

みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち
農林水産研究の推進（委託プロジェクト研究）

革新的環境研究

農産廃棄物を有効活用したGHG削減技術に関する影響評価手法の開発

令和4年度 最終年度報告書

課題番号	18065179
研究実施期間	平成30年度～令和4年度（5年間）
代表機関	国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター
研究開発責任者	安藤 象太郎
研究開発責任者 連絡先	TEL : 0980-83-9111
	FAX : 0980-82-0614
	E-mail : shotaro@affrc.go.jp
共同研究機関	国立大学法人東北大学環境科学研究科
連携研究機関	国立大学法人東京大学未来ビジョン研究センター
普及・実用化 支援組織	国際再生可能エネルギー機関（IRENA）
	タイ農業局コンケン畑作物研究センター

<別紙様式3>最終年度報告書

I-1. 年次計画

研究課題	研究年度					担当研究機関・研究室		研究担当者 (注1)
	H30	R1	R2	R3	R4	機関	研究室	
研究開発責任者	/	/	/	/	/	国際農林水産業研究センター	情報広報室	◎ 安藤象太郎
1 バイオエネルギー生産技術が社会・経済・環境的資源に与える影響の評価手法の開発	○	○	○	○	○	国際農林水産業研究センター 国際再生可能エネルギー機関（連携協力）	情報広報室 イノベーション・テクノロジー・センター	○ 増山寿政（～2021. ○ 金森紀仁（2021.4～）
2 農産物の品種開発による農産廃棄物の成分と量の変化の解明	○	○	○	○	○	国際農林水産業研究センター タイ国（農業漁業者等） タイ農業局コンケン畑作物研究センター（連携協力）	情報広報室	○ 安藤象太郎
3 地域での GHG 削減効果評価手法の開発	○	○	○	○	○	東北大学環境科学研究科 東京大学未来ビジョン研究センター（連携協力）	資源循環プロセス学講座 サステイナビリティ学研究部門	○ 福島康裕 小原聡 藤井祥万

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付してください。

I - 2. 研究目的

2016年11月に、2020年以降の温室効果ガス（Greenhouse Gas, GHG）排出抑制に関する国際ルールを定めるパリ協定が発効した。開発途上国も含めた各国がGHG排出削減に積極的に取り組む必要がある。農業分野のGHG削減に関する国際的研究ネットワークである「農業分野における温室効果ガスに関するグローバル・リサーチ・アライアンス」（GRA）において、我が国は2017年8月から1年間議長国を務めており、引き続き貢献が求められている。一方、農産廃棄物を有効利用してバイオエネルギーを生産することにより、GHGを削減する技術の開発・実証が、我が国を含む各国で進んでいる。

このため本研究では、

1. バイオエネルギー生産技術が社会・経済・環境的資源に与える影響の評価手法の開発
2. 農産物の品種開発による農産廃棄物の成分と量の変化の解明
3. 地域でのGHG削減効果評価手法の開発

により、アジアの開発途上地域において、持続的利用が可能でGHG排出削減効果が大きい、原料とバイオエネルギー生産技術の組み合わせを明らかにすることを目標とする。

その結果、

1. 開発途上国における農産廃棄物を有効利用したバイオエネルギー生産技術の導入
 2. 開発途上国におけるGHG排出削減
- が期待される。

I-3. 研究方法

(1) バイオエネルギー生産技術が社会・経済・環境的資源に与える影響の評価手法の開発

今後も経済成長が見込まれる東南アジアでは、脱炭素型経済への移行を進める必要がある。バイオエネルギーの生産利用が温室効果ガス（GHG）の排出削減を含め持続可能な形で行われる必要があることから、バイオエネルギー生産の持続可能性をめぐる国際的な議論の動向を調査した。持続可能性は認証制度を利用して認証されることから、バイオマスの中で特に重要な、オイルパームとサトウキビに関する持続可能性認証制度を調査した。

(2) 農産物の品種開発による農産廃棄物の成分と量の変化の解明

国際農研はこれまでタイ農業局コンケン畑作物研究センターとの共同研究によって、砂糖収量は従来型の製糖用品種と同等だが、繊維収量が多い多用途型サトウキビ品種「TPJ04-768」を開発してきた。新たな多用途型サトウキビを選抜するための圃場試験を行い、サトウキビ品種の違いによる農産廃棄物の違いを明らかにした。さらに、収穫残渣のバイオマス利用を想定して、収穫残渣を持ち去る処理と土壌に残す処理がサトウキビの収量等に与える影響を調べた。

(3) 地域での GHG 削減効果評価手法の開発

アジア地域における、農産及び加工廃棄物を原料としたバイオエネルギー生産技術による GHG削減効果を明らかにするためには、地域での GHG削減効果評価手法の開発が必要である。すなわち、圃場—加工工場—農産廃棄物の変換利用の全てを含む、全体としての GHG削減効果をライフサイクルアセスメント（Life cycle assessment, LCA）によって評価した。サトウキビの従来品種と多収品種を使って、農産廃棄物であるバガスのバイオマス利用オプションとして5つのシナリオにおける LCA を行い GHG削減効果を定量化した。

I-4. 研究結果

(1) バイオエネルギー生産技術が社会・経済・環境的資源に与える影響の評価手法の開発

2011年にバイオエネルギーパートナーシップ（Global Bioenergy Partnership, GBEP）がバイオエネルギー生産の持続可能性を評価する24の指標を策定した。日本はGBEP指標に合意した時点のGBEPパートナー23か国の一つであるため、日本も合意してできた国際的な指標である。次に、改定EU再生可能エネルギー指令（EU RED II）において、持続可能性基準を満たしたバイオ燃料のみを、再生可能エネルギーとして計算するとされた。そして持続可能性基準を満たしているかどうかは、第三者認証制度を用いて認証される。現在、様々な認証制度が運用されているが、一般的な認証制度は、GBEPの24の指標を基に作られた原則（Principle）とその基準（Criteria）のP&C認証、グローバルサプライチェーンを通じたトレーサビリティを確認するCoC（Chain of Custody）認証、GHG計算から構成される。

