

氏名（本籍）	Kumarage Thilanka Ariyawansha		
学位の種類	博士（生物資源工学）		
学位記番号	博 甲 第 9845 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	An Integrated System Analysis of Sugarcane Harvesting and Pre-Processing for Maximizing Sugar and Energy Production (サトウキビ収穫と前処理における統合システム分析：砂糖とエネルギー生産の最大化)		
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（連携大学院）	博士（農学）	元林 浩太

## 論 文 の 要 旨

サトウキビ (*Saccharum officinarum*) 生産にもとづくテーブルシュガー産業は、食品としての甘味とエネルギーを供給する世界的な主要産業の一つである。世界の砂糖生産量は年率 2.1% で増加し、なかでも発展途上国での砂糖生産量は、2025 年に世界の約 79% を占めると予測されている。サトウキビの栽培、収穫、運搬、原料糖生産工程において、砂糖生産性向上や生産に関わるエネルギー効率の改善を図るためには、生産現場だけでなく、社会、環境、経済システムとの連携が不可欠である。現在のテーブルシュガー産業では、特に発展途上国において、労働生産性、機械化、サトウキビ収穫残渣の廃棄物管理、高品質サトウキビの需要、高水分含有バガスを用いたバイオマスエネルギー利用などの課題がある。本研究では、エネルギー統合プロセスを備えた新しいサトウキビ収穫システムの提案と検証、およびテーブルシュガー産業の政策立案に資する動的システムモデルの構築と解析を目的とした。

著者は第一章において、主に本研究の目的の詳細を述べるとともに、第二章において、スリランカ国でのサトウキビ生産を含むテーブルシュガー産業、原料糖生産工程におけるバイオマスエネルギーの生産と利用について言及し、システムダイナミクス応用の文献調査を行った。

著者は第三章において、原料糖生産工程におけるバイオマスエネルギー利用の最大化と、圃場からのサプライチェーンでの砂糖生産損失の削減のためのアプローチとして、サトウキビの茎と乾燥葉の同時収穫と収穫後の原料糖生産工程でのバイオマスエネルギー利用（以下「CDLH システム」）を提案した。また、CDLH システムと、現在行われているサトウキビの茎のみの収穫と原料糖生産工程でのバイオマスエネルギー利用（以下「CCH システム」）の比較分析を行った。その結果、CDLH システムでは、圃場でのサトウキビの収穫作業は簡易化されるが収穫量が増加するため、圃場から原料糖生産工場までの輸送エネルギーが増加した。また、原料糖生産工程において、サトウキビのチョッピングや洗浄を行う必要があるため、消費エネルギーが増加した。一方で、CDLH システムは、砂糖生産損失の削減効果と高いバイオマスエネルギーポテンシャルを示し、1t のサトウキビ原料から 20 kg 以上の原料糖と 244 kWh の電力を生産できることが明らかとなった。

著者は第四章において、水熱液化（以下「HTL」）を用いた統合バガス利用によるバイオマスエネルギーポテンシャルを、既存の公表データと、著者自らの実験データを用いて解析した。また、HTL 工程によって生産されたバイオクルードオイルからの炭化水素収率を、異なる熱回収率による HTL 工程をもとに検討した。そ

の結果、従来の熱利用システムと比較して、HTL 工程での熱回収率が 23%以上であれば外部への電力供給率を上回り、熱回収率が 75%以上であれば外部への電力供給率が 170%向上することが示された。

著者は第五章において、テーブルシュガー産業の政策立案に関する意思決定支援を行うために、動的システムモデルを開発し、スリランカ国の砂糖セクター開発政策（以下「SSDP」）にもとづいて、CDLH システムの導入によるダイナミクス分析を実施した。動的システムモデルでは、サトウキビ栽培、砂糖加工、エネルギー生産、環境、社会、経済の七つを相互関係のあるサブシステムとして位置づけ、全てのシステムパラメータを一連の事象として動的に組み合わせた。その結果、SSDP において、CCH システムと CDLH システムを適切に組み合わせて導入することにより、サトウキビ収穫の機械化による労働力不足の軽減、砂糖生産量の増加、農家所得の増加、発電量の増加、灌漑水使用量の削減などの効果をもたらすことが示された。また、動的システムモデルの精度向上や迅速な意思決定のために、IoT システムを動的システムモデルへ導入し、収穫、輸送、気候、作物管理などのデータをリアルタイムで収集することが推奨された。

以上を総括すると、本論文では、サトウキビの茎と乾燥葉の同時収穫と原料糖生産工程におけるバイオマスエネルギー利用（CDLH システム）を提案し、従来のサトウキビの茎のみを機械化によって収穫する場合（CCH システム）との比較を行い、その優位性と可能性を、砂糖生産量とバイオマスエネルギー量の両面において数量的に示した。さらに、テーブルシュガー産業における意思決定支援のための動的システムモデルの開発と検証によって、スリランカ国の砂糖セクター開発政策における CDLH システムの優位性を明らかにした。

## 審 査 の 要 旨

本論文は、スリランカ国のサトウキビ生産にもとづくテーブルシュガー産業を対象として、サトウキビの栽培、収穫、運搬、原料糖生産工程の各工程を、マテリアル・エネルギーフローの観点から数値化を行った。また、サトウキビの茎と乾燥葉の同時収穫と利用を前提とした、バイオマスエネルギー利用を伴う原料糖生産工程の提案を行い、既存の収穫方法と原料糖生産工程の比較から、本提案の優位性と可能性を考察した。さらに、テーブルシュガー産業の開発政策に関わる意思決定支援に向けて動的システムモデルを提案し、環境影響評価や経済性評価から本提案の可能性について論じた。これらの成果は、生物資源工学分野の学術的価値に大きく貢献した。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 1 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。