

合流式A₂O法施設における りん除去安定化対策の検討

水再生水質課 ○浅野 卓哉
水再生施設整備課 森 豊明
環境科学研究所 小菅 博明

1. はじめに

閉鎖性水域の富栄養化対策として、下水処理施設における窒素・りん除去の向上は早急の課題である。現在各自治体で窒素・りん除去を目的とした高度処理施設導入が検討・推進されている。しかし、現在の高度処理技術にはりん除去の不安定性という大きな課題がある。特に計画放流水質を遵守するためには雨天後のりん除去悪化を抑えることが重要である。この対策としては有機物添加や凝集剤添加があるが運転コストが増加するため、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である。

本研究では、りん除去に関する既存の知見からりん除去安定化を目的とした運転方法を考案し、合流式A₂O法施設においてそれらの実証を行った。今回はその結果について報告する。

2. 施設概要

本調査は神奈川水再生センターA₂O法施設において平成16～17年にかけて実施した。当センターは合流式で、A₂O法系列4池を調査対象とした。対象4池は施設、反応槽流入水とも同等である。期間中運転条件（通常運転時）および反応槽流入水質平均値を表1に、施設概略図を図1に示す。

表1 運転条件、流入水質

運転条件（通常運転時）	反応槽流入水質 (mg/L)	
槽容量	3120 m ³	BOD 64
HRT	7~9 hr	COD 39
MLSS	2000 mg/L	SS 30
循環率	100%	T-N 21
返送率	50%	NH ₄ -N 14
BODSS負荷	0.05~0.15 g/g/d	T-P 2
SRT	9~15 d	有機酸 4.1



3. りん除去安定化対策の考案

りん除去性能を良好に維持するには、十分な余剰汚泥量の確保と汚泥りん含有率の維持向上が必要である^{1),2)}。この2点を常に満足するには有機物添加法が有効だが、運転コスト増加の問題がある。そこで表2のようなりん除去安定化対策を考案した。

処理水量増加によるりん除去向上効果は知られているが³⁾、本調査では過去実績よりさらに水量を増加して効果を検証した(I)。さらに、雨天後流入負荷低下期間中に処理水量を増やし余剰汚泥量低下を抑制する方法を試みた(II)。一方、汚泥りん含有率の維持には嫌気槽りん放出促進が重要である。そこで雨天時循環ポンプ停止による嫌気槽HRTの大幅延長を実施した(III)。さらにIIとIIIの同時実施も試みた(IV)。また、雨天時には好気槽での汚泥自己分解によるりん含有率低下が懸念されるため、好気槽HRTの一時的な短縮についても検証した(V)。なお雨天時処理変更はセンター簡易処理水流出時に行い、変更解除時期は流入水質と処理水質の状況から適宜判断した。

表2 りん除去安定化対策

りん除去安定化対策	効果
I 処理水量増加	余剰汚泥量増加
II 雨天時処理水量増加	雨天時余剰汚泥量低下抑制、好気槽HRT短縮
III 雨天時循環ポンプ停止	雨天時嫌気槽HRT延長によるりん放出促進
IV 雨天時処理水量増加 + 循環ポンプ停止	II+III
V 雨天時好気槽削減	好気槽HRT短縮

4. 各対策の実証結果

3. で考案した各対策I～V(表2)について、平成16～17年にかけて表3の通りに実施で検証した。評価は処理水質により行った。各対策の処理結果および処理目標値(本市計画放流水質)を表4に示す。目標値を超過したのは通常運転におけるT-Pのみであり(表中太字で表示)、T-N、BODについては概ね良好な処理が行われた。このことから、当施設において計画放流水質をクリアするためには何らかのりん除去安定化対策が必要なことが改めてわかる。

以下、処理水T-P、T-Nの経日変化を用いて各運転方法の比較検討を行った。

表3 各対策実施期間および運転条件

期間	運転方法	反応槽HRT (hr)		槽配分 (嫌気:無酸素:好気)	
		晴天時	雨天時	晴天時	雨天時
H16夏	① 通常運転	7		2:5:4	
	② 通常運転	9		2:4:5	
H16冬	③ 雨天時循環停止	II	9	2:4:5	6:0:5
	④ 雨天時水量増加	III	9	5.4	2:4:5
	⑤ 通常運転(水量増加)	I	6	2:5:4	
H17夏	⑥ 雨天時循環停止+水量増加	IV	6	5.4	2:5:4 7:0:4
	⑦ 雨天時循環停止+水量増加	IV	8	5.4	2:6:3 8:0:3
	⑧ 雨天時好気槽削減	V	6	2:5:4	2:6:3
H17秋	⑨ 通常運転	8		2:5:4	
	⑩ 雨天時循環停止+水量増加	IV	8	6	2:5:4 7:0:4

