

地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS)

分野・領域

「生物資源の持続可能な利用に資する研究」

課題・案件名

「持続可能な地域農業・バイオマス産業の融合」

(相手国: ベトナム社会主義共和国)

## 終了報告書

期間 平成21年10月～平成26年9月

代表者氏名: 迫田 章義

(所属、役職)

東京大学生産技術研究所、教授

## § 1 プロジェクト実施の概要

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 年度より実施された。

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た。

上記の全体計画において、現時点において実施された項目を以下に記す。

1) バイオエタノール製造パイロットプラントをホーチミン市工科大学(HCMUT)構内に導入した(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た。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、前処理で使用する酸・アルカリの削減に関する試験やベトナム食品生産工程からの副産物などをエタノール生産工程に用いられる栄養源として代替する際の適合性の評価などに関する工学的研究を実施した(図 1.1)。

2) タイミー(Thai My)村において、バイオガス発電・バイオマス炭化ガス化発電のデモンストレーション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、平成 24 年 4 月にデモンストレーションプラントの建設に着工し、同年 12 月にはすべての機器が設置され、平成 25 年 1 月の完成と共に運用を本格的に開始した。本プラントでは、HCMUT 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、同年 4 月からの実証運転の際、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の検証を行った(図 1.2)。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、現地稲作周辺のデータの収集・分析を行うとともに、メタン発酵消化液の利用に関する試験を実施した(図 1.3)。

3) 実証研究のフィールドとなる Thai My 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、実現可能なベトナム式バイオマスタウンの提案について検討した(図 1.4)。

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た。また学術成果について、学会発表、論文投稿等を通じて発信した(図 1.5)。



図 1.1 バイオエタノール製造パイロットプラント(HCMUT 研究プラント)



図 1.2 バイオガス発電・バイオマス炭化/発電実証プラント  
(Thai My デモンストレーションプラント)



図 1.3 試験水田における稲栽培の様子



図 1.4 ラムドン省カド村調査時の様子



§ 2. プロジェクト構想(および構想計画に対する達成状況)

(1) 当初のプロジェクト構想

プロジェクトの背景

相手国であるベトナムは工業国化に向けた一層の経済・社会開発をめざしていくこととしている。この目標に向けた経済・社会の持続可能な発展を確保していくためには、途上国に共通する①食料生産機能の確保・維持、②エネルギーの確保、③温室効果ガス排出削減による地球温暖化対策、および地域の気候・水環境保全・改善、④経済発展に伴う都市部と地方(農村)の所得・生活格差と貧困への対策(農村地域の活性化)等の課題を包括的に解決するシステムを築いていく必要があろう。これらの課題の解決策として、持続可能な方法でバイオ燃料・資材を生産・消費(地産地消)するシステム(図2. 1)の提案を目指した。

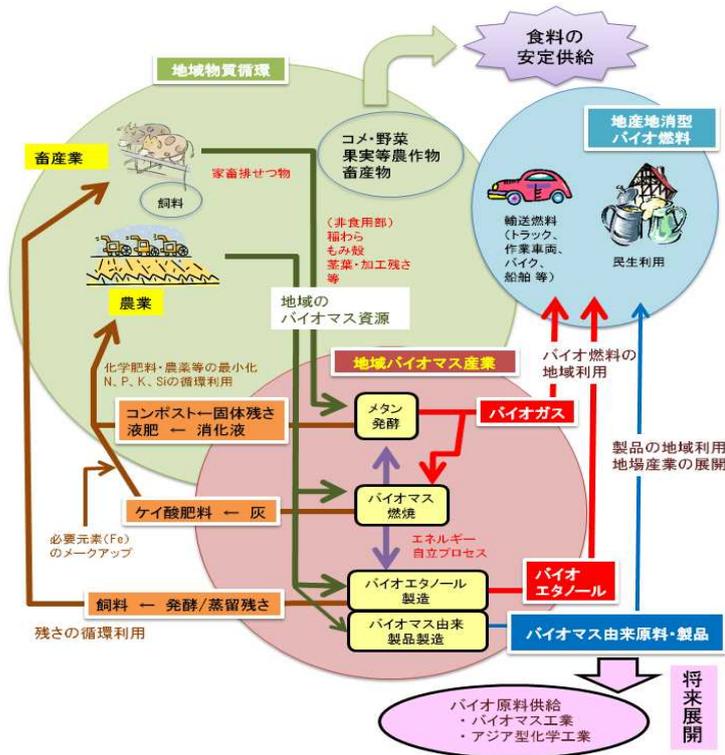


図2. 1 持続可能な地域農業・バイオマス産業融合システムにおけるバイオマス由来燃料・資材の地産地消

本提案システムでは水稻作を中軸とする複合的な1次産業の食料生産機能を維持・拡大しつつ(課題①の解決策)、その副産物・廃棄物等を中心とする地域のバイオマスを、地産地消型バイオ燃料・資材の原料として利活用することで化石燃料・資源への依存を抑制でき(課題②の解決策)、同時に二酸化炭素の排出削減となる(課題③の解決策)。また、水田などの農地の食料生産機能を維持することは、国際的な食料供給能力の確保の意味からも(課題①の解決策)、アジア地域の水環境保全、生態系保全等の意味からも(課題③の解決策)、極めて重要である。また、本研究の最終的な目標である「持続可能な地域農業・バイオマス産業融合」は、農村の持続的な活性化にとって大きな対策であると考えられる(課題④の解決策)。この背景の上で本研究の目標を示した。

プロジェクトの目標

地域ごとの特徴を理解した上で、農業副産物・廃棄物等からバイオ燃料・資材等を生産・消費する地産地消型バイオマス利活用システムを設計・構築し、その具現化に必要な要素

技術開発を行う。ここで提案するシステムの検証をベトナム南部においてパイロットプラント規模で実施し、システムが持続可能であり、かつ農業国の将来に必要なことを明示することで、将来的には、ベトナムだけでなく広く農業国である途上国等に普及して行く礎を築くことを上位目標とした。

将来的には相手国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および関連要素技術を整備することを課題とする。さらに、ベトナム以外の農業を産業基盤とする途上国等へ波及させてゆくための基盤をつくることを加え、下記の3項目を成果目標と設定した。

- 1) 本研究が提案・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」の設計手法を確立する。
- 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および要素技術群の研究開発を実施し、実証段階、実用化段階で利用されるレベルでの検証および体系化を行う。
- 3) 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の視察・見学・意見交換等の場となり、これらの国や地域に広く普及・発展するための基盤を整備する。

以下は研究計画とその実施体制である。

#	研究項目	日本側	ベトナム側
1	<b>システムの設計・評価</b>		
1-1	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	東大生研グループ・ 農工研グループ	HCMUT・DOST
1-2	農村地域のイベントリー分析		
1-3	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		
1-4	結果のデータベース化・評価		
2	<b>プロセスの計画・設計・構築・運転</b>		
2-1	地域分散型バイオマスリファイナリープロセスの開発(HCMUTパイロット機)	東大生研グループ	HCMUT
2-2	農村地域における実証試験(タイミー村)		HCMUT・DOST
2-3	実用プロセスの構想明示		HCMUT
3	<b>要素技術の開発・体系化</b>		
3-1	スロー前処理・糖化	東大農学生命科学グループ	ITB
3-2	機能付加飼料・肥料、高付加価値物質の生産		HCMUT・ Hanoi-UT
3-3	バイオマスリファイナリーにおける分離技術	東大生研グループ	HCMUT
3-4	開発技術の体系化	東大農学生命科学グループ・ 東大生研グループ	ITB・Hanoi-UT・ HCMUT

(2) 新たに追加・修正など変更したプロジェクト構想

システム設計・評価

- 1) 当初計画の想定に比べて、水田で消化液を液肥として利用する実証を行う優先度が高まった。

- 2) 消化液を水田で利用するに当たって、衛生面からの検討を加えることになった。
- 3) 消化液に含まれる肥料成分の濃度が日本の場合に比べて極端に低かったので、ホーチミン市工科大学環境学部が、バイオガスダイジェスターの安定的な運転法を見いだすためのラボ試験を行うことになった。
- 4) 消化液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。
- 5) 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。
- 6) 社会経済的な評価をマクロな解析により実施することにした。

#### 要素技術の開発・体系化

- 1) スロー前処理についてはフクロタケ培養による稲わら処理では稲わらのリグニン成分だけでなくセルロース成分等もかなり減少することが明らかになり、これを稲わらの糖化発酵のための前処理とするのは適当ではないと結論付けた。しかし、新たな展開としてリグニン分解能を有する菌のみの培養より、セルロース分解菌を添加する方がリグニン分解能を高めることが判明した。
- 2) なお、フクロタケによる前処理の代替案として、メコンデルタで行われている稲わらの自然発酵処理をスロー前処理・保存法として投入できないか、有用菌の解析等を行った。
- 3) 稲わらの自然発酵処理後の廃菌床は堆肥としての利用が適当と考え、廃菌床の堆肥としての利用を稲わら利用システムの中に組み込むことを検討した
- 4) プロジェクト期間内には高付加価値物質の生産のための要素技術の開発までは難しいと判断し、タイミー村に設置されたバイオマス炭化ガス化プロセスから得られる副産物である木酢液を防虫剤などで有効利用することについて検討した。

(3) 活動実施スケジュール (実績)

黒線が当初計画、赤線が現在の状況  
 方針変更、追加項目は赤字で記載

項目	H21年度 (6ヶ月)	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度 (6ヶ月)
1. システムの設計・評価 (東大生研グループ・農工研グループ)		データ収集、地域のモデル化		詳細分析、システムの設計		
1-1 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	←	←	←	←	←	←
1-2 農村地域のインベントリー分析	←	←	←	←	←	←
1-3 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		←	←	←	←	←
1-4 結果のデータベース化・評価					←	←
2. プロセスの計画・設計・構築・運転 (東大生研グループ)						
2-1 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	←	←	←	←	←	←
2-2 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		用地選定・手続き・設計	←	着工、完成	←	運転データ収集、解析
2-3 実用プロセスの構想明示					←	←
3. 要素技術の開発・体系化 (東大生研グループ・東大農学生命科学グループ)						
3-1 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	←	←	←	←	←	←
3-2 バイオ燃料、機能付加飼料・肥料、高付加価値物質の生産		←	←	←	←	←
3-3 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	←	←	←	←	←	←
3-4 開発技術を体系化 (システム化)					←	←

### §3 プロジェクト実施体制・投入実績

#### 3.1. 実施体制

(1) 東京大学生産技術研究所グループ

【日本側】

種別	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	迫田章義	東京大学生産 技術研究所	教授	21	6			
	望月和博	東京大学生産 技術研究所	特任准教授	21	6	25	3	
				25	3			
	藤田洋崇	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	助教	21	6			
	藤井隆夫	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	技術専門職員	21	6	26	3	
	吉田 浩爾	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	特任助教	22	1	24	3	
	小林伸一	東京大学生産 技術研究所望 月研究室	学術支援職員	22	4	25	9	
	郭 純因	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	技術補佐員	21	10	23	3	
	鳥居 銀河	東京大学生産 技術研究所望 月研究室	学術支援職員	22	4			
	平出 初江	東京大学生産 技術研究所望 月研究室	学術支援職員	23	4			
	畑中 玲奈	東京大学生産 技術研究所望 月研究室	派遣スタッフ	22	4	22	7	
			技術補佐員	23	8			
	SEO, Dong-June	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	大学院生→技術 補佐員	21	11	24	3	
			特任助教	24	4	27	3	
	Dinh Thanh Ngia	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	大学院生	23	4	25	3	
	土井 夕紀子	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	派遣スタッフ	21	8	22	3	
	松下 郁子	東京大学生産 技術研究所望 月研究室	派遣スタッフ	21	8	23	3	

	齋藤 若菜	東京大学生産 技術研究所望 月研究室	派遣スタッフ	22	12	23	3	
	吉澤 有子	東京大学生産 技術研究所望 月研究室	派遣スタッフ	22	11	23	3	
	谷合 哲行	東京大学生産 技術研究所望 月研究室	派遣スタッフ	22	11	23	3	
	秋本 佳希	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	大学院生	21	11	23	3	
	岡 健太郎	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	大学院生	21	11	22	3	
	手島 浩気	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	大学院生	24	10			
	竹中 梓	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	大学院生	24	4	26	3	
	陳 佳敏	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	大学院生	23	4	25	3	
	王 慧	東京大学生産 技術研究所望 月研究室	研究員	25	1	25	3	
	Tran Ngoc Linh	東京大学生産 技術研究所迫 田研究室	大学院生	26	4			

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
	Huynh Quyen	HCMUT	Director	2009	10			
	Phan Dinh Tuan	HCMUT	Vice Rector	2009	10			
	Le Thi Kim Phung	HCMUT	Deputy Head of Process Engineering	2009	10			
	Nguyen Quang Duy	HCMUT	Lecturer, Researcher	2009	10	2011	8	
○	Mai Thanh Phong	HCMUT	Vice Dean	2009	10			
	Hoang Trung Ngon	HCMUT	Lecturer	2011	9			
	Phan Van Thiem	Hanoi-UT	Director	2009	10			
	Tran Trung Kien	Hanoi-UT	Director	2009	10			

	Tran Thi Quynh Nhu	HCMUT	Researcher	2009	10	2010	10	
	Trinh Hoai Thanh	HCMUT	Researcher	2009	10	2010	9	
	Ngo Manh Thang	HCMUT	Lecturer	2009	10	2010	3	
	Ngo Thanh An	HCMUT	Lecturer	2010	9	2011	6	
	Nguyen Dinh Quan	HCMUT	Lecturer	2011	6			
	Hoang Ngoc Ha	HCMUT	Lecturer	2011	6	2012	3	
	Ngo Dinh Minh Hiep	HCMUT	Researcher	2009	10	2010	3	
	Le Van Nhieue	HCMUT	Researcher	2011	4			
	Do Hai Sam	HCMUT	Researcher	2011	6			
	Tran Duy Hai	HCMUT	Researcher	2012	2			
	Thieu Quang Quoc Viet	HCMUT	Researcher	2011	4			
	Le Xuan MAN	HCMUT	Engineer	2010	9	2012	1	
	Tran Phuoc Nhat Uyen	HCMUT	Engineer	2010	9			
	Vu Le Van Khanh	HCMUT	Engineer	2011	6			
	Chau Nhat Bang	HCMUT	Engineer	2010	9	2011	3	
	Phan Tien Dung	HCMUT	Engineer	2010	9	2011	2	
	Pham Hoang Duy Phuoc Loi	HCMUT	Lab. Technician	2011	1	2011	6	
	Phan Dinh Dong	HCMUT	Engineer	2012	3			
	Le Nguyen Phuc Thien	HCMUT	Engineer	2012	2			
	Duong Van Hung	HCMUT	Engineer	2011	1			
	Nguyen Van Khanh	HCMUT	Operator	2012	3			
	Nguyen Thi Lan Phi	HCMUT	Lecturer	2009	10	2011	9	
	Tran Le Hai	HCMUT	Researcher	2012	9			

(2) 東京大学大学院農学生命科学研究科グループ

【日本側】

種別	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
				22	4	25	3	
○	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	25	4			五十嵐教授より交代

	新井 博之	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	助教	22	4			
	木村 真人	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	研究員	23	4	24	3	
	吉田 浩爾	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	研究員	24	4	25	3	
	山田 千早	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	D3	22	4	25	3	
	阿藤 真	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	D1	23	4			
	山崎 翔子	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	M2	22	4	23	3	
	脇山 慎平	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	M1	23	4	25	3	
	羅 鋒	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	D3	22	4	23	3	
○	五十嵐 泰夫	東京大学大学院農学生命科学研究科	教授	21	6	25	3	
				25	4			

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	

○	Hoang Quoc KHANH	ITB	Head of Laboratory for Microbiology	2009	10			
	Nguyen Thi NGUYEN	HCMUT	Lecturer	2009	10			
	Huynh Nguyen Anh KHOA	HCMUT	Lecturer	2009	10	2011	3	
	Ngo Duc DUY	ITB	Assistant researcher	2010	4			
	Dao Thi Thu HIEN	ITB	Assistant researcher	2010	4	2013	6	
	Hoang Ngoc Phuong Thao	ITB	Assistant researcher	2013	6	2013	11	
	Nguyen Hoang Dung	ITB	Researcher	2013	7			

(3) (独)農研機構農村工学研究所グループ

【日本側】

種別	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	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	上席研究員	21	6			
	折立文子	(独)農研機構 農村工学研究所資源循環工 学研究領域	研究員	21	6			
	山岡 賢	(独)農研機構 農村工学研究所資源循環工 学研究領域	主任研究員	21	6			
	中村真人	(独)農研機構 農村工学研究所資源循環工 学研究領域	主任研究員	21	6	26	3	
	國光洋二	(独)農研機構 農村工学研究所農村基盤研 究領域	上席研究員	21	6			
	上田達己	(独)農研機構 農村工学研究所資源循環工 学研究領域	主任研究員	23	4			

	小川茂男	(独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所農地・水資源部	上席研究員	21	6	22	6	
--	------	----------------------------------	-------	----	---	----	---	--

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	Nguyen Phuoc DAN	HCMUT	Dean	2009	10			
	Phan Minh TAN	DOST-HCM	Director	2009	10			
	Dang Vu Bich HANH	HCMUT	Head of Laboratory	2010	4			
	Le Van Khoa	HCMUT	Lecturer	2011	9	2011	12	
	Nguyen Huu LUONG	HCMUT	Vice Director	2009	10	2010	10	
	Nguyen Tuan THANH	DOST-HCM	Researcher	2009	10	2010	9	
	Nguyen Thi Van HA	HCMUT	Lecturer	2009	10	2010	3	
	Vo Le Phu	HCMUT	Lecturer	2010	9	2011	3	
	Nguyen Huu Viet	HCMUT	Researcher	2011	5			
	Lai Duy Phuong	HCMUT	Researcher	2010	6			
	Trinh Thi Bich Huyen	HCMUT	Researcher	2010	6			
	Nguyen Duy Khanh	HCMUT	Researcher	2011	7			
	Nguyen Lam Quang Thoai	HCMUT	Researcher	2011	7	2013	6	
	Le Thi Kieu Mien	HCMUT	Researcher	2011	7	2013	7	
	Lam Pham Thanh Hien	HCMUT	Researcher	2010	6			

## § 4 プロジェクト実施内容及び成果

### 4.0 プロジェクト全体

#### (1) グループを統合した全体の成果

本プロジェクトでは、工学・バイオ・環境といった分野を有機的に結び付けながら、日越のメンバーが密接に連携した共同実施の体制を構築した。ベトナム側の研究メンバー（特に学生や若手研究者）を技術習得や学会発表のために日本に招聘し、また、日本の若手研究者が現地に中長期滞在する体制をとるとともに、研究代表者およびコアメンバーも頻繁に現地を訪れ、プロジェクトの運営・進捗管理の会合を定期的で開催しながら、現地の学生やスタッフの指導や共同研究活動を積極的に行った。ベトナムにおける2か所のパイロットプラントの始動を始め、ベトナムにおける研究体制の構築および研究環境の整備が計画

通りに実行され、各研究課題とも、国際共同研究活動が順調に進められた。当初計画におけるマイルストーンに沿って、平成 22 年度に HCMUT 内に試験・研究用のパイロットプラント完成(平成 23 年 1 月)、その後、具体的な地域に地産地消型バイオリファインリーのデモンストレーションシステム構築(平成 23 年秋に圃場試験開始、平成 25 年 1 月にデモンストレーションプラント完成)と、大型設備やフィールドでの研究も順調に実行された。一方で、具体的な農村の調査を行いながら、地域の特色やバイオマス資源のポテンシャルに沿ったバイオマス利活用システムの設計・評価を行い、農業とバイオマス産業の融合をコンセプトとするバイオマスタウンの姿を提示した。これらと並行して、バイオおよび工学の両面から要素技術研究に取り組み、バイオエタノールやバイオガスのプロセスを高効率化・高度化するための各種分離技術、リグノセルロース系バイオマスの前処理、セルロース糖化における現地微生物の利用をはじめ、関連する技術的・学術的な研究成果を示した。

## (2)今後期待される効果

本プロジェクトの動きはベトナム国内でも大きな注目を集めた。HCMUT キャンパス内のパイロットプラントや Thai My 村でのアクティビティーに関しては、既に数々のマスコミ取材や各種団体の見学を多数受けており、これらの拠点では今後も HCMUT を中心としたバイオマス研究が継続され、東南アジアにおけるバイオマス利活用のモデルケースを示すという役割を果たすであろう。また、本プロジェクトの実施を通して、ベトナムでのバイオマス研究における人材育成や環境整備が進んだことは、今後のバイオマス技術の本格的な普及・発展には不可欠な要素となるであろう。一方、本プロジェクトが学術的に扱う分野は、バイオエタノールやバイオガスの分離技術、バイオマスの糖化発酵における微生物利用技術、および環境影響やライフサイクル分析を含めた総合的なプロセス・システム設計であり、いずれもバイオマス研究における重点課題である。これらの学術研究は、基礎から応用まで個別の研究としては枚挙にいとまがないが、複数の要素技術開発を集約して、農村経済や農村環境の調査からバイオマス利用システムの構築および実証までを一貫して実施する研究は、ベトナムにおいては初めてであり、また、世界的にもまだ十分に進められていない取り組みである。本プロジェクトで得られた各要素研究個別の成果は論文や学会で発表され、当該分野の発展に寄与するものであるとともに、学際的に総合した成果を発信してゆくことで、バイオマス利用システムの社会実装に貢献してゆくことが期待される。

#### 4. 1 システム・プロセス設計および要素技術の開発と体系化(東大生研グループ)

##### (1) 研究実施内容及び成果

###### 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 (ホーチミン市工科大化学工学部との共同研究、農工研グループおよびホーチミン市工科大環境学部と連携)

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 (ホーチミン市工科大化学工学部との共同研究)

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。HCMUT キャンパス内に設置される HCMUT パイロットプラント(以下、HCMUT 研究プラント)にてバイオエタノール製造を中心とするプロセスの工学研究を実施するとともに、農村フィールドである Thai My 村にもパイロットプラント(Thai My デモンストレーションプラント)を導入して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、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を検証するとともに、関連する単位操作の高効率化等を目指した技術研究を実施する。限られた研究期間の中で目に見える成果を出すため、HCMUT 研究プラントでは主に稲わらからのバイオエタノール生産、Thai My デモンストレーションプラントでは木質バイオマスの炭化/ガス化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 (ホーチミン市工科大化学工学部およびハノイ理科大学との共同研究、農学生命科学グループと連携)

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実施内容・成果

#### 1) システムの設計・評価

##### 地域情報および技術データの収集・整理

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。これら 3 地域のフィールド調査の計画作成および実施に参加した(結果は農工研グループを参照)。なお、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。

一方、地域におけるバイオマス利活用システムのモデルを設計するにあたり、現状のバイオマスの産業利用について調査した。一次エネルギーにバイオマスの占める割合の大きいベトナムでは、バイオマスを積極的に利用している既存の産業も多い。例えば、現地の代表的な建設資材として用いられるレンガの製造では焼成炉の燃料としてもみ殻などが用いられることが一般的である。しかし、バイオマスの産業利用に関して総合的にまとめられた資料等は非常に限られており、訪問による聞き取り調査を含め、関連情報の収集を試みた。ここでは特に、バイオガスシステムを利用している比較的規模が大きい畜産業、もみ殻等のバイオマスを燃料として利用するレンガ工場、木炭をはじめとする炭化物製造業に着目した。これらは、数名～数十名の雇用があるバイオマス関連産業と位置付けることができ、本プロジェクトで検討するバイオマスタウンの構築における連携先と想定できるとともに、ビジネスモデルなどの比較対象として重要であると判断した。実施した訪問調査の一例として、Tay Ninh 省のレンガ工場の結果について述べる。熱の有効利用率を向上させた Hoffman 式の焼成炉を導入した工場(図 4.1.1) 2か所と、縦型の焼成炉を用いる工場 1か所を訪問した。これらは、地域内でも最大規模の工場であり、年間 4,000 万個のレンガを製造することが可能である(出荷額として約 200 億 VND)。この製造工程では、年間で 4,000～6,000 トン程度のもみ殻を燃料として利用する。もみ殻はメコンデルタで調達し、運河による水運で運ばれてくる。なお、入手状況や価格によって、木質燃料などを利用することもあるが、Hoffman 式の工場では石炭は使用していないとのことであった。工場では 100 名程度の雇用があり、そのうち 40 名が工場の運転に携わる従業員である。その他は、原料の受け入れや製品の出荷など、荷物の運搬や積み下ろしを担当する作業員が主である。レンガ工場の調査では、工場での生産における資材やコストの収支に加え、設備投資や投資回収についても比較的明瞭な結果であり、また、年間数千トンのバイオマスを扱うという後述のバイオマスタウンモデルと規模も一致しているため、バイオマス関連産業のビジネスモデルを考えるうえで、ひとつの軸となる比較対象データが得られた。

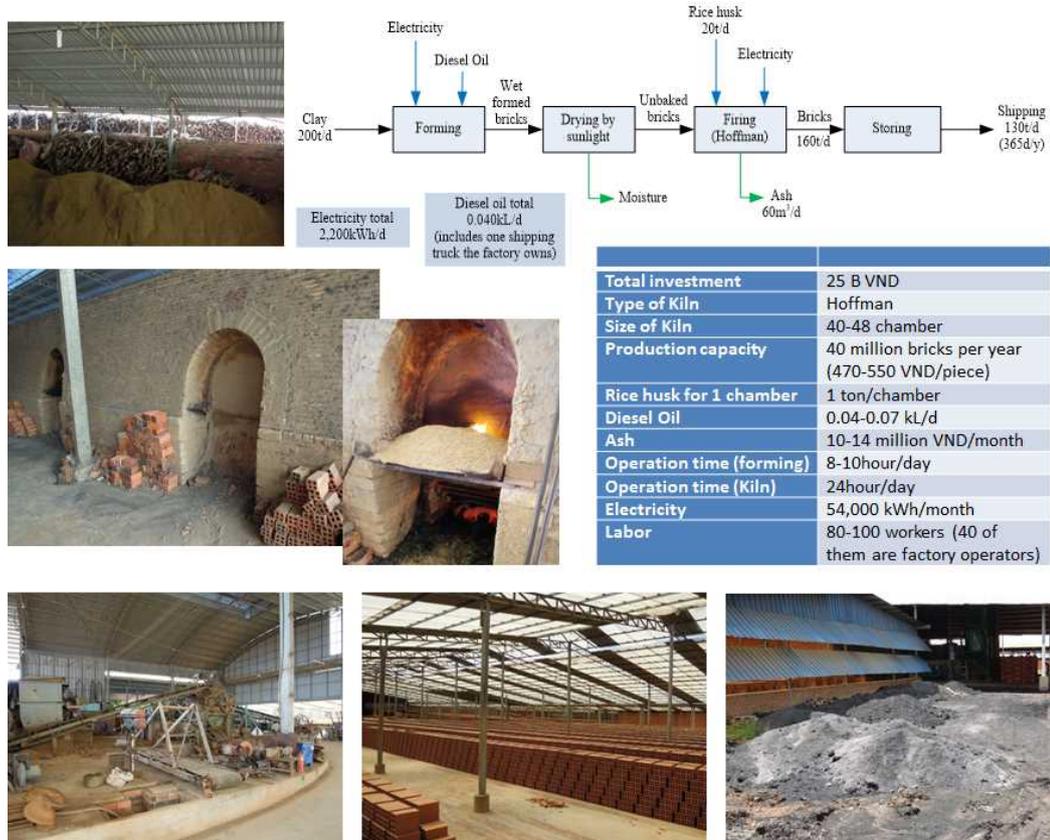


図 4.1.1 レンガ工場の訪問調査

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

(総説 1、投稿中論文(別添資料) 26, 招待講演 14, 16, 口頭発表 21, ポスター発表 28)

バイオマスタウンの計画を提案するまでに至るフローを図 4.1.2に示す。地域の状況に基づいて、利用する(利用可能な)バイオマスを整理し、そのバイオマスの資源としての有効な利用方法・利用技術の選択肢を探り、その実現可能性を評価してゆくという考え方である。ここでは、収集された地域データに基づき、対象とする地域の物質およびエネルギーのフローを記述したうえで、バイオマス利活用モデル(バイオマスタウン)の構築を試みた。プロジェクト前半では地域のモデル化や分析・設計に関する手法の検討を行い、具体的なデータの集積や手法の検討が進んだ後、具体的なバイオマスタウンモデルの構築・評価へと移った。

