

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H03104

研究課題名(和文)複合センシングによる食品有機性油分含有排水の物理化学的管閉塞メカニズムの解明

研究課題名(英文)Elucidation for Physicochemical Blockage Mechanism of Wastewater Contained with Food Organic Oil by using Fusion Sensing

研究代表者

野口 良造 (Noguchi, Ryoza)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：60261773

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,700,000円

研究成果の概要(和文)：カルシウムイオンとオレイン酸によって発生した油脂固形物とフロリジルが合わさることで排水管内に堆積物を形成することを明らかにした。赤外分析計(NIRFlex N-500、Buchi製)を用いて、近赤外分析による油分濃度測定のための検量線の作成を行い、近赤外分析計によるオレイン酸濃度の測定の可能性を示した。近赤外カメラにバンドパスフィルター(940 nm)を装着し、940nm光源を用いて、模擬排水管の中のオレイン酸を測定した。モノクロ画像からオレイン酸の有無が鮮明に判別できることが確認できたことから、排水中の脂肪酸濃度のリアルタイム測定の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、油分が原因とされる閉塞が発生する現場で発生する課題をモデル化し、複合センシングによる管閉塞の複合的解析を通じて、管閉塞に関与する物質凝固の知見を獲得できる。新たな閉塞理論モデルの構築を通じて、物理的側面、化学的側面への解析手法の提案や解析的な学術的観点との融合によって、農学や工学分野への応用だけでなく、生物・医学分野への学術的応用へとつなげることができる。

研究成果の概要(英文)：It was found that the combination of oil solids and floridil generated by calcium ions and oleic acid forms deposits in the drainage pipes. Using an infrared analyzer (NIRFlex N-500, Buchi), a calibration curve for the measurement of oil concentration by near-infrared analysis was prepared, demonstrating the feasibility of using a near-infrared analyzer to measure oleic acid concentration. Oleic acid was measured in a simulated drainage pipe using a near-infrared camera with a bandpass filter (940 nm) and a 940 nm light source. The presence or absence of oleic acid was clearly discernible from the monochrome image, indicating the possibility of real-time measurement of fatty acid concentration in wastewater.

研究分野：農業工学

キーワード：PIV 閉塞モデル 近赤外 油分

1. 研究開始当初の背景

閉塞に関する理論的研究は、Hermans によるフィルタの完全閉塞、標準閉塞、中間閉塞の三つを用いた閉塞濾過モデルや(角谷 2013)、フィルタの微細構造や捕捉形態を仮定した研究がある。さらに、Kozeny-Carman 方程式を用いて、閉塞濾過モデルの応用が困難な場合の解析手法が提案されている(Iritani ら、2007)。しかしながらこれらの研究成果は、膜処理などのフィルタの閉塞度の経時変化をモデル理論から考察したものであり、実際の管閉塞メカニズムを明らかにしていない。

食器洗浄工程での過剰量のアルカリとの接触による鹸化(Keener ら、2008)、排水やコンクリートによるミネラル分の溶出と排水中の酸化剤成分による中性脂肪の加水分解と金属石鹸の形成(William、2012)、油脂固形物サンプルの分析から高濃度のパルミチン酸とカルシウムが金属原則の主生物として含有されていることの確認(Keener ら、2008)が報告されている。なかでも He ら(2013)、William ら(2012)は、コンクリートと排水から発生した Ca イオンと、排水中の遊離脂肪酸から鹸化が発生し、油脂固形物として管閉塞の原因になることを指摘した。形成された金属石鹸は粘性と融点が向上し、60°C以上の融解温度となるとともに、不飽和脂肪酸や低級脂肪酸の含有率の高い油脂は固形物形成が行われにくい。

分散コロイドによる粒子間の吸着、粒子の凝集によって閉塞物質の大きさが増加して引き起こされる閉塞、また閉塞を引き起こす粒子が、壁面間との摩擦力や帯電などで壁面に吸着し、さらに閉塞物質が増加して閉塞を誘発することが予測される。特に、水道水に含まれているカルシウムやシリカはプラス帯電を有することから、マイナス帯電している排水管に付着しやすいことが知られている。

したがって、管閉塞の大きな要因は、油分、水道水、排水管内部の帯電(静電的凝集)、水道水由来の Ca イオンと脂肪酸の反応による油脂固形物の生成(化学反応)、水流の減速による管底部の SS の堆積(流速・壁面摩擦)、油脂固形物に SS が捕集・堆積と水流の弱まりと管閉塞(摩擦・凝集・流速)と考えられる。

研究代表者(野口：京都大学)は「超小型排水処理を目指した油水分離・浮遊物質回収システムの開発と分離特性の検証、科学研究費基盤研究(C)、平成 26～28 年度(代表)」において、油や SS の回収による排水処理費用削減と資源リサイクルによる LCA、経済モデルの提案を行った(大塚ら、2016) (Ankyu et al, 2017)。さらに、含油排水が SS 回収に与える影響について測定実験を行い、排水中の含油排水量と SS のフィルタリング回収の関係を定量的に明らかにした(Ankyu and Noguchi, 2016)。

研究代表者(野口：京都大学)は、筑波大学研究基盤支援プログラム(B タイプ、2017 年度、2019 年度)によって、本研究を想定した小規模模擬実験装置を製作し、実験を継続している。その結果、排水中の SS を模したフロロジルと、排水中の油分を模した脂肪酸(ラウリン酸)が、それぞれ単独に排水中存在する場合は管閉塞が発生せず、共存することによってのみ管閉塞が発生し、管閉塞を人工的に再現することに成功した(大塚ら、2018、環境技術学会)

