

# 海洋深層水の利用高度化に向けた 発電利用実証事業

平成 25 年度 報告書

平成 26 年 3 月

IHI プラント建設株式会社  
株式会社ゼネシス  
横河ソリューションサービス株式会社

## 目 次

はじめに.....	1
本報告書について.....	1
平成 25 年度における海洋温度差発電をとりまく状況.....	2
報告書の概要.....	7
1. 実証設備を用いた運転及び試験.....	11
1.1 発電利用実証試験：ユニット A.....	11
1.2 要素技術試験：ユニット B.....	30
2. 海洋温度差発電システムの確立に関する検討.....	39
2.1 海洋温度差発電の費用低減に関する検討.....	39
2.2 沖縄県の海域における洋上型海洋温度差発電設備の設置の可能性.....	42
3. 海洋深層水のより高度な利用の可能性及び方法.....	43
4. 海洋温度差発電に利用した後の海洋深層水の利用の可能性及び方法.....	46
5. 検討委員会.....	49
6. 設備維持管理・見学者対応等.....	50
6.1 設備維持管理.....	50
6.2 パンフレット及びウェブサイトの作成.....	50
6.3 見学者対応.....	51
7. その他、本件事業の目的に適合する内容について.....	61
8. 今年度のまとめと次年度への課題.....	68
添付資料及び別冊提出資料一覧.....	68

## はじめに

### 本報告書について

本報告書は、沖縄県から IHI プラント建設株式会社・株式会社ゼネシス・横河ソリューションサービス株式会社が共同受託した「海洋深層水の利用高度化に向けた発電利用実証事業」について、平成 25 年度の実施内容（事業期間 平成 25 年 4 月 9 日～平成 26 年 3 月 31 日）をまとめたものである。

### 事業目的

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。

この度、再生可能エネルギーのうち、沖縄県内で実現可能性が高いとされている海洋深層水及び表層水を利用する海洋温度差発電について、久米島町にある沖縄県海洋深層水研究所（以下「研究所」）において実証事業を実施する。

研究所が取水する海洋深層水は、周辺の民間企業に分水され、養殖並びに化粧品、食料品及び飲料水の製造など地域の産業振興に寄与しており、本件事業は、海洋深層水の複合的利用の一環として実施する。

### 事業概要

本事業は、平成 24 年度～26 年度の三か年の実施が予定されている。

平成 24 年度は、海洋深層水及び表層水を利用する発電（以下「海洋温度差発電」という。）の実証運転を行う設備を研究所の敷地内に設置した。平成 25 年度は、同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を行ない、天候、気温、海水温の変化に伴う発電量等を計測するとともに、安定した出力が得られるよう海洋温度差発電に係る技術に関する実証試験を行った。

併せて、将来の海洋温度差発電設備の実用化に向けた検討、及び、海洋深層水及び表層水の複合的利用に関する検討を行った。

本報告書第 1 章では、昨年度設置された海洋温度差発電実証設備の運転実績及びその解析結果について述べる。併せて、設備の維持管理方法や見学・視察者の状況の実績についても報告する。第 2 章では、上記運転実績を基に規模拡大時の性能を推定し、昨年度検討した商用規模プラント（1MW(1,000kW)及び 10MW(10,000kW)）の技術的信頼性について検証する。

つづいて第 3 章、第 4 章では、海洋深層水利用高度化の観点から、発電と海洋深層水複合利用のより高度な組合せについて考察する。第 6 章では、設備管理と見学対応について、実績を述べる。また第 7 章では、主に本事業と密接に関わりのある沖縄ハワイクリーンエネルギー協力 海洋エネルギーワークショップと、本事業に関する情報発信等について報告した。

## 平成 25 年度における海洋温度差発電をとりまく状況

近年の化石燃料の価格高騰と、人為的要因による気候変動への危機感の高まりから、再生可能エネルギーの研究、技術開発、普及が急速に広がっている。海洋再生可能エネルギーの 1 つである海洋温度差発電も、ここ数年技術開発への取組が急増し、現在は「第二次ブーム」<sup>1</sup>と言われている(下図)。

