

# 常温・無曝気での DHS リアクターの硝化能力の把握

東北大学工学部 学生会員 ○服部 賢  
 東北大学大学院工学研究科 学生会員 小地沢 俊宏  
 東北大学大学院工学研究科 正会員 Tandukar Madan, 李 玉友, 原田 秀樹

## 1. はじめに

現在、人間の活動により大量に生成されたアンモニアが窒素循環のバランスを崩し人体や生態系に悪影響を及ぼしていることから、窒素の除去が急務となっている。排水からの窒素除去法として生物学的硝化・脱窒法、不連続点塩素注入法、イオン交換法、アンモニアストリッピング法、膜分離法などがある。その中でも生物学的硝化・脱窒法は窒素の形態に幅広く対応しており、都市下水や産業排水、埋め立て地浸出水など様々な排水からの窒素除去法として採用されているが、生物学的窒素除去法は曝気コストや維持管理の困難さなどが問題となっている。一方、Down-flow Hanging Sponge (DHS)はスポンジが空气中に曝されているため人為的な曝気無しでもDOが高濃度に維持され、曝気によるコストを低減出来る。さらにスポンジ内に高濃度の汚泥を保持できるため汚泥の滞留時間が長く、増殖速度の遅い硝化細菌に適した処理方法である。現在DHSリアクターは第一世代型から第六世代型まで開発されており、都市下水を用いた既存の研究<sup>1)</sup>ではアンモニア性窒素除去率80%と報告され高い処理性能を有していることが明らかになっている。容易な維持管理で高い処理性能を有しているDHSリアクターは、下水だけでなく高濃度アンモニア排水にも適用可能であると考えられる。本研究はDHSリアクターの新規窒素除去法としての適用を目指し、高濃度アンモニア人工排水を用いた常温・無曝気連続運転による硝化能力を把握することを目的とした。

## 2. 実験方法

実験装置の概要を図-1に示す。本研究では第三世代型DHSリアクターを用いた。リアクターは内径0.25 m、塔長0.50 mの4つのカラムから成る。供給水には表-1に組成を示した人工排水を用いた。本研究では硝化能力の把握を目的としたため人工排水に有機物を含めなかった。また硝化細菌の至適pHが7.5-8.5であることからアルカリ剤を供給した。担体は円柱状ポリウレタンスポンジ(直径30 mm、高さ30 mm)をポリプロピレン製のネットリングに埋め込み、ランダムに充填した。全カラム容積100 Lに対して全スポンジ容積30 Lとなるようにし、充填率を30%とした。植種にS浄化センターのA<sub>2</sub>O法における返送汚泥を用いてスタートアップしたが、運転開始29日目に再植種を行なった。温度調整は行わず常温(11.6-28.4℃)での運転とした。本研究で用いたリアクターは密閉型であり空気循環が困難な状態にあったため運転開始133日目より空気循環を始めた。phase 1 からphase 4 に移行するに従いアンモニア負荷を徐々に上げた。運転条件を表-2に示す。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 窒素の経日変化

図-2に連続運転実験による窒素の経日変化及び温度の経日変化を示す。Phase 1aではHRT 48 h、アンモニア負荷0.25 kg-N/m<sup>3</sup>/dで運転したが硝酸・亜硝酸がほとんど検出されず、硝化は進まなかった。そこで再植種を行ない、負荷を変えずにHRTを24 hにして運転したところ硝化反応が確認されアンモニア除去率85%を得た。Phase 2aに移行し負荷を0.75 kg-N/m<sup>3</sup>/dに上げHRT 8 hで運転したが、アンモニア除去率が52%に低下した。処理水のDOの低下が見られたことから、DOが律速となっていると推察し phase 2bから空気循環を開始したところアンモニア除去率が99%に達した。

