

(Ⅱ - 38) 高温嫌気性汚泥消化における“微生物汚泥”の振舞に関する研究

早稲田大学 理工学部 学生会員 尾澤 勲・高木康行
早稲田大学 理工学部 正会員 遠藤郁夫

1. はじめに

汚泥消化において消化作用が十分円滑にしかも平行状態に達している場合、反応槽内の反応系では、微生物は汚泥中のSSを担体として、微生物反応系(以下、微生物-SS系)を形成するものと考えられる。この微生物SS系の形成機構は、酵素の場合と同様、結合法が複合的に、複雑に絡み合っていてできているものと考えられる、この様にして形成された微生物-SS系を微生物汚泥(Biological Solids)と定義した。更に微生物汚泥について、物理的操作条件を加え、微生物とコロイド・汚泥粒子の混合物、すなわち混合微粒子体を秤量して、“微生物汚泥”と“混合微粒子体”との両者にMoser式を適用してMoser-Model定数を求め汚泥消化における滞留時間について解析的研究を試みたものである。

2. 実験結果と考察

(1) 微生物汚泥

微生物汚泥としての指標はMLVSSを用いた。MLSSの測定にあつた次のような操作条件で行なつた。
1) 遠心分離の回転数(rpm)および回転時間はSSおよびコロイド性微粒子の沈殿を考慮してrpm3000として、回転時間を20minとした。(下水試参考)

2) MLSSの洗浄方法は各回ともマグネティックスターを用い、図-1よりrpm600、攪拌時間を9minとした。

3) 洗浄回数は図-2より3回とした。

図-3は3回洗浄した場合に微生物汚泥を構成している担体汚泥粒子中に含まれている基質有機物(BOD)を示した。この図から4日及び6日消化は若干大きい、4日~20日消化の範囲では担体汚泥粒子の基質有機物は有機物(BOD)は3回洗浄ではほぼ44%と一定であると考えることができた。

(2) 微生物汚泥収率(Y^A)

微生物汚泥収率(Y^A)、を微生物の場合と同様に、(1)式のように定義した。図-4は定義(1)式に基づいて高温嫌気性汚泥消化におけるΔMLVSS(以下VSSとすると)(X^S - X⁰)との関係を示した。

$$Y^A = \frac{\text{形成された微生物汚泥量} (\Delta \text{MLVSS})}{\text{利用された基質量} (\Delta \text{BOD or COD})} \quad \text{----- (1)}$$

アルカリ発酵期における微生物汚泥収率Y^A=0.726mgVSS/mgBODであり、菌体収率Yに比べて非常に大きな値であることが認められた。このことは前述の如く、微生物汚泥を構成している汚泥粒子中に基質有機物(BOD)を44%も含んでいることでも理解できる。しかしながら、この構成汚泥粒子の有機物は微生物を吸着して、汚泥活性体となり、所謂微生物汚泥を構成しているものと考え、上述の条件で測定したMLVSSを微生物汚泥の指標とした。従つて、(1)式の微生物汚泥収率は、利用された基質量(ΔBOD)当りに発生した微生物汚泥量である。すなわち汚泥活性体量であり、菌体収率に比較すれば、著しく大きな値であることは十分理解できる。“微生物汚泥”の振舞について検討するため、基質消費速度R_{cons}と基質濃度X⁰との関係を図-5に示した。この関係はシグモイド曲線であることから、Moser式(3)においてn>1であることが示唆される。R_{cons}とMoser式との関係に“微生物汚泥”の概念を導入すると、次のような関係を得ることができた。基質消費速度R_{cons}と微生物汚泥増殖速度R_mとの関係は(2)式となる。

$$R_{cons} = \frac{R_m}{Y^A} = \frac{1}{Y^A} \cdot \frac{K^m \cdot (X^0)^n}{K^S + (X^0)^n} \quad \text{--- (2)}$$

Y^A; 微生物汚泥収率, K; 微生物汚泥比増殖速度
K^m; 最大微生物汚泥比増殖速度
K^S; n=1のときMonod-Model式のK^Sに相当する定数
(3)式の変曲点を求めると

$$(X^0)_1 = \left(\frac{n-1}{n+1} \cdot K^S \right)^{1/n} \quad \text{----- (4)}$$

