

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 (2018 年) /研究期間：6 年/

相手国名：マレーシア

## 終了報告書

国際共同研究期間<sup>\*1</sup>

2019 年 3 月 25 日から 2025 年 3 月 24 日まで

JST 側研究期間<sup>\*2</sup>

2018 年 6 月 1 日から 2025 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 (公開)

○の実現 (※マイルストーン例)

(1) 研究の主なスケジュール

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	2024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		▼実験プラントの基本設計完了					
1-2 熱交換器の製造完了		▼熱交換器の製造完了					
1-3 試験装置の製作 (本邦)			▼試験装置製作 (本邦での組立完了)				
1-4 試験装置の輸送・試運転完了				▼試験装置完成			
1-5 システムの低コスト化技術の確立					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・造水技術確立		海水データの取得			発電電力・造水性能達成		
2-2 H-OTECの運転条件最適化					システムの運転最適化完了		
2-3 大型化 (実機) の基本設計完了					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					社会実装候補地の選定		
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					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		
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					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		データ取得	サーバ設置		モデルと解析の構築	技術移転	
4-2 表層水/深層水排水の環境への影響を検討		データ取得	サーバ設置		モデルと解析の構築	技術移転	
4-3 H-OTECのLCA評価			インベントリデータ収集完了		H-OTEC 淡水化の定量化	CO <sub>2</sub> 低減量の評価	
4-4 マレーシアモデルのLCA評価			H-OTECのためのLCA手法の構築		インベントリデータ収集完了	H-OTEC 海洋深層水の定量化	CO <sub>2</sub> 低減量の評価
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			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							

※黒、緑、赤の色はそれぞれ当初計画、前年度の改定、現状の計画の変更点を示す。

・ COVID-19の影響により、UPM I-Aquas (マレーシアプトラ大学)に建設予定の建屋の設置が1年6か月遅れ、工事業者の入札などの手続きおよび工事自体の遅れにより、建屋建設完了までに計2年4か月の遅れが生じた(2023年8月完工)。さらに、H-OTEC施設の電源供給工事の遅延、H-OTEC試験装置の動作確認の準備中にコミッショニングの遅延のため、対応のための時間が必要となった。これらの遅れに伴い、H-OTEC試験装置の設置・運転に関連する工程の開始日程がすべて遅延し、マレーシアでの試験期間が短く、予定していた試験が困難である。

・ COVID-19の影響により、2020年度、2021年度のOTEC関連技術教育および研修プログラム、その他の打ち合わせや研究発表等もオンラインで実施している。それ以外の時期は対面開催を基本とし、一部の打ち合わせや研究発表等をオンラインで実施している。

\* H-OTEC試験装置のコミッショニングに遅れが生じたためH-OTECの運転とトレーニングの開始が遅れることになった。

## (2) 中間評価での指摘事項への対応

COVID-19の影響により、H-OTEC試験装置を設置するマレーシアのUPM-UTM OTEC CENTREの建屋建設が遅延したことから、マレーシア側での管理およびマネジメンを強化し、2023年8月にUPM-UTM OTEC CENTREが完工した。その後、H-OTEC試験装置に電源供給が行われた後、2024年4月から各機器の動作確認を開始したが、人為的過誤により作動流体のアンモニアが漏洩したことで作動流体をR134aに変更し、2024年10月に運転・試験を開始した。一方、H-OTEC試験装置の運転開始の遅延対策として、設置サイトに海水の「汚れ試験装置」および「タービンシミュレーター」を導入し、H-OTECの性能評価を実施することとした。「汚れ試験装置」では後述の通り、熱交換器に海水を流し込むことで、熱交換器伝熱面に海水に起因する汚れが付着し、伝熱性能が約20%低下することが確認された。「タービンシミュレーター」ではH-OTEC試験装置の発電出力を模擬するプログラムであり、システム性能を評価し、マレーシアモデルの検討を進めることができる。

マレーシアでのOTECの社会実装を目指すために、社会実装の有力候補地が存在するマレーシア西部のサバ地域において調査を行い、Layang-layang Island、Kalumpang Island、Mengalum Island、Tawauの4ヶ所が適地であることが確認された。H-OTECシステムとともに海洋深層水複合利用による高級魚の養殖に重点的に取り組むことで、周辺地域の生活環境を改善できると考えられる。これまでにサバ地域にて現地企業と情報交換を行い、事業への興味を持ってもらう取り組みを実施した。さらに、OTECと海洋深層水の複合利用のオンライントレーニングにおいては、サバ地域の大学の研究者も参加し、事業の実施内容への理解を図っている。2024年4月にはサバ州議会が海洋温度差発電の推進に関する条例を可決している。

## (3) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

- ・ 新型コロナウイルス感染症の影響により、活動に制約が出た期間の影響を配慮頂き、マレーシア側と合意の上、現状予算で実施期間のみ1年間延長が決定し、2025年3月迄の実施期間となった。
- ・ H-OTECの優位性を明確にするため、また、冷海水を用いた養殖等の試験のため、新たな提供機材として熱交換器の汚れ比較試験装置をUPM I-AQUASの水産試験設備内に設置した。
- ・ 試験装置設置予定の建屋建設が2年4か月の遅延、さらに、H-OTEC試験装置のコミッショニングも遅れたため、試験実施期間を短縮せざるを得ない状況となった。
- ・ H-OTEC試験装置の試験実施期間の短縮に伴い、H-OTEC試験装置の運転調整および性能評価を短期間で行うためのタービンシミュレーターを導入した。

## 2. 目標の達成状況（公開）

### (1) プロジェクト全体

本事業では、再生可能エネルギーの一つであり、表層と深層の海水の温度差を利用する海洋温度差発電技術を対象とし、高い海洋温度差発電ポテンシャルを有するマレーシアにおいて実証を行う。海洋温度差発電における課題である熱交換器での生物汚れに起因する性能低下を解決するために発電と海水淡水化による造水を同時に実現するハイブリッド海洋温度差発電(Hybrid Ocean Thermal Energy Conversion, 以下 H-OTEC)を開発することで、低炭素社会の実現に期する。更に、H-OTECを核とした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具体的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、図 1 に示す研究体制によって、これまで実験的な研究が行われていない H-OTEC の試験装置およびマレーシア近海の海洋エネルギーポテンシャルを算出するための海洋データサーバーを提供する。提供機器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。

OTEC は IEA の海洋エネルギー分野において、世界に 10,000 TW/year のポテンシャルがあると見積もられている。これまで、久米島の 100 kW 規模の試験においては、表層海水による熱交換器の汚れに起因する性能低下は影響を受けていない特異なケースであるが、一般的に表層海水を用いると、熱交換器や配管内が海洋生物によって汚れることで、熱交換性能が大幅に低下することが知られている。これまで、オゾンや次亜塩素を用いた防汚試験は実施されているが、有効な方法が確立されていない。本マレーシアモデルでは、H-OTEC の技術確立によって、この防汚技術だけでなく、コスト低減となる熱交換器プレート材質の低廉化、伝熱性能の向上を目指す。マレーシアに設置予定の試験装置は H-OTEC としては世界初の検証試験装置である。

本事業では、2019 年度に基本設計を実施し、2020 年末までその製作を行い、ゼネシスの伊万里工場内で仮組み立てを行った。基本設計では、表層海水温度、深層海水温度およびタービン出力を基準にマスバランスおよびヒートバランスの関係から、表層海水流量、深層海水流量および作動流体流量を計算し、熱交換器や配管径などを決定した。なお、OTEC の場合には作動温度が環境温度に近いため、ヒートロス他他の発電プラントに比べると極めて小さいため、設計においては無視している。全体装置のイメージをマレーシア側とオンラインで共有し、仮組の試験装置を用いたオンライントレーニングを実施した。当初予定では、2021 年度に H-OTEC 試験装置を輸出し、マレーシアにて設置、試運転の予定であったが、UPM 敷地内に新規建設予定の H-OTEC 試験装置用の建屋建設が COVID-19 の影響に伴う設置手続きや入札・工事進捗の影響によって 2 年 4 か月遅れ、最終的に UPM-UTM OTEC CENTRE の建屋が完成したのは 2023 年 8 月であった。H-OTEC 試験装置は、2023 年 3 月にマレーシアへ輸入された後、4 月から組み立てを開始し、5 月に完了した。しかし、UPM-PPPA による H-OTEC 試験装置への仮電源の提供が行われなかったため、2023 年 5 月の H-OTEC 組立完了後に試運転は延期された。その後、H-OTEC 試験装置に電源供給が行われた後、2024 年 4 月から各機器の動作確認を開始したが、人為的過誤によりアンモニアガスを回収するための中和タンクに大量のアンモニアが流れ込み、中和タンクからアンモニアガスが漏洩した。中和タンクは設計圧力以上の高圧時にアンモニアガスを回収する設計のため、設計流量以上のアンモニアが中和タンクに送られ、中和タンクの容積では十分にアンモニアガスを吸収できなかった。対策として、中和タンクからのガスパーズラインに

新たな中和タンクを設置し、中和タンク周辺にアンモニア検知器を設置することで、中和タンクからのアンモニア漏洩を防止する。これらのアンモニア漏洩対策と並行して、2024年10月に作動流体をアンモニアからR134aに変更することで、早期のH-OTEC試験装置の試験開始を図った。H-OTEC試験装置はアンモニアを作動流体として設計されており、R134aに変更することでアンモニアに対して作動流体流量は80%に低下するが、運転データを取得し、作動流体の違いも含めてH-OTEC試験装置の性能評価を実施する。H-OTEC試験装置運転の遅延の対策として、(1)「汚れ試験装置」および(2)「タービンシミュレーター」を導入し、短期間でのH-OTEC試験装置の性能評価を実施した。(1)「汚れ試験装置」はOTEC用熱交換器の汚れ試験装置をUPMの既存の建屋内に設置することとし、2022年10月に設置、試運転およびトレーニングが完了し、マレーシア側に引き渡した。同試験装置は、H-OTECの特徴である熱交換器の防汚効果を比較するための小型の試験装置である。UPMの水産試験場の建屋内に設置することで、H-OTEC建屋の建設スケジュールに関係なく導入が可能で、試験によって排水される冷海水は、同装置設置以降、マレーシア側で水産試験に活用された。(2)「タービンシミュレーター」はタービンでの発電電力を模擬するプログラムであり、2024年3月にH-OTEC試験装置の監視・制御用PCに導入しており、2024年10月にH-OTEC試験装置とともにトレーニングを行い、マレーシア側に引き渡した。

海洋環境評価については、(1)海洋データサーバ、(2)海水利用影響評価と(3)マレーシアモデルのLCA(Life Cycle Assessment)評価に分かれて実施している。即ち、(1)海洋データサーバでは、東京大学が構築したプロトタイプ of データサーバをマレーシアUTMに移植した。データの対象海域はブルネイを含むマレーシア西部近海である。構築したマレーシアデータサーバは、海洋再解析データ<sup>1)</sup>の物理変数および算出した温度差エネルギーポテンシャル等を保管し、簡便なユーザーインターフェースで検索および可視化が可能であり、任意の領域・時間におけるデータマップを作成、ダウンロードすることができる。サーバは現時点ではプロジェクト関係者限定でSATREPS-Malaysia serverとしてデータを公開している。(2)海水利用影響評価では、H-OTEC試験装置の設置サイトおよび隣接地域の海洋生物調査を実施し、放水口付近において海洋水質インデックス(Marine Water Quality Index: MWQI)に有意な差はみられなかった。さらに、冷却水の海水への放流試験では放流地点においてMWQI(Marine Water Quality Index)に影響を及ぼさないことが確認された。(3)H-OTECのLCA評価について、新たな情報を得て、データを更新した。スケールアップ係数を用いて、H-OTEC 3kWを基にしたマレーシアモデルのGHGを推定した。H-OTECおよびマレーシアモデルの廃棄段階について4つのシナリオを想定しGHG排出量を推定した。マレーシアモデルのLCA評価に関わる副産物のうち淡水化、水素製造および空調について情報を整理し検討した。

マレーシアモデルにおいて、H-OTEC利用後の海洋深層水の複合利用については、マレーシアにおける海ブドウと牡蠣の養殖の調査を行い、IDEAに格納されているデータと比較した。さらに、マレーシア国内でOTECの実施候補地である西部サバ地域での社会実装の準備のため、同地域内での具体的な候補地や海洋データの調査を実施した。

人材育成については、2019年度に日本でのトレーニングを実施したが、2020年度および2021年度はCOVID-19の影響により、マレーシアへのJICA専門家の派遣はできておらず、協議やトレーニン

---

<sup>1)</sup> 海洋モデルに対して過去の観測データを同化させ、再現した海洋データ

グなどは全てオンラインで実施した。その後、2022年度および2024年度は再び日本でのトレーニングを実施した。計5回のOTEC関連技術研修により、目標とする30名を超えるマレーシア研究者が日本に招聘され、研修プログラムを修了した。さらに、目標であった5編の共著国際論文も達成している。発表された論文には、長期研修員で2024年度に佐賀大学博士後期課程を修了したAiman氏が中心となったH-OTECの最適設計の研究成果が含まれている。これまでの活動を通して、マレーシア研究者への技術移転とともに、佐賀大学博士後期課程のAiman氏の他、8名の博士課程学生、12名の修士課程学生、11名の学士課程学生の人材育成を行った。

上述のとおり、本邦におけるH-OTECの蒸発・凝縮器の実験によって得られた性能値を基に最適設計を実施した。最適設計では、海水や熱交換器性能などの基礎パラメータを基準にマスバランスおよびヒートバランスの関係から、正味出力や熱交換器伝熱面積など発電コストを最小化するための仕様を決定する。なお、最適設計において、海水ポンプ、真空ポンプ、凝縮水ポンプ、作動流体ポンプをH-OTECシステムの運転に必要な動力としており、その他の所内動力は小さいため考慮されていない。それとともに、マレーシアに3kW規模のH-OTEC試験装置を設置し、2024年10月の試運転により海洋温度差発電システムでの出力3.0kW<sup>2)</sup>の確認とともに海水淡水化0.366m<sup>3</sup>/hを達成した。このH-OTEC試験装置の性能評価により、最適設計に用いた仕様の性能値を満たすことが確認され、マレーシアモデルに適用可能なH-OTECシステムについても検討を行った。特に、H-OTECシステムに2段サイクルを適用することで、発電量および造水量を確保しつつ、定期メンテナンスや故障対応において片方のH-OTECシステムにて運転を継続可能となる(研究題目1および研究題目2に詳述)。さらに、マレーシアにおけるOTECの社会実装を目指すために海洋深層水の複合利用方法を調査し、経済的に成立する利用方法が確認された。それとともに、マレーシアモデルの社会実装候補地について、マレーシア西部のサバ地域に4ヶ所の候補地が選定され、温室効果ガス排出量(Green House Gas : GHG)を評価した(研究題目3および研究題目4に詳述)。これらのマレーシアモデルに関する実現可能性を調査するとともに、サバ地域にて現地企業と情報交換を行い、事業への興味を持ってもらう取り組みを実施した。さらに、OTECと海洋深層水の複合利用のオンライントレーニングにおいては、サバ地域の大学の研究者も参加し、事業の実施内容への理解を図っている(研究題目5に詳述)。このような取り組みにより、2024年4月にはサバ州議会が海洋温度差発電の推進に関する条例を可決しており、社会実装に向けて進んできている。さらに、2025年1月10日に、日・マレーシア首脳会談において、エネルギー安全保障の確保と多様な道筋による脱炭素化に向けて、資源・インフラ協力の推進を確認し、具体的に、初めて海洋温度差発電分野に関する技術協力を表明した。本事業の成果による日・マレーシアの協力でのマレーシアにおける社会実装の推進が期待されている。

以下に、実施した5つの研究題目の実施内容の概要を以下に示す。

---

<sup>2)</sup> タービンシミュレーターによる出力結果

**Malaysia model (H-OTEC and multiple deep seawater usage in Malaysia)**

- Business development (PJ-10)
- LCA assessment (AIST+PJ-3)
- Human resource development (SU)

**Optimizations (System design & operation) (SU+PJ-2)**

**H-OTEC facility (building & Utilities) (PJ-1)**

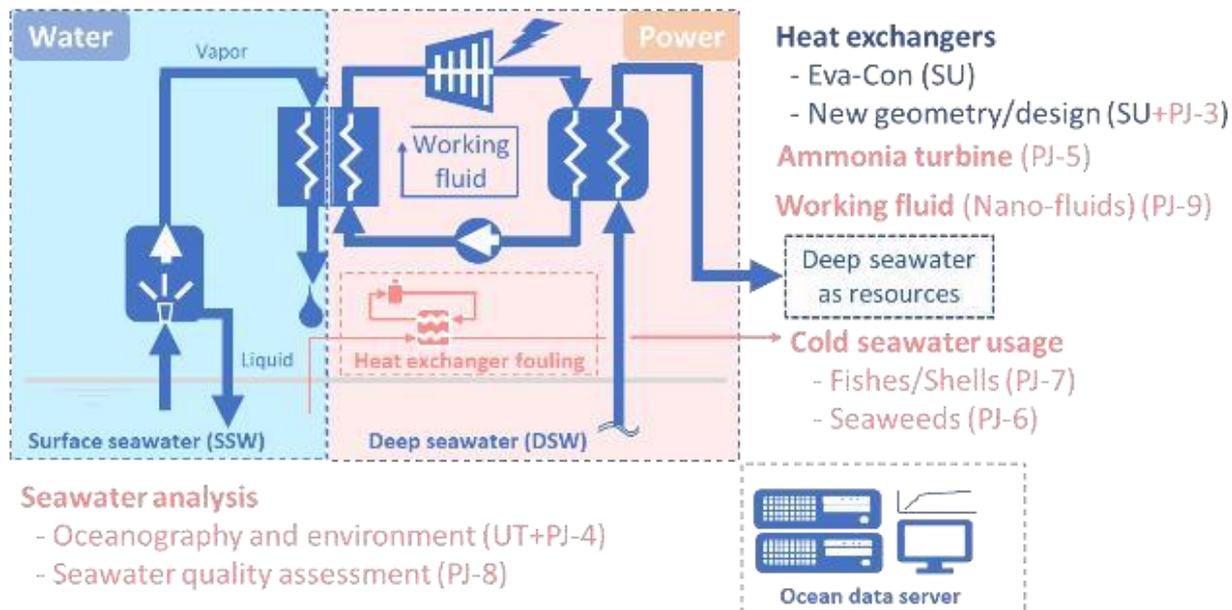


図 1：プロジェクト内の研究課題全体像

(SU：佐賀大学、UT：東京大学、AIST：産総研、PJ：マレーシア側での各サブプロジェクトを示し、ハイフン後の数値は各プロジェクト番号を示す)

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

研究グループ

日本側 リーダー	池上 康之	マレーシア側 リーダー	A Bakar Jaafar
-------------	-------	----------------	----------------

①研究題目 1 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

本研究題目ではマレーシアに適した H-OTEC 試験装置の開発を行うために、下記の目標を設定する。

- A. 日本における H-OTEC 試験装置の仮組立を実施する。
- B. マレーシアにおける H-OTEC 試験装置の試運転を実施する。
- C. 低コスト H-OTEC に関連する技術を開発する。

成果目標の達成状況は、下記のとおりである。

- A. 2020 年 12 月に日本における H-OTEC 試験装置の仮組立を完了した。

- B. 2024年10月にマレーシアにおけるH-OTEC試験装置の試運転を完了した。
- C. 佐賀大学海洋エネルギー研究所における基礎実験結果から、OTEC全体の約40%のコストを占める熱交換器についてH-OTECシステムの最適設計を実施し、H-OTECと造水利用の関係から海水取水深度800mの利用では、正味出力1100kW、総伝熱面積10000m<sup>2</sup>の条件が最適であることが明らかとなった。

本研究題目の当初計画では、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。なお、H-OTEC試験装置の基本設計において、本学が発明した蒸発・凝縮を同時に達成する熱交換器（特開2020-034234）を使用した。その後、2021年中にマレーシアに設置・試運転を行い、試験装置を整備する。一方、H-OTECシステムの更なる低コスト化のため、佐賀大学海洋エネルギー研究所において2019年度から2023年度にかけて熱交換器、フラッシュ蒸発器などの各主要機器の高性能化やシステム設計の最適設計を実施する計画であった。

H-OTEC試験装置は日本での仮組立の後、2021年度にマレーシアへ輸送する予定であったが、マレーシア側で新規建設している建屋建設（UPM-UTM OTEC CENTRE）の諸手続きがCOVID-19蔓延防止に伴う移動制限等の影響で遅延した。UPM-UTM OTEC CENTREの工事は2022年11月に開始され、H-OTEC試験装置は2023年3月にマレーシアに輸出され、4月から現地での組み立てを実施し、5月に完了したが、現地での仮電源の提供が行われなかったことから、試運転開始が遅れた。そのため、H-OTECの特徴である海水を利用する熱交換器の防汚効果を比較するための「汚れ試験装置」を2022年10月にUPMの既存の建屋内に設置し、海水による汚れ試験を行った。本試験装置は、潮位が低くなる時期は海水を取水できないため、2022年10月26日～12月20日の約2か月間の試験を行った。その後、海水を熱交換器内に保持し、熱交換器の伝熱面に汚れを付着させ、2023年5月5日～10日に再試験を行った。このときの熱通過係数は、初期の250W/m<sup>2</sup>Kから110W/m<sup>2</sup>Kとなり、熱交換器内に海洋生物に起因する汚れが付着することで熱通過係数は56%低下することが確認された（図9）。さらに、本試験装置を使用してH-OTEC利用後に温度低下した海水排出が海洋に及ぼす影響を調査した。この調査では、2023年10月に1ヶ月間の海水放出を行い、排水温度が海洋の水質に及ぼす影響が軽微であることが確認された。

H-OTEC試験装置は、電源供給後の2024年4月にH-OTEC試運転の準備を始めた。しかし、人為的過誤によりアンモニアガスを回収するための中和タンクに大量のアンモニアが流れ込み、中和タンクからアンモニアガスが漏洩した。中和タンクは設計圧力以上の高圧時にアンモニアガスを回収する設計のため、設計流量以上のアンモニアが中和タンクに送られ、中和タンクの容積では十分にアンモニアガスを吸収できなかった。対策として、中和タンクからのガスパーズラインに新たな中和タンクを設置し、中和タンク周辺にアンモニア検知器を設置することで、中和タンクからのアンモニア漏洩を防止する。これらのアンモニア漏洩対策と並行して、作動流体をアンモニアからR134aに変更することで、早期にH-OTEC試験装置の運転準備を開始することができ、2024年10月に試運転を完了した。H-OTEC試験装置に導入された「タービンシミュレーター」により、タービン出力を評価し、設計値の作動流体流量3.0t/hにおけるタービン出力1.7kWに対して実験値では3.0kW<sup>3)</sup>を達成した。H-OTEC試験装置では、

3) タービン出力の推定には、海洋温度差発電の設計値として用いられるタービン効率80%を用いた。

上原春男, 中岡勉, 離島用海洋温度差発電の最適設計法, 火力原子力発電, Vol. 36, No. 7 (1985), pp.717-722.

