

# 地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境エネルギー分野「低炭素社会の実現に向けたエネルギーシステムに関する  
研究」領域)

## 「モザンビークにおけるジャトロファバイオ燃料の持続的生産」

(モザンビーク)

平成 25 年度実施報告書

代表者: 芋生 憲司

東京大学 大学院農学生命科学研究科・教授

<平成 22 年度採択>

## 1. プロジェクト全体の実施概要

本プロジェクトは、モザンビークの乾燥地域に適合するジャトロファの栽培方法を確立し、BDF（バイオディーゼル燃料）生産システムを構築することで、二酸化炭素の排出削減に寄与するとともに、新産業の創出による地域住民の生活改善をねらいとする。更に副産物として固形燃料を生産することで、モザンビークにおける現在の主要エネルギー源となっている薪炭需要のための樹木の伐採を減少させ、土地荒廃の防止に貢献する。このような事業を経済的に成立させ、持続的に行うための技術開発とシステムの構築を目指す。このため、他の農産物を栽培しにくいモザンビーク南部の乾燥地域に適合するジャトロファの栽培方法を確立すること、副産物として安全な固形燃料を生産する技術を開発すること、さらに、環境への影響と社会的、経済的な観点からシステムを評価し、事業として成立し得る持続的なバイオ燃料生産システムを構築することを研究の主な目的とする。

研究内容は多岐にわたるので、以下の中課題を設定し、連携をとって進捗させる。1)ジャトロファの育種および栽培技術：現地の条件に適合する種の育成と栽培技術の確立。2)BDFの生産および残渣利用技術：BDFの生産と評価試験、残渣の固形燃料化技術および肥料としての有効性評価。3)BDFおよび副産物の生産と利用時における安全性評価：BDFおよび副産物の安全性リスク評価および使用時の健康影響を評価。4)収穫技術・変換技術：収穫機械の必要性の検討、および洗浄水を用いないBDF変換プロセスの適合性評価。5)持続可能性評価：経済性と環境影響等の評価に基づく持続可能性評価。6)拡張性検討：CDM事業化の可能性とアフリカ各国への適用性の検討。

平成22年度の暫定研究期間中に相手国研究者と研究内容を調整し、22年度末にRD署名を行った。23年度初めからJICAと契約内容を調整し、7月初めに契約後、長期滞在の日本人研究者2名が渡航して、国際共同研究を開始した。8月末に短期の日本人研究者と業務調整員が渡航し、各課題の研究内容を打ち合わせるとともに、共同研究開始の式典を行った。24年度には日本国内でBDFや固形燃料の製造を行い、生産物の特性を評価した。持続可能性検討では、環境影響評価の試行を、経済性評価については事業シナリオを作成し、データ収集を開始した。モザンビーク国内では在来種の栽培を行うとともに、選抜された母材を輸入して育種を開始した。計測機材等の輸出に時間を要しモザンビークにおける実験が遅れているが、一部の機材は到着しており25年度から実験を行える予定である。25年度にはこれまでに日本国内での研究を進展させるとともに、モザンビークで育種と栽培を本格化し、初の収穫を行った。また土壌炭素の測定を行った。遅れていた計測機材が導入され、機材の設置と実験の指導を行った。12月にUEMでJCCとJICAの中間レビューを行い、今後の活動方針を確認した。

## 2. 研究グループ別の実施内容

### 東京大学グループ/BDFおよび固形燃料生産の持続可能性評価

#### ①研究のねらい

研究代表機関としてプロジェクト研究全体の調整ととりまとめを行う。また「持続可能性評価」のうち「温室効果ガス排出量評価」、「土地利用転換に伴う環境影響評価」、「総合的な持続可能性評価」を、「拡張性検討」のうち、「CDM事業化の検討」を担当している。

エネルギー作物の大規模栽培では、環境に対する特段の配慮が必要である。本研究は地域環境に好影響を与えることを目的としているが、適切な評価手法を用いて実証する必要がある。本研究では、土地利用転換プロセスも含めた **BDF** および固形燃料生産について、総合的な持続性が期待できる条件を明らかにする。また、**CDM** 事業化の可能性を検討し、必要条件を明らかにする。

