

機関番号：56401
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20510088
 研究課題名（和文）食品廃棄物系バイオマスからの高速メタンエネルギー回収技術の開発
 研究課題名（英文）Treatment Performance of Kitchen Wastewater discharged from Small-Scale Establishments by combining of UASB and DHS Reactor System
 研究代表者
 山崎 慎一（YAMAZAKI SHINICHI）
 高知工業高等専門学校・環境都市デザイン工学科・准教授
 研究者番号：60290821

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、これまで食品系産業廃棄物として焼却・埋立処分されていた食堂などの厨房施設から発生するグリストラップ廃水の減量化と再資源化を可能にする新規な生物学的廃水処理システム（省エネ型嫌気好気システム）を開発することである。本システムの実験装置を使用して、学生食堂の厨房廃水の連続処理を行い、システムの適用性と安定的な処理を可能にするための運転方法について検討し、本システムの有効性を評価した。

研究成果の概要（英文）：

A new kitchen-wastewater treatment system that combines an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor and a down-flow hanging sponge (DHS) reactor was investigated for the purpose of the methane energy recovery from waste and the energy saving. The lab-scale combination system was operated continuously by feeding kitchen wastewater discharged from small-scale business establishments. In this study, the treatment performance of system and the optimum operating condition of DHS reactor were examined.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：廃水処理

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：土木環境システム、廃棄物再資源化、省エネルギー、水質浄化

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化や異常気象が問題となっている現代では、環境保全は産業活動を行う上で重要なテーマとなっている。水環境の分野においては、各種事業場から排出される廃水には水質汚濁防止法により排水基準値が設けられ排出濃度や排出量が制限されている。しかし、放流先となる河川では着実にその水質

が改善されてきているが、内湾や湖沼などの閉鎖性水域では依然として水質改善は進んでいないのが現状である。閉鎖性水域での水質改善が進んでいない要因の一つに、小規模事業場からの廃水の流出が挙げられる。日平均排水量が50m³未満の小規模事業場では、BOD、COD、浮遊物質（SS）、水中の油分の指標となるn-ヘキサン抽出物質、窒素、リン

などの生活環境にかかる項目には排出制限がされていないため、廃水を直接公共用水域に垂れ流しにしている事業場も少なくない。平成 19 年度の水質汚濁防止法上の特定事業場数は約 28 万カ所で、そのうち日平均排水量が 50m³未満のものは全体の 90%近くを占めている。小規模事業場の多くはレストランや食堂などの飲食店が多い。今後はこのような小規模事業場への処理対策が必要となるが、その厨房施設廃水には多量の有機物が含まれており、その中でも生物学的に難分解性の油脂が多く含まれている。この油脂は、そのまま合併浄化槽や下水道へ放流すると、排水管の詰まりや悪臭、処理施設への過負荷などの問題を引き起こす原因となる。そのため、厨房床下などにグリストラップ（Grease Trap、以下 GT と称す）を設置し、油脂分を除去してから処理施設へ放流しなければならない。しかし、この除去された油脂分は GT 廃水としてバキューム車にて回収され、乾燥、焼却、運搬、埋立の工程で処分されるが、この処理法は多量のエネルギーが消費されるため、これに代わる省エネルギーな処理技術の開発が求められる。

近年、産業廃水などの有機性廃水を処理する上で、省エネかつ高い有機物除去性能を有する生物学的処理法として、高速嫌気性処理法（UASB 法）と下降流懸架型好気性ろ床法（DHS 法）を組み合わせた省エネ型嫌気好気法が注目されている。UASB 法は高負荷での運転が可能であり、処理過程で発生するメタンをエネルギーとして回収することが可能であるが、UASB 処理水は、そのままでは下水道への排水基準を満たすことが難しい場合があるため、通常は後段処理が付加される。また、DHS 法は好気性処理法の一つであるが、好気性処理法のデメリットである空気曝気を必要とせず、低濃度の排水に対して省エネルギー処理が可能である。この省エネ型嫌気好気法は、下水のような低濃度廃水に対する適用性は検討されてきているが、中・高濃度廃水に対する性能評価は現在のところ研究事例はなく、運転方法についても確立されていない。本研究で提案する GT 廃水の処理への検討は初めての試みとなる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高速処理が可能な省エネ・省資源型で廃棄物が低減できる UASB 槽と DHS 槽を組み合わせた省エネ型嫌気好気システムの実験装置を使用して、これまで食品系産業廃棄物として焼却・埋め立て処分されていた食堂などの厨房から発生する GT 廃水の減量化と再資源化を可能にする新規な生物学的廃水処理システムを開発することである。具体的には、学校（高知工業高等専門学校）の学生食堂から流出する GT 廃水を

