

オキシレーションディッチプロセスにおける 高率窒素除去のための運転支援システム

New Operational Support System for High Nitrogen Removal in Oxidation Ditch Process

古川 誠司^{1*}、廣辻 淳二²、時盛 孝一³

^{1, 2}正会員 三菱電機㈱先端技術総合研究所 / 〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8丁目1番1号

³三菱電機㈱電力・産業システム事業所 / 〒652-8555 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町1丁目1番2号

SEIJI FURUKAWA^{1*}, JUNJI HIROTUJI² and KOICHI TOKIMORI³

^{1, 2}Member of EICA, Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

/ 1-1, Tsukaguchi-Honmachi 8-Chome, Amagasaki, Hyogo 661-8661, Japan

³Energy & Industrial Systems Center, Mitsubishi Electric Corporation

/ 1-2, Wadasaki-cho, 1-Chome, Hyogo-ku Kobe, Hyogo 652-8555, Japan

Abstract

A new operational support system for the oxidation ditch process has been developed. It calculates the operational index from the concentration of the dissolved oxygen in the ditch and the operator decides the aeration conditions to keep the index within the target range. Simulation and experimental results have led to creation of an operational index with an optimum value for every type of aeration. For the 1-point continuous aeration process, for example, the ratio of aerobic to anaerobic zone length (L_{AER}/L_{ANA} ratio) can be the index and its optimum value is 1. For the 2-point intermittent aeration process, the ratio of aerobic to anaerobic duration time (T_{AER}/T_{ANA} ratio) can be the index and its optimum value is also 1. These indexes are very practical because they can be obtained without complex calculation.

Key words : support system, nitrogen removal, oxidation ditch process

1. はじめに

オキシレーションディッチ法（以下OD法）は維持管理の容易さや建設費の安さに特長がある。わが国では、中小都市など用地確保が比較的容易な地域の小規模下水処理方式として普及しつつある¹⁾。

従来、小規模下水処理場は、流域下水道が整備されるまでの暫定施設として有機物除去を主たる目的としていた。しかし、その立地条件—例えば処理水の放流先が漁場あるいは上水源などの重要な環境資源であること—を考慮すれば、富栄養化の原因物質である窒素の除去すな

わち高度処理の重要性は高い²⁾。

OD法では、ディッチ内に好気ゾーンと嫌気ゾーンとを形成することにより硝化反応および脱窒反応を進行させ、いわゆる生物学的窒素除去を行うことができる。しかし、硝化と脱窒のバランスを常に適切に維持することは運転管理者の手腕に依存するところが大きく、高度処理の普及を妨げる一つの要因となっていた。

OD法での窒素除去に関する研究例は多い。動力学モデルを用いて解析した例としては、荒木らの報告³⁾、中村らの報告⁴⁾、高橋らの報告⁵⁾などがある。これら既往の研究の多くは処理特性の理解に注力しており、小規模処理プロセスとしての制約条件、例えばイニシャルコスト、ランニングコストが限られることなどを考慮した、

*連絡先

簡便かつ有効な制御方式は未だ提案されていないと考える。

筆者らは、前報⁹⁾で、回分式間欠曝気活性汚泥プロセスを対象とした運転支援システムを提案した。この中で、好気保持時間と嫌気保持時間との比率が1近傍のとき窒素除去率が最大となることを理論的、実験的に検証した。今回、わが国の小規模下水処理の主流となりつつあるOD法をとりあげ、回分プロセスの支援システムと同様の原理に基づくOD法の運転支援システムについて検討したので、以下にその内容を報告する。

2. OD法の運転支援システムの枠組み

筆者らはFig. 1に示すような運転支援システムの枠組みを考案した。運転支援システムの機能は二つに分けられる。一つは曝気条件の管理機能である。曝気条件の管理は、好気・嫌気のバランスを示す指標に基づいて行う。すなわち、管理指標が目標値を維持するように曝気装置を調節する。この指標は溶存酸素濃度計などから容易に算出できる必要がある。

