

嫌気性 DHS リアクターを用いた煮汁廃液の処理及び余剰汚泥削減に関する研究 Study on Treatment and Sludge Reduction of Wastewater in an Anaerobic DHS Reactor

稲井 宏樹

宮本早葵

藤田 久雄*

小島 俊男

串田光祥

Hiroki INAI

Saki MIYAMOTO

Hisao FUJITA

Toshio KOJIMA

Mitsuyoshi KUSHIDA

要 旨

香川県小豆島地域の佃煮工場における製造工程から発生する煮汁廃液の濃度は TOC 約 17 万 mg/L, BOD 約 26 万 mg/L と非常に高く、工場における原水有機性汚濁負荷量の多くを占めており、多量の余剰汚泥の発生が問題となっている。このため、原水負荷量及び余剰汚泥の削減を目的として、煮汁廃液について嫌気性 DHS 法の検討を行った。その結果、装置温度 35°C での嫌気性 DHS リアクターにおける TOC 除去率 43%, BOD 除去率 31% であり、TOC 比で処理水中の約 47% の炭素が有機酸にまで分解するとともに、原水 TOC の 22% がガス化、28% が有機酸化した。

また、処理水を用いて回分式活性汚泥実験を実施した結果、煮汁廃液を直接活性汚泥処理した場合の汚泥変換率は約 77% であったのに対し、嫌気性 DHS リアクター処理水の汚泥変換率は約 52% と低く、トータルシステムとしての嫌気性 DHS リアクターの余剰汚泥削減効果は約 50% であった。

キーワード：嫌気性 DHS 佃煮 煮汁廃液 余剰汚泥

I はじめに

小豆島地域の佃煮製造業を対象としたこれまでの研究結果¹⁾から、製造工程から発生する煮汁廃液の濃度は TOC 約 17 万 mg/L, BOD 約 26 万 mg/L と非常に高く、工場における原水有機性汚濁負荷量の多くを占めていることが明らかとなっており、多量の余剰汚泥の発生が問題となっている。この煮汁廃液の別途処理等が可能であれば、原水負荷量及び発生する余剰汚泥の大幅な削減に繋がることが考えられる。

そこで、煮汁廃液の前処理設備として、嫌気性 DHS (Down-flow Hanging Sponge) 法^{2), 3)}の検討を行った。嫌気性 DHS 法は、煮汁廃液中の有機物をリアクターでガス化することで TOC 及び BOD を除去し、さらに基質の有機酸化(低分子化)に伴って、後段の活性汚泥処理での汚泥変換率を低減させることで余剰汚泥の発生量を削減するものである。嫌気性 DHS リアクターによる煮汁廃液の処理実験を行い、処理特性を把握し評価するとともに、嫌気性 DHS リアクター処理水を用いて回分式活性汚泥実験を実施することにより、トータルシステムとしての嫌気性 DHS リアクターの余剰汚泥削減効果について評価したので報告する。

II 方法

1 嫌気性 DHS リアクター

嫌気性 DHS リアクター(図1)は微生物保持担体にスポンジを用いた曝気不要の処理装置であり、原水はリアクター上部より滴下され、嫌気性微生物が付着したスポンジ担体(写真1)を通過することで処理される。リアクターには、調整槽から処理水を流入部へ循環させるラインを設け、内部温度を調節するために外側に熱交換チューブを巻き温水を循環させた。また、生成ガス回収口を上部に設置し、送液ポンプはペリスタリックポンプを使用した。



写真1 スポンジ担体

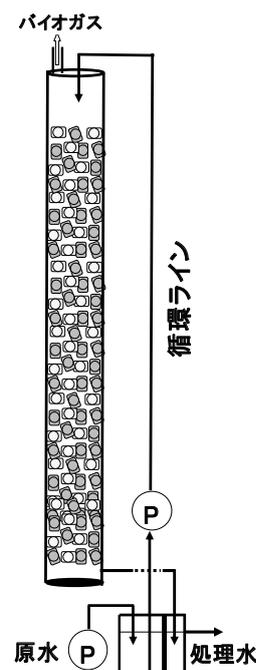


図1 嫌気性 DHS リアクターの概要

* 香川県水道局

嫌気性 DHS リアクターのサイズ及び使用担体について、表 1 に示す。装置内径 152mm、高さ 1,000mm(充填長 780mm)、容量 14.1L であり、材料は塩化ビニルパイプを用いた。使用担体は、直径 28mm、高さ 35mm のプラスチックネットリングにはめ込んだスポンジを用い、担体 240 個をランダムに充填(充填容量 5.2L、充填率 37%)した。

