

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別終了時評価報告書

1. 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
(2015年3月～2020年3月)

2. 研究代表者

2-1. 日本側研究代表者：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)

2-2. 相手側研究代表者：Dang Mau Chien (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 (INT) 教授)

3. 研究概要

本プロジェクトは、バイオエネルギーで作動する高効率燃料電池が、①小型エンジン発電機の約2倍の発電効率、②地域住民が簡単に利用できる簡素・コンパクトな発電システム、③廃棄物系バイオマスを地産地消のエネルギー源として利活用可能、などのポテンシャルを持つことに着目し、国際共同研究を通じて有機性廃棄物由来のバイオガスの直接供給で作動する燃料電池を導入した、当該地域社会への受容性が高いエネルギー循環システムを構築することを目的とした。

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を創出し、これを導入した小型オフグリッドシステムをモデルサイト(エビ養殖場)に構築して、既存の発電機使用時に対する優位性を、低炭素化および社会実装の観点から実証することがプロジェクト目標である。上位目標は、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、①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、②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、③持続的養殖による環境負荷低減、及び④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であり、研究題目は以下の4つである。

- バイオエネルギーで作動する固体酸化物形燃料電池(SOFC)の開発
- バイオ燃料製造に関する研究および関連調査
- SOFCを導入したエネルギー循環システム実証
- 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

日本側の研究機関は、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、九州大学大学院農学研究院、静岡大学と企業4社(マグネクス株式会社、株式会社中山鉄工所、明和工業株式会社、ダイセン・メンブレン・システムズ株式会社)であり、ベトナム側の研究機関は、ベトナム国家大学ホーチミン市校ナノテク研究所(VNU-HCM, INT)、カントー大学(CTU)、ホーチミン市工科大学(HCMUT)から構成される。

4. 評価結果

総合評価：A（所期の計画と同等の取組みが行われた。）

SOFCの研究開発においては、技術面で所期の計画を上回る取組みがおこなわれ、学術研究として世界でトップクラスの成果を上げ、また、持続可能な研究体制・人的ネットワークの構築がなされた。SOFCの社会実装までにはまだ幾つかのステップが必要と考えられるものの、高く評価できる。

しかしながら、バイオ発酵技術・水処理技術による廃棄物系バイオマスの利活用については、特に大きく従来技術を凌駕するところが認められない。また、それによるCO₂削減を含む環境浄化に関しては、当初の目標が十分に達成されたとは言い難い。ポテンシャル、環境改善の効果など、数値として明確に示してもらいたかった。

プロジェクト運営については、エビ養殖場の汚泥によるバイオガス生産など中間評価時に指摘された遅れを取り戻して当初の計画・目標をほぼ達成した点が評価できる。当初計画された、養殖場バイオマスのみによるバイオガス製造が小規模の実証にとどまり、そのガスによる長時間運転の実証に至らなかったのが惜まれる。

以上の結果から、全体として、所期の計画と同等の取組みが行われたと評価される。

相手国研究チームとの関係は有効に築かれており、若手人材の育成にも効果を挙げているので、今後の継続した取組みに期待する。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

バイオマス水素-燃料電池システムは、低炭素技術開発として最重要課題のひとつであり、本プロジェクトでは、固体酸化物形燃料電池（SOFC）に関して基礎的な幾つかの革新的な技術開発がなされた。また、エビ養殖池ヘドロなどメコンデルタ地域特有のバイオマスからメタン発酵していられたバイオガスを用いたSOFC発電、消化液による施肥等からなる養殖場でのエネルギー循環システムの実証試験がおこなわれた。実ガスでSOFCを稼働させること自体かなりハードルが高いと言えるが、比較的短時間で達成された。これらの意義は大きく、科学技術的インパクトは高いと評価できる。一方、実ガスによる長時間運転が未完であり、実用化まで一層の研究が期待される。

【国際社会における認知、活用の見通し】

実際のバイオガスを用いたSOFCによる発電の実証試験によって、SOFCの社会実装へ一歩近づいたことを国際社会に示すことができたと考えられる。その成果は、SOFC分野にお

けるトップレベルの国際会議で最優秀講演¹に選ばれるなど、国際的なアピールもなされ、科学技術の分野での認知度は高いと評価できる。技術の活用については今後の課題である。

