

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 「ベトナムおよびインドシナ諸国における、バイオマスエネルギーの生産システム（植林・製造・利用）構築による多益性気候変動緩和策の研究」

採択年度：平成 23 年度/研究期間：5年

相手国名：ベトナム社会主義共和国

終了報告書

国際共同研究期間*1

平成23年10月1日から平成 28年9月30日まで

JST 側研究期間*2

平成23年6月1日から平成29年3月31日まで

(正式契約移行日 平成23年11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：前田泰昭

大阪府立大学 人間社会システム科学研究科 客員教授

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）

研究グループ/テーマ	研究項目	年 度						
		開始前	H.23	H.24	H.25	H.26	H.27	H28
グループ1/最適なBDF原料樹種（ <i>Jatropha</i> 等）の選択と栽培方法の確立	1-1 植林地の調査	圃場での <i>Jatropha</i> の栽培 栽培技術の開発(石垣島、大阪府大)	植林地の選択、 荒地での植林試験、 荒地の気象調査、炭鉱跡地など植林適合地の選定	種子中の油成分と薬効成分の調査、 <i>Jatropha</i> 以外の原料の探索				
	1-2 優良樹種を選択と栽培	荒地での <i>Jatropha</i> の植林と栽培方法の確立	山岳荒地での <i>Jatropha</i> の栽培		Vernicai monta, Pongamia pinattano 栽培			
	1-3 油の採取と成分分析	油の最適分析法の確立	採取した油中の成分分析、成分と栽培条件との関係の解明					
	1-4 周辺国への成果の普及					栽培技術の他の周辺諸国への普及		
グループ2/汚染土壌の現況調査と汚染改善技術の開発	2-1 土壌測定法の開発	簡易測定法の確立	汚染土壌の簡易測定法開発と土壌の1次スクリーニング					
	2-2 植林地の汚染マップの製作		汚染土壌の詳細調査(ダイオキシン、重金属、農薬)	汚染マップの作成				
	2-3 土壌汚染物質の油への移行調査	土壌汚染物質の油への移行の基礎研究			土壌汚染物質の <i>Jatropha</i> 油への移行調査			
	2-4 処理土壌浄化技術の開発	抽出法及び超音波分解法の確立	抽出法及び超音波分解法による汚染土壌の浄化の確立					
グループ3/クリーンな高品質BDF製造プロセス	3-1 B100で利用できるBDFの開発	種々の原料による共溶媒法の確立	パイロットプラントの設計と設置	パイロットプラントを用いた共溶媒法によるBDFの製造実験				

スの確立	3-2 副生成物グリセリンの利用法開発	副生グリセリンの品質分析、燃料電池への利用	→	パイロットプラントで製造したグリセリン精製法の検討	→	グリセリン燃料電池の開発	→
	3-3 BDF 添加物の製造技術の開発			BDF 添加剤、凝固点降下剤の開発			
	3-4 薬効成分の抽出利用			ビタミン E、フィトステロールの抽出利用			
	3-5 周辺諸国へ成果の普及			BDF 製造技術の周辺諸国（ラオス、インドネシア）への普及			
グループ 4 / BDF の公共交通機関への利用と大気汚染削減の評価	4-1 ベトナムの大気汚染の現状調査と光化学活性評価	PAN, PAH測定法の確立と研修	→	ハノイ、ホーチミンでの大気汚染の測定			
	4-2 BDF 使用による大気汚染低減化効果の評価	BDF 燃焼排ガス測定法の確立	→	種々の原料から製造したBDFの排ガス分析			
	4-3 BDF 使用による新たな大気汚染の評価			BDF の利用による大気汚染改善の評価			
グループ 5 / 多益性の検証（気象変動対策、大気汚染及び土壌汚染改善、貧困撲滅）と経済効果	5-1 環境影響評価の実施	評価手法の開発	→	ベトナムにおける環境影響評価			
	5-2 経済性評価の実施	経済性評価手法の開発	→	植林及びBDF利用の経済性評価			
	5-3 統合評価の実施			本法による BDF 製造のエネルギー消費、経済性、地球温暖化防止効果の評価			

(2) 中間評価での指摘事項への対応

中間評価で指摘された今後の課題について

課題1. 植林面積にこだわることなく、BDF 生産のための最適植林・栽培技術の開発に注力し、どの樹種をどこにどのくらい植林していけば良いか、そのポテンシャル戦略をまとめて頂きたい。

答え：ベトナムの北部、中部、南部での種々の油糧樹種の植林結果および、農業地域開発省と協力して調査した結果に基づいて、ベトナムでの南洋アブラギリの植林の難しさを明らかにし、その代わりに、広東アブラギリ、ポンガミア・ピナッタ栽培のポテンシャルを明らかにした。詳しいデータについてはグループ1およびグループ5の研究結果を参照ください。

課題2. ダイオキシン汚染マップの完成と汚染土壌の浄化技術について開発を願いたい。

答え：大量に枯葉剤が散布されたベトナム中部の Quang Tri 省で 20ha および南部の Tay Ninh 省 Trang Bang でそれぞれ 6ha のダイオキシンマップを作成した。結果はグループ2の報告を参照ください。結果で示したように、毒性の強い 2,3,7,8-4 塩素化ダイオキシン (TCDD) の濃度は極めて低いため、毒性係数 (TEQ) で、濃度を表すと、極めて安全の土壌ということになる。しかし毒性の極めて低い、8 塩素化ダイオキシンの濃度は数千～数万 (pg/g 土壌) と極めて高く、過去に大量に枯葉剤が散布された跡であることは明らかである。今後は、毒性が低い、土壌中に大量に残っているこれらのダイオキシンの人体への残留蓄積性や短期の毒性だけでなく、長期の人体影響についての研究を実施する必要がある。

汚染土壌の浄化技術として、超音波と紫外線照射による相乗作用を利用した浄化を試みた。グループ2の報告に示したように、比較的長周波数の超音波照射によって、土壌中のダイオキシンが脱離し、それが紫

外線照射によって、脱塩素化されることが分かった。

課題3.LCA特に経済性評価を正確に行い、本技術、本システムの優位性を明確にして戴きたい。

答え：共溶媒法によるBDF製造法が、トランスエステル化反応速度と生成物のBDFと副生成物のグリセリンの分離速度を促進するだけでなく、プロセスから排出される廃棄物の量が約1/10に減少することが明らかとなった。また反応が加温することなく、常温で迅速に進行するため、BDF製造に用いる消費エネルギーの削減が可能である。グループ3に示したように、BDF製造過程でのコストは従来法の25円—27円/Lと比較して、約半分の13円—15円/Lとなる。

さらに共溶媒法では従来法の96.5%のFAME(脂肪酸メチルエステル)含有量と比較して、98%以上の高純度であるため、保存中の酸化による劣化や燃焼過程での不純物のモノグリセリドによるフィルターの目詰まりなどの使用時の問題点もかなり改善できる。

課題4. 共溶媒法によるBDF製造技術の開発に注力し、社会実装に向けてベトナム全体で最適なBDF生産・導入のシナリオを作成し、本プロジェクトから導出可能な政策提言をきちっとまとめて頂きたい。

答え：グループ5に記載したように、BDF生産・導入のシナリオを作成し、ベトナム政府への提言をまとめた。まとめた提言をプレゼンスに写真で示したように、ベトナムのBDFに関する監督官庁であるMOIT(工業貿易省)のCuong科学技術総局長に手渡した。その結果、ベトナムの国営会社およびMinistry of Defenseから共同でBDF製造を実施するための協力依頼があり、VNUが協力を検討中である。またベトナム政府のNo1であるTrong共産党総書記に、ベトナム国家大学の創立記念科学会議の折に、我々がSATREPSで製造したBDFを手渡した。

課題5. 日本人日本人若手研究人材育成にも注力いただきたい。

答え：中間報告で報告しなかったが、大阪府立大学の学部の2回生および3回生と修士課程の2回生が10日～14日間訪越し、VNUの学生と一緒に大気汚染の測定および環境調査を実施した。その人数は、2012年(修士2年、4人、11日間)、2013年(学部2年、2人、10日間、修士2年、4人、13日間)、2014年(学部3年、8人、12日間、修士2年、4人、13日間)、2015年修士2年、7人、11日間および14日間の合計、295人・日である。大阪府立大学では訪越した学生に正規の単位を与えている。詳しくは様式03の最終投入実績に記載した。

(3)プロジェクト開始時の構想からの変更点

●ダイオキシン汚染荒廃地での南洋アブラギリの栽培

開始時の構想

ベトナム戦争時に大量に散布された枯葉剤中のダイオキシンによって汚染されている土壌を調査し、軽度汚染されている荒廃地に南洋アブラギリ(*Jatropha curcas*)を植林し、BDFの原料とする。

変更後の構想

中部ベトナムの大量に枯葉剤が散布された地域の土壌を詳細に分析した結果、ベトナム戦争後40年以上が経過し、降雨による土壌の流失、太陽光による光分解の結果、汚染されていると言われていた地域のダイオキシン濃度は(10pgTEQ/g土壌)以下と極めて低濃度で、日本の大阪や東京の土壌の方が高濃度(100pgTEQ/g土壌以上)であった。ダイオキシンに汚染されていないことで、油糧種子ではなく他のより経済性に優れた作物の栽培が可能となった。そのために油糧樹種の栽培をベトナム北部山岳地の焼き畑による荒廃地と世界遺産ハロン湾の近隣地区にある、露天掘り石炭採掘跡の荒廃地での植林に変更した。

北部での植林のため、南洋アブラギリでは冬季に落葉し、極めて成長が遅く、単位面積当たりの種子の収穫が低かったため、冬季にも落葉せず、成長が早く、種子の収穫が多い、クロヨナ(*Pongamia pinatta*)と広東アブラギリ(*Vernicia montana*)を栽培することとした。

●植林地の広さ

開始時の構想

南洋アブラギリの植林地として、ベトナム中部のダイオキシン汚染地域に100haを予定していた。

変更後の構想

中部ダイオキシン汚染地域から北部荒廃地に変更したために、100haの広さのまとまった植林地が見つからなかったため、Lao Cai省(26ha)、Ba Vi(4ha)、Tran Bang(6ha)、Ha Long(3ha)の合計39haとなった。

●使用 BDF の濃度

開始時の構想

B100(軽油の混ざらない BDF100%)でのエンジンへの使用を考えていた。

変更後の構想

ベトナムでのディーゼルエンジンへの利用が B10 でしか許されていないので、エンジンテストでは B10, B20 B100 での観光船への利用を試験したが、実際には B10 で利用することとした。

2. プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト(公開)

(1)プロジェクト全体

本プロジェクトは1)BDF 生産のための最適植林・栽培技術の開発、2)ダイオキシン汚染土壌の対策技術の開発、3)高品位 BDF クリーン製造技術、4)BDF 利用における大気汚染影響の評価、5)BDF 利用による社会経済・環境影響評価と BDF 戦略の、いわゆる BDF 製造の上流から下流までを網羅したプロジェクトであるため、プロジェクト開始直後には5つのグループの協力体制とそれぞれの成果情報の共有が難しかった。しかしそれぞれのグループの蓄積された技術とベトナム側のカウンターパートとの協力体制の確立が出来上がるにつれて、お互いの成果の情報交換がスムーズになり、最後にはグループ1からグループ4までの成果がグループ5に集まり、各グループの目標がほぼ達成された。

(2) 研究題目1 (グループ1) :

BDF 生産のための最適植林・栽培技術の開発

最適な BDF 原料樹種(*Jatropha Curcas*(南洋アブラギリ)、*Pongamia Pinnata*(クロヨナ)、*Vernicia montana*(広東アブラギリ)、*Hibiscus sabdariffa* (ロゼーレ)、*Hevea brasiliensis* (パラゴムノキ) 等および優良系統の選択と栽培場所、栽培方法の確立、栽培方法による油の採取量、油の品質を検討する。

①研究題目1の研究のねらい

荒地でも十分に成長し、十分な BDF 原料油を供給可能な非食用油生産樹種について、優良樹種の選択とその最適栽培法を確立し、採取した油を BDF の原料としてグループ3へ供給する。

②研究題目1の研究実施方法

ベトナムでは図 1.1 に示したように、5か所で実際の栽培試験を実施し、平成 28 年 5 月現在、4か所で栽培を継続した。*Jatropha* の優良種の選択とその組織培養による苗生産については技術的に目途がついた。植林試験については、北部の Va Bi, Ha Long で 6ha、中部 Quang Tri で 5ha、南部 Tran Bang で 5ha の合計16ha の荒地地で *Jatropha curcas* の栽培を中心に、気象条件、施肥、灌水と成長、油収量を検討した。

季節ごとの体積含水率、光合成特性を測定し、成長との関係を明らかにした。来年度から果実の採取、油の採取が始まる。さらに、油の収穫量の多いとされており、マメ科のために窒素肥料のいらぬ、*Pongamia Pinnata*(クロヨナ)の植林を Va Bi, Ha Long で実施し、また低温耐性の強いトウダイグサ科 *Vernicia montana* (広東アブラギリ) の栽培を Ha Long、Lao Cai で、さらにツバキ科 *Camellia oleosa* の栽培を Ha Long で実施した。日本の 2 か所(大阪府立大学と石垣島の JIRCAS)では、栽培技術の基礎知見について検討した。

③研究題目1の当初の計画(全体計画)に対する成果目標の達成状況とインパクト

平成 23 年度 (2011 年度)

(1) 熱帯生物研究所(ホーチミン市)で *Jatropha* 優良苗の組織培養試験を開始

(2) 日本(大阪府立大学と JIRCAS 石垣支所)において、栽培技術の基礎検討を開始

平成 24 年度 (2012 年度)

(1) Ba Vi, Quang Tri で挿し木による *Jatropha* 苗の生産と植林試験を開始



図 1.1. ベトナムでの5か所の植林地

- (2) Ba Vi 及び Quang Tri 植林地へ気候観測機器を設置
- (3) 熱帯生物研究所で *Jatropha* 優良苗の組織培養試験を継続
- (4) 日本 (大阪府立大学と JIRCAS 石垣支所)において、栽培技術の基礎検討を継続

平成25年度 (2013年度)

- (1) Ba Vi、Quang Tri で *Jatropha* の植林試験を継続
- (2) 熱帯生物研究所で *Jatropha* 優良苗の組織培養試験を継続
- (3) Ha Long 炭鉱跡地で *Jatropha* の植林基礎試験を開始
- (4) 日本 (大阪府立大学と JIRCAS 石垣支所)において、栽培技術の基礎検討を継続

平成26年度 (2014年度)

- (1) Tran Bang で *Jatropha* 苗の植林試験を開始
- (2) 熱帯生物研究所で *Pongamia* 苗の組織培養試験を開始
- (3) Ha Long 植林地へ気候観測機器を設置
- (4) Ha Long 炭鉱跡地で *Jatropha*、*Pongamia*、*Vernicia*、*Cameria* の植林試験を開始
- (5) 日本 (大阪府立大学と JIRCAS 石垣支所)において、栽培技術の基礎検討を継続

平成27年度 (2015年度)

- (1) Ba Vi で *Jatropha* の植林試験を再開するとともに、*Pongamia* の植林試験を開始
- (2) Trang Bang で *Jatropha* の植林試験を継続
- (3) 熱帯生物研究所で *Pongamia* 苗の組織培養試験を継続
- (4) Ha Long 炭鉱跡地で *Jatropha*、*Pongamia*、*Vernicia montana*、*Cameria* の植林試験を継続
- (5) 日本 (大阪府立大学と JIRCAS 石垣支所)において、栽培技術の基礎検討を継続

平成28年度 (2016年度)

- (1) Ba Vi で *Jatropha*、*Pongamia* の植林試験を継続
- (2) 熱帯生物研究所で *Pongamia Pinnata* 苗の組織培養試験を継続
- (3) Tran Bang、Lao Cai 植林地へ気候観測機器を設置
- (4) 日本 (大阪府立大学と JIRCAS 石垣支所)において、栽培技術の基礎検討を継続

●検討結果

Jatropha に関する検討結果の概要は以下である。

- (1) 品種、入手地の異なる個体の生育試験:43品種をインド、スリランカ、中国、マレーシア、ラオス、タイ、ベトナム等から導入している。インドからの品種が、種子生産、油生産が最大である。
- (2) 栽植密度試験:3年生の樹木の密度は、3x3m²が最適。3年まではそれより高密度で栽培し、面積当たりの収量を確保する。
- (3) 肥料試験:基肥として牛糞堆肥、雨期の直前にも牛糞堆肥 2 kg/plant を施肥している(この処理が収量良好)。
- (4) 剪定試験:2年ごとに剪定する。2年目60梢、4年目100梢(この処理が収量良好)。剪定は、雨期の直前(5月)が良く、乾期直前の11月の剪定は最悪、8月は中庸である。剪定の翌年1年間には、種子を連続的に収穫できる。
- (5) 灌水試験:乾期に灌水実験を行った結果、8L/day/plant 区が良好であった。
- (6) 苗生産技術:油生産能力の高い遺伝子型の個体から採取した植物組織(例えば、葉や茎の切片)から組織培養により、同じ遺伝子型の苗を効率的に生産する技術を確認した。また現場での挿し木苗増殖について、発根を促進し、さらに水ストレスに耐性を持つ根系を発達させる技術について、目途が立った。
- (7) 病虫害:一般には15年間生産可能であるが、生産現場では、病気、害虫(カイガラムシ類)の被害が問題となる。
- (8) 収穫適期:果実が黄色～茶色になるころが収穫適期である。

●各油糧樹種の生育・利用特性

試験した油糧樹種の各地域での特性およびその他の検討した油糧原料について、それらの特性の概要を表1.1.に示す。

表 1.1. 試験した油糧樹種の各地域での特性

樹種	ベトナム北部 (Ba Vi等)	ベトナム中部 (Quang Tri等)	ベトナム南部 (Trang Bang等)	炭鉱跡地 (Ha Long等)	参考：沖縄 (石垣島等)	留意点
ジャトロファ <i>Jatropha curcas</i>	×不適 低温で生育が停止して収穫が見込めない期間が長く、また病害の発生も多いため、最終的な収量が目標値よりかなり低い。	(おそらく×不適) 試験地の管理に問題があり、栽培試験を中止した。ただし、山間部の状況は北部と類似し、低温等によって収量は見込めないと思われる。	○可 年間を通じて気温が高く、開花・結実する期間も長い。適切に管理すれば、優良系統では収量が目標値を上回る。	×不適 土壌が劣悪で、冬期の気温も低く、適切な施肥と水の管理も難しい場所では、生存は可能でも収量は見込めない。病害の発生も多い。	×不適 毎年の夏期の台風で被害を受けるため、収量が見込めない。また、病害の発生も多い。	1年目から収穫できる。ただし、ベトナム南部でも、十分な収量を得るためには、灌水、施肥、剪定、病害、雑草等の管理を適切に行う必要があり、コスト面での問題はあり。
ポンガミア <i>Pongamia pinnata</i>	◎適 冬期の低温にも耐え、病虫害も観察されない。ハノイ植物園での観察結果から、一定の収量は見込まれる。収穫方法の検討が必要である。	(おそらく◎適) 本課題の中では未検討であるが、潮害に極めて強いので、主に海浜部の未利用地に防溺林等を兼ねて植林することの検討を提案したい。	(おそらく◎適) 本課題の中では未検討であるが、潮害に極めて強いので、主に海浜部の未利用地に防溺林等を兼ねて植林することの検討を提案したい。	◎適 マメ科植物であるので、窒素肥料が不十分でも良く生育する。また、深根性なので、根付いてしまえば水不足にも耐える。塩害にも強い。	○可 島内に自生するが、収量は台風の影響を大きく受ける。潮害には強い。さやの中の種子への虫害が著しい。	開花・結実までに3、4年かかり、収量の増加にはさらに数年かかる。石垣島で見られるような虫害がベトナムでも発生する可能性がある。
アブラギリ類 <i>Vernicia Sp.</i>	○可 ベトナム北部の山間部の冷涼な気候下でも良く生育する。ただし、収量についてはまだ不明な部分があり、収穫方法も検討する必要がある。	(おそらく○可) 本課題の中では未検討であるが、生育は可能と思われる。しかし、中には他の樹種の選択もあり、コスト面での優位性は疑問。	(おそらく○可) 本課題の中では未検討であるが、生育は可能と思われる。しかし、中には他の樹種の選択もあり、コスト面での優位性は疑問。	×不適 土壌が劣悪で、冬期の気温も低く、適切な施肥と水の管理も難しい場所では、生存は可能でも収量は見込めない。	○可 石垣島の中では見かけないが、近隣の台湾には多く自生しているため、生育は可能と思われる。	開花・結実までに数年かかり、収量の増加にはさらに数年かかる。種子の収量は、3t/ha程度と推定されている。工業品加工への用途の方が、BDF原料より付加価値が高い。
ローゼル (種子) <i>Hibiscus sabdanffa</i>	(おそらく○可) 沖縄でも栽培できるので、ベトナム北部でも生育は可能であると思われる。	○可 ベトナム中部では、年2回栽培が可能である。	○可 ベトナム南部では、年2回栽培が可能である。		○可 沖縄では、年1回の栽培である。半年度の作物なので、台風被害があっても、樹木の作物と違って翌年に影響がない。	がくを食用とするローゼル栽培での未利用の廃棄物。がくの利用時に収穫する方法の検討が必要である。種子の収量は、1t/ha程度と推定されている。
ゴム (種子) <i>Hevea brasiliensis</i>		○可 樹液でのゴム生産のために、すでに多く植えられている。	○可 樹液でのゴム生産のために、すでに多く植えられている。			ゴム種子は、樹液でのゴム生産における未利用資源で、新たに栽培コストはかからない。ただし、種子の収集方法の検討が必要である。BDFにした際の品質が若干悪い。
ヒマ <i>Ricinus communis</i>	○可 ベトナム北部の冷涼な気候下でも良く生育する。	○可 ベトナム中部の山間部などの冷涼な気候下でも良く生育する。	○可 南部の高温になる気候下でも良く生育する。	○可 劣悪な土壌でも、肥培管理を適切に行えば良く生育する。		1年で収穫が可能である。広範な地域で栽培が可能であるが、工業用、医療用の用途の方が、BDF原料より付加価値が高い。
カメリア <i>Camellia japonica</i>	○可 ベトナム北部の冷涼な気候下でも良く生育する。ただし、収量などについてはまだ不明である。			○可 劣悪な土壌でも、肥培管理を適切に行えば良く生育する。ただし、収量などについてはまだ不明である。	○可 近年、宮古島等で防風林の樹間に植林する試みがあり、化粧品等への加工も行われている。	開花・結実までに数年かかり、収量の増加にはさらに数年かかる。化粧品等の原料への用途の方が、BDF原料より付加価値が高い。
参考：ナマズ等の魚油			○可 ベトナム南部のメコンデルタ地帯の水産加工業の残渣として、原料は大量に存在する。			食用としての用途の方が、BDF原料より付加価値が高い。
参考：米ぬか油			○可 ベトナム南部のメコンデルタ地帯の稲作の加工残渣として、原料は大量に存在する。			食用としての用途の方が、BDF原料より付加価値が高い。

●ベトナムにおける BDF 原材料としての *Jatropha curcas* の評価

この SATREPS プロジェクトの当初の段階では、*Jatropha curcas* はベトナムでの BDF 原料として有望な油糧樹種の候補と考えていた。そこで、ベトナムにおける *Jatropha* の気候適応性と荒地における生産性が調査された。

最終的な結論としては、高収量遺伝形質の *Jatropha* をベトナム南部の熱帯気候で適切に管理された農場で栽培した場合、十分な種子収量を得ることができた。しかし、冬季に平均気温が 20°C を下回るベトナム北部の亜熱帯気候では、*Jatropha* は十分な種子収量を得ることができなかった。荒地での *Jatropha* の栽培は、他の種の植物、例えばクロヨナ (*Pongamia pinnata*) や広東アブラギリ (*Vernicia montana*) と比べて生育が劣っていた。さらに、後述するようにベトナムの *Jatropha* では深刻な病害が発生しており、早期に対策を講じないと種子収量が大幅に減少することが判明した。

●ベトナム北部と南部 *Jatropha* の種子収量の違い

ベトナムは南北に長く、地域によって気候は大きく異なる。SATREPS プロジェクトでは、*Jatropha* の気候適応性を調査するために、ベトナム北部の Hoa Binh 省 Va Bi とベトナム南部の Tay Ninh 省 Trang Bang において、*Jatropha* の成長と種子収量の比較を行った。

●Ba Vi および Trang Bang の地理的および気候的特徴

ベトナム北部の Jatropha 栽培試験は、IIFPD (Institute for Improvement of Forest Genetic Resources and Products Development)が管理する Ba Vi 実験圃場で行われた。実験圃場は Hoa Binh 省の山間部に位置し、ハノイから車で約3時間(150km)の距離にあった。他方、ベトナム南部での Jatropha 栽培試験は、IOOP (Research Institute for Oil and Oil Plants) が管理する Trang Bang 実験圃場で行われた。実験圃場は Tay Ninh Province の平地に位置し、ホーチミン市から車で約3時間(130km)の距離にあった。

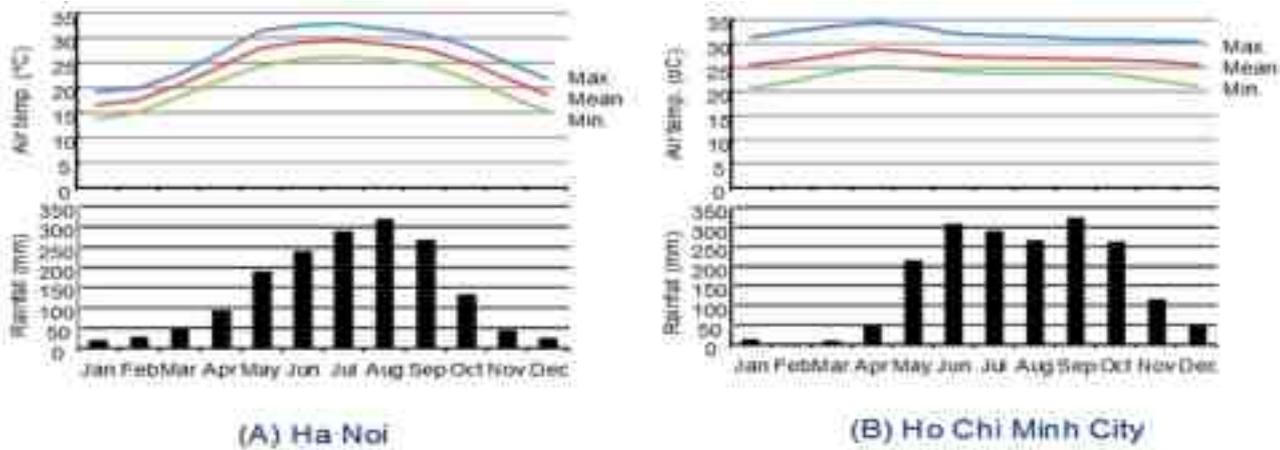


図 1.2. (A)ハノイと(B)ホーチミン市の月平均気温と降水量

ハノイ市(図 1.2.A)は亜熱帯気候に属し、12 月から 2 月にかけて気温は 20°C 以下になり、最低気温は 15°C 以下になる。山岳地域にある Ba Vi の気温は、ハノイ市わずかに低いと考えられる。他方、ホーチミン市は熱帯気候に属し、ホーチミン市の気温は年間を通じて 20°C 以下には低下しない(図 1.2.B)。Trang Bang の気温は、ホーチミン市とほぼ同じである。

ハノイ市とホーチミン市の降雨量はほぼ同様な年変化を示し、4 月から 11 月には十分な降雨量があり、12 月から 3 月までの冬季にはほとんど降雨がない。Ba Vi の Jatropha 圃場は山間部にあるため、冬の低気温時には霧が発生するなど、冬期の少降雨期間でも Jatropha の生残に問題はないと考えられる。しかし Trang Bang の Jatropha 圃場では、ホーチミン市のように降水以外の天然水分は供給されていないため、冬期の少降雨期間には灌水管理が必要となる。

●Ba Vi および Trang Bang における Jatropha のフェノロジー

上述したように、Ba Vi では、Trang Bang と比較して冬季に気温が低下するため、Ba Vi における 1 年の内の Jatropha の成長、開花および結実の期間は、Trang Bang のそれら期間よりもかなり短い(図 1.3)。春には、Ba Vi での Jatropha の出芽開始は Trang Bang より 1 ヶ月遅れ、Ba Vi での開花と結実の開始も、Trang Bang のそれより 2~3 ヶ月遅れている。逆に、Ba Vi での開花と結実の終わりは、Trang Bang のものより約 1 ヶ月早い。したがって、Jatropha の花・結実期間は、Ba Vi では約 5 ヶ月、Trang Bang では約 10 ヶ月であった。Ba Vi および Trang Bang における開花・結実期間の長さの差異は、Jatropha 種子収量に大きな影響を及ぼす。ちなみに、冬季の落葉は、Ba Vi では低温によって、Trang Bang では水ストレスなど他の生理学的要因によって引き起こされると考えられる。

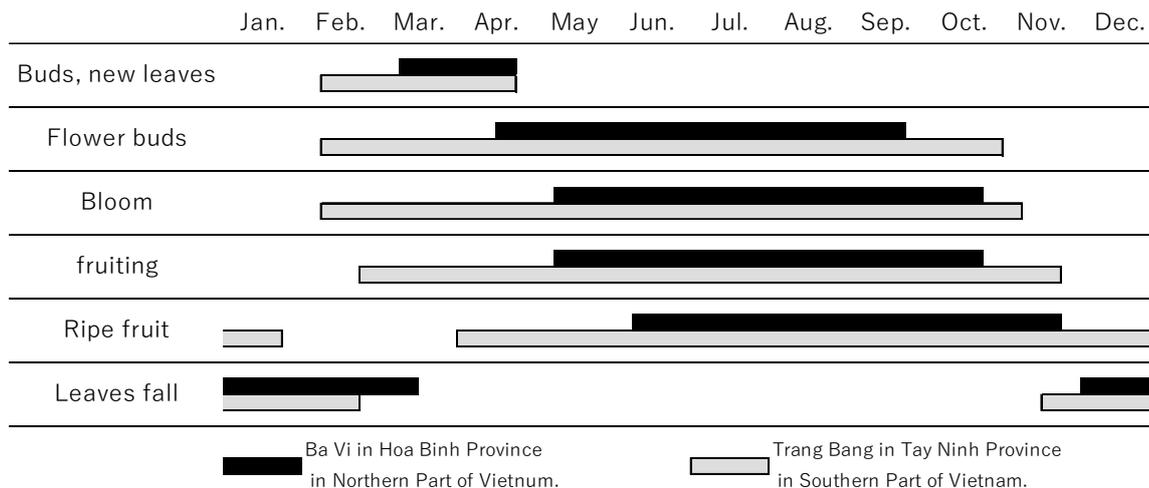


図 1.3. Ba Vi および Tang Bang における Jatropha のフェノロジー

●Ba Vi および Tran Bang における Jatropha の種子収量

図 1.4.は、Trang Bang で栽培された Jatropha60 系統の 2015 年における樹木当たりの種子収量の頻度分布を示す。これらの系統は、世界およびベトナム国内から集められた。それらは 4 回に分けて植栽され、調査時点(2015 年)で 8 年(7 系統)、7 年(25 系統)、5 年(9 系統)、2 年(19 系統)経過していた。

気候が Jatropha 栽培に適している場合、移植後約 10 ヶ月で最初の収穫を得ることが可能である。しかし、人手で収穫するための樹高管理と整枝のために剪定が行われるので、最大の種子収量に達するのに 3~5 年が必要である。

Trang Bang で 5~8 年生の種子収量は、700~1000 g/tree でほぼ安定しており(図 1.4.)、最高収量は 2135 g/tree であった。しかし同じ系統でも 2 年生の種子収量は約 200~400 g/tree であり、最大種子生産能にはまだ達しなかった。

一方、Ba Vi では Jatropha44 系統が試験され、調査時点(2013 年)では、すべての系統は植栽後 3 年経過していた。Ba Vi における Jatropha の 44 系統の 25%が種子収量 g/tree 未満であり(図 1.5)、他の多くの系統も数 g/tree であり、2 系統のみが 10 g/tree 以上であった。この結果は、Trang Bang の 2 年生樹の種子収量よりも約 2 桁低いものであった。3 年生であることから、その種子収量は最大には達していないと考えられるが、Trang Bang に比べて生産性はかなり低いことが分かった。

Trang Bang と Ba Vi における Jatropha の種子収量の大きな違いは、主に気候(特に冬季の気温)と病害管理の違いから生じたと考えられた。Ba Vi で冬季の低温による開花・結実期間の長さは、Trang Bang の約半分であり、種子生産量の低下を引き起こす主要因と考えられる。

低気温は、Jatropha の成長抑制の原因ともなり得る。表 1.2 は、Ba vi および Trang Bang における Jatropha 樹の成長特性を示す。Ba Vi と Trang Bang の樹体幹直径はほぼ同じであったが、Trang Bang では樹高、樹冠直径、側枝数が Ba Vi に比べてかなり大きかった。Jatropha は通常、若い側枝の茎頂に花を付けるので、側枝数は種子収量にとって特に重要である。

樹高、樹冠直径、側枝数は、気候だけでなく、剪定方法によっても影響を受ける。Ba vi と Trang Bang 間での剪定方法の違いは確認できていないが、表 1.2 の各パラメタの違いは、剪定方法によっても影響されることに留意しなければならない。

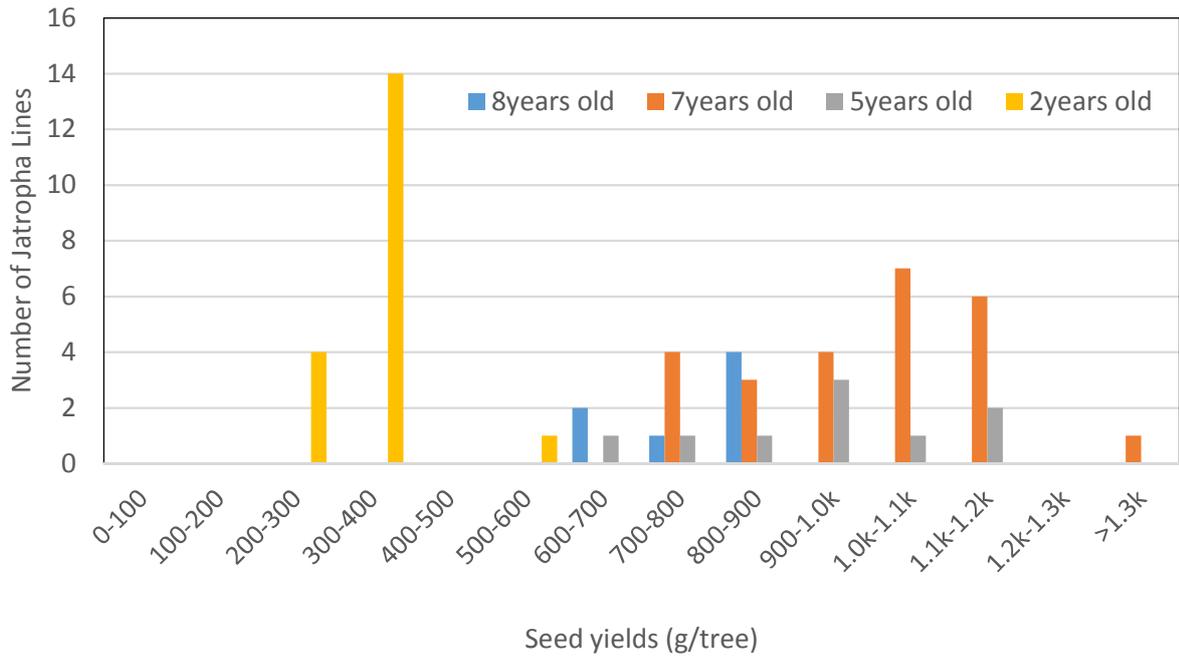


図1.4. Trang Bangで栽培されたJatropha60系統の2015年における樹木当たりの種子収量の頻度分布

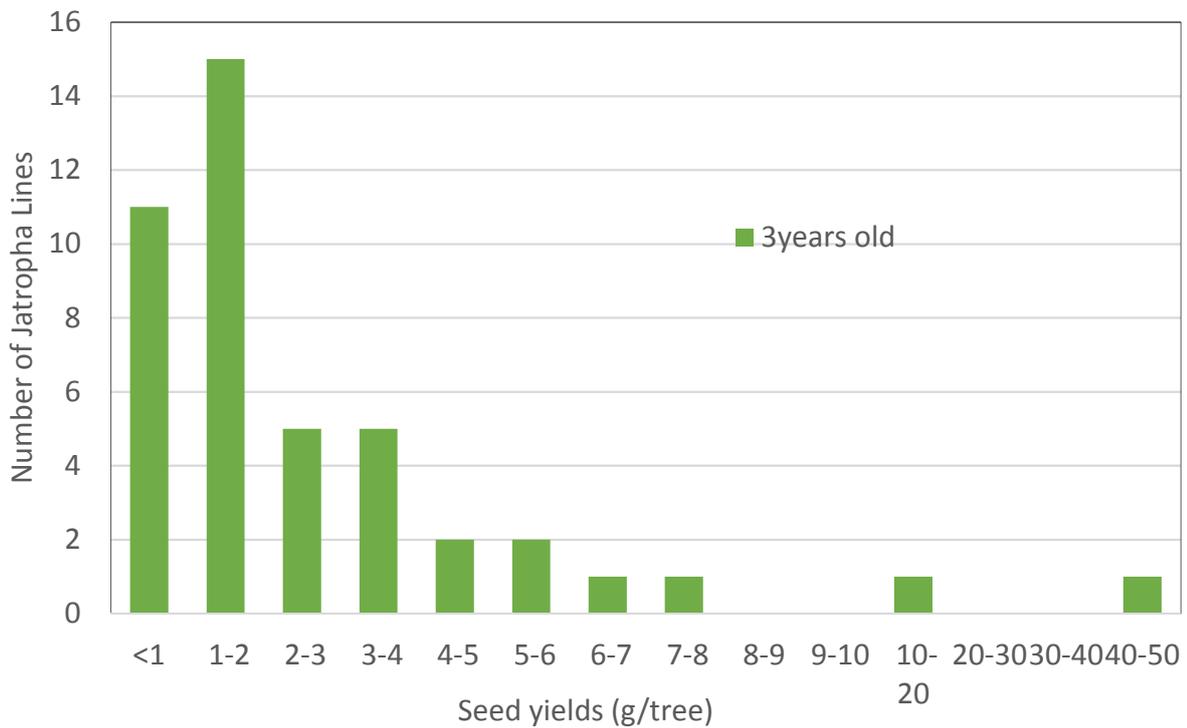


図1.5. Ba Viで栽培されたJatropha44系統の2013年における樹木当たりの種子収量の頻度分布

表 1.2. Ba Vi および Trang Bang における *Jatropha* 樹体の成長特性

Table 2. Growth characteristics of *Jatropha* in Ba Vi and in Trang Bang

Experimental site	Plant height (m)	Canopy diameter (m)	Number of branchlet	Trunk diameter (cm)
Ba Vi (44 lines, 3years and 5months after planting)	1.00-1.37 (the meam 1.25)	0.62-1.51 (the mean 1.22)	11.67-18.23 (the mean 18.54)	6.15-9.06 (the meam 7.88)
Trang Bang (19 lines, 3years and 2 months after planting)	1.31-2.25 (the mean 1.68)	1.02-2.22 (the mean 1.45)	15.00-40.00 (the mean 25.37)	4.30-10.80 (the mean 7.13)

●*Jatropha* の成長に及ぼす根圏水分の影響

ジャトロファ (*Jatropha curcas* L.) は、熱帯・亜熱帯に生育するトウダイグサ科の非食用植物であり、乾燥に強いといわれてきた。食料生産との競合を避けるためには、半乾燥土壌や汚染土壌など食用植物の栽培不適地での *Jatropha* の栽培管理技術を確立しなければならない。そのためには、水供給が不十分な条件下にある *Jatropha* の生育に及ぼす地下水由来の土壌水の影響を把握する必要がある。そこで本研究では、*Jatropha* 栽培における給水管理技術確立の基礎的知見を得るために、地下水位の異なる砂質土壌における *Jatropha* の初期成長について検討した。

表 1.3. 処理開始から 6 週間後における *Jatropha* の生長。

処理区	乾物重 (g/plant)		植物体の含水率 (%)		TR比	最大根長 (cm)
	地上部	地下部	地上部	地下部		
-10 cm区	19.6±2.2 ^x a ^y	1.97±1.2 a	86.5±0.6 a	87.4±1.5 a	10.1±0.9 a	15.3±1.7 ab
-35 cm区	3.3±1.0 b	0.5±0.2 b	87.5±0.3 a	81.1±0.3 ab	6.4±0.5 b	20.3±2.3 a
-60 cm区	0.9±0.3 b	0.1±0.0 b	85.4±0.2 a	73.6±2.9 b	7.8±0.4 ab	11.9±0.9 b

^x 平均値±標準誤差 (-10 cm区:n=4,-35 cm区と-60 cm区:n=3)

^y 異なるアルファベットの試験区間には有意差があることを示す (Tukey-Kramer 検定, P=0.05)

TR比=地上部乾物重/地下部乾物重

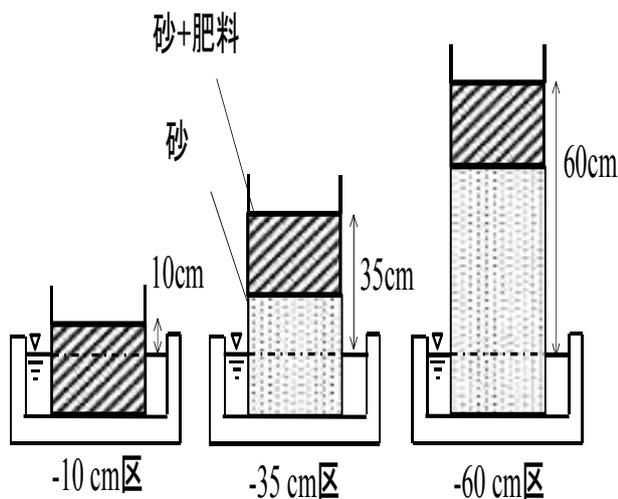


図 1.6. 地下水位を異にする試験区の概略

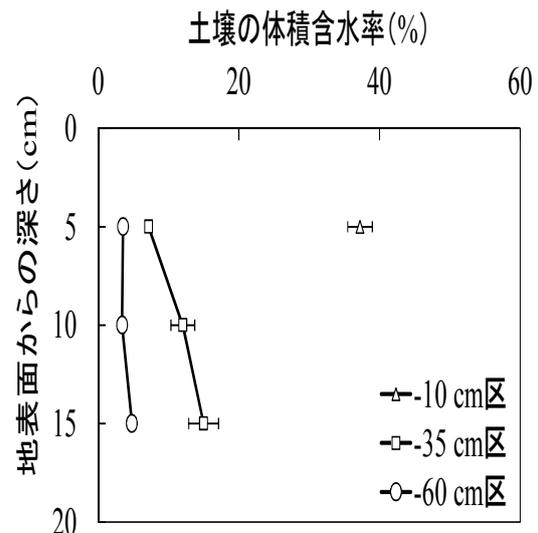


図 1.7. 地表面からの深さと土壌の体積含水率の関係。誤差線は標準偏差を示す (n=3)。

●初期成長に及ぼす根圏水分の影響

材料および方法 供試植物には、ベトナムから入手した *Jatropha* 種子由来の苗（播種後 15 日）を用いた。水を入れた水槽（底面 85×55 cm²、高さ 19 cm）内に、砂質土壌を模擬するため、砂を充填した底のない容器（底面 55×41 cm²、高さ 25, 50, 75 cm）を設置した。地下水位（地表面高 - 自由水面高）を 3 段階（-10 cm 区、-35 cm 区、-60 cm 区）に設定した（図 1.6）。表層から 25 cm の砂に遅効性肥料を混合した。実験は大阪府立大学園場内温室内で 2012 年 6 月～9 月に行った。各試験区に苗を縦 3×横 5 の計 15 個体ずつ植え、1 週間、表面散水を行った。土壌の体積含水率を秤量法により測定した。莖径、莖長および葉数を経時的に計測した。葉面コンダクタンスをポロメータ（AP4, DELTA-T 社）によって測定した。3 週目、6 週目に各試験区から不作為に 3～5 個体抜き取り、生体重、乾物重、含水率、最大根長を求め、さらに根の形態を観察した。