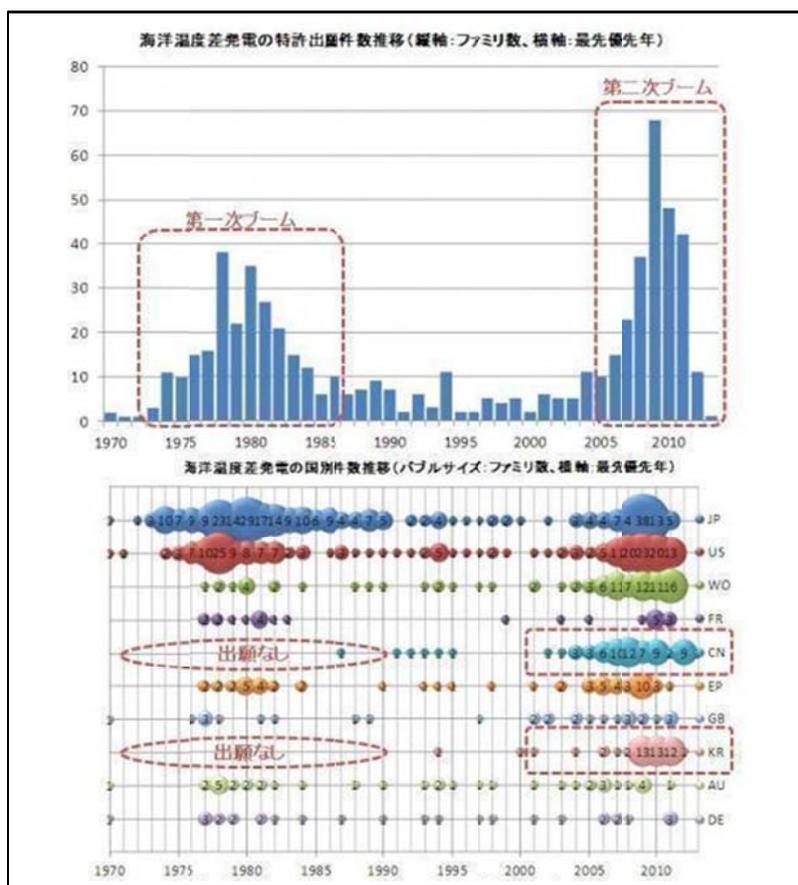


図 海洋温度差発電の特許出願数推移

(出典:「特許出願から見た海洋温度差発電」)

1980 年前後の日米を中心とした第一次開発ブームから 30 年もの年月を経て、再び脚光を浴びている理由としては、以下のような海洋温度差発電特有の背景が大きい。

### ①低温の熱源を利用した発電設備の商用化

工場の低温排熱や地熱水等の、これまで利用されてこなかった低温の未利用熱を用いたバイナリー発電が、1980 年台以降商用化されている。日本では 1999 年に運転を開始した新日鐵住金鹿島製鐵

<sup>1</sup> 日本技術貿易株式会社, 平成 25 年 9 月 25 日, 「特許出願から見た海洋温度差発電」, [http://www.ngb.co.jp/ip\\_articles/detail/994.html](http://www.ngb.co.jp/ip_articles/detail/994.html) (参照 平成 26 年 3 月 1 日)

所の転炉排熱回収(98℃温水)による3,450kWの発電設備を皮切りとして実用化が進んだ。海洋温度差発電(現在主流のクローズドサイクル)の原理は、このバイナリー発電と同一である。

## ②海洋構造物に関する技術信頼性の向上

海洋温度差発電の発電プラントは、大規模商用化時において洋上浮体式の形式を取る。一方、この30年で海底油田掘削及び関連設備は大水深化が進み、1000m以上の海底から油田を掘削する海洋構造物も一般的になっている。この技術は、商用の海洋温度差発電プラントにも適用が可能である。

## ③上記の技術成熟による発電コストの信頼性向上

上記①及び②は、海洋温度差発電の技術信頼性を高めただけでなく、同技術の延長上で海洋温度差発電プラントを計画、基本設計が可能であることから、その建設コストや運用時の発電コストの見積精度が大きく向上した。

## ④発電ポテンシャルと市場の大きさ

平成22年度、NEDO 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構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、日本における海洋温度差発電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℃以上の海域で5,952MW、離岸距離制限なし・水温差20℃以上の海域では173,569MWと算定された。<sup>2</sup>

日本は沖縄や小笠原を除くほとんどの海域では、表層水温が低いことから「水温差20℃以上」の条件を満たさない。一方、南～東南アジアの沿岸国、南太平洋島嶼国の海域は、より大きな水温差が得られることから、より大きなポテンシャルが得られる。また、これらの地域に存在する国々は今後も経済成長が期待されるインドネシア、マレーシア等の新興国も多く含まれ、有望な市場が広がっている。

### (1) 国内の状況（平成25年度のトピック）

このような中、日本では関連技術も含めて次のような展開がなされている。

#### ①沖縄県海洋温度差発電実証設備 稼働開始（平成25年4月）

本事業で平成24年度に設置した沖縄県海洋温度差発電実証設備の稼働開始は、次の点で日本国内のみならず、世界の海洋エネルギー関係者の中で大きなトピックであった。

- ・平成26年3月現在も、実際の表層水・深層海水を用いて発電を行なっている設備としては世界唯一である。
- ・平成26年3月現在、日本の海洋再生可能エネルギーの中で、唯一商用電力系統との系統連系を行なっている。

<sup>2</sup> NEDO, 2011年3月, 「海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務」, 107頁 表4-3-2-1

- ・日本で実際の深層海水と表層水を用いて発電試験を行なったのは 30 年ぶりである。



写真 沖縄県海洋温度差発電実証設備

## ②NEDO 次世代海洋エネルギー発電技術研究開発

平成 23 年度からスタートした NEDO「次世代海洋エネルギー発電技術研究開発」では海洋温度差発電プロジェクトも採択され、5 か年計画で研究開発が進んでいる。受託者は佐賀大学と株式会社神戸製鋼所で、海洋温度差発電に用いられる熱サイクルと熱交換器の高効率化の技術開発を行なっている。

## ③温泉水発電（地熱バイナリー発電）の急速な普及

温泉水を用いたバイナリー発電は、低沸点媒体を温泉水で気化させてタービン発電を駆動した後、冷却塔などで凝縮させる熱サイクルを採用している。この仕組みは海洋温度差発電において現在主流となっているクローズドサイクルとほぼ同じである。

平成 24 年 7 月に開始された再生可能エネルギーの固定価格買取制度において小型の地熱発電の買取価格は 42 円/kWh と優遇されていること、また、平成 24 年 4 月に施行された小型バイナリー発電設備の規制見直しにより建設コスト及び運用コストが低減されたことによって全国の温泉地で検討が進み、メーカー側も日本では神戸製鋼所、川崎重工、三井造船、富士電機等が次々に小型バイナリー発電機市場に参入した。

