公開資料

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 28 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 に基づいた協力期間（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=JST との正式契約に定めた年度末

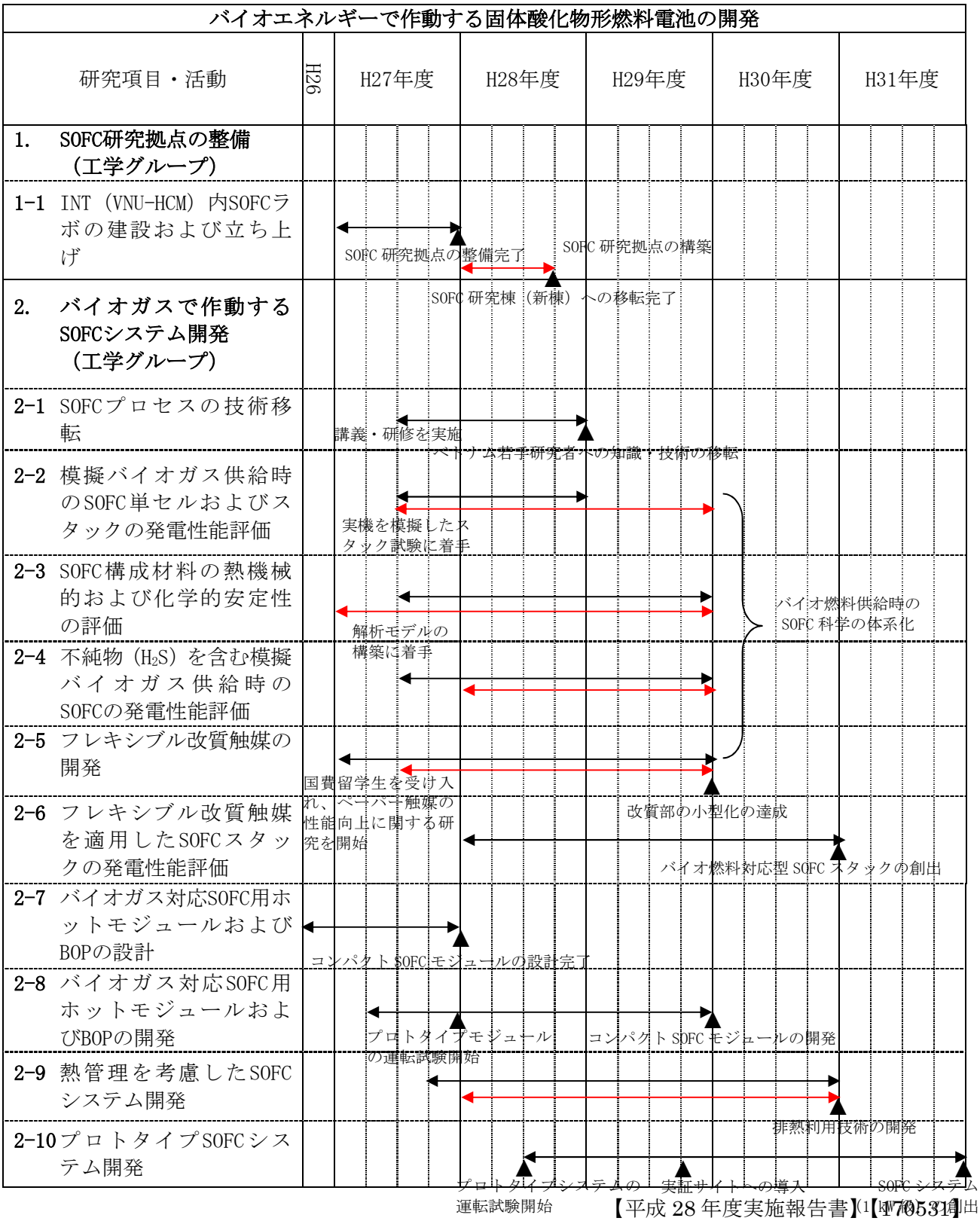
研究代表者：白鳥 祐介

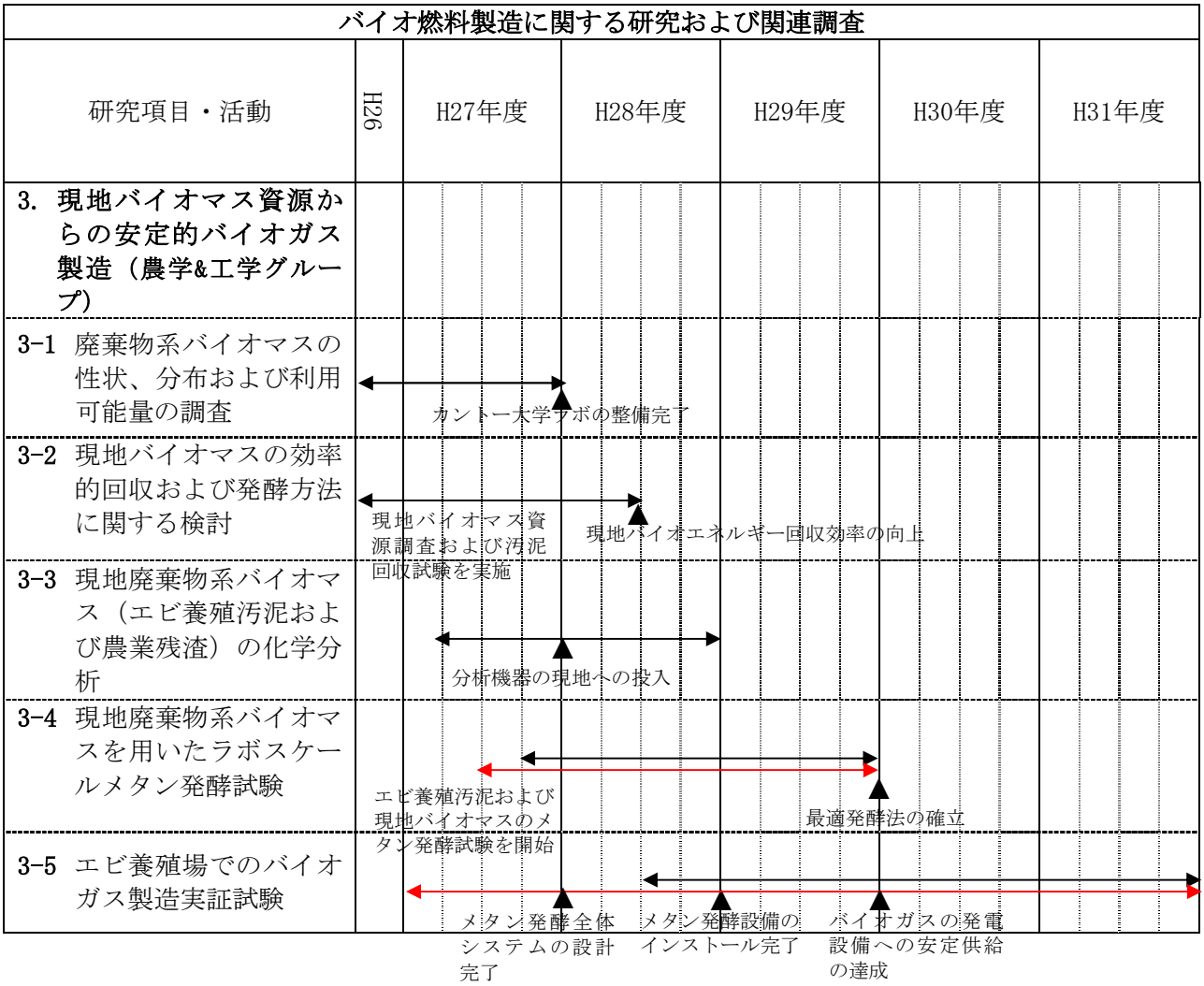
九州大学水素エネルギー国際研究センター/大学院工学研究院・准教授

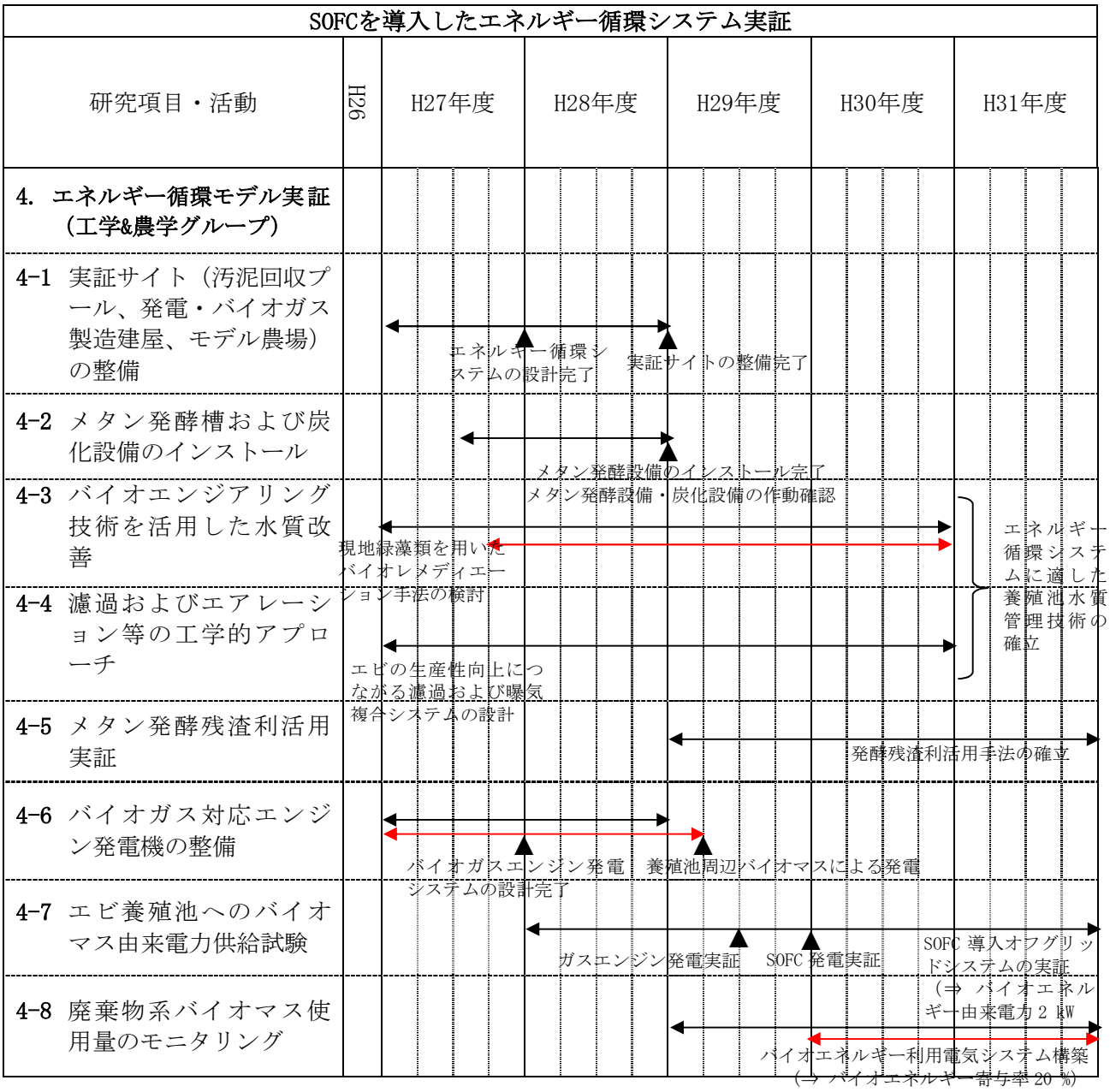
I. 国際共同研究の内容（公開）

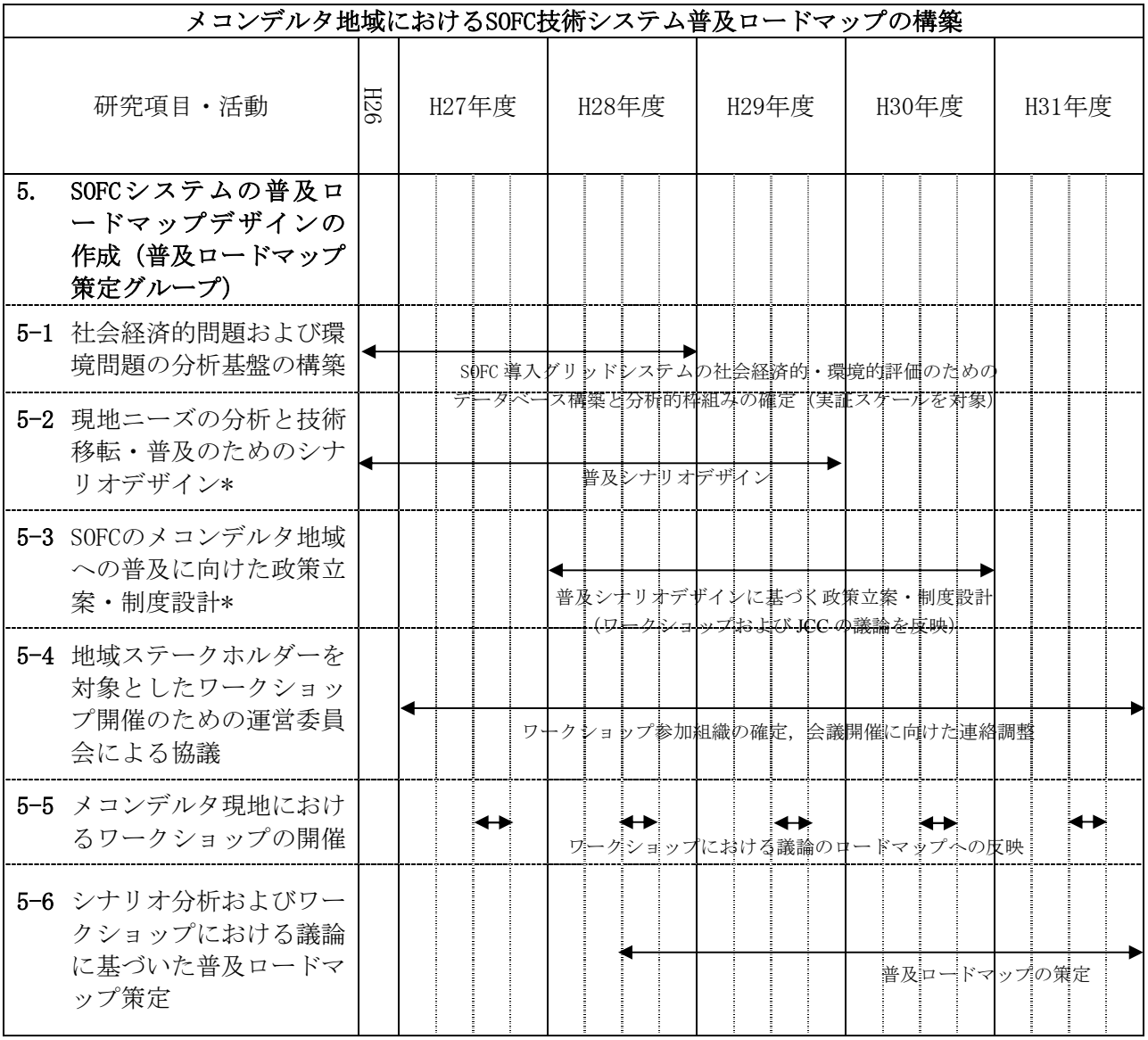
I-1. 当初の研究計画に対する進捗状況

I-1-(1) 研究の主なスケジュール




バイオ燃料製造に関する研究および関連調査
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
現地バイオマス資源調査および汚泥回収試験を実施
現地バイオエネルギー回収効率の向上
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
分析機器の現地への投入
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
エビ養殖汚泥および現地バイオマスのメタン発酵試験を開始
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
メタン発酵全体システムの設計完了
メタン発酵設備のインストール完了
バイオガスの発電設備への安定供給の達成


SOFCを導入したエネルギー循環システム実証
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
エネルギー循環システムの設計完了
実証サイトの整備完了
4-2 メタン発酵槽および炭化設備のインストール
メタン発酵設備のインストール完了
メタン発酵設備・炭化設備の作動確認
4-3 バイオエンジアリング技術を活用した水質改善
現地緑藻類を用いたバイオレメディエーション手法の検討
4-4 濾過およびエアレーション等の工学的アプローチ
エビの生産性向上につながる濾過および曝気複合システムの設計
エネルギー循環システムに適した養殖池水質管理技術の確立
4-5 メタン発酵残渣利活用実証
発酵残渣利活用手法の確立
4-6 バイオガス対応エンジン発電機の整備
バイオガスエンジン発電システムの設計完了
養殖池周辺バイオマスによる発電
4-7 エビ養殖池へのバイオマス由来電力供給試験
ガスエンジン発電実証
SOFC発電実証
SOFC導入オフグリッドシステムの実証
（⇒ バイオエネルギー由来電力2 kW
4-8 廃棄物系バイオマス使用量のモニタリング
バイオエネルギー利用電気システム構築
（⇒ バイオエネルギー寄与率20 %）



*静岡大学の新規参画により、新たに「普及ロードマップ策定グループ」を組織したため、内容を変更

I-1-(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。

I-2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト（公開）

I-2-(1) プロジェクト全体

我々は、メコンデルタ（ベトナム・ベンチェ省）の集約的エビ養殖場（池の持続性と効率的な電力使用が生産性向上の課題となっている。）を、地域の有機性廃棄物を利用した燃料電池導入エネルギー循環システムの実証サイトに選定し、実証プラントの建設を進め、2017 年 2 月に整備を完了させた（図 1 参照）。当サイトの開所は、現地のメディアで大々的に報道され（ベンチェ TV、Ben Tre 省 Dong Khoi 新聞、Viet Nam News）、途上国社会共通の課題である有機性廃棄物の増加による環境汚染と電力の安定供給を同時に解決する技術として、メコンデルタ地域で大きな期待が寄せられている。

図 1：ベトナム・ベンチェ省 Hoang Vu エビ養殖場内に建設した地域バイオマス利用エネルギー循環システムの実証プラント

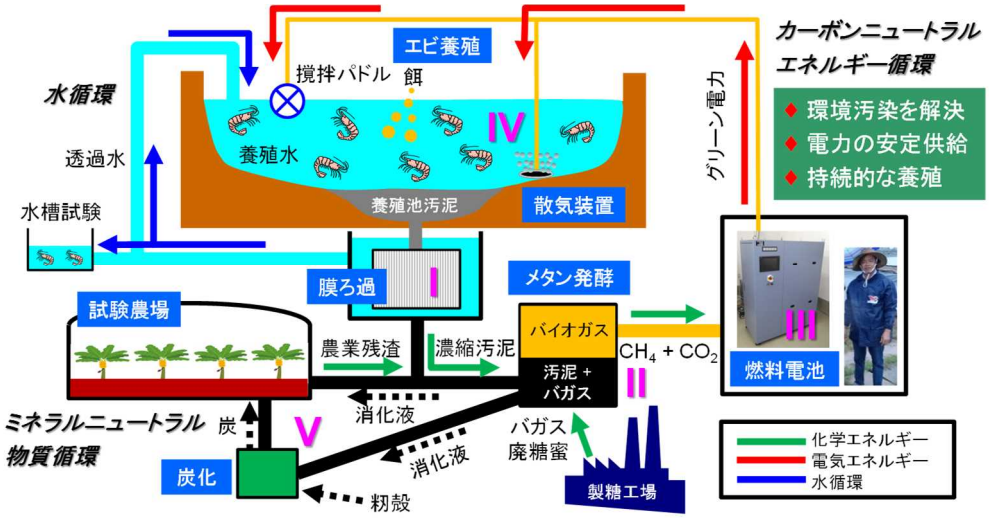


図 2：メコンデルタ・エビ養殖場で実証するエネルギー循環システムのコンセプト

