

# 地球規模課題対応国際科学技術協力

(生物資源研究分野「生物資源の持続可能な生産・利用に資する研究」領域)

## 持続可能な地域農業・バイオマス産業の融合

(ベトナム社会主義共和国)

平成 25 年度実施報告書

代表者: 迫田 章義

国立大学法人東京大学生産技術研究所 教授

<平成 21 度採択>

## 1. プロジェクト全体の実施概要

本プロジェクトは相手国をベトナム社会主義共和国(以下ベトナム)とし、将来的にはベトナム側が主体となって運営、維持、管理、さらには発展させられる持続可能な地域農業・バイオマス産業の融合の姿を示すこと、また、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および関連要素技術を整備することをねらいとし、平成 21 年度より実施されている。

地域農業と融合したバイオマス産業として、主に稲わらからのバイオエタノール生産と家畜排せつ物からのバイオガス生産を中軸とする事業を想定し、この実証プラントをホーチミン市工科大学構内およびホーチミン市郊外のタイミー(Thai My)村に構築し、研究拠点とする。バイオマスの物質変換・エネルギー変換の基礎となるバイオ研究、要素技術の開発やプロセス・システムの構築を行う工学研究、農地や地域社会でのフィールド調査・分析に基づく環境研究、それぞれを担当するグループの有機的な連携のもとで進める。

上記の全体計画において、平成 26 年3月時点において実施されている項目を以下に記す。

1) バイオエタノール製造パイロットプラントがホーチミン市工科大学構内に導入された(平成 23 年 1 月完成)。実際の運転を通し現地オペレータに対して運転技術の指導を行うとともに、ノウハウや基礎データの蓄積を進めている。運転条件の変化がエタノール収率などの物質とエネルギー収支にどのような影響を与えるかなどを調べることで運転条件の最適化を行った。さらに、ベトナム食品生産工程からの副産物や残渣におけるエタノール生産工程に用いられる栄養源としての適合性を評価している。

2) タイミー村において、バイオガス実証プラント建設地および農地還元試験に用いる試験水田を確保して、地域住民への説明会、自治体への手続き等を経て、実証プラントは平成 24 年 4 月に着工し、12月にはすべての機器が設置され、平成 25 年 1月の完成と共に試験運転が始まった。4月からの実証運転の際はホーチミン市工科大学構内に導入されたバイオエタノール製造パイロットプラントと同様にオペレータに対して運転技術の指導を行うとともに原料となるバイオマスの種類がプロセスにどのような影響を与えるかなど検証を行っている。また、試験水田においては、平成 23 年秋から稲の試験栽培を開始し、データの収集・分析を実施している。

3) 実証研究のフィールドとなるタイミー村(ベトナム南部・都市近郊型農村)に加え、ロンアン(Long An)省ミーアン(My An)村(メコンデルタ地域の農村)およびラムドン(Lam Dong)省カド(Kado)村(高地の農村)において地域社会の調査を実施した。それぞれの地域の特徴とバイオマス利活用のポテンシャルについて評価し、そのデータの基で、実現可能なベトナム式バイオマスタウンのモデル化を進めている。

4) 日本側およびベトナム側双方の工学、バイオ、環境の各研究グループにおいて、目的とするシステムを具現化するための種々の要素研究を実施している。またその成果について、学会発表、論文投稿等を通じて発信している。

## 2. 研究グループ別の実施内容

### 2.1. 東大生研グループ

#### ①研究のねらい

ベトナム南部において、食料とエネルギーの同時生産、環境対策および地域活性化に資する、地産地消型の持続可能な農業・バイオマス産業のシステム化を図り、実証規模で構築・運営・検証するという本プロジェクトの目的を達成するため、地域システムの設計・評価、バイオマス産業の中核となるバイオマスリファイナリープロセスの構築およびプロセスを構成する要素技術の開発・体系化に関する各課題を有機的に連動させながら一貫した体制で実施する。

#### ②研究実施方法

##### 1) システムの設計・評価

いくつかの具体的な農村地域を対象に、地域分散型バイオマス利活用のモデルシナリオを設計し、それぞれの地域にバイオマス産業を組込んだ場合の物質およびエネルギーフローの分析・評価を行う。地域レベルでのバイオマス利活用については「バイオマスタウン」の考え方を基本とし、当グループが所有する「バイオマスタウン設計評価ツール」(以下、ツール)を用いて各種の検討を進める。ここでは、ベトナムにおけるバイオマスタウンのツールを用いた設計および評価手法の確立、地域の特性に応じたモデルシナリオの作成およびシステム化、それらを支える基礎データ(地域の情報やバイオマス利用技術の情報)の収集・整理を行う。地域データの収集は、農工研グループの課題と密接に連携しながら実施する。

