＜報　　文＞

佃煮製造工場における嫌気性DHSリアクターを用いた余剰汚泥削減に関する実証試験*

高橋政友[1*]・三好益美[2*]・小島俊男[1*]
串田光祥[1*]・多川　正[3*]・中尾　均[4*]
槙納由香利[4*]

キーワード　①活性汚泥法　②嫌気性DHSリアクター　③佃煮　④煮汁廃液　⑤余剰汚泥

要　　旨

余剰汚泥の削減を目的として，2012年4月から香川県小豆島地域の佃煮製造工場において，嫌気性DHSリアクターを試験的に導入し，実規模レベルでの検討を進めている。DHS処理水温度が30℃を超える夏季には前年度と比較して約5割の削減効果が得られた一方で，処理水温度の低い冬季では余剰汚泥削減効果は確認できなかった。これは，DHS処理効果と同様の挙動を示していることから，DHSの温度を嫌気性分解が活発に行われる温度条件に保ち有機物分解を促進することで，年間を通じた余剰汚泥の削減につながると考えられた。

1. はじめに

食品工場における排水・廃棄物の処理において，現在，一般的に行われている有機性排水処理技術の一つである活性汚泥法は，比較的良好な処理効果が得られるものの莫大なエネルギーの消費，大量の余剰汚泥の発生という問題点がある。とくに残渣として発生する大量の余剰汚泥は，通常脱水処理された後，産業廃棄物として焼却・埋立て処分されている。このため，排水・廃棄物の処理過程における消費エネルギーと，最終処分する廃棄物を最小にすることが重要な課題となっている。さらに，循環型社会の形成に向けた取組みにおいて，廃棄物の発生を抑制することがもっとも優先順位が高いことから，発生した余剰汚泥を処理・処分するのではなく，発生自体を抑制(削減)する技術を開発することが重要となる。

香川県小豆島(しょうどしま)地域の佃煮製造工場においても，製造工程で発生する煮汁廃液の処理方法として活性汚泥法が広く普及しており，処理に伴い発生する大量の余剰汚泥が問題となっている[1)]。当セン

*Field Experiment Regarding the Reduction of Excess Sludge by an Anaerobic DHS Reactor at a *Tsukudani* Factory

[1]*Masatomo TAKAHASHI, Toshio KOJIMA, Mitsuyoshi KUSHIDA（香川県環境保健研究センター）Kagawa Prefectural Research Institute for Environmental Sciences and Public Health
[2]*Masumi MIYOSHI（香川県小豆総合事務所）Shozu Regional Office, Kagawa Prefectural Government
[3]*Tadashi TAGAWA（香川高等専門学校建設環境工学科）Dept. of Civil Engineering, Kagawa National College of Technology
[4]*Hitoshi NAKAO, Yukari MAKINO（㈱アクト）ACT Co. Ltd.

ターではこれまで，マイクロ波照射による汚泥の再基質化法の検討[2]，煮汁廃液の嫌気性処理法の検討[3,4]を行ってきた。その中でもとくに，酸素のない嫌気性環境下で生育する嫌気性微生物の代謝作用により，有機物をメタンガスや炭酸ガスに分解する生物処理法である嫌気性処理法を適用した嫌気性 DHS（Down-flow Hanging Sponge）リアクター（以下，DHS）と，活性汚泥法を組み合わせた排水処理システムを試作し，ラボレベルでの余剰汚泥削減効果について検証したところ，約 4 割の余剰汚泥削減効果を確認した[5]。この結果を受けて，2012年 4 月から小豆島地域の佃煮製造業者であるタケサンフーズ㈱において，DHS を試験的に導入し実規模レベルでの余剰汚泥削減効果について検討を進めている[6]。本報告では，試験を開始してから2013年 3 月までの約 1 年間の排水処理実態および余剰汚泥削減効果について報告する。

2. 嫌気性 DHS リアクターの原理[7]