結果および考察 実験期間中の最高および最低気温の平均値は、約 41°C および 24°C であった（図 1.2）。地下水

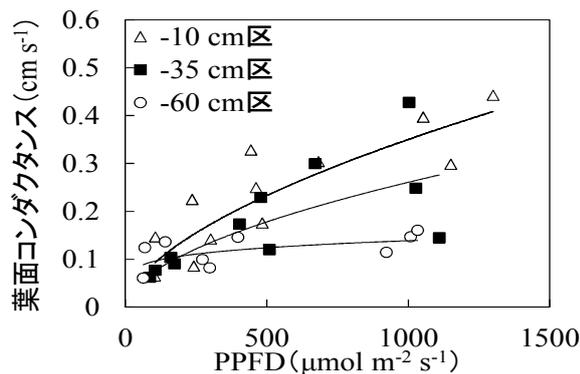


図 1.8. *Jatropha* の葉面コンダクタンスと測定時の光合成有効光量子束密度 (PPFD) の関係。2012 年 9 月 19 日（試験開始から 74 日目）に測定。

位が高くなるほど、土壌体積含水率は高くなった。（図 1.7）。-10 cm 区の *Jatropha* の乾物重は最大となった（表 1.3）。処理開始 2 週間後には、-10 cm 区の莖長、莖径および葉数が他の区より大きくなった（図 1.10）。-10 cm 区と-35 cm 区の *Jatropha* の含水率は、地上部、地下部ともに差がなかった（表 1.3）。一方、-60 cm 区の *Jatropha* では処理開始 8 週間後に 2 個体が枯死し、生存個体の地下部含水率は他の試験区と比べて低かった。これは、-60 cm 区の根近傍の含水率が低かったことが原因である。葉面コンダクタンスは、-10 cm 区で他の試験区より大きい傾向があった（図 1.8）。-35 cm の TR 比（=地上部乾物重/地下部乾物重）は最小であり、最大根長は他の試験区より大きい傾向があった（表 1.3）。*Jatropha* の根は、-35 cm 区および-60 cm 区では鉛直方向に、-10 cm 区では水平方向に広がる傾向があった（図 1.10）。これらのことから、根圏の土壌水が多いと、*Jatropha* 地上部の初期成長は良いが、根は地下深くまで伸長しないと考えられる。このような植物体は乾季など水の供給が不十分な環境下で、地表面付近の土壌水が不足する場合には、吸水が困難になり、枯死しやすくなる可能性が示唆された。

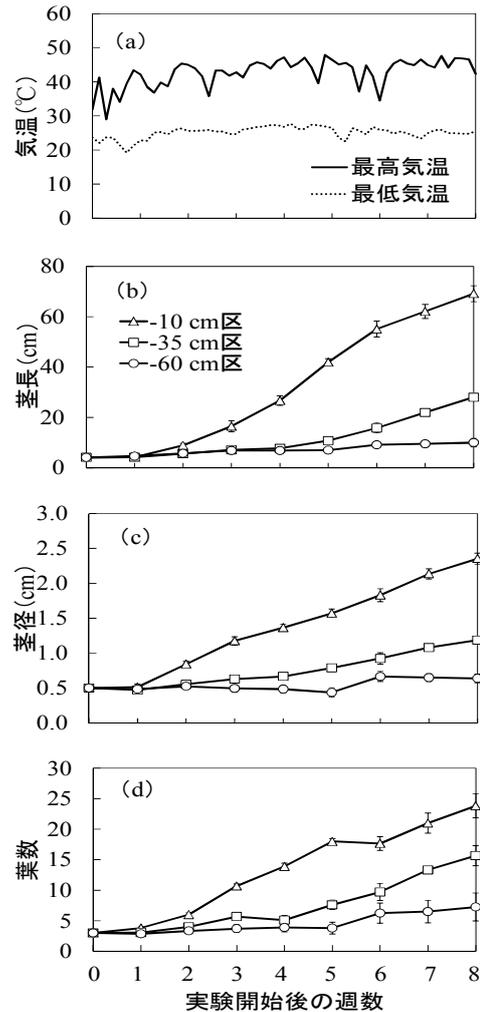


図 1.9. (a) 栽培試験を行ったプラスチックハウス内の気温、および *Jatropha* の (b) 莖長、(c) 莖径、(d) 葉数の推移。誤差線は標準誤差。2012 年 7 月 3 日に実験を開始した。供試植物： $n=4\sim 15$ 。測定開始日を 0 週目とする。

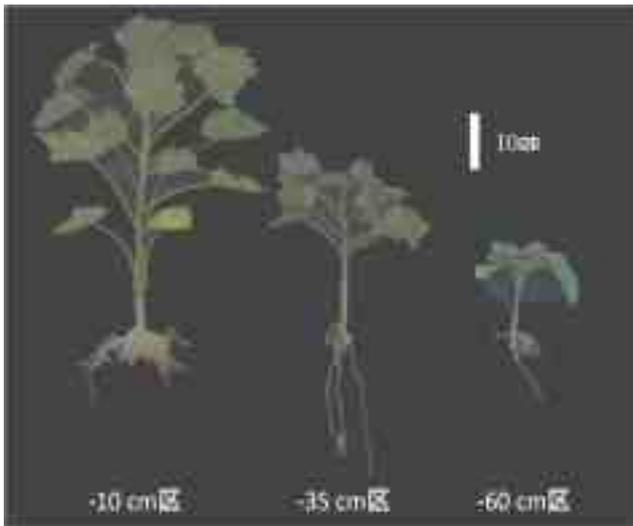


図 1.10. 地下水位の異なる環境で 6 週間育成した *Jatropha*

18 か月後の植物体は、-35 cm 区が最大となった

(図 1.10)。-10 cm 区の過剰な土壤水分は、*Jatropha* の長期の生育にとっては不利であることが示唆された。-60 cm 区は水ストレスを常時受けるため、成長速度は最小となった。

●*Jatropha* 挿し木の土壤含水率の低下に対する生育応答材料および方法

OPU にある人工気象室内でジャトロファ (*Jatropha curcas* L.) 実生植物体および *Jatropha* 挿し木植物体を育成した(写真 1.1)。培地には砂を用い、培地底部から水道水を灌水した。実生植物体の育成条件は、気温 26°C、相対湿度 47%、光合成有効光量子束密度 (PPFD) 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明期 16h d⁻¹とした。挿し木には、3 週間育成した実生植物体を断根し、気温 28°C、相対湿度 84%、PPFD170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明期 16h d⁻¹の環境で 2 週間育成した植物を用いた (表 1.4、図 1.11)。

移植時の実生植物体と挿し木植物体の地上部の大きさをそろえるために、*Jatropha* 実生は *Jatropha* 挿し木より 2 週間遅く播種した。そのため、育成期間は実生植物体および挿し木植物体でそれぞれ 21 日および 35 日であった。その後、砂を充填した栽培容器 (26×52×32 cm³) に、実生植物体および挿し木植物体をそれぞれ 5×2 個体、交互に移植した(図 1.12)。培地およびその他の育成条件は、実生植物体育成時と同じとした。移植してから 1 週間、培地表面から灌水を行い、その後、栽培容器の底部から高さ 3 cm を維持するように、培養液 (大塚ハウス A 処方 2 倍希釈、大塚アグリテクノ(株)) を供給した。移植時の植物情報を得るために、予備用として栽培した実生植物体および挿し木植物体からそれぞれ 5 個体選び、生体重、乾物重、莖長、莖径および最大根長を測定し、画像解析ソフト (LIA32 ver0.378) を用いて葉面積を測定した。

現在、実験を継続中である。今後、底部からの灌水停止後の乾燥に伴う、培地内含水率および培地温度をモニターしながら、植物葉の光合成・蒸散速度の経時的変化を測定する。また葉内クロロフィル含量を経時的に測定する。実験終了時に、生体重、乾物重、根の形態を測定する予定である

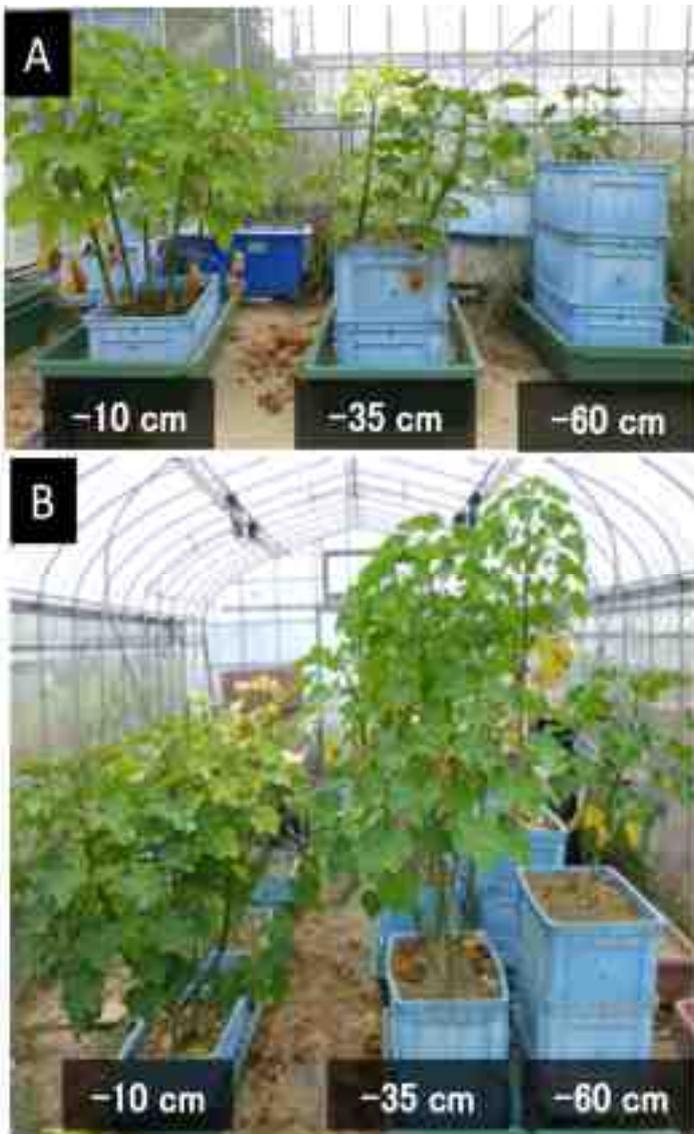


写真 1.1. 土壌表面と水面の距離による成長の違い

結果

移植時の地上部生体重、地上部乾物重、葉面積に有意差は無かったが、挿し木植物体の根量が、実生植物体に比べて少なかった (表 1.4)。

表 1.4. 実験に用いた *J. curcas* 実生苗および挿し木苗の概要

Treatment	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Stem length (cm)	Stem diameter (cm)	Maximum root length (cm)	Leaf area (cm ²)
	Shoot	Root	Shoot	Root				
Seedling	6.34 ± 0.48 ^x	1.35 ± 0.11	0.67 ± 0.05	0.10 ± 0.01	8.9 ± 0.2	0.62 ± 0.02	12.4 ± 0.9	134.34 ± 10.19
Cutting	5.16 ± 0.44	0.38 ± 0.05	0.54 ± 0.05	0.02 ± 0.00	6.9 ± 0.3	0.48 ± 0.02	0.9 ± 0.2	144.62 ± 12.78
Significance	NS ^y	***	NS	***	**	**	***	NS

^xThe value represent means ± S.E.

^y** , significant difference at $P = 0.01$, *** , significant difference at $P = 0.001$, NS, no significant difference between the two plants $P = 0.05$ by Student's t-test.



図 1.11. 実験に用いた *J. curcas* 実生苗および挿し木苗の写真

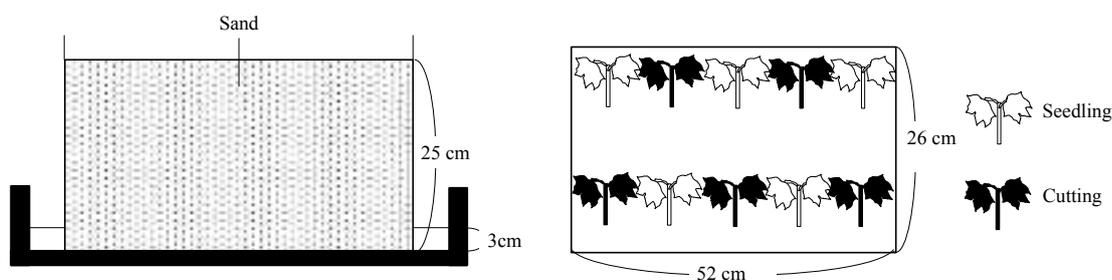


図 1.12. 実験システムの概要 (左: 側面、右: 平面)

● *Jatropha* 挿し木および実生の根の分布特性、および土壤水分減少に伴う水ストレス応答

Jatropha 挿し木および実生の根の分布特性を調べ、根の分布特性の違いが植物体の水ストレス応答に及ぼす影響を調べるため、給水停止後の土壤水分減少に伴う挿し木と実生の葉面コンダクタンス (光合成・蒸散速度の指標、以下 g_s) の変動を比較した。

【材料および方法】

<実験 1: 根の分布特性> *Jatropha* 種子を人工気象器内で子葉展開まで育成した実生、および実生の地上部を 17 日間養生した挿し木を供試した。育成条件は気温 30/25°C (明期/暗期)、相対湿度 (以下、RH) 50%、光合成有効光量子束密度 (以下、PPFD) 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明期 16 h d^{-1} とした。砂を充填した栽培容器 (26 × 52 × 32 cm^3) に供試植物を移植し、移植後は PPFD 200~300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした。移植 2 週間後、全地下部乾物重に対

する深さ 5 cm 毎の地下部乾物重の比を求めた。

<実験 2: 土壌水分減少に伴う水ストレス応答> *Jatropha* 種子を人工気象器内で 3 週間育成した実生、および実生の地上部を 2 週間養生した挿し木を供試した。育成条件は気温 28/25°C、RH 50%、PPFD 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明期 16 h d^{-1} とした。砂を充填した栽培容器に供試植物を移植し、移植後は PPFD 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした。培養液 (大塚 A 処方 2 倍希釈培養液) で栽培容器の底部から給水し、移植 1 週間後に給水を停止した。給水停止後 3 日毎に、地表面から深さ 5、15 cm の土壌の体積含水率、 g_s をそれぞれ TDR 計、ポロメータを用いて測定した。給水停止 9 日目に地上部および地下部乾物重、地下部乾物重に対する地上部乾物重の比、鉛直下方向に伸長した根の最大長を測定した。土壌の水ポテンシャル (以下、 Ψ) はサイクロメーターおよびテンシオメーターで測定したマトリックポテンシャルと培養液の浸透ポテンシャルの和から算出した。

結果および考察

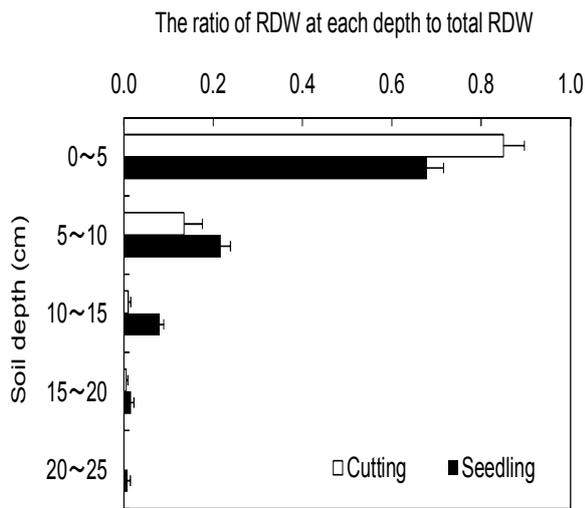


図 1.13. *Jatropha* の実生および挿し木苗の根の乾燥重量の分布 (誤差線は標準偏差 (n=6))

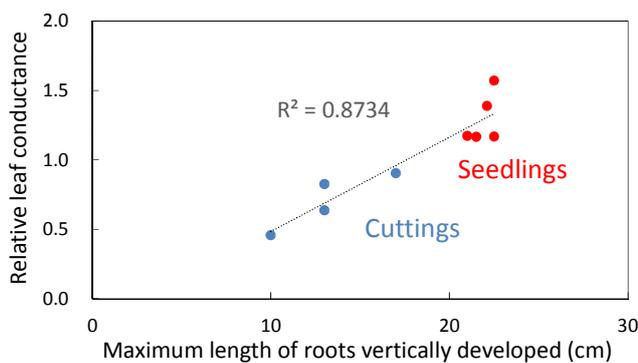


図 1.15... 給水停止後 3 日目における *Jatropha* の実生及び挿し木苗各個体の気孔コンダクタンスに及ぼす最大根長の影響

実験 1 より、挿し木は地表浅くに根を発達させ、深さ 10 cm 以深にほとんど伸長していなかったことが確認できた (図 1.13)。実験 2 終了時、挿し木および実生の地下部乾物重に対する地上部乾物重の比はそれぞれ 8.40 および 8.12 とほぼ同じであった。挿し木および実生の鉛直下方向へ伸長した根の最大長は 12.9 cm および 21.9 cm であった。給水停止 6 日目、挿し木の g_s は処理開始時の約 0.3 倍に低下したが、実生の g_s に変化はなかった (図 1.14.a)。これは、深さ 5 cm の Ψ が初期しおれ点である -0.6 MPa 以下であった (図 1.14.b) ことから、地表浅くに根を持つ挿し木は地表浅くの Ψ の低下に伴い吸水が抑制され、蒸散による水損失を防ぐために気孔を閉じたことが原因と考えられる。一方、深さ 15 cm 以深にも根を持つ実生は Ψ が高い地下深くの土壌水を吸水でき、

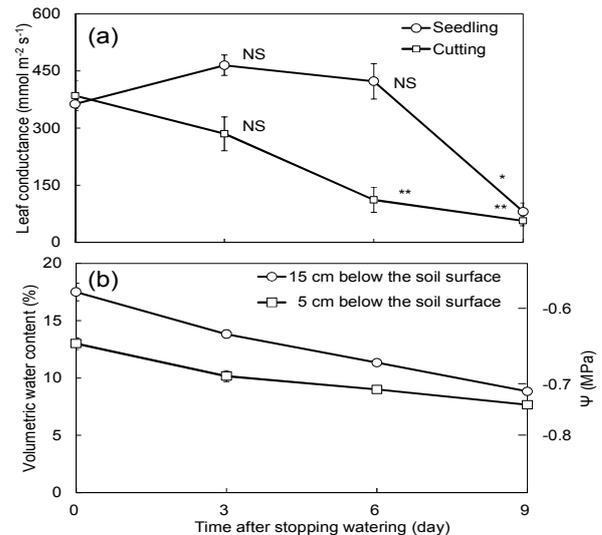


図 1.14. 土壌体積含水率および水ポテンシャル (Ψ) の低下 (b) に伴う *Jatropha* の実生および挿し木苗の気孔コンダクタンスの変化 (a)。誤差線は標準誤差 (n=6) を示す。* および ** は、実生および挿し木苗それぞれについて、初期値 (0 日目) と比べて有意差 (p=0.05 および 0.01) があることを、NS は有意差がないことを示す。

水ストレスを抑制できたと考えられる。以上のことから、地中深くに根を持たない挿し木は水ストレスを受けやすいことが示唆された (図 1.15.)。

●*Jatropha* 成木の葉のガス交換の環境応答—土壤水分を中心として— 材料および方法

本実験では、JIRCAS のプラスチックハウス内で栽培されている *Jatropha* を供試した。この施設の *Jatropha* は地中に埋め込まれた大型ポットで栽培されている。供試植物は、タンザニア産由来の種子から育成したジャトロファ (*Jatropha curcas* L.) であった。温室内の *Jatropha* は、地面に埋められた円筒型栽培容器 (直径 57.5 cm、高さ 40 cm) に植えられており、灌水は一日一回午前 4 時から 30 分間行われている。測定日は 2012 年 12 月 23 日 (冬季) および 2013 年 7 月 25 日 (夏季) とした。実験日の温室内外の気温、相対湿度をサーモレコーダーで測定した。携帯用光合成蒸散システム (LI-6400) を用いて光合成速度を測定した。測定環境はチャンバー内温度 20、30°C (冬季) /30°C (夏季)、相対湿度 60~80%、流速 500 $\mu\text{mol s}^{-1}$ 、二酸化炭素濃度 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}\text{CO}_2$ とし、光源は LED (6400-02B、Red+Blue #SI-1317) を用いた。夏季の実験では栽培容器に植えられた 3 個体の植物体 (Pot A、Pot B、Pot C) に注目し、TDR 計を用いて土壤の体積含水率、SPAD 計を用いて SPAD 値およびポロメータを用いて葉面コンダクタンスを測定した。乾燥模擬葉、湿潤模擬葉および *Jatropha* の葉の温度を、サーモカメラを用いて測定した。葉温、気温および相対湿度から、RS 法により蒸散速度を算定した。

結果

夏季及び冬季の光合成特性

栽培プラスチックハウス内の冬季測定期間の最高気温は 17.7°C、最低気温は 15.9°C、平均相対湿度は 74% であり、夏季測定期間の最高気温は 38.1°C、最低気温は 26.5°C、平均相対湿度は 76% であった。夏季の純光合成速度は、強光下では冬季に測定した純光合成速度の約 1.5 倍であった (図 1.16.)。冬季、測定部位の葉温を変えて測定した結果では、強光 (PPFD 1000–2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 下の純光合成速度は、葉温 20°C および 30°C の間に有意差はなかったが、弱光 (PPFD 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下) 下での純光合成速度は、葉温 30°C が 20°C に比べて 20% 減少した。このことから、冬季の弱光下では、葉温よりも植物体全体が順応している気温がジャトロファの光合成に影響を与えていると考えられる。

夏季、3 個体の *Jatropha* がそれぞれ生育しているポット内土壤の体積含水率 (VWC) は Pot A < Pot B < Pot C の順に大きかった (図 1.17.)。Pot B および Pot C の *Jatropha* では、葉位の小さい葉 (葉齢が低く若

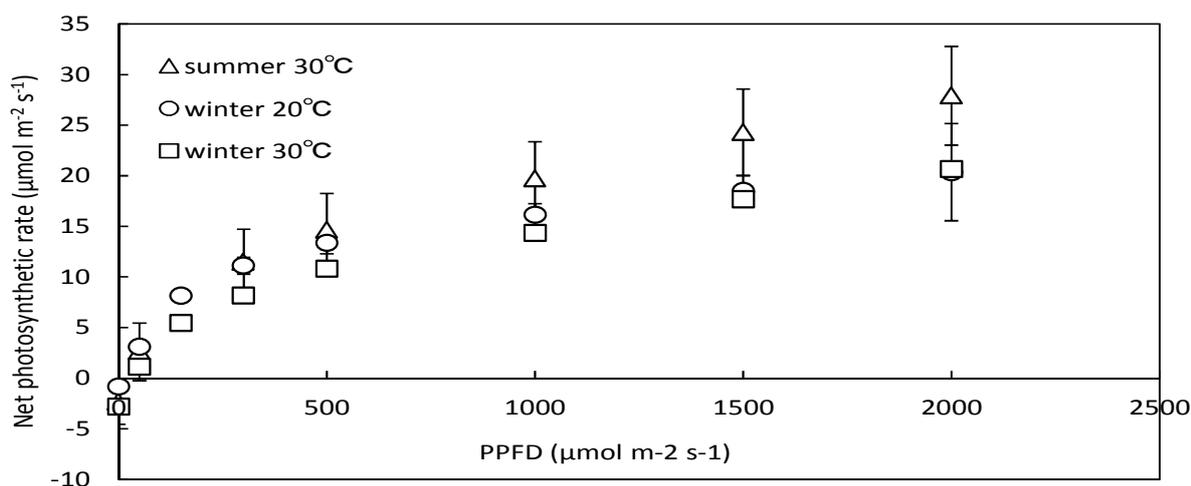


図 1.16. 冬季 (2012 年 2 月 23 日) および夏季 (2013 年 7 月 25 日)における *J. curcas* の純光合成速度に及ぼす 光合成有効光量子束密度 (PPFD) の影響 ($n=6$). Δ : temperature of leaf chamber is 30°C in summer、 \circ : temperature of leaf chamber is 20°C in winter、 \square : temperature of leaf chamber is 30°C in winter. Error bars represent \pm SD.

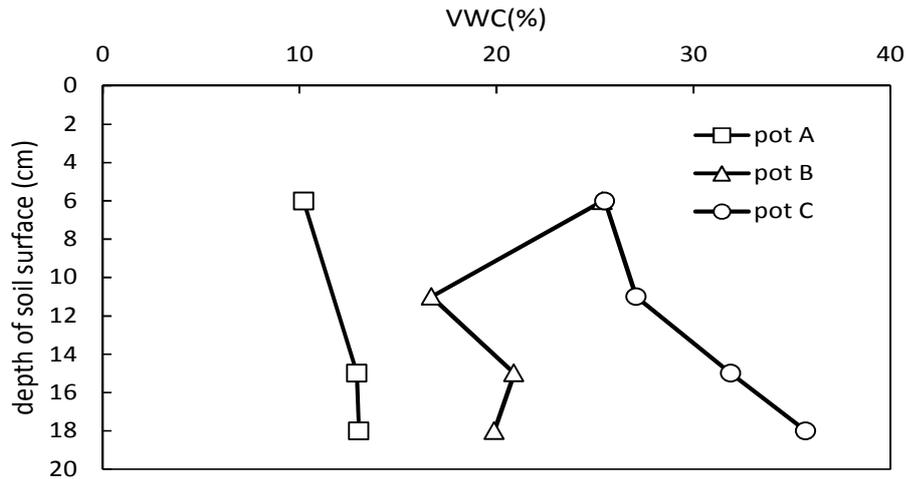


図 1.17. 栽培土壌中の体積含水率(VWC) の鉛直分布 (25 July, 2013)

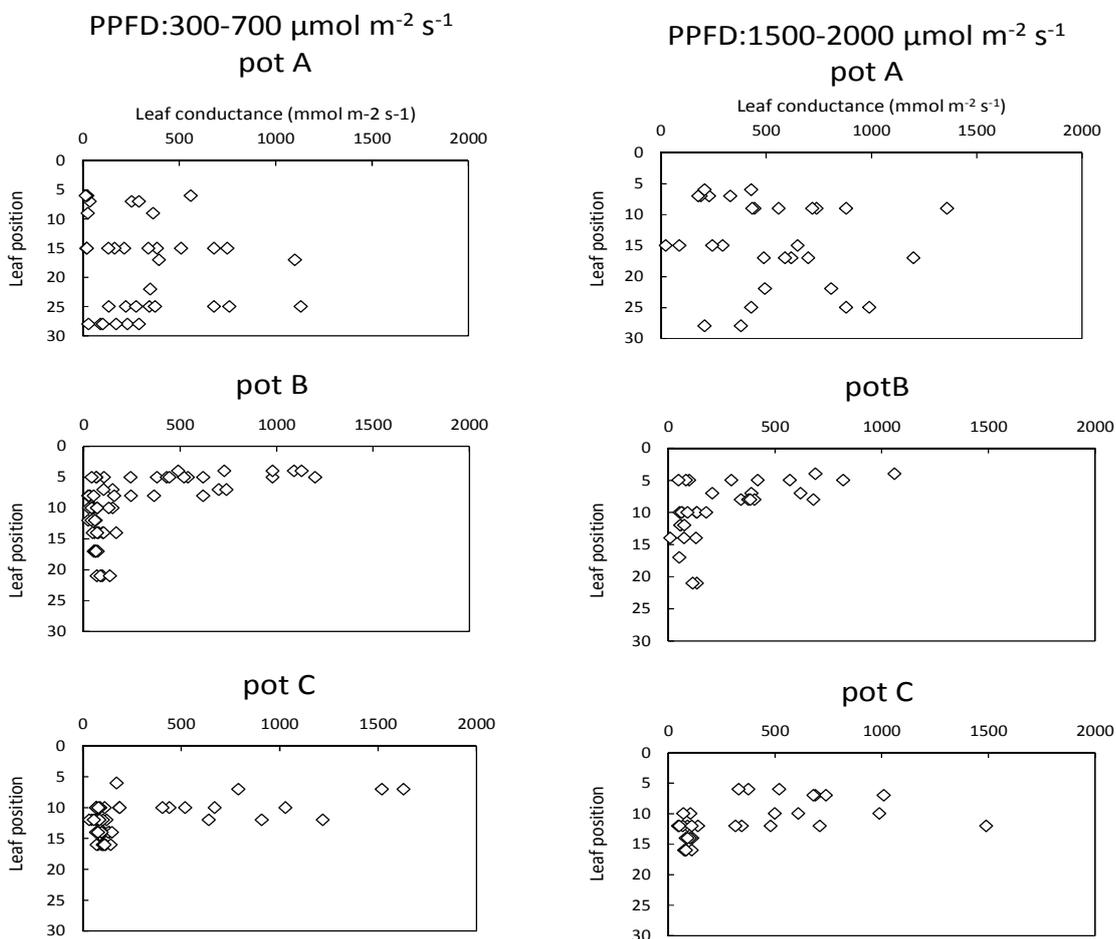


図 1.18. PPFD 300-700 および 1500–2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ における各葉位の葉面コンダクタンス (25 July, 2013).

い葉) の葉面コンダクタンスは大きくなる傾向が見られた (図 1.18.)。しかし、含水率の低い Pot A の *Jatropha* では、葉齢の違いによる葉面コンダクタンスに差がなかった。また、含水率の低い Pot A の *Jatropha* では、葉のクロロフィル含量が多くなり、その傾向は葉位の大きい葉 (葉齢で高い葉) で顕著であった (図 1.19)

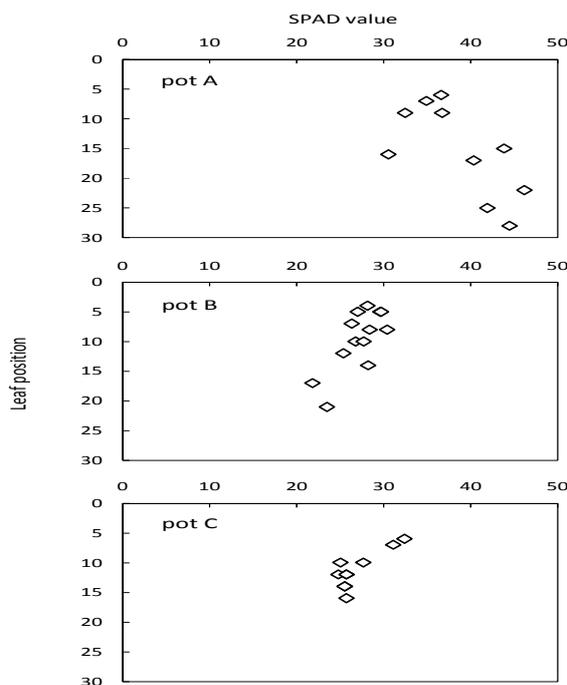


図 1.19.各葉位における相対クロロフィル濃度 (SPAD value) (25 July, 2013).

●挿し木の発根方向に及ぼす切り方および挿し方の影響

前述のように、土壤水分減少に伴う水ストレスを抑制できる、鉛直下方向の根を伸長させる挿し木方法が望ましい。そこで、異なる切り方および挿し方の挿し木の発根方向について検討した。

【材料および方法】

供試植物には、*Jatropha* 挿し穂を挿し木した。気温 29/25°C、相対湿度 95%、PPFD 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に育成環境を設定した人工気象器内で、パーミキュライトを充填した栽培容器に挿し穂（茎長 20 cm）を 4 通りの方法で挿し木した(図 1.20.)。4 週間後に挿し木を全て抜き取り、45° 毎に発根方向を分類し、その範囲内の根長を測定した (図 1.21.)

【結果および考察】 Type 3 および Type 4 の発根成功率がそれぞれ 83% および 100% であるのに対し、Type 1 および Type 2 がともに 33% であったことから、茎を水平に切る処理の発根成功率は低かった。Type 1~4 の総根長あたりの鉛直下方向の前後 45° 以内の範囲に伸長した根長の割合がそれぞれ 20%、29%、82% および 9% であった (図 1.20.)。Type 3 および Type 4 が茎と同一直線上に多くの根を伸長させた (図 1.22.)。以上のことから、茎を斜めに切ることで茎と同一直線状に根を伸長させた Type 3 が鉛直下方向に多くの根を伸長させたと考えられる。このことから、茎を斜めに切り、垂直に挿す挿し木方法により、土壤水分減少に伴う水ストレスを抑制できる挿し木が形成できることが確認できた。



図 1.21. 発根角度の算定方法

以上のことから、地表浅くに根を持つ挿し木は、鉛直下方向に発達した根を持つ実生に比べて土壤水分不足に伴う水ストレスを受けやすいことがわかった。本研究より、鉛直下方向に根が伸長した挿し木を形成させるためには、一般的な挿し木方法である、茎を斜めに切り、垂直に挿す斜め切りが有効であることが確認できた

●栽培方法、元肥条件および栽植密度の違いが *Jatropha* の分枝数 (新梢数) に及ぼす影響

Jatropha の花房が必ず新梢の先端に着くことに着目し、台風被害直前に調査した新梢数によって、新梢数 \propto 花房の最大数 \propto 種子収穫量の最大ポテンシャルという仮定のもとに評価を行った。

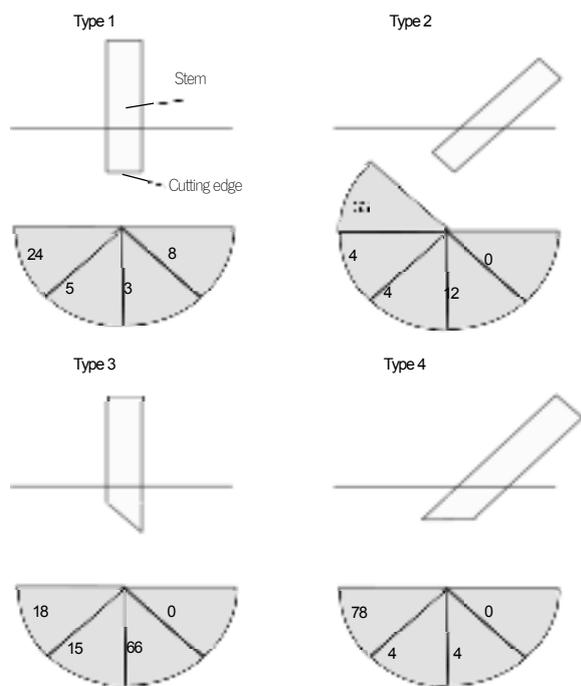


図 1.20. 各 Type における異なる方向に伸びた根の伸長量 (cm)
(Type 1& 2; $n=2$, Type 3; $n=5$, Type 4; $n=6$)

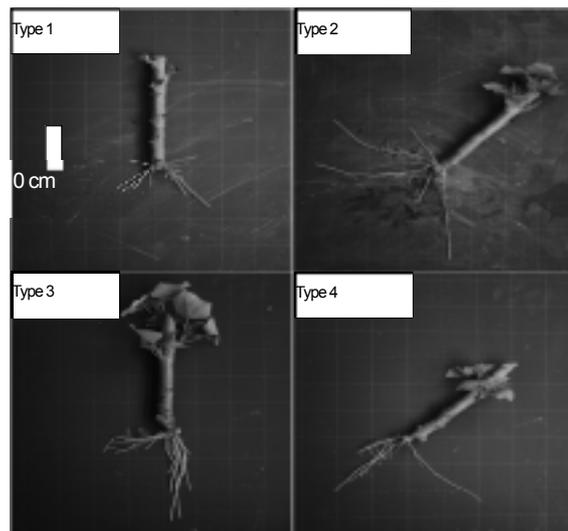


図 1.22. 各 Type における根の伸長の様子

材料および方法

栽培法 (ポット栽培、地植え栽培) および元肥条件の違いが *Jatropha* の分枝数 (新梢数) に及ぼす影響の調査では、2つのポット栽培と地植え栽培の3つの試験区における栽培2年目 (定植後約13か月) の *Jatropha* の第1分枝数 (平成24年度 (初年度) の分枝数) と第2分枝数 (平成25年度 (2年目) の新梢数) を調べた。各試験区での栽培条件および元肥の施用条件は次の通りであった。

- ①ポット区1—80Lポット、土：ピートモス：牛糞堆肥：パーライト (5号) = 3 : 2 : 2 : 1
(牛糞堆肥 20L弱*/株に相当、*は全体がポット 80L 満杯でないため)
- ②ポット区2—80Lポット、土：ピートモス：牛糞堆肥：パーライト (5号) = 3 : 3 : 1 : 1
(牛糞堆肥 10L弱*/株に相当)
- ③地植え区—地植え、元肥として牛糞堆肥 1kg/株

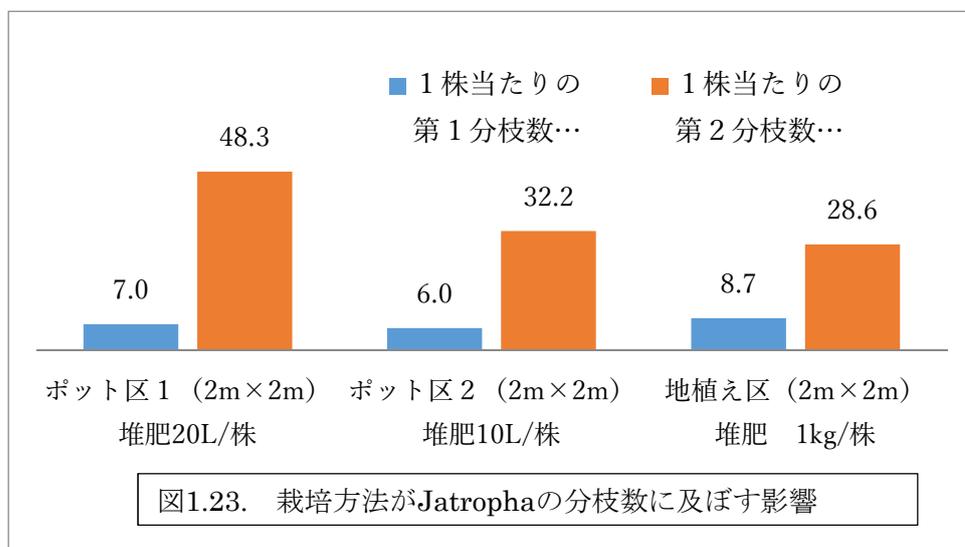


図1.23. 栽培方法が *Jatropha* の分枝数に及ぼす影響

また、栽植密度の違いが *Jatropha* の分枝数（新梢数）に及ぼす影響の調査では、地植え区の中に、栽植密度が $2\text{m} \times 2\text{m}$ と $2\text{m} \times 1\text{m}$ の2つの試験区を設置し、両試験区の *Jatropha* における第1分枝数（平成24年度（初年目）の分枝数）と第2分枝数（平成25年度（2年目）の新梢数）を調べた。

結果

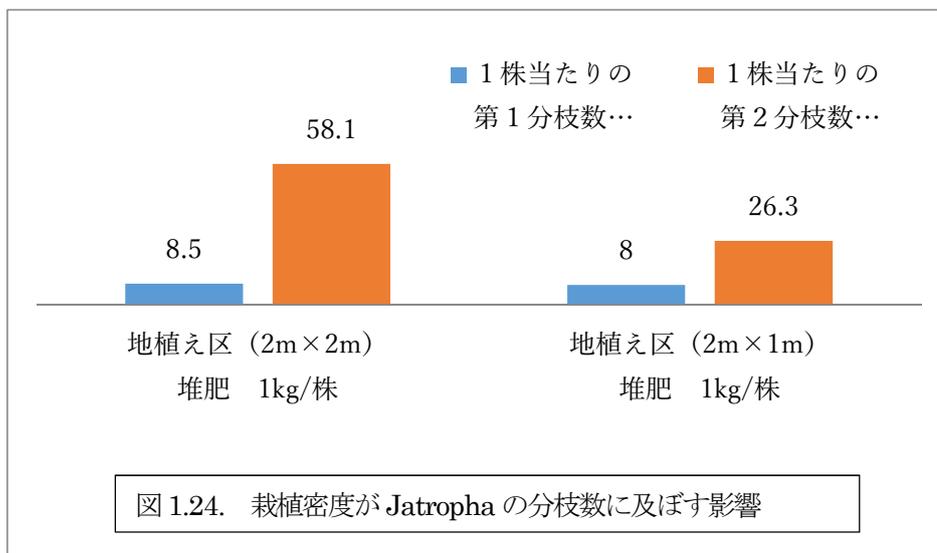
栽培法（ポット栽培、地植え栽培）および元肥条件の違いが分枝数（新梢数）に及ぼす影響

調査結果を図 1.23. に示す

初年目の第1分枝数は、ポット区2と地植え区との間で、地植え区の方が1%水準で有意に多かった。また、平成25年度の新梢である第2分枝数は、ポット区1が、ポット区2、地植え区に対して、1%水準で有意に多かった。これは、初年目はまだ苗が小さいため、堆肥がポット内にまんべんなく分散しているポット区より、植え際に集中して施用した地植え区の方が、堆肥の総量は少なくとも肥料の効きが良く、第1分枝数が増えたが、根がポット内壁に沿って伸長し根鉢ができる2年目には、結局、1株当たりの堆肥の総量が第2分枝数（新梢数）に反映したのではないかと考察された。これらの結果は、プロジェクトの中で荒廃地に *Jatropha* を植林する場合も、初期の生育や種子収量を向上させたいければ、株元に集中して施肥することが有効であるが、数年経過すると種子収量は施肥位置に拘らず1株あたりの施肥総量に応じたものになっていく可能性を示唆する。これは、長い年数、安定して種子の収量を得るためには、結局、追肥をしたり、マメ科作物を混植したりして、肥料分を何らかの方法で補充するシステムを構築しなければならないことも意味する。

栽植密度の違いが *Jatropha* の分枝数（新梢数）に及ぼす影響

調査結果を図 1.24. に示す



2つの栽植密度の間で、第1分枝数では有意な差が見られなかったが、第2分枝数（新梢数）においては、 $2\text{m} \times 2\text{m}$ の方が1%水準で有意に多かった。これは、2倍の密度で密植した場合に、2年目の新梢数が平均で約1/2になっているという結果であり、新梢数から言えば密植しても種子収量の単純な増加に結びつかない可能性を示している。これについては、次年度以降に実際の種子収量を調査しながら検証したい。さらに、この結果からは逆に適度な密植の利点として、種子収量が必ずしも増加しなくても長年の栽培で欠株が生じた際に、種子収量の減少を防ぐことができる可能性も示唆される。また、密植によって風への耐性を集団として高めたり、微気象の変化を穏やかにしたりする効果も期待される。

●*Jatropha* の病害

本病害（図 1.25.、1.26.、1.27.）は、最初、樹木の表面（特に強風等で傷ついた枝の又など）において部分的な壊死がスポットで発生し、病変部が次第に拡大して、胴や枝の周囲を一周すると、そこから先の部分が全て枯死する。さらに病変が進行して株の基部まで完全に到達すると最終的には株全体が枯死するという経過をたどる。本病害の発生状況は、種子収量に直結するため、ベトナム各地で BDF 原料を生産する樹種として *Jatropha*

を検討する上で、非常に重要な要素であることが明らかとなってきている。この病害はインドネシアやアフリカ（モザンビーク）などでも発生を確認しており、全世界に普遍的な病害と考えられる。ただし、本病害の発生状況は、場所によってかなりの差異が見られる。



図 1.25. 石垣島における本病害の発生
(平成 26 年度報告より)



