

東北大學 学生員 ○矢口淳一  
 同 正員 野池達也  
 同 正員 松本川順一郎

1. はじめに、嫌気性消化プロセスは、酸生成段階とメタン生成段階から構成されており、前者は高分子有機物を加水分解して揮発性脂肪酸を生成する過程である。嫌気性消化で律速段階となるのは後者のメタン生成相であると考えられるが、酸生成相においても不溶性高分子有機物の分解は非常に遅いことが知られており、セルロース粉末の嫌気的分解に関する動力学的研究では、グルコースに比べて酸生成菌の最大比基質消費速度、および最大比総有機酸生成速度はそれぞれ $1/60$ と $1/60$ にしかならないことが報告されている。<sup>1)</sup> 本研究は多糖類の中でセルロースと構造の異なる可溶性デンプンを用いて、可溶性デンプンの発酵の動力学的特性および酸生成菌のデンプン分解活性について、グルコース、セルロースを用いた場合との差異を検討するために行なわれたものである。

2. 実験材料、装置および方法.  
 1)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約2ヶ月間馴致させたものを用いた。  
 2)投入基質：単一炭素源としては可溶性デンプンを、また単一窒素源としては重炭酸アンモニウムを含み、無機塩類を添加した最小培地組成のもので、この合成基質の糖濃度はグルコースとして $1/1700 \text{ mg/l}$ ,  $\text{pH} 8.31$ ,  $C/N$ 比は $5.0$ である。表-1に合成基質の化学的組成を示す。  
 3)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的引き抜きの可能な嫌気的ケモスタート型反応槽を用いた。実験装置の概略を図-1に示す。

4)実験方法：各反応槽の生物学的固形物滞留時間(SRT)を流入(出)流量と反応容積によって $0.1$ ～ $2.0$ 日の範囲で8段階設定し、各分析項目の定常状態が得られるまで各SRTにおいて $1$ ～ $2$ ヶ月間にわたる連続実験を行なった。また反応槽は $35^{\circ}\text{C}$ に保たれた恒温水槽中で加温した。

3. 実験結果および考察、各SRTにおける定常状態でのガス発生状況を図-2に示す。 $\text{CH}_4$ の発生によって示されたメタン菌の活性はSRT $1.00$ 日の系でわずかに見られただけで、すべての系を酸生成菌の単独相と見なすことができる。 $\text{H}_2$ はSRT $0.475$ 日以下の系で少量に発生し気相の4割

を占める。これはグルコースを基質に用いた場合、SRT $0.43$ 日を境にしてそれ以上では $\text{CH}_4$ が、それ以下では $\text{H}_2$ が主に発生したのとは異なっている。

図-3に各SRTにおける定常状態での

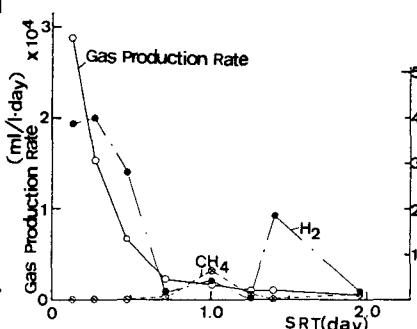


図-2. 各SRTにおけるガス発生状況

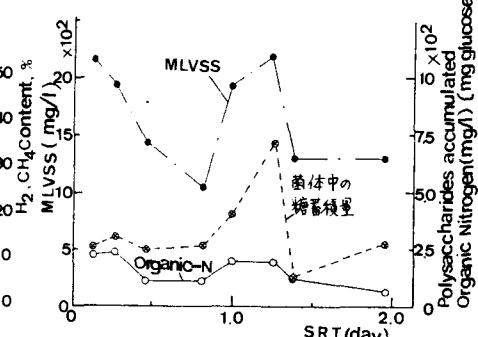


図-3. 各SRTにおけるMLVSS, 糖蓄積量および有機性窒素濃度

MLVSS濃度、菌体中の糖蓄積量および有機性窒素濃度の平均値を示す。

MLVSSと有機性窒素濃度の間にはかなり相関性が見られ、反対槽内に不溶性ケテンプロンが存在する可能性は小さいものと考えられる。MLVSSは約2,000 mg/lに達する場合もあり、ケテンプロンを基質に用いた場合酸生成菌の増殖収率はきわめて高いことが知られる。また菌体中の糖蓄積量はSRT0.83日以上ではMLVSSとの間に相関性が見られるが、0.83日以下の系ではSRTの減少につれて糖の蓄積する割合も減少する。図-4に各SRTの系において発酵生産された揮発性脂肪酸濃度とpHの定常状態における平均値を示す。總有機酸(TOA)はSRT1.00日までSRTの増加に伴って単純に増加するが、それ以上のSRTではほぼ一定値を保つ。生成された揮発性脂肪酸の大部分は酢酸と $\alpha$ -酪酸であるが、酢酸が全SRTにわたってさほど変動していないのに対し、 $\alpha$ -酪酸はSRTが短い系で高濃度を示している。

酸生成菌の基質消費、菌体増殖に関する動力学的方程式は、基質と菌体の物質收支から次式に帰着する。 $(S_0 - S)/X = (k_d/Y_g)\theta + 1/Y_g \dots (1)$

[ $\theta$ : SRT,  $Y_g$ : 真の増殖収率,  $k_d$ : 死滅速度定数,  $S$ : 槽内基質濃度,  $S_0$ : 流入基質濃度,  $X$ : 槽内菌体濃度]。定常状態で得られたデータを(1)式に基づいて図-5にプロットする。こ

