

## 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

低品位炭とバイオマスのタイ国におけるクリーンで効率的な利用法を目指した溶剤改質法の開発 (2012年4月～2019年3月)

#### 2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：三浦 孝一

(京都大学 エネルギー理工学研究所 特任教授)

2. 2. 相手側研究代表者：Bundit Fungtammanan

(エネルギー・環境連合大学院 (JGSEE)

キングモンクット王科大学トンブリ校 (KMUTT) 副学長)

#### 3. 研究概要

本プロジェクトは、研究代表者により開発された「溶剤改質法」を利用して、世界に多く存在する低品位炭や稲わら等のバイオマスといった、エネルギー源や資源として利用することが難しい素材を、バイオ燃料や固体燃料、炭素繊維などの高付加価値材料に変換する技術を開発することを目的としている。

将来的に化石燃料資源は使用することが難しくなることが予想され、開発途上国で比較的容易に入手することができる素材を利用して、エネルギーや有価資源へ効率的に変換できる技術およびシステムを開発し、日タイ両国の民間企業（株式会社神戸製鋼所、タイ石油公社）と連携し社会実装を目指す。

具体的な研究題目は以下の4点である。

(1) 「溶剤改質」による低品位炭とバイオマスの効率的脱水と改質

(2) 「溶剤改質」と「高効率脱硫・改質」によるバイオマスからの新規 Bio-Fuel 製造への本改質法の適用性の検討

(3) 「溶剤改質」で生成する Soluble の機能性炭素材料への変換

(4) 「溶剤改質」で生成する改質燃料・残渣の高効率・クリーン燃焼・ガス化

#### 4. 評価結果

**総合評価：A** （所期の計画と同等の取組みが行われている。）

本プロジェクトでは溶剤改質法により、低品位炭に加えて、新たに稲わらなどのバイオマスバイオ燃料や炭素繊維などの高付加価値を有する材料に変換する技術の開発を進めてきた。当初は改質で得られたすべての材料の実用化を目指したが、低品位炭から得られる燃料はコスト面などで制約があり、プロジェクト3年目より高付加価値化の可能性のある炭

素繊維の製造に研究の重心をシフトさせ、当初計画とは少し方向性は異なるものの研究成果を挙げてきた。

溶剤改質法は高付加価値を生み出す技術として、廃棄バイオマスの有効利用という地球規模課題の解決への可能性を有しており、プロセス技術として高く評価される。タイでは、バイオエネルギーが国家計画に位置づけられるほか、世界的なESG（環境・社会・企業統治）投資の潮流もあり、政策面の重要性が今後増していくことが予想され、地球規模課題の解決策として、本成果の社会実装が後押しされることが期待される。

また、各研究題目の達成状況は次のとおりである。

(1) 「溶剤改質」による低品位炭とバイオマスの効率的脱水と改質

1年遅れで半連続式溶剤改質装置（以下、半連続装置）が導入され、順調に運転され、燃料及び Soluble が開発された。諸条件のもと溶剤及び試料の最適比率が確認され、脱水と改質のための効率的な操作法を開発した。さらに将来の商業化に向けパイロットプラントの概念設計も完了し、タイ石油公社（以下、PTT）は少なくとも研究を3年間継続することを約束している。

(2) 「溶剤改質」と「高効率脱硫・改質」によるバイオマスからの新規 Bio-Fuel 製造への本改質法の適用性の検討

2段階脱硫法による液体燃料開発、半連続装置による粗バイオ燃料調製、水素化改質を実施、燃焼試験を経て、新規バイオ燃料製造のフィジビリティ・スタディも実施された。その結果、低品位炭やバイオマス資源を原料とした Bio-Fuel 製造の商業化は石油価格等の影響もあり、現時点では困難な状況にある。

(3) 「溶剤改質」で生成する Soluble の機能性炭素材料への変換

Soluble とコールタールピッチの成分分析比較表を作成した。また、カーボンファイバーの最適条件が確認されたほか、高品質のコークス製造用粘結材が製造された。最終的に Soluble から炭素繊維を製造する概略コストが計算・評価され、汎用炭素繊維を最終製品とした場合は Soluble を相当安価に製造する必要性が確認された。

(4) 「溶剤改質」で生成する改質燃料・残渣の高効率・クリーン燃焼・ガス化

燃焼・ガス化挙動解明反応速度の測定が終了し、タイ産褐炭や稲わらの大量の調製試料の試験も実施された。調製された燃料を対象とした燃焼及びガス化挙動、改質燃料/残渣の使用割合等も確認され、調製試料の発電時 CO2 排出量は原料よりも一定程度削減されている。今後は ASEAN にも開かれた燃焼研究センターをタイ政府として設立する計画がある。

