

B-38 持続可能なさぬきうどん 排水処理技術の確立

○宮岡佑馬^{1*}・多川正¹・角野拓真²・出濱和弥³・佐々木優太⁴・山口隆司³

¹香川高等専門学校（〒761-8058香川県高松市勅使町355）

²四国旅客鉄道株式会社（〒760-8580香川県高松市浜ノ町8-33）

³長岡技術科学大学（〒940-2188新潟県長岡市上富岡町1603-1）

⁴香川県庁（〒760-8570香川県高松市番町4-1-10）

* E-mail: add_mallow@yahoo.co.jp

1. はじめに

現在、香川県内のCOD汚濁負荷量の約3割はうどん店などの小規模事業場が占めており、苦情件数も相対的に多いことが問題となっている。そこで香川県は条例を改正し、小規模事業場対策として一日平均排水量 $10\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 以上の工場・事業場に対して $\text{TOC}160\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下という排水基準を設定し（平成24年4月1日施行予定）、水質保全対策を打ち出した。この条例により、排水規制を受ける一部のうどん店は、排水処理装置導入による経済的影響が経営を圧迫する可能性があるとして予想される。これらの問題解決のため、筆者らの研究室では循環型嫌気性DHSリアクター（以下、DHSと称する）とUASBリアクターを組み合わせた新規の排水処理システムを構築し、持続可能なさぬきうどん排水処理技術の確立を目指してきた。

本研究では、特に有機物汚濁負荷の高い、うどん煮汁排水を対象として、新規の排水処理システム（DHS+UASB）を用いた連続通水実験を行い、その処理特性の把握を行った。また、UASB保持グラニュー汚泥に対して、嫌気性生分解性・メタン生成活性試験を行い、排水の嫌気性分解性および保持汚泥の嫌気分解ポテンシャルの把握を行った。

2. 実験方法

(1)供給排水

筆者らのアンケート調査より、一日約300玉製造する平均的なさぬきうどん店からは、うどん煮汁排水（ゆで釜から排出）が約 $0.1\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 、総合排水として約 $5\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 発生している。今回の改正条例の規制の対象となりうる、総合排水が約 $10\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 発生（煮汁排水量は釜容量による）するさぬきうどん店の規模は、一日約800玉製造する店舗規模であった。本研究では改正条例にて規制の対象と

なる規模よりもさらに多数を占める小規模なさぬきうどん店からの排水処理を想定し、一日約300玉製造、うどん煮汁排水量約 $0.1\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ のうどん店に煮汁排水を提供していただき、実験を行った。連続通水実験への供給排水にはうどん製造排水の中で最もCOD汚濁負荷量が高い、うどん煮汁排水を適宜水道水にて希釈（実用化の場合には、うどんを釜で煮た後の水道水によるうどんの「しめ」に使用した排水を使用する）して使用した。Table 1に希釈前のうどん煮汁排水の分析結果を示した。

Table 1 うどん煮汁排水の分析結果

	pH	COD _{Cr}	COD _{Mn}	TOC	BOD ₅	SS	T-N	T-P
	(-)	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
煮汁排水	7.1	9,675	5,883	3,327	4,970	1,973	49.5	19.3

分析結果より、規制の排水基準 $\text{TOC}160\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ を達成するためには約95%以上の高いTOC除去率が要求される。また、うどん煮汁排水は高温（約90℃）で排水され、且つ粘性が高く、SS濃度も $1,973\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ と高く、腐敗し易い排水であった。これらはうどん煮汁排水中の微細なうどん打ち粉や溶解しているうどんの主成分であるデンプン質に起因するものだと考えられる。

(2) DHS+UASBシステム及び連続通水実験

本研究では前段のDHSを酸生成相、後段のUASBをメタン発酵相と位置付けし、二相化（two-phase）による処理効率の向上を図っている。前段のDHSリアクター（有効容量200Lのポリエチレンタンク）の内部には、長岡技術科学大学で開発されたG-3型スポンジ担体を4,000個充填（スポンジ容積：88L）し、密閉して嫌気条件を保った。

後段のUASB（有効容量：33L、GSS部容量：33L）の内部には食品工場の嫌気性UASBグラニュー汚泥を植種した。

これらのリアクターに加えて、うどん煮汁原水（うどん煮汁排水を水道水希釈、pH調整をおこなったもの：以下、原水と称す）の供給や循環を確保するための調整槽を付帯設備として設置している。

原水はまず調整槽の混合水側に設定処理水量だけ供給され、循環ポンプにより原水とDHS処理水の一部をDHS上部より均等に散水（循環）する。DHS内を下降する間にスポンジに捕捉されている嫌気性微生物と接触し、嫌気的に処理され調整槽の処理水側に流出する。DHS処理水は後段のUASBに供給され、更なる有機物の除去が行われる。UASBにて発生したバイオガスは脱硫装置を通過させ、発生量を計測した。原水はうどん店から提供していただいた煮汁排水を温度調整のため、水道水で適宜希釈し、pH調整のために炭酸水素ナトリウムを一定量添加した。

