

## 〈研究発表〉

# アンモニア・硝酸計を活用した高度処理 (A<sub>2</sub>O) における硝化・脱窒作用の評価と応用

後藤 大輔, 阿部 光裕

横浜市環境創造局下水道施設部都筑水再生センター

(〒 224-0054 横浜市都筑区佐江戸町 25 番地 E-mail: da00-gotou@city.yokohama.jp, mi01-abe@city.yokohama.jp)

### 概要

横浜市では、水質環境基準の達成・維持や閉鎖系水域の富栄養化対策として高度処理の導入を進めている。高度処理の硝化・脱窒作用の管理には、流入下水量や負荷量等に応じた各機器の制御が重要である。しかし、これら制御の決定要因としては、手分析値や過去のデータ・経験則等によるものが大きい。特に、A<sub>2</sub>O法は循環水量、返送汚泥量、空気量等制御対象が相互に関連し、その傾向は強い。本稿では、この点の最適化と効率化の可能性に着目し、アンモニア・硝酸計を用いた硝化・脱窒作用の評価を行うとともに、その応用について報告する。

キーワード：アンモニア・硝酸計、高度処理 (A<sub>2</sub>O)、硝化・脱窒

原稿受付 2016.6.23

EICA: 21(2・3) 26-29

## 1. はじめに

横浜市では、水質環境基準の達成・維持や閉鎖系水域の富栄養化対策として、窒素・りん除去向上を目的とした高度処理施設の導入を進めている。都筑水再生センター（以下、当センター）では、平成8年に第1系列にて嫌気・硝化内脱窒法が稼動し、これまで5系列中3系列が高度処理施設として運転している。

当センターでは、硝化促進の維持管理を採用しているが、アンモニア性窒素の流入負荷量が高く、時間ごとの変動も大きいことにより、時折硝化不良が発生するといった課題を抱えている。これまで、硝化作用を管理する水処理設備の制御は、アンモニア性窒素濃度の日平均データ及び過去のデータ・経験則等による総合的な評価・検討によって決定してきた。しかし、日平均データでは、負荷量の増減に応じた最適な制御をすることが難しい。また、本研究の対象施設である第5系列（嫌気・無酸素・好気法：以下、A<sub>2</sub>O法）は、稼動歴が浅く、過去のデータ及び経験値等の蓄積が少ないうえ、循環水量、返送汚泥量、空気量等制御対象が相互に関連しているため、最適な制御パラメータを決定することは難しい。

本研究では、まず、当センターの水処理における問題点を整理するために調査を行った。次に、近年、送風量の省エネルギー化で注目される「アンモニア・硝酸計」を導入し、その連続計測データを用いて、A<sub>2</sub>O法における硝化・脱窒作用を評価した。そして、その結果を用いて硝化の安定を図るために、時間帯ごとの循環汚泥制御に応用したので報告する。

## 2. 施設概要及び課題

### 2.1 施設概要

当センターは、計画処理能力 242,100 m<sup>3</sup>/日の分流式下水道処理施設であり、第1系列から第5系列までの計5系列からなる。なお、Table 1に当センターにおける計画流入水質及び処理水質を示す。

Table 1 Design wastewater influent quality and treatment water quality

名称	流入水質 (mg/l)	初沈除去率 (%)	初沈後水水質 (mg/l)	反応槽終沈除去率 (%)	終沈流出水質 (mg/l)
BOD	250	50	125	96	5
SS	200	60	80	94	5
T-N	36	25	27	63	10
T-P	5.8	43	3.3	84	0.5

### 2.2 課題

#### (1) アンモニア性窒素の流入負荷量変動

アンモニア性窒素の負荷量について、他の水再生センターとの比較・評価を行った。Table 2に、横浜市内11箇所のセンターにおける反応タンク流入水のアンモニア性窒素負荷変動を示す。排除方式が分流式である当センターを含む3センターでは、他に比べアンモニア性窒素負荷量の変動が大きいことが確認できる。

