

国際科学技術共同研究推進事業  
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)  
研究領域「生物資源分野 (生物資源の持続可能な利用に資する研究)」  
研究課題名「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」  
採択年度：平成 21 年度/研究期間：6 年/相手国名：タイ王国

## 終了報告書

### 国際共同研究期間\*1

平成 22 年 5 月 16 日から平成 28 年 3 月 31 日まで

### JST 側研究期間\*2

平成 21 年 6 月 1 日から平成 28 年 3 月 31 日まで  
(正式契約移行日 平成 22 年 4 月 1 日)

\*1 R/D に記載の協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

\*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=R/D に記載の協力期間終了日又は当該年度末

研究代表者： 葭村雄二

国立研究開発法人 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

# I. 国際共同研究の内容 (公開)

## 1. 当初の研究計画に対する進捗状況

### (1) 研究の主なスケジュール(実績)

当該国際共同研究では、非食糧系バイオマスであるジャトロファに着目し、従来まで燃料原料の対象とされているジャトロファオイル分（ジャトロファ果実の約 20%）のみならず、約 80%を占めるジャトロファ残渣の輸送用燃料化を目指し、ジャトロファ全体の利用効率を高めることにより、輸送用燃料源としての社会実装を支援しようとするものである。具体的には、次の Task 1~Task5 の研究を行う(図1)。

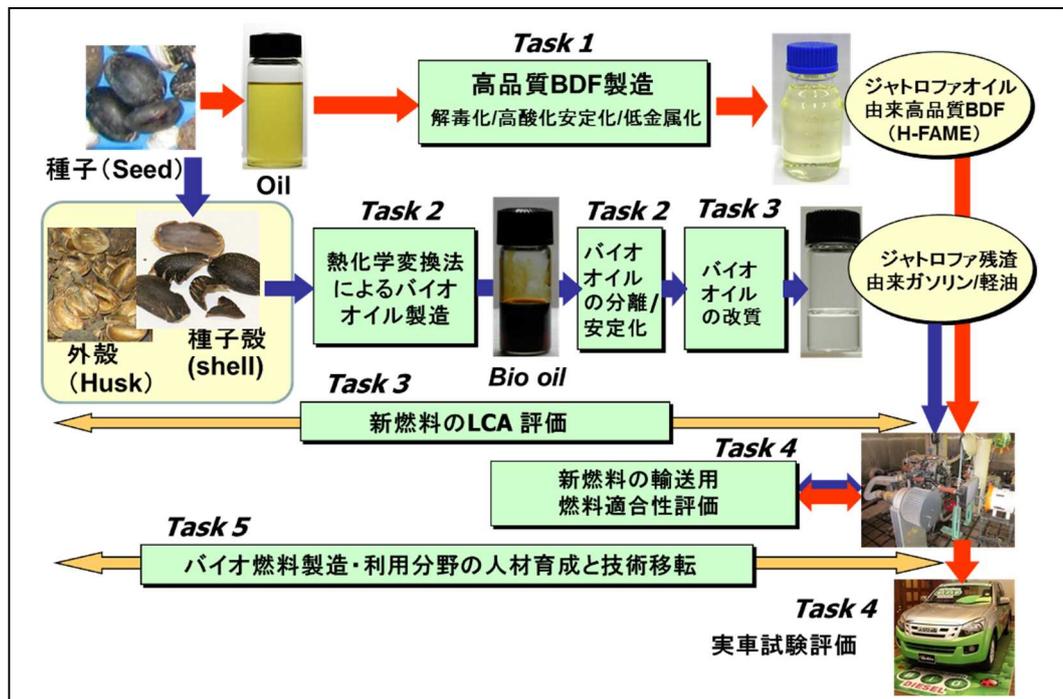


図1 各研究課題の位置づけ



<p><b>2-2 研究活動：バイオオイルの分離・安定化技術 (Task 2)</b></p> <p>2-2-1 バイオオイルの分離装置の設計と開発 (NSTDA)</p> <p>2-2-2 バイオオイルの安定化技術の研究開発 (NSTDA)</p> <p>2-2-3 分離・安定化処理バイオオイルの大量製造・AISTへの提供 (NSTDA)</p>	<p>バイオオイル分離装置の開発 (PDM 活動 No.7-1) *</p> <p>バイオオイル安定化技術の開発 (PDM 活動 No.7-2) *</p> <p>安定化バイオオイルの大量製造 (PDM 活動 No.6-2-2) *</p>
<p><b>3. 研究題目3:バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術</b></p> <p><b>3-1 研究活動：バイオオイルの品質改善技術 (Task 3)</b></p> <p>3-1-1 バイオオイルの脱酸素化技術の研究開発 (産総研/KMUTNB)</p> <p>3-1-2 バイオオイルのアップグレード用触媒技術の研究開発 (産総研/KMUTNB)</p> <p>3-1-3 脱酸素処理バイオオイルと石油留分の混合処理技術の研究開発 (産総研/KMUTNB)</p> <p>3-1-4 エンジン試験用アップグレードバイオオイルの製造・提供 (産総研)</p> <p><b>3-2 研究活動：LCA等による環境評価 (Task 3)</b></p> <p>3-2-1 バイオオイル経由で製造された新燃料のLCA評価 (産総研/NSTDA/TISTR)</p>	<p>バイオオイルの脱酸素用触媒の開発 (PDM 活動 No.8-1) *</p> <p>バイオオイルの改質用触媒の開発 (PDM 活動 No.8-2) *</p> <p>バイオオイルのコプロセッシング技術の開発 (PDM 活動 No.9-1) *</p> <p>バイオオイル由来新燃料の大量製造 (PDM 活動 No.8-2) *</p> <p>バイオオイル由来新燃料の環境影響評価 (PDM 活動 No.10-1) *</p>
<p><b>4. 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</b></p> <p><b>4-1 研究活動：新燃料の材料適合性評価 (Task 4)</b></p> <p>4-1-1 高品質BDFの材料適合性評価 (産総研/NSTDA)</p> <p>4-1-2 バイオオイル経由で製造された新燃料 (混合処理油を含む) の材料適合性評価 (産総研/NSTDA)</p> <p><b>4-2 研究活動：新燃料の燃焼特性評価 (Task 4)</b></p> <p>4-2-1 BDFの燃焼特性評価 (過渡モード試験) (産総研/NSTDA)</p> <p>4-2-2 バイオオイル経由で製造された新燃料 (混合処理油を含む) の燃焼特性評価 (過渡モ</p>	<p>H-FAME の材料適合性検証 (PDM 活動 No.5-1)</p> <p>バイオオイル由来新燃料の材料適合性検証 (PDM 活動 No.11-1) *</p> <p>H-FAME の自動車適合性評価 (PDM 活動 No.5-2)</p> <p>バイオオイル由来新燃料の自動車適合性評価 (PDM 活動 No.11-2) *</p>

ード試験) (産総研/NSTDA) <b>4-3 研究活動：新燃料のエンジン特性評価 (Task 4)</b> 4-3-1 BDFのエンジン特性評価 (早稲田大/NSTDA) 4-3-2 BDFの燃焼特性シミュレーション (早稲田大/NSTDA) <b>4-4 研究活動：BDFを用いた実車試験 (Task 4)</b> (産総研/早稲田大/NSTDA/TISTR)							
<b>5. 研究題目5：人材育成と技術移転 (Task 5)</b> <b>5-1 研究活動：バイオ燃料製造及び利用に係る研究者の育成</b> (早稲田大/産総研) <b>5-2 研究活動：BDF製造技術の社会実装に向けた戦略構築</b> (早稲田大/産総研)							
研究題目・活動	H21年度 (10ヶ月)	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度

\* 2011年のタイ大洪水により研究開発機器及び実験棟が被害を受けたため、被害機器の復旧作業や実験棟インフラの復旧作業に時間を要し、更に当初設置予定の開発機器の実験棟内への搬入・設置が遅延したため、研究再開が遅れた。

## (2) 中間評価での指摘事項への対応

中間評価では、今後の研究に向けての課題として、下記のご指摘を受けており、各対応結果は次の通りである。

指摘事項：1) ジャトロファ残渣の燃料化については、当初より困難な課題への挑戦的な研究課題であったこともあり、今後の重点化により、成果目標\*の到達に向けたタイムラインを備えて進めていくべきである。\*①ジャトロファ残渣からの炭化水素燃料を製造する新規BTKバイオ燃料技術の構築（最終燃料中の酸素量<0.1wt%、硫黄分<10ppm、JIS規格クリアレベル）。②未利用資源であるジャトロファ残渣の熱分解によるバイオオイルの生成技術、およびバイオオイルの精製による高品位輸送用燃料化技術を構築し、その燃料の社会実装に向けた基盤を構築する。

対応結果：ジャトロファ残渣の急速熱分解によるバイオオイル製造技術では、パイロラザー付きGC/MSによる急速熱分解挙動の把握（産総研、タイ TISTR）やバイオオイルの性状把握（産総研、タイ TISTR、タイ KMUTNB）、また小型流動層型急速熱分解炉（100g/h規模）によるバイオオイル製造（産総研）の成果を基に、タイ TISTRでの循環流動層型急速熱分解炉（20kg/h規模）の運転研究を当初予定していた。しかしながら、2011年のタイ洪水により被害を受けた実験棟のインフラ復旧作業等に時間を要し、当該循環流動層型急速熱分解炉（20kg/h規模）の設置・運転研究が約1年間遅れた。また、試運転開始後（平成25年中旬）も、木質系バイオマスからのバイオオイル製造用に設計された循環流動層型急速熱分解炉の運転を行う上で、ジャトロファ残渣特有の問題（ジャトロファ残渣に残存するジャトロファ油がジャトロファ残渣を熱分解炉に供給するスクリーフィーダー内で焼き付き等）

の対応に迫られ、更に、TISTR の研究者の当該循環流動層型急速熱分解炉の理解、運転技術の習熟、そして自らのトラブルシューティング法の経験等に時間がかかり、運転研究のタイムラインが描けない状態が平成 26 年度中旬まで続いた。そして、H26 年度中旬以降、TISTR での循環流動層型急速熱分解炉の定常的な運転研究が可能になり、製造されたバイオオイルの産総研への空輸が H26 年度下旬から開始された。その後、産総研において、TISTR 製バイオオイルの改質研究を継続して実施中である。

TISTR 製ジャトロファ残渣由来のバイオオイルの組成としては、ジャトロファ残渣中のリグニン由来のバイオオイルが主成分と当初想定していたが、ジャトロファ種子の搾油時のオイル取り込みが多く、ジャトロファ残渣中のオイル分の割合が約 29 質量%であった。このため、バイオオイルは軽油留分の炭化水素原料となる脂肪酸類（約 53 質量%）とガソリン留分の炭化水素原料となるフェノール化合物類（約 9 質量%）となった。このフェノール化合物類の水素化脱酸素処理により、最終燃料中の酸素量<0.1wt%、硫黄分<10ppm、JIS 規格クリアするガソリン基材が得られた。一方、当初想定はしていなかったが、脂肪酸類の水素化脱酸素処理からは、主として C16、C18 の直鎖炭化水素が得られ、軽油の混合基材として利用できることが分かった（トリグリセリドの水素化精製で得られる BHD (Bio Hydrofied Diesel と類似の成分)。つまり、ジャトロファ残渣の急速熱分解から得られるバイオオイルから、ガソリン用混合基材に加え、軽油基材も併せて製造できることが確認できた。

このガソリン基材等の自動燃料適合性の評価に向け、シャーシダイナモ試験を予定しており、現在準備中であり、本年度中に終了予定である。

指摘事項 2) タイでの H-FAME や残渣を利用した燃料化を考慮するにあたり、フィードストックとなるジャトロファをはじめとした非食糧系バイオマスの恒常的な不足があるが、技術開発のパートナーとしてのタイ国の優位性は明確である。したがって、既に研究に組み込まれているが、①タイ国内での入手可能なフィードストック（非食糧系に限らない）の利用検討、②ジャトロファの生産がおこなわれているタイの近隣諸国との技術普及の検討を課題終了までのタイミングでシームレスに進め、目処を立てられたい。

対応結果：ジャトロファ FAME の高品質化用に開発した H-FAME 技術については、パーム FAME の高濃度利用を計画しているタイのエネルギー省の要請を受け、パーム油 FAME の高品質化に適用した。このパーム H-FAME については、軽油に 20vol% (B20) まで混合可能であることが、タイ国内での実車走行試験から実証した。これらの成果は、タイ国エネルギー省が改訂を行った石油代替エネルギー開発計画（2015-2036）（略称：AEDP）の中で、高濃度利用が可能な新しいバイオディーゼルとして政策反映された。一方、ジャトロファ H-FAME に関しては、ジャトロファ栽培を継続して行っているラオスのエネルギー省関係者と協議を行うと共に、連携を強化していく予定である。また、平成 27 年 9 月 18 日にバンコクで開催したワークショップ「ASEAN における高濃度バイオディーゼル (H-FAME) の自動車利用」で、ラオスのエネルギー省関係者を招聘しジャトロファに係る連携の確認を行うと共に、ASEAN 諸国に対しては、各国で産出される原料から製造されるバイオディーゼルの高濃度利用を可能にする H-FAME の技術移転等について協議を行い、今後連携していくこととなった。

非食糧系バイオマスを用いた BDF については、入口戦略（安価な出発原料の安定的確保）が最も重要（製品価格の 7 割以上）との認識から、タイ国内のジャトロファ栽培に関わる調査（LCA、経済性等）をタイ科学技術庁と協働して行った。また、ベトナム、インドネシア、ラオス、ミャンマーなどタイ周辺諸国のジャトロファ栽培の現地調査を行った。さらに、BDF の社会実装に向けた調査委員会（産学官の有識者、産総研、早稲田大学）で検討を進めた結果、ジャトロファはパームに比べオイル収率が低く、経済面からもジャトロファを用いた BDF の社会実装にはリードタイムが必要であり、非食糧系のポンガミアが、今後、有望であるとの判断に至った（H24 年度）。そこで、調査委員会（産学官の有識者、早稲田大学）でポンガミアを用いた BDF の経済性評価、環境影響負荷評価などを行い、ポンガミアの栽培が精力的に進められているインドおよびオーストラリアのポンガミア栽培の現地調査を行った（H25 年度）。

ポンガミアは、ジャトロファと比べオイル収率が高く（パームと同等）、同時期に収穫ができるため農業機械の導入が可能となる。また、パームに比べ栽培可能地域が広く（ASEAN 全域）、窒素固定の優位性もある。さらに、他の植物油と比べ、オイル中には安定成分（二重結合が一つ）を多く含み、今後、品種改良がさらに進めば、当該事業で進められた BDF の安定化処理（部分水素化）も負担が少なくなることが予想される。

現在、ポンガミアの栽培は米国、インド、オーストラリア等で精力的に進められており、タイ国でもその栽培が始まっている。一方、ジャトロファの栽培は ASEAN の多くの国で低迷しており（一時の活気はなく）、主として品種改良（オイル収率の向上）等の地道な基礎研究が続けられている。

さらに、上記、タイ周辺諸国の現地調査等で、各国の関連機関（政府、大学、研究機関等）との情報共有・協働作業・研究協力が進み、日タイを中心として東アジアにおけるバイオエネルギーの研究開発に関わる広域連携が構築されつつある。現在、当該事業を発展的に継続し、広域連携によるバイオマス利活用の科学技術協力（e-ASIA プログラム）の計画が進められており、今後、バイオマス利活用の東アジアでの社会実装に大いに貢献できると考えられる。

指摘事項 3）LCA については、開発される新燃料の社会実装を検討するにあたって、非食糧系バイオマス栽培のタイ国内での明確な見通しが立っておらず、精度の高い評価ができていない。研究課題終了までの限られた時間や資源に鑑み、データや手法の面で不十分であった部分については、同様のテーマを掲げる他の SATREPS 研究課題との連携を進め、情報交換を行うことにより補完することを提案する。

対応結果：

当該事業では BDF の社会実装に向けて、社会実装を担う日本の自動車産業（タイ国でのシェアは 8 割）と情報を共有し検討を進めている。事実、いすゞ自動車と打ち合わせを行い、タイいすゞにジャトロファ BDF の実車試験を要請している。また、トヨタ自動車他とも今後の展開に向けて情報共有、打ち合わせを行ってきた。さらに、他の関連する SATREPS 事業（ASEAN でバイオマス関連は 10 件、ジャトロファ関連でも数件）とも連携を図り、情報共有に努めている。バイオオイル関連事業についても環境省事業（早稲田大学担当）の成果も踏まえ LCA の検討を行っている。一方、社会実装に向けて、最も重要な入口戦略（安価な出発原料の安定的確保）の他に、出口戦略（製品の用途開発、経済性評価、炭素税・FIT・JCM 等の国の支援、ビジネスプラン）や技術戦略（入口から出口までのプロセスの最適化）などの確立が今後必要であり、現時点で詳細な経済性評価や LCA を行うことは困難と考えられる。

そこで、LCA については前述したようにタイ国科学技術庁と協働で、タイ国内での土地利用・土地利用変化による環境への影響評価、ジャトロファ・バイオエネルギーシステムの統合的 LCA 評価、未利用木質バイオマスの高効率エネルギー利用システムの環境性・経済性評価を行っている（H24-26 年度）。土地利用・土地利用変化による環境への影響評価では、土地利用別のケーススタディ、原料作物別のケーススタディ、GHG 排出量に対するエネルギー生産量の効率性を行った。ジャトロファ・バイオエネルギーシステムの統合的 LCA 評価では社会性評価、経済性評価、エネルギー分析評価を行っている。また、未利用木質バイオマスの高効率エネルギー利用システムの環境性・経済性評価でも、バイオオイル製造技術、経済性評価、環境評価を行っている。

BDF の経済性評価についても、出発原料として非食糧系のポンガミアとジャトロファ、食糧系のパームを主たる対象にして、技術戦略、出口戦略を踏まえた可能な検討を行っている（H24-27 年度）。現時点（平成 27 年 11 月）では 5 年前と比べ石油価格が低迷しており、BDF の経済性は厳しい状況にある。また、社会実装を担う企業や自動車産業等の関心も以前に比べ低下しているものの、今後とも低炭素社会構築に向けて着実な努力が必要と考えられる。今後の方向としては FIT や JCM の積極活用が必要不可欠であり、国の積極的な支援が期待される。また、現時点では非食糧系バイオマスの栽培が確立されておらず、パームが対応可

能な出発原料と考えられるが、食糧との競合、環境破壊、社会システム、栽培可能地域などの問題も指摘されており、ポンガミア等の新たな非食糧系バイオマス栽培の確立が、今後、必要と考えられる。さらに、BDFは輸送用燃料としてバイオエタノール（第2世代）との競合も予想され、輸送用燃料としての位置づけ、バイオエネルギーの中での液体輸送燃料としての位置づけ、再生可能エネルギーの中での輸送燃料の位置づけ等を明確にすることが求められている。

指摘事項4) 本研究課題で開発される技術の総合的な普及を目指すには、グリセリン、廃液、水素調達など一般的な製造過程で問題となる課題についての知見についても、上記と同様に把握、戦略化が必要となることを見込まれるため、研究者間の協議やステークホルダーとの連携の上、可能な対処法についてメンバー内で共通認識を持つ必要がある。

対応結果：FAME製造工程の副産物であるグリセリン（エステル交換触媒として用いたKOHを不純物として含有）については、カウンターパートであるTISTR、MTECと新潟鐵工所の間で検討がなされ、精製グリセリンを用いたエピクロロヒドリンの製造技術について、今後プロジェクト化に向けた検討が行われる予定である。FAME製造工程でFAMEの水洗工程で生じる洗浄液（廃液）については、中和処理後にTISTR廃液槽に流したが、特に、洗浄液（廃液）の処理については、検討を行わなかった。一方、部分水素化に用いる水素については、FAMEの部分水素化に用いる水素消費量が、FAME質量の約0.1wt%（主としてパームH-FAME製造時）及び0.2～0.3wt%（ジャトロファH-FAME製造時）と少なく、水素ボンベでの対応が可能であった。しかし、大型H-FAME設備では、水素製造設備が必要である。2013年実施したFS研究「非食糧系バイオマスからの高品質BDF製造技術の実証化・実用化に向けた調査研究」（早稲田大学環境総合研究センター、2011.4.30）では、メタノールの水蒸気改質による水素製造、バイオマスのガス化軽油による水素製造、天然ガス経由の水素製造等を比較検討し結果、100,000トン/年規模のH-FAME商業プラントでは、メタノールの水蒸気改質による水素製造が最も経済的であることが示されたため、当該プロジェクトでは、スタンドアロン型のH-FAMEプラントでは、メタノールの水蒸気改質による水素製造法を推奨している。しかし、H-FAME製造が、製油所で実施されることになれば、製油所での余剰水素等の利用が可能となり、H-FAME製造に係るコストアップは、スタンドアロン型H-FAME製造に比べて少なくなり、より経済的となる。

また、すでに述べたように、社会実装の中核を担うのは企業であり、総合的な普及には日タイ両国の企業の参画が必要不可欠である。さらに、社会実装に向けては、入口戦略、出口戦略の確立とともに、技術戦略の確立が必要となる。ご指摘をいただいた、副生物、廃液、水素調達は経済性、環境影響負荷に大きな影響を与え、入口から出口までのプロセスの最適化（技術戦略）は不可欠と考えられる。当該事業では、経済性評価などは、現状で考えられる環境影響負荷の少ない最適なプロセス（オイルの搾油、BDF製造、部分水素化）を想定し検討を行っている。BDFの社会実装に向けて自動車会社の他にエンジニアリング会社等との打ち合わせを進めてきたが、現状ではオイル価格の低迷で、企業の独自努力による社会実装に向けた検討は難しい状況にある。今後、発電事業のようにFITの導入、JCMの適用などが進めば次への展開が期待できる。また、幸いなことに日本企業は、副生物の有効利用、廃液の処理、水素製造技術等に長けており（欧米と比べても優位にあり）、科学技術外交の次の展開として、日本の産業技術が東アジアに展開することが期待できる。

### (3) プロジェクト開始時の構想からの変更点（該当する場合）

当該国際共同研究では非食糧系バイオマスであるジャトロファに着目し、ジャトロファオイル分からは、全国自動車燃料として利用できる品質のバイオディーゼル（FAME）を製造する技術を構築し、一方、ジャトロファ残渣からもバイオ燃料を製造する技術も併せて構築することにより、ジャトロファの利用効率を高め、更には高品質バイオディーゼル（H-FAME）については社会実装に繋げることを計画した。しかし、研究成果についてタイ政府から注目されることとなり、タイ政府からH-FAME技術のパームFAMEへの展開について研究要請が

あったこと、また、2011年のタイ大洪水の影響を受けて研究が遅延したため、次の通り計画の見直しを行った。

- ① H-FAME 技術は、低品位なジャトロファ FAME を高品質化するために開発したものであるが、FAME の高濃度利用を計画するタイ国エネルギー省から、H-FAME をタイで流通しているパーム FAME に適用してほしい旨の要請があった (2012)。このため、当該事業の中間評価で、FAME 原料の多様化についても検討を行うことを了承いただき (2013. 3. 19)、第四回 JCC(2014. 2. 5)で、タイ国内で調達可能な原料由来の FAME にも H-FAME の適用を図る旨、PDM の修正を行った。
- ② 当該事業では、高品質バイオディーゼル (H-FAME) については、H-FAME 燃料の品質確保、材料適合性、エンジンベンチによる自動車適合性評価を通しての社会実装を当初から目指していたが、タイ国内での実車走行試験による実証までに自動車会社との連携等の課題があり、PDM 中に実車試験を実施とは明確に記載していなかった。しかし、当該事業関係者とタイ国内のいすゞ自動車グループとの連携が可能になり、2012. 11~2013. 5 の期間にジャトロファ H-FAME を石油系軽油に 10vol%混合した燃料 (B10) を用い、タイ国内での実車走行試験に成功した (試験費用は C/P の MTEC が負担)。この実車走行試験の実施については、当該事業の PDM に必ずしも明確に記載されていなかったため、第 4 回 JCC(2014. 2. 5)で PDM を修正し、実車試験を実施する旨、追記した。この後、パーム H-FAME を軽油に 20vol%混合した燃料 (B20) を用い、タイ国内での第二回目の実車走行試験に成功した (試験費用は JICA が負担)。
- ③ ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造、その後のバイオオイルの改質による新燃料製造に関しては、2011年のタイ大洪水の影響を受け、被害機器の復旧作業や実験棟インフラの復旧作業に時間を要し、更に当初設置予定の開発機器の実験棟内への搬入・設置が遅延したため、研究再開が約 1 年間遅れた。この遅延を取り戻し、当初の目的を達成するために、当該事業期間が 1 年間延長された。
- ④ C/P の TISTR におけるジャトロファ残渣からのバイオオイル製造には、循環流動層型急速熱分解炉 (20kg/h) を用いているが、C/P 研究者の運転習熟や種々の改造等に時間を要し、H26 年度からバイオオイル製造が数十 kg/Run で可能になった。この間、バイオオイルからの新燃料製造ができなかったため、早稲田大学での研究実施 (バイオオイル由来の新燃料のエンジン評価、燃焼特性シミュレーション、LCA) が困難と判断し、当初研究計画から削除した。その後、第 3 回 JCC(2012. 12. 4)で PDM にも反映させた。尚、バイオオイル由来の新燃料の材料適合性やエンジン評価等は、産総研で当初計画通り実施することとし、また、バイオオイル由来新燃料の LCA 評価のために、産総研のメンバーを当該事業に新たに追加した。

## 2. プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト (公開)

### (1) プロジェクト全体

**本プロジェクトの目的:** 運輸部門におけるバイオ燃料の導入は気候変動緩和対策として有効であり、食糧と競合しないバイオマス資源を用いた輸送用燃料製造技術の確立が喫緊の課題となっている。そこで、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。

**本プロジェクトの概要:** 非食糧系バイオマスとして注目されている Jatropha 果実の総合利用効率を高めるため、オイル留分からの高品質バイオディーゼル(BDF)製造技術、並びにオイル抽出残渣の熱分解から得られるバイオオイルの輸送用燃料化技術の開発を行う。次いで、各種バイオ燃料の燃焼特性、エンジン特性、排ガス特性等から新燃料の社会実装に向けた基盤を構築する。更に、LCA 等の手法により、開発技術の CO<sub>2</sub> 低減効果を明らかにする。これら一連の共同

研究の中で、タイ国研究者の能力開発も併せて推進する。

**プロジェクト全体の達成状況:** 当該プロジェクトは次の5つの要素課題から成り、日タイ研究参加機関の研究内容及び役割分担等を毎年開催される合同調整委員会(JCC)で確認・修正しつつ、各研究を実施した:①ジャトロファオイルからの高品質バイオディーゼル(H-FAME)の製造技術(LCA評価技術を含む)、②ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術、③バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術開発(LCA評価技術を含む)、④新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術、⑤人材育成及び技術移転。特に、①に関しては、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。このジャトロファH-FAMEは、東アジアサミット推奨品質(EEBS:2008)のみならず世界燃料憲章(WWFC)ガイドライン品質もクリアし、全国自動車燃料として利用可能であることが分かった(2011)。次いで、このジャトロファH-FAMEを石油系軽油に10vol%混合した混合燃料(B10)の自動車適合性を、タイ国内で実施した実車走行試験(走行距離:50,000km、EUROIII仕様のいすゞ製ピックアップトラック)により実証した(2012-2013)。更に、タイ国エネルギー省(MOE)省エネ・効率化局(DEDE)から要望のあったパームFAMEの高品化にH-FAME技術を適用し、パームH-FAMEを石油系軽油に20vol%混合した混合燃料(B20)の自動車適合性を、タイ国内で実施した実車走行試験(走行距離:50,000km、EUROIV仕様のいすゞ製ピックアップトラック)により実証した(2014)。これらの結果は、FAMEの高濃度利用を計画しているタイ国エネルギー省から高く評価され、タイ政府の石油代替エネルギー開発計画(AEDP)の中に、新しいバイオディーゼルとしてH-FAMEが政策反映された(2015)。一方、基盤技術として、従来法である均一系触媒(KOH等)を用いたエステル交換反応に変わる、新規なTi系固体触媒を開発した。また、H-FAME技術の実用化には連続流通式反応による製造が不可欠となるため、活性劣化を抑制したPd系触媒利用システムを開発した。H-FAMEのLCA評価ではタイ国NSTDA・MTECと協働してタイ国内での土地利用・土地利用変化による環境への影響評価、ジャトロファ・バイオエネルギーシステムの統合的LCA評価を行っている。一方、製造プロセスの最適化や用途開発等は今後の課題として残されており、入口戦略、技術戦略、出口戦略を含めたLCAや経済性評価はできていない。

②に関しては、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。

③に関しては、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。木質系バイオマスの急速熱分解では、燃料成分としては主にガソリン基材のみが得られるのに対し、ジャトロファ残渣からは、ジャトロファ種子の搾油度に応じて、ガソリン基材に加え軽油基材も製造できた。ジャトロファ残渣由来の新燃料のLCAにより、ジャトロ残渣は、パーム残渣やココナツ残渣に比べ、原料調達面では、GHG排出量が1/4~1/5と少ないために、燃料利用面ではポテンシャルを有したバイオマス原料であるものの、TISTRでバイオオイル製造に用いている循環流動層型パイロラザーは、熱源が主に電気であるためGHG排出量が約3.3kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-バイオオイルと極めて高いため、実用化に際しては、副生チャーや非凝縮性ガス等を上手に熱源に利用する必要性が示された。これにより、約0.3kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-バイオオイルにまで低減できる可能性がある。生成されたバイオオイルを改質し、自動車燃料品質までアップグレードする場合、GHG排出量が最低レベルでも約9kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-バイオオイルと極めて高くなるが、現行の石油精製設備を用いた石油留分とバイオオイルの混合処理、更には現行の石油精製設備の余剰水素の利用等により、GHG排出量の更なる低減が期

待できることが分かった。

④に関しては、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。また、新燃料の混合割合を変化させ(0-50%)、エンジン効率、排ガス特性等の詳細な評価を行い実車試験、社会実装に関わる基礎的データを集積することができた。さらに、BDF を混入することによりセタン化が向上することを明らかにし、近い将来予測される軽油のセタン化低下(分解軽油の増大)に対応できることも明らかになった。当該研究開発で得られた成果は内外に広く情報発信されており、国際会議等でも新規性・重要性が注目されている。また、得られた成果をもとに、自動車産業との情報共有、今後の展開に向けた打ち合わせ等も併せて行うことができた。一方、H-FAME の社会実装に向け、タイ国内で2回の実車走行試験を実施(第一回目: ジャトロファH-FAME を用いた B10 燃料による試験、第二回目; パーム H-FAME を用いた B20 燃料による試験、双方の試験ともいすゞタイランドグループへ委託)し、当該事業で開発した H-FAME の高濃度利用可能性を実証した。前述の通り、これらの成果は、タイ国エネルギー省から高い評価を得た。

⑤に関しては、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。特に H-FAME 技術の詳細及びパーム H-FAME を用いた B20 燃料による実車走行試験の結果については、平成 27 年 9 月 18 日に開催されたワークショップ「ASEAN における高濃度バイオディーゼルの自動車利用」の中で報告され、タイ国内のみならず ASEAN の政府関係者や企業関係者とも情報の共有を行った。⑤の人材育成に関しては、参加研究機関が連携して、タイ若手研究人材の能力開発を中心に、多くのタイ国若手研究者の日本(産総研、早稲田大学)での研修、産総研および早稲田大学研究者のタイへの JICA 専門家派遣による指導、さらにはタイ若手研究者の早稲田大学への留学等を通じて人材育成を進めることができた。また、日本の若手研究者を積極的にタイ、インドネシア等に派遣し、ASEAN の若手研究者と交流を進め、今後のグローバル化対応を行うこともできた。

一方、技術移転については、極力、タイ研究機関と協働で研究開発を進めることにより、効率よく技術移転を行うことができた。また、社会実装についても、高品質 BDF に焦点を絞り、国内に産学官の調査委員会を設置し、タイ研究機関と情報共有・協働作業を進め、地球規模課題の解決、低炭素社会の構築に向けて、必須となる多くの成果を得ることができた。高品質 BDF の社会実装に関わる検討ではタイ政府関連機関(エネルギー省、農業研究開発庁、駐日日本大使館他)の支援が得られ、社会実装を担う、日タイ両国の企業が検討に参加している。このため、当該事業ではインパクトのある成果が達成できた。このため、タイ参加研究 3 機関にとどまらず、他の関連研究機関(企業、大学、研究機関)との意見交換、情報共有も進み、新たな体制での次の展開に向けた検討も始まっている。

また、関連する SATREPS 事業との情報共有が進み、社会実装に関わる検討の一環として、タイ周辺諸国の調査(主として入口戦略)を行うことにより、周辺諸国の関連機関(政府機関、大学、研究機関)と情報共有、打ち合わせが進み、日 ASEAN の広域連携(日タイ両国の他にベトナム、インドネシア、ラオス、ミャンマー)に向けて話が進みつつある。

以上、H-FAME 技術に関しては、パイロットプラント研究を通し、ジャトロファオイルのみならずタイ国内で入手可能な原料からも製造できる技術を構築できた(H-FAME 技術の汎用性の実証)。また、H-FAME がタイ政府の石油代替エネルギー政策に反映されたため、今後の社会実装に向けた礎を築くことができた。一方、ジャトロファ残渣の利用技術に関しては、2011 年のタイ大洪水の影響で研究が約 1 年間遅延したものの、1 年間のプロジェクト期間延長により、バイオオイル製造用の循環流動層型熱分解炉パイロットプラント技術を構築できた。更に、バイオオイルの水素化精製により、炭化水素系のガソリン基材のみならず、炭化水素系の軽油基材も併せて製造できる触媒技術を開発できた。このため、当初の成果目標をほぼ達成できた。

## (2) 研究題目 1

ジャトロファオイルからの高品質バイオディーゼル(H-FAME)の製造技術

### ① 研究題目 1 の研究のねらい

(JICA 活動計画:No. 2-1, 2-2, 3-1, 3-2, 3-3, 3-4)

ジャトロファオイルから安全・高品質なバイオディーゼル(BDF)を製造可能な技術を構築し、更に 1ton/d 規模のパイロットプラント研究を通して東アジアサミット品質、更には世界燃料憲章ガイドライン品質の BDF 製造技術に展開させるため、酸化安定性や熱安定性に優れた高品質バイオディーゼルの製造する部分水素化技術(H-FAME 技術)の開発を行う(以下、部分水素化で高品質化されたバイオディーゼルの H-FAME と呼称)。また、タイ政府からの要請に基づき、タイで入手可能なバイオディーゼルについても H-FAME 技術を適用し、その汎用性を確認する。更に、当該 H-FAME の LCA によるライフサイクルでの温室効果ガス(LCGHG)排出量評価を行う。尚、当初、バイオディーゼルの BDF と表現していたが、タイ政府及びタイ側カウンターパートでは FAME という表現が一般的であり、本報告書では、BDF と FAME が同意語として用いている。

### ② 研究題目 1 の研究実施方法

ジャトロファオイルからの BDF 製造技術 (Task1) では、BDF のパイロットプラント規模製造装置の設計を行い (H21 年度)、H22 年度から H23 年度前半にかけて、ジャトロファ BDF を 1ton/d 規模で製造できるパイロットプラントをタイ科学技術研究院 (TISTR) に設置し、同プラントの運転研究を通して、ジャトロファ油から EN 規格を満たす BDF が製造できることを実証する (H23 年度後半から H24 年度前半に掛けては、タイ洪水の影響で研究が中断)。BDF 中の P 分の EN 規格は 10ppm であるが、更なる P 分の低減に向け、脱ガム法の検討も併せて行い (H23~H24 年度)、リン酸脱ガム条件の最適化により、P 分が半減できる方法を見出すと共に、BDF 製造パイロットプラントの前処理装置として脱ガム装置を TISTR に設置し、H24~H27 年度に運転研究を行う。また、ジャトロファ油に含まれる毒性成分であるフォルボールエステル (PE) の BDF 製造用パイロットプラント各工程での低減挙動を明らかにすると共に、PE の液体クロマトグラフによる分析法を開発する (H22~H23 年度)、また、産総研で開発されたプロテキナーゼ C を用いた毒性評価法を採用して、毒性評価を行い (H24 年度)、ジャトロファ FAME を H-FAME 化することにより、H-FAME 中では PE が消失し、かつ H-FAME の毒性も消失することを明らかにする (H24~25 年度)。ジャトロファ H-FAME の自動車適合性を評価するために実施する実車走行試験 (ジャトロファ H-FAME を軽油に 10vol% 混合した B10 混合燃料を用いタイ国内で実施、走行距離=50,000km、試験車両は EUROIII 仕様のいすゞ製ピックアップトラック) に燃料を供給するため、ジャトロファ FAME (EN 規格適合) を約 1,000L、TISTR パイロットプラントを用いて製造する (H24 年度)。

BDF の高品質化技術 (H-FAME 技術) では、酸化安定性等の品質面での懸念があり全国自動車燃料としての利用は難しいとされてきたジャトロファ BDF を全国燃料品質まで高品質化するための技術として、含有多不飽和脂肪酸メチルエステルを一価不飽和脂肪酸メチルエステルに選択的に転換する部分水素化法を開発する (H21~H22 年度)。また、EN 規格を満たす BDF から東アジアサミット推奨品質 (EEBS:2008) の H-FAME を製造する部分水素化パイロットプラントをタイ科学技術研究院 (TISTR) に設置し、同プラントの運転研究を通して、ジャトロファ油 EEBS:2008 を満たす H-FAME が製造できることを実証する (H23 年度後半から H24 年度前半に掛けては、タイ洪水の影響で研究が中断)。H24 年度は、TISTR パイロットプラントで H-FAME の最適組成を得るための反応条件を見出すため、水素消費量をモニターする迅速反応制御法や飽和脂肪酸モノグリセリド等の易析出成分の除去法について産総研で基盤的検討を行うと共に、TISTR で検証実験を行う。また、ジャトロファ H-FAME を軽油に 10vol% 混合した混合燃料 (B10) を用いた実車走行試験 (タイ国内で実施) 用の供試燃料として、ジャトロファ H-FAME を約 1,000L、TISTR パイロットプラントを用いて製造する。次いで、H-FAME の工業規模製造で不可欠となる連続製造法の検討を行い、固定床流通式反応器による H-FAME 製造技術及び部分水素化触媒の高性能化開発を行う (H25 年度)。H26~H27 年度は、ジャトロフ

ア H-FAME 用に最適化された製造条件をパーム H-FAME 用に変更し、従来用いていた水素化深度の指標（H-FAME 中の残存多価不飽和 FAME 量で評価）が使えるかどうか確認する。次いで、産総研で最適化された条件を基に、タイ科学技術研究院内に設置されたパイロットプラント規模の部分水素化装置（回分式、反応器容量=100L）を用いて、パーム FAME の部分水素化反応条件の最適化を行う。パーム H-FAME を用いたエンジン試験及び実車走行試験（タイ国内での路上走行試験）を H26 年度に実施し、実車試験燃料としてパーム H-FAME を、タイ科学技術研究院（TISTR）内に設置されたパイロットプラント規模の部分水素化装置を用いて約 3,000L 製造する。更に部分水素化触媒の高耐久性化及び H-FAME の精製度を高めるため、パーム油 FAME 中に含まれる不純物（飽和脂肪酸メチル（SMG）やステロールグリコシド（SG）等）を除去するための、除去剤の検討を行う。併せて、FAME の低金属化のために P 量の更なる低減化に繋がる脱ガム条件（添加材や温度条件等）の検討を行う。

一方、ジャトロファオイルのエステル交換反応用の固体触媒は、当該事業の BDF 製造用パイロットプラントで用いている均一系触媒と異なり、BDF の洗浄工程の簡略化や副生グリセリンの金属触媒によるコンタミ等が回避できる特徴があるため、ラボレベルでメタノール活性化の高い触媒の探索を行い、候補触媒を開発する（H21～H26）。特に、活性種と考えられる四配位のチタニアを有した多孔性触媒を調製し、固定床流通式反応器にて活性及び耐久性の検討を行う。更に、得られた FAME が規格をクリアしているかの物性測定（Na, K, Ca and Mg の不純物量等）に加え、反応前後のメソポーラス構造や活性種である Ti 種の構造変化等を観察し、触媒の耐久性の検討を行う。

BDF 及びバイオオイルの詳細分析技術の開発では、H-FAME 中の各構成成分のガスクロマトグラフを用いた分析法（H21-H22 年度）、また FAME/H-FAME 中のステロールグリコシドやアシル化ステロールグリコシドのガスクロマトグラフによる分析法（H25-H26 年度）を開発し、タイ側カウンターパートと情報の共有を図る。また、ジャトロファオイル、ジャトロファ FAME、ジャトロファ H-FAME 中に含まれるホルボールエステルの液体クロマトグラフによる分析法を開発する（H22-23 年度）。一方、バイオオイルの詳細分析技術に関しては、タイに設置した急速熱分解パイロットプラントの運転で得られたジャトロファ残渣からのバイオオイルを、捕集箇所別に GC/GC-MS 分析により成分比較を行うとともに、産総研設置の小型急速熱分解装置での無触媒および触媒併用急速熱分解による生成バイオオイルとの成分比較を行い、小型実験装置生成物とパイロットプラント生成物の整合性について検証する（H26 年度）。

