「次世代バイオマスアップサイクル技術の世界展開に向けた調査研究」最終報告（概要）

資料9-4

農林水産省

【目的】

我が国が消費する全油脂の27%を占めるパーム油の生産過程で発生する大量の未利用バイオマスを低コストかつ効率的に新たな価値ある資源に変換する技術（次世代バイオマスアップサイクル技術）の開発、及び主生産地であるマレーシアにおける社会実現性を、①現地で実装可能な最適な微生物調査、②実現性及びコスト評価のための小規模実証、③経済性及び生産物の市場調査を通じ確認する。

【BRIDGE終了時の成果（社会実装）】

新たに発見した水素生産能を持つ糖化菌を利用した次世代バイオマスアップサイクル技術により、高付加価値なバイオメタン生産を高効率・低コストで実現し、また燃料用・家具用ペレットと組み合せて生産することで、収益性の向上とともに原材料の価格変動や市場の需要変動などのリスク要因の回避を可能にする。未利用バイオマスを活用した新たな持続可能な食料・エネルギー・資材産業の創出及び他の未利用バイオマスへの技術利用により、我が国がリードする持続可能なバイオマス利用の促進と環境保全に大きく貢献する。

【成果（KPI達成状況）／社会状況変化の対応など】

設定のKPIはいずれもクリアしている。

- 糖化菌（*P. macerans*）が糖化能に加え、水素生産能とリン可溶化能を有することを新規に発見し、パームバイオマスから安定的かつ効率的にバイオメタンが生産可能であることを実証するとともに、この糖化菌が主要パーム生産国であるマレーシアでの利用が可能であることを確認した。
- 既存工場での調査をもとに次世代パームバイオマスアップサイクル技術導入による高い経済的実現性を試算するとともに、燃料用・家具用ペレット及びバイオメタンが十分な国際需要と価格競争力を有し、技術利用により十分な収益性やビジネスとしての持続可能性があることを明らかにした。
- 生産資材の需要・国際価格の変動や現地物価・人件費の変動を踏まえたシナリオ分析により、総設備投資・運用コストに対する利益確保プランの作成が可能であることを確認した。

【今後の社会実装/普及に向け必要な措置等】

実用規模での次世代バイオマスアップサイクル技術の構築及び実証試験を実施し、導入事例として本事業の参画企業による技術導入を推進しつつ、我が国の食品・エネルギー・加工利用企業のニーズに対応した高付加価値資材・エネルギーを生産する次世代バイオマスアップサイクル技術を、各国の搾油工場に導入するための技術支援、機材供給を行うプラットフォームビジネスを展開させる。

社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰の中での成果（進捗の説明）

① 全体概要

＜① 解決すべき社会課題＞

・パーム油全量を東南アジアからの輸入に依存する我が国にとって、持続的なパーム油生産は食料安全保障上重要である。一方、パーム農園や搾油工場で発生する大量のバイオマスや廃液が放置され、温室効果ガス排出や水質汚染、森林破壊による生物多様性の喪失などの環境負荷を引き起こしている（参考資料１）。さらに世界的に燃料需給がタイトになる中、欧州で再エネ改正指令*が正式発効されるなど、持続可能性のあるバイオマス活用のニーズはますます高まっていくと考えられる。未利用バイオマス問題の解決には、バイオマスを価値ある資源として効率的に活用することにより高い利益を生み出す仕組みの構築が肝要であるが、現在実施されているバイオマス利用法はいずれも、活用できるバイオマスが限定されるなど課題も多く、十分な利活用が進んでいるとは言えない状況である。

・国際農研**は多様なパームバイオマスを国際市場価値の高い燃料用・家具用ペレットに活用する「原料マルチ化プロセス」、微生物培養のみでセルロース繊維を糖化し、セルラーゼ酵素の購入を不要とする「微生物糖化法」を開発した。これらの技術を基盤とする「次世代バイオマスアップサイクル技術」は、未利用で放置される大量のパームバイオマスを安価で効率的に付加価値の高い資材やエネルギーに転換することで、環境負荷を大幅に軽減できると期待されている。