パーム油、パーム油製品およびパームバイオマスに関する持続可能性認証制度として、RSPO（Roundtable on Sustainable Palm Oil）、MSPO（Malaysian Sustainable Palm Oil）、ISPO（Indonesian Sustainable Palm Oil）、RSB（The Roundtable on Sustainable Biomaterials）、GGL（Green Gold Label）、ISCC（International Sustainability and Carbon Certification）を調査した。

RSPOは2004年に発足し、パーム油の持続可能性認証では最も信頼性の高い認証スキームと見なされている。世界中でパームオイルの生産加工流通に関連する4千以上のメンバーが参加しているが、中小規模や零細な農家や事業者にとってハードルが高く、コストがかかる。パーム油およびパーム油製品のみを対象としているので、パームバイオマスの認証には使えない。MSPOとISPOは、RSPOではハードルが高いため、MSPOはマレーシアが、ISPOはインドネシアが、それぞれ国家認証し、全ての農家・搾油工場・リファイナリー工場を対象に全員が取得

することを目標にしている。そのためRSPOに比べて緩い基準になっていて、本当に持続性を証明できているか疑問が残る部分もある。RSPOは日本のFIT制度上の認証制度として採用されているが、MSPOとISPOは採用されていない。

現状では、パームヤシ殻（PKS）やパームトランク（OPT）と言ったパームバイオマスは他のバイオマス原料と同様に、RSB、GGLやISCCを使って認証される。これらの認証制度によってオイルパーム生産の持続性も評価できるが、RSPOの様にオイルパーム農園に特化したものにはなっていない。RSB認証は、認証機関の人員不足が指摘されている。GGL認証は、2002年に設立されたもっとも古い国際認証プログラムであり、木質バイオマス、農業残渣、廃棄材バイオマス（液体バイオマス）の製造、加工、輸送、最終消費までを対象にしている。ISCCは農産物と林産物全てを対象とし、ISCC EUはEU RED IIに準拠したEU向けバイオ燃料の認証制度である。これら3つの認証制度は、日本のFIT制度において、PKSとOPTの持続可能性を確認する手段として採用されている。

サトウキビに関連する持続可能性認証制度であるBonsucroは、サトウキビに関する唯一の国際的認証制度である。ちなみに、キャッサバ生産に関する同様の認証制度は見つけれなかった。砂糖、砂糖製品、アルコール、バイオ燃料、バイオプラスチックが認証範囲である。Bonsucro Production Standardは、全てのサトウキビ農場と工場で使用することができるスキームで、P&C認証とCoC認証から成り立つ。EU RED II規格は、EU RED II準拠して、サトウキビジュースから製造したバイオエタノール、廃糖蜜から製造したバイオエタノール、バガスから製造したバイオエタノール、バガスから製造した固体バイオマス燃料を認証範囲に含む。ただし収穫残渣由来のものは認証範囲外である。Bonsucroの計算ツールを利用してライフサイクルGHGの計算が可能である。

（2）農産物の品種開発による農産廃棄物の成分と量の変化の解明

多用途型サトウキビを選抜するための圃場試験の新植栽培では、多用途型品種 TPJ04-768 といくつかの系統が、製糖用品種 KK3 と同程度の砂糖収量があり、KK3 と比べると 1.5 倍以上の繊維収量があることを確認した。収穫残渣試験において原料茎重は、2 回目株出しで有意に減少し、TPJ04-768 は KK3 と比べて有意に重かったが、残渣処理の違いは有意ではなかった。製糖用品種 KK3 では、残渣持ち出しにより、原料茎重、茎長、茎数が減少したが、反復間のばらつきが大きかったため残渣処理による差は有意ではなかった。

（3）地域での GHG 削減効果評価手法の開発

圃場—加工工場—農産廃棄物の変換利用の全てを含んだLCAを計算することができるシミュレーターをバガス利用のシナリオ分析ができるように改良した。サトウキビの従来品種と多収品種を使って、農産廃棄物であるバガスのバイオマス利用オプションとして5つのシナリオにおけるLCAを行いGHG削減効果を定量化した。タイにおける従来品種では余剰バガスが少ないため、バガス発電による控除は少なく、バガス発酵によるエタノール生産はできなかった。糖蜜からエタノールを生産するとGHG排出量が削減された。タイにおいてサトウキビの従来品種を高繊維多収品種に代えた場合、砂糖だけの生産ではGHG排出量は増大した。一方、バガス発電の控除によるGHG排出量の削減効果が大きかった。また、糖蜜からのエタノール生産に加えてバガス発酵によりエタノールを増産すると、GHG排出量の削減効果が大きかった。

I-5. 今後の課題

バイオマスは可食と非可食、主産物と副産物の組み合わせで4つに分類される。可食のものは食料との競合が問題となるが、非可食のバイオマスでも主産物だと間接的土地利用変化によるGHG排出量の増加を考慮に入れる必要がある。さらにLCAにおいて、非可食のバイオマスでも

主産物の場合では、バイオマス作物生産で生じるGHG排出量は全てバイオ燃料に配分される。一方、農産廃棄物は副産物なので作物生産で生じるGHG排出量の多くは主産物に配分することができ、バイオ燃料に配分されるGHG排出量は少なくなる。例えば、ジャトロファからバイオジゼルを生産する場合、ジャトロファは非可食だが主産物なので、ジャトロファ栽培で生じるGHG排出量は全てバイオジゼルに配分される。一方、製糖工場のバガスを利用する場合、サトウキビ栽培で生じるGHG排出量の多くは砂糖に配分され、副産物のバガスや糖蜜に配分されるGHG排出量は少ない。そのため、バイオ燃料の累積製造GHG排出原単位は小さくなり、GHG削減効果が大きくなる。こうしたことから現状では、最も持続可能な形でバイオマス利用に使えるものは、農産廃棄物となる。さらにPKS、空果房（EFB）、バガス、糖蜜、キャッサバパルプ等は工場に集まっているため、集めるエネルギーやコストがかからず、均一で使いやすい。そのため農産廃棄物はブルーオーシャンではなく、バイオマス利用を考える国や事業者の一層の増加や、農産廃棄物の価格の高騰が今後予想される。

