

＜研究発表＞

下水高度処理プロセスの管理に適した ORP センサーの開発

加藤敏朗¹, 三木理¹, 高橋直哉¹, 村上孝雄²

新日本製鐵株式会社 技術開発本部(〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 E-mail:tkato@re.nsc.co.jp)

日本下水道事業団 (〒335-0037 埼玉県戸田市下笹目 5141 E-mail:murakamit@jswa.go.jp)

概要

生物学的な窒素・りん除去プロセスを効率的に制御するため、各反応槽の ORP(酸化還元電位)を指標とした運転管理手法の研究開発を行なっている。ORP センサーは使用状況によっては正確な計測値が得られない場合があり、センサーの維持管理方法が課題とされている。A₂O 法のパイロットプラント規模の実験装置を用いた実証実験において、2タイプの自動洗浄方式(ブラシ洗浄方式、エアジェット洗浄方式)の ORP センサーの適用可能性を検討し、その実用性について知見を得たので報告する。

キーワード: 窒素、りん、ORP、制御、嫌気・無酸素・好気法

1. はじめに

閉鎖性水域における富栄養化を防止するための施策として、下水中の窒素やりの除去を目的とした高度処理の適用が進みつつある。下水中の窒素・りん除去法として嫌気—無酸素—好気法(以下、A₂O 法という)をはじめとした生物学的処理法が提案されているが、窒素・りんを安定的に、かつ、省エネルギー的に除去するためには下水の水質変動や活性汚泥の状態に応じたきめ細かな運転管理が重要となる。著者らは、生物学的な窒素・りん除去プロセスの新たな制御手法として、従来の管理パラメータに加え、各反応槽の ORP(酸化還元電位: Oxidation-Reduction Potential)を管理指標とすることが重要と考えている¹⁾⁵⁾。しかしながら、ORP センサーは使用状況によっては正確な計測値が得られない場合があり、センサーの維持管理方法が課題とされている。例えば、センサーの検出部に油分の付着や生物膜の形成などが生じ、検出部が嫌気化して ORP 計測値が徐々にまたは急速に低下するため、そのような場合にセンサーの検出部を洗浄する必要があるが、洗浄の頻度やタイミングについては判断が難しい。そこで本報では、自動洗浄方式の ORP センサーの適用可能性を検討し、その実用性について知見を得たので報告する。

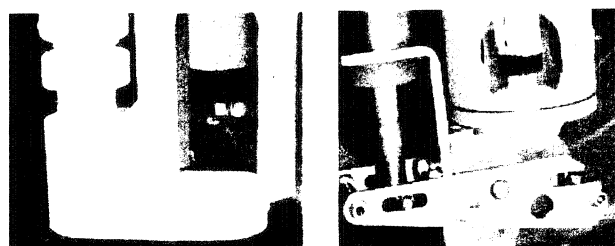
2. 実験方法

都市下水を主体とする分流式の下水処理場(現有処理能力 26,000 m³/d)の最初沈澱池越流水を実験原水として使用した、生物学的窒素・りん除去実験装置(A₂O 法; 処理量 20 m³/d)の嫌気槽(容量 2.5m³)、好気槽(容量 2.5m³)に自動洗浄型および非自動洗浄型の ORP センサーをそれぞれ設置し計測値を比較した(Table 1)。なお、いずれの ORP センサーとも Ag/AgCl 基準のものを用いた。自動洗浄型の

ORP センサーは、エアジェット方式(Fig.1(a))およびブラシ方式(Fig.1(b))を用いた。前者は定期的にパルスエアによって検出部を洗浄する方式であり、今回の検討では2時間毎の洗浄頻度とした。後者は定期的にブラシが稼動して検出部の汚れを除去する方式であり、今回の検討では12時間に1回(30秒間)の設定とした。一方、比較のために設置した非自動洗浄型 ORP センサーは、週1回の頻度でブラシを使った手洗浄を実施し、洗浄後、キンヒドロン標準液で校正した。また、嫌気槽においてはもう1本の非自動型 ORP センサーを設置し、全く洗浄せず計測値を観測した。

