

1 実証研究結果

1.1 実証研究概要

(1) 実証研究

1) 研究名称

ICT を活用した効率的な硝化運転制御の実用化に関する技術実証研究

2) 実施者

日立製作所・茨城県共同研究体

3) 実施期間

平成 26 年 7 月 19 日～平成 27 年 3 月 31 日（平成 26 年度 委託研究期間）

平成 27 年 6 月 4 日～平成 28 年 3 月 31 日（平成 27 年度 委託研究期間）

4) 実証場所

茨城県流域下水道事務所 霞ヶ浦浄化センター（所在地：茨城県土浦市湖北 2-8-1）

（以下、霞ヶ浦浄化センターとする）

5) 実証対象

霞ヶ浦浄化センター No.5 池（実証系列）、No.6 池（対照系列）

6) 処理水量

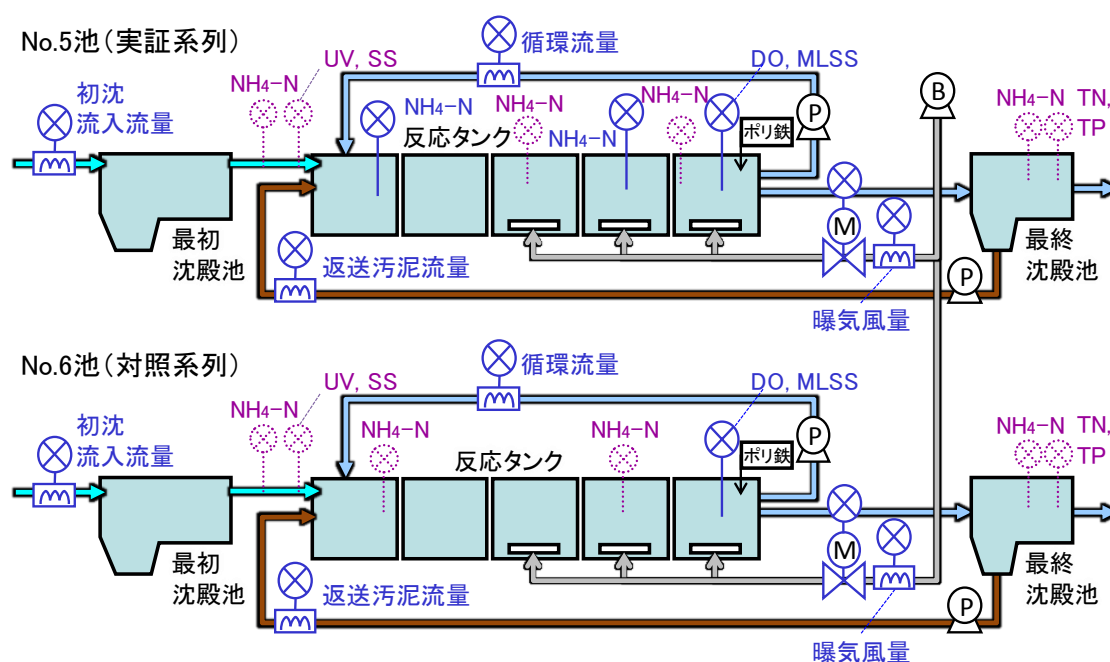
処理能力：各 6,500 m³/日で、No.5 池の水量全量を本技術により制御し、実証を行った。

7) 実証設備フロー

図資 1-1 に実証対象である No.5 池、No.6 池の概略フローを示す。両池とも凝集剤併用型循環式硝化脱窒法である。実証研究では、実証系列として No.5 池に本技術を適用し、対照系列として No.6 池は従来の風量制御技術（DO 一定制御）を継続した。両池の最初沈殿池、最終沈殿池、返送汚泥系統は独立しており、No.5 池、No.6 池は異なる系列である。生物反応槽は、上流側から無酸素タンク 1、無酸素タンク 2、好気タンク 1、好気タンク 2、好気タンク 3 の全 5 槽から構成され、好気タンク 3 から無酸素タンク 1 に被処理水の一部が循環ポンプで循環される。風量制御は DO 一定制御であり、硝化促進を目的に好気タンク 3 の DO 濃度が 2.0 mg/L で一定となるように

制御されている。また、リン除去性能を向上させるため、好気タンク 3 に凝集剤としてポリ硫酸第二鉄が投入されている。

実証施設においては、既存の計測器として各流量計、風量計、および好気タンク 3 の DO 計、MLSS が設置されている。実証研究では、新たに No.5 池と No.6 池の最初沈殿池流出部、無酸素タンク 1、好気タンク 2、最終沈殿池、および No.5 池の好気タンク 1、好気タンク 3 に電極式 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサー (AISEsc ; 米 HACH 社、日本代理店東亜 DKK 社) を設置した。また、No.5 池と No.6 池の最初沈殿池流出部に UV 計 (OPM-1610 ; 東亜 DKK 社) 、SS 濃度計 (SSD-1610 ; 東亜 DKK 社) を、最終沈殿池に全窒素全リン計 (NPW-160 ; 東亜 DKK 社) を設置した。新たに設置した水質センサーの仕様を表資 1-1 に示す。



図資 1-1 実証対象水処理系列の概略フロー

表資 1-1 実証研究において新たに設置した水質センサーの仕様

設置場所	計測器名称	型式	計測項目	設置台数	
				No.5 池	No.6 池
最初沈殿池 流出部	$\text{NH}_4\text{-N}$ センサー	AISEsc(HACH)	$\text{NH}_4\text{-N}$	1	1
	UV 計	OPM-1610(東亜 DKK)	UV	1	1
	SS 計	SSD-1610(東亜 DKK)	SS	1	1
反応タンク	$\text{NH}_4\text{-N}$ センサー	AISEsc(HACH)	$\text{NH}_4\text{-N}$	4	2
最終沈殿池	$\text{NH}_4\text{-N}$ センサー	AISEsc(HACH)	$\text{NH}_4\text{-N}$	1	1
	全窒素全リン計	NPW-160(東亜 DKK)	全窒素、全リン	1	1

8) 実証研究において風量制御に用いたセンサー概要

実証研究において、No.5 池、No.6 池での風量制御に用いたセンサーを表資 1-2 に示す。実証項目（後述の表資 1-4 参照）のうち、①長期制御性、②目標可変性の実証では、実証系列として No.5 池では、各流量計、DO 計に加え、無酸素タンク 1 および好気タンク 2 に設置した $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーを用いて風量制御した。一方、No.6 池は対照系列として、好気タンク 3 の DO 濃度を一定にする従来の DO 一定制御（制御設定値：2.0 mg/L）により、風量を制御した。また、③複数系列制御方式の実証（後述の表資 1-4 参照）では、No.5 池を代表池、No.6 池を展開池とした複数系列制御方式（本編 §9 複数系列における風量制御方式の概略参照）を適用し、流入流量、MLSS 濃度の違いに基づき、No.5 池の DO 濃度を補正した値を No.6 池の DO 制御設定値として、No.6 池への風量を制御した。

表資 1-2 実証研究において風量制御に用いたセンサー

実験内容	項目	風量制御に用いるセンサー
①長期制御性 ②目標値可変性	No.5 池 (実証系列)	流量計(流入流量・返送汚泥流量・硝化液循環流量)、DO 計、 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサー(無酸素 1、好気 2)
	No.6 池 (対照系列)	DO 計
③複数系列制御方式	No.5 池 (代表池)	流量計(流入流量・返送汚泥流量・硝化液循環流量)、DO 計、 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサー(無酸素 1、好気 2)、MLSS 計
	No.6 池 (展開池)	DO 計、流入流量計、MLSS 計

(2) 実証目標

1) 成果目標

実証研究の成果目標を表資 1-3 に示す。実証研究では、本技術により硝化運転を適正化することで、処理水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を平均 1.0 mg-N/L 以下に制御しつつ、従来の DO 一定制御と比較して風量を 10%以上削減することを目標とした。また、経費回収年として、処理規模 50,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 、DO 一定制御システムの仮想処理場への導入費用を 5.1 年以内に回収できることを目標とした。

表資 1-3 実証研究における成果目標

実証方法	項目	目標	備考
実証実験	処理水質	平均処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 1.0 mg-N/L 以下	-
	風量削減 効果	対照系列(DO 一定制御)と 比べて 10%減	-
ケース スタディ	経費回収年	5.1 年	処理規模: 50,000m ³ /日 風量制御方法: DO 一定 導入タイミング: 監視制御システムの 新設・更新時

2) 実証研究における実施内容

実証研究での実施内容を、表資 1-4 に示す①長期制御性の実証、②目標可変性の実証、③複数系列制御方式の実証、④採水・採ガス調査、⑤ケーススタディの 5 つとした。①長期制御性の実証では、表資 1-3 に示した成果目標に従い、処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 目標値を 1.0 mg-N/L に設定し、長期の運転においても目標とする処理水質、風量削減効果が得られるか検証した。②目標可変性の実証では、様々な水質ニーズに対応できるか検証するため、複数の処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 目標値 (0.1 mg-N/L: 完全硝化運転を想定、2.0 mg-N/L: 硝化抑制運転を想定) で運転した。③複数系列制御方式の実証では、導入コストの低減手法として複数系列制御方式(本編 §9 複数系列における風量制御方式の概略参照)の適用可能性を実証した。④採水・採ガス調査では、本技術導入による処理水質、温室効果ガス (N_2O ガス) 排出への影響を検証した。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の処理状況から、導入検討時の風量削減率の試算方法(本編 §19 導入効果の検討参照)を構築した。⑤ケーススタディでは複数の処理方式、処理規模、風量制御方式の仮想処理場を設定し、本技術の導入効果を試算した。