③研究題目 1 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト  
ジャトロファオイルからの BDF 製造技術（Task1）

低金属・高酸化安定性の BDF を 1ton/d 規模で製造するパイロットプラント設計に資する基盤データを取得し（JICA 活動計画 No. 2-1）、BDF を 1.0 ton/日規模で製造できるパイロットプラントを日本国内で建設した。当該パイロットプラントをタイ科学技術研究院（TISTR）への搬入・設置（図 2）し、その後、試運転を行ない、当該装置が高品質 BDF を製造できることを実証すると共に、産総研及び早稲大学にエンジン評価用の高品質 BDF を提供することに特化し計画を進めた。この結果、2011 年 3 月に実証試験に成功し、エンジン用高品質 BDF（表1）を約 400L 製造できた。



図2 タイ科学技術研究院に設置された高品質 BDF 製造パイロットプラント (1.0ton/日)

表1 高品質 BDF 製造パイロットプラントから得られた BDF の性状

性状項目	単位	東アジアサミット推奨BDF品質 (EEBS):2008	今回のパイロットプラント運転で製造されたBDF
エステル含有量	mass%	> 96.5	99.7
密度 (@15°C)	kg/m <sup>3</sup>	860 – 900	0.87651
動粘度 (@40°C)	mm <sup>2</sup> /s	2.00 – 5.00	5.02
引火点	°C	> 100	>200
硫黄分	mass%	< 0.0010	0.00025
残留炭素分 (100%残油) or	mass%	< 0.05	
残留炭素分 (10%残油)		< 0.30	0.14
セタン価		> 51.0	60.0
硫酸灰分	mass%	< 0.02	<0.001
水分	mg/kg	< 500	385
固形不純物	mg/kg	< 24	-
銅版腐食試験		Class-1	1a
酸価	mgKOH/g	< 0.50	0.16
酸価安定度	hrs	> 10.0	15.1
ヨウ素価		Reported	70.52
リルン酸メチルエステル含有量	mass%	< 12.0	0
多価不飽和脂肪酸メチルエステル量 (二重結合数≥4)	mass%	N.D.	N.D.
メタノール量	mass%	< 0.20	<0.01
モノグリセライド量	mass%	< 0.80	0.54
ジグリセライド量	mass%	< 0.20	0.20
トリグリセライド量	mass%	< 0.20	0.06
遊離グリセリン量	mass%	< 0.02	0
全グリセリン量	mass%	< 0.25	0.17
金属量 (Na+K)	mg/kg	< 5.0	<3
金属量 (Ca+Mg)	mg/kg	< 5.0	<2
金属量 (P)	mg/kg	< 10.0	<1

パイロットプラントを用いたジャトロファ BDF 製造では、東アジアサミット推奨品質 (EEBS:2008) の BDF を安定に製造できる定常運転までの過渡期間に低品位の BDF (トリグリセリド、ジグリセリド及びモノグリセリド量が規格外) が得られるが、この低品位 BDF を原料とし、添加メタノール量、KOH 量及び洗浄水量を最適化することにより、東アジアサミット推奨品質を満たす BDF 製品を製造できた。このため、当該パイロットプラントを上手に運転することにより、原料ロスを最小限に抑えることが分かった。当該パイロットプラントは、2011 年のタイ洪水により被害を受けたが、その後の復旧工事を行い、運転性能の回復を確認した (2012 年 5 月) (図 3)。



図3 タイ洪水被害後に補修され  
運転性能が回復した高品質 BDF 製  
造パイロットプラント (1.0ton/  
日、タイ科学技術研究院内設置)

引き続き、当該パイロットプラントを用いた運転研究を行い、高酸価(酸価 $\sim$ 15mgKOH/g)の低品質ジャトロファオイルからも高品質 BDF を製造できることを実証した。また、ジャトロファオイル中のリン脂質分を低減するための脱ガム装置を TISTR 内に設置し、パイロットプラント設備の増強を図った。更に、実車試験に提供する高品質ジャトロファ BDF (約 600L の部分水素化 BDF) の製造を行った。この高品質ジャトロファ BDF をタイで製造された軽油基材と混合し、酸化安定性及び低温流動性について確認を行った結果、酸化安定性は Rancimat 誘導時間 20 時間以上であり、曇り点、流動点の顕著な悪化も認められなかったことから、実車走行試験に供給できる品質であることを確認した(JICA 活動計画 No. 3-2)。易析出成分の除去効果について検討したところ、モノグリセリド除去により曇り点が大幅に改善されることを見出した。

一方、ジャトロファ BDF の製造では、エステル交換反応に先立ちリン脂質除去のために脱ガム処理が不可欠であるが、脱ガム効率の向上は、最終製品である BDF 中の含有リン量の低減にもつながる。このため、脱ガム工程の再検討を行った結果、0.025wt% のリン酸および 2% の水を 60 $^{\circ}$ C で 30 分間攪拌した後、30 $^{\circ}$ C で 30 $\sim$ 60 分静置し、最後にテフロン製のフィルターで濾過することにより、リンのみならず、アルカリ金属、アルカリ土類金属も低減できることを見出した。この脱ガム法は、TISTR に設置された脱ガム装置の標準的な方法として採用された。

当該パイロットプラントでは、世界中の標準的な方法である均一系触媒(KOH 等)を用いたエステル交換反応により BDF の製造を行っているが、BDF から触媒を分離するための水洗処理等が不可欠であり、また、副生物であるグリセリン中の触媒残留等の課題もある。このため、これらの懸念を回避する方法として、FAME 製造用エステル交換触媒について検討を行った。担持鉄触媒の検討を行い、脂肪酸メチルエステル純度、グリセリド類残存量が東アジアサミット品質を満たす触媒を得ることができた(JICA 活動計画 No. 3-1)。鉄系触媒では、遊離脂肪酸含有量の高い原料を処理した場合 Fe イオンの漏出の恐れがあり、FAME の酸化安定性の低下要因にもなるが、これを避けるため、チタン系触媒の検討を行った。四配位のチタニアを有した炭素含有 3Ti-SBA-15 触媒を用いることにより、Si や Ti の流出なく、高品質な BDF (FAME) へと転換可能であることを見出した。また、遊離酸含有量の多い原料でも、予備エステル化処理することなく、優れたエステル交換活性を有し、東アジアサミット品質を満たす FAME が製造できることが分かった(JICA 活動計画 No. 3-1)。更に、通常に市販されているシリカ担体を用いて、低コストで製造可能なチタン触媒の製造方法を開発し、このチタン含有シリカ触媒は、既に開発した炭素含有 3Ti-SBA-15 触媒に比べて、高いエステル/エステル交換活性を示すことを見出した。現在、連続固定床反応器による、チタン含有市販シリカ触媒の耐久性を考察中である。

### BDF の高品質化技術 (H-FAME 技術)

BDF 中の主構成成分は、多価不飽和脂肪酸メチルエステル(分子内に二重結合を2個以上持つ分子)、一価不飽和脂肪酸メチルエステル(分子内に二重結合を1個持つ分子)、そして飽和脂肪酸メチルエステルである。この中の多価不飽和脂肪酸メチルエステルは、熱・酸化劣化しやすく BDF の安定性を支配する。二重結合間のメチレン結合部位の水素に反応性が極めて高いためである(図4)。

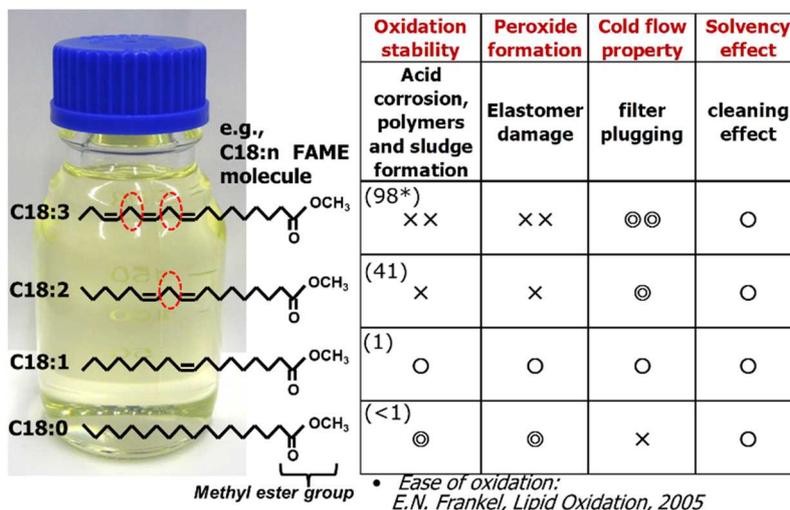


図4 BDF 構成成分の特性比較

一方、飽和脂肪酸メチルエステルは酸化安定性が極めて高いものの、融点が高いために低温流動性に問題がある。一価不飽和脂肪酸メチルエステルは、熱・酸化安定性と低温流動性の課題を解決できる。このため、BDF を高品質化する技術として、BDF 中の多価不飽和脂肪酸メチルエステル(ポリエン)を水素化し、一価不飽和脂肪酸メチルエステル(モノエン)に変換する部分水素化技術(H-FAME 技術)を開発した(図5)。得られる部分水素化 FAME を H-FAME と呼称。開発した H-FAME 技術は、BDF 製造装置の付帯設備であり、現行の BDF 製造施設内に設置可能であり、また、BDF と石油系軽油の混合を行っている石油会社内に設置することも可能である。プロセスフローは次の通りである。

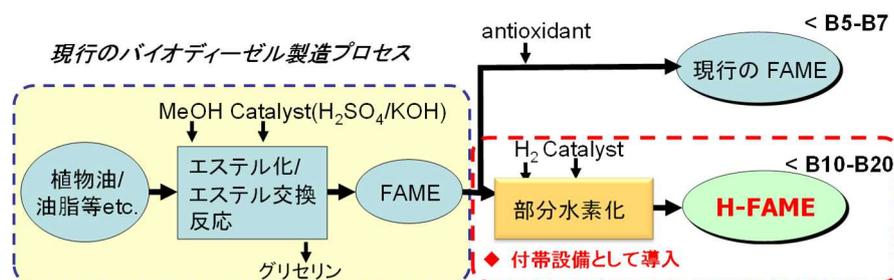
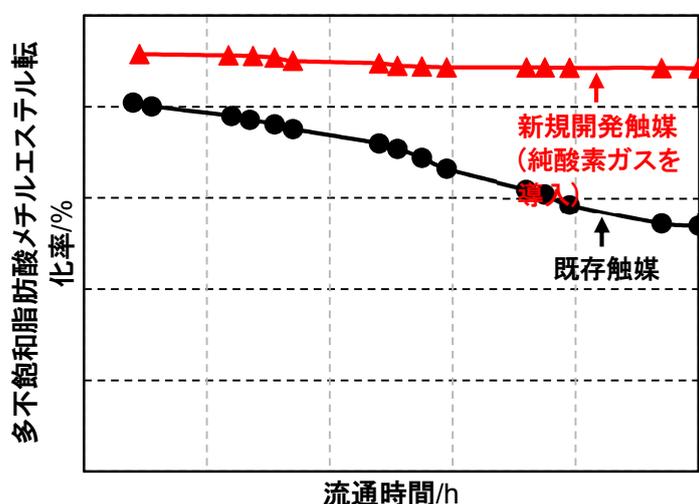


図5 部分水素化 FAME (H-FAME) 製造プロセス

ジャトロファ BDF からの H-FAME 製造の鍵は部分水素化用触媒であり、油脂の水素化に多用されている Ni 系触媒、高価であるものの反応条件の温和化が可能な貴金属系触媒について検討を行った。H-FAME 設備のコスト減という点から、反応条件の温和化(低温、低水素圧)が可能な貴金属系触媒に焦点を絞った結果、Pd や Pt 系触媒が多価不飽和結合の低圧部分水素化に有効であり、反応条件等の最適化により、望ましい一価不飽和脂肪酸エステル濃度を最大化できた(JICA 活動計画 No. 3-2)。特に、部分水素化という点からは、Pd 触媒の方が優れていた。BDF の部分水素化では、ポリエンからモノエンへの反応を加速し、モノエンから

飽和脂肪酸メチルエステルへの反応を極力抑える必要があり、水素化深度をコントロールする必要があった。タイ TISTR に設置された H-FAME 製造用パイロットプラントが回分式装置であったため、産総研でも小型回分式反応装置を用いた実験を行うと共に、水素化深度 (H-FAME の詳細な組成分析) と水素消費量の相関付を行った結果、ジャトロファ油の脂肪酸組成の詳細分析による水素消費量の理論値とタイ TISTR のパイロットプラントにおける実測値がよく一致することを見出し、これを指標として運転することで、最適組成が得られることを明らかにした (JICA 活動計画 No. 3-2)。また BDF の水素化処理により、易析出成分を除去しうることを見出した。

ジャトロファ H-FAME の工業規模製造には連続式製造技術の構築が不可欠なため、固定床流通式反応装置を用いて貴金属触媒の活性評価を行った。その結果、TISTR で用いていた部分水素化用触媒を用いた場合、FAME 中に含まれる微量金属、硫黄分、窒素分等の不純物により触媒活性が大幅に低下することが分かった。そこで、担体表面により高分散に Pd が担持されるように部分水素化触媒の金属担持法を改良したところ、既存触媒に比べ約15倍の活性を示した。更に反応系内に微量酸素を導入することで、触媒の失活も抑制され、高活性、高耐久性を示す部分水素化プロセスの開発に成功した (図 6)。



反応条件:  $T=100^{\circ}\text{C}$ 、 $P=0.5\text{MPa}$ 、 $\text{WHSV}=7.4\text{h}^{-1}$  (●),  $144\text{h}^{-1}$  (▲)

図 6 バイオディーゼルの水素化活性に及ぼす影響

従来の Pd/Al2O3 系触媒より更に Pd 粒子の高分散化を図り、水素化活性の向上を図った結果、シリカ系多孔性担体である SBA-15 に Pd を担持した触媒では Pd の分散度が 69%と高く、水素化活性は市販のアルミナ担持パラジウム触媒 3-4 倍高活性を示し、得られたモノエン酸メチルエステルの cis 選択性も高いことが分かった。

H-FAME 技術は、低品位で全国自動車燃料化は困難とされていたジャトロファ FAME を全国自動車燃料品質までに高品質化するために開発したものであるが、H-FAME 技術の原料多様性・汎用性を確認するために、また、タイ国エネルギー省からの要請もあり、H-FAME 技術をパーム FAME の高品質化に適用した。ジャトロファ H-FAME の製造に用いた貴金属触媒と同一触媒 (Pd 系触媒) を用い、反応条件を最適化し、多価不飽和 FAME 量を所定の量に制御することにより、高品質パーム H-FAME を製造できることが分かった。燃料品質の面からは、パーム H-FAMEの方がジャトロファ H-FAMEより優れていた。産総研で最適化された反応条件を基に、タイ TISTR のパイロットプラントを運転し、最終的に約 2,500L のパーム H-FAME を製造した。製造されたパーム H-FAME (B100) の性状を表 2 に示す。酸

化安定性は極めて高く (Rancimat 測定で、83h)、また、モノグリセリド類の量も大幅に低減している。同 H-FAME を軽油に 20vol%混合した混合油 (B20) では、強制酸化試験 (混合油量=20g、酸化温度=135°C、純酸素供給量=100cc/min、酸化時間=16h) 後でもスラッジの生成は見られなかった。

表 2 実車試験用 B20 燃料に用いたパーム H-FAME の性状

Items	Units	Thailand	EAS-ERIA BDF Std	WWFC	TISR's PP
		DOEB 2014	(EES):2008	March, 2009	H-FAME
Density	kg/m <sup>3</sup>	860-900	860-900	Report	872
Viscosity	mm <sup>2</sup> /s	3.50-5.00	2.00-5.00	2.0-5.0	4.5
Flashpoint	°C	120 min.	100 min.	100 min.	168
Sulfated ash	mass%	0.02 max.	0.02 max.	0.005 max.	<0.001
Ash content	mass%	-	-	0.001 max.	-
Water content	mg/kg	500 max.	500 max.	500 max.	375
Total contamination	mg/kg	24 max.	24 max.	24 max.	1
Oxidation stability	hrs.	10 min	10.0 min. (**)	10 min.	86.3
Iodine value		120 max.	Reported (*)	130 max.	42
Monoglyceride content	mass%	0.70 max.	0.80 max.	0.80 max.	0.18
Trace metals		-	-	no addition	-
Cloud point	°C	Report	-	-	16 °C
CFPP	°C	Report	-	-	16 °C
Additive		Approval	-	-	-
Saturated monoglyceride in MG	mass%	-	-	-	0.08
Sterol glucoside	ppm	-	-	-	24

EAS: East Asia Summit ; ERIA: Economic Research Institute for ASEAN and East Asia ;  
WWFC: World Wide Fuel Charter

ジャトロファ H-FAME の工業規模製造と同様に、パーム H-FAME の工業規模製造には連続式製造技術の構築が不可欠なため、固定床流通式反応装置を用いて貴金属触媒の活性評価を行った。パーム油 FAME からのパーム H-FAME 製造 (於:産総研のラボプラント) では、これまでのジャトロファ油 FAME を原料とした場合に比べ触媒活性・寿命ともに低下することが分かった (図 5)。これはパーム油 FAME 中に多く含まれる不純物 (ステリルグリコシド等) によるものと唆されるが、部分水素化触媒の前段にガードカラムを用いることによりこれら不純物を除去し、失活抑制が可能となった。ガードカラムの種類について種々検討した結果、多孔性のアルミナで対応できることが分かった。しかし、ガードカラムは使用し続けると効果が無くなり交換が必要となり、プロセスコストの上昇に繋がる。そこで触媒を更に改良することで、活性劣化抑制を試みた。具体的には、触媒調製段階で添加物を用いることで、担体の酸性状制御と Pd 分散度制御を行い、調製した触媒を固定床流通式反応装置で活性評価を行った。その結果、Pd 分散度を約 40%に制御した Pd 触媒が高い安定性を示すことが見出された。

#### BDF 及びバイオオイルの詳細分析技術の開発

H-FAME 中の各構成成分のガスクロマトグラフを用いた分析法、また FAME/H-FAME 中のステロールグリコシドやアシル化ステロールグリコシドのガスクロマトグラフによる分析法を開発し、タイ側カウンターパートと情報の共有を図った (表 3)。ステロールグリコシド (SG) は、FAME を室温下で長期間保存する場合に保存容器 (槽) 底部に析出する沈殿物の主要構成成分であるものの、含有量が 100ppm 以下と微量であり、ガスクロマトグラフでの定量分析が難しかったが、クールオンカラムの採用により、定量分析が可能となった。また、ジャトロファオイル、ジャトロファ FAME、ジャトロファ H-FAME 中に含まれるホルボールエステルの液体クロマトグラフによる分析法を開発した。また、産総研で開発されたホルボールエステルのプロテンキナーゼ C を用いた毒性試験法については、カウンターパートである金属材料研究所 (MTEC) で、テストキットのプロトタイプも制作された。この詳細分析により、ジャトロファ FAME に含まれる毒性成分であるホルボールエステルが、H-FAME 製造工程で、非毒性成分に変換され、製品である H-FAME が無毒となることが確認された。

表 3 ガスクロマトグラフを用いたステロールグリコシドの分析法

Preparation of calibration solution	
Reagent	Steryl glucoside (purity higher than 98%) supplied by Matreya LCC.
Standard solution	SG stock solution: SG in pyridine (100µg/ml). Accurately transfer 10, 25, 50, 100 and 150µl of SG stock solution into each vial, added pyridine to obtain total volume of 230µl.
Preparation of calibration solution	Added 20µl of internal standard solution (tricaprin in pyridine, 8mg/ml), and silylated with 200µl of MSTFA (N-Methyl-N-(trimethylsilyl)trifluoroacetamide) at 110 °C for 30min. After the complete silylation, 1ml of heptane was added.
Preparation of biodiesel sample	
Amount of sample	100mg
Preparation of biodiesel sample	Added 20µl of internal standard solution (tricaprin in pyridine, 8mg/ml), and silylated with 200µl of MSTFA (N-Methyl-N-(trimethylsilyl)trifluoroacetamide) at 110 °C for 30min. After the complete silylation, 1ml of heptane was added.
GC conditions	
Injector	Equipped with an on-column injector (Agilent)
Detector	FID
GC column	DB-5HT (Agilent J&W, length 30m, internal diameter 0.25mm, film thickness 0.1µm)
Column temperature	50 °C for 1min, 50-180°C at 15 °C/min, 180-230 °C at 7 °C/min, 230-380 °C at 10 °C/min, 380 °C for 15 min.
Volume injected	1µl

一方、ジャトロファ残渣からのバイオオイル性状の課題では、バイオオイルの詳細分析技術の開発も併せて必要であったため、TISTR に設置された急速熱分解パイロットプラントで得られたバイオオイルを用いて分析法の検討を行った。パイロットプラントの3つの捕集器(コンデンサー1、コンデンサー2、パラフィントラップ)(後述)で得られた生成油(図 7)をそれぞれ GC/GC-MS 分析を行い、成分を比較した。コンデンサー 1 のバイオオイルは水が多く含まれていたため、ジエチルエーテルで有機物を抽出して分析に供した。パラフィントラップの捕集油は2層に分かれていたため、それぞれを個別に分析した。小型急速熱分解装置のバイオオイルは、触媒を用いずにジャトロファ残渣の急速熱分解を行い得られた生成油を分析した。

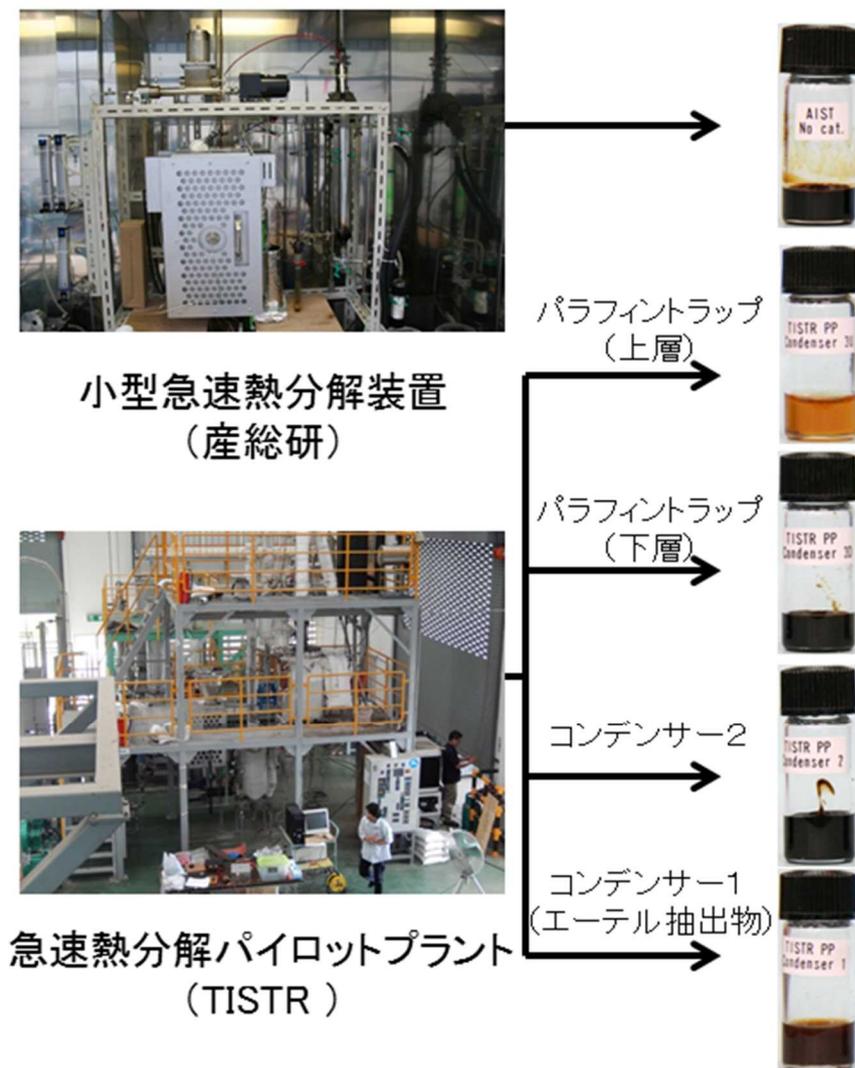


図7 急速熱分解装置とバイオオイル

パラフィントラップ上層を除くいずれのバイオオイルにも、低沸点成分と高沸点成分が含まれ、前者はフェノール類や環状ケトン類が多く、セルロースないしリグニン由来成分由来、後者は遊離脂肪酸が大部分を占めていたため、油脂由来成分であるとそれぞれ推定された。また、パラフィントラップ上層は、バイオオイル捕集に用いた流動パラフィンのみで、バイオオイル成分とはほぼ完全に分離しており、バイオオイルの捕集率を上げるために、パラフィントラップを用いることができることがわかった。バイオオイル中の成分をさらに詳細に分析するため、カラムクロマトグラフィーによるタイプ別分離を行った。コンデンサー2捕集油の分析を行ったところ、小型実験装置ではほとんどなかったトルエンやキシレン等の芳香族炭化水素が生成しており、軽度の脱酸素反応が進行していることがわかった。低沸点の含酸素化合物のほとんどは1価アルキルフェノールで、特に炭化水素系基材との混和しない2価フェノールのカテコールの含有量が、小型実験装置生成油に比べて少ないことがわかった。ジャトロファバイオオイルに多く含まれる窒素分は、低沸点化合物ではアルキルピリジン類、アニリン、ピリドン等が、高沸点化合物では脂肪酸のアミドが多く見られた。これらの窒素化合物は、ジャトロファ残渣中に残存するカーネル(仁)中のタンパク質に由来するもので、木質系バイオマス由来のバイオオイルには見られないものである。後述のとおり、これらの窒素化合物がバイオオイルの改質触媒の被毒物質として作用することになる。

## 研究題目：新燃料の製造評価及びエンジン利用特性評価技術

### 研究項目：LCA 等による環境評価

#### 1. 土地利用・土地利用変化による環境への影響評価

GHG 排出量と水消費量における環境影響の評価を行う。その際、両者ともに 2 通りのケーススタディを考え、それぞれについて評価を行った。

##### 1.1 土地利用別のケーススタディ

算定を行った CO<sub>2</sub> 排出量、N<sub>2</sub>O 排出量と N 溶脱量の結果を用いて、土地利用別の GHG 排出量評価を行う。評価の前提条件は、炭素ストック量を算定した時と同様に、土地利用変化前を Case1～Case4 として設定し、変化後の土地をジャトロファ栽培地とした。

- Case 1 : 未利用地 ～ ジャトロファ栽培地 (1 年間)
- Case 2 : 農地 ～ ジャトロファ栽培地 (1 年間)
- Case 3 : 湿地 ～ ジャトロファ栽培地 (1 年間)
- Case 4 : 草地 ～ ジャトロファ栽培地 (1 年間)

以上の前提条件をもとにした評価結果を Fig. 1-1 に示す。

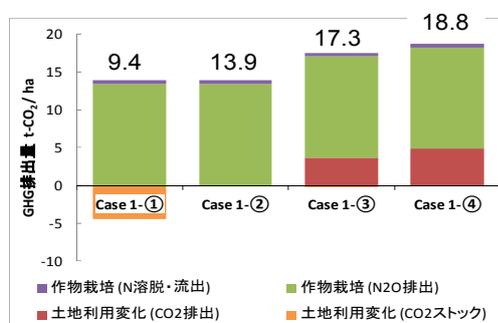


図 8 GHG 排出量の評価結果 (土地利用別)

その評価結果として、まず Case3, 4 では GHG 排出量が大幅に増加するため、ジャトロファ栽培地としては望ましくないと考える。一方、Case1, 2 では作物栽培による N<sub>2</sub>O 排出量と N 溶脱量の影響が目立つが、土地利用変化によって GHG 排出量が減少することから、ジャトロファ栽培地としての潜在性があることを示した。

##### 1.2 原料作物別のケーススタディ

土地利用変化前の条件を未利用地と想定し、利用変化後の土地を Case1～Case5 とした場合の、原料作物別にみた GHG 排出量の評価を行った。

- Case 1 : 未利用地 ～ ジャトロファ栽培地 (1 年間)
- Case 2 : 未利用地 ～ オイルパーム栽培地 (1 年間)
- Case 3 : 未利用地 ～ 大豆栽培地 (1 年間)
- Case 4 : 未利用地 ～ サトウキビ栽培地 (1 年間)
- Case 5 : 未利用地 ～ 水稲【コメ】(1 年間)

以上の前提条件をもとにした評価結果を Fig. 1-2 に示す。

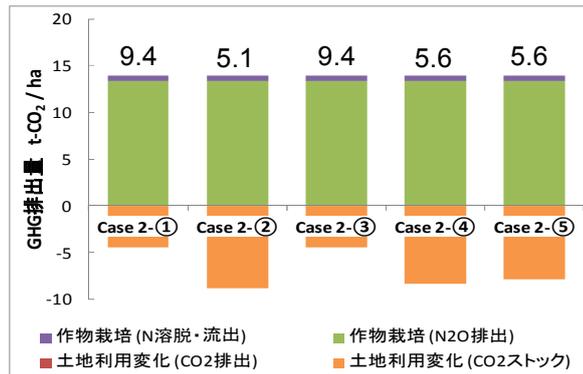


図9 GHG 排出量の評価結果（原料作物別）

未利用地からの土地利用変化であれば、どの原料作物を栽培する場合でも炭素ストック量は増加するため、全体としてGHG排出量は施肥によるN<sub>2</sub>O排出量とN溶脱量が増加するのみであることを示した。また、その中でも未利用地～オイルパーム栽培地のケースが、最もGHG排出量を削減できることを示した。

### 1.3 GHG 排出量に対するエネルギー生産量の効率性

バイオディーゼル燃料として利用するジャトロファ、オイルパーム、大豆の3種類の作物において、(1)の土地利用別、(2)の原料作物別に評価したGHG排出量に対するエネルギー生産量の効率性について検討した。ジャトロファ、オイルパーム、大豆の変換に用いた収穫量と発熱量の各種データをTable 1-1に示す。(1)、(2)ともTable 1-1の変換データを用いて評価を行った。また、その評価結果をFig. 1-3、Fig. 1-4にそれぞれ示す。

表4 エネルギー変換効率の評価に用いた各種データ

作物	収穫量 t/ha	発熱量 MJ/kg
ジャトロファ	2.0	39.8
オイルパーム	3.74	40.1
大豆	0.38	39.7

$$\ast E_{\text{GHG}} = \text{エネルギー生産量} \div \text{GHG 排出量}$$

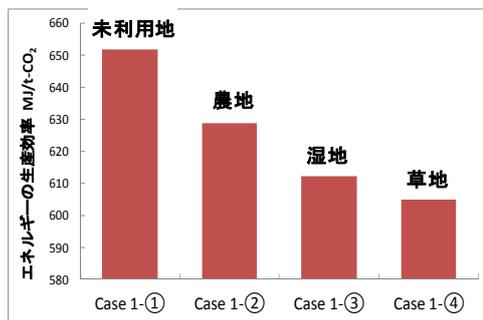


図10 エネルギー生産効率の評価結果（土地利用別）

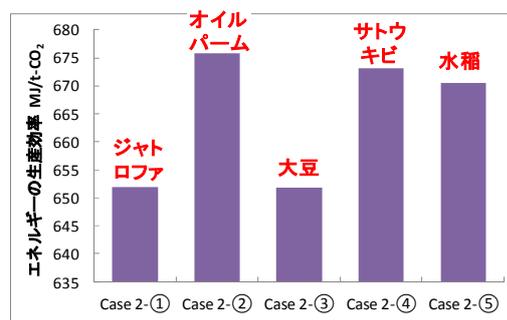


図11 エネルギー生産効率の評価結果（原料作物別）

両図から、未利用地からのオイルパーム栽培がエネルギー生産量の効率面で良好となった。また、このエネルギー生産率はどの施肥条件の場合においても、同様の結果となった。

## 2. ジャトロファバイオエネルギーシステムの統合的 LCA 評価

食糧系バイオマスからの燃料製造プロセスにおける LCA 評価の実施項目として、ジャトロファ由来の BDF 製造に掛かる「社会性分析評価」、「経済性分析評価」ならびに「エネルギー分析評価」を実施した。評価範囲を Fig. 2-1 に示す。

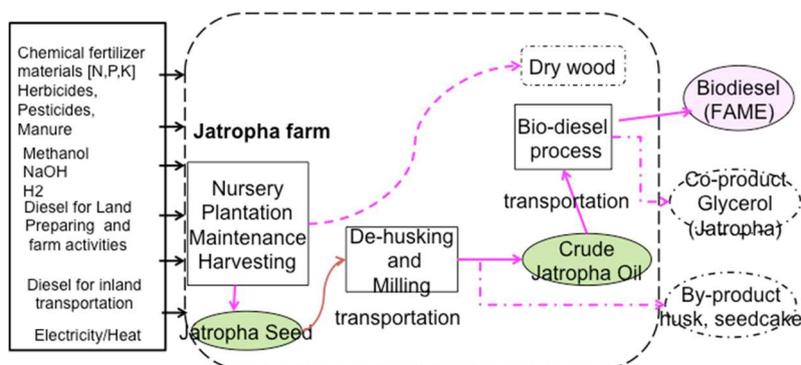


図 12 社会性・経済性・エネルギー性の評価範囲

### 2.1 社会性評価

Fig. 2-1 に示す範囲での地域社会へのインパクト項目として、「新規労働の創出」を評価軸として分析をおこなった。その結果を Fig. 2-2 に示す。結果、ジャトロファ由来の BDF 製造に係る製造システムの導入によって、1ha あたり、5 年間で 600 人・日の労働機会を創出・提供できることが分かった。また、Fig. 2-3 はそれぞれのプロセスにおいて創出される労働機会の割合を示しており、農場整備と施肥の過程で過半数の労働提供となる。

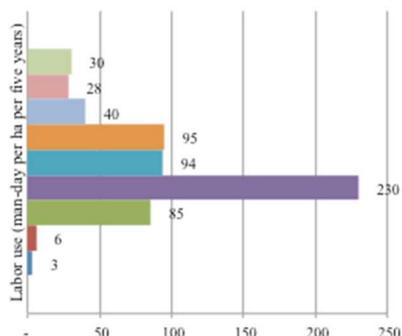


図 13 燃料生産による雇用発生（5年間）

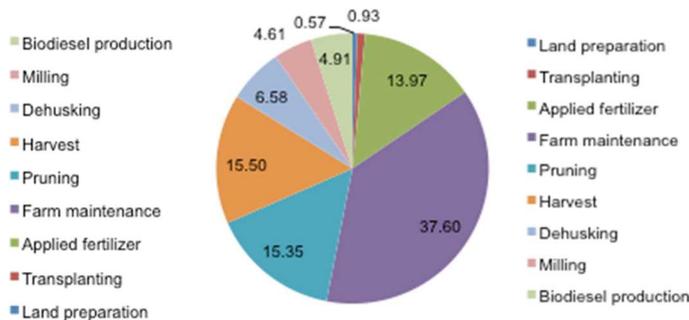


図 14 バイオ燃料に必要な労働

### 2.2 経済性評価

経済性の分析評価として、ジャトロファ農園におけるジャトロファ栽培による原料販売の収益性、ならびに BDF 製造プロセスにおける採算性を JCO の価格の変動を考慮した場合についておこなった。

ジャトロファ農家の収益性の分析評価結果を Fig. 2-4 ならびに Fig. 2-5 に示す。栽培初年度は農地整備コストが嵩む一方で、ドライフルーツの販売利益が小さいことから収支は良くないが、5 年間トータルでの収益については、1ha あたり約 22,000TBH の利益を上げることが出来る可能性があることが示された。

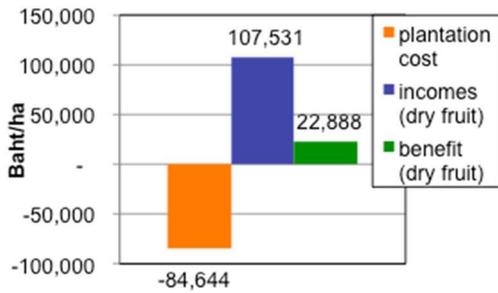


図 15 ジャトロファ農家の利益

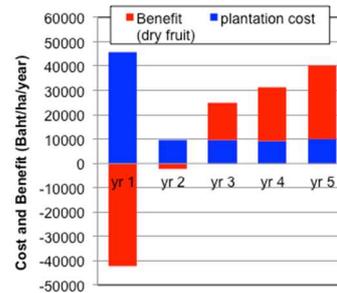


図 16 5年間の収益

小規模 BDF 製造プロセスにおける収益性の検討結果を Fig. 2-6 に示す。原料として用いる JCO の価格によって収益性が変化することが予想されることから、JCO 価格を 20TBH/L ~ 30TBH/L と変化させ、損益分岐点を探索した。結果、JCO が 25TBH/L が損益分岐点となり、それよりも価格が低ければ製造プロセスにおける収益性が確保されることが示された。なお、プランテーション評価期間と同じ 5 年間全体の収支で評価をすると、年を経る毎に収益性が向上することがわかる。

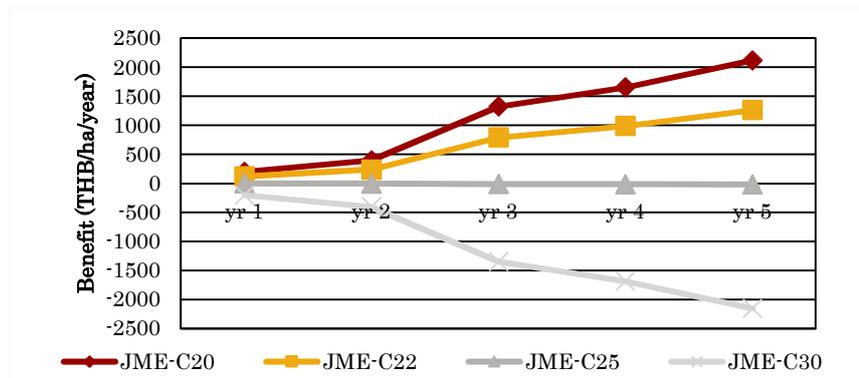


図 17 原料コストの違いによる損益分岐分析

### 2.3 エネルギー分析評価

最後に、エネルギー収支面を NEB (Net Energy Balance) および NER (Net Energy Ratio) にて対象はパームオイルとて評価した。結果を、Table 2-1 ならびに Fig. 2-7 に示す。

表 5 JME と PME との NEB ならびに NER の比較

	Jatropha	Palm oil*
<b>Input Energy MJ/kg-JME or PME</b>	21.67	25.48
Cultivation	9.05	7.44
Jatropha crude oil production	1.22	2.31
Biodiesel Production	11.41	15.73
<b>Output Energy MJ/kg-JME or PME</b>	135.04	56.3
Jatropha based biodiesel	37.30	38.07
Glycerol	3.25	3.42
By product(seed cake and husk)	94.49	14.81
<b>Net Energy Ratio</b>		
Only biodiesel	1.72	1.49
Utilization of all products	6.23	2.21

\* Citation of Energy input and output of Oil Palm biodiesel production is from Pleanjai et al. (2009)

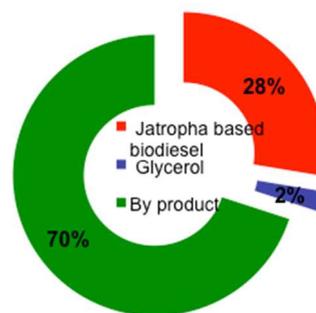


図 18 ジャトロファ算出エネルギーの内訳

分析評価結果より、NER においてはジャトロファ由来の BDF のほうがパーム由来の BDF よりも良好な結果となると共に、残渣物・副生物なども有効利用した場合には、さらにジャトロファ利用のほうがエネルギー収支比面で向上することが示された。

### ⑤ 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

BDF 製造用のパイロットプラント(1ton/day)及び BDF から H-FAME を製造するパイロットプラントが JICA 供与機材としてタイ政府に引き渡された(引き渡し式典:平成 23 年 5 月 19 日、於:タイ科学技術研究院、図 19)。同時に、BDF 製造用同プラントの運転指導、また、BDF の高品質化用の部分水素化触媒技術について技術移転を行なった。



図 19 JICA 機材のタイ政府への引き渡し式典 (於:タイ TISTR)

当該パイロットプラントはタイ洪水により被害を受けたが、パイロットプラントの被害状況確認調査、その後の復旧工事等に産総研研究者が立ち会うと共に、運転性能の回復を確認した(2012 年 5 月)。また、ジェットロファオイル中のリン脂質分を低減するための脱ガム装置(供与機材、図 20)を TISTR 内に設置し、脱ガム技術の技術移転を行った。更に、実車試験に提供する高品質ジェットロファ BDF(約 600L の部分水素化 BDF)の製造技術及び製品 BDF の貯蔵の際の品質確保技術について技術指導を行った。併せて、製品 BDF 中からの易析出成分の除去法及びジェットロファ油及び BDF の品質管理指標としての分析法(過酸化価等)について技術移転を行った。



