

終了時評価調査結果要約表

1. 案件の概要		
国名：タイ王国	案件名：(科学技術) 非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術	
分野：資源・エネルギー	援助形態：技術協力プロジェクト – 科学技術	
所轄部署：産業開発・公共政策部	協力金額（評価時点）：4億8,000万円	
協力期間	RD：2010年5月16日～ 2016年3月31日	先方関係機関：国家科学技術開発庁（NSTDA）、科学技術研究所（TISTR）、モンクット王工科大学ノースバンコク（KMUTNB）
	延長：1年間（2016年3月31日 日まで延長）	日本側協力機関：産業技術総合研究所、早稲田大学
	F/U：なし	他の関連協力：なし
<p>1-1 協力の背景と概要</p> <p>タイ王国（以下、「タイ」と記す）における代替エネルギー研究の歴史は古く、1970年ころからプミポン国王が王室プロジェクトの一部として、バイオエタノール、バイオディーゼル燃料（Biodiesel Fuel：BDF）開発に取り組んでおり、近年ではパームなど食糧系バイオマスが主流となっている。他方、食糧を燃料に転換することはできれば回避されることが望ましく、その方法の検討が求められている。よって、タイ国内での非食糧系バイオ燃料開発のメカニズムの解明及び本燃料に係る試験標準化のニーズが高まっており、非食糧系バイオ燃料の有望な選択肢としてジャトロファオイル並びに余剰農業廃棄物が挙げられている。しかし、ジャトロファには毒性物質が含まれており、バイオ燃料として活用するためには毒性物質の除去が必要である。また、輸送燃料としての実用化に向けては品質向上のための基盤技術の構築が不可欠となっており、今後技術的な課題を克服する必要がある。</p> <p>これらの状況を受け、タイ政府から地球規模課題対応国際科学技術協力（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development：SATREPS）プロジェクトとして、非食糧系バイオ燃料開発に係る基盤技術構築に関する要請がなされた。2009年9月に詳細計画策定調査が実施され、2010年2月に討議議事録（Record of Discussions：R/D）に署名がなされた。2010年5月より科学技術協力「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」プロジェクト（以下、「本プロジェクト」）が開始され、タイで試験利用が始まりつつあるジャトロファオイルからのBDF製造におけるコスト低減やBDFの安全性確保と燃料品質確保に向けた技術の構築とともに、未利用のジャトロファ残渣のバイオオイル生成技術及び燃料化技術の確立に取り組んできた。今般調査は本プロジェクトが終了を迎えるにあたり、これまでの実績を整理し、今後の持続性を高めるための提言、教訓等を導くために実施する終了時評価調査である。</p> <p>なお、本プロジェクトは当初5年間の実施期間が予定されていたが、2011年にバンコクで生じた大洪水の被害を勘案し、プロジェクト期間を1年間延長している。</p>		
<p>1-2 協力内容</p> <p>(1) 上位目標</p> <p>本プロジェクトにより改良された非食糧系バイオマスによるバイオ燃料製造技術がタイで普及する。</p>		

(2) プロジェクト目標

非食糧系バイオマスであるジャトロファを用いた輸送燃料製造の基盤技術が開発される。

(3) 成果

研究成果 1：ジャトロファオイルからの安全で高品質な BDF の製造技術の構築

【Task 1】 ジャトロファオイル留分からの高品質 BDF の製造に係る活動

1. 毒性懸念のないバイオディーゼル燃料 (BDF) 製造のための解毒化技術が開発される。
2. 標準化された高品質 BDF 製造プラント化技術が開発される。
3. ジャトロファ BDF の改質のための触媒利用技術が開発される。
4. ジャトロファオイル留分からの高品質 BDF 製造の CO₂ 削減効果がライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment : LCA) によって明らかにされる。

