

## N-6 好気型DHS/無酸素型DHSによる 下水の有機物・窒素除去

○森 夏希<sup>1\*</sup>・井上祥大<sup>2</sup>・角野晴彦<sup>2</sup>・小野寺 崇<sup>3</sup>・水落元之<sup>3</sup>・珠坪一晃<sup>3</sup>

<sup>1</sup>岐阜工業高等専門学校 建設工学専攻 (〒501-0495岐阜県本巣市上真桑2236番地2)

<sup>2</sup>岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒501-0495岐阜県本巣市上真桑2236番地2)

<sup>3</sup>独立行政法人国立環境研究所 地域環境研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番地2)

\* E-mail: 2012k22@edu.gifu-nct.ac.jp

### 1. はじめに

活性汚泥法による窒素除去は、硝化槽で曝気と汚泥管理、脱窒槽で汚泥管理が必要である。曝気では、莫大なエネルギーを費やす。汚泥管理に関して述べれば、硝化過程は、硝化細菌の増殖速度が有機物酸化細菌に比べて遅く、2つの細菌を満足するSRT制御が難しい。脱窒過程は、生成 $N_2$ ガスの活性汚泥への付着が起り、固液分離が困難である。

そこで本研究は、無曝気で汚泥管理を必要とせずには有機物・窒素を除去できる下水処理システムとして、好気型DHSリアクター (Down-flow Hanging Spongeリアクター、以下DHS) と無酸素型DHSリアクター (Anaerobic DHSリアクター、以下AnDHS) の組み合わせを提案する。本報告では、下水の連続処理実験を行い、開発システムの処理性能を評価する。また、DHS基軸方向プロファイル調査を行い、基質分解を評価した。

### 2. 実験方法

#### (1) 実験装置

図1 (a) にDHSの概要を示す。ろ材は、直径 3.5 cm、高さ 3 cm の潰れ防止の樹脂製リングにスポンジを詰めたものとした。ろ床は、41個のろ材をテグスで直列に繋げ、懸垂したものである。保水容積は、0.94 Lである。流入水は、リアクター上部から滴下され、流下中に酸素を取り込み、ろ材表面あるいは内部に保持された汚泥と接触し、好氣的に有機物除去と硝化が行われる。

図1 (b) にAnDHSの概要を示す。ろ床は、DHSリアクターと同様のろ材を27個繋げ、塩化ビニル製の槽内に懸垂したものである。槽内は、無酸素条件を保つために、水封槽で密閉した後、 $N_2$ ガスで充填した。保水容積は、0.62 Lである。流入水は、硝化処理水と有機物添加用排水の2種類とし、別々のポンプで送液した。2種類の排水は、流量比を硝化処理水：有機物添加用排水で1:0.3に

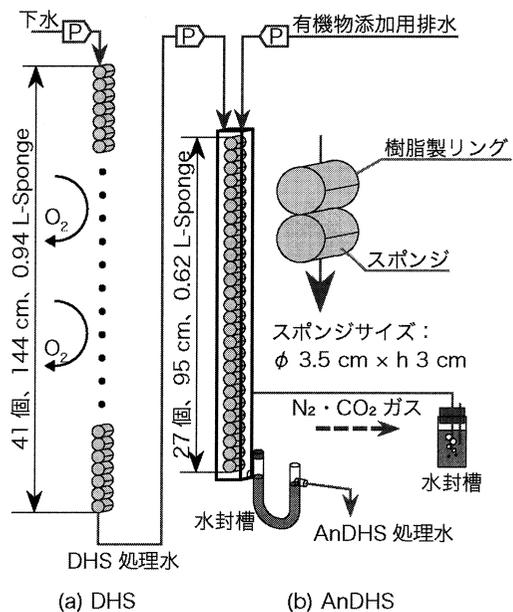


図1 実験装置の概要

設定し、混合後の濃度を $NO_3^-$  : CODで 20 mg/NL : 100 mg/L程度になるようにした。AnDHSのHRT算出は、2種類の排水の流量の和を用いた。流入水は、リアクター上部から滴下され、流下中にろ材の表面あるいは内部に保持された汚泥と接触し、脱窒処理される。