これまで日本における地熱バイナリー発電は実質的に八丁原地熱バイナリー発電所(2000kW)一ヶ所であったが、平成 23 年 12 月開所の新潟県松之山温泉バイナリー発電所(87kW)開所以降、鹿

児島県山川地熱発電所内(平成 25 年 2 月稼働開始)、長崎県小浜温泉(210kW: 平成 25 年 4 月稼働開始)等、次々と小型の地熱バイナリー発電所が誕生している。これは、類似技術である海洋温度差発電の技術的成熟にも資するものである。

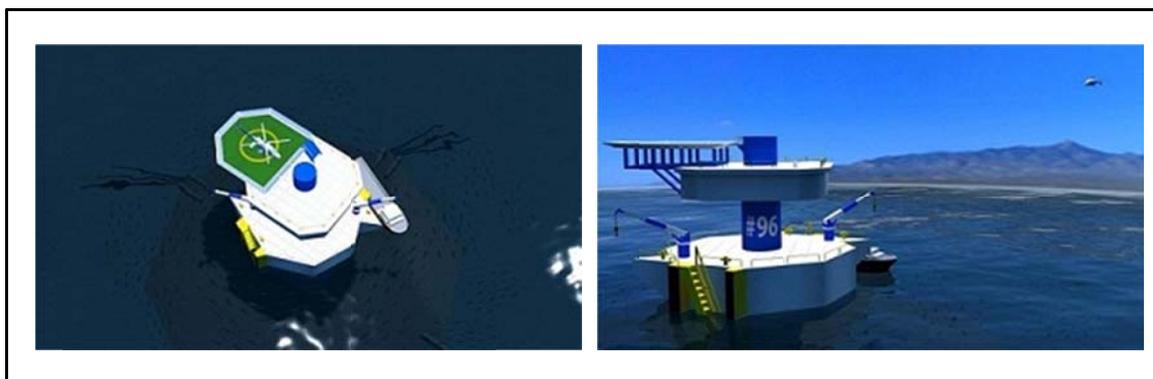
#### ④海洋エネルギー実証フィールド公募

海洋再生可能エネルギーの実証実験のための海域を提供する「実証フィールド」について、内閣官房総合海洋政策本部が都道府県を対象に公募を行なった。これに応じて平成 26 年 2 月末の公募締切までに、岩手県、新潟県、和歌山県、長崎県、佐賀県、鹿児島県、沖縄県の 7 県が応募している。今夏をめどに、洋上風力、波力、海流、潮流、海洋温度差の 5 種に対し、それぞれ実証フィールドが選定される予定である。<sup>3</sup>

#### ⑤ジャパン マリンユナイテッド社による AIP(概念承認)取得

平成 25 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海洋温度差発電プラントで NK 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(下図)。

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(平成 25 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。



没水型海洋温度差発電イメージ図

(出典:同社プレスリリース)

## (2) 海外の状況

平成 25 年 9 月 9-10 日、「Asia Pacific Clean Energy Summit and Expo」において、「International OTEC Symposium」が開催された。このシンポジウムは、米国 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Ocean and Coastal Resource Management (OCRM) OTEC Team と KIOST (Korean Institute of Ocean Science and Technology) Deep Ocean Water Application Research Center (DOWARC) OTEC Team の共同ホストにより開催され、米国、韓国、欧州(英国、フランス、オランダ)、日本、マレーシア、フィリピン等

<sup>3</sup> 平成 26 年 3 月 4 日 電気新聞、NHK ニュース等の報道による

の民間企業を中心に発表があった。<sup>4</sup>

ここでは、このシンポジウムにおける発表内容から、各国の動向について概観する。

#### 米国ロッキード・マーティン社

2013 年、中国「Reign-wood Group」と 10MW パイロットプラントの実施に向けた MoU を締結した。これをステップに 100MW 級商用プラントを実現する。Reign-wood Group の 10MW プロジェクトは既に設置場所も決定している。

米国からは、他に、NELHA (Natural Energy Laboratory of Hawaiian Authority) にて 1MW 級設備の導入を進める OTEC International 社、同じく NELHA にて熱交換器の実験を実施しており、この実験施設にタービン発電機を搭載して 100kW 級の発電実験を計画中の Makai Ocean Engineering 社等が発表を行なった。

#### フランス DCNS 社

2013 から 2016 年にかけて、マルティニーク島における 10MW プラントの設計を実施中である。

また、2013 年中に陸上式「フルスケール」OTEC プロジェクトの発表、2014 年に洋上式「フルスケール」OTEC プロジェクトの発表を行なう予定である。

欧州では他に、英国 Ocean Thermal Energy Corporation、カリブ海キュラソーでプロジェクトを計画しているオランダ BlueRise 社が発表を行なった。

#### 韓国 KIOST

2014～2017 年の間に、200kW 及び 1MW 級 パイロットプラントを建設する。

2018～2020 年には、10MW 級 プラント(深層水複合利用による実用プラント、ODA プロジェクト、海底資源開発への電力供給用などを想定)を建設する。

2020 年以降 100MW 級商用プラントの実用化を目指す。

韓国 EEZ では表層－深層の温度差が十分に取れないため、海外へのプラント輸出を主目的として開発している。

#### マレーシア、フィリピン

自国では技術開発を行っていないが、投資会社や政府機関が導入のための調査や法整備を検討している段階である。

海洋温度差発電の課題は、出力 10MW 級までは技術面ではなく、ファイナンス面であると認識していることがうかがわれた。

---

<sup>4</sup> OTEC Symposium ウェブサイト <http://www.ct-si.org/events/APCE2013/program/otec.html> (参照 平成 26 年 3 月 1 日)