当プロジェクトで実証するシステムのコンセプトを図 2 に示す。エビ養殖池の底に蓄積した汚泥を、(I)水循環膜濾過システムを用いて連続的に回収・濃縮し、得られた濃縮汚泥を近隣の製糖工場から回収したバガス（サトウキビの搾りかす）および廃糖蜜とともに(II)メタン発酵槽に供給し、バイオガス（CH_4 と CO_2 の混合ガス）を製造する。この際、養殖池汚泥がメタン発酵菌の供給源となる。脱硫後のバイオガスを(III)固体酸化物形燃料電池（SOFC）に供給して 50 %の高い発電効率で電力に変換し、このバイオエネルギー由来の電力で(IV)超微細気泡型散気装置（高効率曝気装置）の稼働を行い、エビ養殖生産の大幅な低炭素化を達成する（カーボンニュートラルエネルギー循環）。(II)から排出される消化液は、近隣で回収した籾殻と混合し、乾燥後、(V)炭化設備で炭化物とし、土壌改良材あるいは肥料として農業生産に利用する（ミネラルニュートラル物質循環）。(I)で得られた透過

水は養殖池に戻すが、一部はエビ養殖の水槽試験用に供給し、水質管理がエビ養殖に及ぼす効果について研究を行う。当プロジェクトには、日越双方の代表機関（九州大学水素エネルギー国際研究センター、ベトナム国家大学ホーチミン市校（VNU-HCM）ナノテク研究所（INT））に加え、九州大学大学院農学研究院、静岡大学、カントー大学（CTU）、ホーチミン市工科大学（HCMUT）および日本企業 4 社が参画しており、メコンデルタ地域の持続的発展に貢献すべく鋭意活動中である。

開発した技術を途上国社会に広めるためには、相手国研究者･技術者の育成と地域ステークホルダーの理解が不可欠であり、現在、個人（実習）、組織（相手国研究機関での講義および共同研究）および社会（ワークショップの開催）の各階層でのキャパシティ・ディベロップメントを実施中である。当活動の加速を目的とし、SATREPS およびベトナム政府の支援により、INT 内にベトナム初の燃料電池研究開発棟の整備が進められ、2016 年 9 月に開所を迎えた（図 3 参照、JST News 2016 年 12 月号 NEWS & TOPICS にて紹介）。我々は、当研究棟を低炭素化社会の実現を志す研究者、技術者および学生が集う研究拠点として活用し、国際連携、農工連携、産学連携の下、学際的な研究を促進させ、グローバルな視点で研究開発を遂行できる日本側の人材および燃料電池技術の ASEAN 地域への普及を牽引できるベトナム側の人材の育成を推進している。

図 3：VNU-HCM 内に立ち上げた INT 燃料電池研究開発棟の開所式の様子

I-2-(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）

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

九州大学大学院農学研究院を中心とする農学グループは、INT と連携してベンチェ・エビ養殖場内の廃棄汚泥貯留池から集積汚泥を採取し、その中に存在するメタン発酵菌を、ベンチェ・製糖工場から回収したバガスと廃糖蜜を資材として増殖させてメタン発酵試験（湿式中温発酵（35 ℃））を行い、硫化水素（H_2S）濃度 50 ppm 以下のバイオガス（CH_4/CO_2 = 1～1.7）を安定的に生成させることに成功した（I-2-(3)参照）。当 H_2S 濃度は、一般的なバイオガス中濃度（500-4000 ppm）に比較して十分低く、下水汚泥由来バイオガス等で検出されるシロキサンを含まないため、燃料電池に適用しやすい燃料である。(PO:3-2, 3-3, 3-4)

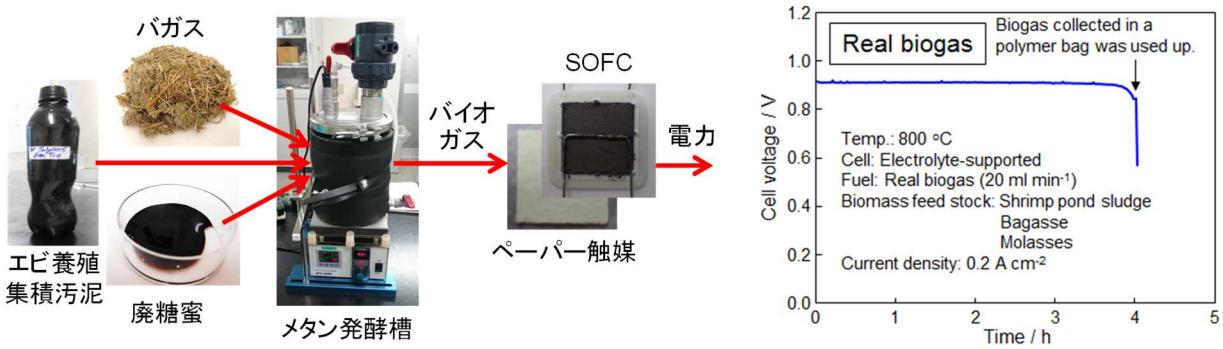


図 4：メコンデルタ有機性廃棄物由来バイオガスの SOFC による直接エネルギー変換

九州大学水素エネルギー研究センター（工学グループ）は、SOFC の燃料極上にペーパー触媒（Paper-structured catalyst: PSC）（Journal of Power Sources 332 (2016) 170-179）を適用することで、当バイオガスを脱硫やメタン濃縮等の燃料精製なしに SOFC に直接供給して発電させることに成功した（図 4 参照）。エビ養殖汚泥と製糖残渣（バガスおよび廃糖蜜）の混合物からのメタン発酵プロセスはこれまでに報告例がなく、当国際および農工連携において、SOFC 技術との融合により、当混合物からメタン発酵以外のプロセスを導入することなく直接電力を得る手法を初めて見出したが、これは、途上国への燃料電池の普及に向け、システムの大幅な簡素化につながる成果であり、JST Topics（平成 29 年 2 月）に掲載された。(PO: 2-4, 2-5)

