

B-16 中温UASB反応器と常温DHS反応器を組み合わせたフェノール含有廃水の連続処理特性

○高見 誠也¹・黒田 恭平²・山内 正仁³・久保田 健吾⁴
山口 隆司²・幡本 将史²・山田 真義^{3*}

¹国立高専機構鹿児島高専専攻科 建設工学専攻 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝1460-1)

²長岡技術科学大学 環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

³国立高専機構鹿児島高専 都市環境デザイン工学科 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝1460-1)

⁴東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

* E-mail: m-yamada@kagoshima-ct.ac.jp

1. はじめに

フェノールは生物に有害な物質であり、石油化学系工場やプラスチック工場などから排出される¹⁾。フェノールは化学物質排出移動量届出制度の対象であるため、環境中に排出する前にフェノールを無害化する必要がある²⁾。フェノール含有廃水は希釈後、活性汚泥法を用いて処理を行う場合が多いが、運転管理に必要なエネルギーの消費や余剰汚泥の発生などを考慮すると、より効率的な処理方法の開発が必要不可欠である。

これまで、嫌気性廃水処理システムを用いたフェノール含有廃水処理の試みが行われている¹⁾。嫌気性廃水処理法では、余剰汚泥が少ない、メタンガスとしてエネルギー回収可能であるなどの利点がある。特に嫌気環境下では、段階的に関与する複合微生物群の相互作用が重要であるために、最適な運転管理の条件を確立する必要がある。加えて、嫌気性廃水処理法では放流基準を満たすための十分な処理水質を得ることは難しく、後段処理が必要となる。そこで本研究では、上昇流嫌気性スラッジブランケット (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket: UASB, 以下UASBとする。) 反応器と無曝気・省エネルギー型の下降流懸垂型スポンジ (Down-flow Hanging Sponge: DHS, 以下DHSとする。) 反応器を組み合わせたシステムを用いて高濃度フェノール含有廃水の連続処理を行い、本システムの運転管理に関する基礎的知見を収集することを目的とした。

2. 実験装置と分析方法

(1) UASB-DHSシステム

UASB-DHSシステムの概略図を図1に示す。それぞれの反応器の液容積は、UASB反応器が11 L、DHS反応器が44 L (内スポンジ容積が20.8 L) とした。UASB反応器及びDHS反応器は各々35℃の中温条件及び無加温 (常温) 条件で運転を行った。

(2) 運転条件

本研究では、フェノール (和光純薬工業 (株) 製、和光一級) を、水道水で適度に希釈した人工模擬廃水を用

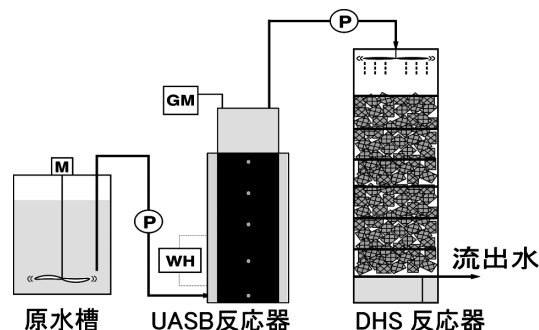


図1 UASB-DHSシステムの概略図

表1 UASB-DHSシステムの運転条件

Phase	運転期間 (days)	COD inf. (mgCOD/L)	Phenol inf. (mgCOD/L)	OLR (kgCOD/m ³ /d)		HRT (hour)	
				UASB	UASB-DHS	UASB	UASB-DHS
1	1-135	4,000	1,700	8.0	2.8	34.7	12.0
2	136-172	4,000	1,700	2.5	0.9	109	37.7
3	173-184	4,000	1,700	5.0	1.8	54.5	18.9
4	185-198	4,000	1,700	8.0	2.8	34.7	12.0
5	199-245	4,000	1,700	2.5	0.9	109	37.7
6	246-313	2,000	850	8.0	2.8	17.3	6.0
7	314-326	2,000	850	1.9	0.7	72.7	25.1
8	327-478	1,000	425	2.0	0.7	34.7	12.0