もう一つはMLSS濃度の管理機能である。曝気条件の調節だけでは目標とする処理水質が得られない場合、汚泥引き抜き量を調節してMLSS濃度を制御する。これにより、例えば長期的な負荷の変動に対しても、安定した窒素除去を維持することが期待できる。

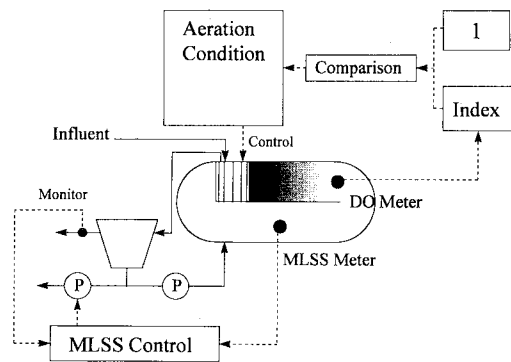


Fig. 1 Schematic diagram of a new operational support system.

3. 検討方法

オキシレーションディッチプロセスには、1点連続曝気、1点間欠曝気、2点間欠曝気などいくつかの曝気方

式がある⁷⁾。それぞれの方式について窒素除去のための管理指標と目標値を明らかにするために、計算機シミュレーションならびに小型モデル装置を用いた実験を行った。

計算機シミュレーションには、Fig. 2のような槽列モデルにIAWQ活性汚泥モデル No. 2⁸⁾を適用した。シミュレーション条件はTable 1のように定めた。エアレータは縦軸型ロータとし、浸漬深さならびに回転数の実験式から、 K_{La} (総括酸素移動容量係数) と循環流速を算出した⁹⁾。

実験には、計算機シミュレーションと同様の槽列モデルを適用した小型装置を用いた。曝気はエアポンプにより、曝気槽混合液の循環はチューブポンプにより行った。合成下水は肉エキスを主成分として調整し、連続的に供給した。Table 2に実験条件を示す。

なお、実験装置の制約上、循環流速はシミュレーションの約1/10としたが、今回の実験の主たる目的はおのこの条件下において結果的に形成された好気ゾーンと嫌気ゾーンの長さの比率が窒素除去率とどのような関係にあるかを調べることなので、特に問題ないと考ええる。

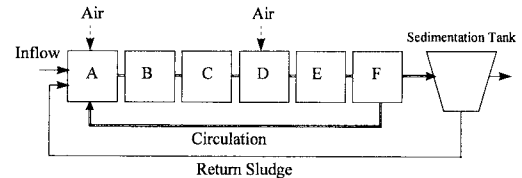


Fig. 2 Tank-in-series model applied to simulation and experiments

Table 1 Simulation conditions.

Influent quality		Design conditions	
COD	260 g_{COD}/m^3	Flow rate of inflow (Q_i)	50 m^3/h
TN	25 g_N/m^3	Flow rate of circulation	150-250 Q_i
TP	6 g_P/m^3	Flow rate of return sludge	1 Q_i
Aerator		Volume of aeration tank	518 m^3
Rotation rate	48-60 rpm	(4 m × 2.5 m × 51.8 m)	
Immersion depth	15-24 cm	Volume of sedimentation tank	100 m^3
Intermittent aeration		MLSS	3000-4000 g_{SS}/m^3
Aeration	30-50 min	Temp.	20 °C
No aeration	30-10 min		

Table 2 Simulation conditions.

