

間欠曝気式OD法の運転操作因子と運転条件

佐賀大学理工学部 ○学 猿渡和博 正 荒木宏之
正 古賀憲一 正 井前勝人

1. はじめに 著者らは、間欠曝気式OD法による窒素除去に関して、プラント実験並びにシミュレーションにより、その除去特性について種々の検討を加えてきた¹⁾。本報では、簡単なモデルを用い、間欠曝気式OD法の基本的な運転操作因子及び設計・運転条件について、検討を加えたものである。

2. 基礎式 モデルは、ODを完全混合型反応槽とし、間欠曝気を行う場合の硝化反応、脱窒反応のみを考える。解析を簡単にするために両者を零次反応とし比較のためにMonod型の反応も考える。流入窒素は NH_4^+-N のみで、好気時間内では硝化のみ、無酸素時間内では脱窒のみが起こるものとする。 NH_4^+-N 、 NO_3^--N のそれぞれの物質収支式は、好気、無酸素状態に対して次のように表わされる。また、零次とMonod型の反応項は表-1に示す通りである。

1) 好気状態($0 \leq t \leq t_a$)

$$\frac{dC_{\text{NH}_4}}{dt} = \frac{Q}{V} (C_{\text{NH}_40} - C_{\text{NH}_4}) - r_n \quad \dots (1)$$

表-1 反応項

$$\frac{dC_{\text{NO}_3}}{dt} = -\frac{Q}{V} C_{\text{NO}_3} + r_n \quad \dots (2)$$

2) 無酸素状態($t_a < t \leq t_c$)

$$\frac{dC_{\text{NH}_4}}{dt} = \frac{Q}{V} (C_{\text{NH}_40} - C_{\text{NH}_4}) \quad \dots (3)$$

$$\frac{dC_{\text{NO}_3}}{dt} = -\frac{Q}{V} C_{\text{NO}_3} - r_d \quad \dots (4)$$

	零次反応	Monod型
r_n	$\nu_n \cdot X$	$\frac{\nu_n \cdot X \cdot C_{\text{NH}_4}}{K_{\text{NH}_4} + C_{\text{NH}_4}}$
r_d	$\nu_d \cdot X$	$\frac{\nu_d \cdot X \cdot C_{\text{NO}_3}}{K_{\text{NO}_3} + C_{\text{NO}_3}}$

ここで、

C_{NH_40} : 流入 NH_4^+-N 濃度

C_{NH_4} : NH_4^+-N 濃度

C_{NO_3} : NO_3^--N 濃度

Q : 流入量

t_a : 好気時間

r_n : 硝化速度

r_d : 脱窒速度

X : MLSS

V : 反応槽容量

t_c : サイクル時間(好気時間+無酸素時間)

ν_n : 比硝化速度

ν_d : 比脱窒速度

K_{NH_4} : NH_4^+-N の飽和定数

K_{NO_3} : NO_3^--N の飽和定数

基礎式 1)~4)から、次のような無次元パラメータを用いて設計及び運転操作因子について検討を加える。

$$\nu_n^* = \nu_n \cdot t_h \cdot X / C_{\text{NH}_40}$$

ここで、 t_h : 滞留時間

$$\nu_d^* = \nu_d \cdot t_h \cdot X / C_{\text{NH}_40}$$

$$t_c^* = t_c / t_h$$

$$t_a^* = t_a / t_c$$

3. 結果及び考察 図-1に本モデルにおける窒素除去率と好気時間比(t_a^*)との関係の概念図を示す。窒素除去率は、基本的には単位時間の硝化量と流入窒素量の比 ν_n^* 及び単位時間の脱窒量と流入窒素量の比 ν_d^* によって決まる。更に ν_n^* と ν_d^* の比によって、除去率と t_a^* との関係は大きく2つの場合に分かれる。図において ν_n^* が小さい場合、除去率と t_a^* との関係に、ある特定の好気時間比が存在することが分かる。その好気時間比は、 $t_a^* = (\nu_d^* / \nu_n^* / (1 + \nu_d^* / \nu_n^*))$ である。この特定の好気時間比は与えられた ν_n^* と ν_d^* によって決まる硝化量と脱窒量が等しくなるところである。すなわち、この好気時間比より小さい好気時間比のところでは除去率は硝化量のみで決まり、大きい好気時間比のところでは除去率は脱窒量のみで決まる。一方、 ν_n^* が大きくなりT-N除去率が100%を超えると、ある特定の好気時間比が2つ存在する。これらの好気時間比は、直線の勾配から小さい方が $1/\nu_n^*$ 、大きい方が $1-1/\nu_d^*$ となり、好気時間比が $1/\nu_n^*$ より小さい場合の硝化律速、及び $1-1/\nu_d^*$ より長い場合の脱窒律速は前述の場合と同じである。好気時間

