

# 海洋温度差発電の動向・展望

## Trends and Prospects of Ocean Thermal Energy Conversion

森崎敬史\*

### 1. 海洋温度差発電の原理

日本は領土面積としては小国であるが、海洋上にいくつもの島を領有するため、領海と排他的経済水域（EEZ）を合わせた面積は世界第6位の約447万km<sup>2</sup>と広大である。2012年には国連の大陸棚限界委員会に大陸棚の延伸請求を行い、沖ノ鳥島の北方等の政府が太平洋に設定した4海域の約31万km<sup>2</sup>が認定されている。

海洋エネルギーには様々な利用形態があり、その一つである海洋温度差発電は海洋表層の温海水と深

層（約600～1000m）の冷海水との間の温度差を利用し、熱エネルギーを電気エネルギーに変換する発電システムである。表層海水および深層海水にかかわらず温度はほぼ安定していることから、他の自然エネルギーと比較して安定した発電システムであり、その導入が期待されている。

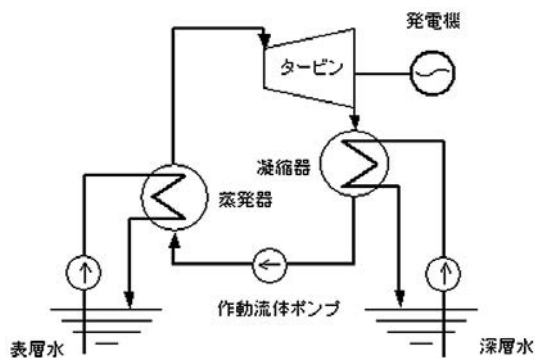
OTECの原理は1881年にフランスのD'Arsonvalによって考案され、発電方式によりクローズドサイクルとオープンサイクルに大別される。

#### 1.1 クローズドサイクル方式

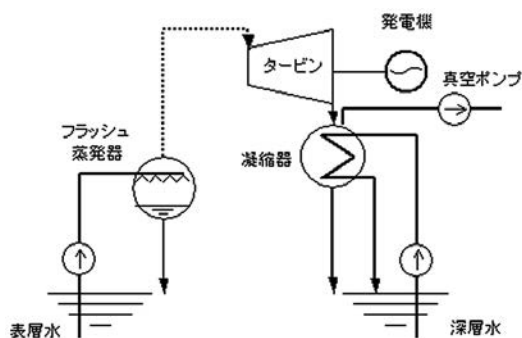
クローズドサイクル方式は、蒸発器、凝縮器、作動流体ポンプおよびタービンによって構成される（図1(a)参照）。サイクル系内を循環する作動流体には、表層海水と深層海水との温度差に適用するためにアンモニアやフロンなどの沸点の低い作動流体が用いられる。温海水により作動流体が蒸発し、作動流体蒸気がタービンを回転させ、発電を行う。タービンを回転させた後の作動流体蒸気は冷海水によって冷却され、液体に戻る。クローズドサイクル方式では、蒸発器および凝縮器により海水と作動流体との熱の授受を行うため、熱交換器の性能がOTECの効率に大きく影響する。そのため、海水の低い温度を利用する場合には熱交換器が大型化し、海洋生物による汚れが付着することで熱交換器の性能低下を引き起こすなどの課題が残されている。

#### 1.2 オープンサイクル方式

オープンサイクル方式は、フラッシュ蒸発器、凝縮器、真空ポンプおよびタービンによって構成される（図1(b)参照）。フラッシュ蒸発器内は真空ポンプにより減圧され、表層海水の温度で蒸発できる沸点となる。減圧された表層海水の一部が水蒸気となり、タービンを回転させる。タービンを回転させ



(a) クローズドサイクル方式



(b) オープンサイクル方式

図1 発電方式の分類<sup>1)</sup>

\* 佐賀大学 海洋エネルギー研究所 助教

た後の水蒸気は凝縮器で冷却され、液化する。温海水の一部を水蒸気として利用するため、海洋生物による汚れがタービン以降の機器に影響することはないが、温海水中の不凝縮ガスによりフラッシュ蒸発器内での水蒸気の発生が阻害される。さらに、低圧の水蒸気を利用するため配管やタービンなどの機器類が大型化するなどの課題がある。