嫌気性 DHS リアクターの構造を**図 1** に示す。DHS は，反応器内にスポンジ担体（3 cmφ × 3 cmH，プラスチックリング付）を充填したものである。初期に投入する嫌気性種汚泥はこの充填されたスポンジ担体表面および内部において高濃度に保持される。一部の嫌気性微生物は剥離して DHS 下部に流出されるが，嫌気性処理水は再び原排水と混合・希釈され，DHS 上部より再び循環される。この循環システムにより，増殖速度の遅い嫌気性微生物の流出を最小限に抑えることが可能である。また，UASB（Upflow Anaerobic Sludge Blanket）法と異なりグラニュール化が不要であるため，初期立上げ期の微生物の選択的培養を考慮せずに，大量・多種の嫌気性微生物の保持が可能である。植種汚泥も UASB 法の場合，グラニュール汚泥に限られているが，DHS は植種汚泥の状態には制限がないため，土壌や有機性肥料などの懸濁液を供給することが可能である。以上のような特徴より，DHS の構造は非常に単純で薬液タンクや既設タンクなどを改良することで対応でき，また UASB 法のようなグラニュール汚泥の管理（リアクター保持量や形態など）がまったく不要であるため，小規模から適応可能でイニシャルコストを低減することが可能である。また DHS は，活性汚泥法の約半分の 3 時間程度といった短い水理学的滞留時間でもスポンジ担体に付着した嫌気性微生物は流出せず，易分解性の有機物を除去し，酸生成装置として機能することも可能であることが判明している[8]。この特性は，既設の活性汚泥処理の前に DHS を導入することで，有機物の除去と汚泥転換率の高い糖分を加水分解・酸生成することができ，後段の活性汚泥の余剰汚泥発生量を低減することが可能であることを示唆している。

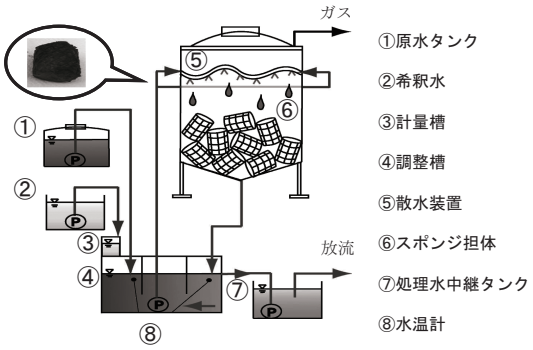

図 1　嫌気性 DHS リアクターの構造

3. 実 験 方 法

3.1　煮汁廃液の性状

煮汁廃液の性状分析結果を**表 1** に示す。

3.2　実証試験の概要

実証試験の概要を**図 2** に示す。導入した DHS は容量 5 m^3，直径1.89 m，高さ2.35 m のポリエチレン製である。DHS 内部には，3 cmφ × 3

表 1　煮汁廃液の性状分析結果

項目		分析値
pH	(-)	4.5
TOC	(mg/L)	186,000
CODcr	(mg/L)	551,000
SS	(mg/L)	5,800
T-N	(mg/L)	6,000
T-P	(mg/L)	1,200
T-VFA	(mg-C/L)	7,000
乳酸	(mg-C/L)	3,900
NaCl	(mg/L)	82,000
含水率	(%)	51
強熱減量	(%)	40
比重	-	1.27

