

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

<導入ガイドライン案>

令和3年8月17日

メタウォーター・日本下水道事業団・町田市

共同研究体

目次

1. 革新的技術の目的

1. 1. 技術の特徴

1. 2. 下水道事業が抱える課題への対応

1. 3. 適用条件、推奨条件

1. 4. 技術の導入により期待される効果

2. 革新的技術の概要

2. 1. 技術概要

2. 2. 実証フィールド

2. 3. 実証研究結果

3. 実証方法

3. 1. 検証方法

3. 2. 検証結果

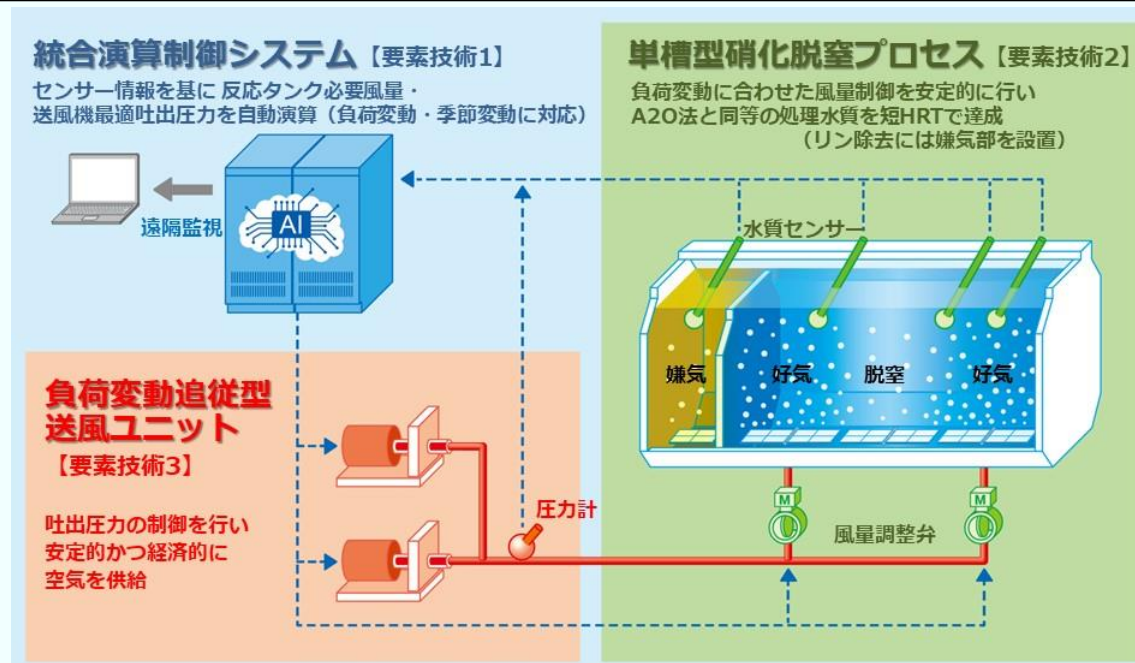
4. 革新的技術の計画・設計、維持管理における留意点

5. 問い合わせ先

1. 革新的技術の目的

1. 1. 技術の特徴

技術概要



- ①流入負荷変動、季節変動に対応した風量制御で**A2O法と同等の処理水質を短HRTで達成**
- ②送風機吐出圧力制御で**送風電力削減**（送風機設備を反応槽設備と連動）
- ③**維持管理業務負担の軽減**（ICT・AI活用の自動制御）

特徴

- ①**ICT活用の風量制御による短HRTの実現**
 - ・ $\text{NO}_x\text{-N}$ 計と $\text{NH}_4\text{-N}$ 計により負荷変動に応じた風量演算を行い、単一槽内において最適な好気・無酸素ゾーンを形成
 - ・ 循環ポンプと攪拌機が不要で動力費を縮減
- ②**ICT活用による設備連携、圧力最適化による送風電力削減の実現**
 - ・ 反応タンク設備と送風機設備を統合制御
 - ・ 送風機の最適吐出圧力を必要風量からリアルタイムに演算し、吐出圧力を制御することで送風電力を削減
- ③**AI（機械学習機能）による季節変動等への対応、運転調整負担軽減の実現**
 - ・ 必要風量演算の制御パラメータをAI（機械学習機能）により自動チューニング
 - ・ パラメータ調整にかかる負担を軽減しつつ処理水質の安定化を実現

1. 革新的技術の目的

1. 2. 下水道事業が抱える課題への対応

背景

【高度処理化の必要性】

中期目標 (新下水道ビジョン)	2015年度末
2024年度頃 8割程度	高度処理実施率 45.6%

【高度処理法の課題】

1. 建設費・用地の確保 (長いHRT ⇒ 増設が必要)
2. 消費電力の増加 (送風機・循環ポンプ等)
3. 専門的な知識に基づく運転操作が必要

目的

【高度処理化の課題を解決】

1. 高度処理法と同等の処理水質を短い反応タンクHRTで達成
2. 消費電力の削減 (送風電力削減、循環ポンプ等 不要)
3. 維持管理負担の軽減 (自動運転の導入)

1. 革新的技術の目的

1. 3. 適用条件、推奨条件

適用条件

本技術はA2O法代替の水処理法であり、原則として既設水処理施設の高度処理化または更新において適用する。

対象設備：反応タンク設備、送風機設備、監視制御設備等

- ①最低水温：15℃以上（月間平均水温の年間最低値として）
- ②既設処理方法
 - ・高度処理化の場合：標準活性汚泥法、長時間エアレーション法等
 - ・高度処理施設の更新の場合：A2O法、凝集剤添加循環式硝化脱窒法等
- ③放流水質の要求水準：A2O法と同等（ $BOD \leq 15\text{mg/L}$ 、 $T-N \leq 20\text{mg/L}$ 、 $T-P \leq 3\text{mg/L}$ ）
- ④反応タンク構造
 - ・混合特性：完全混合槽ではないこと（ L/W 比＝概ね10以上；OD槽は除く）
 - ・水深：4～6m以内
- ⑤反応タンク電気設備
 - ・風量制御が可能であること
- ⑥送風機設備
 - ・圧力一定制御が可能であること
- ⑦送風系統の二条化が可能なこと

