

## N-3 豆腐工場模擬排水を連続処理する 酸素DHSリアクターの特性

○馬島 孝治<sup>1\*</sup>・角野 晴彦<sup>2</sup>・米澤 愛美<sup>3</sup>・川上 周司<sup>3</sup>・  
高石 有希子<sup>4</sup>・珠坪 一晃<sup>5</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2236-2)

<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2236-2)

<sup>3</sup>阿南工業高等専門学校建設システム工学科 (〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木265)

<sup>4</sup>株式会社トーエネック 技術開発室 研究開発グループ (〒457-0819 名古屋市南区滝春町1-79)

<sup>5</sup>独立行政法人国立環境研究所 地域環境研究センター (〒305-0053 茨城県つくば市小野川116-2)

\* E-mail: 2011k12@edu.gifu-nct.ac.jp

### 1. はじめに

DHS (Down-flow Hanging Sponge) リアクターは、スポンジを汚泥保持担体として用いた散水ろ床である。スポンジ担体中には高濃度に汚泥を保持できるが、スポンジろ床内部のDOを測定すると、リアクター上～中部で、表面から深さ1 mm以下で0 mg/Lの部分が存在し<sup>1)</sup>、この部分にまだ有機物除去能力があると考えた。

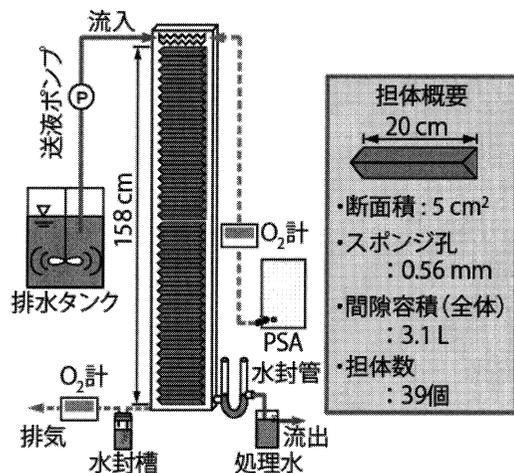
そこで、DHSリアクターの気相部を高濃度酸素条件にしたHi-DHS (High-DO DHS) リアクターを考案した。これにより、スポンジろ床内部に酸素が届き、生物膜深部の汚泥も好気処理が可能となり、高速処理化が期待できると考えた。

本研究では、Hi-DHSリアクターにより、食品模擬排水 (COD<sub>G</sub> 1000 mg/L程度) の連続処理を行い、最適運転条件を検討した。さらにスポンジろ床のDO測定により処理機構の解明を試みた。

### 2. 実験方法

#### (1) 連続処理実験

図1に実験に用いたHi-DHSリアクターを示す。汚泥保持担体には、三角柱スポンジ (1個あたり断面積5 cm<sup>2</sup>、幅20 cm、スポンジ孔0.56 mm) を用いた。ろ床は、三角柱スポンジを横向きにして流下方向に並べ、合計39個、塩化ビニル製のシートに貼り付け作成した。作成したろ床は、密閉槽内に懸垂し、Hi-DHSリアクターとした。ろ床の高さは158 cm、スポンジ間隙容積は3.1 Lとした。



排水は、排水タンクから送液ポンプによって、Hi-DHSリアクター上部から流入、重力によって流下し、下部で処理水となって水封管を通り排出される。

高濃度酸素は、90 %以上の濃度の酸素をPSA (Pressure Swing Adsorption) により供給した。酸素はリアクター上部より流入し、ろ床と接触しながら流下、下部より排気される。酸素流量は、流入COD<sub>G</sub>に対して十分量である0.5 L/min以上とした。

種汚泥には、本校浄化槽の活性汚泥を用いた。処理温度は、20℃とした。

使用した模擬排水は、市販の豆乳をCOD<sub>G</sub> 1000 mg/Lとなるよう水道水で希釈して作成した。pHは6.5～7.5程度となり、重曹等による調整は行わなかった。

(2) ろ床表面のDO測定

ろ床のDOの状況を原位置で把握するため、Unisense社のニードルセンサー (OX-N、先端外径1.1 mm) を用いて測定した。

(3) 16Sr RNAを標的としたCloning解析

サンプルは225日目に採取した汚泥とし、DNA抽出はISOIL for Beads Beating (ニッポンジーン) を用いて行った。抽出したDNAは、B27f-UNIV1492rプライマーペアを用いたPCRにより、16S rRNA遺伝子を増幅させた。PCR産物は、TOPO TA cloning (Invitrogen) を用いてクローン化した。得られたクローン配列は、塩基配列読取受託 (タカラバイオ) により決定した。得られた塩基配列はRDP (<http://rdp.cme.msu.edu>) のClassifierを用いて近縁種を特定した。

