

活性汚泥の基質除去過程・代謝過程の反応速度比について

鹿児島工業高専 正員 森山 克美

九州大学工学部 正員 栗谷 陽一

1. はじめに 淨化反応を担う活性汚泥の構成成分は、基質除去に伴う活性汚泥内基質蓄積のため変動する。このことが液中基質除去や汚泥の沈降性に影響を与えるという機構を考慮した活性汚泥の基質除去モデルとして「構造モデル」¹⁾、あるいは「活性度モデル」²⁾が提案されている。しかしながら、これらのモデルでは、同程度のF/Mでも基質の違いにより汚泥内基質最大蓄積量が変化することや、基質蓄積の基質除去に及ぼす影響を必ずしも満足に説明し得ないことが報告されている^{3),4)}。本報告では、基質除去過程の汚泥内基質代謝過程に対する反応速度比という基質の違いにより変化する支配要因を考慮することで、従来の構造モデルにおける上記の問題点が説明できることを、グルコース、ペプトンを基質に用いた回分実験とその数値シミュレーションにより示す。

2. 実験方法 実験には、下水処理場返送汚泥を表-1に示す基質濃度、F/M(=COD_{cr}/MLSS)条件で培養した活性汚泥を用いた。培養は1日1回のfill and draw方式で行ない、表-1の基質以外に無機塩類を加えた。培養期間はG汚泥が約1年、PG汚泥は半年である。実験時には、前培養基質投与後24時間経過した汚泥を20℃の無機塩溶液で洗浄したものをを用いた。実験は回分式で行ない、基質除去特性、基質の活性汚泥内蓄積、生物増殖の関連を調べた。前培養、本実験共に20℃の恒温室で行なった。分析項目、分析方法は、参考文献(5)と同じである。本文で使用する記号を以下に示す。

X: DNA濃度(mg/l) P: 汚泥内炭水化物濃度(P)
C: 液中基質濃度(mg/l) または、汚泥内タンパク質濃度(P_n)として測定される活性汚泥内成分濃度であり、生物構成成分と液相から除去され汚泥内に蓄積された基質の和(mg/l)
C₀: 液中基質の単位DNA当たり最大除去速度定数(day⁻¹)
K_c: 液中基質に関する飽和定数(mg/l)
A: A = P/X - P₀/X₀で示される単位DNA当たり汚泥内蓄積基質量(-)
A_r: 汚泥内基質代謝がない場合のAの最大値(-)
P₀: Pの初期値(mg/l)
X₀: Xの初期値(mg/l)
V: V = C₀/K_c(1/(day·mg/l))
Y: 汚泥内蓄積基質の代謝により生成されるDNAの割合(-)
K_d: 汚泥内蓄積基質に関する飽和定数(-)
Y: 汚泥内蓄積基質の代謝により生成されるDNAの割合(-)
k_d: DNAの自己分解速度定数(day⁻¹)
Y: 汚泥内蓄積基質の代謝により生成されるDNAの割合(-)

表-1 前培養培地

汚泥名	F/M	基質 (mg/l)
G汚泥	0.2	グルコース 1000
PG汚泥	0.3	グルコース 450 ペプトン 750

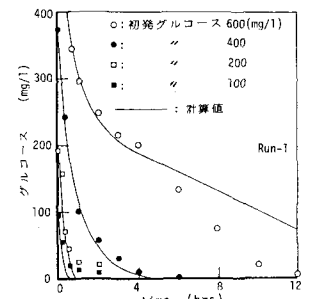


図-1 液中グルコースの変化

3. 実験結果とそのモデル化 G汚泥によるグルコース基質除去(Run-1)の回分実験結果を図-1~3に、PG汚泥によるペプトン基質(初発タンパク質濃度140 mg/l)除去(Run-2)の回分実験結果を図-4~6に示す。これら二つの実験結果が示すように、汚泥内蓄積基質P₀/X、およびP_n/Xの代謝に伴ないDNAが増加することが認められる。液中基質除去速度は、Run-1ではP₀/Xの増加に伴ない減少するが、Run-2では、図-4-(a)、(b)に示すように一決反応として取扱えることがわかる。この場合、汚泥内蓄積基質P_n/Xの影響は明らかでない。また、Run-1、2で汚泥内蓄積基質P₀/X、P_n/Xの最大値は、同程度のF/Mでも大きく異なる。このように基質の違いにより活性汚泥による淨化過程の挙動は異なり、汚泥内基質蓄積を含め、基質の除去、代謝過程の速度論上の支配要因が変化することが予想される。活性汚泥による淨化過程のモデル

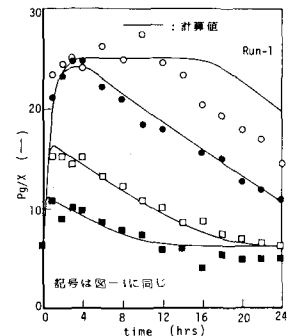


図-2 汚泥内炭水化物の変化

化にあることは、このことを考慮する必要がある。以下に活性汚泥による基質除去とこの代謝、および活性汚泥微生物の増殖に関するモデル式を提示する。

(1) 液相からの基質除去 実験結果によれば基質除去速度式は、液相からの基質除去速度と汚泥内基質代謝速度との相対的な関係により、式-(1)(2)の二つに分類できる。式-(1)は汚泥内基質蓄積の影響を考慮した式で、式-(2)はそれを考慮していない。両式の右辺はCとK_cの相対的な大きさによりCに関する零次式、一次式になる。Run-2の基質除去速度は、式-(2)の一次反応近似式としての式-(2)で表示する。

$$\frac{1}{X} \frac{dC}{dt} = -\frac{\hat{V}_c (C/K_c)}{1 + (C/K_c)} \left(1 - \frac{A}{A_T}\right) \quad \text{---(1)}$$

$$\frac{1}{X} \frac{dC}{dt} = -\frac{\hat{V}_c (C/K_c)}{1 + (C/K_c)} \quad \text{---(2)}$$

$$\frac{1}{X} \frac{dC}{dt} = -V_c C \quad \text{---(2')}$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{P}{X} \right) = -Y \frac{1}{X} \frac{dC}{dt} - \frac{\hat{V}_A \cdot A}{K_A + A} \quad \text{---(3)}$$

$$\frac{1}{X} \frac{dX}{dt} = Y \frac{\hat{V}_A \cdot A}{K_A + A} - k_d \quad \text{---(4)}$$

