

国名	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プロジェクト
タイ	

## I 案件概要

事業の背景	<p>タイでは、2009年度においては1,780万tの国内炭（褐炭）と1,630万tの一般炭が利用され、一次エネルギー消費の15%、総発電量の19.7%を占めているが、2030年には総発電量の23.4%、発電設備容量で9,200MWを占めると予想されていた。これら石炭消費量の増加は低品位の国内炭や輸入炭で賄うことが想定されていたが、タイは「国家電力開発計画2010（PDP2010）」において単位発電量当たりの温室効果ガス排出量（GHG）の削減を計画しており、GHG排出抑制のため、低品位炭の抱える欠点を克服する必要があった。また、タイ国では農業生産に伴って毎年1億4,000万tのバイオマス廃棄物が排出されており、石炭火力発電におけるGHG排出抑制手段として、石炭・バイオマス混合燃焼の検討が進められていたが、バイオマスは発熱量が低く、アルカリ金属と塩素の含有量が多いために、発電効率の低下のみならず、ボイラー内での凝集やボイラー壁への付着などにより燃焼ボイラーの運転上への悪影響が大きな課題となっていた。これらの課題の解決のため、タイ政府によるエネルギー開発政策やエネルギー効率化政策において、大学・研究機関における人材育成や技術開発、それに伴う研究体制の整備が進められており、その中の重点課題として、持続可能なクリーンコール技術やバイオ燃料開発の推進が挙げられていた。</p>										
事業の目的	<p>本事業は、新規な技術である「溶剤改質法」を用いて、高効率で低品位炭、稻わらなどのバイオマス廃棄物を液体燃料、固体燃料、炭素材料などに転換することにより、低品位炭とバイオマス利用の抱える問題の解決を図り、もって地球規模のエネルギー・環境問題の解決への貢献に寄与することを目指す。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>想定された上位目標：なし</li> <li>プロジェクト目標：低品位炭とバイオマスの課題克服と利用拡大に向けて革新的な技術（溶剤改質法）が開発される。</li> </ol>										
実施内容	<ol style="list-style-type: none"> <li>事業サイト：バンコクおよびアユタヤ</li> <li>主な活動： <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 小型半連続溶剤改質装置を用いた低品位炭及びバイオマスの改質に関する研究・実験、b) 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バイオ燃料製造への本改質法の適用性に関する研究・実験、c) 溶剤改質で生成するソリュブルの機能性炭素材料への変換に関する研究・実験、d) 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・ガス化に関する研究・実験</li> </ul> </li> <li>投入実績           <table border="0"> <tr> <td>日本側</td> <td>相手国側</td> </tr> <tr> <td>(1) 専門家派遣：19人</td> <td>(1) カウンターパート配置：17人</td> </tr> <tr> <td>(2) 研修員受入：756人</td> <td>(2) 土地及び施設：KMUTT内の事務室2室及び実験室4室、PTT-InI内の実験室1室及び試験施設2区画</td> </tr> <tr> <td>(3) 機材供与：CHN分析計、ミクロ天秤、ロータリーエバポレーター、熱機械分析装置、バッチ試験用オートクレーブ(0.5L)、小型炭素繊維紡糸装置、SME機能付きデジタルマイクロスコープ、熱天秤、ドロップチューブ炉等</td> <td></td> </tr> </table> </li> </ol>			日本側	相手国側	(1) 専門家派遣：19人	(1) カウンターパート配置：17人	(2) 研修員受入：756人	(2) 土地及び施設：KMUTT内の事務室2室及び実験室4室、PTT-InI内の実験室1室及び試験施設2区画	(3) 機材供与：CHN分析計、ミクロ天秤、ロータリーエバポレーター、熱機械分析装置、バッチ試験用オートクレーブ(0.5L)、小型炭素繊維紡糸装置、SME機能付きデジタルマイクロスコープ、熱天秤、ドロップチューブ炉等	
日本側	相手国側										
(1) 専門家派遣：19人	(1) カウンターパート配置：17人										
(2) 研修員受入：756人	(2) 土地及び施設：KMUTT内の事務室2室及び実験室4室、PTT-InI内の実験室1室及び試験施設2区画										
(3) 機材供与：CHN分析計、ミクロ天秤、ロータリーエバポレーター、熱機械分析装置、バッチ試験用オートクレーブ(0.5L)、小型炭素繊維紡糸装置、SME機能付きデジタルマイクロスコープ、熱天秤、ドロップチューブ炉等											
事業期間	(事前評価時) 2013年12月～2018年12月（60カ月） (実績) 2014年1月8日～2019年1月7日（60カ月）	事業金額（日本側のみ）	(事前評価時) 370百万円、(実績) 363百万円								
相手国実施機関	キングモンクット工科大学トンブリ校エネルギー・環境連合大学院（JGSEE/KMUTT） PTT公社・革新技術研究所（PTT-InI）										
日本側協力機関	京都大学（代表研究機関）、秋田大学、神戸製鉄所、電力中央研究所										

