

2-2-4 北多摩二号水再生センターにおける NH₄-N+DO 制御について

流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 水質管理係
和光一紀 伊部一星 ○小泉僚平 塩見浩

1. はじめに

流域下水道本部の各水再生センターでは、二軸管理に代表されるよう、水質改善と省エネルギーの両立を目指した取組を行っている^{1),2)}。当センターでは、処理方法ごとの水質改善効果、および送風量制御方法等について調査・研究を進めている。その中で今回、NH₄-N+DO 制御についての一定の知見が得られたことから本稿にて報告する。

当センターの制限曝気 A₂O 法施設(3系反応槽)は、各回路の送風量を個別に制御可能であることに加え、それぞれについて制御方法を DO 制御と NH₄-N 制御から選択できる。このため、好気槽上流部を NH₄-N 制御、下流部を DO 制御とする NH₄-N+DO 制御が可能である。NH₄-N+DO 制御の局内先行事例としては小菅水再生センターがあり、処理水質の安定化、送風量の低減等の効果が報告されている³⁾。今回提案する制御方法は補正等の複雑なプログラムを必要としない点で小菅水再生センターと異なるが、NH₄-N 制御と DO 制御の組合せにより、送風量の無駄を省きつつ、安定した処理水質が得られると期待できる。

このことから、当処理方法を送風量や処理性の観点から他の処理方法と比較し、効果や課題を整理した。

2. 3系反応槽の概要

2.1 処理方式・計装設備の概要

当センターの3系反応槽の平面図を図1に示す。当反応槽では、散気板の枚数を減らし、空気攪拌により疑似嫌気・無酸素状態を形成する制限曝気 A₂O 法を採用している。A回路前段～中段が疑似嫌気槽、A回路中段～B回路中段が疑似無酸素槽、それ以降が好気槽となっており、計装設備として、MLSS 計と DO 計が D回路末端に、NH₄-N 計が D回路上流部に設置されている。A・B・C・D各回路の送風管に制御弁が付いていることから、監視室からの送風量自動制御が可能で、それぞれ固定風量・NH₄-N 制御・DO 制御を選択可能である。また、散気板の枚数が異なることから、最大送風量は、A回路で 150Nm³/h、B回路で 1,200Nm³/h、C・D回路で 2,400Nm³/h と各回路で異なっている(表1)。

2.2 送風量制御方法

3系反応槽の送風量制御方法は、DO 制御、NH₄-N 制御、NH₄-N+DO 制御から選択可能とな

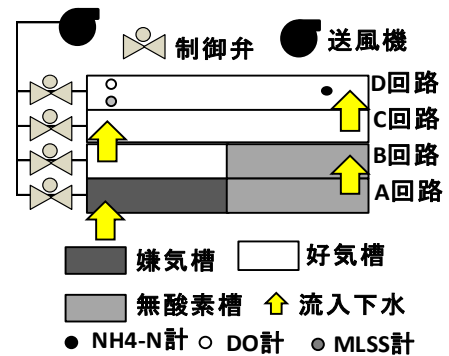


図1 3系反応槽の概要

表1 各回路の最大送風量・制御方法

回路	散気板(枚)	最大送風量 (Nm ³ /h)	制御方法
A	48	150程度	固定風量
B	588	1,200	固定風量/DO/NH ₄ -N
C	1,128	2,400	固定風量/DO/NH ₄ -N
D	1,128	2,400	固定風量/DO/NH ₄ -N

っている。以下、それぞれについて特徴を述べる。

① DO 制御

処理状況に応じて D 回路末端の DO 値が変動するのを、全体の送風量を増減させて設定値に保つ制御方法である。水質変動への送風量の応答性が低いことから、流入水質の変動が大きい場合には処理水質の悪化や、過剰送風を招くなどの課題がある。

② NH₄-N 制御

処理状況に応じて NH₄-N 計指示値が変動するのを、全体の送風量を増減させて設定値に保つ制御方法である。処理水 NH₄-N 濃度をおおむね一定に制御できるため、流入水質の変動に伴う過剰送風や水質悪化を抑制できる。一方で、送風量変動への NH₄-N 計指示値の応答時間が長いため、制御の追従性が低下することから、処理水 NH₄-N 濃度が目標濃度を中央値として振動する。このため、振幅の大きさによっては、一時的な処理水質の悪化等を招くことがある。