となる。Moser-Model式のnの次数を推定する方法のひとつにシグモイド曲線の変曲点の位置が実験値と

Moser-Model式から求めた解析値との整合性がある、実験値から求めた変曲点は(X⁰)₁=1950BODmg/ℓと、n=2として(4)式から求めた解析値(X⁰)₁=1990BODmg/ℓと全くよく一致することが確かめられた。また、定常状態における菌体の物質収支式から、菌体濃度X⁰に関する線形化式は(5)式、基質消費速度R_{cons}と微生物増殖速度R_mとの関係の線形化式は(6)式にそれぞれ示した。

$$\frac{R_{cons}}{X^0} = \frac{1}{Y^A} \cdot \frac{1}{\theta} + \frac{K^d}{Y^A} \quad \text{----- (5)} \quad \frac{X^0}{R_{cons}} = \frac{Y^A}{K^m} + \frac{Y^A}{K^m} \cdot K^S \left(\frac{1}{X^0} \right)^n \quad \text{--- (6)}$$

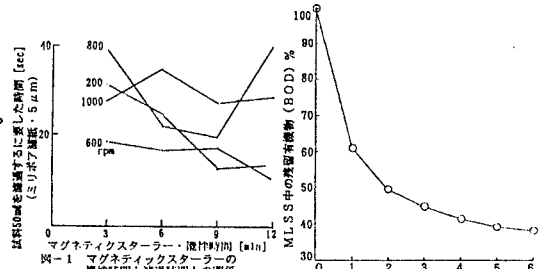


図-1 マグネティックスターの回転時間と攪拌時間との関係

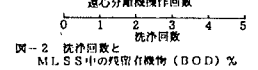


図-2 洗浄回数とMLSS中の残存有機物(BOD) %

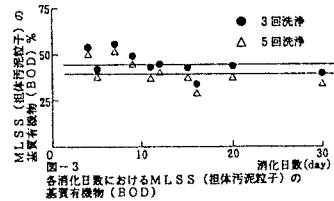


図-3 各消化日数におけるMLSS (担体汚泥粒子)の基質有機物(BOD)

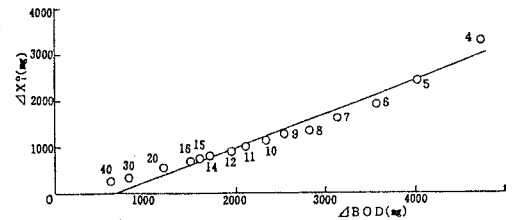


図-4 ΔBODとΔX⁰との関係(直線の勾配は微生物汚泥収率)

表-1は、高温嫌気性汚泥消化の場合のMoser式のModel定数を示した。微生物汚泥収率が図-4の実験値とほぼ一致していることが認められた。

(4) 混合微粒子体

反応槽内混合液の微生物汚泥に対して物理的操作条件として遠心分離と濾過を行なって、微生物汚泥を構成している汚泥粒子と、微生物とを分離して、微生物量を秤量することを試みた。汚泥粒子と微生物との分離操作は次の様にして行なった。

1) 第1回目はMLを遠心分離機の回転数rpm1500・5minとして上澄水を採取。第2回目は遠沈管に分離沈澱した汚泥に約30ccの蒸留水を加え、マフティクスターで、攪拌(rpm600, 9min)した混合液を遠心分離(rpm1500, 5min)して、上澄水を採取、第3回目も第2回目と同様にして上澄水を採取した。

2) 第1回、第2回及び第3回の上澄水を混合して、菌体と粗細汚泥粒子混合液(以下、菌体-粗細汚泥粒子混合液とする)を作成した。

3) 菌体-粗細汚泥粒子混合液について、3段階の濾過を行なった。濾過は3段階とも微粒子がミリポア濾紙に可能な限り食い込みが現象が起こらないように、定圧(100mmHg)表面濾過とした。第1段回濾過はミリポア濾紙10 μ mで濾過した。第2段階は濾液を5 μ mで濾過した。5 μ mを通過した濾液中には菌体と5 μ mを通過したコロイド、あるいはコロイド状粒子が存在するものと考えた。この5 μ mを通過した濾液を第3段階として0.45 μ mのミリポア濾紙で濾過して、0.45 μ m上に堆積した菌体とコロイド或いはコロイド状汚泥粒子の混合物、すなわち、粒子径0.45~5 μ mの微粒子群を“混合微粒子体”とした。

4) 5 μ mを通過した濾液の顕微鏡(X1000)観察を行ない、多数の球菌および桿菌が認められた。また、トーマ血球計数器を使用して計数を行なった。

5) 電子顕微鏡写真(X10000)によって、0.45~5 μ mの範囲の粒子群は大部分が菌体であることが認められた。

混合微粒子体を用いて(1)式の考え方から、図-8の直線の勾配として混合微粒子体収率 Y^B を求めた。 $Y^B=0.0805\text{mgMLSS/mgBOD}$ であった。また R_{cons}/X^0 と X^0 との関係を図-9に示した。シグモイド曲線が得られ、Moser式($n>1$)の適用が考えられた。