表資 1-4 実証研究における実施内容

実施内容	目的	実施内容の詳細
①長期制御性の実証	・長期的な制御効果(処理水質・風量削減効果)の検証	処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 目標値 :1.0 mg-N/L で長期間運転
②目標値可変性の実証	・複数の水質目標値での制御性の検証	処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 目標値 :0.1, 2.0 mg-N/L で運転
③複数系列制御方式の実証	・導入コストの低減手法の構築	No.5 池の DO 濃度に基づき、 No.6 池で DO 可変制御
④採水・採ガス調査	・処理状況(硝化、 N_2O ガス等)の把握 ・風量削減効果の試算方法の構築	No.5 池、No.6 池で通日採水・ 採ガス調査を実施
⑤ケーススタディ	・本技術による導入効果の試算・評価	仮想処理場を設定し、消費電 力量、温室効果ガス排出量、 コストに関する試算を実施

3) 実証工程

表資 1-5 に本実証研究の工程表を示す。本技術による硝化運転制御は、平成 27 年 1 月より開始し、平成 27 年度プロジェクト終了まで実施した。

表資 1-5 実証研究の工程表

実施内容		平成26年度			平成27年度		
		7-9月	10-12月	1-3月	6-9月	10-12月	1-3月
準備期間	実証システム製作	●→					
	実証システム設置		●→				
	試運転			●→			
実証期間	①長期制御性			●→	●→	●→	●→
	②目標可変性				●→		●→
	③複数系列制御				●→	●→	
	④採水・採ガス調査	●→	●→	●→	●→	●→	
	⑤ケーススタディ						●→

(3) 実証研究成果の概要

表資 1-6 に、実証研究成果の概要を示す。実証研究では、処理水質・風量削減効果に関して、処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を平均 1.0 mg-N/L 以下に制御しつつ、DO 一定制御と比較して風量を 10%削減することを目標とした。これに対し、実証研究の結果、平均処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 0.33 mg-N/L 、風量削減率 16.9%が得られ、成果目標を達成した。また、経費回収年においても、処理規模 $50,000 \text{ m}^3/\text{日}$ 、DO 一定制御システムの処理場への導入時の経費回収年は 3.1 年となり、目標の 5.1 年より短い期間で経費を回収できる見込みが得られた。

表資 1-6 実証研究成果

項目	目標	成果	備考
処理水質 (平均NH ₄ -N濃度)	≦1.0mg-N/L	○: 平均濃度 0.33mg-N/L	-
風量削減効果	10%減	○: 風量16.9%減	従来DO一定制御比
経費回収年	5.1年	○: 経費回収年3.1年	処理規模: 50,000m ³ /日 風量制御: DO一定制御 導入タイミング: 制御システム新設・更新時

1.2 実証研究の詳細（①長期制御性、②目標可変性）

(1) 運転条件

表資 1-7 に、平成 27 年度プロジェクトにおける①長期制御性の実証、②目標可変性の実証実験の運転・流入条件を示す。なお、数値は各 Run の期間平均値である。①長期制御性の実証では、Run 2-1, 2-2 として平成 27 年 7 月 18 日から平成 27 年 12 月 27 日かけて実施した。平均処理水 NH₄-N 濃度が下回るべき値として処理水 NH₄-N 目標値を定義し、1.0 mg-N/L に設定した。また、Run 2-1 と Run 2-2 ではそれぞれ下側 DO を 0.5 mg/L と 0.3 mg/L に設定し、下側 DO 設定値による処理水質、風量削減率への影響を評価した。なお、上側 DO 設定値は全期間で 2.5 mg/L に設定した。

②目標可変性の実証では、Run 1 では完全硝化運転を想定した処理水 NH₄-N 目標値 0.1 mg-N/L の条件で運転し、Run 3-1, 3-2 では硝化抑制運転を想定した処理水 NH₄-N 目標値 2.0 mg-N/L の条件で運転した。

表資 1-7 ①長期制御性の実証、②目標可変性の実証実験の運転・流入条件

Run	検討内容	期間 (日数※)	水温 [℃]	処理水NH ₄ -N 目標値 [mg-N/L]	下側DO [mg/L]	流入 NH ₄ -N [mg-N/L]	初沈流出水 流量 [m ³ /h]	MLSS [mg/L]
1	②目標可変性	H27/6/4 - H27/7/14 (38日)	24.5	0.1	0.50	18.2	290	2257
2-1	①長期制御性	H27/7/18 - H27/8/4 (15日)	26.6	1.0	0.50	20.0	271	2335
2-2		H27/8/5 - H27/12/27 (83日)	27.4	1.0	0.30	19.9	271	2295
3-1	②目標可変性	H28/1/7 - H28/1/17 (11日)	20.0	2.0	0.15	25.3	262	2335
3-2		H28/1/25 - H28/2/3 (8日)	18.7	2.0	0.30	21.6	289	2460

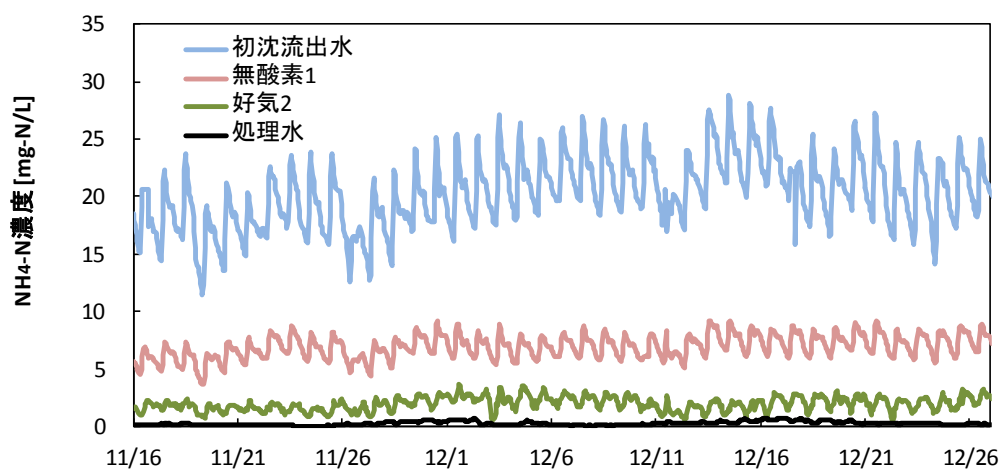
※ 既設運転、工事期間、非定常運転時をのぞく

(2) 評価項目

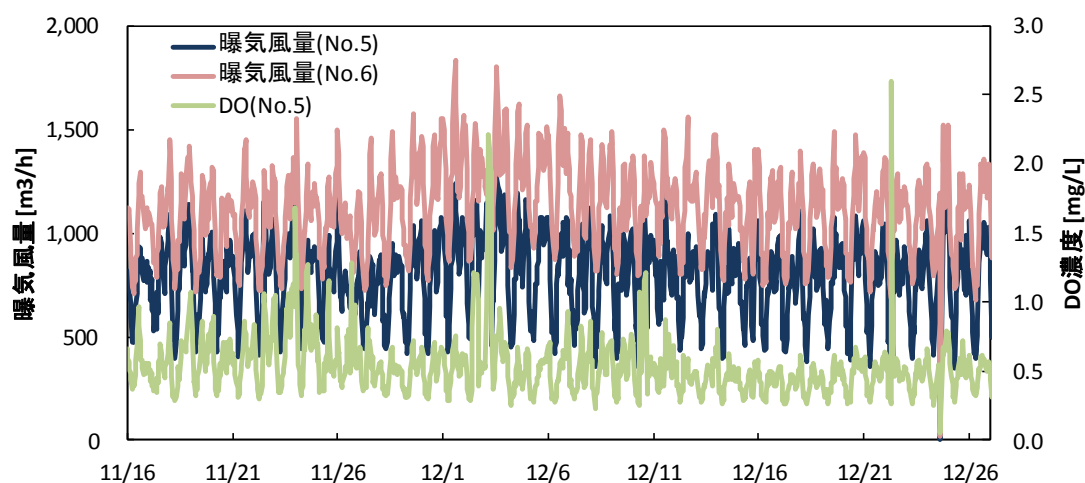
①長期制御性、②目標可変性の実証実験では、運転期間中の処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と風量削減率のそれぞれ平均値を評価項目とした。風量削減率は、実証系列の No.5 池と対照系列の No.6 池の風量を比較して算出する。しかし、同じ DO 一定制御条件下においても、No.5 池に比べて No.6 池で風量が大きくなる傾向を確認した。風量は、生物処理での必要酸素量¹⁾、および散気装置の散気効率によって影響を受ける。そこで、必要酸素量および散気効率の違いを考慮して風量を補正し、風量削減率を算出した²⁾。

(3) 本技術による実証運転結果

対照系列の No.6 池では、完全硝化運転を想定した DO 2.0 mg/L 一定制御により風量が制御され、実証期間中の平均処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は 0.1 mg-N/L 未満となった。一方、No.5 池について、本技術による制御結果の例として、長期間連続で運転した平成 27 年 11 月 16 日～12 月 27 日の運転結果を図資 1-2 に示す。図資 1-2(a)に $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を示し、図資 1-2(b)に風量および DO 濃度を示す。風量については比較のため対照系列 No.6 池の結果も示す。なお、結果は 1 時間平均値である。図資 1-2(a) に示すとおり、流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の日間変動、ならびに長期的な変動にも本技術は適切に対応し、制御の結果、処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を目標値以下で運転されていることを確認した。図資 1-2(b)において、No.5 池の風量は No.6 池を常に下回った。また、DO 濃度は、下側 DO 設定値の 0.3 mg/L を底としつつ、流入変動に追従して変動した。これは、本技術は硝化制御風量と下側 DO 制御風量のうち、より大きい風量を選択・出力するためであり（本編 §8 風量演算方法の概要参照）、DO 濃度が下側 DO 設定値を下回らないように運転ができていたことを示している。なお、12 月 24 日に DO 濃度がゼロ付近となっているが、点検に伴うブロー停止による影響のためであった。