次に、Fig. 1に、当センターにおける冬季のアンモニア性窒素濃度の経時変化（毎時手分析値）の一例を示す。これより、9時頃のピークが流出する19時頃

Table 2 Ammonia nitrogen load variation of reactor influent

センター名	都筑	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均
排除方式	分流	分流	分流	合流	合流	合流	合流	合流	合流	合流	合流	
返流水の影響	なし	なし	なし	なし	あり	なし	なし	なし	あり	なし	なし	
アンモニア性窒素負荷変動	最大	1.92	1.97	2.47	1.29	1.27	1.34	1.44	1.52	1.74	1.44	1.60
	最少	0.43	0.36	0.38	0.55	0.84	0.66	0.49	0.61	0.50	0.50	0.61
*1	変動幅	1.49	1.62	2.09	0.74	0.43	0.68	0.96	0.91	1.24	0.94	1.00
	標準偏差	0.46	0.45	0.55	0.24	0.14	0.21	0.31	0.24	0.33	0.26	0.27
	歪度	1.1	0.6	1.9	-0.9	0.5	-0.2	-0.4	0.5	0.8	-0.5	1.0

\*1 各センターごとに平均値を1.01に換算した場合の最大、最少、変動幅

の最終沈殿池流出水にはアンモニア性窒素が残留しており、BOD 値も押し上げていることがわかる。したがって、流入負荷量が高い時間帯の硝化を安定させることが必要である。

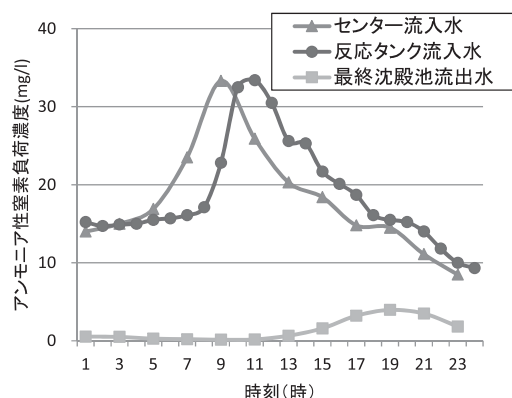


Fig. 1 Time-dependent change of ammonia nitrogen concentration

(2) 時間帯別必要送風量の不足

Fig. 2 に、冬季の反応タンク酸素量及びアンモニア性窒素濃度の経時変化の一例を示す。まず、時間ごとのアンモニア性窒素及び BOD の流入負荷量から必要酸素量を算出した。明け方 5 時頃は少なく、10 時頃には 600 kgO<sub>2</sub>/hr と大きいことが確認される。これは、前項で示したとおり、アンモニア性窒素及び BOD の流入負荷量の変動が大きいため、必要空気量についても変動している。次に、上記の時間において、実施設で供給していた空気量から供給酸素量を算出し、好気槽滞留時間を考慮した 6 区間の移動平均を行った必要酸素量と比較した。この結果から、12 時以降に供給酸素量が不足しており、最終沈殿池流出水でのアンモ

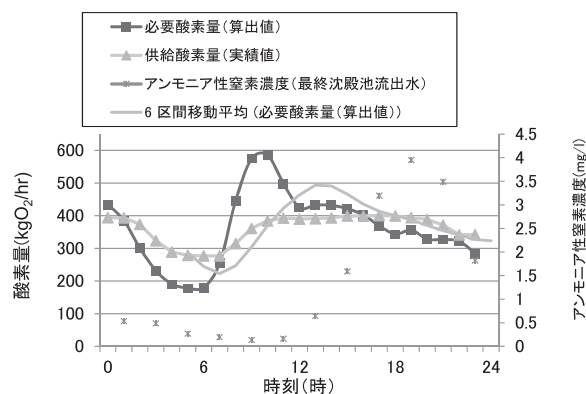


Fig. 2 Time-dependent change of oxygen and ammonia nitrogen concentration in reactor

ニア性窒素濃度が高い原因となっているものと考えられる。

しかし、供給酸素量の能力は設備仕様上 400 kgO<sub>2</sub>/hr 程度が上限値であり、実際には酸素量を増やして硝化を促進させることができない。そこで、硝化促進には、循環汚泥量を一日の中で可変させる必要がある。流入水の負荷が高い時は循環汚泥量を多くし循環汚泥による希釈効果を図り、負荷が高い流入水が好気槽へ入った段階で循環汚泥量を減らし、好気槽の滞留時間を増やし、硝化を促進させることが必要である。

