

UASB/DHS 廃水処理システムによる食品加工排水の処理特性

浅野憲哉*1・大槻洗太*2・小野心也*3・谷川大輔*4・山口隆司*5

Performance of Wastewater Treatment Plant of Laboratory-Scale UASB/DHS Reactor for Food Processing Wastewater

ASANO Kenya, OHTSUKI Kota, ONO Shinya, TANIKAWA Daisuke, YAMAGUCHI Takashi

Characteristics of food processing wastewater treatment was investigated in laboratory-scale continuous UASB/DHS system for 560 days. The UASB reactor was operated at HRT of 9 hours, while DHS reactor was operated at HRT of 4.5 hours

BOD removal of $88 \pm 13\%$ was obtained at influent BOD concentration of 477 ± 193 mg/L. Similarly, SS removal of $91 \pm 6\%$ was obtained at influent SS concentration of 278 ± 78 mg/L.

キーワード： UASB リアクタ, DHS リアクタ, 食品加工排水, 排水基準

1. 研究背景

水質汚濁防止法に基づく環境省の省令による一律排水基準は、特定施設を設置する特定事業場からの排水に対して、カドミウム、PCB、四塩化炭素などの人の健康に被害を生ずる恐れのある有害物質を対象とした健康項目と、その他 15 項目の BOD、COD-Mn などの生活環境項目が定められている。この生活環境項目は 1 日当たりの平均的な排出水の量が 50m^3 以上の工場や事業場を対象に適用されるが、これに当てはまらない工場が多数存在するため、多くの自治体はさらに厳しい基準を設けたり、1 日当たりの排出水量が 50m^3 未満の工場などを対象にした基準を設けたりと、いわゆる上乘せ排水基準を設置して水環境の保全を強化している。表 1 に BOD(または COD-Mn)と SS などの一律排水基準と長野県上乘せ基準を示す。ここで、有機物濃度の指標となる COD-Mn は海域や湖沼へ排出される排水へ適用され、BOD はそれ以外の排水に適用され

る。また、窒素やリンも富栄養化と関連しており規定項目であるが、これらの基準はプランクトンの著しい増殖をもたらす恐れがあるとされる湖沼や海域に排出されるものに対して適用される。

排水における有機物除去には好気性や嫌気性の生物による生物処理法が有効であり、好気性の生物処理法には沈殿法を併用することが多い。たとえば都市下水の処理には浮遊生物法の活性汚泥法が広く用いられている。この方法は良好な処理水質が得られ、嫌気処理を併用した窒素・リンの除去技術が確立したものが多く、施設を地下等に設置することで敷地面積が有効活用できるなどの利点があるが、送風に大きなエネルギーが必要、安定した電力供給が必要、活性汚泥の返送比の計算が煩雑、等の問題点もあげられる。浮遊生物法に対して微生物を礫などの単体表面に付着させて処理する方法を生物膜法というが、維持管理が比較的容易であるが窒素やリンの除去手法に開発中のものが多いといった問題点もあり、国内ではあまり見られなくなった¹⁾。

食品加工廃水や水産加工廃水には高濃度の有機物を含むものが多く、BOD 濃度が 1000 mg/L を超す廃水も珍しくない²⁾。こうした廃水を活性汚泥法のみで処理すると送風のエネルギーが非常に大きくなり、処理時間も長くなる。そのため、こうした廃水の処理には、好気性と嫌気性の処理を併用するのが一般的である。嫌気処理は、排水基準が厳しい場合には単独処理で良

*1 環境都市工学科 講師

*2 長岡技術科学大学 学生

*3 ミヤマ株式会社

*4 長野工業高等専門学校 助教

*5 長岡技術科学大学 教授

原稿受付 2013 年 5 月 20 日

表1 一律排水基準（生活環境項目の一部）

| | 排水量 [m ³ /日] | pH | BOD [mg/L] (日量平均) | COD-Mn [mg/L] (日量平均) | SS [mg/L] (日量平均) |
|--------|----------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|
| 一律基準 | 50 以上 | 5.8~8.6: 海域以外 5.0~9.0: 海域 | 160 (120) | 160 (120) | 200 (150) |
| 一律基準 | 50 未満 | 規定なし | 規定なし | 規定なし | 規定なし |
| 長野県上乘せ | 10~50 | 規定なし | 60 (40) | 60 (40) | 90 (60) |
| 長野県上乘せ | 50 以上 | 一律基準を適用 | 30 (20) | 30 (20) | 50 (30) |

好な処理水質を達成するのは困難であるが、等量の有機物量を処理した際の余剰汚泥の発生量が少ない、高負荷での運転が可能でリアクタの単位体積当たりの処理速度が高い、界面活性剤を含む廃水の処理でも発泡が起りにくい、といった利点がある³⁾。

