

日本一タイ、インドネシア、ラオス 国際共同研究「バイオエネルギー」 2021 年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	サトウキビ収穫廃棄物の統合バイオリファイナリー
研究課題名（英文）	Integrated biorefinery of sugarcane trash
日本側研究代表者氏名	渡辺 隆司
所属・役職	京都大学生存圏研究所・教授
研究期間	2019 年 4 月 1 日～ 2023 年 3 月 31 日

## 1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
渡辺 隆司	京都大学・生存圏研究所・教授	統括、WP1 代表、WP2 酵素反応の解析・発酵プロセスの開発、WP3 日本側統括、WP4 日本側統括、界面活性剤合成
西村 裕志	京都大学・生存圏研究所・助教	WP1 バイオマスの構造解析、WP4 構造分析
岡野 啓志	京都大学・生存圏研究所・研究員	WP1 バイオマスの前処理・構造解析 WP2 酵素の機能解析と強化、発酵菌の育種、WP3 発酵プロセス解析、WP4 界面活性剤合成・構造分析
Sadat Mohamed Khattab	京都大学・生存圏研究所・研究員	WP1 バイオマスの前処理・構造解析 WP2 酵素の機能解析と強化、発酵菌の育種、WP3 発酵プロセス解析
Lutfi Nia Kholida	京都大学・生存圏研究所・大学院生	WP1 バイオマスの前処理・構造解析
片平 正人	京都大学・エネルギー理工学研究所・教授	WP1 バイオマスの構造解析 WP2 統括、酵素の機能解析と強化、発酵菌の育種、WP3 発酵プロセス解析

永田 崇	京都大学・エネルギー理工学研究所・准教授	WP1 バイオマスの構造解析 WP2 酵素の機能解析と強化、発酵菌の育種、WP3 発酵プロセス解析
近藤 敬子	京都大学・エネルギー理工学研究所・研究員	WP1 バイオマスの構造解析 WP2 酵素の機能解析と強化、発酵菌の育種、WP3 発酵プロセス解析
小瀧 努	京都大学エネルギー理工学研究所・准教授	WP2 発酵菌の育種、WP3 発酵プロセス解析
井関 優侑	京大大学生存圏研究所・博士課程学生	WP2 酵素の機能解析と強化
大垣 英明	京都大学エネルギー理工学研究所・教授	統括、社会 LCA 解析
尾形 清一	京都大学エネルギー科学研究科・准教授	社会 LCA 解析
Jordi Cravioto	京都大学エネルギー理工学研究所・助教	社会 LCA 解析

## 2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

本年度は、サトウキビ収穫廃棄物に対して有効な前処理法の処理条件を最適化するとともに、糖化酵素の特性解析と、それを利用した高効率な酵素カクテルの作成を進め、サトウキビ収穫廃棄物に適した前処理・酵素糖化法を最適化する。また、イソブタノール発酵菌、エタノール発酵菌分子育種の基盤を固めるとともに、キシリトール生産に適した有用菌株の発酵特性を明らかにする。また、親水性ポリマーを結合したリグニン系界面活性剤の開発をインドネシアと共同で進め、酵素糖化に与える影響を明らかにする。前処理に用いるグリセロールの分離を効率化するため、グリセロール前処理物の酵母によるエタノール発酵試験を実施する。社会 LCA 解析では、収集したデータをもとに社会 LCA を評価する。

## 3. 日本側研究チームの実施概要

本研究は、サトウキビ廃棄物を原料として多様な有用化学品をつくることにより、既存の砂糖産業やエタノール工場をバイオリファイナリー工場に再構築し、持続発展可能な地域社会の創成に貢献することを目的とする。このため、サトウキビ廃棄物の構造解析、前処理、有用物質への変換を4ヶ国で分担し、国際共同研究を実施している。具体的には、日本側チームは、バイオマスの精密構造解析をもとに、有用化学品生産に適した変換プロセスを開発するとともに、全体プロセスの LCA 解析を実施する。タイ国側チームは、高活性多糖分解酵素、合成生物学を用いた酵母のセルファクトリー構築、イソブタノールとキシリトールの生産研究を行う。インドネシア国側チームは、前処理法その他、リグニンからの界面活性剤の合成、キシランからのキシリトールの生産を研究する。ラオス国側チームは、前処理法やエタノール生産プロセス等の開発を行う。4カ国のチームによる共同研究を通して、経済性の高いバイオマスの成分分離技術、高機能セルファクトリー、高効率な燃料や化学品への変換プロセスを構築し、地域社会に成果が還元されて持続発展可能な社会の基盤形成に寄与することが期待される。

これまでに日本側研究チームは、サトウキビ収穫廃棄物の変換に適したグリセロールを用いたマイクロ波前処理法を開発するとともに、グリセロールと糖を同時にエタノールに変換

できる酵母を育種して、サトウキビ収穫廃棄物から高効率でバイオエタノールを生産できることを示した。これにより、グリセロールを前処理物から分離する工程が削除できるとともに、油脂植物を原料とするバイオディーゼルの副産物であるグリセロールの利用が促進されると期待される。このグリセロールマイクロ波処理とグリセロール変換酵母によるサトウキビ収穫廃棄物のエタノール発酵は、タイの NSTDA とも共同で研究した。京都大学では、2021 年度に、グリセロール発酵菌とキシロース発酵菌を同時に使い、グルコース、キシロース、グリセロールの同時発酵に成功した。この菌を、マイクロ波前処理物に適用し、エタノールを生産した。また、このプロセスで副生するリグニンが細胞毒性が低い上、強い抗ウイルス活性をもつことを明らかにした。インドネシアでは、BRIN が京都大学と連携して、マレイン酸触媒マイクロ波前処理の酵素糖化に与える影響を明らかにした。また、セルファクトリーの構築に関しては、イソブタノール発酵プロセス構築のため、NSTDA が中心となり発酵菌の分子育種研究を進め、発酵効率を向上させた。前処理に適した多糖分解酵素の組み合わせを明らかにするとともに、活性を高めた変異酵素の取得も行った。キシリトール生産については、インドネシア BRIN とタイの NSTDA で選抜した酵母の最適培養条件を、サトウキビの収穫廃棄物から分離したキシラン画分を用いて検討した。リグニン系界面活性剤の開発は、サトウキビの収穫廃棄物からのリグニンの分離法や親水性ポリマーへの固定化法を、BRIN が中心となり京都大学の協力を得て検討した。

社会 LCA 解析では、持続的な社会の構築に資するサトウキビ収穫廃棄物の変換利用プロセスの提示を目的として、評価対象項目の抽出とデータ収集を行うとともに、社会 LCA の評価法を京都大学が NSTDA 等と連携して検討した。2021 年度は、タイの Chaiyabhum Province、Khon Kaen Province、及び Uthaitхани Province の合計 80 のサトウキビ農家にて、サトウキビ農園の土壌や与える肥料、労働時間、収入等の 25 項目のインタビューを NSTDA が行った。インタビューの集計結果、NSTDA の LCA データおよび文献情報に基づき、サトウキビ収穫後の残渣の野焼き処分と、残渣回収・焼却発電の 2 つのパターンに関して、社会 LCA 解析を行った。