【Task 4】 高品質 BDF の自動車燃料適合性評価に係る活動

5. 高品質 BDF の自動車燃料適合性が実証される。

研究成果 2：ジャトロファ残渣のバイオオイル精製技術及び高品位輸送燃料化技術の構築

【Task 2】 ジャトロファ残渣からのバイオオイルの製造に係る活動

6. 急速熱分解によるジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術が開発される。
7. バイオオイル分離・安定化技術が開発される。

【Task 3】 バイオオイルの改質及び LCA に係る活動

8. バイオオイルを石油系ガソリン及び軽油品質までに向上させるための脱酸素化及び水素化精製技術が開発される。
9. 現行の石油精製設備での利用を想定した、バイオオイルと石油基材の混合処理技術が開発される。
10. バイオ燃料製造の CO₂ 削減効果が LCA によって明らかにされる。

【Task 4】 ジャトロファ残渣由来バイオ燃料の自動車燃料適合性評価に係る活動

11. ジャトロファ残渣由来バイオ燃料 (石油との混合油を含む) の自動車燃料適合性が実証される。

【Task 5】 人材育成・技術移転、BDF 製造技術の実用化

12. バイオ燃料製造及び利用に係る研究者が育成される。
13. BDF 製造技術の実用化に向けての準備が整う。

(4) 投入 (2016 年 2 月末時点)

1) 日本側：総投入額 2 億 7,000 万円

- ・ 専門家派遣：短期専門家 18 名 (28.0 人/月) 及び長期専門家 (業務調整) 延べ 2 名
- ・ カウンターパート (Counterpart : C/P) の本邦研修：延べ 36 名
- ・ 供与機材：高品質バイオディーゼル製造試験装置、触媒反応実験標準装置、リアルタイム PM アナライザー、高速液体クロマトグラフィー等

2) タイ側

- ・ C/P 配置：95 名
- ・ 施設・資機材：プロジェクト事務所 (NSTDA、TISTR、KMUTNB 内)、ラボラトリー

<p>資機材及びラボラトリー拡張、パイロットプラント設置場所の確保等</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現地業務費：車両走行試験（1回目）、パイロットプラント改造費、ラボラトリー消耗品、C/P旅費、事務所光熱費等 			
2. 評価調査団の概要			
調査者	担当分野	氏名	所属
	総括/団長	鈴木 薫	JICA 産業開発・公共政策部 参事役
	評価計画	川俣 大和	JICA 産業開発・公共政策部 資源・エネルギーグループ 第一チーム調査役
	評価分析	十津川 淳	佐野総合企画株式会社 海外事業部 部長
	研究評価 (オブザーバー)	佐藤 雅之	JST 国際科学技術部 SATREPS グループ 上席主任調査員
調査期間	2016年1月31日～2016年2月13日		評価種類：終了時評価
3. 評価結果の概要			
<p>3-1 実績の確認 (注：本稿の H-FAME とは、特に注記のない限り、高品質 BDF と同意とみなして記載している)</p> <p>3-1-1 成果の達成状況</p> <p>研究成果 1：ジェットロファオイルからの安全で高品質な BDF の製造技術の構築</p> <p>達成状況：達成</p> <p>【Task 1】 ジェットロファオイル留分からの高品質 BDF の製造に係る活動</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 毒性懸念のない BDF 製造のための解毒化技術が開発される。 達成状況：達成 ジェットロファ油中のホルボールエステルは水素化脂肪酸メチルエステル (Hydro Fatty Acid Methyl Ester : H-FAME) 化する際に、検出限界以下に低減できており、解毒化技術は開発されたと判断できる。 2. 標準化された高品質 BDF 製造プラント化技術が開発される。 達成状況：達成 ジェットロファ BDF を解毒化し、酸化安定性を向上させた H-FAME を製造する H-FAME 製造用パイロットプラントを開発し、科学技術研究所 (Thailand Institute of Scientific and Technological Research : TISTR) に設置された。 3. ジェットロファ BDF の改質のための触媒利用技術が開発される。 達成状況：達成 プロジェクトの成果である、H-FAME は東アジアサミット (East Asia Summit : EAS) 推奨品質及び世界燃料憲章バイオディーゼルラインの要求品質を満たしており、触媒利用技術は開発されたと見える。 4. ジェットロファオイル留分からの高品質 BDF 製造の CO₂ 削減効果が LCA によって明らかにされる。 達成状況：達成 ジェットロファ脂肪酸メチルエステル (Fatty Acid Methyl Ester : FAME) 製造工程、及びジェットロファ H-FAME への部分水素化工程での GHG (Greenhouse Gas : 温室効果ガス) 排出量が、それぞれ 0.42 kg CO₂eq/kg FAME 及び 0.18 kg CO₂eq/kg H-FAME と算出された。 			

