

地球規模課題対応国際協力プログラム (SATREPS) 研究課題別追跡調査報告書

I. 序文

SATREPS 追跡評価実施要領 (<https://www.jst.go.jp/global/hyouka/pdf/follow-up-evaluation-procedure.pdf>) に基づき、追跡調査を実施した。具体的には、プロジェクト終了後の各研究課題の国際共同研究の成果の発展状況や活用状況を明らかにするために、対象課題の研究者に対し質問票による基礎データ調査を行い、その結果を踏まえた研究者インタビュー調査を経て得られた情報を整理しまとめた¹。

今般の研究課題別追跡調査にあたっては、以下の方にご協力頂き厚く御礼申し上げます。

芋生 憲司 (東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授)

II. プロジェクト基本情報

1. 課題名

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

2. 日本側研究代表者名

芋生憲司 (東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授)

3. 相手国側研究代表者名

Carlos Lucas (エドワルド モンドラネ 大学 (UEM) 工学部 教授)

¹ 2021年11月から2022年3月に各種調査および報告書のとりまとめを実施した。

4. 国際共同研究期間

2011年7月～2016年6月

5. 研究概要

(1) 目的

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した。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した。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。

(2) 各グループの研究題目と実施体制

課題 1. ジャトロファの育種および栽培技術(日本植物燃料株式会社、UEM)

課題 2. BDF の生産および残渣の利用技術(金沢工業大学、東京大学(固形燃料製造)、UEM)

課題 3. BDF および副産物の生産と利用時における安全性評価(久留米大学、UEM)

課題 4. 環境影響評価(東京大学、UEM)

課題 5. 経済分析およびアフリカ各国への適用性検討(アフリカ開発協会、UEM)

(3) SATREPS 期間中の各グループの成果

課題 1. ジャトロファの育種および栽培技術

短期間の研究にもかかわらず、在来種の収量を大きく上回る個体が得られ、乾燥地に適合する栽培技術が確立された。各種燃料の生産・利用技術および安全性評価については、日本で研究された技術がモザンビーク側に移転され、モザンビーク側研究者による実験が継続的

に実施されている。モザンビーク側研究者による自主的な課題の抽出、および実験技術の継承も行われ、人材育成の成果が出ている。

課題 2. BDF の生産および残渣の利用技術

A. 金沢工業大学 : ジャトロファ毒性物質を低減することが重要であり、それを前提に下記 5 項目について、計画に従った研究およびカウンターパートへの技術移転を行った。

(i) 固形燃料生産の基礎実験、(ii) BDF と固形燃料の燃焼試験、(iii) 酵素等による搾油残渣の毒性低減、(iv) BDF と排気のリスク評価・管理、(v) BDF プラントの排水処理法の検討

B. 東京大学における固形燃料の研究 :

2012 年 3 月にモザンビークから輸入したジャトロファ種子の搾油残渣を粉砕機によって粒径 3mm 以下に調整したものを試料として用い、手動油圧加熱プレス(井元製作所 IMC-1A3F 型、金型内寸 : 直径 50mm×深さ 50mm)により固形燃料を製造した。

モザンビークで製作でき、また電力を使用しない加熱プレスを導入し、リカカ村で実験を行った。十分に固い固形燃料が成型された。

課題 3. BDF および副産物の生産と利用時における安全性評価

ジャトロファホルボールエステル²類が自然界の微生物や水分によって加水分解を受けやすいことが明らかとなったことから、ジャトロファ種子やその副産物を適切なリスク管理を行うことで、ジャトロファホルボールエステル類による環境汚染や健康影響を防止できる可能性が高いことを示唆した。加えて、ジャトロファホルボール類の無毒化には、特別な処理方法や装置を必要としない可能性があり、適切な管理下でのジャトロファ種子の活用はカウンターパート国でも支障はないものと考えられる。

課題 4. 環境影響評価

LCA によるエネルギー収支と温室効果ガス排出量の評価に関しては、技術移転、人材育成ともほぼ終了した。途中カウンターパートのプロジェクト離脱などの問題があったが、その都度東京での集中研修と、早い時期にモザンビークに整備した日本と同一の研究ハード環境を利用したの検討を通して、日本とモザンビークと離れていても、課題や不足している点を把握することにより効率的に対処でき、問題を克服することができた。