##### 2) プロセスの設計・構築・運転

上記のような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、その検証を行う。要素技術開発と連携したパイロット試験を HCMUT キャンパス内に設置されるパイロット設備で実施するとともに、農村フィールドである Thai My 村での地域実証試験との連携を展開する。エネルギー収支や経済性に加え、環境影響の側面からも持続可能な導入・運転・運用方法の提案を念頭に、プロセスの性能評価試験、長期運転データの集積、原料の確保から生産される製品の利用まで一貫した運用モデルの検証を実施する。限られた研究期間の中で目に見える成果を出すため、主に稲わらからのバイオエタノール生産および家畜排せつ物からのバイオガス生産の複合化に的を絞って取り組む。

##### 3) 要素技術の開発・体系化

小規模バイオエタノールプロセスの課題となる生成物の効果的な分離・精製法として、エタノールの非蒸留・直接吸着分離に関する技術を開発する。また、農学生命科学グループと連携し、現地の微生物を利用したスロー前処理(脱リグニン)、スロー糖化発酵技術の確立に資する研究を進める。一方、個人農家レベルでもバイオガスを有効に利用できる仕組みを確立するため、安価かつ簡便なバイオガス分離精製装置(家電型バイオガス利用技術)を開発する。

#### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

##### 1) システムの設計・評価

設計・評価の対象として、ベトナム南部の都市近郊型の農村である Thai My 村、メコンデルタ地域の Long An 省 My An 村、中部高地の Lam Dong 省 Kado 村を選定した。Thai My 村は、バイオガスを中心とするプロセスの実証試験サイトや稲作試験フィールドでもある。当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」

を利用して、Thai My 村における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実施している。上記の3村における聞き取り調査にも重点を置き、その結果にもとづいて、設計評価支援ツールで用いるデータベースの拡充を図っている。また、現地の設計に必要な、バイオマス資源の調達コストや各種バイオマス資源化プロセスに関する技術データやコストデータの収集を進めた。これらの基礎データやシナリオモデルを用いて、物質・エネルギーのフローや環境影響に加え、経済性の評価への展開について検証を実施している。

## 2) プロセスの設計・構築・運転

平成 23 年 1 月に完成したバイオエタノール製造パイロットプラントにおいて、実際の稲わらからのエタノール生産に着手した。このパイロットプラントにおけるエネルギー及び物質収支についてのデータ収集を開始した。また、ラボおよび国内パイロットプラントでの運転試験を引き続き行い、バイオマスの前処理、糖化・発酵、炭化・ガス化炉式バイオマスボイラー運転について、わが国におけるデータの収集を行った。エネルギー収支を測定する上で必要となるデータシートを整理した。なお、バイオマス前処理技術として、現状のパイロットプラントで採用している水酸化ナトリウムによるアルカリ処理は現状で利用可能な技術のなかでは最も確実な方法のひとつであるが、薬液のコストや排水処理などの問題が残る。膨張軟化処理とアルカリ処理の組み合わせの効果を定量的に検証し、前処理の効率化に資する知見の集積を引き続き行いながら、さらに、平成 25 年度はアルカリ排水の量を減らすためアルカリ排水のリサイクル利用の可能性を評価した。平成 24 年 2 月にはプラント納入後の年次点検に併せて、1 年間の運転に際して判明した技術的な問題点を整理した。また、現在エタノール発酵を行うに際して栄養源として、フランスより輸入したコーンステープ末を加えているが、平成 25 年にはベトナム側は食品加工副産物や残さなど、日本側は米ぬかなどを現地で入手可能な安価な栄養源と想定し、その適合性についての評価をラボおよび小型反応機にて行った。

バイオガス生産と木質バイオマス利用を軸とするデモンストレーションプラントについてベトナム側と協議の上、設計を確定し、Thai My 村に用地を確保し、平成 24 年 4 月に工事が着工した。12 月にはすべての機器が設置され平成 25 年 1 月に完成した。4 月からは本格的な実証実験を行い、プロセスにおける重要な因子の評価や物質・エネルギー収支データの収集を行った。9 月にはバイオエタノール製造パイロットプラントと共に中間点検を行った。

また、プラント残さの農地還元などの研究も想定した試験用の水田も周辺に確保し、それぞれ必要な手続きを進めるとともに、これら一連の研究についての住民説明を行った。水田に関しては、バイオガス生産余剰残渣の液肥還元を検討しているが、これに先立ち、比較対象として慣行農法による稲作を行っている。

