

4. 社会的受容性を構築する海洋温度差発電

佐賀大学海洋エネルギー研究所
所長・教授 池上康之

4-1 海洋温度差発電とは

4-1-1 海洋温度差発電の原理と魅力^{1,2}

海洋温度差発電は、海洋の表層部の温海水と深層部約600~1,000mの冷海水との間に約15~25℃の温度差として蓄えられている熱エネルギーを、電気エネルギーに変換する発電システムである。この温度差は、24時間安定しており、安定的な発電が可能である。

図1に、基本的な海洋温度差発電システムの原理を示す。主な構成機器は、蒸発器、凝縮器、タービン、発電機、ポンプからなる。これらの機器はパイプで連結され、作動流体としてアンモニアが封入されている。作動流体は、液体の状態ではポンプによって蒸発器に送られる。そこで、表層の25~30℃の温海水によって加熱され、蒸発し、蒸気となる。蒸気は、タービンを通過することによって、タービンと発電機を回転させて発電する。タービンを出た蒸気は、凝縮器で深層より汲み上げられた4~10℃の冷海水によって冷却され、再び液体となる。この繰り返しを行うことで、化石燃料やウランを使用することなく海水で発電することができる。

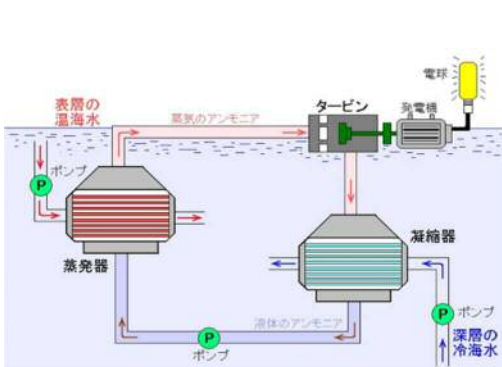


図1 海洋温度差発電の原理
(海洋深層水の複合利用)

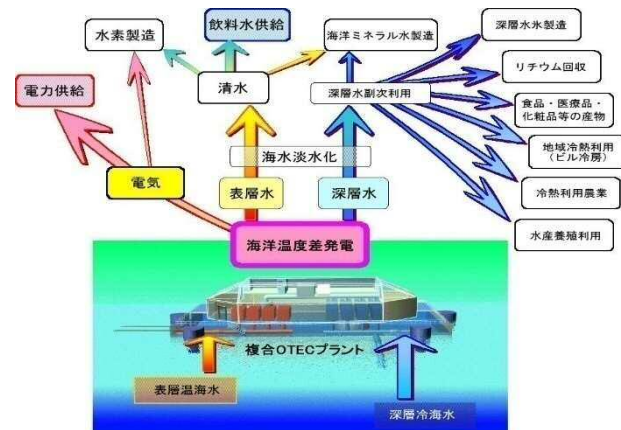


図2 海洋温度差発電を核とした多目的利用

海洋温度差発電を再生可能エネルギーの最大導入および主力電源化と見据えた場合のメリットと特徴を整理すると次のようにまとめることができる。

① 出力の短期的変動がほとんどない安定電源（24時間安定）

- ・出力の季節差はあるものの、短期的変動・日間変動はほとんどない
⇒ 周波数安定化や、日間変動をカバーするための蓄電施設、バックアップ電源の削減が可能。
- ・ベース電源としての期待
- ・設備利用率（80%以上、地域によっては90%）が高いため、ピーク出力対応のための電力系統増強も不

要

② 設置面積の小ささ

- ・景観保護や、豪雨等災害への強さの意味合いでもメリットが相対的に大きい
- ・(必要面積/発電量)は太陽光発電の100分の1以上

③ 我が国の国際競争力を有する再生可能エネルギーのひとつ

- ・要素技術の性能、実証の実績、特許等知的資産などで世界をリード

④ 既存技術であるタービン発電機による発電

- ・周波数変動に対するガバナフリー・LFC (Load Frequency Control) / AFC (Automatic Frequency Control) 運転も可能 (一般的なタービンと同様に、周波数調整を自律的・自動で行える)
- ・主力電源化した場合に必要な回転の慣性力や短絡強度も提供できる

⑤ 競争力のあるライフサイクルアセスメント (LCA) の評価^{3, 4}

- ・100MW級の海洋温度差発電のエネルギーペイバックタイムは、0.43年(浮体式)、0.5年(陸上式)、1MW級 1.86年(陸上式)

⑥ 発電利用後の海水の副次利用による、カーボンフリーな産業振興効果

- ・海からの再生可能エネルギー (海洋温度差発電) で一次産業を振興 (エネルギー起源 CO₂ 排出のない産業へ)
- ・エネルギー効率の高い 冷熱利用による省エネ化 (90%以上) (空調、データセンターなど)
- ・気候変動により懸念が増した 食糧・プロテインクライシス に対するリスクヘッジ
- ・海水からの 希少資源の回収 (リチウムなど)
- ・育てる漁業推進による 水産資源保全
- ・熱帯・亜熱帯地域・島嶼地域の 地産地消 : フードマイレージの削減 による GHG (Green House Gas) 排出削減
- ・藻類の増殖と利用 による直接的な 炭素固定
- ・次世代につなぐ 地域教育・環境教育への活用

