

## 第2章 技術の概要と評価

### 第1節 技術の概要

#### §5 技術の目的

本ガイドラインの対象技術である「ICTを活用した効率的な硝化運転制御技術」は、ICTを活用して、下水処理における硝化を適切に制御することで、処理水質（NH<sub>4</sub>-N濃度）の安定化、風量削減に伴う消費電力の低減、維持管理業務の軽減を実現することを目的とする。

#### 【解説】

従来、反応タンクの風量は、風量の目標値、流入水量に対する倍率、DO計の計測値などの制御設定値に基づき制御されていた。このような制御方式では、硝化に関して1) アンモニア性窒素（以下、NH<sub>4</sub>-N）の流入負荷変動が大きい場合、変動に追従できず、処理水 NH<sub>4</sub>-N 濃度が不安定となり、目標値を超過する可能性がある、2) 目標とする処理水 NH<sub>4</sub>-N 濃度を安定的に得るためには、風量を過剰に供給する必要がある、3) 硝化を適切に制御できるように制御設定値を調整するには、試行錯誤やノウハウの蓄積が必要であるといった課題があった。

本ガイドラインの対象技術である「ICTを活用した効率的な硝化運転制御技術」は、センサー情報をモデル演算処理する技術を活用し、1) NH<sub>4</sub>-N の流入負荷変動に対応した風量制御による処理水 NH<sub>4</sub>-N 濃度の安定化、2) 過剰な風量の削減によるブロワ消費電力の低減、3) 制御設定値の調整に係る維持管理業務の軽減を図るものである。本技術の目的をまとめて図 2-1 に示す。

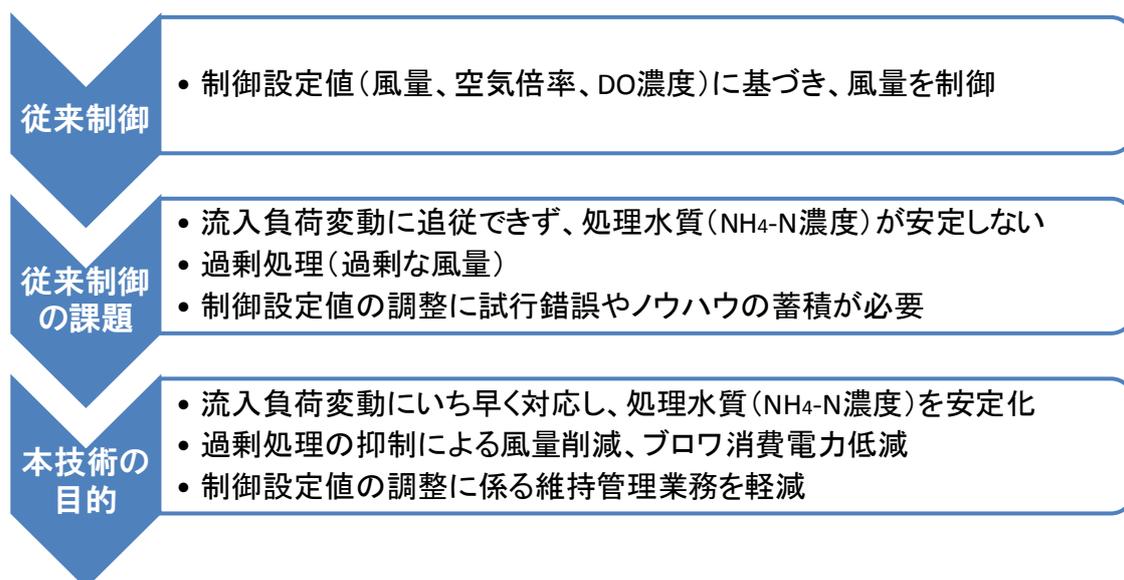


図 2-1 本技術の目的

## §6 技術の概要

「ICTを活用した効率的な硝化運転制御技術」は、 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーを用いた監視制御技術を下水処理における硝化制御に適用する。

本技術の監視制御技術は、好気タンクよりも上流側と、好気タンクの間地点の2箇所に設置する  $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーを用いた風量制御機能、微生物の処理特性の見える化機能、風量の演算モデル（処理特性モデル）の自動更新機能を有する。これらの機能により、処理水質（ $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度）の安定化、消費電力低減（風量削減）、維持管理業務の軽減を実現する。

### 【解説】

本技術の有する3つの機能について、以下に述べる。また、本技術の概要を図 2-2 に示す。

#### (1) 2台の $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーを用いた風量制御機能

本技術では、好気タンクよりも上流側に設置（標準活性汚泥法の場合は、最上流の好気タンクに設置）した  $\text{NH}_4\text{-N}$  センサー（以下、第1 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサー）と、好気タンクの間地点に設置した  $\text{NH}_4\text{-N}$  センサー（以下、第2 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサー）を風量演算に用いる。なお、風量演算方法の詳細については §8 風量演算方法の概要に示す。

第1 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値に基づく風量演算では、好気タンクに流入する  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を用いて必要な風量を予測するフィードフォワード（FF; Feed Forward）制御の考え方を用いる。FF制御風量では、微生物（活性汚泥）の処理特性の見える化した処理特性モデル（(2) 微生物の処理特性の見える化機能参照）を用いて必要な風量を演算する。一方、第2 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値に基づく風量演算では、予測した濃度と実際の計測値とのずれを是正するフィードバック（FB; Feed Back）制御の考え方を用いる。以降、第1 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値を用いた演算風量はFF制御風量、第2 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値を用いた演算風量はFB制御風量とする。FF制御風量、FB制御風量を平均化することで、流入負荷変動にいち早く対応し、水質の維持・安定化を図ることができる（§7 技術の特徴参照）。なお、本ガイドラインでは第1 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの設置位置から第2 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの設置位置までを「上流側」、第2 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの設置位置から好気タンク末端までを「下流側」と定義する。

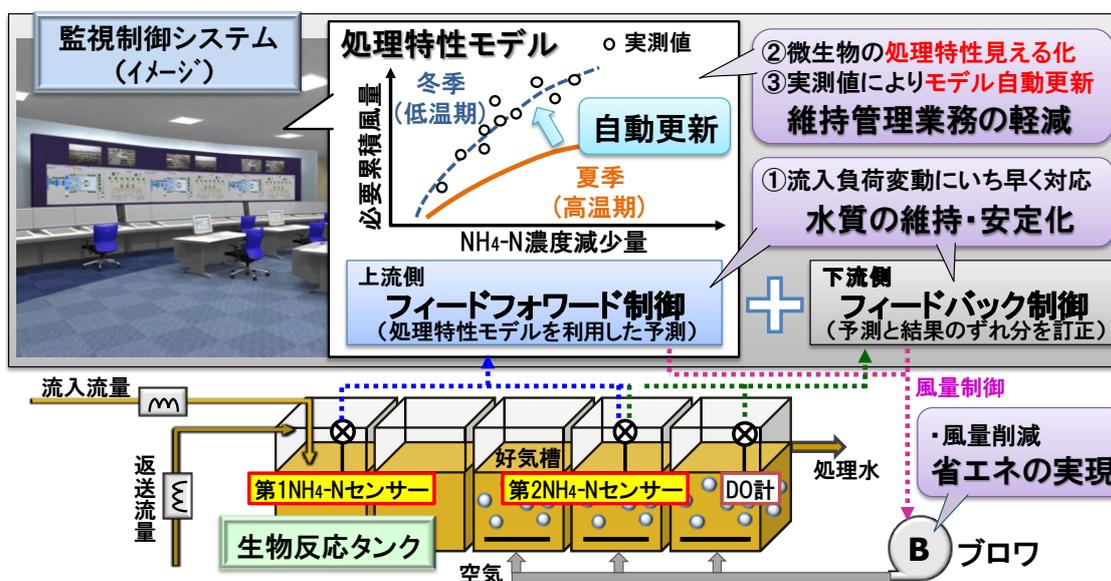


図 2-2 本技術の概要および特徴

(2) 微生物の処理特性の見える化機能

図 2-3 に、本技術での微生物の処理特性の見える化機能の概略を示す。本技術では、第 1NH<sub>4</sub>-N センサーの設置点から第 2NH<sub>4</sub>-N センサーの設置点の間での NH<sub>4</sub>-N 濃度の減少分、すなわち上流側で処理した NH<sub>4</sub>-N 濃度（以下、NH<sub>4</sub>-N 濃度減少量（実績値））と、その処理に要した累積風量（以下、必要累積風量（実績値））をプロットした処理特性グラフを用い、微生物による NH<sub>4</sub>-N の処理特性の見える化を図っている。処理特性グラフの過去一定期間の実績値から近似式を算出し、処理特性モデルとして表示する。処理特性グラフ、処理特性モデルにおいて、例えば現在と過去など複数のデータを比較することで、微生物の処理特性の変化を把握する。なお、FF 制御風量の演算には、処理特性モデルを用いる。

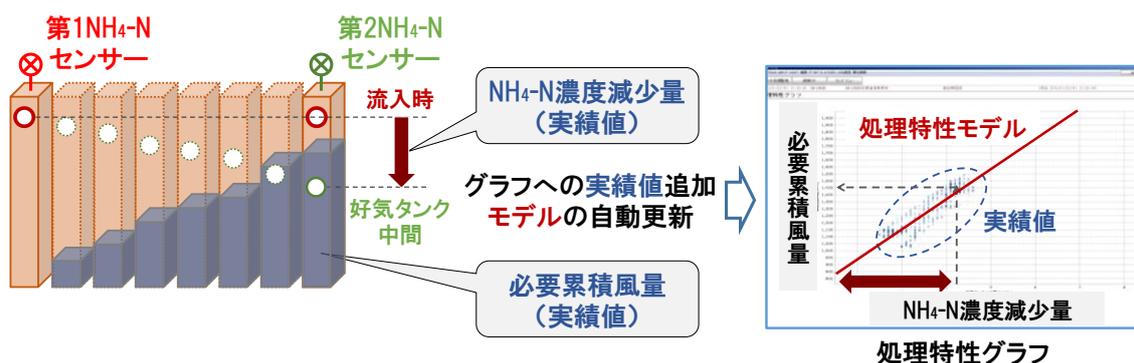


図 2-3 処理特性グラフによる微生物の処理特性の見える化

(3) 風量の演算モデルの自動更新機能

水温や流入水質によって活性汚泥の処理特性は徐々に変化していく。風量を適切に制御し、処理水質を安定化するには、処理特性の変化に合わせて風量の演算モデルを更新していく必要がある。本技術では、実績値に基づき一定周期で自動更新する処理特性モデルを FF 制御風量の演算に用いることで、処理特性の変化に対応している。

## §7 技術の特徴

本技術の特徴は、以下のとおりである。

- (1) 2 台の  $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーを用いた風量制御機能により、処理水質 ( $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度) の安定化、消費電力の低減を実現できる。
- (2)  $\text{NH}_4\text{-N}$  に関する活性汚泥の処理特性の見える化機能により、処理特性の変化、処理の異常を早期に発見できる。
- (3) 風量の演算モデル (処理特性モデル) の自動更新機能により、制御設定値の調整に係る維持管理業務を軽減できる。

### 【解説】

§6 技術の概要に示した本技術の3つの機能は、それぞれ以下の特徴を有している。

- (1) 風量の適正制御により、処理水質 ( $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度) の安定化、消費電力の低減を実現できる (図 2-4 参照)。

流入水量に対する倍率や DO 濃度を制御設定値とした従来の風量制御技術では、制御対象となる水質 (本技術では  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) を計測していないことから、目標とする水質を確保するために過剰気味の風量で運用する傾向があった。この問題を解決すべく、 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーに基づく風量制御技術として、目標値を一定とした FB 制御が開発された。しかしながら、1 台の  $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーで制御する従来の FB 制御では、図 2-4 に示す通り、好気タンクに設置した  $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値が目標値を超過した場合、その差を是正しようと、風量を増加させるが、同時刻における流入下水 (上流側) の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度が低ければ、風量が過剰となり、過度に硝化が進行する恐れがある。このように、従来の FB 制御のみでの風量制御では、流入負荷変動に追従して風量を適切に制御できず、風量の過剰供給や処理水  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の上昇が起こる可能性があった。そこで、本技術では、2 台の  $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーを用いて、反応タンク流入時の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度 (第 1 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサー計測値) に応じて、処理水  $\text{NH}_4\text{-N}$  目標値に到達するまでの通過点 (第 2 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの設置位置) での  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を予測し、その予測値 (以下、中間  $\text{NH}_4\text{-N}$  予測値とする) に基づく FF 制御と FB 制御を組合せる。FF 制御には流入変動にいち早く対応できるという特徴があり、FB 制御には制御精度を高く保つことができるという特徴がある。本技術では、これらの FF 制御、FB 制御の特徴を取り込むことで、処理水  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を目標値以下に制御しつつ、過剰な風量の削減が期待できる。

