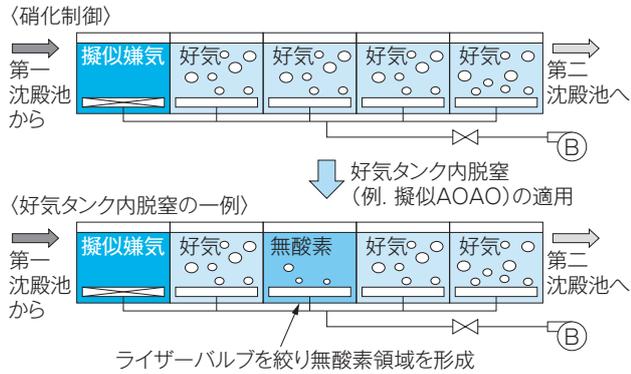


することにある。一方で、手動ライザー弁の操作頻度は低く、多くても年数回となっている。このため、日々又は時間ごとの流入負荷変動に対して、常に最適な位置に無酸素領域を形成し脱窒を促進することができず、最大効果が得られないという課題があった。



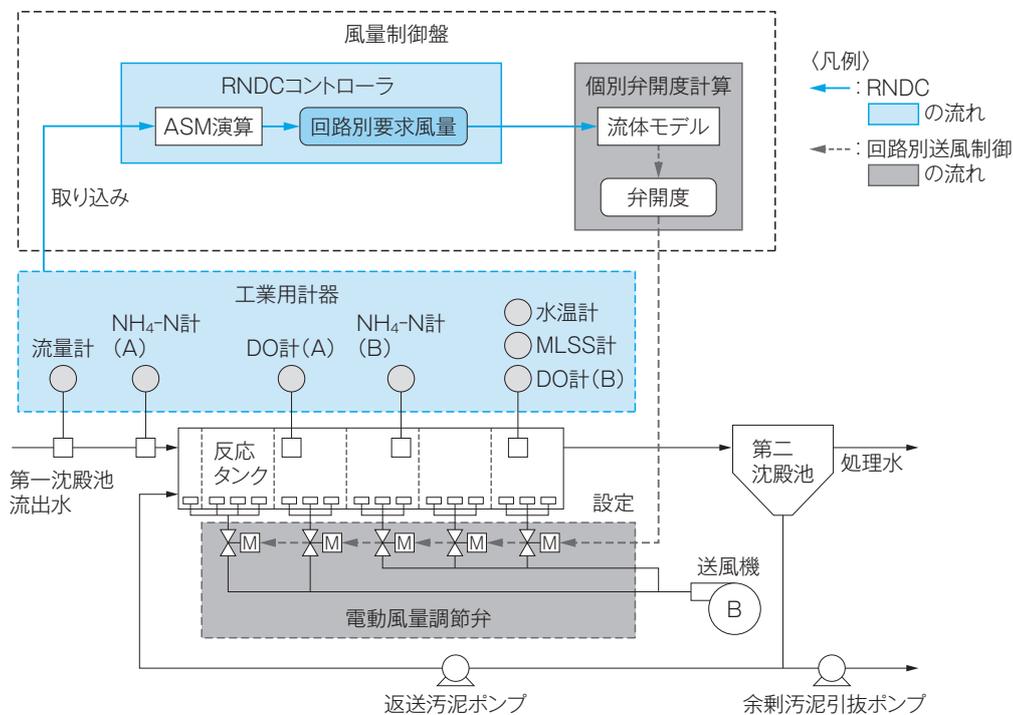
第1図 手動ライザーバルブを絞ることによる擬似AOAO法のイメージ

上図の硝化制御（擬似AO法）は1槽目のライザーバルブを絞る擬似嫌気とし、2槽目以降は全て好気槽とする。これに対して、下図の好気タンク内脱窒の一例（擬似AOAO法）では1槽目に加え、中間槽（図中では3槽目）でもライザーバルブを絞る無酸素槽を形成し脱窒を促進する。

本稿では、水質改善と電力使用量削減の両立を目的としてリアルタイム硝化脱窒制御（RNDC）技術を紹介する。RNDCは、RNCに無酸素領域の形成による脱窒機能を追加し、更に回路別送風制御システムを組み合わせた。なお、本技術は東京都下水道局との「リアルタイム硝化脱窒制御共同研究」における成果⁷⁾である。

2 RNDC技術の構成

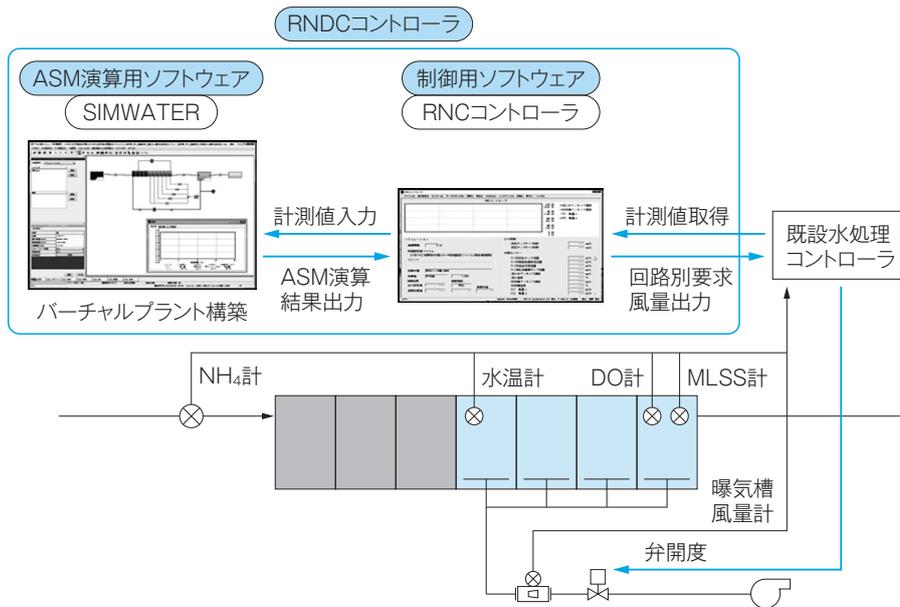
第2図にRNDCのシステム構成を示す。RNDCは、反応タンク流入渠（反応タンク入口に入る直前の水路）及び反応タンクに設置した流量計・NH₄-N計 [第2図 (A) の位置]、水温計・活性汚泥浮遊物質（MLSS）計などの計測値を入力データとしてASM2d（Activated Sludge Model 2d）⁽⁴⁾シミュレータに取り込み、回路別送風量を決定するRNDCコントローラ、及びその送風量に従って各回路に送風するための個別弁開度計算装置と電動風量調節弁で構成される。NH₄-N計 [第2図 (B) の位置]



