

令和4年3月

B-DASHプロジェクト自主研究報告(最終)

[H26採択]

ICTを活用した 効率的な硝化運転制御技術

1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
4. ガイドラインについて
5. 普及展開
6. まとめ

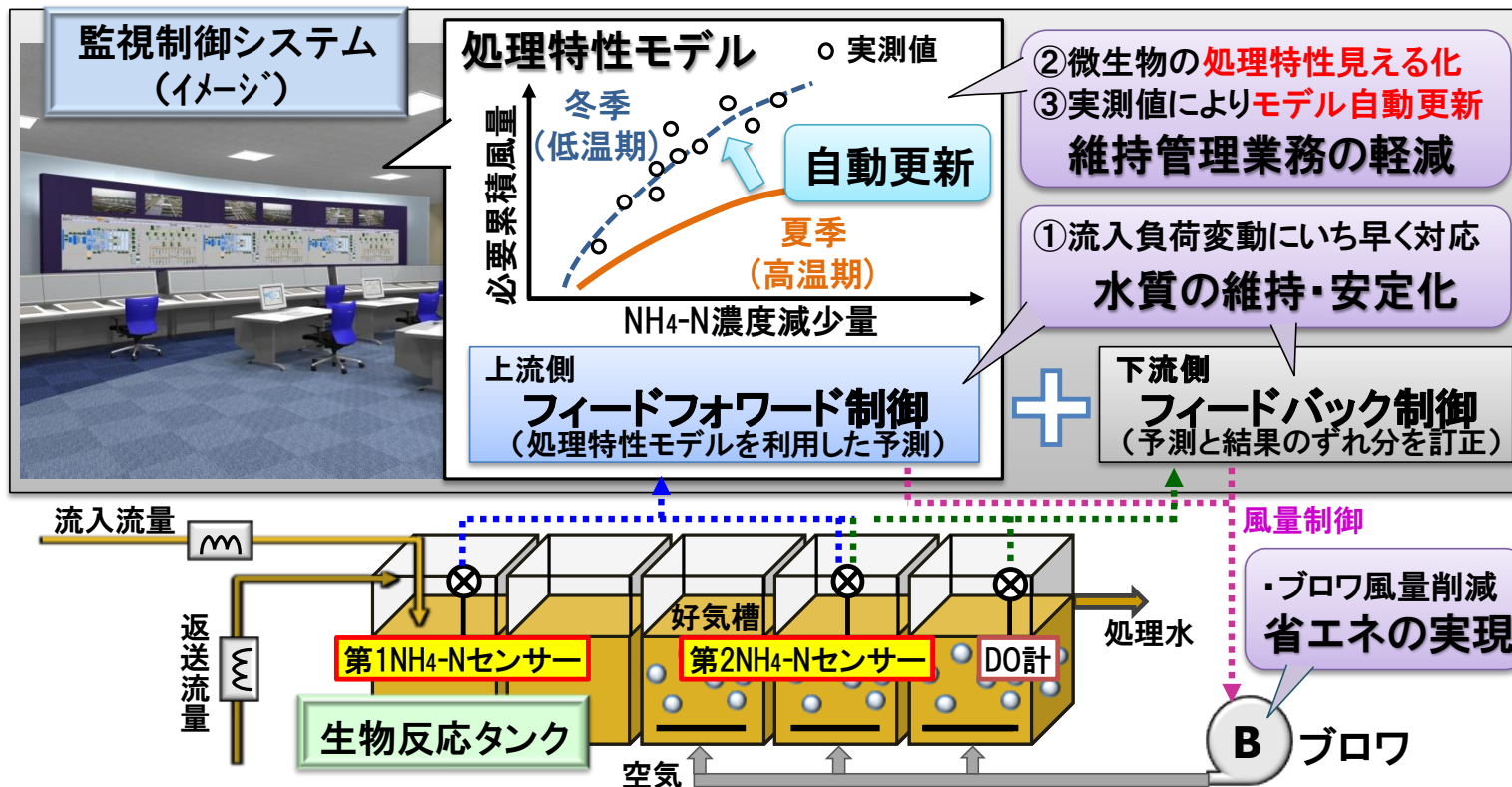
1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
4. ガイドラインについて
5. 普及展開
6. まとめ

1. 研究概要(1)

◇技術名称	ICTを活用した効率的な硝化運転制御技術
◇実施期間	委託研究:平成26年7月～平成28年3月 自主研究:平成28年4月～令和4年3月 ガイドライン発刊:平成28年12月
◇実施者	日立製作所・茨城県共同研究体
◇実証フィールド	茨城県流域下水道事務所霞ヶ浦浄化センター 107,000 m ³ /日(処理人口約24万人)
◇実証施設規模	6,500 m ³ /日
◇実証技術	<p>本技術はICTを活用して、下水処理における硝化を適切に制御し、処理水水質維持・省エネルギー・維持管理業務の軽減を実現する。</p> <p>■ 処理水水質維持・省エネルギー</p> <ul style="list-style-type: none">・流入負荷変動にいち早く対応し、処理の過不足を抑制 (2台のNH₄-Nセンサーを用いた風量制御) <p>■ 維持管理業務の軽減</p> <ul style="list-style-type: none">・処理特性の変化(異常含む)を早期把握(処理特性見える化)・風量演算モデルの予測精度を自動的に維持(モデル自動更新)

1. 研究概要(2): 本技術の全体像

本技術はICTを活用して、下水処理における硝化を適切に制御し、**処理水水質維持、省エネルギー、維持管理業務の軽減**を実現する



■ 処理水水質維持・省エネルギー

- 2台のNH₄-Nセンサーを用いた送風量制御機能により、流入負荷変動にいち早く対応し、**処理の過不足を抑制**

■ 維持管理業務の軽減

- 活性汚泥のもつ処理特性の表示機能により、**微生物の特性変化、処理異常の傾向を早期に把握可能**
- 風量演算モデル(処理特性モデル)の自動更新機能により、**予測モデルの精度を自動的に維持**

1. 研究概要(委託研究成果まとめ)

