

## 2-4-1 省エネルギー化のためのASM風量制御技術の導入検討

流域下水道本部 技術部 設計課 小林 孝行  
 流域下水道本部 技術部 設計課 岸本 長  
 (現 施設管理部施設保全課)

### 1 はじめに

当局では、下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン 2023」に基づき、2030年のカーボンハーフの実現に向けて、省エネルギー設備の導入拡大や再生可能エネルギーの利用拡大などを推進している<sup>1)</sup>。

当局における温室効果ガス総排出量のうち、水処理工程での電力使用によるCO<sub>2</sub>排出量は全体の約45.3%を占め、工程の省エネルギー化が課題である(図1)。水処理工程での電力は、主に反応槽への送風で使用されるため、送風量を削減することが重要である。このため、省エネルギーと処理水質の向上を両立する新たな送風量制御技術の開発を推進している。2020年には民間企業との共同研究により、活性汚泥モデル演算式(ASM: Activated Sludge Model)を用いた風量制御技術を開発した。このASM風量制御技術とは、反応槽内の下水処理について、流入量や水質をもとに既存の理論式を用いたシミュレーションを行うことで、リアルタイムに送風量を制御する技術のことである。なお、本技術の実機場への導入は全国で初めてである。今回は、ASM風量制御を導入するにあたって効率的な回路数と風量演算周期を検討したので、報告する。

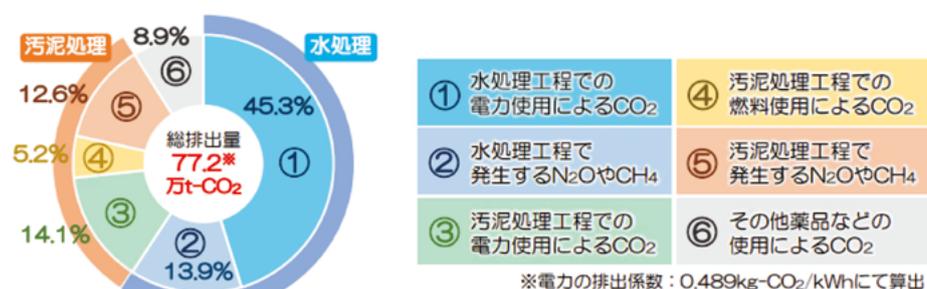


図1 下水道局の温室効果ガス排出量の内訳(2021年度実績)<sup>1)</sup>

### 2 ASM風量制御の概要

従来の反応槽への送風量制御として、溶存酸素濃度(DO:Dissolved Oxygen)制御がある。DO制御(図2上部)では、主に反応槽末端に設置したDO計でフィードバック制御を行うため、流入下水の負荷変動に対して遅れを生じる制御方式である。そのため、風量調節の負荷変動への追従が難しく、高負荷時の空気不足を考慮したDO設定値となることから、高負荷時以外は水処理に必要な空気量(以下「要求風量」という。)以上の送風となる。また、風量制御は送風管に設置する風量調節

