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 30 年度実施報告書

国際共同研究期間*1
平成 27 年 4 月 3 日から令和 2 年 3 月 30 日まで
JST 側研究期間*2
平成 26 年 5 月 1 日から令和 2 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

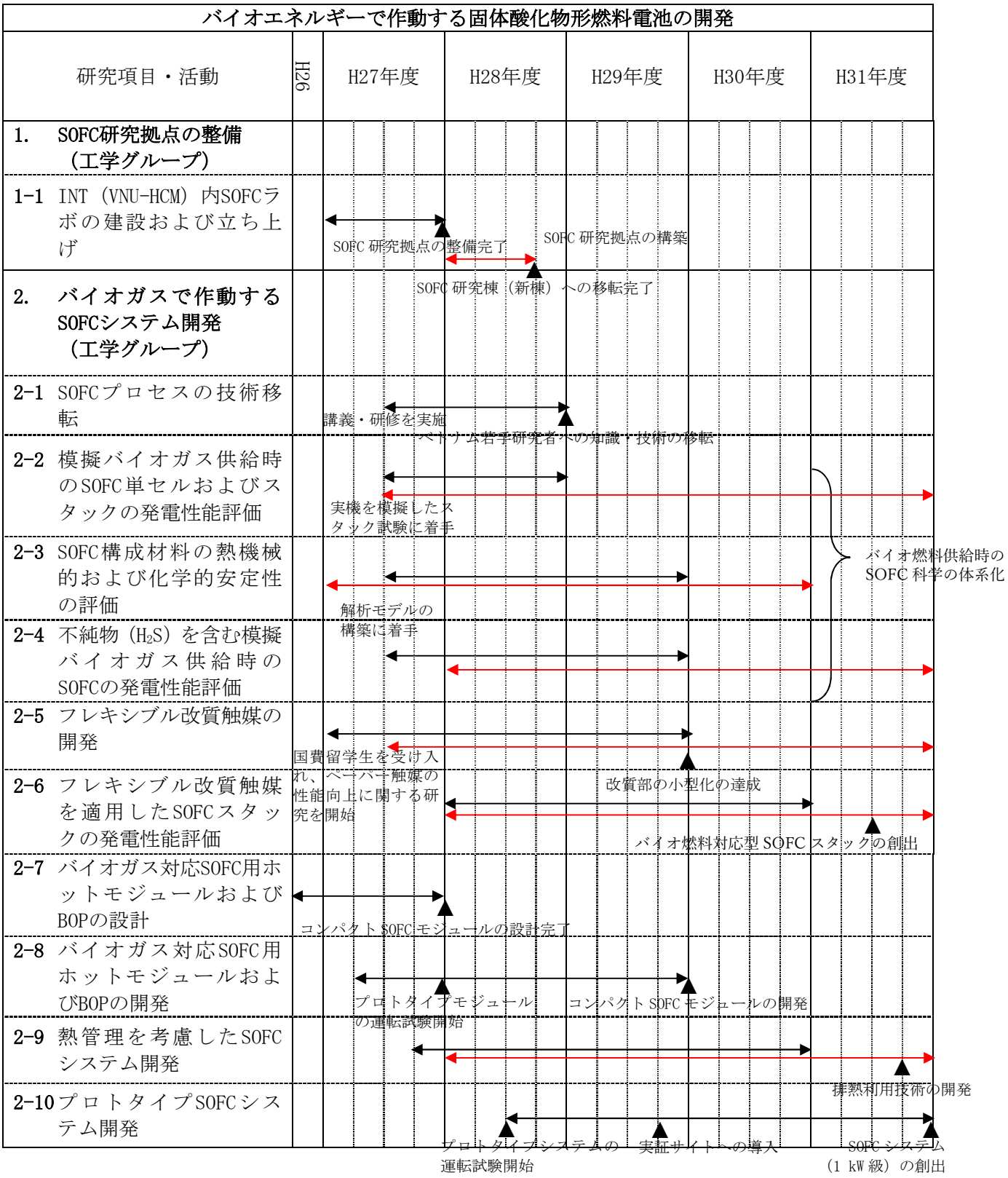
研究代表者：白鳥 祐介

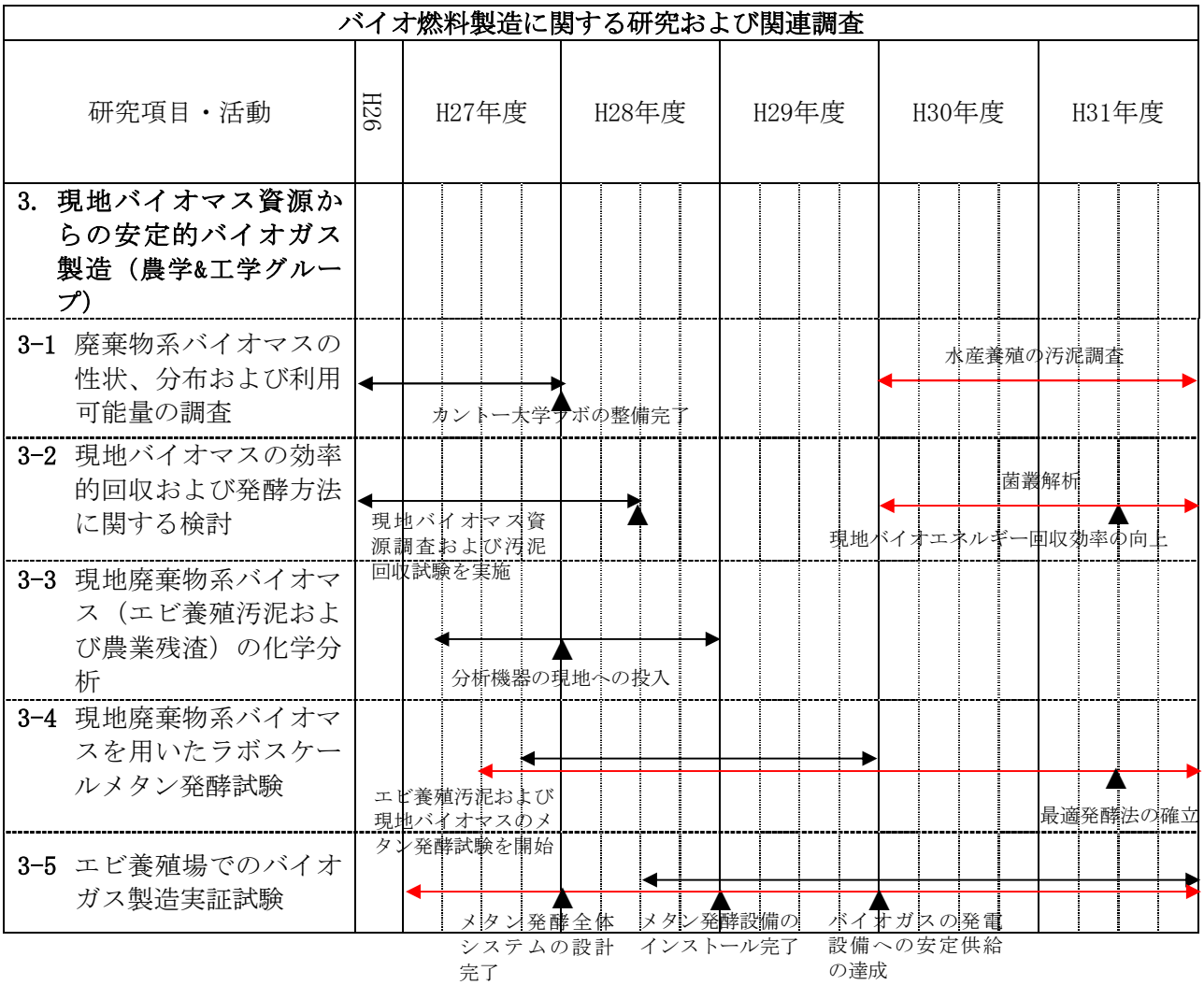
九州大学水素エネルギー国際研究センター/大学院工学研究院・准教授

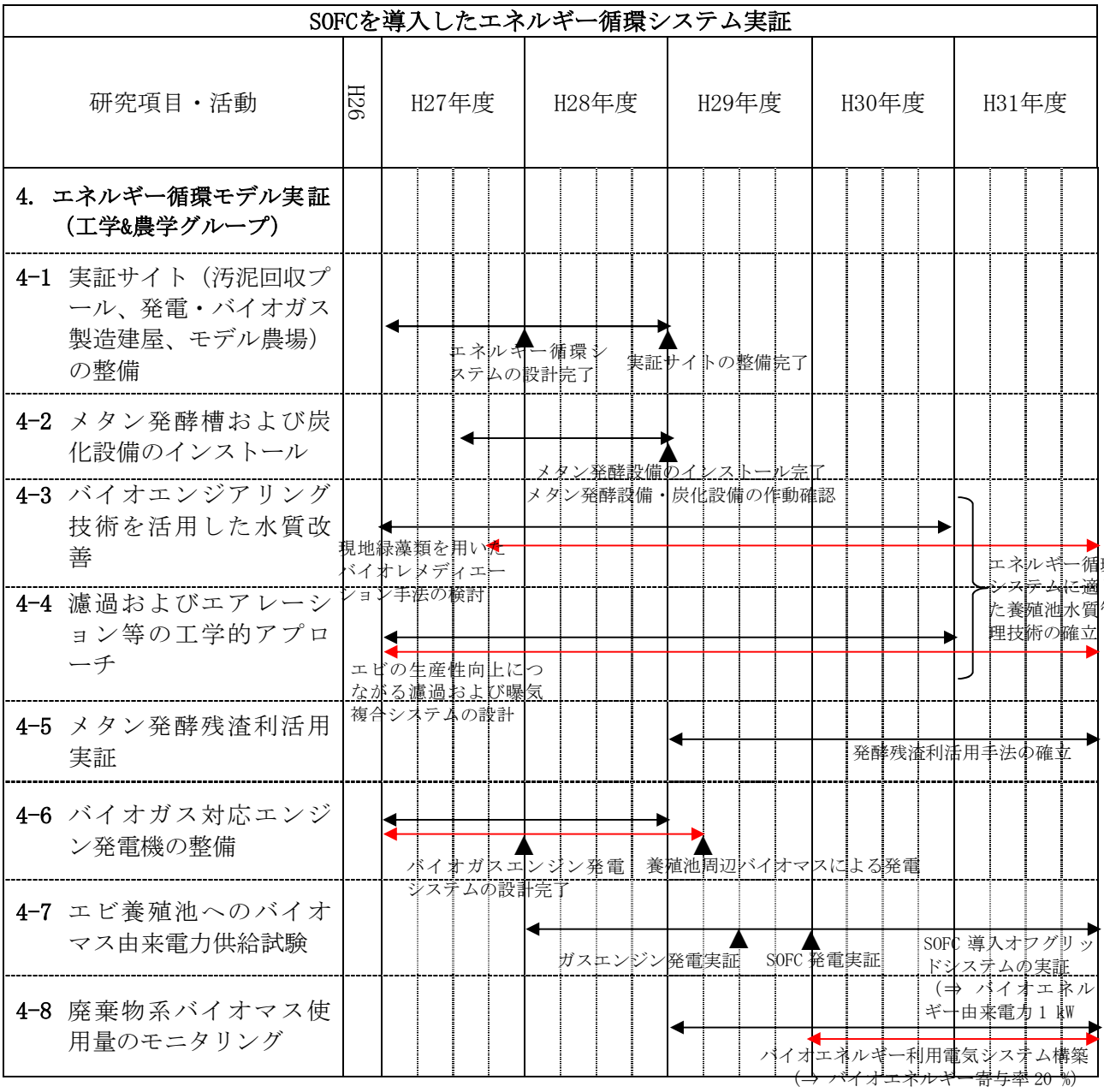
I.　国際共同研究の内容（公開）

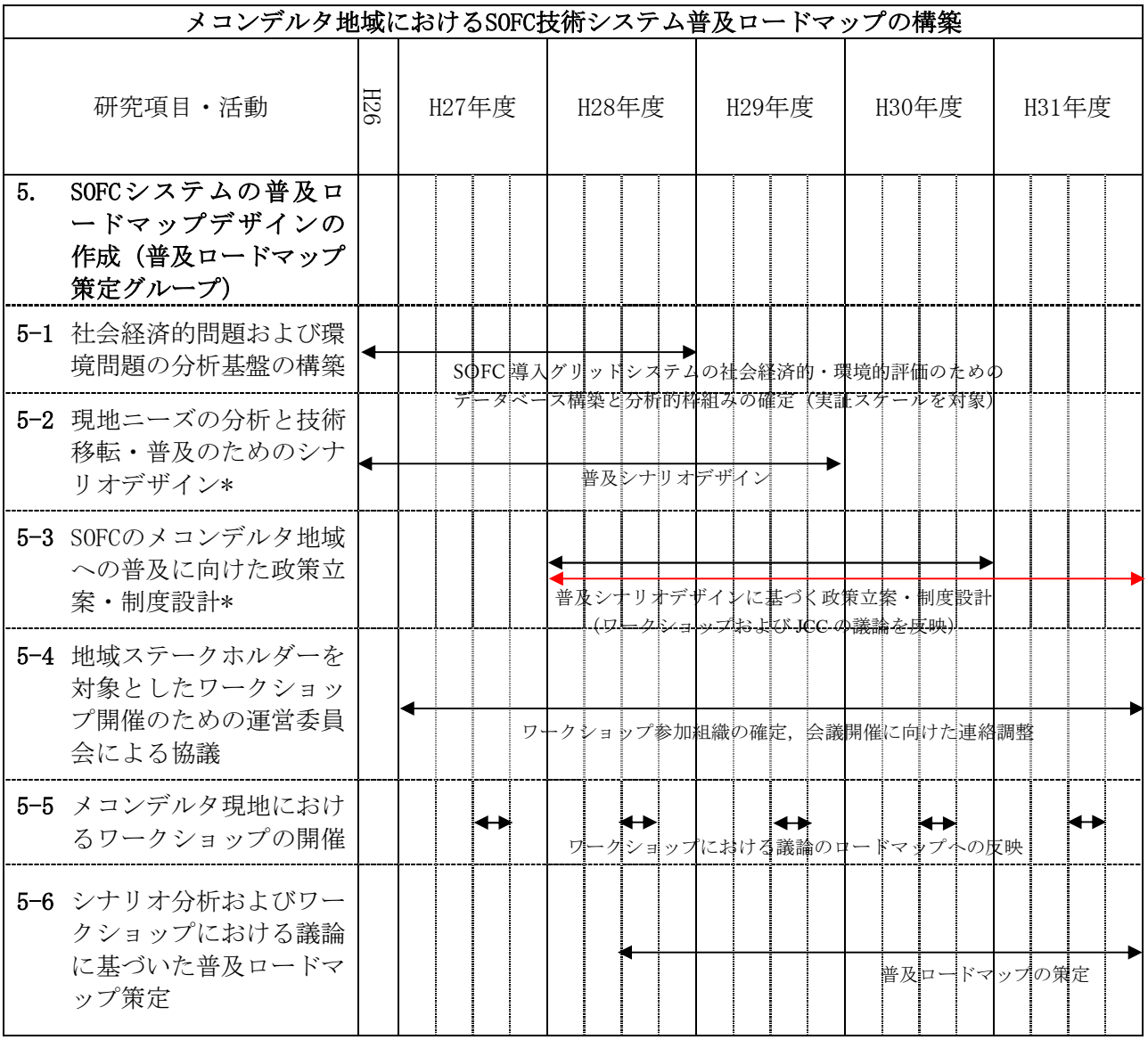
1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1)研究の主なスケジュール