■ 霞ヶ浦浄化センターでの実証実験結果

項目	目標	成果
処理水 NH ₄ -N濃度	硝化促進を目標とした運転として、 平均処理水NH ₄ -N濃度 ≤ 1.0 mg-N/L	○: 平均処理水NH ₄ -N濃度 0.33 mg-N/L
風量削減 効果	DO一定制御(対照系列)と比較して風量10%減	○: 風量16.9%減

■ 仮想処理場でのFS検討結果※

- 標準法、処理規模50,000 m³/日、DO一定制御の仮想処理場を想定した試算結果

評価項目	成果目標	評価結果
消費電力量	(設定なし)	13.2%低減
温室効果ガス排出量	(設定なし)	13.2%削減
経費回収年	上記想定にて5.1年	○: 経費回収年3.1年

※ FSでは、処理方式: 標準法、循環式硝化脱窒法、処理規模: 10,000 m³/日、50,000 m³/日、100,000 m³/日
風量制御方式: 風量一定制御、DO一定制御の各仮想処理場への導入効果を試算

1. 研究概要(稼働状況)

概要

- 2台のNH₄-Nセンサーを生物反応槽に設置
- 計装・コントローラ盤と監視制御装置による曝気風量演算・制御を実施
- 実証設備の稼働状況を監視制御画面に表示

NH₄-Nセンサーを含む
計測器類



計装・コントローラ盤



監視制御装置・
監視制御画面



1. 研究概要
- 2. 自主研究**
3. 実証施設の性能評価
4. ガイドラインについて
5. 今後の予定
6. まとめ

2. 自主研究

概要

自主研究を通じて、
本技術による実証データ拡充、制御効果を維持するための運転管理手法の検討を実施。

■ 自主研究内容

① 実証データ拡充：本技術の効果検証

実証期間を延長し、様々な条件（流入水量・水質、処理水目標値、対照系列の運転など）における、本技術の制御効果を評価した。

② 制御パラメータの設定方法の検討：本技術の調整方法検討

本技術において、制御目標値を規定する制御パラメータ（中間処理率）について、想定される流入水質やセンサー計測誤差にも対応して、所望する処理水質が得られる設定方法を検討した。

③ 風量演算モデル（処理特性モデル）への影響因子評価：本技術の利用方法評価

本技術の処理特性モデルは処理実績に基づき自動更新される。
この処理特性モデルの変化について、水温などの因子が与えた影響について評価した。

④ 処理状態変化の検知手法の検討：本技術と新規手法の組合せによる維持管理効率化検討

本技術の処理特性見える化機能と、新規手法であるクラスタリング手法（適応共鳴理論：ART）とを組合せ、制御不良（センサー異常含む）、微生物の処理特性変化などを検知する手法を検討した。

2. 自主研究

検討項目	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (H31,R1)	2020 (R2)	2021 (R3)
① 実証データ拡充	制御実証					
② 制御パラメータの 設定方法の検討		FB目標値を規定する パラメータの設定方法				
③ 風量演算モデル の影響因子評価		水温やMLSSによる 必要風量への影響評価				
④ 処理状態変化の 検知手法			状態変化(センサー異常など)の検知における クラスタリング手法の適用性評価			
(導入提案活動)		▲ ▲ 採水調査 (A市B処理場)		NH ₄ -N連続モニタリング(A市B処理場) 導入(C市、2サイト) ▲		

2. 自主研究：①実証データの拡充（1）

概要

実証を継続し、長期制御効果を評価。2014年度の実証開始から計291日間(※)の運転で、平均処理水NH4-N 0.43 mg-N/L(目標1.0 mg-N/L以下)、風量削減率17.7%(目標10%以上)を達成。
 ※ガイドラインでは、運転日数:98日間、平均処理水NH4-N:0.33 mg-N/L、風量削減率:16.9%

■ 実証開始以降の運転結果まとめ

年	期間 (運転日数※)	処理水NH4-N (mg-N/L)		風量削減率 (%)	備考
		目標値	実測値(平均)		
2015	1/27 – 4/24 (76日間)	1.0	0.40	18.9	・2014年度委託評価期間(2015/1/27～2/2)
	4/25 – 5/27 (18日間)	0.5	0.20	23.0	-
	5/28 – 7/15 (41日間)	0.1	0.09	12.9	・2015年度委託評価期間(2015/6/3～)
	7/18 – 12/31 (98日間)	1.0	0.33	16.9	・2015年度委託の実証成果
2016	1/1 – 2/3 (19日間)	2.0	1.19	20.2	・2015年度委託の実証成果(～2016/2/3)
	2/4 - 3/11 (9日間)	1.0	0.65	9.9	-
	3/12 – 3/31 (20日間)	0.5	0.44	11.0	-
	4/1 – 12/5 (91日間)	1.0	0.48	17.7	・2016/4/1より自主研究として運転
2017	1/6 – 1/24 (17日間)	1.0	0.72	21.0	-
	2/1 – 3/31 (26日間)	0.5	0.62	28.1	・制御パラメータの設定により、処理水NH4-N濃度を目標値に近づける運転を実施

※ 非定常運転(流入停止など)や制御方式変更時(実証・対照系列)など、評価対象外とした期間を除く

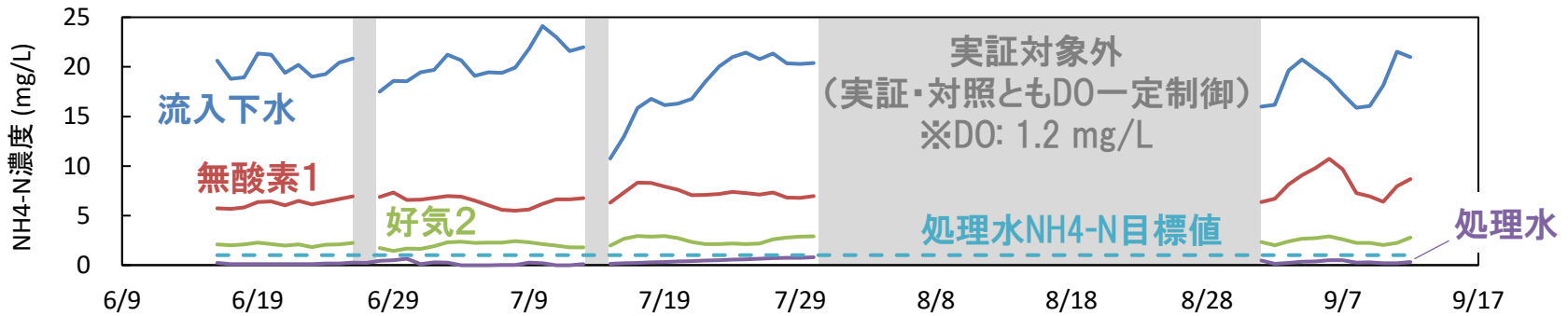
2. 自主研究：①実証データの拡充(2)

