

地球規模課題対応国際協力プログラム (SATREPS)

研究課題別追跡調査報告書

I. 序文

SATREPS 追跡評価実施要領 (<https://www.jst.go.jp/global/hyouka/pdf/follow-up-evaluation-procedure.pdf>) に基づき、追跡調査を実施した。具体的には、プロジェクト終了後の各研究課題の国際共同研究の成果の発展状況や活用状況を明らかにするために、対象課題の研究者に対し質問票による基礎データ調査を行い、その結果を踏まえた研究者インタビュー調査を経て得られた情報を整理しまとめた¹。

今般の研究課題別追跡調査にあたっては、以下の方々にご協力頂き厚く御礼申し上げます。

葭村雄二 産業技術総合研究所(以後 産総研) 創エネルギー研究部門 名誉リサーチャー

西嶋昭生 産総研 招聘研究員 教授

II. プロジェクト基本情報

1. 課題名

非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術

2. 日本側代表者名

葭村雄二 産業技術総合研究所 創エネルギー研究部門 名誉リサーチャー

3. 相手国側代表者名

Paritud BHANDHUBANYONG

タイ国家科学技術開発庁/Panyapiwat Institute of Management(PIM) 専務理事

¹ 2021年11月から2022年3月に各種調査および報告書のとりまとめを実施した。

4. 国際共同研究期間

2010年5月～2016年3月

5. 研究概要

(1) 目的

バイオマス資源を有し、かつ自動車産業の拠点を有するタイと協働し、非食糧系バイオマスからの輸送用燃料の製造技術、バイオ燃料の社会実装のためのエンジン評価・利用技術、及びライフサイクルアセスメント(LCA)等を用いた評価技術を構築し、環境・エネルギーに関わる地球規模課題の解決に資する。

(2) 各グループの研究題目と実施体制

いずれも産業技術総合研究所、早稲田大学教授、タイ科学技術開発庁(NSTDA)、タイ科学技術研究院(TISTR)及びモンクット王工科大学ノーสบangkok(KMUTNB)のチームで行った。図1に研究題目と実施体制を示す。

研究題目1：ジャトロファオイル²からの高品質バイオディーゼル(H-FAME)の製造技術

研究題目2：ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術

研究題目3：バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術

研究題目4：新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術

研究題目5：人材育成と技術移転・社会実装

² ジャトロファの種子から精製したバイオマス燃料油。日本の生物学名は、「ナンヨウアブラギリ」。トウダイグサ科の中南米原産の落葉低木。種子からは良質な燃料が得られるが、種子に毒性物質が含まれることから食料にできないエネルギー作物。