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
水産養殖の汚泥調査
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
菌叢解析
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
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
4-4 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
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 1 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

(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）

2-(1)　プロジェクト全体

ベトナムでは、海面漁業の資源の枯渇から、90 年代以降、エビ養殖が同国の主要な輸出産業に位置付けられ、世界的に水産物の需要が増える中で、自然の調整能力にまかせた粗放型の養殖（養殖密度：数匹 m^{-2}）から、短期的な利益を狙った集約型の高密度養殖（養殖密度：100～300 匹 m^{-2}）が広まって行き、これが病害の発生や新たな養殖池の開拓に起因する生態系の破壊（マングローブ林の伐採）を引き起こすことにつながってしまい、ベンチェ省においては、2014 年～2016 年にかけてエビ類の生産量は減少しており、2017 年に増加に転じたものの、生産量は 2014 年に及ばない水準である[Statistical Yearbook of Viet Nam 2017.]。以上の背景から、我々は、エビの安定的な生産によるベンチェ地域の生活水準の向上を第一に、いかにして固体酸化物形燃料電池（SOFC）技術が当課題の解決に貢献できるかを農工連携の下議論しながら養殖システムのデザインを行っており、地域バイオマスの利用、ヘドロの回収、養殖池曝気の省エネ化、そして SOFC 発電により、エビ養殖の低炭素化と持続性向上を目指している。

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、本プロジェクトでは、個人（実習）、組織（相手国 C/P 機関での講義および共同研究）および社会（プロジェクトワークショップの開催）の各階層におけるキャパシティ・ディベロップメントを目的として、技術協力第 1 期（2015 年度）より、ベトナムにて、毎年プロジェクトワークショップを開催している。第 4 期（2018 年度）は、ベンチェ省で開催し、過去最高の 280 名を超えるステークホルダー（地域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）の参加があり、開発・実証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。

当プロジェクトでは、上記の活動に加え、プロジェクト参画者が一堂に会する日越合同会議を毎年開催し、情報共有を図っている。キャパシティ・ディベロップメントの加速を目的とし、SATREPS およびベトナム政府の支援により、ベトナム国家大学ホーチミン市校(VNUHCM)・ナノテク研究所(INT)内にベトナム初の燃料電池研究開発棟を整備し、2016 年 9 月より運用を開始している。我々は、産学連携の下開発した 1 kW バイオガス対応 SOFC システムを実証サイト（Hoang Vu エビ養殖場）に導入し、現地の有機性廃棄物から製造したバイオガスを供給して、東南アジア地域初となる SOFC 発電実証を 2017 年度第 4 四半期より開始し、エンジン発電機の倍に達する発電効率 53.1%を記録した。当成果を 2 年に 1 回開催され、世界トップレベルの研究者が集う欧州最大の SOFC 関連の国際学会（13th EUROPEAN SOFC & SOE FORUM）にて INT および参画企業と共同発表し（2018 年 7 月開催）、300 件以上の発表の内、1 件のみに与えられる最優秀賞を受賞した。以上の学術面での連携が、九州大学-VNUHCM 間の学術交流協定の締結（2018 年 7 月）につながり、今後、連携をさらに強化して行く。

2-(2)　研究題目１:「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）

研究題目１の当初の計画（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 システム内部に実装可能なバイオガス改質用触媒構造体の開発」

SOFC システムのコンパクト化を目指して、改質器の小型化に寄与し、究極的には燃料極上に直接取り付けることもできるシート状のバイオガス改質触媒（ペーパー触媒（PSC））の開発を継続して行っている。抄紙技術に基づいた PSC の作製プロセスは、シンプルである上、プロセス中に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。我々は、メタンドライリフォーミング（DRM）時の炭素析出の抑制を目的として、酸素吸蔵放出能（OSC）を有する CeO_2-ZrO_2 固溶体 $Ce_xZr_{1-x}O_{2-\delta}$（CZ）を PSC 内部で合成するプロセスを開発し、Ni 担持 CZ 分散 PSC（Ni/CZ-PSC）を得た。Ni 担持量としては、6 wt%付近が良く、x の低い場合（x = 0.2）に、DRM 中に、炭素析出を伴った急激な劣化が生じた。x が高まると共に、CZ との相互作用が強い Ni がより多く析出し、Ni も微細化され、x = 0.4 および 0.6 の場合は、高い炭素析出耐性を示すことが明らかとなった。以上成果は、炭素析出耐性を有する高機能ペーパー触媒（Ni/CZ-PSC）の設計指針を与えるものであり、*Int. J. Hydrogen Energy* 43（2018）4951-4960 および *ECS Trans.* 78(1)（2017）2431-2439 にまとめられている。**(P0: 2-5)**

Ni/CZ-PSC は、直接内部改質型 SOFC（DIR-SOFC）を実現するサポート触媒として有望であるため、Ni/CZ-PSC（x = 0.4）を SOFC の燃料極上に適用し、模擬バイオガス供給時の電気化学性能の評価を行ったところ、DIR-SOFC の出力および安定性が大幅に向上した。*Int. J. Hydrogen Energy* 44（2019）10484-10497 に掲載された当成果の詳細を以下にまとめる。

厚さ 250 μm の ScSZ（10 mol% Sc_2O_3-1 mol% CeO_2-ZrO_2）を支持体とし、厚さ 24 μm の Ni-ScSZ（NiO:ScSZ = 56wt%:44wt%）および 35 μm の LSCF-GDC（$(La_{0.6}Sr_{0.4})_{0.95}(Co_{0.2}Fe_{0.8})O_{3-x}$:$Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{1.95}$ = 50wt%:50wt%）をそれぞれ燃料極と空気極に適用した 2 cm 角（集電面積：1.4 x 1.4 cm^2）の電解質支持型 SOFC 単セル（ESC）を作製した（**図 1** 参照）。図のように、アルミナ製ホルダー内に 2 cm 角に成形した厚さ 1.1 mm の PSC を 2 枚敷き、その上に ESC を配置した。750°C において、燃料極側にセル面と平行に模擬バイオガス（CH_4/CO_2 = 1、80 mL min^{-1}、PSC に対する GHSV = 6000 h^{-1}）を供給し、発電試験を行った。

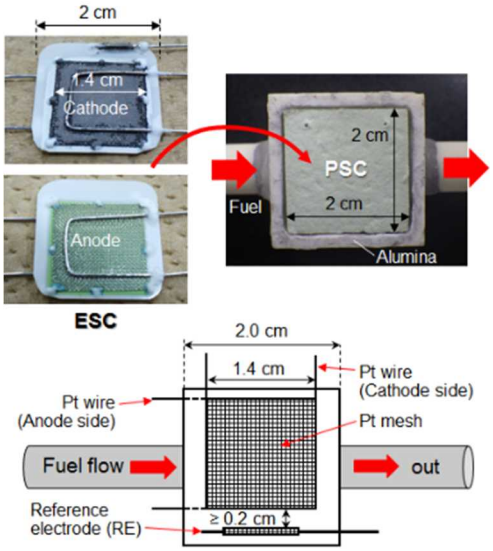


図 1：模擬バイオガス直接供給 SOFC の発電試験に用いたセットアップ

図 2(a) は、電流密度 0.1 A cm^{-2} において実施した 500 時間の定電流試験の結果である。**図 2(b)** には、定電流試験中（**図 2(a)** 中に矢印で示した時点）に測定した電流電圧特性（I-V 特性）の内、初期と 500 時間の結果を示した。これらの図には、PSC 適用時（12wt%Ni 担持 PSC（12wt%Ni-PSC）、8.6wt%Ni 担持ハイ

ドロタルサイト（HT）分散 PSC（8.6wt%Ni/HT-PSC）および 6.1wt%Ni/CZ-PSC）の結果に加えて、PSC を配置しなかった場合の結果も示している。定電流試験中の電圧低下率は、PSC 無しの場合に 0.015 % h^{-1} であったが、6.1wt%Ni/CZ-PSC を燃料極上に適用することで 0.005 % h^{-1} に低減された。一方で、12wt%Ni-PSC と 8.6wt%Ni/HT-PSC 適用時には、100 時間と 300 時間での I-V 測定時に階段状の電圧降下が生じ、電圧低下率を算出することができなかった。I-V 測定時には、開回路状態でインピーダンス測定も行ったが、PSC 無しの場合は、定電流試験中、電荷移動抵抗、物質移動抵抗のいずれも増大したのに対して、6.1wt%Ni/CZ-PSC 適用時には、500 時間の試験中、インピーダンスが増大することはなかった。一方で、12wt%Ni-PSC と 8.6wt%Ni/HT-PSC 適用時には、インピーダンスの著しい増大が生じた。

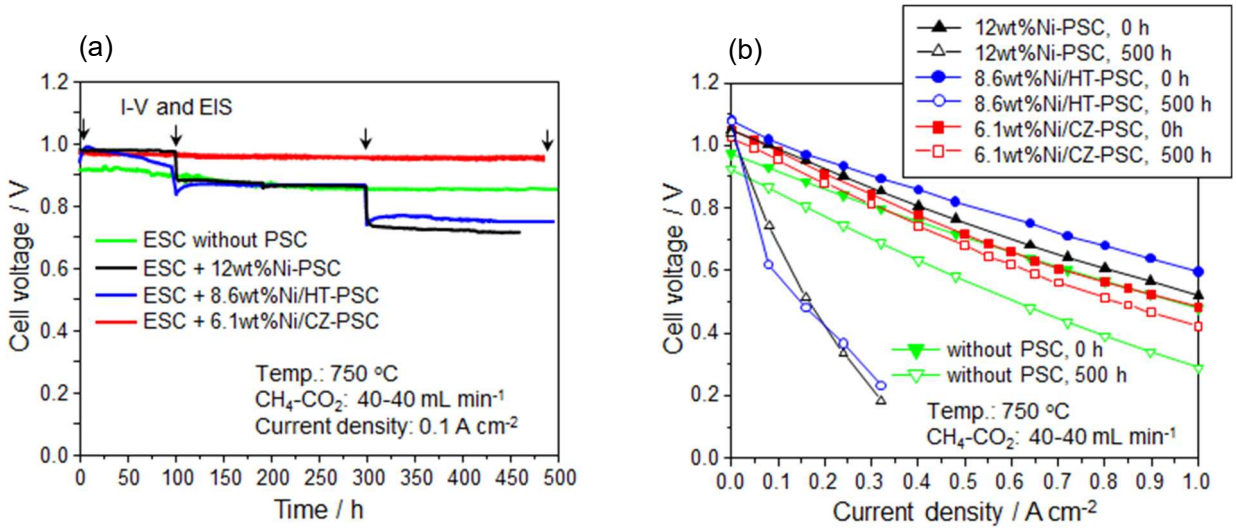


図 2：模擬バイオガス直接供給時（CH_4/CO_2 = 1、80 mL min^{-1}）の 750℃における電解質支持型セル（ESC）および ESC の燃料極上にペーパー触媒（PSC）を適用した場合の発電性能；(a) 0.1 A cm^{-2} における 500 時間の定電流試験結果、(b) 定電流試験の初期と 500 時間における電流電圧特性（I-V 特性）

500 時間の定電流試験後の PSC 内部および ESC の燃料極表面の様子を**図 3** に示す。**(a)**および**(c)**に見られるように、12wt%Ni-PSC および 8.6wt%Ni/HT-PSC 内部には激しい炭素析出が生じており、燃料極表面にも多量の炭素が堆積していた（**(b)**および**(d)**）。この結果は、これらの PSC 適用時には、PSC 内部での触媒反応において、メタンの熱分解で発生した中間生成物が容易に重合してグラファイト系の炭素となり、それが多孔質燃料極上に堆積してガスの拡散を阻害することでセル性能の低下が進行したことを示している。I-V 測定とともに定電流試験中に行ったインピーダンス測定の際には、75 分程度開回路状態が維持されたため、これらの PSC 適用時には、析出炭素の電気化学的な除去（空気極側から電解質を介して燃料極側に輸送されてきた酸素イオンによる析出炭素の電気化学的酸化）が期待できないこの期間中に炭素析出がより促進され、**図 2(a)**に見られるような階段状の電圧降下が生じたと考えられる。一方、6.1wt%Ni/CZ-PSC 内（**図 3(e)**）には炭素析出は確認されず、燃料極上への炭素の堆積も著しく低減されており（**(f)**）、500 時間、安定した DIR 発電が可能となった。これは、OSC の高い CZ 中の格子酸素が DRM 時の表面反応（析出炭素の酸化除去）に寄与したためである。PSC 無しの場合に燃料極上に炭素析出が見られなかったのは（**(g)**）、供給メタンのほとんどが反応することなくセル部を通過したためである。

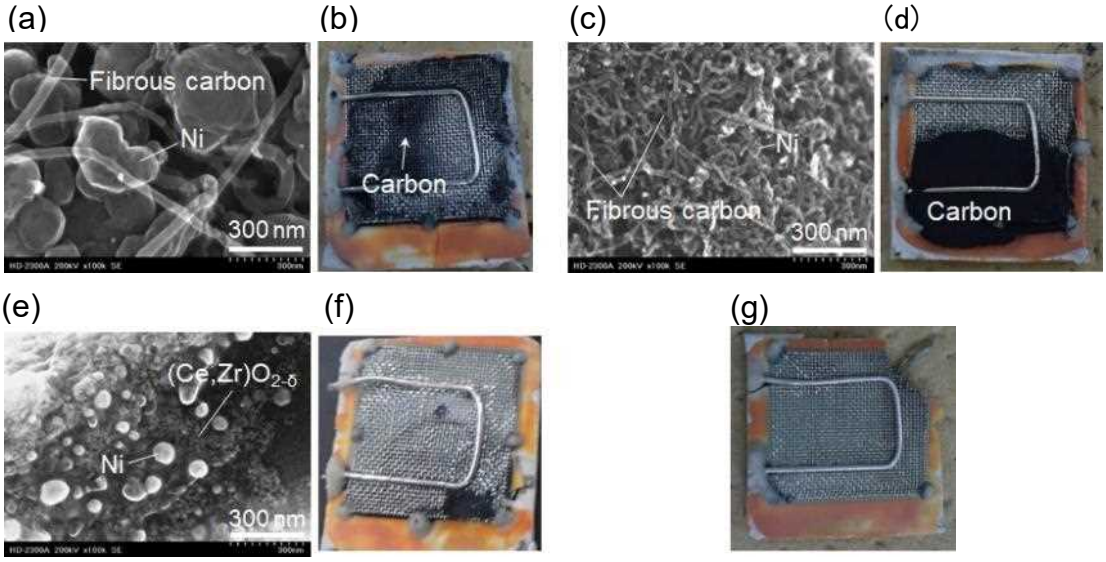


図 3：模擬バイオガス直接供給時（CH_4/CO_2 = 1、80 mL min^{-1}）、750℃、0.1 A cm^{-2}における 500 時間の定電流試験後の PSC 内部（(a)、(c)、(e)）および燃料極表面（(b)、(d)、(f)、(g)）の様子；(a,b) 12wt%Ni-PSC 適用時、(c,d) 8.6wt%Ni/HT-PSC 適用時、(e,f) 6.1wt%Ni/CZ-PSC 適用時、(g) PSC 無しの場合