2. 研究の目的

現場での管閉塞の再現を目指し、複合センシングによる小型管閉塞再現装置システムの設計・開発を行うとともに、排水に関わる環境要因を変化させた管閉塞実験を行う。特に、管閉塞に関わる排水の流速変化を、高速・低速度撮影と粒子画像流速測定解析で行い配管中の流れの可視化を行う。また、近赤外分光法による脂肪酸の同定と吸着量の推定、デジタル静電電位測定器を利用し、油脂や SS 等の物理化学的相互作用を、閉塞物質と排水の運動解析、閉塞成分の化学分析から明らかにする。

有機性排水による排水管閉塞を対象に、実際の排水中に含まれる油脂や浮遊物質(SS)などを考慮した模擬排水や排水管の温度制御によって、排水管閉塞を人工的に再現し、排水管閉塞メカニズムを解明する。

3 . 研究の方法

(3-1) 複合センシングによる小型閉塞再現装置システムの設計・開発

小規模模擬実験装(「応募者の研究環境」参照)をベースに、ペリスタリックポンプ等を利用し可変型流速制御機能を加える。通常の厨房排水を想定した模擬排水を、Vortex を用いて、水、油脂、SS、洗剤、洗浄剤等の混合と攪拌を行い、作成する。フロリジルを用いて SS 粒度分布の均質化を図る。

管閉塞過程撮影ユニット：高速度と低速度両面から、動脈排水の配管に対する解像度の高い画像、閉塞メカニズムを時系列で把握する。低速度撮影カメラシステム(FinePix F770EXR、富士フイルム)、粒子画像流速測定システム(PIV LaserP、カトウ光研)を利用する。高機能動画解析(PIV ソフトウェア、Flow Expert2D2C、カトウ光研) による管閉塞に関する画像解析を行う。また、近赤外分光法カメラ(アートレイ・ARTCAM-130HP-WOM)によって、閉塞に起因する油脂の成分である脂肪酸とその量を推定する。

(3-2) 閉塞実験と閉塞成分の化学分析、閉塞理論の導出

粒子画像流速測定から閉塞物質の密度構造解析、流体ベクトルの可視化、閉塞過程の三次元解析を行う。化学成分分析：高温のときに威力を発揮するアルカリ剤やキレート剤、酵素を含む業務用食洗機用洗剤と排水中の油脂による鹸化による管閉塞の関与について閉塞実験を通じて考察する。また、溶解性のデンプン粒子、タンパク粒子、油滴など分散微細粒子、いわゆるコロイド物質についての粒度分析、成分分析を行い、管閉塞との関連の検討を行う。さらに実験データを基礎とした閉塞理論の導出、構築を行う。現場との関連：環境検査研究協会の協力を得て、環境省 ETV 事業に参加した食品加工場や飲食店への現地調査、排水管閉塞現場の排水調査分析(簡易デジタル流量計による排水流量測定、測定キット等による排水成分、COD、油分の含有率の指標である n-Hex 測定を継続的に行い、管閉塞の発生頻度との関連性の検討を行う。

4 . 研究成果

排水管内に油分含油排水を流し続けることで、閉塞原因物質が堆積する模擬排水の成分を検討した。「カルシウムイオン、オレイン酸、フロリジル(浮遊物質)が含まれる模擬排水」、「閉塞原因物質の堆積が見られない水道水、カルシウムイオン、フロリジルで作成したの模擬排水」を用意し、排水が流れる様子を PIV システムで解析することで比較を行ったところ、フロリジルが含まれる排水は流速が低下した。さらに、カルシウムイオンとオレイン酸によって発生した油脂固形物とフロリジルが合わさることで排水管内に堆積物を形成することを明らかにした。また、排水管内に閉塞原因物質が一旦堆積すると、同じ流速の排水を流しても堆積が解消されないことを明らかにした。

赤外分析計 (NIRFlex N-500、Buchi 製) を用いて、近赤外分析による油分濃度測定のための検量線の作成を行った。遠沈管に蒸留水とオレイン酸を加えることで作成したサンプルとそのサンプルの油分濃度を解析した。つぎに、作成した 63 サンプルのオレイン酸濃度とサンプルを近赤外分析計で解析し検量線を作成した。作成された検量線の回帰式の決定係数 R^2 は 0.9901 であり、近赤外分析計によるオレイン酸濃度の測定の可能性を示した。一方で、フロリジルが模擬排水に含まれると吸光度が低下し、正確なオレイン酸濃度が困難であることを明らかにした。

さらに、近赤外カメラにバンドパスフィルター (940 nm) を装着し、940nm 光源を用いて、模擬排水管の中のオレイン酸を測定した。その結果、モノクロ画像からオレイン酸の有無が鮮明に判別できることが確認できたことから、排水中の脂肪酸濃度のリアルタイム測定の可能性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔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 TENG LI, Shin Endo, Tofael Ahamed, Ryozo Noguchi, Toshihiko Otsuka
2. 発表標題 Analysis of Oil Droplets Movement in Grease Trap by Using Particle Image Velocimetry 食品有機性油分に起因する排水管閉塞プロセスモデル
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会（神戸）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠藤 慎, 李 騰、大塚俊彦、野口良造
2. 発表標題 食品有機性油分に起因する排水管閉塞プロセスモデル
3. 学会等名 第80 回農業食料工学会年次大会（オンライン開催）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大塚俊彦、遠藤慎、李 騰、野口良造
2. 発表標題 排水管閉塞につながる食品油脂固形物の生成プロセス解析
3. 学会等名 第80 回農業食料工学会年次大会（オンライン開催）
4. 発表年 2022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	A h a m e d T o f a e l (Ahamed Tofael) (40593265)	筑波大学・生命環境系・准教授 (12102)	

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
---------	---------