

宮崎大学工学部 正員 石黒政義, 増田純雄

学員 津倉 洋, 和田正史, 広段邦彦

1. はじめに 生物化学的廃水処理プロセスを設計する場合は, 定常解を基にして行うのが一般的である。ところが実際の廃水処理プラントでは, 流入廃水流量および流入基質濃度等が日間および月間の時間的変動を受けて, プラントの処理能力に重大な影響を及ぼし準定常状態を規定できない場合が生じる。このような場合, 実際のプロセス設計ではより安全側の負荷率で設計しなければならない。これはプロセスの経済評価に大きく影響するばかりが, 所定の処理負荷を得るためにプロセス制御を行うことが必要となる。したがって, プロセスの静特性ばかりでなく動特性, すなわち流入廃水流量と流入基質濃度の一方あるいは両方が入力信号としてシステムに印加された時の出力信号である流出基質濃度の応答に関する研究は極めて重要である。ゆえに本論文では, 回転円板硝化プロセスにおいて過渡応答(インディシル応答, インパルス応答)に関する実験とそのモデル化を行い, さらにモデル予測値と実験データとの比較検討を加えて報告する。

2. モデル式の誘導 回転円板硝化プロセスにおける物質収支式は, 式-(1)で与えられる。すなわち,

$$V \frac{dC(t)}{dt} = Q(t)(C_i(t) - C_e(t)) - R_w A_w \quad \dots (1)$$

ここで, V : 槽容積(m^3), $C_i(t)$, $C_e(t)$: 流入および流出基質濃度(g/m^3), $Q(t)$: 流入廃水流量(m^3/d), $R_w(t)$: 硝化速度($g/m^2 \cdot d$), A_w : 円板浸漬面積(m^2)。式-(1)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 $C_e(t)$ をとり得るが, 実際のシステムでは $Q(t)$ と $C_i(t)$ は同時に時間的変動を受け, 活性微生物量 X_m (g/m^3) もまた時間的に変動するので, 式-(1)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 を一定値とし, R_w を1次反応($R_w = k X_m C_e(t)$)と仮定して, $Q(t)$ が $C_i(t)$ のどちらかを

入力信号に選り他方を一定値で与えて式-(1)を解くと, $C_e(t)$ は下記のような各式で与えられる。

(a) 流入廃水流量 $Q(t)$ のステップ応答

$$C_e(t) = C_{e0} + (C_{e0} - C_{e00}) \exp[-m \bar{c} t / C_{e00}] \quad \dots (2)$$

(b) 流入基質濃度 $C_i(t)$ のステップ応答

$$C_e(t) = C_{e0} \{ m + (1 - m) \exp[-\bar{c} t / C_{e0}] \} \quad \dots (3)$$

(c) 流入基質濃度 $C_i(t)$ のインパルス応答

$$C_e(t) = C_{e0} (1 + \alpha \exp[-\bar{c} t / C_{e0}]) \quad \dots (4)$$

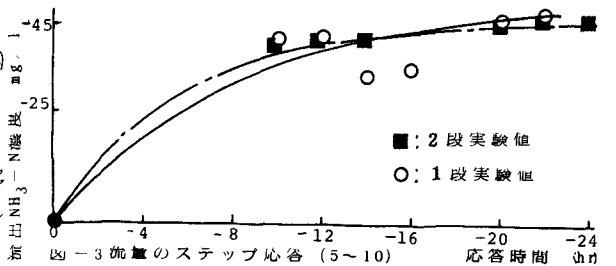
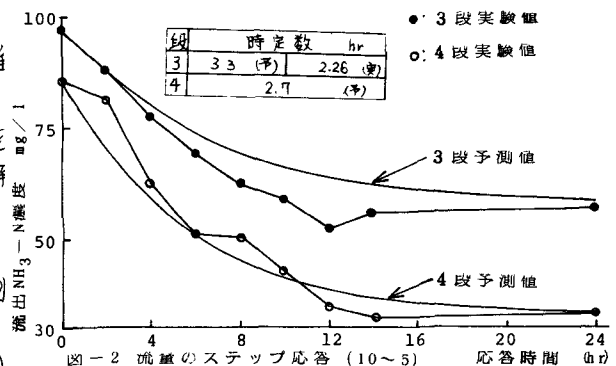
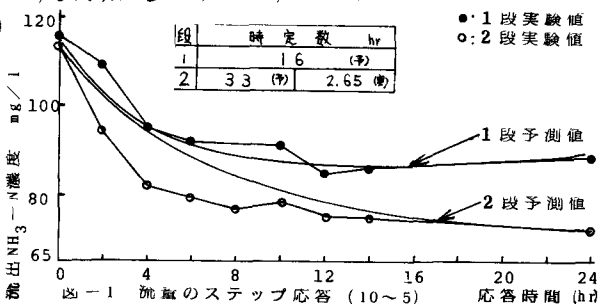
ここで, $\tau = V/Q$: 還元時間, $\bar{\theta}$: 平均滞留時間

