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先進的エネルギーシステムに関する研究」

研究課題名「マレーシアにおける革新的な海洋温度差発電（OTEC）の開発による低炭素社会のための持続可能なエネルギーシステムの構築」

採択年度：平成３０年度/研究期間：５年/相手国名：マレーシア

令和元（２０１９）年度実施報告書

国際共同研究期間*1
２０１９年　３月２５日から２０２４年　３月２４日まで
JST 側研究期間*2
２０１８年　６月　１日から２０２４年　３月３１日まで
（正式契約移行日２０１９年　４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：池上　康之

佐賀大学・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

(H-OTEC: Hybrid Ocean Thermal Energy Conversion)

研究題目・活動	2018年度 (10ヶ月)	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度 (12ヶ月)
1.H-OTECシステム研究・開発 1.1 実験用システム基本設計 1.2 熱交換器の製造完了 1.3 試験装置の製作(本邦) 1.4 試験装置の輸送・試運転完了 1.5 システムの低コスト化技術の確立		▼実験プラントの基本設計完了 ▼熱交換器の製造完了 ▼試験装置製作(本邦での組立完了) ▼実験装置完成 システムの低コスト化技術の確立▼				
2. H-OTECの発電・造水技術確立 2.1 発電出力・造水性能達成 2.2 H-OTECの運転条件最適化 2.3 大型化(実機)の基本設計完了		海水データの取得		発電電力・造水性能達成▼ システムの運転最適化完了▼ 実機基本設計の完了▼		
3. 海洋深層水の複合利用モデルの基盤構築 3.1 社会実装候補地の検討 3.2 マレーシアに適した海洋深層水複合利用方法の検討 3.3 マレーシアにおける海洋深層水複合利用モデルの経済性評価		マレーシアに適した海洋深層水複合利用方法の検討完了▼	社会実装候補地の選定▼ 海洋深層水複合利用モデルの経済性評価完了▼			

4. 環境評価およびLCA評価の実施 4.1表層水/深層水取水の環境への影響を検討 4.2表層水/深層水排水の環境への影響を検討 4.3 H-OTECのLCA評価 4.4 マレーシアモデルのLCA評価		データ取得▼ モデルと解析の構築▼ サーバ設置▼ 技術移転▼ データ取得▼ モデルと解析の構築▼ サーバ設置▼ 技術移転▼ インベントリーデータ収集完了▼ CO2 低減量の評価▼ H-OTEC 淡水化の定量化▼ H-OTEC のための LCA 手法の構築▼ インベントリーデータ収集完了▼ H-OTEC 海洋深層水の定量化▼ CO2 低減量の評価▼ マレーシアモデルのための LCA 手法の構築
5. 技術移転および人材育成 5.1 OTEC関連技術教育研修 5.2 海洋深層水複合利用施設の現地調査 5.3 合同国際セミナー		OTEC 関連技術教育研究の実施 海洋深層水複合利用施設の現地調査 国際セミナーの実施

(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)

特になし

２．プロジェクト成果の達成状況とインパクト（公開）

(1) プロジェクト全体

本事業では、発電と海水淡水化による造水を同時に実現する Hybrid Ocean Thermal Energy Conversion（以下 H-OTEC）の開発を中心とし、マレーシアの地域に根差した海洋深層水利用の複合利用モデルである“マレーシアモデル”を提案し、OTEC および海洋深層水関連事業の事業展開を明確に示すことで社会実装に繋げることを目標としている。この目標を達成するために、H-OTEC 試験装置およびマレーシア近海の海洋データサーバを提供し、その関連技術の技術移転および人材育成によって共同でマレーシア国内での社会実装に向けた取り組みを実施する。

2019 年度は、佐賀大学において、マレーシアモデルの核となる H-OTEC について、試験装置の基本設計を実施し、その製作に取り掛かっている。本試験装置は 2020 年度末にマレーシアに輸送する予定である。マレーシアモデルの中で、H-OTEC の排水を利用した海洋深層水の複合利用については、マレーシアで海洋深層水を利用した水産物の事業化について、その品種を検討するための市場調査を行った。また、H-OTEC の商用化に向けて、H-OTEC のライフサイクルアセスメントの実施のための予備調査として、インベントリデータを収集した。

技術移転および人材育成としては、①10 名のマレーシアプロジェクト研究メンバーが日本における OTEC 関連技術教育プログラムへ参加したこと、および②佐賀大学の教員によるマレーシア工科大学での海洋温度差に関する講義(10 回以上)を実施した。マレーシア研究者の本邦での研修では、佐賀大学海洋エネルギー研究センター内の海洋温度差発電試験装置の運転や沖縄県久米島町における海洋深層水複合利用モデル“久米島モデル”の視察を行った。2020 年 1 月に、マレーシアモデルの社会実装に関する全体会議を行い、全体的な協力体制と社会実装までにロードマップ等について協議し、課題を共有した。

さらに、H-OTEC の低コスト化技術の確立のため、主要機器であるフラッシュチャンバー、蒸発・凝縮熱交換器の小型モデルの製作を行い、より高効率かつコンパクトなフラッシュ蒸発室および高い伝熱性能の熱交換器の実現に向けた基礎データを取得するための試験装置の製作、プレート式熱交換器を用いた内部流動現象の解明のため、透明樹脂を用いた内部流動現象の可視化、Computational Fluid Dynamics(CFD)による内部流れの可視化を行った。

以下に、2019 年度に実施した 5 つの研究題目の実施内容の概要を示す。

(2) 研究題目１：H-OTEC **システム研究・開発**(PO：Output 1)

リーダー

日本側	池上　康之	マレーシア	A Bakar Jaafar

①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

本研究題目では、H-OTEC の試験装置を設計、製作し、本邦で仮組立した後にマレーシアに輸送後、設置、試運転を行う。2019 年度は、試験装置の基本設計および製作に入る計画であり、当初予定の通りに遂行し、各試験にて一定の成果を得ることができた。

H-OTEC システムのパラメータ解析によって、先ず試験装置の熱力学的基本特性を明らかにし、

次に熱・造水バランスを考慮し、マレーシアに設置する試験装置の基本設計を行った。この熱力学的基本特性は、日本機械学会論文誌で発表した(池上他，機論，86(883), 2020)。また、OTEC の基本的な性質およびその評価方法を新たに提案し、国際学会誌に報告した(Yasunaga, et al., Entropy, 22(2), 2020)。その基本設計に基づき、試験装置の製作に着手し、製作メーカにて詳細設計および製作を行っている。本試験装置は 2020 年末までに本邦で仮組立を行い、マレーシアに輸送する予定である。一方、H-OTEC システムの開発の核となるフラッシュ蒸発器および海水中の不凝縮ガスを除去する脱気器の高性能化のため、小型の試験装置を製作した。同装置は、佐賀大学海洋エネルギー研究センター内にある既往の海洋温度差発電および海水淡水化設備を活用し、発電部のアンモニアラインおよび海水供給ラインに増設する形で設置した。今後 2021 年度に詳細データを測定する予定である。

H-OTEC の熱交換器の高性能化に寄与するため、熱交換器の熱源側の伝熱性能と圧力損失の関係を明らかにし、熱交換器の簡易的な選定を容易にする方法も新たに提案した(Fontaine, et al., Entropy, 21(12), 2019)。さらに、プレート式熱交換器内の蒸発、凝縮現象を解明するため、縦横の単純な形状をしたプレートについて、形状最適化を行った。形状最適化では、Ansys Fluent を用いた液単相流れの CFD(Computational Fluid Dynamics)によって圧力損失と熱伝達係数の関係から、プレート面形状のパラメータを決定し、3D プリンタで透明樹脂の熱交換器を製作することで、蒸発を伴う流れの内部の気泡の発達状況を実験的に確認した。伝熱面形状および流体の熱伝達係数に関する研究結果は、今後、更なる検証を基に研究論文として纏める予定である。

②研究題目１のカウンターパートへの技術移転の状況

本研究題目内の技術移転内容は、研究題目 5 における活動を中心に実施している。カウンターパートであるマレーシア工科大学への技術移転のため、①UTM の研究者の基礎教育、②佐賀大学海洋エネルギー研究センター伊万里サテライトおよび久米島サテライトにおける装置を用いた OJT(On the Jon Training)による技術移転を計画している。そのため、2019 年度の進捗状況については、研究題目 5 にて詳細状況を報告し、本研究題目内での報告は割愛する。

③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

H-OTEC の装置製作に際し、海外を中心とした調達品の納期に滞りが生じている。現時点では、遅延となる部品類の影響が全体スケジュールの遅延に直結しないよう、対策をとりつつ対応しているが、引続き、納期遅延になる部品が生じる可能性があり、状況を注視している。

マレーシアにおいては、H-OTEC を設置するための建屋を UPM I-AQUAS に新たに建設する必要があり、2020 年度末までに完工予定である。本建屋については、マレーシア内での COVID-19 による外出禁止・制限により、建設に向けての計画(設置場所の確定、基礎・建屋建設の入札準備)が大幅に遅れており、装置輸送日程との調整が必要である。同国内の外出自粛制限が続いており、引続き状況を注視し、全体スケジュールに反映させる予定である。

④研究題目１の研究のねらい（参考）

H-OTEC の基本設計、装置製作、設置、試運転と、OTEC の装置製作から試運転までの熱バランス、プロセス設計及び試運転を共同で実施することで、OTEC のプロセス設計に係る技術移転およ

び人材育成を行う。さらに、H-OTEC 実験装置をマレーシアに設置することで、マレーシア工科大学 OTEC センターを中心に、本事業後も継続して研究できる環境を整える。

⑤研究題目 1 の研究実施方法（参考）

H-OTEC の基本設計は、先ず図 1 に示す概略フロー線図について、各状態点を附番する。この各状態点において、定常状態では、質量バランスおよびエネルギー(エンタルピー)が保存されるため、各構成機器の性能を仮定し、各状態点での熱・質量バランスをとる。簡易的には、蒸発器出口および凝縮器出口の状態は飽和蒸気および飽和液と仮定し、作動流体(本事業ではアンモニア)の飽和状態の各熱物性値から各状態点の質量・エネルギーがバランス(保存)する状態を算出する。

