

# B-17 模擬醤油製造廃水を対象とした 20℃UASB 反応器 常温 DHS 反応器を組み合わせた連続処理実験

○溝口 直人<sup>1</sup>・山内 正仁<sup>2</sup>・渡部 紀一<sup>3</sup>・南條 忠彦<sup>3</sup>・山田 真義<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>国立高専機構鹿児島高専専攻科 土木工学専攻 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝 1460-1)

<sup>2</sup>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)

<sup>3</sup>株式会社ベネアス (〒791-8061 愛媛県松山市三津 3-2-37)

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

## 1. はじめに

醤油は、昔から日本人に好まれてきた調味料のひとつである。醤油の主な製造法は伝統的な製法である本醸造方式が約 8 割を占める。この製造過程全体から発生する廃水は透明度が低く、COD 濃度が高い (約 25,000 mgCOD/L)、特有の臭いを発する有機性廃水であり、再利用はほとんど行われていない<sup>1)</sup>。Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) 法に代表される嫌気性メタン発酵処理は高濃度の有機性廃水の処理に適しており、その処理過程でメタンガスをエネルギーとして回収可能な優れた技術である<sup>2)</sup>。しかし、嫌気性処理だけでは定められた排水基準を十分に満たすことができない場合が多い。この問題を解決するため、嫌気性処理により COD 濃度が低減された廃水を曝気不要で好気性処理が可能な Down-flow Hanging Sponge (DHS) 反応器を用いて後段処理することができれば、上記問題を克服しうる新規処理システムとして提案することができる。また、醤油の製造工場では地下水を利用するところが多い。この地下水は年間を通して平均 18℃程度と水温の変化が少ないため、これを UASB 反応器内の温度を維持するための循環水として利用することができれば、反応器内温度の維持に使用する電力量を抑えつつ嫌気性メタン発酵処理の運転温度の安定化を図ることが可能である。

そこで本研究では嫌気性処理と省エネルギー型好気性処理を組み合わせた UASB-DHS システムによる低温 (20℃) 条件下での模擬醤油製造廃水について連続処理実験を行い、その処理性能の検討を行った。

## 2. 実験方法

図-1 は本実験で用いた UASB-DHS システムの概要を示す。UASB 反応器の液容積は 10 L、DHS 反応器のスポン

ジ容積は 20.8 L とし、本システムの槽内温度は 20℃に制御した。UASB 反応器には中温条件 (35℃) で模擬醤油製造廃水 (6,700 mgCOD/L) を処理していた UASB グラニュール汚泥を植種し、DHS 反応器には下水処理場の返送汚泥を用いた。模擬醤油製造廃水 (以下、醤油廃水とする) の COD の約 52%は VFA (COD 当たり：酢酸 13%、プロピオン酸 22%、n-酪酸 23%、i-酪酸 8%、n-吉草酸 21%、i-吉草酸 12%、カブロン酸 1%) であった。醤油廃水の pH は NaOH を用いて UASB 反応器内の pH が 6.8-7.5 になる