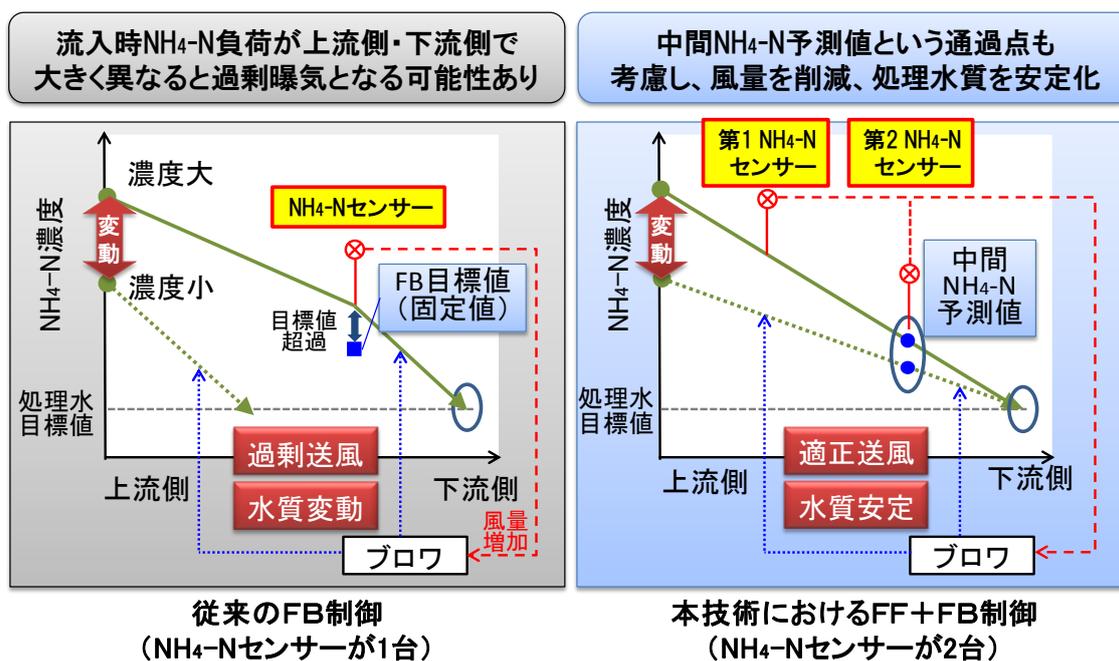


図 2-4 NH<sub>4</sub>-N センサーを用いた風量制御に関する従来技術と本技術の比較

(2) NH<sub>4</sub>-Nに関する活性汚泥の処理特性を見える化し、処理特性の変化、処理の異常を早期に発見できる。

従来の風量制御技術では、NH<sub>4</sub>-Nセンサーが設置されていない、もしくは好気タンク末端などに1台のみ設置されている場合が多く、好気タンク内でのNH<sub>4</sub>-N濃度減少量など、詳細な処理状況の把握は困難であった。これに対し、本技術では、2台のNH<sub>4</sub>-Nセンサーを設置し、その区間のNH<sub>4</sub>-N濃度の減少量と、風量の累積値の実績を処理特性グラフ上に記録していくことで、処理特性を見える化する。処理特性の変動を追跡していくことで、微生物の処理特性の急変や処理の異常の傾向を早期に発見できる。

(3) 風量の演算モデル(処理特性モデル)を自動更新し、制御設定値の調整に係る維持管理業務を軽減できる。

流入水量に対する倍率やDO濃度を制御設定値とした従来の風量制御技術では、例えば冬期にはDO設定値を高くするなど、季節変化に合わせて手動で制御設定値を調整する場合があります。試行錯誤やノウハウの蓄積が必要であった。これに対し、本技術では、処理特性モデルを自動的に更新していくため、最新の微生物の処理特性をFF制御風量の演算に反映でき、必要風量の演算精度を自動的に維持できる。これにより、制御設定値の調整を効率化し、維持管理業務を軽減できる。

## §8 風量演算方法の概要

本技術における硝化運転制御は、 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーおよび DO 計を用いた風量演算結果から、風量を決定する。

### (1) $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーを用いた硝化制御風量

- ・ 第 1 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値に基づくフィードフォワード (FF) 制御風量
- ・ 第 2 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値に基づくフィードバック (FB) 制御風量

### (2) DO 計を用いた DO 制御風量

- ・ 運用管理上の DO 濃度の上下限 (上側/下側 DO 設定値) に基づく制御風量

### 【解説】

本技術の硝化運転制御において出力する風量の決定方法の概略を図 2-5 に示す。

第 1 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値に基づきフィードフォワード (FF) 制御風量を、第 2 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値に基づきフィードバック (FB) 制御風量を演算する。これらの  $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーを用いた風量を足し合わせて硝化制御風量を演算する。

硝化制御風量のみで風量を制御した場合、流入  $\text{NH}_4\text{-N}$  負荷の低下に伴い演算風量は小さくなり、嫌気状態となるような著しい DO 濃度の低下につながる恐れがある。一方、流入負荷が高くなるにつれ演算風量は大きくなり、DO 濃度も高くなる。しかし、DO 濃度の上昇に伴い、硝化速度が飽和すると、DO 濃度を高くしても処理量の向上が期待できず、ブロワ消費電力の増大につながる恐れがある。そこで、本技術では、これまでの運転実績等に基づき運用管理上設定する DO 濃度の上限値を上側 DO 設定値、下限値を下側 DO 設定値とし、それぞれを制御設定値とする上側 DO 制御風量、下側 DO 制御風量を硝化制御風量と並列で演算する。次に硝化制御風量と上側 DO 制御風量、下側 DO 制御風量を比較し、下側 DO 制御風量から上側 DO 制御風量の範囲の風量を出力することで、DO 濃度を適正範囲内に制御でき、処理水質の維持、過剰な風量の削減が可能となる。また、DO 計を用いた制御風量を併用することで、 $\text{NH}_4\text{-N}$  センサーの計測値異常等による甚大な処理トラブルも回避できる。以下、それぞれの演算風量の算出方法の詳細について述べる。

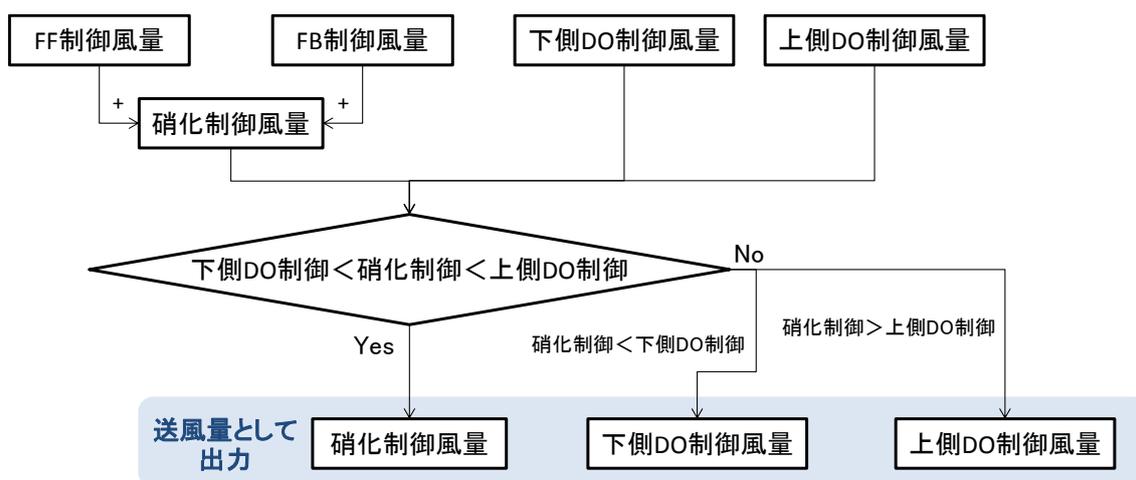
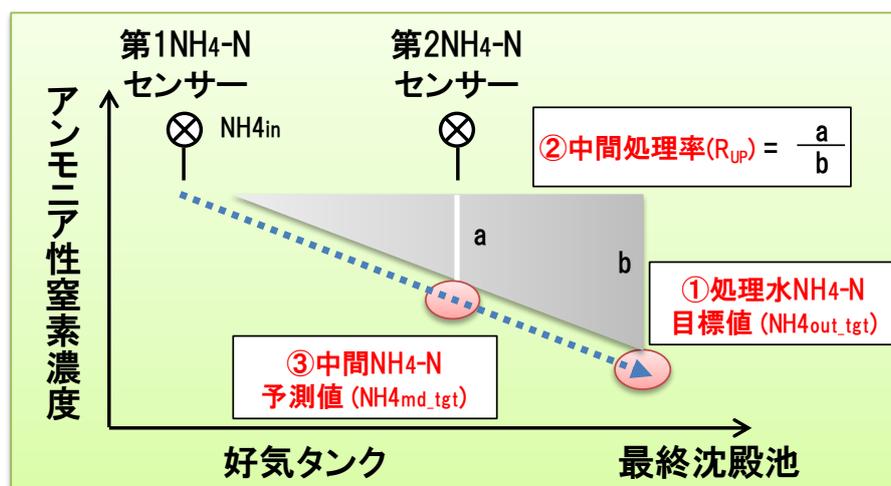


図 2-5 風量の決定方法

(1) NH<sub>4</sub>-N センサーを用いた硝化制御風量

本技術では、処理水 NH<sub>4</sub>-N 目標値まで処理する上で、好気タンクの間地点（第 2NH<sub>4</sub>-N センサーの設置位置）にて到達すべき NH<sub>4</sub>-N 濃度（中間 NH<sub>4</sub>-N 予測値）に基づき、FF 制御および FB 制御を実施する。第 2NH<sub>4</sub>-N センサーの設置位置を好気タンク末端ではなく中間地点としたのは、低濃度域での NH<sub>4</sub>-N センサーの測定精度低下および電極劣化を防ぐためである。さらには、処理途中である好気タンク中間で予測とのずれを是正する FB 制御を実施することで、中間 NH<sub>4</sub>-N 予測値への追従性を高めるためである。中間 NH<sub>4</sub>-N 予測値の設定方法の概念図を図 2-6 に、算出式を式 (2.1) に示す。中間 NH<sub>4</sub>-N 予測値は、流入 NH<sub>4</sub>-N 濃度（第 1NH<sub>4</sub>-N センサーによる計測値）と設定パラメータである中間処理率により算出する。ここで、中間処理率は、好気タンク全体で処理する NH<sub>4</sub>-N 濃度のうち、上流側で処理する割合で定義され、第 2NH<sub>4</sub>-N センサーの設置位置を考慮して設定する（§ 29 制御システムの立上げ（初期設定）参照）。以下、FF 制御風量および FB 制御風量、さらに硝化制御風量の演算方法の概略について述べる。

図 2-6 中間処理率を用いた中間 NH<sub>4</sub>-N 予測値の設定方法

$$NH4_{md\_tgt}(t) = NH4_{in}(t) - R_{UP}(NH4_{in}(t) - NH4_{out\_tgt}) \quad (2.1)$$

ここで、 $NH4_{md\_tgt}(t)$  [mg-N/L]：時刻 $t$ における中間点 NH<sub>4</sub>-N 予測値、 $NH4_{in}(t)$  [mg-N/L]：時刻 $t$ における第 1NH<sub>4</sub>-N センサー計測値、 $NH4_{out\_tgt}$  [mg-N/L]：処理水 NH<sub>4</sub>-N 目標値、 $R_{UP}$  [-]：中間処理率とした。

ア) 第 1NH<sub>4</sub>-N センサーの計測値に基づくフィードフォワード (FF) 制御風量

FF 制御風量の演算方法の概要を図 2-7 に示す。FF 制御風量の演算では、単位時間当たりに流入する下水を一つの塊 (以下、流体塊) として仮想的に捉えている。第 1NH<sub>4</sub>-N センサーの設置位置に流体塊が到達すると、第 1NH<sub>4</sub>-N センサーの計測値と、式 (2.1) により演算した中間 NH<sub>4</sub>-N 予測値との差分を上流側で処理すべき NH<sub>4</sub>-N 濃度 (以下、NH<sub>4</sub>-N 濃度減少量 (理論値)) として、処理特性モデル (§ 6(2) 微生物の処理特性の見える化機能 参照) に入力する。その結果、流体塊ごとに上流側で供給すべき風量 (以下、必要累積風量 (理論値)) が算出される。FF 制御風量では、上流側に存在する各流体塊の必要累積風量 (理論値) と供給した風量の差分、つまり必要累積風量 (理論値) の残分に基づき、演算する。FF 制御風量を用いることで、各流体塊は第 2NH<sub>4</sub>-N センサーに到達するまでに必要累積風量 (理論値) が供給されるように制御される。

