

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：57701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04763

研究課題名(和文) 創・省エネ型低温高負荷嫌気性廃水処理プロセスの確立 - 適用廃水種の拡大を目指して

研究課題名(英文) Establishment of psychrophilic high-rate wastewater treatment process

研究代表者

山田 真義 (YAMADA, Masayoshi)

鹿児島工業高等専門学校・都市環境デザイン工学科・教授

研究者番号：80469593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では低温UASB-常温DHSシステムの適用廃水種の拡大を目的として、甘藷でん粉製造廃水を対象として連続処理実験により処理性能の評価を行なった。その結果、OLR5.04kgCOD/m<sup>3</sup>/dayにおいてシステム全体におけるCOD除去率が99±1%という高い結果を示した。運転102日目まではメタン生成活性をほとんど示さなかったが、運転355日目には著しくメタン生成活性値が増加した。運転日数の増加に伴い、低温嫌気性環境下に馴養された微生物群集構造が形成されており、Bacteroidales目細菌や嫌気性共生細菌の増加がでん粉製造廃水成分分解に重要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、20 前後で排出されるさつまいもでん粉廃水処理に適用可能な低温メタン発酵処理プロセスの研究開発に取り組み、廃水処理プロセスの省エネルギー化、低ランニングコスト化に貢献可能な低温UASB-DHSシステムを提案した。低温UASB-DHSシステムにより醤油製造廃水処理に加え、さつまいもでん粉製造廃水の連続処理実験を行い、低温メタン発酵の処理性能、安定性を評価し、新たにさつまいもでん粉製造廃水への低温メタン発酵を組み込んだ処理システムが適用可能であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted a continuous treatment experiment for 425 days using the psychrophilic UASB-DHS system for sweet potato-based starch-producing wastewater. Under the organic loading rate of 5.04 kgCOD/m<sup>3</sup>/day, the COD removal efficiencies were 91 ± 1% and 99 ± 1% in the UASB reactor and the whole system, respectively, indicating that the UASB-DHS system is suitable for the wastewater treatment under psychrophilic conditions. Methanogenic activity tests showed that almost no methanogenic activities (0.000-0.003 gCOD/gVSS/day) were obtained at day 102, while the remarkable activities were obtained at the day 355 (0.08-0.2 gCOD/gVSS/day). In addition, the relative abundances of order Bacteroidales and syntrophic bacteria based on 16S rRNA gene sequencing were significantly increased from phase 2 (operational day 43) to phase 4 (day 352); thus, long operational days (at least > 100 days) are required to acclimate the psychrophilic methanogenic microbiome in the UASB reactor.

研究分野：環境工学

キーワード：低温メタン発酵 UASB-DHSシステム メタン生成活性試験

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

鹿児島県は全国有数のさつまいもの生産地であり、年間 21 万 4,700 トンと全国の生産量の約 3 割を占め、全国一位の生産量を誇っている<sup>1)</sup>。鹿児島県で生産されているさつまいものうち、7 万 2,400 トンではでん粉原料用として用いられており、県内の工場ですつまいもでん粉を製造している。しかし、でん粉を製造する過程で原料の約 7 倍に相当するさつまいもでん粉製造廃水が約 48,000mgCOD/L と高濃度で排出される。でん粉製造工場はさつまいもの収穫期である 9 月から 12 月の季節操業であり、廃水もこの時期に排出される<sup>2)</sup>。製造工場ではそれぞれ嫌気池及び曝気池などの廃水処理施設により廃水処理を行っている。しかし嫌気池ではメタンガスを大気中に放出してしまう点や周辺環境に悪臭などの被害が生じる点、天気や気温などの外的影響を受けやすい点、莫大な面積を要する点、曝気池ではエアレーションにコストがかかってしまう点などの課題がある。これらの課題を解決するために、環境に配慮した省エネルギー型の廃水処理システムの提案が必要である。