【他国、他地域への波及】

エビ養殖はメコンデルタ地域の主力産業の一つであり、さらに他の東南アジア諸国等でも行われているため波及のポテンシャルがあると考えられる。また、提案している持続的養殖モデルをメコンデルタ地域全般に波及させるために、カントー大学との連携などの努力もはかられている。

しかしながら SOFC システムは高価であり、本格的な普及には経済面から時間がかかると考えられる。プロジェクトの成果がさらに他地域、他国へ波及する具体的な見通しは立っていない。

【国内外の類似研究と比較したレベル】

SOFC のペーパー触媒を中心に極めて高いレベルの成果を上げ、さらに、メタン発酵・脱硫・改質触媒・コンパクトモジュールなど周辺の技術開発を行い、国際学会賞を受賞した。また、研究機関と小さな企業の連合体で、実証までできたことは高く評価できる。社会的課題の解決への寄与が今後の課題である。

4-2. 相手国ニーズの充足

【課題の重要性とプロジェクトの成果が相手国ニーズの充足に与えるインパクト】

本課題は、SOFC による工学研究技術の移転を通じて、相手国のナノテクノロジー研究基盤の構築に大きく寄与し、その面での相手国潜在ニーズの充足に与えるインパクトは非常に高い。また、主要産業であるエビ等の養殖においてバイオマスエネルギー活用による低炭素化、汚泥排出による環境影響緩和といった環境対策に加え、エビの収量増も見込めるなど、社会実装された場合の相手国ニーズの充足に与えるインパクトも、高いと考えられる。開発された技術の社会実装と、効果のアピールが今後の課題である。

【課題解決、社会実装の見通し】

マイクロバブルディフューザー (MBD)²、メタン発酵等、一部の要素技術は短期的な社会実装が期待される。しかしながら、最も重要な SOFC の社会実装には、本プロジェクトに限らず、抜本的な低コスト化をはじめいくつもの乗り越えるべき壁があることは否めない。

¹ 13th EUROPEAN SOFC & SOE FORUM, “The Best Scientific Contribution, Christian-Friedrich-Schönbein medal”

² Micro Bubble Diffuser: 養殖池の底から微細な空気の泡を噴出させ、池の水に酸素を供給する装置。比較的少ない消費電力でエビの生育に効果がある。

また、社会実装のために重要な経済性評価が不十分であった。

【継続的発展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

本プロジェクトによって研究開発インフラが整備され、機材の整備・効率的運用も含めた持続可能な研究体制が整っている。すでに相手国との共同論文が多く発表されるなど人材が育成され、今後に向けた人材育成体制も構築された。相手国の熱意もあり、継続的発展の見通しは非常に高い。ポスト SATREPS 的な取り組みにも期待できる。

【成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込み（政策等への反映、成果物の利用など）】

相手国研究機関（VNU-HCM, INT）が一流学術誌に投稿できるまでに成長しており、今後とも、日本と連携しながら研究開発を持続的に行なっていけると考えられる。メコンデルタ地区の CTU との連携の取り組みなどが進んでおり、継続的発展の見通しは高い。

一部の要素技術の幾つかは早期に活用される可能性があるが、SOFC およびそれを含むシステム全体の実用化については多くの課題が残っている。今後、継続的な政府資金等の助成を受けるために、プロジェクト終了後も継続して成果を発信することが求められる。

4-3. 付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

膜ろ過技術、MBD 技術、SOFC 技術などの要素技術は日本が強みを持つ技術領域であり、輸出などで産業への貢献が期待できる。また、新たなプロジェクト予算の獲得や企業との連携が進めば、日本企業の現地進出を推進する可能性も期待できる。SOFC の改質触媒など科学技術面で多くの優れた成果が得られている。

【科学技術の発展】

SOFC 技術、特にペーパー触媒の開発は、独自性があり科学技術上の顕著な成果である。また、バイオガスで実規模の実証運転を行った点も評価できる。これらは、分野トップレベルの国際誌を中心に投稿された十数報の原著論文により裏付けられている。

【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】

現地での研究活動、技術指導などを通じた若手日本人人材の育成が大学院生を含めて積極的になされ、成果もあがっている。しかしながら、顕著な相手国人材育成と比較すればやや物足りず、標準的な取り組みと評価できる。

【知財の獲得や、国際標準化への取り組み、生物資源へのアクセスや、データ入手手法】

ペーパー触媒、散気システム等の養殖技術について計4件の特許が出願された点が高く評価出来る。しかしながらうち1件がPCT出願されたものの、外国出願(各国移行)が確認されないのは残念である。

