

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生産・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)

平成 25 年度実施報告書

代表者：葭村 雄二

(独)産業技術総合研究所 名誉リサーチャー

< 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(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 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： 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を再確認すると共に連携強化を図り、各研究を実施した： 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)、 ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術、 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)、 新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術、 人材育成及び技術移転。特に、 に関しては、ジャトロファオイルから高品質バイオディーゼルを製造できる 1.0ton/日パイロットプラントの運転研究をタイ科学技術院(TISTR)で実施し、遊離脂肪酸含有量の多い低品位ジャトロファ BDF から EN 品質の BDF を製造でき、更に部分水素化処理により東アジアサミット推奨品質のみならず世界燃料憲章(WWFC)ガイドライン品質の高品質 BDF(当該事業では H-FAME と呼称)を製造できることを実証した。 に関しては、ジャトロファ残渣からバイオオイルを製造するための循環流動層熱分解炉パイロットプラント(30kg-バイオマス/h、TISTR 設置)の運転研究を行った。 に関しては、ジャトロファ残渣由来のバイオオイルのパイロットプラントによる製造が遅延しており、模擬バイオオイル(木質タール)やモデル化合物を原料として、フェノール系含酸素化合物や脂肪酸から炭化水素燃料を製造する水素化精製触媒の研究開発を行った。 に関しては、タイ科学技術研究院で製造されたジャトロファ H-FAME を石油系軽油に 10vol%混合した混合燃料(B10)を用いた実車試験をタイ国内で実施した。 に関しては、JICA 専門家派遣及びタイ研究員の産総研への招聘を通し、各要素課題の研究促進・連携を加速できた。また、高品質 BDF 製造用開発された改質技術(部分水素化技術)の技術移転に向けたタイ現地調査等を実施した。当該事業に係る H25 年度合同調整委員会を H26 年 2 月 5 日にバンコクで開催し、本プロジェクトの進捗状況の評価、今後の研究計画の微修正や確認をおこなった。

プロジェクト成果： 各要素課題の本年度までの成果は次の通りである。

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：

- ・1.0ton/日パイロットプラントの運転研究を通し、比較的良質なジャトロファオイルから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 H-FAME を製造できることは昨年度までに実証済みであるが、低品位ジャトロファ油(酸価:15mg-KOH/g)からも、運転条件を最適化することにより、上記規格を満たす H-FAME を製造できることを実証した(TISTR)。
- ・ジャトロファ油の脱ガム条件を最適化した(リン酸脱ガムで、リン除去効率 > 90%)。
- ・流通式触媒反応装置を用いて H-FAME を製造する際、原料中の硫黄化合物等により部分水素化触媒が劣化する挙動が見られるが、水素化触媒の耐久性を高めた水素化処理技術を開発した。
- ・パイロットプラント運転時のホルボールエステル物質収支をタイ科学技術開発庁(NSTDA)で行い、生成 BDF 中にホルボールエステルが残留するものの、H-FAME 中にはホルボールエステルが消失することがわかった。また、BDF の毒性を評価できる簡易分析キットを開発した(NSTDA)。

ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造技術：

- ・同軸スクリー型熱分解炉(TISTR)と流動層型熱分解炉(産総研)を用いた熱分解実験、及びパイロライザー付 GC-MS を用いた接触分解用触媒の探索を行い、ゼオライト触媒(SiO₂/Al₂O₃ 比が最適化されたベータゼオライト等)存在下の熱分解では、芳香族性炭化水素を選択的に製造できることがわかった。
- ・バイオオイルを大量に製造するため、循環流動層型熱分解炉パイロットプラント(30kg-バイオマス/h)

を TISTR に設置し、運転研究を開始した。

・バイオオイルの回収率向上には、熱分解生成タール蒸気を凝縮可能な電気集塵器の利用が有効であることを見出し(産総研)、スケールアップした電気集塵器を TISTR の循環流動層型熱分解炉パイロットプラントに設置した。

・バイオオイルを水溶性成分(セルロースやヘミセルロース由来成分)と非水溶性成分(リグニンやトリグリセリド等由来成分)に分離し安定化させる分離器をタイ科学技術開発庁(NSTDA)に設置した。後者成分の熱・酸化劣化に伴う粘度上昇を抑制するための安定化法も併せて開発した(NSTDA)。

バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術開発:

・リグニン由来バイオオイル中の主成分であるフェノール系含酸素化合物の脱酸素反応には、昨年度までに見出した Mo や W 系の硫化物触媒に加え、原料中の含有硫黄分が更に少ない場合には Co 系触媒等も有用である。

・バイオオイル単味の軽度脱酸素処理に及ぼす反応器形状の影響を検討した結果、スラリー型反応器の方が高い反応操作性が得られるが、固定層型反応器を用いる場合には、脱酸素反応の過酷度(反応温度)を変えた二段階処理法が利用できることがわかった。

・バイオオイルの深度脱酸素処理を安定的に行うには、バイオオイルと石油留分との混合処理(co-processing)が有効であるが、従来型の硫化物触媒では共存酸素化合物や窒素化合物により脱硫反応が阻害されるものの、バイオオイル混合率<10 質量%では、超低硫黄・超低酸素・超低酸価の混合油が製造できることがわかった。

・上記触媒は、模擬バイオオイル(木質タール)やモデル化合物を基に開発されたものであるため、ジャトロファ由来のバイオオイルを入手次第、開発触媒の改良等を行う予定である。

新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術:

・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)を用いた実車試験をタイ国内で実施した(試験車輛:EURO3 対応のいすゞ製ピックアップトラック、走行距離:50,000km)。この結果、ジャトロファ H-FAME を用いた B10 燃料は石油系軽油と同等に利用可能であることが実証された。

・ジャトロファ BDF の材料適合性試験から、ジャトロファ H-FAME は燃料配管用ゴムホースの膨潤性で、従来の酸化防止剤添加法に比べて優位性が見られたが、銅の腐食性や潤滑性の面では改善は見られなかった。

・ジャトロファ BDF のエンジン特性は従来の菜種油由来 BDF 等と同様であり、また、排出ガス中の THC や CO 等は軽油に比べて減少したが、NO_x については軽油に比べて微増した。ジャトロファ H-FAME では、低負荷運転時の CO 排出量低減に現れたが、おおむね改善効果はなかった。

・部分水素化ジャトロファ BDF の主成分はオレイン酸メチルであるため、その濃度を変えたモデル燃料を用いたエンジン試験から、モデル燃料性状の違いが着火特性、燃焼圧力、熱発生率に及ぼす影響はほとんどないことを明らかにした。モデル燃料(B40,B100)を用いた場合、ジャトロファ燃料(B40)と同様に、石油系軽油に比べ PM,THC,CO 排出量が減少し、NO_xは同等であった。

・エンジン燃焼方式に予混合圧縮着火(PCCI)燃焼方式を適用したところ、モデル燃料を用いた場合に軽油同様に PM や NO_x が大幅に低減したが、燃焼条件の調整により、Soot も低減できることを見出した。

・バイオ燃料が適用可能な燃焼シミュレーションモデルを構築し、PM と NO_xの生成領域を予測できる手法を開発した。

人材育成及び技術移転:

・従来の BDF からのコストアップに小さい H-FAME の製造技術、並びに成功裏に終了した実車試験の結果等を基に、当該開発技術の技術移転に向けタイ政府機関や企業等と情報交換を継続して行った。今後、本年度までに得られた成果の積極的な情報発信や広報活動を予定している。

・非食糧系バイオマスからの輸送用燃料製造・利用では、原料の安定供給確保やサプライチェーンの確保等が重要となるが、タイ国内やタイ周辺国等の調査を行った。

・本年度は JICA 専門家派遣(17 人・回)やタイ研究者招へいによる本邦研修(短期 16 名:産総研受け入れ 13 名、早稲田大学受け入れ 2 名、長期 1 名:早稲田大学で日本国費留学生受け入れ 1 名)を通じ、当該プロジェクトの円滑な推進に貢献した。

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、タイ科学技術研究院に設

置されたパイロットプラントを用いた運転研究を行ない、東アジアサミット推奨品質のみならず世界で最も厳しい世界燃料憲章(WWFC)ガイドライン品質を満たす H-FAME を大量に製造し、2012.11~2013.5の期間にタイ国内で実施した 50,000km の実車試験を通し、H-FAME の自動車燃料適合性が実証されたところである。タイ国エネルギー省の石油代替エネルギーアクションプランによれば、直近のバイオ燃料源としてはパーム油が位置づけられており、ジャトロファ油は将来のバイオ燃料源として位置づけられている。このため、タイ国エネルギー省代エネ・省エネ局では、パーム油 BDF の高濃度化利用(2021 年に B10)に向け、当該開発 H-FAME 技術のパーム油 BDF への適用可能性に関心を有している。これに答えるために、来年度はパーム H-FAME を製造し、その H-FAME を混合した B10 燃料を用いた第二回の実車試験を予定している。一方、バイオオイル製造技術に関しては、TISTR に設置された流動層型熱分解炉パイロットプラント(~ 30kg/h)の本格運転に移行して、大量のバイオオイルの製造を行い、後続のバイオオイルの分離・安定化装置へ原料提供し、非水溶性のタール成分の製造を本格化する予定である。更に、バイオオイルのアップグレーディング用触媒の高性能化を図ると共に、タイから提供される非水溶性のタール成分からの低酸素含有炭化水素燃料の製造に着手する予定である。バイオオイル由来燃料に関しては、最終製品性状が JIS 規格を満たすように調整した後、エンジン特性等を評価する予定である。

また、BDF 及びバイオオイル由来新燃料の LCA については、タイ国内基盤情報の集積を図り、更に TISTR に設置された各パイロットプラントの安定運転から得られる実験パラメーターを反映させたモデルへの改良を図る予定である。更に、JICA 専門家派遣やタイ研修生の受け入れを通じた人材育成、開発技術の技術移転・社会実装(タイを始めとしアセアン地域を含む展開)に向けて、関係政府機関企業等との連携を強化する予定である。

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

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

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。また、当該 BDF 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。

研究実施方法：従来法で製造されるバイオディーゼルは金属(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、H21 年度は、従来法に改良を加え、低金属・高酸化安定性のジャトロファ 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うと共に、製造される 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。H22 年度は、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に設置し、同プラントの運転研究を通じ、ジャトロファ油から東アジアサミット推奨品質の BDF が製造できることを実証した。H24 年度は、引き続きジャトロファオイルのエステル交換反応用の固体触媒の探索を行った。高酸化安定性のジャトロファ BDF 製造では、パイロットプラントで最適組成を得るための迅速反応制御法の検討と易析出成分の除去法について検討を行った。更に、東アジアサミット推奨品質を満たさないジャトロファ BDF については、パイロットプラントを用いた再反応処理により、推奨品質を満たす製品化を図った。

本年度は、高品質 BDF の連続製造を目的とし、固定床流通式反応器による触媒性能評価及び更なる触媒の高活性化・高安定性を試みた。また、LCGHG 排出量評価にはバックグラウンドのインベントリデータ(諸製品に共通となる物質、エネルギー等の投入・排出に関するデータ)と、それらに伴う GHG 排出原単位データが不可欠である。タイ国ではそのデータベース開発に国家的プロジェクトを立ち上げ、データの収集、集約、共有化を進めている。本研究での LCA 評価でも日本、欧州で収集されているデータに加え、それらタイ国独自のデータを吟味し、実際の評価に使える精度、評価範囲に適合させてきた。本年度は、プロジェクトで製造される高品質の BDF 評価の予備的な LCGHG 排出量評価を実施し、今後の評価に重要なデータの選択、さらに評価要素、項目を明らかにした。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況：H21 年度は、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)。ジャトロファ BDF の酸化安定性を向上させるため、BDF の部分水素化処理を行ない、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た(JICA 活動計画 No. 3-2)。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)。H22 年度は、BDF を 1.0 ton/日規模で製造できるパイロットプラントの日本国内での建設、タイ科学技術研究院への搬入・設置(図1)、そして試運転を行ない、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が、3 月中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 1 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 (EESB):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)	kg/m ³	860 – 900	0.87651
動粘度 (@40)	mm ² /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	0.14
残留炭素分 (10%残油)		< 0.30	
セタン値		> 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
酸値	mgKOH/g	< 0.50	0.16
酸値安定度	hrs	> 10.0	15.1
ヨウ素値		Reported	70.52
リノール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

H23 年度は、担持鉄触媒の改良を行い、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)。高酸化安定性のジャトロファ BDF 製造では、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。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の BDF が得られる定常運転までに低品位の 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。

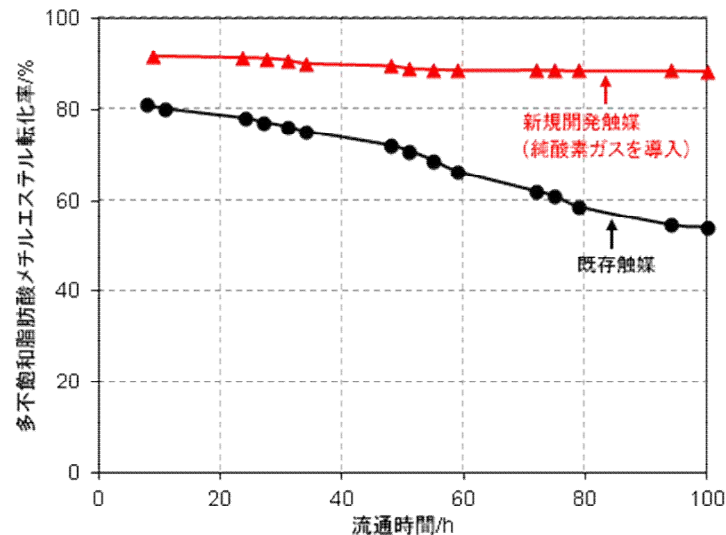
H24 年度は、タイ洪水により被害を受けたパイロットプラントの被害状況確認調査、その後の復旧工事を行い、運転性能の回復を確認した (2012 年 5 月) (図 2)。



図 2 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）

その後、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～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、エステル交換反応用固体触媒については、触媒探索の結果、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し、かつ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するチタン含有触媒を得ることができた（JICA 活動計画 No. 3-1）。

本年度は、高品質 BDF の連続製造を目的とし、固定床流通式反応器による活性評価を行った。その結果、これまでの部分水素化用触媒を用いた場合、バイオディーゼル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 3）。



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

図3 バイオディーゼルの水素化活性に及ぼす影響

高分散の担持パラジウム触媒を調製するため、SBA-15 に Pd を担持した触媒を調製した。Pd の分散度は 69% と高い値が得られた。この触媒を部分水素化反応に用いたところ、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 選択性も高かった。