本研究室では、嫌気性処理と好気性処理の優れた点を生かす廃水処理システムとして、無曝気・省エネルギー型の UASB-DHS (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket - Down-flow Hanging Sponge) システム<sup>3)</sup>を用いて、模擬醤油製造廃水を対象として COD 容積負荷 (以下、OLR とする) 26±3.6kgCOD/m<sup>3</sup>/day の低温 (20℃) 条件下で COD 除去率 87±7% を達成している<sup>4)</sup>。また焼酎蒸留粕液画分では多段型高温 UASB リアクターを用いて OLR60kgCOD/m<sup>3</sup>/day を達成するなど<sup>5)</sup>、廃水処理システムの処理特性や適用廃水種の検討を行ってきた。本システムの前段処理に用いる嫌気性処理である UASB 反応器は食品産業を中心とした中・高濃度廃水処理方法として広く普及しており、高負荷かつ短時間での処理が可能という特徴がある<sup>6)</sup>。また UASB 反応器を用いることででん粉製造における課題である嫌気性処理の際に排出されるメタンガスの回収を行うことが可能となることや外的影響も受けることなく、装置もコンパクトにすることができる。しかし、嫌気性廃水処理のみの処理水質では一律排水基準<sup>7)</sup>を十分に満たすことができないという問題がある。後段処理にエアレーションが不要で、担体として用いるスポンジの摩耗や劣化が小さく<sup>8)</sup>、メンテナンスが容易という特徴を持つ好気性処理である DHS 反応器を用いることで、でん粉製造廃水の廃水処理で用いられる曝気池の課題点を解決でき、省エネルギーでの運転が可能となる。また甘藷でん粉製造廃水を DHS 反応器に適用した事例はないため、新たな知見を得ることができると考える。

### 2. 研究の目的

原料を洗浄する際に年間を通して 16-20℃ (平均約 18℃) と温度変化の少ない地下水<sup>9)</sup>が大量に用いられることが多い。この地下水を UASB 反応器の温度維持に用いることで加温・冷却などの送液ポンプ以外の外部動力を必要とせず、低コストでの運転が可能である。本研究では UASB 反応器の温度維持に地下水を用いることを想定し、実験温度を 20℃ に設定した低温 UASB-常温 DHS システムの適用廃水種の拡大を目的として、さつまいもでん粉製造廃水を対象として連続処理実験を行い、処理性能の評価を行なった。

### 3. 研究の方法

#### (1) UASB-DHS システム

図 1 に本システムの処理フローを示す。本実験で用いた UASB 反応器の寸法は高さ 1.0m、幅 0.1m、奥行き 0.1m であり、液容積は 10L である。UASB 反応器内はウォータージャケットを用いて低温 (20℃) に維持し、最上部はガス-汚泥分離装置である Gas-Solids Separator (以下 GSS とする) を設置した。植種汚泥には焼酎蒸留粕液画分を 55℃ の高温条件において、OLR24kgCOD/m<sup>3</sup>/day の条件下で COD 除去率が 87±2% を達成した UASB 反応器のグラニュール汚泥を本研究の微生物の担体とするために用いた<sup>10)</sup>。廃水は単一供給方式を採用し、供給口は UASB 反応器の最下部である Port1 に設けた。

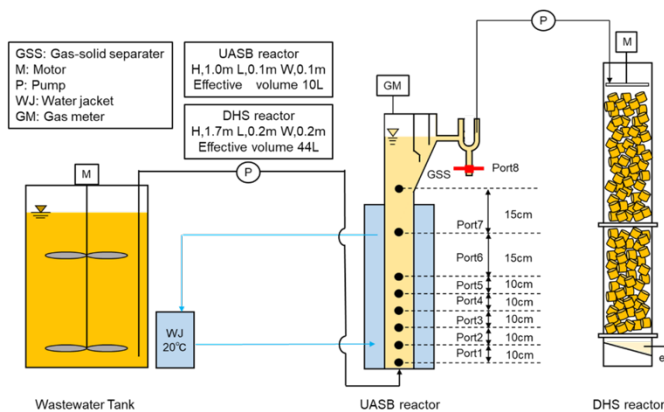


図 1 本システムの処理フロー

本システムで用いた DHS 反応器は無加温とした。使用したスポンジ担体は、ポリウレタン製で 1 辺が 34mm の立方体スポンジをポリエチレン製ネットリング (内径 φ31mm×高さ 34mm) に挿入したものを、DHS 反応器容積 (44L) に対して充填率が 47% になるようにランダムに充填した。DHS 反応器の植種汚泥には都市下水を処理している下水処理場の返送汚泥を用いた。