図-9より変曲点は $(X^0)_i=1650\text{mgBOD}/\ell$ 付近と認められた。(5)式及び(6)式に Y^A の代わりに Y^B を代入して、Moser-Model定数を求め表-1に示した。 $n=2$ として(4)式から変曲点を求めると $X^0_i=1701\text{mgBOD}/\ell$ であった。図-9から求めたものと、かなりよく一致していることが認められた。最大希釈率 D_{max} は(7)式より求めることができる。

$$X^0_i - \left\{ \frac{K^S(D_{max} + K^d)}{K^m - (D_{max} + K^d)} \right\}^{1/n} - \frac{D_{max}}{n} \frac{K^S K}{\left\{ \frac{1}{K^m - (D_{max} + K^d)} \right\}^2} \times \left\{ \frac{K^S(D_{max} + K^d)}{K^m - (D_{max} + K^d)} \right\}^{1/n-1} = 0 \quad (7)$$

$$\theta = \frac{1}{(K - K^d)} = \frac{1}{\frac{K^m \cdot (X^0_i)^2}{K^S + (X^0_i)^2} - K^d} \quad (8)$$

また、wash-out現象の起こる滞留時間は(8)式に $X^0_i=X^0$ を代入すると $\theta=\theta_w$ となる。(7)式及び(8)式から求めた最大希釈率 D_{max} 、最小消化日数 θ_{min} およびwash-outの起こる滞留時間 θ_w を表-2に示した。

表-2 微生物汚泥および混合微粒子体を用いた場合の高温嫌気性汚泥消化における最小滞留時間 θ_{min} 、wash-out θ_w 、および変曲点 $(X^0)_i$

	θ_{min} [day]	θ_w [day]	$(X^0)_i$ [mgBOD/ ℓ]	両方	備 考
微生物汚泥	2.8日消化 ~3日消化	1.95日消化 ~2日消化	1990	1950 (図-5)	53℃ アルカリ発酵用
混合微粒子体	2.8日消化 ~3日消化	2.06日消化 ~2日消化	1701	1650 (図-9)	53℃ アルカリ発酵用

表-1 微生物汚泥および混合微粒子体のMoser-Model定数

	Y^A (mgMLYSS/mgBOD)	K^d (1/day)	K^m (1/day)	K^S (mgBOD/ ℓ)	備 考
微生物汚泥	0.757	0.0506	0.613	(3451) [*]	53℃ アルカリ発酵用
混合微粒子体	0.0961 [*]	0.0809	0.603	(2946) [*]	53℃ アルカリ発酵用

* Y^A (mgMLSS/mgBOD)

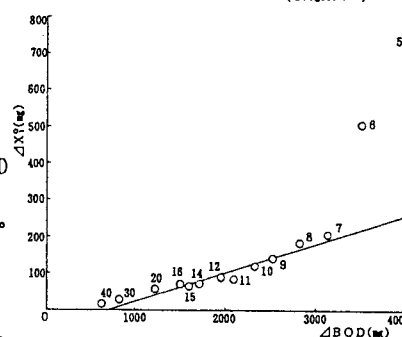
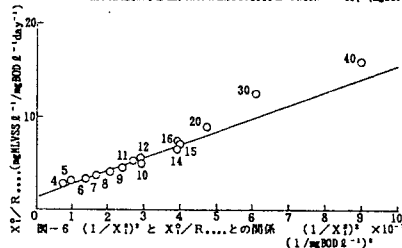
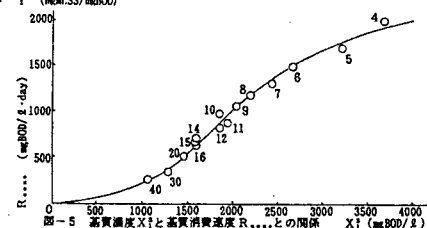


図-8 ΔBOD と ΔX^0 との関係(直線の勾配は混合微粒子体収率)

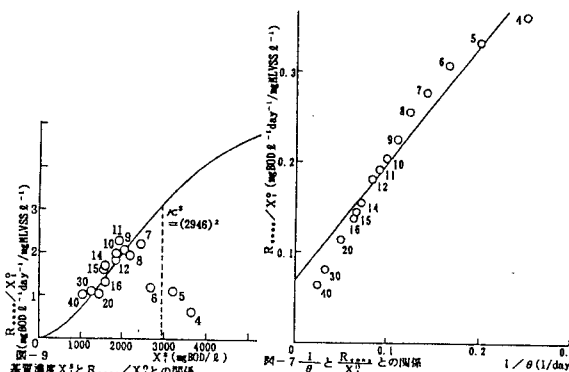


図-9 R_{cons}/X^0 と X^0 との関係