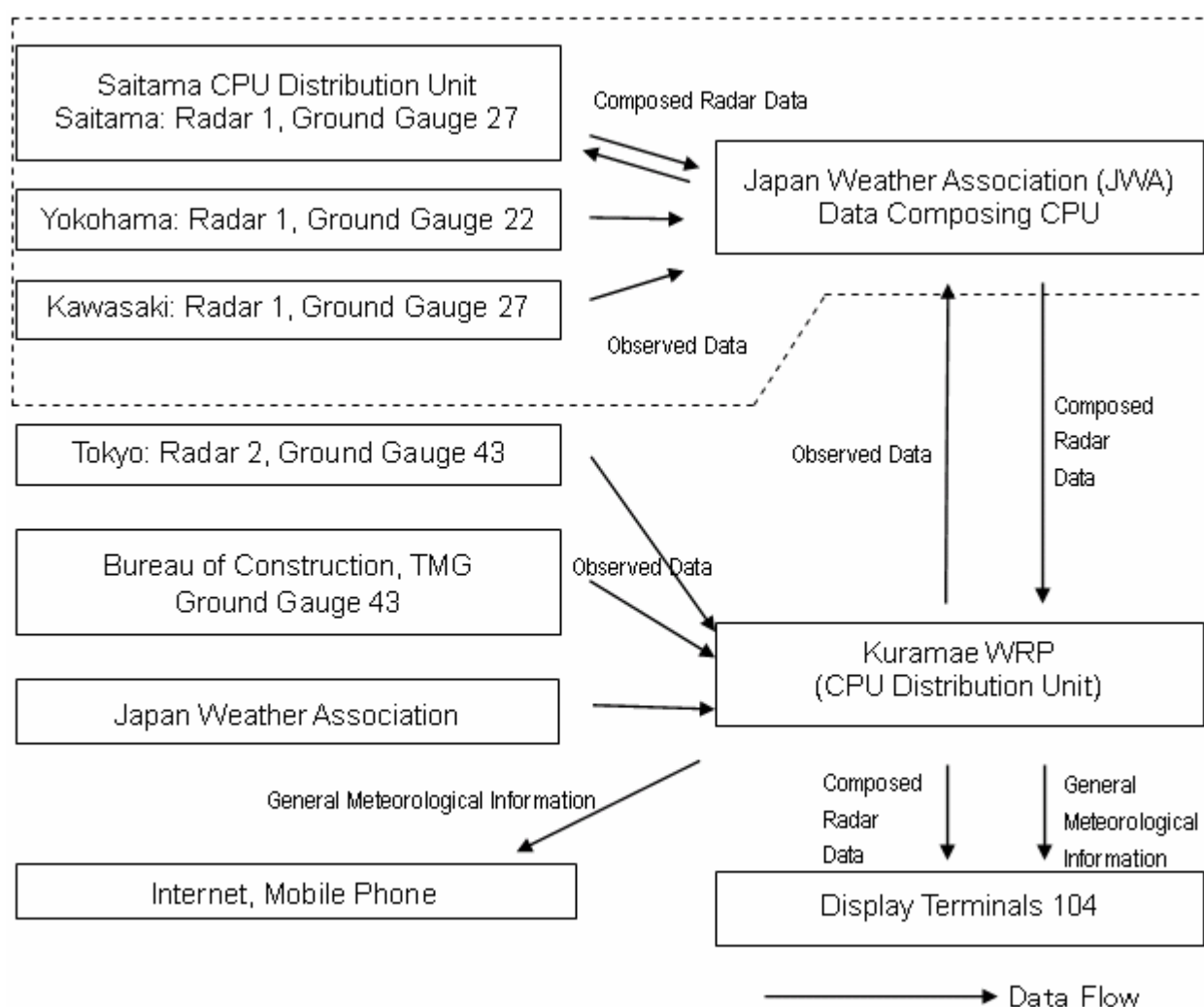


Figure 1. System Configuration

Sharing the Rainfall Information with Neighboring Municipalities

Following the increase of the number of radars, we investigate the method of data composition. In data composition, we also use JMA radar. The errors caused by the height of passing radar beam and the distance between the radar and the target are corrected by using the ground gauge data and the data composition of the radars.

The precipitation measured by radar is the precipitation at a moment, but ground gauges measure precipitation for a certain period. The precipitation data needed for our operation job is not the momentary intensity of the rainfall but the amount of rainfall on the ground. Taking it into consideration, we compose and correct the radar data.

Weak Point of X-band Radar

The present Amesh, the 2nd system, has been in service since 2001. Compared to the 1st system which is called “Tokyo Amesh 500”, the 2nd system has been improved in specification such as accuracy and update periods as shown in Table 1. But it still has the problem caused by rainfall attenuation and bright band.

Figure 2 shows an observation image of the old system in which the “rainfall attenuation” can be seen. The reflected wave was attenuated because of heavy rain around radars. The radar data within Tokyo were compensated by the ground gauges and heavy rains were shown there. But, no ground gauge data were available beyond the boundary of Tokyo and weaker indication was given.

Figure 3 shows an occurrence of the bright band. The radar indicated heavy rains for weak ones. This effect is resulted from the property that melting layer of precipitation has its high radar reflectivity. In the same way as “rainfall attenuation”, the ground gauges compensated the radar data within the areas of Tokyo.

These effects give misinformation to operators dealing with rainwater and may cause a serious mistake in their decision. C-band (5GHz band) beam cannot be employed in place of X-band, because it cannot perform the fine mesh observation, and also permission to use it cannot be guaranteed for the future.

Table 1. Specification of the System of Tokyo Amesh

Name of system (operation term)	Measurement Area	Size of a Mesh (distance from radar)	Update Period
Tokyo Amesh 500 (1988 – 2001)	105km (east to west) 40km (north to south)	500m(0 – 40km)	2.5min
Tokyo Amesh The old system The new system (2001 –)	125km (east to west) 50km (north to south)	250m(0 – 20km) 500m(20 – 50km)	1.0min