・しかし、パーム生産国での実装に向けた「次世代バイオマスアップサイクル技術」の開発と展開のためには、技術の実現可能性を確認するとともに、開発した技術を導入した場合のビジネスの持続性可能性を明らかにすることが必要である。

＜② 取組施策の内容＞

・本施策では、「次世代バイオマスアップサイクル技術」の実現可能性の検証とビジネスの持続可能性評価を実施し、未利用パームバイオマスを高付加価値な資源として利用することで、環境負荷を軽減可能な技術として実現可能性であり、さらにこの技術導入によりビジネスとして持続可能であるかを明らかにする。

・具体的には、マレーシアで利用可能なパーム残渣廃液処理に最適な微生物の探索・評価を行うとともに、国内及び現地での小規模実証で得られたデータを基に次世代バイオマスアップサイクル技術の実現性を確認する。また、現地での小規模実証や市場調査等で得られた知見を基に、生産を想定するエネルギーや資材の価格競争力や需要を分析し、技術導入によるビジネスの持続可能性を評価する。

＜③ 成果の社会実装＞

・本施策により、新たに発見した微生物の有する水素生産能を利用することで、付加価値が高いバイオメタン生産を高効率・低コストで実現可能であることを確認した。また、小規模実証及び市場調査の結果から、燃料用ペレット、家具用ペレット、バイオメタン生産を組み合わせることで飛躍的に収益性が向上でき、原材料の価格変動や市場の需要変動などのリスク要因を回避可能であることを明らかにした。

・残される効率的なエネルギー・資材生産に必要な各プロセスのシームレスな連結など技術面や運用面のボトルネックを解決し、民間企業等と連携した商業規模での実証等を通じて技術導入による経済的・環境的な効果をさらに各国政府、認証機関、民間企業に発信していくことで、本技術の国際的な普及と社会実装を図る。

・これらを通じてパーム油の主要生産国での未利用バイオマスを活用した新たな持続可能な食料・エネルギー・資材産業を創出するとともに、他の未利用バイオマスへの技術利用を進めることで、我が国の技術がリードする持続可能なバイオマス利用の促進と環境保全に大きく貢献する。

*Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 **国立研究開発法人 国際際農林水産業研究センター

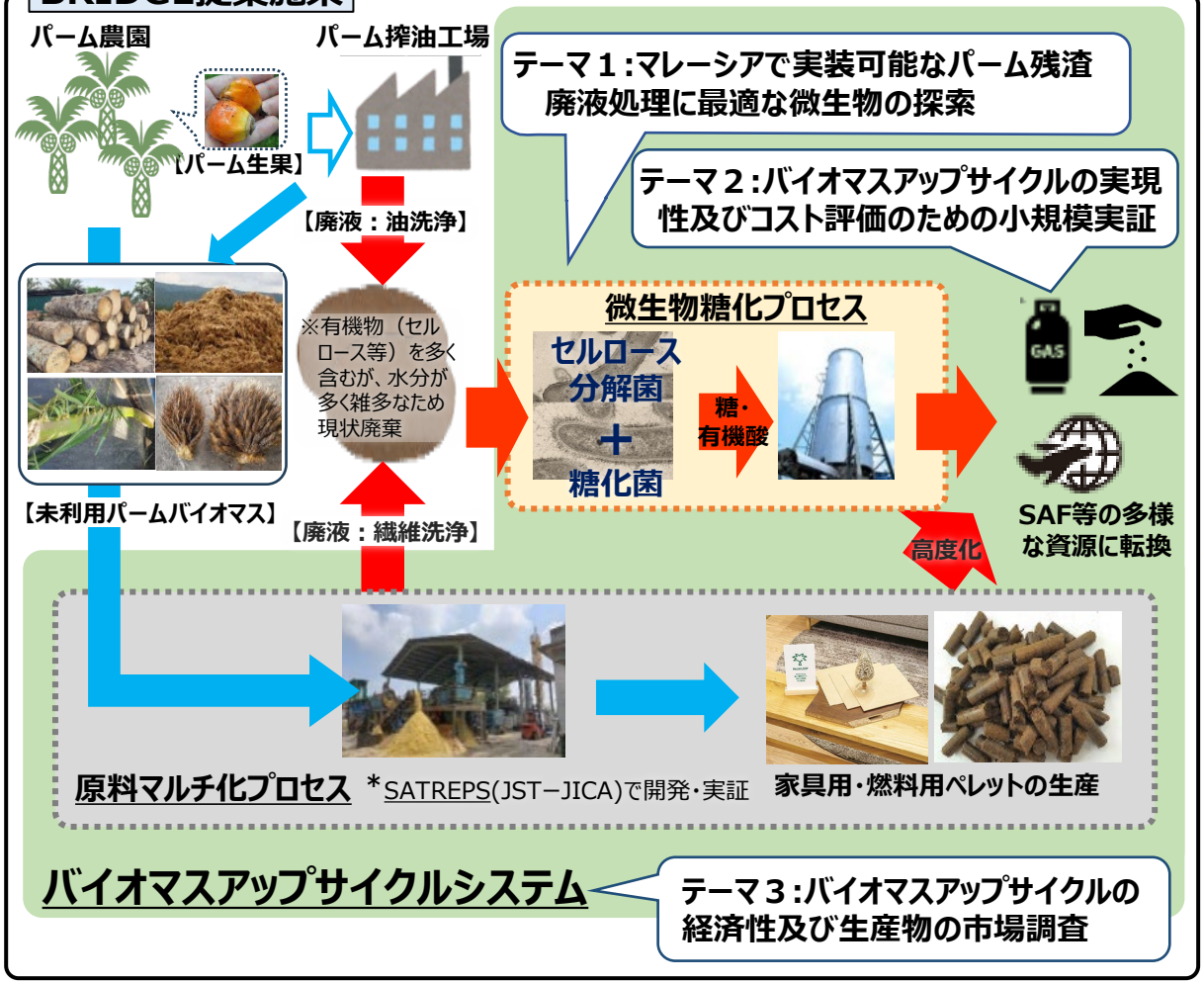
社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰の中での成果（進捗の説明）

② 全体俯瞰図

取り組むべき課題

未利用パームバイオマスによる環境負荷を軽減できる「バイオマスアップサイクル技術」の開発と展開に向け、技術の実現可能性と技術導入によるビジネスの持続性可能性を明らかにすることが必要

BRIDGE提案施策



取組施策の成果と社会実装

○付加価値が高いバイオメタンの生産技術の実現可能性を確認

○バイオマスアップサイクル技術の導入による高いビジネスの持続可能性を確認

テーマ1成果

微生物を利用した付加価値が高いバイオメタン生産技術の実現可能性を確認！

① 現地利用が可能な微生物(*P Paenibacillus macerans*)の高い水素生産能力を新たに発見

② *P.macerans*とセルロース分解菌の組み合わせにより、バイオメタン生産に利用可能な有機物量を1.5倍にできることを確認

テーマ2成果

バイオマスアップサイクルの高い経済的実現性を確認、必要となるコストの詳細を把握！

① 小規模実証のデータから想定売り上げとコストを把握し、技術導入により得られる年間利益は24億円と推定

② マレーシアでは十分なパームバイオマス供給量（1.8億トン/年）が確保可能であることを確認

テーマ３成果

想定する生産資材の国際的需要と価格競争力・技術的優位性を確認！

① バイオメタン及び家具用・燃料用ペレットが十分な市場規模・需要を有することを確認

② 競合製品と比較して価格競争力・技術的優位性を持ち、原材料価格・需要変動などのリスク要因を回避可能であることを確認

次世代バイオマスアップサイクル技術の開発と国際展開を推進し、持続可能性が高いパーム産業の実現と我が国のグリーンエコノミーに貢献

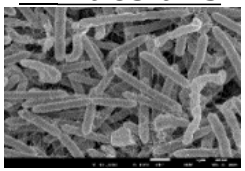
研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ　①マレーシアで実装可能なパーム残渣廃液処理に最適な微生物の探策

