

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 1 日現在

機関番号：56401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510109

研究課題名(和文)食品油脂廃棄物をメタンエネルギーに資源化するオゾン併用省エネ型嫌気好気法の開発

研究課題名(英文)A study on treatment of kitchen wastewater including oil by combination system of the ozone, two-step UASB and DHS reactor

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,500,000円、(間接経費) 1,350,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、生物難分解性の油脂成分をオゾンで前処理して高級脂肪酸の毒性を軽減させた後、省エネ型嫌気好気法(UASB-DHS法)で後処理し、その有機成分からメタンエネルギーを効率的に回収する方法を実験的に検討した。研究成果として、本システムの実用化には油脂分解性能をさらに安定化させるための検討が必要という課題が残されたが、油脂分解へのオゾン処理の効果や条件が確認できたことや、その有機成分の分解によって発生したメタンガスの含有率はおおむね60%程度以上であったことなどから、油脂廃水からエネルギーを再資源化できるシステムとして有効性を確認することができた。

研究成果の概要(英文)：Since the wastewater drained from kitchens of restaurants includes oils, it causes clogged sewage pipe and overload to the sewage plant. This study proposes a new kitchen wastewater treatment system that combines two-step up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor and a down-flow hanging sponge (DHS) reactor coupled with ozone treatment. This treatment system can save energy, recover methane gas and promote oil decomposition. This lab-scale system has been operated continuously for around two years using kitchen wastewater from our school dormitory cafeteria. This treatment performance and effectiveness of the ozone treatment were investigated.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境技術・環境材料

キーワード：省資源技術

1. 研究開始当初の背景

我が国の公共用水域における水質の現状をみると、BOD や COD などの環境基準の達成率はまだ良好とはいえ、特に湖沼や内湾では横ばいか悪化傾向にある。今後さらに水質改善を図っていくためには、排水規制の対象となっていない小規模な特定事業場の排水処理対策を積極的に推進していくことが急務である。平成 19 年 3 月末現在の特定事業場は約 29 万カ所あるが、この中で BOD などの生活環境項目にかかる一律排水基準が適用されていない小規模事業場(1 日あたり平均排水量 50m³以下)は 25 万カ所以上の約 9 割を占めている(平成 13 年度環境省調査結果)。小規模事業場の多くは、学校や病院の食堂、レストラン、飲食店が多く、これらの厨房施設から排出される油脂の処理処分が問題になっている。油脂は、悪臭発生の原因や衛生面で問題になるばかりでなく、下水管の詰まりや下水処理場への流入問題も表面化してきている。そのため、現在の多くの小規模事業場の厨房施設ではグリストラップを設置し、捕獲された高濃度油脂を含む汚泥は産業廃棄物中間処理業者が回収・運搬し、乾燥・焼却・埋め立て処分されたり、一部は堆肥化が行われたりしているのが現状である。しかし、高価な処理・処分の費用、中間処理場や最終処分場の確保、地球温暖化に寄与する CO₂ 排出、堆肥化などリサイクル商品の利用先確保などの問題があり、この油脂汚泥の減量化が強く求められている。

この油脂汚泥の減量化を目的とした処理方法には、活性汚泥法などの好気性微生物を利用した生物学的処理法がある。しかしながらこの方法は、過大な曝気動力と大量の余剰汚泥を生成し、非常にコストのかかる処理方法であり、環境負荷の低減を目指す次世代の処理方法としては適していない。そこで申請者は、この油脂汚泥からメタンエネルギーを回収して再資源化し、また、余剰汚泥の発生量も少ない省エネルギーなオゾンと省エネ型嫌気好気法を組み合わせた処理方法を提案する。この省エネ型嫌気好気法は、高速嫌気性反応槽(別名:上昇流嫌気性スラッジブランケット反応槽、以降 UASB 槽と称す)と無曝気好気性反応槽(別名:下降流懸架式スポンジ槽、以降 DHS 槽)を組み合わせた処理システムである。この UASB 法と DHS 法を組み合わせた処理法は、従来の生物学的処理法と比較して、高効率処理が可能、メタンエネルギーが回収できる、曝気動力が不要、汚泥廃棄量がほとんど発生しない、すなわち、エネルギー問題、地球温暖化問題、廃棄物処分問題の解消に大きく貢献できる処理法といえる。UASB 法は、オランダで開発された附着担体を用いないで微生物のグラニュール状集塊の形成作用によって反応槽内に高濃度の微生物を保持する嫌気性処理方法である。本来有機物濃度がある程度高い産業廃水種を対象に実用化が進められてきたが、そ