第2図 RNDCシステム構成

黒点線の囲いは風量制御盤を示す。青線又は青点線の囲いはRNDCの構成を示し、青矢印は制御の流れを示す。グレー線又はグレー点線の囲いは回路別送風制御の構成を示し、グレー点線矢印は制御の流れを示す。

送風制御の全体の流れは、以下のとおりである。まず、工業用計器で計測値を取得する。次に、この値を用いてRNDCコントローラで回路別要求風量を算出する。最後に、個別弁開度計算装置で風量を弁開度として出力し、電動風量調節弁の風量を調節する。



第3図 RNDCコントローラを構成する二つのソフトウェア

RNDCコントローラは、二つのソフトから構成される。ASM演算用ソフトウェアのSIMWATERでは、あらかじめ構築したバーチャルプラントを用いて、ASM演算による水質予測と回路別要求風量を算出する。制御用ソフトウェアのRNCコントローラでは、センサなどの計装値を取得し、SIMWATERの入力値の更新、演算指示、SIMWATERが算出した回路別要求風量を水処理コントローラへ出力する。また、両者を用いてオフラインでの制御模擬シミュレーションも行える。

は、ASMパラメータ（微生物反応速度定数）の調整に用いた。

2.1 RNDCコントローラ

第3図にRNDCコントローラを構成する二つのソフトウェアを示す。RNDCコントローラは、RNCコントローラとASM2dシミュレータであるシムウォーターSIMWATER⁽⁸⁾の二つのソフトウェアから構成される。RNCコントローラは、プラントデータやSIMWATER演算データの管理と制御を担当し、SIMWATERは主にASM演算（水質予測と回路別要求風量の算出）を担っている。

両ソフトを用いた送風量計算の流れは、以下のとおりである。

- (1) RNCコントローラが流入する水量や水質などのデータを取り込む。
- (2) 硝化又は脱窒を行う回路と各回路の送風量を定めた一覧表（以下、送風量テーブル）を用いて、送風量テーブル上の全ての組み合わせをRNCコントローラがSIMWATERを用いて網羅的に演算する。
- (3) 目標とする反応タンクの出口のNH₄-N濃度を達成し、かつ無酸素領域をより多く確保できる送風

量を演算結果の中からRNCコントローラが選択し、回路別送風制御システムに出力する。なお、RNDCはいわゆるフィードフォワード制御システムであることから、反応タンク出口にはNH₄-N計を設置していない（詳細は3項に記載）。

2.2 回路別送風制御システム

回路別送風制御システムは、個別弁開度計算装置と電動風量調節弁から成る。RNDCで決定した送風量を基に一次元流体解析を用いて作成した近似式から弁開度を決定し、それ以降はPID（Proportional-Integral-Differential）で制御する。弁開度予測とPIDを組み合わせた制御は、PID制御単独よりも短時間で送風量を指示値に到達させることができ、かつ複数の弁を同時に制御するため、きめ細かに送風できる。

3 RNDCの送風量決定方法とパラメータ調整方法の簡略化

RNDCの開発には、(1)RNCに脱窒機能を組み入れるために必要な回路別送風量（送風量テーブル）

の決定方法、(2)実運用するためのASMパラメータ設定とMLSS調整の簡略化が必要である。脱窒機能を組み入れるために必要な回路別送風量決定方法を3.1で、ASM2dパラメータ及び固形物濃度の調整方法を3.2で報告する。

3.1 各回路における風量パターンの検討

当社が開発した硝化制御のRNCでは、シミュレーションを行うDO濃度範囲と刻み幅(1.0~5.0mg/L, 0.5mg/L刻み)をあらかじめ決め、そのDO条件で反応タンク末端のNH₄-N濃度を演算し、目標値を満たす最小のDO値を選択することで送風量を制御した⁽²⁾。

これに対してRNCでは、脱窒を促進するため、無酸素領域を形成する回路(区画)、及びそれを実現するための電動風量調節弁ごとの送風量を決定する必要がある。そこで実測データとSIMWATERを用いて、無酸素領域を形成する回路及び回路ごとの送風量調節範囲とその刻み幅を検討した。

3.1.1 施設概要とシミュレーションモデル

実機での性能検証は、東京都流域下水道本部南多摩水再生センターの5-1系の反応タンク(以下、実施設)で実施した。第4図に反応タンクの槽分割と電動風量調節弁の配置を、第1表に施設概要を示す。

