

国名	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プロジェクト
ベトナム社会主義共和国	

I 案件概要

事業の背景	<p>事前評価時において、ベトナムは年率 6～7%程度の経済成長を遂げていた一方、エネルギー消費量はそれを上回る年率 10%以上で伸びていた。そのため、2015 年にはエネルギー純輸出国から輸入国への転換が懸念され、電力・一次エネルギーの供給確保が必要となっていた。また、この経済成長の負の側面として、都市部と農村部との地域間格差や、環境汚染・破壊が広がっていた。エビをはじめとした養殖業が盛んなメコンデルタ地域では、養殖池の施設稼働に必要な電力コスト、不安定な電力供給による養殖池のポンプや水車等の設備停止、これによる水質の低下などにより、水産物の生産量が大きく影響を受けていた。そこで、バイオマス由来燃料を用いた燃料電池による発電技術の開発により、地方部における未利用エネルギーの効率的な活用を図り、同国でのエネルギーの安定供給の確保及び地域環境の改善を目的として、本事業を実施した。</p>										
事業の目的	<p>本事業は、固体酸化物形燃料電池（SOFC）用ラボの整備、バイオガスにより作動する SOFC システムの開発、現地のバイオマス資源からの量的・質的に安定したバイオガスの製造、エビ養殖、汚泥収集、バイオガス製造、野菜栽培、水質管理、発電等により構成されるエネルギー循環システムモデルの実証、SOFC 技術の普及ロードマップの作成により、現地のバイオエネルギーで作動する高効率燃料電池の開発及び環境にやさしいエネルギー循環システムの実証を図り、もって低炭素社会の実現並びに現地の人々の生活水準向上のための同システムの活用を寄与することをめざす。</p>										
	<p>1. 想定された上位目標：低炭素社会の実現、現地の人々の生活水準向上、持続可能な発展に寄与する有機性廃棄物をエネルギー源とする持続的な地域内エネルギー循環システムの活用が推進される²。 2. プロジェクト目標：現地のバイオエネルギーで作動する高効率燃料電池が開発され、エビ養殖池の汚泥等有機性廃棄物をエネルギー源として活用した環境にやさしいエネルギー循環システムが実証される。</p>										
実施内容	<p>1. 事業サイト：ホーチミン市 2. 主な活動：(1)SOFC 用ラボの整備、(2)バイオガス対応 SOFC 用周辺機器（BOP：Balance of Plant）の設計・開発、熱管理を考慮した SOFC モジュールの設計・開発、プロトタイプ SOFC システムの開発、(3)エビ養殖池の汚泥や農業残渣等現地のバイオマス資源の化学分析、現地のバイオマス資源を用いたラボスケールメタン発酵試験、エビ養殖場でのバイオガス製造実証試験、(4)実証サイト整備、工学技術を活用した水質や曝気効率の向上、メタン発酵残渣を用いた野菜栽培、バイオガスで作動するエンジン発電機の整備、配電設備の設置、温室効果ガス排出量削減量とエネルギー源として活用される汚泥や残渣量のモニタリング、(5)SOFC を用いたエネルギー循環にかかる広報活動、実務家、研究者、NGO による年次専門家パネル会議の開催、普及ロードマップ作成等 3. 投入実績</p> <table border="0"> <tr> <td>日本側</td> <td>相手国側</td> </tr> <tr> <td>(1) 専門家派遣：1 人（長期）及び 30 人（短期）</td> <td>(1) カウンターパート配置：33 人</td> </tr> <tr> <td>(2) 研修員受入：28 人</td> <td>(2) 日本側研究者の事務所スペース、プロジェクト活動費</td> </tr> <tr> <td>(3) 機材供与：SOFC システム、電解放出型走査電子顕微鏡、ろ過システム、曝気システム、炭化設備、メタン発酵設備、ラボスケールメタン発酵試験措置、自動有機元素分析装置、検査用生物顕微鏡等</td> <td></td> </tr> </table>			日本側	相手国側	(1) 専門家派遣：1 人（長期）及び 30 人（短期）	(1) カウンターパート配置：33 人	(2) 研修員受入：28 人	(2) 日本側研究者の事務所スペース、プロジェクト活動費	(3) 機材供与：SOFC システム、電解放出型走査電子顕微鏡、ろ過システム、曝気システム、炭化設備、メタン発酵設備、ラボスケールメタン発酵試験措置、自動有機元素分析装置、検査用生物顕微鏡等	
日本側	相手国側										
(1) 専門家派遣：1 人（長期）及び 30 人（短期）	(1) カウンターパート配置：33 人										
(2) 研修員受入：28 人	(2) 日本側研究者の事務所スペース、プロジェクト活動費										
(3) 機材供与：SOFC システム、電解放出型走査電子顕微鏡、ろ過システム、曝気システム、炭化設備、メタン発酵設備、ラボスケールメタン発酵試験措置、自動有機元素分析装置、検査用生物顕微鏡等											
事業期間	(事前評価時) 2015 年 4 月～2020 年 3 月 (60 カ月) (実績) 2015 年 4 月～2020 年 3 月 (60 カ月)	事業金額 (日本側のみ)	(事前評価時) 326 百万円、 (実績) 362 百万円								
相手国実施機関	ベトナム国家大学ホーチミン市校（VNUHCM） ナノテク研究所（INT）、ホーチミン市工科大学（HCMUT）、カントー大学（CTU）、Hoang Vu Co.（実証サイト）										
日本側協力機関	九州大学、静岡大学、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、マグネクス株式会社、株式会社中山鉄鋼所										

