

早稲田大学 学生員 高木 康行

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の解析を行ない、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。

x_0^s ; 流入微生物濃度 x_1^s ; 流入基質濃度
 x_0^p ; 微生物濃度 x_1^p ; 反応槽内基質濃度
 V ; 反応槽容積 F ; 流入速度

4. 実験結果と考察

図-1 完全混合型反応槽モデル

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

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

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

図-2に汚泥消化におけるガス発生量を示した。中温汚泥消化では、8日～12日消化の範囲で500～530 ml/gVS・dayと徐々に増加し、12日～30日消化では、530～540 ml/gVS・day(7～8倍)と飽和状態を示していることが認められた。

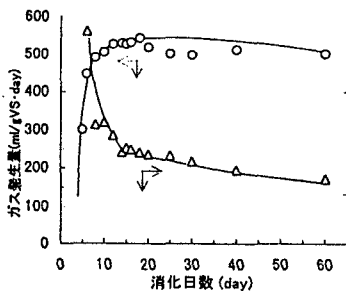


図-2 消化日数とガス発生量およびBODとの関係

また、消化日数と反応槽内混合液のBODとの関係から、中温消化では、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領域の最小消化日数は、12日消化であると考えることができた。図-3は X_i^s と R_c との関係を示したものである。 X_i^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 $X_i^s=1500$ mgBOD/l付近であ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。これらの図より明らかに、Monod式を適用した場合、 $X_i^p/R_c < 0$ 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。微生物増殖速度 M_g は(7)式で示すことができるから、定常状態では、

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

表-4 Moser-Model constant ($n=2$)

Y	K^d	K^m	K^s
(mgBOD/mgBOD)	(1/day)	(1/day)	(mgBOD/g)
0.00045	-0.083	0.31	(2030) ²

となる。 D は滞留時間、すなわち消化日数の逆数となるから、本実験の範囲では、5日～60日消化であり、希釈率 D は、0.0167～0.2 day⁻¹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 $D_{\max}=0.172=1/\theta_{\min}$ 、 $\theta_{\min}=5.81$ 日消化、 $\theta_{\min} \approx 6$ 日消化となる。また、 $X_i^p=0$ となる希釈率 $D_w=1/\theta_w=0.222$ 日消化、 $\theta_w=4.5$ 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。

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、反応動力学式として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 はよく実験結果を説明することができた。

図-3 基質濃度 X_i^s と R_c との関係

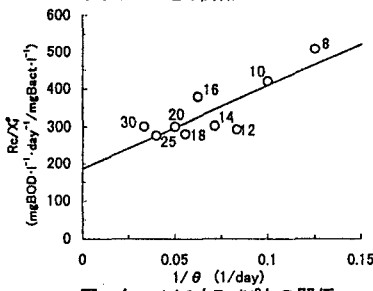
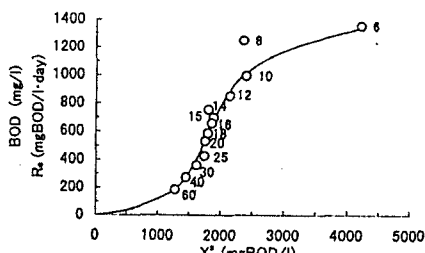


図-4 $1/\theta$ と R_c/X_i^s との関係

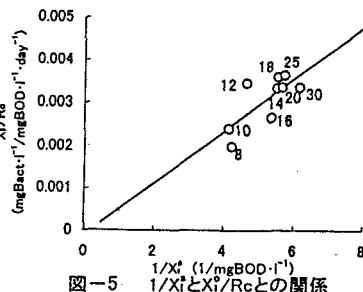


図-5 $1/X_i^s$ と X_i^p/R_c との関係

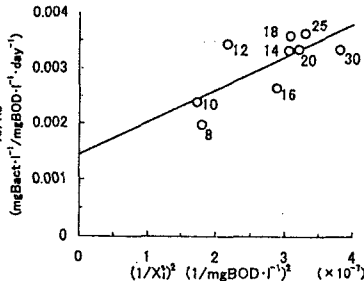


図-6 $(1/X_i^s)^2$ と X_i^p/R_c との関係

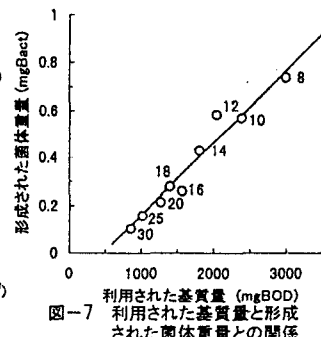


図-7 利用された基質量(mgBOD) 利用された基質量と形成された菌体重量との関係

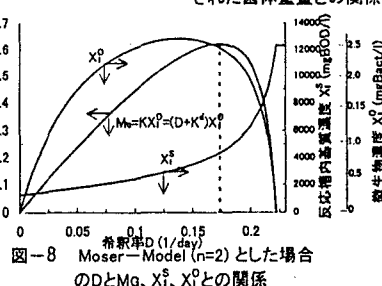


図-8 Moser-Model ($n=2$) としての場合の D と M_g 、 X_i^s 、 X_i^p との関係