概要

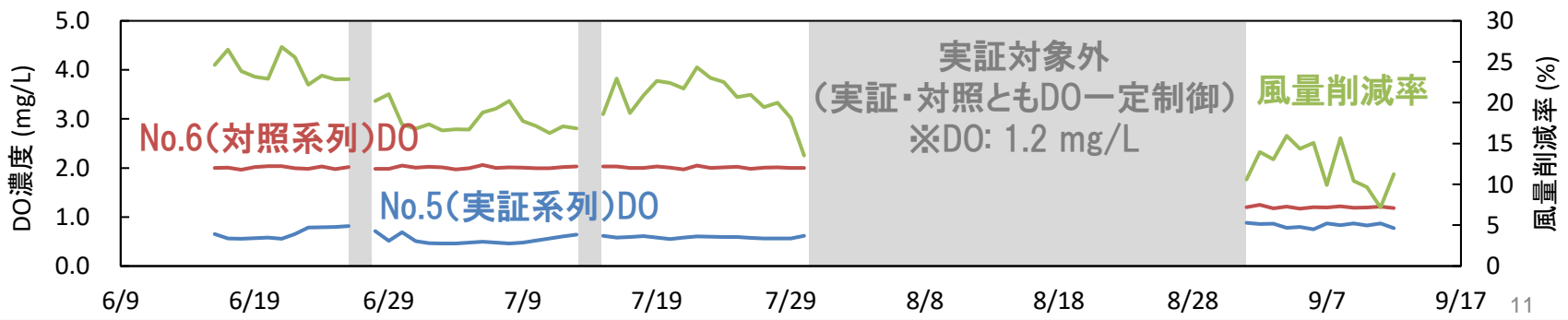
自主研究では、実証研究期間と異なる運転条件においても実験を実施。
 その場合においても、風量削減や処理水質の安定化を実現できることを実証できた。

■ 対照系列(No.6池)のDO設定値を変更(2.0 mg/L⇒1.2 mg/L: 風量削減率が小さくなる条件)

- 水質: 処理水NH₄-N濃度を目標値以下に制御



- 風量削減率: 対照系列のDO濃度低下に伴い減少するものの、10%以上の削減を実現



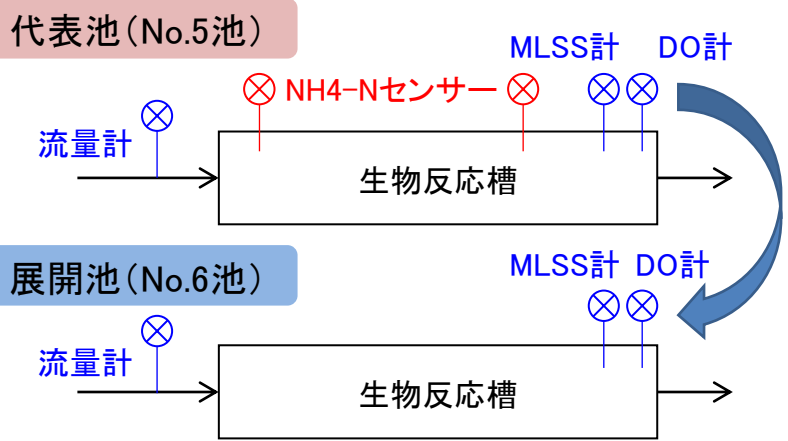
2. 自主研究: ①実証データの拡充(3)

概要

本技術適用系列のDO補正值(流量・MLSS)に基づく他系列の制御方式の実証データを拡充。補正設定値を適切にすることで、本技術適用系列と同様の処理を他系列において実施できた。

■ DO補正值に基づく制御方式(複数系列制御)

- 代表池: NH4-Nセンサーに基づく風量
- 展開池: 代表池DOの補正值に基づく風量



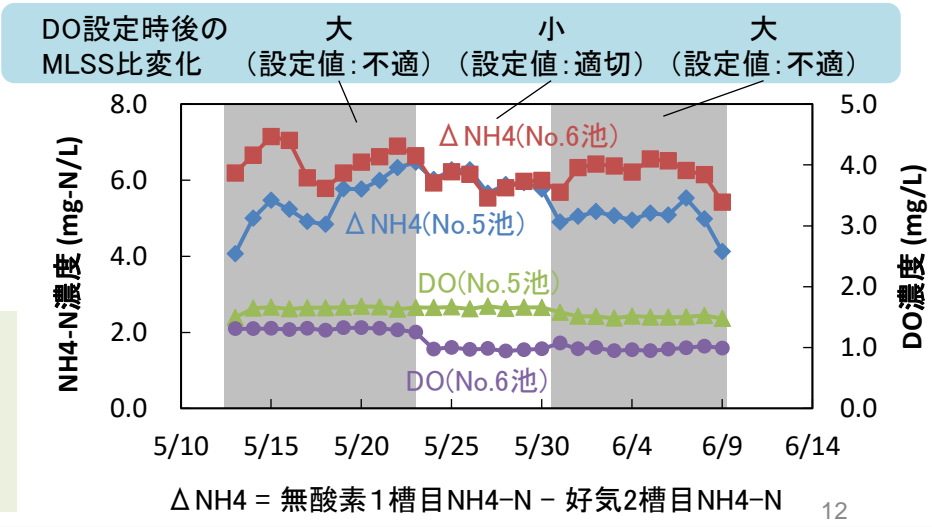
展開池(No.6池)のDO設定値の算出式

$$\frac{DO_6}{K_6 + DO_6} \times \frac{MLSS_6}{Q_{in6}} = \frac{DO_5}{K_5 + DO_5} \times \frac{MLSS_5}{Q_{in5}}$$