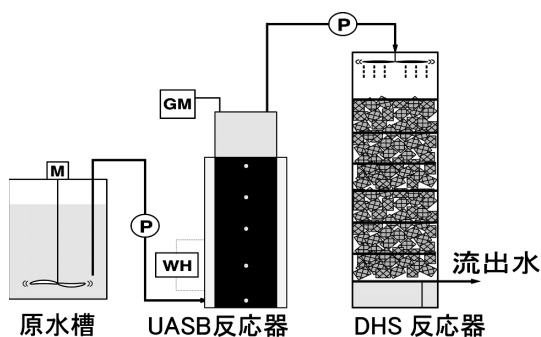


図-1 UASB-DHSシステムの概略図

表-1 UASB-DHSシステムの運転条件

| Phase | 運転期間<br>(day) | HRT<br>(hr) | 流入 COD 濃度<br>(mgCOD/L) | 設定 COD 容積負荷<br>(kgCOD/m <sup>3</sup> /d) | Sodium 濃度<br>(mgNa/L) |
|-------|---------------|-------------|------------------------|------------------------------------------|-----------------------|
| 1     | 1-85          | 8           | 1,200                  | 3.6                                      | 650                   |
| 2     | 86-131        | 6           | 1,200                  | 4.8                                      | 650                   |
| 3     | 132-149       | 6           | 1,600                  | 6.4                                      | 860                   |
| 4     | 150-244       | 6           | 2,000                  | 8.0                                      | 1,100                 |
| 5     | 245-264       | 6           | 2,400                  | 9.6                                      | 1,300                 |
| 6     | 265-294       | 6           | 3,000                  | 12.0                                     | 1,600                 |
| 7     | 295-377       | 6           | 3,500                  | 14.0                                     | 1,900                 |
| 8     | 378-455       | 6           | 5,000                  | 20.0                                     | 2,700                 |
| 9     | 456-656       | 6           | 6,000                  | 24.0                                     | 3,200                 |

