

VII-61

菌体計測による中温嫌気性汚泥消化に関する反応速度論的解析について

早稲田大学 学生員 高木 康行・富田 修

早稲田大学 正 員 遠藤 郁夫

1. はじめに

有機物の嫌気性分解過程は極めて複雑で、しかも基質によって異なることから、少なくとも現状では、合成基質等による基礎的研究より、施設の設計或はプロセスの制御等に直接結びつけることは困難である。このような観点から、中温嫌気性汚泥消化実験について、総括反応速度を用いて、Monod および Moser 式による反応動力学的解析を行ない、Moser 式による解析が実験結果をよく説明できることを明らかにしようとしたものである。

2. 実験方法

消化実験に用いた反応槽全容積は 3.0 l、混合液容量は 2.4 l とした。消化温度は 35℃(±0.2℃)とした。消化実験の滞留時間は 3~60 日消化とした。表-1 に下水汚泥の性質を示した。反応槽の引抜き投入は 1 日 1 回として半連続投入実験を行なった。攪拌は反応槽内混合液が十分均一になる程度に 1 日 2 回振盪攪拌を行なった。植種汚泥は中温からの消化汚泥を用い、6 ヶ月以上馴致した。実験は 3 ヶ月間行ない、各実験資料は消化状態が十分維持されたと考えられた最後の 2 週間の平均値である。反応槽内混合液の細菌の培養と計測については次の条件で行なった。

(1)混合液調整用のホモジナイザーは r.p.m 600、9 min とした。

(2)培地は嫌気性菌選択分離培地「変法 GAM 寒天培地」を用い、培養温度は 36℃とした。

(3)培養期間、すなわちコロニーの形成時間は、回分汚泥消化実験のガス発生量から、世代時間を推定して 3~4 週間とした。培養実験の結果、両者の間には全く差異のないことから、3 週間とした。

(4)コロニーの計測は MPN 法(5-5-5)とした。

(5)菌体重量は、表-2 に示したように、D.R.Boone and W.B. Whitman(1988)らの平均値を採用した。

3. 反応速度論的解析

図-1 に示したような完全混合型反応槽モデルについて、総括反応速度による反応速度論的解析を行なった。

各式を表-3 に示した。

4. 実験結果と考察

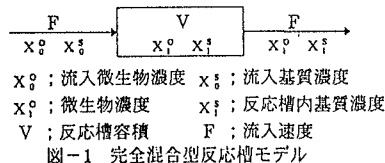


表-2 メタン菌の大きさおよび重量の平均値

	菌の大きさ(μm)	菌の重さ(mg)
Methanobacterium	23.2	4.79×10^{-9}
Methanococcus	1.17	0.24×10^{-9}
Methanosarcina	2.06	0.43×10^{-9}
平均	8.81	1.82×10^{-9}

表-1 下水汚泥の性質

測定項目	pH	CODcr (mg/l)	BOD (mg/l)	有機酸 (mg/l)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	TS (mg/l)	VS (mg/l)	T-N (mg/l)
下水汚泥	5.5	30902	12336	2030	17071	14300	20120	16040	1851