表 1 嫌気性 DHS リアクターのサイズ

項目	単位	サイズ
嫌気性 DHSリアクター	実容量	L 14.1
	内径	mm 152
	高さ(充填長)	mm 1000(780)
スポンジ担体	充填容量	L 5.2
	充填率	% 37
	直径	mm 28
	高さ	mm 35
個数	個 240	

2 供給原水

佃煮工場から提供を受けた煮汁廃液の性状分析結果を表 2 に示す。TOC 約 17 万 mg/L、BOD 約 26 万 mg/L と非常に高濃度の有機性廃液であり、これを水道水で約 20 倍に希釈し、pH 調整のための NaHCO₃ (1,500mg/L、69 日目以降)を添加して供給原水として用いた。

表 2 煮汁廃液の性状分析結果

項目	単位	分析値
pH(100倍希釈)	-	5.4
TOC	mg/L	166,000
BOD ₅	mg/L	262,000
COD _{Mn}	mg/L	245,000
SS	mg/L	2,100
T-N	mg/L	8,200
T-P	mg/L	910
NaCl	mg/L	82,000
含水率	%	51
強熱減量	%	40
比重	-	1.27

3 回分式活性汚泥実験による余剰汚泥発生量の比較

回分式活性汚泥実験により、煮汁廃液を直接活性汚泥処理した系と、嫌気性 DHS リアクター処理後に活性汚泥処理した系の余剰汚泥発生量を比較するとともに、原水 BOD 負荷量と MLSS 増加量から汚泥変換率 (MLSS 増加量/BOD 負荷量) を求めた。

III 結果及び考察

1 嫌気性 DHS リアクターによる煮汁廃液の処理

(1) 運転状況

分散した UASB グラニュール汚泥を植種して装置を立ち上げ、馴養運転後、流入量:循環量=1:4の条件で運転した。また、試験期間中、定期的に処理水質及びガス発生量を調査した。嫌気性 DHS リアクターの運転状況を図 2 に示す。リアクター内温度を約 35°C に維持し、段階的に容積負荷を上げ、試験開始 82 日目からは煮汁廃液を約 20 倍に希釈したものを原水として高負荷運転を開始し、154 日目には TOC 容積負荷 12.2kg/m³・d、BOD 容積負荷 17.8kg/m³・d (TOC 9,270mg/L、BOD 13,500mg/L、18.6L/d) で運転した。この時の装置滞留時間(HRT)は 18 時間(スポンジ容積計算で 6.7 時間)であった。

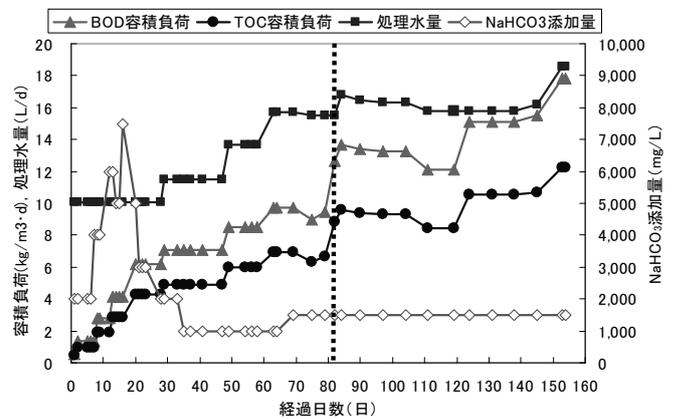


図 2 嫌気性 DHS リアクターの運転状況

(2) 有機酸及び pH の推移

処理水中の有機酸及び pH の推移を図 3 に示す。82 日目以降、容積負荷の増大とともに酪酸及び全有機酸が増加し、pH は 5.0 から 4.5 付近にまで低下した。

