国際科学技術共同研究推進事業 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS) 研究領域「低炭素社会の実現に向けた高度エネルギーシステムに関する研究」

研究課題名「高効率燃料電池と再生バイオガスを融合させた地域内エ

ネルギー循環システムの構築」

採択年度:平成26年度/研究期間:5年/相手国名:ベトナム

平成27年度実施報告書

国際共同研究期間*1

平成 27 年 4 月 3 日から平成 32 年 3 月 30 日まで JST 側研究期間*2

平成 26 年 5 月 1 日から平成 32 年 3 月 31 日まで (正式契約移行日 平成 27 年 1 月 1 日)

- *1 R/D に記載の協力期間(JICA ナレッジサイト等参照)
- *2 開始日=暫定契約開始日、終了日=R/D に記載の協力期間終了日又は当該年度末

研究代表者:白鳥 祐介

九州大学水素エネルギー国際研究センター/大学院工学研究院・准教授

I. 国際共同研究の内容(公開)

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

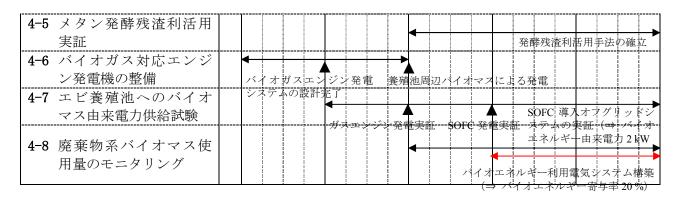
(1)研究の主なスケジュール

. , , ,	光の主なヘケッユール バイオエ ン	ネル	ギーで作動す	る固体酸化物	が形燃料電池の)開発		
	研究項目・活動	H26	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度	
1.	SOFC研究拠点の整備 (工学グループ)							
1-1	LNT (VNU-HCM) 内SOFCラ ボの建設および立ち上げ		◀ SOFC 研究拠.	点の整備完了 ◀────SOIC 研	究拠点の構築			
2.	バイオガスで作動する SOFCシステム開発 (工学グループ)		SOFC 研 <i>9</i>	棟(新棟)への	移転完了			
2-1	SOFCプロセスの技術移 転		講義・研修を実施		への知識・技術の	69 to 2		
2-2	模擬バイオガス供給時のSOFC単セルおよびスタックの発電性能評価		乗機を模擬し7 試験に着手		TO KI HEK 1X WI V	1944		
2-3	SOFC構成材料の熱機械的 および化学的安定性の評 価		解析モデルの			バイオ燃 SOFC 科	料供給時の 学の体系化	
2-4	不純物 (H ₂ S) を含む模擬 バイオガス供給時の SOFCの発電性能評価		★ 構築に着手 ・・・・	4				
	フレキシブル改質触媒の開発	れ、	留学生を受け入 ペーパー触媒の		改質部の小	型化の達成		
	フレキシブル改質触媒 を適用したSOFCスタッ クの発電性能評価		≦向上に関する研 :開始	4	バイオ場	\$料対応型 SOFC	スタックの創出	
2-7	バイオガス対応SOFC用ホットモジュールおよび BOPの設計	↓ ⊓	ンパクト SOFC モ	ジュールの設計を	打			
2-8	バイオガス対応SOFC用ホットモジュールおよび BOPの開発		▼ プロトタイン の運転試験関	プモジュール 始	コンパクト SO	FC モジュールの[月 発	
2-9	熱管理を考慮したSOFCシ ステム開発		•	4		非 数利用	技術の開発	
2-10)プロトタイプSOFCシステ ム開発			プロトタイプシス 軍転試験開始	▲ テムの 実証サ⁄	トへの導入	SOFC システ (1 kW 級) の創	

,	・イン	オ燃料製造に関	関する研究おる	よび関連調査		
研究項目・活動	H26	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度
3. 現地バイオマス資源からの安定的バイオガス 製造(農学&工学グループ)						
3-1 廃棄物系バイオマスの 性状、分布および利用 可能量の調査	•	カントー大学	ラボの整備完了			
3-2 現地バイオマスの効率 的回収および発酵方法 に関する検討	源調	バイオマス資 査および汚泥 試験を実施	現地バイオエン	マルギー回収効率の	D向上	
3-3 現地廃棄物系バイオマ ス (エビ養殖汚泥およ び農業残渣)の化学分 析		分析機器の	見地への投入			
3-4 現地廃棄物系バイオマ スを用いたラボスケー ルメタン発酵試験	現	▼ ビ養殖汚泥および 地バイオマスのメ ン発酵試験を開始		最適発酵	法の確立	
3-5 エビ養殖場でのバイオ ガス製造実証試験		メタン発	1 1 1 1		オガスの発電	
		・ ジステム 完了	の設計・インスト	トール完了 設備 の達	への安定供給 成	<u> </u>

SOF	<u></u> でを	導入したエネ		 ⁄ステム実証		
研究項目・活動	H26	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度
4. エネルギー循環モデル実証 (工学&農学グループ)						
4-1 実証サイト (汚泥回収プ ール、発電・バイオガス 製造建屋、モデル農場) の整備			ー循環シ 実証 設計完了	サイトの整備完了		
4-2 メタン発酵槽および炭 化設備のインストール		•		インストール完丁 炭化設備の作動確		
	バイ	緑藻類を用いた オレメディエー			*	エネルギー 循環システ
4-4 濾過およびエアレーション等の工学的アプローチ	エピなが	→ 大の検討 ◆ の生産性向上に る濾過および曝 システムの設計			•	養殖池水質管理技術の確立

【平成 27 年度実施報告書】 【160531】



	メコンデルタ地	域に	こおり	ける	SOFC	技術	ラシン	ステ	٦ أ		Д-	ا ا	`マ;	ップ	'の柞	構築	į				
研究項目・活動			H27年度				H28年度			H29年度			H30年度			H31年度		:			
5.	SOFCシステムの普及ロー ドマップデザインの作成 (工学グループ)																				
5-1	社会経済的問題および環 境問題の分析基盤の構築	•		- 8	導入: 7ベー		3	3	•												
5-2	LCA分析および費用対効 果分析	•			分析に	基づ	〈普	及シ	ナリ:	オの	デザ	イン	->								
5-3	SOFCのメコンデルタ地域 への普及に向けたシナリ オ分析					4 :	ナリ (ワ-	1	•								→				
5-4	地域ステークホルダーを 対象としたワークショッ プ*開催のための運営委 員会による協議		◀		ワ	ーク) 3)	ププ	多加糸	且織の	り確定	1 1, (合議	開催	こ向	ナた	車絡	調整			→
5-5	メコンデルタ現地におけ るワークショップの開催			•	⊢▶	ワ	・ ・ ク:	4 ▶ ⁄∃	ップ(こお	ナる	◆→ 義論	のロ [.]	ード		◆→ プへ	の反	映		↔	
5-6	シナリオ分析およびワー クショップにおける議論 に基づいた普及ロードマ ップ策定							77	普及に	<i>2</i> —	ドマ	ンプ (の実!	浅に	句け	た組	織運	営体	制の	確立	→

^{*「}専門家パネル会議」を「地域ステークホルダーを対象としたワークショップ」に変更

(2)プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合) 特に該当無し。

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

開発するエネルギー循環システムの現地への社会実装に寄与する人材の育成を進められるよう、カウンターパート (C/P) のベトナム国家大学ホーチミン市校 (VNU-HCM)・ナノテク研究所 (LNT) 内にベトナム初となる固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の研究開発ラボの整備を行い、技術移転を開始した。さらに、カントー大学 (CTU) 内には、メタン発酵技術および低コスト水質管理技術の開発を目指す専用ラボの整備を進め、バイオマスを利用した地球規模の低炭素化に資するエネルギー循環システムの開発を行うための国際共同体制を構築した。

SOFC はベトナムにおいては全く新しい技術であり、その普及に向けては、現地若手研究者の育成、技術移転および地域社会の技術に対する理解が極めて重要である。本プロジェクトでは、国際共同研究の初年度である平成 27 年度より、上記連携体制の下、個人、組織および社会の各レベルで相手国側のキャパシティデベロップメントを推進した。個人に対しては、VNU-HCM より国費留学生を受け入れ(九州大学大学院工学府水素エネルギーシステム専攻の博士課程)、SOFC システムに実装可能な触媒構造体に関する研究に着手しており、指導を行っている。また、ベトナム側への技術移転および日本側人材の育成を目的とし、九大・水素エネルギー国際研究センターにて、LNT 研究者向けに SOFC の作製・評価に関する研修を実施した。組織に対しては、LNT およびホーチミン市工科大学(HCMUT)において、研究スタッフおよび学部学生向けに、地球環境問題、燃料電池および SOFC をテーマに日本側専門家による講義を実施した。社会に対しては、メコンデルタ・ベンチェにて、第1回プロジェクトワークショップを開催し、現地ステークホルダーの開発技術に対する理解を深める活動を行った。当ワークショップは、現地テレビ局のニュースで報じられるなど、地域に対して大きなインパクトを与えるものとなった。

