

沖縄・久米島から始まった海洋温度差発電の新しいステージ

Ocean Thermal Energy Conversion Project at Kume-jima in Okinawa Prefecture

池上康之¹・實原定幸²・高橋義男³・尾崎 誠⁴

Yasuyuki Ikegami¹, Sadayuki Jitsuhara², Yoshio Takahashi³ and Makoto Ozaki⁴

1. はじめに

沖縄県の方々のご尽力で、世界に先駆けて、海洋温度差発電（OTEC）の実証実験が昨年6月に本格的に始まった。特に、長年、沖縄県・久米島で日本最大の海洋深層水の利用を安全にかつ有効に利用してこられた方々の素晴らしい実績とご尽力がこのプロジェクトをスタートさせた。

沖縄県は、島しょ地域であるため化石燃料への依存割合が非常に高いことから、化石燃料の代替エネルギーとして、それぞれの離島の地域特性に即した風力発電、太陽光発電等の再生可能エネルギーの導入拡大に取り組んでいる。このような状況の中、平成24年度、再生可能エネルギーのうち、海洋の深層水および表層水を利用する発電、いわゆる海洋温度差発電の利用方法について、久米島町の海洋深層水研究所において実証事業を開始した。

本稿では、本事業を紹介すると共に今後の展望について報告する。

2. 沖縄県での海洋深層水の利活用について⁽¹⁾

沖縄県で最初に海洋深層水の利活用が提案されたのは、1986年に県が実施した「沖縄県海洋科学技術基本構想調査」である。本調査では、亜熱帯環境にある沖縄海域での海洋深層水利用技術開発について、3タイプが提案された。その後、海洋深層水へ

関心の高まりを受け、沖縄県では1994年度に「研究拠点立地条件等調査」を行い、沖縄近海の海洋深層水の特性を確認するとともに、取水・研究施設の適地として県内3箇所を候補地とした。本調査では、当初、沖縄県周辺で25箇所の取水適地が示されていたが、海岸からおおむね3 km以内で水深600 mに達するとして、沖縄本島の国頭村辺土岬、栗国島、久米島の3箇所が候補地として選定された。

1995年度には、「沖縄型海洋深層水総合利用システム開発調査」で具体的な利活用方法の検討を行い、海洋深層水の取水・研究施設の立地場所に久米島の仲里村美崎地先が選定された。

那覇の西およそ100 kmに位置する久米島の海水温は、表層で冬期22℃、夏期28℃と変動するが、200 m以深で安定し、600 m地点で約9℃となっている。栄養塩類は、ほぼ200から300 mまでが貧栄養層となっており、それ以深より増加傾向を示している。また細菌数は、400 m以深で極めて少なくなっている。これらの調査結果から、冷熱利用、富栄養性利用のためには、取水深度を600 m以深とする必要があることが確認された。

このような経緯を経て、1996年度には、海洋深層水総合利用の基本方針を定め、1997年度に実施計画を作成、1998年度からは研究施設の整備に着手し、2000年度に旧仲里村：現久米島町において沖縄県海洋深層水研究所が開所した。

久米島の海洋深層水研究所では、現在、島の北東

¹ 佐賀大学（〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1番）

² 株式会社ゼネシス（〒104-0061 東京都中央区銀座5-11-14）

³ 横河電気株式会社（〒180-8750 東京都武蔵野市中町2-9-32）

⁴ IHI プラント建設株式会社（〒135-0061 東京都江東区豊洲3-1-1）

側の東シナ海側、沖合約2.3 km、水深612 mから海洋深層水の取水を行っており、全国的にみても最適な取水地となっている。また、取水量は日量13,000 tと国内最大規模で、これは全国で取水されている海洋深層水の約28%を占めている。取水用パイプラインは内径280 mmの特殊ポリエチレン管を2条設置している。

本施設は、研究施設（リサーチエリア：3.3 ha）を中核とし、企業用地（ビジネスパーク）が周辺に配置されている。研究施設では水産及び農業分野を中心に一部食品加工関係を配置しており、研究所内にオープンラボを設置し、企業や他の研究機関に提供する他、水産、農業分野についてはインキュベーターを設置し、一定期間生産者等に貸出し産業化を支援している。また、海洋深層水の資源特性を効率よく利用するため、農業による冷熱利用と水産利用を組み合わせた多段利用方式を採用していることも大きな特徴である。応用分野毎の利用方法については、水産・農業分野で利活用のための技術開発を行い、島内・県内の生産者・企業等へ開発された技術に移転し、産業化を図っている。

現在、これらの深層水は、久米島の重要な産業および雇用を支える貴重な水となっている。一層の活性化を目指すためには、深層水が非常に不足しているのが現状である。久米島では深層水の利用促進を町全体で目指す「海洋深層水複合利用推進協議会」を設置して、より大規模な海洋深層水の利用促進を目指している。