3. 実験結果と考察

(1) 連続処理実験

運転開始当初、排水温は20~13°Cで管理していたが、排水のCOD<sub>Cr</sub>が変化するため、25日目に排水温を4°Cにすると、変化が抑えられた。25日目以降の排水のCOD<sub>Cr</sub>の平均は、全成分971 mg/L、溶解成分606 mg/Lとなった。

目標水質は、岐阜県の規制値を参考に、COD<sub>Cr</sub> 40 mg/Lに設定した。

図2にCOD<sub>Cr</sub>除去率の経日変化を示す。運転開始時のHRTは8 hとした。運転開始後最初の分析である6日目の除去率は、全成分86%、溶解成分92%であった。植種後の汚泥濃度は0.42 g-VSS/L-spongeと低かったが、既に活発な生物分解が行われていた。除去率は全成分、溶解成分とも徐々に向上し、約40日目で97%以上となった。処理水の溶解性COD<sub>Cr</sub>は目標とした40 mg/L以下に達した。

60日目にHRTを5 hに短縮したところ、直後から除去率

は全成分、溶解成分とも95%以上であった。

78日目にHRTを2 hに短縮すると、除去率は全成分、溶解成分とも大きく低下し、挙動も不安定となった。

125日目にHRTを5 hに戻すと、除去率は全成分、溶解成分とも徐々に回復し、167日目以降は90%以上、処理水の溶解性COD<sub>Cr</sub> 50 mg/L程度となった。

182日目に、酸素供給停止の影響を調べるため、24時間酸素供給を停止し運転した。その結果、除去率は全成分62%、溶解成分77%まで低下した。24時間の空気への曝露であったが、95%程度まで回復するのに約3週間

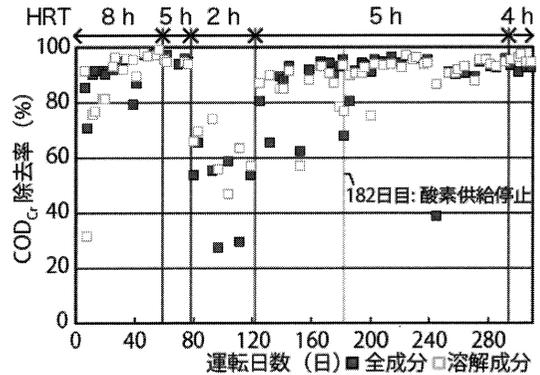


図2 COD<sub>Cr</sub>除去率の経日変化

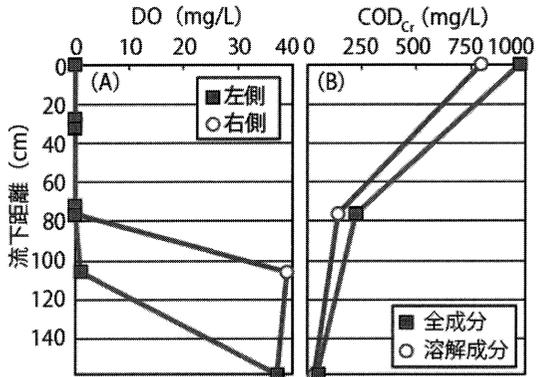


図3 (A) DO、(B) COD<sub>Cr</sub>のプロファイル

表1 HRT 5 hにおける安定期間の平均水質

水質項目	平均水質 (mg/L)			OLR (kg/m <sup>3</sup> -sponge/day or kg/m <sup>3</sup> -reactor/day)	
	排水 (25日目~)	処理水 (196~203日目)	規制値 (岐阜県)	スポンジ当たり	リアクター当たり (空塔容積基準※)
COD <sub>Cr</sub>	全成分	971	48	4.8	2.4
	溶解成分	606	40	2.8	1.4
COD <sub>Mn</sub>	全成分	244	20	-	-
	溶解成分	168	23		
BOD	全成分	507	6	2.6	1.3
	溶解成分	345	3	1.5	0.8
SS	168	4	70	-	-

※スポンジ充填率50%として計算

要した。

245日目、排水がろ床以外のところを流れたため、除去率は全成分39%、溶解成分87%まで低下した。その後これを解消し、274日目以降、全成分の除去率95%程度まで回復した。

295日目にHRTを4 hに短縮した。除去率はわずかに低下した。処理水の全COD<sub>G</sub>は約70 mg/L、溶解性COD<sub>G</sub>は約40 mg/Lであり、HRT 5 h（表1参照）と比べて全COD<sub>G</sub>が低下した。