イ) 第 2NH<sub>4</sub>-N センサーを用いたフィードバック (FB) 制御風量

FB 制御風量では、中間点 NH<sub>4</sub>-N 予測値と第 2NH<sub>4</sub>-N センサーでの実測値とのずれから、PID 制御による FB 演算を実施する (図 2-7 参照)。

ウ) 硝化制御風量

硝化制御風量は、式 (2.2) に従い、FF 制御風量と FB 制御風量を平均化し、算出する。

$$QB_{NF}(t + \Delta t) = \frac{QB_{FF}(t + \Delta t) + QB_{FB}(t + \Delta t)}{2} \quad (2.2)$$

ここで、 $QB_{NF}(t + \Delta t)$  [m<sup>3</sup>/h] : 時刻  $t + \Delta t$  における硝化制御風量、 $QB_{FF}(t + \Delta t)$  [m<sup>3</sup>/h] : 時刻  $t + \Delta t$  における FF 制御風量、 $QB_{FB}(t + \Delta t)$  [m<sup>3</sup>/h] : 時刻  $t + \Delta t$  における FB 制御風量とした。なお、FF 制御風量及び FB 制御風量については、資料編 5 硝化制御風量の演算方法 P. 131 を参照のこと。

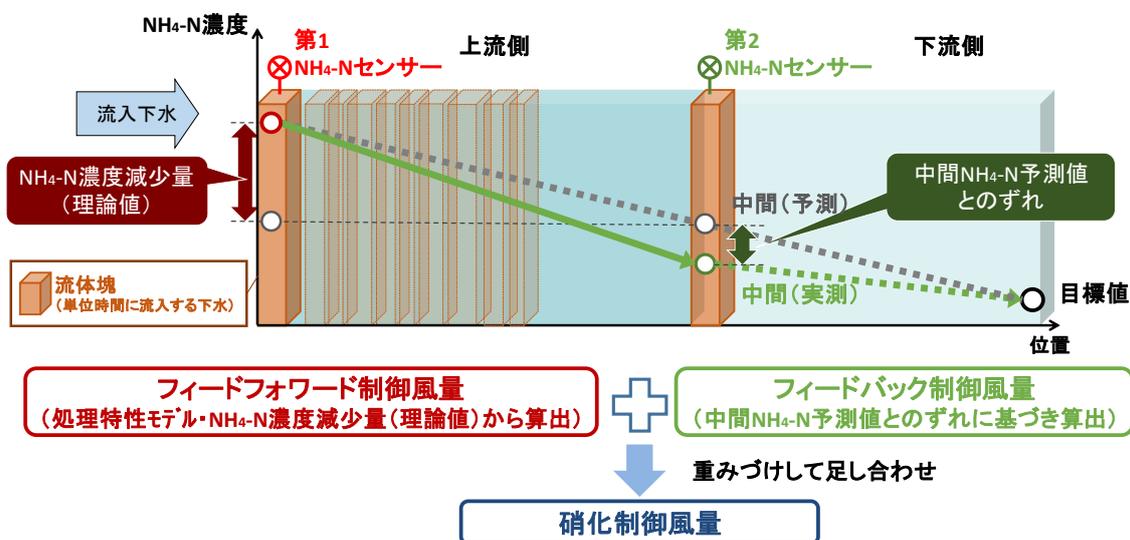


図 2-7 FF 制御風量、FB 制御風量、硝化制御風量の算出方法の概要

(2) DO 計を用いた DO 制御風量 (上側 DO 制御風量 / 下側 DO 制御風量)

本技術では運用管理上の上限値 / 下限値として、これまでの運転実績や本技術導入時の試運転結果 ( § 29 制御システムの立上げ (初期設定) 参照) に基づき、上側 / 下側 DO 設定値を設定する。そして、上側 / 下側 DO 設定値を制御設定値とした PID 制御 (DO 一定制御) に基づき、上側 / 下側 DO 制御風量を演算する。

(3) 出力風量

本技術において最終的に出力する風量は、図 2-5 に示したように硝化制御風量、上側 DO 制御風量、下側 DO 制御風量を比較して決定する。主な出力風量としては硝化制御風量となるが、硝化制御風量が下側 DO 制御風量よりも小さい場合は下側 DO 制御風量を選択し、硝化制御風量が上側 DO 制御風量よりも大きい場合は上側 DO 制御風量を選択する (図 2-8 参照)。

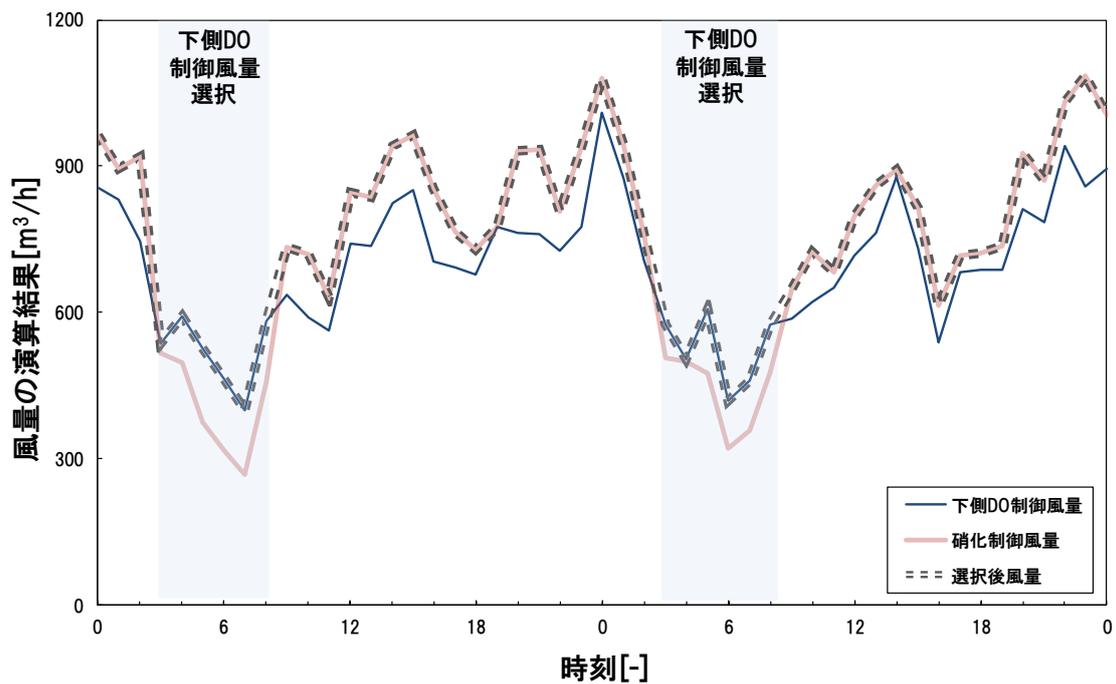


図 2-8 出力する風量の選択例

### §9 複数系列における風量制御方式の概略

一般的な下水処理場では、返送汚泥系統が独立した処理系列（以下、系列）が複数存在し、同一系列内にも返送汚泥系統を共有する処理池（以下、池）が複数存在する場合が多い。本技術の硝化運転制御をこのような複数系列、複数池に適用する場合は、導入コスト低減のため、NH<sub>4</sub>-N センサーは系列の処理を代表する一つの池（以下、代表池）のみに設置し、NH<sub>4</sub>-N センサーの計測値に基づき風量を制御する。同一系列もしくは他系列の池（以下、展開池）では、代表池の制御結果（DO 濃度）の流入流量、MLSS 濃度による補正值に基づき、風量を制御する。

#### 【解説】

本技術による硝化運転制御を複数の池、系列に適用する場合、全ての池、系列に NH<sub>4</sub>-N センサーを設置することも考えられるが、NH<sub>4</sub>-N センサーの設置および維持管理に掛かるコストが課題となる。本技術では、NH<sub>4</sub>-N センサーの設置を必要最低限としつつ、複数系列・池に対して本技術による風量制御の展開が可能であることを、数日間と短い期間ではあるが実証実験により確認している（資料編 1.3 実証研究（③複数系列制御方式の実証）の詳細 P. 102 参照）。

NH<sub>4</sub>-N センサーの設置、および計測値に基づく風量制御を実施する代表池、および代表池の制御結果として DO 濃度を展開する展開池の概略を図 2-9 に示す。図 2-9 の例では、系列 1、系列 2 は返送汚泥系統が異なっており、独立した処理系列である。また、系列 1、系列 2 は、返送汚泥系統を共有する処理池を 4 つずつ有している。例えば、系列 1 の処理池（処理池(1-1)）を代表池として選定した場合、代表池には 1 組（2 台）の NH<sub>4</sub>-N センサーを設置し、NH<sub>4</sub>-N センサーに基づく風量制御を実施する（§8 風量演算方法の概要参照）。同じ系列 1 内の池（処理池(1-3)）や、系列 2 の池（処理池(2-1)、処理池(2-3)）については展開池とする。展開池では、代表池の DO 濃度を、代表池・展開池の流入流量、MLSS 濃度で補正した補正值に基づき、DO 可変制御を実施する。DO 計が設置されていない、または風量調節弁等の風量調整設備がない処理池（処理池(1-2)、処理池(1-4)、処理池(2-2)、処理池(2-4)）では、隣接する代表池もしくは展開池とともに風量が制御される構造であるとする。展開池における DO 可変制御の設定値の設定方法については、資料編 1.3 実証研究（③複数系列制御方式の実証）の詳細 P. 102 を参照のこと。

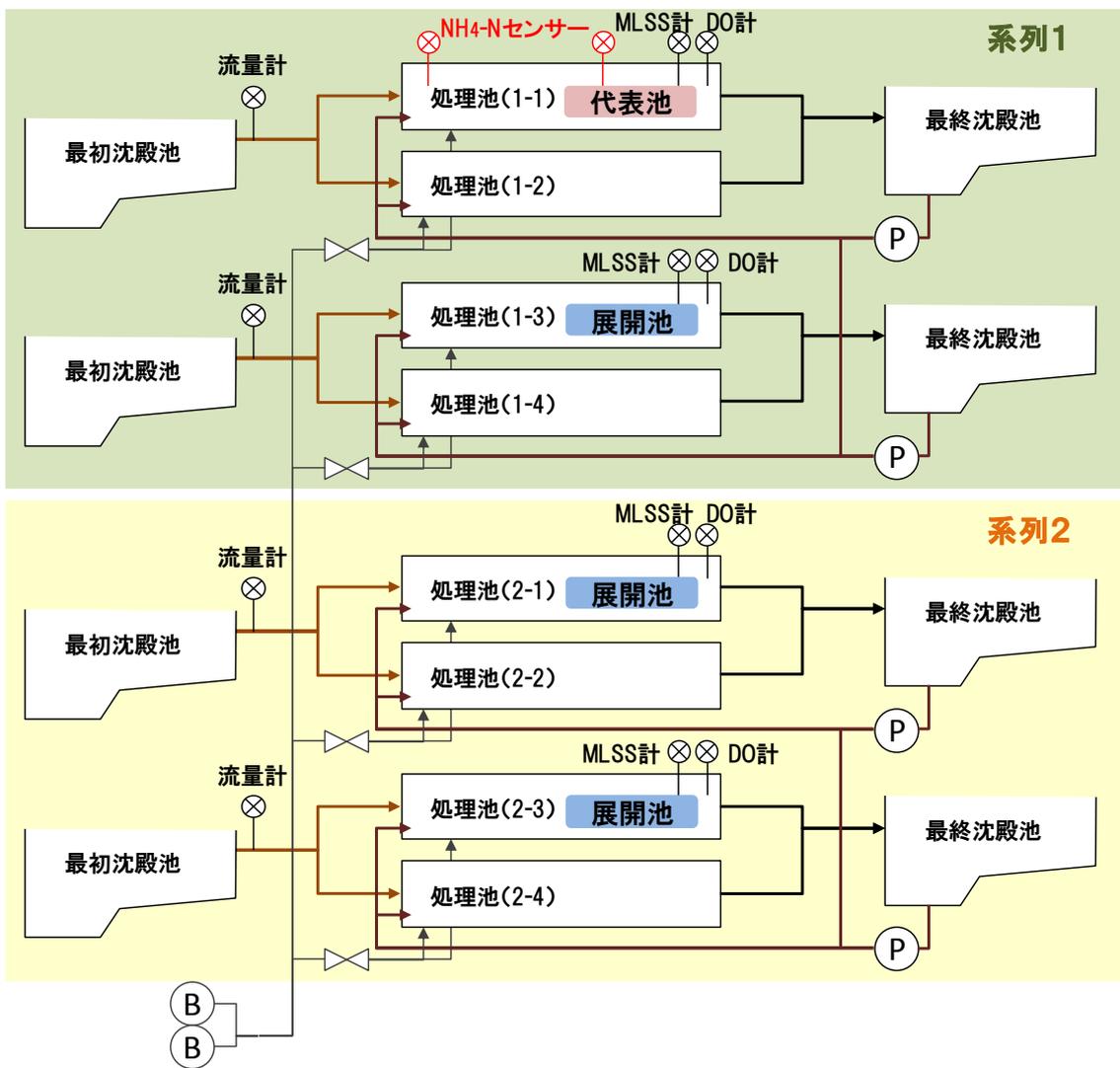


図 2-9 複数系列の制御における代表池、展開池の概略

### §10 制御システムの適用範囲

本技術では、NH<sub>4</sub>-N センサーを設置した池（代表池）に対し、下記の条件を満たす池は、代表池と同系列・他系列に関わらず、1つの制御システムとして、代表池の制御結果に基づき風量を制御する。条件を満たさない系列・池がある場合は、制御システムを追加する。

