

生物処理の高効率化 － U S B 法によるグラニューールの脱窒試験－

企画情報部 ○新村孝善
化学部 松永一彦，西 和枝

1. はじめに

工場排水・生活排水に含まれる窒素化合物は、湖沼や閉鎖性海域の富栄養化の原因の一つであり、その処理において生物学的除去方法で、より高濃度で菌体を保持し高効率のリアクタが求められている。その中でU A S B (上向流嫌気性汚泥床:Upflow Anaerobic Sludge Blanket) は汚泥の自己造粒化 (グラニューール化) により沈降性のすぐれたグラニューールが形成され、極めて高濃度の菌体を保持できるため高負荷の処理が可能で、実用化されている。一方、U S B (上向流汚泥床 : Upflow Sludge Blanket) はU A S B 法を主に窒素除去に応用したものであるが、基礎的研究が乏しく実用化はほとんどされていない。このため、窒素除去の高効率な方法であるU S B 法の実用化を目的とした基礎試験を行ったので報告する。

2. 実験

脱窒素反応槽は、図1に示ように二重管塔型リアクタ (有効容積0.45ℓ, 内径32mm×550mm, アクリル製) で上部にガス分離槽が設けてある。原水は表1の基質組成からなる試料で、硝酸性窒素は硝酸ナトリウムを、電子供与体としての有機物はメタノールと酢酸の2種類を使用した。冷蔵室で保管し、加温槽 (室温) を経てマイクロチューブポンプで反応槽へ下部から上向流で供給した。反応槽の温度は恒温水 (補助的にエアコン使用) を循環させ18℃, 28℃, 38℃に保った。また、ガス抜きを円滑にするため短冊状の攪拌羽 (アクリル製) を設けて5 r. p. mで回転させた。HRT (水理学的滞

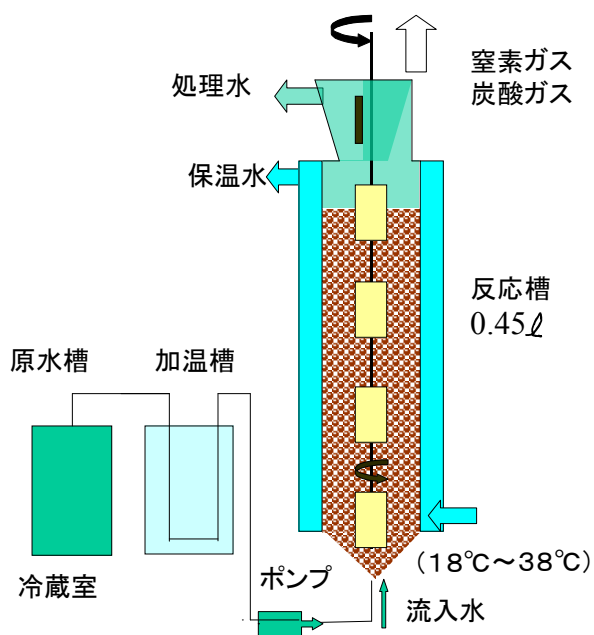


図1 U S B による脱窒反応槽

基 質 組 成 (濃度)		
KH_2PO_4	(mg-P/ℓ)	30
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	(mg-Ca/ℓ)	30
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	(mg-Mg/ℓ)	5.0
$\text{FeCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	(mg-Fe/ℓ)	0.13
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	(mg-Cu/ℓ)	0.13
$\text{MnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	(mg-Mn/ℓ)	0.02
$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	(mg-Mo/ℓ)	0.02
ZnCl_2	(mg-Zn/ℓ)	0.10
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	(mg-Co/ℓ)	0.01
CH_3OH	(mg-BOD/ℓ)	400～6000
NaNO_3	(mg-N/ℓ)	100～1500
CH_3COONa	(mg-BOD/ℓ)	550～3300
NaNO_3	(mg-N/ℓ)	100～600

留時間)は0.75hr～4hrで、線速度は14cm/hr～73cm/hrとした。また、種汚泥として薩南衛生処理組合のし尿処理場の汚泥を(汚泥濃度6000mg/ℓ)用いた。この汚泥を図1のリアクタに入れ、原水を通水した。通水後10日目でグラニュールの生成を確認し(図2)、さらに1ヶ月程馴養を行い、脱窒試験を開始した。