図 20 タイ科学技術研究院内に設置された脱ガム試験装置

BDF の工業規模製造で不可欠となる連続式製造技術については、本邦研究等を通して、小型流通式反応装置を用いた触媒の耐久性評価法について、技術移転を行った。

TISTR の BDF 製造パイロットプラントを用いたジェットロファ H-FAME 製造運転研究では、専門家派遣による現地での技術指導を通し、カウンターパート研究者・技術者のみで H-FAME が製造できるレベルに達することができた(H25 年度までに達成)。更に、パーム H-FAME の製造についても、専門家派遣による現地での技術指導を行い、運転条件の最適化法等の指導を行った。この結果、TISTR のパイロットプラントで、約 2,500L のパーム H-FAME の製造に成功するに至った。BDF の

品質向上に資する脱ガムの研究では、簡便で低コストで処理可能な脱ガム手法を開発し、本手法を TISTR 研修者らに指導した。又、BDF の詳細分析技術関連では、ガスクロマトグラフを用いたバイオディーゼル中に含まれる不純物(モノグリセリド、ステリルグリコシド)の測定法および、これら不純物の除去方法についても検討し、除去手法も合わせて指導した。一方、H-FAME 技術関連では、2 名の研修生を受け入れ、バイオディーゼル中の不純物除去手法、固定床流通式反応装置を用いた流通実験手法、各種物性測定手法、触媒の調製方法等を指導した。更に、タイ側研究者にバイオオイルのアップグレーディング用担持硫化物触媒について、ガス吸着法による活性点評価法について指導するとともに、バイオオイルのカラム分離による成分の詳細分析法について指導を行った。

LCA 等による評価技術についても、当該事業等を通じ、タイ国 LCA 技術の向上に努めており、専門家派遣、タイ国若手研究者招聘、日本への留学などを通じ、評価方法・データの選択等について技術移転を行うことができた。特に当該事業では NSRDA・MTEC の LCA 研究チームと協働で、入口戦略を中心に、タイ国内での非食糧系 BDF 製造プロセスの LCA 等による評価・検討を行うことができ、ASEAN 地域での先進的な LCA 実施環境がタイ国で整備されつつある。事実、タイ国 NSTDA の LCA 研究チームは人的資源を含め強化されつつあり、バイオエネルギーにとどまらず低炭素社会に向けた研究活動を積極的に開始している。このため、LCA の技術移転は当該事業の最も大きな成果の一つと考えられる。

⑥ 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

ジャトロファ H-FAME を用いたタイ国内での実車走行試験用の燃料製造に引き続き、パーム H-FAME を用いたタイ国内での実車走行試験用の燃料を製造した。この間、H-FAME 製造にはバッチ反応方式を用いてきたが、H-FAME 技術の実用化には流通式(連続式)反応方式の利用が不可欠となるため、流通式反応方式への展開も併せて検討してきた。この結果、FAME 中の微量成分(硫黄やステロールグリコシド類等)が触媒寿命に影響を及ぼすことが明らかとなり、反応器内に供給する水素ガス中に微量酸素ガスを極微量共存させる方法や水素化触媒層の前部にガード層を設ける方法の採用により触媒劣化抑制が可能となった。これらの知見は、TISTR の H-FAME デモンストレーションプラントを更にスケールアップし、デモンストレーションプラント規模の実証事業(流通式 H-FAME 製造技術の利用)への移行をスムーズにするものと期待される。

(3) 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

① 研究題目 2 の研究のねらい

(JICA 活動計画:No. 6-1, 6-2)

ジャトロファ残渣の急速熱分解によるバイオオイル製造技術、並びにジャトロファ残渣の触媒存在下の急速熱分解によるバイオオイル製造技術を開発するため、熱分解から得られるバイオオイルに比べ低酸素率で、しかも高収率でバイオオイルの製造が可能な触媒の探索を行う。

② 研究題目 2 の研究実施方法

H21 年度は、含酸素モデル化合物に対する各触媒の脱酸素能を調べると共に、ジャトロファ残渣の熱分解を行い、触媒の効果を調べる。熱分解は、いずれもラボスケールのパイロライザー付 GC-MS 及び石英製反応装置(パイロライザー)等により実施し、両者を比較検討することにより、有望触媒を探索する。H22 年度はパイロライザー付 GC-MS による生成物の同定や触媒の有無による比較を継続すると共に、ジャトロファ試料の粒子径等の形状の影響を熱重量分析により検討する。H23 年度は、これまでのゼオライト系(H-ZSM-5、USY など)に加えて、Beta ゼオライト系、シリカ系、炭素系などについてもパイロライザー付 GC-MS にて有効性を検討する。また、ゼオライト系触媒で問題とされる炭素質の生成をできるだけ抑えた触媒および反応条件探索を行うと共に、非ゼオライト系触媒の探索も同時に行う。更に、高品質化触媒に影響を及ぼすジャトロファバイオオイル中の窒素化合物の同定法について検討する。H24 年度は

パイロライザー付 GC-MS による結果と、石英または金属製流動層反応装置での結果との再現性向上を念頭に置き、実際に必要な条件や好適な触媒の明確化を行うとともに、小型流動層反応器を用いたジャトロファケーキの急速熱分解における液収率向上を目的とし、液体生成物凝縮部に設置した電気集塵器の有用性について検討する。また、タイ科学技術研究院 TISTR に急速熱分解パイロットプラントを設置し、試験運転を開始する。また、触媒と原料の反応方法を工夫した金属製熱分解反応器を試作し、これを用いて熱分解を行い、旧反応器との比較を行う。また同時に金属修飾触媒の探索、触媒の再生効果の検討、得られたオイルの酸価評価などを併せて行う。

H25年度は、産総研で開発した電気集塵器をタイ国 TISTR に設置した急速熱分解パイロットプラント対応に改良（大型化）し、本電気集塵器を実際に設置・試運転を行う。また、循環型流動床での応用を想定し、金属製反応装置での触媒再生と再利用について、12員環で固体酸量も比較的多く炭素析出が起こりやすい Beta ゼオライトを中心として検討する。

H26年度は、タイ科学技術研究院（TISTR）に設置されたパイロットプラント規模の循環流動層型急速熱分解炉を用いたジャトロファ残渣からのバイオオイル製造を確実にし、バイオオイル回収率を高めるため、専門家派遣による技術指導を通し、当該装置の改造を行う。急速熱分解用触媒の探索と開発では、H26年度は、貴金属系より安価な非貴金属系を探索した。担体はこれまでの ZSM-5、Beta、USY を用いる。得られた非貴金属系の有望触媒を用いて、これまでの数倍規模での熱分解を行い、溶媒を使用しないで、ニートのバイオオイル（有機相）の収率、選択率と、特性評価を行い、循環型流動床などに適用できる触媒設計を目指す。また、触媒探索やバイオマス原料種の探索をより効率的に行うため、急速熱分解炉装備 GC/MS により触媒性能を簡易的に評価すると共に、バイオマス熱分解データベースを構築する（H27年度）。更に、電気集塵器では、パイロットプラントに設置された電気集塵器と同型（サイズは小型）の電気集塵器を製造し、TISTR で見られた問題点の対策法を検討する。バイオオイルの分離装置の設計と開発では、TISTR で製造されたバイオオイルを原料に、タイ科学技術開発庁（NSTDA）/金属材料研究所（MTEC）内に設置された分離装置で水溶性成分と非水溶性成分とに分離する（H26～H27年度）。

③ 研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

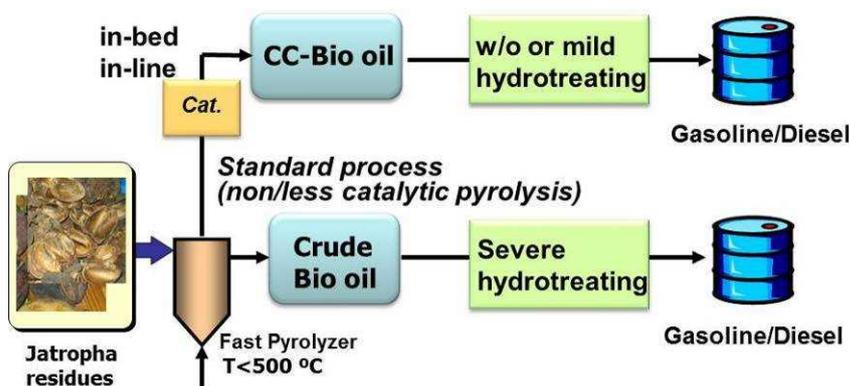


図 21 熱化学返還法によるバイオオイルの製造技術

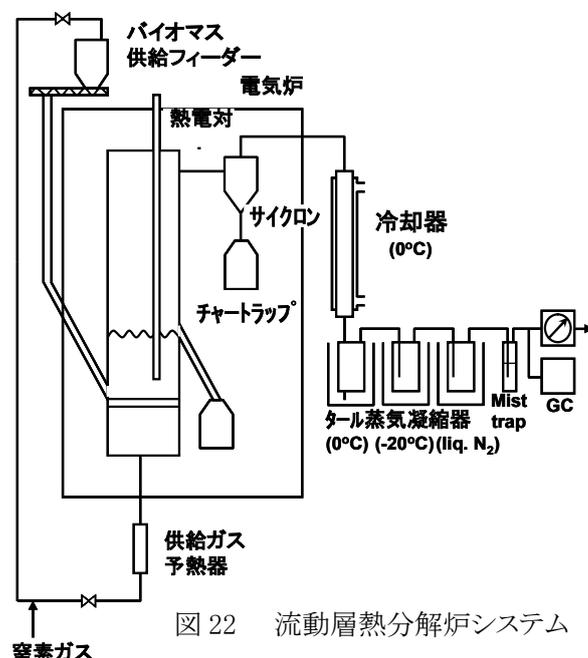
バイオオイルの製造では、タイ TISTR に設置した循環流動層型熱分解炉（バイオマス処理量～20kg/h）の設計や運転に資するために必要となる基盤データを産総研の小型熱分解装置を用いて取得した。触媒機能のない流動媒体を用いた熱分解炉から得られるバイオオイルを更に水素化精製触媒で改質して高品質化し、輸送用燃料品質までに仕上げることを標準プロセスとした（図 21 の下段のルート）。一方、固体酸機能を有する触媒の利用（流動媒体あ

るいはバイオオイル蒸気を更に触媒分解)では、オイル収量が少なくなるものの、オイル品質が高くなり、後続の水素化精製工程のマイルド化等が可能になると期待されるため、参照プロセスとして検討を行った。

ジャトロファ残渣を含むバイオマス原料の急速熱分解から得られるバイオオイルの組成を迅速に調べるために、パイロライザー付 GC-MS 装置を整備した。当該装置により、所定の急速熱分解条件下での芳香族分、フェノール分、アルコール/ケトン分、エーテル/アルデヒド分、酸/エステル分、アルカン/アルケン分などの生成挙動、また、触媒の有無による差を確認できた (JICA 活動計画 No. 6-1)。芳香環に結合した含酸素官能基を有する長いアルキル側鎖の切断、グアヤコール類の脱メキシは、熱分解温度の上昇とともに促進されることを確認した。このため、当該パイロライザー付 GC-MS 装置は、所定のバイオオイル成分を得るために可能性のあるバイオマス原料種のスクリーニングに極めて有効であることが分かった。

一方、当該パイロライザー付 GC-MS 装置は、接触熱分解用の触媒のスクリーニングにも極めて有用であり、特に、Beta ゼオライトを用いると脱酸素活性は USY ゼオライトに比べ低下するものの、炭素質の生成が大幅に向上し、最終的なバイオオイルの収率も大幅に向上することが見出された。更に反応系内に微量の水素を添加すると 10%まではバイオオイル収率の向上および炭素質生成の抑制効果が見られた (水素存在下の接触分解の有用性)。それ以上の水素添加では殆ど影響は見られなかった。非ゼオライト系触媒の探索を行ったところ、ゼオライト系触媒に比べ脱酸素活性が劣るものの、無機酸化物では  $\text{SiO}_2$  が脱酸素活性を示し、その中でも平均細孔径が 10nm の  $\text{SiO}_2$  が最も有用であることが分かった。シリカ担体では芳香族炭化水素の選択率は低く、フェノール類やカルボン酸類が主生成物であったが、脱酸素率の低減には有用であった。金属修飾活性炭担体でも、ゼオライト系に匹敵する芳香族炭化水素生成能を有することを見いだした。

循環流動層型熱分解反応装置の支援として、流動層型小型熱分解装置 (図 22, 23) を用いたバイオオイル製造の検討を行った。また、熱分解挙動の把握のために、石英反応管やステンレス反応管等の環状反応管を用いた検討も併せて行った。



当該熱分解装置では、バイオオイル蒸気の回収が十分でなかったが、バイオオイル凝縮部に電気集塵器を自製し、導入することにより回収率を大幅に向上できた (図 24)。従来使用していた冷却もしくは溶媒によるバイオオイルの凝縮に比べ、大幅に液収率が向上することを見出した (ジャトロファケーキ使用時: 約 50%、スギ粉使用時、約 65%)。

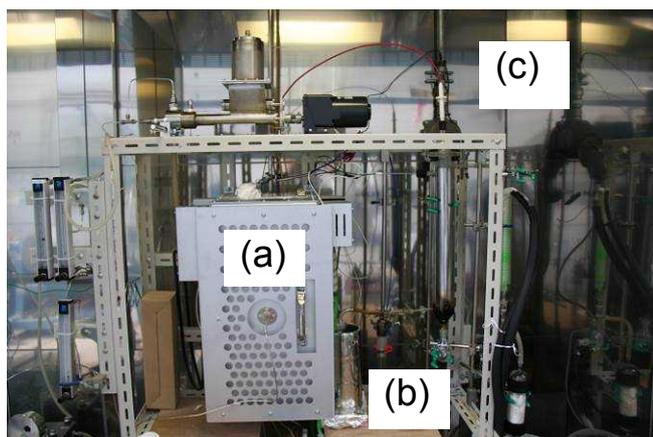


図 24 流動層型熱分解炉に取り付けられた電気集塵器  
 (a) 流動層型熱分解炉加熱用電気炉、(b) タール蒸気回収用冷却器、(c) タール蒸気回収用電気集塵器

カラムクロマトにより、ジャトロファ残渣バイオオイルの成分分離を行い、含有成分を同定した結果、主成分は油脂由来の遊離脂肪酸であった。これは、ジャトロファ残渣に約 30 質量%程度付着したジャトロファオイル（トリグリセリド）によるもので、無極性成分として炭素数 14 以下では直鎖末端オレフィン、炭素数 15 および 16 では直鎖パラフィンと直鎖末端オレフィン（ほぼ半量ずつ）、C17 以上では直鎖パラフィンが主成分で、シクロオレフィンも検出された。また、少量ではあるが、芳香族炭化水素として炭素数 4 以下の側鎖を持つアルキルベンゼン類、スチレン等のアルケニルベンゼンも含まれていた。含酸素化合物は、炭素数 3 以下の側鎖を持つアルキルフェノールが多く、メトキシフェノール類、カテコール類も含まれており、他にシクロペンテノン類、フラン化合物、イソソルビドが含まれていた。水素化触媒を被毒する窒素化合物は、ピリジン類、酸アミド、インドールが多く含まれていた。

電気集塵器の有用性が確認できたため、TISTR に設置した循環流動層型熱分解炉から製造されるバイオオイル蒸気を効率よく回収するために、電気集塵器の設計を行った(JICA 活動計画 No. 6-2)。(図 25)

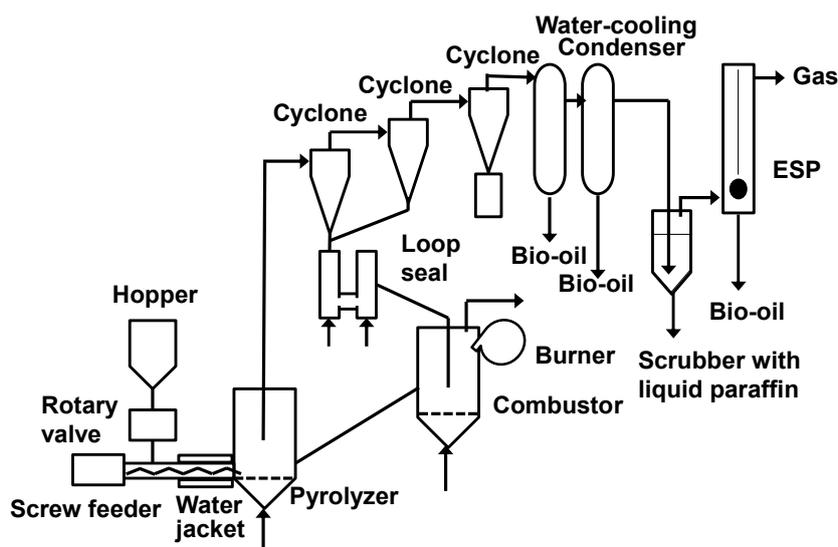


図 25 タイ TISTR に設置されたパイロットプラント規模の循環流動層型急速熱分解炉

触媒存在下の急速熱分解では、製造されるバイオオイルが接触分解を受け、脱メトキシ反応による低分子化、更には脱酸素反応によるバイオオイルの低酸素化（炭化

水素化や低酸価化等)が期待できる。非貴金属担持触媒について検討した結果、炭化水素選択率は、600°Cでは、USY(71.7%)>Beta(63.9%)>ZSM(60.1%)、500°Cでは、USY(51.7%)>ZSM(42.6%)>Beta(14.7%)となり、USYは、見かけの有機層収率は低めであるが、その分炭化水素選択率は高く、脱酸素は起こりやすいという傾向であった(JICA活動計画 No. 6-1)。このため、50g規模のジャトロファ残渣の熱分解を、非貴金属/USY触媒を用いて500°Cで行ったところ、有機層及び水層の収率はそれぞれ21.3%、28.6%となり、合計で49.9%の液体収率を得ることができた。生成有機層の評価として、酸価は、5-7mg-KOH/kgであり、無触媒で得られた有機層の28.2mg/kgより明らかに低かった。ただし、元素分析から計算した高位発熱量(HHV)は32-33MJ/kgであり、無触媒での値(32MJ/kg)と差はなく、密度も0.88-0.89g/cm<sup>3</sup>で、無触媒の場合(0.85g/cm<sup>3</sup>)より少し高い程度であった。非貴金属系触媒による熱分解では、触媒により担体の種類にかかわらず、カルボン酸量は低下するが、他のフェノールなどの含酸素化合物は残存し、熱量、比重も無触媒の場合と大差なく、また窒素や硫黄も除去されていない、などが明らかとなり、安価な非貴金属系触媒の限界を明らかにすることができた(JICA活動計画 No. 6-2)。

急速熱分解用の触媒候補として、タイ国内でも入手可能な安価なドロマイトに着目し、急速熱分解性能を検討した。ドロマイトは通常炭酸塩の状態であるが、800°C程度で焼成処理することで酸化物となり、急速熱分解に活性を示すことが分かった。しかし、ドロマイトのみではオレフィンが多く生成し、これらオレフィンに酸化安定性に乏しいことから、鉄系触媒をドロマイトと共存させることでオレフィン量を低減することが可能となった。これらを実際のバイオオイル製造に用いたところ、ドロマイトを用いると酸素分の低減だけでなく窒素分の低減にも有効であることが見出された。TISTRの循環流動層型熱分解パイロットプラントでは、流動媒体(熱媒体)として砂を用いたが、今後、成型ドロマイトを流動媒体として検討が期待される。

バイオオイルの分離装置の設計と開発では、TISTRで製造されたバイオオイルを原料に、タイ科学技術開発庁(NSTDA)/金属材料研究所(MTEC)内に設置された分離装置で水溶性成分と非水溶性成分とに分離する検討を行った(図26)。

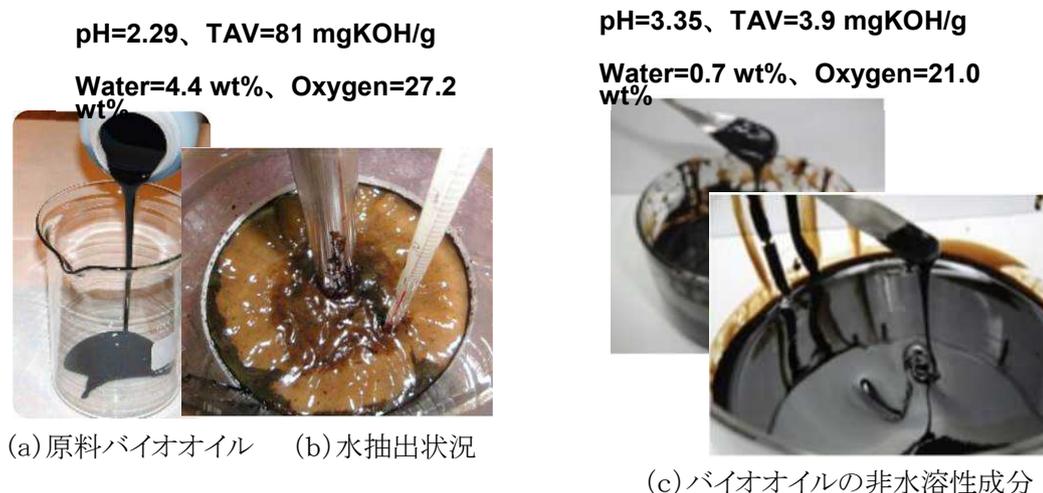


図 26 ジャトロファ残渣由来バイオオイルの水抽出及び非水溶性成分の性状

水抽出条件を最適化することにより、バイオオイル中の酢酸等の有機酸を水溶性成分に移行させることにより、バイオオイルの非水溶性成分の酸価を大幅に低減することが可能となった。しかし、バイオオイルの性状や水抽出の際の攪拌条件等により、エマルジョンが生成され、水溶性成分と非水溶性成分との分離が困難となる場合も見られたため、水抽出条件の最適化

が極めて重要である。パイロットプラントで捕集したバイオオイル粗油の水洗による精製の効果をより詳細に検証するために、ジャトロファ残渣バイオオイル粗油（コンデンサー 2 捕集分）、粗油を簡易水洗した試料および MTEC で水洗処理した油の成分比較を行った。簡易な水洗で、酢酸等の低級脂肪酸や水溶性の高い低分子化合物は除去可能であることがわかった。また、軽油として遊離脂肪酸由来の高級パラフィンを得る場合には水洗処理の影響は少ないが、ガソリン留分を得るために、フェノール類から芳香族炭化水素を得る場合には、水溶性の高いフェノール類が除去されない程度の処理にとどめる必要があることがわかった。

## ② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

ジャトロファ残渣の熱分解挙動の理解を深めるために、タイ側からの研究者の受け入れを継続して行い、パイロライザー付き GC-MS や熱天秤(TG)を用いた急速熱分解挙動の解析法、更に、小型流動層反応器(30g/h)を共同で運転し、実バイオオイルの取得、組成分析法等について指導した。更に、触媒存在下の熱分解特性の評価法や触媒の調製方法等について指導した。

また、大量のバイオオイルを製造するため、産総研で主設計を行った流動層型熱分解炉パイロットプラント(約 20kg/h 規模の供与機材)をタイ科学技術研究院に設置し、運転法やデータ取得法について技術指導を行った(図 27)。



図 27 タイ科学技術研究院内に設置されたバイオオイル製造用循環流動層型熱分解炉パイロットプラント(約 20kg/h 規模)

産総研で主設計を行った流動層型熱分解炉パイロットプラントは、木質系バイオマスを原料としたものであったため、油脂が付着したジャトロファ残渣に由来する問題、つまり、ジャトロファ残渣の供給時のスクリーフィーダー内のコーキング対応に追われた。最終的には、専門家派遣による技術指導により、スクリーフィーダー内のコーキング防止のための水冷ジャケットを設置することで解決された。更に、生成したバイオオイル蒸気の低凝縮回収率等の問題もあったが、専門家派遣による技術指導により、バイオオイル蒸気回収のためのパラフィンスクラバーの設置と凝結性の低いバイオオイル蒸気の回収のための電気集塵機を設置することで解決した(図 28)。

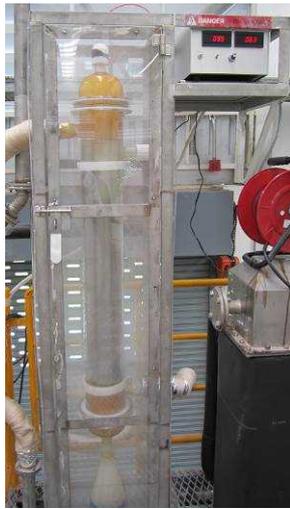


図 28 パイロットプラントに付設された電気集塵器



図 29 改良型電気集塵機によるバイオオイルの回収

一方、電気集塵器では、バイオオイルの凝集に伴いバイオオイルを介したスパーク現象が検討課題となってきたが、接地している SUS 管の長さおよび位置を最適化することによりスパークを抑制し安定に運転できることが分かり、バイオオイルの安定回収が可能となった(図 29)。

当該熱分解炉で製造された最新のバイオオイルの写真を図 30 に示す。図 25 中の第二段目のコンデンサー、パラフィンスクラバー、電気集塵器(ESP)で回収されたバイオオイルが約 9kg、第一コンデンサーで回収された木酢液を主とするバイオオイルが約 11kg である。H27 年度に、当初計画のバイオオイル量(約 400L)の製造に至った。



図 30 ジャトロファ残渣から製造されたバイオオイル(TISTR)

ジャトロファ残渣(水分:5.36-6.86%、揮発分:70.39-73.04、固定炭素:16.30-17.03%、灰分:5.10-5.72%、高位発熱量:4,782-5.053kcal/kg)から、重量ベースで約 45~50%のバイオオイルを安定に製造できた。

一方、急速熱分解用触媒の探索と開発では、MTEC から 2 名および TISTR から 1 名(主に鈴木グループで研修)の研修生を受け入れ、急速熱分解用触媒の探索方法、バイオオイルの分析手法、流動層型反応器の運転方法および電気集塵機の操作方法等を指導した。更に TISTR において JICA 専門家として実際に指導および装置の改良等を行った。触媒存

在下では、熱分解反応時に脱酸素反応が進行するため、バイオオイルの収量は触媒を使用しない場合に比べ減少するが、触媒存在下で得られるバイオオイルは低酸素・低酸性であり、後段の水素化脱酸素反応の負荷低減には有効であるため、現行の流動媒体である砂を、触媒機能を有する流動媒体に変えた展開が期待される。

⑦ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

当初計画では、TISTR に設置された循環流動層型熱分解炉を用いてジャトロファからバイオオイル（無触媒下の熱分解）を製造し（約 400L）、そのバイオオイルを MTEC の分離装置で分離し、得られる非水溶性成分をモンクット王工科大学ノースバンコク（KMTUNB）に送付すると共に産総研に空輸する計画であった。その後、産総研でバイオオイルの改質を行い、得られる改質油の JIS 適合性を確認した後、シャーシダイナモ試験を行い、バイオオイル由来燃料の自動車適合性を検証する予定であった。しかしながら、TISTR の循環流動層型熱分解炉の設置、試運転、更なる改造等の作業が、2011 年のタイ洪水の影響で遅れたため、H25 年度になってやっと約 10L レベルでの製造に至った。そして、H26 年度後半に、数十 L 規模でのバイオオイル製造が可能となり、H27 年度に至って目標量のバイオオイル製造が可能となった。この間、産総研職員の専門家派遣による技術指導のものに、TISTR のみでの循環流動層熱分解炉パイロットプラントの運転習熟やトラブルシューディング対応等、に十分な時間を割くことができたことは、TISTR 研究者の自立には極めて有効であった。

研究題目 3

バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術

① 研究題目 3 の研究のねらい

産業技術総合研究所グループ

(JICA 活動計画:No. 8-1, 8-2, 9-1)

バイオオイルの輸送用燃料化には含有酸素分の大幅低減が不可欠であるため、酸素分をバイオオイル原料の 1/3 程度（酸素分～10%程度）まで低減する軽度脱酸素技術、更に酸素分を 0.1%程度まで低減する深度脱酸素技術を開発し、両者の統合化により、現行の炭化水素系燃料相当の新燃料を製造できる技術を開発する。更に、バイオオイル経由の新燃料の LCA 評価を行う。

② 研究題目 3 の研究実施方法

H21 年度は、軽度脱酸素技術として、直接脱酸素型および水素化型の 2 通りの技術開発を開始する。原料として、木質系タールおよびグアイアコール（試薬）を用い、加圧水蒸気下、鉄系触媒による反応、並びに比較的低い水素圧（初圧 3MPa）下、NiMo 触媒による反応を行い、脱酸素機構の差異の検討を行う。更に、バイオオイルの深度脱酸素用のアップグレーディング触媒の探索を行なう。

H22 年度は、回分式反応装置を用い、水素非存在下におけるグアイアコールの脱酸素反応により、直接脱酸素型脱酸素触媒の検討を行なう。水素化型軽度脱酸素技術については、木質系タール（模擬バイオオイル）を原料とし、NiMo 触媒を用いた流通式連続運転を行なうとともに、得られた脱酸素油と石油留分との共処理を行う。

H23 年度は、金属触媒による脱酸素反応及びジャトロファバイオオイルに含まれる異なる含酸素化合物である脂肪酸とフェノール類の触媒種による脱酸素挙動について検討する。また、軽度脱酸素技術として有望である水素化型脱酸素技術について、スラリー床および固定床反応器による木質系タールの流通式脱酸素試験を行う。更に、軽度脱酸素油を既存の石油精製設備で共処理することを念頭にして、スラリー床脱酸素試験により得られた脱酸素油と重質石油留分との混合油を原料とし、固定床型流通式反応装置による連続水素化処理運転を行なう。

H24 年度は、軽度脱酸素技術において、非硫化物系シリカ担持コバルト触媒の有用性を検討するため、グアイアコール濃度の影響および繰り返し実験を行い、寿命評価を小型振

動式バッチオートクレーブにて検討する。深度脱酸素技術において、ジャトロファ残渣に多く含まれる窒素分の水素化脱酸素／脱硫及び脱酸素生成物分布に与える影響をモデル化合物で検討する。また、軽度脱酸素技術の温和化・低コスト化を目指して、スラリー床および固定床反応器による不安定酸素化合物の分解前処理 ( $H_2 < 2MPa$ ) を行うとともに、得られた前処理油の固定床型軽度脱酸素処理 ( $300\sim 330^\circ C, H_2 < 3MPa$ ) を行った。更に、軽度脱酸素技術の低コスト化を目指し、固定床流通式反応装置を用いて、温和な条件下 ( $H_2 3MPa, 250^\circ C$ ) での木質タールの安定化処理実験を連続して行う。スラリー床反応器による脱酸素処理では、反応後回収した触媒の再使用について検討する。

H25 年度は、ジャトロファ熱分解生成油 (バイオオイル) 中に含まれる含酸素化合物の脱酸素反応性、選択性について、石油系基材との共処理を行ったときの最適な触媒について検討を行う。ジャトロファ熱分解生成油と石油系基材のモデル混合物を用い、水素化脱酸素／水素化脱窒素／水素化脱硫反応により評価を行う。触媒としてコバルトモリブデン硫化物触媒を用い、脱窒素および脱硫活性に及ぼす担体種の効果について検討する。

また、固定床およびスラリー床流通式反応装置を用いて、木タールの脱酸素試験を行い、連続運転の長期安定性について検討する。スラリー床試験では、木タールにバニリンを 10% 添加した原料油の脱酸素実験、触媒とボトムを回収・リサイクル使用する実験も行う。さらに、得られた脱酸素油中の中質油と石油系直留軽油の混合油を原料油として、流通式固定床反応装置による共処理試験を行う。

H26-H27 年度は、バイオオイルのアップグレーディング用触媒技術の研究開発では、本年度はジャトロファ残渣の急速熱分解により得られたバイオオイルを軽油と混合した実油を用いて、担持硫化物触媒の調製、前処理条件の反応に及ぼす影響について検討する。触媒種としては、アルミナ担持 NiMo、NiMoP、CoMo、CoMoP 触媒を用い、モデルバイオオイルおよびモデル軽油を用い、水素化脱酸素 (HDO) 性能を評価する。NiMo/Al2O3 触媒と CoMo/Al2O3 触媒の活性の差異を検討するため、NO をプローブ分子とした in-situ IR 測定を行う。バイオオイルと石油留分の混合処理技術の研究開発では、バイオオイルの混合率が脱硫、脱窒素活性に及ぼす影響を検討するとともに、触媒を併用して急速熱分解を行った生成油の共処理を行うことにより、熱分解のみで得られたバイオオイルを用いた場合と比較して、生成油や水素化精製の反応性に及ぼす影響を検討する。

バイオオイルの LCA 評価では、可能な限り実際のシステムに基づくインベントリデータが求められるものの、パイロットプラント及び商業規模での実プロセスが存在せず、また、稼働時に社会的に影響を受ける社会システムの変化も想定範囲を超えない。このため、H25 年度は、共通的なバックグラウンドのインベントリデータベースを利用して LCGHG に加えて、広範な環境カテゴリに影響度の高い項目を抽出し、今後の調査の方向、方法を検討する。H26 年度は、TISTR で製造されたバイオオイル経由で製造された新燃料の LCA 評価に関し、これまでに収集されてきたデータの質を吟味し、結果の信頼性に対する定量的な評価を行う。カウンターパートによる同検定への支援、情報提供を行う。

③ 研究題目 3 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

ジャトロファ残渣由来のバイオオイルを原料とし、水素化精製処理により輸送用燃料品質までアップグレードするプロセスを開発を目指したが、タイでのジャトロファ残渣由来のバイオオイルの大量製造が遅れたため、模擬バイオオイルとして木質タールを原料とした。この木質タールは、木質系バイオマスの緩速パイロリシスから得られたバイオオイルである。固定床反応装置による木質タールの脱酸素試験を長期間連続して行った結果、コーク生成による圧力上昇を避けることが困難であることから、固定床反応は熱的に不安定なバイオオイルの脱酸素処理には不適であると判断された (JICA 活動計画 No. 8-1)。一方、スラリー床反応装置による脱酸素試験 ( $H_2 5\sim 7MPa$ 、

400°C、反応時間 2h、廃 NiMo 触媒 1wt%) では、グアイアコール転化率 90%以上、連続 2 週間の運転が可能であった(図 35)。10%のバニリンを添加した木質タールの脱酸素運転も順調であり、生成油中の触媒およびボトム(重質分, >360°C)を回収、リサイクル使用した実験においても安定的な連続運転が可能であり、得られた生成油の酸素含量は 10% (目標値) 程度であった(JICA 活動計画 No. 8-1)。得られた脱酸素油中の軽油(S; 50ppm, N; 1700ppm, O; 9.9%)を石油系直留軽油(N; 40ppm, S; 9800ppm)と混合処理(350°C、5MPa, SV 1.25)した場合、石油系軽油(LGO)単独での生成油硫黄含量は 2~3ppm であったが、木質タール系軽油を 10%および 20%添加した場合、生成油硫黄含量はそれぞれ 7~9ppm、10~13ppm へと増加した。このことは、HDS 速度が 10%添加で 24%、20%添加で 34%低下したことに相当する。木質タール系軽油の窒素含量が 1700ppm と石油系(40ppm)に比べて著しく高いために、脱硫反応が大きく阻害されたものと考えられる。既存の直留軽油の脱硫装置にタール系軽油を高濃度で導入することが困難であることが分かったが、10%のバイオオイル混合であれば目標である S<10ppm の燃料油を製造可能であることが分かった(JICA 活動計画 No. 8-3)。このため、バイオオイルの改質法として、図 31 を基本プロセスとした。

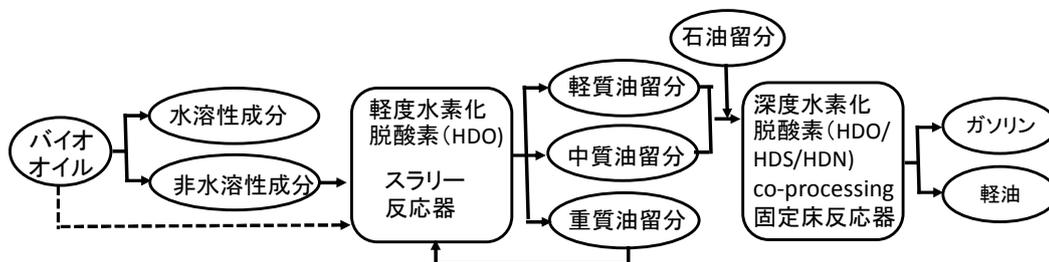


図 31 バイオオイル改質の標準プロセス

軽度水素化脱酸素処理では、生成バイオオイル中の酸素分は 10wt%程度を目標としたが、非水素存在下、USY ゼオライト等の直接脱酸素型の脱酸素触媒はコーク生成が多く不適であるのに対し、水素存在下で十分な水素化機能を有する NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系硫化物触媒が有用であった(JICA 活動計画 No. 8-1)。脱酸素深度を高める場合、反応条件によっては、NiMo 硫化物触媒と同様に、CoMo および NiW 系硫化物触媒も高い脱酸素率を示すが、芳香族残存率は CoMo が高かった(JICA 活動計画 No. 8-1)。脱酸素率の面では、シリカ担持コバルト触媒も高い活性を示し、高オクタン価基材である芳香族炭化水素選択性に優れていることが分かった。軽度水素化脱酸素されたバイオオイルは減圧蒸留され、軽質油留分(<240°C)、中質油留分(240°C-360)、重質油留分(>360°C)に蒸留分別した。

第二段目の石油留分との混合処理(Co-processing)用触媒としては、NiMo 系硫化物触媒及び CoMo 系硫化物触媒共に、高い脱硫性能と脱酸素性能を示した。しかし、ジャトロファ由来バイオオイルには、木質系バイオマス由来のバイオオイル以上に窒素分の濃度が高いため、混合処理により、脱硫性能が窒素化合物で阻害されることが分かった。一方、バイオオイルの酸価も触媒の脱硫性能や脱窒素性能に影響を及ぼすことが分かった。このため、バイオオイル中の窒素分が数百 ppm 以下の場合、バイオオイルの酸価を 8~10mgKOH/g 程度に低減し、その後、石油留分と 10wt%程度混合して、水素化精製する方法が有効であるのに対し、窒素分が数質量%含まれるバイオオイルでは、触媒に及ぼす窒素被毒の影響が大きく、数%の混合処理に留まることが分かった。窒素被毒の影響を抑えるため、吸着剤として活性白土またはシリカゲルを用いた結果、50%以上の窒素分の除去が可能となり、触媒の被毒軽減が可能であることがわかった。

ジャトロファ残渣バイオオイルの水素化精製反応挙動を理解するために、反応生成物をカラムクロマトにより成分分離を行い、含有成分を同定した。この結果、無極性成分の主成分はパラフィンで、特に油脂の熱分解物である遊離脂肪酸に由来する C15～C18 の直鎖パラフィンが多かった。イソパラフィンは、C17～C18 で特に多く、C18 不飽和脂肪酸から生じたものが多いと思われる。芳香族炭化水素として、直鎖アルキル基または分枝アルキル基を持つアルキルベンゼン類が検出された。さらに、インダンやテトラリンなどのナフテノベンゼン類、アルキルナフタレン等の多環化合物も見られた。含酸素化合物として、C3 以下のアルキルフェノールが見られた。水素化処理前に含まれていたカテコール、メトキシフェノール類は、脱酸素が進行し、生成油には含まれていなかった。他にケトン類ごく微量が検出された。一方、生成油には窒素化合物が多く、インドール類、アルキルピロール、ニトリル、アルキルアニリン、アルキルピリジン、テトラヒドロキノリンが検出された。芳香族含窒素化合物や酸アミドの脱水により生じたニトリルは、脱窒素が進行しにくいことがわかった。

タイ TISTR の循環流動層分解炉パイロットプラントで製造されるバイオオイルを図 36 に示すフローに基づき改質した結果を次に示す。タイ TISTR の循環流動層分解炉パイロットプラントで製造されるバイオオイルは、2 つの水冷コンデンサー (condenser 1 及び 2)、パラフィンスクラバー、電気集塵器 (ESP) で回収されているが、水冷コンデンサー (Condenser1) と ESP で回収されており、一部のバイオオイルの性状を表 6 に示す。比較のために、木質系バイオマスの緩速熱分解から得られた木質系タールの組成も併せて示す。

表 6 タイ TISTR の循環流動層分解炉パイロットプラントで製造されるバイオオイルの性状

	Woody bio-oil	Jatropha bio-oil (Condenser 1)	Jatropha bio-oil (ESP)
Elemental analysis (m.f.)			
C (wt%)	66.1	67.2	68.7
H (wt%)	6.5	7.2	8.7
N (wt%)	0.2	7.7	6.0
S (ppm)	50	808	765
O (wt%) (diff.)	27.3	17.9	16.6
Distillation properties			
Light distillates (<240°C) (wt%)	15	5	-
Middle distillates (240°C<T<360°C) (wt%)	44	17	-
Heavy distillates (>360°C) (wt%)	41	78	-
H <sub>2</sub> O (wt%)	4.4	22.7	3.2
Acid value (mg KOH/g)	87	1,080	84

ジャトロファ残渣の熱分解から得られるバイオオイルは、ジャトロファカーネル中のタンパク質に由来する窒素分が極めて高く、また、木質タールに比べてかなり重質分含有量が多い。水溶性の木酢液回収量に応じ、バイオオイル中の水分量やバイオオイルの酸価が大きく変動した。これらのバイオオイルを軽度水素化脱酸素して得られるバイオオイルの軽質油留分 (沸点<240°C) 及び中質油留分 (240°C<沸点<360°C) の組成を表 7 に示す。この軽度水素化脱酸素処理で、酸素分は約 10wt%程度まで削減でき、また併せて軽度水素化脱硫も可能であるが、水素化脱窒素活性が十分でなく、かなりの窒素化合物が残存した。