- ・ 同一の躯体構造仕様である
- ・ 同一の処理方式である
- ・ 流入水質が同様である
- ・ 流入流量、返送汚泥流量、硝化液循環流量、MLSS、好気タンクへの風量配分が同程度に調整されている
- ・ SRT が同程度で運転されている

#### 【解説】

複数の系列・池に対して本技術の硝化運転制御を適用する場合、**§9 複数系列における風量制御方式の概略**において述べたように、NH<sub>4</sub>-N センサーを設置する代表池の制御結果（DO 濃度）を展開池に展開する。この複数系列制御方式を適用する場合、一つの代表池の制御結果に基づき制御する池・系列の範囲を一つの制御システムの適用範囲とする。代表池の選定では、同一の躯体構造仕様、処理方式である池のうち、流量や流入水質、MLSS 濃度、処理水質が平均的で安定していること、また追加センサー等の設置スペースが十分にあることを勘案する。展開池では、流入条件や運転条件が代表池と同様に調整されていることが条件となる。制御システムの適用範囲における代表池、展開池の条件を**表 2-1**に示す。なお、実証研究では短い期間ではあるが複数系列制御方式の成立性を実証した。その際の代表池・展開池の流入条件、運転条件は**資料編 1.3 実証研究（③複数系列制御方式の実証）の詳細 P.102**を参照のこと。

制御システムの適用範囲における代表池、展開池の選定方法の例を**図 2-10**に示す。**図 2-10**の例では、制御システムの適用範囲を A 処理法で処理する第 1 系列および第 2 系列の合計 2 系列 5 池とする。A 処理法と異なる B 処理法である第 2 系列第 4 池、さらに同じ処理法でも躯体構造仕様が異なる第 2 系列第 5 池の 2 つの池は適用範囲外であり、これらを本技術で制御する場合は、それぞれの池にシステムを導入する必要がある。導入検討における実態調査（**§18 実態調査参照**）では、対象とする下水処理場に対する制御システムの適用範囲を確認し、必要な制御システム数を導出する。

表 2-1 複数系列制御方式における代表池・展開池の条件

| 項目          | 代表池   | 展開池       |
|-------------|---|-----------|
| 躯体構造        | —   | • 代表池と同一  |
| 処理方式        | —   |           |
| 流入水質        | • 平均的で安定  | • 代表池と同様  |
| 流入・循環・返送流量  |   |           |
| MLSS濃度      |   |           |
| SRT         |   |           |
| 好気タンクへの風量配分 | —   |           |
| その他         | • 追加センサー等を設置可<br>• 処理水水質(NH <sub>4</sub> -N)が平均的で安定 | • DO制御が可能 |

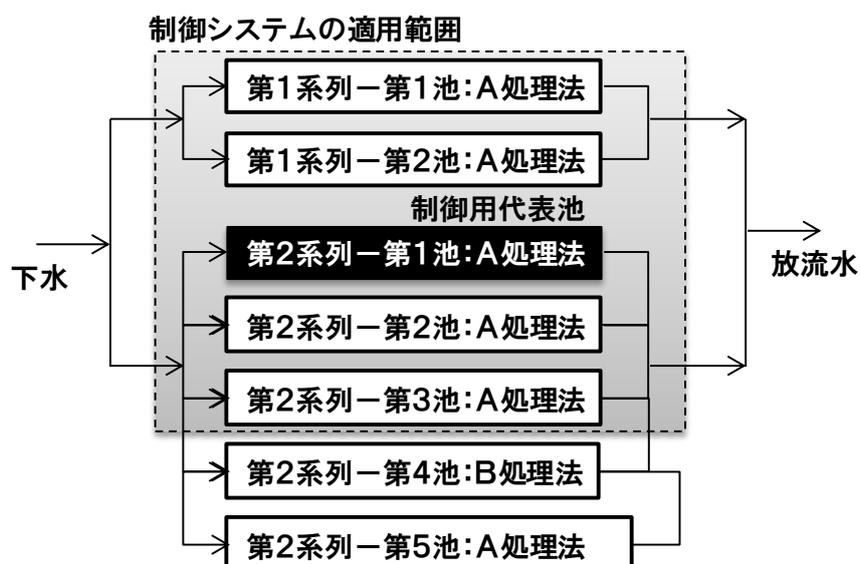


図 2-10 本技術の制御システムの適用範囲例

### §11 技術の適用条件

本技術は、以下の条件を満たす水処理施設に適用可能である。

- (1) 活性汚泥を用いた下水処理方式で、好気タンクを有すること
- (2)  $\text{NH}_4\text{-N}$  に対して明確な処理目標があること
- (3) 風量制御が可能であること

#### 【解説】

本技術は、活性汚泥により下水を処理する下水処理方式において、好気タンクへの風量を適正化することで、好気タンクにおける硝化を制御し、処理水質（ $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度）の安定化、消費電力の低減を図る技術である。以下に、本技術の適用条件を示す。

- (1) 活性汚泥を用いた下水処理方式で、好気タンクを有すること

本技術は、標準活性汚泥法、嫌気－好気活性汚泥法、循環式硝化脱窒法、嫌気無酸素好気法等、活性汚泥を用いた処理方式で、ブロワにより送風する好気タンクを有することが求められる。

- (2)  $\text{NH}_4\text{-N}$  に対して明確な処理目標があること

本技術は、 $\text{NH}_4\text{-N}$  を除去対象とする技術である。そのため、放流水（処理水）の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度に対して目標値を設定している、もしくは今後設定する予定があることが必要である。

- (3) 風量制御が可能であること

本技術は好気タンクへの風量を適正化する技術である。そのため、風量調整弁やブロワによる風量制御が可能であることが求められる。

**§12 技術の適用が効果的な条件**

本技術の適用が効果的となり得る条件の例を示す。

- (1) NH<sub>4</sub>-N の流入負荷変動が大きい場合
- (2) 風量削減によりブロワの運転台数の低減が見込まれる場合
- (3) DO 制御が安定して運用されている、あるいは安定した運用が見込まれる場合
- (4) 風量が過剰となっている時間帯がある場合
- (5) 微生物の処理特性の季節変化が大きい場合
- (6) 制御システムの適用範囲を広く取れる場合
- (7) 本技術適用に必要な計測器が設置されている場合

**【解説】****(1) NH<sub>4</sub>-N の流入負荷変動が大きい場合**

NH<sub>4</sub>-N の流入負荷変動が大きい場合、フィードバック制御のみでは、流入負荷に対して追従するように風量を制御することは難しく、風量不足による処理水質の悪化や風量の過剰供給が起こりやすい。そのため、フィードバック制御機能に加え、流入負荷変動に早期に対処できるフィードフォワード制御機能を持つ本技術を導入することで、処理の過不足抑制による水質安定化と、過剰な風量の削減に伴う消費電力の低減が期待できる。

**(2) 風量削減によりブロワ運転台数の低減が見込まれる場合**

例えばブロワが3台ある下水処理場で、昼間などに2台の運転では風量が不足し、3台目も運転している場合、状況によっては、本技術導入により風量を削減でき、2台の運転で充足することも考えられる。そのような場合、必要なブロワ運転台数を低減できるため、消費電力も低減できる。

**(3) DO 制御が安定して運用されている、あるいは安定した運用が見込まれる場合**

DO 制御が安定している場合や、本技術適用とともに設備を更新することで安定した運用が可能となることが見込まれる場合には、複数系列制御方式における展開池での DO 制御を精度よく実施でき、処理水質の安定化、高い風量削減効果が期待できる。

**(4) 風量が過剰となっている時間帯がある場合**

NH<sub>4</sub>-N の流入負荷が低い場合など、好気タンクの途中で NH<sub>4</sub>-N 濃度が目標値以下となり、処理水 NH<sub>4</sub>-N 濃度が目標値を大きく下回るような時間帯がある場合、本技術の導入により、風量の削減、消費電力の低減が期待できる。

(5) 微生物の処理特性の季節変化が大きい場合

微生物の処理特性の変動に応じて DO 濃度などの制御設定値を調整するなど、従来では処理状況を見ながらパラメータを経験的に変更することがある。この場合、経験豊富な熟練技師が必要になるなど、維持管理業務上の負担であると考えられる。これに対し、本技術では、風量の演算モデルである処理特性モデルを処理実績に応じて自動で更新する機能を有しており、制御設定値の調整に係る維持管理業務の軽減が期待できる。

(6) 制御システムの適用範囲を広く取れる場合

§ 10 制御システムの適用範囲に示した条件を満たす池や系列が多ければ、1つの制御システムにより制御できる系列・池数が多くなる。そのため、NH<sub>4</sub>-N センサーの設置台数を削減でき、導入コスト及び維持管理コストを低減できる。

(7) 本技術適用に必要な計測器が設置されている場合

本技術の硝化運転制御には NH<sub>4</sub>-N センサーに加え、DO 制御のための DO 計や、各流量計、風量計、MLSS 計が必要である。流量計は反応タンクを流れる水量把握のために必要であり、例えば循環式硝化脱窒法の場合は下水流入流量、返送汚泥流量、硝化液循環流量を有することが求められる。また、複数系列に本技術を適用する場合、展開池には流入流量計、DO 計、MLSS 計が必要となる。そのため、これら計測器が既に設置されている場合、本技術導入に合わせて計測器を新たに設置する必要がなく、導入コストが抑えられる。

### §13 導入シナリオ例

本技術における制御システムの導入シナリオの例として、以下の場合について概説する。

- (1) 既存設備の更新、下水処理施設の変更時に本技術を導入する場合
- (2) 処理水 NH<sub>4</sub>-N 目標値の変更時に本技術を導入する場合

#### 【解説】

本技術は、NH<sub>4</sub>-N センサーを用いた風量の適正化による処理水質 (NH<sub>4</sub>-N) の安定化・消費電力の低減、さらには自動更新機能を備えた処理特性モデルによる維持管理業務の軽減を特徴とする技術である。本技術の特徴が発揮されるケースや、導入コストの低減が可能なケースの例を以下に示す。

- (1) 既存設備の更新、下水処理施設の変更時に本技術を導入する場合

代表的なケースとして、ア) 監視制御システムの新設・更新時、イ) ブロワの更新時、ウ) 散気装置の更新時、エ) 下水処理施設の変更時の4つの場合、およびそれぞれを複合的に組み合わせた場合がある。

#### ア) 監視制御システムの新設・更新時

監視制御システムの新設・更新の計画がある場合、本技術の制御システムのハードウェアに係る一部が監視制御システムの新設・更新工事と共通のため、本技術の導入コストの低減が期待できる（§19(7) 建設費・維持管理費・電力削減費にて詳述）。さらに、本技術に必要な流量計や DO 計が設置予定である場合、監視制御システム同様に設置費を共通化でき、導入コストを低減できる。

#### イ) ブロワの更新時

本技術は風量の適正化により、ブロワの消費電力を低減することが目的の一つである。そのため、既存ブロワ設備が風量を削減しても消費電力が低減しない仕様の場合、本技術の導入に合わせて、インレットベーン、インバータ付帯等、風量の削減に応じて消費電力の低減が見込めるブロワに更新することで、本技術による消費電力低減効果を発揮できる。また、更新時に本技術導入による風量削減を前提としたブロワ仕様の適正化も検討できる。例えば、本技術での運転時の風量に合った仕様のブロワを選定することで、ブロワ機器単体の効率を向上でき、運用コストの低減が期待できる。