#### (2) 運転条件

両リアクターに共通の条件を次に示す。植種汚泥は、本校浄化槽の活性汚泥を用いた。室温は、 $20^{\circ}C$ とした。HRT算出には、スポンジ間隙容積を基準とした。

表1に連続処理実験の運転条件を示す。まず、DHSの運転条件を説明する。流入水は、全期間を通して本校の実下水 (初沈なし) とした。68日目より下水に重曹を添加した。HRTは4 hrで運転を開始し (D1)、141日目より

表1 連続処理実験の運転条件

		DHS	
期間		D1	D2
運転日数 (日)		0-140	141-282
HRT (hr)		4	3
68日目より重曹添加 (pH 低下防止)			
		AnDHS	
期間		An1	An2
運転日数 (日)		0-84	85-140
硝化処理水		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 人工排水	DHS 処理水
有機物添加用排水		下水	メタノール人工排水
HRT (hr)		2	1.5

3hrに短縮した (D2)。

AnDHSの運転条件を説明する。運転開始時は、AnDHS単独で運転した。運転開始時の流入水はNO<sub>3</sub><sup>-</sup>人工排水と下水の混合水であり、HRTは2hrとした (An1)。85日目より流入水はAn1の有機物添加用排水を下水からメタノール人工排水に変更した (An2)。141日目よりDHSと連結運転を開始した (An3)。226日目よりHRTは1.5hrに短縮した (An4)。

### 3. 実験結果

#### (1) 有機物除去能

図2に両リアクターの流入・流出の全BODの経日変化を示す。DHSの有機物除去を説明する。全期間における下水の全BODは、25-169 mg/Lと幅があった。D1における下水の全BODは、平均 92 (±32) mg/Lであった。処理の安定した10日目以降の処理水の全BODは、平均 10 (±10) mg/Lであった。42、133日目で見られたBOD除去能の低下の原因は、目視観察より、ろ床に補足された固形性BODの一時的な剥落と推測される。

D2における下水の全BODは、平均 86 (±54) mg/Lであった。HRT短縮直後から処理は良好であった。D2におけるDHS処理水の全BODは、4 (±4) mg/Lであった。

AnDHSの有機物除去を説明する。An、An2、An3-4におけるAnDHS流入水の全BODは、平均 23 (±9)、49 (±5)、53 (±8) mg/Lであった。脱窒反応が認められた7日目以降、AnDHS処理水の全BODは 7 mg/L以下であった。詳しくは次節で述べるが、脱窒のためのBODは不足している状態であった。

#### (2) 窒素除去能

図3に下水とDHS処理水の各窒素態濃度の経日変化を示す。全期間の下水の各窒素態濃度は、平均でT-N 60 (±13) mg/L、Org-N 23 (±6) mg/L、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 37 (±10) mg/L、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は検出限界以下だった。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>酸化は12日目から見られ、その後NH<sub>4</sub><sup>+</sup>酸化率は高まったが、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>酸化は進行しなかった。68日目より下水のpH調整を行うと、71日目からNO<sub>2</sub><sup>-</sup>酸化が開始し、75日目以降はNO<sub>2</sub><sup>-</sup>はほとんど検出されなかった。D2より

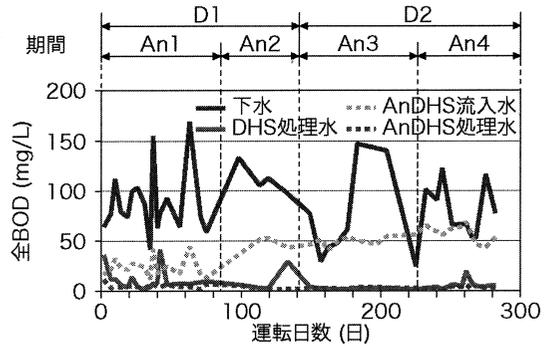


図2 全BODの経日変化

HRTを3hrに短縮したが、硝化は良好であり、141-265日目の期間のKjel-Nは、下水で平均58 (±15)であったものが、DHS処理水で平均10 (±6) mg/Lとなった。266日目以降のKjel-N除去率は、約50%に低下した。この期間において、ろ材が、付着汚泥の自重により押し潰れていた。酸素を取り込みやすいと思われるろ材間が詰まることにより、硝化のための酸素が不足していたと推測される。

