

# 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 23 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(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: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。特に、①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、ヴァージンジャトロファオイルのみならず、低品質ジャトロファBDFからも高品質BDFを製造できる運転操作条件を取得した。また、高品質BDFに係るLCAのための基盤データの習得をタイで行った。②及び③に関しては、ジャトロファ残渣の急速熱分解装置をタイ側及び日本側で設置し、熱分解によるバイオオイル製造実験を開始すると共に、バイオオイル中のフェノール系含酸素化合物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おこなった。④に関しては、タイ科学技術研究院で製造された高品質BDFを用いた材料適合性評価やエンジン評価試験を開始した。⑤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製造用に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H23年度合同調整委員会をH24年1月19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。更に、H24年3月15日に当該プロジェクトに係る外部評価委員会を独自に開催し、プロジェクト全体、個別要素課題及び今後の計画等について評価頂いた。

**プロジェクト成果:** 各要素課題の成果は次の通りである。

### ① 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、脱ガムしたヴァージンジャトロファオイルから東アジアサミット推奨品質を満たすBDFを製造できることを昨年度実証済みであるが、規格外の低品質ジャトロファBDFからも高品質BDFを製造できることを新たに実証した(TISTR)。
- ・BDFの高品質化(酸化安定性向上)には部分水素化法を採用しているが、水素消費量を指標とする運転最適化条件を見出し、パイロットプラント運転操作DB構築に資するデータを取得した。
- ・パイロットプラント運転時のホルボールエステルの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、部分水素化処理後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。
- ・タイ洪水によりパイロットプラントが被害を受けたが、被害状況調査及びその後の復旧工事を通し、H24年

度早々にパイロットプラント運転を行い、高品質 BDF を製造する計画を策定した。

② 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、ゼオライト等触媒存在下の熱分解では、芳香族性炭化水素が製造できることがわかった。

・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機の利用が有効である可能性を見出した。

・バイオオイルの水素化精製に先立ち、バイオオイルの分離・安定化処理は極めて重要であるが、バイオオイルからリグニン由来の非水溶性タール成分を選択的に分離し、粘度上昇を抑え安定化できる前処理法を開発した(タイ科学技術開発庁)。

③ 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、FT 合成触媒である Co 系触媒等も有用であることを見出した。

・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ため、更なる改良が必要であることがわかった。

・バイオオイルと減圧軽油の混合処理では、従来型の脱硫触媒の利用が可能であり、混合処理生成物は FCC 反応原料として利用可能であることを見出した。

④ 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 BDF の材料適合性試験から、部分水素化 BDF で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<sub>x</sub>については軽油に比べて微増した。BDF の水素化処理の効果は、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<sub>x</sub>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<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> の生成領域を予測できる手法を開発した。

⑤ 人材育成及び技術移転:

・高品質 BDF 製造技術の FS 評価を行うと共に、当該開発技術の技術移転の可能性についてタイ政府機

関や企業等と協議し、今後も情報交換を継続することとなった。

- ・JICA 専門家派遣(17 人・回)やタイ研究者招へい(短期 8 名:産総研受け入れ 6 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)を通し、当該プロジェクトの円滑な推進に貢献した。

- ・日タイの若手研究者の交流やネットワーク構築を促進するため、LCA に係る基盤情報収集を兼ねタイでの現地調査や学術交流を行った。

**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 BDF 品質を達成できる BDF を大量に製造し、タイ国内での自動車路上耐久性試験用燃料として供する予定である。この試験を通し、高品質ジャトロファ BDF の drop-in 燃料としての有用性を実証する予定である。バイオオイル製造技術に関しては、流動層型熱分解装置(～20kg/h)をタイ科学技術研究院に設置し、バイオオイルの大量製造試験を開始し、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。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、既に構築しつつある各モデルの改良を図る予定である。一方、ジャトロファ BDF については、材料適合性試験、エンジン特性試験、エンジン排出ガス特性試験を継続して行い、タイで実施予定の自動車耐久性試験のフォローアップ検討を行う予定である。バイオオイル由来燃料に関しては、その性状から燃焼特性やエンジン特性の予測等に着手する予定である。

更に、JICA 専門家派遣やタイ研修生の受け入れを通し、開発技術の技術移転(タイを始めとしアセアン地域を含む展開)や人材育成も継続して行う予定である。

## 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)

- 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し、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。本年度は、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ヤトロファ 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。