以上の結果は、開発した Ni/CZ-PSC を燃料極上に配置するだけで、バイオガスの直接供給による燃料電池発電が可能になることを示すものであり、改質部の小型化、さらには改質部をスタック内部に押し込めた新しいスタックの創出に寄与する成果である。**(PO: 2-5、進捗目標： 改質部の小型化の達成、PO: 2-6、進捗目標： バイオ燃料対応型 SOFC スタックの創出)**

「バイオガス対応 SOFC システムの開発」

ベトナムへの SOFC の社会実装を目的としたシステム開発にあたっては、豊富なバイオマス資源（バイオガス）で運転できるコンパクト・高効率なものとし、現地での社会受容性を高める必要がある。当プロジェクトでは、作動温度 700℃、定格出力 DC 1 kW を想定したシステム構成案に対して、バイオガス（CH_4/CO_2 = 1.5）供給時に、SOFC の出力が高まるよう、セルスタック、改質器、燃焼器、水蒸発器、熱交換器からなるバイオガス対応型の SOFC ホットモジュール（以下、モジュール）の設計を行い、当設計に沿ってモジュールを開発した（平成 29 年度（2017 年度）実施報告書 図 11 参照）。我々は、当モジュールを搭載した SOFC システムをベンチェ・実証サイトに設置し、東南アジアに初めて導入された SOFC システムとして、現地廃棄物系バイオマスから製造したバイオガスを供給した発電試験を実施しているところである。2017 年度第 4 四半期にベンチェで行った実バイオガスを供給した試験では、バイオガス流量（F_B）5.5 L min^{-1}（@CH_4: 55%、CO_2: 45%）、スタック温度（T_S）700℃において、燃料利用率（U_F）69%にて、960 W（発電電流（I）30 A、スタック電圧（V_S）32 V）の発電に成功し、発電効率（η_e）53.1%（エンジン発電機の倍）を記録した。

更なるコンパクト化・高効率化に向けては U_F の向上が鍵であり、スタック段数を従来の 40 段から 30 段に減らして燃料分配の均一性を高め、高電流下での運転が可能な条件を探索した上で、模擬バイオガスによるモジュール発電試験を行った。**図 4(a)**に起動時の各計測データの推移を、**図 4(b)**

にモジュールの I-V 特性を示す。F_B = 4.83 L min^{-1}（@CH_4: 60%、CO_2: 40%）、T_S = 663℃において、ほぼ想定通り、U_f = 76.1%にて、1088 W（I = 42.2 A、V_S = 25.8 V）の発電に成功し、η_e = 62.9%（スタック端）を記録した。この際、電流取り出し損を考慮したモジュール端でも、発電効率が 60%を超え（η_e = 60.4%（@1044W））、バイオガスで作動する燃料電池としては世界最高レベルの効率を達成した。**(PO: 2-10、進捗目標：SOFC システム（1 kW 級）の創出)**

エネルギー循環システムのコンポーネントとして SOFC がメコンデルタ現地に適正に導入されるよう、実証サイト VPN への接続制御プログラムを導入し、ベンチェに設置した SOFC システムタッチパネルの遠隔操作を可能にするとともに、停電等の際に、UPS と連携して SOFC を安全に停止できるようにした。

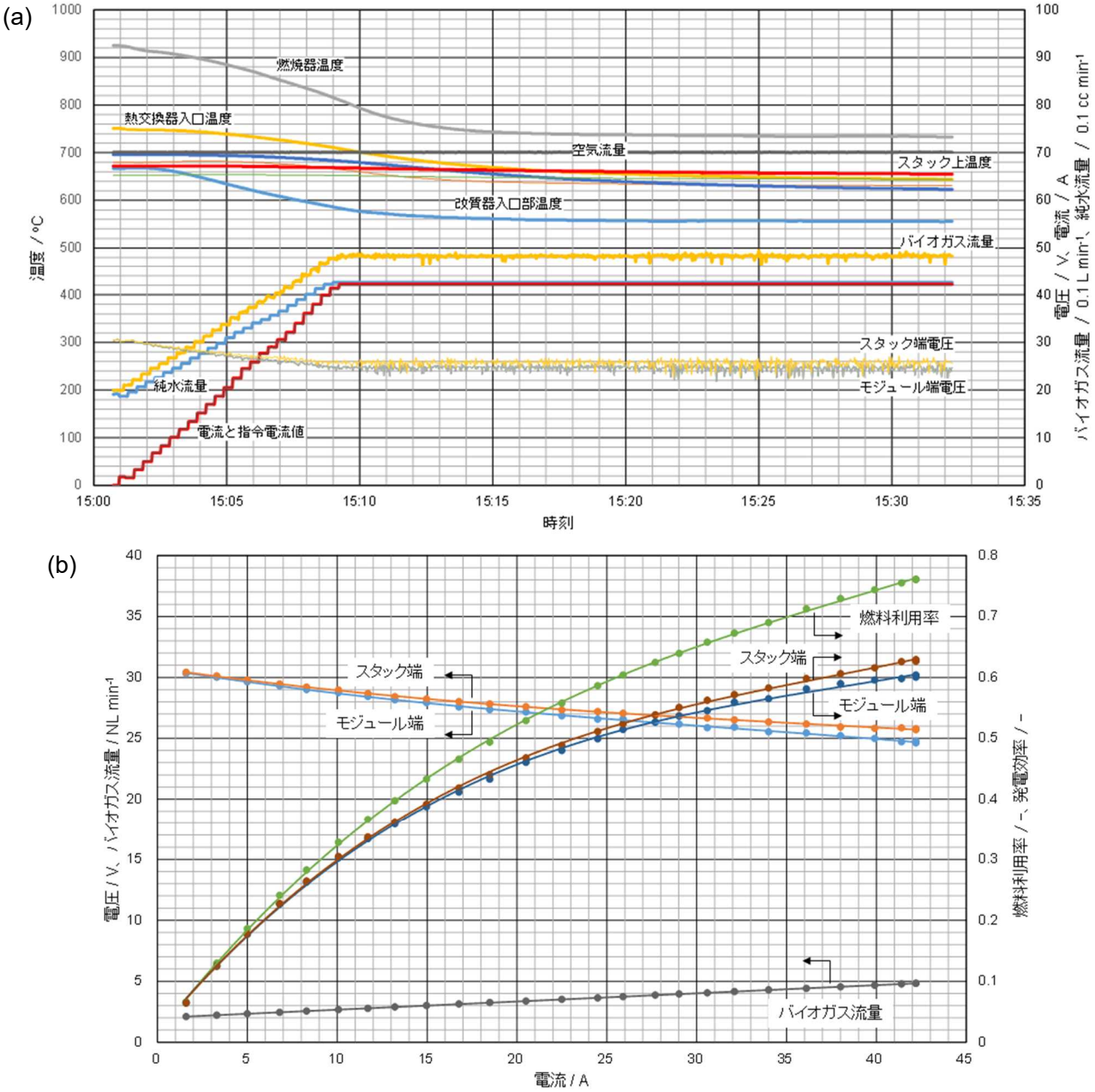
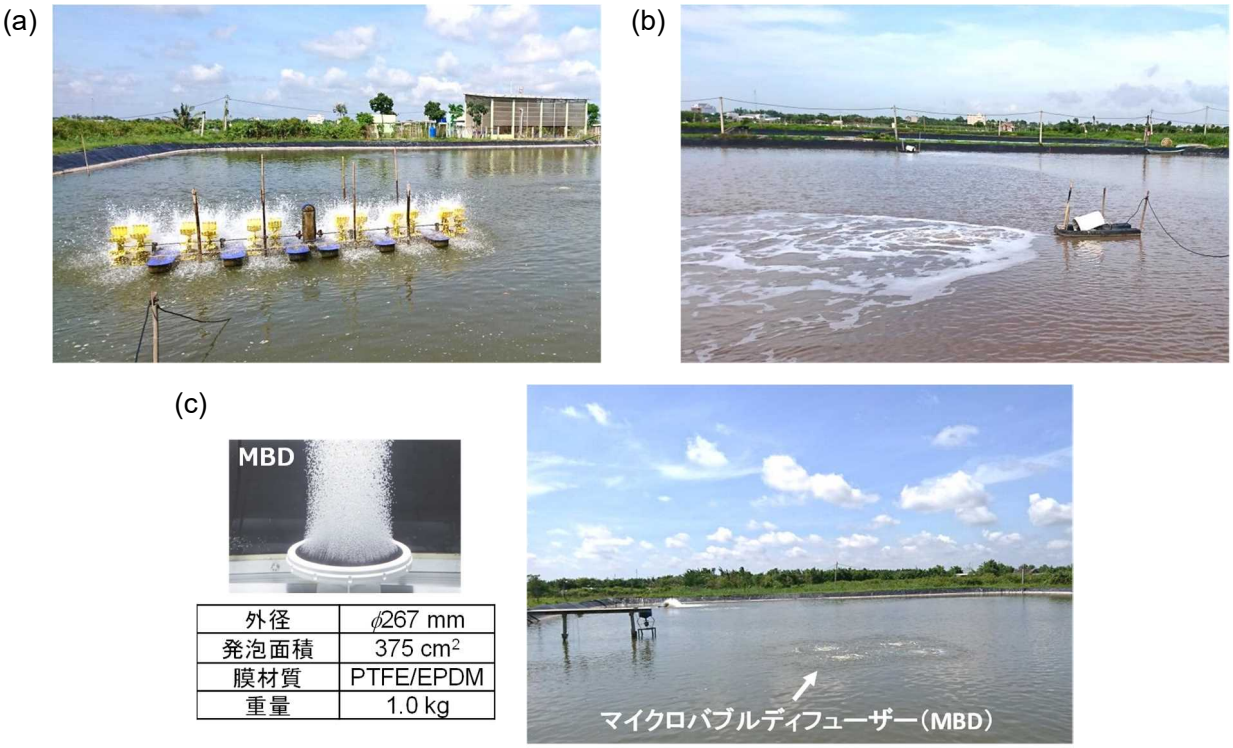


図 4：改良スタックを用いた模擬バイオガス供給時の SOFC モジュール発電試験の結果；(a) 起動時の各計測データの推移、(b) I-V 特性

「廃棄物系バイオマス利用エネルギー循環システムの実証」

図 5 にエビ養殖に用いる曝気装置を示す。(a)と(b)は、メコンデルタ地域で一般的に用いられている従来型の曝気装置で、(a)はパドル型、(b)は下向噴射型で、いずれも水面から曝気を行う方式である。本プロジェクトでは、図 5(c)のマイクロバブルディフューザー（MBD）を導入してエビの養殖生産を行う。MBD は、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 MBD 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。従来型の曝気(図 5(a, b))では、酸素は池表面付近のみに滞留し、池の底部にまで十分酸素を送ることが難しいが、MBD の場合は、底層からのマイクロバブルの放出により、ヘドロの分解（アンモニア態窒素から硝酸態窒素への変換）が促進されて水質を維持できるので、エビの成長阻害の解消が期待される。さらに、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るので、溶存酸素濃度（DO）の維持に必要なエネルギー消費を大幅に低減できる。



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

図 5：エビ養殖に用いる曝気装置；(a, b)従来型曝気装置（(a)パドル型、(b) 下向噴射型)、(c)本プロジェクトで導入したマイクロバブルディフューザー（MBD）

MBD の効果を研究するために、当技術をベトナムで初めて実養殖池に適用した。Hoang Vu エビ養殖場内に、従来型曝気装置のみ（下向噴射型 4 台）を利用した対照池（池面積：3,200 m^2、水深：1.5 m）と、図 6 に示したように、MBD をユニット化し（MBDU)、下向噴射型の半分を MBDU に置き換えた実証池（池面積：2,700 m^2、水深：1.5 m）を準備し、バナメイエビの養殖を行った。

2018 年 5 月から 3 ヶ月間行ったバナメイエビ養殖への MBD 導入試験の結果、従来型(下向噴射型)の曝気を行った対照池（稚エビ投入数：60 万匹、養殖密度：125 匹 m^{-3}）では、エビの生存率が非常に低く（33.8%)、病原菌によって多くのエビが死滅したことが考えられる。現地でのエビ養殖におい

て、養殖（3ヶ月間）の完遂率が、現状40～50%と低いのは、病気の兆候が確認された時点で養殖を停止しているためであり、これが生産性を著しく低下させている。従来型（下向噴射型）の半分をMBDU に置き換えた以外、池の前処理、種苗、養殖開始日のいずれも対照池と同じである実証池（稚エビ投入数：49万匹、養殖密度：121匹 m^{-3}）では、77.5%の生存率を示した。MBD の導入による生存率の向上は、同年9月からの第二期の養殖でも確認され、池底部からの微細気泡による曝気が、エビの育成に正の効果を与えたと言える（14～17ページ参照）。

さらに、同じ DO（4.0 mg L^{-1}）を維持するための曝気において、対照池（従来型曝気装置のみ）での消費電力は5.72 kW であったのに対して（エビ養殖開始から34日目）、下向噴射型の半分を MBDU に置き換えた実証池では3.48 kW で、エビ単位量当たり25.5%（=（5.72 kW /（125匹 m^{-3} x 3200 m^2 x 1.50 m）- 3.48 kW /（121匹 m^{-3} x 2700 m^2 x 1.50 m））/（5.72 kW /（125匹 m^{-3} x 3200 m^2 x 1.5 m））x 100)の省エネ化が可能であることが示された。つまり、従来型曝気装置のすべてを MBDU に置き換えることで、曝気の消費電力を半減させることができる。以上より、集約型養殖の一般的な養殖密度（40 匹 m^{-3}程度）での養殖に対して、MBDU のみで曝気を行った場合を想定すると、消費電力は0.915 kW（= 5.72 kW x 0.5 x 40 匹 m^{-3} /125 匹 m^{-3})と見積もられ、本研究で開発したバイオガス SOFC の発電出力にほぼ一致する。

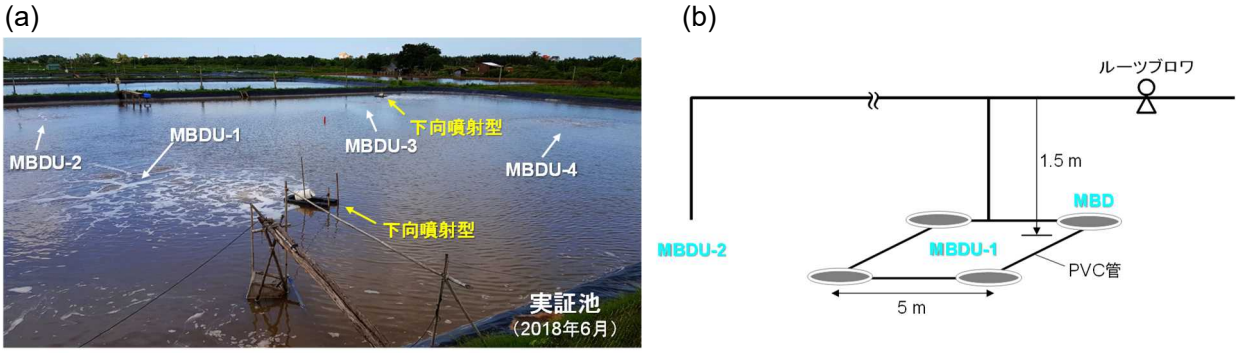


図6：Hoang Vu エビ養殖場内で行ったバナメイエビ養殖へのマイクロバブルディフューザー（MBD）導入試験；(a)従来型曝気装置（下向噴射型）の半数を MBDU に置き換えて養殖を行った実証池、(b) 4つの MBD を組み合わせたユニット（MBDU）の模式図（1つのルーツブロワから2つの MBDU に空気を送る。）