## (2) 運転条件

表1に低温 UASB-常温 DHS システムの運転条件を示す。運転開始から供給廃水の OLR を上げながら運転を行った。Phase1 及び 2 は市販のさつまいもでん粉を用いた人工廃水、Phase3~6 は表2に示すでん粉製造工場の磨砕工程から排出される実廃水を使用した。供給廃水は、各 Phase で設定した流入 COD 濃度になるように水道水で希釈し、pH は 24%工業用水酸化ナトリウムを用いて 6.8~7.2 に調整した。

表1 低温 UASB-常温 DHS システムの運転条件

Phase	運転日数	HRT(hr)	流入COD濃度 (mgCOD/L)	OLR (kgCOD/m <sup>3</sup> /day)	供給廃水
1	1-18	72	1,000	0.33	模擬廃水
2	19-88	24	2,000	2.02	模擬廃水
3	89-213	24	2,000	2.02	実廃水
4	214-354	24	3,000	3.02	実廃水
5	355-401	24	4,000	4.03	実廃水
6	402-425	24	5,000	5.04	実廃水

表2 さつまいもでん粉製造廃水の組成

Analysis items	unit	value	
pH	[-]	6.9	
EC	[S·m <sup>-1</sup> ]	0.52	
SS	[mg·L <sup>-1</sup> ]	13145	
VSS	[mg·L <sup>-1</sup> ]	12236	
VSS/SS	[%]	93	
COD <sub>Cr</sub>	Total	[mgCOD·L <sup>-1</sup> ]	48178
	Soluble	[mgCOD·L <sup>-1</sup> ]	26068
VFA	Acetate	[mgCOD·L <sup>-1</sup> ]	N.D.
	Propionate	[mgCOD·L <sup>-1</sup> ]	624
	i-Butyrate	[mgCOD·L <sup>-1</sup> ]	50
	n-Butyrate	[mgCOD·L <sup>-1</sup> ]	46
	i-Valerate	[mgCOD·L <sup>-1</sup> ]	58
	n-Valerate	[mgCOD·L <sup>-1</sup> ]	8
	i-Caproic acid	[mgCOD·L <sup>-1</sup> ]	24
T-N	[mgN·L <sup>-1</sup> ]	452	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	[mgN·L <sup>-1</sup> ]	1.08	

## (3) 測定・分析項目

COD<sub>Cr</sub>濃度、VFAs濃度、SS濃度、バイオガス生成量及びバイオガス組成分析、メタン生成活性試験を行った。COD<sub>Cr</sub>は重クロム酸カリウムによる酸素要求量 (HACH 社 DR2700 吸光光度計)、VFAs濃度は FID 型ガスクロマトグラフ (shimadzu, GC-8A) を用いて酢酸、プロピオン酸、酪酸、吉草酸、カプロン酸について測定を行った。発生したバイオガスの組成分析は TCD 型ガスクロマトグラフ (shimadzu, GC-8A) で分析を行った。SS濃度は下水試験方法<sup>11)</sup>に準じた。メタン生成活性試験についてはバイアル瓶を用い、試験汚泥は低温 UASB 反応器の Port1 から採取した。試験基質は水素、酢酸、でん粉製造廃水、グルコース、プロピオン酸とした。試験の詳細手順は珠坪ら<sup>12)</sup>に準じた。

