

東北大学 正員 松本順一郎

同 正員 野池達也

同 学生員 ○遠藤銀朗

1. はじめに、嫌気性消化の酸生成相は投入された有機物を加水分解し揮発性有機酸を生成する過程である。この相での最終生産物の揮発性有機酸はひき続くメタン生成相においてメタン発酵される。この二つの相に関与する微生物群は代謝活性及び生理的特性等においてかなり異なると言われている。従来の嫌気性消化の研究のほとんどは、これら両相の微生物群の混合培養下でなされており、各相に対する最適操作条件に関する知見はほとんど報告されていない。本研究は菌体の滞留時間の減少に伴うメタン菌の Wash-out 現象と酸生成菌の増殖動力学的特性及び揮発性有機酸の発酵動力学的特性に関する基礎的知見を得ることを目的としてなされた。

2. 実験材料、装置及び方法。 種汚泥；仙台市南蒲生下水処理場の嫌気性消化槽より採取した消化汚泥を下記の合成基質に4ヶ月間以上馴致させた投入基質；グルコースを単一有機炭素源、重炭酸アンモニウムを単一窒素源とし無機栄養塩類を添加した最小培地組成のものでこの合成基質の COD_{Cr} は約 12000 mg/l, pH は 8.27, C/N 比は 5.0 である。この合成基質の化学的組成を表-1 に示した。 実験装置；基質の連続的投入とガス循環による混合液の連続引き抜きの可能な嫌気的ケモスタット反応槽を用いた。この装置の概略を図-1 に示した。 実験方法；菌体の平均滞留時間(SRT)を流入(出)流量と反応容積によって 3.0 日～0.1 日の範囲で8段階に変化させ、各分析項目の定常状態が得られるまで各 SRT において2ヶ月～3ヶ月間の連続実験を行った。実験装置は 35℃ に保たれた恒温器中に収納し加温した。

3. 実験結果及び考察。 各滞留時間(SRT)における発生ガス中の CH₄ 含有率及び MLVSS の定常状態における平均値を図-2 に示した。CH₄ ガスの発生によって示されるメタン菌の活性は SRT が 0.43 日より長い場合において見られるが、これより短い SRT ではメタン菌は活性を維持できず Wash-out された。したがってこの Wash-out 現象に基づくメタン菌のみかけの最大比増殖速度は 2/日～3/日程度であろうと推察される。

MLVSS 濃度は SRT 0.09 日においても高く、このような SRT においても酸生成菌が増殖可能であることから酸生成菌はかなり大きな増殖速度をもつことが知られた。図-3 に生成された揮発性有機酸(VFA)の定常状態での平均値を示した。総有機酸(TOA)濃度は短い SRT において減少を示したが、TOA の生成速度は SRT 3.01 日で 1,528 mg/l・日, SRT 0.09 日では 28,681 mg/l・日であり、SRT の短いところでの VFA の生成速度がかなり大きいことが知られた。生成された VFA のほとんどは偶数炭素酸であり、比較的高級な酪酸とカプロン酸は SRT の長い場合に高濃度となった。

酸生成菌の増殖動力学的方程式及び発酵動力学的方程式は基本的ないくつかの仮定と菌体、基質及び VFA に関

表-1. 合成基質の化学的組成

成 分	濃 度 (mg/l)
グルコース	11700
NH ₄ HCO ₃	5235
K ₂ HPO ₄	125
MgCl ₂ ・6H ₂ O	100
MnSO ₄ ・4H ₂ O	15
CuSO ₄ ・5H ₂ O	5
CoCl ₂ ・6H ₂ O	0.125
FeSO ₄ ・7H ₂ O	25

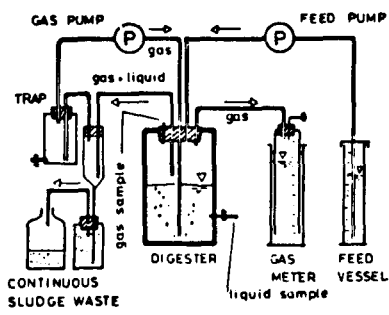


図-1. 実験装置概略図

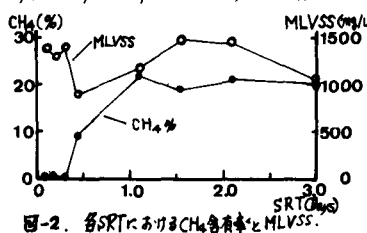
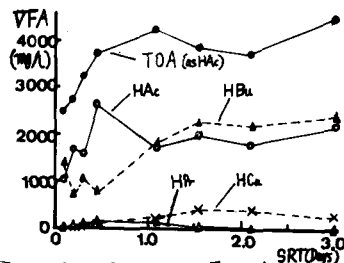
図-2. 各 SRT における CH₄ 含有率と MLVSS

