

## 硝化制御による曝気風量の節減

○古川誠司<sup>1</sup>、安齋純雄<sup>2</sup>

廣辻淳二<sup>1</sup>、田中久雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>. 三菱電機(株)先端技術総合研究所

<sup>2</sup>. 東京都下水道局 南多摩処理場

<sup>3</sup>. 三菱電機(株)電力・産業システム事業所

**概要:** 活性汚泥プロセスにおける硝化処理に必要な曝気風量を節減するための「硝化制御システム」を開発した。本システムは、曝気槽内のアンモニア性窒素 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) 濃度を計測しながら曝気風量を調節することにより、常に過不足のない風量で  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  を除去できる。Activated Sludge Model No.2d を用いたシミュレーションでは、硝化制御の適用により従来の DO 制御よりも約 10%少ない風量で同等の硝化処理を行えることが示された。東京都内の下水処理場で行った実証実験でも、曝気槽内の  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度を目標値通りに制御することに成功し、約 12%の風量節減効果を確認した。

**キーワード:** 硝化、制御、省エネルギー、曝気

### 1. はじめに

窒素・りん総量規制の実施に関する答申<sup>1)</sup>を受け、全国の下水処理場で窒素・りん除去のための施設改造や技術導入が加速すると予想される。一方「地球環境保護のための  $\text{CO}_2$  削減」という社会的要請から、下水処理場での消費電力量節減すなわち省エネルギーを推進することも強く求められている。

東京都下水道局と共同で開発した「硝化制御システム」は、曝気槽末端のアンモニア性窒素 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) 濃度が所定の値となるように曝気風量を調節するものであり、従来よりも効率的な硝化処理を実現できる。本報では、硝化制御システムの原理・システム構成を紹介するとともに、IWA 活性汚泥モデル No.2d (Activated Sludge Model No.2d, ASM2d)<sup>2)</sup>を用いたシミュレーション結果や、実際の下水処理場で行った実証実験の結果を示しながら、本法の水質制御効果ならびに省エネ効果について述べる。

### 2. 硝化制御システムの原理と特長

硝化制御システムの原理自体は、非常にシンプルである。Fig. 1 に示すように、曝気槽末端の  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度を計測しながら、これと目標値との偏差に応じて曝気風量を調節する。

従来の曝気方式、例えば流量倍率一定制御では、風量は流入流量に応じて調節されるだけなので、流入負荷の変動に対し  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度を一定に維持することはできなかった。一方、DO 制御では、風量は曝気槽出口の DO を一定に維持するように調節されるが、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度を一定に維持することはできない。これは、定性的には次のように説明できる。

硝化速度は DO の影響を強く受ける。よって、DO を一定に維持することは硝化速度を一定に維持することとほぼ等価である。ところが、硝化速度すなわち  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  の消滅速度を一定に維持しても、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  の流入負荷自体が変動すれば、処理水中の濃度を一定に維持することはやはりできない。

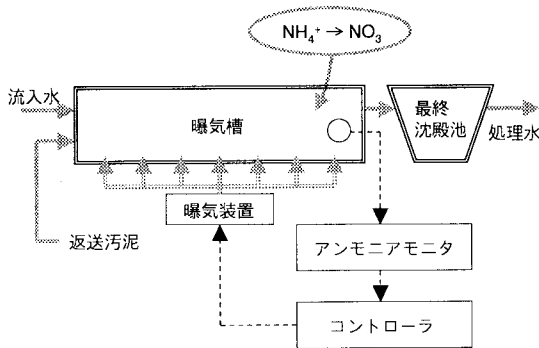


Fig. 1 硝化制御システムのフロー

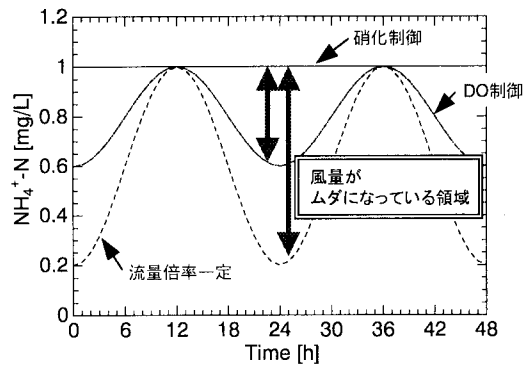


Fig. 2 従来の曝気方式との比較

よって、Fig. 2 に示すように、従来の曝気方式においては最も負荷の高い時間帯に合わせて「安全側」すなわち多めの風量を送るように設定値を与えねばならなかった。これに対し、硝化制御システムでは、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度を直接計測しながら風量を調節するので、常に過不足のない曝気を行い、曝気槽の末端でちょうど硝化が完了するような最も効率のよい処理を実現できる。

