II-516　ＵＦ膜-上向流スラッジブランケット型リアクターのグラニュール形成促進作用

北海道大学（正)○井上雄三　（正）土居健太郎（現厚生省）　（正）神山桂一

1 はじめに　上向流嫌気性スラッジブランケット型リアクター(UASB)は複雑な装置構造を必要とせず高容積負荷、高効率化が得られるため実用化が進んでいるが、グラニュール形成機構がほとんど分かっていないので造粒現象を起こさせるためにはかなりの経験が必要であり、またスタートアップに3～4ヶ月を要し、しかもきわめて不安定であるという問題点を持っている。本報告ではUF膜 -UASBリアクターのスタートアッププロセスを観察・調査し、概略的なグラニュール形成機構及び促進作用因子を解明するとともにUF膜により槽内に蓄積される高分子物質の特性について検討を行った。

2 実験方法　実験装置の概略を図-1に示す。リアクターはアクリル製で容積2.5ℓ、高さ1.16m 、反応部内径 6cmである。槽内水温は35℃に設定した。種汚泥として1mm 篩をかけた江別市下水処理場の嫌気性消化汚泥(MLSS20g/ℓ)を2ℓ添加した。スラッジベッド上部から底部に5mℓ/min の循環を与え、下部へのアルカリ度供給を行う。基質はスキムミルクを中心とした合成廃水を用いた。基質注入は注入量が50mℓ/dとなるように循環系から間欠注入した。フィード条注入した。フィード条件を表-1に示す。UFプロセスとしてT社製の平膜型限外ろ過装置(循環流量650mℓ/min、平均膜面流速0.4m/sec、操作圧0.5kgf/cm^2、膜;同社製UF-30PS、分画分子量30,000、有効膜面積65cm^2)を付加することによりグラニュール形成促進が確認されたスキムミルク基質連続培養実験槽内液を図-2に示した手順で分画した。半回分式で13日間培養したリアクターにそれぞれの液を添加し促進効果の有無を確認した。添加液量、組成を表-2に示す。またUF膜により槽内に蓄積された高分子物質を図-3に示す手順で分画し、その組成、凝集能を調べた。

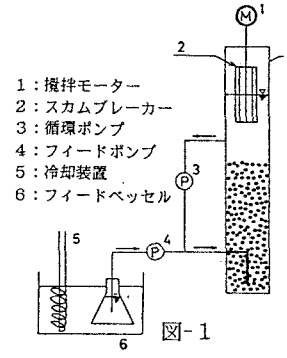

図-1　半回分実験装置の概略

表-1　フィード条件

	スキムミルク負荷(kg/m^3)	流入スキムミルク濃度 (g/ℓ)	流入量 (ℓ/d)	滞留時間 (d)	TOC (kg/m^3)
RUN1	0.44	22.2	50	40	8.9
RUN2	0.88	44.4	50	40	17.8
RUN3	1.67	88.9	50	40	35.5
RUN4	3.34	151.0	50	40	71.1
RUN5	1.67	88.9	50	40	35.6

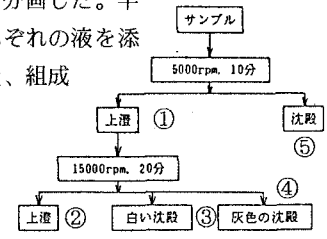

図-3　実験(2)での分離分画手順

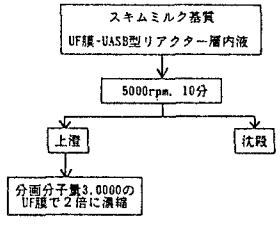

図-2　実験(1)での分離分画手順

3 実験結果と考察

(1) UASB型リアクターによる半回分実験　スラッジベッド高さの経日変化を図-4に示す。沈殿添加系は液添加後 5日目に反応器底部7cm までグラニュールがみられ、 8日目に19cmもグラニュール層が増加した。その後21日目に33cmとなったスラッジベッド界面は、グラニュール形成とともに低下していき最終的には47cmになり、グラニュール化しなかった汚泥層厚は14cmとなった。濃縮液添加系は4 日目に底部から10cmまでグラニュール化した。7日目に 26cmグラニュール層が増加し、それ以降40cmの高さで一定であった。そして22日目には汚泥全てがグラニュール化した。コントロール系は12日目に反応器底部7cm までのグラニュールがみられたが22日目になってもそれ以上の成長