## II 評価結果

### 【留意点】

- 本事業では想定された上位目標は設定されていなかったが、終了時評価報告書において、将来の研究成果の活用として「溶剤改質法を活用した炭素繊維製造の商業化」が示されている。このため、本事後評価では、「溶剤改質法による炭素繊維製造の商業化に向けた取り組み」が、プロジェクト終了後に相手国実施機関において行われたか否かを確認し、確認された場合には、これを事後評価時における本事業の上位目標として位置付けた。

### 1 妥当性/整合性

#### ＜妥当性＞

#### 【事前評価時のタイ国政府の開発政策との整合性】

<sup>1</sup> SATREPSとは、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）を指す。

本事業は、事前評価時点におけるタイ国の開発政策である「第11次国家社会経済計画」（2012年～2016年）では低炭素で、環境にやさしい社会と経済に重点が置かれており、整合性が高い。

#### 【事前評価時のタイ国における開発ニーズとの整合性】

本事業は、事前評価時点における「低品位炭やバイオマス原料をバイオ燃料に変換し、効率的なエネルギー源や資源として利用する技術の開発」というタイ国における開発ニーズと、整合性が高い。

#### 【事業計画/アプローチの適切性】

本事業の計画/アプローチは、適切である。事業計画/アプローチに起因する課題は確認されなかった。

#### 【評価判断】

以上より、本事業の妥当性は③<sup>2</sup>と判断される。

#### <整合性>

#### 【事前評価時における日本の援助方針との整合性】

本事業は、事前評価時の日本の「対タイ王国 国別援助方針」（2012年12月策定）の重点分野のひとつである「持続的な経済の発展と成熟する社会への対応」の開発課題である「日タイ連携による研究能力向上・ネットワーク強化」と整合している。

