

マルチ制御モード方式による曝気風量制御

Multiple control-mode system using on two or more sensors

○足利伸行, 小原卓巳, 山本勝也

株式会社東芝

○Nobuyuki Ashikaga, Takumi Obara, Katsuya Yamamoto

Toshiba Corp.

Abstract

This paper presents the multiple aeration control-mode scheme using an ammonium-ion sensor and a dissolved oxygen sensor for biological wastewater treatment plants. The control scheme enables us to reduce the operational cost associated with aeration while keeping the effluent quality.

The feedback control using only ammonium-ion sensor reduces the aeration cost compared with DO control, but occasionally makes worse effluent water quality in the rainy weather. Numerical simulations using real process data illustrate the effectiveness of the multiple control-mode scheme in order to solve the problem.

keywords: feedback control, ammonium-ion sensor, biological wastewater treatment, aeration, activated sludge model

1. はじめに

嫌気—無酸素—好気活性汚泥法(以下 A2O 法と記す)は、窒素、リンの同時除去が可能である下水高度処理プロセスのひとつである。A2O 法では、従来の活性汚泥処理で行われる有機物除去に加え、窒素成分の除去を行うために必要な酸素量が増加し曝気風量が増加することが知られている。これに対して、アンモニア計を用いた曝気風量制御を適用することにより、従来法である DO 制御と比較して、曝気風量を削減できる可能性がある^{1) 2)}。しかしアンモニア計を用いた曝気風量制御では、雨天時等の急激な水質・水量の変動時に、放流水質が悪化する恐れがある³⁾。

本報では、A2O 法の曝気風量制御に対して、雨天時等の急激な変動時においても完全硝化が可能な曝気風量制御方式として、アンモニア計に加え、それ以外のセンサを用いたマルチ制御モード手法を提案する。その 1 例として、アンモニア計と DO 計を用いた制御手法に関して、IWA (国際水協会) の活性汚泥モデルを用いたシミュレーションにより検討した結果を報告する。

2. シミュレーション方法

2-1 処理施設とマルチ制御モードシステムの概要

今回検討した処理施設と提案するマルチ制御モードシステムを Fig.1 に示す。生物反応槽は隔壁により 8 槽に分けられており、図中、A 槽が水中攪拌機により攪拌される嫌気槽、B~C 槽が水中攪拌機により攪拌される無酸素槽、D~H 槽が散気板による曝気が行われる好気槽とする。アンモニア計を用いた曝気風量制御 (以下アンモニア制御と記す) では、好気槽後段の G 槽に設置したアンモニア計にてアンモニア濃度を計測し、その値を制御目標値

(アンモニア性窒素濃度 2.0mg/L) になるように曝気風量を調節するフィードバック制御を行う。好気槽内では、無酸素槽から流入したアンモニアは、微生物の作用により酸化され硝酸となる。完全硝化を行うべく曝気風量を制御した場合、好気槽末端ではアンモニア濃度が 0mg/L となり、制御が不可能となる。よって、好気槽中段部にアンモニア計を設置し、末端のアンモニア濃度が 0mg/L となるような測定点における制御目標値を設定し、曝気風量を制御する方式を採用する。また、流入流量、流入水質の変動を考慮するため、流入負荷量によるフィードフォワード補正を行う。

このアンモニア制御に対して、A~H 槽のいずれかに設置したセンサによる測定値を用いた曝気風量制御を組合せ、あるルールに基づきアンモニア制御との切替を行うマルチ制御モード方式を検討した。