## 2. 海洋温度差発電のポテンシャル

OTEC では表層および深層の海水を利用することから、表層海水の温度が高く、深層海水の温度が低い海域が適する。表層海水には太陽から熱エネルギーが蓄積されることから、緯度 20° 以下の海域が適しており、この海域では年間を通してほぼ 26 ~ 30°C の海水温となる。一方、深層海水は約 600 ~ 1000m に、5 ~ 9°C の海水温が存在する。

OTEC ポテンシャルの試算方法には様々な種類があり、太陽からの入射熱による試算<sup>2-4)</sup>と海洋の温度構造による試算<sup>5-7)</sup>に大別される。

### 2.1 太陽からの入射熱による試算

太陽からの入射熱による試算では、海洋上への入射熱を OTEC が得られる熱エネルギーと仮定し、その熱エネルギーから得られる仕事について、OTEC のエネルギー変換効率（サイクル熱効率）を用いて概算され、少なくとも 60 TW の発電規模とされている。

### 2.2 海洋の温度構造による試算

海洋の温度構造による試算では、OTEC における海水の取水と排水の平衡状態、時間依存モデルを海洋の温度構造に適用した場合や海洋大循環モデルを用いた検討を行い、海洋温度に影響が少ない条件下では最大で 7 TW と試算されている。

### 2.3 日本周辺海域における試算

日本周辺海域に限定された場合では、技術的・地理的条件を踏まえた試算が行われた<sup>8,9)</sup>。この試算では、5 年間の表層海水と海洋深層水との温度差の平均値からエネルギー密度を算出し、それを面積分して OTEC ポテンシャルを算出している。さらに、試算の際に陸上設置方式と洋上浮体方式に分類し、洋上浮体方式については離岸距離の制限がある場合とない場合のそれぞれが想定された。

陸上設置方式では OTEC プラントを海岸などの陸上に設置するため、深層海水を汲み上げるための取水管が長くなる。洋上浮体方式は OTEC プラントを洋上の定位置に設置する方式であり、OTEC プラントが洋上にある浮遊型、海中に沈める半潜水

型および潜水型がある<sup>10)</sup>。

海洋温度差が 20°C 以上の条件では、陸上設置方式のとき 2 GW、洋上浮体方式のとき最大で 174 GW と試算された。なお、1 年を通じて 8 割以上の日数で温度差が 20°C 以上の海域は、トカラ海峡と石垣島周辺が該当する。洋上浮体方式における OTEC ポテンシャルは比較的大きく、特に離岸距離制限のない条件では他の条件よりも約 14 ~ 81 倍と大幅な増加が見込まれる。

## 3. 海洋温度差発電の開発要素

### 3.1 発電システム

クローズサイクル方式では、作動流体の有効温度差が利用可能な海水温度差に対して低くなり、システムの高効率化のために様々な開発が行われた。当初、基礎的な発電システムとしてランキンサイクル（図 1(a) 参照）が OTEC に用いられた。1979 年にハワイのコナ沖で行われた OTEC の実験では、作動流体にアンモニアが使用された。

その後、OTEC システムの高性能化のためにカーリーナによってアンモニア/水を作動流体とするカーリーナサイクル（図 2 参照）が提案された<sup>10)</sup>。カーリーナサイクルでは、ランキンサイクルに対して気液分離器、再生器、減圧弁、吸収器が追加設置される。アンモニア/水の非共沸混合流体は、蒸発器で表層海水との熱交換により湿り蒸気となる。その後、気液分離器で分離された作動流体蒸気は、タービンを通して吸収器に送られる。気液分離器で分離された作動流体液は、再生器での熱交換により温度が低下した後、減圧弁を通して吸収器に送られ、タービンからの作動流体蒸気を吸収する。吸収器から凝縮器に送られた作動流体は深層海水との熱交換により、完全に液化する。

