

# A2O法の嫌気槽設計法に関する検討

横浜市 ○森 豊明  
浅野 卓哉  
小菅 博明

## 1 はじめに

高度処理（嫌気・無酸素・好気法：A2O法）施設は標準法施設と比べ、建設コストが大きく、運転管理も難しいため、その効率化が急務の課題となっている。特に生物学的りん除去プロセスの知見が不足しており、嫌気槽の設計が定量的に行われていない。現状では、設計指針<sup>1)</sup>に基づき嫌気槽滞留時間を1～2時間に設定しているが、雨天時等のりん除去悪化を制御できず、計画放流水質を超過する恐れがある。

そこで、平成15年度より嫌気槽りん放出反応と流入水有機酸濃度に着目し、実施設と実験プラントを用いて、良好なりん除去に必要な嫌気槽滞留時間の検証を行った<sup>2)</sup>。その結果、晴天時は40分程度、雨天時は3時間以上の嫌気槽滞留時間が必要であった。さらに、詳細な解析を行い、系内蓄積りん変化量を導入したりん収支モデルを考案した<sup>3)</sup>。これにより、りん除去効率の変動プロセスを定量的に説明することができる。本報告では、これまでに得られた知見をとりまとめ、新たな嫌気槽設計法を提案する。

## 2 嫌気槽設計法

### 2.1 概要

生物学的りん除去は、りん蓄積細菌の嫌気槽でのりん放出と好気槽での過剰摂取によって行われる。良好なりん除去のためには、りん放出が十分となる嫌気槽滞留時間を設定する必要がある。本設計法では、必要りん放出濃度とりん放出速度より、嫌気槽滞留時間を定量的に設定する。図-1に設計フローを示す。

はじめに現設計指針と同様に、設計水質と設計目標水質等から、りん除去量を算定する。同時に余剰汚泥量汚泥を算出し、りん除去量との商として汚泥中に必要なりん含有率（必要りん含有率）が算出される。

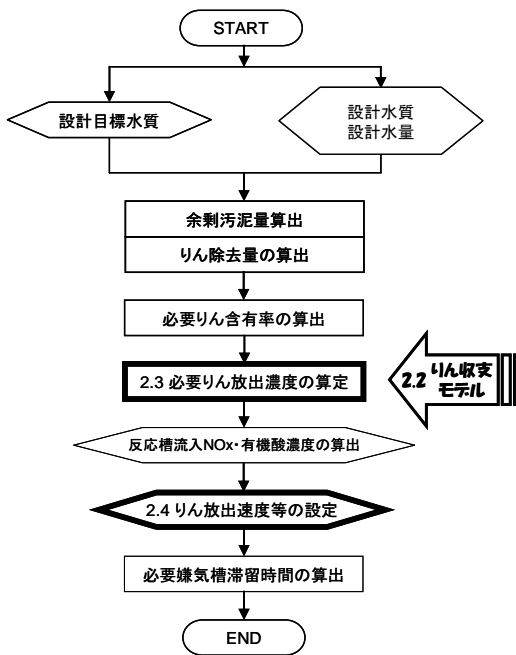


図-1 設計フロー

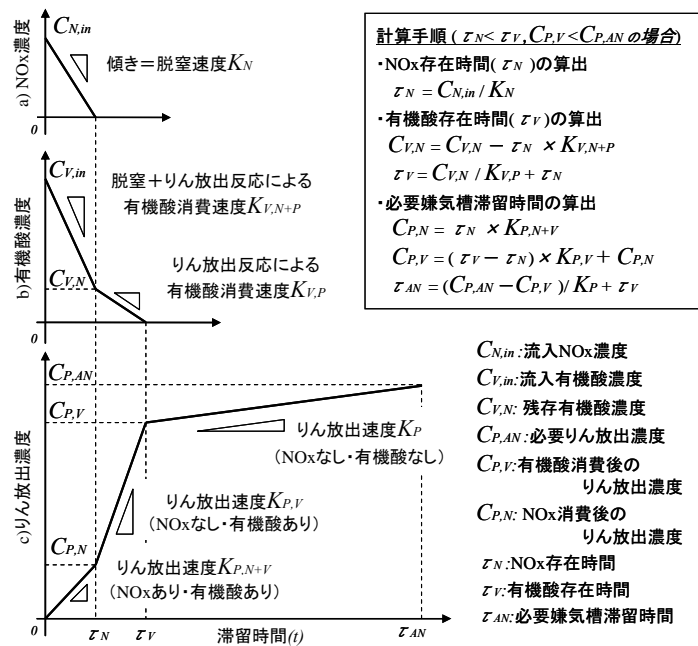


図-2 算出手順

次に、その含有率での必要りん放出濃度を算定する。必要りん放出濃度は、後述するりん収支モデルに基づいた、汚泥中のりん含有率（汚泥りん含有率）が一定となる値である。嫌気槽でのりん放出濃度がこの値以上となれば、良好なりん除去がなされると考える。

