事例No.	2526
公表年度	R5
団体の属性	一般市
団体名	東京都町田市

事例区分	公営企業

タグ	・下水道事業 ・AI ・ICT

事例種類	GX

事例内容・タイトル

下水処理場における単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術について

出典

雑誌「公営企業」先進事例紹介（令和５年９月号）

先進事例紹介



下水処理場における単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術について

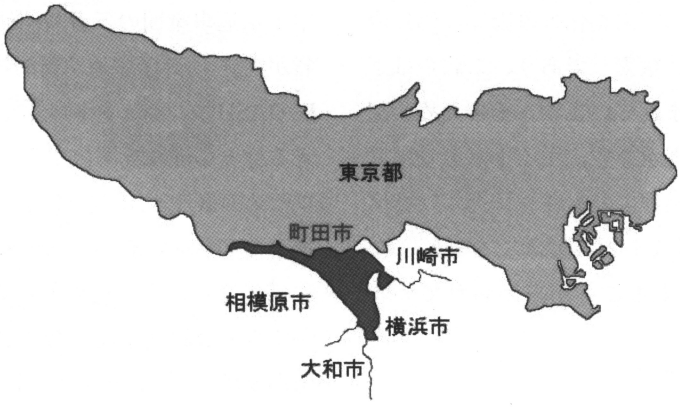
町田市下水道部水再生センター
所長　松井　穣

1．はじめに

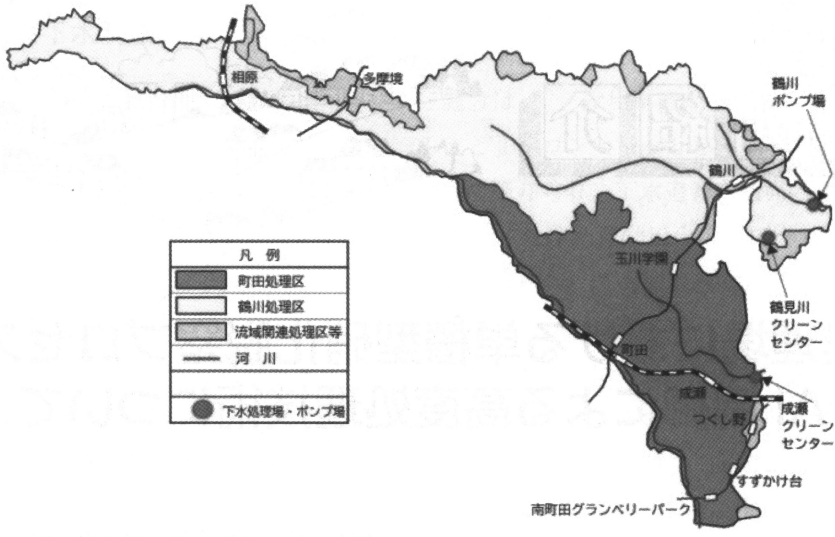
町田市は東京都の多摩南部に位置する人口約43万人の都市です。スポーツやグルメ、ショッピングなどで賑わいのある市街地と多摩丘陵の四季折々の豊かな自然がバランスよく融合した都市です。官民共同でまちづくりを推進し、2019年に開業した大型商業施設「南町田グランベリーパーク」は、都市公園の豊かな自然とショッピングモールを融合した新拠点として、新たな賑わいの発信地となっています。

2．町田市の下水道事業

町田市の下水道事業は1964年に始まり、現在は99.0%の市民が下水道を利用できる環境となりました。町田市は東京都から半島状に飛び出した形状をしており、神奈川県の相模原市、大和市、横浜市、川崎市と隣接しています（図－1）。



図－1　町田市の位置



図－２　町田市の下水処理概要

このような特殊な地形的条件により多摩川流域には属しておらず、単独公共下水道として、総延長約1,655キロメートルの管渠および２箇所の下水処理場（成瀬クリーンセンター、鶴見川クリーンセンター）、１箇所の中継ポンプ場（鶴川ポンプ場）を維持管理しています（図－２）。

町田市の下水処理水は鶴見川を経由して東京湾へ流れています。東京湾は、内湾と外海の海水が入れ替わりにくい「閉鎖性水域」と呼ばれ、海水中の栄養分が増える「富栄養化」が起こりやすく、植物性プランクトンが異常繁殖し赤潮などが発生します。富栄養化の原因は、湾に流れ込む「りん」と「窒素」であり、これらは下水処理水に多く含まれています。そのため、閉鎖性水域へ下水処理水を放流する下水道管理者は、標準的な下水処理よりもさらに進んだ高度な処理を行い、「りん」と「窒素」を低減した下水処理水を放流することが求められています。