Influent quality		Design conditions	
COD	200 g_{COD}/m^3	Flow rate of influent (Q_i)	25 mL/min
TN	30 g_N/m^3	Flow rate of circulation	20 Q_i
Aeration		Flow rate of return sludge	1 Q_i
1-5 l/min		Volume of aeration tank	13.8 Liter
Intermittent aeration		(2.3 Liter × 6)	
Aeration	30-50 min	Volume of sedimentation tank	5 Liter
No aeration	30-10 min	MLSS	1500-2500 g_{SS}/m^3
		Temp.	20 °C

4. 結果ならびに考察

4.1 1点連続曝気式OD法

1点連続曝気方式では、ディッチ内に生じた好気ゾーンと嫌気ゾーンがほぼ一定の長さを維持するものと考えられる。そこで、これらの比（好気/嫌気ゾーン比、 L_{AER}/L_{ANA} ）と窒素除去率との関係に注目した。

Fig. 3 (1)は、シミュレーション結果を L_{AER}/L_{ANA} と窒素除去率との関係として示したものである。窒素除去率は L_{AER}/L_{ANA} に依存し、特に比が1近傍のとき窒素除去率が最大となった。また、MLSS濃度を3000 [mg/L] から4000 [mg/L] に高めた場合、窒素除去率の最大値は10%程度向上した。

Fig. 3 (2)は小型モデル装置を用いた実験結果である。シミュレーション結果と同様に、 L_{AER}/L_{ANA} と窒素除去率との間には相関があり、 L_{AER}/L_{ANA} が1近傍のとき窒素除去率が最大となった。またMLSS濃度が高い方が窒素除去率が良好となった。

以上より、 L_{AER}/L_{ANA} は1点間欠曝気式OD法の窒素除去の指標として妥当と言える。また、MLSS濃度が高い方が良好な窒素除去率が得られたことから、支援システムによるMLSS濃度管理の重要性も確認できた。

なお、 L_{AER}/L_{ANA} は、また溶存酸素濃度計をディッチの中央よりも少し上流（ロータ側）に設置することにより容易に得られる。もし、溶存酸素濃度計の値が0 [mg/L] 付近に定めた目標値よりも大きければ、好気ゾーン長が過剰であると判断して、曝気強度を弱めればよい。逆に、目標値よりも小さければ、曝気強度を強めればよい。

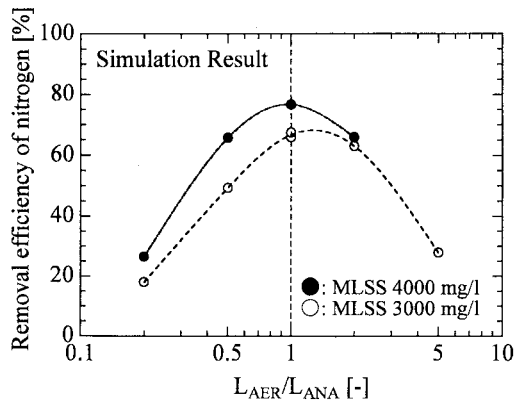


Fig. 3 (1) Simulation results for the relationship between the nitrogen removal efficiency and the L_{AER}/L_{ANA} ratio.

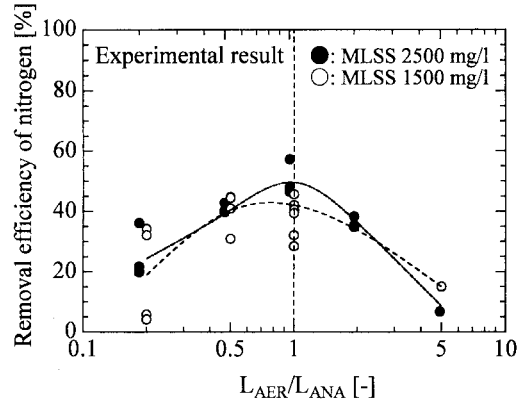


Fig. 3 (2) Experimental results for the relationship between the nitrogen removal efficiency and the L_{AER}/L_{ANA} ratio.