1. 革新的技術の目的

1. 3. 適用条件、推奨条件

適用に際して留意する事項

- ①導入後の日最大汚水量に対して最終沈殿池の水面積負荷が $15 \sim 25 \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ であること
- ②送風電力削減効果は、送風機の機種・性能等により変動する

推奨条件

- ①標準法から高度処理化に伴い高度処理施設の増設や能力増強が求められる処理場
- ②既設高度処理の更新が必要な処理場
- ③広域化・共同化が必要な処理場

1. 革新的技術の目的

1. 4. 技術の導入により期待される効果①

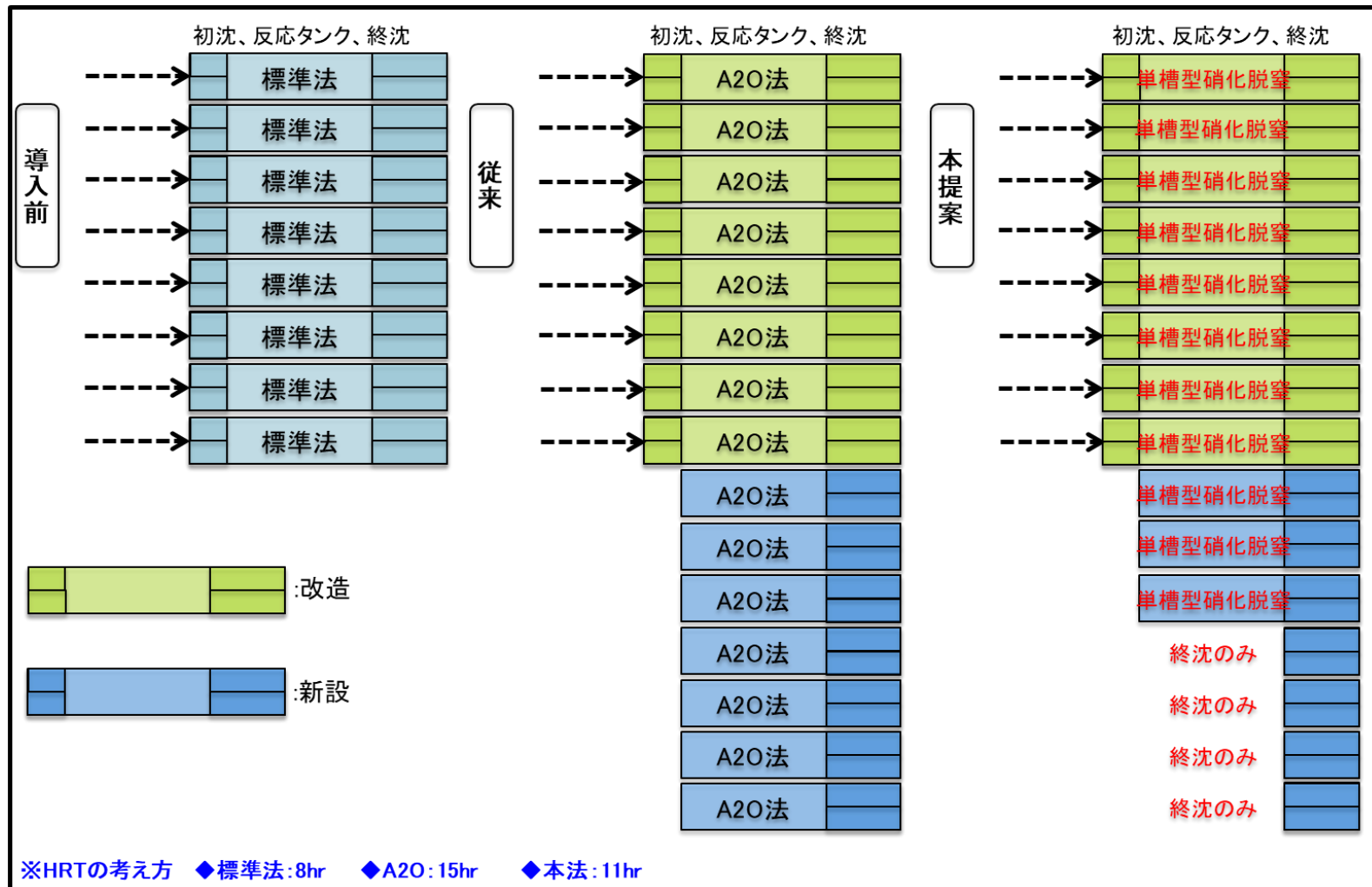
標準法からの高度処理化

【日最大50,000m³/日の処理場への適用例】

標準法からA2O法 : 反応タンク7池、終沈14池増設

標準法から本法 : 反応タンク3池、終沈14池増設

A2O法への改築に比べて建設費、維持管理費の低減が可能



1. 革新的技術の目的

1. 4. 技術の導入により期待される効果②

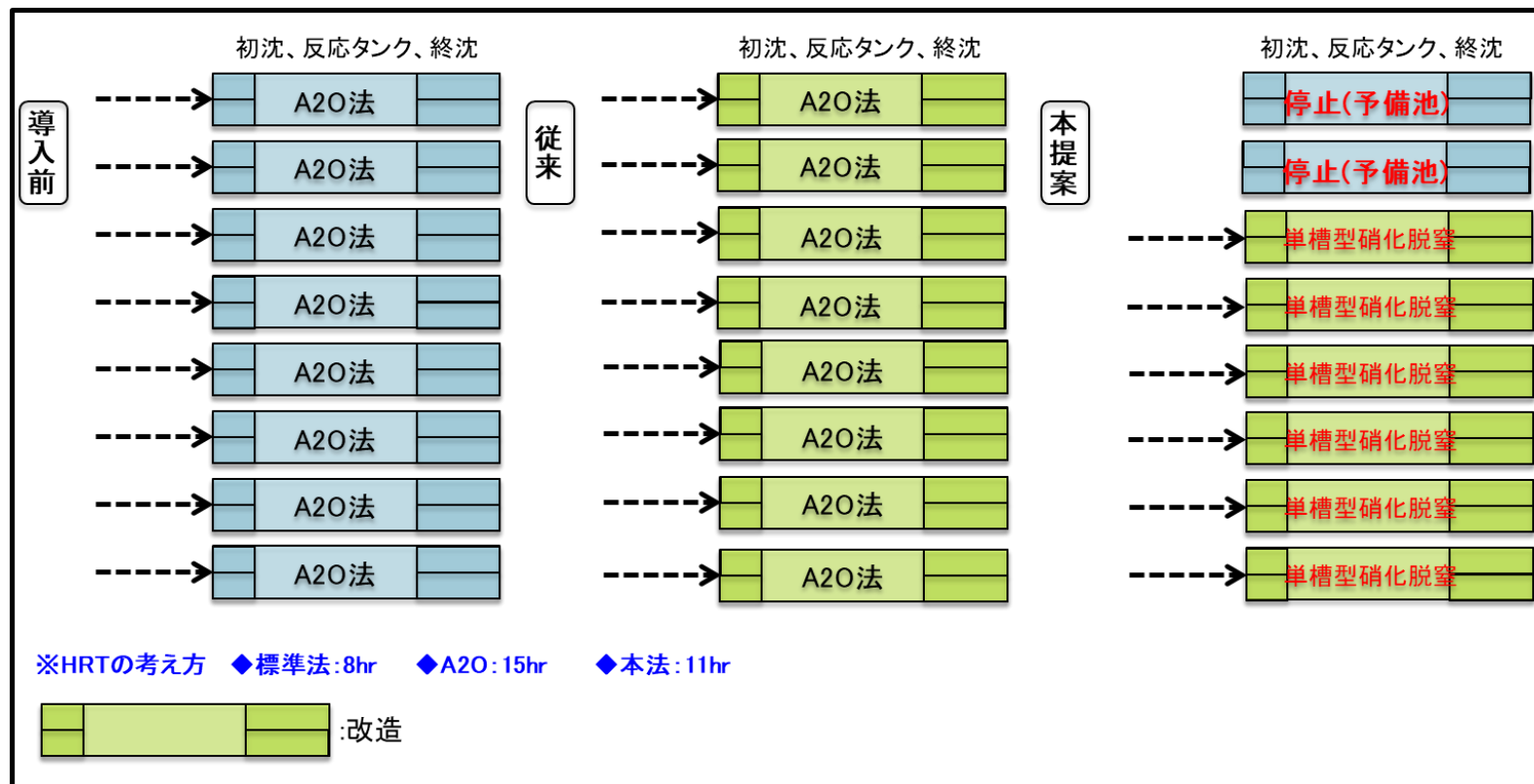
既設高度処理の改築(A2O法)

【日最大50,000m³/日の処理場への適用例】

A2O法からA2O法 : 8系列を改築

A2O法から本法 : 6系列を改築(2系列は予備池)