純媒体では、等圧条件下において蒸発温度および

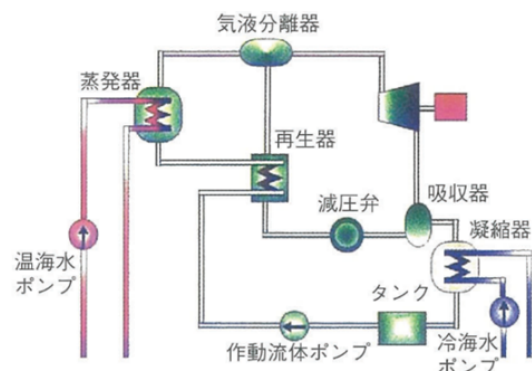


図 2 カーリーナサイクル

凝縮温度が一定であり、熱効率を増加させるためには熱交換器の伝熱性能を増加させ、熱源と作動流体との温度差を小さくする必要がある。一方、非共沸混合流体では等圧条件下の蒸発温度および凝縮温度が熱交換過程で変化するため、熱源と作動流体の熱交換過程での熱源の温度変化による不可逆損失が低減される。そのため、ランキンサイクルに対してカーリーナサイクルの効率が向上する。

非共沸混合流体を作動流体とする発電システムでは、佐賀大学の上原によってウエハラサイクル（図3参照）が提案された。ウエハラサイクルでは、カーリーナサイクルに対して2段（高圧および低圧）のタービン、加熱器、2段の作動流体ポンプ（高圧および低圧）が追加設置される。高圧タービンからの作動流体の一部は加熱器へと送られ、大部分は低圧タービンに送られる。気液分離器にて分離された作動流体液は、吸収器にて低圧タービンからの作動流体蒸気を一部吸収する。このシステムは、カーリーナサイクルに対して効率が向上する。2003年にウエハラサイクルを基本構造とする30kW海洋温度差発電実験装置が佐賀大学海洋エネルギー研究センター（当時）の伊万里サテライトに設置され、性能試験が開始された。

一方、作動流体に混合流体を用いることで純物質に対して熱伝達係数が低下することが報告されており、実験的にはその特性が十分に活かされていないことが指摘されている。このようなことから、純物質を作動流体として用いるシステムの高性能化のための手法の一つとして、複数の独立した発電サイクルを用いる多段ランキンサイクルなどがある。熱源に対して各々が独立の構成要素を持つ多段ランキンサイクルを直列に設置し、熱源が各段のランキンサイクルの熱交換器を順次通過することで、熱交換過

程での不可逆損失を低下することが期待される。2015年に15kW規模の2段ランキンサイクル（図4参照）の試験装置が佐賀大学海洋エネルギー研究センター（当時）の伊万里サテライトに設置され、性能試験が開始された。このシステムは、沖縄県久米島町の100kW（各段50kW）海洋温度差発電実証試験設備に適用されている。

海水を熱源として利用することで海洋生物を起因とした汚れが付着し、伝熱性能の低下が懸念される。この熱交換器への汚れ付着防止のために、クローズドサイクル方式およびオープンサイクル方式を組み合わせたハイブリッドサイクル（H-OTEC：Hybrid Ocean Thermal Energy Conversion）が提案されている（図5参照）。H-OTECでは海水の一部を減圧し、フラッシュ蒸発させることで海水に含まれる汚れ成分を除去した蒸気を発生させ、その蒸気を用いるこ