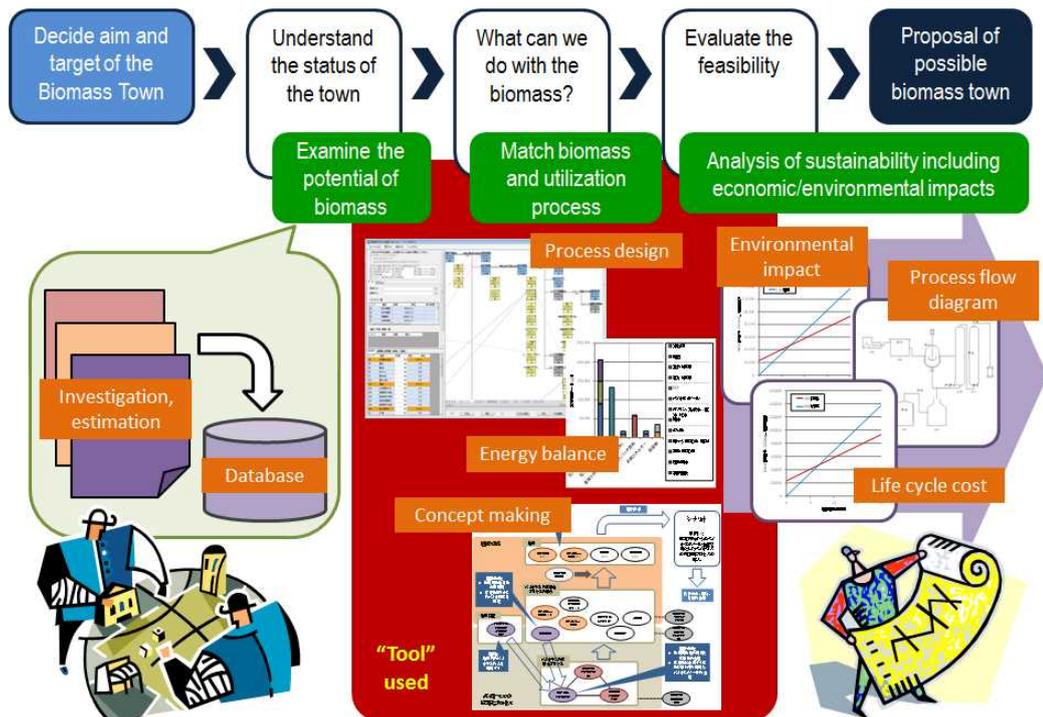


図 4. 1. 2 バイオマスタウン設計の考え方

地域のモデル化および分析・設計手法の検討: ベトナムの南部の農村として、Thai My 村の状況を整理するにあたり、稲作と畜産を生産活動の主要コンパートメントとした。稲作以外ではコーンの生産が多く、野菜や果樹の栽培もあるが、物質・エネルギーのフローとしては大きくない。なお、多種多様な野菜生産の副産物(非収穫部)をバイオマス資源として利用する現実的な考え方や手法は確立されておらず、本プロジェクトの技術研究においても、野菜の生産で発生するバイオマスを対象とする課題は計画しなかった。また、畜産のうち、家禽は各農家の庭先で飼育している状況が主で、集約した養鶏は行われていないのでモデル内には含めていない。村内の農業以外の主な産業は竹細工と商店があり、また、学校や病院などの公共施設があるが、稲作や畜産との接点は乏しい。ここでは、三期作を考慮した稲作の収支のモデル化と、肉牛、乳牛(+水牛)、豚を整理した畜産の収支のモデル化を行い、これらを地域内外のセクターと結びつけることでフローを表現した。最終的に得られた Thai My 村のフローは次節で説明する。

一方、手法の検討としては、設計指針や評価軸を明確にするためのバイオマスタウンのモデルシナリオの構造化や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」をベトナムの地域を対象として利用するための調整などを実施した(図 4. 1. 3)。

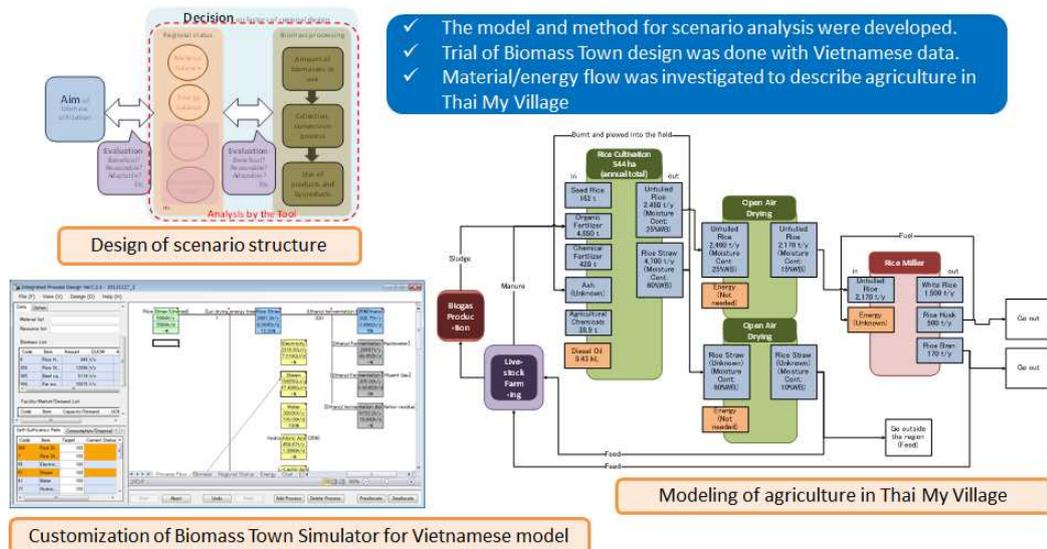


図 4.1.3 地域のモデル化および分析・設計手法の検討

バイオマスタウンの構築と評価: 上述の考え方に基づく Thai My 村の現状のフローを図 4.1.4 に示す。同村の現状において、農畜産業資材の地域内での調達や製品の地産地消などは少ない。農家の米の自家消費も一般的には行われていない。畜産由来の堆肥なども、排出する畜産農家が自身の畑で利用する例はあるものの、地域内で他者に融通することは一般的ではなく、外部の肥料業者による畜糞の買い取りが行われている。特に水田は原則として有機質肥料の投入は行われていない。また、Thai My 村は比較的バイオガスの導入が進んでいるため、畜産農家はエネルギー回収をおこなっている（バイオガスは自家消費）。一方、消化液については、隣接する飼料畑への施肥として利用している例が見られたが、全般的には必ずしも有効に活用できていない（消化液の議論の詳細は農工研グループを参照）。なお、村内には大規模経営の養豚業者が1社あるが、ここではバイオガス利用は行われていない。畜産飼料については、藁や刈り草の地域内での調達があるものの、大部分は外部からの購入である。

このような現状フローの理解に基づいて利用可能なバイオマスとして稲わらと畜糞を選択し、現状の地域内需要および外部業者の買い取りを考慮して、それぞれの利用可能量を推算した。バイオエタノール生産の導入とバイオガス生産の拡大を想定したシナリオにもとづくフローの一例を図 4.1.5 に示す。ここでは、年間 400kL 以上のバイオエタノールと 400,000Nm<sup>3</sup> のバイオガスが得られる試算となった。バイオエタノールの生産量は、1日 20km 走行するバイクとして 2,000 台程度に相当し、約 3,000 世帯である Thai My 村のバイク燃料消費と比較しても相当な量がカバーできることが見込まれる。一方、バイオガスの生産量は、3,000 世帯が 1日 0.8 時間調理に利用できる量に相当する。必ずしもこの比較の計算のような消費を行うシナリオが提案されるという意図ではないが、村内の未利用バイオマスを利用することで、村のエネルギー需要と比較して十分に大きなエネルギーを得ることができるポテンシャルを有していることが示された。

ここで、このようなバイオマス利用を実現させるための技術について、後述のパイロットプラントでの研究結果をもとに、プロセスの評価を実施した。HCMUT 研究プラントで試験を行っているような、外部からの化石燃料の投入は行わないバイオエタノールプロセスであるので、実現すれば化石エネルギー（CO<sub>2</sub> 排出）削減効果は高い。しかし、図 4.1.6 に損益分岐を示したように、本プロジェクトで研究を行ったコスト削減技術を実装したと仮定しても、投資回収は難しいという試算結果であった。初期投資 250 億 VND で 100 名（うち 40 名が工場オペレータ）を雇用し、年間 200 億 VND を出荷するレンガ工場の経営と比較すると、バイオエタノールのプロセス設計では、2,000 億 VND の初期投資で 14 名のオペレータ（バイオマスの収集・輸送は金額で評価したため雇用人数に含めず）を雇用し、年間 100-200 億 VND

の売り上げという試算であるので、やはり、設備投資の大きさが問題点であろう。図中で比較したように、補助金等の公的サポートの検討は選択肢のひとつであるが、装置コストの低減は将来に向けた大きな課題といえる。本プロジェクトで提案している地域分散型の小規模バイオマスタウンの普及は、同規模のプロセスが多数導入されることを意味する。現地での量産体制の構築はコストダウンに向けた方策のひとつであるといえる。なお、バイオエタノールプロセスと比較すると非常にシンプルな構成を持つバイオマスの炭化/発電プロセス(Thai My デモンストレーションプラントでの研究)の場合の損益分岐を図 4.1.7 に示す。支出については原料バイオマスの価格が占める割合が大きく、図中では、廃材を想定した無償受入と現地のメラルカ材の相場(1,000VND/kg)を比較した。単独のビジネスとしては必ずしも事業性の高いモデルとはいえないが、自立運営で投資回収が見込まれる設計は可能であると判断できた。

都市近郊の農村である Thai My 村と比較し、典型的なメコンデルタの稲作地域である My An 村は、長期的にも食料生産の基盤を担うことが期待されている。人口は同程度だが、米の年間作付面積は 3,000ha(1,500ha×二期)と Thai My 村の約 5 倍である。畜産業は現状においては Thai My 村より大幅に少ないが、都市近郊での畜産の拡大が制限されていることから、都市部から距離をおいたメコンデルタ地域に大規模の畜産が進出する可能性は高い。これらの状況から、My An 村に対しては、Thai My 村を対象に設計したバイオエタノールやバイオガスを軸とするバイオマスタウンモデルの拡大版を提案することとした。My An 村の村内で得られるバイオマスを対象に Thai My 村の 5 倍規模のプロセスが設計できるとともに、周辺地域とも連携した 10 倍以上の規模への展開も見込まれる。なお、メコンデルタ地域の運河による水運は原料の輸送に対して有利である。小規模分散型のバイオマスリファインリーとはいえず、前述の Thai My 村の規模のバイオエタノール生産は対費用効果の面でメリットが出にくい。5~10 倍に拡大したスケール(年間数千 kL のバイオエタノール生産)は対費用効果の向上が期待でき、大規模型のバイオエタノール工場(年間生産量が数万 kL 以上)とは異なるコンセプトであるバイオマスタウンでのバイオエタノール生産を検討する際の標準的なモデルとなり得ると結論付けた。一方、高原である Kado 村の農業は野菜生産が中心であり、稲作は多くはない。したがって、稲わらを原料とするバイオエタノール生産は地域特性とは一致しない。同村の特徴としては、大きな森林面積(2,425ha)を有することであったので、農地ではなく、林地に着目した構想を提案することとした。現在のところ、村内の森林では保護管理が行われており、一部認められている間伐にともなう木材の出荷があるものの、林業のアクティビティーは高くない。乱伐による森林減少を防ぐためであるが、人間の生活圏に隣接する森林の管理においては、必ずしも手つかずの原生林としての保護が必要という結論にはならない。むしろ、適正な計画に基づく伐採と植林は、森林を健康に維持するためにも効果的であり、常に若い木の生長があるので、森林による CO<sub>2</sub> 吸収効果も高い。このような森林管理と組み合わせるバイオマス利用技術として、前述の炭化/発電複合プロセス(発電能力:200kW)の導入を検討した。このプロセスでは年間 3,300 トン(含水率 15%として)のバイオマスを消費するが、20 年輪伐を想定すると 600ha の森林からの産出量に相当する。これは村内の森林面積の 1/4 に相当し、アクセス可能な森林面積として妥当な範囲と判断できる。なお、収益の向上を目指す、伐採された材のうち、良材は素材としての出荷を議論することが重要である。伐採した材の 50%を良材として出荷すると仮定すると、管理対象森林面積は 2 倍の 1,200ha である。一方で、20 年輪伐は日本の植生に近い成長量を仮定した試算であるので、7~10 年の早生樹であれば輪伐の周期は短縮される。現状では、単純な木炭製造のための伐採は制限されているので、管理面積や樹種の選定も含め、輪伐計画などの具体化については、政府や地元関係者の意思決定による部分も大きい。いずれにしても、素材の出荷を伴うモデルは収益性も期待でき、森林管理に携わる住民の収入向上にもつながると期待できる。

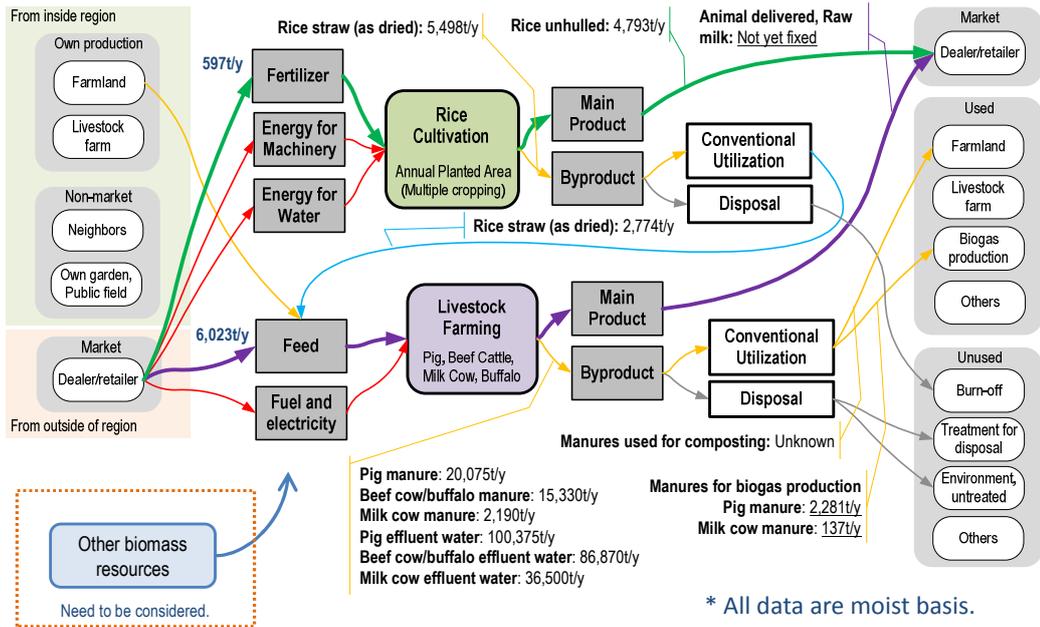


図 4.1.4 Thai My 村の現状フロー

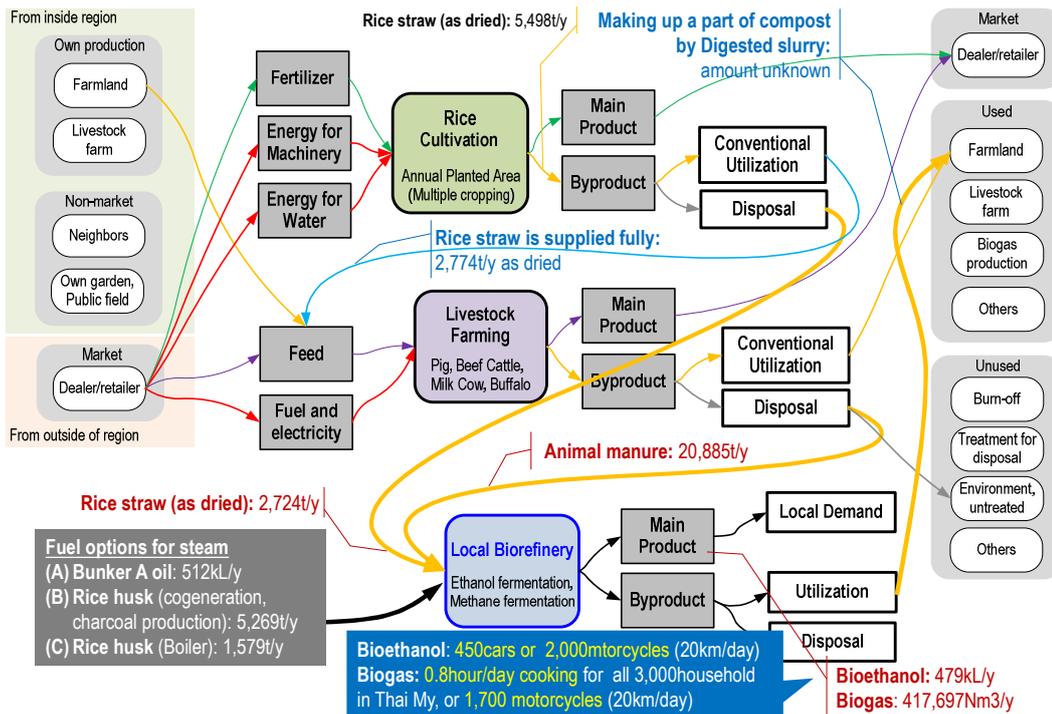


図 4.1.5 Thai My 村におけるバイオマス利用の試算結果の一例

Outgo:

- ✓ Capital investment (200,000 MVND),
- ✓ Materials (case 3, 4, 5, including rice straw),
- ✓ Utilities,
- ✓ Biomass fuel (e.g., rice husk)
- ✓ Maintenance (3% of capital , each year)
- ✓ Labor (14 parsons),
- ✓ Administrative (10% of labor).

Sales:

- ✓ Bioethanol (as below),
- ✓ Electricity (1,300 VND/kWh),
- ✓ Charcoal (2,000 VND/kg).

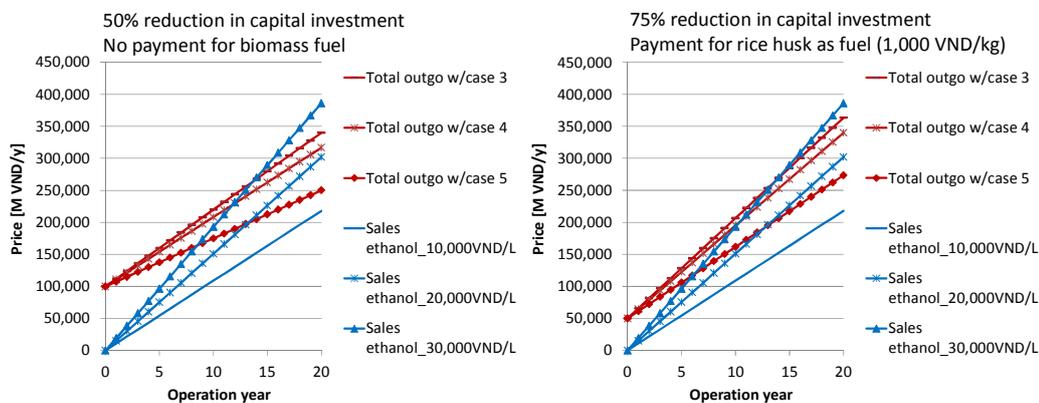


図 4.1.6 バイオエタノールプロセスのコスト分析

Outgo:

- ✓ Capital investment (60,000 MVND),
- ✓ Materials (Wood biomass),
- ✓ Utilities,
- ✓ Maintenance (3% of capital , each year)
- ✓ Labor (9 parsons),
- ✓ Administrative (10% of labor).

Sales:

- ✓ Electricity (1,300 VND/kWh),
- ✓ Charcoal briquette (6,000 VND/kg),
- ✓ Hot water (can be used with no price).

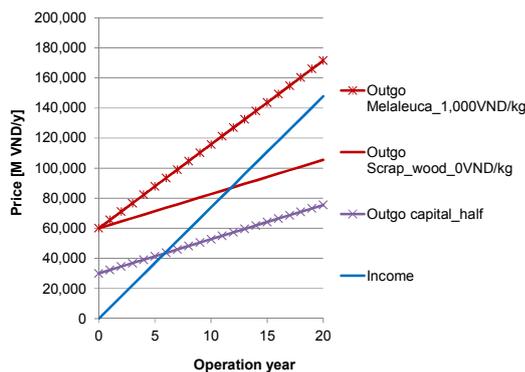


図 4.1.7 炭化/発電複合プロセスのコスト分析

2) プロセスの設計・構築・運転

HCMUT 研究プラントの設計・構築・運転

(原著論文 12, 口頭発表 3, 12, 26, 27, 29, ポスター発表 7, 14)

稲わらからのバイオエタノール生産プロセスを中心とする HCMUT 研究プラントの機器構成を図 4.1.8 に示す。稲わらを原料とし、断熱膨張の効果によってバイオマスの構造破壊と吸水性の向上を生じる膨張軟化とリグニン除去などが期待されるアルカリ含浸を前処理として、その後、酵素糖化と発酵を同一系内で並行して進める同時糖化発酵 (SSF: Simultaneous Saccharification and Fermentation) にてエタノールを生産する。分離精製には回分式蒸留塔を用いるが、蒸留の熱源として、バイオマスボイラー (もみ殻炭化装置からの排熱回収型) を利用できる構成とした。

HCMUT 研究プラント (図 4.1.9) は平成 23 年 1 月に完成し、試運転、現地の研究者、運転スタッフへの技術指導を経て、本格稼働に至っている。本プラントにおける稲わらを原料とした SSF の結果の一例を図 4.1.10 に、プロセス全体のエネルギー収支の測定結果を図 4.1.11 にそれぞれ示す。前処理された稲わらサンプルはセルロース含有量が 50% 程度、含水率が 70% 程度となったが、160kg の水を張った発酵槽に、1 日 3-4 回、3 日間 (合計 10

回程度)に分けて段階的に投入することで、最終的な仕込み濃度約 20% (バイオマス 100kg:水 400kg)を達成した。なお、酵素としてアクレモニウムセルラーゼ(明治製菓) 1.3kg、栄養源として乾燥コーンステープ (Roquette 社) 0.36kg を加え、酵母は乾燥酵母 EthanolRed (Fermentis 社) 5g からの培養液を投入した。このような条件での試験の結果、発酵液のエタノール濃度は最終的に約 5%となり、理論収率に近い生産が実現できた。なお、蒸留による分離精製について、本プラントとでは小型の回分式装置を採用していることから、必ずしも合理的なエネルギーバランスとはなっていないが、必要な熱量(スチーム)は炭化プロセスの廃熱利用で賄える範囲である。

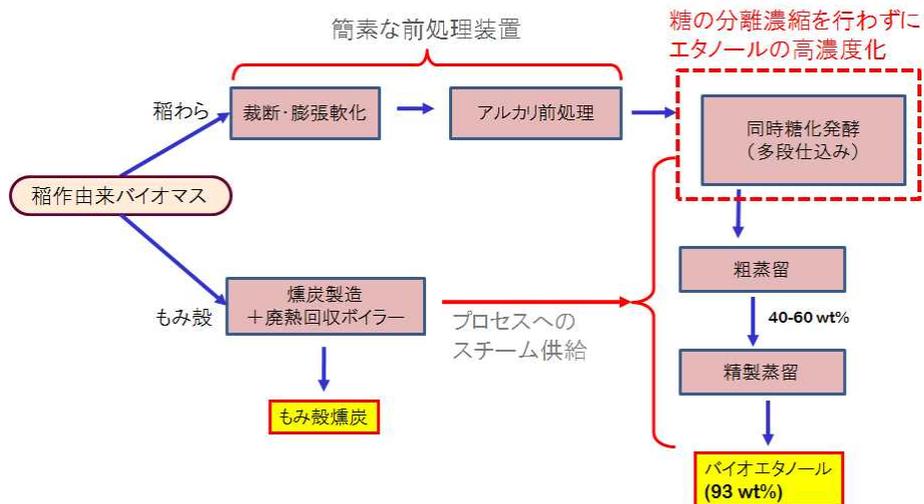


図 4. 1. 8 バイオエタノール生産プロセスの構成

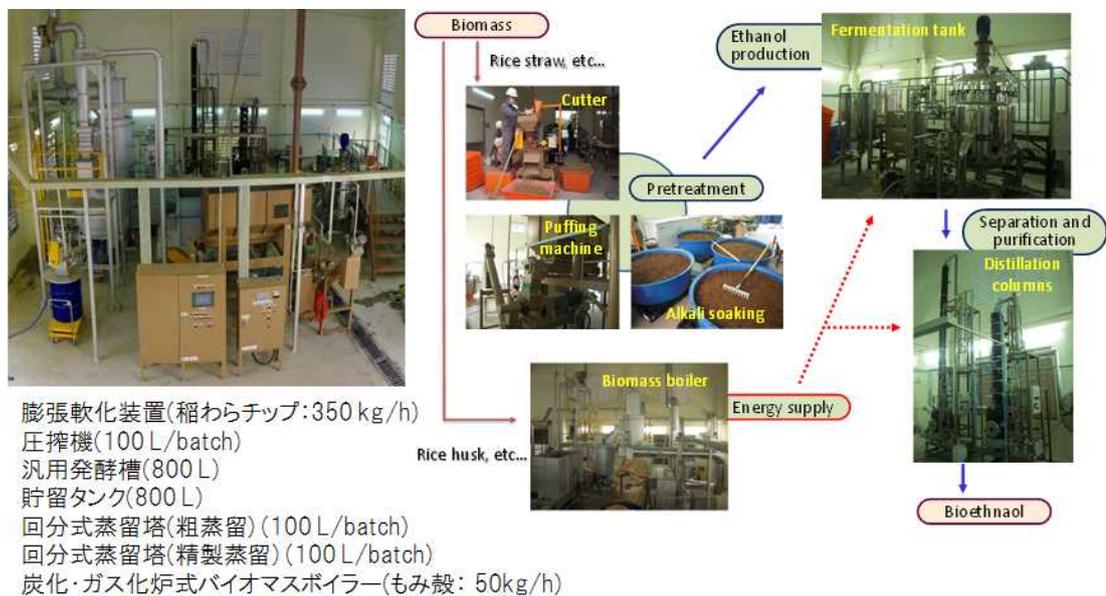


図 4.1.9 完成した HCMUT 研究プラントと試運転・トレーニングの様子

投入原料	膨張軟化→アルカリ (1%NaOH) 処理稲わら		
仕込み量	Total 360→449.1 [kg]	仕込み割合	16→18.9 [%]
原料	57.6→85.1 [kg-dry]	水	302.4y→364 [L]
原料含水率	69 [%]	原料投入量	187→276.1 [kg-wet]
供給水量	160 [L] (前培養 10L、酵素 2L、栄養源 1L)		
栄養源	粉末コーンステープ (ソルリス)		360 [g] (水 : 1L)
酵素	アクレモニウム (原料に対して 1.875%)		1080 [g] (水 : 2L)
追加酵素	アクレモニウム (原料に対して 0.94%)		270 [g] (水 : 1L)
酵母	Ethanol Red (5g) 5%ショ糖+1%ソルリス前培養		10 [L]
仕込み段数	7 段+3 段 = 合計 10 段		

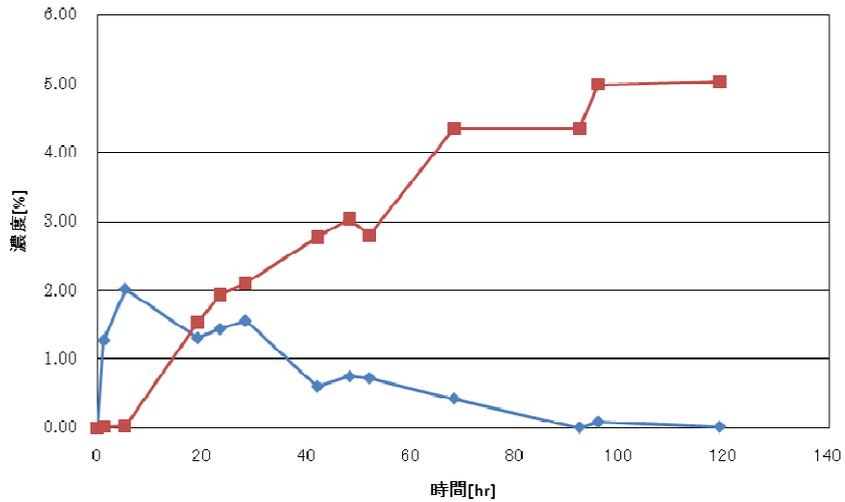


図 4.1.10 HCMUT 研究プラントでの稲わら SSF の条件と結果の一例

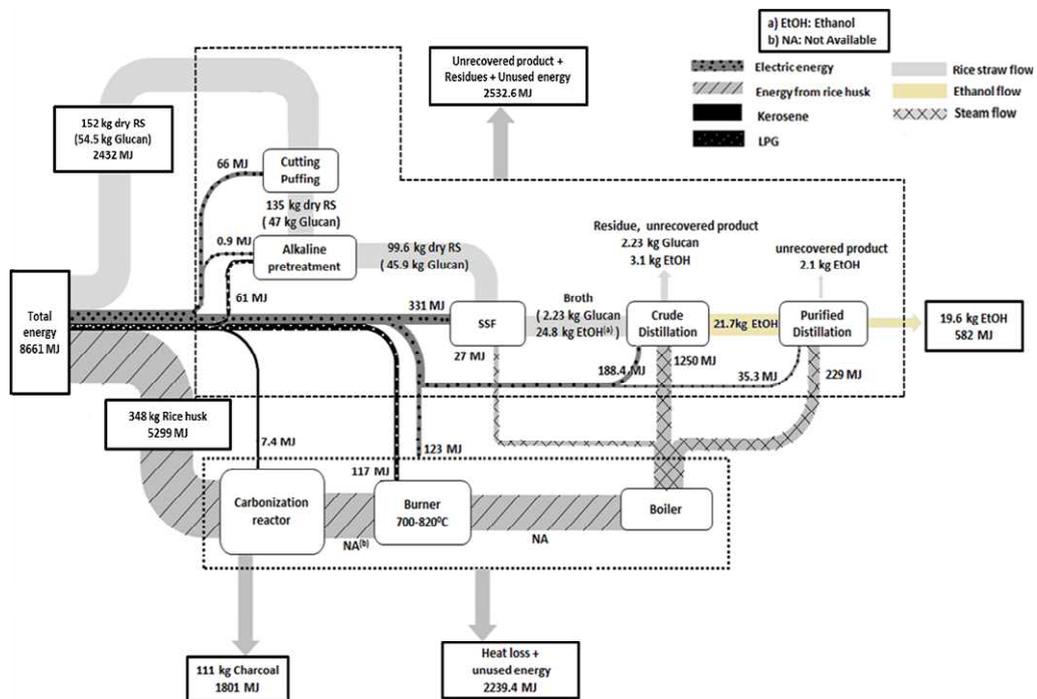


図 4.1.11 エネルギー収支の一例

バイオエタノールプロセスに関する工学研究

(原著論文 11, 18, 投稿中論文(別添資料)9, 10, 11, 27, 口頭発表 11, 16, 17, 32, 45, 口頭発表予定(別添資料) 12, ポスター発表 33)

