

アンモニア計を活用した水処理と省エネの両立

下水道水質課 ○阿部光裕
都筑水再生センター 山田弘次郎

1 はじめに

横浜市では、水質環境基準の達成・維持や閉鎖性水域の富栄養化対策として高度処理の導入を進めており、都筑水再生センター（以下、当センターという。）は高度処理比率が80%を超えるなど、市内でも高度処理の導入が進んでいるセンターである。高度処理の導入により窒素及びりん処理は向上することとなったが、かくはん機等の設備が増えるため、標準法に比べて電力消費量が多く、水処理と省エネの両立が課題である。そこで、送風量の省エネで注目されているアンモニア計を嫌気-無酸素-好気法の高度処理施設に設置し、アンモニアの流入及び流出濃度の連続測定データを活用して、好気と無酸素の兼用タンクの運転切り替えや、硝化液の循環水量及び返送汚泥量の制御等について効率的な運転を検討した。その結果、水処理と省エネの両立について一定の成果が得られたため報告する。

2 施設概要

当センターは、計画処理面積 8,096ha、計画処理人口 597,100 人、計画処理能力 242,100m³/日の分流式の終末処理場である。計画流入水質及び計画処理水質を表 1 に示した。水処理施設は第 1 系列から第 5 系列までの計 5 系列が稼働しているが、本研究は第 5 系列の嫌気-無酸素-好気法の施設で実施した。反応タンク施設概要を表 2 に示した。反応タンクは 2 池で構成され、1 池あたりの容量は 10,830m³で 8 セルに分かれており、2、5 及び 6 セルが兼用タンクである。硝化液の循環は 8 セルの末端から 3 セルに循環させており、硝化の状況を適切に管理することにより、T-N 除去率は約 80%、T-P 除去率は約 90%の実績が得られている。

表1 計画流入水質及び計画処理水質

名称	計画 流入水質 mg/l	最初沈殿池		反応タンク	計画 処理水質 mg/l
		除去率 %	流出水質 mg/l	除去率 %	
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

横浜市公共下水道事業 容量計算書（平成27年11月）

表2 反応タンク施設概要

第5系列(1/2)	セル番号	1	2	3	4	5	6	7	8
[処理方式] A ₂ O法 [反応タンク容量] 10,830m ³ [流入水量] 22,000m ³ [滞留時間] 11.8hr	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			無酸素/ 好気	無酸素/ 好気		
	セル容量(m ³)	2,001	673	1,379	1,362	655	673	2,086	2,001
	滞留時間(hr)	2.18	0.73	1.50	1.49	0.71	0.73	2.28	2.18
	装置	縦型 かくはん機	縦型 かくはん機	縦型 かくはん機	縦型 かくはん機	ドラフト チューブ	ドラフト 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

3 研究内容

アンモニア計は、兼用タンクを含む好気タンクへの流入濃度及び流出濃度を連続的に測定できるように 4 セルと 8 セルの流出部に設置し、データは無線通信方式を用いて水質試験室内の記録装置に伝送してモニターした。現状ではアンモニア計の測定値は反応タンクの制御には組み込んでいないが、アンモニア性窒素の時間変動の挙動を捉えることに活用し、送風量や循環水量等の設定を変更した。当センターにおけるアンモニア性窒素濃度の経時変化を図 1 に示した。センター流入水及び反応タンク流入水の時間変動が大きく、処理水質が安定しないことが多いため、時間変動に合わせた送風量や循環水量等の調整が重要と考えた。

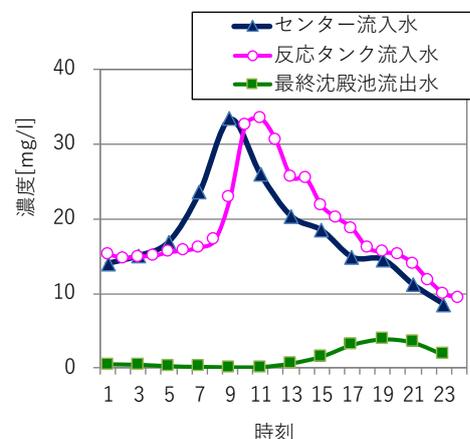


図1 アンモニア性窒素濃度の経時変化

(1) 水処理向上

平成 27 年度から平成 28 年度にかけて、処理水質の向上を目的として硝化液の循環に時間帯別制御を適用し、検討を行った。一日の中で好気タンクの滞留時間等を調整することで、処理水のアンモニア性窒素濃度の平準化を図るとともに、硝化と T-N 除去の促進を図った。¹⁾