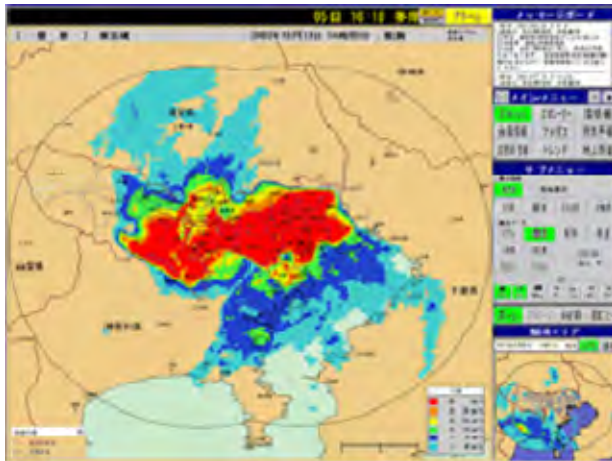


Figure 2. Rainfall Attenuation

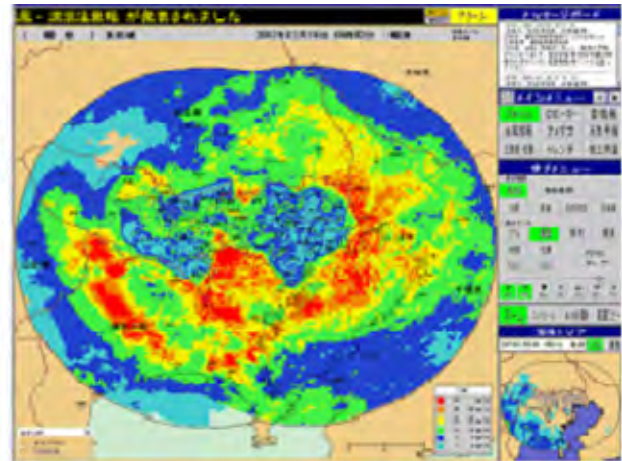


Figure 3. Bright Band

***) Precipitation in Tokyo area is corrected by ground gauge data**

METHODOLOGY

Approach

Saitama prefecture abutting on Tokyo in the south, Yokohama city and Kawasaki city in the north, operates their own radar gauge system (Figure 4).

They use X-band radar, and have the common problem with Tokyo Amesh. And JMA has its own radar system using C-band which covers all over Japan. Combining information of their systems with that of Tokyo Amesh is considered to be an effective method to complement radar attenuation or bright band.

Starting the data composition, Tokyo, Saitama, Yokohama, and Kawasaki have concluded an agreement on the handling of the raw data and the composed data. Tokyo is the first municipality to use the composed data and the other municipalities will follow it. And Saitama began to use the data from the year 2008. The agreement stipulates that the allied municipalities own the composed data commonly and also includes the rule for how to split the expense among participants. We will minutely describe how we composed the data below.



Figure 4. Tokyo and Neighboring Municipalities

Principle of Radar System

A weather radar is a radar used to observe the atmosphere. These radars sense precipitation by measuring a radio wave reflecting from targets, such as raindrops and snowdrops floating in the air. By measuring the power of the reflecting wave P_r , we can calculate rainfall intensity R . The average power returned to the radar from targets and the radar reflectivity factor Z , which relates to the amount of the raindrops in the path of passing radar beam, has a relation written as:

$$P_r = \frac{CFZ}{4r^2} \quad (1)$$

where C is a radar dependent constant, F is a coefficient of revision, r is the distance between a radar and target.

The radar reflectivity factor Z and rainfall intensity R has a correlation called “ $Z - R$ relation”, so we can calculate R by using a conversion line based on the statistics.

Radar system consists of two parts. One is the antenna where radio wave is sent and received. The other is the data processing device where P_r and Z is translated to R . (Takashi, 1996)

“ $Z - R$ relation” is affected by how heavy the rain is, so Tokyo amesh adopted “rainfall-intensity adjustment” to make the rainfall data more accurate. By using the basic conversion line “rainfall-intensity adjustment” calculate the amount of rainfall, and determines $Z - R$ relation by choosing one from 3 types. 3 types are defined by rainfall intensity, “severe”, “moderate” and “weak”.

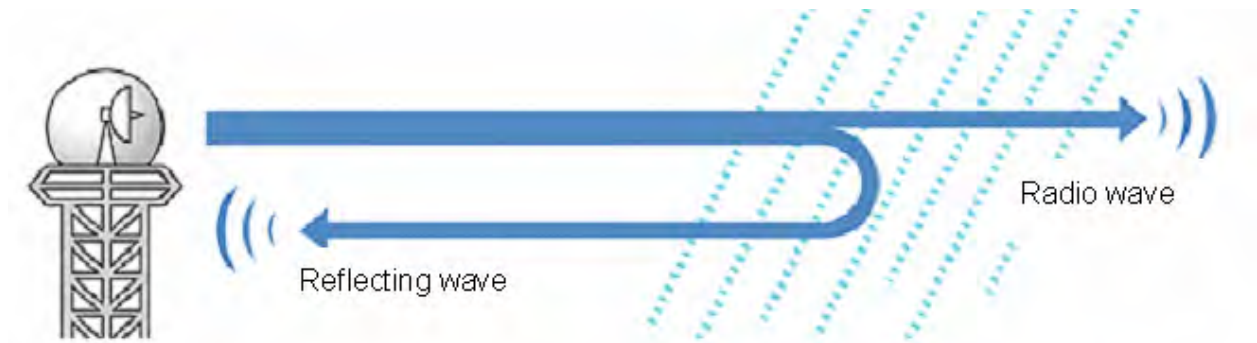


Figure 5. Radar System

Correction of Rainfall Attenuation by Increasing the Number of Radars

Even if one radar cannot measure the point of rainfall attenuation accurately because of rainfall attenuation, there is a possibility other radars located in other areas can measure correctly (Figure 6). We propose a method to complement rainfall attenuated data by increasing the number of the radar system.

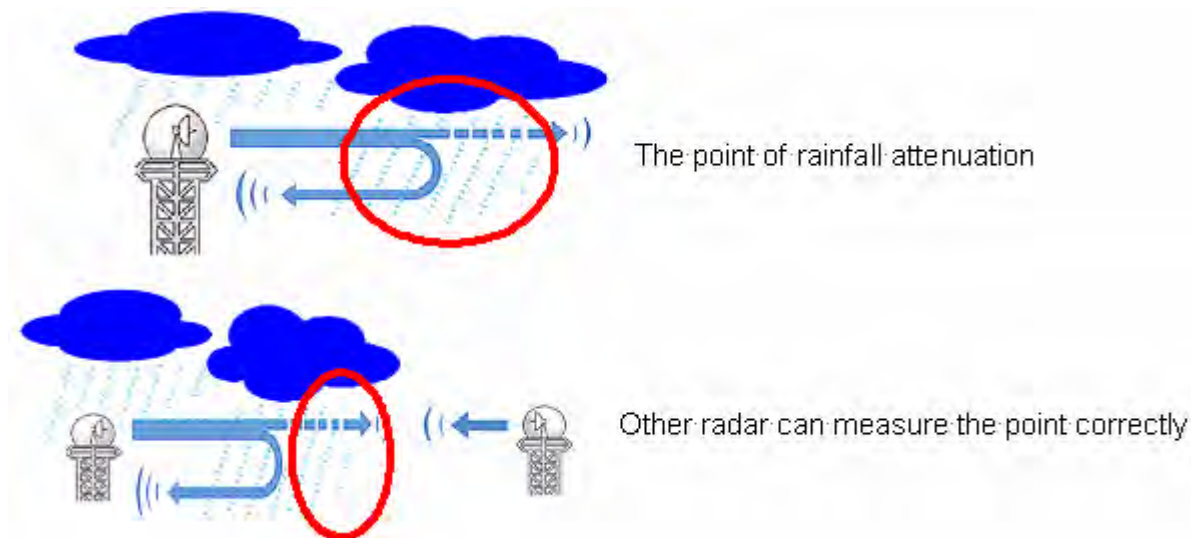


Figure 6. Correction of Rainfall Attenuation by Increasing the Number of the Radar

Bright Band Error Minimization and Correction of Rainfall Attenuation by Ground Gauge

By complementing the radar data with the ground gauge data, we can eliminate the internal error of the radar and the bright band. And we can also correct the data lacked by rainfall attenuation. We can know the amount of rainfall in area around Kanto more accurately than before by increasing the number of ground gauge.

