

| | | | |
|---------|---|--------|------------|
| 氏名 | Devitra Saka Rani | | |
| 学位の種類 | 博士（生物資源工学） | | |
| 学位記番号 | 博甲第 10105 号 | | |
| 学位授与年月日 | 令和 3 年 9 月 24 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 | A Novel Prediction Method and Techno-economic Analysis for Sustainable Biofuel Production from Native Polyculture Microalgae in Japan and Indonesia (日本とインドネシアにおける土着多種混合培養微細藻類からの持続的なバイオ燃料生産のための新規予測手法と技術経済性分析) | | |
| 主査 | 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） | トファエル アハメド |
| 副査 | 筑波大学教授 | 博士（農学） | 北村 豊 |
| 副査 | 筑波大学教授 | 博士（工学） | 市川 創作 |

論文の要旨

微細藻類バイオマスは、他の植物系バイオマスに比べて成長速度が速く生産性が高いため、バイオ燃料の原料として優れている。しかし、微細藻類の大量培養に広く用いられる開放型レースウェイ Pond は、外部環境からのコンタミネーションが発生し易く、特に単一種培養では生産性に影響を与えることが懸念されている。一方で、地域固有の複数の微細藻類種を利用した土着多種混合培養は、このようなコンタミネーションに強く、単一種培養に比べて高い生産性が安定して得られることから、商業的バイオ燃料生産への利用が期待されている。本論文では、日本とインドネシアにおける土着多種混合培養微細藻類を用いた持続的なバイオ燃料生産のために、微細藻類の年間生産量予測手法の提案と技術経済性分析を行うことを目的とした。

著者は第一章において、日本とインドネシアにおけるエネルギー利用の現状、持続可能なバイオ燃料生産の概要、本論文の目的を述べた。引き続き第二章において、福島県南相馬市に生息する微細藻類群集を対象に、半連続式開放型レースウェイ Pond における土着多種混合培養による微細藻類の年間生産量を予測し、バイオ原油の収量を推算するための新規手法として、単一種培養モデルをもとに発展させた多種混合培養モデルを提案した。その結果、微細藻類の年間生産量に大きく影響を与える因子は、培養する微細藻類種、温度や日射量などの環境因子、微細藻類の初期濃度であることを明らかにするとともに、予測値と実測値の二乗平均平方根誤差が 0.08 となり、提案された多種混合培養モデルは高い精度を示した。

著者は第三章において、微細藻類によるバイオ燃料生産の実現に向けて、日本とインドネシアでの開放型レースウェイ Pond による微細藻類生産を比較した。温暖湿潤気候と、熱帯雨林気候における在来型の複数の微細藻類種を利用した土着多種混合培養を、既存の測定データから検討するとともに、バイオリファイナリーの基本計画・基本構想を、学術的視点から提案した。温暖湿潤気候での測定データとして、福島県南相馬市の藻類燃料生産プロジェクトの研究成果を、また、熱帯雨林気候の測定データとして、ガジャマダ大学によるインドネシアでの微細藻類培養の研究成果を用いた。その結果、廃 CO₂ や廃水といった産業廃棄物を、低コストの栄養資源として微細藻類の培養に利用し、CO₂ の回収と廃水浄化を同時に行うシナリオは、微細藻類を利用したバイオリファイナリーの有望な技術であることを明らかにした。また、生

産性の向上と生産コストの削減のために、在来型微細藻類種の細菌との共生など、総合的な微細藻類の培養特性を把握することが重要であることを指摘した。

著者は第四章において、日本とインドネシアでの土着多種混合培養によるバイオ原油生産コストを技術経済分析から評価した。日本では廃 CO₂ や廃水の利用、インドネシアではパーム搾油工場の排水と余剰エネルギーの利用を検討した。その結果、本バイオ燃料生産では、特に水熱液化工程の設備投資や運転コストが大きいことを指摘するとともに、バイオ原油の価格が、日本とインドネシアのそれぞれについて、楽観シナリオでは 5.47 USD/L と 2.00 USD/L、ベースラインシナリオでは 12.32 USD/L と 4.00 USD/L となることを示した。また、技術経済分析における感度分析から、微細藻類収穫後の脱水プロセスや水熱液化によるバイオ原油抽出プロセスの設備運営コストや人件費が、最終的なバイオ燃料の価格に大きく影響を与えることを指摘した。

以上を総括すると、本論文では、微細藻類の多種混合培養モデルによる新規予測手法の開発から、微細藻類によるバイオ燃料生産の実現に向けた基本計画・基本構想までの包括的な研究が実施された。特に、日本とインドネシアでの開放型レースウェイポンドによる微細藻類生産の比較のなかで、廃 CO₂ や廃水、廃エネルギーの利用による、微細藻類燃料生産の実現可能性について詳細に検討を行い、従来のバイオ原油生産に比べて大幅にコストを低下できる可能性を明らかにした。

審 査 の 要 旨

本論文は、エネルギー安全保障の観点から、在来種微細藻類からのバイオ燃料生産を想定し、持続的なバイオ燃料生産に向けて、日本とインドネシアの自然界に生息する土着型の多種混合培養微細藻類を対象として、年間を通じた屋外環境下での藻類群の成長速度とバイオ燃料生産量を予測できる「多種混合培養微細藻類成長モデル」を新たに提案した。また、パーム搾油工場排水と余剰エネルギーを用いた藻類生産とバイオリファイナリープロセスを、技術、環境、経済の側面から評価を行い、大規模生産の実現可能性について言及した。これらの成果は、生物資源工学分野において学術的に大きく貢献するものである。以上から、本論文は、高い学術的価値を有し、博士論文としてふさわしい内容であると判断される。

令和 3 年 7 月 26 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（生物資源工学）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。