

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「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」

研究課題名「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」

採択年度：平成 22 年度/研究期間：5 年/相手国名：モザンビーク

終 了 報 告 書

国際共同研究期間*1

平成 23 年 7 月 1 日から平成 28 年 6 月 30 日まで

JST 側研究期間*2

平成 22 年 4 月 1 日から平成 28 年 3 月 31 日まで
(正式契約移行日 平成 23 年 4 月 1 日)

*1 R/D に記載の協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

*2 開始日=暫定契約開始日, 終了日=R/D に記載の協力期間終了日又は当該年度末

研究代表者： 芋生憲司

東京大学 大学院農学生命科学研究科・教授

I. 国際共同研究の内容 (公開)

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール(実績)

日本国内およびモザンビークにおける研究内容とスケジュールを次表に示す。

Tasks in Japan		Leader: Kenji Imou (UT, Japan)				Carlos Lucas (UEM, Mozambique)																					
Activities		Schedule (from 07/2011 to 06/2016)																Venue	Responsibility								
Calendar Year		2011				2012				2013				2014						2015				2016			
Month		4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3			4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3
FY of Mozambique		FY11				FY12				FY13				FY14						FY15				FY16			
FY of Japan		FY11				FY12				FY13				FY14				FY15				FY16					
1	ジャトロファの育種および栽培技術																										合田真 (NBF)
1-1	種子と果実の成分分析																										合田真 (NBF)
2	BDFの生産および残渣利用技術																										鈴木康允 (KIT)
2-1	固形燃料生産の基礎実験																										加藤聡 (KIT)
2-2	BDFと固形燃料の燃焼試験																										加藤聡 (KIT)
2-3	酵素等による搾油残渣の毒性低減																										土佐光司 (KIT)
2-4	BDFと排気のリスク評価・リスク管理																										武市祥司 (KIT)
2-5	BDFプラントの排水処理法の検討																										土佐光司 (KIT)
3	BDFおよび副産物の生産と利用時における安全性評価																										石原陽子 (KU)
3-1	ジャトロファ毒性成分の検出と解毒法の開発																										石原陽子 (KU)
3-2	BDFと搾油残渣のリスク評価・リスク管理																										石原陽子 (KU)
3-3	搾油残渣の安全性評価																										石原陽子 (KU)
3-4	ジャトロファ試料のホルボールエステル検出と単離																										石原陽子 (KU)
3-5	搾油残渣施肥土壌の安全性評価																										石原陽子 (KU)
4	環境影響評価																										芋生憲司 (UT)
4-1	LCAによるエネルギー収支と温室効果ガス排出量評価																										昔農英夫 (UT)
4-2	土地利用転換に伴う環境影響評価																										白川泰樹 (UT)
4-3	JCM 事業化の検討																										白川泰樹 (UT)
5	経済分析およびアフリカ各国への適用性検討																										長沼秀明 (AFRECO)
5-1	BDFおよび固形燃料生産の経済性評価																										小池勇 (AFRECO)
5-2	アフリカ各国への適用性検討																										小池勇 (AFRECO)
	まとめと報告書作成																										芋生憲司 (UT)

(2) 中間評価での指摘事項への対応

平成 25 年度までは、[1] ジャトロファの育種および栽培技術、[2] BDF の生産および残渣利用技術、[3] BDF および副産物の生産と利用時における安全性評価、[4] 収穫技術・変換技術、[5] 持続可能性評価、[6] 拡張性検討を研究課題としてあげていたが、JICA の中間レビューで研究課題をわかりやすく再構成することが推奨された。そこで研究の進捗、社会情勢の変化および実施期間と課題の対応を考慮して、平成 26 年度より、プロジェクト研究の枠組みを下記 5 課題に再構成して実施することとした。

- [1] ジャトロファの育種および栽培技術
- [2] BDF の生産および残渣の利用技術
- [3] BDF および副産物の生産と利用時における安全性評価
- [4] 環境影響評価
- [5] 経済分析およびアフリカ各国への適用性検討

研究機材の購入と搬送に予想以上の時間が必要であったため、中間評価の時点では相手国期間での研究がほとんど進捗していなかったが、主要機材のセットアップ後に研究を加速させた。これにともなう相互の研究者の往来を増やし、また JCC の開催、および TV 会議やメールにより、コミュニケーションを密にした。

(3) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

研究の社会実装として、当初は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変更し、まずは農村の電化、動力化への実装を行い、無理なく栽培が行えるようになった時点で生産規模の拡大を目指すこととした。

2. プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト

(1) プロジェクト全体

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。

ジャトロファの育種・栽培については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。

以下、課題毎に報告する。図表の番号は課題別に付与した。

(2) 研究題目 1 ジャトロファの育種および栽培技術

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ことは、今後のジャトロファ栽培を進めるうえで、不可欠な要素である。選抜育種試験及び人工交配試験による優良母本 10 種類の選抜種の生産および栽培管理試験を行う。

②研究実施方法

ボアネの試験圃場で、プロジェクト種とモザンビーク在来種の栽培を行い、比較検討すると共に選抜育種を行った。また優良品種同士で人工交配させ、それらを種子繁殖で増やし、1053 を圃場に移植した。現在のところ、果実数が多く生長速度もよい個体が確認されている。それらは平成 28 年 6 月まで生産量調査を継続する。無毒種については、現在まで生長がよくないが目標の種子数は確認できている。今後も継続して調査を行う。また、栽培管理試験についても、インタークロップ試験、栽植密度試験を継続する。搾油残渣肥料試験は、エドワルド・モンドラーネ大学(UEM)の学生が 5 種類の作物を使用し、ボアネ圃場及び UEM 農学部圃場で行った。

③当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

ジャトロファのボアネ試験圃場では、下記のような試験区を設け、育種試験と栽培試験を行った。栽培面積は合わせて 2.66ha である。

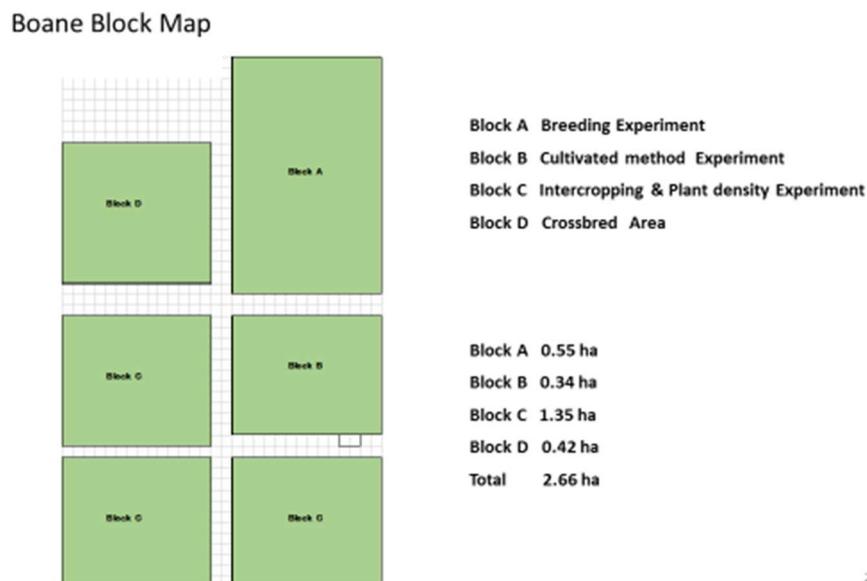


図 1-1 ボアネ圃場における試験地図

また、各試験区においては、図 1-2 のようにフィリピンからのプロジェクト種、人工交配種、モザンビーク在来種が植えつけられている。

Experiments each Block

Block	No of plants	Propagation	Transplanted	Origin	Experiment
A	852	Seed	Jan-13	Project	Breeding
	32	Seed	Jan-13	Non-toxic (Project)	Breeding
	277	Seed	Jan-13	Mozambique	Breeding
B	492	Cutting	Jan-13	Mozambique	Cultivated Method
C	1540	Cutting	Apr-14	Mozambique	Intercropping, Plant Density
	1310	Seed	Apr-14	Mozambique	Intercropping, Plant Density
D	625	Seed	May-14	Project(Crossbred)	Breeding
	428	Seed	Jan-15	Project(Crossbred)	Breeding
Total	5495				

図 1-2 各試験区におけるジャトロファの特徴

育種試験区における分析

1. プロジェクト種

平成 25 年 1 月に圃場に移植したプロジェクト種はシロアリ等が原因で 178 本が枯死したが、平成 27 年 7 月末現在 852 本が生存している。図 1-3 には、プロジェクト種の果実数の分布図を示した。果実の収穫量は、A1376 の樹で個体当たり 352 個の果実を生産した。生存樹全体の平均は 55.8 個、上位 10 個体の平均は 292.1 個であった。

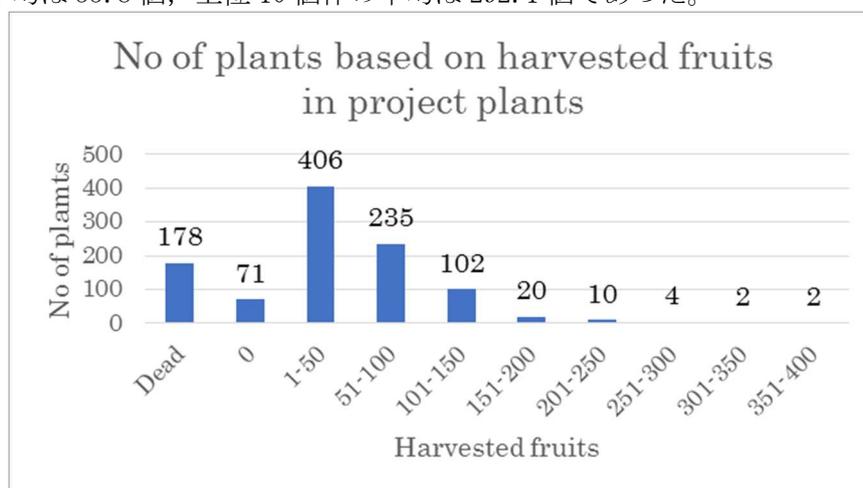


図 1-3 プロジェクト種における果実数の分布

図 1-4 に上位 20 個体の累積果実数の推移を示す。いずれも 5 月～7 月の乾季の初めに収穫が集中している。

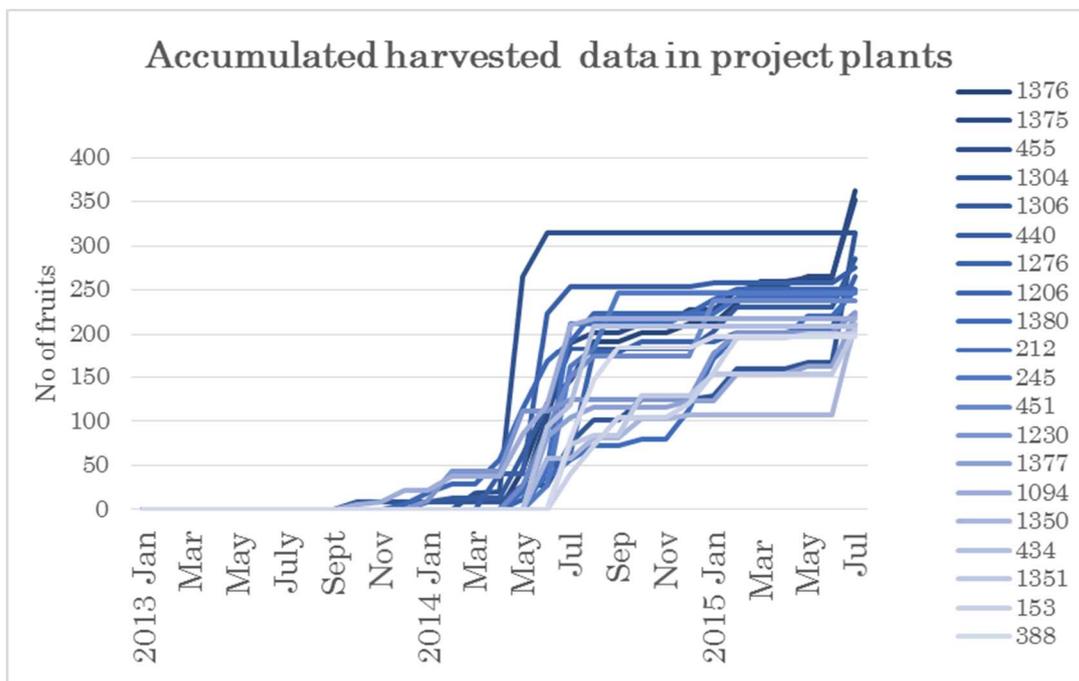


図 1-4 プロジェクト種上位 20 個体累積果実数の推移

2. モザンビーク在来種

平成 25 年 1 月に圃場に移植したモザンビークの在来種は、シロアリ等の原因で 29 本が枯死したが、平成 27 年 7 月末現在 277 本が生存している。図 1-5 には、モザンビーク在来種の果実数の分布を示した。果実の収穫量は A895 の樹で個体当たり 162 個の果実を生産した。生存樹全体の平均は 20.3 個、上位 10 個体の平均は 106.8 個であった。

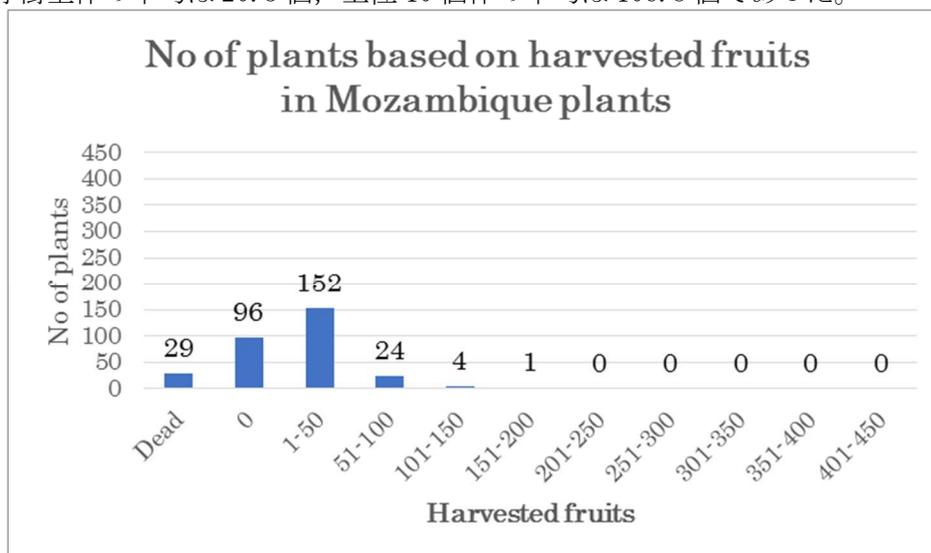


図 1-5 モザンビーク在来種における果実数の分布

図 1-6 にモザンビーク在来種上位 20 個体の累積果実数の推移を示す。全体的に収穫量は少ないが、プロジェクト種と同じように 5 月～7 月の乾季の初めに収穫が集中している。

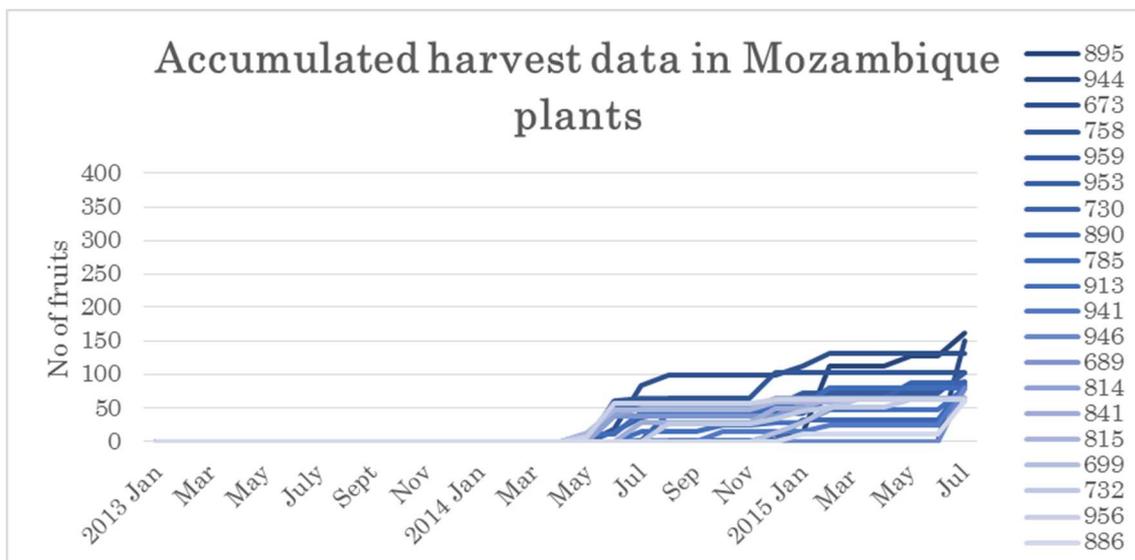


図 1-6 モザンビーク在来種上位 20 個体の累積果実数の推移

3. 無毒種

ホルボールエステルのない無毒種を 50 本圃場に移植したが、現在生存樹は 32 個体である。それらの樹より現在計 500 果実を収穫している。有毒種に比較して生育状況はよくないが今後も継続して調査していく。

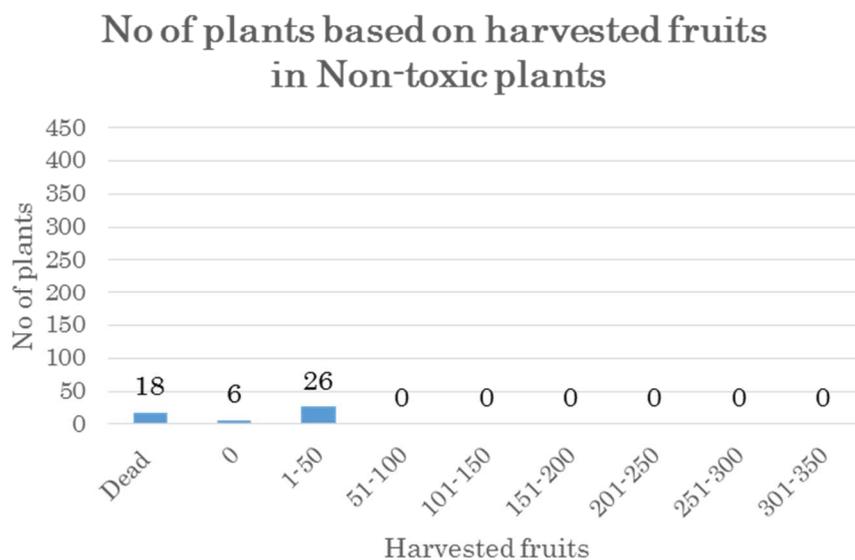


図 1-7 無毒種の果実数の分布

無毒種の特徴は、下記のように一本立ちをし葉が大きく果柄が長く果実の形は楕円形を示している。



図 1-8 無毒種の形状

4. プロジェクト種とモザンビーク在来種の比較

すべての個体の中で、一番収穫量の多かったものは、プロジェクト種の A1376 で、果実数は 362 個であった。この個体を 2m x 2m で植栽したとすれば、計算上 ha 当たり 2.26ton の種子生産量になる。またプロジェクト種とモザンビーク在来種の果実数を比較したら、全体数でも上位の個体でも、2.7~3.0 倍の違いがあることがわかった。

Ave No of fruits	All plants	Best 10	Best 20	Best 30
Project plants	55.8	292.1	254.6	229.8
Mozambique plants	20.3	106.8	86.6	76.3
Difference	2.7	2.7	2.9	3.0

図 1-9 プロジェクト種とモザンビーク在来種の果実数の違い

5. 人工交配種

Block A の中より、優良と思われる個体同士で人工交配を行った。組み合わせは 64 通り計 1053 種が生まれた。内平成 26 年 5 月に 625 個体、平成 27 年 2 月に 428 個体を圃場に移植した。平成 27 年 7 月末時点での上位 10 個体を表 1-1 に示す。

表 1-1 人工交配種の上位 10 個体の果実数

	Plant No.	Female	Male	Harvested Fruits	Unmatured Fruits	Total
1	624	1022	1039	147	65	212
2	100	988	1044	0	132	132
3	110	988	1044	0	114	114
4	323	1042	1020	33	46	79
5	343	1042	1013	26	31	57
6	221	999	1044	5	46	51
7	5	1052	1039	0	50	50
8	7	1052	1039	0	49	49
9	144	982	1014	19	25	44
10	31	1052	1039	23	20	43

一番果実数の多い個体は D624 であり、その形状は下記の通りである。非常にユニークな特徴をするが生長も早く果実数も多い。



図 1-9 人工交配種 D624 (平成 27 年 2 月撮影)



図 1-10 人工交配種 D624 (平成 27 年 5 月撮影)

選抜育種で一番成績のよいプロジェクト種 A1376 とモザンビーク在来種 A895 と人工交配種 D624 を比較した(図 1-11)。人工交配でできた D624 は、他のものより果実を着ける日数も早く、生産量も多いことがわかった。今後も継続して調査する。

Comparison between crossbred , project and Mozambique plant

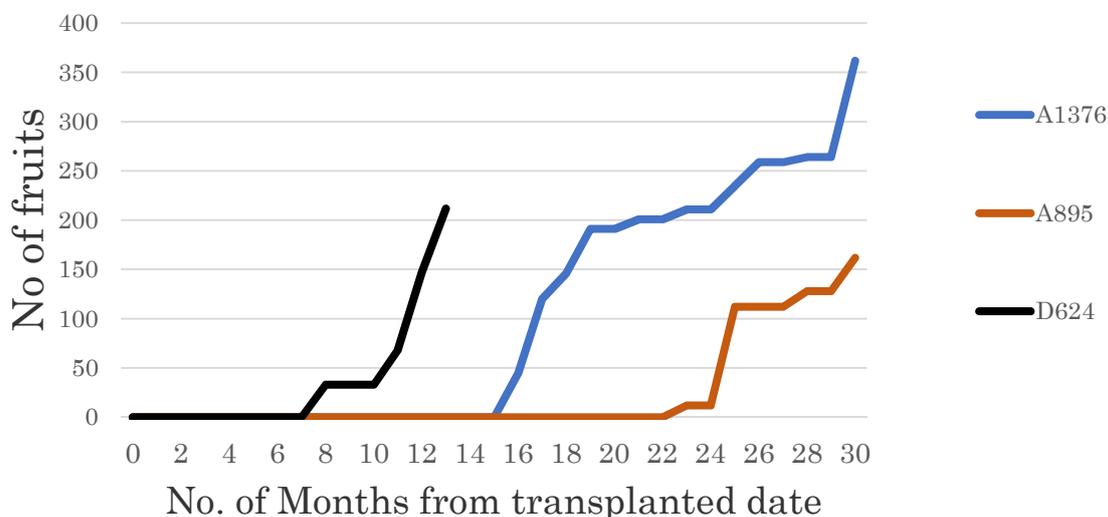


図 1-11 人工交配種，選抜種，在来種との比較

プロジェクト終了時には，選抜種及び人工交配種より 10 本の優良母本を選び，挿し木により母樹園に移植し，そこで自然交配をさせ種子を形成させる。それらの種子を用い，苗を作り，農家に配布する。種子繁殖はモザンビーク南部のように，降雨の少ない地域において，主根を形成する。主根は土中深くにまで生長し，水分を吸収する。挿し木繁殖では主根が形成されないのので，乾燥地においては植物体を枯死させることが多い。

栽培管理試験区

1. 施肥試験

施肥試験はモザンビーク在来種の挿し木を使用し，年 2 回雨季の開始時と中間時に，NPK 混合 12:24:12 を，0g 区，60g 区，90g 区，120g 区を設定して果実数に対する影響を調査した。最初の頃は影響がほとんどないが，収穫が集中する時期に著しい違いが見られるようになり，平成 27 年 7 月では 0g 区で 165.5 果実，60g 区で 194.5 果実，90g 区で 223.0 果実，120g 区で 295.56 果実になった。この試験により施肥量を多く与えるほど果実数が増えることがわかった。

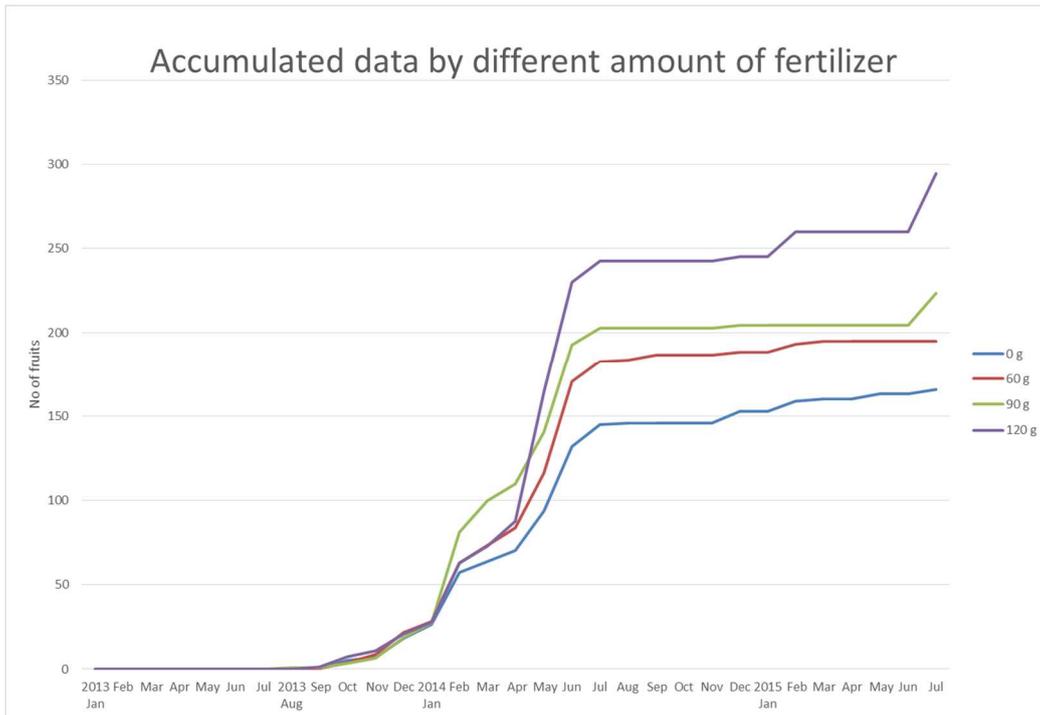


図 1-12 施肥試験の結果

2. 病虫害対策

選抜育種においては，病虫害に対する抵抗性のあるものを発掘するのも目的の一つであったが，残念ながらその目的は達成できなかった。栽培開始時の一番大きな被害をもたらす害虫はシロアリであったが，当初は農薬を与えず，抵抗性のある個体を探そうとしていたが，このままではジャトロファが全滅する恐れがあるため農薬使用を決定した。またノミハムシの発生も平成 25/26 年は多少発生したものの被害は大きくはなかったが，平成 26/27 年に発生したものはほとんどのジャトロファ樹に影響を及ぼし，その後の病気の感染を広めた。モザンビーク国内において，ノミハムシに効くであろう農薬を見つけ出し，今後試すようにする。

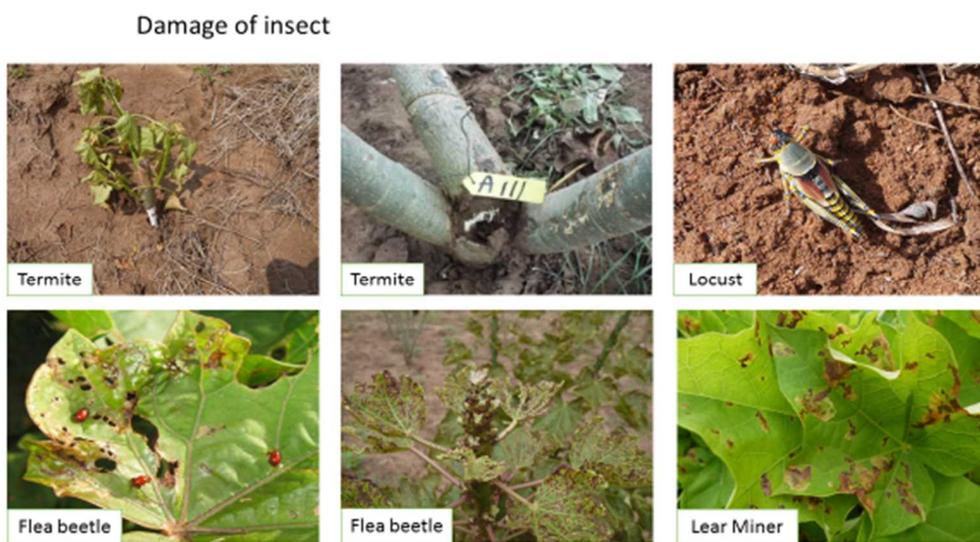


図 1-13 ジャトロファにおける害虫の発生

Damage of insect
Yellow/golden flea beetle = *Aphthona dilutipes*

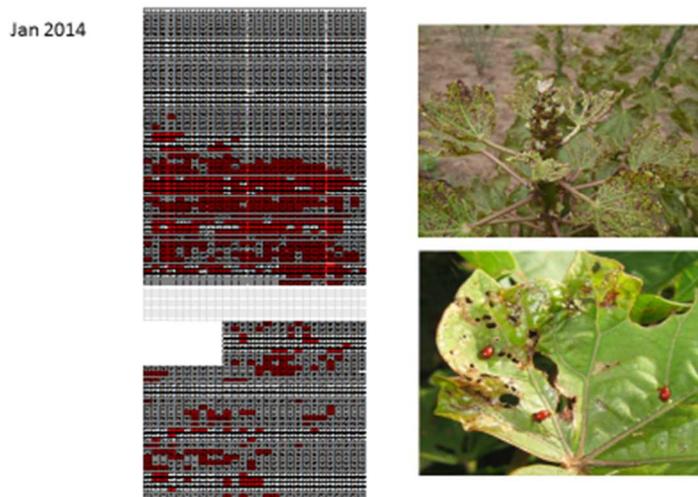


図 1-14 ノミハムシの発生状況

平成 27 年の 11 月には、下記のような新型の病気が確認された。突然葉が萎れ、落葉させる被害が多くでている。いろいろな殺菌剤を試したが、効果は現れていない。ダメージを受けた枝については、見つけ次第、除去、焼却するようにしている。



図 1-15 新型の病気の発生状況

モザンビーク国内でも、北部はカイガラムシの被害が多く、中部はバッタの被害が多いと聞く。また全国的にシロアリの被害が多く、農薬で対処しない限りその解決方法がない。ボアネの圃場においても、現在まで毎年異なる病害虫が確認されており(初年度はシロアリ)、最初は農薬を使用しないようにしていたが、そのままでは全滅する恐れがあったので、農薬の試用を開始した。また、翌年には、カイガラムシの発生やバッタの発生が確認されたが、それほど大きな被害は確認されていなかった。ノミハムシの発生も確認されたが、ジャトロファ樹の生長には大きな被害がなかった。平成 26 年にはノミハムシが大発生し、大きな被害があり、その後病気の発生が確認された。現地で準備できる農薬を試している。また、平成 27 年末より全く新しい病気が起こり、農薬を試しているが、その効果がなく、現在は、感染した部位を見つけ次第、除去し、焼却する作業を行っている。他の国においては、ハダニが大きな被害を及ぼしているが、モザンビークでは、ハダニの感染は若干確認できるが、その被害は大きくない。

他の作物においても、今までそれほど大きな影響が確認されてなかった病害虫が近年発

生しており、大きな問題になっている。ジャトロファはまだ栽培技術、管理の研究が進んでおらず、今後まだまだいろいろな病害虫の発生が起こり、そのコントロールも研究の途中である。それぞれの国によって、地域によって、季節によって、環境によって、病害虫の発生、その症状もさまざまである。しかし、農民にとっては、農薬も購入できないので、自己防衛する方法を検討していかなければならない。

ジャトロファの搾りカス肥料試験

1. トマト

トマト栽培を通じ、ジャトロファの搾油残渣の肥料試験をおこなった。試験の後半で、強風の被害のため、果実や花、葉に大きな影響があり、最終まで収穫調査することができなかったが、生育途中まで、搾りカス 500g/plant の区が樹高、葉数共に大きかった。収穫時も個体当たり 13.0 果実と一番大きな数字を示した。

SEED CAKE EXPERIMENT IN TOMATO

- Transplanted in the middle of September 2013
- Harvesting started on November
- The objective was to Evaluate the effect of Jatropha seed cake in yield of tomato



図 1-16 トマトの栽培試験

2. UEM 農学部学生試験

UEM 農学部の学生 5 名がジャトロファ搾油残渣の肥料試験を卒業論文として行い、4 名が卒業論文を完成させ、下記のような優秀な成績を収めた。

表 1-2 UEM 農学部の卒業論文リスト

学生名	卒業論文	実施年月	採点結果
Manuel Patrício Miquitaio (Mr.)	トマト栽培におけるジャトロファ残渣と NPK 配合の効果 (Efeito da combinação de bagaço da Jatropha e NPK no rendimento da Cultura de tomate)	平成 27 年 2 月	15
Josefa Zacarias Paruque (Mr.)	レタス栽培におけるジャトロファ残渣と鶏糞有機肥料の効果 (Efeito da adubação orgânica combinando bagaço de Jatrofa e esterco de galinha no rendimento da cultura da alface (Lactuca sativa L.))	平成 27 年 4 月	15