比がこの範囲にある場合には NH_4^+-N が完全に硝化され、かつ NO_3^--N も完全に脱窒されて、T-N除去率が100%となる理想的な間欠曝気が行なえる。 ν_n^* 、 ν_d^* は、それぞれ比硝化速度、比脱窒速度と流入窒素負荷との比であるので、所定の汚泥活性(ν_n 、 ν_d)に応じて、負荷を小さくするように設計・運転すれば高い窒素除去率が得られることになる。通常のOD法は滞留時間を長く、すなわち低負荷で設計されるので、上記のことからもOD法での間欠曝気運転は窒素除去法として優れたプロセスであると言える。

図-2に $\nu_d^*/\nu_n^*=1$ として t_e^* を変えた場合の好気時間比とT-N除去率の関係を示す。 t_e^* が大きくなるに従って、処理水質が悪化し $t_e^*=5.0$ で、T-N除去率30%まで下がっている。これは、サイクル時間が長くなると、好気時間内に流出する未処理の NO_3^--N 量と無酸素時間内に流出する未処理の NH_4^+-N 量が増加するためである。このため、除去率90%程度の良好な処理を行なうためには、 t_e^* が0.05以下になるようにサイクル時間を設定する必要があることが解る。また、零次反応のかわりにMonod型の反応式により計算を行なった結果、図中破線のように零次の場合と傾向的には大差ない結果を得た。

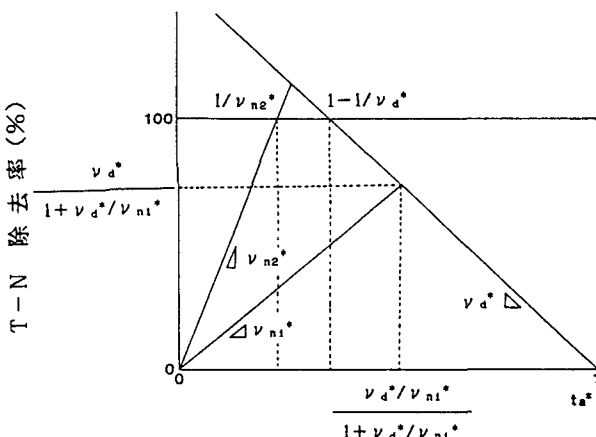


図-1 パラメータとT-N除去率の関係を表す概念図

図-3は、本学プラントの実験結果とその実験条件を用いて計算した計算値との比較である。若干の差違はあるものの両者はほぼ一致しており、今回のモデルで間欠曝気式OD法による窒素除去がほぼ再現されている。また、Monod型の反応式を用いても、図中破線のように零次反応の場合と同様ほぼ実験結果と一致している。以上のことから、本報で示した運転パラメータ、設計パラメータの実用性が確認された。

4. まとめ 反応を零次とおいた簡単なモデルで間欠曝気式OD法による窒素除去をほぼ把握することができた。窒素除去において重要なパラメータは、 ν_n^* 、 ν_d^* 、 t_e^* 、 t_a^* であり、高い窒素除去率を得るためには、これらのパラメータ及び本報で示した概念図に基づいて、運転、設計を行なえば良い。具体的には、OD法で得られる平均的な $\nu_n = \nu_d = 0.8(1/\text{day})$ を用いると、通常のOD法の設計条件($X=3000\text{mg/l}$, $t_h=24\text{hr}$)に対して、サイクル時間 t_e を70分以下にすれば良く、例えば60分とすると好気時間 t_a を20~40分となるように運転すれば、高い窒素除去率が得られる。

【参考文献】 1) 荒木ら、：オキシデーションディッチの間欠曝気運転による窒素除去、下水道協会誌、Vol.25、No.289

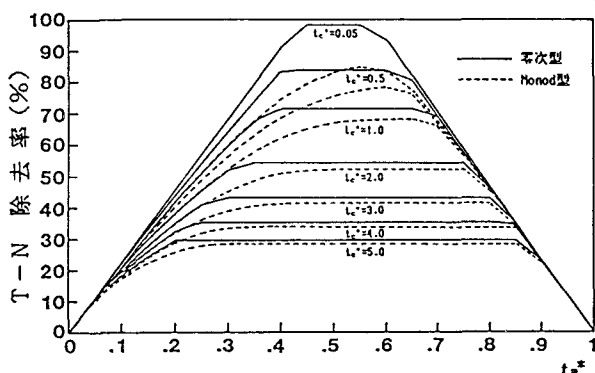


図-2 t_e^* を変えた場合の t_a^* とT-N除去率の関係

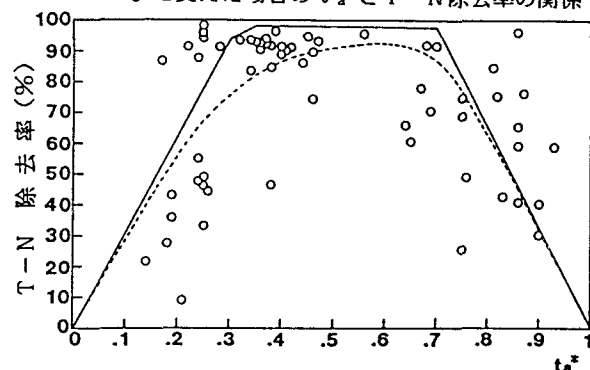


図-3 プラント実験結果と計算値