我々は、メコンデルタ特有の有機性廃棄物を発酵させてバイオガスに、バイオガスを燃料電池で電気に、得られた電気を地域で利用するエネルギー循環システムを当該地域へ普及させることを上位目標としており、当プロジェクトでは、エビ養殖場をモデルとして、得られた電気を養殖生産(水質管理)に用いるシステムの研究開発および実証を行うが、バイオガス製造、燃料電池、水質管理の各システム、それらを繋ぐ電気システムの4つの構成要素に対して、産学連携の下、社会受容性の高いシステム設計を実施し、これら設計に基づいて C/P と連携して実証サイトの基盤インフラの設計を完了させた。当実証サイト基盤インフラの建設は、ベトナム政府の支援により平成28年6月に着工予定である。

日本国内における活動については、工学グループでは、バイオガス SOFC 運転状態シミュレーション手法の開発およびシステムのコンパクト化に寄与するフレキシブル改質触媒(ペーパー触媒(PSC))の機能向上を目指した研究を実施し、システム内部で複合的に生じる改質反応のモデル化および PSC の耐炭素析出性の向上による高機能化が大きく進展した。これと並行し、産学連携の下、バイオガス対応型のコンパクト SOFC ホットモジュール、BOP および運転フローの設計を行い、当設計に基づきプロトタイプホットモジュールを得るに至った。農学グループでは、C/P と連携してベンチェ実証サイト(エビ養殖場)周辺の利用可能バイオマスの調査を行い、実証サイトで回収した集積汚泥とバガスの混合メタン発酵技術の開発を推進し、当混合資材でメタン発酵が可能であることを見出した。

(2) バイオエネルギーで作動する固体酸化物形燃料電池の開発(工学グループ、リーダー:白鳥 祐介)研究のねらい

ベトナムの環境エネルギー問題の解決に SOFC 技術が寄与できるものと考えているが、当技術を現地に根付かせるためには、燃料電池技術・低炭素化技術に関する研究教育ネットワークを構築し、現地若手人材の育成を継続して行うことが最も重要である。当目的のため、C/P 代表機関である LNT および参画企業と連携して、以下の取り組みを行う。(PDM: Output 1 and 2)

- ・ LNT にベトナム初の SOFC 研究インフラを整備し、国際共同研究体制の下、燃料電池のベトナム社会 への実装に貢献できる現地人材の育成を推進する。(**PO: 1-1, 2-1, 2-2**)
- ・バイオガスで作動する SOFC システムの創出に向け、「システム作動中の SOFC 内部の状態を予測可能なシミュレーションモデルの構築」、「SOFC システム内部に実装可能なバイオガス改質用触媒構造体の開発」および「バイオガス供給時の SOFC スタック試験」を通してバイオ燃料供給時の SOFC 科学の体系化に資する知見を得る。(PO: 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6)
- ・ 参画企業と連携してバイオガス対応 SOFC ホットモジュール (改質部、燃焼器、熱交換器) および BOP (ガスおよび水の制御部) の設計を完了させ、プロトタイプモジュールを得る。(**PO: 2-7, 2-8, 2-9**)

研究実施方法

SOFC 研究拠点の構築

燃料電池の研究開発をリードできる優秀な現地人材の育成のため、LNT内にベトナム初となる SOFC の研究開発ラボを整備した。すでに LNTに在籍する研究者および学生が SOFC の作製および電気化学性能評価に着手しており、燃料電池に関する技術移転が開始されている。(PO: 1-1, 2-1, 2-2)

バイオ燃料供給時の SOFC 科学の体系化

我々は、研究期間内にバイオガス対応型の SOFC システムの開発を行うが、原理的に燃料プロセッシング(ここではバイオガス(CH_4 と CO_2 の混合ガス)の合成ガスへの変換(メタン改質))をセルのアノード部(Ni-安定化ジルコニア)で行うことができるため、この特徴を最大限生かして改質部を極力簡素化した新しいコンセプトの SOFC の創出を目指し、国際共同研究を行っている。SOFC をバイオガスの直接供給で安定的に作動させるためには、バイオガス直接供給時の様々な条件下において SOFC 内部で生じる現象を正確に把握する必要があり、平成 27 年度は、C/P 機関である HCMUT から AUN/SEED-Net 奨学金により九州大学に派遣されている JICA 長期研修員(平成 26 年 10 月~)が中心となり、人工ニューラルネットワーク(ANN)の手法を取り入れた新しいアプローチで現象を再現できる解析モデルの構築に取り組んだ。(PO: 2-1, 2-2, 2-3)

燃料プロセッシングシステムの簡素化に寄与し、SOFC スタック内部にも適用可能な紙形状のフレキシブル触媒構造体(ペーパー触媒(PSC))の高機能化(耐炭素析出性および耐硫黄被毒性の向上)を目的とし、平成27年10月にVNU-HCMから国費留学生を受け入れ、新たな触媒調整方法および組成の探索を開始した。(P0: 2-4, 2-5, 2-6)

上記 PSC の導入によるシステムのダウンサイジングを目的として、PSC 改質器を作製し、これを SOFC スタック前段に配置した模擬バイオガス供給スタック試験を実施した。(PO: 2-6)

参画企業(マグネクス)と連携し、バイオガス対応 SOFC システムの電・熱出力が高効率となるように設計されたホットモジュールの全体構造に対して、BOP およびシステム運転フローの設計を行った。 (PO: 2-7, 2-8, 2-9)

当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト SOFC 研究拠点の構築

図1に示したように、LNT内に燃料電池研究開発用のガス供給インフラを整備し、SOFC 単セル・スタック評価装置、ガス分析装置、SOFC プロセッシング装置および各種キャラクタリゼーション装置を供与し、ベトナム初となる SOFC 研究開発ラボを整備した。当ラボにおいて SOFC 単セルの作製および発電試験を開始し、ベトナムへの技術移転および現地若手研究者の育成を実施中である。現在、ベトナム政府の支援により、LNT 研究棟に隣接して SOFC 研究棟の建設が行われている(平成 28 年夏竣工予定)。当新棟に SOFC 研究インフラを移転し、さらに、燃料電池材料中の元素拡散およびナノ・ミクロンレベルの形状変化を分析することができる高分解能電子顕微鏡システムを導入して、東南アジアにおける燃料電池研究教育ネットワークの拠点として機能させる計画である。地球規模の燃料電池技術の普及に向け、上記活動は極めて大きな意義があるものと考えている。(PO: 1-1, 2-1, 2-2)

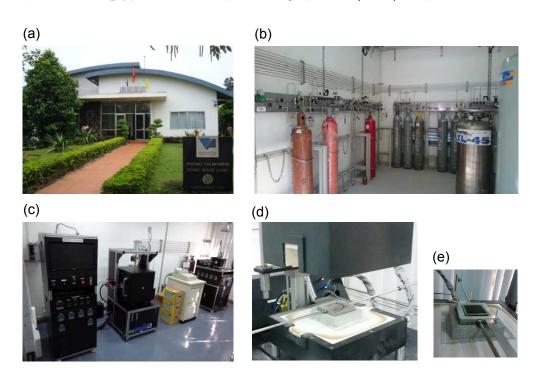


図1:LNT 内に整備した SOFC 研究開発ラボ; (a) LNT 研究棟、(b) SOFC 研究開発用ガス供給インフラ、(c) SOFC ラボ (左からスタック評価装置、スタック用電気炉、ガス分析装置、単セル評価装置)、(d) SOFC 評価用電気炉、(e) 平板型 SOFC 単セル

バイオ燃料供給時の SOFC 科学の体系化

バイオガスを SOFC に供給した際、燃料入口側のアノード内部ではドライリフォーミング反応が主反応として燃料改質が進行するが、下流側に行くにしたがって発電反応(水素の電気化学的酸化)で生成した水蒸気による水蒸気改質反応の寄与が高まるため、ドライリフォーミングおよび水蒸気改質が同時に生じる複合改質反応のモデル化が不可欠である。平成 27 年度は、アノード支持型 SOFC のハーフセル(アノード支持体)を用いた改質試験を、 $700\sim800$ $^{\circ}$ の温度範囲で様々な CO_2/CH_4 比および H_2O/CH_4 比に対して実施し、これに ANN を適用して、メタンベースの任意の燃料組成に対して帰納的に反応速度を予測できるモデルの構築を行った。図 2-(a) は結果の一例である。現在、当モデルを SOFC の熱流体解析モデル(図 2-(b) 参照)に組み込み、バイオガス供給時に SOFC 内部に発生する物質、温度、熱応力分布の解析を行っている。今後、スタック試験との比較によるモデルの検証を行うが、アノード内部で生じる複合改質反応をモデル化した例はこれまでになく、当手法により内部改質型 SOFC の運転状態をより正確に把握できるものと考えている。(P0:2-1,2-2,2-3)