表 7 軽度な水素化不脱酸素処理から得られるバイオオイルの性状

Fraction of HDO products	Jatropha bio-oil (Condenser 2)	Mild HDO product	
		Light distillates, LD (T<240 °C)	Middle distillates, MD (240 °C<T<360°C)
Elemental analysis (m.f.)			
N (wt%)	3.0	1.80	1.76
S (ppm)	868	396	183
O (wt%)	23.2	11.5	9.2

Reaction condition: T=400 °C、Pressure= 7 MPa, H<sub>2</sub>/oil ratio = 1,800, WHSV = 1 h<sup>-1</sup>,  
Sulfided NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst

この軽度水素化不脱酸素処理から得られるバイオオイルは、後続の水素化精製処理（本事業では Co-processing 処理）で更に改質されるが、前述のとおり、水素化精製触媒が窒素化合物により被毒を受けるため、触媒に要求される性能（水素化脱硫/水素化脱酸素/水素化脱窒素）が十分に発揮されない。このバイオオイルの単味処理の課題を克服する方法として、石油系留分とバイオオイルを混合して処理する方法は有効である。窒素化合物の触媒への被毒の影響を緩和すると同時に、バイオオイルの酸価（反応装置の腐食等の要因）を低減可能である。

表 8 に、石油系軽質軽油（LGO）とジャトロファ残渣由来バイオオイルの混合油（バイオオイル混合率は 10%）を水素化処理した結果を示す。

表 8 ジャトロファ残渣由来バイオオイルの Co-processing 生成物の性状

Elemental analysis (m.f.)	Feed Jatropha bio-oil (B100)	Co-processed oil T= 370 °C P=7 Mpa	Co-processed oil T= 380 °C P=7 Mpa	Co-processed oil T=360 °C P=9 Mpa
	N (ppm)	2,450	6.8	5.0
S (ppm)	2,724	16.0	9.5	6.3
O (wt%)	1.80	<0.1	<0.1	< 0.1

Feedstock: 10 wt % of Jatropha bio-oil (codenser 2) blended with 90 wt% of petroleum light gas oil (LGO) (S = 2975 ppm, N = 38 ppm, acid value = 0.08 mgKOH/g)  
Reaction conditions: P=7-9 Mpa, T=360-380 °C, H<sub>2</sub>/oil ratio = 1,800, WHSV = 1 h<sup>-1</sup>, Sulfided NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst

NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒を用いれば、反応温度の高温化（T=380°C）や反応水素圧の高圧化（P=9MPa）により、S<10ppm、N<5ppm、酸素分<0.1wt%が達成できた。ただし、NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒を用いた場合、CoMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に比べてオクタン価がより低下するが、LGO 中の長鎖炭化水素及びジャトロファ残渣から得られる遊離脂肪酸由来の C16 や C18 の炭化水素の水素化分解による軽質炭化水素の生成を極力抑える条件下では、単環芳香族のナフテン化によるオクタン価低下であることが分かった。このことは、市販のレギュラーガソリンのオクタン価の実勢値が約 91 であり、Co-processing から得られるガソリン基材を 10% 混合する範囲内では、オクタン価規格の 89 以上を満たすことができることが分かった。現在、H27 年度実施予定のエンジン試験用改質燃料の大量製造に取り組んでいる。

#### < ジャトロファバイオオイルからの新燃料の LCA >

バイオオイル経由の新燃料に係る LCA 評価(JICA 活動計画 No. 10-1)では、LCA 実施には実データによる評価が不可欠であることが示唆されているが、システム設計に必要な知見が早い時期に求められている。バイオマスの利活用では LCGHG 評価が前面に出てきており、地球温暖化への影響が重要視されている。それに加え、粒子状物質 (PM) や酸性化合物の排出削減、化石燃料資源/鉱物資源消費量削減、などの効果が期待できる。いっぽ

う、バイオマス資源耕作段階での施肥に伴う富栄養化面では環境負荷増加、さらに土地利用改変による生態系への影響が懸念される。図 32 に LCA で一般的に評価対象となる環境カテゴリに対して影響を及ぼす原因を試算した結果を示す。地球温暖化へは投入されるエネルギー起因の排出が多い以外は、原料となるケーキの製造、すなわち、ジャトロファの耕作段階が影響していることがわかった。ジャトロファの耕作に、適正な施肥、灌水、防虫剤、除草剤の使用により、環境負荷削減が可能になる。その例として、生物起源の殺虫剤、肥料を使用した場合、電力をグリーン電力に変更した場合の環境負荷削減の可能性を図 33 に示す。適切な選択、条件の選択により、環境負荷削減の可能性が明らかになり、今後のシステムの中で、対応可能な条件を明らかにすることが必要になる。

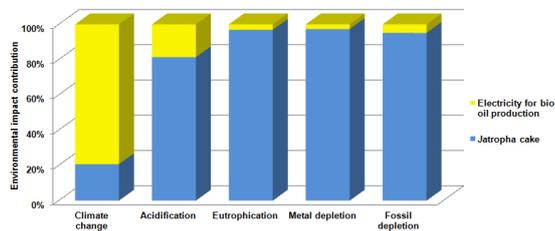


図 32 環境影響評価結果

黄色：投入エネルギー起源  
 青色：原料調達起源

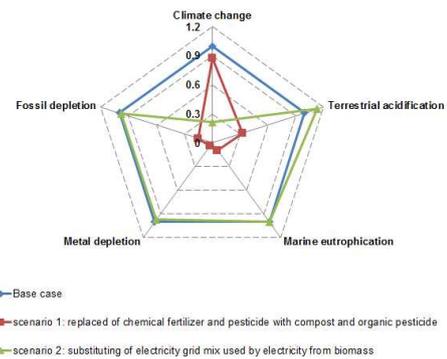


図 33 諸対策による環境影響評価の削減

青色：基準ケース  
 赤色：生物起源の肥料、殺虫剤を利用した  
 緑色：投入電力をバイオマス発電とした場

TISTR の循環流動層分解炉パイロットプラントのデータに基づき LCA 評価を行った。ジャトロ残渣は、パーム残渣やココナツ残渣に比べ、原料調達面では、GHG 排出量が 1/4~1/5 と少ないために、燃料利用面ではポテンシャルを有したバイオマス原料であるものの、TISTR でバイオオイル製造に用いている循環流動層型熱分解炉パイロットプラントは、熱源が主に電気であり、約 3.3kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-バイオオイルと極めて高いことが分かった。この値は、石油系ガソリンの製造 (0.3 kg CO<sub>2</sub>eq/L gasoline) の約 10 倍となる。ガソリンの WTW が約 2.7 kg CO<sub>2</sub>eq/L gasoline に近い値であり、やはり、電気ヒーターを利用しない自立型まで省エネ化する必要がある。TISTR で行ったヒートバランス計算では、理論的には自立化が可能との結果が得られた。このため、副生チャーや非凝縮性ガス等を上手に熱源に利用すれば、また、文献情報等を考慮すると、約 0.3kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-バイオオイルにまで低減できる可能性があり、今後、更なる省エネ型の熱分解反応炉開発への展開が必要であることが分かった。

一方、生成されたバイオオイルを改質し、自動車燃料品質までアップグレードする場合、文献情報を基にした試算では、GHG 排出量が、最低レベルでも約 9kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-バイオオイルと極めて高くなった。この GHG 排出量は、天然ガスの水蒸気改質による水素製造、またバイオオイル 100%を処理するスタンドアロンの精製設備利用を前提としている。しかし、現行の石油精製設備を用いた石油留分とバイオオイルの混合処理 (デフォルトは石油 100%の処理、ここにバイオオイルを 10%程度混合して処理)、更には現行の石油精製設備の余剰水素の利用等を想定すれば、GHG 排出量の更なる低減が可能になることが分かった。

＜未利用木質バイオマスの高効率エネルギー利用システムの環境性・経済性評価＞  
 ～バイオオイル化プラントの環境性・経済性評価～

1. アップドラフト式反応炉の概要

アップドラフト式反応炉の概要とエネルギー収支を図 3-1 に示す。従来の技術では、バイオオイルの収率は発熱量ベースで 5～7%であったが、反応炉の層高や流量を変化させることでバイオオイルの収率を発熱量ベースで 22%まで高める技術開発を行っている。これにより、投入エネルギーの約 80%が可燃ガスおよびバイオオイルとして回収することができる。

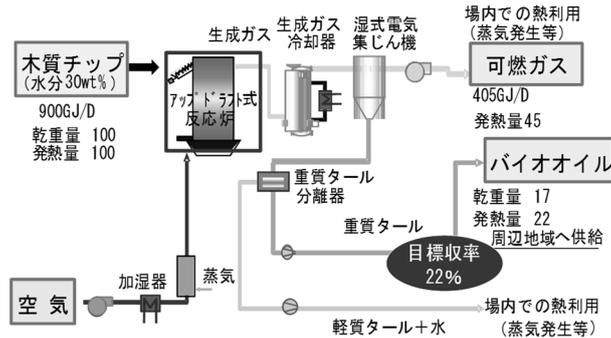


図 34 アップドラフト式バイオオイル製造システムの概要

2.環境性・経済性評価

前述のプラントにより生成されたバイオオイルは施設内利用と外部販売、可燃ガスは施設内での熱利用と発電利用の用途があり、それぞれの条件の組み合わせでの環境性・経済性評価を行うために、以下の CASE を設定した。

- CASE1：ガス発電利用＋バイオオイル外販
- CASE2：ガス発電利用＋バイオオイル利用
- CASE3：ガス熱利用＋バイオオイル外販
- CASE4：ガス熱利用＋バイオオイル利用

上記のシナリオでバイオオイルを A 重油により代替した場合の環境性・経済性の評価結果を図 3-2 に示す。これより、可燃ガスの利用方法としては施設内で熱利用する場合が効果的であることがわかる。また、生産したバイオオイルは施設内利用のコスト削減効果が高いことがわかる。総合的に、可燃ガスを施設内で熱利用し、バイオオイルを施設内で利用する CASE4 が環境面、経済面でも有効であることがわかる。

さらに、木質チップ原料価格を変動させた場合のコスト回収年数の試算を行った。木質チップの価格を 2000～4000 円に変化させた場合の結果を図 3-3 に示す。これより、コスト回収年数に関してはガス発電とバイオオイルを外販した CASE1 最も長く、原料価格が 2000～4000 円の範囲では、10 年以内にコストが回収できない。ただし、ガスを施設内で利用する場合は原料が 4000 円でも事業が成立することがわかる。

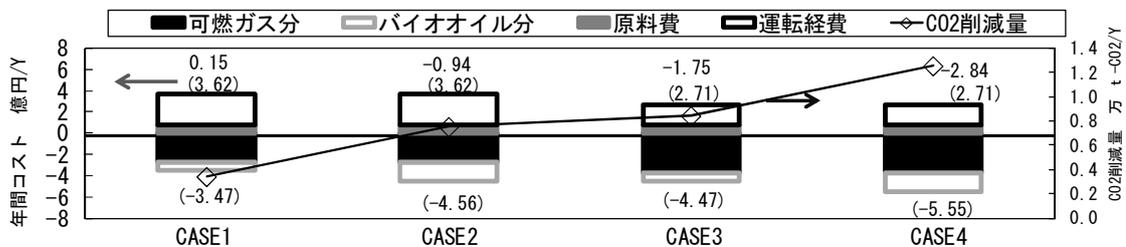


図 35 A 重油代替時のシミュレーション結果  
 (原料価格：4000 円/t, A 重油価格：75.8 円/L の場合)

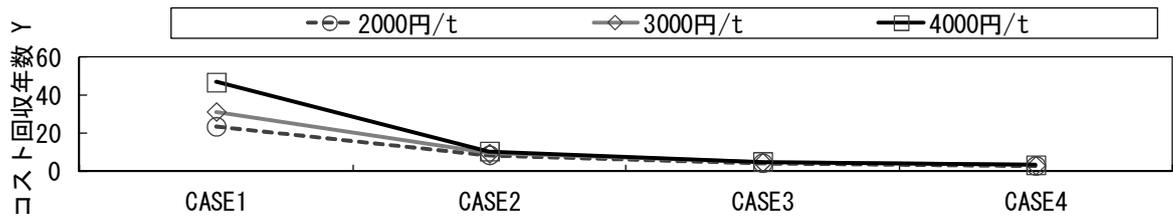


図 36 A 重油代替時における原料価格変動によるコスト回収年数の変化  
(A 重油価格：75.8 円/L の場合)

### 3. ジャトロファ栽培ならびに BDF 生産に伴う環境負荷

#### ・農法の違いによる温室効果ガスの排出量の比較

温室効果ガスの排出は、農業機械を稼働させる際に必要な化石燃料の消費と施肥で構成される。燃料消費と施肥による温室効果ガスの排出を表 4-1、表 4-2 に整理する。

表 9 燃料消費と施肥による温室効果ガス排出量

Emission	Emission factor (kg GHG/TJ)	Heating value (MJ/Liter)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Amount of diesel (L)		kg of GHG	
				GPF	CVF	GPF	CVF
CO <sub>2</sub>	741.00	36.42	850.4	126	66	340.38	178.45
CH <sub>4</sub>	4.15	36.42	850.4	126	66	0.02	0.01
N <sub>2</sub> O	28.6	36.42	850.4	126	66	0.13	0.07

表 10 施肥による N<sub>2</sub>O 排出

N-N <sub>2</sub> O chemical fertilizer	Amount of N-fertilizer		kg of N <sub>2</sub> O	
	GPF	CVF	GPF	CVF
N-input chemical fertilizer (kg)	204	197	3.21	3.09

20 年間のジャトロファ栽培において、全温室効果ガス排出量は従来型農法（以下、CVF）によるものよりも高能率農法（以下、GPF）のほうが 1 ha あたりの量としては多くなるが、これは施肥量の増加と灌漑の増加にともなう燃料消費量が多くなるからである。一方、GPF 高能率農法では収率が向上することから、ジャトロファ油 1kg あたりでみた温室効果ガスの排出量は、CVF のそれより小さくなるのが分かる。それぞれに農法の段階における温室効果ガス排出量の内訳を図 6-3-3 に示す。

#### ④ 研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

水素化脱酸素反応設備をタイ側に設置するにあたり、標準仕様を技術移転した。また、専門家派遣や本邦研修を遠し、研究進捗状況の相互理解を深めるとともに、触媒の硫化方法、活性試験法、生成油の分析方法などの技術指導を行なった。更に、脱酸素生成油の分析技術、触媒のスクリーニングに関して技術指導を行うとともに、本邦研修により、試作触媒による活性試験法、固定床流通式反応装置の操作方法及び活性試験法を指導した。本邦研修と専門家派遣を継続して行い、GC, GCMS を用いた脱酸素生成油の分析技術、転化率の測定法、触媒のスクリーニングに関して技術指導を行った。また、モンクット王工科大から 2 名の研究者を招聘し、大学で調製した CoMo 触媒について、固定床流通式および回分式反応装置を用いた脱酸素・脱硫活性の評価法、触媒の改良について技術指導を行った。

引き続き、日本側研究者 1 名がモンクット王工科大学ノースバンコク校を訪問し、GC, GCMS を用いた脱酸素生成油の分析技術、触媒のスクリーニングに関して技術指導を

行った。また、同校から2名の研究者を招聘し、CoMo 触媒の調製法について指導を行うとともに、固定床流通式および回分式反応装置を用いて、脱酸素・脱硫活性の評価による担体効果及び触媒の改良方法について技術指導を行った。また、NSTDA/MTEC からの研究者を受け入れ、広範な環境カテゴリに対する LCA 評価の実施、結果に対する感度分析、不確実性分析、適切なデータの選択の方法などについて、議論を重ねて問題点等を明らかにした。その知見をもとに、NSTDA/MTEC を中心としたタイ側関係者が、自ら LCA 評価を実施する資質を獲得し、向上することを図った。その結果、パラメータ、シナリオを種々、現地の状況に適合させて独自に変化させ、多くの結果を導いている(平成 25 年度)。

H26年度は、モンクット王工科大学ノースバンコク校から2名の研究者を招聘し、バイオオイルのアップグレーディング触媒の調製法や反応生成物の分析法等の指導を行った。また、TISTR から2名の研究者を招聘し、急速熱分解用の触媒技術、また急速熱分解炉を用いたバイオオイル製造技術に係る化学工学的な解析技術(マテリアル/ヒートバランス解析、負荷変動に対する応答解析等)について指導を行った。更に、NSTDA/MTEC からの研究者を受け入れ、TISTR の循環流動層熱分解パイロットプラントで製造されるバイオオイル及びバイオオイルを改質して得られる新燃料の LCA 評価について指導した。

⑤ 研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

当初計画では、TISTR に設置された循環流動層型熱分解炉を用いてジャトロファからバイオオイルを製造し(約 400L)、そのバイオオイルを MTEC の分離装置で分離し、得られる非水溶性成分入手し、その後、産総研でバイオオイルの改質実験を行う予定であった。産総研では、モデル化合物や木質タール(木質系バイオマスの緩速熱分解生成物、炭焼き工程での副生物)を行いて、水素化脱酸素触媒や石油留分との Co-processing 触媒を開発を行っており、これらの開発触媒を産総研製のバイオオイルに適用し、最終的に TISTR 性のバイオオイルに適用し、性能確認とともに更なる触媒改良を予定していたところである。しかし、TISTR でのバイオオイル製造が大幅に遅れ、大量製造は H26 年度後半から H27 年度中旬頃にやっと可能となったため、現在、シャーシダイナモ試験用の燃料を製造に向けて、改質研究を実施中である。

一方、TISTR 製ジャトロファ残渣由来のバイオオイルの組成としては、ジャトロファ残渣中のリグニン由来のバイオオイルが主成分と当初想定していたが、ジャトロファ種子の搾油時のオイル取り込みが多く、ジャトロファ残渣中のオイル分の割合が約 29 質量%であった。このため、バイオオイルは軽油留分の炭化水素原料となる脂肪酸類(約 53 質量%)とガソリン留分の炭化水素原料となるフェノール化合物類(約 9 質量%)となった。このフェノール化合物類の水素化脱酸素処理により、最終燃料中の酸素量<0.1wt%、硫黄分<10ppm、JIS 規格クリアするガソリン基材が得られた。一方、当初想定はしていなかったが、脂肪酸類の水素化脱酸素処理からは、主として C16 及び C18 等の直鎖炭化水素が得られ、軽油の混合基材として利用できることが分かった(トリグリセリドの水素化精製で得られる BHD (Bio Hydrofied Diesel と類似の成分)。つまり、ジャトロファ残渣の急速熱分解から得られるバイオオイルから、ガソリン用混合基材に加え、軽油基材も併せて製造できることが確認できた。

(5) 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: 4-1. 高品質 BDF の材料適合性評価**

「高品質 BDF の材料適合性評価」(JICA 活動計画 No. 5-1)

① 研究題目 4-1の研究のねらい

Task 1 で製造されるジャトロファ BDF の金属材料等への適合性として、HFRR 試験による潤滑性の評価や浸漬試験を行う。これらによって、特に燃料の酸価や酸価安定性が金属材料の摩耗や腐食に及ぼす影響を評価する。

② 研究題目 4-1の研究実施方法

H22 年度は、バイオディーゼル燃料の主要成分である、各種脂肪酸の潤滑性を整理し、脂肪酸組成ごとの潤滑性と極性の関連づけを検討する。

H23 年度は、タイ TISTR に設置および稼働を開始した、ジャトロファを原料とするバイオディーゼル燃料(ジャトロファメチルエステル、以下 JME)に関して、JME、部分水素化により酸化安定性を 10 時間以上確保した水素化ジャトロファメチルエステル(H-FAME、ここでは HJME と表記)、酸化防止剤により酸化安定性を 10 時間以上確保したもの(addJME)および HJME に酸化防止剤をさらに添加した燃料(addHJME)について、実際のディーゼル自動車燃料系に使用されているデバイス部材を使用した材料浸せき試験を実施し、デバイス部材の耐性を確認する。また、それぞれの燃料について、JIS2 号軽油への混合割合で 5%、10%、20%および 100%における潤滑性を HFRR(High Frequency Reciprocating Rig)により評価する。潤滑性評価では、いずれの燃料についても軽油に対し潤滑性を向上させる効果を持つかどうかを確認し、また、水素化や酸化防止剤の添加が潤滑性に影響を及ぼすかどうかを明らかにする。材料浸せき試験開始前と開始後の各種燃料の酸価劣化を確認するため、材料を浸漬せず、同一条件で長期放置した燃料の酸価劣化を分析する。デバイス部材の燃料浸せきによる影響は、銅についてはいずれも 1%未満の質量変化かどうかを確認する。また、燃料配管用ゴムホースについては、元来軽油と比較しバイオディーゼル燃料は膨潤性が高いが、水素化した燃料の方が水素化しない燃料と比較し、膨潤性が改善されるかどうかを確認する。

H24 年度は、H23 年度に取得した材料浸せき試験データの更なる解析を実施する。

#### ③ 研究題目 4-1の当初の計画(全体計画)に対する成果目標の達成状況とインパクト

各種脂肪酸および脂肪酸メチルエステルの試薬を用い、単一成分の潤滑性および試薬脂肪酸メチルエステルを配合した代表的なバイオディーゼル燃料サンプルの潤滑性を整理した。これにより、サンプルの極性の強さの指標として溶解度パラメータ(SP 値)を採用することで、脂肪酸メチルエステルに関しては SP 値と潤滑性の間に相関があることを確認できた。更に、タイ TISTR に設置および稼働を開始した、ジャトロファを原料とするバイオディーゼル燃料(ジャトロファメチルエステル、以下 JME)に関して、JME、部分水素化により酸化安定性を 10 時間以上確保した水素化ジャトロファメチルエステル(HJME)、酸化防止剤により酸化安定性を 10 時間以上確保したもの(addJME)および HJME に酸化防止剤をさらに添加した燃料(addHJME)について、実際のディーゼル自動車燃料系に使用されているデバイス部材を使用した材料浸せき試験を実施し、デバイス部材の耐性を確認した。また、それぞれの燃料について、JIS2 号軽油への混合割合で 5%、10%、20%および 100%における潤滑性を HFRR(High Frequency Reciprocating Rig)により評価した。潤滑性評価では、いずれの燃料についても軽油に対し潤滑性を向上させる効果を持つことが確認された、また、水素化や酸化防止剤の添加が潤滑性に影響を及ぼさないことが明らかになった。材料浸せき試験開始前と開始後の各種燃料の酸化劣化を確認するため、材料を浸漬せず、同一条件で長期放置した燃料の酸化劣化を分析したところ、浸せき試験開始前に酸化安定性 10 時間以上であった HJME および addJME いずれも、浸せき試験後の酸化安定性は 10 時間を大きく下回った。なお、このとき addHJME は浸せき試験後も酸化安定性 10 時間以上を維持した。デバイス部材の燃料浸せきによる影響は、銅についてはいずれも 1%未満の質量変化で、およそ問題ないと考えられた。また、燃料配管用ゴムホースについては、元来軽油と比較しバイオディーゼル燃料は膨潤性が高いが、水素化した燃料の方が水素化しない燃料と比較し、若干膨潤性が小さく抑えられていることが確認できた。

以上、ジャトロファ H-FAME の材料適合性はジャトロファ FAME と同等であり、材料適合性の大きな改善は見られなかった。

#### ④ 研究題目 4-1のカウンターパートへの技術移転の状況

浸せき試験等については、JICA 研修生として受け入れた Mr. Kiatkong SUWANNAKIJ と共に、産総研の実験設備にて実施したものであり、関連技術(ノウハウ等)に関して技術移転できた。同様の浸せき試験等は、NSTDA/MTEC で継続して利用されている。

### **研究題目：4-1：新燃料の材料適合性評価**

「バイオオイル経由で製造された新燃料(混合処理油を含む)の材料適合性評価」 (JICA 活動計画 No. 11-1)

#### ① 研究題目4-1の研究のねらい

Task 2で製造されるジャトロファ残渣由来のバイオオイルを更に精製して得られる新燃料の金属材料等への適合性評価として、金属材料やゴム材料の浸漬試験を行う。これらによって、新燃料が金属材料等の腐食に及ぼす影響を評価する。本研究は、H25年度から開始したものである。

#### ① 研究題目4-1の研究実施方法

H25年度は、当該事業で得られた木質系等バイオオイル由来の燃料等合計7種について、アルミ板、バイトンゴム片を浸漬したサンプルを、それぞれインキューベーター中で80℃のもと1.5か月間に亘り貯蔵し、この間、一定の期間ごとに基材への影響を表面形状及び重量変動をチェックする。基材を接触させることによる燃料への影響を、水分値、酸価、密度、酸化安定度等の分析項目から追跡し、基材を浸漬しない場合との比較を行う。また、ランシマツ法やPetroOXY法による酸化安定度試験を行い、JIS等で公表されている規格値と比較評価する。

H26年度、TISTRの循環流動層型熱分解炉で製造し、その後、産総研で改質処理して得られた新燃料について金属材料やゴム材料の浸漬試験を行う。具体的には、アルミ板、バイトンゴム片を浸漬したサンプルを、それぞれインキューベーター中で80℃のもと1.5か月間に亘り貯蔵し、この間、一定の期間ごとに基材への影響を表面形状及び重量変動をチェックする。基材を接触させることによる燃料への影響を、水分値、酸価、密度、酸化安定度等の分析項目から追跡し、基材を浸漬しない場合との比較を行う。

#### ② 研究題目4-1の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

バイオオイル経由で製造された新燃料(混合処理油を含む)の材料適合性評価は本年度から開始したものであるが、当該事業で購入した木質系等バイオオイル由来の燃料等を用いて、材料適合性評価を行った。供試燃料は7種類(表9)で、サンプル1は模擬バイオオイルである木質タール、サンプル2は本木質タールを軽度に水素化した生成油、サンプル3は軽度に水素化した木質タールを蒸留して得られた中質油留分である。サンプル4はこの中質留分を石油系軽質軽油と混合処理して得られた生成油を蒸留して得られた中質油、サンプル5は混合処理して得られた生成油を蒸留して得られた軽質軽油留分である。一方、サンプル6は、ジャトロファ残渣(残留トリグリセリドや遊離脂肪酸を含まない)の急速熱分解から得られるバイオオイルの構成成分を基に調合したモデル油、サンプル7は、ジャトロファ残渣(残留トリグリセリドや遊離脂肪酸を含まない)をゼオライト触媒存在下に急速熱分解して得られるバイオオイルの構成成分を基に調合したモデル油である。本評価試験では、アルミ板、バイトンゴム片を浸漬したサンプルを、それぞれインキューベーター中で80℃のもと1.5か月間に亘り貯蔵した。この間、一定の期間ごとに基材への影響を表面形状及び重量変動をチ

表 11 材料適合性評価に用いたバイオオイル及び改質燃料

サンプル油	1	2	3	4	5	6	7
原料及び製造方法	木質タール (WT)	軽度水素化木質タール* (HWT)	軽度水素化木質タール*中質油留分 (HWT-MD)	混合処理油**中質油留分 (CO-MD)	混合処理油**軽質軽油留分 (CO-LGO)	モデルバイオオイル*** (無触媒下の急速熱分解)	モデルバイオオイル**** (接触急速熱分解)
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.0622	0.9792	0.9921	0.8267	0.8235	1.0192	0.9183
水分 (質量%)	5.060	1.795	0.145	0.005	0.004	0.430	0.169
酸素分 (質量%)	27.2	10.5	9.9	<0.99	<0.99	-	-
酸価 (mgKOH/g)	97.9	26.6	5.7	n/d	n/d	92.2	8.2
酸化安定性 PetroOXY (min)	21.9	22.3	29.6	365.2	645.7	53.2	628.7

Note: n/d=not detectable

\* 軽度水素化条件: T=400℃、P=7MPa、触媒=使用済みの硫化NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒

\*\* 混合処理(コプロセッシング)条件: T=350℃、P=5MPa、触媒=硫化NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒、混合処理原料=10wt%HWT-MD/90wt%石油系LGO

\*\*\* 油組成: Benzene (4.55 vol%), Toluene (31.82 vol%), 2-Methoxy-4-propylphenol (11.36 vol%), 2-Ethylphenol (2.27 vol%), Guaiacol (22.73 vol%), t-Butylphenol (4.55 vol%), Furfural (9.09 vol%), Acetic acid (6.82 vol%), Hexadecanoic acid (2.27 vol%), Indol (2.27 vol%), N-methylpiperidine (2.27 vol%)

PetroOXY 法による酸化安定度試験を行い、JIS 等で公表されている規格値と比較評価した。この結果、高温貯蔵による結果は燃料種及び基材に依存していた。燃料サンプルの酸価や水分値と基材の特性変化との相関が確認できた。バイオオイルを単味で軽度に水素化処理した後、生成油中の中質油留分を更に石油系軽質軽油と混合処理し、次いで蒸留分離することにより、酸価がほぼゼロで酸化安定性や材料適合性の高いバイオオイル混合油を製造可能であることが分かった。

一方、TISTR 製造バイオオイル、及びバイオオイルの改質油(単味処理)の性状を表22に示す。軽度改質バイオオイル全留分の酸素濃度は依然として高いが、軽質留分(<240℃)及び中質油留分(240℃<T<360℃)留分の酸素濃度は低い。一方、これらの軽度改質留分を更に深度水素化脱酸素した場合の改質油の性状は、低酸素、低硫黄の炭化水素系燃料に近く、材料適合性も全く問題がないと推察される。

### ③ 研究題目 4-1 のカウンターパートへの技術移転の状況

H25、JICA 研修生として受け入れた Dr. YatikaSOMRANG と共に、産総研の実験設備にて実施したものであり、関連技術(ノウハウ)に関して技術移転できた。バイオオイル由来新燃料の材料適合性を評価するための金属材料浸漬試験方法については、疑似バイオオイル(木質タール)由来の改質燃料に対して行った評価法と同様である。しかし、TISTR 製のバイオオイル製造が大幅に遅れたため、その後のバイオオイルを改質して得られる新燃料の確保が十分でなく、この新燃料を用いた評価試験は予備実験にとどまり、十分な試験を実施できなかった。

### 研究題目: 4-2: 新燃料の燃焼特性評価

「BDF の燃焼特性評価」

(JICA 活動計画 No. 5-1)

① 研究題目 4-2 の研究のねらい

ジャトロファ BDF (B100) 並びにジャトロファ BDF と軽油との混合油 (Bx) を用いたエンジン特性評価及び排出ガス特性評価を行う。具体的にはエンジンテストベンチにより、日本の JE05 モードを過渡モードの代表として使用し、出力や燃費および排気性能を評価する。

② 研究題目 4-2 の研究実施方法

H23年度は、タイTISTRのパイロットプラントにて製造されたジャトロファメチルエステル (JME) に関して、JME、部分水素化により酸化安定性を10時間以上確保した水素化ジャトロファメチルエステル (HJME)、およびHJMEに酸化防止剤をさらに添加した燃料 (addHJME) について、小型トラック用ディーゼルエンジン (2002年排出ガス規制対応エンジン) での排出ガス性能比較を実施する。H23年度は燃料の制約もあり、部分負荷試験のみの実施とする。

H24年度は、ディーゼル燃料噴霧火炎発達過程のシミュレーション技術指導を実施する。燃料噴霧火炎発達過程のシミュレーション技術指導では、単孔ノズルによる単発噴霧のシミュレーションを実施する。

H25年度は、タイ国内で実車試験に用いたジャトロファH-FAMEを原料とて、B10燃料を製造し、小型トラック用ディーゼルエンジン (2002年排出ガス規制対応エンジン) での排出ガス性能比較を実施する。

③ 研究題目 4-2 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

ジャトロファ FAME (図 37 中では JME) 及びジャトロファ H-FAME を用いた過渡モードによる燃料性能評価の結果、軽油と比較して、いずれのジャトロファ燃料も NOx は微増し Smoke は大きく低減するというバイオディーゼル燃料の持つ一般特性を示し、NOx (窒素酸化物) と Smoke (吐煙濃度) については燃料間の際は見られなかった。THC (全炭化水素) および CO (一酸化炭素) についても軽油よりも低減する一般的に持つ傾向を示したが、部分水素化した HJME および addHJME (HJME に更に抗酸化剤を添加したもの) については、低負荷運転時に CO 排出量が若干低減する傾向が見られた。

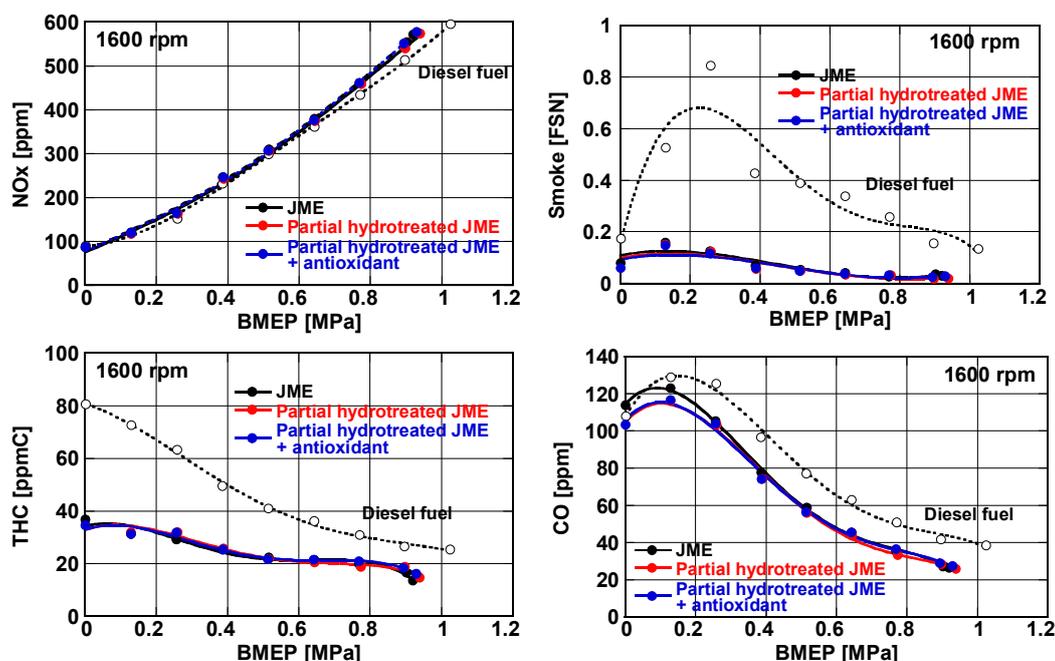


図 37 過渡モードによる燃料性状評価

また、タイ国内で実車試験に用いたジャトロファH-FAMEを原料として、B10燃料を製造し、小型トラック用ディーゼルエンジン(2002年排出ガス規制対応エンジン)での排出ガス性能を比較したが、軽油(B0)とB10燃料との差異はわずかであり、SmokeとTHCが若干低下するものの、NO<sub>x</sub>及びCOは殆ど低下が見られなかった。タイ国内で実施した実車試験(EUROIII排出ガス仕様)でも、石油系軽油とジャトロファH-FAMEを10vol%混合した混合燃料では、排出ガス特性にはほとんど違いが見られず、産総研での排出ガス特性データとの類似性が見られた。言い換えれば、ジャトロファH-FAMEを軽油に10vol%混合する場合、EUROIII以上の排出ガス仕様のエンジンであれば、その排ガス特性は軽油(B0)とほぼ同様であることが確認された。

④ 研究題目 4-2 のカウンターパートへの技術移転の状況

H23 年度にジャトロファ H-FAME 燃料 (B100) を用いたエンジン試験を実施し、H25 年度にタイの実車試験に用いられたジャトロファ H-FAME を用いた B10 燃料を用いたエンジン試験を実施したが、エンジン試験方法や排出ガス測定法等について、カウンターパートの NSTDA/MTEC と情報を共有した。

**研究題目： 4-2： 新燃料の燃焼特性評価**

「バイオオイル経由で製造された新燃料(混合処理油を含む)の燃焼特性評価」

(JICA 活動計画 No. 11-2)

① 研究題目 4-2 の研究のねらい

Task 2 で製造されるジャトロファ残渣由来のバイオオイルを更に精製して得られる新燃料と軽油等との混合油(Bx)を用いたエンジン特性評価及び排出ガス特性評価を行う。具体的にはエンジンテストベンチにより、出力や燃費および排気性能を評価する。

② 研究題目4-2の研究実施方法

Task 2で製造されるジャトロファ残渣由来のバイオオイルを更に精製して得られる新燃料基材としては、ジャトロファ残渣中のリグニン由来のバイオオイルから得られるガソリン基材、及び残渣中の残留トリグリセリドや遊離脂肪酸由来のバイオオイルから得られる軽油基材等がある。各基材の蒸留操作による沸点調整やJIS規格(ガソリンや軽油)への適合性調整を行うことによりバイオオイル由来のガソリン及び軽油を製造し、次いで石油系のレギュラーガソリンや軽油に混合し、その混合油(Bx、最大混合率=10vol%)を用いたエンジン特性評価及び排出ガス特性評価を行う。

③ 研究題目 4-2 の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

バイオオイル経由で製造された新燃料(混合処理油を含む)の燃焼特性評価はH26年度から開始したものであるが、TISTRでのバイオオイル製造が大幅に遅延したため(タイ洪水による循環流動層型熱分解パイロットプラントの設置・運転研究の遅延)、エンジン試験は実施できなかった。TISTRでのバイオオイルの大量製造はH27年度の前半に可能となったため、TISTRから入手したバイオオイルを産総研で改質中であり、改質油によるシャーシダイナモ試験をH27年度中に実施予定である。

④ 研究題目 4-2 のカウンターパートへの技術移転の状況

TISTR 製バイオオイルを改質では、ジャトロファ残渣中のリグニン由来のガソリン基材とジャトロファオイル由来の軽油基材が得られる。このため、前者の基材は石油系レギュラーガソリンに10vol%混合したB10ガソリン、後者の基材は石油系軽油に10vol%混合したB10軽油としての利用を想定しており、当該事業では、B10ガソリンについてはシャーシダイナモ試験を実施予定である。B10ガソリンのエンジン評価技術は、シャーシダイナモ試験を実施時にタイ側カウンターパートに技術指導予定である。

4-3 研究活動：新燃料のエンジン特性評価

### ① 研究のねらい

地球温暖化や燃料枯渇の問題が深刻化しており、バイオディーゼル (BDF) はディーゼルエンジンの代替燃料として実用可能であり、CO<sub>2</sub>排出量の抑制対策として、有効とされている。本研究においてはジャトロファから作られた BDF 燃料は軽油の代替燃料として、実用化されることを想定して、ディーゼルエンジンの燃料特性と排出ガスの特性に及ぼす影響を実験により調査し、さらに、シミュレーションモデルによってそれらの特性を解明し、排出ガス対策を考慮して BDF を有効利用するための具体的なエンジン制御の指針を得ることを目的とする。

### ② 研究実施方法

BDF の実用化に当たって量産化されたエンジンにおけるの研究が必要とされている。また、BDF の使用により、Soot の排出量だけではなく、排出された粒子の数およびサイズも重要であるため、それに対する研究が重要である。そして、多量 Cooled EGR の応用、多段噴射、高圧噴射および PCCI 燃焼などのディーゼル燃焼改善技術は BDF への応用の可能性が検討する必要がある。また、BDF の素反応の構築が検討し、CFD コードへの導入も必要である。それを用いて、BDF の燃焼特性および排出ガス特性の解析を行う必要がある。したがって、本研究においては、BDF の実用化を想定し、実験的に、市販車用の量産型ディーゼルエンジンを対象に、パイロット噴射、高圧噴射、EGR および PCCI 燃焼における燃焼・排出ガス特性に及ぼす影響を調査し、エンジンの実走行に当たって最適条件を検討する。また、0 次元での BDF の燃焼反応モデルを用いて、その反応特性が燃焼および排出ガスに与える影響を解明し、実験に得られた最適条件の本質を明らかにする。さらに、3 次元 CFD コードにて、BDF の噴霧・燃焼・排出ガスモデルを検証し、BDF の混合およびエンジン運転の最適条件を算出する。

### ③ 得られた成果とインパクト

本研究では、図 38 に示すような量産型の総排気量 2.2 L、ターボインタークーラー付き乗用車用ディーゼルエンジン(i-CTDi N22A2)を用いて、全体の実験設備を構築した。欧州及び米国の排出ガス認証モード (NEDC、US06) において使用頻度が高い重要な評価ポイントとして、トルク一定法で定常エンジンベンチ試験を実施した。また、本研究の対象とするジャトロファから作られた非食糧系バイオディーゼル (JME) と通常の軽油と性状分析を行って両者を比較し、燃料の特性について解明した。さらに、高温高圧場を再現する定容容器を用いて、燃料の噴霧観察を行った。次に、燃焼室内で想定される JME 混合気における PM と NO<sub>x</sub> の生成特性を明らかにするため、化学反応を考慮した数値解析に用いる 0 次元化学反応モデル、および燃焼室内での噴霧・燃焼モデルを含む 3 次元熱流体コードを導入した。