## 報告書の概要

### 背景

海洋温度差発電は、発電出力が大きいほど発電コスト(円/kWh)が低くなるとされる(下図)。最終的な商用プラントは出力 100MW(100,000kW)規模であり、その発電コストは 10 円/kWh 強である。その中間段階のプラントである出力 10MW(10,000kW)では 20 円/kWh 前後、1MW(1,000kW)は 40～60 円/kWh と算定されている(図 S-1)。

一方、本実証設備の出力は 100kW 規模(発電利用実証用ユニット A: 発電出力 50kW + 同規模の要素技術試験用ユニット B)であるため、得られたデータを解析・汎用化して、次のステップである 1MW さらには 10MW の技術的信頼性向上に役立てることが重要である。併せて、1MW、10MW 規模の発電設備の設計や運用時に想定される課題についても、本実証試験を通じて知見を得ることが望まれる。

また、発電単独では発電コスト面で成立が難しい 1MW 規模の発電設備では、各種の深層水利用産業と、取水設備の共用や発電利用前後の海水の多段利用によって、経済性を向上させることが求められる。

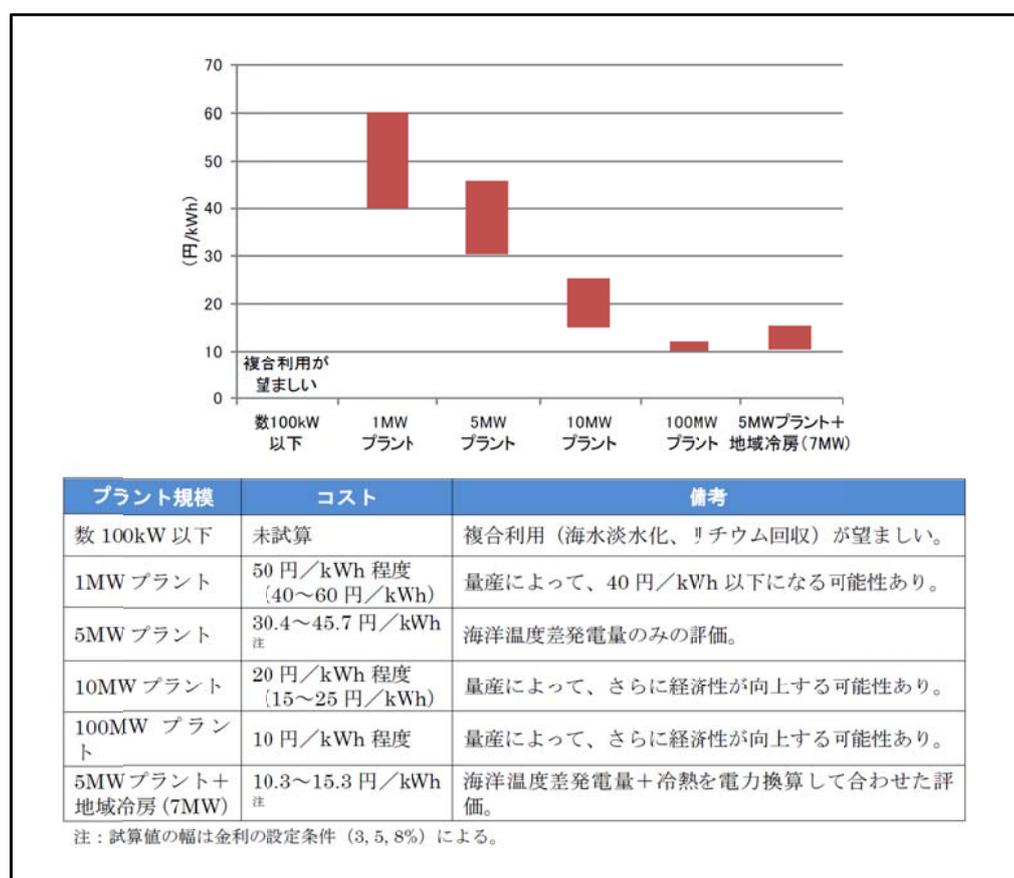


図 S-1 (参考)海洋温度差発電の発電コスト

(出典:NEDO, 2013年12月,「再生可能エネルギー技術白書第2版」,19頁,図6-16)

**(1) 発電利用実証試験：ユニット A**

前述の背景の下、発電利用実証試験用であるユニット A では、海洋温度差発電におけるキーテクノロジーである熱サイクル及び熱交換器を中心に、運転データの取得と解析を行なった。得られた結果を 1MW、10MW 規模に適用するための手法について考察し、これを基にした 1MW、10MW 規模の仕様を検討した(第 1 章、第 2 章)。

表 S-1 に、海洋温度差発電の重要機器について、本試験で得られた結果と、その考察についてまとめる。熱サイクル、熱交換器とも計画値以上の性能となり、現在の設計式や設計手法がより大規模な出力を持つ設備でも適用可能であることが確認された。