３．下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）

下水の高度処理化は、処理水質が向上する一方で、処理に要する電力が増加する「トレードオフ」の関係にあり、水質の向上と地球温暖化対策の両立が難しい側面があります。また、導入にかかる財政負担が大きいことや、高度処理設備を維持管理するために必要な専門技術をどのように継承していくかなど課題は様々です。

そこで、町田市とメタウォーター株式会社、日本下水道事業団の三者共同研究体は、国土交通省が実施する「下水道革新的技術実証事業（以下、B-DASH プロジェクト）」に、高度処理設備が抱える様々な課題を解決する「単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術」の技術提案を行いました。その結果、平成31年度（令和元年度）の実証技術として採択して頂くことができ、令和元年度～令和２年度にかけて、町田市成瀬クリーンセンターを実証フィールドとして実証研究を行いました（表－１）。

表－１　実証研究概要

研究名称	単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術実証研究
実施期間	令和元年度～令和2年度
研究委託者	国土交通省 国土技術政策総合研究所
実施者	メタウォーター・日本下水道事業団・町田市　共同研究体
実証場所	成瀬クリーンセンター（東京都町田市）
実証概要	ICT・AIを活用した単槽型硝化脱窒プロセスの実証
検証項目	①　短HRT（A2O法比　20%以上削減）でA2O法と同等の処理水質を達成
	②　運転電力の削減（A2O法比　20%以上削減）
	③　維持管理業務負担の軽減（A2O法と比べて業務負担を軽減）

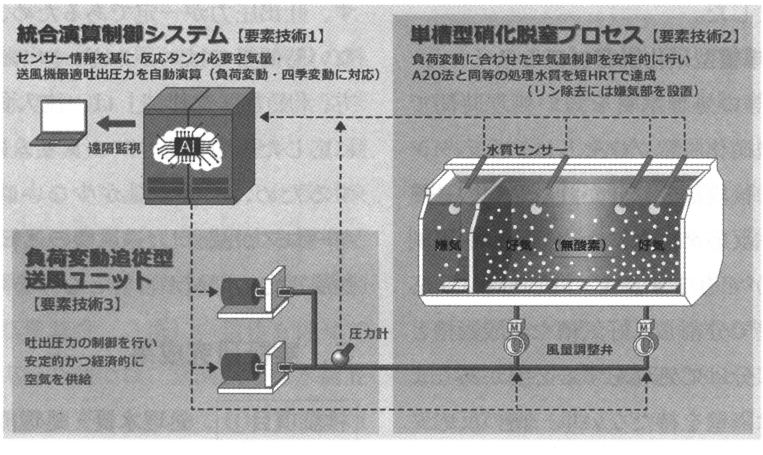
４．単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術について

下水処理は、粗大な物質を除去した後、「反応タンク」と呼ばれる槽内において、微生物による処理を行っています。反応タンク内の微生物を活性化させるため、槽内に空気を送り、常に曝気（エアレーション）しています。

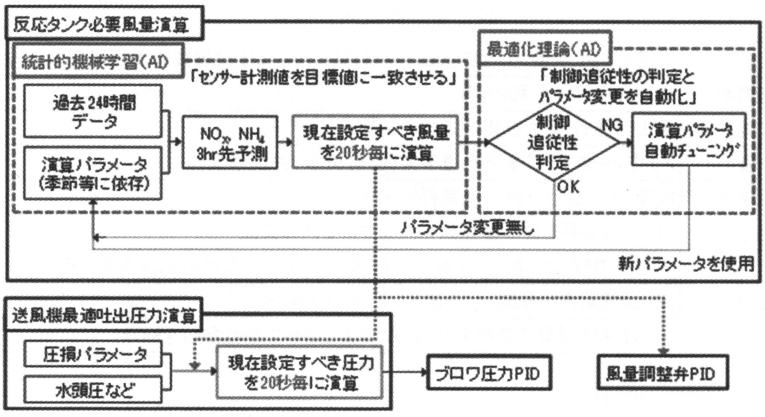
「標準活性汚泥法」と呼ばれる標準的な下水処理から、「りん」と「窒素」を低減する高度処理設備を導入する場合、反応タンクの大規模な改造や、撹拌機や循環ポンプなどの新たな設備が必要ですが、「単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術」は、反応タンクの改造を伴わずに、既存施設のままで高度処理が実現できる技術です。また、一般的な高度処理法である「嫌気無酸素好気法（以下、A2O法）」よりも、短い処理時間で同等の処理水質を達成すること、処理に要する電力を大きく削減できること、AI制御により維持管理労力の負担を軽減できるという特徴があり、以下の３つの要素技術で構成されています（図－３）。

