

新しい電力契約の導入と設備運転方法の工夫 による電力料金削減の取り組みについて

北九州市上下水道局下水道部

施設課 ○渡邊賢吾・森永葉子・松尾清一郎

東部浄化センター 西牟田恭彦

西部浄化センター 片山直道・秦誉幸

1. はじめに

世界的な資材価格やエネルギー価格の上昇、円安の影響を受け、電力料金が高騰している。さらに、電力調達価格の高騰や電力調達の先行き不透明等から、小売電気事業者の契約停止、撤退、倒産などが発生している。

本市の電力供給契約は、これまで毎年競争入札により契約先を決定してきたが、令和4年度当初、電力高騰の影響により入札者がいないため入札不成立となり、小売電気事業者との契約ができなくなった。このため、電気事業法で定められたセーフティーネットである最終保障供給を一般送配電事業者から受けざるを得なくなった。

最終保障供給は、割高な電力料金であるため、地方公営企業局としての経営を圧迫する事態となり、その対応策として、新しい電力契約の導入と設備運転方法の工夫により、電力料金削減を実施したため、その取り組み内容について報告する。

2. 背景（電力関係）

本市は、5浄化センターと34ポンプ場があり、図1は、全施設の年間電気使用量（5年平均）における電源構成を示している。電源構成は大きく3種類に分けられ、電力会社からの買電分、隣接する環境工場のごみ発電分及び浄化センターの消化ガス発電や太陽光発電の発電分である。

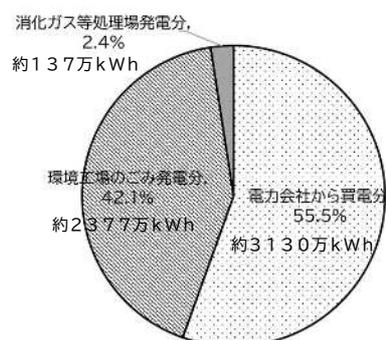


図-1 年間電気使用量における電源構成 (5浄化センター、34ポンプ場)

図2は、浄化センター・ポンプ場の維持管理費（億円）の合計額と電力会社からの買電分の電気代（以下、「電力料金」という。）の過去5年間の推移を示している。維持管理費は、物価上昇に伴い少しずつ上昇しているのに対して、電力料金は令和3年度から令和4年度にかけて急激に上昇した。令和4年度当初は、入札不調に伴い最終保障供給を受けることとなり、この状態が続けば例年の2倍となる約10億円/年の支出が見込まれ、年度末には予算不足となる状況に陥っていた。

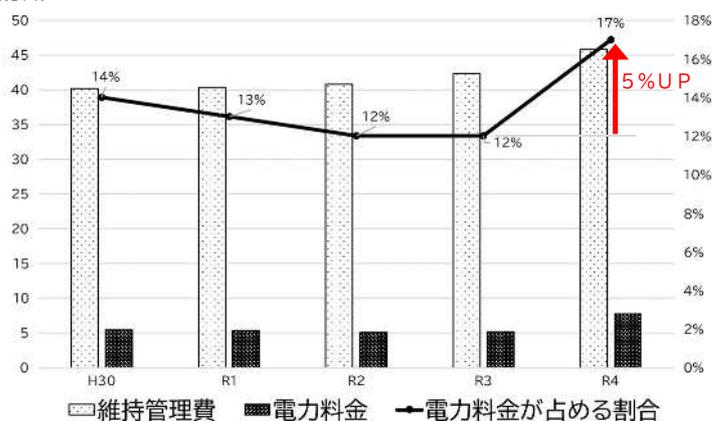


図-2 維持管理費・電力料金の推移 (5カ年)

3. 新しい電力契約（市場連動メニュー）の導入

これまでの電力契約は、標準料金メニューの競争入札により契約相手先を決めていた。令和4年度の入札不成立に伴い小売電気事業者各社へヒアリングを行ったところ、新電力及び大手電力会社は、新規契約の受

付を停止しており、再開の目途が立っていない状況であった。本市のようにどこにも電力契約の結べない需要家（特別高圧・高圧）は、全国的に増加し、最終保障供給の契約件数が、令和3年11月の455件から1年弱で約100倍の45,876件と急増した。¹⁾

新電力は大手電力会社と違い、ほとんどの企業が発電設備を所有していないため、発電事業者やJEPX（日本卸電力取引所）とよばれる卸電力市場から電気を調達し、それを需要家に販売している。令和3年度から令和4年度にかけては、電力調達価格が著しく高騰し、月平均市場単価が1か月で2倍近く上昇する事例もみられた。²⁾

新しい電力契約の導入について検討を進める中、電力量単価が固定された標準料金メニューではなく、スポット市場に連動したメニュー（以下、「市場連動メニュー」という。）であれば、新規受付の可能な小売電気事業者を確認した。市場連動メニューとは、電力量単価が、JEPXのスポット市場で取引される30分毎の約定価格により決定するメニューのことである。（スポット市場は、1日を30分単位に区切り48コマの商品を取引している。）

図3は、標準料金メニューと市場連動メニューの計算式を示している。市場連動メニューの特徴は、標準料金メニューよりも基本料金が安くなる傾向があり、電力量料金単価が30分毎に変化する点である。

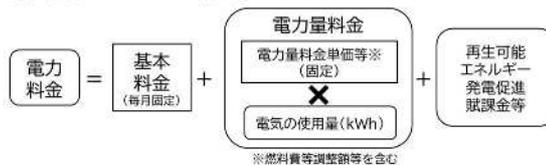
図4、図5は、1日当たりのスポット市場単価の推移を示しており、季節や天気により変動する傾向がある。特に、太陽光発電量の多い昼間の一部時間帯においては、電力余剰が生じ極端に単価が低下する傾向がある。一方、夕方から夜間にかけての時間帯や午前中の一部時間帯においては、単価が上昇する傾向がある。このため、電気の使い方次第で電力料金が大きく変動するが、現状の使い方では試算すると最終保障供給の電力料金よりも安くなることが分かった。

以上から市場連動メニューを導入し、電力料金の削減を実施した。

4. 設備運転方法の工夫

図6は、令和4年度の曾根浄化センターにおける電力使用量の内訳を示しており、ブロワと汚水ポンプで7割近くを占めている。ポンプ場の電力使用量についても、ポンプがほとんどを占めているため、今回はポンプとブロワを対象として、設備運転方法の工夫を行