A2O法への改築に比べて建設費、維持管理費の低減が可能



1. 革新的技術の目的

1. 4. 技術の導入により期待される効果③

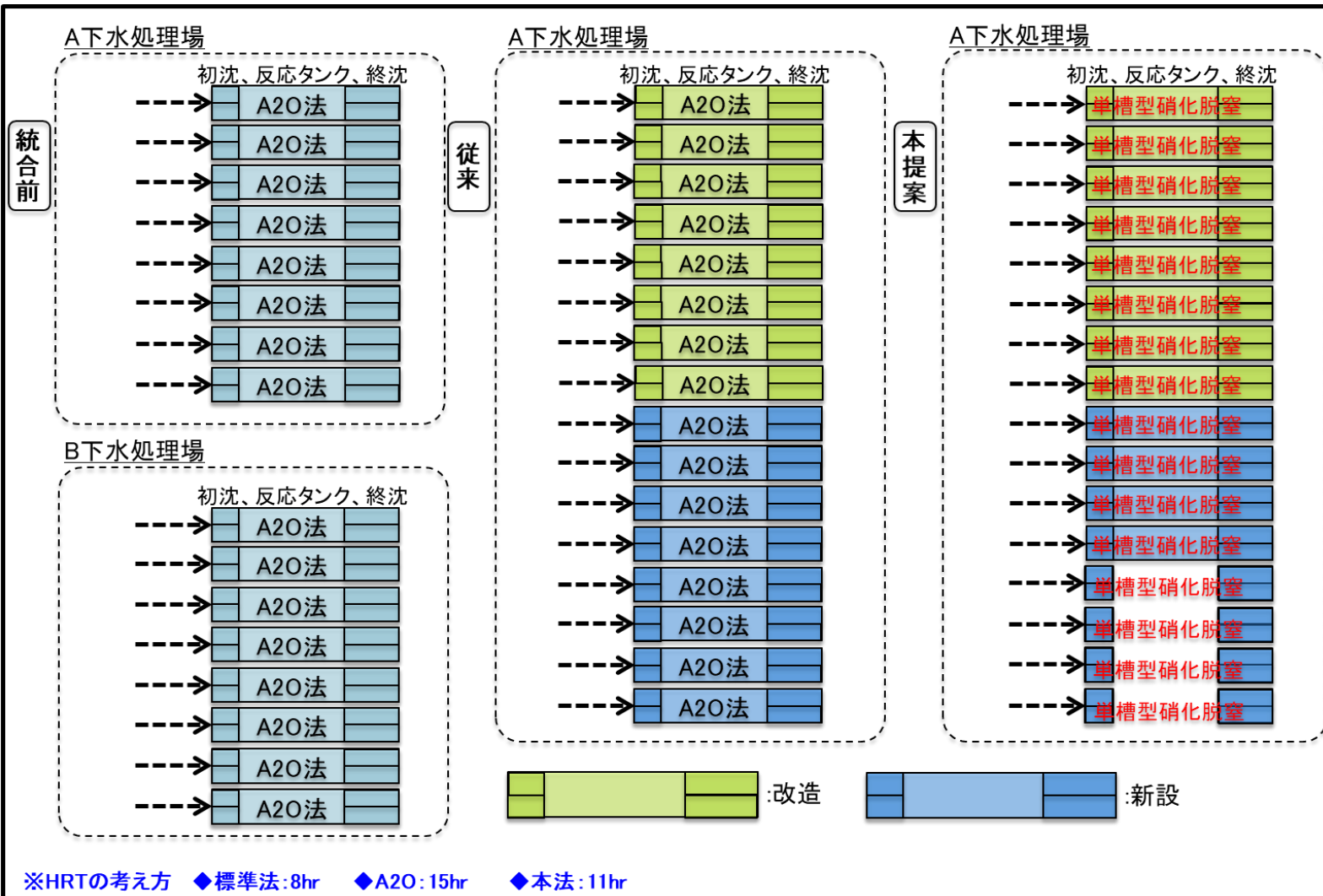
統廃合に伴う能力増強

【日最大50,000m³/日の処理場への適用例】

A2O法からA2O法 : 8系列を改築、8系列を増設

A2O法から本法 : 8系列を改築、8系列を増設(反応タンクのみ4池)

A2O法への改築に比べて建設費、維持管理費の低減が可能



2. 革新的技術の概要

2. 1. 技術概要(実証の目標)

技術概要

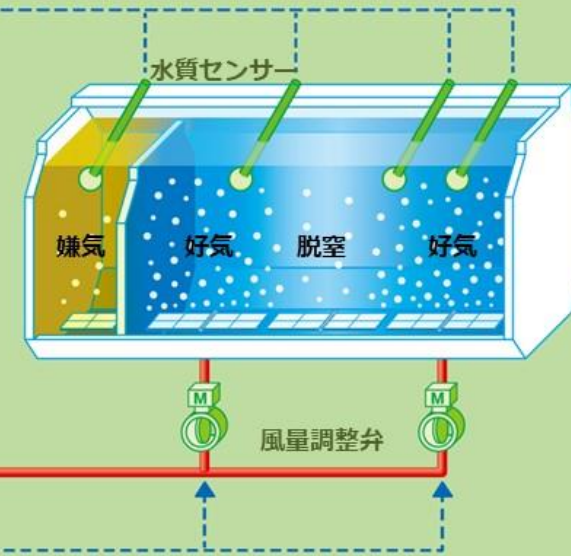
統合演算制御システム【要素技術1】

センサー情報を基に反応タンク必要風量・送風機最適吐出圧力を自動演算（負荷変動・季節変動に対応）



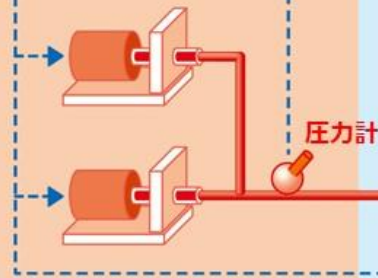
単槽型硝化脱窒プロセス【要素技術2】

負荷変動に合わせた風量制御を安定的に行い
A2O法と同等の処理水質を短HRTで達成
（リン除去には嫌気部を設置）



負荷変動追従型送風ユニット【要素技術3】

吐出圧力の制御を行い
安定的かつ経済的に
空気を供給



- ①流入負荷変動、季節変動に対応した風量制御で**A2O法※1**と同等の処理水質・短HRT
- ②送風機吐出圧力制御で**送風電力削減**（送風機設備を反応槽設備と連動）
- ③**維持管理業務負担の軽減**（ICT・AI活用 of 自動制御）

目標

A2O法※1に比して、以下の性能を得る。

処理水質	処理能力	建設費	水処理電力	維持管理性
同等水質	2割程度以上向上 （反応タンクHRT20%以上削減）	20%以上 削減	20%以上 削減	業務負担 軽減