最後に、りん放出速度を定めることで、必要嫌気槽滞留時間は、必要りん放出濃度に達するまでの時間として求められる。図-2に必要嫌気槽滞留時間算出手順を示す。りん放出速度は、NOx や有機酸の有無により著しく異なる。そのため、反応槽流入 NOx・有機酸濃度と脱窒速度・有機酸消費速度から、それぞれの存在時間を算出し、その存在条件ごとにりん放出速度を設定する必要がある。本研究では、回分試験と実施設嫌気槽内調査により、りん放出速度、脱窒速度および有機酸消費速度を測定した。

## 2.2 りん収支モデル

我々の考案したりん収支モデルは、りん除去安定化のために重要な知見を与え、本設計法においても導入している。詳細は<sup>3)</sup>に述べているので、ここでは概要に留める。

処理系に流入したりんは大気中に揮散しないため、処理水または余剰汚泥として系外に排出される。既存のりん収支モデルでは、流入水中りん量( $Q_{p,in}$ )は処理水中りん量( $Q_{p,eff}$ )と余剰汚泥中りん量 ( $Q_{p,es}$ )の和で表される (図-3 i))。しかし、新しいりん収支モデルでは、式(1)のように、系内蓄積りん変化量( $\Delta Q_{px}$ )が導入され、りん除去良好時 ii) 悪化時 iii) 等の変動を詳述できる。

$$Q_{p,in} = Q_{p,eff} + Q_{p,es} + \Delta Q_{px} \quad (1)$$

$\Delta Q_{px}$  は式(2)のように、汚泥濃度の変化量( $\Delta C$ )と汚泥りん含有率の変化量( $\Delta P_x$ )の和で表される。 $V$ は反応槽容量である。

$$\Delta Q_{px} = VC \times \Delta P_x + V\Delta C \times P_x \quad (2)$$

このりん収支モデルによると、良好なりん除去を維持するためには、系内蓄積りん量を低下させないこと ( $\Delta Q_{px} \geq 0$ )が必要である。実施設においては、汚泥濃度を安定させて運転し( $\Delta C=0$ )、さらに汚泥りん含有率を低下させない( $\Delta P_x \geq 0$ )ようにしなければならない。

## 2.3 必要りん放出濃度の算定

<sup>3)</sup>では実施設で調査を行い、上述のモデルを用いて $\Delta P_x$ を推計し、嫌気槽りん放出濃度との相関について述べている。さらにその結果を汚泥りん含有率毎に整理し、 $\Delta P_x=0$  となるりん放出濃度を求めた。 $\Delta P_x=0$  となるりん放出濃度は、すなわち必要りん放出濃度である。図-4に必要りん放出濃度と汚泥りん含有率との関係を示す。

汚泥りん含有率と必要りん放出濃度は比例関係にあり、高いりん含有率だと単位汚泥あたりのりん除去量が大きい反面、その含有率を保つための必要りん放出濃度も大きくなる。ある時の汚泥りん含有率と嫌気槽りん放出濃度が、この図に示された直線より上にあるとき  $\Delta P_x \geq 0$  となり、系内にりんが蓄積され、除去効率が向上していると考えられる。一方、下にあるときは  $\Delta P_x \leq 0$  となり、系内に蓄積していたりんが処理水中に溶出している可能性がある。

本設計法では、りん除去量と余剰汚泥量より算出された必要りん含有率をこの関係に当てはめ、必要りん放出濃度を設定する。

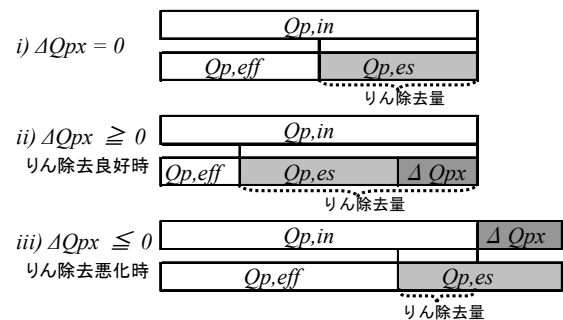


図-3 りん収支モデル

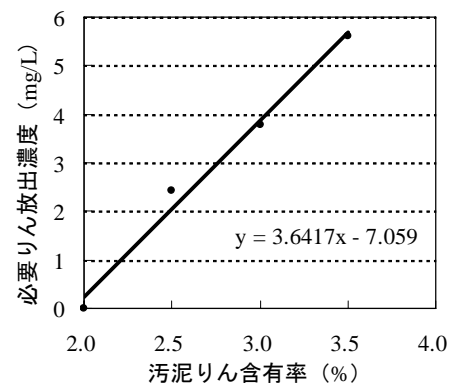


図-4 必要りん放出濃度と汚泥りん含有率

## 2.4 りん放出速度等の設定

必要嫌気槽滞留時間は、必要りん放出濃度と流入 NOx・有機酸濃度が所与ならば、りん放出速度・脱窒速度および有機酸消費速度を設定して算出できる。本研究では、回分試験と実施嫌気槽内調査により、各速度を測定した。