(2) 省エネ

1) 兼用タンクの運用

好気と無酸素の兼用タンクである 5 及び 6 セルについては、通常、冬季は好気、夏季は無酸素として運用することを基本としてきたが、夏季でも高負荷の時間帯の流入水に合わせて好気として運用することが多くなっていた。そこで、アンモニア性窒素の流入負荷の時間変動に合わせ、一日の中で好気と無酸素を切り替え、流入負荷が高い時間帯は好気、流入負荷が低い時間帯は無酸素として、送風量と好気タンク等滞留時間の最適化を図った。運転状況の一例を図 2 及び図 3 に示した。送風時間は処理状況に合わせて 8 時間から 24 時間までの範囲で変動させ、ドラフトチューブ式かくはん機の運転についても送風時間に合わせて調整し、かくはん機動力の削減を図った。

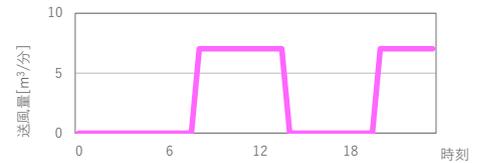


図2 兼用タンクの送風量

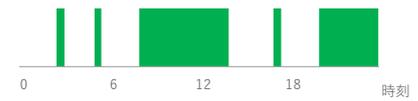


図3 兼用タンクのかくはん機運転

2) 循環及び返送汚泥ポンプの運用効率化

循環及び返送汚泥ポンプの制御は、反応タンク流入水量に応じた率一定制御を採用しており、循環及び返送汚泥ポンプとも、流入水量の変動に合わせてポンプ 1 台運転と 2 台運転が自動で切り替わる。そこで、水処理状況を確認しながら、循環率及び返送率と、それぞれの 2 台目のポンプの起動流量を変更し、原則、流入水量の多い時間帯でも 1 台運転となるような制御を試みた。

また、流入水量が少ない時間帯においては、循環ポンプを停止し、その循環水量分を返送汚泥ポンプで返送することで、全体の循環比を維持しながら、嫌気—無酸素—好気法を一時的に循環式硝化脱窒法（循環ポンプなし）に切り替えて、ポンプの運転台数の削減を図った。

表3 硝化液循環の時間帯別制御による水処理向上

			導入前 H27.3~H28.2	導入後 H28.3~H29.1
処理水量	日平均	m³/日	40,000	42,400
反応タンク	合計	hr	13.0	12.3
滞留時間	好気	hr	6.3	6.1
送気倍率		Sm³/m³	4.2	4.2
返送比	総合		1.5	1.7
	返送汚泥		0.6	0.6
	循環水		0.9	1.1

処理水質 (日平均)	NH ₄ ⁺ -N	mg/l	1.0	0.6
	T-N	mg/l	6.3	5.4
	T-P	mg/l	0.32	0.31
	SS	mg/l	2	3
	COD	mg/l	9.5	10
	BOD	mg/l	5.3	5.1

4 結果及び考察

(1) 水処理向上

硝化液循環の時間帯別制御の導入前と導入後の制御適用時での処理水質を表 3 に示した。導入前と導入後を比較すると、導入後は処理水量が多くなっているが、送気倍率は変わらず、処理水の NH₄⁺-N 及び T-N 濃度は低下して水処理が向上している。

(2) 省エネ

かくはん機、循環及び返送汚泥ポンプ等、動力の電力量の経日変化を図 4 に示した。兼用タンクの運用と循環及び返送汚泥ポンプの運転効率化に取り組んだ平成 30 年 4 月以降は電力量が低下している。よって、平成 30 年度 4 月から 12 月までの電力量を、平成 27 年度から平成 29 年度までの 3 ヶ年の 4 月から 12 月までの電力量の平均値と比較し、電力削減の効果を評価することとした。動力及びブロワの電力量の実績値の比較を表 4 に示した。平成 30 年度の電力量原単位については、動力は 28%の削減、ブロワは 8.5%の増加で、水処理全体では 11%の削減であった。ブロワの電力量が増えた原因は、兼用タンク

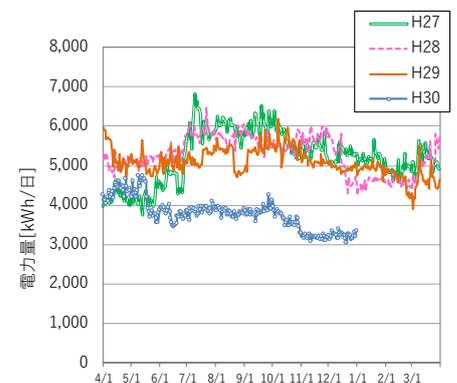


図4 かくはん機等動力の電力量の経日変化

の送風を停止した影響で DO 制御を行っている 8 セルの送風量が増加し、全体の送風量が増えたためと考えられた。しかし、ブロワの電力量は増加したが、兼用槽かくはん機の停止による動力の電力量の削減効果が大きく、動力とブロワを合わせた水処理全体の電力量原単位では大きな削減効果を得ることができた。