#### ウ) 散気装置の更新時

従来の散気管等の散気装置から微細気泡装置に更新する際、溶解効率の向上により必要な風量が低減するため、新たな運転管理手法が必要となる。本技術は処理特性（処理実績）に応じて処理特性モデルを自動更新する機能を備えており、散気装置更新時の風量に係る制御設定値の調整を効率化できるとともに、処理水質の安定化や過剰な風量の削減にも寄与できる。

## エ) 下水処理施設の変更時

例えば下水処理場における処理系列の増設・廃止や下水処理区域の統合により、流入流量や流入水質が大幅に変化すると考えられる。ウ) **散気装置の更新時**と同様に、本技術導入により運転管理手法の早期構築、処理水質の安定化、過剰な風量の削減に寄与できる。

(2) 処理水  $\text{NH}_4\text{-N}$  目標値の変更時に本技術を導入する場合

代表的なケースとして、ア) **処理プロセスの変更時**、イ) **能動的水質管理における季節別水質制御の適用**の2つの場合がある。

## ア) 処理プロセスの変更時

段階的の高度処理など、硝化制御が重要な処理プロセスへの変更に際して、本技術により硝化処理の適正化が図れる。段階的の高度処理とは、水域の早期水質改善に向けて、既存施設の一部改造や運転管理の工夫により、標準活性汚泥法などから段階的に高度処理化を図る手法<sup>3)</sup>である。段階的の高度処理化、特に窒素除去を促進させていくには、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を制御対象に加え、適切に制御していくことが重要となる。そのため、ICTを活用して効率的な硝化制御を実現する本技術の導入により、処理水質の安定化・風量の適正化が可能な運転が期待できる。

## イ) 能動的水質管理における季節別水質制御の適用

下水放流水に含まれる栄養塩の能動的管理のための運転<sup>4)</sup>は、水質環境基準の達成・維持が担保できること、放流先の周辺水質等への大きな影響が想定されないことを確認した上で、地域のニーズに応じ季節毎に水質を能動的に管理する季節別運転管理を実施し、豊かな海の実現を目指すものである。例えば、必要に応じて、下水処理水放流先の養殖業等に配慮し、冬季に下水処理水中の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を上げることで養殖ノリの色落ちを抑制するなどの運転が該当する。このように、季節に応じて  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の目標値を変更する運転を実現するには、従来の風量制御技術の場合、経験知を用いて制御設定値 (DO 濃度等) を調整する必要がある。一方、本技術は、システム上で処理水  $\text{NH}_4\text{-N}$  目標値を変更可能であり、設定した目標値に応じて適切な風量の演算・制御を実施する。そのため、能動的水質管理においても本技術を導入することで、処理水質の安定化・風量の適正化が可能な硝化制御が期待できる。

## 第2節 実証研究に基づく評価の概要

### §14 技術の評価項目

実証研究に基づく本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) 処理水質 (NH<sub>4</sub>-N 濃度)
- (2) 風量削減効果
- (3) 消費電力量
- (4) 温室効果ガス排出量
- (5) コスト(建設費、維持管理費、電力削減量、経費回収年)

#### 【解説】

新技術の導入促進に際しては、技術の性能指標を定量的に比較し、性能の優れた技術を選定できるように、評価項目、評価方法を設定し、評価結果を提示する必要がある。また、導入に際してはコスト構造を明らかにし、導入費用の回収年を事前に見積もる必要がある。

本技術は、NH<sub>4</sub>-N の処理の適正化により、処理水 NH<sub>4</sub>-N 濃度の安定化を図りつつ、過剰な風量を削減する技術であり、ブロワ運転に掛かる消費電力量、温室効果ガス排出量の削減が期待できる。このことから、本ガイドラインでは、本技術の性能を評価する項目として(1)処理水質 (NH<sub>4</sub>-N 濃度)、(2)風量削減効果、(3)消費電力量、(4)温室効果ガス排出量、(5)コスト (建設費、維持管理費、電力削減費、経費回収年) を設定した。以下に、各項目の評価方法を示す。

#### (1) 処理水質 (NH<sub>4</sub>-N 濃度)

本項目は、実証研究における本技術の運転結果に基づき評価した。実証研究では、茨城県流域下水道事務所霞ヶ浦浄化センター（以下、霞ヶ浦浄化センター）の循環式硝化脱窒法の処理系列の一部に本技術を適用し、処理水 NH<sub>4</sub>-N 濃度を NH<sub>4</sub>-N センサーにより連続測定した。本技術における処理水質は制御システムの設定により変更可能であるが、実証施設の条件から平均処理水 NH<sub>4</sub>-N 濃度を 1.0 mg-N/L 以下に制御することを目標とした。

#### (2) 風量削減効果

実証研究では、霞ヶ浦浄化センターにおいて、本技術を適用した系列での風量と、従来制御技術として DO 一定制御を適用した系列での風量とを比較し、風量削減率を算出した。実証研究では、DO 一定制御と比べて風量を 10%削減することを目標とした。

また、ケーススタディも実施し、複数の仮想の下水処理場をモデルケースとして設定し、風量削減効果を試算した。モデルケースとしては表 2-2 に示すように、日最大計画汚水量が 10,000 m<sup>3</sup>/日、50,000 m<sup>3</sup>/日、100,000 m<sup>3</sup>/日の下水処理場において、処理方式を標準活性汚泥法と循環式

硝化脱窒法の2方式、制御方式を風量一定制御、DO一定制御、本技術方式の3方式を想定し、これらを試算対象とした。

標準活性汚泥法の処理場に本技術を適用した場合を例として、処理規模ごとにモデルケースにおける設備構成を図2-11に示す。DO計は各系列に1台設置されているとした。DO計の設置状況は、風量一定制御、DO一定制御の場合も同一である。NH<sub>4</sub>-Nセンサーは、本技術導入時に新たに設置する。本技術の硝化制御システムは、§9 複数系列における風量制御方式の概略で述べたとおり、NH<sub>4</sub>-Nセンサーを設置した代表池のDO濃度の補正值を制御設定値としたDO可変制御により、他の池(展開池)では風量を制御する。§10 制御システムの適用範囲に示したように、代表池と同じ躯体構造、同じ処理方式で、流入条件や運転条件が同様に調整された展開池に複数系列制御方式を適用できる。本試算では、一つの制御システムの適用対象範囲を2系列までとした。これは、実証研究での複数系列制御実験(資料編1.3 実証研究(③複数系列制御方式の実証)の詳細 P.102)の実験範囲が、代表池と、他の1系列1池であったためである。想定フローにおける制御システム数は、10,000 m<sup>3</sup>/日(2系列4池)および50,000 m<sup>3</sup>/日(2系列8池)では1システム、100,000 m<sup>3</sup>/日(4系列8池)では2システムとなり、1システムあたりNH<sub>4</sub>-Nセンサーを2台設置する。

各ケースでの風量一定制御、DO一定制御、本技術による風量は、資料編4.1 モデルケースの設定・計算方法 P.120の方法に従い導出した。なお、本技術による風量の試算に際しては、実証研究結果に基づき、DO一定制御に対して16.9%の削減効果が得られると想定し、試算した。

表 2-2 モデルケースの主な試算条件、評価規模

| 項目            |                                 | 標準活性汚泥法       |                 |         | 循環式硝化脱窒法    |                 |         |
|---------------|---------------------------------|---------------|-----------------|---------|-------------|-----------------|---------|
| 計画<br>汚水<br>量 | 日最大<br>[m <sup>3</sup> /日]      | 10,000        | 50,000          | 100,000 | 10,000      | 50,000          | 100,000 |
|               | 日平均<br>[m <sup>3</sup> /日]      | 8,000         | 40,000          | 80,000  | 8,000       | 40,000          | 80,000  |
| 系列数           |                                 | 2             | 2               | 4       | 2           | 2               | 4       |
| 全体池数          |                                 | 4             | 8               | 8       | 4           | 8               | 8       |
| 池水深<br>[m]    |                                 | 5.0           |                 |         |             |                 |         |
| 風量制御方式        |                                 | 風量一定/DO一定/本技術 |                 |         |             |                 |         |
| 送風機           | 型式                              | ルーツ<br>ブロフ    | 鋳鉄製<br>多段ターボブロフ |         | ルーツ<br>ブロフ  | 鋳鉄製<br>多段ターボブロフ |         |
|               | 常用運<br>転台<br>数                  | 2             | 2               | 4       | 2           | 2               | 4       |
|               | 風量調<br>整機<br>構                  | インバータ<br>制御   | インレットベーン<br>制御  |         | インバータ<br>制御 | インレットベーン<br>制御  |         |
|               | 定格風<br>量<br>[m <sup>3</sup> /分] | 50            | 210             | 205     | 60          | 265             | 230     |
|               | 風量範<br>圍<br>[m <sup>3</sup> /分] | 10~50         | 63~210          | 61~205  | 12~60       | 80~265          | 69~230  |
|               | 吸込圧<br>力<br>[mmAq]              | -200          |                 |         |             |                 |         |
|               | 吐出圧<br>力<br>[mmAq]              | 5800          |                 |         |             |                 |         |
| 散気装<br>置      | 形式                              | 散気板           |                 |         |             |                 |         |
|               | 散気泡<br>式                        | 旋回流方式         |                 |         |             |                 |         |
|               | 設置水<br>深<br>[m]                 | 4.5           |                 |         |             |                 |         |
|               | 酸素移<br>動<br>効<br>率<br>[%]       | 12.0          |                 |         |             |                 |         |

