

# 地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー研究分野)

「低炭素社会の実現に向けたエネルギーシステムに関する研究」領域)

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

(ベトナム)

平成 23 年度実施報告書

代表者：前田 泰昭

大阪府立大学地域連携研究機構・特認教授

<平成 23 年度採択>

## 1. プロジェクト全体の実施の概要

ベトナムでは、焼き畑や戦争中の枯れ葉剤による土壌汚染などで広がった約 900 万 ha の荒廃地での土砂崩れ、洪水などの災害が危惧されており、防災のための植林などによる有効利用、急速な経済発展に伴う都市部の粒子状物質と多環芳香族炭化水素などの大気汚染による健康被害と、山間部の貧困問題の改善が急がれている。本研究では、これらの環境・社会問題を解決し、地球温暖化対策にも寄与する植林・製造・利用を一体化したバイオエネルギーの生産システムを構築する。そのために、荒廃地土壌の調査方法を確立し、汚染土壌の調査を行う。さらに、汚染土壌の有効な処理方法として超音波照射法を中心に確立し、汚染土壌の浄化を図る。また定汚染荒廃地への *Jatropha Curcas* の植林を試みるとともに、施肥、灌水などの最適植林技術を確立し、非食用油の効率の良い採取を検討する。さらに *Jatropha Curcas* 油および現在殆ど利用されていないゴムの実油などの非食用油を原料とした共溶媒法による高品質バイオジーゼル燃料 (BDF) の製造方法を確立し、製造した BDF を公共交通機関、ジーゼル発電機、船の燃料として 100%BDF 利用と排ガス改善の技術開発を進める。得られたこれらの技術をラオス、カンボジア、ミャンマーなどインドシナ周辺諸国にも普及する。

本プロジェクトでは上記のように多くの課題に取り組むため全体を下記のような 5 つのグループに分けそれぞれが有機的に連携して効率よく研究が実施されるように図る。

[グループ 1] : 最適な BDF 原料樹種 (*Jatropha* 等) の選択と栽培方法の確立

[グループ 2] : 汚染土壌の現況調査と汚染改善技術の開発

[グループ 3] : クリーンな高品質 BDF 製造プロセスの確立

[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

[グループ 5] : 多益性の検証 (気候変動対策、大気汚染及び土壌汚染改善、貧困撲滅) と経済効果

## 2. 研究グループ別の実施内容

### (グループ 1)

平成 23 年度は、大阪府立大学において施設内栽培試験を開始 (図 1-1)、国際農林水産業研究センター石垣支所において屋外栽培試験を継続、ベトナム熱帯生物研究所において *Jatropha* 優良苗生産のための組織培養試験を開始 (図 1-2) した。また、以下のように、ベトナムでの 2 試験地および 2 試験予定地の調査を開始するとともに、ベトナムの 2 試験地 (Ba Vi および Quang Tri) に気象観測機器を設置した。



図 1-1. 大阪府立大学での試験(左:培地の種類、右:土壤含水率の違い) 図 1-2. *Jatropha* の組織培養試験

俺らの検討結果をまとめると(1)品種、入手地の異なる個体の生育試験：4 3 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、油生産ともに最大である。

(2) 栽植密度試験：3 年生の樹木の密度は、 $3 \times 3 \text{ m}^2$  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  $2 \text{ kg/plant}$  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、 $8 \text{ L/day/plant}$  区が良好であった。

