

地球規模課題対応国際科学技術協力

(生物資源研究分野「生物資源の持続可能な利用に資する研究」領域)

非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術

(タイ王国)

平成 21 年度実施報告書

代表者：葭村 雄二

(独) 産業技術総合研究所・新燃料自動車技術研究センター・上席研究員

<平成 21 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

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 CO₂ 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。

プロジェクト進捗状況： 本プロジェクト実施に当たり、次の 5 技術に係る研究活動からなる暫定研究計画書を策定し、国内研究を開始した； 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。

更に、タイ国への詳細計画策定調査を実施し、上記研究活動からなる Project Design Matrix (PDM) を作成すると共に、M/M、R/D 及び研究協力協定に署名を行った。

プロジェクト成果： ジャトロファオイルからの高品質バイオディーゼル(BDF)の製造技術に関しては、BDF の酸化安定性の強化対策の検討を行い、BDF 中の不飽和結合部を部分水素化する方法が有効であることを見出した。ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造に関しては、パイロライザー付 GC-MS を用いて触媒探索を開始すると共に、残渣の熱分解と触媒存在下の熱分解（接触分解）の差異がバイオオイル生成物組成等に及ぼす影響を一部明らかにした。バイオオイルの高品質輸送用燃料化では、石油系燃料の脱硫触媒が利用可能であることが分かった。新燃料の燃焼特性評価やエンジン特性評価については、エンジン整備や排出ガス評価装置の整備・点検等を行い、次年度以降の計画に備えた。

今後の見通し： ジャトロファオイルからの高品質 BDF 製造技術に関しては、タイ国内に設置予定のパイロットプラントを用いた研究を通し、東アジアサミット推奨 BDF 品質を達成できる技術として仕上げ、エンジン評価等へ繋げる予定である。バイオオイル製造に関しては、今後タイ側で装置の設計・試作を本格化し、後続のバイオオイルの分離・安定化やアップグレーディング用触媒の研究と連携予定である。

2. 研究グループ別の実施内容

研究グループ： 産業技術総合研究所グループ

研究題目： ジャトロファからの高品質輸送用燃料製造・利用技術

研究項目： ジャトロファオイルからの高品質BDF製造技術

① 研究のねらい：

ジャトロファオイルから安全・高品質な BDF の製造技術を構築し、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 BDF の製造技術に展開させるため、基盤となる低金属残存量 BDF の製造技術や酸化安定性向上技術等の開発を行う。

② 研究実施方法：

従来法で製造されるバイオディーゼルの金属（塩基性触媒）残留量や熱・酸化安定性等の面で自動車影響が懸念されている。このため、ジャトロファオイルのエステル交換反応用の固体触媒として、メタノール活性化の高い触媒の探索を行った。一方、ジャトロファ BDF の酸化安定性の向上対策として、含有多不飽和脂肪酸エステルを一不飽和脂肪酸エステルへ部分水素化する方法を検討した。更に、従来法に改良を加え、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の検討を行った。

③ 当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況：

エステル交換用固体触媒では、チタニア担持金属酸化物触媒、特に担持鉄触媒が高い活性を示すことを見出した（JICA 活動計画 No. 3-1）。ジャトロファ BDF の部分水素化処理では、Pd や Pt 系貴金属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、望ましい一不飽和脂肪酸エステル濃度を最大化できることが分かった（JICA 活動計画 No. 3-2）。また、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た（JICA 活動計画 No. 2-1）。

④ カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

タイ側に設置予定の 1ton/d 規模 BDF 製造プラントについては、タイ側と標準仕様や設置場所等について協議している。

研究項目： ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術

① 研究のねらい：

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 研究実施方法：

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。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。

③ 当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況：

パイロライザー付 GC-MS 及び石英製反応装置を整備し、ジャトロファ残渣などの熱分解挙動に対する

触媒効果を検討した。固体酸の熱分解や水素化分解に及ぼす影響を検討し、白金修飾 H-ZSM-5 触媒等が有用であることを見出した (JICA 活動計画 No. 6-1)。バイオオイル製造用急速熱分解炉として、同軸フィーダー型の熱分解炉の基本仕様を検討中である (JICA 活動計画 No. 6-2)。

④カウンターパートへの技術移転の状況 (日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

日本側の研究計画や購入備品などの情報を相手国に提供し、相手国の研究計画策定に貢献したと考える。本年より実際の研究交流を開始する予定である。

研究項目： バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術

① 研究のねらい：

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 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。

②研究実施方法：

軽度脱酸素化技術では、脱カルボキシル型および軽度水素化型の 2 通りの脱酸素化技術の検討を開始した。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なった。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った。