## 3) 要素技術の開発・体系化

エタノール直接吸着分離である分子篩活性炭を用いた手法についてさらに液相吸着および気相吸着の両方法について検討を進めている。本手方は、発酵槽中で気液平衡によって液相部分から気相部分に移行するエタノール-水混合蒸気を、分子ふるい吸着剤に吸着させることによって細孔内にエタノールを選択的に濃縮し、エタノールと水蒸気を分子ふるい吸着剤からの脱着速度差を利用して脱着時にエタノールを更に高度に濃縮するプロセスである。5%程度のエタノール水溶液から吸着剤の中にエタノールを 98%まで濃縮し、吸着されたエタノールの内約 90%を回収することに成功している。平成 25 年には吸着剤のスクリーニングで選定したモルシーボン 5A (細孔系:5 Å)でプロセスの最適化を行った。吸着相エタノールの濃度は吸着工程温度の上昇と共に上がるが 45 度程度で吸着相エタノールの量は最大になることが明らかになった。十分な最終エタノール濃度

と回収率を得るためには脱着における圧力と温度を同時に制御する必要があることが分かった。実際稲藁からのエタノール発酵液を用いたテストでもエタノール水溶液を用いた実験と同程度の性能(最終エタノール濃度と回収率)が得られたことから本手法が有効であることが明らかになった。

一方、家電型バイオガス技術について、小型の 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に着目し、その評価を行った。その結果、予備検討で日本国内産の竹を用いた結果、温度などの炭化条件をコントロールすることで、特殊な処理を行うことなく分子篩活性炭(MSC)に相当する吸着材を作成できるという結果を得た。この吸着材は市販の MSC 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であると評価された。また、ベトナム産竹類から得られた活性炭について、炭化温度及び竹の部位による分子篩性能の評価を行った。その結果、ベトナム産の竹炭は日本国内産の竹炭に比べ二酸化炭素吸着選択性がやや低いもののバイオガス分離用の吸着剤として利用可能であることが分かった。平成 25 年からはホーチミン市工大に設置した家電型バイオガス分離装置を用いたラボ試験に加えてバルブ操作などが簡略された小型家電形 PSA 装置を Thai My 村に設置し家畜排泄物からのバイオガスを用いた実証試験を行っている。

バイオガスの利用では、含まれる硫化水素( $H_2S$ )を除去することが望ましいが、これに対しては、ベトナムで安価に入手できる廃棄物系等吸着剤を用いた除去技術の開発を進めている。まず酸化鉄系脱硫剤について検討した。酸化鉄系脱硫剤は低温では脱硫性能が落ちることが知られているが、脱硫プロセスの経済性を考えると高温操作は望ましくないため低温でも成り立つプロセスを提案するためには酸化鉄系脱硫剤における低温脱硫メカニズムを明らかにする必要がある。そのため、脱硫剤の比表面積、ガス中の酸素と硫化水素の濃度が低温脱硫に及ぼす影響を調べたところ、比表面積、硫化水素が高いほど脱硫速度は速かったが酸素濃度は脱硫速度に影響はないことが分かった。脱硫後の脱硫剤の構造を分析し  $\alpha-S_8$  が主な脱硫産物として脱硫剤の表面に付着されていることが分かった。脱硫速度解析からは脱硫剤 ( $\alpha-Fe_2O_3$ ) の表面に存在する S の量が脱硫速度を支配する因子であることも明らかになった。さらに、平成 25 年度の研究からは初期脱硫反応における反応速度の急減は脱硫反応の微量産物である  $SO_4^{2-}$  による脱硫剤反応サイトへの被毒効果その原因であることが提案された。

なお、活性炭と廃棄物系吸着剤に関する研究開発は、ベトナム側とも連携して同時に進行している。稲わらのスロー前処理研究の一環として、ベトナムで主に食用とされているフクロタケ廃菌床のバイオマス資源利用の可能性に着目し、これについて東大農学生命科学グループと連携し、サンプリング及び性状分析とフクロタケの実験室栽培条件の検討に着手し、日本において行われている屋内フクロタケ栽培農家を視察するなど、研究上必要な情報の収集に努めた。

#### ④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

パイロットプラントの本格稼働に伴い、各オペレーション時には、テレビ会議システムなどを通し、密な情報共有を心掛けている。特に前処理、糖化発酵、蒸留、バイオマスボイラーによる熱源供給を一貫して行うオペレーションでは、日本より専門家を派遣し共に行うことで、安全なオペレーション及びデータ収集に関するノウハウなどを伝えている。また、メンテナンスやトラブルシューティングをはじめ、プラントの運用全般の指導を行っている。平成 25 年度から本格的に Thai My 村で行われている炭化ガス化発電運転や家電形 PSA を用いたバイオガス純化運転も日本側との十分な意見交換の上で日本より派遣した専門家と共に研究活動を進めている。また、ベトナム側研究者が学会における成果発表のために訪日した際、日本側の測定システムの視察をしてもらう事で、測定技術などに関する理解を図った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況 H25年度は特になし。

