

A₂O法におけるりん除去安定化対策の検討

横浜市 ○折目 孝子
浅野 卓哉
竹村 伸一

1. はじめに

横浜市では、閉鎖性水域の富栄養化対策として、窒素・りん除去を目的とした高度処理の導入が進められている。しかし、りん除去性能の不安定性、特に合流式施設における降雨後のりん除去悪化が課題となっており、コストをかけずに安定したりん除去を行う運転方法の確立が急務となっている。

我々は、平成 17 年度に合流式A₂O法施設において、雨天時りん除去悪化対策として「雨天時HRT短縮＋循環停止運転」を行うことにより、りん除去悪化が大幅に抑制できることを確認した¹⁾。平成 18 年度は、本対策について引き続き検証を行うと同時に、りん放出・摂取速度について検討を行った。さらに、雨天時HRTの大幅な短縮が窒素・りん除去に与える影響について、活性汚泥モデル²⁾(以下、ASM)を用いて机上検証を行った。

2. 施設概要

本調査は、神奈川水再生センターにおいて実施した。当センターは、合流式下水処理施設で一部A₂O法を導入しており、そのうち 1～3 池を調査対象とした。各池は施設設備、反応槽流入水とも同等である。施設概要を表 1 に、槽配分を図 1 に示した。

表 1 施設概要

運転条件(通常運転時)		反応槽流入水質(H18平均値)	
総容量	3120 m ³	BOD	66 mg/L
HRT	6～8 hr	COD	40 mg/L
MLSS	2000～2500 mg/L	SS	30 mg/L
循環率	100%	T-N	20 mg/L
返送率	50%	NH ₄ -N	13 mg/L
BOD-SS負荷	0.05～0.15 g/g/d	T-P	2.5 mg/L
SRT	9～15 d	有機酸	9.8 mg/L

3. 調査内容

3-1 実施設での検証

平成 17～18 年にかけて、実施設において「雨天時HRT短縮＋循環停止運転」の検証を行った。対象期間と検証条件を表 2 に示す。各RUN期間中、池ごとにHRT、槽配分、対策の有無を変えて、

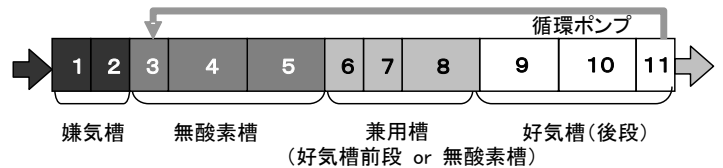


図 1 反応槽の槽配分

処理水T-P、T-N、BOD各濃度を測定した。RUN4 は通常運転のみ行った。また対策期間中において、反応槽各セルの窒素・りん挙動調査を実施し、嫌気槽りん放出濃度(C_{PAN})、嫌気槽りん放出速度(K_R)、好気槽りん摂取速度(K_D)を算出した。

表 2 対象期間と検証条件および各期間における平均・最大水質(mg/L)

期間	Run1		Run2		Run3		Run4		処理目標 (計画放流水質)
	H17 夏		H17 秋		H18 夏		H18 秋		
池	A	B	C	D	E	F	G		
対策	x	○	○	x	○	○	x		
HRT (hr)	晴天時	6	6	8	8	7	7		
	雨天時	5.4	5.4	8	6	5.7	7		
嫌気槽HRT (hr)	晴天時	0.7	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8		
	雨天時	3.0	3.7	0.9	3.4	3.2	0.8		
槽配分 (嫌気:無酸素:好気)	晴天時	2:5:4	2:5:4	2:6:3	2:5:4	2:5:4	2:5:4		
	雨天時	7:0:4	8:0:3	2:5:4	7:0:4	7:0:4	2:4:5		
T-P (mg/L)	平均	0.25	0.25	0.16	0.64	0.37	0.33	0.59	
	最大	1.2	0.90	0.47	2.0	0.98	0.96	1.9	1.4
T-N (mg/L)	平均	6.3	7.7	7.3	7.3	7.4	6.7	6.7	
	最大	7.7	12	10	10	11	9.3	7.2	16
BOD (mg/L)	平均	2.7	3.9	5.0	2.8	3.1	4.3	4.1	
	最大	4.9	5.7	9.0	4.1	4.7	6.2	5.9	15