課題 5. 経済分析およびアフリカ各国への適用性検討

- ・ 評価に必要なデータの収集 : 大規模農園方式によるジャトロファ栽培及び商業ベースに対応すると考えられる最適規模の BDF プラン

² ホルボールエステル : 四環式ジテルペノイドであるホルボール(ジテルペンアルコール)のエステル誘導体。発がん作用が認められている。

トとで構成する商業規模の BDF 生産方式についての検討を行い様々な関連情報(農園開発費、大農園における労働者賃金、BDF プラント建設費等)を収集し、投資事業の財務的妥当性分析を行った。

- ・ 評価方法の明示： 分離した二つのジャトロファ種子生産と BDF 生産を分離した事業として財務的投資事業妥当性評価を行った。ジャトロファ種子の売り価格と買い価格の間には大きな隔たりがあり、ジャトロファ BDF 生産事業は投資事業として財務的に妥当性がなく成立しえないという評価が得られた。
- ・ 一次評価(リスク・ベネフィット評価など)を完了： 大規模事業は投資事業として妥当性が無い、または極めてリスクが高く、巨額な民間投資を必要とする事業は、モザンビークに限らず開発途上国でのジャトロファの農園開発をベースにした大規模な開発形態は不向きであるだけでなく、確かなロードマップが無くては実現不可能であるという結論に達した。
- ・ 事業評価・経済性評価が行われ、経済的に持続性が期待できる条件が明示： パワーキオスク³の事業概要と初期財務分析の前提条件をまとめた。二国間クレジット制度(JCM)を適応して、初期投資コストをいくらか軽減することにより事業は安定的なものになる。
- ・ 環境への影響と社会的、経済的な観点からシステムが評価され、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が構築される可能性・価値： 小規模村落発電事業が最も重視している点は、村民の自立であり、エネルギーの地産地消である。このような開発アプローチが成功裏に実証されれば無電化地帯にあり、無電化であるがゆえに貧困状態から抜け出る術を有していない世界の多数の農民、村民が持続的な便益を得ることになるから、『世界の無電化地帯での電化や村落部での付加価値創造に貢献』することにもつながる。

III. 調査結果まとめ

1. 研究の継続・発展について

- ー プロジェクトで育種した優良品種は、ナンプラ州にて栽培保存している。
- ー リカカ村での活動は JICA「草の根技術協力事業(草の根技術協力支援型)」およびモザンビークの大学 UEM⁴からの技術支援で継続された。ジャトロファ油から石鹼を製造して現金収入を得る道筋がつけられた。電化については太陽電池による方法に転換された。

³ パワーキオスク：無電化地帯においてジャトロファクルードオイルを用いた村落電化を共同体ベースで行う財務的妥当性評価を目的としたパイロットプロジェクト。

⁴ UEM: エドアルドモンドラーネ大学(モザンビーク共和国)

- ー バイオ燃料を用いた発電システム開発については、UEM の Lucas 教授が中心になり、2016 年よりモザンビークエネルギー省 (FNAE) の Coconuts Project として発展させて活動中である。
- ー またバイオ燃料関係の研究は、スウェーデンの援助を受け、スウェーデンの Makardalen University と UEM の共同研究に発展し、現在も研究開発が進行中である。
- ー 東京大学は国内企業との共同研究で、インドネシアでのバイオ燃料の生産と環境影響評価の研究を行っている。

1-1. 課題 1. 「日本植物燃料株式会社」グループ(ジャトロファの育種および栽培技術)

日本植物燃料株式会社は、モザンビーク北部カーボデルガド州で、ジャトロファ油から製造したバイオ燃料を約 350 カ村に供給していたが、2017 年から現在まで継続しているテロの襲撃により撤退した。品種改良したジャトロファの優良品種は、ナンブラ州にて栽培保存している。

1-2. 課題 2. 「金沢工業大学、東京大学（固形燃料製造）」グループ(BDF の生産および残渣の利用技術)

- ー SATREPS で行った研究・開発成果については、UEM 教員及び学生に定着化出来たものの、SATREPS 期間内にモザンビーク共和国リカカ村への定着化までは至らなかった。ジャトロファの油分を含んだ種子が実るまでに時間がかかったためである。

そこで、2016 年度リカカ村への定着化を図る目的で、JICA「草の根技術協力事業(草の根技術協力支援型)」に応募し、採択された。予算 1,000 万円、期間は 2 年間であったが、予算使用期間延長要請もあり、事業期間が 2 年半に延長された。本事業を推進するには予算が少なかったこともあり、かなりの部分を UEM から強力な技術支援を頂くことになった。