(a) $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度



(b) 風量および DO 濃度

図資 1-2 ①長期制御性の実証実験における処理状況比較 (1 時間平均)

表資 1-8 に、①長期制御性の実証、②目標可変性の実証結果のまとめを示す。①長期制御性の実証では、Run 2-1, 2-2 の合計 98 日間運転し、平均処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 0.33 mg-N/L 、風量削減率は対照系列の No.6 池 (DO 一定制御) と比べて 16.9% 減となった。この結果より、処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を平均 1.0 mg-N/L 以下に制御しつつ、風量を 10% 以上削減するという成果目標 (表資 1-3 参照) を達成した。また、②目標可変性の実証においても、いずれの処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 目標値 ($0.1, 2.0 \text{ mg-N/L}$) に対しても平均処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は下回り、複数の目標値に対して本技術の適用可能性を実証した。

表資 1-8 平成 27 年度プロジェクトの実証運転結果のまとめ

(①長期制御性の実証 (目標 1.0 mg-N/L)、②目標可変性の実証 (目標 0.1, 2.0 mg-N/L))

※既設運転、工事期間、非定常運転時をのぞく

Run	期間 (日数※)	DO [mg/L]		処理水NH ₄ -N [mg-N/L]		補正 風量削減率	
		下側DO	実測値	目標値	実測値		
1	H27/6/4 - 7/14 (38日)	0.50	0.85	0.1	0.09	12.9%	
2-1	H27/7/18 - 8/4 (15日)	0.50	0.58	1.0	0.14	0.33	12.5%
2-2	H27/8/5 - 12/27 (83日)	0.30	0.45	1.0	0.36		17.7%
3-1	H28/1/7 - 1/17 (11日)	0.15	0.44	2.0	1.20	1.19	22.0%
3-2	H28/1/25 - 2/3 (8日)	0.30	1.06	2.0	1.18		17.8%

(4) 制御パラメータに関する検討

1) 下側 DO 設定値

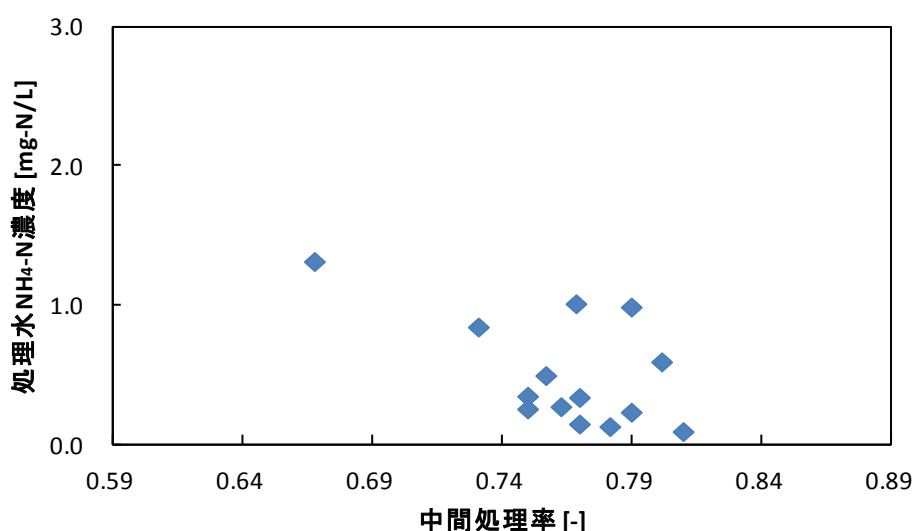
長期制御性の実証において、Run 2-1 では下側 DO 設定値を適切と考えられる値 (0.3 mg/L) よりも高い 0.50 mg/L に設定し、処理水質、風量削減率に与える影響を検証した。表資 1-8 に示すように、Run 2-1 では、DO 濃度は下側 DO 設定値に近い値で推移し、平均濃度は 0.58 mg/L となった。これは、下側 DO 設定値を高くしたことで下側 DO 制御風量の演算結果が大きくなり、硝化制御風量に対して下側 DO 制御風量が長時間選択されたためである。そのため、Run 2-2 と比べて、処理水 NH₄-N 濃度は目標値を大きく下回り、風量削減率も少なくなった。Run 2-1 の結果から、好気タンク DO 濃度が下側 DO 設定値付近で長時間一定となっており、処理水 NH₄-N 濃度が管理目標値から大きく下回っている場合は、下側 DO 設定値を低減することとした (本編 § 30 制御システムの運転管理参照)。

2) 中間処理率

本編 § 8 風量演算方法の概要において述べたように、本技術では、設定パラメータとして中間処理率を設定し、第 2NH₄-N センサーの設置位置での NH₄-N 濃度 (中間 NH₄-N 予測値) を予測し、FF 制御風量、FB 制御風量の演算に反映する。中間処理率は、好気タンク全体のうち、第 2NH₄-N センサーまでに処理される NH₄-N 濃度の割合として設定する。中間処理率を高く設定すると処理水 NH₄-N 濃度は低くなり、中間処理率を低く設定すると処理水 NH₄-N 濃度は高くなると想定される (本編 § 29 制御システムの立上げ (初期設定) 参照)。そこで、実証実験では、複数の中間処理率のもとで運転し、中間処理率と処理水質との関係を検証した。図資 1-3 に、Run 2-

2（管理目標値 1.0 mg-N/L、下側 DO 0.3 mg/L）における中間処理率の設定値と、設定期間における処理水 NH₄-N 濃度の平均値を示す。図資 1-3 において、一部データを除き、中間処理率が高くなるにつれて処理水 NH₄-N 濃度が低下することを確認した。なお、NH₄-N センサーの測定誤差の影響で処理水 NH₄-N 濃度が高くなった場合があったが、中間処理率を 0.74 以上と高く設定していたため、目標の 1.0 mg-N/L を大きく超過することなく運転できた。

以上の結果より、処理水 NH₄-N 濃度が目標値と乖離した場合、原因の一つに中間処理率の設定値が高すぎる、もしくは低すぎるものが考えられ、中間処理率の調整により運転を適正化できる見通しを得た（本編 § 32 緊急時の対応と対策参照）。また、活性汚泥の処理特性の急変や NH₄-N センサーの異常による水質悪化を回避するため、予め高めに中間処理率を設定することが有用であると考えた。



図資 1-3 中間処理率と処理水 NH₄-N 濃度の関係 (Run 2-2)

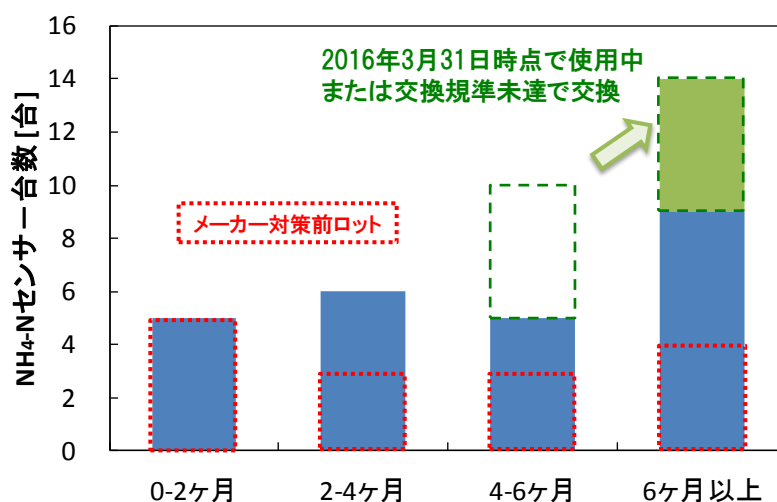
(5) NH₄-N センサーに関する検討

表資 1-9 に、本実証で使用した NH₄-N センサーの仕様を示す。使用した NH₄-N センサーの電極寿命は 6 ヶ月とされており、校正時に定量化した電極性能によって電極交換の可否を判断することとなっている。本実証で使用した NH₄-N センサーの電極寿命については後述する。また、測定精度は標準液にて測定値の 5% + 0.2 mg-N/L とされているが、試料水の条件によって変動するため、本実証における NH₄-N センサーの測定誤差についても評価した。

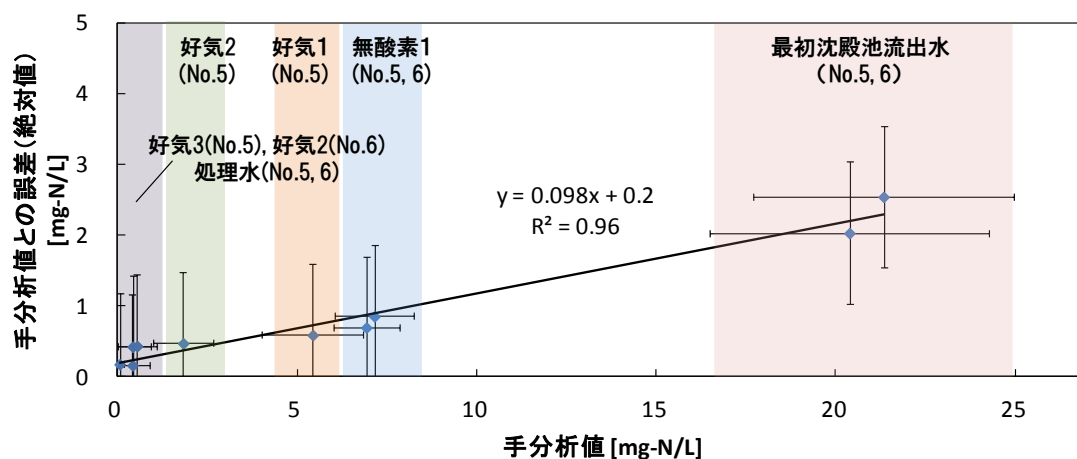
表資 1-9 本実証で使用した NH₄-N センサーの仕様

項目	仕様
メーカー	HACH 社(日本代理店: 東亜 DKK 社)
測定対象	アンモニウムイオン
測定方式	イオン電極式連続測定
測定範囲	NH ₄ -N: 0.2~1,000 mg-N/L
測定精度	標準液にて測定値の 5% + 0.2mg-N/L
電極交換周期	6 ヶ月
校正頻度	1 回/月(標準液にて 2 点校正) 1 回/月(手分析値への合わせこみ 1 点校正)
電極交換規準	校正時に電極性能値(起電力特性等)を表示、一定規準に基づき交換