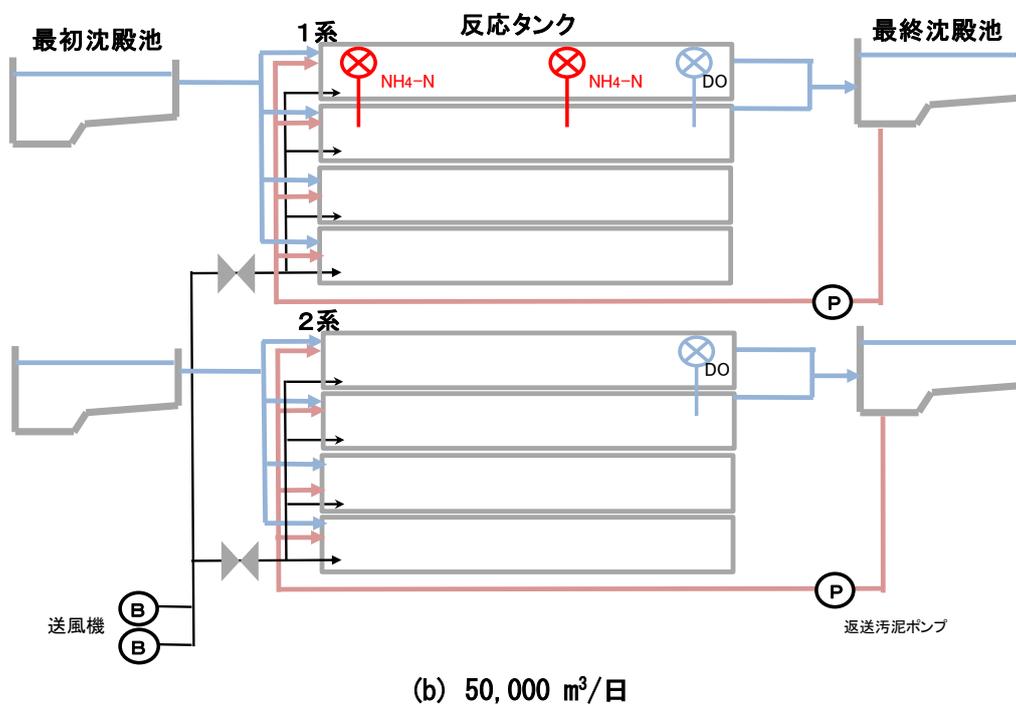
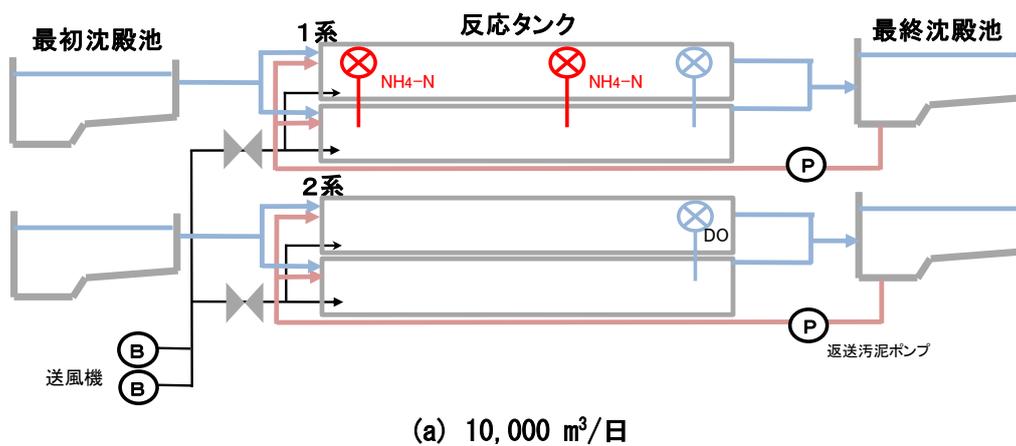
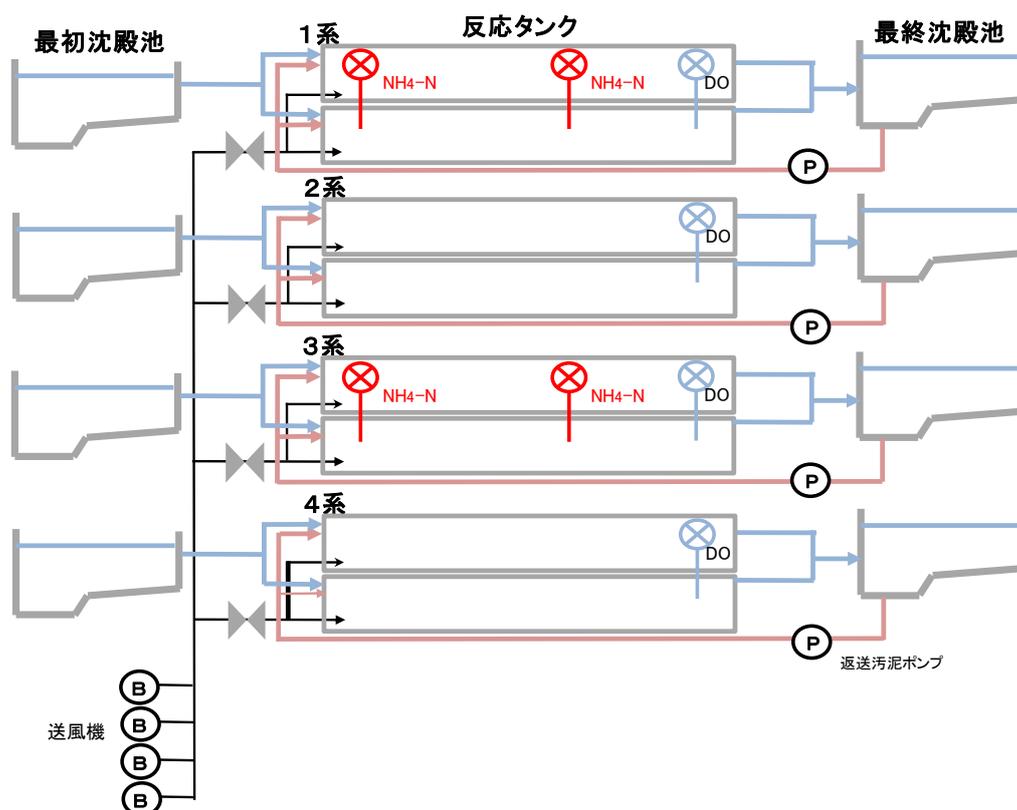


図 2-11 標準活性汚泥法における本技術適用時の想定フロー (1 / 2)



(c) 100,000 m<sup>3</sup>/日

図 2-11 標準活性汚泥法における本技術適用時の想定フロー (2 / 2)

### (3) 消費電力量

ケーススタディにおいて、表 2-2 に示した仮想の下水処理場を設定し、本技術の導入による消費電力量の削減効果を試算した。試算方法の詳細は、資料編 4.1 モデルケースの設定・計算方法 P.120 に記載する。

### (4) 温室効果ガス排出量

本技術に係る温室効果ガスとして、水処理由来の一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) と、電力由来の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を評価した。

#### ・ N<sub>2</sub>O ガス

霞ヶ浦浄化センターにおいて、本技術を適用した系列と、従来制御技術として DO 一定制御を適用した系列からの排出される N<sub>2</sub>O ガスの調査を実施し、本技術導入による N<sub>2</sub>O ガス排出への影響を検証した。評価方法の詳細は資料編 1.4 実証研究 (④採水・採ガス調査) の詳細 P.107 に記載する。

#### ・ 電力由来の CO<sub>2</sub>

「平成 26 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について (環境省地球環境局地球温暖化対策課)」に基づく代表値 0.579 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、(3) 消費電力量で評価した仮

想の下水処理場における本技術導入による消費電力削減量を用いて、温室効果ガス削減量（電力由来の CO<sub>2</sub> 削減量）を式(2.3)により算出した。

$$\text{温室効果ガス削減量 [kg/日]} = 0.579 \times \text{消費電力削減量} \quad (2.3)$$

#### (5) コスト（建設費、維持管理費、電力削減費、経費回収年）

本技術の経費回収年算出に係るコスト要因である、イニシャルコストに係る建設費、およびランニングコストに係る維持管理費およびブロワの電力削減費を試算した。

##### ア) 建設費

本技術の導入タイミングとして、監視制御システムの新設・更新工事に合わせて導入する場合（ケース①）と、既存設備を改造して導入する場合（ケース②）が考えられるため、この2ケースで検討した。ケース①、②における建設費の算出式をそれぞれ式(2.4)、(2.5)に示す。両ケースとも本技術導入に必要な増額分のみを建設費とした。ケース①は既存制御システムの改造費は監視制御システムの新設・更新工事と共通のため、積算対象外とした。つまり、ケース①では、NH<sub>4</sub>-N センサーおよびその設置工事費、本技術に係る硝化制御ソフトウェア実装費を建設費とした。ケース②は既存の監視制御システムを改造して本技術を実装するため、ケース①に加えて既存設備の改造費が追加となる。改造費はエンジニアリング、ハードウェア、設置工事、現地作業、現場代理人費用、既設システム側改造費他などである。なお、建設費の詳細については、資料編 4.2(1) 建設費 P.127 を参照のこと。

##### ケース①

$$\text{建設費} = \text{導入システム数} \times 1850 \text{ 万円} \quad (2.4)$$

##### ケース②

$$\text{建設費} = \text{導入システム数} \times 2850 \text{ 万円} + 2700 \text{ 万円} \quad (2.5)$$

##### イ) 維持管理費

維持管理費についても建設費と同様に、本技術導入のために追加される費用のみとした。制御に係るシステムの維持管理費は監視制御システムの維持管理費に含まれているとし、本技術導入に係る維持管理費は NH<sub>4</sub>-N センサーの消耗品費用および保守点検（校正・洗浄）費用のみとした。維持管理費の算出式を式(2.6)に示す。

$$\text{維持管理費} = \text{導入システム数} \times 137 \text{ 万円/年} \quad (2.6)$$

ウ) 電力削減費

(3) 消費電力量で算出した本技術導入による消費電力量の削減量に基づき試算した。電力単価は15円/kWhとした。

エ) 経費回収年

上述の建設費、維持管理費、電力削減費に基づき経費回収年を算出した。算出式を式(2.7)に示す。

$$\text{経費回収年} = \frac{\text{建設費}}{\text{電力削減費} - \text{維持管理費}} \quad (2.7)$$

モデルケースのうち、標準活性汚泥法、計画最大汚水量 50,000 m<sup>3</sup>/日、DO 一定制御の処理場に監視制御システムの新設・更新時に本技術を導入するケース①を対象に、経費回収年が 5.1 年を下回ることを目標とした。

### §15 技術の評価結果

実証研究に基づく本技術の評価結果を以下に示す。

- (1) 処理水質 (NH<sub>4</sub>-N 濃度)
- (2) 風量削減効果
- (3) 消費電力量
- (4) 温室効果ガス排出量
- (5) コスト (建設費・維持管理費・電力削減費・経費回収年)

#### 【解説】

##### (1) 処理水質 (NH<sub>4</sub>-N 濃度)

霞ヶ浦浄化センターにおける実証研究の結果、実証研究で設定した平均 1.0 mg-N/L 以下の処理水 NH<sub>4</sub>-N 濃度の目標に対して、本技術を適用した系列での処理水 NH<sub>4</sub>-N 濃度は平均で 0.33 mg-N/L となり、目標を達成した。(資料編 1.2 実証研究の詳細 (①長期制御性、②目標可変性) P. 92 参照)

##### (2) 風量削減効果

霞ヶ浦浄化センターにおける実証研究の結果、DO 一定制御を適用した系列に対する本技術を適用した系列での風量比は、(1)の処理水質の条件下で 83.1%となった。この結果、風量を DO 一定制御と比較して 10%低減する本実証研究の目標に対して、本技術の適用により、風量を 16.9%低減でき、目標を達成した。(資料編 1.2 実証研究の詳細 (①長期制御性、②目標可変性) P. 92 参照)

また、表 2-2 で示したモデルケースについて、風量を試算した結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 ケーススタディにおける仮想処理場での風量

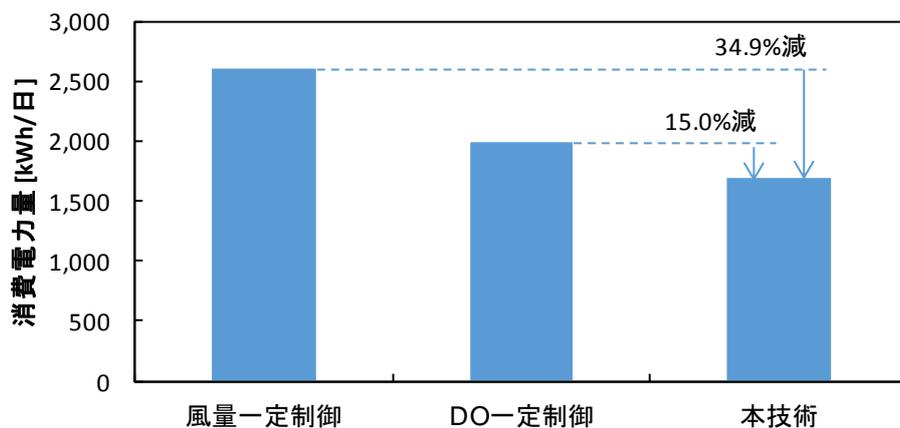
| 処理方式         | 最大計画<br>汚水量<br>[m <sup>3</sup> /日] | 制御方式 | 風量<br>[m <sup>3</sup> /日、20℃] | 風量削減率<br>(本技術導入時) |
|--------------|------------------------------------|------|-------------------------------|-------------------|
| 標準<br>活性汚泥法  | 10,000                             | 風量一定 | 113,000                       | 39.5%             |
|              |                                    | DO一定 | 82,300                        | 16.9%             |
|              |                                    | 本技術  | 68,400                        | -                 |
|              | 50,000                             | 風量一定 | 542,000                       | 37.9%             |
|              |                                    | DO一定 | 405,000                       | 16.9%             |
|              |                                    | 本技術  | 337,000                       | -                 |
|              | 100,000                            | 風量一定 | 951,000                       | 29.2%             |
|              |                                    | DO一定 | 810,000                       | 16.9%             |
|              |                                    | 本技術  | 673,000                       | -                 |
| 循環式<br>硝化脱窒法 | 10,000                             | 風量一定 | 130,000                       | 34.2%             |
|              |                                    | DO一定 | 103,000                       | 16.9%             |
|              |                                    | 本技術  | 85,700                        | -                 |
|              | 50,000                             | 風量一定 | 643,000                       | 33.8%             |
|              |                                    | DO一定 | 512,000                       | 16.9%             |
|              |                                    | 本技術  | 426,000                       | -                 |
|              | 100,000                            | 風量一定 | 1,120,000                     | 24.3%             |
|              |                                    | DO一定 | 1,020,000                     | 16.9%             |
|              |                                    | 本技術  | 847,000                       | -                 |