こうしたことから国際農研が行っている、サトウキビの砂糖収量は元のままで、繊維含量を増やすことにより農産廃棄物であるバガスの収量を増やすことを目的とした、新しいコンセプトの育種は極めて有効である。小課題2で多用途型サトウキビによるバガス増が確認され、小課題3で高繊維多収品種の導入によりGHG排出量が大きく削減されることが示された。今後は、タイでは高繊維多収品種の普及を図り、タイ以外の国では高繊維多種品種の開発を進めていく必要がある。また日本においても、高繊維多収の新品種「はるのおうぎ」が開発されたので、バガスのバイオマス利用を図っていくことができる。

改定EU再生可能エネルギー指令（EURED II）において、持続可能性基準を満たしたバイオ燃料のみを、再生可能エネルギーとして計算するとされた。そのため農産廃棄物をバイオマス利用するときにも、その持続可能性を証明する必要があるが、東南アジアのバイオマスで第三者認証制度を使って持続可能性を証明しているものは、パーム油のみであり、農産廃棄物で該当するものはない。農産廃棄物において認証制度が使われてこなかった理由は、農産廃棄物の利用では地産地消が主で、ヨーロッパに輸出する必要がなかったためであり、また、小規模農家が多く実際に認証を取るのが困難なためである。

経済産業省のバイオマス持続可能性ワーキンググループでは、海外の農産廃棄物を輸入してFIT制度で使うためには、第三者認証制度による持続可能性の証明が必要とした。これはEUの指令に準拠しているが、小課題1で指摘したように、パームバイオマスの認証制度には一長一短があり、使いやすいものになっていない。そのため、オイルパーム生産に特有な持続性を認証し、パーム油、パーム油製品、PKS等の工場副産物、OPT等の収穫残渣の全てを認証でき、小農でも使いやすいスキームを持ち低コストな、新たな認証制度が求められる。

OPT、OPF（オイルパームの剪定枝葉）やサトウキビやキャッサバの収穫残渣は、工場に集まっていないので圃場から集める必要があるが量は多い。小課題2でも検討したが、圃場の土壌肥沃度を低下させず利用する方法を検討する必要がある。また、収穫残渣を利用するためには、栽培課程を含めた持続可能性の確保が必要であるが、認証制度がないことが問題となる。

小課題番号	18065179	小課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	1 バイオエネルギー生産技術が社会・経済・環境的資源に与える影響の評価手法の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	国際農林水産業研究センター・情報広報室・金森紀仁		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

農林水産省（政策課環境政策室）によるIRENA拠出金事業「バイオエネルギー及び副産物利用による循環可能性分析事業」（令和2年度～）も活用しつつ、今後も経済成長が見込まれる東南アジアにおいて脱炭素型経済への移行を進める観点から、バイオエネルギーの原料と生産利用技術の最適な組み合わせを分析するとともに、それらの社会実装に向けた提言を行う。また、バイオエネルギーの生産利用がGHGの排出削減を含め持続可能な形で行われる必要があることから、持続可能性評価ツールの活用のあり方についての分析を行う。

2) 研究方法

バイオエネルギー生産の持続可能性をめぐる国際的な議論の動向を調査した。パーム油に関する持続可能性認証制度として、RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil)、MSPO (Malaysian Sustainable Palm Oil)、ISPO (Indonesian Sustainable Palm Oil)を調査した。さらに、パームバイオマスに関する持続可能性認証制度として、RSB (The Roundtable on Sustainable Biomaterials)、GGL (Green Gold Label)、ISCC (International Sustainability and Carbon Certification)、MSPO、ISPO を調査した。さらに、サトウキビに関連する持続可能性認証制度としてBonsucroを調査した。

3) 研究結果

①バイオエネルギー生産の持続可能性をめぐる国際的な議論の動向

2011年にバイオエネルギーパートナーシップ (Global Bioenergy Partnership, GBEP) がバイオエネルギー生産の持続可能性を評価する24の指標を策定した。日本はGBEP指標に合意した時点のGBEPパートナー23か国の一つであるため、日本も合意してできた国際的な指標である。24指標を表1に示す。次に、2018年12月に制定された改定EU再生可能エネルギー指令 (EU RED II) において、持続可能性基準を満たしたバイオ燃料のみを、再生可能エネルギーとして計算するとされた。そして、個々のバイオエネルギー生産のグローバルサプライチェーンを通じた持続性は第三者認証を用いて証明される。バイオマス関連の認証スキームとしては、

RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil)

ISPO (Indonesian Sustainable Palm Oil)

MSPO (Malaysian Sustainable Palm Oil)

RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials)

GGL (Green Gold Label)

ISCC (International Sustainability and Carbon Certification)

SBP (Sustainable Biomass Program)

PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification Schemes)

FSC (Forest Stewardship Council)

