

## 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

### 研究課題別中間評価報告書

#### 1. 研究課題名

持続可能な地域農業・バイオマス産業の融合（2009年10月－2014年10月）

#### 2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：迫田 章義（東京大学生産技術研究所 教授）
2. 2. 相手側研究代表者：Phan Dinh Tuan（ホーチミン市工科大学・副学長）

#### 3. 研究概要

農業を産業基盤とするベトナムなどの開発途上国では、その食料生産機能を維持・拡大し、かつ地域環境を保全・改善しつつ、近代化・工業化への道を歩むために、持続可能な地域農業とバイオマス産業の融合を図ることが必要である。本研究では、ベトナム南部において、複合的な1次産業の副産物・廃棄物などからバイオ燃料・資材などを生産・消費する地産地消型バイオマス利活用システムを設計・評価し、その具現化に必要なプロセスの設計・構築・運転を行う。本システムが持続可能であり、かつ、農業国の将来に必要であることを明示することで、ベトナムだけでなく農業を産業基盤とする開発途上国などに広く普及していく礎を築く。

#### 4. 評価結果

**総合評価 （A：所期の計画と同等の取組みが行われている）**

本研究課題の上位目標は、稲などのバイオマス資源が豊富なベトナム南部の農村地域において、畜産、果樹・野菜栽培、魚養殖などの複合的な一次産業の農業副産物や廃棄物等から、バイオエタノール、バイオガス、バイオプロダクツ等のバイオ燃料・資材等を生産・消費する地産地消型のバイオマス活用システムが実現することである。

本研究は、3つの研究のコンポーネント、すなわち、1)「システム」：提案・検証する「持続可能な地域農業・バイオマス産業の融合システム」の設計手法の確立、2)「プロセス」：小規模分散型・地産地消型のバイオエタノールおよびバイオガスの生産を中軸とするバイオマスリファイナリー・プロセスの確立、3)「テクノロジー」：そのプロセス確立に関連する要素技術群の開発と、実証・実用化段階での検証および体系化で構成されている。

システムについては、日本側研究グループが開発した「バイオマスタウン設計評価支援ツール」を利用したバイオマス利活用システムのシナリオ構築およびそのモデル分析を行うための基礎データの収集・整

理を進めるとともに、物質・エネルギーのフローや環境影響の評価を念頭に、具体的なシナリオのモデル化を着実に進めている。

プロセスについては、2012年1月にホーチミン市工科大学（ベトナム側研究代表機関）敷地内にバイオエタノール製造パイロット研究プラントが竣工され、稼働しているとともに、ベトナム南部の都市近郊型の農村であるタイミー村において、バイオガスのデモンストレーション・プラントが2012年12月頃に完成予定であることを考えると、当初の計画通りに概ね順調に進捗している。これらのプラントは、今後のバイオマスの活用が期待される地域において象徴的な意味を持つことは確かであり、インパクトは高い。

テクノロジーについても、当初計画時から挑戦的な課題設定であるものの、現地で安価に入手可能な竹から製造する分子篩活性炭（MSC）を用いたバイオエタノール直接吸着分離法の開発や、家電型バイオガス利用装置向けの吸着剤と吸着技術の同時開発も着実に進めている。ただし、スロー前処理（脱リグニン）に適した現地菌類の特定については、進捗の一部で遅れが見られるが、研究過程で生じた問題を日本およびベトナム側の研究者らで克服して行く姿勢が見られ、今後の更なる挑戦および技術的成果が期待される。

これらの進捗状況に鑑み、研究計画は適切であり、その計画が着実に実施されていると高く評価する。

今後の課題として、これらのプラントをコアにして、プラントの一層の効率化・有効化をもたらす革新的な要素技術の開発が期待される。また、プラントが地域におけるバイオマスの利活用において果たす役割について、物質やエネルギーのフローや収支を分析することも含め、定量的に評価する計画の一層の推進も期待したい。

また、システムの普及には、パイロットプラントを含めて、システムや技術の受容性に対する社会経済性の評価も踏まえて、「持続可能なシステム」の要点や要件を明確にすることが期待される。

本プロジェクト終了までにこれらの課題を念頭に置き、引き続き国際共同研究が進められることを期待する。

#### 4-1. 国際共同研究の進捗状況について

本プロジェクトは、ベトナム南部の農村地域を対象にして、「持続可能な地域農業・バイオマス産業」の姿を明示し、その実用化初期段階におけるシステムの設計手法の確立と関連要素技術を整備することを課題としている。その中心的な課題は、次の3つの研究コンポーネントに整理されている。すなわち、