Improvement of the Data Reliability

By defining the reliability of the radar data, we compose the data measured by some radars. The rainfall value of the same area will be measured differently by each radar because of the difference of the height of the beam of each radar. For that reason, inside the measurement area of the new system there are differences between each radar's data.

Low-height data has less error because low-height means radar measures the rainfall near the ground. And the distance between the antenna and the target produce errors on the radar data because radar beam is attenuated through the path.

Therefore by using the data from some radars and giving weights based on the reliability of the data, we can improve the reliability of the data overall.

We will next revise the radar data by using ground gauge data to measure the rainfall accurately. Update periods of Ground gauges and radars are not the same, so we adjust them to suit for the information we use for reclamation of sewerage.

Flow of Data Composition

Our new system determines the amount of precipitation on the ground by revising the radar data by ground gauge data. Radar can measure precipitation in the mid air inside the measurable area divided to minute meshes. Table 2 shows the specification of the radars we use. According to the Table 2, each radar has the difference in the specification. Therefore we divide 6 radars into 3 groups. Group A, which includes Tokyo and Saitama radars, can measure rainfall by minute meshes in short update period. We use group A data in data composition process and determine the amount of precipitation. Then we use group B and C data to complement the area where group A cannot measure. It is difficult for radars to define the absolute value of the amount of precipitation, so we use ground gauge data in calibration process to match the radar data to the ground gauge data.

Figure 7 shows the schematic of flow in the proposed radar data composition.

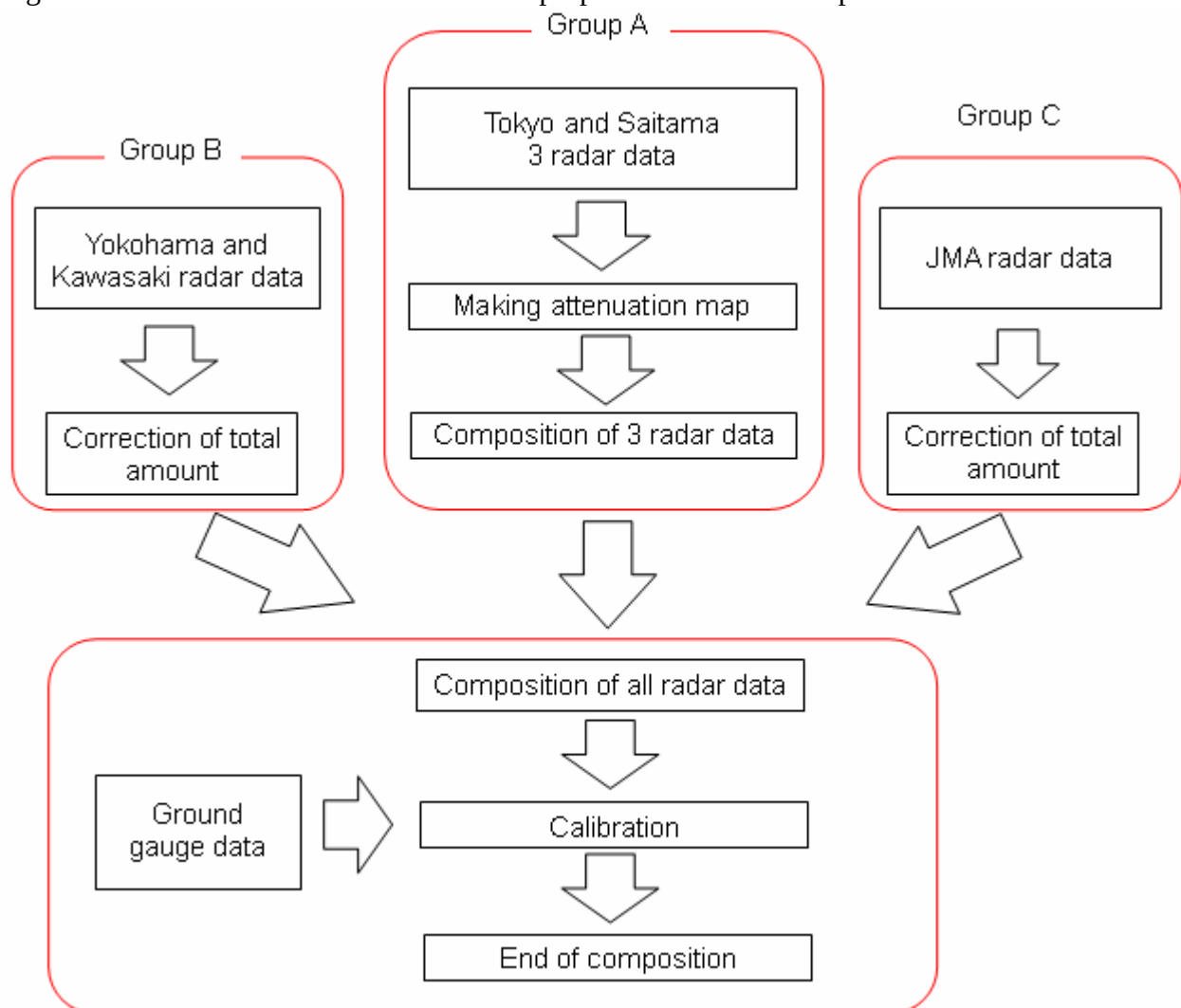


Figure 7. The Schematic of Flow

Table 2. The Specification of Each Radar

	Tokyo radar (Inagi and Minato)	Saitama radar	Yokohama radar	Kawasaki radar	JMA radar
the update period	1 min	1 min	2.5 min	2.5 min	10 min
Size of the mesh (the distance from)	250m (0 – 20km) 500m (20 – 50km)	250m (0 – 20km) 500m (20 – 50km)	250m (0 – 20km) 500m (20 – 40km) 1km (40 – 50km)	500m (0 – 40km) 1km (40 – 100km)	1km (All area)
Group	A	A	B	B	C

Data Processing of Group A

• Making Attenuation Map by Evaluating the Radar Data

By evaluating the power of the reflecting wave P_r obtained from each prefecture measured from each distance and angle using polar coordinate, we can determine the attenuation of the radar beam. Doing that for 360 degrees, we can make an attenuation map, which can be used to eliminate rainfall attenuation. By using Attenuation map we can know where the reliable data is in the measurable area of each radar.

