

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別終了時評価報告書

1. 研究課題名

バイオマス・廃棄物資源のスーパークリーンバイオ燃料への触媒転換技術の開発
(2017年08月～2023年08月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者： 椿 範立 (富山大学 学術研究部工学系 教授)
2. 2. 相手国側研究代表者： Tharapong Vitidsant (タイ王国 チュラロンコン大学 理学部
化学工学科 教授 / バイオマス燃料エネルギーセンター長)

3. 研究概要

本プロジェクトは、幅広い非可食系バイオマス資源（木質・農業残渣・廃棄物系）を対象に、ガス化技術と得られたガスの触媒転換技術を開発することで、化石燃料（石油、天然ガス、石炭等）の代替となる高品位バイオ燃料やバイオ化学品の製造技術を実証する。また、これらの事業化システムや製品利用方法等の社会実装に向けた提案を目指し、人材育成等の基盤づくりにも取り組む。

日本側では研究代表機関の富山大学の他、一般財団法人石炭フロンティア機構、ENEOS 株式会社、株式会社巴商会、タイ側ではチュラロンコン大学の他、北部再生可能エネルギー株式会社、タイ石油公社の共同研究体制によって、以下の3つの研究題目を実施する。

- (1) 各種バイオマス資源からの合成ガス製造技術開発
- (2) 触媒転換によるバイオ燃料製造技術の開発
- (3) 利用技術・全体システム構築に係る取り組み

4. 評価結果

総合評価：A+

(所期の計画をやや上回る取り組みが行われ、大きな成果が期待できる)

本プロジェクトにおける合成ガスからのメタノール製造や、FT 合成¹に関する触媒開発は極めて優れた学術的成果を上げており、今後の革新的 BTL²技術の開発に大きく寄与するものである。ジェット燃料等の社会的ニーズも高い中で、優れた基礎研究を活かしたこれらの成果は、日本や

¹ Fischer-Tropsch process : 合成ガス（一酸化炭素と水素の混合ガス）から軽油など石油代替燃料および化学品を合成する触媒反応。

² Biomass to Liquid : バイオマスから得られる液体燃料。特にバイオマスをガス化して得られるガスから触媒を用いて製造される液体燃料であり、中でも FT 合成によって合成される直鎖炭化水素を指す。

他国への波及効果も大きいと考えられる。触媒技術については本プロジェクト終了後も別予算による研究開発が継続されるなど、社会実装への期待も大きく、今後炭素循環³の様々な局面で重要な技術となることが期待される。

多様なバイオマスからの合成ガス製造技術については、短期間で計画に基づいた研究が推進され、タール除去の可能性が示されるとともに、合成ガスの目標性能も達成した。タール処理に関しては技術課題を完全には克服できていないため、より詳細な技術成果の確認が求められる。

また、エネルギープロセス解析⁴、LCA⁵および社会実装・実用化評価は試算が行われた段階であり、今後社会実装に向けたより詳細な検討を期待する。

以上のとおり、今後の課題はあるものの、各研究題目ともに所期の目標を達成し、特に触媒開発を中心とする学術的成果については所期の計画を上回っていると評価する。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

本プロジェクトにおいて、バイオマスをガス化したものを液体燃料に合成する BTL 技術として、バイオマス由来合成ガスの不純物への耐性を高め、低温メタノール合成では大幅な触媒性能向上を獲得するなど、特色ある触媒技術が開発されたことは科学的インパクトが非常に高いと評価できる。多様なバイオマスに適用したこれらの革新的な触媒技術はサーキュラーエコノミー⁶における貢献度も高く、持続可能社会の実現に向けて大きく前進を促すものと期待する。

バイオガスから燃料等への転換技術については、ベンチプラント規模で高性能な軽油、ガソリン、メタノール、LPG の製造に成功した。それを可能とした触媒転換技術は、類似研究が多い中でも新規性が高く、燃料以外の化学品製造にも応用が可能な世界的にもトップクラスのもので、高く評価できる。

これらは世界的なカーボンニュートラルの取り組みに合致する研究であり、注目度も高い。成果は国際論文誌に多数報告され、触媒分野における学術的評価も非常に高く、トップレベルの学術誌でも広くアピールできている。