回分試験結果の一例を図-5 に示す。有機酸が検出された 15 分程度までは PO4-P 濃度が時間と共に上昇し、その後は、緩やかに上昇した。これはりん蓄積細菌が、有機酸存在下においてはその摂取のためにりん放出を行い、有機酸が未検出となった 15 分以降は、易分解性有機物が有機酸に変換されるのを待って、りんを放出しているためだと考えられる。また、NOx-N が検出された 10 分までに有機酸濃度が急激に低下した。これは有機酸がりん放出反応だけでなく、脱窒反応にも使われたためと思われる。

このような結果から各速度を測定し、条件ごとにまとめた。その平均値を表-1,2,3 に示す。NOx-N が存在し、有機酸が存在しない条件では、りん放出は起こらず逆に摂取されていた。そのためりん放出速度の平均値は負となった。

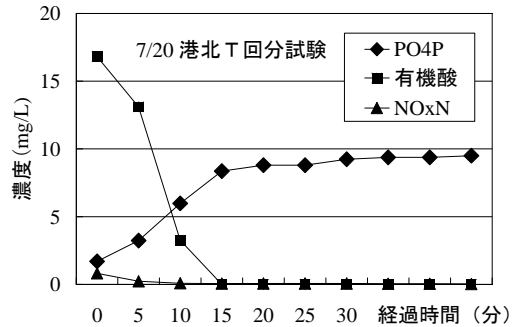


図-5 回分試験結果例

表-1 りん放出速度

	有機酸あり	有機酸なし
NOx-Nあり	6.86	-2.88
NOx-Nなし	10.47	2.75

(mg-P/g-ss・hr)

表-2 有機酸消費速度

りん放出反応による消費速度	17.79
脱窒+りん放出反応による消費速度	34.65

(mg-VFM/g-ss・hr)

表-3 脱窒速度

有機酸あり	有機酸なし
8.29	2.76

(mg-N/g-ss・hr)

## 3 設計例

表-4,5 に示した設計条件と図-4 の回帰式、表-1,2,3 の各平均速度を用いて嫌気槽滞留時間を算定した。その結果を表-6 に示す。ここでは雨天時について適切に設計条件を設定し、天候による必要嫌気槽滞留時間の違いを表現した。

結果を見ると、嫌気槽でのりん放出濃度が 5.4mg/L 以上であれば、りん含有率 3.46% 以上を維持でき、目標水質以上のりん除去が可能である。5.4mg/L のりん放出には、晴天時では嫌気槽滞留時間が 0.55hr でよいのに対し、雨天時は 3.08hr 必要である。

このように、本設計法では定量的に嫌気槽滞留時間の設定が可能であり、雨天や返流水等流入水質の影響も考慮できる。

表-4 水質条件

水質項目	BOD	S-BOD	SS	T-N	NOx-N	T-P	有機酸
流入水質 <sup>※1)</sup>	晴天時	67	80	26	0	4.0	15
	雨天時	80	47	64	21	0	3.2
目標水質	10	-	5	10	9	0.5	-

表-5 設計条件

	晴天時	雨天時	
汚泥発生量推定式の係数	a	0.6	0.6
	b	1.0	1.0
	c	0.03	0.03
MLSS(mg/L)	2500	2500	
RSSS(mg/L)	7500	7500	
返送比	0.5	0.5	
りん放出に対する安全率 <sup>※2)</sup>	1.0	1.5	
最終沈殿池脱窒量 <sup>※3)</sup> (mg/L)	2.0	3.0	

※1) 晴天時流入水質は横浜市認可水質、雨天時流入水質は調査実績に基づき晴天時の0.7~0.8倍とした  
有機酸濃度は実績に基づく。

※2) 流入水質濃度やりん放出など、不安定要因の多い雨天時は安全率を考慮した。

※3) 最終沈殿池脱窒量は実績に基づき考慮した。雨天時は好気槽Do濃度が上昇しがちなことから、沈殿脱窒量は晴天時より低いと考えられる。

表-6 計算結果

	晴天時	雨天時
必要りん含有率(%)	3.46	3.46
必要りん放出濃度(mg/L)	5.4	5.4
NOx存在時間(hr)	0.14	0.74
有機酸存在時間(hr)	0.20	0.00
必要嫌気槽滞留時間(hr)	0.55	3.08

## 4 まとめ

本研究では、以上のように定量的な嫌気槽設計法を考案した。今後、この嫌気槽設計法と整合性がとれた無酸素槽・好気槽の設計法および運転管理方法もとりまとめる必要がある。

参考文献 1) 「下水道施設計画・設計指針と解説 後編」日本下水道協会 (2001)

2) 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. 780-782

3) 浅野卓哉、小川洋平「生物学的リン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. 777-779

4) 浅野卓哉、森豊明「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回下水道研究発表会講演集

問い合わせ先：横浜市環境創造局水再生施設整備課 森豊明 e-mail：to17-mori@city.yokohama.jp TEL：045-671-2848

横浜市環境創造局水再生水質課 浅野卓哉 e-mail：ta01-asano@city.yokohama.jp TEL：045-621-4343