#### 【JICA他事業・支援との連携/調整】

事前評価時または事業実施中において、本事業とJICAの他の事業との連携/調整は、明確に計画されていなかった。

#### 【他機関との連携/国際的枠組みとの協調】

事前評価時または事業実施中において、他ドナーや国際的な枠組みとの連携/協調は、明確に計画されていなかった。

#### 【評価判断】

以上より、本事業の整合性は②と判断される。

#### 【妥当性・整合性の評価判断】

以上、本事業の妥当性及び整合性は③と判断される。

## 2 有効性・インパクト

#### 【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】

事業完了時までに、プロジェクト目標は、おおむね計画どおりに達成された。

本SATREPS事業により導入された溶剤改質法により、低品位炭/バイオマスを温かく条件で熱量の損失なく高品質の固体燃料へと転換できることが確認された。また、溶剤改質法で得られる溶剤改質炭/溶剤改質バイオマスは、灰分を除くと瀝青炭に匹敵する元素組成をもっており、水分をまったく含まないことが分かった。その結果、溶剤改質法は、トレファクションと呼ばれる現在最も有効と考えられる転換技術より優れており、また、低品位炭の水熱技術よりも優れていることが確認された（指標1）。また、半連続溶剤改質装置及び水処理装置を用いた溶剤改質法により、新たな液体燃料（バイオ燃料）が製造され、この液体燃料の燃焼試験に成功し、バイオ燃料の物理的特性は良好であることが分かった。しかし、この液体燃料は、ケロシンに比べて煤の原因となる芳香族化合物が多く含まれていたため、バイオ燃料の改良には水素化分解が必要であることが示唆された。一方、新型バイオ燃料は、現段階では石油系燃料の試験法に従う限り、燃焼効率とコスト競争力の両面から評価は低いものとなった。しかし、将来にバイオマスからの液体燃料が石油系液体燃料に置き換わるような状況になれば、石油系燃料とは異なる指標での評価が必要となることから、このような観点に立てば、本法はバイオマスから液体燃料を製造する新しいルートの可能性を提案したと評価できる（指標2）。溶剤改質法では炭素繊維への転換に適したソリュブル（Soluble）を温かく条件において高収率で製造できることが確認された、ソリュブルから炭素繊維を製造するための最適条件を確認することに成功した。ソリュブルの特性から、EDLC製造用原料としての高い可能性が示唆されたものの、ソリュブルから電気二重層キャパシタ（EDLC）の電極の製造といった適用性については、事業完了までに確認するまでには至らなかった（指標3）。

#### 【事業効果の事後評価時における継続状況】

事後評価時点で、本事業の効果は、一部継続している。

事業完了後、JGSEE/KMUTTはタイ科学研究イノベーション（TSRI）の資金援助を受けて、ソリュブルからEDLCを製造する研究プロジェクトを開始した。しかし、溶剤改質法を用いた固体燃料や液体燃料の製造に関する研究は、それらが燃焼効率やコスト競争力の両方において従来の石油系燃料に劣るため、継続されていない。加えて、事後評価時においては、温室効果ガス排出削減のための低位炭の改良は、タイ政府の優先課題には位置づけられていない。しかしながら、将来的に関連分野の技術革新が進み、また政策等の諸条件の見直しが行われた場合は、これらの研究は、再度、注目される可能性もある。一方、本SATREPS事業で調達された研究機材は、継続的に活用されている。例えば、ドロップチューブ炉は少量の燃料サンプルで燃焼特性を評価できるタイで唯一の試験設備であり、バイオマス燃料メーカー等からバイオマス燃料の評価依頼を受け、試験を実施する機会が増えている。SATREPS事業で調達したその他の試験機器、計測機器は、大学の研究・教育活動に十分活用されている。

#### 【想定された上位目標の事後評価時における達成状況】

事後評価時点までに、想定された上位目標は、おおむね計画どおりに達成された。本SATREPS事業の成果を踏まえ、京都大学が創設した「知の越境」融合チーム研究プログラム（SPIRITSプログラム<sup>3</sup>）のスキームにより、2021年より「バイオマス高度利用技術開発のためのタイを中心とした東南アジア諸国連合（ASEAN）諸国における研究チーム形成」が開始された。この研究プロジェクトは、ASEAN諸国における炭素材料開発を含むバイオマスの有効利用のための新技術開発を目的としている。SPIRITSプログラムには、JGSEE/KMUTTの研究者に加え、ラオス国立大学、ミャンマーのタンリン工科大学の研究者などが参

<sup>2</sup> ④：「非常に高い」、③：「高い」、②：「やや低い」、①：「低い」

<sup>3</sup> SPIRITS プログラムは、京都大学の研究プログラムであり、研究のフロンティアへの挑戦、科学の未知領域の開拓、イノベーションの促進を目的として、学際的、国際的、対人的な境界を越えた研究を推進することを目的としている。SPIRITS プログラムは、文部科学省からの助成金と京都大学の自主財源により運営されている。