表4 各対策処理結果および目標値 (mg/L)

対策	期間	T-P		T-N		BOD	
		平均	最大	平均	最大	平均	最大
① 通常	H16夏	0.40	1.80	7.6	11.0	3.0	4.3
② 通常		1.00	1.80	8.3	9.7	3.2	5.0
③ II	H16冬	0.50	1.40	8.7	13.0	6.0	13.0
④ III		0.50	1.20	11.0	15.0	2.9	4.0
⑤ I		0.25	1.20	6.3	7.7	2.7	4.9
⑥ IV	H17夏	0.25	0.90	7.7	12.0	3.9	5.7
⑦ IV		0.16	0.47	7.3	10.0	5.0	9.0
⑧ V		0.28	1.20	7.0	8.8	2.9	4.4
⑨ 通常	H17秋	0.64	2.00	7.3	10.2	2.8	4.1
⑩ IV		0.37	0.98	7.4	11.0	3.1	4.7
処理目標値(計画放流水質)		-	1.40	-	16.0	-	15.0

4. 1 処理水量増加 (HRT 短縮) (①、⑤) : 図2)

本調査では、通常運転 (HRT 夏期 7hr (①)、秋期 8hr (⑨)、冬期 9hr (②)) では T-P 目標値をクリアできなかった。しかし夏期 6hr (⑤) では、100mm 以上の降雨があったにもかかわらず、目標値をクリアできた。同じ夏期の①と⑤を比較すると、①では少量の降雨で度々りん除去が悪化し、最大 1.8mg/L まで悪化していたのに対し、⑤では晴天時は極めて良好で、少量の降雨では悪化はみられず、100mm 以上の降雨が続いた時期においても最大 1.2mg/L 程度の上昇に抑えられていた。

4. 2 雨天時処理水量増加、雨天時循環ポンプ停止 (②~④) : 図3)

冬期において II、III の効果を検証した。期間中 10mm 程度の降雨が数回あり、通常運転 (②) ではりんは最大 1.8mg/L まで悪化し、期間中不安定な状態が続いた。雨天時運転変更を実施した③、④ではいずれも降雨後にりん除去は悪化したものの、②と比較して回復が早く、ある程度のりん除去抑制効果が得られていたといえる。ただし、いずれも窒素除去は悪化した。③では T-N が目標値近くまで上昇した。④では好気槽 HRT 不足による NH₄-N 残存のため、BOD が上昇した。

4. 3 雨天時処理水量増加+循環ポンプ停止 (夏期⑤~⑦) : 図4、秋期⑨⑩) : 図5)

夏期、秋期において IV の効果を検証した。夏期では槽配分と晴天時 HRT が異なる 2 通り (⑥、⑦) を実施した。いずれもりん除去悪化抑制効果が認められ、大規模な降雨が連続したにもかかわらず、最大値は⑥は 0.9mg/L に抑えられ、⑦では期間中東京湾流総計画目標値の 0.5mg/L をも下回っていた。一方秋期では、通常運転 (⑨) では処理水量を削減した影響で、T-P は最大 2.0mg/L まで悪化した。一方⑩では最大 1.0mg/L に抑えられていた。T-N は循環停止により、概ね 2mg/L 程度上昇していた。

4. 4 雨天時好気槽削減 (⑤、⑧) : 図6)

夏期において V の効果を検証した。9 月下旬の降雨では若干のりん除去改善効果がみられたものの、明確な差は認められなかった。この原因は、通常運転 (⑤) においても HRT 短縮により好気槽 HRT は十分に短かったためと考えられる。窒素除去は良好であった。

