

早稲田大学理工学部 学生員 高木 康行

早稲田大学理工学部 正 員 遠藤 郁夫

1. はじめに

微生物指標として、MLSS、MLVSS、ATP/ℓ などがある。ATP/g・菌体は、菌体の生死の区別ができる利点がある。また、微生物を主要な基質消費別に捉え、その微生物量を基礎として、動力学的解析を試みる研究もある。そのような状況のもとで、本研究は汚泥消化層内混合液の混合微生物系の微生物濃度を把握する一つの手法として、培養法(MPN法)による菌体計測を行ない、反応動力学的解析を行ない、低温嫌気性汚泥における滞留時間について二、三の考察を試みたものである。

2. 実験方法 (1) 下水汚泥を用いて、完全混合型反応槽による半連続実験を行なった。消化温度は 20℃ として、8 日～200 日消化までの消化実験を行なった。消化日数 100 日～200 日消化など消化日数の長いものについては、約 3 年間行なった。攪拌は槽内混合液が十分均一になる程度に 1 日 2 回振盪攪拌を行った。生汚泥の投入は毎日 1 回、引き抜きは消化日数によって、2、3 日に 1 回とした。槽内混合液の水質に関する諸項目は、平衡状態が十分維持されたと考えられた期間、約 3 週間のデータの平均値を用いた。(2) 培地植種用の汚泥調整に際して、均一な汚泥液を調整するための攪拌は、汚泥が過粉碎しない程度の攪拌を行なった。すなわち、攪拌条件 rpm600、9min とした。

(3) JISK0102 に示された一般細菌試験に準じて操作を行ない、培養にあたっては嫌気ガスバックシステムを用い、36℃ で 21 日間培養した。MPN(5-5-5)法による計測を行なった。培地は嫌気性菌選択分離培地「GM 加 GAM 寒天培地(ニッスイ)」を用いた。

3. 実験結果と考察 3.1 低温汚泥消化

図-1 のガス発生量は各反応槽が動的平衡状態の場合の平均値である。ガス発生量からすれば、少なくとも 60 日消化以上が必要であり、60 日～200 日消化で 500～550 ml/VS・g・day であった。また、有機物分解率は 60 日消化から、120 日消化までが漸増し、120 日～200 日消化で有機物分解率は 60% に達した。ガス発生量、pH および有機物分解率とも、60 日消化以上が plateau 領域と考えられた。特に、120 日消化以上では全く飽和状態であることが認められた。

3.2 Moser 式による反応速度論的解析

完全混合型反応槽モデルについて、Moser 式による反応速度論的解析を試みた。各関係式を表-1 に示した。図-2 は基質消費速度 R_{cons} と槽内基質濃度 X_1^s (mg・BOD/ml) との関係である。この関係は Sigmoid Curve となった。Sigmoid Curve の変曲点は、 $X_1^s = 1700 \text{ mg} \cdot \text{BOD} / \text{ml}$

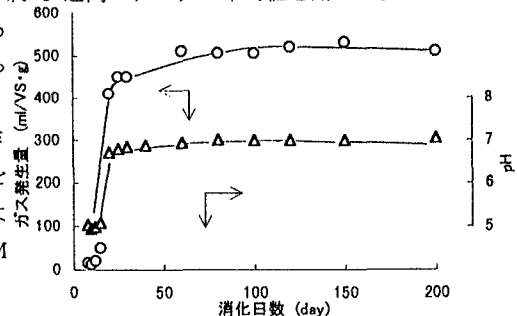


図-1 消化日数とガス発生量、pH の関係

表-1 Moser 式による反応動力学

$$\text{基質消費速度: } \left(-\frac{dX_1^s}{dt} \right)_{\text{max}} = R_{cons} = \frac{(X_1^s - X_1^s)}{\theta} \dots (1)$$

$$\text{菌体の物質収支: } X_1^s = \frac{R_{cons} \cdot \theta \cdot Y}{1 + \theta \cdot K^d} \dots (2) \quad \frac{R_{cons}}{X_1^s} = \frac{1}{Y \cdot \theta} + \frac{K^d}{Y} \dots (3)$$

