

京都大学	博士 (工 学)	氏名	FEBRIAN RIZKianto
論文題目	Potential and Extraction of Wastewater Lipid for Biodiesel Production (バイオディーゼルの製造のための下水中脂質の利用可能性と抽出に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>バイオディーゼル燃料 (BDF) は、従来の化石由来ディーゼル燃料の代替可能物質として期待が寄せられているが、生産コスト、食糧需要との競合や土地利用変化への懸念がある。一方、下水中には脂質が含まれ、その収集システムが確立されており、継続的に発生するため、持続可能な BDF 原料とできる可能性がある。本論文では、下水中脂質の BDF 原料としての有効性を調査している。具体的には、下水処理場等で得られたオイルボールやスカム、各種汚泥の性状調査から、その利用可能性を評価するとともに、オイルボールを対象とした高効率な脂質抽出法を検討したもので 5 章から成っている。</p> <p>第 1 章では本研究の背景として、世界におけるエネルギー事情と BDF について説明し、下水に含まれる脂質の発生量推定を海外の調査例を中心に紹介している。また、日本の下水汚泥の発生と処理処分について述べられた後、BDF の生産技術について、下水中の脂質からの BDF 生産に関する先行研究を中心に文献調査が行われ、最後に、本研究の目的および本論文の構成が説明されている。</p> <p>第 2 章では、日本の 2 か所の下水処理場から得られた種々の下水汚泥やスカムの BDF 原料としての可能性を評価している。各試料はヘキサンによるソックスレー抽出と酸触媒を用いたトランスエステル化により BDF に変換された。その結果、最初沈殿池スカムの脂質収率と BDF 収率がそれぞれ 28.5%と 11%となり最大値を示した。さらに、BDF に含まれる脂肪酸を分析した結果、汚泥種にかかわらず、パルミチン酸 (C16:0)、ステアリン酸 (C18:0)、オレイン酸 (C18:1)、リノール酸 (C18:2) が優勢であり、従来の BDF 原料として植物性油や動物性脂肪と比較した結果、下水由来の脂質も、BDF 生産に適していることを明らかにしている。</p> <p>第 3 章では、日本の 2 か所の下水処理場の最初沈殿池スカム、および最初沈殿池汚泥に加え、ポンプ場から採取したオイルボールを対象に、その季節変動を含めた性状調査として、固形物組成や元素組成、発熱量、熱分解挙動、およびバイオマス度を明らかにするとともに、BDF 原料としてのポテンシャルが評価されている。本章での脂質抽出は、簡便なヘキサンによる機械的振とう抽出により行われ、他は第 2 章と同様の BDF 変換プロセスにより実施された。その結果、オイルボールと最初沈殿池スカムの平均脂質収率は 45~49%で、最初沈殿池汚泥の 4 倍であり、季節変動としては冬季に高くなる傾向がみられ、気温が影響していることが示唆された。抽出された脂質から生産された平均 BDF 収率は 4.5%~19.9%であった。これらから日本におけるオイルボールと最初沈殿池スカムを原料とした BDF の生産可能量を推定したところ、年間約 447 トンの BDF を生産でき、現在の廃食用油からの生産量 20,000 トン/年の 2.2%しか満たさないが、特にオイルボールは固形物濃度、炭素量、発熱量が高く、下水処理や汚泥処理に影響を与えず、収集が不要でポンプ場から採取できるため、最も実用的な BDF 原料として結論づけている。</p> <p>第 4 章では、BDF への変換の前処理として、オイルボールからの効率的な脂質抽出法として、液化ジメチルエーテル (DME) を溶媒とした抽出を検討した。DME は 6 気圧程度の加圧で容易に液化し、脱水も可能で無害な抽出剤として注目されている。Box-Behnken デザインに基づく応答曲面法を用いて液化 DME による抽出実験を計画し、流通</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	FEBRIAN RIZKianto
<p>式の抽出実験装置を用いて、サンプルサイズ、DME 速度、DME/サンプル比の最適な組み合わせを検討した。最適な DME 抽出条件（サンプルサイズ 1 mm、DME 速度 3.33 m/h、DME/サンプル比 80 mL/g）では、脂質収率が最も高く 65.2%となり、ヘキサンを用いた機械的振とう抽出による脂質収率（49%）やソックスレー抽出による脂質収率（62%）よりも有意に高い収率となり、本方式の有効性が示された。</p> <p>第 5 章では、本研究での主な結果が総括され、今後の課題や展望が示されている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

バイオディーゼル燃料 (BDF) は再生可能な液体バイオ燃料であり、化石由来燃料の代替として有望視されているが、生産コスト、食糧需要との競合や土地利用変化への懸念があり、持続可能な脂質原料の探索が行われてきた。本研究では、下水や下水汚泥に含まれる脂質が、BDF 製造のための有効な脂質原料となる可能性について調査した。BDF の品質は原料の性状に影響されるため、種々の下水汚泥や沈殿池スカム、オイルボールの性状、脂質収率、BDF 収率について実験的に検討し、日本における原料生成量と BDF ポテンシャルを評価した。さらに、ジメチルエーテル (DME) による脂質抽出の最適化を行い、脂質収率向上を検討した。本研究の主な結論は以下の通りである

1) 最初沈殿池汚泥、余剰汚泥、混合汚泥、脱水汚泥、最初沈殿池スカム、最終沈殿池スカムについて脂質および BDF の収率に関する実験を行った結果、最初沈殿池スカムが脂質収率と BDF 収率がそれぞれ 28.5%と 11%となり最も高かった。脂肪酸メチルエステルの分析では、汚泥の種類にかかわらず、パルミチン酸 (C16:0)、ステアリン酸 (C18:0)、オレイン酸 (C18:1)、リノール酸 (C18:2) が優勢であり、BDF 生産に適していることが示された。

2) オイルボールと最初沈殿池スカムの平均脂質収率は 45~49%で、最初沈殿池汚泥の 4 倍であり、季節変動としては冬季に高くなる傾向がみられ、気温が影響していることが示唆された。平均 BDF 収率は 4.5%~19.9%であった。これらから日本におけるオイルボールと最初沈殿池スカムを原料とした BDF の生産可能量を推定したところ、年間約 447 トンの BDF を生産でき、現在の廃食用油からの生産量 20,000 トン/年の 2.2%しか満たさないが、特にオイルボールは固形物濃度、炭素量、発熱量が高く、下水処理や汚泥処理に影響を与えず、収集が不要でポンプ場から採取できるため、最も有望な下水由来の BDF 原料であることを明らかにした。

3) Box-Behnken デザインに基づく応答曲面法を用いて液化ジメチルエーテル (DME) による抽出実験を計画し、流通式の抽出実験装置を用いて、サンプルサイズ、DME 速度、DME/サンプル比の最適な組み合わせを検討した。DME による脂質抽出の最適条件は、サンプルサイズ 1 (mm)、流速 3.33 (m/h)、DME/サンプル比 80 (mL/g) であった。従来の脂質抽出と比較すると、DME は機械的抽出 (49%) およびソックスレー抽出 (62%) よりも高い脂質収率 (65.2%) を示し、本方式の有効性が示された。

本論文は、下水中に含まれる脂質の BDF 変換、およびその利用可能性、ならびに新たな脂質抽出法に関する科学的知見を提供し、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 6 年 2 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。