の省・創エネルギー特性によって、より低濃度廃水種へと適用拡大が検討され、最近では、低温条件での処理性能(Elmitwalli ら:2001)や、下水処理が未整備で深刻な水質汚濁問題を抱える発展途上国での実装置事例(Vieira ら:1994、Florencio ら:2001)などが報じられている。この UASB 法と後段処理として DHS 法を組み合わせたシステムは、原田(現:東北大学)や大橋(現:広島大学)らの研究グループが発展途上国に適用可能な下水処理方法として 1995 年に提案した。DHS 法は、容易に入手可能なポリウレタンスポンジを微生物の増殖担体として用い、反応槽内に充填して空気と接触させる非常にシンプルな構造となっている。UASB 処理水をスポンジ上部から滴下して、重力で流下する間にスポンジ表面の汚泥と接触して有機物が分解される。汚泥は高濃度で長い滞留時間で保持されるため余剰汚泥の生成は非常に少ない。また、汚泥への酸素供給は大気中より自然供給されるため、人為的なエアレーションを一切必要としない経済的な処理プロセスである。

しかし、汚泥中に高濃度に含まれる油脂の加水分解で生成される高級脂肪酸は、嫌気性微生物を含む種々の微生物に毒性を及ぼすことが知られている。その毒性は、高級脂肪酸が微生物の細胞膜に吸着して膜の透過性を変えたり、膜中の蛋白質の働きに影響を与えることで生じると考えられている。嫌気性処理においては、高級脂肪酸自身の分解、 n -酪酸の分解及び酢酸経由のメタン生成反応が高級脂肪酸の毒性のために停止することが確認されている(花木ら:1981)。申請者は、この高級脂肪酸の毒性の課題に対して、油脂汚泥をオゾンで前処理することにより微生物への毒性を解消または軽減できると考えている。オゾンの水質変換特性として、高分子の低分子化、親水化、生分解性の向上などが知られている。油脂にはオレイン酸(炭素 18 の二重結合)などの不飽和脂肪酸が多く含まれるが、オゾン分子が脂肪酸の二重結合部位に入り込み、アルデヒド基、ケトン基、カルボキシル基の親水性基を持つ水溶性の化合物へと変化し、微生物に分解されやすくなると考えられている(津野:2007)。また、実用面においても、近年、オゾン発生装置は小型化、省エネ化され、高濃度のオゾンも安定的に生成できるようになり、難分解性物質の処理や染色廃水の処理などで注目を浴びている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、我が国の公共用水域の水質改善のカギを握る小規模事業場における排水処理対策の推進を目指して、その処理過程で排出され、処理・処分で問題となるグリストラップ油脂汚泥を省エネかつ効率的に処理し、また、メタンエネルギーとして再資源化する新規な排水処理システムを開発す

ることである。具体的には、生物難分解性の油脂成分をオゾンで前処理をして高級脂肪酸の毒性を軽減させた後、省エネ型嫌気好気法（UASB-DHS 法）で後処理を行い、その有機成分からメタンエネルギーを効率的に回収する方法を実験的に検討する。学校（高知工業高等専門学校）の学生食堂の厨房施設から排出するグリストラップ油脂汚泥を用いて以下の長期連続実験と回分実験を行って検討する。

(1)連続実験による処理適用可能性の検討

オゾン-UASB-DHS の室内実験装置を使用して、処理時間に対する油脂の生物処理性能の関係、処理水質や槽内汚泥保持の長期安定性、メタン生成量や汚泥発生量の把握などを行い、適用可能性を検討する。