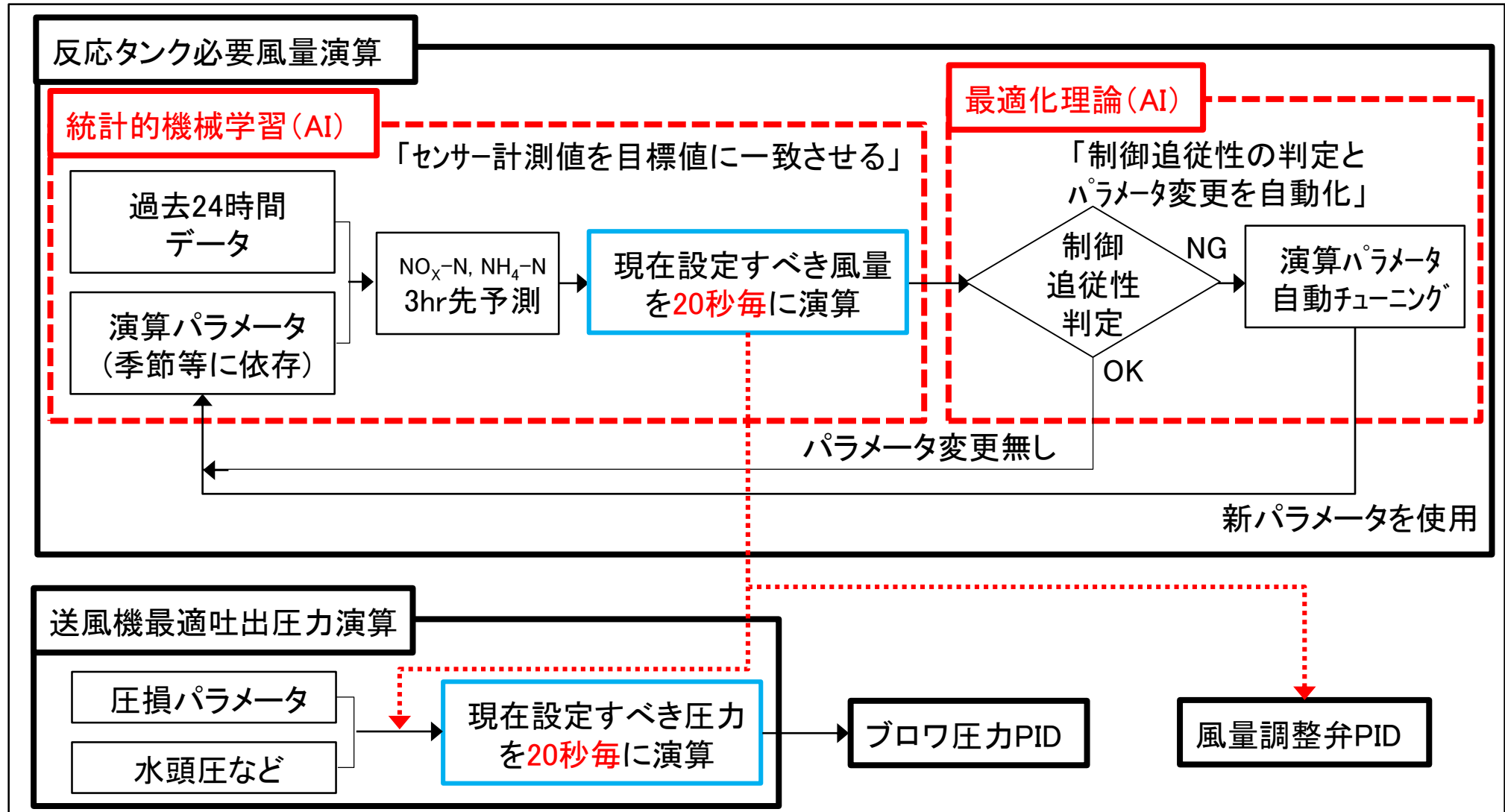
※1)本実証施設ではリン除去を主目的として嫌気ゾーンを設け、A2O法との比較を行った。

2. 革新的技術の概要

2. 1. 技術概要(要素技術)

◆ 要素技術1: 「統合演算制御システム」

反応タンク必要風量・送風機最適吐出圧力を自動演算



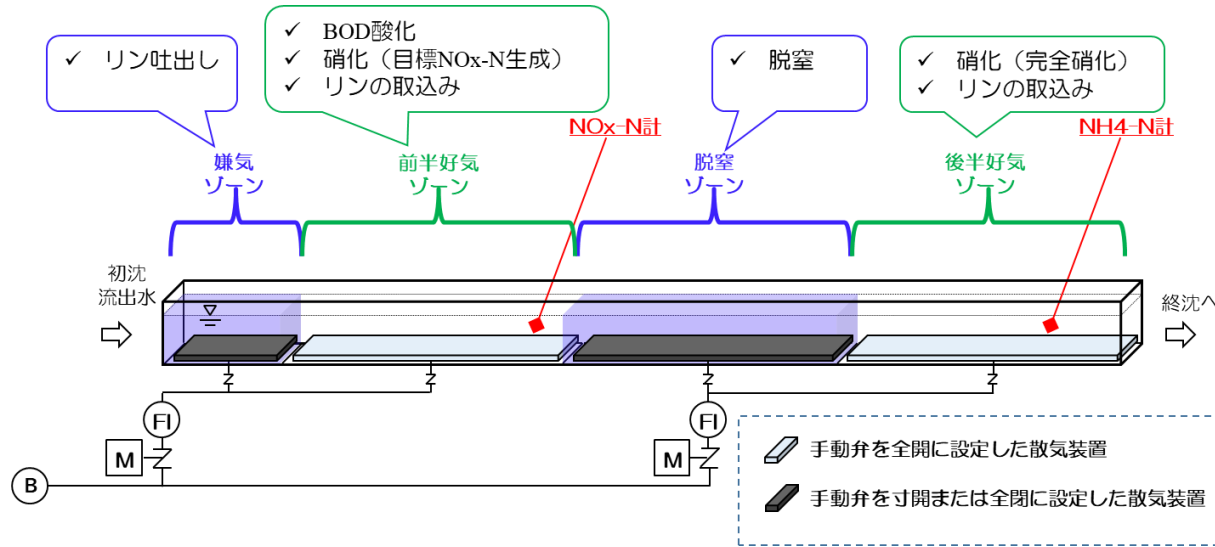
2. 革新的技術の概要

2. 1. 技術概要(要素技術)