Rosa Jaime Vilanculos (Ms.)	ジャガイモ栽培におけるジャトロファ残渣と牛糞の適用効果 (Efeito de aplicação combinada do bagaço de Jatropha e esterco bovino sobre o rendimento da cultura de batata reno (Solanun tuberosum L.))	平成 27 年 7 月	15
Simão Humberto Guambe (Mr.)	トウモロコシ栽培における有機肥料の効果 Efeito da adubação orgânica no rendimento de grão do Milho (Zea mays L.)	平成 27 年 10 月	14
Albino António Inácio Mocha (Mr.)	ケール栽培におけるジャトロファ残渣と牛糞肥料、NPK 肥料の効果 (Efeito combinado entre Bagaço de Jatropha com Esterco Bovino e NPK no rendimento da cultura de Couve (Brassica olerassia L. Var acepala))	平成 28 年 3 月	13

④カウンターパートへの技術移転の状況

モザンビーク人研究者 1 名の雇用を継続し、圃場、作物の維持管理・データ取得記録方法などを教育している。細かなデータの管理、農園の作業マネジメントもできるようになってきた。また、人工交配などの特殊技術も習得した。UEM 農学部学生による搾油残渣肥料試験も行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

平成 25 年冬季は 4℃にまで低温になったので、その被害を最小限にするため、温室ドームを採用した。その結果枯死したものはなかった。平成 26 年には、極端に低温になるようなことはなく、人工交配した幼苗についても、温室ドームを使用する必要はなかった。病虫害については、シロアリ、葉ダニについては、最小限の被害に留めたが、平成 26 年 1 月にはノミハムシが大発生した。それ以降は、平成 26 年 12 月から平成 27 年 1 月前半に再度発生し、ジャトロファの生長に大きく影響を及ぼした。平成 27 年 11 月には、新種の病気も発生しその対応に苦慮している。いろいろな殺菌剤を試したが効果なく、現在はダメージを受けた枝については、すぐに除去、焼却するようにしている。今後も新たな病害虫に直面する場合もあるが、その都度対処していかなければならない。

(3) 研究題目 2 BDF の生産および残渣の利用技術

(3)-1 金沢工業大学における研究

① 研究のねらい

ジャトロファに含まれる毒性物質についてこれまでに発表されている知見を基に、人への影響評価を予測した。その結果を、加藤順子、武市祥司より「日本リスク研究学会誌、2015、24(4)、221-230」に発表している(別添 KIT-1)。これまでに得られている動物経口実験データに欧州化学品庁(ECA)のリスク評価手法を用いて求められた人に影響を与えないホルボールエステル濃度は、 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ レベルであることが示唆され、毒性リスクの大変高いことが明らかになった。経皮及び吸入暴露を評価するための十分なデータは得られていないものの、同様の高いリスクのあることが推測された。

この知見をベースに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。

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

② 研究実施方法

固形燃料生産の基礎実験

本研究については東京大学との連携で進めている。具体的には、東京大学で進めている固形燃料製造条件検討に対して、基礎的データの提供及び、製造した固形燃料の含有物質評価について協力し研究を進めた。

BDF と固形燃料の燃焼試験

モザンビークのディーゼルエンジン使用状況及び将来の技術導入の可能性、さらに経済的な状況も踏まえ、BDF 及びジャトロファ油と軽油混合燃料による燃焼実験を、現在使用されているディーゼルエンジン及び将来導入されると推測されるディーゼルエンジンシステムも含め装置開発と燃焼試験を行った。固形燃料については、燃焼試験炉を開発し、それを用いて燃焼条件と排気成分の関係を実験・解析した。

酵素等による搾油残渣の毒性低減

毒性物質として注目している物質はホルボールエステル類である。リパーゼ酵素を用いた分解実験を行うと共に、リパーゼ等の酵素類を用いることは経済的に成り立たない可能性があるため、自然界に存在するバクテリア等の活用にも重点を置き研究を進めた。この研究は、BDF プラントの排水処理技術開発にも関連するため、両者を踏まえた研究内容になっている。

BDF と排気のリスク評価・管理

ディーゼルエンジン燃焼時の排気成分評価、固形燃料燃焼時の排気成分評価以外に、ジャトロファクルードオイル中の含有ホルボールエステル分解研究、ホルボールエステル分解生成物のリスク評価技術の開発、及び開発技術によるホルボールエステル分解生成物の毒性評価を行った。

BDF プラントの排水処理法の検討

上記＜酵素等による搾油残渣の毒性低減＞研究と関連付けて研究を進めた。

③ 当初の計画(全体計画)に対する成果目標の達成状況とインパクト

カウンターパートへの技術移転を目指して、計画を速め研究を推進した。関連資料を別添 KIT-2, 3, 4, 5 とする。

固形燃料生産の基礎実験

金沢工大担当分は終了し、研究成果は東京大学に報告した。東京大学にて製造された固形燃料について燃料中に含まれるホルボールエステルの分析調査についても共同して研究を進め、ジャトロファ搾油残渣の固形化技術は完成し、モザンビークに技術移転している。

搾油残渣に関する基礎実験研究成果を下記に示す。搾油残渣にはホルボールエステルが含有されているため、固形燃料製造条件を明確にすることが重要になる。初めに、固形燃料製造時の加熱によるホルボールエステルの分解条件を明確にする取組みを行った。基礎実験として 2 時間及び 3 時間、搾油残渣を加熱し、実験後のホルボールエステル存在量の測定を行い、その結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 加熱温度とホルボールエステル分析結果

	Unheated	Heated			
		180	185	190	200
Solid fuel	○	○	△	×	×
Distillate		×	△	×	×

○：ホルボールエステル計測 △：ホルボールエステル減少傾向有
 ×：ホルボールエステル ND

実験時の温度制御状況から考えると加熱温度は平均 190℃であっても、バラツキの中で 200℃を超えている可能性もあるため、200℃以上ではホルボールエステルは分解すると判断した。

平成 25 年度に行った追加研究では、搾油残渣への加熱温度 200℃以上でホルボールエステルが 15 分以内に分解することも明らかになった。この研究成果から、固形燃料製造段階の工夫でホルボールエステルを分解させる可能性のあることが示唆された。東京大学ではこの成果を活かした固形燃料製造研究を進め、確実に成果を上げている。

BDF と固形燃料の燃焼試験

研究第 1 段階として、モザンビーク共和国の経済状況等を勘案し、ジャトロファクルードオイル(以下、JCO)をメチルエステル化せずにディーゼル機関に用いる方法を検討した。ただし、JCO は市販燃料と異なる物理的性状を有するため、そのままではディーゼル機関に不具合を生じる可能性がある。ここでは軽油との混合利用を視野に実験を行った。

研究第 2 段階として、軽油より安価で且つより少量でも動粘度や表面張力の低減が容易な灯油を JCO と混合させる方法を検討した。研究に用いたディーゼルエンジンは、現在モザンビークにて使用されている技術的に古いエンジン仕様であるが、これに加え将来の社会環境変化に配慮し、最新型のディーゼルエンジン仕様(高圧燃料噴射方式)についても実験を行った。

その結果、JCO40%混合軽油であれば排気及びエンジン性能上使用できることが分かった。また、灯油との混合では JCO60%混合まで可能であることが示唆された。

実験データを図 2-1、2-2 に示す。同様の結果がモザンビーク UEM でも得られている。

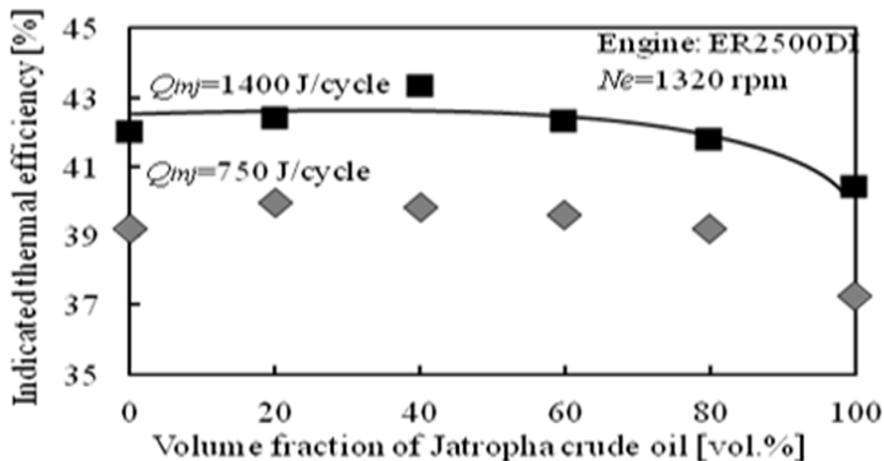


図 2-1 図示熱効率

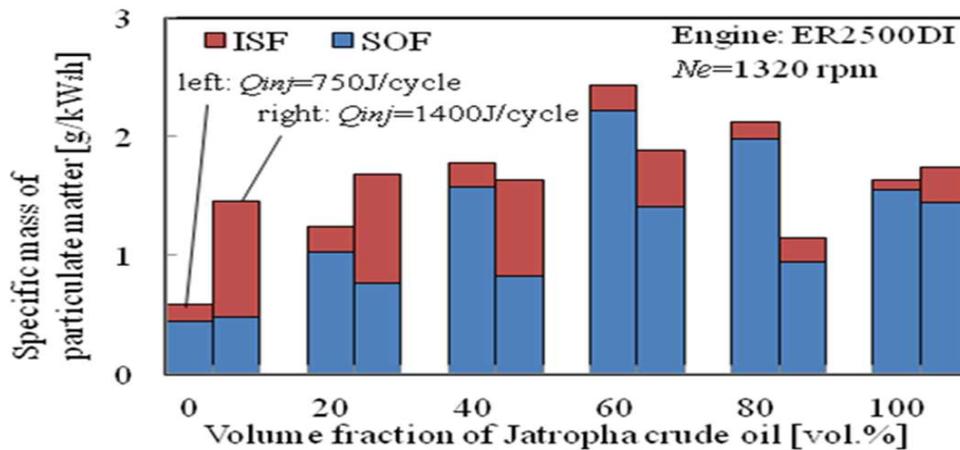


図 2-2 PM(particulate matter)の排出特性

固形燃料の燃焼研究についてはジャトロファ種子の搾油残渣を固形燃料として利用することを前提に、燃焼特性を把握するための試験用燃焼炉を設計・製作し、燃焼試験を行った。図 2-3 に試験用燃焼炉および試験装置を示す。

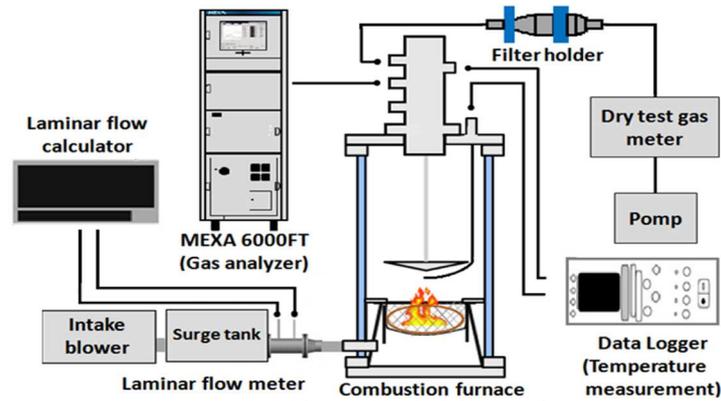


図 2-3 固形燃料用燃焼試験装置の概略図

図 2-3 に示す燃焼試験装置を用い、ジャトロファ搾油残渣の燃焼過程を調べた。燃焼過程の状況を図 2-4 に示す。

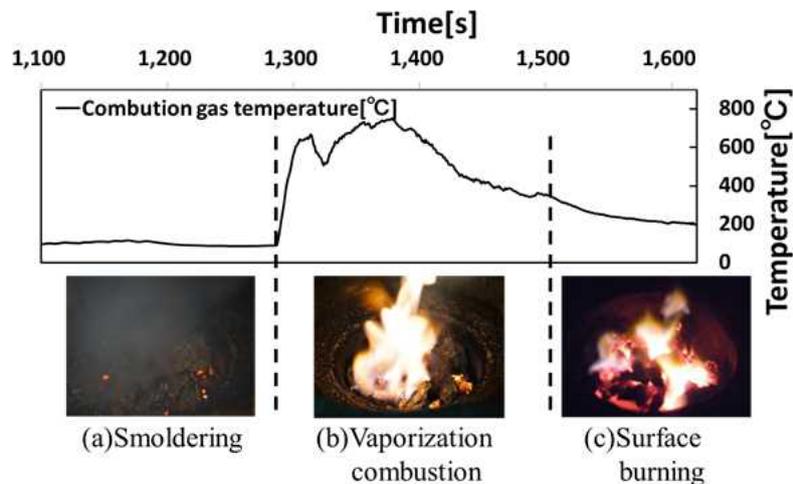


図 2-4 ジャトロファ搾油残渣の燃焼過程(火炎直上温度履歴)

燃焼過程における測定結果の評価を以下に示す。

(a)いぶり燃焼：熱分解で発生した揮発成分が点火されず、多量の発煙を伴う熱分解発熱反応状態であり、排気の特徴は以下のとおりである。

- ・可溶性有機成分(SOF)は高い、不可溶性有機成分(ISF)は低い
- ・NH₃濃度>1050ppm
- ・HCHO濃度<検出限界
- ・煙：濃い
- ・臭気は強い

(b)蒸発燃焼(分解燃焼)：固体燃料に含まれる比較的融点の低い成分が、液体燃料と同様に蒸発して燃焼する現象であり、排気の特徴は以下の通りである。

- ・SOFは0、ISFは高い
- ・NH₃濃度<500ppm
- ・HCHO濃度<15ppm
- ・煙：薄い又は透明
- ・臭気は弱い

(c)表面燃焼：揮発分をほとんど含まない、酸素又は酸化性ガス(CO₂)などが固体表面や内部の空隙に拡散して表面反応をしている現象であり、臭気は弱くまだ不十分である。

以上の測定結果より、1段燃焼のみではジャトロファ搾油残渣の燃焼は不充分であることが分かった。この結果等を基に東京大学では新たな燃焼装置として2段燃焼によるロケットストーブ開発に着手した。

酵素等による搾油残渣の毒性低減

ホルボールエステルを除去するためのジャトロファメチルエステル化油(FAME)生産条件の検討に着手した。メタノールとJCOとの混合割合を変え、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)にて得られるピークの変化を分析・評価した。その結果、ホルボールエステルとして図2-5に示す4つのピークが得られた。

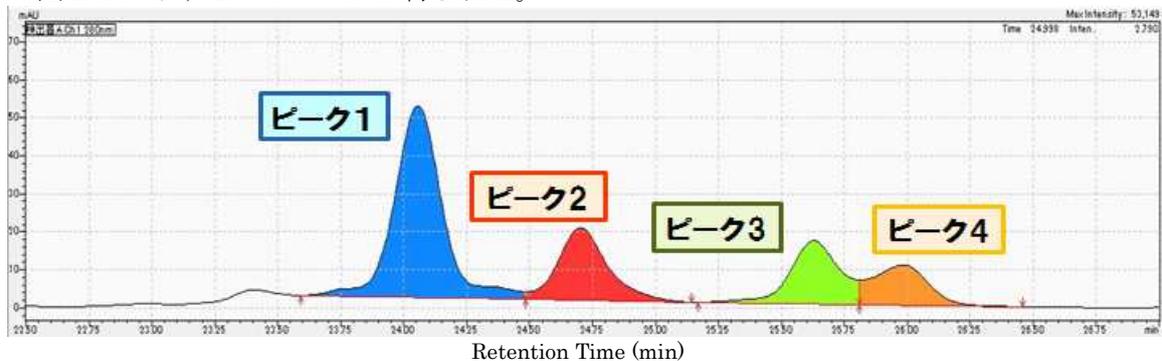


図2-5 ホルボールエステルのHPLCデータ

アルカリメタノールとジャトロファ油の混合条件を変えてホルボールエステルの残存量を分析調査した結果、図2-6に示すデータが得られた。

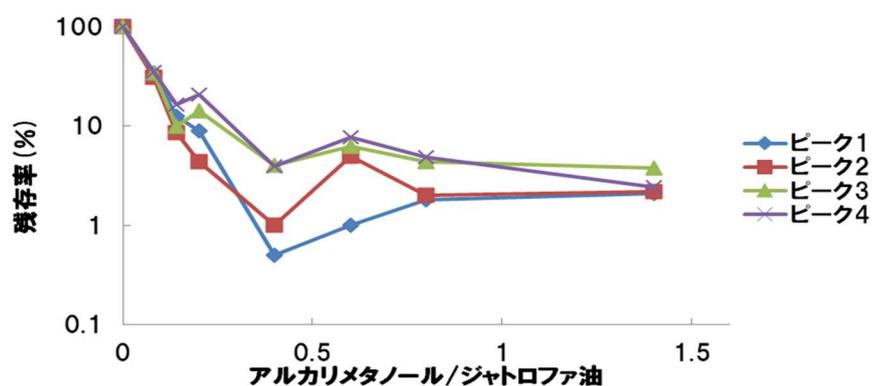


図 2-6 アルカリメタノール/ジャトロファ油とホルボールエステル残存率

ホルボールエステル残存率(図 2-6 縦軸)は対数で示してあるためその減少傾向は穏やかに見えるが、急激に減少することが明らかになった。ジャトロファ油をアルカリメタノールと反応させることにより、ホルボールエステル残存率を極めて低い水準にまで低減できる可能性のあることが示された。

次の研究段階として洗浄水を必要としない FAME 化技術について研究を進めた。本研究プロジェクトの支援メンバーである豊田通商(株)と豊田ケミカル(株)にて洗浄水を必要としない FAME 化技術は開発されており、そのパイロットプラントも太田油脂(株)で既に稼働している。環境親和型であるばかりでなく、水資源が乏しい地域でも活用が期待される無洗浄水 FAME 化のパイロット設備を用いて、モザンビーク及びミャンマーより入手したジャトロファ種子を用いた FAME 精製実験を行った。入手した種子から得られた搾油の酸価(AV 値)が高かったことから得られた FAME 量は 50%以下に留まった。精製結果を図 2-7 に示す。

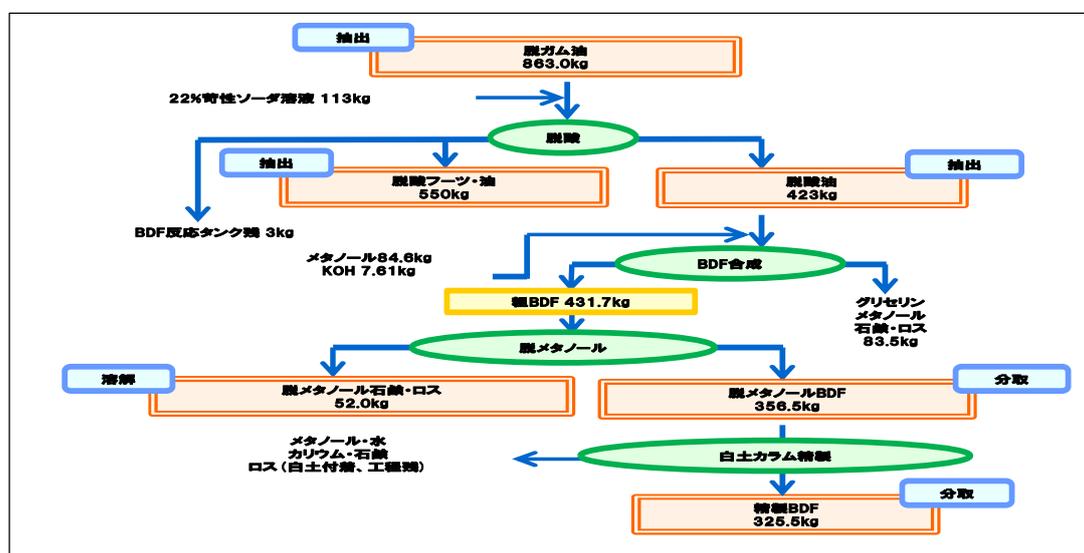


図 2-7 ミャンマー産ジャトロファ種子の FAME 精製結果

各工程で得られた成分に含まれているホルボールエステル含有量を図 2-8 に示す。

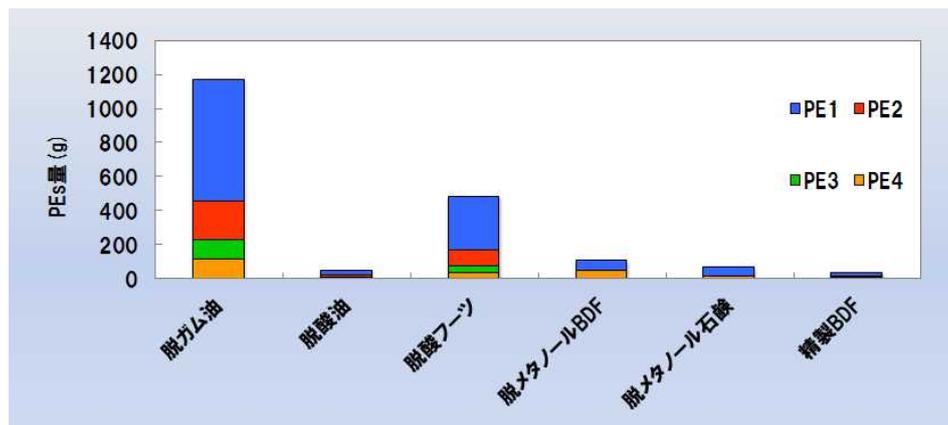


図 2-8 実規模 FAME 合成生成物のホルボールエステル(PEs)含有量

図 2-8 に示すように脱酸工程のフーツ分にホルボールエステルが多く含まれている。また、脱酸油では脱酸油として存在している間にホルボールエステルが分解している可能性が示唆され、脱ガム油のホルボールエステル含有量に比較し精製過程で得られた生成物中のホルボールエステル含有量の総量が低いのは途中の精製段階でホルボールエステルが分解されている可能性が推測された。最終的に FAME 中のホルボールエステルは非常に低い濃度になっていることが分かる。

FAME の精製過程特に脱酸過程でホルボールエステルが分解している可能性が高いと推測されたため、実験室段階にて FAME の精製確認実験を行った。その結果を図 2-9 に示す。

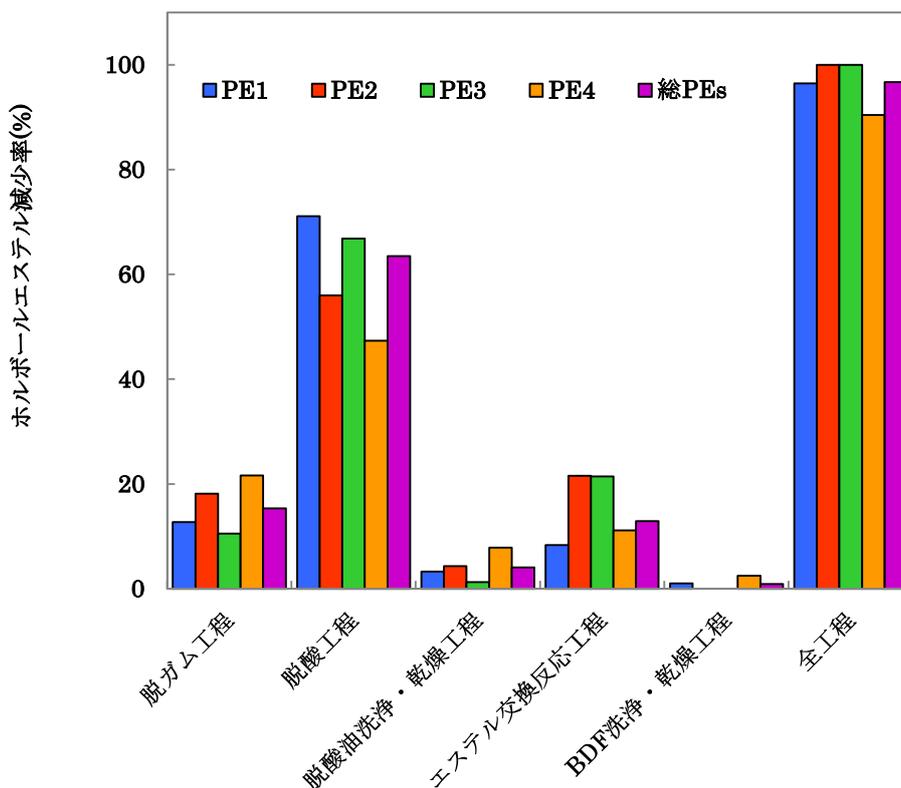


図 2-9 実験室段階における各工程のホルボールエステル減少率

図 2-9 から、脱酸工程で大幅にホルボールエステルが減少することが明らかになった。これらのデータから FAME 精製過程の各工程で残留しているホルボールエステルを大幅に取

除くことが可能であることが分かった。

実規模精製で得られた脱酸フーツを原料として化粧石鹸を試作した。図 2-10 に試作品を示す。化粧石鹸中にホルボールエステルは検出されなかった。脱酸フーツ・油は石鹸に加工することが毒性低減には効果的と判断された。



図 2-10 ジャトロファ化粧石鹸

次に、ホルボールエステル分解を考えるにあたって、ホルボールエステルの構造式から考察し、ホルボールエステルを加水分解することで無毒化が進むと推測された。このため酵素を用いたホルボールエステル分解実験を行った。酵素実験の実験手順を図 2-11 に示す。

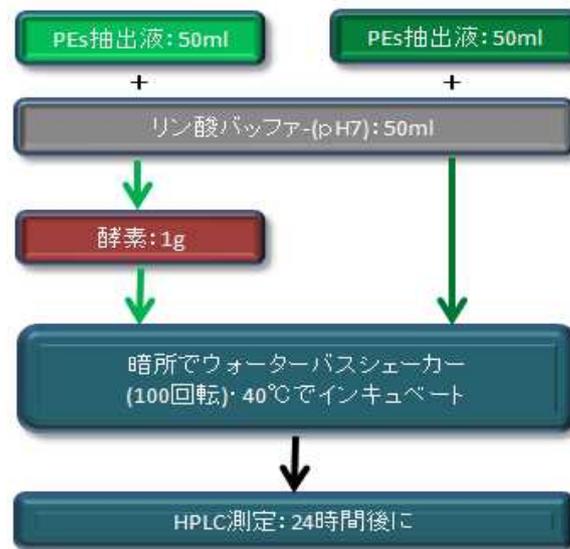


図 2-11 酵素実験手順

図 2-11 の手順に従って得られた反応時間とホルボールエステル残存率の関係を図 2-12 に示す。

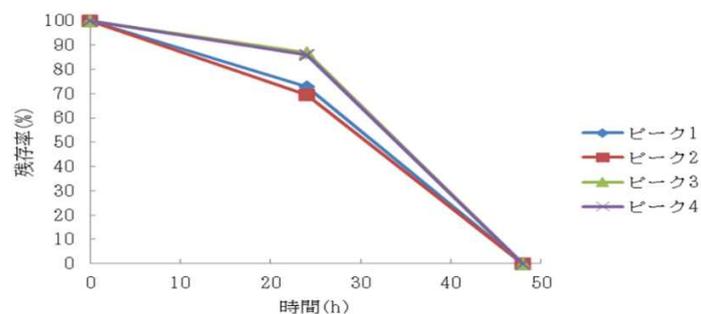


図 2-12 反応時間とホルボールエステル残存率

リパーゼ投入 48 時間経過後にはホルボールエステルは HPLC 検出不可領域まで分解され

ることが分かった。

酵素によるホルボールエステル分解効果が確認出来たことから、堆肥中の微生物にリパーゼ産生菌が存在するかを調査した。ビクトリアブルー関連培地を用いてリパーゼ産生菌の確認実験を行った。実験系を図 2-13 に示す。

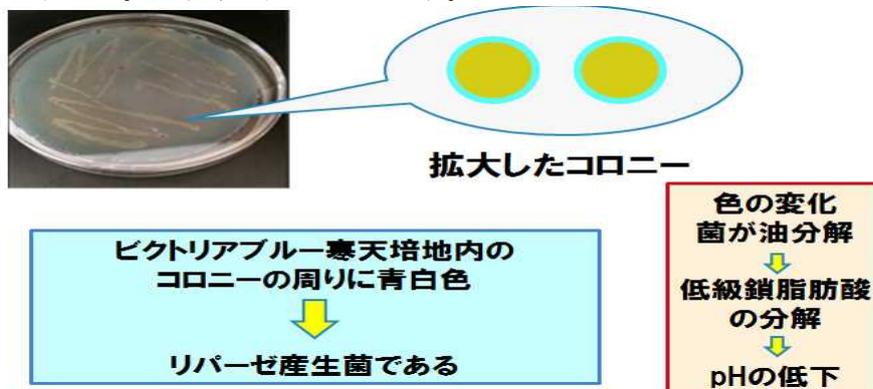


図 2-13 リパーゼ産生菌調査手法

今回の実験でリパーゼ産生菌の存在が確認されたため、ホルボールエステルは自然界のバクテリア等で容易に分解される可能性のあることが示唆された。

以上のデータより、ジャトロファ種子からの搾油工程において精製過程及び搾油残渣についてもホルボールエステルを低減出来ることが示され、この結果から搾油残渣は堆肥化、精製過程で発生した排水についてもリパーゼ産生菌により分解され低減出来ることが明らかになった。

BDF と排気のリスク評価・管理

BDF (FAME) のリスク管理については、＜酵素等による搾油残渣の毒性低減＞の中で関連するデータを示した。

JCO をディーゼルエンジンにて燃焼させた場合、通常の燃焼条件であれば高温燃焼であるためホルボールエステルが排気中に含まれることはありえない。しかし、冷間始動時の排気中にホルボールエステルが含まれるかは調査する必要がある。

軽油と JCO を混合した燃料を使用した場合、ホルボールエステルと軽油燃焼排出成分が HPLC のリテンションタイムの同じ場所に重なってしまうため、ホルボールエステルの正確な計測は出来ない。そこで、軽油の代わりに n-トリデカンを使用することによってコールド燃焼排気中のホルボールエステルの測定を行った。

コールド燃焼としては、11 回サイクルに 1 回のみファイヤリングすることにより排気温度を上げずコールド燃焼を実現でき、これを繰り返すことにより PM のサンプリングを行った。

JCO 中に含まれるホルボールエステルは HPLC の 24.1~26.3min のリテンションタイムにピークが現れる。このリテンションタイムに注目し、JC060%+n-トリデカン 40%混合燃料及び n-トリデカン 100%燃料をディーゼルエンジンにてコールド燃焼させた時の PM を採取し、PM をソックスレー抽出法により SOF 分を抽出、SOF 分中のホルボールエステル含有量を調べた。両燃料コールド燃焼時の SOF 分について HPLC にて分析した結果を図 2-14 に示す。

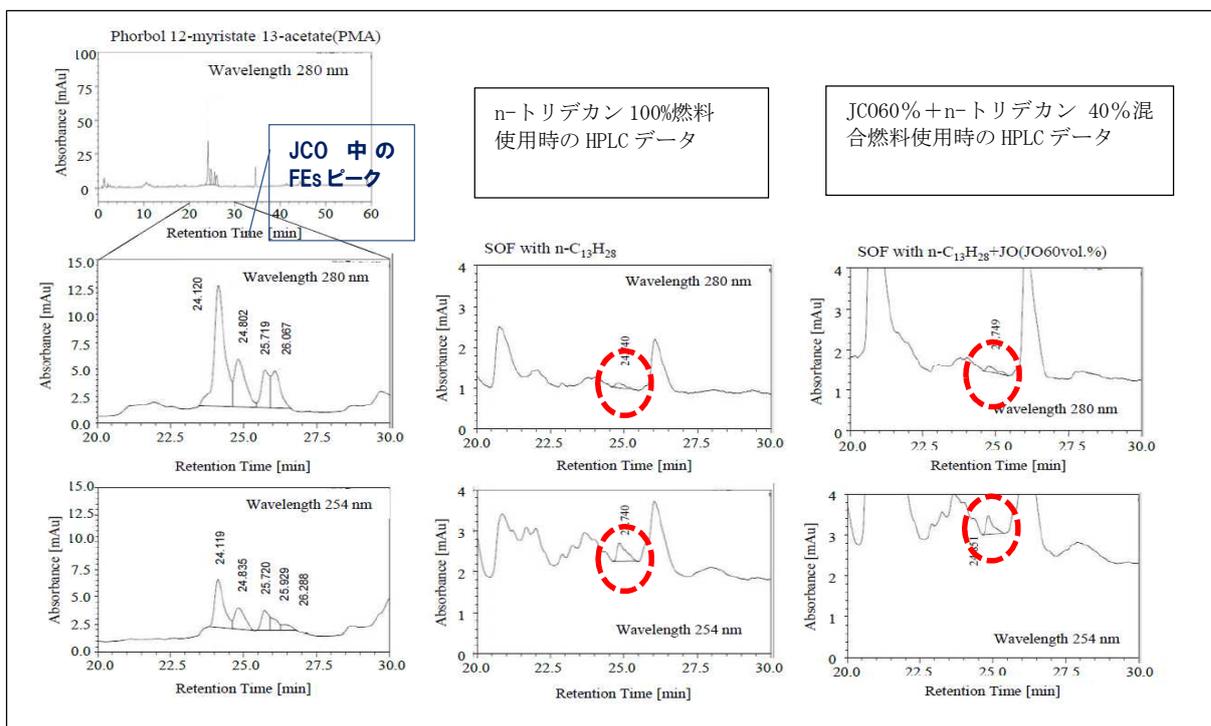


図 2-14 JCO 中及び n-トリデカン 100%燃料，JC060%+n-トリデカン 40%混合燃料使用時の SOF 分の HPLC 結果

図 2-14 に示すように、n-トリデカン 100%燃料使用時と JC060%+n-トリデカン 40%混合燃料使用時の SOF 分 HPLC データに差は認められず、ホルボールエステルのピークが検出されなかった。冷間始動時の燃焼排気成分であってもホルボールエステルが存在しないことが確認出来た。

