

高濃度酸素を利用する「Hi-DHS リアクター」による豆腐工場模擬排水の処理特性

岐阜工業高等専門学校 ○馬島孝治 (学) 角野晴彦 (正)

(株) トーエネック 高石有希子、阿南工業高等専門学校 川上周司 (正)

国立環境研究所 珠坪一晃 (正)、広島大学大学院 大橋晶良 (正)、東北大学大学院 原田秀樹 (正)

1. はじめに

本研究室では、好気性排水処理の高速化を目的として、DHS (Down-flow Hanging Sponge) リアクターに高濃度酸素を供給する Hi-DHS (High DO DHS) リアクターを考案した。DHS リアクターへ酸素を供給することで、飽和 DO が 30~40 mg/L と高くなり、スポンジ内部の DO 不足が解消できると考えた。これにより、15~40 g-VSS/L という高濃度の保持汚泥の多くを好氣的に活用することで高速処理が可能になると考えた。

本研究では、Hi-DHS リアクターによって豆腐工場模擬排水を連続処理し、最適運転条件を検討した。また、トレーサー試験、酸素消費速度試験を行い、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 Hi-DHS リアクターの概要を示す。汚泥保持担体は、三角柱スポンジ(1 個あたり断面積 5cm²、幅 20 cm)とした。ろ床は、この三角柱スポンジを横向きにして流下方向に並べ、塩化ビニル製のシートに合計 39 個貼り付け作成した。ろ床は、密閉槽内に懸垂した。ろ床の高さは 158cm、スポンジ間隙容積は 3.1 L とした。

模擬排水は、市販の豆乳を COD_{Cr} 1000 mg/L とするよう水道水で希釈して作成した。pH は 6.5~7.5 となり、重曹等による調整は行わなかった。排水は、排水タンクから送液ポンプによって、リアクター上部から流入、重力によって流下し、下部で処理水となり排出される。

高濃度酸素は、PSA (Pressure Swing Adsorption) により濃度 90 %以上の酸素を供給した。高濃度酸素の流量は、流入 COD に対して十分量である 0.5 L/min 以上とした。高濃度酸素は、Hi-DHS リアクター上部から密閉槽内に流入し、ろ床と接触しながら槽内を流れ、下部より排出、水封槽を通り排気される。

植種汚泥は、本校浄化槽の活性汚泥とした。室温は 20℃とした。

(2) トレーサー試験

Hi-DHS リアクターの実 HRT を測定するため、106、173 日目に塩化ナトリウム添加法によるトレーサー試験を行った。

(3) 酸素利用速度試験

Hi-DHS リアクターのろ床表面には、白い生物膜(以降、表面生物膜)が発生し、ろ床を覆っていた。HRT が短いほど、表面生物膜がろ床を覆う面積が多くなった。この表面生物膜の存在する場所のろ床表面から 1 mm の深さにおいて、DO は 0 mg/L であり、DO 不足が確認された¹⁾。これが処理性能を左右していると推察さ

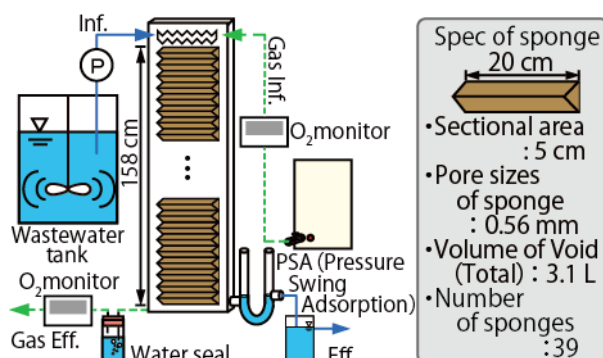


図 1 Hi-DHS リアクターの概要

れたため、表面生物膜と模擬排水の分解性の比較および表面生物膜の生物活性を調べるため、218 日目に酸素利用速度 (OUR: Oxygen Utilization Rate) 試験を行った。

汚泥は、本校浄化槽の活性汚泥、表面生物膜を用いた。表面生物膜は、Hi-DHS リアクター上部(流下距離 24~32 cm)より採取した。

基質は、活性汚泥の系で①なし、②模擬排水(全 COD_{Cr} 99 mg/L、溶解性 COD_{Cr} 54 mg/L)、③表面生物膜(全 COD_{Cr} 124 mg/L、溶解性 COD_{Cr} 31 mg/L)、表面生物膜の系で④なし(持ち込み基質あり、溶解性 COD_{Cr} 400 mg/L)とした。ここでの括弧内の COD_{Cr} は、フラン瓶に投入後の値である。温度は 20℃に設定した。