上記のような外部改質器を用いない炭化水素の直接供給による発電方式を直接内部改質（Direct Internal Reforming (DIR)）発電と呼ぶ。バイオガス供給 DIR-SOFC の性能を最大限引き出し、安定作動を行うためには、SOFC 内部で生じる改質反応の挙動を把握する必要がある。バイオガスは CH_4 と CO_2 の混合ガスであり、SOFC 運転中には、燃料極側で電気化学反応（$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$）により水蒸気が生成するため、バイオガス供給時の DIR 発電には、ドライ改質（$CH_4 + CO_2 \leftrightarrow 2H_2 + 2CO$）、水蒸気改質（$CH_4 + H_2O \leftrightarrow 3H_2 + CO$）、シフト反応（$CO + H_2O \leftrightarrow H_2 + CO_2$）、ブドワール反応（$2CO \leftrightarrow CO_2 + C$）等が複合的に関与しており、これを Methane Multiple Reforming (MMR) 反応と呼び、MMR のモデル化を試みた。CH_4-CO_2-H_2O の混合ガスを Ni-安定化ジルコニア燃料極に供給してメタン改質試

験を行い、燃料組成と CH_4 消費速度および H_2 生成速度との規則性を、人工神経回路網の考え方に基づいた数学モデルにより抽出した。SOFC 単セルを対象とし、当規則性を導入した電気化学反応連成の熱流体解析を行ったところ、図 5 のように、バイオガス供給 DIR-SOFC の発電性能の実測値を再現できることが示され、DIR-SOFC の安定作動および高出力化に資するセルデザインや運転条件の探索が可能なツールを得るに至った（平成 29 年度 Journal of Power Sources に掲載決定）。当研究は、HCMUT から AUN/SEED-Net 奨学金により受け入れているベトナム人留学生（平成 26 年 10 月～）が行っており、当成果により Honda Y-E-S Forum 2016（平成 28 年 11 月）にて 1st Prize を受賞した。(PO:2-2, 2-3)

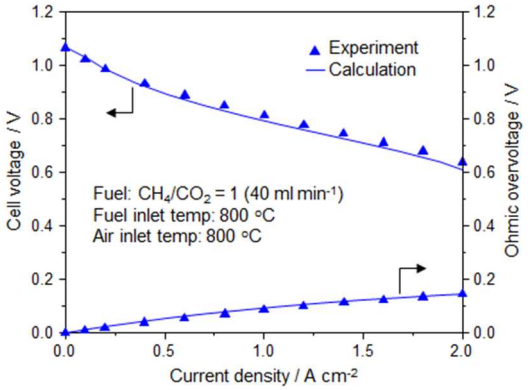


図 5：バイオガス供給 DIR-SOFC の単セル性能の実測値と MMR を考慮した計算値の比較

図 4 の実験で用いた PSC は、シンプルな抄紙プロセス作製することができる。無機繊維（SiO_2：Al_2O_3 = 1：1）、機能性材料粉末、有機系凝集剤、安定化ジルコニアゾルおよびパルプを水に分散させたスラリーを濾過することで生シートを得て、これを 800 ℃で焼成後、含浸法により Ni を担持することで PSC が得られる。抄紙時に加えた安定化ジルコニアゾルが繊維同士を結合させるバインダーとして働き、紙形状が保たれる。PSC の利点は、作製が簡単であるだけでなく、任意の機能性材料粉末を無機繊維ネットワーク内に分散できるので、触媒機能を自在に調整可能なことである。我々は、ハイドロタルサイト（$[Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3]4H_2O$（HT と呼ぶ。））を分散させることで、Ni 担持 PSC の耐硫黄被毒性を大幅に向上させ、図 4 の成果を得るに至ったが（平成 29 年度 Frontiers in Environmental Science-Wastewater Management に掲載決定）、当 Ni 担持 HT 分散 PSC（Ni/HT-PSC）を、3 セルスタックのセル間に挿入したバイオガス供給 DIR-SOFC のショートスタック試験を実施し（燃料：CH_4/CO_2 = 1、作動温度：800 ℃）、PSC がバイオガス供給 DIR-SOFC の出力向上に与える効果をスタックレベルでも示した。(PO:2-6)

PSC の作製プロセスにおいて、無機繊維ネットワーク内で機能性材料を合成することもできる。平成 28 年度は、DIR-SOFC の劣化要因である炭素析出の抑制を目的として、酸素吸蔵放出能（Oxygen Storage Capacity (OSC)）を有する CeO_2-ZrO_2 固溶体（$(Ce,Zr)O_{2-\delta}$）を PSC 内部で合成するプロセスを開発し、Ni 担持 $(Ce,Zr)O_{2-\delta}$ 分散 PSC（Ni/$(Ce,Zr)O_{2-\delta}$-PSC）を得た。無機繊維を分散させたスラリーに、ポリビニルピロリドン、$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$、$Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ および $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ を溶解し、これに NaOH、続いて水素化ホウ素ナトリウム（$NaBH_4$）を添加し、濾過前のスラリー中で Ni/$(Ce,Zr)O_{2-\delta}$ の前駆体を形成させた。当スラリーにパルプを添加し、濾過プロセスで生シートを得て、これを 600 ℃で焼成

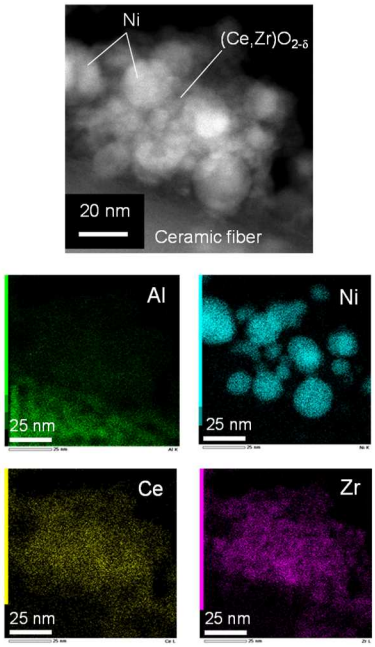


図 6：Ni/$(Ce,Zr)O_{2-\delta}$-PSC 内に分散した触媒粒子の STEM 像

することでPSCとした。開発したNi/(Ce,Zr)$O_{2-\delta}$-PSCは、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試験において88 %のメタン転化率を示し、15時間の試験後、Ni/HT-PSCにおいてはファイバー状炭素の析出が見られたのに対して、Ni/(Ce,Zr)$O_{2-\delta}$-PSC内には電子顕微鏡観察および昇温酸化(TPO)分析において炭素析出は検出されなかった。これは、OSCを有する(Ce,Zr)$O_{2-\delta}$を無機繊維ネットワーク内で合成することにより広く分散できたことと、図6に示すように、この(Ce,Zr)$O_{2-\delta}$上に微細なNiが担持されていることによる。当研究は、平成27年10月よりVNU-HCMから受け入れているベトナム人国費留学生が担当しており、上記 PSC とその作製プロセスは特許出願（特願2016-167119（出願日：平成28年8月29日）に至っており、当成果により、Honda Y-E-S Forum 2016（平成28年11月）にて1st Prizeを受賞した。(PO: 2-4, 2-5)

図2のコンセプトにおいて、エビ養殖池への曝気量は、エビの成長に応じて段階に調整されるが、曝気装置の電力負荷が連続的に変わることはなく、SOFCを適用しやすい系である。図7に、マグネクスとの産学連携により開発を進めている定格出力1 kWのバイオガス対応SOFCシステムとモジュールを示す。当システムは、バイオガスの燃焼による昇温とバイオガス中CO_2のメタン改質への利用を特徴としており、5.1 L min^{-1}のバイオガス（60 % CH_4、40 % CO_2、発熱量 1825 W）供給で、燃料利用率73 %、空気利用率33 %において発電効率54.8 %(LHV)を設計指針としている。平成28年度は、燃料利用率56.4 %において、発電出力897 W、発電効率42.7 %(LHV)を得ているが、現在、セル間の接触抵抗および放熱ロスの低減による設計指針の達成とベトナム対応化を目的としてシステム開発を継続しており、平成29年11月を目途に実証機2機を図1のベンチェ実証サイトに据え付け、年内に試験運転を開始する予定である。(PO: 2-8, 2-9, 2-10)

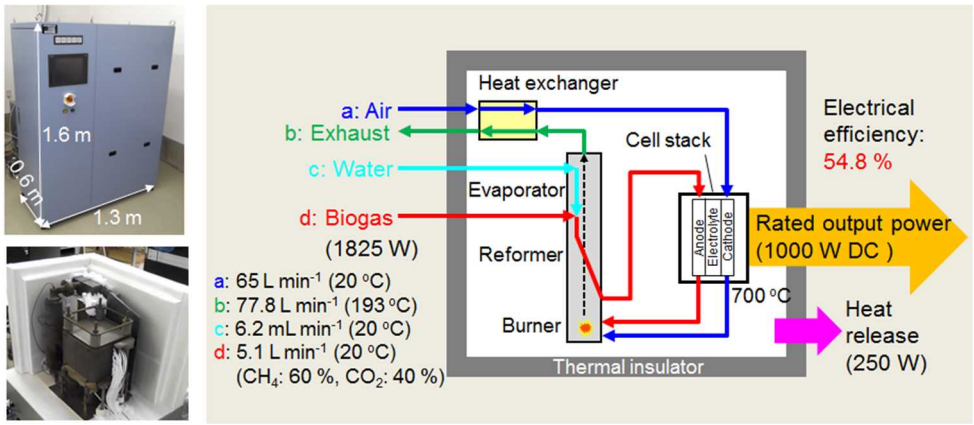


図7：当プロジェクトで開発中の1 kWバイオガス対応型SOFCシステム；（左上）システム外観、（左下）筐体内モジュール、（右）モジュール内部のフロー

カウンターパート（C/P）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。

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。当プロジェクトでは、C/Pのキャパシティ・ディベロップメントの加速

を目的とし、平成 28 年度 9 月より INT 燃料電池研究開発棟(図 3)の運用を開始した。(PO: 1-1, 2-1)

C/P 機関の若手研究者の育成を目的とし、HCMUT において平成 28 年 9 月に開催された集中講義（School on Micro-Nanotechnology (MINATEC 2016)）にて、INT 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（2 名）が、それぞれ電気化学測定および SOFC によるバイオエネルギー利用をテーマに講義を行った（図 8-(左)）。(PO: 2-1, 2-2)

C/P 機関への技術移転および日本側人材の育成を目的とし、INT 副所長および研究員が来日し、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、SOFC 単セル作製法、SOFC の発電試験法および微細構造観察の実習を行った（図 8-(右)）。(PO: 2-1, 2-2)

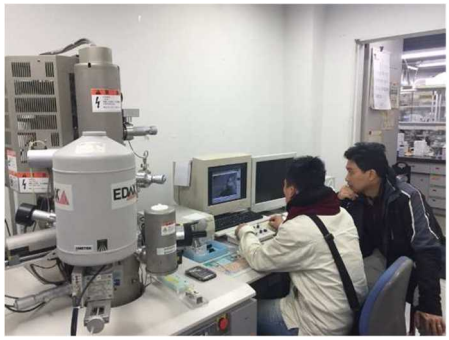


図 8：技術移転を目的とした活動の様子；(左) C/P 機関での集中講義、(右) 九州大学における実習

HCMUT から AUN/SEED-Net 奨学金により受け入れているベトナム人留学生（平成 26 年 10 月～）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おり、平成 28 年度に得られた成果により Honda Y-E-S Forum 2016（平成 28 年 11 月）にて 1st Prize を受賞した（図 9）。(PO: 2-1, 2-2, 2-3)

図 9：Honda Y-E-S Forum 2016 における受賞式の様子（当グループのベトナム人留学生（2 名）が 1st Prize を受賞）

平成 27 年 10 月より VNU-HCM から受け入れているベトナム人国費留学生が SOFC 用改質触媒の研究を実施しており、平成 28 年度に得られた成果により特許出願（特願 2016-167119（出願日：平成 28 年 8 月 29 日）に至り、さらに Honda Y-E-S Forum 2016（平成 28 年 11 月）にて 1st Prize を受賞した（図 9）。(PO: 2-4, 2-5)