(2)オゾン回分実験による油脂分解の検討

油脂汚泥中に高濃度に含まれる高級脂肪酸のオゾン供給による時間的性状変化を観察する。具体的には、オゾン曝気時間に対する n-ヘキサン抽出物質の濃度変化、各種高級脂肪酸濃度の減少速度、各種低級脂肪酸の生成速度などをオゾン供給条件を変化させて回分的に比較検討する。

3. 研究の方法

(1)連続実験方法

図 1 に 2 槽式 UASB - DHS システムの室内実験装置の概要を示す。原水には高知高専学生寮食堂の厨房廃水をグリストラップから定期的に採取し、ヒーターによる加温条件でオゾン処理したものを使用した。オゾン発生装置はトサトーヨー製 ECOZON（空気量 40L/min、オゾン濃度 4ppm）を使用した。UASB 槽は、高級脂肪酸の分解促進と DHS 槽への過負荷防止のために直列 2 槽式とした。原水は苛性ソーダで適切な pH に調整後、1 槽目 UASB 槽（5L：10cmW × 10cmL × 50cmH）及び 2 槽目 UASB 槽（7L：10cmW × 10cmL × 70cmH）内の嫌気性微生物によって処理され、発生した消化ガスは脱硫槽で硫化水素を除去した後に湿式ガスメーターで発生量を測定した。2 槽目 UASB 槽の処理水は DHS 槽へと送られる。DHS 槽は円筒状容器（25cm × 105cmH）で好気性微生物を保持したスポンジ担体（スポンジ水容積：11.5L）が充填されている。2 槽目 UASB 処理水は DHS 槽上部の散水装置によってスポンジ担体に滴下され、担体内部及び表面に付着した好気性微生物によって処理される。DHS 処理水は沈殿槽に送られ、固形物を沈殿させてから排出される。処理水の一部は濃度変動に対する希釈及びスポンジへの固形物堆積防止のため循環させた。また、全運転期間を通して UASB 槽では 20 以上、DHS 槽では 10 以上を維持するように、冬季には UASB 槽及び DHS 槽内の微生物の活性低下を防止するためにヒーターで加温して運転を行った。

原水及び各処理水の COD の測定にはニク

ロム酸カリウムを使用し、COD_{Cr} を有機物の指標とする。原水及び各処理水の COD_{Cr} 及び SS 濃度の測定は吸光光度方式水質測定器（HACH 製 DR2800）を使用し、n-Hex.濃度の測定は「抽出分離重量法」による方法で行った。高級脂肪酸の分析にはガスクロマトグラフィー（島津製 GC2014）を使用した。1 槽目及び 2 槽目 UASB 槽で発生した消化ガスの組成分析にはガスクロマトグラフィー（島津製 GC8A）を使用した。

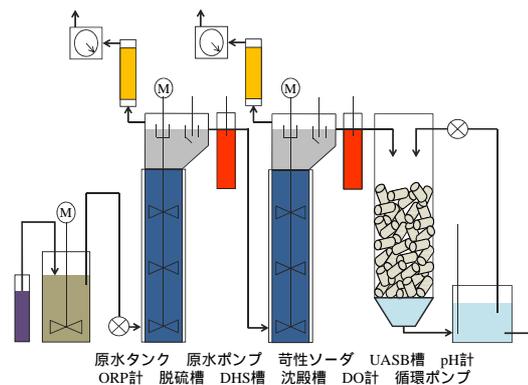


図 1 2 槽式 UASB - DHS 室内実験装置の概要

(2)オゾン回分実験方法

オゾン処理の回分実験にはトサトーヨー製 ECOZON を使用し、オゾン発生方法には紫外線ランプを用いた。濃度調整した油脂廃水を 2 つのポリバケツに各々 10L 投入してオゾン含有空気で曝気（10ppm、10L/min）した。オゾンによる油脂分解の温度による効果を確認するために、ヒーター制御で加温した場合（平均 33℃）としない場合（平均 25℃）を同時に行った。オゾン曝気時間に対する COD_{Cr} 濃度、SS 濃度、n-Hex.濃度、各種高級脂肪酸濃度を分析した。分析方法は、連続実験の水質分析方法と同様である。