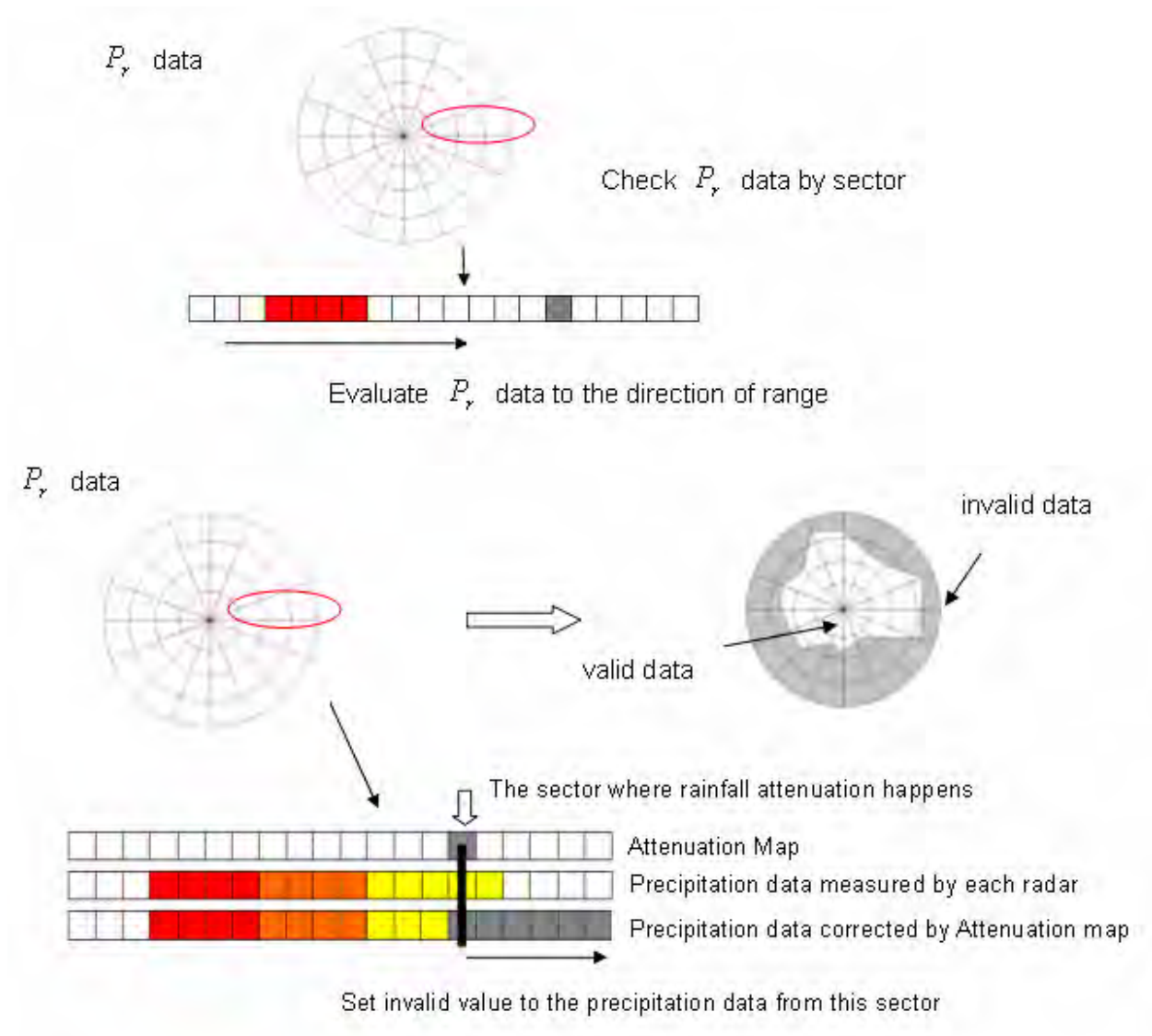


Figure 8. Making Attenuation Map

- **Composition of Group A Radar Data**

By giving two weights based on the reliability to each mesh of each group A radar and composing each radar data, we can improve the reliability of the radar data overall.

We translate the group A radar data from polar coordinate to orthogonal coordinate in order to match them to the map of Kanto area divided into the minute meshes. We call the radar data composed in this process “composed radar data”.

(1) Set 2 weights on the mesh of each radar:

a) weights table of beam heights

We set weights table of beam heights according to the height of the passing beam.

b) weights table of the mesh-radar distance

We set weights table of the mesh-radar distance according to the distance between the mesh and the radar.

(2) Compose the mesh data measured by group A

We show how we calculate the each mesh’s precipitation value R on the same mesh where the group A radars measure independently.

a) Each radar’s weight given to each mesh is calculated by multiplying weights table of beam heights with weights table of the mesh-radar distance.

b) Each mesh’s precipitation value is calculated by adding R measured by each radar multiplied with each radar’s weights.

If one radar data has invalid value set by attenuation map, we ignore the weight of the radar and use 2 radar data. Therefore, we can improve the data reliability, and we can grasp the rainfall without the effect of rainfall attenuation.

Data Processing of Group B

The size of mesh and the update period of group B radars are large and long compared to those of group A, so we can think group A radars indicate the precipitation on the ground more accurately. Therefore, we recalculate the group B radar data by using composed radar data.

For meshes which satisfy the below conditions, we compare the composed radar data with the group B radar data. There are some areas where the size of mesh are not equal to the group A radar, we divide some mesh of group B radar in order to match it to that of the composed radar data.

1 composed radar data which over 0 mm

2 the group B radar data which over 0 mm

We calculate the ratio by dividing the total amount of composed radar data with the total amount of the previously measured group B radar data. Then we recalculate the group B radar data by multiplying each mesh of the group B radar data with the ratio. Figure 9 show the process of correction.