3. 結果と考察

(1) 連続処理実験

図 2 に (A) 排水、(B) 処理水の COD_{Cr} の経日変化を示す。運転開始当初、排水 COD_{Cr} が変化したため、変化が抑えられた 25 日目以降の排水 COD_{Cr} を平均すると、全成分、溶解成分で 981、610 mg/L となった。

運転は HRT 8 h で開始し、約 40 日で全成分、溶解成分が 40 mg/L 以下となり、スタートアップが完了した。それ以降 HRT は 5~2 h の間で変動させた。

182 日目 (HRT 5 h) に、24 時間酸素供給を停止し、その影響を調べた。すると、処理水質は全成分、溶解成分で 311、172 mg/L にまで悪化した。溶解成分で 40 mg/L 程度まで回復するのに約 3 週間を要した。

245 日目に、排水がろ床以外の場所を流れたため、水質が悪化した。274 日目以降は回復した。

連続処理の結果、HRT 5、4 h において処理水質が安定した期間 (HRT 5 h: 196~239 日目、4 h: 295~383 日目) の BOD、COD_{Mn}、SS (データ不提示) を平均した。HRT 5 h では、BOD が全成分、溶解成分で 6、3 mg/L、COD_{Mn} が 23、20 mg/L、SS が 4 mg/L となった。HRT 4 h では、BOD が全成分、溶解成分で 30、8 mg/L、COD_{Mn} が 37、18 mg/L、SS が 34 mg/L となった。HRT 4 h は 5

h と比べて SS とそれに伴う固形性有機物の流出が増加した。HRT 5 h は全ての項目で、HRT 4 h は BOD、COD_{Mn} の全成分を除いた項目で岐阜県の代表的な規制値 (BOD 20 mg/L、COD_{Mn} 30 mg/L、SS 70 mg/L) を満たした。

この時の OLR は、HRT 5 h で 2.6 kgBOD/m³-sponge/day、4 h で 3.5 kgBOD/m³-sponge/day となる。HRT 5 h において担体充填率を 50% としたリアクター当たりの OLR は 1.3 kgBOD/m³-reactor/day であった。これは、標準活性汚泥法の 2~4 倍、酸素活性汚泥法と同程度であった。

(2) トレーサー試験

表 1 にトレーサー試験の結果を示す。106 日目の実 HRT は、理論的 HRT 2 h に対して 0.08 h と極端な短絡が発生していた。この時、ろ床のほぼ全体が厚さ 1 cm 程度の表面生物膜で覆われていた。173 日目は理論的 HRT 5 h に対して 3.0 h であった。この時、ろ床の上~中部が表面生物膜で覆われていた。172 日目も短絡が発生していたが、この日の処理水 COD_{Cr} は全成分、溶解成分で 49、41 mg/L と良好であった。実 HRT 3 h を用いて OLR を算出すると、4.2 kgBOD/m³-sponge/day、リアクター当たりでは 2.1 kgBOD/m³-reactor/day となった。これから Hi-DHS リアクターは、酸素活性汚泥法よりも高い OLR で運転できる可能性を示した。

(3) 酸素利用速度試験

表 2 に本研究と既報の DHS リアクター保持汚泥の OUR を示す。活性汚泥の系について述べる。①なしは 0.023 g-O₂/g-VSS/day であった。③表面生物膜は 0.043 g-O₂/g-VSS/day であり、②模擬排水の 0.075 g-O₂/g-VSS/day よりも低い値であった。③表面生物膜は、活性汚泥と表面生物膜中の微生物の両方が有機物分解しているが、模擬排水の方が OUR は高いことから、全 COD_{Cr} (固形性+溶解性) として表面生物膜は模擬排水より分解しにくいことが分かった。