表-3 総括反応速度による反応動力学的解析

$$\begin{aligned}
 & \text{基質容積負荷} \quad Lv: Lv = \frac{F}{V} \cdot X_0^s = \frac{X_0^s}{\theta} \quad (1) \\
 & \text{基質消費率} \quad \alpha: \alpha = \frac{X_0^s - X_1^s}{X_0^s} = 1 - \frac{X_1^s}{X_0^s} \quad (2) \\
 & \text{基質消費速度} \quad Rc: Rc = \alpha \cdot Lv = \alpha \cdot \frac{X_0^s}{\theta} = \frac{X_0^s - X_1^s}{\theta} \quad (3) \\
 & \text{微生物の物質収支;} \\
 & \quad \theta \frac{dX_1^0}{dt} = X_0^0 + Y^A Rc \theta - K^d X_1^0 \theta - X_1^0 \quad (4) \\
 & \quad X_1^0 = \frac{Rc \theta Y^A}{1 + K^d \theta} \quad (5) \\
 & \text{線形化式} \\
 & \quad \frac{Rc}{X_1^0} = \frac{1}{Y^A} \cdot \frac{1}{\theta} + \frac{K^d}{Y^A} \quad (6) \\
 & \quad \theta: \text{滞留時間、} K^d: \text{微生物比死滅速度、} \\
 & \quad Y^A: \text{微生物収率} \\
 & \text{微生物増殖速度} \quad Mg: Mg = K \cdot X_1^0 \quad (7) \\
 & \text{基質消費速度と微生物増殖速度;} \\
 & \quad Rc = \frac{Mg}{Y^A} = K \cdot \frac{X_1^0}{Y^A} \quad (8) \\
 & \quad K: \text{微生物比増殖速度} \\
 & \text{Monod 式: } K = \frac{K^m X_1^s}{K^s + X_1^s} \quad (9) \\
 & \text{Moser 式: } K = \frac{K^m (X_1^s)^n}{K^s + (X_1^s)^n} \quad (10) \\
 & \quad K^m: \text{最大微生物比増殖速度} \\
 & \quad K^s: n=1 \text{ のとき、Monod 式の } K^s \text{ に相当する定数} \\
 & \text{Monod 式} \\
 & \quad Rc = K \cdot \frac{X_1^0}{Y^A} = \frac{K^m X_1^s}{K^s + X_1^s} \cdot \frac{X_1^0}{Y^A} \quad (11) \\
 & \text{線形化式} \\
 & \quad \frac{X_1^0}{Rc} = \frac{Y^A}{K^m} + \frac{K^s Y^A}{K^m} \cdot \frac{1}{X_1^s} \quad (12) \\
 & \text{Moser 式} \\
 & \quad Rc = K \cdot \frac{X_1^0}{Y^A} = \frac{K^m (X_1^s)^n}{K^s + (X_1^s)^n} \cdot \frac{X_1^0}{Y^A} \quad (13) \\
 & \text{線形化式} \\
 & \quad \frac{X_1^0}{Rc} = \frac{Y^A}{K^m} + \frac{Y^A}{K^m} \cdot K^s \left(\frac{1}{X_1^s} \right)^n \quad (14) \\
 & \text{Moser 式の変曲点;} \\
 & \quad X_1^s = \left(\frac{n-1}{n+1} K^s \right)^{1/n} \quad (15) \\
 & \text{Dmax 式} \\
 & \quad X_1^s = \left\{ \frac{K^s (D_{max} + K^s)}{K^m - (D_{max} + K^s)} \right\}^{1/n} - \frac{D_{max} K^s K^m}{n} \left\{ \frac{1}{K^m - (D_{max} + K^s)} \right\}^2 \\
 & \quad \times \left\{ \frac{K^s (D_{max} + K^s)}{K^m - (D_{max} + K^s)} \right\}^{1/n-1} = 0 \quad (16)
 \end{aligned}$$

嫌気性汚泥消化、汚泥処理・処分、下水汚泥

〒169-0072 東京都新宿区大久保 3-4-1 TEL 03-3209-3211 (内) 3517

中温汚泥消化では、ガス発生量、反応槽内混合液のBODおよび有機酸等についてPlateau領域は12日～18日消化、その領域の最小消化日数は、12日消化、対数増殖期は8日～18日消化

と考えることができた。図-3は X_1^s と R_c (3式)との関係である。 X_1^s と R_c との関係はシグモイド曲線で、しかもその曲線の変曲点は $X_1^s=1650\text{mgBOD/l}$ 付近である。また(15)式による計算値は、 $X_1^s=1560\text{mgBOD/l}$ となり実験値とほぼ一致していることが認められた。図-4は反応槽内混合液BOD(基質濃度BOD)として(6)式を示した。この図より、 $K^d=0.083(\text{day}^{-1})$ 、 $Y^A=0.00045$ がそれぞれ得られた。また、図-5にMonod式による(12)式、図-6にMoser式による(14)式をそれぞれ示した。これらの図より明かなように、Monod式を適用した場合、 $X_1^0/R_c < 0$ となり、微生物反応では説明が困難である。従って、 K^m と K^s を求めることができない。図-6のMoser式による(14)式において、 $n=2$ 、基質濃度BODとした場合 K^m および K^s を求め表-4に示した。また、定常状態では、