図 1.26. Ha Long 炭鉱跡地の圃場における本病害の発生

●Ba Vi の試験圃場の *Jatropha* における本病害の発生状況

Ba Vi の試験圃場（図 1.27.）の *Jatropha* においても、図 1.28. に示すような本病害の被害の発生が広範に観察される。平成 27 年 9 月 22 日に、Ba Vi の試験圃場の約 1/3 のエリアの 345 株における本病害の発生状況を調査した。その結果を図 1.29. に示す。このエリアの *Jatropha* は 2010 年に移植されてから、調査時点で約 5 年の生育を経過していたが、ほぼ全ての株（97%）で本病害の症状の発生が観察され、うち約 1/4（26%）の株が、すでに枯死に至っていた。



図 1.27. Ba Vi の *Jatropha* 圃場



図 1.28. Ba Vi で本病害で部分的に枯死した個体

この Ba Vi の圃場の *Jatropha* における本病の発症・進行状況は、平成 26 年度に報告した Ha Long 市の炭鉱跡地の圃場における、移植後約 1 年 10 ヶ月の経過で約 2/3（67%）の株で発症が見られて、そのうち約 1/3（32%）の株がすでに重度の症状（17%）または枯死（15%）に至っていたのに比べれば、進行はやや遅いと言えるだろう。

同じベトナム北部にあって、気温等の条件は近いと考えられる 2 つの圃場において、本病害の発症状況の違いが現れる原因として考えられることは何か。まず、土壌について、Ha Long の圃場が炭鉱の埋め直しに使われた礫を多く含んで養分に乏しい土であるのに対して、Ba Vi の圃場は山間部の雑木林やアカシア林を切り開いた山土であること、また、施肥においても、Ha Long の圃場では株ごとに差はあるが基本的に基肥の施用のみに対して、Ba Vi の圃場では毎年追肥を行って管理していること、などにより、*Jatropha* の樹にとって、Ha Long より Ba Vi の圃場の方が病害への抵抗性を保ち易い土壌養分の状態であった可能性がある。

加えて、Ha Long では炭鉱における洗炭に使った水を *Jatropha* 圃場に流すなど、不適切な水管理により一時

期、*Jatropha* に湿害が発生していた可能性があると考えられるが、この湿害の発生と本病害の重篤化には強い相関が疑われる。

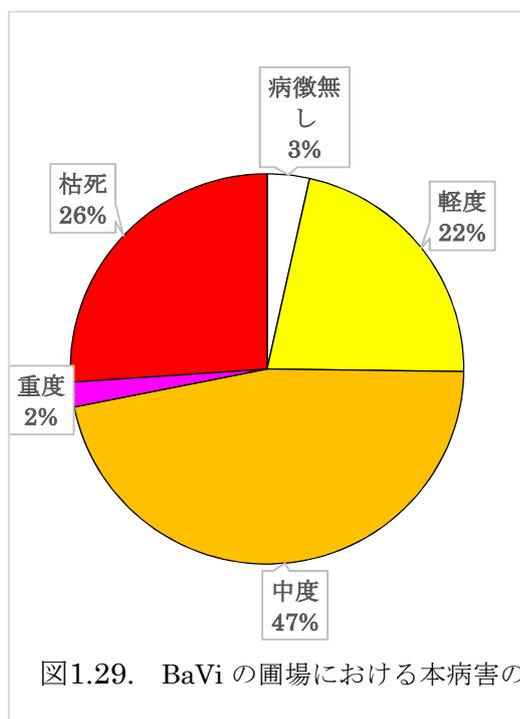


図1.29. BaVi の圃場における本病害の

さらに、Ha Long の圃場の *Jatropha* は、元々が Ba Vi の圃場の *Jatropha* の挿し木苗であるため、Ba Vi においてすでに本病害に潜在的に感染している樹から挿し木苗を作成した場合に、苗の移植時点ですでに感染していて、Ha Long での発症が早まった可能性がある。

表 1.5. Ba Vi での本病被害の進行状況と開花・結実の関係

病害の進行度	(開花・結実個体数/全体数)	開花・結実率
病徴無し	(10/12)	83.3%
軽度	(50/75)	66.7%
中度	(67/161)	41.6%
重度	(0/7)	0.0%
枯死	(—/90)	—
合計	(127/345)	36.8%

本調査を行った9月下旬は、Ba Vi の圃場の *Jatropha* に、ちょうど開花・結実が見られる時期であり、本病害の発生状況との開花・結実の有無との関係も調べた。表 1.5 に、Ba Vi 圃場における株ごとの本病害の進行状況とそれぞれの株における開花・結実の有無の割合を示す。病徴が観察されない株の8割以上で開花・結実が見られる中で、病徴が軽度で約1/3 (66.7%)、中度で約4割 (41.6%)、と病害が進行していくに従って開花・結実する個体の割合が減少していき、重度になると全く開花・結実が見られなくなった。

この結果は、本病害が *Jatropha* 圃場に蔓延することで、たとえ個々の株が枯死には至らなくとも、圃場全体の種子収量の大幅な減少をもたらすことを意味している。

●Trang Bang の試験圃場の *Jatropha* における本病害の発生状況

ベトナム南部の Trang Bang の圃場の *Jatropha* における本病害の発生状況を、平成 27 年 9 月 25 日に調査した。Trang Bang の圃場では、ごく一部で本病害の発生が見られるものの (図 1.30.)、圃場全体としては、ほとんど目立たない程度のものであったため、圃場管理している IOOP の研究者に確認したところ、本病害は発生し

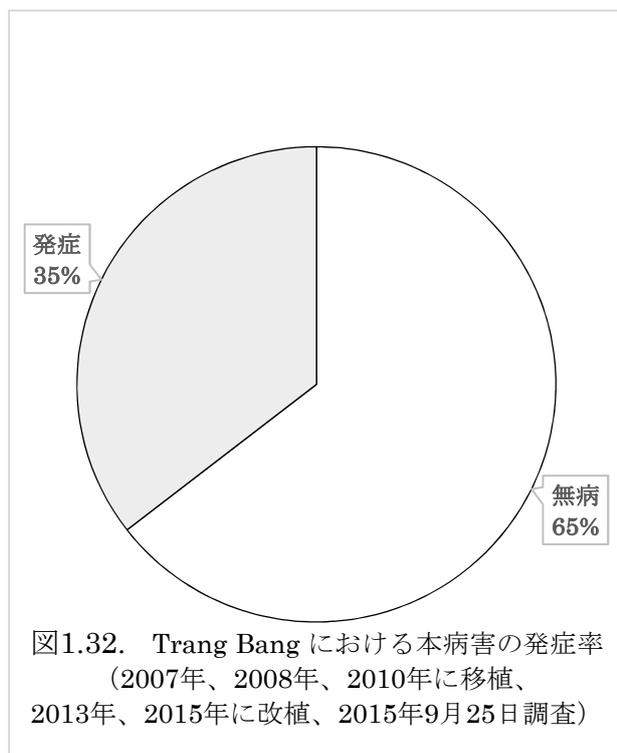
ているが、発症した株について2013年と2015年に植え替えを行った(図1.31。)とのことであった。幸いなことに、圃場の一部について植え替えた株の位置の記録が残っていたため、発症率をこの植え替えの記録に基づいて計算した(図1.32.)。記録が残されている延べ1082株に対して、植え替えの実施が2回分を合わせて364株で、発症率は35.5%と算出された。



図1.30. 病害で枯死した株、Trang Bang
の圃場ではほとんど見られない。



図1.31. 左奥が元々からの株、中央が植え直した株



Trang Bang の圃場の *Jatropha* における本病害の発症率は、平成26年度の Ha Long の圃場についての報告および図1.29の Ba Vi の圃場での状況と比べて、生育の経過年数も合わせて考えれば、明らかに低いと考えられる。この原因は、Trang Bang の気候および土壌、灌水、施肥などの圃場管理の方法が *Jatropha* の生育に適している、病害への抵抗性が上がっていること、台風や強い季節風などの *Jatropha* の枝に傷を生じさせて感染機会を与えるような要因がベトナム北部に比べて少ないこと、植え替えが病害の蔓延の遅延に効果があること、などが考えられるが、現時点では確できていない。

●ベトナム (Ha long 炭鉱跡地) における本病害の発生状況

ベトナム (Ha long) の Nui Beo 炭鉱会社の炭鉱跡地の試験圃場に、平成 25 年 5 月に定植した *Jatropha* (100 株) における平成 27 年 3 月 (定植後 1 年 10 か月) 時点での本病害の発生状況を図 1.33.に示す。

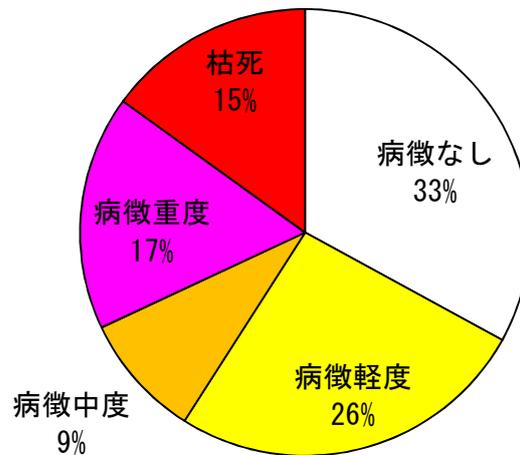


図1.33. Ha long 圃場における *Jatropha* の罹病状況
(2013年5月定植 → 2015年3月病徴観察)

観察時点で、本病害の病徴が特に認められない健全な株は全体の約 1/3 (33%) であった。病徴が観察された残りの約 2/3 (67%) のうち、全体の約 1/3 (32%) にあたる株が枯死 (15%) または病徴重度 (17%) で、今後の種子収穫がほとんど望めない状況であった。定植してから 2 年に満たない期間でこれほどの病害を被るのは極めて深刻な問題であり、この病因の解明と対策がなされない限りは、Ha long の炭鉱跡地への植林する樹種として *Jatropha* を利用することは大きなリスクを伴うと言える。

Ha long の *Jatropha* における本病害の重篤さと枯死率は、後述する石垣島のデータと比較しても大きいと言えるので、Ha long での圃場試験には本病害が蔓延し易い何らかの原因があったと推定される。この原因として現時点で考えられる可能性を 2 つ挙げると、1 つめは石垣島やその他の試験地では実生苗を使っていたのに対して、Ha long の試験では、Ba vi の圃場で種子収量の良かった系統の株から挿し木苗を育苗して使っていたことが挙げられる。もし、この挿し木の親株がすでに病原菌に感染していた、または挿し木を行う際に切り口から感染した、とすれば定植時点で苗がすでに潜在的に感染状態であったため、本病害の発症が早まった可能性がある。2 つめは、Ha long の圃場で病徴の酷い株は、発生場所にある程度の偏りがあることから、湿害などの環境的な他のストレスが存在した場合に、本病害が重篤化した可能性が挙げられる。特に Ha long では元々、土壌の条件が悪くて株にかなりの負荷がかかっていると考えられるので、環境によるストレスの影響が重なって、本病害への抵抗性が低下した可能性がある。

●石垣島における本病害の発生状況

石垣島における本病害の発生状況を、3 つの定植時期別 (平成 20 年 12 月 (定植後 6 年 3 か月、露地植え)、平成 24 年 6 月 (定植後 2 年 9 か月、ハウス内の地植えとポット植え)、平成 25 年 10 月 (定植後 1 年 5 か月、露地植え)) に図 1.34~1.37 に示す。なお、平成 24 年 6 月定植のものは、地植え (図 1.36.) とポット植え (図 1.37) を分けて示す。

露地植えとハウス内、地植えとポット、栽植密度、施肥、剪定、品種系統など、いろいろと条件の違う実験区を含むグループの比較ではあるが、基本的に図 1.34.→図 1.35.と、年数を経るにしたがって本病害は蔓延していき、6 年を越えているグループ (図 1.35.) の罹病率は 100%、枯死率は 23%である。

図 1.36 と図 1.37 の比較からは、地植えとポット植えで大きな差があるとは言えないが、地植えの方が若干、発症率が高く、しかし、一旦発症するとポットの方がやや重篤化し易い傾向があると言えるかもしれない。

ここには、具体的なデータを示さないが、図 1.37.のハウス地植えは、栽植密度が 1m×2m と 2m×2m の 2 つ

の実験区を含んでいる。両実験区の比較において、罹病率や重篤さに大きな差は見られない。つまり、栽植密度が高いからといって、発症が早く広がっているような傾向は特に見られない。

石垣島において現在、本病害の原因の同定を試みているが、今のところ、少なくとも病原性の菌類によるものではなく、細菌類による感染が原因である可能性が高いことが示唆されている。本病害の防除方法は現時点で確認されていないが、もし今後それが確認されたとしても、BDF 原料として化石燃料と価格競争するために安価な栽培方法が求められる *Jatropha* においては、本病害の防除に追加のコストをかけることは現実的に難しい。従って、本病害についての根本的な対策は、本病害への抵抗性を持つ系統の選抜育種等によってなされることが望まれる。

前述の Ha long の圃場における本病害の蔓延の状況は、石垣と比べて罹病率については差があると言えるが難しいが、枯死率を含めた重篤さの違いは明らかであろう。病徴が中度以上に進行した株からは大きな種子収量は期待できないので、これだけ重篤化が早いことは大きな問題である。ちなみに、図 1.35 に示した罹病率 100% の石垣の圃場では、生き残った 1 株当たり平均しておおよそ 40g/年程度の種子収量しかないので、枯死率も勘案すれば、仮に、元に 1ha あたり 1500 本植えたとしても、約 6 年後にこの状態にまで罹病すると、計算上はおおよそ

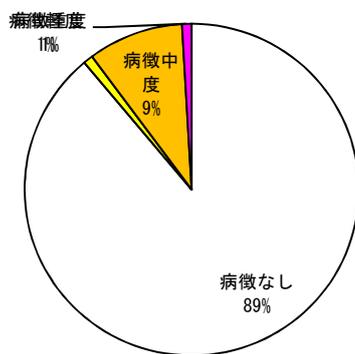


図1.34. 平成25年10月露地植え
(定植1年5か月)

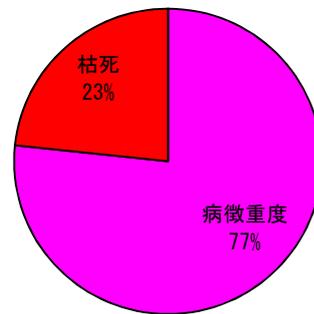


図1.35. 平成20年12月露地植え
(定植後6年3か月)

46kg/ha 程度の種子収量しか期待できないということになる。Ha long の試験では石垣のこのケースよりも早く重篤化しているの、期待できる種子収量はもっと少なくなる。

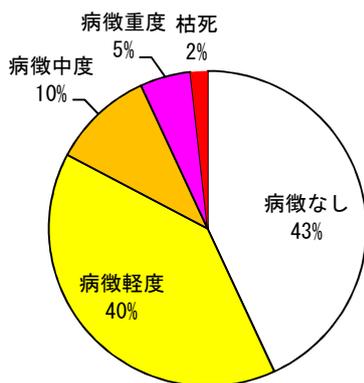


図1.36. 平成24年6月同ポット植え
(定植2年9か月)

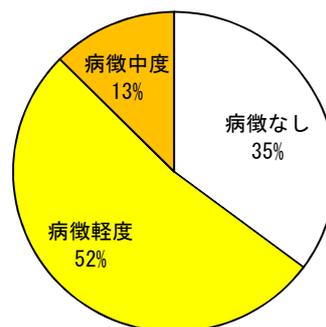


図1.37. 平成24年6月ハウス地植え
(定植後2年9か月)

メタン発酵を用いた *Jatropha* 搾油残渣からのエネルギー回収と栄養分の利用

Jatropha 種子を搾油した後の残渣量は、重量比で搾油前の種子の 70%に及ぶが、その有効利用法は確立していないのが現状である。そこで搾油残渣の利用法として、メタン発酵技術に注目した。バイオマス転換技術の一つであるメタン発酵技術は、エネルギー回収だけでなく、発酵残渣を液肥として植物生産に利用することができるが、本技術を *Jatropha* BDF 生産システムに組み込んだ研究例は報告されていない。そこで本研究では、メタ

ン発酵を用いた搾油残渣からのエネルギー回収量の調査、発酵残渣が *Jatropha* 成長に及ぼす影響の評価を行った。

実験 1 *Jatropha* 搾油残渣のメタン発酵 目的：搾油残渣が持つメタン発酵特性、搾油残渣のみを基質とした長期の連続メタン発酵の安定性を調査した。

材料および方法

回分メタン発酵実験 投入基質に粉末状の *Jatropha* 搾油残渣を用いた。メタン発酵液 50 mL を満たしたバイアル瓶 (100 mL 容積) に基質 1.1 g (乾物 1.0 g 相当) を投入後、瓶付属のゴム栓とアルミキャップを用いて瓶内を密封した。37°C に設定したインキュベータ内に瓶を静置し、発酵液の温度を 37°C に保った。シリンジを用い、瓶内におけるバイオガス生成量を適宜測定した。ガスクロマトグラフを用いて、バイオガス中のメタンガス濃度を求め、バイオガス生成量とメタンガス濃度からメタンガス生成量を算出した。*Jatropha* 種子の油の含有率を 30%、搾油残渣が持つエネルギー量を 12.9 MJ kg⁻¹、メタンガスの発熱量を 33.81 MJ m⁻³、BDF の発熱量を 38.93 MJ kg⁻¹ とし (Nallathambi, 2009)、*Jatropha* 種子 1 kg DW が持つエネルギー量を算出した。

連続メタン発酵実験 投入有機物負荷量を 1.5 g VS L⁻¹ day⁻¹、HRT (水理的滞留時間、HRT = 発酵液の体積 (1000 mL) / 基質投入量 (20 mL day⁻¹)) を 50 日に設定した。瓶内から発酵液を抜き取った後に、同体積の基質 (純水 + 搾油残渣) を投入するという作業を 1 日に 1 度行い、バイオガス生成量を測定した。メタン発酵液は温度を 37°C に制御し、十分に攪拌した。pH メーターを用いて、抜き取った発酵液の pH を測定した。回分メタン発酵と同様の方法でメタンガス生成量を算出した。

結果および考察：

回分メタン発酵実験 搾油残渣から 173 mL g⁻¹ VS のメタンガスが得られた。搾油残渣は 9.0 MJ のエネルギーをもち、従来の *Jatropha* BDF 生産システムへメタン発酵を適用することにより、その内の 3.5 MJ のエネルギーをさらに回収できることがわかった (図 1.38.)。

連続メタン発酵実験 測定値の前後 5 日間の移動平均を取ると、メタンガス生成量は実験開始と共に上昇し、その後一定の値で安定していたといえ (図 1.39.) pH についても 7.4 ~ 7.8 の間で安定していた。これらのことから、*Jatropha* 搾油残渣を基質としたメタン発酵は連続運転が可能であると考えられる。

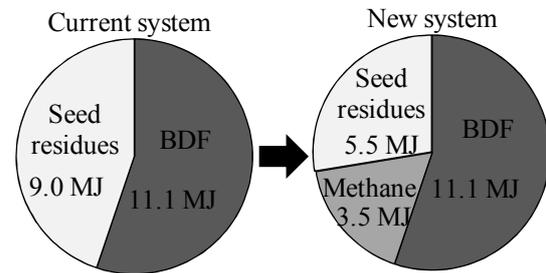


図 1.38. 乾燥種子 1 kg から得られるエネルギー量

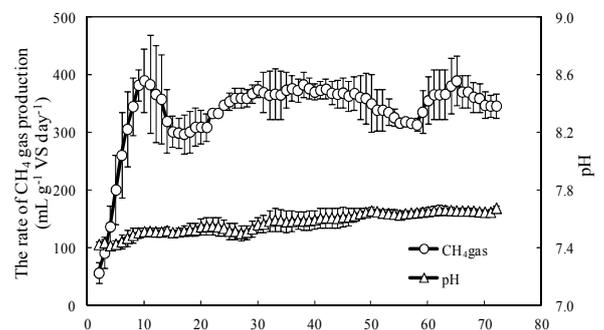


図 1.39. メタン発酵過程におけるメタンガスの発生速度及び消化液 pH の経時変化
縦棒は標準偏差 (n=3)

実験 2 *Jatropha* 栽培におけるメタン発酵消化液の利用

消化液が *Jatropha* 成長に及ぼす影響を評価した。

材料および方法：供試植物に、*Jatropha* を用いた。播種後 24 日目、バーミキュライト (ニッタイ (株)) を満たした育苗ポットに移植し、実験を開始した。生育条件は、気温 28 ± 1°C、相対湿度 55 ± 5%、明期 16 h d⁻¹ とし、光源は蛍光灯を用い、光合成有効光量子束密度 (PPFD) が 300 μmol m⁻² s⁻¹ となるようにした。大塚ハウス A 処方 1/2 標準培養液 (大塚アグリテクノ (株)) をポット底面から灌水する対照区 (T-N: 130 mg L⁻¹, CF 130)、消化液を 47 倍希釈 (NH₄⁺-N: 45 mg L⁻¹, D 45)、16 倍希釈 (NH₄⁺-N: 130 mg L⁻¹, D 130)、5.5 倍希釈 (NH₄⁺-N: 390 mg L⁻¹, D 390) したものを灌水する 3 試験区を用意し、それぞれの茎、根の乾物重、SPAD 値 (相対クロロフィル含量)、葉面コンダクタンスを比較した。

結果および考察：3 試験区の茎の乾物重は、対照区と比較して有意に小さくなった (表 1.6.)。しかし、根の乾物重においては有意差がみられなかった。D 45 の SPAD 値は他の試験区と比較して有意に低かった。また実験期間を通して、D 390 の葉面コンダクタンスの値は他の試験区と比較して有意に低かった (図 1.40.)。D 45 におい

て SPAD 値が低かった原因として、窒素供給量が少なかったことが考えられる。D 390 において葉面コンダクタンスが低かった原因として、灌水溶液の浸透ポテンシャルの低下に伴い、根が水ストレスを受けていたことが考えられる。今回の実験において、灌水する消化液の濃度が高いと水ストレス、濃度が低いと窒素不足の影響が見られた。また茎の乾物重において、3 試験区の値は対照区と比較して有意に小さくなった。これらのことから本実験の方法で、消化液を用いて *Jatropha* を栽培する場合には、消化液の $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 濃度を 130 mg L^{-1} とし、合わせて養分過不足の解決が必要であると考えられる。

まとめ 本実験結果から、メタン発酵の適用により、エネルギー回収率が約 31% 増加する、搾油残渣を基質としたメタン発酵の連続運転が可能であることがわかり、また発酵残渣である消化液を液肥として有効に利用できる可能性が示唆された。今後、パイロットスケールでの *Jatropha* 搾油残渣のメタン発酵の可否、消化液が *Jatropha* の長期的な成長に及ぼす影響を明らかにすることで、従来の *Jatropha* BDF 生産システムへのメタン発酵の適用が可能になると考えられる。

表 1.6. 養液中の異なる窒素濃度における処理後 49 日目の *Jatropha* の茎部 (Stem)、根部 (Root) および相対クロロフィル含量 (SPAD value)

Treatment	Stem (g DW)	Root (g DW)	SPAD value
CF 130	4.910 ± 1.169 a	1.694 ± 0.432 a	42.1 ± 3.4 a*
D 45	2.926 ± 0.169 b	1.247 ± 0.047 a	18.7 ± 0.4 c
D 130	2.742 ± 0.191 b	1.241 ± 0.093 a	29.6 ± 1.0 b*
D 390	2.015 ± 0.226 b	0.912 ± 0.137 a	25.3 ± 1.2 b

Means ± SE (n = 6).

Significant deferent between another alphabets by Tukey - Kramer

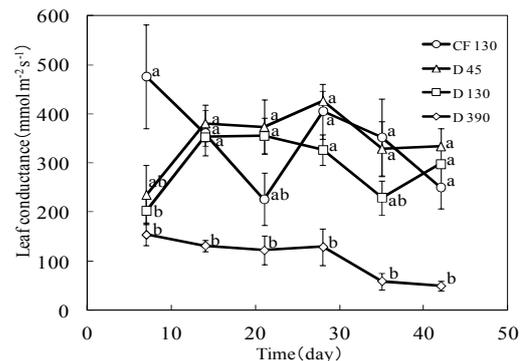


図 1.40. *Jatropha* の葉面コンダクタンスの経時変化

B 縦棒は標準誤差 (n = 6).

異なるアルファベットは、Tukey - Kramer テスト (P = 0.05) の結果、有意差があることを示す。

●油糧植物 *Jatropha* のアレロパシーに関する研究

ジャトロファ (*Jatropha curcas* L.) は農作物の生育に適さない貧栄養土壌でも育つと言われ、種子中に非食用油を約 25–30% 含むことから、バイオディーゼル燃料 (以下、BDF) の原料として注目されている。そのため、アジアやアフリカなど *Jatropha* の原産地以外でも外来種として導入されている。また、剪定枝や搾油後の残渣の処理としてメタン発酵が考えられ、エネルギー回収だけでなく、発酵残渣である消化液を植物の肥料にすることが期待される。一般に、外来種の分布拡大メカニズムにアレロパシー (他感作用) が関係することから、*Jatropha* がアレロパシーを通して、他の植生に影響を及ぼすことが考えられる。*Jatropha* の抽出物を用いたアレロパシーの研究は多いが、実際の栽培土壌に近い環境でのアレロパシーの研究は少ない。本研究では、アレロパシーの指標植物として一般に用いられるレタス (*Lactuca sativa* L., 岡山サラダ菜) を用いて、*Jatropha* の実生、葉および残渣を含んだ消化液のアレロパシーを調べた。

Jatropha 実生および葉によるアレロパシー

滅菌した砂を培地とし、レタスをジャトロファ実生と混植、または葉を混入させた培地で育成し、レタスの成長量を評価した。

材料および方法

Jatropha 実生をプランター (53 × 18 × 18 cm³) の端に植えた試験区 (以下、実生区)、粉碎した *Jatropha* の枯葉または生葉を含んだ砂 (約 250 cm³) をプランターの端に充填した試験区 (以下、それぞれ枯葉区および生葉区) および砂培地のみを対照区を設けた。砂に含ませる葉の量は、乾物重 10 g に相当する量とした。砂を充填させたプランター内に実生または葉を含む区域から 0–50 cm まで 5 cm 間隔にレタスの催芽種子を播いた。共通の育成環境は、気温 26°C、相対湿度 55%、光合成有効光量子束密度 150 μmol m⁻² s⁻¹、明期 16 h d⁻¹、CO₂ 濃度は大気濃度とした。光源には白色蛍光灯を用いた。大塚ハウス A 処方標準培養液を用いて底面灌水を行った。播種後 15 日目を実験終了日とし乾物重を計測した。

結果および考察

図 1.41. に各区の各距離における乾物重を示す。各区の全個体を用いて分散分析および多重比較検定を行った結果、生葉区 (11.47 mg/plant) および実生区 (13.07 mg/plant) では対照区 (12.22 mg/plant) との間に有意差はなかったが、枯葉区 (8.94 mg/plant) は対照区に比べて有意に低下した。実生区および生葉区では各距離間での有意差がなかった (図 1.41.A および B)。枯葉区では、距離 0 cm–15 cm の範囲で、混合砂を含む区域に近づくにつれて、乾物重が減少する傾向が見られた (図 1.41.C)。これらより、ジャトロファの実生および生葉によるアレロパシーは確認できなかったが、枯葉によるアレロパシーが示唆された。Jatropha 残渣を基質としたメタン発酵消化液のアレロパシー (実験 2) BDF 生産過程で生じた残渣をメタン発酵の基質とし、発生した消化液を肥料として用いた場合の影響評価を行った。

材料および方法

砂 (500 mL) を充填したポットに、レタスの催芽種子を播いた。液肥は消化液を用いた。一般家庭の生ごみのモデルを基質として馴養したメタン発酵消化液を用いた区 (以下、対照区)、*Jatropha* の種子残渣、葉および果肉をそれぞれ生ごみ消化液に投入して発酵させた消化液を用いた区 (以下、種子残渣区、葉区および果肉区) を設けた。また、参考として一般的な液肥である大塚ハウス A 処方標準培養液 (以下、化学肥料) を用いた区 (以下、化学肥料区) を設けた。各試験区の灌水は 1 日あたり 200 mL とした。各消化液はイオン交換水を用いて 10 倍に希釈した。NH₄⁺-N 濃度はエアレーションによる NH₃ の揮散および NH₃ の添加により化学肥料と同じ 23 mg L⁻¹ に調節した。他の育成条件、育成期間および計測項目は実験 1 と同一とした。各消化液の組成はイオンクロマトグラフを用いて分析した。

結果および考察

各消化液の組成に大きな違いは見られなかった。各区の乾物重を表 1.7 に示す。なお、化学肥料区のレタスの総乾物重は 13.70 mg であり、各消化液区のレタスの総乾物重は化学肥料区の 50%–76% であった。地上部、地下部および総乾物重において各区間で有意差が見られず、種子残渣、葉および果肉を含んだ消化液のアレロパシーは確認できなかった。

表 1.7. 各試験区の地上部、地下部および総乾物重 (mg)

試験区	地上部	地下部	合計
対照	5.58 ± 1.04 a	2.85 ± 0.77 a	8.43 ± 1.76 a
種子残渣	6.43 ± 0.93 a	4.08 ± 0.97 a	10.52 ± 1.76 a
葉	5.53 ± 0.56 a	3.39 ± 0.56 a	8.92 ± 0.97 a
果肉	4.23 ± 0.62 a	2.68 ± 0.89 a	6.92 ± 1.46 a
P 値	0.303	0.655	0.412

計測値は平均値±標準誤差を示す (n=4–12)。同じアルファベットは Tukey-kramer 法によって危険率 5% 水準で有意差がないことを示す。P 値は一元配置分散分析より求めた。

まとめ

本実験では、*Jatropha* 枯葉によるアレロパシーの可能性が示されたことから、*Jatropha* 枯葉の土壌混入による他の植物への影響に留意する必要がある。消化液の 10 倍希釈液によるアレロパシーは確認できなかったことから、*Jatropha* の各部位を基質とした消化液は一般的な消化液と同様に、液肥として利用できる可能性が示された。

●優良系統の *Jatropha curcas* および *Pongamia pinnata* 増殖のためのマイクロプロパゲーション技術の開発
高品質の油糧樹 (*Jatropha curcas* および *Pongamia pinnata*) の苗を高速大量生産するための技術を確立するために (図 1.42)、光独立栄養条件下での油糧樹のマイクロプロパゲーション、すなわち組織培養を用いた苗増殖について検討した。

その結果、光混合栄養条件（従来から一般植物で行われている方法であり、培地内に添加した糖と光合成産物の両方を有機物栄養源とする培養）下では、糖の種類、植物成長調節物質の濃度および外植体（培養に用いる植物組織）の品質が培養された *J. curcas* の器官形成に重要な役割を果たすことを明らかにした（表 1.8、1.9、図 1.44、1.45）。茎葉部の誘導は、*J. curcas* の葉外植片（図 1.43）を TDZ 0.5mg/l および BA 0.5mg/l を含む培地で培養した場合に最も良好であった。さらに、0.5~1.5mg/l の全 BA 濃度は多芽培養体の成長を促進した。光混合栄養条件下で、*Jatropha* 苗条は、MS 培地に Morel ビタミンを添加した場合に、従来必要とされてきた多量栄養要素濃度を半減しても良好な増殖を促すことができ、低コスト化に繋がることを確認した。

J. curcas を光合成独立栄養（培地内に糖を添加せず、光合成産物のみを有機物栄養源とする培養）したところ、良好に増殖することが実証された。培養器の換気方法（自然換気および強制換気）を比較したところ、強制換気法により育成した培養植物は、培養器外への移植時により高い生存能力とより速い成長速度を示した（表 1.10、1.11、図 1.46、1.47）。これらの結果に基づいて、*J. curcas* のための従来法と光合成独立栄養培養法を組み合わせたマイクロプロパゲーション技術を提案した（図 1.42）。

P. pinnata に関して、光混合栄養条件下で、Morel ビタミン、ショ糖 30g/l、TDZ 0.5mg/l、BA 0.5mg/l および 2,4-D 3mg/l を添加した MS 培地で培養した場合、光独立栄養条件下で、葉外植片上で増殖体の元となるカルス形成が確認できた（図 1.48）。外植体として茎第 2 節を使用した場合、TDZ 0.2mg/l および Kn 2mg/l を添加した MS 培地で、茎葉部の形成が最も良好であった（表 1.11）。根の形成は、NAA 0.5mg/l を添加した MS 培地で最大であった（図 1.49）。*P. pinnata* でも光混合栄養条件下で増殖が促進され、従来必要とされてきた多量栄養要素濃度を半減しても良好な増殖を促すことができた。

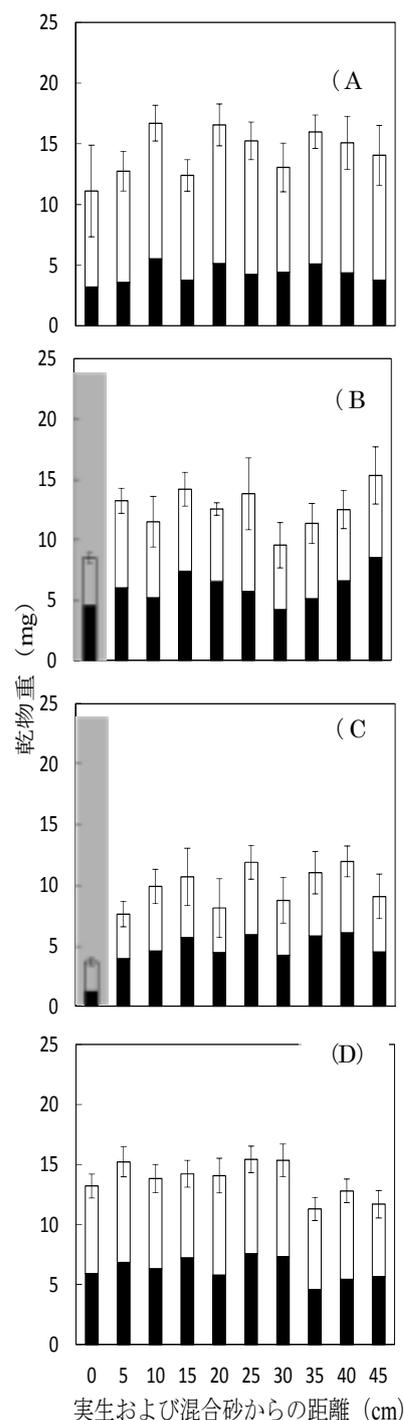


図 1.41. 実生区 (A), 生葉区 (B), 枯葉区 (C), 対照区 (D) の実生および混合砂からの距離別のレタスの地上部 (□) と地下部 (■) の乾物重. 誤差線は全乾物重の標準誤差を示す

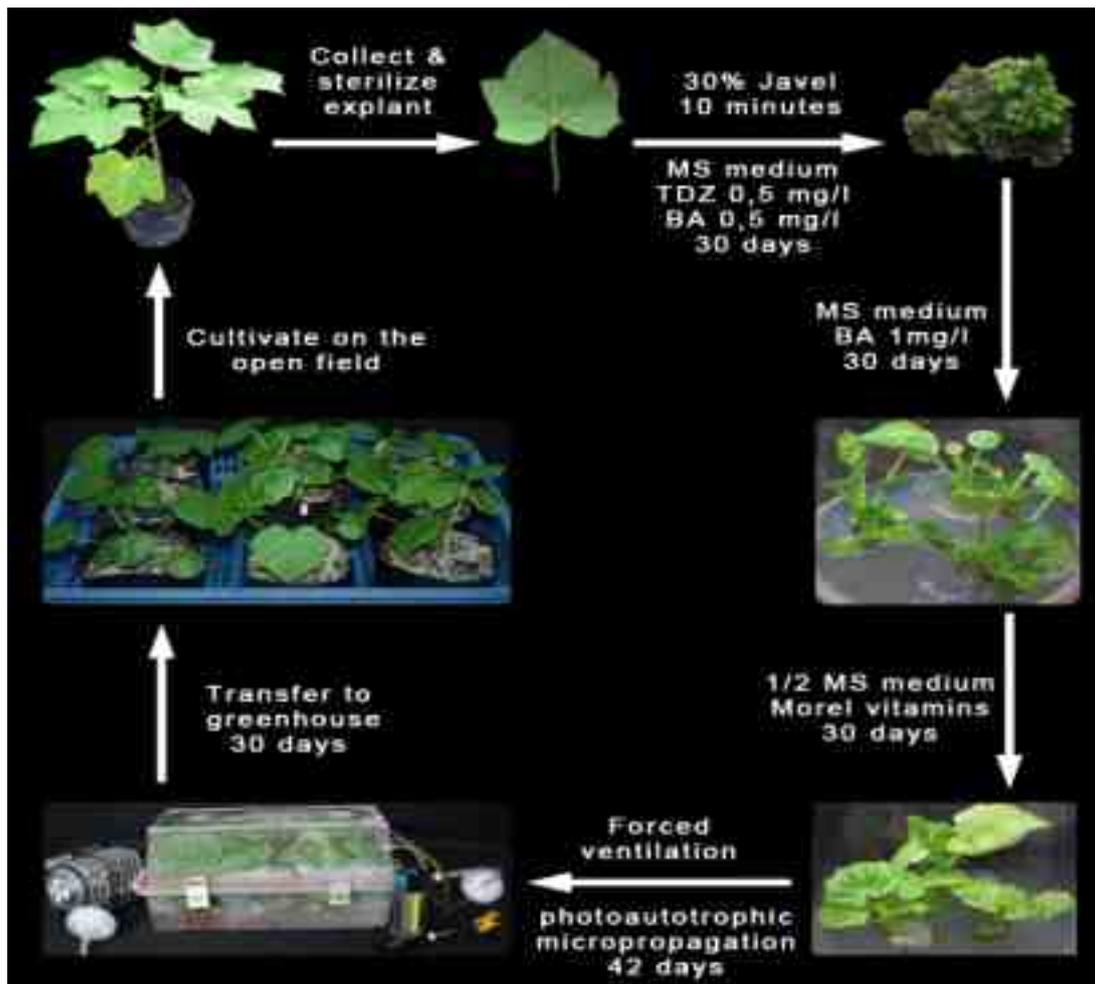


図1.42. 植物組織培養技術を用いた *Jatropha curcas* plants 優良苗増殖のためのマイクロプロパゲーション

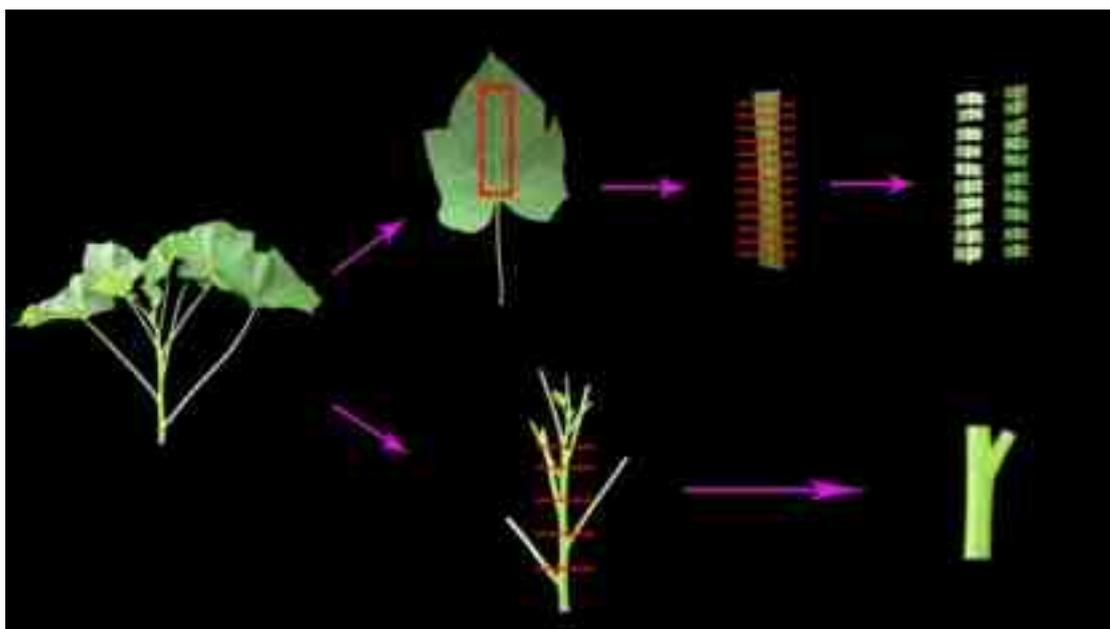


図1.43. 組織培養に用いる葉片および茎の切片

表 1.8. 光混合栄養における *J. curcas* 培養体の展開葉数 (NoL)、葉面積 (LA)、増加生体重 (IFW) および増加観物重 (IDW) に及ぼす培地内糖質の種類の影響 (培養期間 42 日)

Treatment ^z	NoL (leaves/plt)	LA (cm ² /plt)	IFW (mg/plt)	IDW (mg/plt)
Glu	10.3	75.2	2066.6 a ^x	192.5 a
Mal	7.7	54.2	1005.7 c	80.9 b
Suc	8.0	50.9	1636.7 b	144.6 ab
ANOVA ^y	ns	ns	*	*
CV (%)	21.4	23.6	33.5	29.4

^z For treatment codes, *Glu*, *Mal*, and *Suc* represent Glucose, Maltose, Sucrose, respectively.

^y ns, *: non-significant or significant at $p \leq 0.05$, respectively.

^x Means in the same column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level by LSD-test.

表 1.9. 葉片および茎切片の光混合栄養における *J. curcas* 培養体のカルス形成率 (培養期間 30 日)

Treatments ^z	% Callus formation	
	Internodal segment	Leaf segment
D _{0.5}	96.7 a ^x	87.8 d
D _{0.5} A _{0.1}	91.1 b	92.2 c
D ₁	100 a	100 a
D ₁ A _{0.1}	78.9 c	100 a
D _{1.5}	100 a	100 a
D _{1.5} A _{0.1}	100 a	100 a
N ₂	81.1 c	86.7 d
N ₂ A _{0.1}	37.8 e	83.3 e
I ₂	57.8 d	98.9 a
I ₂ A _{0.1}	91.1 b	95.6 b
ANOVA ^y		
Auxin (A)	**	**
ABA (B)	**	ns
A x B	**	**
CV (%)	1.78	1.29

^z For treatment code, *D*, *N*, *I* and *A* represent 2,4-D, NAA, IBA and ABA, respectively. The subscripted numbers on the right side of the letter represent concentrations of plant growth substances.

^y ns, **: non-significant or significant at $p \leq 0.01$, respectively.

^x Means in the same column followed by the same letters are not significantly different at the 1% level by Duncan's Multiple Range Test.



図 1.44. 茎切片の光混合栄養における *J. curcas* 培養体カルス形成率に及ぼすオーキシシンおよびアブシジンサン (ABA) の種類の影響 (培養期間 30 日) (処理区名は表 1.8 参照)



図 1.45. 葉片の光混合栄養における *J. curcas* 培養体カルス形成率に及ぼすオーキシシンおよびアブシジンサン (ABA) の種類の影響 (培養期間 30 日) (処理区名は表 1.8 参照)



図 1.46. 異なる培養方法における *J. curcas* 培養体の成長 (培養期間 42 日)

表 1.10. *J. curcas* 培養体の茎長 (SL)、展開葉数 (NoL)、根数 (NoR)、根長 (RL) に及ぼす培養条件の影響 (培養期間 42 日)

Treatment ^z	SL (cm/plt)	NoL (leaves/plt)	NoR (roots/plt)	RL (mm/plt)
PM	2.2 c ^x	4.3 b	2.1	3.3 b
NV	2.6 b	6.9 a	3.6	3.7 b
FV	4.9 a	6.5 a	3.8	5.1 a
ANOVA ^y	**	**	ns	*
CV (%)	3.02	9.38	35.39	14.53

^z For treatment code, PM, NV or FV represents for cultured methods, including photomixotrophic micropropagation, photoautotrophic micropropagation with natural ventilation or forced ventilation, respectively.

^y ns, *, **: Non-significant or significant at $p \leq 0.01$ or 0.05 , respectively.