1 kW バイオガス SOFC システム（発電効率53.1%（LHV））を導入した Hoang Vu エビ養殖場・エネルギー循環実証プラント（**図7**参照）の2018年7月24日～28日の運転実績から、現地特有の有機性廃棄物（稲わら、ココナッツ搾りかす）を資源として利用したエネルギー循環システムのエネルギー収支を、システム境界を設定して試算し（平成29年度（2017年度）実施報告書 図15参照)、PEIO 比（= エネルギー投入量/エネルギー生産量［Appl. Energy 87（2010）3305-3321.］）を求めたところ、37.8%と見積もられた。PEIO 比が低いほどシステムチェーンの効率が高いことを意味しており、PEIO 比が100%を超えると、エネルギー生産が負であると見なされる。SOFC からお湯として回収できる熱エネルギーをオンサイトで利用することができれば（排熱回収効率31.5%（LHV))、PEIO 比はさらに低減され、22.7%と見積もられた。当プロジェクトで構築した実証用の小規模プラントにおいて、このような低い PEIO 比が見積られるのは、高効率発電システム（SOFC）の導入および地域バイオマ

スとして有機性廃棄物を利用していることに起因している。有機性廃棄物を利用することで、エネルギー作物の生産に要するエネルギー投入がない上、原料の前処理、発酵槽の加温・保温、メタン濃縮のいらないシステムを構築できており、消化液の処理も自然乾燥をベースにしているので、エネルギー投入が抑えられている。以上の結果は、国際学会誌（*Fuel Cells*, Wiley Online Library (2019), https://doi.org/10.1002/fuce.201800184）に掲載済である。**(PO: 4-7、進捗目標： バイオエネルギー由来電力 1 kW、 PO: 4-8、進捗目標： バイオエネルギー寄与率 20 %)**

地域の有機性廃棄物を資源として利用した SOFC 導入エネルギー循環システムを提案し、その実証に取り組んでいるプロジェクトの成果は、国際学会 13th EUROPEAN SOFC & SOE FORUM での最優秀賞受賞に加え、アノード支持型 SOFC セルの世界最大の供給メーカーである Elcogen 社（エストニア）のホームページにてケーススタディとして取り上げられ（https://elcogen.com/case-studies/）、SOFC 業界に広く知られることとなった。

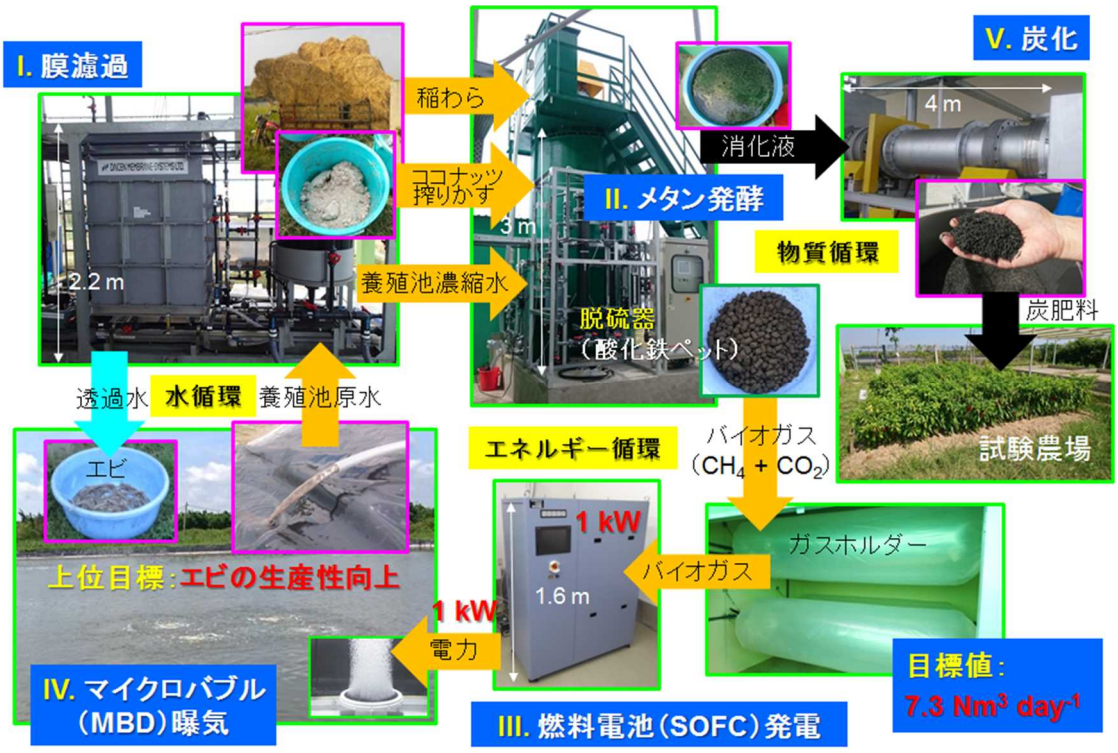


図 7：1 kW バイオガス SOFC システムを導入したエネルギー循環実証プラント（ベンチェ・ベトナム）

<u>研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況</u>

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、燃料電池技術に関する 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て INT 内に燃料電池研究開発ラボを整備し、その運用を、2016 年 9 月より開始しており、2018 年度も、当ラボを活用して共同研究を推進した。**(PO: 1-1, 2-1)**

INT から 2018 年 10 月に受け入れた研究生が、ペーパー触媒開発および SOFC の発電性能評価に着手し（2019 年 4 月：九州大学大学院・水素エネルギーシステム専攻・博士課程入学）、カウンターパートへの技術移転が加速された。**(PO: 2-1～2-6)**

研究題目１の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特に該当なし。

2-(3)　研究題目２:「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）

研究題目２の当初の計画（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

「メコンデルタ特有の廃棄物系バイオマスを原料としたバイオガス製造実証」

エビ養殖池汚泥にバガスとココナッツの搾りかすを投入したラボスケールでのメタン発酵（発酵槽容積：4 L）は、最終的に 10%のバイオマス（バガス：ココナッツ搾りかす ＝ 2:3）を用いた発酵試験で、2018 年 3 月には 4 L day^{-1} 以上の安定したバイオガス（CH_4: 60.7%、CO_2: 34.0%）の発生を確認して目的を達成し、これまでに、無機塩（N、P、K、Mg、Ca、Fe、Ni、Co）の添加が重要であると判断した。また、メタン発酵で機能している微生物の菌叢を明らかにする必要性があると考え、解析のために新たな研究手法の導入を検討し、微生物と植物遺体の混合物から微生物のみを回収する方法の予備的試験を行い、微生物のみを回収できることを確認した。**(PO: 3-2、進捗目標： 現地バイオエネルギー回収効率の向上、PO: 3-4、進捗目標：最適発酵法の確立)**

2018 年 7 月には、養殖池汚泥のみを発酵資材としたメタン発酵試験を開始した。本邦クルマエビ養殖場（佐賀県唐津市浜玉町）にて汚泥の懸濁液を回収し、数時間の静置後に沈殿した汚泥を集め、4 L の発酵槽に汚泥部分を投入し、発酵開始早々に数リットルのガスの発生が見られた。その後、滞留時間を 40 日に設定し、濃縮汚泥を 2～3 日に一度、200～400 mL の割合で投入・排出を行なったが、ガスの発生状況は良くなかった。そこで、メタン発酵関連菌の馴養を目的とし、炭素源となる糖類（グルコースとデンプン）と無機塩として Fe, Ni, Co を添加した培養を 2018 年 9 月に開始し、12 月には 0.5 L day^{-1} 程度のメタンガスの発生が認められた。2018 年度のエビの養殖は終了しているため、現在、糖と無機塩を添加して発酵槽の活性を維持している。2018 年度の試験では、収集した汚泥懸濁液を室内に保管中、発酵が進み硫化水素の発生が確認され、汚泥中有機物の減少が認められたため、2019 年度の試験では、養殖場での汚泥懸濁液収集時に濃縮し、当濃縮汚泥をラボ試験用発酵槽への投入量ごとに分けて冷凍保存する必要があると判断した。Hoang Vu エビ養殖場実証池では、堆積汚泥の有機物含有率が 13%であったのに対し、上記クルマエビ養殖場では 48%と高く、養殖場に近い条件でメタン発酵を実施できれば、十分なガス発生が期待できるので、これを証明する予定である。**(PO: 3-4、進捗目標：最適発酵法の確立)**

エビ養殖汚泥を種汚泥として用いたベンチェ・メタン発酵実証機において、2017 年 8 月中旬より、炭素率（C/N 比）20 を維持しながら、水分を染み込ませたバガスに加えてココナッツ搾りかすの投入を開始し、その後、固形分濃度を 11%程度まで上げ、2017 年 11 月には、4～6 m^3 day^{-1} 程度のバイオガス生成速度を記録した。その後、2018 年 2 月から 5 月にかけて投入する固形物濃度を 14%まで上昇することにより、目標発生量である 7.3 m^3 day^{-1} を大幅に上回る 8.2 m^3 day^{-1} を達成した。バイオマスの投入量の増加に従って硫化水素の発生が増加したが、当実証機には、酸化鉄ペレットを吸着剤として装備しているため、数 ppm の硫化水素を含有する高純度バイオガスの製造に成功した。バガスの組織が強靭なため、2018 年度後半より、有機物資材をバガスから組織が軟弱な稲わらに変更したメタン発酵を実施中であり、2019 年度中にバイオマスを 100%稲わらとしたメタン発酵プロセスを完成

させる。現在、稲わらを数 cm 程度までカットし、乾燥重量で稲わら 4 kg，ココナッツ絞りかす 4 kg を投入して、バイオガスの発生量は 5.5 m^3 day^{-1} で、CH_4 が 60%、CO_2 が 38%であり、稲わらを 8 kg 程度に上げれば目標達成も可能であると判断している。**(PO：3-5、進捗目標：バイオガスの発電設備への安定供給の達成)**

ベンチェ・メタン発酵実証機から排出される消化液の菌叢解析を目的に、消化液および汚泥濃縮液を植物防疫所の許可を得て輸入し、菌叢解析を開始した。これらのサンプルから植物遺体と土壌を取り除く目的で、密度勾配遠心法で微生物のみを集菌し、微生物の DNA の抽出をほぼ完了した。この時点で九州大学農学研究院の移転のために実験を中断した。2019 年度には DNA の抽出を完了し、次世代シーケンスにより 16S-rRNA の遺伝子配列情報をもとに、メタン発酵に関連する菌叢と汚泥中に存在するメタン菌の菌叢を明らかにする。**(PO：3-2、進捗目標： 現地バイオエネルギー回収効率の向上)**

2018 年度は、メコンデルタ南部の 27 箇所のエビ養殖場、同じく 27 箇所のナマズ養殖場を訪問し、養殖池に堆積する汚泥量の調査を行った。調査したすべての養殖場が素掘りの池を用いており、エビ、ナマズ養殖の平均池面積は、それぞれ 1,900 m^2 および 4,800 m^2 であった。27 箇所中 18 箇所のエビ養殖場で、養殖中に一定量の汚泥を排出しており、ナマズの場合は、すべての養殖場で養殖中に汚泥の排出を行っていた。堆積汚泥の厚みが 15 cm を超えていた養殖場は、エビの場合は 4 箇所、ナマズの場合は 15 箇所に上った。ナマズの場合は、堆積汚泥が 60 cm に達する場合もあった。これらの調査結果から、養殖中には、数百トンレベルの汚泥が池に堆積していることになるが、素掘りの池であるため、エビおよびナマズ養殖池汚泥の有機物含有率は、乾物ベースでそれぞれ平均 9.8%および 7.8%であった。今後、有機物の組成分析行い、エネルギーポテンシャルを算出するが、有機分を無駄なく回収することができれば、養殖池汚泥をメインの資材としたメタン発酵は十分可能であると考えられる。現に、南部のカマウ省では、バナメイエビの集約型養殖を大規模に行っている農家が、池の底にビニールシートを敷いて有機物の回収効率を上げることでエビ養殖汚泥のみを使ったバイオガス製造を実践していることが分かった。カントー近郊のハウザン省では、繁殖力が強く、水上輸送や漁業に悪影響を与えるウォーターヒヤシンスをバイオガスの原料として資源化する取り組みが行われており（**図 16** 参照）、これらのサイトは、本プロジェクトのエネルギー循環システムの実装先として有望である。**(PO：3-1)**

「メタン発酵残渣の農業生産への有効利用についての検証」

メタン発酵消化液の農業利用を目的に、2017 年度には、ベンチェ実証サイト内に、高さ 25 cm、幅 70 cm（断面の底辺）、長さ 4.5 m の畝を 4 つ整備し、消化液乾燥残留物と籾殻の混合物から製造した炭化物の混入の有無、施肥の多少について、トウガラシへの影響を調査した。炭化物を混入した畝には、体積比で 8.63%、重量比で 1.08%にあたる炭化物（68 L、密度：0.125 g cm^{-3}）を混ぜ込んだ。その結果、施肥の多少はトウガラシの生育や収量に影響するが、炭化物の混入の有無はトウガラシの生育や収量に影響しないことが明らかとなり、また、栽培前後の土壌 pH やナトリウム濃度（塩害の目安）にも炭化物混入の影響は認められず、この混入割合においては、製造した炭化物の土壌への投入は、現地での農業の維持には問題ないことが示された。

続いて、2018 年度には、ワケギを用い、より多くの炭化物を土壌に混入（重量比で 2.72%）した区と、混入しない区をそれぞれ 2 連で設けて栽培試験を行った。炭化物を混入した区ではワケギ苗の活着が悪く、栽培期間が長くなるほど生育が悪化した。栽培試験圃場の栽培跡地の pH と EC（1：5）を測定したところ、炭化物を混入していない区で pH は 7.50-7.65、EC（mSv m^{-1}）は 3.8-5.8 であり、実証サイトの土壌 pH が異常に高く、EC も高いことが判明した。ワケギに類縁の玉ねぎの塩類耐性はやや弱く（EC で 0.4-0.8）、至適 pH が 5.5-6.5 であることから、選択した試験植物に問題があることが分かった。前年度に用いた試験作物のトウガラシの塩類耐性は中程度（EC で 0.8-1.5）であることから、生育の抑制が大きくなかったと考えられる。