また、タイに限らずバイオマスが豊富に賦存する東南アジア各国への波及効果も高いと考えられる。主要産業が農業分野である新興国のみならず、中期的には生物系の廃棄物処理全般に対する波及効果も期待できる。特にジェット燃料合成技術は、世界的に波及する可能性がある。

³ 炭素循環：炭素が二酸化炭素、有機物、化石燃料などの形態に変化しながら、大気や海洋などの環境や生物、土壌の間を移動する循環。大気中の二酸化炭素は地球温暖化の主要因の一つとされる温室効果ガスに該当し、その吸収や、放出量抑制の取り組みが世界で進められている。

⁴ エネルギープロセス解析：バイオマスの熱分解ガス化、バイオマス燃料製造のようなエネルギー生産プロセスにおける、エネルギー投入量の解析。従来の化石燃料を使用した場合との比較等が可能。

⁵ Life Cycle Assessment：製品やサービスごとの資源採取から製造、使用、廃棄・リサイクルに至る全ライフサイクルにおける環境負荷を数値化し、定量的に評価する手法。

⁶ サーキュラーエコノミー：従来の 3R (Reduce, Reuse, Recycle) の取組に加え、資源投入量・消費量を抑えつつ、ストックを有効活用しながら、サービス化等を通じて付加価値を生み出す経済活動。資源・製品の価値の最大化、資源消費の最小化、廃棄物の発生抑制等を目指すもの。（環境省「令和 3 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書」<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r03/index.html>）

4-2. 相手国ニーズの充足

タイのバイオマス資源から得られたガス化原料からバイオ燃料やバイオ化学品を製造しており、触媒の要素研究の技術移転としては、相手国のニーズに大きく貢献している。タイ政府が主導する Thailand4.0⁷、BCG 経済モデル⁸と合致しており、今後も本プロジェクトの成果が活用されることが期待できる。

ただし、社会実装時の規模設定ができておらず、バイオマス特有の原料収集や事前処理の制約条件を今後考慮する必要がある。また、タイの原料を利用し、キルン式ガス化炉⁹の使用を前提とすれば、社会実装にはスケールアップしたプラントでの実証とそのための技術的課題の解決、およびエネルギー収支と経済性の向上が要件となるであろう。実際に、触媒技術の成果を利用したいと考える企業からのコンタクトも多く、何らかの形で社会実装につながる可能性は高い。

タイ側のバイオマスセンターでは人材育成が進み、投入された機器の運転がタイ側だけでも可能となっている。ただし、研究目的だけでなく社会実装まで見据えた機関の人材育成につながるかどうかは今後の課題である。

4-3. 付随的成果

本プロジェクトで開発された技術は、日本にとっても重要な技術であり、我が国のバイオマス系サーキュラーエコノミー構築への貢献が期待できる。触媒技術の発展に非常に高い成果を上げ、汎用性も高く、科学技術の発展に大きく貢献したことは国際的にも評価され得る。

知財については、本プロジェクトとは別であるが、日本で触媒の特許出願がなされている。バイオリソース事情は国ごとに異なるため標準化は容易ではないが、議論をリードする成果としても評価できる。

また、相手国との共著論文も多く（22報）、トップレベルの学術誌へも多数の投稿がなされている。産業界へのアピールも実施できており、情報発信について十分優れていると評価できる。

当初より相手国側研究者、研究機関とは十分な連携が図られていたが、本プロジェクトの実施により、更に技術に関心をもつ研究者や企業を含めた人的ネットワークが強固に構築された。

4-4. プロジェクトの運営

両国の大学間には以前から交流があり、技術移転が主軸ではあるが両者で共同してベンチプラント運営にあたるなど、企業との連携も含めて研究開発推進のための適切な体制が構築されていた。本プロジェクト終了後もこのベンチプラントを活用し、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の予算等による共同研究が継続される予定である。

⁷ Thailand4.0：2015年にタイ政府が、農業や製造を中心とした経済構造から技術・イノベーション志向の構造に変革し、既存産業の強化、未来産業の育成を通じて、2036年までに高所得国入りすることを目標として掲げたビジョン。

