

II-624

膜分離導入による二相嫌気性処理法の 高効率化とその動力学的解析

東北大学大学院 学生員 ○小松敏宏
東北大学工学部 学生員 大場伸二
東北大学工学部 正 員 野池達也

1. はじめに

現在、嫌気性処理法は好気性処理法に比べ省エネルギー的処理法としてだけでなく、排水中の有機物をメタンというエネルギー源として回収することのできる創エネルギー的処理法として注目を浴びている。しかし、この嫌気性処理法は、処理の長時間化および処理効率の悪さなどの問題点も持っている。そこで、本研究では、この嫌気性処理法の問題点である処理の長時間化の解決策としてHRTとSRTを分離して制御できる膜分離法を用い処理時間の短縮および高効率化のための基礎的研究を行ったものである。

2. 実験装置、材料および方法

2.1 実験装置

実験装置は従来の完全混合型の嫌気性処理槽にT社製の限外ろ過膜分離モジュールを組み込んだものである。また、膜分離に用いた膜の分画分子量は300万daltonであり有効膜面積は200 cm²である。水理学的滞留時間(HRT)は4日および1日とした。

2.2 種汚泥および基質

本実験に用いた基質はゼラチンを炭素源とするCOD濃度約10000mg・L⁻¹の合成基質である。

本実験に用いた種汚泥は嫌気性細菌を多く含むと考えられる大豆塊より上記の基質を用いて1カ月以上馴養したものをを用いた。また、この種汚泥における基質の分解生成物は酢酸を主な生成物とし以下にプロピオン酸などとなっていた。

3. 結果

反応槽内の膜分離による菌体の蓄積は、初期より約200日目までグルコースと同様にほぼ直線的な増加を示している、しかし、約200日目よりほぼ安定し約8000 mg・L⁻¹となった。グルコースを基質とした場合は異なり直線的な増加の後の漸増が見られなかった。さらに、HRTを1日に変化させた後より菌体の増殖は直線的な増加を示している。また、実験開始よりの増殖速度は43.7 mg・L⁻¹・day⁻¹でありHRT変化後の増殖速度は181.6 mg・L⁻¹・day⁻¹となりHRTが1/4となった事によってほぼ4倍となっている。(図1)

反応槽内の溶解性タンパク質濃度は実験初期より約1000 mg・L⁻¹であり、反応槽の菌体濃度が安定してほとんど変化しなかった。しかし、HRTを変化させた後、これは、徐々に増加し約4000 mg・L⁻¹まで増加した。

透過液中のタンパク質は初期において600~700 mg・L⁻¹程度であったが反応槽内の菌体の蓄積に共なって徐々に減少し反応槽内の菌体がほぼ安定した約200日付近で約300 mg・L⁻¹で安定した。また、HRT変化後もほとんど増加しなかった。

また、分解生成物であるVFAは初期よりほとんど変化せず酢酸が約4000 mg・L⁻¹、プロピオン酸が約1500mg・L⁻¹、i-酪酸が約250 mg・L⁻¹、n-酪酸は菌体が直線的増加している時には300から650 mg・L⁻¹の間存在していたが菌体の安定にもなると100 mg・L⁻¹以下となった。また、約300日付近より酢酸が減少しはじめHRTの変化の直前まで減少したままであり約2500 mg・L⁻¹となった。プロピオン酸についても約1000 mg・L⁻¹まで減少した。(図2)

しかし、酢酸についてはHRTの変化後約4000mg・L⁻¹まで増加したが、プロピオン酸についてはそのまま約1000 mg・L⁻¹であった。

反応槽内に蓄積した高分子を調べるために行ったゲルクロマトグラムによると、反応槽内に蓄積している高分子のほとんどは基質に用いているゼラチンとは異なり分子量7×10⁵以上の物質である事が判明した。また中間に見られるピークもゼラチンとは異なり菌体を超音波によって破砕したものと同様の溶出位置に見られるピークであることから、死んだ菌体からの溶出成分であると考えることができる。また、透過液のゲルクロマトグラムには第一のピークが見られずこれより分子量7×10⁵以上の物質は膜分離によって除去されているものと考えられる。(図3)

さらにHRT変化後の反応槽内上澄みおよび透過液のクロマトグラムより反応槽内の溶解性物質の増加は分子量7×10⁵以上の物質によると考えられる。また、反応槽内の上澄みの二番目のピークは菌体を超音波によって処理したもののピークと同様の位置にあり、時間的増加を示しており槽内の菌体濃度の増加からも菌体由来の物質と考えられる。

また、透過液のクロマトグラムより反応槽外へ排出されるものはVFA等の低分子と最後のピークおよび二番目のピークの一部と考えられる。透過液中に含まれるタンパク質も基質であるゼラチンではないと考えられる。

4. 考察

4.1 反応槽内菌体濃度

図2に示したように膜分離導入によって菌体が良好に反応槽に保持されている。実験初期より直線的増加をしており、その後はほぼ安定状態になっており、二段階の増殖となっている。小松らによると膜分離型反応槽においてグルコースを基質とした場合、直線的増加のあと増加速度の減少がおりその後に安定状態に至るという結果とは異なったものとなっている。この原因と考えられることは基質の違いによるものが上げられる。

また、菌体増殖の速度はHRT=4.0 dayの場合は43.7 mg・L⁻¹・day⁻¹でありHRT=1.0 dayの場合181.6 mg・L⁻¹・day⁻¹であった。