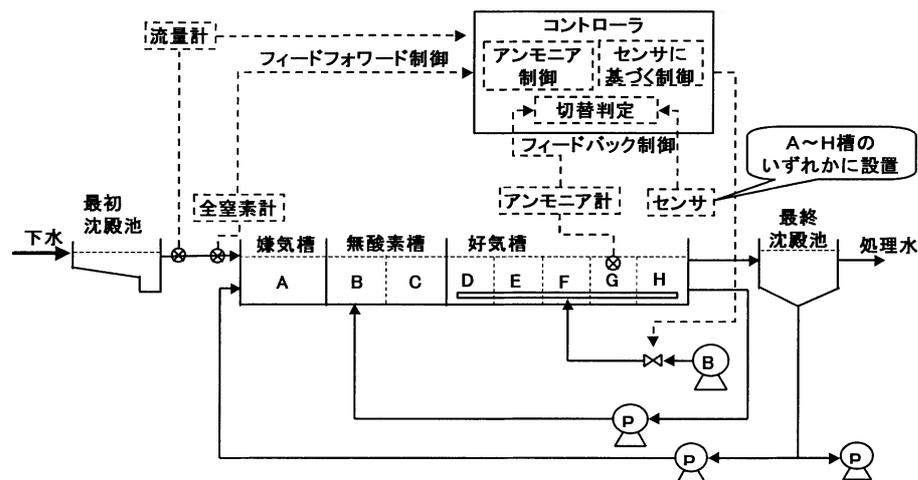


Fig.1 処理施設の概要と制御システム

2-2 アンモニア計と DO 計を用いたマルチ制御モード

本報では1例としてFig.1にて好気槽末端のH槽に設置したDO計をセンサとして用いる場合を検討する。これは曝気風量制御として、測定されたDO値を用い、その値を制御目標値とするようなフィードバック制御(以下DO制御と略す)とアンモニア制御を組合せたマルチ制御モードとなる。

DO制御は、制御周期は早いが水質成分を測定していないために安全側の運転を行う必要があり、曝気風量が多くなる傾向にある。またアンモニア制御では水質成分を測定しているため適正な曝気風量を送ることができるが、制御周期が長く、水質などの急変時に

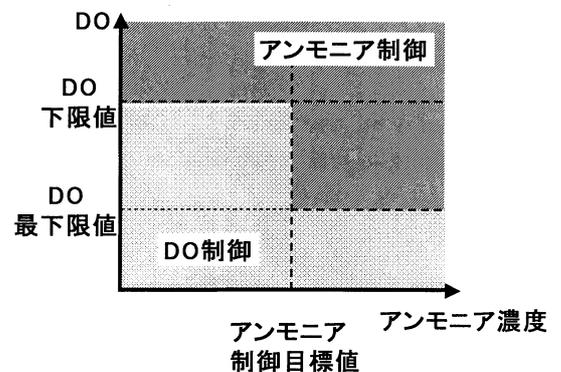


Fig.2 マルチ制御モードの切替方法

対応できないといった課題がある。これを解決するための、アンモニア制御とDO制御の切替方法をFig.2に示す。切替制御においては、アンモニア濃度に関しては制御目標値を、DOに関しては下限値と最下限値を設定し、

- ①DO 下限値以上ではアンモニア濃度によらずアンモニア制御を実施、
- ②DO 最下限値以下ではアンモニア濃度によらず DO 制御を実施、
- ③DO 濃度が下限値以下、最下限値以上ではアンモニア濃度により制御方法を切替する、

といった制御方法を採用した。

2-3 シミュレーション検討方法

シミュレーションモデルは、嫌気槽、無酸素槽、好気槽の生物反応槽としては国際的標準モデルであるIWAの活性汚泥モデルNo.2d⁴⁾、最終沈殿池のモデルとしては、固形成分はすべて沈降すると仮定した完全沈降モデルを用いた。また、好気槽内での水質濃度分布を表現するために好気槽を9分割(D槽~G槽の各槽を各々2分割(長さ6mで分割)し、H槽は1分割(10m))したシミュレータを利用した。シミュレーション時の活性汚泥モデルの動力学パラメータは、実プラントの水質成分の濃度分布に合うようにパラメータのキャリブレーションを行ったものを用いた。パラメータをTable 1に示す。流入条件に関しては、実プラントの夏季1ヶ月分のデータを用いた。その入力条件をTable 2に示す。なお、窒素、リンは流入水質をオンラインセンサで計測したものを、流入COD_{mn}は実プラントの平均有機物濃度分布を入力とした。

3. 結果および考察

DO濃度の経日変化をFig.3に示す。アンモニア制御のみを実施した場合、雨天時にはDOの低下が発生し、それに伴い放流水アンモニア濃度が0.5mg/L以上と完全硝化が行えない状態が発生した。この原因としては以下の2点が考えられる。