4-1-2 海洋温度差発電を核とした海洋深層水利用

海洋温度差発電の特徴は、前節⑥にも記載しているように、発電の際に汲み上げる「海洋深層水」を有効利用することにより、発電とともに持続的に海水淡水化や水素製造、リチウム回収、冷熱利用(空調、データセンター)などの複合利用が可能となることである(図2)。海洋温度差発電の複合利用は、単に、海洋深層水の多目的利用と発電を組み合わせたものではなく、海水の温度や海洋深層水に含まれる栄養塩等を利用用途に合わせた「カスケード利用」によって、より有効かつ機能的に利用できることが大きな特徴である(図3)。

海洋深層水は^{1,2}、光合成による有機物生産よりも有機物分解が卓越し、かつ鉛直混合や人為の影響が少ない、補償深度(主に水深200m)以深の資源性の高い海洋水と定義され、安定した低温性、富栄養性、清浄性、水質の安定性など、表層水に比べて多くの有用な特徴を持っている。

海洋深層水は、大元をたどれば表層の一般的な海水であるが、高緯度地域で冷やされ比重が大きくなった表層の海水は、200m以深の深海に沈降する。深海では光が十分には差し込まないために、光合成による有機物生産が進まない一方、マリンスノーと呼ばれる表層から沈降した有機物は微生物の働きにより無機物の状態まで分解される。その結果、有機物の分解産物である無機栄養塩類は海洋深層水中に高濃度で蓄積される。海の深層では、

急激な温度変化がないため水温は低温で安定する。植物によって有機物が生産されないために動物にとっての餌がなく、したがって生物の密度は表層より著しく低く、清浄性が高い。そして上記のとおり無機栄養塩類に富む。この①低温安定性、②清浄性、③富栄養性の3つの資源価値を利用して、国内外で各種の産業や研究開発が営まれている。

① 低温安定性

- ・ 海洋温度差発電、火力発電への給気冷却・復水器利用
- ・ 建物・地域冷房（データセンター、直接およびヒートポンプ利用）
- ・ 周年農業、冷室農業、植物工場
- ・ 水産養殖
- ・ 海洋環境保全
- ・ 海水淡水化（フラッシュ蒸発法）

② 清浄性

- ・ 海水淡水化（RO（Reverse Osmosis）膜）
- ・ 水素製造、次亜塩素酸製造
- ・ 化粧品等高水質要求産業への利用
- ・ タラソテラピー

③ 肥沃性（富栄養性）

- ・ ミネラル回収、資源回収（リチウム、マグネシウム、ウラン等）
- ・ 藻類培養（有価物利用、藻類バイオマス利用）
- ・ 食品、サプリメントへの利用
- ・ 飲料への利用
- ・ 海域肥沃化（水産資源の回復）
- ・ 漁場創生

海洋温度差発電の適地は、多くの地域が水問題を抱えており、海水淡水化との複合利用は、実用化推進の大きな力となっている。インドでは、既に2005年より、海洋の温度差エネルギーを用いたスプレーフラッシュ海水淡水化を100トン/日のレベルで実用化させ継続して運用している。一方、この淡水化された水と海洋温度差発電で発電された電気での水素製造によって、電力貯蔵のみならず、エネルギー輸入に頼ってきた地域にとっては、エネルギー輸出に繋がる可能性も米国やフランスを中心に期待されている。さらに近年では、データセンターの急増によりその運用コストで最も占める割合が多い空調冷却に海洋深層水の冷熱性が見直され数多く提案がなされており、80%程度の電力削減に繋がることが期待されている。また、発電の際に利用する海洋深層水を用いて、乱獲や環境変化で水産資源が減少している魚場を修復および回復させ、持続可能な水産資源の確保を目指した海洋牧場などへの複合利用も期待されている。これまで水産庁の「拓海」などの10万トンの海洋深層水を使ったプロジェクトが提案され取り組まれた。

なお、2018年に策定された第3期海洋基本計画では、これらの海洋深層水の有効性および実績が認められ、内閣府や経産省等に関連する施策として「海洋の産業利用の拡大の中で海洋深層水等の地域資源を活用した産業振興（海洋基本計画 第2部 海洋の産業利用の促進 40-43頁）」が挙げられている。

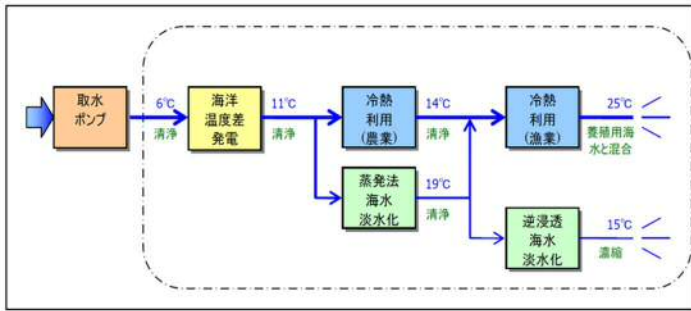


図3 海洋深層水のカスケード利用



図4 海洋温度差発電実証プラント
(100kW 級：沖縄県久米島)