実証実験に先立ちシミュレーションを行った。槽列モデルは、実施設の構造を基に10区画とし、B-2・B-3区画には弁1の送風量をそれぞれの容積比で案分した。次に、第2表に示す24時間試験の平均値を入力値としてシミュレーションを行い、総括酸素移動容量係数(K_La)の推定と、固形物濃度の調整を行った。また、第2表に示す平均値の算出に用いた各試料の値でASMパラメータを調整した。

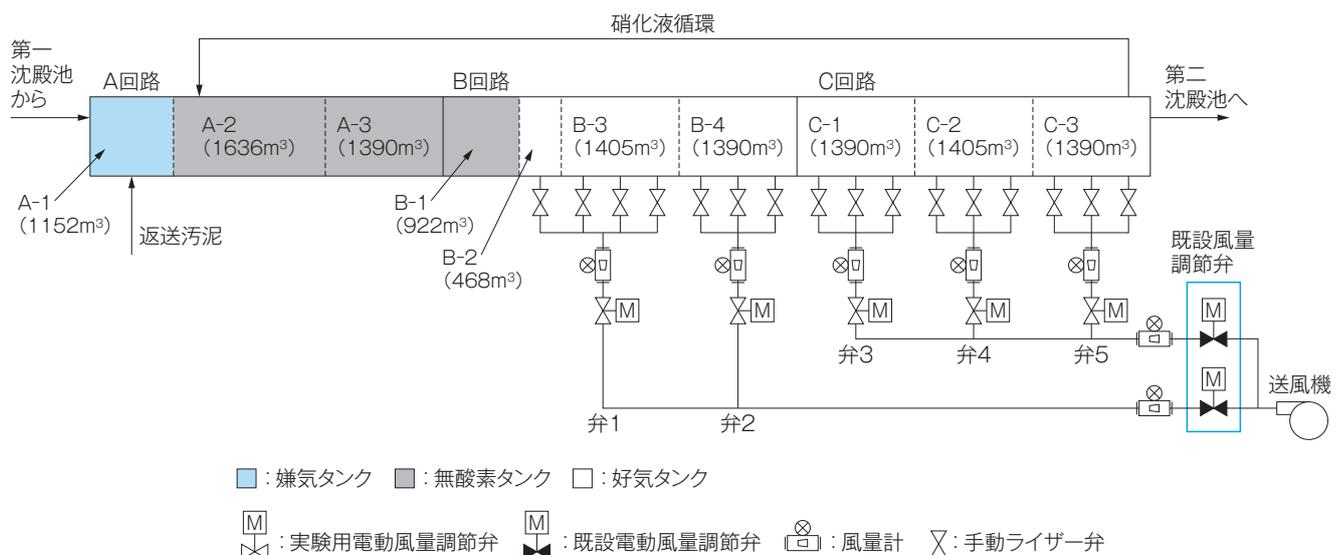
3.1.2 無酸素領域を形成する送風量決定方法の検討

好気槽内脱窒に関する調査が幾つか報告されている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。その調査では、好気タンクの前段回路を好

第1表 施設概要

南多摩水再生センター5-1系の施設概要を示す。排除方式は分流式で、蛇行型の水路でDO一定制御による送風制御によって嫌気無酸素好気法による処理を行っている。

項目	内容
処理方式	嫌気無酸素好気法
反応タンク容量	12,548m ³
最大処理能力	21,810m ³ /日
水理学的滞留時間	13.8h(最大処理能力時)
水路の構造	蛇行型(三水路)
既存の制御方式と設定値	DO一定制御(DO設定値； B回路末端1.2mg/L, C回路末端2.0mg/L)
処理区の排除方式	分流式



第4図 反応タンクの槽分割と電動風量調節弁の配置

三水路の蛇行路を直線にした時の模式図を示す。A-1回路は嫌気タンク、A-2からB-1回路は無酸素タンク、B-2回路からC-3回路は好気タンクとして運用されている。返送汚泥は第二沈殿池からA-1回路に戻り、硝化液はC-3回路からA-2回路に循環する。また、実験用風量調節弁はB-2回路からB-4回路の間に2台設置し、C-1回路からC-3回路の間に3台設置した。既設の風量調節弁は前段と後段の2台ずつで制御時は全開となる。

第2表 風量一定制御時の実測データ（2018年11月1日，南多摩水再生センター）

晴天時に取得した運転値・水質分析値・センサ値をそれぞれ示す。数値は平均値を示し、括弧内の数値は各項目の変動範囲を示す。

項目	平均値（各項目の変動範囲）
運転値	
流入水量	732 (649～839) m ³ /h
硝化液循環水量	479 (476～482) m ³ /h
返送汚泥量	270 (249～312) m ³ /h
水理的滞留時間	17.1h
合計送風量*1	4402 (4321～4483) Nm ³ /h
水質分析値	
反応タンク入口NH ₄ -N	25.4 (20.0～40.7) mg/L
反応タンク出口NH ₄ -N	0 (0～0.1) mg/L
反応タンク出口NO ₃ -N	11.0 (8.9～12.6) mg/L
センサ値	
MLSS	1757 (1706～1817) mg/L
水温	25.8 (25.5～26.0) °C