これまでの研究から冷間始動時であってもホルボールエステルは容易に分解されることが分かったため、次の段階として、JCO そのものについて、JCO に含まれるホルボールエステルの分解可能性について研究を行った。この研究ではフーリエ変換赤外分光法 (FTIR) を用いた。

JCO 及び JCO からメタノール抽出物(メタノールにて抽出後メタノールを十分に飛ばした抽出物)について FTIR 分析を行った。その結果を図 2-15 に示す。

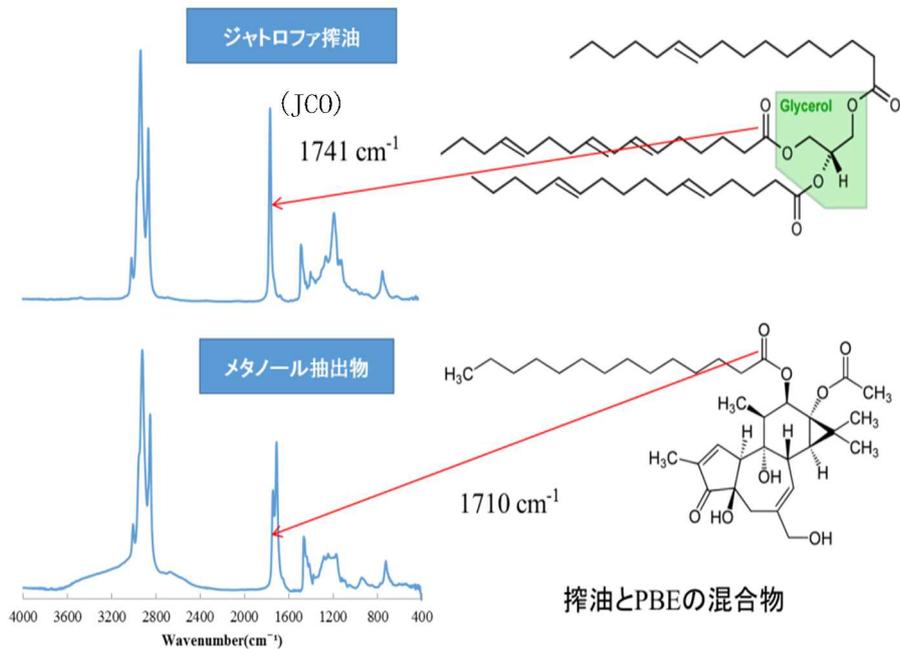


図 2-15 JCO 及びメタノール抽出物の FTIR 分析結果

JCO に含まれるホルボールエステル量は相対的に低いですが、メタノール抽出物中のホルボールエステル濃度は高い。従って、FTIR の 1710 cm^{-1} のピーク値がホルボールエステル濃度に相当すると考えられる。メタノール抽出物に紫外線を照射し、 1741 cm^{-1} のピーク値と 1710 cm^{-1} のピーク値の比較を行った。その結果を図 2-16 に示す。

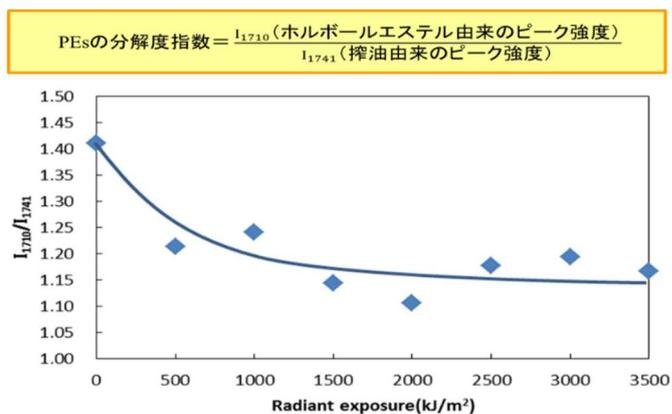


図 2-16 紫外線照射によるホルボールエステルの分解性

図 2-16 より紫外線照射によりホルボールエステルが分解される可能性が示唆されたため、HPLC を用いて評価した。紫外線露光量を変えた試料について、JCO1 g 中のホルボールエステル濃度を HPLC で測定した結果を図 2-17 に示す。図 2-17 より、放射露光量 500 kJ/m^2 でホルボールエステルが 90%以上分解され、その後、露光量の増加に伴い分解が進むことが分かった。

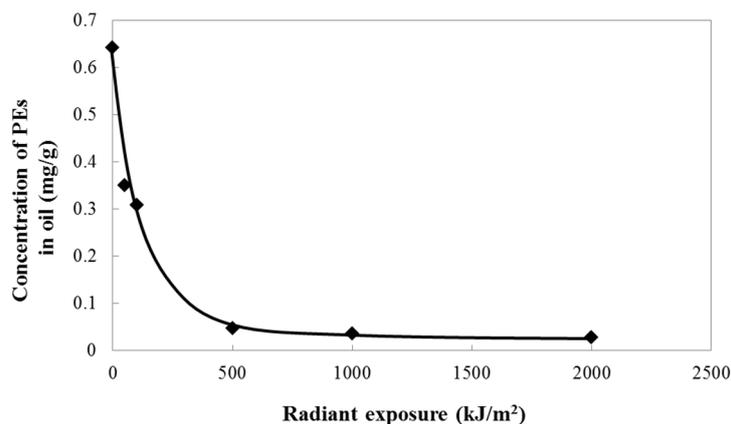


図 2-17 JCO に紫外線照射したときのホルボールエステルの分解性

JCO であっても紫外線照射により含有ホルボールエステルを分解させることができた。しかし、JCO そのものの物理・化学的性質も変化している可能性はある。

ホルボールエステルは容易に分解されることが明らかになったが、ホルボールエステル分解生成物が人に悪影響を与える可能性がある。ホルボールエステルは人の皮膚細胞に影響を与えることが知られているため、ホルボールエステル及びホルボールエステル分解生成物について人皮膚細胞（正常ヒト表皮角化細胞：Normal Human Epidermal Keratinocyte, NHEK, 倉敷紡績株式会社製）を用いたリスク評価手法の技術開発を進めた。開発した試験方法の概略を図 2-18 に示す。人の皮膚表皮構造を考え、人の皮膚細胞を高分子フィルムに付着させ、ジャトロファ油はエマルジョン状態で皮膚細胞と接触させて人皮膚細胞への影響を調べた。

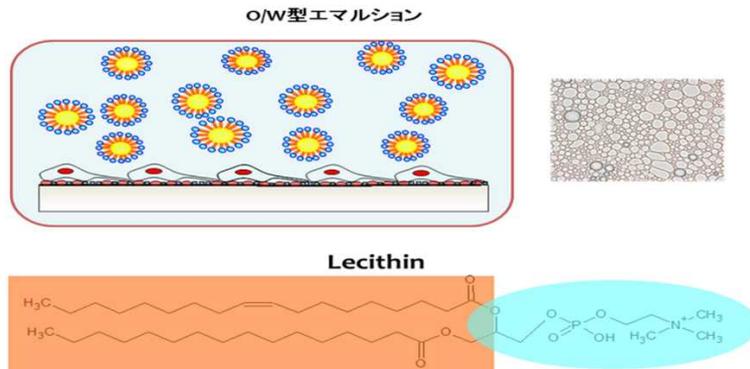


図 2-18 エマルジョン状態での毒性評価方法

開発された手法が毒性を持った物質に対して反応するかを確認した。JCO 及びホルボールエステル含有メタノール抽出物について開発手法を適用し評価を行った。メタノール抽出物についてはメタノールの影響が出ないようにメタノールを十分に除去してあり、ホルボールエステルが多く存在する成分になっている。JCO は相対的にホルボールエステル含有量が少なくエマルジョンにして添加しているため、人皮膚細胞への影響は少ないと考えられる。

実験結果を図 2-19, 20 に示す。ホルボールエステル抽出物を 2.5% 添加した皮膚細胞培養液中での 24 時間後の細胞生存率は 25% であり急性毒性を示したが、ジャトロファ油 2.5% を添加した培養液中では、細胞生存率は 90% であり、搾油そのものを扱う場合の毒性は低くなることが示された。従って、開発した手法にて分解生成物の毒性を評価可能であることが確認できた。

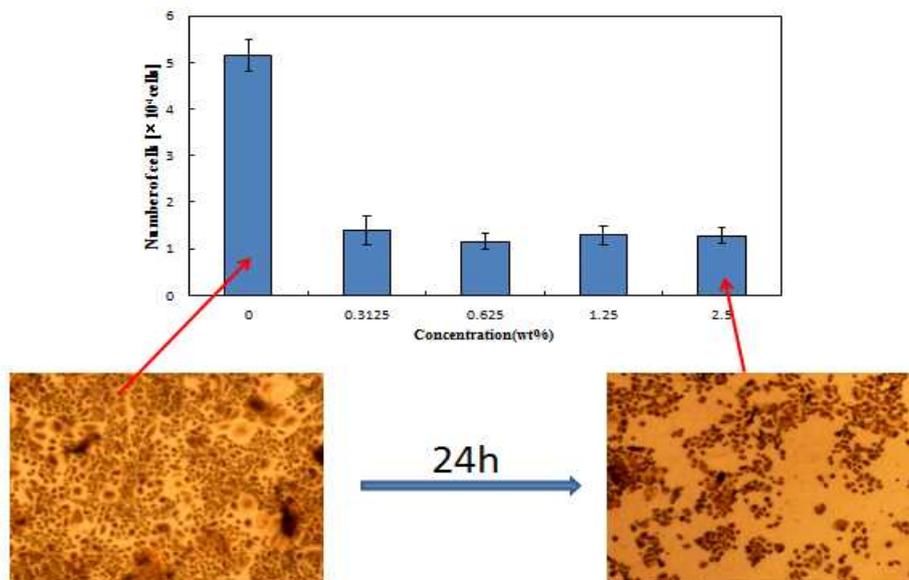


図 2-19 JCO からのホルボールエステル含有メタノール抽出液の人皮膚細胞への影響

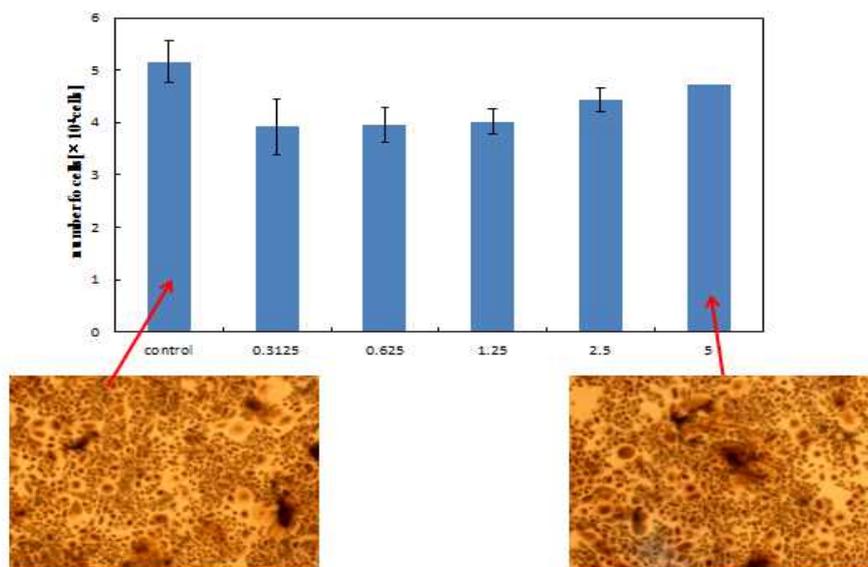


図 2-20 JCO の人皮膚細胞への影響

開発手法を用い、紫外線を照射した JCO について人皮膚細胞に対する毒性評価を行った。細胞として、正常ヒト表皮角化細胞、培地として、HuMedia-KG2 (倉敷紡績株式会社製) を用い、培地中での濃度が $500 \mu\text{g/mL}$ になるように JCO を乳化して試料を調製した。 3.5×10^3 cells の細胞に試料を添加し、 CO_2 インキュベーター内で 2 日間培養を行った。生細胞数の定量は、WST-8 アッセイ法を用いた。JCO に紫外線 (352 nm) を照射したときの人皮膚細胞に対する安全性実験結果を図 2-21 に示した。図 2-21 より、紫外線照射露光量 1000 kJ/m^2 以下では、control に比べて細胞生存率が低く、細胞毒性が認められた。しかし、 1000 kJ/m^2 以上照射した場合、control と同等以上の細胞生存率であり細胞毒性は認められなかった。以上のことから、JCO は、紫外線 (352 nm) を 1000 kJ/m^2 照射することにより人皮膚細胞にダメージを与えることなく使用できることがわかった。したがって、太陽光の照射においてもそれに含まれる紫外線照射量に応じて、毒性が低減することが示唆された。

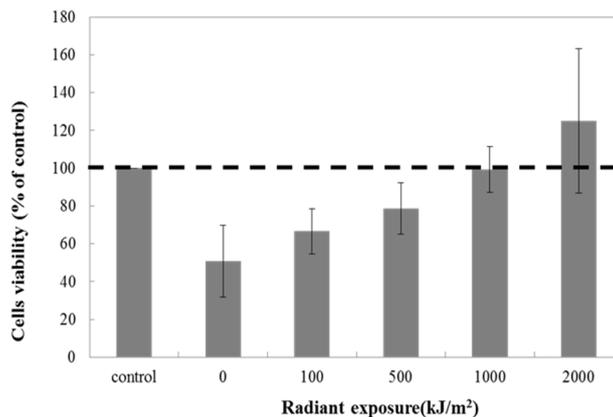


図 2-21 紫外線照射量と細胞毒性の関係

本研究では、天然色素の退色を利用することで、無毒化を簡易的に測定する方法を開発した。紫外線で退色する天然色素で着色した生分解性高分子を母材として着色フィルムを作製し、退色の度合いを見ることで毒性低減を示すバッチとして利用するというものである。その例として、玉ねぎの外皮に含まれる天然系紫外線吸収剤であるケルセチンを着色フィルム作製時に添加し、退色を制御した結果を図 2-22 に示した。図 2-22 のように、紫外線吸収剤を用いることで徐々に退色が進むことがわかる。したがって、色素や母材、紫外線吸収物質の添加量を組み合わせることによって、照射量に合わせた退色フィルムを作製できる。作製したフィルムを、JCO とともに太陽光暴露を行うことで、毒性低減を現地で容易に判断できるセンサーとして利用できることが明らかになった。

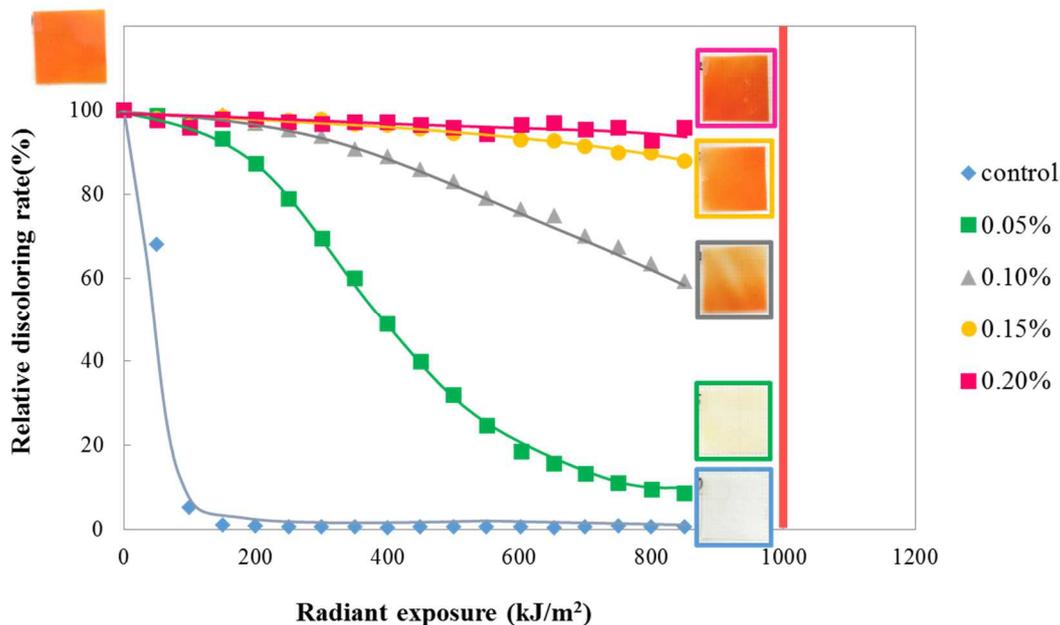


図 2-22 紫外線照射露光量とケルセチン添加による退色制御の関係

BDF プラントの排水処理法の検討

ホルボールエステルが酵素及び微生物により分解できることを先に示した。従って、従来から用いられている活性汚泥方式による浄化は十分可能と考えられる。検証実験として金沢の河川水を用い、ホルボールエステル浄化可能性を評価した。試験方法を図 2-23 に、

試験結果の1例を図2-24に示す。

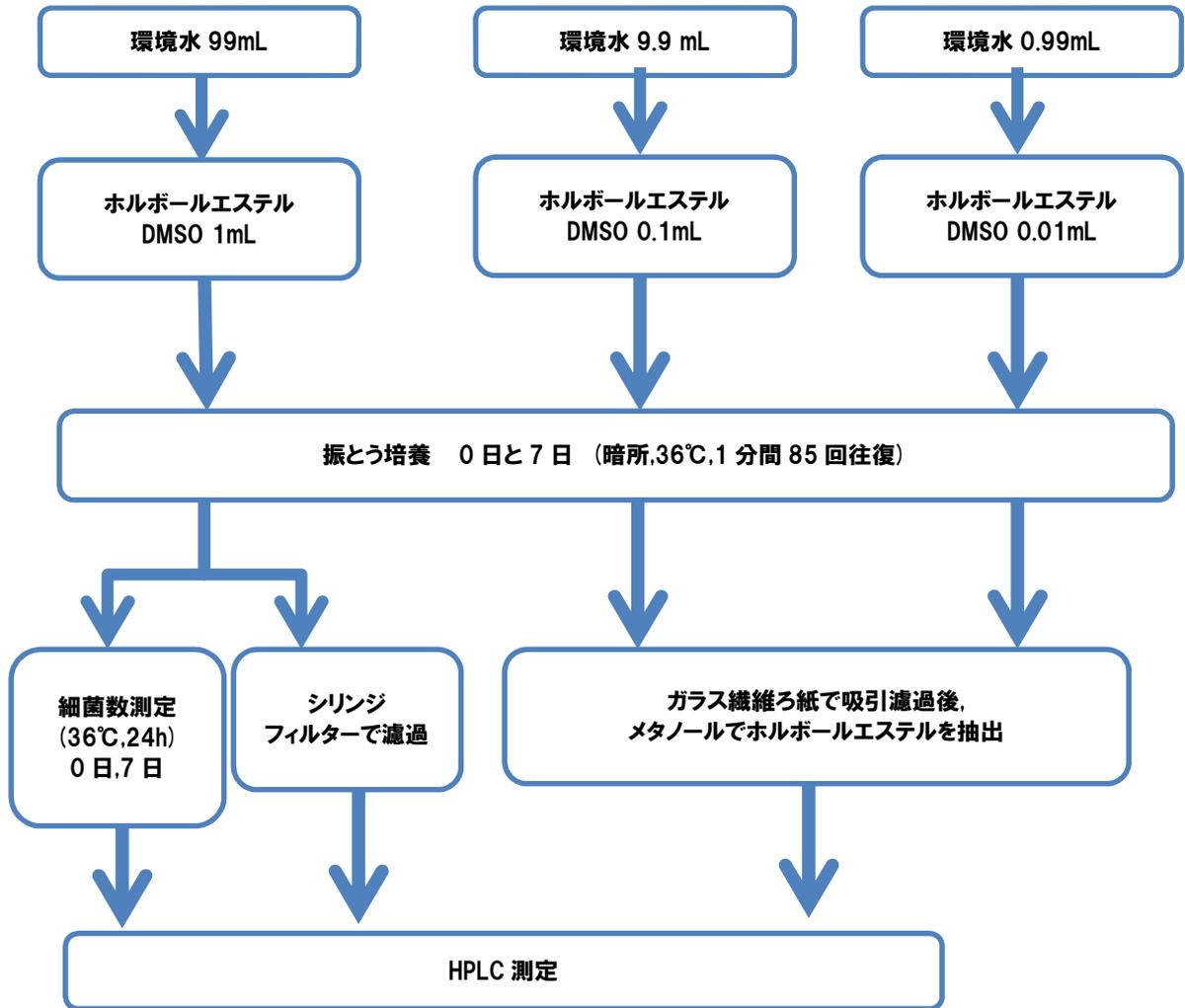


図2-23 河川水によるホルボールエステル浄化効果試験方法

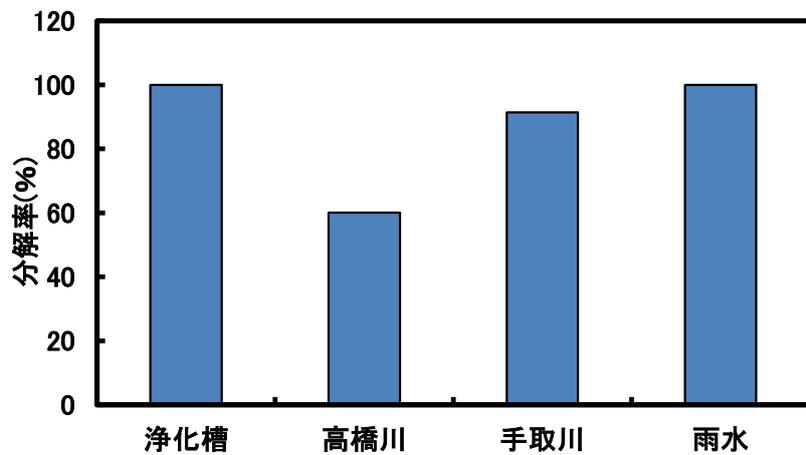


図2-24 7日間培養後のホルボールエステル分解率 (100mL 試料)

図 2-24 に示すように、一般の河川水に含まれる微生物により 100%分解される可能性のあるデータが得られた。

これまでの研究成果をもとに、モザンビーク JCO 精製プラントの排水浄化に適用することを考え、廃水処理方法として安価で行える土壌浸透処理方法の検討を行った。BDF 製造廃水として模擬廃水を作成し、土壌カラムに浸透させて COD を測定した。また、土壌処理に用いた黒ボク土において吸着油の分解現象も調べた。実験方法の概略を図 2-25 に示す。

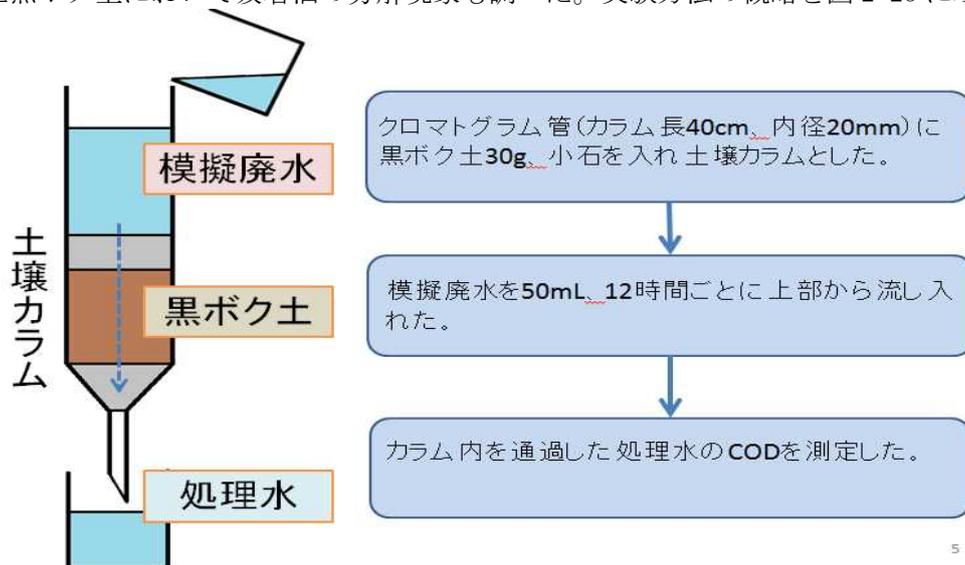


図 2-25 土壌カラムを用いた廃水処理実験方法

図 2-26 に廃油として JCO を用いた実験結果を示す。図 2-26 より明らかなように、油を乳化せずに模擬廃水として処理を行った場合は、COD は全て 0 mg/L であり、土壌に吸着されやすいと判断された。

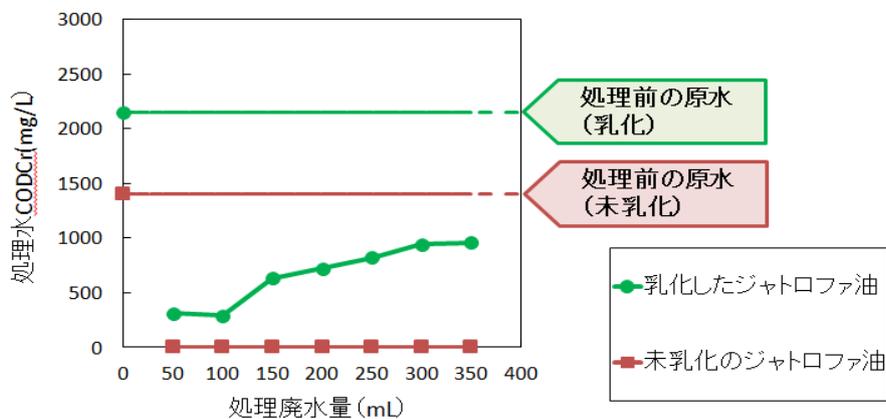


図 2-26 廃油として JCO を用いた実験結果

次に、土壌に吸着された油分の分解実験を行った。分解実験において菌液有・無で土壌中の分解現象の把握を試みた。図 2-27 にその結果を示す。

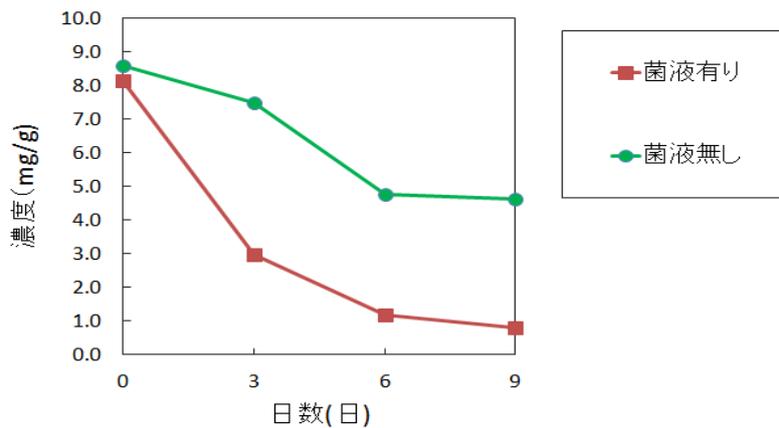


図 2-27 黒ボク土中の油分の変化

図 2-27 より明らかなように菌液を加えた黒ボク土では 9 日目に 93% もの油分が分解された結果が得られた。これらの実験結果をもとに、モザンビークにて発生するジャトロファ由来の廃水処理方法を示すことが出来た。

④ カウンターパートへの技術移転の状況

平成 25 年に引き続き、平成 26 年 9 月～11 月にかけてアルベルト・マカモ氏に金沢工業大学にて博士号取得に向けた研修を行った。研修内容は搾油関連及び JCO, FAME を用いたディーゼルエンジン燃焼研究、搾油残渣を用いた燃焼実験、ホルボールエステルの HPLC を用いた分析等を行い、現在 UEM にて博士号取得に向けた研究を進めている。金沢工業大学における研究成果は、平成 26 年に開催された再生可能エネルギーに関する国際会議にて図 2-28 に示すタイトルでマカモ氏が発表を行った。

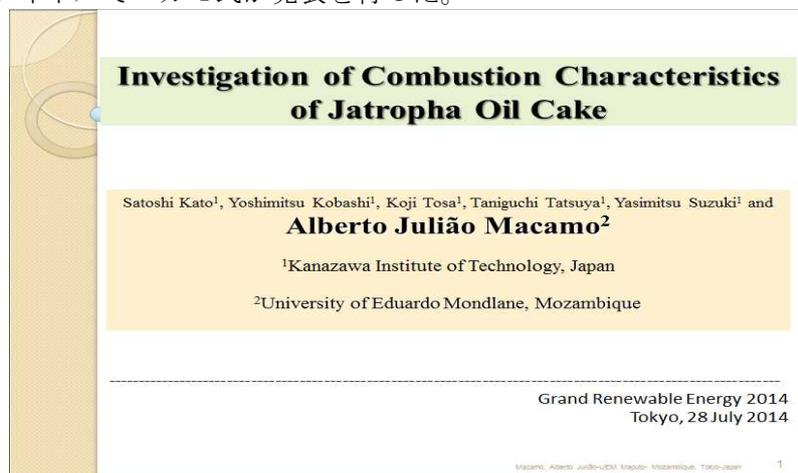


図2-28 再生可能エネルギー国際会議発表タイトル

先の FAME 製造プロセスで示したように種子の酸価 (Acid Value) を含め、モザンビークにて収穫されるジャトロファ種子について各種調査を行う必要がある。本件については、UEM が中心になって共同研究を行った。その成果を以下に示す。

ジャトロファ果実の最適収穫時期と抽出油の特性分析

果実の最適収穫時期を確定するために、ボアネの試験圃場で栽培している 2 年目のジャトロファ樹木から 4 段階の収穫時期を設定して果実を収穫し、分析を行った。本研究内容は、UEM 工学部化学工学科のビキーズ教授の指導の学部生が実施した測定結果の一部をまと

めたものである。なお、本研究を担当した学部生に、金沢工業大学の教員が実験計画および一部の計測法とその解析法の実地指導を行った。

1) 収穫時期の定義

ジャトロファは一房に複数の花を開花させるが、開花時期は異なる場合が多く、その結果、異なる熟成度の果実が混在する特徴がある。このため、最適収穫時期に収穫することが求められる。

果実の熟成に応じて下記の図 2-29 に示す Green:E1, Yellow:E2, Yellow-Brown:E3 と Brown:E4 の時期に収穫を行い、殻(husk)を取り除き種子(seed)を取り出し、ネットに入れて自然乾燥を行った。2 日毎に収集した種子の総質量を計測した結果、約 6 日間で質量がほぼ一定値となった。この結果より、計測には十分な乾燥を期すために、10 日以上室内で自然乾燥した種子を用いた。



図 2-29 ジャトロファ果実の収穫期(熟成度)

2) 種子の質量分布の測定と平均質量

乾燥した熟成度 Green: E1 の種子 70 粒の質量を計測し、質量分布と平均値を求めた(図 2-30)。サンプル数が 70 粒と少ないため分布には偏りが見られるが、200 粒程度とすれば正規分布を示すことを確認している。