4.2 1点間欠曝気方式

1点間欠曝気方式では、好気ゾーン長、嫌気ゾーン長が曝気の起動・停止にあわせて時々刻々と変化する。そこで、一定時間内の好気ゾーン長の積算値と嫌気ゾーン長の積算値との比（好気/嫌気ゾーン長積算比、 $\Sigma L_{AER} / \Sigma L_{ANA}$ ）と窒素除去率との関係に注目した。

$\Sigma L_{AER} / \Sigma L_{ANA}$ の考え方は次のとおりである。例えば、曝気30分、停止30分の間に好気ゾーンと嫌気ゾーンがFig. 4のように推移するとき、

$$\Sigma L_{AER} = 30\text{m} \times 10\text{分} + 60\text{m} \times 10\text{分} + 60\text{m} \times 10\text{分} + 10\text{m} \times 10\text{分} = 1600 \text{ [m分]}$$

$$\Sigma L_{ANA} = 30\text{m} \times 10\text{分} + 50\text{m} \times 10\text{分} + 60\text{m} \times 10\text{分} + 10\text{m} \times 10\text{分} = 2000 \text{ [m分]}$$

よって比は

$$1600/2000 = 0.8 \text{ [-]}$$

となる。

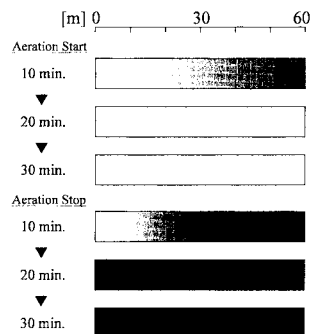


Fig. 4 Change of aerobic and anaerobic zone length of 1-point intermittent aeration.

Fig. 5(1)~(2)にシミュレーション結果ならびに実験結果から得た $\Sigma L_{AER}/\Sigma L_{ANA}$ と窒素除去率との関係を示す。両者の相関は1点連続曝気式OD法と同様の傾向を示し、 $\Sigma L_{AER}/\Sigma L_{ANA}$ が1近傍のとき窒素除去率が最大となった。 $\Sigma L_{AER}/\Sigma L_{ANA}$ は窒素除去の指標として妥当であることが確認できた。

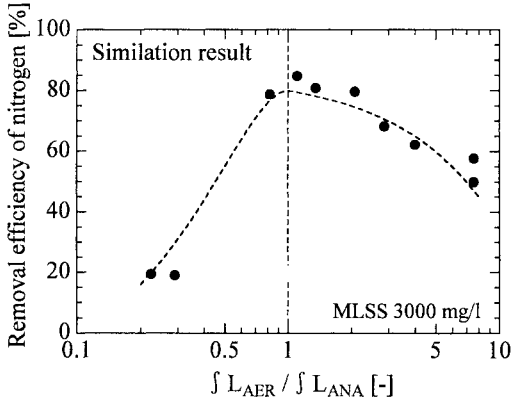


Fig. 5 (1) Simulation results for the relationship between the nitrogen removal efficiency and the $\Sigma L_{AER}/\Sigma L_{ANA}$ ratio.

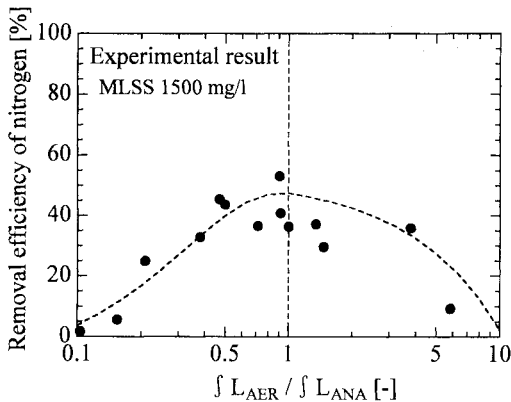


Fig. 5 (2) Experimental results for the relationship between the nitrogen removal efficiency and the $\Sigma L_{AER}/\Sigma L_{ANA}$ ratio.