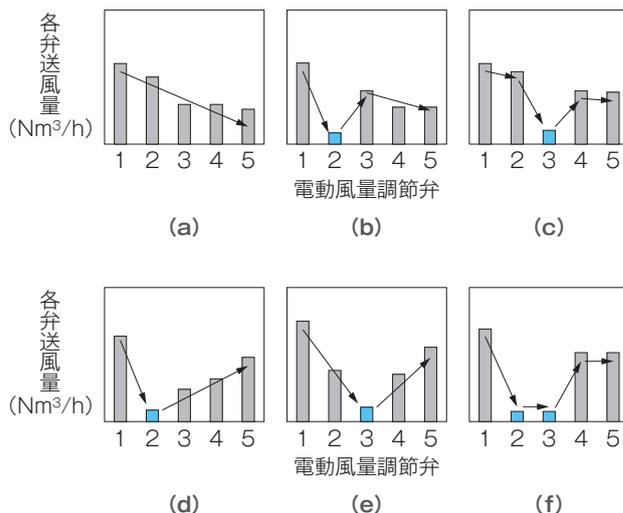
注. ※1. 電動風量調節弁1～5の送風量の合計

気条件として硝化を促進し、中後段回路に設置されている手動ライザー弁の一部を絞り、送風量を抑えて無酸素領域を形成することで、脱窒を促進させる運転管理を報告している。この管理手法を基に、RNDCにおける送風量の考え方及び電動風量調節弁の制御方法を検討した。

弁1・弁4・弁5につながる各回路は、常時好気領域とした。弁1では硝化が進行する送風量を確保するため、弁4と弁5では硝化を終了させることを目的とした。

一方、弁2・弁3につながる各回路は、流入負荷が低いときは無酸素領域とし脱窒を促進させ、負荷が高いときは好気領域とした。第5図にシミュレーションによる検討候補の送風パターンを示す。今回は演算時間を考慮し、送風パターンを三つに絞って制御を行うこととした。

まず、流入負荷が高い場合の送風パターンとして(a)を、また流入負荷が低い場合に二回路を無酸素領域とできる(f)を選択した。前述⁽⁵⁾⁽⁶⁾の結果から、(c)・(e)よりも(b)・(d)の方が無酸素領域とする区画に多くの有機物が残存し脱窒に有利であると考え、上流側の電動弁を絞る(b)及び(d)についてシミュレーションで脱窒性能を比較した。比較



第5図 シミュレーションによる検討候補の送風パターン

送風パターンは、(a)から(c)のテーパー型、(d)から(f)の谷型に分けられる。(a)は硝化のみの風量パターンだが、(b)から(e)はそれぞれ弁2又は弁3の位置（黒棒の部分）を最低風量とし、無酸素槽を形成する風量パターンとなる。(f)は、弁2と弁3の二か所で無酸素槽を形成する風量パターンとなる。

第3表 シミュレーションによって検討した典型的なNH₄-N 負荷流入量 (g-N/m³/h)

流入水量とNH₄-N濃度（NH₄-N流入負荷）の流入条件の変動幅の時に、第5図で選択した(a)、(d)、(f)のいずれの送風パターンが対応するかをシミュレーションで検討した。（送風パターンは第5図を参照。）

		流入水量 (m ³ /h)		
		700	800	900
NH ₄ -N濃度 (mg/L)	40	28	32	36
	30	21	24	27
	20	14	16	18

は、実施の晴天時の実績を基に流入NH₄-N負荷条件を第3表で示すように設定した上で、中間的負荷となるNH₄-N濃度30mg/L、流入水量800m³/hで実施した。なお、硝化液循環率・返送汚泥率・MLSS・水温は、第2表に示す平均値を用いた。また、送風量は反応タンク出口のNH₄-N濃度が1mg/Lとなるように調整した。脱窒性能は、三態窒素除去率で評価した。反応タンク流出水中のNH₄-N・NO₃-N・NO₂-N（以下、三態窒素）の合計濃度を流入水NH₄-N濃度（流入水のNO₃-N濃度、NO₂-N濃度は、ゼロと仮定）で除して求めた値を1から引いて求めた。

その結果、三態窒素除去率が(b)では58.8%に、

(d)では59.6%となったことから、(d)を選択した。なお雨天時は、持ち込みの溶存酸素や流入水質の変化で無酸素領域の確保が困難である。したがって、前述⁽²⁾と同様に硝化の安定化を優先し、検討から除外した。

次に、第3表に示した全てのNH₄-N負荷の組み合わせで(a)・(d)・(f)のシミュレーションを実施したところ、それぞれ三態窒素除去率が最も高かった風量パターンは第4表の結果となった。

3.1.3 送風量テーブルの作成と妥当性の確認

第5表に送風量テーブルを示す。風量パターンと設置されている散気板の通気量の上下限と設置枚数で定まる送風量（好気槽全体での送風量として上限6000Nm³/h、下限3000Nm³/h）を基に、各弁からの送風量の組み合わせを検討した。なお、風量の刻み幅は、演算に要する時間とシミュレーションによる処理水質予測精度を考慮して100Nm³/hとした。その結果、高負荷用(a)は14組（合計風量4700～

6000Nm³/h）、中負荷用(d)は10組（合計風量3800～4700Nm³/h）、低負荷用(f)は9組（合計風量3000～3800Nm³/h）の計33組で構成される送風量テーブルを作成した。

次に、RNCコントローラを用いて制御を模したシミュレーションを実施し、送風量テーブルの妥当性を確認した。第6図にシミュレーションによるRNDC例を示す。流入水量・硝化液循環率・返送汚泥率・MLSS・水温には、第2表の平均値の算出に用いた24時間試験で取得した各試料の値を用い、NH₄-N濃度は、第2図に示したNH₄-N計(A)の値を用いた。送風量は、反応タンク出口のNH₄-Nが1mg/L以下となるように1時間に1回変更した。その結果、反応タンク流入NH₄-N濃度・流入水量が変動する中で、合計送風量は3000～5300m³/hの範囲で変化し、負荷変動に応じて(a)・(d)・(f)の送風パターンが選択されることを確認した。なお、流入負荷のピークと合計送風量のピークのずれは約8.5時間で、反応タンク容積を流入水量・硝化液循環水量・返送汚泥量の合計値で除して求めた見かけの滞留時間とほぼ一致していた。