- ー リカカ村への定着化活動の中で明らかになった点は、以下の 2 点である。
 - ①ある程度レベルの高い技術を使いこなすことが出来る人材を育てるのは非常に難しい。
 - ②経済的に成立させるための資金ベースに乏しい。
- ー これらの現状を把握したことにより、定着化の方向性をかなり変更する必要が生じた。ジャトロファで得られた植物油等を石鹼(石鹼にした場合は FE_s⁵は無毒化することが SATREPS 研究で明らかになっている)製造に活用し、その石鹼を近くのペンションに販売して、現

⁵ FE_s : ホルボールエステル類

金収入が得られるようにする。また、搾油後の残渣をコンポスト⁶化し、荒廃地の土壌改良に役立てる。当初目的であった電力の提供については太陽光パネルを用いたシステムで定着化を図ることに変更した。

- ー 石鹸製造販売はペンションの注文を受け、製造するため、JICA 青年海外協力隊員の協力を得て定着化が図れた。コンポスト化による土壌改良は現在も進んでいる。太陽光パネルを用いた電力提供については、住民個々の住宅に提供する仕組みを構築するため、直流一直流(DC-DC)システム⁷を上手く機能させるための資金提供の仕組みにトライ・改善を図り、定着化の先鞭をつけるところまで出来た。
- ー DC-DC 技術の重要性をリカカ村の経験で理解したため、金沢工業大学地域創生研究所にて DC-DC エネルギーシステムの研究を開始し、内閣官房「国土強靱化に資する民間の取り組み事例」にも選定され、現在も継続して研究・開発を進めている。
- ー バイオ燃料を用いた発電システム開発については、UEM の Lucas 教授が中心になり、2016 年よりモザンビークエネルギー省(FNAE)の Coconuts Project として発展させて活動中である。
- ー また、SATREPS で行ったバイオ燃料関係の研究は、スウェーデンの援助を受け、スウェーデンの Makardalen University と UEM の共同研究に発展し、現在も研究開発が進行中である。
- ー 固形燃料の研究は東京大学において企業およびインドネシアの研究機関との共同研究として実施中である。

1-3. 課題3. 「久留米大学」グループ(BDF および副産物の生産と利用時における安全性評価)

相手国の研究者が本プロジェクトにおいて行った研究指導をもとに、研究を進め、論文を執筆した。

1-4. 課題4. 「東京大学」グループ(環境影響評価)

- ー モザンビーク側はスウェーデンの支援により研究を継続している。
- ー 日本側は企業との共同研究でバイオ燃料の生産と環境影響評価の研究を行っている。

2. 地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について

日本側、モザンビーク側それぞれ、また共著による多くの研究論文が公表され科学技術の進展に貢献した。また東京大学は国内企業およびインドネシアの研究機関と共同で、インドネシアでのバイオ燃料生産の研究を行っている。

⁶ コンポスト：「堆肥 (compost)」や「堆肥をつくる容器 (composter)」のこと。生ごみや落ち葉、下水汚泥などの有機物を、微生物の働きを活用して発酵・分解させる。

⁷ 直流で電圧を変換するシステム(コンバータ/レギュレータよりなる)

2-1. 「日本植物燃料株式会社」グループ

ジャトロファの育種(人工交配)技術及び実験で用いたジャトロファ樹は、現地大学 UEM に引き継がれ、学生実験にも使用されている。

2-2. 「金沢工業大学, 東京大学 (固形燃料製造)」グループ

バイオ技術の活用、自然エネルギーの活用、DC-DC 技術開発による省エネ化等により地球温暖化対策に貢献している。ただし、使用済太陽光パネル・バッテリーのリサイクルを含めた技術開発及び直流—直流制御技術の開発を積極的に進める必要がある。

2-3. 「久留米大学」グループ

成果は複数回、著名な国際学会で発表し、プロジェクト期間中に査読付き英文論文として出版した。

2-4. 「東京大学」グループ

国内企業と共同で、プロジェクトで確立した研究手法をインドネシアに展開している。

2-5. 「アフリカ開発協会」グループ

共同体レベルでのジャトロファ栽培・ジャトロファストレートオイルの生産可能性が確立すれば拡張性がある。

3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

ジャトロファの育種(人工交配)技術及び実験で用いたジャトロファ樹は、現地大学 UEM に引き継がれ研究が継続している。本プロジェクトでは、開始時にジャトロファの大規模プランテーションを対象にしていたが、研究期間中の急激な社会情勢、経済情勢の変化により、アフリカの大規模プランテーションが相次いで閉鎖された。そこでロードマップを農村電化へと変更した。しかしプロジェクト終了後の近年になって再び社会情勢が変化し、バイオ燃料の大量生産が求められるようになってきた。そこで UEM ではスウェーデンの支援によりバイオ燃料の研究が行われている。

