

氏名	Dhani Satria Wibawa		
学位の種類	博 士 ( 農 学 )		
学位記番号	博 甲 第	8 8 2 2	号
学位授与年月日	平成	3 0 年	9 月 2 5 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	Integrated Energy Analysis and Advantage Approach for Evaluation of Microalgae Oil Production System at Minamisoma Pilot Plant in Japan (南相馬パイロットプラントにおける微細藻類オイル生産の統合エネルギー分析とアドバンテージアプローチ)		
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	筑波大学助教	博士 ( 農 学 )	源川 拓磨
副査	筑波大学教授	工学博士	中嶋 光敏

## 論 文 の 要 旨

現代社会にとってエネルギーは不可欠な役割を担っている。しかしながら、現在のエネルギー資源は主に化石燃料に由来するため、化石燃料の消費に伴う CO<sub>2</sub> の排出、原油の価格上昇や枯渇問題は、化石燃料の利用において大きな課題となる。微細藻類から生産される第 3 世代バイオ燃料は、食料生産や農地との競合問題を回避できると同時に、他のエネルギー作物と比較してより多くの油を効率良く生産できる微細藻類の存在から、化石燃料の利用による諸課題の解決策として期待されている。本論文は、微細藻類オイル生産のために福島県南相馬市に建設されたパイロットプラントを対象として、微細藻類の培養からオイルの抽出までのすべての段階を考慮し、パイロットプラントでのエネルギー消費量にもとづいて、微細藻類オイル生産のための統合エネルギー分析を行い、実際の工業規模での生産プラント設計の意思決定に資することを目的としたものである。微細藻類バイオ燃料生産のためのエネルギー分析では、水熱液化処理 (HTL: Hydrothermal Liquefaction) の実験結果をもとに、パイロットプラントで用いられている各技術の理論モデルを用いて、パイロットプラント全体のエネルギー収支比 (EPR: Energy Profit Ratio) から考察を行った。さらに、パイロットプラントに適用される可能性のある技術の選択の意思決定のために、優位性選択 (CBA: Choosing by Advantage) を利用した。

著者は、第一章において、本論文の研究背景である第 1 世代バイオ燃料から第 3 世代バイオ燃料への開発の経緯について紹介し、研究目的の詳細を述べた。つづく第二章では、微細藻類の文献調査から、微細藻類は栄養価の観点から食品または飼料の原料として利用されるとともに、エネルギー利用の観点からも研究が進められていることを述べた。また、エネルギー利用の研究では、現実的な微細藻類オイル生産プラント、またその前段階でのパイロットプラントを対象とした EPR からの知見や考察が少ないことを述べ、その研究の必要性を指摘した。また、微細藻類オイル生産プラントの設計のための意思決定について、意思決定支援手法としてのアドバンテージアプローチについて説明を行った。

著者は、第三章において、福島県南相馬市に建設された微細藻類オイル生産のためのパイロットプラントを対象として、HTL の実験結果およびプラント全体の理論的エネルギー消費量と生産された微細藻類バイオクルードの量から EPR を求め考察を行った。その結果、微細藻類バイオクルード 1 L を生産するためのエネルギー消費量は 193.27 MJ であり、そのうち HTL では 94.29 MJ (68.7%)、培養では 15.40MJ (11.2%)、ドラム

濾過では 14.17 MJ (10.3%)、遠心分離では 13.39 MJ (9.8%) のエネルギー消費量であった。また、藻類培養工程で藻類重量比を 0.03% から 0.10% まで向上させると、EPR が 1.41 から 1.63 まで向上することを示した。

著者は、第四章において、微細藻類バイオクルードを生産する過程でエネルギー消費量の大きい HTL の代替案を検討するために、HTL、溶媒抽出、および熱分解を技術的代替案とする CBA による技術導入のための意思決定モデルを提案した。その結果、現在の HTL 技術は、他の代替案と比較してエネルギー消費量が多いが利点も多く、現時点では適した技術であることを明らかにするとともに、熱回収機構を組み入れたエネルギー効率の高い HTL 装置の開発研究が必要であることを指摘した。さらに、つづく第五章において、論文の全体的な総括を行うとともに、プラントのスケールアップの可能性について述べた。

以上を総括すると、本論文を通じて、微細藻類オイル生産プラントの設計を、統合エネルギー分析による EPR の観点から検討を行うことができる手法が示されるとともに、プラント設計者のために、どのような微細藻類バイオクルード変換技術が適切かを判断できるモデルが提案され、その可能性と汎用性が示された。

## 審 査 の 要 旨

本論文は、ラボスケールでこれまで議論されてきた微細藻類オイル生産を、パイロットプラントでの生産体系を対象として、特に微細藻類培養からバイオクルード抽出までのエネルギー消費量と EPR に着目し、プラント設計のための技術的可能性と改良を行うための技術的問題点を抽出したものである。さらに、微細藻類バイオクルード変換技術の代替案を検討するために、CBA による意思決定モデルを提案し、今後の微細藻類オイル生産のための大規模プラントの設計に大きく貢献することが期待される。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。

平成 30 年 7 月 9 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（農学）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。