以上から、第5表の送風量テーブルを用い、流入NH₄-N負荷量に基づいて各回路の必要風量を決定できることを確認した。

3.2 調整機能の簡略化

ASM2dには、21種の反応速度式とそれに係る45

第4表 流入負荷条件と対応する送風パターン

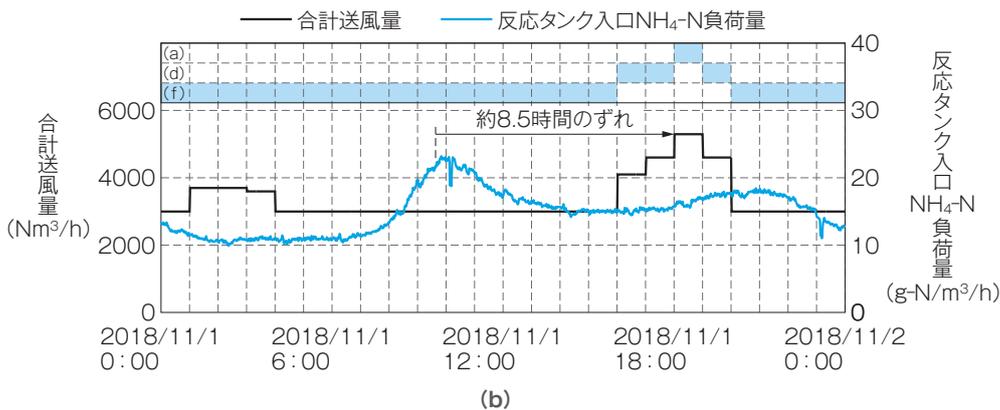
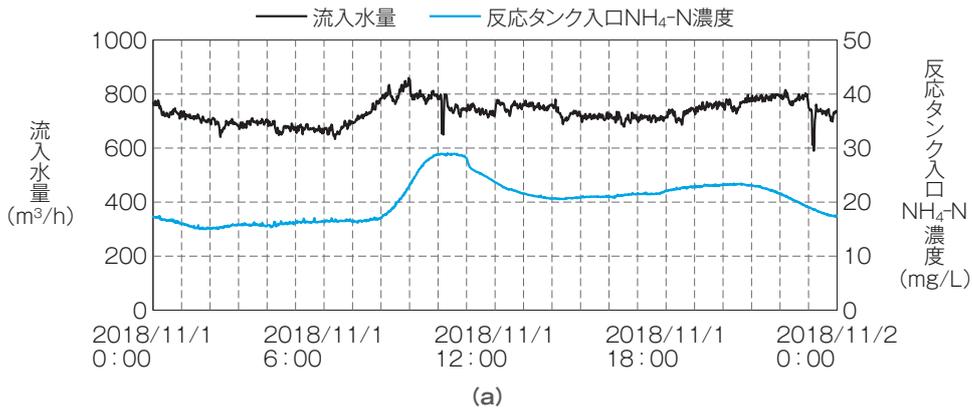
SIMWATERを用いたシミュレーションで、NH₄-N流入負荷が高い時：(a)の送風パターン、中間の時：(d)の送風パターン、低い時：(f)の送風パターン、がそれぞれの負荷に対応することが明らかとなった。

		流入水量 (m ³ /h)		
		700	800	900
NH ₄ -N濃度 (mg/L)	40	(d)	(a)	(a)
	30	(f)	(d)	(a)
	20	(f)	(f)	(d)

第5表 送風量テーブル（一部）

第4表の結果を基に、RNDCで用いる送風量テーブルを作成した。高風量域：(a)の送風パターン、中間風量域：(d)の送風パターン、低風量域：(f)の送風パターンを組み合わせ、合計風量が100刻みとなる計33パターンから構成される。表中の「…」は省略を示す。■は、最低風量200Nm³/hとすることで無酸素領域を形成、脱窒促進する弁を示す。

送風パターンNo.	弁1 (Nm ³ /h)	弁2 (Nm ³ /h)	弁3 (Nm ³ /h)	弁4 (Nm ³ /h)	弁5 (Nm ³ /h)	合計 (Nm ³ /h)	
(a)	1	1800	1300	1100	900	900	6000
	14	1500	1200	700	700	600	4700
(d)	15	1800	■ 200	700	900	1100	4700
	24	1500	■ 200	400	600	1100	3800
(f)	25	1500	■ 200	■ 200	900	1000	3800
	33	1200	■ 200	■ 200	600	800	3000



第6図 シミュレーションによるRNDC例

適切な送風量テーブルの構成であるかを確認するために、RNCコントローラを用いた制御シミュレーションを行った。(b)の上部には選択された風量パターンを青色の塗りつぶしで示した。流入NH₄-N負荷のピークと送風量のピークは流下時間によって8.5時間のずれを考慮すると、流入NH₄-N負荷のピークに対し風量のピークが一致している。また、流入NH₄-N負荷の増加に伴い送風パターンも変化している。

個の定数(パラメータ)がある⁽⁴⁾。シミュレーションで対象施設の状況を精度よく再現するためには、その調整、いわゆるキャリブレーションが必要である。例えば、硝化細菌の好気条件下での増殖の反応速度式は、以下の式(1)で定義される。この式は、最大比増殖速度・溶存酸素・NH₄-N・りん酸態りん、アルカリ度・硝化細菌量の項から構成されている。