③ NH₄-N+DO 制御

当センターの NH₄-N+DO 制御は、各回路の送風量が個別に自動制御可能なことを強みとし、B・C 回路は D 回路上流部の NH₄-N 濃度(図 2 の D1 地点)を、D 回路は D 回路末端の DO 値(図 2 の D2 地点)を一定に制御するよう送風量を増減する。流入水質の変動に B・C 回路の NH₄-N 制御で対応することで、D 回路を DO 制御としつつも、過剰送風と水質悪化を抑制できる。また、制御計器から離れた位置にある B 回路の NH₄-N 設定値を、C 回路よりも高めに設定することで、負荷が高い時間帯にのみ送風量が増加する補助的回路とできる。このようにすることで、B・C 回路の合計送風量の変動を抑制し、D1 地点の NH₄-N 濃度をより安定的に制御できると考えられる。

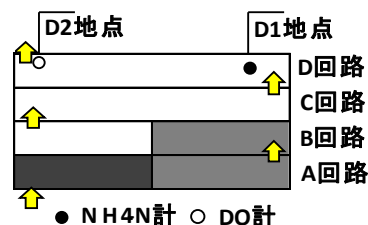


図 2 3系反応槽の計器位置・採水地点

3. 各制御方法の比較

DO 制御と NH₄-N 制御の比較は、当センターで平成 22 年度に行っており、省エネルギーの観点から NH₄-N 制御が優れるとの結論を得ている。ここでは、NH₄-N+DO 制御を DO 制御及び NH₄-N 制御と比較した結果を述べる。なお、DO 制御では図 2 中 D2 地点の DO 計の指示値、NH₄-N 制御では D1 地点の NH₄-N 計の指示値が、一定の値(設定値)になるよう各回路の送風量を制御した。

3.1 DO 制御と NH₄-N+DO 制御の比較

最初に、DO 制御と NH₄-N+DO 制御を比較した結果を示す。本調査は、平成 26 年 3 月に実施した。調査条件を表 2 にまとめる。ここで(a)が DO 制御、(b)が NH₄-N+DO 制御である。なお、NH₄-N+DO 制御では、B 回路

表 2 調査条件
(a) DO 制御と (b) NH₄-N+DO 制御の比較

	(a)	(b)
期間	3/11 14:00～ 3/12 5:00	3/26 14:00～3/27 5:00
制御方法 (設定値)	B～D : DO 制御 (1.5mg/L)	B : NH ₄ -N 制御(7.5mg/L) C : NH ₄ -N 制御(6.0mg/L) D : DO 制御(1.0mg/L)
NH ₄ -N 目標値	---	好気槽出口で 2.0mg/L

の NH₄-N 設定値を C 回路よりも高めに設定し、負荷が高い時間帯に B 回路の送風量を増量するようにしている。

図 2 に採水地点と計器の位置を、図 3 に (a) 及び (b) の期間中送風量を、図 4 に D1、D2 地点の NH₄-N 濃度を示す。なお、送風量は時間平均値、NH₄-N 濃度は毎正時の測定値である。

(a) について、当該期間 DO 設定値は 1.5mg/L と低水温期としては低めだったが、B 回路は全期間で最大送風量、C・D 回路では 1,500Nm³/h～2,300Nm³/h で推移するなど、必要送風量が多かった。水質面では、好気槽出口の NH₄-N 濃度最大値が 1.3mg/L と低濃度で抑えられた一方、19:00～23:00 のように D 回路途中で硝化が終了したと思われる時間帯もあった。

(b) について、当該期間中は、D 回路の送風量は D2 地点の DO を一定に保つためほぼ全期間で最大送風量となっていた。一方、B 回路及び C 回路では D1 地点の NH₄-N 濃度の変動に合わせて送風量が増減しており、NH₄-N 濃度は D1 地点でおおむね 6.0mg/L、D2 地点で 1.0～3.0mg/L 程度で推移するなど、目標値を中央値として適切に制御できていた。

表 3 に、上記の両期間における反応槽流入水 NH₄-N 濃度、反応槽の合計送風量、処理水全窒素濃度をまとめた。流入 NH₄-N 濃度及び処理水全窒素濃度は測定誤差等を考慮すると両期間で

(a)、(b) はほぼ同等と判断できた。その一方で、送風量については明確に (b) のほうが 1 割程度低かった。これは、NH₄-N+DO 制御では処理水 NH₄-N 濃度を目標値前後に制御できることから、DO 制御に見られた過剰送風が抑制されたためと考える。