作動流体 R134a における海水のフラッシュ蒸発量が設計値 0.200 m<sup>3</sup>/h に対して実験値 0.366 m<sup>3</sup>/h と多く、蒸発/凝縮器における交換熱量が増加することで、タービン出力が増加した。

一方、H-OTEC の実用化に向けて、より基礎的な研究も実施している。2019 年度は H-OTEC の熱力学的基本特性である造水・発電の特性を明らかにした。H-OTEC の核となる構成機器であるプレート式蒸発・凝縮器 (Eva-Con) について、2019 年度に試験装置を製作し、2020-2022 年度に実験を行い、実機設計のための伝熱性能の性能予測式を、2023 年度には海水中の溶存空気の影響を考慮した伝熱性能の性能予測式を構築した。研究題目 2 にて、同性能予測式を用い、マレーシア内の設置候補場所の情報およびデータサーバーのデータを用いて、H-OTEC の試設計の位置付けとして、最適設計計算を実施した (図 7)。更に、透明樹脂製プレート式熱交換器を用いた蒸発現象の可視化および画像処理による蒸発現象の解明を行い (図 8)、2 次元平面に簡素化した気泡の割合を抽出して蒸発時のボイド率の計測を行うことで、熱交換器内部流れの状態を明らかにすることで、熱交換器の性能予測式の構築に貢献した。

### ②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

本研究題目では、マレーシア側で新規建設している建屋建設 (UPM-UTM OTEC CENTRE) の諸手続きが COVID-19 蔓延防止に伴う移動制限等の影響で遅延した。UPM-UTM OTEC CENTRE の工事は 2022 年 11 月に開始され、H-OTEC 試験装置は 2023 年 3 月にマレーシアに輸出され、4 月から現地での組み立てを実施し、5 月に完了した (図 2)。しかし、現地での仮電源の提供が行われなかったことから H-OTEC 組立完了後の試運転開始が遅れたが、H-OTEC 試験装置への表層海水の汲上げについては、海水取水管の管径を大きくし、必要流量である 40 m<sup>3</sup>/h を送水できることが確認された (図 3)。H-OTEC 試験装置については、電源供給が行われた後、2024 年 4 月から各機器の動作確認を開始したが、H-OTEC 試験装置の動作確認の準備中に、コミッショニングが遅れ、対応のための時間が必要となった。

更に、H-OTEC 試験装置の遅延により、運転データ取得後に予定していた他のプロジェクトにも影響していることから、(1)「汚れ試験装置」および (2)「タービンシミュレーター」を導入し、短期間での H-OTEC 試験装置の性能評価を実施した。(1)「汚れ試験装置」は OTEC 用熱交換器の汚れ試験装置を UPM の既存の建屋内に設置することとし、2022 年 10 月に設置、試運転およびトレーニングが完了し、マレーシア側に引き渡した。同試験装置は、H-OTEC の特徴である熱交換器の防汚効果を比較するための小型の試験装置である。UPM の水産試験場の建屋内に設置することで、新規建屋の建設スケジュールに関係なく導入が可能であり、試験によって排水される冷海水は、同装置設置以降、マレーシア側で水産試験に活用された。(2)「タービンシミュレーター」はタービンでの発電電力を模擬するプログラムであり、2024 年 3 月に H-OTEC 試験装置の監視・制御用 PC に導入しており、2024 年 10 月の H-OTEC 試験装置とともに試運転およびトレーニングが完了し (図 4 および図 5)、マレーシア側に引き渡した。

### 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

マレーシアにおいて、H-OTEC 試験装置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、2021 年度までに完工予定であったが、その建設が遅れていた。そのため、H-OTEC 試験装置の組立を 2023 年 4~5 月に実施したが、仮電源の提供が行われなかったことから、H-OTEC 試験装置の試運転が実施できず、2024 年 4 月から各機器の動作確認を開始した。しかし、H-OTEC 試験装置の動作

確認の準備中に、コミッショニングが遅れ、対応のための時間が必要となった。本計画では、H-OTEC 試験装置の設置を前提に研究課題 2 の実施内容が計画されているため、遅延は全体実施内容への影響が大きい。これらの状況を鑑み、対策の一環として、(1)「汚れ試験装置」および(2)「タービンシミュレーター」を導入し、短期間での H-OTEC 試験装置の性能評価を実施にする。(1)「汚れ試験装置」は OTEC 用熱交換器の汚れ試験装置を UPM の既存の建屋内に設置することとし、2022 年 10 月に設置、試運転およびトレーニングが完了し、マレーシア側に引き渡した。同試験装置は、H-OTEC の特徴である熱交換器の防汚効果を比較するための小型の試験装置である。(2)「タービンシミュレーター」はタービンでの発電電力を模擬するプログラムであり、H-OTEC 試験装置の運転後の性能評価を容易にする。2024 年 3 月に H-OTEC 試験装置の監視・制御用 PC に導入しており、2024 年 10 月の H-OTEC 試験装置の試運転の完了とともにトレーニングを行い、マレーシア側に引き渡した。

#### ④研究題目 1 の研究のねらい（参考）

本研究では、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。本研究題目では、H-OTEC 試験装置の試運転までを共同で実施することで、技術実証の準備だけでなく、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。また、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ことで、社会実装への礎を構築する。

#### ⑤研究題目 1 の研究実施方法（参考）

H-OTEC（概略フロー線図は図 1 に示す）の基本設計では、定常状態での各状態点におけるエネルギーおよび質量保存則および各構成機器の性能を仮定し、各状態の質量流量、温度、圧力、エンタルピー、エントロピーを算出する。2019 年度は定格の 3 kW の出力を得るための熱源や作動流体の流量、機器の仕様を算出し、基本図面となるプロセスフロー線図を作成した。2020 年度は、佐賀大学海洋エネルギー研究所内に設置した小型 H-OTEC 実験装置（図 6）を用いて、プレート式蒸発・凝縮器の性能を測定した。また、得られた蒸発・凝縮器の性能は研究題目 2 の研究でのマレーシア内の社会実装エリアを想定した 1 MW 規模の商用機（実機）の試設計に採用した。

一方、更なる OTEC 低コスト化のため、熱交換器の高性能化を行っている。2019 年度に実施した熱力学的な視点から熱交換器を簡易的に選定する方法を発展させ、新たな熱交換器の性能評価方法を提案した。2023 年度は、H-OTEC 用熱交換器の圧力損失および熱伝達係数についての既往の関係式から、海水中の溶存空気の影響を含めた熱交換器伝熱性能の式を提案し、H-OTEC における最適設計計算を行った（図 7）。最適設計では、発電コストの大半を占める熱交換器の最小化と正味出力の最大化を目的とし、評価関数を正味出力に対する総伝熱面積に設定した。他方、プレート式熱交換器内の蒸発現象を解明するため、3D プリンタで製作した透明樹脂の熱交換器を用いた可視化を行った（図 8）。高速度カメラで撮影した画像を OpenCV および Python を駆使したプログラムで処理することで、2 次元平面に簡素化した気泡の割合を抽出し、蒸発時のボイド率の計測を行った。計測結果から、目視による流れ状態の観測とボイド率から推測される流れの状態の比較を行った。また、新たな透明樹脂を用いたことにより、従来よりも高温域での計測が可能となり、気泡の発生状況の適切な撮影を実施した。現状の画像処理プログラムは、比較的低いボイド率の状態でのみ有効な測定が可能であるため、更なるプログラムの改善が

必要である。



図 2 : UPM-UTM OTEC CENTRE および H-OTEC 試験装置



図 3 : 海水取水管および海水取水ポンプ

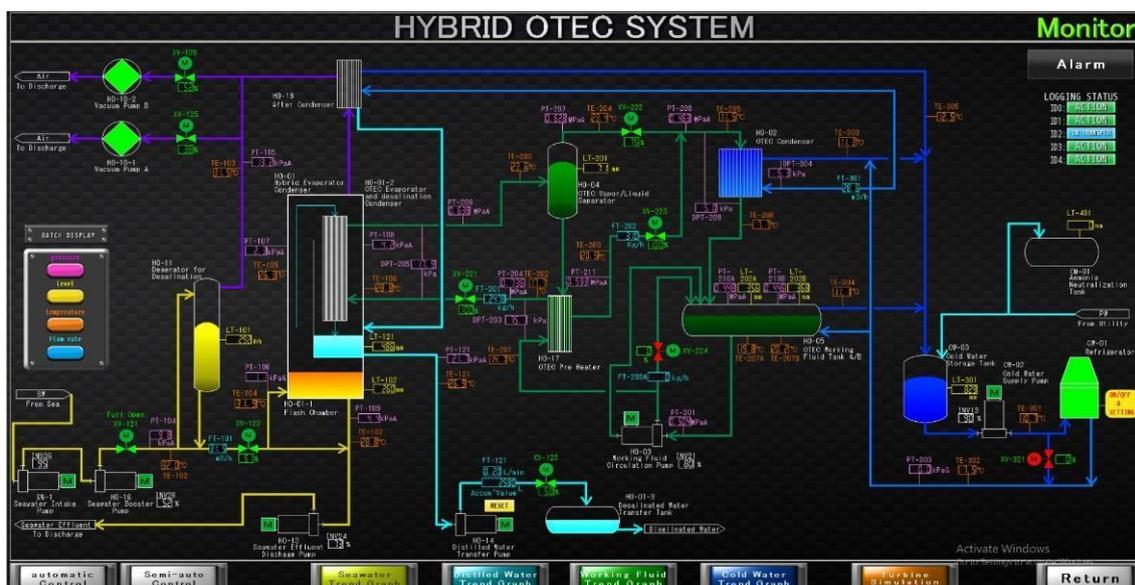


図 4 : マレーシアの H-OTEC 試験装置の制御画面

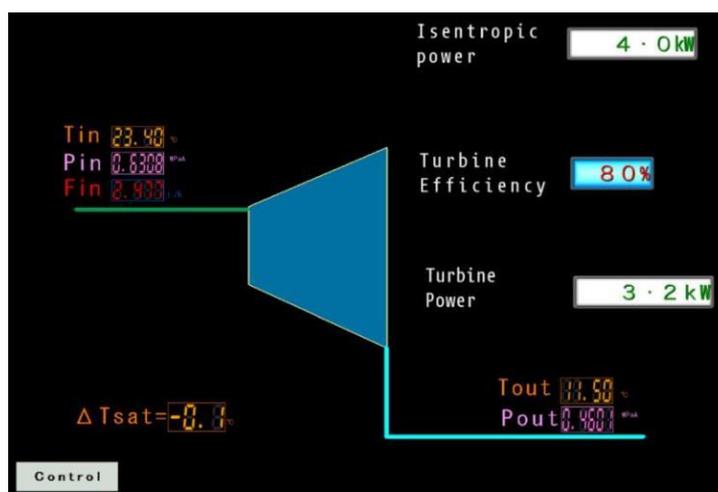


図 5 : H-OTEC 試験装置のタービンシミュレーター



図 6 : Eva-Con 試験用小型 H-OTEC 試験装置

$$\gamma = \frac{A_T}{W_{net}}$$

$$Nu_{d,0} = \frac{h_{d,0} D_{eq}}{\lambda_{d,L}} = 2.29 \Phi Re_{d,eq}^{0.506} Pr_{d,L}^{\frac{1}{3}} \quad (92 < Re_{d,eq} < 176)$$

$$\left( \frac{Nu_{d,aw}}{Nu_{d,0}} \right)_{cal} = 5.19 X_{ncg}^{-0.13} We^{0.574} Ja^{-0.769}$$

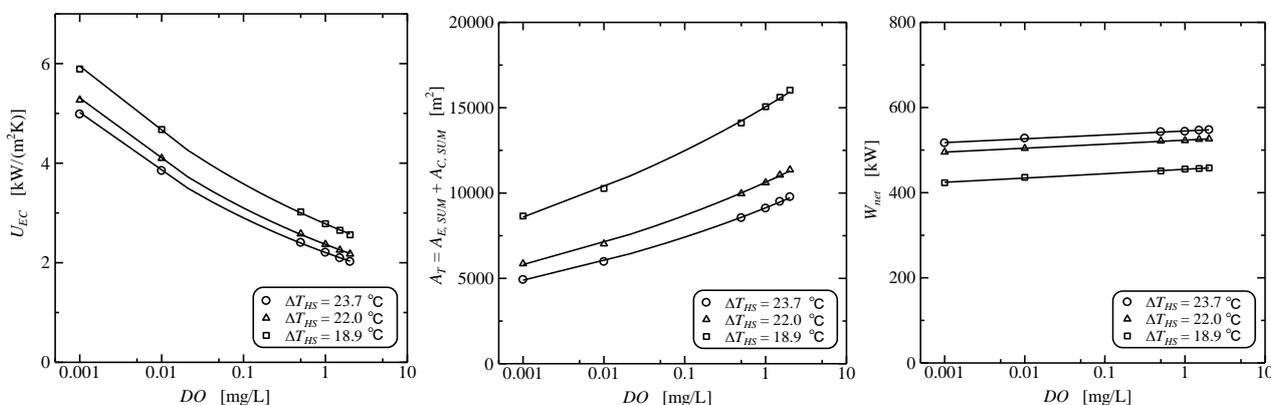


図 7 : 海水中の不凝縮ガスを考慮した H-OTEC 最適設計結果<sup>4)</sup>

記号

A 伝熱面積 [m<sup>2</sup>]

<sup>4)</sup> 海水中の溶存酸素量 (DO) を不凝縮ガスの指標とし、表層温海水と深層冷海水との温度差  $\Delta T_{HS}$  の条件ごとの熱通過係数、熱交換器総伝熱面積および正味出力を示す。

$D$	直径 [m]
$h$	熱伝達係数 [W/m <sup>2</sup> K]
$Ja$	ヤコブ数 [-]
$NETD$	Non-Equilibrium Temperature Difference, 非平衡温度差 [K]
$Nu$	ヌセルト数 [-]
$Pr$	プラントル数 [-]
$Re$	レイノルズ数 [-]
$W_{net}$	正味仕事 [W]
$We$	ウェーバー数 [-]
$\gamma$	目的関数 [m <sup>2</sup> /kW]
$\lambda$	熱伝導率 [W/mK]
$\Phi$	熱交換器の面積拡大係数 [-]
$X_{neg}$	不凝縮ガスのモル分率 [-]

## 添え字

$aw$	air-water vapor, 不凝縮ガスを含む水蒸気
$d$	desalination, 淡水
$DW$	desalination, 淡水
$eq$	equivalent, 相当
$L$	Liquid, 液相
$neg$	non-condensable gas, 不凝縮ガス
$O$	Outlet, 出口

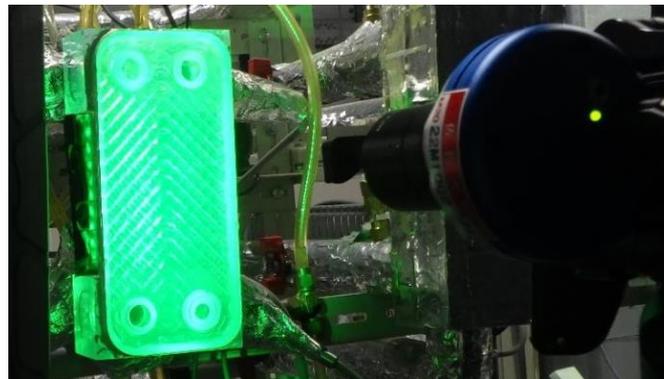


図 8：可視化用熱交換器および高速度カメラ

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

## 研究グループ

日本側 リーダー	森崎 敬史	マレーシア側 リーダー	Sathia Thirugnana
-------------	-------	----------------	-------------------

## ①研究題目2の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

本研究題目では主に研究題目1で製作したH-OTEC試験装置の設置場所である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ために、下記の目標を設定する。

- A. H-OTEC システムの性能評価を実施する。
- B. 熱交換器の性能比較により、H-OTEC システムの有効性を確認する。
- C. 商用規模プラントの基本設計を実施する。

成果目標の達成状況は、下記のとおりである。

- A. マレーシアのH-OTEC試験装置では、ヒートバランスおよびマスバランスの関係から推算される発電出力が3.0 kWとなり、基本設計値を達成した。発電と同時に得られた淡水についても塩分が除去されていることが確認された。
- B. H-OTEC試験装置で発電と同時に得られた淡水についても塩分が除去されていることが確認された。さらに、新たに設置されたOTEC用熱交換器の汚れ試験装置を用いて、海水を熱交換器内に保持し、熱交換器の伝熱面に汚れを付着させることで熱通過係数は56%低下することが確認された。
- C. 佐賀大学海洋エネルギー研究所における各主要機器に関する基礎実験結果を基にマレーシアモデルの検討を行い、1MW規模のH-OTECによる淡水化の生産量は、ディーゼルをエネルギー源とする現在のLayang-layang Islandの造水プラント(57 t/日)の3倍であるが、海洋深層水複合利用については利用可能なスペースが限られていることから、海洋深層水の取水量が少ない方が良い。

本研究題目におけるUPM I-AQUAS内での実証試験では、年間を通じた同設置場所近海の海域の海水データを蓄積し、2021年度以降に、研究題目1で製作したH-OTEC試験装置の運転条件や制御の最適設計を実施する計画であった。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) 研究題目1で製作したH-OTEC試験装置における定格条件での発電・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、H-OTEC試験装置のヒートバランスを確認後、商用機(実機)の基本設計を実施する予定であった。

H-OTEC試験装置の運転遅延により、当初予定していた運転データが得られていないことから、(1)「汚れ試験装置」および(2)「タービンシミュレーター」を導入し、H-OTEC試験装置の運転開始後に短期間での性能評価を実施した。

(1)「汚れ試験装置」はH-OTECの特徴である熱交換器の防汚効果を比較するための小型の試験装置であり、UPMの水産試験場の建屋内に設置することで、新規建屋の建設スケジュールに関係なく導入が可能であった。2022年10月にUPMの既存の建屋内に設置、試運転およびトレーニングが完了し、マレーシア側に引き渡した。潮位が低くなる時期は海水を取水できないため、2022年10月26日~12月20日の約2か月間の試験を行った後、海水を熱交換器内に保持し、熱交換器の伝熱面に汚れを付着させ、2023年5月5日~10日に再試験を行った。このときの熱通過係数は、初期の250 W/m<sup>2</sup>Kから110

W/m<sup>2</sup>K となり、熱交換器内に海洋生物に起因する汚れが付着することで熱通過係数は 56% 低下する (図 9)。さらに、本試験装置を使用して H-OTEC 利用後に温度低下した海水排出が海洋に及ぼす影響を調査した。この調査では、2023 年 10 月に 1 ヶ月間の海水放出を行い、排水温度が海洋の水質に及ぼす影響が軽微であることが確認された。汚れ試験装置を用いた検討により、マレーシアモデルのコア技術である海水のフラッシュ蒸発を用いることで、試験で確認された海水の汚れ付着に起因する性能低下を防止できると考えられる。さらに、小規模ではあるが H-OTEC からの熱利用後海水の放出が海洋に与える影響が軽微であることが確認されたことから、マレーシアモデルでの熱利用後海水の大量放出についても、十分な攪拌スペースを確保することで影響を無視できることが確認された。