表 S-1 発電実証試験で得られた結果とその考察

対象	実証試験結果	考察（大規模プラント）
熱サイクル	熱サイクルとしての出力はシミュレーションと同等以上（ピンチ温度小）。	同様の熱サイクルシミュレーションで、大規模プラントの性能も精度よく推定できると考えられる。
熱交換器	設計時性能推定値より若干高い性能となった。	同様の熱交換器性能推定式を用いれば、安全側の設計が可能である。
タービン発電機	出入口差圧による効率カーブを把握した。	大規模プラントでは今回と異なるタイプのタービンを採用する。運転範囲についてタービン効率カーブをあらかじめ把握しておくとともに、オフデザインでも効率が落ちにくい可変ノズル方式等を検討する。

**(2) 要素技術試験：ユニット B**

ユニット B における試験の主な目的は、より大出力な発電設備で起こり得る課題の程度の検証、最適な設計点及び運転点の模索及び運転特性の把握である。これらのデータを得るために、各種の運転状態を設定した試験を行なった(第 1 章)。

表 S-2 に、実施した試験の目的、手法、結果、考察をまとめる。発電設備の稼動に支障をきたすような課題は無く、今後の設計や運用に利用できる知見が得られた。

表 S-2 要素技術試験の目的、手法、結果、考察

目的	手法	結果	考察
最適な運転点の模索	蒸発器出口蒸気状態を変化させて熱交換器性能を評価	過熱度の低い運転点で高性能	次ステップの設計点の設定に反映する
熱交換器の海水汚れによる性能劣化評価	連続運転による性能の継時変化を観測	蒸発器は一年で 10%未満の性能低下。凝縮器は性能低下が見られない	データを基に経済的な洗浄頻度を模索する
次ステップのタービン設計に関する知見の取得	タービンを模した膨張弁の開度変更による熱サイクルの特性観測	特性により出力の増減が見られる	次ステップタービン設計に反映する
動的特性の把握	表層水流量を急激に減らした場合の熱サイクルの応答観測	熱サイクルは緩やかに停止する	機器保護面で有利な特性を持っていると評価できる

### (3) 海洋深層水の利用高度化

海洋温度差発電と、他の深層水利用の組み合わせについて、使い方の選択肢を広げる観点、及び、より有効な使い方を模索する観点から、次の検討を行なった。

①深層水複合利用においては、従来、発電後の深層水を多段階に利用する「カスケード利用」の優位性が強調されてきた。本紙では、より広範な選択肢のため、深層水の発電前利用（パラレル利用）について、夏季の低温深層水需要（主に空調需要）の増加対応と発電出力抑制による発電設備建設費削減効果の観点から検討した。その結果を、夏季の低温深層水需要の増加の程度によって、パラレル利用にもメリットがあることが分かった（第 3 章）。

②発電後の深層水利用では、発電により深層水の温度が上がるため利用できる冷熱が減少する恐れがしばしば指摘される。本紙では、久米島における深層水利用の中心である中温利用（表層水と深層水との混合による 15～20℃程度の需要）について利用可能量を検討し、中温域における冷熱供給量は、発電前後で同等であることを報告した（第 4 章）。

#### (4) 本事業の周知・情報発信

本事業は沖縄県における再生可能エネルギーの導入拡大の一環としての目的も持っていることから、再生可能エネルギーの一つとしての海洋温度差発電に対する理解促進のため、視察・見学者を積極的に受け入れた。実証設備が稼働を開始した平成 25 年4月から平成 26 年 3 月の間に、官公庁・政府関係者、学校、民間企業など 1500 人を超える多様な来場者があった(第 6 章)。

また、本事業で設置した海洋温度差発電実証設備は、実際の表層水と深層水の温度差を用いた発電設備としては、現在稼働している世界唯一の設備である。このため、TV では 7 回、新聞では約 40 回と数多く取り上げられ、成果を広く発信することが出来た(第 7 章)。

## 1. 実証設備を用いた運転及び試験

### 1.1 発電利用実証試験：ユニット A

#### (1) ユニット A 運転の概要

ユニット A は、発電試験用運転として可能な限りの連続運転と発電試験を実施した。運転時間は本格稼働を開始した平成 25 年 4 月 15 日～平成 26 年 2 月末までの 10.5 ヶ月間で 3692 時間である。運転時間履歴を図 1-1 に示す。

一方、ユニット A を構成するタービン発電機についてはここまで系統連系下の長期連続運転(無人・自動)には至っておらず、試験データ取得時の有人運転のみとしている。無人自動運転は次年度の課題である。