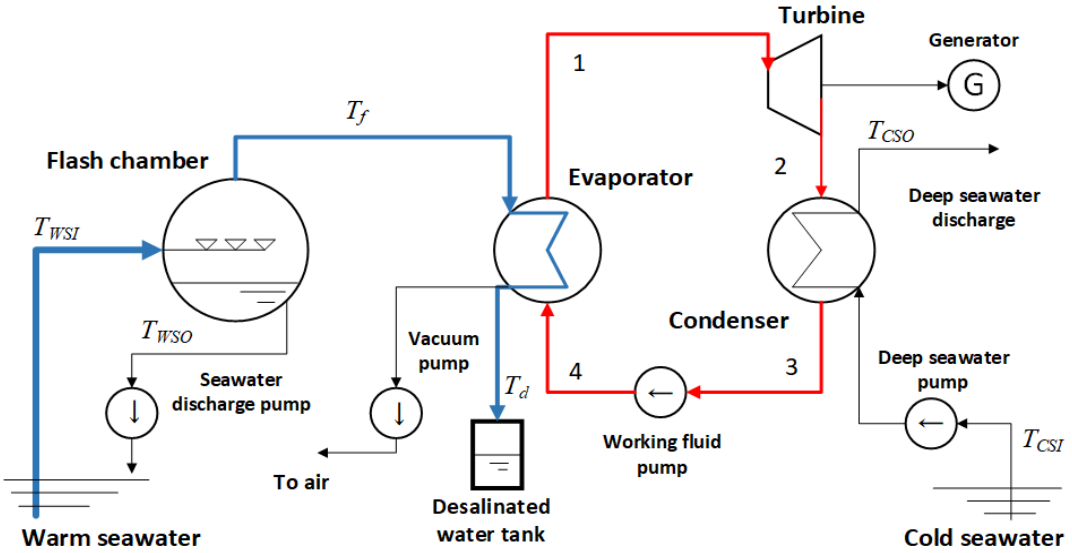


図 1　H-OTEC 概略フロー線図

従来の火力発電では、ボイラの燃焼温度に比べて、タービン入口温度は低く、このタービン入口温度は、構成機器の耐熱温度による。一方、海洋温度差発電の場合、利用する表層海水の温度は 30℃程度と低いため、設計制約は材料の耐熱温度では無く、一定の熱源流量において、投入される熱量と熱機関の動作温度のバランス(熱効率)によって、出力が最も大きくなる状態が決定される。この最大出力の熱バランスが最もエネルギー変換が大きい状態を示す。得られた熱バランスを基に、プロセスフロー線図、機器名称図を佐賀大学が作成し、仕様書を作成した。同仕様書を基に、系統図、配置図、機器リストなどの基本図面を製作し、更には機器仕様、配管アレンジメント、単結線図、などの詳細図面を作成し、継続して機器の製造を行っている。

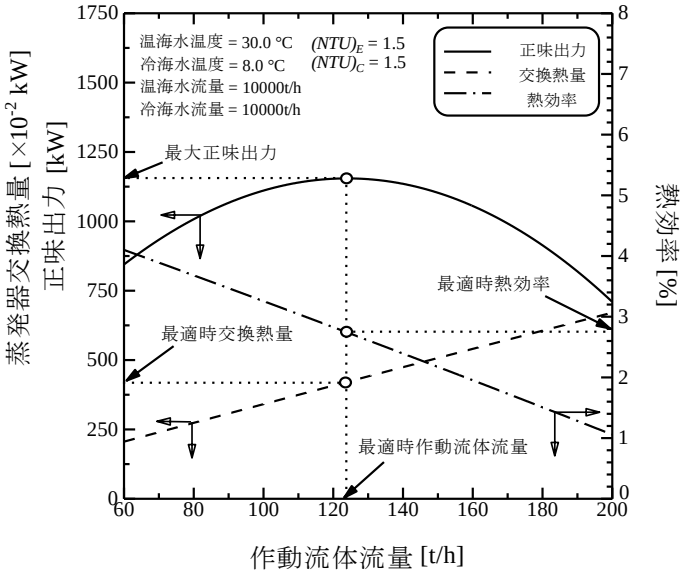


図 2　H-OTEC における発電出力、熱量、熱効率の関係 (NTU：熱移動単位数)
(Data source: 池上他，機論，86(883), 2020)

H-OTEC の熱交換器の高性能化による低コスト化技術の確立のため、理論的な熱工学の検討として、熱交換器の熱源側の伝熱性能と圧力損失の関係を明らかにし、熱交換器の簡易的な選定を容易にする方法も新たに提案した(Fontaine, et al., Entropy, 21(12), 2019)。さらに、プレート式熱交換器内の蒸発、凝縮現象を解明するため、縦横の単純な形状をしたプレートについて、形状最適化を行った。形状最適化では、Ansys Fluent を用いた液単相流れの CFD(Computational Fluid Dynamics)によって圧力損失と熱伝達係数の関係から、プレート面形状のパラメータを決定し、3D プリンタで透明樹脂の熱交換器を製作することで、蒸発を伴う流れの内部の気泡の発達状況を実験的に確認した。伝熱面形状および流体の熱伝達係数に関する研究結果は、今後、更なる検証を基に研究論文として纏める予定である。

さらに、主要機器であるフラッシュチャンバー、蒸発・凝縮熱交換器の小型モデルの製作を行い、より高効率かつコンパクトなフラッシュ蒸発室および高い伝熱性能の熱交換器の実現に向けた基礎データを取得するための試験装置の製作を行った。本試験装置については、2020 年度に試験を行い、データを取得する予定である。

図 3　小型熱交換器試験装置

参考文献

Yasunaga, T., Ikegami, Y., Finite-Time Thermodynamic Model for Evaluating Heat Engines in Ocean Thermal Energy Conversion System, Entropy, Vol.22, No2 (2020) p.211, DOI:10.3390/e22020211

Ikegami, Y., Yasunaga, T. Koyama, N, Okuno, T., Parametric analysis on hybrid ocean thermal energy conversion system, Transaction of JSME (in Japanese), Vol.86, No.883 (2020) DOI:10.1299/transjsme.19-00370.

(3) 研究題目 2：H-OTEC の発電・造水技術確立(PO：Output 2)

リーダー

日本側	安永健	マレーシア	Sathia Thirugnana

①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

本研究題目では、主に H-OTEC 試験装置の設置場所で有る UPM I-AQUAS 内での実証試験に関する活動と、社会実装に向けた商用化プラントの設計を実施する。UPM I-AQUAS 内での実証試験では、年間を通した同設置場所近海の海域の海水データの蓄積し、2021 年度以降に、研究題目 1 で製作し H-OTEC 試験装置の設置、運転の最適化を実施する計画で有る。

具体的な実験項目は、1) 試験海域の基本海水データの収集(2019～2023 年度)、2）定格条件での発電・造水性能試験（2021 年度）、3）連続運転による安定運転の確認（2022-2023 年度）、4）各種運転条件（定格以外の熱源条件での）の性能確認(2021-2022 年度)、5）システムの安定制御方法の確認(2021-2023 年度)、6）H-OTEC からの排水性能性状確認（2021-2023 年度）、7）製造水の性状確認を行う(2021-2023 年度)。また、発電・造水コストの評価と共に、大型化(実機)の基本設計として、実機のヒートバランス、基本設計を実施する予定である。

2019 年度は、マレーシア側で海水データの収集を実施している。2019 年度末に佐賀大学側も同海域にて海水をサンプリングしてデータを蓄積する予定であったが、COVID-19 の影響により、出張できず、マレーシア側だけのデータに留まる。本件については、引続き 2020 年度もマレーシア側を中心に海水データを計測し、そのデータの蓄積を行うことで、試験装置の性能評価に反映する予定である。

②研究題目２のカウンターパートへの技術移転の状況

本研究題目における主な技術移転は、マレーシアにおける H-OTEC 試験装置の建設、試運転および運転ノウハウを OJT で技術移転する予定である。本 OJT の前の基礎教育に関しては、研究題目 5 における技術移転および人材育成にて実施しているため、本研究題目では報告を割愛する。

③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

マレーシアの海水データの計測によると、取水予定の海水域の海水温度が、当初計画の 30℃よりも非常に低い 24℃という低い温度の計測結果が示されている。従来の他の計測値からは、年間で 27℃を下回ったことが無いとも報告されており、計測を実施した UPM 研究者によると、温度計測の計器の温度校正が不十分であったことが指摘されている。本件については、温度計の再構成を行い、引続き計測を実施する事とした。また、同国への渡航および本邦への再入国手続きが緩和されれば、本邦側の計器を持参し、データの比較を行い、より精度の高いデータの蓄積に務める。

④研究題目２の研究のねらい（参考）

本研究題目では H-OTEC の運転を通し、H-OTEC の特性を理解すると共に、発電・造水のバランスを考慮した最適運転状態を明確にし、1MW 以上の発電容量の商用機の設計に反映し、商用機規模の H-OTEC の発電コストを明確にすることである。

⑤研究題目２の研究実施方法（参考）

本研究題目では、H-OTEC の試験において必要となる海水データを取得し、試験装置設置海域のデータを整理し、蓄積する。具体的には、海水の温度、塩濃度、電気伝導度、溶存酸素(H-OTEC の真空ポンプ動力に影響を与える)、pH 等で有る。2019 年度は、マレーシア側で海水をサンプリングして分析を実施している。佐賀大学側も 2020 年 3 月に現地で採水予定であったが、COVID-19 の影響により現地出張が延期になっており、2019 年度は実施できていない。

(4) 研究題目 3：海洋深層水の複合利用モデルの基盤構築(PO：Output 3)