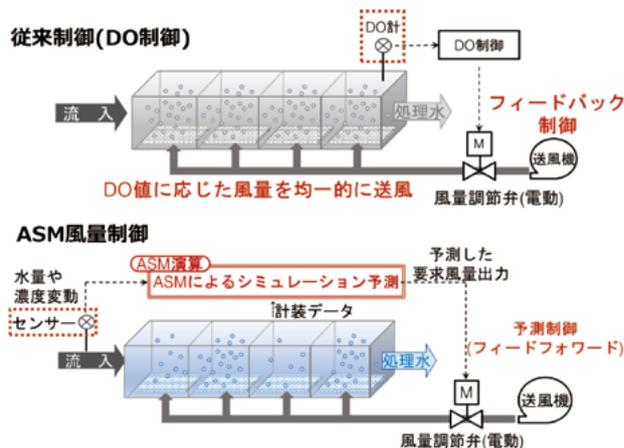


図2 DO制御とASM風量制御の比較<sup>2)</sup>

弁で行うが、弁の開閉動作が送風圧力に影響するため、風量制御の応答性の低下やハンチングの一因となっている。

一方、今回導入するASM風量制御（図2下部）では、活性汚泥モデル演算式により反応槽入口の流入量や水質データから反応槽内の状況を解析し、予測した要求風量になるように、予測制御（フィードフォワード）を行う。これにより、反応槽入口で計測した流入負荷の変動に応じて、リアルタイムに送風量を調整することが可能となるため、風量が最適化され、DO制御よりも風量削減効果が期待できる。また、反応槽内を区画（回路）分けし、回路別にASM風量制御を実施すると、より風量削減効果が向上する。

ASM風量制御のシステムの概要を図3に示す<sup>3)</sup>。ASM風量制御は①～④の要素技術で構成され、これらの要素技術を大別すると、次の2つの技術で構成される。

(1)リアルタイム硝化脱窒制御の要素技術(①)<sup>4)</sup>

ASM風量演算装置において、反応槽に流入する水量、水質データ(アンモニア濃度、水温、MLSS(活性汚泥浮遊物質濃度)、DO等)を取り込み、ASMシミュレーションモデルで要求風量を解析する。解析は複数の送風パターンについてシミュレーションを行い、目標の水質(反応槽末端アンモニア濃度)を達成しつつも、送風量が最小となる要求風量の送風パターンを決定する。

(2)新たな反応槽風量制御システムの要素技術(②～④)<sup>5)</sup>

ASM風量演算装置で決定した回路毎の送風パターンに応じた風量制御を実現する技術である。弁開度予測制御では、要求風量の変更や送風圧力の変動により生じる影響を一次元流体解析することで、適正な弁開度を予測演算し、風量調節弁を制御する。これにより、複数の風量調節弁が設置される場合や要求風量の頻繁な変更がある場合も、風量制御の追従性が向上し、過剰送風を抑制できる。

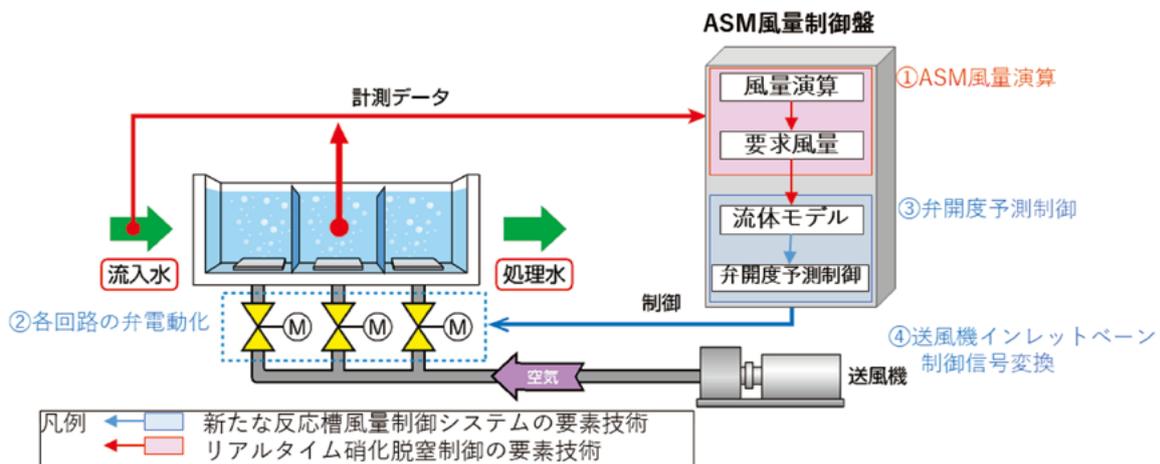


図3 ASM風量制御のシステム概要図

### 3 ASM風量制御の実機場への導入検討

今回、南多摩水再生センター（以下「当センター」という。）の水処理施設（水処理4系）の再構築に併せて、ASM風量制御の導入検討を行った<sup>3,6)</sup>。