◆ 要素技術2: 単槽型硝化脱窒プロセス

⇒ 隔壁・攪拌機・循環ポンプを用いず、単一槽で硝化脱窒

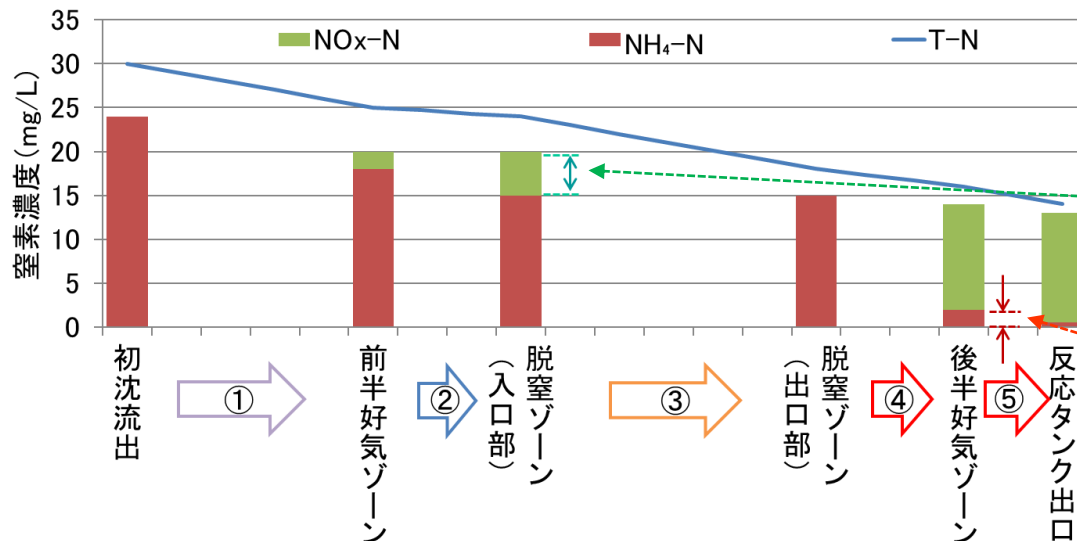
槽の構造と処理原理



【制御用水質計器について】

- ①前半好気ゾーン末端に $\text{NO}_x\text{-N}$ 計 × 1 台を設置
- ②後半好気ゾーン下流に $\text{NH}_4\text{-N}$ 計 × 1 台を設置

窒素処理のイメージ



【想定される硝化・脱窒反応】

- ①返送汚泥による希釈と硝化
- ②硝化の進行
($\text{NO}_x\text{-N}$ 設定値となるように)
- ③脱窒の進行
(②で生成した $\text{NO}_x\text{-N}$ を脱窒)
- ④硝化の進行
($\text{NH}_4\text{-N}$ 設定値となるように)
- ⑤硝化の進行
(完全硝化となるように)

2. 革新的技術の概要

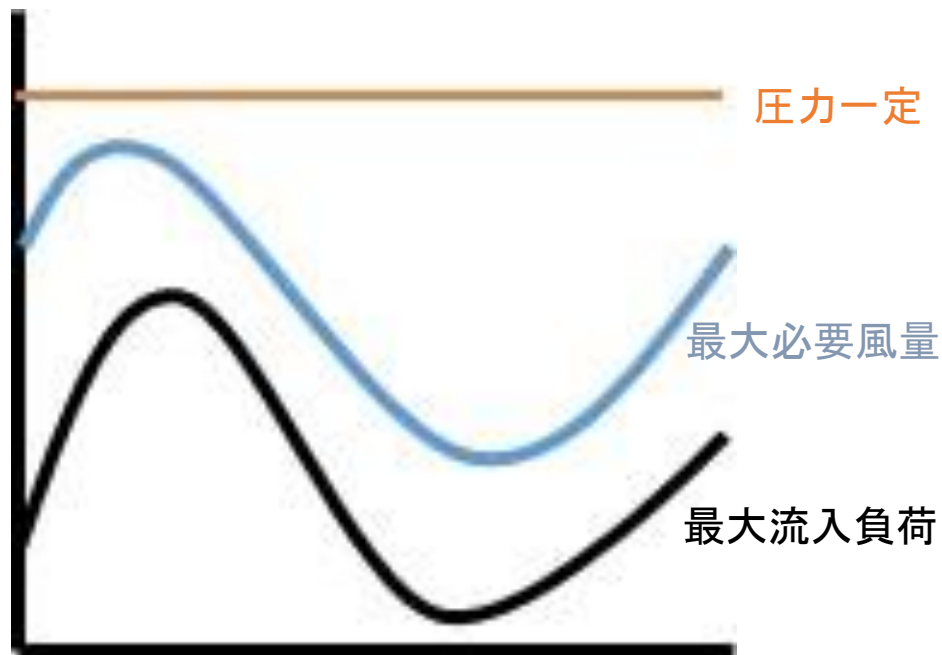
2. 1. 技術概要(要素技術)

◆ 要素技術3: 「**負荷変動追従型送風ユニット**」 風量の変動に応じた送風機吐出圧力で送風

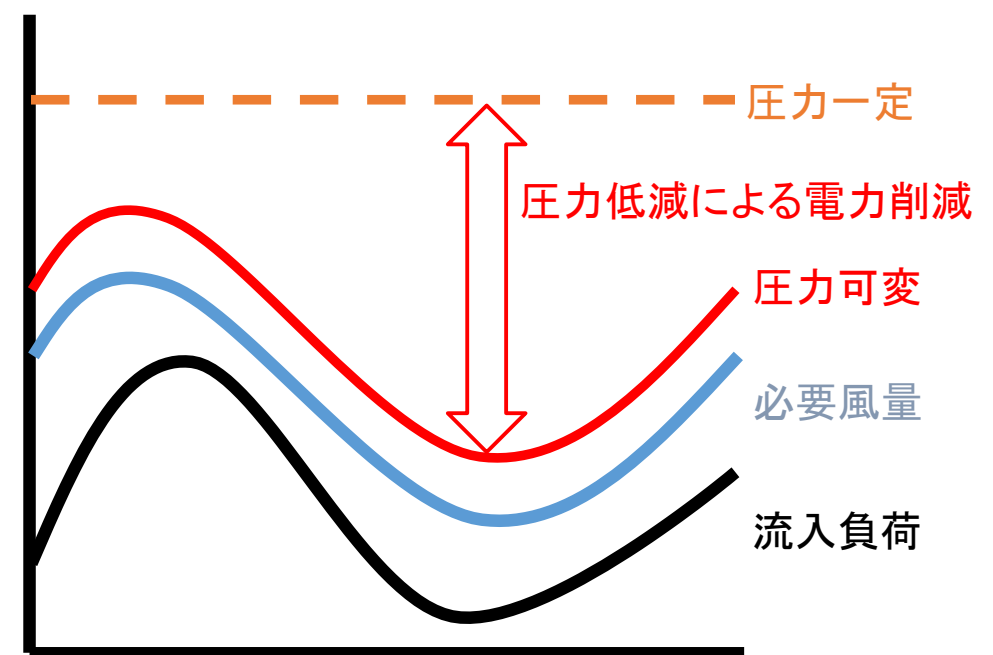
【従 来】 圧力一定制御: 圧力設定値は最大流入負荷を基に計算

【本技術】 圧力可変制御: リアルタイムに変動する必要風量から演算した最適吐出圧力を設定値に使用

【圧力一定制御のイメージ】



【圧力可変制御のイメージ】



2. 革新的技術の概要

2. 2. 実証フィールド

処理場名 : 成瀬クリーンセンター

処理能力 : 計画日最大112,700m³/日 (3系列、容量2,875m³ × 12池)