硝化細菌の増殖速度 =

$$\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT} \dots\dots\dots(1)$$

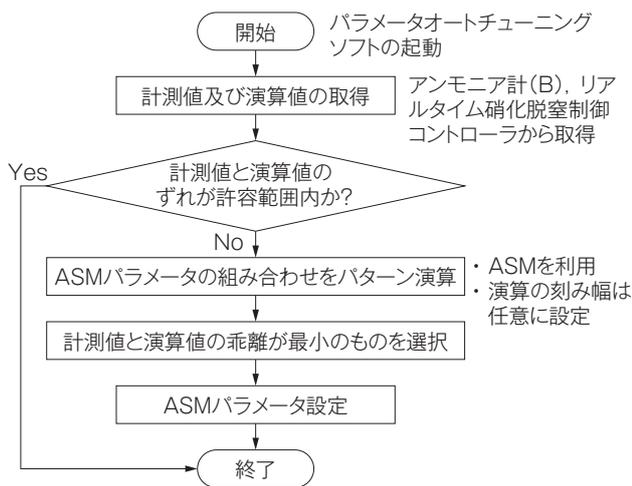
RNC開発時に東京都下水道局砂町水再生センターで実施した検討では、 $K_{NH_4, A}$ (硝化におけるNH₄-N濃度に対する飽和定数)と $K_{O_2, A}$ (硝化における溶存酸素濃度に対する飽和定数)を調整するこ

とで硝化制御を行えた⁽²⁾。また二か月間の連続運用調査で、長期的に安定した制御を行うためには、固形物濃度も定期的に調整する必要があることが判明した。これらの調整には、ASM全般に関する知識とシミュレータの取り扱いに習熟が必要であり、そのことが本技術導入の支障となると考えられる。そこで、パラメータ及び固形物濃度を自動調整する機能を開発することとした。

3.2.1 ASMパラメータの調整

調整するASMパラメータは、前述⁽²⁾と同様に $K_{NH_4, A}$ と $K_{O_2, A}$ とした。これらはいずれも硝化に関わるパラメータであることから、第2図に示す反応タンク中段にアンモニア計(B)を設置し、その値を指標に調整することとした。

第7図にASMパラメータの調整フローを示す。ASMパラメータの調整は、アンモニア計(B)の計測値と演算値のずれが許容範囲を逸脱している場合



第7図 ASMパラメータの調整フロー

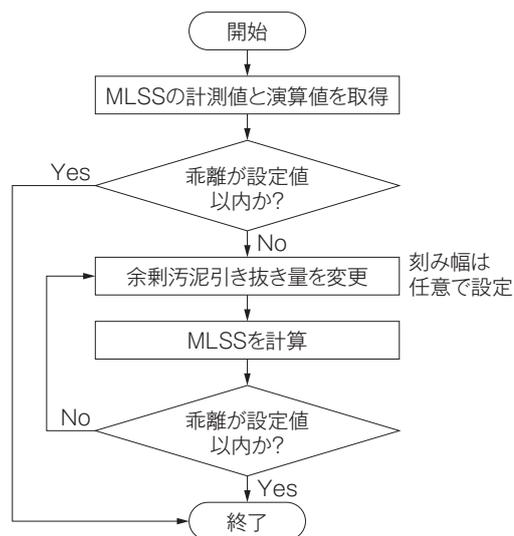
RNCコントローラに搭載されたASMパラメータのオートチューニング機能によって、図のフローに基づいて第2図のNH₄-N計(B)の計測値とSIMWATERのバーチャルプラントの同じ位置のNH₄-N演算値が一致するASMパラメータを自動設定できる。

に、 $K_{NH_4, A}$ と $K_{O_2, A}$ の組み合わせを網羅的に演算し、計測値と演算値の乖離が最小となる組み合わせを選択するという手順で行った。なお、降雨などで極端に計測値が低下した場合は、適正なパラメータの決定ができないことから調整しないようにした。これにより、計測値と演算値が安定的に一致した。

なお、脱窒に関与するパラメータの $K_{NO_3, H}$ (従属栄養生物の硝酸態窒素に対する飽和定数) や $K_{O_2, H}$ (従属栄養生物の溶存酸素に対する飽和定数) は、処理水におけるNO₃-N濃度の分析値と演算値が安定しておおむね一致していたため変更しなかった。

3.2.2 固形物濃度の調整

固形物濃度の調整は、おおむねMLSS濃度を調整することと等しいと考え、実施設の反応タンクに設置されたMLSS計の計測値と演算値を一致させる方法で行うこととした。第8図に固形物調整フローを示す。具体的には、MLSS計の計測値と演算値を比較し、その乖離が許容範囲を逸脱している場合に、槽列モデル上の余剰ポンプの引き抜き量を変更し、MLSS演算値を計測値に近似するように1日1回調整して計測値と演算値がほぼ一致することを確認した。なお、この方法では硝化細菌濃度が現実を反映しないおそれがあるものの、制御上の支障が生じないことを確認した。



第8図 固形物調整フロー

RNCコントローラに搭載された固形物収支 (MLSS) のオートチューニング機能によって、図のフローに基づいてMLSS計の計測値とSIMWATERのバーチャルプラントの演算値MLSSを自動で一致させることができる。