UASB/DHS 廃水処理法は嫌気処理の UASB 法と好気処理の DHS 法を直列に組み合わせた処理方法である。UASB 法は廃水処理の嫌気処理として広く利用されており、微生物の自己造粒が起きやすい条件を作ることによって嫌気性細菌群の固定担体を必要としないメリットを持つ。DHS 法は好気処理の生物膜法に含まれ、上部より廃水を供給する好気性ろ床法のろ材にスポンジ担体を用いたもので、ろ材間に空隙を持たせて下部より送風することで好気状態を作るが、ウレタンスポンジの内部まで微生物が浸透し高密度に保持できる利点を持つ。この方法はインドや東南アジアにて下水処理や工業廃水の処理実験で良好な成績が得られており、国内の都市下水を対象とした処理実験でも安定した運転が確認されている。しかし、国内の食品加工廃水に応用した例は少なく、UASB や EGSB といった嫌気処理により前処理した廃水を対象に本システムを応用した例は少ない。

本研究では、EGSB 処理を施した食品加工工場排水を対象に UASB/DHS 排水処理実験を実施し、BOD および SS の処理特性を調査した。

2. 研究方法

2-1 実験の概要

本研究では、実験規模の UASB/DHS 廃水処理プラントを用いて、長野市内の油揚げおよび凍り豆腐製造工場の排水を対象に、2011 年 10 月より 560 日間の廃水処理連続実験を行った⁴⁾。なお、運転開始後の 60 日間はスタートアップ期間とした。

本研究の実験プラントの概略図を図 1 に示す。工場

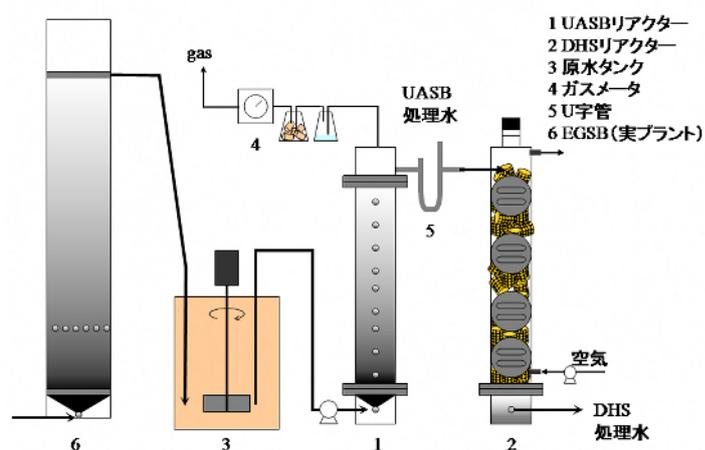


図1 実験プラント概略図

表2 廃水原水概要

| 水質項目 | 平均 ± 標準偏差 |
|---------------|-------------|
| pH | 7.4 ± 0.4 |
| BOD mg/L | 477 ± 193 |
| SS mg/L | 278 ± 78 |
| VSS mg/L | 241 ± 76 |
| COD-Cr mg/L | 872 ± 365 |
| S-COD-Cr mg/L | 413 ± 223 |
| T-N as N mg/L | 73.3 ± 28.4 |
| T-P as P mg/L | 13.2 ± 2.7 |

施設の EGSB 廃水処理プラントで嫌気処理された廃水を実験用の処理原水とし、300Lの原水貯蔵用タンクへ2~3日に一度の頻度で供給した。原水は基質濃度が均一になるように連続攪拌した。

リアクタの滞留時間(HRT)は、原水供給用のぜん動ポンプにより流量を調整することで、UASBで約9時間、DHSで約4.5時間へ調整した⁵⁾。冬季は水温低下によりUASB処理効率が低下するのを防ぐため、原水水温

が 10℃以下のときには UASB ジャケット部に温水を
 通水して加温した。原水タンク, UASB 上部, DHS 沈
 殿槽出口の 3 箇所より試料を採取した。

2-2 分析方法

本研究では、水質指標として pH, SS と VSS, BOD
 を下水試験方法に基づき測定した。なお、SS はガラス
 繊維濾紙法とし、平均孔径 1 μm の物を用いた。UASB
 からのガス生成速度はガスメータにより体積を測定し、
 TCD-ガスクロマトグラフィーによりガス組成(N₂, CH₄,
 CO₂)を求めた。