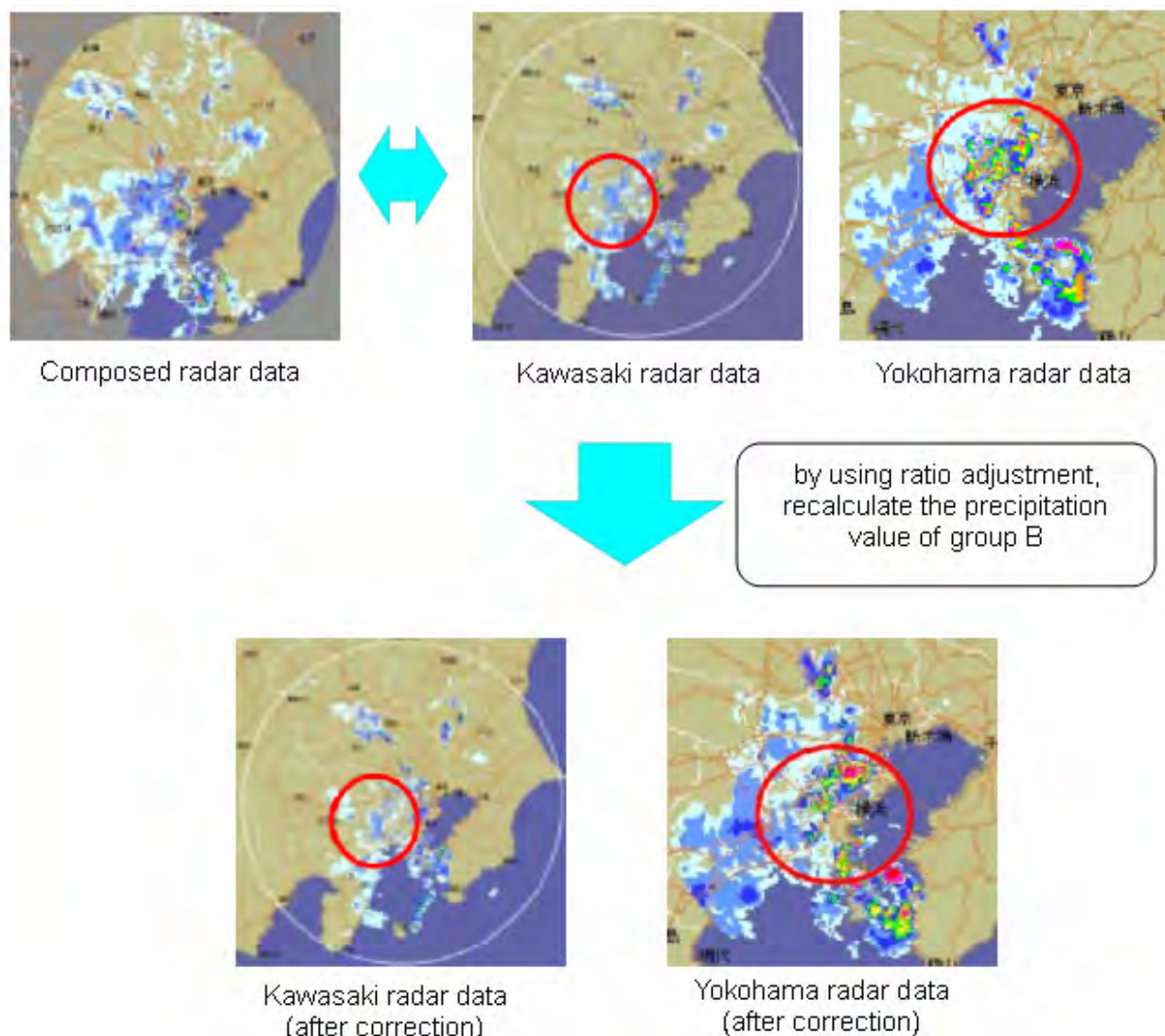


Figure 9. Correction of Group B Radar Data

Data Processing of Group C

The height of passing radar beam of JMA radar is high, and the size of mesh and the update period of JMA radar are large and long compared to those of group A, so we can think group A radars indicate the precipitation on the ground more accurately. Therefore, we recalculate JMA radar data by using composed radar data. We divide all meshes of JMA radar to match it to the composed radar data.

For meshes which satisfy the below conditions, we compare the composed radar data with JMA radar data.

- 1 composed radar data which over 0 mm
- 2 JMA radar data which over 0 mm

We calculate the ratio by dividing the total amount of composed radar data with the total amount of the previously measured JMA radar data. Then we recalculate the group JMA radar data by multiplying each mesh of JMA radar data with the ratio. Figure 10 show the process of correction.