標準料金メニュー（従来）



市場連動メニュー（今回）

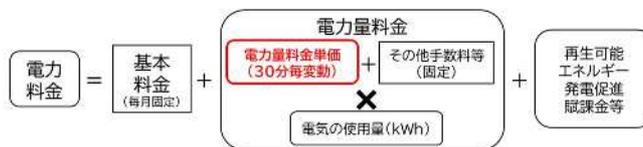


図-3 標準料金メニューと市場連動メニューの計算式

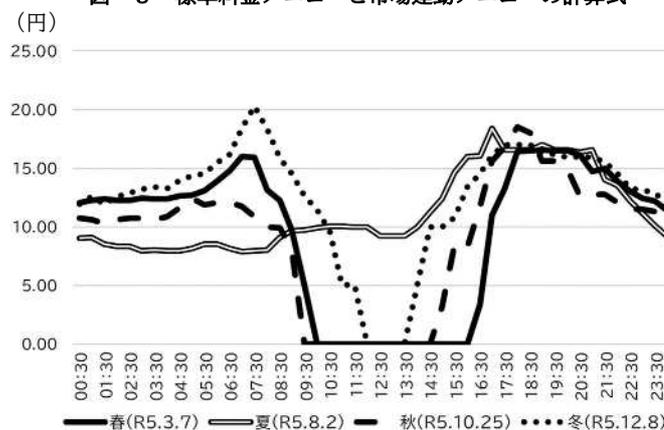


図-4 季節別スポット市場単価（九州エリアプライス）

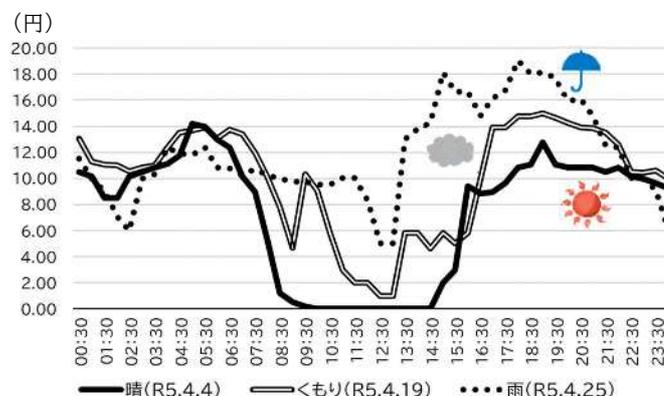


図-5 天気別スポット市場単価（九州エリアプライス）

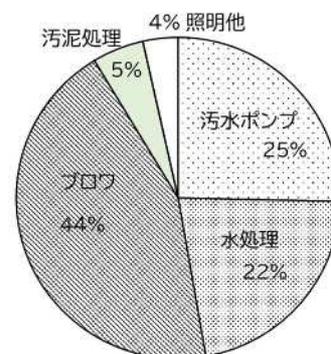


図-6 曾根浄化センターにおける電力使用量の内訳（令和4年度）

った。なお、時間帯は、スポット市場単価がもっとも高騰する17時～20時の3時間を対象とした。

ポンプ場では、ポンプの送水時間を調整することで、ピークシフト運転を実施した。事前にできるだけ送水して流入渠を低水位にしておき、17時から20時の間、汚水ポンプの送水停止を行った。送水停止中、流入渠が高水位（ポンプ場毎に設定）に達する場合や雨天時等の場合（11時発表の降水確率が40%以上の場合を含む）は、中止するものとした。

浄化センターでは、汚水ポンプのピークシフトとブロワの節電運転を実施した。

曾根浄化センターの汚水ポンプは、対象時間帯に110kWポンプ2台運転から185kWポンプ1台運転とした。ポンプ場と同様に、事前に流入渠を低水位にしておき、流入渠が高水位に達する場合や雨天時等の場合（11時発表の降水確率が40%以上の場合を含む）は、中止するものとした。

曾根浄化センターのブロワは、対象時間帯に170kWブロワ2台運転から250kWブロワ1台運転とした。反応槽末端のDOや水処理の状況を確認しながら、継続可否を判断し、その他設備等に異常のある場合は、中止するものとした。

図7、図8は、港町ポンプ場及び曾根浄化センターの晴天日における電力使用量を示している。設備運転方法の工夫により、対前年度比で対象時間帯において、港町ポンプ場では約80%、曾根浄化センターでは約10%削減することができた。

5. おわりに

新しい電力契約（市場連動メニュー）の導入とメニューに合わせた設備運転方法の工夫により、令和4年10月から令和5年9月までの1年間で、最終保障供給と比べて約3.9億円の電力料金を削減することができた。

最近では、電力契約の新規受付も一部で再開され、需要家の選択肢が増えているが、新たに容量拠出金や市場価格調整の追加、託送料金の見直しなどにより、電力料金を取り巻く環境は年々変化している。このため、需要家自身が最新の電力契約から最適なものを取捨選択していく必要がある。

今後も引き続き、新しい電力契約の導入とその契約に対応した設備方法の工夫について検討し、電力料金の削減の取り組みを進めて行く。

参考文献

- 1) 経済産業省 電力・ガス取引監視等委員会「令和4年11月1日時点における最終保障供給契約件数を公表いたしました」、<https://www.emsc.meti.go.jp/info/public/news/20221115001.html>
- 2) 一般社団法人 日本卸電力取引所、<https://www.jepx.jp/>

問い合わせ先：北九州市上下水道局下水道部施設課 渡邊 賢吾

TEL：093-582-2485 E-mail：sui-shisetsu@city.kitakyushu.lg.jp

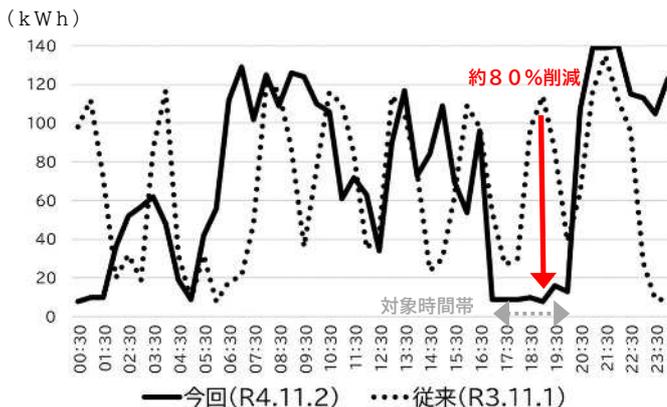


図-7 港町ポンプ場 電力使用量（ピークシフト）

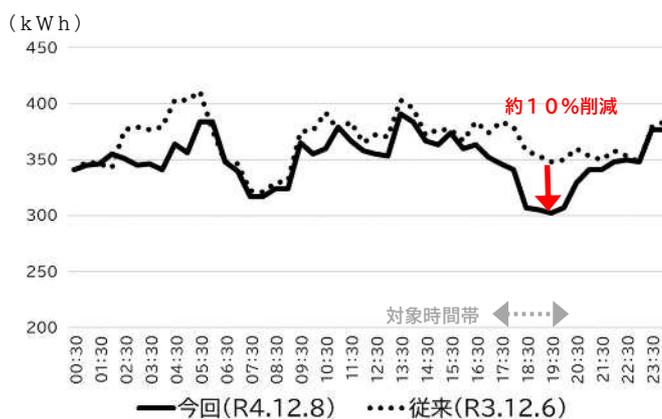


図-8 曾根浄化センター 電力使用量（ピークシフト+節電運転）

危険物一般取扱所である合流ポンプ場の 緊急用燃料供給ステーション化の取組事例

北九州市上下水道局東部浄化センター ○渡邊健太・堤修士・末吉明・古川聡
塩足和之・村本好広・雪竹守

1. はじめに

近年、地震や豪雨、台風などによる災害が頻発化しており、災害に伴う停電被害も発生している。下水道BCP策定マニュアル2019年の改訂において、「汚泥処理施設（下水処理場、汚水ポンプ場）については、72時間の停電時間（燃料供給の停止を含む）を想定した業務継続について検討する。」と記載された。これを受け、本市でも業務継続可能時間の検討を行ったが、地下燃料タンクの容量不足や流入渠が浅く管内貯留可能量が少ない等、燃料の供給が無ければ72時間の業務継続が厳しい施設が複数確認された。また、本市は石油商業・協同組合と緊急時優先配送の協定を締結しているが、昨今の運転手不足等により夜間や休日等においては燃料の手配が間に合わない可能性があるため、災害時の安定した燃料供給における対策が必要であった。

