

# USB法による排水処理技術の研究

化学・環境部 吉田健一，西 和枝，神野好孝

## Study on Wastewater Treatment Technique using USB Method

Ken'ichi YOSHIDA, Kazue NISHI and Yoshitaka KAMINO

USB（上向流汚泥床）法におけるグラニューールの形成とUSBリアクター内の閉塞に対する実験を行った。また、実排水を用いたUSBリアクターによる硝酸性窒素の除去試験を行った。

グラニューールの形成については、モーターによる攪拌と内径の違うリアクターを用いた実験を行い、攪拌することは、グラニューールの形成を促進することがわかった。閉塞については、リアクターの下方から1分間のみ空気を通気することで、グラニューールが攪拌され、閉塞をおこさずに安定した硝酸性窒素の除去ができた。また、実排水に植物性蛋白質を含む排水を用いて模擬排水を調整し、USBリアクターによる硝酸性窒素の除去実験を行い、硝酸性窒素を45%除去し、CODを86%除去できた。

**Keyword：**USB法，グラニューール形成，閉塞，模擬排水

## 1. 緒言

平成13年6月に水質汚濁防止法が改正され、特定事業場からの排水に含まれるアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素が、有害物質に指定された。

これらの窒素は、動物性及び植物性蛋白質に由来することから、畜産食料品製造業、水産食料品製造業及びみそ・しょうゆ製造業において比較的高濃度に含まれており、排水処理を行う際の重要な項目となっている。また、排水処理施設の無い小規模な特定事業場においては、これらの窒素を除去するための処理技術が必要となっている<sup>1,2)</sup>。

USB（上向流汚泥床）法は、リアクター内に汚泥を高濃度に保持した菌体（グラニューール）を形成することにより、硝酸性窒素を窒素ガスとして除去する方法であり、高負荷での運転ができること、用地及び運転コストが小さくてすむことなどの利点がある<sup>3)-5)</sup>。しかしながら、発生した窒素ガスが、リアクター内に充満し、汚泥やグラニューールが浮上するブリッジ現象やグラニューールの形成によるリアクター内の閉塞といった課題があるため実証例は少ない。

当センターではこれまで、USB法による硝酸性窒素の除去実験を行い、メタノールで、硝酸性窒素1000mg-N/L（窒素容積負荷24.4g-N/L/日）の条件において、硝酸性窒素を90%以上除去する成果を上げている<sup>6)</sup>。

今回は、USBリアクターの立ち上げ時に、より多くのグラニューールを形成する目的で、モーターによる攪拌及び内径の違うリアクターを用いた実験を行った。また、リアクター内での閉塞対策として、グラニューールを攪拌するこ

と及び窒素ガスを排出する目的で、リアクターの下方から、ブローで空気を導入し、リアクター内を攪拌する実験を試みた。さらに、実排水としてしょうゆ製造業の排水から模擬排水を調整し、USBリアクターによる硝酸性窒素の除去実験を行ったので報告する。

## 2. 実験

### 2.1 実験装置

実験に用いたUSBリアクターは、新村ら<sup>6)</sup>と同じリアクターを2本使用し（リアクター1及び2とする）、さらに同様形状で、内径が大きなリアクター（有効容積0.85L、内径50×440mm、アクリル製）を使用した（リアクター3とする）。

また、モーターの攪拌によるグラニューールの破壊を抑制するため、アクリル製の板型攪拌羽からシリコン製のタコ型攪拌羽（30×20mm）に変更し、各リアクターに3個ずつ設置した。実験においてリアクターに供給する排水は、冷蔵庫（2）から加温槽（水温40）を經由させ供給し、リアクターの保温水も40とした。

### 2.2 グラニューールの形成

実験のための人工排水は、炭素源としてメタノールを使用し、硝酸性窒素として硝酸ナトリウムを使用した。硝酸性窒素の濃度に対するCODの濃度はおおむね1.5倍量とし、その他の基質は、新村ら<sup>6)</sup>と同様とした。

種汚泥は、し尿処理場から採取した濃縮汚泥（汚泥濃度44,600mg/L）を用い、リアクター1、2及び3にそれぞれ200mL投入した。各リアクターは、硝酸性窒素の容積負荷

0.3~0.6g-N/L/日(硝酸性窒素の濃度130mg-N/L)から実験を開始し、硝酸性窒素の除去率を確認しながら、硝酸性窒素の容積負荷1.8~3.7g-N/L/日(硝酸性窒素の濃度540mg-N/L)まで、人工排水の供給速度を速くすることで段階的に負荷を上げた(表1)。

