

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：56401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00647

研究課題名(和文) オゾンマイクロバブルと省エネ型嫌気好気法による食品加工廃棄物からのエネルギー創出

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・ソーシャルデザイン工学科・教授

研究者番号：60290821

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、飲食店や食品加工の厨房施設において、産業廃棄物として処理・処分されてきたグリストラップ内の油脂排水をオゾンマイクロバブルで生物分解し易い物質に分解させ、それを省エネ型嫌気好気法によってメタンエネルギーへと再資源化するシステムを提案した。省エネ型嫌気好気法の室内連続実験を行った結果、処理水質は原水の高負荷での濃度変動にも関わらず低濃度で安定した水質を維持することができたが、冬期の処理水温の低下は処理水質に著しい影響を及ぼすことが確認された。また、メタンガスの回収性能については、比較的高負荷時で80%程度の実用利用可能な高いメタン分圧を維持することができた。

研究成果の概要(英文)：Fat and oil in kitchen wastewater discharged from restaurants cause clogging and odor of sewer pipes. Therefore fat separated by oil/water separator called grease trap is periodically collected, and then disposed through dehydration, drying, incineration, and landfill. However, the disposal cost of fat are high. This study considered the treatment performance of a new kitchen wastewater system which combined anaerobic reactor and aerobic reactor. The system in lab scale was operated continuously to confirm the treated water quality and investigate the possibility of recovering methane. The result showed that the treated water quality could be less than the environmental standard. Also, the high methane partial pressure of approximately 80% was obtained.

研究分野：環境工学

キーワード：オゾン マイクロバブル 生物学的処理 厨房排水 メタンエネルギー

## 1. 研究開始当初の背景

レストランやラーメン店などの飲食店、学校や病院などの食堂、スーパーやコンビニなどの食品加工を行う事業所の厨房施設では、公共下水や河川などへの油脂の流出を防止するためにグリース阻集器（グリストラップ）の設置が義務付けられている。このグリストラップで高濃度に分離された油脂のほとんどは、産業廃棄物中間処理業者が定期的に回収・運搬し、乾燥・焼却・埋め立ての工程で処分が行われている。しかし、この油脂の処理処分においては、水分を含む油脂の焼却は煩雑で処理に多くの時間と高価な費用を要すること、焼却により地球温暖化に寄与するCO<sub>2</sub>を排出すること、中間処理場や最終処分場の確保が難しいこと、堆肥化などリサイクル商品の利用先が少ないことなどの課題がある。また、この油脂を減量化させる方法として、販売業者からグリストラップに投入する様々な油脂分解剤や分解微生物が販売されているが、減量化した確かな実証データはなく、実用的とは判断しがたい。そこで申請者は、この油脂の減量化にオゾンマイクロバブルを適用し、難分解性の油脂を生物分解し易い物質に変換させ、その後、生物学的処理法の一つである省エネ型嫌気好気法を用いて有機物をメタンに変換させるとともに、清澄な処理水を公共用水域に戻せる技術を提案する。

この省エネ型嫌気好気法は、高負荷型嫌気性処理法（別名：上昇流嫌気性スラッジブランケット法、以降UASB法と称す）と無曝気好気性処理法（別名：下降流懸架式スポンジ法、以降DHS法と称す）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、高効率な処理が可能、メタンエネルギーが回収できる、エアレーション動力が不要、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、地球温暖化対策、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①。UASB法は、本来有機物濃度が比較的高い産業廃水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、様々な廃水種へと適用拡大が検討されてきている。DHS法はポリウレタンスポンジが微生物の保持担体として反応槽内に充填されており、UASB処理水中の有機物はスポンジ表面や内部で分解される。汚泥は長い滞留時間でスポンジに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必要としない経済的な処理プロセスである。しかし、この省エネ型嫌気好気法を油脂含有廃水に適用する場合、油脂や高級脂肪酸が嫌気性微生物に阻害影響を及ぼすことが知られている。高級脂肪酸は微生物の細胞膜に吸着して膜の透過性を変化させたり、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②。