等が活動を展開している。これらの認証はまた、GBEPの24指標を基に作られている。

表1 バイオエネルギー生産に関するGBEP持続可能性24指標

環境ピラー	社会ピラー	経済ピラー
ライフサイクルGHG排出量	土地の分配及び保有権	生産性(e.g.原料単位当たり)
土壌(土壌有機炭素の維持向上)	主要農産物の供給量及び価格	純エネルギー収支
木材伐採量(成長量以内の伐採)	賃金の変化	粗付加価値
GHG以外の大気汚染物質	雇用創出	化石燃料及び伝統的バイオマスの消費量の変化
水利用及び効率性	女性及び子供の薪採取のための自家労働時間	労働者の訓練及び再教育
水質	近代的エネルギーへのアクセス	エネルギーの多様性
流域レベルの生物多様性	室内空気汚染に起因する死亡率、病気罹患率	インフラ及び流通
土地利用及び土地利用変化	労働災害の発生率	バイオエネルギー利用の容量及び柔軟性

EU REDは、EU域内で生産および消費されるバイオ燃料が対象となるため、EU向けに輸出されるものも当該基準に従う必要がある。RED IIにおいてはまた、新たな持続可能性基準(LCA評価に基づくGHG排出削減基準)が策定され、間接的土地利用変化(ILUC)のリスクが高い原料は2030年までにフェーズアウトすることを決定した。ILUCリスクが高い原料は、政令によりパーム油が該当する。EUによる上記規制措置に反対して世界貿易機構(WTO)に、インドネシアは2019年12月に提訴し、マレーシアは2021年1月に提訴して、係争中である。

一方、2019年8月に発表されたIPCC土地特別報告においても、バイオエネルギーについては、CO₂排出削減のみならず様々な便益を提供する可能性を有する一方、土地劣化、食料安全保障、生物多様性保全、水の確保等の側面で潜在的なリスクが存在していることを指摘した。つまり、こうしたリスクがあるものはバイオ燃料として使い辛く、リスクがないものを探す必要がある。

さらに、2021年7月に改正案が発表されたRED IIIでは、再生エネルギーの比率の2030年目標を、現行指令上の「少なくとも32%」から、「少なくとも40%」に引き上げることが提案された(2019年時点の同比率は19.7%)。また、管理再生林を利用した発電用の木質バイオマス燃料(主に木質ペレット)について、収穫残渣の小枝や葉を一定の条件で利用する場合に限り、環境影響が少なくカーボンニュートラルになるが、他の場合は、化石燃料よりもGHGを多く発生させるか、あるいは環境破壊や生物多様性の喪失の

リスクがあるとされた。このため、木質ペレット発電における、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT制度）による補助金に反対している。

国内においては、FIT調達価格等算定委員会での議論を受け、2019年4月に経済産業省の総合資源エネルギー調査会・新エネルギー小委員会の下にバイオマス持続可能性ワーキンググループ（WG）が設置され、2022年4月に第2次中間整理が発表されている。本事業は、東南アジアにおけるバイオ燃料の持続性評価に関して検討しているが、海外からバイオ燃料を輸入する場合も同様の議論になっており、FIT制度でも持続可能な形で生産された燃料を調達し、持続可能性の確認は第三者認証制度を使うとしている。パーム油とその農産廃棄物である、パームヤシ殻（PKS）、空果房（EFB）、パームトランク（OPT）を輸入してFIT制度下でバイオマス発電の燃料として使うため、持続可能性の確認方法を検討しており、第三者認証制度として、パーム油に関してはRSPOを、PKSとOPTに関してはRSB、GGL、ISCCを認定した。MSPO、ISPO、農産資源認証協議会は認められていない。WGでは、主産物は農園から発電所まで、副産物は燃料としての発生地点以降から発電所までを確認の対象とするとしているが、これでは、副産物を利用する場合、オイルパーム生産における持続可能性は確認されない。またWGでは、非可食かつ副産物のバイオマス燃料は食料競合の懸念がないものとし、可食および主産物のバイオマス燃料は、海外における議論の経過も注視しつつ、必要に応じてFIT制度上の扱いを検討するとしているが、パーム油は可食かつ主産物である。EUが将来的な利用を止めることにしたパーム油を使い続けるためには、持続可能性に関する理論武装が必要と考えられる。

②オイルパームとサトウキビに関する認証制度とその問題点

パーム油、パーム油製品およびパームバイオマスに関する持続可能性認証制度として、RSPO、MSPO、ISPO、RSB、GGL、ISCCを調査した。

RSPOは、パーム油生産に関わる7つのセクター（生産者、加工事業者、消費財製造業者、小売事業者、銀行投資家、環境NGO、社会NGO）を統合してパーム油の持続可能性を確保遵守すべき基準を策定したP&C認証^{注1}である。7つの原則の下に40項目の基準が定められている。森林破壊などの影響を最小化しつつ、持続可能なパーム油の成長と利用を促進するために2004年に発足し、パーム油の持続可能性認証では最も信頼性の高い認証スキームと見なされている。RSPOではまた、パーム農園から始まり、最終製品まで全工程にわたる管理の連鎖が繋がることで、最終製品中のパーム油を追跡することができる。認証パーム油が川下へと各サプライチェーンの全段階を通じて間違いなく受け渡されていく流通システムが確立されているかの認証（SC認証、Supply Chain Certification System）を行う。世界中でパームオイルの生産加工流通に関連する4千以上のメンバーが参加しているが、中小規模や零細な農家や事業者にとってハードルが高く、コストがかかる。パーム油およびパーム油製品のみを対象としているので、パームバイオマスの認証には使えない。

MSPOとISPOは、RSPOではハードルが高いため、MSPOはマレーシアが、ISPOはインドネシアが、それぞれ国家認証し、全ての農家・搾油工場・リファイナー工場を対象に全員が取得することを目標としている。そのためRSPOに比べて緩い基準になっていて、本当に持続性を証明できているか疑問が残る部分もある。日本のFIT市場等に向けて、パームバイオマスのCoC認証^{注2}を行うことができる。しかしながら、パームバイオマ

ス自体の持続性は評価せずに、パーム油の持続性が認証されているから、その副産物は全て自動的に持続可能と見なすため、パームバイオマスの持続性評価には十分なものになっていない。こうしたことからMSPOとISPOは日本のFIT制度上の認証制度として採用されていない。

