

# 窒素・リン同時除去を考慮した間欠曝気活性汚泥法の制御

津村和志\*、山本康次\*\*、佐々木康成\*\*\*、立脇征弘\*\*\*\*

\* 京都大学工学部環境地球工学教室、京都市左京区吉田本町

\*\* 大阪府立公衆衛生研究所、大阪市東成区中道 1-3-69

\*\*\* 富士電機総合研究所 水処理・バイオ研究所、神奈川県横須賀市長坂 2-2-1

\*\*\*\* ユニチカ 中央研究所、京都府宇治市宇治子桜 23

## 概要

間欠曝気方式は、好気ゾーン、嫌気ゾーンの大きさを時分割により自由に調整でき、既設の施設や、小規模施設においても容易に適用できる活性汚泥法の 1 変法である。これまでこの方式で、窒素あるいはリン除去において高い除去率をえたという報告もあるが、すべての施設で高い除去が達成されているわけではなく、設計や管理技術は今だ確立されてはいない。

本研究は、生活排水処理施設において、放流水 T-N 5 (mg/l) 以下、T-P 1 (mg/l) 以下を目標に間欠曝気による運転を行い、曝気槽内の窒素、リン、ORP、DO などの挙動を、夏季・冬季、滞留時間の異なる施設、異なる運転条件で調べた。その結果、窒素とリンの同時除去を可能にする、設計条件、制御条件に関する知見が得られたので報告する。

## キーワード

窒素除去、リン除去、2 槽式間欠曝気法、計算機制御、嫌気好気活性汚泥法

## 1 はじめに

間欠曝気法は、制御性能の高い処理方式である。活性汚泥法により、窒素・リンの除去を行おうとする嫌気好気方式がいくつか提案されている。それらは、硝化液循環方式にみられるように、嫌気ゾーンと好気ゾーンを空間的に固定するものが多い。これに対して間欠曝気方式は、嫌気・好気を時間的に変化させることができる。活性汚泥法の目的が有機物の除去であるとき、流入した有機物は一度活性汚泥に吸着されてから分解されるため、負荷の変動に対して空間的に対処するのは有効な方法であった。しかし、窒素・リンの除去においてはこのような機構がないため、反応槽自体に高い制御性能が求められる。間欠曝気方式は、嫌気・好気を時分割で調整できるため、高い操作性を持ち、空間的に嫌気・好気ゾーンを固定する方式に比べて、潜在的な優位性を持っていると言える。

実際、間欠曝気法において、窒素のみならずリンの除去についても、高い除去率を報告している例がある。しかし、間欠曝気方式を採用しているすべての施設が、高い除去率を達成しているわけではなく、安定した高い窒素・リン除去を達成するためには、設計はどうすべきか、また制御はいかにあるべきかを明確にする必要がある。本研究では表 1 に示した 2 施設において、間欠曝気方式によ

表 1: 施設の概要

	A 施設	B 施設
人槽 (人)	2500	5001
計画汚水量 (m <sup>3</sup> /d)	625(480) * <sup>1</sup>	1600(700) * <sup>1</sup>
処理方式	長時間曝気方式	ステップエアレーション * <sup>2</sup>
調整槽 容量 (m <sup>3</sup> )	230	482 * <sup>4</sup>
曝気槽 容量 (m <sup>3</sup> )	620 * <sup>3</sup>	482 * <sup>4</sup>
BOD 負荷 (kg/m <sup>3</sup> ·d)	0.20	0.66
沈殿槽 容量 (m <sup>3</sup> )	120 * <sup>4</sup>	436 * <sup>4</sup>
目標水質 BOD (mg/l)	20	5
SS (mg/l)		5
管理体制	1名常駐	2名常駐

\*1 ( ) 内は実流入水量      \*2 実運転は長時間曝気方式  
\*3 2槽直列                      \*4 2槽並列

る運転実験を行い、曝気槽内各点での、窒素、リン、ORP、DOの挙動を調べた。その結果、設計については、二槽構造の重要性について、また制御については、前段部 ORP と後段部 DO の指標としての重要性についての知見を得たので、ここに報告する。

## 2 二槽構造と窒素・リンの同時除去

窒素の除去のみを考えると、必ずしも二槽構造である必要はない。しかし窒素・リンの同時除去を安定して行うためには、二槽構造であることが必要不可欠である。

まず窒素・リンの同時除去がなされている A 施設の分析例を図 1 と図 2 に示す。それぞれ図 3 に示す施設フロー図の、ポイント C と E で計測されたものである。曝気槽前段部 C 点におけるリンの挙動をみると、嫌気状態では吐き出しが起り好気状態では取り込みの起っていることが明瞭に観察される。また詳細にみると、リンの吐き出しは、槽内に蓄積されていた NO<sub>3</sub> の脱窒が完了してから起っている。一方後段部 E 点のリンの挙動をみると、嫌気状態でもリンの吐き出しは起っていない。これは後段部において、NO<sub>3</sub> の残るような運転がなされており、脱窒が終了していない。このため、リンの吐き出しが始まる嫌気状態に、ならないためである。