リーダー

日本側	池上　康之	マレーシア	Bambang Baroto

①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

社会実装候補地の検討では、マレーシアにおける海洋基本データなどを取得・活用することで OTEC の適用可能な地域を明らかにし(2020～2023 年度)、当該社会実装候補地域の海水を分析し、その地域での実施可能性を検証する(2021~2023 年)。マレーシアに適した海洋深層水の複合利用形態の検討では、既往の海洋深層水複合利用形態およびその経済性の把握(2019-2020 年度)、マレーシアに適した複合利用形態およびその経済性の検討(2021-2022 年度)、マレーシアに適した複合利用形態モデルの選出(2023 年度)を行う。

2019 年度は、海洋深層水で養殖可能な水産物の検討を行い、その市場や価格の調査を行った。さらに、沖縄県久米島を訪問し、久米島における海洋深層水の利活用状況を視察した。2020 年 1 月に、マレーシアモデルの社会実装に関する全体会議を行い、全体的な協力体制と社会実装までにロードマップ等について協議し、課題を共有した。

②研究題目３のカウンターパートへの技術移転の状況

海洋深層水の複合利用についての技術移転は、OTEC 関連人材育成として、日本における海洋温度差発電と海洋深層水に関する研修を実施し、沖縄県久米島における海洋深層水産業の視察などを実施し、今後のマレーシアモデルの構築のための基盤教育を実施した。同研修の参加者が、独自で海洋温度差発電の排水を用いた海洋深層水の複合利用方法を検討し、マレーシアと日本の合同プロジェクト会議にて、出席した研究者に対して提案した。

海洋深層水を用いた養殖として、アオサの養殖方法について、佐賀大学の平山招聘教授が培養方法の指導等を行った。

③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

特になし

④研究題目３の研究のねらい（参考）

本研究題目は、マレーシアモデルを構築する上で、海洋深層水を資源として利用した場合の複合

利用方法について、日本での取り組み事例を参考に、マレーシアでのニーズ、気候などに合わせた事業を構築し、経済的な実現可能性を検証することをねらいとする。

⑤研究題目３の研究実施方法（参考）

マレーシア側の研究グループには、マレーシアモデルの経済性検討を行うグループが有る。2019 年度は、海洋深層水で養殖可能な水産物を調査し、その市場や価格の調査を実施した。この価格調査において、経済的に成立する可能性が有る事業、大きな市場が有る事業を認識した。更に、社会実装を想定し、両国の民間企業であるゼネシス、インフラコマスのメンバーを含めた両国の研究者間で、マレーシアモデルのあるべき姿を協議した。

一方、日本における海洋温度差発電および海洋深層水の研修に参加したメンバーから、研修の報告を兼ねて、３つのマレーシアモデル(案)を両国のプロジェクト内の研究者に対して提案し、協議することで、モデルのイメージを共有した。

図４　マレーシアでの海洋深層水の複合利用方法の協議の様子

(5) 研究題目４：**環境評価および LCA 評価の実施**(PO：Output 4)

環境評価リーダー

日本側	**早稲田　卓爾**	**マレーシア**	Mohd Fadzil

LCA **評価リーダー**

日本側	**田原　聖隆**	**マレーシア**	Chiong Meng Soon

①　研究題目４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

環境評価グループは、マレーシアトレンガヌ大学(UMT)海洋環境研究所と、共同観測およびモニタリングの研究について協議を実施した。また、東京大学にプロトタイプのデータサーバーを構築した。本データサーバーには、来年度収集するデータセットが登録される予定である。

LCA 評価グループは、H-OTEC のライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment : LCA）に利用するためのインベントリデータを収集した。LCA 評価リーダー等は、これまで日本において製造さ

れた製品を主な対象とするインベントリデータを作成し、それらをデータベース化した IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）を開発した経験があるため、その過程で培った知識及び技術を、マレーシアにおけるインベントリデータの作成に活かすことができる。

インベントリデータのうちエネルギーに関するデータは、H-OTEC のライフサイクルの製造、運用、廃棄のすべての段階で投入される。そのため、マレーシアの実態を反映したものを作成することが、精度の高い LCA を実施するために必要である。そこで、当該年度は、主にエネルギーのインベントリデータの作成に注力した。エネルギーのうち、電力のインベントリデータについては、マレーシア工科大学が情報を収集し分析した。燃料を燃焼させることによって得られるエネルギーのインベントリデータについては、我々が燃料種別の燃焼効率及び各製造プロセスに投入される燃焼用燃料入力を作成した。

出来上がったインベントリデータは IDEA と互換性を有する形式で整備することによって、IDEA に格納されている情報を利用してマレーシアのインベントリデータを補完しつつ、IDEA で定められた規則にしたがったインベントリデータを利用することによって一貫性のある H-OTEC の LCA を実施できるように設計した。

② 研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

環境評価グループは、マレーシアトレンガヌ大学(UMT)海洋環境研究所と、2019 年 8 月 2 日 Mohd Fadzil の日本訪問時の会合をきっかけに、研究交流を開始した。その後、メールでのやりとりを中心に連絡を取り、2020 年 1 月に東京大学小平助教、修士学生 Posterari が UMT を訪問した。双方の研究実績に共通項が多く、今後パートナーとしての協力関係を構築できることを確認した。

データサーバーについては、UMT 側には実績が無い一方、③に記すよう、独自のモデル、観測データなどを有することがわかった。2019 年度は、東京大学でデータサーバーのプロトタイプの構築を開始した。データセットを収集し、サーバーに登録できた段階で、より頑強なサーバーを複製し、UMT に実装する予定である。ネットワーク環境などの下見を 2020 年 1 月訪問時に行った。

LCA 評価グループは、カウンターパートとの連絡を密に取るために、マレーシア工科大学において 2020 年 1 月 15 日に対面会議を実施し、オンライン会議を 6 回（2019 年 7 月、8 月、9 月、11 月、12 月、2020 年 2 月）実施した。なお、2020 年 3 月もオンライン会議のスケジュールを確保していたが、COVID-19 の感染拡大防止のため、先方が職場に出勤できない状況であったため会議開催を断念した。

我々はマレーシア工科大学に対して、当該年度の研究活動であるインベントリデータ収集のうち、特に電力のインベントリデータの収集技術を移転した。はじめに、LCA の概要、LCA の実施に用いるインベントリデータの一般的な作成方法を講義した。我々が開発している IDEA に基づいて、マレーシア版のインベントリデータを作成することから、IDEA の概要及び IDEA に格納されているインベントリデータの作成方法を説明した。特に、マレーシア工科大学が担当する電力のインベントリデータに関する情報源及び作成方法を詳しく説明した。会議及びメールを通して、マレーシア工科大学の進捗状況を随時把握し、修正すべき事柄があればその都度伝え、効率的に技術移転が進むように努めた。

③ 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

環境評価グループは、UMT で、すでに気候変動に着目したマレーシア周辺海域の海洋モデルをオーストラリアと共同で構築していることがわかった。海洋モデルはコミュニティーモデルである ROMS（Regional Ocean Modeling System）に基づいている。東京大学でも ROMS を使った日本近海、大西洋などモデリングの経験があるため、スムーズな研究協力ができることが期待される。

さらに、UMT がマレーシアの海洋観測研究の中心であることも分かった。観測船 RV Discovery をはじめ、多くの観測機器を有し、これまでに多くの観測をカリマンタン島近海で行っている。特に北部サバ州の OTEC 適地近海での観測プログラムを多く有することがわかった。

東京大学グループは、これまでに日本近海・北極海での波浪・海洋観測、モデリング研究を行ってきた。特に気象スケールの短期変動に着目した研究を行ってきた。UMT グループとの共同により、マレーシア周辺海域の環境評価に資するデータの集約が加速すると期待される。

④　研究題目 4 の研究のねらい（参考）

H-OTEC の LCA を実施することによって、環境側面から H-OTEC を評価することが研究のねらいである。マレーシア独自の精度の高い環境影響を LCA から導くために、マレーシアの実態が把握できる情報を収集し、それに基づいてインベントリデータを作成する。LCA によって、ライフサイクル全体の環境影響を俯瞰するとともに、入出力項目別の詳細な視点から環境影響を分析する。上記の作業を通じて得られた情報は、H-OTEC のライフサイクル全体の環境影響を低減させる効率的な方法を検討するために役立つ。

研究題目 4 の研究実施方法（参考）

1. H-OTEC の LCA の実施概要

H-OTEC の LCA を実施するためには、H-OTEC のライフサイクル（製造・運用・廃棄段階）に入力または出力される原材料、エネルギー、廃棄物等のすべてについて、その項目及び数量（または金額）を調査する必要がある。LCA ではこれらの入出力はフォアグラウンドデータ（1 次データ）と定義されている。次に、各フォアグラウンドデータについて、それぞれの上流に存在するプロセスの入出力項目及び数量（または金額）を資源採掘プロセスに到達するまで繰り返し調査する必要がある。これらの入出力はバックグラウンドデータ（2 次データ）と定義されている。

LCA を実施する時には、フォアグラウンドデータ及びバックグラウンドデータに関連する各プロセスから環境中に排出される環境負荷物質の種類と数量、環境中から採取される資源の種類と数量を算出し、それらを種類ごとに合算することによって、対象製品のライフサイクル全体を通じた総量を確認することができる。

さらに、各環境負荷物質及び各資源を、地球温暖化や資源消費等の環境影響領域ごとに仕分け、重み付けし、単一の環境影響指標に統合することによって、環境影響を確認することができる。図 4 に H-OTEC の LCA の概要を示す。