【Task 4】 高品質 BDF の自動車燃料適合性評価に係る活動

5. 高品質 BDF の自動車燃料適合性が実証される。

達成状況：達成

エンジン燃焼特性評価及び車両走行試験を実施し、自動車燃料の適合性が実証された。また、材料適合試験においても、H-FAME は従来の BDF 混合軽油と材料腐食やエラストマー膨潤等について同等であることが実証された。

研究成果 2：ジャトロファ残渣のバイオオイル精製技術及び高品位輸送燃料化技術の構築

達成状況：一部未達成

【Task 2】 ジャトロファ残渣からのバイオオイルの製造に係る活動

6. 急速熱分解によるジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術が開発される。

達成状況：達成

USY ゼオライト触媒及び Beta ゼオライト触媒等を用いることにより、ジャトロファバイオオイルの酸素低減が可能であることが判明した。また、プロトタイプ循環流動層型熱分解炉を開発し、TISTR に設置した。

7. バイオオイル分離・安定化技術が開発される。

達成状況：達成

水抽出法を用いて、生成バイオオイル中の固体微小粒子や水溶性分を分離する技術が開発された。また、バイオオイルを水溶性成分と非水溶性成分とに分離するための、プロトタイプ型水抽出分離装置を開発し、国家科学技術開発庁（National Science and Technology Development Agency：NSTDA）に設置した。

【Task 3】 バイオオイルの改質及び LCA に係る活動

8. バイオオイルを石油系ガソリン及び軽油品質までに向上させるための脱酸素化及び水素化精製技術が開発される。

達成状況：達成

硫化ニッケルモリブデンアルミナ触媒を用いて、水素化脱酸素処理を行い、酸素分が 9～12%まで低減することに成功した。

9. 現行の石油精製設備での利用を想定した、バイオオイルと石油基材の混合処理技術が開発される。

達成状況：達成

硫黄分 6.3～16ppm、酸素分 0.1%以下の石油系ガソリンや軽油品質を満たす、炭化水素燃料を製造することに成功した。

10. バイオ燃料製造の CO₂ 削減効果が LCA によって明らかにされる。

達成状況：達成

ジャトロファ残渣の熱分解によるバイオオイル製造及び輸送燃料向け改質のプロセスにおける CO₂ 排出量が LCA によって算出された。

【Task 4】 ジャトロファ残渣由来バイオ燃料の自動車燃料適合性評価に係る活動

11. ジャトロファ残渣由来バイオ燃料（石油との混合油を含む）の自動車燃料適合性が実証される。

達成状況：一部未達成

自動車燃料適合性について、材料適合性評価による実証はなされたが、エンジン燃焼特性評価については未実施である。エンジン燃焼特性評価は、評価試験に使用するバイオオイルのストック量が不足したため、プロジェクト期間中に検証することがで

きなかった。

【Task 5】人材育成・技術移転、BDF 製造技術の実用化

12. バイオ燃料製造及び利用に係る研究者が育成される。

達成状況：達成

プロジェクト実施を通して、C/P 機関である NSTDA、TISTR、モンクット王工科大学ノースバンコク (King Mongkut's University of Technology North Bangkok : KMUTNB) の研究者による論文発表等が増加した。