⁸ Bio-Circular-Green Economic Model：バイオエコノミー、サーキュラーエコノミー、グリーンエコノミーを統合したもの。Thailand4.0を推進する

⁹ キルン式ガス化炉：投入したバイオマスを熱分解ドラムで熱分解ガスと炭（チャー）に分解する。発生したガスは高度な精製を経て触媒転換用合成ガスとして用いる。

研究代表者は、コロナ禍の影響を受けながらも研究題目ごとの要素研究推進をマネジメントし、高いリーダーシップを発揮した。ガス化装置の運転では、機器のトラブル発生を受けて装置の改良を適切に行い、当初の目的を達成した。

タイ側の研究代表者は日本側と連携し、民間や関心のある機関へ本プロジェクトの成果を積極的に発信している。触媒の学術的な新規性とガス化から合成燃料製造まで一貫通貫の実証ができている点が注目され、成果の活用が促進される状況となっている。

学術論文による活発な成果の発信に加え、ベンチプラントそのものが本プロジェクトで開発した技術を社会に発信する点でも大きな役割を果たし、現地企業を含め多数の見学者が試験研究拠点のサラブリ・バイオマスセンターを訪れている。

触媒転換 (FT 合成) ベンチ装置およびバイオマスガス化ベンチ装置の規模は適切で、様々な触媒、バイオマスの実証実験に用いることにより、有効に予算を活用している点も評価できる。

5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

- 1) 本プロジェクトは、バイオマスのガス化と、合成ガスからの燃料や化学品の生産の大きな2つの基盤研究から構成されているが、合成ガスからのメタノール製造や FT 合成に関する触媒開発については極めて優れた学術的成果を上げている。一方、バイオマスのガス化については、プロジェクト目標は達成しているものの、大きな学術的成果は認められない。特にガス化過程で生じるタールの処理については、少なくともタール、チャー、ガスの実験データを整理し、マスバランスやエネルギーバランスが明確になるようにまとめてほしい。また、ガス化と触媒転換をセットで考えるだけでなく、それぞれの技術単独でも社会実装の機会があれば活かしていただきたい。
- 2) 本技術の社会実装には、もう一段スケールアップしたプラントでの技術実証が必要である。実機の 1000t/日については、更に議論が必要であろう。バイオマス原料収集の観点からは、規模が大きすぎると感じられる一方、燃料製造プラントは規模が大きいほど経済性が得られやすい。規模によって求められる技術の要求項目にも違いが出てくるため、ガス化部分と触媒部分で、最適と考えられる規模の擦り合わせが求められる。
- 3) LCA を考慮して使用する資源を検討してほしい。タイのバイオマス資源の有効活用プロジェクトとして、地域の原料の量や輸送問題を考慮した適切な規模設定を検討し、経済性評価等に説得力を与える必要がある。これらによってシステム全体の最適化、エネルギー収支と経済性の一層の向上を図り、社会実装を目指してほしい。
- 4) 本プロジェクトは、社会実装に向けてインフラ整備やサプライチェーンの構築を必要とするものであり、日本側研究代表者が日本国企業と相手国企業のビジネスレベルの議論をリードしていくことを期待する。産業界や政府との連携を深め、実用化に向けて長期的な活動へ繋

げてほしい。そのためにも、両国にとってメリットのある人材育成や共同研究の継続を期待したい。本課題で開発中の触媒技術は、大きな波及効果が期待できる基盤技術となり得るものであり、バイオ燃料に止まらず、広くどのような応用が考えられるか、追求してもらいたい。また、技術の本質が一般の人にもわかるように解説し、まとめて欲しい。

以上

成果目標シート

研究課題名	バイオマス・廃棄物資源のスーパークリーンバイオ燃料への触媒転換技術の開発
研究代表者名 (所属機関)	椿 範立 (国立大学法人 富山大学)
研究期間	平成28年度～平成33年度
相手国名／主要相手国研究機関	タイ王国／チュラロンコン大学 タイ石油公社

上位目標

農業資源が豊富な新興国で未利用有機資源(バイオマスや低質炭等)を高品位なバイオ燃料・化学品に転換、化石資源代替・地球温暖化対策の加速化に貢献する。

事業化体制・製品利用スキームの構築など事業化への基盤が整う
(スケールアップ・低コスト化・規格化、石炭・天然ガスの利用等)