③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)。ジヤトロファ 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 (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 残留炭素分 (10%残油)	mass%	< 0.05	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

本年度は、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。

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) 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 2)



図 2 JICA 機材のタイ政府への引き渡し式典 (於:タイ TISTR)

本年度は、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。

**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)

- 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： 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。本年度は、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。
  
- ③ 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)。  
本年度は、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 3)。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  $\text{SiO}_2$  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。

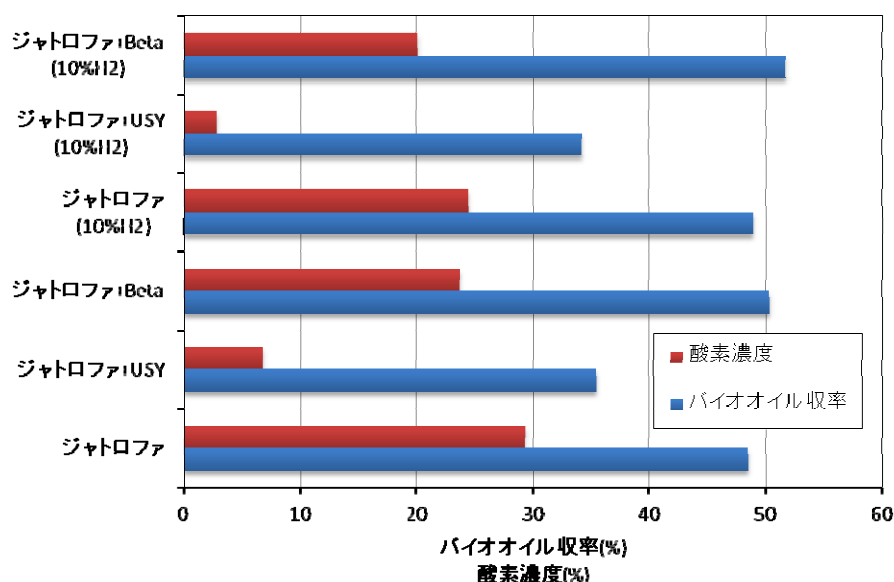


図 3 触媒存在下のジェットロファ残渣の熱分解

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)。

ジェッ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)。

#### 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)

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ェットロファケーキの熱分解挙動の検討を行った。

本年度は、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ェッ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 4-5)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。



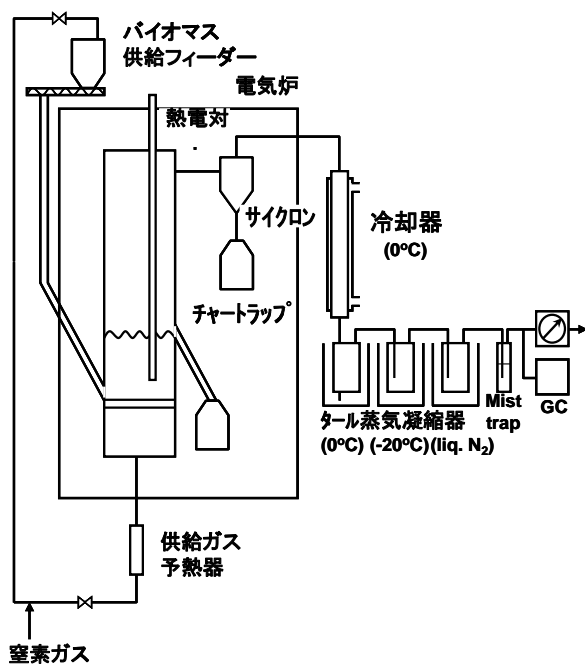


図5 流動層熱分解炉本体部 (～30g バイオマス/h)

図4 流動層熱分解炉システム

### 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)

- 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: 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。本年度は、金属触媒による脱酸素反応及びジェッ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った。
- ③ 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)。

本年度は、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)。

#### 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)

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。

本年度は、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。

**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)

## 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。

## ② 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した。

本年度は、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。

## ③ 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。

本年度は、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。

- 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)
- ②に前述の通り、本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: 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)

- ① 研究のねらい
- ジェットロファ BDF (B100) 並びにジェットロファ 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ェッ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ェッ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、いずれのジェットロファ燃料も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。
- ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況
- 本年度は、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。
- 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)
- 本年度は、来年度のタイ研修生招聘に向けた準備を行った。