さて一槽構造で間欠曝気を行ったときにどのようなことが起こるかを、一槽構造の B 施設での実験結果をもとに説明する。運転では 2 つの状態が起こった。まず処理水中に NO<sub>3</sub> が残るような運転で、この場合、図 4 に示すようにリンの除去は起らなかった。これは、二槽構造における後段部の状態と同じで、生物学的なリン除去が起こるのに必要な嫌気状態が、できなかったためである。逆に NH<sub>3</sub> が残るような運転状態のときは、リン除去が進み、反応槽内ではリン濃度を低く保てるが、嫌気状態を最終沈殿池に持ち込むため、最終沈殿池でリンの吐き出しが起り、リンの除去率は低下した。また全体に嫌気状態で運転されるため、硝化の進行が不十分になりやすく、窒素除去率が低下する。図 5 に、反応槽内の窒素・リンの挙動を示す。図に示すように反応槽内のリンは低濃度であるが、処理水では 0.6 (mg/l) と上昇している。

このように一槽構造では窒素・リンの同時除去は難しい。これに対して二槽構造をとると、前段槽では、十分な嫌気状態が作れるような運転を行い、すなわち一槽構造における NH<sub>3</sub> が残るような運転を行い、後段槽では、窒素除去の仕上げを行う運転、すなわち一槽構造における NO<sub>3</sub> が残るような運転をすることができる。リンの除去からみると、前段槽で生物学的脱リンが起り、後段槽では、最終沈殿池でのリンの吐き出しを防ぐような運転となっている。