## 2.2. 東大農学生命科学グループ

### ①研究のねらい

地域におけるバイオマス資源から現地完結型かつ持続可能型のバイオ燃料生産システムを構築するため、主にバイオ処理による効率的・省エネ的な前処理法および副生物利用法の確立に資する研究を行う。

### ②研究実施方法

#### 1) 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

ベトナム国内の各種試料より、セルラーゼ活性を有する嫌気微生物を取得し、そのセルラーゼの性質等を明らかにする。リグニンやセルロースを分解する活性を持つ好気性微生物を、稲わら等のバイオマスに植菌し、保存中のバイオマス成分の変動、分解酵素活性の挙動、酵素糖化されやすさ等を追跡する。

#### 2) バイオ燃料、機能付加飼料・肥料、高付加価値物質の生産

ベトナムの微生物(群)を用いた効率的な発酵残渣等の堆肥化を行う。また、ベトナム産乳酸菌を用いた飼料化の可能性を探る。

### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

#### 1) 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

セルラーゼ生産菌の集積培養と分離操作を現地で実施できるように体制を整備し、セルロース分解能(セルロース分解酵素生産性)を有する好熱性・耐熱性の嫌気性菌の検索を進めた。なお、安定的な集積源を得るために、日本側にノウハウのある、稲わらコンポスト作成技術の応用を検討した。

リグノセルロース分解能の強いと考えられるカビを、稲わらを基質として培養、その稲わら分解能、培養後の稲わら成分の変化、各種バイオマス分解酵素活性等を調べた。また、リグニン分解能を有する菌と、セルロース分解能を有する菌の共培養にて、リグニン分解能(ラッカーゼ活性)の顕著な増加が確認された。この際、両者を最初から共培養するよりも、最初リグニン分解能を有する菌のみ培養し、培養開始後 20 日経過した後にセルロース分解菌を添加する方が、リグニン分解能が高まることが判明した。この共培養法により、培養液中のリグニン分解能(ラッカーゼ活性)は約 20 倍に増加した。現在、このような基礎研究における新たな知見を集積している。現地の微生物を利用した前処理技術・糖化技術(スロー前処理・スロー糖化)についての考え方、技術開発の進め方、問題点の抽出などのまとめるとともに、稲わら等のバイオマスの安定保管技術として現地の有用微生物の利用、すなわち発酵型の貯蔵について検討を実施した。

#### 2) バイオ燃料、機能付加飼料・肥料、高付加価値物質の生産

現地調査、情報交換、意見交換を通して、ベトナムにおける堆肥化、飼料化の状況を把握した。また、日本国内において、バイオマス堆肥化の試験を実施した。具体的には、アルカリ処理を行った稲わらを、pH を戻すことなくそのまま堆肥化することを試みた。この堆肥化が可能となれば、pH を戻すための酸を使わずに済み、ベトナムにおいて有用な技術となることが期待される。

##### ・対象とする堆肥の区分

分解・堆肥化試験は、稲わらをアルカリ処理した堆肥(以下、アルカリ処理堆肥という)と、対照として一般的な農家が行っている方法を用いた堆肥(以下、通常堆肥という)を対象に試験を行った。

### ・堆肥場の設置

堆肥場は、屋外にアルカリ処理堆肥と通常堆肥のそれぞれの堆肥場を設置した。

1つの堆肥場は、縦 1.8m×横 1.8m×高さ 0.9m の木枠で囲い、底部に板を敷いた。また、堆肥に雨水が浸透するのを防ぐため、ビニールシート製の三角屋根をかけて空気が入る構造とした。

### ・堆肥の前処理

#### アルカリ処理堆肥

堆肥原料の稲わらは、平成 23 年に信濃町の水田でコンバインによって刈り取り、バイオマス研究実験棟内で保管していたものを用いた。この稲わらを乾燥せずに 3 つに裁断し、25kg(湿重)ずつに分けて 2 つのフレコンに詰め、それぞれ 0.8M 水酸化ナトリウム溶液 250L の入った 500L の樹脂製円形容器に沈めて、その上に重石となるようにフレコン(約 100kg)を載せた。24 時間放置した後、稲わらを引き上げて 0.8M 水酸化ナトリウム溶液を含んだ状態で堆肥原料に用いる。