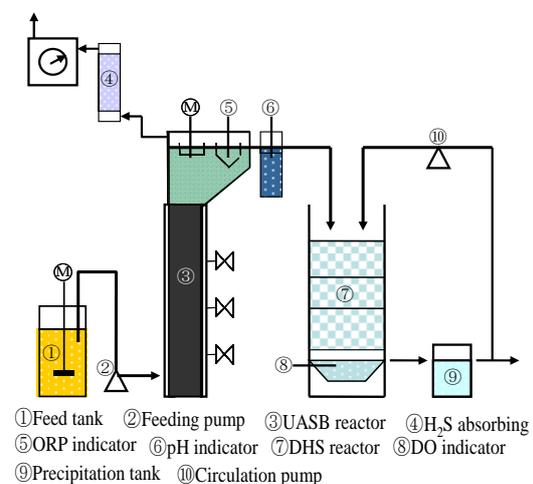
使用して、UASB-DHS 室内実験装置によって長期間の連続処理実験を行い、GT 廃水への適用性（流入負荷と処理水質、メタン回収の可能性）を検討した。次いで、安定的な処理を可能にするための運転方法（DHS 槽の処理水循環の有無、所要 HRT、2 槽式 UASB 処理の効果）についても検討し、本システムの有効性を評価する。

3. 研究の方法

(1)GT 廃水への適用性の検討方法

図 1 に本実験に用いた UASB-DHS システムを示す。UASB 槽後段の好気処理槽には、運転 265 日目までは接触酸化槽、290 日目以降は DHS 槽を設けている。本実験で使用した GT 廃水は高分子凝集剤によって固形物を沈降分離した上澄液を使用した。原水は濃度と pH を調整して UASB 槽に供給した。UASB 槽では有機物が除去され、処理水は接触酸化槽あるいは DHS 槽に流入する。その際に発生する消化ガスは湿式ガスメータで測定した。UASB 反応槽は有効容量 7ℓ とし、長期間低濃度有機性廃水で馴致したグラニューク汚泥を投入した。温度調整を行った期間では UASB 槽を温水で間接的に加温した。接触酸化槽あるいは DHS 槽に流入した UASB 処理水は好気性生物膜の働きによって残留有機物が除去される。接触酸化槽は有効容量 8 ℓ とし、生物付着担体を充填した。DHS 槽は充填材容量 10 ℓ でスポンジ充填率は 40%とした。接触酸化処理水は系外へ、DHS 処理水は沈殿槽へと移動する。沈殿槽では DHS 処理水に含まれる懸濁物を沈殿除去した上澄液が系外へと排出されるが、その一部は DHS 流入部に返送循環される。

原水および各処理水の COD_{Cr} 及び SS の分析には吸光光度計（HACH 製 DR2010）を使用した。UASB 槽で回収されたガスはガスクロマトグラフィー（島津製 GC-8A）で成分分析を行った。



①Feed tank ②Feeding pump ③UASB reactor ④H₂S absorbing
⑤ORP indicator ⑥pH indicator ⑦DHS reactor ⑧DO indicator
⑨Precipitation tank ⑩Circulation pump

図 1 UASB-DHS 実験装置の概要

表 1 に GT 廃水への適用性を検討した実験条件を示す。運転開始時から 150 日目まではヒーターで槽内温度を 30~40℃に調節して最大除去能力の確認（目標 COD_{Cr} 容積負荷 20g/l・d）を行った。運転初期は、汚泥の馴致を配慮して HRT を 11.2h、原水を水道水で 10 倍希釈して処理性能を確認しながら HRT と希釈倍率を段階的に下げて容積負荷を増加させた。運転 151 日目以降は、ヒーターを調節して槽内温度を徐々に低下させて処理性能への影響を確認した。運転 290 日目以降では、DHS 槽と接触酸化槽の処理性能の比較を行うために、接触酸化槽を DHS 槽に交換して処理性能の確認を継続した。