一方、エステル交換反応用固体触媒については、ジャトロファ BDF 製造のために、ブレンステッド酸を有する触媒として硫酸官能基化 SBA-15 触媒を調製した。スルホン酸基を有する市販のイオン交換樹脂(Amberlyst-15 及び SAC-13)と比較検討したところ、硫酸官能基化 SBA-15 触媒はより高活性を示し、水分や遊離脂肪酸に対する耐久性が高かった。すなわち、硫酸官能基化 SBA-15 触媒を用いる流通式反応装置によるジャトロファ BDF 製造では、150、75 h の条件で、メチルエステル収率 75-78 wt% であったのに対し、市販のイオン交換樹脂を触媒に用いた場合は、スルホン酸基の溶出により、急激に活性劣化が起こった。また、得られたジャトロファ BDF の酸化安定性や低温流動性等は、硫酸官能基化 SBA-15 触媒を用いた方が、市販のイオン交換樹脂を用いた場合に比べて勝っていた。

高品質 BDF の LCA 評価(JICA 活動計画 4-1)に関しては、本年度は、ジャトロファのほか、実績を持つ農業生産物を原料として製造される FAME 燃料を評価に加え、それらの LCGHG 排出を試算した。その結果を図 4 に示す。試算データの不確実性を考慮すると、ジャトロファを原料とした場合、非食用の原料という特性はあるが、大豆油などと比較して LCGHG 排出面で絶対的な優位性があるとはいえない。また、開発中の部分水素化による効果を LCA 評価内で定め、その効果と環境負荷への影響を明示するため、具体的な生産地を定めて適切な土地利用との対比を行い、産地、耕作方法、を決定し、評価を固めて優位性を確認する必要がある。

これまでの LCA 評価試算では、原料となるジャトロファの耕作段階での灌水、施肥、作業に伴う LCGHG 排出が大きく結果に影響することが判明している。本年度は、灌水の収量への影響、灌水作業に必要なエネルギー、肥料、薬剤類の投入を考慮し、GHG 排出への影響を求めた。その結果を図 5 に示す。ジャトロファは乾燥地に強い特性が知られているが、灌水を与えない条件での GHG 排出量が、灌水条件下での排出よりも LCGHG 排出量が大きい結果になった。これは収量などを引用した報告書[1]の条件下での結果であり、すべての条件で成り立つとは限らない。そのため、具体的な生産地、その場所の降雨量、気温、土壌等の自然条件、輸送経路などのデータをもとに解析することが必要である。この結果例からも、条件によっては、灌水を行う場合でも LCGHG 面で優位性を持つ可能性があることが示唆される。

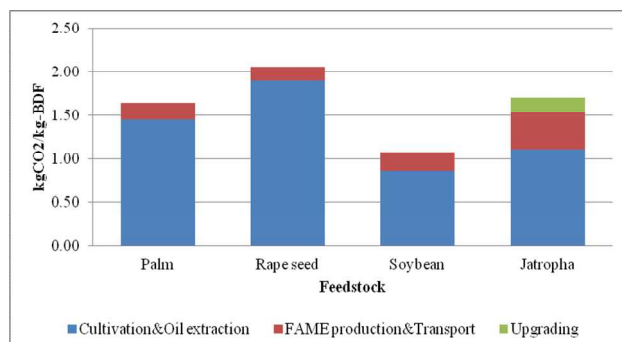


図 4 原料別の FAME の LCGHG 排出量試算

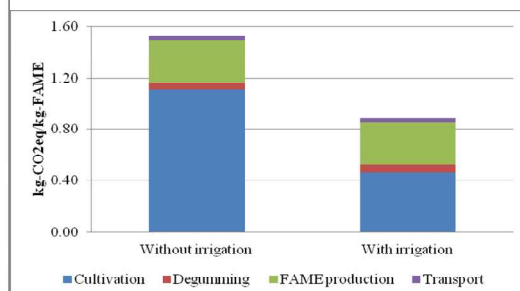


図 5 灌水条件による LCGHG 排出量

[1] Center for Jatropha Promotion, 2013, *Jatropha Plantation*. Available at: <http://www.jatrophabiodiesel.org/jatrophaPlantation.php> [accessed on 15 November 2013].

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) H21 年度は、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た。H22 年度は、1ton/d 規模 BDF 製造プラントをタイ側に設置し、同プラントの運転指導を行なった。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。これらのパイロットプラント一式を含む機材は、H23 年 5 月 19 日の 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 6)



図 6 JICA 機材のタイ政府への引き渡し式典(於:タイ TISTR)

H23 年度は、さらなる酸化安定性向上と低温流動性の悪化抑制技術として、脂肪酸メチルエステル組成と酸化安定性及び低温流動性の関係を明らかにし、水素化 - 抗酸化剤添加組み合わせによる品質改善技術及び固体触媒による BDF 製造について技術移転を行った。

H24 年度は、タイ洪水により被害を受けたパイロットプラントの被害状況確認調査、その後の復旧工事を行い、運転性能の回復を確認した(2012 年 5 月)。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(供与機材、図 7)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ャトロファ 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ャトロファ油及び 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7 タイ科学技術研究院内に設置された脱ガム試験装置

本年度は、BDF 高品質化については、小型流通式反応装置を用い、大型化に向けた触媒の耐久性評価法について、技術移転を行った。また、小型熱分解装置により得られた製造したばかりのバイオオイルを用い、易劣化成分の特定のための成分分析法について指導するとともに、軽度水素化による安定化について、技術移転を行った。また、高品質 BDF の LCA 評価に関しては、本年度は、国際的な LCA 実施ソフトウェア (Sima-Pro) と、その付属機能として供給されるインベントリデータを使う妥当性について、タイでの国内データベースと対比しつつ、評価方法、データの選択について技術移転を行った。タイ国内では、国家的な LCA プロジェクトが、産総研を主体としたわが国関係機関の支援を得て進捗しており、東南アジア地域で先進的な LCA 実施環境が整備されつつある。当研究での支援もその LCA プロジェクトのケーススタディの一つとして機能的に取り組むことができている。

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

(JICA 活動計画: No.6-1, 6-2)

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。

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。ジャトロファ残渣の熱分解を行い、触媒の効果を調べた。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、有望触媒を探索した。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した。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 にて有効性を検討した。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った。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した。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した。また、タイ科学技術研究院に流動層型熱分解パイロットプラントを設置し、試験運転を開始した。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った。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行った。

本年度は、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・試運転を行った。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りやすい Beta ゼオライトを中心として検討した。また溶媒を含まないバイオオイル (有機相) の収率向上を目指して、これまでよりラージスケールで検討した。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況: H21 年度は、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)。H22 年度は、粉砕器(カッター及びディスクミル)を用いて作製した各種形状の試料からの液生成の比較を、熱重量分析及び急速熱分解により行う。パイロライザー付 GC-MS システムから得られる熱分解生成物データを定量化するため、FID 検出器を増設した(JICA 活動計画 No. 6-1)。大型熱分解炉設計のための予備データ取得を目的として、ガラス系の小規模熱分解系を構築し、予備的に急速熱分解のデータを取得する。また流動層型熱分解炉を備えた触媒利用分解反応装置を設計・設置し、タイ国設置の熱分解システムとの比較に向けた準備を行った(JICA 活動計画 No. 6-2)。

更に、H22 年度は、熱分解に対するジャトロファ試料の粒子径や試料の種類の影響を、既設の熱重量分析装置を用いて調べた。パイロライザー付 GC-MS により、急速熱分解を行い、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/アルケン分などの触媒の有無による差を確認した。石英製反応装置を用いてタイ側から入手したジャトロファケーキなどの熱分解挙動に対する反応条件の影響を予備的に検討し、現在設営中の熱分解炉(金属製)に役立つデータを得た(JICA 活動計画 No. 6-1)。

H23 年度は、パイロライザー付 GC-MS により炭素質生成を抑制したゼオライト系触媒の探索を行った。その結果、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(図 8)。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。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 SiO_2 が脱酸素活性を示し、その中でも平均細孔径が 10nm の 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り、今後流動層反応器の流動媒体としての利用も検討したい。一方、金属修飾活性炭担体では、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。

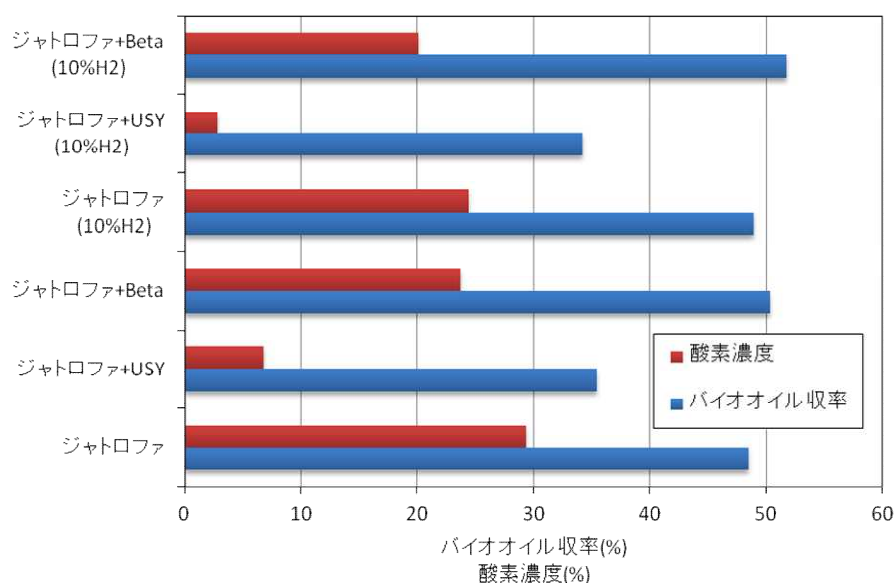


図 8 触媒存在下のジャトロファ残渣の熱分解

他方 GC-MS 系よりも試料に対して触媒が少ない条件で石英反応管(外径 40mm)を用い熱分解を行うと、ゼオライト担体より、炭素担体触媒の方が芳香族選択率が高く、逆に、含窒素副生物

の選択率は低く、炭素担体触媒が有効であることを確認した(JICA 活動計画 No. 6-1)。ステンレス反応管を用いた検討では、高級カルボン酸(脂質)、フェノール類、含窒素有機物などがGC-MS系より多く認められ、液収率の改善と共に、生成物における脱酸素、脱窒素を一層進めるための反応管の改良や反応条件の設定が必要であることを確認した(JICA 活動計画 No. 6-2)。

ジャトロファ残渣からのバイオオイルを油層と水層に分離し、油層はアルカリ処理 - エーテル抽出して脂肪酸及びフェノール類を分離除去することにより、窒素化合物の同定が可能となった(JICA 活動計画 No. 3-4)。

H24 年度は、分解温度と生成物の関係について、パイロライザー付 GC-MS により検討した結果、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トキシは、熱分解温度の上昇とともに促進されることを確認した(JICA 活動計画 No. 6-1)。また、これまで課題であった、実バイオオイルの収率改善のため、バイオオイル凝縮部に電気集塵器を自製し、導入した(図 9)。これにより、これまで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%)。

H24 年度は、石英及び金属反応管で触媒探索を継続した。石英反応管では、金属修飾活性炭およびゼオライト触媒の性能を原料/触媒比=0.74~2 の条件で行い、修飾 Beta にてバイオオイル収率 41%、芳香族炭化水素 45%程度を得た(JICA 活動計画 No. 6-1)。ステンレス反応管(改良型)では、修飾 Beta だけでなく、USY や ZSM-5 型も良好な結果を示した。溶液の酸価は、無触媒の場合の 1/10~1/40 程度に低下した。修飾 USY や ZSM-5 は触媒再生により、性能が比較的に変わらなかったが、修飾 Beta は再生と共に性能が劣化する傾向があった(JICA 活動計画 No. 6-1)。パイロライザー付 GC-MS(原料/触媒比=0.16、芳香族炭化水素選択率 70-85%)に匹敵する選択率を期待して、原料の分解により発生する生成物蒸気が触媒層を通過するように改良したステンレス反応管を試作し、これを用いて熱分解反応を行い、最大で 73.6%の芳香族炭化水素選択率と 55%程度のバイオオイル収率を得た(JICA 活動計画 No. 6-2)。

本年度は、12 員環で炭素析出が起こりやすい修飾 Beta 触媒について、Si/Al₂ 比の異なるフレッシュ及び再生触媒の性能をステンレス反応管(改良型)にて検討し、これまでの Si/Al 比 22.5 よりも高い Beta の一部では、芳香族炭化水素選択率が 72.4%と遜色ないことを見いだした。また、2 回の触媒再生後でも、芳香族選択率は 60%と、8 割程度の性能を維持していた(JICA 活動計画 No. 6-1)。抽出溶媒無しのニートなバイオオイル(有機相)を得るために、これまでより規模を上げて熱分解を行い、原料に対して約 10%の収率で有機相を得た(触媒使用時)。触媒無し条件で得た有機相中の芳香族炭化水素選択率は 29.4%で、簡単な水素化後は 31.2%と大差なかったのに対して、触媒有り得た有機相は 44.1%の芳香族炭化水素を含み、水素化後は 62.2%まで増加しており、触媒的熱分解の優位性を示すことができた(JICA 活動計画 No. 6-2)。

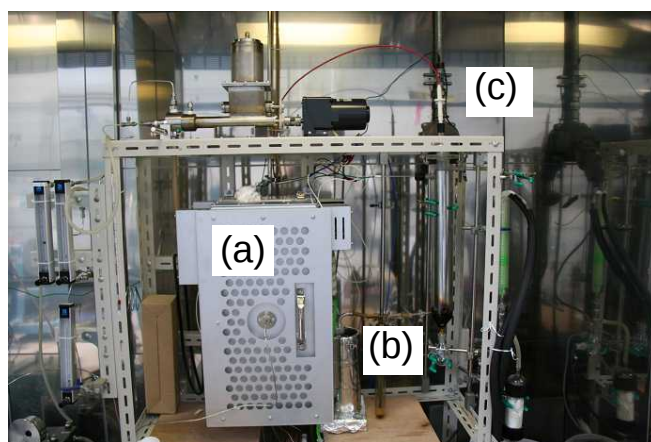


図 9 流動層型熱分解炉に取り付けられた電気集塵器

(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

タイ科学技術研究院に流動層型熱分解パイロットプラントを設置し、平成 25 年 1 月より、試験運転を開始した(図 10)。装置は順調に稼働したが、生成油の回収率が十分でないため、電気集塵器の導入も含め、回収率の向上を検討することとなった。

図 10 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流動層型熱分解炉パイロットプラント（約 20kg/h 規模）



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）

H21 年度は、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。また、H21 年度より実際の研究交流を開始した。H22 年度は、タイ側からの研究者の受け入れを継続すると共に、タイ側から提供されたジャトロファケーキの熱分解挙動の検討を行った。

H23 年度は、タイ側からの研究者の受け入れを継続すると共に、タイ側から提供されたジャトロファケーキに触媒を使用し、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検討を行った。更に、小型流動層反応器 (30g/h、図 11-12) を共同で運転し、実バイオオイルの取得、組成分析を行った。