(2) 「タービンシミュレーター」はタービンでの発電電力を模擬するプログラムであり、2024 年 3 月に H-OTEC 試験装置の監視・制御用 PC に導入しており、2024 年 10 月の H-OTEC 試験装置とともに試運転およびトレーニングが完了した。H-OTEC 試験装置の基本設計では、海洋温度差発電で想定される温度として表層の温海水を 30 °C、深層の冷海水として冷却水温度を 8 °C とし、作動流体をアンモニアとした場合の蒸発器ピンチポイント温度差は 2.1 °C、凝縮器ピンチポイント温度差は 1.1 °C であり、タービン出力が 3 kW となる流量条件を計算した。このとき、温海水流量 40.0 m<sup>3</sup>/h、冷却水流量 32.0 m<sup>3</sup>/h 蒸発器入口作動流体流量 0.593 t/h となった。一方、作動流体を R134a とした場合、出力 3 kW における作動流体流量は 3.7 t/h であるが、配管や制御弁などの圧力損失により、H-OTEC 試験装置における R134a の蒸発器入口流量は最大で 3.0 t/h となる。そのため、蒸発器ピンチポイント温度差は 3.9 °C となり、タービン出力は 1.7 kW となると考えられた (図 10)。2024 年 10 月の R134a を作動流体とした H-OTEC 試験装置の試運転により、「タービンシミュレーター」を用いた評価から、タービン出力は 3.0 kW となることが確認された (図 11)。このとき、フラッシュチャンバー内の圧力 3.1 kPaA における飽和温度は 24.8 °C、フラッシュ室内温度が 28.8 °C であることから、フラッシュ蒸発における非平衡温度差は 4.0 °C となっていることから、フラッシュ室長を長くし、非平衡温度差を低くすることで、ヒートロスを抑えられると考えられる。なお、作動流体 R134a の凝縮器入口 (Point 2) 温度は 11.4 °C であるが、圧力 453 kPaA における凝縮器入口 (Point 2) 温度は 12.7 °C であることから、凝縮器出口の温度計に液相の R134a が接する状態となっており、実際の温度より低く計測されていると考えられる。このとき、凝縮器におけるピンチポイント温度差は 1.5 °C となる。設計値のタービン入口・出口の圧力差 119 kPa およびタービンでの作動流体流量 2.100 t/h (図 10(b)) に対して、H-OTEC 試験装置では圧力差 184 kPa および作動流体流量 1.904 t/h (図 11) であり、実システムにおけるタービン熱落差が高くなり、推定されるタービン出力が設計値よりも増加する。これは、実システムにおける熱交換器の伝熱性能が高く、ピンチポイント温度差が小さくなることでタービン熱落差が設計値より増加しているためであり、基本設計において設定された熱交換器仕様を達成できることが確認された。このことから、基本設計に用いられた基礎パラメータを基準とする最適設計により、最適設計結果の H-OTEC システムの能力を十分に達成できると考えられる。なお、作動流体 R134a にて所望以上の結果が得られたため、物性値的に R134a より有利であるアンモニアにおいてはさらに高い性能が期待できる。

2024 年 11 月には H-OTEC 試験装置の 24 時間連続運転を実施し、運転動作が安定的であること、フラッシュ蒸気から得られた淡水には塩分が計測されていないことから、蒸発器には海水が流れ込んでおらず、海洋生物に起因する汚れが付着しないことが確認された。

一方、OTEC の実機設計のため、システムの最適設計の理論的研究を実施している。マレーシアモデ

ルでは、日本の久米島同様に、陸上に 1 MW 級規模の OTEC を設置し、発電で利用した海洋深層水を他の産業に複合利用することを想定している。従来の設計手法は、10 MW 以上の大型浮体式 OTEC の設計を基に構築された設計手法を用いており、ランキンサイクルを用いた従来の設計手法をマレーシア側に技術移転してきた。マレーシアの H-OTEC 試験装置の稼働前は、佐賀大学海洋エネルギー研究所内に設置した小型 H-OTEC 実験装置（図 6）を用いて、プレート式蒸発・凝縮器の性能を測定し、得られた蒸発・凝縮器の性能値を用いてマレーシアモデルの最適設計を行った。H-OTEC では電力だけでなく水も得られることから、従来の送電端出力（正味出力）と必要伝熱面積の比を用いた評価関数  $\gamma_1$  では造水の効果が評価できない。そのため、長期研修員で佐賀大学博士後期課程の Aiman Azmi 氏が中心となり、H-OTEC システムでは造水量を相当する電力量に換算することで、造水も評価する評価関数  $\gamma_2$  を提案し、従来と同様の最適設計を行った。

$$\gamma_1 = \frac{A_T}{W_{net}}$$

$$\gamma_2 = \frac{A_T}{W_{net} + W_{DW}}$$

H-OTEC システムでは運転に必要な海水流量が非常に多く、フラッシュ蒸発した残りの海水の排水にもポンプ動力が必要となる。このようなことから、フラッシュチャンバーからの排水ポンプ動力を低減させるために検討を行い、フラッシュチャンバーを海面から 9m の位置にすることで消費動力を大幅に削減でき、正味出力を向上できることが明らかとなった。なお、H-OTEC 試験装置の設置された UPM-UTM OTEC CENTRE は海面から約 10 m の高台に建設されている。

H-OTEC では発電と海水淡水化を両立させるために、H-OTEC における淡水化は海水の 1%未満となっていることから、H-OTEC システムおよび海水淡水化システムとの複合モデル (H-OTEC + D) (図 12) も対象とし、概念設計のための最適設計を行った。表 1 に概念設計のための結果を示す。その結果、H-OTEC + D を適用することで得られる淡水量を H-OTEC の 2 倍程度にでき、水資源の十分な確保が可能となる。このとき、H-OTEC + D における熱交換器の総伝熱面積についても H-OTEC システムと同程度に設計された (表 1、図 13)。

さらに、システムの高性能化およびメンテナンス時のための複数台利用を目的とした 2 段サイクルを適用した H-OTEC システム (D-H-OTEC) を提案し (図 14)、概念設計のための最適設計を行った。表 2 に概念設計のための結果を示す。H-OTEC を 2 段サイクルとして使用することで正味出力、海水取水量、造水量、熱交換器伝熱面積は約 2 倍となり (表 2、図 15)、定期メンテナンスや故障対応において片方の H-OTEC システムにて運転を継続可能である。さらに、マレーシアにおける OTEC 候補地 (図 16) の一つである Layang-layang Island にて 1MW 規模の H-OTEC を設置した場合には、海洋深層水の深度が 500 m から 800 m に深くなることで、正味出力は 20%増加し、海水取水量は 20%減少するが、造水量は海水取水量とともに 20%減少することが確認された。2024 年度の H-OTEC 試験装置の運転開始後、最適設計に用いられた蒸発・凝縮器の性能値については、マレーシアに設置した H-OTEC 試験装置にて性能試験を実施し、所定の性能を得られることが確認された。

## ②研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

本研究題目では、H-OTEC 試験装置の試運転が遅延しており、2024 年 4 月から各機器の動作確認を開

始し、2024年10月に試運転が実施されたことから、マレーシアにおける試運転後に予定していたプロジェクトの実施内容が大幅に変更となっている。特に、H-OTEC試験装置の試運転の準備中に、コミッションングの遅れが生じたため、作業再開が遅延し、2024年10月以降の運転データ取得後にH-OTEC試験装置における性能評価および最適運転手法を確立した。

H-OTECの核となる技術要素であるH-OTEC用熱交換器については、佐賀大学海洋エネルギー研究所にて実験が行われ、H-OTEC用熱交換器に適した熱交換器伝熱性能の式を提案した。この実験ではアンモニアを作動流体に用いたH-OTECの性能評価や海水中の不凝縮ガスである溶存空気が熱交換器の伝熱性能に及ぼす影響を解明している。2021年10月から佐賀大学の博士後期課程に在籍している長期研修員がH-OTECの最適設計に関する研究に従事しており、H-OTECの最適設計計算のための目的関数を提案した。

### 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

マレーシアにおいて、H-OTEC試験装置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、建屋建設の遅延により、2024年4月からH-OTEC試験装置の試運転の準備を開始した。しかし、H-OTEC試験装置の試運転の準備中に、コミッションングの遅れが生じたため、作業再開が遅延した。本計画では、H-OTEC試験装置の運転が延期し、2024年10月から運転を開始したことから、実施内容が変更された。「汚れ試験装置」によるH-OTECの熱交換器の防汚効果を比較するとともに、オンラインでも対応可能な試験装置の運転制御方法や性能評価のためのタービンシミュレーターの導入、先行してデータ解析プログラムの構築などを実施した。なお、タービンシミュレーターはH-OTEC試験装置の性能評価を容易にでき、同装置のデータ解析によって、研究題目4に活用された。

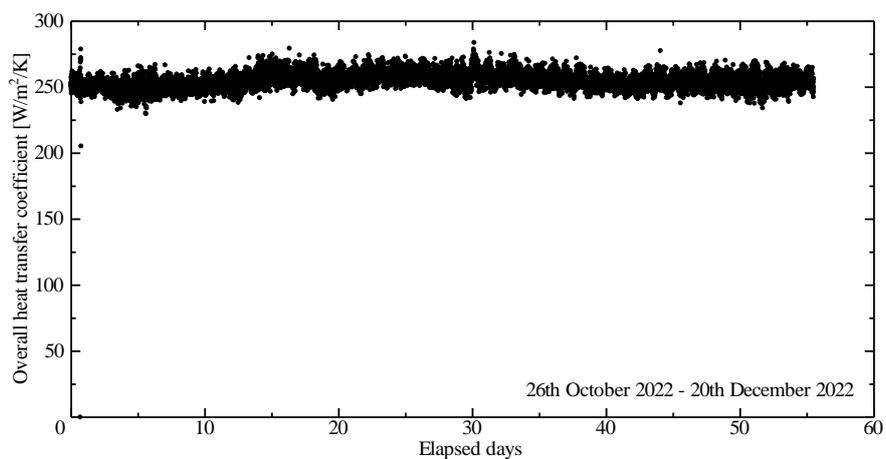
### ④研究題目2の研究のねらい（参考）

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では正味出力および造水量に対して発電単価が最小となる熱交換器伝熱面積を計算し（H-OTEC試験装置の基本設計に用いられた海水や熱交換器性能などの基礎パラメータを基準にマスバランスおよびヒートバランスの関係から、最適設計では、正味出力や熱交換器伝熱面積など発電コストを最小化するための仕様を決定する）、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。

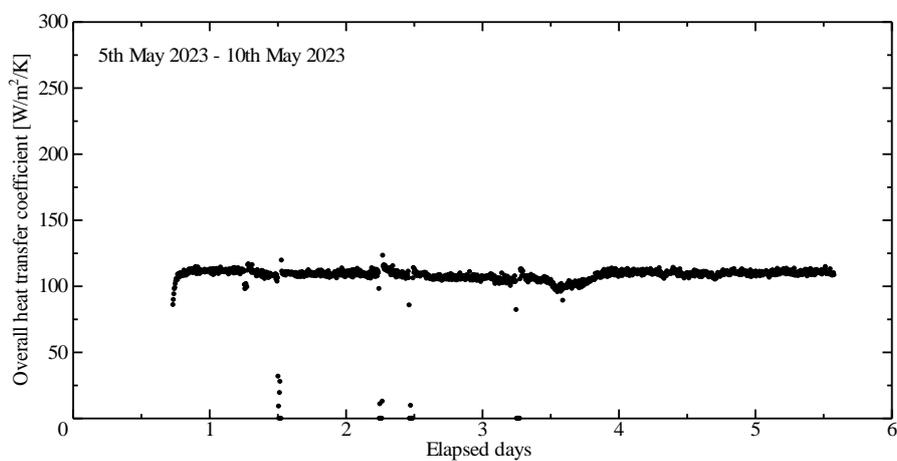
### ⑤研究題目2の研究実施方法（参考）

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等である。マレーシア側で現地の海水をサンプリングして分析を実施している。

さらに、オンラインを活用して協議することで、OTECや熱交換器の設計、データ解析方法などの技術移転を実施している。

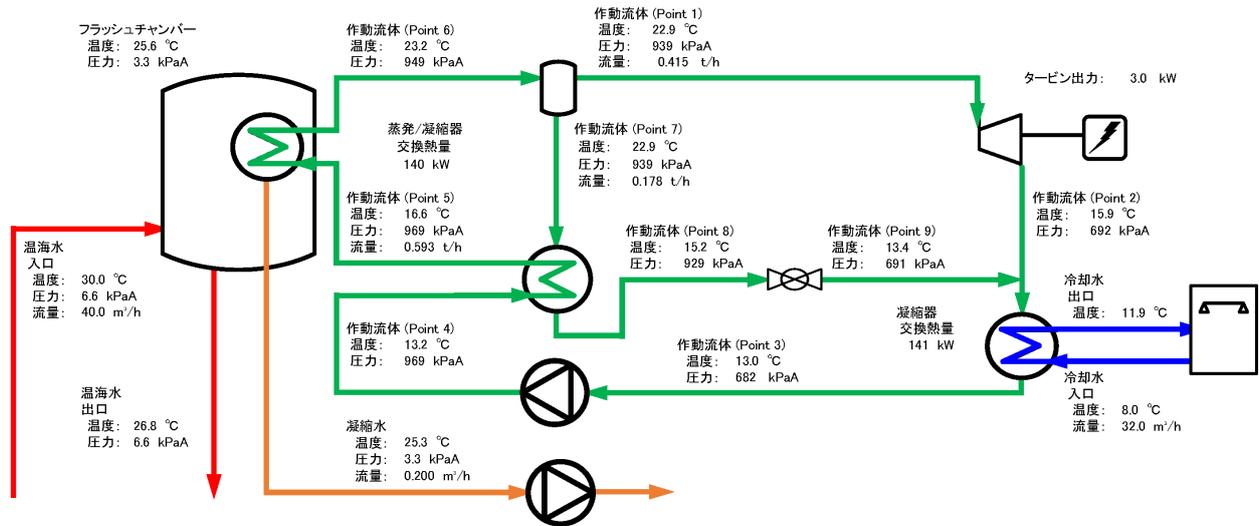


(a) 2022 年 10 月 26 日～12 月 20 日

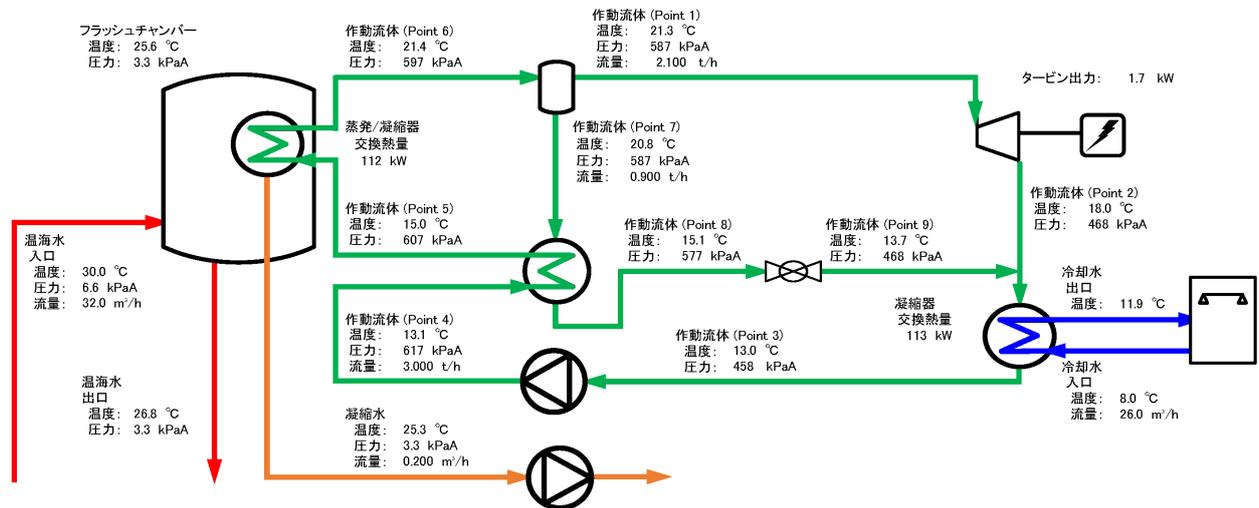


(b) 2023 年 5 月 5 日～10 日

図 9：汚れ試験装置の運転データ



(a) 作動流体：アンモニア



(b) 作動流体：R134a

図 10 : H-OTEC 試験装置の設計値

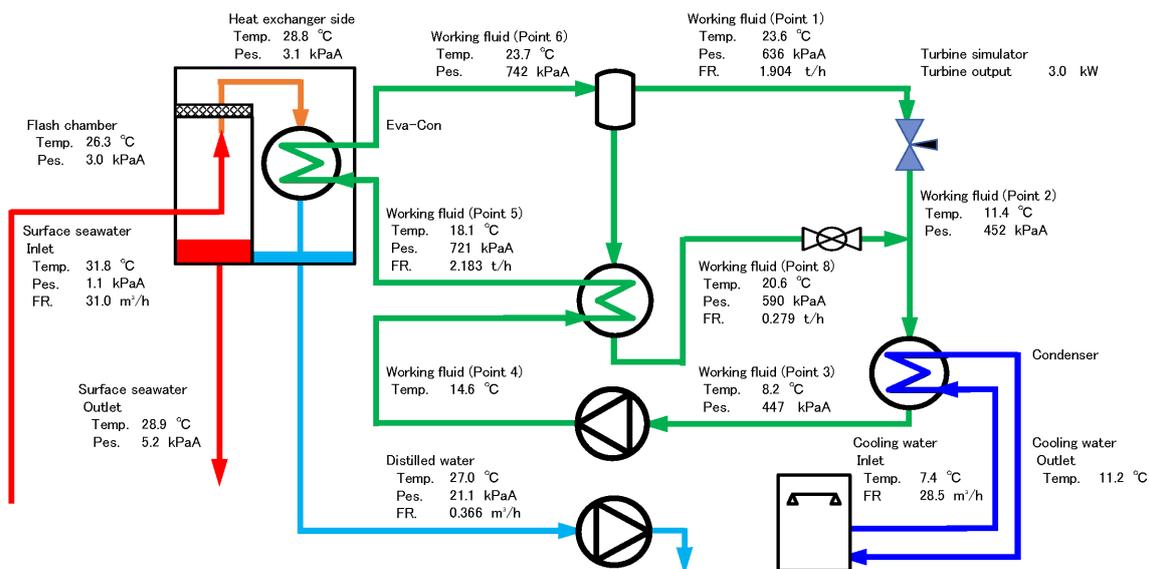


図 11 : H-OTEC 試験装置の実験結果 (作動流体 : R134a)

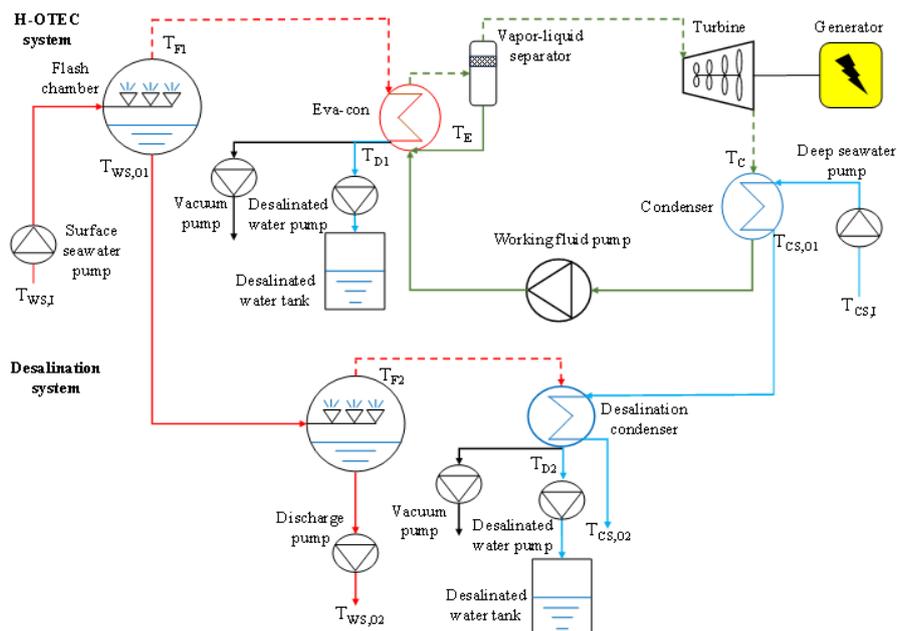


図 12 : H-OTEC と淡水化システムの複合モデル (H-OTEC + D) <sup>5)</sup>

表 1 マレーシアモデル (H-OTEC + D) における概念設計のための最適設計結果

Item	Unit	H-OTEC	H-OTEC + D
Initial condition			

<sup>5)</sup> 図中の上部が H-OTEC、下部が淡水化システムとなっている。

Gross power	MW	10	
Generator efficiency	%	96	
Surface seawater temperature	°C	24, 28, 32	
Deep seawater temperature	°C	3, 5, 7	
Turbine efficiency	%	80	
Seawater pump efficiency	%	75	
Working fluid pump efficiency	%	80	
Vacuum pump efficiency	%	75	
Pipe length of surface seawater	M	50	
Pipe length of deep seawater	M	800	
Diameter pipe of seawater	M	5	
Non equilibrium temperature difference	°C	0.3	
Quality at Eva-con outlet		0.8	
Salinity	Psu	35	
Deep seawater depth	M	800	
Results			
T <sub>wsi</sub> - T <sub>csi</sub>	°C	25	
Objective function, $\gamma_2$	m <sup>2</sup> kW <sup>-1</sup>	8.75	7.58
Net power	MW	4,674	3,813
Total heat transfer area	m <sup>2</sup>	56,597	59,277
Surface seawater flow rate	10 <sup>3</sup> t/day	2,220	2,419
Deep seawater flow rate	10 <sup>3</sup> t/day	3,114	3,317
Desalinated water	t/day	14,147	31,606