(2) 活性汚泥内蓄積基質の収支式: 式-(3) (3) 微生物の収支式: 式-(4)

4. モデルによる数値シミュレーションとその結果

Run-1、2の数値計算に用いた定数値をそれぞれ表-2、3に示す。Run-1は式-(1)、(3)、(4)を用い、Run-2は式-(2)、(3)、(4)を用いて計算した。計算結果は、各図中に計算値として示す。Run-1、2のいずれも提示したモデルで現象をほぼシミュレートできる。このことは、汚泥内蓄積基質は生物増殖の支配因子となるが、基質除去の支配因子には必ずしもならないことを示している。

5. 基質除去過程、代謝過程の反応速度比

以上の考察の結果、汚泥内基質蓄積量により、基質除去過程が異なることが示された。この蓄積量を規定するものとして基質除去過程と代謝過程との反応速度比が考えられる。反応速度は種々の条件により時々刻々変化するもので、反応速度比の代表値として $R_v = \hat{V}_c / \hat{V}_A$ を用いる。ただし、基質除去が一次反応式で表示される場合、対象とする廢水の一般的な最大基質濃度における単位DNA当たり基質除去速度を $\hat{V}_c$ とする。基質除去が式-(1)で表示されると仮定して、 R_v の違いによる $[1 - (A/A_T)]$ の最小値の変化を数値実験により求めた。 $\hat{V}_A$ を一定とし $\hat{V}_c$ に種々の値を与えて R_v を変化させた。計算に用いた各定数の初期値は、 K_c 、 $\hat{V}_c$ を除き表-2の値とした。この結果が図-7、8である。飽和定数が高く、基質除去過程が一次反応として取扱え、 R_v の値が10程度以下の場合、汚泥内基質蓄積の基質除去に及ぼす影響は、ほとんどないと考えてよい。 R_v はグルコース、ヤブトンで各々約50、6程度であり、Run-2の数値計算に式-(2)を用いることの妥当性が説明できる。以上の結果、基質除去過程は、飽和定数、F/M、および R_v の値で予測できることが明らかとなった。

一参考文献一

- Busby, J.B. et al.: Dynamic Modeling and Control Strategies for the Activated Sludge Process, J.WPCF, Vol.47, No.5 (1975)
- 合田等: 基質除去ならびに代謝に関する動力学モデル, 土木学会論文報告集, No.213, pp.17~28 (1973)
- 益永等: 活性汚泥における糖除去と汚泥中蓄積物, 土木学会論文報告集, No.304, pp.81~93 (1980)
- Walters, C.F. et al.: Microbial Substrate Storage in Activated Sludge, Proc. of ASCE, SA2, April (1968)
- 田中栗谷, 森山: 活性汚泥内基質蓄積と生物増殖の関係について 土木学会第37回年次学術講演会講演要旨集第2部pp157(1982)

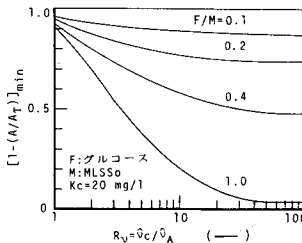


図-7 R_v と $[1 - (A/A_T)]_{\min}$

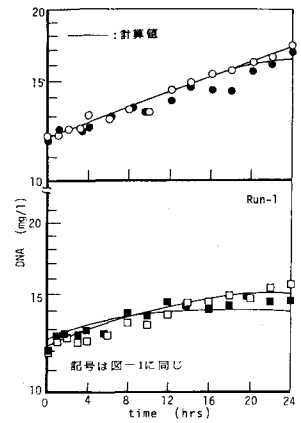


図-3 DNAの変化

表-2

$\hat{V}_c = 1000$
$K_c = 20$
$Y = 0.68$
$A_T = 19.4$
$\hat{V}_A = 19$
$K_A = 1.6$
$k_d = 0.05$
$Y = 0.024$

表-3

$V = 0.52$
$\gamma = 0.6$
$\hat{V}_A = 14$
$K_A = 1.6$
$k_d = 0.05$
$Y = 0.084$

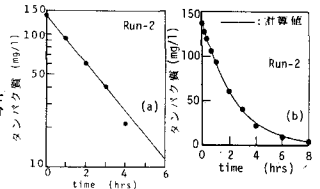


図-4 液相中タンパク質の変化

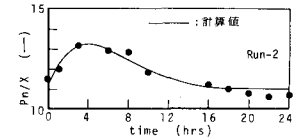


図-5 汚泥内タンパク質の変化

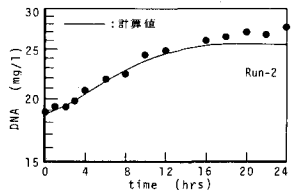


図-6 DNAの変化

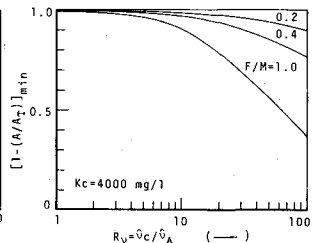


図-8 R_v と $[1 - (A/A_T)]_{\min}$