ところで、最大窒素除去率を1点間欠曝気方式と連続曝気方式とで比較すると、前者の方が後者よりも良好である。例えばシミュレーション結果では、連続曝気方式の最大窒素除去率が67%であったのに対し、間欠曝気方式は88%であった。

この原因は次のように考えられる。連続曝気において L_{AER}/L_{ANA} を1にするためにはエアレータの出力を抑え

る必要があるが、間欠曝気において $\Sigma L_{AER}/\Sigma L_{ANA}$ の比率を1にするためには、エアレータの出力を抑える必要はなく、運転時間を調節するだけでよい。よって、後者の方が酸素供給量が多いため、硝化速度が大きくなるものと考えられる。実際、最大窒素除去率が得られたときの両者の溶存酸素濃度分布を比較すると (Fig. 6)、間欠曝気方式の方がレベルが高い。

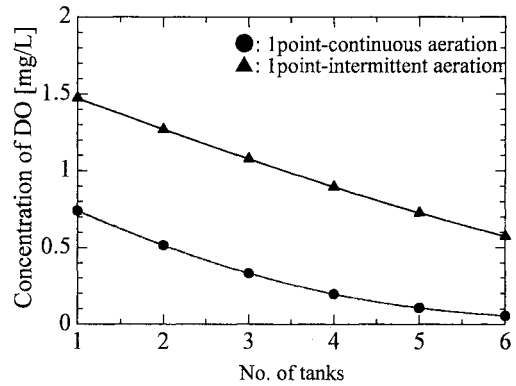


Fig. 6 Simulation results for the DO distributions of continuous aeration process and intermittent aeration process under the optimum condition.

硝化量自体は、速度と時間との積と比較しなければならないが、間欠曝気を適用すると硝化速度の上昇が著しく、曝気時間が減少しても硝化量は連続曝気を上回ったものと考えられる。脱窒量についても同様であり、これがより高い窒素除去率をもたらした。

なお、 $\Sigma L_{AER}/\Sigma L_{ANA}$ を求めるためには、溶存酸素濃度分布を実測するか推定する必要があり、若干手続きが複雑となる。

4.3 2点間欠曝気方式

2点間欠曝気方式の場合、1点間欠曝気方式のような好気ゾーンの伸縮は顕著でないと考えられる。そこで、回分式間欠曝気活性汚泥プロセスと同様に、好気保持時間と嫌気保持時間との比率 (好気/嫌気保持時間比、 T_{AER}/T_{ANA}) が窒素除去の指標として有望であると考えた。

Fig. 7(1)にシミュレーションから得た T_{AER}/T_{ANA} と窒素除去率との関係を示す。 T_{AER}/T_{ANA} はE点 (Fig. 2) における溶存酸素濃度から求めた。このように両者には相関が認められ、窒素除去率が最大となったのは、やはり T_{AER}/T_{ANA} が1近傍のときであった。最大窒素除去率

は1点間欠曝気方式とほぼ同じ値(87.5%)であった。

これらの傾向は実験結果からも確認できた。Fig. 7(2)に実験から得た T_{AER}/T_{ANA} と窒素除去率との関係を示す。シミュレーション結果と同様に両者には相関が認められ、 T_{AER}/T_{ANA} が1近傍のとき窒素除去率は最大となった。最大窒素除去率は1点間欠曝気方式とほぼ同じ値(56%)であった。

T_{AER}/T_{ANA} は、ディッチ内の任意の地点に設置した溶存酸素濃度計を用いて容易に求めることができる。すなわち、2点間欠曝気式OD法は、1点間欠曝気方式よりも高い窒素除去率が得られる上に、簡便な指標を用いて運用することができる。

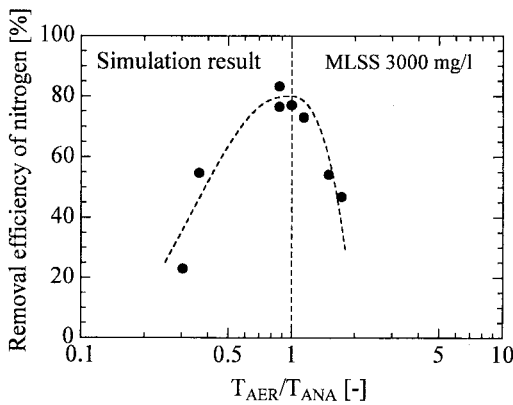


Fig. 7 (1) Simulation results for the relationship between the nitrogen removal efficiency and the T_{AER}/T_{ANA} ratio.