## (4) 微生物群集構造解析

でん粉製造廃水処理に関わる微生物群を明らかにするため、Phase2 (運転43日目)、Phase4 (運転352日目)における低温 UASB 反応器保持汚泥を採取し 16S rRNA 遺伝子配列に基づく微生物群集構造解析を行った。DNA抽出には、FastDNA<sup>®</sup>SPIN Kit for Soil を用い、抽出DNAは原核生物の 16S rRNA 遺伝子を対象とした Univ515F-909R プライマーセットを使用して PCR 増幅した。DNA シークエンス解析は MiSeq (Illumina) により行い、配列データは QIIME2 で解析した。

## 4. 研究成果

### (1) UASB-DHS システムの連続処理特性

図2に UASB-DHS システムの連続処理実験結果の経日変化を示す。また、図3に各 Phase の COD 除去率を示す。Phase1 (運転0-18日目)では馴致期間として、UASB 反応器の OLR を 0.33kgCOD/m<sup>3</sup>/day として運転を行なった。pH は 7.0 付近で安定し、システム全体の SS 除去率と COD 除去率はともに 70%以上を示し、VFAs 除去率も 89%を示したが、UASB 反応器での除去率は値がばらつき安定しなかった。バイオガス生成量は運転9日目より検出され、メタン濃度は 52±10%であった。

Phase2 (運転19-88日目)では、OLR を 2.02kgCOD/m<sup>3</sup>/day に上昇させた。pH は 7.0 付近になるように調整したが、運転25日目、63日目にでん粉廃水が酸化したことで

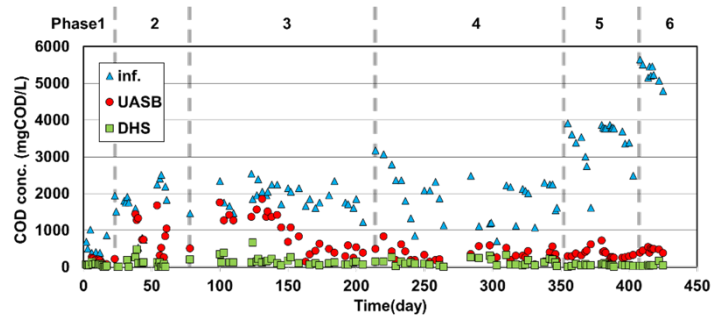


図2 連続処理実験結果

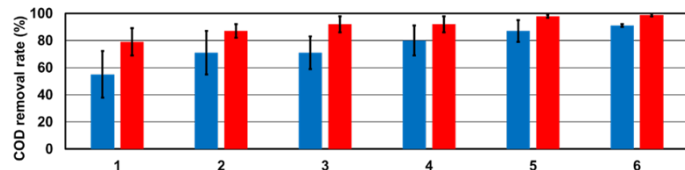


図3 各 Phase の COD 除去率

pH が低下し、メタン生成菌の至適 pH (6.8-7.2) を外れたことにより、バイオガス生成量が低下した。SS 除去率及び COD 除去率も同様に pH 低下によって減少したが、後段の DHS 反応器によってシステム全体では除去率 85%以上を示していた。一時的に UASB 反応器における除去性能が低下しても、後段に DHS 反応器を設けることで、安定した除去性能を得ることができた。

Phase3(運転 89-213 日目) では供給廃水を模擬廃水から実廃水に切り換えて連続処理実験を継続した。SCOD 除去率は UASB 反応器では  $71 \pm 12\%$ 、システム全体では  $92 \pm 6\%$  が得られた。また、バイオガス生成量は pH 低下の影響で  $0.1 \text{NL/day}$  まで減少したが、アルカリ剤により pH を 7.0 付近に調整した後は  $0.6 \text{NL/day}$  まで回復した。