3.2 NH₄-N 計制御と NH₄-N+DO 制御の比較

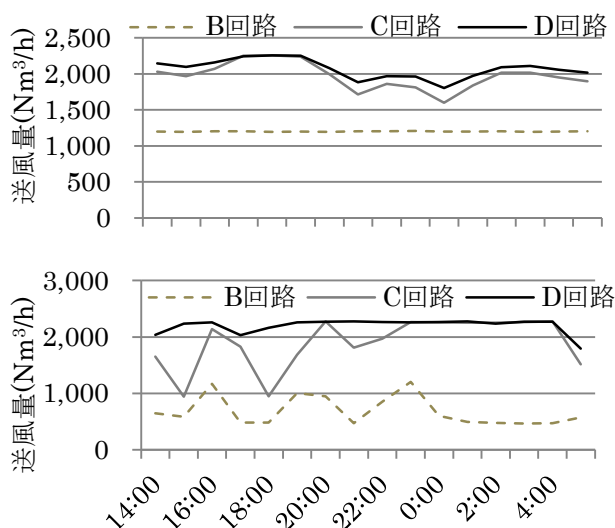


図 3 調査中の送風量(上 : (a)、下 : (b))

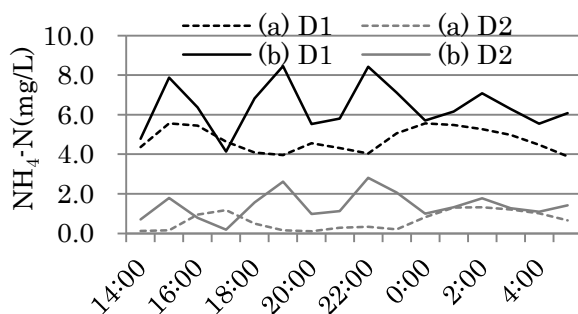


図 4 D1・D2 地点の NH₄-N 濃度

表 3 処理状況比較

	流入 NH ₄ -N 平均値(mg/L)	送風量 (Nm ³ /h)	処理水量 (m ³ /h)	処理水全窒素 平均値(mg/L)
(a)	22	5,240	884	8.3
(b)	20	4,780	883	8.7

表 4 調査条件

((C) NH₄-N 制御と (d) NH₄-N+DO 制御の比較)

	(c)	(d)
期間	7/3 18:00～7/4 6:00	6/17 18:00～6/18 6:00
制御方法 (設定値)	B～D : NH ₄ -N 制御 (5.0mg/L)	B : NH ₄ -N 制御(7.5mg/L) C : NH ₄ -N 制御(6.0mg/L) D : DO 制御(1.0mg/L)
NH ₄ -N 目標値	好気槽出口で 2.0mg/L	

次に、NH₄-N 制御と NH₄-N+DO 制御を比較した結果を示す。本調査は、平成 26 年 6、7 月に実施した。調査条件を表 4 にまとめる。ここで(c)が NH₄-N 制御、(d)が NH₄-N+DO 制御である。両制御とも、好気槽出口 NH₄-N 濃度を 2.0mg/L 程度とするような NH₄-N 設定値としている(設定値の導出に用いる反応槽流入水 NH₄-N 濃度を毎月変更しているため、C 回路の設定値が両者で異なっている)。

図 5 に調査中の送風量を示す。(c)では各回路でほぼ同様の変動傾向を示したのに対し、(d)では各回路で変動傾向が異なっていた。これは、上述のとおり(d)では各回路で制御方法や設定値を変えているためである。特に、(d)では、C 回路よりも高い設定値としていることで B 回路の送風量変動が抑えられていた。

図 6 に D1・D2 地点の NH₄-N 濃度の変動を示す。(c)では B 回路と C 回路の合計送風量が大きく変動したことから、D1 地点における NH₄-N 濃度の変動が(d)に比べて大きくなった。この結果、D2 地点の NH₄-N 濃度が最大で 5.0mg/L 程度となるなど、(d)と比較して好気槽出口の水質が不安定であった。

表 5 に、上記の両期間における反応槽流入水 NH₄-N 濃度、反応槽の合計送風量、処理水全窒素濃度をまとめた。流入 NH₄-N 濃度及び送風量は(c)と(d)で大きな差が無かった。このことから、NH₄-N 制御と NH₄-N+DO 制御は、送風量についてほぼ同等と評価できる。一方、水質的には処理水 NH₄-N 濃度の安定性等の観点で NH₄-N+DO 制御が優れると考える。

4. 硝化脱窒同時処理の検討

これまでの結果をまとめると、各制御方法について、おおむね表 6 のように評価できると考える。このように、当センターの制限曝気 A₂O 法施設においては、水質・送風量の観点から総合的に NH₄-N+DO 制御が最適と考える。ただし、NH₄-N 制御においても、B 回路の設定値や NH₄-N 計の設置位置等を検討することで安定した水質を得られ