そこで、対策の一つとして、危険物一般取扱所である大型の合流ポンプ場の燃料小出槽を一部改造し、緊急用燃料供給ステーション化を行ったため、本稿で取り組み事例を報告する。

2. 本市下水道施設概要

本市の下水道事業は1918年に着工し、2018年に100周年を迎えた。現在は5浄化センター34ポンプ場の下水道施設を所管している。今回緊急用燃料供給ステーション化を行った戸畑ポンプ場は、2006年に老朽化した3つのポンプ場が統合されてできた合流ポンプ場であり、従来の3つのポンプ場の処理区分を賄うために処理能力が大きく、地下燃料タンク、燃料小出槽の容量も大きく設計されている。また、若松区と戸畑区を結び、2022年に国の重要文化財に指定された若戸大橋の真下にあり、北九州市下水道施設位置図（図-1）のとおり本市の中央付近に位置している。戸畑ポンプ場の施設概要を（表-1）に示す。

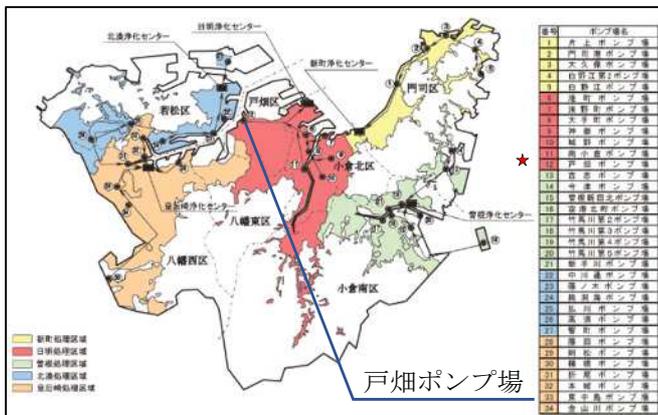


図-1 北九州市下水道施設位置図

表-1 戸畑ポンプ場施設概要

下水排除方式	合流式
汚水送水先	日明浄化センター
雨天時放流先	洞海湾
建屋構造	地上3階、地下3階
汚水ポンプ保有台数	4台(電動機)
雨水ポンプ保有台数	5台(原動機)
天井クレーン(クラブトロリ式)	定格荷重: 25/5 t
燃料油種	A重油
地下燃料タンク容量	25,000L
燃料小出槽容量	5,000L
日最大処理量(2018-2022年度)	404,680m ³ /日

3. 取組概要について

(1) 緊急用燃料供給ステーション化のいきさつ

地下燃料タンク定期点検において、当課所管の日明浄化センター非常用発電機用地下燃料タンクに不具合が見つかったため、使用停止措置を行った。その後、更新工事の計画を行ったが、タンクの更新には数か月必要であった。

当該機場の場合、地下燃料タンクの更新が完了するまでの間は燃料小出槽分しか容量がないため、非常用発電機を4時間程度しか運転できないことが判明した。また、油種がA重油であるため軽油程確保が容易ではなく、停電時に燃料の継続供給をどのように行うか検討したところ、危険物一般取扱所である合流ポンプ場の戸畑ポンプ場に着目した。

消防法上、危険物一般取扱所は所轄の消防署から許可が下りた場合、燃料を別の場所に輸送するための取り扱いが可能である。また、戸畑ポンプ場は建屋内にトラックを入れることが可能であるため燃料小出槽横に停めることができ、停車位置で天井クレーンが使用できることから、燃料のドラム缶による持ち出しが容易であると考えた。そこで、所轄の消防署である戸畑消防署と協議を重ね、戸畑ポンプ場の緊急用燃料供給ステーション化を実施した。

(2) 燃料の日最大採取量の設定

戸畑ポンプ場は開設当初から危険物一般取扱所であり、緊急用燃料供給ステーション化前の届出は指定数量の8.11倍であった。燃料採取量を含めて指定数量の10倍を超えると施設の改造等が必要となるため、危険物一般取扱所であっても燃料採取量は無制限ではない。指定数量の10倍を超えて燃料の取り扱いを行うことはできないため、全体的な計算の見直しを行ったところ指定数量の8.55倍となった。よって、燃料小出槽からの採取量を2,000L/日に設定し、燃料採取量を含めた指定数量の倍数を9.55倍として再登録を行った。

(3) 設備の改造内容

戸畑ポンプ場燃料小出槽ドレン配管は防油堤の廃液ピットまで延びていたため、ドレンバルブ二次側フランジを取外し、鋼管から耐油ホースに変更した。また、耐油ホースの先に給油ノズルを取付け、容易に給油できるようにした。



写真-1 給油作業

(4) 燃料の採取及び給油方法

給油時の漏洩防止のため床に鋼板製の防油堤を置き、その上に空のドラム缶を設置する。耐油ホースの先のノズルをドラム缶に差し込み、ドレン元バルブを開け、ノズルから給油を行う。(写真-1) 燃料小出槽がドラム缶給油口よりも高い位置にあるため、ポンプ等は使わず給油可能である。給油したドラム缶は、天井クレーンを使用しトラックに積み込む。(写真-2) 給油したドラム缶から別機場への給油は、ポータブル電動ポンプを使用し、車上から地下燃料タンクへ直接行うことが可能である。



写真-2 ドラム缶の積込作業

4. 緊急燃料供給の実例

2022年9月19日(月)15時10分に当課所管の新町浄化センターにて停電が発生した。事故当日早朝に台風が通過しており、(図-2)台風の吹き返しにより樹木が電力会社からの受電点に設置する負荷開閉器(以下PAS)二次側に接触したことによる構内短絡事故であった。調査の結果PAS及び末端処理材が損傷を受けており、取り替えが必要であったため修繕依頼を行ったが、地元の電材店には在庫が無く、当日復旧が不可能となった。19時40分時点でタンク残量と燃料消費量から非常用自家発電設備継続運転可能時間を算出したところ、翌20日4時頃に燃料が枯渇することが予想されたため石油小売業者に依頼を行ったが、手配が間に合わないとの連絡を受け、戸畑ポンプ場からの燃料輸送を20日0時40分に行った。(写真-3)20日は9時から20時30分まで複数回にわたり石油小売業者よる給油ができたため、戸畑ポンプ場からの燃料輸送は行わずに運転を継続した。結果として復旧完了は21日2時30分であり、停電時間は36時間に及んだが、燃料不足等による機能停止はなく、水処理等への影響もなかった。