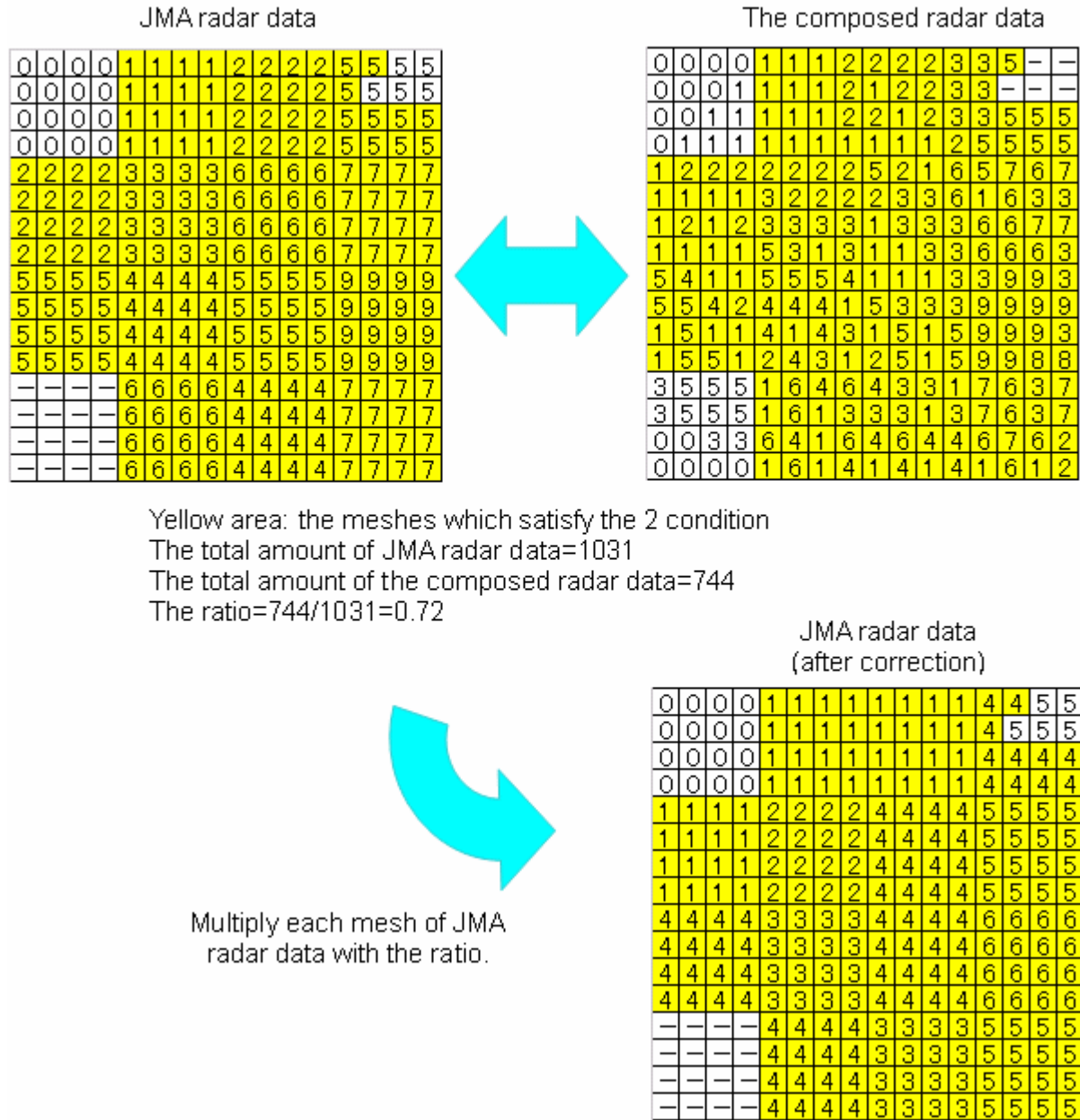


Figure 10. Correction of Group C Radar Data

Data Composition of the Group A, B and C

We compose group A, B and C data by overwriting the data in order of C, B, A in the same map divided into 250m mesh (Figure 11). In short, we use B and C group data in the area where A group radar cannot measure. This method is based on the idea we prioritize the data in order of the data reliability of each group. We call the radar data composed in this process “composed ABC radar data”.

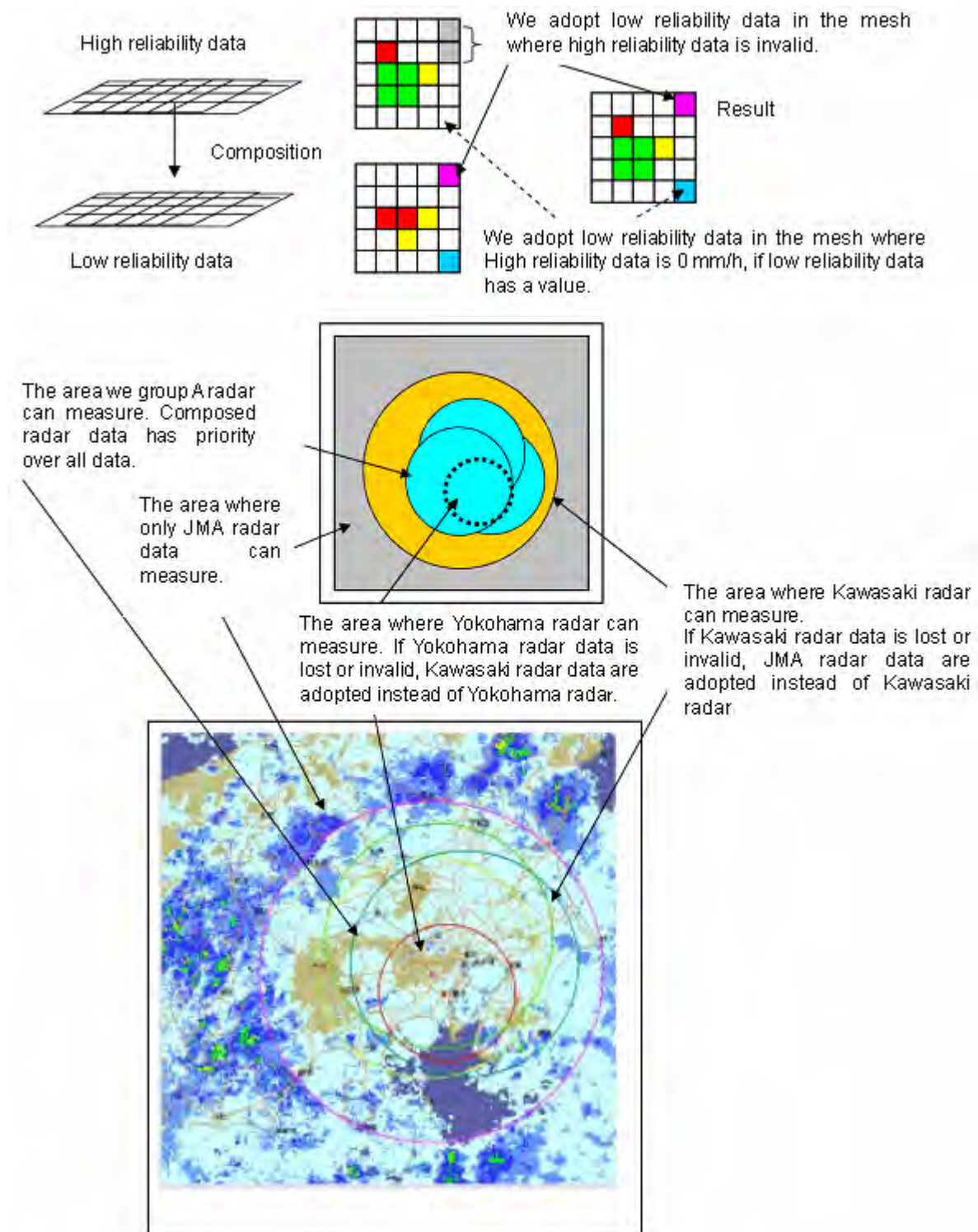


Figure 11. Data Composition of the Group A, B and C

Calibration Process

Radar data is not coincident with ground gauge data because radar system measures rainfall in high location. We use a radar dependent constant in translating P_r to R , but a radar dependent constant is affected by the rainfall intensity. In translating process, it is difficult to change a radar dependent constant according to the rainfall intensity because the amount of calculation becomes too large to update the rainfall data in one minute. So we propose the calibration method to make radar data coincident with ground gauge data. There are 86 ground gauges in Tokyo, 27 in Saitama, 22 in Yokohama and 18 in Kawasaki. New system uses all these 153 ground gauges.

- **First Calibration**

We correct the total amount of the precipitation value in all meshes of composed ABC radar data by using all ground gauges. We avoid the sudden changes over all meshes by making the total amount of precipitation measured by the radar data coincident to that of ground gauge data in First calibration. Taking update periods of radar and ground gauge into consideration, we correct radar data as the steps described below.

Step 1: Calculate the amount of the precipitation measured by radar and ground gauges in the past ten minutes

Step 2: For all areas covered by weather radars, we make a primary analysis by the least square method in order to correct the radar data to coincide with the ground gauge data in average. In this process, we can calculate the calibration coefficient.