原水処理量及びUASB供給量は段階的に増加させていき、DHS循環量（散水量）は $560\text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ で固定し、500日間を超える長期連続通水実験の間、DHS及びUASBリアクターにおけるHRT及びOLRが変化した場合の有機物除去特性を把握した。

(3)メタン生成活性試験

連続通水実験開始後350日目のUASBリアクター保持汚泥に対してメタン生成活性試験を行った。基質として煮汁排水を使用し、汚泥負荷(F/M比)は0.25、0.50、 $0.75\text{ gCODcr} \cdot \text{gVSS}^{-1}$ の3段階とした。比較基質として酢酸、グルコース、デンプンを使用し、汚泥負荷は $0.50\text{ gCODcr} \cdot \text{gVSS}^{-1}$ とした。汚泥濃度、栄養塩類などは所定の濃度に調整したものをバイアル内に添加した。初期pHは 7.0 ± 0.2 に調整し、 35°C シェイキングバスで振とう培養を行い、基質投後、経時的に発生ガス量及びメタン濃度を分析し、メタン生成活性値を算出した。

3. 実験結果

(1)連続通水実験

実験開始時はDHSリアクター単独にて処理を行い、後段のUASBリアクターは実験開始153日目に設置した。Fig.1(a)-(c)にTOC濃度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、HRT(hr)、OLR($\text{kgCODcr} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)の経日変化を示した。うどん煮汁排水を2倍希釈（水量ベース）した原水処理量及びUASB供給量は最終的にそれぞれ $200\text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $180\text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ に到達し、平均的なうどん店から排出されるうどん煮汁排水は全量処理が可能であった。HRTはDHS(原水基準とし、スポンジ容積で計算)にて 10.6 hr 、UASBにて 4.4 hr 、合計で 15.0 hr であり(Fig.1(b))、UASB単独処理と比較して高速処理が可能であった¹⁾。前段DHSにおける循環比(DHS循環量：原水処理量)は $2.8(560/200)$ であり、原水基準HRTの約3倍、DHSにてスポンジと原水との接触が行われる。OLRは最大で

DHSにて $28.2\text{ kgCODcr} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 、UASBでは $18.6\text{ kgCODcr} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ であり、この時のCODcr除去率は原水基準でそれぞれ73%および97%であった。TOC濃度の推移に着目すると(Fig.1(a))、UASB処理水はスタートアップ時以外はほぼ安定して排水基準を達成していることが分かる。DHS処理水のTOC濃度はHRTの減少・OLRの上昇・変動に伴って、上昇している傾向が観察された。これは、実際のうどん店の煮汁排水は濃度変動が大きいいため、OLRも付随して日変動が激しくなるため、DHS処理水は不安定な除去特性になると考えられる。

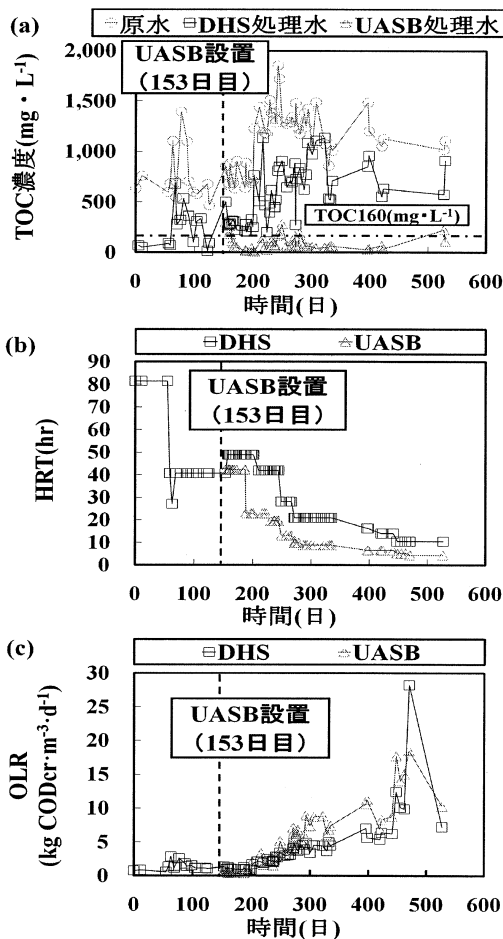


Fig.1 two-phase DHS+UASB連続通水実験結果

(a)TOC濃度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), (b)HRT(hr)
(c)OLR($\text{kgCODcr} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)の経日変化

Fig.2(a)にHRTとTOC除去率の関係、Fig.2(b)にOLRとTOC除去率の関係を示した。前段DHSでのTOC除去率はHRTの減少・OLRの上昇に伴って低下していく傾向および相関が見られ、(Fig.2(a), (b))、DHSは低HRT・高負荷運転及び負荷変動が弱点だと判断できる。しかしながら、

後段のUASBでのTOC除去はHRT及びOLRの変化による影響が少なく、安定して高速・高負荷運転が可能であり、負荷変動も許容できると判断できた。これは、前段のDHSによりうどん排水の低分子化・酸生成が行われているため、後段においてUASBが安定して処理が行われたと推察される。