表 1 適用可能性の検討条件

Time(day)	1-12	13-150	151-265	290-365
Dilution rate	10	10~1	1	1
COD _{Cr} Load of UASB (g/l・d)	1	2~20	20	20
HRT of UASB reactor(h)	11.2	5.6	5.6	5.6
Reactor type	Biofilm			DHS
Temp. control	○		×	

(2) システムの最適運転方法の検討方法

最適運転方法の検討には図 1 の実験装置を使用し、実験後期には 2 槽式 UASB-DHS 処理システムに変更した。このシステムは、有効容量 5 l の UASB 槽を新規に最前段に配備したものである。

表 2 に最適運転方法の実験条件を示す。RUN 1-1~1-3 では DHS 処理水循環比を、RUN 2-1~2-3 では DHS 槽の HRT を変化させ、各条件が処理に及ぼす影響を検討した。この循環比とは原水量に対する DHS 処理水の循環量を示し、循環量を原水量で除して求められる。また、HRT は廃水が DHS 槽に流入してから流出するまでの時間を示し、スポンジ内水容量を原水量で除して求められる。RUN 1-1~1-3 では HRT を一定として、循環比を 10 から 2.5 に減少させた。RUN 2-1~2-3 では循環比を 2.5 で一定として、DHS 槽内のスポンジ量を変化させることにより HRT を 9.2 h から 3.6 h に減少させた。RUN 2 において処理性能の悪化が見られたため、RUN 3 では 2 槽式 UASB-DHS 処理システムにより HRT を増加させて運転を行った。

表 2 最適運転方法の実験条件

RUN	Time (day)	Flow rate (l/d)	Circulation ratio(-)	Volume of sponge(l)	HRT(h)	
					UASB	DHS
1-1	56	30	10	8	5.6	6.4
1-2	52	30	5	8	5.6	6.4
1-3	70	30	2.5	8	5.6	6.4
2-1	33	30	2.5	11.5	5.6	9.2
2-2	30	30	2.5	8	5.6	6.4
2-3	25	30	2.5	4.5	5.6	3.6
3-1	30	14.4	2.5	11.5	20	19.2
3-2	30	28.8	2.5	11.5	10	9.6
3-3	39	14.4	2.5	11.5	20	19.2

4. 研究成果

(1) GT 廃水への適用性の検討結果

図 2 に UASB 槽の COD_{Cr} 容積負荷と原水及び処理水の COD_{Cr} の経日変化を示す。UASB 槽の COD_{Cr} 容積負荷は、原水濃度の変化に対応して変動しているが、運転 100 日目には約 20g/l・d に到達した。この時の処理水質は、原水 COD_{Cr} 約 5000 mg/l に対して、UASB 処理水は平均 258mg/l、接触酸化処理水は平均 221 mg/l となり、下水道放流基準（BOD 換算で 600mg/l 以下）を十分に満足する値を得ることができた。また、運転 151 日目以降は、処理水温が低下した時期に UASB 処理水が平均 587 mg/l に増加した。これより、UASB 槽内温度が 20℃以下の条件では処理水質が悪化することを確認した。

DHS 槽を導入した 290 日目以降では、原水濃度の増加によって COD_{Cr} 容積負荷が 20~30g/l・d に上昇したが、DHS 処理水で平均 141 mg/l の値が得られた。同程度の COD_{Cr} 容積負荷で運転した接触酸化槽の処理性能よりも優れた結果を得ることができ、UASB-DHS 処理システムは GT 廃水の処理に有効であることを確認した。

図 3 に UASB 槽のガス発生量とガス中のメタン含率の経日変化を示す。UASB 槽内で生成したガスのメタン含有率は平均 83% で、メタン転換率は平均 76% であった。GT 廃水からメタンの燃料としての回収は可能であることが確認できた。