### 3. ASM2d を用いたシミュレーション

#### (1) 方法

Fig. 3 のようなフローを想定して、硝化制御システムのシミュレーションを行った。曝気槽流入流量、流入水全窒素 (TN) 濃度、曝気槽 C 回路  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度の計測値から TN 流入量ならびに C 回路  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度の計測値と目標値との偏差を求め、これに応じて曝気量を調節した。制御周期は 15 分とした。

活性汚泥による生物反応は ASM2d を用いて計算した。流入流量と水質の変動は、実データを参考にして与えた。主なシミュレーション条件を Table 1 に示す。

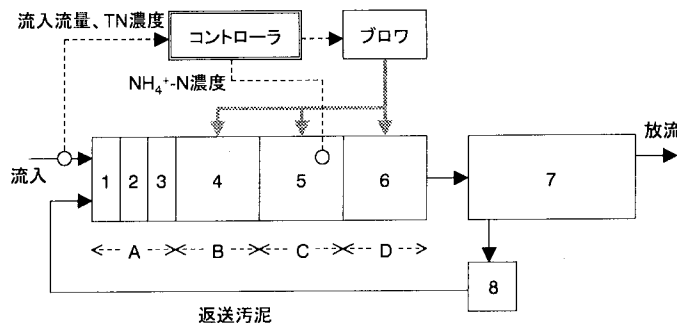


Fig. 3 シミュレータのフロー

Table 1 シミュレーション条件

曝気槽容量 : 10350 m <sup>3</sup>
最終沈殿池 : 4590 m <sup>3</sup>
MLSS濃度 : 1500 mg/L
返送汚泥量 : 430 m <sup>3</sup> /h
曝気量 : 3500~8500 m <sup>3</sup> /h

#### (2) 結果ならびに考察

硝化制御を実施した場合の水質制御効果と風量節減効果を DO 制御と比較して評価した。制御設定値はそれぞれ 2.5mg-N/L、1mg-DO/L とした。これらは曝気槽末端の D 回路で  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度が 0.3mg/L を超えないように選択したものである。図 4~5 に C 回路ならびに D 回路  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度の経時変化を示す。硝化制御を実施した場合、C 回路  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度は目標値である 2.5mg/L にほぼ維持された。また D 回路  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度は 0.2~0.3mg/L の範囲で推移した。一方、DO 制御では、低負荷の時間帯に  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度が

落ち込み、過曝気となる傾向が認められた。

曝気風量の平均値は、硝化制御で 7200m<sup>3</sup>/h、DO 制御で 8100m<sup>3</sup>/h となり、硝化制御の適用により約 11% の風量節減を期待できることがわかった。

