

B-10 限外ろ過膜を用いた UASB リアクターにおける
スタートアップ時のグラニューール形成促進機構

国立公衆衛生院 正 井上雄三
同上 ○学 高橋潤一
同上 正 田中 勝

1 はじめに

上向流式嫌気性スラッジブランケット(UASB)法は、今日最も注目を集めている排水処理法である。この UASB 法は、Lettinga ら¹⁾によって十数年前に開発された微生物反応槽ではある、近年、有機性産業排水への適用が急速に展開しており、比較的易分解性の中温・中高濃度废水处理に関しては、ほぼ成熟した技術段階に達してきたといえる²⁾。本法は、付着担体を用いず嫌気性細菌群³⁾の自己固定化機能を利用して微生物をグラニューール状に増殖させ、高濃度の微生物保持を可能にする嫌気性排水処理法である。しかし、この UASB 法はスタートアップに時間がかかり(3~6 カ月)造粒が不安定で熟練を要し、造粒可能な排水は S S 成分の少ない食品加工系の糖を多く含んだ排水に限られるといった欠点をかかえている。ところが UASB 法に限外ろ過(UF)膜を付加することによってこれらの欠点を克服し、槽内に高分子有機物を蓄積することによって造粒が促進することが明らかとなった。そこで本研究では、UASB 法のスタートアップ時におけるグラニューール形成機構を明らかにする。

2 実験方法

2.1 実験装置

反応槽は高さ 1.5m、内径 60mm で総容積 4.1L のアクリル樹脂製のカラムを用いた。カラムをウォータージャケットで保温し、反応槽内部の温度を 35~36℃に維持した。また、槽内液の循環および合成廃水の流入口付近にヒーターを取り付け温度の低下を防いだ。膜を付加した反応系(以下 UF)のモジュールには、円形平膜型(有効膜面積：176cm²、φ 150mm)を用いた。植種汚泥は、予め 35℃程度に保温した水道水を反応槽に 2L 加え、Y 汚泥処理センターの消化汚泥を 0.59mm の篩いにかけて 1.5L(汚泥濃度：26.2g/L)植種した。反応槽上部の空気を窒素ガスで置換し、余剰水をドレイン管を通して抜き、約 24 時間放置し植種汚泥を圧密させた。

2.2 実験方法

グラニューール形成実験(I, II, III)には、スキムミルクを主成分とした合成廃水を用いた。運転条件と TOC 容積負荷を Table 1 に示す。UF II は、UF I、NF I より 2 倍程度高い負荷で運転をおこなった。スラッジベッド上部の溶液を 1.7(mL/min)で反応槽下部に循環させ、合成廃水を反応槽下部から間欠的に注入した。処理水は、槽内液量が一定になるように引き抜いた。UF 膜系は反応槽内上部 500(mL/h)で限外ろ過モジュールをして循環させ、吸引 30Pa 程度で流入量に等しい量を引き抜いた。

Table 1 運転条件と TOC 容積負荷

RUN	経過日数(days)			TOC容積負荷(g-C/L/d)		
	実験 I	実験 II	実験 III	UF I	NF I	UF II
1	0~11	0~4	0~3	0.22	0.22	0.23
2	12~16	5~9	4~7	0.39	0.39	0.39
3	17~30	10~14	8~15	0.87	0.87	0.86
4	31~33	15~16	16~21	1.20	1.20	1.76
5	34~45	停止	22~26	1.54	0.61	-
6	46~47	停止	停止	2.78	0.46	-