3. 研究方法

前項の課題を解決するために、アンモニア・硝酸計による連続計測データを用いて、A<sub>2</sub>O 法における硝化・脱窒作用を評価するとともに、この結果を時間帯ごとの循環汚泥制御に応用し、硝化・脱窒の安定を図る。

3.1 施設概要

研究施設の第 5 系列は、A<sub>2</sub>O の処理方式を採用、最初沈殿池 (2 階層×3 池)、反応タンク (2 水路×2 池)、最終沈殿池 (2 階層×4 池) で構成される。研究対象の第 5 系列 (1/2) 反応タンク施設概要を Table 3、概略図を Fig. 3 に示す。

Table 3 Outline of facilities

第5系列(1/2)	セル番号	1	2	3	4	5	6	7	8
[処理方式] A <sub>2</sub> O法	モード	嫌気	嫌気/無酸素	無酸素	無酸素	無酸素/好気	無酸素/好気	好気	好気
	現在のモード		嫌気			好気	好気		
[反応タンク容量] 10,830m <sup>3</sup>	セル容量(m <sup>3</sup> )	2,001	673	1,379	1,362	655	673	2,086	2,001
[流入水量] 22,000m <sup>3</sup>	滞留時間(h)	2.18	0.73	1.5	1.49	0.71	0.73	2.28	2.18
[装置] [滞留時間] 11.8h	装置	堅型攪拌機	堅型攪拌機	堅型攪拌機	堅型攪拌機	ドラフトエアチューブ	ドラフトエアチューブ	メンブレン	メンブレン
	風量制御					風量一定		風量一定	DO一定

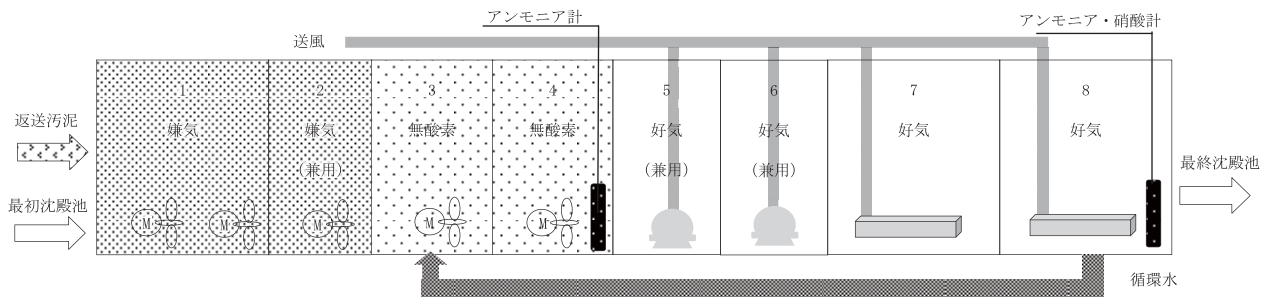


Fig. 3 Schematic of facilities

### 3.2 アンモニア・硝酸計概要

アンモニア・硝酸計のセンサ拡大図を Fig. 4 に示す。本センサはマルチ型測定器であり、突起箇所アンモニア用や硝酸用等の電極を接続することにより、対象のデータが測定可能となる。メンテナンスは、2週間に1度の洗浄、6か月に1度の隔膜交換及び校正、1年に1度の電極交換を必要とする。



Fig. 4 Sensor enlarged view

次に、通信方式概要図を Fig. 5 に示す。通信方式は、任意の計測箇所へ容易に持ち運べる、変換器・計装盤間のケーブル布設が不要、制御系に組み込まないという3つの理由から無線通信方式(ワイヤレス HART)を採用した。