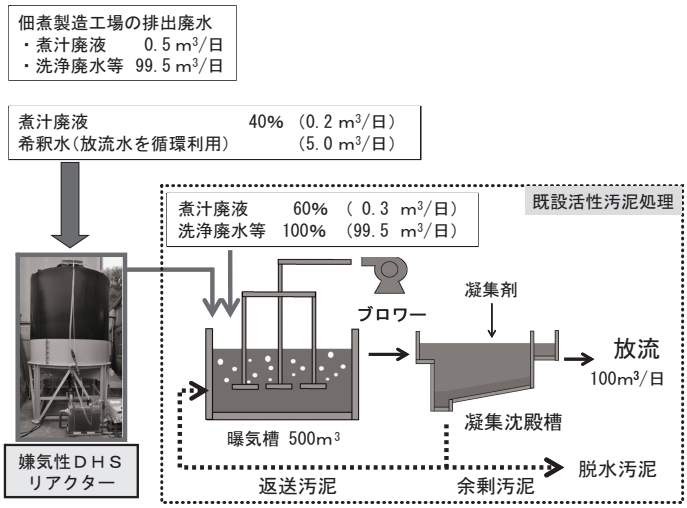

図 2 実証試験の概要

cmH のスポンジ担体を 3 m^3，ランダムに充填した。供給原水には佃煮製造工程で発生する煮汁廃液(500L/日)の一部(20L/日～200L/日)を用い，残りは活性汚泥槽に導水した。DHS に供給する煮汁廃液は原水タンクにて一時的に外気温下保存し，ポンプにより調整槽に移送した。調整槽に移送した煮汁廃液は，DHS からの循環水および既設の活性汚泥処理後の放流水(5 m^3/日)と混合・希釈し，DHS 上部より供給した。DHS からの流出水は調整槽に流入し，一部は DHS 処理水として後段の活性汚泥槽に送り(5.2m^3/日)，残りは循環水とした(115m^3/日)。DHS の植種汚泥には UASB グラニュール汚泥を使用した。汚泥を植種し馴養運転後，煮汁廃液処理量を20L/日～200L/日に段階的に増加させた。なお，本試験では DHS の温度制御および pH 制御なしの条件で運転した。

4. 結果および考察

4.1 DHS の運転状況

DHS の TOC および CODcr 容積負荷および煮汁廃液処理量の経日変化を**図 3** に示す。試験開始から TOC 容積負荷量を段階的に上げ，運転日数217 日で TOC 容積負荷 12.2kgTOC/m^3・日，CODcr 容積負荷33.8kgCODcr/m^3・日(煮汁廃液処理量換算で200L/日)まで負荷を上昇させた。この時の滞留時間は，DHS 基準で23.1時間，スポンジ担体基準で10.2時間であった。また，試験期間中を通してスポンジ担体の閉塞等のトラブルは確認されなかった。

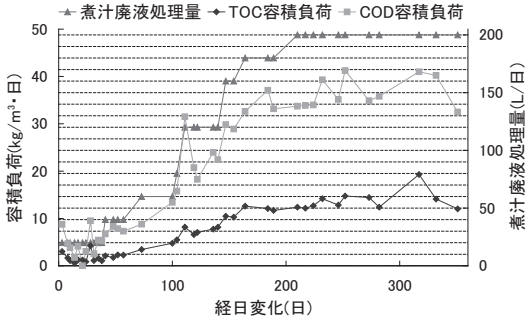

図 3 DHS の有機物容積負荷の経日変化

4.2 DHS の処理結果

試験を開始してから約 1 年間の原水，DHS 処理水および活性汚泥処理水の経日変化を**図 4** に示す。また，試験を開始してから111日目以降(煮汁廃液処理量換算で120L/日～200L/日)の原水，DHS 処理水および活性汚泥処理水の水質測定結果を**表 2** に，各分析項目の除去率(乳酸および有機酸は生成率を示す)を**表 3** に示す。いずれの項目においても，煮汁廃液処理量の増加とともに濃度が増加する傾向にあった。全有機酸，乳酸の項目に関しては，原水濃度よりも処理水濃度の方が高かった。このことから，DHS による嫌気性処理が良好に行われていることが示唆された。SS