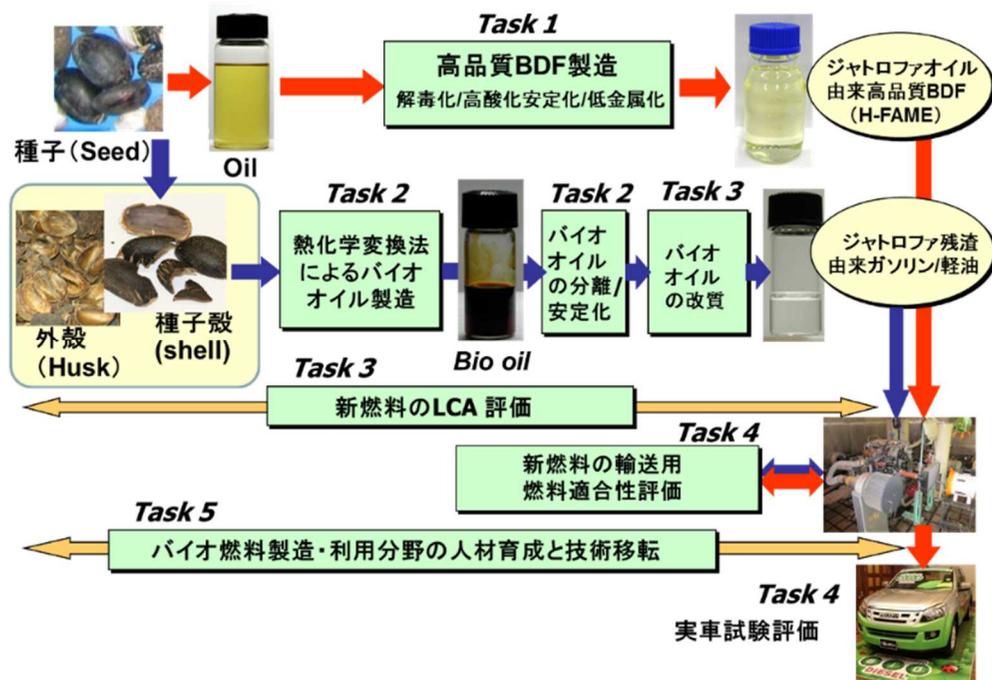


図1 研究題目と実施体制

(3) SATREPS 期間中の各グループの成果

研究題目 1

パイロットプラント(1ton/d)によるジャトロファオイルからのバイオディーゼル(FAME)製造技術を構築し、更にそのFAMEを部分水素化し高品質する技術(H-FAME技術、得られた製品をH-FAMEと呼称)を開発した。一方、タイ国からの要請により、この技術をパームFAME技術にも適用した。同一触媒を用い、反応条件の最適化等により高品質パームH-FAMEを得ることができた。

研究題目 2

タイ科学技術研究院(TISTR)に循環流動層型熱分解炉パイロットプラント(20kg-残渣/h)を設置し、その運転研究を行い(2013~)、産業

総合研究所(産総研)のラボレベル小型流動層型熱分解炉(残渣処理量：数十 g/h)から製造されるバイオオイルと同等のバイオオイルを数十 L/run 規模で大量に製造できるに至った(2014 後半～)。当該循環流動層型熱分解炉パイロットプラントはタイ国内で最大規模の装置であり、熱重合等をし易いオイル分等を含有するジャトロファ残渣特有の様々なトラブルに遭遇したが、改造等を経て、TISTR の職員のみで安定運転できる技術レベルに至った。

研究題目 3

TISTR で得られたバイオオイルの詳細分析を行い、リグニン由来のフェノール化合物類が当初想定より少なく、残渣に付着したジャトロファオイル由来の脂肪酸類の割合が多いことが分かった。これらのバイオオイルを水素化精製処理することにより、当初予定通り、前者からは単環の芳香環を有するガソリン基材が得られるものの、後者からは直鎖炭化水素系の軽油基材も併せて製造できることが分かった。

研究題目 4

基盤技術として、H-FAME、各種 FAME 及びモデル燃料等を用いたエンジンベンチ試験を通して、各燃料の排出ガス特性や自動車適合性等を評価した。また、社会実装に向けてエンジン部品の耐久性評価を行うとともに、燃焼特性(燃焼のシミュレーション、最適燃焼制御)の評価を行った。

研究題目 5

JICA 専門家派遣及びタイ研究員の産総研及び早稲田大学への招聘を通し、各要素課題の研究促進・連携を加速できた。また、高品質 FAME 製造用に開発された H-FAME 技術の技術移転に向け、タイ政府機関や国内外企業へ当該事業成果の広報活動を行った。

III. 追跡調査結果まとめ

1. 研究の継続・発展について

プロジェクトで開発した高品質バイオディーゼル(パーム H-FAME)がタイの代替エネルギー開発計画(Alternative Energy Development Plan, AEDP2015)に新しいバイオ燃料として反映され、2018 年に改定された AEDP2018 の中で、H-FAME を軽油に 10%混合した B10 燃料による実車試験³を実施した(エネルギー省 DEDE による B10 プロジェクト、2016. 11. 1～2019. 7. 1)。このパーム H-FAME は優れた熱・酸化安定性を有

³ 実車試験には、トヨタ製及びいすゞ製のピックアップトラックを用いた(共に、排出ガス規制が EURO4 の車輛、DPF は未積載)。

し、かつ不純物であるモノグリセリドが 0.4wt% 以下に低減されたものであり(従来は 0.7wt%以下)、EUR04 車輻で全く問題ないことが実証された。この結果は、タイでのバイオディーゼル規格(B100)のモノグリセリド量改定に貢献した(モノグリセリド量が 0.7wt%から 0.4wt%以下に改定、2019.12.1)。しかし、車両が EUR04 仕様であったため、既存のバイオディーゼルからモノグリセリド量のみを 0.4wt%以下に低減したものに比べ、H-FAME の実力が十分に発揮されず、H-FAME 自体の実用化には至っていない。ただ、EUR05 では、特に PM2.5 の削減が要求され、排ガスに DPF フィルター⁴をつける必要がある。そのためにはフィルター前に酸化触媒を置き、そこで出た熱を DPF にもってきて処理するが、酸化安定性の悪い既存品では、酸化触媒が汚染され性能低下が起こる。この点で H-FAME の実力が発揮できると考える。