①入水全窒素濃度および流入水量による

フィードフォワード補正に関して

雨水による全窒素濃度の希釈により流入全窒素濃度が急激に低下した場合、風量を削減させる方向に制御が働く。

②雨水による希釈および循環による

希釈に関して

好気槽流入アンモニア濃度が制御目標値以下となり、処理が行えていないにもかかわらず風量を削減させる。

Table 1 流入条件

記号	名称	入力	単位
So2	溶存酸素濃度		0 gCODcr/m ³
Sf	易分解性有機物	処理場流入COD _{mn} × 3 × 30/260	gCODcr/m ³
Sa	酢酸	処理場流入COD _{mn} × 3 × 20/260	gCODcr/m ³
Snh4	アンモニア	流入T-N計測値 × 0.6	gN/m ³
Sno3	硝酸		0.5 gN/m ³
Spo4	リン酸	流入T-P計測値	gP/m ³
Siin	難分解性有機物	処理場流入COD _{mn} × 3 × 30/260	gCODcr/m ³
Sn2	窒素ガス		0 gN/m ³
Salk	アルカリ度		5 molHCO ₃ ⁻ /m ³
Xiin	難分解性有機物	処理場流入COD _{mn} × 3 × 25/260	gCODcr/m ³
Xsin	遅分解性有機物	処理場流入COD _{mn} × 3 × 125/260	gCODcr/m ³
Xh	従属栄養微生物	処理場流入COD _{mn} × 3 × 30/260	gCODcr/m ³
Xpao	リン蓄積性微生物		0.1 gCODcr/m ³
Xpp	ポリリン酸		0 gCODcr/m ³
Xpha	リン蓄積微生物細胞内蓄積物		0 gCODcr/m ³
Xaut	硝化菌		0.1 gCODcr/m ³
Xmeoh	水酸化鉄		0 gFe(OH) ₃ /m ³
Xmep	リン酸鉄		0 gFePO ₄ /m ³

Table 2 流入水条件

	平均値	最小値	最大値
流入流量 (m ³ /h)	600	150	1100
流入全窒素濃度 (mg/L)	20	5	40
流入COD _{mn} 濃度 (mg/L)	90	80	110