① 研究成果及び達成状況

- マレーシアで利用可能な高い水素生産能とリン可溶化能を有する微生物（*Paenibacillus macerans*）を同定し、適切な現地セルロース分解菌と組み合わせることで微生物糖化プロセスを構築可能であることを確認した。
- *P. macerans*の能力を利用することで、バイオメタネーションの利用とパーム農園で使用する化学肥料の置き換えが可能であることを確認した。

P. macerans



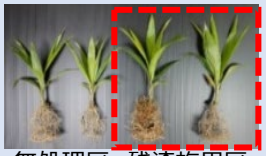
・マレーシアで利用可能
・キシラン/タンパク質分解能を持つ
・水素生産能を持つ
・リン酸可溶化能を持つ

微生物による**糖化過程で水素を供給可能**であることを確認（ガス相中の水素濃度46%）

- 生産した水素・二酸化炭素を供給することでメタン生産量を増加させる**バイオメタネーションが可能であることを確認**

難溶性リン酸の可溶化による植物の生育促進効果を確認

写真：糖化残渣施用によるパームの生育促進効果



無処理区　残渣施用区

- **糖化残渣を微生物資材として利用**することで、パーム農園で使用される**化学肥料の一部を置き換え**できることを確認
- 化学肥料の生産・輸送に係る**温室効果ガス排出を削減**し、低コストで**リン酸成分をパーム農園に供給**することが可能

② 出口戦略・研究成果の波及

- メタン生成に利用可能な糖・有機酸の供給増と水素供給を低コストで実現可能であり、最終的なバイオメタン生産量の２倍増が見込めることから、R7年度BRIDGEの取り組みでは、バイオメタンの生産を効率的かつ低コストで実現するバイオメタンプラットフォームの開発を推進し、次世代バイオマスアップサイクル技術の生産物の高付加価値化に活用する。
- 他の繊維等を含む有機性廃液の処理にも利用可能な技術であることから、他のバイオマスへの技術応用についても検討を進める。

③ 目標達成状況等の特記事項

- マレーシアへの微生物導入・商業利用については利用可能な制度が確認できたが、インドネシアはブタペスト条約に加盟していないことから、将来的なインドネシアへの展開に関しては現地微生物の利用等を含めた対応が必要であることから、R7年度BRIDGEの取り組みでは他のパーム生産国への展開についてはこの点に留意した検討を開始する。
- 商業規模での微生物糖化の運用には微生物の状況を適切に把握するための技術が必要であることから、AIによる画像解析を用いた常時監視システムの検討を開始し、R7年度BRIDGEでの技術開発を推進する。

研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

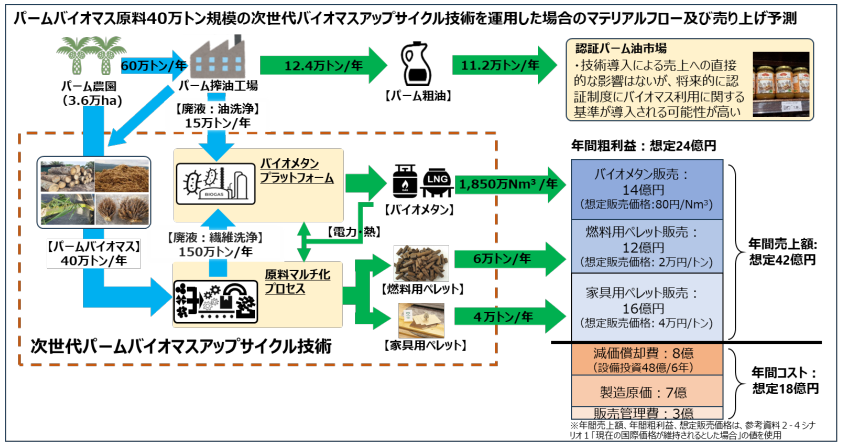
テーマ ②バイオマスアップサイクルの実現性及びコスト評価のための小規模実証

① 研究成果及び達成状況

- マレーシアのペレット製造工場での調査値及び現地プラントと国内ラボでの小規模実証、更に現地での材料調達を基に、必要な設備費及び運用コストを8～50万トン規模とした場合で比較した結果、導入バイオマス原料40トン規模での技術導入が費用対効果を最大化させることを明らかにした。
- 原料40万トン規模で運用した場合のマテリアルフローを試算し、次世代バイオマスアップサイクル技術を導入した場合の生産可能資材量、売り上げ、運用コストを試算し、十分な経済的な持続性を確保できることを確認した。