Phase4(運転 214-354 日目) では OLR を  $3.02 \text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$  に上昇させ、運転を行なった。本 Phase 以降の供給廃水の pH は 7.0 付近で安定していた。UASB 反応器における COD 除去率が  $80 \pm 11\%$  と Phase3 に比べて改善傾向にあった。システム全体での除去率は Phase3 と変わらず、 $92 \pm 6\%$  を維持していた。また、バイオガス生成量は Phase3 でのバイオガス生成量が  $5.9 \text{NL/day}$  だったのに対して、Phase4 では  $12.4 \text{NL/day}$  まで上昇し、バイオガス中のメタンガス濃度も  $82 \pm 6\%$  と全期間を通して最も高い濃度を示した。VFAs 濃度について、本 Phase では VFAs 濃度が安定しなかったが、UASB 反応器及びシステム全体での除去は安定しており、UASB 反応器における VFAs 除去率は  $94 \pm 2\%$  でシステム全体においては  $98 \pm 2\%$  と高い除去率を示した。

Phase 5(運転 355-401 日目) は供給廃水の設定 COD 濃度を  $4,000 \text{mgCOD/L}$  に設定し、OLR が  $4.03 \text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$  の状態で運転を行った。COD 濃度に関して、本 Phase でも供給廃水の COD 濃度が  $3,429 \pm 576 \text{mgCOD/L}$  と安定せず、UASB 反応器にかかる負荷が変動していた。しかし、UASB 反応器処理水の COD 濃度は  $359 \pm 126 \text{mgCOD/L}$  で DHS 反応器処理水の COD 濃度は  $57 \pm 19 \text{mgCOD/L}$  という結果を示し、UASB 反応器における COD 除去率は  $87 \pm 8\%$ 、システム全体における COD 除去率は  $98 \pm 1\%$  と Phase4 に比べ高い除去率を示し、除去性能の安定性が向上した。VFAs 濃度についても供給廃水の COD 濃度の変動に伴い、VFAs 濃度も変動したが、こちらも除去率は安定しており、UASB 反応器及びシステム全体での除去率は  $97 \pm 1\%$  及び  $99 \pm 1\%$  と高く、安定した除去率を示した。

Phase6(運転 402-425 日目) は供給廃水の設定 COD 濃度を  $5,000 \text{mgCOD/L}$  に上昇させ、OLR を  $5.04 \text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$  で運転を行った。まず COD 除去性能について、供給廃水の COD 濃度が  $5,282 \pm 248 \text{mgCOD/L}$  に対し、UASB 反応器処理水の COD 濃度は  $455 \pm 56 \text{mgCOD/L}$ 、DHS 反応器処理水は  $42 \pm 9 \text{mgCOD/L}$  であった。COD 除去率については UASB 反応器における除去率が  $91 \pm 1\%$ 、システム全体における除去率が  $99 \pm 1\%$  と全 Phase を通して最も高く、安定した除去を行うことが可能であった。しかし、VFAs 濃度に関しては Phase5 と変わらず、UASB 反応器における除去率は  $97 \pm 1\%$ 、システム全体における除去率は  $99 \pm 1\%$  という結果を示した。

## (2) メタン生成活性試験結果

図 4 にメタン生成活性試験の結果を示す。サンプルは UASB 反応器の最下部から 0.1m (port1) 地点の汚泥を使用した。立ち上げ当初から運転 102 日目までは、全基質  $0.000 \sim 0.003$  とほとんどメタン生成活性を示さなかったが、汚泥の馴致から Phase5 開始時点の 355 日目には、水素が 0.08、酢酸が 0.15、プロピオン酸が 0.17、グルコースが 0.20、でん粉が  $0.08 \text{gCOD/gVSS/day}$  であり、当初に比べ著しく増加した。また、Phase6 開始時点の運転 408 日目に行った試験結果では、水素が 0.20、酢酸が 0.21、プロピオン酸が 0.17、グルコースが 0.19、でん粉が 0.11 と増加傾向にあった。既報では藤本らより無加温 EGSB 反応器による  $OLR 4.2 \sim 13.0 \text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$  の条件下において行った低温 ( $20^\circ\text{C}$ ) 条件下でのメタン生成活性試験において得られた結果で、水素が 0.67、酢酸が 0.26、プロピオン酸が 0.11 という値が報告されている<sup>13)</sup>。また川崎らより無加温 EGSB 反応器による  $OLR 12.0 \text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$  の条件下において行った低温 ( $20^\circ\text{C}$ ) 条件下でのメタン生成活性試験において得られた結果で、水素が 0.79、酢酸が 0.5、プロピオン酸が 0.16 という値が報告されている<sup>14)</sup>。これらの研究結果と比較し、本研究結果が低くなった原因として、UASB 反応器にかかる OLR が低かったことが考えられる。またこれらの実験結果より、低温条件下では各基質のメタン生成活性値は同等レベルであったが、メタン生成活性値が得られるまで 100 日以上要するため、スタートアップの短縮化技術を開発する必要があると考えられる。

