

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 29 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

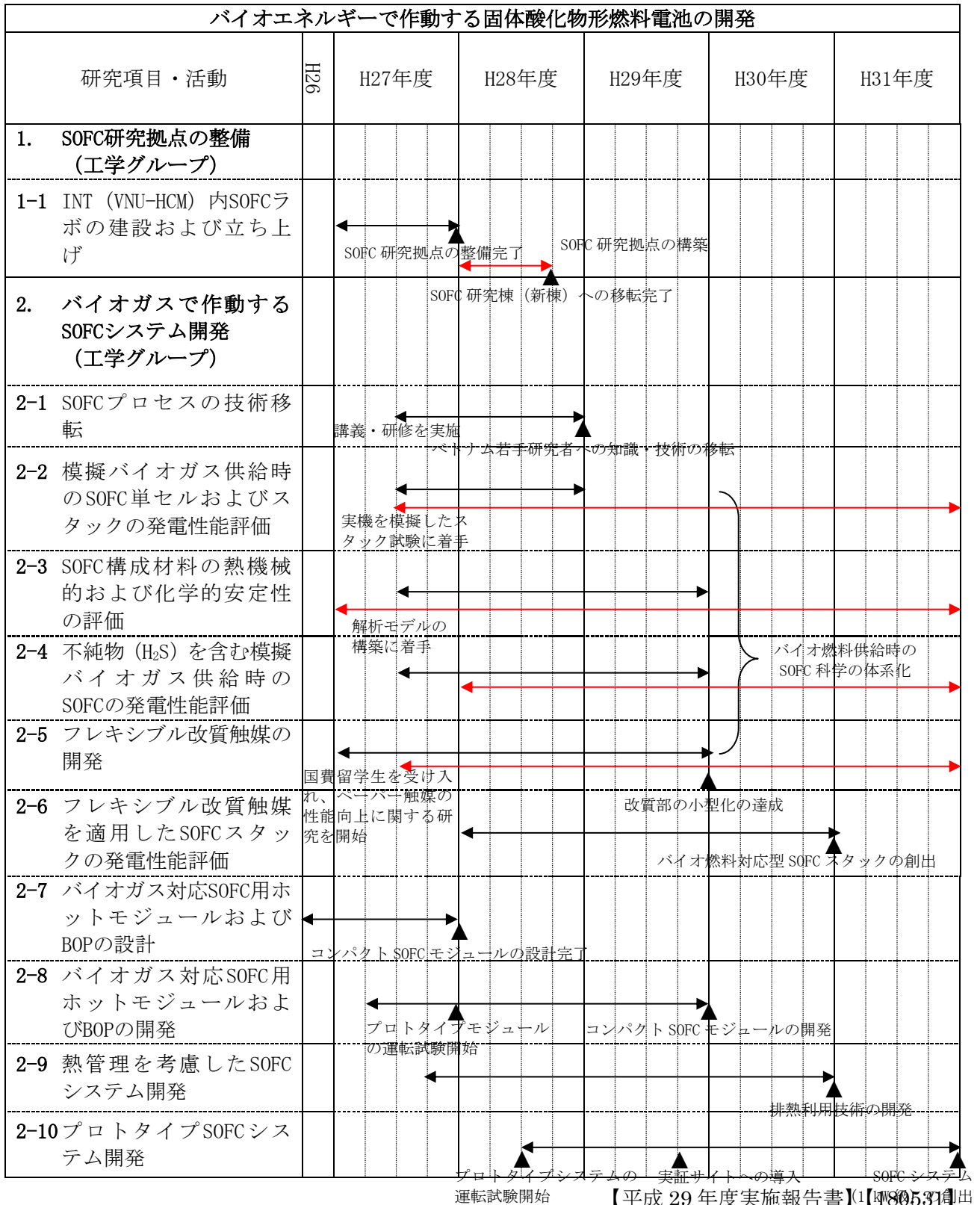
研究代表者：白鳥 祐介

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)

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						
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						
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						
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						
3-5 エビ養殖場でのバイオガス製造実証試験						

カントー大学ラボの整備完了

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

分析機器の現地への投入

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

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		
4-3 バイオエンジニアリング技術を活用した水質改善			メタン発酵設備・炭化設備の作動確認			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		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				
4-5 メタン発酵残渣利活用実証		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			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2kW)
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%)

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						
研究項目・活動	H26	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度
5. SOFCシステムの普及ロードマップデザインの作成（普及ロードマップ策定グループ）						
5-1 社会経済的問題および環境問題の分析基盤の構築		SOFC導入グリッドシステムの社会経済的・環境的評価のためのデータベース構築と分析的枠組みの確定（実証スケールを対象）				
5-2 現地ニーズの分析と技術移転・普及のためのシナリオデザイン*		普及シナリオデザイン				
5-3 SOFCのメコンデルタ地域への普及に向けた政策立案・制度設計*		普及シナリオデザインに基づく政策立案・制度設計（ワークショップおよびJCCの議論を反映）				
5-4 地域ステークホルダーを対象としたワークショップ開催のための運営委員会による協議		ワークショップ参加組織の確定、会議開催に向けた連絡調整				
5-5 メコンデルタ現地におけるワークショップの開催		↔	↔	↔	↔	↔
5-6 シナリオ分析およびワークショップにおける議論に基づいた普及ロードマップ策定			普及ロードマップの策定			

*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

九州大学水素エネルギー国際研究センターおよびベトナム国家大学ホーチミン市校（VNUHCM）ナノテク研究所（INT）を日越双方の代表機関とする国際共同研究チームは、日本企業4社と連携し、ベトナム・メコンデルタのエビ養殖場内に、地域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実証プラント（図1）を構築し、平成29年度より、各構成設備の運転試験を開始した。

当プロジェクトは密接な農工連携により行われており、農学グループの山川 武夫准教授は、明和工業株式会社と連携し、現地で容易に入手できる有機性廃棄物（サトウキビの搾りかす（バガス）とココナッツの搾りかす）を分解する菌の供給源としてエビ養殖池汚泥を見出し、加温・保温を必要とせず、これらを投入するだけで発電用燃料として利用できるバイオガス（メタンと二酸化炭素の混合ガス）が得られるシステムの運転に成功した。研究代表者（工学グループ）は、マグネクス株式会社と共同開発した1 kW級固体酸化物形燃料電池（SOFC）システムを実証サイトに導入し、上記バイオガスを供給した東南アジア地域初となるSOFC発電実証を平成30年1月より開始し、発電効率53.1%を記録した。この発電効率は、エンジン発電機の倍に達するものであり、SOFCが、地球規模の低炭素化に向け、バイオマス資源の豊富な途上国や農村地域に普及させて行くべき技術であることを示す結果である。プロジェクト期間中に、SOFCにより得られた有機性廃棄物由来の電力を、株式会社中山鉄工所が構築した電力供給システムにより、ダイセン・メンブレン・システムズ株式会社が導入する高効率曝気装置（微細気泡散気装置）に安定的に供給し、現地エビ養殖の低炭素化を実証する。

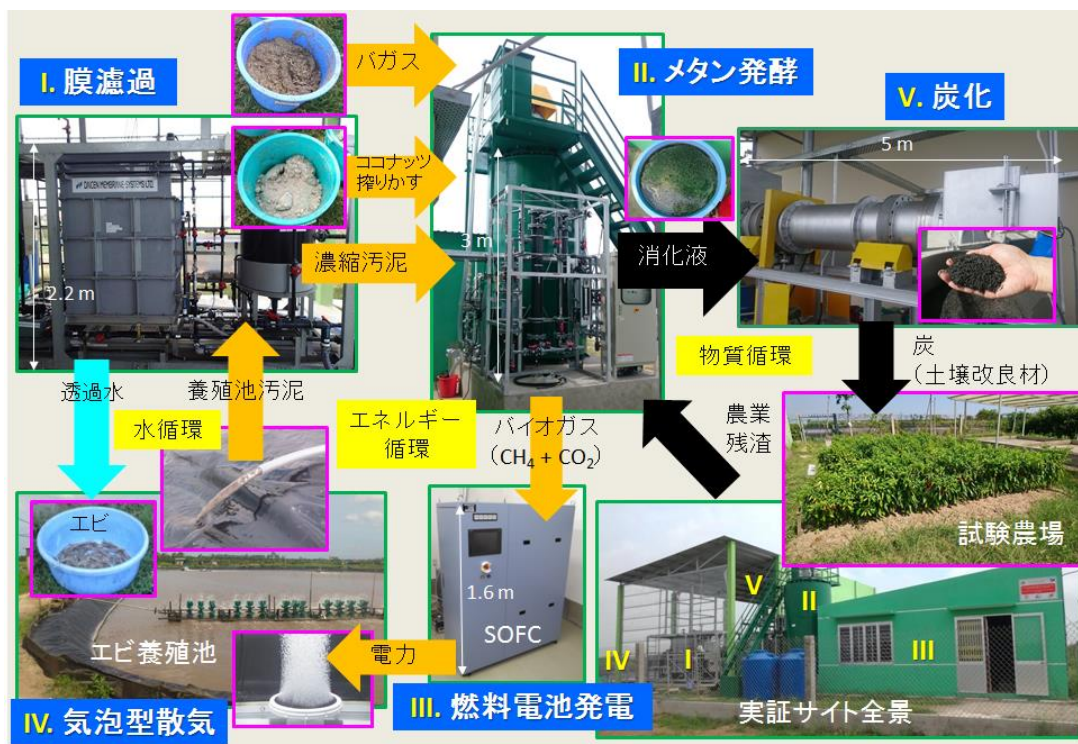


図1：ベトナム・ベンチェ省 Hoang Vu エビ養殖場内に建設した廃棄物系バイオマス利用エネルギー循環システムの実証プラント

メコンデルタ地域の持続的発展に貢献するためには、開発技術を社会に受け入れられるものにならなければならない。この上位目標の達成に向け、我々は、VNUHCM 内に燃料電池研究開発棟を整備（2016年9月開所）し、国際・農工・産学連携に基づく国際共同研究を通して、日越双方の人材の育成およびベトナム側への技術移転を推進している。

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

「バイオガス直接供給固体酸化物形燃料電池におけるメタン複合改質反応のモデル化と動作解析への応用」

700～800 °C で作動される SOFC には、原理的に、炭化水素燃料を直接供給することができる。供給された炭化水素燃料は、Ni ベースの多孔質燃料極上で水素および一酸化炭素の混合ガス（合成ガス）に改質され、これが電極反応に寄与して発電が行われる。このような発電方式を直接内部改質型の発電（Direct Internal Reforming (DIR) 発電）と呼ぶ。DIR-SOFC をバイオガスで作動させる高効率発電技術（バイオガス供給 DIR-SOFC）は、水素インフラの整備が難しいが、バイオマスに富んだ途上国や農村部への社会受容性が高く、地球規模の低炭素化に寄与できる技術である。工学グループは、当技術の確立を目指した研究を行っているが、カウンターパート（C/P）機関であるホーチミン市工科大学（HCMUT）から、アセアン工学系高等教育ネットワーク（AUN/SEED-Net）の支援により研究代表者が受け入れた JICA 長期研修員（Tran Dang Long 氏）が中心となり（平成 26 年 10 月九州大学入学）、DIR-SOFC 内で生じるメタン複合改質反応のモデル化とその動作解析への応用を試みた。以下に、主な成果をまとめる（Long 氏は、この取り組みを通して平成 29 年 9 月に九州大学にて博士号を取得し、現在は、HCMUT のメンバーとして SATREPS に参画中である。）。

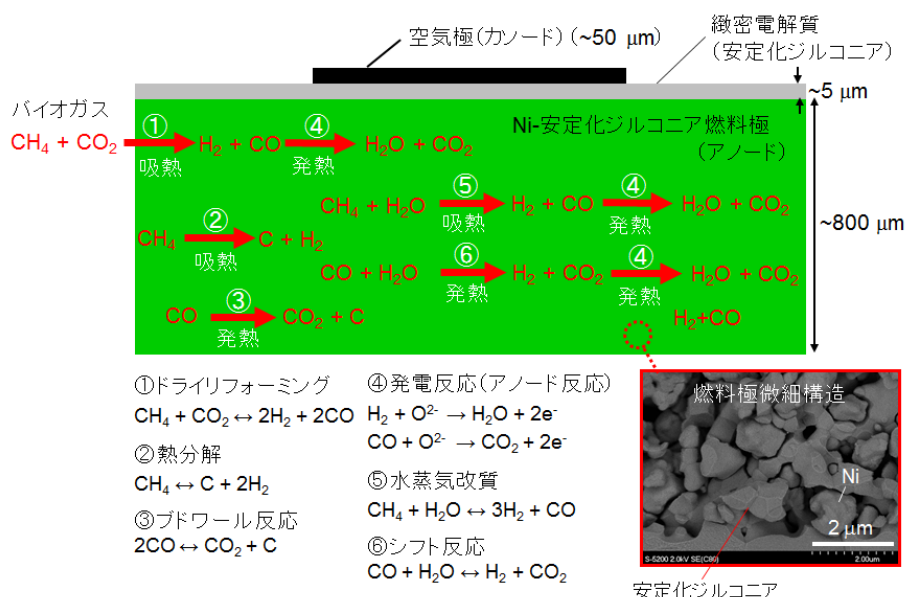


図2：バイオガス供給 DIR-SOFC の燃料極内部で生じる反応（メタン複合改質（MMR）反応）

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

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、燃料極(アノード)内部で生じる改質反応の挙動を正確に把握する必要がある。図2にバイオガス直接供給時に燃料極内部で生じる反応を模式的に示したが、バイオガスは約60%のCH₄と約40%のCO₂の混合ガスであり、燃料入口側では、燃料極Niの触媒作用により、①ドライリフォーミング反応(CH₄ + CO₂ ⇌ 2H₂ + 2CO)を主反応としてメタン改質が進行し、合成ガスが生成する。この際、②熱分解反応(CH₄ ⇌ C + 2H₂)、③ブドワール反応(2CO ⇌ CO₂ + C)も同時に進行する。発電中には、④水素および一酸化炭素の電気化学的酸化反応(H₂ + O²⁻ → H₂O + 2e⁻, CO + O²⁻ → CO₂ + 2e⁻)により水蒸気および二酸化炭素が生成するので、下流側に行くにしたがって発電中に生成した水蒸気による⑤水蒸気改質反応(CH₄ + H₂O ⇌ 3H₂ + CO)の寄与が高まることとなる。さらに、⑥シフト反応(CO + H₂O ⇌ H₂ + CO₂)も考慮しなければならない。以上のように、バイオガス供給 DIR-SOFC の作動においては、様々な反応が複合的に関与しており、本研究ではこれを Methane Multiple Reforming (MMR) 反応と呼び、MMR 反応のモデル化を試みた。

DIR-SOFC の動作解析においては、MMR 反応のモデル化が不可欠であり、いくつかの化学反応モデルが提案されているが[1, 2]、様々な現象が複雑に関与している電極内部の現象を化学反応モデルで記述することは難しい。本研究では、CH₄-CO₂-H₂O の混合ガスを Ni-安定化ジルコニア燃料極に供給し、700~800 °C の温度範囲で、様々な CO₂/CH₄ 比および H₂O/CH₄ 比に対してメタン改質試験を実施し、この実験結果に人工神経回路網 (Artificial Neural Network (ANN)) の考え方に基づいた機械学習的手法を適用し、MMR 反応が生じる際の燃料組成と CH₄ 消費速度および H₂ 生成速度との規則性を帰納的に導き出した。当手法の詳細は、論文 (*J. Power Sources* 359 (2017) 507-519) にまとめているので、参照されたい。

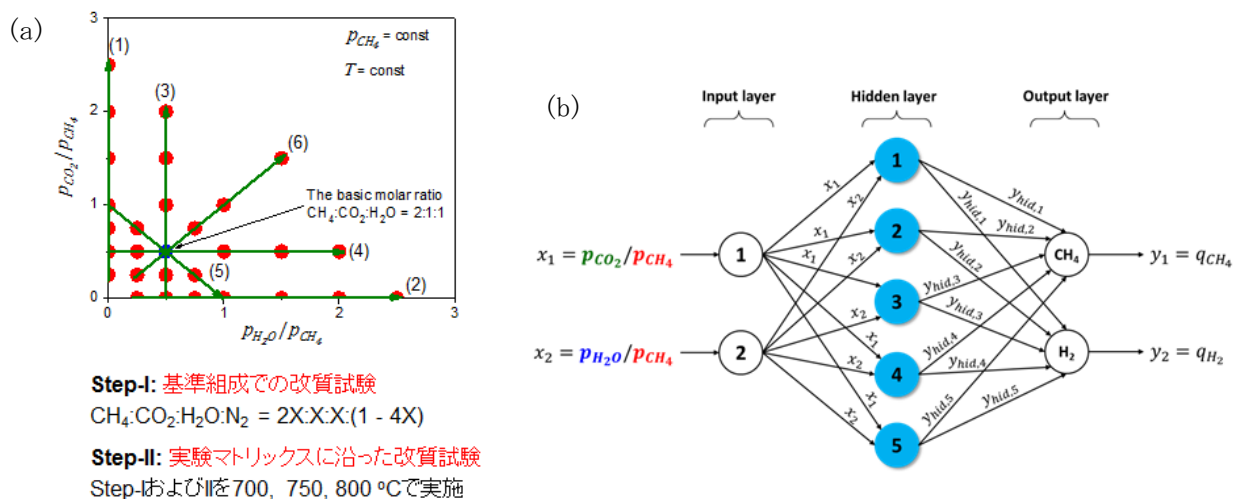


図3: ANNアプローチによるMMR反応モデルの決定プロセス; (a) ANNを実施するための実験マトリックス、(b) 構築したANN (入力: p_{CO_2}/p_{CH_4} , p_{H_2O}/p_{CH_4} , 出力: q_{CH_4} , q_{H_2} (q は、基準燃料組成における各成分の生成速度に対する任意の燃料組成における生成速度の比))