3-2 ASMによる検証

雨天時HRT短縮＋循環停止運転は、りん除去悪化抑制に有効であるが、過度のHRT短縮はNH₄-N残存など処理悪化を招く可能性がある。当施設では設備的制限によりHRTを5.4時間以下に短縮することができず、処理限界の検証ができない。そこでHRT短縮の窒素・りん除去への影響を机上検証することを目的として、当施設のシミュレーションモデルを構築した。モデルはASM2d²⁾を用い、シミュレーションソフトはAQUASIM³⁾を使用した。有機物分画はSTOWA法に準拠し、H17年度に収集したデータを用いてキャリブレーションを行った。

雨天時HRT短縮＋循環停止運転は、りん除去悪化抑制に有効であるが、過度のHRT短縮はNH₄-N残存など処理悪化を招く可能性がある。当施設では設備的制限によりHRTを5.4時間以下に短縮することができず、処理限界の検証ができない。そこでHRT短縮の窒素・りん除去への影響を机上検証することを目的として、当施設のシミュレーションモデルを構築した。モデルはASM2d²⁾を用い、シミュレーションソフトはAQUASIM³⁾を使用した。有機物分画はSTOWA法に準拠し、H17年度に収集したデータを用いてキャリブレーションを行った。

4. 結果と考察

4-1 実施における検証結果

対象期間中の処理水 T-P、T-N、BOD 濃度の最大・平均値と、処理目標値(本市計画放流水質)を表 2 にあわせて示した。対策の有無に関わらず T-N、BOD は目標値を満足していたが、T-P は対策なしでは降雨の影響で目標値を超過していた。

図 2 に Run1~4 期間中の各池の処理水 T-P 濃度の推移を示す。通常運転(A,D,G)では降雨後にりん除去が悪化しており、特に HRT の長い D,G では 2mg/L 前後まで悪化していた。一方、対策を実施した B,C,E, F では 1mg/L 以下に抑制でき、特に C では期間中 0.5mg/L 以下とりん除去悪化は大幅に抑制された。なお、処理水 T-N 濃度は循環停止により約 2mg/L 上昇していたが、いずれの期間も目標水質は下回っていた。

4-2 反応槽内での PO₄-P の挙動とりん放出・摂取速度の解析

図 3 に各 RUN 期間中の反応槽 PO₄-P 濃度の挙動を示す。通常運転 (A,D) では、降雨後にりん放出がみられないのに対し、対策を実施した B,C,E,F では嫌気槽 HRT を大幅に延長することにより、降雨後でもりん放出が起こっていた。

次に、 C_{PAN} 、 K_R および K_U をそれぞれ算出し、Run1~3 における各池の平均値を表 3 に示した。 K_R は晴天時に大きく雨天時は小さくなるが、これは流入水中の有機酸濃度の変動が影響していると考えられる⁴⁾。対策実施期間中の B,C,E,F の K_R は 0.9~1.6mg-P/(g-SS·hr) であり、晴天時(4.8~13mg-P/(g-SS·hr)) よりも大きく低下しているものの、通常運転(A,D) よりは大きかった。この要因としては、流入水中に有機酸がなくても、嫌気槽が大幅に延長されることによって、遅分解性有機物の分解により有機酸が少しずつ供給されるためだと考えられる。

また、 K_U は、 C_{PAN} が高いほど大きく、通常運転では雨天時に K_U は大きく低下した。一方、対策を行った場合は雨天時の K_U の低下は小さかった。Run1 の B と C を比べると、りん除去が良好であった C の方が雨天時の K_U が大きかった。これは、雨天時嫌気槽 HRT の長い C の方が C_{PAN} を高くできるためだといえる。

以上のことから、循環停止時の嫌気槽 HRT が長いほど雨天時の好気槽りん摂取能力を維持し、りん除去悪化が抑制されることがわかった。また、雨天時に処理水 T-P 濃度を 0.5mg/L 以下に抑制するには 3.7 時間以上の嫌気槽 HRT を確保する必要があるといえる。