^x Means in the same column followed by the same letters are not significantly different at the 1% or 5% level by LSD-test (Least Significant Difference Test).

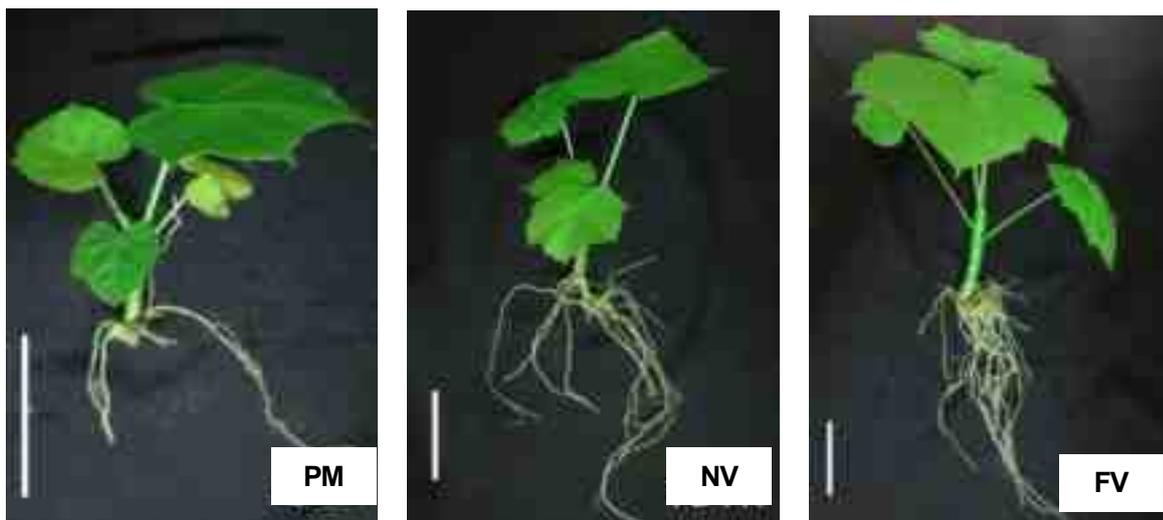


図 1.47. 異なる培養方法で培養した *J. curcas* の培養器外への移植後の成長 (栽培期間 30 日)
(図中のスケール = 5 cm)

表 1.11. 異なる培養方法で培養後、培養器外へ移植した *curcas* の後の展開葉数(NoL)、茎長(SL)、茎径(SD)、根数 (NoR)、増加生体重 (IFW) (栽培期間 30 日)

Treatment code ^z	NoL	SL (mm)	SD (mm)	NoR	IFW (mg/plt)
PM	2.9	2.6 c	4.4 c	3.5	540.8 c
NV	3.1	3.1 b	5.8 b	3.6	909.7 b
FV	3.2	5.7 a	8.3 a	3.8	3921 a
ANOVA ^y	ns	**	**	ns	**
CV (%)	13.47	16.18	0.99	20.05	8.73

^z For treatment code, PM, NV or FV represents for cultured methods, including photomixotrophic micropropagation, photoautotrophic micropropagation with natural ventilation or forced ventilation, respectively.

^y ns, *, **: Non-significant or significant at $p \leq 0.01$ or 0.05 , respectively.

^x Means in the same column followed by the same letters are not significantly different at the 1% or 5% level by LSD-test (Least Significant Difference Test).

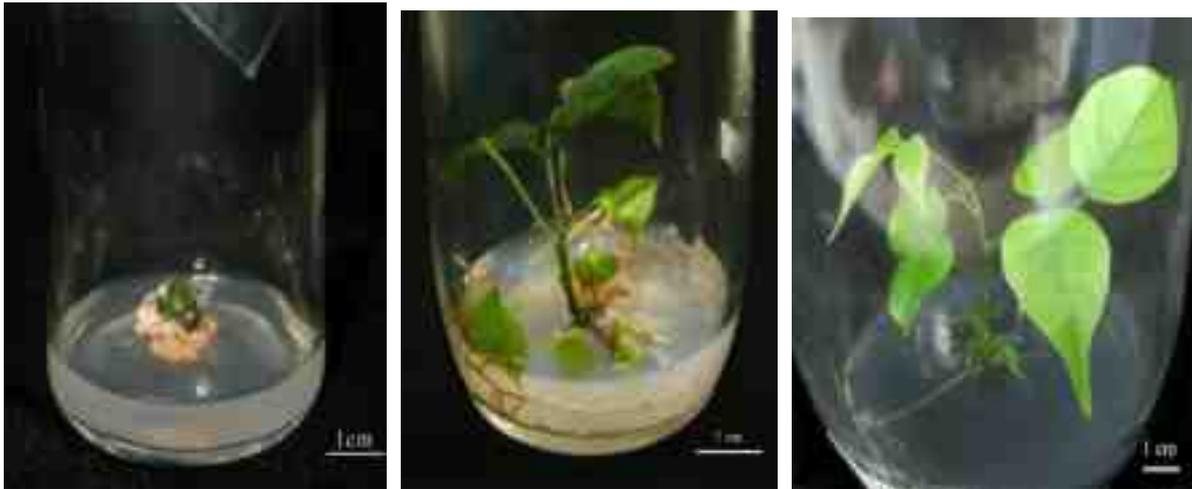


図 1.48. *Pongamia pinnata* の組織培養において、(a) BA および TDZ を MS 培地に添加した場合の成長、(b) 培養体地上部を SH 培地に移植した後の根の成長促進、(c) Kin を添加した MS 培地上の茎切片から発達した茎及び根

表 1.12. *P. pinnata* の光混合栄養における培養体の根数(NoR)、側根を持つ根の比率(% LR)、根長(RL)及び茎の節数(NoN)に及ぼすオーキシンの種類の影響(培養期間 56 日)

Treatment code ^z	NoR	% LR	RL (mm)	NoN
Control	2.5 b ^x	40.3 d	44.3 c	2.0 c
I-01	3.7 a	78.0 ab	141.7 a	3.5 a
I-05	2.8 b	86.9 a	115.3 b	2.8 b
N-01	2.8 b	70.3 bc	141.7 a	2.8 b
N-05	3.8 a	67.5 c	103.8 b	3.3 ab
ANOVA ^y	**	**	**	**
CV(%)	10.90	5.35	4.82	7.71

^z For treatment code, I or N represents for IBA or NAA, the numbers, 01 or 05, represent the concentration, 0.1 mg/l or 0.5 mg/l, respectively.

^y **: Significant at $p \leq 0.01$.

^x Means in the same column followed by the same letters are not significantly different at the 1% level by LSD-test (Least Significant Difference Test).

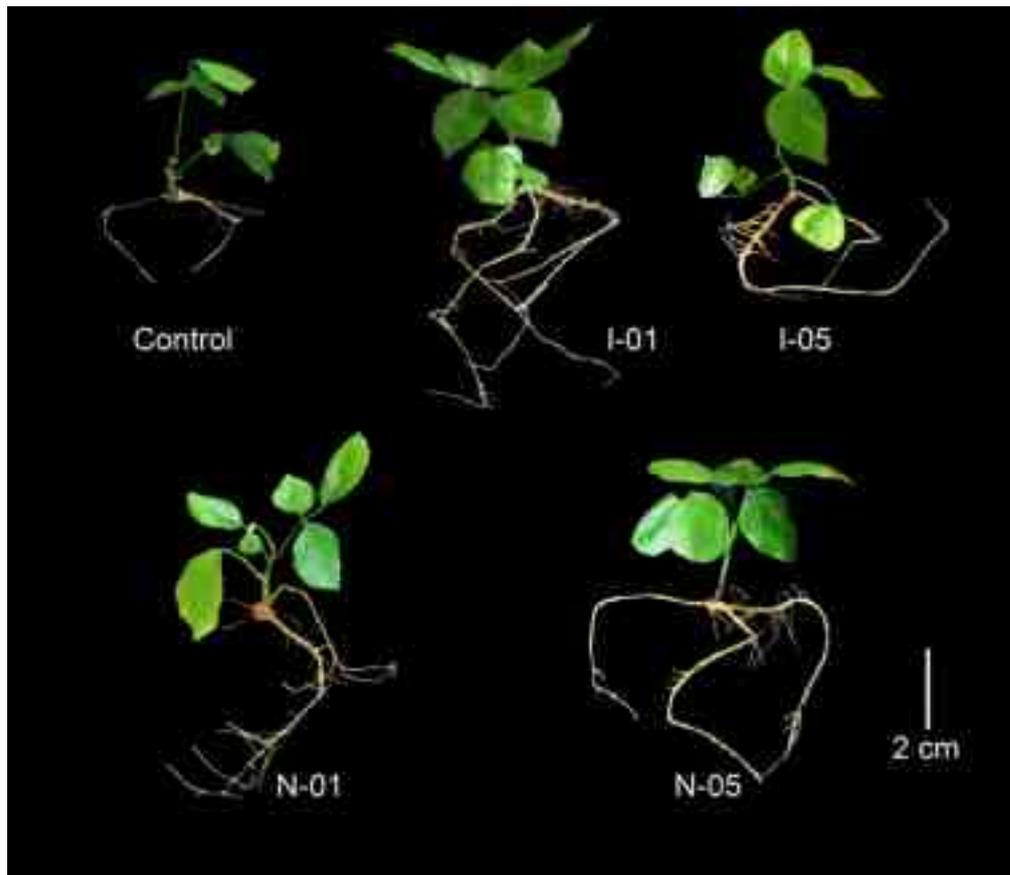


図 1.49. *P. pinnata* の光混合栄養における培養体の成長に及ぼすオーキシンの種類の影響 (培養期間 56 日)

④研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

以下の技術移転を実施した。

- 1) ベトナム北部、中部、南部で南洋アブラギリ、ポンガミアピナッタ、広東アブラギリの植林を実施し、それぞれの植林地で気象計を用いて、気温、湿度、風速および風向を測り、気象と油糧樹種の成長には深い関係があることを示した。また、科学データに基づいて、灌水や施肥を行う管理技術を移転した。
- 2) 枝の剪定法、苗を植える際の油糧樹間の最適距離、ポンガミアピナッタやアカシアのようなマメ科の樹種との混栽による窒素肥料の施肥量削減（マメ科の樹種が空中窒素を固定するため）の技術について話し合い、技術移転を実施した。
- 3) 種々の油糧樹種の苗の育成方法として組織培養について技術移転するとともに、組織培養時の培地栄養分の添加についての基礎知識、さらに苗の育成時の気相の高濃度炭酸ガスの添加技術についても知識の共有を図った。

⑤研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

- 1) 前述のように、初期には、ダイオキシン汚染土壌での南洋アブラギリの栽培を計画していたが、栽培予定のベトナム中部の山間部の土壌には既にダイオキシンが極めて低濃度でしか測定されなかった。さらに南洋アブラギリの成長が山間部の荒廃地では極めて遅く、種子の収量も極めて低かったため、植林地を北部山岳地帯とハロン湾近くの炭鉱跡地に変更し、植林する油糧樹種も南洋アブラギリから広東アブラギリおよびポンガミアピナッタに変更した。これらの途中での変更にも拘わらず、BDF の原料のための優良樹種と最適の栽培法についての一定の成果が得られた。

(3) 研究題目2 (グループ2)

ダイオキシン汚染土壌の対策技術の開発

① 研究題目2の研究のねらい

汚染土壌の現況調査と汚染改善技術の開発、土壌汚染物質の BDF 原料油への移行の有無、汚染土壌浄化技術の開発

② 研究題目2の研究実施方法

従来より土壌中のダイオキシン測定に広く用いられている、高分解能ガスクロマトグラフ質量分析法 (HRGC-MS 法) では大量の土壌試料の分析に時間と費用が極めて大きくなり、ベトナムのカウンターパートにこれを依頼するのは難しかったので、日本の環境省でも推奨されており、安価で多くの試料の分析が可能な生物検定を用いた。最初に生物検定と HRGC-MS 法での測定のクロスチェックを行い、両測定法での測定値を比較しながら、データの整理を実施した。

③ 当初の計画に対する現在の進捗状況

平成 23 年度(2012 年度)

日本及びベトナムで生物検定の研修を実施し、HRGC-MS との測定データの相関性を確認する。特に生物検定についてはマニュアルを作成し、測定法の熟知を測る。

平成 24 年度(2013 年度)

再度、生物検定の研修を実施し、生物検定測定用の機器を CEM/MONRE および IET/VAST に送り、両研究機関に生物検定測定室を設置する。また前処理用の装置も日本から送って、これらを設置した。

平成 25 年度(2014 年度)

Quang Tri 省の南洋アブラギリ植林地の土壌試料の採取を始める。そのための試料サイシュマニュアルを作成する。CEM では HRGC-MS によるダイオキシン分析と生物検定とのクロスチェックを実施する。

平成 26 年度(2015 年度)

Quang Tri 省および Trang Bang とハロン湾の Nui Beo 炭鉱廃棄地での土壌の採取、重金属類による土壌汚染の測定を IET/VAST の ICP を用いて実施。ダイオキシン汚染マップのための試料採取と HRGC-MS および生物検定法での土壌分析を実施。

平成 27 年度(2016 年度)

全試料の測定の実施。

平成 28 年度(2017 年度)

分析データの解析と得られたダイオキシン濃度から土壌汚染マップの作成

ダイオキシン汚染土壌の浄化の研究室実験の実施

報告書の作成

●ベトナム土壌汚染調査

本プロジェクトでは、ベトナムのジャトロファ 植林地として、Ba Vi, Quang Tri, Trang Bang および Ha Long の計4カ所を対象とした。(図 2.1)。グループ 2 では、これら植林地における土壌汚染調査を行うにあたり、主として、バイオアッセイ検出法を含むダイオキシン類の迅速簡易分析法の開発を行い、測定法マニュアルを策定してきた。

これらの手法を基に、ジャトロファ植林地の予備調査を行い汚染の実態解明および汚染マップの作成を目的として調査を進めた。

●土壌汚染予備調査

土壌汚染予備調査の実施状況を表 2.1 に示す。

図 2.1 に示したように、2012 年度は Quang Tri 地域、2013 年度は Trang Bang 及び Ba Vi の地域で調査を実施した。なお、Ha Long 地域は炭鉱跡地の埋戻し地区であり、ダイオキシン等汚染物質による土壌汚染はないと推定されることから、土壌調査は実施しないこととした。調査を実施した3地域の汚染物質調査は、Quang Tri 地域の農薬を除きすべて終了した。なお、Quang Tri 地域の農薬調査は、他の2地域 (Trang Bang 及び Ba Vi) におい



図 2.1.ベトナムでの Jatropia の植林

ては有意な農薬汚染が認められないことから、省略した。

表 2.1. Jatropha 植林地でのダイオキシン、重金属、農薬の調査の概要

Sampling Site	Sampling Date	Number of Sample	Analysis of Pollutant		
			Dioxin	Heavy Metal	Pesticide
Qunang Tri	Jul. 13, 2012	10	○	○	X
Trang Bang	Nov. 3, 2013	10	○	○	○
Ba Vi	Nov. 8, 2013	10	○	○	○
Ha Long	--	--	--	--	--

○ : Analysis was completed.

X : Pesticide analysis was not performed.

-- : Soil pollution surveillance in Ha Long site was not conducted because that this area is estimated that there is no contamination by pollutants such as dioxin owing to the backfilling area on the site of coal mine.

●試料採取

対象地域における土壌サンプリング実施概要（サンプリング地点、年月日など）は、平成 24 年度実施報告書に Quang Tri 地域を、平成 25 年度実施報告書に Trang Bang 及び Ba Vi 地域をそれぞれ報告したので今回は省略する。

●調査結果

(1) ダイオキシン

1) 濃度

ダイオキシン測定結果を表 2.2 (Quang Tri)、2.3 (Trang Bang) および 2.4 (Ba Vi) に示す。また、TrangBang と Quang Tri でのダイオキシン濃度の分布を図 2.2 に示す。

表 2.2. Quang Tri の土壌中のダイオキシン濃度 : PCDD/DFs (ng/kg-dry wt)

Compound Name	12QTP - L06 - 01	12QTP - L06 - 02	12QTP - L06 - 03	12QTP - L06 - 04	12QTP - L06 - 05	12QTP - L12 - 01	12QTP - L12 - 02	12QTP - L12 - 03	12QTP - L12 - 04	12QTP - L12 - 05
2378-TCDD	0.12	< 0.10	< 0.10	0.19	< 0.10	0.26	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
12378-PeCDD	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.597	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.60	0.53	0.58
123478-HxCDD	0.78	0.77	0.60	1.3	0.81	0.70	0.67	0.75	0.88	0.65
123678-HxCDD	0.76	0.85	0.91	1.7	1.1	1.3	0.83	0.91	1.2	1.0
123789-HxCDD	0.97	0.97	0.96	1.8	1.1	0.83	1.0	1.2	1.5	1.2
1234678-HpCDD	41	44	63	170	71	54	34	46	64	54
OCDD	6400	6800	8500	45000	9400	7500	7500	6100	15000	11000
2378-TCDF	0.40	0.19	0.22	2.0	0.16	0.18	0.22	0.73	0.14	0.47
12378-PeCDF	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.69	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
23478-PeCDF	< 0.50	0.52	< 0.50	0.55	0.55	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
123478-HxCDF	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
123678-HxCDF	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
123789-HxCDF	< 0.50	< 0.50	0.57	< 0.50	0.59	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
234678-HxCDF	0.63	0.51	< 0.50	0.61	< 0.50	0.77	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.62
1234678-HpCDF	0.82	0.74	0.58	0.93	0.66	0.76	< 0.50	0.88	< 0.50	0.63
1234789-HpCDF	0.79	0.71	< 0.50	0.58	0.80	< 0.50	1.0	< 0.50	< 0.50	1.0
OCDF	2.3	1.8	< 1.0	2.4	1.2	< 1.0	2.7	2.1	3.8	< 1.0
TEQ (ppt)	2.9	3.0	3.5	16.7	4.1	3.4	2.9	3.3	6.1	4.8
TCDD (%)	4.1	<3.3	<2.8	1.1	<2.4	7.5	<3.5	<3.1	<1.6	<2.1
OCDD (%)	67	68	73	80	69	66	78	56	75	68

"<": Concentration below the Method Detection Limit

TEQ: WHO 2005 - TEQ; TEQ-value calculated by including the quantified congeners only

表 2.3. Trang Bang の土壤中のダイオキシン濃度 : PCDD/DFs (pg/g-dry wt)

Compound	14TB 01S	14TB 02S	14TB 03S	14TB 04S	14TB 05S	14TB 06S	14TB 07S	14TB 08S	14TB 09S	14TB 10S
2378-TCDD	0.11	0.20	<0.10	0.58	0.13	0.16	0.23	0.22	0.38	0.42
12378-PeCDD	<0.50	0.51	<0.50	1.5	<0.50	0.51	0.59	0.56	0.95	1.0
123478-HxCDD	1.0	1.8	0.78	5.2	1.1	1.8	2.1	2.0	3.4	3.7
123678-HxCDD	1.6	2.9	1.3	8.4	1.9	2.9	3.4	3.2	5.5	6.0
123789-HxCDD	2.1	3.7	1.6	11	2.4	3.7	4.3	4.1	7.0	7.6
1234678-HpCDD	12	21	90	600	13	21	240	23	39	42
OCDD	1010	1810	780	5170	1140	1810	2070	1960	3360	3670
2378-TCDF	<0.10	0.10	<0.10	0.30	<0.10	0.14	0.12	0.11	0.19	0.21
12378-PeCDF	<0.50	<0.50	<0.50	0.91	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.59	0.65
23478-PeCDF	<0.50	<0.50	<0.50	0.97	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.63	0.69
123478-HxCDF	<0.50	0.51	<0.50	1.5	<0.50	0.51	0.58	0.56	0.95	1.0
123678-HxCDF	<0.50	<0.50	<0.50	0.76	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.54
123789-HxCDF	<0.50	<0.50	<0.50	0.74	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.53
234678-HxCDF	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
1234678-HpCDF	0.63	1.1	<0.50	3.2	0.70	1.1	1.3	1.2	2.1	2.3
1234789-HpCDF	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
OCDF	<1.0	<1.0	<1.0	1.4	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
total-TEQ	1.0	2.4	1.5	13	1.1	2.4	4.9	2.6	4.7	5.2
TCDD (%)	8.0	8.6	-	4.6	11	7.0	4.8	8.6	8.2	8.0

表 2.4. Ba Vi における土壤中のダイオキシン濃度 : PCDD/DFs(ng/kg-dry wt)

Congener	13BV01	13BV02	13BV03	13BV04	13BV05	13BV06	13BV07	13BV08	13BV09	13BV10
2378-TCDD	0.17	0.23	0.18	0.23	0.19	0.13	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
12378-PeCDD	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
123478-HxCDD	0.63	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.72	0.67	0.75	0.88	0.64
123678-HxCDD	0.98	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	1.7	0.83	0.91	0.9	0.9
123789-HxCDD	0.76	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.57	1.0	1.2	0.8	0.6
1234678-HpCDD	< 0.50	< 0.50	5	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
OCDD	3300	2800	4300	6700	2900	3500	4300	5500	4300	7300
2378-TCDF	< 0.10	< 0.100	< 0.100	< 0.50	< 0.50	0.18	0.22	0.36	0.12	< 0.10
12378-PeCDF	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
23478-PeCDF	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
123478-HxCDF	0.55	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
123678-HxCDF	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
123789-HxCDF	< 0.50	< 0.50	1.23	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
234678-HxCDF	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
1234678-HpCDF	< 0.50	< 0.50	0.55	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
1234789-HpCDF	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	1.0	< 0.50	< 0.50	< 0.50
OCDF	4.3	2.5	< 1.00	< 1.00	2.8	< 1.00	1.4	2.0	1.2	< 1.00
TEQ (ppt)	1.4	1.1	1.7	2.3	1.0	1.5	1.6	2.0	1.6	2.4
TCDD (%)	12	22	11	10	18	8.3	<6.3	<5.1	<6.4	<4.2
OCDD (%)	68	78	78	90	82	70	82	83	83	91

"<": Concentration below the Method Detection Limit

TEQ: WHO 2005 - TEQ; TEQ-value calculated by including the quantified congeners only

Trang Bang 及び Ba Vi におけるダイオキシン濃度(TEQ)の平均値および濃度範囲は、それぞれ、5.1pg-TEQ/g-dry weight (2.9~16.7pg-TEQ/g-dry weight), 4.1pg-TEQ/g-dry weight (2.6~6.1pg-TEQ/g-dry weight) および 1.6pg-TEQ/g-dry weight (1.0~2.4pg-TEQ/g-dry weight)であった。Quang Tri および Trang Bang 地区間ではダイオキシン濃度に差は認められなかったが、Ba Vi 地区においては全2者と比べ低値であり、有意な差が認められた。Ba Vi 地区が他の2カ所と較べ有意に低値であった理由は今のところ不明である。

表 2.5 に、今回の調査で得られた結果とともに、北、中央、南ベトナムおよび過去にエージェントオレンジで汚染されたホットスポット3地点、また日本の都市および郊外の土壌（または底質）中のダイオキシン濃度を示す。

表 2.5. ベトナム及び日本*の底質と土壌中のダイオキシン濃度

Sampling Site	Sample No.	2,3,7,8-TCDD Ave. (pg/g-dry-weight)	total TEQ		Ratio (%) (2,3,7,8-TCDD/total TEQ) Ave.	Estimated emission source
			Ave. (pg/g-dry-weight)	Range (pg/g-dry-weight)		
(This project***)						
Quang Tri	3	0.20	5.1	2.9 ~ 17	3.9	
Trang Bang	6	0.25	4.3	2.6 ~ 6.1	6.2	
Ba Vi	6	0.19	1.5	1 ~ 2.3	13	
(North Vietnam)						
Hanoi	2	0.21	9.6	9.3 ~ 9.8	2.2	PCN or Natural Source Combustion
(Central Vietnam)						
Hue	3	0.29	2.9	0.9 ~ 5.6	10	PCN or Natural Source
A So**)	10	120	120	4.9 ~ 360	>99	Agent Orange
Ta Bat**)	9	12	14	5.5 ~ 37	86	Agent Orange
Aluoi**)	9	12	13	5.7 ~ 20	92	Agent Orange
(South Vietnam)						
Can Gio	10	0.8	2.7	0.4 ~ 7.2	30	PCN or Natural Source
(Osaka)						
Suburban	6	0.08	2.3	0.2 ~ 1.1	3.5	PCN or Natural Source Combustion
Urban	8	7.4	190	1 ~ 370	3.9	CNP

*) M. Kishida, K. Imamura et al, Chemosphere, 78, p127-133(2010)

**) Former army base: L. W. Dwernychuck et al, Chemosphere, 47, p.117-137(2002).

***)Samples in which 2,3,7,8-TeCDD was detected.

今回得られた結果は、ベトナムのエージェントオレンジ非汚染地区および日本の郊外地区と同レベルであり、ホットスポットより優位に低値であった。また、日本の土壌における環境基準値(1000pg-TEQ/g-dry weight 以下)を考慮すると、今回のベトナムのジャトロファ植林予定地の土壌中のダイオキシン濃度は十分に低値であり、除染対策や健康上問題のないレベルである。

2014 年度における土壌中の総ダイオキシン類濃度は、平均値 3.8 pg-TEQ/g-dry weight (n=10) ,範囲 1.0~12.7 pg-TEQ/g-dry weight と低く 2013 年度の測定結果 (n=10, 平均値 : 4.1pg-TEQ/g-dry weight, 範囲 : 2.6~6.1 pg-TEQ/g-dry weight,) と較べて同レベルであった。この地点もダイオキシン類濃度は低く、ダイオキシン類低濃度汚染地域と認められる。

●土壤中ダイオキシン類組成

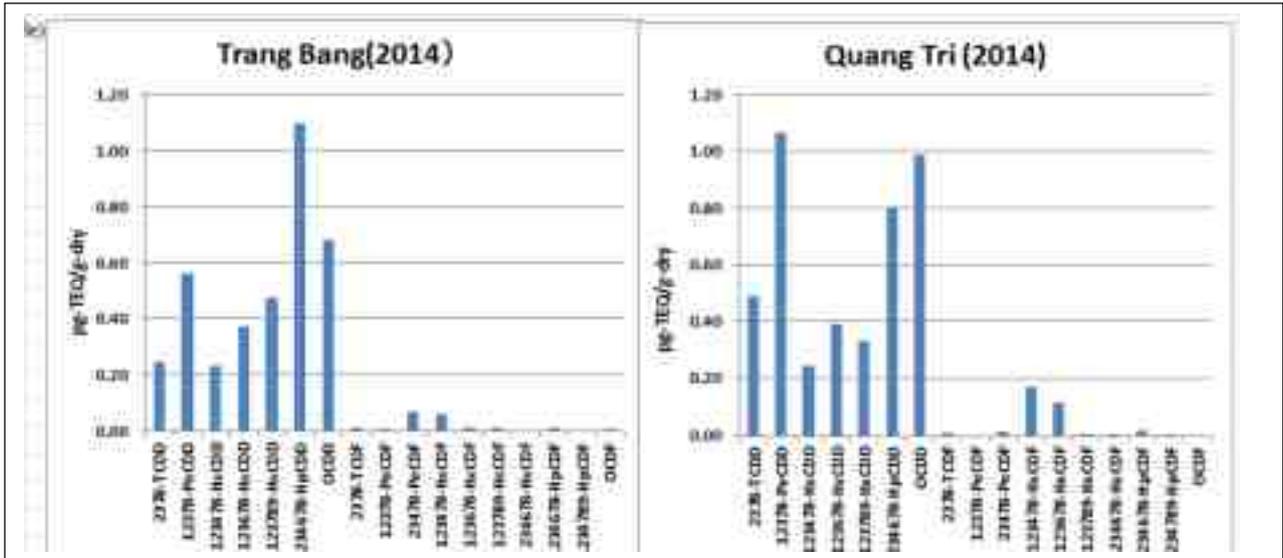


図 2.2. Trang Bang 植林地の土壤中のダイオキシンおよび塩素化ダイベンゾフラン異性体の TEQ concentration of 2,3,7,8-chlorine substituted dioxin and dibenzofuran congeners in the soil collected at Trang Bang plantation site
Figure 2-4 に示すように、Trang Bang で採取された土壤中のダイオキシン類組成 (TEQ 濃度)は、Quang Tri 地域で採取された土壤中のものと同様であった。

●土壤汚染マップ

予備調査で行った Quang Tri 地区において、より正確なダイオキシン汚染状況を把握し、汚染マップを作成することを目的とし、
表 2.6 に示したように、20ha の地域を 10 等分し、土壤試料を採取した。

土壤試料採取

(1) 採取状況

- 【採取年月日・時】 平成 26 年 11 月 15 日 12:00~13:00
- 【場所】 Quang Tri, ジャトロファ植林圃場 (20ha、植付面積 5ha)
- 【天候】 快晴
- 【現地状況】 プロジェクトが終了 (委託の終了) のためか、植林地管理棟及び気象管理棟が取り払われており、圃場の手入れもなされていなかった。樹木の背丈が 60cm 程度と成長が遅く、開花がなく、果実も見られなかった。従って当地点では土壤採取のみを実施した。
- 【採取試料】 土壤：10 当分に分割した各区画の中心点 (中心点を含む半径 10m の円内で計 5 地点の混合)
果実：採取不可能であった。
- 【実施者】 圃場関係者 1 名、CEM 2 名、IET-HCM 1 名、大阪府立大 1 名

(2) 試料採取地点

Quang Tri 植林地の外観を写真 2.1. に示す。また、Quang Tri の植林地の全体図を図 2.3 に示す。ジャトロ



写真 2.1. Quang Tri 省の Jatropha curcas 植林地(1970 年代にダイオキシンを含む枯葉剤を大量に散布)

表 2.6. ダイオキシン汚染マップ作成のための土壌試料採取

採取場所	緯度と経度	採取時刻	採取面積	採取場所	経度と緯度	採取時刻	採取面積
1	N 16. 43. 15. 5	9:18	3ha	6		10:18	0.8ha
	E 106. 43. 22. 1						
2	N 16. 43. 09. 8	9:30	2.2ha	7		11:00	1.5ha
	E 106. 43. 21. 7						
3		9:45	2.5ha	8		10:50	1ha
4		9:40	2.5ha	9		10:30	2ha
5		10:00	2.5ha	10		10:40	2ha

合計 20ha

ファの植林区画は 10 数カ所にわたるが、2つの区画に分類される。K1 区域 (40ha) と K2 区域 (60ha) である。今回土壌採取した地域は K1 区域の一部で、図中には試料採取地域と表示した。試料採取地点は図 2.4. に示す区画 (200m×1,000m 程度) で、この区画を 10 等分した 10 地点である。



図 2.3. ダイオキシン汚染マップ作成のための土壌採取地点の地図

図 2.4 に Quang Tri 省(20ha)の、図 2.5 に Trang Bang (6 ha) での *Jatropha curcas* 植林地の 2,3,7,8-TCDD, OCDD (実測濃度) および total-TEQ による汚染マップを示す。Total-TEQ における 4S 地点は 13 pg-TEQ/g-dry weight であり、他の 9 地点 (1.0~5.2 pg-TEQ/g-dry weight) に比べて高いが、ダイオキシン類組成も他の 9 地点と同様の濃度レベルであり、有意にダイオキシン類汚染がある地点とは言えない。上述のように、OCDD 濃度は 2,3,7,8-TCDD 濃度に比べて 4 桁高いが、TEQ 濃度は (毒性当量(2,3,7,8-TCDD を 1 とした時 OCDD の毒性 0.0003) を考慮すると必ずしも高くない。今回の Trang Bang 植林地では、いずれのダイオキシン組成においても、有意に高い地点は認められなかった。

●ジャトロファ中のダイオキシン類 種子中ダイオキシン類濃度

表 2.7 にジャトロファ種子中のダイオキシン類濃度を示す。total-TEQ 値は 0.0~3.0 pg-TEQ/g-dry weight であり、土壌の値 (1.0~5.2 pg-TEQ/g-dry-weight より低い値であった。ジャトロファ種子のダイオキシン類濃度については文献情報がなく、我々の知る限りにおいて、このデータは、ジャトロファ種子中のダイオキシン類濃度を測定した初めての報告である。

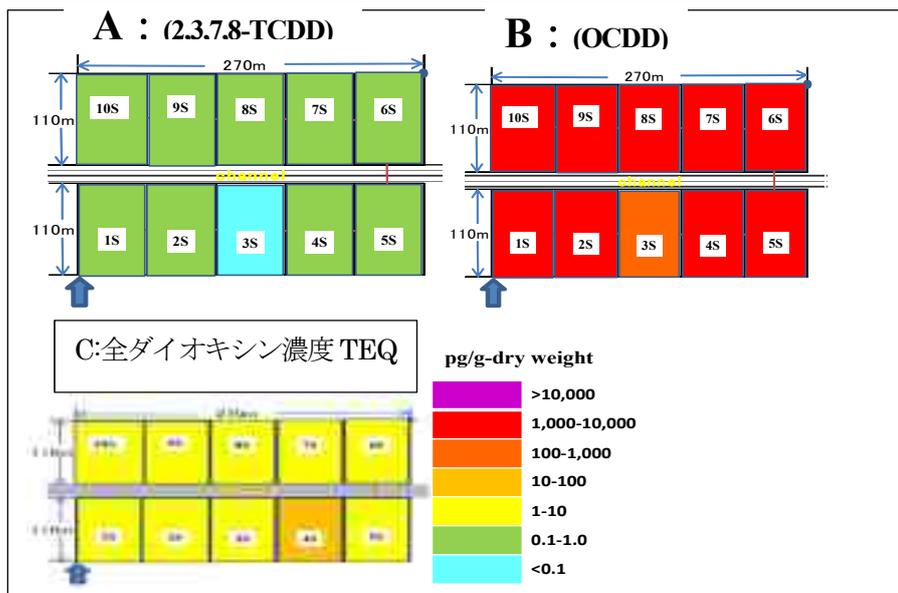
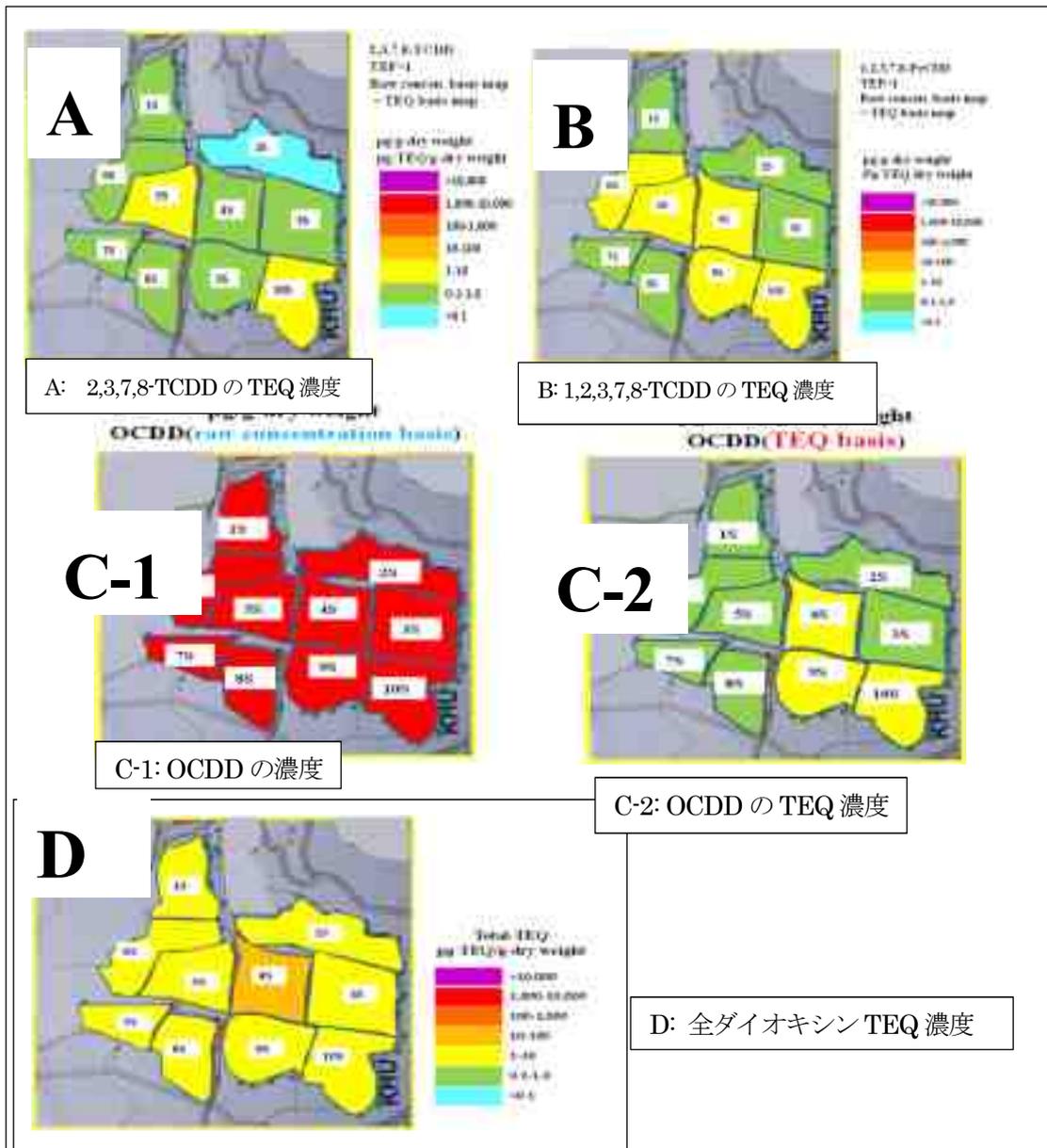


図 2.4.Quang Tri の植林地のダイオキシン汚染マップ(20ha) 図 2.5.Trang Bang でのダイオキシン汚染マップ(6ha) ジャトロファ種子中のダイオキシン濃度は、平均値で 1.0 pg-TEQ/g-dry weight (10 試料 範囲 : 0.0~1.5 pg-

TEQ/g-dry weight)であり、日本で栽培された農作物(水稲や野菜類)中の濃度と較べると1~2桁高い値であった。日本において、平成14年度農用地における土壌及び農作物中のダイオキシン類を測定した報告

(<http://www.env.go.jp/water/dojo/no-diox/14no-dio.pdf>)によると、土壌中ダイオキシン類(PCDD/DF+Co-PCB)は平均値21 pg-TEQ/g-dry weight (130地点, 範囲: 0.0017~200 pg-TEQ/g-dry weight)であったのに対し、農作物のダイオキシン類濃度は、平均値0.010 pg-TEQ/g-wet weightであった(30品目・228検体, 範囲: 0~0.19 pg-TEQ/g-wet weight)。日本のデータが水稲や野菜類を含む農作物でありかつ測定値が湿重量ベースで表記されていることから単純に比較は難しいが、今回のベトナムの植林地でのジャトロファ種子中のダイオキシン類濃度は日本の農作物より1~2桁高いと考えられる。なお、1995年に日本で採取された松葉中のダイオキシン類を測定した報告では、0.72~19.0 pg-TEQ/g-wet weight と今回のジャトロファより湿重量ベースでも高値を示している(Organohalogen Compounds, 28,181~186, 1996)。松葉は表面が脂溶性のキューティクルで覆われているため特異的に大気中のダイオキシン類を吸着・濃縮するものと考えられている。

表 2.7. Trang Bang の *Jatropha curcas* 中のダイオキシン類の TEQ 濃度: PCDD/DFs (pg/g-dry wt)

Compound	14TB 01F	14TB 02F	14TB 03F	14TB 04F	14TB 05F	14TB 06F	14TB 07F	14TB 08F	14TB 09F	14TB 10F
2378-TCDD	0.23	0.14	0.15	0.21	0.11	<0.07	0.27	<0.07	0.27	0.23
12378-PeCDD	<0.33	0.40	<0.33	0.85	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33
123478-HxCDD	<0.33	<0.33	0.53	0.65	<0.33	<0.33	0.59	<0.33	0.92	0.77
123678-HxCDD	0.44	0.50	1.2	1.0	<0.33	<0.33	0.89	<0.33	2.3	1.7
123789-HxCDD	<0.33	<0.33	<0.33	0.46	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33	0.66	<0.33
1234678-HpCDD	1.5	2.0	4.3	3.6	1.2	<0.33	3.9	1.2	8.6	6.2
OCDD	1.7	2.1	5.0	2.4	1.4	<0.670	4.4	1.4	10.1	7.3
2378-TCDF	0.18	0.48	0.51	0.47	0.13	<0.07	0.43	0.13	0.89	0.74
12378-PeCDF	0.50	1.0	0.71	1.6	<0.33	<0.33	1.1	<0.33	1.2	1.0
23478-PeCDF	0.87	1.3	0.56	3.2	<0.33	<0.33	0.61	<0.33	0.98	0.82
123478-HxCDF	0.55	1.2	<0.33	1.9	0.65	<0.33	2.1	0.64	<0.33	<0.33
123678-HxCDF	0.55	1.0	<0.33	1.8	0.60	<0.33	1.9	0.59	<0.33	<0.33
123789-HxCDF	0.53	1.2	<0.33	1.8	<0.33	<0.33	1.5	<0.33	0.51	<0.33
234678-HxCDF	<0.33	0.42	<0.33	0.52	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33
1234678-HpCDF	2.0	3.6	4.6	4.0	1.3	<0.33	4.1	1.2	9.2	6.7
1234789-HpCDF	<0.33	0.47	0.54	0.57	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33	1.1	0.79
OCDF	<0.67	0.76	2.0	0.76	<0.67	<0.67	2.2	<0.67	4.0	2.9
WHO-TEQ	0.76	1.49	0.66	3.0	0.27	0.00	1.3	0.16	1.3	0.96
TCDD (%)	32	9	23	7.0	41	-	21	<44	20	23

●ジャトロファ種子中ダイオキシン類組成

Quang Tri 省では *Jatropha curcas* 種子の採取が出来なかったため、Trang Bang での種子と土壌の両方を採取しそれに含まれるダイオキシン類を定量した。定量結果を比較して図 2.6 に示す。

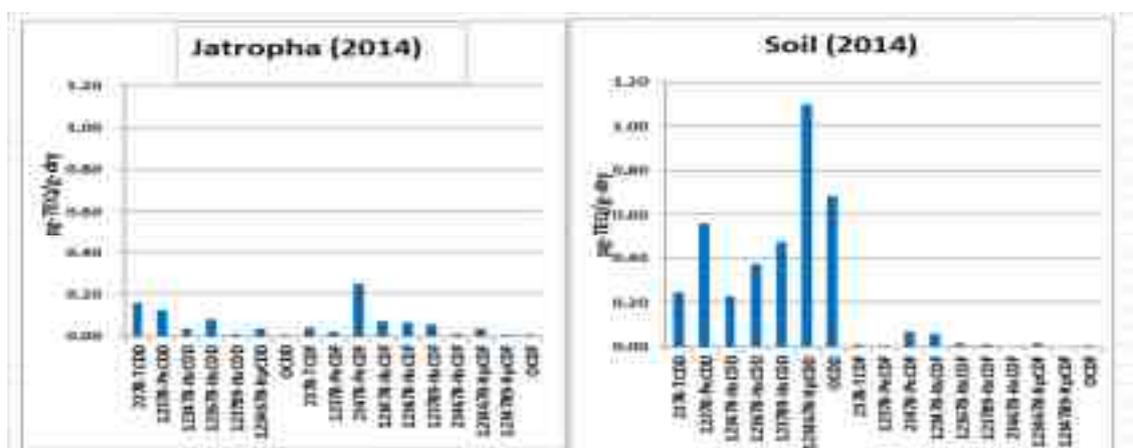


図 2.6. Trang Bang での土壌と *Jatropha Curcas* の実の各種ダイオキシンとダイベンゾフランの TEQ 濃度

ジャトロファ種子中のダイオキシン類 TEQ 濃度は、土壤中の濃度に比べ約 1/3~1/4 と低かった。また、ジャトロファ中ダイオキシン類組成は、土壤中と大きく異なり、PCDD の濃度、特に高塩素化 PCDD の濃度が大きく減少していた。