加している。SPIRITSプログラムにより構築された産学連携ネットワークは、今後も拡大され、ASEAN諸国にバイオマス高度利用技術開発のための研究拠点が設立される予定である。

【事後評価時に確認されたその他のインパクト】

本SATREPS事業は、JGSEE/KMUTTとPTT-InIの能力開発にプラスの影響を与えた。本SATREPS事業のもとで、博士課程の学生2名と修士課程の学生3名が、JGSEE/KMUTTで学位を取得した。また、本SATREPS事業への参加により、JGSEE/KMUTT及びPTT-InIの研究者は、研究能力を向上させ、関連する研究テーマだけでなく、他の業務全体にも応用できるマルチスキルを身につけることができた。とりわけ、パイロット・プラントを用いた研究において、貴重な専門知識を得ることができた。

【評価判断】

以上より、本事業の有効性・インパクトは③と判断される。

プロジェクト目標及び上位目標の達成度

目標	指標	実績	情報源
プロジェクト目標 低品位炭とバイオマスの課題克服と利用拡大に向けて革新的な技術(溶剤改質法)が開発される	(指標1) 低品位炭/バイオマスが効率的に発電用固体燃料に転換され、既存の転換技術に対して、比較優位が確認される。	<p>達成状況（継続状況）：計画どおり達成（継続していない） (事業完了時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>溶剤改質法では低品位炭/バイオマスを温和な条件で熱量の損失なく高品質の固体燃料へと転換できることが確認された。</li> <li>溶剤改質法で得られる溶剤改質炭/溶剤改質バイオマスは、灰分を除くと瀝青炭に匹敵する元素組成をもっており、水分をまったく含まない。</li> <li>溶剤改質法は、トレファクションと呼ばれる現在最も有効と考えられる転換技術より優れていた。また、低品位炭の水熱技術よりも優れていた。</li> </ul> <p>(事後評価時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>溶剤改質法を用いた固体燃料や液体燃料の製造に関する研究は、それらが燃焼効率やコスト競争力の両方において従来の石油系燃料に劣るため、継続されていない。</li> </ul>	終了時評価報告書 JGSEE/ KMUTT PTT-InI
	(指標2) 低品位炭/バイオマスが効率的に液体燃料に転換され、既存の液体燃料の一部と代替する可能性が確認される。	<p>達成状況（継続状況）：計画どおり達成（継続していない） (事業完了時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>半連続溶剤改質装置及び水処理装置を用いた溶剤改質法により、新たな液体燃料（バイオ燃料）が製造された。また、日本においてこの液体燃料の燃焼試験に成功し、バイオ燃料の物理的特性は良好であることが分かった。</li> <li>しかし、この液体燃料は、ケロシンに比べて煤の原因となる芳香族化合物が多く含まれていた。このため、バイオ燃料の改良には水素化分解が必要であることが示唆された。一方、新型バイオ燃料は、現段階では石油系燃料の試験法に従う限り、燃焼効率とコスト競争力の両面から評価は低いものとなる。しかし、将来にバイオマスからの液体燃料が石油系液体燃料に置き換わるような状況になれば、石油系燃料とは異なる指標での評価が必要となる。このような観点に立てば、本法はバイオマスから液体燃料を製造する新しいルートの可能性を提案したと評価できる。</li> </ul> <p>(事後評価時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>溶剤改質法を用いた固体燃料や液体燃料の製造に関する研究は、それらが燃焼効率やコスト競争力の両方において従来の石油系燃料に劣るため、継続されていない。</li> </ul>	終了時評価報告書 JGSEE/ KMUTT PTT-InI
	(指標3) 低品位炭/バイオマスが効率的に炭素材料に転換され、その利用方法が確認される。	<p>達成状況（継続状況）：計画どおり達成（継続） (事業完了時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>溶剤改質法では炭素繊維への転換に適したソリュブルを温和な条件において高収率で製造できることが確認された。</li> <li>ソリュブルから炭素繊維を製造するための最適条件を確認することに成功したが、ソリュブルから電気二重層キャパシタ（EDLC）の電極の製造といった適用性については、事業完了までに確認するまでには至らなかった。しかし、ソリュブルの特性から、EDLC 製造用原料としての高い可能性が示唆された。</li> <li>基礎試験により、ソリュブルから転換されたコークス製造用粘結材は、既存のコークス製造用粘結材よりも優れた特性を有することが確認された。</li> </ul> <p>(事後評価時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>事業完了後、JGSEE/KMUTT はタイ科学研究イノベーション（TSRI）の資金援助を受けて、ソリュブルから EDLC を製造する研究プロジェクトを開始した。</li> </ul>	終了時評価報告書 JGSEE/ KMUTT PTT-InI