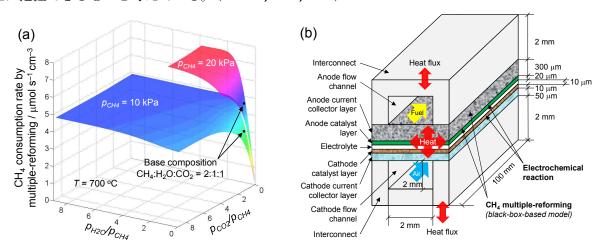


図 2: (a) ANN 手法により実験データから帰納的に導出した CH_4 - CO_2 - H_2O 混合ガス供給時にアノード内部で生じるメタン複合改質反応速度の水蒸気 (p_{H2O}) および二酸化炭素分圧 (p_{CO2}) 依存性 (温度: $700 \, ^{\circ}\mathrm{C}$ 、メタン分圧: p_{CH4} = 10 and 20 kPa、全圧: 1 atm)、(b) (a) の依存性を考慮した CFD 計算で対象とする SOFC モデル

PSC の組成とその製造方法の検討を進めた結果、750 ℃、空間速度 (GHSV) 3500 h⁻¹ におけるメタンドライリフォーミング時に、炭化水素からの水素製造時に問題となる炭素析出が生じず、従来の Ni 担持ハイドロタルサイト分散 PSC (NiHT-PSC; Y. Shiratori et al., Int. J. Hydrogen Energy **40** (2015) 10807-10815.) を超えるメタン転化率 85 %以上を示す PSC を得ることに成功した (図 3 参照)。(**PO: 2-4, 2-5, 2-6**)

200 mm x 58 mm x 5 mm の板型ステンレス容器に 112 mm x 56 mm x 1mm のペーパー触媒(NiHT-PSC)を 5 枚挿入し、板型改質器 (PSC 改質器) とした。 φ120 mm x t320 μm の Ni-YSZ アノー

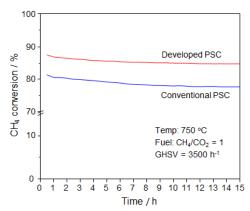


図 3: PSC を用いたドライリフォーミング試験の結果

ド支持型セル(カソード: La(Sr)CoO₃、カソード中間層: Ce(Gd)O₂)を、インターコネクタ(Crofer22APU)を介して7段積層した7セルスタックを準備した。これらを、燃料上流側から PSC 改質器、スタックの順に図 4-(a)のように断熱容器内に配置した。PSC 改質器およびスタックを750 ℃まで昇温し、アノードの還元処理後、模擬バイオガス供給時($CH_4/CO_2=1$, $1.2 \, {\rm L}\, {\rm min}^{-1}$)の電流電圧特性を測定し、その後、19 A(200 mA cm⁻²)の負荷電流下でスタック電圧をモニタリングした。図 4-(b)に定電流試験の結果を示すが、PSC 改質器をスタック前段に適用することにより、バイオガス供給時にも安定したスタック電圧が得られることが明らかとなった。PSC 改質器は平面形状であり、セル間に挿入するなど、スタック内部に組み込むことも可能であるため、当技術を発展させて行けば SOFC システムの大幅なコンパクト化が期待される。(PO: 2-6)

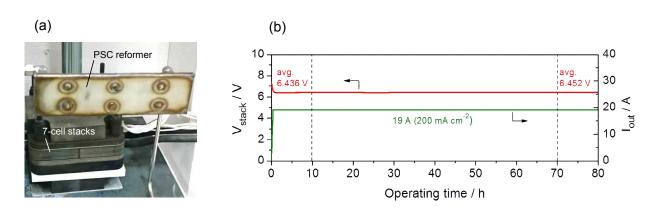


図 4: バイオガス供給 SOFC のスタック試験; (a) 試験に用いた 7 セルスタックおよび前段に配置した PSC 改質器、(b) 模擬バイオガス ($CH_4/CO_2=1$) 供給時 750 $^{\circ}$ C、19 A (200 mA cm $^{-2}$)、燃料利用率 42 %における定電流試験結果

マグネクスと連携し、DC 出力 1 kW、発電効率 54 % (定格運転時) (燃料利用率:75 %、スタック運転温度:650~720 ℃、空気利用率:20~35 % (補機損失、熱交換器容量およびセルスタック冷却を考慮)) を性能指針としたバイオガス対応型の SOFC ホットモジュールを設計し、当設計に基づいて改質部、燃焼器および熱交換器からなるプロトタイプモジュールを開発した。上記モジュールに加え、バイオガス対応型の BOP の設計を完了し、バイオガス供給時のシステムの起動・停止、ホットスタンバイおよび緊急停止の運転フローを決定した。さらに、エビ養殖場での SOFC の実証運転に向けて、参画企業(中山鉄工所)と連携し、エビ養殖池汚泥とバガスを発酵資材としたバイオガス発生量の試算結果と曝気装置の仕様を考慮して、SOFC 発電電力供給システムの設計を行った。(PO: 2-7, 2-8, 2-9)

カウンターパートへの技術移転の状況

以下に示す通り、機材供与、専門家派遣、国費留学生および研修員受け入れを通して技術移転を推進 した。

・ベトナム側に SOFC 評価装置等の機材供与を行い、SOFC 研究開発ラボの LNT 内への整備を完了して運用を開始した。(PO: 1-1)

- ・燃料電池はベトナムにおいては最先端の技術であり、特に本プロジェクトで開発・実証する SOFC は、全く新しい技術である。そこで、現地の若手研究者の育成を目的とし、LNT および HCMUT の研究スタッフおよび学生に対して、日本側専門家が、燃料電池技術・SOFC 技術に関する講義を行った(図 5)。(PO: 2-1, 2-2)
- ・ベトナム側への技術移転および日本側人材の育成を目的とし、LNT 副所長 (Dr. Doan Duc Chanh Tin 氏) が来日し、九州大学水素エネルギー国際研究センターの学生およびスタッフの指導の下、電極ペースト作製法、SOFC 単セル作製法および SOFC の発電試験・電気化学評価法の実習を行った (図 6)。(PO: 2-1, 2-2)
- ・ HCMUT から平成 26 年 10 月に受け入れた JICA 長期研修員が、バイオガス供給時の SOFC 運転状態シミュレーション手法の開発を行っている。(PO: 2-1, 2-2, 2-3)
- VNU-HCM から平成27年10月に受け入れた国費留学生が、SOFC用 改質触媒の研究を実施している。(PO: 2-5, 2-6)



図 5: HCMUT における講義の様子



図 6:SOFC 作製・発電試験 実習の様子

当初計画では想定されていなかった新たな展開

計画通り進行しているので特に該当なし。

(3) バイオ燃料製造に関する研究および関連調査(農学グループ、リーダー:北岡 卓也)

研究のねらい

平成28年12月までにバイオガス製造設備および水質管理設備を実証サイトにインストールし、平成 28 年度中に試運転を実施できるよう、C/P 機関である CTU および参画企業と連携して、以下の取り組み を行う。(PDM: Output 3 and 4)

- ・ 実証サイト (エビ養殖場) 周辺に賦存するバイオマス資源を発電用のエネルギー源として高い効率で 回収することを目的とし、容易に入手可能な廃棄物系バイオマスの調査および養殖池集積汚泥の組成 分析を行う。(PO: 3-1, 3-2, 3-3)
- CTU内に、メタン発酵技術および水質管理技術の開発を行う専門ラボの立ち上げを行い、専門家派遣 および九州大学農学研究院における研修を通じて、技術移転と若手人材育成を推進する。(PO: 3-4, 4-3)
- ・日越双方に整備したメタン発酵ラボ試験機を用いて、ベトナム現地で採取したバイオマスの発酵試験 を開始し、得られた結果をシステム設計にフィードバックできる体制を整える。(PO: 3-5)

研究実施方法

メタン発酵

-バイオマス調査と輸入-

本研究では、エビ養殖集積汚泥に含まれる有機成 分を発酵資材として利用するが、持続的なメタン発酵 を実現するため、実証サイトの近隣 (メコンデルタ・ ベンチェ)で安定的に利用可能なその他の廃棄物系バ イオマス資源の調査を行った(図7参照)。その結果、 製糖工場から排出されるバガスと廃糖蜜が容易に入 手可能であり、ココナッツの搾りかすも利用可能であ ることが判明した。実証サイトにおけるメタン発酵条 件の探索のため、エビ養殖集積汚泥および現地サイト 近くの製糖工場から回収したバガスと廃糖蜜を植物 防疫所の検査を受けて輸入し、九大農学研究院ラボに おけるメタン発酵試験に供した。(PO: 3-1, 3-2)



(約600 tons/day)

ココナッツキャンディー工場



市場



実証サイト(エビ養殖場)