こでは $S$ として全糖濃度(as glucose),  $X$ としてMLVSS濃度を用いる。図-5から知られるように、SRT0.83日以下の系では酸生成菌の増殖は特定の動力学定数をもつが、SRT0.83日以上の系ではそれらの定数の値が大きく変化している。これはSRTの長い系では、MLVSS中の活性な部分の割合が小さくなるためだと推察され、図-3の結果から得られたMLVSS中に糖の蓄積する割合はSRTの長い系では20%を越えている。SRT0.83日以下の系について求められた動力学定数を表-2に示す。

制限基質濃度( $S$ )と菌体の比増殖速度( $\mu_t$ )の関係はMonodの式に適合すると仮定すれば、(2)式のように表わされる。  

$$\mu_t = \frac{\mu_{max} \cdot S}{K_{S,ut} + S} \dots (2)$$
 [ $\mu_t$ : 真の比増殖速度,  $\mu_{max}$ : 最大比増殖速度,  $K_{S,ut}$ : 増殖に関する基質飽和定数]。Hofstee plot,  $S/\mu_t = (1/\mu_{max})S + K_{S,ut}/\mu_{max} \dots (3)$  を用いて直線回帰を行ない、(3)式に基づくプロットを図-6に示す。図-6から得られた $\mu_{max}$ と $K_{S,ut}$ によるMonod式を図-7に示す。さらに比基質利用速度( $V$ )、比TOA生成速度( $\lambda_T$ )および比酢酸生成速度( $\lambda_A$ )に対して同様な動力学的解析を行ない、得られた動力学定数を表-2に、またこれらの結果によるMonod式を図-8と図-9に示す。表-2に示した動力学定数によれば、最大比基質消費速度( $\lambda_{max}$ )はグルコースを用いた場合の約60%であり、酸生成菌の可溶性ケテンプロン分解活性はグルコースの分解活性に近いことが知られる。

《参考文献》 1) 遠藤、野池、松本: 土木学会年講(1980) 2) 遠藤、野池、松本: 土木学会年講(1979)

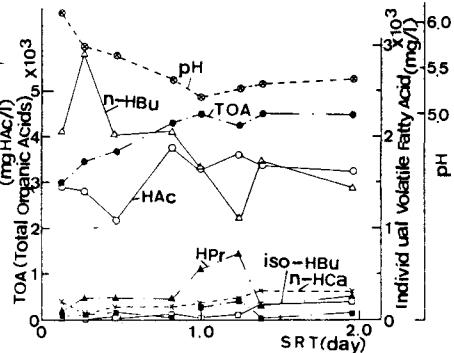


図-4. 各SRTにおける揮発性脂肪酸とpH

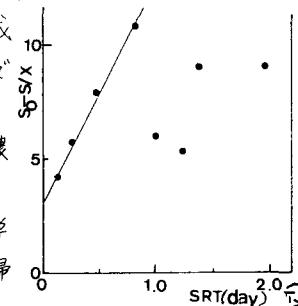


図-5 (1)式に基づくプロット

$\mu_t = \frac{\mu_{max} \cdot S}{K_{S,ut} + S} \dots (2)$  [ $\mu_t$ : 真の比増殖速度,  $\mu_{max}$ : 最大比

増殖速度,  $K_{S,ut}$ : 増殖に関する基質飽和定数]。Hofstee plot,  $S/\mu_t = (1/\mu_{max})S + K_{S,ut}/\mu_{max} \dots (3)$  を用いて直線回帰を行ない、(3)式に基づくプロットを図-6に示す。図-6から得られた

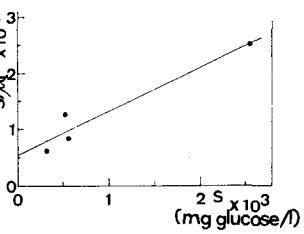


図-6 (3)式に基づくプロット

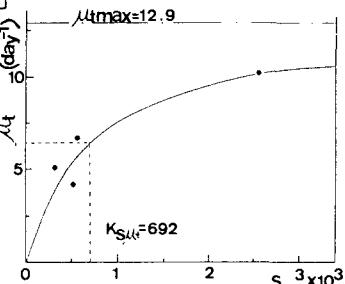


図-7 (2)式に基づくプロット

表-2. 動力学定数

$Y_g$	0.316
$k_d$	2.97 day <sup>-1</sup>
$g_{min}$	1.29 hr
$\mu_{max}$	12.9 day <sup>-1</sup>
$\nu_{max}$	37.5 day <sup>-1</sup>
$\lambda_{max}$	12.1 day <sup>-1</sup>
$\lambda_{T,ut}$	6.78 day <sup>-1</sup>
$K_{S,ut}$	692 (mg/l)
$K_{S,V}$	591 (mg/l)
$K_{S,T}$	527 (mg/l)
$K_{S,A}$	999 (mg/l)

図-8 基質消費のMonod式

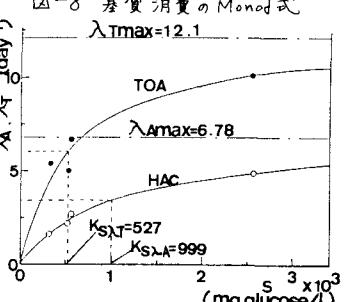


図-9 脂肪酸発酵のMonod式