### 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)

- ① 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。
- ② 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。

本年度は、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 6)。

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、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具体的な検討を開始した。

### 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、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。

### ④ 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。

### 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

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事ができた添付[写真参照]。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6 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）

## 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、CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャル、CO<sub>2</sub> 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

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。

本年度は、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。

## ③ 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。

本年度（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。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<sub>2</sub>O 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。

また、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。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。

「土地利用変化～作物栽培」の1年間で評価  
 Case 1-① : 未利用地 ~ } ジャトロファ  
 Case 1-② : 農地 ~ } 農園  
 Case 1-③ : 湿地 ~ }  
 Case 1-④ : 草地 ~ }

「土地利用変化～作物栽培」の1年間で評価  
 Case 2-① : } ジャトロファ畑  
 Case 2-② : } オイルパーム農園  
 Case 2-③ : 未利用地 } 大豆畑  
 Case 2-④ : } サトウキビ畑  
 Case 2-⑤ : } 水稻

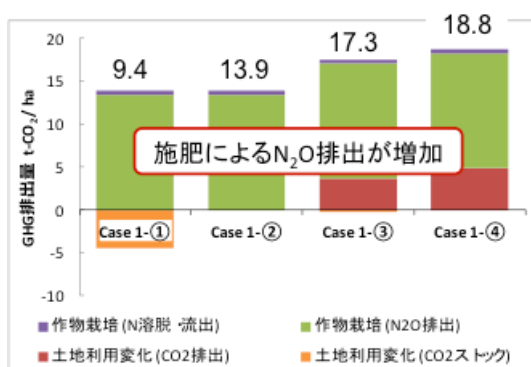


図 7 GHG排出量(ジャトロファ農園への転換)

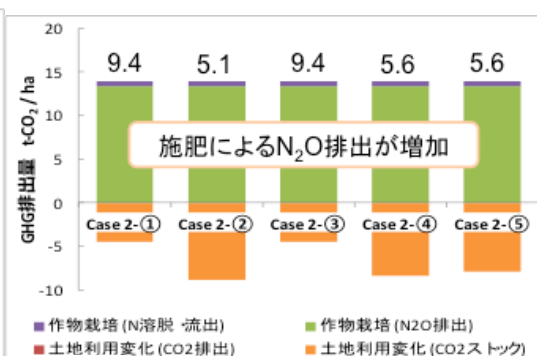


図 8 GHG排出量(未利用地からの変化)

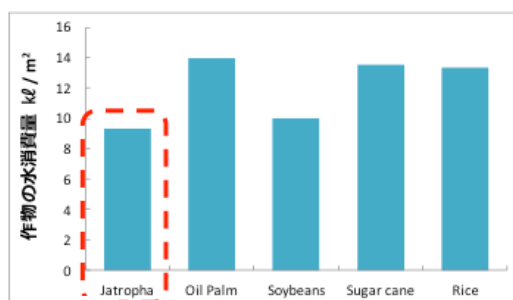


図 9 原料作物別の水消費量

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。

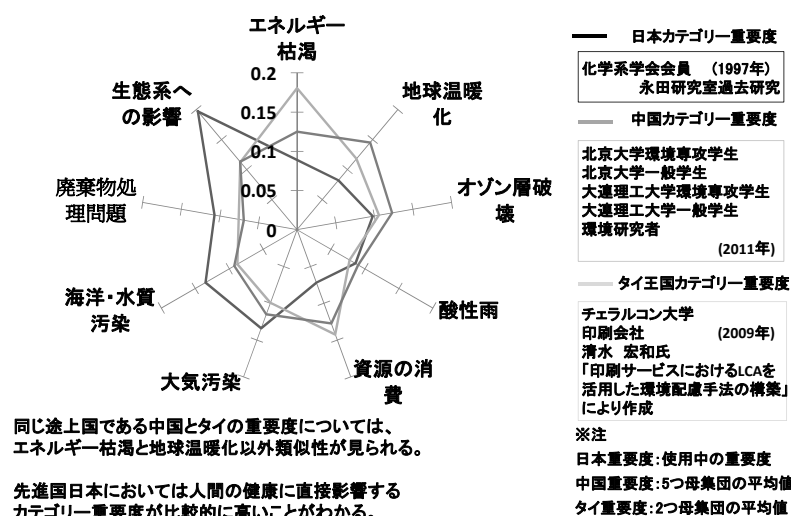


図 10 バイオ燃料の生産、消費における環境負荷に関する調査例

### 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(NOx)、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

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NOx、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。

