

II-19

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-

宮崎大学工学部 学生員 ○荒尾 泉 宇野博久
宮崎大学工学部 正員 渡辺義公 石黒政儀

1 はじめに メタン生成細菌を利用した嫌気性処理は動力が少なくすみ、最終生成物としてメタンが得られるため、高濃度有機廃水処理として最適と考えられる。しかし、メタン生成細菌の増殖速度は通常の好気性他栄養性細菌に比べて著しく小さいため、メタン発酵槽は滞留時間を長くするために大容量とし、高い槽内温度を保つため加温する必要がある。近年、メタン生成細菌を高濃度の生物膜として発酵槽内に固定化し、発酵槽容量を縮小化するための研究が活発化している。筆者らも、回転円板上にメタン生成細菌の生物膜を形成させ、上記の目的を達成するための基礎研究を開始し、比較的短い滞留時間においても、円板上にメタン生成細菌膜が形成されることを明らかにした。本研究では、回転円板上に形成されるメタン生成細菌膜の細菌密度、すなわち、膜内のメタン生成速度、及び膜厚を知るために、酢酸を基質とした回転円板メタン発酵槽の回分実験データを筆者らの Biofilm kinetics²⁾ によって解析した結果について報告する。併せて、活性汚泥からの酸生成過程で生成する有機酸はほとんどが酢酸となる事実を確認した実験結果をも報告する。

2 実験装置と実験方法 酸発酵回分実験は、容積2Lのガラス製容器に、基質として返送汚泥を投入してマグネチックスターラーにより攪拌し、槽内水温35℃で行った。投入基質のMLSS濃度は10400 mg/L、MLVSS濃度は8200 mg/Lである。メタン発酵実験装置の概略を図-1に示す。本研究では同型の装置2台を平行して運転し実験を行った。円板槽容積はそれぞれ5.65L、5.55L、円板面積は両装置ともに0.3 m²、回転速度15 rpm、槽内温度はサーモスタットにより、中温発酵の37±2℃に設定した。メタン生成細菌を生育させるために消化槽返送汚泥を種汚泥として使用した。回転円板メタン発酵実験では、表-1に示した人工基質を用いて、4ヶ月間馴養した後実験を行った。なお、発生ガスの捕集はジリンドーにより水上置換法で測定し、酸の測定はガスクロマトグラフで行った。

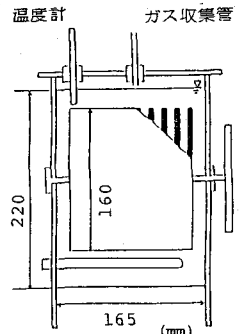


図-1 実験装置

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

3 実験結果と考察 3-1 酸発酵回分実験 回分実験結果を図-2に示す。槽内のTOCは1日目から増加し、約9日でほぼ一定値(920 mg/L)となった。生成された酸は、酢酸とプロピオン酸がほとんどであり、炭素に換算すると、溶解性TOCの54%が酸に変化している。その時のT-N値は約270 mg/Lである。また、酢酸は3日目から増加し、11日目には約700 mg/Lになる。プロピオン酸は1日目から生成し、7日目に最大(300 mg/L)となり、以後減少する。最終的には、プロピオン酸のほとんどが酢酸に変化していくものと予想される。したがって、酸発酵により分解された有機物が酸に変化する場合、酢酸がその主要な酸であるので、回転円板を使ったメタン発酵では、表-1のような酢酸を主成分とした人工基質を用いた。

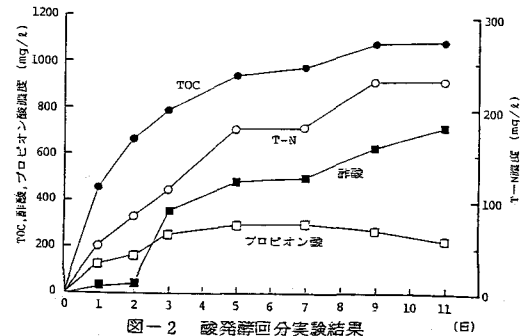


図-2 酸発酵回分実験結果

3-2 メタン発酵回分実験とデータ解析 図-3にメタン発酵回分実験による酢酸濃度・ガス捕集量及びPHの

経時変化を示した。PHは、酢酸投入時に6.4程度となり、以後酢酸の分解にともない7付近になる。図-4に、本実験での酢酸濃度経時変化を示す。本実験結果では、酢酸濃度が900mg/L前後の値で反応速度の変化が見られる。これは、生物膜内に基質が完全浸透している状態から、不完全基質浸透、つまり基質伝達に移行したことを表わしている。図-5に生物膜モデルの基質濃度分布を示す。図のI-分布が完全基質浸透状態、II-分布が不完全基質浸透と不完全基質浸透の境界状態、III-分布が不完全基質浸透状態を示している。したがって、図-4中の直線部分がI-分布に対応し、直線部から反応の変化している実験開始後7時間付近がII-分布に対応し、7時間目以降がIII-分布に対応する。図-3の実験結果を筆者らのBiofilm Kineticsを使って解析する。同理論により(1)式と(2)式が成り立つ。