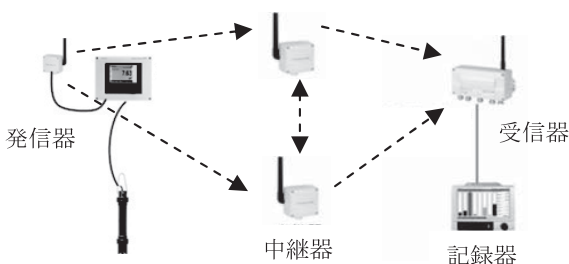


Fig. 5 Outline of communication system

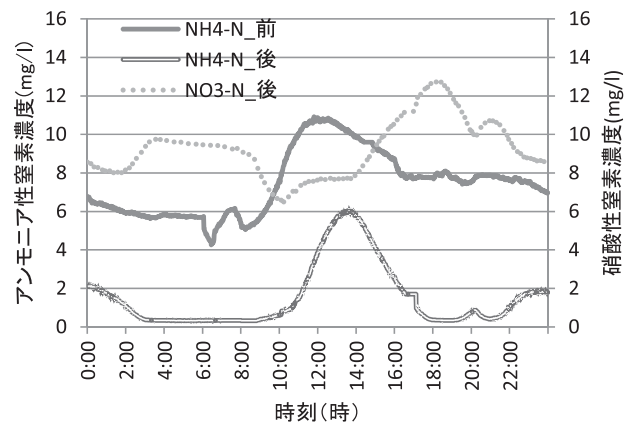
## 4. 研究結果及び考察

### 4.1 硝化・脱窒作用の評価

アンモニア・硝酸計を用いて計測した連続データを Fig. 6 に示す。第4セルのアンモニア計で計測したアンモニア性窒素濃度を NH<sub>4</sub>-N<sub>前</sub> とし、第8セルのアンモニア・硝酸計で計測したアンモニア性窒素濃度を NH<sub>4</sub>-N<sub>後</sub>、硝酸性窒素濃度を NO<sub>3</sub>-N<sub>後</sub> とする。返

送率は60%一定、循環率は100%一定とした。

時間帯によっては、NH<sub>4</sub>-N<sub>後</sub>の値が高く、アンモニア性窒素が完全硝化されずに流出水に残る状況が確認できる。特に、流入のピークを処理する14:00頃は、その傾向は顕著である。また、NH<sub>4</sub>-N<sub>後</sub>とNO<sub>3</sub>-N<sub>後</sub>を比較すると、アンモニア性窒素濃度と硝酸性窒素濃度は相反関係があることを確認した。



平成 28 年 3 月 17 日晴天時

Fig. 6 Continuous data 1 (Ammonia nitrogen concentration and nitrate nitrogen concentration)

### 4.2 時間帯別循環率制御への応用

A<sub>2</sub>O における硝化・脱窒作用の安定化には、循環汚泥及び返送汚泥の複雑な制御が必要である。通常、反応タンク流入水は、好気槽に入る前に、嫌気槽で返送汚泥と、無酸素槽で循環汚泥と混合される。流入水にアンモニア性窒素を多く含み、好気槽において硝化が良好な場合には、硝化の進んだアンモニア性窒素の少ない汚泥を返送・循環することで、希釈効果を図ることができ、好気槽での硝化促進を維持する。

一方で、この希釈効果は硝化作用の遅れを招くことがある。返送汚泥及び循環汚泥は、反応タンク内における押し出し速度を速め、好気槽における滞留時間を短くする。これにより、硝化が悪化している場合には、さらなる硝化の悪化につながる。また、これらは脱窒にも同様のことが言える。このように、硝化・脱窒作用の促進には、流入水に応じた返送汚泥量及び循環汚

泥量のバランスが取れた制御が必要である。

そこで、本研究では循環汚泥に絞り、時間帯ごとに循環汚泥量を変動させることにより、希釈効果及び好気槽の滞留時間を変動させて、残留アンモニア性窒素濃度のピークを抑えた安定した処理方法について検討した。

今回、返送率は60%一定とし、循環率が100%一定の処理状況と、循環率を時間帯ごとに変動させた処理状況とを比較することとした。Fig. 7に本研究で設定した時間帯ごとの循環率を示す。