3. 結果と考察

全実験をととしてグラニューールの形成がみられたのは、3シリーズ（NF I、UF II、UF III）であった。Fig. 1および2は、実験 I における槽内液の pH と全有機酸および高分子有機物とコロイド電位の経日変化を示したものである。UF I ではグラニューールが形成されず、対象実験である NF I（UF 膜が付加されていない）で形成された。NF I では負荷のステップ増加（Run3→Run4）および植種汚泥の流出による槽内微生物の減少に伴い、有機酸が蓄積し、33 日目には pH が急激に低下した（pH:5.6）ので、排水の流入を一時停止した。その後低い負荷で運転したために pH は徐々に回復した。グラニューールは、この急激な pH 低下が起こったときに形成された。高分子有機物は UF 膜を付加していないので当然ではあるが、ほとんど蓄積していない。一方、UF I では負荷のステップ増加にもかかわらず、微生物が槽内に捕捉されるためにメタン生成活性が高く、有機酸の蓄積が起こらなかった（Fig. 1）。その結果、pH は 6.4 以下には低下しなかった。高分子有機物は Run4（33 日）まで負荷に伴って徐々に増加し、最大 1100mg/L まで達したが、逆にコロイド電荷は負荷の増加に伴って次第に低下しており、これらの二つの因子に密接な関係があることがわかる。これまでの研究で微生物凝集に密接な関連が確認された Ca^{2+} 、 $^{4)}$ やその他のイオンの挙動を Fig. 3 に示す。NF I では、pH の急激な低下する時点で Ca^{2+} および PO_4^{3-} が急激な増加を示した。しかし、グラニューール形成がみられなかった UF I では、これらのイオンの変化はほとんどみられなかった。以上の結果より、NF I すなわち限外ろ過システムが付加されていないリアクターにおいては、主としてスラッジベッド内の Ca^{2+} や PO_4^{3-} などのイオンがコロイド電荷を中和したり、微粒子の沈殿物を形成することによって起こったものと推察される。

次にグラニューールが形成された実験 UF II、III について考察する。これらのシリーズは限外ろ過膜が付加されたものである。Fig. 4 および 5 は槽内液の pH と全有機酸および高分子有機物と

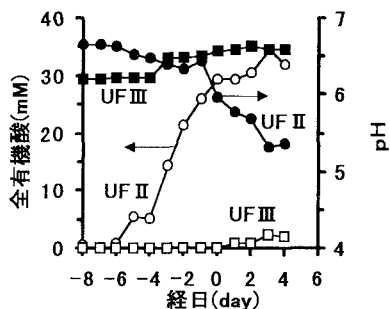


Fig. 4 グラニューール形成時の
全有機酸と pH の変化

コロイド電位の経日変化を示したものである。なお、以下の図はグラニューールが形成された時点を 0 日目としてその前後の関連因子の挙動を示した。UF II においては負荷のステップ増加によって急激に有機酸の蓄積（30mM 以上）が起こり、やがて pH の急激な低下を招いたが、UF III においては負荷の同程度の増加にもかかわらず、槽内微生物濃度の違いにより有機酸の蓄積も pH の低下もみられなかった。UF II において

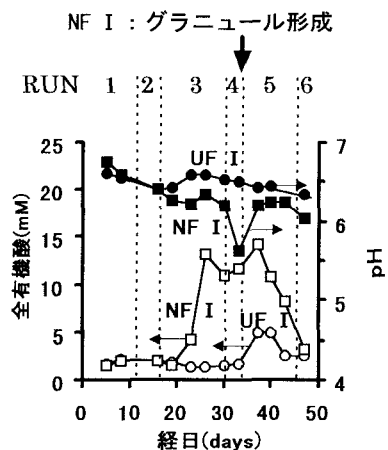


Fig. 1 pH と全有機酸の経日変化

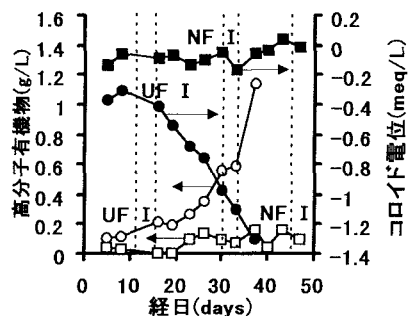


Fig. 2 高分子有機物と
コロイド電位の経日変化

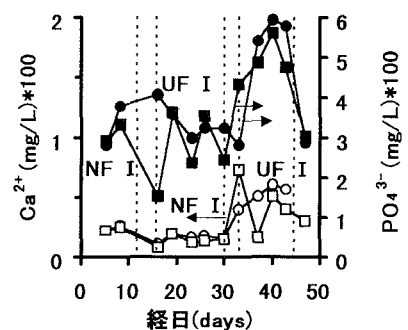


Fig. 3 カルシウムイオンと
リン酸イオンの経日変化

UF II においては負荷のステップ増加によって急激に有機酸の蓄積（30mM 以上）が起こり、やがて pH の急激な低下を招いたが、UF III においては負荷の同程度の増加にもかかわらず、槽内微生物濃度の違いにより有機酸の蓄積も pH の低下もみられなかった。UF II において