Table 1 ORP センサー設置状況

	嫌気槽	好気槽
自動洗浄型	A.エアジェット洗浄方式 洗浄頻度:2時間毎	A.エアジェット洗浄方式 洗浄頻度:2時間毎
	B.ブラシ洗浄方式 洗浄頻度:12時間毎	B.ブラシ洗浄方式(*) 洗浄頻度:12時間毎
非自動洗浄型	C.手洗浄 週1回洗浄~校正	C.手洗浄 週1回洗浄~校正
	D.洗浄無し	
備考		*+90mV 以下で制御エア作動



(a)エアジェット方式

(b)ブラシ方式

Fig.1 自動洗浄型 ORP センサーの検出部写真

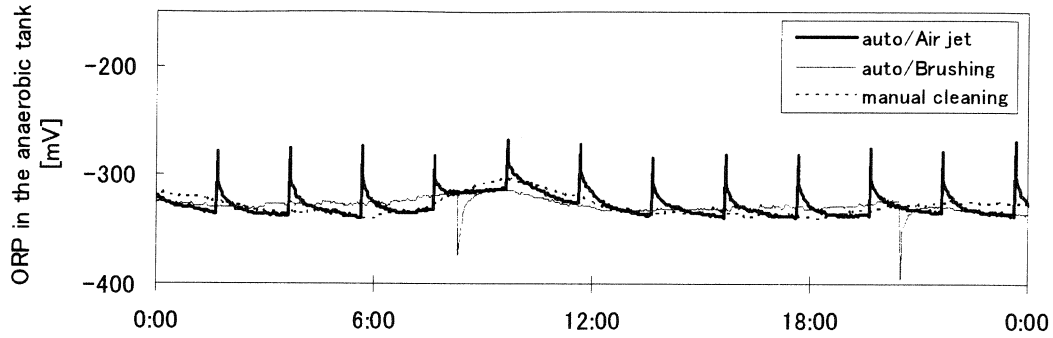


Fig.2(a) 嫌気槽における ORP 計測値の経時変化例 (2005.12.1)

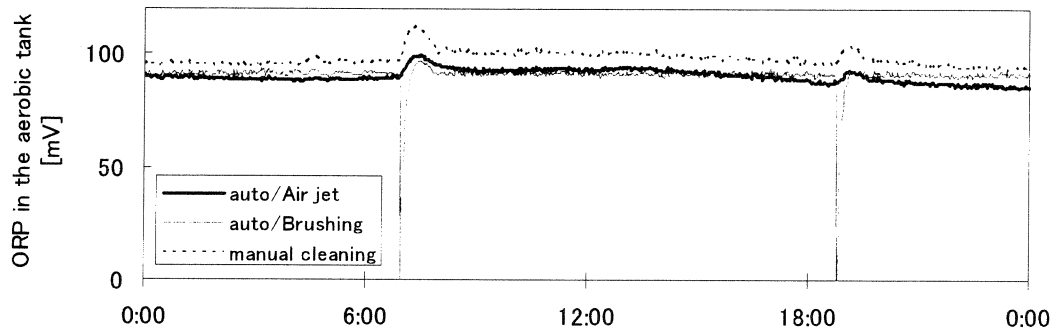


Fig.2(b) 好気槽における ORP 計測値の経時変化例 (2005.7.2)

3. 実験結果および考察

Table 1 に示した設置条件にて実施した 2005 年 9 月から 2006 年 2 月までの計測データ (2 分毎の時系列データ) に基づいて、自動洗浄型センサーおよび非自動洗浄型センサーの特性を考察した。

3.1 洗浄時の ORP 計測値の変動について

嫌気槽および好気槽に設置した自動洗浄型 ORP センサーの計測値の 24 時間経時変化の典型例を Fig.2(a) および Fig.2(b) にそれぞれ示した。なお、比較のため非自動洗浄型 ORP センサーの計測値についても図示した。