表1にHRT 5 hの比較的処理水質が安定していた期間の平均水質を示す。196～239日目のCOD<sub>G</sub>、COD<sub>Mn</sub>、BOD、SSを平均した。全ての項目で岐阜県の代表的な規制値であるCOD<sub>Mn</sub>30 mg/L、BOD 20 mg/L、SS 70 mg/Lを満たす値であった。

ここでのBOD容積負荷は、有効容積当たりで2.6 kgBOD/m<sup>3</sup>-sponge/day、担体充填率を50%としたリアクター容積当たりで1.3 kgBOD/m<sup>3</sup>-reactor/dayであった。リアクター容積当たりのBOD負荷は、標準活性汚泥法の1.5～4倍、酸素活性汚泥法と同程度となった。

HRT 5 hにおいてトレーサー試験によって実HRTを測定したところ、実HRTは3.0 hであった。この実HRTを用いて、リアクター容積当たりのBOD負荷を求めると、2.1 kgBOD/m<sup>3</sup>/dayとなる。これよりHi-DHSリアクターは、酸素活性汚泥法の処理速度を凌ぐポテンシャルを持つことが示唆された。

## (2) ろ床表面のDO測定

図3に、232日目に行った(A) DO、(B) COD<sub>G</sub>のプロファイル調査の結果を示す。HRTは5 hであった。

DOは、各流下距離において左右2カ所を測定した。0～76 cmにおいて、左右とも0 mg/Lであった。106 cmにおいて、左は1.1 mg/L、右は39.1 mg/LとDOが存在した。158 cmは直接スポンジろ床を測定できないため、水封管内のDOを測定したところ、37.1 mg/Lであった。

DOが0 mg/Lを示した箇所では、ろ床表面に白い生物膜が肥大化していた。このような箇所では、Hi-DHSリアクターを考案した際の意図通りにならず、スポンジろ床内部の汚泥が有効に使われていなかった。106 cmにおいて、値が左右で大きくことなった理由は、この白い生物膜の存在の大小が寄与していたと推測される。

COD<sub>G</sub>は、0 cmにおいて全成分976 mg/L、溶解成分797 mg/Lであったものが、76 cmにおいて約8割除去されていた。76 cm以降も処理は進行し、処理水では全成分43 mg/L、溶解成分32 mg/Lであった。76 cm以降のDOは前述の通り飽和に近い値となっており、DOが余っている状態であった。

表2 門レベルでみた細菌相

Bacterial phyla	No. of OTUs
<i>Proteobacteria</i>	17
<i>Firmicutes</i>	10
<i>Bacteroidetes</i>	8
<i>Planctomycetes</i>	2
<i>Acidobacteria</i>	1
<i>unclassified_Bacteria</i>	3

## (3) 16Sr RNAを標的としたCloning解析

表2にHi-DHSリアクター保持汚泥を門レベルでみた細菌相を示す。このなかで大きな割合を占めているのは、*Proteobacteria*、*Firmicutes*、*Bacteroidetes*であった。活性汚泥法においても、これらは比較的大きな割合となっていた<sup>2)</sup>。したがって、門レベルからみた細菌相では、Hi-DHSリアクターに特徴的な点は確認できなかった。

## 4. まとめ

気相部を高濃度酸素にしたHi-DHSリアクターによって、全COD<sub>G</sub> 1000 mg/L程度の豆腐工場模擬排水を20℃で連続処理した。連続処理では、HRT 5 h、リアクター容積当たり（担体充填率を50%と仮定）で1.3 kgBOD/m<sup>3</sup>-reactor/dayの条件で、規制値をクリアする処理水を得られた。ここでの実HRTは3.0 hであり、酸素活性汚泥法の処理速度を凌げる可能性を持っていた。

流下高さ76 cm（全流下高さ158 cm）まで、スポンジろ床表面のDOはゼロであり、当初意図していた生物膜深部の汚泥を有効に使うことはできなかった。

門レベルで細菌相をみると、標準活性汚泥法と比べて大きな特徴は確認できなかった。

## 参考文献

- 1) 段下 剛志、馬島 孝治、角野 晴彦、高石 有希子、珠坪 一晃、大橋 晶良、原田 秀樹：DHSリアクターによる中有機物濃度の食品工場廃水の長期連続処理、第49回 環境工学研究フォーラム講演集、印刷中、2012
- 2) Michael Wagner, Alexander Loy, Regina Nogueira, Ulrike Purkhöld, Natuschka Lee & Holger Daims : Microbial community composition and function in wastewater treatment plants, *Antonie van Leeuwenhoek* 81, 665–680, 2002