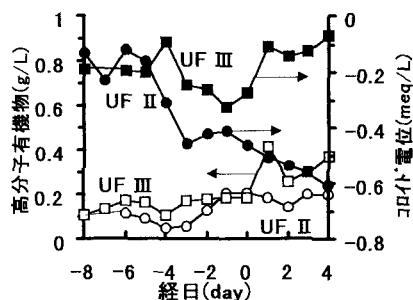


Fig. 5 グラニュール形成時の高分子有機物とコロイド電位の変化

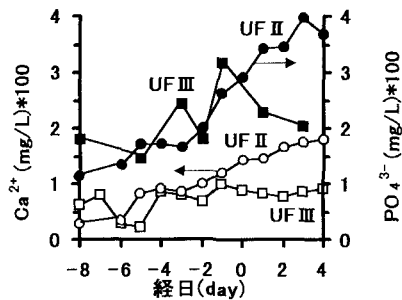


Fig. 6 グラニュール形成時のカルシウムイオンとリン酸イオンの変化

は急激な pH の低下が起こったときにグラニュールが形成された。一方、高分子有機物の蓄積は 0.2g/L 程度で NU I に比べると多くなっている。また、グラニュール形成後に 0.2g/L 程度急激な増加がみられた。コロイド電位の挙動は UF I と異なり高分子有機物の増加が見られないにもかかわらず、図に示したようにはほぼ直線的に低下しており、造粒条件はむしろ悪化している。Fig. 6 に示すように Ca^{2+} は、UF II においては次第に増加しているものの急激な濃度の変動はみせていない。しかし、 PO_4^{3-} は pH の低下に伴って急激な増加を示している。UF III においてはグラニュール形成時にコロイド電荷の急激な中和が起こっていること、および PO_4^{3-} が急激に低下していることが注目される。

以上のグラニュール形成と関連する因子を Table 2 にまとめた。グラニュール形成は従来筆者らが述べていた高分子有機物が主要なドライビングフォース⁴⁾になるのではなく、その他に pH の変動、コロイド電荷、適度な高分子有機物の存在、 Ca^{2+} や PO_4^{3-} などの因子が密接に関係していることが推察される。しかし、いずれにせよこれらのグラニュール形成因子によって、グラニュールの形成が促進されることは明確なことである。

Table 2 グラニュール形成時期の諸因子の変化

槽内液凝集因子	UF I	NF I	UF II	UF III
pH	変化なし	低下	低下	変化なし
コロイド電荷(meq/L)	-1.3	一定	一定	-0.47
高分子有機物濃度	1.1(g/L)	0.1(g/L)	0.2(g/L)	0.4(g/L)
カルシウムイオン濃度	変化なし	増加	変化なし	変化なし
リン酸イオン濃度	変化なし	変化なし	増加	増加
全有機酸濃度	変化なし	増加	増加	変化なし
グラニュール形成	×	○	○	○

本研究は、麻布大学内田真由、北里大学伊達友紀子氏の卒業研究としてなされたものである。記して謝意を表したい。

4. 参考文献

- Letting, G. et al.: Use of the Upflow Sludge Blanket (UASB) Reactor Concept for Biological Waste Treatment, Especially for Anaerobic Treatment, Biotech. Bioeng., 22, pp. 699-734, 1980.
- 原田秀樹：自己固定化法による排水処理技術の動向と課題，用水と排水，vol31, No1, 1989.
- 張 振家・深川勝之・浮田正夫・中西 弘：魚類食品工場の濃厚醬油廃水の UASB 法処理におけるスタートアップおよびグラニュール細菌相構造の解析，土木学会論文集，No. 521/II-32, p173-180, 1995.
- 井上雄三：限外ろ過-上向流嫌気性スラッジブランケットリアクターにおける造粒促進作用の解明、し尿処理における膜利用技術に関する研究報告書(平成6年)、(財)廃棄物研究財団、pp311-321, 1995.