4-1-3 ブルーエコノミーとしての海洋温度差発電のポテンシャル

海洋温度差発電（OTEC）は、従来、単純に発電のエネルギーコスト指標のみで評価されてきた。これはエネルギー供給政策の側面からすると当然であるが、OTEC は、既存の発電システムの経済性効果とは大きく異なる。OTEC は、発電以外に多様な経済的・社会的貢献の可能性を有している。逆に言えば、海洋温度差発電の社会的な経済評価は、発電以外の複合的な波及効果を含めて初めて本質的な評価となるといえる。

ブルーエコノミーの視点から海洋温度差発電を評価したとき、クリーンエネルギーの創出という役割に限らず、海洋温度差発電が設置された地域社会の経済的・社会的波及効果および持続可能性の向上への貢献を評価することが重要である。その地域社会における「エネルギー」、「水資源」、「雇用」、「環境保全」、「産業創出」、「地域強靱化」、「農水産業振興」の点での評価が不可欠である。特に、陸上型の海洋温度差発電の場合は、前述の4-1-2に既述した「海洋温度差発電を核とした海洋深層水利用」としての評価が不可欠である。むしろ単純な発電のエネルギーコスト指標のみの場合は、OTEC の評価をミスリードする可能性が高い。

内閣府の「平成 29 年度離島地域における海洋深層水を活用した地域活性化可能性調査報告書」⁵によると 1 MW の海洋温度差発電の運用が可能な既存の取水量の約 10 倍を可能とする新たな海洋深層水の取水管を設置した場合、「評価期間 45 年間全体を通して費用に対する便益（いわゆる費用対便益法による評価「B/C」）は「2.155」と算定され、評価基準値である「1」を上回る結果となった。このことから取配水設備等インフラ投資に対する社会経済的効率性は、十分にあるといえる」と評価している。これは、取配水設備等のインフラ投資に対する直接効果としての売上高、直接雇員人数を含む社会経済的効率性および中・長期的に持続発展可能、経済効果を調査分析し評価したものであり、経済効果も十分に発現できることが見込める、としている。

4-2 世界の開発・導入状況、日本のポテンシャル

4-2-1 世界の開発動向・導入状況

国際エネルギー機関 海洋エネルギー実施委員会（IEA（International Energy Agency）-OES（Ocean Energy Systems））は、近年の海洋温度差発電の開発および社会実装の計画に関する国際的な動向を図5に報告している⁶。赤道を中心とする熱帯・亜熱帯の国と地域で精力的に行われている。

海洋温度差発電の研究開発は、オイルショック以降、国内および海外で精力的に行われた。その成果として海洋温度差発電は、「技術的に発電すること（正味出力を得ること）は可能であるが、経済的に成立することは難しい」との評価に留まり、日本以外の国々では、研究開発が停滞あるいは中止された。日本では、小規模ながらも継続的に行われた。このような状況の中、大きく2つの理由で海洋温度差発電が再び注目されている。一つは、近年のエネルギー環境問題が地球規模で深刻化する中、ベース電源となり得る再生可能エネルギーの導入の必要性が高まったこと、もう一つは、近年の海洋温度差発電の技術革新と実証の実績によるところが大きい。

本格的な商用の海洋温度差発電のプラントは稼働していないが、国際的には商用化を目指した多くのプロジェクトが推進されている。海洋温度差発電の主な開発動向は、韓国、中国、米国、インド、マレーシア等で推進されている。紙面の都合上、詳細は参考文献を参照のこと⁶。韓国の OTEC 開発は、韓国船舶・海洋工学研究院（KRISO: Korea Research Institute of Ships & Ocean engineering）が政府の資金提供を受けて実施しているキリバス共和国への導入を目指した 1000kW プラントプロジェクトが進んでいる。米国では、2008 年ロッキードマーティン社による 10MW 洋上プロジェクト開発が提案された。このプロジェクトの最終目標には、100MW 浮体式 OTEC による電力、水素、アンモニア、海水淡水化のプラットフォームが構想されている。メキシコでは、メキシコ政府が、メキシコ海上における海洋エネルギー資源を評価するための 5 年プロジェクトを 2018 年に立ち上げた。インドでは、最近、インド海軍基地のための OTEC 開発を実施している。マレーシアでは、サバ州への OTEC 社会実装を目指し JST (Japan Science and Technology Agency) / JICA (Japan International Cooperation Agency) の SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) 事業の支援を得て『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』を佐賀大学、東大、産総研と取り組んでいる。

海洋温度差発電の発電量のポテンシャルは、種々評価されているが、再生可能エネルギーのなかでも世界最大級の発電量を実現できる可能性があると期待されている。IEA-OES が 2020 年に公開した「海洋温度差発電白書」⁷では 8,000GW (Nihous, 2018) としている。このように、OTEC にはエネルギーに大きく貢献する可能性がある。