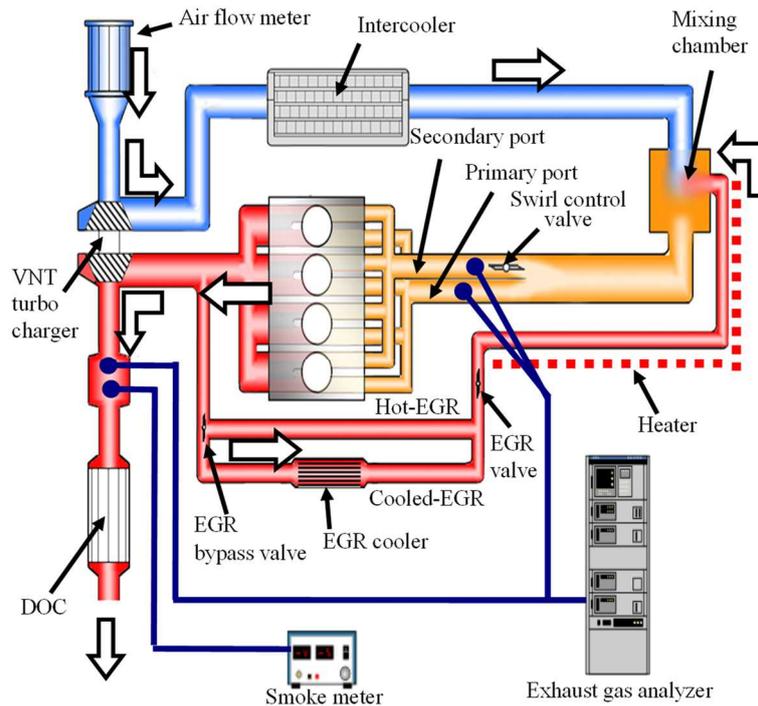


図 38 使用エンジンの概略図

実験においては、BDF の燃焼特性の解明と実走行での利用の両面から、日欧米実走行モードにおいて使用頻度が高い運転条件を用いて、量産エンジンが搭載されている市販車の ECU 設定値を元に設定した条件をベース条件とし、燃料の燃焼質量割合 50% (MFB50) の位置と一致するように噴射時期を調整し、トルク一定法によって測定を行い、Cooled EGR、多段噴射、高圧噴射および予混合圧縮着火 (Premixed Charge Compression Ignition: PCCI) 燃焼において、BDF の使用による燃焼特性および排出ガス特性に与える影響を実験的に調査した。

図 39 に示すように含酸素燃料 (J40、MO40 と MO100) において、全運転においてのディーゼルエンジンの一般設計と同等な条件での運転が可能であり、パイロット噴射による燃焼を促進でき、全領域において、NO<sub>x</sub> の排出量を維持しながら Soot の排出量を大幅低減が可能となっている。高圧噴射により、両燃料ともに Soot の排出量が大幅に減る一方、NO<sub>x</sub> の排出量が増加してしまい、含酸素燃料において、D100 より、NO<sub>x</sub> の排出量がさらに増加することが分かった。両燃料ともに未燃成分が増加する傾向となり、燃費の悪化が見られる。含酸素燃料において、D100 と比べ、多量 Cooled EGR の使用により、Soot の排出を抑えながら NO<sub>x</sub> の低減が可能となっている。そして、D100 より燃焼効率が向上しているため、未燃成分の排出が低減し、燃費の改善も同時に実現できることが分かった。含酸素燃料においては、PCCI 燃焼により、NO<sub>x</sub> の排出を維持するとともに、Soot の排出の大幅低減が実現でき、噴射圧が下がることにより排出ガス低減および燃費・騒音の改善に効果的であることが分かった。

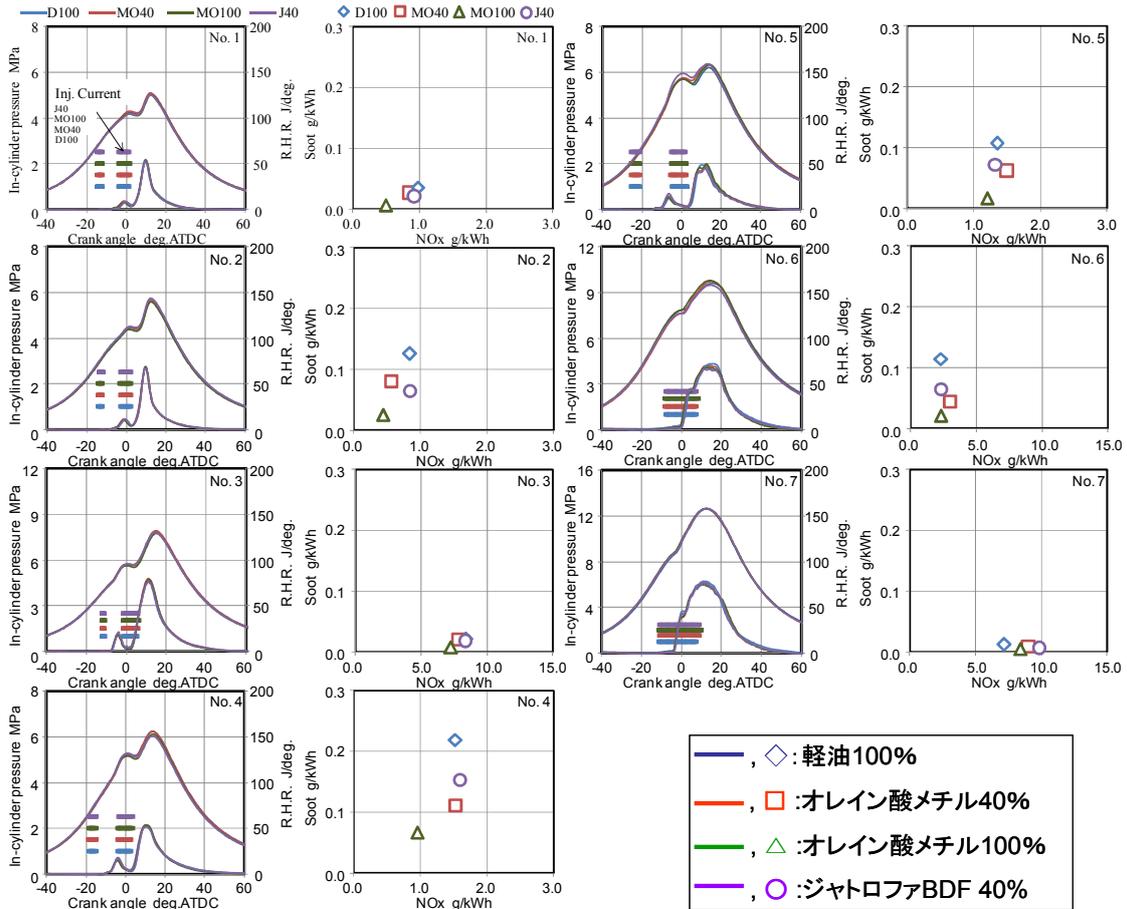


図 39 燃料の違いが着火特性、燃焼圧力、熱発生率及び排出ガス特性に及ぼす影響

高 BDF 混合率において、量産型ディーゼルエンジンへの応用が可能となり、高 EGR 率および低噴射圧の条件にすることで軽油より燃焼の改善ができ、排出ガスが低減できる。また PCCI 燃焼の実現も可能となっていることが分かった。

また、定容容器を用いて高速ビデオカメラにより、BDF の使用において燃料噴霧を撮影し、含酸素燃料の噴霧特性を調査した。その結果図 40 に示し、含酸素燃料の使用により、すべての条件において噴霧到達距離が長くなり、低噴射圧において推定噴射速度が速くなり、高圧噴射において D100 とほぼ同等であることが分かった。

燃焼解析の結果においては、まず、BDF の燃焼反応モデルを用いて、0 次元の化学詳細反応コードを用いて、シリンダ内の温度、圧力、化学種濃度等は均一であると仮定し、BDF および軽油に対して、CHEMKIN-PRO により、燃焼反応計算を行い、図 41 に示すように各燃料の燃焼特性および排出ガス特性を解明した。含酸素燃料が D100 より、低温領域での着火遅れが著しく短くなり、低温での燃焼を促進することを推定できる。M0 の場合、D100 により、Soot がより高い温度領域で生成し、M040 においては、Soot が 2 つの領域で生成する。また、燃料の種類によらず NO<sub>x</sub> の生成領域がほとんど変化しない。

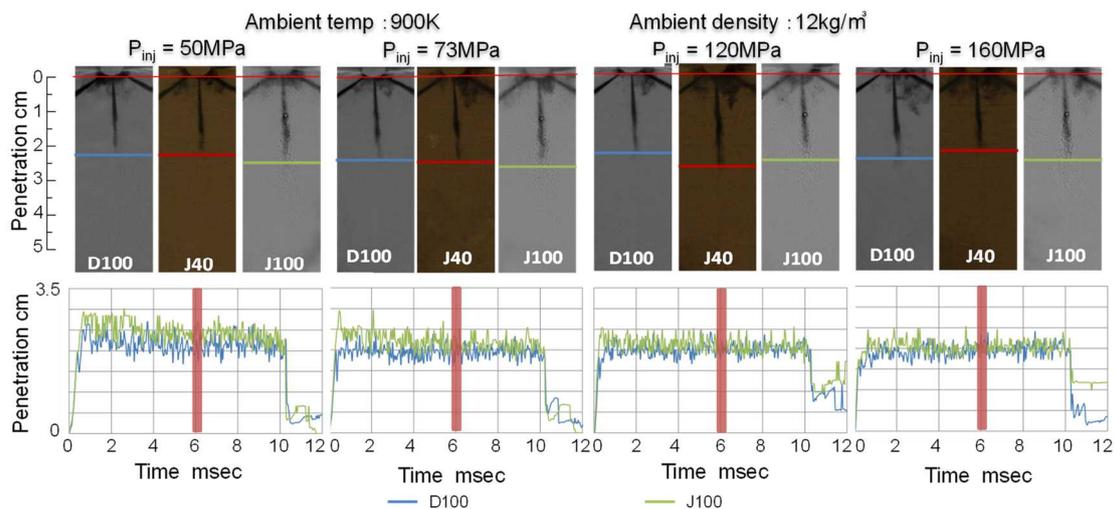


図 40 各燃料において噴射圧による噴霧に与える影響

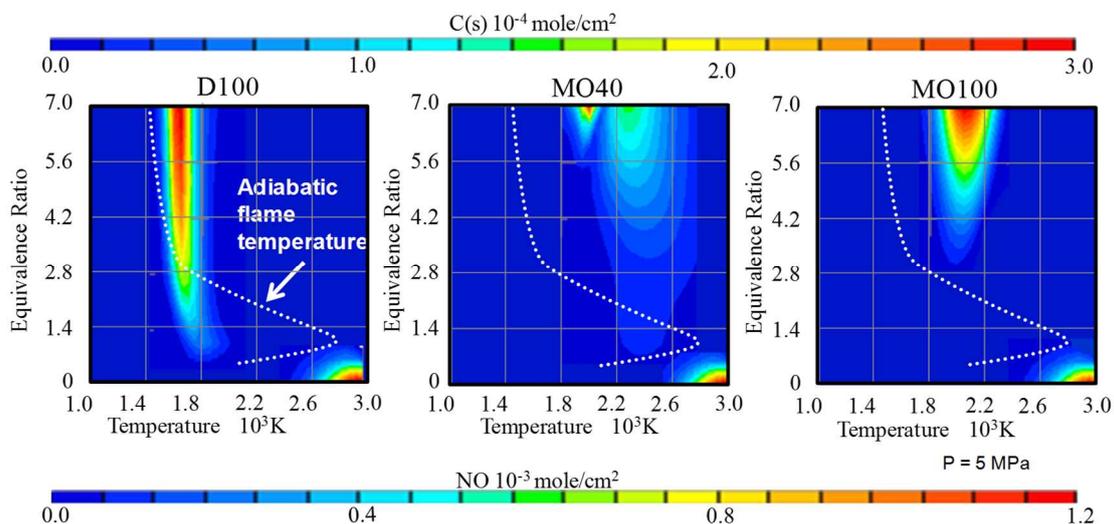


図 41 燃焼シミュレーションモデルによる PM 及び NO<sub>x</sub> 生成領域予測

また、軽油をベースとして開発した噴霧モデルを用いて、BDF の噴霧観察の結果により検証し、BDF に使用できる噴霧モデルを構築し、燃料噴霧の可視化実験により、温度 900 K の高温条件を中心として分裂モデル定数を決定した。燃料噴射期間中に燃料の供給と蒸発が平衡に達した期間での噴霧先端到達距離について検討し、各燃料における噴射圧に対する傾向が再現できた。

さらに、3次元の数値流体シミュレーションにより BDF の燃焼・排出ガス特性を解析し、現象論的 Soot モデルを用いてエンジン筒内の Soot の生成および酸化のメカニズムを解析し、その排出を低減するために求められる混合気形成過程、燃焼温度について考察した。図 42 に示すように各燃料において燃焼圧力、熱発生率および Soot の排出量は計算値と実験値がほぼ同等であり、MO の使用により、パイロット噴射による燃焼が促進され、MO の混合率が増加とともに Soot の排出量が減少する実験と同様な傾向が得られた。また、各燃料において最高燃焼温度の差がほぼなかったことにより、NO<sub>x</sub> の排出がほぼ差がなかった。図 54 に示すように Soot 生成の筒内分布により、Soot はピストンおよびボアのキャビティ部分から生成し、スキッシュ流れによりシリンダ内の中心側に移動し、燃料の違いによる差がほぼなかった。

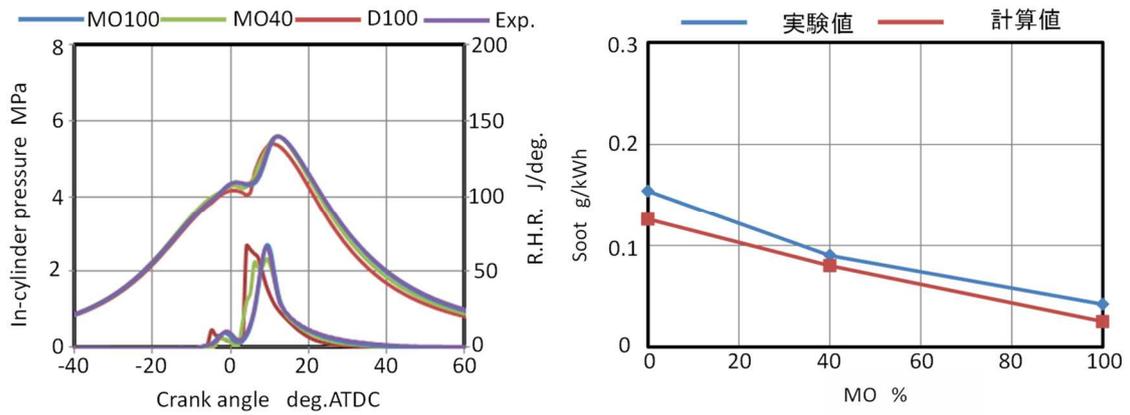


図 42 各燃料における計算結果(1500rpm 72Nm)

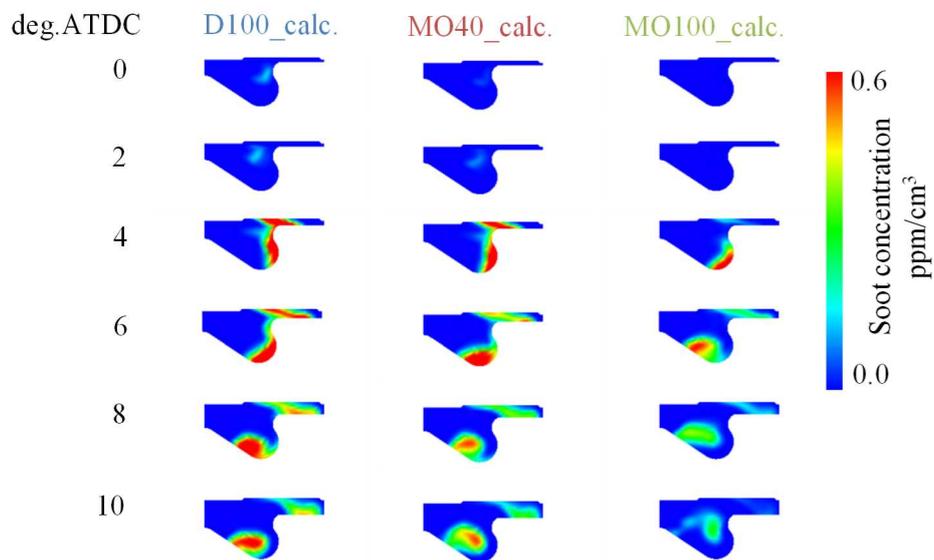


図 43 各燃料における Soot 生成筒内分布

以上の計算結果より、BDF の使用により Soot の低減メカニズムを解明でき、また NOx の排出が増加しないことも確認できた。

BDF の普及において、BDF の使用はセタン価向上剤としての応用が可能であると検証した。図 44, 45 に示すように 5%混合においても十分な着火促進ができ、着火遅れの短縮が可能である。将来において重油やオイル残渣などからの分裂軽油を使用するときに BDF 混合が有効であることが示した。BDF の混合率の増加につれて排出ガスの改善もできることが検証した。

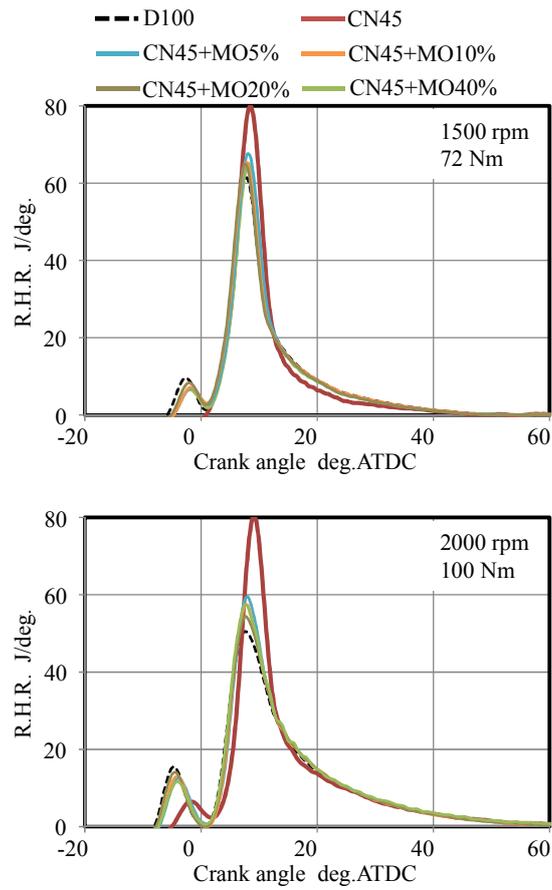


図 44 燃料性状が熱発生率に及ぼす影響

今後の課題においては BDF の曇り点が高く、酸化安定性などの問題および生産コストの問題により、実用するために解決しなければならない問題である。燃料噴霧の蒸気層の観察が実現できなく、BDF の噴霧の蒸発特性の検討ができず、噴霧の蒸発モデルの検証ができなかった。また、KIVA-3V コードにおいて、単成分燃料による計算コードとなっているため、混合燃料において簡単に理想混合状態と仮定し、混合燃料の二体相互作用を無視し、モデルを改良したが、多成分の燃料混合が難しくなり、BDF のすべての成分がモデルにすることが求められ、今後、多成分燃料の使用が可能である KIVA-4 コードを導入し、計算を行う必要がある。

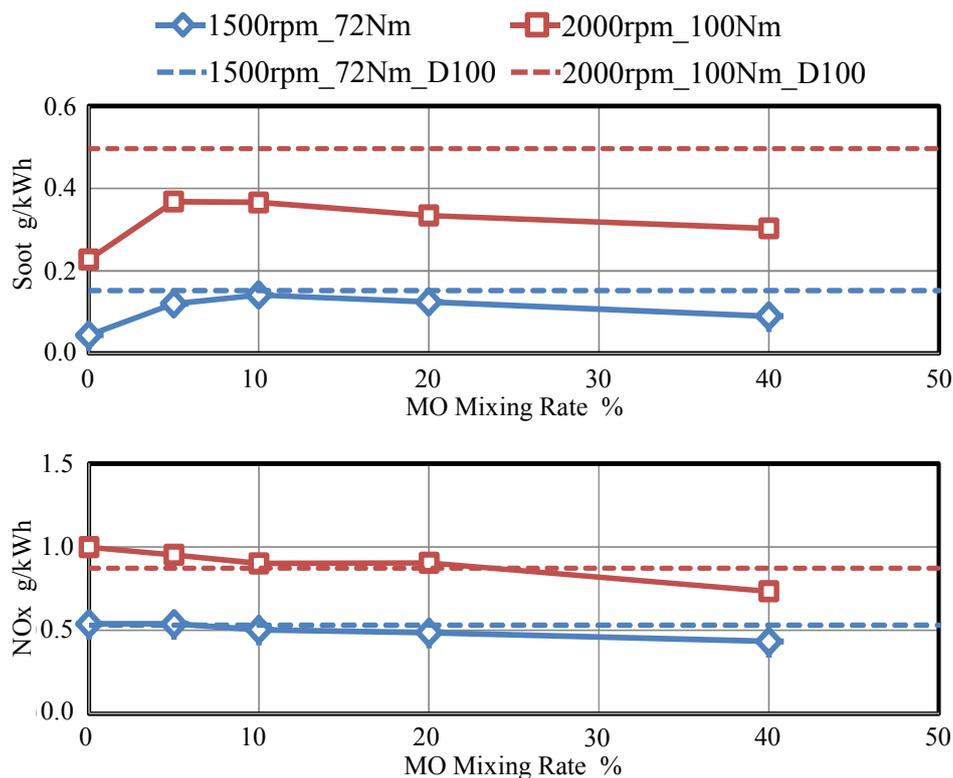


図 45 燃料性状が排出ガスに及ぼす影響

H21年度は、実験に用いるエンジンとして、総排気量2.2Lのターボインタークーラー付き自動車用ディーゼルエンジンを準備した。同エンジンには、最新型のコモンレール式電子制御燃料噴射システムが装備されており、燃焼を制御するための高圧噴射や多段噴射を行うことができる。エンジン出力性能には渦電流式電気動力計を用い、排出ガス分析システムに用いて排気中のNO<sub>x</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、THC、PMの各濃度を計測が可能である。

BDFをJIS2号軽油に混合したものをを用い、代表的な運転条件において軽油による運転での燃費と排出ガス特性を比較するとともに、エンジン内の燃焼圧力を計測して熱発生率の解析を行い、燃焼特性の違いについて調べる方法をとる。(JICA活動計画 No. 5-3)

また、これまで本研究室で開発を進めている数値流体・燃焼反応モデルをBDF混合燃料でも利用可能とするためのモデルの変更と新たなサブモデルの導入を検討している。(JICA活動計画 No. 5-4)。

H22年度は、想定されるBDF燃料と成分構成等が類似しているオレイン酸メチルを用いて、軽油と混合した燃料による燃焼試験の実施、BDF燃焼シミュレーションの精度向上のための噴霧モデルの構築に必要な可視化観察システムを作製するとともに、燃焼モデルへのオレイン酸メチルのサロゲート反応機構の導入を図った。

H23年度は、ジャトロファから作られるバイオディーゼル(BDF)は、現行のB5に対応し、BDF5%混合、及び将来のB10に対して、BDF10%混合の2つ燃料に対して、総排気量2.2L、4気筒直接噴射ディーゼルエンジンシステムと計測系を構築し、ヨーロッパの試験モードのNEDCと米国のUS06モードで使用頻度の高い計7条件に対してエンジン性能評価試験を行った。

また、前年度実施した、純オレイン酸メチルを用いた実験と比較するため、軽油に対して40% (質量割合) 混合した燃料を用いて実験を行った。さらにBDF混合燃料を用いた場合のエンジンの燃焼過程、性能、排出ガス特性等を予測してエンジンの最適運転条件を見出すことを目的として数値シミュレーションモデルの開発に取り組んだ。

H24年度は、そのジャトロファ燃料を用いて、前年度と同様なエンジンシステムと計測系を使用し、パイロット噴射、高圧噴射、EGRおよびPCCI燃焼(Premixed Charged Compression Ignition

Combustion)が燃焼・排出ガス特性に及ぼす影響を調査した。性能比較の際に、JIS2号軽油(D100)をベース燃料とし、その特徴を明確にする目的でJ40(JMEがベース軽油と質量割合40%で混合した燃料)を用いてエンジンベンチ試験を行った。

また、前年度実施した実験に基づいて、3D-CFDシミュレーションモデルを構築し、計算を行い、実験値により検証し、NOxおよびPMの生成メカニズムを解明した。

さらに、定容容器を用いて、ジャトロファ燃料の噴霧を観察し、燃料の物性値による噴霧に与える影響を調査した。

H25年度は、前年度実施した噴霧観察の実験に基づき、前年度構築した3D-CFDシミュレーションモデルの噴霧モデルを検証し、モデルを改良した。そのモデルを用いて、バイオ燃料によるPMの生成に与える影響を明確し、最適条件を求めた。

その結果により、エンジン実験を行い、バイオ燃料を使用する際に、エンジン制御指針を得ました。

また、自動車用の石油燃料の供給不足枯渇が懸念されるなか、石油製造企業では、重油から分解してディーゼルエンジン用の軽油を生産することが検討されている。しかしながら、そのようにして生産された軽油はセタン価が低く、芳香族成分が多くなるものと予測される。それによって、着火遅れが長くなるため予混合的な燃焼となり、Sootの排出が減少する反面、未燃成分(CO、THCなど)とNOxの排出量の増加する上、振動・騒音の悪化が問題となる可能性がある。そこで、セタン価を向上させてそのような弊害を解消するため、熱分解し易く、かつその熱分解生成物が燃料酸化を促進する硝酸アルキル(EHN)がセタン価向上剤として燃料に混合して使用されている。EHNは、着火遅れを短縮させる反面、窒素が含まれているためNOxの排出量が増加し、また、着火遅れが軽油と同等となり、Sootの抑制には繋がらない傾向がある。これに対して、本研究に得られた結果として、低温燃焼を促進する効果があるBDFをセタン価向上剤として用いることが可能であると推測し、追加的にエンジン実験を行った。

H26年度はセタン価向上剤が一般的に1%未満の程度で混合され、着火を促進することにより、BDFの混合率が少なくし、セタン価向上することを検証した。また、BDFの中の主成分は4つがあるので、オレイン酸メチル以外の主成分であるパラミチン酸メチルの混合による影響をエンジン実験により調査した。ジャトロファからのBDFは経済性のことにより、ポンガミアという植物から生産されるBDFは経済性がよりよくなることにより、そのBDFの成分分析を行った。

また、BDFにより噴霧及び燃焼に与える影響は明らかにするため、前年度改良した数値計算モデルに新たな乱流モデルであるLESモデルを導入し、計算を行い、BDFの噴霧及び燃焼の特徴を解明した。

#### ④ カウンターパートへの技術移転

当該研究開発では産総研と連携して、タイ国科学技術省への燃焼評価技術及びエンジン特性評価技術に関わる技術移転を行った。具体的には、JICA研修で早稲田大学にタイ国科学技術省の研究者を招聘し、協働で研究開発を行い技術移転に努めた。また、早稲田大学の研究者がJICA専門家としてタイに出張し、技術指導を行なった。さらに両国間での情報共有などを通じて、円滑な技術移転、タイ国若手研究者の能力開発を行うことができた。

#### ⑤ 社会実装に向けた取り組み

新燃料の燃焼特性評価やエンジン特性評価は高品質BDFの社会実装に向けて、最初に検討することが必要になる。そこで、自動車会社とも打ち合わせ・情報共有を行い、実車試験や社会実装の基盤となるデータを集積し解析することに努めた。具体的には、BDFの混合割合を0-50%まで変化させることにより、燃焼特性の挙動(シミュレーション)・最適燃焼制御、種々のエンジン特性(エンジン効率、排ガス特性)を評価した。これらの一連の実験により、BDFを混合することによりセタン化が向上することも明らかになっている。得られた成果は内外に情報発信され、自動車関連の国際会議等でも高く評価されている。

#### 4-4: BDFを用いた実車試験

(JICA 活動計画 No. 5-5)

##### ① 研究題目 4-3 の研究のねらい

Task 1 で製造されるジャトロファ H-FAME を石油系軽油に 10vol%混合した混合油を用い、タイ国内で実車試験(路上耐久性走行試験)を実施し、ジャトロファ H-FAME の自動車適合性を実証する(タイ国内で実施)。更に、TISTR のパイロットプラントで製造されたパーム H-FAME を石油系軽油に 20vol%混合した混合油を用い、タイ国内で実車試験(路上耐久性走行試験)を実施し、パーム H-FAME の自動車適合性を実証する。これらの実車試験を通し、従来型 FAME では B10 や B20 等の高濃度利用が困難とされてきたものの、H-FAME の採用により、ディーゼル車輛のエンジン、燃料タンク、燃料供給ライン等を全く改造することなく安心・安全に利用できることを明らかにする。

##### ① 研究題目 4-3 の研究実施方法

東アジアサミット推奨品質のみならず世界燃料憲章(WWFC)ガイドライン品質を満たすことを確認したジャトロファH-FAME(約500L)を、TISTRからタイ石油公社であるPTTに送付し、その後、PTTのブレンド法に基づきB10燃料を製造する。そのB10燃料を、実車試験の委託(委託元:MTEC/NSTDA)を受けたいすゞアジアテクニカルセンターに送付し、実車試験用燃料とする。試験車輛は、いすゞ製のピックアップトラック(Isuzu D-Max)で、EURO3対応車輛である。実車走行試験は、いすゞアジアテクニカルセンターのプロトコールに従い実施し、走行距離は50,000kmとする(委託費予算上の都合で決定)。

タイで実用化されているパームFAMEを入手し、TISTR設置の部分水素化装置でパームH-FAMEを製造する。そのパームH-FAMEを、TISTRからMTEC/NSTDAに送付し、その後、PTTのブレンド法に基づきB20燃料を製造する。そのB20燃料を、実車試験の委託(委託元:JICAタイ事務所)を受けたいすゞアジアテクニカルセンターに送付し、実車試験用燃料とする。使用する軽油はタイで入手したEURO IV仕様軽油(硫黄分<50ppm)である。試験車輛は、トリペッチいすゞ社から無償提供されたいすゞ製のピックアップトラック(Isuzu D-Max, Super Daylight、図11)で、EURO 4対応車輛を用いる。実車走行試験は、一昨年度実施したジャトロファH-FAMEを用いた実車試験と同様に、いすゞアジアテクニカルセンターのプロトコールに従い実施し、走行距離は50,000kmとする。

##### ② 研究題目 4-3 の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

H25年度は、当該事業で製造されたジャトロファ H-FAME を軽油(S<50ppm)に 10vol%混合した混合油(B10)を用いた実車試験(タイ国内での路上耐久性試験、走行距離=約50,000km)を、2012.11~2013.5までの期間に実施し、成功裏に終了した。試験車輛は、いすゞピックアップトラック(D-Max, EUROIII仕様、図46)である。走行距離10,000km毎に、シャーシダイナモメーターで排出ガス特性(THC, NOx, CO, CO2)やエンジン特性を測定し、また、燃料消費率やH-FAME燃料による潤滑油の希釈具合等の詳細なモニターを行った結果、ジャトロファH-FAMEを軽油に10vol%混合したB10燃料が従来の石油系軽油(S<50ppm)と同等に問題なく使用できることが実証された。



図 46 第 1 回目実車試験に用いたピックアップトラック

H26 年度、当該事業で製造されたパーム H-FAME を軽油 (S<50ppm) に 20vol% 混合した混合油 (B20) を用いた実車試験 (タイ国内での路上耐久性試験、走行距離=約 50,000km) を、2015.1~2015.3 までの期間に実施し、成功裏に終了した。試験車両は、いすゞピックアップトラック (D-Max、Super Daylight、EUROIV 仕様、図 47) である。タイ国内での路上走行試験は、2015.1.5 から開始されており、現在実施中である。途中段階である 25,000km 後の車両をシャーシダイナモメーター試験で排出ガス特性 (THC, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) やエンジン特性を測定し、また、燃料消費率や H-FAME 燃料による潤滑油の希釈具合等の詳細なモニターを行った結果、パーム H-FAME を軽油に 20vol% 混合した B20 燃料が従来の石油系軽油 (0ppm) と同等に問題なく使用できることが実証された。



図 47 B20 燃料を用いた実車試験に用いたピックアップトラック

④ 研究題目 4-3 のカウンターパートへの技術移転の状況

第一回目の実車試験は、カウンターパートである MTEC/NSDTA から、いすゞアジアテクニカルセンターへの委託事業として実施された。実車試験結果については、MTEC/NSDTA、いすゞアジアテクニカルセンター、車両を提供されたトリペッチいすゞ販売社等のタイ側関係機関と日本側で共有されている。第二回目の実車試験は、カウンターパートである MTEC/NSDTA、TISTR に加え、車両側からトリペッチいすゞ社、いすゞテクニカルアジアセンター等のいすゞタイランドグループが参加しており、また、燃料側から、PTT 社、Bangchak 社、

Thaioil 社が参加している。更に、タイ政府機関からは、エネルギー省代エネ・効率化局が参加している。これらの連携は、カウンターパートである MTEC/NSDTA、TISTR にとっても初めての経験であり、また、H-FAME の社会実装に向けて、タイ国内での連携強化に多大に貢献している。

ジャトロファ H-FAME を用いた B10 燃料による実車試験結果及びパーム H-FAME を用いた B20 燃料による実車試験結果は、バイオディーゼルの高濃度自動車利用を計画しているエネルギー省エネ・効率化局も強い関心を示しているため、同局とも情報を共有している。

## (6) 研究題目 5 : 人材育成と技術移転・社会実装

### ① 研究題目 5 の研究のねらい

「人材育成、技術移転・社会実装」 (JICA 活動計画 No. 4-1、5-1~5-4、10-1、11-1~11-4)

当該事業では、専門家派遣による技術指導と本邦研修を通し、タイ国若手研究者の自立研究能力や研究成果発信能力の開発を行なう。また、当該事業で得られたバイオマス燃料製造・利用技術の成果、特に高品質バイオディーゼルの製造につながる H-FAME 技術をタイは元より、ASEAN へ広く技術移転することにより、高品質 BDF の社会実装を推進し、運輸部門からの CO2 排出抑制に貢献する。

### ② 研究題目 5 の研究実施方法

#### <人材育成>

H21 年度は、タイ国若手研究者の人材育成を目的として、JICA 専門家派遣計画、およびタイ国若手研究者招聘計画を策定する。また、バイオマス燃料製造技術の社会実装に向けた検討チームの構築および予備的打ち合わせを開始する。

H22 年度はタイ国若手研究者の人材育成活動を本格的に開始し、若手研究者の本邦研修(5名を予定)を行う。また、産総研および早稲田大学研究者が JICA 専門家としてタイ国を訪問し、共同研究の進捗を図るとともに、タイ国若手研究者の人材育成を行う。また、

H23 年度は、タイ国若手研究者の人材育成活動を継続し、若手研究者の本邦研修(8名を予定)を行う。また、産総研および早稲田大学研究者が JICA 専門家としてタイ国を訪問し、共同研究の進捗を図るとともに、タイ国若手研究者の人材育成を行う。

H24 年度も、H22、H23 年度に引き続き、タイ国若手研究者の人材育成活動を継続し、若手研究者の本邦研修(7名を予定)を行う。また、産総研および早稲田大学研究者が JICA 専門家としてタイ国を訪問し、共同研究の進捗を図るとともに、タイ国若手研究者の人材育成を行う。

H25 年度も、タイ国若手研究者の人材育成活動を継続し、若手研究者の本邦研修(13名を予定)を行う。また、産総研および早稲田大学研究者が JICA 専門家としてタイ国を訪問し、共同研究の進捗を図るとともに、タイ国若手研究者の人材育成を行う。

H26 年度は、タイ国若手研究者の人材育成活動を継続し、若手研究者の本邦研修(10名を予定)を行う。また、産総研および早稲田大学研究者が JICA 専門家としてタイ国を訪問し、共同研究の進捗を図るとともに、タイ国若手研究者の人材育成を行う。

H27 年度は、タイ国若手研究者の本邦研修は実施せず、JICA 専門家の派遣(産総研、早稲田大学)やメール等のやり取りによる情報交換を通し、人材育成等を行う。

#### <技術移転・社会実装>

H22 年度はジャトロファ BDF の社会実装に向けてタイ国およびタイ周辺諸国の調査を開始する。タイ国と協働でこれらの検討を行うことにより技術移転を効率よく行う。また、欧米のジャトロファ BDF の研究開発動向についても再調査を行う。

H23 年度はタイ科学技術省と協働でジャトロファ BDF の LCA による評価(技術移転)を進めるとともに、タイ側と協力してジャトロファ等非食糧系植物油・BDF の経済性評価を開始する。これらの社会実装に向けた一連の経済性・環境影響負荷評価を行うことにより、技術移転と社会実装を並行して推進する。

H24 年度もタイ側研究者と協働してジャトロファ BDF の LCA による評価を行うとともに、ジャトロファ等非食糧系植物油・BDF の経済性評価を行うことにより技術移転と社会実装を目指す。また、ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造を推進し技術移転を行う。

H25 年度も LCA による評価を継続するとともに、非食糧系植物油であるポンガミア・ジャトロファ BDF やパーム BDF の社会実装に向けた経済性評価を進めることにより、タイ国研究機関・研究者への技術移転を推進する。バイオオイル製造技術についても H24 年度と同じくタイ国への技術移転を行う。

H26, 27 年度は H25 年度までの成果に基づき、タイ国参加研究機関への技術移転を推進する。また、高品質 BDF については、タイ国政府関連機関(エネルギー省、農業研究開発庁、駐日タイ大使館等)とも連携し、BDF の社会実装に向けて検討を推進する。また、バイオオイル製造技術に加え、バイオオイルからの輸送用燃料製造についての検討を進め、技術移転を行う。

### ③ 研究題目 5 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

#### <人材育成>

H22 年度は タイ国若手研究者の人材育成活動を本格的に開始し、タイ科学技術研究院から 5 名の若手研究者を招聘した。また、産総研および早稲田大学研究者が JICA 専門家としてタイ国を訪問し、共同研究の進捗を図るとともに、タイ国若手研究者の人材育成を行った。

H23 年度は、タイ国若手研究者 10 名(タイ科学技術庁、6 名:タイ科学技術研究院、2 名:キングモンクット大学 NB、2 名)を招聘するとともに、JICA 専門家を派遣しタイ国若手研究者の人材育成に努めた。また、産総研および早稲田大学の若手研究者をタイ、インドネシアに派遣し若手研究者の交流、我が国の若手研究者育成も試みた。さらにタイ科学技術庁から若手研究者が早稲田大学の博士課程に留学した。

H24 年度も、H22、H23 年度に引き続き、タイから JICA 研修で若手研究者を 9 名(タイ科学技術庁、4 名:タイ科学技術研究院、3 名:キングモンクット大学 NB、2 名)招聘し、人材育成に努めた。また、産総研および早稲田大学研究者が JICA 専門家としてタイを訪問し、当該研究の進捗を図るとともに、若手研究者の人材育成も併せて行った。

H25 年度もタイから JICA 研修で若手研究者を 15 名(タイ科学技術庁、8 名:タイ科学技術研究院、5 名:キングモンクット大学 NB、2 名)招聘し、人材育成に努めた。また H24 年度同様、産総研および早稲田大学研究者が JICA 専門家としてタイを訪問し、当該研究の進捗を図るとともに、若手研究者の人材育成も併せて行った。

H26 年度は、タイ国若手研究者を 10 名(タイ科学技術庁、4 名:タイ科学技術研究院、4 名:キングモンクット大学 NB、2 名)招聘し、招聘し本邦研修を行った。また、カウンターパートの現場で技術指導を行うため、JICA 専門家を TISTR、MTEC、及び KMUTNB に派遣した。さらに、JICA 専門家派遣で研究リーダーがタイ研究機関を訪問し、タイ若手研究者の人材育成を推進した。H26 年度の 9 月には、タイから博士課程に留学した若手研究者が早稲田大学で学位を取得し、若い研究リーダーとして NSTDA・MTEC に復帰し、当該分野における日タイ連携強化を加速的に推進する環境も整備された。

H27 年度は、タイ国若手研究者の本邦研修は実施せず、産総研および早稲田大学研究者が JICA 専門家としてタイを訪問し、若手研究者の育成を行った。

以上、H21 年度～H27 年度までの期間に、タイ側カウンターパートの若手研究者を 47 名招聘して本邦研修を行い、若手研究者の人材育成を行った。同時に、産総研および早稲田大学研究者の JICA 専門家派遣による現地での技術指導等を通して、カウンターパート研究者の人材育成も併せて実施することができた。特筆すべきこととして、日本の若手研究者(十数名)がタイを訪問し、タイの若手研究者と交流を行ったことが挙げられる。

また、若手研究者・技術者の育成はタイ国研究機関への技術移転を容易とし、社会実

装も加速されると期待される。

#### <技術移転・社会実装>

H22 年度に技術移転・社会実装に関わる検討を開始し、当該事業で得られたバイオマス燃料製造・利用技術のアジア地域への社会実装については、タイ側とも打ち合わせを行い(JICA 専門家派遣)、社会実装についてはその可能性が期待される高品質ジャトロファ BDF 製造技術に焦点を絞ることとした。また、バイオオイル製造技術およびバイオオイルからの輸送用燃料製造技術についてはタイ国への技術移転を目指すこととした。