なお、プロジェクト形成時から産学連携体制を組み、タイ側は PTT が、日本側は株式会社神戸製鋼所（以下、神戸製鋼）が参画した。プロジェクト終盤には、タイ最大の製糖会社であるミトボンが PTT 及び JGSEE と連携し、製糖工程で大量に廃棄されるサトウキビ搾汁残渣のバガス为原料とした Soluble 生成の研究を計画するなど、産学連携はさらに発展する兆しをみせている。

#### 4-1. 地球規模課題解決への貢献

本プロジェクトでは、溶剤改質法を基盤技術に、溶剤改質の連続抽出を試み、さらにパイロットプラントの概念設計など、将来の実用化に向けた取り組みが推進された。また、低品位炭から中空の炭素繊維を生み出すなどの素材の高付加価値化につながる成果が得られた。プロジェクト終盤には、さとうきびのバガスを原料に製糖会社との共同研究が検討され、今後の展開が期待される。石油資源枯渇に伴う資源価格の高騰リスクや、環境配慮への要求が高まるなか、本プロジェクトは、地球規模課題への解決に大きく貢献する可能性を有する。

プロジェクトは国際誌の論文発表や学会発表を通じて、溶剤改質法などのプロジェクト成果を国際社会に公表してきた。供与機材を集約した燃焼研究センターの設立計画では、ラオスなど他国とのネットワークも検討されている。今後、低品位炭を有するインドネシア等の他国の関心も高まれば、さらに成果が活用される可能性もある。

また、JST が支援する JASTIP（日 ASEAN 科学技術イノベーション共同研究拠点）において、研究代表機関を主体に「溶媒改質法による低品位炭やバイオマスの効率的利用」に関するさらなる技術改良と、ASEAN 諸国への研究成果の普及が計画されている。参画した民間企業による水平展開も期待され、他国に効果が波及する可能性がある。

以上、発足時より両国企業が溶剤改質法に関心を示しプロジェクトに参加するなど、本研究は大手企業も引き寄せる高い水準にある技術を基盤としている。そのため本プロジェクトの研究成果は、バイオマス等を燃料や炭素繊維へ転換するための有力な技術であると言える。

#### 4-2. 相手国ニーズの充足

タイでは、バイオエネルギーの開発およびその利用が国家計画に位置づけられ、代替エネルギー開発計画も存在するなど、バイオマスや低品位炭の利活用に対するニーズが官民ともにある。今後、ESG投資等のさらなる浸透により、バイオマス液体燃料等の再生可能エネルギーが石油系液体燃料を代替する可能性もある。廃棄物であるバガスを材料とし炭素繊維や燃料などへ転換する技術の研究が進めば、総合的な環境問題の解決策として、政策面で重要性が増す可能性もあり、本プロジェクトは相手国ニーズに十分合致している。

本研究成果の実用化には相当の時間を要すると考えられるが、両国の共同研究や国費留学生制度等による、タイ側研究者の人材育成が図られ、今後の研究の基盤が構築された。相手国では、産官学連携による燃焼研究を推進するための新たな研究センターや、本プロジェクトの研究機材を活用する分析センターを設立する計画もあり、タイ側における人材育成や組織強化の取り組みは継続されるであろう。また、今後少なくとも3年間の研究がPTTにて継続される予定であり、さらにバガスを用いた共同研究が製糖企業を加えて準備されるなど、継続的発展の見通しがある。

ただし、タイに長期滞在して相手国研究者を直接指導してきた日本側研究代表者は、プロ

プロジェクト終了とともに研究機関を退官したため、日本側の研究継続体制の見直しが必要である。本プロジェクトに参加した研究者の中から研究代表者の知見を引き継ぎ、リードする後継者の出現が待たれる。

### 4-3. 付随的成果

PTT に導入した半連続装置の設計・制作から現地での操作指導まで神戸製鋼が研究に主体的に参加することで、ラボスケールの研究からスケールアップし、セミパイロットプラントでの実験環境を整備した。研究機関と企業の協働、技術移転、ノウハウの蓄積を通して日本の産業への波及効果が期待できる。