現状では、パームバイオマスは他のバイオマス原料と同様に、RSB、GGLやISCCを使って認証される。これらはバイオマスの加工工程、輸送行程、燃焼行程を含んだサプライチェーンを認証する制度である。これらの認証制度によってパーム生産の持続性も評価できるが、RSPOの様にパーム農園に特化したものにはなっていない。RSBは日本のFIT制度において、農作物の収穫に伴う残渣（PKSやOPT）の持続可能性に関する第三者認証スキームとして最初に認められた。RSBのスキームは、P&C認証、CoC認証、GHG計算から構成されている。認証作業における認証機関の人員不足が指摘されており、マレーシアやインドネシアには人員が数名しかおらず、認証が進まないという問題がある。

GGL認証は、2002年に設立されたもっとも古い国際認証プログラムであり、木質バイオマス、農業残渣、廃棄材バイオマス（液体バイオマス）の製造、加工、輸送、最終消費までを対象にしている。日本のFIT市場における持続可能性要件として、農産物残渣系バイオマスについては既存のGGL基準の枠組みに日本政府からの要求条項を追加し、農作物の収穫に伴う残渣（現状ではPKSとOPTのみ）の持続可能性を確認する手段として2020年に採用された。

ISCCは農産物と林産物全てを対象とし、ISCC EUとISCC Plusの二つの主要な認証スキームを持つ。ISCC EUはEU RED IIに準拠したEU向けバイオ燃料の認証制度であり、P&C認証とCoC認証を持ちライフサイクルGHGを計算する。ISCC PlusはEU RED IIによる規制の対象外となる食品、飼料、エネルギー等向けの認証制度でP&C認証は持たない。農園から最初に集積される場所に搬出される量を、農園主が自己宣言し、その後の流通加工経路のポイント毎にCoC認証がなされていく。ISCC Japan FITとして改訂し、PKSとOPTの持続可能性を確認する手段として採用された。日本向けパーム油の認証制度としても提案中である。

サトウキビに関連する持続可能性認証制度であるBonsucroは、サトウキビに関する唯一の国際的認証制度である。ちなみに、キャッサバ生産に関する同様の認証制度は見つけられなかった。砂糖、砂糖製品、アルコール、バイオ燃料、バイオプラスチックが認証範囲である。Bonsucro Production Standardは、全てのサトウキビ農場と工場で使用することができるスキームで、P&C認証とCoC認証から成り立つ。EU RED II規格は、EU RED II準拠して、サトウキビジュースから製造したバイオエタノール、廃糖蜜から製造したバイオエタノール、バガスから製造したバイオエタノール、バガスから製造した固体バイオマス燃料を認証範囲に含む。ただし収穫残渣由来のものは認証範囲外である。Bonsucroの計算ツールを利用してライフサイクルGHGの計算が可能である。Production Standard for Small Holdersは、小農向けのスキームであり、例えば製糖工場が核となって小農の情報を集める。認証できる農家とできない農家が混在している場合、生産される砂糖の内〇〇%を認証すると言ったマスバランス管理を行う。

注1 P&C認証とは、原則(Principle)とその基準(Criteria)による認証制度。GBEPの24指標を基に作られている。

注2 Chain of Custody認証。CoC認証とは加工・流通過程において、製品がたどってきた経路を遡ることができるようトレーサビリティを確保するための認証制度で

ある。例えばパームバイオマスの場合、パーム農園から加工・流通過程を経て最終ユーザーの手元に届くすべての事業者が、第三者（認証機関）によってあらかじめ認定を受ける必要がある。CoC認証事業者は「いつどこで仕入れ」、「いつどこに販売したか」ということを管理し文書化する。CoC認証を取得していない事業者に一度でも渡ると、認証されない。認証されていない原料が混ざらないようにするために使われる。

4) 成果活用における留意点

本報告書は、令和5年3月末までの情報を基にしている。今後も、EU再生可能エネルギー指令の改定は行われ、バイオマス持続可能性ワーキンググループによる日本のFIT制度の議論も進んでいくことから、常に新しい情報にアップデートしていく必要がある。

5) 今後の課題

農産廃棄物は主産物でないため、食料と競合せず間接的土地利用変化を考慮する必要がない。また、LCAでは作物生産で生じるGHG排出量の多くを主産物に配分することができ、バイオ燃料に配分されるGHG排出量は少なくなる。こうしたことから現状では、持続可能な形でバイオマス利用に使えるものは、農産廃棄物だけである。さらにPKS、EFB、バガス、糖蜜、キャッサバパルプ等は工場に集まっているため、集めるエネルギーやコストがかからず、均一で使いやすい。そのため農産廃棄物はブルーオーシャンではなく、バイオマス利用を考える国や事業者の一層の増加や、農産廃棄物の価格の高騰が今後予想される。

こうしたことから国際農研が行っている、サトウキビの砂糖収量は元のままで、繊維含量を増やすことにより農産廃棄物であるバガスの収量を増やすことを目的とした、新しいコンセプトの育種は極めて有効である。小課題2で多用途型サトウキビによるバガス増が確認され、小課題3で高繊維多収品種の導入によりGHG排出量が大きく削減されることが示された。今後は、タイでは高繊維多収品種の普及を図り、タイ以外の国では高繊維多収品種の開発を進めていく必要がある。また日本においても、高繊維多収の新品種「はるのおうぎ」が開発されたので、バガスのバイオマス利用を図っていくことができる。

改定EU再生可能エネルギー指令（EU RED II）において、持続可能性基準を満たしたバイオ燃料のみを、再生可能エネルギーとして計算するとされた。そのため農産廃棄物をバイオマス利用するときにも、その持続可能性を証明する必要があるが、東南アジアのバイオマスで第三者認証制度を使って持続可能性を証明しているものは、パーム油のみであり、農産廃棄物で該当するものはない。農産廃棄物において認証制度が使われてこなかった理由は、農産廃棄物の利用では地産地消が主で、ヨーロッパに輸出する必要がなかったためであり、また、小規模農家が多く実際に認証を取るのが困難なためである。