- 1) 「システム」：提案・検証する「持続可能な地域農業・バイオマス産業の融合システム」の設計手法の確立
- 2) 「プロセス」：小規模分散型・地産地消型のバイオエタノールおよびバイオガスの生産を中軸とす

るバイオマスリファイナリープロセスの確立

- 3) 「テクノロジー」：そのプロセス確立に関連する要素技術群の開発と、実証・実用化段階での検証および体系化

である。

- 1) 「持続可能な地域農業・バイオマス産業の融合システム」の設計手法の確立

ベトナム南部の都市近郊型の農村であるホーチミン市タイミー村をはじめ、メコンデルタ地域の Long An 省農村、中部高地の Lam Dong 省農村において、農村社会経済調査を実施し、日本側研究グループが開発した「バイオマスタウン設計評価支援ツール」を利用したバイオマス利活用システムのシナリオ構築およびそのモデル分析を行うための基礎データの収集・整理を進めている。また、現地の設計に必要なバイオマス資源のコストや各種バイオマス資源化技術に関するデータと日本国内（および先進国）を想定して整備されたデータベースとの共通部分と差異の明確化、さらに、ベトナムの他地域、例えばメコン川流域農村地帯での調査結果との比較検討を行いながら、基礎データやシナリオモデルの検証を着実に実施している。

- 2) 小規模分散型・地産地消型のバイオエタノールおよびバイオガスの生産を中軸とするバイオマスリファイナリープロセスの確立

バイオマスタウンの中核となる小規模バイオマスリファイナリープロセスのパイロット試験施設を導入し、その検証を着実に進めている。2012 年 1 月にホーチミン市工科大学（ベトナム側研究代表機関）敷地内にバイオエタノール製造パイロット研究プラント（原料投入量：稲わら 150kg（乾燥重量）/バッチ）が竣工され、稼働しているとともに、ベトナム南部の都市近郊型の農村であるタイミー村において、バイオガスのデモンストレーション・プラントが 2012 年 12 月頃に完成予定である。ホーチミン工科大学の施設では、稲わらからのバイオエタノール生産に関する設置プラントにおけるエネルギー収支の検討、前処理における膨張軟化処理とアルカリ処理の組み合わせによる効果の検証、プラント運用時の技術的課題を整理するなど、要素技術開発へのフィードバックも考慮した取り組みが行われている。また、タイミー村での施設では、小規模の家畜排せつ物（100kg/日）からのバイオガス生産プロセスに焦点を絞り、農村フィールドでの地域実証試験を展開していくための住民への説明や用地確保をはじめとする準備、周辺の基礎情報の収集などを着実に進めている。また、ベトナムでは新たな挑戦的課題であるバイオガス生産余剰残渣（消化液）の液肥還元の研究についても、比較対象となる慣行農法による稲作を行うなど、着実な研究準備が進められており、稼働後の技術的課題や農民による運用面での課題なども整理されることが大いに期待できる。

- 3) バイオマスリファイナリープロセス確立に関連する要素技術群の開発と、実証・実用化段階での検証および体系化

要素技術群の開発としては、現地菌類によるスロー前処理（脱リグニン）、糖化・発酵工程において酵素利用の高度化（酵素使用量低減、回収・再利用化）、バイオエタノールおよびバイオガスの高効率・省エネルギーな分離精製技術の開発を行っている。

スロー前処理や糖化・発酵工程における酵素利用の高度化については、バイオエタノール生産のためのリグノセルロース系バイオマスの新規前処理・糖化技術の開発に取り組んでおり、セルラーゼ生産菌の集積培養と分離操作の現地での確立を試みているものの、菌類の検索に苦戦している。現在、現地農家の慣行である撒水稻わら堆積物からフクロタケ代替菌類の検索を試みているが、まだ結果が出ていないものの、伝統的な稲ワラの取り扱い現場の観察から、新たな発酵法と新規菌類の発見が期待され、今後の研究の進捗が待たれる。

