

氏名（本籍）	荒巻 徹
学位の種類	博士（生物工学）
学位記番号	博 甲 第 9861 号
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	生命環境科学研究科
学位論文題目	藻類バイオ燃料生産のダウンストリームプロセスに関する研究

主査	筑波大学教授	博士（工学）	市川 創作
副査	筑波大学教授	博士（農学）	青柳 秀紀
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	野口 良造
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	野村 名可男

## 論 文 の 要 旨

地球温暖化の対策として、藻類バイオマスを利用した燃料生産が検討されている。藻類バイオマスをエネルギー資源として利用する利点として、カーボンニュートラルであること、食料生産との競合が少ないこと、陸上植物と比べて耕作面積当たりのバイオマス生産量が多いことが挙げられる。藻類バイオマスを資源とした燃料生産に関する研究では、藻類のスクリーニングや培養などのアップストリームプロセスに関する検討が多く報告されているが、培養により得られた藻類懸濁液の濃縮とバイオ燃料の製造というダウンストリームプロセスについての一貫した研究報告は少ない。しかし、藻類バイオ燃料の実用化に向けた課題の1つである生産コストの削減には、効率的なダウンストリームプロセスの開発が必要不可欠である。本論文で著者は、藻類バイオ燃料生産の社会実装に向けて、ダウンストリームプロセスを構成する藻類懸濁液の脱水・濃縮技術とバイオ燃料の製造技術について統一的な観点から研究を行った。

著者は第1章において、藻類バイオマスのエネルギー資源としての利用に関する既往の研究を俯瞰的にまとめ、研究の背景について説明すると共に、本論文における研究の目的と意義を述べた。

第2章で著者は、既存技術を組み合わせた微細藻類の脱水・濃縮プロセスを検討し、その可能性と課題を明らかにした。連続遠心分離と、これに続く凝集・ろ過により、藻類培養液を脱水・濃縮し、処理速度、濃縮後の固形分濃度、および脱水・濃縮プロセスに要したエネルギーを評価した。その結果、この脱水・濃縮プロセスにより、固形分濃度0.0286 wt%の希薄な藻類培養液約15 tを、約2.5時間という短時間で固形分濃度24.6 wt%にまで脱水・濃縮できることを示した。しかし、連続遠心分離操作に多くのエネルギーが必要であることや、凝集剤の使用が課題であることを明らかにした。

第3章で著者は、第2章の結果を受けて、連続遠心分離機と凝集剤を使用せず、ろ過操作のみで微細藻類を濃縮する方法を提案し、その有効性を実験的に検証した。藻類培養液のろ過挙動に対するろ過膜の孔径や、藻類培養液の固形分濃度の影響を調べた。その結果、藻類のサイズよりもあえて孔径の大きなろ過膜を使用し、固形分濃度0.1 wt%程度まで予備濃縮した藻類懸濁液をろ過することで、膜面への藻類の堆積により形成される藻類ケーキ層により微細藻類が阻止されることを明らかにした。このケーキろ過により、300 L/(m<sup>2</sup> h)

を超える高い平均透過流束で、阻止率約98%で固形分濃度18.4 wt%まで濃縮できることを示した。また、ろ過特性に対するろ過圧力や堆積ケーキ量の影響を実験的に評価し、その結果を定量的に解析することで、藻類ケーキ層は圧縮性があることを明らかにすると共に、ケーキろ過を効率的に実施するための操作条件を示した。

第4章で著者は、第3章で明らかにしたケーキろ過における予備濃縮の必要性、ならびにケーキ層の圧縮性を解決する方策として、ろ過助剤の利用を検討した。ろ過助剤として米糠を使用し、ろ過膜の上に米糠の層を形成してから、藻類懸濁液をろ過するプリコート法により、膜の目詰まりを抑制できることを明らかにした。また、この米糠をろ過助剤としたプリコート法により、予備濃縮を行わない希薄な藻類懸濁液をろ過した場合でも、微細藻類と米糠の混合濃縮物をケーキ層として回収できることを見出した。

第5章で著者は、第4章のプリコート法によるろ過濃縮で得られる微細藻類と米糠の混合濃縮物を原料として水熱液化処理を行い、バイオ原油の生産を検討した。その結果、微細藻類と米糠をそれぞれ個別に水熱液化処理するよりも、混合物を水熱液化処理した方が、原料乾燥重量基準で30 wt%を越える多くのクルードオイルが得られることを明らかにした。また、クルードオイルの分析結果から、重質系の油分が生産されており、その高位発熱量は化石燃料である原油と石炭の中間の値である約37 MJ/kgであることが示した。これにより、微細藻類と米糠の混合濃縮物の水熱液化処理によりバイオ原油が生産できることを明らかにした。

第6章で著者は、本論文を総括し、第2章から第5章までの知見を組み合わせて、微細藻類の脱水・濃縮から燃料製造までの一貫したダウンストリーム構築を想定した俯瞰的検討を行い、藻類バイオ燃料生産の新たなダウンストリームプロセスを提案した。

## 審 査 の 要 旨

本論文で著者は、藻類バイオ燃料生産の社会実装に向けて、効率的なダウンストリームプロセスを構築するという観点から、プロセスの構成要素である微細藻類懸濁液の脱水・濃縮技術とバイオ燃料の製造技術について系統的に研究した。はじめに、既存技術である連続遠心分離と凝集・ろ過を組み合わせた脱水・濃縮技術の有効性と課題を明確に示した。また、その課題を解決する方法として、米糠をろ過助剤とする独自の着想により、希薄な藻類懸濁液をケーキろ過により、高い阻止率、早いろ過速度で脱水・濃縮し、微細藻類と米糠の混合濃縮物を回収する新規な手法を開発した。さらに、この混合物を水熱液化処理することで、化石燃料に相当する発熱量のバイオ原油が得られることを示した。さらに、各要素技術の検討により得られた知見を統合し、藻類バイオ燃料生産において効率的なダウンストリームプロセスを構築する指針を示した。これらの成果は、藻類バイオマスを利用したバイオ燃料生産に向けた有用な技術的知見であると共に、生物工学分野における学術的成果としても高く評価される。

令和3年1月21日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（生物工学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。