表面生物膜は④なし (持ち込み基質あり) で 0.554 g-O₂/g-VSS/day となった。これと、既報の DHS リアクターが連続処理する排水を基質としていた OUR と比較する。大久保らの報告²⁾は、下水溶解成分、UASB 処理水溶解成分を基質とし、それぞれ 0.657、0.672 g-O₂/g-VSS/day であった。Tawfik らの報告³⁾は、UASB 処理水を基質とし、0.468 g-O₂/g-VSS/day であった。これらと表面生物膜の OUR は同程度であった。これから、表面生物膜は活性汚泥よりも高い OUR を持つが、酸素供給特有の値ではないと考えられる。表面生物膜は短絡の原因と考えられるが、OUR は比較的高い値であった。

4. まとめ

高濃度酸素を利用する Hi-DHS リアクターにより、豆腐工場模擬排水の連続処理を行い、HRT 5、4 h で規制値程度の処理水が得られた。ただし、理論的 HRT 5 h での実 HRT は 3 h と短絡が発生していた。実 HRT 3 h を用いて OLR を求めると、2.1 kgBOD/m³-reactor/day となり、酸素活性汚泥法を凌ぐポテンシャルを持つことが示された。また、表面生物膜は短絡の原因と考えら

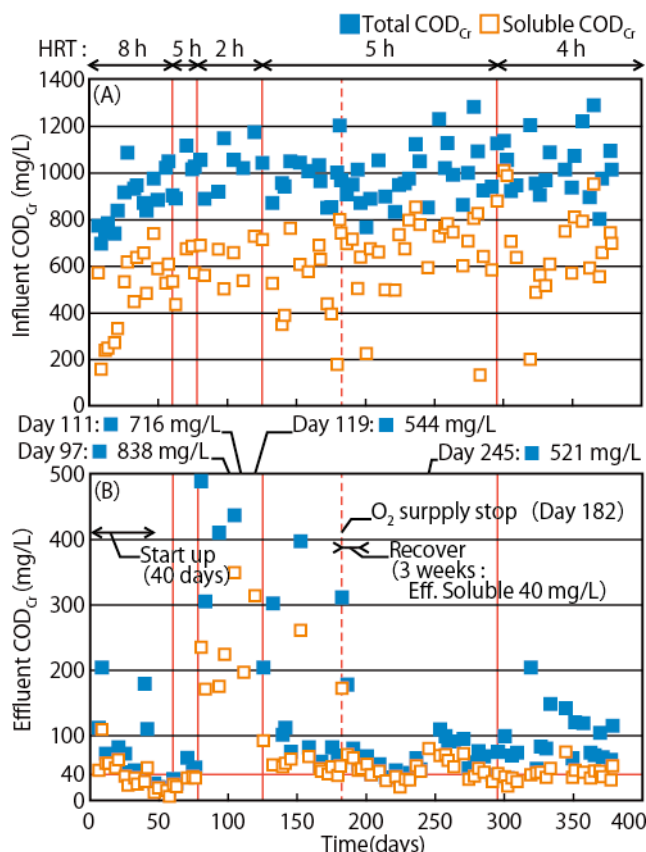


図 2 (A) 廃水、(B) 処理水の COD_{Cr} の経日変化

表 1 トレーサー試験の結果

Day	106	173
Theoretical HRT (h)	2.1	5.5
Actual HRT (h)	0.17	3.0
Actual/Theoretical	0.08	0.55

表 2 DHS リアクター保持汚泥の OUR

Sludge	Substrate	OLR (kgCOD/m ³ -sponge/day)	OUR (g-O ₂ /g-VSS/day)
ASP	①No substrate		0.023
	②Artificial soymilk wastewater	-	0.075
	③Hi-DHS Sludge at sponge surface		0.043
Hi-DHS at sponge surface	④No substrate (including soluble COD from sludge)	4.8	0.554
DHS ²⁾ (400/531 cm)	Filtered Sewage		0.657
	Filtered UASB Eff.	5.8	0.672
	DHS ³⁾ (88/350 cm)	1.6	0.468

れるが、OUR は活性汚泥よりもはるかに高く、既報の DHS リアクターと同程度で比較的高いレベルであった。

参考文献

- 1) 馬島孝治ら、第 49 回環境工学研究フォーラム講演集、pp.7-9、2012
- 2) 大久保努ら、土木学会論文集 G、Vol.66、No.3、pp.149-158、2010
- 3) A. Tawfik et al., Biochemical Engineering Journal, Vol.29, pp 210-219, 2006

謝辞：本研究の一部は、(公財) 鉄鋼環境基金の助成を受けて実施しました。ここに記して感謝いたします。