尚、B10 プロジェクトでは、産総研と連携した出光興産がタイ Global Green Chemicals Public company Limitd(GGC)の工場敷地内に 1 トン/日の H-FAME 製造プラントを設計・設置し、実車試験用 H-FAME を提供するとともに、H-FAME 製造技術をタイ国内で一部開示した。ただ、出光興産の社内事情により、H-FAME 事業から撤退された(2020)。同社が開発した H-FAME 製造プラント技術は、今後、無償で開示されることとなり、タイ企業との連携を模索中である。

タイでは、PM2.5 対策の一環として 2025 年には EUR05 仕様のピックアップトラック車輻が市場導入予定であるため、H-FAME の EUR05 車輻適合性実証に向けて、JICA(タイ事務所)のフォローアップ事業を通して、H-FAME 関連活動をタイ側で継続中である。H-FAME に係る基盤情報については、産総研の SATREPS 参加メンバーから継続して支援を得ている。

本 SATREPS プロジェクトの経験や成果に基づき、早稲田大学は日本工学アカデミー(EAJ)と連携して、カーボンニュートラルや SDGs に向けた東アジアでのバイオマス利活用の社会実装に向けた検討を進めている。具体的には ASEAN 諸国との広域国際産学官連携を目指した活動(オールジャパン体制の確立)を推進している(e-ASIA プログラム⁵等を活用)。

また、EAJ はバイオマスアジアの産学官プロジェクトチームを立ち上げ、ASEAN 諸国の調査(各国との打ち合わせ)等を進め政策提言(2018 年、2021 年 12 月)を行っている(経産省 FIT 関連予算、助成金等の活用)。現在、文科省・共創の場・形成プログラム(育成型)で、オールジャパン体制の構築(本格型)に向けた準備を推進中である。

研究題目 1

ジャトロファを原料とする研究は継続していない。SATREPS 立ち上げ時の代替エネルギー開発計画(AEDP)には、ジャトロファが非食糧系

⁴ 排ガスの PM を除去するにはディーゼル・パティキュレート・フィルター(DPF)が用いられる。

⁵ e-ASIA 共同研究プログラム(略称:e-ASIA JRP)は、東アジアサミット参加国の公的ファンディング機関が連携し、東南アジアを中心とした地域の科学技術分野の研究開発力の強化と地域共通課題の解決を目指し、3カ国以上の多国間共同研究・研究交流を推進する事業

バイオマス原料の候補の一つとして挙げられており、本 SATREPS プロジェクトでは、ジャトロファを原料として絞り込んだが、その後、AEDP 改定ではジャトロファへの関心が大幅にトーンダウンしており、今日に至っている⁶(その後の AEDP には未記載)。H-FAME 技術は、熱・酸化安定性が低く、自動車燃料品質を確保するのが難しいとされてきたジャトロファバイオディーゼルの、自動車燃料品質までアップグレードする技術として開発したものである。その後、タイエネルギー省の要請で、この H-FAME 技術をパームバイオディーゼルに成功裏に適用し、今日に至っている。このため、開発した H-FAME 技術自体に係る活動は継続している。

燃料分析技術自体は原料種によらず共通なので、技術自体は継続して、日タイで使用されている。LCA による環境評価は、継続していない。

研究題目 2

ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術に関する研究は継続していない。フレッシュフルーツバンチ⁷を搾油すると 20%のオイルと 80%の残渣(エンプティーフフルーツバンチ等)ができる。パームオイルではこれら残渣をカーネル油、ボイラー用燃料、肥料等上手く使うサプライチェーンができていたので、残渣の問題はなかった。その点がジャトロファオイル(残渣の利用が検討されていなかった)との大きな違いであり、ジャトロファオイルのコストアップ等の弱点である。