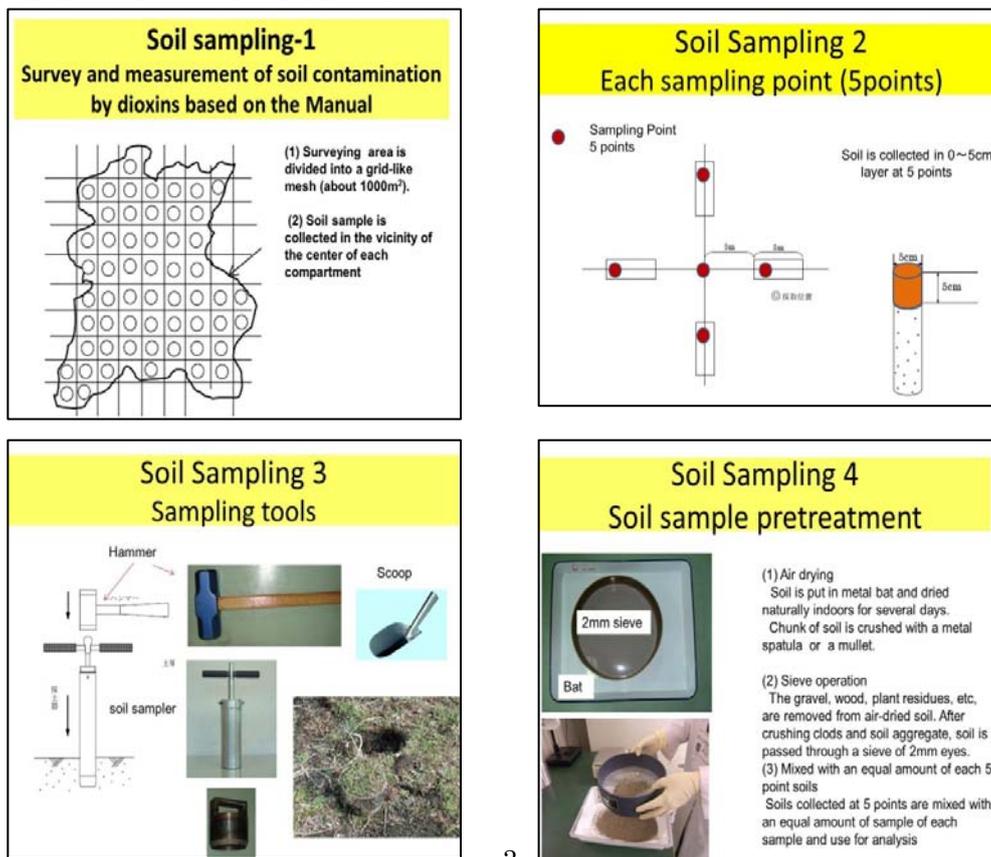
(6) その他：一般には 15 年間生産可能。菌類により維管束が詰まる病気、害虫（カイガラムシ類）の被害が問題となっている。果実が黄色～茶色になるころが収穫適期である。

## (グループ 2)

H23 年度の研究開発課題「土壤汚染物質とくにダイオキシンの簡易・迅速測定法の開発」について検討した結果、以下の成果を得た。

### 1. 土壤のサンプリング方式のマニュアル化

“Manual for the Survey and Measurement of Dioxins in Soil (established 2000, revised in 2009) に準拠した方法を用いて以下の様に設定した。



上記 1～4 の写真に対して、詳細マニュアル化を整備中である。

## 2. 土壤中ダイオキシン (2,3,7,8-TeCDD) の簡易・迅速抽出法の確立

JIS および EPA の抽出法は、ソックスレー抽出後、液-液分配法および SFE (高速溶媒抽出法) 後、液-液分配法が用いられている。本件では、目的とする被抽出土壌が枯葉剤 (2,4-D, 2,4,5-T を中心とする) によるダイオキシン汚染であり 2,3,7,8-TeCDD を主成分とすること、及び農薬として散布されたことによっていること (日本のように飛灰、焼却炉汚染とは異なる) から、2,3,7,8-TeCDD が抽出可能である簡易・迅速法として、アセトン・酸混合液を用いた超音波抽出法の最適条件化をはかった。

その結果、6 検体同時に 1 時間の超音波抽出後、最終ヘキサン抽出液を得るまで約 2 時間、加えて使用ガラス器具の数と溶媒量を限りなく削減することが可能となった。なお本法による 2,3,7,8-TeCDD 抽出再現性は  $80 \pm 5\%$  であった。

