

(株) 明電舎 正員 ○ 津倉 洋
 宮崎大学工学部 正員 石黒政儀
 宮崎大学工学部 正員 増田純雄

1. はじめに 生物学的廃水処理プロセスを設計する場合その静特性(定常解)を求めるのに重点が置かれているが、プロセス制御という観点から考えるとその動特性(過渡応答, 周波数応答)を求めることも重要である。したがって本論文ではプロセスの動特性を調べるために流入廃水流量または流入基質濃度が入力信号として回転円板硝化槽に付加された時の出力信号である流出基質濃度の過渡応答(インディシャル, インパルス応答)を求める実験およびそのモデル予測式の誘導を行い、さらにモデル予測値と実験値との比較検討を加えて報告する。

2. モデル予測式の誘導 回転円板硝化プロセスにおける物質収支式は次式で与えられる。

$$VdC_e(t)/dt = Q(t)(C_i(t) - C_e(t)) - R_w(t)A_w$$

ここで、 V :槽容量[m³], $C_i(t), C_e(t)$:流入および流出基質濃度[mg/l], $Q(t)$:流入廃水流量[m³/d], $R_w(t)$:硝化反応速度[mg/m²d], A_w :円板浸漬面積[m²], 式において、入力信号として $Q(t)$ および $C_i(t)$, 出力信号として $C_e(t)$ を取り得るが、実際のシステムでは $Q(t)$ と $C_i(t)$ は同時1:時間的変動を受け、式中の $R_w(t)$ における活性微生物量 X_m [mg/l]もまた時間的に変動するので式の解析解を得るのは困難である。そこで回転円板法では X_m の物質収支が複雑である

ため X_m を一値におき、 $R_w(t)$ を $C_e(t)$ に関する0次および1次反応と仮定して式の線形化を行った。 $Q(t)$ か $C_i(t)$ の一方を各応答の入力信号に選り他方を一定値で与え、式をラプラス変換し $C_e(t)$ の解析解を求めると、表-1, 2で示される各式が得られる。ここで t (= τ/θ):還元時間[無次元], θ :平均滞留時間[d], m (= $\alpha\theta/\theta$):流量および濃度のステップ倍率[無次元], α (= $C_e(0)/C_e(\infty)$):濃度のインパルス倍率[無次元], $C_i, C_e(0), C_e(\infty)$:定常流入, 旧定常流出, 新定常流出および応答直後の流出基質濃度, 定常流入廃水流量。表-1から分かるように、 θ のステップ応答では変化量の定常ゲインが0次, 1次の両反応とも同じであるが $C_i(t)$ のステップ応答では1次反応の方が小さい。また $Q(t)$ および $C_i(t)$ の各ステップ応答の場合とも1次反応の方が時定数が小さく応答が速い。濃度応答

表-1 インディシャル応答のモデル予測式

ステップ入力	硝化反応次数	G(s)	時定数	定常ゲイン	Ce(t')-Ce(0)
Q(t)	0次	$\frac{C_e(\infty) - C_e(0)}{1 + S/m}$	$\frac{\theta}{m}$	Ce(∞)-Ce(0)	(Ce(∞)-Ce(0))(1-e ^{-mt'})
	1次	$\frac{C_e(\infty) - C_e(0)}{1 + S/(m + Km)}$	$\frac{C_e(0)}{mCl}$	Ce(∞)-Ce(0)	(Ce(∞)-Ce(0))(1-e ^{-$\frac{mCl}{C_i}$ t'})
C _i (t)	0次	$\frac{(n-1)C_i}{1 + S}$	θ	(n-1)C _i	(n-1)C _i (1-e ^{-t'})
	1次	$\frac{(n-1)C_e(0)}{1 + S/(1+\alpha\theta)}$	$\frac{C_e(0)\theta}{C_i}$	(n-1)Ce(0)	(n-1)Ce(0)(1-e ^{-$\frac{C_i}{C_e(0)}$ t'})
1次遅れ要素の伝達関数 G(s) = $\frac{g}{1 + sT}$			T	g	g(1-e ^{-t'/T})

