

DO及びORP屈曲点制御による 2槽式間欠曝気法の窒素・リン同時除去

佐々木康成* 山本康次** 津村和志*** 立脇征弘****

- * 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
- ** 大阪府立公衆衛生研究所 環境衛生課、大阪市東成区中道1-3
- *** 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
- **** ユニチカ(株) 中央研究所、京都府宇治市宇治子桜23

概要

2槽式間欠曝気法は、完全混合の二つの反応槽を直列に連結し、各槽において周期的に曝気と攪拌を繰り返す時間分割型の嫌気好気活性汚泥法である。本研究ではDO制御とORP屈曲点(脱窒の終了に対応)出現時間制御を組み合わすことにより、高効率の窒素・リン同時除去を可能とする制御システムを開発した。本システムは約2時間を1周期として、第1槽で曝気時間に硝化、リン吸収、攪拌時間に脱窒、リン放出を行い、第2槽では曝気時間に硝化、リン吸収、攪拌時間に脱窒を行う。第2槽では溶解性有機物濃度が低くなり、しかも脱窒終了直後に全槽を曝気状態に復帰させ1周期を終了するため、処理水へリンが放出されず高い窒素・リン除去率が得られる。本研究では、テストプラント(処理水量225ℓ/日)を用い、パソコンを制御演算装置として、HRT16時間、水温20±2℃の条件で2ヵ月間の連続制御実験を行った。その結果TOC94.9%、T-N89.4%、T-P95.5%と良好な除去率を安定して得ることができた。また、制御実験中の各槽の反応を詳細に検討し、本プロセスの窒素・リン除去メカニズム及び物質収支を示した。

キーワード

窒素・リン除去 2槽式間欠曝気法 DO制御 ORP屈曲点制御 時系列分割
嫌気好気活性汚泥法 硝化 脱窒 リン放出 リン吸収

1. はじめに

2槽式間欠曝気法は、連結した二つの反応槽を用いて、間欠曝気法の特徴である硝化・脱窒を行うと同時に、第1槽でリン放出、吸収を進行させ、第2槽ではリン放出を防止する運転を行う窒素・リン同時除去プロセスである¹⁾。本報では、より安定した窒素・リン同時除去を目的として開発した制御システム(DO及びORP屈曲点出現時間制御の組合せ)の概要と、テストプラントでの制御実験結果を報告する。

2. 制御方法

図1に制御運転時における、1周期(曝気と攪拌)あたりの各槽のDO、ORPの変化と、窒素・リン除去にともなう生物反応を示す。また、図2に2槽式間欠曝気法のシステム構成を実験装置を例として示す。

2.1 第1槽の制御方法

第1槽では、タイマー設定により30分間曝気し硝化、リン吸収を行った後、攪拌に移行する。攪拌工程ではまず脱窒時間制御を行う。これはORP曲線上に脱窒終了に対応して屈曲点P1が出現するので、P1を検出することにより脱窒時間T_{p1}を測定し、T_{p1}が設定脱窒時間T_{p1s}(30分)に一致するよう、曝気

工程における溶存酸素濃度DO1を調節する。屈曲点P1は、きざみ時間を Δt として、ORP曲線の傾き α_1 、 α_2 を求め、 $\alpha_2 / \alpha_1 > \beta$ となった時に出現と判定する。 β はあらかじめ設定したしきい値である。溶存酸素濃度DO1の調節は式(1)による。

$$DO1_n = DO1_{n-1} + K_1(Tp1s - Tp1_{n-1}) \quad (1)$$

ここでDO1_nは現曝気工程の設定DO、DO1_{n-1}は前曝気工程の設定DO、Tp1_{n-1}は前攪拌工程の脱室時間、K₁は定数である。脱室終了後はORPが低下してリンが放出され、この反応は第2槽から曝気再開信号が出るまで継続する。