図7:実証サイト周辺(メコンデルタ・ベンチェ) の利用可能廃棄物系バイオマス

ベトナム産バイオマスを用いたメタン発酵の馴養試験-

輸入したエビ養殖集積汚泥の元素分析を行ったところ、土壌成分が多量に含まれているため、乾物中 の有機物含有量は 10 %以下であり、メタン発酵を持続的に行うためには有機物の濃縮および他の資材と の混合発酵が必須である。有機物の濃縮は、実証サイトでの予備試験により沈降分離器(サイクロンセ パレーター)を導入して行うことを決定している。混合発酵については、近隣から容易に入手できる炭 素源として有望なバガスと廃糖蜜に着目し、これらを利用したバイオガス製造が可能であるかを検証す るため、図 8 の手順で集積汚泥+バガス+廃糖蜜および集積汚泥+バガスの混合系に対してメタン発酵菌の馴養試験を行った。結果として、反応速度は遅いものの、いずれの場合にも、集積汚泥中に存在する菌のみによりメタン発酵は可能であることを確認した。反応速度の向上が課題であるが、メタン菌の増殖と活性に必要な無機塩類が不十分だと考え、窒素、リン酸、カリ等の多量元素と、活性向上のために必要と考えられている鉄、ニッケル、コバルトを添加し、現在馴養試験を継続中である。また、pHをやや高めに設定することで発酵が促進される傾向にあり、種菌の馴養完了後、pHを含めた最適発酵条件をバガスおよび廃糖蜜それぞれに対して明らかにする計画である。通常のメタン発酵では、メタンガスと炭酸ガスの発生が同等であるが、本馴養試験では表1に示す通りメタンガスの発生割合が極めて高く、

現在までに発見されているメタン菌とは異なる可能性があるため、今後、メタン菌の分離を実施する予定である。また、バガスを用いたメタン発酵では、セルロースやリグニンの分解に関わる微生物の存在が重要であり、高分解性の菌の確認と分離も今後実施する。(PO: 3-2, 3-3, 3-4)

表 1: 馴養試験中発生ガスの組成分析結果 組成比 月/日 CH. CO_{2} 1/18 0.79 0.21 2/10.87 0.13 2/80.91 0.09 2/220.92 0.08 0.89 3/40.11



図8:現地バイオマスを発酵資材としたメタン発酵菌馴養試験のフロー図

現地植物を利用した水質浄化技術

平成27年6月と平成28年2月にC/P機関であるCTUと実証サイト(エビ養殖場)を訪問し、現地研究者と水質浄化試験の本格実施に向けた事前調査に関する意見交換を行った。外来侵入種による生物多様性喪失防止の観点から、栄養塩除去を目的として実証サイトで用いる海藻は、ベトナム沿岸域に生育【平成27年度実施報告書】【160531】

している種とし、ベトナム南部カマウ省沿岸でのフィールド調査(平成28年5月に実施予定)の実施に向け、その方法および許可手続きについてベトナム側との綿密な協議を行った。複合養殖の現地専門家とも協力し、当該調査で採集された海藻類から単藻培養株を確立し、栄養塩吸収能実験に供する予定である。国内の活動としては、過剰な栄養塩を海藻類に吸収させる方法を考案し、低塩分下でも高い成長を示す海藻類の選定のため、室内培養系で栄養塩吸収能を測定できる装置の開発に着手している。平成28年度の第一四半期に本装置の試験運転を開始し、手法を確立する。(P0:4-3)

当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト メタン発酵

エビ養殖集積汚泥と現地で調達可能なバガス及び廃糖蜜を用いて、実証サイトに存在する菌のみで試験的なメタン発酵に成功した。現状では効率が低いものの、メタン発酵を行っているメタン菌の種類と発酵プロセスが、既往の報告のものと異なる可能性が考えられ、この点を明らかにすることで、新規のメタン菌の発見およびメタン発酵効率の向上が達成され、現地で容易に調達可能な廃棄物系バイオマスに適したバイオガス製造法を確立し、メコンデルタ地域の廃棄物系バイオマスの有効利用に貢献できるものと考えている。(PO: 3-2, 3-3, 3-4)

現地植物を利用した水質浄化技術

バイオエンジニアリングに基づく水質浄化に関する研究体制の基盤作りおよび計画立案を完了した。 今後の研究において、エネルギー循環システムの構成要素の一つである水質管理に現地水生植物を積極 的に利用する技術が確立されれば、さらなる環境負荷低減が期待される。国内においては、水質浄化に 適した海藻類を選定することを目的とし、室内連続培養装置を用いた栄養塩吸収能測定法の開発に着手 しており、計画通り活動を実施した。(PO: 4-3)

カウンターパートへの技術移転の状況

CTU 研究員(Trang Trung Giang 氏)が来日し、九州大学大学 院農学研究院 SATREPS ラボにおいて以下の実習を行った。

- ・CTU に導入する研究用メタン発酵装置のセッテイング方法についての実習を行い(図9)、現地サイトでメタン発酵資材として利用可能なエビ養殖集積汚泥、バガスおよび廃糖蜜を用いた馴養試験のマニュアルを作成し、供与した。さらに、メタン発酵により発生したガスの組成分析方法についての研修を行った。(PO: 3-4)
- ・養殖水の富栄養化を解消することができれば、持続的な養殖 経営が可能となる。現地サイトでは、半海水でエビが養殖さ れていることから、耐塩性陸上植物よりも海藻類を用いて余 分な窒素とリンを吸収させる方が、水質改善の上では有利で あると考えている。そこで、現地サイトの水質改善に寄与す

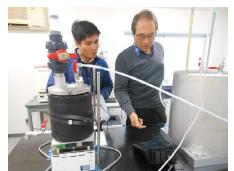


図9:メタン発酵実習の様子



図 10:連続培養実習の様子

る最適な海藻種を選定する目的で導入を目指している室内連続培養装置について、その概要を説明し実演を行った(図 10)。 (PO: 4-3)

・本研究によって養殖池水の富栄養化を解消することができれば、養殖エビの疾病発症の抑制につながると考えている。疾病の発症状況の評価には PCR 法による病原体の検出が有効であり、今後 CTU と連携して疾病診断を行っていく予定であるため、東南アジアのエビ養殖において深刻な被害をもたらしている EMS/AHPND の病原体である腸炎ビブリオ "Vibrio parahaemolyticus"の PCR 検出法の技術習得を目的として実習を行った(図 11)。(PO: 4-3, 4-4)



図 11:エビ病原体検出実習の様子

当初計画では想定されていなかった新たな展開

エビ養殖集積汚泥中に存在する菌の馴養試験において、特異的なメタン発酵挙動が確認されたため、 バイオエネルギーの高効率回収に向け、今後、メタン菌等の分離と同定の必要性が生じた。

(4) SOFC を導入したエネルギー循環システム実証(工学グループ、リーダー:白鳥 祐介)

研究のねらい

平成28年度中にベンチェ・エビ養殖場に実証システムを整備できるよう、平成26年度に立案したエネルギー循環システム構想の構成要素であるバイオガス製造設備、養殖池水質管理設備および発電電力供給設備の設計を、各参画企業と連携して実施する。また、C/Pと連携し、上記設計をベースに実証サイトの基盤インフラの設計を完了させ、建設に着手する。(PDM: Output 4)

- ・ 産学連携により実施する下記のシステム設計に基づき、C/P と連携して実証サイトの基盤インフラの 設計を完了させる。(PO: 4-1)
- ・バイオマス回収・利用に関わる現地調査の結果を基に、現地サイトに適したメタン発酵および発酵残 渣の炭化システムの設計を行う。(P0: 4-2)
- ・ エビ養殖池水質管理の実証試験を効率的に行うための濾過および曝気システムの設計を行う。(P0: 4-4)
- ・ HCMUT と連携し、バイオガス対応エンジン発電機の運転試験に着手する。(PO: 4-6)
- ・ 発電電力と負荷とのバランスを考慮し、バイオエネルギー由来電力の供給システムを設計する。また、 データモニタリング手法を決定し、テストを行う。(PO: 4-7, 4-8)

研究実施方法

専門家派遣による現地視察および大学-参画企業-C/P 間の活発な議論を通して、下記の通り、現地バイオマス資源に対応したメタン発酵・炭化設備、エビの生産性向上につながる濾過・曝気システム、バイオガスで発電した電気をエビ養殖池の曝気に利活用するための電力供給システムの設計を実施し、これらの設計に基づき、実証サイトの基盤インフラの設計を行った。(P0: 4-1)

実証サイトにおいて、バイオガス製造設備の試運転を平成28年度第四四半期から行うことができるよう、参画企業(明和工業)と連携してメタン発酵システムおよび発酵残渣の炭化システムの設計を行った。この際、バイオマス回収・利用に関わる現地調査を行うことにより、現地サイトに適した仕様となるよう適宜設計を改善し、現地バイオマスの発酵槽への投入システムの開発を行った。(P0: 4-2)

参画企業(ダイセン・メンブレン・システムズ)と連携し、エビ養殖池の水質管理を実証試験として 効率的に行うための濾過および曝気システムの能力と規模を現地調査を基に見積もり、設計および基礎 データの取得を行った。(PO: 4-4)

燃料を燃やさずに直接電気に変換する燃料電池システム(参画企業(マグネクス)と連携して開発中; (2)参照)は、平成29年度中に実証サイトに導入する計画であるが、これに先立ち、従来型の燃焼プロセスに基づく発電機を導入してバイオガス発電実証を行う。そのため、現地で汎用的に用いられている小型ディーゼル発電機をHCMUTの内燃機関研究室においてバイオガス対応型とし、ガス燃料による発電試験を開始した。(P0: 4-6)