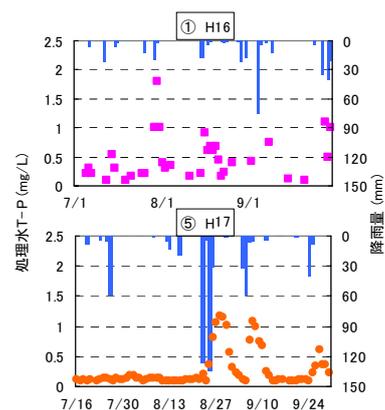


図2 処理水量増加

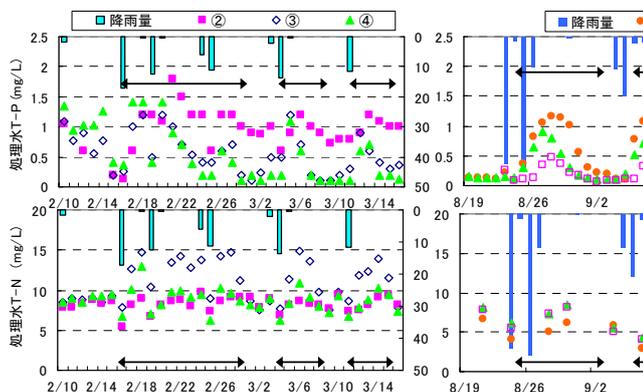


図3 雨天時循環停止および雨天時水量増加 (冬期)

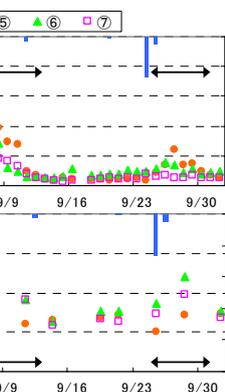


図4 雨天時循環停止+水量増加 (夏期)

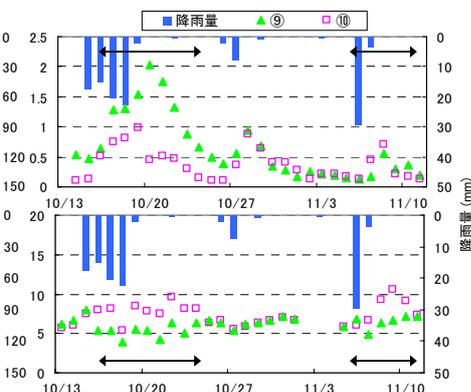


図5 雨天時循環停止+水量増加 (秋期)

5. 考察

本調査では夏期に HRT 6hr で運転することで、雨天時運転変更を行わなくても目標値をクリアできた。このように窒素除去に影響しない範囲内で処理水量を増やし SRT を短縮することが安定したりん除去には重要である。

雨天時りん除去悪化抑制対策として、最も効果があったのは雨天時循環停止+水量増加運転 (IV) であった。検証期間は短いものの、特に⑦では良好な結果が得られた。⑥⑦⑩の効果の違いは、循環停止後の嫌気槽 HRT によると考えられる。⑤⑥⑦条件下での晴天時雨天時の槽内 PO₄-P 挙動を図 7 に示す。晴天時では各条件ともほぼ同等のりん放出であった。雨天時には通常運転 (⑤) ではりん放出が全くなかったのに対し、循環を停止した⑥⑦では 3 セル以降でりん放出がみられた。これは雨天時には流入有機酸濃度が 0 となりりん放出が停止するが、循環を停止し嫌気槽を延長することで遅分解性有機物の分解により有機酸が供給されたためだと考えられる。また、嫌気槽の長い⑦のほうがりん放出が多く、好気槽りん摂取速度も大きい。この時の嫌気槽 HRT は約 3.7hr である。雨天時にこの程度の嫌気槽を確保できれば、りん除去悪化を大幅に改善できる可能性がある。なおこの値は我々が過去に検討した雨天時における必要嫌気槽 HRT 算出結果とほぼ等しい^{2),4)}。

IV では循環停止により窒素除去は悪化するが、夏秋期 (⑥⑦⑩) が冬期 (③) と比較して T-N 上昇幅が小さいのは、⑥⑦⑩は③の約 1.5 倍の処理水量で運転しており、余剰汚泥引抜に伴う窒素除去量が多かったためと考えられる。ただし流入負荷回復後も循環を停止し続けると T-N が大きく上昇するため、循環再開時期の判断は重要であり、今後の検討課題である。また、循環停止時の窒素除去を改善するには、循環停止と同時に返送率を上げる対応が有効だと考えられる。