## (3) 消費電力量

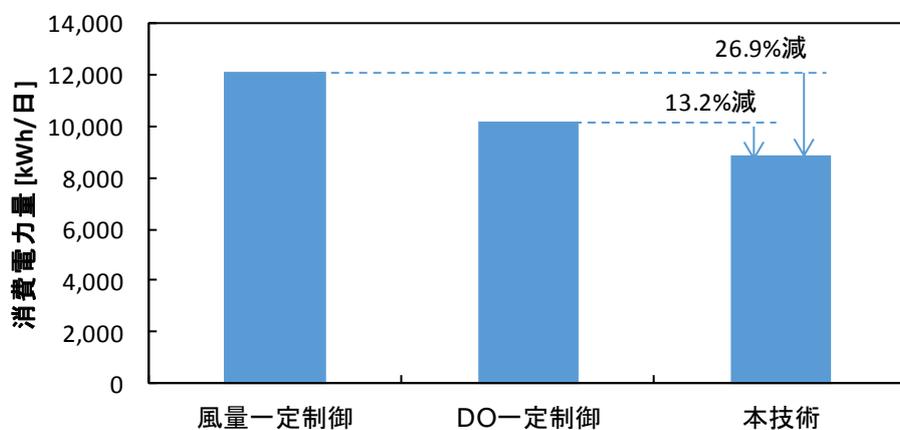
(2)のケーススタディにおいて算出した風量を基に、仮想処理場での消費電力量、温室効果ガス排出量を試算した結果を表 2-4 に示す。また、図 2-12 に標準活性汚泥法における消費電力量の試算結果に関するグラフを、図 2-13 に循環式硝化脱窒法における消費電力量の試算結果に関するグラフを示す。計画汚水量 50,000 m<sup>3</sup>/日の場合、本技術導入により DO 一定制御と比べ、標準活性汚泥法では 13.2%、循環式硝化脱窒法では 12.9%の消費電力を削減できる試算結果を得た。

表 2-4 本技術導入時の消費電力量、温室効果ガス排出量の試算結果

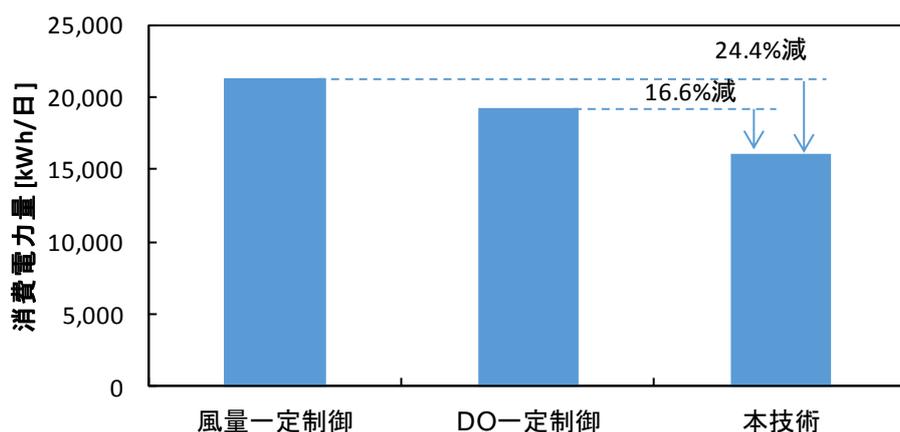
| 処理方式         | 最大計画<br>汚水量<br>[m <sup>3</sup> /日] | 制御方式 | 消費電力量<br>[kWh/日] | 温室効果ガス<br>排出量<br>[kg-CO <sub>2</sub> /日] | 消費電力量・<br>温室効果ガス<br>排出量削減率<br>(本技術導入時) |
|--------------|------------------------------------|------|------------------|--|--|
| 標準<br>活性汚泥法  | 10,000                             | 風量一定 | 2,610            | 1,510                                    | 34.9%                                  |
|              |                                    | DO一定 | 2,000            | 1,160                                    | 15.0%                                  |
|              |                                    | 本技術  | 1,700            | 984                                      | -                                      |
|              | 50,000                             | 風量一定 | 12,100           | 7,010                                    | 26.9%                                  |
|              |                                    | DO一定 | 10,200           | 5,910                                    | 13.2%                                  |
|              |                                    | 本技術  | 8,850            | 5,120                                    | -                                      |
|              | 100,000                            | 風量一定 | 21,300           | 12,300                                   | 24.4%                                  |
|              |                                    | DO一定 | 19,300           | 11,200                                   | 16.6%                                  |
|              |                                    | 本技術  | 16,100           | 9,320                                    | -                                      |
| 循環式<br>硝化脱窒法 | 10,000                             | 風量一定 | 2,970            | 1,720                                    | 30.0%                                  |
|              |                                    | DO一定 | 2,460            | 1,420                                    | 15.4%                                  |
|              |                                    | 本技術  | 2,080            | 1,200                                    | -                                      |
|              | 50,000                             | 風量一定 | 14,100           | 8,160                                    | 23.4%                                  |
|              |                                    | DO一定 | 12,400           | 7,180                                    | 12.9%                                  |
|              |                                    | 本技術  | 10,800           | 6,250                                    | -                                      |
|              | 100,000                            | 風量一定 | 24,600           | 14,200                                   | 19.1%                                  |
|              |                                    | DO一定 | 23,200           | 13,400                                   | 14.2%                                  |
|              |                                    | 本技術  | 19,900           | 11,500                                   | -                                      |



(a) 10,000 m<sup>3</sup>/日

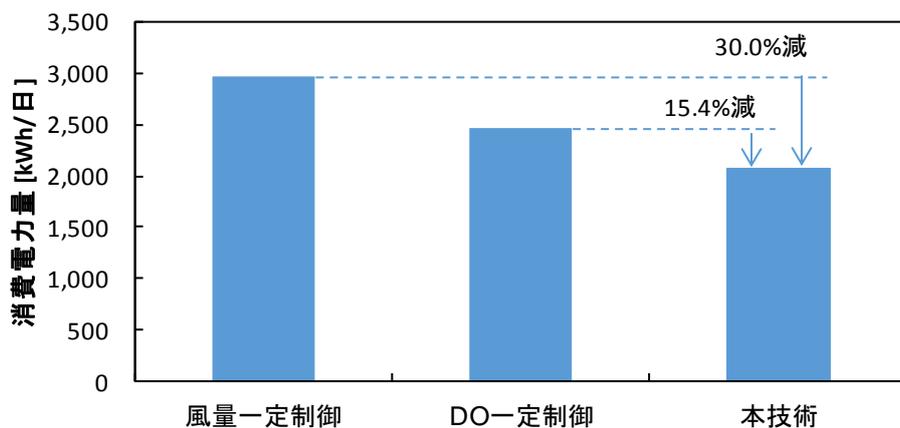


(b) 50,000 m<sup>3</sup>/日

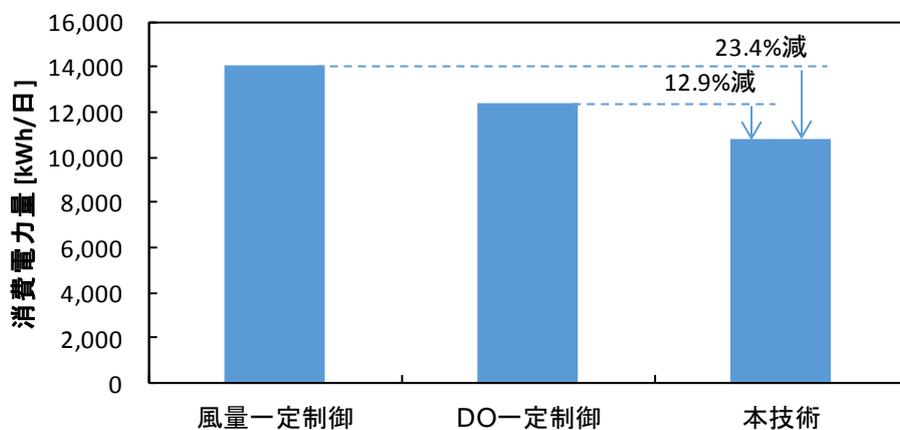


(c) 100,000 m<sup>3</sup>/日

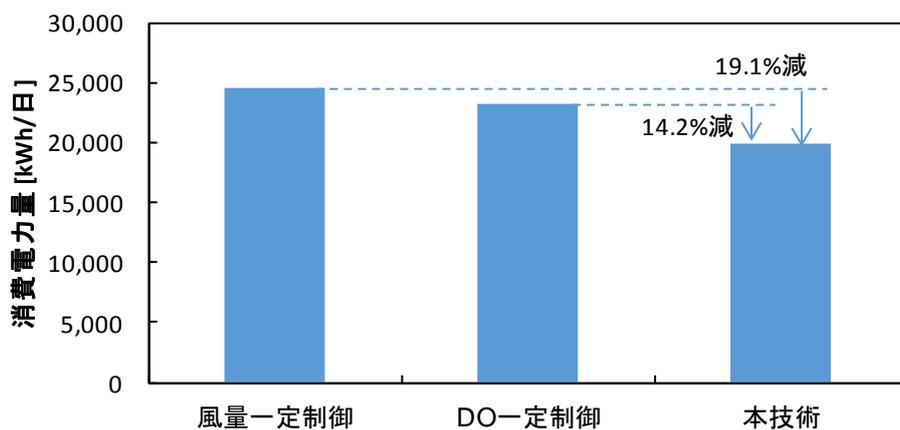
図 2-12 標準活性汚泥法における消費電力量の試算結果



(a) 10,000 m<sup>3</sup>/日



(b) 50,000 m<sup>3</sup>/日



(c) 100,000 m<sup>3</sup>/日

図 2-13 循環式硝化脱窒法における消費電力量の試算結果

(4) 温室効果ガス排出量

ア) N<sub>2</sub>O ガス

霞ヶ浦浄化センターにおいて、本技術を適用した系列と、DO 一定制御を適用した系列から排出される N<sub>2</sub>O ガス濃度を調査した。DO 一定制御系列に比べ、本技術を適用した系列の N<sub>2</sub>O ガスの排出量は小さくなった。調査回数が計 3 回と限られていたため、実証施設の条件では本技術導入による N<sub>2</sub>O ガス排出量は従来の DO 一定制御と同程度であると評価し、N<sub>2</sub>O ガス排出量については温室効果ガス排出量の削減に関する評価対象からは除外した。(資料編 1.4 実証研究(④採水・採ガス調査)の詳細 P. 107)

イ) 電力由来の CO<sub>2</sub>

ケーススタディにおける電力由来の CO<sub>2</sub> 排出量の試算結果のまとめを表 2-4 に示す。また、図 2-14 に標準活性汚泥法における温室効果ガス排出量の試算結果に関するグラフを、図 2-15 に循環式硝化脱窒法における温室効果ガス排出量の試算結果に関するグラフを示す。電力由来の CO<sub>2</sub> 排出量は本技術が最も低く、計画汚水量 50,000 m<sup>3</sup>/日の規模の場合、DO 一定制御に比べ、標準活性汚泥法では約 790 kg/日、循環式硝化脱窒法では約 930 kg/日の CO<sub>2</sub> を削減できる試算結果を得た。以上の結果から、本技術の導入により温室効果ガス排出量を削減できる見通しが得られた。