ブラシ洗浄方式の自動洗浄型 ORP センサーでは、嫌気槽、好気槽ともに洗浄時の ORP 計測値が低下する傾向が観測され、計測値の低下は嫌気槽および好気槽でそれぞれ $55 \pm 12\text{mV}$ (2005.11/27 ~ 12/3; n=14)、 $126 \pm 38\text{mV}$ (2006.6/27 ~ 7/3; n=14) であった。

一方、エアジェット洗浄方式の ORP センサーは、嫌気槽では洗浄時に一過的な ORP 計測値の上昇が観察されたが、好気槽では顕著な変動は確認されなかった。嫌気槽におけるエアジェット洗浄時の計測値上昇は $60 \pm 6\text{mV}$ (2005.11/27 ~ 12/3; n=84) であった。

Fig.2 に示した期間において嫌気槽では ORP 計測値は観察するのみであったのに対して、好気槽ではブラシ洗浄方式 ORP センサーの計測値に基づいた制御を実施していた。Fig.2(b) において、ブラシ洗浄後の計測値復帰までのタイミングで観察されたエアジェット洗浄方式 ORP センサー計測値および非自動洗浄型 ORP センサー計測値の上昇は、制御に用いたブラシ洗浄方式 ORP センサーの計測値が $+90\text{mV}$ を下回ったために補助ブロウが作動し、実際の ORP 値が一時的に上昇したためと考えられる。つまり、自動洗浄型の ORP センサーを運転制御に用いる場合は、洗浄時の計測値変動に対する配慮が必要であることを示しており、平常値