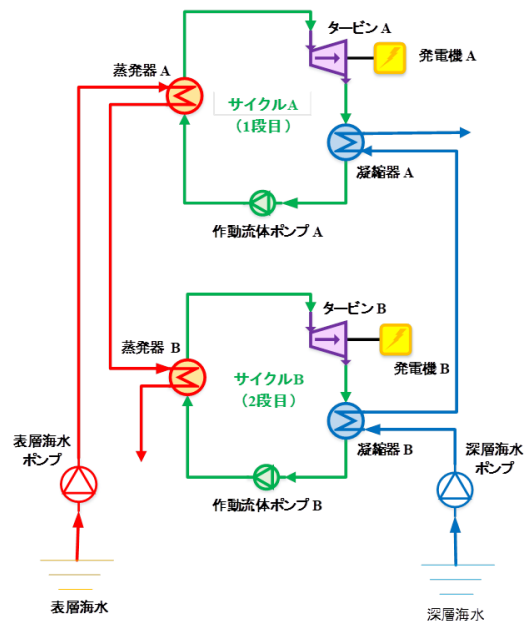


図4 2段ランキンサイクル

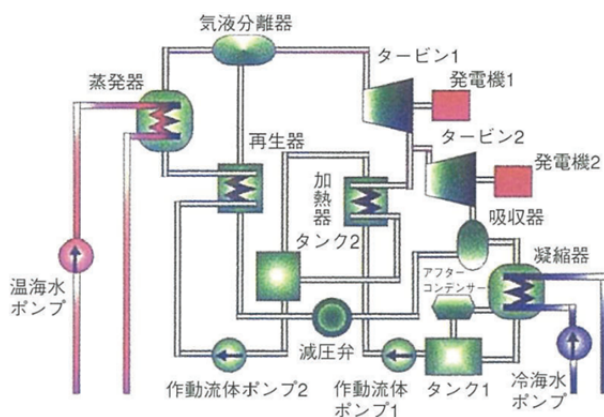


図3 ウエハラサイクル

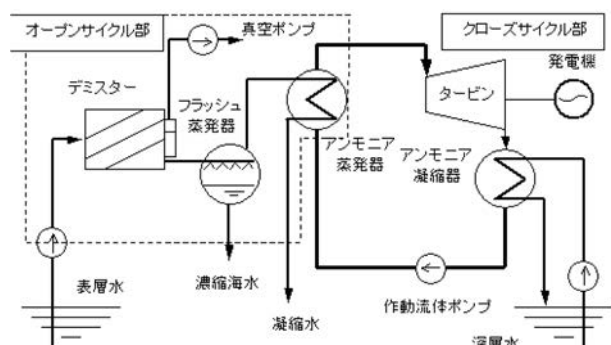


図5 ハイブリッドサイクル (H-OTEC)<sup>1)</sup>



とで課題とされている熱交換器への汚れ付着を防止する。さらに、フラッシュ蒸発により海水淡水化も同時に行うことができる。地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS: Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) として、2018年からマレーシア工科大学と佐賀大学との共同研究が開始され、発電システムに H-OTEC が採用された<sup>12)</sup>。

### 3.2 熱交換器

クローズサイクル方式では隔壁式の熱交換器を使用しており、作動流体と海水との間に金属などで壁を設けて熱交換を行う。従来の OTEC の熱交換器にはチューブ式熱交換器、特に多管式熱交換器が最も広く使用されている。多管式熱交換器は大きい円管 (シェル) 内部に管板で支えられた数多くの小さい円管 (伝熱管) を設置しており、伝熱管は複数が等ピッチに配列された管束となる。伝熱管内を作動流体が、伝熱管外を海水が流れ、伝熱管の管壁を隔てて熱交換される。様々な温度および圧力の用途で使用実績があり、非破壊検査および破損時の修理ができ、信頼性が高いことが特徴である。海水が流れるシェル内 (伝熱管外) は生物汚損などがあるため、内部に付着したスケールを化学的処理などで除去もしくは伝熱管をシェルから抜き出し、清掃を行う。伝熱管で熱の授受を行うため伝熱性能が低く、伝熱管の表面積に対して流体の流れる体積が大きくなるため、機器が大型化しやすい欠点がある。チューブ式熱交換器の適用事例としては、1980年のアメリカ・ハワイ「OTEC-1」、1981年のナウル共和国「Nauru プラント」および1982年の日本「徳之島プラント (凝縮器)」などで採用された。