【要素技術１】統合演算制御システム

システム全体を統合的に管理する統合演算制御システムは、図－４に示すとおり、ICT技術によって連携された水質センサー等の情報を基に「反応タンク必要送風量演算」および「送



図－３　単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術概要図



図－４　統合演算制御システムの演算フロー図

風機吐出圧力演算」を行います。「反応タンク必要風量演算」は、AI技術の統計的機械学習により、反応タンクの水質センサー情報から３時間後の将来予測を行い、反応タンクに必要な風量の演算を20秒ごとに行います。流入下水の水質が大きく変化する季節変動などの場合は、AI技術の最適化理論が働き、演算パラメータを自動チューニングし、「新パラメータ」を自ら探索して、最適な運転を継続することができます。また、「送風機最適吐出圧力演算」では、反応タンクの風量演算と連動しながら、送風機の吐出圧力を最適に制御することにより、送風機の運転が効率化され、送風電力の大幅な削減が可能となりました。

【要素技術２】単槽型硝化脱窒プロセス

A2O法と同等の処理水質を短い処理時間で達成する単槽型硝化脱窒プロセスは、反応タンクの前段部分と後段部分に分かれた２つの送風系統を用いて、反応タンクにきめ細かい送風制御を行うことができます。A2O法では、反応タンク内を隔壁で分割し、好気槽や無酸素槽といった槽ごとに分けて処理をする必要がありますが、本技術は隔壁を持たない単一槽の反応タンクにおいて、前段と後段に二条化された送風管により、きめ細かく送風量を調整し、高度処理に最適な好気・無酸素ゾーンを形成します。

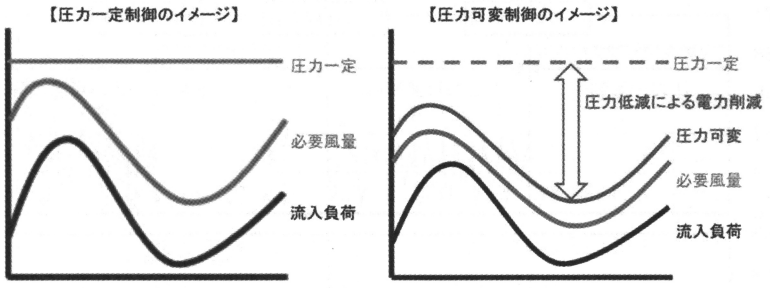
【要素技術３】負荷変動追従型送風ユニット

本技術は、従来では別々に制御してきた送風機設備と反応タンク設備を統合的に制御します。一般的に下水処理場では、反応タンクの最大流入負荷に対応する高い吐出圧力で送風機を運転していますが、本技術は反応タンクの流入負荷に応じて吐出圧力を可変制御し、必要最小限の吐出圧力で送風機を運転します。送風機の「圧力一定制御」と、本技術の「圧力可変制御」のイメージを図－５に示します。「圧力一定制御」では、流入負荷や必要風量の変動に関わらず、吐出圧力が一定であるため、必要風量が少ない時間帯ではエネルギーロスが生じます。一方、「圧力可変制御」は、流入負荷や必要風量に応じた圧力値をリアルタイムに演算して制御するため、必要風量が少ない時間帯のエネルギーロスが減少し、送風機の運転効率が向上し、送風電力の削減が可能となります。