3. 実験結果および考察

廃水処理実験に供した排水の概要を表 2 に示す。廃
 水の有機物濃度は COD-Cr で 872mg/L, BOD で
 477mg/L と高濃度に含まれた。COD-Cr のうち約 47%
 がガラス繊維濾紙を通過する成分 (S-COD-Cr) であっ
 た。

処理水質の SS 濃度の概況を図 2 に、BOD 濃度の概
 況を図 3 に示す。また、処理水の各水質項目の実験期
 間を通じた平均値一覧を表 3 に示す。SS 濃度は原水で
 278 ± 78 mg/L に対して、UASB 処理水で 179 ± 98
 mg/L, DHS 処理水で 25 ± 19 mg/L であった。この時
 の SS の除去率は UASB のみで 36 ± 32%であり、シ
 ステム全体で 91 ± 6%であった。また、BOD 濃度は
 原水で 477 ± 193 mg/L であったが、UASB 処理水で
 158 ± 76 mg/L となり、システム全体で 47 ± 30 mg/L
 であり、DHS 処理水の 1 μm 以下の濾過成分 S-BOD
 では 13 ± 11mg/L であった。BOD 除去率は UASB の
 みで 63 ± 22%, システム全体で 88 ± 13%, DHS 処
 理水の濾過液で 97 ± 3%であった。

UASB 処理水で、SS, BOD 濃度共に原水濃度を超え
 ることがあり、除去率にもばらつきが目立つ。この原
 因は、実験に用いた原水が既に工場施設で EGSB 処理
 に供されているため、UASB 処理における嫌気性細菌
 保持のための基質不足が起きやすいことが考えられ
 る。ショ糖を基質とした人工廃水を用いて中温で実験
 規模の多段式 UASB/DHS 処理を実施し、良好な運転継
 続を達成した報告⁹⁾では、下流側の UASB リアクタの
 HRT は、上流側の 1/3 程度で運転を実施していた。本
 研究は実廃水を用いているため単純に比較できないが、
 実プラント EGSB の HRT よりも UASB の HRT を短縮
 することで、菌体流出が防げる可能性がある。

好気処理では、酸素分子の強力な酸化力を利用して
 有機物を酸化するため、同量の有機物を代謝分解して
 得られるエネルギー量が嫌気処理よりもはるかに多
 い。グルコース分子を例に、それぞれの代謝で変化す

る自由エネルギーを示す⁷⁾。

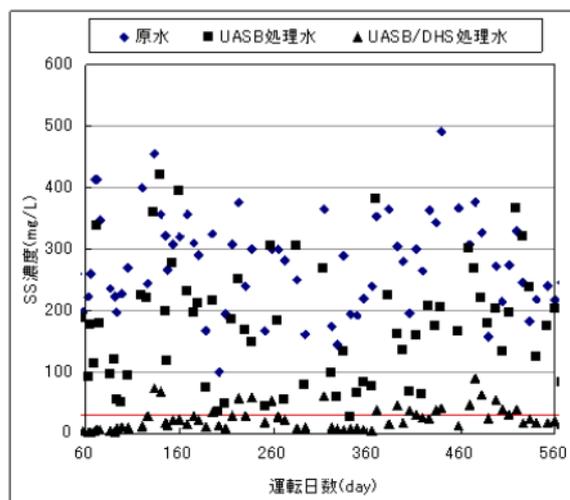


図 2 SS 濃度の概況

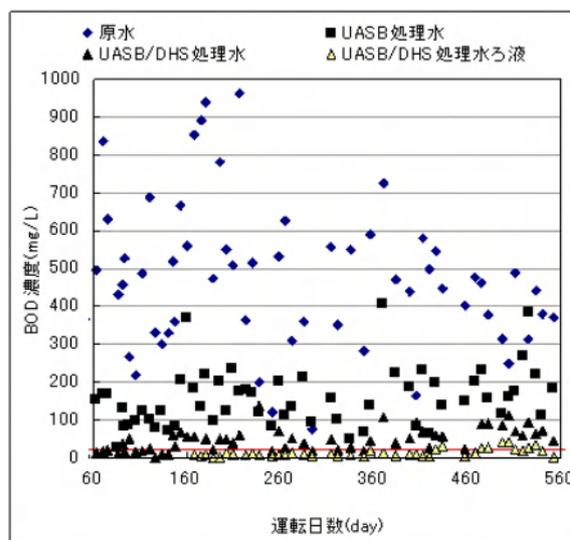
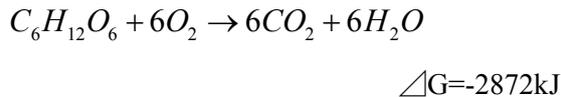