HCMUT 研究プラントにおいてパイロットスケールで検証された工程および物質・エネルギー収支等にもとづき、バイオマスタウンでの導入を想定した小規模プロセスの試設計について検討を行った結果を図 4.1.12 に示す。ここでは、Thai My 村で得られる年間 6,000 トンの稲わらから 420kL のエタノールを得る設計とした。建設費は 2,000 億 VND (10 億円) の規模と試算された。エタノールを生産する SSF に必要な資材のコストの試算において、図中に示したように、原料である稲わらの費用が占める割合は大きくなく、酵素やケミカルといった副資材の費用が大部分である。ケース 1 は現状の HCMUT 研究プラントの運転で用いている資材の単価から単純に算出した費用であるのに対し、ケース 2 はケミカルや酵素の大口購入価格、栄養源は副産物を安価で入手するとした場合の試算である。そこで、バイオマスタウンにおいて安価かつ合理的に利用できる代替栄養源についての検討は重要な課題となる。ケース 2 の段階で、前処理で用いる塩酸と水酸化ナトリウムのコストが大きいことがわかる。したがって、ケース 3・4 のように、前処理にかかるコストの低減は必須であろう。生物学的前処理などの導入を期待する一方で、ここではアルカリのリサイクルによる効果を検証した。また、費用に占める割合の大きい酵素に関しては、例えば、ベトナムで得られた微生物由来の酵素利用などの研究の将来的な展開に期待するとともに、SSF における効率的な酵素糖化反応のコントロールに関する知見の集積が重要であるといえる。仮定ではあるが、酵素にかかるコストを 1/5 に削減できると、投入資材の費用がベトナムにおけるガソリン価格の 1/3 程度に相当する試算となった。

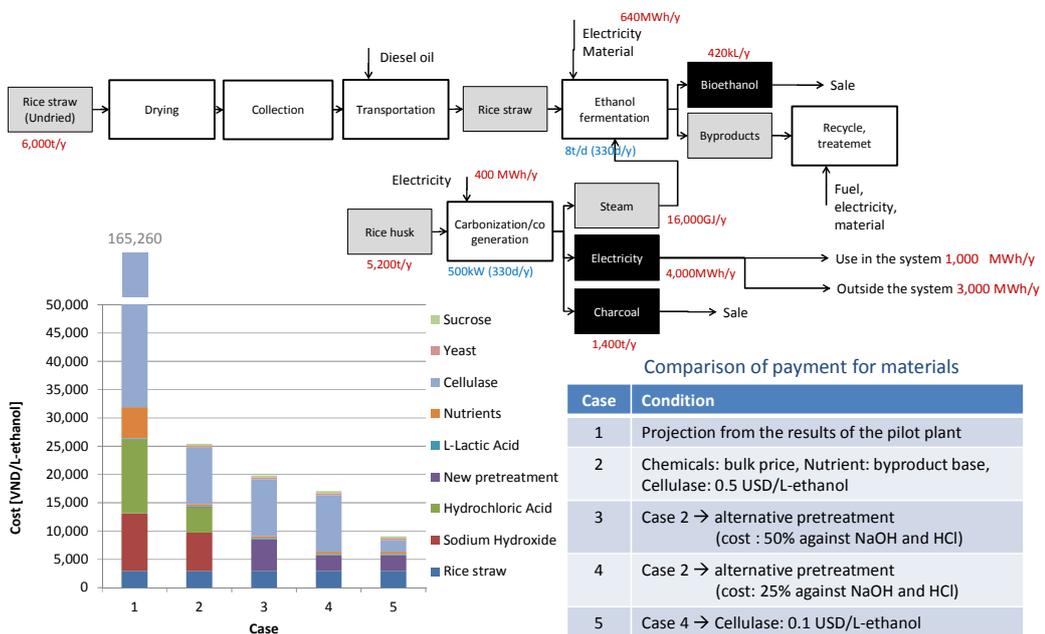


図 4.1.12 実用化を想定した PFD の作成と投入資材のコスト試算

上述の議論において課題となった項目に関して、実験的アプローチに基づく研究を実施した。以下に、その実施内容と結果の概要を説明する。

地域で得られる代替栄養源: バイオエタノールをはじめ、発酵プロセスにおいて栄養源として用いられる酵母エキスやペプトンは高価であり、安価な栄養源の利用は重要であると一般的にも認識されている。コーンステーパーリカーは本来コーンミルの副産物であるので条

件が合えば安価に利用できる可能性があるが、本プラントの研究で使用したような粉末として流通している商品は酵母エキスと比較しても安価とはいえない。そこで、稲作を軸としたバイオスタウンで容易に入手できる資材として米糠に着目した。米糠の加水分解生成物を培地とした酵母増殖の検討結果を図 4.1.13 に示す。酵母培養に広く利用される YPD 培地と比較して、CD 培地、CS 培地では同程度の増殖が認められた。また、米糠加水分解物のみで培養した場合でも、YPD 培地には及ばないものの、所定時間で 100 倍近くの増殖となり、実用上十分であるといえる結果が得られた。また、ラボスケールで SSF の結果を図 4.1.14 に示す。天然物である稲わらは少量の栄養成分を含むため、図中(a)と(b)の比較から分かるように、栄養成分の添加がなくても、速度は遅くなるが、最終的には約 80%のエタノール収率が得られた。ただし、(c)に示すように、栄養添加なしでデンプンによる補糖を行うと、グルコース生成速度に対して酵母の不足による影響が顕著であり、300 時間経過後も反応終了に至らないという結果となった。一方、米糠による補糖と栄養添加では、(d)のように、反応開始直後にグルコース濃度が低下し、速やかなエタノールの生成が認められた。栄養成分の効果に加え、加水分解が容易なデンプンからのグルコース生成の影響により、コーンステープの結果と比較しても酵母増殖が速やかであり、米糠を用いることで効率の良い同時発酵プロセスの設計が可能であることが示唆された。このことは、パイロットスケールの発酵槽で稲わらの SSF に対する米糠添加の影響を同様に評価した結果においても顕著な効果が認められている。稲わらの SSF に対して、米糠は安価かつ合理的な栄養源であると結論付けられた。なお、米糠を用いた検討については主に日本国内で実験を行ったが、HCMUT 研究プラントに併設するラボにおいて、ベトナムで得られる大豆加工残渣、ピーナッツ加工残渣、ジャガイモ加工残渣に加え、本プロジェクトで得られるエタノール蒸留滓、メタン発酵消化液に対して、同様に栄養源としての評価を実施した。これより、ジャガイモ加工残渣およびエタノール蒸留滓は特に有望であると判断できる結果が得られた。

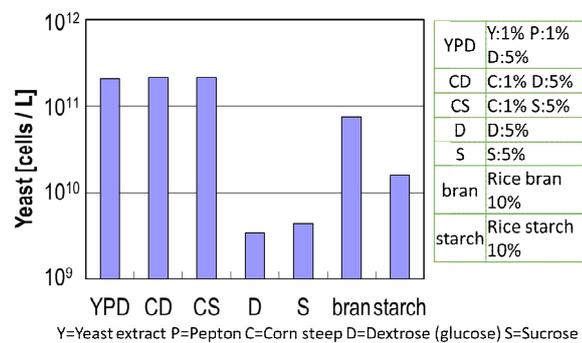
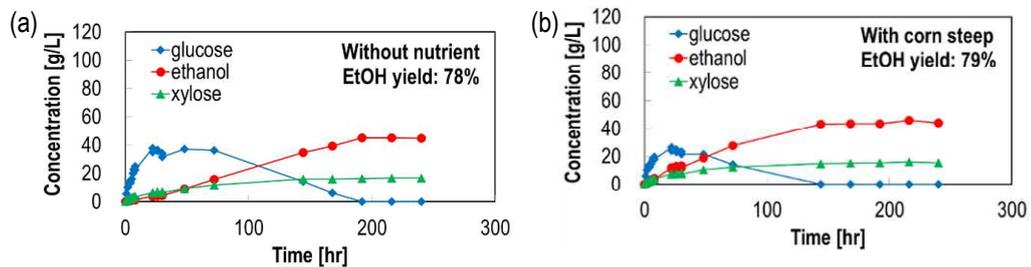


図 4.1.13 培地成分による酵母増殖量の比較



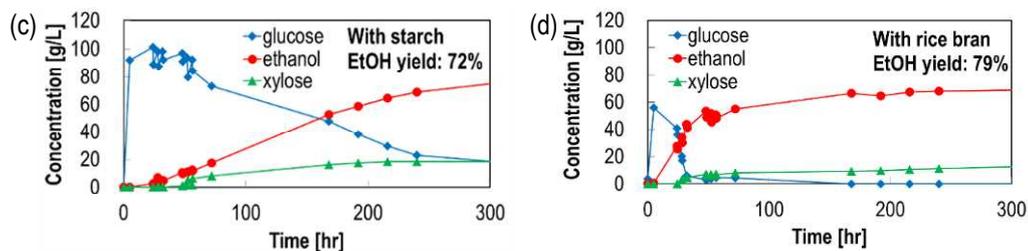


図 4.1.14 種々の添加物の稲わらの同時糖化発酵挙動への影響

稲わらの前処理におけるアルカリのリサイクル: 前処理のコスト削減として、HCMUT 研究プラントで標準法としているアルカリ前処理において、アルカリ液を再利用することに着目した。その評価・検討として、HCMUT 研究プラントにて、ラボおよびパイロットスケールの実験を実施した。結果の一例を図 4.1.15 に示す。一度使用したアルカリ処理液をそのままの再利用では十分な効果を得ることがはきなかったが、再利用する際に適宜水酸化ナトリウムを補充することで、アルカリ液をリサイクルしない場合と比較して、水酸化ナトリウムを 30%、また、中和用の塩酸を 50%削減できることが期待される結果が得られた。費用試算ケース 3 で仮定した前処理費用の半減には及ばなかったが、前処理として効果が高く技術としても確立しているアルカリ処理のさらなる最適化は、実用化プロセスを構想する際には重要なファクターであるといえる。

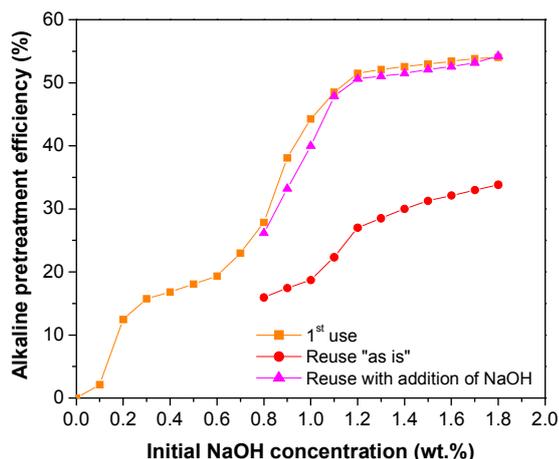


図 4.1.15 稲わら前処理におけるアルカリの再利用

共存物質の影響による酵素糖化反応のコントロール: リグノセルロース系バイオマスの酵素糖化プロセスにおいて、酵素の非生産性吸着、すなわち酵素が反応部位以外に不可逆吸着されるために生じる生産性低下が知られている。ここでは、リグノセルロースの酵素反応の系に酵素以外のタンパク質・ポリペプチドなどを共存させ、多成分吸着の状態を利用することで酵素の吸脱着挙動を操作する手法に着目した。具体的には、稲ワラの酵素糖化過程において、酵素活性を持たないポリペプチド(ウシ血清アルブミン(BSA)、酵母エキス、ペプトン、コーンステープなど)を共存させることによる糖化反応の挙動の変化を調べた。図 4.1.16 に、ろ紙(セルロース)およびアルカリ処理稲ワラの酵素反応に対する BSA の影響として、グルコースへの転化率の経時変化を示した。ろ紙の分解において、セルラーゼのみでは 75%程度で頭打ちとなったのに対し、BSA を共存させることで 72 時間経過後には 100%近い転化率に達した。一方、アルカリ処理稲ワラの分解においては、BAS 共存の有無にかかわらず、12 時間で転化率は一定となったが、BAS を共存させることで約 80%の転化率が得られた。いずれの場合においても、BSA の共存による転化率の向上が認められた。ポリペプチドの共存はリグニンに対する酵素の非特異的な吸着をブロックする効果によるも

のが大きいと予測したが、リグニンを含まないろ紙に対しても顕著な影響が認められた。そこで、ろ紙、アルカリ処理稲ワラ、リグニン、キシランに対する分解(吸着)後の上澄みの酵素活性の残存率を調べた(図 4.1.17)。リグニンとの接触に対しての BSA 共存の効果は大きいものであったが、リグニンのみならず、ろ紙(セルロース)やキシラン(ヘミセルロース)の接触に対しても、BSA の共存による活性低下の抑制が認められた。また、SSF においても共存物質の影響調べたところ、もともと SSF は糖化と発酵を効果的に組み合わせているため、単独の糖化と比較すると添加物の影響は顕著ではなかったが、収率の向上や前処理負荷の軽減を示唆する結果が認められた。なお、BSA 以外の共存物質のなかでは、コーンステープに酵素糖化反応の効率化に対する影響が認められた(図 4.1.18)。一概にタンパク質・ポリペプチドと言っても、その構造や性質は多種多様であり、酵素糖化反応への影響も一定ではない。安価かつ効果の高い共存物質の探索は将来的な課題とするが、反応をコントロールするための共存物質の添加は、酵素反応の効率化や前処理負荷の軽減に資するものと期待できる。

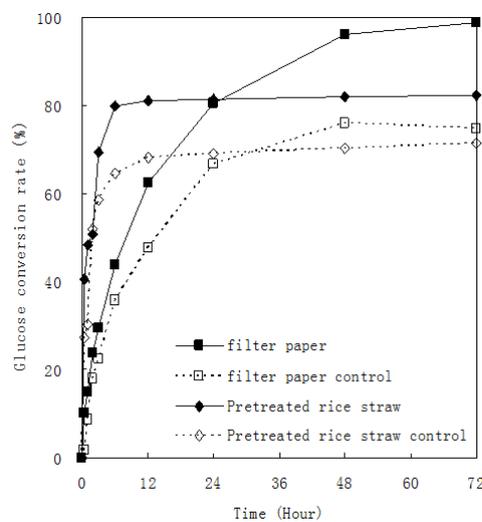


図 4.1.16 ろ紙およびアルカリ処理稲ワラの糖化に対する BSA の影響

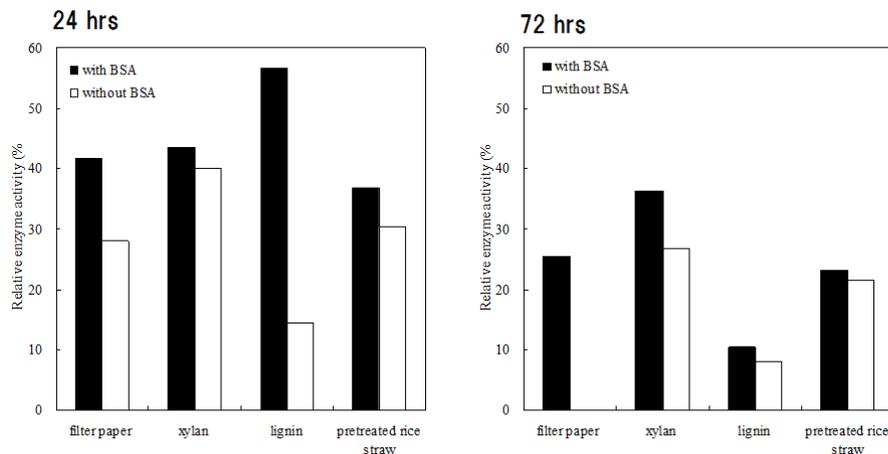


図 4.1.17 酵素活性の残存率の比較

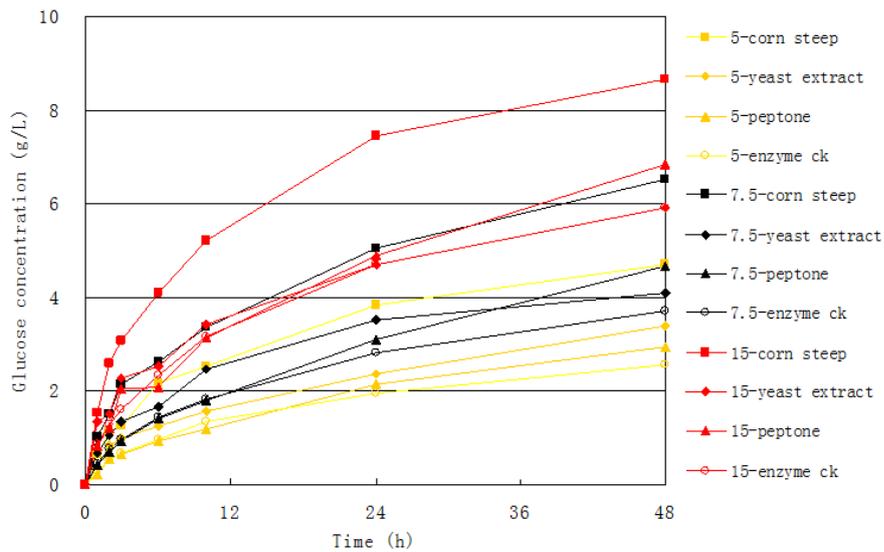


図 4.1.18 ろ紙の糖化(5-15FPU/g)に対する酵母エキス、ペプトン、コーンステープの影響

#### Thai My デモンストレーションプラントの設計・構築・運営

(投稿中論文(別添資料)12, 口頭発表 40, 口頭発表予定(別添資料) 7,11)

Thai My デモンストレーションプラントは、図 4.1.19 に示す木質バイオマスの炭化/発電複合プロセスと家畜排泄物のメタン発酵を併設する構成とした。炭化/発電複合プロセスでは、毎時 60kg のバイオマス(竹、メラルカ、もみ殻など)の炭化处理をベースとした。原料ももつエネルギーの 1/2 は炭化物に保存されるが、残りの 1/2 は一酸化炭素や水素を主成分とする可燃性ガスとして炭化炉から排出される。ガスクリーナー部(冷却器およびフィルター)にて排出されるガスから木タールや木酢を除き、ガソリンエンジン発電機を改造した発電機にて 10kW の電力を得る設計とした。本プロセスは、外部からの電源供給なしに起動・運転が可能である。また、得られた木タールは余剰ガス燃焼器に併設したバイオオイルバーナーで燃焼させることができる。なお、熱需要のある実験を行わない Thai My デモンストレーションプラントに導入した本プロセスでは実装しなかったが、HCMUT 研究プラントに導入したものと同様な廃熱回収ボイラーを装備することは可能な設計としている。一方、バイオガスプロセスは、ベトナムで実際に普及している埋設式のメタン発酵槽とガスバックによるバイオガス貯留方式を採用し、1 日あたり 100kg 程度の牛糞を同量の水と混合して投入し、2-4Nm<sup>4</sup> のバイオガスを得る構成とした。発生したバイオガスは、原則として市販の脱硫剤にて硫化水素を除いたのち、ガソリンエンジン発電機を流用した発電機で利用することを基本的な運用とした。炭化/発電およびバイオガスの両プロセスともに、プロセスの運転条件と電力需要の不一致を解消する試験に対応できるように、それぞれ充電設備を付属させた。

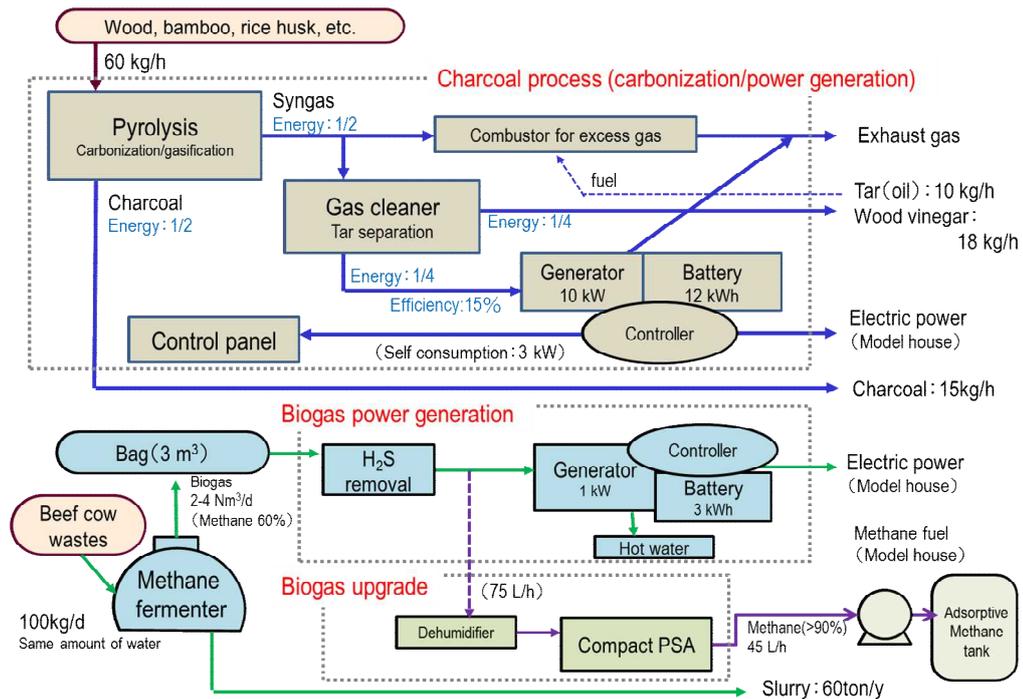


図 4.1.19 炭化/発電複合プロセスとバイオガスプロセスの基礎設計の概要

上記のデモンストレーションプラントの設置を含む Thai My 村での研究活動についてベトナム側とも協議の上、地域住民への説明、村内の用地確保、建屋の設計、装置の詳細設計の確定といった一連の作業を経て、平成 24 年 4 月に、まずは建屋工事に着工した。その後、ベトナム側の主導によってメタン発酵プロセスの設置を進め、7 月から牛糞の投入を開始した。同年末には炭化/発電複合プロセスなど日本側で手配した機器の設置を行い、平成 25 年 1 月にすべての工事が完了した(図 4.1.20)。バイオガスプロセスは、週に 5 日の牛糞投入を長期間継続して行っているとともに、炭化/発電プロセスにて物質・エネルギー収支をはじめとする必要な工学データを収集するための運転を定期的の実施している。



図 4.1.20 Thai My デモンストレーションプラント(左上:炭化/発電複合プロセス、右上:発電機室、左下:埋設式メタン発酵槽、右下:開所式の様子)

炭化/発電複合プロセスの運転結果の一例を図 4.1.21 に示す。基礎設計に従った性能が達成されることを確認するとともに、ガスクリーニングの挙動(木タール、木酢の分離)やガス組成、発電効率や電力利用など、より詳細な工学的検討に提供するデータを集積した。炭化炉内部におけるガス化挙動の数値解析(CFD: Computational Fluid Dynamics)を試みた結果を図 4.1.22 に示す。パラメータフィッティング等のアプローチにより、実際の運転の状態を良く再現するモデルが得られ、将来的な設計条件・操作条件の最適化に資することが期待できる。この CFD による検討は、ベトナム側が主導して取り組んだ。さらに、Thai My デモンストレーションプラントに導入した炭化/発電複合プロセスに基づき、発電能力を 200kW としたスケールアップモデルの PFD を図 4.1.23 に示す。建設費の概算は 600 億 VND(3 億円)、年間 330 日の稼働で、1 日あたり 10 トンのバイオマスを投入する計画として、物資・エネルギーおよびコストの試算を行った。なお、運転に必要な人員は 9 名とした。年間 950 トンのチャコールブリケットを生産しながら、自身のプロセスで消費する電力を差し引き、年間 1,300MWh の電力が販売可能となる。コストの分析については、バイオマスタウンの構築と評価の項で説明した通りである。

一方、バイオガスプロセスの実際の運転では近隣畜産農家から牛糞を入手し、70kg/d で投入した。計画値より少し抑えた量としたため、バイオガスの発生量は 1.5-2Nm<sup>3</sup>/d での推移であった。プロセス設計に比例したガス発生量であり、予定の性能が得られたと判断できる。メタン発酵消化液については、農工研グループが計画した水田への施肥に提供した。消化液の輸送にあたっては、農村部で容易に手配可能なトラクターによる牽引を想定し、トレーラータンクを試作した(図 4.1.24)。また、本プロセスは、後述の要素技術開発(脱硫の研究および PSA の研究)の場としても利用されている。

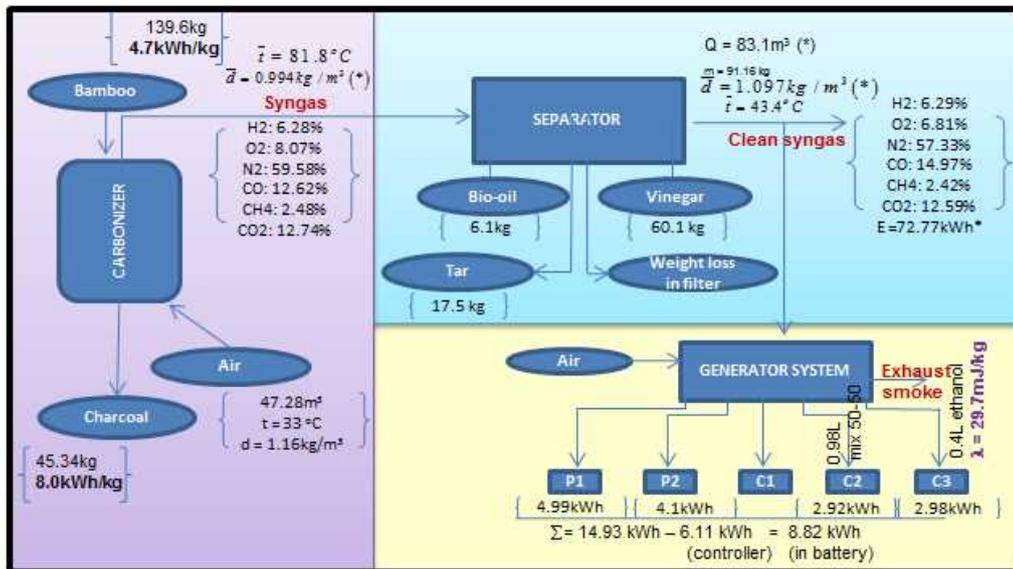


図4.1.21 炭化/発電プロセスの運転結果の一例

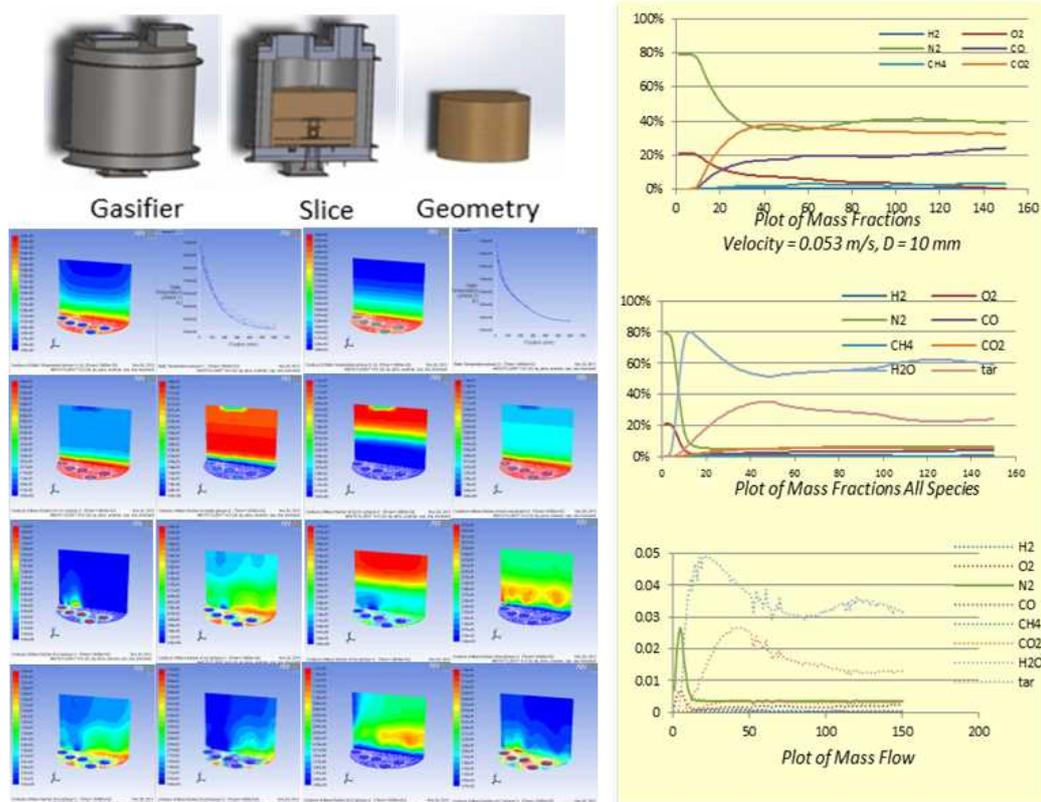


図 4.1.22 ガス発生挙動の CFD による解析

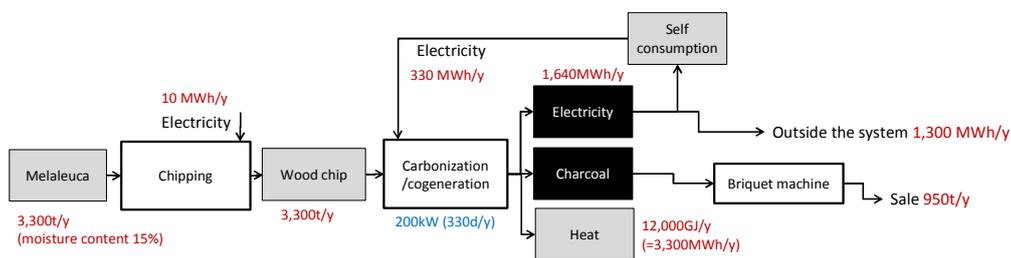


図 4.1.23 実用化を想定したプロセスの試設計



図 4.1.24 試作したトレーラータンクによる消化液の輸送・施用

### 3) 要素技術の開発・体系化

#### 分子篩活性炭を用いた発酵液からバイオエタノールの直接吸着分離

(原著論文 2 投稿中論文(別添資料) 19, 口頭発表 37 ポスター発表 25, 30, 37)