2018 年 12 月より、塩類耐性が中程度で、至適 pH が 6.0-6.5 であり、収量調査がピンポイントで可能なトウモロコシを選択し、ワケギの栽培跡地に化成肥料を適量施肥し、よく混合して栽培試験を開始した。栽培試験の結果、炭化物の添加の有無に関わらず、トウモロコシの生育は不良であった。これは、土壌と灌水に用いた水道水の pH が 7.0 以上のためであると理解している。至適 pH が 7.0 以上の作物は存在しないので、今後イオウの粉末を散布することで pH を矯正し、その影響の調査も検討する必要がある。**（PO：4-5、進捗目標：発酵残渣利活用手法の確立）**

「マイクロバブルディフューザー（MBD）による曝気がエビ養殖に与える効果」

2018 年度のエビ養殖方法が 2017 年度から変更された。2017 年度はポストラーバ（PL）の池入れからその後の育成・収穫までを同一の池で行ったのに対し、2018 年度では PL の池入れ後、育成途中のエビを隣接する池に移動させて養殖面積を増やす方法に変更されたのに加え、対照池も養殖実施時期により変更された（**表 1**）。春季では、実証池は前年と変わらず P3a で、途中で隣接する P3b（2017 年度では対照池）が開放された。一方、対照池は春季に P2a（PL 投入池）と P2b、秋季は P1a（PL 投入池）と P1b であり（**図 8**、**表 1**）、池面積が大きくなったことに伴い、PL の池入れ数が大きく増加した。また、秋季は、実証池に導入していたマイクロバブルディフューザー（MBD）ユニット（MBD4 枚一組）を 1 ヶ所から 4 か所（池の四隅）に増設し、対照池では、従来型のパドル型と下降噴射型のものを併用した。

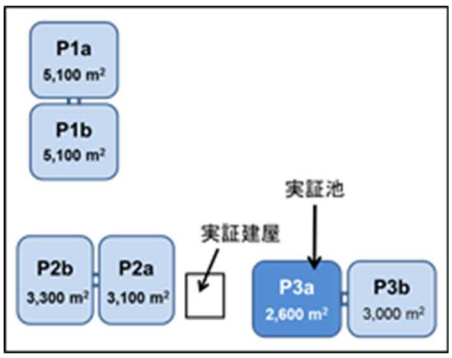


図 8：実証サイトにおけるエビ養殖池の配置図

表 1：MBD を導入した実証池および従来型曝気装置のみの対照池の位置と PL 投入尾数

	2017 年（春）		2018 年（春）		2018 年（秋）	
	池	PL 数	池	PL 数	池	PL 数
実証池	P3a	17 万尾	P3a（+P3b）	49 万尾	P3a（+P3b）	80 万尾
対照池	---	---	P2a（+P2b）	60 万尾	P1a（+P1b）	90 万尾

春季養殖は 5 月 22 日に開始され、実証池（P3a）と対照池（P2a）にそれぞれ PL が 49 万尾、60 万尾投入された。実証池、対照池いずれも、投入後 44 日目に、隣接する池とつながる水門が開放され、実証池では 56 日目に水門を閉じられたものの、対照池では病気による成長不良のため、58 日目に収穫となった。以後、実証池と水門でつながっている池（P3b；2017 年春季の対照池と同じ。）を

新たな対照池として養殖を続けた（新対照池と称す。）。収穫は、実証池で 8 月 18 日（83 日目）、新対照池で 9 月 16 日（118 日目）に行われた。定期的にサンプリングした個体はアルコール固定し、頭胸甲長と体重を測定した。サンプリング実施日は以下の通りである。

【実証池（P3a）】6 月 25 日（35 日目）、7 月 23 日（63 日目）、8 月 12 日（83 日目）
【対照池（P2a）】6 月 25 日（35 日目）、7 月 18 日（58 日目）
【新対照池（P3b）】7 月 23 日（63 日目）、8 月 31 日（102 日目）

2018 年春季は、実証池、対照池共にエビの成長が鈍く、最長 102 日間養殖した新対照池のエビですら、2017 年春季（実証池）養殖の 54 日目のものよりも小さかった（**図 9**）。サンプリングの実施日が近い池間でエビの体サイズを比較した結果を**図 10** に示す。35 日目の実証池と対照池では、実証池の方が有意に小さかったが、7 月中旬以降（**図 10 左**、58 日目、63 日目）では平均体重で差は見られなくなった。

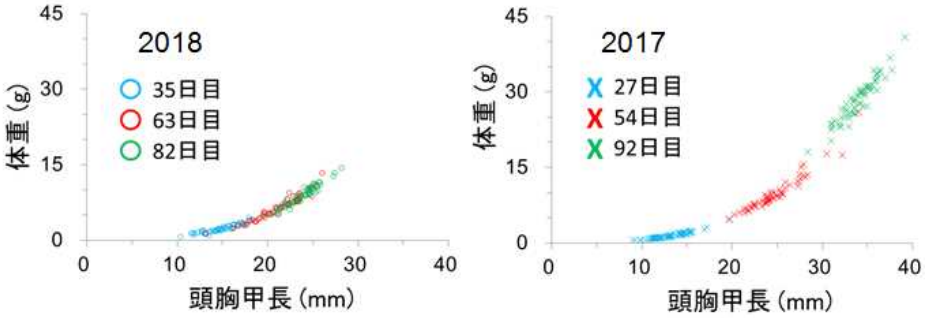


図 9：実証池におけるエビ体サイズの経時的変化（2017、2018 年春季の比較）

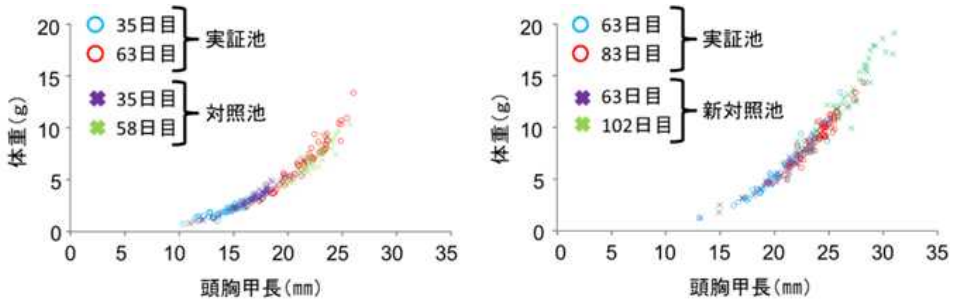


図 10：2018 年度春季養殖におけるエビ体サイズの変化

秋季養殖は 9 月 5 日に開始され、実証池と対照池にそれぞれ PL が 80 万尾、90 万尾投入された。しかし病気発生のため、33 日目の 10 月 7 日に急遽収穫が行われた。収穫量は、750 kg（実証池）と 650 kg（対照池）であった。収穫後、池に残ったエビを約 50 尾ほどサンプリングして計測した体重（平均±標準偏差）は、実証池が 0.68 ± 0.28 g、対照池が 0.67 ± 0.25 g で、池間に有意な差は見られなかった（**表 2**）。これらの値を基に、収穫尾数、生存率を推定した結果、収穫尾数が投入尾数を上回るという非現実的な数値が算出された。

このような異常値が算出された要因として、サンプリングデータが母集団を反映していなかったことが考えられる。病気の発生のため収穫が急遽行われ、収穫物からのサンプリングができず、収穫を逃れエビ養殖池に残っていたエビをサンプリングすることになった。その結果、収穫用の網をすり

抜けた、特に小型のエビがサンプリングの対象となった結果、生存率を計算する根拠となった体サイズが過度に小さく見積もられた可能性が考えられた。

表 2：秋季エビ養殖（2018 年度）における収穫時のエビ体サイズ（平均、95%信頼区間）と推定収穫尾数、推定生存率

	体重 （平均 ± 標準偏差）	平均体重の 95%信頼区間	収穫量	収穫尾数※1 （推定）	生存率※2 （推定）
実証池	0.68 ± 0.28 g	0.62 - 0.74 g	750 kg	1,078,628 - 1,299,515 尾	135 - 162%
対照池	0.67 ± 0.25 g	0.60 - 0.74 g	650 kg	874,497 - 1,080,818 尾	97 - 120%

※1　収穫量を平均体重の 95%信頼区間で割った値
※2　収穫尾数を PL 投入尾数（実証池 80 万尾、対照池 90 万尾）で割って 100 倍した値

早期に終了させるきっかけとなった疾病が、東南アジアで多発している急性肝膵臓壊死症 Early Mortality Syndrome/Acute Hepatopanncreatic Necrosis. Disease (EMS/AHPND)が原因ではないかと考えられたため、前年度までに確立した PCR 法による遺伝子診断によって、EMS/AHPND であるのかを検証した。実証池と対照池の 70%エタノールで保存したエビから肝膵臓を採取し、DNA 精製キット（NucleoSpin DNA RapidLyse：Macherey-Nagel 社）を用いて DNA を精製した。その結果、PCR の鋳型として用いることが可能な濃度（3.0～88.0 μg mL^{-1}）の DNA 溶液が得られた。EMS/AHPND の病原株（*Vibrio. parahaemolyticus*)のみ有する DNA 配列から設計したプライマーを用いて、精製した DNA を鋳型として PCR によって *V. parahaemolyticus* の遺伝子断片の増幅を試みた。その結果、すべての個体において陽性対照の鋳型（*V. parahaemolyticus* の DNA）を用いた場合と同じサイズのバンドは見られず、今回の養殖エビの死因は EMS/AHPND ではないと考えられた。今年度は例年以上に多くの稚エビを放流したことから、感染症ではなく、過密飼育による酸欠等に伴うストレスに起因した疾病だとすると、対照池よりも過密であった実証池（MBDU 導入池）において生存率が高かったことは大変興味深い。一方で、White Spot Syndrome Virus (WSSV)等、EMS/AHPND 以外の病原体が原因になっている可能性もあり、2019 年度も、引き続き斃死エビの診断を継続して行く。

表 3：秋季エビ養殖（2018 年度）収穫時の尾数と養殖密度

	PL 池入れ		収穫	
	尾数	密度※	尾数（推定）	密度※（推定）
実証池	80 万尾	307 尾 m^{-2}	1,078,628 - 1,299,515	415 - 500 尾 m^{-2}
対照池	90 万尾	176 尾 m^{-2}	874,497 - 1,080,818	171 - 211 尾 m^{-2}

※Google Earth©を使って求めた実証池、対照池の面積（それぞれ 2,600 ㎡、5,100 ㎡）に基づいて計算した値

実証池と対照池で体サイズに違いはなかったものの、**表 3** に示す通り、飼育密度では実証池の方が約 1.7 倍多くの PL が投入されていたにも関わらず、より多くのエビが生き残っていた可能性が示唆される結果となった。サンプリングしたエビが母集団を反映していないものの、この生存率の差をもたらしたものが MBD 曝気の効果によるものである可能性は高い。**(PO: 4-4、進捗目標：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)**

秋季養殖開始時約 1 週間の養殖池表層（水面下 30 cm）と底層（底から 30 cm）における溶存酸素濃度（DO）の経時変化を隔膜式溶存酸素ロガーで計測した結果を**図 11** に示す。DO の日周変化（微細藻類による日中の光合成に伴う酸素放出と夜間のエビの呼吸）は表層、底層ともほぼ同じで、1 日の内に最低値と最高値を 1 回ずつ示した。最低値は夜明け前後（午前 5 時～7 時）に、最高値は正午前後に記録され、これは実証サイトの気温変化とほぼ一致していた。実証池、対照池のいずれにおいても、表層と底層で DO 値に差はなく、このことは、温度躍層がなく、池の撹拌も十分行われていることを示しているが、対照池では、表層、底層のいずれも変動量（最高値から最小値を引いた値）が大きく、実証池では小さい傾向が見られ、溶存酸素濃度の日最高値は常に対照池が記録した。測定期間中、DO は、エビ養殖における貧酸素状態の目安と言われる 4.0 mg L^{-1} を下回ることはなかったが、MBD を適用した実証池では、電力消費を大幅に低減しつつこれを達成できており、DO の最低値も安定していた（対照池では 9 月 7 日や 8 日のように下方にぶれる日があった）。

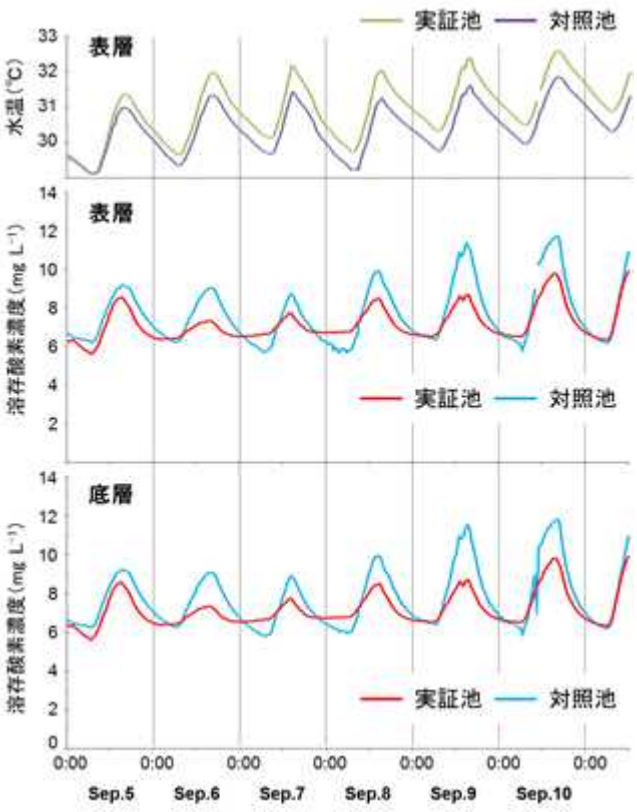


図 11：養殖池の表層と底層における溶存酸素濃度の経時変化（2018 年 9 月 5 日～11 日）

日中、対照池の DO 値が実証池より高くなる要因を、微細藻類が多いことと考えた場合、光合成が停止する夜間を経て DO 値の低くなる明け方の時間帯に、MBD を導入した実証池の DO が対照池を逆に上回ることは、MBD 使用時には、底面からの微細気泡によって効果的に酸素を供給できていることを示唆している。この MBD の特徴を考えると、MBD 適用時には、底層において酸素消費を伴うヘドロの分解が促進されることで、日中の DO 値が対象池よりも低くなったとも考えられるであろう。

2019 年度（最終年度）は、MBDU を養殖池全面に敷設した MBD のみでの養殖を行い MBD の効果を明らかにするが、MBD 導入池では DO 値の変動が小さくなったことでエビが受けるストレスが軽減されてエビの生存率が高くなったことが考えられ、この結果は、MBD 曝気により、低コストで安定的なエビの生産が可能になることを意味している。**（PO：4-4、進捗目標：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）**

「アクアポニクス技術を導入した海藻栽培試験」

汽水エビ養殖池の余剰栄養塩を系外へ除去する方法として、水生植物を利用することを実施した。汽水エビ養殖池に使用している用水は塩分濃度約 1%あるため、陸上植物を利用するのは得策ではなく、本プロジェクトでは、低塩分環境への耐性が高い汽水域産海藻類に着目した。