3 効率性

事業費及び事業期間は計画内に収まった（計画比：それぞれ 98%、100%）。

	事業金額（日本側の支出のみ、円）	事業期間（月）
計画（事前評価時）	370 百万円	60 ヶ月
実績	363 百万円	60 ヶ月
割合 (%)	98%	100%

アウトプットは計画どおり産出された。以上より、効率性は④と判断される。

#### 4 持続性

##### 【政策面】

事後評価時の「電源開発計画2018-2037（PDP2018）」に基づくと、事前評価時のPDP2010に比べ、発電における石炭使用の必要性は高くはない。そのため、温室効果ガス排出量削減を目的とする低位炭の改良は、現在のところ優先事項ではない。しかし、タイ政府は「バイオ循環グリーン経済政策」を重視しており、科学、技術、イノベーションを応用して、生物学的・文化的多様性というタイの比較優位を競争優位に変えることに重点を置いている。また、環境問題への関心の高まりから、バイオマス製品の市場は世界的に拡大している。このような理由から、本SATREPS事業の研究成果は、バイオマスから炭素素材への変換技術など、将来的な取り組みにつながる可能性を秘めている。

##### 【制度・体制面】

上述のとおり、SPIRITSプログラムのスキームの下、JGSEE/KMUTTは、2021年からラオス国立大学、ミャンマーのタンリン工科大学の研究者とともに、「バイオマス高度利用技術開発のためのタイ及びASEAN諸国を拠点とした研究チームの形成」という新しい研究プロジェクトを開始している。JGSEE/KMUTTは、本SATREP事業に参画しており、SATREPS事業の成果が上記の研究プロジェクトに生かされている。PTT-InIについては、2018年の組織改編により、SATREPSの研究テーマやバイオ燃料に関連する研究テーマを継続することは、現在のPTT-InIの方針や組織の方向性には、必ずしも沿ったものとはなっていない。しかし、タイ政府のバイオ循環グリーン経済政策、循環型経済、持続可能な航空機用バイオジェット燃料の導入といった世界的な潮流を受けて、PTT-InIにおいても、将来的にはバイオマス利用に関する研究を再開する見込みはある。

##### 【技術面】

JGSEE/KMUTTの研究者は、SATREPS事業で設置された設備・機材の設置から携わり、事業実施中に日本の研究者・オペレーターから十分な研修を受けているため、同設備・機材を適切に操作し、維持管理するための十分な知識と技術を有している。JGSEE/KMUTTの研究者は、SATREPS事業で構築された関係者間のコミュニケーションやネットワークを維持しながら研究活動を継続することで、技術や知識を維持・向上させてきた。SATREPS事業で調達された研究室や設備・機材は、現在も研究者や学生によって研究・教育の両面で十分に活用されている。PTT-InIの研究者は、SATREPS事業への参加を通して研究能力を向上させた。しかし、組織改編により、現在の研究活動は、バイオマスや石炭に関連した研究ではなく、バイオテクノロジーや電気自動車（EV）技術に重点を置くようになっており、大型装置のための十分な訓練を受けたオペレーターの数が限られているため、現在、半連続溶媒改質装置は稼動させていない。一方、PTT-InIは、タイ国内の他の研究者やネットワークと、必要であれば移転の可能性も含めて、プラントの活用及び再稼働の可能性について協議する予定である。