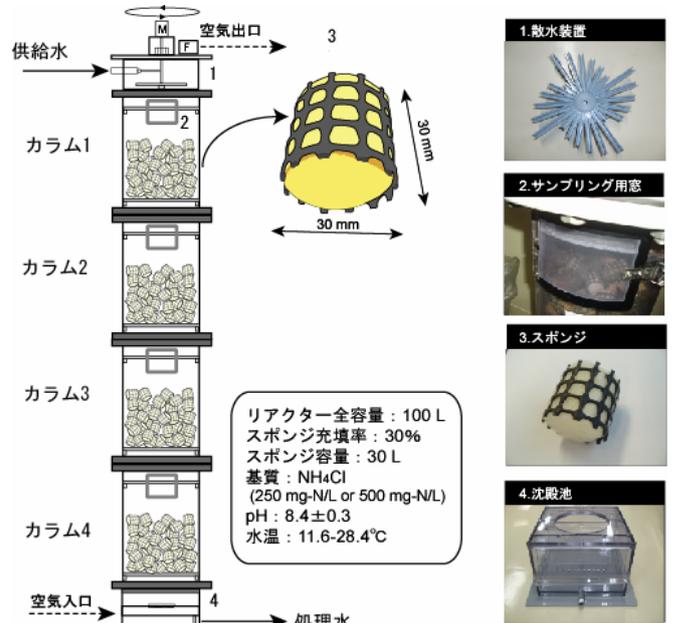


図-1 DHS リアクター

表-1 人工排水

Compound	Concentration(g/L)	Compound	Concentration(g/L)
<i>Synthetic wastewater</i>		<i>Nutrient solution</i>	
NH <sub>4</sub> Cl	0.955~1.911	Na <sub>2</sub> -EDTA·2H <sub>2</sub> O	8.304
NaHCO <sub>3</sub>	2.969~5.939	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	5.000
<i>Phosphate buffer</i>		ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.215
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.081	CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.120
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	0.214	MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.495
<i>Medium component</i>		CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.125
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.213	NaMoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.110
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.036	NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.095
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.051	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>	0.078
<i>Nutrient solution</i>	1(mL/L)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.007

表-2 運転条件

	Days	HRT h	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 濃度 mg-N/L	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 負荷 kg-N/m <sup>3</sup> /d	空気循環
phase 1a	29	48	500	0.25	なし
phase 1b	70	24	250	0.25	なし
phase 2a	26	8	250	0.75	なし
phase 2b	13	8	250	0.75	あり
phase 3	27	6	500	2.00	あり
phase 4a	75	4	500	3.00	あり
phase 4b	113	2	250	3.00	あり

Phase 3 で負荷を 2.00 kg-N/m<sup>3</sup>/d に上げ HRT 6 h で運転を行なうとアンモニア除去率 90%、アンモニア除去速度 1.78 kg-N/m<sup>3</sup>/d を得た。Phase 4a では負荷を 3.0 kg-N/m<sup>3</sup>/d、HRT 4 h にして運転を行なったが処理性能は低下しアンモニア除去率 55% となった。そこで phase 4b では負荷を変えずに HRT 2 h にして運転したが処理性能は向上しなかった。本研究で得られた最大除去速度は phase 3 において 1.78 kg-N/m<sup>3</sup>/d、汚泥当たりでは 0.32-0.46 kg-N/kg-VSS/d であった。アンモニア性窒素 450 mg-N/L の人工排水を用いた活性汚泥法<sup>2)</sup> でアンモニア除去速度 0.5-0.7 kg-N/kg-VSS/d と報告がありこれには少し劣るが、完全混合型リアクターで実排水を用いた既存の研究<sup>3)</sup> の

アンモニア除去速度 0.13-0.15 kg-N/kg-VSS/d と比べると本研究で得られたアンモニア除去速度は常温・無曝気運転にも関わらず高い処理性能を有していることが明らかになった。