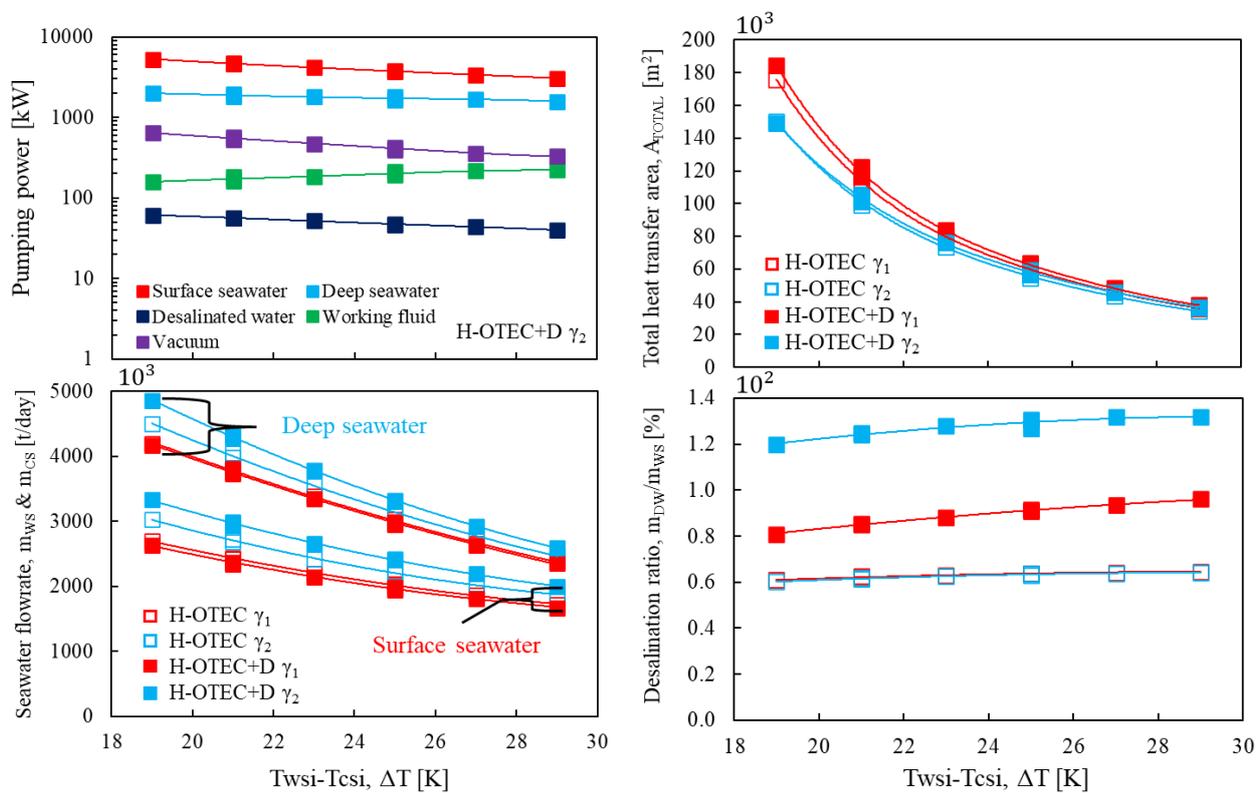


図 13 : マレーシアモデル (H-OTEC + D) における最適設計結果<sup>6)</sup>

<sup>6)</sup>  $T_{wsi}$  は温海水の H-OTEC 入口温度、 $T_{wso}$  は H-OTEC 出口温度を示す。

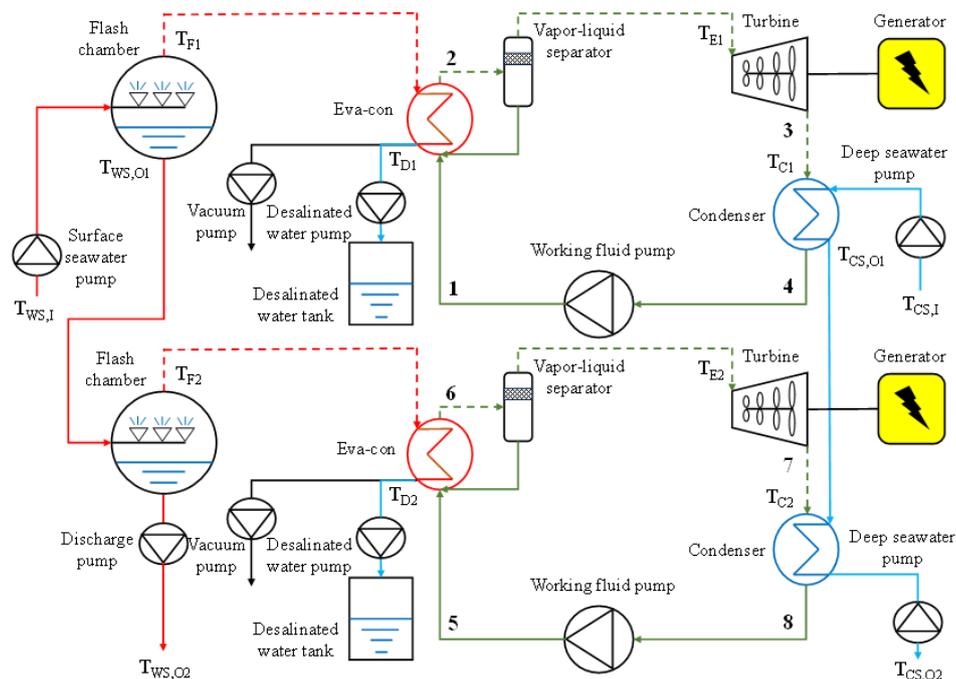


図 14 : 2 段 H-OTEC システム (D-H-OTEC) <sup>7)</sup>

表 2 マレーシアモデル (D-H-OTEC) における概念設計のための最適設計結果

Item	Unit	H-OTEC	D-H-OTEC v1
Initial condition			
Gross power	MW	1	
Generator efficiency	%	96	
Turbine efficiency	%	80	
Seawater pump efficiency	%	85	
Working fluid pump efficiency	%	80	
Salinity	Psu	35	
Flash chamber height	M	9	
Deep seawater depth	M	800	
Results			
Objective function	m <sup>2</sup> kW <sup>-1</sup>	7.17	6.64
Net power	MW	0.587	1.015
Total heat transfer area	m <sup>2</sup>	5,591	8,685
Surface seawater flow rate	10 <sup>3</sup> t/day	494.7	557.1
Deep seawater flow rate	10 <sup>3</sup> t/day	278.3	301.5
Desalinated water flow rate	t/day	1,519	2,307

<sup>7)</sup> 表層海水および深層海水の流れに対して H-OTEC を多段階利用するシステムとなっている。

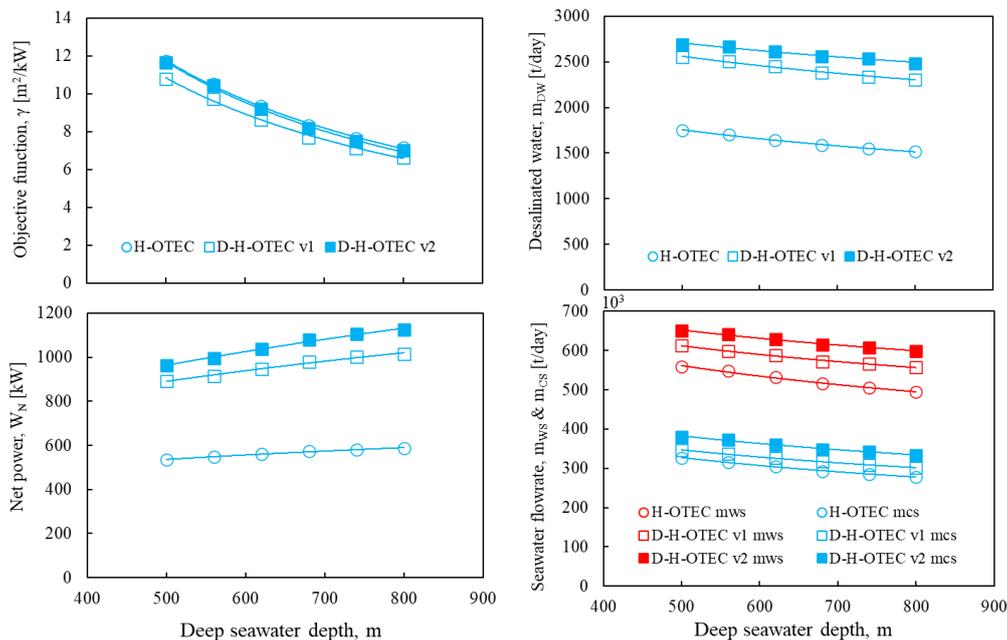


図 15 : マレーシアモデル (D-H-OTEC) における最適設計結果<sup>8)</sup>



図 16 : マレーシアにおける OTEC 候補地

(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)」

研究グループ

日本側 リーダー	池上 康之	マレーシア側 リーダー	Rahayu Binti Tasnim
-------------	-------	----------------	---------------------

<sup>8)</sup> D-H-OTEC の v1 は高温側サイクルから深層海水を通水し、v2 は低温側サイクルから通水する。

## ①研究題目3の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

本研究題目ではマレーシアにおける社会実装候補地および複合利用形態の検討のために、下記の目標を設定する。

- A. マレーシアにおける社会実装候補地の選定を行う。
- B. マレーシアにおける海洋深層水の複合利用方法の検討を行う。
- C. マレーシアにおける海洋深層水の複合利用に関する経済効果の検討を行う。

成果目標の達成状況は、下記のとおりである。

- A. マレーシア西部のサバ地域において Ocean Data Server および現地調査により、Layang-layang Island、Kalumpang Island、Mengalum Island、Tawau の4ヶ所が候補地として選定された。
- B. H-OTEC プラントにおける DSW の多用途利用として藻類や魚介類の養殖および淡水化が検討された。
- C. 海洋深層水については、藻類を養殖し、得られたカラギーナンを用いて食品や医薬品を製造することで、H-OTEC との複合利用を目指す。

当初計画における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）を行った。

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。

2020 年度以降は、2019 年に引き続き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、沖縄県久米島の情報を収集し、久米島における海洋深層水の利活用状況および経済性試算データを収取した。

マレーシアでの OTEC の社会実装を目指すために、社会実装の有力候補地が存在するマレーシア西部のサバ地域において調査を行い、Layang-layang Island、Kalumpang Island、Mengalum Island、Tawau の4ヶ所が適地であることが確認された。なお、H-OTEC により得られる淡水を供給することで沿岸地域における水不足対策が可能となる。これまでに海洋深層水複合利用を含めたマレーシアモデルに関する検討が行われており、その一例として H-OTEC システムと水素製造との複合モデルについて記載する。この複合モデルでは、H-OTEC システムにより得られる発電電力および淡水を用いてアルカリ電解装置および PEM 電解装置にて水の電気分解を行う（図 17）。アルカリ電解装置の設備投資額は、一般的に PEM 電解装置と比較して低く、PEM 電解装置の複合モデルの 0.23 USD/h に対してアルカリ電解装置では 0.19 USD/h と低コスト化することが確認された（表 3）。

海洋深層水については、藻類を養殖し、得られたカラギーナンを用いて食品や医薬品を製造することで、H-OTEC との複合利用を目指す。この利用方法において、藻類には水抽出法を適用することで化学

廃棄物の処理費用を抑えられ、経済効果が高くなる。それとともに、高級レストランで提供される魚介類はいずれも 100g あたり 40～60 リンギットであることから、海洋深層水複合利用による高級魚の養殖に重点的に取り組むことが有効と考えられる。さらに、海洋深層水の冷熱利用により、近隣施設の冷却を行い、冷房に要するエネルギーを削減することができる。

これまでの調査および検討により、H-OTEC を核とした海洋深層水複合利用形態モデルを具体化してきており、社会実装候補地であるサバ地域にて現地企業との情報交換により、OTEC 事業についての PR を行っている。後述する OTEC および海洋深層水複合利用に関するオンライントレーニングを開催した際には、サバ地域の大学の研究者も参加しており、OTEC 事業の理解促進を図っている。さらに、2024 年 4 月にはサバ州議会が海洋温度差発電の推進に関する条例を可決しており、サバ地域での海洋温度差発電の基盤ができ始めている。

#### ②研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

H-OTEC のモデル化については上述の 2 つのモデルを対象として検討を行っており、マレーシアと日本の合同プロジェクト会議においてサバ州 Layang-layang Island の 1MW H-OTEC および海洋深層水複合利用の経済性評価について報告した。

海洋深層水を活用した事業では、水産業、飲料水などを中心に検討し、水産業の藻類の培養では具体的な養殖実績が出てきている。

#### 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

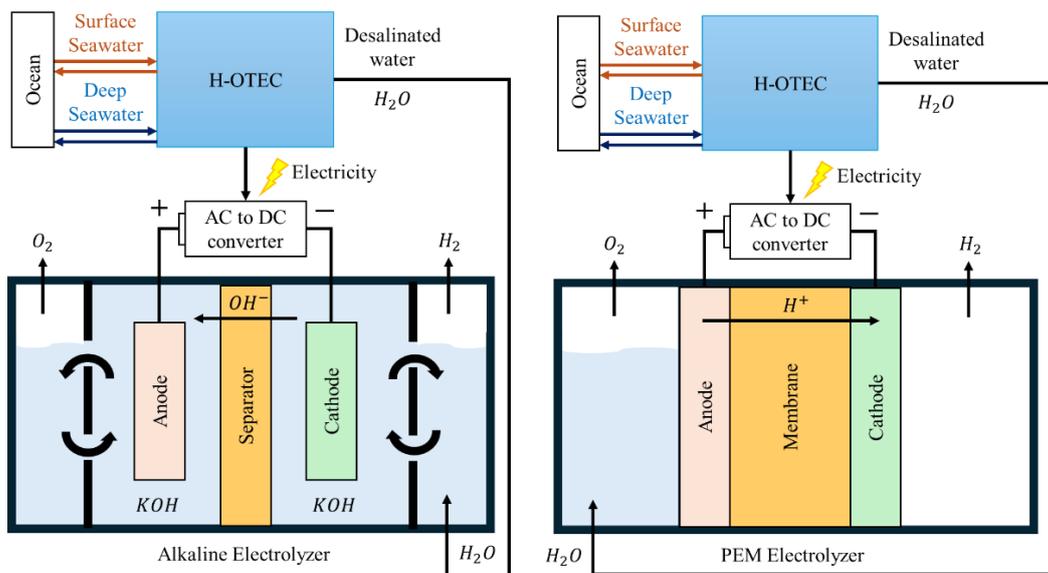
#### ④研究題目 3 の研究のねらい（参考）

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。2020 年度は、2019 年度に引き続き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。

マレーシアモデルは、マレーシア側のリーダーであるラハイユ博士が中心となって、具体的な候補地の洗い出し、深層水の利用事業の収益性などの検討を行っている。候補地の選定には、東京大学が構築している海洋データサーバーのデータを活用している。また、毎年実施している OTEC 関連事業の研修において、参加メンバーが 4 人程度のグループで提案する独自のマレーシアモデルを共有し、その内容を更に踏み込んで経済性などを協議することで、マレーシアモデルのイメージの具体化を図っている。



(a) アルカリ電解槽

(b) PEM電解槽

図 17 : H-OTEC プラントと水素製造の複合モデル

表 3 10MW H-OTEC システムにおけるアルカリ電解装置および PEM 電解装置のコスト比較

Electrolyzer	Description	Values [USD/h]
Alkaline Electrolyzer	Renewable Power Saved Cost	249
	Water Consumption Saved Cost	0.19
	Normal OpEx for Alkaline Electrolyzer without 10 MW H-OTEC offshore plant	16405.35
	OpEx for Alkaline Electrolyzer with 10 MW H-OTEC offshore plant	16156.16
PEM Electrolyzer	Renewable Power Saved Cost	249
	Water Consumption Saved Cost	0.23
	Normal OpEx for Alkaline Electrolyzer without 10 MW H-OTEC offshore plant	45320.09
	OpEx for Alkaline Electrolyzer with 10 MW H-OTEC offshore plant	45070.86

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

環境評価研究グループ

日本側 リーダー	早稲田 卓爾	マレーシア側 リーダー	Mohd Fadzil
-------------	--------	----------------	-------------

## LCA 研究グループ

日本側 リーダー	田原 聖隆	マレーシア側 リーダー	Chiong Meng Soon
-------------	-------	----------------	------------------

## ①研究題目 4 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

本研究題目では H-OTEC/マレーシアモデルの LCA によって環境側面から評価するために、下記の目標を設定する。

- A. 表層海水および海洋深層水の OTEC への取水に関する環境影響評価を行う。
- B. 表層海水および海洋深層水の OTEC 利用後の排水に関する環境影響評価を行う。
- C. H-OTEC システムの LCA 評価を行う。
- D. マレーシアモデルの LCA 評価を行う。

成果目標の達成状況は、下記のとおりである。

- A. H-OTEC 試験装置の設置サイトであるポートディクソンで表層海水の成分分析が行われ、取水により成分が変化しないことが確認された。
- B. ポートディクソンで H-OTEC 試験装置からの放水口付近において海洋水質インデックス (Marine Water Quality Index : MWQI) に有意な差はみられなかった。
- C. H-OTEC 試験装置の LCA 評価により、GHG 排出量は 295 t-CO<sub>2</sub>eq となり、建屋および配管製造が全体の 54% を占める。
- D. マレーシアモデルの LCA では、1MW、2.5MW、10MW の 3 種の条件で評価し、設備容量が大きくなるほど、1kWh あたりの GHG 排出量は減少し、1MW では 48g-CO<sub>2</sub>eq、10MW では 22g-CO<sub>2</sub>eq となった。

環境評価グループは、東京大学に構築したプロトタイプ of データサーバーへのデータセットの登録を完了し、マレーシアデータサーバーを UTM に移植した。また、引き続き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ている。

マレーシアデータサーバーは、海洋再解析データの物理変数および算出した温度差エネルギーポテンシャル等を netCDF 形式で保管する。メタデータを THREDDS (Thematic Real-time Environmental Distributed Data Services) で管理し、簡便なユーザーインターフェースで検索および可視化が可能な LAS (Live Access Server) に登録する。登録したデータリストから、データセット・変数を選択し、任意の領域・時間におけるマップを作図することができる。選択した数値データをダウンロードすることもできる。

収集したデータはそれぞれデータ頻度、水平・鉛直格子などが異なる。それらから、物理変数の気候値、季節気候値、月気候値、年平均とそれらのばらつき (標準偏差、最大・最低値など)、さらには、温度差、温度差パワーなど新たに導出する変数を作成しデータサーバーに登録を行った。これまで、内部 LAN 限定で運用していたサーバーを複製しマレーシアにシステムを移植した。現在、SATREPS-Malaysia server としてデータをユーザー限定で公開している。

H-OTEC 試験装置の稼働前の 2020 年に設置サイトであるポートディクソンで表層海水の成分分析が行われ、64% が細菌、15% が未同定種、10% がウイルス、8% が古細菌、4% が真核生物で構成されていることが確認された。放水口付近において海洋水質インデックス (Marine Water Quality Index : MWQI) に

有意な差はみられなかった。

LCA 評価グループは、マレーシアモデルのインベントリデータの収集・分析、H-OTEC/マレーシアモデルの CO<sub>2</sub> 低減量の評価を実施するための準備を行った。H-OTEC における発電および淡水化による GHG 排出量を定量化し、マレーシアの様々な発電システムによる排出量と比較するために調査を行った。なお、SPIN-OFF ビジネスである海ブドウと牡蠣の養殖については、UTM によりマレーシアにおける養殖の調査を行い、IDEA に格納されているデータと比較した。一方、H-OTEC による発電および淡水化については、これまでの H-OTEC の最適設計に関する研究結果を適用するとともに、H-OTEC 試験装置の運転開始後に得られたデータにより評価を行う。

上記のとおり、H-OTEC 導入による海水利用後の環境影響評価、および H-OTEC を核としたマレーシアモデルの LCA 評価により、マレーシアにおける OTEC 導入可能性を周知するとともに、H-OTEC 導入における地域への影響を具体化することで、社会実装のための基盤づくりを推進させることができる。

H-OTEC の LCA 評価では、建物や配管に使用された材料の数量リストから、UPM-UTM OTEC CENTRE の 3 kW 規模の H-OTEC 試験装置について、ライフサイクルアセスメント (LCA) を実施し、温室効果ガス排出量 (Green House Gas : GHG) を算出した。その結果、GHG 排出量は 295 t-CO<sub>2</sub>eq となった。GHG 排出源については、UPM-UTM OTEC CENTRE の建屋および配管製造が全体の 54% を占める。