表4 電力量実績値の比較

	処理水量	送風量	各年度 4月～12月の実績								
			電力量			電力量原単位			処理水濃度		
			動力	ブロワ	合計	動力	ブロワ	合計	NH ₄ ⁺ -N	T-N	T-P
			m ³ /日	Sm ³ /日	kWh/日	kWh/日	kWh/日	kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/m ³	mg/l
H30	37,253	184,663	3,768	4,783	8,551	0.102	0.129	0.231	1.30	5.8	0.24
H27～H29 3年間平均	38,606	168,097	5,315	4,504	9,819	0.141	0.119	0.260	0.78	5.9	0.35
差	-1,353	16,566	-1,546	279	-1268	-0.039	0.010	-0.029	0.53	-0.15	-0.11
増減率(%)	-3.5	9.9	-29.1	6.2	-12.9	-27.9	8.5	-11.2	67.6	-2.6	-31.2

(3) 二軸管理

NH₄⁺-N、T-N 及び T-P の処理水質と水処理全体の電力量原単位について、平成 26 年度から平成 30 年度までの 5 年間に於ける二軸管理の結果を図 5 に示した。平成 29 年度は省エネへの取り組みの準備期間であったこともあり、電力量原単位が一時的に増加しているが、5 年間の傾向としてみると NH₄⁺-N は左上、T-N 及び T-P は左下に推移している。NH₄⁺-N の処理は少し低下傾向にあるが、T-N 及び T-P の処理は向上し、電力量原単位は 5 年間で 0.27kWh/m³ から 0.23kWh/m³ へと減少した。東京湾の富栄養化対策としての T-N 及び T-P の水処理向上と省エネの両立が図れたと考える。

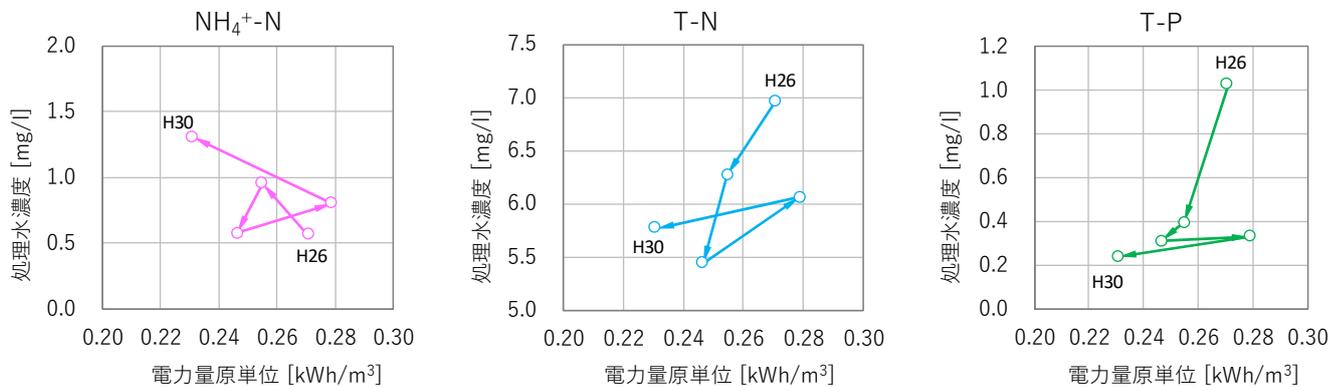


図5 処理水質と電力量原単位の二軸管理

5 まとめ

アンモニア計を嫌気－無酸素－好気法の高度処理施設に設置し、好気と無酸素の兼用タンクの運転切り替えや、硝化液の循環水量及び返送汚泥量の制御等について効率的な運転を検討し、水処理と省エネを両立させることができた。

現在、アンモニア計の測定値は反応タンクの制御には組み込んでいないが、本研究により水処理向上及び電力量削減とも一定の成果が得られたため、アンモニア計の測定値を制御に組み込む方向で検討を進め、今後も水処理と省エネの両立を図っていききたい。また、現在まで研究を進めてきた各種制御を組み合わせることで最適化を図り、一日の中での流入負荷変動に合わせて、嫌気、無酸素及び好気タンクの滞留時間を変動させることで処理水質と省エネを両立する「嫌気－無酸素－好気タンク HRT 変動制御 (仮)」の開発についても検討していきたい。

6 参考文献

- 1) 後藤大輔、阿部光裕：アンモニア・硝酸計による高度処理 (A₂O) における硝化・脱窒作用の評価と応用、第 53 回下水道研究発表会講演集、875-877 (2016)

問い合わせ先：横浜市環境創造局下水道施設部都筑水再生センター TEL 045-932-2321

阿部光裕 E-mail:mi01-abe@city.yokohama.jp