H24 年度は、金属製熱分解反応器 (改良型) を用いた触媒探索をタイ側研究者と共に行った。併せて生成物の酸価測定技術をタイ側研究者に指導した。

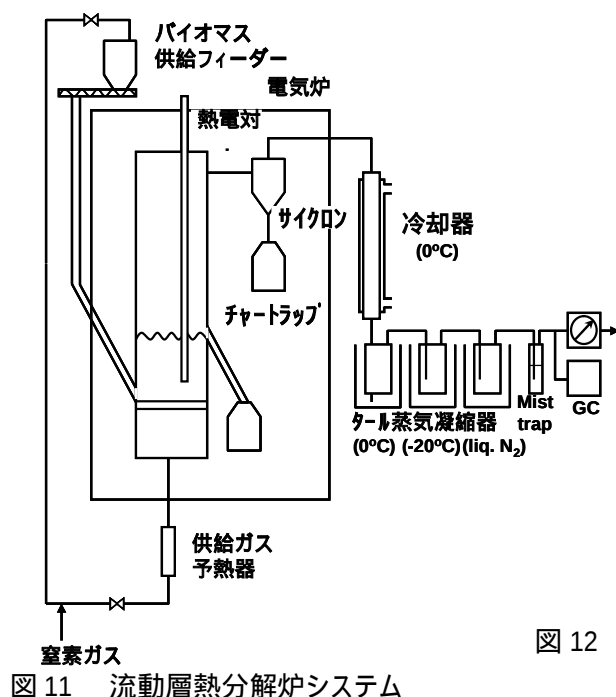


図 12 流動層熱分解炉本体部（～30g バイオマス/h）

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。

本年度は、ラボスケールではあるが(産総研装置)、バイオオイル有機相(溶媒使用無し)が 30g 規模のジャトロファ原料でも流路の閉塞等がなく得られることをタイ側研究者と共に確認できた。一方、昨年度タイ国 TISTR 内に設置した循環流動層型熱分解パイロットプラント(図 13,14)において、生成したバイオオイルの回収に水冷式の凝縮器を用いていたが、高温、高流速のバイオオイルミストのトラップに不向きであった。そこで、AIST で導入した電気集塵器をパイロットスケールに改良し、TISTR 内のパイロットプラントに設置した(図 15)。これまで困難であったバイオオイルの回収が飛躍的に改善された。



図 13 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
分解パイロットプラ
ント

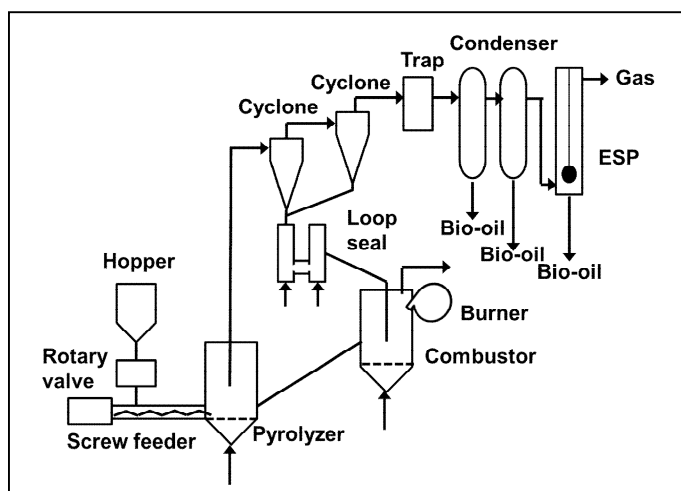


図 14 循環流動層型熱分解パイロットプラントの構成
(産総研の鈴木氏による基本設計)

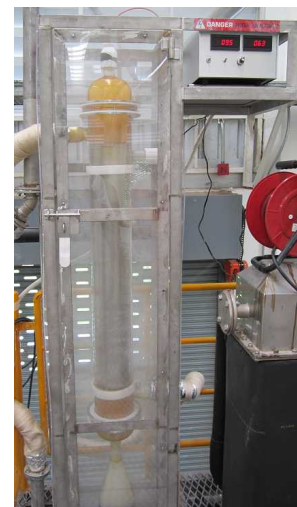


図 15 パイロットプラント
に付設された電気集塵器

当該循環流動層型熱分解パイロットプラントを用い、ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造試験を行った結果、ジャトロファ種子殻等のリグノセルロース由来成分とジャトロファ残渣に付着したトリグリセリド由来成分からなるバイオオイルの製造に成功した。しかし、バイオマス供給装置(スクリーフィーダー)内部でのコーキング等の現象が見られ、当該パイロットプラントの安定運転には至っておらず、バイオオイルの大量性能に向け供給装置を改造中である。

研究項目: バイオオイルの高品質輸送用燃料化技術
(JICA 活動計画: No.8-1, 8-2, 9-1)

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。更に、バイオオイル経由の新燃料の LCA 評価を行う。

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ド触媒の探索を行なった。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った。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った。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した。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った。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、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った。

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パッチオートクレープにて検討した。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した。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(300~330 °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 °C)での木質タールの安定化処理実験を連続して行った。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した。

本年度は、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った。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った。触媒としてコバルトモリブデン硫化物触媒を用い、その担体種の効果について検討したところ、いずれの触媒も脱窒素および脱硫活性が高かった。脱酸素活性は、アルミナ担持触媒は、高活性、高安定性を示したが、ベンゼン環の水素化も進行した。一方、シリカ担持触媒は、活性劣化が見られたが、芳香族炭化水素選択性は高かった。そこで、シリカ担持触媒とアルミナ担持触媒を組み合わせ使用したところ、高芳香族炭化水素選択性を維持しつつ、脱酸素も高活性かつ安定的に進行することがわかった。また、昨年度に引き続き、固定床およびスラリー床流通式反応装置を用いて、木質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、木質タールにパニリンを 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。

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。しかし、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。本年度は、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。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況： H21 年度は、水素非存在下、鉄系触媒上で

の直接脱酸素反応では、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)。

H22 年度は、直接脱酸素型の脱酸素触媒として、非水素存在下、USY ゼオライト等によるグアイアコールの脱酸素反応を行なったが、コーク生成量が非常に多かった。水素化型の軽度脱酸素技術については、NiMo 触媒の活性安定性を調べるため、固定床およびスラリー床流通式反応装置による連続運転を行なった。木質系タール(模擬バイオオイル)は熱分解しやすい酸素化合物を多く含んでおり、固定床型反応装置による運転試験(3MPa、330)では触媒層上部においてコーク生成が著しく、反応管閉塞により 1~2 日程度で運転停止となった。一方、スラリー床型反応(5MPa、400)ではコーキングトラブルがなく、安定的な長期連続運転が可能であることが分かった(JICA 活動計画 No.8-1)。得られた軽度脱酸素油と石油系直留軽油との共処理では、酸素含有量は比較的容易に 0.1%以下にまで低減するが、水素化脱硫反応が阻害されること、石油系減圧軽油との共処理では脱硫反応への阻害効果が小さいことが分かった(JICA 活動計画 No. 8-3)。

H23 年度は、非硫化物系の金属触媒による脱酸素反応を検討した。木質系タール(模擬バイオオイル)の脱酸素では、シリカ担持コバルト触媒は脱酸素率が高く、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を見出した。モデル化合物を用いる触媒種の脱酸素挙動の検討により、担持貴金属触媒はフェノール類の脱酸素能は高いものの脂肪酸に対する反応性は低く、両者に対する脱酸素能の高い硫化物触媒が適していることが分かった(JICA 活動計画 No. 8-2)。軽度脱酸素油と石油系減圧軽油との共処理では、370 で安定した脱硫、脱窒素活性が得られることが分かった(JICA 活動計画 No. 8-3)。

また、スラリー床型軽度脱酸素技術の経済性向上を目指して安価な鉄系触媒の利用を検討したが、コーク生成が顕著であり、木質系タール中の熱的に不安定な酸素化合物の水素化脱酸素には、NiMo 系触媒のような高い水素化能が必要であることが分かった。固定床反応器による軽度脱酸素処理では、比較的低温(260)下において不安定酸素化合物を分解し、その後 300~350 で脱酸素処理することで安定的な連続運転(2 週間)が可能となり、グアイアコールの分解率がほぼ 100%となった(JICA 活動計画 No. 8-1)。スラリー床反応により得られた軽度脱酸素油を石油留分に加えて水素化処理し、脱硫反応に及ぼす脱酸素油添加の影響を検討した。減圧軽油の場合には脱硫反応性の低下が小さく、また 10 日間の連続運転において触媒活性の低下は認められなかった(JICA 活動計画 No. 8-3)。

更に、バイオオイル及び脱酸素油の性状評価のための標準分析法について検討し、100%ジメチルポリシロキサンキャピラリーカラムによる分析が成分同定に最適であることを示した(JICA 活動計画 No. 3-4)。

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を用いると、既存の硫化物触媒に比べ高いグアイアコール濃度においても高い活性を示し、又、4 回の繰り返し実験を行っても活性低下が殆ど見られないことがわかった。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し、窒素分のみでは脱酸素活性を低下させるが、硫黄化合物共存の場合は脱酸素及び脱窒素は高活性を維持し、より水素化が進行した炭化水素が生成物として得られることがわかった(JICA 活動計画 No. 8-3)。また、軽度脱酸素技術の低コスト化を目指して、比較的温和な条件下での木質系タール中の不安定酸素化合物の分解前処理を行った。スラリー床反応により得られた前処理油(H₂ 2MPa、280~320)を原料とし、固定床型軽度脱酸素処理の連続試験(H₂ 3MPa、300)では脱硫性能等の触媒活性は、長時間安定していた(JICA 活動計画 No. 8-1)。更に、固定床流通式反応装置による木質タールの安定化処理(3MPa、250)では、運転開始後 13 日目に反応圧力が上昇し始め、触媒層上部でのコーキングが示唆された。得られた処理油は安定であり、320 での固定床型水素化脱酸素によりグアイアコールはほぼ完全に除去された。スラリー床反応における触媒消費量の低減のため、触媒のリサイクル使用について検討した。回収触媒 0.8%と新触媒 0.2%を用いた木質タールの脱酸素実験(5MPa、400)では、コーク生成量が増加し、運転開始後 2~3 日で反応器底部での閉塞が発生した。水や軽質な生

成物が多いために触媒が外へ流出せず、反応器内に滞留するものと考えられた。そこで、粘潤な減圧残油と一緒に反応させたところ、触媒の流出が可能となり、5 日間の連続運転が可能となった。

本年度は、パイロットプラントからのジャトロファ熱分解生成油(バイオオイル)が得られなかったため、石油系基材との共処理における含酸素化合物の脱酸素反応性、選択性について、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った(図 16)。触媒としてコバルトモリブデン硫化物触媒を用い、その担体種の効果について検討したところ、いずれの触媒も脱窒素および脱硫活性が高かった。脱酸素活性は、アルミナ担持触媒は、高活性、高安定性を示したが、ベンゼン環の水素化も進行した。一方、シリカ担持触媒は、活性劣化が見られたが、芳香族炭化水素選択性は高かった。そこで、シリカ担持触媒とアルミナ担持触媒を組み合わせ使用したところ、高芳香族炭化水素選択性を維持しつつ、脱酸素も高活性かつ安定的に進行し、選択性の高い触媒設計の指針を得ることができた。

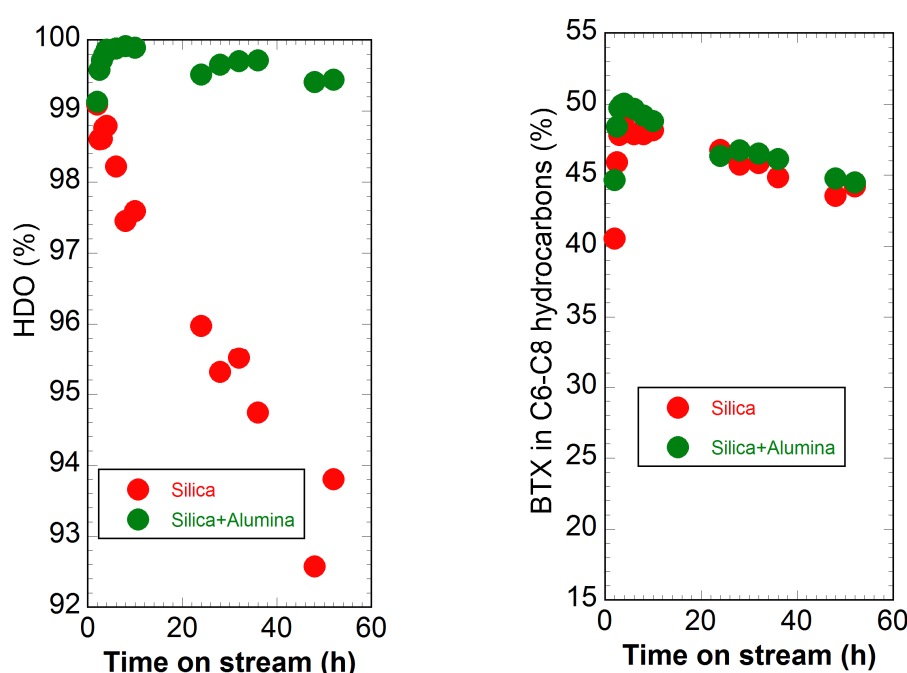


図 16 触媒の組合せによる脱酸素活性の安定化と芳香族選択性

また、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 ~ 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 17)。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(JICA 活動計画 No.8-3)。

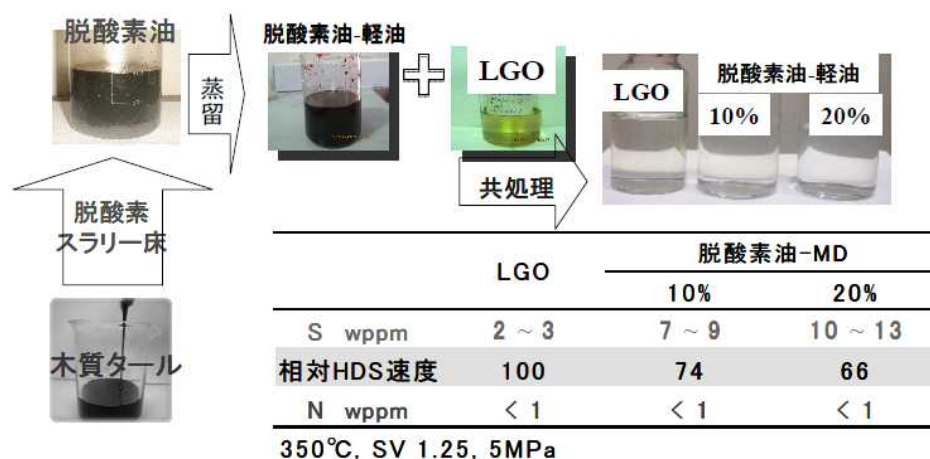


図 17 木質タールからのクリーン軽油の製造スキームと製品油の硫黄・窒素含量

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。そのため、予備的な LCA 結果を実施、解釈し、必要な技術開発に対する知見を推察する必要がある。