最も大きな GHG 排出源については、従来の結果では H-OTEC システム (発電機を含む主要ユニット) が全体の 59% を占めていたが、更新後は建物およびパイプ製造段階が 54% を占めた。更新後、建造物およびパイプ製造段階における GHG 排出の主な要因は、機械構造用炭素鋼であることが判明した。また、輸送重量などの観点から輸送も見直されたため、更新後の GHG 排出量は高くなっている。

H-OTEC の LCA では、廃棄段階について 4 つのシナリオ (100% 埋め立て、一部リサイクル、マレーシアモデル、久米島モデル) を想定した。マレーシアモデルは、マレーシアにおける平均的な廃棄物管理を想定している。廃棄物管理および廃棄物輸送 (H-OTEC または OTEC の設置現場から廃棄物処分場まで) に起因する GHG 排出量を算出した。マレーシアモデルの LCA では、1MW、2.5MW、10MW の 3 種の条件で評価し、設備容量が大きくなるほど、1kWh あたりの GHG 排出量は減少し、1MW では 48g-CO<sub>2</sub>eq、10MW では 22g-CO<sub>2</sub>eq となった。OTEC における LCA 評価とともに、近年のマレーシアではプラスチック廃棄物は増加していることから、プラスチック廃棄物の処理プロセスについても検討を行った。マレーシアで最もリサイクルされているプラスチックは、高密度ポリエチレン (HDPE)、ポリエチレンテレフタレート (PET)、低密度ポリエチレン (LDPE)、ポリプロピレン (PP) である。一方、各州でプラスチックリサイクルのプロセスが統一されておらず、国民意識の低さもあることから、プラスチックの廃棄物管理政策が十分に実施されていない。さらに、回収されるプラスチック廃棄物には、混入物によりリサイクル不可能となった廃棄物があり、プラスチックリサイクルのためには、その方法についての学習が必要となる。さらに、マレーシアではラヤンラヤン島のように水資源が限られた地域があることから、発電とともに海水淡水化が可能である H-OTEC システムについて、水資源が必要となる地域への供給源としても期待される。そのため、マレーシアモデルにおいても海洋深層水の多目的利用 (水産業、農業および冷熱利用など) だけでなく、水資源の供給元としての役割を考慮することが重要となる。

## ②研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

OTEC データサーバーは UTM Digital Center に設置されており、OTEC データの利用方法に関するユーザーマニュアルを作成し、マレーシアの OTEC グループ関係者に配布された。なお、OTEC データサーバーの活用方法については、2023 年度にマレーシアにおける OTEC サイト選定に係るメンバーを対象とした OTEC データサーバーと GIS サーバーの使用法のトレーニング、および一般ユーザーを対象とした OTEC データサーバーの使用法のトレーニングを実施した。

LCA 評価グループは、H-OTEC における発電および淡水化による GHG 排出量を定量化し、マレーシアの様々な発電システムによる排出量と比較するために調査を行った。なお、SPIN-OFF ビジネスである海ブドウと牡蠣の養殖については、UTM によりマレーシアにおける養殖の調査を行い、IDEA に格納されているデータと比較した。一方、H-OTEC による発電および淡水化については、H-OTEC 試験装置の運転開始後に得られたデータにより評価を行う。

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  
特になし

④研究題目 4 の研究のねらい（参考）

H-OTEC/マレーシアモデルの LCA を実施することによって、環境側面から H-OTEC/マレーシアモデルを評価することが研究のねらいである。

⑤研究題目 4 の研究実施方法（参考）

ライフサイクルのうち、今年度は H-OTEC の LCA 評価について、新たな情報を得て、データを更新した。スケールアップ係数を用いて、H-OTEC 3 kW を基にしたマレーシアモデルの GHG を推定した。H-OTEC およびマレーシアモデルの廃棄段階について検討した。マレーシアモデルの LCA 評価に関わる副産物のうち淡水化、水素製造および空調について情報を整理し検討した。

H-OTEC の LCA 評価のために、建屋およびパイプの資材別使用量の一覧を入手した。その一覧から必要な情報を抽出し、入出力データの数量、入出力データと対応させる IDEA データを更新した。その入出力データを用いて、H-OTEC 3kw の Life Cycle Assessment (LCA)を実施し、GHG 排出量を算定した。GHG 排出量は、従来が 191 t-CO<sub>2</sub>eq、更新後が 295 t-CO<sub>2</sub>eq であり、更新後の方が 1.5 倍大きくなった。最大の排出源については、従来は H-OTEC システム(発電機を含む本体部分)で 59%を占めていたが、更新後は建屋とパイプの製造段階で 54%を占めていた。更新後の建屋とパイプの製造段階のうち最大の GHG 排出源は、機械構造用炭素鋼だった。また、輸送についても輸送重量などを見直し、更新後の GHG の方が多くなった。

マレーシアモデルとして、1 MW(H-OTEC、陸上型、Layang-layang Island)、2.5MW(H-OTEC、陸上型、Kalumpang Island)、10MW(OTEC、洋上浮体型、Tawau)の 3 種類を想定し、それぞれのパイプ長なども考慮して、製造段階および輸送段階の入出力データを作成した。3 者を同一のスケールアップ方法及びスケール係数を用いて、GHG 排出量を算定した。その結果、製造段階および輸送段階由来の GHG は、1 MW が 15 千 t-CO<sub>2</sub>eq、2.5MW が 91 千 t-CO<sub>2</sub>eq、10MW が 80 千 t-CO<sub>2</sub>eq だった。3 者それぞれについて、①海水管、②建屋、③H-OTEC または OTEC 設備、の 3 つの項目で GHG を集計し、その構成比を確認したところ、例えば海水管の GHG 構成比は、1 MW が 23%、2.5MW が 75%、10MW が 13%とモデ

ルによって異なった。この構成比の違いは海水管の設計およびプラントの設置場所によるものであった。1kWh 当たりの GHG 排出量を算定したところ、1 MW が 48 g-CO<sub>2</sub>eq、2.5MW が 36 g-CO<sub>2</sub>eq、10MW が 22 g-CO<sub>2</sub>eq であり、規模が大きいほど、1kWh 当たりの GHG 排出量が減っていることを確認した。

H-OTEC およびマレーシアモデルの LCA 評価では、廃棄段階で 4 つのシナリオ(100%埋立、一部リサイクル、マレーシアモデル、久米島モデル)を想定した。廃棄処理由来および廃棄物の輸送(H-OTEC または OTEC の設置場所から、廃棄物処分場までの輸送)由来の GHG 排出量を算定した。

副産物のうち淡水化、水素製造および空調に関する情報を収集した。淡水化については、福岡県および沖縄県の逆浸透膜による淡水施設の諸要素を抽出し、淡水 1m<sup>3</sup>当たりの GHG 排出量を調査した。水素製造については、アルカリ電解による製造プロセスの入出力データを収集し、水素 1m<sup>3</sup> 当たりの GHG 排出量を算定した。空調については、海水空調(Seawater air conditioning; SWAC)と従来型空調(Conventional air conditioning; HVAC)を文献調査し、製造段階、使用段階、輸送段階、廃棄段階の各 GHG を算定し比較した。その結果、HVAC の GHG 排出量 2,749 t-CO<sub>2</sub>eq に対して SWAC は 533 t-CO<sub>2</sub>eq と大きく低下させることができ、H-OTEC 利用後の海洋深層水の多目的利用の一つである冷熱利用が熱帯雨林気候であるマレーシアに適することが確認された。

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

研究グループ

日本側 リーダー	池上 康之	マレーシア側 リーダー	A Bakar Jaafar
-------------	-------	----------------	----------------

①研究題目 5 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

本研究題目ではカウンターパートであるマレーシア側の研究者への技術移転および人材育成を行うために、下記の目標を設定する。

- A. 日本にて OTEC 関連技術の研修プログラムをマレーシア側の研究者 30 名以上が修了する。
- B. 国際学術誌に共同国際論文を 5 編以上発表する。

成果目標の達成状況は、下記のとおりである。

- A. 日本にて OTEC 関連技術の研修プログラムをマレーシア側の研究者 50 名 (オンサイトでは 30 名、オンラインでは 20 名) が修了した。
- B. 国際学術誌に 6 編の共同国際論文を発表した。

本研究題目の当初の計画は、以下の活動を毎年行うことで、マレーシア研究者への技術移転、マレーシア側および本邦の人材育成を行うことである。即ち、OTEC 関連技術研修によってマレーシア若手研究者を本邦に招聘して教育すること、マレーシアにおいて講義形式で技術移転すること、IOES 主催の「若手研究者のための海洋エネルギーに関する国際プラットフォーム人材育成事業」へ招聘すること、共同でシンポジウムなどを開催しマレーシア側研究者を招待講演者として招聘すること、マレーシアにおいて OTEC 関連の講義を実施すること、長期研究員 (博士課程) の学生を輩出すること、共同で研究や H-OTEC の設計を行い技術移転すること、および共著での論文発表や研究発表を行い、研究成果の情報発信に期することである。本技術移転や人材育成が、本事業終了後でも継続した研究の遂行や社会実装へ向かう大きな原動力と財産となるため、若手研究者を中心とした取り組みとしている。

特に、OTEC 関連技術研修によってマレーシア若手研究者を日本に招聘しての教育は、30 名以上のマレーシア研究者が研修プログラムを修了することを目標とした。2019 年度（第 1 回）に最初の本邦でのトレーニングを実施し、マレーシア若手研究者 10 名が参加した。この研修プログラムは COVID-19 の影響により、2020 年度（第 2 回）は 12 名、2021 年度（第 3 回）は 8 名がオンラインで研修を修了した。2022 年度（第 4 回）からは日本でのトレーニングが再開され、12 名が研修を修了した。2024 年度（第 5 回）は 8 名が研修を修了した。計 5 回の OTEC 関連技術研修プログラムにより、50 名（30 名がオンサイト、20 名がオンライン）のマレーシア研究者が研修プログラムを修了している。

さらに、共著国際論文として 5 編を発表することを目標とし、これまでに 6 編が発表された。さらに、その他の研究発表件数は、国際論文 29 編（査読付国際学会要旨論文 26 件含む）、共著国際学会発表 8 件、国際学会発表 30 件、国内学会発表 32 件である（全研究題目総計）。発表された論文には、長期研修員で 2024 年度に佐賀大学博士後期課程を修了した Aiman 氏が中心となった H-OTEC の最適設計の研究成果が含まれている。

これまでの活動を通して、マレーシア研究者への技術移転とともに、佐賀大学にて博士後期課程の Aiman 氏の他、8 名の博士課程学生、12 名の修士課程学生、11 名の学士課程学生の人材育成を行った。

#### 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 関連技術研修によってマレーシア若手研究者を日本に招聘して教育することについては、30 名以上のマレーシア研究者が研修プログラムを修了することを目標とした。2020 年度（第 2 回）から 2021 年度（第 3 回）までに、COVID-19 の影響で一部がオンラインでの研修となり、計 20 名が修了した。2019 年度（第 1 回）、2022 年度（第 4 回）、2024 年度（第 5 回）に本邦で計 30 名が研修を修了している。

共著国際論文の目標 5 編に対して、これまでに 6 編が発表された。

#### 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

当初計画では、OTEC 関連技術研修によってマレーシア若手研究者を日本に招聘して教育することを計画していたが、COVID-19 の影響で一部がオンラインでの研修となった。さらに、H-OTEC 試験装置の試運転の遅延に伴う計画変更により延期となったことから、2024 年度（第 5 回）の日本での研修プログラムは 2024 年 11 月に開催された。

#### 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参加させて実施する技術移転である。研修の初日は海洋エネルギー研究所伊万里サテライトで実施し、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）、海洋温度差発の評価方法、海水淡水化（安永助教）の各講義を実施し、海洋エネルギー

研究所伊万里サテライト内の海洋温度差発電設備の視察、運転方法の学習を行った。設備の視察、運転方法の学習では、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 15 kW 海洋温度差発電実験装置の運転方法の紹介を行った。二日目は、久米島で主催し、100 kW 海洋温度差発電実証設備の見学を行った。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、化粧品などの紹介ビデオを見て質疑を行った。三日目、四日目は、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イ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。三日目は久米島モデルの理解を深めるため、久米島での海洋深層水利用モデルを試案し、久米島モデルの情報を基に、マレーシアモデルの提案を協議して、独自のマレーシアモデルを考案した。独自のマレーシアモデルを討論するブレイ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検討を行った。四日目は検討したマレーシアモデルを参加者へ各チーム約 30 分のプレゼンを行った。

第二に、H-OTEC 実験装置を活用した技術説明トレーニングである。初めに本邦で仮組み立てした H-OTEC 試験装置を用いて、取水から発電、造水、排水までの流れをオンラインで確認しながら、同装置の設置方法、構成機器の役割やフローを学習した。特に、マレーシア側所掌の海水の取排水管との取り合い点やマレーシア側が製作するタービンとの取り合い位置の確認、各構成機器の役割等の学習を行った。その後、マレーシアに設置した H-OTEC 実験装置を用いて、現地で同装置の設置方法、構成機器の役割やフローを学習した。特に、H-OTEC システムの特徴である作動流体の流れる発電システム部と造水を行う海水淡水化システム部における運転方法の確認、各構成機器の役割等の学習を行った。

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。2021 年 3 月 10 日に第 1 回 SATREPS フォーラムを佐賀市アバンセの会議室とオンラインのハイブリッド形式、2022 年 3 月 3 日に第 2 回 SATREPS フォーラムをオンライン形式、2023 年 3 月 9 日に第 3 回 SATREPS フォーラムをハイブリッド形式、2024 年 3 月 5 日に第 4 回 SATREPS フォーラムをオンライン形式、2025 年 2 月 27 日に第 5 回 SATREPS フォーラムを IOES 伊万里サテライトの会議室とオンラインのハイブリッド形式で開催した。本フォーラムでは、研究代表者である Abu Bakar Jaafar 教授と池上教授の挨拶を皮切りに、カウンターパートのプロジェクトダイレクター（Abu Bakar Jaafar 教授）の基調講演とマレーシアおよび日本から質疑を含めて研究内容の紹介と成果報告を行った。

## II. 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）

国際共同研究実施上の課題としては、H-OTEC 試験装置のマレーシア現地への設置について関係者間で連携して進めてきたが、本邦とマレーシアの規格が異なることもあり、H-OTEC 試験装置の試運転開始が遅延していた。本邦から輸出した H-OTEC 試験装置に適用する法規や電源供給などをマレーシア側と確認していたが、十分に対応できていない部分があり、H-OTEC 試験装置の試運転が遅延することとなった。これまで、関係者間でオンライン会議を通して進捗を確認していたが、本邦とマレーシアの規格が異なることもあり、H-OTEC 試験装置の設置前にマレーシア現地での事前確認が必要であった。そのため、オンライン会議を通して関係者間で H-OTEC 試験装置の試運転に向けて連携を深めるとともに、本邦からのマレーシア現地視察を行い、状況確認を徹底した。

一方、マレーシア側のマッチングファンドにより、本事業に対して 620 万リングットが支援された。

さらに、H-OTEC システムの実証サイトであるポートディクソンにおける UPM-UTM OTEC CENTRE の建屋建設に 155 万リングットおよび 249.03 m<sup>2</sup>の土地が提供されている。マレーシア側の研究チームでは、設定した 5 つの研究題目を 10 のサブプロジェクト（表 4 および表 5）に区分し、各研究題目の達成に貢献しており（表 6 および図 18）、主にマレーシア高等教育省（Ministry of Higher Education: MOHE）から支援されている。各サブプロジェクトの概要は以下のとおりである。

- PJ1 では、H-OTEC 試験装置を設置するためにポートディクソンに海洋エネルギー研究開発施設として UPM-UTM OTEC CENTRE を建設した。さらに、表層海水を H-OTEC 試験装置へ送水するための取水ポンプおよび配管を設置しており、H-OTEC 試験装置の運転および造水に関する実験が可能となっている。
- PJ2 では、H-OTEC システムの運転手法の確立のために、本報での OTEC プラントに関する研修をとおしてマレーシアの H-OTEC 試験装置の運転手順を作成した。一方、人為的過誤により H-OTEC 試験装置のアンモニアガスが漏洩したことから、作動流体を R134a に変更し、進捗および安全管理を徹底することで短期間での試運転を達成した。2024 年 10 月の試運転後、H-OTEC 試験装置は順調に運転できており、H-OTEC システムの安定運転のためのデータを蓄積している。
- PJ3 では、マレーシアでの H-OTEC 試験装置の運転開始が遅れていることから、佐賀大学海洋エネルギー研究所の伊万里サテライトにて H-OTEC 用熱交換器の基礎研究を実施し、熱交換器性能を評価している。実験により得られたデータは、H-OTEC システムの最適設計手法の確立に利用され、マレーシアモデルでの H-OTEC および造水利用の関係から、海水取水深度に対する熱交換器規模を明らかにした。
- PJ4 では、H-OTEC 試験装置の設置サイトであるポートディクソンにおける表層海水取水の影響を調査するために、2020 年に表層海水の成分分析が行われ、64%が細菌、15%が未同定種、10%がウイルス、8%が古細菌、4%が真核生物で構成されていることが確認された。H-OTEC 試験装置の稼働後に放水口付近において MWQI に有意な差はみられなかった。それとともに、マレーシア周辺海域の OTEC 関連データについては、UTM Digital CENTRE の OTEC data server によりデータを収集および利用者への提供を行っている。
- PJ5 では、H-OTEC 試験装置に適用するための 3 kW 規模のタービンを開発した。H-OTEC 試験装置の圧力や流量などの運転条件からタービンを設計し、プロトタイプが製作されている。
- PJ6 では、海洋深層水を用いた藻類養殖について調査し、藻類から得られたカラギーナンを用いて食品や医薬品を製造することで、H-OTEC との複合利用による経済効果を高めることができる。さらに、海洋深層水を養殖に用いることで炭水化物、タンパク質、脂質などの含有量が増加することから、高価値食品を生産できると考えられた。
- PJ7 では、海洋深層水を用いた魚類および軟体動物の養殖について調査し、高級レストランで提供される魚介類はいずれも 100g あたり 40~60 リングットであることから、海洋深層水複合利用による高級魚の養殖に重点的に取り組むことが有効と考えられた。
- PJ8 では、マレーシアのポートディクソンに設置した H-OTEC 試験装置にて取水および放水された海水の環境への影響を調査した。H-OTEC 試験装置の海水取水口および放水口付近を含む 9 地点でサンプルを入手し、pH、電気伝導率、溶存酸素の測定を行い、H-OTEC 試験装置の運転による影響がないことが確認された。

- PJ9 では、ナノ作動流体の H-OTEC システムへの適用可能性を評価するとともに、低 GWP 作動流体の R1224yd についても、熱物性の解析を行った。
- PJ10 では、マレーシアモデルの構築のために社会実装の有力候補地が存在するマレーシア西部のサバ地域において調査を行い、Layang-layang Island、Kalumpang Island、Mengalum Island、Tawau の 4 ヶ所が適地であることが確認された。特に、Kalumpang Island および Mengalum Island の周辺海域では、水深 691 m から海洋深層水を取水できるが取水可能位置が海岸から約 40 km と離れていることから、10MW 規模の洋上浮体式 OTEC が適する。

表 4 マレーシア側のサブプロジェクトの概要

No.	テーマ	概要	リーダー
PJ1	FACILITY	海洋エネルギー研究開発施設として UPM-UTM OTEC CENTRE を建設する。	Prof. Dato Ir. Dr. A Bakar Jaafar FASc (UTM)
PJ2	OPERATION	H-OTEC 試験装置の実験を実施する。	Dr. Sathiabama T. Thirugnana (UTM)
PJ3	HEAT EXCHANGER	熱交換器の高性能化に関する研究を実施する。	Dr. Chiong Meng Soon (UTM)
PJ4	eDNA	表層・深層海水および海水中の生物を解析する。	Dr. Suriyanti Su Nyun Pau (UTM)
PJ5	TURBINE	3 kW 規模の小型タービンを開発する。	Dr Nik Ahmad Ridhwan Nik Mohd (UTM)
PJ6	SEAWEED	海洋深層水により海藻類を養殖する。	Prof. Dr. Phang Siew Moi FASc (UM)
PJ7	FISH	高付加価値の魚類や軟体動物を養殖する。	Prof. Dr. Aziz Arshad (UPM)
PJ8	SEAWATER	H-OTEC 試験装置の利用前後の海水の水質を調査する。	Dr. Ferdaus Mohamat Yusuff (UPM)
PJ9	NANOFUIDS	発電システムの高性能化および低コスト化を達成する作動流体を選定する。	Dr Natrah binti Kamaruzaman (UTM)
PJ10	BIZ DEVELOPMENT	マレーシアモデルを開発する。	Dr. Rahayu Tasnim (UTM)

※ UTM : マレーシア工科大学 (Universiti Teknologi Malaysia)

UM : マラヤ大学 (Universiti Malaya)

UPM : マレーシアプトラ大学 (Universiti Putra Malaysia)