Defining the calibration coefficient by using feedback process, we can avoid the sudden changes in total amount of precipitation.

- **Second Calibration**

We correct each mesh's rainfall value by using ground gauge near each mesh (Figure 12). Centering around an optional mesh, we use some ground gauges within a radius of 10km, 7.5km, 5km. Considering the distance between the mesh and the ground gauge, we correct the mesh's rainfall value to match to the precipitation on the ground by using the ground gauge in order of 10, 7.5, 5 km in a radius. This is how we make the radar data coincident to the ground gauge data in a local area.

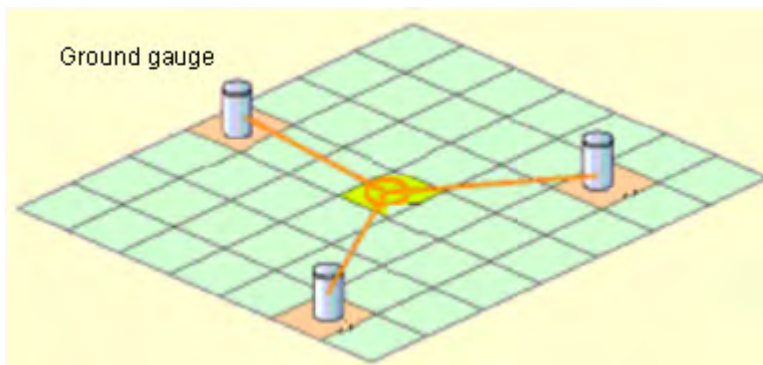


Figure 12. Image of Calibration

RESULTS

Rainfall Attenuation

Figure 13 shows the result of the elimination of rainfall attenuation in our new system. At that time, there was a heavy rain around Minato and Inagi radars. This rain became an obstruction which caused the conventional system to produce inaccurate measurement values around Saitama [shown as star in the figure]. On the other hand, a heavy rain in Saitama was able to be detected by Saitama radar, which is a part of our new system. For example, Table 3 shows the data from JMA. It shows the rainfall intensity of the star location shown in the figure. The new system shows the colors (pink 50 – 70 mm/h), which matches to the ground gauge data (69.0 mm/h). In this way, the new system can complement the limitation of the conventional system. New system increases its reliability and accuracy.



Figure 13. Elimination of Rainfall Attenuation
(Left: the Old System, Right: the New System)

Table 3. Ground Gauge Data by JMA

Date	Time	Area	Ground Gauge Data	
July.30.2007	12:30 – 12:40	Koshigaya-City, Saitama-Pref	11.5 mm (10 min)	69.0 mm (60 min)

Bright Band

Figure 14 shows the time of the occurrence of bright band. Radar beam passes around the height of bright band, so the radar indicates heavy rains for weak ones. The left side of Figure 14 shows heavy rains outside Tokyo area caused by the effect of bright band. The right side of the same figure shows the result of increasing the number of ground gauge which successfully eliminates the effect of bright band. Table 4 shows the data from JMA. It shows the rainfall intensity of the star location shown in the figure. The new system shows the colors (blue 10 – 19 mm/h), which matches to the ground gauge data (12.0 mm/h). In this way, the new system can complement eliminate the effect of the bright band.

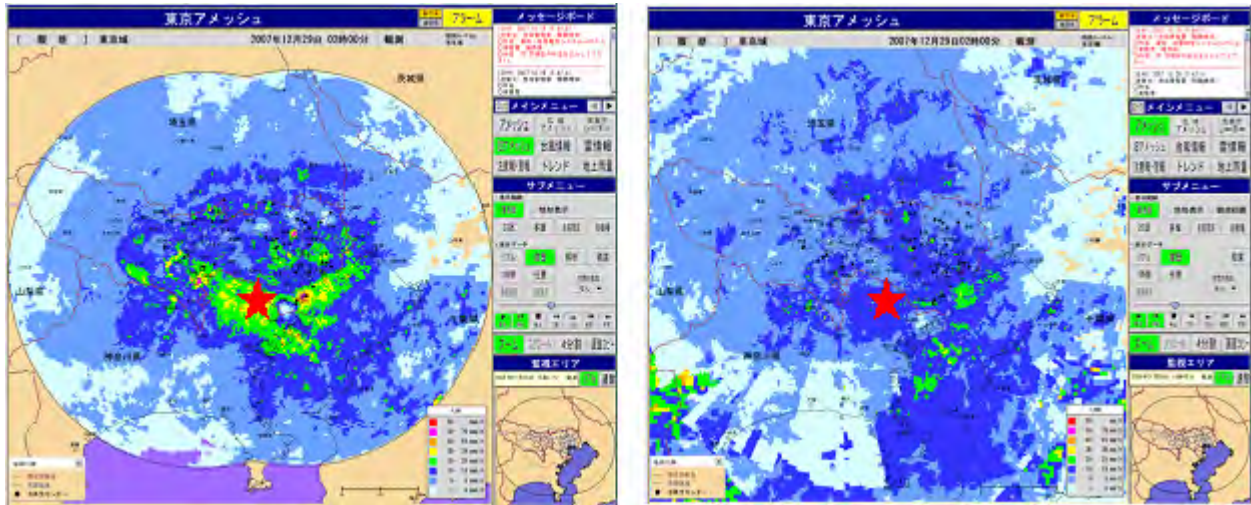


Figure 14. Elimination of Bright Band
(Left: the Old System, Right: the New System)

Table 4. Ground Gauge Data by the JMA

Date	Time	Area	Ground Gauge Data	
Dec.29.2007	1:50 – 2:00	Hiyoshi, Kouhoku-Ward, Yokohama-City	2.0 mm (10 min)	12.0 mm (60 min)

Improvement of the Data Reliability

Figure 15 shows the time of the long span rain in Kanto area. From 15:30 to 16:30, not a single ground gauges inside the area enclosed by red line in Figure 15 indicated over 15 mm. At that time, the old system had indicated the color which matches to over 20 mm/h rain for 20 minutes. But the new system show the color which match to below 20 mm/h rain during that time. This result shows composing the radar data and compensation by the ground gauge improve the radar accuracy.