経済産業省のバイオマス持続可能性ワーキンググループでは、海外の農産廃棄物を輸入してFIT制度で使うためには、第三者認証制度による持続可能性の証明が必要とした。これはEUの指令に準拠しているが、小課題1で指摘したように、パームバイオマスの認証制度には一長一短があり、使いやすいものになっていない。そのため、オイルパーム生産に特有な持続性を認証し、パーム油、パーム油製品、PKS等の工場副産物、OPT等の収穫残渣の全てを認証でき、小農でも使いやすいスキームを持ち低コストな、新たな認証制度が求められる。

OPT、OPF（オイルパームの剪定枝葉）やサトウキビやキャッサバの収穫残渣は、工場に集まっていないので圃場から集める必要があるが量が多い。小課題2でも検討したが、圃場の土壌肥沃度を低下させず利用する方法を検討する必要がある。また、収穫残渣を利

用するためには、栽培課程を含めた持続可能性の確保が必要であるが、認証制度がないことが問題となる。

<引用文献>

小課題番号	18065179	小課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	2 農産物の品種開発による農産廃棄物の成分と量の変化の解明		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	国際農林水産業研究センター・情報広報室・安藤象太郎		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

タイ農業局コンケン畑作物研究センターと連携し、タイ国タクシナ・サンサヤウチャイ氏との共同研究によって、従来型の製糖用サトウキビ品種、多用途型サトウキビ品種及びその他の特徴を持つサトウキビ系統を用いた圃場試験を行い、栽培に関するGHG排出の情報を現場レベルで収集するとともに、収量調査と成分分析によって、農作物の品種開発による農産廃棄物の成分と量の変化を解明することを目的とする。さらに、収穫残渣をエネルギー利用した時と、そのまま土壌に還元した時の影響の差を調べる圃場試験を行う。

2) 研究方法

国際農研はこれまでタイ農業局コンケン畑作物研究センターとの共同研究によって、砂糖収量は従来型の製糖用品種と同等だが、繊維収量が多い多用途型サトウキビ品種「TPJ04-768」を開発してきた。サトウキビの品種の違いによる農産廃棄物の違いを明らかにし、さらにバイオマス利用に適した多用途型サトウキビのデータ（原料茎収量、繊維含量、砂糖含量）を得るための圃場試験を令和4年1月にウドンタニ県で開始した。植え付け品種・系統候補としては、まずは対照用の品種として、製糖用品種のKK3とKK88-92、多用途型品種のTPJ04-768を植え付けた。さらに、種間雑種の後代を中心に、これまで試験していない有望系統として15系統を植え付けた。それぞれの品種系統で、列長8mで4列の区を3反復設けた。令和4年度は新植栽培を行い、令和5年2月に新植栽培の収穫調査を行った。

収穫残渣試験は、タイ農業局コンケン畑作物研究センターの圃場に平成30年12月に製糖用品種KK3と多用途型品種TPJ04-768を、4列 x 4m、3反復で植え付け。令和元年12月に新植栽培の収穫調査を行い、その後、収穫残渣を持ち去る処理と土壌に残す処理を加えた（写真1）。1回目株出し栽培の収穫調査を令和3年1月に行い、その後、収穫残渣を持ち去る処理と土壌に残す処理を再び加えた。2回目株出し栽培の収穫調査を令和3年12月に行った。



写真1 収穫残渣試験における収穫残渣を持ち去る処理区と表面に残す処理区（令和元年12月、コンケン畑作物研究センター）

3) 研究結果

多用途型サトウキビを選抜するための圃場試験では、試験した15系統の内、収量が大きく可製糖率も極端に低くない7系統を選んで、原料茎重を図1に示した。多用途型品種TPJ04-768は製糖用品種KK3やK88-92よりも原料茎収量が多く、KK05-736、KK08-059、KK10-209、KK11-1009はTPJ04-768と同程度の収量があり有望と考えられた。砂糖含量と繊維含量を測定して求めた砂糖収量と繊維収量の結果を合わせると新植栽培では、KK05-736、KK08-059、KK11-1009の3系統が有望であると考えられた。これら3系統はKK3と同程度の砂糖収量があり、KK3のと比べると1.5倍以上の繊維収量があった。

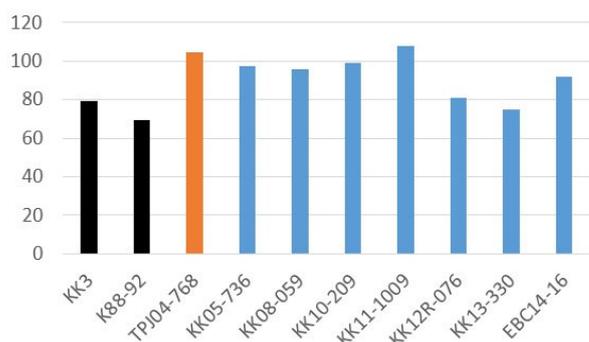


図1 原料茎収量 (t/ha)

収穫残渣試験において、令和2年12月に行った1回目株出し栽培の収穫調査と、令和4年1月に行った2回目株出し栽培の収穫調査の結果を図2に示す。図中で+は収穫残渣を残し、-は持ち去る処理区を示す。また、株1は1回目株出し栽培の株2は2回目株出し栽培の結果を示す。株出しの回数、品種、残渣処理の違いを要因として分散分析を行った。原料茎重は、2回目株出しで有意に減少し ($p<0.05$)、TPJ04-768はKK3と比べて有意に重かったが ($p<0.05$)、残渣処理の違いは有意ではなかった。また、交互作用もなかった (図2)。製糖用品種KK3では、残渣持ち出しにより、原料茎重、茎長、茎数が減少したが、反復間のばらつきが大きかったため残渣処理による差は有意ではなかった。