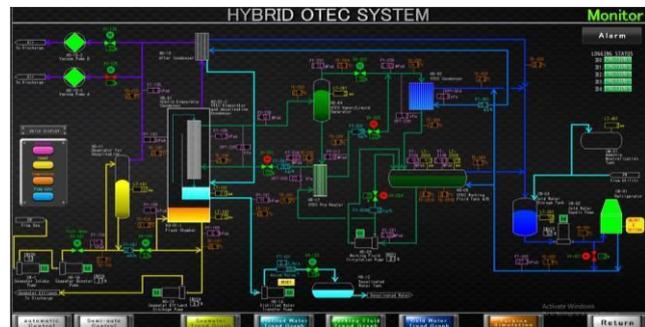
表 5 マレーシア側のマッチングファンド

Output	テーマ	サブプロジェクト
1	マレーシアの環境に適した H-OTEC 試験装置の開発	1, 2, 3, 5, 9

2	マレーシアにおける H-OTEC の最適条件の確立	2, 3, 4, 5, 8, 10
3	マレーシアにおける H-OTEC および海洋深層水の複合利用の確立	4, 6, 7, 8, 10
4	H-OTEC による環境影響および CO2 排出量の検討	3, 4, 6, 7, 8
5	OTEC および海洋深層水利用に関する人材育成	1 - 10

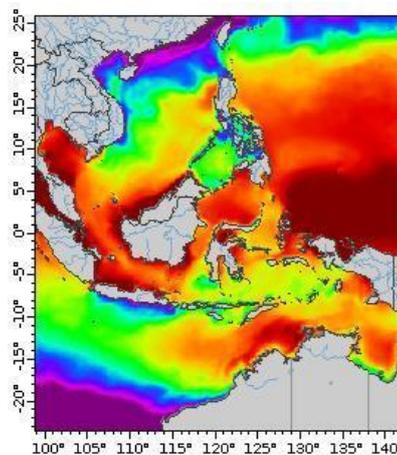
表 6 マレーシア研究チームのサブプロジェクトの成果

No.	テーマ	成果
PJ1	研究開発施設	H-OTEC 試験装置を設置する UPM-UTM OTEC CENTRE は 2023 年 8 月に完工した。
PJ2	H-OTEC 実証運転	H-OTEC 試験装置は 2024 年 10 月に試運転を完了し、試験運転を開始した。
PJ3	高性能熱交換器	熱交換器の海水汚れ付着実験を行い、海水汚れにより熱通過係数が約 56% 低下する。
PJ4	表層・深層海水解析	UTM digital center の OTEC data server により、マレーシア周辺海域の水深や水温などのデータを収集および提供している。
PJ5	3 kW タービンの開発	H-OTEC 試験装置用の 3 kW タービンを設計、開発し、2025 年 6 月に実装される。
PJ6	海藻養殖	藻類から得られたカラギーナンを用いて食品や医薬品を製造することで、H-OTEC との複合利用による経済効果が高くなる。
PJ7	魚類養殖	海洋深層水複合利用による高級魚（100g あたり 40～60 リンギット）の養殖に重点的に取り組むことが有効と考えられた。
PJ8	水質評価	H-OTEC 試験装置の利用前後で海水の水質検査を行い、海水への影響がないことが確認された。
PJ9	作動流体の開発	ナノ作動流体もしくは R1224yd を適用した場合の ORC への適用可能性を評価した。
PJ10	マレーシアモデル開発	マレーシア西部のサバ地域において、Layang-layang Island、Kalumpang Island、Mengalum Island、Tawau の 4 ヶ所が候補地として選定された。



PJ1 : UPM-UTM OTEC CENTRE の建設

PJ2 : H-OTEC 試験装置の運転操作

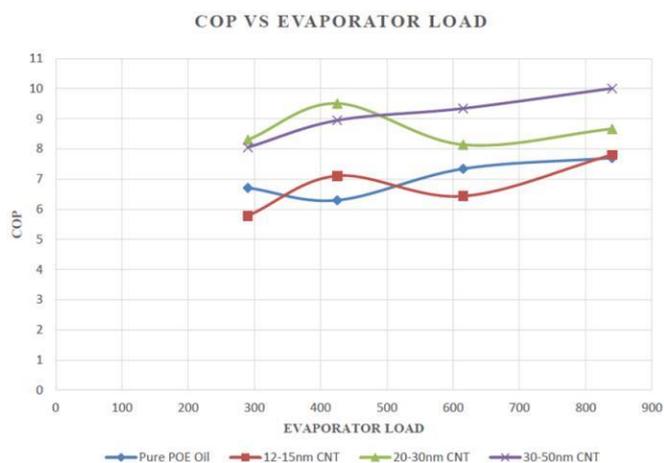


PJ3 : 熱交換器の汚れ試験装置

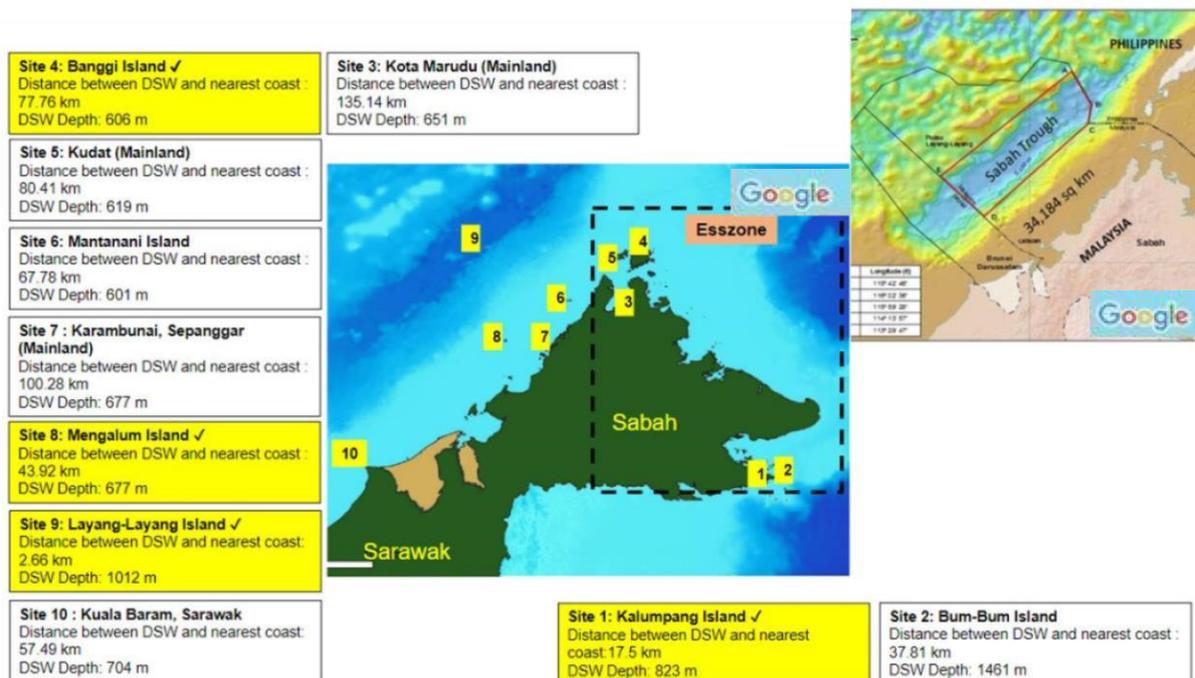
PJ4 : マレーシア周辺海域の海水温データ



PJ5 : 3 kW 規模の小型タービン



PJ9 : ナノ作動流体の COP と交換熱量との関係



PJ10 : マレーシアにおける OTEC 候補地  
 図 18 : マレーシア側のサブプロジェクト

### Ⅲ. 社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

#### (1) 成果展開事例

佐賀県の補助事業として、嬉野温泉水を熱源とした発電装置の実証試験を実施し、20 kW の発電装置を設置した。その際、H-OTEC と同様のシステムを導入した。温泉水発電は、①スケールの付着による熱交換器の性能低下、②冷却水を利用した場合の補給水の確保が課題である。H-OTEC の海洋生物付着による熱交換器の汚れ防止機能と造水機能が両課題の対策になるため、H-OTEC と同様のシステムを導入することで、発電性能を確保した。この嬉野温泉発電実証装置は、2020 年度に設置され、2021 年度から実証試験を継続して行っている。

佐賀大学海洋エネルギー研究所の池上康之教授と安永健助教は、SATREPS の事業成果を基に一般社団法人 海外環境協力センター (OECC) とともに、UNFCCC (国連気候変動枠組条約) の技術メカニズムを担う CTCN (気候技術センター・ネットワーク) の事業として、実施機関である UNIDO (国際連合工業開発機関) による「ナウル共和国における海洋温度差発電等の導入に関する Pre-FS (プレ・フィジビリティースタディ)」プロジェクトに採択され、海洋エネルギーおよび海洋温度差発電の技術的な検討およびプロジェクトの技術的アドバイスを実施した。CTCN のプロジェクトへの採択は、日本の再生可能エネルギー技術 (グリーンガス案件以外) としては初である。

アジア開発銀行 (ADB) からの依頼で、本事業関連の「KUMEJIMA MODEL」および「MALAYSIA MODEL」をパラオ共和国に展開した海洋温度差発電を核とした GX 社会モデルの提案が、2023 年 2 月にクアラルンプールで開催された ADB 主催の High Level Investor Forum on New Ocean Energy

Economy で Second Award を受賞した。

「<https://events.development.asia/learning-events/high-level-investor-forum-new-ocean-energy-economy>」

・ SATREPS 事業の実績をサバ州政府および関係者に紹介して打ち合わせを行った成果として、2024 年 4 月 25 日に、マレーシア・ボルネオ島のサバ州政府は、OTEC 推進環境を整備するため、新法の「2024 年海洋温度差エネルギー変換法」を交付、施行した。その監督・管理当局として、サバ州エネルギー委員会が指定され、研究・技術開発の支援、施設建設および運営を監督、人材開発に取り組むこととしている。

<https://www.thestar.com.my/news/nation/2024/04/25/sabah-state-assembly-passes-new-ocean-thermal-energy-conversion-enactment>

## (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) Ahmad Aiman Azmi, Takeshi Yasunaga, Kevin Fontaine, Takafumi Morisaki, Tsutomu Nakaoka, Sathiabama T. Thirugnana; Abu Bakar Jaafar; Yasuyuki Ikegami, Basic design optimization of power and desalinated water for hybrid cycle ocean thermal energy conversion system integrated with desalination plant, Journal of Marine Science and Technology, 2024, Vol.29, pp.333-352, DOI:10.1007/s00773-024-00988-3.
- (2) Yoshitaka Matsuda, Ryo Izutsu, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami, Net Power Generation Control of OTEC Plant Using Rankine Cycle with Seawater Pumps by Warm Seawater Flow Rate Regulation, IFAC-PapersOnLine, 2023, Vol.56, No.2, pp.2275-2280.

- ・マレーシアモデルの候補地の選定および推進のための作業会議を頻繁に開催している。
- ・マレーシア内で最も OTEC の発電ポテンシャルが高いサバ地域での社会実装を目指し、(1) 海洋データを用いたサバ地区内の候補地の洗い出し、(2) 地元の大学や企業との協議を継続して実施している。(2) では、サバ大学とオンラインでの協議だけでなく、実際にサバ地域に赴き、海洋深層水の複合利用事業に関連がある企業とも面談を実施している。
- ・2021 年度は、サバ大学からオンラインの OTEC 関連技術研修に 2 名が参加した。
- ・2019 年度の OTEC 技術研修結果を報告書としてまとめ、マレーシア国立図書館やインターネット (URL ; <https://otec.utm.my/files/2021/03/The-1st-SATREPS-OTEC-Training-Report-Booklet.pdf>) で公開し、一般に情報提供している。
- ・これまでマレーシアモデルの会議をオープンに年 1 回程度開催していた。
- ・2022 年 5 月 11 日には、サバ州への社会実装の推進のための、「OTEC industry engagement meeting」を日本企業 (商船三井、ENEOS、ゼネシスなど) およびマレーシア側の民間企業とともに、これまでの成果もとに具体的な社会実装について会議をクローズで開催した。
- ・これまで、SATREPS 事業の実績をサバ州政府および関係者に紹介して打ち合わせを行った成果として、2024 年 4 月 25 日に、マレーシア・ボルネオ島のサバ州政府は、OTEC 推進環境を整備するため、新法の「2024 年海洋温度差エネルギー変換法」を交付、施行した。その監督・管理当局として、サバ州エネルギー委員会が指定され、研究・技術開発の支援、施設建設および運営を監督、人材開発に取り組むこととしている。

<https://www.thestar.com.my/news/nation/2024/04/25/sabah-state-assembly-passes-new-ocean-thermal-energy-conversion-enactment>

- ・2024年6月11日、時事通信、「サバ州、海洋温度差発電を推進=新法施行、日本に打診も」

#### IV. 日本のプレゼンスの向上（公開）

- ・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、2020年オンラインで開催され、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。
- ・2021年1月に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8回）が、メキシコ主催のオンラインで開催され、本事業の研究者が45件の研究発表の中で12件の発表を行った。また、この国際シンポジウムは、本 SATREPS 事業のメンバーが International Executive Committee を担っている。
- ・国際的な海洋温度差発電の高まりから Ocean Thermal Energy Association（OTEA）が2020年10月に発足し、現在は41か国から370名のメンバーが参加している。各国および地域の代表者を選出し、本事業の研究代表者である池上康之教授が同組織の初代会長として選出された。なお、マレーシア代表はサティア博士であり、同組織の事務局および国際シンポジウムを担当している。
- ・2021年1月に、当研究所の共同利用・共同研究拠点として、国際的な共同利用・共同研究を推進するために、海洋温度差発電に関する国際共同研究のワークショップをオンラインで開催した。その際、SATREPS の事業を紹介した。SATREPS 事業への期待とともに、海洋温度差発電に関する国際共同研究の関心の高さを感じた。
- ・IRENA（国際再生可能エネルギー機関）が主催で2022年2月に開催した“Accelerating the Development of OTEC in Small Island Developing States Meeting”で招待講演を行い、本 SATREPS 事業を評価した。IRENA の事務局長は、今後、熱帯・亜熱帯島嶼地域の SDGs の達成に向けて OTEC の技術が重要であること表明するとともに、本事業を含む日本の技術を高く評価された。
- ・UNIDO（国際連合工業開発機関）の傘下機関として、国際的な GHG 排出削減、気候変動に対する脆弱性への対処を目的とし、ローカルな技術革新能力の強化、気候変動対策事業への投資増加を可能とする環境整備等のための支援を行う CTCN（気候技術センター・ネットワーク）が実施するナウル共和国での海洋温度差発電の FS を OECC とともに国際入札で2021年に採択された。本 SATREPS 事業を含む国際的な研究開発等の実績が高く評価された。CTCN は、この FS の成果およびモデルを熱帯・亜熱帯地域への社会実装の展開を期待している。なお、我が国で自然エネルギー技術として本事業に採択されたのは初である。
- ・2021年に開催された日本政府が主催する「太平洋・島サミット」の関連イベント「経済フォーラム」（JETRO 主催）において、我が国の海洋温度差発電の島嶼地域への貢献に関する講演を民間企業と行った。講演において、本 SATREPS 事業を紹介した。
- ・本 SATREPS 事業の成果を含む業績が、海洋立国日本の推進に関する特別な功績として「第15回海洋立国推進功労者内閣総理大臣表彰」を受賞した。なお、業績として下記の通り、評価頂いた「JST/JICA による SATREPS（地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム）事業『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』において、本研究所が研究開発し日本国内で製造された世界初の H-OTEC（ハイブリッド海洋温度差発電）システムが、本年度中にマレーシアに輸出される予定である。今後は、実証試験を行い、社会実装の推進と共にこれまで培ってきたノウハウを元に人材育成を行い、これらの社会実装の成果を、熱帯、亜熱帯地域へ展開することを目指している」（当時）

[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/2022/1420210\\_00005.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/2022/1420210_00005.htm)

- 2023 年度に、本 SATREPS の公開のセミナーおよび国際会議での発表の等により国際的に SATREPS の事業を広く周知できた。その成果として、トンガ大使や外務省の要望によるカリコム諸国の 14 か国の外交官が、久米島を視察し、SATREPS 事業に成果と展望について、意見交換を行った。
- COP28 において、トンガ王国の首相（SIDS DOCK 議長）であるソバレニ（Hu‘akavameiliku）氏が、下記の通り、海洋温度差発電に関する声明を発表

“SIDS are in a desperate situation, as we have little space left to deploy land-based solar PV and wind to meet our energy needs. The ocean is our resource of last resort,”

「SIDS（小島嶼開発途上国：Small Island Developing States）は絶望的な状況にあり、エネルギー需要を満たすために陸上の太陽光発電や風力発電を導入するスペースはほとんど残っていません。海は最後の頼みの綱なのです。として、海洋温度差発電を核として海洋深層水利用の島嶼 GX 社会モデルとして、「久米島モデル」等の島嶼地域への 500 百万ドルの支援を呼びかけた。なお、小島嶼開発途上国（SIDS：Small Island Developing States）は、国連にて、40 の主権国家と 12 の自治領・非独立地域を認定されている組織

<https://sidsdock.org/sids-dock-press-release-a7apr0032023/>

- 2024 年 4 月 25 日に、マレーシア・ボルネオ島のサバ州政府は、OTEC 推進環境を整備するため、新法の「2024 年海洋温度差エネルギー変換法」を交付、施行した。その監督・管理当局として、サバ州エネルギー委員会が指定され、研究・技術開発の支援、施設建設および運営を監督、人材開発に取り組むこととしている。

<https://www.thestar.com.my/news/nation/2024/04/25/sabah-state-assembly-passes-new-ocean-thermal-energy-conversion-enactment>

- 2024 年 6 月 11 日、時事通信、「サバ州、海洋温度差発電を推進=新法施行、日本に打診も」
- 2024 年 7 月 16～18 日の 18 か国の大統領および首相による首脳レベルの「太平洋・島サミット」の「第 10 回太平洋・島サミット共同行動計画」において、はじめて、次世代の脱炭素化技術である海洋温度差発電(OTEC)の導入の検討を宣言した。

[https://www.mofa.go.jp/mofaj/a\\_o/ocn/pagew\\_000001\\_00252.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/a_o/ocn/pagew_000001_00252.html)

- 2024 年 9 月 3 日、外務省・JICA が、佐賀大学の技術支援でパラオ共和国に海洋温度差発電の社会実装を目指すことを表明
- 2024 年 11 月 11 日から 24 日にアゼルバイジャンで開催された COP29 において、日本政府が開設したバーチャル・パビリオンで佐賀大学と海洋温度差発電、「久米島モデル」が紹介された。

<https://youtu.be/yikwT7gINy>

<https://www.env.go.jp/earth/cop/cop29/pavilion/en/>

- 2025 年 1 月 10 日に、石破茂内閣総理大臣は、アンワル・イブラヒム・マレーシア首相との日・マレーシア首脳会談において、エネルギー安全保障の確保と多様な道筋による脱炭素化に向けて、資源・

インフラ協力の推進を確認し、具体的に、初めて海洋温度差発電分野に関する技術協力を表明した。

[https://www.mofa.go.jp/mofaj/s\\_sa/sea2/my/pageit\\_000001\\_01456.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/s_sa/sea2/my/pageit_000001_01456.html)

- 2025年1月20日に、マレーシア高等教育省（MoHE）副大臣、四方敬之 在マレーシア日本国特命全権大使の来賓を迎えて、本事業で導入した H-OTEC を設置した UPM-UTM OTEC CENTRE の開所式を行った。本開所式は、時事通信をはじめマレーシアのメディアに多く取り上げられた（図19）。



開所式セレモニー



来賓者と記念撮影

図 19 : UPM-UTM OTEC CENTRE の開所式

<https://news.utm.my/2025/01/upm-utm-otec-centre-launches-worlds-first-hybrid-otec-system/>

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。)
2020	Sathiabama T. Thirugnana, Abu Bakar Jaafar, Takeshi Yasunaga, Tsutomu Nakaoka, Yasuyuki Ikegami, Suriyanti Su, Estimation of Ocean Thermal Energy Conversion Resources in the East of Malaysia, Journal of Marine Science and Engineering 2020, Vol.9, No.1, p.22	10.3390/jmse9010022	国際誌	発表済	Open access (IF=2.033)
2021	Siti Norasyiqin Abdul Latif, Meng Soon Chiong, Srithar Rajoo, Asako Takada, Yoon-Young Chun, Kiyotaka Tahara, Yasuyuki Ikegami, The Trend and Status of Energy Resources and Greenhouse Gas Emissions in the Malaysia Power Generation Mix, Energies, 2021, Vol.14, No.8, p.2200	10.3390/ener14082200	国際誌	発表済	Open access (IF=2.702)
2022	Ming Hui Tan, Meng Soon Chiong, Yoon-Young Chun, Kenichiro Tsukahara, Kiyotaka Tahara, An Analysis of Practices and Challenges for Plastic Recycling Industry in Malaysia, Int. J. of Automation Technology, 2022, Vol.16 No.6, pp.831-837	10.20965/ijat.2022.p0831	国際誌	発表済	Open access
2023	Sathiabama T. Thirugnana, Abu Bakar Jaafar, Srithar Rajoo, Ahmad Aiman Azmi, Hariharan Jai Karthikeyan, Takeshi Yasunaga, Tsutomu Nakaoka, Hesam Kamyab, Shreesivadasan Chelliapan, Yasuyuki Ikegami, Performance Analysis of a 10 MW Ocean Thermal Energy Conversion Plant Using Rankine Cycle in Malaysia, Sustainability, 2023, Vol.15, No.4, p.3777	10.3390/su15043777	国際誌	発表済	Open access (IF=3.889)
2024	Ahmad Aiman Azmi, Takeshi Yasunaga, Kevin Fontaine, Takafumi Morisaki, Tsutomu Nakaoka, Sathiabama T. Thirugnana, Abu Bakar Jaafar, Yasuyuki Ikegami, Basic design optimization of power and desalinated water for hybrid cycle ocean thermal energy conversion system integrated with desalination plant, Journal of Marine Science and Technology, 2024, Vol.29, pp.333-352.	10.1007/s00773-024-00988-3	国際誌	発表済	Open Access
2024	NurFatin Solehah Husin, Hui-Yin Yeong, Fiona Seh-Lin Keng, Shin Hirayama, Siew-Moi Phang, Sustainable high-quality seaweed production from deep seawater, Aquaculture International, 2024, Vol.32, No.6, pp.7319-7353.	10.1007/s10499-024-01517-0	国際誌	発表済	Open Access