H23 年度には、高品質ジャトロファ BDF 製造技術の社会実装に向けた基礎的調査(関連技術との比較、今後の課題)を開始した。さらに、産総研および早稲田大学の担当者がタイ国およびタイ周辺諸国を訪問し、関係者(政府、大学、研究機関)とアジア地域での社会実装に向けた打ち合わせも併せて開始した。また、タイ科学技術庁と協働で、タイ国内における LCA による評価を開始した。さらに、追加予算により、欧米のジャトロファ BDF の開発状況を調査するとともに、産学官の有識者を含むジャトロファ BDF の社会実装に向けた調査委員会(大聖委員長)を設置した。調査委員会では、新燃料の LCA 評価、燃焼特性・エンジン特性評価の成果を踏まえ、ジャトロファ BDF とパーム BDF を対象として環境影響負荷、経済性評価等を行った。ジャトロファ BDF に関しては栽培データも少なく、入口から出口までの最適プロセスも確立されていないため、詳細な経済性評価は困難であったが、検討の結果、地産地消型のバイオマス燃料として、当該技術が第 2 世代(脱酸素プロセスによる炭化水素製造)あるいは第 3 世代(ガス化→FT 合成)のバイオマス燃料製造技術と比べ比較優位性を有することが明らかになった(3 あるいは 10 万 t/y の地産地消の場合)。一方、BDF のコスト低減には出発原料の低コスト化(入口戦略)が必要不可欠であることなども確認でき、ジャトロファ BDF は社会実装に向けて解決すべき多くの課題が残されていること(時期尚早であること)も併せて明らかになった。

H24 年度も、タイ科学技術庁と協働でジャトロファ BDF の LCA による評価(入口戦略)を行い、技術移転に努めた。また、追加予算により、調査委員会でジャトロファ BDF の社会実装に向けた課題の検討、さらには他の有望な非食糧系バイオマスの調査等をタイ側と連携して行った。これらの検討の結果、ジャトロファ BDF の社会実装は時期尚早であること、ポンガミアが非食糧系バイオマスとして有望であることが分かった。ポンガミアはジャトロファと比べオイル収率が高く(パームと同程度)、農業機械の導入(同時期の収穫)が可能であり、窒素固定で肥料面でも優れている。また、栽培可能地域がパームに比べ格段に広い(ASEAN 全体)などメリットが多い。

H25 年度もタイ科学技術省と連携し、非食糧系バイオマスを用いた BDF に関わる、LCA 等をタイ国内で実地し、併せて技術移転を引き続き行った。また、追加予算(調査研究)により、ポンガミア BDF、ジャトロファ BDF、パーム BDF に関わる環境影響負荷評価、経済性評価、最適プロセス(入口から出口まで)、ポンガミアを用いたビジネスモデルなどの調査・検討を行った。また、ポンガミアの栽培が国の支援の下に精力的に進められている、インドおよびオーストラリアの現地調査(政府、大学、研究機関)を行うことができた。

また、バイオオイルの製造をタイ科学技術研究院で行い、タイ国への技術移転を推進するとともに、キングモンクット工科大学 NB、タイ科学技術省にバイオオイルからの輸送用燃料製造に関わる技術移転を開始した。

H26 年度は H25 年度までの成果をもとに、タイ側研究機関と技術移転・社会実装に向けた打ち合わせ(得られた成果のさらなる展開)を行った。BDF の技術移転・社会実装については、駐日タイ大使館(大使、公使参事官)の支援の下に、タイの主要な関連機関(農業省、大学、研究機関、企業)打ち合わせ・情報共有を進めることができた。また、バイオオイル関連技術(バイオオイル製造、輸送用燃料への改質)についても、引き続きタイ国研究機関と協働で検討を行い、タイ国への技術移転を進めることができた。

H27 年度もタイ側(研究機関、政府関連機関)およびタイ周辺諸国との次の展開に向けた国際共同研究の話を進めており、ポンガミア栽培等を含む日タイ、さらには日 ASEAN 広

域連携(e-ASIA 事業)等の話が進み始めている。今後は、社会実装に向けては、入口戦略、出口戦略、および技術戦略の3つの戦略を確立することが必要になる。

#### ○ 入口戦略

まずは社会実装に向けて最も重要な入口戦略（安価な出発原料の安定確保）について LCA 研究グループ（早稲田大学+NSTDA・MTEC）とも連携し、解決すべき課題（社会性分析、経済性分析、エネルギー分析他）を明らかにすることができた。

現時点では、非食糧系出発原料としてジャトロファの導入はまだ解決すべき課題が多く、ボンガミア（高いオイル収率、同時期に収穫、窒素肥料が不必要、耐酸化性に優れたオレフィン成分を多く含む等）が出発原料として有力と考えられる。もちろん、今後、ジャトロファについてもさらなる検討（品種改良他）が必要であり、日タイ協力の次への展開（タイ国農業開発庁）としてタイ研究機関から5件のジャトロファ BDF の提案がなされている（ボンガミア BDF に関しては9件の提案）。

#### ○ 出口戦略

出口戦略についても、H23 年度以降、引き続き検討を進めており、今後、より具体的な、入口戦略・技術戦略を踏まえた、プロセス全体の環境影響負荷評価、経済性評価、ビジネスプランの作成等が必要となっている。

また、現状では石油価格が低迷しており企業の独自努力による社会実装は、まだ、経済面から難しい状況にあり、低炭素社会構築に向けて、当初、しばらくの間は国のより積極的な支援（FIT、JCM を含む）が必要と考えられる。

#### ○ 技術戦略

技術戦略としては入口から出口までのプロセスの最適化が求められ、当該 SATREPS 事業の成果を踏まえ、プロセスの最適化に関わる検討が行われた。今後の社会実装に向けた全体プロセスの最適化には、個別プロセスである収穫・搾油・BDF 製造技術・高品質化（アップグレーディング）技術等の最適化が必要であり、SATREPS 事業のみではなく NEDO 事業など我が国の他の事業成果を積極的に取り入れることが必要になる（場合によっては欧米の技術も）。たとえば BDF 製造技術では、固体触媒の導入が、今後、求められており（排水処理がなく、高純度の複製グリセリンが得られる）、NEDO の次世代 BDF 製造技術などの成果の導入が期待される。

以上、当該事業成果の社会実装に向けた検討は、当初計画にはなかった状況まで進展した。今後とも両国の産官学関係者（オール・ジャパン、オール・タイランド体制）を中心に社会実装に向けた検討が進むことが期待でき、そのインパクトは極めて大きいと考えられる。一方、社会実装に向けて、解決すべき多くの課題がまだ残されており、社会実装を担う産業界を中核とした実証プラントへのより具体的な検討が望まれている。

#### ○ タイ国エネルギー省のアプローチ

当該事業で開発した高品質バイオディーゼル製造技術（H-FAME 技術）に関しては、タイ国エネルギー省の代替エネルギー開発計画（2015. 11 に改訂される前の計画）中の新バイオディーゼルとして反映されていないものの、同省代エネ・効率化局はパーム H-FAME に強い関心を示しているため、成果の技術移転に向け、積極的な広報活動を行った。また、タイ国エネルギー省省エネ効率化局（DEDE）では、石油代替エネルギー開発計画（AEDP）を改定中であり、この中に新しいバイオディーゼルとして H-FAME を反映させるための活動を行った。

特に、供与機材である高品質バイオディーゼル製造パイロットプラント（1ton/day）及び H-FAME 製造用パイロットプラント、更にはジャトロファ残渣からのバイオオイル製造用循環流動層型熱分解パイロットプラント（20kg/h）の運転研究は、タイ側カウンターパート研究者にとって初めての取り組みであったが、カウンターパート機関の財政支援及び専門家派遣による技術指導を通し、成功裏に実施できた。ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造用循環流動層型熱分解パイロットプラント（20kg/h）は、タイ国で最大規模であり、ま

た、数々のトラブルで当該装置の運転研究は当初計画より大幅に遅れたものの、この間、タイ側カウンターパート研究者は多くの経験をする事ができ、また最終的に自らの判断でトラブルシューティング等の対応が可能となったことは、技術移転の中で特筆すべき成果と考えられる。

一方、H-FAME のタイ政府のエネルギー政策(2015. 11 に公表された石油代替エネルギー開発計画)への反映は、成果の技術移転の中では最も特筆すべき成果である。タイ国エネルギー省の代エネ・効率化局はパームH-FAMEに強い関心を示しており、特に、タイでの将来のバイオディーゼル高濃度利用(B20等)に対するH-FAME技術の適用可能性に強い関心を有しており、パームH-FAMEを用いたB20燃料による実車試験実施の要望があった。このため、専門家派遣と通して、パーム油H-FAMEをTISTRのパイロットプラントで製造するための技術指導を行い、約2,500LのパームH-FAMEの製造を行い、実車試験に供した。この結果、パームH-FAMEを用いれば、B20までの高濃度利用が可能であることが実証され、タイ国エネルギー省の代エネ・効率化局の要望に応えることができた。III 社会実装の箇所にて詳細を述べる。

タイ国エネルギー省省エネ効率化局(DEDE)は、石油代替エネルギー開発計画(AEDP)(2015-2036)を改定し、その改定版中に新しいバイオディーゼルとしてH-FAMEが追加されたが(従来のAEDPでは、従来型FAMEと先進燃料としてBHDの二種類のみ反映)、その同AEDP改定版が2015年9月17日にタイの国家エネルギー政策委員会(NEPC)で承認された(図48)。この結果、当該事業で開発したH-FAMEが、タイ政府の代替エネルギー政策に正式に反映され、今後のH-FAMEの実用化に向けた環境が整備された。

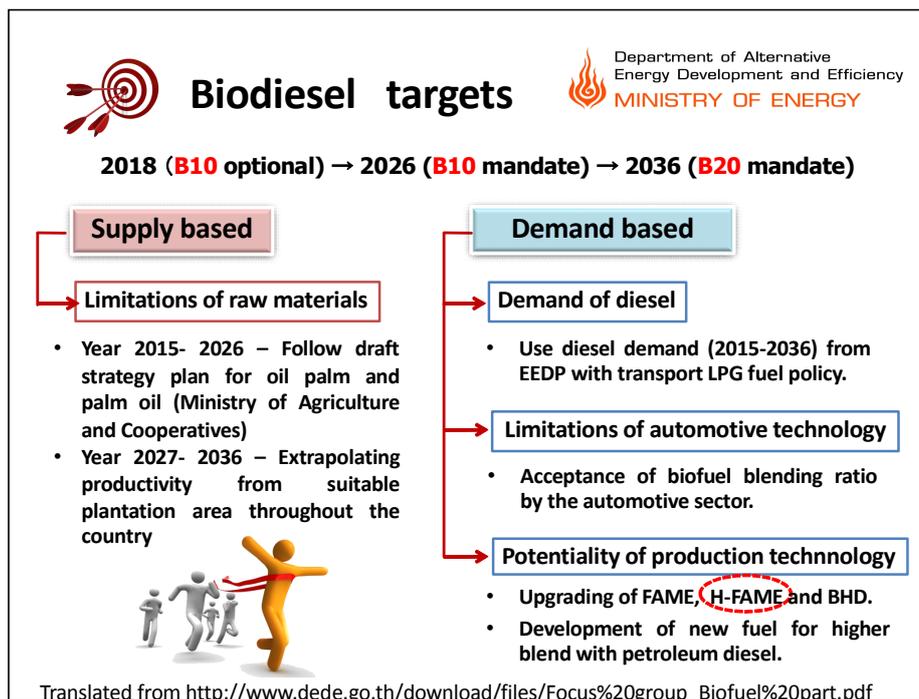


図 48 タイ国の石油代替エネルギー計画 (AEDP) (2015, 8, 26)中のバイオディーゼルの記載(抜粋)

④ 研究題目5のカウンターパートへの技術移転の状況

タイ国若手研究者の人材育成については、JICA 専門家派遣、タイ側研究指導者の招聘、さらには両国の打ち合わせ(JCC)等で多くの意見交換や議論がなされており、タイ側の人材育成に向けた体制も構築されつつある。このため、技術移転も順調に進んでいる。さら

に、当該事業成果の社会実装についてもタイ国は熱心であり、今後、イコールパートナーとしての連携強化が期待できる。

H25 年度後半にはタイ側で、高品質 BDF の実用化に向けた広報活動(PR)チームが構築され、H-FAME の成果等を積極的に発信している。

H27 年度は、当該 SATREPS 事業の成果を ASEAN 諸国に積極的に発信すると共に、当該事業でタイ側に供与されたパイロットプラント機材や分析機材を利用した ASEAN 研究者の研修等を行うために、当該事業のタイ側カウンターパートが JICA のプログラムである第三国研修(TCCP)に応募したところである。当該 SATREPS 事業に参加している産総研も、TCCP の研修を行う際の専門家(講師)として参加し、技術指導等を継続して実施予定である。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

○ 社会実装

社会実装については、当初計画では LCA 評価と燃焼特性・エンジン特性評価が予定されていたが、JST や企業等からの強い要望もあり、経済性評価、最適プロセス設計、ビジネスモデルなどの検討も併せて行うことになった。これらの検討は、主として追加予算(H22-25年度の3年間)を用いて行われ、社会実装を担う企業も参画し、日タイ両国の協働作業で行われた。

高品質 BDF 製造のパイロットプラントで得られた成果の社会実装に関しては、当初計画にはなかった、より具体的な検討が進みつつあり、日タイ両国に他のアセアン諸国を加え、国際産学官による検討が加速している。H26 年度はタイ国エネルギー省、タイ国農業研究開発庁、駐日タイ大使館の支援の下に高品質 BDF の社会実装に向けた検討が加速している。

また、これらの社会実装に向けた検討を契機に、両国さらには ASEAN 諸国も加わり、産学官関係者による広範囲なバイオマス利活用に関わる検討が始まっている。東アジアの科学技術広域連携を目的とした国際政策対話では、バイオマス利活用が日 ASEAN の共同研究開発候補(国際オープンイノベーション研究センターの設立)として選定された。これと関連して、タイ国はアジア初の国際オープンイノベーション研究センター(バイオマス利活用)を提案しており、日タイ両国を中心に検討が進みつつある。また、日本側では、日本工学アカデミー(EAJ)にバイオマス・アジアの産官学プロジェクトチームが設立され、オール・ジャパンとしてのバイオマス利活用の検討が始まっている。タイ側でもオール・タイランドのチーム作りが進んでおり、インドネシア、ベトナム、ラオス、ミャンマー等ともバイオマス利活用の広域連携に向けた話が進みつつある。

○ 若手研究者育成

当初計画では我が国の若手研究者の育成が想定されていなかったが、H23 年度の追加予算等で我が国の若手研究者の育成を試みる事ができた。若手研究者数十名がタイ・インドネシア両国を訪問し、タイ国若手研究者との交流(若手研究者のアジア大での頭脳循環)の機会を得たことは一つの成果と言える。我が国の若手研究者育成は我が国にとって最重要課題の一つであり、今後とも継続的に推進したいと考えている。

## II. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など (公開)

### (1) プロジェクト全体

#### (2) 研究題目 1

##### (1) プロジェクト全体

・プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題。

当該プロジェクトは、研究題目1 (Task1)： ジャトロファオイルからの高品質バイオディーゼルの製造技術 (LCA 評価技術を含む)、研究題目 (Task2)： 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 (Task3)： バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術開発 (LCA 評価技術を含む)、研究題目 (Task4)： 新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術、研究題目 (Task5)： 人材育成及び技術移転、の5つの主要研究課題から構成されている(図49)。上記研究課題(Task1, 2 及び 3)では、産総研/タイ科学技術開発庁 (NSTDA)/タイ科学技術研究院 (TISTR)/モンクット王工科大ノースバンコク (KMUTNB) が連携し、研究課題 (Task4)では、産総研/早稲田大/タイ科学技術開発庁 (NSTDA) が連携し、研究課題 (Task3) の LCA 評価では、早稲田大/タイ科学技術開発庁 (NSTDA)/タイ科学技術研究院 (TISTR)/産総研が連携して研究開発を実施している。更に、研究課題 (Task5)では、全ての参加機関が連携している。各研究課題ごとに研究責任者がおり、また、3か月に1回の割合で、Steering 会議を開催し、しかも、カウンターパート3機関の持ち回りで開催しており、日タイ間の連携も良好に実施できた。

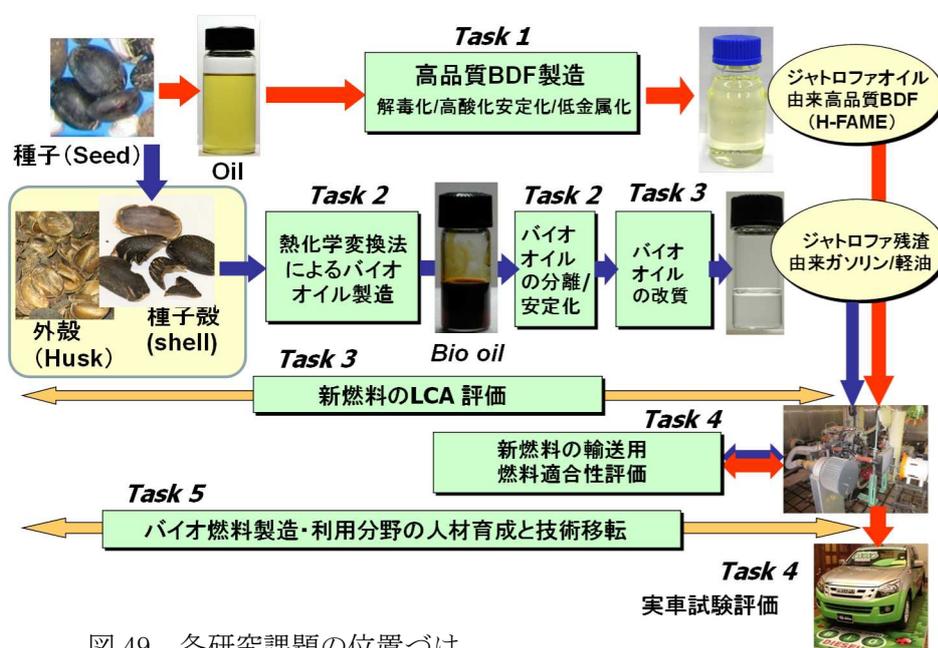


図 49 各研究課題の位置づけ

・各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるために実際に行った工夫。

本事業では、タイ科学技術開発庁 (NSTDA)、タイ科学技術研究院 (TISTR)、モンクット王工科大ノースバンコク (KMUTNB) がそれぞれの得意分野で役割分担し研究参加しているが、R/D のタイ側署名者がタイ科学技術省の次官であり、また、Joint Research Agreement (JRA) のタイ側署名者が各研究参加機関の所長、長官、学長であるため、当該事業に対する理解が深く、持続的な支援に繋がった。

当該事業に係る第4回合同調整委員会 (JCC) (H25年2月5日開催)以降、合同調整委員会には前述のカウンターパート機関に加え、タイ国のエネルギー省代替エネルギー開発・効率化局や実車試験用車輛を提供いただいたトリベッチいすゞ販売社、タイ国の石油会社等にも参加いただいております。当該事業で得られた社会実装のための連携を深めている。また3か月に1回の割合で、MTEC、TISTR 及び KMUTNB で持ち回りで開催している Steering 会議にも、タイ国のエネルギー省代替エネルギー開発・効率化局の事務方にも可能な範囲で参加して頂き、H-FAME 技術の現状や H-FAME を用いた実車試験の成果、更には H-FAME 技術の今後の展開計画等も情報の共有を図った。

更に、H-FAME の広報活動を積極的に行うために、JICA 業務調整員とタイ側カウンターパートを中心に PR グループを組織し(日本からは研究代表者が参加)、タイ国内で開催されるバイオエネルギー関連のワークショップ等での広報活動、H-FAME を含む当該 SATREPS 事業のパンフレットの作成、JICA 第三国研修(提案中)を利用した ASEAN への H-FAME 技術等の積極発信、タイにおける石油会社やバイオディーゼル会社幹部への H-FAME 技術の紹介、在京タイ大使館大使への H-FAME 技術の紹介、在タイ日本大使館への H-FAME 技術の紹介等、持続的な広報活動にも注力した。

・プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国(研究機関・研究者)が取り組む必要のある事項。

本事業では、基礎研究を実用研究に繋げるため、FAME 製造用パイロットプラント技術(1ton/day)、H-FAME 製造用パイロットプラント技術(100L/バッチ)、循環流動層パイロラザー技術(20kg/h)等の、パイロット運転研究を実施している。これらの装置の一部はタイ国でも初めてのものであり、また ASEAN 諸国でも初めてのものである。カウンターパートでは各装置の保守点検や改造等に対し、自己資金を調達できる体制が組まれており、研究者のモチベーション向上や維持に大変効果的であった。今後も、これらの装置を利用する自己資金による研究の継続が期待される。当該事業で開発された循環流動層パイロラザーパイロットプラント(20kg/h)はタイ国で最大規模であり、またほぼ全てのバイオマス残渣等からのバイオオイル製造に利用可能であり、今後、タイ側カウンターパート、タイ企業、タイ地方自治等との連携の下に、研究が継続されることが期待される。タイの王室が、バイオオイルの製造や利用に関心を示しており、今後の展開が期待される。

一方、これらの供与機材を有効に利用し、カウンターパートが当該事業で蓄積してきた知見を ASEAN 諸国に移転するため、JICA/TICA 制度による第三国研修に向けた準備がカウンターパートで進められている。ASEAN のバイオマス研究者や政策担当者等をタイ国カウンターパート機関に所定期間招聘し、各パイロットプラントを用いた実地研修、また、各種燃料の分析技術、更にはバイオ燃料の標準化技術等を行う第三国研修は素晴らしい考えであり、カウンターパート機関の積極的参加が期待される。

・諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果。

ジャトロファ残渣からバイオオイルを大量に製造するため、カウンターパートであるタイ科学技術研究院(TISTR)に循環流動層パイロラザーパイロットプラント(20kg/h)を設置し、運転研究を実施したが、2011年のタイ大洪水のため、同パイロットプラントの設置が大幅に遅延した。同パイロットプラントの設置場所である建屋の改修・インフラ整備や同パイロットプラント建設業社の資材調達等が遅れ、研究開始が当初計画から約1年間遅延した。その後、産総研の研究者による技術指導の下に同パイロットプラントの運転を行ったが、当初想定していなかったトラブル(ジャトロファ残渣中に含まれるジャトロファオイル分のスクリーフィーダー内でのコーキング等)対策のための同パイロットプラント改修、更には、バイオオイル蒸気回収のための分離器の増設(電気集塵器等)等、同パイロットプラントの安定運転にはさらに時間を要した。最終的には、H26年度後半に、同パイロットプラントを用いたバイオオイル製造(数L規模)に成功し、H27年度前半に数十L規模の製造が可能となった。ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造は、当初計画から約1.5年遅れたが、タイ側カウンターパートの研究者は、循環流動層の原理や同パイロットプラントプロセスの理解、更にはトラブルシューティング技術等、ターンキー装置では経験できない多くのことを経験することができ、今後の研究活動に大いに役立つと思われる。

(2)研究題目1(Task1):ジャトロファオイルから高品質バイオディーゼルの製造技術  
相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、

## 今後への活用。

パイロットスケールでの標準化された高品質 BDF 製造プラント化技術の設計・開発(PDM 活動 No2-1): TISTR 設置の BDF 製造パイロットプラント(1ton/day)では、EN 規格の BDF を製造可能であり、その BDF を TISTR 設置の部分水素化パイロットプラント用いて処理することにより、東アジアサミット推奨品質(EEBS:2008)のみならず世界燃料憲章(WWFC)ガイドライン品質の BDF(当該事業では H-FAME)を製造できることを実証した。また、部分水素化パイロットプラントは全ての BDF の高品質化に利用可能であることを確認した。当該部分水素化パイロットプラントは回分式装置であるが、ラボ実験により H-FAME を流通式反応装置で製造できる部分水素化技術も併せて開発した。

エンジン試験/実車試験用 BDF 製造・提供(PDM 活動 No2-2):TISTR 設置の部分水素化パイロットプラントを用いて、所定の水素化深度に最適化されたジャトロファ H-FAME を約 1,000L 及びパーム H-FAME を約 2,500L、一部産総研研究者の立会いの下に製造できた。タイ国内では、今後 B20 燃料を用いたフリート試験が計画されており、TISTR 設置の部分水素化パイロットプラントを用いて約 5,000L のパーム H-FAME が製造予定である。

エステル交換用触媒の開発(PDM 活動 No3-1):TISTR 設置の BDF 製造パイロットプラントで用いている均一系触媒 (KOH) の固体触媒代替の可能性を検討するため、エステル交換用の固体触媒について検討した結果、四配位のチタニアを有した炭素含有 3Ti-SBA-15 触媒を用いることにより、Si や Ti の流出なく、EN 規格を満たす高品質な BDF (FAME) へと転換可能であることを見出した。タイ研修生の本邦研修を通し、本触媒技術に係る技術指導を行った。

酸化安定性向上のための水素化技術の開発(PDM 活動 No3-2, 3-4): BDF 中に含まれ、酸化・熱劣化の要因となる多価不飽和脂肪酸メチルエステルを一価不飽和脂肪酸メチルエステルに変える技術が H-FAME 技術であり、当初、ジャトロファ BDF の高品質化のために開発した。この H-FAME 技術は、パーム油 BDF、菜種油 BDF、大豆油 BDF、廃食用油 BDF にも適用可能であり、最終製品である H-FAME 中の多価不飽和脂肪酸メチルエステルの量等が重要な品質管理パラメータとなる。H-FAME の最適組成については日タイで情報を共有した。

BDF 低金属のための脱金属技術の開発(PDM 活動 No3-3): ジャトロファ H-FAME 中に含まれるリン量を低減するため、ジャトロファ油の脱ガム試験を行い、所定のリン酸と水添加条件下で、リン脂質の減少が可能となった。日タイで同一サンプルを用い、同一条件下で脱ガム試験を負行い、データの整合性を図ると共に、専門家派遣により、カウンターパートでのデータの確認を行い、データの信頼性を高めることができた。

BDF 及びバイオオイルの詳細分析技術の開発(PDM 活動 No8-3): BDF の構成成分分析法と異なり、微量成分(飽和脂肪酸モノグリセリド、ステロールグリセリド等)のガスクロマトグラフを用いた分析法は未構築であったが、産総研で分析法を新たに構築した。この方法を、専門家派遣を通し、カウンターパートに技術移転した。また、熱分解から得られるバイオオイル構成成分のガスクロマトグラフによる分析法を検討し、カウンターパートに技術移転した。

高品質 BDF の LCA 評価(PDM 活動 No4-1):当該案件については日本側とタイ側が合同チームを構築し、両者が連携して LCA 評価を行った。まず、社会実装に必要な不可欠(最終製品コストの 7 割以上)な入口戦略(安価な出発原料の安定確保)を中心に、タイ国内のジャトロファ・プランテーション等の合同調査を行った。

以上、ほぼ全ての要素課題に対し、専門家派遣による現地での技術指導とタイ研修生の招聘による本邦研修を通し、技術・知識の移転を行った。

### ・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

共同研究の実施内容や進捗状況の確認のため、また、知識移転や技術移転をより確実なものにするには、適宜の専門家派遣や研修生の本邦研修等の双方の実施が有効である。特に、相手機関との分析データの比較検討には、その前段階で共通サンプルを用いた分析

データのクロスチェックが有効である。

(3) 研究題目2(Task2): ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術

**相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。**

急速熱分解用触媒の探索 (PDM 活動 No6-1): 触媒存在下の急速熱分解では、無触媒下と比べ、バイオオイル収率が大幅に低下するものの、バイオオイルは低酸素で酸性も弱まる特徴がある。触媒としては、ゼオライト系触媒や非貴金属系金属を担持した触媒ではカルボン酸(バイオオイルの酸性の要因)量が低下することが分かった。一方、無触媒下の急速熱分解では、バイオオイル中の酸素含有量が約 40%と高くなるものの、バイオオイル収率が約 50%と最大となるため、後続の水素化精製による改質を最適化することにより、低酸素の炭化水素系油の回収率が比較的高く維持できることが分かった。また、タイ産のドロマイト等の天然鉱物は固体酸性も低く、急速熱分解用触媒として有望であることが分かった。本研究では、タイ研修生の本邦研修を通して技術指導を行った。

2.2 バイオオイル製造用急速熱分解炉の研究開発(PDM 活動 No6-2): TISTR設置の循環流動層型熱分解パイロットプラントは、木質系バイオマスからのバイオオイル製造用に産総研で設計されたものであり、オイル分が付着したジャトロファ残渣原料を用いたバイオオイル製造はトラブルの連続であった。産総研による技術指導の下、水冷ジャケット設置、バイオオイル蒸気回収のためのパラフィンスクラバー設置、未回収のバイオオイル蒸気の回収用電気集塵器の最適化運転指導等により、安定的な運転が可能になった。最終的には、ジャトロファ残渣から、木酢液分を除くバイオオイル留分用で約 100L(木酢液込みで約 400L)のバイオオイルを製造できた。当該パイロットプラントは、カウンターパートの TISTR 職員のみで運転操作ができるでベルに至っている。

バイオオイルの大量製造・NSTDA への提供 (PDM 活動 No6-2-2):

TISTR で大量(木酢液分を除くバイオオイルで約 100L)に製造したバイオオイルについては、H27 年度初旬にタイカウンターパートの NSTDA に搬送され、NSTDA での分離試験(水抽出法により水溶性成分と非水溶性成分に分離)に供された。

2.3 ジャトロファ残渣由来のバイオオイルの分離技術の設計・研究 (PDM 活動 No7-1): TISTR で以前に製造したバイオオイルを用いて、バイオオイルをセルロースやヘミセルロース由来の水溶性成分(主として木酢液分)とリグニンやトリグリセリド由来の遊離脂肪酸類等からなる非水溶性成分とに分ける分離運転をタイ側カウンターパートの MTEC/NSTDA で行った。ピーカースケールでは、水溶性成分(主として木酢液分)と非水溶性成分(リグニンやトリグリセリド由来の遊離脂肪酸類等)の分離は比較的容易であったが、大型分離機では、エマルジョンの生成が見られ、水溶性成分と非水溶性成分の静置分離は極めて難しかった。エマルジョンの生成をなくす分離条件の最適化を種々試みたが、効果的な分離法の構築には時間が掛かり、NSTDA から産総研への分離処理バイオオイルの送付が遅れると判断されたため、TISTR 製バイオオイルについては、そのまま産総研に空輸した。

2.4 バイオオイルの安定性向上のための技術の研究・開発 (PDM 活動 No7-2): バイオオイルは含有される有機酸やアルデヒド類等により不安定分子の熱・酸化重合が起こりやすい。分離後に得られるバイオオイル非水溶性成分では酸化安定性が改善されるが、酸化防止剤(BHT)の添加により更に安定性が高まること(MTEC/NSTDA)が見出された。また、分離前のバイオオイルでも酸化防止剤(BHT)の添加が安定性向上に有効であった。このため、TISTR で製造されたバイオオイルを入手後、バイオオイルに所定量の酸化防止剤(BHT)を MTEC/NSTDA で添加して安定化処理を行い、その後、産総研に空輸した。

分離・安定化処理バイオオイルの大量製造・AIST への提供 (PDM 活動 No6-2-2): TISTR で大量に製造されたバイオオイル(木酢液分を除く約 100L)が、当初計画から約 1.5 年遅れで、産総研に提供された。

- ・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等
- ・カウンターパート機関での経験が少ない技術について共同研究を行う場合、専門家派遣による技術指導を通じたカウンターパートとの信頼関係構築が不可欠であり、その後のカウンターパートでの実施内容や進捗状況の確認も不可欠と思われる。また、知識移転や技術移転をより確実なものにするには、適宜の専門家派遣に加えカウンターパート研修生の本邦研修等の実施も有効である。

(4) 研究題目 3(Task3)： バイオオイル高品質輸送用燃料化技術  
産総研グループ

相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

バイオオイルの脱酸素化技術の研究・開発(PDM 活動 No3-1)：バイオオイル中の酸素量を約 10 質量%まで低減する軽度水素化脱酸素技術(後段のコプロセッシング処理の前処理技術)開発の中で、水素化脱酸素後に得られる各蒸留成分の酸素量と酸価との相関付けを行った。軽度の水素化脱酸素製品の中の軽質留分(<240℃)は酸価が高く、また酸素含有量も高くなっているため、この留分を蒸留分離することにより、脱酸素バイオオイル(240℃<T<360℃)の酸価を4~6mgKOH/g以下に抑えることができた。後段のコプロセッシングでは、反応装置の腐食性の問題から、供給原料の酸価は、0.8mgKOH/g が推奨されているため、脱酸素バイオオイルを石油留分に約 10~20%の割合で混合できることが分かった。

バイオオイルの改質のための触媒の研究・開発(PDM 活動 No8-2, 9-1)：軽度に水素化脱酸素したバイオオイルのアップグレーディングは、バイオオイルの酸価の制約からバイオオイルと石油留分を混合して一括処理するコプロセッシング技術となる。現行の石油留分の脱硫工程でバイオオイルが同時に処理されるため、触媒には脱硫機能と脱酸素機能が必要となり、ジャトロファ残渣由来バイオオイルの場合には更に脱窒素機能(あるいは窒素化合物耐久性)も必要となる。このため、水素化脱酸素機能を有し、本来の脱硫活性が酸素化合物や窒素化合物で被毒を受けない触媒の検討を、タイ研修生(KMUTNB)の本邦研修の中で行った。フェノール類の含有量が低いバイオオイルでは NiMo 触媒が有効であり、芳香族の水素化を抑える場合(低オクタン価のロス)には、CoMo 触媒が有効であった。CoMo 触媒の活性は NiMo 触媒より劣るものの、反応温度を 350℃以上にするにより対応できることが分かった。タイ研修生(KMUTNB)には各触媒の調製法についても技術指導を行った。

バイオオイルの詳細分析技術の開発(PDM 活動 No8-3)：GC/FID 及び GC/MS を用いたバイオオイルの分析法を構築し、タイ側カウンターパートと共有した。TISTR の循環流動層型熱分解炉では、2個水冷コンデンサー、パラフィンスクラバー、電気集塵器(ESP)でバイオオイルが回収されたが、各分離器から得られたバイオオイルと産総研の流動層型熱分解パイロットプラントから得られるバイオオイルの組成とほぼ同様な組成であることが確認され、構築した分析法により、TISTR の流動層型熱分解パイロットプラントの運転のモニターにも使えることが分かった。

急速熱分解で得られるバイオオイルの改質処理から製造される新燃料の LCA(PDM 活動 No10-1)：：

TISTR の循環流動層型熱分解パイロットプラントから得られるバイオオイルは、当該装置の運転に用いた熱源が主に電気であったため、GHG 排出量が約 3.3kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-バイオオイルと極めて高くなった。しかし、副生チャーや非凝縮性ガス等を上手に熱源に利用すれば、約 0.3kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-バイオオイルにまで低減できる可能性があることがわかり、今後、更なる省エネ型の熱分解反応炉開発への対策指針が得られた。一方、生成されたバイオオイルを改質し、自動車燃料品質までアップグレードする場合、GHG 排出量が、最低レベルでも約 9kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-バイオオイルと極めて高くなった。この GHG 排出量は、天然ガスの水蒸気改質による水素製造、またバイオオイル 100%を処理するスタンドアロンの精製設備利用を前提としているためであり、現行の石油精製設備を用いた石油留分とバイオオイルの混合処理、

更には現行の石油精製設備の余剰水素の利用等を想定すれば、GHG 排出量の更なる低減が期待できることをタイ側 MTEC、TISTR と情報共有した。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

- ・ 前2課題への取り組みと同様に、共同研究の実施内容や進捗状況の確認のため、また、知識移転や技術移転をより確実なものにするには、適宜の専門家派遣や研修生の本邦研修等の双方の実施が有効である。

(5)研究題目4(Task4):新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術

相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

高品質 BDF の材料適合性評価 (PDM 活動 No. 5-1)

H-FAME の金属材料やエラストマー (燃料ホース) に及ぼす影響を浸漬試験で評価した結果、H-FAME の材料適合性が従来の FAME より若干改善されることが分かった。

バイオオイル経由で製造された燃料 (石油との混合処理油を含む) の材料適合性評価 (PDM 活動 No. 11-1)

バイオオイルの水素化精製により、改質油の酸素量が 0.1wt%以下まで低減すると、腐食等の要因となる酸価値もほぼゼロとなり、材料適合性は石油系燃料油と同様になることが分かった。

バイオオイル経由で製造された燃料 (石油との混合処理油を含む) の燃焼特性評価 (PDM 活動 No. 11-2)

TISTR の循環流動層型熱分解パイロットプラントで製造されたバイオオイルを入手し、現在産総研で改質実験実施中である。今後、改質油を蒸留処理して得られるガソリン留分等を用いたシャーシダイナモ試験を実施予定である。

BDF のエンジン特性評価 (PDM 活動 No. 5-3) :

H-FAME の主成分であるオレイン酸メチルに着目し、その単味燃料や石油系軽油との混合燃料 (最大混合率=40 質量%)を用いてエンジン特性評価を行った。現行の自動車燃料への BDF 混合利用は直接的な石油代替効果があるが、オレイン酸メチル等の多不飽和結合量が低減した BDF は低セタン価の燃料に混合して利用する場合、セタン価向上剤として利用されることが分かった。本年度は、タイ研修生の本邦研修は実施しなかった。

BDF の燃焼特性シミュレーション (PDM 活動 No. 5-4) :

オレイン酸メチル燃料のサロゲート反応機構を導入し、0 次元モデルに適用することにより、BDF/軽油混合燃料の燃焼反応をモデル化した。BDF の着火特性が軽油のそれと類似しているものの、着火燃焼における PM の生成領域が回避されることが分かった。更に、エンジン内に 3 次元数値流体モデルを適用して BDF の燃焼反応モデルを組み込み、各熱物性値のシミュレーションを行った。本年度は、タイ研修生の本邦研修は実施しなかった。

BDF を用いた実車走行試験 (PDM 活動 No. 5-5) :

タイ国エネルギー省省エネ・効率化局の要望に基づき、パーム H-FAME を軽油に 20vol% 混合した混合燃料 (B20) を用いた実車走行試験をタイ国内で実施した。試験車輻には、いすゞピックアップトラック (EURO4 対応車、2500cc) を用い、走行距離は約 50,000km とした。H25 年度に、ジャトロファ H-FAME を軽油に 10vol%混合した混合燃料 (B10) を用いた実車走行試験を実施しており、比較の都合上、同一の走行距離とした。本実車走行試験に先立ち、カウンターパートである MTEC で、パーム H-FAME を軽油に 20vol% 混合した混合燃料 (B20) を用いたエンジンベンチ試験を実施し、B20 燃料でもエンジン特性・排出ガス特性でも問題がないことを確認したが、実車走行試験でも問題がなかったことが確認された。これらのデータは、タイ国エネルギー省省エネ・効率化局と情報共有を図った。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

(6)研究題目 5(Task5):人材育成・技術移転・社会実装

相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

バイオ燃料製造及び利用に係る研究者の育成(PDM 活動 No12-1):本邦研修では、タイ研修生を産総研で42名、早稲田大学で6名受け入れ、技術指導等を行った。研修を受けたタイ研究者は、各カウンターパート機関において、研究の更なる継続に加え、新規プロジェクトの提案等、自立性を発揮している。一方、専門家派遣を通して行った現地での技術指導は、供与機材として提供されたパイロットプラント(高品質 BDF 製造パイロットプラント、バイオオイル製造用循環流動層型熱分解パイロットプラント等)のカウンターパート研究者による理解、運転習熟等には不可欠であったが、最終的にはカウンターパート研究者のみによる自立運転が可能になった。

BDF 製造技術の実用化に向けた戦略構築(PDM 活動 No13-1, 13-2):

高品質 BDF の社会実装についても、早稲田大学に産学官の有識者からなる調査委員会を設け、タイ側研究機関との連携をもとに検討を行った。また、日タイ両国の企業(自動車会社、エンジニアリング会社他)、さらにはタイ政府側の支援を受けて積極的に検討を進めてきた。一方、近年、石油価格が低迷しており、社会実装を担う自動車産業をはじめ多くの企業の関心が低下しているのが現状と言える。しかしながら、低炭素社会構築へ向けて、輸送用燃料へのバイオマス燃料の導入は今後必要不可欠であり、当面は国際産学官連携に加え、FIT 適用などによる国の積極的な支援が期待される、タイ国エネルギー省も、バイオマスエネルギーの導入に、積極的であり、当該技術も一つの候補として選ばれている。

具体的実用化を目指すH-FAME技術は、当初ジャトロファBDFの高品質化用に関連したものであるものの、汎用性のある技術であり、また FS 調査「非食糧系バイオマスからの高品質 BDF 製造技術の実証化・実用化に向けた調査研究」(2011)を通して、3-10 万t/yの地産地消の規模で、第2世代第3世代との比較がなされており、この規模ではH-FAME技術の経済性等が確認されている。本H-FAME技術に関しては、タイ国エネルギー省の代替エネルギーアクションプランを策定している同省代エネ・省エネ局と連携を強化している。その一環として、同省代エネ・省エネ局から要望のあった、パームH-FAMEを用いたB20燃料を用いた実車走行試験をタイ国内で成功裏に実施した(H27年度)。その後(H27年9月18日)、H-FAMEは同省の代替エネルギーアクションプランへ反映された。