図資 1-4 に、霞ヶ浦浄化センターで実証運転を開始した平成 26 年 1 月 23 日から平成 28 年 3 月 31 日までの NH₄-N センサー電極の使用実績を示す。図資 1-4 では平成 28 年 3 月 31 日時点で使用中の電極のうち、使用実績が 4 ヶ月未満のものは評価から除外した。また、4~6 ヶ月使用実績があるもので、メーカーのもつ交換規準に達していないにも係らずスケジュールの都合で交換したもの、および平成 28 年 3 月 31 日時点で使用中のものは、電極性能の状況から 6 ヶ月以上使用可能であったと仮定した。本実証における NH₄-N センサーの測定範囲としては初沈流出水で平均 19.2 mg-N/L から、No.6 池の処理水で平均 0.1 mg-N/L であったが、電極寿命は測定対象濃度の濃淡に係らず、概ね仕様の 6 ヶ月で運用できた。なお、使用実績が 4 ヶ月未満と短かった電極 11 台のうち、メーカー不良対策前のロットが 8 台あった。不良対策後のロットからは概ね安定した使用実績が得られた。

図資 1-4 NH₄-N センサー電極の使用実績

NH₄-N センサーの測定誤差に関して、設置地点ごとの平均値を図資 1-5 に示す。横軸が校正時に手分析により計測した NH₄-N 濃度であり、縦軸が手分析値と NH₄-N センサーの指示値の誤差の絶対値である。誤差範囲は標準偏差を表している。手分析値が高くなるにつれ、誤差の絶対値も増加しており、その関係から近似直線を導出すると、誤差は手分析値の 10%+0.2 mg-N/L として表された。なお、手分析値に対する計測値の誤差の歪度は全 10 台のうち 8 台で正となり、手分析値に対して計測値は正の誤差をもつ傾向が確認された。



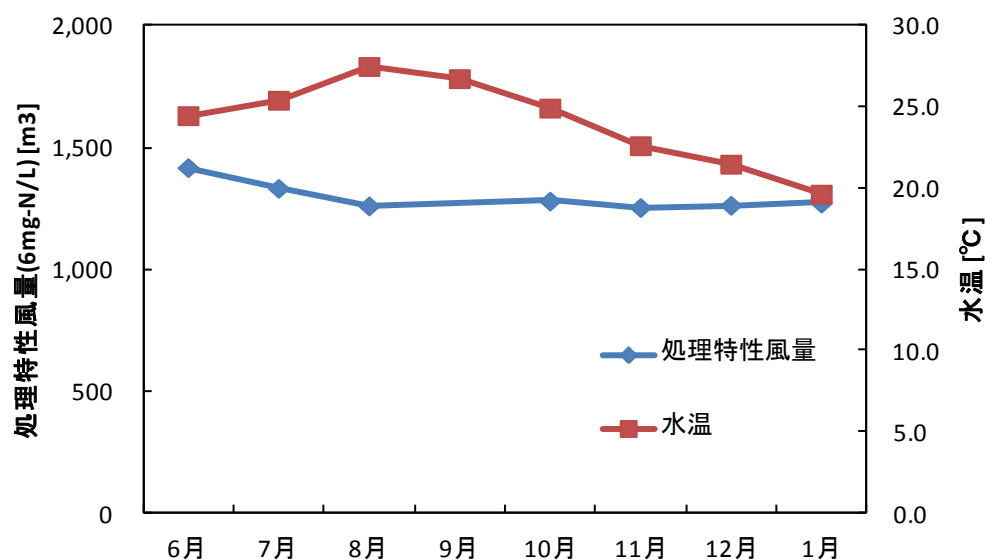
図資 1-5 NH₄-N センサーの測定誤差（設置地点ごとの平均）

(6) 処理特性見える化機能に関する検討

処理特性モデルは、NH₄-N 濃度減少量（実績値）と累積必要風量（実績値）の関係を一次関数で表したものであり、実績値に基づき自動更新される。そこで、処理特性モデルに基づき、所定の NH₄-N 濃度減少量に対する必要風量（以下、処理特性風量）を演算し、日々の変動を記録していくことで、活性汚泥の処理特性の変化や NH₄-N センサーの異常、または運転異常を見る化できると考えた。以下、処理特性モデルを用いた処理特性の見える化機能について検討した。

1) 処理特性の見える化機能の検証

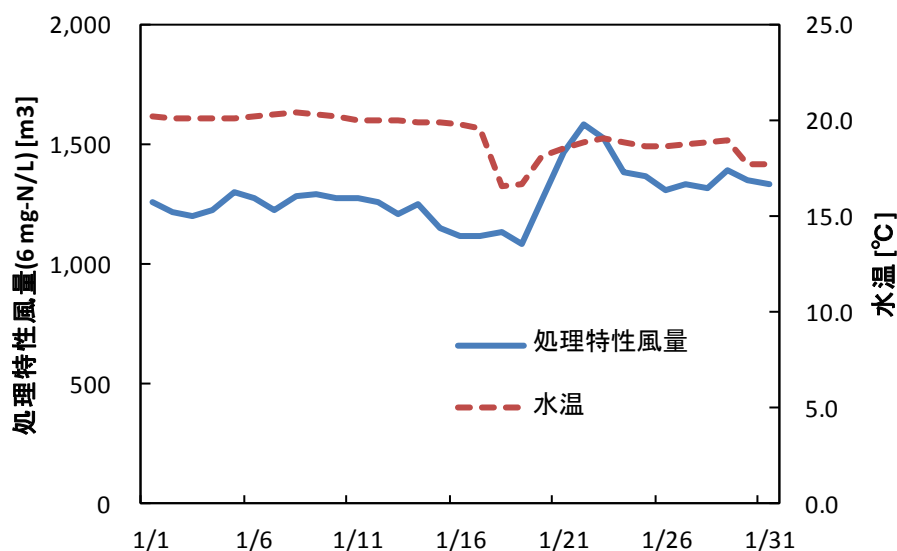
処理特性モデルによる見える化機能の検証のため、1 日ごとに過去 24 時間分の実績値に基づき処理特性モデルを作成し、処理特性風量として 6 mg-N/L の NH₄-N を処理するのに必要な風量を演算した。図資 1-6 に、月ごとの処理特性風量の平均値を水温の平均値と併せてプロットした。水温は 8 月まで上昇し、8 月に平均 27.5℃と最も高くなった。水温の上昇に伴い、処理特性風量は低下しており、微生物の活性が上昇したと考えられた。8 月以降水温は低下したが、処理特性の大きな変動は長期的には確認されなかった。



図資 1-6 処理特性の季節変化

短期的な処理特性の変動の例として、図資 1-7 に、平成 28 年 1 月における 1 日ごとの処理特性風量の変動を示す。1 月 18 日に 55 mm/日の降雨が発生したため、水温は 1 月 17 日の 19.6°C から 1 月 18 日には 16.6°C と 3°C 低下し、その後も約 19°C と降雨前と比べて低い水温で維持した。また、1 月 21 日、22 日は DO 計の点検工事のため、風量一定制御に切り替わるなど非定常な運転となっていた。処理特性風量をみると、水温低下による変動が確認された。1 月 18 日から 1 月 22 日に掛けて非定常運転による大きな変動があったため、1 月 17 日以前と、変動が小さくなった 1 月 23 日以降で処理特性風量を比較した。その結果、1 月 17 日以前は平均 1230 m³ であったのに対し、1 月 23 日以降では 1370 m³ と約 1 割上昇した。水温低下により活性汚泥の活性が低下し、NH₄-N 処理に必要な風量が増加したためであると考えた。

以上の結果より、処理特性風量を用いて、水温による長期的、短期的な微生物の処理特性の変化を見える化できた。



図資 1-7 平成 28 年 1 月における短期的な処理特性の変化

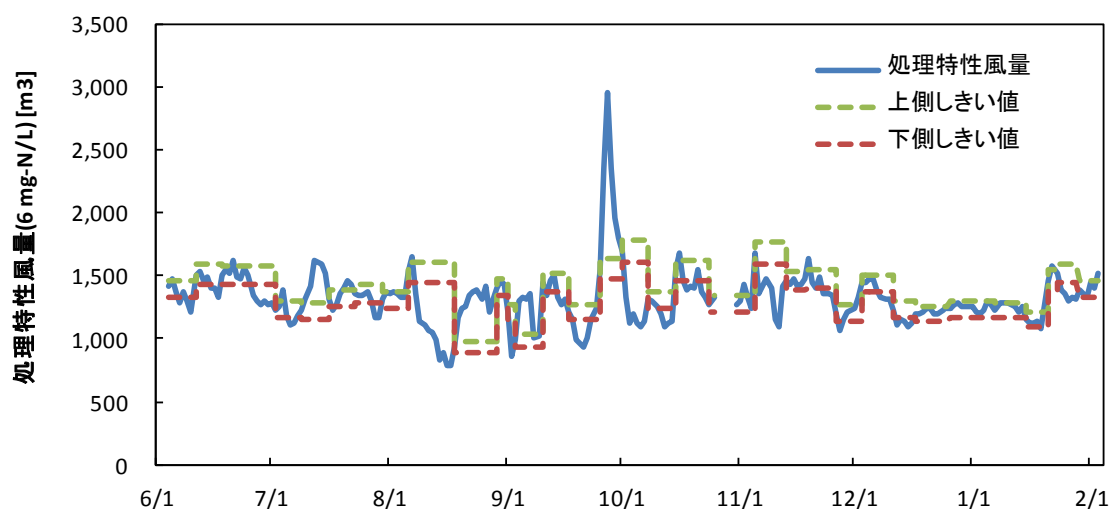
2) 処理特性モデルを用いた運転管理方法の高度化の検討

本技術による運転において、活性汚泥の処理特性の急変や、センサー劣化も含めた運転異常を早期に把握できれば、重大な水質悪化が生じる前に、制御パラメータの調整や $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの校正、電極交換など適切な対応（本編 § 32 緊急時の対応と対策参照）を図ることができる。そこで、処理特性モデルを用いて処理特性風量の変動を追跡し、確からしい処理特性風量との比較により、活性汚泥の処理特性の大幅な変化や $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの異常の発生を検知する方法（本編 § 30 制御システムの運転管理参照）を検討した。以下、処理特性モデルを用いた運転管理方法について、実証研究での検討結果について述べる。