### 3.1 南多摩水再生センターの水処理4系の施設概要

当センターは、東京都稲城市に位置し、多摩市・稲城市の大部分、八王子市・町田市・日野市の一部を処理区域とする分流式の下水処理場である。水処理は1～6系まであり、このうち3～6系が稼働している。本技術の導入対象となる水処理4系の再構築前後の施設概要を表1に示す。

表1 施設概要

項目	再構築前(既設)	再構築後
処理方式	標準法	疑似嫌気好気法
処理能力	26,625m <sup>3</sup> /日×2系列(4-1系,4-2系)	
水路の構造	蛇行型(三水路)	
主な制御方式	DO制御	ASM風量制御
散気水深	4.7m	5.7m

### 3.2 ASMシミュレーションモデル

導入検討にあたり、当センター水処理4系の反応槽流入水の水質調査を行い、より実機場に近いASMシミュレーションモデルを構築し、ASM風量制御の対象となる反応槽数を検討した。

検討にあたり、4-1系反応槽の躯体構造をもとにASMシミュレーションモデルを設定した(図4)。

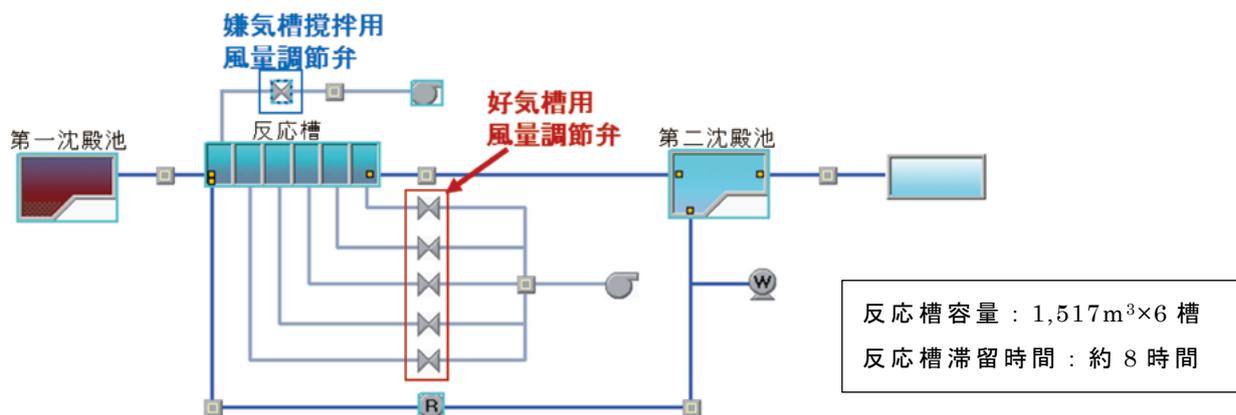


図4 ASMシミュレーションモデルの概要図

処理方式は疑似嫌気好気法であるため、水理モデルは空気かく拌の嫌気槽1槽を持つ完全混合6槽列モデルとした。モデルのパラメータ調整には、採水調査で得た日平均値(手分析値)を用いた。手分析値とパラメータ調整後のシミュレーション結果(アンモニア性窒素NH<sub>4</sub>-N濃度、硝酸性窒素NO<sub>3</sub>-N濃度)の比較を図5に示す。図中のNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nは手分析値、SNH<sub>4</sub>、SNO<sub>3</sub>はシミュレーション値を示す。図5から、アンモニア性窒素濃度、硝酸性窒素濃度ともに流入から6槽まで、採水分析結果とシミュレーション結果が近似していることが確認できた。次に、経時変化による、モデルの再現性を確認した。時変動シミュレーションの結果と手分析値の結果の比