**表1 形成実験におけるの窒素容積負荷 (g-N/L/日)**

	ステップ 1	ステップ 2	ステップ 3	ステップ 4
リアクター 1	0.5	0.9	1.8	3.7
リアクター 2	0.6	1.1	1.9	2.8
リアクター 3	0.3	0.6	1.5	1.8

モーターによる攪拌の実験は、リアクター 1 はモーターの攪拌を行い、リアクター 2 は行わなかった。また、グラニューールの形成には、リアクター内部の液相における造粒運動<sup>4)</sup>が必要であることから、内径の違うリアクター 1 及び 3 を用いて実験を行った(表 2)。

なお、窒素容積負荷の違いによるグラニューールの形成をみるため、リアクター 1 及び 2 では、ステップ 4 においてリアクター 1 を、より高負荷とし、リアクター 3 は、リアクター 1 及び 2 よりも低負荷とした。

**表2 グラニューールの形成実験の条件**

	内径 (mm)	高さ (mm)	有効容積 (L)	攪拌 (/min)
リアクター 1	32	550	0.45	5
リアクター 2	32	550	0.45	無し
リアクター 3	50	440	0.85	5

### 2.3 閉塞に対する通気試験

リアクター 1 を用い、人工排水の供給管とリアクターの接続部分に三方コックを設置し、コックの一方からブロワー(100V, 3.5W)で空気を通気し、他方から排水を供給できるようにした。実験時には通気と排水を切り替えた。

リアクター 1 には、リアクター 3 で形成したグラニューールを150mL投入し、硝酸性窒素990mg-N/L(窒素容積負荷5.3g-N/L/日)でモーターによる攪拌を5/minで行いながら、実験を行った。通気は、1日に1回とし、時間は1分間だけ行った。

### 2.4 模擬排水による処理試験

グラニューールの形成実験に使用したリアクター 1 及び 2 を用い、実排水に植物性蛋白質の多いしょうゆ製造業の排水を使用した。これに硝酸ナトリウムを添加し模擬排水を調整した。また、各リアクターは、5/minで攪拌し、硝酸性窒素の容積負荷による違いを見るため表3の条件で実験を開始した。なお、模擬排水中の浮遊物質による供給管及

びリアクターの閉塞を低減するため、模擬排水槽にフロートを浮かべ、水面近くの排水を供給するようにした。

**表3 模擬排水の水質**

	COD (mg/L)	硝酸性窒素 (mg-N/L)	窒素容積負荷 (g-N/L/日)
リアクター 1	240	49	0.4
リアクター 2	240	290	1.7

### 2.5 分析方法

硝酸性窒素及びカルシウムは、イオンクロマトグラフ(日本ダイオネクス(株)製:DX-500)で分析し、硝酸性窒素の除去率は、排水に対する処理水中に残存する硝酸性窒素の濃度から求めた。汚泥濃度、COD等の分析は、JIS K0102-1998に準拠して行った。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 グラニューールの形成

グラニューールの形成実験の結果についての評価は、リアクター内部の汚泥及びグラニューールの見かけの体積が、リアクターの容積に占める割合(以下、「グラニューール等保持率」という)により行った。

まずモーターによる攪拌の有無についての実験結果は(図1)、攪拌を行ったリアクター 1 及び攪拌しなかったリアクター 2 について、試験開始6日目で、グラニューール等保持率は、それぞれ38%及び29%で、その後13日目では、それぞれ46%及び38%とリアクター 1 の方が高い保持率であった。硝酸性窒素の負荷をステップ 2 に高めた26日目では、保持率が逆転しそれぞれ25%及び34%となった。攪拌をしなかったリアクター 2 の方が、保持率が高くなった原因としては、現象から判断するとリアクター 1 はモーターで攪拌することで、人工排水と汚泥の接触が促進され、窒素ガスの発生が多くなったため、窒素ガスが附着した汚泥が、リアクター外に流出したためと思われる。

その後、ステップ 3 に負荷を高めた42日目では、それぞれ30%及び18%と、リアクター 1 の方が、保持率が高くなった。

さらにステップ 4 に負荷を高めた51日目において、リアクターに供給した人工排水の濃度は、pHが6.8で、CODが647mg/Lであり、リアクター 1 の処理水はpHが9.3で、CODは12mg/Lとなった。このときのCODの除去率は98%であった。また、リアクター 2 の処理水はpHが9.3で、CODは21mg/Lとなった。このときのCODの除去率は97%であり、ほぼリアクター 1 と同等の処理であった。保持率については、リアクター 1 が33%とさらに増加した。一方、リアクター 2 は13%と低下した。

これらのことから、攪拌することは、人工排水と汚泥の接触が促進され、グラニュールの形成が良好であったと考えられた。また、リアクター1の方が、硝酸性窒素の容積負荷が高かったことも要因と考えられた。