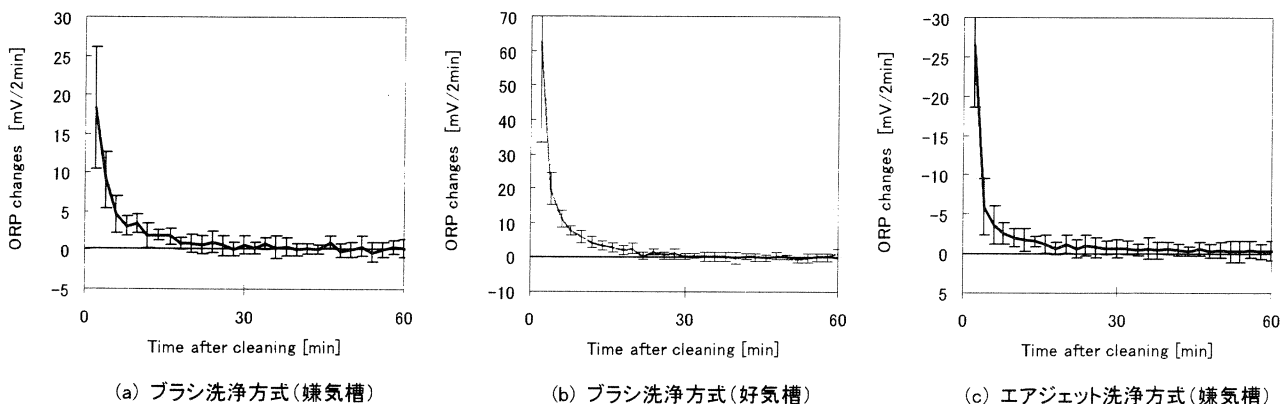


Fig.3 自動洗浄後の ORP 計測値の変化

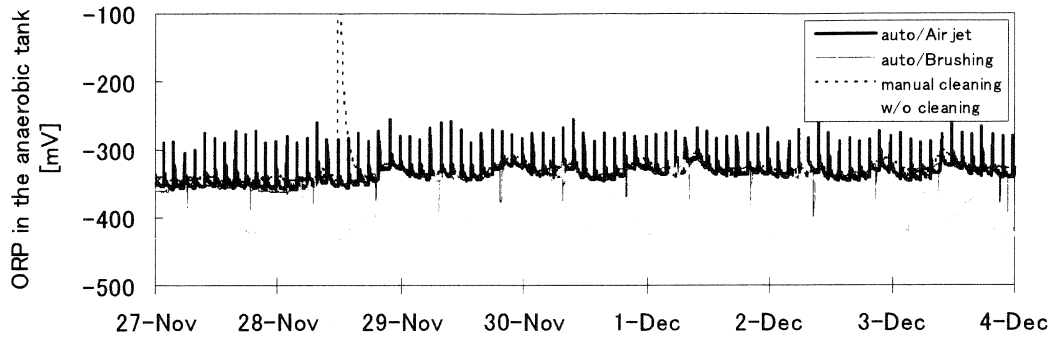


Fig.4(a) 嫌気槽における ORP 計測結果例

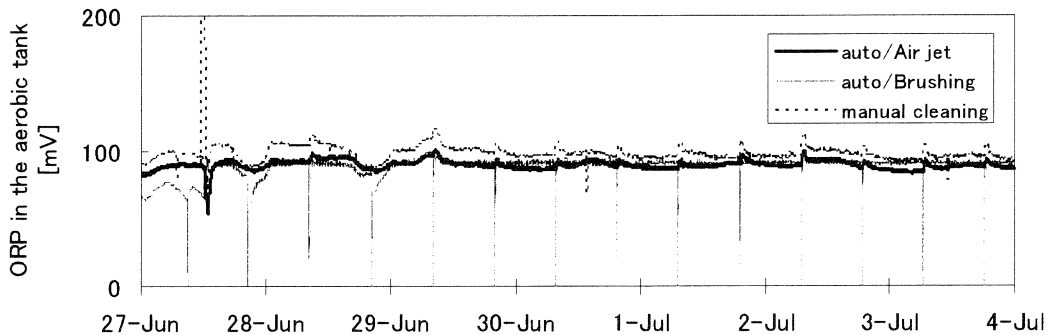


Fig.4(b) 好気槽における ORP 計測結果例

へ戻るまでの復帰時間を明確にする必要がある。

Fig.3(a)~(c)に自動洗浄後の ORP 計測値(いずれも 1 週間分の計測データを集計)の 2 分毎の変化量の平均値と標準偏差を例示した。好気槽ではブラシ洗浄方式の ORP センサー計測値に基づいた制御を実施しているため、それを実施していない好気槽に比べて復帰時間が短いことが予想されたが、嫌気槽 (Fig.3(a))、好気槽 (Fig.3(b))とも大差なく、ブラシ洗浄方式では平常値に復帰するのに 30 分程度で要した。また、データは示さないが、好気槽においてブラシ洗浄方式の ORP センサー計測値に基づいた制御を実施しなかった場合であっても、平常値に復帰するのに 30 分程度で要した。一方、エアジェット方式では嫌気槽で使用した場合 30 分超を要する結果を得た (Fig.3(c))。

3.2 計測値の安定性について

嫌気槽および好気槽に設置した自動洗浄型 ORP センサーの計測値の 1 週間の経時変化の典型例を Fig.4(a)および Fig.4(b)にそれぞれ示した。なお、比較のため非自動洗浄型 ORP センサーの計測値についても図示した。

Fig.4(a)に示した嫌気槽における ORP 計測結果は、全 ORP センサーを手洗浄および校正して観測を開始してからおよそ 2 ヶ月を経過した時点でのデータである。まず、自動洗浄方式の 2 種の ORP 計測値では前項で示したように洗浄時の計測値変動が顕著に観察された。次いで、図中点線でプロットした手洗浄のセンサー計測値において 11/28 観測された計測値上昇はキンヒドロ校正に起因している。これらの 3 種の計測値は、洗浄時ないしは校正時の変動以外の期間においてはほぼ同様の傾向で推移した。一方、計測開始以降、洗浄等の処置を施さなかった場合 (図中“w/o clean-

ing”)、データは示さないが概ね 1 週間で他の洗浄型のセンサー計測値との乖離 (低下) が観察されるようになり、その後、低い計測値のまま推移したが、計測場の環境に対するセンサーの応答性が消失するのではなく、Fig.4(a)に示したように、水槽内の酸化還元雰囲気に応答するような日周期パターンを示した。この変動パターンを根拠にセンサーの正常性を誤認する可能性があることに十分留意する必要がある。