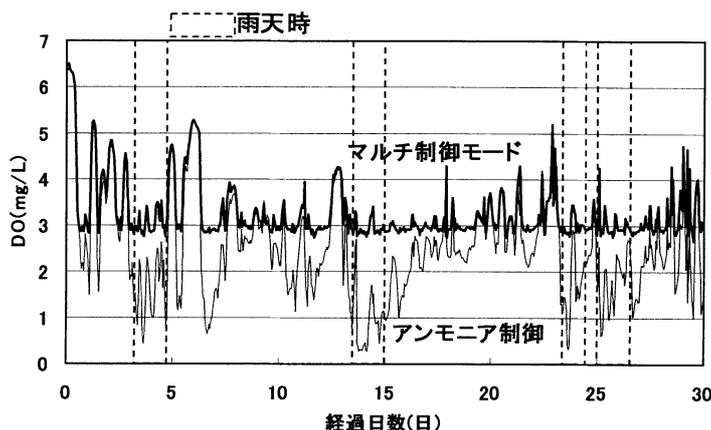


Fig. 3 DO制御の経日変化

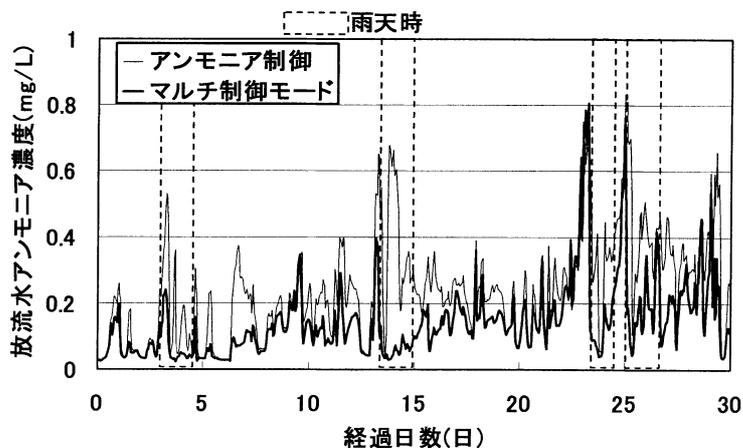


Fig. 4 放流水アンモニア濃度の経日変化

一方マルチ制御モードを適用した場合は、雨天時における DO の低下を防止することが可能であるため、放流水アンモニア濃度の上昇を防止できることが明らかとなった。

Fig. 5 にマルチ制御モードにおける DO 制御の発生比率を示す。DO 下限値を 3.0mg/L とした場合、約 7 割の期間で DO 制御が行われている。DO 下限値を低下させることで、DO 制御が行われている期間が減少し、アンモニア制御が行われている期間が増加する。これらに対する制御実施時の平均曝気風量を Fig.6 に示す。DO 制御実施と比較して、DO 下限値を 3.0mg/L とした場合には平均曝気風量は約 15% 削減されるが、DO 下限値をそれ以下に低下させた場合は 17% 程度、アンモニア制御のみの場合では 18% 程度の削減率となっている。これは、風量目標値が低下した際に散気管の目詰まりを防止する目的で設けた機械的な最低風量のために風量が削減されなかったためと思われる。これらの結果により、処理施設では、マルチ制御

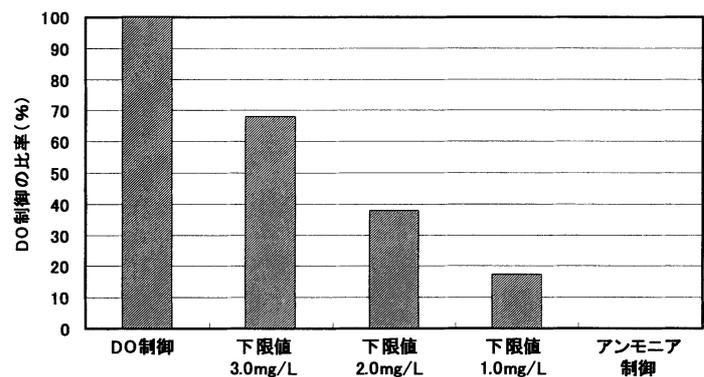


Fig. 5 マルチ制御モードにおける DO 制御実施の比率

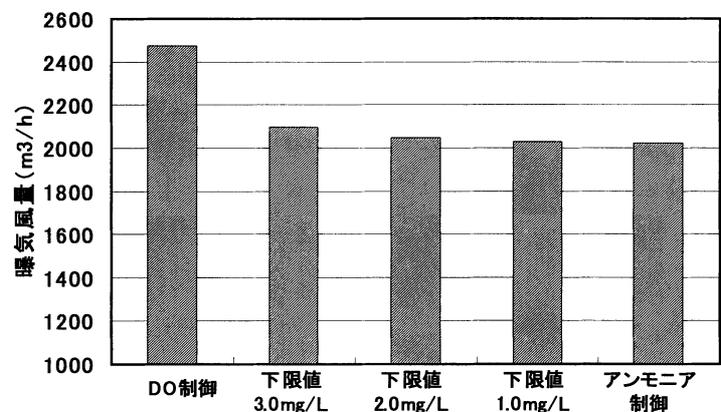


Fig. 6 マルチ制御モードにおける平均曝気風量

モードにおける DO 下限値として、3.0mg/L を採用することが有効であることが明らかとなった。またアンモニア制御は、高負荷の流入時における DO 制御の補完的な役割を示すことも明らかとなった。

4. おわりに

今回、下水高度処理プロセスに対して、アンモニア計と DO 計を用いたマルチ制御モード方式を導入することにより水質、水量の急変時にも対応できることが水質シミュレーションにより確認でき、従来の DO 制御と比較して曝気風量を約 15% 削減できることがわかった。また機械的な風量制約がある場合はマルチ制御モードにおける DO 下限値を低下させた場合でも風量削減効果が少なく、その場合アンモニア制御は高負荷流入時の DO 制御の補完的役割を果たしていることが明らかとなった。今後実プラントにより制御実験で有効性を確認していきたい。

参考文献

- 1) Pernille Inghidsen, Realising Full-Scale Control in Wastewater Treatment Systems Using In Situ Sensors, Phd thesis, Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, (2002)
- 2) 時盛 他, 「嫌気好気活性汚泥法における硝化制御システム」第 36 回下水道研究発表会, pp496-498, (1999)
- 3) 足利 他, 「アンモニア計と DO 計を用いた曝気風量制御」第 41 回下水道研究発表会, pp879-881, (2004)
- 4) IWA task group : Activated Sludge Model No.2d