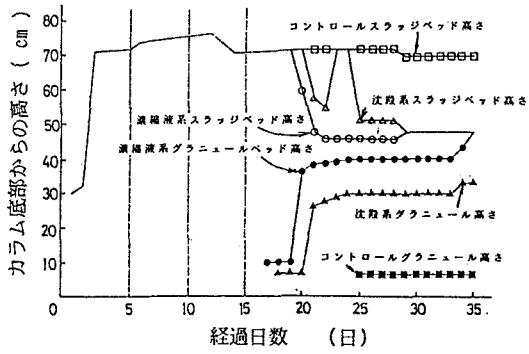

図-4　グラニュール形成過程

はみられなかった。以上のようにUF膜により槽内に蓄積された高分子物質に造粒促進作用があり、分子量によってその促進効果の度合が違うことが明らかになった。

表-4　分画液のｶｵﾘﾝ凝集能

サンプル番号	OD660	除去率（%）
①	0.148	81.3
②	0.145	81.6
③	0.118	85.1
④	0.179	77.3

(2)UF-UASB型リアクター内濃縮液の特性　分画液の組成を表-3に示す。15000rpm遠心分離上澄みは糖が少なく蛋白が多い。糖・蛋白の比率は1:20である。それに比べて白い沈殿物は糖の割合が上澄みに比べ多く、1:5 である。灰色沈殿は蛋白質の割合が一番少なく、1:3 となっている。サンプル②を加えたときのOD_{660} と除去率を図-5に示す。0.5 mℓ 添加では除去率が 1.5%となっており、ほとんど除去されない。1mℓ 以上添加すれば除去率が高いが、添加量が増すにしたがって除去率が直線的に減少する。最終濃度が2m mol/ℓとなるように$CaCl_2$ を加え、さらにサンプルを加えた時のOD_{660}と除去率を図-6に示す。添加量が0.02mℓ(最終TOC濃度0.09mg/ℓ)というごく少量でも70％の除去率がある。0.5mℓ 添加が最高除去率を示し、それ以上添加量を増すと逆に除去率が悪くなっている。分離分画した液・沈殿について凝集能力を測定した。最終TOC 濃度が4.3mg/ℓとなるように加え静置 2分後のOD_{660} と除去率を表-4に示す。全てが80％前後の除去率を持っている。UF膜付加槽内濃縮液による凝集は①ごく少量で凝集能を発揮し、濃度が高くなるにつれてその能力が低下していく。②Ca^{2+}の存在により凝集効果があがるという特徴を持つ。これらは有機高分子物質によるコロイド粒子の凝集の特徴と一致する。

(3)グラニュール形成機構の概要　グラニュール形成過程の模式図を図-7に示す。①微生物がなんらかの細胞外ポリマーを生成する。②多価カチオンにより微生物表面とポリマーの荷電が中和され、拡散層が圧縮され微生物同士が接近しやすくなり、微生物にポリマーが吸着する。③ポリマーが架橋となり凝集が起こり、水理学的作用を受けて結合が強固になりマイクログラニュールとなる。④槽内液循環とともにスラッジベッド上部のマイクログラニュールが下部へ供給され、発生ガスや循環水流により会合・衝突を繰り返す。⑤ある程度の大きさになったグラニュールにマイクログラニュールが取り込まれ、成長していく。⑥余りに大きくなったグラニュールはせん断力により破壊され、破片がまたマイクログラニュールとなる。

なお本研究の一部は廃棄物研究財団の研究補助(膜利用研究委員会)によって行われたことを付記する。

表-2　添加液の組成（実験<1>）

	添加量（mℓ）	TOC（mg/ℓ）	ﾀﾝﾊﾟｸ(mg/ℓ) ｱﾙﾌﾞﾐﾝ換算	糖(mg/ℓ) ｸﾞﾙｺｰｽ換算
濃縮液	500	431.6	601.4	30.1
沈殿	250	968.3	123.7	199.0

表-3　添加液の組成（実験<2>）

	TOC（mg/ℓ）	糖（mg/ℓ） ｸﾞﾙｺｰｽ換算	ﾀﾝﾊﾟｸ(mg/ℓ) ｱﾙﾌﾞﾐﾝ換算	ｺﾛｲﾄﾞ当量（mg/l）
①	555.3	77.9	676.6	－
②	431.6	30.1	601.4	-0.104
③	580.5	95.6	473.4	-0.646
④	148.6	40.9	125.9	-0.200
⑤	968.3	199.0	123.7	－

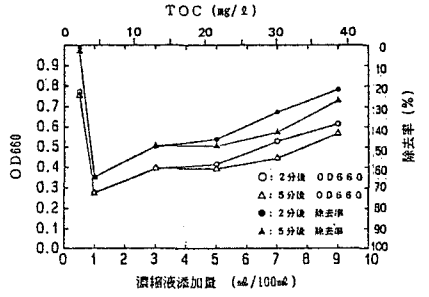

図-5　濃縮液②によるカオリン凝集（$CaCl_2$無添加）

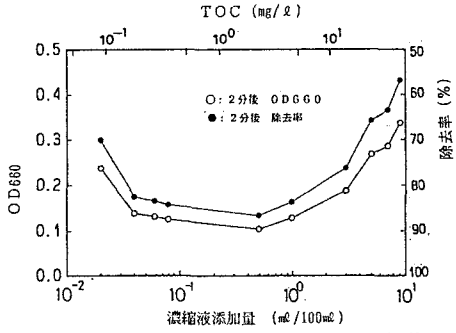

図-6　濃縮液②によるカオリン凝集（$CaCl_2$添加;終濃度2mmol/ℓ）

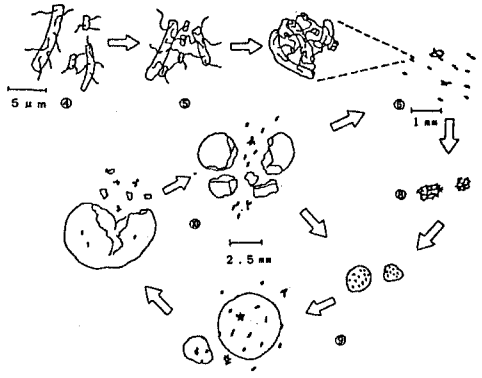

図-7　概略的なグラニュール形成機構