4.2 非定常動力学

一般的に微生物増殖の連続培養における動力学解析は、定常状態における物質収支を用いて行なわれるのであるが、膜分離型反応槽に定常状態での動力学解析は極めて困難であるために相分らの方法を参考にして次式より動力学諸定数を求めた。

$$\frac{1}{X} \cdot \left\{ (S_i - S_e) \cdot D - \frac{dS}{dt} \right\} \cdot Y_t = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} + D + k_d$$

Y_t と k_d を求めているものである。

この動力学式の結果を図4に示す。これによると相関係数はあまり高くないが

$$Y_t = 0.0381 \text{ (mg-protein} \cdot \text{mg-protein}^{-1})$$

$$k_d = 0.00715 \text{ (day}^{-1})$$

となった。

また、これを実際の式に代入すると $HRT = 4.0$ dayの場合約 $8000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ となり実験結果とも一致している。しかし、他の研究者の求めたこれらの値と比較した場合どちらの値も低いものとなっている。

5. 結論

膜分離型反応槽を用いて蛋白質の分解実験を行った結果以下の知見が得られた。

1) 反応槽内に蓄積する菌体は蛋白質を基質とした場合、初期より直線的増加の後ほぼ安定に達する。

また、菌体増殖の速度は $HRT = 4.0$ dayの場合は $43.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ であり $HRT = 1.0$ dayの場合 $181.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ であった。

2) 非定常の動力学より

$$Y_t = 0.0381 \text{ (mg-protein} \cdot \text{mg-protein}^{-1})$$

$$k_d = 0.00715 \text{ (day}^{-1})$$

となった。

3) VFA生成は実験期間においてほぼ安定していた。

4) 膜分離によって菌体だけでなく高分子の物質も保持された。

5) 反応槽内に存在する高分子は基質ではなく菌体からの溶出物質であると考えられる。

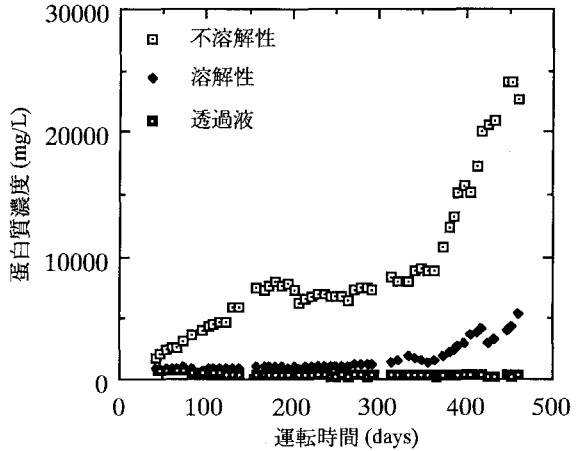


図1 蛋白質濃度の経日変化

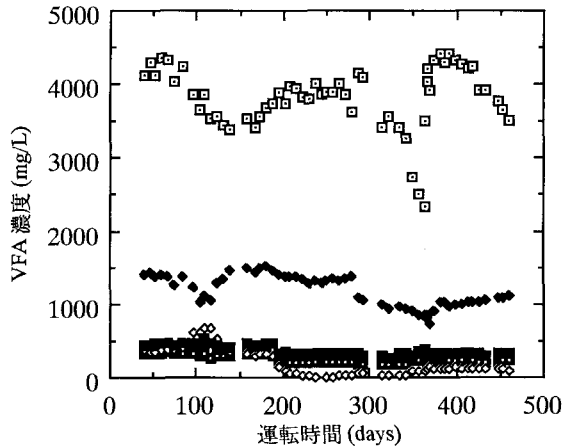


図2 VFA濃度の経日変化

□ HAc ◆ HPr ■ i-HBu
◇ n-HBu ● i-HVa

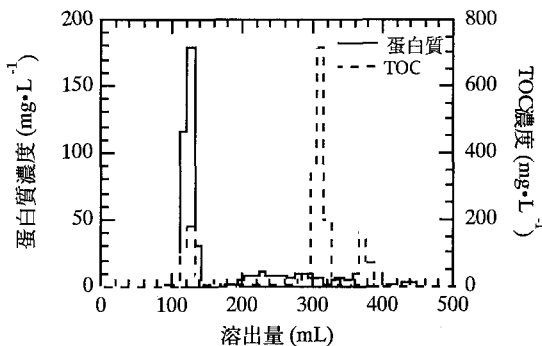


図3 溶解性物質のゲルクロマトグラム

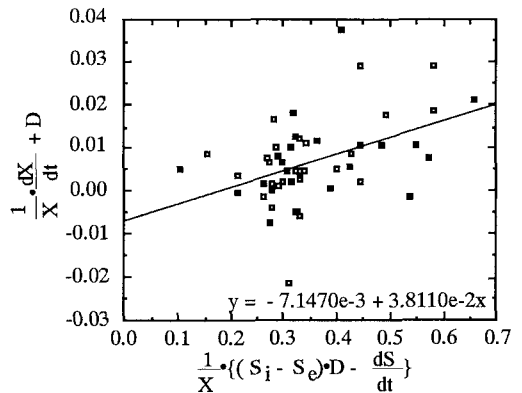


図4 非定常の動力学