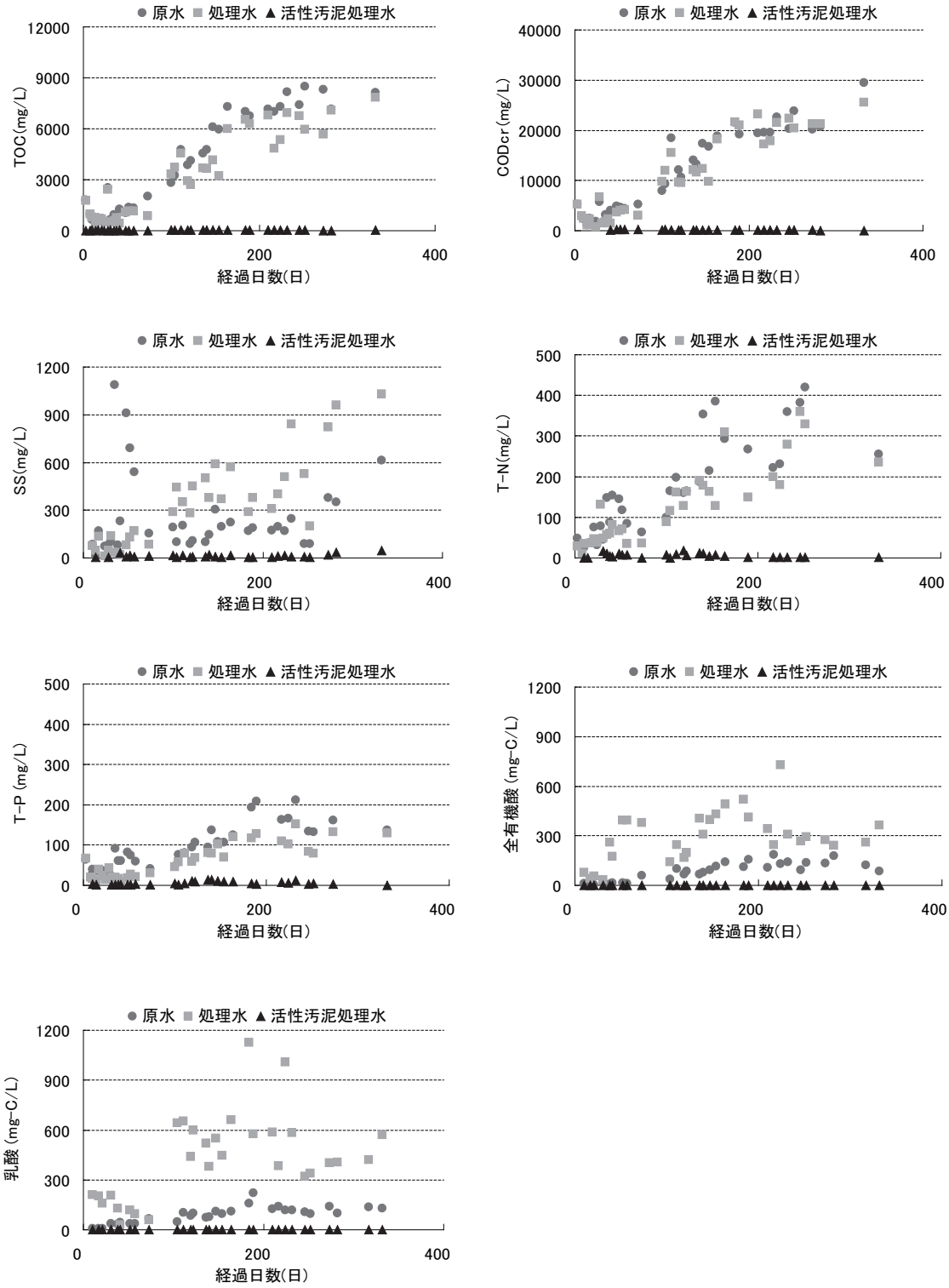

図 4　原水，DHS 処理水および活性汚泥処理水の経日変化

表 2　水質測定結果

項目		原水		DHS 処理水		活性汚泥処理水	
		平均	最小～最大	平均	最小～最大	平均	最小～最大
pH	(-)	3.6	3.3～4.1	3.6	3.1～4.1	6.7	6.4～7.1
TOC	(mg/L)	6,569	3,863～8,509	5,597	2,725～10,920	26	14～34
CODcr	(mg/L)	18,832	10,696～29,422	17,479	9,600～25,525	104	44～177
SS	(mg/L)	216	88～613	524	200～1,030	13	2.0～46
T-N	(mg/L)	273	160～421	211	129～360	5.4	0.8～17
T-P	(mg/L)	139	94～212	100	60～130	7.3	0.7～14
全有機酸	(mg-C/L)	120	65～179	370	167～872	0	-
乳酸	(mg-C/L)	117	75～223	540	321～1,125	0	-