図4にAnDHS流入水とAnDHS処理水の各窒素態濃度の経日変化を示す。An1-2におけるAnDHS流入水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>は平均 15 mg/Lであった。脱窒反応は、運転開始7日目以降から確認されたが、An1におけるAnDHS処理水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>は5-13 mg/Lであった。この期間のAnDHS処理水の全CODは、平均 16 mg/Lであった。全CODとしてNO<sub>3</sub><sup>-</sup>除去に必要な有機物は供給・残存していたが、脱窒に利用できる有機物は不足していた。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>除去を上げるために、下水の添加率を上げる方法がある。しかし、この方法は、下水由来のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>より、最終処理水のT-N増加につながるため、望ましくない。

An2では、メタノールにより有機物添加を行ったとこの期間

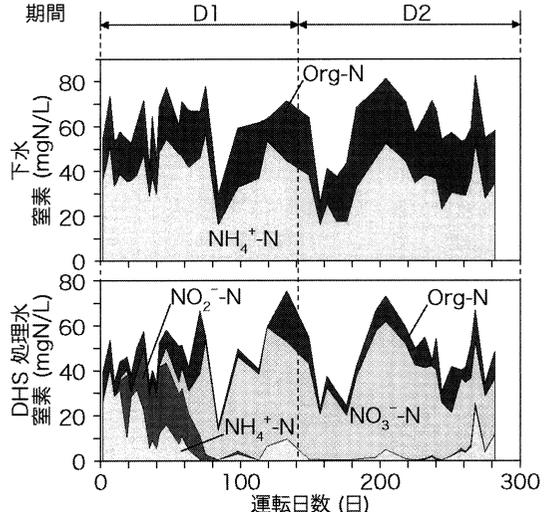


図3 下水とDHS処理水の各窒素態濃度の経日変化

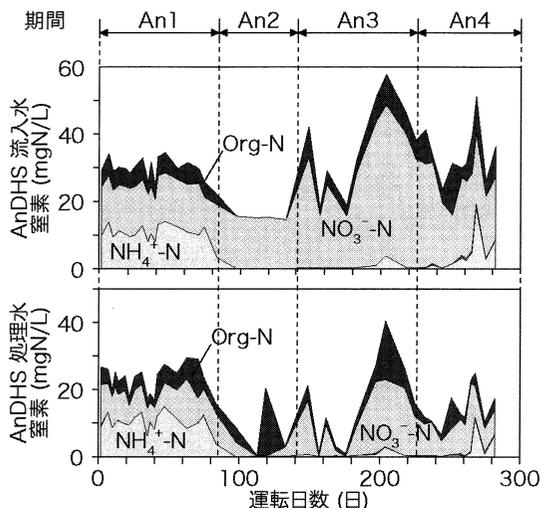


図4 AnDHS 流入水とAnDHS 処理水の  
各窒素態濃度の経日変化

ろ、AnDHS処理水の $\text{NO}_3^-$ が0 mgN/Lとなるのが全6回の分析のうち4回確かめられた。ここでのAnDHS処理水の全BOD、全CODは、2、14 mg/Lであり、流入したメタノールは脱窒に用いられたと考えられる。これより、AnDHSが、汚泥管理不要で脱窒可能リアクターであることがわかった。