また、⑥と⑦は晴天時の HRT が異なる。⑦は①と比べても処理水量が少ないが、晴天時は⑤⑥と同様に極めて良好であった。このことから、晴天時の処理水量が少なくても、雨天時にりん除去悪化を抑制すれば良好なりん除去を維持できることがわかる。これは、汚泥りん含有率が晴天時には上昇し、雨天時に低下することから説明できる¹⁾。

IV は、循環ポンプ停止による運転コスト削減効果および雨天時処理水量増加による簡易処理水量削減効果も期待できる。本調査期間中、この運転方法を行った系列では循環ポンプ動力は約 20%削減された。また、雨天時には処理水量を増やしたほうがりん除去には望ましいことが確認された。一般にりん除去には低い ORP が必要といわれている。しかし我々は、有機物負荷がある程度高ければ、曝気攪拌を行う標準法施設でも生物学的りん除去が行われることを確認している⁵⁾。これはりん除去には ORP 管理よりも有機物供給のほうが重要であることを意味しており、りん除去悪化抑制のために雨天時処理水量を増やすことは有効な方法であるといえる。現在の高度処理施設設計では雨天時処理能力が考慮されていないため、各ポンプ能力や最終沈殿池水面積負荷の制限で処理水量を増やせないことがある。環境排出負荷削減のためには高度処理においても標準法同様に雨天時水量増加を前提とした施設設計がなされることが望ましいといえる。

6. まとめ

合流式 A₂O 法施設において、雨天時に運転変更を行うことでりん除去悪化を大幅に抑制することができた。今後は冬期における雨天時運転条件の最適化を図ると同時に、本調査で得られた知見をとり入れた施設設備の設計方法を検討していきたい。

参考文献

- 1) 浅野卓哉、小川洋平「生物学的りん除去法におけるりん除去変動機構の解析」第 42 回下水道研究発表会講演集 pp.777
- 2) 浅野卓哉、森豊明「A₂O 法の嫌気槽設計法に関する検討」第 43 回下水道研究発表会講演集
- 3) 飯野登志夫、鈴木孝「低流入負荷の嫌気・無酸素・好気槽におけるりん除去の向上について」第 39 回下水道研究発表会講演集 pp.635
- 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 pp.780
- 5) 浅野卓哉「標準活性汚泥法施設における生物学的りん除去の向上」第 41 回下水道研究発表会講演集 pp.825

問合せ先：横浜市環境創造局水再生水質課 浅野卓哉 ta01-asano@city.yokohama.jp 〒231-0803 横浜市中区本牧十二天 1-1 TEL045-621-4343

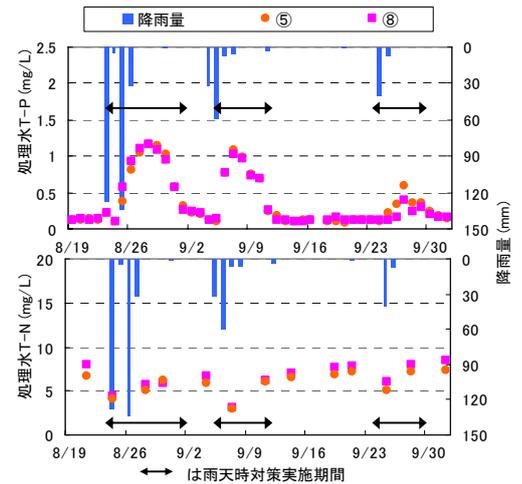


図 6 雨天時好気槽削減

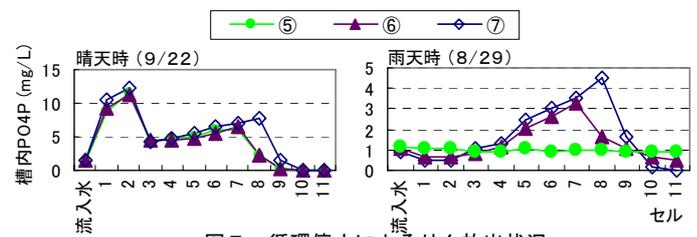


図 7 循環停止によるりん放出状況