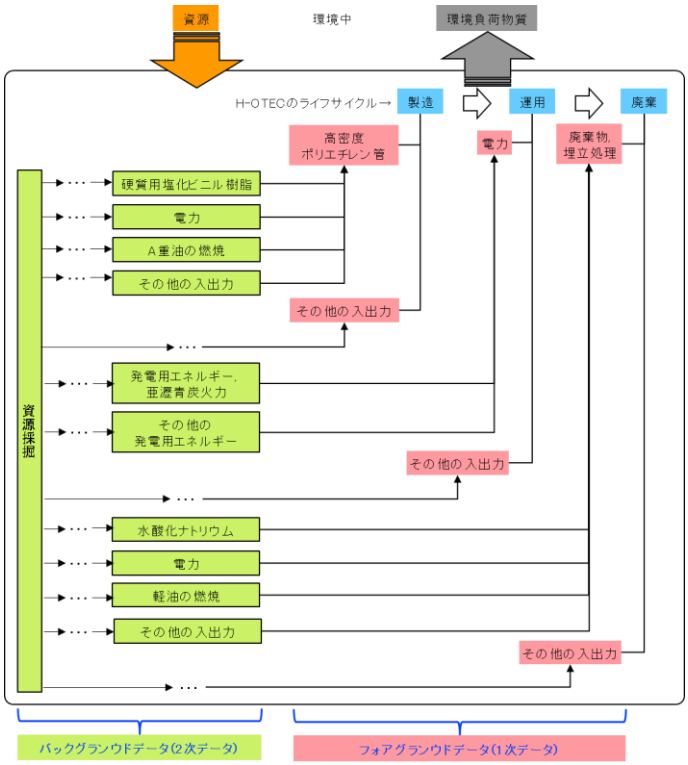


図 4　H-OTEC の LCA の概要

フォアグラウンドデータは、本プロジェクト参加者が所有する仕様書や設計図等から情報を収集することができるが、バックグラウンドデータは納品された製品の製造プロセスから資源採掘プロセスまで遡りすべての入出力を収集する必要があるため膨大な労力がかかり、また完遂することは難しい。

そこで、我々が開発している IDEA に格納されているインベントリデータを、バックグラウンドデータとして H-OTEC の LCA に利用することを検討した。ただし、IDEA が前提としている技術（製造方法、原材料の種類、歩留まり率、製品の品質等）は、原則として日本を前提としているため、マレーシア独自の情報を収集・分析し、マレーシアの実態を反映したマレーシア版の IDEA を作成した上で、それらを H-OTEC の LCA に利用することにした。

IDEA は日本で製造されているすべての製品を、重複しないように 1,845 種類の製品群に分類し、各製品群の製造プロセスに入力または出力される原材料やエネルギー等の各項目の種類及び数量（または金額）を整備している。さらに、各製品群を資源採掘プロセスまで遡って各環境負荷物質排出量及び各資源採取量を合算し、それらに基づいたライフサイクル全体に由来する各環境影響も算出し整備している。

また、IDEA は、製造プロセスの評価範囲や入出力項目の定義が統一され、各製造プロセス間の整合性がとれているため、LCA 実施者はそれらを精査する手間が省ける、

そして、IDEA は日本で製造されているすべての製品について階層構造を有する分類上で整理しているため、必要とするデータを的確かつ迅速に選択することができる。

したがって、上記の特徴を有する IDEA のインベントリデータを、H-OTEC の LCA のバックグラウンドデータとして利用することによって、統一された方法にしたがった精度の高い LCA の結果を得ることができる。

2. マレーシアのインベントリデータの作成

H-OTEC のライフサイクルへの入出力項目のうちエネルギーについては、H-OTEC のライフサイクルのすべての段階で入力される（図 1 を参照）ため、LCA への影響が大きく、かつマレーシアのプロセスデータを作成するための情報を収集できることがわかった。そこで、電力についてはマレーシアの情報を基に発電プロセスの入出力を作成し、それを IDEA に導入することにした。燃料を燃焼させることによって得られるエネルギーについては、IDEA に格納されている燃料種別の燃焼効率及び各製造プロセスに投入される燃焼用燃料種別入力を、マレーシアの実態に即したものに置き換えることにした。上記 3 項目を実施することによって、マレーシアの実態を反映したエネルギーのインベントリデータを作成することができ、H-OTEC の LCA の精度向上につながる。

2.1. マレーシアの電力のインベントリデータの作成

電力については、電源ごとの単位発電量当たりに排出される環境負荷物質の種類及び数量を対象として、マレーシアの情報を収集及び分析することにした。

電源別のインベントリデータを作成するために、国営電力 Energy Commission（マレー語 ：Suruhanjaya Tenaga）から、電源別の年間発電量、燃料種別（天然ガス、石炭、fuel oil, diesel oil & distillate oil などの燃料油）の年間投入量、年間発電所内消費量及び年間送配電ロス量を収集した。

発電プロセスにおける燃料の燃焼に由来する CO_2、CH_4、N_2O の排出量は、2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 Energy のデフォルト値から算出した。

入出力量を発電プロセスごとの発電量（熱量換算した数値）で除することによって、単位発電量当たりの入出力量が算出でき、それを発電プロセスごとのインベントリデータとして採用した。発電プロセスごとのインベントリデータを、マレーシアの電源構成（石炭火力、水力、太陽光等）で重み付けすることによって、マレーシアに供給される平均的な電力のインベントリデータを作成することができる。

2.2. マレーシアの燃焼効率の算出

燃料燃焼プロセスのインベントリデータは、各国の燃料の利用効率（ボイラー効率など）の影響を受けるため、International Energy Agency （IEA）の World Energy Balances に記載されているマレーシアの燃料種別の情報をもとに算出することにした。燃料種のうち、Coal、Oil products、Natural gas の直近 5 年分（2012～2016 年）のマレーシアにおける発電電力量及び発電プロセスへの燃料投入量を抽出し、それらを石油換算（単位は Tonne of Oil Equivalent：TOE）し、前者を後者で除することによって、各燃料の燃焼効率を算出した。World Energy Balances に記載されている Coal の燃焼効率は IDEA の石炭系の燃料に、Oil products は石油系の燃料に、Natural gas はガス系の燃料に適用することにした。

なお、本来は、発電以外の Heat Plant 等における燃焼効率も考慮するべきだが、燃料投入量や熱生産量等が十分に得られなかったため、発電に関するデータに基づいて燃焼効率を算出することにした。

2.3. マレーシアの燃焼用燃料種別入力の算出

マレーシアの各産業に投入されている燃料種別の入力量については、IEA の World Energy Statistics 2017 が、すべての産業を 29 に分類し、それぞれの産業に投入されている 31 種類の燃料種ごとの年間消費量を調査している。World Energy Statistics 2017 の 31 種類の燃料種のうち、IDEA で調査されている燃料（33 種類）との対応関係が確認できた 22 種類について、29 の産業ごとの燃料種別年間消費量を World Energy Statistics

2017 から引用した。年間消費量の単位は、燃料種によってトンやリットル等、異なっており、今後、構成比を算出するためには単位を統一する必要があるため熱量換算した。

World Energy Statistics 2017 から入手できた 29 の産業ごとの 22 種類の燃料種別年間消費量を、マレーシア産業連関表（Input output tables Malaysia 2010（マレー語 ：Jadual Input-Output 2010）の 124 の産業及び 3 種類の燃料種（「petroleum refinery（石油精製）」、「crude oil and natural gas（原油および天然ガス）」、「other mining and quarrying（その他の鉱業および採石業）」）と対応させた。マレーシア産業連関表では、すべての産業を対象とし、各産業に投入されているすべての燃料の年間投入金額を把握できるため、マレーシアにおけるエネルギーの投入構造を漏れなく捕捉することができる。そして、マレーシア産業連関表から引用した 124 の各産業への 3 種類の燃料種別の投入金額に応じて、World Energy Statistics 2017 の 22 種類の年間消費量を 124 の産業に割り当て、その構成比を算出した。マレーシア産業連関表の 124 の産業と IDEA の細々分類とを対応させ、マレーシア産業連関表の産業ごとの構成比を IDEA の細々分類へ継承した。マレーシアの燃焼用燃料の熱量構成比の算出手順を図 5 に示す。

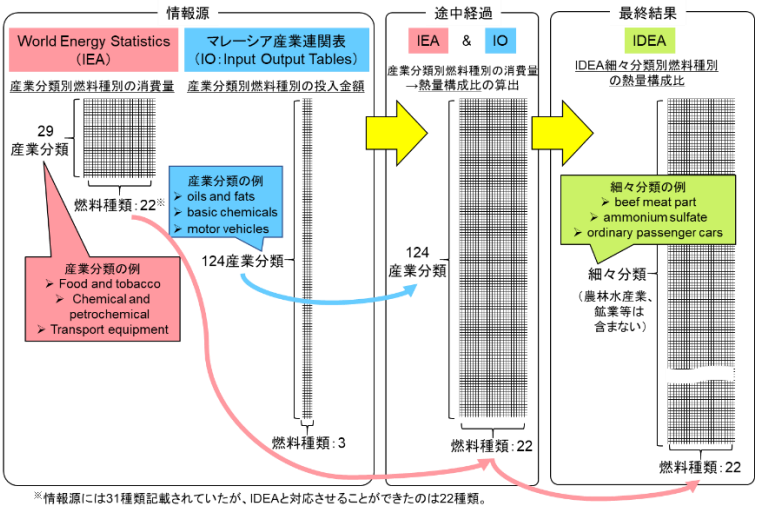


図 5 マレーシアの燃焼用燃料の熱量構成比の算出手順

各製品を 1 単位製造するために必要とされるエネルギー量（熱量）は日本もマレーシアも同一と仮定し、IDEA の細々分類ごとの燃焼用燃料の熱量合計をマレーシアの燃焼用燃料種別構成比を用いて、各燃料種に割り当てることで、マレーシアの燃料利用実態を反映させた。

3. H-OTEC の淡水化の定量化

マレーシア工科大学が H-OTEC の建屋の設計図等の収集を開始した。収集した情報から、H-OTEC の淡水化を定量化するために必要な情報を抽出し、整理することに着手した。

参考文献

1)国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 社会と LCA 研究グループ, 一般社団法人 産業環境管理協会, LCI データベース IDEA version 2.0

2) Department of Statistics Malaysia, Input output tables Malaysia 2010（Jadual Input-Output 2010）

