

回転円板法によるメタン発酵過程の温度依存性

宮崎大学工学部 学O竹口 信一 学 平島 充治
正 渡辺 義公 正 石黒 政敏

1 はじめに

メタン発酵法(嫌気性消化法)は、下水汚泥やし尿などの高濃度有機物処理法として広く普及しており、その最大の利点は、余剰汚泥の発生量が少なく、燃料として経済性の高いメタンガスを発生し利用できる事である。この意味で本法は、最近のバイオテクノロジーの発展とともに、今後の新しい展開が期待されている処理法である。しかしながら、メタン発酵法が創エネルギープロセスとして適用されるには、発酵滞留時間の短縮と高効率化(発酵槽の容量縮小とガス発生量の増大)、処理施設の改善、及び正しい運転管理法の確立など多くの解決すべき問題点があり、現在、各地で研究が活発に行われている。著者らも、メタン細菌により形成された生物膜のメタン生成速度を生物膜動力学理論により算定する研究を行っている。本文では、定常動力学式により生物膜内のメタン生成速度を推定し、その温度依存性について報告する。

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、円板槽横 6/12 円板面積 0.43 m² 回転速度 11.5 rpm (周辺速度 5.78 m/min) 槽内水温は、ヒーター、サーモスタットにより中温発酵の37±1℃に設定した。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、最終的に、人工基質による生物膜の馴養を行った。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、投入基質の酢酸ナトリウム濃度を1600, 1000, 500 mg/l (酢酸濃度では、706, 441, 221 mg/l)と変化させ、9.7 m³/minの流量における定常酢酸Fluxを測定した。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。

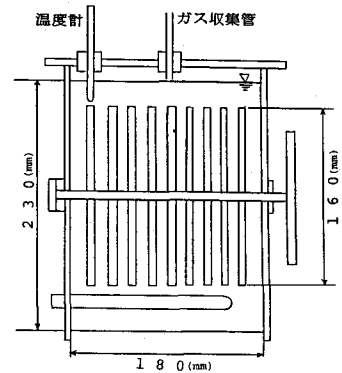


図-1 実験装置

表-1 基質組成

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

3 実験結果と考察

図-2に、38℃におけるメタン発酵連続流実験による酢酸分解量と発生ガス量の関係を示す。図中の直線の傾きから、本実験では酢酸1 mol 当り発生ガス速度が0.55 m³/hと計算された。この値は、理論的に計算された値(1.7 m³/h)より低い。この原因として、ガスが流出水中に溶け込んで流れ出した事と、ガス捕集中に槽内水面が低下した事が考えられる。実験中、液本体のpHの値は、いずれの濃度においても7.4~7.7付近に維持される。図-3は、酢酸Flux (F_b)と液本体酢酸濃度 (C_b)の関係である。直線の勾配が約0.8であることから、反応は不完全浸透領域で進行していることがわかる。この場合著者らの生物膜理論により式-(1)、式-(2)が成立する。

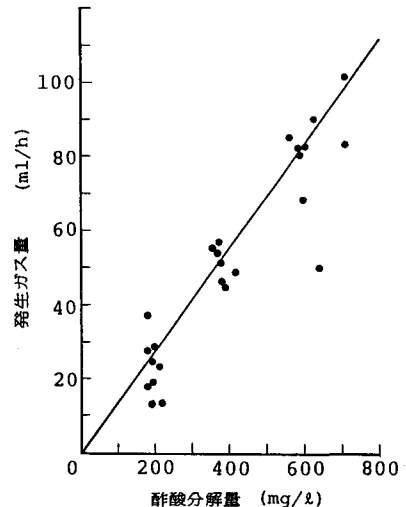


図-2 酢酸分解量と発生ガス量の関係

$$C_b = C_s + F_b/K_d \quad (1) \quad F_b = \sqrt{2DRC_s} \quad (2)$$

ここで、 C_s : 生物膜表面酢酸濃度 (g/m^3)、 K_d : 酢酸の物質移動係数 ($D/L_d = 0.0298 \text{ 日}^{-1}$)、 D : 酢酸の生物膜内拡散係数 ($m^2/\text{日}$)、 L_d : 拡散層厚 (2.10 mm)、 R : 生物膜内メタン生成速度 ($g/m^2 \cdot \text{日}$)