径20 mmのNi-8YSZ (8 mol%Y₂O₃-ZrO₂) 燃料極支持型ハーフセルを外径20 mmのアルミナ管の末端に緻密電解質が外側になるように取り付け、ハーフセルとアルミナ管の隙間をセラミックボンドで封

止した。CH₄-CO₂-H₂O-N₂ の混合ガスを 100 mL min⁻¹ で燃料極側に供給し、メタン改質試験を行った。まず、図 3-(a)の実験マトリックスにおける基準組成 (CH₄:CO₂:H₂O = 2:1:1) に対して試験を行い、N₂ 供給量を変えることによって当組成でのメタン分圧 (p_{CH₄}) 依存性を実験的に得た。その後、マトリックス中の実験プロトコル(1)~(6)に沿って各燃料組成での試験を行い、メタンおよび水素の生成速度を実測した。図 3-(b)の ANN において、入力 (p_{CO₂}/p_{CH₄}, p_{H₂O}/p_{CH₄}) に対する出力 (メタンおよび水素の生成速度)が、実験で得た速度に限りなく近づくよう ANN 内ニューロン間の各パラメーター(重み、バイアス) を決定した。

図 4 に、上述の方法で得たメタンおよび水素の生成速度 q_{CH₄} および q_{H₂} (q は、基準燃料組成における生成速度に対する任意の燃料組成における生成速度の比) の燃料組成依存性を示すが、この結果は、図 3-(a)に示した最小限の実験から、任意の燃料組成に対する反応速度を機械学習的に予測できるようになったことを意味している。さらに、適当な形態係数を用いて補正することより、SOFC 燃料極以外の触媒構造体にも当規則性を適応できることを、ペーパー触媒 (PSC) によるメタン改質試験結果との比較から示した。

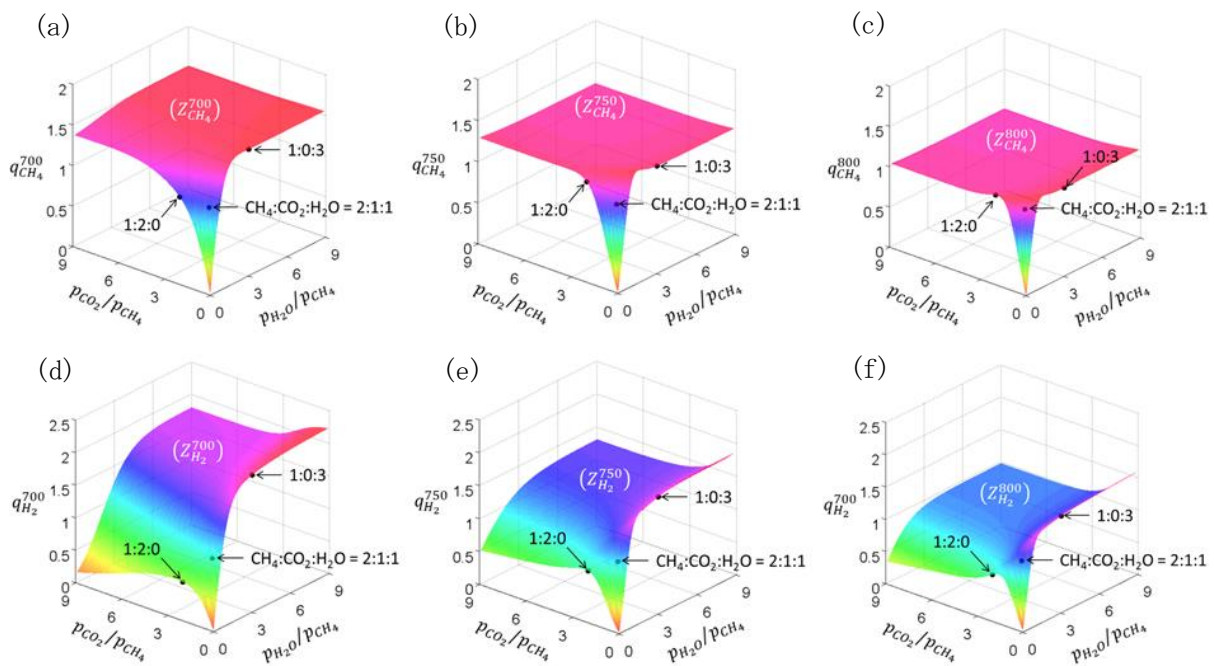


図 4: ANN の手法により実験データから帰納的に導出した CH₄-CO₂-H₂O 混合ガス供給時に燃料極内部で生じる MMR 反応の速度 ; (a)~(c)メタン消費速度および(d)~(f)水素生成速度の水蒸気分圧 (p_{H₂O}) および二酸化炭素分圧 (p_{CO₂}) 依存性 ((a, d) 700 °C、(b, e) 750 °C、(c, f) 800 °C)

ANN により得た MMR 反応モデルを、SOFC 単セルを模擬した CFD モデルに導入して電気化学反応連成の熱流体解析を行ったところ、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 (*J. Power Sources* 359 (2017) 507-519, *ECS Trans.* 78(1) (2017) 2467-2476)。

⇒ PO: 2-1~2-3 (進捗目標: バイオ燃料供給時の SOFC 科学の体系化)

「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」

平成 28 年度における研究で、農学グループは、C/P 機関である INT およびカントー大学 (CTU) の協力の下、メコンデルタ・ベンチェ省・製糖工場から回収したバガスと廃糖蜜を発酵資材とし、実証サイト (Hoang Vu 養殖場) 内の廃棄汚泥貯留池から採取した集積汚泥をメタン発酵菌の供給源として利用することで、バイオガスを安定的に生成させることに成功している。一方、工学グループは、模擬バイオガス ($\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 1$) を SOFC に直接供給した定電流試験において、開発したフレキシブル改質触媒 (ペーパー触媒 (PSC)) を適用することにより、5~10 ppm の H_2S を含む模擬バイオガスの直接供給による SOFC の安定作動に成功し、論文発表に至ったが (*J. Power Sources* 332 (2016) 170-179)、当技術を利用して、農学グループが得た上記実バイオガスを、脱硫やメタン濃縮等の燃料精製無しにそのまま SOFC に供給して発電させることにも成功している (*Frontiers in Environmental Science* 5 (2017) Article 25)。上記硫化水素被毒試験に適用した PSC は、無機繊維ネットワーク内にハイドロタルサイト (HT) を分散させ、Ni を担持したもの (Ni/HT-PSC) であるが、炭素析出耐性の向上が課題であった。

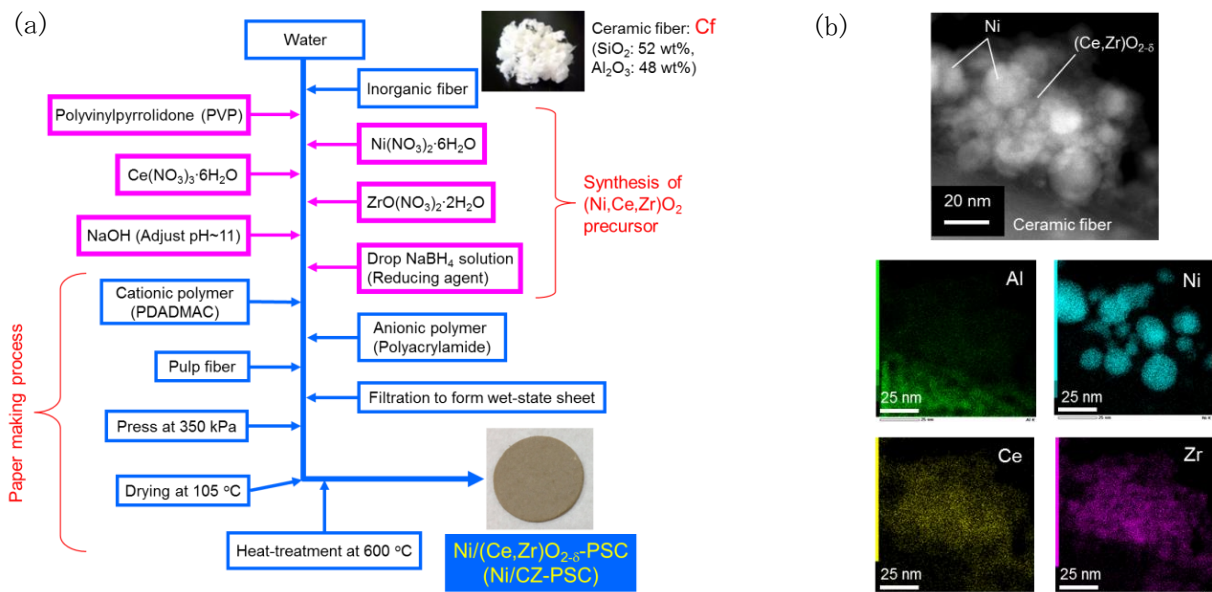


図 5：本研究で開発し、特許出願を行った、Ni 担持 (Ce, Zr)O_{2-δ} 分散ペーパー触媒 (Ni/CZ-PSC) ; (a) 作製プロセス、(b) 無機繊維ネットワーク内に分散された触媒微粒子 (酸素吸蔵放出能を有する (Ce, Zr)O_{2-δ} 粒子上に微細な Ni が担持されている。) の STEM 像

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、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 CeO₂-ZrO₂ 固溶体 ((Ce, Zr)O_{2-δ}) を PSC 内部で合成するプロセスを開発し (図 5-(a))、Ni 担持 (Ce, Zr)O_{2-δ} 分散 PSC (Ni/CZ-PSC) を得た。以下に作製プロセスを簡潔に示す。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(NO₃)₂·6H₂O、Ce(NO₃)₃·6H₂O および ZrO(NO₃)₂·2H₂O を溶解し、これに NaOH、続いて水素化ホウ素ナトリウム (NaBH₄)

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

を添加し、濾過前のスラリー中で Ni/(Ce, Zr)O_{2-δ} 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 °C で焼成することで PSC (Ni/CZ-PSC) とした。図 5-(b) に示すように、OSC を有する (Ce, Zr)O_{2-δ} が無機繊維ネットワーク内で合成できており、この (Ce, Zr)O_{2-δ} 上に微細な Ni が担持されている。

図 6 に、Ni 担持 PSC (Ni-PSC)、Ni/HT-PSC および Ni/CZ-PSC を用いて行った空間速度 GHSV = 3500 h⁻¹ におけるメタンドライリフォーミング試験の結果を示す。図はメタン転化率の経時変化を示しており、本研究で開発した Ni/CZ-PSC は、Ni 担持量 m_{Ni} が他の PSC の半分程度にも関わらず、650~800 °C の温度範囲で最も安定に機能した。750 °C における 15 時間の改質試験後の電子顕微鏡観察において、Ni-PSC および Ni/HT-PSC 内にはファイバー状炭素の析出が見られたのに対して、Ni/CZ-PSC 内には炭素は析出していなかった。

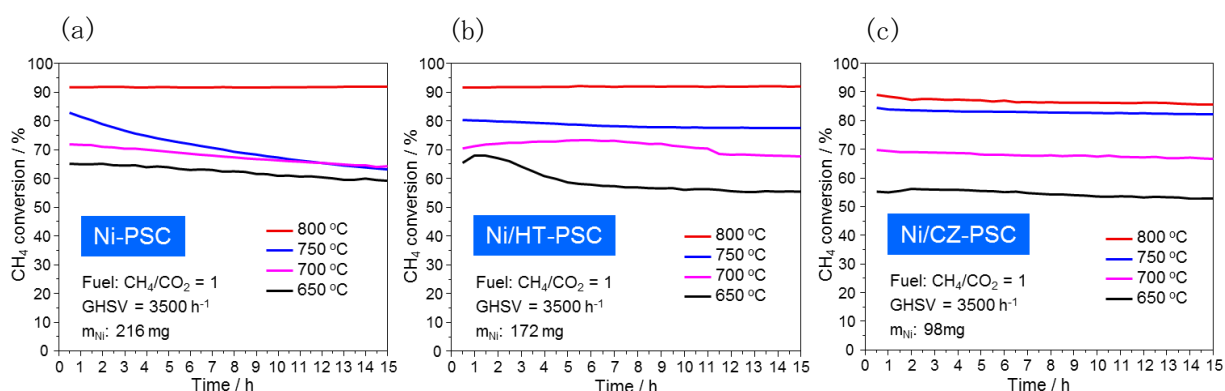


図 6 : ペーパー触媒を用いて行った空間速度 GHSV = 3500 h⁻¹ におけるメタンドライリフォーミング試験時 (650~800 °C) のメタン転化率の経時変化; (a) Ni-PSC (Ni 担持量 m_{Ni} = 216 mg)、(b) Ni/HT-PSC (m_{Ni} = 172 mg)、(c) Ni/CZ-PSC (m_{Ni} = 98 mg)

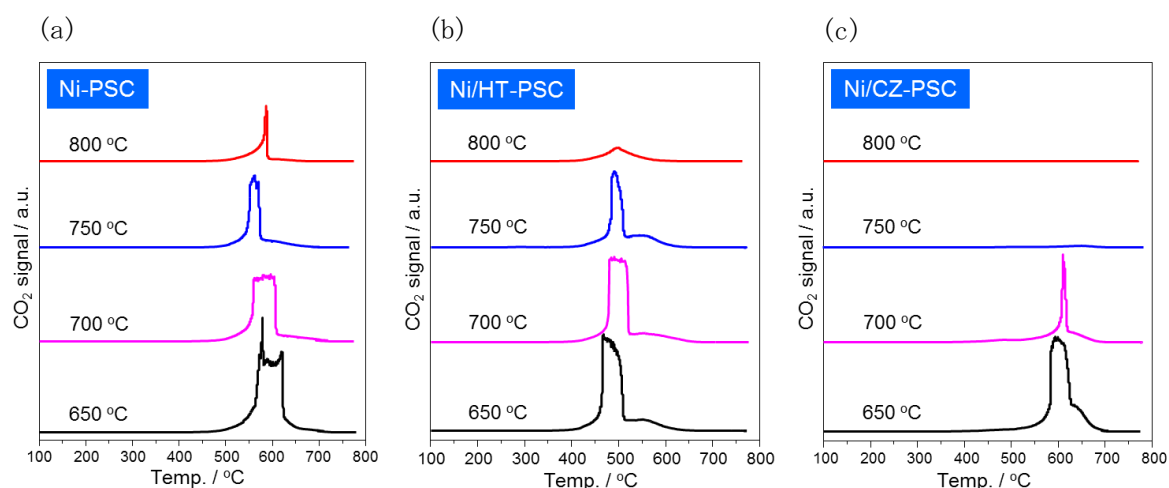


図 7 : 各温度 (650、700、750 および 800 °C) における 15 時間のドライリフォーミング試験後の昇温酸化 (TPO) プロファイル (サンプル重量 : 100 mg、昇温速度 : 3 °C min⁻¹、空気流量 : 40 mL min⁻¹); (a) Ni-PSC、(b) Ni/HT-PSC、(c) Ni/CZ-PSC

図 7 に、各温度における 15 時間の改質試験後の昇温酸化 (TPO) プロファイルを示す。縦軸は質量分析装置で検出した CO₂ の強度を示しており、PSC 内部に析出した炭素量に相当する。図から、Ni/CZ-PSC が、他の PSC に比較して高い炭素析出抑制効果を有することが明らかである。当研究は、2015 年 10 月より VNUHCM から受け入れているベトナム人国費留学生 (Nguyen Thi Giang Huong 氏) が担当しているが、バイオガス供給 DIR-SOFC を実現するフレキシブルなサポート触媒として Ni/CZ-PSC は有望であり、その作製プロセスと効果は特許出願 (特願 2016-167119) に至っている。以上の成果は、INT との共著論文 (*ECS Trans.* 78(1) 2017 2431-2439) にまとめられている。

上述の通り、Ni/CZ-PSC が、これまでの Ni 担持 PSC (Ni-PSC) や Ni/HT-PSC に比べて高い炭素析出耐性を有することが明らかになったため、平成 29 年度は、Ni/CZ-PSC の改質性能を最大限高めるための材料設計指針を得ることを目的として、Ni 担持量、CeO₂/ZrO₂ 重量比、Ni/(Ce, Zr)O_{2-δ} 重量比の異なる 5 つの Ni/CZ-PSC を作製し (表 1 参照)、これらに対して詳細な評価を行った。