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)や酸性化物質の排出削減、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、さらに土地利用変化による生態系への影響が懸念される。図18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19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。

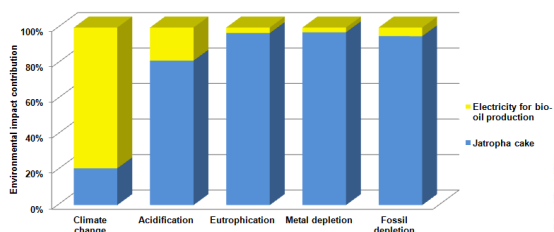


図 18 環境影響評価結果

黄色：投入エネルギー起源
青色：原料調達起源

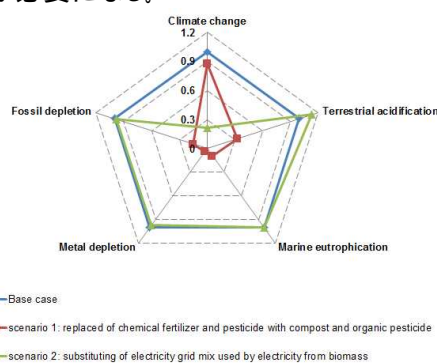


図 19 諸対策による環境影響評価の削減

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

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)

H21 年度は、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。H22 年度は、日本側研究者 3 名がキングモンクット大学を訪問し、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。

H23 年度は、日本側研究者2名がモンクット王工科大学ノースバンコク校を訪問し、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、同大学の研究者2名を招聘し、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。

H24 年度は、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、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、同校から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。

本年度は、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。

研究題目：新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術

研究項目：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）

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。

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した。具体的には、各種脂肪酸および脂肪酸メチルエステルを試薬を用い、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した。

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(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。なおこれらの評価は、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ことが確認された。また、水素化や酸化防止剤の添加は潤滑性に影響を及ぼさないことが明らかとなった。

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押さえられていることが確認できた。

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した(図 20, 21)。材料浸せき試験データの解析に関して、銅材に対し物理的及び外観的变化は見られなかった。ゴム剤についてはバイオディーゼル燃料の少量の膨潤が見られた。また、燃料ホースのゴム剤による影響と思われる、テスト燃料の色の変化が見られた。

Pictures of test fuels (before immersion)

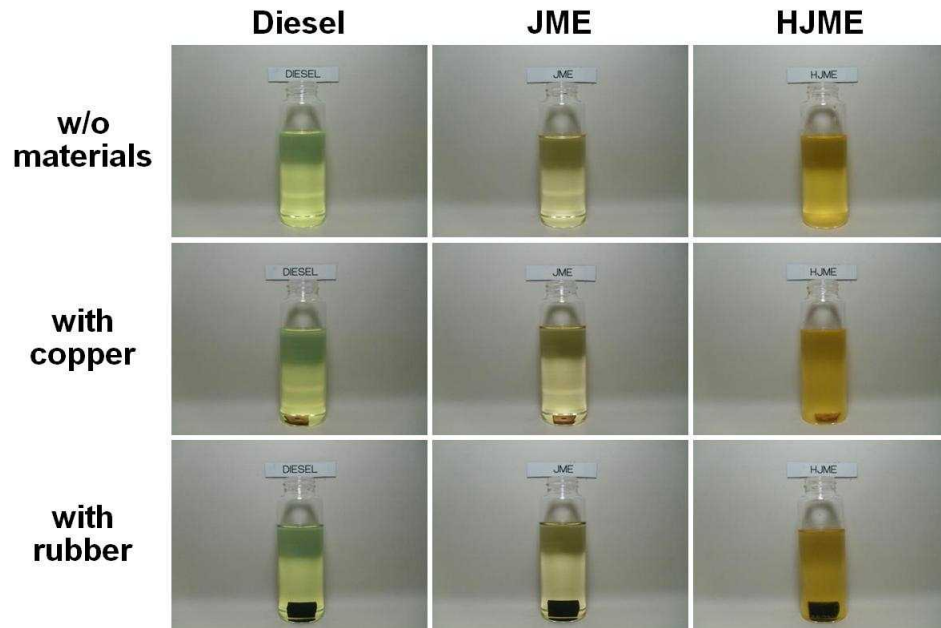


図 20 材料浸せき直後の写真

Pictures of test fuels (after 8 weeks immersion)

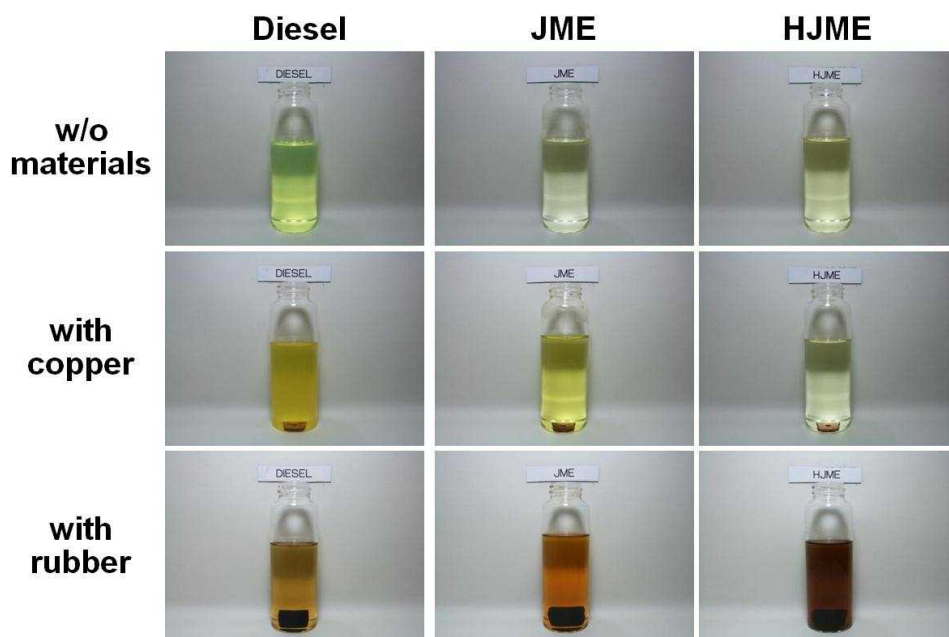


図 21 材料浸せき 8 週間後の写真

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

H22年度は、Task 1 で実際に製造される燃料入手待機状態のため、試薬を用いて各種脂肪酸、脂肪酸メチルエステルおよび主要原料(ジャトロファ、パーム、菜種、ココナッツなど)を模擬した試薬混合モデル脂肪酸メチルエステル等の、燃料性状と潤滑性の関係を系統的に整理することができた。

H23年度は、実際に製造された燃料を入手し、実燃料の性能評価を長期放置試験や材料浸せき試験、潤滑性試験等で確認することができ、ほぼ予定通り進捗できたと言える。

H24年度は、H23年度に実施した浸漬試験の更なるデータ解析を実施し、ほぼ予定通り進捗できたと言える。

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)

に前述の通り、H23年度の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)に関して技術移転できたと思われる。

研究項目：高品質 BDF 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)

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。

研究実施方法

本年度は、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ェックした。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った。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した。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。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

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、当該事業で得られた木質系等バイオオイル由来の燃料等(主として模擬バイオオイル由来の燃料)合計 7 種について、デバイス部材の体制に及ぼす影響を、ほぼ予定通り評価できた。本来の新燃料原料であるジャトロファ残渣由来のバイオオイルについては、タイ科学技術研究院の循環流動層型熱分解炉パイロットプラントで製造予定であるが、2011 年末のタイ洪水の影響を受け、同パイロットプラントの搬入・運転が遅れた結果、未だ十分な量のバイオオイル製造に至っていない。このため、ジャトロファ残渣由来のバイオオイルを入手次第、その改質処理を行い、材料適合性試験を開始する予定である。

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)

JICA 研修生として受け入れた Dr. Yatika SOMRANG 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と思われる。

研究項目：新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術

「BDF の燃焼特性評価(過渡モード試験)」(JICA 活動計画 No. 5-2)

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。

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した。本年度は燃料の制約もあり、部分負荷試験のみの実施とした。

軽油と比較し、いずれのジャトロファ燃料もNO_x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、NO_x(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。

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した。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環境を整えた。

H25年度は、早稲田大学にて改良されたKIVA-3Vコードを本プロジェクトではベースとし、本プロジェクトで製造される高品質ジャトロファバイオディーゼル燃料の物性への併せ込みと、走行試験で使用したピックアップトラックに搭載されているエンジン仕様への併せ込みを大きな目標とし、シミュレーションコードの整備を進めた。エンジン仕様は、早稲田大学にて使用中のホンダ製エンジンを一時的に使用することとし、燃料性状は高品質ジャトロファバイオディーゼル燃料の主成分である、オレイン酸メチルにて代替することとした。その結果、噴霧到達距離は軽油、オレイン酸メチル共に、異なる3種の噴射圧とも実験結果をシミュレートできることが確認された。熱発生率に関しては、軽油100%では実験値と計算値がよく合うものの、オレイン酸メチルについては実験値が存在せず、比較することができなかった。今後、実験値の取得と計算と実験の比較をすることで、より、シミュレーションコードの精度向上が見込まれる。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

H23 年度は、燃料の制約もあり、部分負荷試験のみの実施となった。当初予定であった過渡モードによる燃料性能の評価を次年度実施し、当初計画をキャッチアップする予定である。

H24 年度は、カウンターパートの要望もあり、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した。

H25 年度もカウンターパートの要望から、燃料噴霧火炎発達過程のシミュレーション技術指導を継続した。

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)

H23 年度は、来年度のタイ研修生招聘に向けた準備を行った。

H24 年度は、燃料噴霧火炎発達過程の数値シミュレーションに関して、技術移転の第1段階に貢献できたと考える。

H25 年度は、燃料噴霧火炎発達過程の数値シミュレーションに関して、着実に進捗しつつあり、技術移転に向けて貢献できたと考える。

研究項目：新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術

「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)

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。

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。

本年度は、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、デバイス部材の体制に及ぼす影響のみ評価した。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

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)の燃焼特性評価は本年度から開始したものであるが、本年度は、当該事業で得られた木質系等バイオオイル由来の燃料の量に限りがあり、エンジン試験は実施できなかった。

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)

本年度は、木質系等バイオオイル由来の新燃料の材料適合性の評価法等についてタイ研修生を通して技術移転できたが、今後、バイオオイル由来の新燃料を用いたエンジン試験評価法等について技術移転予定である。

研究項目: BDF を用いた実車試験

(JICA 活動計画 No. 5-5)

研究のねらい

Task 1で製造されるジャトロファ H-FAME の自動車燃料適合性を評価するため、TISTR のパイロットプラントで製造された 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)を行う。

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、実車試験用燃料とした。試験車両は、いすゞ製のピックアップトラック(Isuzu D-Max)で、EURO3対応車両である。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ルに従い実施し、走行距離は50,000kmとした(委託費予算上の都合で決定)。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

実車試験は、2012.11 ~ 2013.5 までの期間に実施し、成功裏に終了した。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, NO_x, 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。

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)

当該実車試験は、カウンターパートである MTEC/NSTDA 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/NSTDA、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。

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）

研究のねらい

当該事業では、気候変動緩和対策およ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ことを一つの目的としている。また、当該事業で得られたバイオマス燃料製造・利用技術の成果をアジア地域へ広く技術移転することにより、運輸部門からの CO2 排出抑制にも貢献することを目指している。

研究実施方法

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した。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した。

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 3 名の若手研究者を招聘した。また、産総研研究者が 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。

当該事業に関わるバイオマス燃料製造技術の社会実装に関しては、早稲田大学と協力して、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）を試みた。さらに、産総研および早稲田大学の担当者がタイ国を訪問し、タイ側関係者とアジア地域での社会実装に向けて打ち合わせを開始した。

H23 年度は、タイ国若手研究者 8 名（タイ科学技術庁、4 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、追加予算を用い、我が国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（図 22）。

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については、タイ側とも打ち合わせを行い（JICA 専門家派遣）、現時点で最も可能性が高い高品質ジャトロファ BDF 製造技術の社会実装に焦点を絞ることとした。さらに、H22 年度には追加予算により、当該技術の経済性評価を行い、地産地消型のバイオマス燃料として、当該技術が第 2 世代あるいは第 3 世代のバイオマス燃料として比較優位性を有すること、BDF のコスト低減には出発原料の低コスト化が必要不可欠であることなどを確認した。また、H23 年度は、追加予算により、ジャトロファ油の安定供給と低価格化および製造システム等について調査を行い、解決すべき課題を明らかにすることを試みた。H24 年度も、H22、H23 年度に引き続き、タイ側と協力し、周辺諸国を含めた出発原料（ジャトロファ等非食糧系バイオマス）の調査を行い、現時点ではジャトロファに代わる非食糧系バイオマス資源としてボンガミアが有望であることを明らかにした。

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 7 名（タイ科学技術庁、2 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。研究成果の社会実装については、出発原料に焦点を絞り、早稲田大学およびタイ側と協力し、周辺諸国を含めた出発原料（ジャトロファ等非食糧系バイオマス）の調査を行った。この結果、現時点ではジャトロファに代わる非食糧系バイオマス資源としてボンガミアが有望であることが明らかになった。

H25 年度もタイから JICA 研修で若手研究者を 14 名（タイ科学技術庁、6 名：タイ科学技術研究院、6 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。

日タイ事業成果（高品質 BDF 製造技術）の社会実装については、早稲田大学と連携し、JST 追加予算を用い、より具体的な調査・検討を行うことができた。H25 年度の社会実装に向けた調査・検討は産総研および早稲田大学と産学官の有識者で調査委員会を構成し、H24 年度までの検討結果を基に新たな調査研究（ボンガミアを出発原料とするボンガミア BDF の実用化、ビジネスモデル）を行うことができた。来年度はタイ側と協働作業で当該調査・検討を進めることを予定し

ている。

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、H21 年度内に招聘計画を実施することは出来なかった。H22 年度以降はタイ側と調整を行ない、H22 年度は 3 名の研修生、H23 年度には 8 名の研修生を受け入れることができ、産総研研究者の JICA 専門家派遣を含め、タイ国若手研究者の人材育成は順調に進んでいるといえる。

また、当該事業で得られた成果のアジア地域への技術移転についても、早稲田大学と連携し、H22 年度の「高品質 BDF 製造技術の社会実装に向けた可能性調査」で良好な結果が得られた。これらの成果をふまえ、H23 年度には当該技術の立ち位置、関連技術との比較優位性、社会実装に向けた今後の課題等を明らかにすることができ、当初の計画を加速的に推進することに成功している。

