

## 〈研究発表〉

### 従属脱窒と嫌気性アンモニア酸化を組み合わせた有機性排水の窒素除去

松林未理<sup>1)</sup>, 楠本勝子<sup>1)</sup>, 松田健<sup>1)</sup>, 葛甬生<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>水ing(株)

(〒251-8502 神奈川県藤沢市本藤沢4-2-1 E-mail: matsubayashi.miri@swing-w.com)

#### 概要

C/N比のバランスが悪く、有機物および窒素ともに高い合成排水に対し、従属脱窒と嫌気性アンモニア酸化槽を組み合わせた処理試験を検討した。BODを含む原水を用いて嫌気性アンモニア酸化を適用する際には、嫌気性アンモニア酸化の前段でBODを除去することが一般的であるが、本試験では、前段で部分亜硝酸化処理水を従属脱窒槽に循環させ、原水中のBODを利用した従属脱窒処理を行った。後段では、部分亜硝酸化処理水を用いた嫌気性アンモニア酸化処理を行った。上記、連続試験結果について報告する。

キーワード：嫌気性アンモニア酸化, 部分亜硝酸化, 合成廃水

原稿受付 2018.6.28

EICA: 23(2・3) 56-59

## 1. はじめに

嫌気性アンモニア酸化処理方式では、下水消化汚泥返流水などのように窒素が高く、BODが低い排水を対象に、従来の硝化脱窒方式と比較してコンパクトで省エネであることが確認されている。

従来法として一般に広く用いられている循環型硝化脱窒方式では、従属栄養細菌による脱窒反応を利用しているため、脱窒の有機炭素源として窒素分の約3倍のBODを必要とすることが知られている。これに対して嫌気性アンモニア酸化菌は独立栄養細菌であり、外部からの有機炭素源を必要としない。また、嫌気性アンモニア酸化処理は、嫌気性アンモニア酸化菌により、 $\text{NH}_4\text{-N}$  1モルに対して $\text{NO}_2\text{-N}$ が直接反応するため、原水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の約60%を $\text{NO}_2\text{-N}$ まで硝化するだけでよい<sup>1)</sup>。そのため従来法と比較して、必要な曝気エネルギーを約60%削減することができる。

しかし、BODおよびT-Nがともに高い有機性排水を嫌気性アンモニア酸化に適用する場合、安定した処理を得るためには、BODを予め除去する必要がある。特にBOD/N比が1.5~2.0程度となる有機性排水を嫌気性アンモニア酸化処理に適用する場合には、BOD酸化処理に必要な曝気動力が増大すること、また曝気水槽等の設備が過大になることで費用がかかる。

上記課題に対し、著者らは原水BODを除去するための従属脱窒槽を設け、BODを除去、T-Nを低減した処理水を嫌気性アンモニア酸化に適用する処理方式を考案した。今回、本処理方式の効果を検討するため、合成廃水を用いたラボスケールでの連続処理試験を行った。その概要及び試験結果について報告する。

## 2. 試験方法

### 2.1 原水

試験原水には、合成廃水を用いた。合成廃水は市水に試薬を添加し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が1,000 mg/L (使用試薬:  $\text{NH}_4\text{Cl}$ )、BODが1,500 mg/L (使用試薬:  $\text{CH}_3\text{COONa}$ )、M-アルカリ度が1,300 mg/L (使用試薬:  $\text{NaHCO}_3$ )、 $\text{PO}_4\text{-P}$  (使用試薬:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )が7.5 mg/Lとなるように調整し、BOD/N比を1.5とした。

### 2.2 試験装置

Fig. 1には試験装置の処理フローを示す。装置は従属脱窒素槽、亜硝酸化槽、沈殿槽、嫌気性アンモニア酸化槽により構成される。有効容積は従属脱窒素槽で4.6 L、亜硝酸化槽で2.4 L、沈殿槽で6.0 L、嫌気性アンモニア酸化槽で2.0 Lとした。従属脱窒素槽は活性汚泥、亜硝酸化槽は活性汚泥+ポリエチレングリコール主体 (以下PEG) 担体 20 v/v%、嫌気性アンモニア酸化槽にポリビニルアルコール主体 (以下PVA) 担体 20 v/v%を添加した。