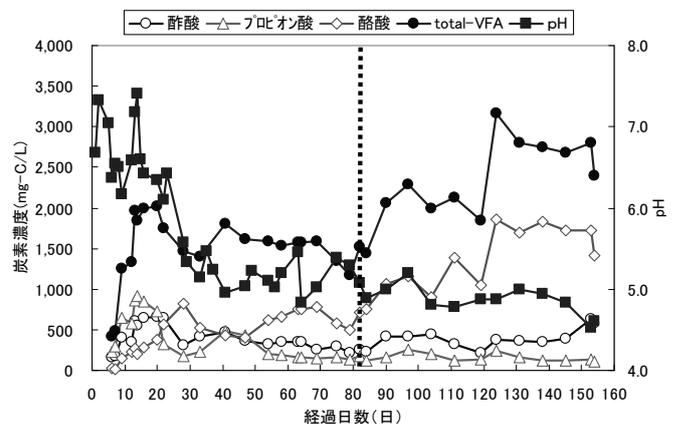


図 3 処理水中の有機酸及び pH の推移

(3) 処理結果

高負荷運転を開始した82日目以降の嫌気性DHSリアクターによる煮汁廃液の処理結果を表3に示す。処理能力は、TOC除去率43%、BOD除去率31%程度であり、SSについては数値が約10倍になるなどリアクター単独での排水処理には除去率が不十分であった。しかしながら、処理水中のTOC(4,880mg/L)に対するT-VFA(2,300mg-C/L)の割合から、処理水中の約47%の炭素有機酸まで分解しており、嫌気性DHSリアクターの後段にUASB法などの嫌気性処理又は活性汚泥法などの好気性処理を付加させることで、容易に有機物の除去が可能であると考えられる。

表3 嫌気性DHSリアクターによる煮汁廃液の処理結果

項目	原水(20倍希釈)		処理水		除去率 (%)
	平均	最小 ~ 最大	平均	最小 ~ 最大	
pH (-)	5.4	-	4.88	4.52 ~ 5.20	-
TOC (mg/L)	8,570	7,520 ~ 9,390	4,880	3,670 ~ 6,170	43
BOD ₅ (mg/L)	12,300	10,800 ~ 13,500	8,530	6,670 ~ 10,650	31
SS (mg/L)	59	50 ~ 81	630	410 ~ 1,040	(▲970)
T-N (mg/L)	460	390 ~ 480	310	220 ~ 400	33
T-P (mg/L)	47	42 ~ 53	24	12 ~ 44	49
T-VFA (mg-C/L)	-	-	2,300	1,440 ~ 3,160	-

※82~154日目の平均、TOC容積負荷10kg/m³・d、BOD容積負荷14kg/m³・d、HRT21hrs(スポンジ容積計算7.6hrs)

(4) 嫌気性DHSリアクターの処理特性評価

嫌気性DHSリアクターの処理特性を把握し、評価するため、原水投入TOC量を100%として、TOC除去率、ガス発生量、処理水中有機酸量から、有機炭素の変化割合(TOCマスバランス)を計算した(図4)。なお、ガス発生量の計算には処理水中に溶解しているガス(主に炭酸ガス)は考慮せず、捕集したガス量及び濃度を用いた。

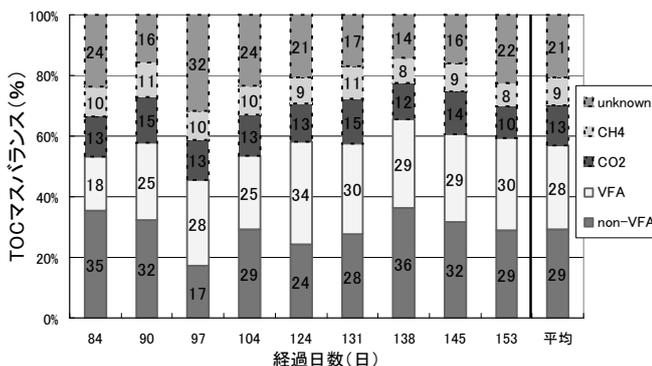


図4 有機炭素の変化割合 (TOC マスバランス)

装置温度 35°Cにおいて、平均して投入原水 TOC の 22% (CH₄9%, CO₂13%) がガス化, 28%が有機酸化し, 29%が非有機酸として処理水中に残存していた。計算上, 未知部分(図4中 unknown)が21%あるが, これは, 今回実験に用いたリアクターにおいて目視上, 処理水と比較して循環ラインの水質は微細な SS 成分を含んでいたことから, 一部は菌体増殖に利用され, スポンジ担体から剥離することにより SS 増加に繋がっていることが主な要因として推測される。