本プロジェクトでは、JGSEE での基礎研究や PTT での実証研究において実験条件を最適化しながら Soluble の改質にかかる技術蓄積を進めてきた。これらの経験はタイの研究開発能力の強化に貢献した。また、バイオマス廃棄物の稲わらから中空構造の炭素繊維が生成されるなど、科学技術へ貢献しうる興味深い結果も得られた。

タイ側に供与された機材は十分に活用され、特に PTT に導入された半連続装置については、操作手順等のマニュアルも整備された。この装置は研究代表者と神戸製鋼の研究者が現地に 1 ヶ月以上滞在して、設置及び運転着手を支援した。その結果、現在では相手国の技術者により運営されている。故障等を防ぐべく維持管理面での継続的なサポートが日本側からなされることを期待したい。

ただし脱硫技術などの一部の研究要素は、PTT に設置した半連続装置における検証に至っておらず、今後、実証実験を実現することで、さらなる科学技術への貢献が期待される。

本プロジェクトの研究成果に基づき、製造方法や製造装置に関する特許出願が検討されている。プロセスの技術レベルは優れているが、単なる製造特許では知財として限界があるため、得られた材料の特性や構造を規定した特許が出願できるよう引き続き研究を進めていきたい。

また、相手国との共著論文は 3 編、それ以外の原著論文は 8 編と限られ、高い研究成果のレベルを考慮すると、より多くの論文等を作成し、国際誌等に今後も発表していくことが求められる。

### 4-4. プロジェクトの運営

プロジェクト開始 2 年目には、当初予定していた半連続装置の調達に、国際入札の不調により遅れた。しかし、日本側の研究者は、相手国への機材供与後ただちに装置の立ち上げを PTT と連携して実施し調達の遅れの影響を最小限に抑え、PTT における実験を推進するに至ったことは高く評価できる。また、本プロジェクトでは 20 を超える装置、システムが JGSEE および PTT に供与された。プロジェクト終了時においては、これらの機材は全て順調に稼働している。今後、JGSEE が計画する研究センター等にて、供与機材等を管理・使用する計画であり、さらに多くの利活用が図られ、高い効果を生み出すであろう。

日本側研究代表者は相手国に長期滞在し、研究者を指導することでプロジェクト推進に大きく貢献し、両国間の良好な関係維持にも貢献した。日本側研究代表者の経験は両国の研究者に受け継がれたものの、今後の研究継続を念頭に置けば、プロジェクト全体をリードする人材が必要であり、日本側若手研究者の台頭が期待される。タイ側では、研究代表者のもと元国費留学生の若手研究者（サブリーダー）が、JGSEEにおける小規模装置を用いた実験を主導し、PTTにおける研究との連携において中心的な役割を果たしたことが高く評価できる。また、当初計画した低品位炭の燃料としての利用に関しては、コスト等の困難さがあり、関係者の議論を主導してプロジェクトの重心を炭素繊維などにシフトさせて、全体として成果を挙げてきた。このように両国の研究者のリーダーシップは十分に発揮された。

タイにおいて、PTTと製糖会社の連携や、燃焼研究センターの設立など、プロジェクト成果を活用する活動が既に計画されており、今後の実現が期待される。なお、このような動きがあるのは、プロジェクト形成段階から民間企業が参加すべく体制を整えたことによるものであり、その努力は大変評価される。

## 5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

今後の研究に向けての要改善点および要望事項は以下のとおりである。

- (1) 今後も溶剤改質法を中心とした研究を継続し、本研究成果の社会実装を追求して頂きたい。そのためには、JGSEEを拠点とする燃焼研究センターの設立、PTTでの今後3年間の研究継続、PTTとミトポンの共同研究の展開について支援し続けるとともに、日本側のプロジェクト体制を明確にしつつ神戸製鋼にて事業化や国際展開の可能性を検討することが肝要である。
- (2) また、日本側研究代表機関はJASTIPを通じて本プロジェクトの成果をASEANに拡げる構想を有する。成果の情報発信とともに、論文等の国際誌等への発表や、日本側代表研究者の後継者の育成にも取り組んでほしい。
- (3) 技術的には特許出願の余地が多く残されていると推察される。今後有用な知財網を構築すべく、研究シーズの発展可能性も明確にしていきたい。
- (4) 世界的なESG投資などの潮流や、タイ国家計画におけるバイオエネルギーの位置づけは、本研究成果の重要性を今後高める可能性がある。環境問題を解決する社会実装を実現すべく、マーケットに対するコスト評価とその低減策の検討、農業廃棄物処理による価値の試算などを進めてほしい。