従来の技術で発酵液から高濃度バイオエタノールを得るには蒸留-共沸蒸留(または、抽出蒸留)、蒸留-PSA などの二段階プロセスが必要となる。蒸留プロセスは広く使われているが、エネルギー消費の観点からは小規模のプロセスには向いていない。したがって、本プロジェクトが目指す小規模分散型バイオエタノール生産を実現させるためには、簡便かつ効率的な分離濃縮法が必要となる。そこで、本研究では分子ふるいカーボンを用いて一段階での高度な濃縮ができるバイオエタノール濃縮プロセスの提案を行った。その概念図を図 4.1.25 に示す。

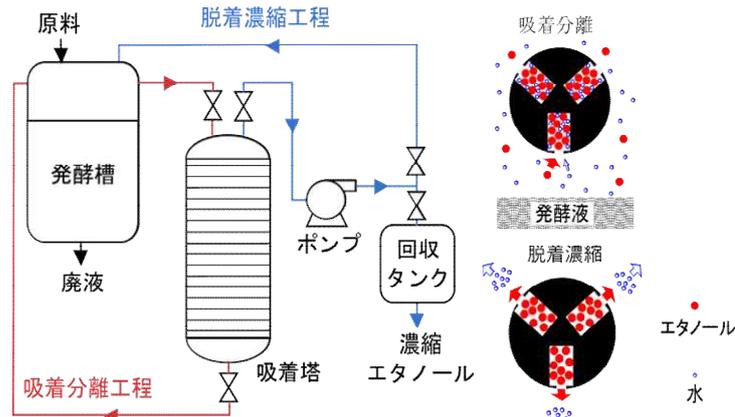


図 4.1.25 提案するバイオエタノール濃縮プロセスの概念図

本手法は、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。エタノール分子径に近い吸着剤、疎水性ゼオライト(HISIV3000)、モルシーボン 5Aと4Aを用いて本プロセスに適切な吸着剤を選定した。図 4.1.26 には 5wt%エタノール水溶液と平衡な蒸気中における吸着量である。分子ふるいカーボンはエタノールと水で細孔の8割以上が満たされている一方で、シリカライトは半分以下しか満たされていないことが分かった。HISIV3000 は疎水性が強すぎるためにエタノールの吸着量が小さくなったからだと考えられる。水の吸着量は HISIV3000 が一番小さいが、エタノールの吸着量も同様に最小であるため、結果として吸着相エタノール濃度は低くなってしまっている。吸着剤の中で MSC5A が吸着によるエタノール濃度が 73.2%で最も高かった。

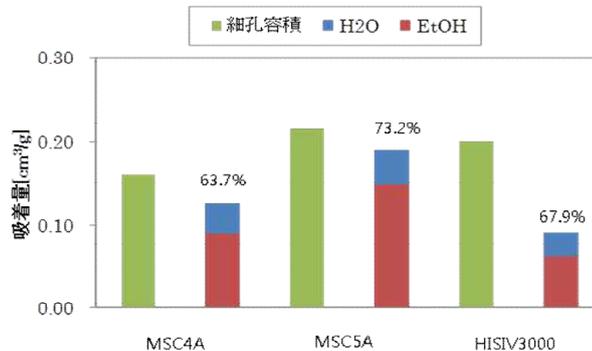


図 4.1.26 5wt%エタノール水溶液と平衡な蒸気中における吸着量

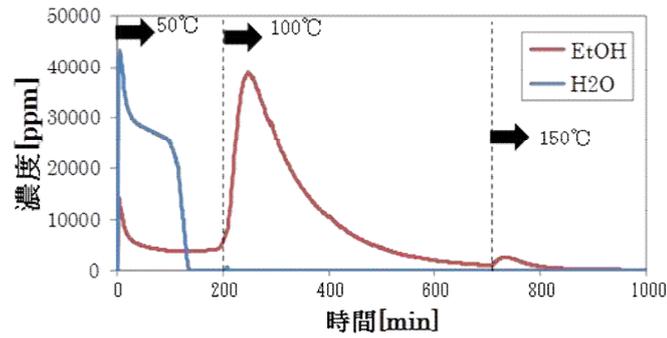


図 4.1.27 二成分系における脱着曲線

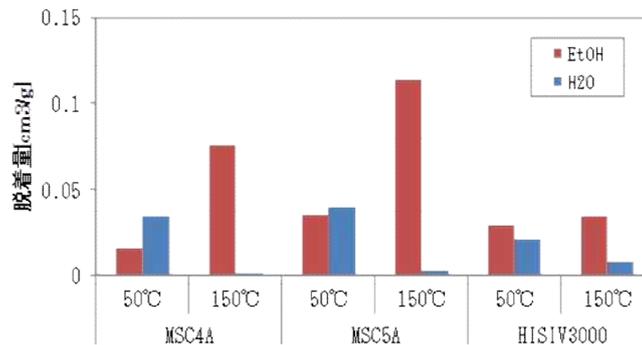


図 4.1.28 吸着剤による脱着濃縮性能の比較

図 4.1.27 に水/エタノール二成分系における脱着曲線を示す。50°Cでは水が選択的に脱着し、温度を100°C以上に上げることでエタノールの脱着も引き起こされることが示されている。単成分系において水とエタノールの脱着速度の差が異なっており、その差を利用した脱着濃縮の可能性が示唆されていたが、二成分系においても同様の結果が得られ、脱着濃縮が行えることが明らかになった。図 4.1.28 に脱着濃縮性能の吸着剤毎の比較をまとめる。まず、分子ふるいカーボンに関して、50°Cの脱着では水が選択的に脱着するため、150°Cではほとんど純粋なエタノールが得られる。これに対して、HISIV3000 では 50°Cで水が選択的に脱着せず、150°Cでエタノールが脱着するのと同時に相当量の水も脱着している。結果、HISIV3000 では 80wt%までしかエタノールを濃縮できなかったが、分子ふるいカーボンでは 97wt%以上に濃縮できることが明らかになった。以上の事から、分子ふるいカーボンは脱着濃縮に適した吸着剤であると判断できる。以上の吸着剤のスクリーニングで選定したMSC5A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°C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。最適化した運転条件で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た。水/エタノールの二成分系と実際の稲わらから得られたエタノール発酵液の分離性能の比較を行った。図 4.1.29 に示されているように吸着と脱着量は二成分系と発酵液系で変わらず、この分離プロセスは発酵液中の微量成分の影響を受けないことが分かった。この結果から本手法の発酵プロセスとの関係は有効であることが明らかになった。

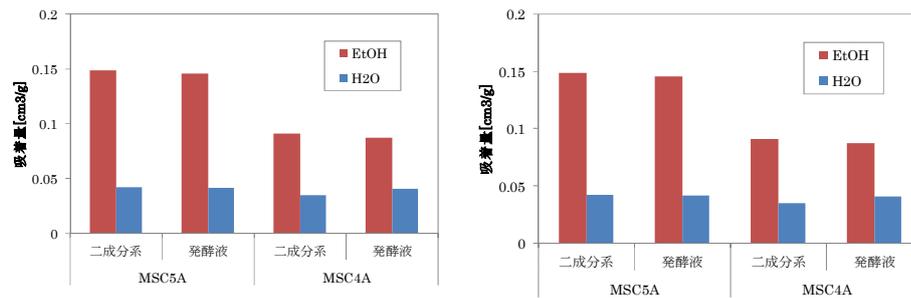


図 4.1.29 水/エタノール二成分系と発酵液系における吸着量(左)と 脱着量(右)の比較

本プロセスはスケールアップしても脱着時温度や圧力の詳細なコントロール以外には基本的に起こる現象に変わりはない。しかし、ガストリップングで発酵液中のエタノールを気化させる必要があるため、固形物量の多い実際発酵液の場合にはうまくガストリップングできない可能性もある。この場合はガストリップングのために設計された反応容器が必要になる可能性がある。これを実際に確認する為、ホーチミン市工科大学構内にある同時糖化発酵槽でガストリップング実験を行った。その様子を図 4.1.30 に示す。

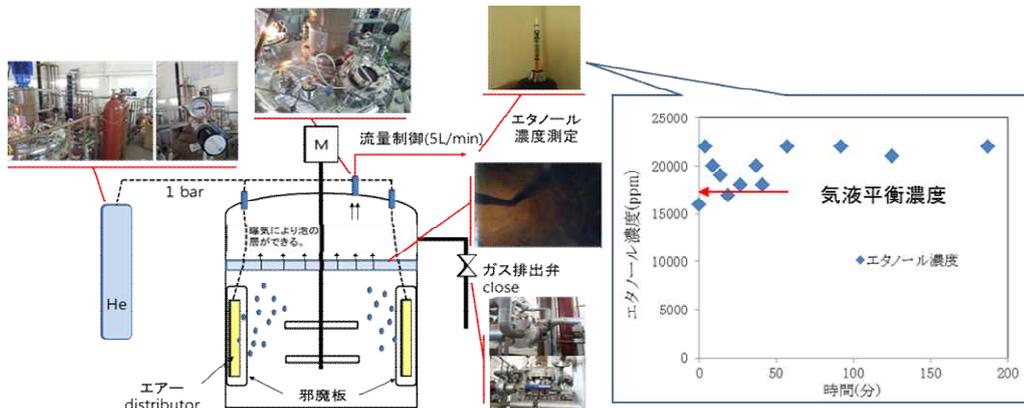


図 4.1.30 500kg稲わら同時糖化発酵液を用いたガストリップングテスト

図 4.1.30 に示したように発酵槽の改造を行わなくてもガストリップングによって気液平衡濃度に近いエタノールを含むガスを吸着塔まで送ることは可能であることが分かった。これらの結果から小規模分散型バイオエタノール生産との組み合わせの有効性が示された。

#### 竹炭の分子篩性能の評価と家電型バイオガス分離技術

(投稿中論文(別添資料) 16, 22, 口頭発表 10, ポスター発表 3, 10, 37)

バイオガスはベトナム等の開発途上国では家庭用の燃料として広く使われているがバイオガスの中には非可燃性ガスである二酸化炭素が40%近く含まれているため質の高い燃料として使うには精製する必要がある。バイオガスの精製には分子ふるいカーボンがよく使われている。分子ふるいカーボンは主に炭化、活性化、細孔の修飾の三つの工程によって作られる。しかし、活性化と細孔修飾には過剰のエネルギーや物質の投入が必要となるに加え、特殊な技術が必要となることから分子ふるいカーボンを安価でかつ簡便に作るのは非常に困難である。そこで本研究では竹を用いた温度調整による炭化のみで微細孔の調整ができることに着目し、開発途上国にて安価でかつ簡便に使えるバイオガス分離用の分子ふるいカーボンの開発を目的とした。

原料はモウソウ竹を使用し、炭化は炉心に石英チューブを通した管状炉を用いて行った。炭化温度は 600℃、800℃、900℃、1000℃とした。

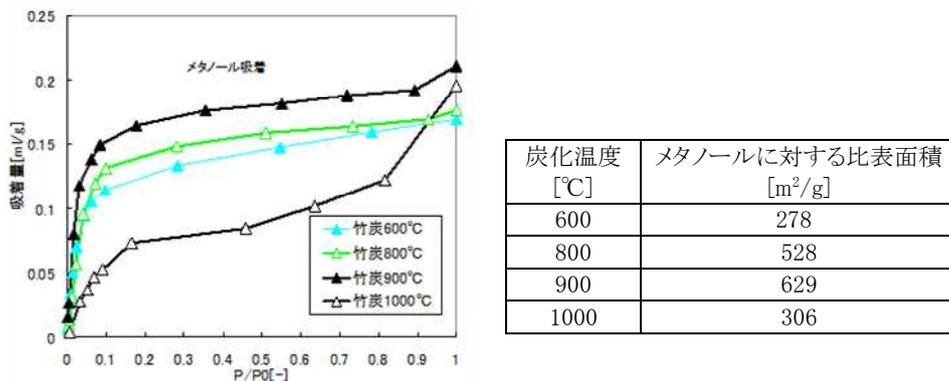


図 4.1.31 メタノール吸着等温線(左)と比表面積(右)

竹炭をメタノールで吸着等温線(図 4-31 左)を測定し、BET 理論に基づいて竹炭の比表面積を測定した(図 4.1.31 右)。600°Cから900°Cで炭化した竹炭は炭化温度に従って、比表面積が増加しているが、1000°Cになると、比表面積は逆に減少している。得られた吸着等温線と合わせて見ると、炭化温度が 1000°Cになると、超マイクロ孔の細孔径が小さくなりすぎて、メタノールが入れない細孔ができたと考えられる。モレキュラープローブ法によって細孔径を評価しその結果を図 4.1.32 に示す。

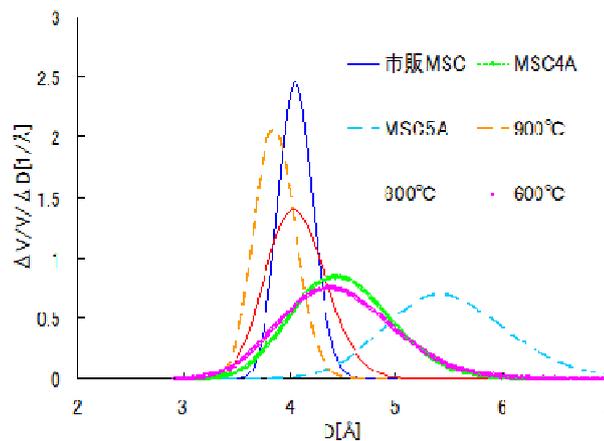


図 4.1.32 対数正規分布を仮定した細孔分布

この結果から竹炭 600°Cの細孔径は MSC4A とほぼ同じ大きさであり、竹炭 800°Cの細孔径は MSC4A より小さいが、バイオガス分離用 MSC(市販 MSC)よりは大きいということが分かった。また、炭化温度が高くなるほど、細孔分布のピークが鋭くなり、より狭い細孔分布 (3.8~4Å 程度)を持つことが明らかになった。なお、竹炭のメタンと二酸化炭素の吸着特性を調べた結果を以下に示す。

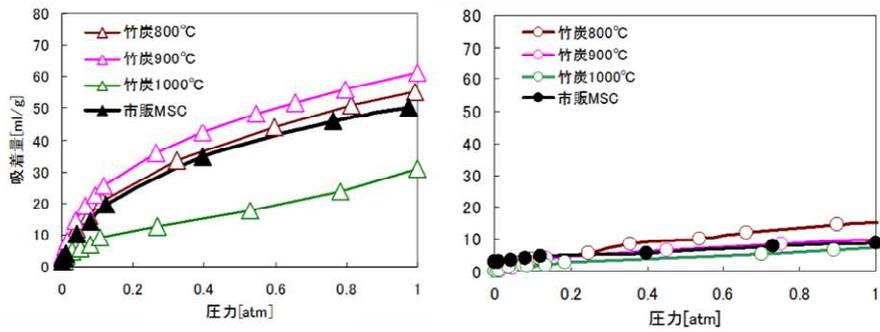


図 4.1.33 二酸化炭素(左)とメタン(右)の吸着等温線(25°C)

竹炭 900°C の場合で  $\text{CO}_2$  の平衡吸着量が最大になる一方で、 $\text{CH}_4$  の平衡吸着量は最小となり、 $\text{CH}_4$  と  $\text{CO}_2$  の吸着量の差が最大となった。平衡分離の観点から、竹炭 900°C は市販のバイオガス分離用 MSC と比べても性能において遜色がないことがわかった。(図 4.1.33)

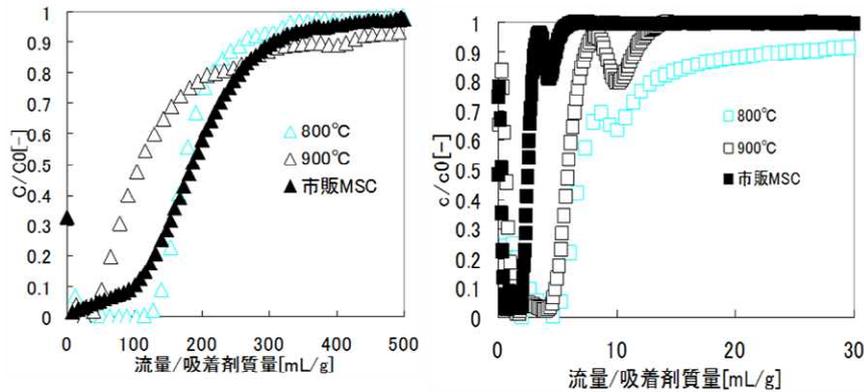


図 4.1.34 二酸化炭素(左)とメタン(右)の破過曲線

ガスクロマト法により、各炭化温度で炭化した(800°C、900°C、市販 MSC)の  $\text{CO}_2$  破過曲線を測定した結果を図 4.1.34 に示す。バイオガス分離用 MSC と比べて竹炭 900°C への  $\text{CO}_2$  の吸着速度が相対的に小さい。速度分離の観点からも竹炭は非常に有効なバイオガス分離用の MSC であることが分かった。

家電型バイオガス分離技術については、ベトナム現地で入手可能な安価な吸着材としてベトナム産竹炭を作成し、家電型小型の PSA 装置を用いてバイオガス分離性能を評価した。この研究はホーチミン市工科大化学工学部と共同研究として行った。

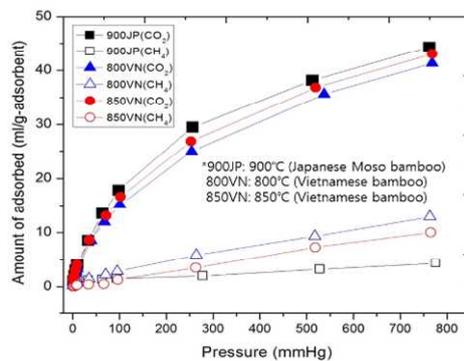


図 4.1.35 ベトナム産竹炭における 二酸化炭素とメタンの吸着等温線

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。その結果を図 4.1.35 に示す。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。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(図 4.1.36 の右)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(図 4.1.36 の左)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た。その様子を図 4.1.37 に示した。

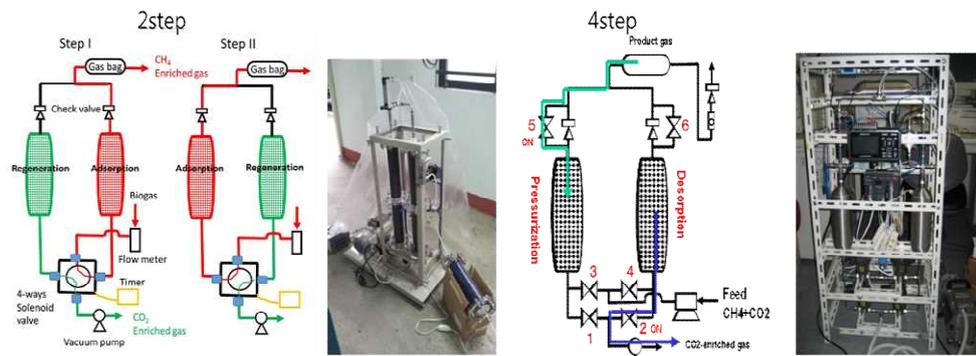


図 4.1.36 家電型小型の PSA 装置の様相

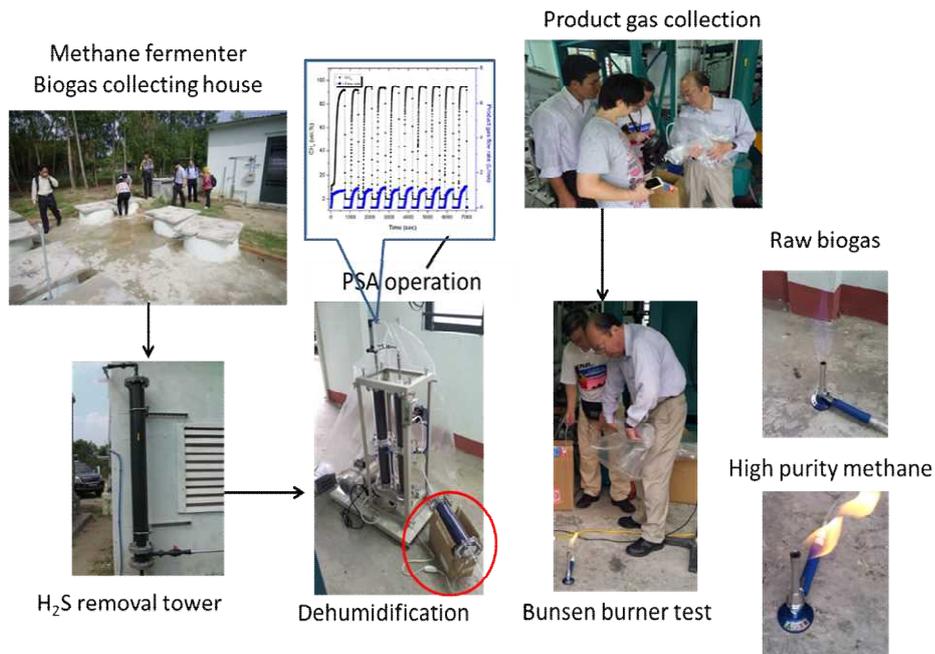


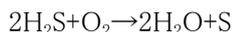
図 4.1.37 家畜排泄物から発生したバイオガスを用いた現場実験の様子

バルブ操作などが簡略された小型家電形 PSA 装置でバイオガス中の 60-65%メタンは 95%程度まで濃縮できることに成功した。PSA 装置から回収できないメタンは元のガスバックに戻しメタンガス発電に使うシステムを構築してメタンガスの有効利用度を向上させることに成功している。

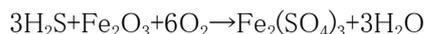
#### 硫化水素除去技術の検証

(投稿中論文(別添資料) 20, 口頭発表 33, ポスター発表 21, 24)

ベトナムでは、農家等が家畜糞尿をメタン発酵し、得られたバイオガスを燃料として利用する慣習が広く根付いている。しかしながら、バイオガス中には、硫化水素(H<sub>2</sub>S)が2000ppm程度含まれており、現状ではこれが除去されないまま利用されており、臭気や健康などの問題を引き起こす可能性がある。しかしながら、従来の脱硫プロセスでは、コスト高からその普及が難しいと思われる。そこで本研究では、開発途上国でも適用可能な安価なH<sub>2</sub>S除去プロセスを開発することを目標としている。通常の脱硫剤は基本、交換を前提とするため、脱硫剤のコストや交換費はそのままランニングコストに影響することが我々の試算により明らかになっている。そこで本研究では、特に、安価で高性能な脱硫剤の選定、作製が特に重要であると考えており、中でも酸化鉄系資材に注目している。酸化鉄系資材による脱硫は、主に以下の反応機構によって生じることが知られている。



酸化鉄は、この反応を促進する触媒の働きをしており、生成した固体硫黄 S<sub>8</sub> は、酸化鉄資材の外表面に付着するため、この反応では見かけ上 H<sub>2</sub>S が吸着されたかのようにふるまう。なお、バイオガス中には、せいぜい数千 ppm 程度の酸素しか含有されていないが、このような環境下でも十分にこの反応が起こりうることを本研究では実験的に確認した。しかしながら、酸化鉄資材の触媒機能の劣化は著しいことが確認され、また、その原因が既往の研究では解明されていなかった。そこでまず、劣化機構を明らかにし、それを防止可能か、また、それを踏まえて、どのような性質を持つ酸化鉄系資材が脱硫に適するののかについて検討した。この結果、触媒機能は以下の副反応により、酸化鉄外表面の触媒活性点が失われるために起こることが本研究により明らかになった。



副反応で生成した Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> は、800℃程度で Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に戻り、触媒機能も元に戻ることが確認できた。しかし、反応条件を変えることによる副反応の抑制についても検討したが、主反応に対する副反応の割合は、常温付近ではほとんど制御できなかった。また、H<sub>2</sub>S 吸着後の酸化鉄を酸で洗うなどの検討を行ったが、常温付近の処理では、触媒機能は殆どもとに戻らなかった。このため、酸化鉄系資材は基本的に使い捨てで、機能の劣化とともに交換する必要があるとの結論に至った。次に、どのような酸化鉄系吸着剤が脱硫に適するののかについて検討した。その結果、吸着量は酸化鉄粒子の粒径に顕著に依存し、ほぼ外表面積に比例することを見出した。そこで、(1)酸化鉄系廃棄物、(2)安価で簡便に作製可能な酸化鉄ナノ粒子、について検討した。

#### (1)酸化鉄系廃棄物

酸化鉄系廃棄物として、アルミ精錬廃棄物である赤泥に注目した。赤泥は、60%程度の酸化鉄で構成されており、また、SEMで観察したところ、およそ20-50nm程度の粒子からなっていることがわかった。微細なナノ粒子であり、特に改質などせずとも、そのままの状態でも高性能な脱硫剤になりうる可能性がある。そこで、脱硫剤としての性能を測定したところ、図 4.1.38 に示すように市販の脱硫剤よりも高い脱硫性能を有しており、開発途上国向けとして非常に有望であると思われる。

(2)安価で簡便に作製可能な酸化鉄ナノ粒子 安価で製造可能なプルシアンブルーを 300℃前後の低温で熱処理することにより、微細な酸化鉄微粒子を作製可能であることが知られている。その脱硫剤としての利用可能性を検討した。その結果、図 4.1.39 に示すように、300℃で加熱したものについて、市販の脱硫剤の10倍程度の脱硫能力を持つことがわかった。(1)では、脱硫剤のコストがただ同然であると考えられ、(2)のほうが脱硫剤のコストがやや高くなると思われる。しかしなが

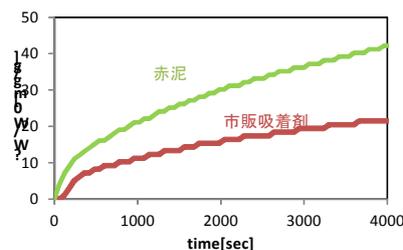


図 4.1.38 赤泥の脱硫性能

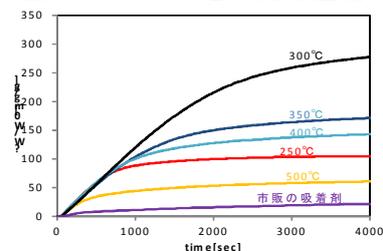


図 4.1.39 脱硫性能のプルシアンブルーの熱処理温度依存性

ら、脱硫剤の交換が(2)のほうが 1/10 の頻度でよく、今後、使用サイトの状況 ( $H_2S$  の濃度や発生量) の調査などから、それに応じて設計を行う必要があることがわかった。

### 活性炭と廃棄物系吸着剤、木酢液に関する研究

(原著論文 6, 8, 14 投稿中論文(別添資料) 23, 24 口頭発表 39, 43, ポスター発表 13)

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吸着分離技術の開発を進めた。なお、活性炭と廃棄物系吸着剤に関する研究開発は、ホーチミン市工科大化学工学部と連携し、木酢液に関しては、ハノイ理工科大化学工学部と連携し研究を進めた。ベトナム産メラルカや竹からの活性炭の作成法は図 4.1.40(左)に示す。これらの活性炭からの二酸化炭素、メタンの吸着性能を評価したところ、メラルカ炭よりは竹炭が二酸化炭素とメタンの分離性能がいい事が分かった(図 4.1.40 右)。