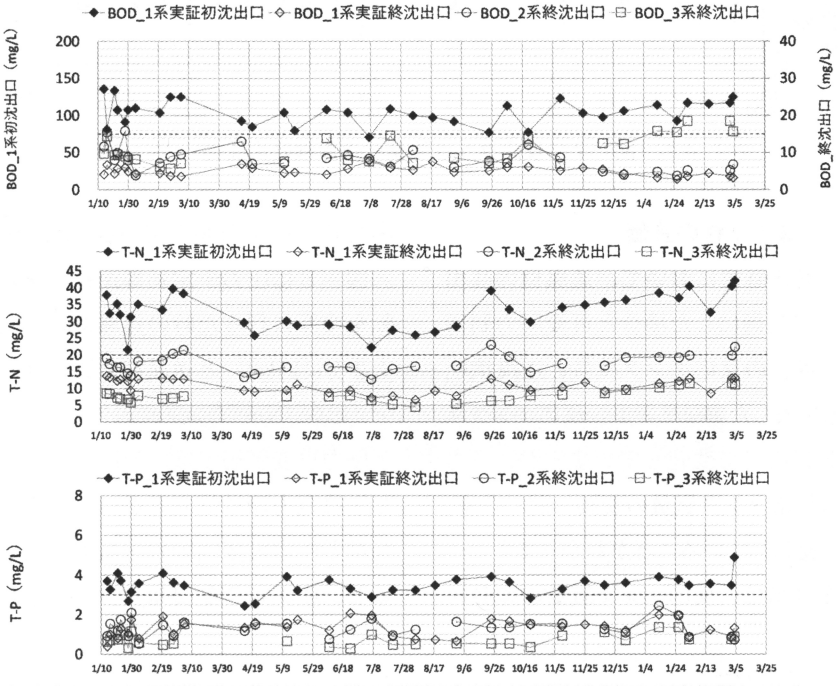
５．実証研究成果

検証項目①　処理水質・処理能力の評価

図－６は、本技術が稼働する反応タンク前段

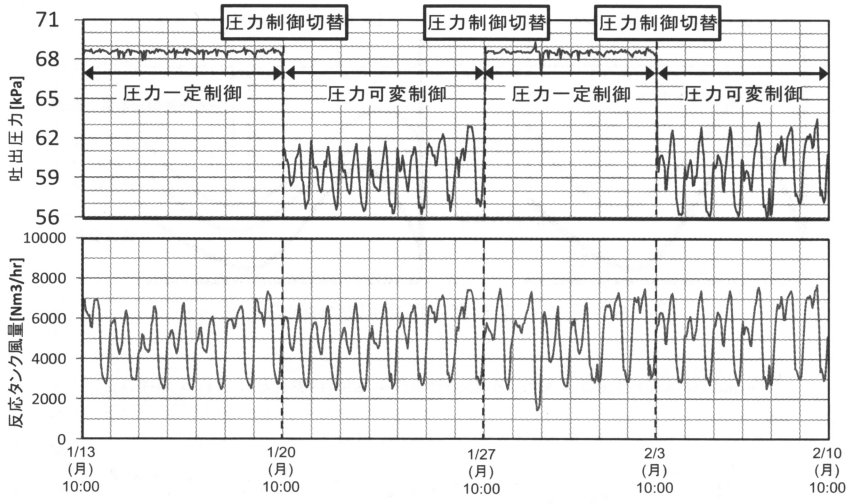


図－５　圧力一定制御と圧力可変制御のイメージ



図－６　最初沈殿池流出水および最終沈殿池流出水の水質測定結果

の最初沈殿池流出水および反応タンク後段の最終沈殿池流出水のBOD（生物化学的酸素要求量）、Ｔ－Ｎ（全窒素）、Ｔ－Ｐ（全リン）の測定結果を示したものです。同図には、比較対象として、同センターの別系列で運用する標準活性汚泥法（２系）と、本実証研究以前から稼働している高度処理施設（３系）の数値も併せて示しました。実証系列では、全34回の採水調査の結果、いずれの調査日においても水質目標値（BOD：15mg/Ｌ以下、Ｔ－Ｎ：20mg/Ｌ以下、Ｔ－Ｐ：３mg/Ｌ以下）を満足する結果となりました。また、降雨日を除いた窒素除去率は61%～74%、平均除去率は68.1%となり、A2O法における一般的な除去率（60～70%）と同等の結果となりました。なお、降雨日を除く調査日の処理時間は8.9hr～10.6hr（平均10.1hr）という結果となり、目標とする処理時間A2O法比20%以上削減となる12.8hr未満を達成することができました。