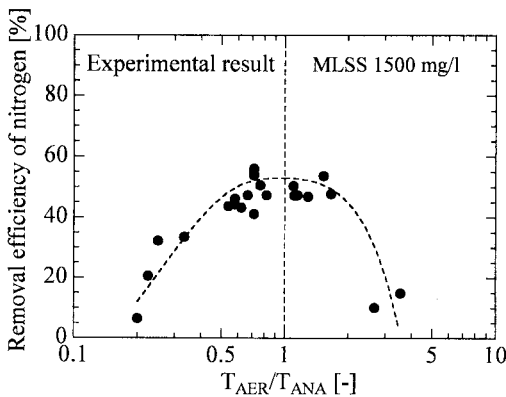


Fig. 7 (2) Experimental results for the relationship between the nitrogen removal efficiency and the T_{AER}/T_{ANA} ratio.

以上の検討結果を Table 3 にまとめる。オキシデーシオンディッチプロセスにおける硝化・脱窒処理は、曝気方式によりそれぞれ特徴はあるが、嫌気・好気の比率を共通の概念として簡便かつ実用的な支援システムを構築できる見通しを得た。

Table 3 Operational index for every aeration type process.

Aeration type	Operational index	Optimum value
1-point continuous aeration	L_{AER}/L_{ANA}	1
1-point intermittent aeration	$\int L_{AER} / \int L_{ANA}$	
2-point intermittent aeration	T_{AER}/T_{ANA}	

5. 結論

本報では、小規模下水処理方式として代表的なオキシデーシオンディッチ法をとりあげ、運転管理者の負担を増大させることなく高度な窒素除去を実現するための運転支援システムについて検討した。

計算機シミュレーションならびに小型モデル装置を用いた実験を行った結果、1点連続曝気方式に対しては、好気/嫌気ゾーン長比、1点連続曝気方式に対しては好気/嫌気ゾーン長積算比、2点間欠曝気方式に対しては好気/嫌気保持時間比が窒素除去の指標となることがわかった。また、いずれの指標に対しても最適値として1が得られた。これらの指標は溶存酸素濃度の計測値から容易に求められるので、たいへん実用的である。

OD法による窒素除去は曝気方式によりそれぞれ特徴はあるが、好気・嫌気バランスを基本概念として、簡便かつ実用的な運転支援システムを構築できる見通しを得た。今後も本システムの最適化をめざし、詳細な検討を継続したい。

(参考文献)

- 1) 村田恒雄：下水の高度処理技術、理工図書(1992)
- 2) 高橋正宏：下水道高度処理のこれまでとこれから、月刊下水道、14、1、6-9(1991)
- 3) Araki, H., Koga, K., Inomae, K., Kusuda, T. and Awaya, Y. : Intermittent aeration for nitrogen removal in small oxidation ditches, Wat. Sci. Tech., 22, 3/4, 131-138(1990)
- 4) 高橋強、治多伸介、鈴木真理子：オキシデーシオンディッチ法の動力学的解析による高率窒素除去と最適運転管理、農業土木学会論文集、167、76-72(1993)

- 5) 中村豊、川島普：1点酸素供給型オキシデーションディッチ法の合理的設計について、水処理技術、32、7、365-374 (1991)
- 6) 古川誠司：回分式間欠曝気活性汚泥プロセスにおける高率窒素除去のための運転支援システム、日本水処理生物学会誌、32、4、235-245 (1996)
- 7) 小規模下水道計画・設計指針(案)、日本下水道協会 (1984)
- 8) Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. T. and Marais, G. v. R. : Activated Sludge Model No. 2, IAWQ Sci. Tech. Rep., No. 3, IAWQ, London (1995).
- 9) 建設省技術評価書第82402号 (1982)
(受付 1997.12.4)
(受理 1998.1.21)