13. BDF 製造技術の実用化に向けての準備が整う。

達成状況：達成

BDF 製造技術の実用化に向けての重要な課題：1) 原材料の安定確保、2) H-FAME の品質、3) 経済性の検証を進める必要性が再認識された。この共通認識のもと、既にプロジェクト関係者によって次ステップにあたるデモンストレーションプロジェクトの準備が進められている。

3-1-2 プロジェクト目標の達成状況

プロジェクト目標：非食糧系バイオマスであるジャトロファを用いた輸送燃料製造の基盤技術が開発される

終了時評価時点において、プロジェクト目標は達成されている。

プロジェクトはジャトロファから高品質 BDF (H-FAME) を 1t/日規模で製造できる技術を構築した。この品質は EAS 推奨品質のスタンダードを満たしている。(指標 1)

また、バイオオイルを水素化精製処理によって改質することにより、石油製品品質 (硫黄分 10ppm 未満、酸素分 0.1 質量%未満) を満たす改質燃料 (硫黄分 6.3ppm、酸素分 0.1 質量%未満) が製造できるようになった。(指標 2)

3-2 評価結果の要約

評価結果は「高い」「おおむね高い」「中程度」「やや低い」「低い」の 5 段階とした。

(1) 妥当性：高い

本プロジェクトは、タイの政策・開発計画並びに日本の対タイ支援政策に整合した取り組みである。タイ政府は、「第 11 次国家社会経済開発計画 (2012~2016 年)」においてバイオ燃料の生産・利用を促進するための研究開発の重要性をうたっている。また、「代替エネルギー開発計画 (Alternative Energy Development Plan : AEDP) 2012~2021 年」並びに同計画の 2015 年更新版においても、バイオ燃料活用の重要性が強調されている。

また、本プロジェクトによる研究活動は、同国のバイオ燃料研究をリードする研究機関及び大学のニーズにも整合している。これら観点から、本プロジェクトの妥当性は「高い」と判断できる。

(2) 有効性：高い

プロジェクト目標である、「非食糧系バイオマスであるジャトロファを用いた輸送燃料製造の基盤技術開発」は達成されたと評価できる。ジャトロファを用いて、プロジェクトは高品質な FAME、つまり部分水素化技術による H-FAME の製造技術を開発することに成功した。ジャトロファ残渣から製造するバイオオイルも、プロジェクトが定めた品質基準を達成している。成果とプロジェクト目標間のロジックは適切であり、総じて、プロジェク

トが掲げた輸送用燃料化の基盤技術は開発されたと判断できる。

(3) 効率性：高い

日本・タイ国側双方ともに成果達成に適正な人的投入及び施設・資機材の物的投入が適切な時期になされた。特に、H-FAME 製造及びバイオオイル製造にかかるパイロットプラントの設置は、本プロジェクトの目標達成に大きく寄与する投入であった。加えて、本プロジェクトでは、日本側のみならず、タイ側からも適宜必要な予算配分がなされたことも特記される。プロジェクトの重要コンポーネントであった車両走行試験なども、タイ側による予算で実施することができた。

(4) インパクト：高い

H-FAME 技術は食糧系バイオマス及び非食糧系バイオマスにかかわらず、双方に適用することが可能な技術であり、既にパームを対象に本プロジェクトの次段階への取り組み(デモンストレーションプロジェクト)が準備され始めている。また、C/P 組織である NSTDA、TISTR、及び KMUTNB は、それぞれ組織の通常の機能として対外的な研修コースを随時実施しており、今後もこれらの研修体制を利用して、H-FAME 技術の普及を国内外の関係者に進めていくことは十分に可能と考えられ、上位目標が達成される見込みは十分に存する。