図1 沖縄県海洋深層水研究所とその周辺

このような状況の中、平成23年3月に「緑の分権改革推進事業」として「久米島海洋深層水複合利用基本調査」を行い、1 MW級の海洋温度差発電とともに深層水利用の詳細なFSがまとめられ、その可能性が示されている。

3. 海洋温度差発電の連続運転^{(1),(2)}と現状

海洋温度差発電は、海洋の表層部の温海水と深層部約600～1000 mの冷海水との間に約10～25℃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。

図2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。

海洋温度差発電の実海域における実証は、これまで世界で初めて正味出力を得た1979年のハワイにおける50 kW Mini-OTECの成果を初めナウル100 kW、

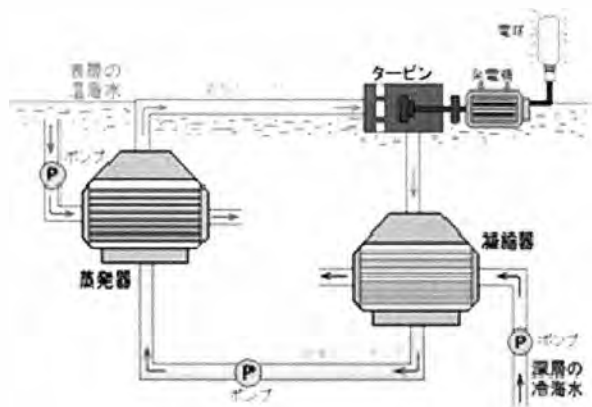


図2 海洋温度差発電の原理

ハワイのOpen cycle 210 kWなど、これまで多くの実績がある。これらはシステム評価では、すべて正味出力が得られたと報告されている。これらの海洋温度差発電プロジェクトは、1973年のオイルショック後、化石燃料に対する代替エネルギーの開発として取り組まれた。一方、その後の化石燃料価格の低下とともに、これらの実海域のプロジェクトは終了し、現在、実海域で連続で稼働しているプラントはない。

海洋温度差発電の特徴として、(1) 安定的な電力源、(2) 複合利用が可能、(3) スケールメリットが極めて大きい、などが挙げられる。そのため、数100 kW規模では、経済性が成り立たず、少なくとも1 MW以上、本格的な電力源としては、5～10 MW級以上の規模が必要と評されている。米国では、DOE (エネルギー省) などが、ハワイで10 MW、フランスは、タヒチで10 MWの浮体式OTECの実証を目指して、各国の政府が支援を行っている。

このような状況の中、沖縄県は、エネルギー自給率の向上、エネルギー供給源の多様化を図る必要がある。その一環として、海洋深層水を利用する海洋温度差発電について、将来の大型化、商用化に向けた実証事業を平成24年度から実施した。

事業費は、約5億円である。主な実施内容は、

- 発電プラントを設置し、研究所が取水する海洋深層水及び表層水の一部を利用して発電させ、天候、海水温の変化に伴う発電量等を計測
- 安定した出力を得るための技術に関する実証試験
- 海洋深層水及び表層水のより高度な複合的利用についての検討

事業実施期間は、平成24年度～平成26年度の予定である。

○平成24年度 発電プラントの建設

○平成25年度～平成26年度 実証試験

プロジェクトは、IHIプラント建設株式会社 (IPC)、株式会社ゼネシス、横河電機株式会社のJVとして建設が行われた。IPCは、表層水および深層水の配管や発電ユニット設置などの現地工事。ゼネシスは発電及び熱交換器ユニットの製造組立、横河電機は

電気、計装、制御装置、および系統連系工事をそれぞれ担当した。佐賀大学は、本事業に関して、立ち上げ時から沖縄県およびJVに協力している。

平成24年8月に沖縄県とJVの契約が締結され、11月から現地での基礎工事を開始した。平成25年1月からは発電ユニットの据付、配管工事、電気計装工事が進められ、3月末に工事を完了した。久米島は、冬の間は気象条件が悪く、海が荒れて機器の現地到着遅れや、風が強く据付工事を中断することもあったが、安全に予定通り工事を完了することができた。

発電装置本体は、現地工事期間短縮のため、(株)アイ・エイチ・アイ・アムテック (現JMUアムテック) の工場にて組立て、耐圧・気密試験を実施した。図3は工場での組立て作業中の写真を示す。その後、一旦解体して、船にて現地に輸送した。図4は船への積込みの状況を示す。図5、および図6は現地での発電ユニットの据付の様子を示す。図6は、



図3 工場での発電ユニット組立て



図4 発電ユニットの船への積込み

OTECの重要機器の一つである蒸発器を設置したところである。OTEC用の蒸発器や凝縮器は、海水を使用するため、海水に腐食しない伝熱性能の高い神戸製鋼所製チタンプレートを用いている。また、コンパクトで熱交換性能の高いプレート式の熱交換器としている。図7は、完成したプラントの現状写真