2 回分式活性汚泥実験による余剰汚泥発生量の比較

(1) 回分式活性汚泥実験

実験条件を表4に示す。煮汁廃液を希釈した系(1GEN及び2GEN)及び嫌気性DHSリアクター処理水を希釈した系(3DHS及び4DHS)を調製し, 7日間の回分式活性汚泥実験を行った(写真2)。2Lメスシリンダー(有効容積1.9L)をバッキ槽として用い, 佃煮工場排水処理施設の活性汚泥を用いて初期MLSSを3,100mg/Lに設定し, 4系列に対して, 1日1回, 静置後の上澄液700mlを原水と入れ替えることでBOD負荷を与え, 負荷に伴うMLSS増加量を測定することで余剰汚泥発生量を推定し, 原水BOD負荷量とMLSS増加量から汚泥変換率(MLSS増加量/BOD負荷量)を求めた。

表4 回分式活性汚泥実験条件

バッキ槽	2Lメスシリンダー				
有効容積	1.9L				
活性汚泥	佃煮工場排水処理施設の活性汚泥				
バッキ量	0.5L/mim				
原水負荷	1日1回静置後、上澄液700mlを入れ替える				
水温	24~28°C				
系列	-	1GEN	2GEN	3DHS	4DHS
初期MLSS	mg/L	3100	3100	3100	3100
原水BOD(計算値)	mg/L	1643	2464	1167	1751
水量	mL/d	700	700	700	700
BOD負荷量	g/d	1.15	1.73	0.82	1.23
BOD容積負荷量	kg/m ³ ・d	0.61	0.91	0.43	0.65
F/M (=BOD/MLSS)	-	0.20	0.29	0.14	0.21

注)原水は、煮汁廃液(BOD11,500mg/L)又はDHS処理水(BOD8,170mg/L)100ml~150mlを、700mlに希釈して調製した。

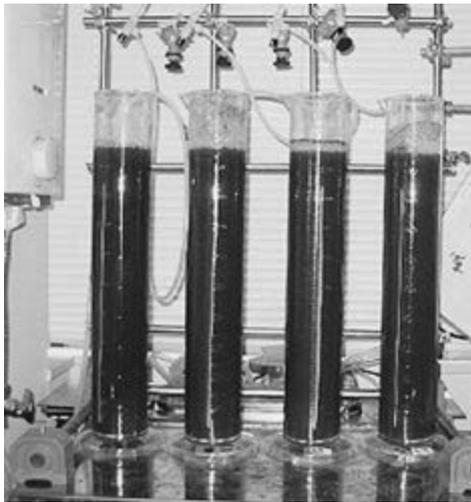


写真2 回分式活性汚泥実験の様子

(2) 回分式活性汚泥実験結果

回分式活性汚泥実験の結果を図5に示す。煮汁廃液を希釈した系(1GEN及び2GEN)におけるバッキ槽のMLSS増加量に対し、嫌気性DHSリアクター処理水を希釈した系(3DHS及び4DHS)はMLSS増加量が低く、原水希釈率が同じである1GENと3DHS(又は2GENと4DHS)とを比較した場合のMLSS増加量の比は約50%であった。この結果から、嫌気性DHSリアクターの効果により余剰汚泥は約50%削減されると考えられる。また、BOD負荷量がほぼ同じである1GENと4DHSを比較すると、7日目における1GENのMLSS増加量が約3,200mg/Lなのに対し、4DHSのMLSS増加量が約2,400mg/Lであることから、DHS処理水の系列は汚泥発生率が25%程度低かった。

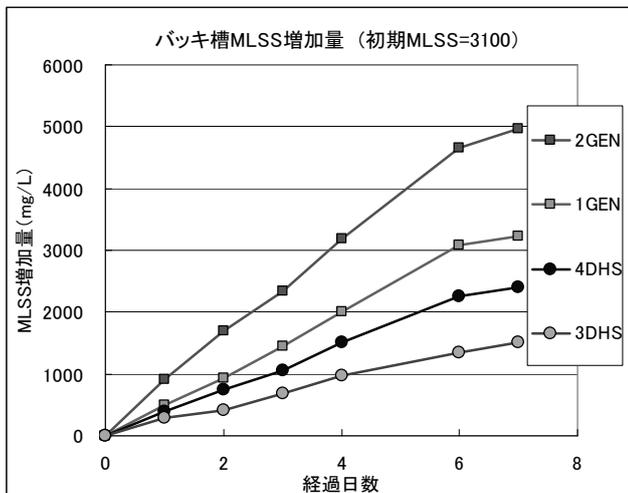


図5 原水及びDHS処理水のMLSS増加量

(3) 余剰汚泥削減効果

それぞれの系列について累計BOD負荷量とMLSS増加量から汚泥変換率を求めたところ、7日目の煮汁廃液の系列(1GEN及び2GEN)の汚泥変換率が約77%なのに対し、DHS処理水の系列(3DHS及び4DHS)の汚泥変換率は約52%であった(図6)。