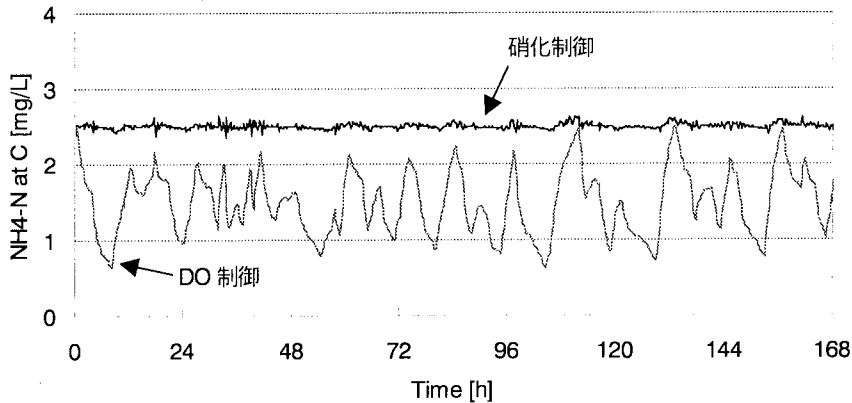


Fig. 4 C 回路 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度の経時変化

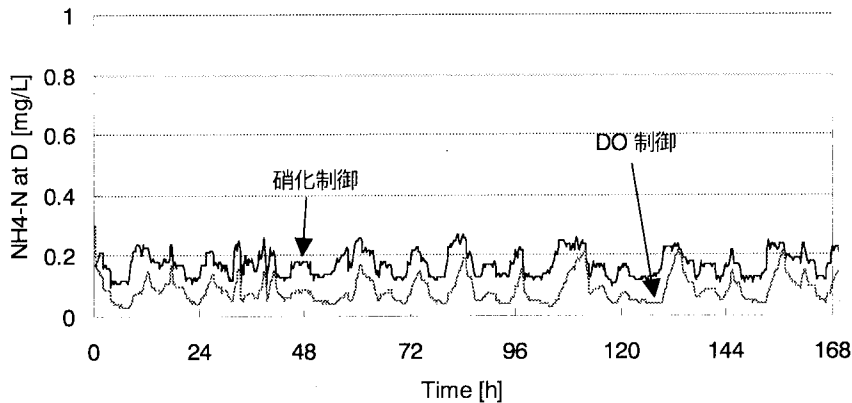


Fig. 5 D 回路 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度の経時変化

#### 4. 実証実験

##### (1) 方法

実際の下水処理場で、2系列ある曝気槽のうち一方を硝化制御、他方を DO 制御として運転を行い、処理水質ならびに曝気風量を比較した。曝気槽内の NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度は、限外ろ過装置付きのアンモニアモニタを用いて 15 分間隔で計測した。プロセスの諸元は前節で想定した値と同じである。

##### (2) 結果ならびに考察

硝化制御設定値 (C 回路 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度の目標値) をパラメータとして 4 回の実験を行った。Table 2 に実験期間中の平均プロセス値を示す。Run-1 では C 回路 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度を設定値 (2mg/L) にまで抑えきれない期間が多くなり、DO 制御系列を基準とした場合の風量削減率は 5%にとどまった。一方、設定値を 2.5mg/L とした Run-2 ならびに Run-4 では C 回路 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度の制御性が向上し、風量削減率も 12~14%となった。Fig. 6 に Run-2 における C 回路 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度の経時変化の一例を示す。実験開始前のトレンド (Fig. 7)

と比較すると、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度が設定値を維持するように制御できていることが明らかである。なお、24h 近傍で  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度が落ち込んでいるのは降雨の影響である。設定値を  $3\text{mg/L}$  にまで高めた Run-3 では 14% の風量削減率が得られたが、曝気槽末端の D 回路  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度が  $0.5\text{mg/L}$  を超え、水質的には好ましくない傾向が認められた。以上の結果をまとめると、本処理場では C 回路  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度目標値として  $2.5\text{mg/L}$  を設定するのが妥当であり、このとき約 12% の風量削減効果を期待できると言える。

Table 2 実証実験期間中の平均プロセス値

	Run-1	Run-2	Run-3	Run-4
期間	5/14~5/23	6/1~6/26	7/1~8/29	8/30~9/25
硝化制御設定値 [mg/L]	2	2.5	3	2.5
風量削減率 [%]	5	12	14	13
D 回路 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 濃度 [mg/L]	0.26	0.16	0.77	0.34

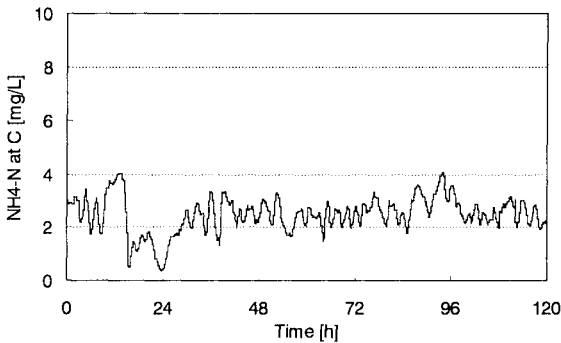
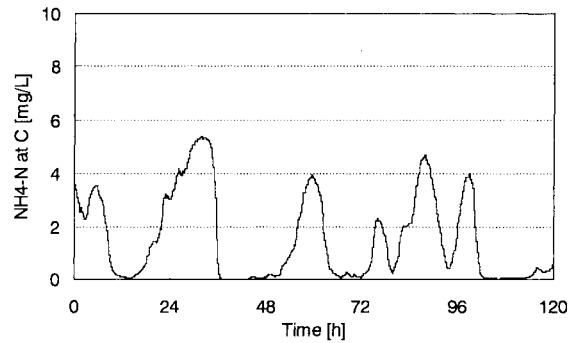
Fig. 6 C 回路  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度の経時変化 (実証実験)

Fig. 7 実験開始前のトレンド

## 5. まとめ

硝化制御システムの原理・システム構成を紹介するとともに、風量削減効果に関する予測シミュレーションの結果や実際の下水処理場で行った実証実験の結果を報告した。ASM2d を用いたシミュレーションでは硝化制御の適用により DO 制御よりも約 11% 少ない風量で同等の硝化処理を行えることが示された。また、実証実験においても曝気槽内の  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度を目標値通りに制御することに成功し、約 12% の風量削減効果を確認した。

本報告は東京都下水道局ノウハウ+フィールド提供型共同研究「硝化制御システムの省エネルギー効果の実証調査」の一環であり、データ収集等でご協力頂きました東京都下水道局小菅処理場の皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 中央環境審議会答申(2000)
- 2) Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IWA Scientific and Technical Report No.9 (2000)