#### 通常堆肥

通常堆肥の原料はアルカリ処理堆肥と同様に、バイオマス研究実験棟内で保管していたものを用いた。

この稲わらを乾燥せずに 3 つに裁断し、アルカリ処置等の前処理を行わずに堆肥の原料とする。

### ・堆肥の仕込み

#### アルカリ処理堆肥

アルカリ処理した稲わらを足で踏み固めて高さ約 20cm まで積み重ね、その上に元堆肥(市販品:発酵牛ふん)を稲わらが見えなくなる程度に薄く散布し、窒素分供給および虫除け効果のための石灰窒素(市販品)と、コイン精米機で発生したこぬかを散布した。さらに、その上に稲わらを約 20cm に積んで元堆肥と石灰窒素、こぬかを同じように加えた。添加物は、アルカリ処理した稲わら(50kg)に対して元堆肥(発酵牛ふん)38kg、石灰窒素 11kg、こぬか 12kg とした。

#### 通常堆肥

通常堆肥もアルカリ処理堆肥と同様に、稲わらを足で踏み固めて高さ約 20cm まで積み重ね、その上に元堆肥(市販品:発酵牛ふん)を稲わらが見えなくなる程度に薄く散布し、窒素分供給および虫除けのための石灰窒素(市販品)と、コイン精米機で発生したこぬかを散布した。さらに、その上に稲わらを約 20cm に積んで元堆肥と石灰窒素、こぬかを同じように加えた。添加物は、稲わら(50kg)に対して元堆肥(発酵牛ふん)38kg、石灰窒素 11kg、こぬか 12kg、水 70L とした。

### ・堆肥の管理

堆肥内部温度を測定し、記録紙に記入した。温度測定後、堆肥内部をよく混ぜ合わせて切返しを行った。

ビニールシートをかぶせた。

### ・サンプリング方法

サンプリングは、3 日目、16 日目、27 日目、35 日目、42 日目、50 日目、59 日目に行った。

サンプルは、温度測定後、測定した部位の付近を採取した。サンプルは堆肥ひとつにつき 200g とした。

サンプリングの際はビニール手袋などを着用した。

### ・バイオマス分解・堆肥化の作業結果

稲わらの裁断および堆肥場の設置は、平成 25 年 8 月 30~31 日・9 月 2 日に行った。裁断した稲わらのアルカリ処理は 9 月 3~4 日に行い、9 月 4 日にアルカリ処理堆肥と通常堆肥の仕込みを行った。分解・堆肥化試験は、9 月 4 日~11 月 1 日までの 59 日間行い、この間に堆肥の切返しを 6 回(9 月 18・30 日、10 月 8・15・23

日、11月1日)行った。アルカリ処理堆肥と通常堆肥の内部温度の変化をモニタリングした結果から、アルカリ処理後そのまま堆肥化を行っても、堆肥化そのものは十分に進捗することが判明し、本法の潜在的有用性が示された。今後は、アルカリ処理による堆肥化プロセスをさらに発展させ、菌叢の解析や菌株の分離など、微生物学的解析が必要になってくる。しかしながら、本プロジェクトの期間内で、本方法をベトナムで試みることに無理があるため、ベトナム由来の菌株は、これまでの方法により単離を続けることとしている。ベトナムにおいては、フクロタケ生産現場の微生物叢の解析とセルラーゼ生産微生物(群)の取得を鋭意進展させている。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む) 嫌気培養技術、微生物群集の分子生物学的解析技術をはじめとする各種実験技術の指導を行った。専門家を派遣してのベトナムでの指導とベトナム側研究者を日本に招聘しての研修を効果的に組み合わせ、本研究の実施に必要な実験がベトナムで確実に実施できる体制を構築した。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況  
H25年度は特になし。

## 2.3. 農工研グループ

### ①研究のねらい

ベトナム南部の農村地域(実証試験が予定されている Thai My 村、VAC システムにより特有のマテリアルフローが見られるメコンデルタ下流地域、非洪水複合農業地域、丘陵畑作地域などの中から3地域程度)を対象に、物質およびエネルギーフローの現状を調査・解析する。また、提案されるバイオマス利活用システムが、対象地域の農業、エネルギー収支、温室効果ガス排出量、水質環境等へ及ぼす影響を予測する。

### ②研究実施方法

#### 1) 農村地域における物質およびエネルギーフローの分析と設計

ベトナム南部の3か所の農村を対象地域として選定する。2)のインベントリー分析で得られた情報をもとに、バイオマス利活用の基本モデルを設計する。

#### 2) 農村地域のインベントリー分析

1)で選定する対象地域において、行政部局や農家等を訪問し、インタビュー調査により、インベントリー分析に必要な情報(人口、家畜頭羽数、家畜排せつ物量、土地利用、稲作の収量、施肥量等)を収集する。また、文献調査等により地域情報を収集する。Thai My 村においては、水質や土壌に関する具体的なデータを収集するためのフィールド調査を行う。