参画企業(中山鉄工所)と連携し、バイオガスを燃料とした SOFC 発電を軸に、エネルギー循環システム内の各要素技術の仕様の調整を行い、発電した電気を養殖池の曝気等に使用する際の負荷バランスを考慮した電力供給システムの設計を行った。また、各参画機関との協議によりデータモニタリング手法を決定し、当設備を実証サイトに据え付け、遠隔モニタリングのテストを行った。(PO: 4-7, 4-8)

当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

SOFC システムは、実証サイトの規模、バイオガス発生量の試算結果およびプロジェクト期間中にオリジナルのシステムを創出できる開発リードタイムから、前述の通り DC 出力 1 kW、発電効率 50 %のモジュールからなるシステムとし、その設計を完了した。(PO: 2-7, 2-8, 2-9)

エビ養殖集積汚泥の採取分析、サイクロンセパレーターによる有機物分離試験および実証サイト周辺で安価に入手できるバイオマス資源調査の結果を踏まえ、バガスの破砕物と集積汚泥を混合したスラリーを発酵資材とした場合のガス発生量の試算を行い、バイオガス製造設備の設計を行った。SOFC を連続運転可能なガス発生量、実証サイトの規模や今後の展開等を考慮し、メタン発酵槽は必要以上に大型にせず、内容積を 5 m³ とした。消化液の半量は乾燥ヤードで水分を除去した後炭化し、土壌改良材として試験農場で野菜の栽培に利活用する。残り半量の消化液は、養殖場内の未利用池に供給し、現地に群生する水生植物の栽培に利用して窒素分を吸収させるものとした。(PO: 4-2)

本研究では、エビ養殖集積汚泥を回収してバイオエネルギー源とするが、分離膜を用いた濾過システムを導入して有機物の濃縮と同時に、有害な病原菌などを除去した清浄な水を得て持続的エビ養殖を目指す。平成27年度は、水頭差濾過が可能で、ろ過水の送液および濃縮した有機物の取り出しが容易なコンパクトな濾過システムの設計を完了した。(PO: 4-4)

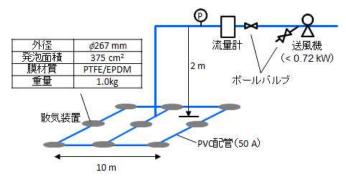


図 12:バイオガス SOFC で作動させる曝気システムの模式

【平成 27 年度実施報告書】 【160531】

バイオエネルギー由来の電力でエビの生育に必要な空気を供給するが、当曝気システムに微細気泡型散気装置を採用する。当散気装置の設置は図12のように行うものとした。発生する気泡の径は約1 mmと小さく、気泡の比表面積を高められるだけでなく、水中での気泡の滞留時間が長くなるため、溶存酸素濃度の維持に必要なエネルギー消費を、現地で用いられている撹拌パドルに比較し大幅に低減できることが期待される。本研究では、周辺バイオマスを燃料とする SOFC の発電電力で当散気装置を作動させるシステムの開発と実証を行うが、低炭素化と持続的養殖を同時に達成するメコンデルタへの社会受容性が高いエネルギー循環システムとして、現地ステークホルダーの期待も大きい。(PO: 4-4)

当プロジェクトでは、ガスエンジンでのバイオガス発電実証も行うが、我々が開発する SOFC システムの比較対象とする 1~数 kW レベルのガスエンジン発電機を、ASEAN 地域で小型分散型電源として汎用的に用いられているディーゼル発電機をベースに HCMUT と連携して開発した。この際、圧力が低いバイオガスを安定してエンジンに供給できるよう、ベンチュリに空気を供給して燃料を吸入するキャブレタ

一型の燃料供給機構とした。当ガスエンジン発電機を LPG を燃料として供給し、出力 2 kW で安定した発電を確認しており、平成 28 年度第一四半期よりバイオガスでの発電試験を開始する。(PO: 4-6)

バイオガスをエネルギー源として得た電力を、上記曝気システムに供給して養殖池中の溶存酸素濃度の制御に用いるモデル系に対して、発電電力と系統電力を組み合わせた電力供給システムおよび燃料電池の発電電力を安定化する運転制御システムの設計を完了した。また、実証サイトの地理的条件を考慮し、3G回線を利用したデータの遠隔モニタリングシステムを設計し、当システムの製作および据付を行い、動作確認までを完了した(図 13 参照)。これにより、エネルギー循環システムの各構成要素の作動状態を日本側ラボにてリアルタイムに把握できるため、C/P メンバーとの連携の下、実証サイトの運転管理において迅速な対応が取れる体制で実証試験を遂行することができる。(P0: 4-7, 4-8)

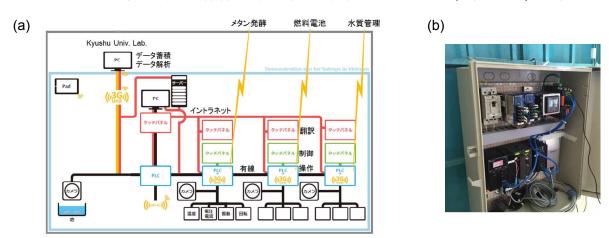


図 13:実証サイト (エビ養殖場) に設置する遠隔モニタリングシステム; (a) 模式図および(b) 養殖場管理建屋に設置したモニタリング用制御盤

日本側が行った上述のエネルギー循環システムの設計を基に C/P 代表機関の LNT との協議を重ね、平成 27 年度末に実証サイトの基盤インフラの設計を完了し、平成 28 年度 5 月より、ベトナム政府の支援により建設が開始されることとなった。 図 14 は、エビ養殖場内に整備する実証設備の配置を模式的に示したものである。

カウンターパートへの技術移転の状況

エネルギー循環システムの運転試験は、国際共同研究体制の下、平成29年度より開始されるが(P0:4-7,4-8)、循環システム全体はもちろんのこと、各要素技術についても技術移転が大いに進むものと期待される。

当初計画では想定されていなかった新たな展開

計画通り進行しているので特に該当なし。

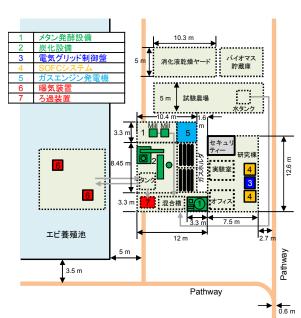


図 14:エビ養殖場内に整備する実証設備 の配置図

(5) メコンデルタ地域における SOFC 技術システム普及ロードマップの構築 (工学グループ、リーダー:白鳥 祐介)

研究のねらい

本研究で開発する「SOFC を導入したエネルギー循環システム」がメコンデルタ地域の環境・経済・産業課題の解決に寄与するものとなるよう、社会受容性を高めることを目的とし、地域、参画企業および C/P 研究機関と密に連携し、現地企業の技術ポテンシャル、現在の地域資源の利用実態を十分把握した上で、工学・農学両グループが産出する基礎研究の知見を活かし、技術者の育成、技術移転および普及を行うための具体的なロードマップの策定に資する活動を行う。(PDM: Output 5)

研究実施方法

実証サイトの視察およびサイト周辺バイオマス資源調査をもとに、参画企業および C/P 機関と連携してエネルギー循環システム実証研究の構想を策定し、当構想を基に設計された実証システムの各要素技術の定量的評価のための基礎データ収集を行なった。(PO: 5-1, 5-2)

第 1 回プロジェクトワークショップを水産養殖業が盛んなメコンデルタ・ベンチェで開催し (2015年 11月 16日)、開発するエネルギー循環システムの概要と地域社会への貢献について現地行政官、養殖業者および地域住民に説明し、技術対話を行った。(PO: 5-4, 5-5, 5-6)

当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

当プロジェクトで連携するベンチェ・エビ養殖場にて、養殖池 (0.3 ha) の曝気に用いられている撹拌パドルの消費電力を測定したところ、1 本当たり約 1.2 kW であった。養殖場従業員によれば、3 ヶ月の養殖期間中、エビの成長に応じて撹拌パドルの稼働数を 1 ヶ月ごとに 2→3→4 本と段階的に増やして生産を行っており、曝気に必要な電力は、養殖池あたり最大で 4.8 kW、平均で 3.6 kW 程度であった。つまり、プロジェクト目標の1つであるバイオエネルギー寄与率 20 %は、撹拌パドルで曝気を行う場合、1 つの養殖池に対して、平均約 0.72 kW の電力を供給できるバイオガス発電システムを開発することで達成されることになる。当プロジェクトで連携しているエビ養殖場は、13 の養殖池を有しており、研究開発期間、研究経費および実証試験の効率を考慮し、1 つの養殖池を対象にして、実サイズの約 1/10 スケールの実証システムを構築することとした。