H-FAMEの社会実装に向けては、同省からタイ国内でのデモンストレーションプラントによる実証も要望されている。このため、NEDO等の海外実証事業に応募すべく、タイ国内の関係機関や日本国内の関係機関との調整中である。

一方、H-FAME技術を用いれば、東アジアサミットバイオディーゼル品質のみならず世界燃料憲章ガイドライン品質をも満たすBDFが製造できるため、H-FAME技術のASEAN展開を目指し、東アジア・アセアン経済研究センター(ERIA)のバイオ燃料ワーキングでH-FAME技術を紹介する共に、JICA事業である第三国研修(TISTRに設置されたH-FAME製造プラントの現地研修を含む)を通して、H-FAME技術情報を発信中である。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

本邦研修では、タイ研修生を産総研で42名、早稲田大学で7名受け入れ、技術指導等を行った。内、早稲田大学の研修生は日本国政府の国費留学生として留学し、バイオ燃料に係るLCA]で博士号を取得できた。産総研では、各研究課題に対応して、年間平均で約8名のタイ研修生を受け入れており、その研修生の多くが同一あるいは類似テーマでの研究を継続したり、新しい研究テーマの提案等と活躍しており、本邦研修による人材育成は極めて有効であると思われる。

また、バイオマス利活用に関わる多くのSATREPS事業(ASEANだけで10件)が行われ

ているが横連携(情報共有)は必ずしもできていない。今回の事業では事業間の横連携、研究開発成果の他のASEAN諸国への広域展開を試みた。類似プロジェクトでは共通課題も多く、2 国間連携以外のASEAN諸国も類似分野に大きな関心を示している。このため、今後、JST・JICA等も、ASEANでの広域連携による科学技術の振興、バイオマス利活用であれば日ASEANのオープン・イノベーション・センター設立などの新しい展開が期待される。我々は、昨年、国際政策対話でASEANでの社会実装に向けた科学技術の進化、およびバイオマス利活用のオープン・イノベーション・センター設立の政策提言を行っている。また、今年1月、ASEAN諸国に向けたバイオマスエネルギー導入の政策提言案(日本工学アカデミー、バイオマス・アジア・プロジェクトチーム)を作成している(現在、タイ・インドネシア・ベトナム等からのコメント待ち)。

### Ⅲ. 社会実装(研究成果の社会還元) (公開)

#### (1) 成果展開事例

##### ○ 高品質バイオディーゼル(H-FAME)

社会実装が期待できる高品質 BDF については、JST や国内関連企業等からの要望もあり、当初計画の LCA 評価、燃焼特性・エンジン特性評価に加え、社会実装に関わる企業(エンジニアリング会社、自動車産業、商社)との打ち合わせを H22 年度に開始した。H23 年度からは産学官の有識者(エンジニアリング会社、商社、技術調査会社他)および産総研・早稲田大学の代表者からなる調査委員会(大聖委員長)を設置し、社会実装に向け LCA 評価や燃焼特性・エンジン特性の研究結果を含め、より具体的な検討を精力的に開始している。H23 年度は、タイ科学技術省と協働でタイ国内およびタイ周辺諸国(インドネシア)のジャトロファ BDF に関わる LCA 等による環境評価を行った。また、ジャトロファ BDF とパーム BDF を対象として、経済性評価、環境影響負荷調査などを行い、当該プロセスが、地産地消プロセスとして、第2世代プロセス(酸素を含まない炭化水素製造)および第3世代プロセス(ガス化後、FT 合成)と比べ、比較優位性(3-10 万 t/y 規模)を有することを明らかにした(図 50)。

なお、当該 SATREPS 事業ではジャトロファ残渣からのバイオオイル製造、バイオオイルからの輸送用燃料製造もおこなわれたが、現時点で社会実装の検討は時期尚早(経済性の面から)であり検討は行っていない。今後、上記アプローチはトータルシステムの中で議論することが必要になると考えられる。

##### ○ ジャトロファ BDF の課題とポンガミア BDF の優位性(調査研究)

H24 年度はタイ国内およびタイ周辺諸国(ベトナムおよびミャンマー)のジャトロファ BDF に関わる入口戦略の検討をタイ研究機関と合同で引き続き行った。一方、調査委員会による経済性評価では、ジャトロファは社会実装に向けた出発原料として解決すべき多くの課題(オイル収率、収穫手法、肥料他)があり、時期尚早であることが明らかになった。また、一連の社会実装に向けた調査から、非食糧系バイオマスとしてポンガミアが有望であることが併せて明らかになった(図 51)。ポンガミアのオイル収率はパームと同等であり、同時期に収穫ができ農業機械の導入が可能となる。また、パームと比べ栽培可能な地域が広く(ASEAN 全域)、マメ科植物であるため窒素固定のメリットがある。そこで、H25 年度はポンガミアに焦点を絞り、ポンガミアの栽培が進んでいるオーストラリアおよびインドの現地調査を行い、ポンガミアは搾油中に安定成分(二重結合が一つ)を多く含み、部分水素化(高品質化)プロセスの負担も少なくなることも明らかになった(現在、米国、オーストラリア、インドで精力的な品種改良が進められている)。調査委員会ではポンガミア BDF、ジャトロファ BDF およびパーム BDF の経済性評価および環境影響負荷調査等を行い、ポンガミア BDF の優位性が明らかになった。さらに、調査委員会では、入口から出口までの最適プロセスを明らかにし(図 52)、ポンガミア BDF のビジネスプランの作成も試みた。

○ 次の展開に向けたアプローチ

H26年度・H27年度は、H25年度までの調査委員会での成果をもとにBDFの社会実装に向けた次への展開について、国内関連機関等（企業他）との検討を継続的に行った。また、駐日タイ大使館（大使および公使参事官）の支援を受け、タイ農業研究開発庁（ARDA、Agriculture Research Development Agency）等の政府機関や他関連機関（大学、研究機関、企業）と打ち合わせを進めている。さらに、ASEAN諸国の関連機関とも社会実装に向けた入口戦略（非食糧系バイオマスの栽培、安価な安定供給）、出口戦略（用途開発、FIT、JCM、経済性・環境影響負荷調査、ビジネスプラン）の打ち合わせを行った。また、入口から出口までのプロセス最適化（収穫、搾油、BDF製造、高品質化、副生物・廃棄物他）についてもタイ国および周辺諸国と検討を合同で行った。

ポンガミアなどの有望な非食糧系バイオマスの栽培はタイ国やASEANでは始まったばかりであり、社会実装に向けて、今後、栽培が広く普及することが期待されている。現時点で利用可能な植物油は食糧系のパーム油であり、今後ある一定期間はパームBDFの利活用も考えられる。

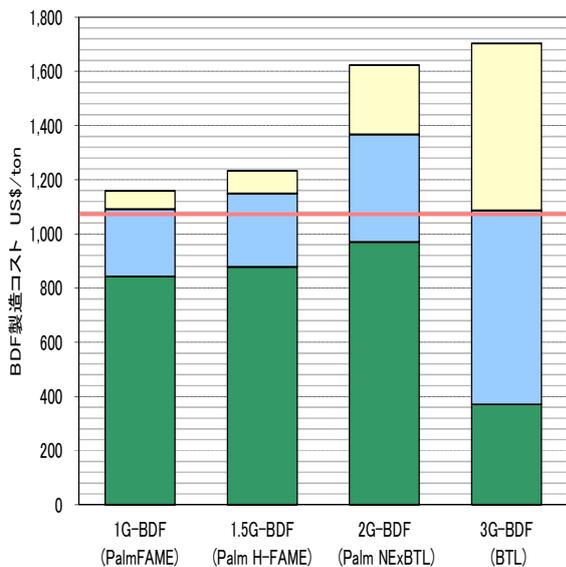


図 50 BDF 製造コストの比較

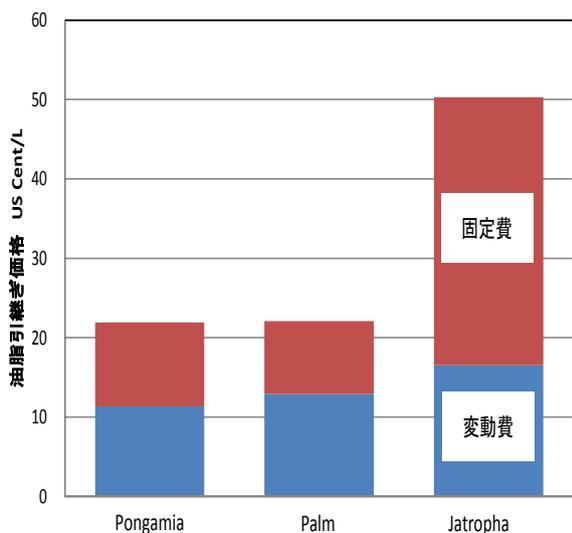


図 51 ポンガミア、パーム、ジャトロファ油の比較

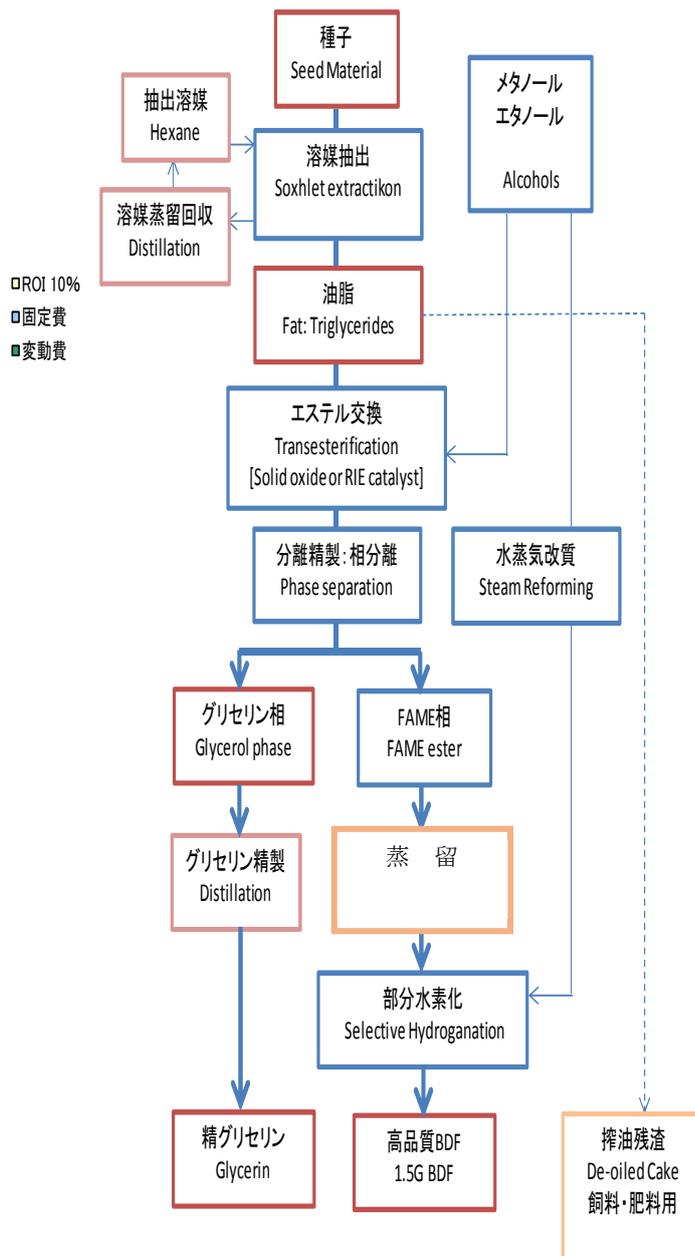


図 52 予想される BDF 製造プロセス

○ タイ国エネルギー省のアプローチ

タイ国エネルギー省省エネ効率化局 (DEDE) は、石油代替エネルギー開発計画 (AEDP) (2015-2036) を改定し、その改定版中に新しいバイオディーゼルとして H-FAME が追加されたが (従来の AEDP では、従来型 FAME と先進燃料として BHD の二種類のみ反映)、その同 AEDP 改定版が 2015 年 9 月 17 日にタイの国家エネルギー政策委員会 (NEPC) で承認された (図 50)。この結果、当該事業で開発した H-FAME が、タイ政府の代替エネルギー政策に新バイオディーゼルの一つとして正式に反映され、今後の H-FAME の実用化に向けた環境が整備された。また、2015 年 11 月 18 日に開催された当該 SATREPS 事業に係る年次報告会で、タイ国エネルギー省省エネ効率化局 (DEDE) のバイオ燃料開発局からアクションプランの報告があり (図 51)、2018 年～2019 年頃から H-FAME の開発も計画されていることが示された。

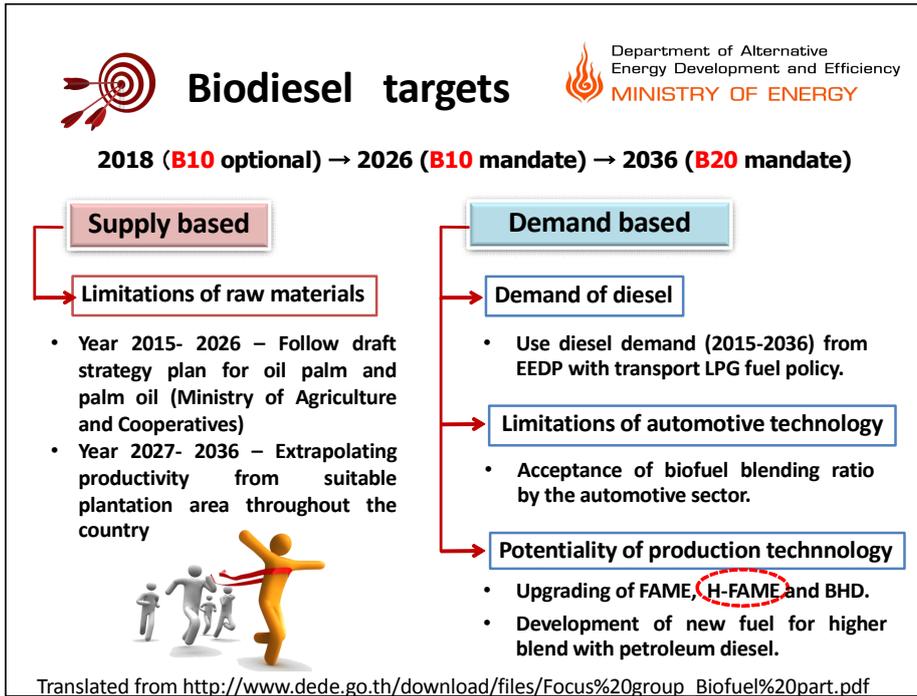


図 53 タイ国の石油代替エネルギー計画 (AEDP) (2015, 8, 26) 中のバイオディーゼルに係る記載(抜粋)

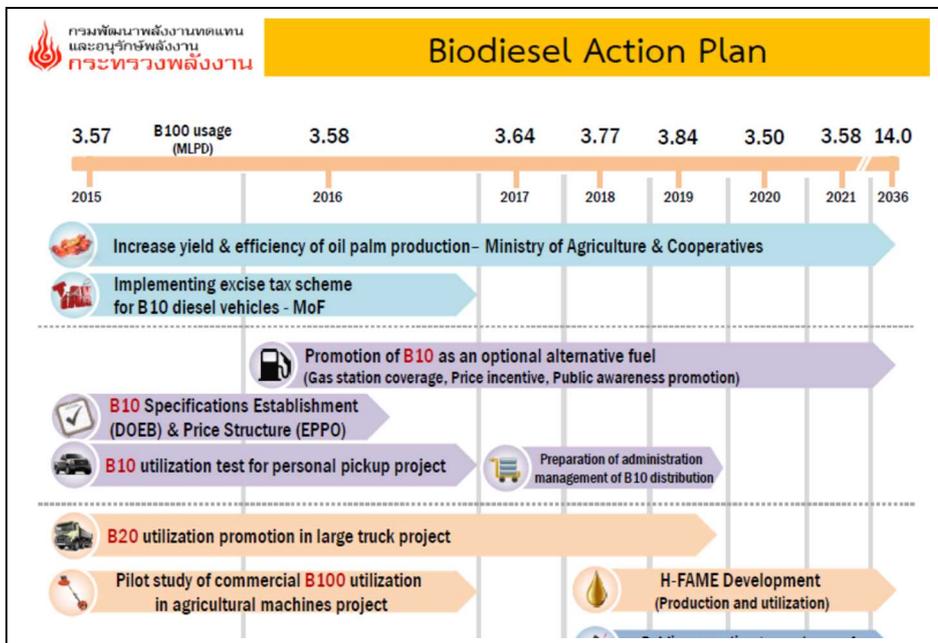


図 54 タイ国の石油代替エネルギー計画 (AEDP) 中のバイオディーゼルアクションプラン(2015. 11. 18)

## (2) 社会実装に向けた取り組み

当該事業では“Ⅲ. 社会実装（研究成果の社会還元）”で上述したように高品質 BDF の社会実装に向けた多様な検討が進められた。

高品質 BDF 製造のパイロットプラントで得られた成果の社会実装に関しては、当初計画より具体的な検討が進みつつあり、日タイ両国に他のアセアン諸国を加え、日タイ関連機関による産学官による検討が加速している。H26 年度は駐日タイ大使館の全面支援の下に、日タイ両国の関連機関との連携強化を進め、今後の両国の共同研究、さらにはアセアンとの広域共同研究に向けて検討を加速度的に進めることができた。具体的には、国際政策対話（科学技術に関わる東アジア広域連携、JST・JICA・EAJ・GRIPS・大学・産業界他が参加、アセアン諸国から各国のリーダーを招聘）で、アジアのバイオマス研究センターをタイに設立する提言がなされており（文科省、大蔵省等とも打ち合わせ）、前述した EAJ での今後の技術移転・社会実装に関わる議論も進んでいる。また、JST は e-ASIA（科学技術に関わる東アジア広域連携）プログラムを進めており、バイオマス利活用の社会実装に向けた検討が、日タイ両国、複数のアセアン諸国とも話が進みつつある。

また、当該事業では、タイ国政府の代替エネルギーアクションプランでジャトロファが将来のバイオディーゼル原料として R&D 課題の対象とされているが、ジャトロファ H-FAME がタイ国内で自動車燃料として利用されるには未だ時間を要する状況である。一方、タイ国エネルギー省からは、H-FAME 技術を商業化に繋げるため、その前段階として H-FAME のデモンストラーションプラント事業をタイ国内で実施してほしい旨の要望もあり、現在、NEDO 海外実証事業に向けた提案等を準備中であり、国内企業、タイ企業、タイ国エネルギー省等との連携を強化しつつある。

また、東アジア・アセアン経済研究センター（ERIA）と連携し、ASEAN 地域におけるバイオマス資源の特徴を考慮して、バイオディーゼルの標準化の活動を進めている。

## IV. 日本のプレゼンスの向上（公開）

・日本のプレゼンスの向上としては、ERIA および ASEAN 諸国と連携して BDF のアジア標準を策定したことがまず挙げられる。

・また、タイ国政府（エネルギー省、農業省、工業省、科学技術省、駐日タイ大使館等）の支援をもとに、バイオマス燃料導入に関わる、タイ国内での日本のプレゼンス向上に寄与することができた。

・さらに、当該事業を一つの契機として、日本がまとめ役になり、バイオマス燃料に関わる、日 ASEAN の広域連携（国際産学官連携）が進みつつある。

・関連する国際会議等で当該事業に関わる発表・講演等を積極的に行い、アジアのみでなく欧米等へも情報発信、日本のプレゼンス向上に努めることができた。特に日本がリードするエンジン評価技術等については、当該事業の成果発表・日本のプレゼンス向上で、目を見張るものがあった。

・チェンマイの国際コンベンション&エキシビジョンセンターで開催された科学技術博覧会（2014/8/12～2014/8/28）に参加し、日本パビリオンで当該 SATREPS 事業「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」の紹介パネルを展示すると共に、実車走行試験に用いたピックアップトラックを展示した。タイの国家平和維持評議会の幹部、科学技術省事務次官、チェンマイ副知事、在タイ日本大使館科学技術担当書記官、チェンマイ総領事を始めとする日タイ政府関係者、日タイのマスコミ等に対して、H-FAME（部分水素化し高品質化されたバイオディーゼル）の広報活動を行った。この展示内容については、2014/8/22 付の読売新聞（衛星版）でも紹介された。

・バンコクでワークショップ「ASEAN における高濃度バイオディーゼル（H-FAME）の自動車利用に係る課題と対策」（JST 追加予算で実施）（2015.9.18）を開催し、H-FAME 技術の詳細や実

車走行試験結果を報告した。この内容については、アジア経済情報誌 Thae Daily NNA タイ版（2015.9.21）の1面で紹介され、見出しは「日本が仕掛ける新バイオ軽油 エネ政策で採用、質と価格両立へ」となっている。

**V. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）**

別紙参照。

**VI. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）**

**VII. その他（非公開）**

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名, 論文名, 掲載誌名, 出版年, 巻数, 号数, はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの 別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
H24	Akio Nishijima, Yuuji Yoshimura, Paritud Bhandhubanyong, Yasuhiro Daisho, Siriluck Nivitchanyong, Sutiporn Chewasatn, Sabaithip, and Hideo Samura, (Waseda Univ. AIST, MTEC, TISTR, KMUTNB), Tungkamani "Japan-Thailand Collaboration for Producing High-Quality BDF using Non-Food Biomass", Proceeding of 5th Regional Conf.on New/ Renewable Energy", Sept. 2012		国際誌	出版済み	
H24	Xiaodan Cui, Teagun Kim, Yusuke Fujii, Jin Kusaka, Yasuhiro Daisho, Manida Tongroon, Nuwong Chollacoop, (Waseda Univ. MTEC), The Effects of Jatropha-derived Biodiesel on Diesel Engine Combustion and Emission Characteristics, SAE Int. 2012-01-1637		国際誌	出版済み	
H25	Kazuhisa Murata <sup>1</sup> , Viboon Sricharoenchaiku <sup>2</sup> , Yanyong Liu <sup>1</sup> , Megumu Inaba <sup>1</sup> , Isao Takahara <sup>1</sup> (1:AIST, 2:MTEC), "Effect of carbon-based catalyst on fast pyrolysis of jatropha waste", J. Jpn. Petrol. Inst., <b>56</b> (6), 371-380 (2013). 2013.11		国際誌		
H26	Kazuhisa Murata*, Wasana Khongwong, Siriporn Larpiattaworn, Yanyong Liu, Megumu Inaba, Isao Takahara, "Role of Pt-Pd-modified zeolite catalysts in the pyrolysis of jatropha waste in a stainless steel reactor", J. Jpn. Petrol. Inst., 2014, 57 (3), 133-145.		国際誌	出版済み	
H26	Boonkum P., Mungkalasiri J., Thanangkano W., Nohtomi M., Nagata K. and Onoda H., (MTEC, Waseda Univ.), "Economic assessment of biodiesel production from non-food feedstock: A case study of rural community in Thailand" published in proceeding of "The 1st Asian Conference on Biomass Science", 14 January 2014		国際誌	出版済み	

H26	Boonkum P., Mungkalasiri J., Thanangkano W., Nohtomi M., Nagata K. and Onoda H., (MTEC, Waseda Univ.), "The Impact of Different Farm Management Systems on Jatropha Cultivation for Biodiesel Feedstock: A Case Study in Thailand", Presented at the 8th Life cycle conference: Pathways to greening global market. July 2013. Sydney, Australia		国際誌	出版済み	
H26	Shih-Yuan Chen,* Supranee Lao-ubol, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Production of Jatropha Biodiesel Fuel over Sulfonic Acid-based Solid Acids, Bioresour. Technol. 2014, 157, 346-350.	10.1016/j.biortech.2014.01.097	国際誌	出版済み	
H26	Shih-Yuan Chen,* Supranee Lao-ubol, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Transformation of Non-edible Vegetable Oils into Biodiesel Fuels Catalyzed by Unconventional Sulfonic acid-functionalized SBA-15, Appl. Catal. A: Gen. 2014, 485, 28-39.	10.1016/j.apcata.2014.07.026	国際誌	出版済み	
H26	Shih-Yuan Chen,* Nattawee Teerananont, Thanita Sonthisawate, Piyanan Sreesiri, Chanakan Puemchalad, Takahashi Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, A Cost-effective Acid Degumming Process Produces High-quality Jatropha Oil in Tropical Monsoon Climates, Eur. J. Lipid Sci. Technol. 2015, in press.	10.1002/ejlt.201400293	国際誌	in press	

論文数 9 件  
うち国内誌 0 件  
うち国際誌 9 件  
公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ—おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの 別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
H21	Yanyong Liu,Rogelio Sotelo-Boya's, Kazuhisa Murata, Tomoaki Minowa, Kinya Sakanishi, "Hydrotreatment of Jatropha Oil to Produce Green Diesel over Trifunctional Ni-Mo/SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Catalyst", Chem.Lett., 38(6), 552-553		国際誌		
H22	Kazuhisa Murata*, Yanyong Liu, Megumu Inaba, Isao Takahara," Production of synthetic diesel by hydrotreatment of jatropha oils using Pt-Re/H-ZSM-5 catalyst", Energy & Fuels, 24(4), 2404-2409		国際誌		

H22	Kazuhisa Murata,* Yanyong Liu, Megumu Inaba, Isao Takahara," Hydrocracking of biomass-derived materials into alkanes in the presence of platinum- based catalyst and hydrogen", <i>Catal. Lett.</i> , <b>140 (1-2)</b> , 8-13		国際誌		
H23	Takehisa Mochizuki, Makoto Toba, Yuji yoshimura, "Deoxygenation of Bio-oil over Reduced Catalysts", <i>J. Jpn. Petrol. Inst.</i> , <b>54(3)</b> , 222-223 (2011)		国際誌		
H23	Takehisa Mochizuki, Makoto Toba, Yuji yoshimura, "Fast Pyrolysis of Jatropha Residues over Zeolite Catalysts", <i>J. Jpn. Petrol. Inst.</i> , <b>55(1)</b> , 69-70 (2012)		国際誌		
H23	Y. Liu,* ,† R. Sotelo-Boyas,‡ K. Murata,† T. Minowa,† and K. Sakanishi†, "Hydrotreatment of Vegetable Oils to Produce Bio-Hydrogenated Diesel and Liquefied Petroleum Gas Fuel over Catalysts Containing Sulfided Ni_Mo and Solid Acids", <i>Energy &amp; Fuels</i> , <b>25(10)</b> , 4675-4685 (2011)		国際誌		
H23	K.Murata* <sup>1,3</sup> , S.Phanthinee <sup>2,3</sup> , L. Siriporn <sup>2,3</sup> , Y. Liu <sup>1</sup> , M. Inaba <sup>1</sup> , I. Takahara <sup>1</sup> , Analyses of Liquid Products from Catalytic pyrolysis of jatropha seed cakes", <i>Energy &amp; Fuels</i> , <b>25(11)</b> , 5429-5437 (2011).		国際誌		
H23	Y. Liu *, R. Sotelo-boyás, K. Murata, T. Minowa, K. Sakanishi," Production of Bio-hydrogenated Diesel by Hydrotreatment of High-Acid-Value Waste Cooking Oil over Ruthenium Catalyst Supported on Al-polyoxocation-pillared Montmorillonite", <i>Catalysts</i> , <b>2(1)</b> ,171-190 (2012)		国際誌		
H23	K. Murata*, Y. Liu, M. Inaba, I. Takahara,"Catalytic fast pyrolysis of jatropha wastes", <i>J.Anal.Appl. Pyrolysis</i> , <b>94</b> ,75-82 (2012).		国際誌		
H24	Tetsuya Suzuta, Makoto Toba, Yohko Abe, Yuji Yoshimura, "Iron oxide catalysts supported on porous silica for the production of biodiesel from crude Jatropha oil", <i>J. Am. Oil Chem. Soc.</i> , <b>89(11)</b> , 1981-1989 (2012)		国際誌		
H25	Takehisa Mochizuki, Shih-Yuan Chen, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Effect of SiO <sub>2</sub> pore size on catalytic fast pyrolysis of Jatropha residues by using pyrolyzer-GC/MS", <i>Catal. Commun</i> , <b>36</b> ,1-4 (2013).		国際誌		

H25	Takehisa Mochizuki, Shih-Yuan Chen, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Pyrolyzer-GC/MS system-based analysis of the effects of zeolite catalysts on the fast pyrolysis of Jatropha husk", <i>Appl. Catal. A; Gen.</i> , <b>456</b> , 174-181 (2013)		国際誌		
H25	Takehisa Mochizuki, Shih-Yuan Chen, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Deoxygenation of guaiacol and woody tar over reduced catalysts", <i>Appl. Catal. B; Env.</i> , <b>146</b> , 237-243 (2014).		国際誌		
H25	Shih-Yuan Chen, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Production of high-quality biodiesel fuels from various vegetable oils over Ti-incorporated SBA-15 mesoporous silica", <i>Catal. Commun.</i> , <b>41</b> , 136-139 (2013)		国際誌		
H26	Shih-Yuan Chen,* Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Ti-incorporated SBA-15 Mesoporous Silica as an Efficient and Robust Lewis Solid Acid for the Production of High-quality Biodiesel Fuels, <i>Appl. Catal. B: Environ.</i> 2014, 148-149, 344-356.	10.1016/j.apcatb.2013.11.009	国際誌	出版済み	2014/4/27出版
H26	Xiaodan Cui, Peng Lu, Hiroki Nakamura, Mitsuhiro Matsunaga, Akira Kikusato, Kusaka Jin, Yasuhiro Daisho, "Utilizing a Biodiesel Fuel as a Cetane Number Improver for a Light-duty Diesel Engine", SAE Technical Paper, 2014-01-1392	10.4271/2014-01-1392	国際誌	出版済み	
H26	Xiaodan Cui, Beini Zhou, Hiroki Nakamura, Kusaka Jin, Yasuhiro Daisho, "A Numerical study on the effects of fame blends on diesel spray and soot formation by using kiva3v code including detailed kinetics and phenomenological soot formation models", SAE Technical Paper, 2014-01-2653	10.4271/2014-01-2653	国際誌	出版済み	
H26	Shih-Yuan Chen,* Supranee Lao-ubol, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Production of Jatropha Biodiesel Fuel over Sulfonic Acid-based Solid Acids", <i>Bioresour. Technol.</i> 2014, 157, 346-350.	doi:10.1016/j.biortech.2014.01.097)	国際誌	出版済み	
H26	Shih-Yuan Chen,* Supranee Lao-ubol, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Transformation of Non-edible Vegetable Oils into Biodiesel Fuels Catalyzed by Unconventional Sulfonic acid-functionalized SBA-15", <i>Appl. Catal. A: Gen.</i> 2014, 485, 28-39.	doi:10.1016/j.apcata.2014.07.026	国際誌	出版済み	

H27	Shih-Yuan Chen,* Nattawee Teerananont, Thanita Sonthisawate, Piyanan Sreesiri, Chanakan Puemchalad, Takahashi Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, A Cost-effective Acid Degumming Process Produces High-quality Jatropha Oil in Tropical Monsoon Climates, Eur. J. Lipid Sci. Technol. 2015, 117, 1079-1087	doi:10.1002/ejlt.201400293	国際誌	出版済み	
H27	Shih-Yuan Chen,* Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Phunthinee Somwongsa, Supranee Lao-ubol, Carbonaceous Ti-incorporated SBA-15 with enhanced activity and durability for high-quality biodiesel production: synthesis and utilization of the P123 template as carbon source, Appl. Catal. B: Environ. 2016, 181, 800-809.	10.1016/j.apcatb.2015.08.053	国際誌	出版済み	
H28	Shih-Yuan Chen,* Lalita Attanatho, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Chiraphat Kumpidet, Phunthinee Somwonhsa, Supranee Lao-ubol, Upgrading of Palm Biodiesel Fuel over Supported Pd Catalysts, CR Chimie. 2016, 19, 1166-1173.	doi:10.1016/j.crci.2015.12.005	国際誌	出版済み	
H28	Shih-Yuan Chen,* Lalita Attanatho, Takehisa Mochizuki, Qingxin Zheng, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Phunthinee Somwonhsa, Supranee Lao-ubol, Influences of the Support Property and Pd Loading on Activity of Mesoporous Silica-Supported Pd Catalysts in Partial Hydrogenation of Palm Biodiesel Fuel, Advanced Nanoporous Materials 2016, 4, 230-237.	https://doi.org/10.1166/apm.2016.1116	国際誌	出版済み	

論文数 23 件  
うち国内誌 0 件  
うち国際誌 23 件  
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの 別	特記事項

著作物数 0 件  
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ—おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
H23	村田和久, 岡部清美, 高原功, 稲葉仁, 劉彦勇, バイオマスからの液体燃料製造技術”, 日本エネルギー学会誌, 90(6), 505-511 (2011).		エネルギー学会誌	出版済み	
H23	坂西、花岡、劉、村田、バイオディーゼル燃料の最新動向”, J. of the JIME, 47(1), 39-44 (2012)				
H23	村田和久(分担執筆)、BTL触媒技術		電気評論		
H23	鳥羽 誠, 「水素化精製技術による輸送用軽油代替バイオ燃料の高品質化		日本エネルギー学会誌		
H24	望月剛久, 阿部容子, 鳥羽誠, 葭村雄二, 「非食糧系バイオマスからの高品位輸送用燃料製造」		オレオサイエンス誌		
H24	久留裕貴, 大久保拓哉, 崔暁丹, 松本康義, 藤田翔平, 大聖泰弘, 大橋敏宏, 高林徹, ” バイオディーゼル燃料が乗用車用ディーゼル機関の性能と排出ガスに及ぼす影響		自動車技術会論文集		
H24	葭村雄二、鳥羽 誠、望月剛久、“非食糧系バイオマスからの高品質バイオディーゼルの製造”		PETROTECH		
H25	村田和久(分担執筆)、“次世代パワートレイン開発と燃料技術—バイオマス原料液化技術(BTL)”p.168-183, 2013.11発行		CMCブック		
H26	村田和久、“次世代パワートレイン開発と燃料技術—バイオマス原料液化技術(BTL)”、(分担執筆)、CMCブック、2014、p.168-183,		書籍	出版済み	
H26	葭村雄二、ヌラン・チョラクープ、小熊光晴、“タイのbバイオディーゼル普及に対する取り組み”vol.68(10)、p.56-62,2014		自動車技術誌		

H27	H-FAME video (タイ語版、日本語版、英語版)を作成	/		in press	(英) <a href="https://drive.google.com/file/d/0B1CV-a1cXmKrUFNXMI9Vdi1wb0k/view?usp=drive_web">https://drive.google.com/file/d/0B1CV-a1cXmKrUFNXMI9Vdi1wb0k/view?usp=drive_web</a> (日) <a href="https://drive.google.com/file/d/0B1CV-a1cXmKrUFNXMI9Vdi1wb0k/view?usp=drive_web">https://drive.google.com/file/d/0B1CV-a1cXmKrUFNXMI9Vdi1wb0k/view?usp=drive_web</a> (タイ) <a href="https://drive.google.com/file/d/0B1CV-a1cXmKrUXc3NkM0ZnRKVFU/view?pli=1">https://drive.google.com/file/d/0B1CV-a1cXmKrUXc3NkM0ZnRKVFU/view?pli=1</a>
-----	---------------------------------	---	--	----------	--

著作物数 11 件  
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
H22	タイ科学技術研究院から研修生3名を受け入れた。(産総研受入=3名)		
H23	タイ科学技術開発庁から研修生7名、タイ科学技術研究院から研修生2名、モンクット王工科大学ノースバンコクから研修生2名を受け入れた。(産総研受入=8名、早稲田大学受入=3名、内1名は日本国政府国費留学生)		
H24	タイ科学技術開発庁から研修生3名、タイ科学技術研究院から研修生3名、モンクット王工科大学ノースバンコクから研修生2名を受け入れた。(産総研受入=7名、早稲田大学受入=1名)		
H25	タイ科学技術開発庁から研修生7名、タイ科学技術研究院から研修生6名、モンクット王工科大学ノースバンコクから研修生2名を受け入れた。(産総研受入=14名、早稲田大学受入=1名)		
H26	JICA本邦研修: Research on catalysta for production/upgrading of bio oils and life cycle assessment 科学技術開発庁(NSTDA) 1名、モックト王工科大学ノースバンコク(KMUTNB) 2名		科学技術開発庁(NSTDA) 1名x2ヶ月研修、モックト王工科大学ノースバンコク(KMUTNB) 2名x2ヶ月研修
H26	JICA本邦研修: Research on to develop catalysts for catalytic fast pyrolysis 科学技術開発庁(NSTDA) 1名		科学技術開発庁(NSTDA) 1名x3か月研修
H26	JICA本邦研修: Research on catalysta for catalytic fast pyrolysis タイ科学技術研究院(TISTR) 1名		タイ科学技術研究院(TISTR) 1名x3か月研修
H26	JICA本邦研修: Research on catalysts for improving the stability of bio fuels タイ科学技術研究院(TISTR) 2名		タイ科学技術研究院(TISTR) 2名x2か月研修
H26	JICA本邦研修: Research on bio fuels production and combustion evaluation タイ科学技術研究院(TISTR) 1名, 科学技術開発庁(NSTDA) 2名		タイ科学技術研究院(TISTR) 1名x2か月研修, 科学技術開発庁(NSTDA) 2名x2か月研修

(2)学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
H23	国際学会	A. Nishijima, Y. Yoshimura, Paritud B., Y. Daisho, Siriluck N. Sutiporn C. Sabaithip T. and H. Samura, (Waseda Univ. AIST, MTEC, TISTR, KMUTNB), "Japan-Thailand Collaboration for producing High Quality BDF using Jatropha curcas", Proceeding of 8th Biomass Asia workshop, Hanoi, 2011.	口頭発表
H24	国際学会	Boonkum P., Mungkalasiri J., Thanangkano W., Nohtomi M., and Onoda H., 2012. "Impacts of Jatropha biodiesel and by product use for local community; A case study in North of Thailand", (MTEC, Waseda Univ.), Presented at The 10th International Conference on EcoBalance 2012", November 2012. Yokohama, Japan	口頭発表
H24	国際学会	Pornpimon Boonkum, Wanwisa Thanungkano <sup>1</sup> and Jitti Mungkalasiri, Environmental impact evaluation on Jatropha curcas L. feedstock productions in northern Thailand. International Conference on Green and Sustainable Innovation 2012, May 24 -26, 2012, Chiang Mai.	口頭発表
H24	国際学会	Xiaodan Cui, Yasuhiro Daisyo, Nuwong Chollacoop, Manida Tongroon, `The Effects of Jatropha-derived Biodiesel Engine Combustion and Emission Characteristics' SAE 2012 International Powertrains, Fuels and Lubricants Meeting, 9-2012	口頭発表
H24	国際学会	Makoto Toba, Yohko Abe, Thanita Sonthisawate, Chanakan Asasutjarit, Takehisa Mochizuki and Yuji Yoshimura, "Partial hydrogenation of biodiesel for improvement of its oxidation stability", 15th International Congress on Catalysis, Munich, Germany, 2012.7.4, P1659	ポスター発表
H24	国際学会	Takehisa Mochizuki, Duangduen Atong, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Effect of several catalysts on fast pyrolysis of Jatropha residues by using pyrolyzer-GC/MS", International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2012), Hiroshima, Japan, 2012.7.31, P-131	ポスター発表
H25	国際学会	Wasana Khongwong <sup>1*</sup> , Siriporn Larпкиattaworn <sup>1</sup> , Kazuhisa Murata <sup>2</sup> (1:TISTR, 2:AIST),"Catalytic fast pyrolysis of jatropha residues using zeolite based Catalysts", 10th Biomass-Asia Workshop, August 5-6 (Thailand).	ポスター発表

H25	国際学会	Boonkum P., Mungkalasiri J., Thanangkano W., Nohtomi M., Nagata K. and Onoda H., (MTEC, Waseda Univ.), "Life Cycle assessment of energy crop using Environmental Load Point (ELP) Model: case study of Jatropha plantation". Published in a proceeding of at "the 10th Biomass-Aais workshop "Biomass refinery to community and industrial Application". Aug 2013. Bangkok, Thailand	口頭発表
H26	国内学会	村田・ファンティニー・高原・稲葉・劉彦勇、"触媒的熱分解とゼオライト再生に関する検討", 石油学会第63回研究発表会(東京)、2014.05.28 高原・稲葉・劉彦勇、	口頭発表
H26	国際学会	Shih-Yuan Chen*, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Chemisorption and Spectroscopy Studied on Catalytically Active Sites of Ti-SBA-15 Catalysts for the Production of High-quality Biodiesel Fuels (Oral), TOCAT7 Kyoto2014, June 1-6, Kyoto, Japan.	口頭発表
H26	国際学会	Shih-Yuan Chen*, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Chemisorption and Spectroscopy Studied on Catalytically Active Sites of Ti-SBA-15 Catalysts for the Production of High-quality Biodiesel Fuels (Oral), Environmental Catalysis for Sustaining Clean Air and Water: ECSAW III, May 31, Nara, Japan.	口頭発表
H26	国際学会	Ruthairat Wisansuwannakorn, Jitti Mungkalasiri, Pornpimon Boonkum, Wanwisa Thanungkano (MTEC, NSTDA) 匂坂 正幸 (RISS, AIST), Comparison Greenhouse Gas Emission of non-food Biomass to Bio-oil via Difference Pyrolysis Systems, The 2nd Asian Conference on Biomass Science , Tsukuba, Jan. 2015	口頭発表
H26	国際学会	Wanwisa Thanungkano, Jitti Mungkalasiri, Pornpimon Boonkum, Ruthairat Wisansuwannakorn (MTEC, NSTDA) 匂坂 正幸 (RISS, AIST), Assessing the environmental impact of biofuel from Jatropha curcas: A case study in Thailand , The 2nd Asian Conference on Biomass Science , Tsukuba, Jan. 2015	口頭発表
H26	国際学会	Boonkum, Pornpimon; Nohtomi, Makoto; Mungkalasiri, Jitti; Thanangkano, Wanwisa; Nagata, Katsuya; Onoda, Hiroshi, (MTC, Waseda Univ.)"Environmental and social impacts of Jatropha-based biodiesel: A case study in Thailand," Green Energy for Sustainable Development (ICUE), 2014 International Conference and Utility Exhibition on ,pp.1,6, 19-21 March 2014	口頭発表