表 3　除 去 率

項目	除去率(%) DHS	活性汚泥処理	装置全体
TOC	19%	99%	100%
CODcr	8 %	99%	99%
SS	▲171%	98%	94%
T-N	20%	97%	98%
T-P	27%	92%	94%
全有機酸	5 %	-	-
乳酸	8 %	-	-

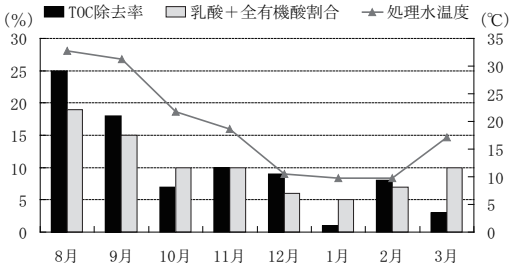

図 5　DHS 処理効率と処理水温度

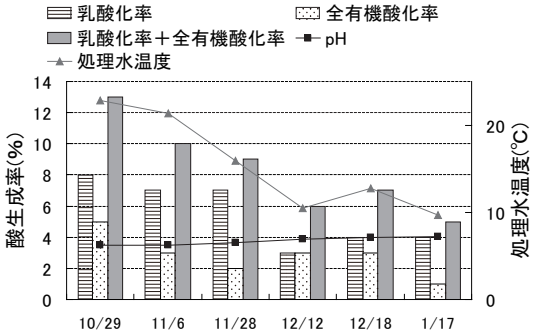

図 6　乳酸，有機酸生成率と pH および処理水温度

については，処理水の値が原水よりも高い値になっていた。これは，DHS 内部に充填したスポンジ担体から一部の嫌気性微生物が剥離したものによると考えられた。DHS 単独での有機物除去能力は不十分であったものの，後段に活性汚泥処理を行うことで良好に処理されていた。

4.3　DHS 処理効率と処理水温度の関係

試験を開始してから111日目以降(煮汁廃液処理量換算で120L/日～200L/日)における TOC 除去率および DHS 処理水の TOC に対する乳酸と全有機酸の割合と処理水温度との関係を**図 5** に示す。処理水温度が30℃を超えていた 8 月および 9 月においては，TOC 除去率はそれぞれ約25%，18%，処理水の TOC に対する乳酸と全有機酸の割合はそれぞれ19%，15%であり，酸生成過程での基質の低分子化が確認された。一方で処理水温度が下がるにつれて TOC 除去率および乳酸と全有機酸の割合は低下する傾向があった。とくに 1 月では，TOC 除去率および処理水の TOC に対する乳酸と全有機酸の割合はそれぞれ，1 %，5 %と試験期間中でもっとも低く，DHS による処理が十分に行われていなかった。

4.4　乳酸，全有機酸生成率と pH および処理水温度の関係

煮汁廃液処理量が200L/日における乳酸および全有機酸の生成率と pH，処理水温度を**図 6** に示す。処理水温度が下がるにつれて乳酸，全有機酸の生成率は低下する傾向が見られ，10℃を下回った際の乳酸，全有機酸生成率の合計は 5 %ともっとも低かった。また，生成率の低下に伴い pH は3.5から4.0とわずかではあるが上昇した。これは，処理水温度が下がることで嫌気性微生物の活性が低下し，酸生成が阻害されたことによるものと考えられた。