An3におけるAnDHS流入水の $\text{NO}_3^-$ は、下水を処理するDHS処理水を供給したため、16-45 mgN/Lと幅があった。AnDHS流入水の $\text{NO}_3^-$ が16 mgN/Lの場合、処理水の $\text{NO}_3^-$ は0 mgN/Lとなった。ここでは、下水に含まれるOrg-NがDHSである程度除去されているため、AnDHS流入水のT-Nも1 mgN/L程度と良好な値を示した。AnDHS流入水の $\text{NO}_3^-$ 濃度が16 mgN/Lを超えた場合、処理水の $\text{NO}_3^-$ は残存した。149-225日目の $\text{NO}_3^-$ 除去濃度は、平均18 (±3) mgN/Lであった。このときのBOD除去濃度は平均47 (±5) mg/Lであった。18 mgN/Lの $\text{NO}_3^-$ 除去に伴う理論BOD除去濃度は、硝酸呼吸のみによる50 mg/L、ここにDO消費による9 mg/L (飽和と仮定) と硫酸塩呼吸による10 mg/L (AnDHS流入水の $\text{SO}_4^{2-}$  5 mgS/L、実測値) を加えて69 mg/Lである。実験で得たBOD除去濃度は、理論値より少ない。よって、脱窒には、内生呼吸、難分解性有機物の分解にともなって生成された易分解性有機物が用いられたと考えられる。

An4では、HRTを2 hrから1.5 hrに短縮した。265日目には、槽内に空気が混入し、一時的に処理が悪化した。その他の運転日において、 $\text{NO}_3^-$ 除去濃度は、An3で平均18 mgN/Lであったが、An4で平均12 mgN/Lに低下した。

### (3) DHSの基軸方向プロファイル調査

図5に265日目のDHSの基軸方向プロファイルを示す。下水の $\text{NH}_4^+$ 、溶解性CODは37 mgN/L、70 mg/Lであった。

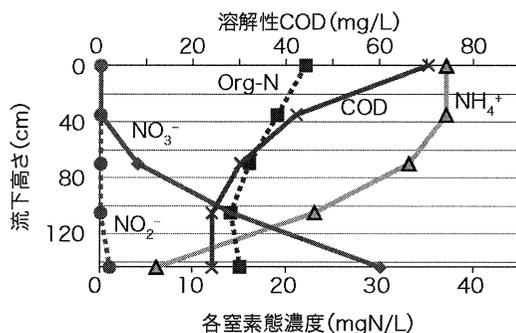


図5 265日目のDHSの基軸方向プロファイル

流下高さ35 cm以降、硝化が始まり、ここでの下水の溶解性COD/ $\text{NH}_4^+$ -Nは30 mg/L / 33 mgN/Lであった。下水を供給したUASBの処理水を後処理するDHSの既報<sup>1)</sup>では、溶解性COD/ $\text{NH}_4^+$ -Nは50 mg/L / 30 mgN/Lを下回ってから硝化が始まっている。本実験と既報の結果は近く、DHSによって硝化を進めるためには、溶解性CODは50 mg/L以下となることが目安となる。

流下高さ75 cm以降、溶解性CODの濃度が低下するにつれて、各区間での $\text{NH}_4^+$ の除去率は上昇した。

## 4. まとめ

DHSは、20°C、HRT 3 hrの運転条件で、平均BOD 86 mg/L、平均Kjel-N 60 mgN/Lの下水を処理した。その結果、処理水の平均BODは、4 mg/Lであった。141-265日目の平均Kjel-N除去率は、84%であった。基軸方向プロファイルより、DHSにおける硝化は、CODが50 mg/Lを下回ってから始まっていた。DHSは、既報<sup>1)</sup>のように前処理せずとも、エアレーション不要で有機物除去と硝化ができた。

AnDHSは、メタノールを添加した場合、メタノールはほとんど脱窒に利用されており、プロセスは成功した。AnDHSは、バルキング、汚泥返送等を回避しながらも脱窒が可能であった。

DHS/AnDHSシステムは、省エネ、維持管理不要で高度処理を行うのに有望である。

## 謝辞

本研究の一部は、(独) 国立環境研究所の環境都市システム研究プログラム、(財) 越山科学技術振興財団の研究助成によって実施した。

## 参考文献

- 1) 高橋優信ら、発展途上国に適用可能なエネルギー最小消費型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、41、175-186、2004