## ②研究実施方法

**BDF** および固形燃料生産について、**LCA** による温室効果ガス排出量評価、土地利用転換に伴う環境影響評価、経済性を分析し、事業の総合的な持続可能性を評価する。さらに、**BDF** および固形燃料生産について承認方法論に従って **CDM** 事業化の可能性を検討する。なお、経済性評価については、アフリカ開発協会が実施する。

## ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

### a) 持続可能性評価(の内, 温室効果ガス排出量評価, 土地利用転換に伴う環境影響評価)

温室効果ガス排出量評価については、**LCA** 支援ツール **GaBi** を用いるジャトロファ利用システムの再現、評価に必要な基礎検討を継続した。また、文献などを基に、ジャトロファ利用に関連する要素技術のデータを収集し、**GaBi** で利用可能な形に変換し、データベースとして蓄積した。

土地利用転換に伴う環境影響評価については、土壌サンプリングや土壌炭素分析方法等の炭素貯蔵量変化の評価方法について検討し、モザンビークの試験栽培地および既存のジャトロファ植生において土壌サンプリングを実施し、これらの土壌中の有機炭素含有量を定量化した。

### b) 拡張性検討(の内, CDM 事業化の検討)

昨年度に引き続き、想定している**CDM**プロジェクトについて、ジャトロファ由来のバイオディーゼル燃料製造に関するドラフト **PDD** (Project Design Document) 作成のための基本的な情報やデータを収集した。一方で、日本政府が **UNFCCC** に提案している二国間クレジット制度(**JCM**)の情報を収集した。

### c) 固形燃料製造の基礎実験

固形燃料(バイオコークス)の製造条件とホルボールエステル含有量について、金沢工大の協力を得て、より詳細に調べた。また、現状のバイオコークス製造装置では電力で加熱しているが、将来はバイオマスで加熱するのが適当である。このための実験装置の構造を検討し、プラントメーカーと打ち合わせを行った。また内部温度の測定法を検討するとともに、シミュレーションにより電熱特性を検討した。

## 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)

温室効果ガス排出量評価に関しては、収集した情報を **GaBi** で利用可能な形に変換した電子データを随時提供した。**GaBi** を用いる評価システムの設定、解析方法等の集中トレーニングを研究者招へい時(2013年7月)に実施、後に英文マニュアルに整理、提供した。

土地利用転換に伴う環境影響評価については、土壌サンプリング等の技術情報の交換を行い、現地において土壌サンプリング(2013年7月)等を実施した。

## 金沢工業大学グループ/**BDF** および固形燃料のリスク確認・評価・マネジメント

### ①研究のねらい

ジャトロファ種子から得られたジャトロファ油及び絞り滓について含まれる毒性物質の作業環境への影響を評価し、人に影響が無く、有効に活用できる方法を提案する。

## ②研究実施方法

次のステップで研究を実施する。

- 1) ジャトロファ種子に含まれる毒性物質の人への影響評価
- 2) 評価結果をもとにしたリスク対策技術の開発,
- 3) リスク対策技術と経済性を踏まえた有効活用方法の提言

## ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

当初計画通りに進んでおり、一部成果について論文として投稿、また学会にも積極的に発表している。

## 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)

UEM の Alberto Juliao Macamo 教授に本学に約2ヶ月共同研究を行った。その成果は、米国自動車学会(SAE)に投稿し、アクセプトされ、平成 26 年度の SAE 大会にて発表することになっている。

## 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

ジャトロファの実から得られるクルード油の酸価(Acid Value)が BDF の収率に大きな影響を与えることが明らかになった。低酸価にするための研究が重要であり、モザンビーク現地にてUEMと金沢工業大学の共同研究をこの分野でも加速させる必要のあることが分かった。

固形燃料実験実施時に発生するガスの臭気成分が気になるレベルであることから、ドラフト及び、浄化設備を金沢工大の費用で導入し、対応した。

## 久留米大学グループ/ BDF および固形燃料の安全性と健康影響評価

## ①研究のねらい

ジャトロファ種子より産生される BDF 及びその搾油残渣であるオイルケーキなど固形燃料中のホルボールエステル類の安全性評価法とそれらを使用する際の健康影響評価法を開発し、その手法を用いて、BDF 及び固形燃料の適切なリスク確認・リスク評価・リスクマネジメントを行う手法を確立する。