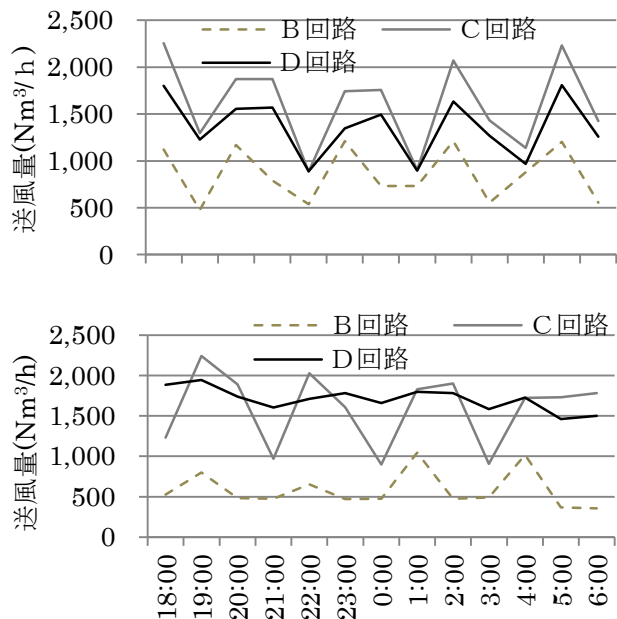


図 5 調査中の送風量(上 : (c)、下 : (d))

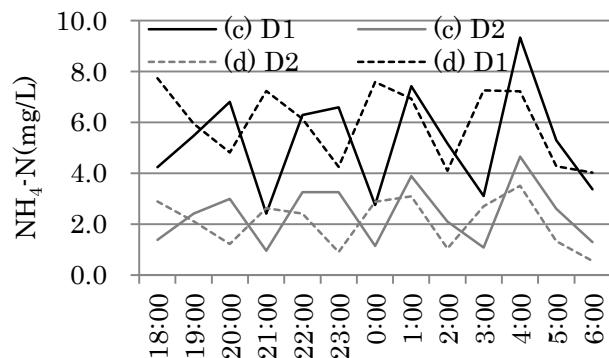


図 6 D1・D2 地点の NH₄-N 濃度

表 5 処理状況比較

	流入 NH ₄ -N 平均値(mg/L)	送風量 (Nm ³ /h)	処理水量 (m ³ /h)	処理水全窒素 平均値(mg/L)
(c)	15	3,830	1,200	9.6
(d)	15	3,890	1,180	8.8

表 6 制御方法の評価

制御方法	水質	送風量
DO	○	△
NH ₄ -N	△	○
NH₄-N+DO	○	○

る可能性がある。この点は、今後、各制御方法をより深く追及していく過程での検討課題となってくると考える。

ここで、当制御方法では、NH₄-N 設定値と DO 設定値の組合せ次第で、B・C 回路で硝化を抑え、D 回路で硝化を促進する運転が可能である。これにより、B・C 回路での硝化・脱窒の同時進行^{4),5)}が期待でき、硝化液循環を用いずともある程度の窒素低減が可能となると考えられる。既報論文等によると、好気槽での硝化・脱窒は、有効水深が大きいほど⁴⁾、散気板下部領域が広いほど⁵⁾、進みやすいとされる。3系反応槽は有効水深が 7.5m、散気板設置位置が水深 4.5m であることから、構造面で好気槽での硝化脱窒同時処理に適すると考えられる。このため、送風方法の工夫により一定の効果が得られると考え、検証調査を行った。

調査は平成 26 年 8 月 5 日 16:00~6 日 8:00 に、3系反応槽施設の好気槽入口・C 回路出口・D 回路出口で 1 時間ごと採水・分析し、好気槽での硝化脱窒の同時進行について評価した。調査期間中、表 7 に示すように、処理能力におおむね等しい 1,030m³/h を処理し、硝化液循環は実施しなかった。MLSS は、硝化脱窒同時進行に有利となるよう、余剰汚泥引抜量等を調整して 2,400mg/L まで上昇させた(通常時は 2,000mg/L 程度)。C 回路 NH₄-N 設定値を 7.5mg/L とし、好気槽上流部での硝化を抑える一方、D 回路の DO 設定値を 1.5mg/L とやや高めとし、D 回路で硝化を促進することとした。調査の結果得られた各地点での NH₄-N 濃度および送風量についての時間平均値を、処理水量から計算した好気時間に対してプロットしたものを図 7 に、無機窒素の時間平均値を図 8 に示す。

