

回転円板法によるメタン発酵過程の基礎的研究

宮崎大学工学部 学生員〇平島充治

正員 石黒政徳 渡辺義公 増田純雄

1 はじめに

メタン発酵法の特長は、(1)好気性処理法に比べて動力が少なくてすむ。(2)病原菌等が死滅し、衛生的で安全である。(3)余剰汚泥の肥料化などがあるが、最大の特長は、燃料として経済的に有効なメタンが最終生成物として発生し、利用できることである。そのため、各地の下水終末処理場や、し尿処理場で用いられており、これからも増加する傾向にある。しかし、メタン生成細菌の増殖速度が小さく、メタン発酵完了まで時間がかかるため、メタン発酵槽容量を大きくする必要がある。また、槽内を中温発酵、高温発酵での最適水温に保つために、加温する必要がある。最近、メタン発酵槽容量を縮小化するための研究など、メタン発酵について種々の研究が行なわれている。本研究では、酢酸を基質としたときのメタン生成速度と水温の関係を知るために、水温を変化させた回分実験を行い解析した結果について報告する。

2 実験装置と実験方法

メタン発酵実験装置の概略を、図-1に示す。直径16cmの円板を10枚使用し、円板槽容積 6.5ℓ 円板面積 0.43㎡ 回転速度 11.5rpm (周速速度 5.78%min) 槽内水温は、ヒーター、サーモスタットにより、馴養期では、中温発酵の37±1℃に設定し、実験時には、4段階(36, 28, 20, 15℃)に変化させた。メタン生成細菌を生育させるために、下水終末処理場の消化液を接種とし、生下水を連続的に流入させた。その後、生下水と人工基質(表-1)を混合した原水に切り換え、徐々に、人工基質の割合を上げて、最後に、人工基質による生物膜の馴致を行った。人工基質で馴養し、メタン発酵速度が定常状態となった所で、投入基質の酢酸濃度を1000~2000mgℓとし、水温を36, 28, 20, 15℃と下げていき、それぞれの場合において回分実験を行った。各実験後、温度を変えた時は、次の実験温度で2~3日馴致させた後、実験を行った。なお、発生ガスの収集は、シリンダーにより水上置換法で測定し、酢酸濃度は、ガスクロマトグラフ法により測定した。

3 実験結果と考察

図-2に、それぞれの水温における、メタン発酵回分実験によるガス量の経時変化を示す。ガス量は、水温が36℃の時は、ガス発生速度150%程度であった。しかし、水温が低下するに従って発生量は、減少し、水温15℃では、ガス発生速度14%と、36℃の時と比較して約10分の1になっている。実験中のPHは、酢酸の分解にともない徐々に上がり、7.0~7.1付近に維持される。回分実験での酢酸濃度経時変化を、図-3に示す。水温によって反応速度の違いはあるが、いずれの場合に

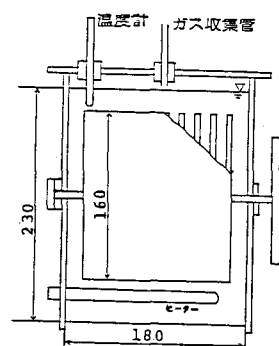


図-1 実験装置 (mm)

表-1 基質組成

成分	濃度 (mg/ℓ)
CH ₃ COOH	5000
NH ₄ Cl	500
KH ₂ PO ₄	1500
Na ₂ HPO ₄	3000
肉エキス	100

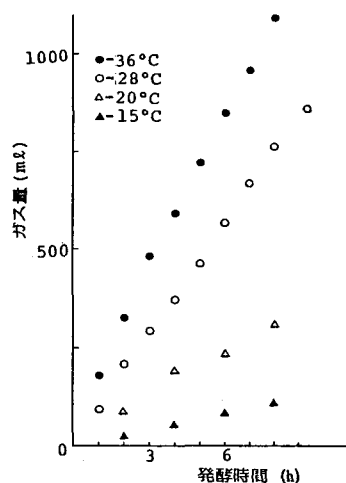


図-2 ガス量の経時変化

においても、ある濃度を過程にして、反応次数の変化が見られる。これは、生物膜内の基質濃度分布が、完全基質浸透状態から不完全基質浸透状態に移行したことを表わしている。図-3の実験結果の直線部分つまり、完全基質浸透状態の部分について筆者らのBiofilm kineticsにより解析すると、次のようになる。Biofilm kineticsは、定常状態において導かれたものであるが、回分実験においても準用できると考えた。完全基質浸透状態では、式-①が成立する。完全基質浸透状態から不完全基質浸透状態への遷移点では、式-②が成立する。

$$-\frac{dC_b}{dt} = \frac{A}{V}(R \cdot L_a) - ① \quad F^* = R \cdot L_a = \sqrt{2DRC_s^*} - ②$$