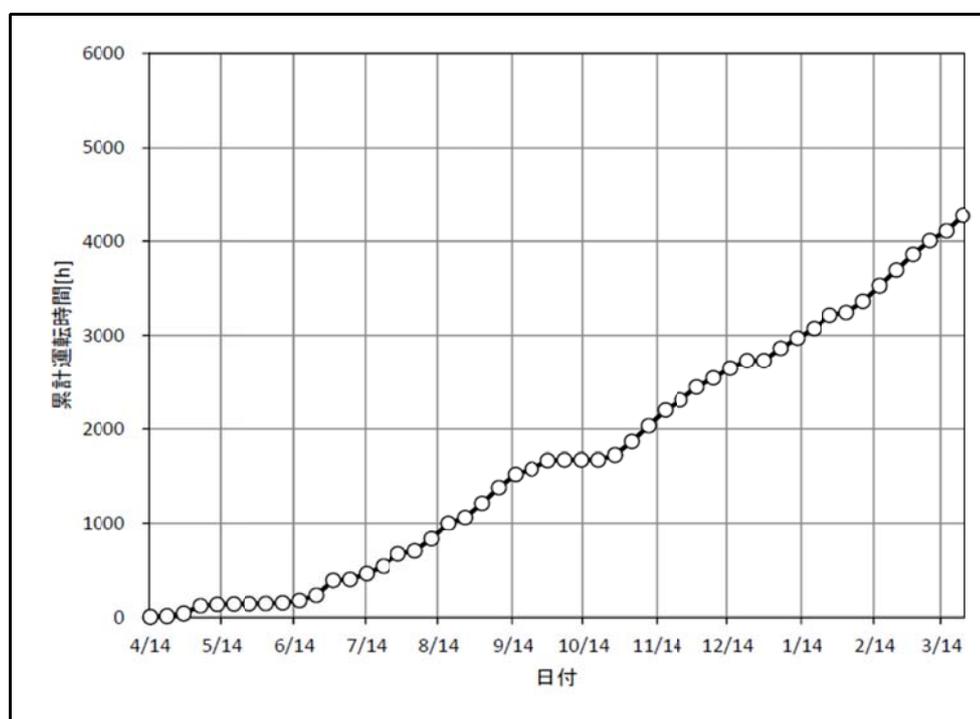


図 1-1 ユニット A 運転時間履歴

ユニット A における試験の主な目的は、シミュレーション値と実験値を比較し、シミュレーション通りの性能が実プラントでも得られるかを検証することであった(詳細は後述する)。

この点において以下に示す結果が得られ、海洋温度差発電に関する今回のシミュレーションが、今後の商用規模プラントでも有効であることを示された。

#### ■ 熱交換器(蒸発器・凝縮器)について

- ・設計値以上の性能(総括熱伝達係数及び圧力損失)が得られている。

- ・海水による汚損影響について:蒸発器(表層水)には 2 ヶ月で 3~5%の総括熱伝達係数低下が見られた(汚れ係数の想定内)。凝縮器には性能低下は見られない。

■熱サイクルについて

- ・シミュレーション結果とほぼ合致しているが、熱交換器性能が推算値より高いため、シミュレーションよりも出力の高い結果となっている。

(2) 熱サイクルとしての、シミュレーションと実測の比較

(a)比較手法

本実証設備では、熱サイクルにおける各ポイントの温度、圧力等を実測、一秒毎に記録している。一方、シミュレーションでは、図 1-2 に示す入力値から出力値を算定する。

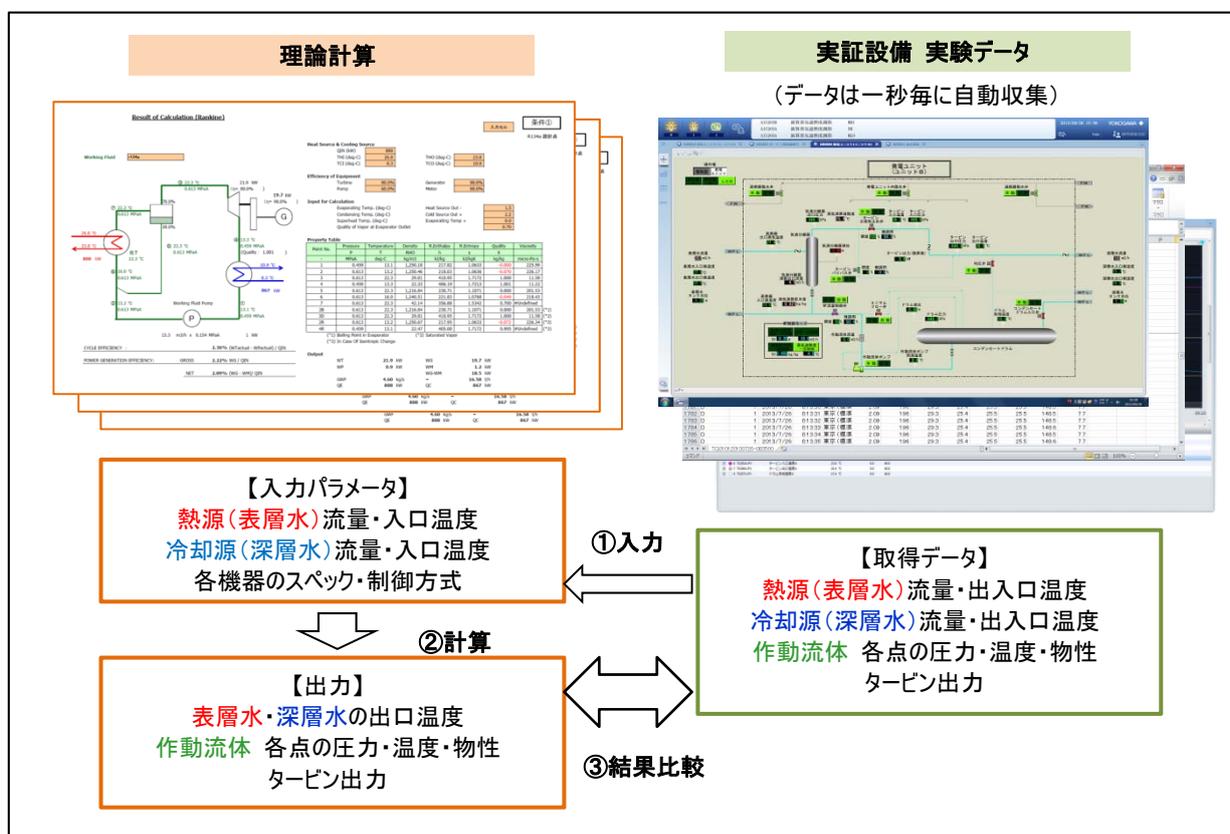


図 1-2 シミュレーションと実測値の比較フロー

(b)比較結果(例)