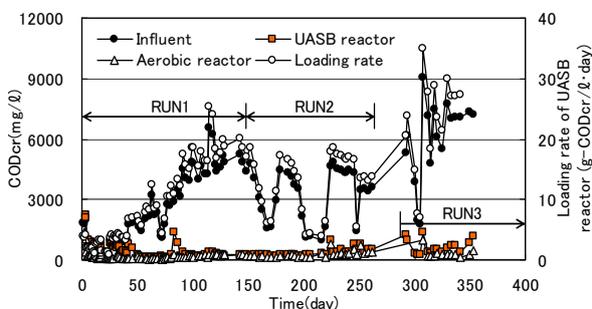


図 2 UASB 槽の COD_{Cr} 容積負荷と原水及び処理水の COD_{Cr} の経日変化

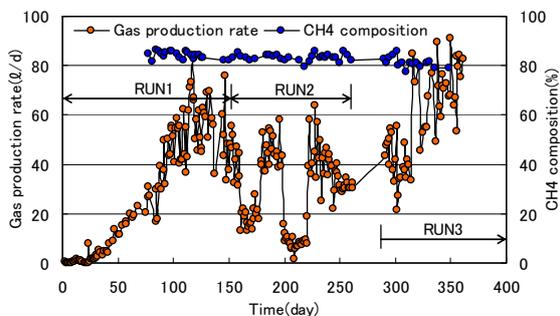


図 3 UASB 槽のガス生成量とガス中のメタン含率の経日変化

(2) システムの最適運転方法の検討結果

① 処理水循環が処理性能に及ぼす影響

図4にRUN 1-1~1-3におけるDHS槽へのCOD_{Cr}の流入量と流出量の比較を示す。なお、この期間の原水はCOD_{Cr}濃度2000~3000mg/lで、COD_{Cr}容積負荷はUASB槽で12g/l・d、DHS槽で1.0g/l・d程度であった。流入量と流出量を比較すると、それぞれの循環比で違いはあるが、それらを差し引いた除去量は循環比10~2.5で顕著な差はみられなかった。DHS槽の循環比を10から2.5まで低下させると槽内へのDOの供給量は減少するが、処理性能には影響しないことがわかった。しかし、循環水はDHS槽への流入水の一時的な濃度変動に対する希釈効果や充填材の洗浄効果も期待されるため、ある程度の循環水は必要と考えられた。

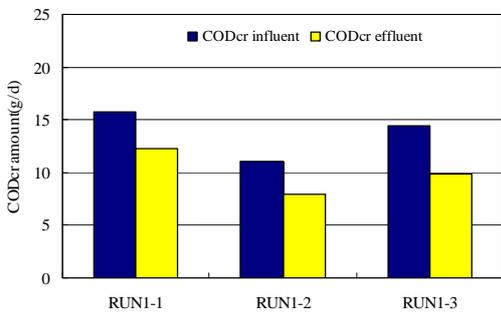


図4 DHS槽へのCOD_{Cr}流入量と流出量の比較 (RUN 1-1~1-3)

② HRTが処理性能に及ぼす影響

図5にRUN 2-1~2-3におけるDHS槽へのCOD_{Cr}の流入量と流出量の比較を示す。なお、この期間の原水はCOD_{Cr}濃度で数100mg/lと薄く、COD_{Cr}容積負荷はUASB槽で0.7~1.2g/l・d、DHS槽で0.7~0.9g/l・dであった。HRTを6.4h (RUN 2-2)まで減少させるとDHS槽内のCOD_{Cr}除去量は著しく低下し、HRT 3.6h (RUN 2-3)の運転ではDHS槽では処理が行えていない結果となった。HRT 6.4hおよび3.6hでは過負荷であったと考えられ、高い除去率を得るには9.2h以上のHRTが必要と判断された。

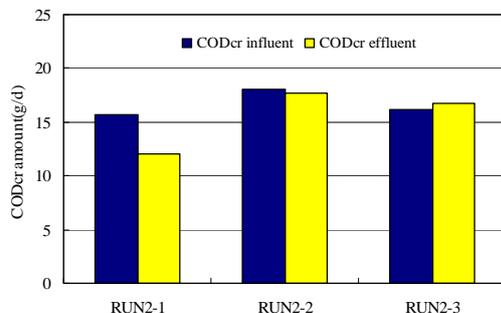


図5 DHS槽へのCOD_{Cr}流入量と流出量の比較 (RUN 2-1~2-3)