図-2 事故時の台風進路



写真-3 事故時の燃料の給油作業状況

5. 今後

今回の事故を受け、本取り組みが下水道BCP策定マニュアルにおける「場外での備蓄燃料の確保」が適用できる事例であったと考え、災害発生時において有効であることが分かった。戸畑ポンプ場は本市の中心付近に位置し、他機場にはない消防法に準拠した燃料抜取設備を設けたことから、本市下水道施設における緊急用燃料供給ステーションと位置づけ有事の際に活用する。また、定期的に今回の事故事例に沿った訓練を実施し、有事の際に確実に業務遂行できるよう備えることとする。

今回の取り組み実施あたり、関係者の皆様にはご指導、多大なご協力を賜りましたこと心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 下水道BCP策定マニュアル 2022年版 自然災害編 国土交通省・国土保全局下水道部

問合せ先：北九州市上下水道局下水道部東部浄化センター保全係 渡邊 健太
〒803-0801 北九州市小倉北区西港町96番地の3
TEL 093-581-5661 E-mail kenta_watanabe01@city.kitakyushu.lg.jp

圧送管トラブルに伴う 北湊浄化センターへの影響と対応について

北九州市上下水道局 ○野中 菜津枝・武田 和博・佐藤 文章
安武 諒平・森永 葉子・岩谷 友美
(株)北九州ウォーターサービス 北湊事業所

1. はじめに

北湊浄化センターは、分流式（一部合流式）の処理場として、響灘、洞海湾に面した工業地帯を含み、北九州市内北西部の水処理を担っている。処理方式は標準活性汚泥法であり、処理能力は44,000m³/日である。

令和5年7月の豪雨において、北湊浄化センターの中継ポンプ場に圧送管トラブルが発生し、一部の流入系統を他浄化センターへ切り替えた。それに伴い、北湊浄化センターの流入水量が減少し、浄化センターや中継ポンプ場の運転に影響を及ぼした。北湊浄化センターの処理区は、比較的工場の割合が多いという特徴がある。その中で、住宅地域からの生活排水由来の汚水が減少したことで、汚泥処理へ大きな影響があった。その内容や対応について報告する。

2. 圧送管トラブルの概要

令和5年6月末から警報級の豪雨が立て続けに発生し、7月3日、高須ポンプ場から約800m下流の圧送管が破損した。当該管は、高須ポンプ場から弘川ポンプ場へ送水している管渠である。事故発生後、すぐに応急処置が行われたが、その後、破損部前後の管更生が必要であることがわかり、工事が完了するまでの間、当該管では送水が不能となった。最終的には、約5箇月後の12月に復旧し、影響は長期間にわたった。

図-1の通り、通常、高須ポンプ場に流入する汚水は、弘川ポンプ場、藤ノ木ポンプ場を経由して北湊浄化センターに送水される。圧送管が復旧するまでの間、高須ポンプ場に流入する汚水は、送水ルートを変更して、北湊処理区の区域外である折尾ポンプ場を経由して皇后崎浄化センターへ送水されることとなった。

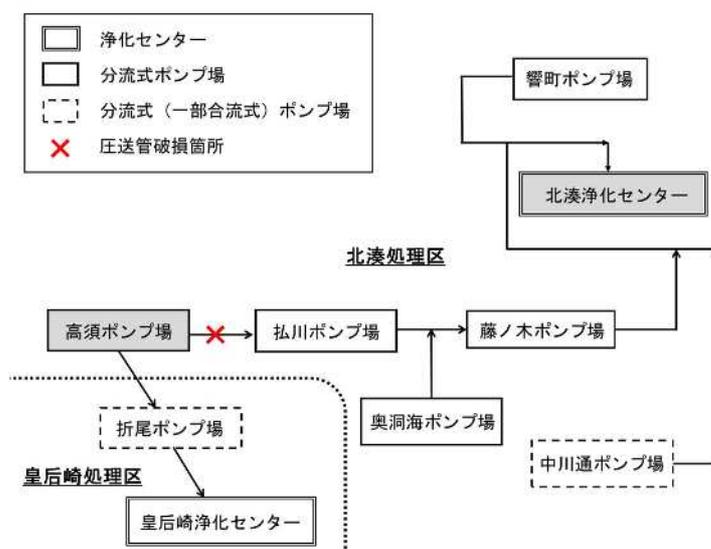


図-1 北湊浄化センター流入系統図（一部抜粋）

3. 北湊浄化センターへの影響

圧送管トラブルにより、高須ポンプ場に流入する汚水の全量を皇后崎浄化センターへ送水した。図-2の通り、北湊浄化センターの流入水量は大幅に減少した。また、8月以降は渇水期並みの降水量であり、想定よりも流入水量が少なくなった。北湊浄化センターの流入水量は、約30,000m³/日から、高須ポンプ場の送水流量分の約7,000m³/日が減少し、約23,000m³/日まで約3割減少した。また、図-3の通り、流入水量の減少に伴い、汚泥発生量が減少した。

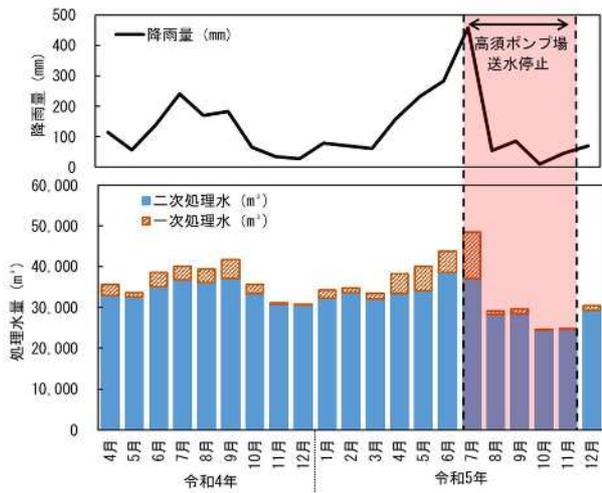


図-2 流入水量月平均 (m³/月) 及び降雨量 (mm)

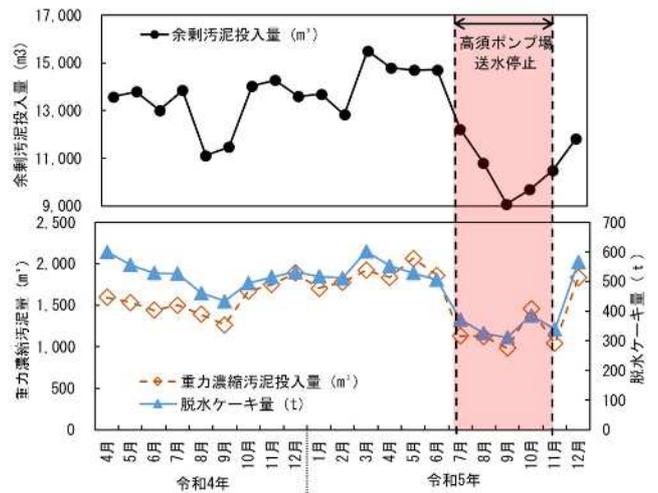


図-3 重力濃縮汚泥量及び余剰汚泥投入量月平均 (m³/月)・脱水ケーキ量 (t/月)