一方、2020 年 10 月に、世界的には海洋温度差発電への期待が高まり、国際的なプラットフォームを目指し、国際海洋温度差発電協会（Ocean Thermal Energy Association: OTEA）が設立された。参加国は、米国、英国、中国、韓国など 42 ヶ国の 400 名を超える研究者、事業者、政府関係者が集った。OTEA の会長国は日本、副会長国は、欧米地区が英国、アジア太平洋地区がインドネシアである。現在、国際的な海洋温度差発電の R&D（Research and Development）の推進および支援、実用化の推進と支援、国際海洋温度差発電シンポジウムの開催と支援を行っている。

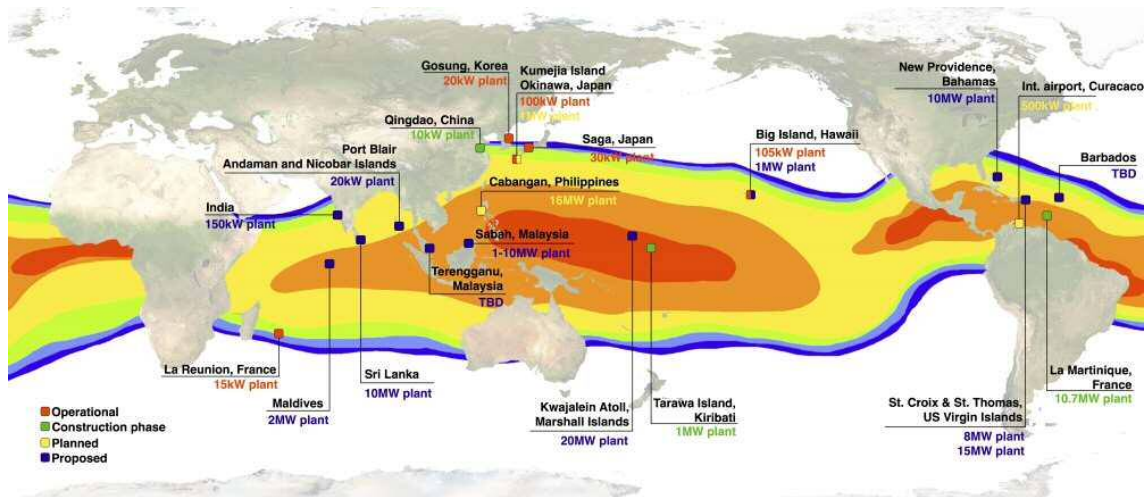


図5 国際エネルギー機関 (IEA-OES) による海洋温度差発電の動向と熱帯・亜熱帯海域の表層と深層 (水深 1000m) の温度差分布

4-2-2 日本のポテンシャル

我が国における海洋温度差発電の発電ポテンシャル評価は、種々報告されている^{1,2,7,8}。代表的なものの一つとして、2010年度、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization) は海洋再生可能エネルギーのポテンシャル調査を実施した。この調査において、日本における OTEC の導入ポテンシャルは、沖縄及び小笠原諸島を中心に、離岸距離 30km 以内・表層と深層の水温差 20°C 以上の海域で 5,952MW、離岸距離制限なし・水温差 20°C 以上の海域では 173,569MW と算定された。本報告によれば、海洋温度差発電が経済的に成立するのは、現状技術で表層水と深層水の水温差が 20°C 以上、将来技術で同 15°C 以上ある海域である。これに基づき、本報告書では国内の電力会社管区ごとの発電ポテンシャルを算定している。日本の EEZ 内で温度差 20°C 以上を超える水域は、沖縄周辺および鹿児島奄美諸島、南伊豆・小笠原諸島、沖ノ鳥島、南鳥島等の島々、黒潮の流域となる奄美大島から宮崎、高知、和歌山を経て八丈島に至る海域が相当する。

近年、海洋温度差発電の技術的革新とその実証実績にもとづき、純粋に海洋表層水と海洋深層水を用いた海洋温度差発電のみでなく、他の熱源を利用した検討が増えている。特に、地域の地熱との海洋深層水との温度差、工場廃熱、火力発電等の廃熱、データセンターの廃熱など未利用エネルギーとの温度差を利用することにより、経済性を高めたり、日本北部での海洋温度差発電技術の適用が可能となる。特に、近年、首都圏近郊での検討が行われている。