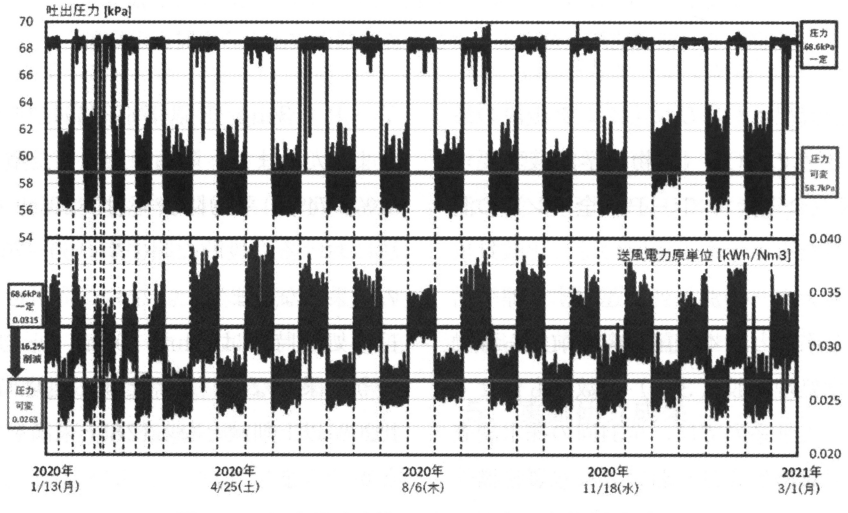
図－７　反応タンク風量と送風機吐出圧力

検証項目②　省エネ性の評価

図－７は、実証研究において、送風機の吐出圧力を圧力一定制御にした場合と可変圧力制御に切り替えた場合の反応タンク風量と送風機吐出圧力の状態を表したデータです。反応タンク風量は負荷変動に応じて変化していますが、圧力一定制御では反応タンク風量の変動に関わらず、一定の圧力で運転していることがわかります。一方、圧力可変制御は、反応タンク風量の変動に応じて、圧力が変動していることが確認できます。

図－８は圧力一定制御運転と圧力可変制御運転を交互に行った時の送風機吐出圧力（グラフ上半分［kPa］）と送風電力原単位（グラフ下半分［kWh/Nm^3］）のデータを示したものです。

圧力可変制御では、吐出圧力の低下に連動して送風電力原単位も下がっています。圧力一定制御と圧力可変制御の送風電力原単位を比較すると、圧力可変制御は16.2%の電力を削減する



図－８　圧力可変制御の送風電力原単位削減効果

結果となり、送風機の省エネ運転に大きな効果があることが示されました。

本技術は隔壁を必要としない「単槽型」であるため、A2O 法では必須となる「攪拌機」や「循環ポンプ」は設置しません。日最大汚水量50,000m^3/日、平均汚水量40,000m^3/日規模の反応タンク設備および送風機設備における本技術の水処理電力試算では、「攪拌機」と「循環ポンプ」が不要となることに起因する電力削減効果と、圧力可変制御による電力削減効果を合算すると29.2%の水処理電力を削減する結果となり、目標としていたA2O 法比20% 以上の電力削減を達成することができました。

検証項目③　維持管理性の評価

維持管理性の評価は、本技術とA2O 法それぞれに必要とされる維持管理項目を挙げ、必須項目数の比較を行いました。表－２は下水道維持管理指針を基にした管理項目（上段）と保守点検項目（下段）の比較表です。比較の結果、管理項目、保守点検項目それぞれにおいて、１項目ずつ削減する結果となりました。一見、維持管理労力の軽減効果が少ないようにも見えますが、高度処理施設から攪拌機や循環ポンプが無くなったことにより、維持管理負担は大きく軽減されました。当センターの高度処理施設には、嫌気槽、第一無酸素槽、第二無酸素槽を合わせて８基の攪拌機と４基の循環ポンプがあり、日常点検のほかに定期的なオイル交換、軸受交換、シール交換などを行っています。また、突発的な故障等により、高度処理施設の運転停

表－２　維持管理項目比較一覧

管理項目比較		
管理項目	本技術	従来技術（A2O法）
MLSS濃度	必須	必須
MLDO濃度	必須ではない	必須
ORP	必須	必須
pH	必須ではない	必須ではない
SRT	必須ではない	必須ではない
循環比	不要	必須
汚泥返送比	必須	必須
余剰汚泥の引抜き	必須	必須
スカムの堆積防止	必須	必須
生物相	必須ではない	必須ではない

保守点検項目比較		
保守点検項目	本技術	従来技術（A2O法）
散気装置	必須	必須
防泡設備	必須	必須
汚泥返送設備	必須	必須
硝化液循環ポンプ設備、エアリフト設備	不要	必須
水中かくはん設備	不要	必須
メタノール、酢酸および水酸化ナトリウム注入設備	必須ではない	必須ではない
凝集剤添加設備	必須ではない	必須ではない
水質計器（DO計）	必須ではない	必須
水質計器（ORP計）	必須ではない	必須ではない
水質計器（NO_X-N計、NH_4-N計）	必須	不要