北湊浄化センターでは、汚泥脱水機で初沈引抜汚泥（重力濃縮汚泥）と余剰汚泥の混合汚泥を脱水し、脱水ケーキは汚泥燃料化施設等へ搬出している。

7月3日以降、1箇月程度は通常の汚泥処理を継続していたが、図-4の通り、8月中旬から脱水ケーキの含水率が悪化した。この結果、北湊浄化センターの脱水ケーキの搬出先で支障が生じる目安である、含水率78%を超える日が多くなった。含水率悪化の要因として、流入汚泥が減少した結果、重力濃縮汚泥の引抜量が減少し、混合汚泥の重力濃縮汚泥量を十分に確保できなかったことが考えられた。その対策として、余剰汚泥投入量の減量や高分子凝集剤の増量等により調整を行ったが、含水率は安定しなかった。

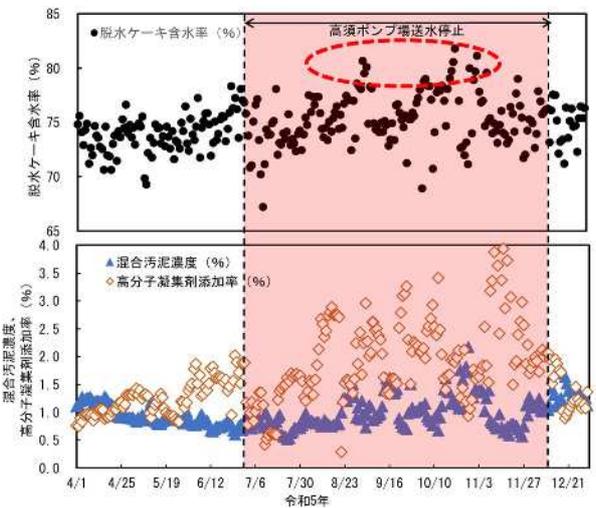


図-4 含水率、混合汚泥濃度及び高分子凝集剤添加率 (%)

4. 脱水性悪化の要因分析

含水率悪化の要因を分析するため、汚泥の腐敗、汚泥に含まれる繊維状物の減少について調査を行った。

(1) 汚泥の腐敗

北湊浄化センターでは、令和2年、令和3年にも初沈及び重力濃縮汚泥が腐敗し、脱水性が悪化したことがあった。今回、夏期で水温が高く、腐敗が進行しやすい条件であったことから、汚泥が腐敗している可能性が考えられた。そこで、腐敗の傾向を示すものとして、初沈引抜汚泥、重力濃縮汚泥及び混合汚泥の溶存硫化物 (mg/L) について調査した。

脱水性が悪化した8月下旬より調査を行ったが、図-5の通り、初沈引抜汚泥、重力濃縮汚泥及び混合汚泥において溶存硫化物が検出され、汚泥の腐敗が進行していることが確

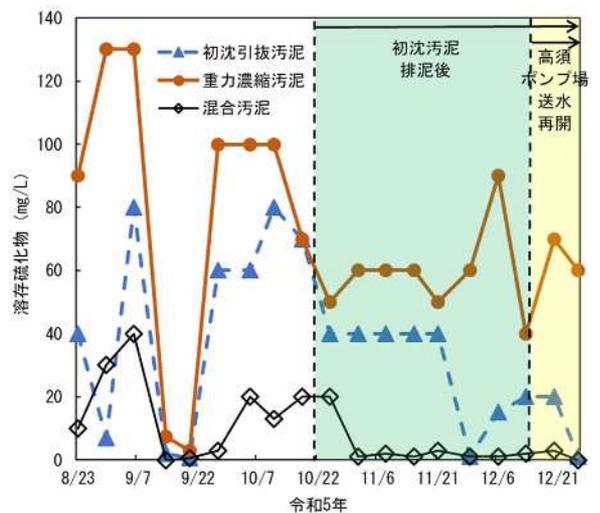


図-5 溶存硫化物 (mg/L)

認められた。初沈引抜汚泥の腐敗については、令和5年6月から初沈汚泥の排泥弁が1箇所故障しており、夏期の水温上昇から、池底に滞留した汚泥が腐敗したとも考えられた。10月22日より、池底に堆積した汚泥を排泥した結果、初沈引抜汚泥及び重力濃縮汚泥については腐敗の状況は改善し、混合汚泥については腐敗の傾向は見られなかった。

(2) 汚泥に含まれる繊維状物の減少

高須ポンプ場は住宅が多い地域であり、その地域からの流入がなくなることにより、生活排水由来の汚水が減少し、脱水に有効な繊維状物が不足したと考えられた。そこで、重力濃縮汚泥及び混合汚泥に含まれる繊維状物について調査した。

汚泥脱水機に求められる、混合汚泥の繊維状物の含有率は20%以上であり、脱水性に大きく影響する指標である。図-6の通り、混合汚泥の繊維状物は、高須ポンプ場の流入がない期間は少なくなっており、20%以上を満たした日は1日しかなく、最低値は4%であった。これより、混合汚泥の繊維状物は汚泥脱水機的设计条件を大きく下回り、脱水性が悪化していることがわかった。また、重力濃縮汚泥についても、高須ポンプ場からの流入がない期間は、繊維状物は減少していた。

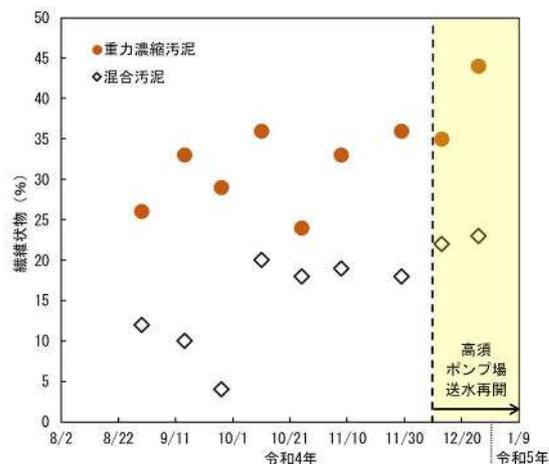


図-6 汚泥に含まれる繊維状物 (%)

5. まとめ

圧送管トラブルに伴い、北湊浄化センターへの流入水量は約3割減少し、汚泥の脱水性が悪化した。要因を調査したところ、腐敗の影響や汚泥の質の変化によるものであることがわかった。具体的には、初沈汚泥の排泥弁が1箇所故障し、夏期の水温が高い中で池底に汚泥が長期間滞留したことにより、「汚泥の腐敗」が起きていた。それに加えて、住宅地が多い地域からの流入が少なくなり、「汚泥に含まれる繊維状物の減少」が起きていた。その二つの現象が同時に発生したことにより、脱水性の悪化が起きたと考えられる。今回、得られた知見としては、以下の通りである。