H27	国内学会	鳥羽 誠(産総研)、望月剛久(産総研)、陳 仕元(産総研)、葎村雄二(産総研)、Yoothana Thanmongkhon (TISTR)、Nuwong Chollacoop (NSTDA/MTEC)、急速熱分解で製造したジェットロファ残渣バイオオイルの精製と水素化脱酸素、石油学会名古屋大会(第45回石油・石油化学討論会)、愛知県名古屋市、2015年11月6日	口頭発表
H27	国際学会	Shih-Yuan Chen*, Lalita Attanatho, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Upgrading of Palm Biodiesel Fuel over Supported Palladium Catalysts (Poster), ZMPC2015, June 28-July 2 2015, Hokkaido, Japan	ポスター発表
H28	国際学会	Shih-Yuan Chen,* Takehisa Mochizuki, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, Production of High-quality Biodiesel Fuel for Practical Use: Present and Future Aspect, ISCCB2016, June 27th to June 30th, 2016, Taipei, Taiwan.	招待講演
H28	国際学会	Shih-Yuan Chen*, Takehisa Mochizuki,a Makoto Toba,a Yuji Yoshimura, Carbonaceous Ti-incorporated SBA-15 as an efficient and durable Lewis solid acid catalyst for production of high-quality biodiesel fuel (Poster), ICC16, July 2nd to July 8th 2016, Beijing, China.	ポスター発表

招待講演	1
口頭発表	12
ポスター発表	5

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
H21	国内学会	村田和久“バイオマス変換と触媒との関わり”、第104回触媒討論会(宮崎大学)、2009.09.29、3D11「依頼講演」	招待講演
H21	国際学会	K.Murata*, M.Inaba, I.Takahara, Y.Liu,(AIST), "PRODUCTION OF HYDROCARBONS BY HYDROTREATING TRI-GLYCERIDES USING MODIFIED H-ZSM-5 CATALYSTS, No.867, 8th-WCCE, Montreal 2009.	口頭発表
H21	国際学会	K.Murata, M.Inaba, I.Takahara, Y.Liu, "Liquid phase and gas phase pyrolysis of woody biomass under catalyst and hydrogen conditions", 6 <sup>th</sup> Biomass Asia Workshop (Hiroshima),2009/11/18-20.	ポスター発表

H21	国内学会	村田和久、稲葉仁、高原功、劉彦勇(産総研)、“水素共存下での木質系バイオマス分解の試み”、第105回触媒討論会(京都)、1P58、2010.3.24-25	ポスター発表
H21	国際学会	M. Toba(AIST), Y. Abe(AIST), T. Mochizuki(AIST), Y. Yoshimura(AIST), "Hydrodeoxygenation of Woody Tar and Model Compounds", 21st North American Catalysis Society Meeting, San Francisco (USA), Jun. 10, 2009.	ポスター発表
H21	国内学会	鳥羽 誠(産総研)、望月剛久(産総研)、葭村雄二(産総研)、「バイオオイルモデル油の水素化脱酸素」、第104回触媒討論会、宮崎、2009年9月27日	ポスター発表
H22	国際学会	Kazuhisa Murata, "Synthesis of BTL fuel from non-edible biomass", 7 <sup>th</sup> Japan-Thailand workshop in Bangkok, 2010.11.15-16	招待講演
H22	国際学会	Kazuhisa Murata, "Synthesis of BTL fuel from non-edible biomass", 7 <sup>th</sup> Biomass Asia Workshop, 2010.11.29-30 (Jakarta)	招待講演
H22	国内学会	村田和久、“ジャトロファ油の水素化分解による軽油代替炭化水素の製造”、[RC244]第3回研究分科会(12/15)	招待講演
H22	国内学会	鳥羽 誠(産総研)、“バイオ燃料高品質化のための触媒技術”、第31回触媒学会若手会「夏の研修会」(浜松)、2010.8.9	招待講演
H22	国際学会	Yuki Hisatome, Shohei Fujita, Gytan Sai, Takuya Okubo, Yasuhiro Daisho and Jin Kusaka (Waseda University) "Effects of Biodiesel Blended Fuels on Diesel Engine Performance and Emissions" 2010 Annual Congress (Autumn), Society of Automotive Engineers of Japan, September, 2010	招待講演
H22	国内学会	杉本義一(産総研)、堀江裕吉(産総研)、「木質タールの水素化処理」、第19回エネルギー学会大会、東京、8月3日	口頭発表
H22	国際学会	Kazuhisa Murata, "Synthesis of BTL fuel from non-edible biomass", 7 <sup>th</sup> Biomass Asia Workshop, 2010.11.29-30 (Jakarta)	口頭発表

H22	国内学会	阿部容子、鳥羽 誠、望月剛久、葭村雄二(産総研)、“バイオディーゼル燃料の酸化安定性に及ぼす酸化防止剤と部分水素化の効果”,石油学会第40回石油・石油化学討論会(神戸国際会議場)、2010.11.25、1D14	口頭発表
H22	国内学会	望月剛久、鳥羽 誠、葭村雄二(産総研)、“バイオオイルの水素化脱酸素による高品位輸送用燃料の製造”,石油学会第40回石油・石油化学討論会(神戸国際会議場)、2010.11.25、1D15	口頭発表
H22	国内学会	鳥羽 誠、望月剛久、阿部容子、葭村雄二(産総研)、“バイオマス燃料と石油系留分の共処理に関する検討”,石油学会第40回石油・石油化学討論会(神戸国際会議場)、2010.11.25、1D16	口頭発表
H22	国内学会	崔, 久留, 大聖, 草鹿他, バイオディーゼル燃料が乗用車用ディーゼル機関の性能と排出ガスに及ぼす影響, 自動車技術会学術講演会秋季大会, 2010年10月	口頭発表
H22	国内学会	村田和久、稲葉仁、高原功、劉彦勇, “木質バイオマス熱分解によるアルカン混合物製造における触媒の効果”、第106回触媒討論会(山梨)、A、ポスター2P07(2010.09.16)	ポスター発表
H22	国際学会	K.Murata, M.Inaba, I.Takahara, Y.Liu., Hydrocracking of jatropha oil under catalysts and hydrogen conditions”, TOCAT6/APCAT5, GP22-033, 2010.7.18-23	ポスター発表
H22	国内学会	村田和久、稲葉仁、高原功、劉彦勇“水素共存下での木質系バイオマス分解の試み”、第105回触媒討論会(京都)、1P58、2010.3.24-25	ポスター発表
H22	国内学会	望月剛久、鳥羽 誠、葭村雄二(産総研)、“油脂の脱酸素反応に及ぼす触媒種の影響”、第106回触媒討論会、甲府、2010.9.16	ポスター発表
H22	国内学会	村田和久、稲葉仁、高原功、劉彦勇, “セルロース等の熱分解によるアルカン混合物製造における触媒の効果”、第6回バイオマス科学会議(大阪大学)、P-53, 2011.1.12	ポスター発表
H22	国際学会	Takehisa Mochizuki, Makoto Toba, Yuji yoshimura, “Fast Pyrolysis of Biomass and Upgrading of Bio-oil	招待講演
H22	国際学会	Takehisa Mochizuki, Makoto Toba, Yuji yoshimura, “Production of high quality transportation Fuel from non-food Biomass” 8 <sup>th</sup> Symposium of Environmental, 2010.11.17.	ポスター発表

H23	国内学会	村田和久、FT技術を活用するバイオマスからの液体燃料製造”、日本機械学会RC244第6回研究分科会	招待講演
H23	国内学会	村田和久、”バイオマスからの液体燃料製造用触媒技術”、産業技術総合研究所技術普及講演会(金沢)、2012.02.21(北陸産業活性化センター)	招待講演
H23	国内学会	望月剛久、鳥羽 誠、葭村雄二(産総研)、“Effect of catalyst Species and reaction conditions on Fast Pyrolysis Product of Jatropha residues”,石油学会第41回石油・石油化学討論会(山口県教育会館)、2011.11.10	口頭発表
H23	国内学会	村田和久(産総研)、高原 功(産総研)、稲葉 仁(産総研)、劉 彦勇(産総研)、「ジャトロファ廃材の熱分解に関する予備的検討」、石油学会第41回石油・石油化学討論会(山口県教育会館)、2011.11.10、1B14	口頭発表
H23	国内学会	望月剛久(産総研)、鳥羽 誠(産総研)、葭村雄二(産総研)、「ジャトロファ残渣の急速熱分解挙動に及ぼす触媒種および反応条件の影響」、石油学会第41回石油・石油化学討論会(山口県教育会館)、2011.11.10、1B15	口頭発表
H23	国内学会	2) 杉本義一(産総研)、堀江裕吉(産総研)、「木質タールの水素化精製」、石油学会第41回石油・石油化学討論会(山口県教育会館)、2011.11.10、1B16	口頭発表
H23	国内学会	加藤隆、納富信、” バイオ燃料用作物の土地利用変化に伴う環境影響評価に関する研究～タイ地域のジャトロファ栽培を対象として～“、第7回日本LCA学会研究発表会、2012年3月	口頭発表
H23	国内学会	崔暁丹、大聖泰弘、“バイオディーゼルを用いたディーゼル機関の燃焼と排出ガス特性に関する研究”、自動車技術会学術講演会秋季大会、2011年10月	口頭発表
H23	国際学会	Akio Nishijima, Yuji Yoshimura, Paritud Bhandhubanyong, Yasuhiro Daisho, Siriluck Nivitchanyong , Sutiporn Chewasatn, Sabaithip Tungkamani and Hideo Samura, “Japan-Thailand Collaboration for Producing High Quality BDF using Jatropha curcas”, 8th Biomass-Asia Workshop, Hanoi, Dec. 2011	口頭発表
H23	国際学会	Hideo Samura, “Business Strategy of High Quality Jatrofa BDF”, 8th Biomass-Asia Workshop, Hanoi, Dec. 2011	口頭発表

H23	国内学会	村田和久・稲葉仁・高原功・劉彦勇、ジャトロファ搾油廃材の熱分解によるオイル製造における触媒の効果”,第7回バイオマス科学会議(岩手県民情報交流センター)、ポスター(Pb202)、2012.1.18-19.	ポスター発表
H23	国内学会	望月剛久、鳥羽 誠、葭村雄二、「ジャトロファ残渣の急速熱分解挙動に及ぼす触媒種の影響」、第108回触媒討論会(北見)、P063、2011.9.21.	ポスター発表
H23	国内学会	鳥羽 誠、望月剛久、葭村雄二、「バイオオイルの水素化脱酸素における触媒種の影響」、第108回触媒討論会(北見)、P064、2011.9.21	ポスター発表
H24	国際学会	Takehisa Mochizuki, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, “Deoxygenation of Guaiacol and Woody Tar over Reduced Catalysts”, International Conference on Environmental Catalysis (ICEC2012), Lyon France, 2012.9.5.	口頭発表
H24	国内学会	望月剛久(産総研)、鳥羽 誠(産総研)、葭村雄二(産総研)、「ジャトロファ残渣の急速熱分解」、石油学会第42回石油・石油化学討論会(秋田キャッスルホテル)、2012.10.12、2B03	口頭発表
H24	国内学会	鳥羽 誠(産総研)、望月剛久(産総研)、葭村雄二(産総研)、「バイオオイルの清浄と水素化脱酸素反応への影響」、石油学会第42回石油・石油化学討論会(秋田キャッスルホテル)、2012.10.12、2B10	口頭発表
H24	国内学会	村田和久(産総研)、高原 功(産総研)、稲葉 仁(産総研)、劉 彦勇(産総研)、「ジャトロファ搾油ケーキの触媒的熱分解に関する予備的検討」、石油学会第42回石油・石油化学討論会(秋田キャッスルホテル)、2012.10.12、2B01	口頭発表
H24	国内学会	崔暁丹、大聖泰弘、“バイオディーゼルを用いたディーゼル機関の燃焼と排出ガス特性に関する研究～燃焼特性を解明および反応モデルの構築”、自動車技術会学術講演会秋季大会、2012年10月	口頭発表
H24	国際学会	Shih-yuan Chen, Takehisa Mochizuki, Yohko, Abe, makoto, Toba, Yuji Yoshimura, “Ti-incorporated SBA-15 as an efficient solid catalyst for the production of high quality Jatropha biodiesel fuel”, International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2012), Hiroshima, Japan, 2012.7.31, RRR15.	ポスター発表
H24	国際学会	K.Murata, M.Inaba, I.Takahara, Y.Liu,“Analyses of Liquid Products from Catalytic Pyrolysis of Jatropha Wastes“, 15th International Congress on Catalysis 2012 Munich, 2012/07/01-06.	ポスター発表

H24	国際学会	M. Inaba, K. Murata, I. Takahara, Y. Liu, "CATALYTIC FAST PYROLYSIS OF EUCALYPTUS WASTE", ACS Fall Meeting(2012), Philadelphia, Aug.18-24(2012)	ポスター発表
H24	国内学会	稲葉仁・村田和久・高原功・劉彦勇、"触媒を用いたユーカリの急速熱分解"、第110回触媒討論会(九大伊都キャンパス)、P047、2012.09.25	ポスター発表
H24	国内学会	稲葉仁、村田和久、高原功、劉彦勇、"固体酸触媒を用いたユーカリの急速熱分解"、9 <sup>th</sup> -Biomass Asia WorkShop, 飯野ホール、2012.12.3-4	ポスター発表
H24	国内学会	村田和久・稲葉仁・高原功・劉彦勇、触媒共存下でのジャトロファ廃材の熱分解条件の検討、第8回バイオマス科学会議(サタケメモリアルホール(広島))、ポスター(Pa201)、2013.01.9-10	ポスター発表
H24	国内学会	稲葉仁、村田和久、高原功、劉彦勇、"ゼオライト触媒を用いたユーカリの急速熱分解"、第111回触媒討論会(関西大学)、1P77、2013.03.25-26	ポスター発表
H24	国内学会	杉本義一、堀江裕吉、「石油精製設備を利用したバイオ燃料の製造」、第8回バイオマス科学会議(広島)、2012.1.10	ポスター発表
H24	国内学会	Boonkum P, Mungkalasiri J, Nohtomi M, Kirikawa T and Onoda H, Impacts of Jatropha biodiesel and by products use for local community; A case study in North of Thailand". The International Conference on EcoBalance 2012, November 20-23, 2012, Yokohama, Japan	ポスター発表
H25	国際学会	Shih-yuan Chen, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Production of High Quality Jatropha Biodiesel Fuel over Ti-incorporated SBA-15: an Efficient, Highly Water and FFA Resistant, and Recyclable Solid Catalyst", The 8th International Mesoporous Materials Symposium, 2013.5.22 (Awajishima, Japan).	口頭発表
H25	国際学会	Shih-yuan Chen, Takehisa Mochizuki, Yohko Abe, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Production of Jatropha Biodiesel Fuel over Sulfonic Acid-functionalized SBA-15", EuropaCat-XI, 2013.9.4 (Lyon, France)	口頭発表
H25	国内学会	鳥羽 誠(産総研)、望月剛久(産総研)、葭村雄二(産総研)、「芳香族選択的触媒を用いるバイオオイルの水素化脱酸素反応」、石油学会第43回石油・石油化学討論会(北九州国際会議場)、2013.11.15、2A16	口頭発表

H25	国内学会	杉本義一、堀江裕吉、竿留良明、「木タールからの輸送用燃料の製造」、第50回石炭科学会議(福岡)、2013.10.31	口頭発表
H25	国内学会	杉本義一、堀江裕吉、「木質系熱分解油からの輸送用燃料の製造」、第9回バイオマス科学会議(高知)、2014.1.16	口頭発表
H25	国際学会	M.Inaba, K.Murata, I.Takahara, Y.Liu, "Zeolite Catalysts for Formation of Aromatic Compounds by Fast Pyrolysis of Eucalyptus Waste", BIT's 4 <sup>th</sup> annual Global Congress on Catalysis 2013 (Dalian, China), 2013.06.29-07.01	口頭発表
H25	国際学会	稲葉 仁、村田 和久、高原 功、劉 彦勇、「ゼオライト触媒を用いたユーカリの急速熱分解による芳香族類およびフェノール類化合物の合成、第9回新エネルギー技術シンポジウム(筑波大)、E-1 2014.03.05-07	口頭発表
H25	国内学会	鳥羽 誠(産総研)、望月剛久(産総研)、陳 仕元(産総研)、葭村雄二(産総研)、「バイオオイルモデル油の水素化脱酸素における触媒調製法と担体の影響」、第112回触媒討論会(秋田大学)、2013.9.19、P018	ポスター発表
H25	国内学会	鳥羽 誠(産総研)、望月剛久(産総研)、陳 仕元(産総研)、葭村雄二(産総研)、「貴金属触媒を用いるバイオオイルの安定化」、第113回触媒討論会(ロジワールホテル豊橋)、2014.3.27、2P48.	ポスター発表
H25	国際学会	Megumu Inaba, Kazuhisa Murata, Isao Takahara and Yanyong Liu, "Fast Pyrolysis of Eucalyptus as Woody Biomass by Zeolite Catalysts", APCSEET2013(Narita), July 5-7	ポスター発表
H25	国内学会	稲葉仁、村田和久、高原功、劉彦勇、「3-P93-2.ゼオライト触媒を用いたユーカリの急速熱分解による芳香族化合物の製造」、第22回エネルギー学会大会、3-P93-2、2013.08.05-06(工学院大学)	ポスター発表
H25	国内学会	村田和久、稲葉仁、高原功、劉彦勇、「ジャトロファ廃材及び油からの触媒的熱分解に関する予備的検討」、第112回触媒討論会(秋田大学)、P020、2013.09.18-20	ポスター発表
H25	国内学会	村田和久、稲葉仁、高原功、劉彦勇、「ジャトロファ廃材の熱分解における修飾ゼオライト系触媒の効果」、第9回バイオマス科学会議(高知) 2014.01.15-1	ポスター発表

H26	国際学会	S.-Y. chen, T. Mochizuki, Y. Abe, M. Toba, Y. Yoshimura, "Chemisorption and Spectroscopy Studied on Catalytically Active Sites of Ti-SBA-15 Catalysts for the Production of High-quality Biodiesel Fuels", The Seventh Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT7), 京都, 6月3日	口頭発表
H26	国際学会	M. Toba, T. Mochizuki, S.-Y. chen, Y. Abe, Y. Yoshimura, "Hydrodeoxygenation of bio-oil over sulfided CoMo catalysts", The Seventh Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT7), 京都, 6月3日	ポスター発表
H26	国内学会	鳥羽 誠、望月剛久、陳 仕元、村田和久、葭村雄二、「バイオオイル／軽油混合油の水素化精製」、石油学会旭川大会(第44回石油・石油化学討論会)、旭川、10月16日	口頭発表
H26	国内学会	鳥羽 誠、「高品質輸送用バイオ燃料製造技術の開発」、第33回播磨産業フォーラム(化学工学会姫路大会2014)、姫路、12月8日	招待講演
H26	国際学会	Xiaodan Cui, Peng Lu, Hiroki Nakamura, Mitsuhiro Matsunaga, Akira Kikusato, Kusaka Jin, Yasuhiro Daisho., "Utilizing a Biodiesel Fuel as a Cetane Number Improver for a Light-duty Diesel Engine", SAE 2014 World Congress & Exhibition, USA, 2014,4,9	口頭発表
H26	国際学会	Xiaodan Cui, Beini Zhou, Hiroki Nakamura, Kusaka Jin, Yasuhiro Daisho, "A Numerical study on the effects of fame blends on diesel spray and soot formation by using kiva3v code including detailed kinetics and phenomenological soot formation models", SAE 2014 International Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting, Birmingham, UK, October 20, 2014	口頭発表
H26	国内学会	望月剛久、阿部容子、陳仕元、鳥羽誠、葭村雄二、部分水素化による高品質バイオディーゼル燃料の製造技術開発、日本エネルギー学会、福岡、平成26年7月20日	口頭発表
H27	国内学会	鳥羽 誠(産総研)、望月剛久(産総研)、陳 仕元(産総研)、葭村雄二(産総研)、接触分解バイオオイル混合軽油の水素化精製、第116回触媒討論会、三重県津市、2015年9月17日	ポスター発表

H28	国内学会	鳥羽 誠(産総研)、望月剛久(産総研)、陳 仕元(産総研)、葭村雄二(産総研)、ジェットロファ残渣バイオオイル中の窒素成分除去と水素化精製への影響、石油学会京都大会(第46回石油・石油化学討論会)、京都府京都市、2016年11月18日	口頭発表
H28	国内学会	望月剛久(産総研)、Montoya Alinadominc(筑波大)、阿部容子(産総研)、陳 仕元(産総研)、鳥羽 誠(産総研)、葭村雄二(産総研)、高品質バイオディーゼル混合軽油の酸化安定性、石油学会京都大会(第46回石油・石油化学討論会)、京都府京都市、2016年11月18日	口頭発表

招待講演	10
口頭発表	34
ポスター発表	30

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1	2010-058335	2010/2/24	バイオディーゼル燃料の製造方法及びバイオディーゼル燃料組成物	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	無	登録 (5756972、2015/6/12)		鳥羽 誠、 葭村雄二、 阿部容子	国立研究開発法人産業技術総合研究所	PCT/JP2011/053473
No.2	2010-154426	2010/7/7	炭化水素の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	無	登録 (5522683、2014/4/18)		村田和久、 劉彦勇、高 原功、稲葉 仁	国立研究開発法人産業技術総合研究所	
No.3	2013-13720	2013/1/28	エステル交換触媒及び該触媒を用いたバイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	無	国優見なし取り下げ		陳 仕元、 鳥羽 誠、 葭村雄二、 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	PCT/JP2013/070335
No.4	2013-217110	2013/10/18	高品質バイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	無	国優見なし取り下げ		鳥羽 誠、 阿部容子、 葭村雄二、 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	PCT/JP2014/077636
No.5	2014-040590	2014/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	無	国優見なし取り下げ		望月剛久、 鳥羽 誠、 葭村雄二、 阿部容子、 陳 仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	PCT/JP2015/056237

No.6	2014-558422	2013/7/26	エステル交換触媒及び該触媒を用いたバイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	無	登録査定 (2017/1/10)		陳仕元, 鳥羽誠, 葭村雄二, 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	PCT/JP2013/070335
No.7	2013-161413	2013/8/2	炭化水素の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	無	特開2015-30794		村田和久, 稲葉仁, 高原功, 劉彦勇	国立研究開発法人産業技術総合研究所	
No.8	2015-542673	2014/10/17	高品質バイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	無	登録査定 (2017/1/17)		鳥羽 誠, 阿部容子, 葭村雄二, 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	PCT/JP2014/077636
No.9	2015-135575	2015/7/6	軽油用酸化防止剤および軽油燃料組成物	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	有	国優見なし取り下げ		望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元, SONTI SAWATET hanita, TeerananontNat tawee, Chanakan Puemchala d, Piyanan Sreesiri	国立研究開発法人産業技術総合研究所、タイ科学技術研究院 (TISTR)	PCT/JP2016/069893

No.10	2016-506509	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	無			望月剛久、 鳥羽 誠、 葭村雄二、 阿部容子、 陳 仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	PCT/JP2015/056237
-------	-------------	----------	--------------------	-------------------	-------	---	--	--	--	-------------------	-------------------

国内特許出願数 10 件  
公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1	PCT/JP2011/053473	2011/2/18	バイオディーゼル燃料の製造方法及びバイオディーゼル燃料組成物	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、WIPO	無	移行済		鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2010-058335
No.2	13/580430	2011/2/18	バイオディーゼル燃料の製造方法及びバイオディーゼル燃料組成物	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、米国	無	登録 (9168508、2015/10/27)		鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2010-058335
No.3	11747255.5	2011/2/18	バイオディーゼル燃料の製造方法及びバイオディーゼル燃料組成物	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、欧州	無			鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2010-058335
No.4	1201004253	2011/2/18	バイオディーゼル燃料の製造方法及びバイオディーゼル燃料組成物	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、タイ	無			鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2010-058335
No.5	PCT/JP2013/070335	2013/7/26	エステル交換触媒及び該触媒を用いたバイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、WIPO	無	移行済		陳仕元, 鳥羽誠, 葭村雄二, 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2014-558422

No.6	14/763534	2013/7/26	エステル交換触媒及び該触媒を用いたバイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、米国	無	登録 (9518238、 2016/12/13)		陳仕元, 鳥羽誠, 葭村雄二, 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2014-558422
No.7	PCT/JP2014/077636	2014/10/17	高品質バイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、WIPO	無	移行済		鳥羽誠, 阿部容子, 葭村雄二, 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2015-542673
No.8	15/030226	2014/10/17	高品質バイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、米国	無			鳥羽誠, 阿部容子, 葭村雄二, 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2015-542673
No.9	14853965.3	2014/10/17	高品質バイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、欧州	無			鳥羽誠, 阿部容子, 葭村雄二, 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2015-542673
No.10	1601002172	2014/10/17	高品質バイオディーゼル燃料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、タイ	無			鳥羽誠, 阿部容子, 葭村雄二, 望月剛久	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2015-542673
No.11	PCT/JP2015/056237	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、WIPO	無	移行済		望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2016-506509
No.12	15/123740	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、米国	無			望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2016-506509

No.13	15758996.1	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、欧州	無			望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2016-506509
No.14	1601005066	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、タイ	無			望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2016-506509
No.15	P0020160659 1	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、インドネシア	無			望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2016-506509
No.16	PI201670318 6	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、マレーシア	無			望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2016-506509
No.17	1-2016-501731	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、フィリピン	無			望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2016-506509
No.18	1-2016-03708	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、ベトナム	無			望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2016-506509

No.19	NC2016/0002 538	2015/3/3	バイオディーゼル燃料の水素化処理方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、コロンビア	無			望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願2016-506509
No.20	PCT/JP2016/069893	2016/7/5	軽油用酸化防止剤および軽油燃料組成物	国立研究開発法人産業技術総合研究所	特許、日本	有	WO2017/006930 (2017/1/12)		望月剛久, 鳥羽誠, 葭村雄二, 阿部容子, 陳仕元, SONTI SAWATET hanita, TeerananontNat tawee, Chanakan Puemchala d, Piyanan Sreesiri	国立研究開発法人産業技術総合研究所、タイ科学技術研究院 (TISTR)	特願2015-135575

外国特許出願数 20 件  
公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
H25	2013/7/5	優秀ポスター賞	Fast Pyrolysis of Eucalyptus as Woody Biomass by Zeolite Catalysts	Megumu Inaba, Kazuhisa Murata, Isao Takahara and Yanyong Liu	APCSEET2 013	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

1 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
H21	2009.4	The Japan Journal	地球温暖化防止のための国際協力	巻頭特集		
H22	2010.3.2	Krungthep Turakij	JICA approved 440 Million to Develop Biodiesel from Jatropha			
H22	2010.3.5	読売新聞、東南アジア衛星版	バイオ燃料、日タイ共同開発			
H22	2010.2.26	Thairath	Permanent Secretary of MOST Moderate the Collaboration on Research and Development of Biodiesel between Thailand and Japan			
H22	2010.2.26	Dailyworldtoday	Thailand-Japan Research on Biodiesel			

H22	2010.2.26	Pimthai	MOST Collaborated with Japan on Biodiesel to Deminish the Green House Gases			
H22	2010.3.2	Bangkokbiznews	JICA Approved 440 million THB for Research and Development on Biodiesel from Jatropha oil			
H22	2010.2.27	Thairath,	NSTDA Produce Biodiesel to Reduce the Gas House Gases			
H22	2010.2.25	National News Bureau of Thailand	NSTDA-TISTR collaborated with Japan to Utilize Biodiesel from Jatropha oil in Automotive Industry			
H22	2010.2.25	Manager Online	Thailand Cooperated Japan for Research and Development on Biodiesel from Jatropha			
H23	2011.5.23	Daily News(タイ新聞),	パイロットプラントオープン／高品質バイオディーゼルの製造			
H23	2011.5.20	Global News(タイ新聞)	バイオディーゼルのパイロットプラント			
H23	2011.5.19	TISTR News (WEB News)	Pilot plant and hand over ceremony			
H23	2011.5.20	RYT 9 (タイWEB News)	タイで初めての高品質バイオディーゼルー環製造パイロットプラントをオープン / TISTRとタイ日の研究機関と協力			

H23	2011.5.20	NEWS WIT (タイWEB News)	タイで初めての高品質バイオディーゼラー環製造パイロットプラントをオープン / TISTRとタイ日の研究機関と協力			
H23	2011.5.20	Thai PR Net (タイWEB News)	タイで初めての高品質バイオディーゼラー環製造パイロットプラントをオープン / TISTRとタイ日の研究機関と協力			
H23	2011.6.1	Technology Chao Baan(タイJournal)	高品質 / タイ初 / バイオディーゼラー製造パイロットプラントオープン			
H24	2012.7.31	クルンテープトゥラキット紙(タイ),	いすゞが代替燃料研究をサポート。10年計画「ジャトロファ」を研究・開発			
H24	2012.7.31	デイリーニュース紙(タイ)	新たなイノベーション			
H24	2012.7.31	ポストトゥデイ紙(タイ)	いすゞグループはPTT・NTDS A・MTEC・DEDE・AISTが参画する「非食糧系バイオマスを用いた輸送用燃料製造の基盤技術開発」プロジェクトに対する支援を発表			
H24	2012.8.2	プラチャーチャートトゥラキット紙(タイ),	トリペッチいすゞセールス「非食糧系バイオマスを用いた輸送用燃料製造の基盤技術開発」プロジェクトを援助			
H24	2012.8.2	ターンセータキット紙(タイ)	いすゞがジャトロファを用いたバイオディーゼルのタイ-日本の研究者による研究を援助する			

H26	2014.8.22	読売新聞(衛星版)	タイ科学博「日本」人気 バイオ燃料、新幹線	裏1面	1.当課題研究の成果である	タイのチェンマイで開催された科学技術博覧会にプロジェクト成果を出展。実車試験車両も展示。
H27	2015.9.21	The Daily NNA(タイ版)	日本が仕掛ける新バイオ軽油エネルギー政策で採用、質と価格両立へ	第1面	当該事業の成果であるH-FAMEに係るワークショップ「ASEANにおける高濃度バイオディーゼル(H-FAME)の自動車利用」を開催。	

24 件

## VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

### ① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所	参加人数	概要
H22	2010.8.18	Seminar on Biofuel technology through the Research Cooperation between Japan and Thailand	Bangkok	50人	JICA専門家とタイバイオディーゼル製造業界、自動車業界、政府機関、大学等で、バイオディーゼルのエンジン利用技術や課題、バイオ燃料製造のLCA等について討論(JICA専門家、西嶋、小熊、大聖、納富、勝田)
H23	2011.9.9	The 1st Technical Annual Meeting on Innovation on Production and Automotive Utilization of Biofuels from Non-Food Biomass	Bangkok	120人	JST-JICAプロジェクト「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」に係る第1回成果発表会・葭村発表: Progress and result up to date・小熊発表: Engine evaluation of BDF・納富発表: Progress and result of engine test for high quality BDF from Jatropha・村田発表: Bio oil production・タイ側発表: 8件
H23	2012.2.15	Young Researcher Workshop on Automotive Energy and Environment	Bangkok	60人	エンジンならびにLCA研究に携わる若手研究者による研究発表会を実施。相互の意見交換ならびに交流を通じた、若手研究者育成を企図(納富、切川、崔)
H24	2012.9.13	The 2nd Technical Annual Meeting on Innovation on Production and Automotive Utilization of Biofuels from Non-Food Biomass	Bangkok	100人	JST-JICAプロジェクト「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」に係る第2回成果発表会・鳥羽発表: Innovation for high quality BDF production・小熊発表: Evaluation of engine and emission performances of new fuels・村田発表: Production of bio-oils from Jatropha residues using laboratory-scale reactor・杉本発表: Upgrading of bio-oil to clean transportation fuels・タイ側発表: 10件

H25	2013.11.19	The 3rd Technical Annual Meeting on Innovation on Production and Automotive Utilization of Biofuels from Non-Food Biomass	Bangkok	100人	JST-JICAプロジェクト「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」に係る第3回成果発表会・葭村発表：Introduction of Project Background and Activity・村田発表：Effect of modified-zeolite on the catalytic pyrolysis・鳥羽発表：Development of catalytic technology for upgrading of bio-oil・杉本発表：Production of transportation fuel from bio-oil・匂坂発表：LCA of H-FAME and bio-oil・佐村発表：For real application of high quality BDF・西嶋発表：Activities at Waseda University・タイ側発表：7件
H25	2014.2.5	The 3 <sup>rd</sup> Annual All Researcher Meeting	Bangkok	100人	タイ側カウンターパートのメンバーであり本邦研修を受けたタイ研修生の研修成果報告（全：14件）
H26	2014.11.18	Innovation for sustainable society How new energy can innovate our economy and life ?	タイ	約100名	タイで実施中の持続的社会的構築に向けた研究開発の状況紹介、並びにタイで実施中の3件のSATREPS事業の紹介、その後、ASEAN内でタイの科学技術のイノベーションをどのように展開するかについてパネルディスカッション
H26	2015.2.9	タイ国エネルギー省省エネ・効率化局長官との面談	タイ	Mr.Thammayot SRICHUAI 長官初め、同局のバイオ燃料局長他3名	当該SATREPS事業で開発した新技術である、バイオディーゼルの部分水素化による高品質化技術（H-FAME技術）を紹介、並びにタイ国内で実施中の実車走行試験の進捗状況説明
H26	2015.3.5	タイ国エネルギー省事務次官との面談	タイ	Mr. Areepong BHOOCHA-OOM事務次官、 Mr.Thammayot SRICHUAI 長官初め、同局のバイオ燃料局長他6名	当該SATREPS事業で開発した新技術である、バイオディーゼルの部分水素化による高品質化技術（H-FAME技術）の特徴や経済性を紹介、並びにタイ国内で実施中の実車走行試験の進捗状況説明

H27	2015.9.18	ASEANにおける高濃度バイオディーゼルの自動車利用に係る課題と対策	タイ	約180名	当該SATREPS事業の成果であるH-HAMEの成果に係るワークショップ。パームH-FAMEを用いたB20燃料の実車走行試験の結果報告、ASEAN及び南米コロンビアによる高濃度バイオディーゼルの利用状況報告、ASEANにおける燃料標準の現状報告等を行い、今後のH-FAMEのASEAN展開を議論。
H27	2015.11.18	The 4th Technical Annual Meeting on Innovation on Production and Automotive Utilization of Biofuels from Non-Food Biomass	タイ	約100名	JST-JICAプロジェクト「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」に係る第4回成果発表会・霞村発表：Introduction of Project Background and Activity・他、望月、崔(早稲田大)、鳥羽、杉本、陳、匂坂、佐村(早稲田大)が発表。タイ国エネルギー省石油代替・効率化局のバイオ燃料開発局長のY.Sawatdisawanee氏から、「Biofuel Status and Policy」の基調講演、タイ側からの研究発表：5件

11 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、出席者、議題、協議概要等)

年度	開催日	出席者	議題	概要
H21	2010.12.15	AISTより2名; JICAより5名; JSTより1名; NSTDAより6名; MOSTより2名; TICAより2名; TISTRより6名; KMUTNBより3名	第1回JCC会議でのプロジェクト成果及び今後の研究計画等の審議等	H22年度の日タイにおけるプロジェクト成果の報告・審議、プロジェクトのR/Dに係る修正案の審議、H23年度の研究計画の審議
H22	2012.1.19	JICAより1名; JSTより1名; AISTより1名; NSTDAより3名; TISTRより2名; KMUTNBより1名	第2回JCC会議でのプロジェクト成果及び今後の研究計画等の審議等	H23年度の日タイにおけるプロジェクト成果の報告・審議、プロジェクトのR/Dに係る修正案の審議、H24年度の研究計画の審議
H23	2012.12.04	JICAより1名; KRI International Corporationより1名; 東北大学(PO)より1名; JSTより1名; AISTより1名; NSTDAより3名; TISTRより1名; KMUTNBより1名	第3回JCC会議でのプロジェクト成果及び今後の研究計画等の審議等	H24年度の日タイにおけるプロジェクト成果の報告・審議、プロジェクトのR/Dに係る修正案の審議、H25年度の研究計画の審議
H25	2014.2.5	DEDEより3名; TISTRより6名; KMUTNBより2名; NSTDAより6名; トリペッチいすゞより2名; JICAより4名; JSTより1名; AISTより1名	第4回JCC会議でのプロジェクト成果及び今後の研究計画等の審議等	H25年度の日タイにおけるプロジェクト成果の報告・審議、プロジェクトのR/Dに係る修正案の審議、H26年度の研究計画の審議
H26	2015.2.10	合同調整委員会メンバー: 14名; タイ国エネルギー省エネ・効率化局から3名; タイ企業のPTTから2名; タイ企業のThai oilから1名; タイ企業のBangchakから1名; タイ企業のトリペッチいすゞから2名; TICAから2名; 他10名の合計35名	第5回JCC会議でのプロジェクト成果及び今後の研究計画等の審議等	H26年度の日タイにおけるプロジェクト成果の報告・審議、プロジェクト期間延長に伴うR/Dの修正案の審議、H27年度の研究計画の審議

5 件

研究課題名	非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術
研究代表者名 (所属機関)	葭村 雄二 (産業技術総合研究所招聘研究員/名誉リサーチャー)
研究期間	H21採択 平成22年4月から平成28年3月(6年間)
相手国名	タイ
主要相手国研究機関	タイ国家科学技術開発庁(NSTDA)

## 付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本のERIA発信の東アジアサミット推奨バイオディーゼル規格へ適合する燃料製造技術(H-FAME燃料技術)を発信</li> <li>タイ政府の代替エネルギー開発政策へのH-FAMEの反映</li> <li>日本企業による自動車用H-FAME製造技術の実証事業化</li> <li>海外に生産拠点を持つ日本自動車産業を燃料面から支援</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>H-FAME技術により高濃度バイオディーゼルの自動車利用が可能となり、運輸部門からのCO2排出の更なる削減</li> <li>東アジア・ASEANに豊富にある未利用農業残渣や森林残渣等から、高エネルギー密度の液体燃料を製造する基盤技術を構築し、各国の農業・エネルギー政策を技術面で支援</li> <li>ASEANにおけるバイオマスエネルギー研究の拠点化支援</li> </ul>
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"> <li>当該事業で開発したH-FAME技術の特許出願(5件)</li> <li>H-FAME及びバイオオイルのパイロットプラントによる製造技術の構築(標準製造設備として、今後のJICA第三国研修事業(案)を通してASEANに技術移転予定)</li> <li>東アジアサミット推奨バイオディーゼル規格の普及を支援</li> </ul>
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(査読あり国際誌への論文掲載、JICA専門家派遣を通しての技術指導や調整能力の獲得等)</li> <li>プレス発表や成果発表イベント等での英語による技術発表能力の獲得</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>新規バイオディーゼルであるH-FAMEの実車走行試験等を通して、タイ現地の日本自動車会社グループ、タイ国のバイオディーゼル生産会社や石油会社、タイ国の燃料政策原課であるエネルギー省とのネットワークを構築</li> <li>国内外SATREPS事業実施グループ等との連携構築</li> </ul>
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"> <li>タイ政府の代替エネルギー開発計画の改訂に際し、H-FAMEを新規バイオディーゼルとして反映させるか検討中</li> <li>非食糧バイオマス及び食糧系バイオマス由来のオイルから自動車用H-FAMEを製造できる汎用性の高い技術を構築</li> <li>論文及び特許</li> </ul>

## 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。

研究内容、研究成果が政府機関、民間企業などに認められ、社会実装に向けた取り組みが着手される。

## 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からの輸送用燃料製造に必要な熱化学変換触媒技術、改質触媒技術、バイオ燃料のエンジン利用技術(エンジン特性評価、排ガス特性技術)、及びLCA等を用いたCO2低減評価技術を確立し、気候変動緩和対策及び科学技術水準の向上につながる新たな知見を集積する。特に、H-FAME技術については、タイ国代替エネルギー政策への反映及び社会実装を目指す。

①ジャトロファオイルからの安全・高品質なバイオディーゼル(脂肪酸メチルエステル型H-FAME)の製造技術が構築され、その燃料の社会実装に向けた基盤が構築される。

②未利用資源であるジャトロファ残渣の熱分解によるバイオオイルの生成技術が構築され、並びにバイオオイルの精製による高品位輸送用燃料化技術が構築され、そしてその燃料の社会実装に向けた基盤が構築される