#### 3) 地域農業、エネルギー収支、温室効果ガス発生量および水環境等へ及ぼす影響の予測

1)で設計した基本モデルにより、バイオマス利活用の現状分析と提案システム導入によるシナリオ分析を行う。また、Thai My 村の試験圃場の水田において水稻の慣行栽培および消化液の液肥利用試験を実施し、投入資材や生産物収量等のデータを収集・蓄積する。これらの結果から、提案されるバイオマス利活用が地域農業、エネルギー収支、温室効果ガス排出量、水質環境等へ及ぼす影響を予測する。

#### 4) 活動結果のデータベース化・評価

上記 1)から 3)の結果を整理する。

### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

#### 1) 農村地域における物質およびエネルギーフローの分析および設計

ベトナム南部の3か所の農村の対象地域として、実証試験を行っている Thai My 村、VAC システムにより特有のマテリアルフローが見られるメコンデルタの My An 村、中部高原地帯のダラットの Kado 村が選定された。2) のインベントリー分析で得られた情報をもとに、バイオマス利活用の基本モデルを設計した。

#### 2) 農村地域のインベントリー分析

平成 21 年度および平成 22 年度は Thai My 村について、JICA 短期専門家の協力を得て、行政部局や農家訪問によるインタビュー調査、水質や土壌に関するデータを得るためのフィールド調査および文献調査などにより、人口、家畜頭羽数、土地利用、水利、バイオマス等に関する情報あるいは情報源情報を収集・整理し、現状の分析を行った。ベトナム国および当該地域の基本計画、バイオガスに関わる事業制度、各種基準の収集も行った。フィールド調査についてはカウンターパート機関から具体的な計画が示され、これに基づき水質や土壌に関する調査を行い、2 年間分のデータが蓄積された。平成 22 年度は My An 村、平成 23 年度は Kado 村において、JICA 短期専門家の協力を得てカウンターパート機関により類似の調査が行われた。これらにより、インベントリー分析に使うデータが現実的に可能な範囲で収集された。得られたデータは、3) の影響予測に使えるように、カウンターパート機関と協力して整理した。

#### 3) 地域農業、エネルギー収支、温室効果ガス発生量および水環境等へ及ぼす影響の予測

Thai My 村のバイオマス利活用に関わる現状の物質フローに基づき、現状では未処理のまま水域へ垂れ流しとなっている家畜ふん尿の全量をバイオガスダイジェスターへ投入し、発生した消化液を全量水田で液肥利用するシナリオを作成した。この場合、現状より水域への窒素負荷が 43%削減、農地に施用される化学肥料が 48%削減でき、地産地消型のエネルギーであるバイオガスの生産が 8 倍になるという結果が得られた。また、現在圃場に放置されている稲わらをエタノール生産に利用し、これをガソリンなどの代替燃料とする場合の、マクロな経済性および環境影響の評価を行い、技術革新と政府の補助により、稲わらからのエタノール生産が経済性および環境の両面からメリットをもたらす可能性を示した。

平成 23 年 12 月より現地の試験圃場で稲の栽培(2 期作)を開始し、稲作におけるインプット・アウトプットデータおよび現地で発生する消化液の水田における液肥利用可能性を検討するためのデータを収集・蓄積している。平成 23 年 12 月～平成 24 年 3 月の第 1 作目では、現地の慣行栽培におけるインプットおよびアウトプットに関するデータを収集した。平成 24 年 5 月～8 月、平成 24 年 12 月～平成 25 年 3 月に実施した第 2 作目および第 3 作目では、圃場内に試験区を設け、現地のバイオガスダイジェスターから採取した消化液を用いて液肥利用試験を行い、作物の生育や収量、田面水の水質や土壌の化学性について、化学肥料を用いる場合との比較を行った。平成 25 年 4 月～8 月の第 4 作目は 2 作目および 3 作目より大きな試験区を設け、圃場脇から灌漑水とともに消化液を流し込む方法での液肥利用試験を行い、流し込み施用法による肥料成分の分布具合などを調査した。平成 25 年 12 月～平成 26 年 3 月の 5 作目では、デモンストレーションプラントで発生した消化液を用いて、消化液の追肥施用と基肥施用による違いを比較している。4 作目および 5 作目では消化液の運搬と施用にプロジェクトで作成した試作機を用いた。また、これまでの水質や土壌の定期的なサンプリングに加え、GHG(メタン、二酸化炭素、亜酸化二窒素)フラックスを測定している。消化液の液肥利用に関しては、国内でもベトナムからの輸入土壌(農林水産大臣による許可申請手続きを実施)を用いたラボ試験等を実施し、土壌中の窒素動態やアンモニア揮散等に関してデータの蓄積を進めている。