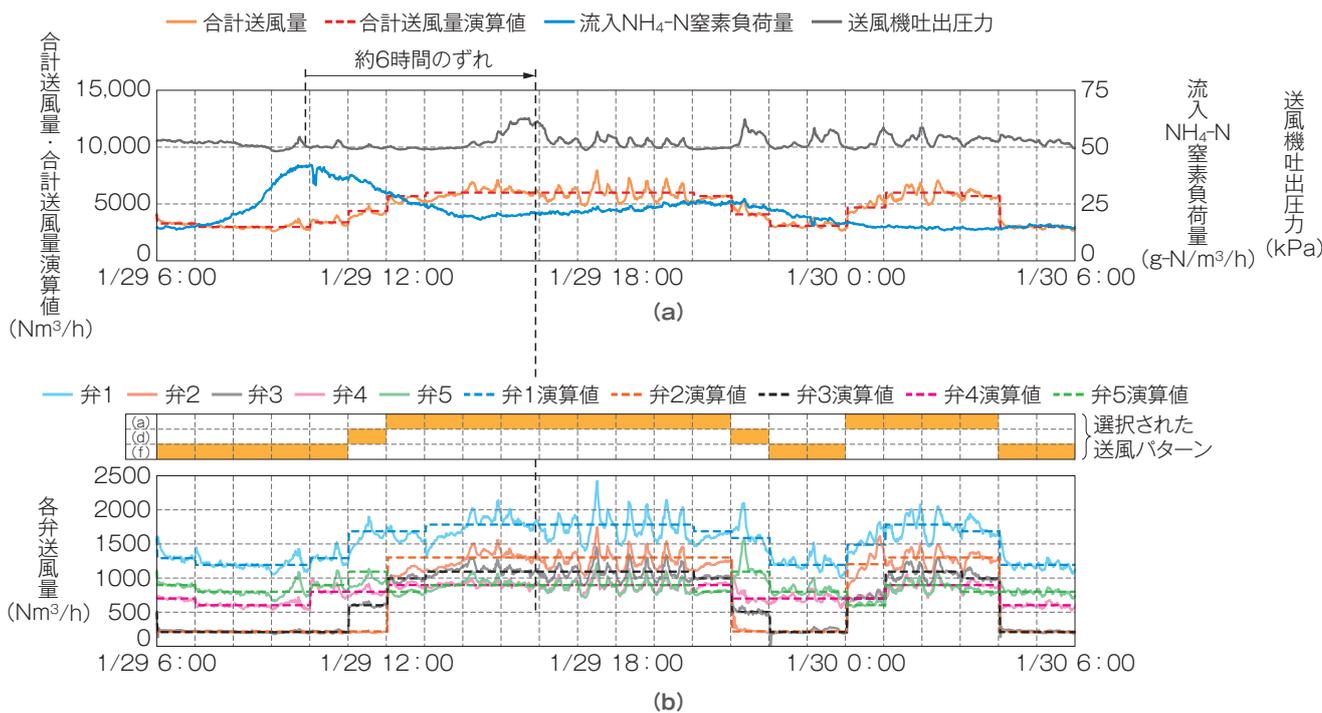
4 RNDCの性能検証

RNDCを実施設(第1表)に実装し、2019年1月19日から2月17日の期間で性能検証を行った。シミュレータへの入力データ項目・演算条件は、3.1.3と同様とした。なお、性能検証時は既設電動風量調節弁を全開にし、送風量調節実験用電動風量調節弁のみで行った。

第9図に電動風量調節弁によるRNDC送風例を示す。(a)に示すようにNH₄-N濃度の流入負荷量変動に応じてASM演算結果(合計送風量設定値)が変化している。また(b)に示すように、合計風量が少ない時間帯で弁2と弁3の風量が約200Nm³/hになる制御が想定どおり行われることを確認した。なお、風量設定値が変化しない場合でも風量の振動が見られるが、これは実証系列以外と送風システムを共用していたために生じた送風本管の圧力変動(送風機吐出圧力)の影響によるものと考えられる。

4.1 水質改善効果

反応タンクの出口におけるNH₄-N濃度の目標値への追従性及び三態窒素除去率を指標とし、DO一定制御(同一の反応タンクで実施)の場合と比較した。



第9図 電動風量調節弁によるRNDC送風例

実機でRNDCによる制御をした時、おおむね点線の風量演算値に対して実線の送風量が追従している。送風量の変化は流入NH₄-N負荷のピークから約6時間遅れて送風量のピークとなっている。15時から21時の間に送風機吐出圧力が変動しており、この時各弁の送風量も変動している。

三態窒素除去率は、第一沈殿池越流水と反応タンク出口の活性汚泥を4時間ごとに採取し、ろ過した試料をイオンクロマトグラフィーで分析し求めた三態窒素濃度の日平均値を用いて算出した。流入水量・硝化液循環水量・返送汚泥流量は、DO一定制御時と同様であった。

第6表にRNDCとDO一定制御の比較結果を示す。反応タンク出口のNH₄-N濃度は、目標値の1.0mg/Lに対してRNDCでは目標値に近い平均0.7mg/Lであった。一方、DO一定制御（B回路末端1.2mg/L、C回路末端2.0mg/L）では平均0.2mg/Lと目標より低くなった。これは検証施設の処理法は嫌気無酸素好気法であり、C回路後半で硝化液を循環させることから完全硝化に努めた結果である。

また、反応タンク出口の三態窒素濃度は、RNDCがDO一定制御よりも平均で2.2mg/L低く、三態窒素除去率は55.7%から64.7%に向上した。なお、調査期間中のRDNCによるりん酸態りん濃度は、RDNCが平均0.4mg/L、DO一定制御が0.8mg/Lであり、悪影響は見られなかった。