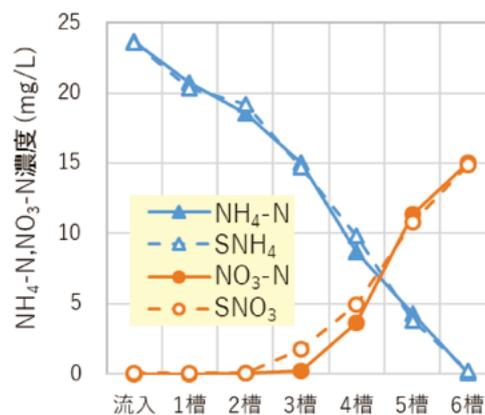


図5 パラメータ調整結果

較について、6槽目の結果を図6に示す。手分析値または計器値を青線、シミュレーション結果を赤線で示す。数値及び変動の特徴が近似していることから、今回構築したモデルの妥当性を確認した。

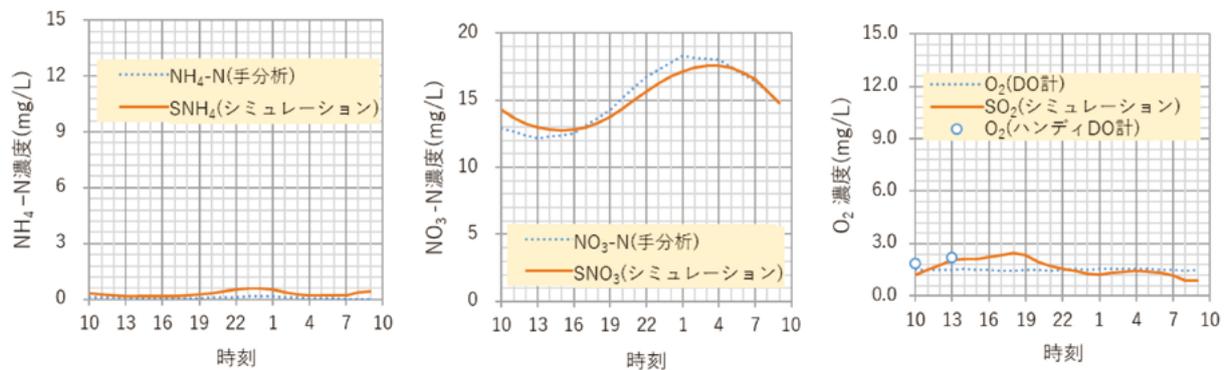


図6 経時変化によるモデルの再現性確認結果(6槽目)  
(左: NH<sub>4</sub>-N濃度、中: NO<sub>3</sub>-N濃度、右 DO 値)

### 3.3 反応槽回路数の検討

ASM 風量制御で効果的な回路別送風を行うため、構築した ASM シミュレーションモデルを用いて反応槽の回路数を検討した。検討では、回路数を増やすことで、風量の最適化が進むので風量削減効果は向上する。その一方で設備数が増加することから、反応槽の回路数を図7のように1回路から4回路に分割した場合の4パターンのモデルを作成した。DO 制御と ASM 風量制御をそれぞれ実施した場合のシミュレーション結果から、風量削減効果を比較し、効率的な回路数を確認した。

シミュレーションの結果を表2に示す。

まず、風量削減率については、回路数を増やすと、風量削減効果は向上する結果となった。3回路までは回路数が増えるごとに、約1%pt以上の上昇が確認できたが、3回路から4回路にした場合の上昇幅は、0.1%ptの上昇に留まった。このことから、3回路で風量削減効果は高止まりとなることが分かった。さらに、設備数の増加により、維持管理の負担や、設備投資が増加することを考慮すると、3回路が最も効率的と言える。