$$K - K^d = \frac{1}{\theta} = D \quad D: \text{希釈率 } \theta^{-1}$$

となる。 D は滞留時間、すなわち消化日数の逆数となる。 K^d 値に表-4の値を代入して、図-8を得ることができた。微生物増殖速度の最大値の得られる希釈率 $D_{\max}$ は、(16)式より、 $D_{\max}=0.172$ 、従って、 $\theta_{\min}=1/D_{\max}=5.8 \approx 6$ 日消化となる。また、wash-outが起こる滞留時間 $\theta=\theta_w$ では、 $X_1^s=X_1^0$ となるから、 $\theta_w=4.5$ 日消化となる。すなわち、中温汚泥消化では、最小消化日数は6日消化、wash-outは5日消化である。これらの諸現象の消化日数は実験結果とよく一致していることが認められた(図-2)。

4. 総括および結論 中温汚泥消化実験(35℃)において、菌体計測(MPN・5-5-5)を行ない、総括反応速度による反応動学的解析を行ない、次のような結論を得た。 i) 中温汚泥消化実験では、反応動力式としてMoser式が適用できた。 ii) Moser式による最小消化日数 $\theta_{\min}$ およびwash-outの消化日数 θ_w は、それぞれ、6日消化、5日消化であり、よく実験結果を説明することができた。

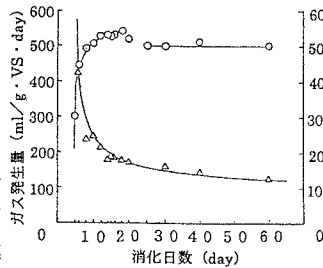


図-2 消化日数とガス発生量およびBODとの関係

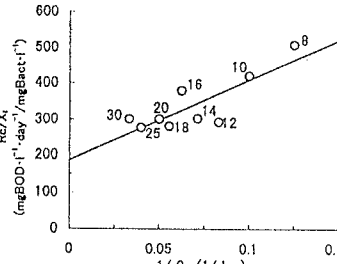


図-4 1/θと R_c/X_1^0 との関係

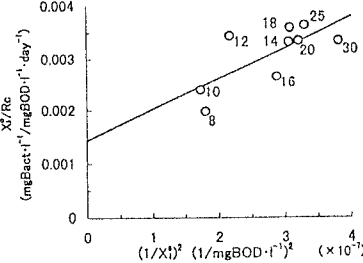


図-6 $(1/X_1^0)^2$ と X_1^0/R_c との関係

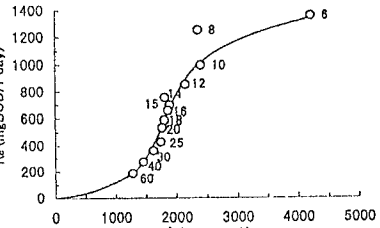


図-3 基質濃度 X_1^s と R_c との関係

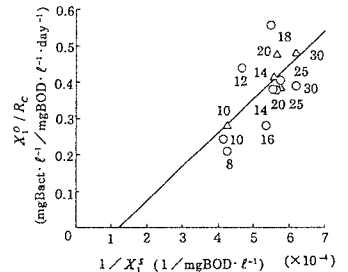


図-5 $1/X_1^s$ と X_1^0/R_c との関係

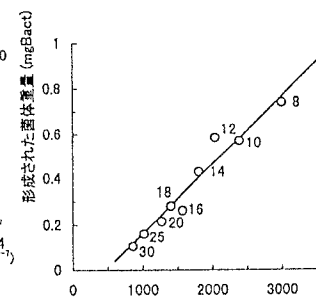


図-7 利用された基質量と形成された菌体重量との関係

表-4 Moser-Model constant (n=2)			
Y (mgBact/mgBOD)	K^d (1/day)	K^m (1/day)	K^s (mgBOD/l)
0.041	0.052	0.34	(2700) ²

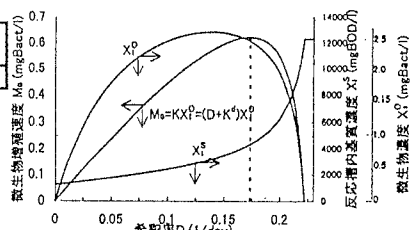


図-8 Moser-Model (n=2)とした場合の D と M_a 、 X_1^0 、 X_1^s との関係