#### 4) 活動結果のデータベース化・評価

上記 1)～3)のまとめと分析を進めた。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

バイオマス利活用に関わる現地調査では必要な情報を効率的に得るための手法を伝えた。現地試験圃場における調査では、稲作に関するインプット・アウトプットの情報の収集および整理手法を伝えた。

平成 24 年 4 月には現地試験圃場でのメタン発酵消化液の液肥利用試験の本格的な開始を前に、日本国内での先行事例の調査と詳細な試験計画に関する打ち合わせを行うために、同年 11 月には現地試験圃場でのメタン発酵消化液の液肥利用試験におけるフィールド調査方法と試料分析法の確認および打ち合わせを行うために、それぞれカウンターパートを招聘した。

また、現地での消化液の液肥利用試験については、稲の生育調査や土や水の定期的なサンプリング方法、収量調査方法のひとつである坪刈り調査について、現場で共同作業を行いつつ手法を伝えた。試験圃場の減水深や GHG フラックスの測定については、一部日本より機材を持ち込み、カウンターパートがこれを見本として同様のものを作成するとともに、これらを用いて現場で測定方法の確認を行いながら共同で調査を行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

1) 現地での液肥利用試験において、プロジェクトで作成した試作機を用いて消化液の運搬および施用を実施することになった。

2) 現地での液肥利用試験において、圃場からの GHG フラックスの測定を試行することになった。

### 3. 成果発表等

#### (1) 原著論文発表

① 本年度発表総数(国内 3 件、国際 5 件)

② 本プロジェクト期間累積件数(国内 4 件、海外 13 件)

③ 論文詳細情報

- 1) Dong-June Seo, Hiroataka Fujita and Akiyoshi Sakoda, Effects of A Non-ionic Surfactant, Tween 20, on Adsorption/Desorption of Saccharification Enzymes onto/from Lignocelluloses and Saccharification Rate, Adsorption 17, 813-822, 2011
- 2) Hiroataka Fujita, Qingrong Qian, Takao Fujii, Kazuhiro Mochidzuki and Akiyoshi Sakoda, Isolation of Ethanol from Its Aqueous Solution by Liquid Phase Adsorption and Gas Phase Desorption Using Molecular Sieving Carbon, Adsorption 17, 869-879, 2011
- 3) Dong-June Seo, Hiroataka Fujita and Akiyoshi Sakoda, Structural Changes of Lignocelluloses by a Nonionic Surfactant, Tween 20, and Their Effects on Cellulase Adsorption and Saccharification, Bioresource Technology 102 (20), 9605-9612, 2011
- 4) 藤井隆夫, 望月和博, 小林伸一, 迫田章義, 熱重量解析による迅速簡便なリグノセルロースの成分分析, 廃棄物資源循環学会論文誌 22 (5), 293-297, 2011
- 5) Dong-June Seo, Hiroataka Fujita and Akiyoshi Sakoda, Numerical analysis of the impact of structural changes in cellulosic substrates on enzymatic saccharification, Bioresource Technology 118, 323-331, 2012
- 6) Quyen Huynh and Tuan P Dinh, Study on the H<sub>2</sub>S removal from biogas by red mud as an adsorption material, Journal of Science and Technology, Vietnam, 50, N0. 1C, 2012