## ②研究実施方法

BDF 及びオイルケーキなど固形燃料の妥当な安全性評価法を in vitro, in vivo 実験で確立する。その手法を用いて、試験試料およびその燃焼産物の安全性評価を行う。これらの手法を活用して、より安全性が高く低環境負荷のジャトロファバイオ燃料を開発するための問題点や改良点を明確にする。

## ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

ジャトロファホルボールエステルの一つである DHPB を平成 23 年度に確立した手法により多量精製を行い、これを標準品として様々な試料に含まれる DHPB の量を HPLC 分析により明らかにした。さらに微量で、簡便な定量分析のために抗体を用いて蛍光色素で検出する系を検討中である。また、ジャトロファに含まれる毒性成分の一つであるクルシンの定量を行うため、クルシンタンパク質の N 末端アミノ酸配列に対する抗体を作成し、ELISA 法による検出法を検討した。既に抗体はクルシンに対して特異的に反応することは確認済みであり、現在、クルシンの微量定量に向けた実験系を確立中である。

ジャトロファオイルを得る際の副産物であるオイルケーキに残留するジャトロファホルボールエステル類の分解について検討した。オイルケーキを土壌と混合したところ、5 週間でジャトロファホルボールエステル類が形質転換活性とともに消失した。施肥 5 週後の植物へのジャトロファホルボールエステル類の移行も認めなかった。さらにジャトロファホルボールエステル類の分解法について検討したところ、ジャトロファホルボールエステルはある

種のエステラーゼによって 4 週間でほぼ完全に分解され形質転換活性も消失すること、また酵素や微生物の非存在下でも水中で加水分解され、4 週間で半減して形質転換活性も著しく低下することが判明した。この結果から、オイルケーキの解毒には特別な手法や機器を必要としない可能性が示された。動物を用いて DHPB、クルードオイルと PMA で、発がん指標であるパピローマの出現時期や数、或いは死亡を指標として急性毒性、慢性毒性についての検討を行い、NOAEL や LD50 等を明らかにした。搾油残渣燃焼時の健康影響に関しては、燃焼時に発生する各種成分の分析定量測定機器を用いて、現在オイルケーキなどの燃焼条件などについて検討中である。

#### ④カウンターパートへの技術移転の状況

平成 25 年 9 月に HPLC、吸光プレートリーダー、蛍光プレートリーダー、精密電子天秤、冷蔵庫、冷凍庫の設置及び作動確認を行った。同時に、1~3 個のジャトロファ種子からジャトロファホルボールエステル類を抽出し液体クロマトグラフィーで分析する方法及びプレートリーダーを用いた種子中タンパク質の微量測定法のプロトコルの提供と技術供与をカウンターパート先スタッフ 4 名に行った。帰国に際してカウンターパート先のスタッフに課題を与え、結果について随時ディスカッションや機器に問題が起こった際のトラブルシューティングが行えるように電子メール等により週単位で継続指導を行っている。また、平成 26 年 3 月には、手法の改変と新規作成の抗体を用いた技術供与を行うために再訪した。吸光プレートリーダーを用いたより簡便なタンパク質定量法とジャトロファ種子含有クルシンタンパク質の測定について、プロトコルの提供と技術供与を行い、現在各種のモザンビーク産の種子を用いて現地で測定した結果について電子メールでやりとりを行ない、結果の考察や測定時の問題点などについて意見交換を行っている。

#### 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

カウンターパート国での有機溶剤などを初めとする試薬などの入手がかなり困難で、入手までに時間を要することや空輸が難しい試薬の 1 瓶当たりの容量が多く高価であることなど、供与試薬類に対する適切な対応が望まれる。

### 日本植物燃料株式会社グループ

#### 気候および土壌の条件に適したジャトロファの育種および栽培技術の確立

##### ①研究のねらい

モザンビーク南部における適応品種を生み出すのは、今後のジャトロファ栽培を進めるうえで、不可欠なことである。育種試験・選抜育種による優良母体 10 種類の選抜、交配試験による F1 種子の生産および栽培方法試験を開始した。