表 1 海洋温度差発電の導入ポテンシャル（国内）

単位：メガワット（MW）

| 電力管区 | シナリオ 1 | | シナリオ 2a | | シナリオ 2b | |
|-------|--------|-------|---------|-------|---------|---------|
| | 15℃以上 | 20℃以上 | 15℃以上 | 20℃以上 | 15℃以上 | 20℃以上 |
| 北海道電力 | 11 | 0 | 31 | 0 | 44 | 0 |
| 東北電力 | 609 | 0 | 1,692 | 0 | 8,072 | 0 |
| 東京電力 | 2,450 | 880 | 6,806 | 2,444 | 139,625 | 83,294 |
| 北陸電力 | 232 | 0 | 644 | 0 | 4,475 | 0 |
| 中部電力 | 239 | 0 | 664 | 0 | 4,475 | 644 |
| 関西電力 | 178 | 30 | 494 | 83 | 8,558 | 1,139 |
| 中国電力 | 203 | 0 | 564 | 0 | 7,981 | 0 |
| 四国電力 | 215 | 23 | 597 | 64 | 6,583 | 1,928 |
| 九州電力 | 1,351 | 203 | 3,753 | 564 | 26,225 | 15,572 |
| 沖縄電力 | 1,628 | 1,007 | 4,522 | 2,797 | 74,453 | 70,992 |
| 合計 | 7,116 | 2,143 | 19,767 | 5,952 | 280,491 | 173,569 |

シナリオ 1 : 沿岸固定、離岸距離 30km 以内

シナリオ 2a : 沖合浮体、離岸距離 30km 以内

シナリオ 2b : 沖合浮体、離岸距離制限なし

出典：NEDO 「海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務」 表 4-3-2-1(107 頁), 2011.3

4-2-3 我が国の実証実験の実績

日本では近年、関連技術も含めて次のような実証実験が行われている。

① 次世代海洋エネルギー発電技術研究開発（NEDO）

2011 年度にスタートした NEDO「次世代海洋エネルギー発電技術研究開発」では OTEC の研究開発プロジェクトも採択され、2011 年度から 2014 年度にかけて研究開発が実施された。受託者は佐賀大学と株式会社神戸製鋼所で、OTEC に用いられる新しい 2 段ランキンサイクルと熱交換器の高効率化の技術開発が行われた。

② 沖縄県「海洋深層水の利用高度化に向けた発電利用実証事業」

2012 年に、沖縄県は、沖縄県海洋深層水研究所内に海洋温度差発電実証設備を設置して実際の表層海水および海洋深層水を用いて運転を行い、技術的信頼性を確認するとともに、これを沖縄県における「再生可能エネルギーの導入拡大」につなげるために、得られた実証データを商用レベルの発電プランに活用する目的も含めて、本事業を実施した。発電規模は、100kW 級である。

2013 年には、国際的な第 2 期の海洋温度差発電の開発期において世界に先駆けて実海水を用いた発電に成功し、5 年の世界最長の連続実証に成功した。日本の海洋エネルギーのなかで、初めて系統連系（沖縄電力）を実施した。この成果は、国際的にも注目され、60 ヶ国から 1 万人以上が視察している。まさに、新しい海洋温度差発電のステージが始まった事業である。この事業の成功が、現在の国際的な海洋温度差発電の開発および事業化を牽引している。

③ ジャパン マリンユナイテッド社による AIP（Approval In Principle：概念承認）取得

2013 年 9 月、ジャパン マリンユナイテッド社は、世界で初めて浮体式の没水型 OTEC プラントで日本海事協会（NK: Nippon Kaiji Kyokai）より AIP（概念承認）を佐賀大学と共同で取得したと発表した。本方式は、台風等の自然災害に強く安定性が高いことが大きな特徴である。同社は、上記発電プラントと類似の形式となる、福島沖浮体式洋上風力発電設備のための浮体式洋上変電所（2013 年 11 月稼働開始）を建造

しており、浮体構造の面で技術信頼性が大きく向上した。

④ 海洋エネルギー発電システム実証研究 (NEDO)

2014年7月、NEDO「海洋エネルギー発電システム実証研究」にも OTEC の実証研究が採択された。共同研究先はジャパン マリンユナイテッド株式会社、国立大学法人佐賀大学で、2014年度から2017年度にかけて、次の実証研究が行われた。これらの成果は、久米島における1MW規模の OTEC の事業性を示した。

- ・実海域実証研究のための FS (Feasibility Study : 実施可能性調査)
- ・先導的な OTEC システム技術の実海域実証試験
- ・海洋環境への影響調査
- ・大型発電設備の概念設計

4-3 地域貢献を促す日本の久米島モデル

4-3-1 世界のトップランナーとしての「KUMEJIMA MODEL」

「KUMEJIMA MODEL (久米島モデル)」は、海洋温度差発電を核として海洋深層水を複合的に利用し、「エネルギー・水・食糧」の自給自足で持続可能な開発を目指す社会モデルとして、国際的に高く評価され、関連分野において多くの国と地域で広く認知されている(図6)。この「KUMEJIMA MODEL」は^{5,8}、世界的に海洋温度差発電および関連の国際会議において、海洋温度差発電を核として海洋深層水を複合的に利用する持続可能な地域社会のシンボリックで国際的な開発目標および、世界的な先進事例と紹介されることが多い。このような評価は、沖縄県久米島町が、世界に先駆けて実施し、社会的実績としてロードマップを示したからであるといえる。一方、本格的な「KUMEJIMA MODEL」の社会実装と運用は、現在の海洋深層水取水量が、既存の約10倍の毎日10万トン以上になり、1MW海洋温度差発電プラントが稼働してからであるが、今日の評価は、海洋深層水を利用した久米島町の地域社会が2000年より継続的に発展を続けている実績によるところが大きい。特に、久米島町での長年の海洋深層水利用が、新産業創出、雇用創出、観光産業の活性化等の地域経済の活性化に実際に繋がっているからである。