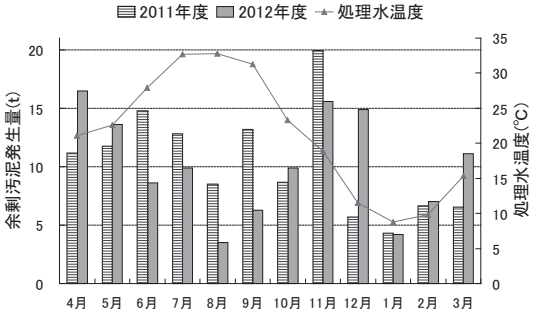

図 7　余剰汚泥発生量と処理水温度の月間変化

4.5　余剰汚泥削減効果

図 7 に余剰汚泥発生量(脱水汚泥換算：含水率平均85％)と DHS 処理水温度の月間変化を示す。2011年度は DHS 導入前であり，2012年度は DHS 導入後に相当する。佃煮生産量を考慮して2011年度の余剰汚泥発生量を算出し比較したところ，DHS 処理水温度が30℃を超えていた2012年度 8 月，9 月の余剰汚泥発生量はそれぞれ3.5t，6.3t であり，2011年度の 8 月，9 月の発生量と比較して約 5 割の削減効果が見られた。これは，DHS 処理効果が高かった時期と一致している。一方で，処理水温度が低い2012年度12～ 3 月の削減効果は見られなかった。

5. ま　と　め

2012年 4 月から佃煮製造工場であるタケサンフーズ㈱において DHS を試験的に導入し，温度制御および pH 制御なしの条件で運転した。試験期間中を通してスポンジ担体の閉塞等のトラブルは確認されなかった。DHS 処理効果については，処理水温度が下がるにつれて TOC 除去率および乳酸，全有機酸生成率が低下する傾向があった。これは，処理水温度の低下により嫌気性微生物の活性が低下し，TOC 除去および，酸生成が阻害されたことによるものと考えられた。余剰汚泥削減効果については，DHS 処理水温度が30℃を超える夏季には前年度と比較して約 5 割の削減効果が見られた一方で，処理水温度の低い冬季では余剰汚泥削減効果は確認できなかった。これは DHS 処理効果と同様の挙動を示していることから，余剰汚泥発生量と DHS 処理効果の間には何らかの相関があると考えられた。以上より，DHS の温度を嫌気性分解が活発に行われる温度条件に保ち有機物分解を促進することで，年間を通じた余剰汚泥の削減につながると考えられた。

今後は DHS を加温することで，冬季における余剰汚泥削減効果の向上についての検討を行うとともに，実用化に向けてのさらなる検証を継続する。

謝辞　本研究を実施するに当たり，実証試験を快く引き受けてくださったタケサンフーズ㈱に深く御礼申し上げます。

―引 用 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) 藤田久雄ほか：マイクロ波を用いた余剰汚泥削減に関する研究．香川県環境保健研究センター所報，**9**，54-59 (2010)
3) 稲井宏樹ほか：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．香川県環境保健研究センター所報，**10**，56-60 (2011)
4) 宮本早葵ほか：佃煮製造工程から発生する煮汁廃液の嫌気性分解性試験及び UASB リアクターを用いた嫌気性処理の検討．香川県環境保健研究センター所報，**10**，61-65 (2011)
5) 稲井宏樹ほか：佃煮製造工場における嫌気性 DHS リアクター導入による余剰汚泥削減効果．香川県環境保健研究センター所報，**11**，59-64 (2012)
6) 高橋政友ほか：佃煮製造工場における嫌気性 DHS リアクターを用いた余剰汚泥削減に関する実証試験．香川県環境保健研究センター所報，**11**，65-68 (2012)
7) 多川正ほか：「嫌気性 DHS リアクターによる産業排水処理技術の特性と用途」．月刊水，**54**，50-56 (2012)
8) 多川正ほか：嫌気性 DHS＋UASB 法と傾斜土槽法を組み合わせた新規排水処理システムの性能評価．土木学会第67回年次学術講演会概要集，CD-ROM，Ⅶ-130 (2012)