H25 年度は、上述したように、当初研究計画には含まれていなかった、非食糧系の新規バイオマス資源であるポンガミヤを用いた実用化に向けた調査・検討を加速的に推進することができた。

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。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も、高品質 BDF の実用化に向けた検討チームが構築され、H26 年度には日タイ協働作業による本格的な社会実装に向けた検討が進められると期待できる。

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

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 年度の追加予算で我が国の若手研究者の育成を試みることができた。我が国の若手研究者育成(若手研究者の東アジアへの派遣、若手研究者のアジア大での交流)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。



バンドゥン工科大学での講演と情報交換



バンドゥン工科大学での講演終了後の記念撮影



パームオイル工場の見学、報告会



パームファームにて果実採取を実体験



BPPT(インドネシア技術評価応用庁)での打ち合わせ BPPT(インドネシア技術評価応用庁)施設見学

図 22 バイオマス利用に係るインドネシア国立研との人材交流

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)

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。

研究実施方法

H21 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。

H22 年度は、日本国内の特定の地域におけるバイオオイルの製造ならびに流通を中心とした LCA 評価の実施、タイにおける Jatropha 栽培による土地利用変化の影響評価の基本的な考え等の整理を進めた。

H23 年度は、バイオ燃料の供給量が増加傾向にあるタイの一部地域を想定し、原料作物として非食糧系バイオマスのジャトロファを選定、それを持続的に栽培・生産するのに必要な要件の明確化と、ジャトロファ栽培を通じた土地利用による周辺環境(大気・水質・土壌など)への影響(土地利用変化)を評価する方法の確立と評価の実践を行なった。

一方、バイオオイルの製造に関する環境負荷評価では、中規模施設を想定して木質バイオマスの熱利用に関して検討を行い、秩父市での事業化を前提としたバイオオイルの高効率利活用ネットワークの形成の可能性について評価を加えた。

H24 年度はジャトロファ栽培と BDF 生産のライフサイクルコスト計算に供する各種データの収集及び同データに基づいたジャトロファ栽培の環境負荷すなわち温室効果ガス排出やエネルギー収支に加え、経済や雇用創出といった社会に対する利益といった観点から LCA 評価を実施した。また、土地利用変化が環境に与える影響について評価するために、タイ国内における農地利用について調査した。

H25 年度は H24 年度までの成果に基づき、タイ側と協力して、ジャトロファ BDF に関わる社会面・経済面からの LCA を行った。具体的には、ELP(Environmental Load Point)手法を用い、タイ現地でジャトロファ栽培手法のケース・スタディーを行い、まず、タイの生産現地におけるジャトロファ BDF の社会的インパクト(現地での仕事量や収入具合)を明らかにすることを試みた。ついで、エネルギー面からの評価やコスト分析を含む経済性評価を行った。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

H21 年度は、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。

H22 年度は、国内におけるバイオオイルの製造と流通に関する評価のフレームを明確にするとともに、実行に向けた課題や要件等整理することができた。また、温室効果ガスインベントリにおけるグッドプラクティスガイダンス LULUCF(土地利用、土地利用変化及び林業)分野における温室効果ガスの一般的な排出量と吸収量の算定方法などを参考に、川上部分での影響評価の基本的な考えを整理することができた。

H23 年度は、土地利用変化に伴う温暖化影響としての炭素ストック・フロー量の把握ならびにジャトロファ等の作物栽培に要する水消費量の評価をおこなった。手法として、炭素ストック・フロー量の把握には、温室効果ガスインベントリにおけるグッドプラクティスガイダンス LULUCF(土地利用、土地利用変化及び林業)分野における温室効果ガスの一般的な排出量と吸収量の算定方法の中で、デフォルト法ならびにストックチェンジ法にて評価するモデルを採用し、さらに原料作物の栽培管理段階での施肥による影響も考慮に入れて、GHG 排出量による環境影響評価もおこなった。その結果、結果、未利用地からジャトロファ農園への土地利用転換の場合、土壌炭素ストック量の増加が寄与して、GHG 排出量の面で他の条件(農地・湿地・草地からの転換利用)よりも優位であることがわかった(図 23)。加えて、未利用地から各種原料作物(ジャトロファ・オイルパーム・大豆・サトウキビ・水稻)を栽培する範囲での評価では、作物栽培時の施肥に伴う地下水への窒素溶脱量および直接的 N_2O 排出量を算定して行った結果、栽培管理段階での窒素施肥の影響が大きい事がわかった(図 24)。

また、タイ5地域(東部・北部・中部・東北部・南部)における原料作物別での栽培育成に必要な水消費量に関する評価を行い、1年間の栽培育成における単位面積での水消費量はジャトロファ栽培が最少となり、水消費量の面では優位であることを示した(図 25)。今後は、各原料作物に関する養分吸収量や生長量などの個別情報の収集ならびに評価モデルの精緻化を図る予定である。

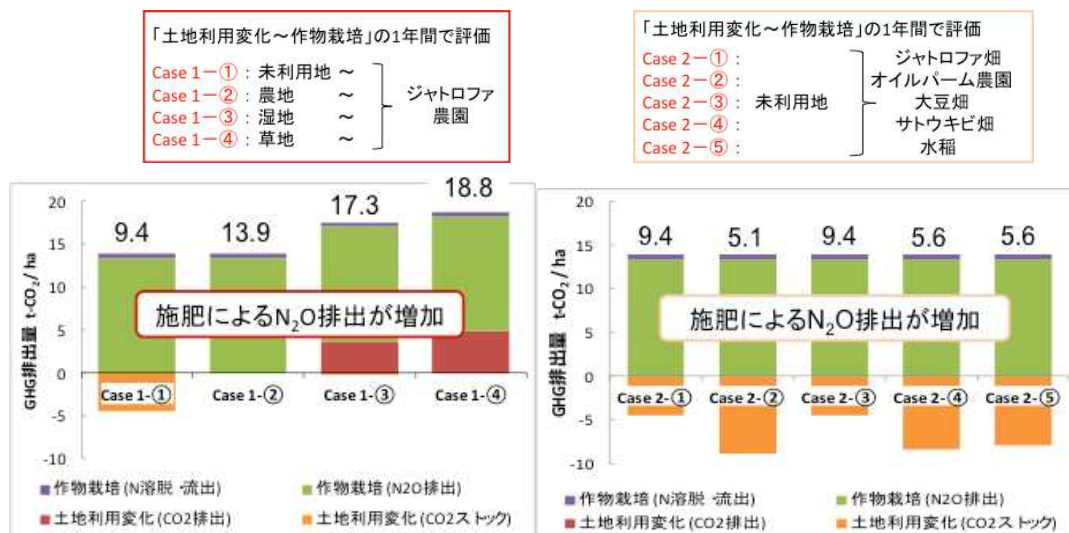


図 23 GHG排出量(ジャトロファ農園への転換)

図 24 GHG排出量(未利用地からの変化)

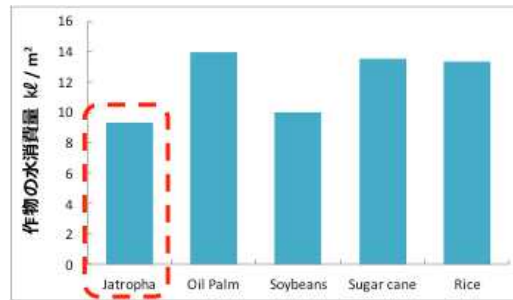


図 25 原料作物別の水消費量

加えて、バイオオイルの製造に関する環境負荷評価では、タイ国内におけるジャトロファ栽培・収穫ならびにインフラ整備・構築が確定していないことから、日本国内での木質バイオマスの具体的な利活用事例(埼玉県秩父地域)をもとに、特に、原料の収集と輸送に焦点を当てた評価を行った。さらに、タイでの LCA の実施に向けて、TISTR にて現地調査を行い、機器等の仕様を入手した。また、日本とタイ、中国の専門家や大学生等に対してアンケート調査により多国間における 9 つのカテゴリー重要度の比較を行った結果、先進国日本においては人間の健康に直接影響するカテゴリー重要度が、タイはエネルギー枯渇に、中国で地球温暖化、オゾン層破壊、資源消費が比較的に高いことがわかった(図 26)。

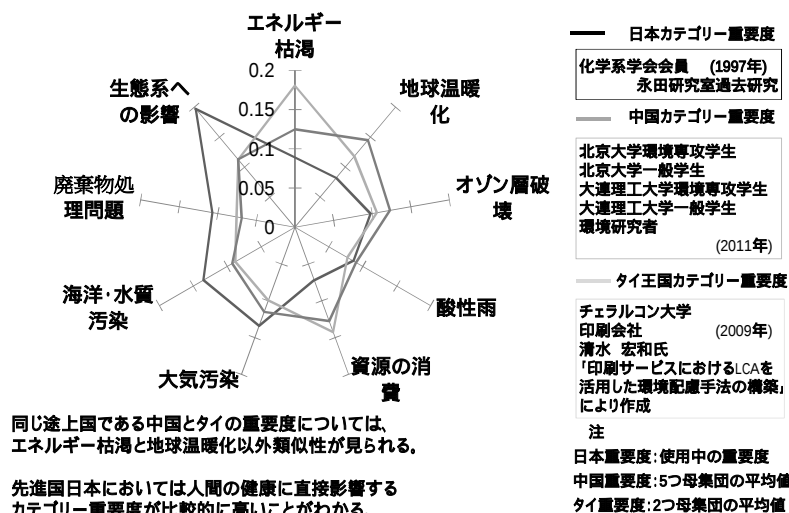


図 26 バイオ燃料の生産、消費における環境負荷に関する調査例

H24 年度はジャトロファ・プランテーションのインベントリデータに加え、ライフサイクルコスト計算のために栽培に要するコストと出荷価格双方のデータ収集を行い、ジャトロファ栽培と BDF 製造の環境負荷、社会に対する影響の双方について LCA 評価を行った。

ジャトロファ栽培及び BDF 製造過程における GHG の排出については、その多くが種子の破碎工程に伴うものであり、輸送時の排出量は約 10%を占めることが確認された(図 27)。また、ジャトロファからの BDF 製造では、BDF 単体で製造に投入したエネルギーの約 1.7 倍、葉などの副生成物を含めればさらに多くのエネルギーを回収できる可能性が示唆された(表 2)。

ジャトロファ栽培の経済的影響に関して、農家の支出及び収入の計算結果を表 3 に示す。支出に関しては人件費が多くを占めている。収入に関しては、ジャトロファ果実の売却益のみでは赤字となるが、再生可能エネルギーの原料となる葉や樹皮といった副生成物の売却による副収入や堆肥原料としての利用によって利益率を 180%まで改善できる可能性が示唆されている。また、ジャトロファ栽培は 100man-day の雇用を生み出すことが可能であり、BDF 製造による地域住民の雇用創出が期待される。ジャトロファ栽培に必要な労働力の内訳は図 28 に示すとおりである。

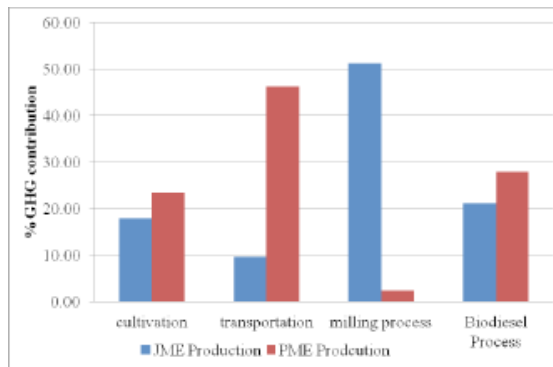


図 27 ジャトロファ栽培・BDF 製造過程における GHG 排出量評価

表 2 BDF 製造におけるエネルギー比較
(ジャトロファとパーム油の比較)

Energy (MJ)	MJ/ kg JME	MJ/ kg PME [10]
Input	21.67	25.48
Cultivation	9.05	7.44
Jatropha crude oil production	1.22	2.31
Biodiesel Production	11.41	15.73
Output	135.04	56.30
Jatropha based biodiesel	37.30	38.07
Glycerol	3.25	3.42
By product (<i>seedcake and husk for Jatropha and shell and palm kernel for palm</i>)	94.49	14.81

表 3 ジャトロファ栽培における
収入と支出

Cost (Thai Baht/ Ha)	64,401
Cost of seedling	16,371
Cost of land preparing	1,789
Cost of materials use in farm	572
Cost of Chemical Fertilizer	3,120
Cost of Manure	2,813
Cost of Herbicides and Insecticides	6,810
Cost of energy use in farm	3,944
Miscellaneous (Depreciation and maintenance)	10,842
Labor cost	18,139
Income to Farmer (Thai Baht/ Ha)	
Sale Jatropha dry fruit	56,494
Scenario 1: Sale JCL husk and wood to use as solid biomass	81,855
Scenario 2: Sale JCL husk to produce organic fertilizer and wood for solid biomass	116,131

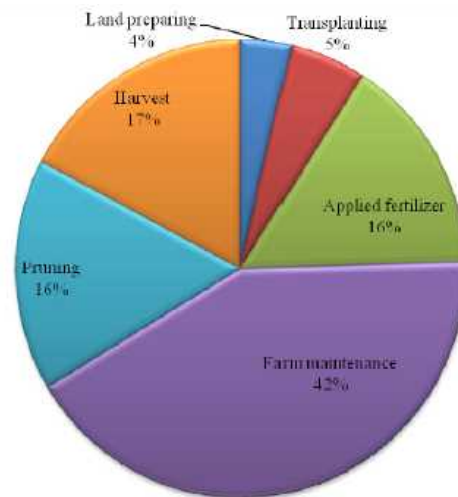
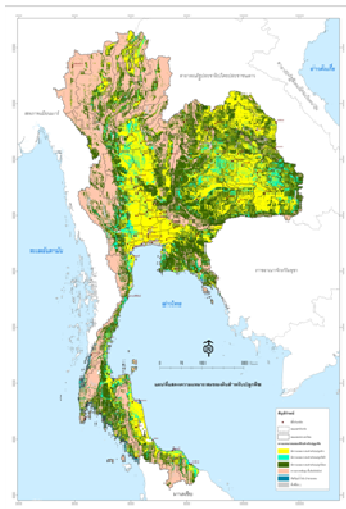
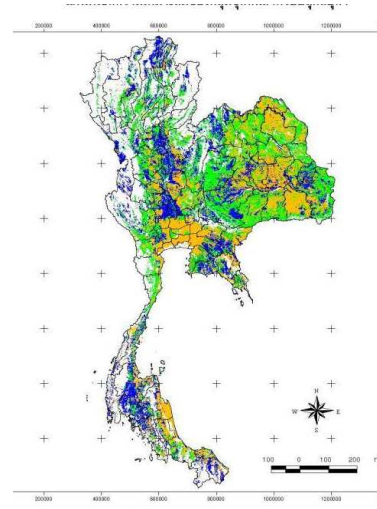