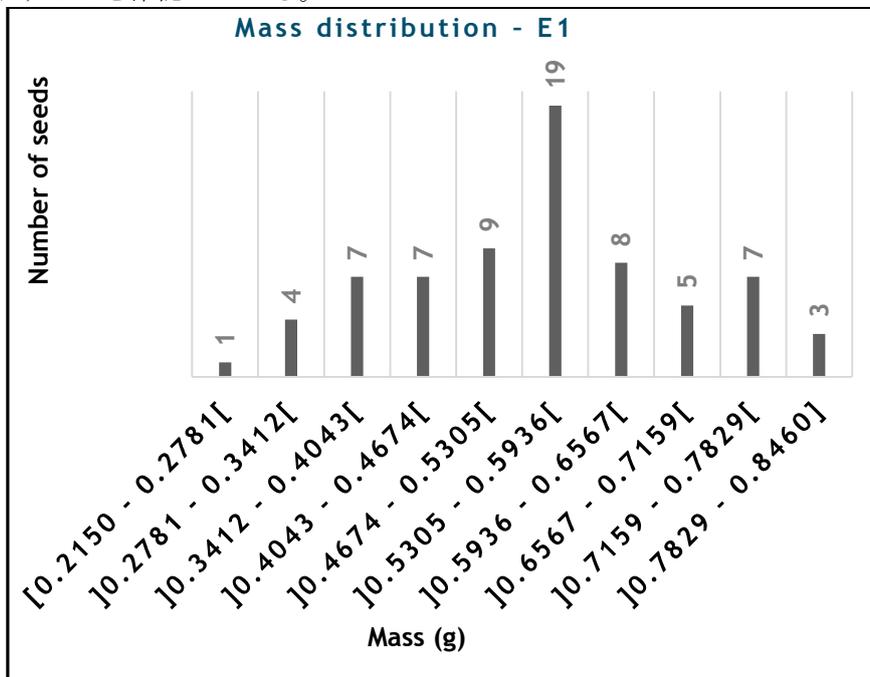


図 2-30 種子の質量分布(Green:E1)

収穫期毎に種子の質量を計測し、質量分布と平均質量を求めた。含油率、含水率および抽出油の特性の計測には平均質量の種子を試料として用いた。

収穫期ごとの種子の平均質量の推移を図 2-31 に示す。種子の平均質量は成熟するに従っ

て、0.5492 g から 0.7952 g と増加傾向を示す。質量の観点からは収穫期が遅い Brown:E4 が望ましい。

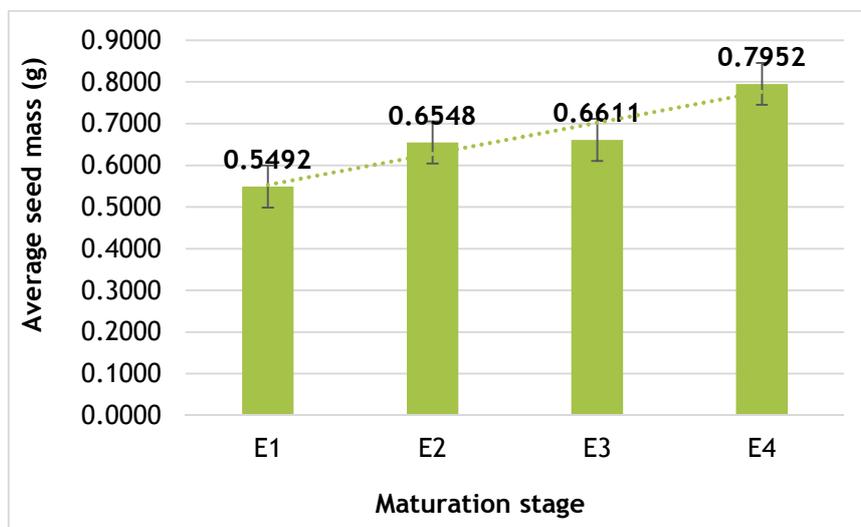


図 2-31 収穫期ごとの種子の平均質量

3) 種子の含水率の計測

収穫期による含水率の推移結果を図 2-32 に示す。収穫期が遅くなるに従い含水率は 7.3% から 6.0%へ単調に低下する結果が得られた。機械的搾油の場合、含水率は 5~6%が望ましいとされているが、搾油前に種子を焙煎する場合は最適含水率より低下する可能性がある。

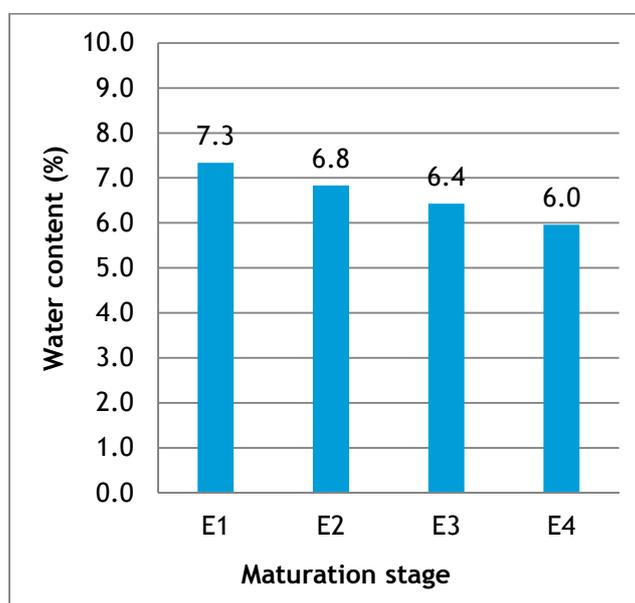


図 2-32 収穫期による含水率の推移

4) 種子の含油率の計測

含油率の測定は n-Hexane による溶媒抽出法と機械的方法を用いて計測した結果を図 2-33 に示す。含油率は熟成が進むに従い Yellow-Brown:E3 まで増加するが、Brown:E4 では低下する結果を得た。含油率の観点からは、収穫期は Yellow-Brown:E3 が望ましい結果を得た。

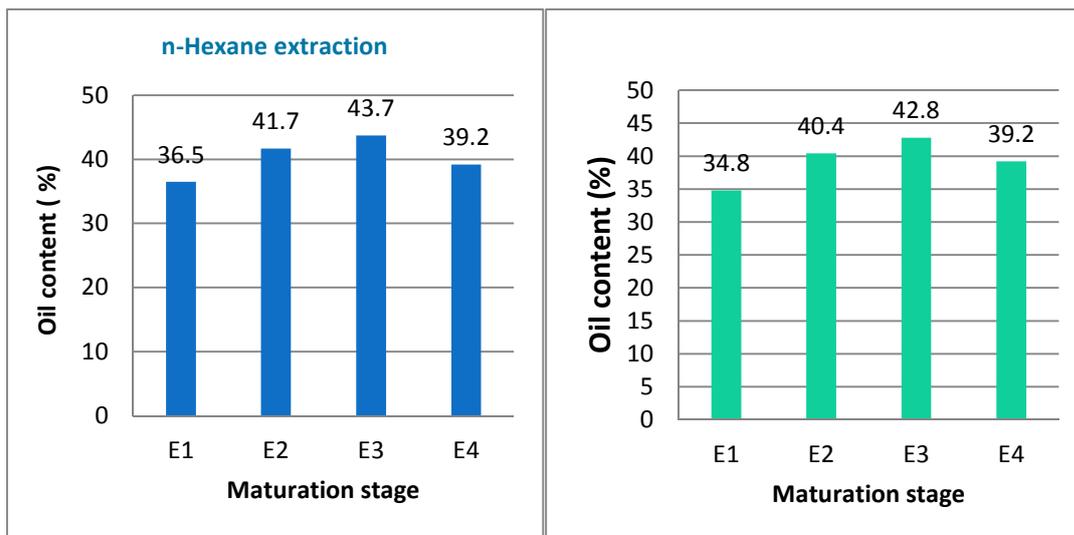


図 2-33 収穫期による含油率の推移

5) 抽出油の酸価値の測定

抽出油の精製を脱ガムのみにとどめてエンジンへ利用する場合は、低酸価値での利用が必然である。また、酸価値の高い抽出油は脱酸行程で収率が低下し、FAME の製造にも不利となるため、抽出油の酸価値は低いことが望ましい。酸価値の測定結果を図 2-34 に示す。図 2-34 より Green:E1 が最も低く、熟成が進むとともに増加するが、Yellow-Brown:E3 以降は増加率が大きい。従って酸価値の観点からは低い酸価値が得られる収穫期は Green:E1 または Yellow:E2 が望ましいことが明らかになった。

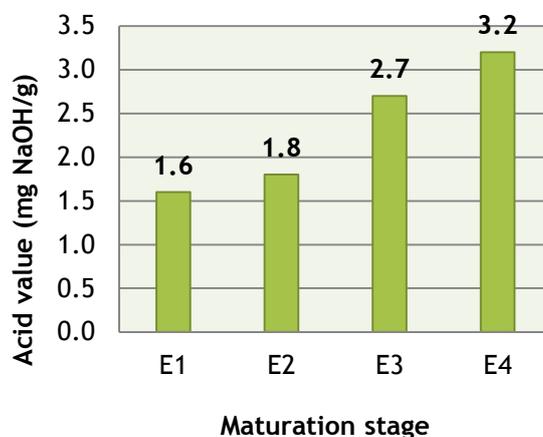


図 2-34 収穫期による酸価値の推移

6) 結論

種子の質量、含油率および抽出油の酸価値等の総合的な観点から、抽出油の質量は Yellow-Brown:E3 に比べて僅かに少ないが高品質の抽出油が得られる収穫期 Yellow:E2 の種子が最も望ましい。また、収穫期の最も遅い Brown:E4 の抽出油は最も酸価値が高い。この結果より、最適収穫期に収穫した種子であっても長期保存をした場合は、抽出油の酸価値が上昇することが推察され、種子の保存方法および保存期間の抽出油の性状に及ぼす影響について今後も継続的に調査をすすめ、酸価値等への影響を明らかにする必要がある。

上記は、UEMとの共同研究成果の一部である。この他、平成27年度までの実績としては金沢工業大学教員の複数回の長期滞在により、UEM学生の卒業研究、修士研究および博士研究

に関連する次の指導も実施した。

- (a) ジャトロファ種子の最適搾油条件(焙煎温度、搾油圧力等)の実施計画と解析法
- (b) ジャトロファオイルの脱ガム法と脱酸法
- (c) ジャトロファオイルの保存状態による燃料性状への影響調査と解析法
- (d) ジャトロファオイルの酸化安定性試験装置(ランシマツ)による測定と解析法
- (e) レッドウッド粘度計による液体燃料の動粘度測定と解析法
- (f) 液体燃料の密度測定解析法
- (g) 液体燃料のボンベ式熱量計による高発熱量の測定と解析法
- (h) ディーゼルエンジンを用いた混合燃料の性能試験法と解析法
- (i) ディーゼルエンジンを用いた混合燃料の排気ガスおよびスモーク濃度測定と解析法
- (j) 軽油又は灯油とジャトロファオイル混合燃料のディーゼルエンジンへの適合性試験の実験計画立案
- (k) FTIRによる液体燃料のIRスペクトルの測定と解析法
- (l) ジャトロファ液体燃料、搾油残渣および廃液中のホルボールエステルの抽出法
- (m) HPLCによるホルボールエステルの測定法と解析法
- (n) ジャトロファ種子の質量分布測定と解析法
- (o) ジャトロファ種子の水分量の測定法と解析法
- (p) ジャトロファ種子の含油量の測定法と解析法
- (q) ジャトロファ果実の最適収穫期の検討
- (r) GCによるHCの分析法

現在、UEMにて下記に示す5つの論文が執筆され、投稿の準備がなされている。

Research Activity of Engineering Division

- Effect of storage condition on Jatropha oil property
- Influence of the Jatropha fruits harvest timing on the Jatropha oil properties
- Investigation of Jatropha oil properties
- Investigation of Jatropha oil application as diesel engine fuel

Activity of Petromoc Laboratory

- Investigation of suitable condition of Jatropha seed extraction and Jatropha BDF production

⑤ 初計画では想定されていなかった新たな展開

効率的に搾油するためには、ジャトロファ種子に含まれる含油率及び酸価の値が重要になる。これらの値をベースにした搾油条件を決める必要があるが、ボアネの試験圃場では搾油に必要な大量の種子を得ることが出来ないためイタリア系の企業から購入せざるを得なかった。購入価格は500～600円/kgであり、この種子から得られる油分は20～30%であるため、ジャトロファ油1リットル当たり1500円～3000円の価格になってしまう。研究用とのことで今回は購入したが、モザンビークでは一度価格が設定され広まると、その価格で流通してしまう可能性が指摘されている。経済的に成立させるためには高くても30円/kgが限界であり、この価格以下で生産し提供できる環境を整える必要がある。

(3)-2 東京大学における固形燃料の研究

課題(3)の一部として行った東京大学における固形燃料の研究について概略を示す。

平成24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。図2-35に実験装置を示す。

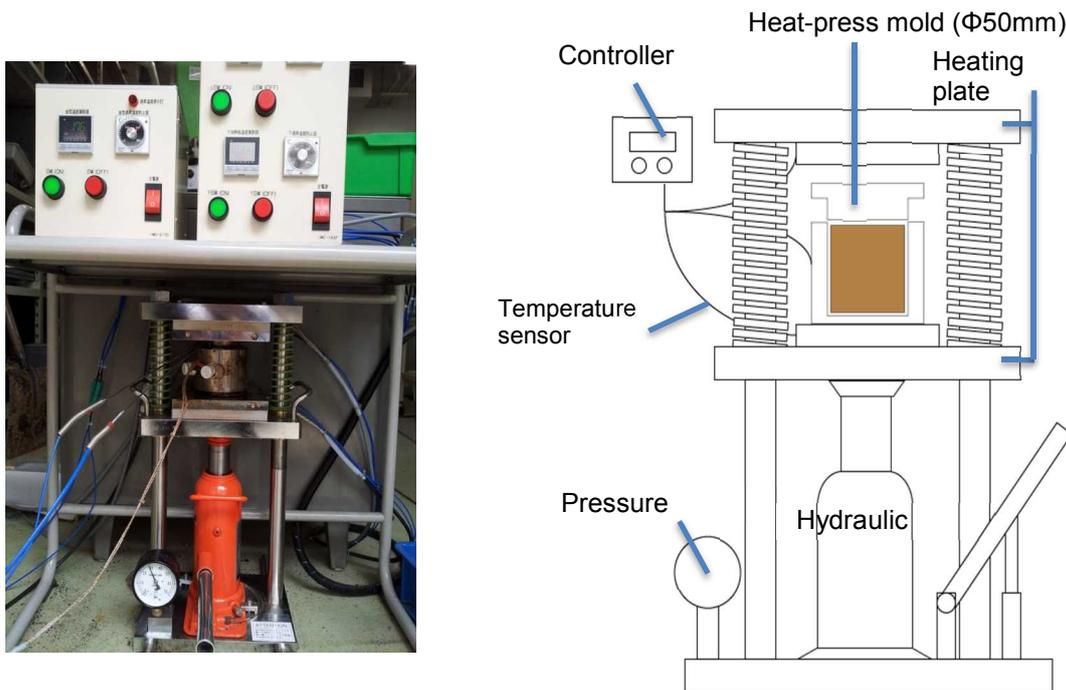


図 2-35 手動油圧加熱プレス

温度、圧力、保持時間をパラメータとし、それぞれの検討範囲は 175–195°C、0–30MPa、15–60min とした。製造された固形燃料の総発熱量は JISM8814 に準じて測定した。TG/DTA は定昇温速度 10°C/min、昇温範囲 25–1000°C、空气中で測定した。TG 曲線から着火点、燃焼温度を把握した。また、活性化エネルギーは Freeman-Carroll 法を用いて算出した。各種条件で製造した固形燃料について、金沢工業大学でホルボールエステル含有量を測定した。

温度 185°C、保持時間 15 分とし、圧力をパラメータとした場合、圧力の増加に伴い密度は上昇するが、5MPa 以上では大きく変化しなかった。0、5、10MPa では表面が剥離しやすく、少しの衝撃で変形した。15MPa 以上では搾油残渣の構成成分が溶出し、表面がコーティングされ、十分に成型された。このことから 15MPa 以上の圧力が必要であることが明らかとなった。

表 2-2 に固形燃料と炭の燃焼特性の事例を示す。固形燃料の着火点および燃焼温度は炭とほぼ同様の値であるが、活性化エネルギーは炭よりも少し劣っている。しかし体積当たりのエネルギー密度は固形燃料の方が大きい。また表 2-3 に固形燃料と炭の組成を、表 2-4 に固形燃料と炭の元素組成を示す。固形燃料は揮発成分が多く、燃焼時に臭いを有するガスが発生した。

表 2-2 固形燃料と炭の燃焼特性（炭は文献値）

Sample	Solid fuel	Charcoal
Energy density	25190J/ cm ³	6440~21700J/ cm ³
Ignition point	423°C	430°C
Burnout	556°C	540°C
Activation energy	112.42 kJ/mol	74.83 kJ/mol

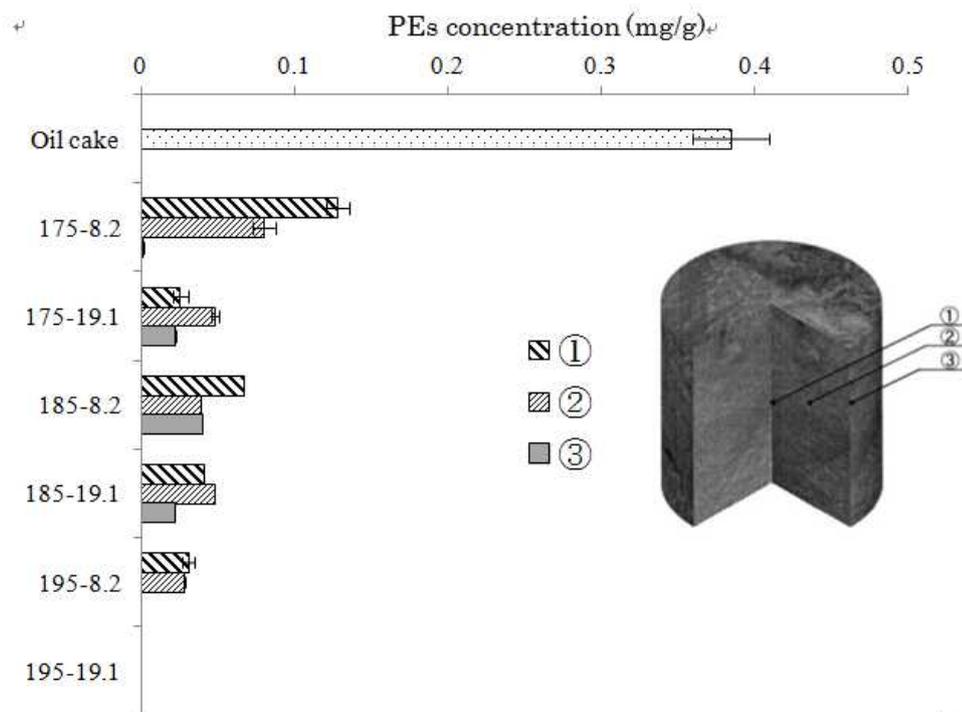
表 2-3 固形燃料と炭の組成 (炭は文献値)

Sample	Moisture%	Fixed carbon%	Ash%	Volatiles%
Solid fuel	7.1	10.4	5.5	77
Charcoal1	3.3	42.6	1.3	56.2

表 2-4 固形燃料と炭の元素組成 (炭は文献値)

Sample	C%	H%	O%	S%	Heating value
Solid fuel	48	6.3	34.7	0.3	19680 J/g
Charcoal2	83.2	2.1	9.9	0.3	28000~31000 J/g

図 2-36 にホルボールエステル含有量を示す。温度 195°C、圧力 8.2MPa で表面のホルボールエステルが検出限界以下になり、温度 195°C、圧力 19.12MPa では内部も含めてホルボールエステルが検出限界以下となった。これにより、一定の条件で加熱成形すれば、安全な固形燃料が製造できることがわかった。



①, ②, and ③ for untreated oil cake and solid fuels under six heat-press treatments (175°C and 8.2 MPa, 175°C and 19.1 MPa, 185°C and 8.2 MPa, 185°C and 19.1 MPa, 195°C and 8.2 MPa, and 195°C and 19.1 MPa). The experiments of 175°C and 195°C were repeated three times, and the results were shown by average measurements from triplicate samples with standard deviations. The experiments of 185°C were conducted once for each pressure.

図 2-36 搾油残渣と固形燃料(バイオコークス)のホルボールエステル含有量

以上の結果を踏まえて、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。実験の概略を図 2-37 に示す。

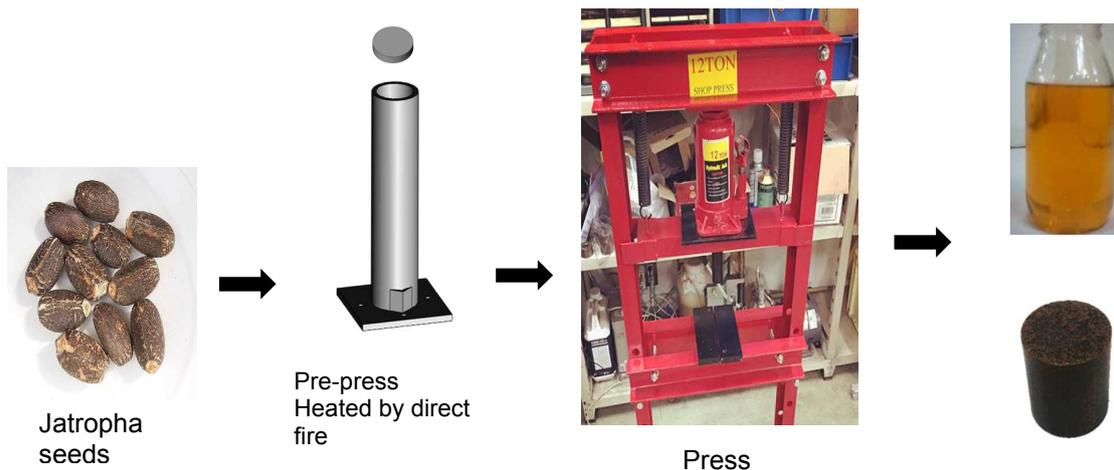


図 2-37 搾油と固形燃料製造を同時に行う実験の概略

この実験では搾油と固形燃料製造を同時に行った。プレスの前にジャトロファの種子を砕き(図 2-38), バイオマスの燃焼熱で加熱した。同時に成型用の金型も加熱した。その後、種子を金型に入れて、プレスで圧縮成形した。



図 2-38 ジャトロファ種子の破碎

実験結果を表 2-5 に示す。種子を 100℃程度に加熱, 金型を 200℃程度に加熱することで、種子の重量に対して 23.5%の油を搾油でき、十分に固い固形燃料が成型された。圧力は 40MPa とした。

表 2-5 搾油・固形燃料製造試験の結果

No.	Mold Temp.	Seed Temp.	Average oil recovery (Oil/Seed)	Hardness of Solid fuel
①	Room temp.	Room temp.	20.55 %	×
②	Room temp.	200 °C	22.86 %	×
③	200 °C	Room temp.	17.15 %	×
④	200 °C	100°C	23.50 %	○

また、図 2-39 に示すような簡易的なストーブをレンガやコンクリートブロックで作り、UEM とリカカ村で燃焼試験と説明を行った。空気取り入れ口の上に燃料を置くことで揮発成分が燃焼し、悪臭の発生が抑制された。



図 2-39 簡易ストーブ

(4) 研究題目 3 BDF および副産物の生産と利用時における安全性評価

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 及び搾油残渣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）に対する成果目標の達成状況とインパクト

◆ジャトロファ種子由来各種試料中のホルボールエステル類の定性・定量

ジャトロファ種子に含まれるホルボールエステル類の検出法と大量精製法を確立し、ジャトロファ種子より単離した DHPB(図 3-1)を標準品として種々のジャトロファ由来の試料に含まれるホルボールエステル類の定性・定量を行う実験系を確立した。

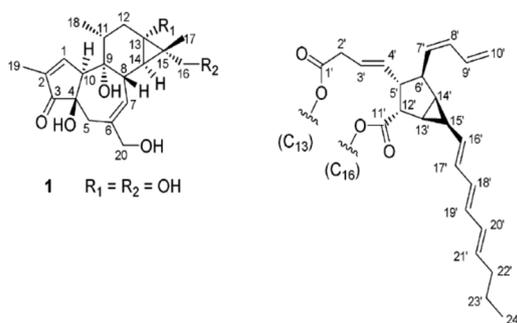


図 3-1 ジャトロファ種子に最も多く含まれるホルボールエステル。(Haas *et al.*, *J. Nat. Prod.* 2002 **65**: 1434-1440)

なお、DHPB は市販されておらず、独自に標準品をジャトロファ種子より精製している。ジャトロファに含まれるホルボールエステル類の含量は産地、採取地域や搾油条件などによって大きく異なり、取り扱いの際にはロット毎の検査が必要であると考えられた。加えて、搾油方法などによってジャトロファホルボールエステル類の含量が変動する可能性が大きいことや、HPLC で未検出レベルの量であっても形質転換試験(図 3-2)や *in vivo* 実験でポジティブな結果を示すことが明らかになったことから、ジャトロファ種子からの搾油作業中の暴露等には注意が必要である。

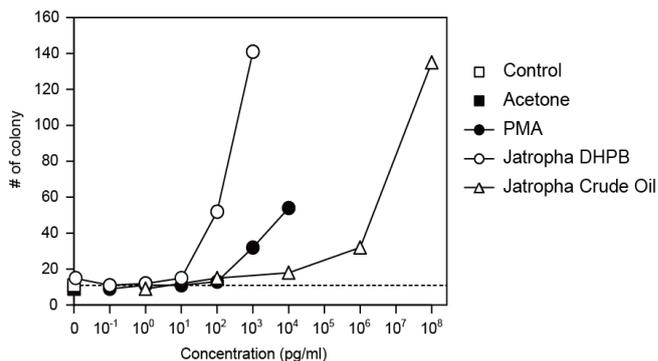


図 3-2 形質転換試験の結果。試験物質はジャトロファクルードオイル、DHPB、陽性対照としては、既に発癌プロモーション活性が知られている Phorbol 12-myristate 13-acetate (PMA)、陰性対照としては試験試料を希釈した溶媒であるアセトンを用いた。コロニーが発生する濃度が低いほど、発癌プロモーション活性は高い。

モザンビークでは有機溶剤の入手が難しい上に、高価であることから、HPLC 法では多数の試料測定が困難であり、HPLC 法の代替法として高感度で簡易にホルボールエステル類を検出できる酵素免疫測定法 (ELISA 法) の開発を進め、新規ホルボール抗原に対するポリクローナル抗体を作成した。さらに安定した測定系を確立するためにモノクローナル抗体の作成を試みた。ハイブリドーマのクローニングを行い、抗原に対して高感度に反応する陽性クローンを獲得したが、DHPB に対する反応性が低かったため、これまで異なる構造の化学物質をもとに、新規ホルボールエステル抗原の作成を行っている。

◆ ジャトロファサンプル中のその他の有害物質の定量

リボソーム不活性化タンパク質 (RIP) の一種であるクルシンは、ヒトを含めた哺乳動物において有害物質となる。クルシンはジャトロファ種子に含まれるため、微量の種子から簡便かつ高感度な測定系の開発を試みた。平成 25 年度はクルシンの N 末端側のアミノ酸残基に対するペプチド抗体を作成し、ジャトロファ種子抽出液をサンプルとした測定系について検討したが、ジャトロファサンプルに対する感度が低かったため、高感度に検出できる測定系を確立するために、全長のクルシンタンパク質を抗原として抗体を作成して検討した。まずジャトロファ種子からクルシンタンパク質を精製し、電気泳動的に単一なバンドまで精製した。この精製クルシンタンパク質をマウスに免疫し、ポリクローナル抗体を得た。精製クルシンタンパク質を用いて直接 ELISA 法で測定した所、非常に感度良く測定できたため、この方法でジャトロファ種子の粗抽出液クルシンの定量を行った。粗抽出液はリン酸緩衝生理食塩水でジャトロファ種子を破碎し、遠心分離した上清を使用した。その結果からクルシン含有量と HPLC 法にて測定した DHPB 量の相関について図 3-3 に示した。モザンビーク産 5 種、フィリピン産、ミャンマー産のジャトロファ種子に含まれるホルボールエステルの量とクルシンタンパク質の量は相関せず、ホルボールエステルを全く含まない品種でもクルシンを含有することを確認した。この結果については査読付き英文雑誌に投稿中である。

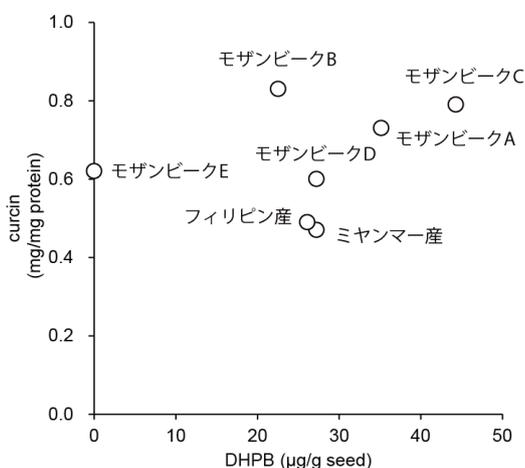


図 3-3 ジャトロファ種子中のクルシンタンパク質とホルボールエステル (DHPB) 含有量の相関図

ELISA 法で測定したクルシン量を縦軸に、HPLC 法で測定した DHPB 量を横軸としてプロットした。

◆ジャトロファ由来ホルボールエステル類の分解

ジャトロファから搾油した際の搾油残渣にはホルボールエステル類が残存しているため、搾油残渣をそのまま肥料等として利用した場合、利用者がこれらの毒性成分に暴露する危険がある。そこで、ホルボールエステル類の土壌での分解について検討した。

ジャトロファ搾油残渣を土壌と混合し、実験開始時、3週間後、5週間後に土壌の一部を採取してメタノール抽出を行い、濃縮したメタノール液をHPLC分析した。その結果、実験開始時にHPLCでピークが確認されたホルボールエステル類は5週間にはピークが消失した。同様に、HPLC分析を行った上記の濃縮メタノール液の一部を用いて、in vitro 実験で形質転換試験を行った(図3-4)。

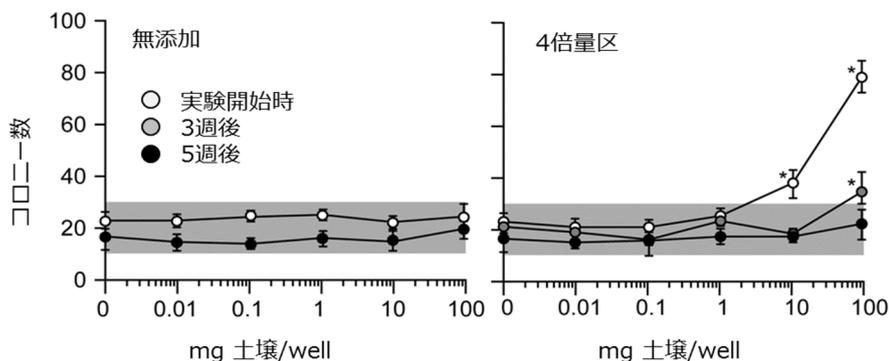


図 3-4 搾油残渣添加土壌抽出液の Bhas42 細胞形質転換活性

図に示すようにグレーの部分シャレ当たり 0~100mg 土壌のコロニー数の正常範囲を示している。無添加土壌(左)と搾油残渣添加 4 倍量区(右)を比較すると、無添加土壌では全実験期間を通して形質転換活性は正常範囲内であったが、4 倍量区では実験開始時にシャレ当たり 10-100 mg 土壌でコロニー数が増加して強い形質転換活性を示した。施肥 3 週間後には、シャレ当たり 10 mg 土壌でコロニー数は正常範囲に、施肥 5 週間後にはシャレ当たり 100 mg 土壌でもコロニー数は正常範囲となり、無添加土壌と同じレベルに低下した。HPLC 分析結果と形質転換試験結果の両方で消失を確認できた。従って、搾油残渣を漉き込んだ土壌では、適度の水分補給の植栽条件下ではジャトロファホルボールエステル類は分解され、添加 5 週間後には無毒化され残存しないものと推測された。

次に、ジャトロファ搾油残渣を施肥として使用した場合の、搾油残渣由来ホルボールエステル類の土壌から作物への移行について検討した。ジャトロファ搾油残渣を添加した土壌で栽培したコマツナ中にホルボールエステルが移行しているかどうかを調べるため、土壌と同様に HPLC 分析と形質転換試験を行った。搾油残渣添加土壌に種を撒き、4 週間栽培後にコマツナを収穫して破砕、そのメタノール抽出液を用いて HPLC 分析を行った。その結果、ジャトロファホルボールエステル類由来のピークは検出できず、同一試料を用いた形質転換試験でも形質転換活性は認めなかった。これらの結果から、施肥として使用された搾油残渣に由来するジャトロファホルボールエステル類は、土壌でも、またその土壌で栽培されたコマツナにも存在あるいは移行・蓄積されていないことが示唆された。加えて、ジャトロファ搾油残渣由来のホルボールエステル類が、土壌中で速やかに分解されることが推測されたことから、ホルボール環側鎖を分解する土壌中微生物由来の酵素、特にリパーゼ、エステラーゼ系の酵素につい

て検討した。久留米大において分取したジャトロファホルボール類から精製した DHPB を基質として酵素反応を行った。酵素として市販のリパーゼと長瀬産業から供与されたエステラーゼ 2 種(エステラーゼ A, エステラーゼ B)を用いた。至適 pH, 濃度及び温度などの検討から, 1 mg/50 mM リン酸緩衝液(pH7.0), 反応温度 37°Cの条件下で実験を行った。添加した酵素以外の環境中微生物による分解を避けるため, 使用する溶液は濾過滅菌し, 無菌的に操作を行った。コントロールとしては緩衝液に DHPB を添加したものをを用いた。