##### ②研究実施方法

昨年 1 月に、育種母材を圃場に移植した。また同時期に、栽培方法試験を行うためにモザンビーク国の既存農園から挿し木苗を圃場への植え付けを完了した。

##### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

冬季の低温、乾燥期は、温室ドームの設置により、被害を最低限に留めた。選抜育種は、昨年 12 月に行い、この時期に適応する優良品種を選抜した。またそれらを中心にした交配育種も行った。それにより得られた F1 種子は 2014 年 1 月、2 月に播種され、平成 26 年度は、その特性を調査する。しかし、十分な開花が見られなかったため、次年度も引き続き調査を行う。

## 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)

モザンビーク国研究者を1名の雇用を継続し、圃場の作成・管理・データ取得記録方法などを教育している。また、圃場のリサーチャー、作業員はじめ、UEM 農学部ヌブンガ先生、アントニオ先生にも、人工授粉の細かな手法も教授した。

## 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

冬季は5℃にまで低温になるので、その被害を最小限にするため、温室ドームを施用した。その結果枯死したものはなかったが、生長の阻害は見られた。

## アフリカ開発協会グループI

**ジャトロファ栽培およびBDF生産・流通にかかわる財務分析・評価、アフリカ諸国におけるジャトロファBDF生産事業の適用性評価**

## ①研究のねらい:

モザンビーク国においてBDFを最終製品として生産・流通を行い持続的に植物由来の代替燃料を普及させることを目的とする開発事業に関わる事業妥当性評価を行い現地条件に即した適正且つ妥当な事業の組成を行うに必要十分な検討を行う。また、形成される事業が他のアフリカ諸国においても適用可能であるかどうかの評価を行うことが本研究のねらいである。

## ②研究実施方法

策定されたロードマップに示される第一段階はコミュニティーレベルにおける農民の自発的なジャトロファ栽培をベースにした村落共同体内でジャトロファ栽培→ジャトロファ種子栽培→種子の収集→搾油→精製→ディーゼル発電→蓄電→充電された照明器具の配布→照明器具レンタル料金回収という一連のサイクルを持続的に作動させることにある。この場合対象とされる村落は無電化村落とすることが望ましい。村落内部のジャトロファ栽培を基盤とする経済循環の経済的な持続性を実際に同種事業が行われている実例をもとに検証すると共にマプト近郊における適地を選定し同コミュニティーレベルの農民の自発的なジャトロファ栽培をベースにした村落共同体での電化事業を実施し実現性・伝搬性の検証を行うことを決定した。

## ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

当初の計画では、先ず大規模なジャトロファ栽培事業(農園またはエステート)が存在し、近い将来に最小規模のBDF事業を開始するに必要な条件が整うということが前提であったが、これまで実施した現況の把握から、長期的な視野に立った適切な開発ロードマップの策定が必要であると判断するに至った。現況を踏まえた上で開発ロードマップ案を策定し、プロジェクト関係機関の合意形成を得た上で長期ロードマップの策定を行うこととした。同長期ロードマップへの賛同が得られたことから、第一段階の村落共同体におけるジャトロファ栽培から得られるジャトロファ・クルード・オイルを燃料とした遠隔地域分散独立型村落発電事業の評価を行うことを決定した。

## 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)

当初の計画では先ず大規模なジャトロファ栽培事業が存在し、モザンビーク国随一の石油流通会社であるPetromocの代表が当研究チームのカウンターパートであったが、長期的な視野に立った開発ロードマップの策定を行うことが優先事項とすべきことから、さらに幅広い分野の多様な政府機関等をカウンターパートとすることになり当初の計画を修正した。そのため当初予定したカウンターパートであるPetromoc社への実質的な技術移

転(開発計画手法, 経済・財務分析手法等)は未だ行われていない。今後ロードマップに示された第一段階の村落共同体内ジャトロファ栽培事業に必要な経済・財務分析を実施する中で Petromoc社との実質的共同研究(BDF 製造, 原料流通システム, 製品流通システム, 製品検定システム, 投資妥当性評価方法等)を行うことを決定した。

コミュニティーレベルのジャトロファ栽培をベースとした村落発電事業の試験的实施を含む社会実験については以下の UEM 大学経済学部及び再生エネルギー活用促進を専管する FUNAE から提案があった研究者を当方のカウンターパートとすることが決定された。