ただし、 C_b :液本体基質濃度(%) A :円板面積(m^2)
 V :槽容積(m^3) R :酢酸分解速度(g/mh) L_a :生物膜厚(m)
 D :分子拡散係数(m^2/s) C_s^* :生物膜表面の臨界酢酸濃度(%)

式-①を積分して、各実験結果の直線部分について計算し

$R \cdot L_a$ を求めた。次に、Biofilm kineticsにより、 C_s^* を求め、式-②より L_a 、 R を計算した。計算した結果を表-2に示す。表より、生物膜厚が、20、15°Cの所では、10~16mmとなり、実験装置を見ても明らかに矛盾していることがわかる。この回分実験において、温度効果を見るために、次実験温度での馴致期間が2~3日と短かったため、生物膜厚はあまり変わらないとし、生物膜厚をすべての場合で、3.5mmと仮定して、酢酸分解速度 R を計算した。その結果、1061、879、399

表-2 解析結果

水温 (°C)	$R \cdot L_a$ (g/mh)	L_a (m)	R (g/mh)
36	3.67	3.45	1061.2
28	3.08	5.45	564.1
20	1.39	(10.1)	(138.2)
15	0.83	(15.9)	(52.7)

240 g/mh となった。温度効果を定量的に表わすために、次式を用い、温度係数 θ を求めた。

$$R_T = R_{20} \theta^{T-20} - ③$$

ただし、 R_T :水温 T °Cの時の酢酸分解速度、 R_{20} :水温20°Cの時の酢酸分解速度、 θ :温度係数

図-4が、式-③による生物膜内酢酸分解速度と水温の関係をプロットしたものである。水温が、15~36°Cの範囲では、1本の直線によって温度効果は、表わせないで、傾きの違った2本の直線によって表現した。そこで、それぞれの θ の値を計算すると、直線Aについては、 $\theta = 1.03$ 、直線Bについては、 $\theta = 1.11$ となった。以上より、水温が25°C以上の範囲では、水温の影響はそれほどないが、それ以下になると、水温の影響を受けやすくなることがわかった。

4 おわりに

本研究では、メタン発酵における温度の影響を、回分実験により定量化した。実験のデータを解析して、以下のような結論を得た。水温が25°C以下になると、メタン生成速度が、温度の影響を受ける。今後は、連続流実験によるメタン発酵を行い、より精密な温度係数 θ を求めるとともに、より有効で経済的なメタン発酵の研究を進める予定である。

〈参考文献〉 1) 荒尾、宇多、渡辺、石黒:生物膜を利用した嫌気性処理-回転円板メタン発酵槽の動力学的解析- 土木学会西部支部講演集 1984, pp 146~147

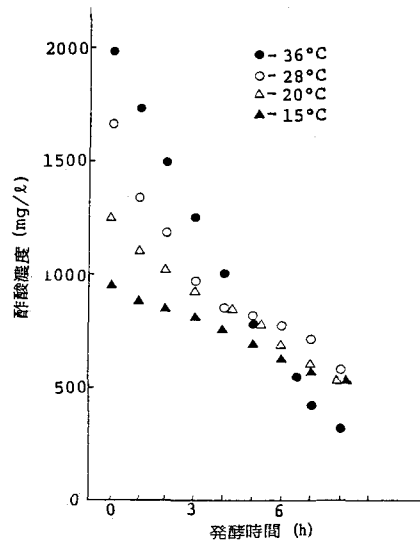


図-3 酢酸濃度の経時変化

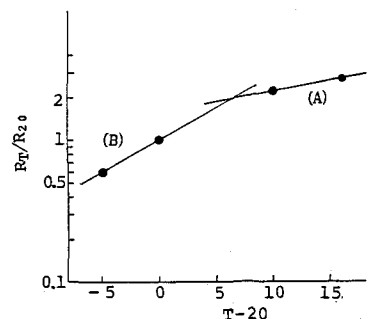


図-4 R_T/R_{20} と水温の関係