

II - 590

高温嫌気性汚泥消化における菌体分離操作に関する一考察

早稲田大学理工学部 学生員 尾澤 勲

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, 消化作用が円滑に進行し, しかも十分平衡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)を形成してい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るものと考えられる。このよう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。この微生物汚泥の特徴は反応動力学的解析において, 消費されたBODに対する微生物汚泥形成量, すなわち, 形成された微生物汚泥は微生物と担体としてのMLSS或いはMLVSSを含む(大部分はMLSS或いはMLVSS)ことである。従って, (1)式で定義された微生物汚泥収率 Y^A は菌体収率 Y のように

$$Y^A = \frac{\text{微生物汚泥形成量(MLSS or MLVSS)}}{\text{消費されたBOD}} \leq 1 \quad (1)$$

しかしながら, 反応系における微生物汚泥の振舞は巨視的には恰も微生物のような役割を演じているものと考え, 嫌気性汚泥消化の滞留時間に関する反応動力学的解析を試み, 実験結果とよく一致していることを示してきた。本研究は微生物汚泥について, 物理的操作過程を繰り返すことによって, 微生物と担体としてのMLSSを高い高率で分離できることが認められた。その菌体量を基礎的諸元の1つとして, 高温汚泥消化に関する滞留時間について反応速度論的動力学的解析を試みようとしたものである。

2. 実験方法; (1) 嫌気性汚泥消化実験; 消化温度は $53 \pm 0.2^\circ\text{C}$, 滞留時間は3日, 4日, 5日, 6日, 7日, 8日, 9日, 10日, 11日, 12日, 14日, 15日, 16日, 20日, 25日, 30日, 40日および50日消化とした。反応槽の容積は3ℓとし, 混合液容量は2.4ℓとした。反応槽の引抜きは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。実験は約6カ月行い, 反応槽内混合液のpH, 揮発性有機酸, BOD, MLSS, MLVSS等諸項目については平衡状態が十分維持されたと考えられた期間, 約3週間の平均値である。(2) 微生物汚泥からの菌体分離操作; 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ようにして行なった。1) 反応槽からの混合液, すなわち, 微生物汚泥から菌体を効率よく分離するためには, 種々の方法が考えられるが, 基本的にもっとも容易な方法はマグネティックスターで攪拌する方法である。しかしながら攪拌に際して, 汚泥が過粉碎をしない程度の攪拌条件を検討する必要がある。図-1に示しているように, 200rpm9min, および600rpm9minの場合, 濾過時間は16~18secであった。しかも, 600rpmの場合がもっとも安定した濾過時間であった。800rpmあるいは1000rpmでは汚泥の過粉碎の恐れがあることが認められた。従って, 本実験ではマグネティックスターの攪拌条件は600rpm9minとした。2) 第1回目の遠心分離操作は, 1)の処理の終了した反応槽内混合液の希釈液を作り, 遠心分離機の回転数rpm1500・5minとして上澄水采取了。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, マグネティックスターで攪拌(rpm600・9min)した混合液を遠心分離(rpm1500・5min)して, 第3回目も第2回目と同様にして上澄水采取了。3) 第1回, 第2回および第3回目の上澄水を混合して, 菌体と微細汚泥粒子混合液(以下, 菌体-微細汚泥粒子混合液とする)を作成した。4) 菌体-微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かぎり食い込み現象が起こらないように, 定圧(100mmHg)表面濾過とした。第1段階濾過はミリポア濾紙10 μm で濾過した。第2段階は濾液を5 μm で濾過した。5 μm を通過した濾液中には菌体と5 μm を通過したコロイド, 或いはコロイド状粒子が存在するものと考えた。この5 μm を通過した濾液を第3段階として0.45 μm のミリポア濾紙で濾過して, 0.45 μm 上に堆積した菌体とコロイド状汚泥粒子の混合物, すなわち, 粒径0.45~5 μm の微粒子群を「菌体・微粒子混合体」とした。一般的には, コロイドは1 μm から最大500 μm の範囲と考えられているので, ミリポア濾紙0.45 μm で定圧表面濾過を行なえば, 大部分のコロイドは通過するものと考えた。(電子顕微鏡観察においても認められた)

3. 実験結果と考察; 微生物汚泥からの菌体回収率について検討するため, 反応槽内混合液および5 μm を通過した濾液について顕微鏡観察(X600)を行い, トーマの血球計数器を使用して1方形当り3~8ヶの範囲内で計数を5回行い, 平均回収率は80.1~81%の範囲であった。また, 0.45 μm ミリポア濾紙上に堆積

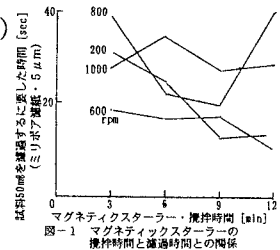


図-1 マグネティックスターの攪拌時間と濾過時間との関係

した菌体・微粒子混合体の電子顕微鏡写真($\times 10000 \sim 20000$)の詳細な目視による検討すると、図-2に示したように大部分が菌体であることが認められた。図-3は各消化日数と菌体・微粒子混合体量(mg/ℓ)、およびMLSSに対する百分率を示した。4日~6日消化では $1250 \sim 3000 \text{mg}/\ell$ と非常に大きな値を示していることが認められるが、この範囲の消化日数は高温汚泥消化のアルカリ醗酵期の過負荷の範囲と考えられ、菌体と同程度、すなわち、 $0.45 \sim 5 \mu\text{m}$ 範囲の微細汚泥粒子が存在して、混入したものと考えられた。7日~12日消化では $600 \sim 450 \text{mg}/\ell$ と漸減し、12日~20日消化では $450 \text{mg}/\ell$ とほぼ一定と考えることができた。20日~40日消化までは漸減している。50日消化では若干増加していることが認められた。このことは菌体の死滅期に相当し、菌体とMLSSの分解によって菌体・微粒子混合体の秤量結果を増加させたものと考えられた。また、MLSSとの百分率では、7日~12日消化において $8 \sim 5.5\%$ 、12日~20日消化では 5.5% とはほぼ一定であることが認められた。この範囲では菌体1個体当たりの重量(SS換算)は $1.1 \times 10^{-10} \text{mg}/1\text{個体}$ となる。これらの数値は若干の仮定を考慮して、2・3の例と比較すると、極めて妥当なものと考えられる。