この油脂や高級脂肪酸の微生物への阻害を軽減するための方法としてオゾン処理を提案する。オゾンの水処理への利用は1980年代のし尿処理への適用から本格化し、1990年以降の上下水道や廃水処理等の分野で高品質の処理水を得るためのプロセスとして広く活用されてきた。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などの不飽和脂肪酸が含まれるが、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、微生物に分解され易くなると考えられている③。また、マイクロバブルは水中での消滅時にフリーラジカルを発生させ、オゾンを含む場合にはさらに大量の水酸基ラジカルを発生する。水酸基ラジカルは非常に強力な酸化剤であり、様々な有害化学物質を分解させたりすることが可能である④。このオゾンマイクロバブルは新しいタイプの促進酸化法として廃水処理技術への応用が期待されており、難分解性の油脂の分解にも効果的と考えている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、オゾンマイクロバブルと省エネ型嫌気好気法を使用し、グリストラップ堆積油脂からメタンエネルギーに再資源化する新規な処理システムとして実用化の可能性を実証することである。具体的には、油脂分解に効果的なオゾンマイクロバブル供給条件を回分実験によって確認し、また、省エネ型嫌気好気法による油脂の効率的な処理方法を連続実験によって検討を行う。

## 3. 研究の方法

## (1) 油脂分解の回分実験方法

図1にオゾンマイクロバブル室内実験装置の概要を示す。実験装置は2系列とし、両タンクに学生寮食堂グリストラップの厨房排水を100L投入して比較実験を行った。タンク1は空気のみを通常の散気管で供給し、タンク2はオゾン含有空気(20ppm、5L/min)をマイクロバブル発生機で供給した。オゾン発生装置はトサトヨー製ECOZON、マイクロバブル発生装置はエンバイロビジョン製YJ-7-MBSを使用した。マイクロバブル発生装置はタンク内水温を上昇させるため間欠運転(4分稼働、1分停止)とし、ラバーヒーターを設置して水温調節を行った。タンク2の排オゾンはオゾンモニター(2BTechnologies製Model 106-L)で計測し、活性炭吸着後に屋外に排出させた。

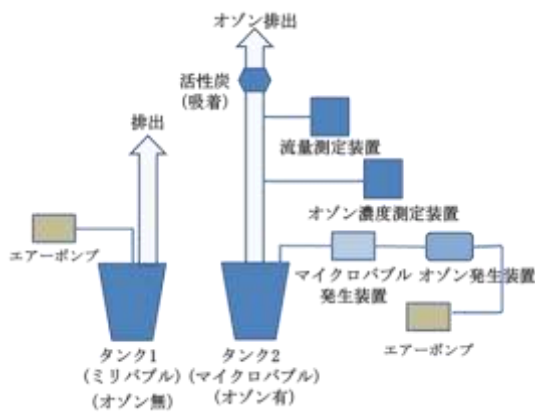


図1 油脂分解の回分実験装置の概要

## (2) 油脂排水の連続処理実験方法

食堂厨房排水への高負荷型嫌気性処理法及び DHS 法の適用性を室内連続実験装置によって検討した。実験は 2016 年 4 月 5 日から開始し、8 月 27 日(運転 144 日)までは供試汚泥の馴致と排水のメタン転換の確認実験(I 期実験)を行った。また、2016 年 11 月 19 日～2017 年 9 月 5 日(運転 228～518 日)は負荷増加による処理性能の確認実験(II 期実験)、2017 年 10 月 24 日～12 月 31 日(運転 567～635 日)は処理水温低下による処理性能への影響確認実験(III 期実験)を行った。

図 2 に室内連続実験装置の概略図を示す。実験に用いた排水は、高知高専学生寮食堂施設に設置されたグリストラップから比較的高濃度の排水が流出する夕方時間帯に定期的に採取したものである。このグリストラップには油脂の加水分解を促進させる目的でオゾン発生装置(トサトーヨー製 ECOZON)とマイクロバブル発生装置(エンバイロビジョン製 YJ-7-MBS)が設置され、連続的にオゾン含有空気(空気量 42L/min、オゾン濃度 4ppm)をマイクロバブルで供給した。原水槽には採取した排水を毎日追加投入して 100L を保持し、嫌気処理水の pH が 7～8 になるように苛性ソーダを使用して調整した。沈殿槽は嫌気槽への過剰な SS 流入を防止するために設置した。嫌気槽は負荷変動への対応と油脂の分解促進を目的として、I 期実験では UASB 槽を 2 槽直列(反応容量は 1 槽目 5L、2 槽目 7L)とし、食品製造排水で馴致したグラニューロ汚泥を植種した。しかし、1 槽目の UASB 槽でグラニューロ汚泥がさほど形成していなかったことから、II 期実験以降は 1 槽目を嫌気性固定床槽に変更した。嫌気性固定床槽にはビニール製の網をアクリル棒に巻き付けた生物付着担体を 10 本程度垂直方向に配置させた。嫌気槽は外気温が低下する冬期において恒温水槽及びヒーターによって加温し、25℃以上を維持した。嫌気槽で発生した消化ガス量は、脱硫後に湿式ガスメータ(シナガワ製 WS 型)で計測したが、I 期実験の発生ガス量が少なかったために計測精度が悪く、II 期実験以降はガスバックとシリンダーによる計測に変更した。DHS