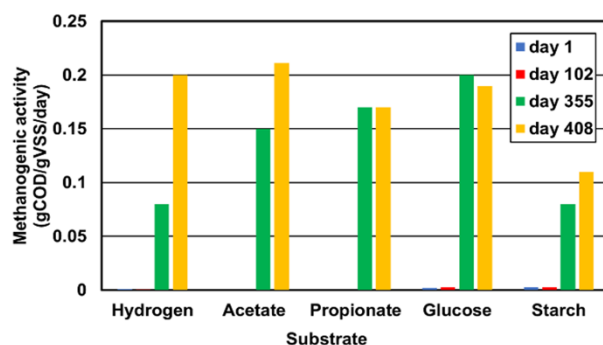


図 4 メタン生成活性試験の結果

## (3) 微生物群集構造解析結果

Phase2 および Phase4 における UASB 反応器保持汚泥の 16S rRNA 遺伝子解析の結果、Phase2 と Phase4 では微生物群集構造が大きく変化していた。Phase2 では好気性もしくは脱窒性細菌である *Microvirgula* や *Rhodanobacter* 属が最も優占していたのに対し (それぞれ存在割合 11%以上)、Phase 4 では、Bacteroidales 目細菌 (Phase2 の約 1.5 倍) や VFAs 分解に必要不可欠である嫌気性共生細菌 (Syntrophia 綱や Syntrophomonadia 綱、Syntrophorhabdia 綱細菌が Phase2 の存在割合の約 16 倍) が優占しており、低温 UASB 反応器内で嫌気性環境下に馴養した微生物群集構造が形成され、Phase4 における UASB 反応器の処理性能向上に繋がったことが示唆された。