プレート式熱交換器は凹凸のパターンを持つ薄い板 (伝熱プレート) を積層した構造となっている。各伝熱プレート間の流路を1枚おきに作動流体および海水が交互に流れて熱交換が行われる。伝熱プレートは板厚が1 mm 以下と薄く乱流効果が大きいため熱伝達係数が高く、伝熱面積も大きくでき、コンパクト化に適している。さらに、熱交換器内の容積も小さいことから流体保有量も少なく、チューブ式熱交換器に対して軽量となる。プレート式熱交換器は積層した伝熱プレートをガスケットでシールするガスケット型、2枚の伝熱プレートを1組に結合するセミ溶接型、伝熱プレートをろう付けするブレイジング型、溶接する全溶接型に大別される。

ガスケット型は、2つのフレームの間に伝熱プレートおよびガスケットを重ね合わせて締付ボルト

で締め付けている。セミ溶接型も2枚の伝熱プレートをレーザー溶接により1組のカセットとして結合しているため、2つのフレームの間に伝熱プレートのカセットおよびガスケットを重ね合わせて締め付けている。そのため、締付ボルトを取り外すだけで分解でき、解放された伝熱プレートは目視検査および洗浄が容易である。伝熱プレートとガスケットを重ね合わせているため、据付後に伝熱プレートの枚数の増減を容易に変更でき、伝熱面積の変更や損傷した伝熱プレートの交換が可能である。一方、ガスケットの劣化による内部流体の漏洩が引き起こされるため、定期的なガスケット交換が必要となる。佐賀大学におけるプレート式熱交換器を適用した海洋温度差発電の初期の研究で使用された。

ブレイジング型は、薄いフレームの間に伝熱プレートおよびろう材 (銅やニッケルなど) を交互に積層し、ブレイジング (ろう付け) することで一体化させている。耐圧、耐熱、気密性、耐食性に優れるが、分解することができず、損傷時の補修や目視検査ができない。

全溶接型は、伝熱プレートを交互に積層して溶接した後、薄いフレーム内にてカセットとして溶接している。溶接された伝熱部を分解可能な外郭構造で覆い、ボルトで締め付けている。他のプレート式熱交換器では、伝熱プレートに内部流体の入口・出口となる通路孔があるが、全溶接型では伝熱プレート面に沿った方向に内部流体の入口・出口となる通路孔が存在する。そのため、作動流体および海水の流路断面積をそれぞれ変えることができ、OTECの海水取水における高伝熱性能および低圧力損失を両立した仕様に設計することができる。溶接された伝熱部に対して外郭構造は締め付けボルトを取り外して分解可能なため、伝熱部を開放して洗浄することができる。沖縄県久米島町の海洋温度差発電実証試験設備に設置され、海水側流路の開放および洗浄により汚れを除去できることが確認されている。

### 3.3 コスト削減可能性

海洋温度差発電の要素技術を以下に示す<sup>13)</sup>。

- (1) 熱交換器
- (2) タービン発電機
- (3) 海水ポンプ、海水前処理装置等
- (4) 深層海水取水管材料
- (5) 表層海水取水部
- (6) 土木・据付・配管、他
- (7) 電気・計装
- (8) 容器類、その他

- (9) 作動流体ポンプ
- (10) 取水管敷設工事

洋上浮体式の場合は追加で以下の要素技術が必要となる。

- (11) 船体・艤装・曳航
- (12) 送電
- (13) 係留

この中でも、熱交換器、船体・艤装・曳航、(陸上)取水管敷設工事は建設費に占める割合が大きいことから発電コスト低減に大きく寄与することが考えられ、更なる技術開発が求められている。特に、建設コストの20～30%を占める熱交換器については、規格化して量産することで製造設備および体制の整備、および自動化の進展による省力化が可能となり、約50%のコスト削減が期待される。

## 4. 海洋温度差発電の開発動向

### 4.1 初期の開発動向

初期の海洋温度差発電の実験はオープンサイクル方式が採用され、フランスのGeorge Claudeによって行われた。

1930年、キューバにおいて総長2kmの取水管が敷設され、水深650mの深層から冷海水を汲み上げて陸上設置方式の海洋温度差発電に利用された。実験では温海水温度27℃、冷海水温度13℃であり、22kWの発電端出力が得られているが、海水の取水に必要なポンプ動力が大きく、正味出力は得られていない。