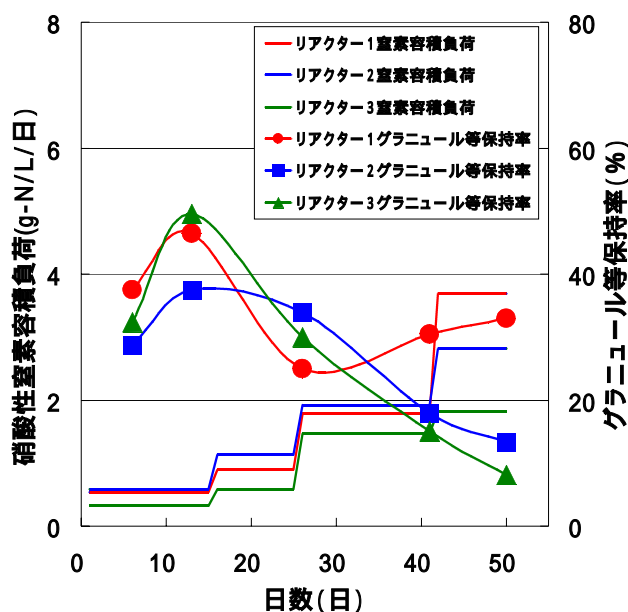


図1 グラニュールの形成

(A)



(B)



(A) 汚泥及びグラニュール

(B) 1 mmメッシュ上のグラニュール

図2 リアクター3のグラニュール

次に、内径の違うリアクター1及び3を用いた実験結果(図1)、内径のより大きなリアクター3の保持率は、先の実験におけるリアクター2とほぼ同等の結果となり、グラニュール等保持率は、13日目において50%であったが、

42及び51日目には15%及び8%と低下した。これは、COD及び硝酸性窒素の容積負荷が低かったために、グラニュールの形成が低下したと考えた。

また、各リアクター内の汚泥及びグラニュールの状態は、実験当初は茶色だったが、次第にベージュ色となり、汚泥とグラニュールが混在した状態となった。リアクター3のグラニュールの状態を図2に示す。リアクター3のグラニュールは、大きいもので直径3mm程度であった。リアクター1及び2では、ともに直径2mm程度であった。

### 3.2 閉塞に対する通気試験

リアクター1は、試験開始後2、8及び15日目に、供給管とリアクターの接続部分で閉塞が起こり、そのつどリアクター内の汚泥とグラニュールの入れ直し作業を行った。硝酸性窒素が100%除去されていることを確認した22日目から、ブLOWERによる通気を開始した。その後、閉塞は起こらず、31日目の処理水の分析結果は、硝酸性窒素の除去率100%、CODの除去率88%と良好で安定した処理状況であった。

このことから、リアクター内に通気を1分間行うだけでも、閉塞の対策ができ、硝酸性窒素の除去率を低下させることなく、安定した処理が可能であることがわかった。

### 3.3 模擬排水による処理試験

模擬排水を用いた硝酸性窒素の除去実験の結果、リアクター1は、実験開始後8日目に窒素ガスの発生が少なくなり、16日目には汚泥及びグラニュールがこげ茶色となり、異臭がするようになった。このことからリアクター1は実験を中止した。リアクター2は、硝酸性窒素の除去率が6日目まで減少したものの、その後は増加し22日目では16%まで回復した(図3)。しかし、CODの除去率が73%まで徐々に低下し、窒素ガスの発生も少なくなった(図4)。

CODの除去率が低下したのは、3.1の結果から模擬排水のCOD及び硝酸性窒素の負荷が低いことが原因と考え、CODを240mg/Lから560mg/L(COD容積負荷3.0g-COD/L/日)に、硝酸性窒素を290mg-N/Lから660mg-N/L(窒素容積負荷を4.3g-N/L/日)に高め、実験を継続した。継続当初から、CODの除去率は回復し、硝酸性窒素の除去率は一時低下したものの徐々に回復した。各除去率は40日目に最高となり、硝酸性窒素の除去率45%(濃度が357mg-N/L)で、CODの除去率86%(濃度が53mg/L)であった。このときのグラニュール等保持率は90%であった。

水質汚濁防止法におけるアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素の排水基準は、アンモニア性窒素に0.4を乗じた値に亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素を加えた値が、100mg/L以下であることから、模擬排水による硝酸性窒素の除去実験では、排水基準を満足するものではなかった。