第6表 RNDCとDO一定制御の比較結果（期間：2019年1月9日～2月17日）

期間中の実機でのRNDCの運転値の時間平均値、水質分析値の日平均値を示し、点線より下に制御の評価指標となる三態窒素除去率、流入水量あたりの送気倍率の削減率を示す。左の数値がRNDC、中央の数値がDO一定制御、右の数値がRNDCとDO一定制御の差を示す。

項目	RNDC ^{**a}	DO ^{**b}	差 ^{**c}
データ取得日数（晴天日）	8	12	-4
運転値（時間平均）			
流入水量（m ³ /h）	834	841	-7
硝化液循環水量（m ³ /h）	479	492	-13
返送汚泥流量（m ³ /h）	423	413	10
合計送風量（Nm ³ /h）	4461	5063	-602
水質分析値（日平均）			
反応タンク入口三態窒素（mg/L）	25.3	25.3	0.0
反応タンク出口三態窒素（mg/L）	9.0	11.2	-2.2
反応タンク入口アンモニア性窒素（mg/L）	25.0	24.9	0.1
反応タンク出口アンモニア性窒素（mg/L）	0.7	0.2	0.5
MLSS計測定値（mg/L）	2792	2737	55
反応タンク水温（℃）	20.3	20.2	0.1
三態窒素除去率（%）	64.7	55.7	9.0
硝化液循環率（%）	57.5	58.8	-1.3
送気倍率（-）	5.3	6.0	-0.7
流入水量あたりの送気倍率の削減率（%）	11.6	-	-

注：^{**a}：リアルタイム硝化脱窒制御、^{**b}：DO一定制御、^{**c}：a-bの差

4.2 省エネルギー効果の評価

省エネルギー効果は、送気倍率（風量／流入水量）から算出した送風量削減率、及び送風機の吸い込み風量と電力の相関式 [$y = 0.0133x + 237$, $R^2 = 0.916$, y : 送風機電力 (kW), x : 送風機吸い込み風量 (Nm³/h)] から算出した送風機電力削減率で評価した。

その結果、第6表に示すようにDO一定制御に対するRNDCの送風量削減率は平均11.6% (7.1～19.7%) で、これは南多摩水再生センター全池にRNDCを導入した場合、送風機電力が7.2% (4.4～12.2%) 削減される効果に相当した。なお、DO一定制御の送気倍率は5.6～7.1で変動していたのに対して、RNDCでは5.2～5.7で、その変動は小さかった。

5 むすび

本研究では、以下の成果が得られた。

- (1) RNDCの開発 ASM2dシミュレータを用い、窒素流入負荷変動に応じて無酸素領域にする回路数を能動的に増減する送風量制御を行い、脱窒促進効果が示された。
- (2) 調整機能の簡略化 ASMパラメータ及びMLSSを指標とした固形物濃度の調整機能を付加した。パラメータなどの手動調整が不要になることで、RNDC導入による運転管理の負担増を防止し、より実用的な制御技術とした。
- (3) RNDCの実機での評価 実機（嫌気無酸素好気法）を用いた性能検証を行った。反応タンクにおける三態窒素除去率を55.7%から64.7%に向上し、送気倍率を約11.6%削減した。この結果から、全窒素除去率もほぼ同程度除去率が向上したと考えられた。南多摩水再生センター全池にRNDCを導入した場合、送風機電力の約7.2%削減に相当した。

以上のように、ASMを用いた必要送風量の算出と回路別送風制御技術を組み合わせたRNDCによって、風量削減と水質改善の両立ができることや、シミュレータによって、導入効果の事前検討が

できることを確認した。また、槽列モデルを変更することで、様々な処理方式に対してもRNDCを適用できると考える。こうした点からRNDCは、これからの下水道事業に大きく貢献すると考えられる。

今後、合流式での実証、電動風量調節弁の設置数の削減によるコスト削減などを図り、より実用的な仕様へ改良していく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

- (1) 東京都下水道局：アースプラン2017
- (2) 及川智・土屋義和・中田昌幸・豊岡和宏・寺島英雄・渡辺志津男：「水質改善と省エネルギーの両立を目的とした活性汚泥モデルを用いたリアルタイム硝化制御による送風制御技術の開発」, 下水道協会誌, Vol.53, No.643, pp.111-120, 2016
- (3) 岸本長・並木圭治・豊岡和宏・宮原盛雄・中田昌幸・杉山聡・中町友則・渡辺志津男：「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
- (4) 味埜監訳, 「活性汚泥モデル」, 環境新聞社, 2005
- (5) 近松康樹・田中英樹・葛西孝司：「浅槽式反応槽での好気槽内脱窒促進運転について」, 東京都下水道局技術調査年報, Vol.40, pp.69-73, 2016
- (6) 足立悠介・小谷野正雄・福田宗昭：「浅槽式反応槽における無酸素領域形成による好気槽内脱窒の促進について」, 東京都下水道局技術調査年報, Vol.40, pp.113-120, 2016
- (7) 東京都下水道局：令和元年度第四回技術管理委員要旨, 「リアルタイム硝化脱窒制御の開発（共同研究の開発成果）」
https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/about/e6/technical_information/index.html
- (8) 大石亮・後藤浩之・豊岡和宏：「下水処理プロセスシミュレータSIMWATER」, 明電時報310号, 2006/No.5, pp.19-23

《執筆者紹介》



宮原盛雄
Morio Miyahara
水インフラ営業・技術本部技術部
水処理技術の開発に従事



中田昌幸
Masayuki Nakata
ソリューション企画部
水処理技術の開発に従事



豊岡和宏
Kazuhiro Toyooka
水インフラ営業・技術本部技術部
水処理技術の開発に従事