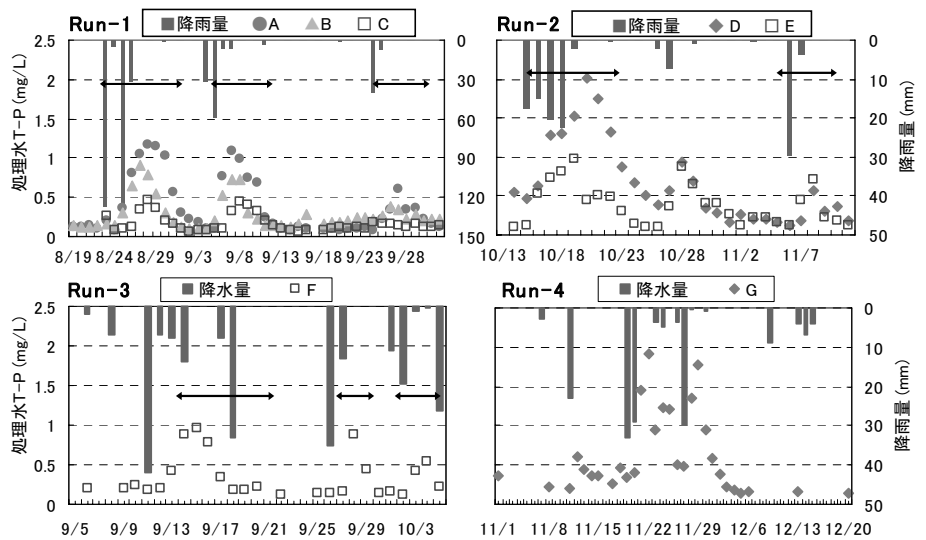


図 2 各期間における処理水 T-P 濃度の変化 ← は雨天時対策実施期間

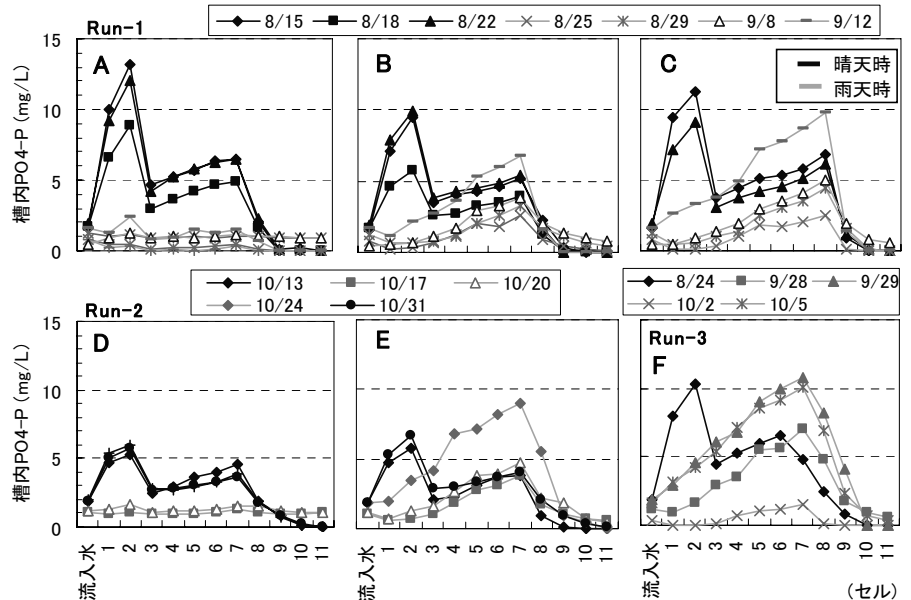


図 3 反応槽各セルの PO₄-P の挙動

表 3 C_{PAN} 、 K_R および K_U の平均値

	K_R (mg-P/g-SS·hr)		C_{PAN} (mg/L)		K_U (mg-P/g-SS·hr)	
	晴天	雨天	晴天	雨天	晴天	雨天
Run1 A	13	0	10	0.7	6.0	0.8
Run1 B	9.3	0.9	6.7	3.7	5.0	2.8
Run1 C	11	1.0	9.0	5.3	7.2	4.2
Run2 D	4.9	0.5	3.7	0.6	2.7	0.5
Run2 E	4.8	1.1	4.7	4.0	2.7	2.1
Run3 F	10	1.6	9.0	6.2	3.2	2.7

* K_R 、 K_U は最大速度を用いた

4-3 ASMによるHRT短縮の検証

ASMを用いた検証を行うにあたり、構築したASMの再現性を確認するためRun1-Aの1降雨期間についてシミュレーションを行い、実測値と比較した(図4)。NH₄-N、NO₃-N濃度の実測値と計算値はほぼ一致していた。PO₄-P濃度については、誤差がみられるものの傾向は捉えられており、再現性は概ね良好だった。

次に、HRT短縮の影響の検証結果を図5に示す。上記と同条件において、循環停止とHRT(2~4時間に短縮)を変化させてシミュレーションを行った。対策なしの場合と比べ、HRT短縮と循環停止によってNH₄-N、NO₃-N濃度は上昇し、PO₄-P濃度は低下した。NO₃-N、PO₄-P濃度はHRTによる差はほとんどなかったが、NH₄-N濃度はHRTが短いほど上昇傾向がみられ、HRT 2時間ではNH₄-N 1mg/Lまで上昇していた。このため窒素除去を考えると、HRT 2.5時間が限界であるといえる。なお、データは非掲載であるが、同条件で水温条件を秋期に変えると、限界はHRT4.0時間程度であった。