1933年にはブラジル沖合120kmで貨物船を改造した海洋温度差発電の実験が行われた。実験では800kWのタービン発電機1基と直径25m、長さ650mの冷海水取水管が設置されたが、取水管に取り付けたフロートの動揺が大きかったため実験は失敗した。

1940年にはアフリカ象牙海岸のアビジャンで陸上設置方式の海洋温度差発電を設置するための計画が策定された実験が行われた。直径2mの冷海水取水管と正味出力3.5MWeの海洋温度差発電プラントを2基設置する計画が策定され、基礎的研究や開発、調査が行われた。1955年までアビジャンでの研究開発が行われたが、海洋温度差発電所は建設されていない。

### 4.2 1970年代以降の開発動向

1970年代の石油ショックをきっかけに本格的なOTECの研究が行われた。クロードの実験ではオープンサイクル方式であったため、装置の規模が大き

くなっていた。

1979年、ハワイのコナ沖でアンモニアを作動流体とするクロードサイクル方式「Mini-OTEC」の実験が行われた。水深670m、4.4℃の冷海水を使用し、最大で120時間の連続運転が行われ、53.6kWの発電端出力が得られた。

1980年には同海域にてアメリカ・エネルギー省による本格的な実験プラント「OTEC-1」が建造され、作動流体をアンモニアとして実験が実施された。船首から表層の温海水を、船体中央部に設けた3本の取水管で深層の冷海水を取水した。OTEC-1はタンカーを改造した出力1MWの能力を持つ発電プラントであったが、発電機は搭載されておらず、水平多管円筒式熱交換器の性能の把握、冷水取水管の沈設方法と海流等の影響に関するデータ、発電プラントの係留システムの研究、熱交換器のクリーニング方法の研究が主に行われた。

1981年、ナウル共和国に日本政府の補助を受けた東京電力と東電設計が陸上設置型のOTECプラントである「Nauruプラント」を建設し、世界で初めてOTECによる電力を供給し、小学校の照明に利用された。水深500～700m、温度5～8℃の深層海水を汲み上げ、表層海水との温度差は20℃であった。作動流体にはR22が使用され、最高120kWの発電出力に対して正味出力が31.5kWであり、陸上設置型OTECでは初めて正味出力が得られた。

日本では、1979年に島根沖洋上で佐賀大学の研究グループが初めてOTECの実海域実験を行った。1982年には九州電力が徳之島において4500kWのディーゼル発電所と組み合わせ、その排熱により表層海水を昇温して利用するOTECプラント「徳之島プラント」を設置して実験を行った。この陸上プラントはアンモニアを作動流体とし、佐賀大学「伊万里2号」のタービン・発電機を使用し、発電端出力50kW、正味出力32kWが得られている。

2012年には横河電機、IHIプラント建設、ゼネシスの共同企業体が100kWの発電プラント「沖縄県海洋温度差発電実証設備」を久米島に建設し、運転を開始した。表層海水は内径380mm、長さ550mの取水管で水深15m、深層海水は内径280mm、長さ1920mの取水管で水深612mから汲み上げている。作動流体をR134aとし、海水ラインの切り替えによって2段ランキンサイクルとして運転することができる。2022年には株式会社商船三井が久米島OTECの運営に久米島町および佐賀大学とともに

に参画し、2026年の久米島における1MW OTECの実現を目指している。

アメリカでは、2011年にハワイ州立自然エネルギー研究所（NELHA：Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority）にて、Makai Ocean Engineeringが設計したOTEC用のプレート式熱交換器の試験を開始した。2015年には新たに設置された105kWのタービン発電機を用いてOTECの性能試験を開始した。

韓国では、2013年にKRISO（Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering）が20kWの陸上OTEC実験プラントの開発を開始した。2014年には、木材ガス化発電の廃熱75℃と深層海水5℃を熱源とした200kWのハイブリッドOTECの実証試験を開始した。これらの研究開発から、2019年には1MWの洋上浮体式OTECプラントを建設し、ポハン（浦項）沖で実施した試験では表層海水24.8℃と深層海水6.1℃との温度差18.7℃で338kWの出力が得られている。この1MW OTECプラントは南太平洋にあるキリバス共和国のサウス・タラワ沖に設置する予定であり、表層海水と深層海水との温度差が24℃以上の場合では約1000kWの出力が得られると推定される。