■ 自主研究における複数系列制御の実証条件

- No.5池: DO一定 (1.65 or 1.50 mg/L)
 - No.6池: DO一定 (設定値: No.5池DO補正值)
- ※監視制御システムが、DO設定値を連続的に変更可能な仕様ではなかったため

■ 自主研究における複数系列制御の実証結果



2. 自主研究：②制御パラメータの設定方法の検討(1)

概要

所望の処理水質が得られる中間処理率(制御パラメータ)の効率的な設定方法の構築を目的に、中間処理率などに基づく処理水NH4-N濃度の推定式の成立性を実証データにより検証した。

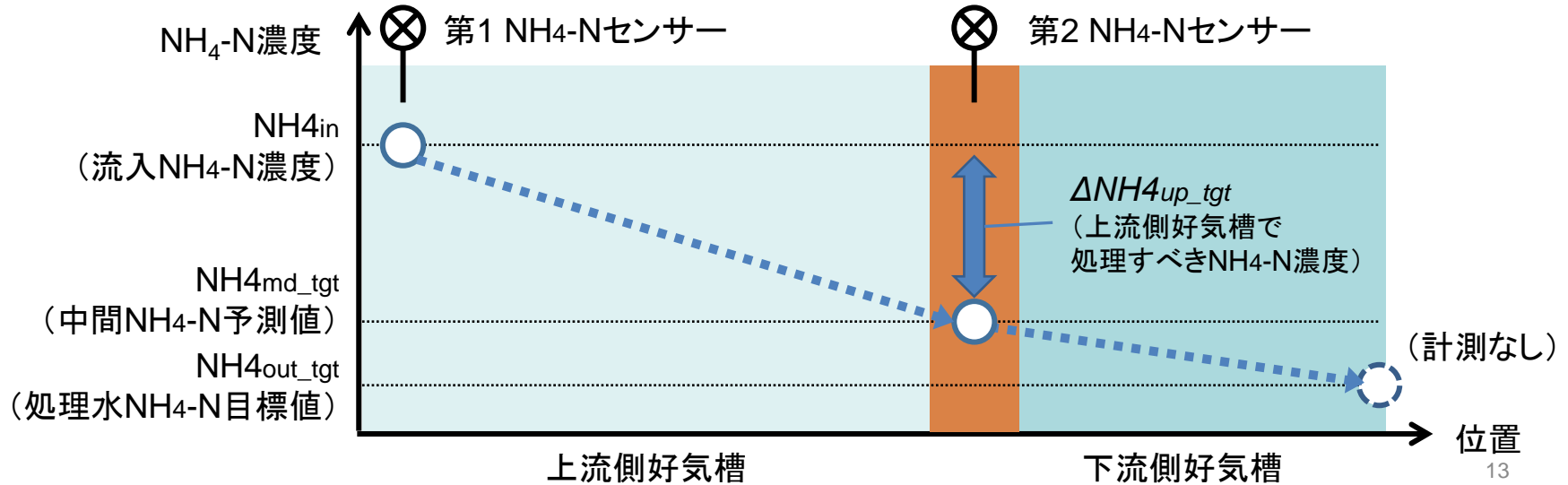
■ 背景：中間処理率について

- 硝化制御(FF制御・FB制御)における目標値(中間NH4-N予測値)を規定するパラメータ

$$NH4_{md_tgt} = NH4_{in} - Rup \cdot (NH4_{in} - NH4_{out_tgt})$$

Rup: 中間処理率、その他: 下図参照

- ガイドライン(案)では明確な設定方法を整理しておらず、調整に時間・労力を要する恐れあり。また、NH4-Nセンサーの計測誤差などが生じても水質目標を満足する設定値の探索も重要。



2. 自主研究：②制御パラメータの設定方法の検討(2)

概要

所望の処理水質が得られる中間処理率(制御パラメータ)の効率的な設定方法の構築を目的に、中間処理率などに基づく処理水NH4-N濃度の推定式の成立性を実証データにより検証した。

■ 中間処理率と処理水NH4-N濃度の関係式

- センサー計測対象の上流側好気槽でのNH4-N濃度減少量に基づき、処理水NH4-N濃度を推定

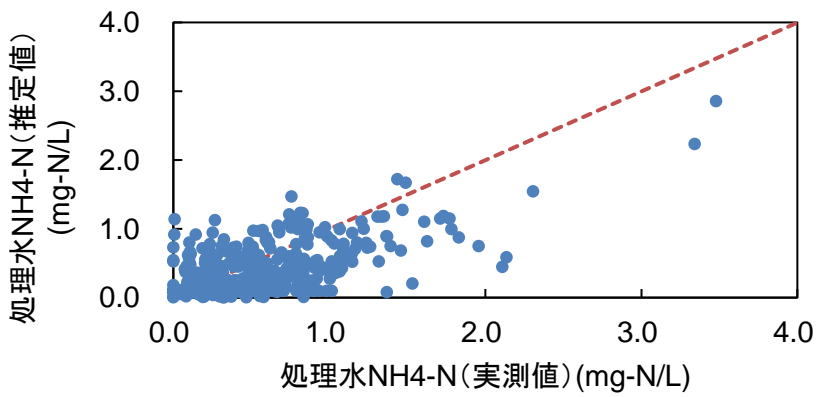
$$NH4_{out_est} = NH4_{in} - (1+A) \cdot R_{up} \cdot (NH4_{in} - NH4_{out_tgt})$$

$$A = \left(\frac{NH4_{md_tgt}}{K_N + NH4_{md_tgt}} / \frac{NH4_{in}}{K_N + NH4_{in}} \right) \cdot \frac{Q_{B_down}}{Q_{B_up}}$$

$NH4_{out_est}$: 処理水NH4-N濃度(推定値)
 Q_{B_down}/Q_{B_up} : 上流側好気槽に対する下流側好気槽の風量比
 K_N : 係数