槽で用いる担体のスポンジは、直径 33mm、高さ 35mm の円筒形ポリウレタンスポンジにプラスチックのカバーを装着したものを使用した。DHS 槽の容量は 21.5L、スポンジ内水容量 10.8L(槽内担体充填率 56%、担体内空隙率 90%)、スポンジ内汚泥濃度は 12gVSS/L で実験を行った。処理水の一部はスポンジ表面への固形物の堆積防止及び流入水の希釈のために循環比を約 6 倍に設定して処理水を循環させた。

実験装置の動作確認と処理性能の把握を目的として、毎日、外気温、各嫌気槽と好気槽の水温、原水及び各処理水の pH、各嫌気槽より発生するガス量を測定した。水質分析は、1 週間に 1 回、原水、沈殿分離水、1 槽目及び 2 槽目嫌気処理水、好気処理水を採水して、pH、SS、CODcr、ノルマルヘキサン抽出物質(以下、n-Hex.と記す)、各種高級脂肪酸を分析した。pH は電極法(HORIBA pH meter HP-480)、SS と CODcr は吸光光度法(HACH 製 DR6000)、n-Hex.はヘキサン抽出による重量測定法で分析した。各種高級脂肪酸については、n-Hex.分析後の残留物から脂質のアルカリ加水分解と脂肪酸のメチル化を行い、ガスクロマトグラフィー(島津製 GC-2014)で組成分析を行った。嫌気槽で発生するガスも、1 週間に 1 回、ガスクロマトグラフィー(島津製 GC-2014)を用いて分析した。

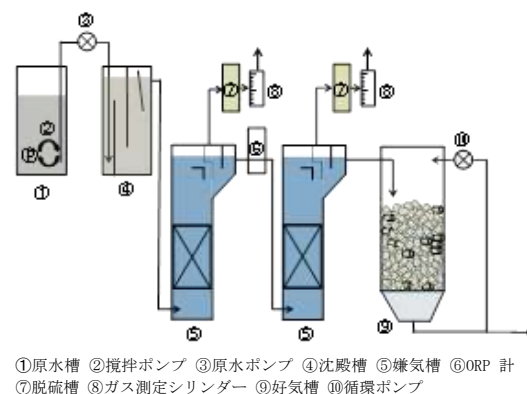


図2 油脂排水の連続実験装置の概要

## 4. 研究成果

油脂分解の回分実験は、約 5 日間の比較実験において、両タンクの水温をほぼ 30℃前後を保持することができた。両タンク内排水の CODcr 濃度は、実験開始時 400mg/L 程度に対して、オゾンありの方が明らかに減少速度は速く、4 日後の減少量も 100mg/L 程度多いことが確認された。n-Hex.濃度についても、開始時 60～80mg/L に対して、オゾンありの方が若干ではあるが減少速度は速いと判断された。よって、オゾンマイクロバブルが厨房排水の油脂分解に及ぼす効果はあると判断された。

連続実験において、I 期実験のスタートアップは、槽内に植種した微生物を馴致させるため、HRT を段階的に減少させ(0～31 日は

55h、32～69日は27h、70日以降は18h)、CODcr容積負荷を徐々に増加させた。同様にⅡ期、Ⅲ期もHRTを徐々に減少させ18時間とし、流入水の濃度に応じて調整を行った。HRTは嫌気槽及び好気槽の全ての反応容量(22.8L)に対する原水の滞留時間である。