Fig.4(b)に示した好気槽における ORP 計測結果は、エアージェット方式の ORP センサーを設置して比較計測を開始した後、2 週間程度経過した時点のデータである。嫌気槽と同様にブラシ洗浄方式の ORP センサーに関する洗浄時の計測値低下および手洗浄の ORP センサーではキンヒドロ校正起因の計測値増加が観察された。また、エアージェット洗浄方式の計測値については、既に述べたとおり、洗浄時の変動は観察されない。当該期間は、ブラシ洗浄方式の ORP センサー計測値に基づいた曝気制御を実施しているため、制御エアージョ不足 (6/8 と 6/9 の午後) やベースエア量超過 (6/29 午前) 等の流入負荷とエアージョ量のアンバランスな時期を除いて、ブラシ洗浄方式の ORP センサー計測値は概ね設定値である +90mV で保持されていた。

各センサー計測値の相違を定量的に考察するために、累積度数分布を算出した。嫌気槽設置の 4 種のセンサー計測値については Fig.4(a)に図示した 1 週間分、また、好気槽設置の 3 種のセンサー計測値については Fig.4(b)に図示した 1 週間分、いずれも 2 分毎の経時データ (n=5040) を解析に供した。

嫌気槽設置のセンサーに関する結果を Fig.5(a)に示した。自動洗浄型の ORP センサーの計測値については、洗浄時

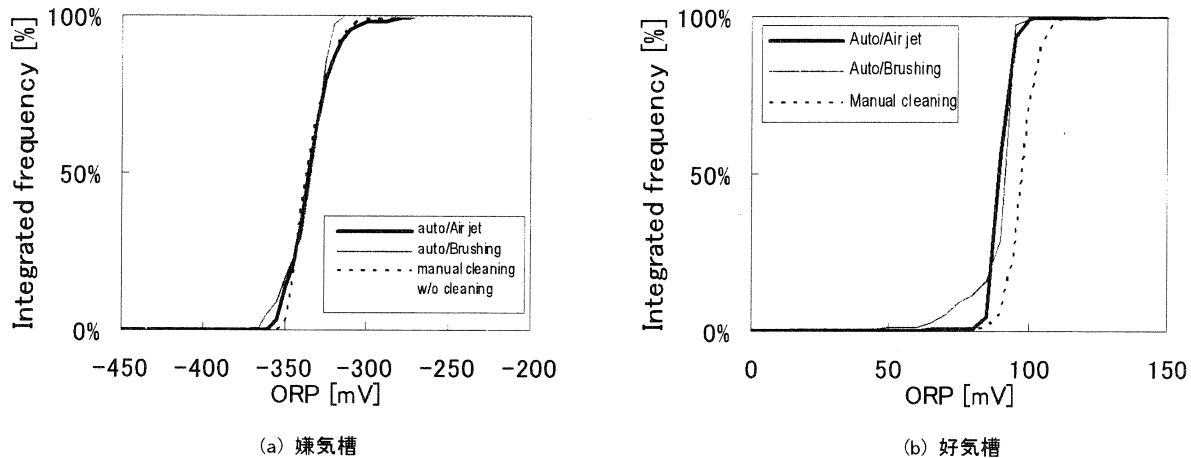


Fig.5 ORP 計測値の累積度数分布比較

の変動に伴う傾向、すなわち、エアジェット洗浄方式では高位の出現頻度が、また、ブラシ洗浄方式では低位の出現頻度がそれぞれ若干高く出る傾向が現れている。しかしながら、エアジェット洗浄方式、ブラシ洗浄方式、手洗浄、洗浄無しの ORP 計測値の中央値はそれぞれ -336 、 -334 、 -336 、 -403mV であり、洗浄無し以外の 3 種の ORP センサーについてはほぼ同程度の計測値が得られた。但し、非自動洗浄型では、週 1 回の手洗浄の場合、流入下水の水質によっては計測値が著しく低下することも懸念されることから、確度の高い計測値を安定的に得るためには自動洗浄型の ORP センサーを採用することが望ましいと考えられる。