本実証で検討した運転管理方法について概説する。本実証では、確からしい処理特性風量の範囲として、 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサー校正翌日 24 時間分の実績値に基づく処理特性モデルから算出した処理特性風量の $\pm x\%$ とした（ x ：設定値）。図資 1-8 に、しきい値の範囲を $\pm 5\%$ とした際の処理特性風量との関係を示す。図資 1-8 に示した処理特性風量は、1 日ごとに過去 24 時間分の実績値に基づく処理特性モデルより算出したものである。また、しきい値は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの校正に合わせて設定し、次の校正までの間、変動検知の基準として用いた。処理特性風量の変動の原因としては、活性汚泥の処理特性の変化や $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの計測誤差が考えられる。ここで、処理特性風量の変動の追跡により、 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの計測誤差を検知できるか検証した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの誤差については、図資 1-5 の結果から $10\%+0.2 \text{ mg-N/L}$ を基準とし、本手法による $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの測定誤差の検知結果を表資 1-10 に示す。なお、表資 1-10 の結果は平成 27 年度プロジェクトにおける約 8 ヶ月間の運転結果に基づくものである。本手法を用いることで、 $10\%+0.2 \text{ mg-N/L}$ 以上の $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの測定誤差を第 1 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサー（無酸素タンク 1）では 87%、第 2 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサー（好気タンク 2）では 79%の割合で検知できた。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの測

定誤差が $10\%+0.2 \text{ mg-N/L}$ 未満であり、微生物の処理特性の変化など $\text{NH}_4\text{-N}$ センサー以外の要因によるものは8回となった。

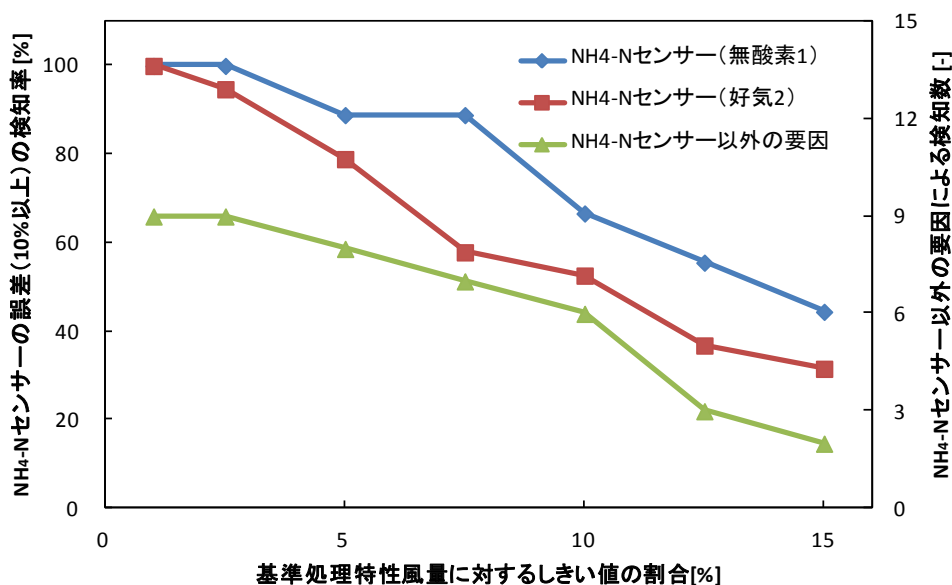
以上の結果より、処理特性風量の変動を監視することで、 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの異常などを検知できる見通しを得た（本編 § 30 制御システムの運転管理参照）。なお、しきい値の範囲を小さくすることで、 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの誤差の検知率も高くなるが、センサー誤差以外の要因である処理特性のわずかな変動まで検知してしまい、維持管理上の効率性が低下するため（図資 1-9 参照）、運転状況や $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの測定精度を考慮して、しきい値の範囲を設定することが望ましい。



図資 1-8 処理特性風量およびしきい値となる風量の変動

表資 1-10 処理特性風量による $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの測定誤差の検知結果（しきい値： $\pm 5\%$ ）

$\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの計測誤差	設置位置	回数(校正時)	変動検知	検知率
$\geq 10\%+0.2 \text{ mg/L}$	無酸素1	9	8	89%
	好気2	19	15	79%
$< 10\%+0.2 \text{ mg/L}$	無酸素1 好気2	28	8	—



図資 1-9 しきい値の設定範囲に対する NH₄-N センサー誤差の検知率、
NH₄-N センサー以外の要因の検知数

1.3 実証研究（③複数系列制御方式の実証）の詳細

(1) 展開池における DO 可変制御の設定値の設定方法

本技術を複数の池、系列に適用する場合、導入コストの低減のため、NH₄-N センサーの設置を代表池に限定する複数系列制御方式を導入することも可能である（本編 §9 複数系列における風量制御方式の概略参照）。複数系列制御方式では、代表池には NH₄-N センサーを設置し、NH₄-N センサーの計測値を用いて風量制御を実施する。一方、展開池では、代表池の DO 濃度を補正して展開し、DO 可変制御を実施する。展開池での DO 設定値は、代表池と同程度の処理水 NH₄-N 濃度となるように、代表池の DO 濃度を補正する必要がある。NH₄-N の処理では、反応速度（DO 濃度の関数）、処理時間（流入流量の関数）、MLSS 濃度に影響を受ける。そこで、展開池では、式(資 1.1)に基づき、代表池の DO 濃度を流入流量、MLSS 濃度により補正した値を DO 設定値とした。

$$\frac{DO'(t + \Delta t)}{K' + DO'(t + \Delta t)} = \frac{DO_{av}(t)}{K + DO_{av}(t)} \cdot \frac{Q'_{in,av}(t)}{Q_{in,av}(t)} \div \frac{MLSS'_{av}(t)}{MLSS_{av}(t)} \quad (\text{資 1.1})$$

ここで、 $DO'(t + \Delta t)$ [mg/L]: 時刻 $t + \Delta t$ における展開池の DO 設定値、 $DO_{av}(t)$ [mg/L]: 時刻 t における代表池の DO 濃度平均値、 $Q_{in,av}(t)$ [m³/h]: 時刻 t における代表池の流入流量平均値、 $Q'_{in,av}(t)$ [m³/h]: 時刻 t における展開池の流入流量平均値、 $MLSS_{av}(t)$ [mg/L]: 時刻 t における代表池の MLSS 濃度平均値、 $MLSS'_{av}(t)$ [mg/L]: 時刻 t における展開池の MLSS 濃度平均値、 K [mg/L], K' [mg/L]: 補正係数である。なお、各項目の平均値は過去所定期間における平均値とする。本技

術導入時の補正係数 K, K' の調整方法については、資料編 3 複数系列制御方式の立ち上げ方法を参照のこと。

(2) 実証方法

③複数系列制御方式の実証実験では、No.5 池を代表池、No.6 池を展開池とし、式(資 1.1)に基づく No.6 池の DO 設定値での DO 可変制御により、No.6 池の $\text{NH}_4\text{-N}$ の処理状況が No.5 池と同等となるか検証した。実証実験は 2 回実施し、1 回目は平成 27 年 8 月 26 日～8 月 28 日、2 回目は平成 27 年 10 月 19 日～10 月 21 日のそれぞれ 3 日間実施した。なお、1 回目の 8 月 26 日、27 日はそれぞれ DO 可変制御の制御性の検証、式(資 1.1)における補正係数の調整期間とした。

複数系列制御方式の実験条件を表資 1-11 に示す。実証期間中は 2 池で同時に低風量運転となり、制御失敗時には極端に水質が悪化する恐れがあるため、No.5 池の処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 目標値は 0.5 mg-N/L に設定した。No.6 池の DO 設定値は、式(資 1.1)において、過去 30 分、もしくは 15 分の No.5 池の DO 濃度、No.5 池、No.6 池の流入流量、MLSS 濃度のそれぞれ平均値を代入して算出した。また、展開池の補正係数 K' は 0.1 とし、代表池の補正係数 K は 1 回目の 8 月 28 日、2 回目の 10 月 19～20 日は 0.2、2 回目の 10 月 21 日は 0.3 とした。No.6 池の制御システムは既存設備であり、自動的に DO 設定値を変更する仕様となっていなかったため、式(資 1.1)により算出した DO 設定値を 15 分ごとに手入力した。また、夜間（21 時～翌日 9 時）においては、硝化制御風量が下側 DO 制御風量を下回る時間が長いため、両池とも DO 一定制御とした。式(資 1.1)において DO 濃度が小さくなる No.6 池に対して下側 DO 設定値を 0.5 mg/L に設定し、No.5 池の DO 設定値は式(資 1.1)での演算結果に従い、1.0 mg/L に設定した。