一方、PCDF 組成濃度はほぼ同じか幾分高い傾向が見られた。土壌とジャトロファ中のダイオキシン類組成が大きく異なることは、ジャトロファへのダイオキシン類移行経路に関連すると思われる。

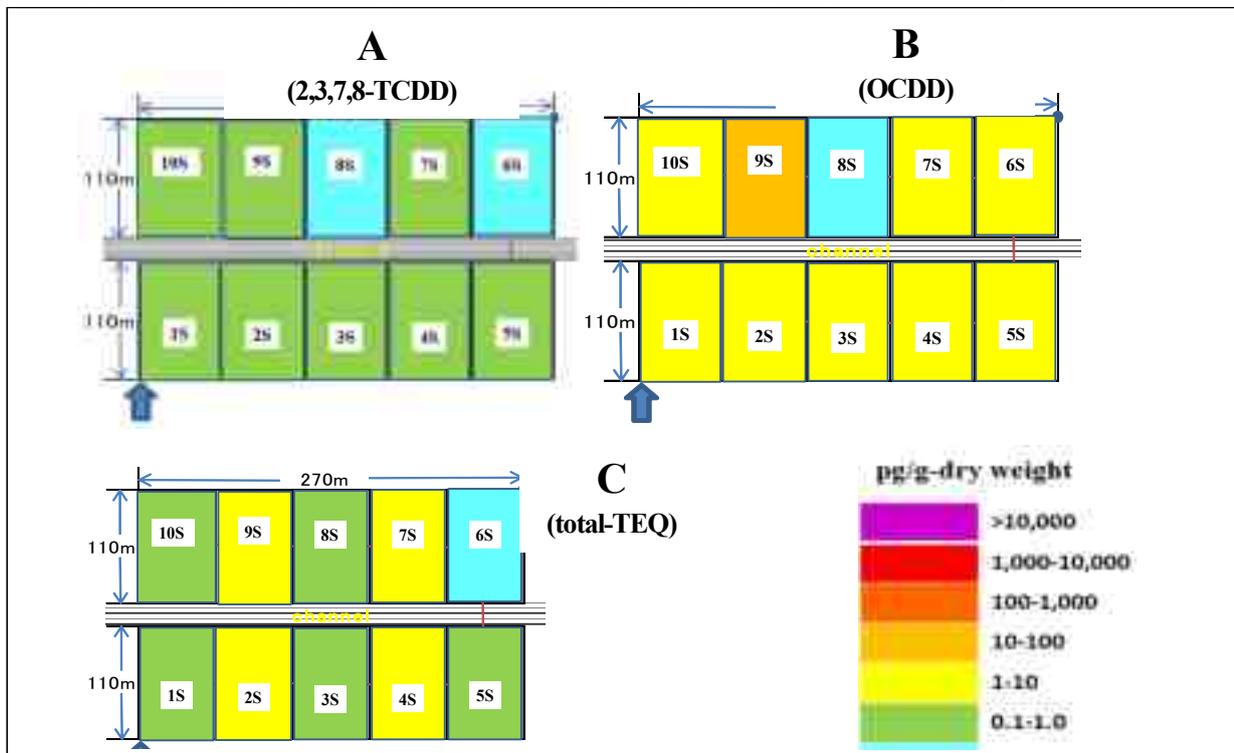


図 2.7. Trang Bang での *Jatropha curcas* 種子中のダイオキシン汚染マップ
(A: 2,3,7,8-TCDD, B: OCDD, C: total-TEQ)

●ジャトロファの汚染マップ

図 2.7 に、2,3,7,8-TCDD, OCDD (実測濃度) および total-TEQ によるジャトロファ種子の汚染マップを示す。2,3,7,8-TCDD および total-TEQ によるマップにおいて、有意に高いダイオキシン類汚染がある地点はない。OCDD における 9S 地点は 10.1 pg/g-dry weight であり、他の 9 地点 (範囲: 0.67~7.3 pg/g-dry weight) に比べて有意に高いとは言えない。

したがって、Trang Bang 植林地のジャトロファ種子においても、ダイオキシン類汚染の有意に高い地点は認められなかった。

●土壌からジャトロファへのダイオキシン類の移行

土壌中ダイオキシン類に対するジャトロファ種子中ダイオキシン類の存在比

表 2.8 に土壌中ダイオキシン類濃度に対するジャトロファ種子中に検出されたダイオキシン類濃度の平均存在比を示す。ただし、試料は、土壌およびジャトロファ種子の両方にダイオキシン類が検出されたもののみを対象とした。平均存在比は、2,3,7,8-TCDD では 0.9, OCDD では 0.002 となり、PCDD 異性体では塩素数の少ないものほど存在比が高い傾向を示した。また、PCDF では OCDF を除き存在比が 1 以上を示し、PCDD よりも高い存在比を示した。なお、total-TEQ ではその平均存在比は 0.29 であり、ジャトロファ種子中のダイオキシン類は土壌より十分低い値であった。

表 2.8 の結果を図 2.8 に図示した。日本における茶葉 (紅茶, n=14) について、土壌中のダイオキシン類濃度 (2.4~9.2 pg-TEQ/g-dry weight) と荒茶中ダイオキシン類濃度 (0.021~0.47 pg-TEQ/g-wet weight, 水分含量文献値: 21.5%) の存在比を算出し、平均値を図に示した (「平成 12 年度農用地土壌及び農作物に係るダイオキシン類実態調査結果」、環境省環境管理局水環境部土壌環境課土壌環境課土壌モニタリング係、

<http://www.env.go.jp/water/dojo/no-diox/>)。

表 2.8. *Jatropha curcas* の種子と土壤中のダイオキシン類同族体の含有比

Compound	n*	Average ratio (<i>Jatropha</i> /Soil)	SD
2378-TCDD	7	0.90	0.54
12378-PeCDD	2	0.67	0.14
123478-HxCDD	5	0.31	0.21
123678-HxCDD	7	0.35	0.27
123789-HxCDD	2	0.07	0.04
1234678-HpCDD	9	0.09	0.07
OCDD	9	0.002	0.002
2378-TCDF	6	3.17	1.47
12378-PeCDF	3	1.81	0.26
23478-PeCDF	3	2.02	1.13
123478-HxCDF	4	2.11	1.12
123678-HxCDF	1	2.33	-
123789-HxCDF	1	2.46	-
234678-HxCDF	0	-	-
1234678-HpCDF	8	2.64	1.17
1234789-HpCDF	0	-	-
OCDF	1	0.55	-
WHO-TEQ	9	0.29	0.14

n* : Number of samples that have been detected over minimum limit of determination in both soil and *Jatropha* sample

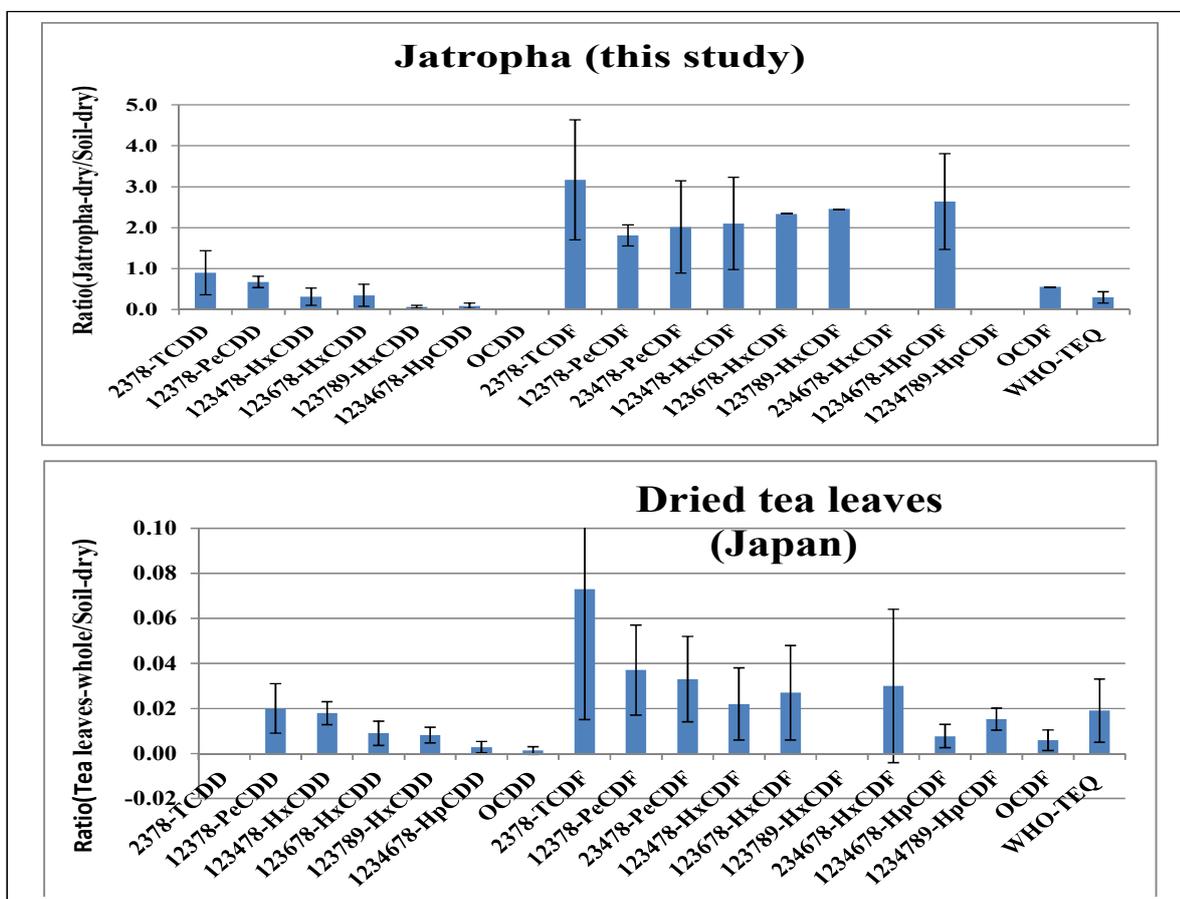


図 2.8. *Jatropha curcas* 中のダイオキシン含有量と日本の紅茶の含有量との比較

紅茶のダイオキシン類組成の土壌に対する存在比の傾向は、ジャトロファ種子で見られた傾向とほぼ同様であった。すなわち、PCDD については低塩素化体ほど存在比が高く、さらに PCDF は PCDD より存在比が高かった。また、PCDF においても低塩素化物ほど存在比は高い傾向を示した。

したがって、今回ジャトロファ種子で見られた土壌に対する各ダイオキシン類の存在比の傾向は、日本で観察された荒茶のものとよく一致しており、土壌に対するジャトロファ中の存在比はダイオキシン類組成により異なること示した。

なお、ジャトロファにおけるダイオキシン類組成の土壌に対する存在比は日本の紅茶の水分含量 21.5%を考慮してもより 1 桁以上大きかった。

●土壌からジャトロファへのダイオキシン類の移行

土壌中のダイオキシン類が土壌からどのような経路でどの程度ジャトロファ種実に移行したかは大変興味深い点である。現在、土壌から植物へのダイオキシン類への移行についての情報は少なく、未解明な部分が多い

McLachlan は、ダイオキシン類の植物への移行には、下記の図に示す土壌および大気経路があるとしている (Chemosphere, Vol.34, pp1263-1276, 1997)。

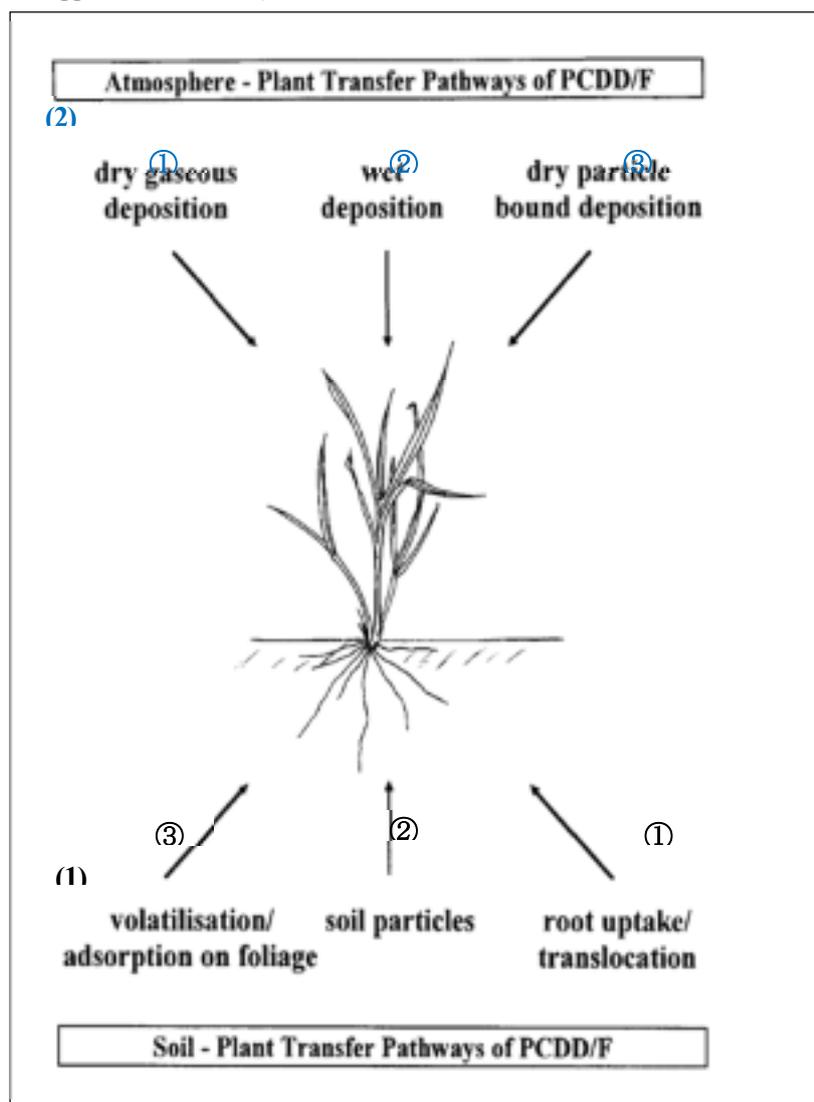


図 2.9. PCDDs/DFs が植物に取り込まれる経路 (McLachlan の文献より転載)

(1)土壌からの植物の経路

- ①根からの吸収および地上部への移送
- ②土壌粒子の植物への付着
- ③土壌表面からの揮散と葉への吸収

(2)大気降下物からの植物への経路

- ①ガス状の降下物の葉による吸収
- ②湿性降下物の葉への付着
- ④ 乾性降下物の葉への付着

土壌中のダイオキシン類への植物への主な移行経路は、(1)根の表面への吸着、(2)根からの吸収と地上部への移

超音波を水に照射すると短時間に生成・崩壊するキャビティ内では、局所的ではあるが数千°C、数百気圧の高温反応場と衝撃波による秒速数百 m にも達する、高速の水流が生成する。

一方、紫外線照射によって、ダイオキシンのような分子内に塩素を含む化合物は、脱塩素反応によって塩素を分子内に含まない化合物に無害化されることが知られている。本研究ではその両者を利用して、

図 2.10 にダイオキシン分解装置の概要を示す。超音波照射中に温度が上昇するので、周りを水で冷却し、常温で反応が進行するようにしている。

図 2.11 と 2.12 に超音波照射によるトリクロロエチレンとフロン113の分解の経時変化を示した。トリクロロエチレンは常温でも水溶液の中で迅速に完全分解され、CO と塩化物イオンにまで分解された。水素はトリクロロエチレンからも生成するがそのほとんどは水の超音波分解によるものである。紫外線照射では脱塩素は起こるが、完全分解には数時間の反応時間を要する。

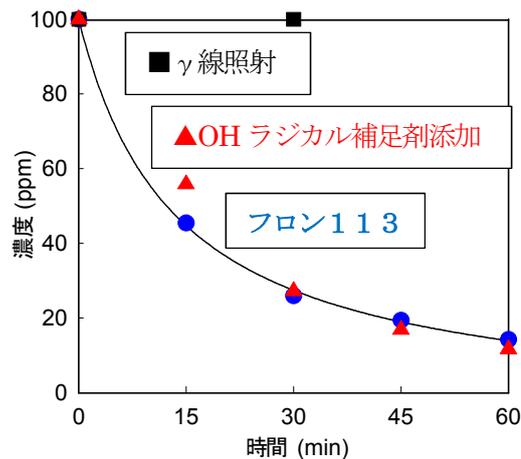
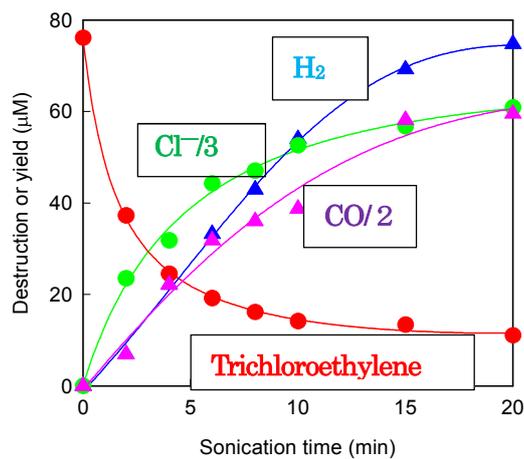


図 2.11. トリクロロエチレンの超音波分解生成物

図 2.12. フロンの水中での超音波分解

図 2.12. に示したフロン 1 1 3 は気相では 1000°C 以上の高温でしか分解しないフロンが超音波照射では、常温の水中でも分解することが分かる。

表 2.9 に汚染土壌の超音波照射および紫外線照射によるダイオキシンの分解の結果を示す。

表 2.9. にダイオキシンを含む土壌の分解結果を示す。

番号	分解方法	反応前濃度 pg/g 土壌	反応後濃度 pg/g 土壌	分解率 (%)
(1)	紫外線照射のみ	250.0	220	88
(2)	超音波照射のみ：20 kHz		240	96
(3)	超音波照射のみ：100 kHz		170	68
(4)	20kHz を 30 分照射後、100kHz の超音波を 1 時間照射		80	32
(5)	紫外線と超音波の同時照射		68	27

分解時間は 1 時間、ダイオキシン濃度は CALUX 法で測定した。

(4) 20 kHz の周波数の超音波で土壌中のダイオキシンを脱着させて、その後 100kHz の周波数の超音波で、1 時間照射。

(5) 20 kHz の周波数の超音波で土壌中のダイオキシンを脱着後、紫外線と超音波の両者の照射を 1 時間行った。

現在、Da Nang 飛行場では土壌中のダイオキシンの分解にメカニカルリング法を用いて、高温化でダイオキシンを土壌から揮散させ、揮散したダイオキシンを活性炭に捕集して土壌の浄化を試みているが、大気中への逃散が大きな問題になっている。超音波照射は水中で短時間にしかも極めて狭い気泡中で (μs で μm) ダイオキシンを熱分解するので、周りの常温の水からはダイオキシンが逃散しないので、極めて安全な方法と言える。大きな規模での土壌の無害化にはさらに大規模な超音波照射装置を設置するか、または汚染土壌を一旦、溶媒中に抽

出し、抽出した溶媒の無害化に超音波を用いることも可能である。

④ 研究題目2のカウンターパートへの技術移転の状況

以下の技術をベトナム側のカウンターパートの CEM/MONRE と IET/VAST に移転した。

- 1) 生物検定法による土壤中のダイオキシン測定技術
- 2) ダイオキシン汚染土壌の採取方法
- 3) 超音波および紫外線照射によるダイオキシン汚染土壌の浄化技術

⑤ 研究題目2の当初計画では想定されていなかった新たな展開

ベトナム中部の大量に枯葉剤が散布された場所には高濃度のダイオキシンが残留しているというベトナム側の報告にによって、Quang Tri 省の広大な南洋アブラギリ植林地でのダイオキシン濃度の調査を計画していた。しかし戦後 40 年の経過によって、毒性の強い 2,3,7,8-TCDD は極めて低濃度で、8 塩素化ダイオキシンが数千～数万 p g/g 土壌で存在していた。しかし 8 塩素化物の毒性は 4 塩素化物の 1/10000 であるため、これらが高濃度で残留していても毒性係数で濃度を表すと、10000pg 存在しても、1pg としてしかその存在が認識されない。

このような汚染現状によって、ベトナム政府は従来ダイオキシン汚染のため耕作に適さないとして、農民の耕作を禁止していた Quang Tri 省の荒地での農作物の耕作を許可した。我々が SATREPS で測定データを公開することによって、ベトナム側でも従来高濃度でダイオキシンで汚染されているとしていた農地について、低濃度汚染であることを表明することになった。

本来はダイオキシン汚染土壌の浄化を現地で実施する予定であったが、それが出来なかったため、研究室でのモデル実験を実施した。

(4) 研究題目3 (グループ3) :

高品位 BDF クリーン製造技術

① 研究題目3のねらい

(クリーンな高品質 BDF 製造プロセスの確立、副生成物グリセリンの有効利用、油に含まれる薬効成分の抽出利用)

② 研究題目3の研究実施方法

共溶媒法でナマズ油、パーム油、Jatropha 油からバイオジーゼル燃料 (BDF) を製造し、すべての原料から純度 97%以上の BDF を得ることができた。これら製造した BDF をハロン湾の観光船の燃料として B100 で使用した (全量は 20t)。また株式会社ヤンマーのコタ・キナバル研究センターに 500L の BDF を送り、100 時間の長時間エンジンテストを実施した。ただ共溶媒法で製造した BDF には少量のアセトンが含まれることがあるとの指摘を受けたので、生成した BDF 中にアセトンが混入しない洗浄法(洗浄水の量と回数)を確立するために、微量アセトン定量の可能な、FID 検出器付 GC をベトナムに送り試験をした。

大阪府立大学とベトナム国家大学ハノイ校化学学部で、研究室実験として酸・アルカリ触媒 2 槽式 BDF 製造法の最適条件(触媒濃度、メタノール/原料油比、温度、最適溶媒添加濃度)を検討し、パイロットプラントで実施する製造実験に備えた。その結果、アセトンを溶媒として加えた時の BDF と副生グリセリンの分離の極めて速い現象を、図 3.3 に示したように、共存する、メタノールの溶解がグリセリン側で起こるか、アセトン側で起こるかの違いで、説明ができた。またゴムの実油、Jatropha 粗油、米ぬか粗油を原料として、BDF 製造実験を行い、これら遊離脂肪酸の多い、質の悪い廉価な原料油からは共溶媒法でのみ、純度が BDF 燃料基準の 96.5%を上回る高品質の BDF の製造が可能なことを明らかにした。さらに、副生グリセリンのマイクロ波加熱については、連続加熱装置を作製し、検討した。その結果、マイクロ波加熱によって極めて高純度のグリセリンを得ることができた。また BDF 製造パイロットプラントを作製、ハイフォン経由で VNU-ハノイに輸送・設置し、H26 年 4 月に BDF 製造を開始した。高濃度の遊離脂肪酸を含有する安価な原料に対応した、酸・アルカリ触媒 2 段法による BDF の製造の基礎実験のために、加圧・減圧 2 槽式反応器の製作を依頼し、日本で試験を開始した。良質の原料油だけでなく、遊離脂肪酸を多く含んでいる廉価な質の悪い油からも良質な BDF の製造の可能な BDF 製造システムを構築し、副生するグリセリンの精製法としてマイクロ波加熱法を確立し、高品質グリセリンを廉価に回収し、燃料電池用燃料としての用途を図った。

③ 研究題目3の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

平成23年度（2011年度）

VNU のスタッフを大阪府立大学に招いて、府立大学のパイロットプラントで廃食用油から BDF を製造する研修を実施した。一緒に VNU に設置するパイロットプラントの設計を行い、パイロットプラントを製造する木村化工機とも打ち合わせをした。

平成24年度（2012年度）

VNU と大阪府立大学でそれぞれ廃食用油、南洋アブラギリ、ポンガミア・ピナッタの種子油を用いて、ビーカーテストで、共溶媒法と従来法（機械攪拌法）での BDF 製造最適条件を検討した。

平成25年度（2013年度）

BDF 製造のためのパイロットプラント、原料と製品分析のための高速液体クロマトグラフ（HPLC）を設置し、その運転を始めた。共溶媒法と従来法（機械攪拌法）の両方で BDF を製造し、その最適条件、製造した製品の品質を比較し、共溶媒法の優れた点を明らかにした。

平成26年度（2014年度）

BDF 製造過程から副生するグリセリンの精製にマイクロ波を用いる加熱方法を開発し、精製したグリセリンの純度を HPLC で測定し 99% 以上であることを確認した。またこのようにして精製したグリセリンを燃料とした燃料電池の検討を行った。従来のメタノール、エタノールと比較して発電時の電流が高く、グリセリンは沸点が高いため、より安全な燃料電池の構築ができた。

平成27年度（2015年度）

廃食用油、パーム油、南洋アブラギリ油を原料とした BDF の製造をパイロットプラントで実施した。共溶媒法ではすべて、98% 以上の純度の BDF の製造が可能であった。また油糧種子からカスケード抽出によって、糖質、ビタミン E、フィトステロールなどの薬効成分が抽出でき、この操作によって得られた製品を販売することによって、BDF の価格を軽油と同程度に削減できることを示した。

平成28年度（2016年度）

廃食用油、パーム油、獣脂、ゴムの実油、ポンガミア・ピナッタ、広東アブラギリ、南洋アブラギリを原料に用いた。また VNU で製造した BDF をマレーシア・コタ・キナバルのヤンマー研究所に送り、エンジンテストを依頼した。

平成29年度（2017年度）

過去5年間の全検討結果を整理し、最終報告書と英文の報告書を作成した。

●廉価な粗油を原料とした共溶媒法の確立

現時点では BDF の原料は軽油と比較しても高価である。これは種々の植物油の精製が価格を高くしている。そこで市販の種々の油の精製油と未精製油に含まれている遊離脂肪酸を調べた。結果を表 3.1 に示す。5% 以上の含有量で酸-アルカリ触媒法を選択する必要がある。

表 3.1 種々の植物油中の遊離脂肪酸含有量

油種	遊離脂肪酸 mg KOH/g 油
精製ヒマワリ油	0.2-0.5
粗 Jatropha 油	15.6-43
精製紅花油	0.35
粗パーム油	6.9-50.8
精製綿実油	0.6-2.87
精製コーン油	0.1-5.72
精製ココナッツ油	1.99-12.8
精製大豆油	0.1-0.2
動物油脂	4.9-13.5
精製菜種油	0.6-0.8
家庭からの廃油	0.67-3.64
業務用廃油	5.2-12.3

そこで、遊離脂肪酸の多い原料油に対して、硫酸を触媒として用いる酸触媒法で遊離脂肪酸のエステル化する第1段、次いでKOHを触媒とするアルカリ触媒法でトリグリセリド、ジグリセリド、モノグリセリドをエステル化する第2段でBDFを製造した。機械攪拌法、超音波法、共溶媒法での第1段、第2段でそれぞれ得られた生成物中のBDFの収率を表3.2に示した。2段法で製造する場合、共溶媒法と、超音波法で製造したBDFの品質が高く、機械攪拌法では反応温度が高くないと品質が悪かった。

表 3.2 各製造法で製造したBDFの品質

生成物の性状	単位	廃食用油			Jatropha 油		JIS K2390	
		機械攪拌	共溶媒	超音波	機械攪拌	共溶媒	超音波	
全 FAME	wt%	97.93	97.35	98.27	95.6	98.44	97.78	96.5
MG	wt%	0.47	1.20	1.33	0.92	0.76	0.81	0.80
DG	wt%	0.89	0.58	0.33	0.16	0.15	0.10	0.20
TG	wt%	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.20
水分	ppm	1157	1004	985	853	732	793	500
酸価	mgKOH/g 油	1.41	1.74	0.2	6.46	1.29	2.63	0.5

現在最も普及しているBDF製造法(以下、「従来法」という。)では、植物や動物の油脂にメタノールとアルカリ触媒を添加して、油脂とメタノールを反応させてBDFを製造する。油脂とメタノールはそのままでは混ざらないため、従来法では、加熱すると共に、強く攪拌して両者を混ぜ合わせることで、両者を接触させて、BDFが生成される反応(以下、「エステル交換反応」という。)を進めている。従来法では、エステル交換反応が進み難いことで、加熱と攪拌が必要であり、BDFの純度を高めるのも困難であることが明らかとなった。

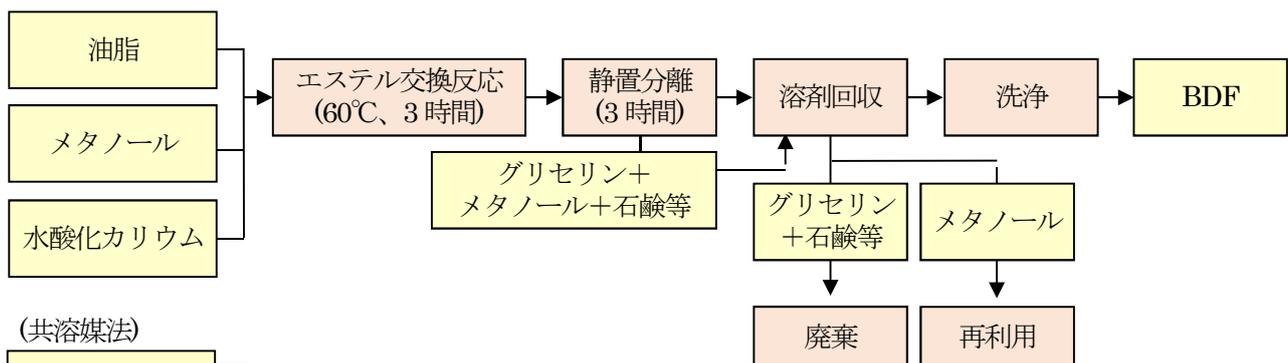
内容・特徴:

中核となる技術である共溶媒法では、メタノールとアルカリ触媒に加えて、重量比で油脂の10%に相当するアセトンを添加する。アセトンの存在により油脂とメタノールが均一に混ざるため、加熱と攪拌無しで速やかにエステル交換反応が進む。従来法と比較した優位性については、次の「(2) 競合技術に対する優位性」に記載する。従来法と共溶媒法の製造フローを以下の図3.1に示す。

過去のSATREPS事業では、500L/バッチの共溶媒法を用いたBDF製造装置を開発して、ベトナム国家大学ハノイ校に設置している。図3.2は、導入した装置の写真である。当該装置で製造したBDFは、ホーチミン市バスやハロン湾観光船等で、試験的にB100で使用している。

●高品質BDF製造装置の設計と製造

(従来法)



(共溶媒法)

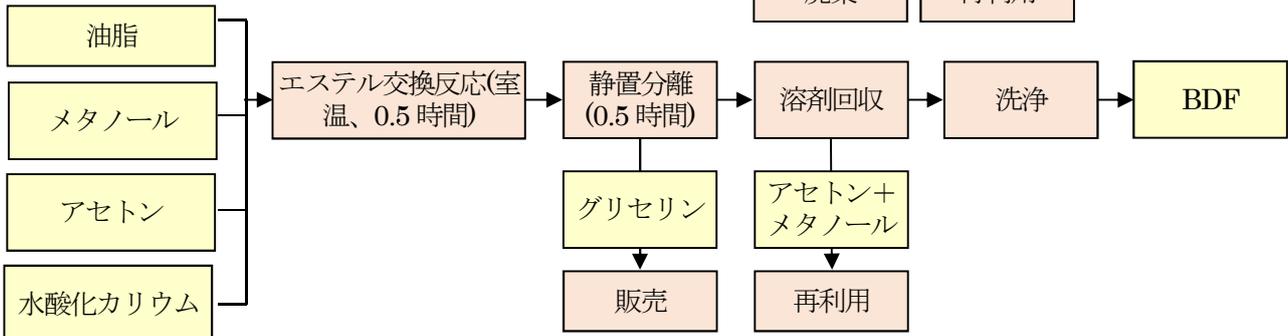


図 3.1 従来法と共溶媒法の製造フロー



図 3.2 ベトナム国家大学ハノイ校に設置した共溶媒法による BDF 製造装置

●競合技術に対する優位性

(従来法に対する優位性)

獣脂からの BDF 製造は、従来法でも可能であることから、まずは従来法が競合技術となる。従来法は、既に確立した技術であることから、「開発状況の優位性」においては従来法の方が優位であるが、「技術の優位性」においては、表 3.3 と表 3.4 に示す通り、本技術の方が優位である。

表 3.3 共溶媒法の技術の優位性

反応条件	従来法	共溶媒法
触媒(%KOH/油)	1.0-2.0	0.05-0.5
メタノール:油 (モル比)	6:1	4:1
反応温度	60℃	室温
反応時間	180-360 分	5-10 分
分離時間	180-360 分	10-30 分
石鹸の生成	多量	ほとんど生成せず
BDF 収率	75-92%	93-96%
BDF 純度	85-96%	97-99%
グリセリン純度	石鹸等の不純物が多い	純度が高く有価物として販売可能

表 3.4 様々な原料から従来法と共溶媒法で製造した BDF の純度と収率の比較

原料		獣脂	南洋アブラギリ油	タバコ油	パラゴム油	ナマズ油	廃食用油	大豆油	パーム油
収率 (%)	従来法	91.0	88.2	86.5	75.5	88.5	92.3	90.1	90.0
	共溶媒法	95.0	96.2	96.6	95.3	93.2	96.6	93.5	95.0
純度 (%)	従来法	96.0	95.3	93.2	85.3	88.2	95.5	96.7	94.0
	共溶媒法	98.0	99.1	98.8	98.2	97.8	97.5	97.8	97.5

「目指す成果の優位性」について、目指す成果としては、製造コストの低減と、獣脂を原料とする場合の低温で固まりやすさの改善が挙げられる。これらのうち、製造コストについては、本開発で目指す成果は、ベトナムで獣脂を原料に製造する場合において、従来法よりも 1L 当たり 13 円程度の製造コストを削減することが可能であるため、従来技術よりも優位性がある (表 3.5)。

表 3.5 従来法と共溶媒法の製造コストの比較

項目	単価(円)	従来法 (BDF1kl 当たり)	共溶媒法 (BDF1kl 当たり)	備考
獣脂	45 円/kg	1.0t 45,000 円	0.95t 42,632 円	
メタノール	80 円/kg	115kg 9,200 円	108kg 8,640 円	未反応分は 90%回収
アセトン	144 円/kg	0kg 0 円	9kg 1,296 円	90%回収
水酸化カリウム	64 円/kg	9kg 576 円	2.7kg 173 円	
消費電力	10 円/kwh	270kwh 2,700 円	18kwh 180 円	
水	0.08 円/kg	1.0t 80 円	1.0t 80 円	
グリセリン (副産物)	-30 円/kg	焼却炉で焼却	0.9t(販売) -2,700 円	
労務費		3,000 円	1,800 円	共溶媒法は時間当 りの生産量が 4 倍で ある。
減価償却費		9,028 円	5,417 円	
修繕費		1,806 円	1,083 円	
合計		71,389 円 (71.4 円/L)	58,600 円 (58.6 円/L)	

●高品質 BDF の製造法の確立(酸-アルカリ 2 段法の最適条件の検討)
副生成物グリセリンの精製と利用法の開発



図 3.3 共溶媒法での分離の速い理由



図 3.4 マイクロ波加熱グリセリン精製装置

共溶媒法で分離の速い理由は 2 層の液体の密度差(従来法 : 密度 0.89 と 0.91 の液体の分離、共溶媒法 : 密度 0.87 と 1.26 の液体の分離) が大きいことによる (図 3.3)。電子レンジをマイクロ波加熱グリセリン精製装置 (図 3.4) に利用して、2.45GHz のマイクロ波をグリセリンに照射すると図 3.5 に示すように、極めて短時間で沸点まで加熱される。これはグリセリン分子内の 3 つの OH 基がマイクロ波によって振動加熱されるためである。同様にメタノールも図 3.6 に示すように、通常の伝熱加熱と比べると約 1/5 から 1/10 の短時間で沸点にまで加熱される。今後はこの加熱のエステル化への利用について検討する予定である。

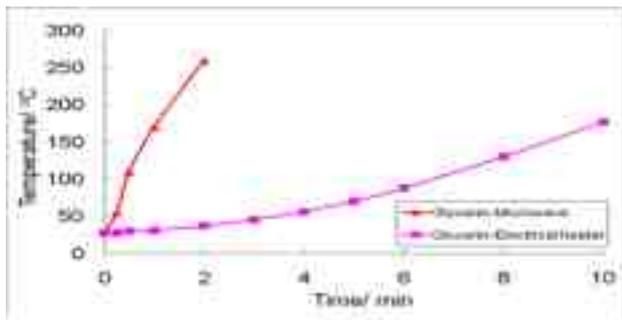


図 3.5 グリセリンのマイクロ波と電熱器過熱加熱曲線

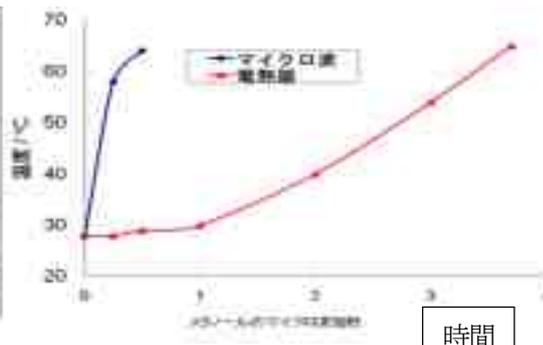


図 3.6 メタノールの加熱曲線

マイクロ波加熱により表 3.6 に示すように、極めて高純度のグリセリンが得られた。

表 3.6 マイクロ波加熱法によるグリセリンの精製

加熱方法	グリセリン収率(%)	グリセリン純度(%)	メタノール含有量(%)	水含有量(%)
マイクロ波加熱	98.5	99.5	0.1%以下	0.1%以下
電気ヒーター加熱	96.5	99.0	0.1%以下	0.2%

加圧型 BDF 製造装置を用いると表 3.7 に示すように遊離脂肪酸を多く含んだゴムの実油や、Jatropha 粗油からも高品質の BDF を製造できた。

表 3.7 種々の原料から酸-アルカリ触媒二段法で製造した BDF

原料	Jatropha 油	タバコ油	ゴムの実油	ナマズ油	廃食用油	大豆油
遊離脂肪酸含有量(%)	12.3	6.3	49.3	2.1	3.4	1.2
飽和脂肪酸含有率(%)	17.3	9.4	15.8	35.2	11.6	16.2
共溶媒法 BDF 純度(%)	99.1	98.8	98.2	97.8	97.5	97.8
従来法 BDF 純度(%)	95.3	93.2	85.3	88.2	95.5	96.7
共溶媒法 BDF 収率(%)	96.2	96.6	95.3	93.2	96.6	93.5
従来法 BDF 収率(%)	88.2	86.5	75.5	88.5	92.3	90.1

●研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

- 1) VNU の化学学部の数地内に共溶媒法による BDF 製造パイロットプラントを設置し、カウンターパートの Boi 教授と Lan 助教授および装置の運転員へ BDF 製造の基礎技術を移転した。短期間の間に完全に習熟し、いくつかの異なった原料から高品質 BDF の製造ができるようになった。
- 2) 製造した BDF の成分を HPLC で分析する技術も移転後すぐに Boi 教授の研究室の大学院の学生が自分たちで製造した BDF の成分分析をできるようになった。
- 3) 水分計、遊離脂肪酸濃度、融点測定などその他の測定技術も移転した。
- 4) 日本から送った BDF 製造装置を基本にして、自分たちの BDF 製造装置をベトナム国内で製造し、新しく建設した Hoa Lac の Biomass Center に設置し、自分たちで BDF 製造についていろいろな工夫を重ねている。

④ 研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

BDF 製造については初期から共溶媒法を用いることを決めており、極めてスムーズに研究が進んだ。ベトナム内に獣脂やゴムの実、広東アブラギリなど全く新しい日本では経験しない、BDF 原料からの高品質 BDF の製造が経験できた。さらに各種油糧種子中に油分だけでなく、高濃度で遊離脂肪酸が含まれるゴムの実油、ビタミン E やフィトステロールなどの薬効成分が含まれていることを見出し、この利用についても検討する機会が得られた。

(5) 研究題目4 (グループ4) :

BDF 利用における大気汚染影響の評価

① 研究題目4のねらい

BDF 利用における大気汚染影響の評価を行う。

② 研究題目4の実施方法

1)連続測定器でNO_x、O₃、SO₂、CO、PM_{2.5}、炭化水素類の大気連続モニタリングを行い、日変動や季節変動を把握し、また、アルデヒド類、多環芳香族炭化水素類 (PAHs) , ビスフェノール A、亜硝酸ガス (HONO)、アンモニアガスなど特定の大気微量物質の測定を適宜行った。

2) 種々の BDF を用いた排ガス中の大気汚染物質の測定と、軽油と比べた時の汚染物質の削減効果について評価した。

3) BDF を使用した際に発生する、軽油からの排ガスには含まれない新規の大気汚染物質を探し、その測定方法を開発し、実際に測定を行った。

4) 種々の BDF を用いた排ガス中の大気汚染物質の測定と、軽油と比べた時の汚染物質の削減効果について評価した。

③ 研究題目4の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

平成 23 年度(2011 年度)

ハノイの IET/VAST とホーチミンの VNU-HCM からの研修生を大阪府立大学で受け入れ、大阪府農林環境センター及び株式会社堀場製作所で大気モニタリングの測定機器と測定法の見学・研修を実施した。大阪府立大学でパッシブサンプラーを用いた窒素酸化物、オゾン、硫黄酸化物の測定を行った。

平成 24 年度(2012 年度)

ハノイの IET/VAST と VNU ホーチミンの敷地内での大気汚染測定局の設置場所と測定項目を相談し、パッシブサンプラーでの大気汚染測定により、それぞれの都市での大気汚染物質濃度を調査した。また風向、風速を測り、観測室の設置の最適場所を決めた。

平成 25 年度(2013 年度)

ハノイの IET/VADT とホーチミンの VNU HCM に大気汚染観測所を設置し、観測機器の運転を始めた。特に両都市共に湿度が高いので、屋上の大気試料取り入れ口から測定機器への接続部に湿度の凝縮部を設けた。気象データと大気汚染観測データの蓄積を始めた。蓄積したデータを整理して、ハノイでは四季による濃度変化、ホーチミンでは乾季と雨季での濃度変化を検討した。

平成 26 年度(2014 年度)

大気汚染物質の連続測定を継続した。BDF 燃焼時の排ガス測定を府立大学で実施し、低級脂肪酸エステルが排ガス中に含まれ、それが長鎖脂肪酸エステルより毒性が強いことを明らかにした。

平成 27 年度(2015 年度)

大気汚染物質の連続測定を継続した。またホーチミン市内でパッシブサンプラーを用いたアルデヒド、窒素酸化物、硫黄酸化物、オゾンの濃度分布図を作成した。

平成 28 年度(2016 年度)

グループ 3 で製造した BDF をヤンマーのマレーシアのコタ・キナバル研究所に送り、コモンレールディーゼルエンジンで燃焼試験を実施した。B100 でエンジンを運転してもエンジンに問題は起こらず、また運転もスムーズであった。粒子状物質、炭化水素、CO 濃度は軽油燃焼時よりかなり削減された。大阪府立大学、VNU ホーチミンでもディーゼル発電機を用いて、BDF の燃焼排ガスの青く低を行った。

平成 29 年度(2017 年度)

過去 5 年間の測定データを整理し、報告書にまとめた。



写真 4.1. ハノイの連続大気汚染観測所 (IET/VAST)

写真 4.2. ホーチミンの大気汚染観測所(VNU-HCMC)

● ベトナムの大気汚染の現況調査

1)2014 年のホーチミンにおけるフィルタパック法による PM2.5 および粗大粒子濃度の測定結果を表 4-1(左)に、HNO3 ガス、HONO ガス、NH3 ガス濃度の測定結果を表 4-1(右)に示す。