表-2 インパルス応答のモデル予測式

硝化反応次数	G(s)	時定数	インパルス強度	Ce(t')-Ce(0)
0次	$\frac{1}{1 + s}$		Ce(0)	Ce(0)e ^{-t'}
1次	$\frac{1}{1 + s/(1 + \alpha\theta)}$	$\frac{C_e(0)\theta}{C_i}$	$-\frac{C_e(0)^2}{C_i}$	$-\frac{C_i}{C_e(0)} e^{-\frac{C_i}{C_e(0)} t'}$
	$\frac{K'}{1 + sT}$	T	K'	$\frac{K'}{T} e^{-t'/T}$

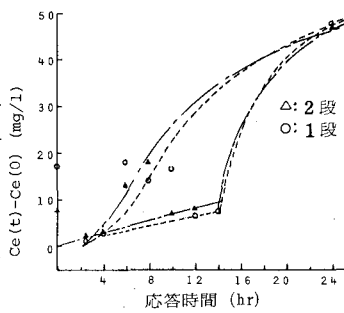


図-1 m=2の流量ステップ応答

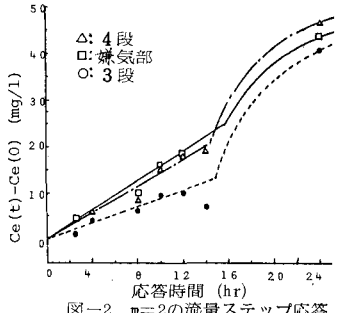


図-2 m=2の流量ステップ応答

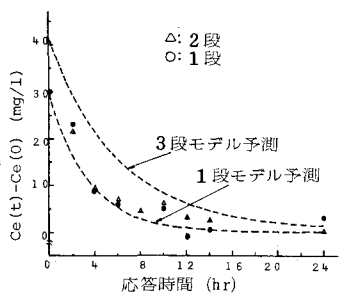


図-3 m=1/2の流量ステップ応答

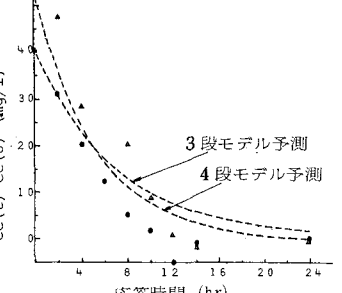


図-4 m=1/2の流量ステップ応答

と流量応答を比較すると、 $m > 1$ のときは流量応答の方が応答が速いが、 $m < 1$ のときは逆に濃度応答の方が速い。なお表-1から、本プロセスは1次遅れ要素の伝達関数で表わされることが分かる。次に表-1を比較すると各応答の場合の時定数は一致する。

3. 実験装置および実験方法 回転円板硝化槽の過渡応答特性を求めめるために、中心軸直流の1軸4段直列回転円板硝化パイロットプラント ($V=0.7\text{m}^3$ 段、 $A_w=28.3\text{m}^2$ 段、円板回転数=2rpm、円板径=2.0m、 $C_i=100\text{mg/l}$ 、水温=16~22°C)を用いて、 $C_i(t)$ 、 $\theta(t)$ に対するインディシャル、インパルスの各応答実験を行った。流量のインディシャル応答実験では定常状態が得られた後 $\theta(t)$ を5%~10%、10%~5%にステップ状に変化させて時間経過に伴う $C_e(t)$ を測定した。また濃度のインパルス応答実験では8回数的濃度パルスが得られるように θ の1%程度で $Q(t)$ のインパルスを与え時間経過の $C_e(t)$ を調べた。