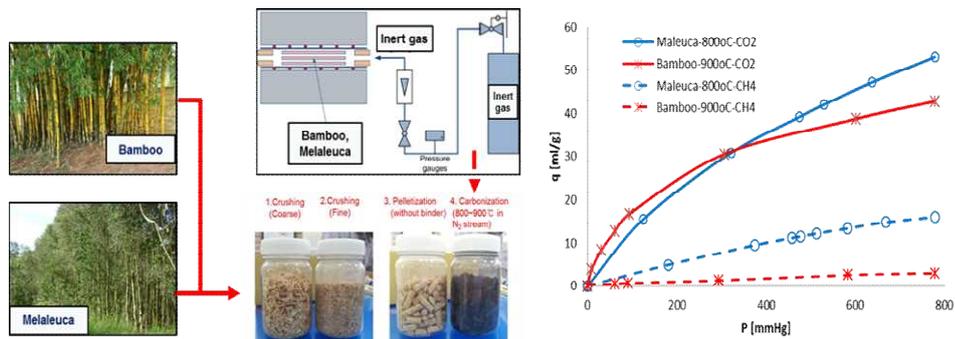


図 4.1.40 ベトナム産メラルカ、竹からの吸着剤作成法(左)とその吸着性能(右)

アルミニウム製錬工程から排出される赤泥 (red mud) という酸化鉄を含む廃棄物系脱硫剤として使う研究を行った。赤泥を用いた脱硫プロセスを Thai My デモンストレーションプラント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た。その様子を図 4.1.41 に示す。

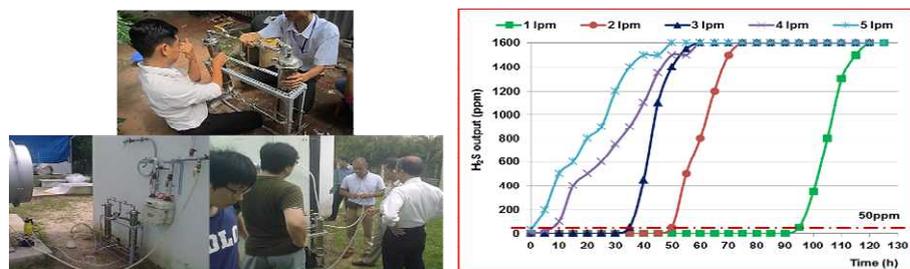


図 4.1.41 赤泥を用いた脱硫実証試験の様子(左)とその結果(右)

Thai My デモンストレーションプラントの炭化/発電プロセスの運転からの副産物として排出される木酢液の有効利用法に関する研究を行った。木酢液をバイオペスティサイドとしての効果を色んな植物を用いて調べた。その様子を図 4.1.42 に示す。



図 4.1.42 木酢液のバイオペスティサイドとしての活用の様子

稲わらのスロー前処理研究  
 (口頭発表 34, ポスター発表 20)

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た。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した(図 4.1.43)。しかし、フクロタケでは十分な稲わらの前処理効果を得ること出来なかったため、同じく食用であるがリグニン分解の選択性が高い白色腐朽菌(ヒラタケ)を用いた前処理の検討を行った。



図 4.1.43 群馬県高崎市屋内フクロタケ栽培農家の訪問調査(左)とヒラタケによる前処理(右)

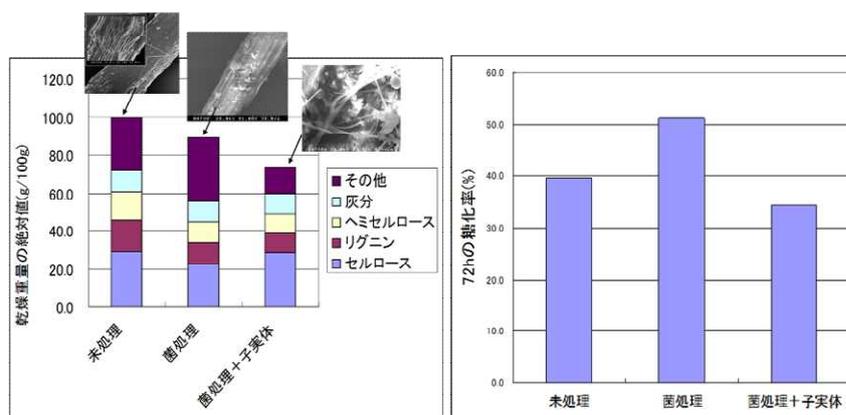


図 4.1.44 白色腐朽菌を用いた前処理による稲わらの組成変化(左)と糖化効率(右)

図 4.1.44 に示されているように白色腐朽菌を用いた前処理でリグニンを選択的に除去でき、

未処理の稲わらに比べ 3 日間の糖化率が 30%改善されたが、子実体を発生させることによってセルロースはさらに濃縮されたが糖化効率は悪くなったことが分かった。菌処理によるスロー前処理は化学的前処理に比べては効率が悪く実用化は難しいと判断した。

#### ④カウンターパートへの技術移転の状況

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た。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た。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た。

また、PSA によるバイオガス純化システムの検討について、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

(口頭発表 1, 15, ポスター発表 6)

地域システムの設計において、地域内の資源循環シナリオを作成するにあたり、ケイ素の重要性に着目した。ケイ素はイネにとって必須元素であるが、地域的・季節的に農地で欠乏し化学肥料としてケイ酸質肥料が施肥される例は多い。一方でイネが吸収したケイ素の多くは籾殻に蓄積されるが、脱穀後の廃籾殻はケイ素資源として有効利用されておらず、ケイ素の持続可能な地域物質循環システムの構築という試みは見当たらない。そこで、種々の籾殻資源化のサブシステムとして、また化学肥料の大幅削減による省エネ農法の一環として、ケイ素の適切な農地還元システムの着想に至った。本システムの具現化のネックと考えられる籾殻中ケイ素の可溶化を検討した上で、籾殻の燃焼で出来た籾殻灰をケイ素肥料として使う場合と他の化学肥料を使う場合のコストと環境性(二酸化炭素の排出)を比較を行った。(図 4.1.45)

	ケイ酸含有量	必要量	単価	コスト	CO <sub>2</sub> 排出係数	CO <sub>2</sub> 排出量
鉢さい	20%	600kg	29.15 円/kg	17500 円	9g/円	157kg
ケイ酸肥料 (ゼオライト など)	70%	170kg	100 円/kg	17000 円	9g/円	154kg
シリカゲル 肥料	90%	130kg	540 円/kg	70200 円	9g/円	648kg
籾殻の燃焼		43.6L (灯油)	68.4 円/L (灯油)	2980 円	36g/円	110kg

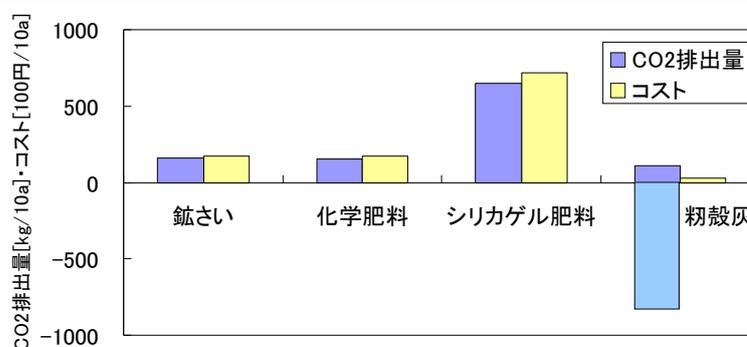


図 4.1.45 肥料の種類ごとのコストと二酸化炭素排出量

籾殻の燃焼に必要なエネルギーは炉の熱損失などを無視した最低量であるため実際には計算された値(CO<sub>2</sub>換算で110kg)よりも大きいと予想され、既存の銚さいやケイ酸肥料と同等であると考えられる。しかし、燃焼に必要な灯油のコストは他に比べて非常に安く、籾殻灰を利用する方法の優位性を示唆している。銚さいなどは工業地域から農業地域への輸送も必要となるため、この点でも籾殻灰は有利である。シリカゲル肥料に関しては、単価が非常に高いために水田への大量施肥には適していないといえる。溶出速度が非常に速いという利点はあるため、苗床などの特定場面でのピンポイントの使用が好ましいだろう。

また、この計算では籾殻自身が発する燃焼熱を考慮していない。籾殻は乾燥状態で3900kcal/kgの燃焼熱を持つ。10aあたり755kgの籾殻・稲わらの燃焼熱を全て回収できれば12000MJとなり、この熱量を灯油で換算すると820kgの二酸化炭素量に相当する。つまり、プロセスに必要な最低限のエネルギー110kg CO<sub>2</sub>に対し、燃焼時に生じる熱の回収・利用は820kg CO<sub>2</sub>削減のポテンシャルを持つということになり、この値で熱損失や施設費の償還、プロセスの運営費などを補うことが期待できる。

## (2)研究成果の今後期待される効果

ベトナムは現状においても一次エネルギーに占めるバイオマスの割合が大きい。近年の経済・工業の発展にともない、化石エネルギーの利用が増加したため、比率としては減少を示しているが、絶対量としては大きな変化を見せていない。このことは、一旦、バイオマス利用から離れてしまった日本とはことなり、バイオマスを利用する仕組みの基盤が維持されていることを意味する。現在や将来の社会に適合した合理的なバイオマス利用を提案してゆくことは、より利便性の高いエネルギーとして単純に化石燃料に代替するのではなく、将来にわたってバイオマスがベトナムの重要な資源としての一翼を担ってゆくためには不可欠である。このことは、ベトナム以外の東南アジア諸国などにも当てはまる考え方であろう。本プロジェクトでは、ソフト・ハードの両面で、ベトナムにおいてバイオマス利用の今後を考えるための基礎的な知見を示した。期待したい技術や社会に対する波及効果や今後の展開において、第一に挙げたいことは、現地におけるバイオマス関連産業の発展である。本プロジェクトで構想したバイオマスタウンといった地域分散型の展開は、ベトナム(対象国)で多数の事業が立ち上がることになる。多数の事業の導入および維持をサポートする産業が現地に構築されることは不可欠であろう。例えば、計画の構想作成やビジネスモデルの構築を支援する業務、機器の製造や設置および保守管理を行う業務など、直接的にバイオマスタウンの現場となる農村の計画以外に、現地における関連産業なしには本格的なバイオマスの展開は難しい。今後、望ましくは日本企業が主導して日本の産業にも還元する議論を行いながら、バイオマス利用を支える周辺産業の育成といったプロジェクトへの展開を期待したい。

本研究で開発されたエタノール分離技術、バイオガス分離技術などの要素技術で小規模分散型バイオマス利活用システムの実現可能性が示された。特に、バイオマスタウンのモデルシナリオとそ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はすでにベトナム国内外から大きな注目を浴びており、関連する各種研究の成果は他のアジア諸国でも適用可能であることを積極的に日本から発信してゆく。ベトナム側も本研究で習得した技術やノウハウの元で新たなバイオマス関連プロジェクトを立ち上げる等、ベトナム国内でのバイオマス利活用システムの重要性を喚起するのに力を尽くすと期待している。さらに本研究での経験はベトナム国内のバイオマスエネルギー関連政策立案にも大きな影響を及ぼすであろう。

## 4.2 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(東大農学生命科学グループ)

### (1)研究実施内容及び成果

『ベトナム国において稲わら等のリグノセルロース系バイオマスからの効率的なエタノール生産を行なうためには、その気候風土に合ったバイオマスの新規前処理・糖化技術が必要である。高温多湿の当該国にあっては保存中にカビ・キノコ等の働きにより、リグノセルロースの構造を軟化させ、セルラーゼの働きを高めることが有効と考えられる。また同時にベトナム国産の糖化酵素生産微生物の取得も意義のあることである。』なる研究のねらいをもって、本研究は開始された。

まず、『カビ・キノコ等の働きにより、リグノセルロースの構造を軟化させ、セルラーゼの働きを高める』ことを目的として日本において研究を進展させた。即ち、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し、稲わら分解性や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を行ったところ、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)が約 20 倍に増加するという現象が見出された。

共同研究者である熱帯生物学研究所 Dr. Hoang Quok Khanh 氏と、本件に関して話し合ったところ、ベトナム国では稲わらを一定期間積み上げ前処理した後、フクロタケに属するキノコを栽培するようなシステムが在ることが分かった。(図 4.2.1)



図 4.2.1 稲わらの積み上げ(左)とフクロタケ栽培(右)の様子

日本で見出された上記現象は、単離菌を用いてのものであり、現地に大量に存在している稲わら前処理には不向きであるため、ベトナム国において実施されている処理方法を菌叢解析も含め進展させることとした。

### ベトナム式稲わら積み上げにおける微生物解析 (原著論文 13, 口頭発表 8, 22)

稲わら積み上げ2日後のサンプルを解析した結果が図 4.2.2 の左である。DGGEで得られたバンドを切り出し再PCRの後、遺伝子配列を読み取り、当該遺伝子と類縁性が認められた他の菌株由来の遺伝子とあわせ、系統樹を作成したものである。熱産生等の状況から、少なくとも稲わら成分の分解は進行していることが分かってはいたものの、リグニン分解活性やセルロース分解活性を有する菌群からは、ほど遠い菌叢から成立していることが分かった。つまり、稲わらの積み上げ状態においては、易分解性物質が比較的好気的条件下で分解されているに過ぎないことが分かった。

もう一方では、フクロタケ栽培後の稲わら(廃菌床: 図 4.2.2 の右)の有効利用、即ち、廃

菌床を用いたバイオエタノール生産を考慮した。しかしながら、廃菌床ではセルロース成分が減少していることが判明したため、当該成分を用いることは実際的ではないと判断した。廃菌床については、コンポスト化が有望な戦略と考えられたものの、時間的な制約もあり、本プロジェクト内での検討はできなかった。

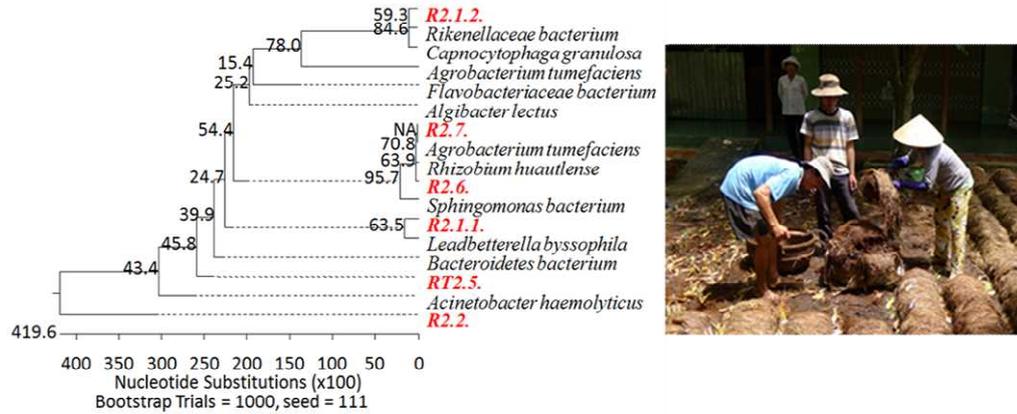


図 4.2.2 稲わら積み上げ2日後のサンプルを解析した結果(左)とフクロタケ栽培後の稲わら(右)

#### ベトナムにおける糖化酵素生産微生物の取得

(原著論文:7 口頭発表:31 ポスター発表:9,16,18,19)

次いで、『ベトナム国産の糖化酵素生産微生物の取得も意義のあることである』に関して述べる。

#### Sampling

Sample	Isolation sources	Place
C- LA	Compost	LONG AN province
D- LA	Paddy field's soil	
R- LA	Soil under rice straw stock	
R - TG	Soil under rice straw stock	TIEN GIANG province
D - AG	Paddy field's soil	AN GIANG province
Sample 1 - 11	Soil from swamp bottom	NAM CAT TIEN FOREST belonging to DONG NAI province
Sample 12	Sawdust used as fertilizer for trees	
Sample 13,14	Feces of deers in grass field	

図 4.2.3 糖化酵素生産微生物のスクリーニング詳細

本件に関しては、セルラーゼを標的として考え、コンポスト、稲わらを保管していたその下の土壌、稲作地、沼地の土壌、を対象として、スクリーニングを行った(図 4.2.3)。結果として、図 4.2.3 のC-LAサンプル中に最も高いセルラーゼ活性(図 4.2.4)が検出されたため、本サンプルを用いての、菌株単離を試みた。

### Total cellulase activity at the 7th day of accumulation

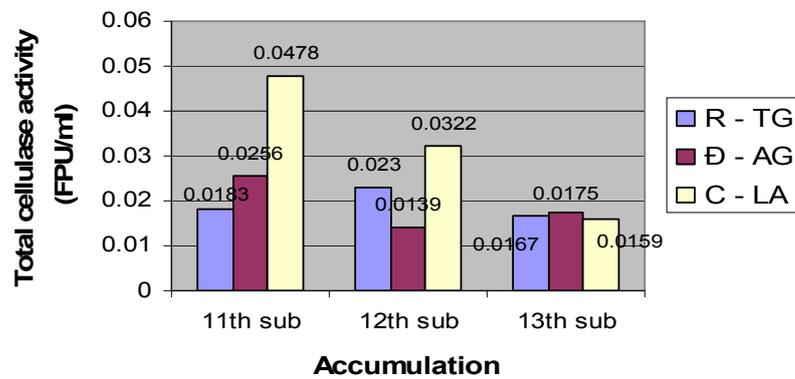


図 4.2.4 各サンプルにおけるセルラーゼ活性

嫌気性微生物を単離するロールチューブ法は、日本においては極めて一般的な手法ではあるが、ベトナム国では希少な技術であるようで、その伝達には多大な努力が必要ではあったものの、ベトナム国においても図 4.2.5 のように、ハロー形成にまで成功している。

## The Roll-tube method

Toward the 20<sup>th</sup> accumulation sample from compost in Long An, roll-tube method was applied. One month later, clear zones appeared and 30 colonies of cellulolytic anaerobic bacteria were picked up.



Clear zones made by cellulolytic anaerobic bacteria

図 4.2.5 ロールチューブ法の様子

この後単離には成功していないものの、馴用した培養液中の菌株由来 DNA を分析したところ、図 4.2.6 のような進化系統樹が得られている。

これまでの事柄を勘案し、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。

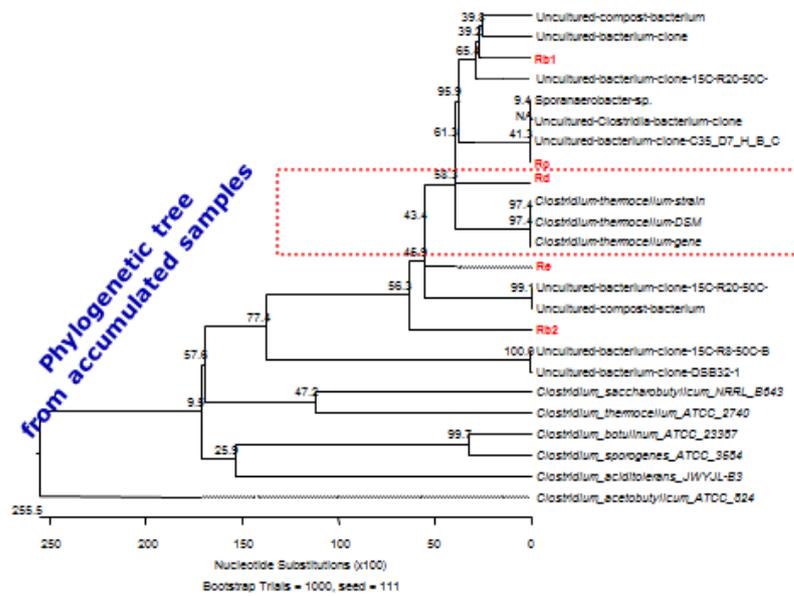


図 4.2.6 進化系統樹

#### 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

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。  
結果的に、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。

#### (2)研究成果の今後期待される効果

ベトナム由来微生物群あるいはベトナム由来(微生物)酵素を用いた、セルロース資源(稲わら)の糖化ならびに、その糖化液を用いたエタノール発酵は私たちに課せられた課題であり、ベトナム研究者の一層の奮起が必要である。共同研究者とはいうものの、指導的な立場にある日本側研究者代表として、残された期間は短いものの、ベストを尽くしていく。

一方では、本研究においては、微生物取扱いに関して、日本からベトナムに伝授されたものは極めて大きいと判断できる。地球上の生物圏で好気的な環境は土壌表層と海洋圏であり、土壌あるいは非海洋圏の殆どは嫌気的な環境と言えるため、嫌気的環境で生育できる微生物に関して、その取扱いができるようになることは、微生物学者として扱える生物圏そのものが広がることに直結する。それ故、本プロジェクトで伝達された技術がベトナムにおいて根付いてくれれば、それは、ベトナム国の微生物学にたいしての底力をつけることとなり、本プロジェクトが担う使命を大きく達成するものであろう。

さらに、本プロジェクトにより築かれた有機的な人間関係は、今後、日本～ベトナム間の国際協力等々において、十分な効果を発揮することと確信している。

#### 4.3 バイオマス利活用が農業と環境へ及ぼす影響の解析(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(ホーチミン市工科大学環境学部と共同研究、東大生研グループと連携)

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、バイオマス利活用を診断できる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(ホーチミン市工科大学環境学部、東大生研グループと共同研究、ホーチミン市科学技術部と連携、JICA 短期専門家「農村社会経済環境調査計画」の成果を活用)

研究項目 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及び原単位情報を収集する。実証試験が行われる Thai My 村においては、水質や土壌の環境、バイオガスダイジェスターの運転状況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(ホーチミン市工科大学環境学部と共同研究、東大生研グループと連携)

研究項目 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稲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。Thai My 村内のパイロットプラントで生成される消化液が確保できれば、それを使用する。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。温室効果ガス排出量については文献値からの推定とする。さらに、パイロットプラント及び試験圃場での調査結果からだけでは代表値を得ることが困難な項目があるため、技術水準を設定した上で、ベトナム全体でのバイオマス利用による影響を経済面も含めて解析する。

4) 活動結果のデータベース化・評価(東大生研グループ、ホーチミン市工科大学環境学部と共同研究)

上記 1)から 3)の活動結果を整理し、次のようなとりまとめを行う。

- ・「持続的な地域農業・バイオマス産業の融合」システムの設計手法の手順を示す。
- ・バイオマス利活用による新たな農業の姿を例示する。
- ・研究成果を今後の研究等で使えるように体系的に整理する。すなわち、情報源情報として、研究成果や情報ごとに、タイトル、内容、所在がわかるようにする。中身は、論文の PDF ファイル

ル、JICA 短期専門家「農村社会経済環境調査計画」の報告書、東大生研グループが構築した「バイオマスタウン設計評価支援ツール」(DBを含む)、インタビューで得られた情報、水質・土壌等の分析結果、問い合わせ先などを候補とする。公開の範囲は協議して決める。

### ③実施内容・成果

#### 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、実証試験を行うホーチミン市郊外の 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)の活動の前半で得られた情報をもとに、バイオマス利活用を診断できる基本モデルを設計した。基本モデルは、バイオマスタウンを念頭においたバイオマス利活用地域診断モデル(図 4.3.1)と水田における物質・エネルギー収支を明らかにするためのモデル(図 4.3.2)である。これらのモデルは、3)でバイオマス利活用の推進による影響を解析するためのものである。地域診断モデルについては、日本でバイオマスタウン構想の策定を支援するために開発していたモデル構造に比べて、データ収集の限界を考慮して単純化したものにした。水田のモデルは、バイオガスダイジェスターで生成される消化液を化学肥料の代わりに用いるに際しての影響を解析するために準備したオーソドックスなものである。3)での解析で、水収支等を正確に把握することが困難な場合は、文献値等を用いることになる。

東大生研グループでは、バイオマスタウン設計評価支援ツールを用いたシステムの設計・評価を行ったが、これと各種の原単位やフレーム値などのデータを共有できるように連携した。

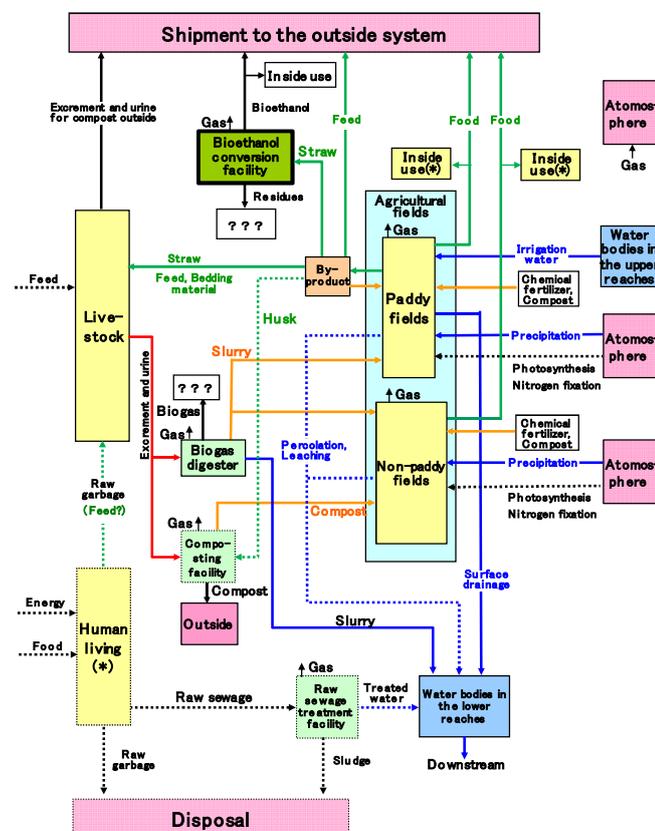


図 4.3.1 バイオマス地域診断モデルの基本構造

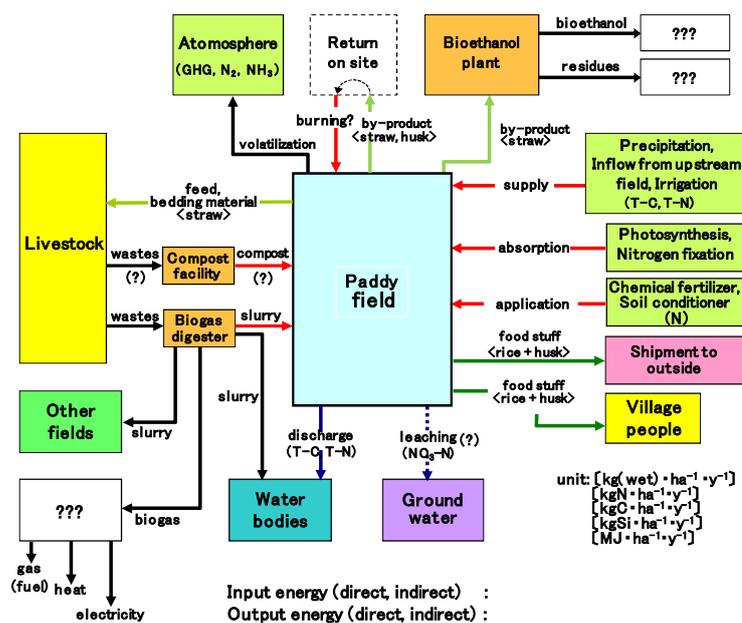


図4.3.2 水田における物質・エネルギー収支モデル

(招待講演 4, 口頭発表 14)

## 2) 農村地域のインベントリー分析

インベントリー分析については、まず、東大生研グループと共同で必要なデータ項目のリストアップを行い、調査の枠組みを作成した。平成 21 年度は、まず Thai My 村について、JICA 短期専門家「農村社会経済環境調査計画」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、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、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、各種基準を収集・整理した(表 4.3.1、図4.3.3)。平成 22 年度は、同じく Thai My 村を対象として追加調査を行い、現状の分析を行った。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「農村社会経済環境調査計画」、ホーチミン市工科大学、東大生研グループにより、調査方法を工夫しつつ、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可能な範囲で収集された。これらの情報は、信頼性を判断しつつ、3)の解析で用いる。定性的、断片的な情報も多いが、ベトナムの事情を概観し、バイオマス利活用の推進による地域農業の姿の例示に際して役立つ。

また、実証試験を行う Thai My 村において、水質や土壌に関するフィールド調査と分析を平成 22 年 4 月から平成 23 年 7 月まで 6 回にわたり行った(図4.3.4)。これは、バイオマス利活用が環境に及ぼす影響を予測するに当たって、現状を把握するためのものであった。Thai My 村内の河川や水路 10 地点の表層水、井戸水等 3 地点の地下水、5 地点の土壌の採取および分析を行った結果、Thai My 村内の表流水の水質は概ね水質基準(QCVN 08:2008 BTNMT)を満たしているが、大規模な養豚農家の近くでは BOD や窒素濃度、衛生指標菌数等が基準を大きく上回っていること、Thai My 村を流れる代表的な2つの運河のうちの1つに工場や廃棄物処理場からの汚染水が流れ込んでいる可能性があること、地下水の水質や土壌の重金属濃度については基準(それぞれ、QVCN 09: 2008 及びTCVN7209: 2009)を満たしていること、土壌は pH が 4.2-6.5 の酸性土壌であり、有機物含量が低いことが明らかとなった。