表 1: 作製した Ni/CZ-PSC の組成、Ni の結晶子径 (D_{Ni}^{*})、Ni 粒子径 (d_{Ni}^{**}) および BET 比表面積 (S_{BET})

	Ni loading (wt%)	CeO ₂ :ZrO ₂ (wt ratio)	<i>x</i> in (Ce _{<i>x</i>} Zr _{1-<i>x</i>})O ₂	Ni: (Ce, Zr)O _{2-δ} (wt ratio)	D _{Ni} [*] (nm)	d _{Ni} ^{**} (nm)	S _{BET} (m ² g ⁻¹)
PSC-A	6.4	1:2	0.2	1:1	21	29	23
PSC-B	6.1	1:1	0.4	1:1	13	18	23
PSC-C	6.2	2:1	0.6	1:1	15	15	21
PSC-D	3.5	1:1	0.4	0.5:1	8.6	10	16
PSC-E	9.1	1:1	0.4	1.5:1	19	26	25

*XRD 回折パターンからシェラーの式で算出

**STEM 像より計測

図 8 に、作製した Ni/CZ-PSC の還元特性 (昇温還元 (H₂-TPR) プロファイル) を示す。(a) は CeO₂/ZrO₂ 重量比依存性、(b) は Ni 担持量依存性を示している。Ni を担持していない CZ 分散ペーパーの場合 (図 8-(a) および (b) 中の Inorganic paper)、還元を示す水素消費が 250~450 °C の間で見られた。これは、(Ce, Zr)O_{2-δ} 内のセリウムの還元 (Ce⁴⁺ → Ce³⁺) に相当する。Ni を担持すると (PSC-A~E)、この還元ピークが低温側 (200~250 °C) にシフトしたが (領域 I: 緑)、これは、セリウムの還元が Ni の担持により促進されることを示している [3, 4]。

助触媒として機能する HT や CZ 等の酸化物を分散しなかった Ni 担持 PSC (Ni-PSC) の場合、265 °C に現れる還元ピークは、無機繊維 (Cf) に担持された Ni の内、Cf との相互作用の弱い Ni に相当し、310 °C のメインピークおよび 384 °C のショルダーピークは、Cf とより強い相互作用を持った Ni の表面およびバルクの還元に対応すると考えられる [5]。本研究で作製した Ni/CZ-PSC (PSC-A~E) の場合、還元後の STEM/EDX 分析から、Cf 上に Ni は観察されず、Ni が CZ 上に選択的に担持されていたことから、H₂-TPR における 300 °C 以上の還元ピークは、(Ce, Zr)O_{2-δ} と相互作用を持った Ni²⁺ の Ni への還元 (660 °C で完了) に相当する。

Ni/CZ-PSC の還元挙動の理解のため、H₂-TPR プロファイルのピーク分離を行い、4つの成分を抽出した。低温側から、領域 I は、(Ce, Zr)O_{2-δ} 中の Ce⁴⁺ から Ce³⁺ への還元、領域 II は、(Ce, Zr)O_{2-δ} との相互作用の弱い Ni の還元析出、領域 III および IV は、(Ce, Zr)O_{2-δ} と強い相互作用を持った Ni の表面およびバルクでの還元析出に相当する。表 2 に、各領域における水素消費量を示す。領域 II、III および IV の合計の水素消費量（測定値）は、担持した NiO の還元に必要な水素消費量（計算値）にほぼ等しく、水素消費量の材料組成依存性が、測定値と計算値で同様の傾向を示した。

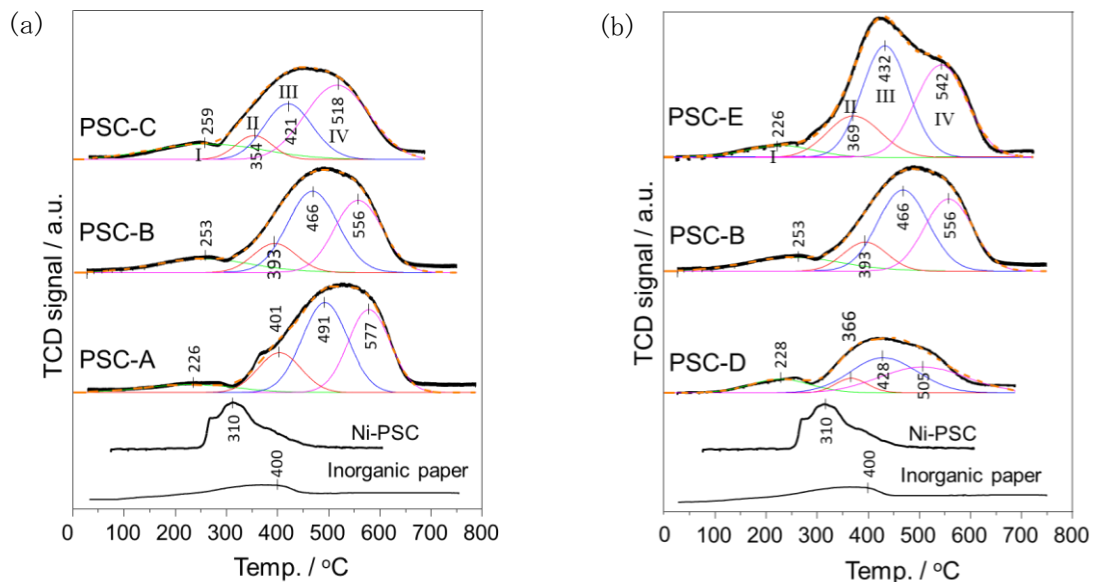


図 8: 本研究で作製した Ni/CZ-PSC の還元特性 (H₂-TPR プロファイル) ; (a) CeO₂/ZrO₂ 重量比依存性 (PSC-A、-B および -C)、(b) Ni 担持量依存性 (PSC-D、-B および -E) ; 図には、Ni を担持していない CZ 分散ペーパー (CeO₂/ZrO₂ = 1) および CZ 分散無しの Ni 担持 PSC (Ni-PSC) の結果も示した。ピーク分離の結果は、低温側から、I: 緑、II: 赤、III: 青および IV: ピンクで示した。

表 2 : H₂-TPR プロファイルから算出した水素消費量

	H ₂ consumption (mmol H ₂ /g _{cat})					Theoretical H ₂ consumption for NiO reduction
	For each component after deconvolution				II + III + IV	
	I	II	III	IV		
PSC-A	0.10	0.23	0.51	0.44	1.18	1.09
PSC-B	0.17	0.16	0.52	0.43	1.11	1.04
PSC-C	0.26	0.13	0.37	0.64	1.14	1.06
PSC-D	0.12	0.07	0.32	0.30	0.68	0.60
PSC-E	0.10	0.28	0.65	0.58	1.51	1.55

領域 I における水素消費量が、CeO₂/ZrO₂ 重量比の増加と共に増大したが (PSC-A < PSC-B < PSC-C)、これは、この順に CZ の OSC が増加したことを示唆しており、この OSC の増加に伴って、領域 II の水素消費量 ((Ce, Zr)O_{2-δ} との相互作用の弱い Ni) が減少した。つまり、PSC-A < PSC-B < PSC-C の順に (Ce, Zr)O_{2-δ} と Ni の相互作用が高まり、これが、この順に Ni 粒子が微細化した要因であると考えられる (表 1 参照)。

図 8-(b)に見られるように、9.1 wt% Ni 担持 (Ni(wt)/(Ce, Zr)O_{2-δ} (wt) > 1 に相当) の PSC-E の場合、Ni(wt)/(Ce, Zr)O_{2-δ} (wt) ≤ 1 である PSC-D (3.5 wt% Ni) および PSC-B (6.1 wt% Ni) に比較して、CZ との相互作用の弱い Ni 量 (領域 II) が増大した。さらに、領域 III の水素消費量も増大しており、(Ce, Zr)O_{2-δ} 表面における Ni の密度が高まり、より凝集しやすい状態となっていることが考えられる。

図 9 に、750 °C、ガス空間速度 (GHSV) 3800 h⁻¹ における 15 時間のドライリフォーミング (CH₄ + CO₂ → 2H₂ + 2CO) 時のメタン転化率を示す。この温度におけるメタン転化率の平衡計算値は、94%である。6 wt% Ni 担持の場合、初期のメタン転化率が、PSC-A (80%) < PSC-C (85%) < PSC-B (87%) の順に高くなった。試験開始から約 2 時間後に、PSC-A の改質活性が急激に低下し始めたのに対して (15 時間後のメタン転化率は 71% (劣化率 11%))、PSC-B および PSC-C の場合は、いずれも劣化率が 3%と低く、安定した改質性能を得るには、CeO₂/ZrO₂ ≥ 1 とすべきであることが明らかとなった。PSC-A の触媒活性が不十分であるのは、PSC-B および PSC-C に比較し、(Ce, Zr)O_{2-δ} との相互作用の弱い Ni の割合が高く、Ni 粒子径が粗大化しやすいことに起因している (表 1 および表 2 参照) と考えられる。

図 10 に、15 時間のドライリフォーミング試験 (図 9) 後の昇温酸化 (TPO) プロファイルを示す。ドライリフォーミング中に PSC 内に析出した炭素は、TPO において、質量分析計による CO₂ の検出ピークとして現れる。300 °C 以上で現れるピークは、アモルファスあるいはグラファイトに相当するが、グラファイト化がより進んでいる場合、より高い温度で TPO ピークが検出される [6, 7]。6 wt%Ni 担持サンプル (PSC-A, -B, and -C) の TPO プロファイルの比較から、CeO₂/ZrO₂ = 2 を有する PSC-C が、最も高い炭素析出耐性 (炭素析出抑制効果) を示し、CeO₂/ZrO₂ = 0.5 の PSC-A の場合は、ドライリフォーミング中、炭素析出が顕著に生じることが明らかとなった。これは、(Ce, Zr)O_{2-δ} との相互作用の弱い Ni 上では、OSC を有する (Ce, Zr)O_{2-δ} 内の格子酸素を、表面反応に効果的に利用することができないことを示している。CeO₂/ZrO₂ = 1 で、異なる Ni 担持量の PSC を比較すると、炭素析出耐性は、PSC-B (6.1 wt% Ni) > PSC-D (3.5 wt% Ni) > PSC-E (9.1 wt% Ni) の順で低下した。PSC-E における激しい炭素析出は、相互作用の弱い Ni が多く存在することと、Ni の凝集を促進する過剰な担持となっていることによる。

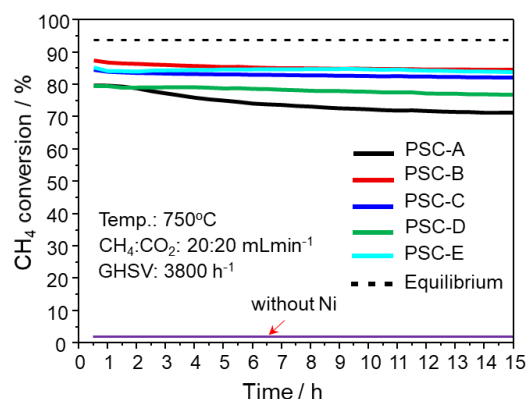


図 9 : 750 °C、ガス空間速度 (GHSV) 3800 h⁻¹ におけるドライリフォーミング試験の結果 (メタン転化率の経時変化) ; 斜線は、メタン転化率の平衡計算値

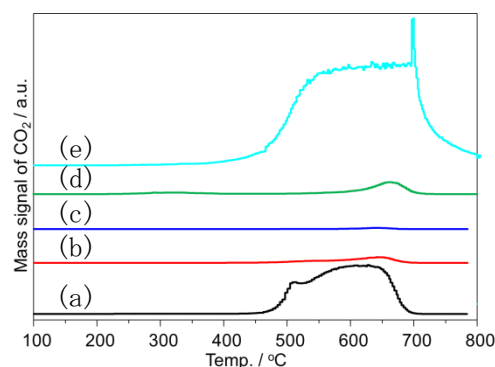


図 10 : 15 時間のドライリフォーミング試験後の昇温酸化 (TPO) プロファイル ; (a) PSC-A、(b) PSC-B、(c) PSC-C、(d) PSC-D、(e) PSC-E

これまでのペーパー触媒 (PSC) 開発に関する成果を以下にまとめる。

- ・メタンドライリフォーミング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 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ 固溶体 ($(\text{Ce, Zr})\text{O}_{2-\delta}$) を PSC 内部で合成するプロセスを開発し、当プロセスで作製した Ni 担持 $(\text{Ce, Zr})\text{O}_{2-\delta}$ 分散 PSC (Ni/CZ-PSC) が、これまでの Ni 担持 PSC (Ni-PSC) やハイドロタルサイト分散 PSC (Ni/HT-PSC) に比べて高い炭素析出耐性を有することを明らかにした。(特許出願済 (特願 2016-167119))
- ・平成 29 年度は、Ni/CZ-PSC の改質性能を最大限高めることを目的として、材料組成依存性 (Ni 担持量 : 3.5, 6.1, 9.1 wt%, $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2$ 重量比 : 0.5, 1.0, 2.0) を詳細に研究した。750 °C、ガス空間速度 (GHSV) 3800 h^{-1} におけるメタンドライリフォーミングに対して、3.5 wt% の Ni 担持は、メタン転化率が高まらない点で不十分である一方、9.1 wt% の場合は、 $(\text{Ce, Zr})\text{O}_{2-\delta}$ との相互作用が弱い Ni が多く存在することになり、CZ 担体が有する OSC の効果が得られにくい上、Ni の凝集による劣化も進行することから、過剰な担持であることが明らかとなった。
- ・Ni 担持量としては、6.1 wt% 付近が良く、この担持量で $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2$ 重量比依存性を評価したところ、 $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2$ 重量比の最も低い場合 (= 0.5) に、メタンドライリフォーミング中に、炭素析出を伴った急激な劣化が生じた。 $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2$ 重量比が高まると共に、 $(\text{Ce, Zr})\text{O}_{2-\delta}$ 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、 $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2 = 1.0$ および 2.0 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 との共著論文 (*Int. J. Hydrogen Energy* 43 (2018) 4951-4960) にまとめられている。Ni/CZ-PSC は、DIR-SOFC を実現するサポート触媒として有望であるため、現在、これを SOFC 単セルに適用し、模擬バイオガス供給時の電気化学性能の評価を実施しているところである。⇒ PO: 2-4, 2-5 (進捗目標 : バイオ燃料供給時の SOFC 科学の体系化、改質部の小型化の達成)

「バイオガス対応型の SOFC システム開発」

バイオガス対応 SOFC システムの開発にあたっては、高効率かつコンパクトとなるよう設計を行い、メコンデルタへ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 °C、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 ($\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 1.5$) 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、当設計に基づいて各構成機器の配置と断熱構造等の検討を進め、図 11 のプロトタイプモジュールを製作した。燃焼器-改質器ユニットの内では、中空円筒管の内側を高温の燃焼ガスが下から上へ流れ、中空円筒内部に充填された 2 wt% Ru- $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ ビーズ ($\phi = 3\text{ mm}$) 触媒に伝熱する仕組みになっている。

図 12 に、様々なスチーム/カーボン比 (S/C) に対するバイオガス ($\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 1.5$) 1 kmol 供給時の炭素生成量の温度依存性を、平衡計算ソフト (HSC Chemistry 9) を用いて見積もった結果を示

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

す。550 °C を超えると吸熱反応であるメタンドライリフォーミング反応 ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{H}_2 + 2\text{CO}$) が促進されるため、S/C = 0 においても析出炭素量が大きく減少してくるが、SOFC の起動中あるいは運転中に、改質器やスタック内部の燃料極における炭素析出を防ぐためには、S/C を 1.4 程度に十分高めておく必要がある。システム起動時は、バイオガス ($\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 1.5$) を定格運転時の約 5 割の流量で供給し、カソード空気と混合することで燃焼器を作動させ、改質器温度が 250 °C に到達したら、S/C = 0.5 となるまで純水供給量を増加させ、320 °C 到達後は S/C = 1.2 となるまで、400 °C 到達後は S/C = 1.4 となるまで純水供給量を増加させながら昇温することとした。