そこで、式-(1)、式-(2)によって C_b を C_s に変換し、 F_b vs. $\sqrt{C_s}$ の関係をプロットし (図-4)、その直線の勾配から式-(2)によって R を計算できる。ここで、 $D = 6.25 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{日}$ とすると R は $1007 \text{ g/m}^2 \cdot \text{日}$ となった。 R は、回分実験により求めた反応時間と液本体酢酸濃度の関係 (図-5) を用いて以下のように計算できる。図-5 中の直線-1の部分では式-(3)が成立する。

$$-\frac{dC_b}{dt} = \frac{A_w}{V} (RL_d) \quad (3)$$

ここで A_w : 浸漬生物膜表面積 (m^2)、 V : 液本体体積 (m^3)
 L_d : 生物膜厚 (m)、 t : 反応時間 (h)

式-(3)を、 $t = 0$ で $C_b = C_b^*$ として積分すると式-(4)になる。

$$C_b^* - C_b = \frac{A_w}{V} (RL_d) t \quad (4)$$

生物膜厚 L_d は、生物膜内濃度分布が定常状態に近似しうると仮定すれば、式-(5)により計算できる。

$$F_b^* = \sqrt{2DRC_s^*} \quad (5)$$

ここで、 C_s^* は完全浸透から不完全浸透への遷移点の C_s の値であり、図-5 の C_b^* を用いて式-(1)により計算できる。以上のようにして求められた R の値は、 $1061 \text{ g/m}^2 \cdot \text{日}$ となり、定常状態から得られた R の値とほぼ等しくなった。同様の方法により 28, 20, 15℃ における R を求めて、水温との関係として整理したものが図-6 である。

4 おわりに

現在、25℃ で連続流実験を継続中であるが、36℃ での実験結果からみて、昨年の回分実験で求めた R の値とほぼ等しい結果が得られる事が予想される。今後は、低温時におけるメタン生成速度を定常動力学理論により解析し、温度係数 θ を求める予定である。

〈参考文献〉

1) 平島・石黒・渡辺・増田

回転円板法によるメタン発酵過程の基礎的研究 土木学会西部支部講演集 1985 PP.230~231

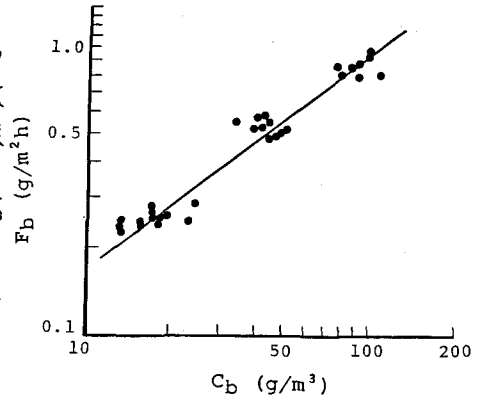


図-3 F_b と C_b の関係

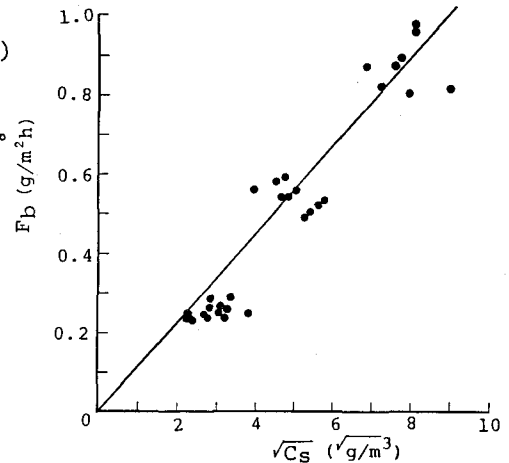


図-4 F_b と $\sqrt{C_s}$ の関係

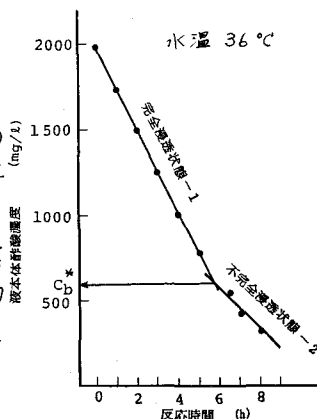


図-5 反応時間と液本体酢酸濃度の関係

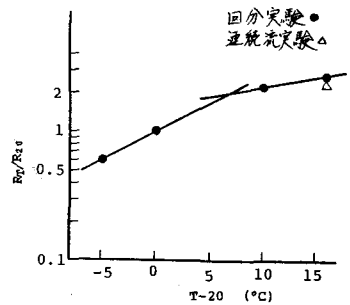


図-6 R_{20}/R_{25} と水温の関係