本プロジェクトでは政策面や組織面、技術面でインパクトが発現している。本プロジェクトの最大成果の1つである H-FAME が、今後利用を促進すべき技術として、2015 年に改訂された AEDP 2015～2036 年に記載された。組織面では、C/P 組織のみならず、エネルギー省や民間会社（自動車メーカー、石油会社）といった多様なステークホルダーの関係強化を促す効果があった。加えて、プロジェクトの活動は若手研究者の育成にも貢献した。技術面では、H-FAME 製造技術がジェットロファのみならず、その他の非食糧系作物や食糧系作物にも適用が可能であるため、今後、さまざまな原料の選択肢を柔軟に検討できることとなった。以上から、総合的なインパクトは「高い」と評価できる。

(5) 持続性：おおむね高い

1) 政策面

AEDP において、バイオ燃料の重要性及び研究の必要性が述べられているとともに、H-FAME の将来利用に向けた研究促進の必要性が記載されている。この観点からは、政策面での持続性は高い。他方、昨今の原油価格の低迷が長期間にわたった場合は、政策的意思にも負の影響が生じる可能性がある。

2) 技術面

C/P 組織である NSTDA、TISTR は、及び KMUTNB は関連技術の本プロジェクトを通して獲得したことに加え、本プロジェクトで培ったネットワークを活用して日本側研究機関と今後も協力体制を築くことが確認されており、技術面において、持続性の観点で大きな懸念はない。

3) 組織・財政面

本プロジェクトに参画した各ステークホルダー組織は、予算も継続的に配分されていることが確認できており、人員も十分に配置されていることから、今後も継続的に研究及びフィールドでの各種活動を行うに十分な組織体制を有している。

本プロジェクトのパイロットプラントに比して、さらに大規模なプラントによる

H-FAME 製造デモンストレーションプロジェクトを実施することが計画されている。日本側の政府系ファンドもしくはタイ側の民間企業のファンドを利用できる可能性は存するものの、終了時評価時点においてまだ確約されていない。そのため、財務面の持続性は高いとはいえない。

3-3 効果発現に貢献した要因

(1) 計画内容に関すること

特になし。

(2) 実施プロセスに関すること

・活発なコミュニケーションとタイ側 C/P と日本人専門家の信頼関係

本プロジェクトは、C/P と日本人専門家間のコミュニケーションのみならず、エネルギー省など、政策反映の観点で鍵となる政府関係者とのコミュニケーションにも特段の注意を払ってきた。2 カ月おきのステアリング・コミッティなど、頻繁なコミュニケーションが、AEDP の改訂版に H-FAME を反映させた要因の 1 つと考えられる。また、これらのコミュニケーションを通じて両国関係者で育まれた相互の信頼関係が、プロジェクトの活動を支えた貢献要因の 1 つといえる。

・C/P 組織上層部の理解

C/P 組織の方針と本プロジェクト内容が合致していたこともあり、C/P 組織上層部が本プロジェクトの意義に高い関心と理解を寄せており、プロジェクト実施のサポーターとなってきた。この関心と理解及び組織の予算が増加していたことがプロジェクト活動の予算確保に大きく貢献しており、日常的な研究活動予算のみならず、プロジェクト実施の過程で生じた、予期していなかった予算配分についても柔軟に対応することを可能とさせた。

・民間会社による協力

民間の自動車会社からの協力を得て、車両走行試験を実施することができた。同試験は H-FAME の信頼性をプロジェクト内部で確認する効果があっただけでなく、対外的に H-FAME の有効性をアピールする効果も生んだ。

・広報活動

プロジェクト実施中は、日本・タイ国側双方が協力して広報活動に積極的に取り組んだことも特筆できる。具体的には、科学博や関連するブース出展、広報パンフレット、広報映像の作成を行い、関係政府機関、民間企業等への普及に努めた。