研究題目 3

バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術に係る研究は継続していない。

バイオオイルの品質改善技術の肝となる要素技術は水素化精製触媒技術なので、得られた成果は、油脂等の水素化・脱酸素反応による

⁶ タイ政府の方針。コストの問題が大きいと考える。燃料であれば大量に供給する必要がある。政府が買い上げを保証があれば、大規模植林が可能かもしれないが、農家のリスクで行うのであればジャトロファオイルは燃料用しか使えないので燃料用途が無くなった時のリスクがある。それに対しパームオイルは食料にも転換できるので、リスクが少ない。

また、ジャトロファオイルの残渣を使うサプライチェーンができていないことが、致命的と考えている。当初一部農家はジャトロファの試験栽培をおこなっていたが、国がコミットしていないので、それ以上には続かなかった。

一般にパームの栽培は水が必要であり、熱帯雨林の地域が適している。ジャトロファ、ボンガミアの栽培は水が少なくとも良い。よってパームオイルが作れない地域ではジャトロファオイル、ボンガミアオイルを検討する可能性はあると考える。実際ボンガミアについては、インドネシアでは 2 か所で企業に依る大規模植林が開始されている。ただ、実用化には農家としてのビジネスが成功することが必要であり、安定した購入用途を創れるかがポイントと考える。

⁷ フレッシュフルーツバンチはヤシの木に由来する。1本のヤシの木は約 12 の新鮮な果実の房を作ることができ、それぞれの重さは約 20~30 kg で、1400~2000 のアブラヤシの実をつける。これらのアブラヤシ果実は、パーム油生産の重要な成分である。

炭化水素油 (green fuel) の製造に継続して使用されている。

研究題目 4

早稲田大学は学内でエンジン試験 (燃焼特性・エンジン評価等) を行うとともに、トヨタ・日産など一般社団法人日本自動車工業会 (以下自工会) と連携して出口戦略を推進した。この結果、タイ政府・インドネシア政府等 (本 SATREPS プロジェクトと情報を共有) は B30 (BDF30%) 導入に向けた政策を展開している。

研究題目 5

バイオ燃料製造及び利用に係る研究者の育成では、タイエネルギー省の B10 プロジェクトに研究代表者 (葭村) 及び MTEC⁸ 研究者が参加することにより、研究成果の普及に向けた取組等を体験できた。また、本 SATREPS プロジェクトに参加したタイ側機関 (MTEC⁹、TISTR¹⁰、KMUTNB¹¹) の研究者が、JICA の第三国研修を通して、ASEAN からの参加者に知識移転や実地指導を自ら行ことにより、研鑽を積むことができた。

2. 地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について

産総研では、H-FAME に係る活動を継続して行っており、成果は論文で公表されている。

H-FAME 技術、燃料詳細分析技術、LCA 等による環境評価に係る成果は、JICA の第三国研修制度 (TCTP¹²) を通して ASEAN に知識移転・技術移転されている。

当該 TCTP では、タイ側 SATREPS 参加機関 MTEC 及び TISTR が幹事機関となり、また本 SATREPS プロジェクトに参加した産総研と早稲田大学の研究者が専門家として参加し、ASEAN からの参加者に対して講義や現場指導を行っている。

現在、2022 年度～2024 年度の TCTP 事業に向けて、準備中である。タイ側 SATREPS 参加機関 (MTEC 及び TISTR) が幹事機関となる予定。

研究題目 2

⁸ タイ国立金属材料技術研究センター

⁹ National Metal and Materials Technology Center

¹⁰ Thailand Institute of Scientific and Technological Research

¹¹ Public Relations Division, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

¹² TCTP (2016-2018) : Promotion and dissemination of high quality biofuels production technology for automotive utilization in ASEAN”

ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術に係る成果は、森林廃棄物や農業廃棄物等のバイオマス資源に適用可能であるため、TCTPを通してASEANに知識移転・技術移転されている。

研究題目 5

- ・プロジェクトの成果であるH-FAMEに関しては、多くの論文で公表してきている。
- ・プロジェクトの成果は、TCTPを通し、ASEANのバイオ燃料政策関係者や研究者に知識・技術移転している。

3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

研究題目 4

H-FAME(モノグリセリド量<0.4wt%)を用いた実車試験の結果は、タイでのバイオディーゼル規格(B100)のモノグリセリド量改定に貢献した。

研究題目 5

新規導入ピックアップトラックがEURO5仕様となる2025年からは、H-FAMEに対する必要性が増すと推察される。タイでは、トヨタといすゞ製ピックアップトラックのシェアが80%以上あるため、H-FAMEの実用化はタイ社会のPM2.5低減や日系自動車産業の後方支援になると考えられる。