以上の取り組みにより、INT との共著論文の執筆につながり、平成 29 年度に 2 報が掲載決定した。

<u>当初計画では想定されていなかった新たな展開</u>

計画通り進行しているので特に該当なし。

I-2-(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）

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

中温メタン発酵菌の供給源として、Hoang Vu エビ養殖場内の廃棄汚泥貯留池から(A)集積汚泥（Shrimp pond sludge）を採取し、その中に存在するメタン発酵菌を増殖させるための資材として、ベンチェ製糖工場で採取した(B)バガス（Bagasse）と(C)廃糖蜜（Molasses）を用いた。

1 kg の(A)（VS（強熱減量：有機物含有量に相当）：1.86 %、灰分（強熱残量：無機物含有量に相当）：24.5 %、含水率: 73.6 %)、3 L の水道水および 27 g の(B)を九州大学農学研究院に設置したメタン発酵試験装置（平成 27 年度実施報告書参照）の発酵槽（4 L）内に投入し、35 ℃に保ちながらスターラー回転数 300 rpm の撹拌条件で 120 日間メタン菌の馴養を行った。この間、80 g の(B)、さらに適宜無機塩を加え、ｐH をモニタリングした。表 1 に、酢酸利用速度 30 g L^{-1} day^{-1} を維持する無機栄養塩の最小必要量と、本研究で 4 L の発酵槽内に逐次添加した無機塩を示しておく。

表 1: 酢酸利用速度 30 g L^{-1} day^{-1} を維持する無機塩（菌の栄養源）の最小必要量（高島他,環境技術 28(4),240-243(1997)）

Nutrient salts	Necessary quantity (10^2 mg L^{-1} day^{-1})	Salt amount corresponding to the necessary quantity for 4 L (10^2 mg 4 L^{-1} day^{-1})	
NH_4-N	1.00	NH_4Cl	15.3
PO_4-P	0.04	KH_2PO_4	0.703
S	0.10	Na_2SO_4	1.77
Ca	0.05	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.734
Mg	0.01	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	0.335
Fe	0.01	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	0.194
Ni	0.002	$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	0.0320
Co	0.001	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0.0160

馴養後の消化液に VS 10 g の(C)を添加してメタン発酵を開始したところ、図 10 に示すように、比較的高いガス生成速度を示したものの、pH が 5.5 まで大きく低下し、炭酸ガスと水素の発生が多く見られ、開始 3 日後の CH_4/CO_2 比は 0.66 であり、一般的なバイオガス（CH_4/CO_2 = 1.5）に比べて低い値を示した。開始 7 日後に、VS 20 g の(B):(C) ＝ 4:1 の混合物（Mixture-(I)）を添加したところ、水素の発生が見られずメタンの発生が順調であり、pH 約 6.5 で発酵が安定化し、最終的に CH_4/CO_2 = 1.7 のバイオガスが得られた。

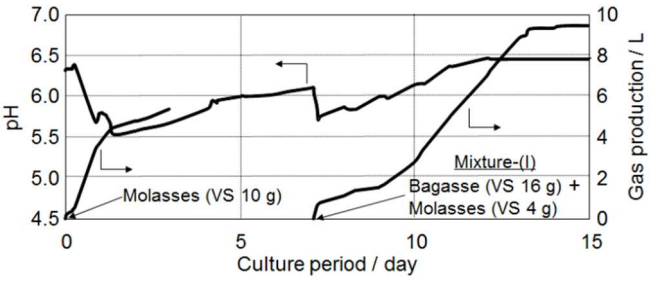


図 10：エビ養殖池汚泥を用いたメタン菌馴養試験後の消化液にバガスおよび廃糖蜜を投入した際のガス発生量と pH のモニタリング（無機塩 2 倍）

上述の Mixture-(I)のメタン発酵試験で発酵が認められなくなった時点で、全 VS 量 20g において(B):(C)の比率を(II)4:1、(III)3:2、(IX)2:3 と変化させ、1 週間ずつの発酵試験を行った。発酵資材を添加する際は、発酵槽内の消化液 500 mL を排出し、資材に必要量（表 1 参照）の 2 倍の無機塩及び水道水を加えて 400 mL として発酵槽に加え、水道水で添加口を洗浄しながら全量を 4 L とした。

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

表 2 に結果を示す。Mixture-(II)、(III)および(IV)それぞれの場合に、バイオガス収率 165、404 および 461 L $kgVS^{-1}$を記録した。廃糖蜜の割合が高くなるほど pH の低下が大きく、水素発生量が多くなり、メタンの発生も増加する傾向にあった。バガスと廃糖蜜だけではメタン生成に進むために必要な無機塩類が不足しており、無機塩類を補う事でバイオガスの発生が促進され、さらに、バガスの主成分であるセルロースやリグニンを資化する菌の活性を高めることを目的に幾分発酵したバガスを資材として用いたことにより、アルカリ処理バガスを発酵資材とした文献値 540 L $kgVS^{-1}$（石原他, 琉球大学農学部学術報告 35, 45-51(2012)）に近い収率が得られた。また、表 2 の結果で重要な点は、SOFC の性能劣化を引き起こす H_2S のバイオガス中濃度であり、廃糖蜜の割合が増加するにつれて H_2S 濃度が上昇するものの、50 ppm 程度であり、家畜糞尿、生ごみ、下水汚泥由来の一般的なバイオガス中濃度 500-4000 ppm （H.J. Alves et al., Int. J. Hydrogen Energy 38 (2013) 5215-5225.）に比べ著しく低い値であった。

本研究で行っているエビ養殖汚泥と製糖残渣（バガスおよび廃糖蜜）の混合物からのメタン発酵プロセスはこれまでに報告例がなく、当成果は JST Topics（平成 29 年 2 月）に掲載され、平成 29 年度に入り、Frontiers in Environmental Science-Wastewater Management への掲載が決定した。(PO: 3-2, 3-3, 3-4)

表 2:図 10 の発酵停止後、バガスと廃糖蜜の比率を変えて 1 週間の間隔で行った発酵試験*の結果

Mixture	(B) Bagasse : (C) Molasses*	Production (mL / week)			pH	H_2S / ppm	Biogas yield / L $kgVS^{-1}$
		CH_4	CO_2	H_2			
(II)	4:1	2095	1198	0	6.21	9.0	165
(III)	3:2	4059	3998	18	6.19	14	404
(IV)	2:3	4401	4772	55	6.17	51	461

* Retention time was 56 days (= 4 L/(0.5 L $week^{-1}$)).
** Total VS (Bagasse + Molasses) was 20 g.

カウンターパート（C/P）への技術移転の状況

平成 28 年度 10 月に、C/P 機関であるカントー大学（CTU）の Department of Fish Nutrition and Aquatic product processing, College of Aquaculture & Fisheries から研究者を九州大学に招き、メタン発酵資材の無機分析のトレーニングを行なった。

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。

I-2-(4) SOFC を導入したエネルギー循環システム実証（工学＆農学グループ）

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

SATREPS 燃料電池プロジェクトでは、エネルギー循環システムを構成する各要素技術（水質管理、メタン発酵・炭化、燃料電池、電気グリッド）に対して日本企業が参画し、産学連携の下、ベトナム側の人材育成と同国への技術移転を進めている。図 2 のコンセプトに基づき、メコンデルタ・ベンチェの Hoang Vu エビ養殖場内に、燃料電池導入エネルギー循環システムの実証プラントの建設を進め、平成 29 年 2 月に整備を完了させた（図 11 参照）。(I)～(V)の各設備の運転状況は、遠隔モニタリングシステムにより日本側で監視し、制御することができる。本年度より、1 つの養殖池（50 m x 60 m）を対象に、現地有機性廃棄物由来のバイオガスを供給して定格出力 1 kW の SOFC の運転を開始し、平成 31 年度までの 3 年間で、バイオエネルギー由来電力を利用したエビ養殖生産の実証を行い、社会実装に向けた道筋を示す。(PO: 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-6, 4-7)

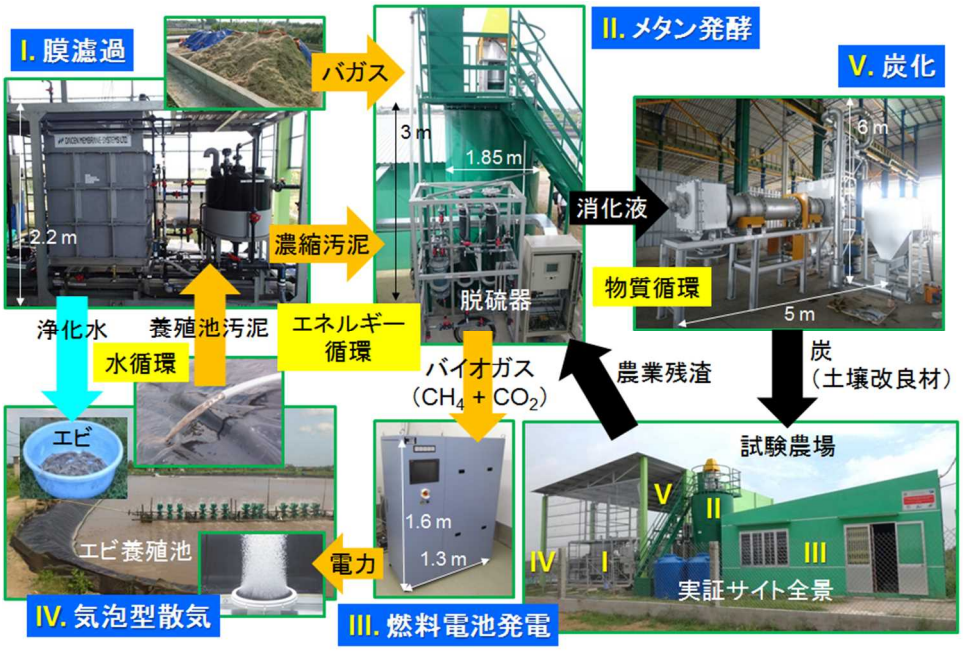


図 11：図 2 のコンセプトの具現化（ベトナム・ベンチェ省 Hoang Vu エビ養殖場内に構築した地域バイオマス利用エネルギー循環システムを構成する実証機）

【水質管理実証（膜濾過システム）】（ダイセン・メンブレン・システムズ）

エビ養殖池の水に含まれる有機物を濃縮してメタン発酵の種汚泥および有機物源とすること、および、周辺水環境とエビ成育の改善のために養殖池の水質管理を行うこと目的として、平成 27 年度に、膜濾過システムの基本設計を行ったが、平成 28 年度は、当膜濾過システムの開発を進め、平成 28 年 12 月にベンチェ実証サイトへの据付けを完了し、平成 29 年 2 月に運転を開始した（図 12-(左)）。養殖池の原水を水中ポンプで引き込み、原水タンク（TK-1）に貯留し、余剰原水は池に戻す。原水タンクの原水はサイクロンセパレーターを通過させて沈降性が高い無機粒子を池に戻し、比較的軽い有機成分を膜濾過タンク（TK-2）に流入させる。膜濾過タンク内には、図 12-(右)のように、膜面積 1 m^2 の限外濾過膜（親水性ポリエーテルスルホン、孔径 0.04 μm）を縦方向に一定間隔で 50 枚配列した

浸漬型平膜モジュールが配置されている。本モジュールの下部には、チューブ型のディフューザーが設置されており、膜の下部から気泡が上昇する際に膜表面に付着する濾過堆積物を物理的に洗浄する機構が設けられている。運転初期における濾過システムの運転条件は、設定濾過流量 0.2 m^3 h^{-1}、濾過時間 8 分－停止時間 2 分の繰り返し運転、停止中の曝気流量を 10 m^3 h^{-1} とした。(PO: 4-4)

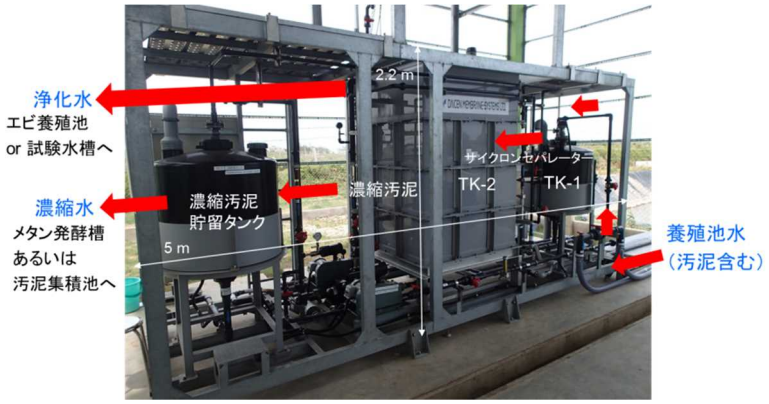


図 12：ベンチェ実証サイトに設置した水循環膜濾過システム；(左) システム外観、(右) 膜濾過タンク内浸漬型平膜モジュール（システム上部から撮影）

当膜濾過システムには、水質の違いによるエビの生育状態を調査するために、図 13 に示すように原水槽と濾過水槽を設けており、それぞれに超微細気泡型散気装置（下記参照）を設置した。右側の水槽は膜濾過水であるが、濁度が 1 以下の清澄な水が得られている。エビの成育に及ぼす水質の影響については、平成 29 年度、農学グループにおいて詳細な研究を行う。(PO: 4-3)