表 4.1 ホーチミンにおけるフィルターサンプリングによる粒子濃度測定結果 (左)および HNO₃ ガス、HONO、NH₃ の測定結果(右) (2014 年 8 月 23 日～28 日)

採取地点	種類	単位	8/23-8-25	8/25-8/27	8/27-8/28
AS1	Large particle	μg/m ³	ND	6.3	10.4
AS2			3.1	9.8	20.6
AS3			14.4	7.0	ND
AS4			ND	ND	ND
AS5			20.0	48.3	
AS6			ND	8.5	ND
AS1	PM2.5	μg/m ³	37.5	20.2	27.5
AS2			50.3	59.7	54.1
AS3			57.9	57.5	59.0
AS4			84.7	59.3	40.0
AS5			41.4	56.4	
AS6			40.0	29.4	19.6

白抜き字は、4 L/min が維持できていなかったため、参考値としてあげた。

ND は、重量測定が正しく行われなかったため、値が得られなかったことを示す。

採取地点	種類	単位	8/23-8-25	8/25-8/27	8/27-8/28
AS1	HNO ₃	ppbv	1.35	1.63	1.56
AS2			0.90		
AS3			1.23	2.06	2.77
AS4			1.33		
AS5			1.17	0.97	
AS6			1.54		
AS1	HONO	ppbv	2.38	1.79	1.42
AS2			6.73		
AS3			7.37	7.25	6.80
AS4			2.41		
AS5			5.81	5.95	
AS6			3.41		
AS1	NH ₃	ppbv	18.5	12.1	9.6
AS2			46.8	94.1	84.3
AS3			38.7	31.0	39.9
AS4			30.0	39.5	23.6
AS5			2.0	19.2	
AS6			26.7	38.1	46.1

PM2.5 の濃度は全体的に高い値であったが、傾向としては晴れの日濃度が高く、雨の日濃度が低い。日本における環境基準が 1 年平均で 15μg/m³ 以下かつ 1 日平均で 35μg/m³ 以下である。日本では年に数日は 1 日平均を超えることはあるが、ほとんどはもっと低い濃度であることを考えるとホーチミンの PM2.5 の濃度は非常に高いレベルにあることが分かる。硝酸濃度の大阪の平均値は、0.5 ppbv 程度であるが、ホーチミンはその 2~4 倍程度であり、ほぼ同レベルの濃度であった。しかし、HONO 濃度は、日本や欧米では都市域であっても 1 日平均値は 1 ppb 以下であるのに対し、ホーチミンはその 2~7 倍と高い値を示した。

2)図 4.1 にベトナム国家大学ホーチミン科学大学のモニタリングステーションにおいて 2013 年～2015 年までの 3 年間測定した雨季と乾季のごとの NO_x 濃度および O₃ 濃度の日変動パターンを示す。

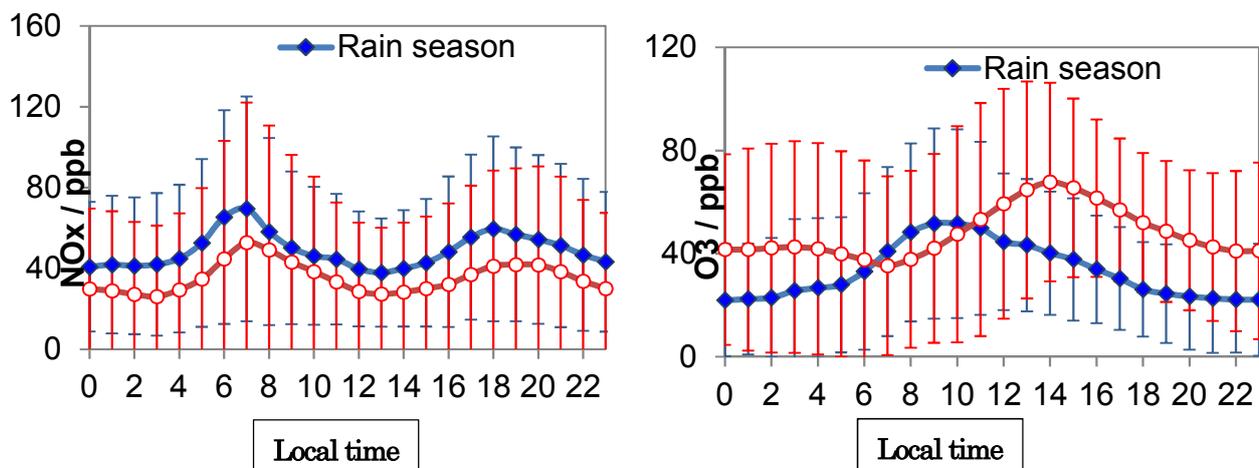


図 4.1. ホーチミンの雨季、乾季の NO_x および O₃ の平均濃度(2013-2015)

NO_x は雨季も乾季も朝 7 時頃および夕方 18 時頃にピークをもち、日本や欧米と同様の傾向を示した。また、雨季の方が乾季よりも濃度が高くなる傾向にあった。O₃ は乾季においては午後 2 時頃にピークを迎える日本や欧米と同様の日変動パターンを示した。また、夜間においてもオゾン濃度が大きく下がることはなく、有機物濃度や交通量を考えると夜間オゾンは、他地域からの移流である可能性がある。一方雨季においては、午前 9 時頃にピークを迎えることが分かった。雨季においても雨が降るのは夕方が多く、午前中にピークを向かえる理由はわからない。ホーチミンにおけるオゾン濃度の挙動解明は今後の重要な研究テーマである。

2012 年から 2015 年までの調査で、ハノイおよびホーチミンの大気質が、かなり把握できるようになってきた。ベトナムの大気の特徴としては以下のことがあげられる。

- i) 交通量から想像されるよりは NO_x 濃度は低い。
- ii) オゾン濃度は高い。ホーチミンの雨季はオゾンの増加速度は極めて速く午前中にピークに達し、その後減少するという得意なパターンを示す。
- iii) 広域的にはハノイもホーチミンも市中心部と高速道路近傍で NO_x 濃度が高い。有機物濃度(ホーチミン)は市中心部が高い。オゾン濃度は NO との反応により、NO_x の高濃度地域とは異なる地域(おそらく風下)で高くなる。
- iv) HONO の NO_x に対する割合が異常に高い。
- v) アンモニアガス濃度は非常に高く、粒子状のアンモニアの割合が低い。PM_{2.5} の主要成分であるアンモニウム塩が少なく、PM_{2.5} 濃度が高いことから、PM_{2.5} 中の有機物、スス、特に PAHs の濃度が非常に高く、危険な状態にあることが予想される。

●軽油から BDF に切り替えた際に排ガスが大気汚染の削減につながるかどうかの評価

ディーゼル排ガスを加えた一般大気に光を照射した時のオゾン濃度の変化についてはまとめに示し、ここではアルデヒド類濃度の変化を調べた結果を示す。図 4.2 に排ガスを環境大気で 160 倍希釈した試料のアルデヒド濃度の結果を示す。

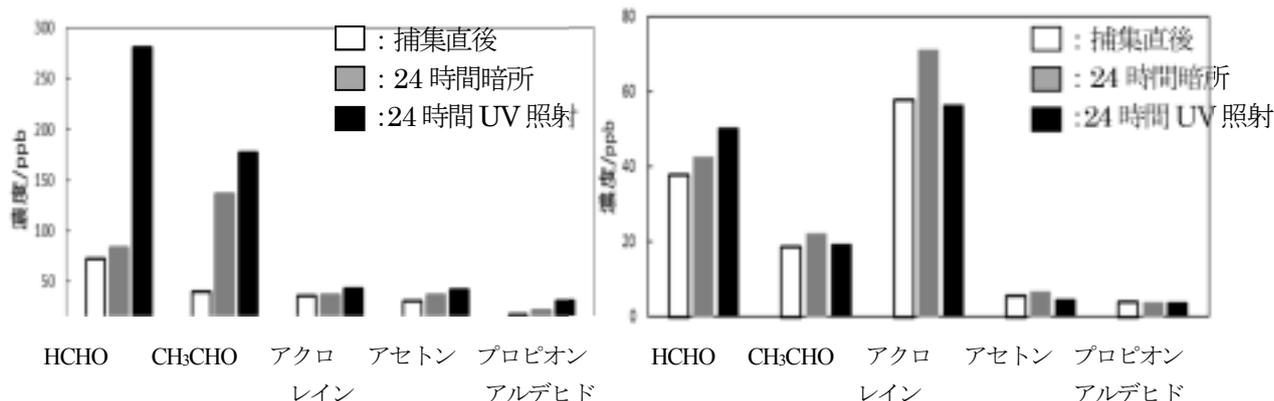


図 4.2 軽油排ガス中 (左)および BDF 排ガス中(右)のアルデヒド類測定結果

一次排出されたアルデヒド類濃度は軽油よりも BDF の方がかなり低かった。BDF は燃料に酸素を多く含んでおり、不完全燃焼が少なかったからだと考えられる。ただし、アクロレイン濃度は BDF の方が高かった。これは BDF はその構造に二重結合を含んでいるからだと考えられる。UV 照射後のアルデヒド類濃度は軽油では増加し BDF では減少した。

種々の BDF を用いた排ガス中の大気汚染物質の測定より次のことが分かった。

- i) BDF 混合燃料からの排ガスは、軽油と比べ、CO 濃度は減少、CO 濃度はほぼ同じ、炭化水素類は減少、NO_x 濃度は微増という一般的な結果が得られた。
- ii) 軽油を BDF に置き換えると、ベトナムの大気では、オゾン濃度が増える可能性が高いことがわかった。
- iii) 軽油を BDF に置き換えると、アルデヒド濃度は減少するがアクロレインは増加することがわかった。
- iv) パーム油を用いた排ガス中の粒子は BDF 含量が 20%までは軽油排ガスに比べ減少したが、50%、100%では増加した。
- v) 2 環から 6 環までの 15 種の PAHs ではほとんどが気相に存在し、粒子状は少なかった。最も多いのは Naph と Ace であった。
- vi) シャーシダイナモメーターで測定する試験測定を終えた。

●BDF を使用した際に発生する、軽油からの排ガスには含まれない毒性の強い低分子量メチルエステルの熱分解挙動の研究

BDF を構成する不飽和低級脂肪酸メチルエステル LMW-ME から、C₉H₁₆O₂ が生成する。この化合物はベンゼンよりも毒性が強く、BDF 使用によるマイナス効果の一つであり、今後対策を考えておく必要がある。図 4.3 に示すように軽油では LMW-ME は生成せず、BDF 含量が増えるに従い LMW-ME 濃度は増加する。また、負荷が増大するに従い LMW-ME 濃度は減少する。図 4.4 より C₄ がもっとも高く、C₈を除いて炭素数が増えるに従い濃度は減少し、C₈は C₇や C₉よりも高濃度になった。

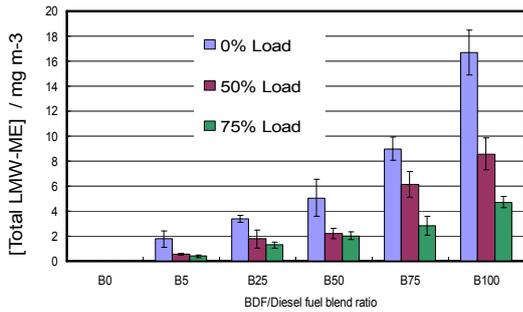


図 4.3. 異なる負荷(0%, 50% and 75%), 異なる軽油/BDF 比での全メチルエステル濃度

LMW-ME は毒性が強く、BDF 排ガスの問題となる可能性があり、その削減対策を考える上でも、この生成過程を詳細に調べる必要がある。また、なぜ、 C_4 が高いのか、どの原因は何か、 C_8 はなぜ C_7 や C_9 よりも濃度が高いのかを調べることは、LMW-ME の削減を考える上で重要であると思われる。そこで、LMW-ME の熱分解挙動を速度論的に調べた。図 4-5 にその結果を示す。図 4.5 より C_4 メチルエステルの熱分解がもっとも遅く、 C_8 を除いて炭素数が増えるに従い、分解速度が速くなるのがわかる。ただし、 C_8 メチルエステルは、 C_7 よりも分解が遅いこともわかる。つまり C_4 は LMW-ME(N=4~9)のなかで最も安定であり、そのため分解が遅く最も濃度が高くなる。また、 C_9 等の生成物の分析から、どの物質からも炭素数の少ない LMW-ME が生成しており、最も安定な C_4 までいくとそこで分解が遅くなり、 C_4 の濃度が高くなると推察される。図 4.5 から推定できるように、 C_4 は活性化エネルギーが極めて高く、そのため 1000 度以上で急速に分解される。 C_4 の低減には高温の状態を保持することが必要であることが示唆され、BDF 排ガス中の LMW-ME 対策には、高温を維持するか、分解率を高める対策が必要であることがわかった。

低分子量メチルエステルの熱分解挙動の研究で、以下の知見が得られた。

- i) BDF 排ガス中に、軽油排ガスには含まれていない、ベンゼンよりも毒性の強い低分子量メチルエステルが含まれていることを発見した。
- ii) 特に最も炭素数の小さく最も毒性が強い C_4 メチルエステルの濃度が最も高いことがわかった。
- iii) 発電機でも自動車に用いても BDF 含量の増加に伴いメチルエステル濃度は高くなり、発電機の負荷を上げたり自動車の速度を速くするとその濃度は減少した。
- iv) 反応速度論を調べ反応機構を解明したところ、 C_4 ~ C_9 メチルエステルの中では C_4 が最も安定で、分解速度も遅いことが分かった。しかし、1000°C以上の高温では C_4 の分解速度は他のメチルエステルよりも速くなるのが分かった。
- v) 燃焼中、分子量の大きなものから順次炭素が 1 つずつ減少するわけではなく、すべてのメチルエステルが、同時に生成していると考えられる結果を得た。

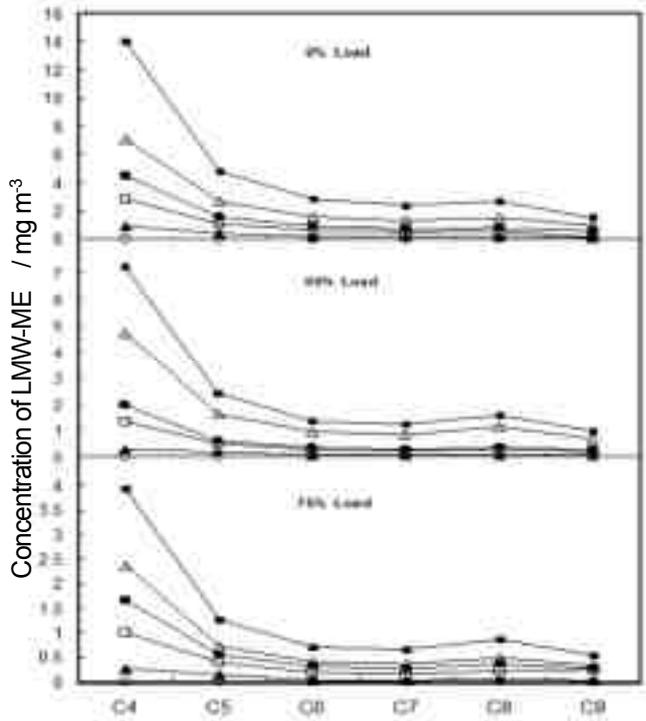


図 4.4. 異なる負荷、異なる軽油/BDF 比でのそれぞれのメチルエステル濃度

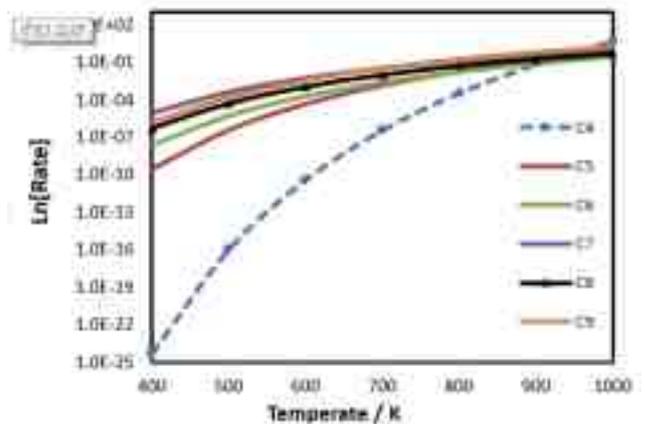


図 4.5. LMW-ME の熱分解速度定数の温度依存性

●アンモニアガス、亜硝酸ガスの連続測定法の確立

ディーゼル排ガスはPM2.5濃度が高い傾向にある。PM2.5を構成する成分としては、これまで測定を行い、現在も続けている発がん性の高い多環芳香族炭化水素類および硫酸エアロゾルである。硫酸エアロゾルはアンモニアガスと反応し生成するが、ベトナムではアンモニアガスの濃度が高いといわれながら、その測定報告は少ない。そこで、アンモニアガスから硫酸エアロゾルが生成するプロセスを解明するために、アンモニアガスおよび粒子状のアンモニウムの連続測定法の開発を試みた。今年度は粒子状のアンモニウムの妨害を受けないアンモニアガスの測定法の開発に成功した。また、亜硝酸ガスの連続測定法を改良し、より信頼の置ける方法を確立した。2015年2月にハノイで亜硝酸の連続測定を行ったところ、日本よりもはるかに高いHONO/NO₂で存在していることがわかってきた。また、その測定の中でテトホリデーの時には、NO_x濃度と共に大きく濃度が下がることを見出した。

●まとめ

以上まとめると以下のようである。

- 1) 連続測定器でNO_x、O₃、SO₂、CO、PM2.5、炭化水素類の大気連続モニタリングを行い、日変動や季節変動を把握し、また、アルデヒド類、多環芳香族炭化水素類(PAHs)、ビスフェノール A、亜硝酸ガス(HONO)、アンモニアガスなど特定の大气微量物質の測定を適宜行った。
- 2) 種々の BDF を用いた排ガス中の大气汚染物質の測定と、軽油と比べた時の汚染物質の削減効果について評価した。
- 3) BDF を使用した際に発生する、軽油からの排ガスには含まれない新規の大气汚染物質を探し、その測定方法を開発し、実際に測定を行った。
- 4) 種々の BDF を用いた排ガス中の大气汚染物質の測定と、軽油と比べた時の汚染物質の削減効果について評価した。
- 5) BDF を使用した際に発生する、軽油からの排ガスには含まれない新規の大气汚染物質を探し、その測定方法を開発し、実際に測定を行った。特に3) について種々の BDF ブレンド燃料を燃焼した時の低級脂肪酸メチルの生成量は、BDF 含有量の高い燃料を燃焼した時の生成量が多かった。

④ 研究題目4のカウンターパートへの技術移転の状況

- 1) ハノイとホーチミンの2か所で大气汚染連続観測ステーションを設置し、機器の運転技術、補修管理技術を移転した。
- 2) 大气汚染物質を多地点で同時に測定可能なパッシブサンプラーの作成、設置、汚染濃度測定のための技術を移転した。現在 VNU ホーチミンでは移転した技術を用いて、プロジェクト終了後も自分達だけで測定を継続している。
- 3) PM2.5 や Peroxy Acetyl Nitrate など従来ベトナムでの測定データが全くなかった汚染物質の測定技術、および光化学反応を考えるうえで重要なアルデヒド類の測定方法も技術移転により、VNU ホーチミンでは完全にこれらの技術を習熟できた。

⑤ 研究題目4の当初計画では想定されていなかった新たな展開

ベトナム北部のハノイでは四季があり、南部のホーチミンでは四季はなく、雨季と乾季がある。そのような異なった気候の大气汚染物質の測定データの処理は日本とは異なっていた。またベトナムでの大气汚染は日本と比べて特に炭化水素濃度が高く、窒素酸化物濃度が低かった。これは交通状況によるもので、車の平均速度がベトナムでは都市部では20 km/hr 以下で、日本の40~60 km/hr とは大きく異なり、BDF を使用することによる大气汚染削減効果が日本とは異なっていた。今後さらに長期の観測を継続して大气汚染の正確な測定データの蓄積が必要である。

ただ SATREPS で蓄積した大气汚染物質の測定データはハノイおよびホーチミンでの唯一の信頼できるデータとして高く評価されている。

(6) 研究題目5 (グループ5) : BDF 利用による社会経済・環境影響評価と BDF 戦略 :

① 研究題目5のねらい

BDF 利用による社会経済・環境影響評価と BDF 戦略を明らかにする。

② 研究題目5の実施方法

同じ SATREPS を実施しているグループ 1 からグループ 4 のデータおよび独自にベトナムの政府機関から収集したデータに基づき BDF 製造・利用による社会経済・環境影響を正確に評価し、ベトナム政府に正しく、しかも実現可能な BDF 戦略を提言する。それらを以下に示す。

③ 研究題目5の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

最初の3年間はベトナム政府機関への聞き取り、国内外の文献の収集、さらに1から4までのグループとの研究結果の聞き取りと方向性の確認を行った。またエコロジカル・フットプリントと環境リスク管理の考え方に基いて開発された、オリジナルの Triple I(III)を用いて、本事業で対象とした BDF 製造、利用を包括的に評価した。その結果、ベトナム全土を北部、中部、南部に分けて (1) BDF 生産及び利用シナリオ、(2) BDF 消費シナリオおよび炭酸ガス削減効果、(3) 北部山岳地帯での BDF 生産による貧困改善効果、(4) ベトナム政府機関への提言について、纏めた。

BDF の生産および利用シナリオの提案

●各樹種の BDF 生産量

Group 1 では、ベトナム北部の Ba Vi、Ha Long、中部の Quang Tri、南部の Trang Bang において、南洋アブラギリ (*Jatropha curcas*)、クロヨナ (*Pongamia pinatta*)、広東アブラギリ (*Vernicia montana*) 等の BDF 原料樹種の植林実験を行い、単位面積当たりの種生産量、種に含まれる油の含有量などの基礎データを取得している。表 5.1 は、これらの実験から得られた基礎データならびに文献調査により得られた基礎データをまとめたものである。これらのデータから各地の植物油由来 BDF の単位面積当たりの生産量を求めることができる。なお、クロヨナについての種生産量データは未取得である。

表 5.1. 各 BDF 原料樹種の BDF 生産量に関する基礎データ

樹種	種生産量 (t/ha/y)	油含有率 (%)	BDF 生産量* (t/ha/y)	植林候補地
ハイビスカス <i>Hibiscus sabdariffa</i>	8.00 (北部) 24.0 (南部)	19.6	1.46 (北部) 4.38 (南部)	北部荒廃地・炭鉱跡地 南部荒廃地
広東アブラギリ <i>Vernicia montana</i>	10.0	32.5	3.03	北部荒廃地・炭鉱跡地
ゴムノキ <i>Hevea brasiliensis</i>	0.75	24.7	0.17	中部ゴム園 (植林はしない)
南洋アブラギリ <i>Jatropha curcas</i>	3.00	33.3	0.93	南部荒廃地
クロヨナ <i>Pongamia pinatta</i>	実験中	—	—	北部荒廃地・炭鉱跡地

*BDF 生産量を原料油の 93%とする

●植物由来 BDF 生産ポテンシャル

図 5.1 にベトナムの各省とゾーニングの地図を示す。北部を Hoa Binh 省、Ninh Binh 省以北、中部を Thanh Hoa 省以南で、Dak Nong 省、Lam Dong 省、Binh Thuan 省以北、南部を Binh Phuoc 省、Dong Nai 省、Ba Ria Vung Tau 省以南とする。また、北部、中部、南部それぞれにおいてさらに以下のようにゾーン分けした。

北部：North East (NE)、North West (NW)、Red River Delta (RRD)
 中部：North Central Coast (NCC)、South Central Coast (SCC)、Central Highlands (CH)
 南部：South East (SE)、Mekong River Delta (MRD)

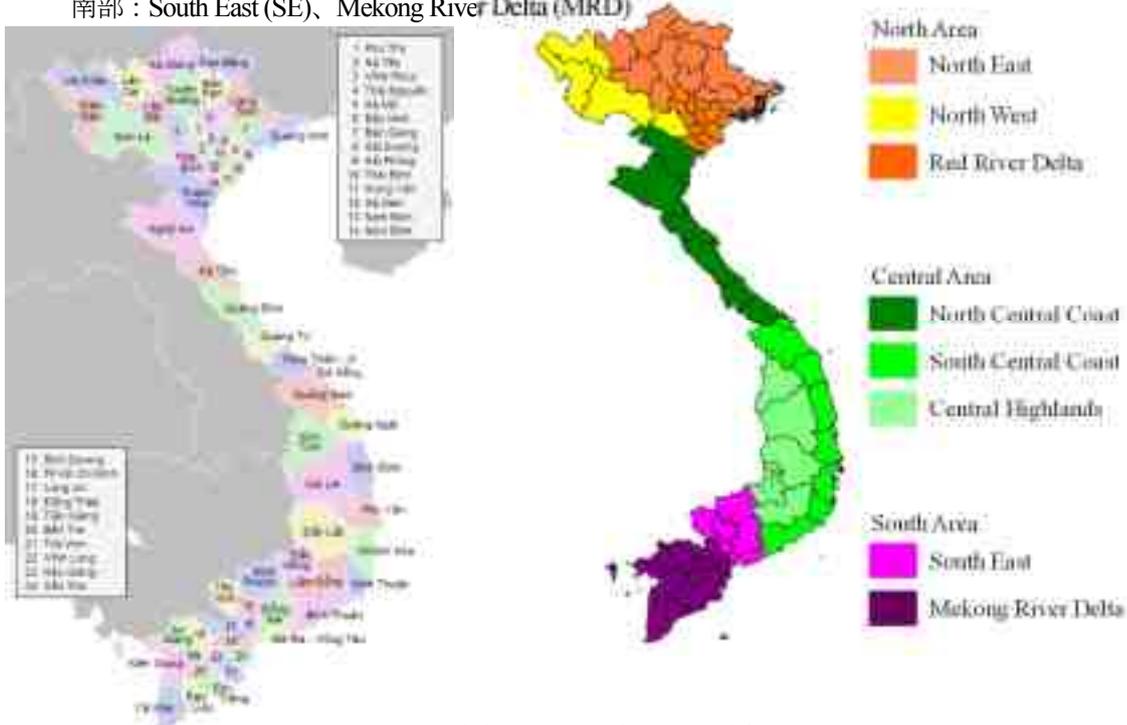


図 5.1. ベトナムの各省とゾーニング

次に、各省で BDF の原料樹種を栽培できる土地面積を調査した。ここでは、すでに農耕地として利用されている土地は含めず、荒廃地や未利用地の中で BDF 原料樹種の栽培が可能な土地面積を求めた。なお、ゴムノキに関しては、実際に栽培されている面積とした。さらに、その値に表 5.1 に示した原料樹種の収量をかけることによって BDF 生産ポテンシャル (ty) を算出した (図 5.2)。ただし、各地域で栽培する樹種は異なり、北部ではハイビスカスと広東アブラギリ、中部ではゴムノキ、南部では南洋アブラギリとゴムノキを対象とした。図を見ると、北部山岳地帯のポテンシャルが高く、特に Lao Cai 省、Dien Bien 省、Son La 省のポテンシャルが非常に高いことがわかる。一方、中部、南部ではそれほど高くなく、North Central Coast に位置する Nghe An 省、Central Highlands に位置する Gia Lai 省で少し高くなっているほかは、すべて Low 以下に分類されている。表 5.2 は各ゾーンにおける潜在的 BDF 生産量をまとめたものである。これを見ても、North East、North West の値が非常に高いことがわかる。

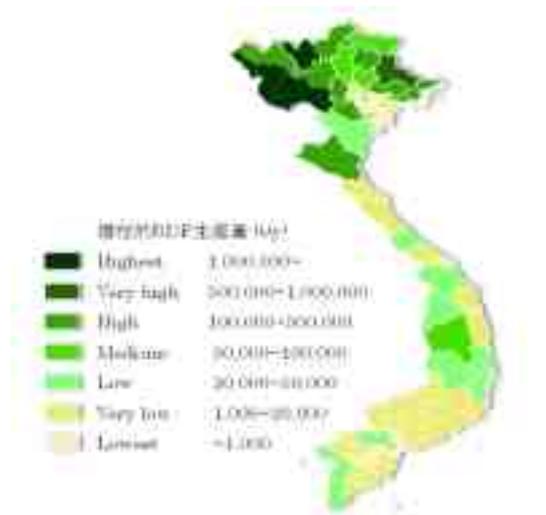


図 5.2. ベトナム各省における植物由来 BDF の潜在的生産量

表 5.2. 各ゾーンにおける潜在的 BDF 生産量

単位: kt/y

北部		中部		南部	
ゾーン	生産量	ゾーン	生産量	ゾーン	生産量
NE	3,950	NCC	231	SE	38
NW	4,940	SCC	186	MRD	80
RRD	99	CH	149	—	—
合計	8,989	合計	566	合計	118

● BDF 消費シナリオおよび CO₂ 排出削減効果

まず、北部、中部、南部それぞれの地域において、BDF の消費が見込まれるディーゼル・エンジンを使用している交通機関を調査した。次に、それぞれ年間の軽油消費量を調査し、次式によって BDF 消費量 $f(x)$ を算出した。

$$f(x) = x \times b / a \times c \times d$$

ここで x は各交通機関の年間軽油消費量 (ty)、 a は軽油の密度 = 0.8227kg/l、 b は BDF の密度 = 0.887kg/l、 c は軽油に対する BDF の燃料消費比率 = 1.1、 d は BDF 混合率 (B5 であれば 0.05) である。

また、軽油の燃焼に伴う CO₂ 排出量原単位は 2,620kg-CO₂/kl である。上述のように BDF の密度が 0.887kg/l、軽油に対する BDF の燃料消費比率が 1.1 であるので、BDF を 1 トン使用する際の CO₂ 排出量は 2,620/0.887/1.1/1,000 = 2.69t-CO₂/t となる。

以上の方法で求めた BDF 消費シナリオおよび B20 の場合の CO₂ 排出削減量を表 5.3 に示す。ベトナム政府のバイオ燃料戦略では、B5 あるいは B10 が想定されているが、本研究では、できるだけ低炭素効果を向上させたいこと、Group 4 の報告で B20 の排気ガスが成分的に良いとされていることから、B5、B10、B20 の 3 ケースで考えることとした。表から、B20 の場合、全土で 89.4kt-CO₂/y の CO₂ 削減となることがわかる。

表 5.3. 各地域における BDF 消費量

地域	交通機関	BDF 消費量 (ty)			B20 の場合の CO ₂ 排出削減 量 (kt-CO ₂ /y)	BDF 生産地
		B5	B10	B20		
北部	ハノイ市バス	1,000	2,000	4,000	10.8	ハノイ
	ハノイーハロン長距離バス	30	60	120	0.32	
	ハノイーホーチミン長距離バス*1	170	340	680	1.83	
	計	1,200	2,400	4,800	12.9	
	ハノイーハロン長距離バス	30	60	120	0.32	ハロン
	ハロンの炭鉱で使用されるダンプカー	510	1,020	2,040	5.49	
	ハロン湾の観光船	1,050	2,100	4,200	11.3	
計	1,590	3,180	6,360	17.1		
中部	フエ市バス	1,000	2,000	4,000	10.8	ダナン
	ダナン市バス	1,000	2,000	4,000	10.8	
	ホイアン市バス	1,000	2,000	4,000	10.8	
	計	3,000	6,000	12,000	32.3	
南部	ホーチミン市バス	1,000	2,000	4,000	10.8	ホーチミン
	ホーチミンーハノイ長距離バス*1	170	340	680	1.83	
	計	1,170	2,340	4,680	12.9	
	フーコック島観光船	125	250	500	1.35	ラチジャー
	フーコック島漁船	1,225	2,450	4,900	13.2	
	計	1,350	2,700	5,400	14.5	
合計		8,310	16,620	33,240	89.4	

*1 総消費量を半分に分けてハノイとホーチミンで分担するとした

*2 ハノイ市バスおよびホーチミン市バスにおける政府の要望量と同じとした

2007年11月に発表されたベトナム首相決定177号では、バイオ燃料（バイオディーゼル、バイオエタノール）の年間生産量を2015年に25万トン（ガソリン消費量の1%）、2025年に180万トン（同5%）とすることが目標とされた。このうちバイオエタノールの年間生産量は2015年に10万トン、2025年には60万トンである。そこで、表5.4に示すガソリンとエタノールのCO₂排出量原単位を基に、バイオエタノールを10万トンおよび60万トン利用した場合のCO₂排出量を試算したところ、生産過程まで考慮すれば、それぞれ203 kt-CO₂/y、1,218 kt-CO₂/yのCO₂排出削減となった。しかしながら、実際にはベトナムでのバイオエタノールの生産・利用は目標値に向けた計画通りに必ずしも進んでいないことが明らかになっている。そのひとつがILUC（Indirect Land Use Change）の問題である。

バイオエタノールを含むバイオ燃料のCO₂排出削減量の測定には、「バイオマスは、その成長の過程で大気中のCO₂を吸収するから、そのエネルギー利用で排出されるCO₂とバランスして、大気中のCO₂は増加しない」とするカーボンニュートラルの前提がおかれている。これに対して、原料も含めたバイオ燃料の生産過程や土地利用転換によるCO₂排出量をもとにカーボンニュートラルが成立しないというのがILUCの考え方である。ベトナムでは、バイオエタノールの原料にキャッサバを用いており、ILUCの観点ではCO₂排出削減にカウントできないことになる。この点は今後のエネルギー政策を考えるうえで十分注意する必要がある。

表 5.4. 各地域における BDF 消費量

単位：kg-CO₂/kl

	生産	燃焼	合計
ガソリン	360	2,360	2,720
バイオエタノール	1,120	0	1,120

(出所) ジャパンエナジー・リサーチ・センター (2001)

●BDF 生産シナリオ

前述のように、未利用地の全てを原料樹種の栽培に利用した場合、供給過多となる。したがって、ここでは表5.3に示すBDF消費量分のみ生産することとする。以下北部、中部、南部のシナリオについて言及する。

(1) 北部における BDF 生産シナリオ

北部では、ハイビスカスと広東アブラギリの混成栽培を想定する。このうちハイビスカスは植林した年から最大収量（1.46t/ha/y）が見込めるが、広東アブラギリは成長が遅く、3年目で最大収量の約15%（0.47t/ha/y）、5年

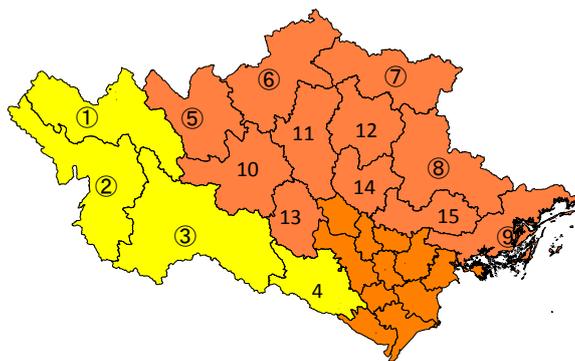


図 5.3. 北部（RRD を除く）における各省の番号（丸番号の省で BDF 樹種を栽培）

目で最大収量の約30%（0.93t/ha/y）、10年目でようやく最大収量（3.03t/ha/y）が見込める。したがって、初年度からB5あるいはB10に必要なBDFが供給されるようにするためには、ハイビスカスのみで十分な種子が収穫できるように植林面積を確保する必要がある。ここでは、ハイビスカスの収量を基準に必要な面積を求め、ハロンで生産するBDFに必要な種子はすべてQuang Ninh省（図5-3の⑨）の炭鉱跡地で、ハノイで生産するBDFに必要な種子は、ベトナム政府の政策を考慮して山岳地帯の国境に面する省（図5.3の①～⑧）で、それぞれ収穫することとし、①～⑧の省の配分は、2.2節で述べた各省の生産ポテンシャルで按分することとした（表5.5、5.6）。このように、ハイビスカスのみでB5あるいはB10の必要BDF量を生産できるとしたため、3年目から徐々に広東アブラギリから生産されるBDFが上積みされることとなり、10年目ではB5シナリオではB10に、B10シナリ

オでは B20 に、それぞれ必要な BDF 量を超える BDF が生産されることになる。このような BDF の余剰分については、一般のトラックやバスで利用される。

表 5.5. 北部における各省の栽培面積と BDF 生産量 (当初 B5、10 年後 B10 シナリオ)

省	栽培面積 (ha)	ハイビスカス BDF 量 (t/y)	広東アブラギリ BDF 量 (10 年後) (t/y)	BDF 量計 (t/y)
①Lai Chau	44	62	133	195
②Dien Bien	133	187	404	591
③Son La	382	534	1,157	1,691
⑤Lao Cai	162	226	490	716
⑥Ha Giang	40	55	120	175
⑦Cao Bang	11	16	34	50
⑧Lang Son	93	130	282	412
⑨Quang Ninh	1,307	1,830	3,961	5,791
合計	2,172	3,040	6,581	9,621

表 5.6. 北部における各省の栽培面積と BDF 生産量 (当初 B10、10 年後 B20 シナリオ)

省	栽培面積 (ha)	ハイビスカス BDF 量 (t/y)	広東アブラギリ BDF 量 (10 年後) (t/y)	BDF 量計 (t/y)
①Lai Chau	89	125	270	395
②Dien Bien	268	375	812	1,187
③Son La	772	1,080	2,338	3,418
⑤Lao Cai	326	456	987	1,443
⑥Ha Giang	80	112	242	353
⑦Cao Bang	23	32	69	101
⑧Lang Son	187	262	567	829
⑨Quang Ninh	2,614	3,660	7,921	11,581
合計	4,359	6,102	13,206	19,307

(2) 中部における BDF 生産シナリオ

中部では、既存のゴム園から採れるゴムノキ種子を用いて BDF を生産する。したがって、初年度から B5、B10、

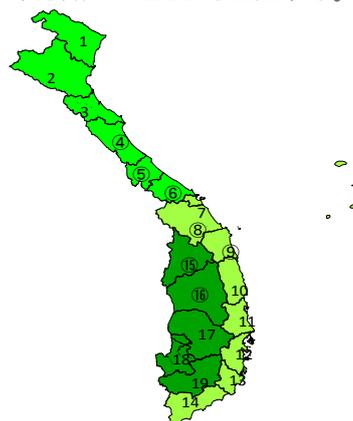


図 5.4. 中部における各省の番号 (丸番号の省で BDF 樹種を栽培)

B20 のシナリオに沿った必要面積を確保すればよい。ここでは、種子をダナンに集約して BDF を生産するとし、ダナンに比較的近くゴム園の面積が広い省 (図 5.4 の④～⑥、⑧、⑨、⑮、⑯) で種子を収穫することとし、各省の配分は、2.2 節で述べた各省の生産ポテンシャルで按分することとした (表 5.7)。

表 5.7. 中部における各省の栽培面積と BDF 生産量

省	B5 シナリオ		B10 シナリオ		B20 シナリオ	
	栽培面積 (ha)	ゴムノキ BDF 量 (t/y)	栽培面積 (ha)	ゴムノキ BDF 量 (t/y)	栽培面積 (ha)	ゴムノキ BDF 量 (t/y)
④Quang Binh	1,222	208	2,461	418	4,990	848
⑤Quang Tri	1,428	243	2,868	488	5,785	983
⑥Thua Thien Hue	701	119	1,406	239	2,824	480
⑧Quang Nam	962	164	1,928	328	3,871	658
⑨Quang Ngai	112	19	225	38	453	77
⑮Kon Tum	5,613	954	11,303	1,921	22,913	3,895
⑯Gia Lai	7,732	1,314	15,595	2,651	31,716	5,392
合計	17,770	3,021	35,786	6,083	72,552	12,333

(3) 南部における BDF 生産シナリオ

南部では、ハイビスカスと南洋アブラギリの混成栽培を想定する。南部では年間を通じて温暖なためハイビスカスの種子は初年度から年3回収穫することができる(4.38t/ha/y)が、南洋アブラギリは2年目で最大収量の約50%(0.47t/ha/y)、3年目で最大収量(0.93t/ha/y)となる。ここでは、3年目にハイビスカスと南洋アブラギリを合わせてB10あるいはB20に必要なBDFが供給できるようにするとし、それまではB5あるいはB10の運用を想定する。ハイビスカスからのBDF生産量が非常に大きいため、初年度からB5あるいはB10で必要とされるBDFより多くのBDFが生産されることとなるが、この余剰分については、一般のトラックやバスで利用されるものとする。また、ホーチミンで生産するBDFに必要な種子はホーチミンに近い省(図5.5の⑦~⑨)で、フーコック島に近い都市であるラチジャーで生産するBDFに必要な種子はラチジャーに近い省(図5.5の⑬、⑰、⑲)で、それぞれ収穫することとし、各省の配分は、2.2節で述べた各省の生産ポテンシャルで按分することとした(表5.8、5.9)。

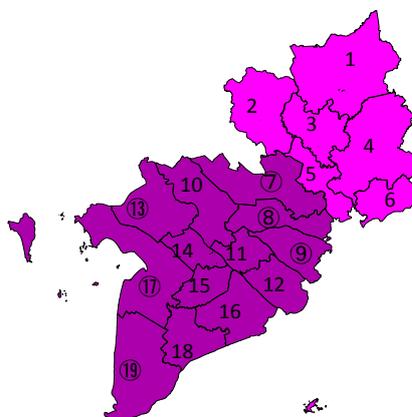


図 5.5. 南部における各省の番号 (丸番号の省で BDF 樹種を栽培)

表 5.8. 南部における各省の栽培面積と BDF 生産量 (当初 B5、3 年後 B10 シナリオ)

省	栽培面積 (ha)	ハイビスカス BDF 量 (t/y)	南洋アブラギリ BDF 量		BDF 量計 3 年後 (t/y)
			2 年後 (t/y)	3 年後 (t/y)	
⑦Long An	161	746	75	149	895
⑧Tien Giang	75	350	35	70	420
⑨Ben Tre	193	897	91	179	1076
⑬An Giang	31	142	14	28	170
⑰Kien Giang	212	987	100	197	1184
⑲Ca Mau	141	655	66	131	786
合計	813	3,777	381	754	4,531

表 5.9. 南部における各省の栽培面積と BDF 生産量（当初 B10、3 年後 B20 シナリオ）

省	栽培面積 (ha)	ハイビスカス BDF 量 (t/y)	南洋アブラギリ BDF 量		BDF 量計 3 年後 (t/y)
			2 年後 (t/y)	3 年後 (t/y)	
⑦Long An	322	1,495	151	299	1,794
⑧Tien Giang	151	702	71	140	842
⑨Ben Tre	387	1,799	182	360	2,159
⑬An Giang	61	285	29	57	342
⑰Kien Giang	425	1,974	200	395	2,369
⑲Ca Mau	283	1,315	133	263	1,578
合計	1,629	7,570	766	1,514	9,084

●北部山岳地帯における BDF 生産による貧困改善効果

(1) 貧困改善シナリオ

ここでは、北部山岳地帯における BDF 生産による貧困改善のため、これらの地区に住む少数民族の年間現金収入 3～5 万円（モン族を参考）に対し、この年間収入を 5 割増から倍増できるくらいを目標として種子生産の対価として給与を支払うこととする。前述のように、対象地域ではハイビスカスと広東アブラギリの混裁栽培で種子生産を行うことを想定しており、当初 B5 シナリオと当初 B10 シナリオを設定している。ここで、対象貧困世帯に対して、1 世帯当たり 3ha を割り当て、樹木の世話、種子採集等の作業に従事してもらうこととし、年間労働日数 70～80 日（植林と樹木の世話：50 日/年、種子採集：20～30 日/年）に対して、日給として 600 円を支払うこととする。表 5.10 は、以上のシナリオに基づき賃金が支払われる（貧困改善効果が得られる）世帯数をまとめたものである。当初 B5 シナリオでは 288 世帯が、当初 B10 シナリオでは 582 世帯が貧困の改善につながる。

表 5.10. 北部山岳地帯の各省における栽培面積と貧困改善世帯数

省	当初 B5、10 年後 B10 シナリオ		当初 B10、10 年後 B20 シナリオ	
	栽培面積 (ha)	貧困改善世帯数	栽培面積 (ha)	貧困改善世帯数
①Lai Chau	44	15	89	30
②Dien Bien	133	44	268	89
③Son La	382	127	772	257
⑤Lao Cai	162	54	326	109
⑥Ha Giang	40	13	80	27
⑦Cao Bang	11	4	23	8
⑧Lang Son	93	31	187	62
合計	865	288	1,745	582