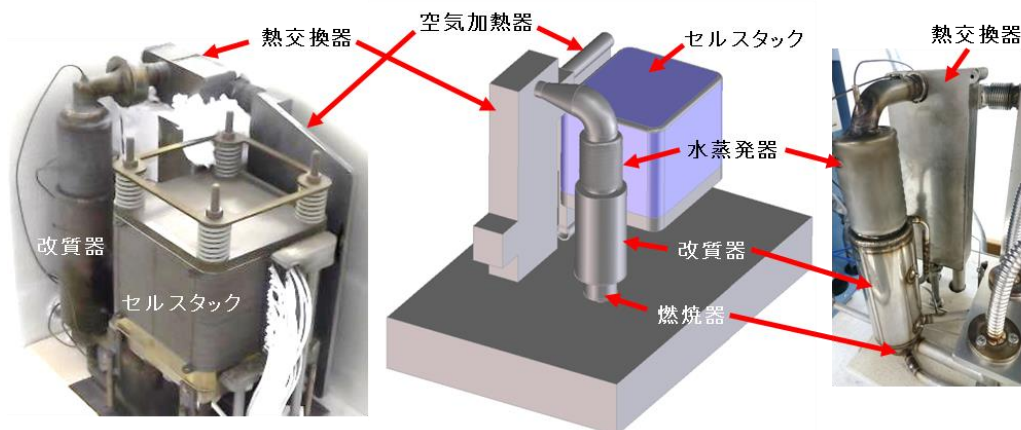


図 11：当プロジェクトで設計・製作したバイオガス対応 SOFC ホットモジュール

バイオガスの低位発熱量は $22 \text{ MJ m}^{-3}(\text{N})$ と都市ガスの約半分であるため、モジュールを構成する燃焼器には、①この発熱量でも着火と安定燃焼が可能な燃焼構造であること、②起動時間を短くできるように、できるだけ多くの空気を循環させる必要があり、空燃比の高い ($\lambda = 2 \sim 5$) ところでも燃焼が可能なこと、③発電運転時の未反応バイオガスのアフターバーナとしても最適な燃焼構造であること、④燃焼ガスの熱が改質触媒に効率良く伝わる構造であること等が要求される。

図 13 に、模擬バイオガス ($\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 1.5$) を供給して実施したモジュール昇温試験の結果を示す。

図のように、昇温開始から約 3 時間でモジュール内各温度が 600~700 °C の範囲で安定し、ほぼ狙い通りの昇温特性が得られ、低カロリーガスであるバイオガスでの起動が問題なく行われていることを確認した。実際のシステム運転時には、改質器温度 600 °C 付近で改質容器内の触媒が機能し始め、生成した合成ガス (H_2/CO) が SOFC に供給されて発電が行われることになる。また、放熱ロス (自然対流熱伝達 + 輻射熱) の実測値は約 130 W であり、見積り (250 W) よりも低い値が得られた。

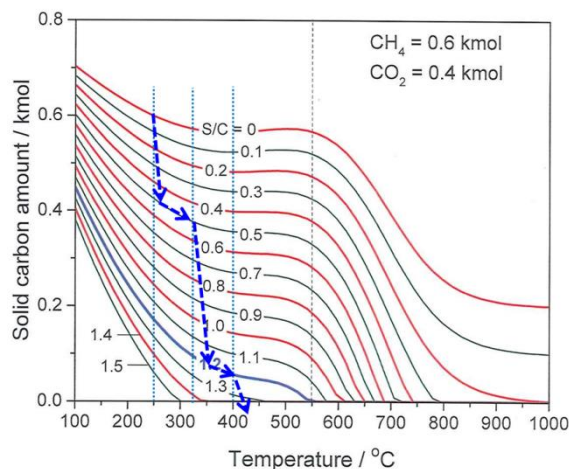


図 12：様々な S/C に対するバイオガス ($\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 1.5$) 1 kmol 供給時の炭素生成量の温度依存性

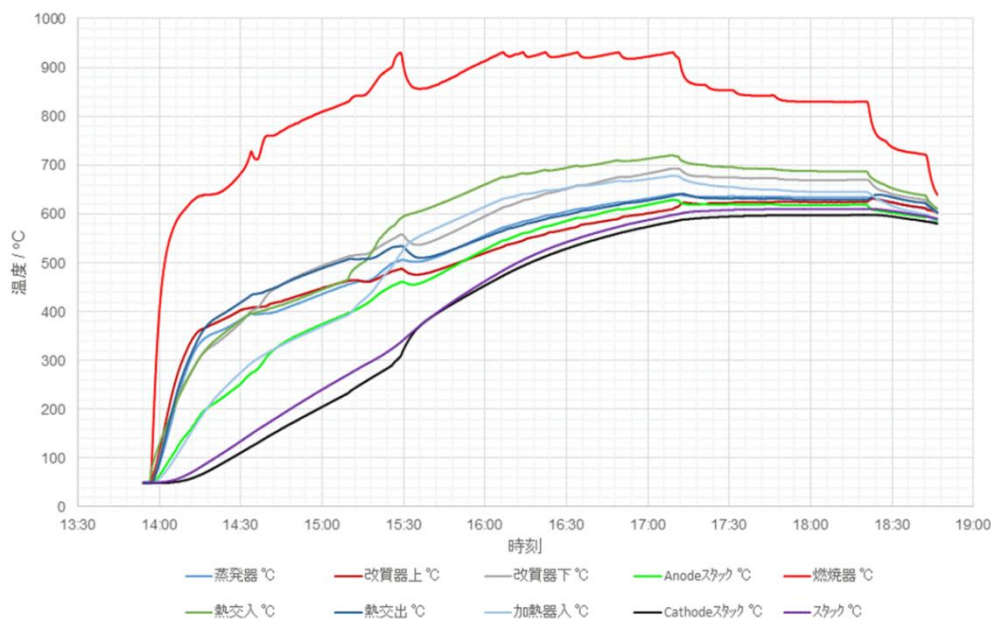


図 13：模擬バイオガス (CH₄/CO₂ = 1.5) 供給時のモジュール昇温試験 (各温度計測値の推移)

開発したバイオガス対応 SOFC モジュールを、制御部および補機部と一体としたシステムとし (図 14-(a) 参照)、平成 29 年 12 月に、当システム (2 機) の実証サイト (ベンチュエ・Hoang Vu エビ養殖場) への据え付けを完了させた (図 14-(b))。これは東南アジアに初めて設置される SOFC システムの実証機である。SOFC システムの頻繁な起動停止や待機運転はスタックの劣化を極端に進行させるため、当プロジェクトでは定格運転を基本とし、発電電力は不規則な負荷変動のない養殖池への曝気に用いる。安定作動のためには、バイオガス発生量の低下や停電等、現地特有の事象に対する備え、つまり、現地対応化が不可欠となる。

当 SOFC システム 1 機を 24 時間連続稼働させるためには、7.30 Nm³ day⁻¹ のバイオガス供給が必要となるが、農学グループの取り組みにより、メコンデルタ特有の有機性廃棄物 (バガス、ココナッツ搾りかすおよびエビ養殖池汚泥の混合物) を発酵槽に投入するだけで、加温・保温なしに現地の気温において、目標値を超える速度でバイオガスを安定して製造することに成功したため (p23 表 3、表 4 参照)、平成 30 年 1 月末に、実証サイトにて、バイオガスを供給した SOFC の試運転を開始した。東南アジア初となる当 SOFC 発電試験の結果を図 14-(c) に示す。バイオガス (CH₄: 55%、CO₂: 45%) を、5.5 L min⁻¹ でモジュールに供給し、スタック温度 700 °C、燃料利用率 69%において、発電効率 53.1%LHV を達成した (電流値: 30 A、スタック電圧: 32 V、出力: 960 W)。この発電効率は、エンジン発電機の倍に達するものであり、当プロジェクトによる成果としてプレスリリースを行った (平成 30 年 2 月 23 日 (金))。今後、自動運転プログラムの高度化を図り、平成 30 年度中旬より、エビ養殖 (高効率曝気装置 (散気装置)) への電力供給試験を開始する予定である。⇒ P0: 2-7~2-10 (進捗目標: 1kW 級 SOFC システムの実証サイトへの導入)

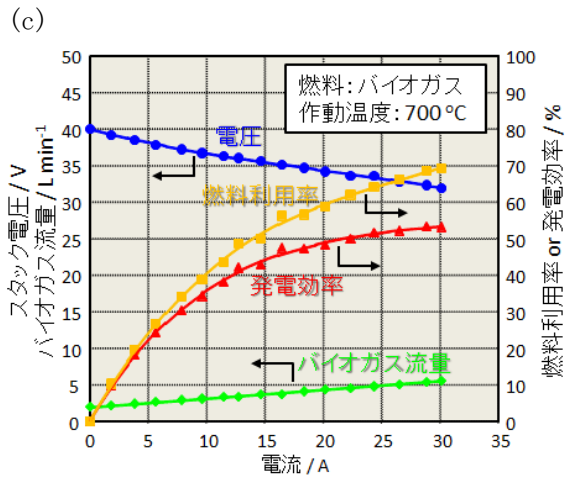
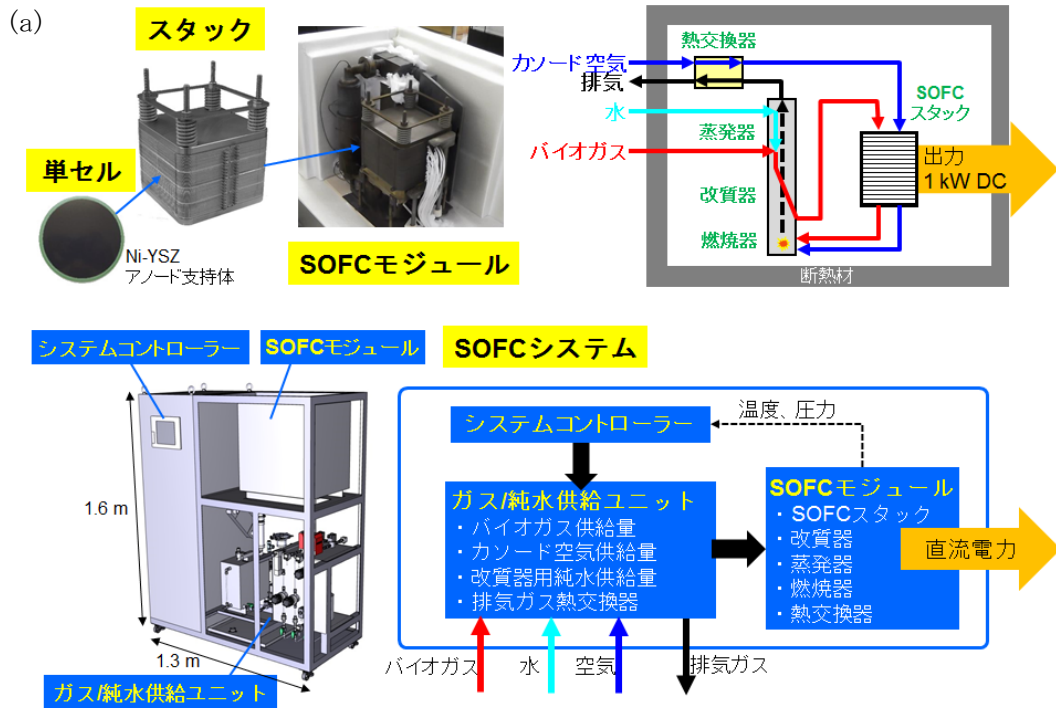


図 14：平成 29 年 12 月に実証サイト（ベトナム・ベンチェ省 Hoang Vu エビ養殖場）に設置した東南アジア初の 1 kW 級 SOFC 実証システム；(a) システム構成の模式図、(b) システム外観写真、(c) 平成 30 年 1 月末に実証サイトで行った 1 kW SOFC システムのバイオガス供給による発電試験結果

「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」

平成 30 年度中旬から開始予定の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試験に向け、実証サイトにおいてこれまで得た各構成設備の運転データ（図 14、表 3、表 4）をベースに、パイロットプラント（図 1）における廃棄物系バイオマス利用時のエネルギー収支を試算した。試算結果を図 15 に示したが、図中の破線をシステム境界とし、この内部に対してエネルギー投入量/エネルギー生産量（PEIO 比[8]）を算出した。

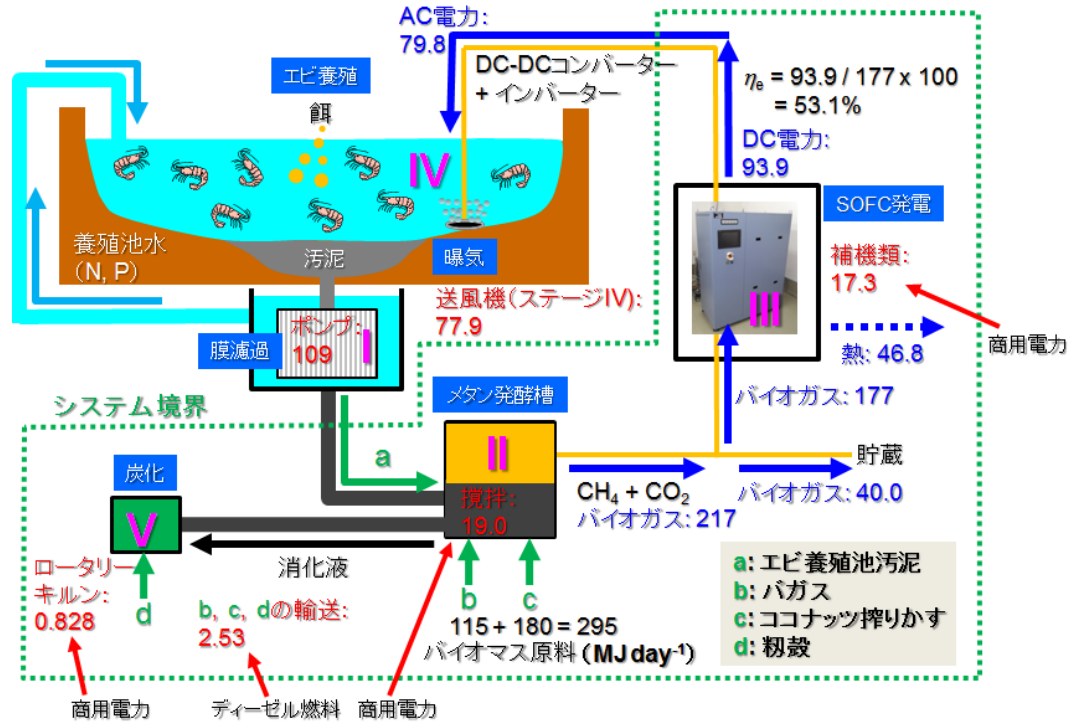


図 15：実証サイトで得た実測データに基づいたパイロットプラントのエネルギー収支の試算；図中の緑の破線（システムの境界）内部のエネルギー収支を試算。青矢印：各地点におけるエネルギー生産量 (MJ day⁻¹)、赤矢印：エネルギー投入量 (MJ day⁻¹)

発酵資材として投入した原料の高位発熱量 (HHV) は、炭素含有量の分析結果から、バガスが 19.1 MJ kg-DW⁻¹ およびココナッツ搾りかすが 22.5 MJ kg-DW⁻¹ と見積もられ[9]、平成 30 年 3 月の実績では、これらをそれぞれ 6.00 kg-DW day⁻¹ および 8.02 kg-DW day⁻¹ で投入したので、バイオエネルギー供給の日量は、295 MJ day⁻¹ である。

製糖工場およびココナッツ加工工場は、実証サイトから約 50 km の距離に位置しており、工場間の距離は約 20 km である。年 2 回、1.34 ton-FW のバガスと 2.23 ton-FW のココナッツ搾りかすを、燃費 10 km L⁻¹ のディーゼルトラックでまとめて輸送するとすれば、ディーゼル燃料の HHV を 38.0 MJ L⁻¹ として、原料輸送のためのエネルギー投入は、日量 2.53 MJ day⁻¹ と見積もられる。当発酵資材の輸送の際には、工場-実証サイト間にある水田地帯から、0.5 ton の粃殻も回収する。

実証サイト発酵槽（スラリー貯留量：約 7.5 m³）におけるバイオガス製造の日量（平成 30 年 3 月

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

5日～11日の平均)は、 $8.76 \text{ Nm}^3 \text{ day}^{-1}$ (表4参照)であり、平均のメタン濃度は、62.2%であったので、メタンのHHV (39.8 MJ Nm^{-3})の値から、生成するバイオガスが有するエネルギーは、日量 217 MJ day^{-1} であった。当プロジェクトでは、現地の気温で機能する発酵菌を用いているため、発酵槽を加温・保温する必要がなく、発酵槽の運転に必要なエネルギー投入は、攪拌動力 19.0 MJ day^{-1} (= 0.220 kW)のみである。

表4のバイオガスを、53.1% LHVの発電効率を有する図14のSOFCシステムに 5.50 NL min^{-1} で供給すると、メタンの低位発熱量 (LHV) 35.9 MJ Nm^{-3} を考慮して、 93.9 MJ day^{-1} (= $(5.50 \times 0.622 / 1000) \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \times 60 \text{ min h}^{-1} \times 24 \text{ h day}^{-1} \times 35.9 \text{ MJ Nm}^{-3} \times 0.531$ (= 1.09 kW))の電力が得られることになる。この際、SOFCシステムに供給されるバイオガスが有する化学エネルギーは、 177 MJ day^{-1} であるので、 40.0 MJ day^{-1} (= $217 \text{ MJ day}^{-1} - 177 \text{ MJ day}^{-1}$)分を化学エネルギーとして貯蔵することができる。SOFCの補機損は、多く見積もって 17.3 MJ day^{-1} (= 0.200 kW)程度である。

毎朝、発酵槽から排出される70Lの消化液を、80kgの籾殻を敷き詰めた乾燥ヤードに散布し、1ヶ月後、120kg程度になった籾殻 + 消化液蒸発残留物を、 50 kg h^{-1} の供給速度で400℃のロータリーキルン (炭化装置) に供給して無酸素状態で熱分解し、炭肥料を製造する。この時の消費電力は、2.30kWである。炭化装置は、1ヶ月に1回の稼働で、1回の稼働時間は3時間であるので、投入エネルギーの日量は、 $0.828 \text{ MJ day}^{-1}$ となる。