3-1. 「久留米大学」グループ

本プロジェクトの研究成果はジャトロファバイオ燃料の製造の際のリスク管理に役立つのではないかと考える。

3-2. 「東京大学」グループ

国内企業と共同で、インドネシアにおいてバイオ燃料を大量生産し、日本に輸送するプロジェクトを進めている。

3-3. 「アフリカ開発協会」グループ

日本への波及効果は特にはない。モザンビーク国内における共同体レベルでのジャトロファ栽培とジャトロファストレートオイルの生産体制の組織化が地球規模課題の解決に結び付くが、共同体レベルでの生産が確認されていない。

4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的な研究開発能力の向上について

プロジェクトで大学院の重要性が認識され、UEM 工学部に 2018 年に修士課程、2020 年に博士課程が設置された。プロジェクトで提供された研究設備により現在も研究と人材育成が行われている。

4-1. 「金沢工業大学、東京大学（固形燃料製造）」グループ

UEM 教員の金沢工業大学訪問時に、修士課程及び博士課程の重要性を説明、2018 年修士課程、2020 年に博士課程が UEM 工学部に設置され、SATREPS 研究時に提供した研究設備を活用した成果が現在でも多く発表されている。修士課程を卒業した学生には UEM の講師になった人も生まれ、また、Alberto Macamo 氏は UEM にて博士号を取得し、UEM 教員として活躍している。

4-2. 「久留米大学」グループ

プロジェクトに参画した相手国研究機関の若手研究者が、本プロジェクトで学んだ手法などを用いて主体的に研究活動を進めている。

4-3. 「東京大学」グループ

皿章に示すように、プロジェクトに参画した相手国側の研究者が、研究成果を発表し、研究を進展させている。

4-4. 「アフリカ開発協会」グループ

ジャトロファを利用した共同体レベルでのバイオディーゼルの生産が可能であることを相手国の大学レベルでは理解された。

5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献について

(1) 「金沢工業大学、東京大学（固形燃料製造）」グループ

開発途上国が対象ではないが炭素繊維複合材料(GFRP)で、イギリス及びフランスと技術協力を行っている。

(2) 「久留米大学」グループ

モザンビークで行ったシンポジウムは現地メディアで報道された。

(3) 「アフリカ開発協会」グループ

周辺南部アフリカ諸国への拡張を図るにはモザンビーク国内での地域的な伝播が必要であるが、そのステージには至っていない。

6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告

要望事項：

ー 本プロジェクトで開発した ジャトロファ粗油 (JSO) による農村電化の実用展開に向けて、相手国政府機関の支援を獲得する必要がある。また、ジャトロファの栽培・育成で得た成果を、今後も知財および学術的文献にまとめておく必要がある。

ー 相手国の人材育成に関して、何らかの支援が今後も継続される事を期待する。

ー 現地から学生を受け入れるなどを行って、人材育成とネットワークの構築を行うことを望みたい。相手国の人材育成に関し、何らかの支援が継続されることを期待する。

・ バイオ燃料を用いた発電システム開発については、2016年よりモザンビークエネルギー省 (FNAE) の Coconuts Project として発展させて活動中である。

・ 研究および人材育成についてはスウェーデンの支援で継続している。

・ リカカ村での活動は JICA 「草の根技術協力事業」として継続された。

・ 学生の日本への受け入れは実現しなかった。

7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告

上位目標：一般的な農業に適さない乾燥地帯の農村地にて持続的なバイオ燃料生産システムが生業と両立する。

上記のように、本プロジェクトでは、開始時にジャトロファの大規模プランテーションを対象にしていたが、研究期間中の急激な社会情勢、経済情勢の変化により、アフリカの大規模プランテーションが相次いで閉鎖された。そこでロードマップを農村電化へと変更した。しかしプロジェクト終了後の近年になって再び社会情勢が変化し、特に航空機用のジェット燃料として バイオ燃料の大量生産が求められるようにな

ってきた。これにより各地でジャトロファを含むバイオ燃料の生産が再び活発に検討され始めた。現状ではモザンビークの乾燥地での大規模栽培は行われていないが、今後の社会情勢により実現する可能性がある。

以上