2022年、インドNIOT（Indian National Institute of Ocean Technology）がカバラティにてオープンサイクル方式OTECを利用した100m<sup>3</sup>/日規模の海水淡水化プラントのプロジェクトを開始した。離島における水資源の確保を目的として、OTECで得られた電力を用いて海水淡水化プラントを稼働させ、外部電源を必要としないシステムである。

近年の海洋温度差発電の推進に向けた取り組みとしては、2013年に海洋温度差発電に関する国際シンポジウムであるInternational OTEC Symposiumがハワイで開催されたことをはじめ、様々な地域で定期的に開催されている。そして、2020年には海洋温度差発電に係る関係者の情報交換、ネットワーク構築、実用化の促進などのための組織的な枠組みとしてOcean Thermal Energy Association（OTEA）が設立された。OTEAには48の国と地域から500名以上の会員とオブザーバーが参加している。

## 5. 佐賀大学におけるOTECの研究

### 5.1 これまでの研究プロジェクト

佐賀大学では1973年から研究が開始され、佐賀大学構内にて実験プラント「不知火1～5号」の性

能試験が実施され、1980年には佐賀県伊万里市にて「海洋温度差発電実験所」を建設し、「伊万里1号、2号」の性能試験が実施された。2003年には佐賀県伊万里市に「海洋エネルギー研究センター 伊万里サテライト」（当時）が設置され（図6参照）、海洋温度差発電および関連技術の研究が開始された。伊万里サテライトでは、アンモニア/水を作動流体とするウエハラサイクルを基本構造とする「30kW 海洋温度差発電実験装置」の性能試験が行われ、ランキンサイクルならびにカーリーナサイクルでの実験も可能なシステムとした。2014年にはアンモニアを作動流体とする2段ランキンサイクルを基本構造とする「15kW 海洋温度差発電実験装置」が設置され、性能試験が開始された。伊万里サテライトは2010年に共同利用・共同研究拠点として運用を開始し、2022年に名称が「海洋エネルギー研究所」に変更になった後も海洋温度差発電を含む海洋エネルギー利用技術に関する研究開発に貢献している。

1997年にはインドNIOTと佐賀大学でインド洋にアンモニアを用いた1MW級の洋上浮体式OTECプラントの実証試験を開始した。OTECプラントは台船と取水管との接続部分が破損したが、2005年から日量100tの海水淡水化を稼働させ、水深約500mの深層海水を用いて日量1000tの海水淡水化を達成している。

### 5.2 近年の研究プロジェクト

2018年、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）として、マレーシア工科大学と佐賀大学との共同研究が開始された。H-OTECにより海洋温度差発電の課題解決を図るとともに、マレーシアの地域産業に適した低炭素で持続可能な「マレーシアモデル」を構築する。

2021年には経済産業省「エネルギー構造高度化・転換理解促進事業」を活用した佐賀県の支援により、佐賀県嬉野市でハイブリッドサイクルを用いた30kW 温泉水温度差発電（H-STEC：Hybrid hot spring thermal energy conversion）が設置され、実証試験を開始した。H-STECでは嬉野市内に配湯される温泉水を利用して発電を行い、熱交換器への温泉水スケール付着防止および発電に要する冷却水の自己給水を同時に達成することを目的としている。

2020年にはCTCN（気候技術センター・ネットワーク）の事業として「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（Ocean Energy Technical Pre-Feasibility Study in Nauru）」プロジェクトに採択された。このプロジェクトは一





図6 佐賀大学海洋エネルギー研究所

般社団法人海外環境協力センター（OECC）と佐賀大学が協力し、UNFCCC（国連気候変動枠組条約）がCTCNプロジェクトの実施機関となる。2021年からは東京大学大学院新領域創成科学研究科もプロジェクトに参画し、ナウル共和国における海洋温度差発電等のポテンシャル解析・評価を実施している<sup>14)</sup>。