$\mu(t) = C_i(t) / C_{e0}$: ステップ倍率, $\alpha = (C_{e0} / C_{e00})$:

インパルス倍率, C_{e0} , C_{e00} : 定常流入, 旧定常

流出, 新定常流出基質濃度(g/m^3)。故に, 式-(2)~

(4)より $C_e(t)$ が求まる。



3. 実験装置および方法 インディシャル、インパルスの各応答を知るため、中心軸直角流の1軸4段直列回転円板硝化パイロットプラント($V=700\text{L}/\text{段}$, $\bar{Q}=5\text{L}/\text{分}$, $A_w=28\text{m}^2/\text{段}$, 円板径 $=2\text{m}$, 円板回転数 $=2\text{rpm}$, $\bar{C}_i=100\text{mg}/\text{L}$, 水温 $=16\sim 22^\circ\text{C}$)を用いて実験を行った。インディシャル応答では、十分定常状態が得られた後、 $5\text{L}/\text{分}\rightarrow 10\text{L}/\text{分}$ および $10\text{L}/\text{分}\rightarrow 5\text{L}/\text{分}$ の $Q(t)$ のステップ応答を与え時間経過に伴う $C_e(t)$ を測定した。インパルス応答では、8開数が得られるように $Q(3\text{hr}/\text{段})$ の1%程度で $C_e(t)$ を与え、時間経過に伴う $C_e(t)$ の応答を調べた。

4. 実験結果 (1) $Q(t)$ のインディシャル応答 $Q(t)$ を入力とし $10\text{L}/\text{分}\rightarrow 5\text{L}/\text{分}$ にステップ状に変化させた時の出力 $C_e(t)$ のインディシャル応答と、式-(2)で $m=\frac{1}{2}$ とおいて求めた予測値を各段について図-1, 2に示す。1段では R_0 を1次反応に仮定した予測値が実験値にほぼ一致した。しかし2, 3段では、予測値よりも実験値の方が応答が速く時定数は小さくなった。このように中間段階で予測値と実験値の間に誤差が生じたのは、モデル化する際の現象の理想化線形化およびプロセス内の複雑な混合特性の影響によると考えられる。4段では R_0 が 9.3hr と長くなるため若干の時間遅れが生じた。次に図-3, 4に、 $Q(t)$ を入力を $5\text{L}/\text{分}\rightarrow 10\text{L}/\text{分}$ にステップ状に変化させた時の出力 $C_e(t)$ のインディシャル応答を示す。尚、図-3, 4では、応答時間-24が起点で0が終点である。図-3, 4において、各変化量は1段と2段および3段と4段では同じであるが、初期応答は非常におそい。これは応答前20~30%程度の硝化部脱着が起っていたため、これが一種のBuffer作用を果たしたためと考えられる。

(2) $C_e(t)$ のインパルス応答 インパルス $\alpha Q(t)$ を入力として与えた時の出力 $C_e(t)$ のインパルス応答と式-(4)により求める予測値を図-5, 6に示す。 $\alpha=5.2$ の時、1段では、 R_0 を1次反応と仮定したときの予測値が実験値にほぼ一致した。次に $\alpha=40$ の時、3段では、実験値の方が応答が速い。

5. 考察 以上の実験結果から、 $Q(t)$ または $C_e(t)$ を入力とした場合、システムの伝達関数は式-(1)より一級遅れ要素であると考えられる。また、 $C_e(t)$ が高濃度の場合の R_0 はMonod型または0次反応となるが、硝化反応の場合半速度定数 $K_s\sim 10$ と仮定した時に成り立つ。ところが、本実験では0次反応よりも1次反応に近似する方が妥当であると考えられる。これは、(a)反応槽の混合特性および微生物活性度等への非定常操作の影響、(b)パイロットプラント使用による多くの外乱因子の混入、および(c)反応槽全体をControl Volumeにすることによる現象の巨視化等のために見掛け1次反応で R_0 を近似できるものと考えられる。

6. おわりに 本文では、 $Q(t)$ および $C_e(t)$ を入力信号としてシステムに与えた時のインディシャル、インパルス応答の過渡応答に関する実験とそのモデル化を行い、 R_0 を1次反応と仮定した場合に、予測値が実験値にほぼ一致する報告をしたが、さらに他の因子の過渡応答についても考えることにより、活性微生物量 X_m 変化の定量化に役立つものと考えられる。

参考文献) 1) 伊藤, 堀田, プロセス制御の基礎 1967 朝倉書店, 2) Raven, F.H., (1968) Automatic Control Engineering 2/e, McGraw-Hill, 3) Grieves, C., (1972) Dynamic and Steady State Model for the RBD Reactor, Ph Thesis, Clemson Univ