2.2 第2槽の制御方法

第2槽では、30分曝気後さらにTa時間曝気を延長して硝化、リン吸収を行う。DO2は硝化菌の増殖を妨げないよう2mg/lに設定する。第2槽では曝気延長時間Taと脱室時間Tbの和であるTp2が、第1槽の設定攪拌時間Tp2s(90分)と一致するよう、曝気延長時間Taを調節する。Tp2は脱室終了時のORP屈曲点P2を検出して測定し(検出法は上記に同じ)、曝気延長時間Taの調節は式(2)による。

$$Ta_n = Ta_{n-1} + K_2(Tp2s - Tp2_{n-1}) \quad (2)$$

ここでTa_nは現工程の設定曝気延長時間、Ta_{n-1}は前工程の設定曝気延長時間、Tp2_{n-1}は前工程のTaとTbの和で、K₂は定数である。屈曲点P2を検出すると1、2槽同時に曝気工程に復帰し、以後上記の制御を繰り返す。Taの調節は第1槽にて所定(60分)のリン放出時間を確保するためである。

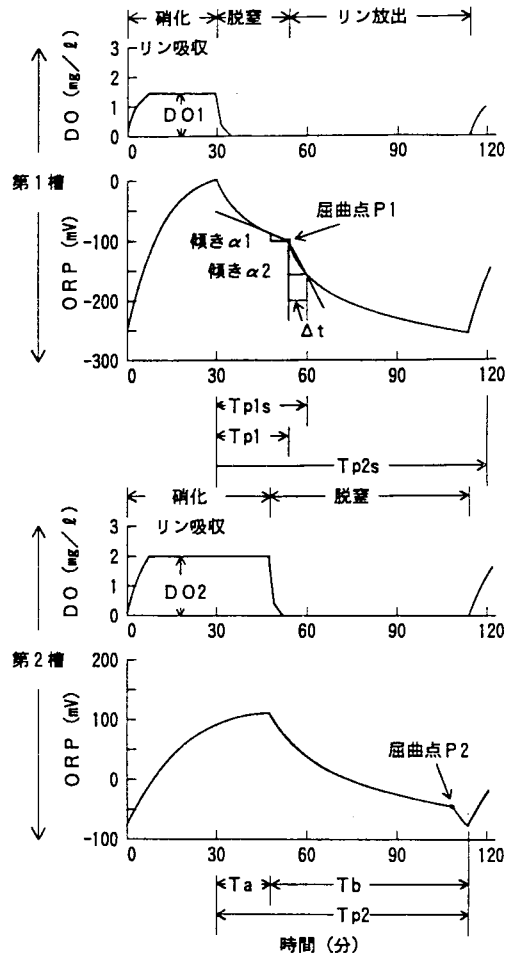


図1 制御にともなうDO、ORPの変化

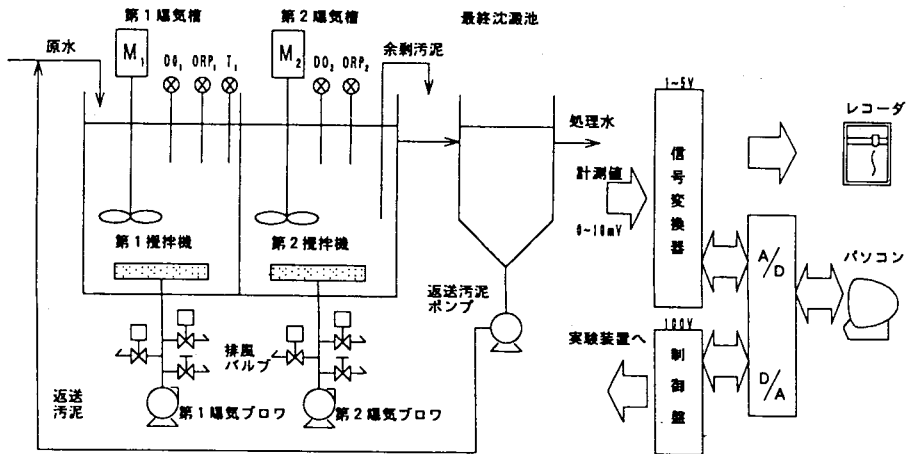


図2 2槽式間欠曝気法実験装置

3. 実験方法

3.1 実験装置

実験装置は図2に示すように、二つの曝気槽（各76、74ℓ）と沈殿池（36ℓ）を基本フローとする。各槽には独立運転ができる攪拌機（30rpm）、曝気プロワを設けてあり、排風バルブの開閉によりDO制御が可能である。実験装置の運転には、パソコンを中心とした制御装置を用いた。