図 3-5 に結果を示した。基質である DHPB に酵素を添加後 4 週目まで 37°Cで無菌的に反応させ, 基質 DHPB を HPLC で測定し, 分解率を算出した。エステラーゼ A を添加したサンプルでは 4 週間後に DHPB が約 94%, エステラーゼ B で約 58%分解され, 両者ともにコントロールと比較して有意な分解能を示した。一方, リパーゼは, コントロールとほぼ同程度の分解能を示し, 有意差は認めなかった。この時の反応液を用いて, 形質転換試験を行ったところ, エステラーゼ A はコントロール試料と比較して有意な形質転換活性の低下を示し, 添加 1 週間後のコロニー数は対照群の約 45%であった。これらの結果は, ある種のエステラーゼが DHPB の分解活性を持つことを示していたが, 同時に, 全てのエステラーゼやリパーゼが DHPB の分解活性を有するわけではないことをも示唆していた。また, 酵素の無添加試料であっても, 経時的に DHPB が減少し, 4 週間で約 50%以上減少したことは, DHPB が微生物や酵素の働きが無くても水中で加水分解されることを示していた。

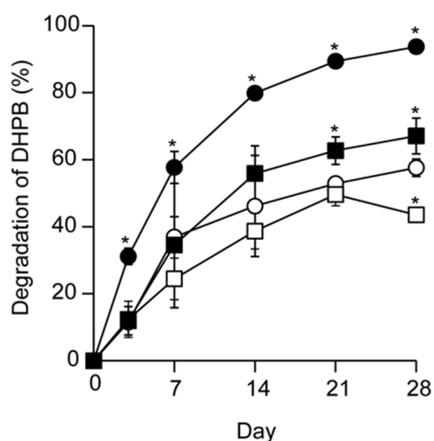


図 3-5 各種酵素による DHPB の分解率。3 種の酵素及びコントロールサンプルの DHPB 分解率を示す。酵素反応開始 0 日, 3 日, 1 週間, 2 週間, 3 週間, 4 週間後にサンプルに反応停止等の処理をした後, その試料を用いて HPLC 分析を行った。
(n= 3-9, *P < 0.05 vs コントロール)

以上の成績については国際学会で発表を行い, 国際雑誌に掲載した(Nakao M., Hasegawa G., Yasuhara T., Ishihara Y. Degradation of *Jatropha curcas* phorbol esters derived from *Jatropha* oil cake and their tumor-promoting activity. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2015; 114: 357-64)。本研究によりジャトロファホルボールエステル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が示唆された。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た。

◆ ジャトロファ種子及びその副産物の動物を用いた安全性試験

【亜急性実験】

ジャトロファホルボールエステル類の亜急性影響と慢性影響を評価するためにジャトロファホルボールエステル類の中で最も含有量が多く、毒性も強いと考えられる DHPB をジャトロファ種子から抽出・精製して、動物実験を行った。投与方法は、人体への曝露の経路として最も可能性が高い皮膚を介した経路とした。発癌イニシエーターである 7, 12-dimethylbenzanthracene (DMBA) を $10 \mu\text{g}/\text{匹}$ で 1 回塗布したのち、1 週間後から DHPB の塗布を開始することとした。ICR 雌マウス背部を除毛し、皮膚に DMBA ($10 \mu\text{g}/\text{匹}$) を一回塗布し、1 週後から DHPB ($10 \mu\text{g}$, $5 \mu\text{g}$, $2.5 \mu\text{g}$, $1.25 \mu\text{g}/\text{匹}$) を週 2 回塗布した。尚、実験コントロール群には DMBA のみ 1 回塗布した。皮膚に試料を塗布後、マウスによる試料の経口摂取を防止するために塗布部分に皮膚用テープを貼付した。陽性対照としてホルボールエステル的一种であり、発癌プロモーターである 12-*O*-Tetradecanoylphorbol 13-acetate (PMA) を用いた ($10 \mu\text{g}$, $5 \mu\text{g}$, $2.5 \mu\text{g}$, $1.25 \mu\text{g}/\text{匹}$)。

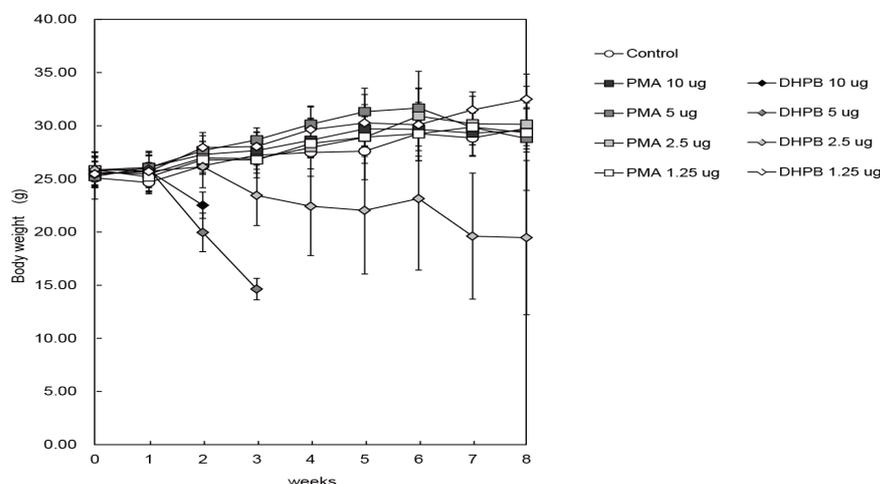


図3-6 マウスへのサンプル塗布による体重への影響。(n = 5)

亜急性実験の 8 週間の観察では、PMA $1.25 \sim 10 \mu\text{g}/\text{匹}$ 濃度では死亡例や異常所見は認めなかったが、同濃度の DHPB で消化管障害と体重減少を認め、 $5 \mu\text{g}/\text{匹}$ 以上の濃度では塗布 2 週間で全匹が、 $2.5 \mu\text{g}/\text{匹}$ では 8 週で 6 割死亡したが、 $1.25 \mu\text{g}/\text{匹}$ では全匹生存していた (図 3-6)。

血液所見では、DHPB 塗布量に依存した赤血球、白血球、血小板数の減少を認めた (図 3-7, 3-8)。また、DHPB を $2.5 \mu\text{g}/\text{匹}$ 以上塗布した個体では著しい体重減少と脾臓の萎縮、消化管の出血が見られた。消化管に対する急性毒性は、これまでジャトロファ抽出物経口投与実験で報告されているが、皮膚への塗布でこのような報告はない。体重減少は $2.5 \mu\text{g}/\text{匹}$ 以上のジャトロファ DHPB を塗布した個体で観察された。陽性対照として用いた同量の PMA 塗布マウスでは、最大濃度 ($10 \mu\text{g}/\text{匹}$) でもジャトロファ DHPB 塗布マウスで観測された急性毒性は認めなかった。

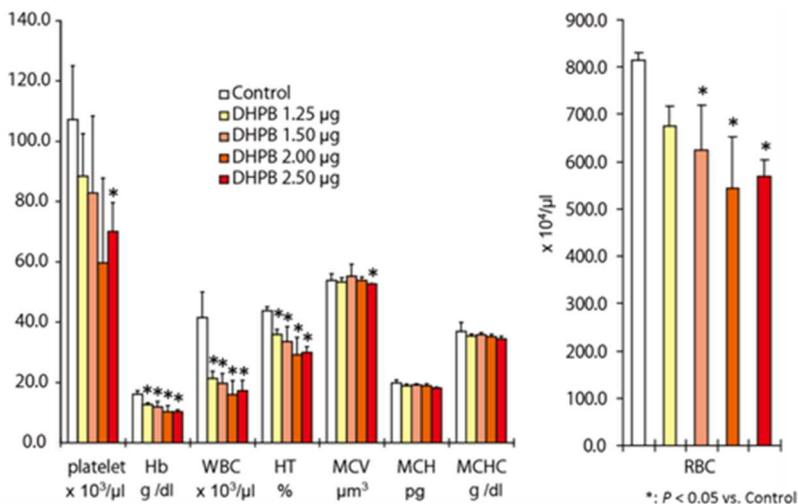


図 3-7 DHPB 塗布マウスの血液所見

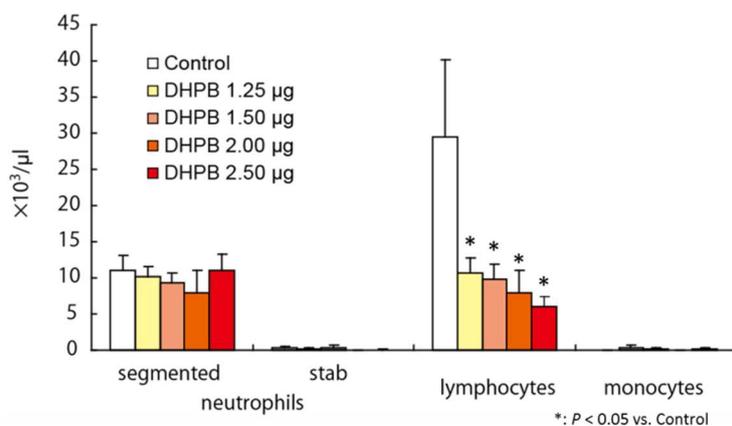


図 3-8 DHPB 塗布マウスの白血球分画

塗布開始から 4 週後のマウス血清の生化学検査結果を表 3-1 に示した。DHPB 群ではコントロール群に比べて血清アミラーゼ活性 (AMY) が有意に上昇していた。PMA 塗布群ではアミラーゼ活性の上昇は見られなかったことから、DHPB が特異的に膵臓あるいは唾液腺由来アミラーゼを誘導していることが示唆された。DHPB 群では血清中性脂肪 (TG)、血清グルコース (GLU) レベルも低下していたが、これは DHPB 群でのみ観察された摂餌量の減少に起因するものと考えられた。

表 3-1 ジャトロファ DHPB を投与したマウスの血清生化学検査結果

Test item	Control	DHPB	PMA
TP (g/dL)	4.4 ± 0.2	5.6 ± 0.7	4.4 ± 0.2
ALB (g/dL)	3.0 ± 0.1	3.7 ± 0.5	2.9 ± 0.1
BUN (mg/dL)	25.8 ± 2.5	24.7 ± 4.2	25.0 ± 3.6
CRE (mg/dL)	0.13 ± 0.01	0.15 ± 0.03	0.13 ± 0.01
Na (mEq/L)	148.0 ± 1.6	151.8 ± 4.2	149.0 ± 1.2
K (mEq/L)	6.9 ± 1.3	6.1 ± 1.1	5.6 ± 0.8
Cl (mEq/L)	111.2 ± 0.8	111.8 ± 3.4	113.0 ± 1.2
Ca (mg/dL)	8.5 ± 0.2	9.7 ± 0.4	8.4 ± 0.3
IP (mg/dL)	7.3 ± 0.8	7.5 ± 1.3	7.5 ± 1.0
AST (IU/L)	86.8 ± 48.2	104.8 ± 39.6	110.0 ± 36.3
ALT (IU/L)	20.4 ± 3.9	14.6 ± 3.5	22.0 ± 3.1
LDH (IU/L)	392.6 ± 133.7	413.4 ± 166.0	542.0 ± 221.8
AMY (IU/L)	2484.0 ± 433.0	5242.6 ± 932.8*	2244.8 ± 609.8
γ-GT (IU/L)	N.D.	N.D.	N.D.
T-CHO (mg/dL)	76.2 ± 14.7	143.0 ± 30.2	68.0 ± 5.9
TG (mg/dL)	152.2 ± 35.4	24.0 ± 6.1	94.8 ± 36.4
HDL-C (mg/dL)	37.4 ± 8.0	68.8 ± 13.6	32.8 ± 4.2
T-BIL (mg/dL)	0.06 ± 0.02	0.08 ± 0.04	0.06 ± 0.02
GLU (mg/dL)	178.0 ± 14.2	76.0 ± 17.6	186.0 ± 12.4

ジャトロファ DHPB の亜急性影響について検討するために、ジャトロファ DHPB 2.0 μg/匹で塗布したマウス血清中の炎症性サイトカインと脾臓組織中のサイトカイン mRNA を検討した(表 3-2)。その結果、各種血清中サイトカイン濃度は個体差が大きく、明確な増減傾向を示したサイトカインは認めなかった。脾臓サイトカイン mRNA 発現は、GM-CSF, IFN-γ, IL-6, LIX がジャトロファ DHPB 塗布群でコントロールに比べて 2 倍以上の上昇を示した。また、LIF, RANTES mRNA はジャトロファ DHPB 塗布群でコントロール群の 1/2 以下に低下した。亜急性影響での脾臓サイトカイン mRNA レベルの変動は、DHPB が免疫系に影響を与えている可能性を示唆していた。

パピローマ(乳頭腫)形成については、塗布 5 週間後に PMA 群(1.25 - 10 μg/匹)でのみ、塗布した箇所が発生が認められた個体があった。8 週目までの観察期間では、ジャトロファ DHPB, 陰性対照のマウスでパピローマ形成は観察されなかった。

表 3-2 ジャトロファ DHPB を投与したマウス血清各種サイトカインと脾臓の
サイトカイン mRNA 発現 (n = 3)

Cytokine	Serum Cytokine (pg/ml)		Splenic RNA Fold increase in DHPB group
	Control	DHPB 2.0µg	
Eotaxin	244.35 ± 58.06	177.71 ± 36.13	0.96 ± 0.27
G-CSF	221.76 ± 176.71	196.75 ± 107.72	1.00 ± 0.00
GM-CSF	39.95 ± 21.25	35.713 ± 23.03	2.30 ± 0.37
IFN-γ	7.48 ± 3.27	6.25 ± 0.90	2.46 ± 0.96
IL-1α	101.11 ± 75.49	32.21 ± 7.89	1.56 ± 0.23
M-CSF	28.54 ± 39.19	6.10 ± 3.45	0.79 ± 0.06
IL-1β	16.64	30.54	1.08 ± 0.03
IL-2	2.05 ± 0.66	N.D	0.80 ± 0.20
IL-3	2.97	2.13	0.77 ± 0.35
IL-4	8.56	N.D	0.92 ± 0.20
IL-5	15.62	N.D	0.76 ± 0.34
IL-6	N.D	N.D	2.49 ± 1.56
IL-7	2.99	4.94 ± 3.13	1.06 ± 0.12
IL-10	20.21 ± 11.27	20.21 ± 5.34	1.20 ± 0.22
IL-12 (p40)	62.66 ± 71.93	12.10	0.82 ± 0.13
IL-13	77.99 ± 14.90	115.90 ± 35.26	0.96 ± 0.03
IL-15	16.01 ± 12.17	15.73 ± 5.57	0.99 ± 0.09
IL-17	4.49	3.48 ± 0.54	1.82 ± 0.41
IP-10	93.65 ± 7.30	52.01 ± 14.57	1.21 ± 0.06
MIP-2	180.99	N.D	1.31 ± 0.54
KC	44.65 ± 21.74	48.67 ± 14.94	1.06 ± 0.41
LIF	N.D	N.D	0.43 ± 0.08
LIX	2513.64 ± 2230.60	754.25 ± 718.12	2.04 ± 0.70
MCP-1	15.59 ± 4.17	20.26 ± 13.07	0.69 ± 0.07
MIP-1α	27.19 ± 6.14	36.61 ± 8.43	0.91 ± 0.18
MIP-1β	53.03 ± 10.99	41.83 ± 4.72	0.57 ± 0.08
MIG	65.08 ± 18.28	38.78 ± 21.48	0.99 ± 0.14
RANTES	17.23 ± 4.27	8.37 ± 2.47	0.47 ± 0.04
TNFα	6.03 ± 3.44	5.10 ± 3.41	0.61 ± 0.19
IL-12 (p70)	49.93 ± 57.59	9.93 ± 1.03	0.82 ± 0.13
VEGF	1.98 ± 0.25	2.34 ± 0.51	0.90 ± 0.17
IL-9	110.43 ± 42.80	139.89 ± 32.87	0.97 ± 0.05

【慢性毒性実験】

PMA, DHPB に加えてクルードオイルと BDF 塗布群も加えて慢性毒性実験を行い、パピローマの発生及び生涯暴露影響を観察した。1.5 年飼育の予備実験では、雄は長期飼育によってファイティングのために皮膚に傷が多く発生して評価が困難であったために、本実験では雌性 ICR マウスを使用した。塗布濃度は、亜急性塗布実験で 2.5 µg/匹以上の濃度で死亡例が見られることから、最大塗布量を 2.5 µg/匹とし 0~2.5 µg/匹まで 4~5 段階の濃度で評価を行った。慢性毒性の指標は前述した Hirota らの報告に合わせ、エンドポイントをパピローマの初発時間と個数及び生存率として評価した。8 週齢の雌 ICR マウス背部を除毛後に、イニシエーターの DMBA を 10 µg/匹で塗布し、その 1 週間後から DHPB (29 週まで 2 µg/匹、30 週以降 5 µg/匹)、クルードオイル原液又は BDF 原液 (200mg/匹) を 2 回/週で塗布した。コントロール群は、試料の溶解溶媒であるメタノールを、陽性対照としては PMA (2 µg/匹) を用いた。塗布部分には、試料を動物が経口摂取しないように皮膚手術用テープを貼付した。動物は、1 群 4-5 匹とし、実験群の動物が全匹死亡するまで経過観察を行った。結果を表 3-3 に示す。パピローマが発生するまでの日数及びパピローマ数は、PMA > BDF > Crude oil > DHPB の順であり、発生までの日数とパピローマ数の結果は概ね一致していた。パピローマ発生までの一日あたりの塗布量は、DHPB, PMA, Crude oil, BDF の順で大となり、DHPB が最も少量でパピローマを発生させるリスクが高かった。HPLC 法では BDF 中に DHPB を検出

しなかったが、パピローマの発生を認めたため、この点についてはさらに詳細な検討が必要であり、今後の課題である。急性毒性で死亡しなかった DHPB 2.5 µg/匹以下の長期暴露動物の血清生化学検査では、DHPB 急性暴露マウスで上昇したアミラーゼ活性の上昇は見られず、TG や GLU の低下も見られなかった。

表 3-3 ジャトロファ種子及びその副産物の動物を用いた試験結果

	Experimental days to papilloma appearance (days)	Cumulative amount to papilloma (µg/day/g body weight)	DHPB equivalent (µg/day/g body weight)	Number of papilloma (/mouse)
PMA	53.0±26.2	0.0144±0.0009	-	13.0±2.8
DHPB	221.3±38.5	0.0118±0.0008	-	2.3±1.5
Crude oil	170.6±60.5	1, 111.8±121.2	0.0296±0.0032	2.6±1.5
BDF	113.7±78.1	1, 558.3±184.1	N.D. by HPLC	5.0±1.7

	Experimental days to die (days)	Cumulative amount to die (µg/day/g body weight)	DHPB equivalent (µg/day/g body weight)	LD50 (µg/day/g body weight)	DHPB equivalent (µg/day/g body weight)
PMA	268.0±73.5	0.0102±0.0004	-	0.0103	-
DHPB	283.8±113.1	0.0140±0.0024	-	0.0152	-
Crude oil	386.6±76.1	1, 235.7±636.8	0.0329±0.0169	971.7	0.0259
BDF	376.0±43.2	1, 253.4±67.7	N.D. by HPLC	1278.0	N.D. by HPLC

以上の結果から、ジャトロファホルボール類の急性障害は、消化器系への影響に起因した体重減少によるものであり、慢性影響はパピローマ発生に伴う生存率の低下であることが示された。本研究に用いた種子に含まれる DHPB 濃度は 14.20~32.33 µg/g seed(無毒種を除く)であり、種子 1 個の重量が 0.3~0.4 g であることを考慮すると、動物で観察された亜急性および慢性影響を引き起こした DHPB の濃度は、実際にヒトがクルードオイルなどを使用する際に、経皮経路等によって暴露可能な濃度であることから、ジャトロファ種子やクルードオイルを用いる際のリスク管理が重要であることが示唆された。

◆ジャトロファ搾油残渣とその燃焼産物由来ホルボールエステル類の検出と定量

ジャトロファ搾油残渣にはホルボールエステル類が残留しているため、難熱分解性のホルボールエステルが含まれていた場合、燃焼によって大気中に拡散する可能性がある。そこで、ジャトロファ搾油残渣等の副産物を燃焼させた際のホルボールエステル類の挙動を探るため、燃焼実験を行った。初めに、モザンビークで搾油残渣などを燃料として使用することを想定した実験系での条件について予備実験を行った。試験燃料としては搾油残渣、ジャトロファ固形燃料のペレット(東大より提供)と、陰性対照として木片、ジャトロファ種子外殻を、また陽性対照として木片に既知量の DHPB を染み込ませたものを用いて実験を行った。ドラフトチャンバー内で、一定条件下でサンプルを燃焼させ、個人曝露量測定用ミニポンプ(PM10 捕集用インレット：流量 2.5 L/min)にテフロン製フィルタをセットして完全燃焼するまで 30 分間捕集した。燃焼産物(灰)及び捕集フィルタは重量を測定後にメタノール抽出を行い、抽出溶媒を濃縮後に HPLC 法で測定した(表 3-4)。

表 3-4 ジャトロファオイル副産物の燃焼産物からの DHPB の検出

	燃焼前 重量 (g)	燃焼前 DHPB 濃度 ($\mu\text{g/g}$)	燃焼前 試料中 DHPB 量 (μg)	燃焼後 (灰) 重量 (g)	灰に含まれ る DHPB 濃度 ($\mu\text{g/g ash}$)	捕集 重量 (μg)	捕集重量 中の DHPB 濃度 ($\mu\text{g/g}$ particle)
コントロール (木片)	56.50	N. D.	0	9.06	N. D.	77.67	N. D.
ジャトロファ外殻	260.11	N. D.	0	-	N. D.	151.00	N. D.
コントロール+DHPB	30.35	3.29	100	1.60	N. D.	57.50	N. D.
搾油残渣 (ミャンマー産)	30.47	0.64	19.50	6.00	N. D.	1, 178.33	N. D.
搾油残渣 (東大より分与)	30.05	1.00	30.05	13.90	N. D.	276.50	N. D.
ペレット (東大より分与)	39.44	0.17	6.70	2.45	N. D.	889.17	N. D.

陰性対照(木片)とジャトロファ外殻を除いた燃焼前の全てのサンプルで DHPB が検出された。燃焼後、表 3-4 に示すように本実験条件下では、全ての試験試料で DHPB は検出されなかった。大気中への放出量については、平成 27 年 8 月にモザンビーク側のカウンターパートが、ハイボリウムサンプラー及び個人曝露量測定用ミニポンプを用いて現地で実験を行った。大気中排出量は、ハイボリウムサンプラーの流量 500L/min で、完全燃焼するまで捕集した。捕集量及び灰重量を測定後に、試料中のホルボールエステル類をメタノール抽出して、HPLC 法で測定した。その結果、大気中の煤煙と灰からはホルボールエステルは検出されなかった。現地での測定結果から、モザンビーク産ジャトロファオイル残渣の燃焼による煤煙や燃焼産物の灰中には、HPLC 法で検出可能なレベルのホルボールエステル類は含まれていないことが示唆された。

④カウンターパートへの技術移転の状況

平成 25～26 年は、機材の設置・作動確認及び測定技術供与をモザンビーク現地およびインターネットを介して行った。平成 26 年度はカウンターパート先の校舎改築に伴う研究室移転のため、機器類を一時倉庫に保管したため、現地での技術指導はできなかった。26 年 12 月下旬に、理学部以外の研究室に機器類を再設置し、2 月上旬からカウンターパート先のスタッフが、久留米大スタッフの指示に従って HPLC の作動確認を行った。平成 27 年に、理学部のスタッフが育種しているフィールドまで出かけて測定用のジャトロファ種子を採取したと報告を受けたため、モザンビーク産ジャトロファ種子のホルボールエステル含量を日本(KU)とモザンビーク(UEM)において HPLC 法で測定して結果を比較した。結果を表 3-5 に示す。UEM においても正確に測定されているサンプルもあるが、中には KU で確認測定した値の 50%に満たない試料もあった。これは主に技術的な問題、特に種子の破碎から溶媒抽出にかけての手技の問題であると考えられるため、手順の習熟による改善が期待される。

表 3-5 UEM と KU で測定した同一種子の DHPB 濃度の比較

Jatropha seed ID	Sample	UEM	KU	UEM/KU
		µg/g sample	µg/g sample	
455	Outer skin	ND	ND	-
	Seed + Inner skin	23.4 ± 2.2	48.7 ± 2.0	0.48
	Inner skin	164.7 ± 25.3	184.8 ± 16.2	0.89
	Naked seed	14.2 ± 2.1	38.2 ± 2.9	0.37
440	Outer skin	ND	ND	-
	Seed + Inner skin	19.5 ± 4.0	41.8 ± 3.5	0.47
	Inner skin	156.5 ± 26.4	154.9 ± 27.5	1.01
	Naked seed	17.1 ± 2.4	28.0 ± 5.9	0.61
245	Outer skin	ND	ND	-
	Seed + Inner skin	23.0 ± 4.5	64.2 ± 33.9	0.36
	Inner skin	158.7 ± 44.4	142.9 ± 22.1	1.11
	Naked seed	17.9 ± 8.2	38.3 ± 11.2	0.47
1206	Outer skin	ND	ND	-
	Seed + Inner skin	35.0 ± 6.0	59.2 ± 6.2	0.59
	Inner skin	114.2 ± 33.0	196.9 ± 30.0	0.58
	Naked seed	28.9 ± 1.9	37.5 ± 19.5	0.77
434	Outer skin	ND	ND	-
	Seed + Inner skin	23.2 ± 2.4	37.7 ± 4.8	0.62
	Inner skin	86.0 ± 15.6	150.7 ± 14.9	0.57
	Naked seed	28.0 ± 2.6	35.9 ± 3.7	0.78
1276	Outer skin	ND	ND	-
	Seed + Inner skin	27.1 ± 1.7	33.3 ± 3.6	0.81
	Inner skin	105.5 ± 4.7	181.9 ± 43.1	0.58
	Naked seed	17.2 ± 0.4	27.3 ± 4.2	0.63

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

カウンターパートリーダーが平成 26 年 3 月頃よりモザンビークを離れ、長期間不在となり、校舎改築工事や大統領選挙等もあって 1 年近く保管機材を動かすことができなかった。さらに、技術供与を行った理学部のスタッフの他国への留学などが重なり、技術供与した理学部スタッフが研究を継続できない状況が続いた。また、カウンターパートである理学部に設置した機器類が、改修工事の遅れなどによって初めに設置した理学部に再設置されず、教育学部に設置されたため、暫くの間、使用できる機器が限定された。平成 27 年 8 月に久留米大スタッフが再訪した際に、教育学部で機材のメンテナンスを行い、同時に購入状態のまま保管されていた蒸留水製造装置等を組み立てて設置し、問題なく運用できることを確認後にカウンターパートに使用法とメンテナンスについて指導した。現在、試料抽出や HPLC 測定時に必要不可欠な蒸留水を輸入することなく、実験研究が継続可能な状況下にある。

(5) 研究題目 4 環境影響評価

①研究のねらい

バイオ燃料の持続的生産では、環境への影響に対する特段の配慮が必要である。人為的な活動の結果生ずる環境影響を定量的な指標で把握することにより、環境負荷の要因を探り、より環境負荷の少ないプロセス開発の可能性検討を可能とすることを旨とする。

②研究実施方法

②-1 LCAによるエネルギー収支と温室効果ガス排出量の評価

あらゆる人為的活動では、自然環境から必要な資源を獲得して生産・消費などを行い、これらの活動の結果生じた排出物を適切に処理し、最終的に負荷物質を自然環境に排出する。換言すると、ある決まった人為的活動の環境への影響とは、自然環境からどれだけ多くの資源を調達し、活動の結果どれだけ多くの負荷物質を自然環境に排出するかということと定義される。人為的な活動の結果生ずる環境影響を系統的に評価するには、ライフサイクルアセスメント(LCA)手法が最善の方法と思われる。LCA 評価には、人為的活動を規定し、人為的システムと周辺環境との境界をまたぐ資源の投入量と、環境への負荷物質の排出量の把握が必要である。このために、開発目的と整合した評価システムモデルを構築し、システムモデルと環境との境界における資源と負荷物質の移動量を求める。求めたこの移動量を、対照システムまたは異なるシステム選択肢の間で比較し、より環境影響の小さな(資源投入量および負荷物質の排出量がより少ない)システム選択の根拠とする。LCA 評価は、原理は簡潔であるが、評価の過程で膨大な数のデータを取り扱うので通常、評価支援ツールを用いる。研究では評価の枠組みを検討し、支援ツールを選択した。次に、選択した LCA 評価支援ツールを用い、主に公開情報を基に評価の試行を通して評価基盤を確立した。次に栽培、利用の開発現場から得られた技術成果を基に評価システムを構築し、資源投入量、負荷排出量を求め環境影響を評価した。

エネルギー側面から見た本プロジェクトの本質は、化石エネルギーに代わる再生可能なバイオマスのエネルギー利用であり、環境からの資源投入に関しては、特に化石エネルギー資源に焦点を当てた。バイオマスの生産、変換、利用の各過程で直接、間接的に要する石炭、石油、天然ガス等の化石エネルギー資源をそれぞれの発熱量(MJ/kg)で重みづけして合算し、システムのアウトプットであるバイオマス起源のエネルギー量と比較した。求めた化石エネルギー収支比は、利用可能なバイオマス起源エネルギーの環境適合度(グリーン度)を表す指標と言える。

$$\text{化石エネルギー収支比} = E_{Bout} / E_{Fin}$$

ここで E_{Bout} : システムからのバイオマス起源のエネルギーアウトプット [MJ]

E_{Fin} : システムへの化石エネルギー資源投入量 [MJ]

システムのエネルギー評価に関し、特にカウンターパートからマニュアル労働を考慮したいという強い希望が出された。これは、機械を使用するより人手にたよる作業のウエートが大きい途上国の事情を評価に反映したいという理由である。労働の評価は複数の国連機関(FAO, WHO, UNU)が協力してとりまとめた人間活動と栄養摂取量についての報告¹⁾をもとに行った。

1) Human Energy Requirements, Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Cnsultation, Rome 17-24 Octo. (2001)

一方、環境への排出については、化石燃料消費と表裏一体の関係にある温室効果ガス(GHG)に焦点をあてた。各種 GHG を温暖化ポテンシャル(GWP:Global Warming Potential)で重みづけして合算し、対照システムである化石エネルギーシステムと比較、または異なるシステム選択肢の間で比較した。GHG 削減率は次式により求めた。

$$\text{GHG 削減率} = 1 - GHG_S / GHG_R$$

ここで GHG_R : 比較システムの GHG 排出量 [kg-CO2 equivalent]

GHG_S : 評価システムの GHG 排出量 [kg-CO2 equivalent]

なお、評価の詳細な設定条件等については別添 UT-1 を参照願います。

②-2 土地利用転換に伴う環境影響評価

土地利用転換に伴う環境影響評価については、モザンビークにて土壌サンプリングおよび土壌有機炭素の分析を実施するとともに、土地利用転換(既存植生からジャトロファ植生)に伴う二酸化炭素排出量の定量的な評価を行った。研究のフローを図 4-1 に示す。



図 4-1 土地利用転換に伴う環境影響評価に関する研究のフロー

②-3 JCM 事業化の検討

JCM 事業化の検討については、他のグループからの事業シナリオに関する情報を得て、JCM 事業実施において必要な排出削減量算定のための方法論および PDD(プロジェクト設計書)の作成を行った。

③当初の計画(全体計画)に対する成果目標の達成状況とインパクト

③-1 LCA によるエネルギー収支と温室効果ガス排出量の評価

1) 評価枠組みの検討とデータ収集

バイオ燃料システムの LCA について、既往の研究を調査した。これら先行事例を参考にモザンビーク側との協議を通して、評価の基本的枠組みについて認識を共有した。また、LCA 支援ツールとして GaBi6 を選定した。理由は、①国際的に最も広く用いられているツールのひとつである。②データの相互交換が比較的容易で、同じ評価基盤を日本とモザンビークに構築すれば、地理的制約を受けずにデータ交換を通して具体的数値に基づく検討が双方で可能である。③評価の実施支援にとどまらず、調査・収集したデータのアーカイブ機能にも優れている。④各種プロセスをモジュールデータとして保存し、その組み合わせで様々な異なるシステムの検討が容易に出来るなど発展性に優れている。⑤既に、東京大学で使用実績があり、東京大学で蓄積した経験を最大限にモザンビーク側に移管できることなどである。

次に評価基盤整備の一環として、モザンビークのエネルギー供給事情のほかジャトロファの栽培、収穫、変換、利用等に関する公開情報を広く収集し、これらの情報を GaBi6 で使用可能なデータ形式に変換しプロセスデータとして蓄積した。情報の収集・整理を通して、ジャトロファの栽培は未だ歴史が浅く、施肥や栽培密度などの栽培方法や種子生産性が情報源により大きく異なることを再認識させられた。また、変換・利用に関する公開情報も実験室レベルの域を出ないものがほとんどであった。そこで、要素プロセスへのエネ