さらに、バイオガスダイジェスターの改良による多様なエネルギーの生産、生成される消化液の水田での液肥としての利用の実証がプロジェクトの活動項目であるため、Thai My 村の農家に設置されているバイオガスダイジェスターの特徴を調査した(図 4.3.5、図 4.3.6)。平成 25 年 12 月には、カントー大学の協力を得て、メコンデルタ内のバイオガスダイジェスターの活用状況を調査した。

表 4.3.1 Thai My 村における第1次現地調査項目及び結果

a. 基本情報	
(a) 土地利用別面積	全面積：2414.09 ha 農耕地：1860.9ha、交通・道路等：113ha、河川、運河、水路：123ha、住宅地：159ha
(b) 人口、農業従事人口	人口：10849人、世帯数：2873、農業従事世帯数：967、農業従事者数：2224人
(c) 主な産業と従事者の収入状況	主な産業：農業(米、とうもろこし、ピーナッツ等) 収入状況：5~7万VND/day/family (約250~350円/日/世帯)
(d) 一般家庭で使用している燃料(エネルギー)の種類	燃料の種類：電気(電化率：100%)、稲わら、籾殻、バイオガス等
(e) ごみ処理、し尿処理、生活廃水処理の現状	人糞尿および生活排水：水路や庭、池に放流 豚糞尿：バイオガス生産に利用 家庭ごみ：2009年より政府から委託を受けた民間のごみ収集業者が収集
(f) 問題視されている環境問題	多量の豚糞尿の垂れ流し
b. 水利などに関する情報	
(a) 流域界	いずれも2010年1月の調査において入手できず
(b) 主要用・排水系統、流向、用・排水施設及び水管理の方法	*クチ区資源管理部から河川図入手後、確認予定
(c) 月別平均降雨量、気温	2010年1月の調査において入手できず *ホーチミン市の降雨、気温、湿度、日照時間のデータはあるが、タイミー村やクチ区のデータはなし
c. バイオマス関係の情報	
(a) 農作物残さの仕向け先(特に、稲わら、籾殻)	稲わらは乳牛のエサ、もしくは農作物の肥料として利用 籾殻は精米業者が販売もしくは自家燃料として利用
(b) 家畜(牛、豚、鶏、その他の種類別)の飼養頭数	肉用牛：1720頭、乳牛：61 or 93頭、水牛：400頭、豚：8000~10000頭 鶏に関してはベトナム全土で発生した鳥インフルエンザ以後、厳密に飼育されている模様
(c) 家畜糞尿の発生状況(処理または利用方法)	バイオガス装置が設置されている場合：バイオガス生産に利用 バイオガス装置未設置の場合：田畑の肥料もしくは垂れ流し
(d) バイオガスプラントの設置・稼働状況	ホーチミン市には現在2つのタイプのバイオガス装置があり(設置世帯は607世帯) 1. ベトナム能率センター(DOSTの機関)が設計、品質管理を行ったモデル(タイ・ドイツが設計元)。タイミー村とTan Thong Hoi村の2村に導入済み 2. DARDによる発注、「KT2」というモデル。クチ区で民間業者に委託し、普及中
d. 農業に関する情報	
(a) 農業に関する政策	2020年~2025年までには、ホーチミン市の農業生産面積を見直すとのこと 畜産の中でも重点分野は「乳牛」と「豚」、鶏は鳥インフルエンザの関係であまり推奨しない 家畜の頭数をホーチミン市全体で一定数以下に調整する方向(豚：30万頭、乳牛：8万頭)
(b) 主要作物の種類及び作付状況、作物別収量	米は2~3毛作、各期の平均収量は3.5-4t/ha 冬収穫(2月:10~2月)、春収穫(8月:4~8月)、秋収穫(10月:6~9月)
(c) 肥料の種類、施肥量、施肥方法	化学肥料：「NPK14-8-6」を主に使用<N=窒素、P(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )=リン酸、K(K <sub>2</sub> O)=カリ> 一毛作で500~600kg/ha使用 有機肥料：豚の糞、コンポストの使用はなし
e. その他の情報	
(a) 電力事情	電化率：100% 価格：150000-250000 VND/month/family (約750~1250円/月/世帯)
(b) 他地域から持ち込まれるゴミの種類と量及びその処分状況	ごみの分別は行われていないため種類の詳細は不明 ごみは以下2つの村内にあるごみ処理場にて処理 ①"Viet Star"(アメリカ資本)…80ha。2009年12月に稼働開始 ②"Tonh Sinh My"…80ha。2010年中頃に建設完成予定で、稼働も年内を予定

略称：DOST=ホーチミン市科学技術部、DARD=ホーチミン市農業農村開発部、VND=ベトナム・ドン(貨幣単位)



図4.3.3 農家インタビューの様子

No.	Sampling point	Location
SW1	TN 38th Canal	Huong Lo 10 Road
SW2	Thay Cai canal	Tan Thai Bridge
SW3	22th Canal	Binh Ha Dong Hamlet
SW4	Thay Cai canal (between 21 and 22 canal)	Binh Thuong 1 Hamlet
SW5	20th canal	Binh Thuong 1 Hamlet
SW6	18th canal	My Khanh A Hamlet
SW7	17th Canal	14th Group, My Khanh A Hamlet
SW8	Thay Cai canal	14th Group, My Khanh A Hamlet
SW9	Dong Canal near pig farm	My Khanh B Hamlet
SW10	Dong Canal , Bay Buu gate	My Khanh B Hamlet
GW1	Cow farm (30m far from cage), water ditch (dry)	14 Group, My Khanh A Hamlet
GW2	Household (Owner: Duong Van Hai)	My Khanh A Hamlet
GW3	Thai My village People's Committee	
S1	Rice paddy field	Huong Lo 10 Road
S2	Cajuput tree farm	20 canal, Binh Thuong 1 Hamlet
S3	Cow farm (30m far from cage), water ditch (dry)	14 Group, My Khanh A
S4	17th canal near by Vietstar Company	14 Group, My Khanh A
S5	Pig farm (Owner: Mr. Luan)	My Khanh A



SW: Canal and river (10 points), GW: Ground water (3 points), S: Soil (5 points)



Survey and compilation of data for inventory analysis was completed

図4.3.4 Thai My 村における水質・土壌のフィールド調査



図 4.3.5 Thai My 村の農家のバイオガスダイジェスター概要



<p>Property of biogas digester</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Volume of digesters: <math>7.8 \pm 1.2 \text{ m}^3</math>, V of <math>8 \text{ m}^3 = 70\%</math>; V of <math>10 \text{ m}^3 = 12\%</math>; V of <math>5\text{-}6 \text{ m}^3 = 18\%</math></li> <li>● Operation duration: <math>2.3 \pm 1.6</math> years (longer than 1.5 years: 77%)</li> <li>● Prices of biogas digester: 11 million <math>\pm 1.8</math> VND/digester, equivalent to <math>1.45 \pm 0.16</math> million vnd/<math>\text{m}^3</math> of digester</li> <li>● Biogas use: cooking: 100%, except 01 household used both lighting and cooking.</li> </ul>
<p>Biogas effluent use:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 77% use as fertilizer,</li> <li>● 8% for fish cultivation and</li> <li>● 15% discharged into the back-yard pond and ditches near their house</li> </ul>

Property of slurry and raw pig wastes

Supernatant of effluent slurry	Value	Sediment of effluent slurry	Value	Raw pig waste	Value
COD, mg/L	$500 \pm 306$	C, g/kg	$37.1 \pm 29$	C, g/kg	$36.8 \pm 2.5$
TKN, mg/L	$432 \pm 145$	N, g/kg	$37.0 \pm 4.9$	N, g/kg	$2.88 \pm 0.44$
N-ammonia, mg/L	$402 \pm 168$	P, g/kg	$11.2 \pm 3.8$	P, g/kg	$9.21 \pm 6.18$
N-nitrite, mg/L	$0.29 \pm 0.13$	S, g/kg	$19.7 \pm 2.8$	S, g/kg	$1.41 \pm 0.23$
N-nitrate, mg/L	$4.5 \pm 2.4$	Si, g/kg	$0.29 \pm 0.06$	Si, g/kg	-
TP, mg/L	$75 \pm 33$	H, g/kg	$83.3 \pm 8.6$	H, g/kg	$5.09 \pm 0.50$
Si, mg/L	$26.5 \pm 8.8$				
Average total coliform, MPN/100 mL	$7.45 \text{E}+03$	Average total coliform MPN/kg	$2.06 \text{E}+09$	Total Coliform m	$3.15 \text{E}+13$
				MPN/kg	

図 4.3.6 Thai My 村の農家で使用されているバイオガスダイジェスターと消化液の特性

(口頭発表:6, 46)

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)で設計したバイオマス地域診断モデルに、2)で収集したデータを入力して、Thai My 村のバイオマス利活用について解析した。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(図 4.3.7、図 4.3.8)。また、3つの農村を対象とした提案バイオマス利用によるキャッシュフローやエネルギーフローについて解析した(図 4.3.9)。

マクロな解析としては、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(図 4.3.10、表 4.3.2)。

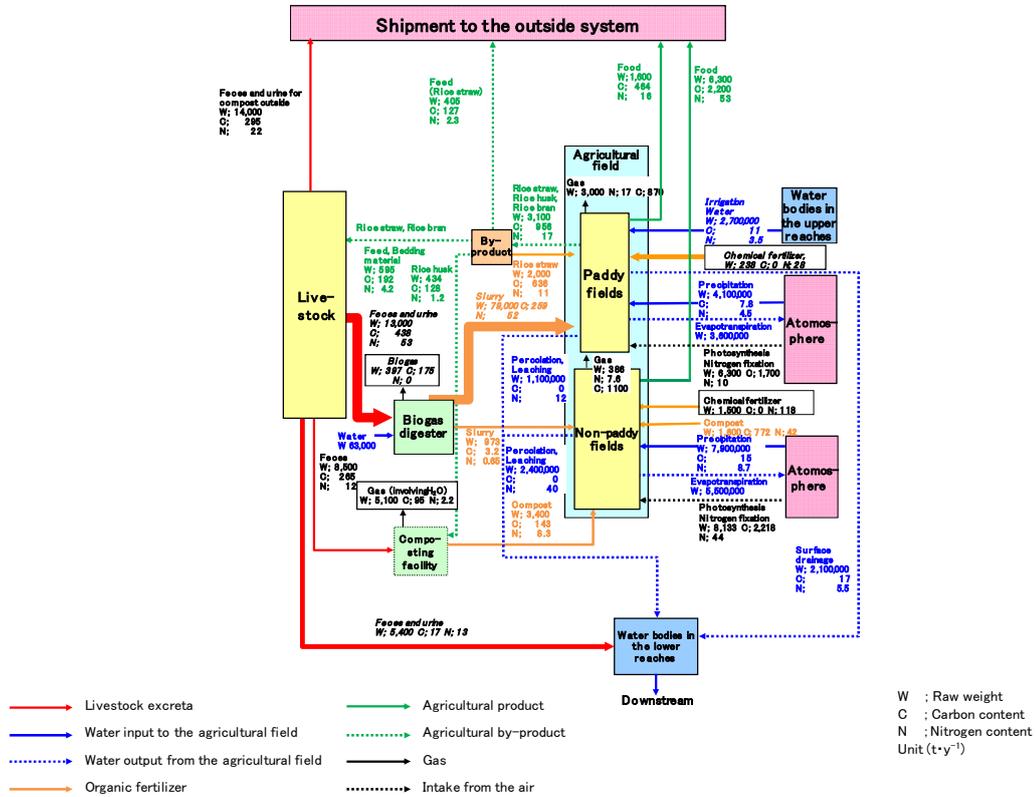


図 4.3.7 Thai My 村におけるバイオマス利活用のシナリオ  
(バイオガスダイジェスターの導入促進と消化液の水田における液肥利用の実現)

Change of nitrogen load to the lower water bodies from each source

Source of nitrogen load to the lower water bodies	Present		Plan		Change
	N	rate	N	rate	
	t·y <sup>-1</sup>	%	t·y <sup>-1</sup>	%	t·y <sup>-1</sup>
Feces and urine of livestock	59.1	48.3	12.9	18.3	-46.2
Leaching from non-paddy fields	39.9	32.6	39.9	56.8	0.0
Leaching from paddy fields	12	9.8	12.0	17.1	0.0
Surface drainage from paddy field	5.5	4.5	5.5	7.8	0.0
Digested slurry	5.8	4.7	0.0	0.0	-5.8
Total	122.3	100	70.3	100	-52.0

N; Amount of nitrogen from each load source

Change; Value of "Plan"-"Present"

Change of chemical fertilizer use rate at paddy fields

Present		Plan		Change	
W	N	W	N	W	N
t·y <sup>-1</sup>					
457.0	54.4	238.1	28.4	-218.8	-26.0
W	N	W	N	W	N
t·ha <sup>-1</sup> ·y <sup>-1</sup>					
2.1	0.25	1.09	0.13	-1.01	-0.12

W; Raw weight of chemical fertilizer used for cultivation of rice

N; Nitrogen content in chemical fertilizer used for cultivation of rice

Change; Value of "Plan"-"Present"

Change of biogas generation rate from biogas digester

Source of biogas digester	Present				Plan				Change		
	Biogas generation rate			Heads	Biogas generation rate			Heads	Biogas generation rate		
	W	C	V		W	C	V		W	C	V
	t·y <sup>-1</sup>	t·y <sup>-1</sup>	Nm <sup>3</sup> ·y <sup>-1</sup>		t·y <sup>-1</sup>	t·y <sup>-1</sup>	Nm <sup>3</sup> ·y <sup>-1</sup>		t·y <sup>-1</sup>	t·y <sup>-1</sup>	Nm <sup>3</sup> ·y <sup>-1</sup>
Pig excreta	47.8	21.1	39340	1263	389.1	171.7	320452	10288	341.3	150.6	281112
Milk cow excreta	0.9	0.4	731	7	7.7	3.4	6370	61	6.8	3.0	5639
Total	48.7	21.5	40071		396.9	175.1	326822		348.2	153.6	286751

W: Weight of biogas  
 C: Carbon content in biogas  
 V: Volume of biogas  
 Heads: Heads of cattle  
 Change: Value of "Plan" - "Present"

図 4.3.8 Thai My 村におけるバイオマス利活用のシナリオ導入が下流水域への窒素流出負荷、農地への化学肥料投入量の削減及びバイオガス生産量に及ぼす影響

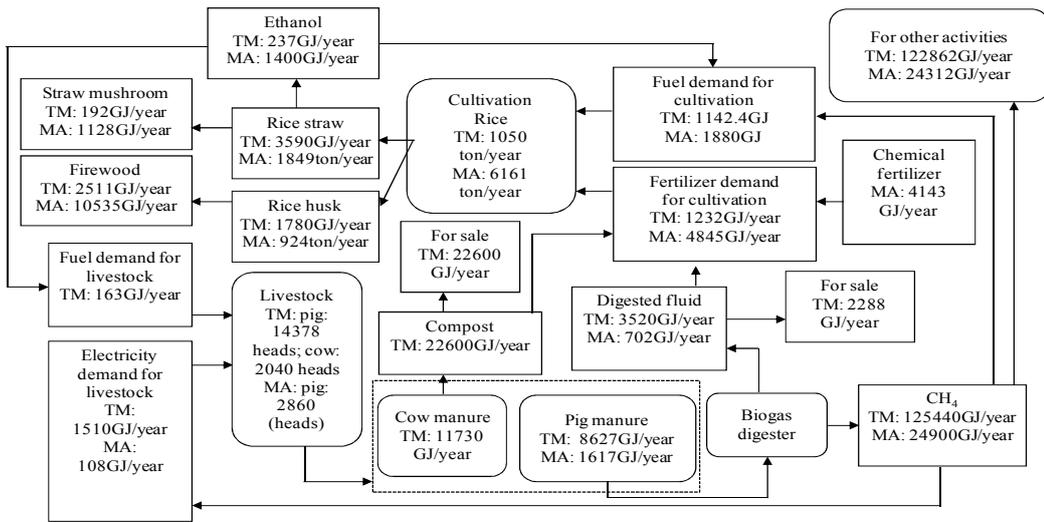
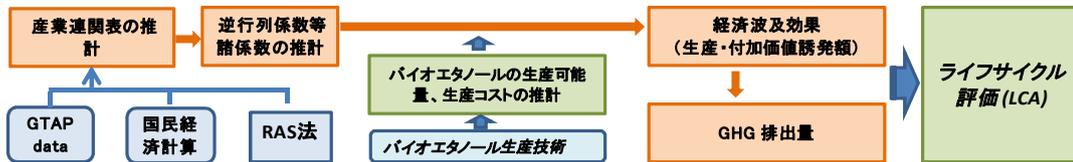


図 4.3.9 Thai My 村, My Anh 村におけるエネルギーフローの提案



生産誘発額  $X = B \Delta F_x + B C K V B \Delta F_x + B C K \Delta F_y$

↓  
製造過程・直接消費過程

付加価値誘発額  $Y = V' X + \Delta F_y + \Delta F_z$

温室効果ガス排出量  $GHG = E X$

B: GTAP データから算定した逆行列係数行列  
 C: 1 単位の所得に対する各部門の消費額を示す消費係数 (ベクトル)  
 V: 各産業の生産 1 単位当たりの所得額を示す所得係数 (ベクトル)  
 K: 所得関連乗数で  $K = (I - V B C)^{-1}$ , I は単位行列  
 V': 各産業の生産 1 単位当たりの付加価値額を示す付加価値率 (ベクトル)  
 E: 各産業の生産 1 単位当たりの GHG 排出量 (ベクトル)  
 $\Delta F_x$ : 中間投入産業 (製造過程) に対する最終需要額の増加 (ベクトル)  
 $\Delta F_y$ : 直接雇用者所得の増加 (スカラー)  
 $\Delta F_z$ : 利潤一補助等 (スカラー)

図 4.3.10 稲わらからのバイオエタノール生産に関わる生産誘発額・GHG 排出量の推定と技術のライフサイクル評価のプロセス

表 4.3.2 稲わらバイオエタノール生産技術の評価  
(a) 経済効果 (百万 US ドル、比率)

項目	投入 ①	生産誘発額		付加価値誘発額	
		ライフサイクル全体 ②	誘発係数 ②/①	ライフサイクル全体 ③	誘発係数 ③/①
現状技術	21,933	11,674	0.53	-288	-0.01
先進技術	10,219	8,581	0.84	4,651	0.46
革新的技術	6,581	7,836	1.19	6,429	0.98

(注) 現状技術：稲わらの処理に濃硫酸加水分解による前処理と天然酵母を用いる発酵による生産技術  
 先進技術：濃硫酸加水分解による前処理で酵素や酵母の改良により変換効率が 60% 向上し、日本の製造実証事業で目標としている生産コストが達成できる生産技術  
 革新的技術：水熱メカノケミカル法による前処理に加え、6 単糖と 5 単糖を同時に糖化・発酵させ、エタノールへの変換率が先進技術以上に高まる生産技術 (浅野・美濃輪, 2007)

(b) GHG 排出量 (CO<sub>2</sub> 換算百万トン、比率)

項目	バイオエタノール生産技術のGHG排出量				代替可能ガソリン消費 ②	LCA ①-②	GHG排出係数 ①/投入 (kg/\$)
	生産施設建設段階	製造段階	プラント廃棄段階	ライフサイクル全体 ①			
現状技術	4.4	32.0	0.6	37.0	27.1	9.9	1.69
先進技術	2.1	21.8	0.3	24.2	27.1	-2.9	2.37
革新的技術	1.4	15.0	0.2	16.6	27.1	-10.5	2.52

Thai My 村のパイロットプラントでのバイオガスダイジェスターに関する試験は東大生研グループとホーチミン市工科大学化学工学部により実施され、生成される消化液を水田で液肥として利用する計画を作成した(図 4.3.11)。現地の圃場での稲の栽培(2 期作)試験では、稲作における投入・算出のデータ及び現地で発生する消化液の水田で液肥利用する可能性を検討するためのデータを収集・蓄積した(図 4.3.12、図 4.3.13、図 4.3.14、図 4.3.15、図 4.3.16)。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 作目は第 2 作目および第 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、パイロットプラントで生成された消化液を用いて、消化液の追肥施用と基肥施用による違いを比較した。なお、第 4 作目及び第 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車両を用いた。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)フラックスの測定を試行した。

消化液の液肥利用に関しては、消化液に含まれる肥料成分の濃度が日本の場合に比べて極端に低かったため、ホーチミン市工科大学環境学部が、バイオガスダイジェスターの安定的な運転法を見いだすためのラボ試験を行った。日本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、有機態窒素の無機化やアンモニア揮散等に関して基礎的なデータを得た。また、消化液を水田で利用するに当たっての衛生面からの検討を行った。

このように、消化液の水田での液肥利用による影響の予測に、現地実証を含めて最も精力をつぎ込んだ。栽培期間を通しての窒素施肥量が化学肥料と同程度になるように施肥設計をすれば、肥料効果の面で消化液が化学肥料に劣ることはないこと、ただし、試験圃場は地力窒素が多く、これを考慮した施肥設計とする必要があること、アンモニア揮散は日本の平均と比較して少ないが無視できない量であること、下流水域への微生物汚染及び窒素流出負荷を防ぐためには消化液施用後に消化液施用区からの排水を止める期間を1週間以上に気象条件なども考慮に入れつつ検討する必要があることを示した。また、消化液の流し込み施用では圃場内での肥料成分のばらつきを小さくするために、圃場の均平化、施用前の圃場の水分状態の調整及び流し込み流量の調整が重要であることを示した。さらに、バイオガスダイジェスターへの畜舎の洗浄水の混入割合を大幅に削減するような管

理方法の検討が必要であることを示した。  
 現地で生成される消化液の肥料成分の濃度が日本の消化液と比べて著しく低かったこと、試験圃場の水田の均平度が悪かったこと、酸性土壌であったこと、水管理の自由度が小さかったこと、日本と異なる施肥スケジュールであったこと、水田での比較試験において前歴の影響を受けてしまったことなどから、試験設計と得られた結果の解釈に苦慮した。どのような方法をとればビジネス性が高く環境保全にもつながるかの明示には至らなかったが、モデル解析と栽培試験を通して、問題解決の方向性を把握できた。

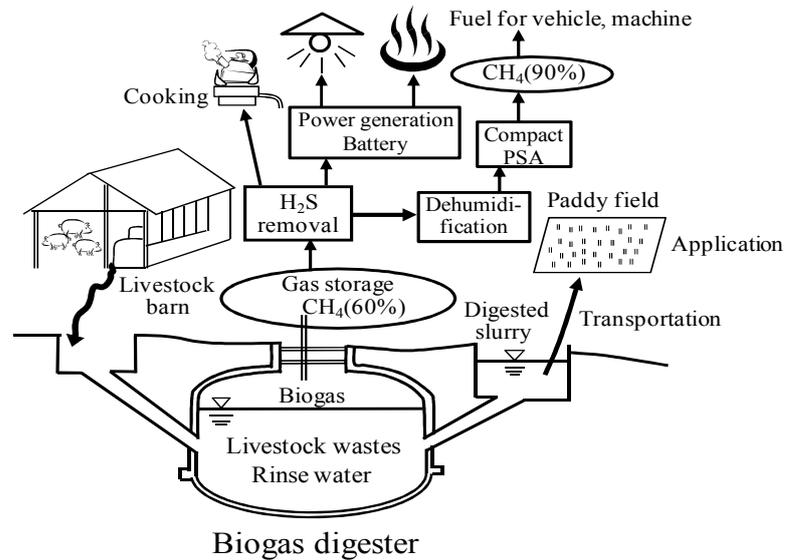


図 4.3.11 Thai My 村での現地実証の概要

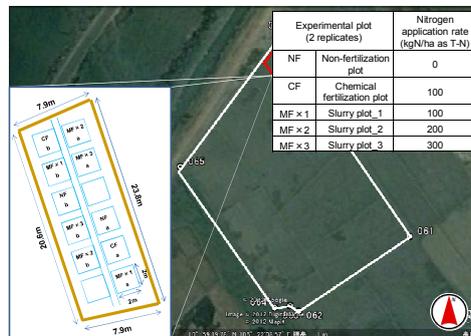


図 4.3.12 肥料効果や窒素流出負荷可能性からの消化液最適施用量の検討(第 2 作目)

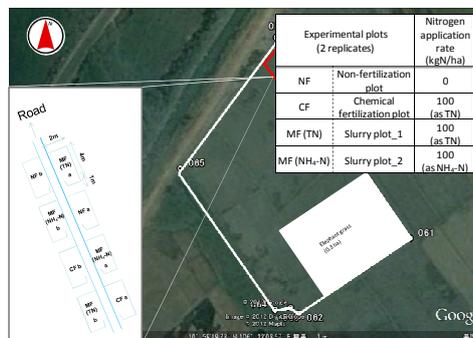


図 4.3.13 消化液の肥料効果、衛生面の安全性及び窒素流出負荷の可能性の検討(第 3 作目)



図 4.3.14 消化液の流入施用法の検討(第 4 作目)

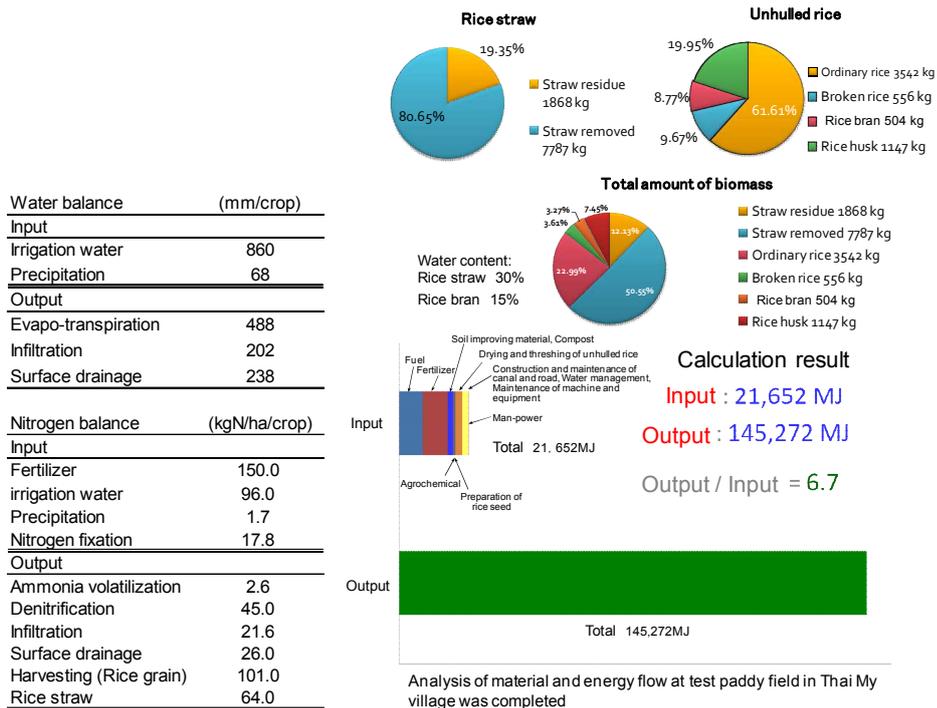


図 4.3.15 水田での物質及びエネルギー収支の想定



図 4.3.16 Thai My 村のパイロットプラントで生産された消化液を用いた試験(第 5 作目)

(原著論文 9, 10, 15, 16, 17, 20, 21 投稿中論文(別添資料) 1, 2, 3, 4, 5, 口頭発表 4, 19, 20, 28, 30, 35, 38, 41, 42, 44, 口頭発表予定(別添資料) 1, 2, 3, 9, ポスター発表 1, 8, 22, 23, 29, 31, 32, 34, 35, ポスター発表予定(別添資料) 1)

#### 4) 活動結果のデータベース化・評価

1)～3)のまとめと分析を、②に示した研究実施方法に基づき進めている。公開の範囲は協議中である。

持続的な地域農業・バイオマス産業の融合システムの設計手法の手順については、バイオマス利活用を推進するためのPDCA サイクルにおいて、設計までを本プロジェクトでの経験を踏まえてどのように進めるべきかをまとめるものである。

バイオマス利活用による新たな農業の姿の例示については、日常の打ち合わせ、ワークショップ、情勢分析を踏まえて行う(図 4.3.17)。Thai My 村のような都市近郊農村においては環境保全の強化から小規模分散型の単独要素技術を適用したバイオマス利活用システムが展開されると思われる(図 4.3.18)。都市から離れた地域においては、チャンチャイと呼ばれる大規模農家あるいはバイオマス産業企業体が進出し、複数の要素技術を組み合わせたバイオマスリファイナリーに近い形が指向されると示唆された。バイオガスダイジェスターで生成される消化液の水田での液肥利用については、SWOT 分析により課題や展開方向をまとめた(表 4.3.3)。都市近郊では Thai My 村内のパイロットプラントで実証したようなタイプのバイオガスダイジェスターが、大規模バイオマスプラントではより堅牢な施設が追及されると思われる。

研究成果の体系的な整理については、情報源情報一覧(タイトル、概要、所在)を作成した後、論文のPDF ファイル、有用なPPT ファイル、JICA 短期専門家「農村社会経済環境調査計画」の報告書、東大生研グループが構築した「バイオマスタウン設計評価支援ツール」(DB を含む)、インタビューで得られた情報、水質・土壌等の分析結果などをフォルダーに分けて格納する。また、プロジェクト終了後にも公表論文の追加、データの修正の可能性があるので、平成 28 年 3 月までは農工研グループにおいてアップデートする。一方、本プロジェクトにおいては、課題申請時に、ベトナムでの実証の経験を日本で活かすことも視野に入れるとしていた。その1つとして日本でのバイオマスに関わる技術開発や農村振興施策を意識して、バイオマスリファイナリーモデルを例示するとともに、農業農村整備事業での再生資源活用の在り方について提案した(図 4.3.19)。