③当初の計画 (全体計画) に対する現在の進捗状況：

水素非存在下、鉄系触媒上での脱カルボキシル反応では、フェノール類への軽質化に伴うコーク生成抑制が重要であることを確認した。軽度水素化脱酸素処理では、タール中の軽質留分 (350℃以下) は 58%から 78%へと増加し、水素化脱酸素とともに軽質化が進行した。(JICA 活動計画 No. 8-1)。生成フェノール類の脱酸素用触媒としては、NiMo、CoMo および NiW 系硫化物触媒が高い脱酸素率 (ほぼ 100%) を示し、芳香族残存率は CoMo が高かった (JICA 活動計画 No. 8-1)。

④カウンターパートへの技術移転の状況 (日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

水素化脱酸素反応設備をタイ側にも設置予定であり、標準仕様を技術移転した。

研究項目： 人材育成・技術移転

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

①研究のねらい：

気候変動緩和対策及び科学技術水準の向上に繋がる新たな知見を集積する中で、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・利用技術のアジア地域への技術移転を行い、運輸部門からの CO2 排出抑制に貢献する。

②研究実施方法

タイからの研修生を積極的に受け入れ、JICA 活動計画に基づく研究テーマの研究協力を行なうと共に研究指導等を行なう予定で、M/M の招聘計画を策定した。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

R/D の署名が当初予定より遅れ、2010 年 2 月 25 日となったため、招聘計画の具体化には未だ至っていない。

R/D 締結後、早急に招聘計画の実行を図る予定である。

研究グループ： 早稲田大学グループ

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

「高品質 BDF の LCA 等環境評価」 (JICA 活動計画 No. 4-1)

① 研究のねらい

ジャトロファからの輸送用燃料製造技術の LCA 等環境評価を行い、その環境負荷・経済性の側面から総合的な評価を行うことを目的とする。そのほか、CO2 削減ポテンシャル、CO2 削減コスト、エネルギー収支等の観点からの評価も加えることにより、その課題抽出を行うことを試みる。

② 研究実施方法

本年度は、LCA 等環境評価を実施するための情報基盤を整備することを目的に、バイオマス燃料の LCA に関する既存事例の調査を主として行った。また、LCA 評価を行うにあたっての評価範囲および評価方針に関する方向性を整理した。

③ 当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

ジャトロファからの輸送用燃料製造技術に関するインベントリデータは、現段階では収集できていない。しかしながら、研究実施者による BDF 製造およびバイオオイルの製造に関する LCA の国内事例に関する情報を収集することができ、LCA 評価の実施に向けた評価シナリオの構築およびインベントリデータの収集に向けた基礎情報を整理することができた。

④ カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
とくになし。

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（あれば）
とくになし。

研究項目： 新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価

「新燃料（BDF）のエンジン特性評価」 (JICA 活動計画 No. 5-3)

「新燃料（BDF）の燃焼特性シミュレーション」 (JICA 活動計画 No. 5-4)

① 研究のねらい

自動車用ディーゼルエンジンにおいて、バイオディーゼル（BDF、脂肪酸メチルエステル）を軽油に混合して利用する場合、エンジンの運転・設計因子に関わる多くのパラメータを最適に組み合わせて燃焼を制御し、本来の良好な熱効率を維持しながら、排出ガスを抑制する必要がある。

そこで本研究では、まずエンジン実験によりエンジン回転速度や負荷、さらには噴射形態が燃焼特性と窒素酸化物（NO_x）、粒子状物質（PM）、一酸化炭素（CO）、全炭化水素等に排出ガス特性に及ぼす影響について調査することをねらいとしている。（JICA活動計画 No. 5-3）

また、エンジン内のガス流動とともに燃焼反応と排出ガス成分の生成反応を予測する数値シミュレーションモデルを開発し、バイオ燃料を使った場合の燃焼の現象解明、適正なエンジン制御、排出ガスの生成機構の解明とその抑制方法を探ることを目的としている。（JICA 活動計画 No. 5-4）

② 研究実施方法

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車両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_x、CO、CO₂、THC、PMの各濃度を計測が可能である。

BDFをJIS 2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）

③ 当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

実験用エンジンシステム、燃焼圧力計測システム、排出ガス分析システムの準備を進め、BDFの影響を調べる準備を行い、数種類の運転条件においてエンジン実験データを集積することができた。これらの予備的検討により、次年度以降に行う本格的な実験の実施内容・体制を整えることができた。（JICA活動計画 No. 5-3）

研究項目：人材育成・技術移転

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

① 研究のねらい

気候変動緩和対策及び科学技術水準の向上に繋がる新たな知見を集積する中で、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・利用技術のアジア地域への技術移転を行い、運輸部門におけるCO₂排出抑制に資する。

② 研究実施方法

タイからの研修生を積極的に受け入れ、JICA 活動計画に基づく研究テーマの研究協力を行なうと共に研究指導等を行なう予定で、M/Mの招聘計画を策定した。アジア地域への技術移転については、Jatropha

果実のオイル留分を出発原料とし得られる高品質バイオディーゼルの対象として、具体的な技術移転の検討を進める。

③ 当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

R/D の署名が当初予定より遅れ、2010 年 2 月 25 日となったため、招聘計画の具体化には未だ至っていない。R/D 締結後、早急に招聘計画の実行を図る予定である。また、技術移転についても同様に 2010 年 4 月以降検討を開始する。

3. 成果発表等

(1) 原著論文：国内 0 件、国際 1 件

Yanyong Liu, Rogelio Sotelo-Boya¹s, Kazuhisa Murata, Tomoaki Minowa, Kinya Sakanishi, "Hydrotreatment of Jatropha Oil to Produce Green Diesel over Trifunctional Ni-Mo/SiO₂-Al₂O₃ Catalyst", Chem. Lett., **38**(6), 552- 553 (2009).