II 評価結果

【留意点】

- ・ [上位目標の目標年] 本事業で作成されたロードマップによると、上位目標の達成目標年は 2024 年であり、本事後評価では 2024 年までの達成見込みを評価する。
- ・ プロジェクト目標の指標 2 及び指標 4 については、関連情報の入手が困難であったため、N.A とした。

¹ SATREPS とは、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）を指す。

² 目標や指標の表現は、英文（公式版）により合致するように、和文の終了時評価報告書等に記載されたものを一部調整している。

1 妥当性/整合性

<妥当性>

【事前評価時のベトナム政府の開発政策との整合性】

本事業は、事前評価時点におけるベトナムの開発政策と整合性が高い。2011年に策定された「第7次国家電力マスタープラン」の中で、ベトナム政府は再生可能エネルギーの開発を促進させ、特にバイオマス発電については2020年までに500MW、2030年までに2,000MWまで増加させることをめざしていた。また、2008年12月に「気候変動対策にかかる国家目標プログラム」を首相決定として策定し、省庁横断的に気候変動対策のための各種政策立案を促進していた。

【事前評価時のベトナムにおける開発ニーズとの整合性】

本事業は、事前評価時点におけるベトナムの開発ニーズと整合性が高い。メコンデルタ地域のエビ養殖池は水路でつながっていることが多く、ある養殖池でエビの病気が発生した場合、他の養殖池に伝搬するケースが散見されていた。このため、水を攪拌するポンプを稼働させるための安定的な電力供給と水質管理は、エビ養殖にとって非常に重要な要素となっていた。また、汚泥の影響により、養殖池の使用年数は10年程度と見られていたことから、汚泥の管理・有効活用により、持続的な養殖業発展に向けてのニーズが高かった。

【事業計画/アプローチの適切性】

本事業の計画/アプローチは、適切である。事業計画/アプローチに起因する課題は確認されなかった。

【評価判断】

以上より、本事業の妥当性は③³と判断される。

<整合性>

【事前評価時における日本の援助方針との整合性】

本事業は、事前評価時の日本の対ベトナム援助方針と整合している。「対ベトナム社会主義共和国 国別援助方針」（2012年）では、経済成長に伴い増大している経済インフラ需要に対応するため、エネルギーの安定供給及び省エネルギーの推進を支援することとしていた。また、成長の負の側面に対処すべく、災害・気候変動等の脅威への対応への支援も掲げていた。