3.2 実験条件

実験条件を表1に示す。滞留時間は16時間（流量 225ℓ/日）で、水温は20±2℃に調節した。1周期設定時間は120分である。MLSSは4730mg/ℓ、SRT24.0日で、SATは結果的に8.5日であった。余剰汚泥は第2槽から直接抜き出した。原水は、し尿、食堂排水、洗剤・石鹼水、砂糖、酢酸ナトリウム、水道水を自動的に混合して一日に一回調製した。また、塩化アンモニウム、リン酸3ナトリウム、炭酸水素ナトリウムを添加し窒素、リン濃度、アルカリ度を調節した。水質分析にはグラブサンプルを用い、下水試験方法及びイオンクロマトグラフ法により分析した。

表1 実験条件

項目		値
曝気	滞留時間 (時間)	16.0
	水温 (°C)	20±2
	1周期設定時間 (分)	120
	1槽目設定値	
	曝気時間 (分)	30
	脱窒時間 (分)	30
	リン放出時間 (分)	60
	2槽目設定値	
	曝気時間 (分)	30
	曝気延長時間と脱窒時間の和 (分)	90
槽	MLSS (mg/ℓ)	4730
	SVI (-)	128
	SRT (日)	24.0
	SAT (日)	8.5
	T-N 負荷 (kg/kg・日)	0.012
	T-P 負荷 (kg/kg・日)	0.0013
	沈殿池	
滞留時間 (時間)	3.9	
水面積負荷 (m ² /日)	4.5	
返送率 (%)	100	

4. 実験結果

4.1 1周期の水質変化

図3に制御運転中の1周期あたりの水質変化を、1槽、2槽に

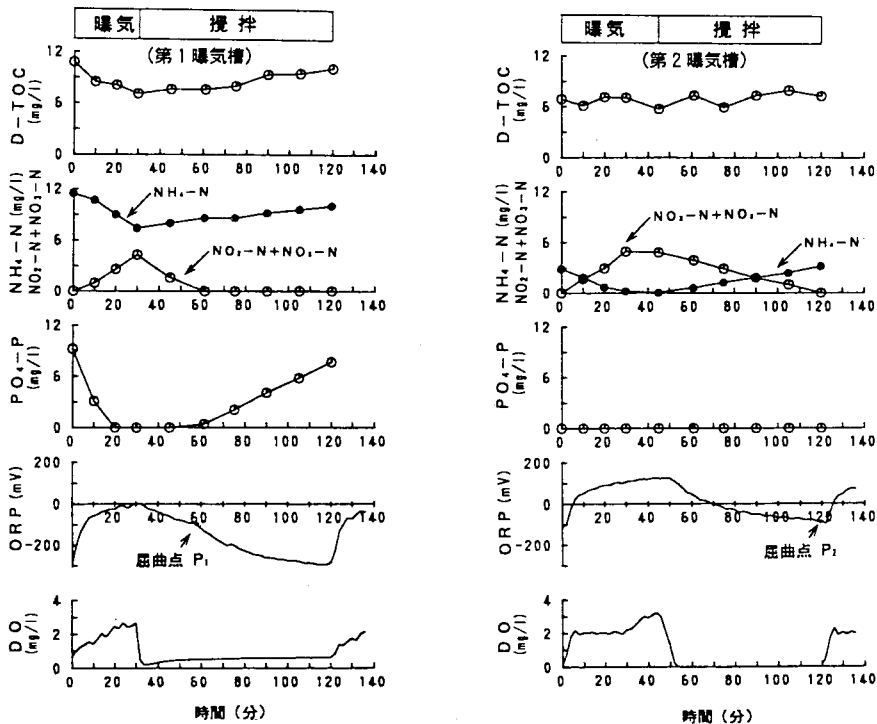


図3 制御運転中の1周期あたりの水質変化

分けて示す。PO₄-Pは第1槽において曝気時間に9.2から0mg/ℓまで低下し、攪拌時には脱窒が終了した後で7.7mg/ℓまで増加した。第2槽では曝気、攪拌時間内において0mg/ℓに維持されていた。この結果、本制御法により生物学的脱リン能力を持つ活性汚泥を得ることができ、蓄積されたリンは第2槽で放出されないことがわかった。窒素については、両槽で硝化、脱窒が見られたが、第2槽では内生脱窒が進行するため脱窒所要時間が長くなった。