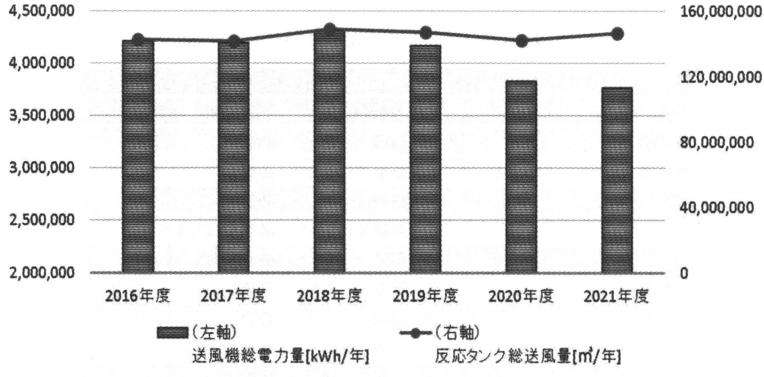
止を余儀なくされることもしばしばあり、機器点数が少ない本技術は、当センターの維持管理性、安定稼働に大きく貢献しています。

6．カーボンニュートラル社会への貢献

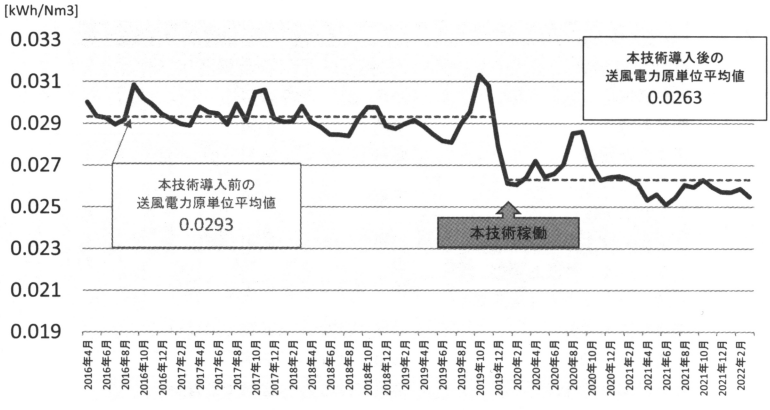
わが国では、2050年カーボンニュートラル社会の実現に向けた中期目標として、2030年度には温室効果ガス排出量を2013年度排出量の46%減という目標が掲げられています。下水処理場はエネルギー消費量の多い事業所ですが、中でも水処理工程で消費するエネルギーの割合が最も大きく、特に反応タンクへ送風する送風機の電力エネルギーは、下水処理場全体の３～４割を占めていると言われています。温室効果ガス排出量を削減するため、安易に反応タンクへの送風量を下げて電力を削減するという方法は、微生物処理を不安定にし、良好な処理水質の確保が困難になるため、適切な方法とはいえません。水質の向上とカーボンニュートラル社会の実現を両立させるためには、従来にはない革新的技術の導入が不可欠です。

図－９は、当センターにおける年度ごとの送風機総電力量（棒グラフ）と反応タンク総送風量（折れ線グラフ）を示したものです。年間の総送風量は、ほぼ横ばいで推移していますが、本技術稼働後の2019年度以降は、送風電力が削減されていることが確認できます。

また、図－10は、当センターにおける月ごとの送風電力原単位の推移を示したものですが、本技術稼働後は送風効率が向上し、送風電力原



図－９　送風機総電力量および反応タンク総送風量



図－10　送風電力原単位

単位の数値が小さくなっています。

現在、当センターでは、送風量を増加しても送風電力は抑えられるという、理想的な高度処理運転ができるようになり、念願であった水質の向上と地球温暖化対策（省エネルギー）の両立を実現しています。

本技術は、「送風量の増加（水質の向上）＝電力の増加」という高度処理運転の課題を克服し、わが国が目指すカーボンニュートラル社会の実現に寄与する革新的な高度処理技術であることを強く実感しています。

7．おわりに

現在、本技術は当センターに３系統ある水処理施設のうち、１系統で稼働している状況ですが、2022年度は送風にかかる電気代を導入以前と比較して約1,500万円削減することができました。今後、この技術を他の系統に拡大した場合、更なる水質の向上と電力削減効果が期待されます。

本技術に対する国内外からの関心も多く寄せられており、2022年度は国内７自治体の視察があり、2023年度は現時点（８月時点）で、国内２自治体および海外５か国からの視察がありました。町田市発となるこの革新的技術が、今後、国内外の下水処理場に広く普及され、持続可能な下水道事業への強力な追い風となることを心から期待しています。