#### 4. まとめ

低温 UASB-常温 DHS システムにより、OLR5.04kgCOD/m<sup>3</sup>/day の負荷においてシステム全体における COD 除去率が 99±1%、VFAs 除去率が 99±1%という結果が得られた。運転日数の増加に伴い、低温嫌気性環境下に馴養された微生物群集構造が形成されており、Bacteroidales 目細菌や嫌気性共生細菌の増加がでん粉製造廃水成分分解に重要であることが示唆された。メタン生成活性試験の結果から、低温 (20°C) 条件下では、UASB 反応器内のメタン生成活性菌は各基質のメタン生成活性値は同等レベルであったが、メタン生成活性値が得られるまで 100 日以上要するため、スタートアップの短縮化技術を開発する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 鹿児島県さつまいも・でん粉対策協議会：鹿児島県における令和 2 年産原料用さつまいもの生産状況について。URL. <https://www.alc.go.jp/content/001199280.pdf>, 最終更新日：2021.11.10.
- 2) 前屋義孝, 馬場透, 田之上隼雄：活性汚泥法による甘しょデンプン排水処理, 鹿児島県農業試験場研究報告, 17 号, pp.93-99, 1989.
- 3) 中村一彦, 大橋晶良, 井町寛之, 原田秀樹：UASB と DHS リアクターによる嫌気・好気処理システムの染色実廃水への適用, 水環境学会誌, Vol.29, No.10, pp.613-620, 2006.
- 4) 黒田恭平, 當房陸, 播本将史, 山口隆司, 渡部紀一, 南條忠彦, 山内正仁, 山田真義：低温 (20°C) UASB 反応器と常温 DHS 反応器を組み合わせたシステムによる模擬醤油製造廃水の高負荷連続処理実験, 水環境学会誌, Vol.40, No.2, pp.67-75, 2017.
- 5) 山田真義, 山内正仁, 大橋晶良, 原田秀樹：多段型高温 UASB リアクターによる焼酎粕液画分の高速メタン発酵処理, 環境工学研究論文集, Vol.41, pp.31-40, 2004.
- 6) 西尾尚道：メタン生成菌の生理と利用, 科学と生物, Vol.30, No.8, pp.537-542, 1992.
- 7) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 (前編)2001 年版, pp.158-159, 2001.
- 8) 高橋優信, 山口隆司, 上村繁樹, 大橋晶良, 原田秀樹：発展途上国に適用可能なエネルギー最小消費型の下水処理プロセスの開発 ~スポンジ担体散水ろ床 (DHS-G3) リアクターの処理特性~, 環境工学論文集, Vol.41, pp.175-186, 2004.
- 9) 有田明人, 松本源生, 石橋融子, 馬場義輝：福岡県の地下水温について, 福岡県保健環境研究所年報第 40 号, pp.133-134, 2013.
- 10) Takanori Omine, Kyohei Kuroda, Masashi Hatamoto, Takashi Yamaguchi, Masahito Yamauchi, Masayoshi Yamada : Reduction of alkalinity supplementation for acidbased wastewater treatment using a thermophilic multi-feed upflow anaerobic sludge blanket reactor, Environmental Technology, Vol. 42, pp.32-42, 2021.
- 11) 日本下水道協会：下水試験方法上巻, 1997.
- 12) 珠坪一晃, 原田秀樹, 曾怡禎, 桃井清至：高温 UASB リアクター保持汚泥のグラニューール形成過程における構造的特性とメタン生成活性の推移, 環境工学論文集, Vol.31, pp.57-67, 1994.
- 13) 藤本典之, 稲葉英樹, 窪田恵一, 珠坪一晃：EGSB 法による飲料系工場排水の無加温メタン発酵処理技術の開発, 土木学会論文集, Vol.69, No.7, pp.III\_623-III\_630, 2013.
- 14) 川崎達也, 大橋晶良, 原田秀樹, 珠坪一晃：EGSB リアクターによる低濃度有機性排水の高速メタン発酵処理, 環境工学研究論文集, 第 42 巻, pp.39-49, 2005.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kyohei Kuroda, Takashi Narihiro, Masaru K. Nobu, Atsushi Tobo, Masahito Yamauchi, and Masayoshi Yamada	4. 巻 36
2. 論文標題 Ecogenomics Reveals Microbial Metabolic Networks in a Psychrophilic Methanogenic Bioreactor Treating Soy Sauce Production Wastewater	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1264/j sme2.ME21045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kyohei Kuroda, Futaba Shinshima, Shoichi Tokunaga, Taro Q.P. Noguchi, Masahito Yamauchi, Masaru K. Nobu, Takashi Narihiro, Masayoshi Yamada	4. 巻 24
2. 論文標題 Assessing the effect of green tuff as a novel natural inorganic carrier on methane-producing activity of an anaerobic sludge microbiome	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Technology & Innovation	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.eti.2021.101835	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 瀬戸口知希、山田真義、山内正仁、片平智仁、池田匠児
2. 発表標題 CSTR-ABR システムによるさつまいもでん粉製造廃水の連続処理実験
3. 学会等名 2022年度日本水環境学会九州沖縄支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林航輝、黒田恭平、有川皓大、片平智仁、山内正仁、山田真義
2. 発表標題 一槽型CSTR/ABRによる醤油製造廃水のメタン発酵処理
3. 学会等名 2020年度日本水環境学会九州沖縄支部研究発表会講演要旨集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廣津晴樹、黒田恭平、大迫尚椰、片平智仁、山内正仁、山田真義
2. 発表標題 低温（20 ）UASB-常温DHS反応器を用いたでん粉製造廃水の連続処理実験
3. 学会等名 2020年度日本水環境学会九州沖縄支部研究発表会講演要旨集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	黒田 恭平  (KURODA Kyohei)  (50783213)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・研究員    (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------