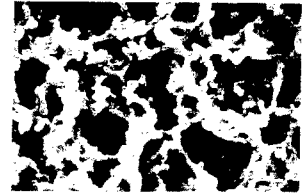


図-2 菌体・微粒子混合体の電子顕微鏡写真($\times 10000$)

(3) 菌体・微粒子混合体の収率；菌体・微粒子混合体収率(Y^B)を微生物の場合同様に(2)式のように定義した。図-3は定義(2)式に基づいて高温嫌気性汚泥消化における混合微生物系における利用されたBOD量と形成された菌体・微粒子混合体量との関係である。

$$Y^B = \frac{\text{形成された菌体・微粒子混合体量} \cdot \Delta X^B}{\text{利用されたBOD量} \cdot \Delta BOD} \quad \text{..... (2)}$$

* ミリポア濾紙 $5 \mu\text{m}$ を通過して、 $0.45 \mu\text{m}$ のミリポア濾紙上に堆積した蒸発残留物

図-4から菌体・微粒子混合体収率 $Y^B=0.081(\text{BOD basis})$ となった。図-5は単位菌体・微粒子混合体当たりの基質消費速度(R_{cons}/X^B)と基質濃度との関係である。この関係がモーター曲線であることから、Moser式において $n>1$ であることが示唆される。

図-5の変曲点は $X^B = \left(\frac{n-1}{n+1} \cdot K^S \right)^{1/n}$ となり $n=2$ とすると $X^B=1547 \text{mg} \cdot \text{BOD}/\ell$ であった。図-5とよく一致することが認められた。菌体濃度 X^B に関する線形式を図-6に、基質消費速度 R_{cons} と微生物増殖速度 R_m との関係を図-7に示した。アルカリ醗酵期におけるMoser-Model定数は、 $Y^A=0.0807 \text{mg} \cdot (\text{SS})/\text{mg} \cdot \text{BOD}$ 、 $K^d=0.0764 \text{day}^{-1}$ 、 $K^m=0.520 \text{day}^{-1}$ 、 $K^s=(2679)^2 \text{mg} \cdot \text{BOD}/\ell$ 等になった。これらの定数より最小消化日数は4日消化、wash-outは3日消化となった。またMLSSおよび

MLVSSによって同様の手法で解析を行なった結果、変曲点、最小消化日数およびwash-out等においても全く同様の結果を得た。最小消化日数、wash-outは実験的にも確認することができた。

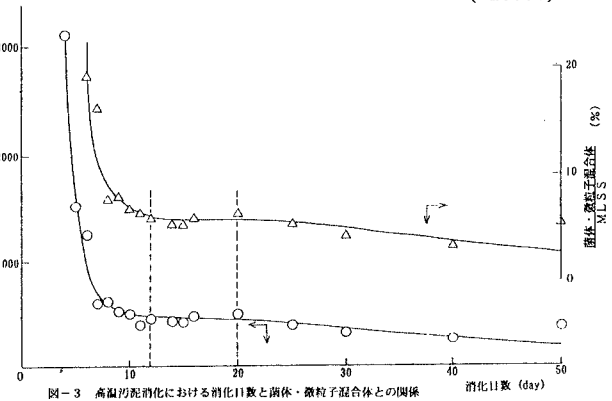


図-3 高温汚泥消化における消化日数と菌体・微粒子混合体との関係

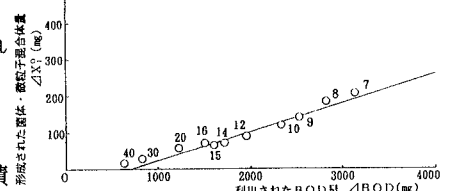


図-4 利用されたBOD量と形成された菌体・微粒子混合体量との関係

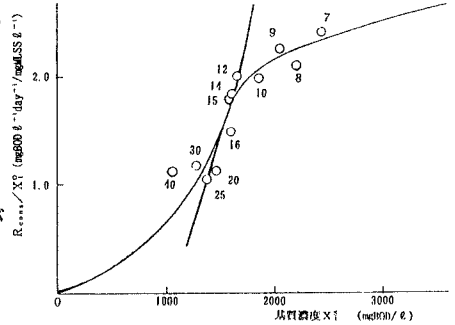


図-5 基質濃度 X^B と R_{cons}/X^B との関係

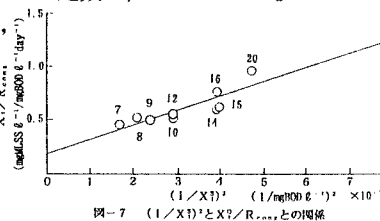


図-7 $(1/X^B)^2$ と X^B/R_{cons} との関係

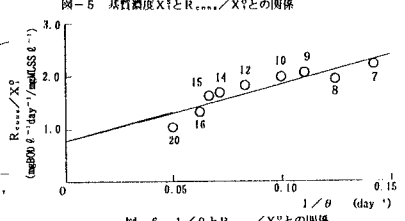


図-6 $1/\theta$ と R_{cons}/X^B との関係