表 7 調査条件 (H26/8/5 16:00~8/6 8:00)

処理水量	返送汚泥	硝化液	MLSS	NH ₄ -N 設定値 B / C 回路	DO 設定値 D 回路
(m ³ /h)	(m ³ /h)	(m ³ /h)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1,030	258	0	2,400	9.0 / 7.5	1.5

図 7 に見られるように B~C 回路では硝化を抑えつつ、D 回路で硝化を促進することで、最終的に 1.0mg/L 程度まで NH₄-N 濃度を低減できた。また、図 8 より、B~C 回路にかけて好気槽流入水比 15%程度に相当する 2.2mg/L の無機窒素を低減できており、好気槽内での硝化・脱窒の同時進行が確認できた。なお、今回は C 回路の NH₄-N 設定値を 7.5mg/L としたが、この値を精査することで、窒素低減効果を高めることが可能と考えられる。これについては今後の検討課題である。

5. まとめ

調査結果から、好気槽各回路を個別に

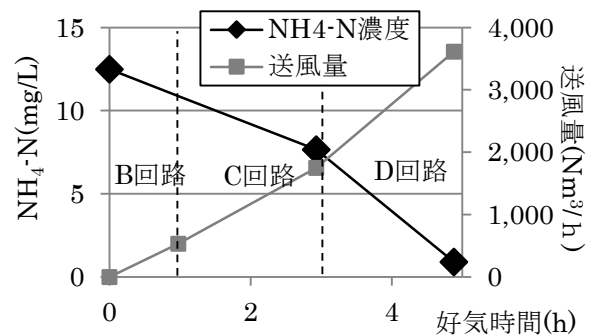


図 7 好気時間と NH₄-N 濃度・送風量

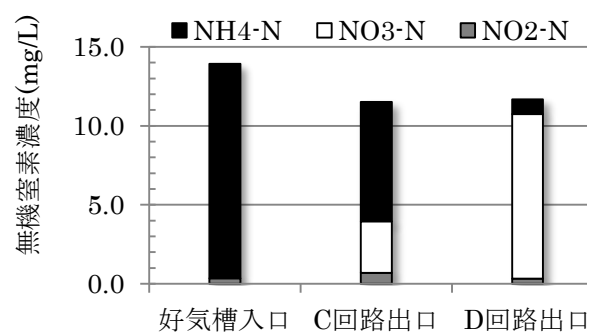


図 8 好気槽各地点の無機窒素濃度

制御する当センター独自の NH₄-N+DO 制御について、以下の知見が得られた。

- (1) NH₄-N+DO 制御は、DO 制御と比べて処理水質はほぼ同等であったものの、送風量では 10% 程度抑えられた。
- (2) NH₄-N+DO 制御は、NH₄-N 制御と比べて送風量はほぼ同等であったものの、処理水 NH₄-N 濃度の変動が抑制されており、水質的な安定性が高かった。
- (3) B～C 回路で硝化を抑え、D 回路で硝化を促進するような設定値とすることで、好気槽上流部で硝化・脱窒を同時に進行させつつ、処理水 NH₄-N 濃度を良好に保てることが分かった。
- (4) 上述のように好気槽で硝化と脱窒を同時進行させた結果、硝化液循環ポンプによらず 15% 程度の窒素低減が可能であった。

当制御方法は、送風管ごとに制御弁が設置されているセンターであれば、NH₄-N 制御の導入のみで適用可能である。制御方法や設定値の組合せが多岐にわたることから、さまざまな流入水質特性に合わせた制御が可能であり、汎用性が高いと考える。現在、二軸管理の推進に代表されるように、処理水質を維持しつつ電力量を削減していくことが局の重要課題となっており、NH₄-N+DO 制御は今後も技術的に追及していく価値のある制御方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 東京都下水道局 島田 誠一ほか：二軸管理手法を用いた電力削減に向けた新たな取り組み, 平成 26 年度下水道研究発表会,
- 2) 岩井 毅大ほか：北多摩二号水再生センターにおける二軸管理の取組について（事例報告）, 東京都下水道局 技術調査年報 2014,
- 3) 遠藤 和広ほか：アンモニア計と DO 計を用いた送風量制御システムの開発, 東京都下水道局 技術調査年報 2009
- 4) 岸野俊明ほか：好気槽における脱窒促進運転について, 東京都下水道局 技術調査年報 2012
- 5) 高瀬直樹：高度処理施設における微好気タンクの影響調査, 第 50 回下水道研究発表会論文集, p. 829-831