バイオエタノールおよびバイオガスの高効率・省エネルギーな分離精製技術の開発については、エタノール直接吸着分離に分子篩活性炭を用いた手法を更に検討している。発酵液を直接またはバブリングした気相蒸気を独自に試作した特別な活性炭が充填された固定層吸着塔に流通することによって活性炭のマイクロ細孔内にエタノールを吸着させた後に、真空脱着操作及び加温によりマイクロ細孔中のエタノールを脱着回収するプロセスである。現在は、水とエタノールの混合物を模擬発酵液として試験を行い、エタノールを選択的に分離回収する事に成功している。また、小型の家電型の圧カスイング吸着法（PSA）装置の設計を進めるとともに、現地で入手可能な安価な吸着材として竹炭の利用の研究を進めており、市販のMCSと比較すると性能は劣るものの、小型PSAには十分に利用可能なMSCの作成にも成功している。

#### 4-2. 国際共同研究の実施体制について

日本側研究代表者およびベトナム側研究代表者を中心に、参画研究者や現地関係者が、共通の目標に向かって日常的に緻密に情報交換を行い、調査研究を効率的に遂行する体制が整っている。特に、共同研究の運営および進捗報告に関する会議を四半期に1回程度、現地にて開催する体制を整備していることが、情報共有ならびに情報交換の場としてうまく機能している。また、現地のパイロット施設についても、日本側研究者による協力のもとベトナム側メンバーのオペレーションにより行われており、その過程の中で、関係者間の情報や意見の交換が活発である。また、年に1回程度の頻度で公開シンポジウムを開催するなど、研究参画者のみならず、本研究に関心を有する関係者や相手側行政機関への働きかけも十分に行われている。

2012年12月に完成予定のタイミー村でのバイオガスのデモンストレーション・プラントが稼働すれば、プロジェクトにて、ベトナム側に供与される機材の整備は、ほぼ完了する。ベトナム側もプラント建屋建設等の費用負担をし、期待が高かったことからわかるように、プロジェクトで供与された機材や設備は、研究活動の中で、頻度高く、有効に活用されている。今後は、ベトナムに設置したプラント等を稼働していく中で発生するトラブル、技術や運用面での課題などを日本側による協力のもと対処していくことになる。

本プロジェクトでは、生物資源を取り扱うものの、地産地消型バイオマス利活用システムの設計を念頭

に活動を進めているため、現時点では両国での生物資源由来の試料等の交換を行っていない。今後、取扱いがあった場合でも、生物資源の移転等の取極め等を明確にしているので問題はないと思われる。その他、タイミー村でのプラントの設置等についても、相手国側による社会環境配慮の下に適切に実施されている。

#### 4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

工学研究、環境研究、地域社会研究、農学研究などの複合的な観点から、地域バイオ資源を循環利用し、生活に必要な燃料・エネルギーをその全てではなくとも地産地消するシステムを開発、実証する研究の方向性やアプローチは優れている。特に、システムの設計手法の確立と具体的な実証プラントの構築を通して、現地の状況・条件に適したバイオマスの有効活用の理念と手法の浸透・定着を実現するという基本的なねらいに沿って、要素技術やシステムの継続的な開発を考慮し、将来の技術革新なども想定して組み込むべき技術を「モジュール化」することや、様々な機会を活用して関係者への情報提供や意識改革へ取り組む研究の進め方は評価できる。

上記の研究のアプローチ自体の在り方のみならず、本研究のアプローチから発生する個々の科学技術的成果の一部は、日本における地産地消型のバイオマス利活用システムの設計にも役立つものと思われる。そのためにも、これらシステム設計のアプローチ手法あるいは個々の技術についても、知的財産権などの形で残るような取組も期待したい。

日本側の人材育成についても、現地のプラント運転などの中で、日本の大学院生や若手研究者が現地に滞在し研究することで、中核的な役割を果たすなど、日本側の人材の育成への貢献が見られるとともに、日本側研究代表者をサポートするようなサブリーダークラスの若手日本人研究者がプロジェクト運営の一部を担うことで、国際共同研究運営面でも活躍していることは、評価できる。

#### 4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

ベトナムにおけるバイオマス利活用推進は、農村部を含めた近年のエネルギー需要の増加に伴い、政策上でも重要になってきている。本プロジェクトでは、単にパイロットプラントと同様の施設を各地に建設するような形での普及をねらっておらず、パイロットプラントでの実証とそれを活用した発信によって、地域的なバイオマス管理の理念と手法を普及させようという考え方は、現地の地域社会、行政や関係者による「持続的な」システムの普及を確実なものとすることに貢献すると思われる。したがって、今後も本プロジェクトの研究が継続して研究される見込みは高い。

