

北海道大学 工学部 正会員 寺嶋 重雄
 ○学生員 加藤 善益
 井上 雄三

1. はじめに

連続培養システムとしての活性汚泥処理は、常に何らかの外乱を受けており、特に下廃水処理の場合、外乱要素としては、水質(濃度, 物質の種類), 水量の二要素が主として挙げられる。これらの要素の変動は、短時間の変動から長期間変動にわたっており、生物にとってはかなり厳しい環境条件下にさらされていると考えられ、また今後放流先の水質規制の強化、処理水の再処理等の動向を考えると、平均的にみて安定した水質の処理水ではなく時間的、空間的にも一定(安定)した水質をもつ処理水の要求が高まるものと思われ、生物学的処理プロセスの動特性をさらに追求することが必要であろう。

本報では、この外乱要素として濃度を取り、微生物の増殖条件を一定に保つことのできる Chemostat システムにおいて、流入基質濃度の Step 変化に対する過渡応答を調べたのでその一部をここに報告する。

2. 実験方法

実験装置は容量5リットの角型完全混合タイプのアレーション装置を用い、微量定量ポンプにより基質を連続注入し、混合液は、Over Flowにより連続的に Drain する様にした。植種は長期間グルコース基質で馴養した活性汚泥の泥で上澄液で行い、充分増殖が行われた後流動を開始した。実験は、希釈率を7段階にとり、流入濃度を初期定常値の2倍に Step 変化させた。基質組成、初期定常値をそれぞれ表-1、表-2 に示す。

表-1 基質組成

グルコース	1.00 gr
NH ₄ Cl	0.35 gr
MgSO ₄	0.07 gr
KH ₂ PO ₄	0.18 gr
Na ₂ HPO ₄ ・8H ₂ O	0.95 gr

表-2 初期定常値

実験NO	D (hr ⁻¹)	S _i (PPM)	S (PPM)	X _G (g/g)	G (%)	Y _T (%)
C-1	0.049	1000	7.8	44.6	27.8	49.0
C-2	0.067	970	7.4	47.1	16.5	48.1
C-3	0.095	1000	12.8	55.6	21.3	54.3
C-4	0.133	1040	8.9	56.1	21.9	56.6
C-5	0.168	500	4.0	27.9	19.5	62.6
C-6	0.252	500	12.1	33.7	16.3	69.1
C-7	0.444	500	18.9	31.3	15.3	57.8

D; 希釈率 (t^{-1})
 S_i ; 流入基質濃度
 S ; 混合液基質濃度
 X_G ; 生物固形物濃度
 G_T ; 細胞炭水化物含有率
 Y_T ; 転化率

生物固形物濃度は、660nm の光学密度として測定し、あらかじめ作製しておいたメンブレンフィルター法による検量線から求めた。基質濃度は 0.45μ のメンブレンフィルター液中のグルコースをフェーホルド法により定量した。また細胞部分の炭水化物含有率は、混合液とろ過液の炭水化物の差引きから求めた。

3. 結果と考察

Chemostat 系では、細胞濃度と基質濃度の変化は一般に次式で表わされる。

$$dx/dt = \mu x - Dx \quad (1)$$

$$ds/dt = D(S_i - S) - \mu/Y(x) \quad (2) \quad \text{ここで } \mu; \text{比増殖速度 (hr}^{-1}\text{)}$$

定常状態では (1) 式, (2) 式の左辺を 0 とおくことにより $\mu = D$, $Y_T = X_G(S_i - S)$ となる。次に非定常状態において時間的変化分の充分小さい範囲では、 $dx/dt \approx dx/dt$, $ds/dt \approx ds/dt$ とみなせることから、ここでは、 Δt をサンプリング時間間隔 (C-1, C-3 は $\Delta t = 1.0$ hr, C-2, C-4 ~ C-6 は 0.5 hr, C-7 は 0.25 hr) にとり、流入基質

濃度のStep変化に対する μ , Y の過渡応答を式(1), 式(2)から求めた。

i) μ と Y の応答特性 結果の1例を図-1に示す。 μ , Y は非定常条件下で定数として取り扱うことはできず時間従属変数であることを示している。図-2には定常値からの偏差を無時限時間($\theta=t/\tau$)に対しプロットしたもので次式で与えられる。 $\Delta\mu = \Delta\mu_0 e^{-\theta}$ (3)
 $\Delta\mu_0$ は D に比例し, μ_0 は $D=0.168$ (hr^{-1})まで D に無関係であった。したがって、 $D \leq 0.168$ の範囲で μ の過渡応答は実験的に次式で示される。

$$\mu = \mu_0 + D = D(1.7e^{2.3\theta} + 1) \quad (4)$$

Y の過渡応答は表-2に示した如く $\mu(D)$ の0.3(hr^{-1})程度までは μ の増加とともに Y も増加することが予想され、事実 Y の応答特性は μ と類似のパターンを示している。

ii) 基質摂取の安定性。式(4)において、 $\theta=0$ のとき μ は最大となりこれを μ_0 とあくと $\mu_0 = 2.7(D)$ となるが生物学的には $\mu_{\max} \geq \mu_0$ であり $\mu_{\max} \geq 2.7(D)$ (5)の制約条件が存在する。バッチ実験により求めた $\mu_{\max} = 0.485$ (hr^{-1})を上式に代入すると $D \leq 0.17$ となり平均滞留時間にして約5.9hrとなった。 $D > 0.17$ の場合、基質量の流入速度に対し μ の増加が制限され溶液系に基質が残留蓄積することになる(図-3), 時間の経過とともに増殖速度が追いついてくると μ, S ともに定常値に達すると考えられる。 $\Delta\mu/\Delta\mu_0$ の5%まで低下し定常値に近づく時を事実上平衡に達したと考えこれを θ_e とすると D との関係は図-5の如くなり D が0.2以上で上昇する傾向となり系の破壊が進行した。

iii) 炭水化物含有率(G)の非定常時の変化 G は $D < 0.168$ の範囲ではほぼ一定を保つがこれ以上の D では G が徐々に増大、即ち細胞内に炭水化物が蓄積し基質の取り込み速度が低下した。この現象が著しく $\theta=4$ までに安定せず S が発散的に増加しつづけた $G-7$ について基質の比摂取速度と G の関係を図-4に示す。この関係は既報で示したバッチ実験の結果と一致した。 D を山内加藤博士の「活性汚泥の増殖と炭水化物の蓄積に関する2つの考察」(昭和27年)の図10を参考に、 D を0.1から0.3の範囲で変化したときの G の値を推定した。

4. まとめ

初期濃度の2倍のStep変化を与えたChemostat系での結果から次の様な知見が得られた。i) 定常状態において Y は一定ではなく $\mu(=D)=0.3$ (hr^{-1})まで μ に比例的で $D > 0.3$ (hr^{-1})で低下する。また G は μ が $\mu_{\max}$ に近づくにつれ低下した。ii) 非定常状態においても Y は定数値ではなく又 S の変化がない場合でも μ は変化し $D \leq 0.17$ の範囲では流入濃度のStep変化に対し一時的に増加その後減衰する。(6)式がその応答式でその時の D で規定される。iii) μ の平衡到達時間は $D \leq 0.17$ の範囲で $\theta=1.30$ と一定した。iv) 2倍の流入濃度のStep変化では基質が定常レベルには維持できる D の範囲は式(7)で示される。

今後 D のStep変化, Step変化の大きさの違い等による検討を重ねる必要があり、 Y の過渡応答, μ との関係などの解析を進めていきたい。