図 13：膜濾過システムに設置した（左）原水槽と（右）濾過水槽

【水質管理実証（曝気システム）】(ダイセン・メンブレン・システムズ)

当プロジェクトでは、エビ養殖池への曝気に、図 14 の超微細気泡型散気装置を採用する。当散気装置は、ゴム材質（EPDM）の表面に PTFE がコーティングされたシート状ラバーからなっており、ラバーには、約 1 mm 長さの貫通したスリットが多数設けられている。水中に設置された散気装置の下部にブロワから空気が送り込まれるとラバーが膨らみ、その際、スリットが開口して径約 1 mm の微細な気泡が多数発生する。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（DO）の維持に必要なエネルギー消費を、従来の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。撹拌パドルを用いた場合、酸素は池表面付近のみに滞留し、池の底部には充分な酸素が供給されないと考えられる。一方、当散気装置の場合は、空気が池の底部から上部に流れることによって旋回流が生じて酸素が池全体に拡散され、エビの育成阻害が解消できることが期待される。(PO: 4-4)

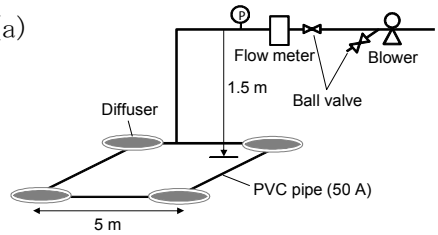
外径	ϕ267 mm
発泡面積	375 cm^2
膜材質	PTFE/EPDM
重量	1.0 kg

図 14：当プロジェクトで採用する超微細気泡型散気装置

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

図 15 は、当プロジェクトで製作した曝気システムである。上記の散気装置 4 枚を図 15-(a)のように四方に配置して、その周囲を 1 mm メッシュのネットで覆い、これを現地エビ養殖池の一区画に設置した（図 15-(b)）。運転条件は図 15 に示した通りである。当初、散気装置を 9 枚設置する予定であったが、塩水であることによって曝気による酸素移動効率が想定以上に高くなるため、4 枚に変更した。養殖池に当システムを設置した時期は平成 28 年 12 月であり、エビ養殖が実施されておらず、養殖池の水位は底部から 0.8～1.0 m（通常 1.5～1.8 m）であったが、散気装置を配置したネット内を含め、養殖池全体の 8 箇所における DO を水面位置と水面から 50 cm 水位において測定した。養殖池内の DO は全体にわたってエビ養殖に必要な最小 DO（＝ 4 mg L^{-1}）を上回っていたが、ネット内の DO が 7.3/6.7 mg L^{-1}（表層/50 cm）を記録したのに対して、ネット外の DO は、平均で 6.4/5.5 mg L^{-1} であり、散気装置の設置により、表層部では 14 %、水深 50 cm では 22 % DO の上昇が見られた。(PO: 4-4)

(a)



(b)

散気装置個数	4枚
単位通気量	50 L min^{-1} / 個
総通気量	12 m^3 h^{-1}(200 L min^{-1})
散気装置圧損	4.0 kPa
散気水深	1.5m（水圧14.7 kPa）
所要電力	0.128 kW

図 15：超微細気泡型散気装置を用いた省エネ曝気システム；(a)模式図、(b)養殖池への設置後の様子

平成 28 年度は、エビ養殖池の水質を改善する濾過システムおよび曝気システムを開発・製作し、実証サイトへの据付を完了させ、計画通り運転を開始した。平成 29 年度春からのエビ養殖の際は、従来のパドル方式を用いて曝気を行い、養殖池の水質とエビの生育状況の関係を調査する。次いで、図 15 の曝気システムを養殖池全体に設置して養殖池の水質とエビの生育関係を調査し、濾過システムおよび曝気システムの導入効果を実証する。

【バイオガス製造実証】（明和工業）

農学グループは、これまでのメタン発酵ラボ試験において、実証サイト内の養殖池からサンプリングした汚泥中にメタン菌が生息しており、それが種菌に使用可能であることを見出し、（I-2-(3)）に示した通り、ベンチェ産発酵資材の前処理条件および混合割合がバイオガス発生量に及ぼす影響を実験的に明らかにしつつある。平成 28 年 12 月にメタン発酵槽の実証機（図 16、スラリー貯留量 6.5～7.0 m^3）がベンチェ・エビ養殖場内に据付けられたが、ラボ試験の結果を足がかりに、固形分濃度 3.0 %（≒ 2.9 %VS）のバガスを発酵資材、エビ養殖池汚泥と水道水を混合して作製した上澄みおよび上述の膜濾過システムによって盧別された濃縮汚泥を、種菌および無機塩の供給源として当発酵槽に投入し、水酸化カルシウム($Ca(OH)_2$)で pH を 8.5 程度に調整後、炭素率(C/N 比)が 20 程度となるよう尿素($CO(NH_2)_2$)を添加し、平成 28 年 2 月下旬より、メタン発酵実証のための馴養を開始した。(PO: 3-5, 4-2)

図 16：ベンチェ・エビ養殖場内に据付けたメタン発酵実証機

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

実証機における馴養プロセス開始のための仕込み作業を、平成 28 年 2 月に、図 17 に示した手順で行った。１．エビ養殖池の水をすべて排出した後、養殖池に蓄積した汚泥をバケツですくい出し、複数の 200 L タンクに合計約 2 m^3 回収した。２．混合用バケツ（70 L）に水道水 35 L と回収した汚泥 30 L を投入し、良くかき混ぜ、一日静置した。３．上澄み部分を撹拌後、発酵槽へポンプを用いて投入した。４．70 L のバケツにバガスを回収し、重量および水分量を計測し、乾燥重量 3.6 kg に調整した。５．準備したバガスに膜濾過装置で得た濃縮水あるいは水道水を 30 L 投入し、６．よく混合した。７．運び易いように、16 L バケツに分け、あらかじめ 1500 L の水道水を投入してある発酵槽に上部からバガスを投入した。汚泥の上澄みも濃縮液も、メタン発酵の種菌および無機物の供給供給源として投入した。トータルで、汚泥の上澄みを 840 L、濃縮液を 1980 L、水道水を 4000 L、バガスを乾物で 210 kg、バガスからの水分を 120 L 相当添加し、計 7000 L 程度となるようにした。さらに、窒素源として尿素 10 kg を、pH の低下を防ぐために生石灰（CaO）16 kg および炭酸カルシウム（$CaCO_3$）24 kg を投入した。８．消化液を毎日 16 L バケツに半分程度取り出して pH を測定し、pH が 7.0 を下回った場合は、$Ca(OH)_2$ を投入して pH を調整するとともに、適宜尿素も投入した。

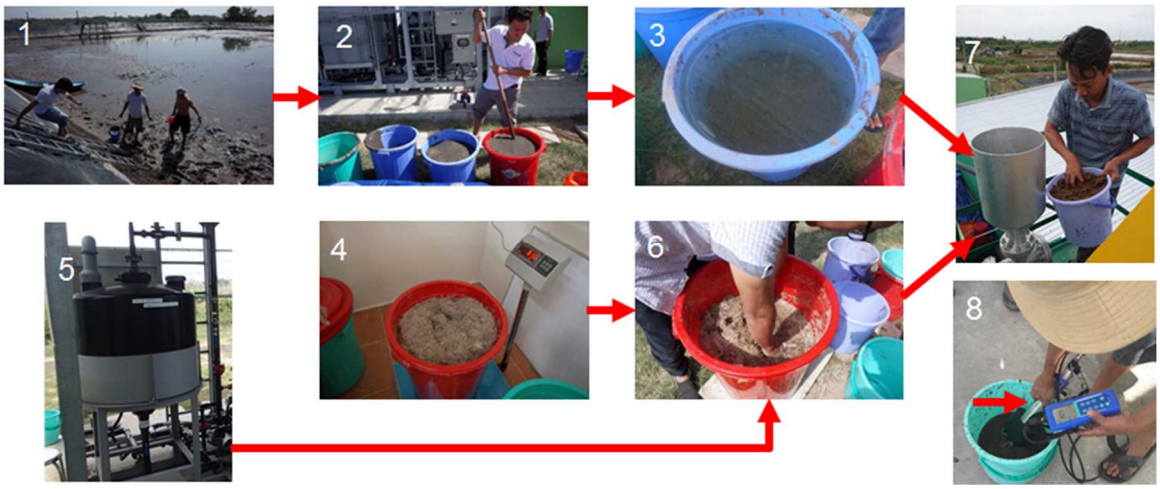


図 17：エビ養殖汚泥と製糖残渣（バガスおよび廃糖蜜）の混合物を発酵資材としたバイオガス製造実証機の立ち上げ（馴養プロセス開始のための仕込み作業）

現在メタン菌の馴養中であるが、その試験状況（平成 29 年 5 月 8 日～12 日）を表 3 に示しておく。CH_4/CO_2 比が約 1.7 のバイオガスが、約 1.3 m^3 day^{-1} の速度で安定して生成しており、バイオガスの総生成量は、3 ヶ月の馴養期間中に約 100 m^3 に達した。発生したバイオガスは、図 18 の樹脂製ガスホルダー（容量 11 m^3）に備蓄しており、余剰ガスは、排気ブロワで大気に放出される。図 7 の SOFC を連続運転するために必要とされるバイオガス生成速度は約 7.3 m^3 day^{-1} であり、今後、炭素率 20 を維持しながら水分を染み込ませたバガスと尿素を、固形分濃度 5.0 %まで順次増加させながら馴養を続け、ラボ試験で明らかにする最適滞留時間および廃糖蜜の最適添加量を適用し、さらに、発酵槽から排出された未消化バガスを堆肥化したものを加えてセルラーゼ活性とリグナーゼ活性を上げ、目標を達成する。(PO: 3-5, 4-2)

図 18：実証サイト内ガスホルダーに回収したバイオガス

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

表 3：ベンチェ・メタン発酵実証機を用いたメタン菌馴養試験の状況

記録日時（VN 時間）	2017/5/8 9:00	2017/5/9 9:00	2017/5/10 9:00	2017/5/11 9:00	2017/5/12 9:00
天候	雨	雨	雨	晴	晴
撹拌装置					
回転数（rpm）	16	16	16	16	16
撹運転電流（A）	1.34	1.32	1.36	1.33	1.34
発酵槽					
液面圧力（kPa）	22.5	22.3	22.2	21.9	22.0
貯留量（m^3）	6.65	6.6	6.58	6.5	6.52
内部圧力（kPa）	0.78	0.35	0.36	-0.6	0.7
温度（$^{\circ}C$）	29.4	30.1	28.1	27.7	29.7
pH	7.02	7.03	7.04	6.95	6.97
ガス発生量					
積算（m^3）	85.9	87.2	88.4	89.6	90.9
m^3 day^{-1}	1.27	1.30	1.17	1.20	1.30
ガス組成（脱硫前）					
CH_4/CO_2	1.74	1.70	1.73	1.69	1.60
バガス					
現物量（kg）	4.50	4.50	5.20	5.20	5.20
水分含有率（%）	32.6	32.6	20.2	22.6	22.6
乾物量（kg）	3.03	3.03	4.15	4.02	4.02
その他の投入物					
廃糖蜜（kg）	0.00	0.62	0.62	0.62	0.62
膜濾過濃縮水（L）	0	45	45	45	45
水道水（L）	0	15	15	15	15
$Ca(OH)_2$（kg）	0	0	0	0	0
尿素（kg）	0	0	0	0.185	0

【バイオガス発電実証】(HCMUT)

当プロジェクトでは、平成 29 年度以降、ベンチェ実証サイトにて、図 16 のメタン発酵実証機で製造したバイオガスを図 7 の SOFC に供給し、得られた電力で図 15 の曝気システムを稼働させる計画としているが、平成 29 年度後半に実証サイトに導入される SOFC に先立ち、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キャブレター型の燃料供給機構に改良して出力 4 kVA のバイオガス対応型とし（図 19-（下））、バイオガスによる発電試験を開始した。図 16 の発酵槽では、上述の通り、平成 28 年度末よりメタン菌の馴養を開始したところであり、当発電機を安定的に稼働させるにはバイオガス発生量が足りないため、HCMUT が 2009～2012 年の JICA SUPREM-HCMUT プロジェクト（SUPREM: Strengthen University Project of