表資 1-11 複数系列制御方式における実験条件

期間	池	処理水NH ₄ -N 目標値 [mg-N/L]	補正係数 K, K'	式(資1.1)における 流入流量・MLSS濃度	夜間(21時～翌日9時)の 運転方法
H27/8/28	No.5	0.5	0.2	過去30分間の 平均値	DO 1.0 mg/L一定制御
	No.6	-	0.1		DO 0.5 mg/L一定制御
H27/10/19 - 10/20	No.5	0.5	0.2	過去15分間の 平均値	DO 1.0 mg/L一定制御
	No.6	-	0.1		DO 0.5 mg/L一定制御
H27/10/21	No.5	0.5	0.3		-
	No.6	-	0.1		-

(3) 評価項目

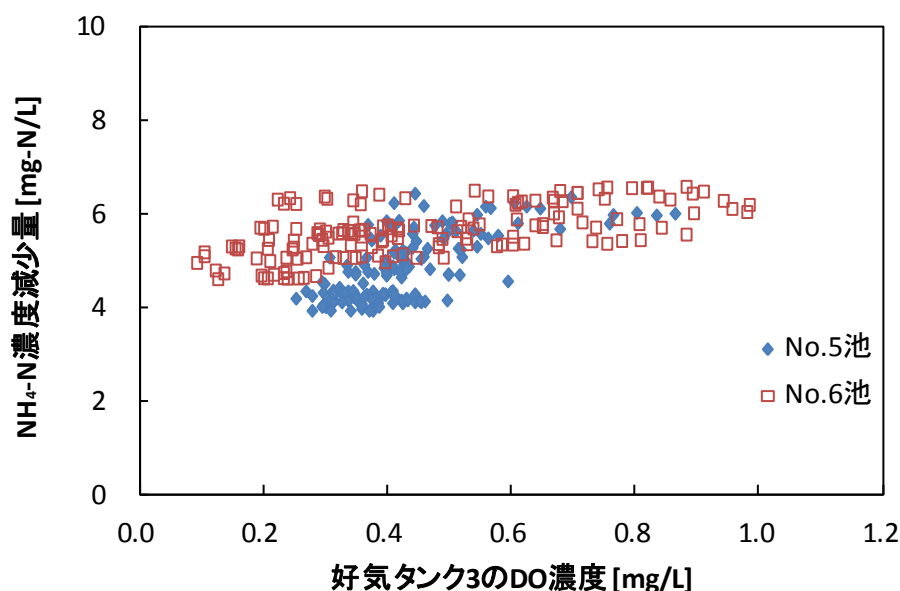
③複数系列制御方式の実証実験では、No.5 池、No.6 池の $\text{NH}_4\text{-N}$ の処理状況の同一性を表す指標として、無酸素タンク 1 から好気タンク 2 までの $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度減少量 ΔNH_4 を評価項目とした。 ΔNH_4 の算出式を式(資 1.2)に示す。夜間（21 時～翌日 9 時）の DO 一定制御期間においても、式(資 1.1)に基づき DO 濃度を設定しているため、夜間の運転データも評価期間に含めた。

$$\Delta NH_4 = NH_{A1} - NH_{O2} \quad (\text{資 1.2})$$

ここで、 ΔNH_4 [mg-N/L]：無酸素タンク 1 から好気タンク 2 までの NH_4 -N 濃度減少量、 NH_{A1} [mg-N/L]：無酸素タンク 1 の NH_4 -N 濃度、 NH_{O2} [mg-N/L]：好気タンク 2 の NH_4 -N 濃度とした。なお、無酸素タンク 1、好気タンク 2 の NH_4 -N 濃度は、実験期間の平均値とした。

(4) 実証結果

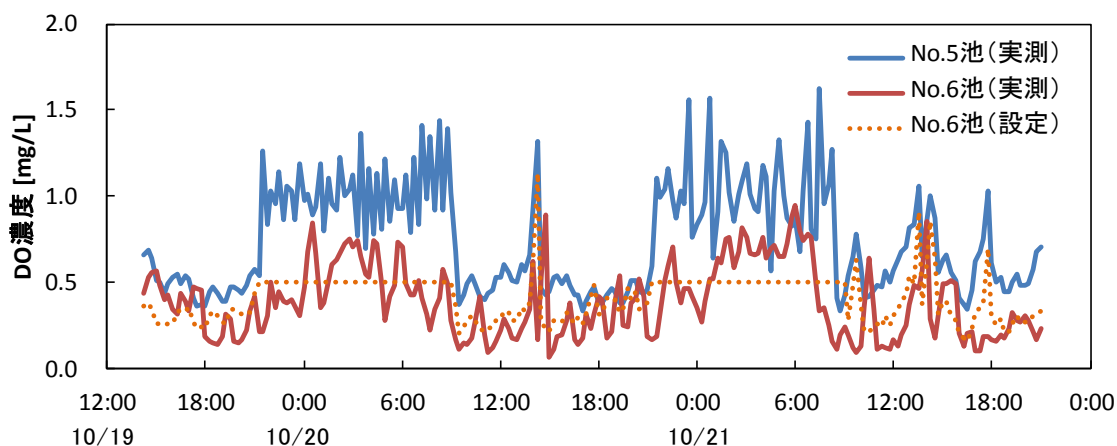
式(資 1. 1)における補正係数を調整するため、第 1 回目の実証に先立ち 8 月 27 日に試運転を実施した。図資 1-10 に試運転の結果として、No.5 池、No.6 池での DO 濃度に対する NH_4 -N 濃度減少量 ΔNH_4 の関係を示す。同じ DO 濃度での NH_4 -N 濃度減少量を比較すると、特に 0.5 mg/L 以下の低 DO 領域で No.6 池の方が多くなった。これは、各好気タンクへの風量配分の違いにより、好気タンク末端（好気タンク 3）での DO 濃度が同じでも、No.6 池の方で硝化が進行した可能性があると考えた。そこで、No.5 池と No.6 池で NH_4 -N の処理状況を揃えるため、No.5 池の DO 濃度に対して No.6 池の DO 設定値が低くなるように、式(資 1. 1)において No.5 池（代表池）の補正係数 K を 0.2 もしくは 0.3 としたのに対し、No.6 池（展開池）の補正係数 K' を 0.1 と低く設定した。



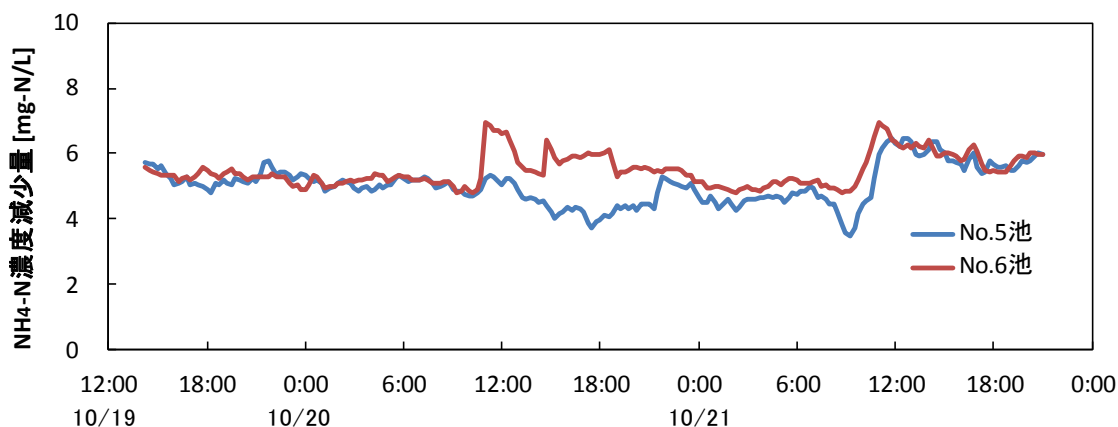
図資 1-10 No. 5 池、No. 6 池の DO 濃度に対する NH_4 -N 処理濃度の関係

第 2 回目（平成 27 年 10 月 19 日～10 月 21 日）の結果を例として、複数系列制御方式の実証実験における No.5 池、No.6 池の DO 濃度の推移を図資 1-11 に示し、No.5 池、No.6 池の無酸素タンク 1 から好気タンク 2 における NH_4 -N 濃度減少量を図資 1-12 に示す。第 2 回目の実証実

験は10月19日14時から開始し、10月21日21時に終了した。図資 1-11において、日中（9時～21時）のNo.6池はDO可変制御であり、No.5池のDO濃度に追従してNo.6池のDO設定値、およびDO濃度も変動していた。夜間（21時～翌日9時）では、No.5池、No.6池はそれぞれ1.0 mg/L、0.5 mg/Lを設定値とするDO一定制御とした。なお、10月20日14時のDO濃度の変動は、霞ヶ浦浄化センターでのブロワ運転の手動介入による曝気風量の急増によるものであった。図資 1-12において、No.5池、No.6池の無酸素タンク1から好気タンク2までのNH₄-N濃度減少量を比較すると、概ね同程度であり、No.6池のDO可変制御によりNo.5池と同様のNH₄-N処理状況を再現できた。なお、10月20日は、上記のブロワ運転の手動介入に加え、No.5池のNH₄-Nセンサー校正時の人為的ミス（計測値ホールド）があったため、10月20日の9時～21時は本評価の対象から除外した。