図6 「久米島モデル」
(出典：久米島町)

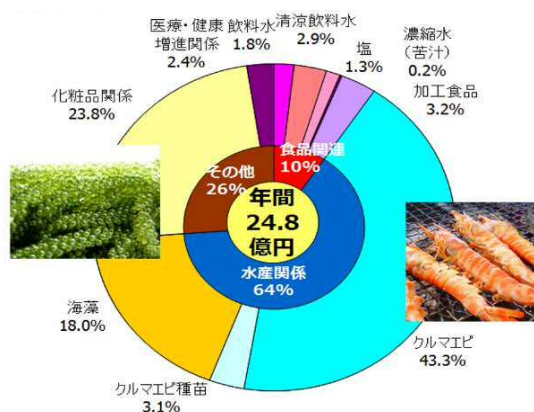


図7 久米島海洋深層水産業の現況
(出典：久米島海洋深層水協議会)

4-3-2 ブルーエコノミーからみた「久米島モデル」の魅力

久米島町が将来ビジョンとして提唱している持続的発展モデル「久米島モデル」は、海洋深層水の特徴を余すところなく活用して「エネルギー・水・食糧」を自給し、地域資源を生かした新産業興隆地域を作るという先導的なモデルであることから、海外の島嶼地域からの関心が特に高い。これまでに熱帯・亜熱帯の太平洋の島嶼・沿岸地域を中心として 61 カ国もの人々が視察に訪れるほどである。この「久米島モデル」の魅力は、モデルが単なる海洋深層水の利用に留まらず、新産業創出、雇用創出、観光産業の活性化等の地域経済の活性化に実際に高い実績を上げているからである。まさに、地域が有する「海のポテンシャル」を余すことなく有効利用して、持続可能な経済的発展、「BLUE ECONOMY」に繋げているからである。「久米島モデル」は、「BLUE ECONOMY」の国際的な先駆的モデルと言っても過言ではない。

また、「久米島モデル」が注目されているのは、カーボンニュートラルや SDGs が叫ばれる中、その実現に向けて国際的に先頭を走るだけでなく、その実現に向けた明確なロードマップを国内および海外に向けて発表していることである。具体的には、2000 年に海洋深層水利用が始まった頃には、久米島の主産業はサトウキビであったが、現在、久米島における海洋深層水利用関連の産業は、サトウキビ産業の約 2 倍以上の年間の売上高となる 24.8 億円規模（平成 27 年度時点）にまで発展している。特に、「車エビ」および「海ぶどう」においては、出荷額が日本一である。この売上高は久米島全体の農業生産額：年間 19.8 億円および水産業生産額：年間 22.8 億円を上回り、久米島の経済発展を支える産業の柱の 1 つとなっている。2000 年の海洋深層水設置コストの約 25 億円規模にまで年間の売上高が向上した。久米島町では深層水利用産業を経済の発展基盤として地方創生総合戦略の中核に位置付けて、深層水を水産業、製造業、サービス業等総合的に利用する取り組みを進めている。

2021 年度、久米島町は、国の支援を得て、海洋深層水の取水量が既存（日量 1 万 3 千トン）の約 10 倍の日量 10 万トン以上の取水管を設置するための FS（実施可能性調査）を開始した。順調にいけば、2026 年から稼働する予定である。内閣府の試算によると、約 10 倍の取水管が設置されれば、久米島の海洋深層水産業は、現在の 3 倍近い年間売上約 80 億円まで発展するポテンシャルを有していると試算している。

4-3-3 2040 年 カーボンニュートラルを目指す「久米島モデル」の挑戦

2020 年 3 月、久米島町は、「久米島町エネルギービジョン 2020～持続可能な島を次世代につなぐための再生可能エネルギー 100%化に向けて～」を発表した⁸。本ビジョンは、2040 年までに、島内で消費されるエネルギーの 100%を再生可能エネルギーによって自給することである。なお、久米島に往来するための航空機・フェリー燃料を除いている。

主なシナリオは、下記の通りである。

<2025 年頃>

太陽光発電および蓄電池の価格低下によって、離島地域の厳しい系統接続要件を満たしても採算性がとれる太陽光発電コンセプトが登場し、地域出資の発電事業会社によって普及が再び進む。海洋温度差発電は、2025 年頃に海洋深層水の大規模取水開始と同時に実証設備として発電を開始。

<2030 年>

EV（Electric Vehicle）の普及が本格化し、新車購入の 40%程度を占めるようになる。EV への充電時間帯の制御（DR: Demand Response）と EV からの電力供給（V2H（Vehicle to Home）等）を EMS（Energy Management