プロジェクト目標

幅広い非可食系バイオマス資源(木質・農産残さ・廃棄物系)から、化石代替(軽油・ガソリン・LPG等)となる高品位バイオ燃料・化学品製造技術を実証、事業化システムや製品品質・価格・利用方法等の社会実装提案

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 化石代替燃料・化学品生産による脱石油・CO₂削減 未利用有機資源開発によるエネルギーセキュリティ向上
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> C1化学・触媒化学転換技術の発展 化石代替燃料・化学品製造技術の発展
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> C1化学転換触媒技術(軽油代替燃料用FT合成触媒、ガソリン代替燃料用カプセル触媒、LPG直接合成触媒等) バイオ燃料の分析・評価、規格化方法 バイオ燃料の環境特性(LCA、排出ガス性状等)
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 地球規模の資源・エネルギー問題および日本のエネルギーセキュリティ向上に貢献できるグローバル人材の育成 研究成果の社会還元につながる人材の育成
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> バイオ燃料のサプライチェーン(バイオマス資源の生産・供給、加工、転換、流通)を担う各主体間の連携構築 研究者と成果の社会実装の担い手の連携構築 次世代バイオ燃料製造に係る技術・人的ネットワーク構築 大学間交流協定の深化、発展
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 触媒転換に適した合成ガス製造のための新規高性能触媒 高活性かつ実用性(低圧化等)に優れたFT合成触媒 ガソリン代替燃料製造に適したカプセル触媒 化学品の脱石油に貢献する低温低圧メタノール合成 バイオLPG製造に適したLPG直接合成触媒 次世代バイオ燃料のLCA特性 次世代バイオ燃料の品質・特徴と規格化・社会実装

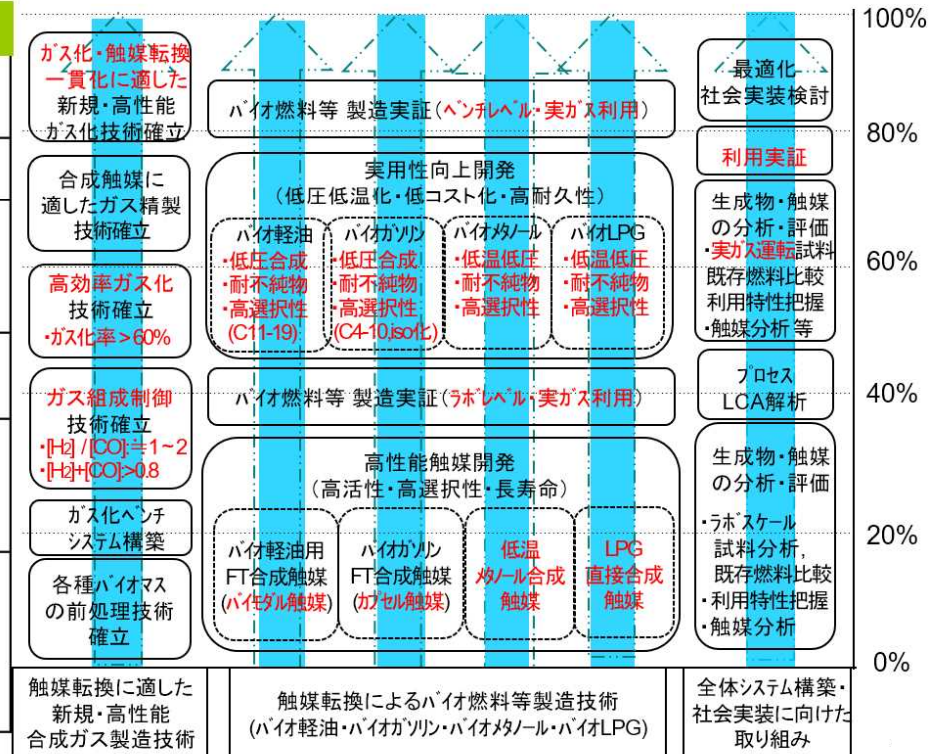


図1 成果目標シートと達成状況 (2023年3月時点)