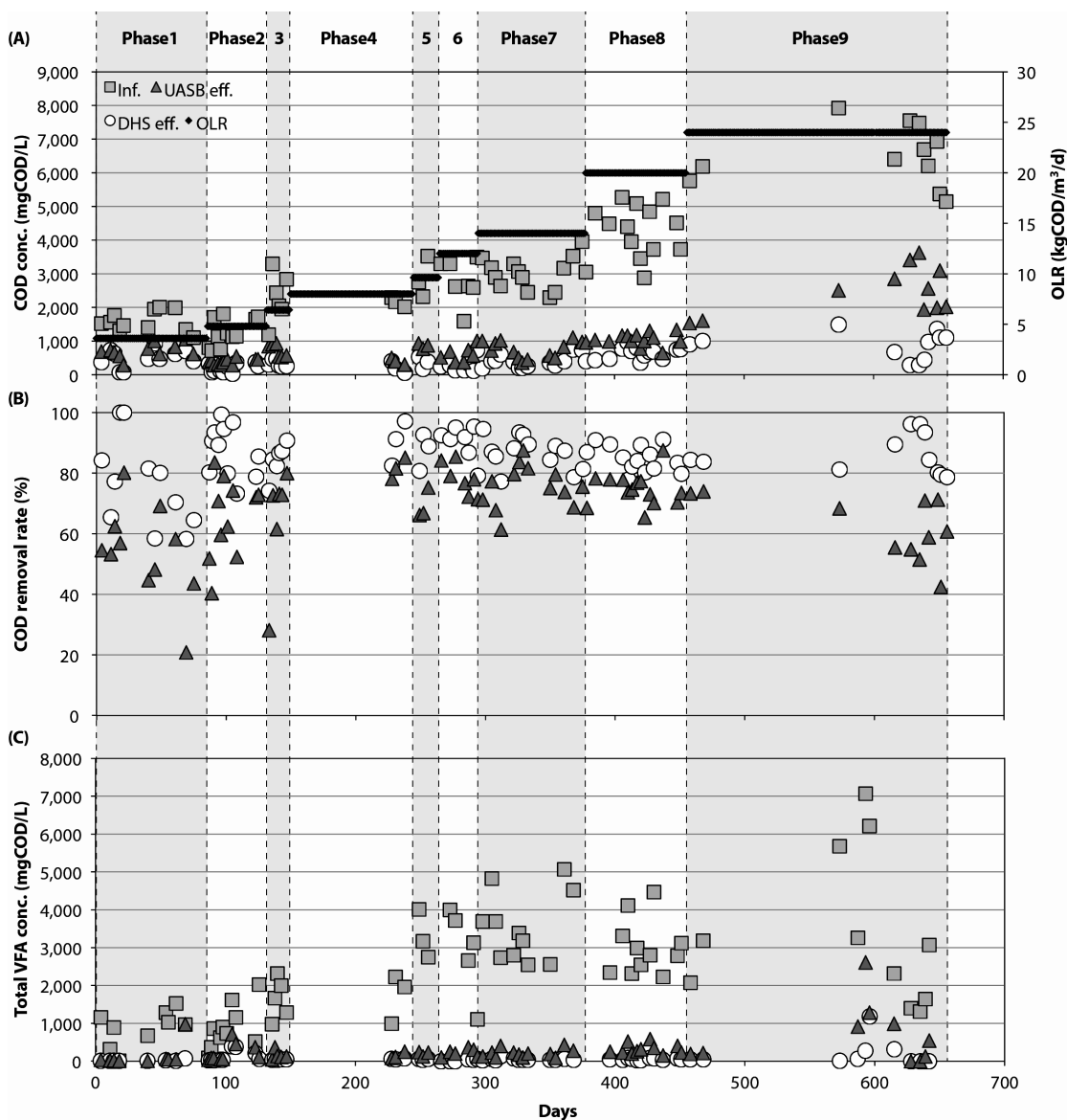


図-2 醤油廃水の連続処理実験結果

(A: COD濃度および設定COD容積負荷, B: COD除去率, C: 全VFA濃度)

ように調整した。表-1は全運転期間における本システムの運転条件を示す。本研究では、実廃水の処理において許容できる最大COD容積負荷(OLR)を調査するために、流入COD濃度及びHRTを変更することで3.6-24 kgCOD/m<sup>3</sup>/dの範囲で運転した。発生バイオガスによるUASB反応器内保持汚泥の流出を防ぐために運転620日目(Phase9)からUASB反応器への消泡剤(アンチフロスM-8)の添加を行った。

pHの測定はポータブルpH計(TOA-DKK)を、COD

の測定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)を用いた。SS、MLSSおよびMLVSの測定は下水試験方法に準拠した<sup>2)</sup>。発生バイオガスは脱硫処理後、湿式ガスメーターで生成ガス量を測定した。揮発性有機酸(VFA)はFID型ガスクロマトグラフにより、バイオガス中の組成はTCD型ガスクロマトグラフにより測定した。

### 3. 結果および考察

図-2 は本システムにおける醤油廃水の連続処理実験結果を示す。Phase1-3 では、流入 COD 濃度もしくは HRT を変更することで OLR を 3.6-6.4 kgCOD/m<sup>3</sup>/d まで上昇させた (図-2A)。Phase1 において、UASB 反応器およびシステム全体の COD 除去率は 21-80%および 24-84%と大きく変動し、UASB 反応器では VFA の突発的な蓄積 (運転 69 日目 : 984 mgCOD/L) が見られた (図-2B, C)。本 UASB 反応器の植種汚泥には醤油廃水を処理する中温 UASB グラニュール汚泥を用いており、35℃から 20℃へと急激な温度変化に依るグラニュール汚泥構成微生物群集の変化が起こった可能性が考えられる。全システムとしては Phase2 から 3 にかけて 86±8%と比較的安定した COD 除去率を示した (図-2B)。この要因としては、1) DHS 反応器保持汚泥の醤油廃水への馴養、2) UASB 反応器の COD 除去性能の上昇が考えられる。実際、Phase1 の UASB 反応器の COD 除去率は 54±15%であったのに対し、Phase2-3 では 65±15%であった。Phase4 では、分析不可能な時期が 78 日間 (運転 150-228 日目) あったが、運転 228-244 日目において UASB 反応器および全システムの COD 除去率がそれぞれ 82±3%および 90±7%と Phase1-3 と比較して高い値を示した。VFA の蓄積も観測されなかった。そのため、UASB 反応器および DHS 反応器内保持汚泥の醤油廃水への馴養が十分に行われたと考え、Phase5-9 (運転 245-656 日目) では流入 COD 濃度を 2,400-6,000 mgCOD/L まで上昇させることで OLR を 9.6-24 kgCOD/m<sup>3</sup>/d まで上昇させた (図-2A)。Phase8 では、Phase1-4 と比較して短期間で OLR を 20 kgCOD/m<sup>3</sup>/d (流入 COD 濃度 : 5,000 mg/L) まで上昇させたにもかかわらず、COD 除去率は UASB 反応器で 74±5%、システム全体で 85±4%を示した。Phase9 (OLR : 24 kgCOD/m<sup>3</sup>/d) では、UASB 反応器内で発泡による保持汚泥の槽外への流出および VFA の蓄積が発生し、COD 除去率が 62±10%まで低下した (図-2B)。そのため、運転 620 日目から消泡剤を UASB 反応器に添加することで発泡を抑制した。UASB 反応器の COD 除去率が低下したにも関わらず、Phase9 におけるシステム全体の COD 除去率は 87±7%を示した。そのため、本システムは前段の UASB 反応器の COD 除去性能が低下した場合においても、後段の DHS 反応器が残存有機物を処理することで OLR 24 kgCOD/m<sup>3</sup>/d (流入 COD 濃度 : 6,000 mg/L) を許容することが可能であった。実醤油廃水の COD 濃度は約 25,000 mgCOD/L 程度であることから、実醤油廃水を約 4 倍希釈することで本システムによる処理が可能であると考えられる。