図 19：ビンズオン養豚場バイオガスプラントでのエンジンテスト；(上) バイオガスホルダー、(下) バイオガス対応型ガスエンジン発電機

Research-based Education Model）において、20 kW 級ガスエンジン発電機の運転実証の実績があるホーチミン市近郊ビンズオンの養豚場バイオガスプラント（図 19-（上））にて、豚糞尿由来バイオガスを供給して運転試験を行った。その結果、4 kVA の発電に成功した。平成 29 年度にベンチェ発酵槽が本格的にバイオガス製造モードに入った時点で、エビ養殖汚泥・製糖残渣由来バイオガスによる発電実証を開始するが、当バイオガス中の H_2S 濃度は、50 ppm 以下（I-2-(3)参照）であり、豚糞尿由来バイオガス（約 3500 ppm）に比較して著しく低く、エンジンの安定作動が期待できる。当プロジェクトのメタン発酵実証機には、図 20 のように Fe_2O_3 ペレットを充填した 2 つの脱硫塔が備え付けられており（Fe_2O_3 ペレット総重量 40 kg）、実際には、脱硫後のバイオガスをガスエンジン発電機および SOFC に供給する。（PO: 3-5, 4-6, 4-7）

図 20:メタン発酵実証機に備え付けられた脱硫塔

【データモニタリング】（中山鉄工所）

当プロジェクトでは、実証サイトの地理的条件を考慮し、各設備の運転データ収集の効率化、トラブルの未然防止およびトラブル対応の迅速化を目的とし、平成 28 年度、インターネット回線を利用した VPN を構築し、日本からのデータモニタリングを可能とした（当モニタリングシステムのイメージは、平成 27 年度報告書を参照されたい。）。表 3 のデータは、当システムで取得したものである。さらに、各設備に Web カメラを設置し、稼働状況をリアルタイムで観察できるようにしている。図 21 は、膜濾過装置のカメラの映像であるが、解像度が高く、設備のコントロールパネルをズームアップすることにより、設備の稼働状況や警報の発報等を日本から確認することができる。（PO: 4-8）

図 21:実証プラント遠隔モニタリングシステム（膜濾過装置 Web カメラ）

【バイオエンジアリング技術を活用した水質改善】

実証サイトで行う水質管理実証は、図 12 の膜濾過システムおよび図 15 の曝気システムを用いた工学的アプローチに加え、現地に生育している海藻類に過剰な栄養塩を吸収させるバイオエンジニアリング的アプローチも重要である。そこで、メコンデルタ地帯の海藻植生調査を実施した。CTU の協力の下、平成 28 年度 5 月にベトナム南部カマウ省の粗放的エビ養殖場（図 22-(a,b)）、平成 29 年 2 月にはバクリエウ省とソクチャン省を訪問して大型藻類を採集した。ベンチェ実証サイトのエビ養殖池に生育していた緑藻類の採集も行い（図 22-(c)）、アオサ属 2 種、シオグサ属 1 種、ジュズモ属 1 種（以上、アオサ藻綱）、オゴノリ属 1 種（真正紅藻綱）を採集することができた（図 22-(d,e,f)）。（PO: 4-3）

野外調査において採集された大型藻類は、多くの場合、富栄養化した養殖池、マングローブ、流れの緩やかな用水路に生育していることが多く、珪藻類やシアノバクテリア、原生動物が藻体表面に多く付着しており、室内培養系による栄養吸収実験に直接用いることができない。そこで、CTU の SATREPS ラボにて、野外個体の生殖細胞を起源とする単藻培養株の作出を試みた（図 23-(a)）。採集した 5 種のうち、アオサ属 2 種については培養株を確立できた。シオグサ属とジュズモ属に関しては、人為的な成熟誘導が難しく、培養株の確立には至っていない。しかし、藻体自体は生きており、引き続き作出に臨む予定である。オゴノリ属では成熟器官の形成が見られず、培養株の作出は断念した。図 23-(b)は、九州大学大学院農学研究院内にて維持されている培養株である。

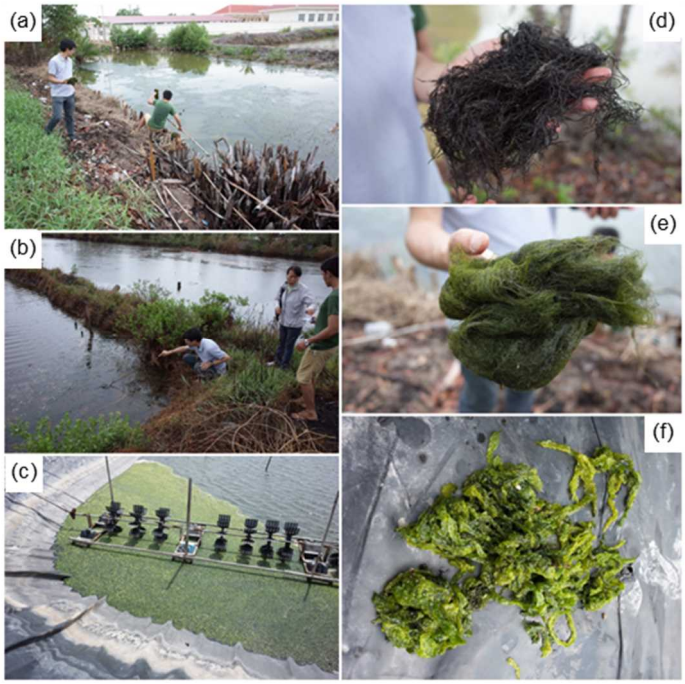


図 22：野外調査と採集された大型藻類；(a, b)カマウ省粗放的エビ養殖場、(c) ベンチェ省集約的エビ養殖場（実証サイト）、(d)オゴノリ属、(e)シオグサ属とジュズモ属、(f)アオサ属

大型藻類の中には外部形態に基づく種同定が難しい種が少なくない。アオサ属、オゴノリ属はその最たる分類群であり、採集したアオサ属、オゴノリ属に関して DNA 断片を PCR 増幅した後、塩基配列を決定し、分子系統学的解析による種同定を試みた。その結果、アオサ属 2 種のうち、1 種は *Ulva limnetica*（和名：ウムトゥチュラノリ）と近縁で、もう 1 種は該当する適当な種が見つからず、オゴノリ属は *Gracilaria tenuistipitata* と近縁であることが判明した。*Ulva limnetica* はこれまで沖縄県石垣島および与那国島の淡水域、福井県三方五湖の汽水域での生育しか確認されておらず、本種であれば日本以外の生育地としては初の記録となる。今後、詳細な形態学的な観察を通して種同定を確実にする必要があるが、バイオフィルターとしての強みが見いだせれば、ベトナムメコンデルタ特産として十分利用価値がある。アオサ属の 1 種については、これまで類似の DNA 配列は報告されていないため、種名を特定することはできなかったが、ベトナム特産である可能性が残されている。*Gracilaria tenuistipitata* については、本種の生育が中国南部、ベトナム北部、タイ、マレーシアにおいて報告されているが、DNA バーコーディングにより、カマウ省やバクリエウ省の各所で採集したオゴノリ

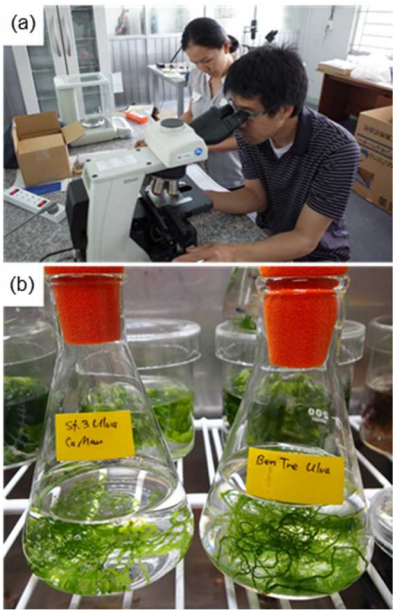


図 23：メコンデルタで採集した緑藻類の(a)CTU における単藻培養化の作業の様子および(b)九大にて維持されている培養株（アオサ属）

属藻類は全て本種であることを確認し、メコンデルタ地帯の汽水域にも分布していることが初めて明らかとなった。(PO: 4-3)

現地に生育している海藻類を養殖水の水質管理に利活用できるようにするためには、ラボレベル試験による系統的なデータ収集が不可欠であり、平成 28 年 11 月より、CTU にて、バナメイエビ・海藻混合飼育試験を開始した。本実験で採用した水循環飼育装置の模式図を図 24-(a)に示す。500 L の丸型水槽（3 基）に希釈人工海水（400 L）を張り、エビの飼育中、3 基の水槽から出た排水は、硝化細菌を付着させた濾材を投入し曝気を行っている生物濾過槽へ送られ、水中ポンプにより再び飼育水槽へ戻される。表 4 に示す通り、いずれの水槽も実験開始時の稚エビ個体数は 100 尾とし（250 尾/m^3）、海藻（*Gracilaria tenuistipitata*）の有無、稚エビサイズの大小により 3 飼育区を設定して 85 日間飼育した。収穫時の平均体重と収穫尾数を表 4 に、各区におけるエビ平均体重の推移を図 25 に示す。

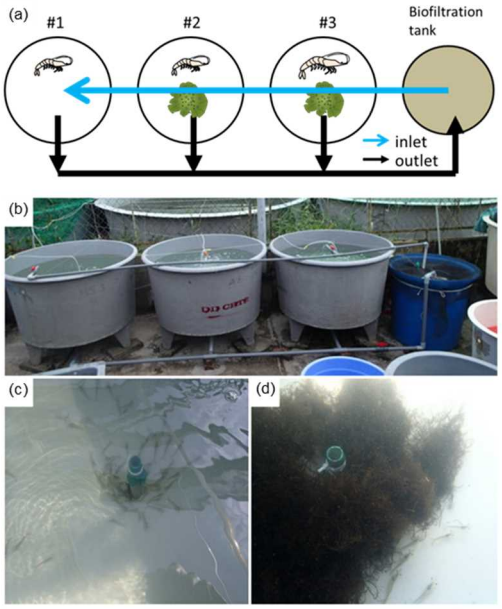


図 24：バナメイエビ・海藻混合飼育試験システム；(a)模式図、(b)外観写真、(c)海藻なし水槽、(d)海藻あり水槽

表 4：飼育実験の初期条件と収穫時のエビの平均体重および収穫尾数

		Tank #1（エビのみ）	Tank #2（混合）	Tank #3（混合）
海藻（オゴノリ属）		なし	あり（1 kg）	あり（1 kg）
飼育 1 日目	平均湿重量（1 尾）	1.8 g	1.8 g	4.3 g
	エビ尾数	100	100	100
飼育 85 日目（収穫日）	平均湿重量（1 尾）	18.3 g	16.8 g	22.9 g
	エビ尾数	50	59	63
1 日あたりの給餌量		体重の 9 %	体重の 9 %	体重の 6 %

図 25 に見られるように、海藻の有無によるエビの成長率には明瞭な差が見られなかったが、混合飼育区では、いずれもエビのみ飼育区より生残が高い傾向にあった。海藻が退避場所あるいは餌の供給源として機能したことも考えられるが、平成 29 年度以降、海藻の混合飼育が水質に与える影響を詳細に研究し、明らかにする。(PO: 4-3)

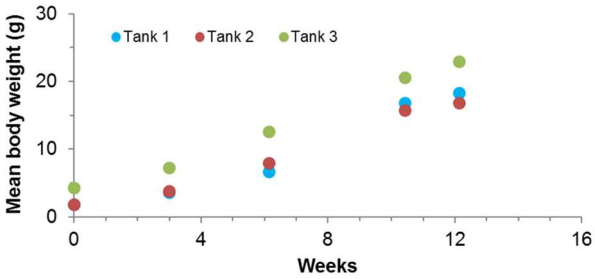


図 25：図 24 の試験におけるバナメイエビ平均体重の推移

カウンターパート（C/P）への技術移転の状況

以下に示す通り、機材供与および専門家派遣を通して技術移転を推進した。

ベンチェ実証サイトに据付を完了させたエネルギー循環システム構成をする各設備について、参画企業技術者による操作講習会を実施した（参加者：C/P 研究者 5 名、エビ養殖場従業員 1 名、実施日：平成 28 年 2 月 14 日（火））。その後も、実証サイトにて、日本側専門家がベトナム側に対して継続的に技術指導を行っている。(PO：3-5，4-1，4-2，4-4)

上記技術移転の加速とトラブル対応の迅速化を目的として、実証サイトに導入した各設備の英文操作マニュアルを作成し、平成 28 年 3 月に C/P 機関に供与した。(PO：3-5，4-1，4-2，4-4)