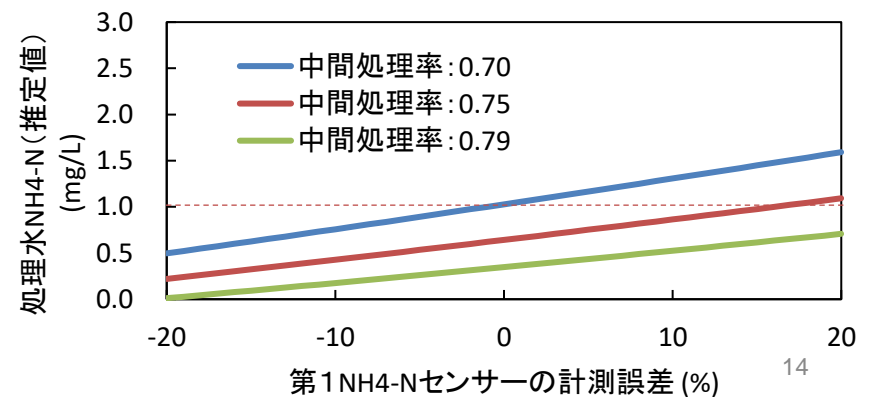
■ 処理水NH4-N濃度の推定結果

- 関係式により概ね推定可能
(平均絶対誤差: 0.22 mg-N/L)



■ センサー誤差による処理水質への影響評価

- 誤差に関わらず、水質目標を満足する設定値の探索も可能

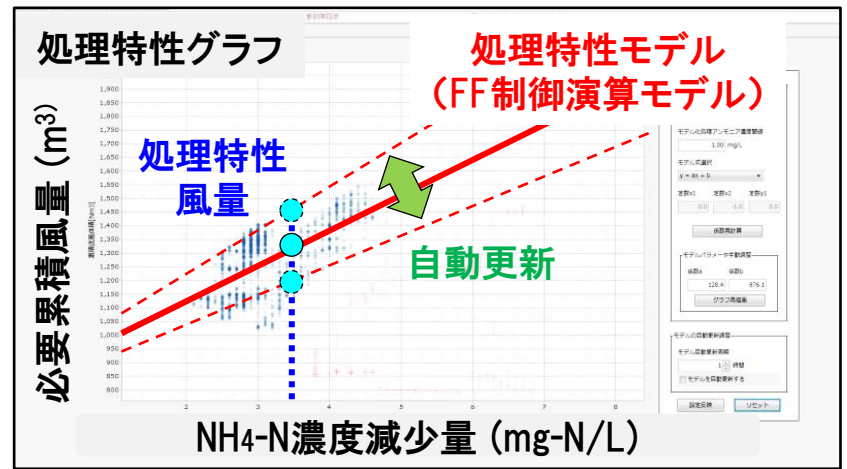


2. 自主研究: ③処理特性モデルへの影響因子評価

概要

処理特性の見える化機能により、低水温時や高MLSS濃度時に必要風量が増大したこと、また、NH4-Nセンサーの計測誤差が処理特性モデルに影響を及ぼしていたことを確認した。

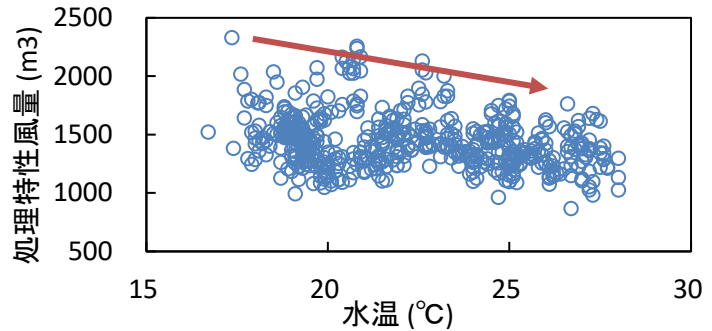
- 処理特性モデル・グラフの概要
- 運転実績から自動で構築し、
処理特性の見える化やFF制御に活用



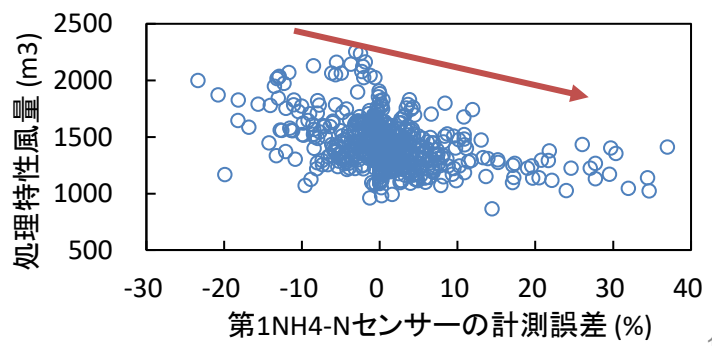
- 処理特性の評価指標: 処理特性風量
- 所定のNH4-N濃度減少量に対する必要風量として抽出。
 - 処理特性モデルの更新に伴って変動