System) から行うことにより、日間の電力需給ギャップ調整が火力発電に頼らずに行えるようになる。

<2035年>

蓄電池(定置型・EV)の普及拡大と制御によってほぼ一定出力での運転となった火力発電を、洋上浮体式の海洋温度差発電が代替し、火力発電はバックアップ用や季節間需給ギャップ調整用にのみ使用されるようになる。

<2040年>

電力から燃料への転換技術、バイオマスの燃料利用技術、機器の電化等のコスト低下により、現在、重油・軽油・灯油等でまかなわれているエネルギー需要が再生可能エネルギー化。エネルギー自給率100%を達成。

現実的には、超えなければならない課題も多く簡単ではないが、提案書では、様々なケースへの対応とともに、具体的にベース電源として海洋温度差発電の導入計画が詳細に検討されている。

これらの実現は、単なるカーボンニュートラルの実現に留まらず、「BLUE ECONOMY」との有機的戦略的な連携によって初めて加速的に推進されるものと考えられる。

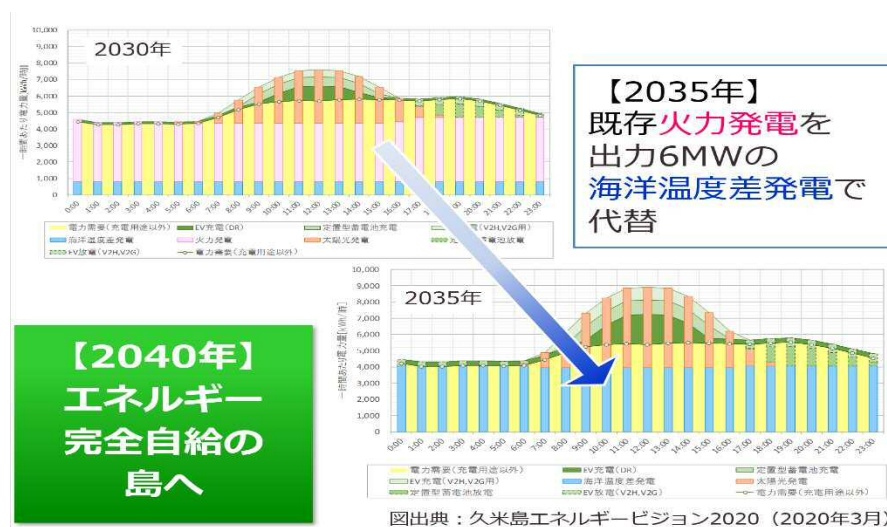


図8 久米島町が海洋温度差発電を核に目指す2040エネルギー完全自給ビジョン

4-3-4 「久米島モデル」が実現できた条件

「久米島モデル」が評価されるたびに、「どうして久米島モデルが実現できたのか」と問われることが多くなっている。

この節では、改めて「久米島モデル」が実現できている要因について整理し、これらの経験が、日本国内に留まらず国際的に「BLUE ECONOMY」推進に繋がればと期待する。

① 海洋深層水設置地域の経済活動を含めた評価

沖縄県が、海洋深層水設置のための調査および評価において、単なる海洋深層水取水管の設置コスト(海底地形、長さなど)だけで判断せず、導入予定地域の経済活動の展望を含めて評価したこと。そのため最終候補地として、久米島に決定した。

② 大規模海洋深層水の取水量確保

当時、日本における海洋深層水の取水量の実績および計画は、日量4,000トン以下で、そのほとんどが日量2,000トンであった。久米島において当初その規模を計画していたが、最終的には、大規模利用の有効

性を評価し、日量 13,000 トンと従来の 3 倍以上にしたこと。仮に、久米島が、従来の 4,000 トンであれば、現在の海洋深層水利用産業およびエネルギー利用は、実現しなかった。

設置地域の特性にもよるため一概に言えないが、海洋深層水のメリットを活かすには、より大規模利用のほうが、経済的利用価値は高まる。当然、合わせて環境評価も一層重要になる。

③ 地域社会の熱心な海洋深層水利用への取組

上記①および②は、施策的に出来ても、この③の事項は、その地域社会が有するポテンシャルによるところが大きい。

まさに、「久米島モデル」が世界的にも成功したのは、久米島の地域住民の方々の熱心な取組によるところが最も大きいと考えられる。現在の海洋深層水利用産業のほとんどが、地域住民の方々がゼロから立ち上げた実績である。特に、クルマ海老、海ぶどう、化粧品類などが代表的である。これらで、久米島町全体の海洋深層水産業の 8 割以上を占める。

④ 行政の強力かつ継続的な支援

「久米島モデル」の成功には、地域住民の方々の熱意とポテンシャルが重要であるが、また、それを支える行政の支援も不可欠である。久米島町は、取水管設置当初から、「新エネルギービジョン」、「地方創生」、「産業育成」など、海洋深層水を活かした企画立案から長期的なビジョン作りまで、明確に国内および海外に示し、積極的に情報発信するとともに、きめ細かい産業界の支援を熱心に進められていると考える。まさに、この産業界、農水産業界、市民、行政の継続的な連携強化が、今日の「久米島モデル」に繋がったといえる。