- (1) 設備の不具合により、汚泥が初沈内に長期間留まり、腐敗が進行した。特に、夏場は水温の上昇により腐敗が進行しやすいため、初沈汚泥の滞留に留意する。
- (2) 混合汚泥の繊維状物は、汚泥脱水機的设计条件を大きく下回っていたが、高須ポンプ場からの流入再開に伴い、繊維状物は脱水機的设计条件である20%以上を満たした。この結果より、安定的な汚泥処理を継続するには、脱水性の良い重力濃縮汚泥投入量を十分確保するか、処理区の受け持つ地域の特性を踏まえて、汚泥処理に必要な繊維状物を十分に確保する必要がある。

6. おわりに

現在、処理区域の再編に伴い、高須を含む北湊処理区の一部を皇后崎処理区へ接続する幹線の整備が進められている。既存の圧送管は、処理区域間のネットワーク施設として引き続き現有能力を確保されるが、高須を含む一部の地域は、皇后崎処理区へ送水される計画となっている。北湊浄化センターの流入水量の大幅な減少や、流入基質の変化に伴う脱水性の悪化等、圧送管トラブルから得られた知見を、処理区域の再編に伴う処理場やポンプ場の運用に活かしていきたい。

問い合わせ先：北九州市上下水道局下水道部西部浄化センター 野中 菜津枝

住所 〒807-0813 福岡県北九州市八幡西区夕原町1番1号

TEL 093-631-4635 E-mail natsue_nonaka_dw@city.kitakyushu.lg.jp

生物学的りん除去と活性汚泥中の全りん濃度に関する調査

北九州市上下水道局 陣矢大助・○岩谷友美・飯田義和・小川裕信・山口理香
(株)北九州ウォーターサービス 井上京子

1. はじめに

北九州市内の5つの浄化センターは、いずれも疑似嫌気好気活性汚泥法で運用している。このうち日明浄化センターは、放流水中の全りん濃度が、他の浄化センターと比べて高い(表-1上)。この理由として、当浄化センターが本市で唯一、汚泥を消化処理しており、りん濃度の高い脱水分離液が水処理に戻されるため、他施設と比べ、りんが脱水汚泥経由で排出される割合が小さく、放流水経由で排出される割合が大きいことが挙げられる(表-1下)。

また、当センターの最初沈殿池流出水の酢酸濃度は、そもそも他施設と比べて低い(図-1)。このため、良好な生物学的りん除去が続きにくいことも、理由に挙げられる。なお、過去に汚泥処理トラブルで腐敗水が返流された事例では、一定期間、りんは良好に除去された¹⁾。

本研究では、このような特徴をもつ日明浄化センターの生物学的りん除去について、活性汚泥の全りん濃度を含めて調査し、活性汚泥へのりんの蓄積と、それによるりん除去への影響について、若干の知見を得たので報告する。

2. 方法

対象施設の概要を表-2に示す。調査期間は、令和5年7月4日から12月25日で、水処理7系統のうち4系(標準槽)を対象とした。なお最初沈殿池流出水・返送汚泥・反応タンク流出水は、全系で共通である。採水は、概ね週1回スポットで行い、表-3に示す項目を測定した。なお返送汚泥の全りん等一部の項目は、期間の後半にのみ測定した。また返送汚泥を100mLふらん瓶5本にとって密栓し、経過時間ごとによりん酸態りん(PO₄-P)濃度を測定した。

3. 結果と考察

(1) りん除去の概況

図-2にりん除去の概要を示す。なお降雨の影響があった時期を網掛けで示した(降雨①~④)。降雨①・②・④では、嫌気槽のORP(図-2B)や酢酸(図-2C)に顕著な降雨の影響がみられた。返送汚泥のPHA(図-2D)は、降雨①~④で値が低下したが、それ以外では概ね1.5mg-C/g-SS以上が維持された。同項目は、良好な生物学的りん除去のために2.0mg-C/g-SS程度の維持が望ましいとされ³⁾、本市の別調査⁴⁾でも、これを支持する結果が得られている。嫌気槽における

表-1 各浄化センターの水処理系の全りん濃度及びりん収支

全りん mg/L (H29.1 ~R3.12)	処理場流入水	新町	日明	曾根	北湊	皇后崎
		初沈流入水	3.8	2.8	4.5	2.2
りん収支 % <td>初沈流出水</td> <td>4.0</td> <td>4.2</td> <td>4.2</td> <td>2.4</td> <td>2.0</td>	初沈流出水	4.0	4.2	4.2	2.4	2.0
	放流水	2.5	2.5	2.4	2.1	1.7
(H20)	りんの流入	0.3	1.3	0.2	0.4	0.3
	脱水汚泥経由の排出	100	100	100	100	100
	放流水経由の排出	93	69	98	84	96

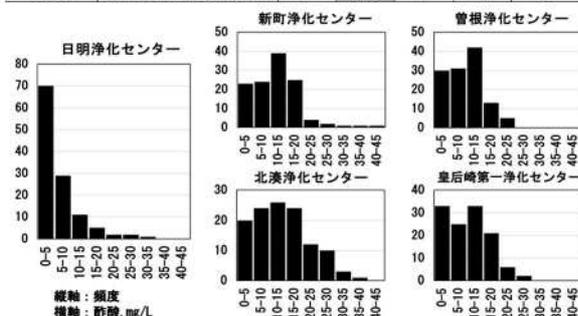


図-1 各浄化センターの最初沈殿池流出水酢酸濃度の出現頻度(2017~2021年、n=120)

表-2 施設概要 (R4年度)

処理能力	263,000 m ³ /日	
処理方法(下水)	標準活性汚泥法(疑似嫌気好気)	
処理方法(汚泥)	嫌気性消化法	
最初沈殿池	標準槽	2,381 m ³ 、4池
	二階槽	4,759 m ³ 、4池 2,379 m ³ 、1池
反応タンク	標準槽	5,061 m ³ 、4池
	深槽	15,200 m ³ 、3池
	標準槽	2,970 m ³ 、4池
最終沈殿池	標準槽	5,060 m ³ 、1池
	二階槽	3,730 m ³ 、1池 8,790 m ³ 、2池
	標準槽	3,350 m ³ 、6槽 8,450 m ³ 、2槽
滞留時間	初沈	3.9h
(年平均)	反応タンク	標準槽8.5h、深槽13h
	終沈	標準槽4.9h、深槽7.3h
余剰汚泥引抜率(年平均)	1.3%	

表-3 調査項目と測定方法

調査項目	採取箇所				測定方法
	初沈流出	返送汚泥	嫌気槽末	好気槽末	
PHA*	○	○	○	○	アルカリ分解HPLC ²⁾
酢酸	○	○	○	○	0.2μmフィルタでろ過。HPLCで測定
全りん	●	●	●	●	ペルオキシニ硫酸カリウム分解法
りん酸態りん	●	●	○	○	0.45μmフィルタでろ過。デジタルPACテスト及びイオンクロマトグラフで測定
RSSS	○	○	○	○	ガラス繊維ろ紙法