4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的研究開発能力の向上について

- ・プロジェクトに参加した産総研の研究者はH-FAME関連の研究を継続しており、また、タイの研究者を受け入れ、論文作成指導等を行っている。
- ・TCTPを通して、タイ側プロジェクト参加者は、知識や技術をASEANからの参加者に移転している。このTCTPでは、SATREPS事業で取得・設置した機材を使った実地指導を行っている。
- ・研究代表者(葭村)は、プロジェクト終了後、JICAの海外シニアボランティア(2017~2019)として、タイ側プロジェクト参加機関であるMTECでH-FAMEに係る普及活動や若手研究者の人材育成等を行った。
- ・研究代表者(葭村)は、海外シニアボランティア終了後、MTECで雇用され、引き続き若手研究者の人材育成等を行っている。

研究題目 4

- ・タイエネルギー省の B10 プロジェクトでは、本 SATREPS プロジェクトに参加したタイ側の MTEC の研究者及び研究代表者（葭村）が参加し、プロジェクトを立案し、実施した。MTEC の若手研究者の貢献が大きかった。
- ・タイは開発途上国ではなく、これからは本当の意味でイコールパートナー（予算等も同額）として対応するべきと考える。本 SATREPS プロジェクトでの早稲田大学や産総研での研修はタイの人材育成に大いに役立った。多くの研修参加者が、帰国後に活躍している。

研究題目 5

- ・バイオマス資源は、タイを初め、ASEAN 諸国では豊富であり、各資源を内燃機関用の燃料とすることによりカーボンニュートラル燃料化が可能であり、SDGs に貢献できること等を、本 SATREPS プロジェクトを通して関係者に認識してもらえたと考える。

5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献について

- ・ SATREPS のパーム油由来の H-FAME に係る成果は、タイでのバイオディーゼル燃料規格 (B100) 中のモノグリセリド量の改定に貢献した。
- ・ 既述の通り、SATREPS プロジェクト終了後も TCTP や研究代表者（葭村）による活動等により、タイにおける人材を輩出し両国の科学技術協力の強化に貢献している。

6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告 (要望事項を下線で表示)

要望 1

- ・ 本事業を発展させた商業化に向けた取り組みを期待する。またタイで自立的に技術導入を進める枠組みがほしい。
- ・ 2018 年以降の実用化展開に向けてスケールアップしたデモンストレーションプログラムが必要である。タイ政府のロードマップに対応できるよう、NEDO プロジェクトのような 30 トン規模の実証事業を実現する等、事業の継続性に配慮することが重要である。そのために、今後は関係組織の役割分担・連携、支援体制を明確にし、NEDO 等からの資金支援を確保する必要がある。

タイエネルギー省の B10 プロジェクトでは、出光興産がタイの GGC の工場内に 1.0 トン/日規模の H-FAME 製造設備を設置し、実車試験用 H-FAME を提供した。その後、当該 H-FAME 製造技術(モノグリセリド分離技術を含む)の実用化に向け、NEDO の海外実証事業への展開(数十トン/日のプラント規模)等について出光興産と協議したが、NEDO 海外実証事業では事業性評価(FS)等に時間がかかるため、機動的な対応が難しいということで提案を断念した経緯がある。出光興産でタイでの事業展開を模索していたが、社内事情でバイオマス関連の海外事業からの撤退が決まり、H-FAME に関しても事業撤退した。出光興産による H-FAME 製造プラント設計に係る設計仕様等は、無償開

示されると聞いているが、タイ側企業で H-FAME 製造設備導入に積極的な企業はまだない。H-FAME 製造設備は反応圧が 0.5MPa 程度なので、高圧設備は不要だが、タイのバイオディーゼル製造会社が「水素恐怖症」的なイメージを持っていることも、H-FAME に積極的になれない要因の一つと考える。現在、JICA(タイ事務所)の本 SATREPS フォローアップ事業として、H-FAME の EURO5/6 車輻適合性について基盤データを取得しているので、近々、関連ステークホルダー等に広報予定している。