3)Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 Energy, TABLE 1.2, 入手先 <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf>
4)International Energy Agency (IEA), World Energy Balances (Energy Balances of OECD/non-OECD Countries), 入手先 <http://www.iea.org/bookshop/753-World_Energy_Balances_2017>
5) International Energy Agency (IEA), World Energy Statistics2017, 入手先 <http://www.iea.org/bookshop/752-World_Energy_Statistics_2017>

(6) 研究題目 5：技術移転および人材育成(PO：Output 5)

日本側	池上　康之	マレーシア	A Bakar Jaafar

①研究題目 5 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

2019 年度は、OTEC および海洋深層水の複合利用事業の技術移転および人材育成として、海洋深層水複合利用施設の現地調査を含む①OTEC 関連技術教育研修、および②佐賀大学の教員によるマレーシア工科大学での海洋温度差発電に関する講義(10 回以上)、さらに、マレーシアと日本においてそれぞれ合同国際セミナーを毎年実施することを予定していた。年度末に予定していた日本での合同国際セミナーが COVID-19 の影響により延期となり実施できなかったものの、その他は大凡計画通りの活動ができた。

②研究題目 5 のカウンターパートへの技術移転の状況

OTEC 関連技術研修では、佐賀大学海洋エネルギー研究センターにおいて、2019 年 12 月 2 日から 10 日にかけて 10 名のマレーシア若手研究者を実習生として招聘し、佐賀大学海洋エネルギー研究センター伊万里サテライトでの実習、久米島サテライトを含む沖縄県海洋深層水研究所を中心とした海洋深層水を用いた事業の視察を行った。本教育では、伊万里サテライトにおいて、OTEC に関する講義、OTEC 実験設備を活用した実習による運転特性の把握として、OTEC の発電システムの基礎、熱交換器、実験装置の評価解析方法を理解するため、実験したデータを基に手計算で性能解析を行った。また、久米島の OTEC 実証設備を活用した OTEC 実機の運転特性の把握、沖縄県海洋深層水研究所を中心とした久米島内での海洋深層水を用いた事業の視察を行い、この視察内容を基に、実習生が 3 グループに分かれ、独自のマレーシアモデルを討論するブレーンストーミングの機会を設け、それぞれのマレーシアモデルについて発表会を行った。その後、この 3 グループのマレーシアモデルは、マレーシアでのプロジェクト会議において研究グループメンバーに紹介され、日本での取組および海洋温度差発電と海洋深層水の複合利用形態の現状について情報を共有すると共に、深層水の利用形態の事業性の考え方など、マレーシアモデルの基礎となる考え方を紹介した。

佐賀大学の教員によるマレーシア工科大学での海洋温度差発電に関する講義については、マレーシア工科大学において、海洋温度差発電の技術移転および人材育成の推進を目的として、修士、博士の学生、および関心のある若手研究者に対して、10 回以上の海洋温度差発電に関する技術の講義を実施した。この授業は、来年度の UTM における正式な単位化を目指して、正式な授業と同様な

シラバスや授業スタイルを取った。現在、来年度の正式な単位に向けて、2019 年度の実績を元に、関係機関と調整中である。しかし、COVID-19 の影響により、2019 年度末の講義が出来なかったこと、更に、2020 年の間はマレーシア工科大学の学生が全てオンライン授業となったことから、今後のマレーシアにおける講義の継続および単位化に向けての調整が難航することが予想される。

マレーシアおよび日本における国際会議による情報の発信については、2019 年度は両国における国際会議を予定していた。マレーシアでは、マラヤ大学が主催する国際会議 The 3rd South China Sea 内の企画として、2019 年 6 月 25 日に海洋温度差発電の特別セッションを設け、日馬の SATREPS 参加メンバーによる計 5 件の発表を行った。日本では、佐賀大学海洋エネルギー研究センターが主催する海洋エネルギーに関する国際セミナ―に特別セッションを設け、3 名のマレーシア側のプロジェクトリーダーを招聘し、発表を行う予定であったが、COVID-19 の影響によって、同国際会議が延期となったため、招聘を中止した。

③研究題目 5 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

OTEC 関連技術研修では、研修の参加者が中心となり、第 1 回の海洋温度差発電と海洋深層水の複合利用に関するトレーニング報告書を作成し、マレーシア教育省、JICA、JST に対して報告を行った。

④研究題目 5 の研究のねらい（参考）

本研究題目は、カウンターパートであるマレーシア側の研究者への海洋温度差発電、海水淡水化、海洋深層水関連事業を中心に、技術移転およびマレーシア側の人材育成を行い、本事業に関連した事業による社会実装や関連教育を担う人材を育てることがねらいである。

⑤研究題目 5 の研究実施方法（参考）

本研究題目の実施方法は主に 3 点である。第一に、佐賀大学が主催する海洋温度差発電および海洋異深層水関連技術の研修にマレーシア側の研究者を招聘し技術移転を行う。2019 年度は、マレーシア側から 10 名の研究者を日本に招聘し、7 日間の研修を実施した。具体的には、2019 年 12 月 3、4 日に佐賀大学海洋エネルギー研究センター伊万里サテライトにおいて、海洋温度差発電(池上教授)、プレート式熱交換器(中岡特任教授)、海水淡水化(安永助教)の各講義の講義、および海洋温度差発電設備の視察、運転を行った。設備の視察、運転では、マレーシアに設置予定の H-OTEC 試験装置と類似のシステム構成で必要になる機器類の仕様、運転方法、メンテナンス方法を紹介し 15kW 海洋温度差発電実験装置の起動、運転および運転データの取得を行い、取得したデータを用いて熱交換器や発電システムの性能評価を行った。その後、久米島に移動し、久米島において、100kW 海洋温度差発電実証設備の見学、海洋深層水取水設備の視察を行った。更に、沖縄県海洋深層水研究所内の関連設備の視察、海洋深層水を用いた農業、飲料水、化粧品、車エビの養殖、陸上でのカキの養殖、サンゴのナーシングに関する事業を視察した。最後に、参加者を 3 つのグループに分け、久米島における海洋温度差発電を中心とした海洋深層水の複合利用形態(久米島モデル)を基に、マレーシアモデルのブレーンストーミングを行うことで、その考え方を学習すると共に、複合利用形態の構成を考えるポイントについて、久米島での経験を聴取した。

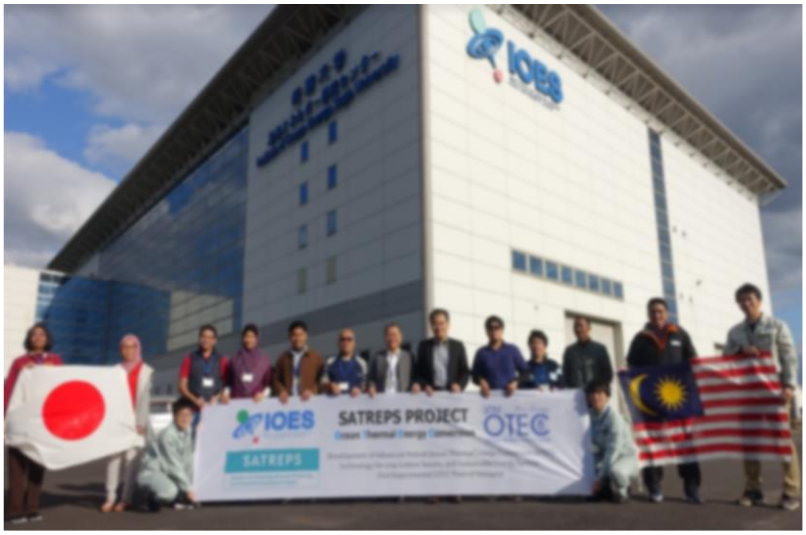


図 6　佐賀大学海洋エネルギー研究センター伊万里サテライトにおける研修時の集合写真

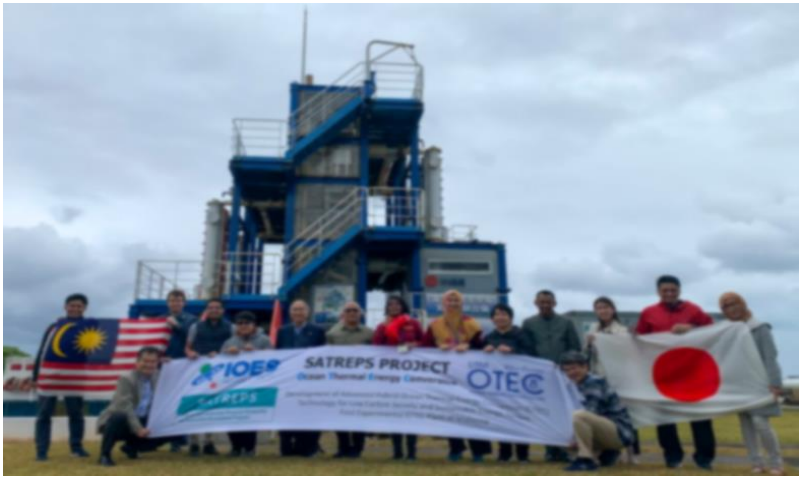


図 7　佐賀大学海洋エネルギー研究センター伊万里サテライトにおける研修時の集合写真

第二に、佐賀大学海洋エネルギー研究センターの中岡特任教授がマレーシア工科大学を訪問し、マレーシア工科大学 OTEC センター内の研究者およびマレーシア工科大学の学生に対して、海洋温度差発電に関する講義を行った。講義は、隔月で実施し、2019 年度内に 10 回以上の講義を行った。本講義については、今後、マレーシア工科大学内での単位取得制度に入る様、マレーシア側で学内調整中である。

第三に、マレーシアおよび日本における国際セミナーを開催し、研究内容を紹介することである。2019 年度は、マレーシアにおいて、マラヤ大学が開催した国際会議 The 3rd South China Sea Conference において、海洋温度差発電セッションを設け、SATREPS に関連する研究者が 5 件の研究成果発表を行った。日本においては、2020 年 3 月に佐賀大学海洋エネルギー研究センターが主催する第 13 回海洋エネルギーに関する国際セミナーにおいて、3 名のマレーシア側の研究者が発表予定であったが、同国際セミナーが COVID-19 の影響によって延期されたため、2019 年度は実施できていない。