好気槽設置のセンサーに関する結果を Fig.5(b) に示した。自動洗浄型の ORP センサーのうち、ブラシ洗浄方式の計測値については、洗浄時の変動に伴う低位の出現頻度が高くなる傾向が現れている。エアジェット洗浄方式、ブラシ洗浄方式、手洗浄の ORP 計測値の中央値はそれぞれ $+91$ 、 $+90$ 、 $+97\text{mV}$ であり、非自動洗浄型センサーの計測値のみに比べて 7mV 程度高い値であったが、当該センサーは実験開始当初より 10mV 程度の指示値の開きがあったことから、センサー自体の個体差である可能性が考えられ、Fig.5(b) に示したように非自動洗浄型センサーの計測値の累積度数曲線は他の計測値の曲線に比べてプラス側へシフトしている傾向であったこともそれを支持している。したがって、好気槽の運転管理にはいずれのセンサーも適用可能と考えられるが、非自動洗浄型のセンサーについてはある程度の頻度で検出部を手洗浄する必要があるという点を踏まえて維持管理すべきである。

4. まとめ

検討を行った 2 種類の自動洗浄型 ORP センサーは、洗浄効果が高く、嫌気槽、好気槽のいずれの反応槽においても確度の高い ORP 計測値を得ることができた。

但し、ブラシ洗浄方式の場合、洗浄時に一過的な ORP 計測値の低下がみられ、平常値への回復に 30 分程度を要した。また、エアジェット洗浄方式の場合、特に嫌気的な環境

下において洗浄時に ORP 計測値の一過的な上昇がみられ、平常値への回復に 30 分程度を要した。したがって、これらの自動洗浄型の ORP センサーを制御用に用いるには洗浄時の計測値変動や平常値への回復に対する配慮が必要である。

非自動洗浄型の ORP センサーについてはある程度の頻度で検出部を手洗浄する必要があるという点を踏まえて維持管理すべきである。

【参考文献】

- 1) 三木 理、加藤敏朗、當間久夫、栗田建紀(2003) ORP 管理 A_2O 法による窒素・りん除去の安定化、第 40 回下水道研究発表会講演集、730-732
- 2) 加藤敏朗、三木 理、糸川浩紀、村上孝雄(2004) ORP による窒素・りん除去プロセスの管理/制御手法の開発、第 41 回下水道研究発表会講演集、816-818
- 3) 加藤敏朗、高橋直哉、三木 理、糸川浩紀、村上孝雄(2005) 嫌気槽の ORP 制御による生物学的りん除去の安定化の検討、第 39 回日本水環境学会年会、495
- 4) 加藤敏朗、三木 理、高橋直哉、瀬戸口浩、山里昌春、糸川浩紀、村上孝雄(2005) 下水高度処理の管理に適した ORP センサーの開発、第 42 回下水道研究発表会、798-800
- 5) 三木 理、加藤敏朗、糸川浩紀、村上孝雄(2005) りん除去安定化のための ORP による酢酸添加制御、第 42 回下水道研究発表会、801-803

【共同研究者】

新日本製鐵(株): 栗田建紀、當間久夫

東亜ディーケーケー(株): 瀬戸口浩、山里昌春

日本ガイシ(株): 岡本裕三、甘道公一郎、松原極

富士電機システムズ(株): 森岡崇行/富士電機アドバンスト

テクノロジー(株): 古屋勇治