次に、アンモニア性窒素濃度については、いずれの回路分割パターンにおいても差異が無く、風量を削減しても同等の処理水質となった。

また、3回路以上とした場合は、低負荷時に2回路目の風量を絞ることで、無酸素槽を疑似的に形成できることから、疑似嫌気好気法であるものの、脱窒効果も期待できる。

以上の結果から、最も効率的な3回路を採用することとした。

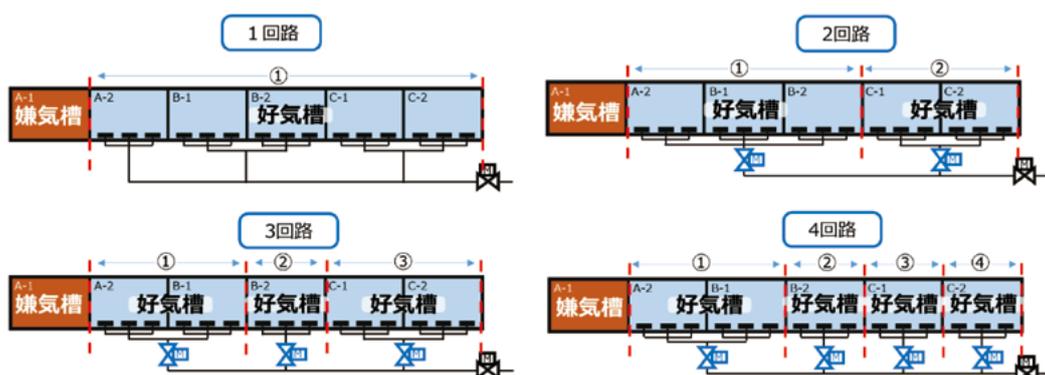


図7 回路分割パターン

表 2 シミュレーション結果

回路数	DO 制御 (比較対象)	1 回路	2 回路	3 回路	4 回路
風量削減率(DO 制御比)	—	5.4%	7.6%	8.5%	8.6%
好気槽(4 槽目) NH <sub>4</sub> -N(mg/L)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

#### 4 ASM 風量制御の導入効果

次に、ASM 風量制御を当センター水処理 4 系に導入した場合の消費電力削減効果を試算した。送風機電力量と送風量の関係は、令和 2 年度の送風機電力量を基にした。

また、今回の試算では散気装置の深層化や送風機の更新により得られる風量や電力削減効果は除外し、ASM 風量制御の効果のみとした。

試算結果を表 3 に示す。ASM 風量制御の導入により、送風機使用電力量で 7.1% の削減効果が確認できた。また、温室効果ガスの削減効果については表 4 の結果となり、年間 181t-CO<sub>2</sub>/year の削減効果が確認できた。

表 3 ASM 風量制御による電力削減効果

省エネ効果	DO 制御	ASM 制御	削減量	削減率
年間送風機電力量 (MWh/year)	5,199	4,829	370	7.1%

表 4 温室効果ガス削減効果

年間 CO <sub>2</sub> 削減量 (t -CO <sub>2</sub> /year)	181
電気事業者別排出係数： 0.489 t -CO <sub>2</sub> /千 kWh(固定係数)	

#### 5 風量演算周期と風量削減効果の関係

下水の流入量や流入濃度は一日を通して常に変動しているため、この変動に対してきめ細やかに風量の最適化を行うことができれば、風量削減効果が高くなると考えられる。

そこで、導入検討時の更なる工夫として、ASM 風量制御の開発時に用いられていた風量演算間隔(60 分間)を 30 分、15 分と短周期にすることで、得られる風量削減効果をシミュレーションにより確認した。

シミュレーションは、風量演算周期を 60 分、30 分、15 分の 3 パターンで実施した。そのうち、風量削減効果の比較が容易な 60 分と 15 分のシミュレーション結果を図 8 に示す。参考に、反応槽への流入負荷と送風量増減の関係性が分かりやすいように、嫌気槽の滞留時間である 2.5 時間程度位相を遅らせた流入アンモニア性窒素負荷のトレンドも併記した。送風量は実運用に合わせ上限を 4,500Nm<sup>3</sup>/h、下限を 2,000 Nm<sup>3</sup>/h に設定した。