図及び表に、2013年7月28日9時の運転における主要データを用いて、前項の比較を行なった結果を一例として図 1-3 及び表 1-1 に示す。

総合的な結果として、熱サイクルとしての出力(タービン出力)は、実測値がシミュレーション値を上回っている。

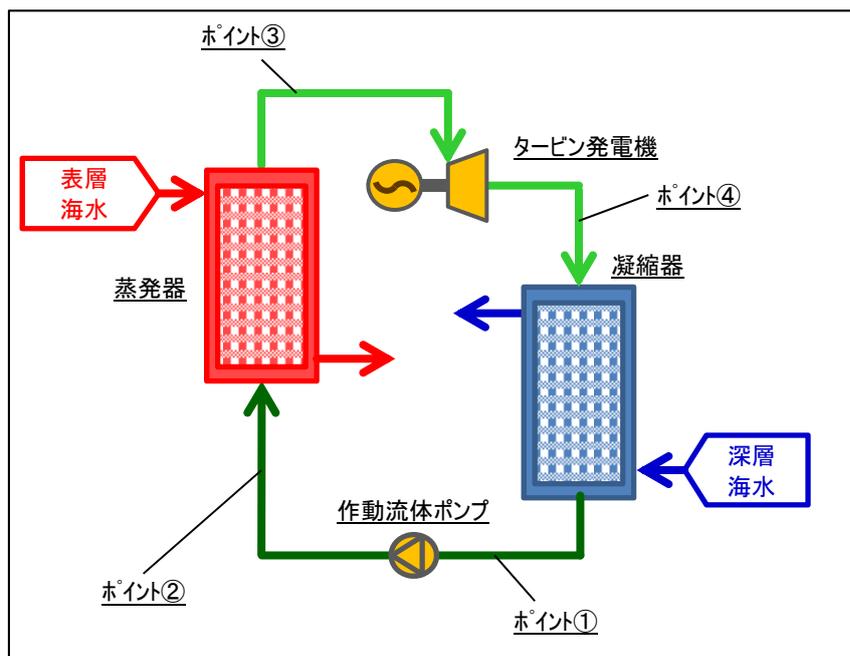


図 1-3 ユニット A の熱サイクル(比較のポイント)

表 1-1 ユニット A 比較例

項目	単位	実測値	シミュレーション
表層水			
入口温度	℃	29.5	左記を入力
出口温度	℃	26.5	26.4
流量	m³/h	237	左記を入力
深層海水			
入口温度	℃	9.1	左記を入力
出口温度	℃	12.9	12.8
流量	m³/h	197	左記を入力
作動流体			
圧力			
WFポンプ前 (①)	kPaA	483	496
蒸発器出口 (③)	kPaA	638	632
凝縮器入口 (④)	kPaA	487	486
温度			
WFポンプ前 (①)	℃	15.4	14.9
蒸発器入口 (②)	℃	15.7	15.1
蒸発器出口 (③)	℃	23.3	23.3
タービン発電機出力	kW	(15.7)	15.4
発電機出力	kW	13.2	13.1

(c)シミュレーションー実測値との比較継時データ

熱サイクルの出力の最大の決定要因は、蒸発圧力(≒タービン発電機入口圧力)及び凝縮圧力(≒タービン発電機出口圧力)である。これは、蒸発圧力(蒸発温度)が高ければ高いほど、また凝縮圧力(凝縮温度)が低ければ低いほど、熱サイクルとしての出力が大きくなるためである。海洋温度差発電の場合、蒸発器における表層水出口温度と蒸発温度との最小温度差(ピンチ温度(蒸発側))及び凝縮器における深層水出口温度と凝縮温度との最小温度差(ピンチ温度(凝縮側))が小さいほど、出力が大きくなる(図 1-4)