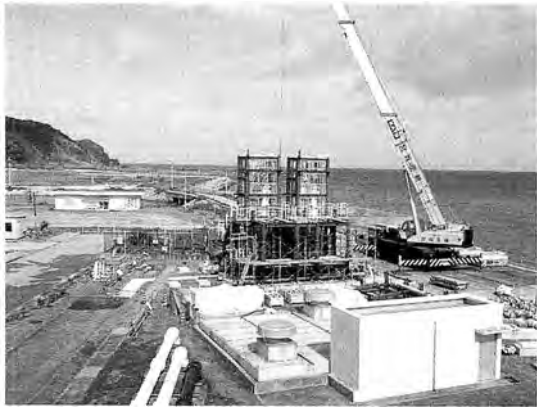


図5 現地での設置工事



図6 蒸発器の設置

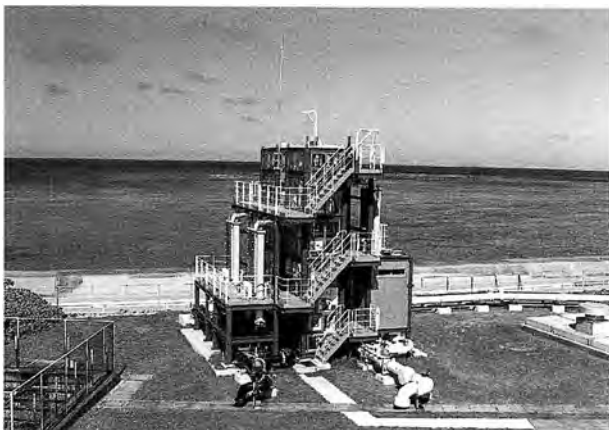


図7 沖縄県プロジェクトの現状

を示す。

平成25年3月にプラントは完成し、予備発電で平成25年3月末に、小規模ながら実海域での発電に成功した。佐賀大学では、実海水を用いながらも佐賀県・伊万里では深層水が得られないために、人工的に設定した温度差で発電の実験を行ってきた。この沖縄・久米島の発電の成功は、海洋温度差発電の第二次ブームが到来したといわれる中、世界に先駆けて、まさに15年ぶりに実際の海水による温度差で発電に成功したものである。本プロジェクトを立ち上げ、発電の成功に携われた沖縄県庁をはじめ関係各位に心から敬意を表したい。平成25年6月に本実証事業の開所式が行われ本格的な実証研究が始まった。現在は、沖縄電力の許可を得て、発電した電力は系統連係されている。

4. プロジェクトの特徴と意義

本事業は、沖縄県海洋深層水研究所において取水している海水（表層水および深層水）の余剰分を利用することにより、現状の海水利用者（研究所および民間企業）に影響を与えないことを優先し、その範囲内で意義のあるスケールの海洋温度差発電の実証設備設置～運転、および発電利用後の深層水の利用のためのデータ取得が行われている。

図8は、運転中の発電装置の状態を示したものである。監視制御装置には、横河電機製の最新機器であるCENTUM VPを使用している。表層水、深層水、作動流体の流量、温度、圧力、発電量などの運転データは常時1秒ごとに取得し記録され、運転状態の監視や、性能の評価検討に利用されている。

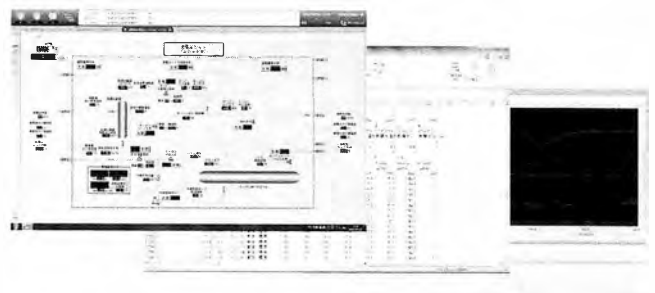


図8 運転データ表示の一例

実証設備は2つのユニットによる構成となっている。うち一方は、海洋温度差発電の重要項目である長期連続運転を可能とする。これにより技術信頼性を向上させ、将来の1 MW, 10 MWに向けた展開に寄与することが目的とされている。

サイクルは、海洋温度差発電技術のうち最も大型化・商用化に適しているとされる、クローズドサイクル式の発電実証設備（ランキンサイクル）である。作動流体には、初期段階として純物質HCF134aが用いられている。今後、アンモニアも用いて試験される予定である。

5. おわりに

沖縄県の本事業は、米国とフランス等で、本格的

な海洋温度差発電事業が進められている中、我が国が先駆けて発電に成功し、海洋温度差発電事業の推進および国際的な競争力の強化、島嶼地域の再生可能エネルギーの促進において極めて重要である。今後、本事業の成果が世界に先駆けて1 MW, 10 MWの事業に繋がり、世界のエネルギー問題、環境問題に寄与することを期待したい。

参考文献

- (1) 「緑の分権改革推進事業：久米島海洋深層水複合利用基本調査報告書」平成23年3月
- (2) 池上康之(2012) 海洋温度差発電の実証研究に関する国内外の動向—安定的な再生可能エネルギーを求めて—, マリンエンジニアリング, 2012. 5