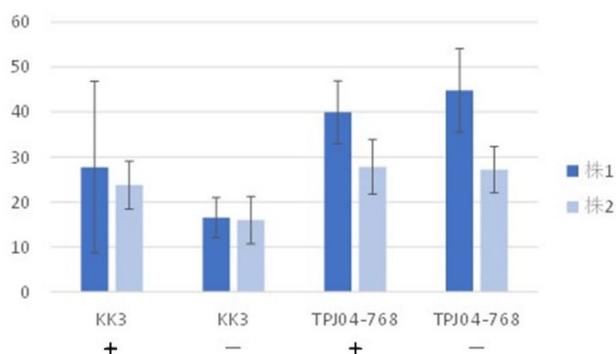


図3 収穫残渣試験の1回目および2回目株出し栽培における原料茎重 (t/ha)

4) 成果活用における留意点

収穫残渣試験では1回目株出し栽培時の降水量が少なく、収量レベルは30 t/ha以下と低かった。収量が極めて少ない年の結果であることに留意する必要がある。また、反復間のばらつきが大きかったため、収穫残渣持ち出しによる製糖用品種KK3の収量減は有意ではなかったが、収穫残渣をバイオマス利用する場合は、圃場の肥沃度の維持に関しても引き続き考慮する必要があると考えられる。

5) 今後の課題

さらなるバイオマス利用には、適切な多用途型サトウキビの選抜が必要である。プロジェクトの終了後になるが、圃場試験では、株出し栽培においても収量が多い系統を選抜するために、令和5年に1回目株出し栽培を行い、令和6年2月に1回目株出し栽培の収穫調査を行う。令和6年に引き続き2回目株出し栽培を行い、令和7年2月に2回目株出し栽培収穫調査を行う予定としている。

<引用文献>

小課題番号	18065179	小課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	3 地域でのGHG削減効果評価手法の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	東北大学環境科学研究科・資源循環プロセス学講座・ 福島康裕		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

アジア地域における、農産及び加工廃棄物を原料としたバイオエネルギー生産技術によるGHG削減効果を明らかにするためには、地域でのGHG削減効果評価手法の開発が必要である。すなわち、圃場—加工工場—農産廃棄物の変換利用の全てを含む、全体としてのGHG削減効果をLCAによって評価する。

2) 研究方法

圃場—加工工場—農産廃棄物の変換利用の全てを含んだLCAを計算することができるシミュレーターをバガス利用のシナリオ分析ができるように改良した。タイ、フィリピン、インドネシアの3カ国において、それぞれの国の営農操作条件を設定し、従来品種（タイ：KK3、フィリピン：平均値、インドネシア：平均値）と多収品種（タイ：TPJ04-768、フィリピン：Phil99-1793、インドネシア：PS861）を使い、バガスの利用オプションとして5つのシナリオにおけるLCAを行いGHG削減効果を定量化した。5つのシナリオは以下の通り。

Case 1:複合生産なし（現状）：砂糖だけを生産。

Case 2:売電（電力最大化）：発生したバガスを極力ボイラで燃焼して蒸気を増やし、発電量増大。エタノールは生産しない。

Case 3:糖蜜発酵（単純複合化）：糖蜜を発酵し、エタノール生産。

Case 4:逆転（砂糖最大化）：逆転プロセスを導入し、搾汁の還元糖を選択発酵でエタノール生産、搾汁のスクロース濃度を高めて砂糖を増産。

Case 5:バガス発酵（エタノール最大化）：糖蜜発酵に加え、バガスを発酵しエタノールを増産。追加で必要な電力・熱を供給するバガスとの配分は最適化。

3) 研究結果

全てのLCAの結果を図4に示す。今回の解析では、ボイラの運転条件を合わせた解析を行うため、詳細なエネルギーフローモデルを構築した。需要モードでは、製糖に必要な電力・熱を生成するために必要な蒸気量のみ発生させる。空気比、ボイラ排ガス温度が一定になるようにバガス投入量を調整し、余剰バガスが発生する。バガス最大供給モードでは、可能な限りバガスをボイラに投入し蒸気を発生させ、空気比、ボイラ排ガス温度が一定になるように蒸気流量を増大させる。需要モードと比べてボイラ負荷が増大する。Case 1と5では需要モードで、Case 2から4ではバガス最大供給モードで計算した。

タイとインドネシアにおいてサトウキビの従来品種を高繊維多収品種に代えた場合、複合生産をしないCase 1ではGHG排出量はほぼ横ばいか増大した。一方、改良品種導入時に、複合生産を導入するとGHG排出量の削減効果は増大した（Case 3, 4, 5）。フィリピンにお

いて高糖品種を導入した場合は、複合生産なしでも砂糖増産効果による効果が大きかった（Case 1）。

タイにおける従来品種では余剰バガスが発生せず、バガス発酵によるエタノール生産はできなかった（Case 5）。一方、タイとインドネシアで高繊維多収品種を導入した場合、バガス発酵によるエタノール増産のGHG排出量の削減効果が大きかった（Case 5）。タイとインドネシアで高繊維多収品種を導入した場合はまた、電力控除によるGHG排出量の削減効果が大きかった（Case 2, 3, 4）。バガス増産分をペレット化して発電に用いることも可能だが、追加的に必要な電力が発生するため原単位はこのケースよりも悪化する。時間と空間をずらして発電する意義がある地域では効果があると考えられる。国別で技術導入によるトータルGHGの変化は同じ傾向であり、多収化に伴い排出量は増加するが、繊維増大によるエタノール増産や砂糖増産による控除効果の方が大きく、GHG排出量削減に効果があった。多収性品種導入の際の技術オプションとしてGHG排出削減効果が大きかったのは、エタノール最大化（Case 5）＞糖蜜発酵追加（Case 3）≒砂糖最大化（Case 4）＞売電最大化（Case 2）であった。