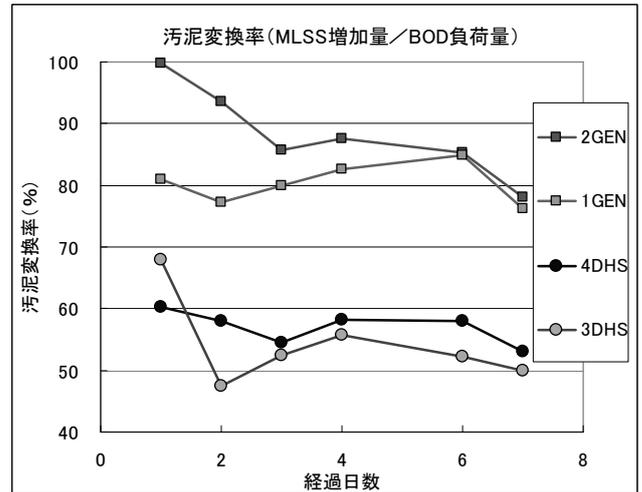


図6 汚泥変換率

これらの回分式活性汚泥実験の結果から、嫌気性DHSリアクターによる処理水は煮汁を直接処理する場合と比較して汚泥変換率が低く、嫌気性DHSリアクターにおけるBOD除去率を含めたトータルシステムとしての余剰汚泥削減効果は約50%であった。

IV まとめ

- 1 試作した嫌気性DHSリアクターを用いて煮汁廃液の処理を実施した。装置温度35°Cでの嫌気性DHSリアクターにおけるTOC除去率43%、BOD除去率31%であり、TOC比で処理水中の約47%の炭素が有機酸にまで分解するとともに、原水TOCの22%がガス化、28%が有機酸化した。
- 2 回分式活性汚泥実験を実施した結果、煮汁廃液を直接活性汚泥処理した場合の汚泥変換率は約77%であったのに対し、嫌気性DHSリアクター処理水の汚泥変換率は約52%と低く、リアクターにおける除去率を含めたトータルシステムとしての嫌気性DHSリアクターの余剰汚泥削減効果は約50%であった。

今後は、嫌気性DHSリアクターについて無加温で運転する等のより実用的な運転条件において検討を行う予定

である。また、モデルとなる佃煮工場の排水処理を実験室レベルにスケールダウンして連続活性汚泥試験を実施するとともに、嫌気性DHSリアクターによる余剰汚泥削減効果を算出し、余剰汚泥削減による処理コストの低減及び環境負荷の低減について評価する予定である。

文献

1) 藤田久雄ほか：佃煮製造業を対象とした産業廃棄物

の減量化のための実態調査結果について、香川県環境保健研究センター所報, 8, 135-137(2009)

2) 多川正：嫌気性微生物を活用した難分解性廃水処理技術の開発, 高松工業高等専門学校研究紀要, 43, 29-33(2008)

3) 多川正ほか：嫌気性DHSリアクターによる食品・化学系廃水処理への適応性評価, 第45回日本水環境学会年会講演集, 396(2011)

Abstract

The concentration of wastewater generated from the broth produced at the tsukudani factory on Shodoshima Island was found to be extremely high, with TOC values of about 170,000mg/L and BOD values of about 260,000mg/L. This wastewater comprises most of the raw water organic sediment pollution load from the factory, and the discharge of this large quantity of waste sludge is creating a problem for the environment. Therefore, we examined an anaerobic DHS method for reducing the amount of the raw water load and waste sludge from the factory. As a result, we found that by setting the anaerobic DHS reactor to 35°C, we were able to remove 43% of the TOC and 31% of the BOD. Concerning the TOC ratio, about 47% of the carbon in the treated water decomposed into organic acid, and 22% of the raw water's TOC gasified with another 28% becoming organic acid. As a result of the sequencing batch test on the treated water, the sludge conversion ratio of the wastewater directly before treatment was 77%, and the rate for the water treated in the anaerobic DHS reactor was a low 52%, giving a total system sludge conversion of about 50%.