嫌気槽のCODcr容積負荷は沈殿分離水のCODcrに流量を乗じ、2槽の合計容量(12L)で除して算出している。Ⅰ期実験では、原水濃度が低いために、嫌気槽は1g/L・d以下、好気槽は0.5g/L・d以下と低負荷で運転された。Ⅱ期実験においても運転初期は低負荷であったが、423日目に原水槽の攪拌をエアレーションから水中ポンプに変更したことで原水の酸化分解が抑制されて原水濃度が高くなり、444日目を以降では嫌気槽1～8.5g/L・d、好気槽で0.3～3g/L・d、Ⅲ期実験でも嫌気槽で3～6g/L・d、好気槽で1～4g/L・dの高負荷で運転された。

Ⅰ期実験における嫌気槽の処理水温は運転開始時の25℃程度から外気温の上昇に伴い32℃程度に上昇した。Ⅱ期実験の開始時の処理水温は嫌気槽28℃程度、好気槽18℃程度であったが、CODcr容積負荷が比較的高くなった444日以降では、嫌気槽は33～38℃程度、好気槽は28～33℃程度であった。Ⅲ期実験では外気温が低下した605日目を以降では、嫌気槽は1槽目で22～28℃程度、2槽目で26～32℃程度、好気槽は13～19℃程度であった。

図3に原水、沈殿分離水、2槽目嫌気処理水、好気処理水のn-Hex.の経日変化を示す。Ⅰ期実験及びⅡ期実験の443日目までは(一時的に原水濃度が上昇した346日目を除く)CODcr容積負荷は低負荷(嫌気槽1.7g/L・d以下、好気槽0.8g/L・d以下)であったことから、処理水は良好な水質が維持された。444日目以降になると、原水濃度が増加して大きく変動したが(沈殿分離水においてSS200～1800mg/L、CODcr500～3700mg/L、n-Hex.100～1200mg/L)、好気処理水は依然として安定した水質を維持することができ(SS100mg/L以下、CODcr170mg/L以下、n-Hex.20mg/L以下)、環境省が定める一律排水基準(SS200mg/L、n-Hex.30mg/L)を満足した。しかし、処理温度が低下したⅢ期実験の605日目以降では、沈殿分離水のSS460～1000mg/L、CODcr1000～2400mg/L、n-Hex.280～850mg/Lに対して、好気処理水は平均でSS

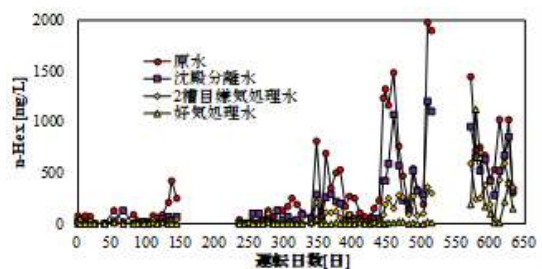


図3 n-Hex.の経日変化

580mg/L以下、CODcr473mg/L、n-Hex.159mg/Lに悪化した。処理性能は嫌気槽で30℃程度以下、好気槽で20℃程度以下の処理水温になると著しく影響を受けることが確認された。

厨房排水に含まれる油脂は脂肪酸とグリセリンのエステルであり、この脂肪酸の炭素数12個以上のものを高級脂肪酸という。この高級脂肪酸は嫌気性処理における酢酸利用メタン菌へ阻害影響があり、小松らは不飽和脂肪酸であるオレイン酸(C18:1)、リノール酸(C18:2)の嫌気性処理におけるメタン菌への阻害影響を確認している⑤。また、Kosterらは、飽和脂肪酸であるラウリン酸(C12:0)濃度がカプリン酸(C10:0)及びミリスチン酸(C14:0)の毒性を高めたことを報告している⑥。厨房排水の組成は複雑であり、種々の高級脂肪酸が存在していることから、処理性能に影響を与えている可能性がある。

本実験において、原水及び処理水中に比較的高濃度に検出されたのはパルミチン酸(C16:0)、ステアリン酸(C18:0)、ミリスチン酸(C14:0)であった。高級脂肪酸は444日目以降(Ⅲ期実験を含む)の原水濃度が高い期間でやや高濃度に検出され、パルミチン酸は沈殿分離水で最大400mg/L程度に対して嫌気処理水は70mg/L以下、ステアリン酸は最大70mg/L程度に対して20g/L以下、ミリスチン酸は最大20mg/L程度に対して2mg/L以下であった。嫌気性処理に阻害を及ぼすとされる不飽和脂肪酸は、オレイン酸が原水で5mg/L程度と非常に少量しか検出されておらず、飽和脂肪酸濃度もさほど高くなく、嫌気処理水では良好に分解されていることから、高級脂肪酸が直接処理性能に影響を及ぼしてはいないと推察された。