### 2.3 試験条件

Table 1に従属脱窒素槽、亜硝酸化槽、嫌気性アンモニア酸化槽の立ち上げ完了後の安定期間における試験条件を示す。

従属脱窒素槽および亜硝酸化槽のMLSSは2,050~5,550 mg/L、平均3,960 mg/Lであった。

亜硝酸化槽には合成廃水で培養したPEG担体、嫌気性アンモニア酸化槽には合成廃水で培養したPVA担体を用いた。

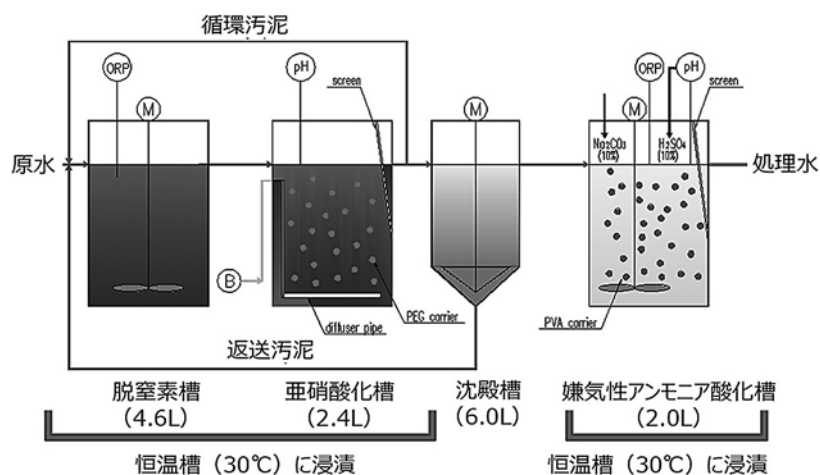


Fig. 1 Treatment Flowchart

Table 1 Experimental condition

	従属脱窒素槽	亜硝酸化槽	嫌気性アンモニア酸化槽
担体	充填なし	PEG担体 (新品) 充填率: 20 v/v%	PVA担体 (培養済) 充填率: 20 v/v%
MLSS (mg/L)	3,960 (2,050~5,550)		活性汚泥なし
窒素負荷 (kg/m <sup>3</sup> /d)	—	NH <sub>4</sub> -N 負荷として 3.7 (3.0~4.5)	T-N 負荷として 2.6 (2.0~2.8)
循環汚泥率 (-)	原水流量に対して 100%		—
返送汚泥率 (-)	原水流量に対して 100%		—

値は平均, ( ) は範囲を示す

また、部分亜硝酸化槽には、硝化に不足するアルカリ剤を添加した。また返送汚泥率および循環汚泥率は原水流量に対して1Qで運転した。嫌気性アンモニア酸化槽には処理に必要な炭酸源としてNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液を添加し、pHが8.0以下となるようH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>でpH調整を行った。試験期間中の水温は30℃で一定となるようリアクタを恒温槽に浸漬した。亜硝酸化槽のNH<sub>4</sub>-N負荷は3.0~4.5 kg-N/m<sup>3</sup>/d、平均3.7 kg-N/m<sup>3</sup>/d、嫌気性アンモニア酸化槽のT-N負荷は2.0~2.8 kg-N/m<sup>3</sup>/d、平均2.6 kg-N/m<sup>3</sup>/dで運転した。

### 3. 目的および目標性能

本試験の目的としては、前段処理（従属脱窒+亜硝酸化）と嫌気性アンモニア酸化を連結して運転したときに安定した処理が可能であるかどうかを確認すること、および机上計算通りの性能を発揮できるかどうかを確認することとした。

試験の目標性能としては、以下を定めた。

#### ①従属脱窒+亜硝酸化処理

- 亜硝酸化槽 NH<sub>4</sub>-N 負荷: 2.0 kg-N/m<sup>3</sup>/d
- T-N 除去率: 50% 以上
- BOD 除去率: 95% 以上

#### ②嫌気性アンモニア酸化処理

- T-N 負荷: 2.0 kg-N/m<sup>3</sup>/d
- T-N 除去率: 80% 以上

#### ③プロセス全体

- T-N 除去率: 90% 以上
- BOD 除去率: 98% 以上

## 4. 試験結果および考察

Fig. 2~Fig. 4 ならび下記に試験結果を示す。

### 4.1 従属脱窒処理

Fig. 2 に従属脱窒素槽流入および処理水のBOD、

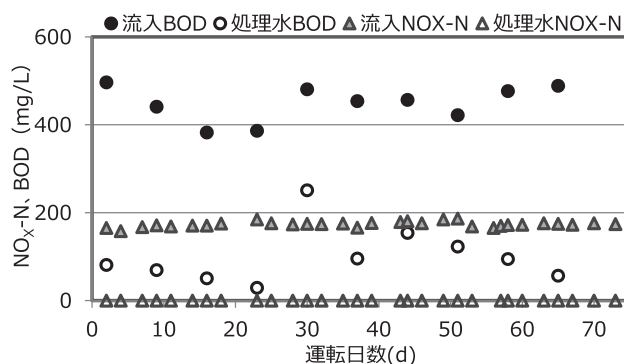


Fig. 2 BOD and NO<sub>x</sub>-N changes of Denitrification reactor

$\text{NO}_x\text{-N}$  濃度を示す。

従属脱窒素槽流入水の性状としては、 $\text{NO}_x\text{-N}$  が 141~194 mg/L, 平均 170 mg/L, S-BOD が 379~685 mg/L, 平均 467 mg/L であった。