【その他の具体的成果物(提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど)】

SOFC関連で11報、バイオガス関連で3件の両国共同執筆論文など、学術誌への投稿論文は多く、国際会議でも活発に発信し、学会でも高く評価されている点を高く評価できる。

【技術および人的ネットワークの構築(相手国を含む)】

VNU-HCM から3名の留学生(2名が博士号取得、1名が博士課程在学中)を受け入れ、人的ネットワーク、研究連携体制の構築に努力した。その結果、上記共著論文などの成果につながり、研究開発が継続的に発展することが期待できる技術および人的ネットワークが構築されたと評価できる。

4-4. プロジェクトの運営

【プロジェクト推進体制の構築(他のプロジェクト、機関などとの連携も含む)】

両国の代表機関に加えて、3大学、4企業が国際連携する体制を構築し、緊密に合同会議を行うなど、優れた運営が行われ、バイオガス生成から発電までの一貫したシステムを構築できた体制は評価できる。社会実装に向けた新たなプロジェクト予算の獲得、企業との連携、GTUの連携など、プロジェクト終了後に向けた取り組みも行われている。

【プロジェクト管理および状況変化への対処(研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ)】

SOFC 機材の免税通関の障害でバイオガスを用いた SOFC の連続実証試験が遅れるなどの不運な事態があったが、人材の確保、中間評価時の要望事項への対処が的確になされるなど、プロジェクト自体はしっかりと管理され運営されたと評価できる。

【成果の活用に向けた活動】

企業の参画、ワークショップなどによるリテラシーの推進などが活発になされた。また、NEDOによる新規プロジェクト、トヨタ財団のプロジェクトに採択されるなど、成果の活用は優れている。

【情報発信(論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど)】

プロジェクトワークショップ(5回)、国際会議、講義、実習など活発に実施し、特に相手国研究者・技術者の育成と情報発信に努力した点は高く評価できる。論文発表、「国際社

会における認知の項」記載の国際会議での受賞等に加え、マスメディアによる情報発信によるアピールが極めて活発に行われた。

【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

相手国側の事情による機材の導入の遅れがあったが、人材、機材、予算は効率的かつ効果的に活用されていたと評価できる。

5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

- 1) 社会実装を目指すためには、経済性の評価が不可欠であると考えられる。環境汚染の軽減、CO₂排出量の削減などの効果などを含め、社会実装のためにクリアすべき経済性目標と、それを達成するための課題および解決策（小型化、簡素化、材料の選定など）について、引き続き検討してほしい。
- 2) メコンデルタ地域における、エネルギー循環システムの確立と CO₂ 排出削減・環境負荷低減などの、実行可能なロードマップ（全体像）の作成を期待する。エネルギーについては、SOFC は発電効率は高いものの、高価で社会実装に時間がかかると考えられる。SOFC とともに、ガスエンジン、燃料利用、太陽光発電の利用など幅広く検討してほしい。またメタン発酵システムについても、より滞留時間が短く効率が高い発酵技術開発を検討してほしい。
- 3) SOFC の機能面について、耐久性とメンテナンス性などの実証も継続して取り組むことが期待される。

以上

| | |
|--------------------|--|
| 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 バイオマス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燃料電池技術の普及 産業活動で発生する汚泥の循環利用の促進 燃料電池を導入したバイオマス利活用システム 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"> 炭素析出耐性を有するペーパー触媒 散気装置を含む散気システムとその運転方法 稚エビ養殖用海水の調製方法 |
| 世界で活躍できる日本人材の育成 | <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(ベトナムへの留学(1年間)、国際学会誌への論文掲載、現地ワークショップ・技術講習会への参加による能力向上) |
| 技術及び人的ネットワークの構築 | <ul style="list-style-type: none"> カントー大学資源環境学部との新たな連携体制の構築 カントーの起業家(養殖事業)との社会実験の開始 現地農業農村開発局(DARD)との協力体制の構築 |
| 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"> バイオガスで作動する固体酸化物形燃料電池システム 炭素析出耐性を有するペーパー触媒 養殖池ヘドロを種汚泥とした加温無しのメタン発酵法 SOFCおよびマイクロバブルディフューザー(MBD)を導入し、連続的に排出した養殖池ヘドロを燃料としたSOFCの発電電力でMBDを稼働し、曝気を行うエビ養殖法 |

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

システムの社会的・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も活用される。

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



図1 成果目標シートと達成状況 (2020年7月時点)