【JICA他事業・支援との連携/調整】

事前評価時には本事業とJICAの他の事業との連携/調整は計画されていなかったものの、実施され、事後評価時に正の効果が確認された。事業実施中に、ベトナム国家大学ホーチミン市校（VNUHCM）・ナノテク研究所（INT）の若手研究者2名が「水素エネルギープログラム」や「アセアン工学系高等教育ネットワーク（AUN/SEED-Net）プロジェクト」の「奨学金プログラム」などのJICA奨学金プログラムに参加した。これらのプログラムを通じて、若手研究者は研究能力を高め、本事業の研究活動に貢献した。

【他機関との連携/国際的枠組みとの協調】

事前評価時には他の機関との連携/調整は計画されていなかったものの、実施され、事後評価時に正の効果が確認された。本事業では、マグネクス社との産学連携が行われ、その結果、バイオガスを燃料とするSOFCシステムの開発に成功した。

【評価判断】

以上より、本事業の整合性は③と判断される。

【妥当性・整合性の評価判断】

以上より、本事業の妥当性及び整合性は③と判断される。

2 有効性・インパクト

【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】

事業完了時までに、プロジェクト目標は、おおむね計画どおりに達成された。本事業では、現地のバイオエネルギーで作動する高効率燃料電池（SOFCシステム）の開発に成功した（指標1）。本事業で整備したバイオガス製造実証プラントによる発電量は1kWを達成した（指標2）。本事業で実証された、有機性廃棄物を活用したエネルギー循環システムの便益や電力供給能力がワークショップ、セミナー、研究論文などを通じて国内外に認知された（指標3）。また、本事業の研究成果が、10以上の研究論文として国際ジャーナル誌に発表された、あるいは発表準備中であった（指標4）。

【事業効果の事後評価時における継続状況】

事後評価時点で、本事業の効果は、継続している。本事業で調達された主要な研究設備・機材のほとんど（修理が必要な自動有機元素分析装置を除く）とSOFCシステム、膜ろ過システム、メタン発酵設備、炭化設備などの本事業で生み出された、すべての重要な研究成果は、実施機関によって継続的な研究・研修に活用されている。また、これらの研究成果に基づき、新規プロジェクトも実施されている。SOFC技術普及のためのロードマップは、本事業完了以降、新型コロナウイルスの大流行により更新や改訂はされていないが、INTは既存のロードマップに基づき、研究と普及を継続している。マグネクス社は、新型コロナウイルスにより、ビジネス市場に展開するためのSOFCシステムの改良は行っていないが⁴、同システムの性能は向上し、システムに使用する触媒材料は本事業に従事した研究者により、継続的に開発されている。

【想定された上位目標の事後評価時における達成状況】

事後評価時点までに、上位目標は、一部達成された。本事業で策定されたSOFC技術普及のためのロードマップによれば、本事業実施中に実証サイトに設置されたものを除き、2024年までに少なくとも1基のSOFCシステムがメコンデルタ地域に設置され、コミュニティに導入されることになっている。2022年から2025年にかけて、裕幸計装株式会社がティエンザン省のTuan Hien Aquaculture Company（Tuan Hien養殖会社）と共同で、日本の新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成を受け、SOFCとモノのインターネット（IoT）を活用したゼロエミッションのエビ養殖を社会実装する新プロジェクトを実施している。同プロジェクトにおいて、2024年3月までにティエンザン省に2基のSOFCシステムが研究目的で設置される予定である。

【事後評価時に確認されたその他のインパクト】

本事業は、利用可能な有機性廃棄物を発電に利用することで、エネルギー循環型社会の推進に貢献した。また、本事業を通じて、研究者の問題定義能力、研究アイデアの展開能力、目的・優先順位の設定能力、的確な科学研究遂行能力が向上した。加えて、ベンチエ省農業農村開発局（DARD）や科学技術局（DST）などの関係政府機関の科学リテラシーも、プロジェクト会