バイオエタノール生産パイロット研究プラントの運転は、ベトナム側のオペレーションにより行われている。ホーチミン工科大学内に設けられていることから、継続して参画する現地の研究者・学生等の独自の研究活動の展開に繋がると期待できる。特に、本プロジェクトでは、日本、ベトナムいずれにおいても若手研究者が積極的に参画しており、彼らを通じた研究発展が期待できる。

また、ホーチミン市工科大学内では、すでにパイロットプラントから生産されるバイオエタノールでバイクを試験的に走らせており、システムが本格稼働に至れば、その効果も大きいと期待される。持続性の確保には、同大学やタイミー村での実証が必須であり、また政策への反映には、相手国ステークホルダーのサポートを得る必要があるため、この取組の強化が望まれる。加えて、ベトナムのみならず、東南アジア地域からも、研究者やマスコミなどからも、本パイロット施設の見学が行われていることに鑑み、東南アジアにおける地産池消型のバイオマス利活用のモデルケースになることも大いに期待される。

#### 4-5. 今後の課題

(1) システムの普及には、パイロットプラントを含めて、理念や計画の経済的な評価は欠かせない。この評価をも踏まえて、「持続可能なシステム」の要点や要件を明確にすることを期待したい。

(2) 地域的なバイオマスのフローにおける、開発システムの位置づけや影響をきちんと評価しようとする方向は適当である。準備されているモデルを活用して、早期に第1段の評価をすることも期待したい。

(3) 建設されたプラントを有効に活用することを中心において、各サブグループの連携を一層強化することを期待したい。

(4) システムを構成する要素をモジュール化して進めようとしているのは、評価できる。発酵技術については、国内外の多くの研究機関がしのぎを削っており、画期的な技術が開発される可能性があるため、それらをいつでも取り込める体制にすることが望ましい。

(5) 発酵残渣や消化液をそれぞれ家畜飼料や作物生産、特に稲作に利用する計画であるが、試験には飼料価値の分析と家畜の生長(増体)の解析、あるいは植物養分含量の分析と作物の生育との関係を明らかにして飼育指針や栽培指針を示すことが、この技術の受容性を確保する上で重要である。また、技術受容と持続性の確保のためには、地域バイオ資源賦存量やそのフローの全体並びにエネルギー資源の循環等を社会経済的に把握することが重要であるため、今後はこれら2分野の研究体制を強化し、現地における農業技術や社会経済上のフィジビリティスタディーを行って、現地に適応した技術とすることが望まれる。

(6) 本プロジェクトの目的とは異なるが、タイミー村に設置予定のデモンストレーション・プラント向けに設計している「バイオマス炭化・発電複合プロセス」などを例とした、設置されたプラントからどのように新たな研究開発が発展していくべきかという道筋をプロジェクト終了までに示すとともに、本プロジェクトの研究成果を日本あるいはベトナムによる産学官へ発信するなど、今後の研究開発の予算獲得に向けたアピールにも積極的に取り組んでほしい。

以上

付随的成果	
技術の普及	<ul style="list-style-type: none"> <li>現地および日本における民間企業や研究機関などを対象とした研究成果のセミナー開催。</li> <li>現地で構築・運転するパイロット試験施設が農業を産業基盤とする途上国等からの視察・見学・意見交換等の場となる。</li> </ul>
日本のプレゼンスの向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベトナム-日本の協力体制の確立。現地の理解が得られやすい「科学技術外交」であるため。</li> <li>ベトナム以外の農業を産業基盤とする途上国等とも類似の関係が構築されることによる、アジアにおけるわが国の環境・エネルギー問題に関する大きな貢献。</li> </ul>
特許出願・知的財産管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>共同研究を通じて得られた知的財産についての特許の取得</li> <li>関連する知的財産に関し守秘義務協定や技術移転協定等の知財管理を行う</li> </ul>
レビュー付雑誌への掲載	<ul style="list-style-type: none"> <li>査読付き論文誌への掲載数 (テーマ例: Gas Phase Adsorption of Bioethanol from Whole Fermentation Broth)</li> </ul>
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベトナム側研究者などの研修によるスキルアップ</li> <li>日本側の若手研究者の人材育成</li> </ul>
他地域、他国への展開	<ul style="list-style-type: none"> <li>水田などの農地の食料生産機能を維持する重要性をワークショップ開催等により他国に展開する。 (国際的な食料供給能力の確保のみならずアジア地域の水環境保全、生態系保全の観点から重要。)</li> </ul>