図資 1-11 複数系列制御方式の実証実験におけるDO濃度の推移（第2回目）



図資 1-12 複数系列制御方式の実証実験におけるNH₄-N処理濃度の推移（第2回目）

表資 1-12に複数系列制御方式の実証結果を示す。第1回目、第2回目の合計48時間の実証実験の結果、No.5池、No.6池のNH₄-N濃度減少量の平均差分量は0.24 mg-N/Lとなり、十分小

くなった。このことから、短期間での実証結果ではあるものの、展開池においても複数系列制御方式を適用することで、代表池と同様の $\text{NH}_4\text{-N}$ 処理が可能であることを確認できた。

表資 1-12 複数系列制御方式の実証結果のまとめ

期間	池	DO [mg/L]	NH ₄ -N濃度 [mg-N/L]			ΔNH_4 (無酸素1-好気2) [mg-N/L]	差分 [mg-N/L]
		計測値	無酸素1	好気2	処理水		
H27/8/28 10時-15時 (5時間)	5	0.99	7.80	2.32	0.52	5.48	0.35
	6	0.59 (設定値:0.73)	7.02	1.20	0.10	5.83	
H27/10/19 14時- H27/10/21 21時 ^(※) (43時間)	5	0.81	6.90	1.72	0.13	5.18	0.23
	6	0.42 (設定値:0.43)	6.54	1.13	0.10	5.40	
実証期間 (計48時間) の平均	5	0.83	6.99	1.78	0.17	5.21	0.24
	6	0.44 (設定値:0.46)	6.59	1.14	0.10	5.45	

※10/20 9時-21時データは除く

(5) 適用条件に関する検討

本編 § 10 制御システムの適用範囲において、複数系列制御方式を適用できる展開池の条件として、代表池と同一の処理方式、躯体構造仕様であること、流入水質が同様であること、流入流量、循環比、返送比、MLSS 濃度が同様に調整されていること、SRT が同程度で運転されていることとした。実証実験において代表池・展開池としてそれぞれ設定した No.5 池、No.6 池の流入・運転条件を表資 1-13 に示す。循環比、返送比はほぼ同等に調整されており、流入水質として流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度も同等であった。一方、流入流量は最大 4%、MLSS 濃度は最大 8%のずれがあったが、複数系列制御によりこれらの違いを補正することで、表資 1-12 に示したように、No.5 池、No.6 池で同等の処理状況となった。詳細なデータは取得していないが、流入量、返送比、MLSS 濃度が同程度に調整されているため、SRT に関しても同程度で運転されていたといえる。実証実験結果より、表資 1-13 で示した範囲の流入・運転条件の差異であれば、展開池として複数系列制御方式を適用できることを確認した。

表資 1-13 実証実験における代表池（No.5 池）・展開池（No.6 池）の流入・運転条件

実験 期間	系列	平均 流入流量 [m ³ /h]	循環比	返送比	MLSS濃度 [mg/L]	流入NH ₄ -N 濃度 [mg-N/L]
H27/8/28 (5時間)	No.5池	269	1.51	0.51	2259	22.2
	No.6池	276	1.51	0.50	2113	22.7
	No.5/No.6	0.98	-	-	1.07	-
H27/10/19 - 10/21 (43時間)	No.5池	265	1.49	0.47	2535	19.8
	No.6池	275	1.48	0.45	2354	19.3
	No.5/No.6	0.96	-	-	1.08	-

1.4 実証研究（④採水・採ガス調査）の詳細

(1) 調査方法

実証系列の No.5 池、対照系列の No.6 池の詳細な処理状況、および温室効果ガス(N₂O)排出量を比較するため、平成 27 年 9 月、11 月、12 月の計 3 回通日採水・採ガス調査を実施した。表資 1-14 に採水・採ガス調査の概要を示す。調査は通日で実施し、初沈流出水については流入変動の把握のため 4 時間ごとに、反応槽および処理水、返送汚泥については 8 時間ごとに採水・採ガスし、処理状況及び N₂O 排出状況を評価した。

表資 1-14 採水・採ガス調査の日時、計測地点

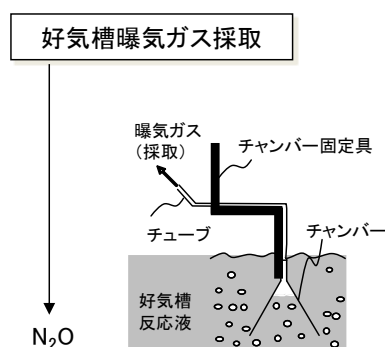
調査日	時刻		計測地点(○:採水、●:採水+DO・ORP計測+採ガス)							
			初沈 流出水	無酸素タンク		好気タンク			処理水	返送 汚泥
				1槽	2槽	1槽	2槽	3槽		
・第1回:H27/9/2～H27/9/3 ・第2回:H27/11/17～H27/11/18 ・第3回:H27/12/15～H27/12/16	1日目	12時	○	-	-	-	-	-	-	-
		16時	○	○	○	●	●	●	○	○
		20時	○	-	-	-	-	-	-	-
	2日目	0時	○	○	○	●	●	●	○	○
		4時	○	-	-	-	-	-	-	-
		8時	○	○	○	●	●	●	○	○

表資 1-15 に分析項目とそれぞれの分析方法、分析に使用した機器、計測した地点を示す。有機物成分として、TOC（全有機炭素：Total Organic Carbon）、BOD（生物化学的酸素要求量：Biochemical Oxygen Demand）、COD（化学的酸素要求量：Chemical Oxygen Demand）を測定した。窒素成分として、全窒素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、またガス成分として温室効果ガスの N₂O ガスも測定した。リン成分として、全リン、リン酸態リンを測定した。その他の項目として、アルカリ度、SS（浮遊物質：Suspended Solids）、MLSS（活性汚泥浮遊

物質：Mixed Liquor Suspended Solids）、MLVSS（活性汚泥有機性浮遊物質：Mixed Liquor Volatile Suspended Solids）、総アルカリ度、DO、ORP（酸化還元電位：Oxidation-Reduction Potential）、水温を計測した。表資 1-15 において○を記した溶解性成分に関しては、採取後直ちに 5C ろ紙（Advantec 社製）でろ過した。◎を記したアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素はさらに 0.2 μm フィルタ（Advantec 社製、DISMIC 13CP020AN）でろ過し、そのろ液を分析に供した。また、 N_2O ガスは図資 1-13 に示す採取方法に従い、好気タンクの水面に設置したチャンバーを通じて放出ガスをテドラーバッグ（容量 10L）に回収した。

表資 1-15 採水・採ガス調査における分析項目・分析方法

分析項目	分析方法	使用機器	計測地点 (●:未ろ過、○:5Cろ紙でろ過、◎:5Cろ紙⇒0.2μmフィルターでろ過、△:採ガス)										評価・試算 項目
			初沈流出水		無酸素タンク		好気タンク			処理水		返送 汚泥	
			未ろ過	ろ過	1槽	2槽	1槽	2槽	3槽				
TOC	680℃燃焼触媒酸化方式／ 非分散形赤外線ガス分析法 (NDIR法)	Shimadzu: TOC-V _{GSH}	●	○	○	○	○	○	○	●	○	-	
BOD	JIS K0102 21	-	●	○	-	-	-	-	-	●	-	除去率	
COD_Mn	JIS K0102 17	-	●	○	-	-	-	-	-	-	-	-	
COD_Cr	JIS K0102 20	-	●	○	-	-	-	-	-	-	-	-	
全窒素	熱分解／NO検出 (化学発光法)	Shimadzu: TNM1	●	○	○	○	○	○	○	●	○	除去率	
アンモニア性窒素	イオンクロマトグラフ法	Shimadzu: CDD-10AVP等 陰カラム IC-A3 陽カラム IC-C1	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	処理水水质	
硝酸性窒素			-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	
亜硝酸性窒素			-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	
N ₂ Oガス	非分散形赤外線ガス分析法 (NDIR法)	HORIBA: VA-3001	-	-	-	-	△	△	△	-	-	排出係数	
全リン	JIS K0102 46.3	-	●	○	-	-	-	-	-	●	-	除去率	
リン酸態リン	JIS K0102 46.1	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	
アルカリ度	JIS K0102 15.1	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SS・MLSS	遠心分離法	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	
MLVSS	強熱減量法	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	
DO	隔膜式電極 (ポーログラフ式)	YSI: 550A	-	-	-	-	●	●	●	-	-	-	
ORP・水温	ORP電極	東興化学研究所: TRX-999	-	-	-	-	●	●	●	-	-	-	
微生物 群集解析	定量リアルタイムPCR 次世代シーケンス解析	-	-	-	-	-	-	-	●	-	●	-	



【ガス採取方法】
 チャンバーを曝気槽に設置し、
 曝気ガスだけをテドラーバックに採取

図資 1-13 N₂O ガス採取方法

(2) 評価項目

採水・採ガス調査では、処理水質および除去率（BOD、全窒素、アンモニア性窒素、全リン）、N₂O 排出係数を評価項目とした。除去率は式(資 1.3)に従い、対象項目の流入水濃度と処理水濃度のそれぞれ平均値から算出した。

$$\text{除去率 [\%]} = \left(1 - \frac{\text{処理水濃度}}{\text{流入水濃度}}\right) \times 100 \quad (\text{資 1.3})$$

水処理系列からの N₂O ガスの排出量を表す指標として、N₂O 排出係数を用いた。N₂O 排出係数は、1 m³ の下水を処理する際に放出される N₂O 量であり、式(資 1.4)に従って算出した。なお、各系列の 3 つの好気タンクには均等に空気が供給されるものとした。