実験にはカントー大学の共同研究者（Nguen Thi Ngoc Anh 准教授）から入手できるバクリュウ省のエビ養殖池（塩分濃度 5 ppt）で採集された海藻（オゴノリ属の 1 種とシオグサ科）を用いた（**図 12**）。当初、実証サイトで入手可能なアオサ属の 1 種を考えていたが、予備実験において、ライフサイクルが早く枯死した藻体が水質を悪くすることが明らかとなったため、使用を諦めた。本実験では、純粋に海藻栽培に適した諸条件を検討するため、海藻栽培用の用水を、エビ養殖池の水から、市販の人工海水の素をエビ養殖池の水または市水で希釈したものに変更した。予備実験の結果から、塩分濃度と光条件は、オゴノリ属は塩分濃度 12 ppt と 10 ppt（屋外のみ）、シオグサ科は塩分濃度 5 ppt（屋外と半屋外）とした（屋外と半屋外の違いは屋根の有無のみ）。培養液として農業用液体肥料（Hyponex©）を 2 週間に 1 度水槽に添加した。栽培期間は 2018 年 10 月 30 日～11 月 26 日の 1 ヶ月間とした。オゴノリ属では 12 ppt（+0.9 kg（2.0 kg → 2.9 kg））より 10 ppt（+1.1 kg（1.5 kg → 2.6 kg））で、またシオグサ科では屋外水槽で若干生長が良かった。

図 12：海藻栽培実験に使用した Bac Lieu 省のエビ養殖池より採集された海藻。（左）オゴノリ属の 1 種、（右）シオグサ科。

以上の実験結果を受けて、追肥用栄養塩を検討する実験を実施した（2018 年 11 月 27 日～2019 年 1 月 27 日）。用水は前実験同様、希釈した人工海水を使用した。オゴノリ属では、塩濃度を 10 - 12 ppt に固定し、栄養添加方法を液体肥料とエビ用配合餌料の 2 種類、水槽の置き場は屋外とした（各試験区 2 水槽）。一方、シオグサ科では、塩濃度を 5 ppt、栄養塩として化成肥料（N = 20%、P_2O_5 = 20%、K = 20%）、液体肥料、エビ用配合餌料の 3 種類とし、元肥、追肥（2 週間ごと）として各肥料 50 g、20 mL、20 g を与えた。水槽の置き場は屋外と半屋外とした。各試験区 2 水槽ずつとした（各試験区 2 水槽）。オゴノリ属ではエビ用配合餌料が最も良く（2.35 kg（1.6 kg → 3.95 kg））、液体肥料は微増であった（0.55 kg（1.6 kg → 2.15 kg））のに対し、シオグサ科では、液体肥料もエビ用配合餌料ともに微増で明瞭な差はなかった。化成肥料試験区では、いずれの海藻も実験途中で全て枯死した。

本実験で用いたオゴノリ属、シオグサ属はいずれも汽水エビ養殖池に生育していたものであり、汽水環境への適応力が備わっていた海藻であったと考えられ、実証池の低塩分環境でも十分な成長が期待された。また、シオグサ属藻類は、汽水エビ（ブラックタイガー）との複合養殖試験においてエビ単一区と比較して海藻混合飼育区でエビの日間成長率が増加することが知られていたため[Tsutsui et al. 2015]、本プロジェクトでの積極的な利用を考えていたが、本実験ではオゴノリ属の方が栽培しやすいことが明らかとなった。また、エビ用配合餌料が栄養塩類の補給に使えることが分かった点も汽水エビ養殖施設におけるアクアポニクス技術の導入では有利に働くことが予想される。集約型養殖では、用水の富栄養化へとつながる残餌から溶出する窒素やリンが問題となるが、エビの排泄物から溶出する栄養塩類も併せてオゴノリ類が吸収し富栄養化の進行を鈍化させる働きが期待される。**（PO: 4-3、進捗目標：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）**

研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

MBD 導入エビ養殖実証の結果から、エビの生産性向上とエビ養殖池曝気の省エネルギー化に MBD が大きく寄与することが期待できるため、実証サイトを提供している Hoang Vu 社が MBD の導入を決定し、2019 年度より、当技術を利用したエビ養殖に本格的に取り組むこととなった。

研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特に該当なし。

2-(4)　研究題目 3：「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」
普及ロードマップ策定グループ（リーダー：藤本 穣彦）

研究題目 3 の当初の計画（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

「開発技術の社会実装シナリオ」

図 13 は、2019 年 1 月の第 4 回 JCC で示した SOFC のメコンデルタ地域への実装に向けたロードマップの第一弾である。JCC では、2020 年 3 月の SATREPS 事業終了後も、現プロジェクトメンバーをベースにチームを継続できるよう、各種支援プログラムに挑戦しつつ、SOFC 導入エネルギー循環システムが、メコンデルタ一帯に応用できるものとなるよう開発を進めて行くことが確認された。(P0: 5-2)

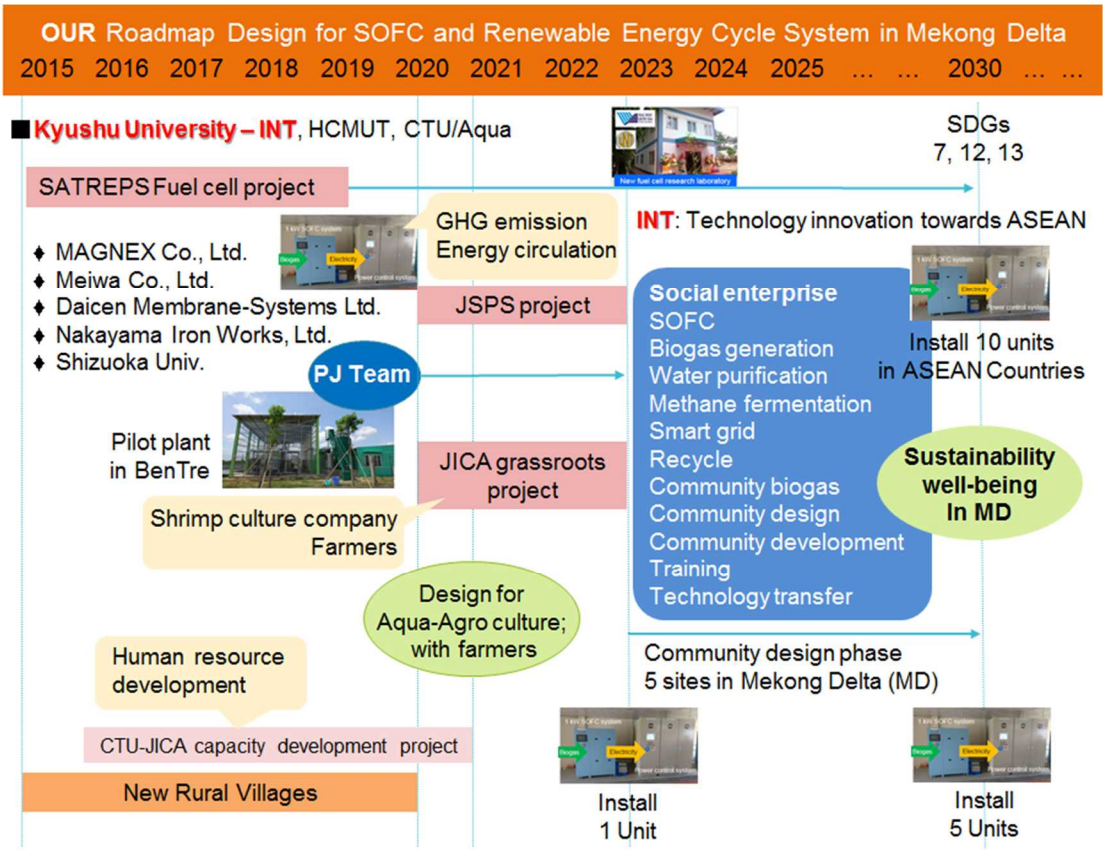


図 13：SOFC のメコンデルタ地域への実装に向けたロードマップ

図 13 のロードマップの特徴は、以下の 5 点にまとめられる。(1)普及活動の主体形成：ベトナムで SOFC の研究開発拠点が形成されたのは INT のみである。そのため、普及活動の主体は、本プロジェクトチームとなることが適当であり、現在実証中のベンチェ・パイロットプラントから得られるデータを分析し、課題とその解決実践をストックして行くことで、主体形成が促進される。本プロジェクト終了後も、継続的に技術移転に取り組んで行くこととなるため、国際共同研究基盤をより強化し、社会技術の蓄積、技術移転のネットワーキング、法・制度的課題の整理、新たなファンドへの展開の

ためのチームビルディングを進めて行く（目標 2019 年度）。(2)普及・技術移転モデルの確立：エビ養殖業をターゲットとした水循環、物質循環、エネルギー循環の統合的なシステム技術の移転パッケージを構築する（目標 2022 年度）。(3)バイオガスコミュニティへの SOFC の実装：カントー大学農村発展学部との連携を深め、New Rural Village の形成を目指すベトナム政府国家戦略との接合を図ることを基盤として、メコンデルタ地帯に整備されたバイオガスコミュニティに SOFC システムを 1 基実装する（目標 2022 年度）。(4) バイオガスコミュニティから地域への展開：2023 年度～2030 年度までをコミュニティデザインフェーズと捉え、メコンデルタ地域内 5 ヶ所に SOFC システムを実装する。それと並行して各要素技術の現地化を行い、技術普及と社会開発を担う企業体を構築する（目標 2030 年度）。(5)ASEAN 諸国への SOFC の実装：世界銀行やアジア開発銀行、国連工業開発機関への働きかけを通じて、東南アジア地域に計 10 基の SOFC システムを導入する（目標 2030 年度）。(P0: 5-2)

「エビ養殖業のネットワークの理解」

本プロジェクトが課題解決の対象とするエビ養殖については、今年度カウンターパートであるカントー大学（水産大学）の協力を得て、エビ養殖ビジネスの上流側である種苗会社へのヒアリング調査を行った。その結果、I. メコンデルタ南部の陸上交通の急速な発達、II. 海水確保の利便性（メコン川本流を通じた海へのアクセス）、III. カントー大学の知的集積と人材供給を背景に、2010 年前後よりローカル・ベンチャーの創業がカントー地域に集積していることが明らかとなった。20 社がカントー市圏域に集中立地しており、メコンデルタ南部地域（カマウ、ソクチャン、バクリュウ）へ稚エビを供給する広範なネットワーク網が存在していることが明らかになった（**図 14**）。中には、500 のトレーダーと連携し、年間 50 億匹の稚エビを流通させている企業も存在し、経営力も大きい。自社で交配を行う企業もあり、技術力もかなり高い。これらの研究開発、ビジネス両側面をカントー大学（水産大学）とその卒業生が支えていることが明らかになった。カントー大学（水産大学）で博士課程まで在学し、その後技術職員として働いていた人物が起業した会社もあった。

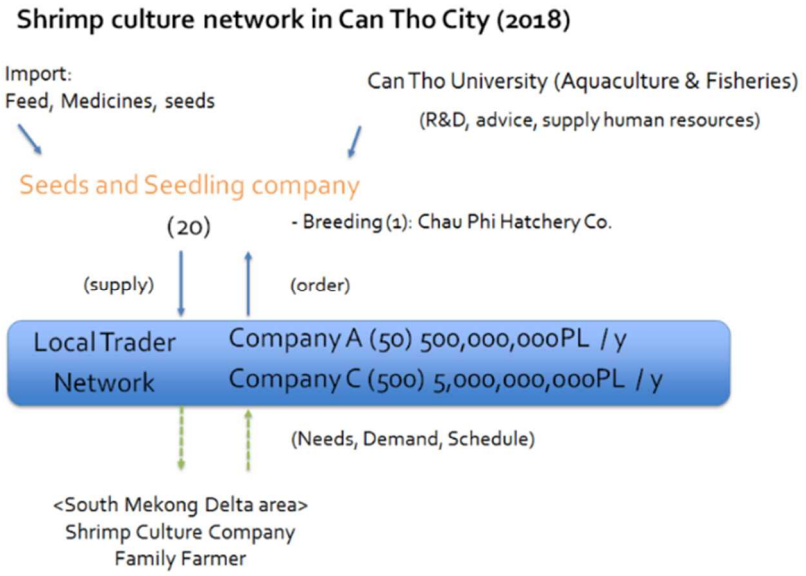


図 14：カントー市における種苗会社の集積と貿易ネットワーク

さらに、カントー市にエビ養殖業の適正推進のための取引所がオープンしたことが契機となり、社会的な側面からもエビ養殖ビジネスにおけるカントーの重要性がクローズアップされてきた。昨年度までのベンチェ省調査では、生産者とトレーダーとの関係はブラックボックスの場合が多く、当プロジェクトの技術が実装された養殖池で生産されるエビについて、その後の流通過程における品質、最終過程における料理として提供する際の食品学的なインパクト等を測ることが困難であり、マーケティングやブランディングのための研究開発をいかにして進めるかが課題であった。その点で、ビジネスフローの透明化を目指すカントーの取引所のオープンは画期的な出来事であり、今後メコンデルタ一帯にその仕組みが拡がる可能性もある。最終年度は、カントー大学（水産大学）とともに、エビ養殖ビジネスの下流部分のフローについてもその特質を解明し、メコンデルタ一帯に拡大しているエビ養殖の生産・流通・消費の現場それぞれについて、当プロジェクトで研究開発・社会実装された技術の可能性評価を行う枠組みを開発し、ロードマップを更新して行く。(PO: 5-2)

<u>研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況</u>

実証サイトのあるベンチェ省にて毎年開催しているプロジェクトワークショップにおいて、現地ステークホルダー（エビ養殖業者、人民委員会行政官、研究者等）との対話を行った。(PO: 5-1)

カントー大学（水産大学）の卒業生や研究ネットワークを活かし、2010 年代以降カントー近郊に集中的に創業が進んでいる稚エビ生産企業とのネットワーキングを行った。ベンチェ省の実証サイトで効果が示されつつあるダイセン・メンブレンシステムズ（参画企業）製のマイクロバブルディフューザー（MBD）と膜ろ過システムについて、カントー市の種苗会社の経営者および技術者と意見交換を行い、カントーで実装されている水循環システムや海水のろ過システムについて調査し、改善案と社会実装ベースでの技術革新目標を設定することができた。その目標とは、0～24 日の稚エビの生存率を現在の 40～50%から 80%に引き上げるというものである。訪問企業のうち 1 社と具体的な民間ベースの社会実装の計画を進めることとになり、現在、ダイセンとロードマップ策定グループで技術移転と社会実装のための社内合意形成、プロセスデザインに取り組んでいるところである（図 15）。(PO: 5-2)

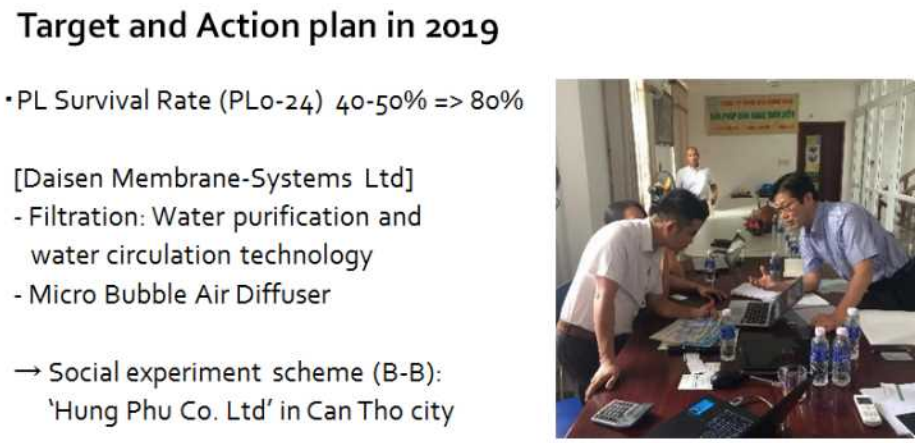


図 15：カントー市の種苗会社との技術協議の様子

以上のように、メコンデルタ一帯におけるエビ養殖生産ビジネスの上流部のフローと規模を把握することができ、プロジェクト終了後に民間ベースの技術移転、社会実装、社会実験を進めて行くネットワーク形成に成功した。