*: ポリヒドロキシアルカン酸、●: 調査期間後半のみ

ポリリン酸蓄積細菌 (PAO) によるりん酸の放出 (図-2E) は、降雨①~④で低下した。好気槽でのりん酸の摂取 (図-2F) は、降雨①・②とその直後は不良で、10月以降は良好であった。

(2) 良好なりん除去の継続

降雨②と③の間の10月は少雨傾向で、このため、最初沈殿池 (初沈) 流出水の酢酸濃度 (図-2C) は、9/26~10/31の平均で19mg/Lと、昨年までの検出状況 (図-1) と比べ、大幅に高かった。この期間は、生物学的りん除去が良好で、後述するように活性汚泥へのりんの蓄積が進んだ。

(3) 活性汚泥へのりんの蓄積と放出

図-3に、返送汚泥及び嫌気槽末汚泥の全りん濃度 (汚泥乾燥重量当り%, 以下同じ) の推移を示す。返送汚泥の全りん濃度は、10/3の2.5%から11/14の4.0%へと増加し、その後3.1%に減少して再び増加するという推移をとった。つまり、生物学的りん除去が良好な時期に活性汚泥のりんの蓄積が進み、降雨③の11/21の時点で、何らかの要因でりんが放出された。

降雨③の11/21の状況を見ると、嫌気槽ORPと酢酸濃度は良好だが、嫌気槽でのりん酸放出濃度は低かった (図-2E)。また、活性汚泥の指標値

(図-4) は、11/21前後のMLSSは微増、SV・SVIは微減で推移しており、値に異常はなかった。

本市の過去の調査 (H13, n=207, 対象: 全浄化センター) では、返送汚泥の全りんの濃度範囲 (平均±2σ) が2.2~4.2%であったことから、11/14時点での返送汚泥の全りん濃度 (4.0%) は、ほぼ上限に近い濃度であり、これ以上りんを蓄積しにくい状態であったと推察される。

(4) りん放出の原因

11/21における活性汚泥からのりん放出の経緯を調べるため、反応タンク流入水量と、放流水の全りん負荷量の推移を図-5に示す。

図より、りん除去が不調であった10/5までを除くと、放流水全りん負荷量の増加タイミングは、反応タンク流入水量の増加タイミング (矢印) とほぼ一致していた。これは、処理時間不足によるりん除去不良として、よくみられる現象である。しかし、前述のりん放

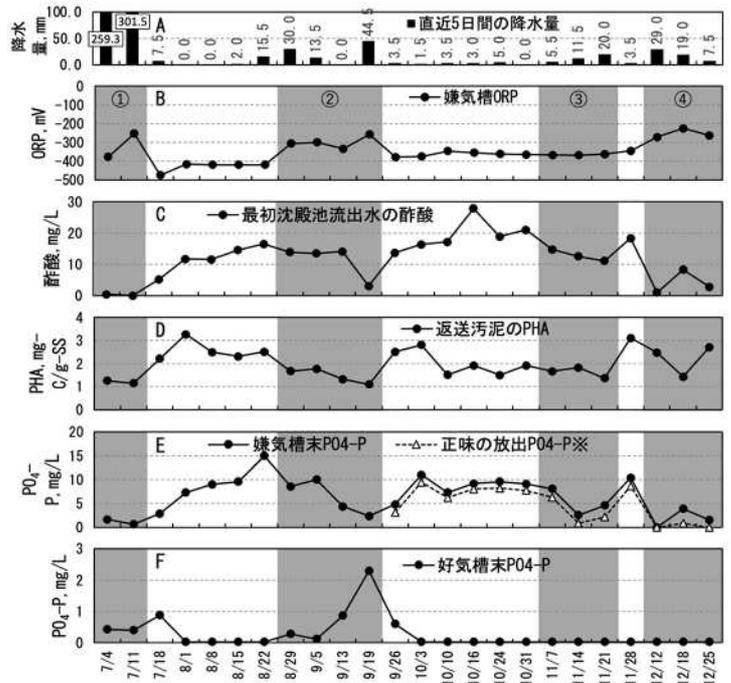


図-2 りん除去に関連する値の推移

※正味の放出 PO_4-P ・嫌気槽末の PO_4-P から嫌気槽流入水の PO_4-P (初沈流出水の PO_4-P 、返送汚泥の PO_4-P 、返送汚泥率から計算)を差し引いて算出 (参考値)。

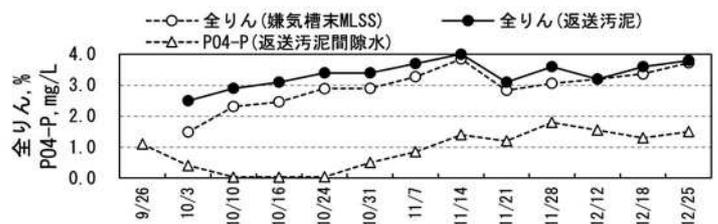


図-3 活性汚泥の全りんの推移

※全りん (嫌気槽末MLSS) は、全りん (返送汚泥) からりんの摂取分を差し引き、MLSS当りの値として算出 (参考値)。

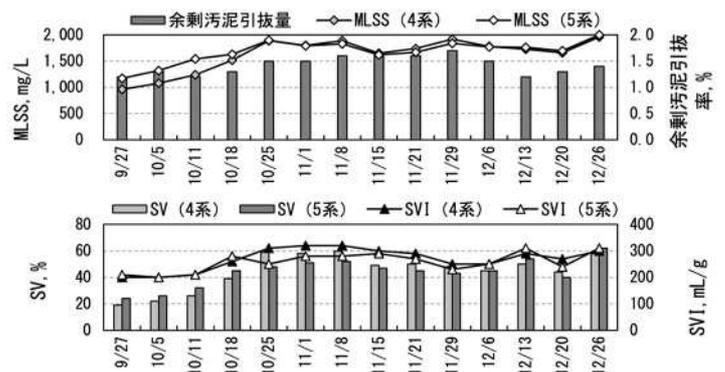


図-4 MLSS、余剰汚泥引抜量、SV及びSVIの推移 (定期試験結果)