4. 研究成果

(1)連続実験による処理性能

図 2 に UASB 槽の COD_{Cr} 容積負荷の経日変化を示す。COD_{Cr} 容積負荷は原水濃度によって変動し、運転開始から 390 日目までは 1 槽目 UASB 槽で 3kg/m³・d 以下になるように原水濃度を調整した。400～430 日目では原水濃度を上昇させて運転を行ったが、処理水質の悪化が生じたため、その後は 3kg/m³・d 程度で運転を行った。

図 3 に原水及び処理水の COD_{Cr} 濃度の経日変化を示す。運転 390 日目までの原水濃度は 200～2700mg/L の比較的 low 濃度に調整した。400～430 日目の原水濃度は 3500～5650mg/L と高濃度に調整し、それに伴い 1 槽目及び 2 槽目 UASB 槽の処理水濃度も上昇した。しかし、最終処理水である DHS 処理水濃度には変化は見られず、全運転期間を通じて平均 35mg/L と下水道放流基準を十分に満足する安定した水質を得ることができた。

図 4 に原水及び処理水の n-Hex.濃度の経日変化を示す。原水の n-Hex.濃度は 100～

1300mg/L と変動し、それにより DHS 処理水濃度に一時的な上昇が見られ、全運転期間を通じて平均 42mg/L の水質を得た。CODcr 容積負荷 $3\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ では安定的に下水道放流基準を満足させることは難しいことが確認された。また、UASB 槽の発生ガス中のメタン含有率は、UASB 槽の槽内温度が 25 以下において処理性能が低下した期間を除いて、おおむね 60% 程度以上が得られ、エネルギーとして利用可能であることを確認した。以上より、油脂廃水をオゾン処理した原水を 2 槽式 UASB - DHS 室内実験装置で連続処理した結果、処理水の n-Hex. 濃度の安定化に課題はあるが、発生したメタンガスはエネルギーとして回収でき、本システムの適用に有効性を確認することができた。