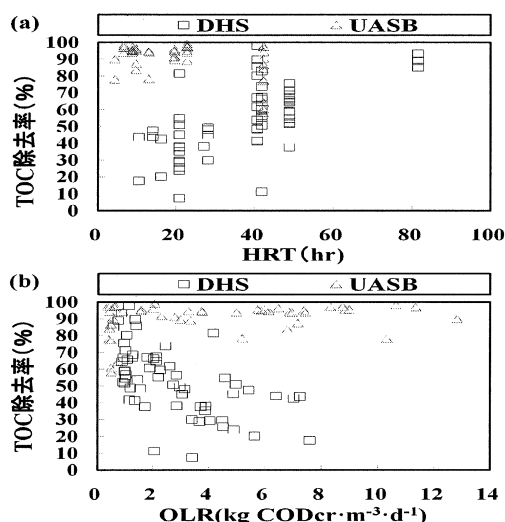


Fig.2 (a) HRTとTOC除去率との相関

(b) OLRとTOC除去率との相関

後段UASBにおけるHRT 4.4hr, OLR18.6 kgCODcr · m³ · d⁻¹の条件下での発生バイオガスのメタン濃度は約70%であり、ガス発生量は約300L · d⁻¹、メタン回収率は約70%であり、良好なメタン発酵が行われていると判断できた。

SSの挙動は実験期間中の平均値で、原水は502mg · L⁻¹、DHS処理水は241mg · L⁻¹、UASB処理水は37mg · L⁻¹であり、前段のDHSにおけるSS除去率は52%、後段UASBにおけるSS除去率は85%（対DHS処理水）、93%（対原水）であった。これより、原水中のSS成分（ほとんどは有機性）は前段のDHS内で捕捉・可溶化されることにより、後段のUASBにて安定的に処理されたと考えられる。また、実験期間を通じてUASB処理水中へのグラニユールのウォッシュアウトは確認されなかった。

UASB設置後309日目のUASBリアクター内保持汚泥量は822gVSS/Reactor, (24.9gVSS · L⁻¹)、VSS/SS=0.92であり、UASBリアクター内へのSSの蓄積による処理能力の低下は確認されなかった。

(2) メタン生成活性試験

Fig.3に各基質におけるメタン生成活性値の比較を示した。比較基質であるデンプンの活性値は0.27gCODcr · gVSS⁻¹ · d⁻¹と最も低く、グルコース基質は0.34gCODcr · gVSS⁻¹ · d⁻¹、酢酸基質は0.31gCODcr · gVSS⁻¹ · d⁻¹であった。

うどん煮汁排水基質の各汚泥負荷におけるメタン生成速度に着目すると、汚泥負荷0.25, 0.50および0.75gCODcr · gVSS⁻¹の3条件においても、概ね0.3gCODcr · gVSS⁻¹ · d⁻¹程度のメタン生成ポテンシャルが得られ、比較基質のデンプンよりも若干高く、馴養された汚泥はかなり高汚泥負荷まで耐えることが示唆された。

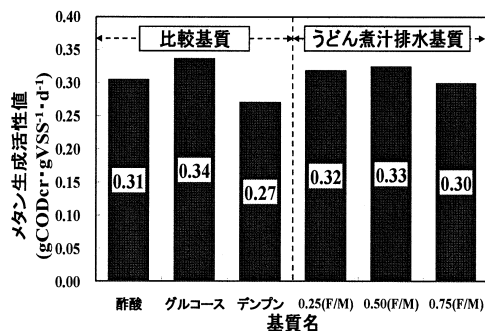


Fig.3 各基質におけるメタン生成活性値の比較

4.結論

本研究より以下の知見が得られた。

- (1) 本研究で考案したDHS+UASBシステムは、排水基準を達成し、かつ、平均的なうどん店の煮汁排水を全量処理することが可能であった。このときのHRTはDHSで10.6hr、UASBで4.4hr、全システムで15.0hrであり、OLRは最大でDHS: 28.2 kgCODcr · m³ · d⁻¹、UASB: 18.6 kgCODcr · m³ · d⁻¹であった。
- (2) 前段のDHSは低HRT・高負荷運転及び負荷変動が弱点であり、有機物処理能力の低下を引き起こすことが確認できた。後段のUASBは高速・高負荷運転及び負荷変動を許容し、有機物処理能力への影響は少なく、TOC除去率で80-90%の水準で安定していた。
- (3) UASBにおけるグラニユールのウォッシュアウトは確認されず、長期実験期間中、SSの蓄積による処理能力の低下は観察されなかった。

謝辞

本研究は「公益信託エスベック地球環境研究・技術基金」の助成を受けて実施したものである。実験を行うにあたり、「古奈や」店主にうどん煮汁排水を提供していただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- (1) 藤田久雄ら: うどんゆで汁排水処理技術に関する研究-上向流嫌気性汚泥床(UASB)を用いた高速メタン発酵(2), 香川県環境保健センター所報 第8号 p.60-66 (2009)