Fig. 6において、ほぼ完全に硝化が進んでいる時間帯の2時から8時の時間帯では、硝化に余裕があると考えられたため、循環率を100%から150%に引き上げて硝化を完全に進めながら、脱窒の促進を図った。次に、9時から11時の時間帯では、反応タンク流入水のアンモニア性窒素濃度が高いと考えられるため、反応タンク流出水のアンモニア性窒素濃度が高くない範囲で循環率を120%と高めに設定し、無酸素槽での循環汚泥による希釈効果と硝化促進の両立を図った。

次に、12時から17時の時間帯では、反応タンク流出水でアンモニア性窒素濃度が高くなるため、循環率を100%から50%に下げて、好気槽の滞留時間を一時的に増やして硝化促進を図ることとした。また、21時から翌0時の時間帯においても、反応タンク流出水のアンモニア性窒素濃度が上昇していたため、同様の理由で循環率を60%に下げて硝化促進を図ることとした。

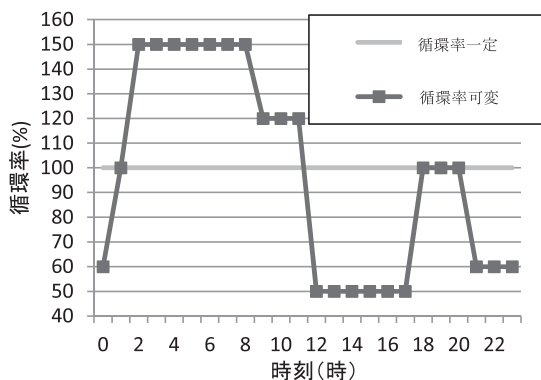


Fig. 7 Internal recycle ratio

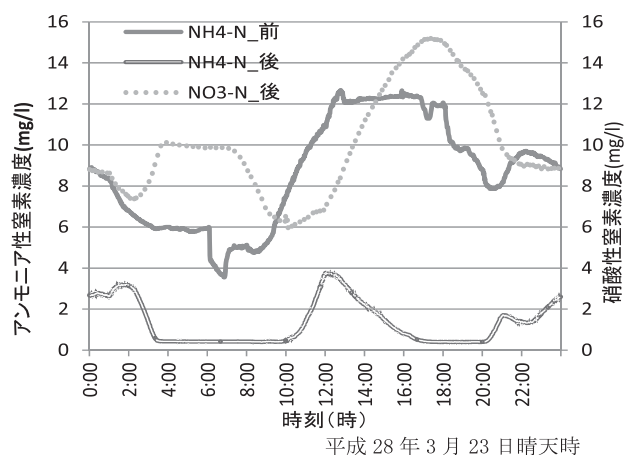


Fig. 8 Continuous data 2 (Ammonia nitrogen concentration and nitrate nitrogen concentration)

上記、設定値を採用した結果を Fig. 8 に示す。Fig. 6 に比べて、高い流入アンモニア性窒素濃度 (NH<sub>4</sub>-N<sub>前</sub>) にもかかわらず、Fig. 6 の 10~16 時におけるアンモニア性窒素濃度のピーク値を減らし、安定化・平準化することができた。また、硝化促進を優先した循環率を設定したが、脱窒の悪化も比較的抑えることができた。

## 5. ま と め

本研究では、送風量の省エネルギー化で注目される「アンモニア・硝酸計」を導入し、その連続計測データにより A<sub>2</sub>O 法における硝化・脱窒作用を評価した。また、時間帯ごとの循環汚泥制御に応用し、水質向上を実現した (平成 24 年度に計画・立案・機器選定の後、平成 25 年度に工事にて導入。平成 26 年度より、データの収集・検証を重ね、循環率の設定値に反映。直営で保守・管理を実施)。

今後は、循環率だけでなく、返送汚泥や風量等の水処理制御パラメータの最適化を図ることで、硝化作用の安定化を図る必要があると考える。また、今回の研究では、脱窒作用に明確な効果は見られなかったため、これについても考察したい。

将来的には、アンモニア性窒素と硝酸性窒素の連続計測データを中央監視制御装置に取り込むことで、循環率等制御パラメータの自動制御化へ展開し、それを DO 制御と組み合わせ、水質向上と省エネルギー化の両立を実現した最適な水処理制御を構築したい。