図 3 BOD 濃度の概況

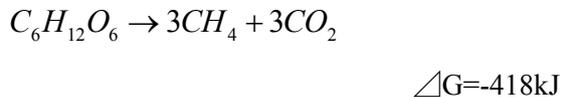
表 3 廃水処理特性

| | UASB | UASB/DHS |
|------------|------------|------------|
| 水温 °C | 21.8 ± 5.5 | 17.6 ± 7.7 |
| pH | 7.1 ± 0.3 | 7.8 ± 0.3 |
| BOD mg/L | 158 ± 76 | 47 ± 30 |
| 除去率 % | 63 ± 22 | 88 ± 13 |
| S-BOD mg/L | N.A. | 13 ± 11 |
| 除去率 % | N.A. | 97 ± 3 |
| SS mg/L | 179 ± 98 | 25 ± 19 |
| 除去率 % | 36 ± 32 | 91 ± 6 |
| VSS mg/L | 157 ± 89 | 21 ± 17 |

好気呼吸：



メタン発酵：



上記のとおり、同量の有機物を分解することで、好気性細菌は嫌気性細菌の7倍程度のエネルギーが獲得できる。本研究で、DHS処理水のBODおよびSS除去率が共に90%程度と良好であった原因も、このためであると考えられる。

UASBリアクタのガスメータで測定された平均ガス生成速度は約13 L/dayであり、そのうちの約80%がメタンガスであった。理論的にはメタン発酵により生成されるガスのCH₄：CO₂比は1：1となるが、DHS処理水の平均pHが7.8であることから、アルカリ度成分として殆どのCO₂が処理水へ溶け込んだことが考えられる。

実際の好気呼吸で1molのグルコースから38molのATPが生成される。1molのATPがADPとリン酸へ加水分解する際に変化する自由エネルギーは-30.5kJであることからエネルギー効率は約40%となるが、自由エネルギーの小さなメタン発酵ではエネルギー効率がこれよりも低下すると予想される。

これらの理由で、嫌気処理では有機物処理量あたりの菌体増殖が低く抑えられ、余剰汚泥発生量が少なくて済むことが説明できる。また、リアクタ内部の菌体密度が同程度で固定化されていると仮定すれば、好気処理では嫌気処理と比較して約15%程度の低い有機物濃度で、菌体密度をウォッシュアウトなどによって低下させない定常状態が維持できると考えられる。これは同時に、好気処理水質が有機物濃度の面で優れており、後段処理として適していることを意味する。また、前段のUASBリアクタのグラニューールの流出しやすさの説明にもつながる。

4. まとめ

長野市内の豆腐加工工場のEGSB処理水を対象に、実験規模のプラントを用いて560日間にわたるUASB/DHS処理実験を実施したところ、以下の知見が得られた。

- 1) BODは原水 477 ± 193 mg/L に対し処理水 47 ± 30 となり、SSは原水 278 ± 78 mg/L に対して処理水 25 ± 19 mg/L となり、良好な処理水質が得られた。
- 2) UASBのバイオガス生成速度は約13L/dayであり、そのうち約80%はメタンガスであった。
- 3) 除去率の平均はBODで88%、SSで91%であった。UASBリアクタよりグラニューールの流出が起きても、DHSにより処理水質が補完できた。

謝 辞

本研究の一部は、長岡技術科学大学の平成24年度「高専-長岡技大連携教育研究の推進」として行ったものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 松尾友矩：「大学土木 水環境工学 改訂2版」,pp.151-181. オーム社 (2005.12)
- 2) 環境省水環境部閉鎖性海域対策室：「第5次水質総量規制対応版 小規模事業場排水処理対策全科 ー小規模事業場排水対策マニュアル普及版ー」, pp.185-226, 環境コミュニケーションズ(2002.8)
- 3) R.E.Specce 著, 松井三郎・高島正信訳：「産業廃水処理のための嫌気性バイオテクノロジー」, pp.1-27., 技報堂出版 (1999.10)
- 4) 曾根川大治, 浅野憲哉, 小野心也, 谷川大輔, 山口隆司：国内の食品工場におけるUASBとDHSを組み合わせた廃水処理法, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会研究発表会講演概要集, VII-023, p.497-498(2012.3)
- 5) 日本下水道協会：「下水試験方法」, pp.116-118, 136-147 (1997.8)
- 6) 倉本恵治, 高橋優信, 角野晴彦, 山口隆司, 西尾尚道：多段嫌気性反応槽(UASB)と下降流懸架式スポンジ(DHS)反応槽を組み合わせた高濃度有機性廃水処理システムの開発, 水環境学会誌, Vol.30.No.2, pp.83-88(2007)
- 7) 野池達也：「メタン発酵」, pp.46-48, 技報堂出版 (2009.5)