精製過程における GC/MS による精製度は以下の表 2-1 と図 2-1 に示すようにいずれも JIS の精度管理基準の範囲内であった

表 2-1.Recoveries of dioxins by the rapid screening method

Recovery (%)		Recovery (%)	
Soil-1	90.0	Soil-6	87.5
Soil-2	87.1	Soil-7	87.5
Soil-3	90.9	Soil-8	89.0
Soil-4	100.5	Soil-9	92.2
Soil-5	91.1	Soil-10	82.5

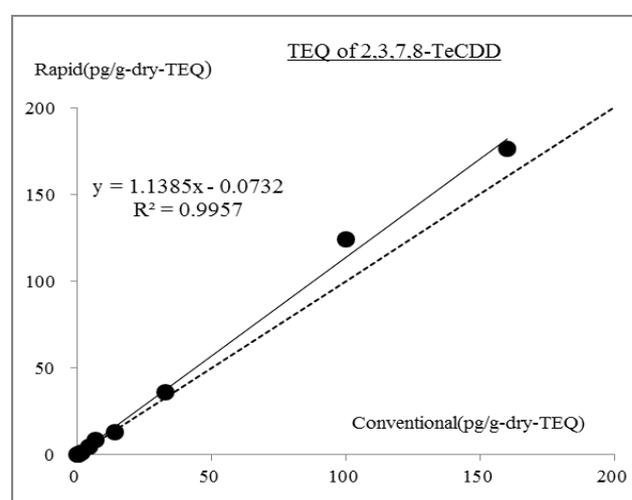


図 2-1. 10 種土壌中ダイオキシン類の従来法と新法における HRGC/HRMS 値の関係

### (グループ 3)

#### 1) 共溶媒法による高品質 BDF の製造

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 3.1 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。まだ最適条件の設定が十分ではないため、品質は燃料規格をクリアしていなかった。ただ酸触媒反応を  $60^{\circ}\text{C}$  程度の低温でこれだけの高品質の BDF を製造できたのは世界でも初めてで、今後

- (1) 酸触媒反応時間をさらに十分に取ること、
- (2) 乾燥時間をもう少し十分にすることで、十分に対応できることが分かった。

表 3.1. 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

## 2) グリセリン利用の研究

BDF 合成時に副生するグリセリンは産業廃棄物となるため、副生するグリセリンの新市場を開拓することに加えて、グリセリン改質技術（他の有用物質に変換する技術）や燃料などへの利用技術を開発する必要がある。本研究では、グリセリンをアルコール燃料電池用燃料として利用する研究の準備を始めている。文献調査によると、高触媒活性を示す Pt 系触媒が活発に研究開発されてきているが、Pt は高価なため燃料電池が高コストになる問題がある。そこで本研究では、「超音波還元法を利用する金属ナノ粒子合成技術」を開発することによって、Pt よりも安価でアルカリ溶液中でもアルコール酸化活性を示す Pd に着目し、Pd ナノ粒子触媒の合成と高性能化の研究を始めることとした。

### (グループ 4)

雨や雪中の多環芳香族炭化水素 (PAHs) の採取法の検討とディーゼル発電機排ガス中の粒子およびガス状物質の測定法の検討およびベトナム・ホーチミン市におけるオゾン、NO<sub>x</sub> の測定を開始した。

研究結果は 1) 雨や雪中の多環芳香族炭化水素 (PAHs) の採取法の検討試料の採取容器、保存容器の材質について調べた結果、プラスチック、テフロンなど有機系の材質は、吸着や前回の履歴が残るなど、測定値に大きな影響を与えることが分かった。従って使用する器具はすべてガラス製またはステンレス、アルミなどの金属を用いると回収率がほぼ 100% となることが分かった。