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）

今後のプロジェクトの進め方の中で、技術移転や人材育成の中で計画を見直す必要が有るのは、両国の研究者のマレーシア/日本への渡航計画である。マレーシア工科大学は 2020 年の間は、学生および教員の海外渡航を禁止しており、佐賀大学も海外への渡航が自粛されており、解禁の日程が明確でない。そのため、2019 年度の様にマレーシアにおける対面での講義、日本における研修は、オンラインを中心とした講義、研修に切り替える必要が有る。

また、UPM I-AQUAS に設置する H-OTEC 試験装置用の建屋建設も、入札のための大学側の諸手続きが遅れており、設置および試運転の日程が遅延することが予想される。

マレーシアにおける社会実装については、マレーシアの第 12 次エネルギー計画が 2021 年に発表されることから、同計画への海洋エネルギー若しくは海洋温度差発電のロードマップへ導入されるべく、マレーシア政府へ成果を発信する必要がある。

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

本プロジェクトでは、H-OTEC の開発を中心とし、マレーシアの地域に根差した海洋深層水利用の複合利用モデルである“マレーシアモデル”を提案し、OTEC および海洋深層水関連事業の事業展開を明確に示すことで社会実装に繋げる。

本プロジェクトでは、マレーシア側の実施メンバーの専門性が多様であることから、先ずは、海洋温度差発電に関する基礎知識を持たせる人材育成として、マレーシア工科大学内での定期的講義を行った。更に、日本で実施した OTEC 関連技術教育研修では、マレーシアに設置予定の試験装置と同様の規模の試験装置を運転、計測、性能評価することで、マレーシアへの試験装置の個別の機器の学習、設置後に実施する性能試験や性能評価などのシミュレーションを行い、研究者が必要な知識について、共有することができた。

OTEC 関連技術教育研修においては、マレーシアでの海洋温度差発電および海洋深層水の複合利用が、実現可能であるという信念を持ってもらうため、より多くの久米島内の事業者との協議、島民の声が届く様、交流を重視した。その結果、参加者からは、実際に発電ができるということ、海洋深層水の複合利用で事業が成り立つという事、更には久米島の中で海洋深層水が地域活性化に大きく貢献していることが体感でき、マレーシアでの実用化のイメージが湧いたこと、実現可能性への強い思いが芽生えたなどの感想を得ることができた。先ずはプロジェクトメンバーが事業の実現性や大きな可能性に確信を持つことができたものと考えている。

プロジェクト全体として COVID-19 の影響による、H-OTEC 試験装置のマレーシア側への設置スケジュールの遅延や 2019 年度は全て対面形式で実施した日本における海洋温度差発電および秋用深層水複合利用の教育プログラムの実施、マレーシア工科大学における海洋温度差発電の講義、合同の国際セミナーの実施などの技術移転および人材育成面が、次年度以降に課題に直面する。

(2) 研究題目１：「H-OTEC システムの研究・開発」(PO：Output 1)

リーダー

日本側	マレーシア側
池上　康之	A Bakar Jaafar

本研究題目では、2019 年度に H-OTEC 試験装置の基本設計を行い、2020 年度末までに同試験装置を日本において組み立てる。その後、解体し 2021 年中にマレーシアに輸送し、設置・試運転を行い、試験装置を整備する。

試験装置を設置予定である UPM I-AQUAS 沿岸の海が遠浅であり、既往の水産業用の取水設備の取水口は、干潮時に海水面が取水口よりも低くなり、取水できない環境であることが発覚した。本プロジェクトにおいては、取水管を延長し、十分な深さを確保すると共に、当初予定していなかった取水ポンプを設置し、海水を取水できる設備を増設することとした。取水管はマレーシア側の提供、取水ポンプは、佐賀大学側が提供するものとした。

試験装置の設置が遅れるリスクは、COVID-19 の影響による①H-OTEC 装置部品の納期遅延、②輸出関税手続きの遅延、③設置場所である UPM I-AQUAS の建屋建設の遅延である。

①については、今のところ、ボトルネックの製品の遅延ではないため、設置工程への影響は小さいと想定している。

②については、通常の輸出関税手続きではなく、両国間での契約に基づく税控除手続きであり、外為法やマレーシア内での環境省への申請が必要なものが無いか、早めに調整を行っている

③UPM I-AQUAS の建屋の納期については、元来、マレーシア側の計画が PO の工程よりも前倒しで計画していた。COVID-19 による外出禁止の影響および今後の手続きの必要期間が現状では明確になっていないため、建屋の工程が遅れる場合には、輸送した試験装置をマレーシアの港倉庫に保管せず、設置場所近くで保管庫を借りる、試験装置の梱包携帯を、建設工事と同時に実施できるような形態に工夫するなど、輸送・建設側の費用増大や工程遅延をできるだけ防ぐ工夫を調査しつつ、マレーシア現地との連絡を密に、対応する予定である。

(3) 研究題目 2：「H-OTEC **の発電・造水技術確立**」(PO：Output 2)

リーダー

日本側	マレーシア側
安永　健	Sathia Thirugnana

本研究題目では、基本的に H-OTEC 試験装置を用いた試験による性能評価、運転条件の最適化を行い、それらのデータを基に、電力コストおよび造水コストを試算し、MW 級の商用機の基本設計を行う。2019 年度～2021 年度の前半迄は、試験海域の海水分析を行い、実際の H-OTEC 試験装置の運転状態の評価ができる環境を整える予定である。

試験装置の運転の際には、実際の海洋深層水を用いず、冷凍機による冷却水を模擬海洋深層水として用いる予定である。そのため、熱源温度の安定性や試験装置を安定して運転するノウハウが必要となる。熱源温度の安定性については、海洋エネルギー研究センターの試験装置においても、安定した温海水、冷海水が得られるわけでは無く、マレーシアの冷却水と同様に水を冷凍機で冷却するなどの

温度制御が必要となる。これらの、冷水熱源の温度・流量制御は、佐賀大学海洋エネルギー研究センターで培ったノウハウを技術移転し、実施可能なシステム構成へと制御方法を工夫した。更に発電システム内部の構成も、運転が難しい点についてはより容易に制御が可能となるよう、プロセス内部のシステム構成および制御方法を工夫した設計とした。

(4) 研究題目 3：「**海洋深層水の複合利用モデルの基盤構築**」(PO：Output 3)

リーダー

日本側	マレーシア側
池上　康之	Aziz Arshad

本研究題目では、①マレーシアに適した海洋深層水の複合利用形態の提案、②マレーシア国内での社会実装候補地の選定、③マレーシアにおける海洋深層水複合利用の経済性を評価する。2019 年度は、日本における海洋深層水複合利用方法の視察を行い、併せて、マレーシア国内での主に水産業のニーズおよび市場価格を調査し、経済的に成立するマレーシアでの複合利用形態を模索している。経済性の試算は、マレーシア内のデータ調査で実施可能であるが、マレーシアにおいて、市場に合った水産品種が効率よく生産できるかについて、マレーシア側が検証を計画している。現状では、海洋深層水を取水しないため、模擬海洋深層水を用いて生産性を確認する予定であるが、海水の冷却設備などに十分な設備が整っていない状況である。そのため、H-OTEC 実験設備内の冷却水設備を用いて、海水を冷却するための冷熱源として活用することを協議している。

また、本研究課題においては、水産業や飲料水などの関連事業が多岐にわたることから、予め水産省や健康省などの関係省庁に実施内容の必要性を共有している。

(5) 研究題目 4：「**環境評価および LCA 評価の実施**」(PO：Output 4)

リーダー

研究項目	日本側	マレーシア側
環境評価	**早稲田　卓爾**	Mohd Fadzil
LCA 評価	**田原　聖隆**	Chiong Meng Soon

本研究課題では、OTEC 事業における海水の利用による環境への影響を検討・評価することを目的とする。取水および排水における量的な影響、温度的な影響、その他水質的な影響について検討する。また、クリーンエネルギーの発電、およびクリーンエネルギーを用いた海水淡水化による二酸化炭素量の削減への影響などについてもその経済性の評価と共に検討する。

2019 年は、環境評価課題では、海洋モデリングと海洋観測における東京大学及び UMT、それぞれの知見、設備などを確認し、今後の協力体制を構築した。共通点は多く、今後の技術供与および人材育成は十分可能であると考える。UMT はマレーシアにおける海洋物理学的な研究の中心であるため、当初研究計画には含まれない、共同観測研究などを今後検討することが期待される。

本研究題目は、H-OTEC の LCA を実施することによって、環境側面から H-OTEC を評価することを目的とする。精度の高い環境影響評価結果を得るために、マレーシア工科大学と協働で、マレ

ーシアの実態が把握できる情報を収集している。当該年度は、マレーシア工科大学が電力、我々が燃焼効率、燃料入力に関するデータの作成を主体的におこなった。また、H-OTEC の環境影響を定量するために、設計図等の必要な情報源を精査し、情報を整理することに着手した。

上記の作業から得られた成果は、H-OTEC の LCA に導入することによって、ライフサイクル全体の環境影響を定量化できるとともに、環境影響を低減させるための方策を検討するために役立てることができる。

(7) 研究題目 5：「**技術移転および人材育成**」(PO：Output 5)

リーダー

日本側	マレーシア側
池上　康之	A Bakar Jaafar

本研究題目は、OTEC および海洋深層水の複合利用事業の技術移転および人材育成として、①OTEC 関連技術教育研修、②佐賀大学の教員によるマレーシア工科大学での海洋温度差発電に関する講義、およびマレーシアと日本においてそれぞれ③合同国際セミナーを毎年実施することを予定している。これまでの実施手法では、全ての実施内容が、研究者間の日馬の移動を伴う実施内容である。