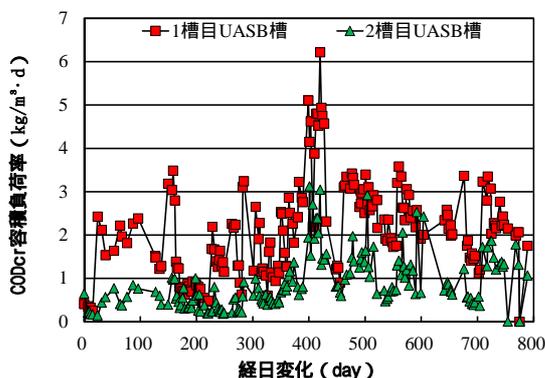


図2 UASB 槽の CODcr 容積負荷の経日変化

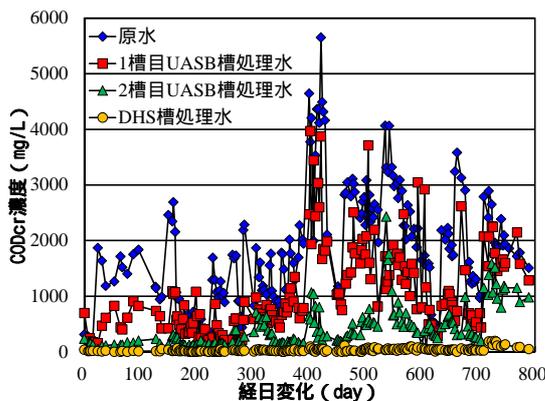


図3 原水及び処理水の CODcr 濃度の経日変化

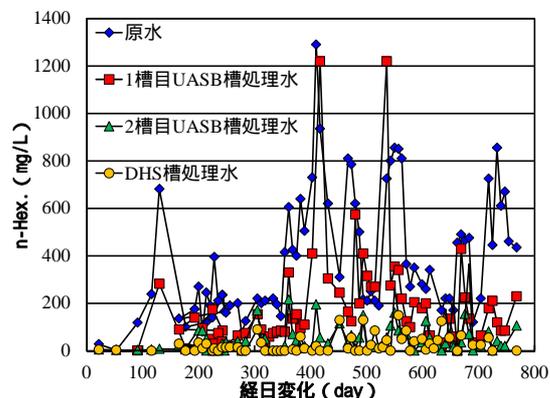


図4 原水及び処理水の n-Hex. 濃度の経日変化

(2) オゾンによる油脂の分解性能

図5に無加温で油脂廃水をオゾン処理した場合、図6に加温してオゾン処理した場合の各種高級脂肪酸濃度の経日変化を示す。無加温でのオゾン処理の場合には不飽和脂肪酸であるオレイン酸とリノール酸に減少傾向が見られた。一方、30 以上に加温してオゾン処理を行った場合には、不飽和脂肪酸に加えて、飽和脂肪酸であるパルミチン酸、ステアリン酸にも明らかな減少傾向が確認された。よって、油脂廃水のオゾン処理時の温度調整は、高級脂肪酸濃度の減少に効果があり、処理性能の安定化に寄与していると推察される。以上より、油脂廃水のオゾン処理は 30 以上に温度管理することにより高級脂肪酸濃度の減少に効果的であることを確認した。

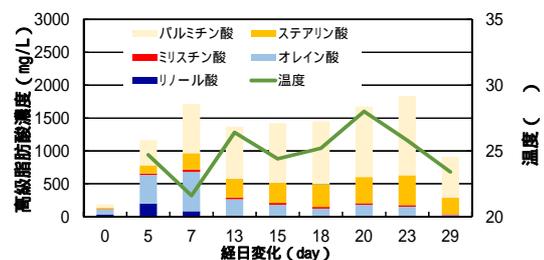


図5 加温無の場合の高級脂肪酸濃度の経日変化

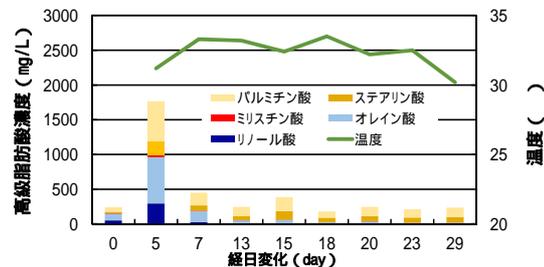


図6 加温有の場合の高級脂肪酸濃度の経日変化

本研究は、生物難分解性の油脂成分をオゾンで前処理をして高級脂肪酸の毒性を軽減させた後、省エネ型嫌気好気法 (UASB-DHS 法) で後処理を行い、その有機成分からメタンエネルギーを効率的に回収する方法を実験的に検討したものである。本研究の成果は、公共用水域の水質改善、地球温暖化の防止対策、省資源・省エネルギーの推進、廃棄物処分問題の解消に大いに貢献するものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計10件)

岡崎信二, 大北幸平, 山崎慎一, 山口隆司, 荒木信夫, 高橋優信, 2 槽式 UASB - DHS 法による油脂含有廃水の処理性能とオゾン処理の効果, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2014.9.12, 大阪大学
岡崎信二, 大北幸平, 山崎慎一, 山口隆司,

荒木信夫,高橋優信, 油脂含有廃水の生物学的処理における前オゾン処理の効果に関する研究,土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集,2013.5.31,徳島大学

大北幸平,岡崎信二,山崎慎一,山口隆司, 荒木信夫,高橋優信,2槽式 UASB - DHS システムによる高濃度油脂含有廃水の処理,土木学会年次学術講演会講演概要集,2013.9.6,日本大学

岡崎信二,大北幸平,山崎慎一,山口隆司, 省エネ型嫌気好気法によるオゾン処理した寮厨房油脂廃水の処理,土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集,2013.5.11,愛媛大学

大北幸平,浅野健二,山崎慎一,山口隆司, 省エネ型嫌気好気法を用いた寮厨房廃水の処理に関する研究,土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集,2012.5.19,高知工科大学

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ce.kochi-ct.ac.jp/~syama/kenkyu.html>

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