採取時の有機溶媒の存在については、雨の場合はあらかじめベンゼンを入れることで、採取時の PAHs の揮散が抑えられることが分かった。種々の溶媒を用いたところ、トルエンでは濃縮に非常に長時間がかかり、ヘキサンでは採取中に溶媒がすべて揮散した。従ってベンゼンが最も適していると思われる。一方、雪の採取では、溶解時にヘキサンを加えるか、ロートを 5℃ に加熱し、溶かしながらヘキサン中に滴下して行くことで回収率がよくなり、雪を溶かしてからヘキサンを加えると一部の PAHs が揮散することが分かった。ベンゼンは、融点が 6℃ であるため、雪のサンプリングには用いることができない。

図 4-1 に降雨中に粒子およびガス状 PAHs を測定した結果を示す。雨の中の PAHs のうち、環数の多いものは検出限界以下であり、この図には示されていないが、それを考慮す

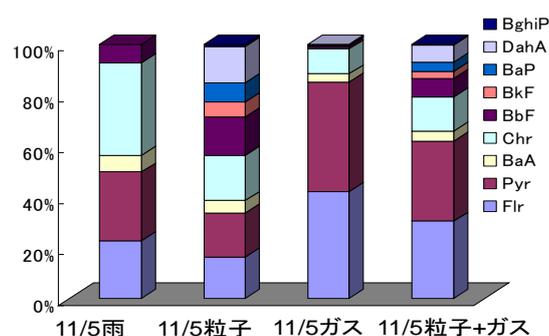


図 4-1. 2011年11月5日大阪堺市における雨中および粒子・ガス中の PAHs

ると、雨中の PAHs は粒子の PAHs に近い組成であることが分かり、粒子の取り込みが主であると思われる。ただし、データが一回だけであること、気温の違いによる影響の調査など、今後さらに同様の調査が必要である。

## 2) ディーゼル発電機排ガス中の粒子およびガス状物質の測定法の検討

軽油を用いて、ディーゼル発電機の排ガスのガス状物質および粒子状物質のサンプリング条件の検討を行った。まず、堀場製作所製の自動車排ガス測定器 MEXA を用い、この配管からの採取を試みた。しかし、配管内に設置された水分除去装置が粒子も捕集するため、粒子状の PAHs の分析ができないことが分かった。そこで、排ガスのサンプリングラインをもう一つ排ガスの排気口に挿入した。その結果、粒子捕集ホルダー内のろ紙に大量の水が析出し、粒子・ガスの測定に影響を与えることが分かった。次に、水分トラップとして、排ガスをいったん室温に保った恒温槽内のトラップに導入し、サンプリングを行った。これで幾分か的水分は除去できたが、まだ、多くの水が析出した。そこで、排ガスを乾燥空気ですら 10 倍希釈することにした。少しの水分は析出するが、捕集にはほとんど影響がないことが分かり、この方法で B25、B50、B75、B100 の燃料による排ガス中の粒子状およびガス状 PAHs のサンプリングを行った。その結果を図 2 に示す。この図より、B100 を使用することで、粒子状およびガス状 PAHs を約 60% 削減できることがわかった。B100 よりも B75 や B50 の方が、燃料導入に時間が書かれたため、粘度の違いがあると予想されたが、実際には粘度は BDF 含量が下がるにしたがって直線的に減少した。

## (グループ 5)

### 検討結果

平成 23 年度は、ジャトロファ植林候補地の中から社会シナリオ構築の対象地域を絞り込み、各地域について「シナリオの検討」「シナリオに関する問題点の調査」「社会経済状況の調査」を行うとともに、プロジェクトに全体に関して「基礎的な経済データの調査」「多益性評価用経済モデルの検討」を開始した。さらに、講師を招聘して、ベトナム地域経済とその調査手法に関する研究会と、環境経済についての研究会を開催した。

### 1) シナリオの対象地域

当初のジャトロファ植林候補地は、

- ①大都市 (Hanoi) 近郊シナリオ: Ba Vi
- ②観光地近郊型シナリオ (海上交通): Ha Long
- ③観光地近郊型シナリオ (陸上交通): Quang Tri
- ④山岳地域独立型シナリオ: Son La, および Dien Bien Phu