③ 2槽式UASB-DHSシステムの処理性能

図6にRUN 3-1~3-3における原水および各処理水のCOD_{Cr}濃度の経日変化を示す。なお、この期間の原水はCOD_{Cr}濃度300~1500mg/lで不安定な濃度であったが、流量を14.4~28.8l/dで運転したため、COD_{Cr}容積負荷は1槽目UASB槽で1.0~3.5g/l・d、2槽目UASB槽で0.3~0.8g/l・d、DHS槽で0.1~0.3g/l・dであった。原水はRUN 3-1で平均345mg/l、RUN 3-2で平均469mg/l、RUN 3-3で平均1244mg/lであったが、最終的な処理水はRUN 3-1で69mg/l、RUN 3-2で10mg/l、RUN 3-3で10mg/lとなり、全期間で良好な処理水質を得た。表3に各RUNにおける実験結果の平均値を示す。RUN 1とRUN 2と比較してRUN 3では原水濃度が大きく変動したにも関わらず、全期間で安定した高い除去率を發揮し、RUN 3-3ではCOD_{Cr}、SS共に除去率99%以上の非常に高い処理性能を得た。

2槽式UASB-DHS処理システムは、生物処理が難しく、高濃度になると阻害を生じさせる油脂成分を含むグリストラップ廃水を安定的に処理する方法として、処理水質、廃棄物の減量化、エネルギーの回収利用、水環境の保全修復などの観点で非常に有効であること、また、本システムの実用化に向けた基礎的な計画及び運転条件を本研究において確認することができた。

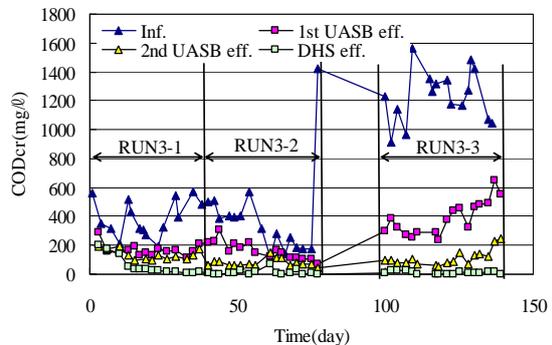


図6 原水及び処理水のCOD_{Cr}濃度の経日変化 (RUN 3-1~3-3)

表3 実験結果の平均値

RUN		1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
Temperature (°C)	2nd UASB	28.5	29.0	27.4	28.2	28.4	26.7	29.2	27.3	18.7
ORP (mV)	1st UASB							-276	-270	-261
	2nd UASB	-477	-468	-457	-401	-235	-171	-418	-412	-419
DO (mg/l)	DHS	3.6	2.0	1.0	5.2	5.9	5.9	5.5	5.5	7.7
COD _{Cr} rem. (%)	DHS/Inf.	98.6	97.9	96.3	56.9	18.8	3.6	80.6	97.8	99.1
SS rem. (%)	DHS/Inf.	93.5	98.4	91.9	88.8	73.6	58.5	96.9	99.6	99.6

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 浅野健二,宮地賢一,山崎慎一,山口隆司, 厨房廃水処理への 2 槽式 UASB-DHS システムの適用に関する研究,第 17 回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集,2011-5,香川大学
- ② 吉岡秀高,山崎慎一,田原実,福留豊,山口隆司,原田秀樹,厨房廃水処理に適用した UASB-DHS システムの最適運転に関する検討,土木学会年次学術講演会講演概要集,2010-9, 北海道大学
- ③ 吉岡秀高,山崎慎一,田原実,福留豊,山口隆司,原田秀樹,無曝気省エネ型廃水処理法における DHS 処理に及ぼす循環比と HRT の影響,土木学会年次学術講演会講演概要集,2009-8,福岡大学
- ④ 吉岡秀高,山崎慎一,田原実,福留豊,山口隆司,原田秀樹,無曝気省エネ型廃水処理法における HRT と処理性能の関係,第 15 回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集,2009-5,愛媛大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

山崎 慎一 (YAMAZAKI SHINICHI)

高知工業高等専門学校・環境都市デザイン

工学科・准教授

研究者番号：60290821