以上より、当パイロットプラントのバイオマス利用におけるPEIO比は、 29.6% (= $(2.53 + 19.0 + 17.3 + 0.828) / (93.9 + 40.0) \times 100$)と見積もられる。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 46.8 MJ day^{-1} 分の熱エネルギーをオンサイトで利用することができれば、PEIO比はさらに低減され、21.9%となる。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、低いPEIO比が見積られるのは、高効率発電システム (SOFC) の導入および廃棄物系バイオマスの利用に起因している。廃棄物系バイオマスを利用することで、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、当プロジェクトでは、原料の前処理、発酵槽の加温・保温、メタン濃縮のいらぬ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ため、エネルギー投入が抑えられている。

実証プラントを整備したHoang Vuエビ養殖場では、汚泥発生量の少ないバナメイエビを養殖しており、メインの発酵資材となり得る量の汚泥を回収することができないが、メコンデルタの主要生産物の一つであるナマズの養殖では、多量の汚泥の蓄積が報告されており、このようなサイトでは、養殖池汚泥をエネルギー利用したさらにPEIO比の低いシステムを構築できると期待される。現在、CTUの研究チームが、複数のナマズ養殖場を訪問して汚泥の性状調査を実施中であり、日本では、九州大学の農・工合同チームがクルマエビ養殖において発生する汚泥の性状調査およびメタン発酵ラボ試験を計画しており、今後、水産養殖汚泥のエネルギーポテンシャルを明らかにして行く。

我々の実証プラントでは、図15に示したように、SOFCで発電したバイオガス由来の電力を、バナメイエビ養殖池の曝気システムに供給する。この際、微細気泡を発生させる散気装置 (ダイセン・

メンブレン・システムズ製)を導入して曝気自体の省エネルギー化を図る。図16のように、直径267 mmの散気盤4つからなる散気ユニットを4セット組み、当ユニットを50 m x 60 mの養殖池の四隅に一つずつ配置し、6.0 mg L⁻¹の溶存酸素濃度(DO)を維持できるように、曝気を行う。図中の表に、養殖試験の条件および必要電力を示した。稚エビを約25万匹投入して養殖を行うが、バナメイエビの酸素消費量を0.5 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹[10]とし、エビの生残率を100%と仮定して、養殖ステージをエビの単位重量でI~IVに分類し、DO = 6.0 mg L⁻¹を維持するための必要電力を、各ステージでの必要空気量、ブロワ吐出圧力をもとに、理論断熱空気動力として算出した。出荷直前のステージIVでは、必要電力が0.902 kW (= 77.9 MJ day⁻¹)と見積もられたが、この値は、DC-DCコンバーターおよびインバーターロス(合計約15%の損失)を差し引いたSOFCの出力とほぼ一致している。当エネルギー循環システムを連続的かつ安定的に稼働させるために、SOFCをサポートするバッテリーを導入した電力制御システムを組み(中山鉄工所)、平成30年度中盤より実証試験を開始する。⇒ P0: 4-7, 4-8 (進捗目標: SOFC 発電実証、バイオエネルギー利用電気システム構築)



図 16 : 微細気泡散気装置を導入した省エネ曝気システム ; (左表) 養殖条件、(右表) 各養殖ステージの必要電力

研究題目1のカウンターパートへの技術移転の状況

燃料電池はベトナムにおいては最先端の技術であり、特に当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、平成28年9月より開始しており、平成29年度も、当ラボを活用して共同研究を推進した。⇒ P0: 1-1, 2-1

ベトナム人若手研究者の育成を目的とし、VNUHCMのUniversity of Scienceにおいて、現地の学生および研究スタッフ向けに開催された集中講義(Short Course in Third International Workshop on Nano Materials for Energy Conversion (NMEC-3), May 2017)にて、研究代表者が、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17)。⇒ P0: 2-1~2-6, 3-1~3-5, 4-3~4-5, 4-8

【平成29年度実施報告書】【180531】



	May 3 rd	May 4 th	May 5 th , Parallel Sessions		May 6 th
Morning 8:30 - 12:00	Short Course 1 Y. SHIRATORI Fuel cell technology for highly efficient biomass utilization (8:30-10:00)	Registration Opening Ceremony Plenary Session Group Photo	Grand Hall	Room 123	Room 123
	Coffee Break	Coffee Break	Coffee Break		Coffee Break
	Short Course 2 M. OHTAKI (Thermo-Electric Materials) (10:15-12:00)	Parallel Sessions Grand Hall Room 123	Session: MOFs, ZIFs, Gas separation & storage	Session: Rechargeable Batteries 2 (cont.)	Short Course 3 TRAN DINH PHONG (Artificial Leaf)
		Session: Fuel Cell	Session: Nano materials for energy conversion 1		Short Course 4 LE Quoc Hung (Voltammetry)
			CLOSING CEREMONY (11:45-12:00) Grand Hall		



図 17：現地の人材育成を目的とした C/P 研究機関（VNUHCM）での集中講義；（左）平成 29 年 5 月に開催された NMEC-3 のプログラム、（右）NMEC-3 の Short Course にて講義を行う研究代表者

当プロジェクトに関するメコンデルタ地域への情報発信を目的として、エビ養殖業、製糖業およびココナッツ加工業が盛んであり、実証サイトを整備したメコンデルタ・ベンチュにて、プロジェクトワークショップ（Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture (WANA)) を毎年開催しているが（WANA2015（平成 27 年 11 月 16 日）、WANA2016（平成 28 年 12 月 20 日））、平成 29 年度は、我々の活動をより広く知っていただくことを目的とし、ファンティエットで開催した（WANA2017（平成 29 年 11 月 12 日））。WANA2017 では、SOFC 分野の世界的権威であるカリフォルニア大学サンディエゴ校（UCSD）の Dr. Nguyen Quang Minh を招聘し、現地のステークホルダー（地域住民、水産養殖業者、人民委員会メンバー、ベトナム科学技術省からの来賓等）に向けて SOFC の特徴、機能および優位性について講義をいただき、続いて研究代表者が SATREPS におけるこれまでの成果および進捗状況の説明を行った。また、WANA2017 と同時開催の国際会議 The 6th International Workshop on Nanotechnology and Application (IWNA 2017) では、研究代表者がベトナム人若手研究者および学生に向けて、SOFC 技術およびペーパー触媒技術について解説を行った。⇒ P0: 5-5

ベトナムの社会発展、技術支援、人材養成への研究を通じた九州大学の貢献および現地とのつながりの更なる発展を目的とし、平成 30 年 1 月 17 日（水）に、ハノイのトウイロイ大学にて開催された本学主催シンポジウム「Power of Research -Kyushu University Symposium Hanoi 2018-」にて、研究代表者が“Highly Efficient Utilization of Waste Biomass for Power Generation with Fuel Cell Technology”の題目で、SATREPS を通じたベトナムとの協力体制について講演を行った（図 18）。当日は、ベトナムの高等教育関係者を中心に 90 名を超える参加があり、広く情報発信する貴重な機会となった。⇒ P0: 5-5



図 18：平成 30 年 1 月にハノイで開催された九大シンポジウム「Power of Research -Kyushu University Symposium Hanoi 2018-」にて講演する研究代表者

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

計画通り進行しているので特に該当なし。

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

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为原料としたバイオガス製造実証」

我々は、これまで報告例のないメコンデルタ特有の発酵系に対して、4 L 発酵槽を用いてメタン発酵ラボ試験を実施し (*Frontiers in Environmental Science* 5 (2017) Article 25)、エビ養殖池汚泥が、メコンデルタの気温において、現地の有機性廃棄物 (バガスおよびココナッツ搾りかす) を分解するメタン発酵菌の供給源として利用できることを見出している。当ラボ試験を、明和工業との産学連携の下、プラントレベル (スラリー貯留量 : 約 7.5 m³) にスケールアップし、平成 29 年度に入り、Hoang Vu エビ養殖場内の実証サイトにおいて、バイオガス製造の実証試験を本格的に開始した。⇒ P0: 3-4, 3-5 (進捗目標 : 最適発酵法の確立)

平成 29 年 2 月に、エビ養殖池汚泥の上澄み液 840 L、膜濾過装置で慮別されたエビ養殖池濃縮水 1,980 L、水道水 4,000 L およびバガス 550 kg (水分含有量 36%) を図 19-(上) の発酵槽に投入し、固形分濃度 (TS) 約 10 % でメタン菌の馴養を開始した。この際、炭素率 (C/N 比) が 20 程度となるよう尿素 (CO(NH₂)₂) 10 kg を添加し、さらに、pH を約 7 に維持するため、CaO および CaCO₃ をそれぞれ 16 kg および 24 kg 投入した。馴養開始 1 ヶ月後からガス発生を確認し、その後、約 1 年間にわたって、固形分濃度や発酵資材の種類を変え、1 kW 級 SOFC を連続運転可能なバイオガス製造量の目標値 (7.3 Nm³ day⁻¹) の達成を目指した。

バイオマス原料の投入と発酵残渣の排出の日量 (平成 30 年 3 月 5 日~11 日) を表 3 に示す。この週のバガスおよびココナッツ搾りかす投入の平均日量は、それぞれ 6.00 kg-DW day⁻¹ および 8.02 kg-DW day⁻¹ で、これらに養殖池濃縮水を加えたスラリー投入の平均日量は 111 kg day⁻¹ (水理学的滞留時間 (HRT) = 68 日) であった。当該期間のメタン発酵槽の運転条件およびバイオガス製造量を表 4 にまとめたが、TS13 %、平均 pH7.07、平均気温 29.5° C において、目標値を上回る平均日量 8.76 Nm³ day⁻¹ (20° C での計測値 9.40 m³ day⁻¹) のバイオガス生成 (平均組成 CH₄(%) / CO₂(%) = 62.2/37.8) を達成した。実証機で製造したバイオガスは、発電用に図 19-(下) の樹脂製ガスホルダー (容量 11 m³) に貯蔵しており、余剰ガスは、圧力を検知して排気ブロワにて自動的に大気に放出されるしくみとなっている。⇒ P0: 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)



図 19 : (上) 酸化鉄ペレットを充填した脱硫塔を備えたメタン発酵槽実証機および(下) 樹脂製ガスホルダー

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

リグノセルロースおよびデンプン系バイオマスを、現地に生息しているメタン菌（養殖池汚泥が菌の供給源）を用いて現地の気温でバイオガス化できることをプラントレベルで示したことは、農学グループが得た新しい知見であり、加温・保温を必要とせず、現地の有機性廃棄物を投入するだけで発電用燃料を得るシンプルなエネルギーシステムを組めることを意味する点で、工学的にも極めて意義のある成果である。⇒ P0: 3-5

表 3：バイオマス原料の投入と発酵残渣の排出の日量（平成 30 年 3 月 5 日～11 日）

Local time 9:00 am	Mar 5 (Mon)	Mar 6 (Tue)	Mar 7 (Wed)	Mar 8 (Thu)	Mar 9 (Fri)	Mar 10 (Sat)	Mar 11 (Sun)
Input							
Bagasse (kg-FW* day ⁻¹)	7.45	7.40	7.85	7.05	7.40	7.65	0
Water content (%)	19.6	19.0	23.5	15.0	18.7	21.7	-
Bagasse (kg-DW** day ⁻¹)	5.99	5.99	6.01	5.99	6.02	5.99	0
Coconut pomace (kg-FW day ⁻¹)	14.2	19.6	11.9	10.7	10.7	11.0	0
Water content (%)	43.6	59.1	32.4	25.3	24.9	26.9	-
Coconut pomace (kg-DW day ⁻¹)	8.01	8.02	8.04	7.99	8.04	8.04	0
Concentrated pond water (L day ⁻¹)	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	0
City water (L day ⁻¹)	0	0	0	0	0	0	0
Urea*** (kg)	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520	0
Chemical fertilizer (kg)	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0
Total (kg)	112	118	110	108	109	109	0
Discharge							
Bagasse (kg-FW day ⁻¹)	30.0	29.0	29.6	30.7	35.4	39.1	0
Water content (%)	87.7	85.4	84.7	85.2	85.8	84.4	-
Bagasse (kg-dry day ⁻¹)	3.69	4.23	4.53	4.54	5.03	6.10	0
Digestate (L)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	0
Water content (%)	97.4	98.1	97.8	97.6	97.6	97.6	-
Evaporation residue (kg)	1.82	1.32	1.55	1.72	1.67	1.65	0
Total (kg)	102	100	101	102	107	111	0

*生重量、**乾燥重量、***C/N 比 20 維持のため

表 4：メタン発酵槽の運転条件およびバイオガス製造量（平成 30 年 3 月 5 日～11 日）

Local time 9:00 am	Mar 5 (Mon)	Mar 6 (Tue)	Mar 7 (Wed)	Mar 8 (Thu)	Mar 9 (Fri)	Mar 10 (Sat)	Mar 11 (Sun)
Stirring rate (rpm)	16	16	16	16	16	16	16
Stirrer current (A)	1.39	1.4	1.41	1.39	1.38	1.38	1.37
Pressure of slurry (kPa)	25.6	25.7	25.8	25.9	25.9	26.1	26.0
Slurry volume (m ³)	7.46	7.49	7.52	7.54	7.54	7.60	7.57
Temperature (°C)	29.9	30.1	29.7	29.4	29.2	29.2	28.8
pH	7.12	7.06	7.07	7.07	7.06	7.04	-
Biogas production* (m ³ day ⁻¹)	7.52	7.85	10.8	10.2	9.48	9.23	10.7
Biogas pressure (kPa)	0.78	0.73	0.72	0.75	0.77	0.78	0.76
CH ₄ (%)	64.8	64.1	59.4	61.4	62.1	61.6	-
CO ₂ (%)	35.2	35.9	40.6	38.6	37.9	38.4	-
CH ₄ /CO ₂	1.84	1.79	1.46	1.59	1.64	1.60	-

*20 °C における値、TS: 13%、H₂S 濃度: 75-1,600 ppm (脱硫塔上流)、< 0.5 ppm (脱硫塔下流)

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

当プロジェクトでは、製造したバイオガスを 1 kW 級 SOFC およびガスエンジンに供給して発電実証を行うが、バイオガス中に含まれている不純物（硫化水素（ H_2S ）やシロキサン）により、発電システムの耐久性が著しく損なわれることが知られている[11]。下水汚泥や生ごみを発酵資材とする場合、バイオガス中には、生活用品（シャンプー、リンス、化粧品等）に含まれているシロキサンが微量存在し、これが、発電中、システム内部にシリカとして堆積し故障を引き起こすが、当プロジェクトの発酵系（バガス-ココナッツ搾りかす-エビ養殖集積汚泥）は、シロキサンフリーの系であり、この影響は考えなくて良い。一方、 H_2S はバイオガス中に必ず存在する不純物である。ベトナムの農村部で導入が進んでいる豚糞尿を用いたダイジェスターにおいては、一般的に 3500 ppm 程度の H_2S がバイオガス中に含まれており、高濃度の H_2S は、発電システム内部の金属の腐食やエンジン内潤滑油の劣化を引き起こす。当プロジェクトで製造に成功したバイオガス中の H_2S 濃度は、75~1,600 ppm であり、一般的なバイオガスに比べて低いが、SOFC の運転には、0.5 ppm 以下の H_2S 濃度が要求される[12]。これは、SOFC の作動条件下（700 °C、還元雰囲気）において、燃料極触媒として用いられている金属 Ni 表面上（電極反応および改質反応のミクロな活性サイトとして機能）に H_2S 由来の硫黄成分が化学吸着しやすく、低濃度でも容易に触媒活性を低下させるためである[13]。

当プロジェクトのメタン発酵槽実証機には、図 19-(上)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）、脱硫後のバイオガスが SOFC システムに供給される。平成 30 年 5 月に、酸化鉄脱硫塔下流で検知管により測定したバイオガス中 H_2S 濃度は、0.5 ppm 以下であり、SOFC に供給できるレベルまで低減されている。⇒ P0: 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）

「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」

バイオマス利用システムの社会実装を目指す上で、メタン発酵槽から排出される消化液の取り扱いが重要である。図 19 のメタン発酵槽実証機から、毎日 70 L の消化液を排出しているが、これを 10 m³ の籾殻入り乾燥ヤード（図 20 参照）にまけば、1 日で乾燥できることが試算結果および実証試験の結果から示された。我々は、消化液の蒸発残留物を籾殻とともに炭化装置（明和工業製）を用いて炭化し、これを土壤に混ぜて現地の農作物の栽培に用いる計画を立て、平成 29 年度に入り、実証サイトに設置した炭化装置の稼働を開始した。原料籾殻 30 kg に対して、消化液を 223 L 加え、含水率 11.9% となった乾燥原料 37.7 kg をホッパーに投入し、30 kg h⁻¹ の速度で温度 400 °C のロータリーキルンに供給し、二次焼成炉温度 650 °C の条件で、炭化物を収率 32% で得た。電子顕微鏡観察により、得られた炭化物は、シリカおよび炭素を主成分とする直径約 10 μm のチューブからなる多孔質体となっていることが確認され（図 20）、EDX 元素分析において、窒素、リン、カリウムが多孔質内部に固定化されていることが確認された。当炭化物においては、その幾何学的特徴から、土壤の空隙率を高める効果も確認されており、土壤の物理性（保水性、透水性）も改善できる基礎肥料として利用することができる。当プロジェクトのパイロットプラント（図 1）では、炭化設備を月 1 回稼働させれば自然乾燥した消化液を処理でき、低エネルギー消費で消化液および現地有機性廃棄物から付加価値のある肥料を生産することができる。⇒ P0: 4-5（進捗目標：発酵残渣利活用手法の確立）