■ 処理特性風量と様々な因子との関係

- 水温 vs. 処理特性風量



- NH4-Nセンサー計測誤差 vs. 処理特性風量



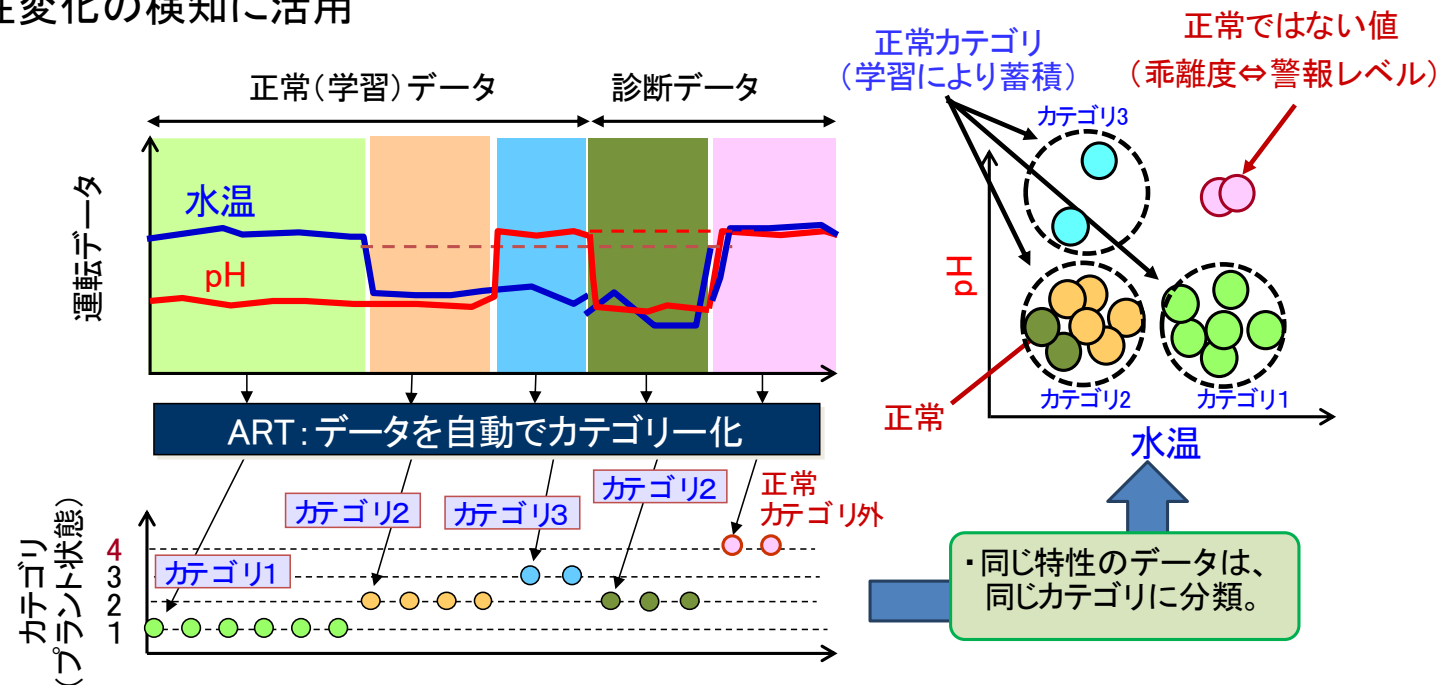
2. 自主研究: ④処理状態変化の検知手法(1)

概要

クラスタリング手法である適応共鳴理論(ART)により、処理データや処理特性風量を解析し、NH4-N処理の過不足: 過剰曝気/水質悪化や、センサー計測異常を検知できるか検証。

■ 適応共鳴理論 (ART; Adaptive Resonance Theory) の概要

- データを特性に応じて、自動でカテゴライズ
- 正常カテゴリからの乖離度を警報レベルで表示し(乖離しているほど警報レベルは大きい)、特性変化の検知に活用



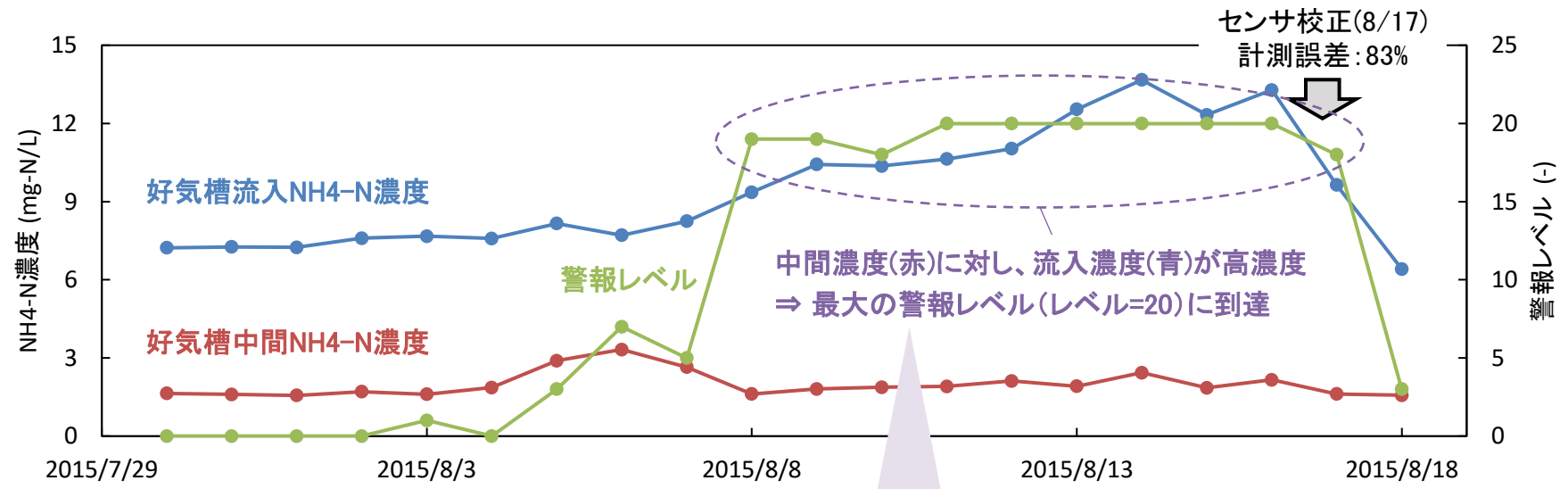
2. 自主研究: ④処理状態変化の検知手法(2)

概要

クラスタリング手法である適応共鳴理論(ART)により、処理データや処理特性風量を解析し、NH4-N処理の過不足: 過剰曝気/水質悪化や、センサー計測異常を検知できるか検証。

■ ARTによる解析結果の例: NH4-Nセンサー計測異常

- 硝化に係る項目(水温、DO、MLSS濃度など)、NH4-Nデータ、処理特性風量を入力データセットとし、非定常運転・水質目標超過・センサ不良・処理特性モデルの異常の期間を診断データとして抽出し、評価



NH4-N濃度(特に、好気槽流入濃度)に追従して、ARTによる警告レベルも変化。
このケースでは、NH4-Nセンサーの計測異常(劣化に伴う不良)をARTにより検知できた。