##### 【財務面】

JGSEE/KMUTTは、研究及び教育活動を行うための通常の大学予算に加え、ソリュブルからのEDLC製造に関する新しい研究プロジェクトの財源として、タイ科学研究イノベーション（TSRI）からの資金援助、及びSPIRITSプログラムのための京都大学からの資金援助を受けている。加えて、JGSEE/KMUTTでは、SATREPS事業で設置された設備・機材の運転と保守に十分な年間予算が提供されている。一方、PTT-InIでは、組織改編以降は、SATREPS事業の研究成果に関連する研究活動は行われておらず、現在、パイロット・プラントの稼働も休止しているため、パイロット・プラントの運転・維持管理に必要な定期的な予算配分は行われていない。

##### 【環境・社会面】

環境・社会面の問題は確認されず、対応策を講じる必要はなかった。

##### 【評価判断】

以上より、政策面/制度・体制面及び財務面に軽微な問題があるが、本事業によって発現した効果の持続性は②と判断される。

#### 5 総合評価

本事業は、「低品位炭とバイオマスの課題克服と利用拡大に向けた革新的な技術（溶剤改質法）の開発」というプロジェクト目標をおおむね計画通りに達成し、「プロジェクト成果の社会実装に向けた取り組みの継続」という想定された上位目標をおおむね計画どおりに達成した。事業完了後、2021年から京都大学のSPIRITSプログラムのスキームのもと新たな研究プロジェクトが開始され、JGSEE/KMUTTがミャンマー、ラオスの大学と連携して、ASEAN諸国での炭素材料開発を含むバイオマスの有効利用のための新技術の開発研究活動を行っている。

以上より、総合的に判断すると、本事業の評価は高いと評価される。

#### IV 提言・教訓

実施機関への提言：

- SATREPS事業で開発された溶剤改質法による転換技術は、石炭利用を取り巻く情勢の変化やタイの石炭利用政策の変更により、短期的には社会実装が困難となる可能性があるため、JGSEE/KMUTT及びPTT-InIは、SATREPS事業で培われた研究ネットワークや基礎研究能力を基に、更なる研究分野の拡大に活用できるよう、本技術を適切に保存することが望まれる。
- 事業完了後、PTT-InIではSATREPS事業の研究テーマやバイオ燃料に関連した研究活動は行われていないが、PTT-InIはプロジェクトで建設されたパイロット・プラントの運転に関する知識をタイ国内の他の研究者と共にするとともに、プラントの有効活用のために他のタイの研究機関や大学への移設の可能性を模索することが提案される。

JICAへの教訓：

- 開発された炭素材料の社会実装を促進するためには、カーボンプライシングのような環境外部性を考慮した市場制度がない場合、バイオマス製品が既存技術に対して価格優位性を獲得することは困難であるため、バリューチェーン全体を考慮したライフサイクル・アセスメントや競合技術との比較分析により、本技術の優位性を多角的に評価する活動を追加すべ

きであった。

- PTT 公社や神戸製鋼所など、日タイの民間企業が事業開始時から参画したことは、社会実装のために重要なパイロット規模の実証研究を効率的に実施する上で効果的であった。ただし、経済情勢などにより、企業や業界の方針が大きく変化し、プロジェクトの持続可能性に影響を及ぼす可能性があることを十分に認識し、競合技術の開発状況や市場動向の把握を的確に行うとともに、より多くの企業や業界の関心を引くべく、知的財産保護には留意しつつも積極的な広報を検討すべきである。



JGSEE/KMUTT に供与された実験装置



PTT-InI に供与された小型半連続溶剤改質装置