³ ④：「非常に高い」、③：「高い」、②：「やや低い」、①：「低い」

⁴ SOFCシステムのスタックは、マグネクス社が開発し、著作権を有する。本事業における実施機関の役割は、同システムに使用する触媒材料の開発であった。

議やワークショップへの参加を通じて向上した。

【評価判断】

以上より、本事業の有効性・インパクトは③と判断される。

プロジェクト目標及び上位目標の達成度

目標	指標	実績	情報源
プロジェクト目標 現地のバイオエネルギーで作動する高効率燃料電池が開発され、エビ養殖池の汚泥等有機性廃棄物をエネルギー源として活用した環境にやさしいエネルギー循環システムが実証される。	(指標 1) 現地のバイオエネルギーで作動する高効率燃料電池の開発	達成状況（継続状況）：計画どおり達成（継続し、発展） （事業完了時） 本事業は、現地のバイオエネルギーで作動する高効率の燃料電池の開発に成功した。本事業で開発された SOFC システムは、濃縮汚泥をココナッツ搾りかす、稲わら、バガスと共に発酵槽に供給して発電するもので、2019 年 7 月には、スタック温度 710℃、燃料利用率 74.0%で発電効率 62.5%を達成した。これは従来のエンジン発電機の 3 倍の効率に達するものであり、CO ₂ 排出量も削減された。 （事後評価時） 本事業で生み出されたすべての重要な研究成果は、主に研究及び研修の目的で実施機関によって活用されてきた。SOFC システムの性能は向上し、同システムに使用される触媒材料も、本事業に関わった研究者と INT の JICA 奨学生によって開発された。本事業の研究成果に基づき、以下のプロジェクトが実施されている。 (1) INT は、本 SATREPS 事業で実施された研究活動を継続するため、「エビ養殖汚泥の肥料・発電用多孔質炭素製造処理に関する研究」（2021 年～2022 年）と題するプロジェクトを実施した。 (2) カントー大学 (CTU) は、裕幸ベトナム (Yuko Vietnam Co., Ltd.) と共同で、「ティエンザン省における工業用エビ養殖池汚泥と利用可能な植物バイオマス資源を組み合わせたバイオガス生成能力の評価」（2020 年～2021 年）と題するプロジェクトを実施した。 (3) 2022 年から 2025 年まで、ティエンザン省において裕幸計装株式会社が Tuan Hien 養殖会社と共同で、SOFC と IoT を活用したゼロエミッションのエビ養殖を社会実装する新プロジェクトを実施している。本 SATREPS 事業に参加した複数の日本人研究者もこのプロジェクトに貢献している。	事業完了報告書、 VNUHCM (INT)、CTU、 HCMUT、マグネクス社、本事業に参加した日本人研究者への質問票調査・インタビュー
	(指標 2) 実証サイトにおける、エビ養殖池の汚泥等有機性廃棄物から得られる電力量が 1kW 以上になる	達成状況：計画どおり達成 （事業完了時） 本事業で導入されたバイオガス製造実証プラントでは、発酵システムの設計能力上、最大で 2kW のバイオガスの製造が可能である。SOFC のエネルギー変換効率が約 50%であることに鑑みると、実際の発電量は 1kW となる ⁵ 。 （事後評価時） N. A.	事業完了報告書
	(指標 3) 本事業で実証されたエビ養殖池の汚泥等有機性廃棄物を活用したエネルギー循環システムの電力供給能力にかかる社会的、環境的、財務的な便益が国内外に認知される	達成状況（継続状況）：おおむね計画どおり達成（継続） （事業完了時） ワークショップやセミナーを通じて、地方政府、養殖業者、地域コミュニティ等の参加者は、メコンデルタ地域における有機性廃棄物を使用したエネルギー循環システムの便益や電力供給能力を認識した。また、本事業で開発した同システムを導入する便益は、国際シンポジウムや国際会議での研究論文・口頭発表を通じて国際レベルでも示された（しかし、本事業で設置されたシステムはプロトタイプにすぎず、まだ非常にコストがかかるため、財務的なメリットについては継続的に検討する必要がある）。 （事後評価時） 新型コロナウイルスの大流行により、SOFC 技術の普及活動は大きく制限されたが、INT は既存のロードマップに基づき、可能な範囲で研究を継続し、SOFC 技術を普及させてきた。	事業完了報告書、 VNUHCM (INT) への 質問票調査・インタビュー
	(指標 4) 本事業の研究成果が国際的に認められたジャーナル誌で発表される	達成状況：計画どおり達成 （事業完了時） 2020 年 2 月時点で、計 13 本の研究論文が国際ジャーナル誌に発表あるいは発表予定であり、そのうち 10 本の論文が INT との、1 本が CTU との共同論文であった。 （事後評価時） N. A.	事業完了報告書
想定された上位目標 低炭素社会の実現、現地の人々の	(指標 1) メコンデルタ地域における本事業で開発されたエネルギー循環	達成状況：一部達成 （事後評価時） 新プロジェクト (SOFC と IoT を活用したゼロエミッション型エビ養殖の社会実装プロジェクト) において、2024 年 3 月までにティエンザン省に研究目的	VNUHCM (INT) への 質問票調査・インタビュー