1. 研究概要
2. 自主研究
- 3. 実証施設の性能比較**
4. ガイドラインについて
5. 普及展開
6. まとめ

3. 実証施設の性能比較

概要

成果目標として設定した平均処理水NH4-N濃度1.0 mg-N/L以下、風量削減率10%以上を
自主研究においても達成。

ガイドライン	今回
<p>計98日間の運転において、</p> <ul style="list-style-type: none">● 平均処理水NH4-N濃度 0.33 mg-N/L (処理水NH4-N目標値: 1.0 mg-N/L)● 風量削減率(DO一定制御比) 16.9% (目標値: 10%以上)	<p>計291日間の運転において、</p> <ul style="list-style-type: none">● 平均処理水NH4-N濃度 0.43 mg-N/L (処理水NH4-N目標値: 1.0 mg-N/L)● 風量削減率(DO一定制御比) 17.7% (目標値: 10%以上)

3. 実証施設の性能比較(適用条件)

概要

ガイドライン(案)に記載した内容との**変更なし**。

ガイドライン	今回
<ul style="list-style-type: none">■ 適用条件<ul style="list-style-type: none">• 活性汚泥を用いた処理方式で、好気タンクを有する• NH4-Nについて明確な処理目標がある• 風量制御が可能である	<ul style="list-style-type: none">■ 適用条件(変更なし)<ul style="list-style-type: none">• 活性汚泥を用いた処理方式で、好気タンクを有する• NH4-Nについて明確な処理目標がある• 風量制御が可能である

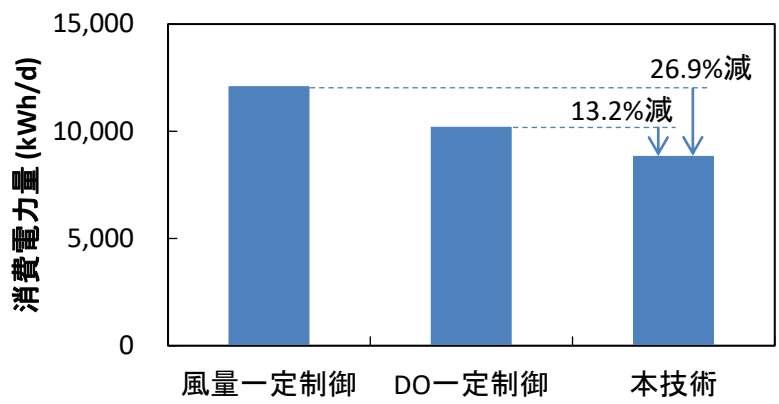
3. 実証施設の性能比較(消費電力量)

概要

実証研究と比べて、自主研究結果では風量削減率が高くなったことから、消費電力量も低減できる試算結果となった。

ガイドライン

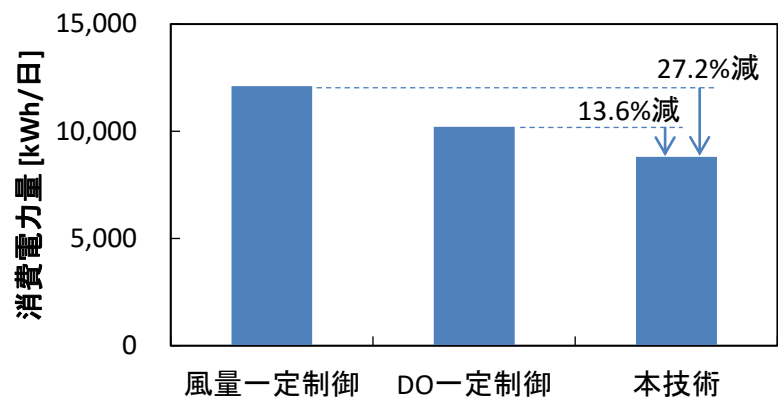
- 標準法、処理規模50,000 m³/dの仮想処理場での試算結果
 風量一定: **26.9%減**、DO一定: **13.2%減**



- ※試算における仮想処理場の全設定条件
- 処理方式: 標準法、循環式硝化脱窒法、
 - 処理規模: 10,000 m³/d, 50,000 m³/d, 100,000 m³/d
 - 風量制御方式: 風量一定制御、DO一定制御

今回

- 標準法、処理規模50,000 m³/dの仮想処理場での試算結果
 風量一定: **27.2%減**、DO一定: **13.6%減**



- ※試算における仮想処理場の全設定条件
- 処理方式: 標準法、循環式硝化脱窒法、
 - 処理規模: 10,000 m³/d, 50,000 m³/d, 100,000 m³/d
 - 風量制御方式: 風量一定制御、DO一定制御

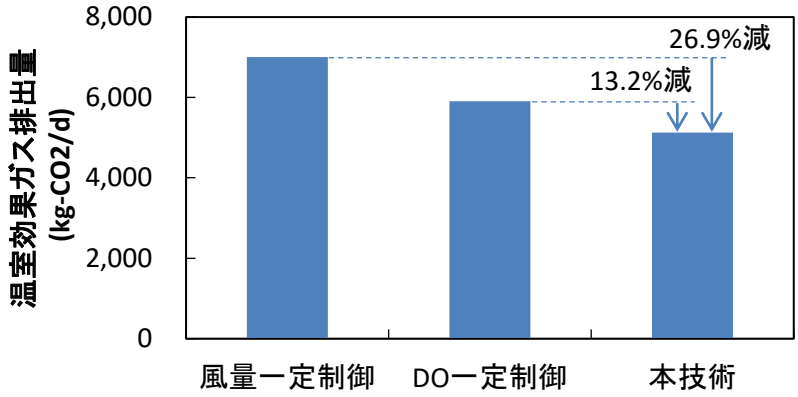
3. 実証施設の性能比較(温室効果ガス排出量)