Phase9 では VFA のうち、主に酢酸、プロピオン酸および n-酪酸が UASB 反応器内で蓄積していた。廃水中の

高濃度の Sodium は嫌気性メタン発酵を阻害することや、嫌気性グラニュールの崩壊を引き起こすことが報告されている<sup>3)</sup>。Phase9 における流入廃水中の Sodium 濃度は約 3,200 mgNa/L であり、既往の阻害濃度 (IC<sub>50</sub> : 5.6-53 gNa/L)<sup>4)</sup>と比較して低い値ではあるが、微生物群集への Sodium 濃度の影響は廃水の組成、リアクターの運転条件、他のカチオン類の存在に依って大きく変わってくるため、本研究で用いた UASB 反応器内保持汚泥に影響を与えた可能性が考えられた。嫌気性廃水処理システムにおける廃水中のプロピオン酸や n-酪酸の分解は栄養共生細菌と水素産生性の微生物群によって行われる。この反応、特にプロピオン酸の分解には水素分圧が重要な要素となる。高濃度有機性廃水を処理する UASB 反応器において水素分圧の上昇に依るプロピオン酸の蓄積などが報告されており<sup>5)</sup>、本研究においても今後 OLR を上昇していく上で、UASB 反応器内の水素分圧を考慮する必要があると考えられた。

### 4. おわりに

本研究では、実醤油廃水の高効率処理可能なシステムの実現を目的として、UASB-DHS 処理システムを用いた模擬醤油製造廃水の連続処理実験を行った。本システムは、流入 COD 濃度 6,000 mgCOD/L、OLR 24 kgCOD/m<sup>3</sup>/d の条件において 87±7%の COD 除去率を達成した。今後は、流入 COD 濃度の増加により OLR を上昇させ、本システムの最大許容 OLR を調査する。最終的には、本システムを実醤油製造廃水に適用することで、省エネルギー型廃水処理システムの実現を目指す。

謝辞 : 本研究を遂行するにあたり、長岡技術科学大学の黒田恭平氏から助言を賜った。ここに記して、感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) しょうゆ情報センター (<http://www.soyosauce.or.jp/>)
- 2) 日本下水道協会 : 下水試験方法 (上巻) , 1997.
- 3) Vallero *et al.*, Effect of NaCl on thermophilic (55°C) methanol degradation in sulfate reducing granular sludge reactors. *Water Res.*, 34(2), 437-446.
- 4) Chen *et al.*, Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresour Technol.*, 99(10), 4044-4064.
- 5) Kuroda *et al.*, High organic loading treatment for industrial molasses wastewater and microbial community shifts corresponding to system development, *Bioresour Technol.*, 196, 225-234.