それに対して、従属脱窒素槽処理水の性状としては、 $\text{NO}_x\text{-N}$  が常時 0 mg/L, S-BOD が 6~251 mg/L 平均 80 mg/L であった。

以上の結果より、従属脱窒素槽流入水の S-BOD/ $\text{NO}_x\text{-N}$  比は 2.1~4.3, 平均 2.7 と脱窒に最適な比率を維持することができた。従属脱窒素槽流出の  $\text{NO}_x\text{-N}$  は常時 0 mg/L と、従属脱窒素槽において  $\text{NO}_x\text{-N}$  は完全脱窒していた。これにより原水 T-N が 1,017 mg/L に対し、脱窒処理水 T-N が 421 mg/L となり、平均 58.6% の除去率が得られた。

## 4.2 亜硝酸化処理

Fig. 3 に亜硝酸化槽での  $\text{NH}_4\text{-N}$  負荷、硝化速度、 $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NO}_x\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$  を示す。

$\text{NH}_4\text{-N}$  負荷は 3.0~4.5  $\text{kg-N}/\text{m}^3/\text{d}$ , 平均 3.7  $\text{kg-N}/\text{m}^3/\text{d}$  となり目標性能の 2.0  $\text{kg-N}/\text{m}^3/\text{d}$  を大きく上回った。硝化速度は 1.6~3.9  $\text{kg-N}/\text{m}^3/\text{d}$  平均で 2.1  $\text{kg-N}/\text{m}^3/\text{d}$

であった。

この期間の亜硝酸化槽においては  $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NO}_x\text{-N} \approx 1.0$  であり、亜硝酸化型硝化が維持されていたことを確認している。

さらに亜硝酸化槽に流入する  $\text{NH}_4\text{-N}$  の約半分が部分的に硝化され、 $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$  は平均 1.4 と嫌気性アンモニア酸化反応に至適となる 1.32 に近く、部分亜硝酸化が安定して制御できていることが確認された。

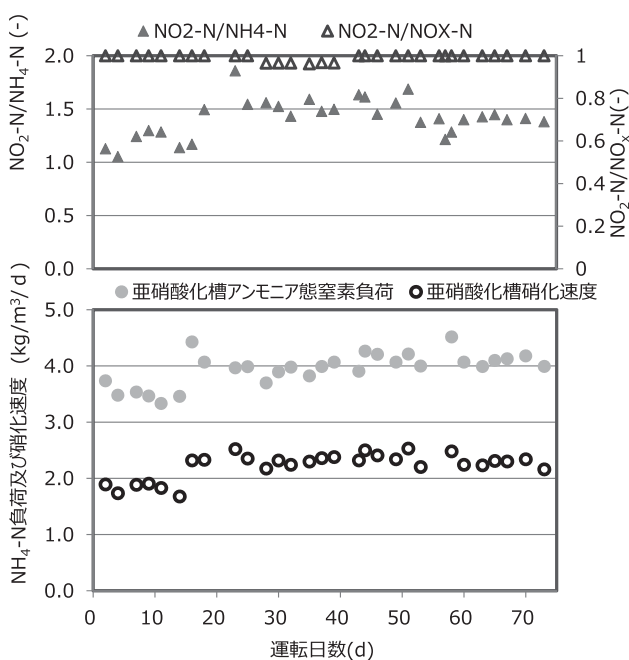


Fig. 3 Ammonia Loading Rate and Nitrification Rate of Partial Nitrification reactor

亜硝酸化槽流入では S-BOD が平均 80 mg/L ほど残っていたが、亜硝酸化槽処理水では S-BOD 及び BOD がそれぞれ平均 6 mg/L と 10 mg/L まで低減していた。試験原水の BOD は平均 1,390 mg/L であったため、BOD 除去率は平均 99.3% と安定した処理が確認でき、BOD 除去率の目標値である 98% を達成した。