これは、USBリアクターによる排水処理が、炭素源及

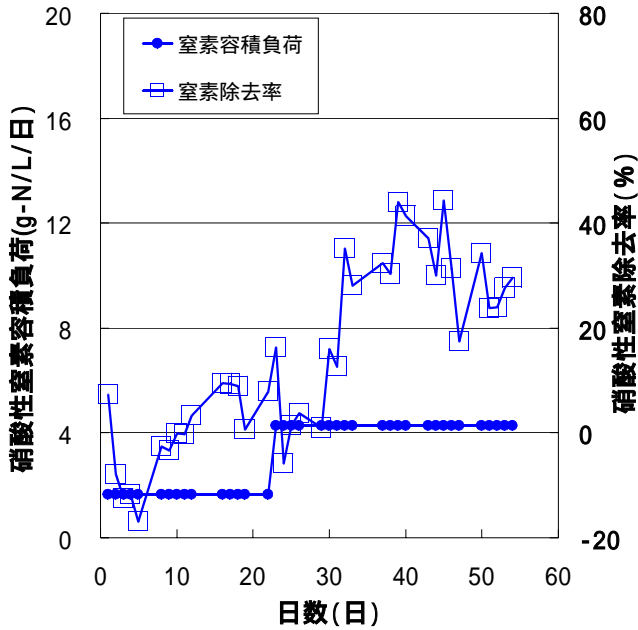


図3 リアクター2の硝酸性窒素除去率

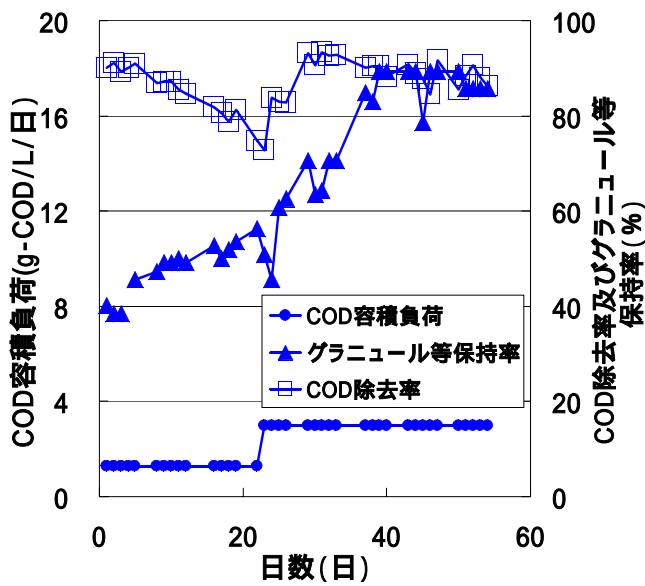


図4 リアクター2のCOD除去率及びグラニューール等保持率

び硝酸性窒素のみに支配されず、人工排水に添加した基質による影響のため、硝酸性窒素の除去率が低かったと考えられた。

これらのことから、USBリアクターによる硝酸性窒素の除去では、ある程度のCOD及び硝酸性窒素の負荷が必要であるものの、実排水の処理の場合は、高い除去率を得るためには、基質などの要因も重要であることが示唆された。

4. 結言

USBリアクターを用いたグラニューールの形成及び閉塞についての実験並びに模擬排水による硝酸性窒素の除去実験を行った結果、次のことがわかった。

- (1) グラニューールの形成において、攪拌を行うことは、排水と汚泥の接触が高まり、形成が良好であること及びグラニューールの形成には硝酸性窒素及びCODの容積負荷による影響が大きことが示唆された。また、内径の大きい方がより大きなグラニューール(～3mm)を形成した。
- (2) 閉塞に対しては、リアクター内に短時間(1分間)の通気を行うことで効果があり、硝酸性窒素の除去率が低下することなく、安定した処理ができた。
- (3) しょうゆ製造時の排水を用いた模擬排水による硝酸性窒素の除去実験の結果、当初除去率が低下したものの硝酸性窒素及びCODの容積負荷を上げた22日目以降は回復し、硝酸性窒素の除去率が45%、CODの除去率が86%となり、グラニューール等保持率も90%まで高まった。

以上のことから、USB法を用いた排水処理では、ある程度の硝酸性窒素とCODの負荷が必要であることと、実排水の処理では、基質の影響が大きいことが示唆された。

参考文献

- 1) 稲森悠平, 孔海南, 須藤隆一: 用水と廃水, 37, 785-793 (1995)
- 2) 藤村葉子, 中島淳: 用水と廃水, 38, 738-743 (1996)
- 3) 孔海南, 稲森悠平: 用水と廃水, 39, 678-687 (1997)
- 4) 江本ふで子, 明賀春樹: 用水と廃水, 30, 25-31 (1988)
- 5) 友沢孝, 斉藤祐二, 帆秋利洋: 用水と廃水, 31, 35-41 (1989)
- 6) 新村孝善, 松永一彦, 西和枝: 鹿児島県工業技術センター研究報告, 13, 15-21 (1999)