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

提案したロードマップではモザンビーク国の多くの地域で村落をベースとしたジャトロファ利用発電事業等を行い農村レベルで自発的にジャトロファの育成を図ることを進めるとしたが, 2013年8月に提案する小規模農村ジャトロファ発電事業の経済・財務評価を進めるにあたって現地研究グループに地域開発, 村落開発に係る経済分析に明るい又は経験を有する研究者を選別して当方チームのカウンターパートを選定してもらうように依頼していたところ, 2014年3月に以下の研究員が当方チームのカウンターパートとして指名された。

UEM 経済学部

- Dr. Constantino Marrengula, Director.Adjunto para Investigação e Extensão da Faculdade de Economia
- Dr. Valter Manjate, Docente da Faculdade de Economia

FUNAE

- Isac Tsamba
- Filipe Mondlane

尚, 2014年3月現在, 上述の無電化村落におけるジャトロファ栽培をベースとした村落電化事業の社会実験については実施計画書原案を作成し上記カウンターパートにその実験事業及び当該調査業務内容についての検討を依頼しており, 最終実施要項を決定後次年度において実験の実施を行うものとすることを決定した。

### 3.成果発表等

#### (1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 1件, 国際 0件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 3件, 国際 1件)
- ③ 論文詳細情報
  - 1) Kazuya Hanada, Satoshi Osawa: Water retentive ability of porous chitosan cross-linked with succinic acid and its application of cultivated plants, *Material Technology*, Vol. 30, No.4, pp. 119-124 (2012)
  - 2) 成田武文, 高山登, 水野克美, 大箸信一, 大澤敏: 麹菌の有用タンパク質が吸着したキトサンフィルム上における線維芽細胞の接着および細胞増殖に与える影響, *高分子論文集* 69(4), 149-153, 2012
  - 3) 谷田育宏, 今枝遥佳, 山下直城, 成田武文, 大澤敏: 天然色素で着色した生分解性高分子の退色抑制-タマネギ外皮から抽出した紫外線吸収物質の添加効果-, *高分子論文集* 70(6), 262-267, 2012
  - 4) 小橋好充, 朝香勝義, 加藤佳也, 加藤聡, 土佐光司, 鈴木康允(金沢工業大学): ジャトロファ油混合燃料を用いたディーゼル機関の特性と排気微粒子中のホルボールエステル, *自動車技術会論文集*, Vol.45, No.2, 2014. (Accepted)

#### (2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0 件, 国際 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 0 件, 国際 0 件)

#### 4. プロジェクト実施体制

(1) 東京大学グループ (BDF および固形燃料生産の持続可能性評価)

①研究者グループリーダー名: 芋生 憲司 (東京大学・教授)

②研究項目:

温室効果ガス排出量評価

土地利用転換に伴う環境影響評価

CDM 事業化の検討

固形燃料製造の基礎実験,

(2) 金沢工業大学グループ (BDF および固形燃料のリスク確認・評価・マネジメント)

①研究者グループリーダー名: 鈴木 康允 (金沢工業大学・教授)

②研究項目:

BDF および固形燃料の生産と燃焼試験

搾油残渣の肥料への利用試験

BDF および固形燃料製造プロセスの安全性評価

(3) 久留米大学グループ (BDF および固形燃料の安全性と健康影響評価)

①研究者グループリーダー名: 石原 陽子 (久留米大学・教授)

②研究項目:

BDF および固形燃料自体の安全性評価

ジャトロファ試料のホルボールエステル検出と単離

搾油残渣施肥土壌の安全性評価

(4) 日本植物燃料株式会社グループ (気候および土壌の条件に適したジャトロファの育種および栽培技術の確立)

①研究者グループリーダー名: 合田 真 (日本植物燃料株式会社・社長)

②研究項目:

ジャトロファの育種と栽培技術の確立

無毒種の栽培と評価

種子と果実の成分分析

(5) アフリカ開発協会グループ (ジャトロファ栽培および BDF 生産・流通にかかわる財務分析・評価, アフリカ諸国におけるジャトロファ BDF 生産事業の適用性評価)

①研究者グループリーダー名: 長沼 秀明 (アフリカ開発協会・事務局長)

②研究項目:



BDF および固形燃料生産の経済性評価  
アフリカ各国への適用性検討