導入技術・規模ごとの年間運用コストと利益額の試算結果

	ペレット製造工場 年間コスト（万円、推定値）		次世代バイオマスアップサイクル 年間コスト（万円、推定値）			
コスト種別	原料40万トン規模工場		原料8万トン規模工場		原料40万トン規模工場	原料50万トン規模工場
原価償却費（期間６年）	50,000		45,000		80,000	105,500
製造原価	50,000		15,200		70,000	92,500
1.運転費用	30,000		11,200		50,000	62,500
電力購入	10,000	不足電力購入	3,000	不足電力購入	15,000 不足電力購入	18,750 不足電力購入
水道料金	1,000	390万m³	200	78万m³	1,000 390万m³	1,250 490万m³
薬剤購入費	8,000	苛性ソーダ等	2,000	苛性ソーダ等	10,000 苛性ソーダ等	12,500 苛性ソーダ等
メンテナンス費	11,000	部品交換等	5,000	部品交換等	22,000 部品交換等	27,500 部品交換等
微生物管理費	－		1,000	購入・管理	2,000 購入・管理	2,500 購入・管理
2.原料調達費	20,000	500円/トン	4,000	500円/トン	20,000 500円/トン	30,000 600円/トン
販売管理費	20,000		6,400		30,000	37,300
1.人件費	5,600		2,400		7,200	8,800
管理者	2,400	3名	800	1名（3交代）	3,200 4名	4,000 5名
作業員	3,200	20名	1,600	10名	4,000 25名	4,800 30名
2.その他経費	14,400		4,000		22,800	28,500
合計	120,000		66,600		180,000	235,300
想定販売益	280,000		84,000		420,000	525,000
想定粗利益	160,000		17,400		240,000	289,700
粗利益率	57%		21%		57%	55%



② 出口戦略・研究成果の波及

- 適切な規模で技術導入を行うことで経済的な持続性を確保できることが確認できたことから、R7年度BRIDGEの取り組みでは実証プラントでの技術のモデル運用を行い、経済性向上、環境負荷軽減、パーム生産の持続性向上に視点から定量的に評価し、多面的に情報を発信することで資本投資の透明性と信頼性を向上させ、技術導入を検討する企業からの投資を誘起する。
- JDBSを中心とした技術導入支援体制を構築することで、民間企業による技術導入の障壁を低減する。

③ 目標達成状況等の特記事項

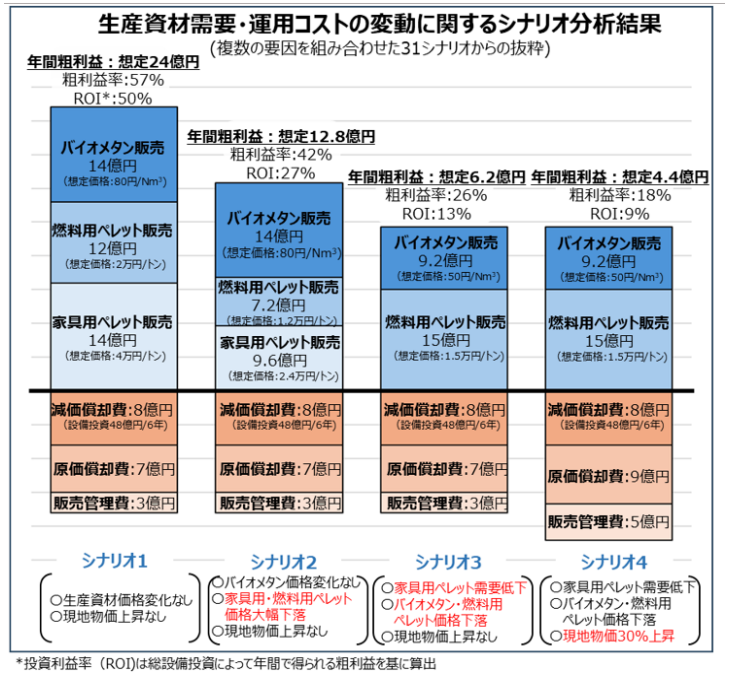
- テーマ３の調査から十分なパームバイオマスの供給量が見込めるものの、各国の政策や天候不良によるバイオマス供給量及び価格の変動が確認されたことから、R7年度BRIDGEの取り組みでは現地のバイオマス供給量・価格と生産資材の需要に応じてエネルギー・資材の生産安定と経済性を指標に適切な運用を行うための生産計画モデルの作成を行う。