の 5 地点 4 パターンであったが、地理的条件の問題があり、④は候補から削除された。また、③の Quang Tri は、当初想定したよりも観光地から遠く、むしろ山岳地シナリオとして検討することとなった。なお、本年度は、Quang Tri については文献調査のみを行い、現地調査も含めた詳細な検討は Ba Vi と Ha Long について行った。

### 3. 成果発表等

#### (1) 原著論文発表

① 本年度発表総数(国内 0 件、国際 2 件)

② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0件、海外 2 件)

③ 論文詳細情報

1) Yasuai Maeda, Le Tu Thanh, Kiyoshi Imamura, Katsutoshi Izutani, Kenji Okitsu, Luu Vna Boi, Pham Ngoc Lan, Nguyen Cong Tuan, Young Eok Yoo, Norimichi Takenaka, New Technology for the production of biodiesel fuel, Green Chem.,13,1124-1128(2011).

2) Le Tu Thanh , Kenji Okitsu , Luu Van Boi , Yasuaki Maeda, Green and high quality biodiesel fuel production with catalysts and utilization of glycerol, Catalysts, 2,191-222 (2012)

#### (2) 特許出願

① 本年度特許出願内訳(国内出願中 0 件、海外 出願中 0 件、特許出願した発明数 0 件)

② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

### 4. プロジェクト実施体制

(1)グループ1、研究題目:最適な BDF 原料樹種 (Jatropha 等) の選択と栽培方法の確立

①研究者グループリーダー名: 北宅善昭 (大阪府立大学・大学院生命環境科学研究科・教授)

②研究項目:ベトナムでの貧困対策として北西部山岳地帯及び中部土壤汚染地帯で管理した最善の方法で、非食用油を採取可能な樹種の植林を行う。

(2)グループ2、研究題目:汚染土壤の現況調査と汚染改善技術の開発

①研究者グループリーダー名: 本田克久 (愛媛大学農学部・教授)

②研究項目:ベトナムで植林の可能な荒廃地でのダイオキシンを含む土壤汚染の実態を明らかにするため、汚染レベルと範囲の迅速な同定方法を開発し、開発した方法で汚染度の調査を実施する。また汚染土壤の改善方法を検討する。

(3)グループ3、研究題目:クリーンな高品質 BDF 製造プロセスの確立

①研究者グループリーダー名:前田泰昭 (大阪府立大学・地域連携研究機構・特認教授)

②研究項目:Jatropha 油、ゴムの実油などの非食用油から高効率で廃棄物の少ないクリーンな BDF 製造法を確立し、副生成物のグリセリンの精製法および利用法を検討する。

(4)グループ4、研究題目:BDF の公共交通機関への利用と大気汚染削減の評価

①研究者グループリーダー名:竹中規訓 (大阪府立大学・現代システム科学域・現代システム学類・教授)

②研究項目:製造した BDF をジーゼル機関車およびバス、トラックなどの公共交通手段に利用し、大気汚染の改善、温暖化ガス排出削減を実証する。

(5)グループ5、研究題目:多益性の検証(気候変動対策、大気汚染及び土壤汚染改善、貧困撲滅)と経済効果

- ①研究者グループリーダー名:大塚耕司 (大阪府立大学・大学院工学研究科・海洋システム分野・教授)
- ②研究項目:(1)– (4)までの検討結果に基づき、BDF 原料植物の植林、BDF の製造、BDF の利用による、炭酸ガス削減、貧困対策、大気汚染削減の有効性を他の地球温暖化ガス排出削減方法と比べ、その多益性クリーン開発メカニズム (CDM) としての実効性を評価する。その結果、ベトナム側のカウンターパートが本研究を継続して実施し、持続的エネルギーの製造・供給・利用体制が構築されるようにする。

以上