4-4 普及の課題（制度整備）

4-4-1 普及のための課題

海洋温度差発電の普及のための大きな課題は、つぎのようなものが掲げられる。

- ① 事業化推進に必要な技術の信頼性および経済性を向上させるために、1 MW 以上の発電能力を有する海洋温度差発電の実証研究が不可欠。
- ② 小規模（1 MW~5 MW）の陸上型海洋温度差発電における海洋深層水の取水管コストが事業化の大きな負担になっている。
- ③ FIT 等の導入による政策的な支援制度がない。
- ④ 海洋温度差発電で用いる海洋深層水の取水管の用途が、エネルギー分野、農業水産分野、海洋環境保全分野、新産業等雇用促進分野等と複数の省庁の関連事業である。このため海洋深層水の取水管設置の支援体制が明確でない。
- ⑤ 我が国が本分野で国際的リーダーシップを発揮し、国際的な貢献および事業推進のための民間主導のコンソーシアムを構築および支援する。
- ⑥ 本格的な OTEC の大規模商用化のためには、10 MW 級（約 300 億円規模）の実証が必要である。

4-4-2 普及のための提言^{2,8}

前述の海洋温度差発電の普及のための課題を解決するための制度整備等の主な提言は、次の通りである。

- ① 海洋深層水の取水管設備を上下水道等と同様に公共インフラとして国が施策的に支援する（図9）。
海洋深層水は、発電以外に多くの事業者および公共機関が利用し、上下水道や高速道路のように利用者負担として設置・運用するために公共インフラとして国が支援することが重要である。前述の内閣府の調査および評価に記述されているように、日量10万トン以上の海洋深層水取水管の設置に伴うB/Cは、1以上になり事業性は高いことが示されている。このことにより、我が国の海洋利用、特に海洋深層水に推進が加速化され、BLUE ECONOMY、地域の強靱化およびSDGs解決に向けて取組が促進されるものと期待される。
- ② 他分野におよぶ海洋深層水取水事業を加速化させるための担当省庁の明確化。
- ③ 1MWOTEC実証事業を早期に実現するための、民間を主体とする国家プロジェクトの立ち上げ。
- ④ 上記③の運用実績によるFITの早期設定。
- ⑤ 現在、海洋温度差発電の事業化を目指す民間主導のコンソーシアムが推進されている。この活動を加速化させるための支援制度の充実。
- ⑥ IEA-OESで提案されている10MW級の浮体式海洋温度差発電の実証を我が国手動で国際的プロジェクトとして立ち上げる支援制度。

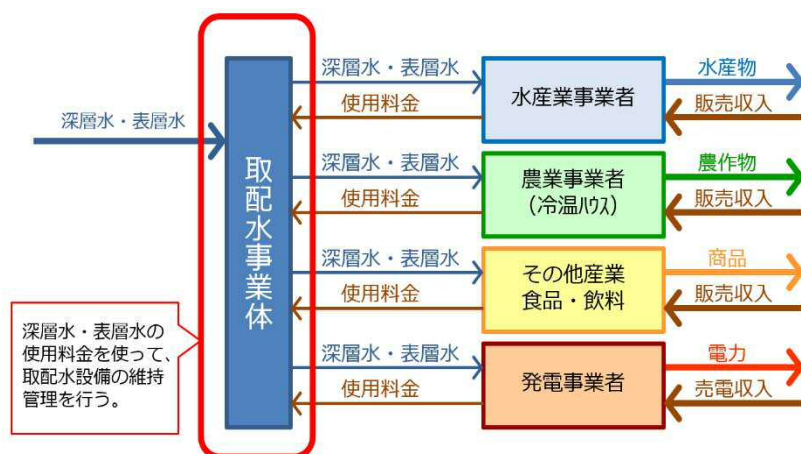


図9 「BLUE ECONOMY」を推進するための海洋深層水取水管の公共インフラ

参考文献

1. 佐賀大学海洋エネルギー研究センター
https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/ocean_energy/
2. 「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及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
<https://www.pref.okinawa.jp/site/shoko/seisaku/kiban/oceanrenewableenergy/otec/houkokusyo/h30houkokusyo.html>
3. LCA による OTEC の評価 田原 聖隆, 小島 紀徳, 稲葉 敦
<https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/files/uploads/8-3.pdf>
4. LCA 手法による発電プラントの評価 -CO₂ ペイバックタイムの算出- 田原 聖隆, 小島 紀徳, 稲葉 敦 化学工学論文集 23(1), 88-94, 1997-01-10
5. 「平成 29 年度離島地域における海洋深層水を活用した地域活性化可能性調査報告書」
<http://www.ogb.go.jp/keisan/oshirase/016535>
6. IEA-OES OTEC プロジェクト
<https://www.ocean-energy-systems.org/oes-projects/status-of-otec-and-its-resource-assessment/>
7. IEA-OES 「WHITE PAPER」
<https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-position-papers/>
8. 「久米島町エネルギービジョン 2020」
<https://www.town.kumejima.okinawa.jp/docs/2021011900033/>