本年度は、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。

### ③ 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<sub>x</sub>、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<sub>x</sub> の生成領域を数値計算する手法を開発した。

本年度は、次の図 11 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特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<sub>x</sub> はほとんど変化しなかった。

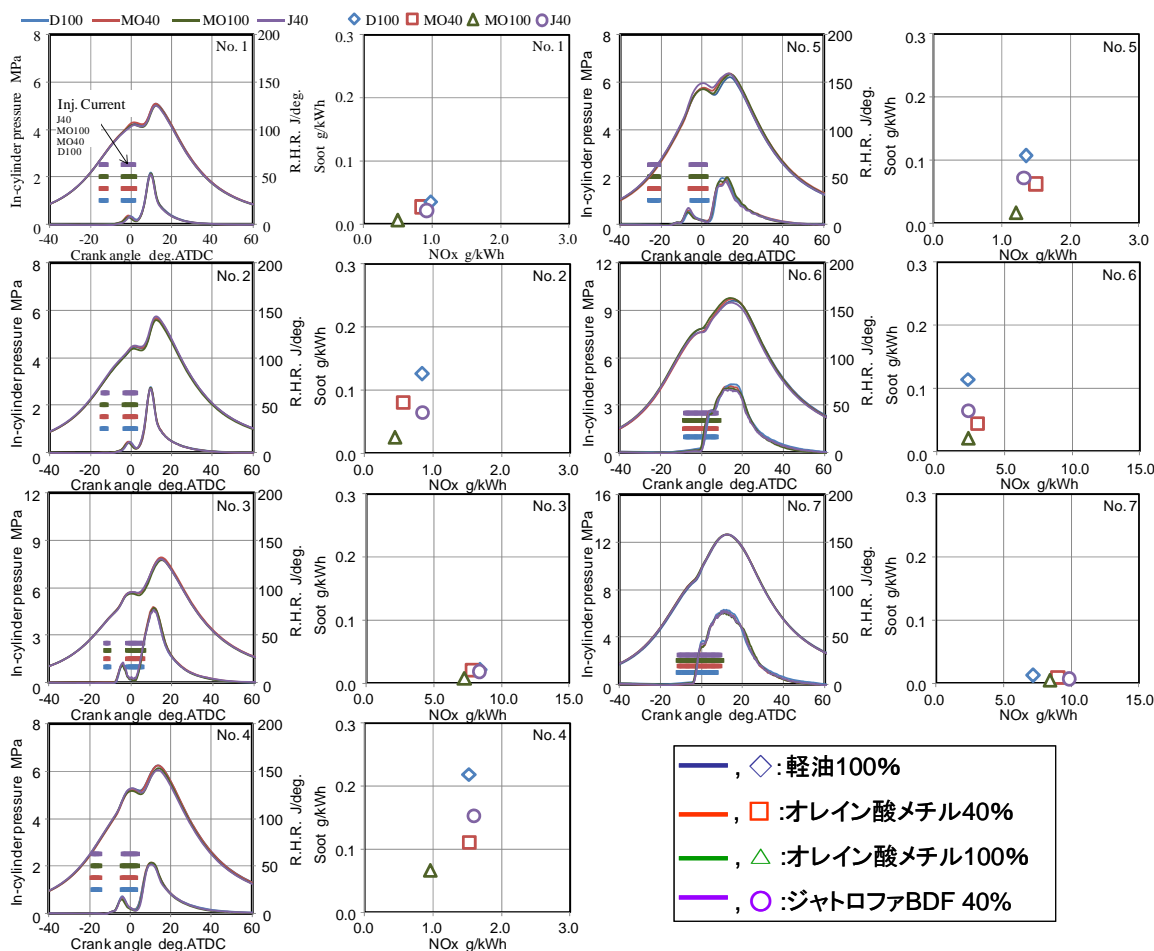


図 11 燃料の違いが着火特性、燃焼圧力、熱発生率及び排出ガス特性に及ぼす影響

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<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> 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 12 に示した。