3-4 問題点及び問題を惹起した要因

(1) 計画内容に関すること

特になし

(2) 実施プロセスに関すること

・2011 年に生じた大洪水の影響

2011 年の大洪水のために H-FAME 製造プラント等が浸水被害に遭い、またバイオオイル製造に必要な循環流動層型熱分解炉の設置も延期されることとなった。同装置の設置の遅れは、結果的にバイオオイル生産量の不足を招き、プロジェクト期間内のエンジンテスト実施に影響を与えることとなった。

この洪水の影響にかんがみ、プロジェクトは 1 年間延長された。このことによって、

H-FAME の効果をさらに時間をかけて検証することが可能となり、その結果をエネルギー省に対して継続的にアピールすることにつながった。結果として、エネルギー省が本研究成果を把握することにつながり、H-FAME の AEDP2015 年改訂版への反映を促進する効果を生んだと分析できる。つまり、本論点については、マイナスのみならず、プラスの効果も生んだことが特筆できる。

3-5 結論

本プロジェクトは期待された成果をほぼ達成できたことを確認した。本プロジェクトの重要成果の1つである H-FAME は、2015 年に改訂された AEDP のなかで今後の有望なバイオディーゼルとして特記されるといったインパクトも生じた。これは民間会社との協力関係を成功裏に構築できたことや、エネルギー省への情報共有を意識的に進めてきたことなどによるものである。以上のことから、本プロジェクトは、プロジェクト期間内にプロジェクト目標を達成する見込みは高いと判断される。

3-6 提言

・プロジェクトの今後に向けた提言

(1) デモンストレーションプロジェクトの着実な実施

社会実装に向けて、本プロジェクトの次のステップとなる H-FAME にかかるデモンストレーションプロジェクトを着実に実施するよう提言する。プロジェクト関係者は必要な支援を得るためのプロポーザル作成を既に進めているが、今後は関係組織間の役割分担、特に事務局機能をどの組織が有し、どのように関係組織の調整を進めていくか等々について、議論を進める必要がある。

(2) コミュニケーションネットワークの保持及び拡大・発展

本プロジェクトで構築したネットワークを保持するとともに、今後は原料供給サイドのステークホルダーである農業省や、ユーザーサイドのプレーヤーである石油会社、自動車会社等とのコミュニケーションを密に行い、ネットワークをさらに発展させることを提言する。

(3) バイオオイル及び非食糧系バイオマス燃料の研究継続

ジャトロファをはじめとした非食糧系バイオマスの利用について、中長期的な視点で社会実装に向けた研究を継続するよう提言する。

(4) ASEAN 諸国に対するプロジェクト成果の普及

タイが H-FAME 技術の域内リーダーとして、ASEAN 諸国及び、Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology (APCTT) や国際再生可能エネルギー機構 (IRENA) などを通じて国際社会に同技術を普及することを提言する。

3-7 教訓

(1) コミュニケーションの重要性

ステアリング・コミッティに C/P 組織のみならず、重要な政策決定機関としてエネルギー省を招待したことによって、プロジェクト成果の政策反映を後押しした効果が生まれた。プロジェクト成果の政策反映を実現させるためには、仮に C/P ではなくても、折々に触れ

て政策決定機関と情報共有を積極的に行い、定期会合にも出席を呼びかけるなどの対応をとることが重要である。

(2) 民間企業との早い段階からの連携構築

本プロジェクトは研究者のみで閉じたプロジェクトとせず、産官学が連携し、研究開発結果が民間企業とともに実証され、さらには行政関係者の政策ロードマップ、民間企業のビジネス展開に結びつく好事例となった。特に、研究成果が出そう前から民間会社と早い段階からの連携が行われ、車両走行試験を複数回実施したことは関係省庁への説明時に説得力を増し、AEDP 反映のための重要なエビデンスとなったと考えられる。

他案件においても、プロジェクト終了後を見据え、可能な限りプロジェクト開始段階で民間企業を巻き込むこと、もしくは中間段階に入る前までに民間企業との連携を始める努力を行うことが望ましい。

3-8 フォローアップ状況

なし