

早稲田大学理工学部 学生員 ○吉澤 正宏
早稲田大学理工学部 正会員 遠藤 郁夫

1. はじめに 嫌気性汚泥消化の高率化に関する研究は、1954年代に Sawey, Tropey および Morgan 等によって多くの研究がなされ、次の様な特徴が指摘されてきた。すなわち、(1) 反応槽における攪拌は連続的或いは半連続的に完全混合状態を維持する。(2) 高濃縮汚泥を連続的或いは断続的に投入する。(3) 消化日数は6～15日消化で良好な消化状態が得られる。(4) 引き出された消化汚泥中には往々にして不完全消化汚泥が含まれることがある。などある。しかしながら、これらの諸点は直接実験結果を考察したもので必ずしも解析的検討が加えられていないのが現状である。そこで、本研究は直接下水汚泥を用いて巨視的解析手法として、総括反応速度、微生物汚泥および反応動力学的モデルとして Moser-Model を用いて高温嫌気性汚泥消化の高率化について解析を試みたものである。

2. 実験方法 消化実験はケモスタット型実験装置を用いた。反応槽全容積は3.0ℓ、混合液容量は2.55ℓとした。消化温度は53±0.2℃とした。投入下水汚泥の濃縮は遠心分離機による方法(以下遠心濃縮法)、および生物学的濃縮法(以下生物濃縮法)を用いた。投入下水汚泥の濃度および消化日数は次の通りである。
重力濃縮法; 1.98, 2.47TS% 8, 9, 12および15日消化
遠心濃縮法; 3.53TS% 8日消化
2.92, 3.53TS% 12日消化
生物濃縮法; 3.45TS% 6.3日消化
2.82, 3.43, 3.75および4.53TS%
9.3～9.6日消化

表-1は、原下水汚泥の性質である。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。植種汚泥は高温嫌気性汚泥消化槽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動的平衡状態が維持されたと考えられた最後の2週間の平均値である。

3. 実験結果と考察 下水汚泥を用い、消化日数3～60日消化の範囲で、高温嫌気性汚泥消化実験を行ない、微生物汚泥を定義し、反応動力学的モデルとして Moser-Model を採用して総括反応速度による巨視的解析を行なった。表-2はn=2の場合の Moser-Model 定数を示したものである。n=2の場合の Moser-Model 式は(1)式となる。この関係を図-2に示した。また、図-2の変曲点は(2)式で示され実験値とよく一致していることが認められた。

$$K = \frac{K^m \cdot (X_1^s)^2}{s + (X_1^s)^2} = \frac{0.414 \cdot (X_1^s)^2}{(987)^2 + (X_1^s)^2} \quad \text{----- (1)}$$

$$X_1^s = \left(\frac{n-1}{n+1} \cdot K^s \right)^{1/n} = \left(\frac{2-1}{2+1} \cdot K^s \right)^{1/2} \\ = 570 \text{ mgBOD} / \ell \quad \text{----- (2)}$$

完全混合型反応槽が動的平衡状態を維持している場合、希釈率 $D = 1/\theta$ とすると、最大希釈率 D_{max} は(3)式より得ることができる。

$$X_0^s - \left\{ \frac{K^s (D_{max} + K^d)}{K^m - (D_{max} + K^d)} \right\}^{1/n} - \frac{D_{max} \cdot K^s \cdot K^m}{n} \\ \times \left\{ \frac{1}{K^m - (D_{max} + K^d)} \right\}^2 \cdot \left\{ \frac{K^s (D_{max} + K^d)}{K^m - (D_{max} + K^d)} \right\}^{1/n-1} \\ = 0 \quad \text{----- (3)}$$

表-1 原下水汚泥の性質

測定項目	pH	COD _{Cr} (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	有機物 (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)	TS (mg/ℓ)	VS (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)
原下水汚泥	5.64	24568	9732	1493.0	16667	13194	19174	14819	1061

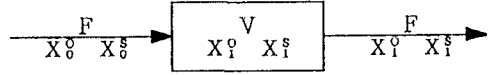


図-1 完全混合型反応槽モデル

X_0^s : 流入微生物汚泥濃度 X_1^s : 流入基質濃度
 X_1^s : 微生物汚泥濃度 X_1^s : 反応槽内基質濃度
 V : 反応槽容積 F : 流出速度