### 3.2 汚泥量経日変化

図-3 に汚泥量の経日変化と増加率を示す。運転開始 29 日目に再植種を行ない汚泥量が安定してから徐々に増加し、最終的に汚泥量が安定した 65 日目と比べ約 2 倍の 5.5 g-VSS/L-sponge となった。都市下水を用いた既存の研究<sup>1)</sup> ではスポンジあたり 20-25 g-VSS/L-sponge の汚泥を保持したとの報告があり、本研究ではスポンジの最大汚泥保持能に達していないと考えられる。本研究では人工排水に有機物を含んでいないため既存の研究程の汚泥保持量には達しないが、さらなる汚泥の増加が期待でき、処理性能が向上する可能性がある。

### 3.3 酸素摂取速度

処理水の硝酸及び亜硝酸性窒素濃度から硝化に使われた酸素量を計算し、その酸素量から算出した酸素摂取速度を図-4 に示す。処理が良好だった phase 3 では曝気を行なわなかったにも関わらず平均酸素摂取速度が 286 mg-O<sub>2</sub>/L/h であり、DHS リアクターの高い酸素摂取能力が確認された。

### 3.4 硝化活性試験

図-5 にアンモニア基質 (100 mg-N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L) と亜硝酸基質 (25 mg-N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L) の硝化活性試験の結果を示す。活性試験は phase 4b の汚泥を用いて行なった。その結果、アンモニア除去速度は各カラムの平均 0.65 kg-N/kg-VSS/d を得た。Phase 4b でのリアクター内の平均アンモニア除去速度は 0.19 kg-N/kg-VSS/d であったため、リアクター内で 3 割程度の能力しか発揮していないことになる。また硝化活性試験のカラム別の結果ではアンモニア除去速度、亜硝酸除去速度が共にカラム 3 で最も高い活性を示し、それぞれ 0.92 kg-N/kg-VSS/d, 0.37 kg-N/kg-VSS/d であった。Phase 4b においてカラム毎の活性はアンモニア除去速度が 0.10-0.40 kg-N/kg-VSS/d, 亜硝酸除去速度が 0.05-0.18 kg-N/kg-VSS/d であった。実産業排水 (COD: 0mg/L, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 4000-6000mg-N/L) を用いた既存の研究<sup>3)</sup> では活性試験でアンモニア除去速度 0.37 kg-N/kg-VSS/d であったと報告しているが、本研究で得られた活性試験の結果の各カラム平均 0.65 kg-N/kg-VSS/d はこれよりも高いことがわかる。

### 3.5 アンモニア負荷と除去速度、除去率

図-6 にアンモニア負荷と平均除去速度及び平均除去率の関係を示す。本研究では最大除去速度 1.78 kg-N/m<sup>3</sup>/d, 最大除去率 89% を共にアンモニア負荷 2.00 kg-N/m<sup>3</sup>/d のとき達成した。

## 4. まとめ

- ・アンモニア負荷速度 2.00 kg-N/m<sup>3</sup>/d, 温度 18-20°C においてアンモニア除去速度が最大となり 1.78 kg-N/m<sup>3</sup>/d であった。
- ・汚泥量は各カラム平均で 5.5 g-VSS/L-sponge であったがスポンジが保持出来る最大汚泥量に達していない。
- ・活性試験ではカラム 3 で最も高いアンモニア除去速度を示し 0.92 kg-N/kg-VSS/d であった。各カラム平均では 0.65 kg-N/kg-VSS/d であった。
- ・酸素摂取速度を算出することによって DHS リアクターが高い酸素摂取能力を有していることが明らかになった。

## 参考文献

- 1) 高橋優信ほか：発展途上国に適用可能なエネルギー最小消費型の下水処理プロセスの開発—スポンジ担体散水ろ床(DHS-G3)リアクターの処理特性—, 環境工学研究論文集, Vol.41, 2004.
- 2) J.L.Campos *et al.* : Nitrification at high ammonia loading rates in an activated sludge unit. *Bioresouce Technology*, Vol.68, pp.141-148, 1999.
- 3) J.Carrera *et al.* : Biological nitrogen removal of high-strength ammonium industrial wastewater with two-sludge system, *Water Research*, Vol.37, pp.4211-4221, 2003.