(2) 貧困改善シナリオの課題

労働日数は年間の 1/5 程度と、年間のほとんどを働いていないことになってしまうため、BDF 原料栽培を主たる収入源としにくい。そのため、補助的な労働として位置づける必要がある。また、適切な賃金率と労働時間（日数）の設定が必要である。例えば、高すぎる給与を与えると、これまで行ってきた主たる収入源の仕事を疎かにする可能性がある。また、非荒廃地（耕作可能地）で BDF 原料を栽培し始める可能性がある。一方、上記のシナリオでは、収穫が軌道に乗るまで期間を要する。ハイビスカスは 1 年目から収穫が可能で、1.46t/ha/y の BDF 生産が可能であるが、広東アブラギリは成長が遅く、3 年目で最大収量の約 15% (0.47t/ha/y)、5 年目で最大収量の約 30% (0.93t/ha/y)、10 年目でようやく最大収量 (3.03t/ha/y) が見込める。この間の賃金の支払いをどうするかも課題である。例えば植林と樹木の世話のみの対価を支払うか、貧困改善を重視して、広東アブラギリの種子が生産できない間もフルで支払うか、などを決定する必要がある。

●Triple I を用いた評価□ハロン湾の観光船の例□

Triple I を用いた包括的評価例として、BDF をハロンで生産し、観光船の燃料として用いた場合について試算した。図 5.6 は BDF 生産・利用システムのフローと評価対象を示している。図の下段のオレンジ色のフローは軽油の生産から燃焼までを示し、中断の黄緑色のフローは BDF の生産から燃焼までを示している。また上段の赤紫色のフローは BDF 生成過程で出た植物残渣を肥料として再利用する流れを示しており、今回は計算対象外としたビタミンなどの副産物については青色で示している。

Inclusive Impact Index (Triple I) は、日本船舶海洋工学会 IMPACT 研究委員会が提案した評価指標で、人間活動自体が環境への大きな負荷になっていることを前提に、その負荷をミニマムに抑える方法を選択できる指標として、エコロジカル・フットプリントと環境リスク管理の考え方を基に開発された。オリジナルの Triple I (III) は、次式のように定義されている。

$$III = (EF - BC + \alpha ER) + \gamma(C - B + \beta HR)$$

ここで、*EF* (Ecological Footprint) は人間活動による環境への負荷 (資源消費や廃棄物処理など) を生物生産力のある土地面積で表した指標。gha という単位で表される。*BC* (Biocapacity) は実際の地球上に存在する生物生産力のある土地や水域の面積で *EF* と同じ gha という単位で表される。*ER* (Ecological Risk) は開発や資源利用などの人為的な行為が、将来にわたって生物・生態系に与える損害のリスクで、損害の大きさと確率の積で表される。*C* (Cost) は開発や資源利用などに必要な費用である。*B* (Benefit) は開発や資源利用によって得られる経済的利益である。*HR* (Human Risk) は開発や資源利用などの人為的な行為が、将来にわたって人の健康や社会基盤などに与える損害のリスクで、損害の大きさと確率の積で表される。 α は *ER* を *EF* (gha) の値へ変換する換算係数、 β は *HR* を *C* (\$、¥など) の値へ変換する換算係数、 γ は経済価値 (\$、¥など) を環境価値 (gha) へ変換する換算係数である。

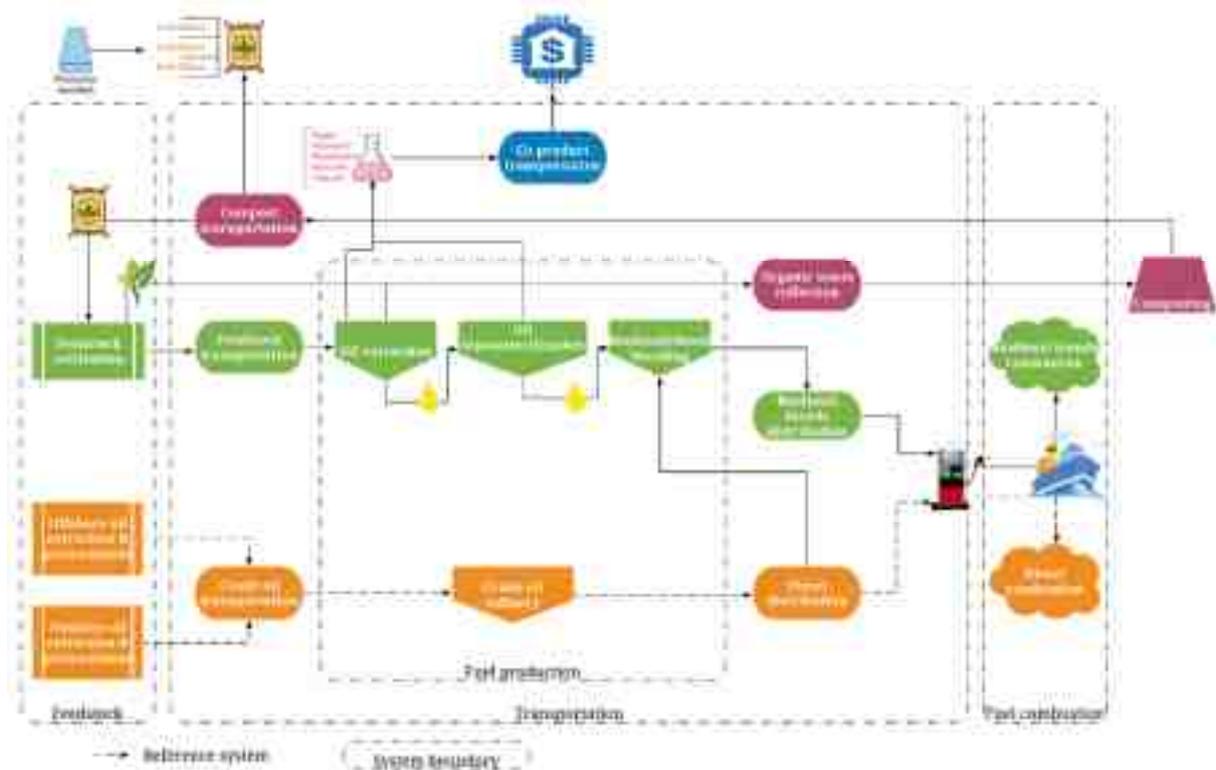


図 5.6. Triple I 評価対象としたハロン湾における BDF 生産・利用システム

右辺第1項は環境面の持続可能性を評価する部分で、右辺第2項は経済面の持続可能性を評価する部分となる。また、 γ については、 EF/GDP (対象とする技術を適用する国あるいは地域の *EF* と *GDP* の比) を用いる案などが提案されている。この指標では、環境への負荷やコストが正の値で、環境容量の増加や利益が負の値で計算されるので、 $III > 0$ であれば対象技術は持続不可能、 $III \leq 0$ であれば持続可能と判断することができる。

本研究では、最近の生態系サービス研究の進展を踏まえ、*ER* を面積に置き換えるのではなく、貨幣価値に換算する方法を取ることとし、新しく次式で定義することとした。

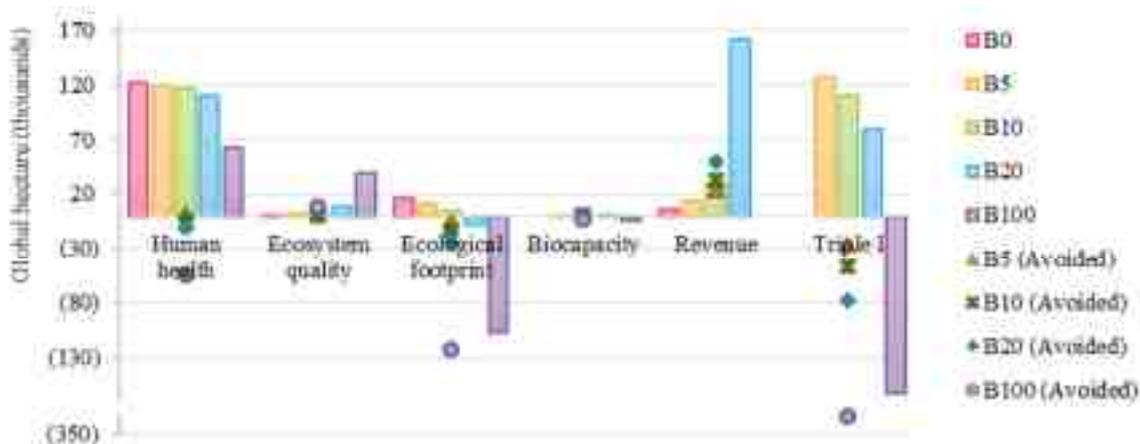
$$III = (EF - BC) + \gamma(C - B + \beta HR + \alpha ER)$$

なお、今回の計算では、*HR* として排ガスによる人体への健康被害リスク、*ER* として燃料漏れによる海洋生物への影響リスクを考慮した。これらのリスクについては、健康保険および生態系サービスの考え方をそれぞれ導入して貨幣価値換算した。また、計算で必要となる環境 - 経済換算係数 γ [gha/US\$] は、次式で示すように 2012 年のベトナムの一人当たりのエコロジカル・フットプリントと GDP の比を用いることとした。

$$\gamma = EF_{VN2012} / GDP_{VN2012} = 1.7 / 1,532 = 1.1 \times 10^{-3}$$

このようにして求めた Triple I の各項の計算結果を図 5-7 に示す。図中には、単に BDF を生産・消費した場合の値と、BDF 利用により軽油の消費が押さえられたことによる効果も含めた値 (Avoided) を表示している。まず軽油の消費削減効果を考慮しない場合を見ると、人体への健康被害が割合として大きく、BDF を利用することでそのリスクが押さえられていることがわかる。また、Triple I の総合値がマイナス (持続可能) となるのは、B100 の場合のみであることがわかる。一方、軽油の消費削減効果を考慮すると、B5 シナリオでもマイナスの値となっており、軽油燃焼による CO₂ 排出を削減する効果は非常に高いことがわかる。これらのことから、できるだけ BDF 混合率の高い燃料を使用するほうがよいといえ、B100 は現実的ではないことから、Group 5 としては B20 の普及を提言したい。

図 5.7.



●BDF 原料の植林、共溶媒法による BDF 製造・利用による炭酸ガス排出削減の試算 CO₂ 削減の試算

(1) MRV 方法論の開発方針

現時点において、JCM 参加国 (ホスト国) と日本政府による JCM 合同委員会に提出、承認された MRV 方法論は 8 カ国合計で 27 本登録されている。これら承認済み MRV 方法論の中に、本 JCM プロジェクト (BDF 製造プロジェクト) に適用可能な方法論はない。したがって、本調査においては、以下の方針で新たな MRV 方法論を開発する。

- ① 適用条件を以下のとおりとする。
 - a. BDF の原料は植物由来か動物由来の未利用の油脂で、化石燃料由来の成分を含まないこと。
 - b. BDF は 100%メチルエステル交換されたバイオ燃料であること。
 - c. BDF はそのまま BDF だけで燃料使用するか、化石燃料の軽油とだけ混合して使用すること。
 - d. BDF 製造過程で発生するグリセリンは産業廃棄物として処分せず、有価物として有効利用するか焼却処分すること。
- ② 承認済み CDM 方法論のうち、本プロジェクトに適用可能な方法論がひとつある。それは ACM0017 (Production of biodiesel for use as fuel) で、廃油脂や種子油からエステル交換反応により製造した FAME (脂肪酸メチルエステル) を軽油代替燃料として使用するプロジェクトに適用可能な CDM 方法論 (承認済み CDM 方法論 AM0047 を改定した統合方法論) である。本 JCM プロジェクトに適用可能な方法論と開発するにあたり、この承認済み CDM 方法論 (ACM0017) を参考とする。
- ③ 本プロジェクトで採用する BDF/FAME 製造技術は、広義のアルカリ触媒法 (世界的に最も普及している一般的な方法で、ここでは「共溶媒法」と差別化するため「従来法」と称する。) に区分され、ACM0017 はこの

従来法による FAME 製造プロジェクトを想定している。本 JCM プロジェクトは従来法においては使用しない新技術、すなわちアセトン为原料油とメタノールの溶媒として使用する手法を採用することから、新たに開発する MRV 方法論は従来法に加えて共溶媒法による FAME 製造プロジェクトに適用可能な方法論とする。

- ④ ACM0017 においてはメチルエステル反応に用いる触媒（通常、アルカリ触媒であれば水酸化カリウムを、酸触媒であれば硫酸をそれぞれ使用）の年間消費量に伴う GHG 排出量（触媒に用いる化学薬品の生産過程における GHG 排出量）をリーケージ排出量として計上していないことから、新たに開発する MRV 方法論ではこのリーケージ排出量を計上する。
- ⑤ 上記の方針を踏まえた ACM0017 からの具体的な改変部分は、溶媒（アセトン）の年間消費量に伴う GHG 排出量（アセトン生産過程における GHG 排出量、2.42t-CO₂e/t）および触媒の年間消費量に伴う GHG 排出量（水酸化カリウムであれば生産過程における GHG 排出量は 4.26t-CO₂e/t、硫酸であれば生産過程における GHG 排出量は 0.131t-CO₂e/t）をリーケージ排出量として計上することである。
- ⑥ このような改変を行った上で、日・ベトナム合同委員会が策定した JCM 提案方法論開発指針に準拠して新たな MRV 方法論を開発する。

なお、本 MRV 方法論の開発については、共溶媒法による BDF 製造試験の実績があり、CDM・JCM コンサルタントとしての実績が豊富な株環境総合テクノスに依頼した。

(2) リファレンス排出量の設定方法・方針

リファレンス排出量を算定するために設定するリファレンスシナリオは以下のとおり。

BDF 製造工場で生産した BDF は、軽油代替燃料として市バス等交通機関の運行用の燃料に使用されるため、熱量換算で BDF が代替することになる軽油（化石燃料）の消費がベトナム国においては今後も続くというシナリオ。

このリファレンスシナリオにもとづく GHG 排出量をリファレンス排出量として算定するにあたり、リファレンス排出量の計算に使用する軽油の CO₂ 排出係数（消費する軽油 1 トン当たりの CO₂ 排出量）については、2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値とベトナム国の固有値（要調査）を比べて低い方を軽油の CO₂ 排出係数とする。これにより、リファレンス排出量の過大評価を回避することで本 JCM プロジェクトによる GHG 排出削減量の算定を保守的な値とすることができる。

(3) MRV 方法論適用可能性等審査機関

現時点において、ベトナム国と日本国による JCM 合同委員会（日・ベトナム合同委員会）に登録されている第三者機関（TPE: Third Party Entity）は 8 機関（登録番号：TPE-VN-001~008）ある。今回開発する MRV 方法論の専門領域（Sectoral scope）は、1 番目のエネルギー産業「Energy industries (renewable - / non-renewable sources)」5 番目の化学工業「Chemical industries」に該当する。

これら 8 機関すべてがこの専門領域における有効化審査（Validation）と検証（Verification）を行える機関として登録されていることから、日本に本部のある審査機関の一つである一般財団法人日本品質保証機構（JQA: Japan Quality Assurance Organization）（登録番号：TPE-VN-002）に提案方法論の JCM 方法論としての完全性確認等に関する机上審査を依頼する予定である。

第三者機関による机上審査で指摘された事項や寄せられたコメントをもとに提案方法論を完成させ、本 CJM プロジェクトに適用可能な MRV 方法論の提出に必要な書類を完成させることとする。

●排出削減見込み量

(1) 本 JCM プロジェクトによる排出削減量

新たに開発する MRV 方法論の内容に準拠して本 JCM プロジェクト実施による GHG 排出削減量を算定した結果、以下のとおりの見込み量を得た（表 6.1）。

- リファレンス排出量 (RE) : 2,903 t-CO₂/年
- プロジェクト排出量 (PE) : 481 t-CO₂/年
- リークエージ排出量 (LE) : 306 t-CO₂/年
- 排出削減量 (ER) : 2,116 t-CO₂/年 (=RE-PE-LE)

すなわち、本プロジェクトをベトナム国北部で実施した場合に削減できる GHG 量は、二酸化炭素換算で 2,116t-

CO2/年と見込まれる。

(2)提案された技術が広く普及した場合の削減量

表 5.11. 排出削減見込み量の試算結果

パラメーター	値	単位	出典、備考
NCV _{FD}	43.29	GJ/t	・軽油発熱量(真発熱量)(=低位発熱量) ・IEAの「Key World Statistics 2008」p.58、p.59より
NCV _{BD}	39.98	GJ/t	・ゴムの実油から製造されたBDFの発熱量(真発熱量) ・前田教授からの提供データ
CF _{FD}	0.9236	-	計算値(=NCV _{BD} /NCV _{FD})(単位重量あたりの真発熱量比)
EF _{CO2,PD}	0.0726	tCO2/GJ	・軽油の排出係数 ・2006 IPCC ガイドライン(Vol. 2 TABLE 3.2.1、軽油排出係数の95%信頼区間下限値)
RD _{PD}	0.8200	t/kL	・軽油の比重 ・日本石油連盟のHPより(換算係数一覧: http://www.paj.gr.jp/statis/kansan/index.html)
RD _{BD}	0.8815	t/kL	・ゴムの実油から製造されたBDFの比重 ・前田教授からの提供データ
FC _{t-km,tr=full} (積載率100%)	0.0285	l/t・km	・トンキロ当たりの燃料消費量(15トラック) ・経産省・国交省「ロジスティクス分野におけるCO2排出量算定方法—共同ガイドラインVer. 2.0」表11-19より最大積載量15tの値を適用)
FC _{t-km,tr=emp} (積載率10%)	0.185	l/t・km	
EC _{BD-plant}	20	kWh/t-BDF	・BDF製造工場の電力消費量(単位BDFあたり) ・前田教授からの提供データ(共済法BDF製造実証プラントのデータ)
EF _{CO2,Elec}	0.5603	tCO2/MWh	・電力グリッド排出係数(2012年、コンバインドマージンの値) ・IGES気候政策・市場メカニズム別ハンドブック(2016年3月)
EF _{MeOH,PC}	1.95	tCO2/t-MeOH	・メタノール生産に係る排出係数 ・承認済みGDM方法論AM0047によるデフォルト値
EF _{C,MeOH}	0.3750	tC/t-MeOH	メタノール炭素排出係数(分子量より算出)(=12/32) [注:メタノール化学式 CH ₃ OH]
EF _{Acetone,PC}	2.42	tCO2/t-Acetone	・アセトン生産に係る排出係数 ・産業技術総合研究所(2003)
EF _{KOH}	4.26	tCO2/t-KOH	・水酸化カリウム生産に係る排出係数 ・日本化学会編、「化学便覧 応用編 改訂2版」、1973年

データ項目	値	単位	備考
D1 原料消費量	1,053	t/年	・本プロジェクトの予想値 ・ゴムノキ種子のカスケード利用からの脱酸油
D2 BDF製造量	1,000	t/年	本プロジェクトの設定値
D3	1,134	kL/年	・本プロジェクトの設定値 ・計算値(= D2/RD _{BD})
D4 メタノール消費量	119	t/年	・理論値3mol(113.5kg/t-BDF) ・余剰添加分1molの85%を再利用することから、原料油1molに対して3.15molを消費
D5 アセトン使用量	21	t/年	・本プロジェクトの設定値 ・原料油の10%を添加し、添加量の80%を回収利用することから、毎回20%を補充
D6 水酸化カリウム使用量	5	t/年	・本プロジェクトの設定値 ・原料油の0.5%を添加し、回収せずに水洗の過程で廃棄
D7 粗グリセリン発生量	120	t/年	・前田教授からの提供データ(120kg/t-BDF) ・計算値(= 0.12 × D2)
D8 BDF製造能力	10	t/日	本プロジェクトの設定値
D9 年間稼働日数	100	日	・計算値(= D2/D8)
D10 輸送用トラック最大積載量	15	t	本プロジェクトの設定値
D11 平均原料輸送距離(片道)	0	km	本プロジェクトの設定値 (ゴムの実のカスケード利用事業から得られる脱酸油を同じ敷地内で利用)
D12 走行距離(原料輸送、往路)	0	km/年	本プロジェクトの設定値
D13 走行距離(原料輸送、復路)	0	km/年	本プロジェクトの設定値
D14 平均BDF輸送距離(片道)	5	km	本プロジェクトの設定値(BDF製造工場からノイ市バス車庫までの距離) (ノイ市内での移動距離)
D15 走行距離(BDF輸送、往路)	335	km/年	・BDF製造工場からBDF供給施設までの往路 ・D14 × 年間往復回数(D2/D10)
D16 走行距離(BDF輸送、復路)	335	km/年	・BDF供給施設からBDF製造工場までの復路 ・D14 × 年間往復回数(D2/D10)
D17 輸送に伴う排出量(原料輸送)	0	tCO2/年	・原料輸送に伴う合計排出量
D18 輸送に伴う排出量(BDF輸送)	1	tCO2/年	・BDF輸送に伴う合計排出量 ・計算値(注1参照)
D19 電力消費量	20	MWh/年	・BDF製造工場での年間電力使用量予想 ・計算値(= EC _{BD-plant} × 24 × D9/1000)
D20 電力消費に伴う排出量	11	tCO2/年	計算値(= EF _{CO2,Elec} × D19)
D21 メタノール燃焼に伴う排出量	164	tCO2/年	計算値(= EF _{C,MeOH} × D4 × 44/12) [注:44/12は炭素と二酸化炭素の分子量比]
D22 メタノール生産に伴う排出量	232	tCO2/年	計算値(= EF _{MeOH,PC} × D4)
D23 アセトン生産に伴う排出量	51	tCO2/年	計算値(= EF _{Acetone,PC} × D5)
D24 水酸化カリウム生産に伴う排出量	22	tCO2/年	計算値(= EF _{KOH,PC} × D6)

プロジェクト排出量, PE	481	tCO2/年	計算値(= D17 + D18 + D20 + D21 + D22 + D23 + D24)
リーケージ排出量, LE	306	tCO2/年	計算値(= D22 + D23 + D24)
リファレンス排出量, RE	2,903	tCO2/年	計算値(= D2 × CF _{FD} × NCV _{FD} × EF _{CO2,PD})
排出削減量	2,116	tCO2/年	計算値(= RE - PE - LE)

注1: BDF輸送に伴う排出量 = [(D10 × 1.0 × D15 × FC_{t-km,tr=full}) + (D10 × 0.1 × D16 × FC_{t-km,tr=emp})] / 1000 × RD_{PD} × NCV_{FD} × EF_{CO2,PD}

本技術（ゴムノキ種子油からの脱産油を原料とする共溶媒法による BDF 製造技術）がベトナム国で広く普及した場合の GHG 削減量について、そのポテンシャルを以下のとおり推定する。

- ① ベトナム国におけるゴム園の面積 [ha]
- ② ゴム園単位面積当たりのゴムノキ種子の年間産出量 [t/ha/年]
- ③ ゴムノキ種子のカスケード利用による脱酸油発生量 [t-脱酸油/t-種子]
- ④ 脱酸油からの BDF 製造量 [t-BDF/t-脱酸油]
- ⑤ 単位 BDF 生産量 (1t) 当たりの軽油代替活動による GHG 排出削減量 [t-CO₂/t-BDF]
- ⑥ 本技術の普及率 (本技術が普及したゴム園面積/全国のゴム園面積)

$$\begin{aligned} \text{排出削減見込み量} &= \text{①} \times \text{②} \times \text{③} \times \text{④} \times \text{⑤} \times \text{⑥} \\ &= 980,000 \times 0.3 \times 0.125 \times 0.95 \times 2.116 \times 1/2 \\ &= 36,937 \text{ [t-CO}_2\text{/年]} \text{ (ベトナム全国のゴム園の } 1/2 \text{ を対象に本技術を普及した場合)} \end{aligned}$$

すなわち、ベトナム全国の 1/2 のゴム園を対象に本技術を普及した場合の GHG 排出削減量は、年間約 37,000t-CO₂ と見込まれる。

さらに、BDF 製造のための原料（ここでは未利用の油脂）はゴムノキ種子油以外に廃食用油、獣脂、魚油などがあり、従来法と比較して省エネ・省資源を実現できる共溶媒法による BDF 製造技術を全国に普及させることにより、少なくとも年間 10 万 t-CO₂ 以上の排出削減効果が得られるものと期待できる。

●SATREPS の BDF 原料油糧樹種の植林および BDF 製造利用に対するベトナム政府機関への提言

- (1) 首相決定 53 における BDF に関する事項の追記
2007 年の Prime Minister Decision にバイオエタノールと同じように記載されていたが、その後削除されたバイオディーゼル燃料の利用についての年次ごとの計画とそのためのベトナム政府機関、石油会社 (Petro Vietnam と Petrolime)、BDF を利用する機関 (National Railway, 地方自治体のバス会社などへの BDF 製造・利用の推進を新たな首相決定で行う。
- (2) 油糧樹種の植林に対する MARD・Department of Forestry への提言
従来の木材チップ生産のためのアカシアとユーカリの植林に加え、北部での広東アブラギリ、Pongamia pinatta の植林をベトナム政府および北部に広大な荒廃地を有する省に推薦するとともに、資金的援助をする。
- (3) MOIT(工業貿易省)への提言
ベトナム工業化戦略に記載された、BDF 原料の薬効成分および油分の利用による、軽油と価格競争のできる BDF 製造・利用について具体的にベトナム国内での実施に向けて具体策の検討を始める。
ベトナム国内で利用されるバイオエタノール、バイオディーゼル燃料の品質を確保するために、品質分析を義務付ける。
- (4) MONRE(天然資源環境省)への提言
バイオエタノールとバイオディーゼル燃料の利用による大気汚染の改善の調査を、SATREPS の報告を参考として早急に始めて、ベトナム政府へバイオマス燃料の製造・利用の必要性を進言する。
- (5) Quang Ninh 省人民委員会への提言
Quang Ninh 省の広大な炭鉱跡地の修復のために、VINACOMIN の資金援助によって、Pongamia pinatta と Vernicia montana の植林を早急に始め、そこから取れる種子のカスケード抽出利用によって、Halong 市に BDF 製造装置を建設し、Quang Ninh 省、グリーン成長の一環として、事業を行う。

④研究題目 5 のカウンターパートへの技術移転の状況

気候変動緩和策を策定するベトナムの政府機関の MONRE から 2 人 (Lan さんと Tu Anh さん) の研究者を、大阪府立大学の博士後期課程の学生として招き、Lan さんは BDF 利用による海洋汚染の軽減について、Tu Anh さんは評価指標 Inclusive Impact Index (Triple I) を用いて、人間活動自体が環境への大きな負荷になっていることを前提に、その負荷をミニマムに抑える方法を選択できる指標として、エコロジカル・フットプリントと環境リスク管理の考え方を基に開発された。次式で定義される、オリジナルの Triple I (III) を用いて、

$$III = (EF - BC + \alpha ER) +$$

実際に BDF を観光船で利用したハロン湾における評価を行った。これらの手法の技術移転は今後のベトナムでの環境改善を評価するうえで十分役立つはずである。

5 研究題目 5 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

SATREPS 実施期間中に石油の価格が大幅に変動し、世界のバイオマス燃料の製造に大きな影響を与えた。ベトナムでも、首相が決定したバイオエタノールの製造・利用計画が実施困難になり、多くの国営会社がバイオエタノールの製造をストップした。BDF についても、ヨーロッパでの BDF 原料の価格高騰によって、EU 諸国がアジアでの原料の調達を始めたため、アジアでのパーム油、ナマズ油の価格が高騰し、BDF の価格も軽油より 50% も高いため、BDF 製造の熱が下がってきた。そのために新たな油糧種子中に薬効成分が十分な濃度で含有されていることを新たに見出し、この利用も含めた新たな BDF 戦略を提示した。

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

近年の原油価格の極端な低迷によって発展途上国だけでなく、アメリカや EU での BDF の製造削減が顕著である。ベトナムにおいても 2010 年以降の BDF 原料のナマズ油の高騰、2015 年以降のガソリンの価格の低下によって、バイオエタノール原料のキャッサバの価格との釣り合いが取れず、BDF は 2005 年以降、バイオエタノールは 2015 年以降、国内の多くの会社が撤退しつつある。

そこで、SATREPS としては、ベトナム政府の MARD, MOIT, MONRE などの多くの機関と相談しながら、単なる高品質の BDF 製造から、新たな BDF 原料の探索、油糧種子のカスケード利用による他の有用成分の利用を目指し、価格面からの経済的な BDF 製造・利用を模索した。

(2) 研究題目 1 (グループ 1)

南洋アブラギリだけでなく、北部山岳地域での広東アブラギリ、ハロン湾炭鉱跡地での南洋アブラギリ、Pongamia pinatta、サザンカ、広東アブラギリ、南部での南洋アブラギリ、ロゼーレと新たな油糧樹種の植林を試み、北部では広東アブラギリが、ハロン湾炭鉱跡地では Pongamia pinatta が冬季の低温時期での成長の速さ、種子の生産性から最適種であることを明らかにし、MARD と Quang Ninh 省人民委員会に報告し、現在国及び省政府がこれらの油糧樹種の植林を始めた。特に従来、紙の原料のウッドチップ生産のためのアカシアとユーカリの植林を推進していたが、上記油糧樹種の植林が加わった。

(3) 研究題目 2 (グループ 2)

ベトナム中部の枯葉剤大量散布地域でのダイオキシン類の詳細分析の結果、毒性で表示する p g TEQ/g 土壌で表すと、すでに 40 年以上を経た結果、10 p g TEQ/g 土壌以下で極めて低濃度であった。しかし最も水に溶解しにくく、毒性の最も低い、OCDD(塩素が 8 つ含まれているダイオキシンで、毒性は 2,3,7,8-TCDD の 1/10000)は数千〜数万 p g で存在していた。最近の研究では毒性は低いが母乳を経由して子供たちに遺伝的に障害を与えるダイオキシンは PC(塩素が 5 つ)や OC(塩素が 8 つ)であるとの報告があるので、今後とも注意深く測定を続けるように、CEM/MONRE と IET/VAST に提言する予定である。

(4) 研究題目 3 (グループ 3)

経済的に成り立つ、軽油と価格競争ができる BDF の製造・販売の実現のため、各種油糧種子のカスケード利用をさらに推進するつもりである。沖縄の防風林に用いられているテリハボクには極めて高濃度でビタミン E のうちでも特別に高価な γ と δ のトコトリエノールが他の種子類の 10 倍以上も含まれていることを見出した。またアジアで広大な面積で植林されているが、その種子は全く利用されていないゴムの実には 30% 以上の含有率で油が含まれており、この油の主成分は凝固点の低いリノール酸(二重結合が 2 つ)トリグリセリドであることを見出したので、今後この油から BDF を製造することを試みしてみる。

(5) 研究題目 4 (グループ 4)

ベトナムでは BDF 燃焼排ガスの信頼できる測定機関が無いので、マレーシアのコタ・キナバルの YKRC に我々がベトナムで製造した BDF を輸送して排ガス測定を依頼した。またハノイとホーチミンに設置した大気汚染連続測定局の SATREPS 終了後の継続的利用について、相手側機関と検討中である。環境省の環境特別推進費の申請を考えている。

(6) 研究題目 5 (グループ 5)

気候変動緩和策としての多益性とベトナムでの貧困改善の実現性についての評価を今年度は行ったが、2017 年 3 月の SATREPS 終了までに、さらに信頼性のある評価を実施し、その結果に基づいて、ベトナム政府に以下の提言をする。特に石油価格の低迷による経済性の検討をきちっと実施する。

III. 社会実装 (研究成果の社会還元)

(1) 成果展開事例

- VNU ハノイの新しい敷地に、バイオエネルギー研究所(この研究所の共同所長に本 SATREPS の実施責任者の前田が任命された。)を VNU の自己予算で建設し、そこに 10t/日の規模の BDF 製造装置を設置し、現在廃棄物として廃棄されている、獣脂およびゴムの実油から BDF を製造し、ハノイバスの燃料として利用することを、2017 年 8 月から始める。
- 本 SATREPS の最終年度に行った研究で、ゴムの実油中に大量(30-50%)に含まれる遊離脂肪酸から金属石鹸を製造し、残りの油分から BDF を製造する新しいシステムを構築する。また広東アブラギリ中の大半を占める(80-85%)二重結合を 3 つ含む α -エレオステリックトリグリセリドの高級化粧品への利用について、その抗酸化能と紫外線防止能を検討する。
- SATREPS の成果である、共溶媒法による高品質 BDF 製造については、ベトナム政府機関(Ministry of Defense)が大規模製造の協力を申し出ている。現在 VNU ハノイと製造目的が何であるかによっては協力できないこともあるので、協議中である。
- 共溶媒法で BDF を製造するときに副生するグリセリンの利用について、数年前から企業からの引き合いがあり、2018 年からのベトナムでのチタンの還元過程への廃糖蜜の代替品としての利用についての話し合いをしている。本 BDF 製造過程からのグリセリンは廃糖蜜より製造後のチタン中のカルシウムの含有量が少ない利点がある。
- 台湾の企業からマレーシアでのゴムの実を原料とした BDF 製造および薬効成分の利用についての提案があった。2017 年 5 月に一緒にベトナムに行き、パイロットプラントの見学と技術協力の協議を行う予定である。

(2) 社会実装に向けた取り組み

- 本研究結果が SATREPS の成果集で、社会実装に取り組む事例として紹介された。
- BDF の製造・利用の監督官庁である工業貿易省の Cuong 科学技術総局長に本 SATREPS の成果に基づいた提言を手渡した。そこでは以下の 5 つの提言を行った。
 - 1) ベトナム政府へ：2007 年の首相決定 53 号で記載された BDF 利用への年次ごとの計画を再度行う。
 - 2) MARD：ベトナムの荒廃地に従来のアカシアとユーカリ以外にも、広東アブラギリ、*Pongmia pinatta* などの油糧樹種の植林を推奨しそのための資金援助をするように。
 - 3) MOIT：油糧種子の総合利用、特に薬効成分の利用を推進し、BDF の価格を軽油と競争可能にする。またベトナム国内で製造する BDF の製品分析のできる機関を育成し、製品分析を義務づける。
 - 4) MONRE：バイオエタノールと BDF の利用による大気汚染の改善を明らかにし、バイオマス燃料製造・利用へのインセンティブを国民に示す。
 - 5) Quang Ninh 省人民委員会：広大な炭鉱跡地を有する Quang Ninh 省では炭鉱跡地の修復のため、国営石炭公社 Vinacomin からの資金援助によって、油糧種子の植林を推進すべきである。
- 本プロジェクトの成果に基づいて、2 つの企業と一緒に、ベトナムでの獣脂を原料として BDF を製造し、日本に輸入して利用するプロジェクトを JST の EneXT プロジェクトに応募中である。
- JICA の中小企業支援プロジェクトにラオスでの広東アブラギリを原料とした BDF の製造を応募中である。
- ゴムの実の利用についてブリジストンと技術協力の話し合い中である。

IV. 日本のプレゼンスの向上

SATREPS で得られた科学的成果だけでなく、ベトナム政府および VNU がこれを利用して、

- (1) VNU ハノイで Biomass Center が建設され、Key Lab に認証されたこと、
- (2) VNU ハノイから研究代表者が名誉博士の称号を授与し、Biomass Center の共同所長としてカウンターパートの Boi 教授との協力体制が取れたこと、
- (3) ハロン湾で私たちの製造した BDF が B100 で使用され、それによって BDF 使用の観光船の観光客が増え、今後 VNU で製造した BDF の購入・利用を約束した。
- (4) Trong ベトナム政府共産党総書記長にベトナム国家大学創立記念国際学会の折、我々が VNU で製造した BDF を SATREPS の成果として手渡した。
- (5) ベトナムでの BDF の監督官庁である工業貿易省の Cuong 科学技術総局長に SATREPS からの BDF 製造利用の提言を手渡した。

それぞれの写真をいかに示す。



(1) VNU ハノイ、化学学部にて建設されたバイオマスエネルギー開発研究所((Key Lab に指定)



(2) 前田の VNU ハノイでの名誉博士授与式 (SATREPS 参加者からの祝福)



(3)B100 で運転したハロン湾の観光船



多くの外人客が BDF で運転することに満足

- (4) 2016年12月15日 : Trong ベトナム共産党総書記に我々の SATREPS で製造した BDF を手渡した。
(写真は掲載しない)



5) ベトナム工業貿易省の科学技術総局長の Cuong さんに我々の SATREPS からの提言を手渡した。
(公開)

V. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】

様式02に記載

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)

削除

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。)
H28年度	1)H. T. Trinh, K. Imanishi, T. Morikawa, H. Hagino and N. Takenaka, Gaseous Nitrous Acid (HONO) and Nitrogen Oxides (NOx) Emission from Gasoline and Diesel Vehicles under Real-world Driving Test Cycles, J. Air Waste Manag. Assoc., 67(4), 412-420(2017).	doi.org/10.1080/10962247.2016.1240726	国際誌	発表済	
	2)D. H. Huy, L. T. Thanh, T. T. Hien and N. Takenaka, Development and application of a simultaneous measurement method for gaseous ammonia and particulate ammonium in ambient air, Aerosol Sci. Tech., 50(9), 959-970(2016).	doi.org/10.1080/02786826.2016.1213370	国際誌	発表済	
	3)P. Q. Thang, and N. Takenaka, Increase in Ozone due to the Use of Biodiesel Fuel Rather than Diesel Fuel, Environ. Pollut., 216, 400-407(2016).	doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.048	国際誌	発表済	
	4)D. H. Huy, T. T. Hien and N. Takenaka, A new continuous measurement method for gaseous ammonia by counter-current flow tube sampling and indophenol reaction, J. Atmos. Chem., 73(3), 223-240(2016)	DOI 10.1007/s10874-015-9324-2	国際誌	発表済	
	5)D. H. Huy, T. T. Hien and N. Takenaka, Characteristics of Ammonia Gas and Fine Particulate Ammonium from Two Distinct Urban Areas: Osaka, Japan and Ho Chi Minh City, Vietnam, Environ. Sci. Pollut. Res., Accepted for publication.(2017Jan).	doi: 10.1007/s11356-017-8496-5	国際誌	accepted	
	6)Phan Quang Thang, Yasuaki Maeda, Nguyen Quang Trung, and Norimichi Takenaka, Detailed Chemical Kinetics for Thermal Decomposition of Low Molecular Weight-Methyl Esters Generated by Using Biodiesel Fuel, Environ. Progress & Sustainable Energy, 35(4), 1190-1197(2016).	DOI 10.1002/ep.12309	国際誌	発表済	世界で初めて、BDF燃焼から毒性のある低級脂肪酸メチルエステルの排出を報告
	7) Duong Huu Huy, Kiyoshi Imamura, Le Tu Thanh, Phuong Duc Luu, Hoa Thi Truong, Hanh Thi Ngoc Le, Boi Van Luu, Norimichi Takenaka, Yasuaki Maeda, Fate of toxic phorbol esters in Jatropha curcas oil by a biodiesel fuel production process, J. of Clean Technologies and Environmental Policy, 18(7), 2305-2314(2016).	DOI: 10.1007/s10098-016-1149-4	国際誌	発表済	アルカリ触媒でBDFを製造するときに毒性のあるPhorbol esterが毒性の弱いphorbolに変わることを明らかにした。
	8) Tu Anh Nguyen and Misa Masuda va Seiji Iwanaga, "Status of Forest Development and Opportunity Cost of Avoiding Forest Conversion in Ba Be National Park of Viet Nam," TROPICS, 2016, Vol. 24, No. 4, pp. 153-167		国際誌	発表済	
	9) Santi Kongmany, Truong Thi Hoa, Le Thi Ngo Hanh, Kiyoshi Imamura, Yasuaki Maedad, Luu Van Boie, "Semi-preparative HPLC separation followed by HPLC / UV and tandem mass spectrometric analysis of phorbol esters in Jatropha seed", J.of Chromatography B, 1038 (1), 63-72 (2016)	doi.org/10.1016/j.jchr.omb.2016.10.016	国際誌	発表済	
	10)Le Thi Ngoc Hanh, Kiyoshi Imamura, Masakazu Furutaa, Luu Van Boie, Yasuaki Maeda, "Production of biodiesel from Vernicia montana Lour. oil using a co-solvent method and the subsequent evaluation of its stability during storage", Green Processing and Synthesis, March (2017), accepted for publication.		国際誌	in press	
H27年度	11)Khanh, N., Kitaya, Y., Xiao, L., Endo, R., Shibuya, T., Microalgae Culture with Digestate from Methane Fermentation - Effects of Digestate Concentrations and pH on the Growth of Euglena gracilis. Eco-Engineering, 27(1), 7-11 (2015)		国際誌	発表済	
	12)L. D. Phuong, N. Takenaka, P. N. Lan, L. V. Boi, K. Imamura, Y. Maeda, Co-solvent method produce biodiesel from waste cooking oil with small pilot plant, Energy Procedia, Vol. 61, pp. 2822-2832 (2015).		国際誌	発表済	
H26年度	13) Le Tu Thanh, Kenji Okitsu, Yasuaki Maeda, Hiroshi Bandow, Ultrasound assisted production of fatty acid methyl esters from transesterification of triglycerides with methanol in the presence of KOH catalyst: Optimization, mechanism and kinetics, Ultrasonics Sonochemistry, 21, 467-471(2014).		国際誌	発表済	
	14)P. Q. Thang, Y. Maeda, N. Q. Trung, N. Takenaka, Low molecular weight methyl ester in diesel/waste cooking oil biodiesel blend exhausted gas. Fuel 117 PartB, 1170-1171.(2014)		国際誌	発表済	
	15) P. Q. Thang, T. Taniguchi, Y. Nabeshima, H. Bandow, N. Q. Trung, N. Takenaka, Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons concentrations simultaneously obtained in gas, rainwater and particles. Air Quality, Atmosphere & Health, 7(3), 273-281(2014).		国際誌	発表済	
	16)S. Kongmany, M. Furuta, H. Matsuura, S. Okuda, K. Imamura, Y. Maeda, Degradation of phorbol 12,13-diacetate in aqueous solution by gamma irradiation J. Rad. Phys. Chem., Vol. 105, pp. 98-103 (2014).		国際誌	発表済	
	17)L. D. Phuong, T. T. Hoa, P. N. Lan, L. V. Boi, K. Imamura, N. Takenaka, Y. Maeda, Production of biodiesel from Vietnamese Jatropha curcas oil by a co-solvent method, Bioresource Technology, Vol. 173, pp. 309-316 (2014).		国際誌	発表済	