$$\text{菌体増殖速度 } R_{cons} \text{ と基質消費速度 } R_{cons}: R_{cons} = \frac{(X_1^s - X_1^s)}{\theta} = \frac{R_{max}}{Y} = \frac{1}{Y} \cdot K \cdot X_1^s \dots (4)$$

$$\text{Moser Model 式: } K = \frac{K^n \cdot (X_1^s)^n}{K^n + (X_1^s)^n} \dots (5) \quad K = \frac{0.063 \cdot (X_1^s)^2}{(2730)^2 + (X_1^s)^2} \dots (6)$$

$$\text{Moser Model 式の変曲点: } X_1^s = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot K^{\frac{1}{n}} \dots (7)$$

$$\text{Rosen(4)式の線形化: } \frac{X_1^s}{R_{cons}} = \frac{Y}{K^n} + \frac{Y}{K^n} \cdot K^n \cdot \left(\frac{1}{X_1^s} \right)^n \dots (7)$$

$$\text{基質濃度: } X_1^s = \left(\frac{K^n \cdot (D + K^d)}{K^n - (D + K^d)} \right)^{\frac{1}{n}} \dots (8) \quad \text{希釈率: } D = \frac{1}{\theta} \dots (10)$$

最大希釈率 D_{max} :

$$\frac{d}{dD} \left(R_{cons} \right) = \frac{d}{dD} \left[X_1^s \cdot \left(\frac{K^n \cdot (D + K^d)}{K^n - (D + K^d)} \right)^{\frac{1}{n}} \right] = 0 \dots (11)$$

$$X_1^s \cdot \left[\frac{K^n \cdot (D_{max} + K^d)}{K^n - (D_{max} + K^d)} \right]^{\frac{1}{n}} - \frac{D_{max} \cdot K^n \cdot K^n}{n \cdot \left[K^n - (D_{max} + K^d) \right]^2} \times \left[\frac{K^n \cdot (D_{max} + K^d)}{K^n - (D_{max} + K^d)} \right]^{\frac{1}{n}} = 0 \dots (12)$$

θ: 滞留時間, K^d : 菌体比死滅速度, Y: 菌体収率, K^n : 最大微生物増殖速度, K^n : $n=1$ のとき Moser 式の K に相当する定数

嫌気性汚泥消化、汚泥処理・処分、下水汚泥

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

であった。従って、(4)式の微生物比増殖速度 K は Sigmoid

Curve を示すものと考えられる。微生物比増殖速度が Sigmoid Curve を示す場合には、しばしば Moser 式(5)が適用される。従って低温嫌気性汚泥消化(20℃)における反応動力学的解析には Moser 式が適用できるものと考えられた。メタン菌は形態的には *Methanobacterium*、*Methanococcus*、および *Methanosarcina* 等3種類に分類される。これらの各属の菌体の平均的大きさは文献的資料によれば、それぞれ、23.2、1.17 および 2.06 $\mu\text{m}/\text{cell}$ であった。菌体の重量の平均値は、それぞれ、4.79、0.24 および $0.43 \times 10^{-9} \text{mg}/\text{cell}$ であった。また、電子顕微鏡写真の直接観察によれば、10～30 μm の範囲の桿菌が多く認められた。これらの値を用いて、Moser 式の Model 定数を決定するために(3)式に $n=2$ とした場合の関係が図-3である。また、図-4は(7)式を示した。これらから求められた Moser 式の Model constant を表-2に示した。 $n=2$ の場合の Moser 式は(8)式となった。また、(6)式に $n=2$ 、 κ^s をそれぞれ代入すると変曲点における槽内混合液基質濃度 $X_i^s = 1576 \text{mg} \cdot \text{BOD}/\text{ml}$ であった。図-2 から求めた実験値 $X_i^s = 1700 \text{mg} \cdot \text{BOD}/\text{ml}$ とよく一致していることが認められた。