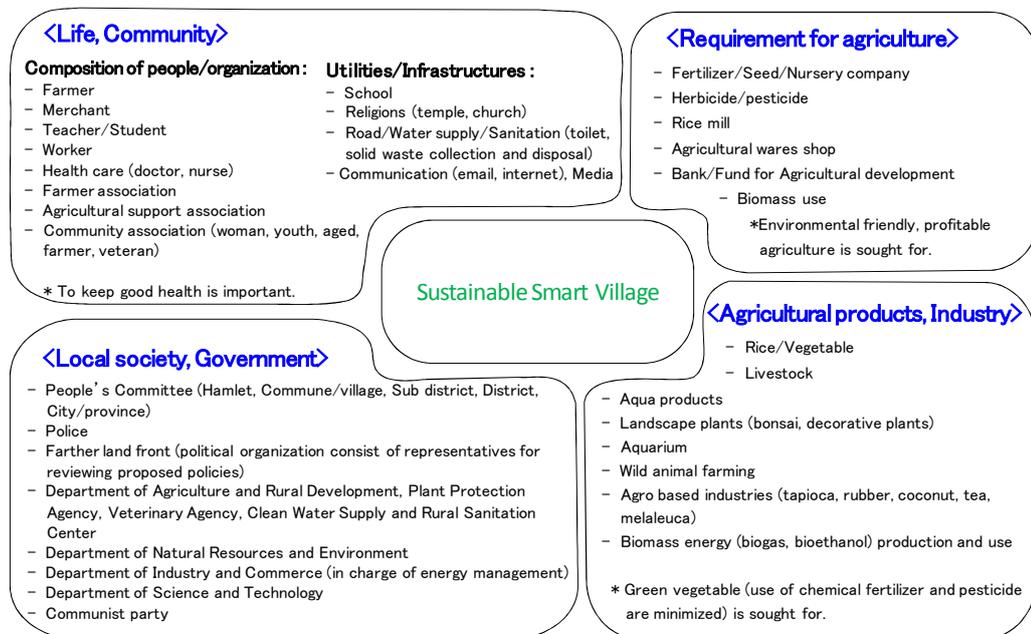


図 4.3.17 持続可能なスマートビレッジ構築のためのキーワード抽出

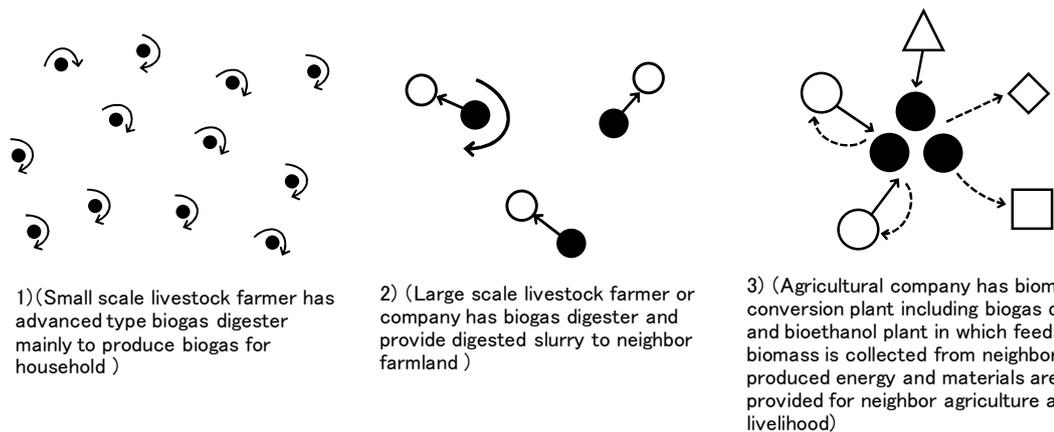


図 4.3.18 近未来のバイオマス利活用の検討に用いた概念図

表 4.3.3 Thai My 村における消化液の利用に関する SWOT 分析

		Outer factor	
		Opportunity (inducement)	Threaten (risk)
Inner-factor	<p><b>Strengthen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Containing organic fertilizer component (N, P, OM)</li> <li>Good balance between crop farming and livestock farming</li> <li>Location is near urban</li> <li>Accustomed to outsourcing of farming operation</li> <li>High temperature is favorable for fermentation</li> <li>Multiple crops a year bring more use of slurry</li> </ul>	<p><b>【Take advantage of strengthen】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Arrangement of coordinator</li> <li>Cost savings to farmers through enhanced use of own biomass (reduction of cost for chemical fertilizer)</li> <li>Branding of products and certification</li> <li>Development of new bio fertilizer business</li> <li>Realization of low fossil resources input system</li> </ul>	<p><b>【Reduction of threaten】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diversification of feedstock of biogas digester</li> <li>Addition of sterilizing process for slurry</li> <li>Application to dry field crop or rapid growing tree</li> <li>Usage for nutrient of fish and algae</li> </ul>
	<p><b>Weakness</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lack of experience on slurry application</li> <li>Lack of knowledge on safe handle</li> <li>Insufficient assessment of health risks to farmers/communities</li> <li>Land application of biogas slurry for medium scale farms is banned</li> <li>Insufficiency of soil condition diagnosis</li> <li>Undigested slurry due to poor control of retention time of biogas digester and fluctuation of concentration</li> <li>Lack of testing tools for pathogen number and nutrient concentration at household scale</li> <li>Insufficiency of agricultural infrastructure</li> <li>Competition with composting in terms of supplying feedstock biomass</li> </ul>	<p><b>【Recovery of weakness】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Enlightenment by display and demonstration</li> <li>Guidance and leadership by model farmer</li> <li>Improving technical guidelines for construction and operation of biogas digester</li> <li>Set-up of regulations on field application of biogas slurry</li> <li>Set-up regulation/guidelines and training on safe operation</li> <li>Development of quick/simple tests</li> <li>Regular health checks for communities/farmers</li> <li>Skill up of transportation and application of slurry</li> <li>Arrangement of agricultural infrastructure for resources circulation</li> <li>Combination of composting and digested slurry use</li> </ul>	<p><b>【Withdrawing (choosing another option)】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adequate disposal of wastes</li> <li>Development of low cost and hygienic treatment method</li> </ul>



た。

- 2) 消化液を水田で利用するに当たって、衛生面からの検討を加えることになった。
- 3) 消化液に含まれる肥料成分の濃度が日本の場合に比べて極端に低かったため、ホーチミン市工科大学環境学部が、バイオガスダイジェスターの安定的な運転法を見いだすためのラボ試験を行うことになった。
- 4) 消化液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。
- 5) 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。
- 6) 社会経済的な評価をマクロな解析により実施することにした。

## (2)研究成果の今後期待される効果

メタン発酵消化液の水田での利用に関する実証は、日本での実績があるので着実な成果が得られると予想していたが、消化液に含まれる肥料成分濃度、水田土壌や水管理が大きく異なり、調査設計は間違っていなかったと思われるが、結果は仮説どおりにはならなかった。それでも、やってみないとわからないことが明らかになり、数々の教訓が得られた。SWOT 分析により示された方向で1つ1つの課題が解決されていくことが期待される。机上で考えたり、研究機関の構内で試験したりするだけでなく、社会実験という位置づけで展示効果を発揮しながら実証する重要性を関係者一同が再認識した。大規模な事業はリスクが大きいので、小規模の実証で裾野を広げながら成功経験を積み上げてノウハウを総合的に活用していく意義は大きい。

バイオマス利活用を推進するためには、強い安定した政策のもとで、持続的経済優位のビジネスモデルが不可欠である。バイオマス利活用を念頭においた農業生産基盤や作業機械の整備、チャンチャイと呼ばれている大規模農業経営組織などの担い手としての参入が必要である。地域農業とバイオマス産業の融合という研究課題については、政策シナリオ設計、基盤整備、農業企業経営など専門家を加えた研究の展開が望まれる。適正規模の資源循環、環境保全、一定量の地域自給エネルギーの確保により、農村がバランスの良い人の年齢と職業構成、土地利用のもとで発展することを願う。

## § 5 成果発表等

(1) 原著論文発表 (国内(和文)誌 6件、国際(欧文)誌 21件)

(2) その他の著作物(総説、書籍など)

- 1) Dong-June Seo, Hirotaka 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) Hirotaka 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, Hirotaka Fujita and Akiyoshi Sakoda, Structural Changes of Lignocelluloses by a Nonionic Surfactant, Tween 20, and Their Effects on Cellulose 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, Hirotaka 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) Trinh Thi Bich Huyen, Dan Kim An, Dang Vu Xuan Huyen, Nguyen Thi Thuy Hang, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Duc Luong, Risk evaluation of Coliform and Escherichia coli from biogas digester at suburban areas of HCMC, *Journal of Science and Technology, Vietnam*, 51(5C), 136–140, 2013
  - 16) Fumiko Oritate, Masato Nakamura, Masaru Yamaoka, Yoshito Yuyama, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh and 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), 286–292, 2013
  - 17) 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
  - 18) 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*

- 19) 柚山義人, 折立文子, Nguyen Phuoc Dan, 望月和博, ベトナムでのバイオマス利用実証研究からの教訓, 農業農村工学会誌, 82(7), 2014.7(印刷中)
- 20) 國光洋二, ベトナムにおけるバイオエタノール導入政策の経済・環境影響-動学 CGE モデルによる分析結果-, 地域学研究, 44 卷 1 号, 2014.8(印刷中)
- 21) Phan Thi Hoai Thu, Nguyen Thi Thuy Hang, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Phuoc Dan, Le Thi Kim Phung, Phan Dinh Tuan, Fumiko Oritate, Yoshito Yuyama, Assessment of current status biomass re-use and recommendation of solutions to promote its effectiveness in Thai My, My An and Kado, Journal of Science and Technology, Vietnam(in print)
- 22) Hui Wang, Shinichi Kobayashi, Hatsue Hiraide, Zongjun Cui, Kazuhiro Mochidzuki, The effect of nonenzymatic protein on lignocellulose enzymatic hydrolysis and simultaneous saccharification and fermentation, Applied Biochemistry and Biotechnology, 175 (1), 287-299, 2015.
- 23) Kazuhiro Mochidzuki, Shinichi Kobayashi, Hui Wang, Rena Hatanaka, Hatsue Hiraide, Effect of Rice Bran as a Nitrogen and Carbohydrate Source on Fed-Batch Simultaneous Saccharification and Fermentation for the Production of Bioethanol from Rice Straw, 日本エネルギー学会誌, 94 (1), 151-158, 2015
- 24) Hui Wang, Shinichi Kobayashi, Kazuhiro Mochidzuki, Effect of non-enzymatic proteins on enzymatic hydrolysis and simultaneous saccharification and fermentation of different lignocellulosic materials, Bioresource Technology, 190, 373-380, 2015.
- 25) Fumiko Oritate, Yoshito Yuyama, Masato Nakamura, Masaru Yamaoka, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, Kazuhiro Mochidzuki, Akiyoshi Sakoda, Regional Diagnosis of Biomass Use in Suburban Village, 日本エネルギー学会誌 (印刷中)
- 26) Vu Le Van Khanh, Tran Phuoc Nhat Uyen, Nguyen Dinh Quan, Le Thi Kim Phung, Phan Dinh Tuan, Kazuhiro Mochidzuki, Shinichi Kobayashi, Dong-June Seo, Akiyoshi Sakoda, Self-reuse of Distillation Residue as a Nitrogen Source for Simultaneous Saccharification and Fermentation in a Bioethanol Production Process from Rice Straw, 環境科学会誌 (印刷中)
- 27) Dong-June Seo, Akiyoshi Sakoda, Assessment of the structural factors controlling the enzymatic saccharification of rice straw cellulose, Biomass and Bioenergy (in press)

(2)研修コースや開発されたマニュアル等

(3)その他の著作物(総説、書籍など)

- 1) 望月和博, 迫田章義, ベトナムにおける地産地消型バイオマス利用システムの構築を目指して, 廃棄物資源循環学会誌 24 (1), 32-37, 2013.

(4)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 6件、国際会議 13件)

- 1) 迫田章義, 環境・農業・バイオマスの融合-アジアにおけるバイオマスタウン-(展望講演), 化学工学会第 41 回秋季大会, 広島大学, 2009
- 2) Kazuhiro Mochidzuki and Akiyoshi Sakoda, Small-scale biorefinery under a concept of biomass town (Keynote Address), The 11<sup>th</sup> Conference on Science and Technology, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2009
- 3) Kazuhiro Mochidzuki and Akiyoshi Sakoda, Design and demonstration of sustainable biomass utilization system in local communities (Keynote Address), Chemical Engineering

- for Sustainable Development and Collaboration in the ASEAN Region, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2009
- 4) Yoshito Yuyama, Akiyoshi Sakoda, Kazuhiro Mochidzuki, Fumiko Oritate, Shigeo Ogawa, Yoji Kunimitsu, Masaru Yamaoka and Masato Nakamura, Estimation methodology of impact for the rural community and environment by the newly proposed biomass use system in southern Vietnam, JIRCAS 主催 国際セミナー「メコンデルタにおける地球温暖化対策と農村開発」, PPT スライド和文・英文各 36 枚, JICA 研究所国際会議場, 2009. 11.15
  - 5) Akiyoshi Sakoda, Local Production of Biofuels, AUN/SEED-Net Regional Conference on Biotechnology, Hanoi, Vietnam, 2011.3.3-3.4
  - 6) Le Thi Kim Phung, Sustainable Integration of Local Agriculture and Biomass Industries, The Second International Conference on Sustainability Science in Asia (ICSS-ASIA), Hanoi, Vietnam, 2011.3.2-3.4
  - 7) 五十嵐泰夫, 生物資源の有効利用-世界の動向、日本の方向, グリーンプロト構想シンポジウム, 2011.9.21
  - 8) Le Thi Kim Phung, Phan Dinh Tuan, Kazuhiro Mochidzuki and Akiyoshi Sakoda, Biomass in Vietnam and Biomass Researches in HCMUT, The 4<sup>th</sup> Regional Conference on New and Renewable Energy, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2011.10
  - 9) Akiyoshi Sakoda, Realizing Biomass Refineries and Biomass Towns in Asia, 18<sup>th</sup> Regional Symposium. Chem. Eng., Ho Chi Minh City, Vietnam, 2011.10
  - 10) Kazuhiro Mochidzuki, Le Thi Kim Phung, Phan Dinh Tuan, and Akiyoshi Sakoda, Sustainable Integration of Local Agriculture and Biomass Industries (SATREPS, JICA-JST), 8<sup>th</sup> Biomass-Asia Workshop, Hanoi, Vietnam, 2011.11
  - 11) Phan Minh Tan, Current Situation of water use and water stress in Ho Chi Minh City, 21<sup>st</sup> Japan-Korea Symposium on Water Environment, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 2012.4.28
  - 12) 五十嵐泰夫, バイオマスエネルギーの現状と課題, 第5回生態工学定例シンポジウム, 2012.11
  - 13) Yasuo Igarashi, Construction of Sustainable Local Communities based on Biomass Biotechnology (Keynote), The Seminar on Biomass Utilization in ASEAN Agricultural Area, Bali, Indonesia, 2012.12
  - 14) 望月和博, ベトナム等におけるライスリファインリーの展開 (Rice Refinery in Vietnam), JCRE フォーラム: バイオマス, 第7回再生可能エネルギー世界展示会併催フォーラム, 千葉, 2012.12.5
  - 15) Phan Dinh Tuan, Le Thi Kim Phung, Akiyoshi Sakoda and Kazuhiro Mochidzuki, Sustainable Integration of Local Agriculture and Biomass Industries, Agricultural Policy Seminar on Capacity Building through Information Sharing about Utilization of Biomass Energy in Rural Area and Agriculture Communities in ASEAN Countries, Indonesia, 2012.12.6-12.7
  - 16) Kazuhiro Mochidzuki, Development and Demonstration of Biomass Town System in Vietnam, 化学工学会第78年会, アジア地域における卓越した化学工学に関する国際シンポジウム, 大阪大学, 2013.3.17-19
  - 17) Trinh Bich Huyen, Dang Vu Xuan Huyen, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Phuoc Dan, Phan Dinh Tuan, Fumiko Oritate, Yoshito Yuyama, Masato Nakamura, Evaluation of impacts of reuse biogas slurry process on environmental sanitation. Regional workshop on “Water and Energy”, Hanoi, 2013.5.3~7
  - 18) 迫田章義, バイオマス利活用における吸着【基調講演】, 分離技術会年会 2013, 日本大学, 千葉, 2013.5-24-25.
  - 19) Akiyoshi sakoda, Sustainable Integration of Local Agriculture and Biomass, 3<sup>rd</sup> International conference on sustainable energy, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam, 2013.10. 29~30

② 口頭発表 (国内会議 41件、国際会議 17件)

- 1) 岡健太郎, 藤田洋崇, 藤井隆夫, 迫田章義, 粕穀中のケイ素の資源化と循環システムの開発、化学工学会米沢大会, 山形大学, 2009.8
- 2) 秋本佳希, 藤田洋崇, 藤井隆夫, 迫田章義, 糖化酵素セルラーゼのリグノセルロースへの吸脱着と酵素活性への影響, 化学工学会米沢大会, 山形大学, 2009.8
- 3) Kazuhiro Mochidzuki, Qingrong Qian and Akiyoshi Sakoda, Optimization of energy and material balances in small-scale bioethanol production system, AIChE Annual Meeting, Nashville, USA, 2009
- 4) Yoji Kunimitsu, Effects of biomass resource use in Asian countries: Asian inter-regional Input-Output analysis, The International Conference of the Japan Economic Policy Association, Tokyo, 2009.11
- 5) Qingrong Qian, Hirotaka Fujita, Kazuhiro Mochidzuki, Takao Fujii and Akiyoshi Sakoda, Separation of Bioethanol from Whole Culture Broth by Liquid-phase Adsorption, 10<sup>th</sup> International Conference on Fundamentals of Adsorption (FOA10), Awaji Yumebutai (Dream Stage) International Conference Center, Hyogo, Japan, 2010.5.23-5.28
- 6) 折立文子, 柚山義人, 中村真人, 山岡 賢, ベトナム南部におけるバイオマス利活用が環境へ及ぼす影響の予測, 農業農村工学会大会講演会, 神戸大学, 2010.8
- 7) 吉田浩爾, Tran Phuoc Nhat Uyen, Le Xuan Man, Chau Nhat Bang, Phan Tien Dung, SEO Dong-June, 望月和博, 五十嵐泰夫, 迫田章義, 稲わら低セルラーゼ量同時糖化発酵効率化のための水素結合阻害をねらった前処理の検討, 農芸化学会京都大会, 2011.3
- 8) 羅 鋒, 山本京祐, 石倉善郎, 金子舞, 石井正治, 五十嵐泰夫, 菌類によるラッカーゼ生産の最適化及びラッカーゼによるバイオマス前処理, 農芸化学会京都大会, 2011.3
- 9) 秋本佳希, 藤田洋崇, 藤井隆夫, 迫田章義, セルラーゼのセルロースへの吸着速度と糖化への影響, 化学工学会大76年会, 東京農工大学小金井キャンパス, 2011.3
- 10) 郭志超, 藤田洋崇, 藤井隆夫, 迫田章義, 孟宗竹からの分子ふるいカーボンの調製とバイオガス分離 PSA への応用, 化学工学会大76年会, 東京農工大学小金井キャンパス, 2011.3
- 11) 明石邦彦, 望月和博, 迫田章義, 日秋俊彦, バイオマス酵素糖化に対する前処理としての膨張軟化とアンモニア含浸の効果, 化学工学会大76年会, 東京農工大学小金井キャンパス, 2011.3
- 12) 望月和博, 小林伸一, 迫田章義, Le Xuan Man, Tran Phuoc Nhat Uyen, Le Thi Kim Phung, Phan Dinh Tuan, ベトナムにおける小規模バイオマスリファイナリープロセスの構築, 化学工学会第43回秋季大会, 名古屋工業大学, 2011.9
- 13) Hirotaka Fujita, Yoshiki Akimoto, Dong-June Seo and Akiyoshi Sakoda, Equilibria and Kinetics of Cellulase Adsorption on Celluloses with Controlled Structure, Intl. Conf. Sep. Sci. Tech., Jeju, Korea, 2011.11
- 14) Yoshito Yuyama, Lessons from Design, Manufacture, Operation and Maintenance of Small Scale Biogas Digester System in Japan, Second Symposium on JICA-JST Biomass Project in Vietnam, HCMCT, 7th Dec. 2011
- 15) 松林義之, 藤田洋崇, 藤井隆夫, 迫田章義, 水田におけるケイ素循環システムの開発, 化学工学会第77年会, 工学院大学, 東京, 2012.3
- 16) 明石邦彦, 望月和博, 日秋俊彦, 稲わらの糖化発酵に対する蒸煮爆砕と化学的前処理の組み合わせにおける前処理効果の解明, 化学工学会第77年会, 工学院大学, 東京, 2012.3
- 17) 望月和博, 王 慧, 小林伸一, 崔 宋均, リグノセルロースへのポリペプチドの吸着と酵素

- 糖化への影響、化学工学会第 77 年会，工学院大学，東京，2012.3
- 18) 迫田章義，地球規模課題対応国際科学技術協力事業持続可能なり地域農業・バイオマス産業の融合，環境科学会 2012 年会，横浜国立大学，2012.9
  - 19) 折立文子，中村真人，山岡 賢，柚山義人，Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Lam Quang Thoai, ベトナムの水田におけるメタン発酵消化液の適用可能性の検討，環境科学会 2012 年会，横浜国立大学，2012.9
  - 20) Nguyen Lam Quang Thoai, Dang Vu Bich Hanh, Nguen Phuoc Dan, Phan Dinh Tuan, Fumiko Oritate, Yoshito Yuyama, Masato Nakamura, Masaru Yamaoka, Kazuhiro Mochidzuki and Akiyoshi Sakoda, Balances of Water, Nitrogen and Phosphorus for rice crop at a paddy field in southern Vietnam, 環境科学会 2012 年会，横浜国立大学，2012.9
  - 21) Kazuhiro Mochidzuki, Ginga Torii, Akiyoshi Sakoda, Le Thi Kim Phung, Duong Van Hung, Phan Dinh Tuan, Analysis of Biomass Town Model for Thai My Village, Vietnam, 環境科学会 2012 年会，横浜国立大学，2012.9
  - 22) 五十嵐康夫，羅 鋒，吉田浩爾，脇山慎平，石井正治，バイオマス糖化におけるスロー前処理法，環境科学会 2012 年会，横浜国立大学，2012.9
  - 23) Hoang Quoc Khanh, Isolation and purification of cellulolytic microbes, analysis of microbial consortia for hydrolysis of rice straw in Southern Vietnam, 環境科学会 2012 年会，横浜国立大学，2012.9
  - 24) 徐 東準，藤田洋崇，迫田章義，界面活性剤によるセルロースのナノ構造変化と稲わら糖化前処理への応用，環境科学会 2012 年会，横浜国立大学，2012.9
  - 25) 藤田洋崇，藤井隆夫，望月和博，迫田章義，バイオエタノールの発酵槽からの直接気相吸着分離と脱着濃縮，環境科学会 2012 年会，横浜国立大学，2012.9
  - 26) Nguyen Dinh Quan, Tran Phuoc Nhat Uyen, Vu Le Van Khanh, Le Thi Kim Phung, Phan Dinh Tuan, Kazuhiro Mochidzuki, Shin-ichi Kobayashi, Dong-June Seo and Akiyoshi Sakoda, Energy Efficiency of Small Scale Biorefinery Process, 環境科学会 2012 年会、横浜国立大学、2012.9
  - 27) 望月和博，小林 伸一，迫田 章義，Nguyen Dinh Quan, Tran Phuoc Nhat Uyen, Le Thi Kim Phung, 炭化炉排熱による小規模バイオエタノール生産プロセスへの熱源供給，化学工学会第 44 回秋季大会，東北大学，仙台，2012.9.19-21.
  - 28) 國光洋二，ベトナムにおけるバイオマス利用の経済環境影響：CGE モデルによるシミュレーション結果，日本地域学会第 49 回年次大会，立正大学，2012.10
  - 29) Kazuhiro Mochidzuki, Shin-ichi Kobayashi, Akiyoshi Sakoda, Tran Phuoc Nhat Uyen, Vu Le Van Khanh, Nguyen Dinh Quan, Le Thi Kim Phung and Phan Dinh Tuan, Design and Operation of Bioethanol Production Process for Small-Scale Biorefinery, 2012 AIChE Annual Meeting, Pittsburgh, PA, USA, 2012.10.28-11.2.
  - 30) Masato Nakamura, Fumiko Oritate, Yoshito Yuyama and Masaru Yamaoka, Utilization of Digested Slurry from Biogas Digester as a Fertilizer in Vietnam to Minimize Environmental Pollution –Ammonia Volatilization from Paddy Field Soil, Japan-Vietnam Joint Workshop on Environmental Management of River Basin and Solis Wastes, Hue, Vietnam, 2012.11
  - 31) Hoang Quoc Khanh, Mai Thi Thanh Nga, Phan Kieu Diem, Nguyen Minh Dong, Kouji Yoshida and Yasuo Igarashi, Bioprocessing of Rice Straw to Ethanol Utilizing Microbial Communities from Sediments, 9<sup>th</sup> Biomass-Asia Workshop, Tokyo, 2012.12
  - 32) Vu Le Van Khanh, Tran Phuoc Nhat Uyen, Le Thi Kim Phung, Nguyen Dinh Quan, Phan Dinh Tuan, Utilization of Agriculture Residues as Alternative Supplemental Nutrients for Bioethanol Fermentation Process from Rice Straw, 5<sup>th</sup> RCChe AUSEEDnet, Pathaya, Thailand, 2013. 2
  - 33) Dinh Thanh Nghia, 藤田洋崇，迫田章義，Adsorption of H<sub>2</sub>S on iron-containing materials at low temperature for biogas desulfurization, 化学工学会第 78 年会，大阪大学，2013.3.17-19

- 34) 陳 佳敏, 徐 東準, 藤田洋崇, 藤 隆夫, 迫田章義, 白色腐朽菌を用いた稲わらの前処理とそのバイオエタノール生産収率への影響, 化学工学会第 78 年会, 大阪大学, 2013.3.17-19
- 35) 折立文子, 中村真人, 山岡 賢, 柚山義人, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, 迫田章義, 望月和博, ベトナムの水田におけるメタン発酵消化液の液肥利用可能性の検討, 第 47 回日本水環境学会年会, 大阪工業大学, 2013.3
- 36) 脇山慎平, 石倉喜郎, 金子舞, 野尻昌信, 新井博之, 石井正治, 五十嵐泰夫, アルカリ蒸解スギ基質での *Trichoderma reesei* PC3-7 株の培養と基質糖化に関する研究, 日本農芸化学会2013年度大会, 東北大学, 2013.3
- 37) Hiroataka Fujita, Akiyoshi Sakoda, Adsorption of Ethanol Vapor from Fermentation broth onto Molecular Sieving Carbon and its Recovery by Desorption, FOA 11, Baltimore, Maryland, USA, 2013.05.19-24
- 38) 折立文子, 柚山義人, 中村真人, 山岡賢, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, 迫田章義, 望月和博, ベトナム南部都市近郊農村におけるバイオマス利用に関する地域診断, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 東京農業大学, 2013.9.3-5
- 39) Thieu Quang Quoc Viet, Do Hai Sam, Phan Dinh Tuan, Nguyen Tuan Loi, Huynh Quyen, Experimental study on removal H<sub>2</sub>S in Biogas using absorption principle based on pilot system, scale 300l/h. The 3rd International Conference on Sustainable Energy. Ho Chi Minh, 29-30.10.2013
- 40) Le Anh Kien, Le Van Hieu, Le Thi Kim Phung, Computational fluid dynamics in updraft bamboo waste gasification, 2013 International symposium on Chemical Engineering (ISCE2013), October 30- 31, 2013, Ho Chi Minh City, Vietnam
- 41) 柚山義人, 折立文子, 中村真人, 山岡賢, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, 迫田章義, 望月和博, ベトナム南部の水稲作でのメタン発酵消化液利用に係わるエネルギー評価, 農業農村工学会資源循環研究部会研究発表会, 東京, 2013.11.15
- 42) 折立文子, 中村真人, 柚山義人, 山岡賢, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Duy Khanh, メタン発酵消化液の追肥利用に伴う田面水中衛生指標菌および窒素の動態, 農業農村工学会資源循環研究部会研究発表会, 東京, 2013.11.15
- 43) Nguyen Truong Giang, Tran Trung Kien, Pham Van Thiem, High value added biomass product: Using wood vinegar as a bio plant protection pesticide, The 4<sup>th</sup> Symposium on JICA-JST Biomass Project in Vietnam Windsor hotel, Hochiminh City, 12<sup>th</sup> Dec. 2013
- 44) Yoji Kunimitsu, Economic and Environmental Impacts of Bio-Ethanol Production in Vietnam, The 4th Symposium on JICA-JST Biomass Project in Vietnam, The 4th Symposium on JICA-JST Biomass Project, Windsor hotel, Hochiminh City, 12th Dec. 2013
- 45) 望月和博, 小林真一, 畑中玲奈, 平出初江, 王慧, 迫田 章義, 稲わらからのバイオエタノール生産プロセスに対する米糠添加の効果, 化学工学会第79年回, 岐阜大学, 2014.3
- 46) Fumiko Oritate, Effect of Environmental Conservation by Use of Methane Fermentation Digested Slurry at Paddy Field in Southern Vietnam, Vietnam-Japan Symposium on Water Environment, Hanoi, 2014.6.2
- 47) Fumiko Oritate, Masato Nakamura, Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Duy Khanh, Yoshito Yuyama, Masaru Yamaoka, Akiyoshi Sakoda, Kazuhiro Mochidzuki, Pouring method of digested slurry with irrigation water to paddy field in Southern Vietnam, , WET 2014, Tokyo, 2014.6.28-29
- 48) Dang Vu Bich Hanh, Oritate Fumiko, Nguyen Phuoc Dan, Nguyen Duy Khanh, Nguyen Thi Thuy Hang, Masato Nakamura, Yoshito Yuyama, Assessing nutrient losses of biogas slurry reuse in experimental paddy field, WET 2014, Tokyo, 2014.6.28-29
- 49) 折立文子・中村真人・柚山義人・山岡 賢, 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メタン発酵消化液の流入施用法, 平成26年度農業農村工学会大会講演会, 2014.8