5. まとめ

合流式A₂O法の雨天時りん除去悪化抑制対策として、平成17年度に実施した「雨天時HRT短縮+循環ポンプ停止運転」について、さらに検討を行い、以下の結果が得られた。

- 本対策を引き続き行った結果、処理水T-P濃度1mg/L以下と安定したりん除去を行うことができた
- 雨天時に本対策を行った池のK_Rは0.9~1.6mg-P/(g-SS・hr)であり、雨天時通常運転と比べ高く維持されていた
- 循環停止時の嫌気槽HRTが長いほどK_Uを高く維持する効果があった
- 当施設についてASMを構築し、HRT短縮運転について机上検証を行った結果、夏期ではHRT2.5時間まで短縮しても窒素・りん除去に問題なかった

既存高度処理施設の設計では雨天時の処理水量増加を想定していなかったが、りん除去においてはむしろ雨天時に水量を増やすことが効果的であった。今後、りん除去安定化や簡易処理水削減のためには、雨天時にHRTを大幅に短縮できる施設を整えていく必要がある。

また、ASMの活用により、実施での検証ができないケースの机上検証が可能になった。今後、A₂O法施設における最適な運転条件の検討等に利用していきたい。

参考文献

- 1) 浅野卓哉、森豊明、小菅博明「合流式A₂O法施設におけるりん除去安定化対策の検討」第43回研究発表会講演集 p794
- 2) 味楚俊(訳)(2005)「活性汚泥モデル」環境新聞社
- 3) Reichert,P.(1994)Aqsim-A Tool for Simulation and Data Analysis of Aquatic Systems, Wat. Sci. Tech. 30,21-30
- 4) 小川洋平、浅野卓哉「A₂O法における嫌気槽滞留時間に関する検討」第42回下水道研究発表会講演集 p780

問合せ先: 横浜市環境創造局水再生水質課 〒231-0803 横浜市中区本牧十二天1-1 TEL 045-621-4343

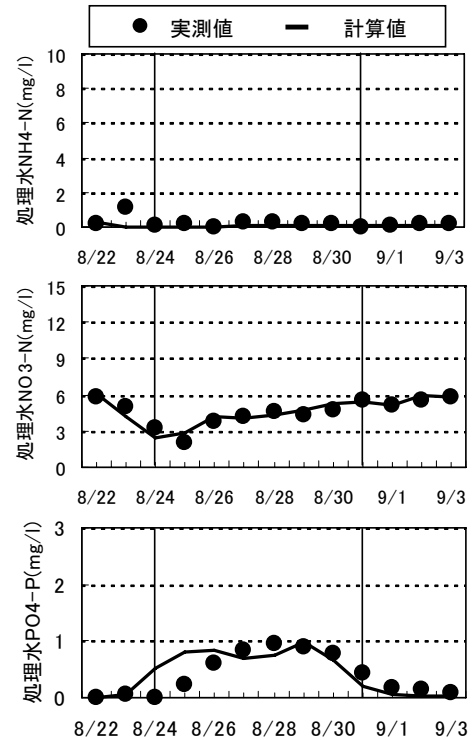


図4 再現性の確認

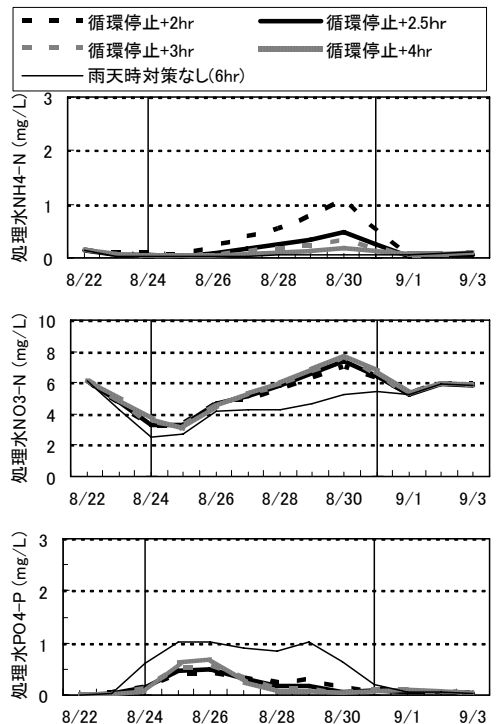


図5 HRT短縮時のシミュレーション結果