図 20：メタン発酵槽実証機から排出される消化液および現地未利用バイオマス（籾殻）を原料とした炭肥料の製造および炭肥料を用いた実証サイト試験農場におけるトウガラシの栽培

メタン発酵により生じた残渣が農業生産に活用できるかを検証することを目的として、平成 29 年度は、農学グループの現地視察および CTU との協議により、一年生作物で通年栽培可能であり、害虫忌避性（殺虫剤不使用）で栽培が容易なトウガラシ（現地作物）の栽培試験を行うこととした。図 20 のように、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、それぞれ異なる条件で農作物の栽培を行う実験区 A、B、C および D とした。A と C には、実証サイトで製造した炭化物（消化液蒸発残留物を加えた籾殻の燻炭）68 L（畝の体積の約 1 割）を混ぜ込み、平成 29 年 9 月 13 日より、トウガラシの栽培試験を開始した。栽培前の土壌 pH は 7.7 であった。A と B には、化学肥料（ハイポネックス）10 mL を 1000 倍希釈して 10 L としたものを週 1 回散布し、C と D には 500 倍希釈の化学肥料を同様に散布した。

平成 29 年 12 月 18 日に収穫を行うことができ（図 20）、A 区、B 区、C 区、D 区それぞれの試験区からのトウガラシ 1 株当りの収穫量（g）は、129、133、204、210、1 株当りの果実数は、27、30、43、37 であった。また、トウガラシの平均果実重量（g）は、4.66、4.49、5.03、5.78 であった。500 倍希釈の化学肥料を適用した（施肥量の多かった）畝 C、D で収穫量、果実数および果実重量が高くなる傾向を示したが、炭化物の混入の有無（A-B 間、C-D 間）については統計的に有意な違いは認められなかった。

栽培終了直後の土壌 pH は、A 区、B 区、C 区、D 区で、それぞれ 7.3、7.4、7.5、7.5 で、大きな
【平成 29 年度実施報告書】【180531】

違いは認められなかった。多量に蓄積された場合、栽培への悪影響が懸念される Na の濃度 (mg Kg^{-1}) も、それぞれの実験区で 52.3、53.8、49.2、52.4 と、製造した炭化物の混入による Na 濃度の上昇は認められなかった。N、P、K についても試験区による違いは明確ではなかった。今回の炭化物混入量では、トウガラシ生産に対して特に問題も認められなかったことから、今後、炭化物の栽培土壌への混合量を増やし、肥料効果を検証する。⇒ P0: 4-5

「陸上水槽によるエビ養成試験（於：実証サイト）」

メタン発酵槽に供給する養殖池濃縮水の回収過程では、膜濾過装置（ダイセン・メンブレン・システムズ製）により透過水が作られ、これが池に戻される。実証池でのバナメイエビ養殖の開始に合わせて行った水循環において、養殖開始 1 週目と 4 週目の透過水および原水の濁度の違いから（図 21-(a)）、本装置の濾過能は非常に高いと言える。そこで、透過水の利用がエビの生残にどの程度影響を及ぼすか検証するために、平成 29 年 10 月 25 日～平成 30 年 1 月 29 日の 97 日間、バナメイエビ飼育の水槽試験を行った。掛け流し式の飼育水槽のレイアウトを図 21-(b)に示す。透過水、原水とも、写真左端の 500 L 水槽（沈殿槽）に一旦貯めて、揚水ポンプによって原水系、透過水系各 4 つの飼育水槽（100 L）に水を連続供給し、ストレーナーを通して排水を行った。飼育個体数は、6 月 13 日～8 月 21 日まで行った予備実験の結果に基づき、各飼育水槽あたり 10 個体とした。飼育開始時の稚エビの大きさは、透過水系では 1.39 g (0.5～3.6 g)、原水系では 1.05 g (0.4～1.8 g) であった。

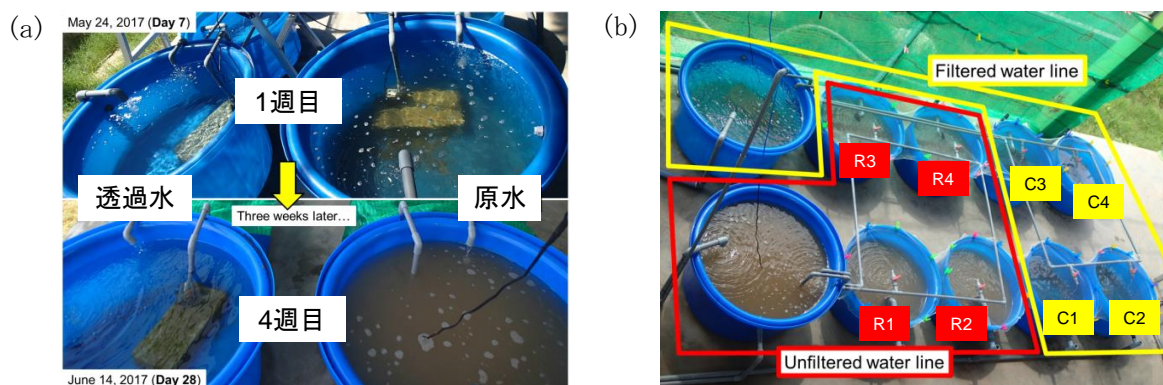


図 21 : (a) バナメイエビ養殖開始(上段)1 週目と(下段)4 週目における(左) 膜濾過装置で得た透過水と(右)原水、(b) 実証サイトで行ったエビ飼育試験の水槽レイアウト (黄:透過水系(水槽 C1～C4)、赤:原水系(水槽 R1～R4))

表 5 に、バナメイエビ飼育水槽試験の結果を示す。透過水系と原水系では収穫量に大きな違いが現れたが、この差を生んだ最大の要因は生残率の違いであった（透過水系は平均 90%、原水系は平均 43%）。原水系では、全滅した水槽（2 基）があった一方で、10 個体すべて生き残った水槽もあり、生残率が不安定であった。一方、生存個体のみで各個体の体サイズを比較するとそれほど顕著な違いは見られなかった。透過水系では原水系に比して、平均頭胸甲長で有意に大きかったが、体重では両方で違いは見られなかった。透過水系と原水系において体重に差が見られなかった原因は、生育密度が関係している可能性が考えられる。透過水系、原水系とも、飼育中、個体数の少なくなった水槽で良

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

い成長が見られ (C2、C4、R2) たが、生育個体数の大小に関係なく等量の投餌を行ったため、飼育個体数の少ない水槽では、個体あたりが食べる餌の量が増えたものと考えられる。また、飼育個体が少ないほど、個体間の干渉度が減ることから、ストレスが軽減され、成長にプラスに働いたのかもしれない。⇒ P0: 4-4 (進捗目標: 養殖池水質管理技術の確立)

表 5: バナメイエビ飼育水槽実験 (平成 29 年 10 月 25 日～平成 30 年 1 月 29 日) の結果

	水槽	収穫量 / g	平均頭胸甲長 / mm	平均体重 / g	生残率 / %
透過水系	C1	139.2	26.8	13.9	100
	C2	153.0	28.8	17.0	90
	C3	165.79	28.2	16.6	100
	C4	123.3	29.0	17.6	70
原水系	R1	0	NA*	NA	0
	R2	97.0	27.9	16.2	70
	R3	133.7	26.2	13.4	100
	R4	0	NA	NA	0

*全個体死滅のため計測できず。

収穫したエビを目視観察したところ、透過水系と原水系でエビの体色に違いが見られた。透過水系では色素沈着が多く、原水系で飼育した個体に比べて濃い色合いに感じられた (図 22-(a))。また、エビを湯がいた後の比較でも、透過水飼育個体ではより赤味が強く (図 22-(b))、外骨格をはずしてむき身にした状態で比較した際でも両者の色素の違いが感じられた。この体色の違いは、平成 29 年度の前半に実施した予備実験においても観察された。

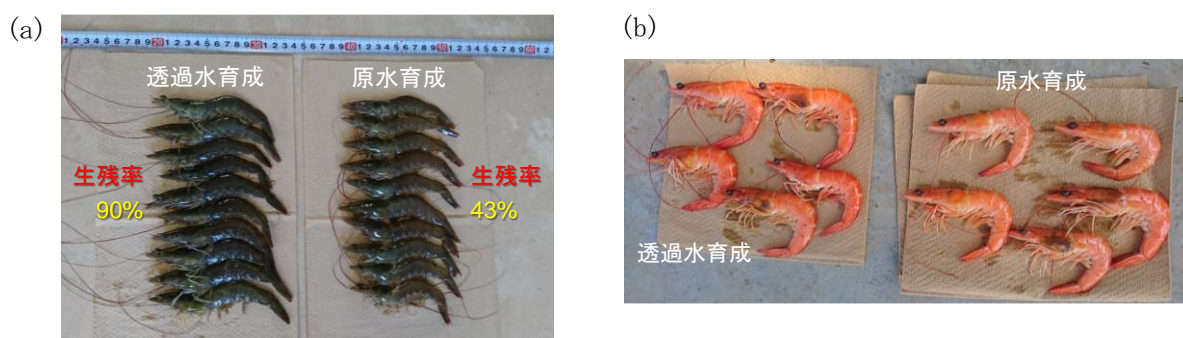


図 22: 収穫後のエビの体色の比較; (a) 収穫直後、(b) 茹で揚げ直後

体色の違いが生じた要因として、飼育水の濁度の違いが考えられる。透過水系では、飼育終盤においても上から個体を目視できるほど高い透過性を保っていたが、原水水槽では全く目視できないほどの濁りであった (図 21 参照)。エビの体色は、周辺環境の色 (背景色) によって変化することが知られている。白色のプラスチック水槽で飼育されたバナメイエビは、明るい灰色になり、黒色水槽では濃い灰色または濃紺色となることが報告されている [14]。本実験では、側面も底面も青色の丸型水槽を使用した。原水を入れた水槽では飼育水の濁りにより水槽の色が相対的に薄まり、その結果として、透過水を使った水槽で飼育したエビよりも体色が若干薄くなった可能性が推察される。一方、「日焼け」の可能性も考えられる。浅所で養殖されたマダイでは、表皮中の黒色素胞に含まれるメラ

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

ニン量が増えることにより体色が黒変することが知られている。この変化は紫外線に対する応答と考えられており、遮光によりその体色変化は抑えられる[15]。エビ類でも同様の変化があるのか調べる必要があるが、原水の濁りが遮光効果を果たした可能性は考慮すべきであろう。今後、可食部の成分および呈味成分の分析が必要であるが、もし呈味に違いがないのであれば、飼育時の光環境を制御することで消費者の好む色合いに仕上げることができると言えるだろう。

「陸上水槽によるエビ養成試験（於：CTU）」

実証サイトで行う水質管理実証は、図 16 の微細気泡散気装置を用いて曝気を行う工学的アプローチに加え、現地周辺に生育している水生植物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でも実施予定である。実証サイトのあるベンチェ省を含めたメコンデルター帯では、バナメイエビ (White-leg shrimp) やブラックタイガー (Black tiger shrimp) といった海産エビの養殖が大変盛んであるが、海産エビであるがゆえに、使われる池の水は汽水 (塩分 0.9~1.0%) である。そのため、バイオエンジニアリング的アプローチで用いる水生植物は、広塩分耐性を有する (特に低塩分側に耐性を持つ) 汽水域で生育する海藻類を用いるのが、塩生植物よりも有利だと考えた。昨年度の報告書にあるように、我々は、CTU の協力の下、メコンデルタ地帯の海藻植生調査を実施し、紅藻オゴノリ属 1 種と緑藻アオサ属 2 種を候補植物として利用した実験を実施中である。⇒ P0: 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る。そこで、平成 29 年度 8 月より、CTU において、バナメイエビ/海藻複合飼育試験を開始した。

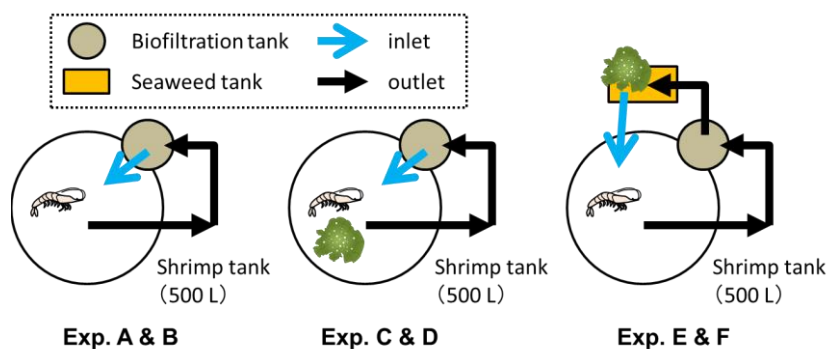


図 23 : バナメイエビ/海藻複合養殖試験の実験デザイン ; エビ飼育水槽と生物濾過槽を組み合わせた閉鎖循環系水槽であり、A・B 区はエビのみ飼育、C・D 区はエビ飼育水槽に海藻を入れた水槽、E・F 区では海藻栽培水槽を用意し、エビ飼育水槽に海藻を入れずに飼育した。エビ飼育密度は 1 m³ あたり 200 尾 (A・C・E 区) と 400 尾 (B・D・F 区) とした。

図 23 は、本実験で採用した水循環飼育装置の模式図である。海藻の有無 (3 処理) とエビの飼育密度 (2 処理) の計 6 区 (n=3) を設定した。海藻なし (A・B 区)、海藻あり (エビ飼育水槽に海藻同居 : C・D 区)、海藻あり (エビ飼育水槽と海藻栽培水槽が独立 : E・F 区) の各区で、初期のエビ飼育密度が 1 m³ あたり 200 個体と 400 個体となるようにした。500 L の丸型水槽に希釈人工海水 (400 L)

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

を張り、オーバーフロー方式で排出を行った。排水は一旦生物濾過槽に送られ、亜硝酸酸化細菌、硝酸酸化細菌の働きによりアンモニア態窒素→亜硝酸態窒素→硝酸態窒素へと無毒な形に変えた後、水中ポンプにより再び飼育水槽へ戻した（生物濾過槽での貯留時間が短いため、全てのアンモニア態窒素が硝酸態窒素へと変わるわけではない）。ただし、E・F区では、生物濾過槽から出た飼育水は海藻水槽を経由してエビ飼育水槽へ戻す設計とした（水中ポンプは海藻水槽側に設置）。C・D区とE・F区では海藻の栽培場所が異なる。海藻あり水槽では、飼育水中の溶存栄養塩の吸収による除去を期待しているが、C・D区のようにエビ飼育水槽に海藻が混在している場合、海藻が遮蔽効果や餌としてエビの生残や成長にもプラスに働く可能性が考えられた。ここでいう遮蔽効果とは、日光や紫外線に対する効果、あるいは他のエビ個体から自分を隠すカモフラージュ効果を指す。そのため、純粋に海藻の栄養吸収効果を見るためには、E・F区のようにエビ水槽から海藻を隔離する必要があると考えた。本実験に用いた海藻は、紅藻オゴノリ属の1種である *Gracilaria tenuistipitata* を1区あたり1 kg 用いた。本実験は8月17日に開始し3か月間行う予定だったが、エビの大量死が確認された10月8日（51日目）に実験を中止した。

収穫したエビに対して測定した、日間成長率、生残率、1 m³あたりの生産量、餌料転換効率を表6に示す。大量死が発生する直前に得られたデータであることを断っておく必要があるが、「低密度飼育下でのエビ海藻複合飼育」で高い生産量を打ち出すことができた。他の試験区に比べて特に良好な結果を示した項目は、灰色セルで示している。海藻の入れ方では、エビ飼育水槽に海藻を入れない「海藻栽培別水槽」の方が若干だが効率的なエビ生産に繋がった。高密度飼育下では、海藻有水槽でもあっても低生産に押さえられ、生残率に関しては「低密度飼育下でのエビ海藻複合飼育」との差が顕著であった。⇒ P0: 4-3（進捗目標：養殖池水質管理技術の確立）