処理方式 : ① 段階的高度処理 4池(1-1~1-4系) ⇒ 実証系列
 ② 標準活性汚泥法 6池(2-1~3-2系) ⇒ 参考比較
 ③ 担体投入ステップA2O法 2池(3-3~3-4系) ⇒ 参考比較

処理場の課題 : 流総計画に基づく高度処理化の実施の義務付け
 ⇒ 現状では、建設費、維持管理費、用地の確保が難しい。

実証施設の活用 : ① 建設費・維持管理費の削減、維持管理業務負担の軽減。
 ② 自主研究終了後も実施設として有効活用。



【事業場所選定理由】

- ・提案システムが課題解決に極めて有効
- ・分流式、流入水質が平均的な範囲
⇒ 全国展開に有効
- ・都心からのアクセスに優れる
⇒ 見学に適する

2. 革新的技術の概要

2. 3. 実証研究結果

評価項目	評価指標	内容・目標値	結果
処理水質	放流水質	採水調査日における日平均濃度が、 ・T-BOD $\leq 15\text{mg/L}$ ・T-N $\leq 20\text{mg/L}$ ・T-P $\leq 3\text{mg/L}$ を満足すること 窒素除去率はA2O法※同等 (60～70%)	全調査日において目標水質を達成 T-BOD: 平均5.0 (最小2.8～最大7.8) T-N : 平均10.8 (最小6.6～最大13.7) T-P : 平均1.3 (最小0.4～最大2.1) 窒素除去率: 平均 68.1 (降雨日を除く)
処理能力	HRT	A2O法比 20%削減 (HRT16hr $\times 0.8 \Rightarrow 12.8\text{hr}$ 以下)	全調査日の平均HRTは、 9.8hr(6.0～10.6) であり、達成
送風電力	風量1Nm ³ 当たりの 送風電力	目標値: 送風電力削減率10%以上 2019年度: 1週間毎に圧力制御切替 2020年度: 2週間毎に圧力制御切替	送風電力削減率が 16.2% であり、達成 (圧力一定制御の設計圧力68.6kPaに対し、 圧力可変制御の平均吐出圧力58.7kPa)
水処理電力	処理水1m ³ 当たりの 運転電力	目標値: A2O法比 20%削減 実証系列: 常時圧力可変制御を想定 A2O法: 常時圧力一定制御を想定	日最大50,000m ³ /日規模のFS結果より、 29%削減 (A2O: 0.173kWh/m ³ 、本技術: 0.122kWh/m ³)と試算され、達成

※ 実証施設では嫌気ゾーンを設置するため、A2O法との比較を行った

2. 革新的技術の概要

2. 3. 実証研究結果

評価項目	評価指標	内容・目標値	結果
NO _x , NH ₄ 制御性能	水質計測値 の適合率	制御可能期間中の計測値の 95%以上が目標値±0.5mg/Lの 範囲に収まること	前半NO _x : 期間中の平均適合率が 99% であり、達成 後半NH ₄ : 期間中の平均適合率が 98% であり、達成
維持管理 項目	項目数	維持管理項目数の低減	攪拌機、循環ポンプ等に係る保守点検項目が 削減可能であるため、達成
総費用 (年価換算値)	建設費	評価範囲(反応タンクおよび送風機 設備)において、A2O法(新設)に比 べ 20%以上削減(FS条件: 日最大 50,000m ³ /日)	評価範囲(反応タンクおよび送風機設備)において、 建設費削減率は 20.6% と試算され、達成
	維持管理費	評価範囲(反応タンクおよび送風機 設備)において、A2O法より低減	評価範囲においては、 人件費・電力費・補修費のいずれ も低減 することから、達成

※ 実証施設では嫌気ゾーンを設置するため、A2O法との比較を行った

3. 革新的技術のコスト縮減効果

3. 1. 検証方法

標準法からの高度処理化

No	項目		単位	条件値、備考
1	施設規模 (反応タンクおよび送風機設備)	日最大処理水量	m ³ /日	50,000(冬季日最大:40,000)
		系列数	系列	1
		1系列の池数	池	本技術 :11 A2O法 :15
2	建設費	機械機器費	—	機器費の積み上げ(系列内機器を全て更新)
		電気機器費	—	機器費の積み上げ(系列内機器を全て更新)
		工事費	—	建設費の積み上げ
3	建設費年価	利子率	%	2.3
		耐用年数	年	15(機械・電気)
				50(土木)
4	維持管理費	電力単価	円/kWh	15
		機器保守費	%	2(機械・電気設備工事費に対して)