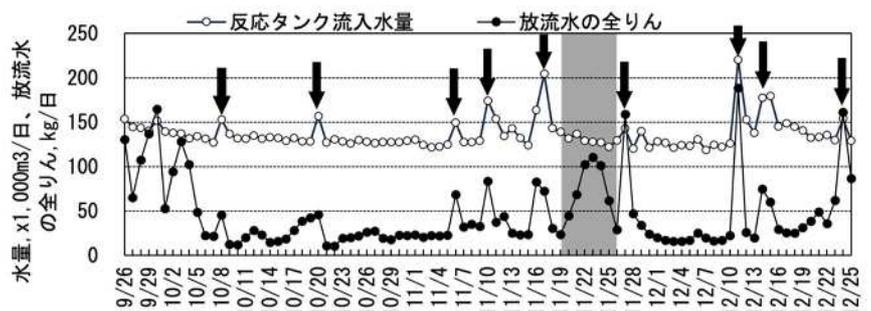


図-5 反応タンク流入水量と放流水の全りんの推移

出があった11/21前後（網掛け期間）は、水量変化が少な
いにもかかわらず、放流水の全りん負荷量が増加した。

図-6に、11/20～11/22の反応タンク流入水量と、放
流水全りんの時間変動を示す。流入水量は、深夜1～3時
に減少し、その後2～3時間を経た3～6時頃に、放流水
の全りん濃度（工業計器）が上昇した。水量減少と全りん
濃度上昇の時間差が2～3時間であることから、放流口に
近い最終沈殿池で、全りん濃度が上昇したことが分かる。
すなわち、水量減少で最終沈殿池にて活性汚泥が沈降・堆
積し、汚泥内が嫌気状態となり、りん酸が放出されたと考えられる。

なお、当浄化センターの処理区では、8月以降、夜間に下水管の管渠更生工事を行っていた。このため、た
びたび深夜に流入水量の減少が生じていたが、図-5の網掛け期間より前には、水量減少に伴う全りん負荷
量の増加は確認されなかった。このことから、本事例では、活性汚泥がりんを十分に蓄積した状態であった
ことが、この時期におけるりんの放出に繋がったものと推察された。

また、10月・11月は曝気風量を抑えた運転をしていたため、10/5～12/6の放流水の硝酸性窒素は、4.4～
5.8（平均5.1）mg/Lと低かった（R4年度の放流水NO₃-N：6.4～12（平均9.3）mg/L）。硝酸があると、嫌気
状態で脱窒菌が硝酸呼吸で有機酸を消費するため、PAOによるりん酸放出が阻害される。しかし今回のよう
に硝酸濃度が低いと、PAOによるりん酸放出が阻害されず、結果的にりんの放出濃度を高めた可能性がある。

(5) 活性汚泥からのりん酸の放出実験

堆積汚泥からのりん放出を確認するため、返送汚泥を空
気に触れない状態に置き、PO₄-P濃度の経時変化を調べる実
験を2回実施した（図-7）。その結果、実験①・②それぞ
れで6時間後に最大19及び12mg/Lの高濃度のPO₄-Pが確
認された。また、りん酸の放出が始まるまでの時間は、実
験①・②がそれぞれ60分以降、120分以降であった。両実
験で用いた返送汚泥のSS及び全りん濃度に大差がないこ
とから、両実験のPO₄-P濃度差と、りん酸の放出開始ま
での時間差は、主に硝酸濃度の違いに起因すると考えられる。

4. まとめ

汚泥消化設備をもつ日明浄化センターにおいて、生物学的りん除去に関する調査を行った結果、以下のこ
とが分かった。1) 良好な生物学的りん除去により、汚泥乾燥重量当り4.0%まで、活性汚泥へのりんの蓄積
が進んだ。2) 本事例では、活性汚泥がりんを十分に蓄積した状態となった後、最終沈殿池でのりん放出に至
る過程を確認できた。3) 調査期間のうち10・11月は、放流水の硝酸性窒素が平均5.1mg/Lと低濃度であり、
これが最終沈殿池でのりん放出濃度を高めた可能性がある。4) 返送汚泥からのりん酸放出の2回の実験で
は、6時間後に最大19及び12mg/LのPO₄-Pを検出した。

参考文献（全て、下水道研究発表会講演集）

- 1) 西牟田ら：第59回講演集、2022、p.691
- 2) 坂本ら：第50回講演集、2013、p.1072
- 3) 逸見：第57回講演集、2020、p.862
- 4) 陣矢ら：第59回講演集、2022、p.697

問合せ先

北九州市上下水道局下水道部水質管理課 陣矢大助

TEL 093-581-5662 E-mail daisuke_jinya01@city.kitakyushu.lg.jp

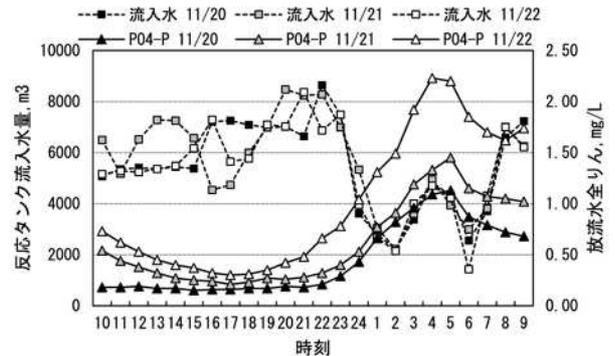


図-6 反応タンク流入水量と放流水全りんの時間変動

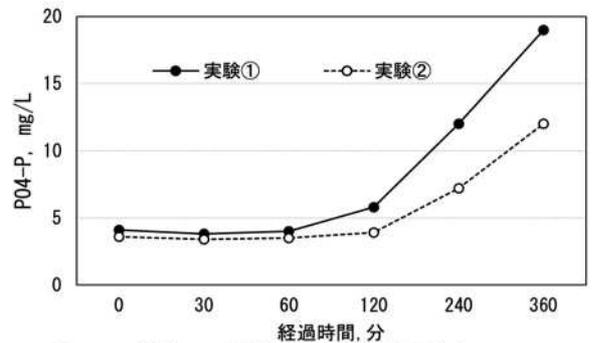


図-7 嫌気下の活性汚泥からのPO₄-P溶出
実験① R6/2/9, 室温22℃, SS 4,280mg/L, 全りん 3.5%, NO₃-N 3.9mg/L
実験② R6/2/13, 室温22℃, SS 4,060mg/L, 全りん 3.2%, NO₃-N 6.4mg/L

令和5年度 見学者数

月	日明浄化センター				皇后崎浄化センター				全 体			
	小・中 学生等	その他	計	団体数	小・中 学生等	その他	計	団体数	小・中 学生等	その他	計	団体数
4	0	62	62	16	0	0	0	0	0	62	62	16
5	7	47	54	18	0	2	2	1	7	49	56	19
6	398	83	481	26	0	0	0	0	398	83	481	26
7	46	504	550	29	0	0	0	0	46	504	550	29
8	1	81	82	30	0	0	0	0	1	81	82	30
9	273	150	423	24	0	0	0	0	273	150	423	24
10	209	166	375	33	0	0	0	0	209	166	375	33
11	31	144	175	33	0	16	16	1	31	160	191	34
12	82	247	329	27	0	19	19	2	82	266	348	29
1	0	42	42	22	0	4	4	1	0	46	46	23
2	44	70	114	18	0	0	0	0	44	70	114	18
3	0	55	55	27	0	0	0	0	0	55	55	27
小計	1,091	1,651		303	0	41		5	1,091	1,692		308
合計	2,742				41				2,783			

- 1) 小・中学生等には高校生も含む。
- 2) その他は、JICA、大学、専門学校、他都市など
- 3) 新町、曾根及び北湊浄化センターの見学者数は0名。