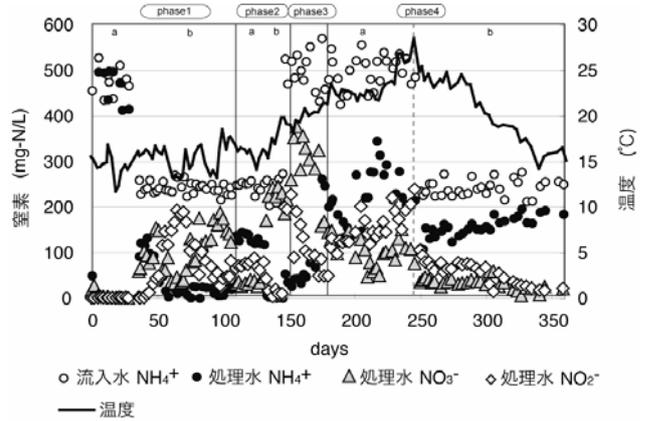


図-2 窒素の経日変化

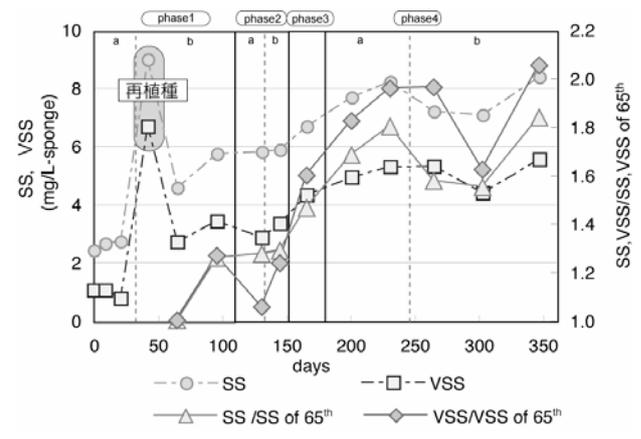


図-3 保持汚泥の経日変化

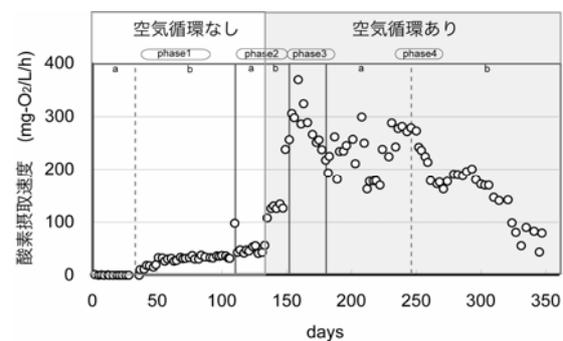


図-4 酸素摂取速度

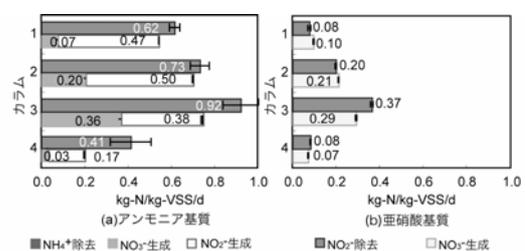


図-5 活性試験結果

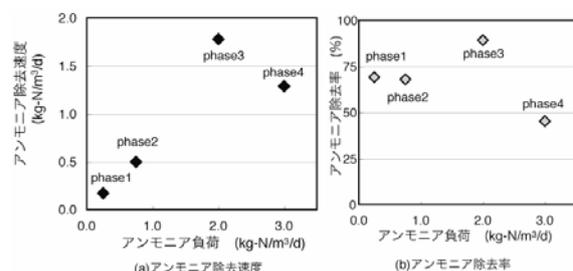


図-6 アンモニア負荷とアンモニア除去速度、除去率