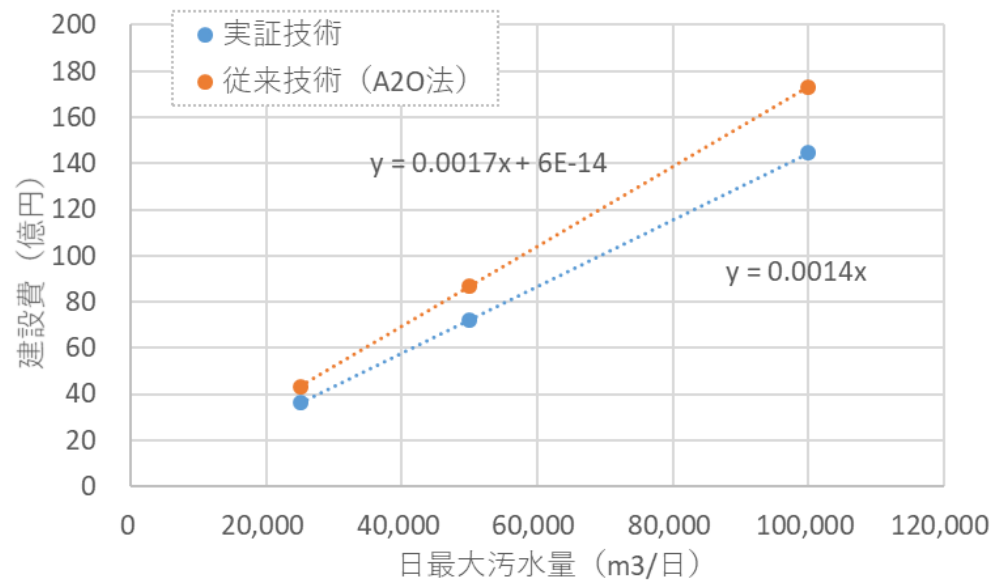
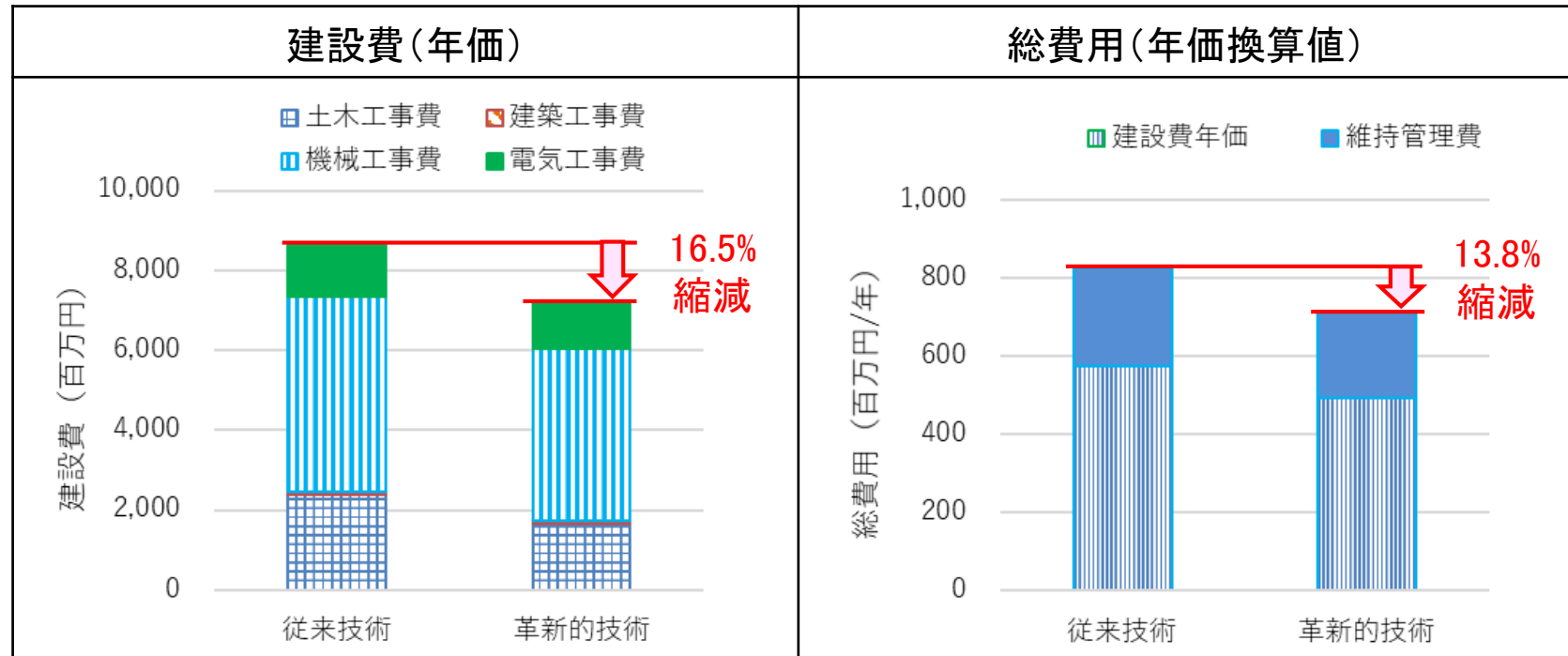
建設費および総費用(年価換算値＝建設費年価＋年間維持管理費)を比較
 建設費の費用関数(25,000～100,000m³/日)を作成

ガイドラインでは『既設高度処理の改築』、『統廃合に伴う能力増強』についても記載

3. 革新的技術のコスト縮減効果

3. 2. 検証結果

標準法からの高度処理化



計画・設計における留意点

①防泡設備の設置

脱窒ゾーンはスカムが溜まり易いため、防泡設備を設ける。

②送風機の風量および圧力の制御範囲

送風機設備の風量および圧力の制御範囲が十分に広いことが、風量制御および圧力可変制御の性能発揮において有利である。

維持管理における留意点

①水質センサーのメンテナンス

A2O法で必要だった無酸素タンク付帯設備（攪拌機、循環ポンプ）のメンテナンスが不要になるが、制御に使用する水質センサーのメンテナンスが必要になる。

国土交通省 国土技術政策総合研究所	下水道研究部 下水処理研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-3933 FAX 029-864-2817 URL www.nilim.go.jp
メタウォーター株式会社	営業本部営業企画部 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 TEL 03-6853-7340 FAX 03-6853-8714 URL www.metawater.co.jp
日本下水道事業団	技術戦略部技術開発企画課 〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-27 TEL 03-6361-7849 FAX 03-5805-1828 URL www.jswa.go.jp
町田市	下水道部水再生センター 〒194-0045 東京都町田市南成瀬八丁目1番地1 TEL 042-720-1825 URL www.city.machida.tokyo.jp/shisei/shiyakusyo/clean/kankyo02.html