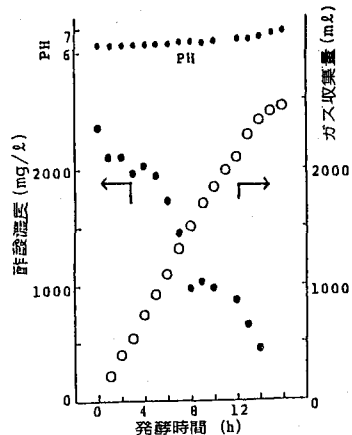


図-3 メタン発酵回分実験結果

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

ただし、A: 円板面積 (m²)、V: 槽容積 (m³)、R: 酢酸分解速度 (g/m³・h)、L_a: 生物膜厚 (m)、L_d: 拡散層厚 (m)、C_s^{*}: 生物膜表面の臨界酢酸濃度 (g/m³)、C_b^{*}: 液本体の臨界酢酸濃度 (g/m³)である。(1)式を積分して、本実験の直線部分について計算するとR・L_a=3.3 g/m²・hとなる。次に同理論に従いC_s^{*}濃度を求め反応速度を計算すると、Rは1000~1800 g/m³・hとなり、生物膜厚L_aは1.8~3.0 mmと計算された。また、井上³⁾が行ったハニカム型嫌気性固定床を使った回分実験結果では、単位生物膜当りの分解速度は2000~3000 g/m³・hと報告されているが、本理論により解析すると、Rは990 g/m³・hとなり、本実験での値とほぼ同じであった。回分実験により求められた生物膜内酢酸分解速度とLevichの理論から計算された拡散層厚を用いて、筆者らのBiofilm Kineticsにより、定常液本体酢酸濃度と酢酸Fluxの関係を図示すると図-6を得る。今回の実験条件の半水没型回転円板装置での拡散層厚は、約50μmと推定されるので、図中には密閉型半水没型回転円板法で期待できる前述の関係を示した。半水没型では有効円板面積が全水没の約半分となるが、単位浸漬円板面積当りのFluxが大きくなり、同一円板面積を有する全水没型と半水没型回転円板法によるメタン発酵速度はほとんど同じである。この知見は、今後の具体的な装置設計の参考となる。

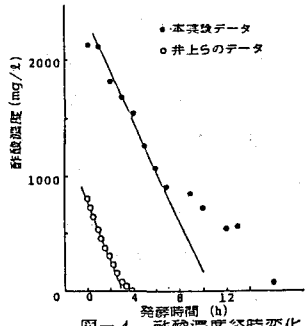


図-4 酢酸濃度経時変化

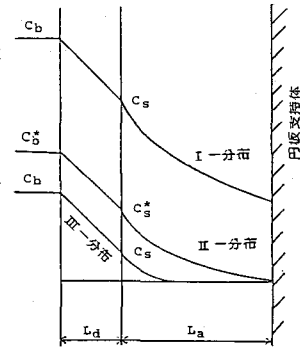


図-5 生物膜モデル

4 おわりに 本研究ではまず、酢酸酵過程で固形有機物から生成する有機酸のほとんどが酢酸であることを確認した。次に、回転円板上に付着生育させたメタン生成細菌によるメタン発酵過程のデータを筆者らのBiofilm Kineticsにより解析して、生物膜内の酢酸分解速度が37℃で1000~2000 g/m³・hであり、メタン生成細菌生物膜の厚さが2~3 mmに達することを明らかにした。今後は低温時におけるメタン生成速度を検討し、回転円板法による省エネ型メタン発酵槽の開発についての研究を行う予定である。 <参考文献> 1) 石黒他: 回転円板法による嫌気性消化に関する研究, 土木学会西部支部報告 1983, pp.222~223 2) 津辺: 浄化機構から見た回転円板法の特性と将来的課題, 日刊水道, Vol. 6, No. 5, pp.20~29 (1973) 3) 井上他: 嫌気性固定床を用いたメタン発酵槽の基礎研究, 青森県立大学研究報告, 第16回, 1980

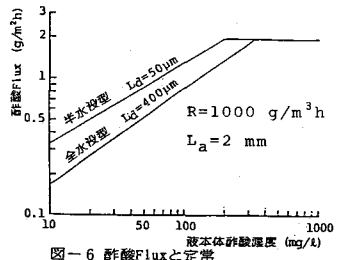


図-6 酢酸Fluxと定常液本体酢酸濃度の関係