平成 28 年 3 月に、ベトナム農業農村開発省の代表団が実証サイトを視察し、C/P 代表機関の INT が説明を行った。家畜排泄物からのバイオガス製造は現地ですでに行われているが、エビ養殖の汚泥および製糖残渣を用い、さらには燃料電池のような新技術を導入する我々の取り組みは新しく、たいへん興味を持っていただいた。今後の普及に向け、ベトナム当局より、強力なサポートが得られる見込みである。(PO：5-2)

海藻類を用いた養殖池余剰栄養塩の除去システムの構築を目指しているが、現地周辺に生育している種を利用することが生物多様性維持の観点からも重要となる。しかしながら、海藻類の中には形態的特徴が少なく、種同定が困難なものが多い。そこで、目的とする分類群の DNA 配列を既知種のものと比較することで種同定を試みる DNA バーコーディング技術の導入が近年盛んである。当 DNA バーコーディング技術の習得を目的として、CTU の研究員が来日し、九州大学大学院農学研究院内の実験室にて、海藻からの DNA 抽出、目的 DNA 領域の PCR 増幅、アガロース電気泳動による増幅断片の確認、DNA 断片の精製、DNA シーケンス、分子系統解析に関する手法について実習を行った。(PO：4-3)

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。

I-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
（工学グループ、リーダー：白鳥 祐介）

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

平成 28 年度は、上述の通り、ベンチェ実証サイトの建設が完了し、SOFC を除くエネルギー循環システムの構成設備が現地に導入された。平成28年12月に、ベンチェにて行った第 2 回プロジェクトワークショップ（Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture（WANA2016））には、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 名を超えるステークホルダーが参加者し（図 26）、工学および農学グループの進捗報告後の質疑応答では、地域住民から SOFC のコストや実現時期、メタン発酵の際に投入する無機栄養塩のコスト等、技術の導入を意識した具体的な質問も出るなど大きな反響があり、開発するエネルギー循環システムおよび各要素技術がもたらす便益が広範にわたって共有される機会となった。今後は、各要素技術あるいはパッケージごとに関係者を絞ったワークショップも開催し、新技術に対する理解や技術移転を深化させ、技術を利用した地域の課題解決シナリオ構築を進めて、それ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: 5-1,5-2）

図 26：第 2 回プロジェクトワークショップの開催風景（平成 28 年 12 月ベンチェ）；（上）会場に集まった現地ステークホルダー、（下）来賓とプロジェクト参画者

平成 29 年 1 月に開催された第 2 回 JCC（Joint Coordinating Committee）における C/P 機関との議論では、CTU より、ベトナムでは、エビおよびナマズの養殖生産量が増加し続けているにも関わらず養殖面積の増加は収束しており、このことは、粗放的養殖から集約的養殖へのシフト、つまりはエネルギーを大量に投入したモノカルチャーが進んでいることが報告され、生態系サービスへの悪影響はもちろんのこと、特に、乾季におけるメコンデルタ地域の電力不足を引き起こしていることが取り上げられた。当プロジェクトにおいて開発・実証する、地域の廃棄系バイオマスから電力および物質を生産するシステムのコンセプトは、地域産業が抱えている課題を軽減し持続的発展に寄与できるものであり、普及への道筋を JCC においても引き続き議論して行く。（PO: 5-2）

途上国社会では、地域経済や生態系サービスに与える長期的な便益よりもイニシャルコストや短期間の利益を重視する傾向が強く、日本の優れた低炭素化・省エネ技術がなかなか広まって行かない現状がある。ワークショップにおける住民との対話および JCC における協議を通じて、いかにして新技術をメコンデルタ地域に広めて行くか考えて行く。（PO: 5-1,5-2）

カウンターパート（C/P）への技術移転の状況

実証サイトの整備を通じて、日本側参画企業と現地企業とのネットワーキングが進んだ。今後、日本側企業及びベトナム側ステークホルダーとの技術移転やビジネス提携に向けた課題別／要素技術別のミーティングをコーディネートしていくことで、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。次年度は、水質改善に資する要素技術の実証結果をモニタリングしつつ、対象地域のエビ養殖業者との意見交換や技術学習会をコーディネートし、技術革新・技術移転シナリオの構築を具体的に進めて行く。（PO：5-2）

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）

平成 28 年度は、国際協力活動の 2 年度目であり、国際連携が本格化したことにより、上述の通り、工学および農学グループの各研究項目について、C/P 機関との共同研究を予定通り遂行させることができ、これらの成果の一部が、共著論文の執筆（平成 29 年度掲載決定）、特許出願および受賞などにつながった。

当プロジェクトでは、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）に対して日本企業が参画し、密な産学連携の下、システム開発および技術移転を行っている。同時に、プロジェクトワークショップ等を通じて、開発技術についての情報発信をベトナム国内で積極的に行っており、特に、メコンデルタ地域の住民や行政官の理解が深まってきている。個人、組織、社会の各階層に対するキャパシティデベロップメントも順調に進んでおり、運用が始まった燃料電池研究開発棟（図 3）および実証サイト（図 1 および図 11）を低炭素化システムに関する研究拠点として活用することでベトナム側への技術移転を加速させる。

ベトナム農業農村開発省が、メコンデルタ地域の課題解決に向けた技術革新を実証する当プロジェクトの活動に大きな期待を寄せており、現地エビ養殖場の全面協力の下、同様に有機性廃棄物の処理に問題を抱えている製糖業者や養豚業者との連携体制も確立しつつあり、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。

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

平成 28 年度までのプロジェクト前半にエネルギー循環システムの実証プラントを作り上げたことにより、C/P 機関がシステムの全体フローおよび各設備の機能を理解し、日本側を含む各参画者の個別研究がどこに貢献するものなのかが明確化された。これが C/P 機関のモチベーション向上にもつながっている。

燃料電池はベトナムでは全く新しい発電技術であり、特に、我々がターゲットにしているメコンデルタ地域等、途上国の農村部では、燃料電池を単独で普及させることは難しく、地域社会が抱えている課題を十分把握し、それらを解決する技術と組み合わせることで、初めて普及が可能になるものと考えている。そこで、メコンデルタ地域の主要産業であるエビ養殖業、製糖業および養豚業が共通的に抱えている有機性廃棄物処理の問題に着目し、これを解決するメタン発酵および水処理技術を切り口に、ネットワーキングを進めた。その結果、これらの技術が有機性廃棄物の化学エネルギーとしての利用価値を高め、燃料電池の導入により、その化学エネルギーを高い効率で有用な電力に変換できるという概念の理解が、現地ステークホルダーの間で進んできている。（PDM: Output 5 (PO: 5-1, 5-2)）

(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)

平成 29 年度からの国費留学生の受け入れを目指し、留学希望の INT 研究者と準備を進めたが、残念ながら採択に至らなかった。現在、INT をはじめとする C/P 機関との共同研究が進んできており、C/P との共著論文が出始めているが、積極的な論文投稿により学術的な連携実績を積み上げて行き、新たな留学生の受け入れにつなげたい。(PDM: Output 2 (PO: 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6))

(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)

当プロジェクトでは、I-2-(3)および(4)で示した通り、現在、エビ養殖汚泥と製糖残渣(バガスおよび廃糖蜜)の混合物からのバイオガス製造を試みている。廃糖蜜は、当発酵系において有機栄養剤として発酵の促進に欠かせないが、バイオエタノール生産の原料となっており価格が高く(バガスの約 10 倍)、バイオガス生成速度とコストを勘案した廃糖蜜の最適混合割合を決定し、バイオマス回収費用の低減に努めなければならない。(PDM: Output 3 (PO: 3-1, 3-2, 3-5))

(4) SOFC を導入したエネルギー循環システム実証(工学&農学グループ)

平成 28 年度より、実証サイトに常駐する人員 1 名(オペレーター(Hoang Vu 養殖場のワーカー))を INT が雇用しており、オペレーターの協力の下、図 21 の遠隔モニタリングシステムを活用して実証システムの運転管理を行っている。当オペレーターとの英語でのコミュニケーションは難しいため、INT および CTU の複数名が全体システムを十分理解し、トラブル発生時には、オペレーター ⇒ INT ⇒ 日本側の連絡系統で迅速に対応できる体制としている。

平成 28 年 2 月に、実証プラント各設備のスタートアップ試験を実施し、この際、企業参画者(日本側専門家)および研究代表者が、ベトナム側(INT、CTU、HCMUT およびオペレーター)に対して各設備の取扱い説明を実施済みであるが、ベトナム側のみでトラブル対応できるようなマニュアルを作成することが極めて重要であり、英語版マニュアルを作成した。現在、当英語版を INT がベトナム語に翻訳中であり、オペレーターに手渡す予定である。(PDM: Output 4 (PO: 3-5, 4-1, 4-2, 4-4, 4-8))

(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)

実証プラントでの試験開始に際しては、地域バイオマスを受け入れて燃料(バイオガス)を製造するメタン発酵実証機をいかに立ち上げ、安定稼動にもって行くかが議論の中心であった。当プロジェクトでは、異なる技術を専門とする研究者・技術者でチームを結成し、プロジェクト目標および上位目標の達成に向けて協働しているが、技術間連携(企業間の連携も含む)において、①メタン発酵ラボ実験で得た知見の現地プラントへの適応、②プラントへの人材配置と運用体制、③プラント稼働状況のモニタリングとデータ回収、④メタン発酵研究の現地体制で不安が示された。これらを解消するため、技術学習会を行なうとともに、ベンチェ訪問時は、各要素技術の担当者ができるだけ同時に渡航できるように調整し、毎回、現地にて議論を重ねている。(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

・ 平成 28 年 3 月 31 日（金）に、ベトナム農業農村開発省の代表団がベンチェ実証サイトを視察し(図 27)、ベトナム側研究代表者およびプロジェクト業務調整員が活動内容を説明した。この際、当活動に対する継続的なサポートについても話し合いがもたれた。

図 27：ベトナム農業農村開発省視察団とベトナム側研究代表者を含む INT メンバー（ベンチェ実証プラントにて）

・ 燃料電池に関する世界最大の展示会「第 13 回国際水素・燃料電池展～FC EXPO 2017～」（平成 29 年 3 月 1 日（水）～3 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 28）。

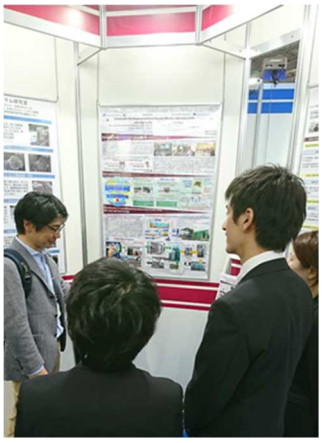


図 28：FC EXPO 2017 にてプロジェクトの紹介をする研究代表者

・ ベンチェにて第 2 回プロジェクトワークショップ（Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture (WANA2016)）を開催し（平成 28 年 12 月 20 日（火）Viet Uc Hotel, Ben Tre, Vietnam)、地域への情報発信および住民との意見交換を行った。（詳細は I-2-(5)参照）

・ 「唐津市水素・再生可能エネルギー導入促進セミナー」（平成 28 年 10 月 28 日（金）佐賀県唐津市大手口センタービル）にて、「廃棄物系バイオマスの高効率エネルギー利用を目指した燃料電池技術開発」の題目で研究代表者が講演し、当プロジェクトの目的、実施内容および進捗について市民に情報提供を行った。

・ 日越学術交流イベント「Vietnamese-Japanese Students' Scientific Exchange Meeting (VJSE 2016)」（平成 28 年 9 月 17 日（土）九州大学伊都キャンパス）にて、「International cooperation for sustainable development of Mekong delta with fuel cell technology」の題目で研究代表者が講演し、全国から集まったベトナム人留学生に対して、当プロジェクトで実施している国際協力の意義を説明した。

・ 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）

平成 28 年度の活動は、下記の通り、ベトナムおよび日本のメディアに取り上げられた。

メコンデルタにおけるエネルギー循環システム実証の開始について

- 日刊工業新聞（平成 29 年 3 月 15 日）
- Viet Nam News, “New shrimp breeding model produces power”（平成 28 年 12 月 22 日）
- ベンチェ TV（平成 28 年 12 月 21 日）
- Ben Tre 省 Dong Khoi 新聞（平成 28 年 12 月 21 日）
- ベトナム国家大学ホーチミン市校ホームページ（平成 28 年 12 月 21 日）

ベトナム初燃料電池研究開発拠点の設立について

- JST トピックス（JST ホームページ）（平成 28 年 12 月 19 日）
- JST News 12 月号 TOPICS p15（平成 28 年 12 月 1 日）
- Saigon Online（平成 28 年 9 月 21 日）