ルギーや資材の投入量，プロセスからの出力（製品や中間製品，副産物，廃棄物など）量を規定する諸因子を可変パラメータとして取扱い，プロセスデータのデフォルト構造を変更することなく，パラメータ値を単独でまたは関連パラメータを複数同時に変えられるようにし，評価システムのモデリングの自由度を大きくした。図 4-2 に可変パラメータを組み込んだ要素プロセス設定の例を示した。図 4-2 はジャトロファ栽培工程の一例で，施肥量，各種肥料の肥効成分量，ジャトロファの面積当たりの植え付け密度，ジャトロファ一本あたりの種子の収量などを可変パラメータとし，設定した各種パラメータに対応して最終的に肥料製品の投入量をプロセスへのインプット，ジャトロファ種子の生産量をプロセスからのアウトプット情報として可変パラメータを含む算出ロジックにより導き出すものである。これらの要素プロセスをモジュールとして組み合わせることによりジャトロファを出発原料とする様々なバイオ燃料生産・変換・利用システムの検討・評価を可能にした。

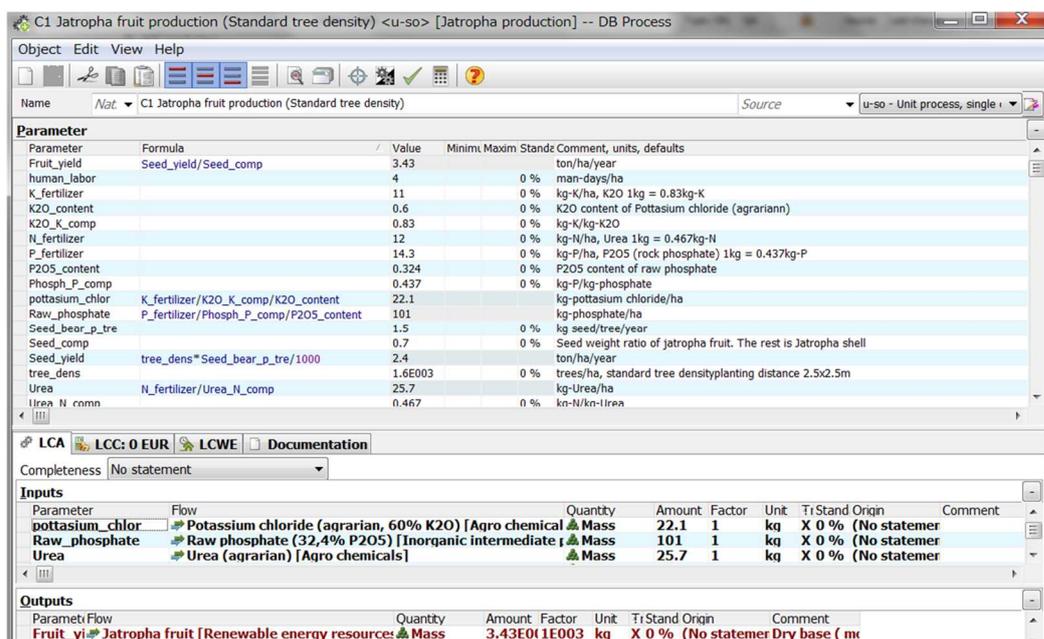


図 4-2 要素プロセスの設定(ジャトロファ栽培工程の一例)

2) シナリオ評価による評価方式の検討

構築した要素プロセスデータベースを実際にバイオ燃料システム評価に用いる目的で，英国の RTFO (Renewable Transport Fuels Obligation) のジャトロファバイオ燃料システムなどの公開情報をベースに栽培・変換・利用の各種シナリオを設定し，エネルギーや GHG バランス評価に伴う課題の検討を行った。具体的には，副産物の評価方法，環境負荷削減の方法としての副産物や排出物の有効利用，人手による労働に伴うエネルギー評価などである。検討結果は GaBi6 にデータベースとして保存し，今後，UEM 独自に類似点を有するシステム評価に応用できるようにした。またデータベースの他に，具体的な対処手順を英文マニュアルにとりまとめ電子ファイルの形で提供した。

3) プロジェクト成果に基づく評価

ジャトロファ由来の代替エネルギーシステムの開発成果に基づき社会実装を想定して評価システムを構築し，LCA 手法に準拠して環境影響を評価した。ポアネ試験圃場における育種・栽培実験の成果の提供を受けた。また，搾油や，粗油の精製については UEM 工学部の実験データを，精製した粗油(ジャトロファクルードオイル;JCO)の利用については金沢工業大学と UEM 工学部で得られた知見を用いた。これらの他に，不足しているプロセス設定条件については技術文献を主とする公開情報と開発担当の専門家からの意見聴取を基に設

定した。

a) 社会実装シナリオ

評価対象システムは、モザンビーク遠隔地の無電化村にてバイオ燃料を用いてディーゼルエンジン駆動発電機で発電、電力を供給するというものである。無電化村での小規模分散型発電システムによる電力供給を選択した理由は次の通りである。モザンビーク南部諸州の平均電化率は50%と比較的高いが、中北部諸州の電化率は平均で14%と極めて低い。(JICA Press release: http://www.jica.go.jp/press/2015/20150420_01.html) カウンターパートのマスダ氏は、UEMの社会人 PhD コースに在籍すると同時に、モザンビーク電力供給公社(EDM: Electrocidade de Mozambique)の技術者でもある。彼は EDM で遠隔無電化村の電化推進計画に従事した経験もあり、特に中・北部での送電網の敷設は、内陸の大型(水力)発電所から大消費地の沿岸都市部への送電を目的としたものである。広大な土地に少ない人口の集落が分散している遠隔無電化村での送電ネットワークの整備は、優先順位が低く、事業採算性の理由で当面実現する見込みはない。彼が研究している遠隔無電化地域を最終的に広域送電網による電力サービスに組み入れるための段階的シナリオは次のようなものである。①小規模分散型電力供給システムで村人に電線を通して最小限の電力サービスを開始する。最小限とは、夜間照明、携帯電話の充電、医薬品の冷蔵保存などである。エネルギー源は地域で得られるバイオマスを含む再生可能エネルギーである。②次に隣接する小規模分散型電力サービス地域相互を送電線で結び、小規模電力供給クラスターを形成する。接続によって、電力の供給安定性が改善される。③小規模電力供給クラスター相互を送電線で結び、クラスター群を作ってゆく。④最終的に比較的大容量のクラスター群を広域送電網に接続し無電化地域の解消をはかる。このようにして、広域電線網へ接続の経済合理性を少しでも高めてゆく。

b) バイオ燃料と比較システムの概要

ジャトロファは、村で農業生産に使われていない土地または農牧地の境界にフェンス(hedge-row)として植える。従って、新たな土地の開墾等は考慮しない。施肥や収穫、集荷は手作業で行う。集荷した種子は人力器械で殻を分離し、殻は脱ガム工程の熱源として利用する。殻分離後の種子は、人力によって搾油し、粗油と搾油残渣を得る。粗油はろ過した後、温水を加え80℃で脱ガム処理を施す。洗浄後は静置し、油相と不純物を含む水相を相分離により分ける。油相に含まれる微量の水分を加熱除去してJCOを得る。JCOは軽油と混合し、ディーゼルエンジンの燃料とする。混合油の混合比率は、容量比でJCO60%、軽油40%である。

軽油の遠隔無電化村への供給は次の通りである。南アフリカの製油所で生産した軽油はモザンビークへ陸上輸送する。輸送は次の3段階で設定した。まず、南アから大型タンクローリーでモザンビークの首都圏へ輸送、次に小型ローリーに積替え沿岸部の中核都市へ輸送、ここから最終目的地へは小型トラックで運搬する。各区間の道路状況、平均輸送速度等から燃料消費量、排ガス量を求めた。輸送用燃料は100%軽油である。JCOは無電化村で生産されるので、輸送の環境負荷は考慮しない。

JCOに限らずバイオ起源の燃料は酸化などにより経時的な劣化の影響を受けやすいという特徴がある。従って、内燃機関での利用に際しては、燃料の品質管理が重要になる。小型分散型発電機のような定置式システムでは、品質管理が可能であり、品質管理と定期的な内燃機関のメンテナンス組合せることにより問題解決が図られるとした。

c) 評価結果

(c-1) 栽培試験の評価

日本植物燃料が同社フィリピンの圃場で世界中から集めた約7000種のジャトロファサンプルを選抜育種、交配育種して選抜したものをボアネ圃場に持ち込み育種したプロジェクト種が、モザンビーク国内から収集したものをベースに育種した在来種に比べて高い生産性が得られた。この結果を基に、栽培～収穫～殻分離～搾油～脱ガムを経て同じ発熱量

の JCO を得るシステムを設定し、GHG 排出量をプロジェクト種と在来種で比較評価した。発熱量 1000MJ 相当の JCO 供給に対応する GHG 排出量は、プロジェクト種の 3.306kg-CO2 eq. に対し、在来種では 8.926 kg-CO2 eq. であった。栽培から JCO 生産に至るプロセスの GHG 削減率は 63.0%であった。参考までにこのシステムの発熱量で集計した化石エネルギー資源投入量はプロジェクト種で 60.97MJ、在来種で 164.61MJ と、いずれも 1000MJ のシステムのアウトプットを大きく下回っており、バイオ燃料の生産・利用が化石エネルギー資源の利用抑止の観点からも有効であることが示された。栽培から搾油に至る工程で要する労働のエネルギーは、プロジェクト種で 70.4MJ、在来種で 64.4MJ と化石エネルギー資源投入量と比較して無視できる量ではないが、バイオ燃料利用の意義を覆すようなものではなかった。

(c-2) 遠隔地におけるディーゼル燃料の供給

JCO をディーゼル燃料として利用する研究で、JCO と軽油の混合油であればディーゼルエンジンに改良を加えなくても利用可能という結果が得られた。そこで、JCO/軽油の混合油と 100%軽油をディーゼル燃料として遠隔地の無電化村で供給するまでの環境負荷を比較評価した。混合油の軽油は、100%軽油と全く同じプロセスを経て現地で供給されるものとした。結果評価を簡潔にするために、供給システムのアウトプットは燃料 1MJ 相当とした。なお、JCO はプロジェクト種と在来種の両方を出発原料とし、3 種類のシステムを評価対象とした。評価結果を表 4-1 にまとめて示す。JCO 混合油の化石エネルギー収支比は 40%相当分の軽油の生産、輸送を考慮しても、バイオ燃料起源のポーションでプロジェクト種を出発原料とした場合 0.497MJ、モザンビーク在来種を用いた場合も 0.56MJ で化石資源の使用抑止に効果的である。GHG 排出量に関し、システムは供給までであり、軽油の輸送に伴うディーゼル輸送燃料の燃焼に伴う GHG 排出は表 4-1 の結果には含まれるが、輸送した燃料の遠隔地での使用(燃焼)に伴うオンサイトでの GHG 排出は含まれていない。

表 4-1 遠隔地におけるディーゼル燃料の供給(供給燃料 1MJ 当り)

供給システム	化石エネルギー資源投入量	GHG 排出量
100%軽油	1.18 MJ	14g-CO2 eq.
60%JCO 混合油(プロジェクト種)	0.497 MJ	8g-CO2 eq.
60%JCO 混合油(MZ 在来種)	0.56 MJ	11g-CO2 eq.

(c-3) 遠隔無電化村におけるディーゼル発電機による電力供給の環境影響評価

最後の今回の評価シナリオの最終目標であるモザンビーク中・北部の遠隔地にある無電化村への電力供給サービスの評価を行った。評価システムは栽培～搾油～精製(脱ガム)～軽油との混合～ディーゼル発電機による発電・供給である。比較対照システムは 100%軽油を燃料とする発電である。システムのアウトプットは電力 1kWh(3.6MJ)とした。結果を表 4-2 に示す。軽油発電に対する発電電力量当たりの GHG 削減率は 50.9%(プロジェクト種)と、環境影響削減効果は明白である。

表 4-2 遠隔地無電化村におけるディーゼル発電機による電力供給(電力 1kWh 当り)

発電燃料	化石エネルギー資源投入量	GHG 排出量
100%軽油	15.722 MJ	0.289 kg-CO2 eq.
60%JCO 混合油(プロジェクト種)	6.629 MJ	0.142 kg-CO2 eq.
60%JCO 混合油(MZ 在来種)	7.470 MJ	0.188 kg-CO2 eq.

以上、本プロジェクトの有効性が環境影響評価の観点からも明らかになった。

③-2 土地利用転換に伴う環境影響評価

土地利用転換に伴う環境影響評価については、以下の研究を実施した。

1) データ収集

炭素貯蔵量に関し、IPCC等の国際的なデータ(主に”2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”)およびモザンビークにおける既往の研究について収集、整理した。モザンビークにおける土壌炭素等のデータは限定的であるが、共同研究者であるUEM農学部による天然林、その他の森林、農地における研究例があり、これらの土壌炭素、地上部/地下部バイオマス、落葉落枝の炭素蓄積量のデータが得られた(表4-3)。

表 4-3 モザンビークにおける土壌炭素等に関するデータ*1 (tC/ha)

	SOC	AGB & BGB	L&DW	Total
Natural forest (dense)	93.4	60.57	4.57	158.54
Natural forest (open)	74.93	54.04	4.09	133.06
Other forest	75.98	22.95	1.44	100.37
Agricultural land	60.26	0.00	2.03	62.29

2) 炭素貯蔵量変化の評価方法の検討

土地利用転換による炭素貯蔵量の変化については、IPCCガイドライン²やBio Carbon Fund資料³を参考に、下式により土地利用転換に伴うCO₂放出量を算定することとした。

$$\begin{aligned}
 PE_{luc,y} &= -(\Delta C_{LB} + \Delta C_{soil}) \times 44/12 \\
 &= -((C_{LB_bl} + C_{soil_bl}) - (C_{LB_pj} + C_{soil_pj}))/20 \times 44/12 \\
 C_{LB_pj} &= C_{AGB_pj} + C_{BGB_pj} + C_{LDW_pj} \\
 C_{LB_bl} &= C_{AGB_bl} + C_{BGB_bl} + C_{LDW_bl} \\
 C_{soil_bl} &= SOC_{REF} \times F_{LU(bl)} \times F_{MG(bl)} \times F_{I(bl)} \\
 C_{soil_pj} &= SOC_{REF} \times F_{LU(pj)} \times F_{MG(pj)} \times F_{I(pj)}
 \end{aligned}$$

$PE_{luc,y}$: Total CO₂ emission from land use change from previous land use to jatropa plantation (tCO₂/ha/year)

ΔC_{LB} : Change in carbon stocks in living biomass in previous land use converted to jatropa plantation (tC/ha/year)

ΔC_{soil} : Change in carbon stocks in soil in previous land use converted to jatropa plantation (tC/yr)

C_{LB_pj} : Carbon stocks in biomass of jatropa plantation (tC/ha)

C_{AGB_pj} : Carbon stock of above ground biomass of jatropa (tC/ha)

C_{BGB_pj} : Carbon stock of below ground biomass of jatropa (tC/ha)

C_{LDW_pj} : Carbon stock of litter and dead wood of jatropa (tC/ha)

C_{LB_bl} : Carbon stocks in biomass of previous land use (tC/ha)

C_{AGB_bl} : Carbon stock of above ground biomass of previous land use (tC/ha)

¹ Mavie, Eusébio Boaventura, Estimativas de Perdas de Carbono Associadas com Mudanças da Cobertura Florestal, Univeridade Eduardo Mondolane, 2012. Floriana Armindo Tomo, Estimativas de Stock de Carbono Nas Florestas de Miombo em Gondola, Univeridade Eduardo Mondolane, 2012

² IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories.

³ Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. Timothy Pearson, Sarah Walker and Sandra Brown. Bio Carbon Fund and Winrock International, 2005.

- C_{BGB_bl} : Carbon stock of below ground biomass of previous land use (tC/ha)
- C_{LDW_bl} : Carbon stock of litter and dead wood of previous land use (tC/ha)
- C_{soil_pj} : Soil organic carbon stock of jatropha plantation (tC/ha)
- C_{soil_bl} : Soil organic carbon stock of previous land use (tC/ha)
- SOC_{REF} : The reference carbon stock (tC/ha)
- $F_{LU(pj)}$: Stock change factor for land use or land-use change type in the last year of the target time period
- $F_{MG(pj)}$: Stock change factor for management regime in the last year of the target time period
- $F_{I(pj)}$: Stock change factor for input of organic matter in the last year of the target time period
- $F_{LU(bl)}$: Stock change factor for land use or land-use change type at the beginning of the target time period
- $F_{MG(bl)}$: Stock change factor for management regime at the beginning of the target time period
- $F_{I(bl)}$: Stock change factor for input of organic matter at the beginning of the target time period

3) 土壌サンプリング

土壌サンプリングの方法については，“Methods for Inventory of Soil Organic Carbon(森林総合研究所，2009)” および UEM で実施されている方法等を比較した上で，基本的に UEM の手法により実施した。土壌サンプリングは，モザンビークの試験栽培地(ボアネ)で継続的に実施するとともに，既存のジャトロファ植生(チモイオ)においても比較のために行い，これらの土壌中の有機炭素含有量を定量化した。土壌サンプリングの実施概要は以下のとおりである。

□試験栽培地(ボアネ)

日程	合計 3 回 H. 25/7/6 : 栽培開始後 8 か月 H. 26/6/9 : 栽培開始後 19 か月 H. 27/7/31 : 栽培開始後 32 か月
場所	ボアネ試験栽培圃場
サンプリング地点	ジャトロファ植生 : 2 地点 (A1028 および A1040) (0-5cm, 5-15cm, 15-30cm) ベースライン植生(草地) : 1 地点 (0-5cm, 5-15cm, 15-30cm)
サンプリング方法	土壌サンプラーによる採取 (AMS 社製ソイルオーガーおよび UEM 使用サンプラー)



□チモイオ

日程	H. 25/7/8
場所	Galp 社ジャトロファ農場(チモイオ)
サンプリング地点	ジャトロファ植生(16年) : 2 地点(0-5cm, 5-15cm, 15-30cm) ベースライン植生(草地) : 1 地点(0-5cm, 5-15cm, 15-30cm)
サンプリング方法	土壌サンプラーによる採取(AMS 社製ソイルオーガー使用)




4) 土壌炭素分析

モザンビークのジャトロファ植生の土壌炭素の特徴を定量的に把握するとともに、土地利用変化に伴う CO₂ 放出量の評価を行うために、土壌中の有機炭素含有量を定量化した。分析は、UEM の土壌分析研究室で行った。本研究室では、分析方法は Walkley Black Method を適用している。

図 4-3 に、土壌有機炭素の鉛直分布および土壌有機炭素蓄積量(0-30cm)を示す。有機炭素蓄積量は鉛直方向に大きな差異はみられない。平成 26 年および 27 年の結果は 25 年と比べて土壌有機炭素量が大きい傾向にある。また、図 4-5 に図 4-3 の結果から算定された、地表 0-30cm における土壌中の有機炭素の蓄積量を示す。ボアネにおける蓄積量は 25-35t/ha 程度とかなり小さい。

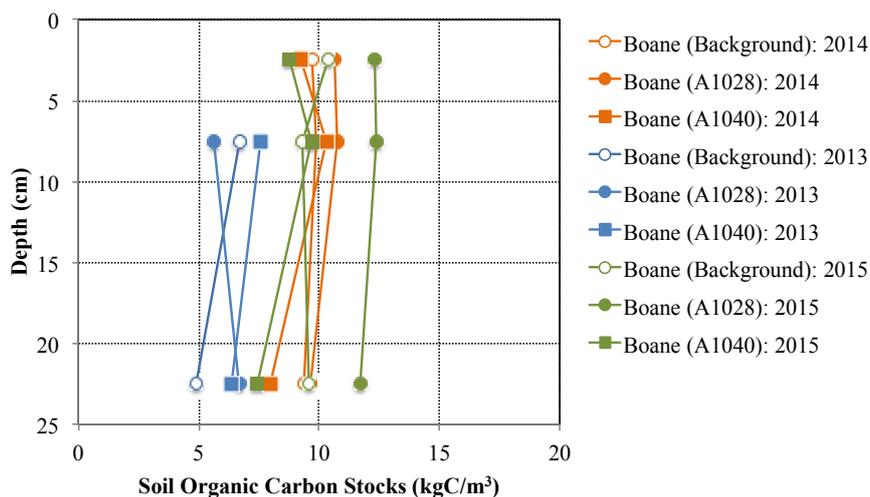


図 4-3 試験栽培地(Boane)における土壌有機炭素量の鉛直分布および土壌有機炭素量

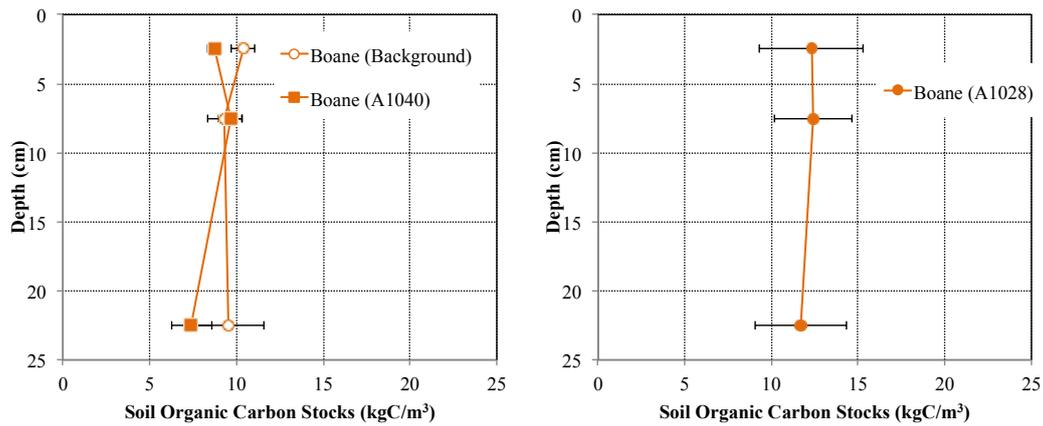


図 4-4 試験栽培地(Boane)における土壌有機炭素量の鉛直分布の誤差
(横棒：各サンプルについて 3 回の分析の標準偏差)

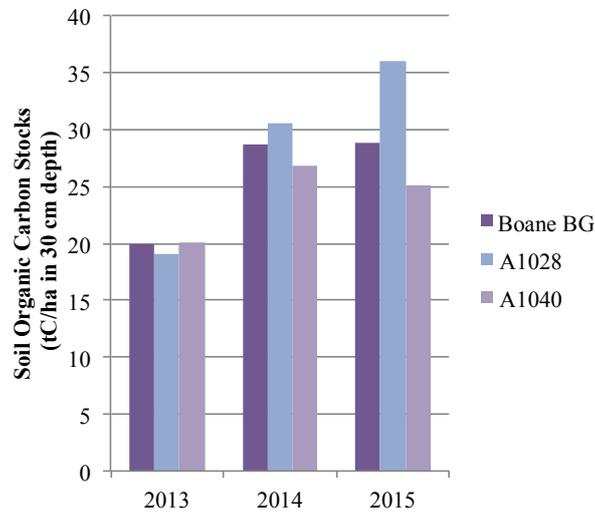


図 4-5 試験栽培地(Boane)における土壌有機炭素蓄積量(0-30cm)

図 4-6 に、ボアネおよびチモイオにおける土壌有機炭素の鉛直分布を示す(平成 25 年実施)。ボアネ試験圃場では有機炭素蓄積量は鉛直方向に大きな差異はみられない。一方で、栽培開始後 16 年を経過した成熟したジャトロファ植生であるチモイオでは、表層近くで有機炭素蓄積量が高い傾向にある。なお、両地点ともバックグランドとジャトロファ植生において明確な差は認められない。図 4-7 に、ボアネおよびチモイオにおける土壌有機炭素蓄積量(0-30cm)を示す。ボアネにおける蓄積量はチモイオの約半分以下にとどまっている。IPCC(2006)の土壌有機炭素蓄積量のデフォルト値と比較したところ、チモイオの蓄積量は、気候区分(Tropical, Moist), 土壌種類(Low activity soils)とほぼ同等であった。ボアネの蓄積量はこれらよりもかなり小さい値であった。ボアネの当該土地では、数十年前は森林等の植生だったとみられるが伐採が進み、土壌有機炭素の観点からみて現在は荒廃した草地となっている。

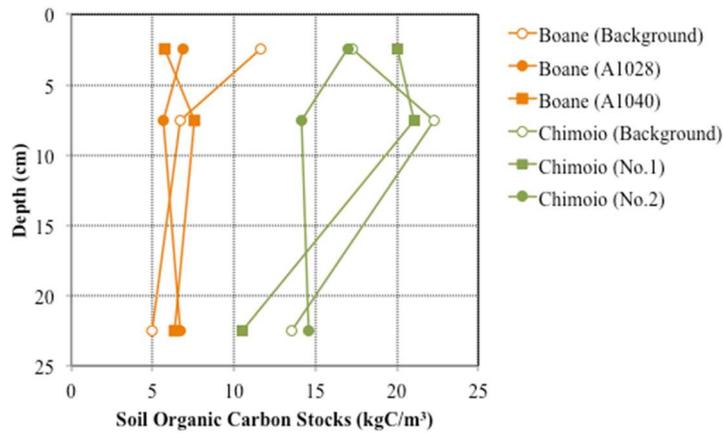


図 4-6 試験栽培地(Boane)および既存のジャトロファ植生(Chimoio)における土壌有機炭素量の鉛直分布(平成 25 年)

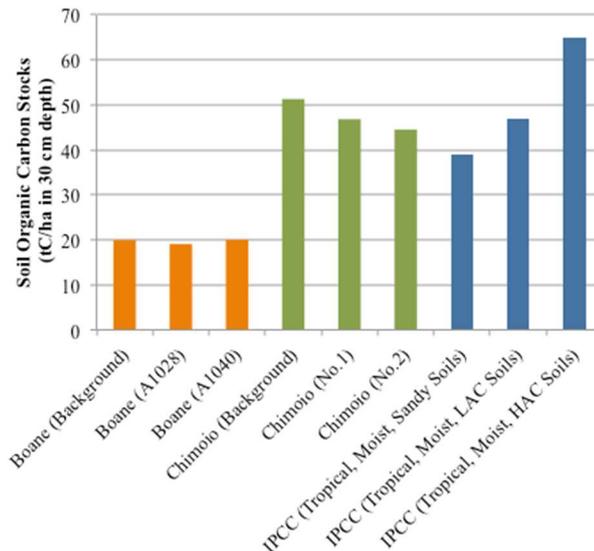


図 4-7 試験栽培地(Boane)および既存のジャトロファ植生(Chimoio)における土壌有機炭素蓄積量(平成 25 年)(IPCC デフォルト値もあわせて示す)

5) 土地利用転換に伴う CO₂ 放出量の評価

国際データ(主に IPCC データ)およびモザンビークでのデータを用いて、既存の土地利用からジャトロファ植生への土地利用変化に伴う CO₂ 放出量を推計した。

主に IPCC データを用いて、モザンビークにおける主要な土地利用である荒地(degraded land)、草地(grass land)、灌木地(shrub land)、熱帯林(tropical forest)からジャトロファ植生へ転換した際の CO₂ 放出量を算定した(図 4-8)。IPCC の値を使用するにあたって、気候区分はモザンビークの特性を踏まえて、乾燥地と湿潤地の両方について設定した。荒地および草地からジャトロファ植生への転換の場合、炭素貯蔵量の変化は正の値を示す。すなわち、ジャトロファ植生への土地利用変化に伴い CO₂ は吸収される。一方で、熱帯林からの転換の場合は多量の炭素が放出され、土地利用変化が CO₂ の放出源となる可能性が示唆される。算定に用いたパラメータの一例を表 4-4 および表 4-5 に示す。

一方、モザンビークの炭素貯蔵量のデータは極めて限定的であり、表 4-3 に示した UEM による結果のみが得られている。ただし、これらは今回の試験栽培対象地(ボアネ)とは地理的に離れた地域での結果であり、ボアネの土壌炭素分析結果とこれらとを組み合わせ

既存植生からジャトロファ植生への土地利用転換に伴う CO₂ 放出量を評価することは適切ではない。このため、ここでは表 4-3 の UEM による他植生の結果とともに、ジャトロファ植生については、SOC は表 1 の Agricultural land(農地)と同様(60.26 tC/ha)と仮定し、AGB&BGB は EC⁴のデータ(17.5 tC/ha)を用いて、モザンビークにおける既存植生からジャトロファ植生への土地利用転換に伴う CO₂ 放出量を試算した。この結果を図 4-9 に示す。農地からジャトロファ植生への転換の場合のみに CO₂ は正味の吸収(固定)となると試算された。なお、草地等の荒廃地の場合にはより多くの CO₂ が吸収されるとみられる。

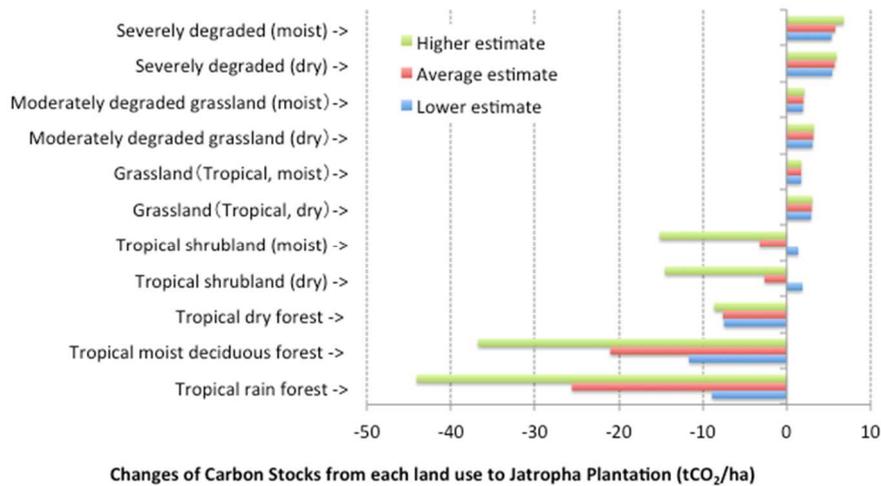


図 4-8 既存植生からジャトロファ植生へ転換した際の CO₂ 吸収量 (主に IPCC データを基に算定)

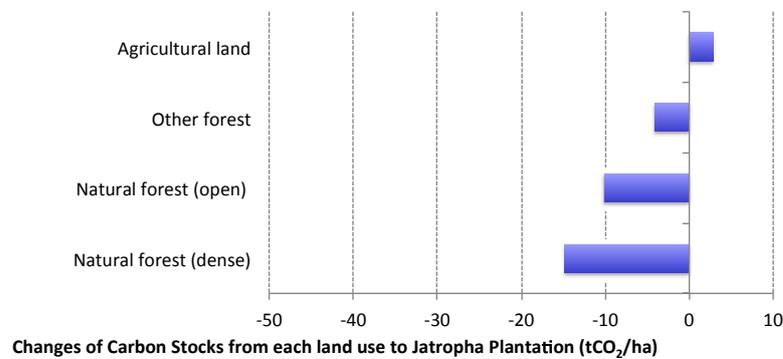


図 4-9 既存植生からジャトロファ植生へ転換した際の CO₂ 吸収量 (主にモザンビークにおける研究データを基に算定)

⁴ Commission Decision of 10 June 2010 on guidelines for the calculation of land carbon stocks for the purpose of Annex V of Directive 2009/28/EC.