我々の上位目標は、持続的養殖の実現によりメコンデルタの発展に寄与することであり、当プロジェクトにおいては、エビ養殖集積汚泥に含まれる有機成分を積極的に発酵資材として活用し、エネルギー生産と池の水質維持を同時に行うシステムの実証を行う。(3)で示した通り、集積汚泥から回収できる有機物量が限られることから、農学グループおよび C/P 機関と協力して実証サイト周辺で利用可能な廃棄物系バイオマスの調査を実施したところ、近隣の製糖工場から(ベンチェは、製糖業が盛んな地域である。)、バガスを約1,500円/トンで入手可能であることが分かった。上記1/10スケールの実証試験において、DC 出力1kW、発電効率54%(定格運転時)のバイオガス対応ホットモジュールを搭載したSOFCシステムを導入することにより、寄与率20%を達成できると見込んでいるが、この場合、養殖池集積汚泥とバガスの混合発酵(集積汚泥:バガス=約6:4(重量比))をモデルケースとすると、理論上、少

なくとも約 1 トン/月のペースでバガスを供給する試算結果となった。養殖場と製糖工場間の距離は約 40 kmであり、トラックの燃費を 10 km/L とし、ベトナムにおけるディーゼル燃料の価格 (約 55 円/L) を考慮すれば、1 回の輸送で 1 トンのバガスを輸送する際の燃料代は約 440 円となるため、バガス回収 費用として約 1,940 円/月が見積られる。バイオエネルギー寄与率 20 %に相当する 0.72 kW の電力を現 地商用電源で連続的に供給する際のコストは約 4,320 円/月であるので、プロジェクト後も実証研究を継続的に実施できる試算結果となった。上記の試算は撹拌パドルで曝気を行った場合を想定しているが、発電電力を図 12 の散気装置に供給することでエネルギー利用効率が高まり、バイオエネルギー寄与率 が向上する。今後、製糖業者、エビ養殖業者および行政機関等の現地ステークホルダーと連携してコンソーシアムの形成や新たな制度設計を行えば、さらに効率化が進みコスト削減が可能であると考えている。また、実サイズにすることによるスケールアップ効果も期待できる。一方で、現地の製糖期は9月~4月であるため、養殖生産期との兼ね合いから、バガスのストックを計画的に行う必要がある。

我々は、2030 年頃の技術の普及を目指して研究開発を行っているが、開発システムを製品として広く普及させるためには、設備の導入コストを考慮に入れた上で経済的に成り立たせる必要があり、例えば1 kW 級 SOFC システムについては、40 万円/kW レベルの低コスト化および 10 年の耐久性が実現すればメコンデルタ地域にも普及できると考えている。これには燃料プロセッシングを著しく簡素化したバイオガスの直接供給で作動する燃料電池の創出が不可欠であり、(2)に示した通り、工学グループでは当国際共同研究において技術革新を目指した開発を行っている。

平成27年度は、上述の通り、実証サイトの視察およびサイト周辺バイオマス調査をもとに、参画企業および C/P 機関と連携してエネルギー循環システム構想を策定し、当構想を基に、(4)で示した実証システム各構成要素の詳細設計を完了した。各参画企業の協力の下、「SOFC を導入したエネルギー循環システム」の導入に必要となる物質およびエネルギー投入量に関する基礎データの収集を行ったので、今後は当データベースを活用し、より詳細な費用対効果分析を実施し、経済的観点から普及シナリオデザインを推進する。(PO: 5-1, 5-2)

第1回プロジェクトワークショップは、ベンチェ人民委員会およびベトナム科学技術省からの来賓、水産養殖業者および地域住民等、200名を超える参加者が開発技術を知る機会となり、研究代表者の講演後の質疑応答では、地域住民からコストや実現時期に関する具体的な質問も出るなど大きな反響があり、当プロジェクトの全体構想、各要素技術の担い手と内容が広範にわたって共有される機会となった。今後も地域ステークスホルダーが集うプロジェクトワークショップを定期的に開催し、日本側参画機関および C/P 機関がサポートしながら、新技術に対する理解、技術を利用した地域の課題解決シナリオとその実践を、地域が率先して推進できる体制となるよう尽力する。(PO: 5-4, 5-5, 5-6)

カウンターパートへの技術移転の状況

実証サイトの整備において、現地企業とのネットワーキングも進んでおり、今後、システムの導入・ 運営等、技術実践に関するベトナム側の蓄積が大いに期待できる。(PO: 5-6)

当初計画では想定されていなかった新たな展開

計画通り進行しているので特に該当なし。

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し(公開)

プロジェクトの進め方および留意点

平成 27 年度は、LNT に SOFC 研究開発用機材、CTU にメタン発酵および水質管理研究用機材の供与を 行った。平成 28 年度は、LNT に高分解能電子顕微鏡・元素分析システムを導入し、エネルギー循環シス テム各構成設備の実証サイトへの設置を完了させるが(SOFC システムは平成 29 年度に導入)、計画した 機材供与を予定通り完了できるよう、引き続き注力する。

平成28年1月からベトナム計画投資省(MPI)の支援が開始され、VNU-HCM内に建設するSOFC研究棟およびエビ養殖場に整備するエネルギー循環システム実証サイトの設計を平成27年度中に完了させた。平成28年度上半期より、これら設計図面に基づき建設が開始され、年度中旬にはいずれも完成予定であるが、特に実証サイトに関しては、平成28年12月中旬にエビ養殖場内に実証システムを組み上げ、平成29年1月に各構成設備の試運転を開始する計画となっているため、機材の輸送手続きに遅れが生じないようベトナム側と密に連絡を取り合い活動を進める。

JICA 側支援の初年度であった平成 27 年度は機材供与が中心であったが、2 年度目(平成 28 年度)は、 供与機材を用いた国際共同研究と実証サイトの整備を進める重要な年であり、より積極的な専門家派遣 と受け入れを行い、プロジェクトの促進を図る。

成果達成の見通し

平成27年度は、上述の通り、工学および農学グループ双方で基礎研究が予定通り進行し、国際協力初年度にも関わらず、想定以上に個人、組織、社会に対するキャパシティデベロップメントが進んだ。国際協力2年度目(平成28年度)には、SOFC研究棟および実証サイトの建設が完了し、東南アジア初の燃料電池を導入した低炭素化システムに関する研究拠点が形成されるため、5年のプロジェクト期間内に、メコンデルタ地域への受容性の高い、再生バイオガスと燃料電池を融合させたエネルギー循環システムを開発し、プロジェクト目標を達成できることが十分見込まれる。

上位目標に向けての貢献・成果の社会的インパクトの見通し

SOFC を導入したエネルギー循環システムを開発する本研究は、途上国の持続的な発展に寄与するだけでなく、低炭素技術のパッケージとしての輸出促進にもつながるものと期待される。本研究では、上位目標に向けて、エネルギー循環システムの各構成要素(燃料電池、バイオガス製造、電力供給、水質管理)それぞれに企業が参画しており、密な産学連携の下、システムの設計開発を行っているだけでなく、プロジェクトワークショップを開催し、地域住民および現地行政官の理解を深めつつ、エビ養殖場の全面協力の下、実証システムの開発を進めている。以上の実施状況から、来年度以降の国際共同研究において、社会的インパクトのある成果を上げ、国際的に注目されるエネルギー循環システムのモデルケースを提案できるものと考えている。

III. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など(公開)

(1) プロジェクト全体

相手国側への供与機材において、ベトナム計画投資省とベトナム財務省の連携不足により免税許可が遅延し、プロジェクトに不可欠な機材がホーチミンの港に約2ヶ月半放置される事態となった。高温多湿の環境下に精密装置が長期間置かれていたため、機材に不具合が生じることも懸念されるが、技術協力プロジェクトでは上記のような不測の事態が生じることを考慮に入れて活動を進める必要がある。 (PDM: Output 1 (PO: 1-1), PDM: Output 3 (PO: 3-1))

(2) バイオエネルギーで作動する固体酸化物形燃料電池の開発

平成 27 年度に SOFC 関連の機材供与を終え、LNT が SOFC の試験を開始したが、平成 28 年度は、LNT が有するナノテク技術の SOFC への導入、および高分解能電子顕微鏡システムの供与により、新しい電極・改質触媒の開発および劣化解析を推進する。平成 28 年度に立ち上がる SOFC 研究棟を持続的科学技術開発の拠点とし、SOFC に関連したナノテクノロジー、マテリアル・プロセス開発、システム設計を通して、ベトナムの科学技術の向上に貢献できるよう尽力する。(PDM: Output 1 (PO: 1-1), PDM: Output 2 (PO: 2-1 - 2-10))

(3) バイオ燃料製造に関する研究および関連調査

現地 (CTU) への機材の搬入が遅れたため、平成28年度第一四半期の専門家派遣において、九大農学研究院およびCTU 両サイトで実施するメタン発酵に関する国際共同研究の具体的計画を決定し、CTU での発酵試験を開始する。この際、本研究で分離する微生物の所有権についても協議すべきである。また、将来的に水質浄化技術で生産する水生植物を早期に決定し、その植物の収集とそれを原料としたメタン発酵の可能性についても予備的な試験を両国で展開する必要がある。(PDM: Output 3 (PO: 3-2, 3-4), PDM: Output 4 (PO: 4-3))