特に①OTEC 関連技術教育研修においては、マレーシアでの海洋温度差発電および海洋深層水の複合利用が、実現可能であるという信念を持ってもらうため、より多くの久米島内の事業者との協議、島民の声が届く様、交流を重視した。その結果、参加者からは、実際に発電ができるということ、海洋深層水の複合利用で事業が成り立つという事、更には久米島の中で海洋深層水が地域活性化に大きく貢献していることが体感でき、マレーシアでの実用化のイメージが湧いたこと、実現可能性への強い思いが芽生えたなどの感想を得ることができた。先ずはプロジェクトメンバーが事業の実現性や大きな可能性に確信を持つことができたものと考えている。

次年度以降は、COVID-19 の影響から、2020 年内はマレーシア工科大学の学生、教員は日本への移動は禁止されており、学生は体面を避け、Web 授業のみで実施する。COVID-19 の状況によっては、この禁止令の継続や新たな対応が求められる可能性がある。2020 年度からの当面の対策としては、この 3 つの実施項目をオンラインで実施する体制を構築することである。②については、本学においても Web による講義が実施されており、システムは整っている。③についても、現状、多くの学会やセミナーがオンラインでの開催となっていることから、システム上は実施できる環境であるが、運用方法など外部へ委託する必要の有無を含め今後継続して検討する必要が有る。①については、海洋深層水複合利用施設の視察において、オンラインで実施する場合、視察先の撮影許可の影響から、視察先の限定および視覚情報のみの伝達となることが懸念される。

Ⅳ．社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

2019 年度に佐賀県からの委託事業として、H-OTEC の基礎技術を利用し、熱交換器にスケールが付着しない自己冷却水給水型の温泉水発電技術の可能性調査業務の受託に繋がった。

【令和元年度実施報告書】【200529】

(2) 社会実装に向けた取り組み

本研究の成果の一部を下記オープンソースの論文で一般に情報公開している：

(1) Yasunaga, T., Ikegami, Y., (2020).
Fundamental characteristics in power generation by heat engines on ocean thermal energy conversion (Construction of finite-time thermodynamic model and effect of heat source flow rate), Transaction of JSME (in Japanese), Vol.86, No.886, DOI:10.1299/transjsme.19-00383.

(2) Hua, D., Yasunaga, T., Ikegami, Y., (2020).
Numerical investigation of plunging phenomenon of cold water discharged from OTEC, Journal of Marine Science and Engineering, Vol.8, No.3, p.115, DOI:10.3390/jmse8030155.

(3) Yasunaga, T., Ikegami, Y., (2020).
Finite-Time Thermodynamic Model for Evaluating Heat Engines in Ocean Thermal Energy Conversion System, Entropy, Vol.22, No2, p.211, DOI:10.3390/e22020211

(4) Ikegami, Y., Yasunaga, T. Koyama, N, Okuno, T., (2020).
Parametric analysis on hybrid ocean thermal energy conversion system, Transaction of JSME (in Japanese), Vol.86, No.883, DOI:10.1299/transjsme.19-00370.

(5) Fontaine, K. Yasunaga, T., Ikegami, Y., (2019).
OTEC Maximum Power Output Using Carnot Cycle and Application to Simplify Heat Exchanger Selection, Entropy, Vol.21, No.12, p.1143, DOI:10.3390/e21121143

(6) Yasunaga, T., Ikegami, Y., (2019).
Irreversibility in The Organic Rankine Cycle for Low-Grade Thermal Energy Conversion System, Proceedings of 5th International Seminar on ORC Power Systems, Athena, Greece,162. URL: https://www.orc2019.com/online/proceedings/display_manuscript/162.htm

V．日本のプレゼンスの向上（公開）

・本 SATREPS のキックオフ会議を、UTM の VICE-Chancellor と佐賀大学副学長、在マレーシア日本大使館の立ち会いのもと 2019 年 7 月 2 日に開催した。本会議およびマレーシアに導入される
ハイブリッド-海洋温度差発電（H-OTEC）が、マレーシアの新聞に大きく取り上げられ、注目された。日本のプレゼンスの向上に寄与するものとなった。

BANGUN UJIAN PERTAMA H-OTEC

TUMPU PENDEKATAN INOVATIF LAKSANA PARADIGMA STEM

・福岡空港に来日されたマハティール首相をマレーシアからの留学生と SATREPS 関係者でお迎えした。

・IEA-OES（国際エネルギー機関・海洋エネルギー実施委員会：24 ヶ国加盟）の会議が、2019 年 10 月にアイルランド・ダブリンで開催され、研究代表者が我が国の代表として参加し、本

SATREPS 事業の紹介と進捗状況の報告を行った。多くの関心が寄せられ、我が国のプレゼンスの向上に寄与することとなった。

・海洋温度差発電に関する世界最大の会議、国際 OTEC シンポジウム（第 7 回）が、2019 年 9 月に韓国で開催され、基調講演(Keynote)を依頼された。基調講演では、本 SATREPS 事業が紹介され注目された。特に、東南アジアで最初の海洋温度差発電の実証プラントが本事業で設置されることへの期待と、新しいサイクルへの挑戦が注目された。なお、本シンポジウムは、本 SATREPS 事業の両国のリーダが Executive Committee のメンバーであり、日本側の Project Manager が Local Organization Committee のメンバーを担っている。

Ⅵ. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（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。）

論文数 0 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 0 件
公開すべきでない論文 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。）
2019	Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami,"Finite-Time Thermodynamic Model for Evaluating Heat Engines in Ocean Thermal Energy Conversion",Entropy,2020.02,Vol.22No.2,pp.211--	10.3390/e22020211	国際誌	発表済	Open access (IF=2.419)
2019	Kevin Fontaine, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami,"OTEC Maximum Net Power Output Using Carnot Cycle and Application to Simplify Heat Exchanger Selection",Entropy,2019.11,Vol.21No.12,pp.1143--	10.3390/e21121143	国際誌	発表済	Open access (IF=2.419)
2019	Yasuyuki IKEGAMI, Takeshi YASUNAGA, Natsuki KOYAMA, Tomoya OKUNO,"Parametric analysis on hybrid ocean thermal energy conversion system",Transactions of the JSME (in Japanese),2020.03,Vol.86No.883,pp.19-00370--	10.1299/transjsme.19-00370	国内誌	発表済	Open access
2019	Dan Hua,Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami,"A Numerical Investigation of the Plunging Phenomenon of Cold Water Discharged from Ocean Thermal Energy Conversion Systems",Journal of Marine Science and Engineering,2020.02,Vol.8No.3,pp.155--	10.3390/jmse8030155	国際誌	発表済	Open access (IF=1.732)
2019	Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami,"IRREVERSIBILITY IN THE ORGANIC RANKINE CYCLE FOR LOW-GRADE THERMAL ENERGY CONVERSION SYSTEM", Proceedings of International Symposium on ORC Power Systems, 2019.09, Online, pp.1-8		国際誌	発表済	Proceedings of International Conference
2019	Yoshitaka Matsuda, Ryoichi Sakai, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, "Water Level Control of Flash Chamber in a Spray Flash Desalination System with Valve Dynamics and Flow Rate Limitation", Proceedings of 2019 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2019), pp.879-884	10.23919/ICCAS47443.2019.8971571	国際誌	発表済	Proceedings of International Conference
	Yoshitaka Matsuda, Riku Oouchida, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, "Power Generation Control of OTEC Plant Using Double-stage Rankine Cycle with Target Power Output Variation by Simultaneous Regulation of Multiple Flow Rates", Proceedings of SICE Annual Conference 2019, pp.1412-1417	10.23919/SICE.2019.8859969	国際誌	発表済	Proceedings of International Conference

論文数 7 件
うち国内誌 1 件
うち国際誌 6 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
2019	Yasuyuki IKEGAMI, Takeshi YASUNAGA, Tomoya OKUNO,"Parameter Analysis on OTEC using Hybrid Cycle",OTEC,2019.09,Vol.24,pp.41-46		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
2019	On the site training on OTEC and DSW applications, Researchers of the counter part Universities, 10日間、10名修了	トレーニング報告書	

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
2019	国際学会	Sathiabama T. Thirugnana (UTM), A Bakar Jaafar, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami, Tsutomu Nakaoka,"Hybrid OTEC System – Test Rig off Port Dickson, Malaysia",Program and Abstracts of the 3rd South China Sea, Kuala Lumpur, Malaysia, June 2019	口頭発表
2019	国際学会	Takeshi Yasunaga (IOES), Tomoya Okuno, Yasuyuki Ikegami, Tsutomu Nakaoka, Sathiabama T. Thurugunana, Bakar Jaafar,"Power and Water Supply Balance on Hybrid OTEC System",Program and Abstracts of the 3rd South China Sea, Kuala Lumpur, Malaysia, June 2019	口頭発表