(2) 特許出願：国内 1 件

4. プロジェクト実施体制

(1) 「産業技術総合研究所」グループ

(ジャトロファからの高品質輸送用燃料製造・利用技術)

① 研究グループリーダー：葭村雄二（産業技術総合研究所・上席研究員）

② 研究項目

1. ジャトロファオイルからの高品質 BDF 製造技術

- ・ BDF 製造のための解毒化技術開発 (JICA PDM 活動 No. 1-1)
- ・パイロットスケールの標準化 BDF 装置の設計と開発 (JICA PDM 活動 No. 2-1)
- ・エンジン試験用 BDF の製造と提供 (JICA PDM 活動 No. 2-2)
- ・エステル交換用固体触媒の開発 (JICA PDM 活動 No. 3-1)
- ・ BDF の酸化安定性向上のための水素化技術の開発 (JICA PDM 活動 No. 3-2)
- ・ BDF の低金属化のための脱金属技術の開発 (JICA PDM 活動 No. 3-3)
- ・ BDF 及びバイオオイルの詳細分析技術の開発 (JICA PDM 活動 No. 3-4)

2. ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術

- ・急速熱分解用所触媒の探索と開発 (JICA PDM 活動 No. 6-1)
- ・バイオオイル製造用急速熱分解炉の研究開発 (JICA PDM 活動 No. 6-2)
- ・バイオオイルの大量製造及び NSTDA への提供 (JICA PDM 活動 No. 6-2-2)
- ・バイオオイルの分離装置の設計と開発 (JICA PDM 活動 No. 7-1)

- ・バイオオイルの安定化技術の研究開発 (JICA PDM 活動 No. 7-2)
 - ・分離・安定化処理バイオオイルの大量製造・AIST への提供 (JICA PDM 活動 No. 7-2-2)
3. バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術
- ・バイオオイルの脱酸素化技術の研究開発 (JICA PDM 活動 No. 8-1)
 - ・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 (JICA PDM 活動 No. 8-2)
 - ・脱酸素処理バイオオイルと石油留分のコプロセッシング技術の研究開発 (JICA PDM 活動 No. 9-1)
4. 新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術
- ・高品質 BDF の材料適合性評価 (JICA PDM 活動 No. 5-1)
 - ・バイオオイル経由で製造された新燃料 (コプロセッシングオイルを含む) の材料適合性評価 (JICA PDM 活動 No. 11-1)
 - ・BDF の燃焼特性評価 (JICA 活動 PDM No. 5-2)
 - ・バイオオイル経由で製造された新燃料 (コプロセッシングオイルを含む) の燃焼特性評価 (JICA PDM 活動 No. 11-2)
5. 人材育成・技術移転
- ・バイオ燃料製造及び利用に係る研究者の育成 (ICA PDM 活動 No. 4-1、5-1～5-4、10-1、11-1～11-4)
 - ・BDF 製造事業の実施に向けた戦略 (ICA PDM 活動 No. 2-3)

(2) 「早稲田大学」グループ

(新燃料の製造評価及びエンジン利用特性評価技術)

①研究グループリーダー： 大聖 泰弘 (早稲田大学・教授)

②研究項目

1. LCA 等による環境評価

- ・高品質 BDF の LCA 評価 (JICA PDM 活動 No. 4-1)
- ・バイオオイル経由で製造された新燃料の LCA 評価 (JICA PDM 活動 No. 10-1)

2. 新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価

- ・BDF のエンジン特性評価 (JICA PDM 活動 No. 5-3)
- ・バイオオイル経由で製造された新燃料 (コプロセッシングオイルを含む) のエンジン特性評価 (JICA PDM 活動 No. 11-3)
- ・BDF の燃焼特性シミュレーション (JICA PDM 活動 No. 5-4)
- ・バイオオイル経由で製造された新燃料 (コプロセッシングオイルを含む) の燃焼特性シミュレーション (JICA PDM 活動 No. 11-4)

3. 人材育成・技術移転

- ・バイオ燃料製造及び利用に係る研究者の育成 (ICA PDM 活動 No. 4-1、5-1～5-4、10-1、11-1～11-4)
- ・BDF 製造事業の実施に向けた戦略 (ICA PDM 活動 No. 2-3)

以上