2022年には国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の2021年度「エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業（実証要件適合性等調査）」に採択された。この事業は、株式会社商船三井、株式会社ゼネシスおよび佐賀大学が共同で、インド洋に位置する島嶼国のモーリシャス共和国におけるOTECを核とした海洋深層水複合利用に関する実証要件適合性等調査である<sup>15)</sup>。

2023年には環境省の令和4年度「地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業」に採択された。この事業ではOTEC商用化に向けた実証事業として、株式会社商船三井、株式会社ゼネシスおよび佐賀大学が共同で、沖縄県久米島町において全溶接型プレート式熱交換器の性能試験などを開始する。

## 参考文献

- 1) 佐賀大学海洋エネルギー研究所, 海洋温度差発電の分類 (accessed May. 13 2023), [https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/ocean\\_energy/about\\_otec\\_0/about\\_otec\\_02](https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/ocean_energy/about_otec_0/about_otec_02)
- 2) 上原春男, 海洋温度差発電読本 (復刻版), 13-14 (2007), GEC, 佐賀.
- 3) L.A. Vega, Ocean Thermal Energy Conversion, 2014-2119 (1995).
- 4) C. Zener, Solar sea power, Physics Today, **26** (1), 48-53 (1973).
- 5) G.C. Nihous, An Order-of-Magnitude Estimate of Ocean Thermal Energy Conversion Resources, Journal of Energy Resource Technology, **127** (4), 328-333 (2005).
- 6) G.C. Nihous, A Preliminary Assessment of Ocean Thermal Energy Conversion Resources, Journal of Energy Resources Technology, **129** (1), 10-17 (2007).
- 7) K. Rajagopalan, G.C. Nihous, Estimates of global Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) resources using an ocean general circulation model, Renewable Energy, **50**, 532-540 (2013).
- 8) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）, 海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務 (2011).
- 9) 山田博資, 中田喜三郎, 日本の海洋エネルギーポテンシャルの評価, 海洋理工学会誌, **19** (1), 43-47 (2013).
- 10) 日本海洋開発建設協会, 21世紀の海洋エネルギー開発技術, 88-94 (2006), 山海堂, 東京.
- 11) A. I. Kalina, “動作流体によるエネルギーの発生と動作流体の再生,” 特公昭 62-396601987.
- 12) 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS), 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 (accessed Mar. 7 2023), [https://www.jst.go.jp/global/ka\\_dai/h3003\\_malaysia.html](https://www.jst.go.jp/global/ka_dai/h3003_malaysia.html)
- 13) 久米島海洋深層水高度複合利用実証共同事業体, 平成30年度海洋深層水の利用高度化に向けた発電利用実証事業および海洋温度差発電における発電後海水の高度複合利用実証事業 報告書 (accessed Mar. 15 2022), <https://www.pref.okinawa.jp/site/shoko/seisaku/kiban/oceanrenewableenergy/otec/houkokusyo/h30houkokusyo.html>
- 14) 株式会社商船三井, 沖縄県久米島における海洋温度差発電の実証事業が環境省事業に採択 ～2026年頃までに世界初の海洋温度差発電の商用化を目指す～ (accessed May. 28 2023), <https://www.mol.co.jp/pr/2023/23038.html>
- 15) 株式会社商船三井, モーリシャスにおける海洋温度差発電の実証要件適合性等調査がNEDO事業に採択 ～沖縄県久米島での実証設備運営

への参画に加え，海洋再生可能エネルギーの早期実用化を目指す～ (accessed May. 28 2023), <https://www.mol.co.jp/pr/2022/22087.html>

#### 著者略歴



森崎 敬史 (もりさき たかふみ)

2014年佐賀大学工学系研究科修了。同年佐賀大学海洋エネルギー研究センター（現海洋エネルギー研究所）に非常勤講師として着任，2020年4月より温度差エネルギーシステム分野 助教。

博士（工学）。