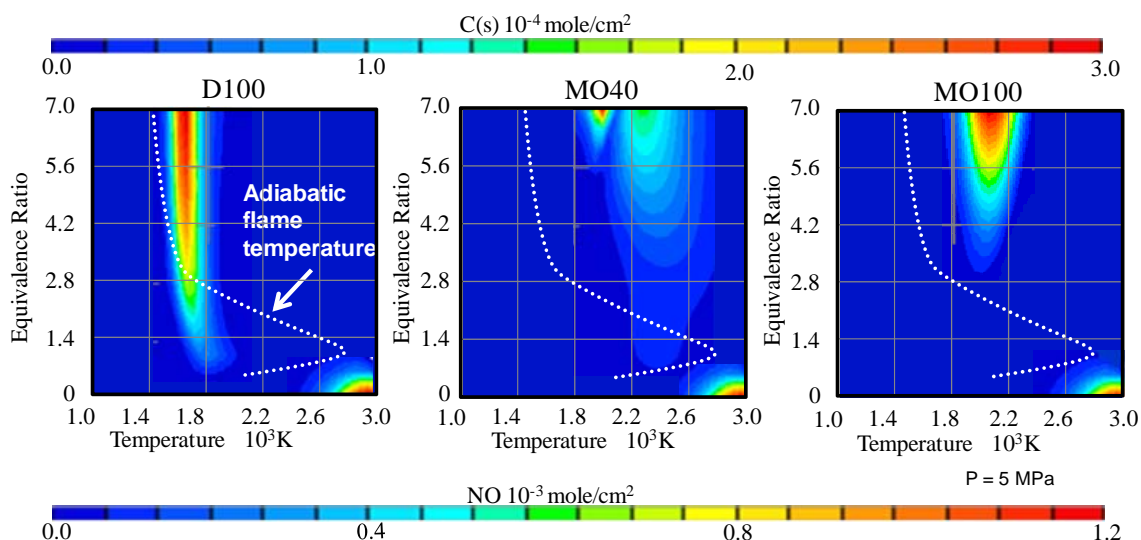


図 12 燃焼シミュレーションモデルによる PM 及び NO<sub>x</sub> 生成領域予測

### 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

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 CO<sub>2</sub> 排出抑制にも貢献することを目指している。

#### ② 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「高品質ジェットロファ 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。

### ③ 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。

本年度は、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 13(a)・(g)）およびインドネシア（図 13(e)・(f)）に派遣し、我が国の若手研究者の人材育成を試みた。



図 13(a) MTEC でのミーティング



図 13(b) MTEC 施設の見学と意見交換



図 13(c) TISTR パイロットプラントと見学



図 13(d) TISTR 訪問見学集合写真



図 13(e) PTT Chemical の訪問見学



図 13(f) PCD の見学と意見交換



図 13(g) チェンライ大学ジャトロファ農園の見学



図 13(h) Royal Navy の訪問見学



図 13(i) Indonesia Pakuwon ジャトロファ農園の見学



図 13(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 14)、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 14(a) 若手ワークショップでの発表

図 14(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。

#### ④ 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。

#### 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

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・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。

### 3. 成果発表等

#### (1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 2 件、国際 4件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 2 件、海外 7件)

## ③ 論文詳細情報

- 1) Takehisa Mochizuki, Makoto Toba, Yuji yoshimura, “Deoxygenation of Bio-oil over Reduced Catalysts”, J. Jpn. Petrol. Inst., **54**(3), 222-223 (2011).
- 2) Takehisa Mochizuki, Makoto Toba, Yuji yoshimura, “Fast Pyrolysis of Jatropha Residues over Zeolite Catalysts”, J. Jpn. Petrol. Inst., **55**(1), 69-70 (2012).
- 3) 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”, Energy & Fuels, **25**(10), 4675-4685 (2011).
- 4) 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”, Energy & Fuels, **25**(11), 5429-5437 (2011).
- 5) 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”, Catalysts, **2**(1), 171-190 (2012).
- 6) K. Murata\*, Y. Liu, M. Inaba, I. Takahara, “Catalytic fast pyrolysis of jatropha wastes”, J. Anal. Appl. Pyrolysis, **94**, 75-82 (2012).

## (2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳 (国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数 (国内 2 件、海外 0 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