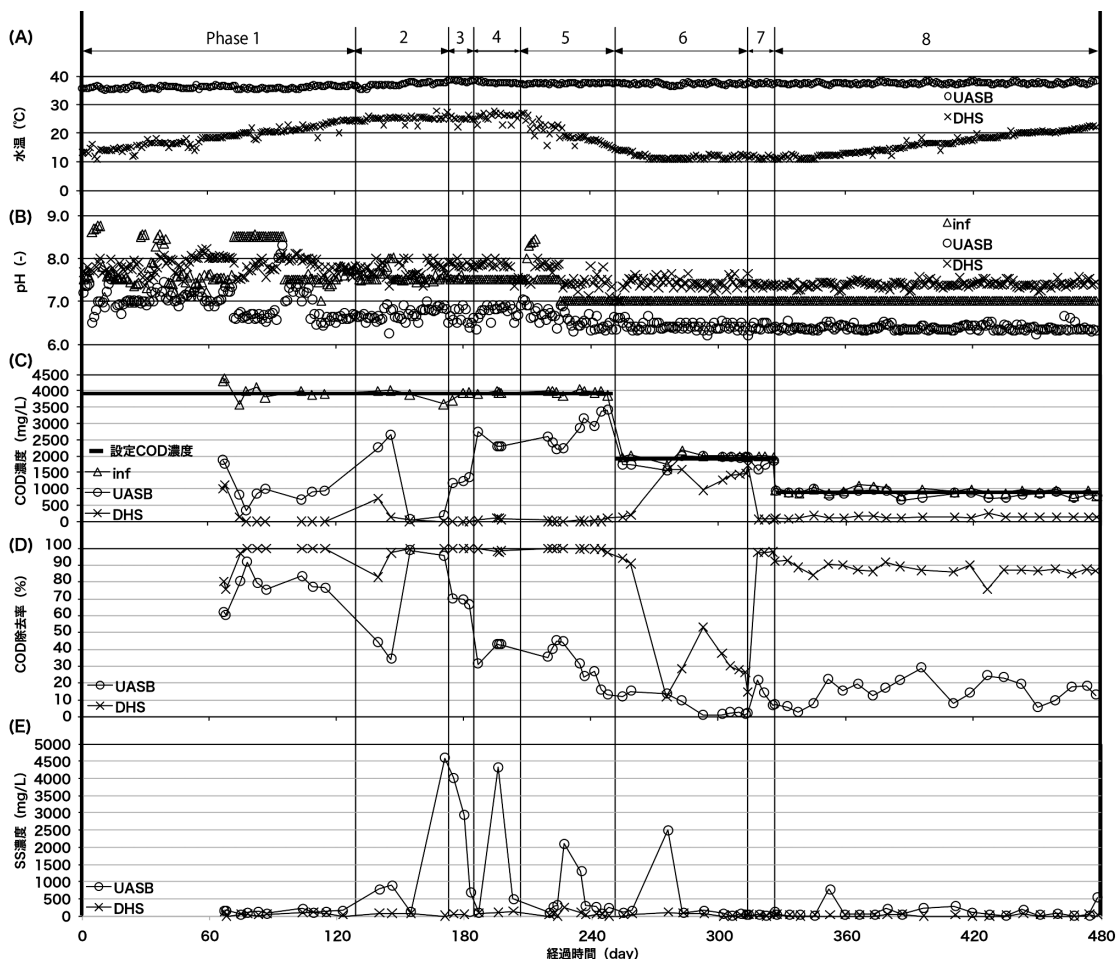


図2 UASB-DHSシステムの連続処理実験結果

(A) 反応器内温度, (B) pH, (C) COD濃度, (D) COD除去率, (E) SS濃度

い、栄養源として無機塩類及び微量金属を添加した。表1はUASB-DHSシステムの運転条件を示す。478日間の連続処理実験では、流入COD濃度およびHRTを変更することでCOD容積負荷（Organic Loading Rate：OLR、以下OLRとする。）を1.9-8.0 kgCOD/m³/dayに設定し実験を行った。

(3) 分析方法

分析項目は、水温、pH、COD_{Cr}（以下CODとする。）、フェノール濃度、SS、VSSについて行った。原水及びUASB、DHS処理水の溶解性試料は、ガラス繊維濾紙（ADVANTEC、GB140）でろ過したものを測定試料とした。分析頻度は、水温、pHについては、ほぼ毎日行い、COD、フェノール濃度、SS、VSSについては、概ね週に一度とした。水温及びpHは、ポータブルpH計（TOA-DKK、HM-21P）で測定した。CODは重ク

ロム酸カリウムによる酸素要求量（HACH社、DR4000U吸光度計）で測定した。フェノール濃度及び発生バイオガス組成は各々FID型ガスクロマトグラフ（Shimadzu、GC-14B）、TCD型ガスクロマトグラフ（Shimadzu、GC-8A）により測定した。SS及びVSSは、下水試験方法に準拠し測定した³⁾。

3. 実験結果及び考察

図2は478日間に及ぶUASB-DHSシステムの連続処理実験結果を示す。Phase1の運転1-67日目までは校舎改修に伴い分析を行うことができなかったが、運転68-135日目の期間において、UASB反応器のOLR 8.0 kgCOD/m³/day（流入COD濃度：4,000 mgCOD/L）におけるCOD除去率はUASB反応器で76±10%、全体として95±10%を示した