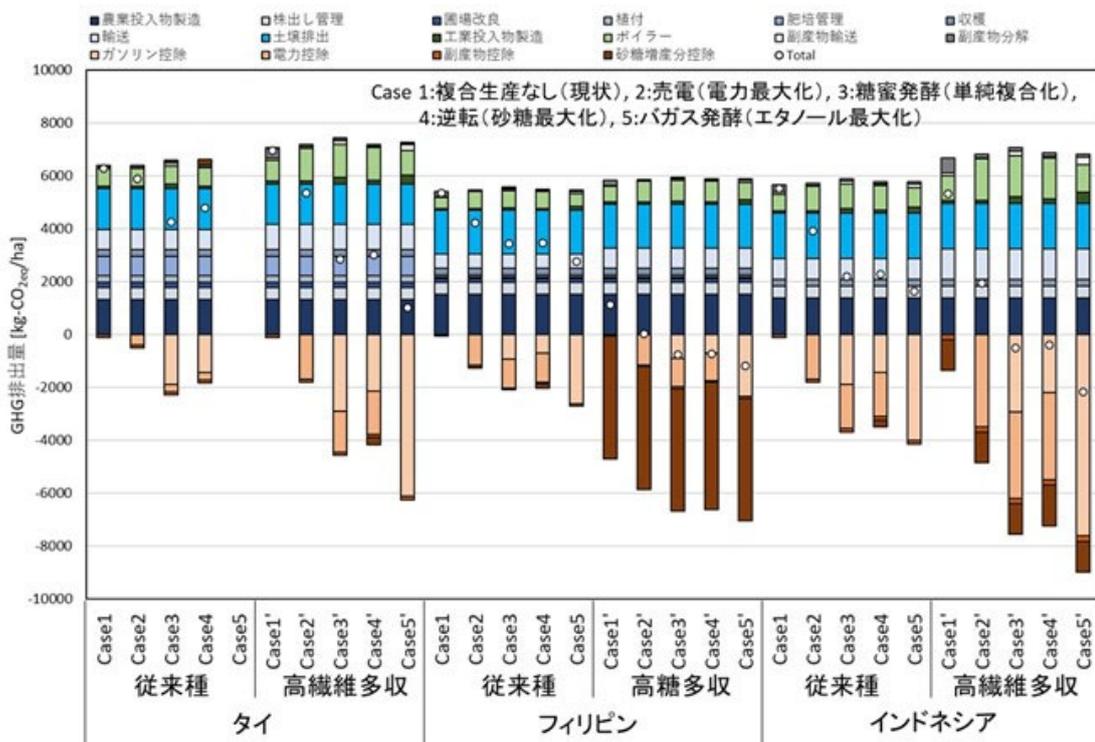


図4 全てのLCAの結果

縦軸のプラス方向がGHG排出量をマイナス方向がGHG排出量の控除を示す。○印がライフサイクル全体におけるGHG排出量を示す。

4) 成果活用における留意点

サトウキビ関連技術導入の地域間でのGHG排出量比較を行う上で、地域性の差異を明確にする必要があり、経済環境、社会環境、自然環境の各観点からそれぞれ整理したが、技術オプション以外に地域性の影響が大きいため、すべての条件を揃えた比較は事実上不可能であることに留意する必要がある。多収性品種導入の際の技術オプションとして、GHG排出削減効果の大きさを比較したが、副産物が代替する製品の原単位に大きく依存するため、地域ごとの脱炭素戦略に応じて技術オプションの順位は入れ替わる可能性がある。

5) 今後の課題

製糖工場に関しては日本の製糖工場のデータを基にしているため、各国の比較をより正確にするためには、それぞれの国の製糖工場のデータを収取する必要がある。技術オプションとしてバガスボイラーの高効率化やバガス炭の土壌施用による炭素隔離も、今後検討すべき課題として残されている。

<引用文献>

Ⅲ 研究成果一覧【公表可】

個別課題番号 18065179
 課題名 農産廃棄物を有効活用したGHG削減技術に関する影響評価

成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等		国際特許権等		PCT	報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得					
18065179	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(1) 学術論文

区分: ①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	タイトル	著者	機関名	掲載誌	掲載論文のDOI	発行年	発行月	巻(号)	掲載ページ
1		該当無し								

(2) 学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	Effective utilization of sugarcane-derived byproducts from the perspective of life-cycle design	Satoshi Ohara	Institute for Future Initiatives, The University of Tokyo	JIRCAS-FFTC Workshop "Innovation and Networking of Sugarcane Research for Future Sugarcane Industry in Asia Pacific Region"	2022	9

(3) 出版図書

区分:①出版著書、②雑誌(学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1		該当無し					

(4) 国内特許権等

区分:①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者(出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日
1		該当無し						

(5) 国際特許権等

区分:①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者(出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日	出願国
1		該当無し							

(6) 報道等

区分: ①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

整理番号	区分	記事等の名称	機関名	掲載紙・放送社名等	掲載年月日	備考
1		該当無し				

(7) 普及に移しうる成果

区分: ①普及に移されたもの・製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの(複数選択可)

整理番号	区分	成果の名称	機関名	普及(製品化)年月	主な利用場面	普及状況
1		該当無し				

(8) 発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)の状況

整理番号	発表会の名称	機関名	開催場所	年月日	参加者数	備考
1	該当無し					

(9) アウトリーチ活動の状況

区分: ①一般市民向けのシンポジウム・講演会及び公開講座・サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展・大学及び研究所等の一般公開への参画、③その他(子供向け)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	機関名	開催場所	年月日	参加者数	主な参加者	備考
1		該当無し						