- 7) Ngo Duc Duy, Dao Thi Thu Hien, Hoang Quoc Khanh, Nguyen Thi Tuong Vi, Pedro Mannix, Chihaya Yamada, Kouji Yoshida and Yasuo Igarashi, Bacteria community analysis of compost by denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) method, Vietnam Journal of Biology 34, No 3SE, 2012
- 8) Le Van Nhieu, Takao Fujii, Akiyoshi Sakoda, Phan Dinh Tuan, Mai Thanh Phong. Molecular sieving carbons prepared from Vietnamese bamboos for biogas separation PSA. *Journal of Science and Technology, Vietnam* – Vol. 50, No. 3A, 113-119 (2012) –ISBN/ISSN: 0866-708X
- 9) Yoji Kunimitsu and Tatsuki Ueda, Economic and environmental effects of rice-straw bioethanol production in Vietnam, Paddy and Water Environment 11, 411-421, 2013
- 10) Fumiko Oritate, Yoshito Yuyama, Masato Nakamura, Masaru Yamaoka, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, Akiyoshi Sakoda and Kazuhiro Mochidzuki, Regional Diagnosis of Biomass Use in Thai My Village, Vietnam, Technical Report of National Institute for Rural Engineering (農村工学研究所技報), 214, 135-162, 2013
- 11) Hui Wang, Kazuhiro Mochidzuki, Shinichi Kobayashi, Hatsue Hiraide, Xiaofen Wang, Zongjun Cui, Effect of Bovine Serum Albumin (BSA) on Enzymatic Cellulose Hydrolysis, Applied Biochemistry and Biotechnology, 170 (3), 541-551, 2013.
- 12) Tran Phuoc Nhat Uyen, Vu Le Van Khanh, Nguyen Dinh Quan, Le Thi Kim Phung, Phan Dinh Tuan, Kazuhiro Mochidzuki, Shin-ich Kobayashi, Dong-June Seo, Akiyoshi Sakoda, Energy balance of Small-scale Biorefinery System, Japan society of environmental science (環境科学会誌), 26 (6), 489-496, 2013.
- 13) Ngo Duc Duy, Hoang Ngoc Phuong Thao, Hoang Quoc Khanh, Nguyen Thi Nguyen, Phan Dinh Tuan, Makoto Ato, Chihaya Yamada, Kouji Yoshida, Yasuo Igarashi, Use the PCR-DGGE method for bacteria community analysis in rice straw using the mushroom cultivation at Lai Vung, Dong Thap Province, Journal of Science and Technology, (Vietnam), 2013 (In press)
- 14) Tran Duy Hai, Tran Thi My Dung, Phan Dinh Tuan, Takao Fujii, Akiyoshi Sakoda, Mai Thanh Phong. Molecular sieving carbons prepared from Vietnamese melaleuca wood for biogas separation PSA. *Journal of Science and Technolog, Vietnam* – Vol. 51, No. 5B, 243-247 (2013) –ISBN/ISSN: 0866-708X
- 15) Fumiko Oritate, Masato Nakamura, Masaru Yamaoka, Yoshito Yuyama, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Duy Khanh, Trial use of methane fermentation digested slurry at paddy field in southern Vietnam –Evaluation from fecal contamination, nitrogen load and fertilization effect–, Journal of Science and Technology, Vietnam, 51(5C), pp.286-292, 2013
- 16) 折立文子, 中村真人, 山岡賢, 柚山義人, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Duy Khanh, 迫田章義, ベトナムの水田における消化液の液肥利用効果と窒素流出負荷, 環境技術 42 (12), 727-731, 2013
- 17) L.V.K. Vu, P.N.U. Tran, T.K.P. Le, D.J. Seo, D.Q. Nguyen, K. Mochidzuki, D.T. Phan, Agriculture residues as alternative supplemental nutrients for bioethanol fermentation process from rice straw, *Journal of Science and Technolog, Vietnam* – Vol. 51, No. 5B, 32-36 (2013) –ISBN/ISSN: 0866-708X

**(2) 特許出願**

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0件、海外 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) 東大生研グループ(システム・プロセス設計および要素技術の開発と体系化)**

① 研究者グループリーダー名： 迫田 章義 (東京大学生産技術研究所・教授)

**② 研究項目**

## 1) システムの設計・評価

農村地域における物質およびエネルギーフローの分析および設計

農村地域のインベントリー分析

バイオマス利活用が地域の農業、エネルギー収支、温室効果ガス排出量、水質環境等へ及ぼす影響の予測結果のデータベース化・評価

## 2) プロセスの設計・構築・運転

ホーチミン市工科大学におけるバイオマスリファイナリー試験プロセスの構築と運用

パイロットプラントを用いた農村におけるバイオマスリファイナリーの開発と実証

実用プロセスの構想明示

## 3) 要素技術の開発・体系化

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

バイオ燃料、機能付加飼料・肥料、高付加価値物質の生産

バイオマスリファイナリーにおける新規分離技術の開発

開発技術を体系化(システム化)

**(2) 「東大農学生命科学」グループ (小規模バイオマスリファイナリーにおける生化学処理技術の構築)**

① 研究者グループリーダー名： 五十嵐泰夫 (東京大学大学院農学生命科学研究科応用微生物学研究室・教授)

\*H25 年度より： 石井正治 (東京大学大学院農学生命科学研究科応用微生物学研究室・教授)

**② 研究項目**

1) 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

2) バイオ燃料、機能付加飼料・肥料、高付加価値物質の生産

**(3) 「農工研」グループ(バイオマス利活用が農業と環境へ及ぼす影響の解析)**

① 研究者グループリーダー名： 柚山義人 ((独)農研機構農村工学研究所資源循環工学研究領域・首席研究員)

**② 研究項目**

1) 農村地域における物質およびエネルギーフローの分析および設計

2) 農村地域のインベントリー調査

3) バイオマス利活用が地域の農業、エネルギー収支、温室効果ガス排出量、水質環境等へ及ぼす影響の予測

4) 活動結果のデータベース化・評価

以上