図 28 ジャトロファ栽培における
労働力の内訳

また、土地利用変化が環境に与える影響について評価するために、タイ国内における農地利用について調査した。図 29 に調査結果としてタイにおける農業用土壌の適性とジャトロファ栽培の適性を示した。ジャトロファはタイ国内全土で栽培・収穫が可能であるが、特にタイ北部及び北東部に



(a) 農業用土壌の適性
(緑：ジャトロファを含む園芸作物)



(b) ジャトロファ栽培の適性
(緑：1.88-7.0 ton/ha, 青：2.5-4.44 ton/ha, 黄：0.94-2.81 ton/ha)

図 29 タイ国内におけるジャトロファ栽培の適性地

ジャトロファ栽培に適した土壌があることが明らかとなった。

続いて、タイ国土の 47.4%を占める農地の利用状況を調査したところ、未利用の荒地が農地の 1%を占めていること、その多くがタイ東北部に存在することがわかった。今後は土壌の種類や質、各地域の気候条件についてさらに調査しジャトロファ植林に適した場所を明確にすると同時に、本調査結果と長期的な土地利用変化がカーボンストック量に与える影響を結びつけてジャトロファ栽培が環境に与える影響を総合的に評価する。

H25 年度も、当初計画通り、ジャトロファ BDF に関わる LCA を進めており、研究は順調に推進できている。特に H25 年度はタイ側との連携を強め、両者の協働作業により、タイ国内におけるジャトロファ BDF の具体的な LCA を進めることができた。H25 年度までに検討・推進してきたジャトロファを出発原料とする高品質 BDF プロセスの LCA 手法は、今後、ポンガミアなど他の植物油脂を出発原料とする BDF 製造技術の LCA に広く適用可能と期待できる。

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)

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、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、まずバイオディーゼル混合燃料の適用可能性を明確にするため、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)

研究実施方法

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_x 、

CO、CO₂、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テ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、軽油に対してジャトロファ由来BDFを40%(質量割合)混合した燃料(以下J40)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、排出ガステ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J40を用い、前年度と同様のエンジンシステム及び計測系にてパイロット噴射、噴射圧力、EGR割合が燃焼・排出ガステ性に及ぼす影響並びにPCCI(Premixed Charged Compression Ignition)燃焼の適用可能性について実機試験により調査・検討を行うと同時に、定容燃焼容器を用いてジャトロファ由来BDF使用時の噴霧の光学計測を行い、燃料の物性値が噴霧の形成や蒸発に与える影響を調査した。また、数値シミュレーションに関しては、前年度取得したJ40使用時の実機試験データを対象に詳細な素反応過程を考慮した3D-CFDシミュレーションにより燃焼特性の予測、NO_xとPMの生成過程の解析を実施した。

H25年度はH24年度までに得られた研究成果を基に、「新燃料(BDF)のエンジン特性評価」と「新燃料(BDF)の燃焼特性シミュレーション」の研究を継続的に行った。また、タイから若手の博士研究者を2名招聘し、BDFのエンジン特性評価とBDFの燃焼特性シミュレーションの日タイ共同研究を推進した。さらに、H25年度は、将来、ディーゼル燃料として分解経路が増加しセタン価が低下する傾向を踏まえ、新たに、BDFのセタン価向上剤としての有効性についても検討も開始した。この結果BDFはセタン価向上剤として有効であり、PM排出量の増加や着火遅れ長期化の対策として有効であることが明らかになった。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

H21年度は、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)

H22年度は、オレイン酸メチルを混合したBDF燃料の燃焼特性から、NO_x、THC、COならびにPM排出特性の把握を試みた結果、燃料の違いによる着火特性、燃焼圧力、熱発生率に与える影響はほとんどないことなどを明らかにした。また、燃焼シミュレーションでは、上記反応機構などを0次元モデルに適用し、エンジン内の局所ゾーンにおける温度と燃料濃度(当量比)に対する着火反応遅れを予測するとともに、PMとNO_xの生成領域を数値計算する手法を開発した。

H23年度は、次の図30に示すように、燃料の違いによる着火特性、燃焼圧力、熱発生率及び排出ガステ性に与える影響がほとんどないことをエンジン実験により明らかにした。また、排出ガス成分に与える影響については、BDFでは酸素が含まれることに起因して、PM、THC、COの排出量が減少し、NO_xはほとんど変化しなかった。

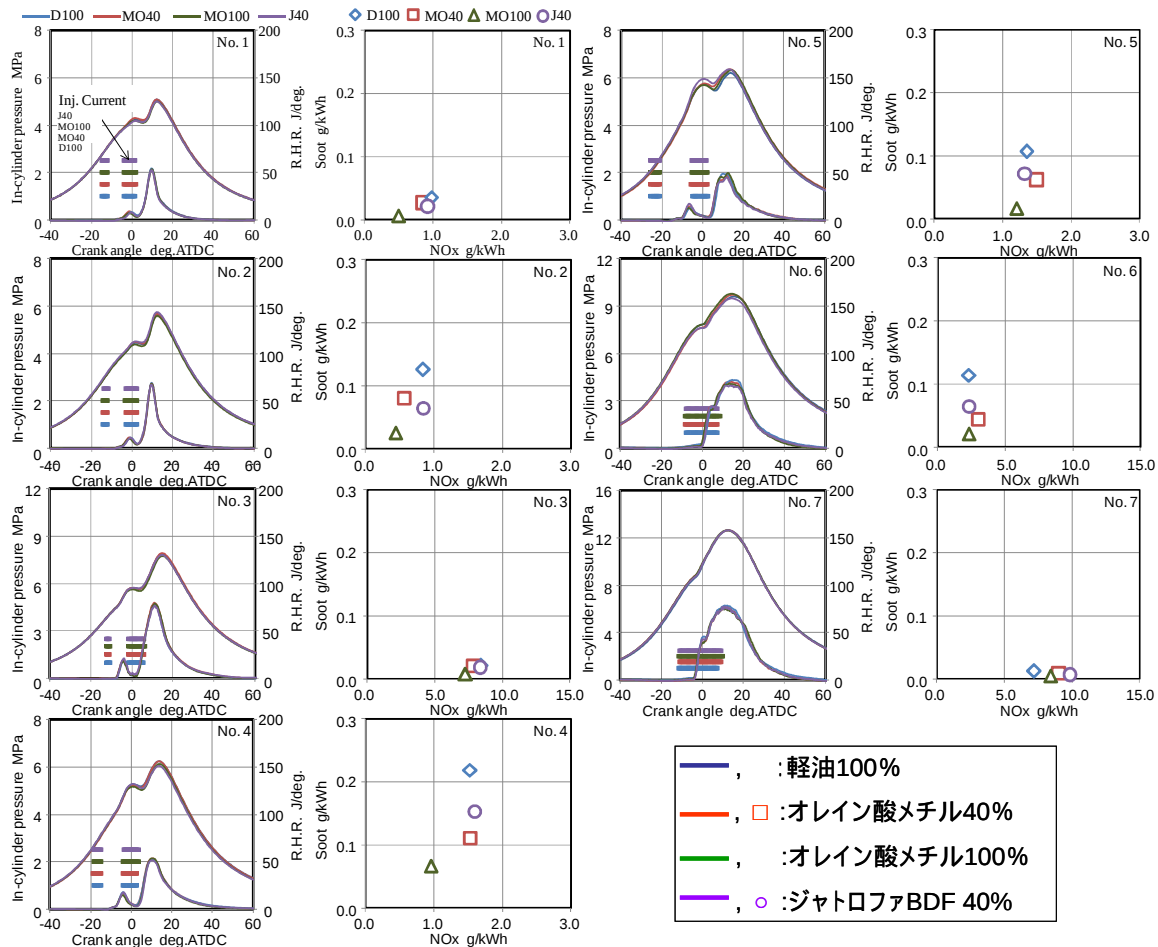


図 30 燃料の違いが着火特性、燃焼圧力、熱発生率及び排出ガス特性に及ぼす影響

また、エンジンの制御システムにより燃料噴射のパターンと時期を変更することで予混合圧縮着火(PCCI)燃焼方式を適用したところ、軽油使用の PCCI 燃焼と同様に、PMとNO_xの排出量が大幅に減少させることができた。その反面、THC、CO の排出量が増加する傾向があり、燃費が若干悪化することが確認された。さらに、PCCI 燃焼時噴射圧を変化した結果、低圧噴射時において圧力上昇率が抑えつつ、Soot を低減できることを明らかにした。

エンジン実験と並行して燃焼シミュレーションモデルの構築を進めた。その際、モデルを検証するために必要とされるエンジン実験のデータを取得するとともに、特に重要な燃料噴霧モデルを構築するため、エンジン内の高温高圧場を再現する定容容器を用いた可視化観察システムを製作して実験を行った。また、BDF 混合燃料の燃焼反応をモデル化するため、代表燃料として実験で用いたオレイン酸メチル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でエンジン内の局所ゾーンにおける温度と燃料濃度(当量費)に対する着火反応遅れを予測するとともに、PMとNO_xの生成領域を数値計算により予測する手法を開発した。その結果は図 31 に示した。

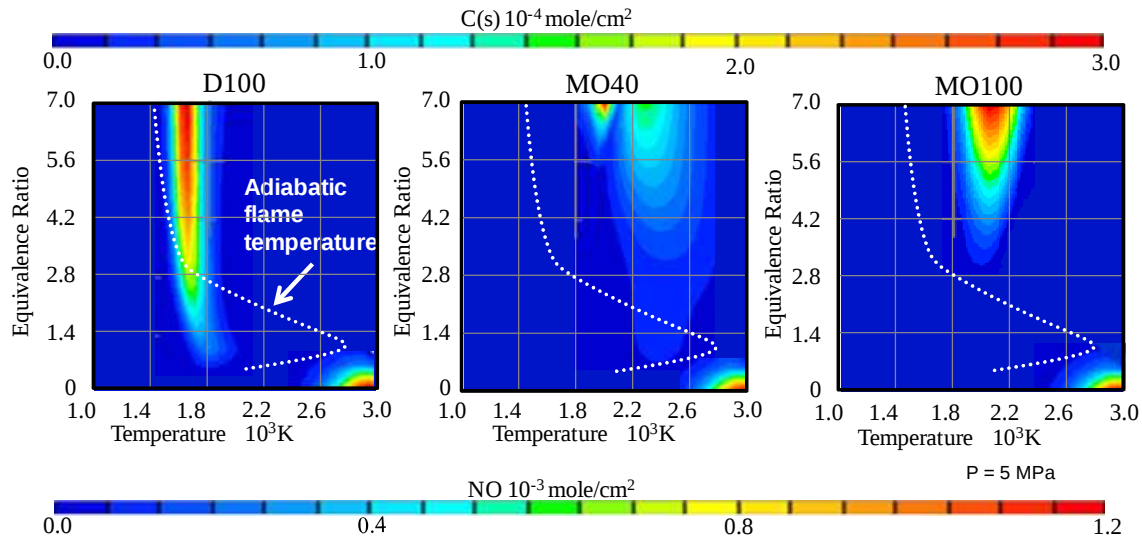


図 31 燃焼シミュレーションモデルによる PM 及び NOx 生成領域予測

H24 年度に実施した実機試験・数値シミュレーションの結果は下記のとおりである。

【エンジン実機試験】パイロット噴射実施時の燃焼・エミッションを図 22 に示す。主燃焼については燃料種による違いがほとんど見られない一方で、J40 使用時はパイロット噴射による燃焼が促進されている。H23 年度までの研究において、オレイン酸メチルの混合燃料ではより低温の条件下における燃焼の促進が示唆されており、J40 でも同様のメカニズムで初期の燃焼速度が向上したものと考えられる。また、パイロット噴射によって形成された燃焼場の温度低下による NOx 排出量の減少が確認された。Soot, CO, HC といった未燃成分についてはジャトロファ由来 BDF が含酸素燃料であることであるため排出が抑制される傾向にある。燃料消費率については、J40 の低発熱量が低い一方で燃焼効率が軽油より高いため悪化は見られない。

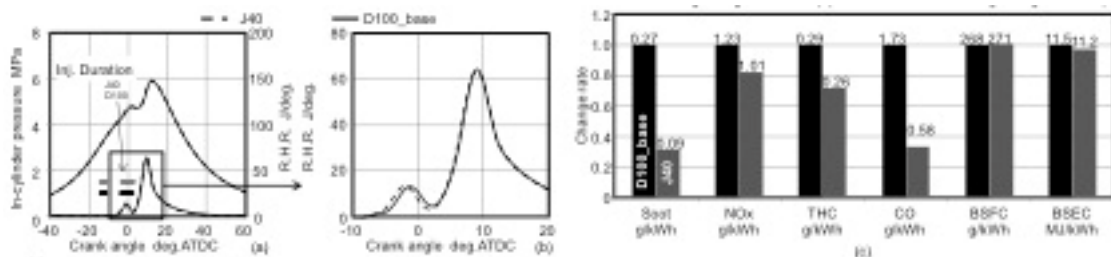


図 32 パイロット噴射が燃焼・排出ガスに与える影響

高圧噴射実施時の燃焼・エミッションの試験結果を図 33 に示す。燃料噴射圧力の増加は噴霧の微粒化と周囲気体の混合を促進し、予混合的な燃焼となる。J40 は含酸素燃料を含むために軽油使用時と比較して局所酸素濃度が高く燃焼が促進されるため、NOx 排出量が大幅に増加する一方で Soot 排出は抑制される。

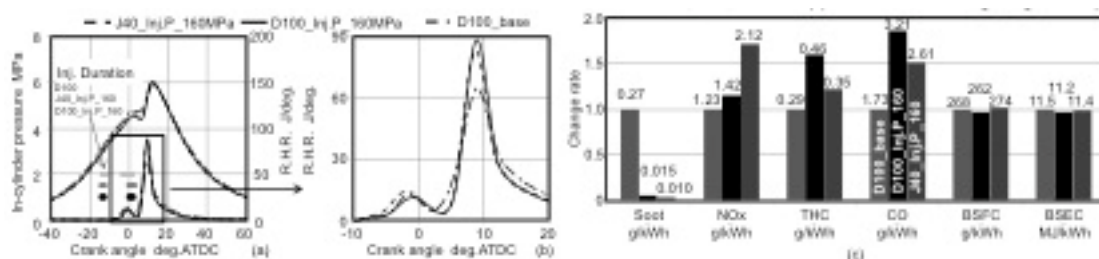


図 33 燃料噴射圧力が燃焼・排出ガスに与える影響

EGR の導入が燃焼とエミッションに与える影響を図 34, 35 に示す。EGR 率が低い条件では

燃焼室内に酸素が十分に供給されているため、燃料中の酸素成分が局所酸素濃度に与える影響が小さく、燃料種の違いによる燃焼・エミッションの差異が小さい。一方、高 EGR 率条件では燃焼室内の酸素量が少なく、J40 の使用による噴霧中の局所当量比低下が顕著に見られ、軽油使用時と比較してパイロット噴射による燃焼が促進され Soot と PM の同時低減が可能となる。