研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ ③バイオマスアップサイクルの経済性及び生産物の市場調査

① 研究成果及び達成状況

- バイオメタン、燃料用ペレット、家具用ペレットについて市場調査・文献調査を行い、各生産物の需要は今後拡大が予測されると同時に競合製品等と比較して、価格競争力や環境負荷軽減効果等の優位性を有することを確認した。
- 生産エネルギー・資材の需要・国際価格の変動や現地物価の変動を組合わせたシナリオ分析を実施し、市場の異なるバイオメタン及び家具用・燃料用ペレットを生産することで、各生産資材の需要・価格及び現地物価等の変動リスクを緩和できることを確認した。



*投資利益率（ROI)は総設備投資によって年間で得られる粗利益を基に算出

② 出口戦略・研究成果の波及

- 次世代バイオマスアップサイクル技術では、市場の異なる生産物を供給することで需要や国際価格の変動リスクを軽減できることが確認できたことから、R7年度BRIDGEの取り組みでは実証プラントでの技術のモデル運用を行い、経済性向上、環境負荷軽減、パーム生産の持続性向上に視点から定量的に評価し、多面的に情報を発信することで資本投資の透明性と信頼性を向上させ、技術導入を検討する企業からの投資を誘起する。

③ 目標達成状況等の特記事項

- 多様な生産方法についての研究開発が進められるカーボンニュートラルなメタンの製造コストは、国内外の合成メタン生産の革新技術開発が進展すれば、2050年までに50円/Nm^3程度まで低下する可能性を確認した。当事業によるバイオメタン製造コストは事業終了後（2027年）までに製造コストが40～50円/Nm^3となると試算するが、さらなる低コスト化に向けた技術開発を進める。

実施体制及び実施者の役割分担

PD
農水省農林水産技術会議事務局
国際研究官

運営委員会
・外部有識者2名
・知財アドバイザー
・農林水産省行政委員2名
　・農林水産省大臣官房
　　環境バイオマス政策課
　・林野庁木材利用課

事務局
・農林水産技術会議事務局
　国際研究官室

外部アドバイザー
○JICAやJETRO等の関連機関
○国内・現地食品・エネルギー企業
○パーム油の持続可能性認証機関
他

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

①マレーシアで実装可能なパーム残渣廃液処理に最適な微生物の探索
国際農林水産業研究センター（国際農研）
○有用微生物同定・評価
○微生物移動に関する法規制・手続きの確認

マレーシア国立農業バイオテクノロジー研究所（ABI）
○有用微生物同定
○微生物移動に関する法規制・手続きの確認

OPTERAZ
○検証に必要なサンプル等の提供

②バイオマスアップサイクルの実現性及びコスト評価のための小規模実証
JIRCASドリームバイオマスソリューションズ（JDBS）
○小規模実証
○マテリアルバランスシート作成
○生成エネルギー・資材の生産量・品質評価

OPTERAZ
○実証プラント運用
○生成エネルギー・資材の生産量・品質評価
○副次的な経済効果の算出

国際農研
○小規模実証のデータ解析

③バイオマスアップサイクルの経済性及び生産物の市場調査
日新商事
○生産物市場投入に向けたロードマップ構築
○地域市場の動向、制度調査
○投資妥当性の判断基準の策定

JDBS
○地域市場の動向、制度調査
○生産物市場投入に向けたロードマップ構築

パナソニック
○生産物市場投入に向けたロードマップ構築
○地域市場の動向、制度調査