論文数 6 件  
 うち国内誌 0 件  
 うち国際誌 6 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, Entropy, Vol.2, No.2, p.211	10.3390/entropy2020211	国際誌	発表済	Open access (IF=2.524)
2019	Kevin Fontaine, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami, OTEC Maximum Net Power Output Using Carnot Cycle and Application to Simplify Heat Exchanger Selection, Entropy, 2019, Vol.21, No.12, p.1143	10.3390/entropy21121143	国際誌	発表済	Open access (IF=2.524)
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, 2019, Vol.9, No.12, p.2200	10.3390/jmse9122200	国際誌	発表済	Open access (IF=2.524)
2019	池上 康之, 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, 日本機械学会論文集, 2020, Vol.86, No.883, p.19-00370	10.1299/transjsme.19-00370	国内誌	発表済	Open access
2020	安永健, 池上康之, 海洋温度差発電の基礎発電特性(熱力学的モデルの構築と熱源流量の影響), 日本機械学会論文集, Vol.86, No.886	10.1299/transjsme.19-00383	国内誌	発表済	Open access
2021	浦田和也, 安永健, 池上康之, 小見聡史, 富賀見清彦, 田中辰彦, 鎌野忠, 石田雅照, 大原順一, 西田哲也, 中岡勉, 久米島沖における海洋温度差発電と海洋深層水複合利用のための海洋調査, 海洋深層水研究, 2021, Vol.22, No. 2, pp.39-47		国内誌	発表済	Open access
2021	Takeshi Yasunaga, Kevin Fontaine, Yasuyuki Ikegami, Performance evaluation concept in ocean thermal energy conversion towards standardization and intelligent design, Energies, 2021, Vol.14, No.8, p.2336.	10.3390/ener14082336	国際誌	発表済	Open access (IF=2.702)
2022	Yoshitaka Matsuda, Daisuke Suyama, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Construction of state-space model with multiple flow rate inputs for an OTEC plant using Rankine cycle, SICE Journal of Control, Measurement, and Integration, Vol.15, No.2, pp.89-98.	10.1080/18824889.2022.2080471	国際誌	発表済	Open access
2023	Yoshitaka Matsuda, Ryo Izutsu, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami, Net Power Generation Control of OTEC Plant Using Rankine Cycle with Seawater Pumps by Warm Seawater Flow Rate Regulation, 2023, Vol.56, No.2, pp.2275-2280	10.1016/j.ifacol.2023.10.1193	国際誌	発表済	Open access
2023	Muhammad Iqbal Habib, Ristiyanto Adiputra, Aditya Rio Prabowo, Erwandi Erwandi, Nurul Muhayat, Takeshi Yasunaga, Soren Ehlers, Moritz Braun, Internal flow effects in OTEC cold water pipe: Finite element modelling in frequency and time domain approaches, 2023, Vol.288, No.1, pp.116056	10.1016/j.oceaneng.2023.116056	国際誌	発表済	Open access

2024	Jessica Borges Posterari, Takuji Waseda, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Spatial and Temporal Variability of Ocean Thermal Energy Resource of the Pacific Islands, <i>Energies</i> , 2024, Vol.17, No.11, pp.2766.	10.3390/ener17112766	国際誌	発表済	Open access
2024	Takafumi Morisaki, Junichi Ohara, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Performance analysis of double-stage heat pump and refrigeration cycles, <i>Applied Thermal Engineering</i> , 2024, Vol.253, p.12372.	10.1016/j.applthermaleng.2024.123732	国際誌	発表済	Open access
2024	Takafumi Morisaki, Naoki Nakashima and Yasuyuki Ikegami, Performance analysis of a hybrid hot spring thermal energy conversion system using self-supply water, <i>Renewable Energy</i> , 2024, Vo.239, p.122072.	10.1016/j.renene.2024.122072	国際誌	発表済	Open access
2024	Kevine Fontaine, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami, Ocean thermal energy conversion net power maximization for the optimization of plate heat exchanger geometry, <i>International Journal of Thermofluids</i> , 2025, Vol.26, p.101115.	10.1016/j.ijft.2025.101115	国際誌	発表済	Open access

論文数	14 件
うち国内誌	3 件
うち国際誌	11 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	池上 康之, 安永 健, 奥野 智也, ハイブリッドサイクルOTECのパラメータ解析, OTEC, 2019, Vol.24, pp.41-46		総説	発表済	
2020	安永健, 中村泰誠, 奥野智也, 池上康之, 直交流型プレート式熱交換器を用いた海洋温度差発電の性能評価, OTEC, Vol.25, pp.69-74		報告書	発表済	Open access
2020	A. Bakar Jaafar, Mohd Khairi Abu Husain and Azrin Ariffin, Research and Development Activities of Ocean Thermal Energy-Driven Development in Malaysia, Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) - Past, Present, and Progress		書籍	発表済	Open access DOI: 10.5772/intechopen.90610
2021	中山 雅士, 安永 健, 森崎 敬史, 佐々木 究, 大津 康徳, 池上 康之, “透明樹脂プレート式蒸発器内部の可視化と画像処理を用いたボイド率測定方法の検討”, 2021, OTEC, Vol.26, pp.13-18		報告書	発表済	Open access
2021	宮崎 彬, 安永 健, Kevin Fontaine, 池上 康之, “熱力学的視点からの海洋温度差発電向け熱交換器の性能評価手法の提案”, 2021, OTEC, Vol.26, pp.19-26		報告書	発表済	Open access
2021	宮園 修路, 安永 健, 中村 泰誠, 池上 康之, 森崎 敬史, “ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電のためのプレート式蒸発・凝縮器の伝熱性能評価”, 2021, OTEC, Vol.26, pp.43-47		報告書	発表済	Open access
2022	安永 健, 森崎 敬史, 池上 康之, “ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電の開発”, 自動車技術, Vol.76, No.7, pp.106-112		解説	発表済	
2022	Takeshi Yasunaga, Extracting energy from seawater: A thermodynamic dilemma, Vol.143, pp.30-33		解説	発表済	Open access
2022	吉村 英行, 大原 順一, 西田 哲也, 古賀 淳司, 田中 辰彦, 富賀見 清彦, 井原 剛, 岡本 平太, 中村 公彦, 植田 貴宏, 中塚 久輝, 榊 良祐, 山本 幸典, 広瀬 直毅, 安永 健, 森崎 敬史, 浦田 和也, 平山 伸, 池上 康之, 久米島における海洋温度差発電プラント設置のための海洋調査(2016年~2022年における水温, 塩分, 溶存酸素量の評価), 2023, OTEC, Vol.27, pp.35-57		報告書	発表済	Open access
2023	安永健, 海洋エネルギー開発の現状と課題(特集 再生可能エネルギーと水産業: 「協調・共生」への要件), アクアネット, Vol. 26, No. 8, pp.40-47.		解説	発表済	
2023	安永健, Kevin Fontaine, 大津康徳, 池上康之, Sathibama T. Thirugnana, Abu Bakakar Jaafar, 低エンタルピー熱発電向けリンボン型プレート式熱交換器の形状最適化(熱源側の熱伝達および圧力損失の考察), 2023, OTEC, Vol.28, pp.63-73.		報告書	発表済	Open access
2023	森崎敬史, 海洋温度差発電の動向・展望 特集 海洋再生可能エネルギーの動向・展望, 太陽エネルギー, Vol. 49, No. 4, pp.23-30.		解説	発表済	
2023	安永健, 海洋温度差発電システムの基礎発電特性と海水資源利用, 日本海水学会誌, Vol. 78, No. 1, pp.38-43.		解説	発表済	
2023	Ristiyanto Adiputra, Rasgianti, Erwandi, Ariyana Dwiputra Nugraha, Navik Puryantini, Takeshi Yasunaga, Ocean Thermal Energy Conversion: Technological Readiness and Indonesia Progress		書籍	発表済	In book: Indonesia's Energy Transition Preparedness Framework Towards 2045 DOI: 10.55981/brin.892.c812
著作物数			14 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	Report of Training on SATREPS-OTEC Project, 'The 1st on the site training of OTEC and DSW applications', Purpose: To provide training on OTEC, focusing on the transfer of knowledge, research expertise, and practical experience., Participants: 10 researchers from Malaysia, JFY2019	トレーニング報告書	
2020	2nd Training (online) on "SATREPS-OTEC and DSW Application", Purpose: To provide training on OTEC, focusing on the transfer of knowledge, research expertise, and practical experience., Participants: 12 researchers from Malaysia, JFY2020		
2021	Introduction of H-OTEC System (Technical Transfer Meeting), Purpose: Briefing during the trial assembly of the H-OTEC test plant in Japan, Participants: 50 resarchers in SATREPS-OTEC project, JFY2021		

2021	3rd Training (online) on "SATREPS-OTEC and DSW Application", Purpose: To provide training on OTEC, focusing on the transfer of knowledge, research expertise, and practical experience., Participants: 8 researchers from Malaysia, JFY2021		
2022	4th Training (on-site) on "SATREPS-OTEC and DSW Application", Purpose: To provide training on OTEC, focusing on the transfer of knowledge, research expertise, and practical experience., Participants: 12 researchers from Malaysia, JFY2022		
2022	Report of Training on SATREPS-OTEC Project, 'Operation Manual on Heat Exchanger Fouling Test Unit', Participants: 17 researchers from Malaysia, JFY2022	トレーニング報告書	
2023	Training on "Turbine Simulator Training of H-OTEC test plant", Participants: 2 researchers from Malaysia, JFY2023		
2024	Training on "H-OTEC Operation Training", Participants: 25 researchers from Malaysia, JFY2024		
2024	5th Training (on-site) on "SATREPS-OTEC and DSW Application", Purpose: To provide training on OTEC, focusing on the transfer of knowledge, research expertise, and practical experience., Participants: 12 researchers from Malaysia, JFY2024		

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. Thirugnana, 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
2020	国内学会	安永健(佐賀大学), ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電の性能特性, 海洋深層水利用学会全国大会, 2020年10月	口頭発表
2020	国内学会	中岡勉(佐賀大学), マレーシア海域での海洋熱エネルギー量の推算, 海洋深層水利用学会全国大会, 2020年10月	口頭発表
2021	国際学会	Yasunaga, T., Morisaki, T., Miyazono, S., Nakamura, T., Thirugnana, T. S. Jaafar, A. B., Chiong, M. S Nakaoka, T., Ikegami, Y., Heat Transfer Performance Test of A Plate Type Heat Exchanger for Hybrid Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) System, The 1st International Conference of Advanced Research on Renewable Energy for Universal Sustainability 2021 (ARUS 2021), 2021	招待講演
2021	国際学会	A. Bakar Jaafar, Mohd Khairi Abu Husain, Sathiabama T. Thirugnana, Syuhaida Ismaila, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Ocean Thermal Energy-Driven Development for Sustainability, Proceedings of 9th International Conference on Applied Science and Technology (ICAST), Virtual conference, Apr. 2021, Online	口頭発表
2022	国際学会	Karthikeyan, H. J., Thirugnana, S.T., Chelliapan, S., Yasunaga, T., Ikegami, Y., COMPONENTS IN CLOSED CYCLE OTEC SYSTEM: A REVIEW, Proceedings of 18th International Conference on Clean Energy, Jul. 2022, Online	口頭発表
2022	国際学会	Azmi, A. A., Yasunaga, T., Ikegami, Y., Fontaine, K., Thirugnana, S. T., Jaafar, A. B., AN ASSESSMENT ON TECHNICAL CHALLENGES OF HEAT EXCHANGER IN HYBRID OTEC, Proceedings of 18th International Conference on Clean Energy, Jul. 2022, Online	口頭発表

招待講演 1 件  
口頭発表 7 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 ISCIIE 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, DOI:10.23919/ICCAS47443.2019.8971571	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, Hiroshima, Japan, Sep. 2019, DOI: 10.23919/SICE.2019.8859969	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温泉水バイナリー発電の性能評価, 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(佐賀大), 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(佐賀大), 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
2020	国際学会	Takeshi Yasunaga (IOES), Thermodynamics for the Standardization of Performance Evaluation on OTEC, 8th International OTEC symposium, Online, 29 January 2021	口頭発表
2020	国際学会	Kevin Fontaine (IOES), Simplification of Heat Exchanger Selection for OTEC Using Carnot Cycle Based Maximum Power Output Assessment, 8th International OTEC symposium, Online, 27 January 2021	ポスター発表
2020	国際学会	Takeshi Yasunaga (IOES), Yasuyuki Ikegami, Theoretical Model Construction for Renewable Low-grade Thermal Energy Conversion: An Insight from Finite-time Thermodynamics, IIR Rankine 2020 Conference, Online, 27-31 July 2020, DOI:10.18462/iir.rankine.2020.1185	口頭発表
2020	国際学会	Takeshi Yasunaga, Tomoya Okuno (IOES), Yasuyuki Ikegami, Parametric Analysis of Novel Self-water Supply ORC Power System for Hot Spring Thermal Energy Conversion, IIR Rankine 2020 Conference, Online, 27-31 July 2020, DOI:10.18462/iir.rankine.2020.1184	口頭発表
2020	国際学会	Yasutaka Matsuda (IOES), Construction of a State Space Model for an OTEC Plant Using Rankine Cycle with Heat Flow Rate Dynamics, 21st IFAC World Congress, Online, July 2020	口頭発表
2020	国際学会	Yoshitaka Matsuda (IOES), Ryoichi Sakai, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Construction of a State Space Model for a Spray Flash Desalination System, 4th IEEE Conference on Control Technology and Applications, Online, August 2020, DOI:10.1109/CCTA41146.2020.9206347	口頭発表
2020	国際学会	Yoshitaka Matsuda (IOES), Daiki Suyama, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Construction of a State Space Model with Warm and Cold Seawater Flow Rate Inputs for an OTEC Plant Using Rankine Cycle, 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Online, September 2020	口頭発表
2020	国内学会	奥野智也 (IOES) 自己冷熱給水型オーガニック・ランキサイクルによる 温泉水度差発電の性能解析, 日本機械学会熱工学コンファレンス2020, 2020年9月, DOI: 10.1299/jsmedet.2020.0041	口頭発表
2020	国内学会	中村泰誠 (IOES), 直交流型熱交換器を用いた海洋温度差発電システムの基礎出力特性に関する研究, 日本機械学会熱工学コンファレンス2020, 2020年9月	口頭発表
2021	国際学会	Yasuyuki Ikegami, Malaysian Global Leadership in Promoting Achievement of the SDGs, Renewable Energy, and Innovation, The 1st International Conference of Advanced Research on Renewable Energy for Universal Sustainability 2021 (ARUS 2021),	招待講演
2021	国際学会	Yasuyuki IKEGAMI, Hydrogen Production using Ocean Thermal Energy Conversion as a Globally Leading Advanced System in Malaysia, INTERNATIONAL HYDROGEN ECONOMY FORUM AND STRATEGIC LAB THEME 'VISIONING A HYDROGEN ECONOMY FOR MALAYSIA'	招待講演
2021	国内学会	安永健, 久米島における海洋温度差発電を核とした海洋深層水の複合利用～ KUMEJIMA MODEL (久米島モデル)～, 第1回JDA Round-Talk, 2021年11月	招待講演
2021	国内学会	安永健, 海洋温度差発電の開発と展望 ～熱交換器を熱力学的視点で評価する～, 日本伝熱学会東北支部秋季伝熱セミナー, 2021年10月	招待講演
2021	国内学会	池上康之, “地球規模で考える脱CO <sub>2</sub> と海洋エネルギー可能性・地域経済活性化”, 第6回「脱CO <sub>2</sub> :社会の実現による経済成長と持続的発展を考える」専門委員会, 2021年9月	招待講演
2021	国際学会	Yasuyuki Ikegami (IOES), Applications and Benefits of OTEC, Accelerating the Development of OTEC in Small Island Developing States Meeting, IRENA	招待講演
2021	国際学会	Kotaro Ushijima (Saga Univ.), Yoshitaka Matsuda, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami. A Pseudomeasurement Approach to State Estimation for Liquid Level Control of Separator in an OTEC Plant Using Uehara Cycle, The 53rd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, Extended Abstract of the 53rd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, Online, Oct. 2021, DOI: 10.5687/sss.2022.129	口頭発表

2021	国際学会	Takeshi Yasunaga, Taisei Nakamura (IOES), Tomoya Okuno and Yasuyuki Ikegami, Exergetic performance evaluation of ocean thermal energy conversion system with crossflow plate heat exchangers, Proceedings of 6th International Symposium on ORC Power Systems, Online, Oct. 2021, DOI: 10.14459/2021mp1633113	口頭発表
2021	国際学会	Takeshi Yasunaga, Akira Miyazaki (IOES), Kevin Fontaine, Yasuyuki Ikegami, Comprehensive heat exchanger performance evaluation method on ocean thermal energy conversion for maximum net power, Proceedings of 6th International Symposium on ORC Power Systems, Online, Oct. 2021, DOI: 10.14459/2021mp1633024	口頭発表
2021	国際学会	Yoshitaka Matsuda, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Construction of a dynamic model for an OTEC plant using hybrid cycle based on a simple dynamic model, Proceedings of SICE Annual Conference 2021, Online, Sep. 2021	口頭発表
2021	国内学会	池上 康之, 安永 健, 奥野 智也, 中村 泰誠, 宮園 修路, 森崎 敬史, ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電の蒸発・凝縮器の伝熱性能評価, 第25回動力・エネルギー技術シンポジウム, オンライン, 2021年7月.	口頭発表
2021	国内学会	陶山大暉, 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冷海水流量を入力とした状態空間, モデル, 第65回システム制御情報学会研究発表講演会, オンライン, 2021年5月	口頭発表
2021	国内学会	安永 健, 宮崎 彬, Kevin Fontaine, 池上 康之, Finite-time Thermodynamics に基づく海洋温度差発電用熱交換器の性能評価指標の提案, 第25回動力・エネルギー技術シンポジウム, オンライン, 2021年7月	口頭発表
2021	国内学会	松尾優佑 (佐賀大), 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 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プラントの水位制御モデルを用いた遠隔操作システムの開発, 2021年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, オンライン, 2021年9月	口頭発表
2021	国内学会	松尾優佑 (佐賀大), 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, 江頭成人, 久米島に設置されたスプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化プラントの遠隔監視システムの開発, 2021年度(第74回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, オンライン, 2021年9月	口頭発表
2021	国内学会	池上康之, 安永健, 森崎敬史 (佐賀大), 奥野智也, ハイブリッドサイクルを用いた温泉水発電の性能解析, 機械学会熱工学コンファレンス2021, オンライン, 2021年10月	口頭発表
2021	国内学会	陶山大暉 (佐賀大), 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温冷海水流量を入力とした状態空間モデル, 第64回自動制御連合講演会, オンライン, 2021年11月	口頭発表
2021	国内学会	松田吉隆, 陶山大暉 (佐賀大), 杉剛直, 後藤聡 (佐賀大), 森崎敬史, 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温冷海水流量を入力とした状態空間モデル, 第64回自動制御連合講演会, オンライン, 2021年11月	口頭発表
2022	国内学会	江原彩斗, 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, オブザーバを用いたスプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化システムの水位制御, 第41回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 福岡, 2021年12月	口頭発表
2022	国内学会	江原彩斗, 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, オブザーバを用いたスプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化システムの水位制御, 第41回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 福岡, 2021年12月	口頭発表
2022	国内学会	井筒遼, 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの作動流体流量調節による発電量制御, 第65回自動制御連合講演会, 栃木, 2022年11月	口頭発表
2022	国際学会	Benjamin Martin, Shin Okamura, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami, Naoki Ota, OTEC and Advanced Deep Ocean Water Use for Kumejima: An Introduction, Proceedings of OCEANS 2022, Chennai, Feb. 2022, DOI: 10.1109/OCEANSCennai45887.2022.9775240	口頭発表
2022	国際学会	Yoshitaka Matsuda, Ayato Ehara (Saga Univ.), Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Construction of a State Space Model for a Spray Flash Desalination System with Valve Dynamics, SICE Annual Conference 2022, Kumamoto, JAPAN (Hybrid Conference), Sep. 2022	口頭発表
2022	国際学会	Yoshitaka Matsuda, Daiki Suyama (Saga Univ.), Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Construction of a State Space Model with Working Fluid Flow Rate Inputs for an OTEC Plant Using Double-stage Rankine Cycle, SICE Annual Conference 2022, Kumamoto, JAPAN (Hybrid Conference), Sep. 2022	口頭発表
2022	国際学会	Yoshitaka Matsuda, Ryo Izutsu (Saga Univ.), Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Power Generation Control of OTEC Plant Using Hybrid Cycle by Cold Seawater Flow Rate Regulation, SICE Annual Conference 2022, Kumamoto, JAPAN (Hybrid Conference), Sep. 2022	口頭発表
2022	国内学会	松尾優佑 (佐賀大), 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 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プラントの海水弁の遠隔操作システムの開発, 2022年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 広島, 2022年9月	口頭発表
2022	国内学会	井筒遼 (佐賀大), 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの温海水流量調節による発電量制御, 第66回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 2022年5月	口頭発表