以上

研究課題名	低品位炭とバイオマスのタイ国におけるクリーンで効率的な利用法を目指した溶剤改質法の開発
研究代表者名 (所属機関)	三浦 孝一 (京都大学エネルギー理工学研究所)
研究期間	平成25年12月20日～平成31年3月31日 (2013/Dec./20～2019/Mar./31)
相手国名/主要 研究機関	タイ王国/The Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE) King Mongkut's University of Technology Thonburi, PTT Research and Technology Institute, PTT Public Company Limited

### 付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	・共同研究、研究者交流を通じてタイ国における日本の科学技術外交への貢献
科学技術の発展	・溶剤改質という新規な技術により、低品位炭、バイオマスの新たな利用法の開発 ・東南アジア諸国への展開による低品位炭、バイオマス資源利用技術の一層の発展
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	・知的財産における特許出願・取得数10 ・関連する知的財産に関する守秘義務協定や技術移転協定等の知財管理ノウハウの蓄積 ・ASEAN諸国への技術の普及による知財の国際化
世界で活躍できる日本人材の育成	・日本側の若手研究者の問題解決力や国際共同研究運営能力の向上 ・SATREPSと、京都大学主催のSFE Forumの強化により、東南アジア規模での若手研究者の養成
技術及び人的ネットワークの構築	・タイ国と我が国の企業・大学研究者研究ネットワーク構築及び産学官連携の推進
成果物	・査読付き論文誌への掲載数15 ・合同ワークショップを開催し、ASEAN諸国への技術の普及

### 上位目標

低品位炭や食料と競合しない廃バイオマス資源を高効率でクリーン液体燃料、機能性炭素材料、化学原料に変換する基盤技術の成果が東南アジア諸国に広く還元される。

Solubleの粘結材としての優位性、新規Bio-fuel、炭素繊維製造技術の優位性が製鉄業、石油精製業などに認められて実用化の促進

### プロジェクト目標

低品位炭及びバイオマス廃棄物の高効率かつクリーンな利用技術の開発。  
(低品位炭：灰分・水分含有量1%以下の改質物。バイオマス廃棄物：Biofuelの転換率Max.70%(炭素基準)、S分50ppm以下)

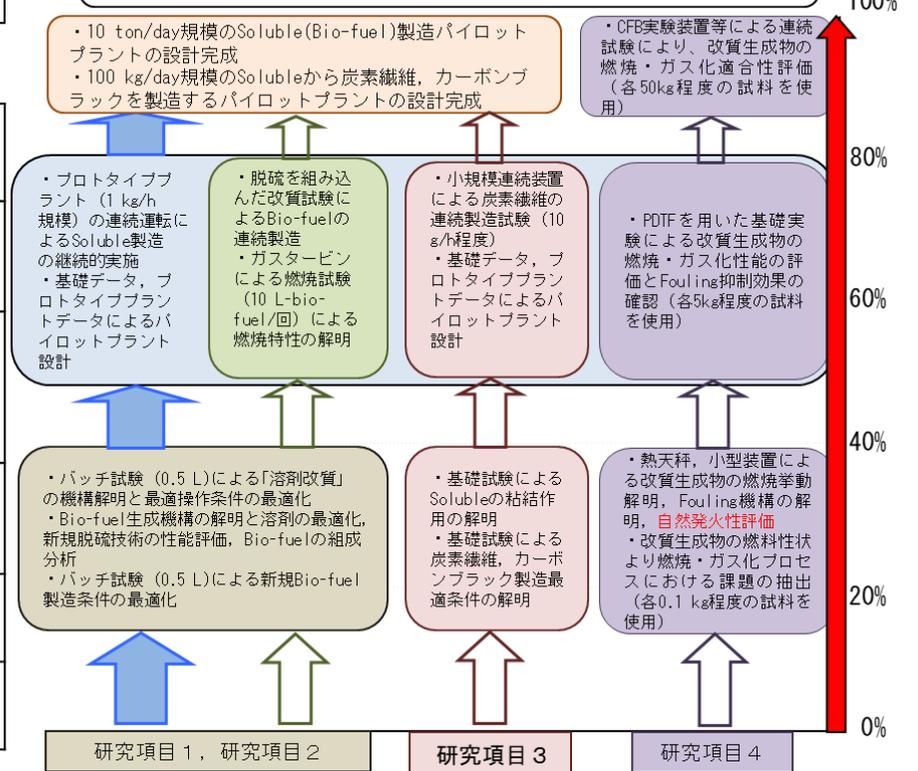


図1 成果目標シートと達成状況(2019年1月時点)