図-3. 各 SRT における揮発性有機酸

する物質収支を考えることによって導くことができる。菌体の物質収支より； $\mu = k_d + D \dots (1)$ ，基質の物質収支より； $\mu = \frac{S_0 - S}{X} \cdot D \dots (2)$ ，VFAの物質収支より； $\lambda = \frac{A}{X} \cdot D \dots (3)$ [S_0, S ：各々槽内及び流入基質濃度， X ：菌体濃度， A ：VFA濃度， D ：希釈率($1/\text{SRT}$)， k_d ：死滅速度定数， μ ：比増殖速度， λ ：基質比消費速度， λ ：VFA比生成速度]。増殖収率の概念を用いることによって菌体と基質の物質収支を結合して次式を得る； $(S_0 - S)/X = (k_d/Y_g) \cdot 1/\mu + 1/Y_g \dots (4)$ [Y_g ：真の増殖収率]。得られた実験データを(4)式に基づいて図-4にプロットした。ここで基質濃度としてグルコース濃度を，菌体濃度としてMLVSS濃度を用いた。図-2において示されたようにSRT 0.43日以下ではメタン菌の活性が失われほぼ完全な酸生成菌の単独相とみなすことができたが、図-4からもSRT 0.43日以下における微生物の挙動は特定の動力学定数によって区別できる酸生成菌特有の性質を示すものと思われる。SRT 0.43日以下の酸生成菌単独相に対して求められた定数を表-2に示した。図-5には増殖活性とVFA発酵の関連性を示した。 μ 対 λ (TOA比生成速度)の相関係数は0.946であり、TOAの発酵は増殖活性に連動するものであることが知られた。酢酸の発酵については μ 対 λ (HAc比生成速度)の相関性が小さく($r=0.462$)増殖活性との連動性はみられなかった。

比増殖速度，基質比利用速度及びVFA比生成速度がいずれも基質濃度に対してMonodの式と同型の関数であるとする； $\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot S}{K_{\mu} + S} \dots (5)$ ， $\lambda = \frac{\lambda_{\max} \cdot S}{K_{\lambda} + S} \dots (6)$ ， $\lambda = \frac{\lambda_{\max} \cdot S}{K_{\lambda} + S} \dots (7)$ [$\mu_{\max}$ ， $\lambda_{\max}$ 及び $\lambda_{\max}$ ：各々増殖，基質利用及びVFA生成の最大比速度， K_{μ} ， K_{λ} 及び K_{λ} ：各々増殖，基質利用及びVFA生成に関する基質飽和定数]。これらを線形化し動力学的に解析できる(ここではEadie-Plotを用いた)。得られた動力学定数を表-2に示した。またこれらの動力学定数を用いて描かれたMonodの関数と実験データによるプロットを図-6，7，8に示したがいずれもMonodモデルによく一致することが知られた。

基質利用の目的別分布とVFAの生成収率を知るためには、Ghoshらによって提案された式を用いることができる； $X(U_g + U_e + m\theta) = S_0 - S \dots (8)$ [U_g, U_e ：各々菌体形成及びそのエネルギーを供給するための基質の利用率， m ：維持係数， θ ：SRT]。VFAは菌体形成以外のための目的で利用された基質の老廃物として一定収率で生成されるとする； $A = A_0 + C \cdot X \cdot (U_e + m\theta) \dots (9)$ [A, A_0 ：各々槽内及び流入VFA濃度， C ：VFAの生成収率]。(8)式と(9)式を組み合わせて； $(S_0 - S)/X = U_g + \frac{A}{C} \dots (10)$ 。 U_g 及び U_e と真の増殖収率とは $Y_g = 1/(U_g + U_e) \dots (11)$ によって関係づけられる。(10)式に基づくTOAに関するプロットを図-9に示した。この回帰直線と(11)式から得られた各定数を表-2に示した。

4. まとめ。嫌気性消化の酸生成相に関して以上に示したような特性が知られたが、これらのうち速度論的に考察した特性値は従来の嫌気性消化槽の操作条件によって限定される値をはるかに凌ぐものである。しかし本研究では高分子有機化合物の加水分解過程を考慮しなかったため、この過程を含めた酸生成相全体に関する基礎的研究が今後必要とされる。(参考文献) 1) Monod, J.; Ann. Rev. Microbiol., pp371 (1949), 2) Lawrence, A. W., et al.; Jr. WPCF pp R1 (1969), 3) Ghosh, S., et al.; Jr. WPCF, 46, pp718 (1974)。

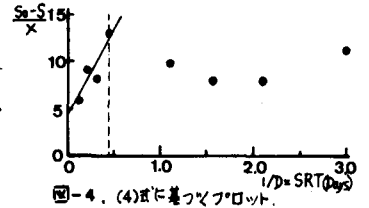


図-4. (4)式に基づいてプロット。

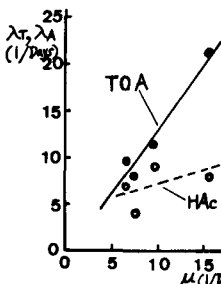


図-5. 増殖と発酵の相関性。

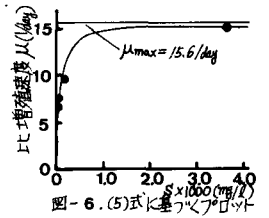


図-6. (5)式に基づいてプロット。

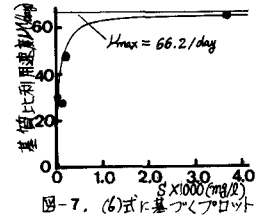


図-7. (6)式に基づいてプロット。

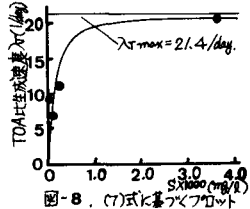


図-8. (7)式に基づいてプロット。

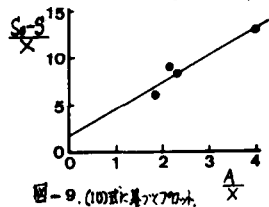


図-9. (10)式に基づいてプロット。

表-2. 得られた各動力学定数。

k_d	4.13/Day
Y_g	0.227
$\mu_{\max}$	15.6/Day
世代時間	1.07 hr
$\lambda_{\max}$	66.2/Day
$\lambda_{\max}$	21.4/Day
$\lambda_{\max}$	8.0/Day
K_{μ}	81.6 mg/L
K_{λ}	70.5 mg/L
K_{λ}	111 mg/L
K_{λ}	18.7 mg/L
C	0.358
U_g	1.67
U_e	2.74