表-2 高温嫌気性汚泥消化実験による Moser-Model 定数 (n=2)

Y ^a (mgVSS/mgBOD)	K ^a (1/day)	K ^b (1/day)	K ^c * (mgBOD/ℓ) ¹	備考
0.705	0.0262	0.414	(987) ²	BOD 発酵期

* Moser-Model 定数

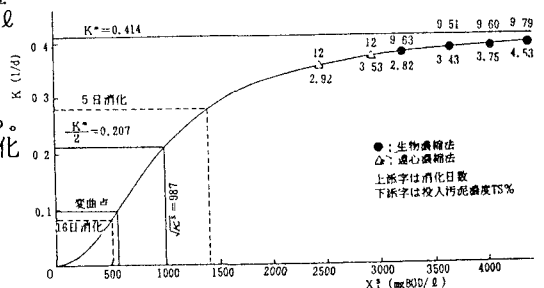


図-2 n=2の場合の Moser-Model 式の関係

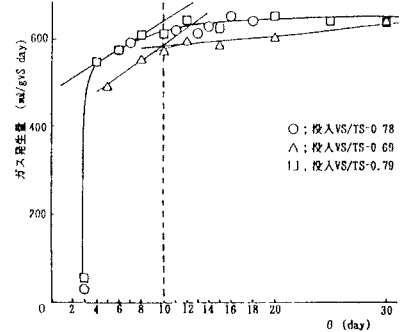


図-3 消化日数とガス発生量との関係

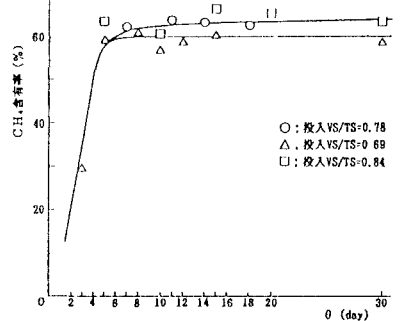


図-4 消化日数とCH4含有率との関係

$n=2$ の場合、 $D_{max}=0.201 \text{ day}^{-1}$ となる。従って最小消化日数 θ_{min} は

$$\theta_{min} = \frac{1}{D_{max}} = \frac{1}{0.201} = 4.96 \div 5 \text{ 日消化}$$

となる。アルカリ発酵期における最小消化日数 θ_{min} は 5 日消化と考えることができた。同様に、wash-out 現象の起こる滞留時間は (4) 式から 3 日消化となった。これらの解析結果は図-3 および図-4 の

$$\theta_w = \frac{1}{\frac{K^m \cdot (X_1^s)^2}{K^s + (X_1^s)^2} - K^d} = 2.6 \div 3 \text{ 日消化} \quad \text{----- (4)}$$

実験結果とよく符合していることが認められた。従って、このような解析結果を踏まえて、投入汚泥濃度 2～5% の範囲で、消化日数 8、9、12 および 15 日消化として高率化に関する検討を行なった。図-5 は投入汚泥濃度 TS% とガス発生量との関係である。ガス発生量は、投入汚泥濃度 TS 2～3.8%、消化日数 8～15 日消化の範囲で、580～600 ml/gVS・day とほぼ飽和状態を示しているが、TS 3.8% 以上では減少することが認められた。また、有機物分解率(%) は図-6 に示したように、投入汚泥濃度 TS 2～4.53%、消化日数 9 日消化以上ではほぼ 60% であった。図-7 は投入汚泥濃度と反応槽混合液濃度との関係である。投入濃縮汚泥が生物濃縮法による場合は、反応槽の高率化をより一層高めるためと生物汚泥濃縮効果をあげるために、投入生汚泥と反応槽混合液を混合して同時に生物濃縮した。そのプロセスを図-8 に示した。その結果、反応槽混合液濃度が高く維持できたものと考えることができた。遠心濃縮法における滞留時間 $\theta_c = V/F = 12$ 日消化は、生物濃縮法では $\theta_c = V/(F + \Delta V) = 9.5$ 日消化となった。しかも反応槽混合液濃度は投入汚泥濃度 TS 3.5% の場合、遠心濃縮法では 1.8 TS%、生物濃縮法では 2.5 TS% である。このような反応槽混合液の高濃度化が図-5 および図-6 に見られるようにガス発生量および有機物分解率において、生物濃縮法の滞留時間が 9.5 日消化であるにも拘らず遠心濃縮法の 12～15 日消化に同等或いはそれ以上の消化効率を得られたものと考えられた。図-9 は投入汚泥濃度と反応槽混合液 BODg/VSg との関係である。この関係においても、生物濃縮法は、遠心濃縮法の 12～15 日消化と同等或いはそれ以上の結果が認められた。図-2 には、遠心濃縮法と、生物濃縮法の各消化実験による微生物汚泥比増殖速度 K をプロットした。各点はいずれも $K^m/2$ より非常に大きいことが認められた。