研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

カウンターパートであるカントー大学（水産大学）との連携の下、本プロジェクトの開発システム（地域の有機性廃棄物を資源とした SOFC 導入エネルギー循環システム）の社会実装のための農村調査を行った結果、カントー大学・資源環境学部が、カントー近郊の農村にて、バイオガス製造による廃棄物資源化の実証研究に早くから取り組んできていることが分かり、その研究チームの中心人物である N.H. Chiem 教授と技術協議を開始した。このカントー大学内での横串的な連携拡大は、当初想定されていなかった新たな展開であり、2019 年 3 月には、カントー大学資源環境学部と農村発展学部にて、それぞれ“Seminar on Eco-agricultural Village, New Rural Villages in Mekong Delta, Vietnam”および“Seminar on Agro-Ecosystem and Land Use”のセミナーを開催し、これらのセミナーにおいて、集中講義“Creating the diverse type of tropical agro-ecosystem and land use in Mekong delta: From our experiences in Vietnam and Japan”を行い、開発技術の社会実装について、学部の教員、学生と活発な議論を交わすことができた。

現在カントー大学には、JICA の ODA 資金が投下されており、同大学院農学研究科と JICA の連携講義“Seminar on Sustainable Tropical Agriculture”(2018 年 12 月 4 日）を担当した。当講義には、大学院生だけでなく、多くの若手教員が学部横断的に参加し、地域人民委員会からの参加者も得て、本プロジェクトの成果を報告すると共に、メコンデルタへの普及・ロードマップをどのように描くかについての議論をスタートさせることができた。(PO: 5-2)

今後ロードマップを更新していく上で、開発システムの実装先となり得る場所の発見に成功したことが成果であり（Ⅱ章（次ページ）参照)、民間ベースの技術移転・社会実装のペースも見定めながら、プロジェクト終了後、いかにして展開して行くかについて議論を深めて行く。(PO: 5-2)

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）

我々は、エビの安定的な生産によるベンチェ地域の生活水準の向上を第一に、いかにして SOFC 技術が当課題の解決に貢献できるかを農工連携の下議論しながら養殖システムのデザインを行っており、地域バイオマスの利用、ヘドロの回収、養殖池曝気の省エネ化、そして SOFC 発電により、エビ養殖の低炭素化と持続性向上を目指している。最終年度（第 5 期）は、バイオガス供給 SOFC の発電電力でエビ養殖池の曝気を行うエネルギー循環システムの運転を行い、我々のコンセプトを実証する。養殖池汚泥をバイオガス化し、熱源として利活用している養殖場がメコンデルタ・カマウ省に存在するので、当養殖場と技術的な交流を深め、本プロジェクトの実証研究結果と調査結果を基に、開発システムによる養殖池汚泥のバイオマスとしての活用モデル（開発システムの実装モデル）を示す。⇒ PDM: Output 4 (PO: 4-8)、Output 5 (PO: 5-2)

2017 年度に行われた中間評価において、「現場で導入・普及できうるシステム全体のエネルギー収支と経済性についてある程度具体的な見通しを明示する必要がある。」との指摘を受けており、2018 年度に得らえた各構成設備の運転データをベースに、現地特有の有機性廃棄物を資源として利用したエネルギー循環システムのエネルギー収支（PEIO 比 = エネルギー投入量/エネルギー生産量[*Appl. Energy* 87 (2010) 3305-3321.]）を算出したところ、1 kW の燃料電池に合わせたミニマムサイズのパイロットプラントにも関わらず、低い PEIO 比（= 37.8%、22.7%（排熱利用時））が見積られた（10 ページ参照）。最終年度は、SOFC の現地対応化に向けて、SOFC 自動運転プログラムおよび SOFC-電力供給システム間の接続に改良を重ね、SOFC の発電電力を連続的に高効率曝気装置（マイクロバブルディフューザー（MBD））に供給してエビ養殖を行い、この際の PEIO 比、温室効果ガス排出削減量およびランニングコストをモニタリングし、我々のエネルギー循環コンセプトを実証する。⇒ PDM: Output 4 (PO: 4-8)

図 16：タンテイ村（ハウザン省）でのコミュニティ・バイオガス調査の様子

カントー大学資源環境学部の研究チームは、メコンデルタ中部・南部に網の目状に広がる農業用水路を妨害しているウォーターヒヤシンスを対象として、稲わら、養豚ふん尿、家庭の生ごみからバイオガスを製造する社会実験をカントー近郊の農村（タンテイ村（ハウザン省））で行っており、安定したバイオガス生産体制をコミュニティレベルで確立し、大きな成果を上げている(図 16)。タンテイ村は、本プロジェクトで開発したエネルギー循環システムの有力な実装先であり、2019 年 8 月 26～27 日に、ベンチェにて、カントー大学資源環境学部との国際ワークショップを行う準備を進めている。⇒ PDM: Output 5 (PO: 5-1, 5-2)

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

2018 年度中に、ベンチェ実証サイトにて、高い発電効率が期待できる新しいスタックを導入したバイオガス SOFC の発電試験を行い、当 SOFC システムから MBD への給電により、本プロジェクトが提案するエネルギー循環システムの実証運転を開始する予定であったが、2018 年 11 月に輸送した機材（スタック）の免税許可が得られず実証試験が長期間にわたって滞っており、プロジェクト遂行の上での大きな障害となっている。当スタックは、R/D に記載の投入機材であるため、許可が得られない理由はなく、JICA が再三にわたりベトナム側に許可を出すよう交渉にあたっているが、依然としてホーチミンの空港に置かれたままとなっており、計画通り活動を実施できないだけでなく、もし、破損が生じた場合、どのように対処すべきか等、問題の完全な解決にはさらに時間を要する深刻な事態となっている。⇒ PDM: Output 4 (PO: 4-8)

SATREPS で開発した技術を現地に根付かせ、社会実装を実現するためには、SATREPS 後も、ベトナム南部で継続して活動することが必須であり、技術の普及の面では JICA 支援事業に、技術開発の面では科研費等への申請を積極的に進めているところである。活動の継続が必須である中、競争的資金を獲得できなかった場合の進め方についても考えておく必要がある。⇒ PDM: Output 5 (PO: 5-2)

(2) 研究題目 1：「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）

共同研究を通じ、燃料電池技術に関する相手国研究者の育成に努めているが、上位目標の達成に向けて、プロジェクト終了後も実証サイトに整備したパイロットプラントおよび INT 燃料電池研究開発ラボを継続的に運用して行く必要がある。このためには、SATREPS 後の活動において中心的な役割を果たすことができるベトナム人研究者の育成と連携強化のための競争的資金の獲得が不可欠である。前者については、2018 年 10 月に研究代表者が INT より受け入れた研究生が、2019 年 4 月に研究代表者の所属する水素エネルギーシステム専攻の博士課程に入学し、触媒材料開発を通した INT との学術交流と人材育成が活性化されている。後者については、科研費・国際共同研究加速基金（国際共同研究強化（B））への申請準備を進め、2019 年 5 月に申請を完了した。⇒ PDM: Output 2 (PO: 2-1～2-6)

(3) 研究題目 2：「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）

開発中のエネルギー循環システムおよび構成技術の重要性について、実証サイトにおけるパイロットプラントの運転を通して、現地ステークホルダーの理解が進みつつあるが、成果を出すまでのプロセスにおいては、相手国のモチベーションの維持に苦慮する面もある。SATREPS による設備の導入は、地域の低炭素化や持続的な発展に寄与する技術を創出するためのものであり、詳細な研究プロセスの結果としてそれが達成されるということを、相手国がより強く認識するよう進めて行く。

(4) 研究題目 3：「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」
普及ロードマップ策定グループ（リーダー：藤本 穣彦）

ロードマップを策定し、さらにそれを現実のものとして行く過程においては、人材育成が欠かせない。今年度連携を強化したカントー大学農村発展学部は、メコンデルタ一帯の農村開発を推進するための人材を育成することを目的として設立されたファカルティであり、実際に現地人民委員会に多くの公共人材を供給している。将来的な政策連携を図る上で重要なステークホルダーであるため、2018 年度に、当学部の若手教員を静岡大学農学部へ博士留学させるべく、国費留学生（SATREPS 枠）への申請を行った。残念ながら不採択となったが、当申請は、研究チーム間の目線合わせを行い、将来にわたって協力して行く意志を共有する良い機会となった。

SOFC 普及のためのロードマップを更新して行くためには、それぞれの現場を支えるローカルな公共人材の育成が最も重要な要素となる。本プロジェクトの最終年度のみならず、プロジェクト終了後もベトナムとの共同研究を継続できるよう、国費留学生や競争的資金への申請を積極的に進めて行く。
⇒ PDM: Output 5 (PO: 5-2)

Ⅳ. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

- 地域の有機性廃棄物を資源として利用した SOFC 導入エネルギー循環システムを提案し、その実証に取り組んでいるプロジェクトの成果が、アノード支持型 SOFC セルの世界最大の供給メーカーである Elcogen 社（エストニア）のホームページにてケーススタディとして取り上げられ（https://elcogen.com/case-studies/)、SOFC 業界に広く知られることとなった。

- 九大広報（2018 年 7 月号）の特集記事「フロントランナー」に、本プロジェクトの取り組みが、「農業･水産養殖業から出る有機性廃棄物を資源として用いた世界初のエネルギー循環システムを開発～燃料電池で産業の未来、地域の暮らしを変える～」のタイトルで取り上げられた。当広報誌は、3,000 部発行され、2018 年 8 月に開催された九州大学オープンキャンパスにて、訪問者（高校生および父兄）に配布され、社会への情報発信の良い機会となった。

(2) 社会実装に向けた取り組み

- カントー大学資源環境学部にて、静岡大学藤本准教授が“Seminar on Eco-agricultural Village, New Rural Villages in Mekong Delta, Vietnam”（2019 年 3 月 6 日（水)、参加者 52 名）を開催し、集中講義“Creating the diverse type of tropical agro-ecosystem and land use in Mekong delta: From our experiences in Vietnam and Japan”を行い、開発技術の社会実装について、学部の教員、学生と活発な議論を交わした。

- カントー大学農村発展学部にて、静岡大学藤本准教授が“Seminar on Agro-Ecosystem and Land Use”（2019 年 3 月 5 日（火)、参加者 25 名）を開催し、集中講義“Creating the diverse type of tropical agro-ecosystem and land use in Mekong delta: From our experiences in Vietnam and Japan”を行い、開発技術の社会実装について、学部の教員、学生と活発な議論を交わした。

- 燃料電池に関する世界最大の展示会「第 15 回国際水素・燃料電池展～FC EXPO 2019～」(2019 年 2 月 27 日（水）～3 月 1 日（金)、東京ビッグサイト）において、当プロジェクトについてのポスター展示を行い、一般の来場者および燃料電池業界関係者に、我々の取り組みとこれまでの成果について情報発信を行った。

- 九州大学を中心とする九州地域の大学発ベンチャーの創出に取り組んでいる QB キャピタル合同会社主催の「QB ファンド第 6 回技術交流会」(2018 年 11 月 21 日（水)、SRP センタービル（福岡市早良区)、出席者約 30 名）において、投資家（福岡県内企業、銀行等）向けに、研究代表者が「燃料電池とエビ養殖～我が国技術の開発途上国への実装に向けた取り組み～」の題目で、SATREPS プロジェクトに関する講演を行った。

- 福岡水素エネルギー人材育成センターの「平成 30 年度 技術者育成セミナー 水素入門コース」（2018 年 11 月 6 日（火)、博多バスターミナル第 9 ホール、出席者約 30 名）において、水素関連事業に参入あるいはこれから参入を考えている県内外の企業技術者を対象に、研究代表者が

「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について」の題目で講義を行い、SATREPS おける我々の取り組みを通して、これからの日本のエネルギーについて議論を行った。

- 糸島農業産学官連携推進協議会（アグリコラボいとしま）主催のワークショップ「産学官連携 新たな取り組みへの挑戦」（2018 年 9 月 26 日（水）、九州大学伊都キャンパス、出席者 55 名）において、九州大学伊都キャンパス周辺の農業関係者（農家、JA、研究者）を対象に、研究代表者が「農工連携による糸島型エネルギー循環システム実証の構想について」の題目で、SATREPS の成果の日本国内への展開について講演および議論を行った。
- 第 4 回プロジェクトワークショップ（Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture（WANA2018））を開催し（2018 年 5 月 7 日（月）、Viet Uc Hotel, Ben Tre, Vietnam、出席者 280 名）、ベトナム農村地域への情報発信および住民との意見交換を行った。

Ⅴ． 日本のプレゼンスの向上（公開）

- 世界トップレベルの研究者が集い、2 年に 1 回開催される欧州最大の SOFC 関連の国際学会（13th European SOFC & SOE Forum）にて、SATREPS で開発・実証を行っている廃棄物系バイオマス利用 SOFC 導入エネルギー循環システムに関する成果を発表し、300 件以上の発表の内、1 件のみに与えられる最優秀賞（Christian-Friedrich-Schönbein medal（the Best Scientific Contribution））を受賞した。（2018 年 7 月 6 日（金））
- 地域の有機性廃棄物を資源として利用した SOFC 導入エネルギー循環システムを提案し、その実証に取り組んでいるプロジェクトの成果が、アノード支持型 SOFC セルの世界最大の供給メーカーである Elcogen 社（エストニア）のホームページにてケーススタディとして取り上げられ（https://elcogen.com/case-studies/）、SOFC 業界に広く知られることとなった。