## 4.3 嫌気性アンモニア酸化処理

Fig. 4 に嫌気性アンモニア酸化処理の T-N 容積負荷、T-N 除去率、流入および処理水の水質を示す。

試験期間中の T-N 容積負荷は 2.1~2.9  $\text{kg-N}/\text{m}^3/\text{d}$ , 平均で 2.6  $\text{kg-N}/\text{m}^3/\text{d}$  と目標性能である 2.0  $\text{kg-N}/\text{m}^3/\text{d}$  を達成した。

嫌気性アンモニア酸化槽の流入性状としては、 $\text{NH}_4\text{-N}$  が 114~301 mg/L 平均 191 mg/L,  $\text{NO}_2\text{-N}$  が 174~268 mg/L, 平均 237 mg/L, それに対して処理水は、 $\text{NH}_4\text{-N}$  が 2~74 mg/L 平均 13 mg/L,  $\text{NO}_2\text{-N}$  が 1~44 mg/L, 平均 19 mg/L であり、嫌気性アンモニア酸化処理における T-N 除去率は 75.8~89.8%, 平均で 84.6% と目標の 80% を達成した。

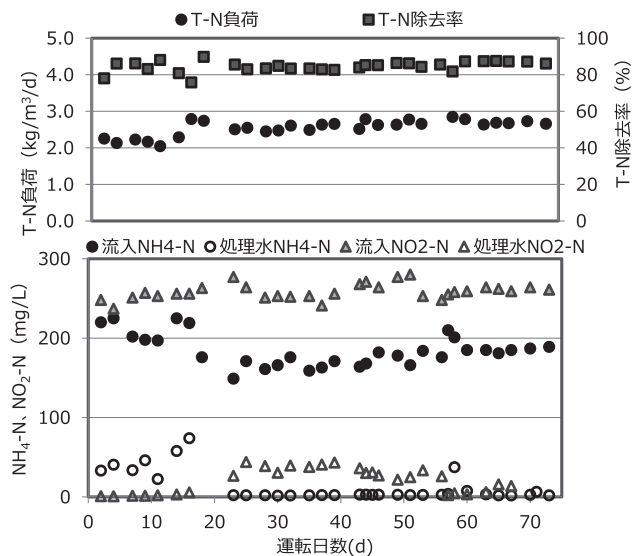


Fig. 4 T-N Loading Rate and Removal Rate of Anaerobic ammonium oxidation reactor

## 4.4 全体プロセス処理

Table 2 に従属脱窒処理+亜硝酸化処理、嫌気性アンモニア酸化処理、プロセス全体の性能を示す。プロセス全体の T-N 除去率は机上計算で平均 90% であったが、本試験では平均 93.5% を達した。プロセス全体の BOD 除去率は机上計算で 98% であったが、本試験では平均 98.9% を達成した。T-N 除去率、BOD 除去率はともに机上計算で求めた目標値以上の値となった。

**Table 2** Result of calculated and experimental performance

	従属脱窒+部分亜硝酸化		嫌気性アンモニア酸化槽		プロセス全体	
	机上計算	ラボ試験	机上計算	ラボ試験	机上計算	ラボ試験
BOD 除去率	98 %	<b>99.8 %</b>	—	—	98 %	<b>98.9 %</b>
T-N 除去率	53 %	<b>58.6 %</b>	80 %	<b>84.6 %</b>	90 %	<b>93.5 %</b>

## 5. ま と め

BOD/N 比が 1.5 程度の有機性排水の窒素除去における嫌気性アンモニア酸化処理適用検討を目的とし、従属脱窒処理と亜硝酸化処理を組み合わせた前処理の後段に嫌気性アンモニア酸化処理を適用した連続処理プロセスによる通水試験を行った。従属脱窒処理と亜硝酸化処理の組み合わせで T-N 除去率は平均 58.6%、BOD 除去率は平均 99.8% を達成した。

亜硝酸化処理水の  $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NO}_x\text{-N}$  比率はほぼ 1.0 と、安定して亜硝酸型硝化を維持できることがわかった。また、 $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$  比率は平均で 1.4 であり、

亜硝酸化槽に流入した  $\text{NH}_4\text{-N}$  を部分的に亜硝酸化することができた。さらに後段の嫌気性アンモニア酸化処理では T-N 除去率が平均 84.6% と目標値以上を達成し、全体プロセスとしても T-N 除去率は、平均 93.5% を達成した。

## 参 考 文 献

- 1) A. Mulder, A. A van de Graaf, L. A. Robertson, J. G. Kuenen : Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized reactor, FEMS Microbiology Ecology, 16 (3), 177-184 (1995)