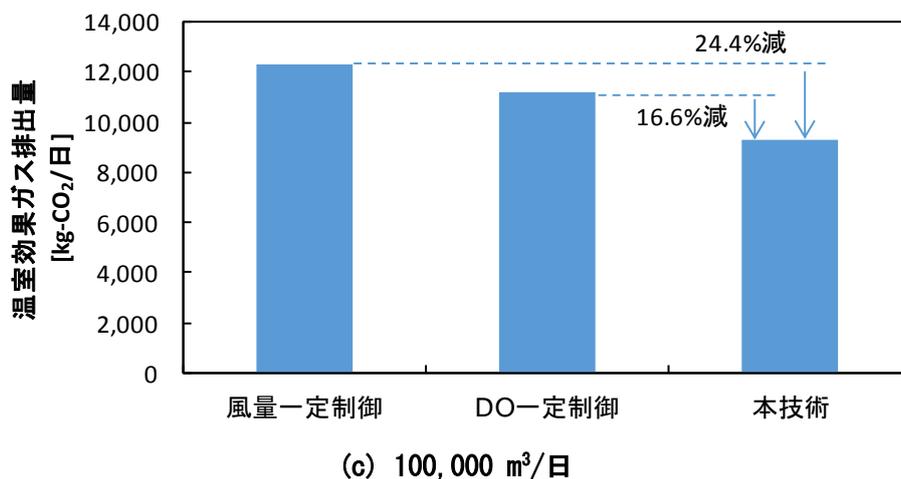
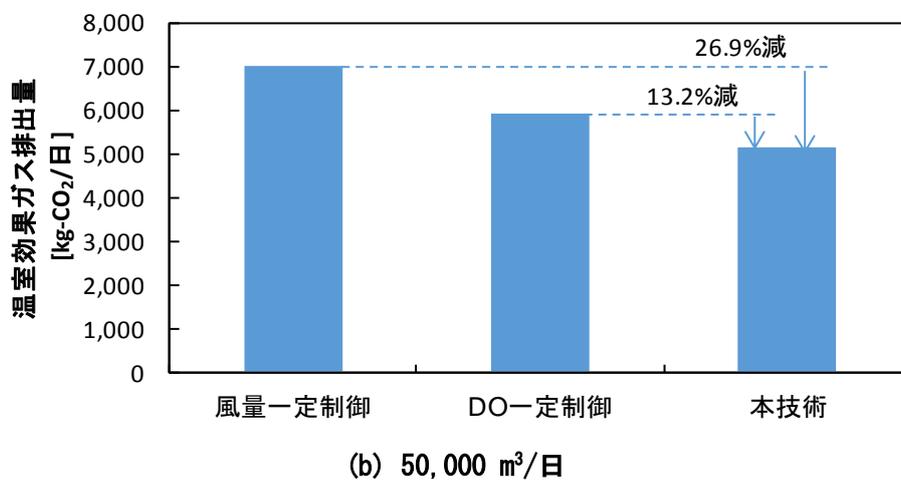
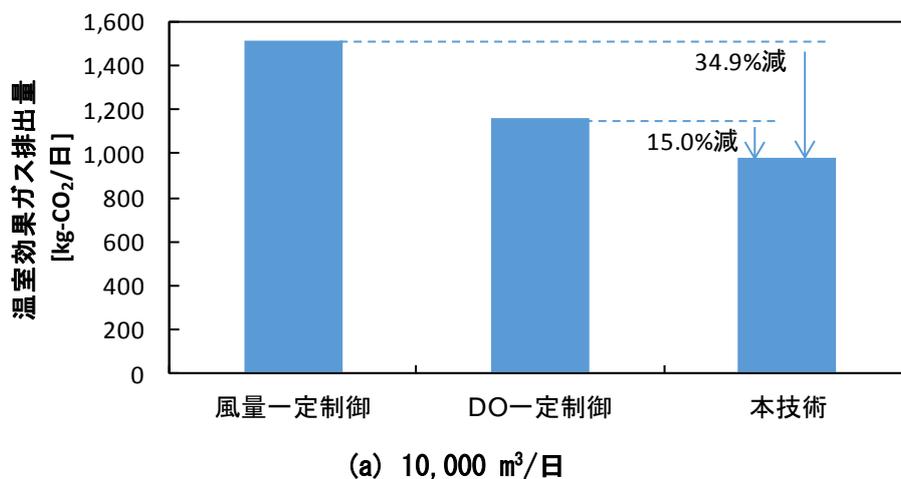


図 2-14 標準活性汚泥法における温室効果ガス排出量の試算結果

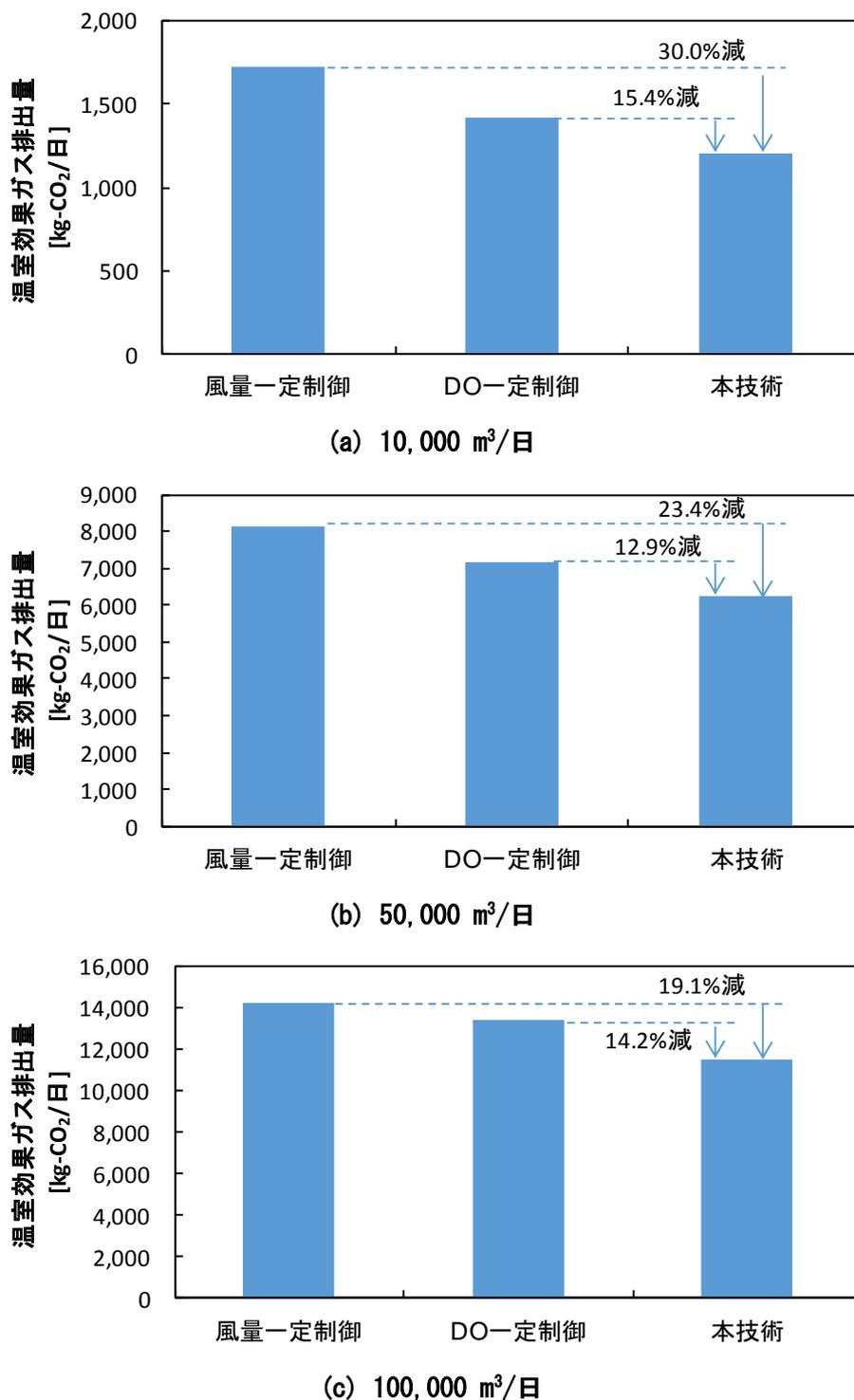


図 2-15 循環式硝化脱窒法における温室効果ガス排出量の試算結果

(5) コスト（建設費、維持管理費、電力削減費、経費回収年）

本技術導入に際しての経費回収年は、式(2.7)に従い、建設費、維持管理費（資料編 4.2 導入コストの試算 P.127 参照）、電力削減費より求めた。本技術導入時の電力削減費および経費回収年の試算結果を表 2-5 に示す。例えば最大計画汚水量 50,000 m<sup>3</sup>/日で、標準活性汚泥法、DO 一定

制御方式を適用している下水処理場に本技術を導入した場合、739 万円/年の電力削減費を見込める結果を得た。本技術導入に掛ける経費回収年については、監視制御システムの新設あるいは更新時に導入する場合（ケース①）で 3.07 年、監視制御システムを改造して本技術を導入する場合（ケース②）で 9.22 年という見込みが得られた。上記条件においてケース①が成果目標の対象条件であるが、目標である 5.1 年を下回る経費回収年の試算結果を得た。同様に、最大計画汚水量 50,000 m<sup>3</sup>/日、循環式硝化脱窒法、DO 一定制御方式の下水処理場での本技術の導入では、876 万円/年の電力削減費により、導入費用をケース①では 2.50 年、ケース②では 7.51 年で回収できる見込みが得られた。

表 2-5 本技術導入時の電力削減費および経費回収年の試算結果

| 処理方式         | 最大計画<br>汚水量<br>[m <sup>3</sup> /日] | 制御方式 | 電力費<br>[百万円/年] | 電力削減費<br>(本技術導入時)<br>[百万円/年] | 経費回収年(本技術導入時)<br>[年] |              |
|--------------|------------------------------------|------|----------------|------------------------------|----------------------|--------------|
|              |                                    |      |                |                              | ケース①<br>(新設・更新)      | ケース②<br>(改造) |
| 標準<br>活性汚泥法  | 10,000                             | 風量一定 | 14.3           | 4.98                         | 5.12                 | 15.4         |
|              |                                    | DO一定 | 11.0           | 1.64                         | 67.9                 | 204          |
|              |                                    | 本技術  | 9.31           | -                            | -                    | -            |
|              | 50,000                             | 風量一定 | 66.2           | 17.8                         | 1.13                 | 3.38         |
|              |                                    | DO一定 | 55.8           | 7.39                         | 3.07                 | 9.22         |
|              |                                    | 本技術  | 48.5           | -                            | -                    | -            |
|              | 100,000                            | 風量一定 | 117            | 28.5                         | 1.44                 | 3.26         |
|              |                                    | DO一定 | 106            | 17.5                         | 2.50                 | 5.68         |
|              |                                    | 本技術  | 88.1           | -                            | -                    | -            |
| 循環式<br>硝化脱窒法 | 10,000                             | 風量一定 | 16.3           | 4.87                         | 5.28                 | 15.8         |
|              |                                    | DO一定 | 13.5           | 2.08                         | 26.0                 | 78.1         |
|              |                                    | 本技術  | 11.4           | -                            | -                    | -            |
|              | 50,000                             | 風量一定 | 77.2           | 18.1                         | 1.11                 | 3.32         |
|              |                                    | DO一定 | 67.9           | 8.76                         | 2.50                 | 7.51         |
|              |                                    | 本技術  | 59.1           | -                            | -                    | -            |
|              | 100,000                            | 風量一定 | 135            | 25.7                         | 1.61                 | 3.65         |
|              |                                    | DO一定 | 127            | 18.1                         | 2.41                 | 5.48         |
|              |                                    | 本技術  | 109            | -                            | -                    | -            |

なお、本試算では、NH<sub>4</sub>-N センサーに掛かる建設費・維持管理費の低減のために複数系列制御方式（§9 複数系列における風量制御方式の概略参照）を適用した場合を想定した。一方で、系列・池による流入・運転条件の違いが大きい処理場に適用する際に、本技術による制御効果をより高めるため、NH<sub>4</sub>-N センサーに基づく風量制御を実施する系列・池数を増やし、複数系列制御方式を適用する系列を減らす、もしくは適用しないケースも想定される。そこで、表 2-2 に示したモデルケースにおいて、複数系列制御方式を適用しなかった場合の経費回収年について参考として試算した。その結果を表 2-6 に示す。導入する制御システム数は 1 系列あたり 1 システムとし、計画最大汚水量 10,000 m<sup>3</sup>/日、50,000 m<sup>3</sup>/日では 2 システム、100,000 m<sup>3</sup>/日では 4 システム

とした。例えば最大計画汚水量 50,000 m<sup>3</sup>/日で、標準活性汚泥法、DO 一定制御方式の下水処理場に本技術を導入した場合、監視制御システムの新設あるいは更新時に導入する場合(ケース①)で 7.95 年、監視制御システムを改造して本技術を導入する場合(ケース②)で 18.1 年となった。制御システムの適用範囲を広く設定できる場合(§ 12 技術の適用が効果的な条件参照)は、表 2-5 に示したとおり、複数系列制御方式の適用により、導入コストの低減効果が発揮され、経費回収年を短縮できる。一方、複数系列制御方式を適用しなかった場合においても、経費回収年が電気設備の耐用年数(10 年)より短くなるケースが確認された。

表 2-6 複数系列制御方式を適用しない場合の経費回収年の試算結果

| 処理方式     | 最大計画汚水量 [m <sup>3</sup> /日] | 制御方式 | 経費回収年(本技術導入時) [年] |           |
|----------|-----------------------------|------|-------------------|-----------|
|          |                             |      | ケース① (新設・更新)      | ケース② (改造) |
| 標準活性汚泥法  | 10,000                      | 風量一定 | 16.5              | 37.5      |
|          |                             | DO一定 | -                 | -         |
|          | 50,000                      | 風量一定 | 2.46              | 5.58      |
|          |                             | DO一定 | 7.95              | 18.1      |
|          | 100,000                     | 風量一定 | 3.22              | 6.13      |
|          |                             | DO一定 | 6.15              | 11.7      |
| 循環式硝化脱窒法 | 10,000                      | 風量一定 | 17.3              | 39.4      |
|          |                             | DO一定 | -                 | -         |
|          | 50,000                      | 風量一定 | 2.41              | 5.47      |
|          |                             | DO一定 | 6.15              | 13.95     |
|          | 100,000                     | 風量一定 | 3.65              | 6.97      |
|          |                             | DO一定 | 5.88              | 11.2      |

※経費回収年の試算結果で数値なし:維持管理費を上回る電力削減費が得られない場合