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）

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。）
2017	Y. Shiratori, T. Yamakawa, M. Sakamoto, H. Yoshida, T. Kitaoka, Q.T. Tran, D.C.T. Doan, M.C. Dang, "Biogas production from local biomass feedstock in the Mekong Delta and its utilization for a direct internal reforming solid oxide fuel cell", Frontiers in Environmental Science 5 (2017) Article 25.	10.3389/fenvs.2017.00025	国際誌	発表済	
2017	T.D. Long, T.Q.Tuyen, M. Sakamoto, K. Sasaki, Y. Shiratori, "Modelling of CH4 multiple-reforming within the Ni-YSZ anode of a solid oxide fuel cell", Journal of Power Sources 359 (2017) 507-519.	10.1016/j.jpowsour.2017.05.077	国際誌	発表済	分野トップレベルジャーナル
2017	T.D. Long, A. Kubota, M. Sakamoto, T.Q. Tuyen, K. Sasaki, Y. Shiratori, "Advanced direct internal reforming concepts for solid oxide fuel cells running with biogas", ECS Transactions 78(1) (2017) 2467-2476.	10.1149/07801.2467ecst	国際誌	発表済	
2017	N.T.G. Huong, T.D. To, M. Sakamoto, T.D.C. Doan, C.M. Dang, T.Q. Tran, K. Sasaki, Y. Shiratori, "Development of Flexible Catalyst Material for Internal Dry Reforming", ECS Transactions 78(1) (2017) 2431-2439.	10.1149/07801.2431ecst	国際誌	発表済	
2017	T.G.H. Nguyen, D.L Tran, M. Sakamoto, T. Uchida, K. Sasaki, T.D. To, D.C.T. Doan, M.C. Dang, Y. Shiratori , "Ni-loaded (Ce,Zr)O2-δ-dispersed paper-structured catalyst for dry reforming of methane", International Journal of Hydrogen Energy 43 (2018) 4951-4960.	10.1016/j.ijhydene.2018.01.118	国際誌	発表済	
2018	Y. Shiratori , M. Sakamoto, T.G.H. Nguyen, T. Yamakawa, T. Kitaoka, H. Orishima, H. Matsubara, Y. Watanabe, S. Nakatsuka, T.C.D. Doan, C.M. Dang, "Biogas Power Generation with SOFC to Demonstrate Energy Circulation Suitable for Mekong Delta, Vietnam", Fuel Cells (2019).	10.1002/fuce.201800184	国際誌	in press	Selected papers from the 13h European SOFC & SOE Forum 2018
2018	T.G.H. Nguyen, M. Sakamoto, T. Uchida, D.C.T. Doan, M.C. Dang, P.H. Tu, K. Sasaki, Y. Shiratori, "Development of paper-structured catalyst for application to direct internal reforming solid oxide fuel cell fueled by biogas", International Journal of Hydrogen Energy (2019).	10.1016/j.ijhydene.2019.02.134	国際誌	in press	
2018	Thien Dien To, Huong Giang Thi Nguyen, Tin Chanh Duc Doan, Yusuke Shiratori, Chien Mau Dang, "Hydrothermal synthesis and characterisation of iron cerium oxide nanoparticles for hydrogen sulphide removal application"International Journal of Nanotechnology (2019).		国際誌	in press	

論文数 8 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 8 件
公開すべきでない論文 0 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	A. Saimura, Y. Shiratori, T. Kitaoka, "Dual-layered paper-structured catalysts for sequential desulfurization and methane-steam reforming of simulated biogas containing hydrogen sulfide", J. Mater. Sci. 52 (2017) 314-325.	10.1007/s10853-0	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.jpowsou	国際誌	発表済	分野トップレベルジャーナル

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 0 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 0 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		報告書	発表済	

著作物数 1 件
公開すべきでない著作物 0 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）、Tin Chanh Duc 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）、Tin Chanh Duc 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	口頭発表
2017	国際学会	Thi Giang Huong Nguyen（九大工学府）、Thien Dien To（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、坂本美緒（九大水素センター）、Tin Duc Chanh Doan（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、M.C. Dang（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、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）、“Development of Flexible Catalyst Material for Internal Dry Reforming”、15th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XV)、ハリウッド、フロリダ、アメリカ、2017年7月26日	口頭発表
2017	国際学会	Dang Long Tran （九大工学府）、久保田 篤（九大工学府）、坂本 美緒（九大水素センター）、 Quang Tuyen Tran（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）、“Advanced Direct Internal Reforming Concepts for Solid Oxide Fuel Cell Running with Biogas”、15th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XV)、ハリウッド、フロリダ、アメリカ、2017年7月26日	口頭発表
2017	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）、Nguyen Thi Giang Huong（九大工学府）、北岡 卓也（九大農学研究院）、山川 武夫（九大農学研究院）、栗原 暁（九大農学研究院）、藤本 穣彦（静岡大学農学部）、折島 寛（マグネクス株式会社）、松原 肇（明和工業株式会社）、渡邊 美信（株式会社中山鉄工所）、中塚 修志（ダイセン・メンブレン・システムズ株式会社）、Tin Chanh Duc Doan（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、Chien Mau Dang（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、“ベトナムにおける地域バイオマス利用SOFC導入エネルギー循環システムの開発状況”、第26回SOFC研究発表会、 東京、2017年12月15日	口頭発表
2018	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）、山川 武夫（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）、松原 肇（明和工業株式会社）、渡邊 美信（株式会社中山鉄工所）、中塚 修志（ダイセン・メンブレン・システムズ株式会社）、Tin Chanh Duc Doan（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、Chien Mau Dang（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、“Biogas power generation with SOFC to demonstrate energy circulation suitable for Mekong Delta, Vietnam”、13th EUROPEAN SOFC & SOE FORUM、ルツェルン、スイス、2018年7月4日	口頭発表
2018	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）、久保田 篤（九大工学府）、山川 武夫（九大農学研究院）、栗原 暁（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）、渡邊 美信（株式会社中山鉄工所）、松原 肇（明和工業株式会社）、中塚 修志（ダイセン・メンブレン・システムズ株式会社）、Tin Chanh Duc Doan（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、Chien Mau Dang（ベトナム国家大学ホーチミン市校・ナノテク研究所）、“SOFCを用いたCO2フリーエビ養”、第27回SOFC研究発表会、 東京、2018年12月14日	口頭発表

招待講演	0 件
口頭発表	8 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、2016年9月6日	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
2017	国際学会	白鳥 祐介（九大水素センター/工学研究院）″Paper-structured catalyst for SOFC to realize direct conversion of biogas into electricity″、The Third International Workshop on Nano Materials for Energy Conversion (NMEC-3) 、ホーチミン、ベトナム、2017年5月4日	招待講演
2017	国内学会	白鳥 祐介（九大水素センター/工学研究院）″農工・産学・国際連携によるバイオマス利用エネルギー循環システムの開発″、シンポジウム「農的エネルギーの新展開」、福岡市西区（九州大学伊都キャンパス椎木講堂）、2017年6月5日	招待講演
2017	国内学会	白鳥 祐介（九大水素センター/工学研究院）″SOFC を導入した有機性廃棄物利用エネルギー循環システム実証″、第3 回NEXT-FC 基盤研究報告会、福岡市西区（九州大学伊都キャンパス）、2017年6月23日	口頭発表
2017	国内学会	白鳥 祐介（九大水素センター/工学研究院）″燃料電池の途上国への実装を可能にする廃棄物系バイオマス利用エネルギー循環システム開発″、第56回工業物理化学講習会、福岡県大野城市（九州大学筑紫キャンパス）、2017年10月13日	招待講演
2017	国際学会	白鳥 祐介（九大水素センター/工学研究院）、“Development of Paper-Structured Catalyst for Biogas Reforming and the Progress of Vietnam-Japan Joint Research on Solid Oxide Fuel Cell ”、The 6th International Workshop on Nanotechnology and Application (IWNA 2017)、ファンティエット、ベトナム、2017年11月11日	招待講演
2017	国際学会	Nguyen Q. Minh（九大水素センター/Center for Energy Research University of California, San Diego)、“Applications of Nanomaterials in Solid Oxide Fuel Cell Technology”、The 6th International Workshop on Nanotechnology and Application (IWNA 2017)、ファンティエット、ベトナム、2017年11月11日	招待講演
2017	国内学会	Nguyen Thi Giang Huong（九大工学府）、“Coking tolerant (Ce,Zr)O2-dispersed 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2018、 福岡、2018年1月30日	ポスター発表
2018	国内学会	白鳥 祐介（九大水素センター/工学研究院）、“バイオ燃料利用SOFCと国際展開”、第4回NEXT-FC 基盤研究報告会、福岡市西区（九州大学伊都キャンパス）、2019年1月11日	口頭発表
2018	国内学会	北岡卓也（九州大学・農学研究院）、紙の伝統と革新、平成30年度新技術移転事業新技術講演会（岐阜）、美濃、2019年2月22日	招待講演

招待講演	10	件
口頭発表	7	件
ポスター発表	14	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	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 0 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 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 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 Thermofluids	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	
2018	2018.7.6	The Best Scientific Contribution, Christian-Friedrich-Schönbein medal	“Biogas power generation with SOFC to demonstrate energy circulation suitable for Mekong Delta, Vietnam”	白鳥祐介（九大水素センター/工学研究院）	13th EUROPEAN SOFC & SOE FORUM	1.当課題研究の成果である	2年に1回開催され、世界トップレベルの研究者が集う欧州最大のSOFC関連の国際学会にて、300件以上の発表の内、1件のみに与えられる最優秀賞を受賞

7 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	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	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待-		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	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	
2017	2018.2.21	プレスリリース（九大HP）	東南アジア初の固体酸化物形燃料電池（SOFC）の実証研究を開始～ベトナム・メコンデルタにおいてバイオガスの供給により発電効率53%を達成～		1.当課題研究の成果である	

2017	2018.2.23	日本経済新聞（電子版）	九大、固体酸化物形燃料電池（SOFC）の実証研究を開始		1.当課題研究の成果である	
2017	2018.2.23	国立環境研究所 環境展望台 国内ニュース	九州大など、ベトナムのエビ養殖場でバイオガスを燃料とするSOFC発電実証を開始		1.当課題研究の成果である	
2017	2018.2.24	NHKニュース			1.当課題研究の成果である	
2017	2018.2.26	エコノハサーチ	九州大学　ベトナムのエビ養殖場内にエネルギー循環システムの実証サイト		1.当課題研究の成果である	
2017	2018.3.1	日経xTEC	バイオガスで燃料電池を稼働、発電効率53%を達成～ベトナムのエビ養殖場内にエネルギー循環システムを構築～		1.当課題研究の成果である	
2018	2018.7	九大広報	農業・水産養殖業から出る有機性廃棄物を資源として用いた世界初のエネルギー循環システムを開発 燃料電池で産業の未来、地域の暮らしを変える	フロントランナー	1.当課題研究の成果である	3,000部発行 2018年8月に開催されたオープンキャンパスにて、訪問者（高校生および父兄）全員に配布

23 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）	公開/ 非公開の別	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）	非公開	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）	非公開	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	公開	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）	非公開	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	公開	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	公開	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	公開	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。
2017	4月14日	第４５回サイエンスカフェ＠ふくおか	BIZCOLI 交流ラウンジ（日本）	約40名	公開	公益財団法人九州経済調査協会（BIZCOLI）主催のセミナーにて、“「燃料電池で地球を救えるか！？」～アイディアとその実践～”を題目に、SATREPSプロジェクトに関する講演を行った。
2017	5月3日	Short Course in Third International Workshop on Nano Materials for Energy Conversion (NMEC-3)	ベトナム国家大学Univrsity of Science（ベトナム）	約50名	公開	ﾍﾞﾄﾅﾑ国家大学Univrsity of Science の学生に対して、“Fuel cell technology for highly efficient biomass utilization”の題目で90分の集中講義を行った。
2017	6月23日	第3回NEXT-FC基盤研究報告会	（九州大学伊都キャンパス（福岡市西区・日本）	約100名	非公開	燃料電池関連企業が集う当報告会にて、″SOFC を導入した有機性廃棄物利用エネルギー循環システム実証″と題し、SATREPSプロジェクトに関する講演を行った。
2017	7月9日	技術マネジメント・クリーンエネルギー研修	（九州大学伊都キャンパス工学研究院（福岡市西区・日本）	約30名	非公開	若手研究者育成のため、本学工学府の学生に対して、「国際技術協力プロジェクトの意義～アイディアとその実践～」という題目で、集中講義を行った。
2017	11月12日	Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture (WANA2017)	ベトナム、ﾌｧﾝﾃｨｴｯﾄ省	約120名	公開	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。

2017	1月25日	第15回ビジネス創造交流会	博多座・西銀ビル13 階 NCBリサーチ＆コンサルティングセミナー室・福岡市博多区・日本	約30名	公開	九州地区の企業を対象とした西日本シティ銀行主催のセミナーにて、“廃棄物系バイオマスを利用した燃料電池導入エネルギー循環システムについて～有機性廃棄物を燃やさずに電気に変換～”を題目に、SATREPSプロジェクトに関する講演を行った。
2018	5月7日	Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture (WANA2018)	ベトナム、ベンチェ省	約280名	公開	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。
2018	7月13日	SATREPS ベトナム・燃料電池 第4回日越合同会議	九州大学 椎木講堂 （日本）	40名 （8名）	非公開	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。
2018	9月26日	ワークショップ「アグリコラボいとしま」	九州大学 椎木講堂 （日本）	55名	公開	九州大学伊都キャンパス周辺の農業関係者（農家、JA、研究者）を対象に、「農工連携による糸島型エネルギー循環システム実証の構想について」の題目で、SATREPSの成果の日本国内への展開について講演および議論を行った。
2018	11月1日	九州大学新技術者説明会	JST 東京本部別館ホール（日本）	約40名	公開	九州大学産学連携本部主催の九州大学新技術説明会において、「ススが出にくい 紙形状水素製造触媒を開発！」の題目で、SATREPSの成果を基に特許出願を行った技術の紹介を行った。

2018	11月6日	福岡水素エネルギー人材育成センター 平成30年度 技術者育成 セミナー 「水素入門コース」	博多バスターミナル貸ホール第9ホール（福岡市博多区・日本）	約30名	公開	水素関連事業に参入あるいはこれから参入を考えている県内外の企業技術者を対象に、「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について」の題目で講義を行い、SATREPSおける我々の取り組みを通して、これからの日本のエネルギーについて議論を行った。
2018	11月21日	QBファンド第6回技術交流会	SRPセン ター ビル（福岡市早良区・日本）	約30名	公開	九州大学を中心とする九州地域の大学発ベンチャーの創出に取り組んでいるQBキャピタル合同会社主催の技術交流会にて、投資家（福岡の事業会社、銀行な ど）向けに、「燃料電池とエビ養殖～我が国技術の開発途上国への実装に向けた取り組み～」の題目で、SATREPSプロジェクトに関する講演を行った。
2018	12月4日	Seminar on Climate Change and Sustainable Tropical Agriculture	カントー大学（カントー・ベトナム）	20	公開	社会実装・ロードマップ策定グループのアウトリーチ活動として、カントー大学大学院農学研究科にて一般公開のセミナーを開催した。
2018	1月11日	第4回NEXT-FC基盤研究報告会	（九州大学伊都キャンパス（福岡市西区・日本）	約150名	非公開	燃料電池関連企業が集う当報告会にて、″バイオ燃料利用SOFCと国際展開″と題し、SATREPSプロジェクトに関する講演を行った。
2018	3月5日	Seminar on Agro-Ecosystem and Land Use	カントー大学（カントー・ベトナム）	25名	公開	社会実装・ロードマップ策定グループのアウトリーチ活動として、カントー大学農村発展学部にて一般公開のセミナーを開催した。
2018	3月6日	Seminar on Eco-agricultural village,New Rural Villages in Mekong Delta, Vietnam	カントー大学（カントー・ベトナム）	52名	公開	社会実装・ロードマップ策定グループのアウトリーチ活動として、カントー大学環境・資源科学部にて一般公開のセミナーを開催した。

2018	3月6日	Seminar on Eco-agricultural village,New Rural Villages in Mekong Delta, Vietnam	カントー大学（カントー・ベトナム）	52名	公開	社会実装・ロードマップ策定グループのアウトリーチ活動として、カントー大学環境・資源科学部にて一般公開のセミナーを開催した。

24 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。
2017	11月29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。	18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。
2018	1月8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。	11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。

4 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～令和2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

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