⁵ 本文は事業完了報告書からの引用であるが、上記指標 1 の記述によれば、2019 年 7 月に SOFC システムの発電効率は 62.5%を達成しており、事業完了時点では 1kW 以上の発電を達成していたことになる。

生活水準向上、持続可能な発展に寄与する有機性廃棄物をエネルギー源とする持続的な地域内エネルギー循環システムの活用が推進される。	環システムの導入数が3になる	で2つのエネルギー循環システムが設置される予定。	
---	----------------	--------------------------	--

3 効率性

事業費はやや計画を上回ったが（計画比：111%）、事業期間は計画どおりであった（計画比：100%）。実績額が計画額を上回った理由は、研究目的で機器を追加購入したこと及び一部の機器の実際のコストが高くなったことによる。特に、SOFCシステムは、遠隔地でバイオガスを用いて安定的かつ安全に稼働させるために、さらなる技術改良が必要となったため、実績額が計画額を大きく上回った。

	事業金額（日本側の支出のみ、円）	事業期間（月）
計画（事前評価時）	326 百万円	60 カ月
実績	362 百万円	60 カ月
割合（%）	111%	100%

アウトプットは計画どおり産出された。

以上より、効率性は③と判断される。

4 持続性

【政策面】

「2050年を見据えた2021年から2030年までの国家グリーン成長戦略」⁶や「2050年に向けた気候変動に関する国家戦略」⁷（2022年発効）などの国家政策や、2022年にシャルムエルシェイクで開催された国連気候変動枠組条約第27回締約国会議（COP27）などの国際的な政策枠組みが、グリーン成長、カーボンニュートラル経済、温室効果ガス排出削減の推進を支持しており、これらは環境にやさしいエネルギー循環システムへの貢献が大いに期待されるSOFCシステムの普及促進を後押しするものである。

【制度・体制面】

INTと本事業に参加した日本人研究者の研究チームは、事業完了以降、日本政府提供資金を活用し、SOFCシステム用触媒材料の開発研究を継続している。INTの研究者2名がJICAの奨学金を得て、同日本人研究者の指導の下、日本の博士課程に留学しており、また最近、同日本人研究者はINTと新たな研究プロジェクトを立ち上げるためにベトナムを訪問していることから、この共同研究は継続するものと見込まれる。INTはまた、ベンチェ省のDARD及びDSTとも、本事業の研究成果に関連した研究活動の実施について協議している。加えて、CTUはダイセン・メンブレン・システムズ社と協力し、同社の膜ろ過システムなどの製品をティエンザン省の養殖業者に紹介している。本事業で設置された機材や設備のほとんどは、INT、CTU、HCMUTによって適切に運用・維持管理されている。実証サイトに設置された機材も、INTが雇用した人員により適切に維持管理されている。INTは今後、実証サイトの機材をビンダイにあるベンチェ省DARD傘下のハイテク農業センターに移す予定である。