4. 実験結果および考察 (1) $Q(t)$ のインディシャル応答 $Q(t)$ を5%から10%に変化させた場合の各段流出基質濃度 $C_e(t) - C_e(0)$ の時間応答を図-1, 2に示す。各段における変化量は1, 2段の方が3, 4段より小さいので、後部2段の方が変動による影響を受けやすいと考えられる。また $\theta=5\%$ における定常運転時は高流入基質濃度であるため、硝化過程において脱窒現象の認められ脱窒率が20~30%に達している。したがって、硝化部脱窒が起きなくなると時点から応答が顕著とよばれる。このように、硝化部脱窒現象が一種の後衛作用を果したために大きな時間遅れを生じたものと考えられる。次に、 $Q(t)$ を10%から5%へステップ状に変化させた場合の流出 NH_3-N 濃度 $C_e(t) - C_e(0)$ の時間応答と R_0 を1次反応と仮定したときのモデル予測値の比較を各段について図-3, 4に示す。1段では実験値がモデル予測値とほぼ一致しているが、2, 3段ではモデル予測値よりも実験値の方が応答が速く時定数も小さくなる。中間領域においてモデル予測値との間にこのような誤差を生じた原因はモデル化する際の現象の理想化および線形化、すなわち負荷減少により活性微生物 X_m が増加するにも関わらず近似的に X_m を一定値としてためであり、またプロセス内の複雑な混合特性の影響によるものと考えられる。4段では平均滞留時間が長くするために1時間程度の時間遅れを生じるが、モデル予測値と実験値はほぼ一致する。(2) $C_i(t)$ のインパルス応答 インパルス倍率 $\alpha=5.2, 4.0$ で濃度インパルスを1段と3段に別々に与えた場合の流出 NH_3-N 濃度 $C_e(t) - C_e(0)$ のインパルス応答を片対数にとった応答時間に対する関係を図-5, 6に示す。モデル予測から0次反応よりも1次反応の方が応答が速くなることから分かるが、実際には1次反応近似の方が実験値とよく一致することが両図から分かる。以上の理論的考察および実験結果から、回転円板硝化プロセスの伝達関数 $G(s)$ は1次遅れ要素に属することが明らかである。入力として $Q(t)$ 、 $C_i(t)$ を回転円板硝化プロセスに与えた場合の応答は本実験では硝化反応速度 R_0 を0次反応よりもむしろ1次反応と近似する方が妥当であると考えられる。その理由として次の点が考えられる。1) 反応槽を完全混合槽と仮定しているため実際には死水域および表面短絡流等の混合特性への影響が現われる。2) 活性微生物量を負荷変動時にも一定値にとり理想化しているために誤差を生じる。3) パイロットプラントを使用しているため種々の物理的因子の変動を受け多くの外乱因子の混入がある。4) 反応槽全体をControl volumeにとり巨視的に観測しているため反応槽内での反応基質の拡散や反応槽の形状特性等の実際の影響がモデル予測式に現われにくい。

5. おわりに 本文では R_0 を1次反応と仮定した場合の予測値と実験値がほぼ一致したが、今後他の因子の過渡応答について検討を行い、 X_m 変化の定量化について研究を行いたい。

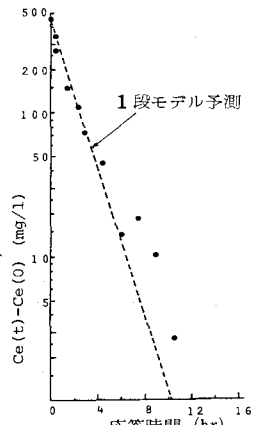


図-5 1段における濃度インパルス応答

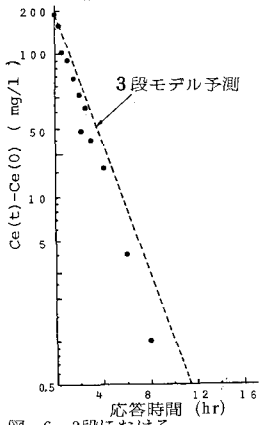


図-6 3段における濃度インパルス応答

参考文献 1) 石黒, 増田, 津倉: 回転円板法における動特性に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会 1980年2月
 2) Grievens, C.: Dynamic and Steady State Model for the RED Reactor, Ph.D. Thesis (Climson Univ: 1972)
 3) Pillion, M.P. et al.: Performance of an RBC under transient loading conditions, Jour. WPCF No.7 pp1925-33(1979)