図 29：SATREPS で整備を完了させたベトナム研究拠点の開所式にて、現地メディア、行政官および C/P 機関からの来賓を含む参加者に対して、拠点設立の経緯および国際協力が目指すことについてスピーチをする日本側研究代表者；(左) エネルギー循環システム実証サイト開所式（平成 28 年 12 月 20 日、ベンチェ省 Hoang Vu エビ養殖場内)、(右) 燃料電池研究開発棟開所式（平成 28 年 9 月 21 日、VNU-HCM, INT 内）

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

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

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－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	0	件
うち国内誌	0	件
うち国際誌	0	件
公開すべきでない論文		件

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－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。）
2016	Ayami Saimura, Yusuke Shiratori, and Takuya Kitaoka,"Dual-layered paper-structured catalysts for sequential desulfurization and methane-steam reforming of simulated biogas containing hydrogen sulfide"	10.1007/s10853-016-0332-7	国際誌	発表済	
2016	Y. Shiratori, M. Sakamoto, "Performance improvement of direct internal reforming solid oxide fuel cell fuelled by H2S-contaminated biogas with paper-structured catalyst technology", Journal of Power Sources 332 (2016) 170-179.	10.1016/j.jpowsour.2016.09.095	国際誌	発表済	

論文数	2	件
うち国内誌	0	件
うち国際誌	2	件
公開すべきでない論文		件

③その他の著作物（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

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 件

④その他の著作物（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－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－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
公開すべきでない著作物 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	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
2016	エネルギー循環システム実証サイト（ベトナム・ベンチェ）導入設備の操作実習（対象者：カウンターパート研究者5名、エビ養殖場従業員1名、実施日：2017年2月14日（火））	SATREPS "UF Membrane Filtration System", Operating Guide	当プロジェクトにて現地実証サイトに導入した設備の操作マニュアル（英文）
2016	エネルギー循環システム実証サイト（ベトナム・ベンチェ）導入設備の操作実習（対象者：カウンターパート研究者5名、エビ養殖場従業員1名、実施日：2017年2月14日（火））	SATREPS "Methane Fermentation Facility", Operation Procedure	当プロジェクトにて現地実証サイトに導入した設備の操作マニュアル（英文）

2016	エネルギー循環システム実証サイト（ベトナム・ベンチェ）導入設備の操作実習（対象者：カウンターパート研究者5名、エビ養殖場従業員1名、実施日：2017年2月14日（火））	SATREPS ″Carbonizer″, Operation Procedure	当プロジェクトにて現地実証サイトに導入した設備の操作マニュアル（英文）

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/口頭発表/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
2016	国際学会	白鳥　祐介（九大水素センター/工学研究院）、坂本美緒（九大水素センター）Tran Long Dang（九大工学府）、喜多修士（九大工学府）、Nguyen Thi Giang Huong（九大工学府）、TRAN QUANG TUYEN（九大水素センター）、T. D. C. Doan（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、Dang　Mau Chien（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、“Development of Fuel-Flexible SOFC”、230th ECS Meeting (PRiME2016)、ホノルル 、ハワイ、2016年10月3日	口頭発表
2016	国内学会	白鳥　祐介（九大水素センター/工学研究院）、坂本美緒（九大水素センター）、山川武夫（九大農学研究院）、吉田日乃美（九大農学研究院）、、北岡 卓也（九大農学研究院）、折島寛（マグネクス株式会社）、安倍正樹（マグネクス株式会社）、T. D. C. Doan（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、Dang　Mau Chien（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、“メコンデルタ産バイオマスからのバイオガス製造とそのSOFC への適用”、第25回SOFC研究発表会、 東京、2016年12月16日	口頭発表

招待講演	0	件
口頭発表	3	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 /口頭発表 /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	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）“ペーパー構造体触媒による脱硫－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	ポスター発表
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”、ビジネスシヨウ＆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－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－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

2016	国際学会	甲斐田拓（九大工学府）、坂本美緒（九大水素センター）、楽豪（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）、“Paper-structured catalyst for the stable operation of direct-internal reforming SOFC running on biofuels”、12th European SOFC & SOE Forum 2016、Lucerne Switzerland、2016年7月6日	ポスター発表
2016	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）、“Numerical Evaluation of Direct Internal Reforming SOFC Operated with Biogas”、12th European SOFC & SOE Forum 2016、Lucerne Switzerland、2016年7月6日	ポスター発表
2016	国際学会	Tran Long Dang（九大工学府）、Nguyen Thi Giang Huong（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）、“A Novel Approach for the Modeling of Internal Reforming SOFCOperated by CH4-based Fuel”、2016　Asian　SOFC Symposium、東京、	ポスター発表
2016	国際学会	Nguyen Thi Giang Huong（九大工学府）、TRAN QUANG TUYEN（九大水素センター）、Tran Long Dang（九大工学府）、坂本美緒（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）、“Ni-loaded ceria-dispersed paper-structured catalyst for internal reforming solid oxide fuel cell”、2016　Asian　SOFC Symposium、東京、2016年9月6日	口頭発表
2016	国内学会	白鳥　祐介（九大水素センター/工学研究院）、坂本美緒（九大水素センター）、Tran Long Dang（九大工学府）、Nguyen Thi Giang Huong（九大工学府）、TRAN QUANG TUYEN（九大水素センター）、“バイオガスSOFCの課題とその解決を目指した触媒材料開発”、日本機械学会　2016年度年次大会、福岡、2016年9月14日	口頭発表
2016	国内学会	Tran Long Dang（九大工学府）、坂本美緒（九大水素センター）、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）、“バイオガス直接供給時の固体酸化物形燃料電池の動作解析”、日本機械学会　2016年度年次大会、福岡、2016年9月14日	口頭発表
2016	国内学会	白鳥　祐介（九大水素センター/工学研究院）、“International cooperation for sustainable development of Mekong delta with fuel cell technology”、Vietnamese-Japanese Students' Scientific Exchange Meeting (VJSE 2016)、福岡、2016年9月17日	招待講演
2016	国際学会	Nguyen Thi Giang Huong（九大工学府）、坂本美緒（九大水素センター）、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）、“Flexible catalyst material to create a direct-hydrocarbon fuel cell”、Honda Y-E-S Forum 2016、東京、2016年11月19日	ポスター発表
2016	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）、“A Novel Approach for the Modeling of Solid Oxide Fuel Cell Operated with Biogas”、Honda Y-E-S Forum 2016、東京、2016年11月19日	ポスター発表

2016	国内学会	甲斐田拓（九大工学府）、坂本美緒（九大水素センター）、TRAN QUANG TUYEN（九大水素センター）、佐々木一成 （九大水素センター/工学研究院）、白鳥　祐介（九大水素センター/工学研究院）、“バイオオイルのSOFC への適用を目指した水蒸気改質に関する研究”、第25回SOFC研究発表会、東京、2016年12月15日	ポスター発表
2016	国内学会	甲斐田拓（九大工学府）、坂本美緒（九大水素センター）、TRAN QUANG TUYEN（九大水素センター）、佐々木一成 （九大水素センター/工学研究院）、白鳥　祐介（九大水素センター/工学研究院）“SOFCへの適用を目指したバイオオイル水蒸気改質法に関する研究”、九州大学エネルギー研究教育機構（Q-PIT）、九州大学エネルギーウィーク2017、福岡、2017年1月31日	ポスター発表
2016	国内学会	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）、“Modeling of methane multiple reforming for simuating solid oxide fuel cell operated with biogas”、九州大学エネルギー研究教育機構（Q-PIT）、九州大学エネルギーウィーク2017、福岡、2017年1月31日	ポスター発表
2016	国内学会	Nguyen Thi Giang Huong（九大工学府）、TRAN QUANG TUYEN（九大水素センター）、Tran Long Dang（九大工学府） 、坂本美緒（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）、“Coking tolerant structured-catalyst material for direct-hydrocarbon fuel cell”、九州大学エネルギー研究教育機構（Q-PIT）、九州大学エネルギーウィーク2017、福岡、2017年1月31日	ポスター発表

招待講演	4	件
口頭発表	9	件
ポスター発表	13	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	登録番号（未登録は空欄）	登録日（未登録は空欄）	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1	2016-168037	2016/8/30	散気装置を含む散気システムとその運転方法	ダイセン・メンブレン・システムズ株式会社	国内特許・PCT、日本	無					中塚修志 平川圭一郎	ダイセン・メンブレン・システムズ株式会社	
No.2	2016-167119	2016/8/29	ペーパー状触媒およびその製造方法、ペーパー状触媒配列体並びに炭化水素の改質方法	国立大学法人九州大学	日本	無					白鳥祐介 Nguyen Thi Giang Huong・ 坂本美緒 Tran Quang Tuyen	国立大学法人九州大学	
No.3													

国内特許出願数 2 件

公開すべきでない特許出願数 件

②外国出願

	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	登録番号（未登録は空欄）	登録日（未登録は空欄）	出願特許の状況	関連する論文の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 件

公開すべきでない特許出願数 件

VI. 成果発表等
（4）受賞等【研究開始～現在の全期間】（公開）

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－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）	日本木材学会	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	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－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”	才村綾美（九大生物資源環境科学府）	九州大学学生後援会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2016	2016.11.19	Poster contest, 1st Prize	“A Novel Approach for the Modeling of Solid Oxide Fuel Cell Operated with Biogas”	Tran Long Dang（九大工学府）	Honda Y-E-S Forum 2016（公財）本田財団	1.当課題研究の成果である	
2016	2016.11.19	Poster contest, 1st Prize	“Flexible catalyst material to create a direct-hydrocarbon fuel cell”	Nguyen Thi Giang Huong（九大工学府）	Honda Y-E-S Forum 2016（公財）本田財団	1.当課題研究の成果である	

6 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	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	2015.12.24	日刊水産経済新聞	途上国と養殖技術開発		その他	
2016	2016.9.21	Saigon Online			1.当課題研究の成果である	
2016	2016.12.1	JST News 12月号 TOPICS p15	燃料電池に関するベトナムとの国際共同研究拠点がオープン −メコンデルタの持続的発展に貢献する有機性廃棄物の高効率利用技術の開発に期		1.当課題研究の成果である	
2016	2016.12.19	JSTトピックス（JST　HP）	メコンデルタの持続的発展に貢献する有機性廃棄物の高効率利用技術の開発に期待		1.当課題研究の成果である	
2016	2016.12.21	ベンチェTV	メコンデルタにおけるエネルギー循環システム実証サイトの開所について		1.当課題研究の成果である	
2016	2016.12.21	ベトナム国家大学ホーチミン市校HP	メコンデルタにおけるエネルギー循環システム実証サイトの開所について		1.当課題研究の成果である	
2016	2016.12.21	Ben Tre省Dong Khoi新聞	メコンデルタにおけるエネルギー循環システム実証サイトの開所について		1.当課題研究の成果である	
2016	2016.12.22	Viet Nam News	New shrimp breeding model produces power		1.当課題研究の成果である	
2016	2017.2.20	JSTトピックス（JST　HP）	ベトナム産バイオマスから製造されたバイオガスの直接供給による燃料電池発電に成功！～システム簡素化による燃料電池の途上国展開に期待～		1.当課題研究の成果である	
2016	2017.3.15	日刊工業新聞	ダイセン・メンブレン・システムズ、水産養殖業向け散気装置を実証		1.当課題研究の成果である	
2016	2017.3.15	日刊工業新聞(電子版)	ダイセン・メンブレン・システムズ、水産養殖業向け散気装置を実証		1.当課題研究の成果である	

16 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、ﾍﾞﾝﾁｪ省	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。
2016	7月22日	SATREPS ベトナム・燃料電池 第2回日越合同会議	九州大学　稲盛ホール （日本）	48名 （8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。
2016	9月19日	School on Micro-Nanotechnology （MINATEC 2016）	ベトナム国家大学ホーチミン市校（ベトナム）	約60名	ホーチミン市工科大学の学生に対して、“Development of structured-catalyst material for biogas-fuelled SOFC”の題目で2時間の集中講義を行った。
2016	10月28日	唐津市水素・再生可能エネルギー導入促進セミナー	唐津市 （日本）	約100名	市民および企業技術者を対象とした唐津市主催のセミナーにて、“廃棄物系バイオマスの高効率エネルギー利用を目指した燃料電池技術開発”を題目に、SATREPSプロジェクトに関する講演を行った。

2016	12月21日	Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture (WANA2016)	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、本プロジェクトの進捗状況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。

7 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。
2016	1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。	13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。

2 件

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（所属機関）	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）
研究期間	H26採択（平成27年4月1日～平成32年3月31日）
相手国名／主要相手国研究機関	ベトナム社会主義共和国／ ベトナム国家大学ホーチミン市校ナノテク研究所、カントー大学、ホーチミン市工科大学

付随的成果

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、マニュアル、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
◆ 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
◆ 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