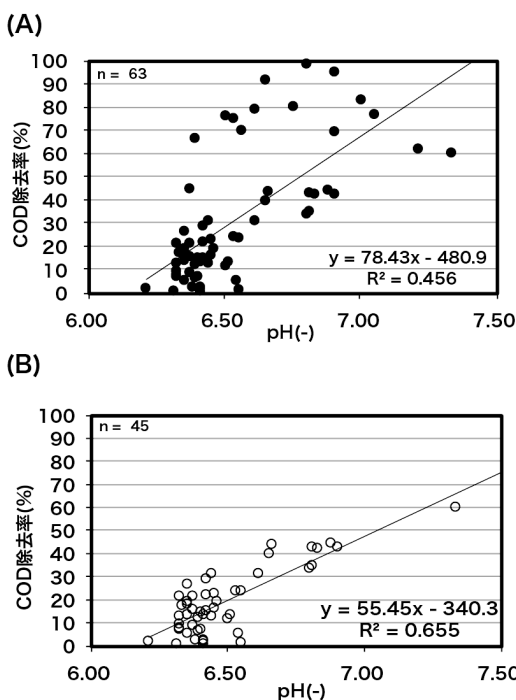


図3 UASB反応器におけるCOD除去率とpHの関係

(A) 全COD除去率, (B) COD除去率60%以下

(図2C, D)．運転136日目(Phase2)には, UASB反応器内のグラニュー汚泥の浮上及び肥大化現象が顕著となり, 汚泥の反応器外への流出が懸念されたため, 人為的に汚泥を反応器内から引き抜く作業を行い, OLRを1/3程度まで落として実験を行ったが, UASB反応器のCOD除去率が40%以下まで低下した(図2C, D)．そこで, 150日目には保管していた引き抜き汚泥を粉砕しUASB反応器内に再投入した．Phase1と比較して低負荷運転(2.5 kgCOD/m³/day)だったことから, UASB反応器のCOD除去率も約100%に達した．そこで, Phase3からPhase4にかけてHRTを短縮し, OLRを5.0-8.0 kgCOD/m³/dayに設定して運転を行った．その結果, UASB反応器外に保持汚泥が3,000-4,000 mgSS/Lと高濃度で流出し, UASB反応器のCOD除去率はPhase3で69±2%, Phase4で40±6%と著しく低下した(図2C, D, E)．そのため, 運転199日目(Phase5)からはHRTを長くすることでOLRを2.5 kgCOD/m³/dayに設定し運転を行った．しかしながら, UASB反応器外への突発的な汚泥の流出が再び起こり(約1,400-2,000 mgSS/L), COD除去率も約10%まで低下した(図2C, D, E)．Phase6(運転246-313日目)では, 流入COD濃度を2,000 mgCOD/Lまで下げ, HRTを短くして運転を行ったが, UASB反応器によるCODの除去が行われなくなった．加えて, HRTの短縮およびUASB反応器からの汚泥の流出(運転276日目: 2,500

mgSS/L)に伴いDHS反応器の有機物除去能も低下し, システム全体としてのCOD除去率が10-50%と著しく低下した．Phase7-8では, HRTを長く保ち, 流出COD濃度を1,000-2,000 mgCOD/Lに設定し本システムのフェノール除去能の回復を試みた．Phase7-8にかけて, システム全体としてのCOD除去率は89±5%と一定の値を示したが, UASB反応器のCOD除去率は依然15±7%と低い値を示した(図2C, D)．

図3はPhase1-8の期間にけるUASB流出水のpHとUASB反応器におけるCOD除去率の関係を示す．全COD除去率に対するpHの関係には弱い相関がみられ($r^2=0.456$), 60%以下のCOD除去率では比較的強い相関がみられた($r^2=0.655$)．加えて, UASB反応器のCOD除去率76±10%を示したPhase1では6.96±0.34, COD除去率が著しく低下したPhase6-8では6.39±0.08とPhase1と比較して低い値を示した(図2B)．中温条件, 嫌気的环境下でフェノールを分解する微生物として知られている*Syntrophorhabdus*の生育pHは6.6-7.4(至適pH 7.0)であり^{4),5)}, このUASB反応器内のpHの低下がUASBグラニュー構成微生物群のフェノール除去能を低下させた可能性が考えられた．

4. おわりに

本研究では, フェノール含有廃水を対象としてUASB-DHSシステムによる478日間の連続処理実験を行った．流入COD濃度4,000 mgCOD/L, OLR 8.0 kgCOD/m³/dayの条件において, COD除去率はUASB反応器で76±10%, 全体として95±10%を示した．一方で, UASB反応器からの保持汚泥の流出, 短いHRT, UASB反応器内のpHの低下により, UASB反応器およびDHS反応器のCODの除去性能が低下した．本システムの安定的な運転管理を達成するためには, 上記要因を制御することが重要であると考えられた．

参考文献

- 1) Veeresh *et al.*, Treatment of phenol and cresols in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process: a review, *Water Res.*, 39, pp.154-170, 2005.
- 2) 独立行政法人製品評価技術基盤機構ホームページ (http://www.prt.nite.go.jp/prt/new_class1.html)
- 3) 日本下水道協会: 下水試験方法(上巻), 1997.
- 4) Qiu *et al.*, *Syntrophorhabdus aromaticivorans* gen. nov., sp. nov., the first cultured anaerobe capable of degrading phenol to acetate in obligate syntrophic associations with a hydrogenotrophic methanogen, *Appl Environ Microbiol.*, 74(7), 2051-2058, 2008.
- 5) Nobu *et al.*, The genome of *Syntrophorhabdus aromaticivorans* strain UI provides new insights for syntrophic aromatic compound metabolism and electron flow, *Environ Microbiol.*, 2014. doi: 10.1111/1462-2920.12444.