表6：陸上水槽におけるエビ/海藻複合養殖試験の結果

	対象区 (海藻なし)		処理区 (海藻はエビ飼育水槽)		処理区 (海藻栽培水槽)	
	A区	B区	C区	D区	E区	F区
エビ飼育密度 (1 m ³ あたり)	200	400	200	400	200	400
エビ体重 (1日目) (g)	0.04 (± 0.01)	0.05 (± 0.02)	0.05 (± 0.01)	0.04 (± 0.01)	0.05 (± 0.01)	0.04 (± 0.01)
エビ体重 (51日目) (g)	9.2 (± 1.04)	6.94 (± 1.38)	10.93 (± 1.86)	7.77 (± 1.07)	11.82 (± 1.42)	9.68 (± 0.47)
成長量 (g) * ¹	9.16 (± 1.03)	6.89 (± 1.39)	10.88 (± 1.85)	7.73 (± 1.07)	11.77 (± 1.43)	9.64 (± 0.47)
日間成長率 (g day ⁻¹) * ²	0.18 (± 0.02)	0.14 (± 0.03)	0.21 (± 0.04)	0.15 (± 0.02)	0.23 (± 0.03)	0.19 (± 0.01)
生残率 (%)	19.2 (± 13.8)	2.3 (± 1.0)	68.3 (± 21.5)	12.3 (± 6.9)	60.4 (± 8.3)	39.0 (± 5.8)
生産量 (kg m ⁻³)	1.08 (± 0.06)	1.4 (± 0.3)	1.80 (± 0.5)	1.74 (± 0.34)	1.88 (± 0.17)	2.68 (± 0.22)
餌料転換効率* ³	1.31 (± 0.04)	1.35 (± 0.34)	1.25 (± 0.36)	1.39 (± 0.16)	0.96 (± 0.05)	0.80 (± 0.08)

*1 飼育期間中に増えた体重量；*2 成長量を飼育日数で除した値；*3 エビの体重を1グラム増やすのに必要な投餌量(g)（小さい値ほど効率的に成長していることを示している。）

今回のエビ大量死は、CTU キャンパス内で行われていた別のエビ養殖試験場で発生した感染症の飛び火の可能性もあるが、大量死の発生状況からエビ飼育方法を評価してみたい。大量死が起らなかったのは、「低密度飼育下でのエビ海藻複合飼育」(C・E 区)のみであった。このことから、①高密度飼育下でのストレス、または②亜硝酸・硝酸態窒素の蓄積(富栄養化)とそれに伴う細菌叢の変化(水変り)により生体防御機構が低下し、感染症に罹患しやすくなった可能性が考えられた。海藻有水槽では、生物濾過槽で産生された(亜)硝酸態窒素を海藻が吸収するが、海藻無水槽ではその機能がないため硝酸態窒素濃度が高めで維持する、すなわち飼育日数が増すほど栄養塩濃度が高くなることを意味する。一方、③アンモニア中毒の可能性も否定できない。生物濾過槽は全ての試験区で共通して設置されている装置だが、もし生物濾過槽に問題があったとすると、海藻有水槽では海藻がアンモニア態窒素を吸収することでアンモニア中毒の影響低減に働いていたと推測される。逆にエビ飼育密度が高い場合には、例えば海藻有水槽でもアンモニア態窒素の除去が追いつかず、アンモニア中毒によるエビ個体の活性低下を招いた可能性も考慮に入れる必要がある。

本実験から「低密度飼育下でのエビ海藻複合飼育」で良好な結果を得たが、海藻の利用方法による違いには明瞭な差は見られなかった。ただし、餌料転換効率の面からみると海藻とエビを一緒の水槽で飼育(栽培)しない方がよいという結果も出ているなど、もう少し検討の余地がある。次年度は、低密度飼育(200 個体 m^{-3})、海藻栽培環境下における高効率なエビ飼育方法の開発を実施する予定である。また、本年度不十分であった生物濾過槽の性能確認、飼育水中の溶存態窒素濃度の変化といった経時的な水質モニタリングは、エビ収穫結果との因果関係を考察する上で必要であると考えている。

研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

実証サイトに設置したメタン発酵設備に関する技術移転は、馴養開始時(平成 29 年 2 月)に行った操作講習会、およびその後のメタン発酵実証試験における日本側専門家の継続的な技術指導により完了した。現在、メタン発酵設備の運転管理(バイオガス製造および消化液の処理)は、実証サイトに常駐しているベトナム人オペレーターが行っており(図 24 参照)、順調に稼働している。⇒ P0: 3-5

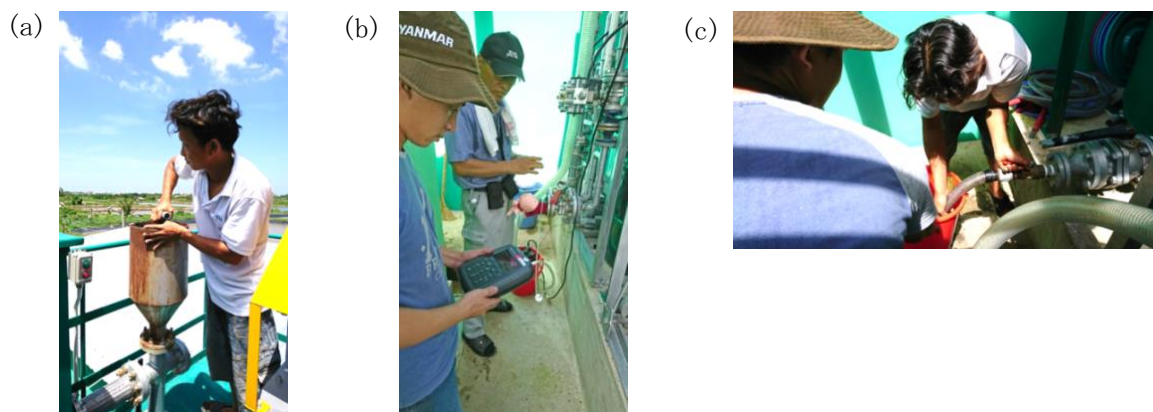


図 24: バイオガス製造に関する技術移転の様子; (a) 日本側が作成したマニュアルに従ってメタン発酵設備のオペレーションを行うベトナム人オペレーター、(b) 日本側専門家とバイオガスの分析を行う INT 研究者、(c) 乾燥ヤードに散布する消化液を取り出すベトナム人オペレーター

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

CTU では、メタン発酵の成功を踏まえ、今後、水生植物を利用したメタン発酵が可能かを検証している。

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

図 15 で考察したように、当プロジェクトでは、小型のパイロットプラントであるにも関わらず、PEIO 比の低いシステムを構築できているが、今後は、開発技術が現地に普及可能なものとなるよう、PEIO 比のさらなる低減を図って行く。当目的のため、農学グループでは、現地で容易に入手可能であり、PEIO 比の低減に資する他のバイオマス資材を用いたメタン発酵を展開して行く。特に、消化率がバガスに比べて良い稲わらに変えた検討を行う。予備的な段階ではあるが、バガス (6 kg-DW day^{-1}) /ココナツ搾りかす (8 kg-DW day^{-1}) 系でバイオガス製造を行っている実証サイトのメタン発酵槽 (表 3 参照) に、バガスに替えて稲わらを投入したところ、バイオガスの発生量の増加を確認し、稲わら (4 kg-DW day^{-1}) /ココナツ搾りかす (4 kg-DW day^{-1}) で、これまでと同等のガス発生量が得られている。このように、稲わらの利用により、資材投入量を削減でき、未消化の有機物の発生を抑えることができるので、メタン発酵の際のエネルギーロスを大きく低減することができる。

養殖池から発生する汚泥をメインの発酵資材の一つとすることができれば、我々が実証する図 15 のシステムの PEIO 比をさらに低減でき、水産養殖が盛んな地域において、エネルギー生産をしながら、環境浄化にも貢献することができる。実証プラントを整備した Hoang Vu エビ養殖場では、汚泥発生量の少ないバナメイエビを養殖しており、汚泥をメインの発酵資材とすることは難しいことが分かっているが、メコンデルタの主要生産物の一つであるナマズの養殖では、多量の汚泥の蓄積が報告されており、現在、CTU が、日本側と協力してナマズ養殖汚泥の性状調査を実施中である。日本では、九州大学の農・工合同チームがクルマエビ養殖において発生する汚泥の性状調査を実施中であり、組成分析およびメタン発酵ラボ試験を通して、これらのエネルギーポテンシャルを明らかにして行く。

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 穰彦）

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

「開発技術の普及シナリオ」

当プロジェクトで開発中のシステムを実装し、普及につなげて行くためには、「メコンデルタの土地利用状況の把握」および「エビ養殖業のネットワークの理解」を踏まえたシナリオデザインを行う必要がある。

「メコンデルタの土地利用状況の把握」：メコンデルタでエビ養殖業が拡大して行くのは、2000年代に差し掛かる頃であり、道路や橋梁などの陸上交通体系が整備され、カンボジア、タイとも接続した広域流通網が確立される時期と重なっていることが明らかになってきた。それに対応してメコンデルタの戦略的位置づけが変化してきており、メコンデルター帯のモノカルチャー化と集約化が進み、とりわけその土地利用の変化が沿岸部や南部に集中的に現れてきているようである。メコンデルタでは、商品作物・経済生産型の農業と養殖業の複合経営が一つの基本型であり、そこに暮らす人々は、社会変動の影響を受けて流動的に土地利用を変化させてきており、開発システムの普及シナリオを構築するにあたり、近年の土地利用の変化から、例えば、メコンデルタにおける廃棄物系バイオマスの構成物の変化やエビ養殖業の盛衰を予測しておくことは極めて重要である。

「エビ養殖業のネットワークの理解」：平成29年度は、ベンチェ・実証サイトにSOFCが導入されてパイロットプラントが完成し、SOFC発電試験の開始等、技術移転および社会実装に向けたフェーズに本格的に入った年となったが、ベンチェ省内に効果的に技術展開を図るためのポイントを探るため、エビ養殖業者のネットワークとビジネスフローを研究した。

ベンチェでのエビ養殖業の拡大は、2000年以降という比較的新しい（急速な）現象であり、2002年頃は、大規模なものは政府のエビ養殖場に限られ、家族経営の小規模のものがあるくらいであったが、省内の社会インフラ整備が始まり、末端まで道路網が行き届くようになると、2010年頃まで拡大を続けた。その後、2011年以降は病害が発生するようになり、エビ養殖技術の近代化と同時に、環境面での課題解決を求められるようになってきた。このような背景の中、どのような技術を導入し、いかにしてビジネスを軌道に載せたかで、省内のエビ養殖事業体に技術力とネットワークの差が生まれてきている。

エビ養殖業は、メコンデルタ南部諸州に広範に展開されているが、CTU水産学部の卒業生による上流技術（種苗や幼生育成に関する研究開発）に集積があることが分かり、今後、カントーを中心とした南部ネットワークへの展開も期待される場所である。ベンチェで成功したようなネットワークと知識・情報のフロー分析をカントー地区でも行い、キー・パーソンとの信頼関係を構築できれば、メコンデルター帯への普及シナリオを描くことができる。

「メコンデルタの土地利用状況の把握」

図 25 に、メコンデルタの土地利用形態の特徴を示すが、これは、メコンデルタを対象とした大掛かりな土地利用調査[16, 17]を基にし、これらの実施者らとメコンデルタ開発の歴史的経緯と土地利用の変化、現在の土地利用状況を議論した結果を加筆したものである。1990年代のメコンデルタでは、実に 21 種類の土地利用類型が見られたという。現在では集約化され、やや単調な土地利用形態となってきた。

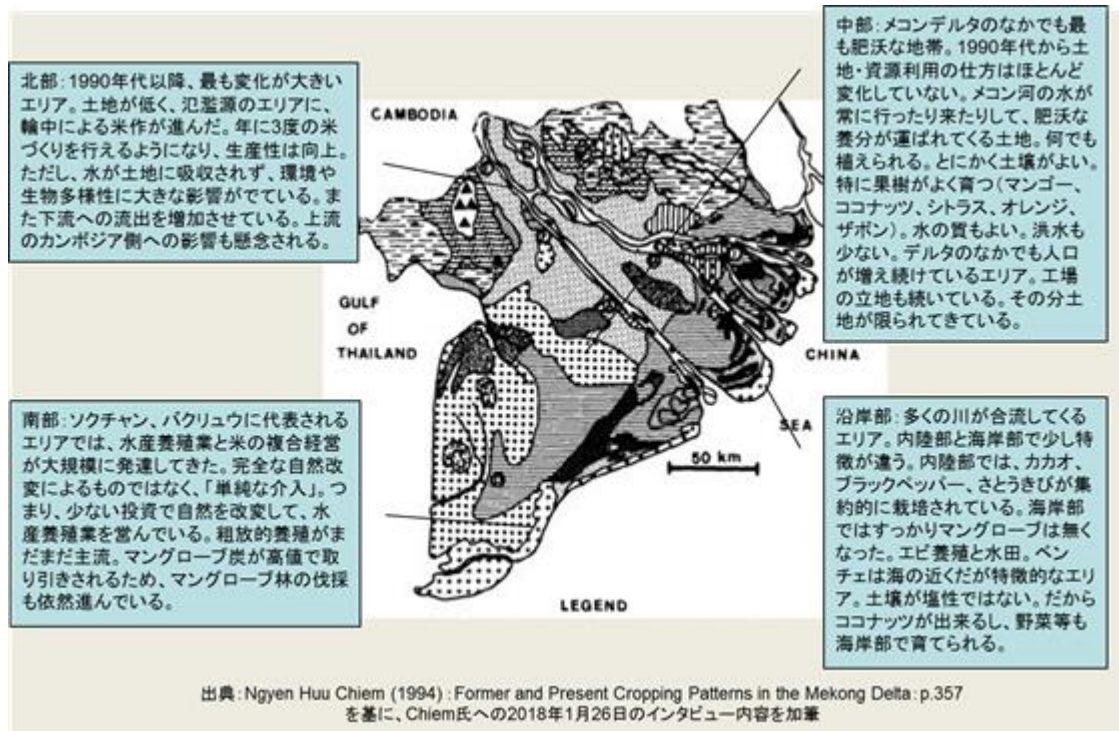


図 25 : メコンデルタの土地利用変化 (1990年代から現在)

メコンデルタ北部では、かつて一般的であった浮稲はほぼ消滅し、輪中方式による二期作(場所によっては三期作もできる)に転換された。この地域は低地帯であり、元来氾濫原として機能していた土地である。つまり、両側(上流側からも海側からも)から流入してくる水の流れが地域一帯に溢れ、土地を涵養していた。しかし現在では輪中により流路が限定され、土地に水が進入できないため、土地が水を吸収することなく一帯をそのまま通過してしまう。このため米の生産性は向上したが、環境や生物多様性は遡減しているという。「アクティブデルタ」と呼ばれる中部地域は、現在も堆積作用が進み、潮汐による一日の水位変動が大きい地域である。この地域の特に河川や運河に沿うエリアは、かねてより肥沃なエリアであった。果樹がよく育ち、米もよく取れる。水も土壌も良くて、洪水は少ない。カントーに代表される中部都市には人口が集積し、工場の立地も進み、物流を支えるインフラの整備も進んでいる。平成 29 年度の調査では、カントー近郊にエビ養殖業の上流部分(種苗や幼生の飼育・販売)の集積(2010 年前後から)が見られることが明らかになった。南部地域では、1990 年代にマングローブ林がほぼ消滅し、水田とエビ養殖に置き換わって行き[18]、現在もエビ養殖と水田という土地利用が基本型であり、拡張が続いている。エビ養殖については、まだ粗放的形態

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

が主流であるものの近年集約化が進行し、さらに、エビから他の養殖業態への展開も見られるという。先に調査したカントーのエビ種苗会社は、主にメコンデルタ南部地域への販路を有しているとのことであった。多くの川が合流してくる東部沿岸部では内陸部と海岸部で土地利用形態が異なるという。内陸部はカカオ、ブラックペッパー、さとうきび等が生産されている。海岸部では、昔はマングローブ林だったものが、今では完全に水田とエビ養殖に置き換わっているという。実証サイトを構築したベンチェは特徴的なエリアで、海に近いが土壌の塩性が少なく、ココナッツがよく育つ。現在では野菜生産も行われており、水産養殖業も含めた複合的な Agri-Aqua-Culture が、少しずつではあるが、目指されている。

以上のように、エビを中心としたメコンデルタにおける水産養殖業は、ベンチェ等の東部沿岸部や南部地域に広がっており、水田農業との複合経営が基本型として形成された上で、その集約化と拡大の傾向が続いているようだ。持続可能で環境適合的な Agri-Aqua-Culture を構築して行くことは、この地域の中心課題であるが、メコンデルタはグローバルなニーズを受け止めた開発の歴史を有しており、陸上交通のさらなる近代化と体系化、一带一路の拡張など、東南アジア地域の体系的再編成が進む中で、そのニーズに合わせたさらなる集約化や展開が予想される。エビ養殖業がメコンデルタで拡大・集約化して行ったのはここ 30 年での出来事であり、中・長期的なロードマップを設計する際には、グローバルマーケットへの対応やそれによる環境負荷の動向を予測することも重要となる。このような視点から、メコンデルター帯の土地利用の変化に注目し、シナリオ分析のための基本構図を得た。次年度は、実証サイト周辺の土地利用や生産性等の複合評価を行い、社会実装のためのパッケージモデルを提案したい。⇒ PO: 5-3, 5-6