表 4-4 ジャトロファ植生の諸パラメータ

	Lower	Base	Higher	References
C _{AGB} (tC/ha)	-	17.5	-	EC*4 Table 12
C _{BGB} (tC/ha)	-	-	-	Included in AGB
C _{LDW} (tC/ha)	-	-	-	Included in AGB
SOC _{REF} (tC/ha)	33.8	38.2	41.4	Tropical, dry
SOC _{REF} (tC/ha)	39.0	47.0	65.0	Tropical, moist
F _{LU}	-	1.0	-	p.5.17: Table 5.5, Perennial/Tree Crop
F _{MG}	-	1.0	-	p.5.17: Table 5.5, Reduced, tropical, moist/wet
F _{MG}	-	1.09	-	p.5.17: Table 5.5, Reduced, tropical, dry
F _I	-	1.0	-	p.5.18: Table 5.5, Medium
Total (tC/ha)	51.3	55.7	58.9	Tropical, dry
Total (tC/ha)	56.5	64.5	82.5	Tropical, moist

出典：IPCC(2006)

表 4-5 既存土地利用の諸パラメータの一例(IPCC; Moderately degraded grassland)

	Lower	Base	Higher	References
C _{AGB} (tC/ha)	-	4.4	-	-AGB+BGB, Tropical Dry, p.6.27
C _{BGB} (tC/ha)				
C _{LDW} (tC/ha)	-	-	-	Included in AGB
SOC _{REF} (tC/ha)	30.1	34.0	36.9	Tropical, dry
SOC _{REF} (tC/ha)	37.8	45.6	63.1	Tropical, moist
F _{LU}	-	1.0	-	Table 6.2
F _{MG}	-	0.97	-	Table 6.2, Moderately degraded grassland, Tropical
F _I	-	1.0	-	Table 6.2, Medium
Total (tC/ha)	34.4	38.3	41.2	Tropical, dry
Total (tC/ha)	45.9	53.6	71.1	Tropical, moist

出典：IPCC(2006)

③-3 JCM 事業化の検討

JCM 事業化の検討については、他のグループからの事業シナリオに関する情報を得て、排出削減量の算定のための方法論および PDD の作成を行った。ここで想定した事業は、無電化村落におけるジャトロファクルードオイルを用いた小型発電機による電力利用事業であり、発電電力は蓄電池への充電を通して家庭用の照明器具等に用いることを想定している。

なお、想定している事業を JCM 化するためには、JCM に関するモザンビークおよび日本の 2 国間署名の締結が大前提である。現在、両国間では 2 国間署名は締結されておらず、アフリカにおける署名国はケニアおよびエチオピアの 2 か国である。署名後は、両国政府間で合同委員会を立ち上げ、モザンビークにおける JCM プロジェクトの進め方を決定するなど制度構築を行う必要があるが、この点については本研究では特に触れず、JCM の技術的側面について検討を行った。

JCM の技術的な側面として重要な事項の 1 つに、対象とする事業の排出削減量を定量化するいわゆる方法論を作成する必要がある。対象とする事業はこの方法論に基づいて事業実施後の排出量を算定しなければならない。本研究においては、想定される無電化村落におけるジャトロファクルードオイルを用いた小型発電機による電力利用事業について適用可

能な方法論を作成した。この概要を表 4-6 に示すとともに、方法論案を別添 UT-2 に示した。なお、JCM では、作成された方法論は合同委員会にて承認を受ける必要がある。

さらに、JCM では、JCM 事業として登録するためには、対象とする事業の内容を記載した PDD(プロジェクト設計書)を用意し、合同委員会の承認を受ける必要がある。本研究においては、想定される無電化村落におけるジャトロファ粗油を用いた小型発電機による電力利用事業について PDD を作成した(別添 UT-3 参照)。

表 4-6 方法論の概要

タイトル	ジャトロファクルードオイル(JCO)を用いた農村地域の小規模電化 Small-scale Jatropha Based Village Electrification
適格性要件	本方法論は以下の条件を全て満たすプロジェクトに適用可能である。 <ul style="list-style-type: none"> 対象地域にはグリッド電力が供給されていないこと。 対象地域では、照明や動力源として、灯油や化石燃料を使用したディーゼル発電等が用いられていること。 地域で栽培されているジャトロファ種子を用いること。 ジャトロファの栽培は、生け垣や未利用耕作地等を用いた小規模コミュニティ型であり、大規模プランテーションではないこと。 ディーゼル発電用に、ジャトロファ種子から搾油された JCO を用いること。 ディーゼル発電機において JCO を用いること。この際、化石燃料由来の軽油の混合が可能である。 発電された電力は、家庭用の充電型ランタンやバッテリー等の充電に用いること。
排出源	リファレンス排出量 <ul style="list-style-type: none"> プロジェクトによる電力供給が無かった場合の化石燃料由来の電力の消費または化石燃料の燃焼(CO₂) プロジェクト排出量 <ul style="list-style-type: none"> ディーゼル発電機における化石燃料の燃焼(CO₂) ジャトロファ栽培における化石燃料消費を伴う農機の使用(CO₂) ジャトロファ種子/粗油等の輸送における化石燃料消費を伴う車両の使用(CO₂) ジャトロファ栽培における施肥(N₂O)
リファレンス排出量の算定方法	リファレンス排出量は、モニタリングに必要なデータ入手の可否に応じて、2つのオプションのいずれかの方法により算定する。なお、Option 1の方が簡易な手法であるが、リファレンス排出量は保守的(より少なく)に算定される。これらは、CDM 小規模承認方法論「AMS-I.L Electrification of rural communities using renewable energy, ver.03.0」および「AMS-I.F Renewable electricity generation for captive use and mini-grid, ver.03.0」を参考にしている。
モニタリング	排出量の算定に必要なパラメータをモニタリングする(発電機による発電電力量あるいは各世帯における電力消費量、等)。

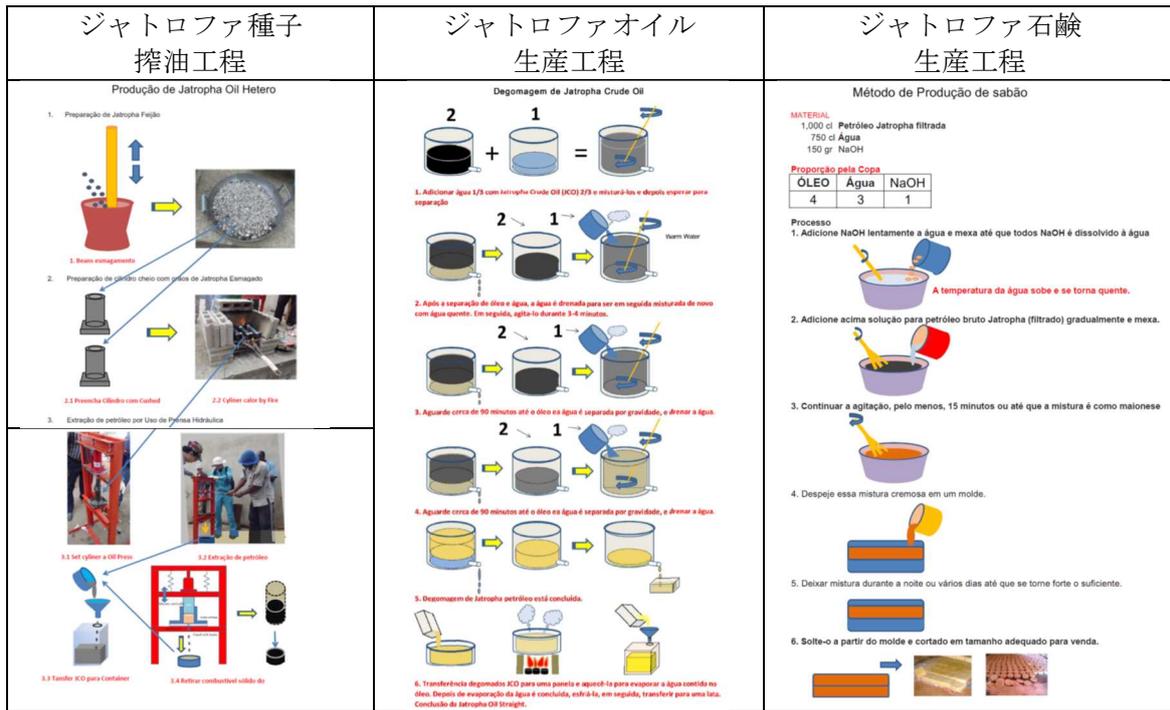
④カウンターパートへの技術移転の状況

LCA 評価基盤の確立、評価作業を通して評価技術の移転と評価人材の育成を併せて行った。現在では、UEM の研究リソースの一つとして有効に活用されつつある。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(合計 3 回)および土壌有機炭素分析等を実施した。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

		
<p>パワーキオスク・ハウス (平成 27 年 12 月)</p>	<p>充電室, 充電器, バッテ リー, 手動搾油機</p>	<p>5kW ディーゼル発電機</p>

同モデル事業では小型ディーゼル発電機(DG)によりバッテリーを充電し、充電したバッテリー、インバーター及び LED ランタンを貸出し、携帯電話の充電サービスを基本的な収益として持続的に稼働するかどうかの評価を行った。次に、ジャトロファ種子の搾油を行い、JCO を混合したバイオディーゼル(ディーゼル : JCO を 60:40 とする)を燃料として発電し配電サービスを行いながら、搾油から得られる JCO の一部をランプ油、石鹼に加工し販売する。さらに搾油の際に得られる副産物(固形燃料及び肥料)を販売することにより、ジャトロファ種子を通して付加価値の創造を行い、新たな追加的収益とすることを予定している。平成 27 年 12 月の段階では上述の基本的なビジネスサイクルが稼働し始めたばかりであるので、この付加価値創造を目的とする次の段階の実験は平成 28 年 3 月まで、実質 2.5 ヶ月の間に行われた。このモデル事業の評価は日常的に記録される配電サービス、物品販売の収益とパワーキオスクを稼働させるに要する直接経費(人件費、燃料費、雑費等)の流れとの差を求めることにより行う。平成 28 年現在パワーキオスクは操業指導に当たっていたコンサルタントの管理監督を必要とせず、既に操業と運営を習熟した 4 名の職員によって稼働している。パワーキオスクではジャトロファオイルの搾油、JCO 生産、固形燃料(肥料)生産、石鹼生産、ジャトロファ種苗生産、バッテリー充電・貸出し、LED ランタン貸出し、携帯電話充電サービスが行われている。これらの生産プロセスについてはマニュアルが作成されている。職員の初期の訓練に当たっては以下のような簡単なイラストを用いた OJT 用のマニュアルを用いて行われた。



③当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

【評価に必要なデータの収集】

当初ジャトロファ BDF 生産・流通は既に進行中であった大規模農園方式によるものと考えられていたことから、まず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、図 5-1 に示したビジネスモデルを想定した上で、同モデルの投資事業妥当性を検討するために必要な、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)を収集した。収集したデータ及び情報を用いてジャトロファ農園への投資事業、BDF 生産への投資事業、に分離した上、投資事業の財務的妥当性分析を行った。更に、共同体をベースとするオフグリッド村落電化兼ジャトロファ栽培促進事業としてのパワーキオスク構想についてのデータ収集はパイロットプロジェクトの実施をとおして収集することとした。パイロットプロジェクトは平成 28 年 3 月段階では、計画した施設・機材の整備が完成したのが平成 27 年 12 月であったため現時点では十分なデータを得られてはいないが、パワーキオスク自体は当初の計画通り、組織された運営主体が自律的に運営している。

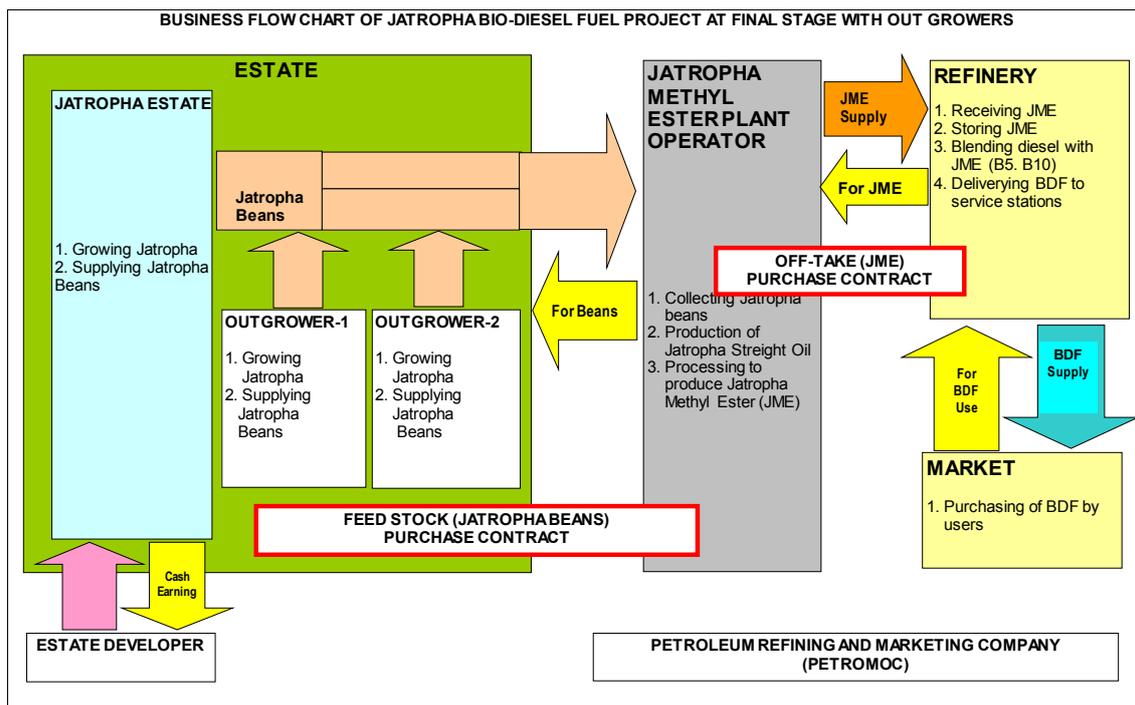


図 5-1 大規模ジャトロファ栽培による BDF 生産のビジネスモデル

【評価方法の明示】

一般的に商業規模としてメチルエステルと触媒を用いてジャトロファオイルをフィードストックとし BDF を生産することが可能な BDF プラント (Esterification Process Type) であり、且つ高額なメチルエステルを生産工程上で回収することが可能な形式のプラントの 1 日当たりの原料投入量は約 10 トンであるとした。このプラントを稼働させるには安定的なジャトロファ種子またはジャトロファオイルの供給が不可欠となることから、1 日当たりのジャトロファ種子を生産することが可能となるジャトロファ農園の規模を算定した。この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以下手順で行った。

先ず、表 5-1 のようにジャトロファ種子から BDF の原料となるジャトロファ種子の搾油率により原料所要量を求め、且つディーゼルの市場価格(サービスステーションでの表示価格—Pump Price)から逆算したジャトロファ種子の BDF プラント庭先渡し価格を求めた。次に、ジャトロファ栽培を単一の目的とした大農園 (Estate, Plantation) の投資事業が投資の妥当性を有する基準値を投資銀行が適応する貸出金利と同等か上回るレベルの内部収益率 (FIRR) を設定し、プロジェクトライフを 15 年として農園を開発・維持管理を行うコストから年間生産量を推計した上、この妥当性基準を上回る FIRR を得るために必要な最低の所得 (Revenue) を推計すると、1kg 当たりのジャトロファ種子の産地価格 (Farm Gate Price) を知ることが出来る。1 日当たりの生産量が 10 トンの BDF プラントを持つ BDF 生産者がジャトロファ種子を 1kg あたり MZN 5.25 (モザンビークメティカル、以下 MTK と記載) でジャトロファ種子生産者から購入すると仮定、ジャトロファ種子生産者は BDF 生産者が必要とするジャトロファ種子を生産するために約 4,500ha の土地を確保しジャトロファを栽培すると仮定する。この場合、ジャトロファ生産者は約 7.7 百万ドルの初期投資 (圃場の整備及び維持管理用の機材購入) を必要とする。ジャトロファ農園開発事業の事業妥当性を示す FIRR をモザンビークの市中金利である 8.0% を満たすにはジャトロファ種子の販売価格を 8.48MTK/kg とせねばならない。表 5-2 が示すように買値と売値の差は約 1.6 倍となる。

表 5-1 ジャトロファ種子購入価格計算式

搾油率が 25%の場合 : 5.25MTK/kg					搾油率が 30%の場合 : 6.30MTK/kg					
Factors	Value	Unit	Formula	Remarks	Factors	Value	Unit	Formula	Remarks	
Diesel Price					Diesel Price					
a	Pump Price of Diesel	45	MTK/Liter	As of Oct 2012	a	Pump Price of Diesel	45	MTK/Liter	As of Oct 2012	
b	Exchange Rate	26	MTK/US\$	As of Oct 2012	b	Exchange Rate	26	MTK/US\$	As of Oct 2012	
c	Pump Price of Diesel	1.73	US\$/Liter	c=a x b	c	Pump Price of Diesel	1.73	US\$/Liter	c=a x b	
d	Gravity	0.876		Diesel fuel	d	Gravity	0.876			
e	Pump Price of Diesel	1.516	US\$/kg	e=c x d	e	Pump Price of Diesel	1.516	US\$/kg	e=c x d	
f	Pump Price of Diesel	1.516	US\$/tonne		f	Pump Price of Diesel	1.516	US\$/tonne		
Weight Conversion from Diesel to Jatropha Beans					Weight Conversion from Diesel to Jatropha Beans					
g	Diesel Weight	1	kg		g	Diesel Weight	1	kg		
h	Production Loss	10%		Tentative value	h	Production Loss	10%		Tentative value	
i	Crude Oil Extraction Ratio	25%		Tentative value	i	Crude Oil Extraction Ratio	30%		Tentative value	
j	Residue by weight	75%		Tentative value	j	Residue by weight	70%		Tentative value	
k	Bean Weight Requirement	4.0	kg	k=g/(i/100)	Computed	k	Bean Weight Requirement	3.3	kg	k=g/(i/100)
Gross Price of Jatropha Beans					Gross Price of Jatropha Beans					
l	Pump Price of Diesel	1.516	US\$/tonne	Computed	l	Pump Price of Diesel	1.516	US\$/tonne	Computed	
m	VAT Ratio	16%		As of Oct 2012	m	VAT Ratio	16%		As of Oct 2012	
n	VAT Amount	243		n=l x m/100	Computed	n	VAT Amount	243		n=l x m/100
o	Dealer Margin (% of pump price)	8%		Tentative value	o	Dealer Margin (% of pump price)	8%		Tentative value	
p	Dealer Margin	121		p=l x o/100	Computed	p	Dealer Margin	121		p=l x o/100
q	Delivery Cost (% of pump price)	8%		Estimated	q	Delivery Cost (% of pump price)	8%		Estimated	
r	Transport Cost	121		r=l x q/100	Computed	r	Transport Cost	121		r=l x q/100
s	Net Price of Diesel	1,031	US\$/tonne	s= l-n-p-r	Computed	s	Net Price of Diesel	1,031	US\$/tonne	s= l-n-p-r
t	Sale Discount Rate	10%		Tentative value	t	Sale Discount Rate	10%		Tentative value	
u	Diesel Price in Net	928	US\$/tonne	u=s x (100-t)/100	Computed	u	Diesel Price in Net	928	US\$/tonne	u=s x (100-t)/100
v	Methanol Price	20	US\$/tonne	Computed	v	Methanol Price	20	US\$/tonne	Computed	
w	Catalyst Price	100	US\$/tonne	Computed	w	Catalyst Price	100	US\$/tonne	Computed	
x	Net Price of Raw Material	808	US\$/tonne	x=u-v-w	Computed	x	Net Price of Raw Material	808	US\$/tonne	x=u-v-w
Maximum Bean Purchase Price					Maximum Bean Purchase Price					
y	Bean Price	202	US\$/tonne	y=x/k		y	Bean Price	242	US\$/tonne	y=x/k
z	Bean Price	0.20	US\$/kg	z=y/1000		z	Bean Price	0.24	US\$/kg	z=y/1000
a1	Bean Price	5.25	MTK/kg			a1	Bean Price	6.30	MTK/kg	

ジャトロファ栽培所要面積計算式

搾油率が 25%の場合 : 4,540ha. (net)			搾油率が 30%の場合 : 3,780/ha. (net)		
Factor	Rate	Unit	Factor	Rate	Unit
JSO Requirement for BDF Production			JSO Requirement for BDF Production		
BDF Production Plan	11.4	KL/day	BDF Production Plan	11.4	KL/day
Gravity	0.875		Gravity	0.875	
BDF Production Plan	10.0	Tonne/day	BDF Production Plan	10.0	Tonne/day
Production Operation Days	330	days/year	Production Operation Days	330	days/year
BDF Production Plan	3,300	Tonne/year	BDF Production Plan	3,300	Tonne/year
Jatropha Bean Requirement			Jatropha Bean Requirement		
Production Loss	10%		Production Loss	10%	
Crude Oil Extraction Ratio	25%		Crude Oil Extraction Ratio	30%	
Residue by weight	75%		Residue by weight	70%	
Bean Weight Requirement	44	tonnes/day	Bean Weight Requirement	37	tonnes/day
Bean Weight Requirement	14,520	tonnes/year	Bean Weight Requirement	12,100	tonnes/year
Jatropha Tree Requirement			Jatropha Tree Requirement		
Production of Bean	2.0	kg/tree/year	Production of Bean	2.0	kg/tree/year
Total Number of Trees	7,260,000	trees	Total Number of Trees	6,050,000	trees
Jatropha Plantation Area			Jatropha Plantation Area		
Interval Length	2.5	meters	Interval Length	2.5	meters
Number of Trees	1,600	trees/hectare	Number of Trees	1,600	trees/hectare
Plantation Area Requirement			Plantation Area Requirement		
Farm Land Area	4,538	hectare	Farm Land Area	3,781	hectare
Labor Requirement			Labor Requirement		
Number of Labor	3	person/100 hectar	Number of Labor	3	person/100 hectar
Labor Requirement	1,513	farmers	Labor Requirement	1,260	farmers
Annual Production of Beans			Annual Production of Beans		
Number of Trees	7,260,000	trees	Number of Trees	6,050,000	trees
Annual Production	2.0	kg/tree/year	Annual Production	2.0	kg/tree/year
Total Annual Production	14,520,000	kg/year	Total Annual Production	12,100,000	kg/year
Total Annual Production	14,520	tonnes/year	Total Annual Production	12,100	tonnes/year

表 5-2 ジャトロファ農園開発事業財務分析

Project Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Production Volume					5,200	6,500	10,400	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000
Initial Investment	4,100	3,600													
O&M Cost		251	251	251	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271
Cost	4,100	3,851	251	251	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271
Revenue					1,696	1,696	1,696	1,696	1,696	1,696	1,696	1,696	1,696	1,696	1,696
Balance	-4,100	-3,851	-251	-251	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425

Land Area	4,500 ha	Machinery Cost	500 US\$ thousand	Farm Labor	200 farmers
Land Preparation Cost	1,600 US\$	Fuel Cost	500 US\$/month	Lbor Cost	100 US\$/month
Preparation Period	2 years	Maintenance Cost	5 %		
Production Volume	13,000 tons/year	Purchase Price	0.20 U\$/kg	Sale Price	0.33 US\$/kg
Exchange Rate	26 MTK/US\$	Purchase Price	5.25 MTK/kg	Sale Price	8.48 MTK/kg
					1.62 times

これらの計算結果が示すところは農園への投資事業の事業妥当性を確保する(投資事業として商業銀行が事業主体に対する融資判断)にはジャトロファ種子の生産地販売価格が 8.48MTK/kg であるべきところ、BDF プラントの事業主体は原料としてのジャトロファ種子購入価格を BDF プラントの工場渡し価格で 5.25MTK/kg でないと事業の投資妥当性は確保できない。逆に BDF 生産者が望む購入価格でジャトロファ生産者が売るとすると事業は成立しない。このように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】

このような投資効果分析の結果、中間報告時には大規模農園方式により大量に収穫されたジャトロファ種子を原料とした一定規模の BDF プラントの建設が必要となる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。図 5-2 に長期的なロードマップを提示し関係機関より合意を得た。

Jatropha BDF Project Development Road Map

Period	2013-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030
STAGE	Experiment	Community	Estate Development	Network Development
Planting Area	10	500	6,000	20,000
Hedge Length		200,000		
Beans (MT/year)	4.0	200.0	2,400.0	8,000.0
Activities	Experiment	Test Circulation of JSO	Marketing of JME	Full Marketing of BDF
Production	Jatropha bean production and selection of quality spieces	Production of JSO for power generation is selected villages	Production of JME on commercial basis	Production of JME on commercial basis
Supply	Limited to testing and evaluation of spieces	Surplus Jatropha beans of village to be supplied to JME plant	Supply of JSO to JME plant in large volume	Supply of JSO to JME plant in large volume with the network of Jatropha estate
Consumption	Consumption of JSO for power generation	Consumption of JSO for power generation	Consumption of JME by vehicles	Consumption of JME by vehicles
Jatropha Farming	Experimental farming	Jatropha plantation along hedge of farmers	Develop a large scale Jatropha estate each 2,000 hectare	Cobination of large-estate as a core estate with small-estate in network
Concept	Experiment	Propagation	Creation of Core	Expansion

図 5-2 ジャトロファ BDF 生産事業ロードマップ

ロードマップではまずジャトロファ栽培は小規模であるだけでなく自主的に希望する村落単位で農民の所有地の垣根として、または村落の共有地で栽培し、収穫されるジャトロファ種子は搾油され、小型ディーゼル発電機の燃料として使用し、発電された電気によりバッテリーを蓄電し、蓄電されたバッテリーを村落内部の利用者に配布する、さらに搾油後の副産物を村落内外で販売することを村落共同体の事業(パワーキオスク事業)として行うことを立案した。提案された小規模村落電化事業の評価を行うためパイロットプロジェクトとして社会実験を行いその適応性を評価することとした。

図 5-3 に共同体をベースとした小規模なジャトロファ栽培と村落電化を組み合わせた事業形態を検討した。

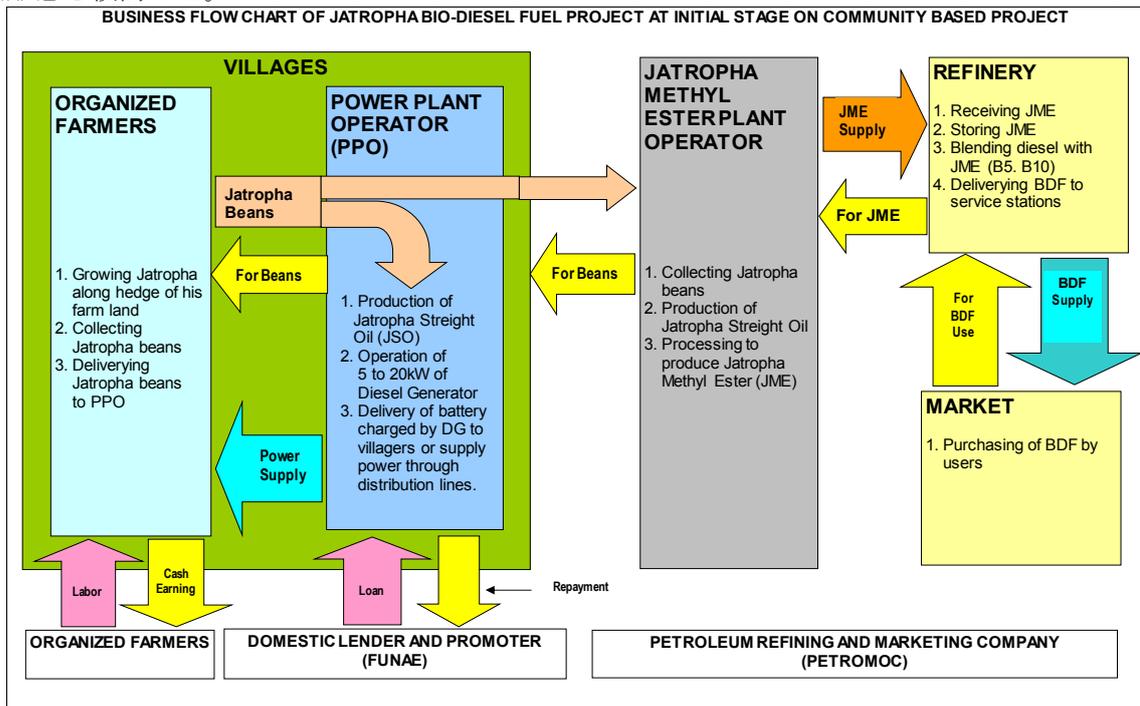


図 5-3 共同体による小規模ジャトロファ栽培をベースとした BDF 生産ビジネスモデル

【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される】

現段階でのパイロットプロジェクトは蓄電されたバッテリーが配電サービスとして村民に受け入れられ利用料金の徴収が行われ、収益はパワーキオスクを運営する選別された管理者・技術者の給与として支払われており、基礎的なビジネスサイクルが形成され事業として成立しつつある。パイロットプロジェクトの対象として選択された村らの中心に設置されたパワーキオスクのバッテリー充電サービス(20MTK/充電)、バッテリー貸出しサービス(平均4日間10MTK/日)、携帯電話充電サービス(5MTK/充電)を利用する村民は、ディーゼル発電機の燃料はジャトロファから作られたジャトロファオイルとディーゼルの混合燃料で稼働していることを認識しており、パワーキオスクが常時ジャトロファ種子を既にジャトロファを家庭栽培している村民から買い付けている(5.0MTK/kg)こと、さらにパワーキオスクではジャトロファの種苗を生産していることから、村民(全体で約300世帯)は自主的に自己の家屋周辺(30本/世帯)、耕作地の周辺等での栽培を欲していることが確認されている。パイロットプロジェクトの上位目的は、村民が自主的にジャトロファの栽培を行い、ジャトロファの栽培から現金収入を得る、または電化サービスを受けることに価値を見出すことである。この観点からパワーキオスクによる村落電化はジャトロファ栽培面積の拡大につながることで、ほとんど投資を必要とせずジャトロファ種子の生産量の増加が期待できることが確認され、ロードマップの第一段階の開始を目指すためのパイロットプロジェクトは、その一定の役割を果たしている。パワーキオスクによる電化サービスに加えて、

副次製品である肥料・石鹸等が市場の需要に答えることが可能となればさらにパワーキオスクの運営は安定すると期待されている。

表 5-3 にモデルとなるパワーキオスクの事業概要と初期財務分析の前提条件をまとめた。表 5-4 は、これらの原単位を用いたプロジェクトライフを機器類の耐用年数と同じ 10 年と設定した初期財務分析表である。この条件下で FIRR は 8%となる。これは、ここで設定した条件が満たされるとすればパワーキオスクは充分融資の対象となる。また、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さらに事業は安定的なものになると考える。JCM については初期的な考察が行われている。

表 5-3 パワーキオスク事業初期財務分析前提条件

Preliminary Financial Analysis on Power Kiosk

Exchange Rate 50 MTK/US\$

FIRR 8.4%

Article	Volume	MTK	US\$	Unit
Initial Investment Cost		880,000	17,600	
Power Generator	6 k W			
Nos. of Battery	60 units			
Battery Charger	1 units			
Oil Extraction Machine, etc.	1 lot			
Power Kiosk House	1 building			8m x 4m
Operation Outline				
Battery Lent	60 bat/month	20	0.40	per day
Battery Charging	6 bat/day	10	0.20	per charge
Users	80 users			
Purchase				
Diesel	3.4 Liter/day	38	0.76	per liter
Jatropha Beans	3.9 kg/day	5	0.10	per kg
Labor				
Management	1 person	1,500	30.00	per month
Staff	3 persons	500	10.00	per month
Sale of Bi-products				
Fertilizer	8 kg/day	10	0.20	per kg
Solid Fuel	8 kg/day	10	0.20	per kg

表 5-4 パワーキオスク事業の初期財務分析
Village Electrification by 6kW Diesel-JSO Fuel Operated DG (Battery Distribution Type)

Diesel Power Generation + Battery Distribution Type Exchange Rate 115 Yen/US\$ 50 MTK/US\$

FIRR 8.4% PBY 7-years

COST ESTIMATIONS

Item	Note	Nos	Unit Cost	Amount	Item	Note	Amount
Diesel Generator Set	6.0 KW	1	161,000	161,000 Yen	Diesel Generator Set	6.0 KW	1,400 US\$
Battery	12V	60	6,670	400,200 Yen	Battery 12V		3,480 US\$
Battery Charger	6 battery	1	64,400	64,400 Yen	Battery Charger		560 US\$
Oil Expeler+Other Tools	Lot	1	200,000	200,000 Yen	Oil Expeler+Other Tools		1,739 US\$
Power Kiosk House		1	1,200,000	1,200,000 Yen	Power Kiosk House		10,435 US\$
Initial Investment Cost				2,025,600 Yen	Initial Investment Cost		17,614 US\$
Maintenance Cost				5%	Maintenance Cost		5%

POWER OUTPUT OF GENERATOR

Rated Output Power	6.0 KW	Operation Hours	4 hours/day	Power Efficiency	80 %
Daily Output Power	19.2 kWh	Monthly Output Power	576.0 kWh	Annual Output Power	6,912 kWh

POWER DEMAND

Consumption	0.48 kWh/HH/day	Battery Duration	10 Days		
Number of Battery for Recharging	6 battery/day	Number of Recharging Days	4 days/week	Number of User	72 Users

PURCHASE PRICE OF JATROPHA BEAN

Purchase Price of Beans	5.00 MTK/kg	Specific Gravity of JSO	0.875 per kg	Oil Yields	25 %
Required Volume of JSO	3.41 Litre/day	Required Weight of JSO	3.89 kg/day	Required Weight of Bean	15.6 kg/day
Purchase Amount for Bean per Day	77.9 MTK/day	Weight of Bean per Day	1.78 kg/grower	Nos. of Growers Needed	9 Growers
Purchase Amount of Bean per Grower	8.89 MTK/day	Sale Amount of Bean	266.67 MTK/grower/month	Operating Days	365 days/year

FUEL COST

Fuel Consumption	6.81 Litter/day	Diesel Consumption	3.4 Litter/day	JSO Consumption	3.41 Litter/day
Blending Ratio	50 %				
Market Price of Petroleum Diesel	38.00 MTK/litre	Diesel Cost per Day	129.4 MTK/day	Diesel Cost per Day	2.59 US\$/day

MANAGEMENT COST

Monthly Salary of Manager	1,500 MTK/month	Monthly Salary of Staff	500 MTK/month	Total Salary	3,000 MTK/month
Number of Management Staff	1 person	Number of Staff	3 persons	Total Salary	60 US\$/month
Administration Expenses	500 MTK/month	Administration Expenses	10 US\$/month		