- 50) 迫田章義, JST/JICA地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)『持続可能な地域農業・バイオマス産業の融合』の概要, 環境科学会2014年会, つくば国際会議場, 2014.9
- 51) 柚山義人, Methodology to Design Agricultural and Livestock Industrial Biomass Town in Southern Vietnam, 環境科学会2014年会, つくば国際会議場, 2014.9
- 52) 石井正治, 微生物的セルロース前処理から見えてきたこと, 環境科学会2014年会, つくば国際会議場, 2014.9
- 53) 望月和博, ベトナムにおける地域分散型バイオマスリファイナリーの実現をめざしたパイロットプラントでの実証研究, 環境科学会2014年会, つくば国際会議場, 2014.9
- 54) 迫田章義, 開発途上国における小規模バイオ燃料生産のための分離技術, 環境科学会2014年会, つくば国際会議場, 2014.9
- 55) Trinh Thi Bich Huyen, Hygienical and environmental influence on application of biogas digested slurry at paddy field in Cu Chi District, Ho Chi Minh City, 環境科学会2014年会, つくば国際会議場, 2014.9
- 56) Le Hai Tran, Biogas Upgrading by PSA using Vietnamese biomass charcoals for household energy, 環境科学会2014年会, つくば国際会議場, 2014.9
- 57) Duy Hai Tran, Experimental and Modelling Analysis of Small-scale Biomass Carbonization/Gasification Process, 環境科学会2014年会, つくば国際会議場, 2014.9
- 58) Le Van Khanh Vu, Self-reuse of Distillation Residue as Additional Nutrient and Liquid Media for SSF in a Bioethanol Production Process from Rice Straw, 環境科学会2014年会, つくば国際会議場, 2014.9

③ ポスター発表 (国内会議 21件、国際会議 17件)

- 1) Yoji Kunimitsu, Ripple effects of bio-energy production in East Asia: Inter-regional Input-Output Analysis, Annual Meeting of Southern Agricultural Economic Association, Florida, USA, 2010. 2
- 2) Dong-June Seo, Hiroataka Fujita, Takao Fujii and Akiyoshi Sakoda, Effects of surfactant of adsorption/desorption of cellulase from lignocelluloses, 10<sup>th</sup> International Conference on Fundamentals of Adsorption (FOA10), Awaji Yumebutai (Dream Stage) International Conference Center, Hyogo, Japan, 2010.5.23~5.28
- 3) 郭志超、藤田洋崇、藤井隆夫、迫田章義、竹からの分子ふるいカーボンの製造、化学工学会宇都宮大会、宇都宮大学工学部、2010.8
- 4) 秋本佳希、藤田洋崇、藤井隆夫、迫田章義、セルラーゼのセルロースへの吸着速度におよぼすセルロースマイクロ構造の影響、第24回日本吸着学会、石巻専修大学、2010.11
- 5) Dong-June Seo, Hiroataka Fujita, Takao Fujii, and Akiyoshi Sakoda, Optimization of cellulase adsorption rate onto lignocelluloses by pretreatment of lignocellulose with Tween 20, 第24回日本吸着学会、石巻専修大学、2010.11
- 6) 松林義之、藤田洋崇、藤井隆夫、迫田章義、籾殻・稲わら中ケイ素の循環システム、化学工学会札幌大会、2011.8
- 7) Kazuhiro Mochidzuki, Shin-ichi Kobayashi, Akiyoshi Sakoda, Man Le Xuan, Uyen Tran Phuoc Nhat, Phung Le Thi Kim and Tuan Phan Dhin, Development of a Pilot-Scale Bioethanol Production Process for Regional Biomass Utilization In Vietnam, 2011 AIChE Annual Meeting, Minneapolis, MN, 2011.10.16-10.21
- 8) Yoji Kunimitsu and Tatsuki Ueda, Economic and Environment Effects of Rice-Straw Bio-Ethanol production in Vietnam, 7<sup>th</sup> ASAE Conference, Hanoi, Vietnam, 2011.10
- 9) 吉田浩爾、Hoang Quoc Khanh、望月和博、五十嵐泰夫、迫田章義、フクロタケの電気培養による稲わらリグニン分解活性の誘導、第27回日本微生物生態学会大会、京都、2011.10

- 10) Takao Fujii, Z. C. Kuo, Hirotaka Fujita, Mai Thanh Phong, Nguyen Van Nhieu and Akiyoshi Sakoda, Molecular Sieving Carbons Prepared from Japanese and Vietnamese Bamboos and Their Applications to Biogas Separation PSA, 25<sup>th</sup> Annual Meeting of Japan Society on Adsorption, Naha (Japan), 2011.11
- 11) Dong-June Seo, Hirotaka Fujita and Akiyoshi Sakoda, Significant Enhancement of Enzymatic Saccharification of Cellulose with Nanostructural Change of Cellulose Fibrils by Adsorption of a Non-ionic Surfactant, Tween 20, 25<sup>th</sup> Annual Meeting of Japan Society on Adsorption, Naha (Japan), 2011.11
- 12) 藤田洋崇、秋本佳希、徐東準、迫田章義、細孔構造が異なるセルロースへの糖化酵素セルラーゼの吸着特性とその初期糖化速度への影響、第 25 回日本吸着学会研究発表会、那覇、2011.11
- 13) Quyen Huynh, Thieu Quang Quoc Viet, Phan Dinh Tuan and Akiyoshi Sakoda, Removal of Hydrogen Sulfide (H<sub>2</sub>S) from Biogas by Adsorption Method, 8<sup>th</sup> Biomass-Asia Workshop, Hanoi, Vietnam, 2011.11
- 14) Kazuhiro Mochidzuki, Shin-ich Kobayashi, Nguyen Dinh Quan, Le Xuan Man, Tran Phuoc Nhat Uyen, Le Thi Kim Phung, Phan Dinh Tuan and Akiyoshi Sakoda, Bioethanol Production from Rice Straw As A Core of Small-scale Biorefinery, 8<sup>th</sup> Biomass-Asia Workshop, Hanoi, Vietnam, 2011.11
- 15) N. T. Thang, B. T. M. Phuong, Dang Vu Bich Hanh, Nguen Phuoc Dan, Le Thi Kim Phung, Phan Dinh Tuan, Yoshito Yuyama, Fumiko Oritate, Kazuhiro Mochidzuki and Akiyoshi Sakoda, Evaluation of The Material Flows of Utilization of Husbandry Wastes to Produce Biogas in Thai My Village, Cu Chi District, 8<sup>th</sup> Biomass-Asia Workshop, Hanoi, Vietnam, 2011.11
- 16) Kouji Yoshida, Ngo Duc Duy, Hoang Quoc Khanh, Kazuhiro Mochidzuki, Yasuo Igarashi, Akiyoshi Sakoda, Bioethanol Production Ability of Straw Mushroom Waste Bed from Vietnamese Local Agriculture, 8<sup>th</sup> Biomass-Asia Workshop, Hanoi, Vietnam, 2011.11
- 17) Nguyen Thi Hoang Ha, Nguyen Minh Dong, Dao Thi Thu Hien, Kouji Yoshida, Yasuo Igarashi and Hoang Quoc Khanh, Lignocellulolytic Enzyme Production from Submerged Fermentation of Straw by Straw Mushroom, *Volvariella volvacea*, 8<sup>th</sup> Biomass-Asia Workshop, Hanoi, Vietnam, 2011.11
- 18) Ngo Duc Duy, Dao Thi Thu Hien, Tran Thi Thu Thao, Chihaya Yamada, Makoto Atou, Kouji Yoshida, Yasuo Igarashi and Hoang Quoc Khanh, Screening and Isolation of Thermophilic Cellulolytic Anaerobic Bacteria and Microbial Community Analysis by DGGE Method in Vietnam Natural Environment, Japan Society for Bioscience, Biotechnology, and Agrochemistry Convention in 2012, 2012.3
- 19) Hoang Quoc Khanh, Dao Thi Thu Hien, Ngo Duc Duy, Kouji Yoshida and Yasuo Igarashi, Cellulase-producing Bacteria from Rice Paddy Fields in Southern Vietnam, Annual Meeting 2012, The Society of Environmental Science, Japan, 2012
- 20) 陳 佳敏、徐 東準、藤井 隆夫、迫田 章義、稲わらからのバイオエタノール生産における白色腐朽菌を用いた前処理、化学工学会 関東支部 横浜大会、横浜国立大学、2012.8
- 21) Dinh, Thanh-Nghia、藤田 洋崇、藤井 隆夫、迫田 章義、Desulfurization of biogas in developing countries using iron-containing materials、化学工学会 関東支部 横浜大会、横浜国立大学、2012.8
- 22) 中村真人、折立文子、柚山義人、山岡賢、メタン発酵消化液の施用がベトナムの水田土壌からのアンモニア揮散に与える影響、日本土壌肥料学会 2012 年度大会、鳥取大学、2012.9
- 23) 折立文子、中村真人、北川 巖、山岡 賢、柚山義人、メタン発酵消化液を施用したベトナム水田土壌中の窒素形態変化、平成 24 年度農業・農村工学会大会講演会、北海道大学、

- 2012.9
- 24) Dinh Thanh Nghia, 藤田洋崇、迫田章義、Mechanism of H<sub>2</sub>S adsorption by iron-containing materials at low temperature、日本吸着学会、横浜国立大学、2012.11.14-15
  - 25) 竹中 梓、藤田洋崇、迫田章義、バイオエタノールの発酵液からの直接気相吸着分離と脱着濃縮、日本吸着学会、横浜国立大学、2012.11.14-15
  - 26) Hoang Quoc Khanh, Dao Thi Thu Hien, Ngo Duc Duy, Kouji Yoshida and Yasuo Igarashi, Bioprocessing of Rice Straw to Ethanol Utilizing Microbial Communities from Sediments, 9<sup>th</sup> Biomass-Asia Workshop, Tokyo, 2012.12.3-12.4
  - 27) Hoang Quoc Khanh, Hoang Nguyen, Dao Thi Thu Hien, Ngo Duc Duy, Kouji Yoshida and Yasuo Igarashi, Isolation and identification of thermophilic anaerobic cellulolytic bacteria and characteristics of cellulosomal cellulase, 9<sup>th</sup> Biomass-Asia Workshop, Tokyo, 2012.12.3-12.4
  - 28) Akiyoshi Sakoda, Kazuhiro Mochidzuki, Yoshito Yuyama, Yasuo Igarashi, Phan Dinh Tuan, Le Thi Kim Phung, Nguyen Phuoc Dan and Hoang Quoc Khanh, Development of Local-scale Biomass Utilization System in Vietnam, 9<sup>th</sup> Biomass Asia Workshop, Tokyo, 2012.12.3-12.4
  - 29) Yoji Kunimitsu and Tatsuki Ueda, Economic and environmental evaluation on rice-straw bioethanol production in Vietnam: Application of I/O analysis, 9<sup>th</sup> Biomass Asia Workshop, Tokyo, 2012.12.3-12.4
  - 30) 竹中 梓、藤田 洋崇、藤井 隆夫、迫田 章義、分子ふるいカーボンを用いたバイオエタノールの一段階濃縮・脱水プロセスの開発、化学工学会 2013 盛岡大会、岩手大学、2013. 8.8~8.9
  - 31) 折立文子、中村真人、柚山義人、山岡賢、北川巖、迫田章義、Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Duy Khanh, ベトナムの水田におけるメタン発酵消化液の液肥利用可能性の検討、2013 年度日本土壌肥料学会年次大会、名古屋大学、2013.9.11-13
  - 32) 中村 真人、折立文子、柚山 義人、山岡 賢、Nguyen Phuoc Dan、Dang Vu Bich Hanh、ベトナムの乾期作の水田土壌におけるメタン・亜酸化窒素の生成特性、2013 年度日本土壌肥料学会、名古屋大学、2013.9
  - 33) 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, International symposium on chemical engineering (ISCE), 2013. 9
  - 34) Masato Nakamura, Fumiko Oritate, Yoshito Yuyama, Masaru Yamaoka, Nguyen Phuoc Dan and Dang Vu Bich Hanh, Methane production in paddy soil treated with digested slurry from anaerobic digester in Vietnam, 11th International Conference The East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (ESAFS), Bogor (Indonesia), 2013.10.21~24
  - 35) 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-, The 13th Conference on Science and Technology, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2013.11
  - 36) Hoang Quoc Khanh, Ngo Duc Duy, Phan Kieu Diem, Hoang Ngoc Phuong Thao, Makoto Ato, Chihaya Yamada, Yasuo Igarashi, Degradation of rice straw by microbial consortia and its molecular analyses by PCR-DGGE, The 2nd International Conference on Life Science & Biological Engineering, Osaka, 2013.11.7~8
  - 37) 竹中梓、藤田洋崇、平出初江、望月和博、迫田章義、水/エタノール混合蒸気のみ分子ふるいカーボンへの吸着・脱着特性とそれを利用したバイオエタノールの高度濃縮プロセス、日本吸着学会、千葉大学、2013. 11.21~11.22
  - 38) 折立文子、中村真人、北川 巖、Nguyen Phuoc Dan, Dang Vu Bich Hanh, Nguyen Duy Khanh, Nguyen Huu Viet, 柚山義人、山岡 賢、迫田章義、ベトナム南部の水田における消

化液の液肥利用条件, 2014 年度日本土壤肥料学会大会, 2014.9

(5)知財出願

- ①国内出願 (○件)
- ②海外出願 (◇件)
- ③その他の知的財産権

(6)受賞・報道等

- ① 受賞
- ② マスコミ(新聞・TV等)報道(プレス発表をした場合にはその概要もお書き下さい。)

2009年10月06日(掲載日) Saigon Times 新聞社  
2011年11月25日(取材日) Vietnam Television(VTV) TV局  
2011年12月07日(取材日) Than Nien 新聞社  
2011年12月07日(取材日) Tuoi Tre 新聞社  
2011年12月08日(掲載日) Saigon Times 新聞社  
2012年09月10日(掲載日) Saigon Gai Phong 新聞社  
2012年10月19日(掲載日) PetroTimes 新聞社  
2012年11月05日(掲載日) Tuoi Tre 新聞社  
2013年01月11日(掲載日) Saigon Times 新聞社  
2013年01月23日(掲載日) Saigon Gai Phong 新聞社  
2013年03月14日(取材日) Vietnam Television(VTV) TV局  
2013年03月18日(取材日) Vietnam Multimedia Corporation (VTC10) TV局  
2013年12月12日(取材日) Khoa hoc va Phat trien(化学と発展) 新聞社  
2013年12月13日(掲載日) Vietnam news 新聞社  
2013年12月13日(掲載日) Dien Tu(電子) 新聞社  
2013年12月15日(取材日) Ho Chi Minh Televison(HTV) TV局  
2014年03月13日(掲載日) Saigon Gai Phong 新聞社  
2014年03月13日(掲載日) Kham pha(Discover) 新聞社

③ その他

機関誌掲載:「持続可能な地域農業・バイオマス産業の融合～東南アジアにおけるバイオマス有効利用の実現を目指して～」 CEE Newsletter No.14 (2012年9月)  
機関誌掲載:「持続可能なバイオマス利用システムの実現を目指して」 生研ニュース No.138 (2012年10月)  
シンポジウム報告記事掲載:「開発途上国での持続可能なバイオマスタウンの実現に向けて(環境科学シンポジウム2012)」 環境科学会誌 25(6), 451-455, 2012

(7)成果展開事例

① 実用化に向けての展開

② 社会実装(研究成果の社会還元)への展開活動

- 本プロジェクトの活動状況をインターネットで公開し、一般に情報を提供している。  
<http://hcmbiomass.cocolog-nifty.com/> (日本語)  
<http://hcmbiomassvn.wordpress.com/> (英語およびベトナム語)

## §6 プロジェクト期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

① “ワークショップ、シンポジウム、小中高での特別授業、地域での講演、研究機関の一般公開での講演、その他チーム内ミーティング

年月日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの 招聘者数)	概要
2009.10.8	R/D 調印式	HCMUT (ベトナム)		プロジェクト調印
2011.1.18	HCMUT Biomass Plant 開所式	HCMUT (ベトナム)		パイロット試験設備の 一般公開
2011.1.19	1st Symposium on JICA-JST Biomass Project in Vietnam	HCMUT (ベトナム)		公開シンポジウム
2011.12.7	2nd Symposium on JICA-JST Biomass Project in Vietnam	HCMUT (ベトナム)	123	公開シンポジウム
2013.1.10	Thai My Demonstration Plant 開所式	ホーチミン 市クチ郡タ イミー村 (ベトナム)	58	デモンストレーションプ ラント(炭化/バイオガス 発電)施設の一般公開
2013.1.11	3rd Symposium on JICA-JST Biomass Project in Vietnam	HCMUT (ベトナム)	87	公開シンポジウム
2013.09.18	農工研資源循環 工学研究領域報 告会	農工研	12	プロジェクトでの一連の 研究についての報告
2013.12.12	4th Symposium on JICA-JST Biomass Project in Vietnam	Windsor Hotel (ベトナム)	124	公開シンポジウム
2014.03.13	Thai My Farmer s Meeting	ホーチミン 市クチ郡タ イミー村 (ベトナム)	86	タイミー村住民に対し ての、プロジェクトの紹 介、実施状況などを報 告
2014.05.16	バイオマス利用に よる地域農業の設 計に関するワーク ショップ	プロジェクト 会議室	9	プロジェクトの経験を踏 まえて、実現すべき農 村像、SWOT 分析によ る消化液利用促進方 策、バイオマスタウンの 設計戦略についての議 論

② 合同調整委員会開催記録

(開催日、出席者、議題、協議概要等)

年月日	出席者	議題	概要

2010.01.18 (2010 年度)	於: HCMUT 【Vietnam side】 Linh(MPI), Tuan(Project Leader), Phung (Project manager), 他 【Japan side】 Kikuchi(CGJ), Sato(CGJ), Hayashi(JST), Wada(JICA), Ishida(JICA), Sakoda(Project Leader), Mochidzuki, 他。 全31名	プロジェクト実施状況の報告と今後の方針決定	2009年10月のプロジェクト開始から2010年度の主な活動であるタイミー村の環境調査状況、HCMUT 内の実験施設などの報告及び、2011年度の活動計画についての協議、確認を行った。
2011.12.07 (2011 年度)	於: HCMUT 【Vietnam side】 Linh(MPI), Minh(VNU), Thanh(HCMUT), Tuan(Project Leader) Phung(Project manager), Tan(DOST), 他 【Japan side】 Inui(CGJ), Kokubun(JST), Hayashi(JST), Yano(JST), Shimizu(JICA), Miura(JICA), Ishida(JICA), Sakoda(Project Leader), Mochidzuki, 他。 全33名	プロジェクト実施状況の報告と今後の方針決定	2011 年度の活動実績報告及び、2012年度の活動計画についての協議、確認を行った。また、次年度に設置予定のタイミー村に於ける実証実験施設に関する協議、確認も行った。
2013.01.10 (2012 年度)	於: HCMUT 【Vietnam side】 Nam(VNU), Nam(HCMUT), Tuan(Project Leader) Phung(Project manager), Tan(DOST), Thiem(HUST), 他 【Japan side】 Inui(CGJ), Iwaki(JST), Yano(JST), Okiura(JICA), Sakoda(Project Leader), Mochidzuki, 他。 全33名	プロジェクト実施状況の報告と今後の方針決定	2012 年度の活動実績報告及び、2013 年度の活動計画についての協議、確認を行った。また、2012年8月に行われた中間評価の結果の共有及び、終了時までの計画や各研究の進め方などの協議、確認を行った。
2013.12.11 (2013 年度)	於: HCMUT 【Vietnam side】 Nghia(VNU), Thanh(HCMUT), Tuan(Project Leader) Phung(Project manager), Phu(Cu Chi PPC), 他 【Japan side】	プロジェクト実施状況の報告と今後の方針決定	2013 年度の活動実績報告及び、2014 年度のプロジェクト終了までの活動計画についての協議、確認を行った。また、プロジェクト終了後の各研究内容の継続方法のあり方や可能性、他との連携の可能性等に関する協議を

	Inui(CGJ),Yano(JST), Okiura(JICA),Sakai(JI CA)Sakoda(Project Leader), Mochidzuki, 他。全35名		行った。
--	--	--	------

## § 7 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

### (1) 共同研究全体

相手国側研究費の配分の遅れに伴うプロジェクト推進の停滞を避けるために、本来はベトナム側で措置されるべき研究費の一部に対して援助を行った。援助に際しては、必要性を慎重に精査し、相手国側代表者のサインが入ったレターでの申請を要求するなど、事業推進に必要最低限となるよう心掛けた。

研究運営委員会(SOC)、プロジェクトミーティング(PM)、現地月例会議といった場を設け、プロジェクトの進捗管理、各課題における研究活動および結果の共有や議論を充実させるよう、積極的に取り組んでいる。

### (2) 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

HCMUTにおける若手研究者の雇用の待遇や慣例により、本プロジェクトの開始当初は、ベトナム側の実験等の研究現場の実務に従事する若手研究者や技術スタッフの配置が不安定であることが問題となった。人材育成や継続的な研究の重要性に基づいて先方と協議を行い、現在は改善されている。

ベトナムに設置されたパイロットプラントやデモプラントを運転しての共同研究を進めるにあたり、ウェブカメラやSkype等のインターネットによるコミュニケーションツールを活用し、安全管理や運転技術の指導も含め、効率的に研究を実施する体制を整えた。

### (3) 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

特に、『纏め』の段階で、実験結果の羅列的提示が発表であるというような誤解が先方にあり、大変苦労している。直接討論すると、理解そのものが足りない訳ではないことがわかるため、単純にトレーニング不足であることが分かる。こうした問題点を克服するために、前もって発表用スライドをチェックするようなことを続けてはいるものの、劇的な効果がなかなか認められないのが現状である。今後も、引き続き相手への働きかけを続けていく必要がある。

本プロジェクトはSOCを頻度高く実施しており、日本側としては最高度の国際協力体制ができてきているものと判断している。それにも関わらず、研究進捗が鈍くなるのは、当該国研究者に気持ちの緩みあるいは、やらされている感があるものと考えられる。当該国のリーダーにより強いリーダーシップを持ってプロジェクトにあたっていただけのような仕組みが必要であろう。

### (4) 農工研グループ/バイオマス利活用が農業と環境に及ぼす影響の解析

農工研グループが現地へ出向ける日数と頻度には限界があった。活動の1つに稲の栽培試験があったが、自然条件、人員・機械の手配の関係で作業スケジュールが流動的にならざるを得なかった。出張手続きには時間を要するため、日程変更への対応に苦慮することが多かった。カウンターパートとのコミュニケーションを密にすることによりカバーするよう心がけた。また、現場に定点カメラを設置して、稲の生育状況や圃場での作業状況を記録し、事後にはなるが状況把握を行う工夫を行った。フィールドサーバーを設置して、遠隔地からでもリアルタイムで精度高く情報をリアルタイムで取得し、相手側研究機関と現状認識の共有度を高める方法が有効と考えられる。

## § 8 結び

石井正治（東大農学生命科学）

代表者を途中で交代しているため、難しいところはあったが、前任者も含め、メンバーはベストに近いものを発揮してくれたと判断している。ただし、研究対象が途中でシフトしているため、それぞれのテーマに関し消化不良の感は否めない。

ベトナム国に嫌気性微生物取扱いができる体制を作ることができたことは、前任者に全てを負っているが、誇るべき事柄と考えている。ただし、ベトナム国もそのように考えてくれていることが肝要で、さもないと、直ぐに消えてしまう技術となる。

ベトナム主体での申請があるなど、かの国の奮起に強く期待したい。

研究代表者としてのプロジェクト運営について（チーム全体の研究遂行、研究費の使い方、若手研究者の育成等）：途中で代表者を交代しているため、全体像把握に少し時間を費やしてしまった。一方では、代表者としての私の発言がベトナム側に浸透しないことが多々あった。即ち、私のメールでの指摘事項に対し、全く返信しないなど、極論すれば背信的なことも度々あり、多少減入することもあった。

柚山義人（農研機構農村工学研究所）

予定していた活動は、カウンターパート機関であるホーチミン市工科大学環境学部及び東大生研と連携協力して、おおむね実施できた。現地での実証研究は、醍醐味であった。もっとも精力を注いだメタン発酵消化液の水田での利用に関する実証は、日本での実績があるので着実な成果が得られると予想していたが、結果は仮説どおりにはならなかった。それでも数々の教訓が得られた。論文にはなりづらくとも、現地で実証する意義は大きい。タイミー村以外の農村でのインベントリー調査にも参加したかったが時間的制約があり、東大生研グループ及びホーチミン市工科大学による調査結果に頼った分析にならざるを得なかったのは残念であった。共同研究においては、協力し合って取得したデータを使って論文を作成する段階では誰が筆頭著者になるかは大きな問題で、時には、データをシェアしきれないことが懸念されるが、本プロジェクトにおいては、適切なシェアが行われた。カウンターパートであったホーチミン市工科大学環境学部は、研究・技術水準が高く、人柄も親しみやすく、調査計画の策定、実施、解析の各段階において、信頼関係をもって対等な関係でプロジェクトを推進できた。今後の新たな共同研究の模索につながると思われる。

研究代表者 迫田章義（東京大学生産技術研究所）

具体的な成果や達成度、それらの意義は本文中に記述されているので、ここでは本 SATREPS 事業に関する想いを述べる。

ベトナム側の代表者である Tuan 氏（初対面の頃はHCMUTのひとりの准教授、それがいつしか同大副学長に就任し、今や他大学の学長である。）と、バイオマスに関する共同研究をベトナムで実施することに意気投合して、初めてHCMUTやタイミー村を訪問したのが2004年であった。当時は、望月氏や佐藤氏（当時の助手相当）と共に、基本的には「手弁当」で現地に出向いて化学工学系あるいは生物工学系の実験の「いろは」から、例えばマイクロピペットの使い方から学生諸君に指導した。彼らはとても熱心で好奇心に満ちていた。この頃から Tuan 氏には、「必ずや近い将来にバイオマスに関する大型の国のプロジェクトがベトナムで実施されるに違いないので、その時に、真っ先に手を挙げられるようなベトナム唯一のバイオマス研究の受け皿をつくっておこう。」と常々言っていた。国のプロジェクトといっても、日本かもしれないし、他国かもしれないが、日本であってほしいという気持であった。

その5年後の2009年、まことに幸運にも本 SATREPS 事業が始まった。Tuan 氏は言っていた、「10年後でなく5年後に現実になったね」と。小生は10年も待つ気はなかったので、まさに最初で最後のチャンスだったと思う。採択されたのはほんとうにラッキーだった。始まってしまうと、それまでの

「手弁当」の時代とは異なり、当然ながら、研究グループの適切な編成(タイミングのいい再編成も)と運営(研究計画や予算の編成など)から全体の統括まで、きちんとやらないといけないことが山積みとなった。しかし、日本側はこのことには慣れていて、当然である。一方、ベトナム側は全く不慣れであった。そもそも、計画を立てるといふこと(中長期的な研究計画はもちろん、次の会合の日程を調整することまで)が身に着いていなかった。言われたことを言われた予算で実施することはできても、「自分たちで考える」といふこと自体が未経験に近いようだった。ここからのスタートだった。情報を共有・周知するために壁一面の大型で詳細なホワートボード予定表を設け、その内容を日々アップデートすることや、およそ2か月に1回のSOC (Steering and Operational Committee)と呼んだ Face-to-Face の総括運営会議などを定着させることから始めた。

それから、さらに5年が経過して、プロジェクトも終了を迎えた。本 SATREPS 事業の学術的、社会的な成果は、自信をもってどこでも誰にでも語れると思う。越日双方の全プロジェクトメンバー、HCMUTの学長はじめ多くのスタッフの方々、クチ区やタイミー村の皆さん、現地オフィスの中山隆二氏、ツアンさん、アンさん(先代のお2人も)らに心より御礼申し上げます。



## § 9 PDM の変遷 (該当する場合)

該当なし