要望 2

原料を選ばずに利用できる技術であることから、タイ政府はパーム油からの H-FAME 製造に期待しているようであるが、究極的には本 SATREPS プロジェクトの当初目標である非食糧系バイオ燃料の普及に向けて継続的な活動が必要である。本 SATREPS プロジェクトの成果を活かす観点では、ポンガミアの可能性に関する検討を進めてほしい

タイでは、バイオ燃料政策は、地球環境対策というよりも農業政策の一環として推進されている。このため、バイオ燃料原料の栽培・供給等には農家の賛同が不可欠である。また、バイオ燃料は全国燃料の位置づけであり、地産地消で使われる燃料ではないので、原料の安定供給も鍵となる。本 SATREPS プロジェクト開始時には、タイ政府の AEDP に将来の非食糧系燃料原料候補にジャトロファと微細藻類が入っていたので、ジャトロファの試験栽培等も行われており、関係者の賛同を得て取り組んでいた。その後、ジャトロファが AEDP からはずれ、ジャトロファに関する関心が萎んだ経緯がある。ポンガミアについては、タイ政府、SATREPS プロジェクトに参加したタイ関係者、農家等、関心が低かったため、タイでは検討は行っていない。

要望 3

H-FAME 技術の他の技術に対する比較優位性の実証を進め、広報によって展開することに期待する。

H-FAME に関しては、タイ政府の代替エネルギー計画 AEDP2015 (2015~2036)、 AEDP2018 (2018~2037) に高品質バイオディーゼルとして反映されている。ただ、燃料を評価した実車試験が EURO4 車輻(排出ガス規制が EURO4 基準)であったので、H-FAME の優位性が十分に発揮されていない。タイでは、2025 年から、新規導入のピックアップトラックの仕様が EURO5 (DPF 装着が必須)仕様となるので、H-FAME の優位性がアピールできると考えている。現在、JICA(タイ事務所)の本 SATREPS プロジェクトのフォローアップ事業として、H-FAME の EURO5/6 車輻適合性について基盤データを取得しているので、近々、関連ステークホルダー等に広報予定である。

要望 4

B20 を超える可能性など、さらに先の検討も考えてほしい。

バイオディーゼル 100%燃料は、カーボンニュートラル燃料に近づくので、内燃機関-カーボンニュートラル燃料の組み合わせで、CO₂ 排出

低減に大きく貢献できる。

従来型のバイオディーゼルと H-FAME は共にタイのバイオディーゼル規格を満たしているが、従来型のバイオディーゼル(B100)は熱・酸化安定性が低いため、劣化燃料が徐々に酸性となり(酸価増加)、長期間のエンジン使用に際してエンジン損傷等が懸念されている。一方、H-FAME(B100)は、熱・酸化安定性が極めて高い。今まで、タイ政府の要請もあり、現実対応とうことで B10、B20 等の混合燃料に着目してきたが、JICA(タイ事務所)の SATREPS フォローアップ事業で見いだされた H-FAME(B100)の結果は、関係者にとって驚きだった。油脂等の水素化処理で得られる HV0(Hydrotreated Vegetable Oil)は 100%での使用は経済性の面から難しいバイオディーゼルなので、H-FAME は 100%でも使用できる可能性があるカーボンニュートラル燃料という切り口で、今後アピールしたいと考えている。

7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告(上位目標を下線で表示)

上位目標：「食糧と競合しないバイオマス資源(ジャトロファ)を用いた輸送用燃料製造に関わる基盤技術の成果が広く社会に還元される。H-FAME がタイ政府の代替エネルギー政策に新バイオ燃料として反映された。」

食糧と競合しないバイオマス資源(ジャトロファ)を用いた輸送用燃料製造に関わる基盤技術として開発した H-FAME 技術が、タイ政府の代替エネルギー開発計画 (Alternative Energy Development plan, AEDP2015(2015~2036) 及び AEDP2018(2018~2037)に高品質バイオディーゼルとして反映された。AEDP2018 の中では、H-FAME を軽油に 10vol%混合した B10 燃料を用いた実車走行試験(EUR04 車輦)が B10 プロジェクト(2016. 11. 1~2019. 7. 1)の中で実施され、H-FAME の自動車燃料適合性が実証された。タイでは、2025 年に新規導入されるピックアップトラックが EUR05 仕様(DPF 積載が必須)になるため、H-FAME の EUR05 車輦適合性の実証に向けた検討を開始している。

以上