EXPECTED REVENUE FROM BATTERY RECHARGING

Consumption per Household	14.40 kWh/month	Battery Charging Price	145.91 MTK/15-day	Battery Charging Price	9.73 MTK/day
Battery Charging Fee per Month	291.83 MTK/User	Revenue per Month	21,011 MTK/month	Revenue per Month	420 US\$/month

EXPECTED REVENUE FROM SALE OF BY-PRODUCTS

Volume of Jatropha Cake as Fertilizer	7.79 kg/day	Sale Price of Fertilizer	10.00 MTK/kg	Sale Amount	47 US\$/month
Volume of Jatropha Solid Fuel	7.79 kg/day	Sale Price of Solid Fuel	10.00 MTK/kg	Sale Amount	47 US\$/month

POWER COST TO USER

Power Cost to User	291.83 MTK/month	8.4%	Power Cost to User	5.84 US\$/month
--------------------	------------------	------	--------------------	-----------------

Output	Investment							O&M Cost				Total Cost	Revenue			Balance	Accum.	Pay-back	
	DG	Battery	Charger	Oil Expeler	PK House	Total	Maint.	Operation	Diesel	Total	Power		By-pro	Total					
kWh/yr	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	Year	
1		1,400	3,480	560	1,739	10,435	17,614					0	17,614				-17,614	-17,614	
2	6,912						0	881	840	945	2,666	2,666	5,043	1,121	6,164	3,498	-14,116		1
3	6,912						0	881	840	945	2,666	2,666	5,043	1,121	6,164	3,498	-10,617		2
4	6,912						0	881	840	945	2,666	2,666	5,043	1,121	6,164	3,498	-7,119		3
5	6,912						0	881	840	945	2,666	2,666	5,043	1,121	6,164	3,498	-3,621		4
6	6,912		3,480	560	1,739		5,779	881	840	945	2,666	8,445	5,043	1,121	6,164	-2,281	-5,901		5
7	6,912						0	881	840	945	2,666	2,666	5,043	1,121	6,164	3,498	-2,403		6
8	6,912						0	881	840	945	2,666	2,666	5,043	1,121	6,164	3,498	1,095		7
9	6,912						0	881	840	945	2,666	2,666	5,043	1,121	6,164	3,498	4,594		8
10	6,912						0	881	840	945	2,666	2,666	5,043	1,121	6,164	3,498	8,092		9
Total	62,208	1,400	6,960	1,120	3,478		23,393	7,926	7,560	8,505	23,991	47,384	45,385	10,091	55,476				

Estimation of Required Area or Farmers to Run PK with 6 kW Diesel Generator

(Based on result of Boane Experiment Field)

Exchange Rate

50 MTK/US\$

Monthly Income by Jatropha Growers			
Factor	Value	Unit	Remarks
Number of Fruits per tree per year	200	fruits/tree/year	Boane experience
Number of Beans per fruits	3	beans/fruit	Normal
Annual Number of Beans per Tree	600	beans/tree/year	Calculated, Max. 1,500
Length of Space by Tree	2.5	meters	Average
Number of Trees per Hectare	1,600	trees/hectare	Calculated
Number of Beans per Ha per Year	960,000	beans/ha/year	Calculated
Number of Beans per Kilogram	1,500	beans/kg	Boane experience
Weight of Beans	0.67	grams/bean	Calculated
Weight of Beans per Tree	0.40	kg/tree/year	Calculated
Annual Weight of Beans per Hectare	640.00	kg/ha/year	Calculated
Weight of Beans per Month	53.33	kg/ha/month	Calculated
Weight of Beans per Day	1.78	kg/ha/day	Calculated
Area Cultivate by OneJatropha Grower	1.00	hectare	Average
Assumed Sale Price of Bean per kg	5.00	MTK/kg	Expectation
Monthly Sale of Bean per Farmer	266.67	MTK/Grower/month	Calculated
Monthly Sale of Bean per Farmer	5.33	US\$/month	Calculated
Annual Sale of Bean per Farmer	64.00	US\$/year	Calculated
Number of Required Growers			
Factor	Value	Unit	Remarks
Yield of Oil from Jatropha Beans (wt)	25	% in weight	Petromoc Laboratory
Annual Crude Oil Production per ha	160	kg/ha/year	Calculation
Crude Oil Production per ha	0.44	kg/ha/day	
Specific Gravity of Crude Oil	0.875		Normal
Annual Crude Oil Production per ha	182.86	litre/ha/year	Calculation
Daily Crude Oil Production per ha	0.50	litre/ha/day	Calculation
Daily Requirement of JSO	6.81	litre/day	Refer DG 6 kW
Daily Requirement of JSO	7.79	kg/day	Calculation
Daily Requirement of Jatropha	31.15	kg/day	Calculation
Weight of Jatropha Beans per day	1.78	kg/ha/day	Calculation
Requirement of Area Cultivated	18	hectares	Calculation
Number of Jatropha Growers	18	Growers	Calculation
Number of Trees per Household	100	Trees/household	Assumption
OR Number of HH who grow Jatropha	280	Growers	Calculation

Note:

1. Cells colored in yellow are variable factors.
2. It is assumed that Jatropha trees are planted in small land parcel of 1 hectare at grid length of 2.5 meter or 1,600 trees per hectare.
3. It is estimated that 14 farmers who grow Jatropha is needed to realize village electrification using 6.0 kW diesel generator for around 70 - 90 households.

【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】

ジャトロファを活用し無電化地帯にある無電化農村において村民が自立して電化を行い、且つ村落において付加価値創造を行うという試みは『世界で初めて』であり、この小規模村落電化運動が広範に伝播することが実現すれば『モザンビーク国の政策に反映』されることにもなることから、十分インパクトがあると考えられる。この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ることとな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

にもつながると考えられる。

④カウンターパートへの技術移転の状況

本研究調査では当初当該分野のカウンターパートはモザンビーク公営石油会社である Petromoc としていたが、大規模農園開発方式による BDF 生産/流通モデルから小規模農村電化事業をロードマップの第一段階とすることとしては再生エネルギーの利用促進を所管する FUNAE とすることとなった。しかし、FUNAE の動きは鈍く農村開発を含む事業には不適であることから、結局はジャトロファ加工研究のカウンターパートであったプラント操業を専門とする人材をカウンターパートとすることになった。このカウンターパートにはロードマップの意味・意義を理解してもらい、パイロットプロジェクト実施に必要な関連行政との調整の他、配電サービス、搾油工程等全般的な所要生産活動に係る情報を移転した。搾油作業を含めたパワーキオスク操業に要する技術的な情報は実際の活動を通じて移転されている。また、持続的ジャトロファ開発への取り組み方、ロードマップの意味・意義、実際の開発アプローチ等戦略的な面については本研究に係るカウンターパートの主導的立場にある UEM ルーカス教授に全て共有している。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

研究開始当初においては大規模農園方式による BDF 生産・流通という事業が想定されていたが、中間報告時点ごろから、持続的なジャトロファ生産は、無電化地帯の農村において共同体をベースに小規模な電化事業から開始することが妥当であると結論付けられ、同事業のパイロットプロジェクトを実施し社会への適応性を評価することとなった。これは当初想定していなかった新たな展開である。

II. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など

(公開)

(1)プロジェクト全体

(工夫)

カウンターパート間のコミュニケーションを改善するために、極力関係者が揃って話す機会を設けた。それが困難な場合、日本人研究者が個々に伝達せざるを得なかった。

機器管理体制が現地での懸案事項になっている。カウンターパートではない、UEM 内の研究員や技官も積極的に機器管理に協力してくれる体制作りに取り組みつつある。

(教訓)

いくら日本側で持続性を高める取り組みを行ったとしても、相手国側が継続したいという明確な意思と理由が無い限り、更には自分たちで予算を確保する努力をしなければ続かない。研究期間中に発生した殆どの費用をプロジェクト経費で対応していたため、支援を少しずつ減らす、又は少しでも相手国側から研究費を捻出してもらうようにすべきである。

一部の実験をローカルコンサルタントとの契約により実施したが、研究者の考える実験計画と、JICA の考える持続性を伴った国際協力事業の観点からの計画との調整に時間を要した。そのため、契約内容がまとまらず、プロジェクトの実施に遅れが生じた。

指揮命令系統が明確でないため、研究を進捗させるのに混乱が生じる事態が発生した。日本側でミーティングを実施し、関係するカウンターパートへ周知した。

(2) 研究題目 1 ジャトロファの育種および栽培技術

育種試験、栽培技術試験においては、植物を日々観察する力が必要になってくる。また、その情報を正確に日本側に提供されなければならない。今回優秀なカウンターパートに恵まれたので、メールを通じての週報や訪問した際に打ち合わせを行い、うまく進めること

ができた。今後選抜される種を保存し、その有効性を確認している作業も継続していかなければならない。また搾油残渣試験についても、繰り返し、試験を行っていかなければならない。

(3) 研究題目 2 BDF の生産および残渣の利用技術

相手国側の国内事情をよく理解し、共同研究を進めることが重要であると感じている。特に、共同研究を行うための設備、試薬、設備等の入手及び、アフターサービス体制が相手国でどこまで対応できるかを事前に調査する必要がある。今回の共同研究では、モザンビークで調達できない設備・機器が存在したため、日本で購入し持ち込むことをせざるを得なかった。この場合、税関でスムーズに手続きが済むという保証はない。JICA のスタッフに助けていただいたが、毎回 JICA の支援で対応できるという保証はないため、相手国の状況を事前に十分に調査できることが望ましい。設置した研究機材の利用手順書を作成し、職員ならびに学生に実地指導を行ったが、機材担当者が必ずしも明確でなく、今後機器管理体制の確立を求める必要がある。

(4) 研究題目 3 BDF および副産物の生産と利用時における安全性評価

供与されるすべての機材はカウンターパート先に納入され、主要な機材は平成 25 年 9 月と平成 26 年 2 月に現地で設置、動作確認及び分析方法の技術供与を行った。その直後に、カウンターパート先である理学部の校舎改装に伴う研究室の移転のために、平成 26 年度はカウンターパート先のスタッフはほとんど研究を行っていない。加えて理学部のカウンターパートリーダーがモザンビーク国内におらず、カウンターパートリーダーと理学部スタッフ間で連絡が取り合えない状況が続いていた。現在では理学部スタッフと久留米大スタッフが電子メールで連絡を取り合い、カウンターパートリーダー不在状況下では直接ディスカッションを行い、技術指導を行った。現在、機器類は教育学部の校舎に設置してあるが、今後、現地スタッフが現地で安全性評価ができるように、モザンビークで採取したサンプルを日本とモザンビークで同時測定することで精度管理を、機器類使用の熟練によって故障防止や故障時の修理などをプロジェクト終了後も自立して行えるように指導を行った。平成 27 年度は、現地で採取したジャトロファ種子から生産された BDF 及び副産物中のホルボールエステル測定と燃焼時に発生する煤煙及び灰に含まれるホルボールエステル測定法の技術供与のほか、種子中の毒性成分であるクルシンの測定法も技術供与されている。蒸留水製造装置の設置も行われ、現地で自立して安全性評価ができる状況にあるが、現地カウンターパートとそのスタッフが機器類や技術供与に対して使用あるいは測定意欲が継続できない点や実行力と知識が乏しい点に大きな課題がある。

(5) 研究題目 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ての検討を通して、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。

(6) 研究題目 5 経済分析およびアフリカ各国への適用性検討

相手国研究機関は当初 Petromoc その後 FUNAE となったが、政府機関職員は既存組織・行政機関に与えられた職務以外のことを当該機関が公式に指示し、さらに想定される活動の内容や時間配分に応じた予算が措置され、職員が活動に相当する報酬を得られない限り積極的、自発的に研究に取り組むことは困難である。国際共同研究を開始する前から既に十分な協同作業の実績を有していない公的機関・組織との共同研究を行う場合には、直接カウンターパートの職員や関連する成員に報酬が支払われる仕組み、日当、宿泊費が支払われるような仕組みが明確になっていないと指名された職員は積極的・自発的に活動を継続

することが不可能であるだけでなく、持続的な活動とはならない。

Ⅲ. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

平成 28 年の外務省の民間連携室が所掌する『日本 NGO 連携無償資金協力』に資金申請を行い、更に複数のパワーキオスク整備事業が現在実施中のイニャンバネ州ジャンガモ地区において実施される予定である。

(2) 社会実装に向けた取り組み

モザンビークと日本において JCM の二国間署名がなされることで、提案事業が JCM 事業として実現することが期待される。

Ⅳ. 日本のプレゼンスの向上（公開）

相手国大学内には、箱が開けられることも無く、そのまま放置されている機材が多く存在する。一方当プロジェクトの場合、セットアップ、使い方のレクチャー、更には学生の卒業論文の組み立てまで協力した。その結果、プロジェクトに関連する研究に取り組んだ UEM の学生 19 人全員が学位審査で 20 点満点(及第点 10 点)中 13 点から 16 点と高得点の評価を受け、学生への指導の成果と、国際共同研究の質の高さが示された。

また、モザンビーク共和国側の研究代表を含む 3 名の UEM 教員を日本に招聘し、日本側の研究内容と研究体制を詳細に紹介、さらに日本の大学に於ける教育と研究(特に修士課程と博士課程設置の重要性)について説明し討論を行った。UEM 大学工学部は平成 28 年に修士課程新設の運びとなり、引き続き博士課程の新設の準備を行っている。これらの活動の中心人物は招聘した教員が中心となっていることから、日本での研修は少なからぬ影響がある。特に、日本における教員と学生間の研究推進過程における自由なコミュニケーションと議論の進め方、学生に考えさせ次のステップへの道を導く教育システムについての経験が、UEM の中に浸透しつつあり、これも UEM から感謝される要因になっている。

2015 年 8 月 4 日に実施した国際シンポジウムに関連するメディア報道
2015 年 8 月 5 日 テレビ Miramar 局
<http://www.miramar.co.mz/Noticias/UEM-e-JICA-intensificam-pesquisas-da-jatrofa>

Ⅴ. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

Ⅵ. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

Ⅶ. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
26	Satoshi Kato, Yoshimitsu Kobashi, Yasumitsu Suzuki, Koji Tosa, Katsuyoshi Asaka, Alberto Mamamo, "Exhaust Emission Characteristics of Diesel Engine Using Jatropha Crude Oil Blends", SAE Technical Papers, 2014, 2014(01), pp.1-13	10.4271/2014-01-2770	国際誌	発表済	
27	朝香勝義, 横川和弘, 小橋好充, 加藤聰, 鈴木康允, Alberto Macamo, "ジャトロファ油/灯油混合燃料を用いたコモンレール式ディーゼル機関の特性", 日本機械学会論文集, 2015, Vol.81, No.824, pp.1-11	10.1299/transjsme.14-00527	国内誌	発表済	
27	Takaaki Yamaji, Katsuyoshi Asaka, Yoshimitsu Kobashi, Satoshi Kato, Yasumitsu Suzuki and Albert Macamo, "A Comparative Analysis of Combustion Process, Performance and Exhaust Emissions in Diesel Engine Fueled with Blends of Jatropha Oil-Diesel Fuel and Jatropha Oil-Kerosene", SAE Technical Paper, 2015, No.2015-32-0797, also published as JSAE 20159797.		国際誌	発表済	

論文数 3 件
 うち国内誌 1 件
 うち国際誌 2 件
 公開すべきでない論文 件

② 原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2012	Kazuuya Hanada, Satoshi Osawa: Water retentive ability of porous chitosan cross-linked with succinic acid and its application of cultivated plants, Material Technology, (2012), Vol. 30, No.4, pp. 119-124		国内誌	発表済	
2012	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, (2012), 69(4), 149-153		国内誌	発表済	

2012	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, (2012), 70(6), 262-267		国内誌	発表済	
2013	小橋好充, 朝香勝義, 加藤佳也, 加藤聰, 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, 2014, Vol.45, No.2, 185-190		国内誌	発表済	
2014	中村浩, 谷田育宏, 桃井香奈, 大澤敏, “カルコンのアルキル化による生分解性高分子用紫外線吸収剤としての高機能化”, 材料技術, 2014, 32(1), pp.17-24		国内誌	発表済	
2014	Motoyuki Nakao, Go Hasegawa, Tadashi Yasuhara, Yoko Ishihara, “Degradation of Jatropha curcas phorbol esters derived from Jatropha oil cake and their tumor-promoting activity”, Ecotoxicology and Environmental Safety, 2015, 114, pp. 357-364	10.1016/j.e coenv.2014 .07.009.	国際誌	発表済	
2014	加藤順子, 武市祥司, “ジャトロファの利活用のためのホルボール・エステルの毒性およびリスク管理の検討”, 日本リスク研究学会誌, 2015, 24(4), 221-230		国内誌	発表済	
2015	Yu, M., Saga, K., Imou, K., Hasegawa, F., Kaizu, Y., Tosa, K., Kato, S.: Solid fuel production from Jatropha oil cake by heat-press treatment, Engineering in Agriculture, Environment and Food	10.1016/j.e aef.2015.08 .001	国際誌	in press	
2015	嶋崎葉, 大澤敏, “天然色素による生分解性高分子の着色とケルセチン添加による退色制御”, マテリアルライフ学会誌, 2015, 27(2), pp.46-54		国内誌	発表済	
2015	嶋崎葉, 渡邊伸行, 大西咲希, 大澤敏, “天然色素で着色した生分解性高分子の色彩及び退色過程が人の感覚に与える影響”, 材料技術 2015, 33(2), pp30-36		国内誌	発表済	

論文数	10 件
うち国内誌	8 件
うち国際誌	2 件
公開すべきでない論文	件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ—おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等 別添2 研修コースおよびマニュアル.xlsxに記載

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2014	国際学会	Satoshi Kato, Yoshimitsu Kobashi, Koji Tosa, Tatsuya Taniguchi, Yasumitsu Suzuki and Alberto Macamo, "Investigation of Combustion Characteristics of Jatropha Oil Cake", Grand Renewable Energy 2014, O-Bm-2-4, Tokyo, Jul 2014	口頭発表
2014	国内学会	朝香勝義, 横川和弘, 小橋好充, 加藤聰, 鈴木康允, Macamo Alberto, "ジャトロファ油/灯油混合燃料のコモンレール式ディーゼル機関における適応性", 第25回内燃機関シンポジウム, つくば, 講演No.70, 2014年11月	口頭発表
2014	国内学会	石塚智樹, 土佐光司, Alberto Juliao Macamo, "ジャトロファ油の脱ガム, 脱酸, エステル交換反応におけるホルボールエステルの減少", 第33回エネルギー・資源学会研究発表会, 大阪, 2014年6月	口頭発表

招待講演 0 件
口頭発表 3 件
ポスター発表 0 件

② 学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2011	国内学会	土佐光司, 嶋崎啓介(金沢工業大学): ジャトロファ油のエステル交換反応におけるホルボールエステルの分解, 第30回エネルギー・資源学会 研究発表会 講演論文集, pp.266-268, 2011-6	口頭発表
2011	国内学会	加藤聰, 小橋好充(金沢工業大学): 持続的生産可能なバイオマス燃料の燃焼・排ガス特性, 第30回エネルギー・資源学会 研究発表会 講演論文集, pp.269-272, 2011-6	口頭発表

2011	国内学会	加藤聰, 小橋好充, 鈴木康允, 土佐光司(金沢工業大学): 持続的生産可能なバイオマス燃料の燃焼・排ガス特性(オイルケーキ中に含まれるホルボールエステルの挙動調査), 第30回エネルギー・資源学会 研究発表会 講演論文集, pp.273-274, 2011-6	口頭発表
2011	国内学会	土佐光司, 土井 翼(金沢工業大学): ジャトルファ油絞り滓の堆肥化に関する研究, 第30回エネルギー・資源学会 研究発表会 講演論文集, pp.275-276, 2011-6	口頭発表
2011	国内学会	武市祥司(金沢工業大学): マルチ・エージェント・シミュレーションを用いる毒性リスクの評価支援システムの開発性, 第30回エネルギー・資源学会 研究発表会 講演論文集, pp.277-278, 2011-6	口頭発表
2011	国内学会	加藤順子, 武市祥司(金沢工業大学): ジャトルファに含まれるホルボールエステルの暫定的リスク評価, 日本リスク研究学会 第24回 年次大会演論文集, pp.59-64, 2011-11	口頭発表
2011	国内学会	嶋崎啓介, 土佐光司(金沢工業大学), ジャトルファ油のバイオディーゼル化におけるホルボールエステルの分解, 第4回化学工学3支部合同福井大会講演要旨集, p101.2011-12	口頭発表
2012	国内学会	芋生憲司(東京大学), モザンビークにおけるジャトルファバイオ燃料の持続的生産, バイオマス燃料の事業化に向けた国際戦略シンポジウム, 東京, 2012年9月	招待講演
2012	国内学会	合田 真(日本植物燃料株式会社), JICA-JST地球規模課題対応国際科学技術協力事業「モザンビークにおけるジャトルファバイオ燃料の持続的生産」, グリーンエネルギーフォーラム, 東京, 2012年12月	招待講演
2012	国内学会	飯野浩典, 加藤聰, 小橋好充, 鈴木康允, 土佐光司(金沢工業大学): ジャトルファオイルケーキの毒性物質除去法の検討, 第31回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp173~174, 2012年6月	口頭発表
2012	国内学会	加藤佳也, 小橋好充, 加藤聰(金沢工業大学): コモンレール式ディーゼル機関におけるジャトルファフルードオイル混合軽油の燃焼・排出ガス特性, 第31回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp175~178, 2012年6月	口頭発表
2012	国内学会	嶋崎啓介, 土佐光司(金沢工業大学), ジャトルファ由来ホルボールエステルの生分解性, 日本水処理生物学会誌 別巻, 32号, (会議録), p57, 2012年10月	口頭発表
2012	国内学会	于蒙, 佐賀清崇, 海津裕, 芋生憲司(東京大学), 土佐光司, 加藤聰(金沢工業大学), ジャトルファ搾油残渣からの固形燃料製造, 農業環境工学関連学会合同大会, 宇都宮, 2012-9	口頭発表

2012	国際学会	Motoyuki Nakao, Satoko Kinoshita, Yoko Ishihara (Kurume University, School of Medicine, Department of Public Health) Transdermal toxicity of the phorbol ester isolated from biodiesel feedstock, <i>Jatropha curcas</i> . Society of Toxicology, 52th Annual Meeting. Program pp259 March 10 -14, 2013.	ポスター発表
2013	国内学会	三本木一夫(日本植物燃料株式会社), 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, JIRCAS 講演会, 沖縄, 2013年7月	招待講演
2013	国際学会	Shoji Takechi (金沢工業大学) and Kenji Imou(東京大学): Sustainable Energy Production System from <i>Jatropha</i> in Mozambique Project 22nd International Conference on Production Research (Iguassu, Brazil), The International Foundation for Production Research (IFPR), 2013年7月	口頭発表
2013	国内学会	石塚智樹, 土佐光司(金沢工業大学), 加納説(太田油脂株式会社): アルカリメタノール法によるBDF製造及びホルボールエステルの挙動, 第32回エネルギー・資源学会研究発表会, 2013.6	口頭発表
2013	国際学会	土佐光司, 嶋崎啓介(金沢工業大学): ジャトロファに含まれるホルボールエステルの紫外線および酵素リパーゼによる分解, 第32回エネルギー・資源学会研究発表会, 2013.6	口頭発表
2013	国内学会	高谷 佳樹, 吉川 裕規, 中村 浩, 大澤 敏(金沢工業大学): 天然色素で着色した高分子フィルムのバイオディーゼル油の毒性センサーとしての応用, 第65回日本生物工学会年次大会(2013年9月)	口頭発表
2013	国際学会	嶋崎 栞, 今枝 遥佳, 谷田 育宏, 渡邊 伸行, 大澤 敏(金沢工業大学): 天然色素による生分解性高分子の着色とその感性評価に関する研究, 第65回日本生物工学会年次大会(2013年9月)	口頭発表
2013	国内学会	朝香勝義, 小橋好充, 加藤聡, 鈴木康允(金沢工業大学): ジャトロファクルードオイル混合軽油の機械式燃料噴射装置を用いたディーゼル機関への適応, マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.171-172, 2013.	口頭発表
2013	国際学会	谷口竜也, 小橋好充, 土佐光司, 加藤聡, 鈴木康允(金沢工業大学): ジャトロファ植物由来の固形燃料の燃焼特性, 日本機械学会東北支部第49期秋季講演会講演論文集, No.2013-2, pp.117-118, 2013.	口頭発表
2013	国内学会	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, 第24回内燃機関, 2013	口頭発表
2013	国際学会	鈴木康允, 土川紀樹, 武市祥司(金沢工業大学): 酸価を考慮したジャトロファBDFのLCA評価, エネルギー・資源学会 第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス,(2014年1月)	口頭発表

2013	国内学会	于蒙, 佐賀清崇, 海津裕, 芋生憲司(東京大学), 土佐光司, 加藤聰(金沢工業大学): ジャトロファ榨油残渣からの固形燃料製造, 第49回農業機械学会関東支部年次大会, 2013, 東京	口頭発表
2013	国際学会	Motoyuki Nakao, Yumi Shimizu, Yoko Ishihara (久留米大学): Degradation of tumor promoter activity of Jatropha curcas phorbol esters from Jatropha oil cake by soil. Society of Toxicology 53rd Annual meeting, Phoenix, AZ, USA, 24 Mar 2014	ポスター発表
2013	国際学会	Keiko Yamauchi, Motoyuki Nakao, Yumi Shimizu, Yoko Ishihara (久留米大学): Degradation of the major toxic component of Jatropha curcas phorbol esters by enzymes and sterilized water. Society of Toxicology 53rd Annual meeting, Phoenix, AZ, USA, 24 Mar 2014	ポスター発表
2014	国内学会	加藤友彰, 土佐光司, “ジャトロファ油の酸触媒によるBDF化におけるホルボールエステルの挙動”, 第14回環境技術学会年次大会, 京都, 2014年9月	口頭発表
2014	国内学会	加藤友彰, 土佐光司, “酸触媒法によりジャトロファ油からのバイオディーゼル燃料の合成”, 平成26年度日本化学会近畿支部北陸地区講演会と研究発表会, 富山, 2014年11月	ポスター発表
3014	国内学会	泉谷晃宏, 中田夕佳, 橋本英賢, 土佐光司, “酵素触媒を用いたジャトロファ油からのバイオディーゼル燃料の生成”, 平成26年度日本化学会近畿支部北陸地区講演会と研究発表会, 富山, 2014年11月	ポスター発表
2014	国内学会	田中浩貴, 谷一樹, 土佐光司, “土壌カラムを用いたBDF製造廃水の処理”, 平成26年度日本化学会近畿支部北陸地区講演会と研究発表会, 富山, 2014年11月	ポスター発表
2014	国内学会	嶋崎栞, 谷田育宏, 大澤敏, 天然色素で着色した生分解性高分子の退色に及ぼす光熱水分の影響評価, 日本生物工学会, 札幌, 2014年9月	口頭発表
2014	国際学会	Motoyuki Nakao, Satoko Kinoshita, Yoko Ishihara, “Chronic toxicity of phorbol ester, crude oil, and biodiesel fuel from Jatropha curcas. Society of Toxicology 2015 Annual Meeting, San Diego, CA, USA, Mar 2015	ポスター発表
2014	国際学会	Yoko Ishihara, Motoyuki Nakao, “Inhibition of intestinal cell proliferation activity induced by Jatropha phorbol ester may cause weight loss and death in vivo”, Society of Toxicology 2015 Annual Meeting, San Diego, CA, USA, Mar 2015	ポスター発表
2014	国際学会	Meng Yu, Yutaka Kaizu, Fumio Hasegawa, Kenji Imou, “Characteristics of internal thermal conduction into jatropha seed cake briquettes”, 2nd Asian Conference on Biomass Science, Tsukuba, Jan 2015	ポスター発表

2015	国際学会	Saki Onishi, Shiori Shimasaki, Satoshi Osawa, "Development of the biocompatible polymer with color functions by using natural pigments", International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, USA December 2015	ポスター発表
2015	国際学会	Yoko Ishihara, Motoyuki Nakao, Keiko Yamauchi, (久留米大学) "jatropha phorbol ester enhanced serum amylase activity in mice, leading to weight loss and death", Society of Toxicology 2016 Annual Meeting, San Diego, CA, USA, Mar 2016	ポスター発表
2015	国際学会	Keiko Yamauchi, Motoyuki Nakao, Satoko Kinoshita, Yoko Ishihara, (久留米大学) "Chronic toxicity of phorbol ester, crude oil, and biodiesel fuel from Jatropha curcas", Society of Toxicology 2016 Annual Meeting, San Diego, CA, USA, Mar 2016	ポスター発表
2015	国内学会	Yu, M., Kaizu, Y., K., Hasegawa, Imou, K.: F., T Producing oil and solid fuel from Jatropha seeds by heat-press treatment, 農業環境工学関連5学会2015年合同大会, 9月15,16日, 盛岡	口頭発表
2016	国内学会	于蒙, 海津裕, 長谷川文生, 芋生憲司: 加熱圧縮によるジャトロファ油脂と固形燃料同時生産, 1月20,21日, 東京	ポスター発表

招待講演	3	件
口頭発表	24	件
ポスター発表	13	件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願 ※
No.1											
No.2											
No.3											

国内特許出願数 件
 公開すべきでない特許出願数 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願 ※
No.1											
No.2											
No.3											

外国特許出願数 件
 公開すべきでない特許出願数 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所	参加人数	概要
			(開催国)	(相手国からの招聘者数)	
2011	2011年 9月5日	Launching meeting on the SATREPS project	Eduardo Mondlane University (モザンビーク)	約50(日本側13名)	来賓の祝辞とプロジェクトの概要説明
2015	2015年 7月23日	2015Pre-Symposium in Kanazawa	石川県野々市市(日本)	30名(相手国研究者2名招聘)	「モザンビークにおける持続的ジャトロファバイオ燃料生産について」発表論文8件中モザンビーク研究者2名が
2015	2015年 8月4日	International Symposium Sustainable Production of Biodiesel from Jatropha in Mozambique	Eduardo Mondlane University (モザンビーク)	119名 日本側研究者, 8名 モザンビーク側カウンターパート, 10名 ポツワナプロジェクト関係者, 3名 モザンビーク省庁関係者, 4名 UEM教職員(学部長, 教員, 研究員など), 10名 UEM学生, 66名 在モザンビーク日本大使館, 3名 JICA, 5名 報道機関, 7名 一般参加者, 3名	発表件数 日本, 7 モザンビーク, 9 ポツワナ, 1

3 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、出席者、議題、協議概要等)

年度	開催日	出席者	議題	概要
2014	2014年 4月9日	モザンビーク側 11 日本側 10 JICA 4	農村動力化実験	JICA東京本部とモザンビークJICA事務所でTV会議 モザンビーク側から3件、日本側から6件の研究活動報告 研究成果の直近の出口としての、農村動力化実験の追加を合意
2014	2014年 7月24日	モザンビーク側 11 日本側 8 JST 1 JICA 6	PDMの改訂	JICA東京本部とモザンビークJICA事務所でTV会議 モザンビーク側から3件の研究活動報告、 日本側5機関から各課題の研究計画と展望を発表 プロジェクト終了後3～5年時の目標を示すためのPDMの改訂を合意
2014	2014年 11月7日	モザンビーク側 8 日本側 5 JICA 5	研究計画	UEMで開催 両国の代表者が各課題の研究の進捗状況と計画を発表 特に農村動力化実験を含む今後の研究計画について協議
2014	2015年 3月10日	モザンビーク側 19 日本側 6 JICA 4	研究報告	UEMで開催 モザンビーク側から5件、日本側から5件の研究活動報告 シンポジウムの計画
2015	2015年 8月5日	モザンビーク側 1 日本側 3 JICA 2	研究計画	シンポジウム後にUEMで開催 ワークショップの計画 プロジェクト終了後の共同研究の可能性を協議

5 件

研究課題名	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
研究代表者名 (所属機関)	芋生 憲司 (東京大学大学院農学生命科学研究科教授)
研究期間	H22採択 平成23年4月から平成28年6月(予定) (5年間)
相手国名	モザンビーク
主要相手国 研究機関	エドワルドモンドラネ大学

JST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

研究内容・成果がモザンビーク政府、民間企業などに認められ、モ国内での実用化、普及が進展する

JSTプロジェクト目標

モザンビークの乾燥地に適したジャトロファの栽培法、および燃料への変換法と利用法が確立され、環境改善への有効性が確かめられる。

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	・JCM事業化(JCM二国間署名が締結された場合)
科学技術の発展	・ジャトロファ栽培による環境保全、環境修復の提案 ・リスクの少ないバイオ燃料製造法、利用法の提案
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	なし
世界で活躍できる日本人人材の育成	・国際的に活躍できるコーディネータの育成
技術及び人的ネットワークの構築	・カウンターパートを中心とする人的ネットワークを構築し農村電化モデル事業を行う
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・学術論文の掲載 ・国際学会での発表 ・ジャトロファ栽培法のガイドライン ・農村電化のガイドライン