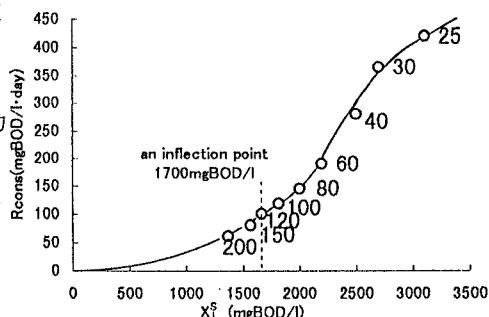


図-2 基質濃度 X_i^s と R_{cons} との関係

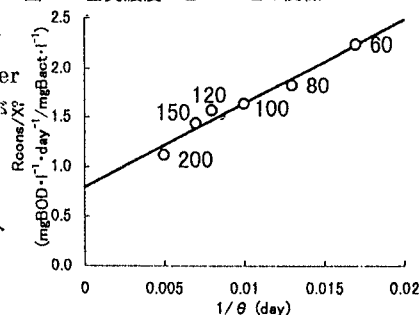


図-3 $1/\theta$ と R_{cons}/X_i^s の関係

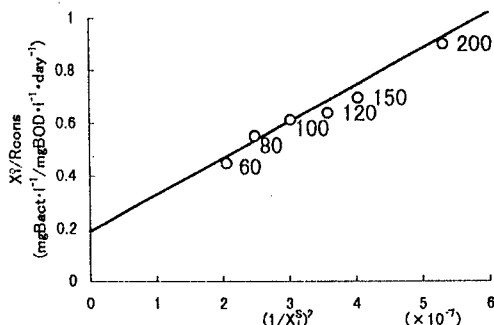


図-4 $(1/X_i^s)^2$ と X_i/R_{cons} の関係

3.3 低温嫌気性汚泥消化(20℃)におけるアルカリ発酵期

の最小消化日数 $\theta_{\min}$ と wash out θ_w 反応槽が定常状態において、微生物比増殖速度 K を Moser 式で示した場合、反応槽内混合液基質濃度 X_i^s は(9)式で示すことができるから、微生物増殖速度の最大値を与える D の値は、(11)式を満足する D の値が最大希釈率 $D_{\max}$ となる。 $D_{\max}$ は(12)式を解くことによって得られる。また、最小消化日数 $\theta_{\min}$ は(13)式のように考えることができる。 $n=2$ とすると、 $D_{\max} = 0.04 \text{day}^{-1}$ となる。すなわち低温汚泥消化(20℃)ではアルカリ発酵期における最小消化日数は(13)式より 25 日消化となった。25 日消化の消化実験では $\text{pH}=6.8$ 、ガス発生量 $407 \text{ml}/\text{VS} \cdot \text{g} \cdot \text{day}$ で、消化状態は図-1 から若干不安定な面も考えられたが、定常状態は得られた。すなわち、ほぼ限界消化日数と考えられ、実験結果とよく一致していることが認められた。この場合、wash out 現象が起こる滞留時間 $\theta = \theta_w$ では $X_i^s = X_0^s$ となる。従って、(15)式より $\theta_w = 20$ 日消化となった。図-1 に見られるように、20 日消化は極めて不安定状態である。また、15 日消化実験では $\text{pH}=5.1$ 、ガス発生量 $35 \text{ml}/\text{VS} \cdot \text{g} \cdot \text{day}$ であることから、wash out は 15 日～20 日消化の範囲で起こるものと考えられた。

4. 総括および結論 反応槽内混合液の混合微生物系について、MPN(5-5-5)法による菌体数の測定を行ない、Moser 式により滞留時間の検討を行なった。

表-2 Moser-Model constant ($n=2$)

Y ($\text{mgBact}/\text{mgBOD}$)	K^d ($1/\text{day}$)	K^m ($1/\text{day}$)	κ^s (mgBOD/l)
0.012	0.0094	0.063	$(2730)^2$

表-3 最小消化日数と wash-out 消化日数

$$\theta_{\min} = \frac{1}{D_{\max}} = \frac{1}{0.04} = 25 \text{ 日消化} \cdots (13)$$

$$\theta = \frac{1}{K - K^d} = \frac{1}{\frac{K^m \cdot (X_i^s)^2}{\kappa^s + (X_i^s)^3} - K^d} \cdots (14)$$

$$\theta_w = \frac{1}{\frac{0.071 \cdot (13000)^2}{(2730)^2 + (13000)^3} - 0.0094} \approx 20 \text{ 日消化} \cdots (15)$$