演算周期 60 分と比較して 15 分では応答性が改善したことで高負荷時間帯における細かい負荷変動に対しても風量調整が可能となり、超過風量が大きく減少した。また、DO 制御と比較した場合の 1 時間当たりの送風量の削減量の平均値を表 5 に示す。演算周期を 15 分とすることで、風量削減効果が 1.8%pt 増加し、削減効果が 1.2 倍程度向上した。

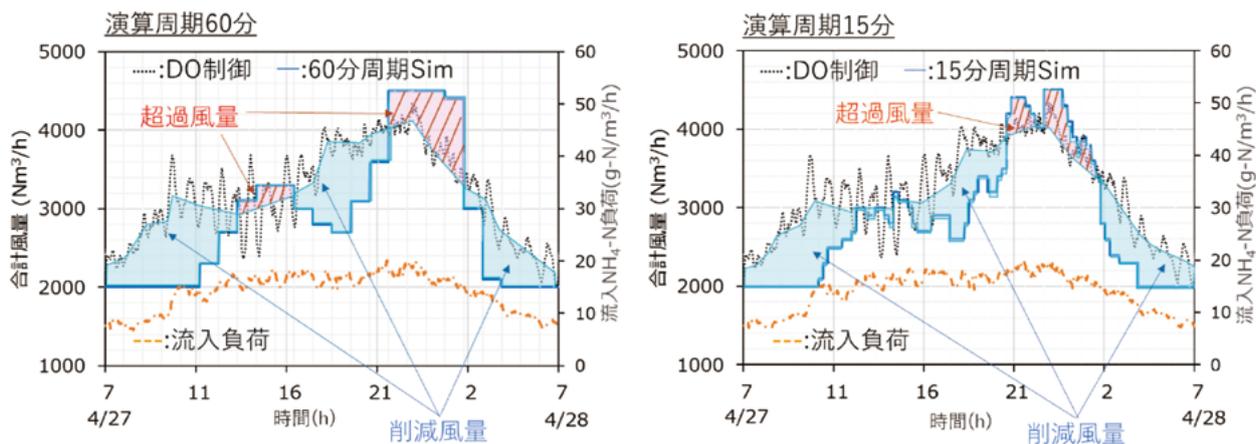


図 8 演算間隔の細分化によるシミュレーション結果

表 5 演算周期による時間あたり風量削減効果

演算周期(分)	60	30	15
1時間あたり削減量(Nm <sup>3</sup> /h)	268	315	326
削減率(%)	8.5	10.0	10.3

## 6 おわりに

2023年の秋頃から当センター水処理4系において、ASM風量制御の導入工事が始まる予定である。本稿では、導入にあたって効率的な回路数を検討し、回路数を多くすれば風量削減効果は上昇するものの、今回は3回路数以上になると高止まりし、3回路とすることが最も高効率であることが分かった。さらに、風量演算周期を15分程度まで短くすることで風量削減効果が1.2倍程度まで向上した。検討した回路数や演算周期とすることで、より省エネルギー効果が期待できる。最後に、本稿の内容が、カーボンハーフの実現に向けた一助になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン 2023」、東京都下水道局、  
<https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/about/e2/earth-plan2023/index.html>
- 2) 宮原盛雄 et al. : 下水処理における水質改善・CO2削減に貢献するASM風量制御、令和4年度電気学会産業応用部門大会シンポジウム
- 3) 岩崎浩和 et al. : 水処理工程における省エネ化のためのデジタル技術を活用したASM風量制御技術の導入検討、令和4年度設計・工事事例発表会(カワセミ)
- 4) 宮岡武志 et al. : 水質改善と省エネルギーの両立を目的としたリアルタイム硝化脱窒制御技術の開発、下水道協会誌、Vol.58、No.700、pp.94-102、2021
- 5) 岸本長 et al. : 新たな反応槽風量制御システムの開発、下水道協会誌、Vol.57、No.692、pp.64-72、2020
- 6) 岸本長 et al. : 省エネルギー化のためのASM風量制御技術の導入検討、第60回下水道研究発表会講演集、pp.517-519