【技術面】

INT、CTU、HCMUTの研究者は、集中講義、関連セミナー、実証サイトでのトレーニングセッション、日本の九州大学でのディスカッションへの参加、研究論文の執筆、現地予算による研究活動への参加を通じて、研究能力とスキルを維持してきた。既述のとおり、INTからは2名の研究者がJICAの奨学金を得て日本の博士課程に留学し、日本人研究者の指導の下、SOFCシステムの性能向上に貢献している。INTと本事業に参加した日本人研究者は、今後も新たなプロジェクトを通じて継続的に協力する予定であり、INT、CTU、HCMUTの研究者の研究能力向上の将来性は比較的高い。また、これらの研究者は、運営・維持管理マニュアルや日本人研究者との継続的な議論を通じて、本事業で導入された機材や設備を適切に運用・維持管理するスキルを維持している。農業農村開発省、科学技術省、DARD、DSTなどの政府機関も、これらの組織の下に専門の研究部門を持ち、メコンデルタの持続可能な開発に注力していることから、十分な科学リテラシーを有している。

【財務面】

INTは、2021年から2022年の期間における研究活動の継続とINT及び実証サイトに設置された機材・設備の運用・維持管理のために、VNUHCMから65,000米ドル（約1,565百万ベトナム・ドン）を確保した。CTUは、2020年12月から2021年2月まで、研究活動の継続のため、裕幸ベトナム社から総額119百万ベトナム・ドンの予算で財政支援を受けた。ベンチェ省のDARDとDSTも、バイオマス利用と水質管理に関する研究活動を支援するための国家予算を確保した。INTは、先頃、本事業で開発された環境にやさしいエネルギー循環システムをベンチェ省及びメコンデルタの他省でさらに広く開発・適用するための、同省DSTの助成プロジェクトに応募した。INT、CTU、HCMUTは、研究継続と機材・設備の運用・維持管理のための財源確保に継続的に努めている。

【環境・社会面】

環境・社会面の問題は確認されず、対応策を講じる必要はなかった。

【評価判断】

以上より、政策面、制度・体制面、技術面、財務面、環境・社会面いずれも問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は④と判断される。

5 総合評価

本事業は、現地のバイオエネルギーで作動する燃料電池の開発と環境にやさしいエネルギー循環システムの実証（プロジェクト目標）を計画どおりに達成した。安定的な同エネルギーシステムの活用促進（上位目標）については、期待された活用レ

⁶ 首相決定第 1658/QĐ-TTg 号

⁷ 首相決定第 896/QĐ-TTg 号

ベルの観点からは、一部達成であった。事業完了以降、本事業で調達された主要な研究設備・機材のほとんど、本事業によって生み出されたすべての重要な研究成果は、継続的な研究と研修のために活用されている。持続性については、実施機関は本事業に参加した日本人研究者との共同研究を継続し、研究能力とスキルを維持しており、継続的な研究と設備・機材の運用・維持管理のための財源も確保している。

以上より、総合的に判断すると、本事業の評価は非常に高いといえる。

III ノンスコア項目

付加価値・創造価値

・日本の研究機関と共同で、バイオガスを燃料とする SOFC システムや膜ろ過システムを含む環境にやさしいエネルギー循環システムのモデルを開発し、エネルギーの安定供給と地域環境の改善に向けた革新的な取り組みを行ったことで、ベトナムの研究者の研究能力は大きく向上した。

IV 提言・教訓

実施機関への提言：

・本事業で開発されたバイオガスにより作動する SOFC システムは、ベトナムの農家が導入するにはまだ複雑でコストが高い。したがって、実施機関の研究チームは、同システムを簡素化し、システムの経済的利益を高めるために導入コストを削減する努力を続けるべきである。

JICA への教訓：

・事業期間実績は計画どおりであったが、ベトナムでは国際協力プロジェクトで使用する機材の輸入に関する手続きや規制、特に免税に関する規制が複雑であり、本事業実施中の機材輸入に長時間を要した。したがって、機材の輸入を伴う事業を実施する場合、事業関係者は、機材輸入に必要な規制や手続きを事業開始前に確認し、早い段階から輸入手続きの準備を始めるべきである。



ベンチェ省の実証サイトに設置された SOFC システム
及び配電制御盤



ホーチミン市の INT に設置された電解放出型走査電子顕微鏡