3. 結果

3.1 メタノール基質の脱窒試験

メタノールを電子供与体とした合成排水を使用して脱窒試験(28℃)を行い、その負荷に対する窒素除去について検討した(図3)。反応温度28℃、HRTは1.0hr、線速度55cm/hrの条件で、窒素容積負荷2.4g-N/ℓ/日(硝酸性窒素濃度100mg-N/ℓ)から開始して徐々に硝酸性窒素濃度を増加させていった。その結果、窒素容積負荷24.4g-N/ℓ/日(硝酸性窒素濃度1000mg-N/ℓ)までは窒素除去率90%以上を維持し、高濃度での高効率的処理ができた。そのときのBOD容積負荷は96.6g-BOD/ℓ/日で、原水濃度4000mg/ℓに対して、処理水BOD濃度は1940mg/ℓと50%が脱窒反応により消費されていた。また、汚泥濃度(MLSS)は180000mg/ℓ、有機性汚泥濃度(VLSS)は115000mg/ℓでVSS/SSは64%であった。いずれも高濃度で存在し、脱窒速度は210mg/VSSg/日であった。グラニュールの無機成分は、表2に示すようにCaOとP₂O₅が主成分であった。

さらに窒素濃度を上げると窒素ガスによる発泡や汚泥中での閉塞も盛んになり、除去率は80%程となり、窒素除去の能力低下がみられた。

また、同様の条件で反応温度に対する影響を検討するために、反応温度を18℃に低下させ脱窒試験を行ったところ、窒素除去率は60%程となり、一方、38℃に上昇させた場合はさらに窒素容積負荷29.3g-N/ℓ/日まで増加させても90%以上の除去率を達成できた。しかし、窒素容積負荷36.7g-N/ℓ/日にすると窒素ガスの発泡がかなり激しくなり、除去率は50%以下へ大きく低下していった。

アンモニア成分の阻害については、窒素容積負荷14.4g-N/ℓ/日(硝酸性窒素濃度600mg-N/ℓ)の

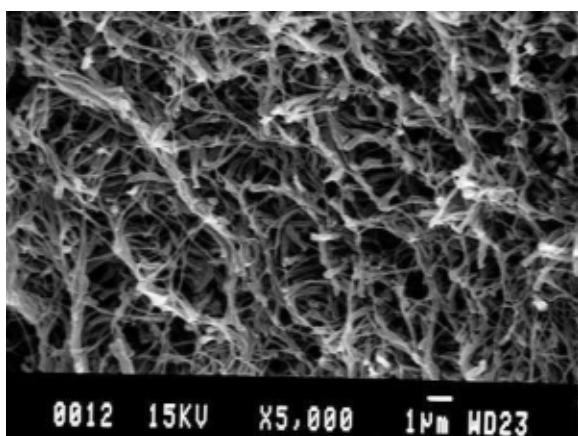


図2 USBグラニュールの電顕写真
(電子供与体:メタノール)

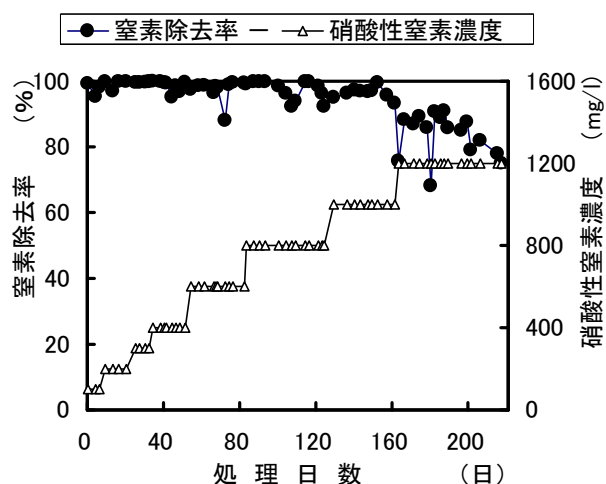


図3 窒素負荷に対する窒素除去率

表2 グラニュールの無機分析(けい光X線) (%)

SiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
6.5	2.6	42.8	4.4	3.3	43.8