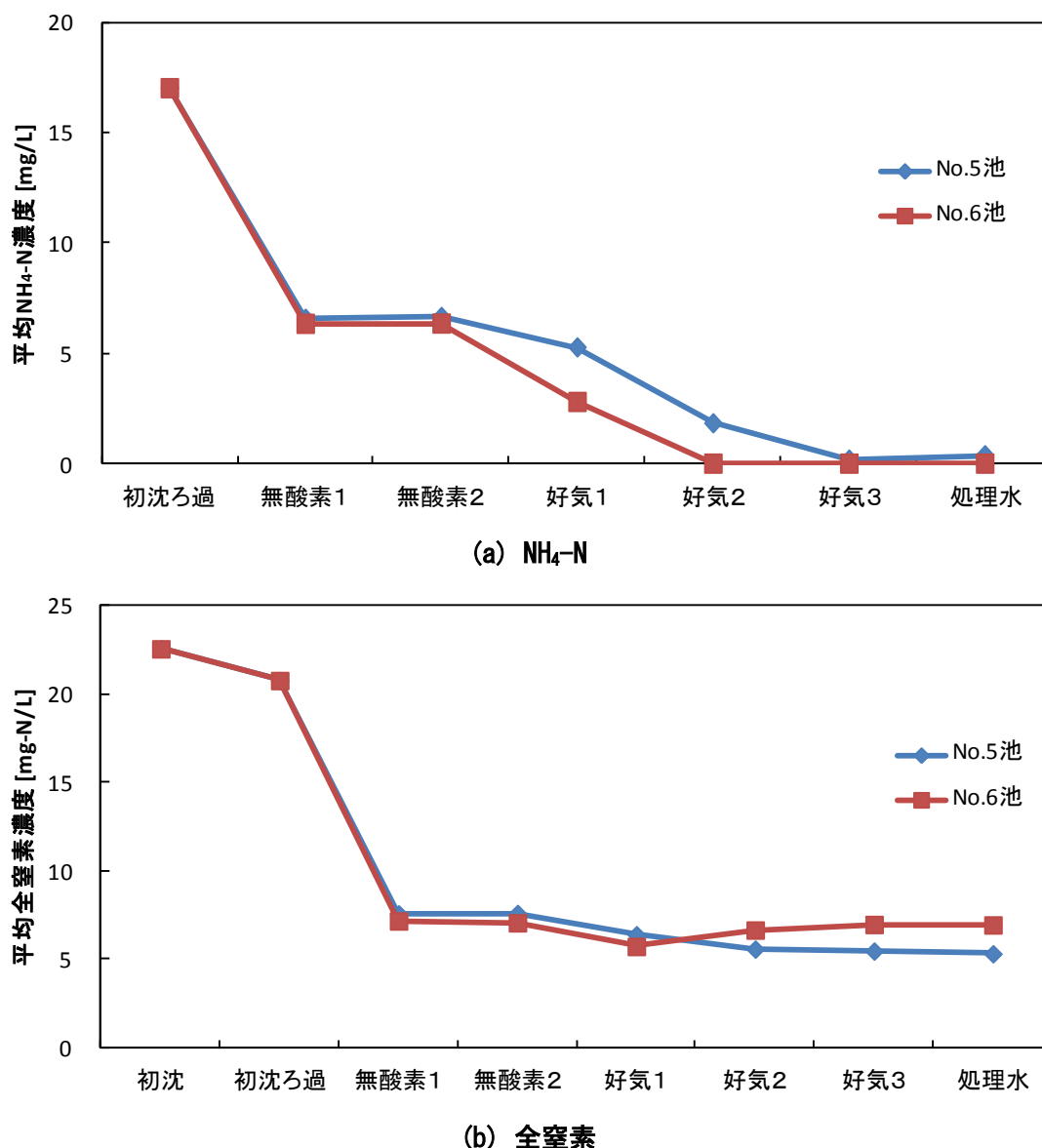
$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{O 排出係数 [mg-N}_2\text{O/m}^3] &= \\ &= \frac{1}{3} \times \sum_{i=1}^3 \frac{C_{\text{N}_2\text{O}_i}}{3 \times 10^6} \times \frac{44}{0.0224} \times \frac{273.15}{273.15 + T} \times \frac{Q_B}{Q_{in}} \end{aligned} \quad (\text{資 1.4})$$

ここで、 $C_{\text{N}_2\text{O}_i}$ [ppm]: 採ガス時刻における好気タンク i での N₂O ガス濃度 ($i=1, 2, 3$)、 T [°C]: 採ガス時刻における水温、 Q_{in} [m³/h]: 採ガス時刻における初沈流出水流量、 Q_B [m³/h]: 採ガス時刻における風量とした。また、式中の 44 は N₂O のモル質量 [g/mol]、0.0224 は 標準状態での 気体 1 mol の体積[m³/mol]、273.15 は 0°C のときの絶対温度 [K] である。

(3) 調査結果

採水調査では、No.5 池、No.6 池の初沈流出水から処理水、返送汚泥までの各地点で採水し、詳細な処理状況を把握した。詳細な処理状況の例として、図資 1-14(a) に第 3 回採水調査（平成 27 年 12 月 15 日、12 月 16 日）の NH₄-N 濃度の結果を示し、図資 1-14(b) に全窒素濃度の結果を示す。濃度は通日平均値である。従来制御である DO 一定制御の No.6 池では、好気タンク 2 に

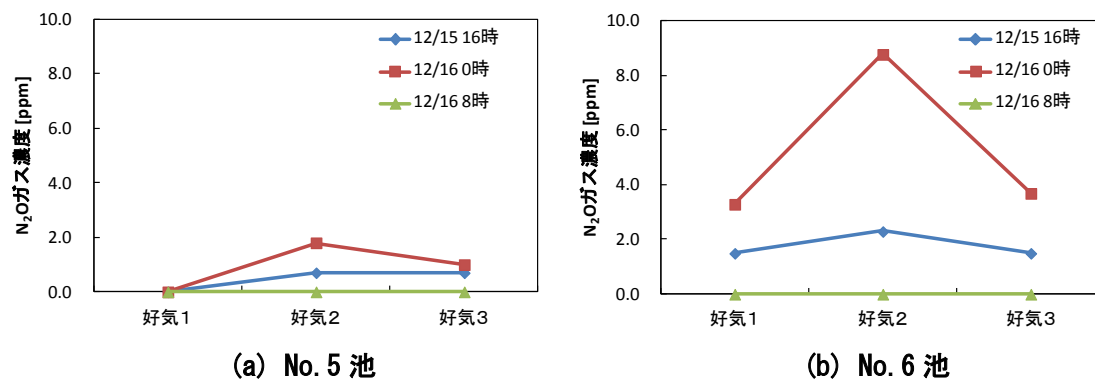
において既に $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が不検出となっており、好気タンク 3 への曝気が過剰となっていた。一方、本技術を適用した No.5 池では硝化をより適正化し、過剰曝気となっている領域を削減できた。図資 1-14(b)において、No.5 池、No.6 池の全窒素濃度を比較すると、No.5 池では好気タンク内で全窒素濃度が減少しており、No.6 池と比べて処理水濃度は低くなった。これは、No.5 池では本技術導入により、従来の DO 一定制御に比べて低 DO 濃度での運転となり、好気タンク内においても硝化と並行して脱窒が進行したためと考えた。



図資 1-14 第 3 回採水調査結果による処理状況の比較

採ガス調査では、温室効果ガスである N_2O 排出状況を比較した。図資 1-15 に第 3 回採ガス調査における N_2O 排出状況を示す。図資 1-15(a)が No.5 池の N_2O ガス濃度、図資 1-15(b)が No.6 池の N_2O ガス濃度である。No.6 池に比べて、No.5 池の N_2O ガス濃度は低くなった。好気タンクの前段部分での硝化を抑え、後段部分でより促進させた場合、 N_2O の排出量の削減効果がある

ことが報告されている³⁾。図資 1-15(a)に示したように、本技術を適用した No.5 池では、硝化がより適正に制御され、前段部分での硝化が緩やかになったため、N₂O ガス濃度も低くなったと考えた。



図資 1-15 採ガス調査による N₂O ガス濃度 (第 3 回採水調査)

採水・採ガス調査結果における No.5 池、No.6 池の処理状況、N₂O 排出状況を比較するため、BOD、全窒素、NH₄-N、全リンの除去率、N₂O 排出係数、および調査期間中の平均風量、風量削減率を表資 1-16 に示す。No.5 池の BOD、全リン、NH₄-N の除去率は No.6 池と同程度であり、全窒素については No.6 池に比べて高い除去率が得られた。N₂O については、No.5 池での排出係数は No.6 池に比べて低くなった。また、No.5 池、No.6 池ともに水温の低下に伴って N₂O 排出係数は増加したが、No.5 池の排出係数については最も高くなった 12 月の結果においても、窒素除去を行う処理法における N₂O 排出係数 11.7 mg-N₂O/m³⁴⁾を下回った。採水調査期間の風量削減率についても、本研究の目標である 10%以上の削減率を達成した。以上の結果から、実証実験では、本技術導入により、風量の削減、水質の維持・向上を両立でき、N₂O 排出量の増加にも寄与しないことが示唆された。

表資 1-16 採水・採ガス調査結果における処理状況・N₂O 排出状況の比較

項目	系列	第1回 (H27/9)	第2回 (H27/11)	第3回 (H27/12)
水温 [°C]	No.5池, No.6池	27.0	22.9	21.8
BOD除去率 [%]	No.5池	98	96	95
	No.6池	98	96	95
全窒素除去率 [%]	No.5池	74	77	78
	No.6池	68	70	71
NH ₄ -N除去率 [%]	No.5池	99	100	98
	No.6池	100	100	100
全リン除去率 [%]	No.5池	100	99	96
	No.6池	96	97	94
N ₂ O排出係数 [mg-N ₂ O/m ³]	No.5池	0.00	0.24	2.52
	No.6池	0.00	10.0	17.2
平均風量 [m ³ /h]	No.5池	755	782	745
	No.6池	976	1067	1084
風量削減率(補正) [%]		18.5	16.4	21.1