(4) SOFC を導入したエネルギー循環システム実証

実証サイト周辺でいかに廃棄物系バイオマスを効率良く回収するかについて検討を重ね、実証システムの規模もコンパクトなものにし、さらに、外部視察者が実施内容を容易に把握できるような配置とするなど、研究および普及の促進につながる実証サイトとする工夫を行った。(PDM: Output 4 (PO: 4-1, 4-2))

(5) メコンデルタ地域における SOFC 技術システム普及ロードマップの構築

バイオマス資源調査やワークショップの開催等による現地ステークホルダーとのネットワーク形成が普及ロードマップの策定に不可欠であるが、これらの活動が C/P 機関の全面的な協力と現地プロジェクトオフィスの強力なサポートにより順調に進んでおり、国際協力初年度から成果を上げることができた。(PDM: Output 5)

IV. 社会実装(研究成果の社会還元)(公開)

(1) 成果展開事例

特に該当なし。

(2) 社会実装に向けた取り組み

- ・燃料電池に関する世界最大の展示会「第 12 回国際水素・燃料電池展~FC EXPO 2016~」(平成 28 年 3 月 2 日 (水) ~4 日 (金):東京ビッグサイト)にて、九州大学グループが本研究に関するポスター展示を行い、一般の来場者および当該分野の訪問者に研究紹介を行った(図 15)。
- ・国際シンポジウム「SATREPS 水産養殖技術開発研究プロジェクトネットワーク」(平成 27 年 12 月 19 日(土)~20日(日):東京海洋大学)に参加し、当燃料電池プロジェクトの養殖生産への寄与について講演を行った。当国際シンポジウムの開催と内容が、日刊水産経済新聞に取り上げられた(2015年12月24日(木))。

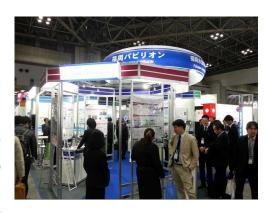


図 15:FC EXPO 2016 にてポスター発表を行う九大プロジェクトメンバー

- ・「ビジネスショウ&エコフェア 2015」の市民講座「循環型社会システム研究フォーラム〜九大発! 再生可能エネルギー研究開発の最前線〜」(平成 27 年 6 月 17 日 (水) 福岡国際センター)にて、「途 上国社会への実装を目指した燃料電池システム開発」の題目で研究代表者が本研究に関する講演を行った。
- ・年間 1000 名を超える研修員がアジア、中東、アフリカ、中南米、大洋州地域から訪れる JICA 九州国際センター内に、本案件の紹介パネルを設置し、当活動を世界に発信している。

V. 日本のプレゼンスの向上(公開)

・メコンデルタの主要都市であるベンチェにて、平成27年11月に、ベンチェ人民委員会の行政官、ベトナム科学技術省からの来賓、現地水産養殖業者や住民など、200人以上のステークホルダーが一堂に会した第1回プロジェクトワークショップ (Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture (WANA2015))を開催し、本プロジェクトの開始およびその趣旨について英語およびベトナム語で講演を行った後、日本側専門家とステークホルダー間の技術対話を実施し、開発技術に対しての理解を深める活動を行った(図16)。燃料電池技術に関する当ワークショップは、現地テレビ局のニュースで報じられるなど、現地社会に対して大きなインパクトを与えた。





図 16: 第1回プロジェクトワークショップの開催風景(2015年11月16日);現地ステークホルダーにプロジェクト開始を伝える研究代表者

- ・ カウンターパートであるベトナム国家大学ホーチミン市校の副学長が来日し (2015 年 8 月 28 日)、 部局間レベルでの交流を深めた。
- VI. 成果発表等【研究開始~現在の全期間】(公開)
- VII. 投入実績【研究開始~現在の全期間】(非公開)

VIII. その他 (非公開)

以上

VI. 成果発表等

- (1)論文発表等【研究開始~現在の全期間】(公開) ①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

	年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめーおわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
ļ						
L						
L						
_			論文数	0	件	
			うち国内誌	0	件	
			うち国際誌		件	
					1.1	

0件 公開すべきでない論文

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめーおわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

論文数

うち国内誌

0 0 0 件 0 件 うち国際誌

公開すべきでない論文 0 件

<u>③その</u> 1	也の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)				
年度	著者名、タイトル、掲載誌名、巻数、号数、頁、年		出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
	公開すべきで	著作物数ない著作物		件 件	
④その	也の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)				
年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめーおわりのページ		出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2015	才村綾美、白鳥祐介、北岡卓也、"ペーパー構造体触媒による脱硫ー炭化水素改質の連続反応"、九州大学超顕微解析研究センター報告、2015年、39巻、156-157		報告書	発表済	
		著作物数	1	件	
	公開すべきで			件	
⑤研修 :	コースや開発されたマニュアル等				
年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了 者数	開発し	ンたテキスト・ [・]	マニュアル類	特記事項

Ⅵ. 成果発表等

(2)学会発表【研究開始~現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /ロ頭発表 /ポスター発表の別
2014	国内学会	白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、北岡 卓也(九大農学研究院)、東 修(広大国際協力研究科)、Dang Mau Chien(ベトナム国家大学ホーチミン市校)、Do Thi Thanh Huong(カントー大学)、Huynh Thanh Cong(ホーチミン市工科大学)、Tran Quang Tuyen(九大水素センター)、"高効率燃料電池と再生バイオガスを融合させたエネルギー循環システムの構築"、第23回SOFC研究発表会、東京、2014年12月17日	口頭発表

招待講演 0 件 口頭発表 1 件 ポスター発表 0 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /ロ頭発表 /ポスター発表の別
2014	国際学会	東 修(広大)、白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、北岡 卓也(九大農学研究院)、白川 博 章(名古屋大環境学研究科)"Zero emission system for sustainable agriculture in Asia"、AGRO'2014、 高知、2014年11月26日	口頭発表
2014		才村綾美(九大生物資源環境科学府)、白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、北岡 卓也(九大農学研究院)"ペーパー構造体触媒による脱硫ー炭化水素改質連続プロセスの開発"、第65回日本木材学会大会、東京、2015年3月17日	

2015	国内学会	白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、"途上国社会への実装を目指した燃料電池システム開発"、ビジネスショウ&エコフェア2015「循環型社会システム研究フォーラム」~九大発!再生可能エネルギー研究開発最前線~、福岡、2015年6月17日	招待講演
2015	国際学会	Tran Long Dang(九大工学府)、TRAN QUANG TUYEN(九大水素センター)、白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、"Catalytic and Electrochemical Behaviour of Solid Qxide Fuel Cell Operated with Simulated-Biogas Mixtures"、3rd Regional Conference on Energy Engineering (RCEnE)、、インドネシア、2015年11月19日	口頭発表
2015	国際学会	白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、"Flexible Structured-Catalyst for Solid Oxide Fuel Cell Technology"、The 5th International Workshop on Nanotechnology and Application (IWNA 2015)、ベトナム、2015年11月13日	招待講演
2015	国際学会	白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、"高効率燃料電池と再生バイオガスを融合させた地域内 エネルギー循環システムの構築:研究のコンセプトと今後の展開"、SATREPS国際シンポジウム 「SATREPS水産養殖技術開発研究プロジェクトネットワーク」、東京、2015年12月19日	招待講演
2015	国内学会	才村綾美(九大生物資源環境科学府)、白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、北岡 卓也(九大 農学研究院)、"二層積層型ペーパー構造体による脱硫ーメタン水蒸気改質の連続反応"、第82回紙 パルプ研究発表会、東京、2015月6月5日	ポスター発表
2015	国内学会	才村綾美(九大生物資源環境科学府)、白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、北岡 卓也(九大 農学研究院)、"金属酸化物ナノ粒子のオンペーパー合成と脱硫ーメタン水蒸気改質による燃料電池用 水素製造"、第52回化学関連支部合同九州大会、北九州、2015年6月27日	ポスター発表
2015	国際学会	才村綾美(九大生物資源環境科学府)、白鳥 祐介(九大水素センター/工学研究院)、北岡 卓也(九大農学研究院)、"Sequential desulfurization and methane steam reforming of simulated biogas by dual-layered paper-structured catalysts"、9th International Paper and Coating Chemistry Symposium 2015、東京、2015年10月30日	ポスター発表

招待講演 3 件 口頭発表 2 件 ポスター発表 4 件

VI. 成果発表等

(3)特許出願【研究開始~現在の全期間】(公開) ①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種 類、出願国等	相手国側研究メン バーの共同発明者 への参加の有無	その他 (出願取り下げ等 についても、こちら に記載して下さい)	DOI	発明者	発明者 所属機関	関連する外国出願※
No.1											
No.2											
No.3											

0 件 0件

国内特許出願数 公開すべきでない特許出願数

②外国出願

	1 11 70天										
	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種 類、出願国等	相手国側研究メン バーの共同発明者 への参加の有無	その他 (出願取り下げ等 についても、こちら に記載して下さい)	DOI	発明者	発明者 所属機関	関連する国内出願※
No.1											
No.2											
No.3											