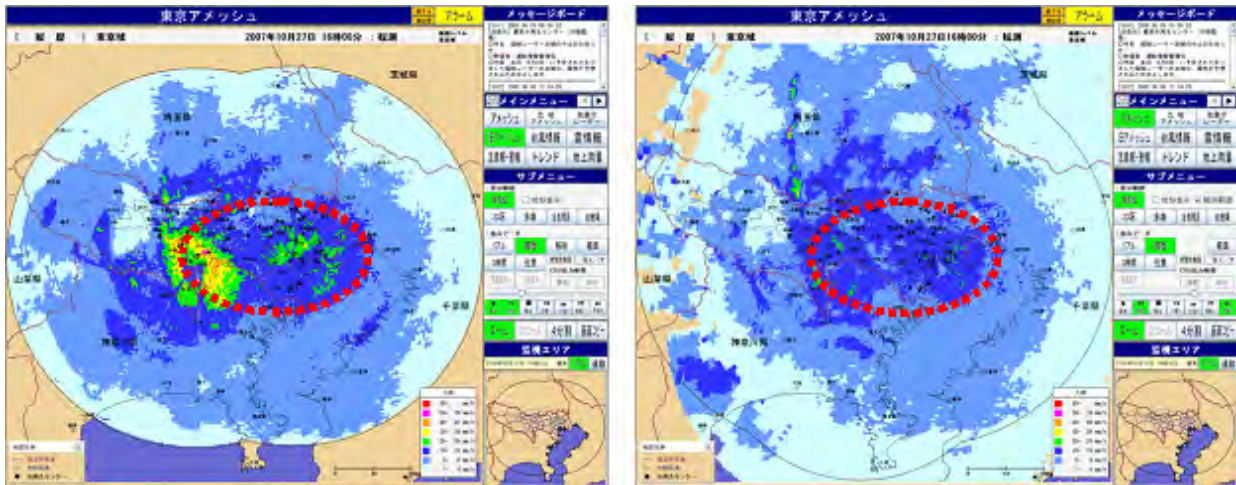


Figure 15. Improvement of the Data Reliability (Left: the Old System, Right: the New System)

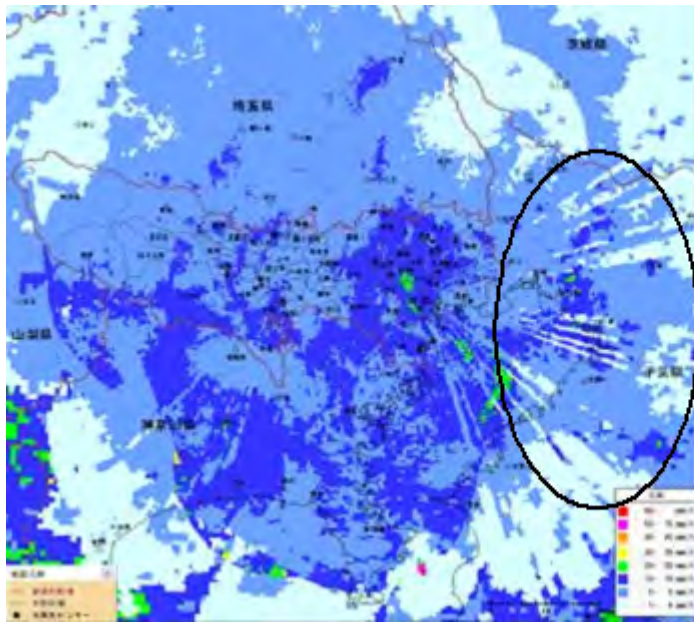
DISCUSSION

We can eliminate the effect of rainfall attenuation and bright band by composing the radar data and using the ground gauge data. And we can improve the accuracy of radar by using the reliability based on the specification of each radar. So we can say we succeeded in grasping the rainfall on the ground more accurately than ever.

However, in our current system, unnatural result will sometimes appear because of the difference of the height of the passing radar beam, the precision and the update period of the radar system. We show several examples below.

Radiation Pattern

Figure 16 shows a result of a situation in which it is difficult for our new system to determine the threshold we use in making an attenuation map because the attenuation is influenced by how heavy the rain is and the shape of the raindrops. It is difficult for us to determine the threshold by considering the shape of raindrops. Therefore, radiation pattern sometimes occurs in our results.

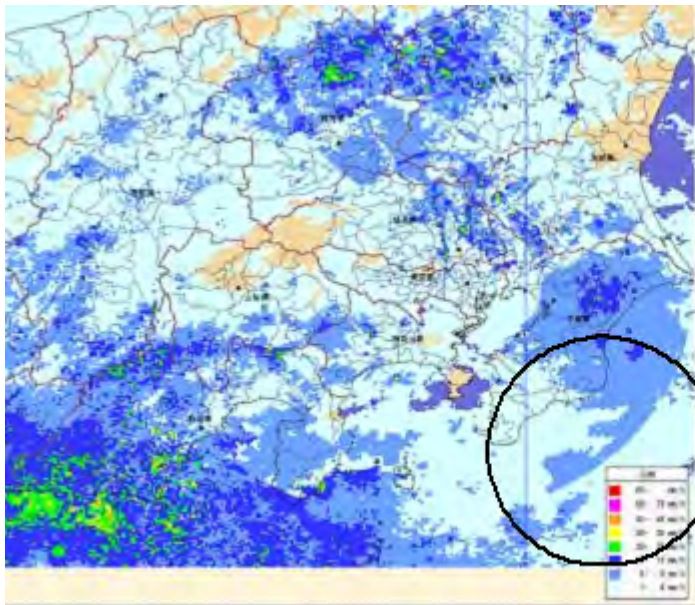


Radiation pattern

Figure 16. Radiation Pattern

Circle of the Measurable Area

The precipitation on the same point will be measured differently by each radar because of the difference of the measurement period and the height of the beam of each radar. Especially, the specification of JMA radar system is inaccurate compared to the other systems, which caused a circle of the measurable area to appear shown as in the Figure 17.



Measurable area appears as a radiation pattern

Figure 17. Circle of the Measurable Area

These are the cases in which the radar will produce unnatural results like shown above. However, the measurable area has greatly expanded by using our new system and the accuracy has also increased. To alleviate these problems, we can approach from the software side such as

improving the method to define the threshold, or from the hardware side such as improving the accuracy of the system.

CONCLUSION

We can eliminate the effect of rainfall attenuation and bright band by composing the radar data and using the ground gauge data. And we can improve the accuracy of radar by using the reliability based on the specification of the each radar. We confirmed that the composed data was effective for operation jobs through some cases of rainfall. Now, we consider the method of sensing the rainfall attenuation and compensating the lacked data by radar itself.

The new system has been used in the Bureau of Sewage, Tokyo Metropolitan Government in since April 2007 and the information obtained from the system has been updated to the Internet for public use since July 2007. These days, more and more people living in Tokyo have been accessing our website for the purpose of crisis management. We will keep trying to improving the accuracy of the rainfall data.

REFERENCES

Takashi, Yoshida (1996) Radar Engineering. *IEICE*, 238-253

平成21年12月発行

技 術 調 査 年 報
2 0 0 9

平成21年度
規格表第5類
登録第110号

編集・発行 東京都下水道局 計画調整部 技術開発課
所 在 地 東京都新宿区西新宿二丁目8番1号
電話 (5320) 6606 (内) 51-781
印 刷 東海電子印刷株式会社