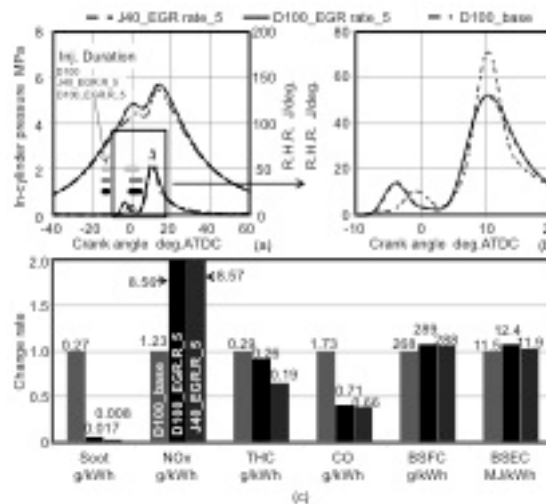


図 34 EGR 率が燃焼・排出ガスに

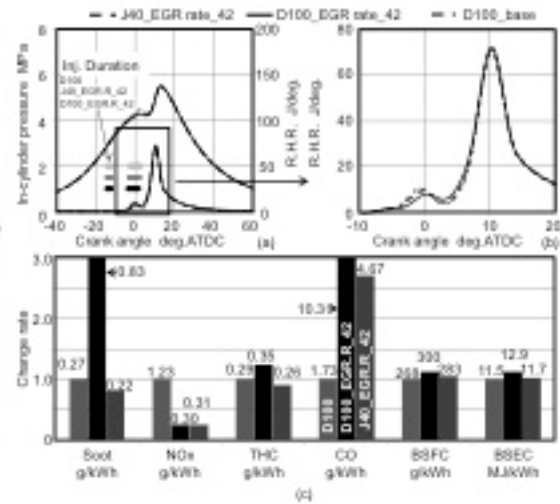


図 35 EGR 率が燃焼・排出ガスに

EGR の導入が燃焼・エミッションに与える影響を図 23 与える影響(EGR 率が低い条件では燃焼室内に酸素が十分に供給されているため、燃料中の酸素成分が局所酸素濃度に与える影響が小さく、燃料種の違いによる燃焼・エミッションの差異が小さい。一方、高 EGR 率条件では燃焼室内の酸素量が少なく、J40 の使用による噴霧中の局所当量比低下が顕著に見られ、軽油使用時と比較してパイロット噴射による燃焼が促進され Soot と PM の同時低減が可能となる。

PCCI 燃焼を実施した際の燃焼挙動を図 36 に示す。いずれの燃料においても燃料噴射圧力の増加は低温酸化反応を抑制する。J40 と PCCI 燃焼を併用した場合には、低圧噴射時には低温酸化反応が促進される一方、高圧噴射時には着火遅れ期間が長期化する傾向にある。

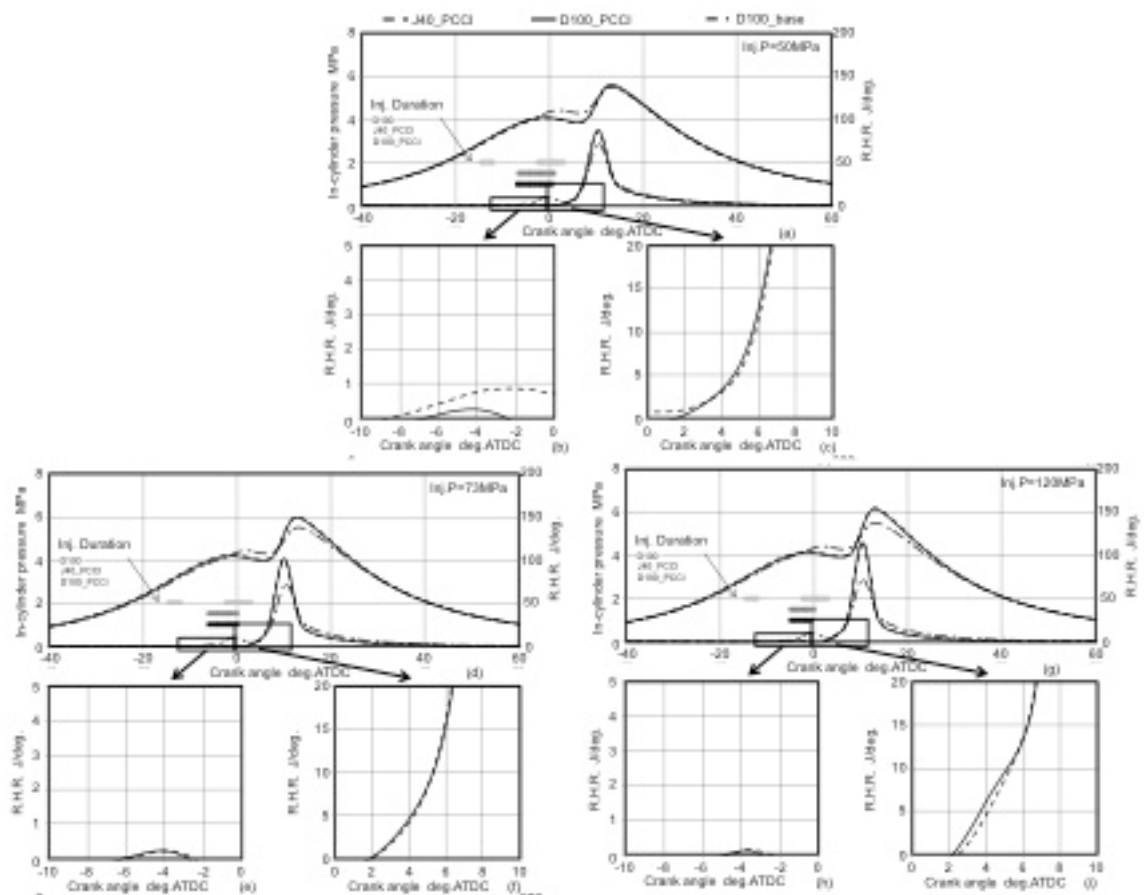


図 36 PCCI 燃焼時の燃焼挙動(パラメータ：燃料噴射圧力)

【噴霧観察】BDF および BDF 混合軽油を用いた噴霧の光学計測の結果を図 37 に示す。

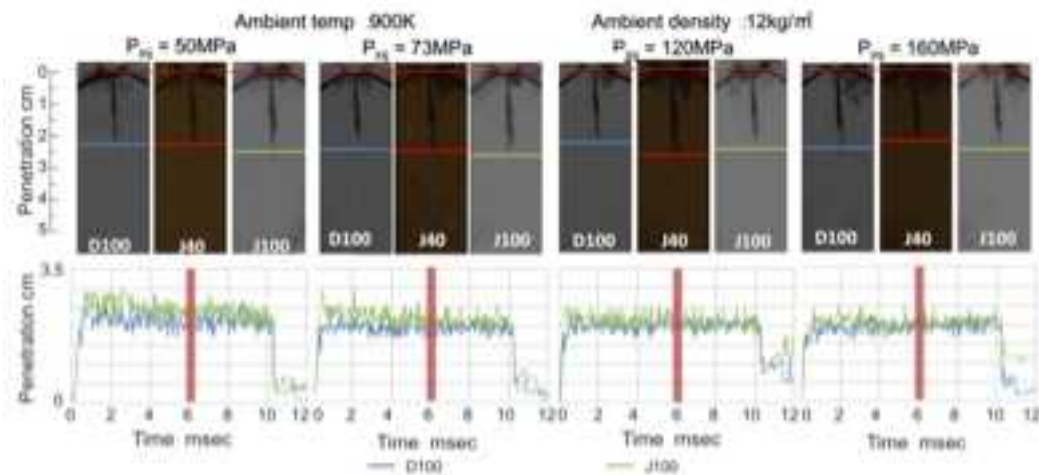


図 37 噴霧形成過程の可視化(パラメータ：燃料噴射圧力，燃料：軽油，J40，J100)

の混合割合の増加に伴い噴霧先端到達距離が長くなる傾向が見られるが、これは動粘度の違いによるものと考えられる。また、燃料噴射圧力の増加によって噴霧の蒸発が促され、噴霧先端到達距離が短くなる傾向が見られる。

【数値シミュレーション】BDF の熱物性の温度依存性,これまで構築したオレイン酸メチルのサロゲート反応機構, 本学にて構築した現象論 Soot モデルを導入した 3D-CFD コードを用い燃焼計算を実施した. 混合燃料中の BDF 質量割合をパラメータとした計算結果の一例を図 38 に示す.

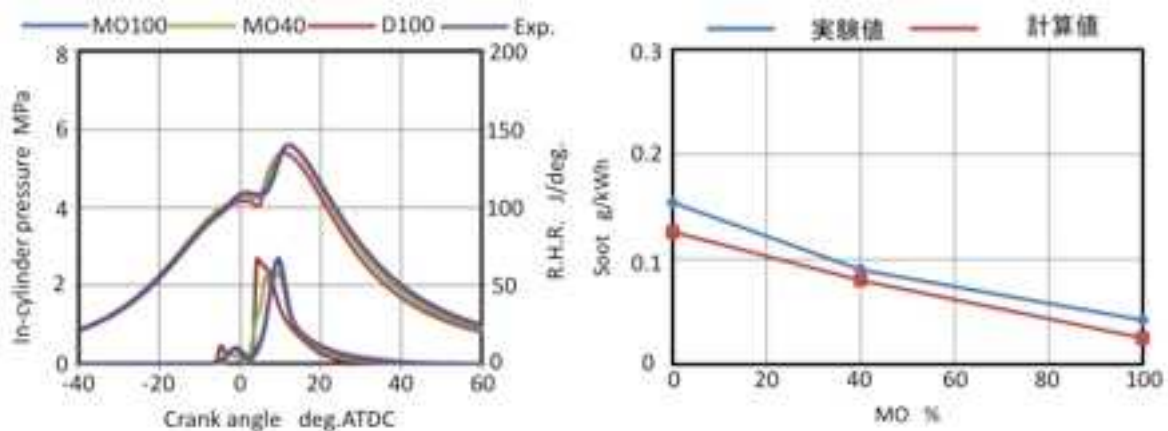


図 38 3D-CFD コードによる燃焼とエミッション排出量予測
(パラメータ: 混合燃料中の BDF 質量割合)

H25 年度は、高品質 BDF のエンジン特性評価、新燃料(BDF)の燃焼特性シミュレーションに関わる新たな日タイ共同研究も進めており、当初計画より前倒し的に研究開発を進めている。また、国内の石油精製企業とも連携を強化し、将来の軽油の品質低下(分解経路の増加)に備え、BDF のセタン価向上剤としての有用性(PM 排出量の低下、着火遅れ改善等)の検討を進めており、関連する一連の成果発表では内外から高い評価が得られている。

一方、現時点ではジャトロフ BDF の実用化は時期早々であり、ポンガミアを用いた一連の確認研究も必要と考えられるが、H25 年度までに得られたジャトロファ BDF でのエンジン特性評価や燃焼特性シミュレーションの研究成果は、ほぼそのままポンガミア BDF にも応用できると考えられる(ポンガミアとジャトロファの組成はよく似ている)。

カウンターパートへの技術移転状況

カウンターパートへの技術移転は H22 年度から JICA 専門家派遣や、JICA 研究者招聘制度により効率よく進めている。H24・H25 年度はタイ側の若手研究リーダー(博士研究者)を招聘し、日タイ共同研究の一環として技術移転を推進した。

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

当該事業では、企業の直接の参画がなく、社会実装等も含め上手い産学官連携が求められている。早稲田大学はエンジン関連技術で、自動車関連企業や石油精製企業との共同研究を数多く進めており、BDF のエンジン特性評価や燃焼特性シミュレーションの研究でも、複数の自動車関連企業や石油精製企業と共同研究(別予算)を推進している。これらの共同研究は、日タイ事業成果の社会実装や新しい展開(例えば将来の軽油の組成動向を把握した BDF の上手い利活用)に極めて有効と考えられる。

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)

研究のねらい

当該事業では、気候変動緩和対策およ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ことを一つの目的としている。また、当該事業で得られたバイオマス燃料製造・利用技術の成果をアジア地域へ広く技術移転することにより、運輸部門からの CO2 排出抑制にも貢献することを目指している。

研究実施方法

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した。また、バイオマス燃料製造技術の社会実証に向けた検討チ

ームの構築および予備的検討を開始した。

H22 年度は タイ国若手研究者の人材育成活動を開始し、早稲田大学教員が 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。

当該事業に関わるバイオマス燃料製造技術の社会実装に関しては、産総研と協力して「高品質ジャトロファ BDF 製造技術の社会実装に向けた可能性調査」の委員会(大聖委員長)を学内に設置した。調査委員会にはエンジニアリング会社、商社、調査会社等から有識者が参加し、当該技術の社会実装に向けた可能性調査(関連技術との比較、今後の課題)を試みた。さらに、早稲田大学および産総研の担当者(合同検討チーム)がタイ国を訪問し、タイ側関係者とアジア地域での社会実装に向けた検討・打ち合わせを開始した。

H23 年度は、タイ国若手研究者2名(タイ科学技術庁)を受け入れるとともに、研究者養成の一環としての博士後期課程への学生受け入れも実施した。今年度は、人材育成の観点から、研究者ならびに学生に様々な経験を付与することを目的とした活動を展開した。また、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。さらに、追加予算等を用い(一部、本学の別予算)、本学の若手研究者(のべ 15 名)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。

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については、産総研と連携し、タイ側とも打ち合わせ(JICA 専門家派遣)を行うことにより、両国で横断的・一元的に検討を進めることとした。具体的には、現時点で最も可能性が高い「高品質ジャトロファ BDF 製造技術の社会実装」に焦点を絞り、追加予算により、ジャトロファ油の安定供給と低価格化および製造システムについて調査・検討を行った。

H24 年度もタイ国若手研究者2名(タイ科学技術庁)を受け入れるとともに、研究者養成の一環としての博士後期課程への学生受け入れも実施した。一方、本年度は国内の若手研究人材育成についての予算が確保できなかったため、派遣できた若手研究者は 2 名にとどまった。我が国の若手研究者育成を目的としたアセアン諸国への派遣、アセアンでの若手研究者交流(頭脳循環)は、今後、ますます重要になると考えられ、他プログラムを含めて何らかの支援(予算)措置が喫緊の課題と考えられる。