外国特許出願数

公開すべきでない特許出願数

0 件 0 件

VI. 成果発表等 (4) 受賞等【研究開始~現在の全期間】(<mark>公開</mark>) ①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2014	2015.3.17	優秀ポスター賞	"ペーパー構造体触媒による 脱硫一炭化水素改質連続プロセスの開発"	才村綾美 (九大生 物資源環 境科学 府)	日本木材学	3.一部当課題研究の成果 が含まれる	
2015	2015.11.20	ベストペーパー賞	"Catalytic and Electrochemical Behaviour of Solid Qxide Fuel Cell Operated with Simulated- Biogas Mixtures"	Tran Long Dang(九 大工学 府)	Regional Conference on Energy Engineering in conjunction with 7th International Conference of Thermofluid s	1.当課題研究の成果である	
2015	2015.8.31	若手優秀発表賞(ポス ター発表)	"二層積層型ペーパー構造体による脱硫ーメタン水蒸気改質の連続反応"、	才村綾美 (九大生 物資源環 境科学 府)	紙パルプ技 術協会	3.一部当課題研究の成果 が含まれる	
2015	2016.3.15	学術研究賞	"ペーパー触媒の積層構造を 反応場とするバイオガス駆動 型燃料電池用水素製造"		九州大学学	3.一部当課題研究の成果 が含まれる	

<mark>4</mark>件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2014	2014.8.24	Viet Nam News	Organic waste to be turned into renewable energy	Environment	1.当課題研究の成果である	
2014	2014.10.23	日本経済新聞	ベトナムで汚泥発電		1.当課題研究の成果である	
2015	2015.6.16	西日本新聞	九州か全国・世界へ発信-再 生可能エネルギーの研究推 進-	特集	3.一部当課題研究の成果 が含まれる	
2015	2015.9.23	日本経済新聞	温暖化対策 アジア支援		その他	
2015	2015.11.17	ベンチェ省テレビ局(THBT)			1.当課題研究の成果である	
	2015.12.24	日刊水産経済新聞	途上国と養殖技術開発		その他	

6件

Ⅵ. 成果発表等

(5)ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始~現在の全期間】(公開)

①ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所(開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	概要
2014	7月18日	SATREPSプロジェクトJP-TEAM全体 会議	JR博多シティ会議室 (日本)	31名 (0名)	当プロジェクトの実施内容とSATREPS事業の 進め方について全参画機関と確認を行った。
2015	8月28日	SATREPS ベトナム・燃料電池 第1回日越合同会議	九州大学 稲盛ホール (日本)	41名 (7名)	SATREPS事業の促進の為、相手国機関より代表者を招き、各パートの進捗状況および今後の進め方について、日越双方の参画機関と討議・情報共有を行った。
2015	11月16日	Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture (WANA2015)	ベトナム、ベンチェ省	約200名	現地行政官、水産養殖業者および住民に対して、本プロジェクトの開始およびその趣旨について英語およびベトナム語で講演を行った後、日本側専門家とステークホルダー間の技術対話を実施し、開発技術に対しての理解を深める活動を行った。

3 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2015	11月17日	SATREPSプロジェクトの概要と進捗、 今後の計画の相互理解とR/D変更事 項についての承認を行う。	15名	各参画機関が、担当する活動の概要、進捗状況および今後の流れについて説明を行い、情報共有を行った。また、R/D記載事項の変更について承認を行った。

研究課題名	高効率燃料電池と再生バイオガスを融合させた地域内 エネルギー循環システムの構築
研究代表者名	白鳥 祐介(九州大学 大学院工学研究院/水素エネル
(所属機関)	ギー国際研究センター)
研究期間	H26採択(平成27年1月1日~平成32年3月31日)
相手国名/	ベトナム社会主義共和国/
主要相手国研	ベトナム国家大学ホーチミン市校ナノテク研究所、
究機関	カントー大学、ホーチミン市工科大学

付随的成果

	可随的 成果
日本政府、社 会、産業への 貢献	 ◆地球規模対応のグリーンインフラ技術の創出 ◆日本企業による成果の事業化 ◆農村地域等の活性化と地域間格差の是正 ◆我が国への養殖水産品の安定供給 ◆下水汚泥処理に悩む大都市圏の環境改善 ◆石炭ガス化技術と燃料電池技術の融合
科学技術の 発展	◆ ASEAN諸国等の開発途上国への高効率発電技術 (燃料電池技術)の普及 ◆ 化石燃料使用量の削減につながる汚泥の新しいエネルギー利用形態 ◆ 燃料電池のロバスト性を活かした再生可能エネルギー利活用システム ◆ 生態系・生物多様性の保全に資する持続的養殖法 ◆ 養殖生産性の向上に資する水質管理・病害防止技術
知財の獲得、 国際標準化 の推進、生物 資源へのアク セス等	↑バイオエネルギーで作動する高効率燃料電池◆セルに改質機能を付与した燃料電池システム◆養殖生産、汚泥の高効率エネルギー利用、水質浄化を組み合わせたエネルギー循環システム
世界で活躍で きる日本人人 材の育成	◆ 国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際会議への指導力、レビュー付雑誌への論文掲載など)
技術及び人的ネットワークの構築	◆専門家パネル会議の構築◆参加型アプローチの研究フレームワークの構築◆ 現地農業従事者等を対象とした広報活動
成果物(提言書、論文、プログラム、マコアル、データなど)	◆燃料電池製造プロセス◆セルに改質機能を付与した燃料電池システム◆養殖池汚泥利用小規模電力グリッド◆養殖池水質、汚泥組成、バイオガス性状の相関

◆ エビ病害防止手法

上位目標

高効率燃料電池を導入した地域内エネルギー循環システムの普及による

- ◆ 廃棄物系バイオマスのエネルギー利用の促進による低炭素化
- ◆ <u>農村地域などにおける安定的電力利用とそれに伴う生活水準の向上</u> ◆ 持続的養殖による環境負荷低減
- ◆ ベトナムにおける新産業の創出および我が国の産業競争力の向上

システムの社会経済的・環境的効果の評価、人材育成、専門家パネル会議やワークショップ等の参加型アプローチ等を通して、開発したエネルギー循環システムの優位性がベトナム国内で認知され、国際的なルール作りに活用される。

プロジェクト目標

◆ メコンデルタ地域特有のバイオエネルギーで作動する高効率燃料電池の創出

◆ メコンデルタ地域への受容性が高いエネルギー循環システムの実証							
◆ 燃料極の改質機能	◆ バイオガスで作動	◆ エビ養殖場における	◆ SOFC導入エネル				
を制御したバイオ燃料	するプロトタイプ	バイオガス製造実証	ギー循環システムの実				
対応型SOFCスタック	SOFO システム (1	(⇒ 実サイズの1/10ス	iii (⇒ バイオエネル				
の創出。	kW級)の創出	ケール)	ギー由来電力2 kW) (工学・農学グループ)				
(工学グループ)	(工学グループ)	(農学グル十プ)	(エ子辰子グルーノ)	80%			
			★ エビ養殖場内バイ				
◆バイオガスSOFCを	◆ バイオガス対応コ		オエネルギー利用グ				
可能にするフレキシブ	ンパクトSOFCモ	◆サイト内有機性廃 棄物に適したメタン発	リッドシステム構築				
ル改質触媒の開発	ジュール開発		(⇒ バイオエネル				
(工学グループ)	(⇒ システム内部に	(農学グループ)	ギー寄与率20%)	60%			
	改質機能を付与)		(工学グループ)	00 /0			
	(工学グループ)		◆ エビ養殖池に適し				
◆メコレデルタ特有の		◆サイト周辺に賦存	た現地受容性の高				
バイオ燃料供給時の	◆ バイオガスによる	する廃棄物系バイオ	い水質管理技術の				
SOFC科学の体系化 (工学グル ー プ)	発電に対応した	マスの効率的回収方	開発	100/			
(<u>+</u>	SOFC用BOP開発	法の確立	(⇒ 現地植物を利用	40%			
◆ ベトナム若手研究者	(工学グループ)	(農学・工学グループ)	した生物工学的手法				
への知識・技術の移転			および濾過・曝気等				
(工学グル十プ)			の工学的手法				
	◆ メコンデルタでの受		(農学グループ)				
◆ ベトナム初の固体	容性の高いSOFC運 用方法の検討	◆ メコ <mark>ンデル</mark> タ地域 バイオ <mark>マス資源の分</mark>	◆ 養殖池の水質調	20%			
酸化物形燃料電池	(⇒排熱のメタン発酵	布調査および養殖池	査および周辺生態				
(SOFC)研究拠点の	への利用等)	汚泥の性状調査	系・生物多様性への				
整備	(工学グループ)	(農学グループ)	影響調査				
(工 <mark>学グルー</mark> プ)			(農 <mark>学グルー</mark> プ)	00/			
バイオエネルギーで作動	バイオガスで作動する	メコンデルタに適した	SOFC導入エネルギー	۷0%			
するSOFC技術の体系化	SOFCシステム開発	バイオ燃料製造技術開発	循環システム構築				