	18)Nguyen Lan, Y. Maeda, K. Otsuka, Willingness to Pay for Biodiesel fuel Utilization for Tourist Boats in Ha Long Bay, Viet Nam, Proceeding of The OCEANS'14 MTS/IEEE Conference, 131128-005, Taiwan		国際誌	発表済	
	19)S. Kongmany, M. Furuta, H. Matsuura, S. Okuda, K. Imamura, Y. Maeda, Degradation of phorbol 12,13-diacetate in aqueous solution by gamma irradiation, Radiation Physics and Chemistry, Vol. 105, pp. 98-103 (2014).9		国際誌	発表済	
	20)H. Matsuura, Y. Onishi, S. Kongmany, M. Furuta, K. Imamura, Y. Maeda, Effect of active radical production on plasma degradation of phorbol 12-myristate 13-acetate in methanolic and aqueous solution, Plasma Medicine 4(1-4), pp. 29-36 (2014).		国際誌	発表済	
H25年度	21)Khanh, N., Kitaya, Y., Xiao, L., Endo, R., Shibuya, T., Selection of microalgae suitable for culturing with digestate from methane fermentation. Environmental Technology, 34, 13-14, 2039-2045,(2013)		国際誌	発表済	
	22) Thi Truong, Phuong Duc Luu, Yasuaki Maeda, Asu Zylan, Yoshiteru Mizukoshi, New Green Technology for the Biodiesel Fuel Production by Co-solvent method - Extraction of useful chemicals and the utilization of by-products Glycerin- Proc.2013 International Conference on Frontiers of Environment, Energy and Bioscience, Beijing China October24-25(2013)		国際誌	発表済	
	23)S. Kongmany, H. Matsuura, M. Furuta, S. Okuda, K. Imamura, Y. Maeda, Plasma application for detoxification of Jatropha phorbol esters, J. Phys. Confer. Ser. Vo. 441, 012006(2013).		国際誌	発表済	
	24)Ueda Y, Watanabe I, Nam VD, Minh NH, Son LK, Honda K, Rapid analysis for dioxins derived from Agent Orange in soil. I - HRGC/HRMS determination method Organohalogen Compounds, 75, 371-374 (2013)		国際誌	発表済	
	25) Tateishi N, Takagi Y, Oshima S, Ueda Y, Watanabe I, Binh MD, Trung NQ, Honda K, The rapid analysis for dioxin derived from Agent Orange in soil II- Analytical method with flow immunosensor. Organohalogen Compounds, 75, 347-350 (2013)		国際誌	発表済	
	26) Nakamura M, Nishida M, Binh HV, Mo NT, Hue NTG, Nam VD, Minh NH, Son LK, Honda K, The rapid analysis for dioxin derived from Agent Orange in soil. III- CALUX assay for developing country. Organohalogen Compounds, 75, 406-409(2013)		国際誌	発表済	
	27) Thanh T Le, Kenji Okitsu, Yasuhiro Sadanaga, Norimichi Takenaka, Yasuaki Maeda, Hiroshi Bandow, "A new co-solvent method for the green production of biodiesel fuel - optimization and practical application", Fuel, Vol. 103 pp.742-748 (2013).		国際誌	発表済	
H24年度	28) J. Hong, Y Miki, K Honda and H Toita, Development of the automated cleanup system for the analysis of PCDDs, PCDFs and DL-PCBs. Cemosphere 88, 1287-1291(2012).		国際誌	発表済	
H23年度	29)Y. Maeda, L.T. Thanh, K. Imamura, K. Izutani, K. Okitsu, L.V. Boi, P. N. Lan, N.C.Tuan, Y.E. Yoo, N. Takenaka, "New Technology for The Production of Biodiesel Fuel" Green Chem. Vol. 13, pp. 1124-1128, (2011).		国際誌	発表済	世界で初めての共溶媒法によるBDF製造の論文

論文数 29 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 29 件

公開すべきでない論文 0 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。)
H28年度	1)Md. Helal Uddin and Kenji Okitsu, Effects of CCl4 or C6F14 on sonochemical degradation of dyes and phenolic compounds in an aqueous solution, Journal of Water Process Engineering, 12 (2016) 66-71		国際誌	発表済	
	2) Akihiro Tokai, Kenji Okitsu, Fuminobu Hori, Yoshiteru Mizukoshi, Akihiro Iwase. One-step synthesis of graphene-Pt nanocomposites by gamma-ray irradiation. Radiation Physics and Chemistry, 123(2016)68-72		国際誌	発表済	
	3) Kenji Okitsu, Masaki Iwatani, Koji Okano, Md. Helal Uddin, Rokuro Nishimura, Mechanism of sonochemical reduction of permanganate to manganese dioxide in aqueous alcohol solutions: reactivities of reducing species formed by alcohol sonolysis, Ultrasonic Sonochem 31 (2016) 456-462		国際誌	発表済	

H27年度	4) Md. Helal Uddin, Ben Nanzai and Kenji Okitsu, Effects of Na2SO4 or NaCl on sonochemical degradation of phenolic compounds in an aqueous solution under Ar: positive and negative effects induced by the presence of salts, 2016, Vol. 28, 144-149.		国際誌	発表済	
	5)Gadang Priyotomo, Sanat Wagle, Kenji Okitsu, Akihiro Iwase, Yasuyuki Kaneno, Rokuro Nishimura, Takayuki Takasugi, The environment-induced cracking of as-cold rolled Ni3(Si,Ti) and Ni3(Si,Ti) with 2Mo in sodium chloride solution, J. Alloys .Compd., 639 (2015) 504–510		国際誌	発表済	
H2+47:4	6) A.Z.Yavas, Y.Mizukoshi, Y.Maeda, N.H.Ince, Supporting of pristine TiO2 with noble metals to enhance the oxidation and mineralization of paracetamol by sonolysis and sonophotolysis, Applied Catalysis B: Environmental, 172, 7-17(2015).		国際誌	発表済	
	7) Kandasamy Thangavadeivel, Masako Konagaya, Kenji Okitsu, Muthupandian Ashokkumar, Ultrasound-assisted degradation of methyl orange in a micro reactor, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2, 1841-1845(2014)		国際誌	発表済	
H26年度	8)Kandasamy Thangavadeivel, Gary Owens, Kenji Okitsu, Muthupandian Ashokkumar, Effect of Partitioning on Sonochemical Reactor Performance under 200 kHz Indirect Sonication, Ind. Eng. Chem. Res.2014, 53, 9340–9347.		国際誌	発表済	
	9) Abulikemu Abulizi, Kenji Okitsu, Jun-Jie Zhu, “Ultrasound assisted reduction of graphene oxide to graphene in L-ascorbic acid aqueous solutions: kinetics and effects of various factors on the rates of graphene formation”, Ultrason. Sonochem., 2014, Vol.21, 1174-1181.		国際誌	発表済	
	10) Kenji Okitsu, Yuho Nunota, “One-pot synthesis of gold nanorods via autocatalytic growth of sonochemically formed gold seeds: the effect of irradiation time on the formation of seeds and nanorods” Ultrason. Sonochem. 2014, Vol. 21, 1928-1932.		国際誌	発表済	
	11) Hiroki Habazaki, Rokuro Nishimura, Kenji Okitsu, Hiroyuki Inoue, Ikuo Kiriya, Fumitaka Kataoka, Masatoshi Sakairi, Hideaki Takahashi, The effects of film thickness and incorporated anions on pitting corrosion of aluminum with barrier-type oxide films formed in neutral borate and phosphate electrolytes, J. Solid State Electrochem., 2014, Vol. 18, 369–376.		国際誌	発表済	
	12)T.Kameda, K.Inazu, K.Asano, M.Murota, N.Takenaka, Y.Sadanaga, Y.Hisamatsu, and H.Bandow, Prediction of rate constants for the gas phase reactions of triphenylene with OH and NO3 radicals using a relative rate method in CCl4 liquid phase-system, Chemosphere, 90(2), 766-771(2013).		国際誌	発表済	
	13) Kandasamy Thangavadeivel, Gary Owens, Peter J. Lesniewski, Kenji Okitsu, Influence of reactor shapes on residence time distribution and methyl orange degradation efficiency in a continuous process under indirect 200 kHz sonication, Ind. Eng. Chem. Res.2013, Vol. 52, 18175–18183.		国際誌	発表済	
	14)Honda K, Ueda Y, Watanabe I, Evaluation of the rapid cleanup method for the analysis of dioxins derived from herbicide “Agent Orange” in soils. <i>Organohalogen Compounds</i> , 75, 363-366 (2013) .		国際誌	発表済	
	15)Ueda Y, Watanabe I, Honda K, Evaluation of the rapid cleanup method for the analysis of dioxins in foodstuff. <i>Organohalogen Compounds</i> , 75, 367-370 (2013)		国際誌	発表済	
	16)Y.Sadanaga, M.Sengen, N.Takenaka, and H.BandowAnalyses of the ozone weekend effect in Tokyo, Japan: Regime of oxidant (O3+ NO2) production, <i>Aerosol Air Qual. Res.</i> , 12,161-168(2012).		国際誌	発表済	
	17)藤原大, 定永靖宗, 竹中規訓, 坂東博,大阪府におけるオゾンとその前駆物質の週内変動, 大気環境学会誌, 47(2), 75-80(2012).		国際誌	発表済	
	18)重富陽介, 弓場彬江, 定永靖宗, 高見昭憲, 畠山史郎, 加藤俊吾, 梶井克純, 竹中規訓, 坂東博, 沖繩辺戸岬での長期連続観測による越境大気汚染物質の経年変動, 大気環境学会誌, 47(1), 46-50(2012).		国内誌	発表済	
	19)弓場彬江, 定永靖宗, 高見昭憲, 清水厚, 松井一郎, 杉本伸夫, 畠山史郎, 竹中規訓, 坂東博, 清浄地域におけるガス状硝酸の日内変動要因解析, 大気環境学会誌, 47(1), 26-32(2012).		国内誌	発表済	
	20)上田祐子, 渡邊功, 本田克久: 枯葉剤 (Agent Orange) 由来の土壤中ダイオキシン類の超音波抽出法に関する検討. 環境化学, 23(2), 95-102, (2013).		国内誌	発表済	
	21)Arai, R., Akita, K., Nishiyama, T., Nakatani, N., and Otsuka, K., “ Measuring Instrument for Dissolved Inorganic Nitrogen and Phosphorus Ions,” <i>Jour.of Offshore and Polar Engineers, IJOPE</i> , Vol. 21, No. 1, pp.44-49, 2011.		国際誌	発表済	
H23年度	22) G. Priyotomo, K. Okitsu, A. Iwase, Y. Kaneno, R. Nishimura, T. Takasugi, “The corrosion behavior of intermetallic compounds Ni3(Si,Ti) and Ni3(Si,Ti) + 2Mo in acidic solutions” <i>Applied Surface Science</i> , Vol. 257, pp. 8268– 8274, (2011).		国際誌	発表済	

	23)長尾謙吉 「創造都市をめぐる省察」日本都市学会年報 Vol45,121-130,2011 (笹島と共著)		国際誌	発表済	
	24)大塚耕司：包括的環境影響評価指標Triple I, KANRIN (日本船舶海洋工学会誌), 第38号, pp.15-18, 2011		国内誌	発表済	
	25)Y. Komai, K. Okitsu, R. Nishimura, N. Ohtsu, G. Miyamoto, T. Furuhashi, S. Semboshi, Y. Mizukoshi, N. Masahashi, "Visible light response of nitrogen and sulfur co-doped TiO2 photocatalysts fabricated by anodic oxidation" Catalysis Today, Vol. 164, pp. 399-403, 2011		国内誌	発表済	
	26)M. Ohya, K. Oka, S. Adacho and N. Takenaka, Histological Effect of Nitrous Acid with Secondary Products of Nitrogen Dioxide and Nitric Oxide Exposure on Pulmonary Tissue in Mice, J. Clinic. Toxicol., 1:103(2011).		国内誌	発表済	
	27)N. Takenaka, I. Takahashi, H. Suekane, K. Yamamoto, Y. Sadanaga and H. Bandow Acceleration of Ammonium Nitrite Denitrification by Freezing: Determination of Activation Energy from the Temperature of Maximum Reaction Rate, J. Phys. Chem.A, 115, 14446-14451(2011).		国際誌	発表済	

論文数 27 件
うち国内誌 6 件
うち国際誌 21 件
公開すべきでない論文 0 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)

著者名, タイトル, 掲載誌名, 巻数, 号数, 頁, 年					
年度			出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
H24年度	1)L.T. Thanh, K. Okitsu, L.V. Boi, Y. Maeda, "Catalytic Technologies for Biodiesel Fuel Production and Utilization of Glycerol: A Review" Catalysts, Vol.2, pp.191-222,(2012).		総説	発表済	BDF製造時の副生成物グリセリンの利用法についてまとめた総説である。引用数の極めて多い論文である。

著作物数 1 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)

著者名, 論文名, 掲載誌名, 出版年, 巻数, 号数, はじめーおわりの					
年度			出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
H27年度	1)K. Okitsu, Y. Mizukoshi, Chapter. Synthesis and catalytic applications of noble metal nanoparticles produced by sonochemical reduction of noble metal ions: Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry, 2016, Springer 325-368		書籍	発表済	
	2)K. Okitsu, B. Nanzai, K. Thangavadeivel, Chapter. Sonochemical degradation of dyes, organic acids, aromatic compounds, and surfactants in aqueous solutions: Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry, 2016, Springer 785-812		書籍	発表済	
	3)H. Harada, K. Okitsu, Chapter 10. Applications in Environmental Technologies Sonochemistry and the acoustic bubble, Elsevier, pp. 231-250		書籍	発表済	
	4) N. Enomoto, K. Okitsu, Chapter 8. Applications in Inorganic Synthesis, Sonochemistry and the acoustic bubble, Elsevier, pp. 187-206		書籍	発表済	
H26年度	5) 興津健二、第3章1節第1項 超音波マイクロバブル発生法を利用する金属ナノ粒子の合成, 情報機構, 177-187, 『マイクロバブル (ファインバブル) のメカニズム・特性制御と実際応用のポイント』		書籍	発表済	
	6)K. Okitsu, Chapter 2 Generation of size-, structure- and shape-controlled metal nanoparticles using cavitation, Pan Stanford Publishing, Singapore, pp. 29-54, 『Cavitation: A Novel Energy Efficient Technique for the Generation of Nanomaterials』		書籍	発表済	
H25年度	7)K. Okitsu, (Ed. By Challa S. S. R. Kumar), Chapter 4 UV-vis spectroscopy for characterization of metal nanoparticles formed from reduction of metal ions during ultrasonic irradiation, Springer, pp.151-177, UV-Vis and Photoluminescence Spectroscopy for Nanomaterials		書籍	発表済	
H24年度	8)原田久志, 興津健二, (編集: 崔 博坤, 榎本尚也, 原田久志, 興津健二) 第10章 環境関連技術への応用, コロナ社, pp.202-221, 『音響バブルとソノケミストリー』		書籍	発表済	
	9)脇村孝平、(杉原薫・脇村孝平・藤田幸一・田辺明生編)『歴史のなかの熱帯生存圏—温帯パラダイムを超えて』「豊饒、瘴癘、そして貧困—熱帯アジアへの眼差し」(講座 生存基盤論 第1巻) 京都大学学術出版会, 387-414 頁, 2012 年。		書籍	発表済	
	10)脇村孝平、(杉原薫・脇村孝平・藤田幸一・田辺明生編)『人類史における生存基盤と熱帯—湿润熱帯・半乾燥熱帯・乾燥亜熱帯』『歴史のなかの熱帯生存圏—温帯パラダイムを超えて』(講座 生存基盤論 第1巻) 京都大学学術出版会, 53-78 頁, 2012 年		書籍	発表済	
	11)脇村孝平、(東長靖・石坂晋哉編)『グローバル・ヒストリーと環境』『持続型生存基盤論ハンドブック』京都大学学術出版会, pp. 232		書籍	発表済	

著作物数 11 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

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
H27年度	ダイオキシン分析の試料の精製手法の研修(ベトナム人:5人)	1)“Operation Manual of the Simple and Rapid Method for Dioxins in Water using Magnetic Flocculant and Semi-automated Cleanup Device”, Published in December 2015 by Faculty of Agriculture, Ehime University	
H26年度	土壌および植物中のダイオキシンの抽出と生成方法(ベトナム人)	2) Operation Manual of Extraction and Purification Method for Measurement of Dioxins derived from “Agent Orange” in Biological Samples”, Published in September, 2014, by Center of Advanced Technology for the Environment, Ehime University, 10 pp	
H25年度	半自動クリーンアップ装置SZ-DXN-PT050を用いた、精製・濃縮捜査のマニュアル (ベトナム人:10人)	3)“Operation Manual on the Purification and Concentration for Measurement of Dioxins derived from “Agent Orange” in Soil using Semi-automated Cleanup Device, SZ-DXN-PT050”, published in September 2012, revised in October 2013 by Center of Advanced Technology for the Environment, Ehime University, Japan, 13	
H24年度	エージェントオレンジで汚染された土壌中のダイオキシン分析マニュアル (ベトナム人:10人)	4)“Operation Manual for Extraction of Dioxins derived from “Agent Orange” in Soil”, published in September 2012, revised in October 2013 by Center of Advanced Technology for the Environment, Ehime University, Japan, 6 pp	
	ダイオキシンの生物検定CALAXの測定マニュアル(ベトナム人:10人)	5)“Operation Manual for CALUX (Chemical Activated Luciferase gene expression) assay”, published in September, 2012, by Center of Advanced Technology for the Environment, Ehime University, Japan 11 pp	
	ダイオキシン生物検定KinExAの測定マニュアル(ベトナム人:10人)	6)“Operation Manual for KinExA (Kinetic Exclusion Assay)”, published in September, 2012, by Center of Advanced Technology for the Environment, Ehime University, pp57	
	枯葉剤エージェントオレンジで汚染された土壌の採取方法のマニュアル(ベトナム人:10人)	7)“Operation Manual of Soil Sampling for Measurement of Dioxins derived from “Agent Orange” in Soil”, published in September, 2012, by Center of Advanced Technology for the Environment, Ehime University, Japan, 9 pp	
	枯葉剤エージェントオレンジによるダイオキシンの測定のスクリーニングの方法のマニュアル(ベトナム人:5人)	8)“Screening Method for Measurement of Dioxins derived from “Agent Orange” in Soil”, published in Aug. 2012, revised in October 2013 by Center of Advanced Technology for the Environment, Ehime University, Japan, 57 pp	
		8件	

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
H28年度	国際	1)To Thị Hien, Nguyen Doan Thien Chi, Le Xuan Vinh, Le Tu Thanh, Duong Huu Huy and Takenaka Norimichi Determining Concentration of PAHs in Particulate Matter from Ambient Air in Ho Chi Minh City 2015-2016.	口頭発表
H28年度	国内	2)Pham Kim Oanh、竹中規訓, ローボリュムエアサンプラーによる大気中の粒子状・ガス状PAHsの測定, 第57回大気環境学会年会, 札幌、北海道大学, 2016年9月7-9日.	ポスター
H28年度	国内	3)Duong Huu Huy、竹中規訓, 都市域の粒子生成に関する、アンモニアの潜在的役割, 第57回大気環境学会年会, 札幌、北海道大学, 2016年9月7-9日.	ポスター
H27年度	国際	4)Yasuaki Maeda, Luu Ban Boi, The New Green System for BDF Production Competitive with Petro-diesel,, Workshop on Development of Renewable energy for the Mekong Delta, Can Tho ,Vietnam, 14 th , March,2016	招待講演
H27年度	国際	5)N.T.T.Khanh, Y. Maeda, Microalgal Culture with Digestate from Methane Fermentation, Workshop on Development of Renewable energy for the Mekong Delta, Can Tho ,Vietnam, 14th, March,2016	招待講演
H27年度	国際	6)Hanh Ngoc Thi Le, Kiyoshi Imamura, Masakazu Huruta, Yasuaki Maeda, Optimization of biodiesel production from Vietnamese Vernicia montana Lour. Using a co-solvent method with an alkaline catalyst, Workshop on Development of Renewable energy for the Mekong Delta, Can Tho ,Vietnam, 14th, March,2016	ポスター
H27年度	国際	7)Hue T. K. Do, Shota Tanaka, Yasuaki Maeda, Norimichi Takenaka, Chemiluminescence Method for Monitoring chemical oxygen demand and ammonium ion in water, Pacific Chem 2015, Honolulu ,Hawaii, 15th, December, 2015	口頭発表
H27年度	国際	8)Trinh Thai Ha, Katsuma Imanishi, Tatsuko Morikawa, Hiroyuki Hagino, Norimichi Takenaka, Measurement of HONO emission from diesel engines, Pacific Chem 2015, Honolulu ,Hawaii, 15th, December, 2015	口頭発表
H27年度	国際	9)Truong Thi Hoa, Kiyoshi Imamura, Yasukai Maeda, Tocochromanols in biofuel raw materials, “2nd Asian-Oceania Sonochemical Society Conference, Kuala25-28 July ,2015	口頭発表

H26年度	国際	10)Y.Maeda, T.T.Hoa, Improvement of the marine water environment and the sea food safety, Int. Conf. on marine environ. Da Nang, 16-18 March, 2015.	招待講演
H26年度	国際	11)Y.Maeda, K.Imamura, K.Honda, I.Watanabe, N.Q.Trung, T.T.Hoa, L.K.Son, V.D.Nam, M.Nakamura, L.V.Boi, LUX and KinExA) and HRGC-MS in Vietnam and Japan, Int.Workshop on dioxin contamination, 25 March, 2015	招待講演
H26年度	国際	12)Nguyen, K., Endo, R., Shibuya, T., Maeda, Y., Kitaya, Y., Microalgal culture with digestate from methane fermentation - light environment in the culture solution with different digestate concentrations and microalgal cell densities, International Symposium on Agricultural Meteorology) 2015, March 2014 Tsukuba, Ibaraki, Japan, 16-20 March, 2015	口頭発表
H26年度	国際	13)Y. Maeda, L.D. Phuong, P.Q.Thang, K. Imaura, L. V. Boi, T. T. Hien, L. T.Thanh, N. Takenaka, Air Pollution by using Biodiesel Fuel, Int.Conference in VNU HCMC, Nov.21, 2014.	招待講演
H26年度	国際	14)T. T. Hoa , K. Imamura, L. T. Hanh, L. D. Phuong, K. Santi , Y. Maeda, and L. V. Boi, Simultaneous Identification and Determination of Fatty Acids, Sugars, and Phytochemicals in Jatropha Seeds as Their TMS Derivatives by Gas Chromatography/Mass Spetrometry, Int. Conference in VNU HCMC, Nov.21, 2014.	口頭発表
H26年度	国内	15)Khanh, N., Endo, R., Shibuya, T., Kitaya, Y., Culture of Microalgae with Digestate from Methane Fermentation. 日本農業気象学会近畿支部大会、大阪(2014年11月29日)	口頭発表
H26年度	国内	16)Duong Huu Huy、竹中規訓、アンモニアガス連続測定装置の開発, 第55回大気環境学会年会、予稿集、P-067 (2014年9月、松山).	口頭発表
H26年度	国内	17)Tring Thi Ha 竹中規訓、向流管と蛍光検出を用いた大気中での亜硝酸ガス(HONO)測定, 第55回大気環境学会年会、予稿集、P-077(2014年9月、松山).	口頭発表
H26年度	国内	18)PhamQuangThang、無徒勇祐、竹中規訓、ディーゼル、及びバイオディーゼル排ガスのオゾン生成能、第55回大気環境学会年会、予稿集、2G0900(2014年9月、松山).	口頭発表
H25年度	国内	19) Duong Huu Huy, Norimichi Takenaka, Simultaneous Measurement Method for Gaseous Ammonia and Particulate Ammonium in Ambient Air,日本化学会第95回春季年会、予稿集、1PB-055 (2014年3月、船橋)	口頭発表
H25年度	国内	20)Phan Quang Thang, 竹中規訓, 低分子メチルエステルの熱分解における化学反応メカニズム, 日本化学会第94春季年会 (2014年3月、名古屋).	口頭発表

H25年度	国内	21) 酒巻 剣, 関 友洋, 下山沙織, 中塚久美子, Phan Quang Thang, ベトナムハノイにおける大気汚染の現状調査, 日本化学会第94春季年会 (2014年3月、名古屋).	口頭発表
H25年度	国内	22)Do Thi Kim Hue, Norimichi Takenaka, A new chemiluminescence method for the measurement of chemical oxygen demand, 日本化学会第95回春季年会、予稿集, 4B5-02 (2014年3月、船橋)	口頭発表
H25年度	国内学会	23)Trinh Thai Ha, Norimichi Takenaka, Measurement of gaseous nitrous acid by surface modified air-dragged aqua-membrane-type denuder and fluorescence detector, 日本化学会第95回春季年会予稿集, 予稿集, 4B5-04(2014年3月、船橋)	口頭発表
H25年度	国内	24)竹中規訓, 吉田 新, 小出哲也, 田中萌子, 田中 里依, 西野温志, To Thi Hien, Le To Thanh, ベトナムホーチミンにおけるガス状汚染物質およびPM2.5濃度の測定(2)、日本化学会第95回春季年会、予稿集, 3PA-138 (2014年3月、船橋) .	口頭発表
H25年度	国内	25)Duong Huu Huy, Norimichi Takenaka, Simultaneous Measurement Method for Gaseous Ammonia and Particulate Ammonium in Ambient Air, 日本化学会第95回春季年会、予稿集, 1PB-055 (2014年3月、船橋) .	口頭発表
H25年度	国内学会	26)Phan Quang Thang, Yasuaki Maeda, Nguyen, Quang Trung, Norimichi Takenaka, ディーゼル/廃食用油バイオディーゼル混合燃料による排ガス中低分子メチルエステル, 第54回大気環境学会年会 (2013年9月、新潟). 予稿集, P-071	口頭発表
H25年度	国内学会	27)無徒勇祐, Phan Quang Thang, 竹中規訓, ディーゼルおよびバイオディーゼル排ガスによるオゾン生成能, 第54回大気環境学会年会 (2013年9月、新潟).E-4.	口頭発表
H25年度	国際	28)Phan Quang Thang, Tatsuya Taniguchi, Yoshie Nabeshima, Hiroshi Bandow, Nguyen Quang Trung and Norimichi Takenaka, Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Gas, Rainwater and Particles Obtained in Osaka, Japan, The 12th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality, 2013 June 3-5, Seoul, Korea.	招待講演
H25年度	国内学会	29)上田祐子, 渡邊功, Vu Duc Nam, Nguyen Hung Minh, Le Ke Son, 本田克久, エージェントオレンジ由来ダイオキシン汚染土壌の簡易迅速測定法(第二報) I. HRGC/HRMS法におけるクロスチェックとその評価. 第22回環境化学討論会, 講演要旨集, pp.538-539 (2013年7月, 東京)	口頭発表
H25年度	国内学会	30)立石典生, 高木陽子, 上田祐子, 渡邊功, Mai Duc Binh, Nguyen Qunag Trung, 本田克久, エージェントオレンジ由来ダイオキシン汚染土壌の簡易迅速測定法(第二報) II. フロー式イムノセンサー法におけるクロスチェックとその評価. 第22回環境化学討論会 講演要旨集, pp.540-541(2013年7月, 東京)	口頭発表

H25年度	国内学会	31)中村昌文, 新川菜摘, 上田祐子, 渡邊功, Vu Duc Nam, Nguyen Hung Minh, Le Ke Son, 本田克久, エージェントオレンジ由来ダイオキシン汚染土壌の簡易迅速測定法(第二報) III. 途上国向けケイラックスアッセイ法におけるクロスチェックとその評価. 第22回環境化学討論会 講演要旨集, pp.542-543 (2013年7月, 東京)	口頭発表
H25年度	国際	32)Y.Maeda, T.T.Le, K.Okitsu, LV.Boi, and Y.Mizukoshi, Application of Ultrasound and Microwave to the Production of Biodiesel Fuel, Asian-Oseanian International Conference on Sonochemistry, Melborne, July 10-12 (2013).	招待講演

招待講演 7 件
口頭発表 22 件
ポスター発表 3 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
H28年度	国際	1)Yutaro Goto, Shogo Nagano, Narumi Tahara, Mami Harada and Norimichi Takenaka, Creating air pollution map and analyzing traffic survey in Ho Chi Minh City, Vietnam, Final meeting of HCMUS-OPU SUMMER EXCHANGE PROGRAM 2016 (Ho Chi Minh, Vietnam, 2016, September 5,)	口頭発表
H28年度	国際	2)Norimichi Takenaka, The Present Atmospheric Pollutants Situation and Evaluation of BDF Utilization on Improvement of Atmospheric Pollution in Vietnam, 10th Science conference, Ho Chi Minh, University of Science, Ho Chi Minh, Vietnam, 2016, November 11.	Key-note
H28年度	国内	3)野口 泉、山口高志、鈴木啓明、松本利恵、岩崎 綾、竹中規訓, HONO を含む窒素酸化物由来成分の挙動, 第57回大気環境学会年会, 札幌、北海道大学, 2016年9月7-9日.	口頭発表
H28年度	国内	4)深江健吾、竹中規訓, 土中アンモニガスの測定に用いるパッシブサンプラー開発, 第57回大気環境学会年会, 札幌、北海道大学, 2016年9月7-9日.	ポスター
H28年度	国内	5)深江健吾、竹中規訓, パッシブサンプラーによる土壌中アンモニアガスの測定, 2016年度大気環境学会近畿支部研究発表会, 大阪市、I-siteなんば, 2016年12月27日.	口頭発表
H27年度	国際学会	6) Yasuaki Maeda, Multi-beneficial Measure for Mitigation of Climate Change in Vietnam and Indochina Countries, Pacific Chem 2015, Honolulu ,Hawaii, 15th, December, 2015	招待講演
H27年度	国際学会	7) Kenji Okitsu, Effects of various parameters on sonochemical degradation of aromatic compounds in water, Pacific Chem 2015, Honolulu ,Hawaii, 15th-20th, December, 2015	招待講演

H27年度	国際学会	8) Kenji Okitsu, Synthesis of metal nanoparticles in aqueous solutions by using sonochemically formed reducing radicals, Pacific Chem 2015, Honolulu ,Hawaii, 15th-20th, December, 2015	招待講演
H27年度	国際学会	9) Kenji Okitsu, Helal Md Uddin, Ben Nanzai, Sonochemical degradation of phenolic compounds in aqueous solutions in the presence of inorganic salts, 2nd Asia-Oceania Sonochemical Society Meeting, Kuala Lumpur, Malaysia	口頭発表
H26年度	国際学会	10) Nakamura, K., Kitaya, Y., Shibuya, T., Endo, R., Effects of soil water contents on early growth and root development of <i>Jatropha curcas</i> . The 6th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants, Nagoya, Japan (8-12 September, 2014)	招待講演
H26年度	国内学会	11) 野口 泉、山口 高志、松本 利恵、岩崎 綾、玉森 洋樹、堀江 洋佑、竹友 優、坂本 武大、恵花 孝昭、竹中 規訓、わが国における大気中HONOの挙動 (5) 第55回大気環境学会年会 (2014年9月、松山)、予稿集、3E0915.	ポスター
H25年度	国内学会	12) 北田 耕大、竹中 規訓、凍結下におけるアミン類のニトロソ化の反応促進の可能性、日本化学会第95回春季年会、予稿集、3PA-131 (2014年3月、船橋) .	口頭発表
H25年度	国際学会	13) 中村 昌文 (株式会社日吉) ダイオキシン類生物検定法の日本での運用の紹介. 2014年ダイオキシンスクリーニング法推進シンポジウム (2014年3月17日, 台北市, 台湾)	招待講演
H25年度	国内学会	14) 伏見 力 (JIRCAS)、北宅 善昭 (大阪府立大学)、The cultivation experiment of <i>Jatropha curcas</i> in Ishigaki Island、国際環境資源生物学会 7th International Symposium 'Effective use of bioresources in arid land'、大阪大学工 (大阪府吹田市)、2014年3月18日	口頭発表
H25年度	国際学会	15) Nakamura M (Hiyoshi Corporation) Application of CALUX in East Asian countries. The First Southeast Asian International Workshop on Integrated Exposure and Effects Analysis, Application of CALUX in East Asian countries, (January 10 ,2014, Hanoi, Vietnam,	招待講演
H25年度	国内学会	16) 上田 祐子、渡邊 功、本田 克久、超音波抽出器を利用したダイオキシン汚染土壌における簡易迅速分析法の開発. 第16回日本水環境学会シンポジウム 講演要旨集, pp.127-128 (2013年11月, 沖縄)	口頭発表
H25年度	国内学会	17) 竹中 規訓, 大気中亜硝酸の分析, 日本分析化学会 第62年会, 東大阪 (2013年9月). 要旨集E3009.	口頭発表
H25年度	国内学会	18) 西川 晴香、橋本 祥平、竹中 規訓, 化学発光式COD測定法による自然水COD連続測定, 東大阪 (2013年9月). 要旨集F3014Y.	口頭発表
H25年度	国内学会	19) 泉、山口高志、松本利恵、岩崎 綾、玉森洋樹、堀江洋佑、浴口智行、富田健介、恵花孝昭、竹中規訓、わが国における大気中HONOの挙動(4), 第54回大気環境学会年会 (2013年9月、新潟). 予稿集, P-060	口頭発表

H25年度	国内学会	20) 野呂和嗣、竹中規訓, 寒冷地対応亜硝酸ガス測定装置の開発, 第54回大気環境学会年会 (2013年9月、新潟). 予稿集, P-022.	口頭発表
H25年度	国内学会	21) 大山正幸, 中島孝江, 東賢一, 峰島知芳, 酒巻 剣, 永田 真, 岡 憲司, 森永謙二, 竹中規訓, 亜硝酸と喘息症状の関連性に関する疫学的事例調査 第2報, 第54回大気環境学会年会 (2013年9月、新潟). 予稿集,	口頭発表
H25年度	国内学会	22) 竹中規訓、今西克磨、森川多津子、萩野浩之, 新長期規制ディーゼル車からのHONO発生, 第54回大気環境学会年会 (2013年9月、新潟). 2G1030.14)	口頭発表
H25年度	国内学会	23) 北宅善昭・中村健二・渋谷俊夫・遠藤良輔(大阪府立大学)、油料植物 <i>Jatropha curcas</i> の成長に及ぼす土壌水分の影響、2013生態工学会年次大会、玉川大学(東京都町田市)、2013年6月29日～30日	口頭発表
H25年度	国際学会	24) Norimichi Takenaka, Katsuma Imanishi, Tazuko Morikawa and Hiroyuki Hagino, Direct emission of HONO from diesel exhaust gas, The 12th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality, 2013 June 3-5, Seoul, Korea.	招待講演
H25年度	国際学会	25) Kenji Okitsu, Effects of Organic and Inorganic Additives on the Sonochemical Synthesis of Au and Pd Nanoparticles in an Aqueous Solution, 1st Asia-Oceania Sonochemical Society Meeting, Melbourne, Australia	招待講演
H24年度	国際学会	26) Fushimi, T. Kitaya, Y. Maeda, Y., Cultivation and research of <i>Jatropha curcas</i> in Ishigaki Island, 6th International Symposium: Green Biotechnology for Global Sustainability, Osaka, Japan, 9 March, 2013	招待講演
H24年度	国際学会	27) Kitaya, Y. Fushimi, T. Maeda, Y., Notes on establishing nursery plants of <i>Jatropha</i> , 6th International Symposium: Green Biotechnology for Global Sustainability, Osaka, Japan, 9 March, 2013.	招待講演
H24年度	国際学会	28) Y. Maeda, Integration of the technology for biodiesel production, 1st Int. workshop on Nano Materials for Energy Conversion and Fuel Cell, 2012, August 20-23, Ho Chi Minh City, Vietnam,	招待講演
H24年度	国内学会	29) Y. Maeda, ベトナム及びインドシナ諸国における、バイオマスエネルギー生産システム(植林・製造・利用)構築による多益性気候変動緩和策の研究、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	招待講演
H24年度	国内学会	30) Y. Maeda, Production of Biomass Energy from Waste, 9th Biomass Asia Workshop, 2012, Dec. 3, 4, Tokyo	招待講演
H24年度	国内学会	31) 超音波キャビテーションを利用する有機物の分解と金属ナノ粒子の合成, 第21回ソノケミストリー討論会、川崎 (2012年11月)	招待講演

H24年度	国内学会	32)アブリキム アブリズ, JunJie Zhu, 興津健二、超音波キャビテーションがグラフェンオキシサイドの還元反応に与える影響, 第21回ソノケミストリー討論会、川崎 (2012年11月)	ポスター
H24年度	国内学会	33)四角哲夫, 興津健二, 西村六郎、超音波還元法を利用する金ナノ粒子の形状制御合成:アスコルビン酸の影響, 第21回ソノケミストリー討論会、川崎 (2012年11月)	ポスター
H24年度	国内学会	34)中井太地, 水越克彰, 久貝潤一郎, 興津健二, 山本孝夫, 西村六郎, 正橋直哉重金属イオン吸着剤を目指したハイドロキシアパタイト/ γ 酸化鉄複合材料の合成に対する超音波照射効果, 第21回ソノケミストリー討論会、川崎 (2012年11月)	口頭発表
H24年度	国際学会	35)K. Okitsu, Y. Nunota, T. Shikaku, R. Nishimura, Size and shape controlled synthesis of gold nanorods by ultrasonic irradiation in an aqueous solution, International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials (ICEAN), Brisbane, Australia (2012年10月)	ポスター
H24年度	国内学会	36)北宅善昭, 伏見力, 前田泰昭, バイオディーゼル燃料生産におけるJatropha curcas利用の課題と展望, 第64回日本生物工学会大会シンポジウム, 神戸, 2012年	口頭発表

招待講演	15 件
口頭発表	16 件
ポスター発表	5 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 ※
	3件の詳細は公開にあたり削除。										
No.1											
No.2											
No.3											

国内特許出願数 3件
公開すべきでない特許出願数 0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 0件
公開すべきでない特許出願数 0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
2016年	9月7日	ベトナム国家大学ハノイ校、Honorary Dictorate	ベトナム国家大学での教育研究に貢献	前田泰昭	VNU ハノイ	1.当課題研究の成果である	
2016年	9月7日	ベトナム科学技術アカデミーより環境功労賞メダル	ベトナムでの環境改善への功労に対して表彰	前田泰昭	VAST	1.当課題研究の成果である	
2013年	11月22日	日越交流40周年記念、天然資源環境省、功労賞	天然資源環境省での環境改善の取り組みの評価	前田泰昭	ベトナム政府	プロジェクトで実施しているBDFの大気汚染軽減への期待	
2013年	10月16日	ベトナム国家大学ホーチミン校よりDistinguished Professorの称号授与	ベトナム国家大学ホーチミン校から多くの博士課程の学生を指導	前田泰昭	ベトナム国家大学ホーチミン校	SATREPSでハノイ校とホーチミン校から多くの学生の博士取得を指導した。	
2012年	9月15日	日本国環境省大臣表彰	環境対策に係る模範的取組表彰	前田泰昭	環境省	SATREPSで大気汚染の改善に取り組んだ	

5 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
2016年度11月20日	2016年11月20日	ベトナムテレビチャンネル4	ベトナム国家大学で学生に環境の大切さを教える日本からの先生として紹介された	夕方のテレビ番組で約5分ほど放映	SATREPSのプロジェクトを実施している再生可能エネルギーセンターで質問と映像を取った。学生が実施していた実験はBDFの製造の実験であった。	

2016年度	12月15日	ベトナムテレビチャンネル1	ベトナム国家大学ハノイ校の創立60周年記念でTrongベトナム共産党総書記を訪問し、SATREPSで製造したBDFを献品したところがニュースになった。	夕方のテレビで全体の官邸での会議の様子と前田がBDFを手渡すところが放映された	総書記に手渡したのは本SATREPSで製造したBDFで、このBDFが世界で最も高品質で廉価なBDFであることを説明した。	

2 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 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	概要
2016年	6月22日	SATREPS、JICAの終了評価	ベトナム、ハノイ	大阪府立大学から、辻学長他前田、北宅、竹中が出席し、堤先生、JICA、JSTからの出席者に対して、5年間の成果の発表。約50人	6月初旬からベトナム各地のSATREPS実施場所を調査して、適切にプロジェクトが実施されたかどうかを評価した。
2016年	3月22日、23日	SATREPS 特別企画、国際学会	日本、大阪市	ボツワナ、モザンビーク、タイ、ベトナムの4か国から合計20名、日本から約40名が集まった。	4つのSATREPSと1つのALCAのプロジェクトからの参加者が一堂に集まり、最適なBDF原料の選択、BDF製造法及び使用方法について活発な討論が行われた。
2016年	2月1日	SATREPSのJCC	ベトナム、ハノイ市、VNUハノイ校	日本から約10名、ベトナムから約40名が参加した。	新しく建設されたベオマスエネルギーセンターが披露された
2016年	10月19日、20日	SATREPS のワークショップ	堺市	ベトナムから15人、日本から15人が参加	BDF製造・利用に興味のある、会社、日吉、環境総合システム、ヤンマーから関連部局の研究者が参加した。
2014年	7月25日	SATREPSのJCC	ベトナム、ハノイ市	ベトナム人50人、日本人20人	主査の堤先生、JICAの安達氏、大西さん、大阪府立大学の奥野学長、VNUハノイのNha学長、各グループの責任者全員が参加。
2013年	7月24日	Work shop on SATREPS	日本、石垣市	40人、ベトナム人11人	プロジェクト参加研究者ほぼ全員と主査の堤先生が参加。日本で成長が可能な沖縄で南洋アブラギリの栽培状況を調査した。
2013年	7月25日	Jatropha 研究会	、ハノイ	30人：SATREPSの南洋アブラギリの研究をしている東京大学の芋生先生のグループ、鳥取大学の明石戦士絵のグループからも研究者が参加した。	SATREPSで、南洋アブラギリの研究をしている複数のグループからそれぞれの活動について講演を聞くことができた。
2013年	1月7日	JCC	ベトナム、ハノイ	80人	JICA、JST、VNU、OPUさらに各グループの責任者がそれぞれの活動を報告した。
2011年	12月2日、3日	キックオフミーティング	ベトナム、ハノイ	60人	JICAハノイ所長、VNU学長、大阪府立大学学長、各グループの責任者、MONRE、MOIT、MARD各省からも関連分野の研究者が参加した。

10 件中JCCが3回

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2016年	6月22日	JICAの最終評価に合わせて、JCCを開催した	約40名	NUから副学長が参加し、今までの5年間の成果を発表した
2016年	2月1日	中間期のプロジェクトの進捗状況の報告	約50名	プの研究責任者が差異化を発表した

2014年	7月25日	プロジェクトの進捗状況の報告、特に油糧樹種の植林と、BDF 製造装置の設置	約70名	VNUハノイのNga学長OPUの奥野学長他前グループ責任者が集まってプロジェクトの進捗状況を発表し			
2013年	1月7日	特に各植林地から樹種の成長と最適油糧樹種の選択について報告があった。	約80人	ベトナムの関連分野の政府機関からも多くの出席があり、報告があった。			

3 件

JST成果目標シート

研究課題名	ベトナムおよびインドシナ諸国におけるバイオマスエネルギーの生産システム(植林・製造・利用)構築による多益性気候変動緩和策の研究
研究代表者名(所属機関)	前田 泰昭 (大阪府立大地域連携研究機構 特認教授)
研究期間	H22採択(2011年10月1日~2016年9月30日)
相手国名/主要相手国研究機関	ベトナム共和国/ベトナム国家大学ハノイ校

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	BDFの普及、グリセリンの利用、BDF原料の販売、凝固点降下剤、酸化防止剤などBDF利用のための周辺薬剤の販売、グリセリンから製造される超吸水ポリマーの普及、 太陽光による水から水素発生へのグリセリンの加速効果
科学技術の発展	光触媒による水から水素発生へのグリセリン添加効果の解明、油脂成分の混合による沸点および凝固点の変化の解明(有機化合物の混による物理変化)
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	酸・塩基二段法の効率化、グリセリン精製技術・グリセリン利用技術の開発、BDF燃料使用基準の国際化、生物由来薬効化合物の抽出と利用の安全基準の設定 米ぬかから薬効成分の抽出の特許申請
世界で活躍できる日本人人材の育成	ベトナム側研究者と共同で20報以上の国際論文誌への投稿、グリセリン利用のための触媒の開発に関する国際論文誌5報の投稿、日本人学生の海外協力能力の強化
技術及び人的ネットワークの構築	ベトナム国家大学から招聘した研究者の修士取得 3人 および博士取得 10人 、近隣諸国への普及(ラオス、カンボジア、ミャンマー)との学術協定の締結の人材交流の実施
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	石炭採掘会社との植林地の協力、ベトナムと日本の政府間協定への本研究結果の利用、ヤンマー(農機具)との協力、本研究結果の国際出版社による本の出版(中間年と最終年の2回)

JST上位目標

バイオマスが広く世界で燃料に利用されることにより、地球温暖化防止、大気汚染、貧困の削減につながる。

ベトナムおよびインドシナ諸国においてプロジェクトが開発した高品質BDFの製造・利用が実用化される。

JST達成目標

荒廃地および炭鉱跡地で、最適なBDF原料樹種の栽培方法を確立し、共溶媒法による高品質BDFの製造方法を共同開発する。さらに、製造したBDFをベトナム国内で利用した場合の社会経済・環境影響について評価し、ベトナム政府に高品質BDFの利用計画を政策提言する。