概要

実証研究と比べて、自主研究結果では風量削減率が高くなったことから、電力消費に伴う温室効果ガス(CO2)の排出量も低減できる試算結果となった。

ガイドライン

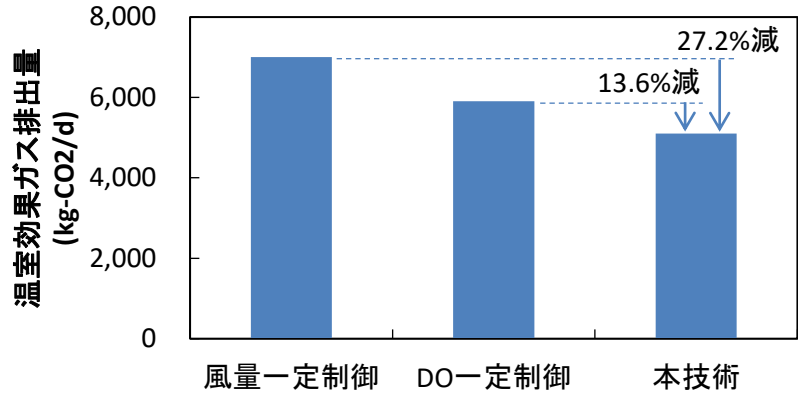
- 標準法、処理規模50,000 m³/dの仮想処理場での試算結果
 風量一定: **26.9%減**、DO一定: **13.2%減**



- ※試算における仮想処理場の全設定条件
- 処理方式: 標準法、循環式硝化脱窒法、
 - 処理規模: 10,000 m³/d, 50,000 m³/d, 100,000 m³/d
 - 風量制御方式: 風量一定制御、DO一定制御

今回

- 標準法、処理規模50,000 m³/dの仮想処理場での試算結果
 風量一定: **27.2%減**、DO一定: **13.6%減**



- ※試算における仮想処理場の全設定条件
- 処理方式: 標準法、循環式硝化脱窒法、
 - 処理規模: 10,000 m³/d, 50,000 m³/d, 100,000 m³/d
 - 風量制御方式: 風量一定制御、DO一定制御

3. 実証施設の性能比較(維持管理)

概要

ガイドライン(案)に記載した内容との**変更なし**。
 なお、主に対象となるNH4-Nセンサーの維持管理については、メーカーの推奨方法に従う。

ガイドライン	今回
<p>■ NH4-Nセンサーの維持管理(※1)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 電極の洗浄、校正 • 電極カートリッジの交換 <p>※1: 作業方法・頻度はメーカーの推奨に従う</p> <p>■ 制御システムの運転管理</p> <ul style="list-style-type: none"> • 処理水NH4-N濃度の監視 • 処理特性グラフの監視 <p>⇒異常時には下記対応を実施 NH4-Nセンサーの点検・校正・電極交換 中間処理率の再調整</p>	<p>■ NH4-Nセンサーの維持管理(※1)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 電極の洗浄、校正 • 電極カートリッジの交換 <p>※1: 作業方法・頻度はメーカーの推奨に従う</p> <p>■ 制御システムの運転管理</p> <ul style="list-style-type: none"> • 処理水NH4-N濃度の監視 • 処理特性グラフの監視 <p>⇒異常時には下記対応を実施 NH4-Nセンサーの点検・校正・電極交換 中間処理率の再調整</p>

3. 実証施設の性能比較(ライフサイクルコスト)

概要

本技術の建設費・維持管理費はガイドライン(案)から**変更なし**。
 電力削減費は、消費電力量の削減率の増大に伴い低減。経費回収年も短縮。

ガイドライン	今回
<p>標準法、処理規模50,000 m3/d、DO一定制御の処理場への適用を想定</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 建設費 <ul style="list-style-type: none"> ・ 監視制御の新設・更新時に導入(ケース①) 導入システム数 × 1850万円 ・ 既存設備を改造して導入(ケース②) 導入システム数 × 2850万円 + 2700万円 ■ 維持管理費 <ul style="list-style-type: none"> ・ 導入システム数 × 137万円/年 ■ 電力削減費: 739万円/年 ■ 経費回収年 <ul style="list-style-type: none"> ・ ケース①: 3.07年、ケース②: 9.22年 	<p>標準法、処理規模50,000 m3/d、DO一定制御の処理場への適用を想定</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 建設費 <ul style="list-style-type: none"> ・ 監視制御の新設・更新時に導入(ケース①) 導入システム数 × 1850万円 ・ 既存設備を改造して導入(ケース②) 導入システム数 × 2850万円 + 2700万円 ■ 維持管理費 <ul style="list-style-type: none"> ・ 導入システム数 × 137万円/年 ■ 電力削減費: 761万円/年 ■ 経費回収年 <ul style="list-style-type: none"> ・ ケース①: 2.96年、ケース②: 8.89年

1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
- 4. ガイドラインについて**
5. 普及展開
6. まとめ

4. ガイドラインについて

概要

修正なし

ガイドライン

追加等内容

修正なし

1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
4. ガイドラインについて
- 5. 普及展開**
6. まとめ

5. 普及展開

導入済み・導入中の処理場：2件。

引き続き、適切に硝化制御したい処理場をターゲットとし、さらなる普及展開を図る。

(段階的高度処理や季節別運転を導入検討中・導入済の処理場含む)

■ 導入済み・導入中の処理場：

- ・ C市、2サイト(R2～R3年度 導入)

■ 導入内容概要：

上記処理場にて更新工事対象の水処理系列に、本技術の要素技術として

2台のNH₄-Nセンサーを設置、NH₄-N計測値に基づく風量制御(アンモニア制御)機能を導入。

■ 導入提案中処理場：

- ・ A市B処理場(AO法)

■ 提案内容概要：

- ・ NH₄-Nセンサーを設置し、連続モニタリングおよび導入効果試算を実施

1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
4. ガイドラインについて
5. 普及展開
6. **まとめ**

6. まとめ

① 実証データ拡充

自主研究を通じて実証データを拡充(ガイドライン98日間→計291日間)し、
目標水質を満足しつつ、風量削減率17.7%(ガイドライン:16.9%)を確認
この結果から、消費電力量・温室効果ガス排出量の削減、経費回収年を見直した。

② クラスタリング手法(ART)を活用した処理状態変化の検知手法の検討

本技術の処理特性見える化機能(処理特性モデル)とARTを組み合わせることで、
NH₄-Nセンサーの計測異常などの処理特性変化を検知でき、
維持管理の適正化・効率化に寄与出来る見通しを得た。

③ 普及展開

現在、導入済み・導入中の処理場2件。引き続き、導入提案活動を実施。
多様化する要求(段階的高度処理・能動的栄養塩管理など)を満足する技術として、
さらなる普及展開を図る。