当該 SATREPS 事業成果の社会実装についても、今年度は予算が獲得できておらず、十分な検討はできていない(JST 自らが調査)。得られた成果の社会実装に関しては、H22 年度、H23 年度に引き続き、高品質 BDF 製造技術のアジア地域への技術移転について引き続き以下の検討を行った。具体的には、BDF プロジェクトの成否は原料コストにかかっていることがこれまでの調査で明らかになったので、タイ国内のみならず、その周辺国でのジャトロファの栽培状況の最新状況の把握を行った。

ジャトロファに比べて成長が早く収穫量も多いポンガミアが BDF の原料として注目されている。カセサート大学ではジャトロファ BDF の経済性に限界を感じ、ポンガミアの調査・栽培に着手している。マレーシアのサラワク州でジャトロファ栽培者と意見交換したところ、1.5US\$ /Kg で年間 3,000 トンをボーイング社に航空燃料として販売中との情報を得た。やはり経済性に劣るため、ポンガミアとジャトロファの混植に興味を持っており、プランテーションを検討し始めている。ベトナム・ミャンマー訪問で、ジャトロファ農園主との打ち合わせでも、1US\$/Kg とのことであり、やはり、現状のオイル収率では経済面で難しいといえる(品種改良によるオイル収率の向上には 10 年程度必要)。出発原料として日本国内でもポンガミアの栽培実験が始まっており(宮崎大学農学部)、今後、内外の結果を見ながら、出発原料は豊富なミャンマー・ラオス等での実証プロセスを考えている。

また、産総研が有する部分水素化プロセスの既存 BDF 製造プロセス(パームオイルが出発原料)への応用(導入)も、今後、検討していくことが必要であり、タイ側関連機関や日本側関連機関(JICA、NEDO)との意見交換を継続している。

H25 年度も、H24 年度に引き続き、タイ国から博士研究者 2 名を招聘するとともに、JICA 専門家を派遣し、事業の円滑な推進を図るとともに、タイ(日本)若手研究者の人材育成に努めた。具体的には、タイの博士研究員 2 名を JICA 研修員として招聘し、日タイ連携で、当該事業で確立した高品質 BDF のディーゼルエンジンへの適用技術に関わる各種検討(BDF の混合割合の向上、ディーゼル油のセタン価向上他)を行い、社会実装に向けても有用な知見を集積することができた。また、タイの博士研究者(研究リーダー)が日本の若手研究者と情報共有・交流を進めること

により、日本の若手研究者の人材育成にも役立てることができた。さらに、JICA 専門家派遣で、タイ 3 研究機関(NSTDA、TISTR、KMUTNB)の研究指導者や若手研究者とも意見交換会や勉強会を開催し、タイ側若手研究者の人材育成に努めた。

高品質 BDF 製造技術の社会実装については、H25 年度後半に H22 年度・H23 年度に引き続き、JST 追加予算によりより実用化に向けた検討をさらに進めることができた。具体的には産総研と連携して、早稲田大学に社会実装に向けた調査委員会(大聖委員長、産学官の有識者等)を再設置し調査・検討を行った。本年度は昨年度までの調査で有望と考えられた、非食糧系のバイオマスであるポンガミアに焦点を絞り、ポンガミア BDF の実用化に向けた調査・検討(経済性・環境調和性等の調査、入り口から出口までのプロセス最適化、ビジネスモデル他)を行った。また、海外でポンガミアの研究が最も進んでいる、オーストラリア(CSORO、QU、企業)とインド(CSIR、IIT、企業)を訪問しポンガミアの栽培・プランテーション等の動向調査を行った。さらに、JICA 専門家として、タイを訪問し、高品質 BDF の社会実装に向けた日本側の調査・検討状況を報告し、来年度は、事業成果の社会実装に向け日タイ協働作業を推進することになった。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

H21 年度は、R/D 締結に時間を要したことから人材育成面、特に早稲田大学への研究者等受け入れに関しては具体的な進捗は無かったが、受け入れの要件の明確化を図り、情報の整理を進めた。得られた成果の技術移転面では、当初計画通り、基礎情報の収集ならびに関係する団体・人材等とのコンタクトを進め、予備的な調査を開始することができた。

H22 年度は、人材育成面ではタイ側研究機関等との具体的な研究者派遣についての現地での協議(大学の教員を JICA 専門家として派遣)と学内への受け入れ手続き等を開始した。得られた成果(パイロットプラント運転による高品質 BDF 製造)の社会実装に向けた検討では、タイ側との情報交換を行い、高品質 BDF 製造技術の実証化に向けたフィージビリティスタディを実施し良好な結果が得られた。

H23 年度は、専門研究者の受入(早稲田大学2名)、ならびに研究者養成のための博士後期課程学生(1名)の受入を実施した。さらに、8 月・1 月・2 月の3回にわたり、大学院生、若手研究者をタイ(図 39(a)-(h))およびインドネシア(図 29(i)-(j))に派遣し、我が国の若手研究者の人材育成を試みた。



図 39(a) MTEC でのミーティング



図 39(b) MTEC 施設の見学と意見交換



図 39(c) TISTR パイロットプラントと見学



図 39(d) TISTR 訪問見学集合写真



図 39(e) PTT Chemical の訪問見学



図 39(f) PCD の見学と意見交換



図 39(g) チェンライ大学ジャトロファ農園の見学



図 39(h) Royal Navy の訪問見学



図 39(i) Indonesia Pakuwon ジャトロファ農園の見学

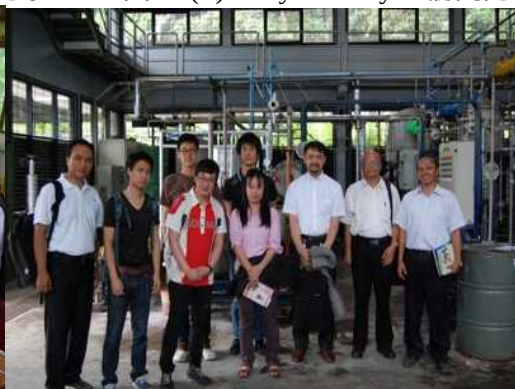


図 39(j) BPPT BRDST 施設の見学

特に 2 月には、タイ側若手研究者とともに「自動車分野におけるエネルギー・環境に係る若手研究者ワークショップ」を開催(参加者 65 名)し、日本側・タイ側 7 名ずつの発表をおこない、活発な意見交換を図り(図 40)、今後も継続してゆく事でタイ側研究者と調整を行う事となった。



図 40(a) 若手ワークショップでの発表

図 40(b) 若手ワークショップでの集合写真

当該事業成果の技術移転に関しては、目覚ましい成果が得られつつある「高品質ジャトロファ BDF 製造技術」を主たる対象として、本年度も追加予算を用い、社会実装に向けた検討を継続的に行うことができた。本年度は、昨年度の「実証化プロセスの可能性調査」で得られた成果に基づき、「BDF 製造技術の事業化に関わるシナリオおよびアクションプランの作成」を試み、今後の社会実装に向けた方向性を明らかにすることができた。また、ハノイで開かれた第 8 回バイオマス国際会議で当該技術の発表を行い(2 件)、事業化に向けた広報活動を展開した。現在、当初計画を加速的に推進することが可能な状況となっており、来年度はより本格的な検討を進めることを考えている。

H24 年度も、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徐々に構築されつつある。一方、昨年度活発に行われた、我が国の若手研究者人材育成(若手研究者の派遣、若手研究者の交流)は、本年度は進んでいない。

H25 年度は JST 追加予算により、上述したように、非食糧系バイオマスを用いた高品質 BDF 製造技術の社会実装に向けて、ポンガミア BDF の検討を進めることができた。また、タイ側でもカセサート大学等により、ポンガミアの栽培・検討(タイ国内で 3 カ所)が進んでおり、当該事業のタイ側担当者も出発原料の確保・検討を含むポンガミア BDF の検討を開始している。以上、当初予定のジャトロファ BDF の社会実装に向け検討は、現在、出発原料の異なるポンガミア BDF の社会実装に向けた検討へと進歩しつつある。また、当初計画では社会実装に向けた予算措置はなされていなかったものの、JST の追加予算や、日タイ両国の担当者の努力により、前に進みつつある。

人材育成については、タイ側研究者の人材育成(研究者の早稲田大学への受け入れや JICA 専門家派遣によるタイ側研究者の能力開発)は、当初計画どおりに順調に進捗している。一方、H23 年度から始まった当該事業に関わる我が国の若手研究者の人材育成については、自主努力(研究室別予算等)により進められているものの、予算措置がなされていないため、必ずしも順調に進捗しているとは言えない状況にある。

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徐々に構築されつつある。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。

H24 年度も、上述したように社会実装に向けた検討をタイ側および周辺諸国、さらには内外の関連機関(関係者)とも協力して進めている。低廉植物油原料種の調査については、H24 年度、ベトナム・ミャンマーを訪問し、ジャトロファ農園、ポンガミア等その他の非食糧系バイオマス資源の代替植物油の可能性を、各種自然条件、農業経済性、労働生産性などに関する最新情報の調査を行った。一方、BDF 生産量など、適切な事業規模の判断に影響する市場環境分析(輸出能力も含む)、アジア一次産業・二次および三次産業への影響分析、およびビジネスモデルの構築等はできていない。

H25 年度は、24 年度までの検討結果に基づき、事業成果の社会実装に向けたより具体的な検討をタイ側と連携して開始した。すなわち、昨年度までの課題として残された入口戦略である、ポンガミア等代替植物油、農業生産性、市場環境分析等を進めることができた。また、当該事業成果の社会実装については、入口戦略(出発原料の確保)が極めて重要であることを鑑み、技術移転・社会実装の対象をカウンターパートのタイのみでなく、農業生産の盛んな周辺国を含めることとした。このため、今後、2 国間以外の広域連携も必要になると考えられる。

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

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 年度の追加予算で我が国の若手研究者の育成(本学若手研究者と大学院生のタイ・インドネシアでの研修、若手研究者交流とワークショップなど)を試みることもできた。我が国の若手研究者育成(若手研究者の

東アジアへの派遣、若手研究者のアジア大での交流・若手の頭脳循環)は、我が国にとって僅々の課題であり、今後とも加速的に推進することがぜひ必要と考えられる。

また、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、H22 年度、H23 年度の追加予算により、当初計画より具体的な検討が進みつつあり、当該事業の境実装に向けてさらなる検討が期待されている。

H24 年度も我が国の若手研究者育成に努めているが、必要な予算の確保ができていない (SATREPS プログラム以外への応募も)。また、社会実装についても、タイおよび周辺国を訪問し、今後の実用化に向けた可能な調査を進めている。

さらに H23 年度からバイオマス利活用に関連する他の SATREPS 事業との情報共有、ネットワーク構築、連携強化に努めている。日タイ間では、もう 1 件 SATREPS の BDF 事業 (藤元先生とチュラロンコン大学) が展開されており両者が今後協力することで合意している。タイ側もバイオマス利活用の 2 件の SATREPS 事業を基に、産業界 (サイアムセメント他)、大学 (チュラロンコン大学、カセサート大学、キングモンクット大学)、国 (MSTDA、TISTR 他) からなる産学官連携組織を立ち上げつつある (昨年 12 月と今年 1 月に日本側とも事前打ち合わせ)。また、ベトナムでも SATREPS の BDF 事業 (前田先生) と情報交換、連携強化を進めることで合意しており、ペトロ・ベトナム他 (国営 3 企業)、ハノイ科学技術大学、工業 (MOI) 研究所、VAST 等との意見交換を進めている。その他、ジャトロファからの BDF 製造に関わる 2 件の BDF 事業 (明石先生、芋生先生、いずれもアフリカで展開) と情報共有を行っている。

H25 年度は H24 年度までの研究成果および社会実装に向けた検討結果を踏まえ、当初計画に含まれていなかった、ポンガミアを出発原料とする高品質 BDF 製造技術の社会実装に向けた検討をさらに加速的に進めることができた。現在、従来のジャトロファを出発原料として用いた検討結果 (H22 年度のジャトロファ BDF の経済性評価、H23 年度のジャトロファの栽培・プランテーション・今後のジャトロファ・オイル価格等) と比べ良好な結果が得られており、ポンガミア BDF についてもジャトロファ BDF 同様、入り口から出口までのプロセス等の再確認が必要と考えられる (成分組成等から、おそらく、今までに確立した技術が応用可能)。

当該事業では、成功裏に高品質 BDF 製造技術のパイロットプラント試験を進めることができたが、次の実証プラントのメインプレーヤーは企業であり、H22 年度から積極的に国内企業 (エンジニアリング会社、石油会社、商社他、海外企業を含む) との連携を模索している。H25 年度も企業等との連携に向けた打ち合わせを重ね、次の展開に向けて連携強化を進めつつある。今後、さらなる連携強化に向けて、適切な事業規模の判断に影響する市場環境分析 (輸出能力も含む)、アジア一次産業・二次および三次産業への影響分析、およびビジネスモデルの構築等が喫緊の課題となっている。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

本年度発表総数 (国内 0 件、国際 5 件)

本プロジェクト期間累積件数 (国内 2 件、海外 13 件)

論文詳細情報

- 1) Takehisa Mochizuki, Shih-Yuan Chen, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Effect of SiO₂ pore size on catalytic fast pyrolysis of Jatropha residues by using pyrolyzer-GC/MS", *Catal. Commun.*, **36**, 1-4 (2013).
- 2) 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", *Appl. Catal. A; Gen.*, **456**, 174-181 (2013).
- 3) Takehisa Mochizuki, Shih-Yuan Chen, Makoto Toba, Yuji Yoshimura, "Deoxygenation of guaiacol and woody tar over reduced catalysts", *Appl. Catal. B; Env.*, **146**, 237-243 (2014).
- 4) 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”, *Catal. Commun.*, **41**, 136-139 (2013).
- 5) Kazuhisa Murata¹, Viboon Sricharoenchaiku², Yanyong Liu¹, Megumu Inaba¹, Isao Takahara¹ (1:AIST, 2:MTEC), ”Effect of carbon-based catalyst on fast pyrolysis of jatropha waste”, *J.Jap.Petro.Inst.*, **56**(6), 371-380 (2013). 2013.11

(2) 特許出願

本年度特許出願内訳(国内 3 件、海外 1 件、特許出願した発明数 4 件)
 本プロジェクト期間累積件数(国内 6 件、海外 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)

(新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術)

研究者グループリーダー名: 葭村 雄二 ((独)産業技術総合研究所・名誉リサーチャー)

研究項目

(ジャトロファからの高品質輸送用燃料製造・利用技術)

1. ジャトロファオイルからの高品質 BDF 製造技術
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

(新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術)

1. 高品質 BDF の材料適合性評価
2. 新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価技術
3. BDF を用いた実車試験
4. 人材育成・技術移転

(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)

研究者グループリーダー名: 大聖 泰弘 (早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科・教授)

研究項目

1. LCA 等による環境評価
2. 新燃料の燃焼特性及びエンジン特性評価
3. 人材育成・技術移転

以上