2022	国際学会	Kotaro Ushijima (Saga Univ.), Yoshitaka Matsuda, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, A Pseudo-measurement Approach to State Estimation for Liquid Level Control of Separator in an OTEC Plant Using Uehara Cycle, The 53rd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, Shiga, JAPAN, HYBRID symposium, Apr. 2022, pp. 129-134, DOI: 10.5687/sss.2022.129	口頭発表
2023	国際学会	Yoshitaka Matsuda (Saga Univ.), Ryo Izutsu, Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Power Generation Control of OTEC Plant Using Hybrid Cycle by Warm and Cold Seawater Flow Rate Regulation, Proceedings of SICE Annual Conference 2023, Sep., 2023	口頭発表
2023	国内学会	安永健(佐賀大), 森崎敬史, 池上康之, “海洋温度差発電のポテンシャル(熱力学的考察)”, 第27海海洋深層水利用学会全国大会, 佐渡, 2023年10月	口頭発表
2023	国内学会	江原彩斗(佐賀大), 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, “最適レギュレータを用いたスプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化システムの補助凝縮器水位制御実験”, 第42回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 長崎, 2023年12月	口頭発表
2023	国内学会	松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, 江頭成人, “ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの遠隔監視システムの開発”, 第42回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 長崎, 2023年12月	口頭発表
2023	国内学会	森崎敬史, 安永健, 中島直紀, 池上康之, “R1224ydを用いたハイブリッド温泉水温度差発電の性能解析”, 熱工学コンファレンス2023, 兵庫, 2023年10月	口頭発表
2023	国内学会	中川綾乃, 二串綾修, 安永健, 森崎敬史, 池上康之, “プレート式蒸発器の可視化によるボイド率の時間変化に関する研究”, 熱工学コンファレンス2023, 兵庫, 2023年10月	口頭発表
2023	国内学会	田中翔大, 安永健, 森崎敬史, 池上康之, “ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電の最適設計(不凝縮ガス濃度の影響)”, 日本機械学会九州支部九州学生会 第55回学生員卒業研究発表講演会, 沖縄, 2024年3月	口頭発表
2024	国内学会	松田吉隆 (IOES), 井筒遼, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, “海水ポンプ動力を考慮したハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの温海水流量調節による正味発電量制御”, 第68回システム制御情報学会研究発表講演会, 大阪, 2024年5月	口頭発表
2024	国内学会	田中翔大, 安永健, 森崎敬史, 池上康之, “ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電の最適設計に関する研究”, 第28回動力・エネルギー技術シンポジウム, 京都, 2024年06月	口頭発表
2024	国内学会	平石智之, 森崎敬史, 池上康之, “低GWP冷媒を用いたハイブリッド温泉温度差発電の性能解析”, 第28回動力・エネルギー技術シンポジウム, 京都, 2024年06月	口頭発表
2024	国内学会	原口 貴行, 宮崎彬, 森崎敬史, 池上康之, “海洋深層水の複合利用を目的とした海洋温度差発電システムの最適化手法”, 第28回動力・エネルギー技術シンポジウム, 京都, 2024年06月	口頭発表
2024	国内学会	Yoshitaka Matsuda, Yoshiki Aoyagi (Saga Univ.), Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Construction of a State Space Model with Warm Seawater Flow Rate Input for OTEC Plant Using Hybrid Cycle, Proceedings of SICE Annual Conference 2024, Kochi University of Technology Eikokuji Campus, Kochi, JAPAN, August 27-30, 2024	口頭発表
2024	国内学会	Yoshitaka Matsuda, Shoki Eguchi (Saga Univ.), Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Construction of a Simple Dynamic Model for STEC Plant Using Hybrid Cycle, Proceedings of SICE Annual Conference 2024, Kochi University of Technology Eikokuji Campus, Kochi, JAPAN, August 27-30, 2024	口頭発表
2024	国内学会	Yoshitaka Matsuda, Shota Harano (Saga Univ.), Takenao Sugi, Satoru Goto, Takafumi Morisaki, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Water Level Control of a Spray Flash Desalination System Using Model Predictive Control, Proceedings of SICE Annual Conference 2024, Kochi University of Technology Eikokuji Campus, Kochi, JAPAN, August 27-30, 2024	口頭発表
2024	国内学会	松田吉隆 (IOES), 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, 江頭成人, “ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの性能評価機能を有する遠隔監視システムの開発”, 2024年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 大阪, 2024年9月	口頭発表
2024	国内学会	松田吉隆 (IOES), 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, 江頭成人, “ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの遠隔操作システムの開発”, 2024年度(第77回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 鹿児島, 2024年9月	口頭発表
2024	国内学会	池上康之, 森崎敬史 (IOES), “海洋温度差発電を核とした「GX離島モデル」の現状と展望 ～「KUMEJIMA MODEL」で持続可能なエネルギーと水と食糧・雇用創出を目指して～”, 2024年度日本海水学会 第75年会研究技術発表会 シンポジウム「海洋エネルギー開発の現状と未来」, 沖縄, 2024年6月	招待講演
2024	国内学会	小久保芽衣 (IOES), 池上康之, 森崎敬史, “海洋温度差発電を核とした海洋深層水複合利用の評価方法に関する研究”, 第28回海洋深層水利用学会全国大会, 高知, 2024年10月	口頭発表
2024	国内学会	青柳佳希(佐賀大), 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, “ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの冷海水流量を入力とした状態空間モデルの構築と発電量制御”, 第67回自動制御連合講演会, 兵庫, 2024年11月	口頭発表
2024	国内学会	江口昇希(佐賀大), 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, “ハイブリッドサイクルを用いた温泉温度差発電プラントの温泉水流量調節による発電量制御”, 第67回自動制御連合講演会, 兵庫, 2024年11月	口頭発表

2024	国内学会	松田吉隆 (IOES), 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 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プラント流量調節弁の遠隔操作実験”, 第43回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 熊本, 2024年11月	口頭発表
2024	国内学会	江口昇希 (佐賀大), 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, “むだ時間を有するランキンサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの気液分離器と作動流体タンクを考慮した発電量制御”, 第43回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 熊本, 2024年11月	口頭発表
2024	国内学会	原野翔太 (佐賀大), 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之, “モデル予測制御を用いたスプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化システムの水位制御実験”, 第43回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 熊本, 2024年11月	口頭発表
2024	国内学会	越川京兆 (IOES), 森崎敬史, 池上康之, “低GWP作動流体を用いた自己給水型ハイブリッド温泉温度差発電に関する実験的研究”, 日本地熱学会令和6年学術講演会(東京大会), 東京, 2024年11月	口頭発表

招待講演	7 件
口頭発表	66 件
ポスター発表	2 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
2020	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
2021	2022/1/28	the ORC2021 conference engagement award	学会会期中の参加や貢献	Takeshi Yasunaga	the ORC2021 organizers	その他	
2021	2022/2/3	防災・減災×サステナブル大賞2023	海洋温度差発電および発電利用後海水複合利用に関する利用実証業務	海洋エネルギー研究所・沖縄県久米島町	一般社団法人減災サステナブル技術協会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	本事業関連の久米島での久米島モデルの社会実装および実績
2022	2023/3/1	第15回海洋立国推進功労者内閣総理大臣表彰	海洋エネルギーの未来を切り開く研究成果と人材育成で世界を牽引	海洋エネルギー研究所	文部科学省、国土交通省、農林水産省、経済産業省及び環境省	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2022	2023/2/7	Second Award	High Level Investor Forum on New Ocean Energy Economy	海洋エネルギー研究所、(株)ゼネシス	ADB(アジア開発銀行)	3.一部当課題研究の成果が含まれる	本事業関連の久米島モデルおよびマレーシアモデルの国際展開「知の世界展開」の社会実装モデル

5 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
2020	2021/2/7	Universiti Teknologi Malaysia	Establishment of OTEA - To Promote OTEC for Sustainability of Mankind	<a href="https://news.utm.my/2021/02/establishment-of-otea-to-promote-otec-for-sustainability-of-mankind/?gclid=C4xNzA0MTYzNzI2*ga_N3HJW8G3P7*MTcxMjIxMDAxMi4zNS4xLiE3MTIyMTAyMzIuNiAuMjC4w">https://news.utm.my/2021/02/establishment-of-otea-to-promote-otec-for-sustainability-of-mankind/?gclid=C4xNzA0MTYzNzI2*ga_N3HJW8G3P7*MTcxMjIxMDAxMi4zNS4xLiE3MTIyMTAyMzIuNiAuMjC4w</a>	その他	海洋温度差発電協会(OTEA)の設立と活動の紹介
2022	2022/8/10	Berita Harian Online	Kerjasama UTM, UPM bangun makmal sistem H-OTEC pertama di dunia	<a href="https://www.bharian.com.my/berita/nasional/2022/08/986918/kerjasama-utm-upm-bangun-makmal-sistem-h-otec-pertama-di-dunia">https://www.bharian.com.my/berita/nasional/2022/08/986918/kerjasama-utm-upm-bangun-makmal-sistem-h-otec-pertama-di-dunia</a>	その他	UTMとUPMがH-OTEC施設のための覚書を締結
2024	2024/4/25	The Star	Sabah state assembly passes new Ocean Thermal Energy Conversion Enactment	<a href="https://www.thestar.com.my/news/nation/2024/04/25/sabah-state-assembly-passes-new-ocean-thermal-energy-conversion-enactment">https://www.thestar.com.my/news/nation/2024/04/25/sabah-state-assembly-passes-new-ocean-thermal-energy-conversion-enactment</a>	2.主要部分が当課題研究の成果である	サバ州議会が新しい海洋温度差発電条例を可決

3 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, 2019	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のサインングセレモニー。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、サインングセレモニーに加え、研究代表のバカ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, 2019	3rd South 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日午後には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日午後には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。
2019	10 December, 2019	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。
2020	2020/11/20	第2回マレーシアモデル打合せ	オンライン (UTM主催)	35名	非公開	マレーシア教育相予算での研究活動をであるマレーシア側の10プロジェクトの研究進捗状況について、プロジェクト関係者への内部報告会。
2020	2021年1月25日～2月19日	第11回沖縄ハイブリッドエネルギーワークショップ(オンライン開催)	オンライン (沖縄県主催)	160人	公開	沖縄県主催の沖縄ハイブリッドエネルギーワークショップで本プロジェクトの研究内容を紹介の発表を安永が行い、パネルディスカッションを行った。発表動画は現在も視聴可能な状態となっている。
2020	2021年1月27日～29日	第8回国際OTECシンポジウム	オンライン (メキシコ主催)	約100名	公開	OTECに特化した世界最大の国際会議。5件の基調講演と35件の口頭発表、11件のポスター発表が行われた。本プロジェクトから8件の口頭発表および2件のポスター発表を行った。
2020	2021/2/4	H-OTEC試験装置を用いたトレーニング	オンライン (IOES主催)	約40名	公開	マレーシアに設置予定のH-OTEC試験装置をゼネシス伊万里工場で組立し、同装置のオンライン説明会を実施した。装置の紹介と共に、設置方法なども解説した。
2020	2021年2月24～26日	第3回マレーシアモデルおよび5output打合せ	オンライン (IOES/UTM主催)	約40名	非公開	マレーシア教育相予算での研究活動をであるマレーシア側の10プロジェクトの研究進捗状況について、プロジェクト関係者への内部報告会を行い、日本側の研究進捗も発表して共有した。
2020	2021/3/10	第1回SATREPS-OTECフォーラム	オンライン (IOES/UTM主催)	約40名	公開	SATREPS事業の研究内容および研究成果を一般の方に報告するイベントを実施した。日本とマレーシアからそれぞれ発表を行った。
2021	2021年8月24～26日	第4回マレーシアモデルおよび5output打合せ	オンライン (IOES/UTM主催)	8/24 52名 8/25 42名 8/26 46名	非公開	マレーシア教育相予算での研究活動をであるマレーシア側の10プロジェクトの研究進捗状況について、プロジェクト関係者への内部報告会を行い、日本側の研究進捗も発表して共有した。
2021	2021/8/11	IETオンラインセミナー IET Malaysia Network Weebinar Series 2021, 'Ocean Thermal Energy-Driven Development for sustainability' by Malaysian Project Manager	オンライン (UTM主催)	26名	公開	オンラインでのアウトリーチ活動
2021	2021/11/26	SATREPS UTM OTEC SHARING SESSION: THE FEASIBILITY OF OTEC SABAH (Closed session for this year's Malaysia Model Meeting)	オンライン (IOES/UTM主催)	31名	非公開	社会実装候補地であるボルネオのボルネオ海洋研究所 (BMRI) およびサバ地区のサバ大学 (UMS) のメンバーに対するSATREPSへの協力要請のため、取組内容紹介およびOTECと海洋深層水の複合モデルを紹介して協議した。

# 公開資料

2021	2022年2月24日 3月1日、2日	第5回マレーシアモデルおよび5output 打合せ	オンライン (IOES/UTM主 催)	2/24 38名 3/1 34名 3/2 37名	非公開	マレーシア教育相予算での研究活動をであるマレーシア側の10プロジェクトの研究進捗状況について、プロジェクト関係者への内部報告会を行い、日本側の研究進捗も発表して共有した。
2021	2022/3/3	第2回SATREPS-OTECフォーラム	オンライン (IOES/UTM主 催)	72名	公開	SATREPS事業の研究内容および研究成果を一般の方に報告するイベントを実施した。日本とマレーシアからそれぞれ発表を行った。
2022	7月5日、7日、8日	第6回マレーシアモデルおよび5output 打合せ	オンライン (UTM主催)	7/5 36名 7/7 34名 7/8 30名	非公開	マレーシア教育相予算での研究活動をであるマレーシア側の10プロジェクトの研究進捗状況について、プロジェクト関係者への内部報告会を行い、日本側の研究進捗も発表して共有した。
2022	2022/12/27	大学主催のジャパンデーにおいて、 SATREPS-OTECプロジェクトの展示 ブースを設け説明	UTM主催	80名	公開	SATREPS事業及び研究成果を一般の方に広く知ってもらうために、ジャパンデーイベントにてブースを設け、分かりやすい資料で説明を行った。
2022	2023/2/7	海洋分野経済における高レベル投資 家会議	アジア開発銀行 主催 (KLCC国際会議 場)	150名	公開	マレーシア経済大臣Mr. Mohd Rafzi Ramziが キーノートスピーチを行い、海洋エネルギー利用の重要性を訴えた。投資対象案件として50以上の候補プロジェクトの中から選ばれた9プロジェクトがビデオプレゼンを行い、OTECは準優勝プロジェクトに選ばれた。
2022	2023/2/8	第1回OTEC企業連携企画会議 (Stakeholder Engagement Meeting)	UTM-OTEC主催 (UTM会議場)	55名	非公開	日本側企業(ゼネシス、三井商船、ENEOS)が、各社プレゼン。マレーシア企業17社が、OTEC発電、水素利用、深層水利用への取り組み方針などの意見を述べ、UTM関係者、池上教授、ゼネシス社他と質疑応答。引き続き、ワーキング実施のための協会設置を提案。
2022	2023年2月14日、15日、16日	第7回マレーシアモデルおよび5output 打合せ	オンライン (IOES/UTM主 催)	76名	非公開	マレーシア教育相予算での研究活動をであるマレーシア側の10プロジェクトの研究進捗状況について、プロジェクト関係者への内部報告会を行い、日本側の研究進捗も発表して共有した。
2022	2023/3/9	第3回SATREPS-OTECフォーラム	オンライン (IOES/UTM主 催)	46名	公開	SATREPS事業の研究内容および研究成果を一般の方に報告するイベントを実施した。日本とマレーシアからそれぞれ発表を行った。
2023	2023/4/1	SATREPS OTEC proposed course – MRTL1543 – Renewable, Clean Energy and Hydrogen Economy	オンライン (UTM主催)	1名	非公開	大学院修士課程システム工学専攻 講義
2023	6月6日、7日、8日	第8回マレーシアモデルおよび5output 打合せ	オンライン (IOES/UTM主 催)	85名	非公開	マレーシア教育相予算での研究活動をであるマレーシア側の10プロジェクトの研究進捗状況について、プロジェクト関係者への内部報告会を行い、日本側の研究進捗も発表して共有した。
2023	2023/7/13	1st OCEAN DATA SERVER WEBINAR	オンライン (東京大学主催)	38名	公開	SATREPS-OTECプロジェクトにて設置した海洋データサーバーの概要および使用方法に関する説明会を開催した。
2023	2024年1月30日、2月1日、2日	第9回マレーシアモデルおよび5output 打合せ	オンライン (IOES/UTM主 催)	87名	非公開	マレーシア教育相予算での研究活動をであるマレーシア側の10プロジェクトの研究進捗状況について、プロジェクト関係者への内部報告会を行い、日本側の研究進捗も発表して共有した。
2023	2024/3/5	第4回SATREPS-OTECフォーラム	オンライン (IOES/UTM主 催)	36名	公開	SATREPS事業の研究内容および研究成果を一般の方に報告するイベントを実施した。日本とマレーシアからそれぞれ発表を行った。
2024	7月10日、11日、12日	第10回マレーシアモデルおよび 5output打合せ	オンライン (IOES/UTM主 催)	87名	非公開	マレーシア教育相予算での研究活動をであるマレーシア側の10プロジェクトの研究進捗状況について、プロジェクト関係者への内部報告会を行い、日本側の研究進捗も発表して共有した。
2024	12月16日	2nd OCEAN DATA SERVER WEBINAR	オンライン (UTM主催)	45名	公開	SATREPS-OTECプロジェクトにて設置した海洋データサーバーの概要および使用方法に関する説明会を開催した。
2024	2月27日	第5回SATREPS-OTECフォーラム	オンライン (IOES/UTM主 催)	63名 (11名)	公開	SATREPS事業の研究内容および研究成果を一般の方に報告するイベントを実施した。日本とマレーシアからそれぞれ発表を行った。
2024	3月15日	第2回OTEC企業連携企画会議 (Stakeholder Engagement Meeting)	UTM-OTEC主催 (UMS会議場)	35名	非公開	SATREPS-OTECプロジェクトのメンバーはマレーシア国立サバ大学(UMS)とともに現地関係者とブルーエコノミーについて議論した。引き続き、ワーキング実施のための協会設置を提案。

## 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	2019/7/3	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
2020	2020/8/6	第2回JCC会議 -2019年度成果報告 -2020年度実施計画提案	52名 (マレーシア側 30名)	プロジェクトメンバー出席の下、マレーシア教育省および関係省、在マレーシア日本大使館、JICA、JST関係者へ2019年度の研究成果を報告し、2020年度の研究活動計画を諮り承認された。
2021	2021/4/28	第3回JCC会議	30	長期研究員(博士後期課程)候補者の辞退を受け、新たな候補者を擁立するにあたり、3年の期間を確保するためにはプロジェクトの期間を過ぎることとなる。そのため、長期研究員のみプロジェクト期間外の延長を諮り、本プロジェクト内では例外的に2024年9月まで半年間延長することが合意された。
2022	2022/5/26	第4回JCC会議	30	中間評価によるJICA・JST視察団も会議に参加し、事業の進捗状況の確認および本事業の1年の延長を協議した。事業の進捗を鑑み、JICA側は1年間の延長に合意する意向を示した。
2024	2024/4/24	第5回JCC会議	44	マレーシアに設置するH-OTEC試験装置の設備工事遅延により、試運転開始が延期されていることを報告し、今後のH-OTEC試験装置の試運転開始に係る準備状況およびデータ取得後の各プロジェクトのスケジュールを確認した。
2024	2024/11/7	第6回JCC会議	40	マレーシアに設置するH-OTEC試験装置のコミッションング完了と運転動作状況を報告し、今後のH-OTEC試験装置のデータ取得後の各プロジェクトのスケジュールを確認した。

6 件

# 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
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(平成30年6月1日～令和7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	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球規模の再生可能エネルギー活用への取り組み</li> <li>日本企業による成果の事業化、技術・製品の輸出</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>H-OTEC用熱交換器の開発(凝縮器および蒸発器)</li> <li>H-OTECの低コスト化技術の確立</li> </ul>
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本-マレーシアとのOTEC研究・開発の基盤</li> <li>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</li> </ul>
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"> <li>H-OTECシステムの実証報告書</li> <li>共著国際論文</li> <li>H-OTECシステム試験装置の運転マニュアル</li> <li>東南アジアでのOTEC事業モデルの構築</li> <li>OTEC関連技術の教育によるマレーシア側人材育成</li> </ul>

## 上位目標

## 公開資料

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