Moser-Model の $\sqrt{K^s}$ (987 mgBOD/ℓ) は Monod-Model の飽和定数に相当する定数と考えられ、 $\sqrt{K^s}$ 以上の各点の微生物汚泥に対して、基質濃度 (X_1^s) は過飽和状態と考えられ、反応槽においては十分な攪拌が必要なものと考えられた。この考え方からすれば、図-9 において 9～15 日消化では投入汚泥濃度 TS 2.2% 以上では連続攪拌が必要であると考えられ、特に TS 2.8～4.5% の範囲では、完全混合液状態が得られるような攪拌が必要であることが理解できた。最後に、土木工学科学生、田中 敬吾および林 正治両君の多大な労に感謝します。

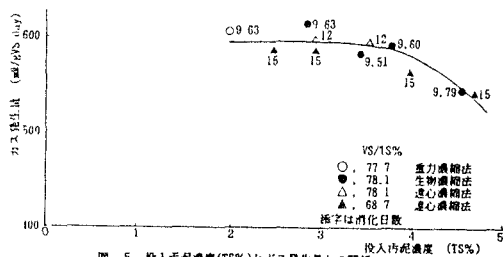


図-5 投入汚泥濃度(TS%)とガス発生量との関係

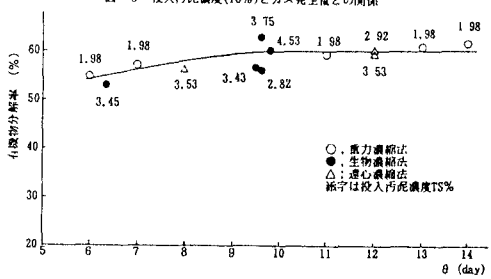


図-6 消化日数と有機物分解率との関係

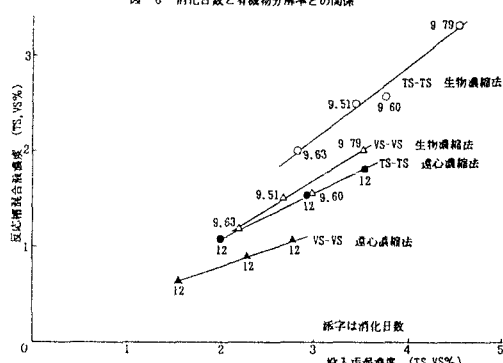


図-7 投入汚泥濃度と反応槽混合液濃度との関係

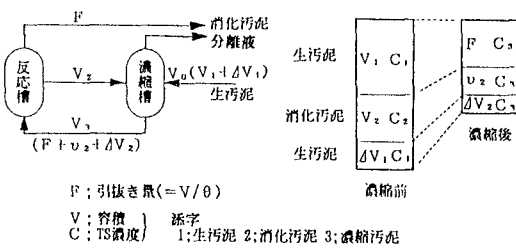


図-8 高率化のための生物汚泥濃縮プロセス

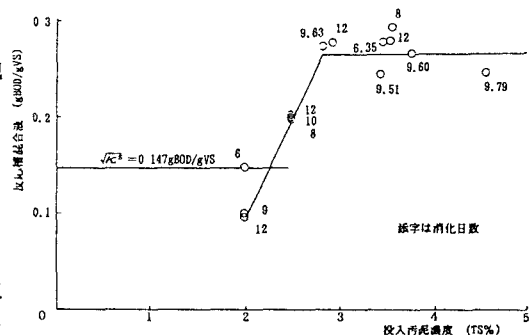


図-9 投入汚泥濃度TS%と反応槽混合液BODg/VSとの関係