4.2 連続制御実験結果

図4、表2に2ヵ月間の連続制御実験結果を示す。水質は安定しており、TOCは原水126.7、処理水6.5mg/ℓ（除去率94.9%）、T-Nは原水37.8、処理水4.0mg/ℓ（89.4%）、T-Pは原水3.97、処理水0.18mg/ℓ（95.5%）であった。この結果、本制御を導入した2槽式間欠曝気法では、高率の窒素・リン同時除去が可能であることを確認できた。

4.3 窒素・リンの物質収支

図5に流入した窒素又はリンを100%とした場合の物質収支を示す。窒素は両槽でほぼ同量除去され、硝化・脱窒による除去は全体で62.8%、余剰汚泥による除去は24.6%であった。リンは余剰汚泥として94.4%が除去され、汚泥中のリン濃度は3.1%であった。

5. 電極の維持管理

本研究では、下記の頻度で電極の維持管理を行った。ORPは、測定値ではなく屈曲点を制御に用いているので、厳密な校正は不要であった。

DO 校正：1～2回/月、水洗浄：4～6回/月
ORP 希塩酸洗浄1回/月、水洗浄：2～3回/月

6. おわりに

以上述べたように、2槽式間欠曝気法に本制御法を適用すると、1周期あたりの硝化、脱窒、リン吸収、リン放出を明確に区別でき、安定した窒素・リン同時除去を達成できる。本法は制御条件を変えることにより、各生物反応間の時間配分の変更も可能である。今後は、水質、水量、温度等の変動に対応する研究を進め、実用に供したいと考えている。

（参考文献）

1) 山本康次, 津村和志, 中野仁, 2槽式間欠ばっき法による窒素・リン除去, 水環境学会誌 (投稿中)

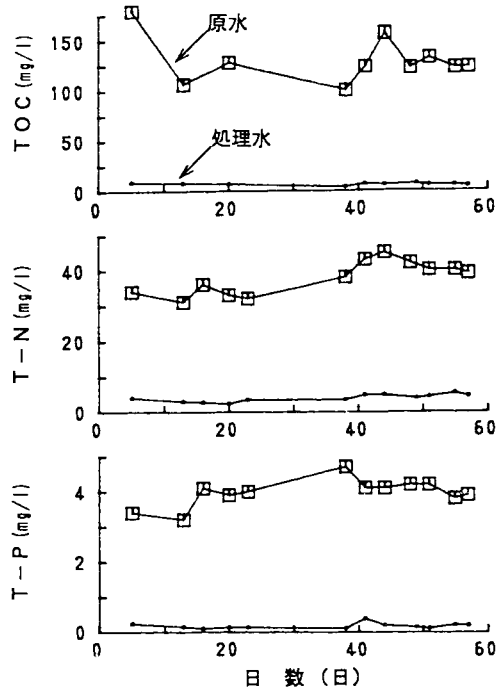


図4 連続制御実験結果

表2 連続制御実験の水質分析結果

項目	原水	処理水	除去率
PH (—)	7.1	7.0	—
COD (mg/ℓ)	97.2	10.6	89.1 %
D-COD (mg/ℓ)	30.8	—	—
TOC (mg/ℓ)	126.7	6.5	94.9 %
D-TOC (mg/ℓ)	38.8	—	—
SS (mg/ℓ)	145.1	3.8	97.4 %
T-N (mg/ℓ)	37.8	4.0	89.4 %
NH ₄ -N (mg/ℓ)	28.9	1.4	—
NO _x -N (mg/ℓ)	0.0	2.1	—
T-P (mg/ℓ)	3.97	0.18	95.5 %
PO ₄ -P (mg/ℓ)	1.51	0.04	—

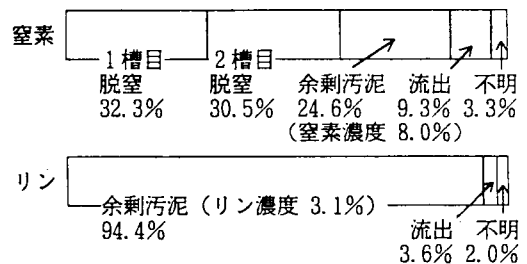


図5 窒素・リンの物質収支 (流入100%)