招待講演	0	件
口頭発表	2	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
2019	国際学会	Takeshi Yasunaga (IOES), Yasuyuki Ikegami,"IRREVERSIBILITY IN THE ORGANIC RANKINE CYCLE FOR LOW-GRADE THERMAL ENERGY CONVERSION SYSTEM", 5th International Seminar on ORC Power Systems, Athen, Greece, Sep. 2019	口頭発表
2019	国際学会	Yasuyuki Ikegami (IOES), Takeshi Yasunaga,"The Blue Innovation Using OTEC: Evaluation of Advanced OTEC System in Kumejima, Okinawa",Program and Abstracts of the 3rd South China Sea, Kuala Lumpur, Malaysia, June 2019	口頭発表
2019	国際学会	Takeshi Yasunaga (IOES), Ikegami Yasuyuki,"Standardization of OTEC Potential and Performance Evaluation Analysis Method", 7th International OTEC Symposium, Busan, Korea, Oct. 2019	口頭発表
2019	国際学会	Yasuyuki Ikegami (IOES), Takeshi Yasunaga,"OTEC Demonstration Project Using Technologies of Advanced cycles and heat exchangers in Japan", 7th International OTEC Symposium, Busan, Korea, Oct. 2019	口頭発表
2019	国際学会	Jessica Borges Posterari (Univ. Tokyo), Analysis of natural hazard events at Pacific Island Countries with wave energy potential, 2019 3rd Symposium on Green Energy and Smart Grid (SGESG 2019), Chongqing, China, Aug. 2019	ポスター発表
2019	国際学会	Yoshitaka Matsuda (IOES), Ryoichi Sakai, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Control System for Water Level Control of Flash Chamber in a Spray Flash Desalination System via Stochastic Processes, 51st ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, Fukushima, Japan, Nov. 2019	口頭発表
2019	国際学会	Yoshitaka Matsuda (IOES), Ryoichi Sakai, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, "Water Level Control of Flash Chamber in a Spray Flash Desalination System with Valve Dynamics and Flow Rate Limitation", 2019 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2019), Jeju, Korea, Oct. 2019	口頭発表
2019	国際学会	Yoshitaka Matsuda, Riku Oouchida, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Power Generation Control of OTEC Plant Using Double-stage Rankine Cycle with Target Power Output Variation by Simultaneous Regulation of Multiple Flow Rates, SICE Annual Conference 2019, Sep. 2019	口頭発表
2019	国内学会	池上 康之 (IOES), 安永 健 , 小山 夏生, 奥野 智也, ハイブリッドサイクルを用いた 海洋温度差発電の性能解析とその基本特性, 第24回動力・エネルギー技術シンポジウム, 東京, 2019年6月	口頭発表
2019	国内学会	安永健(IOES), 池上康之, FTTを用いたORC温泉水バイナリ—発電の性能評価, 第24回動力・エネルギー技術シンポジウム, 東京, 2019年6月	口頭発表
2019	国内学会	安永健(IOES), 池上康之, 熱機関の不可逆損失を考慮した海洋温度差発電の出力特性に関する研究, 第24回動力・エネルギー技術シンポジウム, 東京, 2019年6月	口頭発表
2019	国内学会	松田吉隆(佐賀大), 青崎祐也, 杉剛直, 後藤聡, 安永健, 池上康之, ランキンサイクルを用いた海洋温度差発電プラントのむだ時間を考慮した簡易動的モデルに基づく発電量制御, 第7回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム, 徳島, 2020年3月	口頭発表
2019	国内学会	大内田陸, 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 安永健, 池上康之, 2段ランキンサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの流量の動特性を考慮した簡易動的モデルによる発電量制御, 第38回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 宮崎, 2019年11月	口頭発表
2019	国内学会	松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 安永健, 池上康之, 江頭成人, スプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化実験プラントの遠隔監視実験, 2019年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 福岡、2019年9月	口頭発表

招待講演	0	件
口頭発表	13	件
ポスター発表	1	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													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 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
2019	2020/8/23	Best Presenter award	ポスター発表	Jessica Borges Posterari	3rd Symposium on Green Energy and Smart Grid	その他	成果を本事業に活用する

1 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

0 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
2019	2, July	COLLABORATIVE RESEARCH AGREEMENT (CRA) SIGNING CEREMONY BETWEEN UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA (UTM) AND SAGA UNIVERSITY, JAPAN Under SCIENCE AND TECHNOLOGY RESEARCH PARTNERSHIP FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (SATREPS) PROGRAMME	UTM (Kuala Lumpur, Malaysia)	40 (32)	公開	マレーシア工科大学および佐賀大学の副学長によるCRAのサイニングレセレモニー。 在マレーシア日本大使館の折笠公使および両副学長からの挨拶、サイニングセレモニーに加え、研究代表のバカール教授および池上教授がプロジェクトの概要について説明を実施した。
2019	24, June	3rd Sourh China Sea Conference	Easting Hotel (Kuala Lumpur, Malaysia)	90 (85)	公開	本プロジェクトのマレーシア側カウンターパートの一つであるマラヤ大学が主催。25日午後に海洋温度差発電のセッションを設置し、8件の発表を実施した。また、本プロジェクトの主査である神本先生が本プロジェクトのマレーシア側カウンターパートの一つであるマラヤ大学が主催。25日午後に海洋温度差発電のセッションを設置し、8件の発表を実施した。また、本プロジェクトの研究主幹である神本先生が招待講演として講演を実施した
19	10, December	Joint Meeting for Social Implementation of Malaysia Model	UTM (Kuala Lumpur, Malaysia)	50 (45)	非公開	本邦でのOTECおよび海洋深層水利用の研修参加者によって、マレーシアにおける海洋深層水利用のマレーシアモデルを提案した。提案では3つのグループに分けてそれぞれのグループ独自のマレーシアモデルを発表し、研修の成果報告を行った。

3 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
2019	3-Jul	2019年度の実施事項について	31	本事業における各プロジェクトの2019年度の実施内容およびスケジュールを確認した

1 件

公開資料

成果目標シート

研究課題名	マレーシアにおける革新的な海洋温度差発電（OTEC）の利活用による低炭素社会のための持続可能なエネルギーシステムの構築
研究代表者名（所属機関）	池上　康之 （佐賀大学 海洋エネルギー研究センター ）
研究期間	H30採択(令和元年4月1日～令和6年3月31日）
相手国名／主要相手国研究機関	マレーシア国／ マレーシア工科大学 OTEC研究センター
関連するSDGs	目標7 すべての人々の、安価かつ信用できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する 目標17 持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化する 目標6 すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	・地球規模の再生可能エネルギー活用への取り組み ・日本企業による成果の事業化、技術・製品の輸出
科学技術の発展	・H-OTECシステムの世界に先駆けた研究・開発、技術検証により、マレーシアを中心とした東南アジアでのOTEC事業展開に向けた詳細設計の準備
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	・H-OTECシステムの運転制御の確立、発電/造水バランスの最適化の検討 ・H-OTEC用熱交換器の開発（凝縮器および蒸発器） ・H-OTECの低コスト化技術の確立
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（本件調査への佐賀大学等の学部生、大学院生、民間企業からの若手技術者の参画）
技術及び人的ネットワークの構築	・日本-マレーシアとのOTEC研究・開発の基盤 ・久米島モデルとマレーシアモデルとの相互研究/ネットワークの構築
成果物（提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど）	・H-OTECシステムの実証報告書 ・共著国際論文 ・H-OTECシステム試験装置の運転マニュアル ・東南アジアでのOTEC事業モデルの構築 ・OTEC関連技術の教育によるマレーシア側人材育成

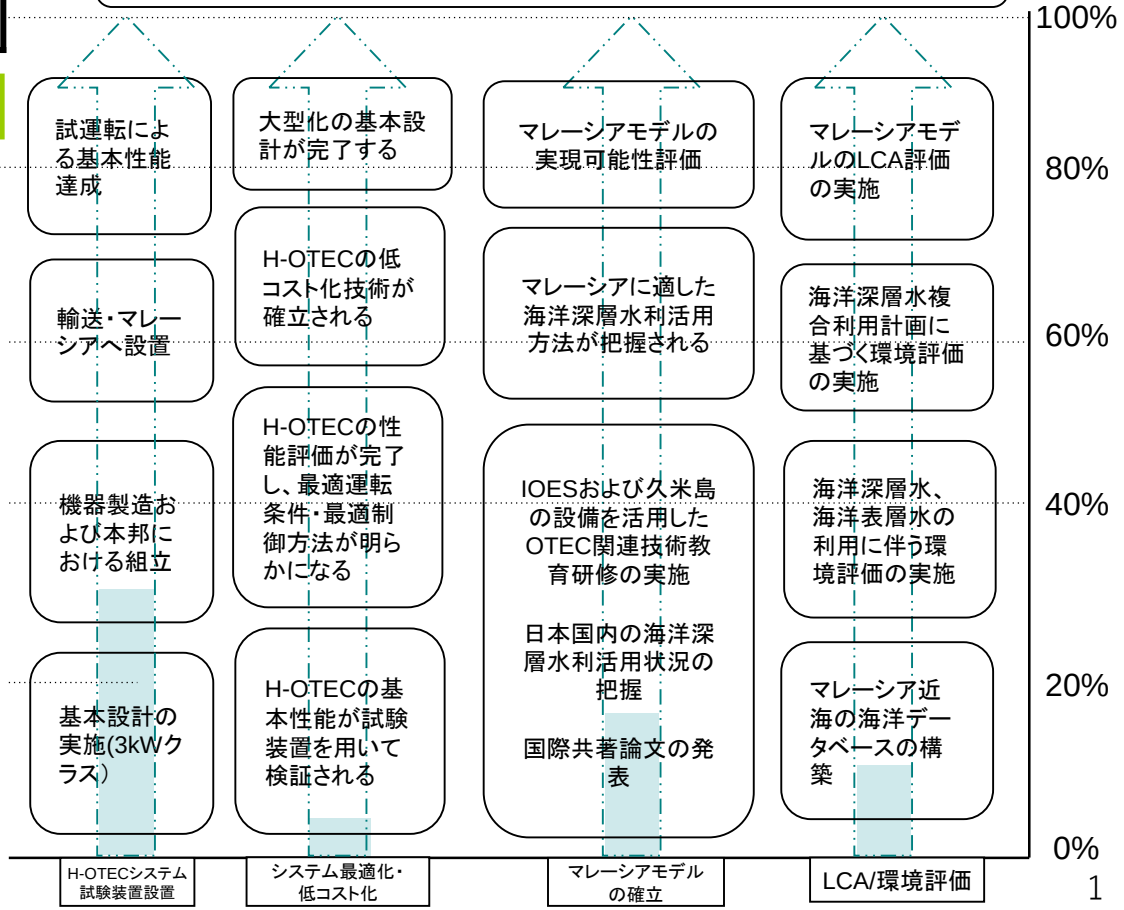
上位目標

マレーシアにおけるハイブリッドOTEC（H-OTEC）を用いた海洋深層水を利用した利活用モデル（マレーシアモデル）が東南アジア諸国のモデルケースとして認識され、マレーシア内外の複数の地域において社会実装が開始される

マレーシア国内においてマレーシアモデルを活用した事業の社会実装が開始される

プロジェクト目標

1MW以上の実機規模でのマレーシアモデルの実現性が確認され、マレーシアモデルの事業化を検討する企業が現れる



Ver.170401