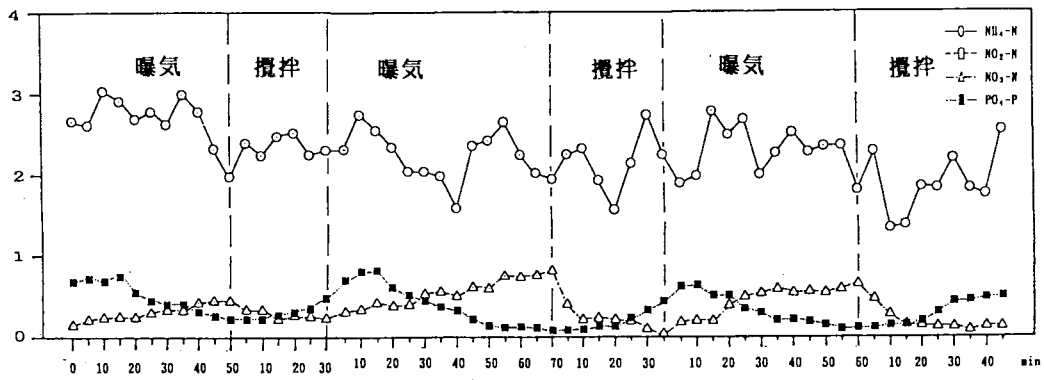


図 1: 二槽構造の A 施設前段階槽 C 点における窒素・リンの挙動

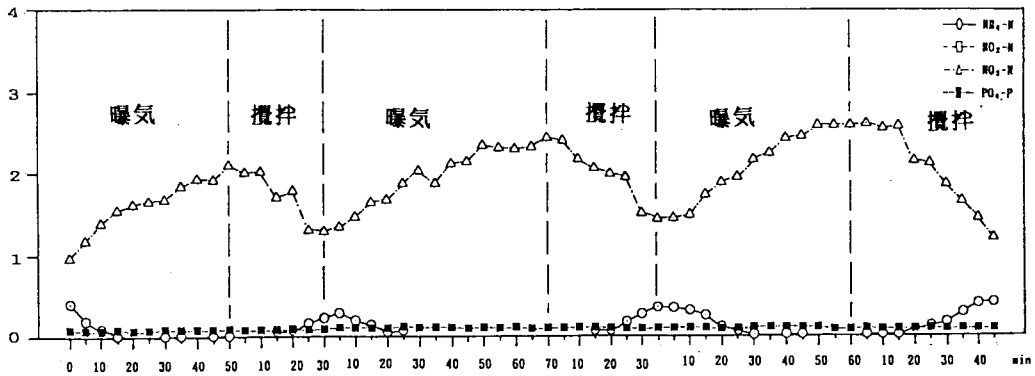


図 2: A 施設後段階槽 E 点における窒素・リンの挙動

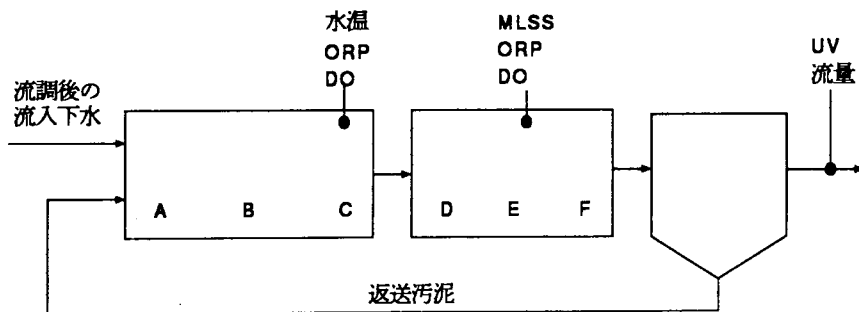


図 3: A 施設の概念フロー図

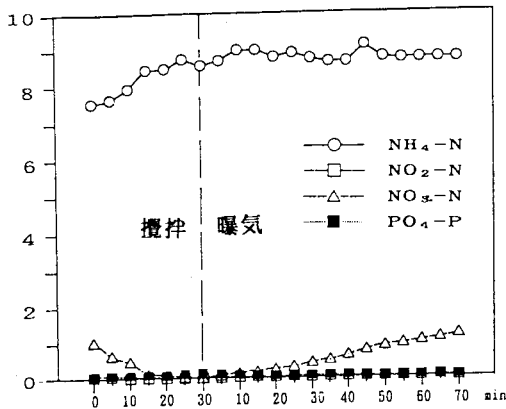


図 4: 一槽構造の B 施設における  $\text{NH}_3$  残存時の窒素・リンの挙動

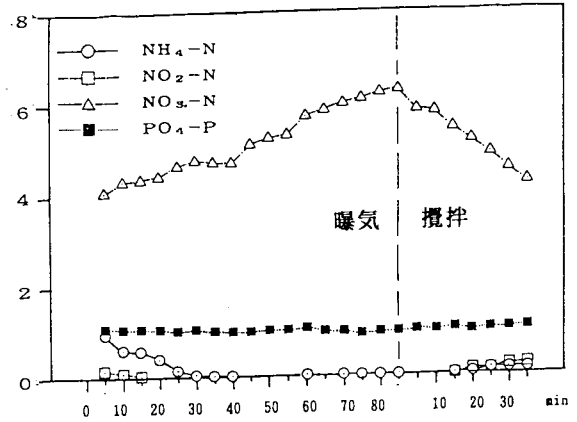


図 5: 一槽構造の B 施設における  $\text{NO}_3$  残存時の窒素・リンの挙動

### 3 間欠曝気と制御指標

前節でのべたように、間欠曝気による窒素とリンの同時除去を安定して行うには、前段部を十分に嫌気状態にし、生物学的脱リンを起こすと同時に、後段部で効率よく硝化脱窒を起こさなければならない。このためには、連続計測とそれに基づく計算機管理が不可欠である。

前段部では ORP の計測が有効である。前節で述べたようにリンの放出は、蓄積された  $\text{NO}_3$  の脱窒が終わってから始まる。それゆえ、脱窒が終わった時点を検出し、リンの吐き出しの時間を確保する必要がある。ORP は、脱窒が終わるまではなだらかに減少し、その後は急激に減少する。脱窒の終了は、いつもだいたい  $-50 \text{ mV}$  辺りにある。それゆえ A 施設では、 $-120$  あるいは  $-150 \text{ mV}$  で曝気が再開される。

一方後段部では DO が有効である。曝気工程に入ると DO は上昇するが、 $0.2$  以下の辺りでほぼ平衡状態になる。 $\text{NH}_3$  がなくなると、すなわち硝化が完全に進むと、DO が上昇し始める。DO が上昇し過ぎると、嫌気工程で脱窒が始まらず、無駄時間が生じる。A 施設では、DO が、 $0.5$  以上になると曝気が停止される。

### 4 まとめ

間欠曝気方式は、嫌気好気を時間的に区分できるため、空間的に区分する方式に比べて高い操作性を持つ。しかし、窒素とリンの同時除去を行うには一槽構造では限界があり、曝気槽を二槽構造とし、前段部で生物学的脱リンが起こるように、十分な嫌気状態をもって行くとともに、後段部で効率的な硝化脱窒を行う必要がある。後段部には溶解性有機物質の流入がないため、効率化の必要がある。

また、このような運転を持続するためには、連続計測と計算機管理が必要で、とくに前段部の ORP 計と後段部の DO 計が重要であることを示した。本報告で述べた制御方策は最も基本的なもので、さらに高度な制御方策の導入によって、より高い性能を維持することが可能になる。

#### 参考文献

- 1) 山本、津村、中野『2槽式間欠ばっき法による窒素・リン除去』、水環境学会誌(掲載予定)