図4に嫌気槽におけるガス中のメタン分圧の経日変化を示す。1槽目及び2槽目の嫌気槽の発生ガス量はCODcr容積負荷の変動に応じて増減した。負荷が比較的高い452～482日目において物質収支を計算した結果、嫌気槽に流入したCODcr量のうち約48%がメタンガスに転換されていることを確認した。また、ガス中のメタン分圧は、CODcr容積負荷が2g/L・d程度以下では最大でも60～70%であったが、444日目以降の負荷が高い時期には1槽目及び2槽目ともに80%程度を安定的に維持できた。

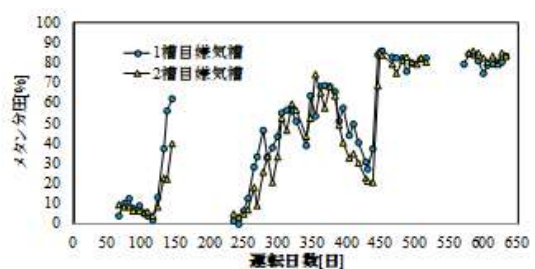


図4 メタンガス分圧の経日変化

以上より、本研究において厨房油脂排水にオゾンマイクロバブル及び生物学的処理法を適用したメタンエネルギー回収技術の基本性能を確認することができた。今後は水温低下時における効率的な運転方法の検討を継続していくことで実用性をさらに高めていくことが課題である。

<引用文献>

- ①大久保努ら、環境技術、41(11)、pp.675-678、2012
- ②花木啓祐ら、下水道協会誌、18(207)、pp30-39、1981
- ③津野洋、バイオプロセスハンドブック、pp289-306、2007
- ④高橋正好、用水と廃水、56(4)、pp.55-60、2014
- ⑤小松俊哉ら、衛生工学研究論文集、26、pp.1-8、1990
- ⑥Iman W. Koster, et al, Applied and Environmental Microbiology、pp.403-409、1987

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 8 件)

- ①吉田真悟、畠中亮子、山崎慎一、山口隆司、荒木信夫、高負荷嫌気性処理法と DHS 法による食堂厨房油脂排水の処理性能、第 24 回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集、2018 年 5 月 19 日、徳島大学
- ②畠中亮子、吉田真悟、山崎慎一、山口隆司、荒木信夫、食堂厨房油脂排水処理に適用した嫌気性固定床法と DHS 法の処理性能、第 52 回日本水環境学会年会講演集、2018 年 3 月 17 日、北海道大学
- ③畠中亮子、吉田真悟、山崎慎一、厨房油脂排水の生物学的処理におけるメタン回収性能に関する研究、第 7 回流域圏学会学術研究発表会研究発表要旨、2017 年 9 月 30 日、高知工科大学
- ④畠中亮子、松浦拓実、山崎慎一、山口隆司、荒木信夫、嫌気性固定床法と DHS 法を用いた食堂厨房油脂排水処理に関する研究、第 72 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2017 年 9 月 13 日、九州大学
- ⑤畠中亮子、松浦拓実、山崎慎一、食堂厨房油脂排水の生物学的処理に関する研究、第 22 回高専シンポジウム in Mie、2017 年 1 月 28 日、鳥羽商船高等専門学校
- ⑥畠中亮子、松浦拓実、山崎慎一、山口隆司、荒木信夫、省エネ型嫌気好気法による食堂厨房油脂排水からのメタン回収に関する研究、平成 29 年度土木学会四国支部第 23 回技術研究発表会、2017 年 5 月 20 日、愛媛大学
- ⑦山崎 悠、山崎慎一、山口隆司、荒木信夫、オゾンマイクロバブルによる食堂厨房油脂排水の処理に関する研究、平成 29 年土

木学会四国支部第 23 回技術研究発表会、2017 年 5 月 20 日、愛媛大学

- ⑧山崎慎一、谷本懂省、本田英佑、山口隆司、荒木信夫食堂厨房油脂廃水の流出特性とオゾンマイクロバブル処理効果、第 22 回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集、2016 年 5 月 28 日、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・ソーシャルデザインデザイン工学科・教授  
研究者番号：60290821