「エビ養殖業のネットワークの理解」

ベンチェ省内のエビ養殖業の課題は、集約化・近代化の流れの中で生産量を増やしてきたことの現れとして存在する。エビ以外の水産養殖も盛んであり、他の水産業への転換も視野に入れながら、将来もこの地でビジネスを続けたいと考えている養殖業者も少なくない。集約的養殖においては、養殖池の水質改善と汚泥処理等周辺環境への負荷低減が重要な課題であり、SATREPS 参画企業を交えた技術学習会を通して、課題解決のための技術提案や他の養殖業への展開を具体的に進める必要がある。我々は、ナマズ養殖への展開を検討しており、平成 29 年度末より、CTU が中心となり、ナマズ養殖汚泥のエネルギーポテンシャルの調査を開始した。

図 26 は、ベンチェ省内のエビ養殖業のビジネスフローとネットワークを、養殖関連業者へのインタビューを基にまとめたものである。2017 年、ベンチェ省のエビ養殖面積は 47,000 ha、総生産量は 53,000 t であった。集約的な養殖に取り組んでいる事業者は 36 社、幼生を販売する会社は 53 社、エビのトレードを担う会社は 1 社（20%のシェア）という構成であり、その他は、他省の業者や個人仲介で流通して行く。平成 29 年度の調査で、ベンチェ省内でのエビ養殖業の構造（ネットワークと幼生を含む物資のフロー）と発展の経緯（時間軸）がある程度クリアになり、プラント運営を含めた当プロジェクトにおける実証研究の成果を効果的に展開して行くための知見を得ることができた。

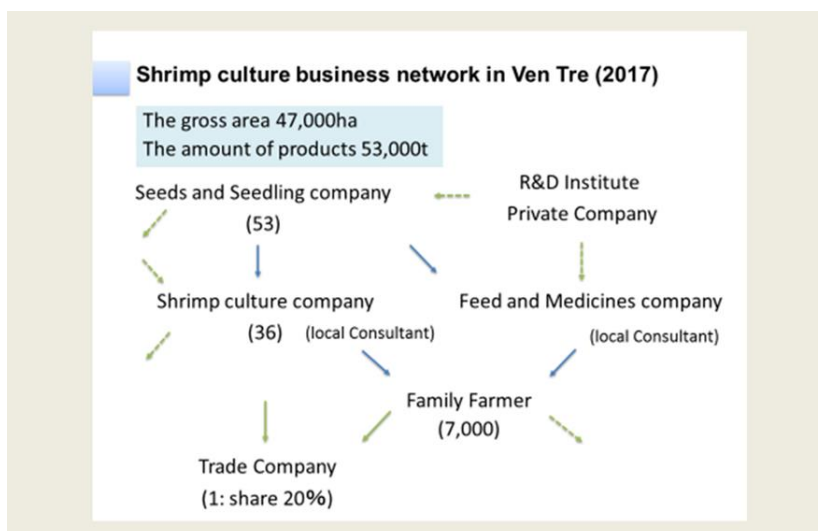


図 26：ベンチェ省内のエビビジネスのフローとネットワーク

当プロジェクトに実証サイトを提供している Hoang Vu 養殖場は、ベンチェ省内で最も早く集約的なエビ養殖生産に取り組み始めた企業であり、地域特性を理解したエビ養殖技術とネットワークを有している。そのため、実証サイトでの成功がそのまま省内での実装につながることを期待される。また、種苗生産会社から、幼生とその後のエビの成育に関する情報が提供されており、この上流部分との技術協議も社会実装において重要である。種苗会社の経営者(多くの場合、技術者による技術起業)のキャリア分析を行ったところ、CTU 水産学部 of 卒業生である場合が複数あり、CTU プロジェクトメンバーの協力の下、カントーでヒアリングを行った結果、より大規模なネットワークと技術を有する企業が存在し、それらがハブとなりメコンデルタ南部諸州のエビ養殖が行われていることが分かった。カントーにおける種苗会社とのネットワーキングは、開発技術の現地養殖産業への展開をサポートするものであり、普及シナリオの策定に向け、その構築を進めて行く。

以上のように、普及シナリオを設計するにあたってのキーファクターを抽出できたことが平成 29 年度の成果であり、次年度以降、シナリオ作成を進めて行く。⇒ PO: 5-2, 5-3

研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

毎年開催しているプロジェクトワークショップにおける現地ステークホルダー（養殖業者、行政官、研究者等）との対話や養殖業者への個別インタビューにより、ベトナム側への技術移転を地域レベルで展開できるネットワーキングが進んだ。一方、実証サイト・パイロットプラントの本格稼働を受けて、各要素技術の運転ノウハウの蓄積と技術課題解決の実践が始まった。開発技術の普及に向け、ベトナム側の技術主体と地域主体をどのように形成するか、各要素技術のパートナー選定と INT を中心とした運営体制の構築に着手したところである。

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

計画通り進行しているので特に該当なし。

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

I. の参考文献

- [1] M. Ni, Is steam addition necessary for the landfill gas fueled solid oxide fuel cells?, *Int. J. Hydrogen Energy* 38 (2013) 16373-16386.
- [2] B.A. Haberman, J.B. Young, Three-dimensional simulation of chemically reacting gas flows in the porous support structure of an integrated-planar solid oxide fuel cell, *Int. J. Heat Mass Transfer* 47 (2004) 3617-3629.
- [3] K.H. Lin, H.F. Chang, A.C.C. Chang, Biogas reforming for hydrogen production over mesoporous $\text{Ni}_{2x}\text{Ce}_{1-x}\text{O}_2$ catalysts, *Int. J. Hydrogen Energy* 37 (2012) 15696-703.
- [4] H.R. Gurav, S. Dama, V. Samuel, S. Chilukuri, Influence of preparation method on activity and stability of Ni catalysts supported on Gd doped ceria in dry reforming of methane, *J. CO₂ Utilization* 20 (2017) 357-67.
- [5] R. Zhang, W.Y. Teoh, R. Amal, B. Chen, S. Kaliaguine, Catalytic reduction of NO by CO over $\text{Cu/Ce}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ prepared by flame synthesis, *J. Catal.* 272 (2010) 210-219.
- [6] H. Özdemir, F. Öksüzömer, M. Gürkaynak, Preparation and characterization of Ni based catalysts for the catalytic partial oxidation of methane: Effect of support basicity on H_2/CO ratio and carbon deposition, *Int. J. Hydrogen Energy* 35 (2010) 12147-12160.
- [7] L. Li, S. He, Y. Song, B. Zhao, W. Ji, C. Au, Fine-tunable Ni@porous silica core-shell nanocatalysts: Synthesis, characterization, and catalytic properties in partial oxidation of methane to syngas, *J. Catal.* 288 (2012) 54-64.
- [8] M. Pöschl, S. Ward, P. Owende, Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways, *Appl. Energy* 87 (2010) 3305-3321.
- [9] D.L. Klass, Biomass for renewable energy and fuels, *Encyclopedia of Energy* 1 (2004) 193-212.
- [10] 安全な国産海老（バナメイ）生産技術のシステム化 HP
- [11] K. Sasaki, K. Haga, T. Yoshizumi, D. Minematsu, E. Yuki, R.R. Liu, C. Uryu, T. Oshima, T. Ogura, Y. Shiratori, K. Ito, M. Koyama, K. Yokomoto, Chemical durability of solid oxide fuel cells: influence of impurities on long-term performance, *J. Power Sources* 196 (2011) 9130-9140.
- [12] N. de Arespachaga, C. Valderrama, C. Mesa, L. Bouchy, J.L. Cortina, Biogas deep clean-up based on adsorption technologies for Solid Oxide Fuel Cell applications, *Chem. Eng. J.* 255 (2014) 593-603.
- [13] J.B. Hansen, Correlating sulfur poisoning of SOFC nickel anodes by a Temkin isotherm, **【平成 29 年度実施報告書】【180531】**

Electrochem. Solid-State Lett. 11 (2008) B178-B180.

- [14] J. Parisenti, L.H. Beirão, J.Z. Mouriño, F.N. Vieira, C.C. Buglione, M. Maraschim, Effect of background color on shrimp pigmentation, Boletim do Instituto de Pesca 37 (2011) 177-182.
- [15] 足立亮介、水産物の黒色変化に関する生化学的解析、日本水産学会誌 77 (2011) 578-581.
- [16] N.H. Chiem, Former and Present Cropping Patterns in the Mekong Delta, 『東南アジア研究』 31(4) (1994) 345-384.
- [17] 海田能宏、デルタ稲作農業の自然環境とデルタの開発構図、東南アジア研究 13(1) (1975) 58-74.
- [18] 海田能宏、20年ぶりのメコンデルタ紀行、東南アジア研究 33(2) (1995) 267-282.

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）

日越双方から 60 名を超える研究者・技術者が参画し、廃棄物系バイオマスを利用したエネルギー循環システムを開発・実証する当プロジェクトでは、システムの各構成要素（燃料電池（図 14）、バイオガス製造（図 19）、電力供給、水質管理（図 1、図 16））に対して、密な産学連携の下、個別協議、日本側全体会議、日越合同会議、JCC 等における議論を通して参画者間のコンセンサスを取りつつ、システム開発、人材育成および技術移転を行っている。INT 燃料電池研究開発棟およびベンチェ実証サイト（図 1）が、それぞれ技術革新および社会実装を目指した活動拠点として機能し、工学、農学および普及ロードマップ策定グループの各活動が計画通り進んでおり、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である。

毎年メコンデルタ地域で開催しているプロジェクトワークショップにおいて、開発技術についての情報発信を積極的に行っているが、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おり、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いる。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、ココナッツ加工業者、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。

当プロジェクトでは、水産養殖で発生する汚泥をエネルギー資源として積極的に利用することを考えているが、バナマイエビ養殖では、養殖中に堆積する汚泥（有機物）の量が限られているので、汚泥貯留池に回収された汚泥の利用が現実的である。我々は、図 15 のエネルギー循環において、水産養殖汚泥がメインのエネルギー資源となるよう、メコンデルタ地域で盛んに行われており、バナマイエビ養殖比べて汚泥の蓄積が多いと考えられるナマズ養殖に注目し、現在 CTU と連携し、ナマズ養殖汚泥のエネルギーポテンシャルを調査中である。日本側では、汚泥発生の多いクルマエビ養殖に着目し、クルマエビ養殖池汚泥を資材としたメタン発酵ラボ試験を実施予定である。この際、ベンチェ・パイロットプラントでのバイオガス製造と同様に、メタン発酵のための種菌の供給源として養殖池の汚泥を用い、さらに、発酵資材も汚泥のみに依存したバイオガス製造を研究する。

メコンデルタ現地のエビ種苗会社は、生産性の向上につながる細やかな制御技術を求めており、当プロジェクトで導入した水質改善や高効率曝気技術を入りに、開発中のエネルギー循環システムの現地への実装（上位目標の達成）に向け、エビ養殖業フローの上流部分にあたる企業とのネットワークと技術協議を進めて行く。併せて、国際連合工業開発機関（UNIDO）の環境技術データベースへの登録を進め、途上国向けに広く情報提供を行う。メコンデルタ周辺のバイオマス資源の一括処理へつなげるシナリオの構築も課題であり、ベトナム政府のエネルギー戦略・政策を研究し、開発技術のベトナム内での位置づけをクリアにする必要がある。また、メコンデルタ東部沿岸部の特徴である Agri-Aqua-Culture の実態とその資源利用について、ベンチェ・実証サイト周辺の土地利用の履歴を調査し、その複合経営の中で、開発技術の持続性、コスト、環境影響等を総合的に評価する。

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

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、ココナッツ加工業、さらには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通じてネットワークングを進めた。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)

(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が不可欠であり、プロジェクト期間中にINTから博士課程の留学生を受け入れる。INTには、モチベーション、能力のいずれも申し分ない候補者がおり、INT側の承認の下、平成30年10月より、九州大学の研究代表者グループが当候補者を受け入れられるよう準備を進めているところである。⇒ PDM: Output 2 (PO: 2-2~2-6)

(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 穰彦）

プロジェクトワークショップや関係者との面談を通して情報発信や技術協議を継続的に行っているものの、各要素技術に対するカウンターパートの選定や、運営技術の共同構築には十分に入っていない。運転・運用技術は、それを行った者しか詳しくならない性質を有するため、今後の継続的な運

【平成29年度実施報告書】【180531】

用に向けては、技術移転をベトナム側で担う技術主体と、プラントの持続的な運用を担う地域主体の構築が不可欠である。⇒ 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

- ・ メコンデルタ特有の廃棄物系バイオマスを原料としてバイオガス製造に成功し、当バイオガスを供給した燃料電池発電により発電効率 53.1%を達成したことは、技術の社会実証に向けた大きな成果であり、平成 30 年 2 月 23 日（金）に九州大学ホームページ上でプレスリリースを行い、研究成果説明会を開催した。
- ・ 上記プレスリリースを受け、当プロジェクトの成果が NHK のニュース番組や日本経済新聞等で報道され、さらに、燃料電池に関する世界最大の展示会「第 14 回国際水素・燃料電池展～FC EXPO 2018～」(平成 30 年 2 月 28 日（水）～3 月 2 日（金）東京ビッグサイト)における当プロジェクトに関するポスター展示の際、一般の来場者および当該分野の訪問者にプレスリリースの内容を配布・説明したことで、我々の取り組みとこれまでの成果がより広く知られることとなった。
- ・ 西日本シティ銀行が、九州大学との産学連携協定に基づき、最先端の大学技術シーズと九州地区の企業の事業者ニーズを結び付ける機会を提供し、産学連携を通じた企業の事業力強化と大学の学術研究の活性化につなげる事を目的に開催しているビジネス創造交流会（第 15 回 平成 30 年 1 月 25 日（木）、出席者 30 名）において、研究代表者が SATREPS の活動に関する講演を行い（題目：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～）、バイオマス関連事業に携わっているあるいはこれから進出を考えている地元企業への情報発信を行った。我々は、SATREPS の成果を、メコンデルタと同じく、農業・水産業が盛んでありバイオマス資源に富んだ福岡県糸島地域に適用することを考えており、この際、地元企業との連携が不可欠であるため、基盤作りに向け交流を深める良い機会となった。
- ・ 第 3 回プロジェクトワークショップ（Workshop on Applications of Nanotechnology in Agriculture (WANA2017)）を開催し（平成 29 年 11 月 12 日（日）Ocean Dunes Resort、Phan Thiet City、Vietnam、出席者 120 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。
- ・ 2018 年 3 月 5-6 日、国際連合工業開発機関（UNIDO）ウィーン本部エネルギー部門にて、「メコンデルタにおける新たなバイオマス利用としての SOFC 技術：社会実装と課題」について報告を行ない、ディスカッションを行った。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

平成 29 年度の活動において、日本のプレゼンスの向上に寄与する事例を以下にまとめる。

- ・ プレスリリース（九州大学ホームページ）、“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～”、平成 30 年 2 月 23 日
- ・ 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”、平成 30 年 2 月 23 日
- ・ 国立環境研究所 環境展望台、“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”、平成 30 年 2 月 23 日
- ・ 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”、平成 30 年 2 月 26 日
- ・ 日刊工業新聞、“九大など、メタンガス発電システム 来月ベトナムで実証”、平成 30 年 3 月 29 日

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VIII. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～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/fe nvs.2017.00 025	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/jj powsour.20 17.05.077	国際誌	発表済	
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.	10.1149/07 801.2467ec st	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.	10.1149/07 801.2431ec st	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)O ₂ - δ -dispersed paper-structured catalyst for dry reforming of methane", International Journal of Hydrogen Energy 43 (2018) 4951-4960.	10.1016/j.j hydene.201 8.01.118	国際誌	発表済	

論文数	5 件
うち国内誌	0 件
うち国際誌	5 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/s10853-016-0332-7	国際誌	発表済	
2016	Y. Shiratori, M. Sakamoto, "Performance improvement of direct internal reforming solid oxide fuel cell fuelled by H ₂ S-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	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 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日	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 穰彦(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

招待講演	0	件
口頭発表	6	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 Oxide 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年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 SOFC Operated by CH ₄ -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 simulating 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 (Ge,Zr)O ₂ -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

招待講演	9 件
口頭発表	6 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	

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													

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 脱硫ー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 Oxide 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 体による脱硫ーメタン水蒸気 改質の連続反応”、	才村綾美 (九大生 物資源環 境科学 府)	紙パルプ技 術協会	3.一部当課題研究の成果 が含まれる	
2015	2016.3.15	学術研究賞	“ペーパー触媒の積層構造を 反応場とするバイオガス駆動 型燃料電池用水素製造”	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 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 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	
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	
------	----------	--------	--	--	---------------	--

22 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、ベンチエ省	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、開発技術に対する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、ベンチエ省	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、開発技術に対する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University of Science (ベトナム)	約50名	公開	ベトナム国家大学University 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、「国際技術協カプロジェクトの意義～アイデアとその実践～」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、ファンティエツ省	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、開発技術に対する理解を深める活動を行った。

2018	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。
------	-------	---------------	--	------	----	--

13 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。

3 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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 ◆ 燃料電池のロバスタ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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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・環境的效果の評価、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**