条件でアンモニア濃度を徐々に上昇させて脱窒処理に及ぼす影響を調べた。その結果、アンモニア濃度1000mg/ℓで窒素除去率が低下する傾向が見られた。

3. 2 酢酸基質のUSBによる脱窒試験

USB法によるグラニューールの脱窒処理試験を実排水に応用するには、有機物が分解されて低級脂肪酸になっている可能性が高い。このため、電子供与体が酢酸のような低級脂肪酸での処理能力について確認する必要が重要で、酢酸を基質とした処理試験を行った。

反応温度28℃、HRTは2.0hr、線速度28cm/hrの条件で、窒素容積負荷1.2g-N/ℓ/日（硝酸性窒素濃度100mg-N/ℓ）から開始して徐々に硝酸性窒素濃度を増加させた（図4）。その結果、窒素容積負荷6.1g-N/ℓ/日（硝酸性窒素濃度500mg-N/ℓ）までは窒素除去率90%以上を維持し、メタノール基質の場合よりは劣るものの高効率の処理ができた。そのときのBOD容積負荷は、34.2g-BOD/ℓ/日で原水濃度2800mg/ℓに対して、処理水BOD濃度は1030mg/ℓと63%のBOD成分が脱窒反応により消費されていた。そのときの汚泥濃度（MLSS）は85300mg/ℓ、有機性汚泥濃度（VLVSS）は58500mg/ℓであった。

また、同様の条件で反応温度を18℃に下降させ脱窒試験を行ったところ、窒素除去率は70%程に減少し、一方38℃に上昇させた場合は、28℃の場合とその処理能力には変化はなかった。

アンモニア成分の阻害については、反応温度28℃、窒素容積負荷4.9g-N/ℓ/日（硝酸性窒素濃度400mg-N/ℓ）の条件で、アンモニア濃度を徐々に上昇させて脱窒反応に及ぼす影響を調べたが、その濃度が1000mg/ℓでも阻害はみられなかった。

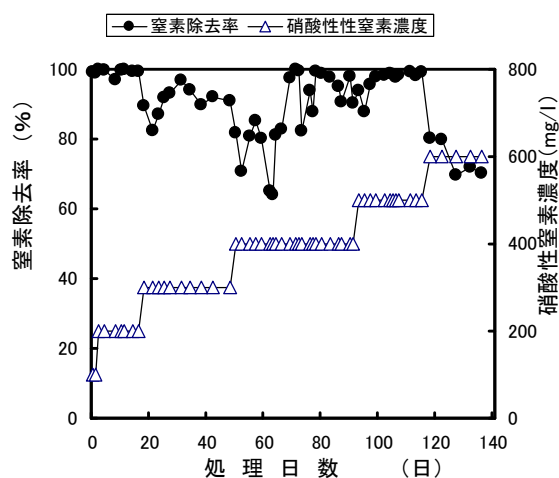


図4 窒素負荷に対する窒素除去率
(電子供与体：酢酸)

4. おわりに

窒素除去の高効率な方法であるUSB法の実用化を目的とした基礎試験を合成排水2種類で行った結果、以下の知見を得た。

(1)メタノール基質で反応温度28℃、HRT1.0hr、線速度55cm/hrの条件で脱窒試験を行ったところ、窒素容積負荷24.4g-N/ℓ/日（窒素濃度1000mg-N/ℓ）で窒素除去率90%以上を維持し、高濃度での高効率の処理ができた。そのときのBOD成分も50%除去されていた。

(2)脱窒反応における処理能力の温度への影響は28℃を基準にして、18℃では60%程、38℃では120%になり温度依存性がみられた。また、高温・高負荷での脱窒処理は窒素ガスによる発泡・突沸・ブリッジ現象などが発生して、効率的な処理ができなかった。

(3)酢酸基質では窒素容積負荷6.1g-N/ℓ/日（窒素濃度500mg-N/ℓ）窒素除去率90%以上を維持し、高効率の処理ができた。しかし、その処理能力はメタノール基質と比較して25%程で、電子供与体となる有機物の基質に大きく依存することが分かった。

今後はグラニューールによるUSB法を実用化させるために、窒素を多く含む嫌気性処理液やブロー一排水等の実排水レベルの試験を行い、高効率化を図っていきたい。