したがって、前項の比較を継時的に行なったデータについて、熱サイクル出力を決定付けるピンチ温度の観点から、継時データを図 1-5 及び図 1-6 に示す。

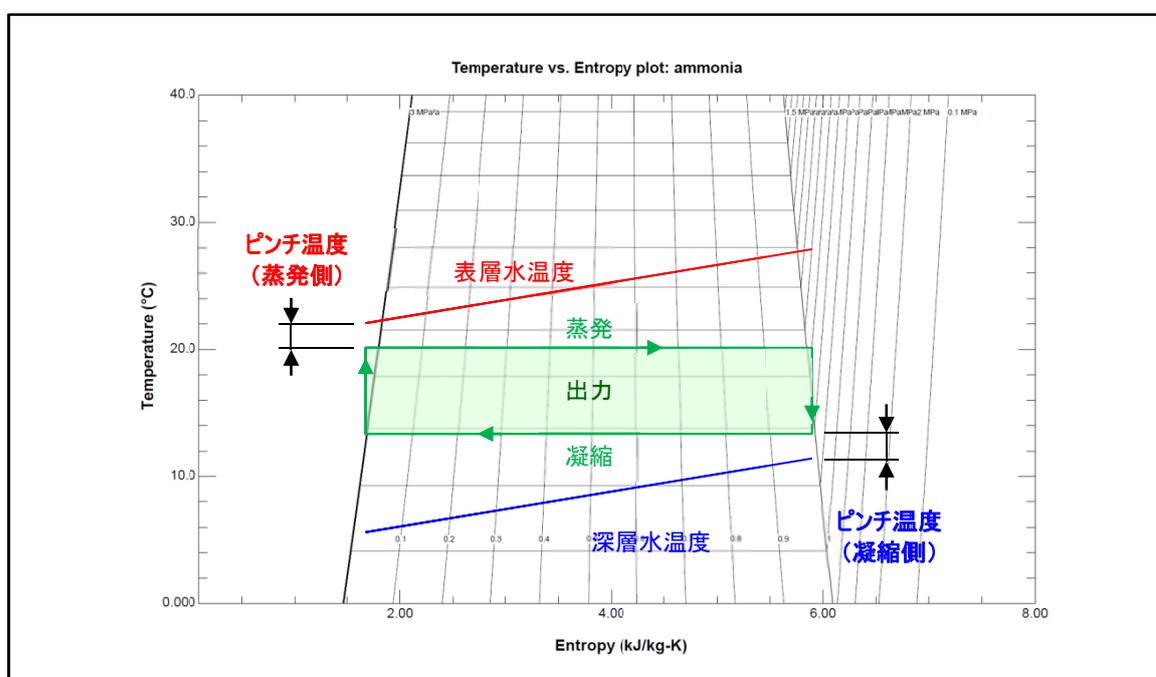


図 1-4 ランキンサイクルにおける出力決定要因

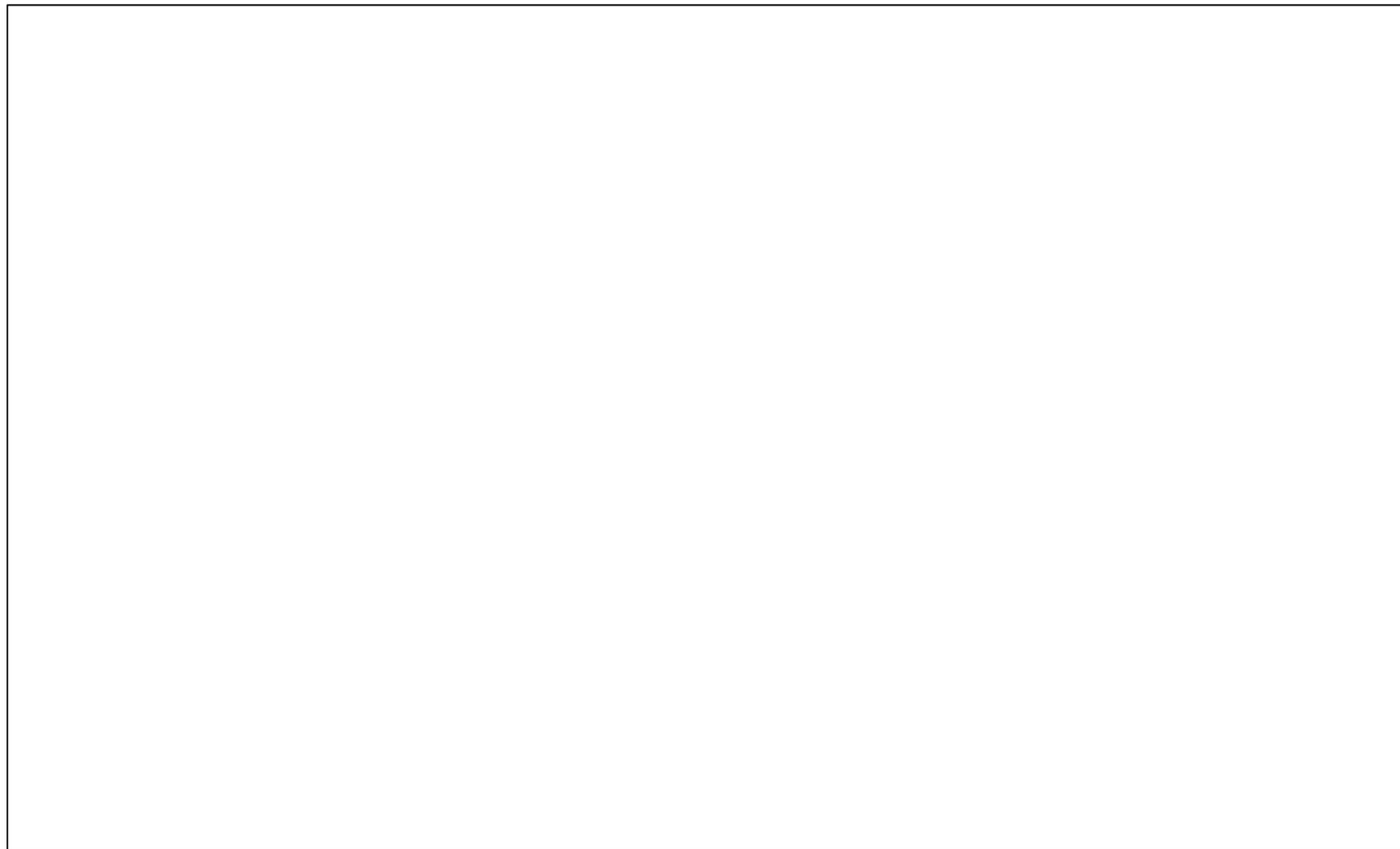


図 1-5 ピンチ温度(蒸発側)継時データ

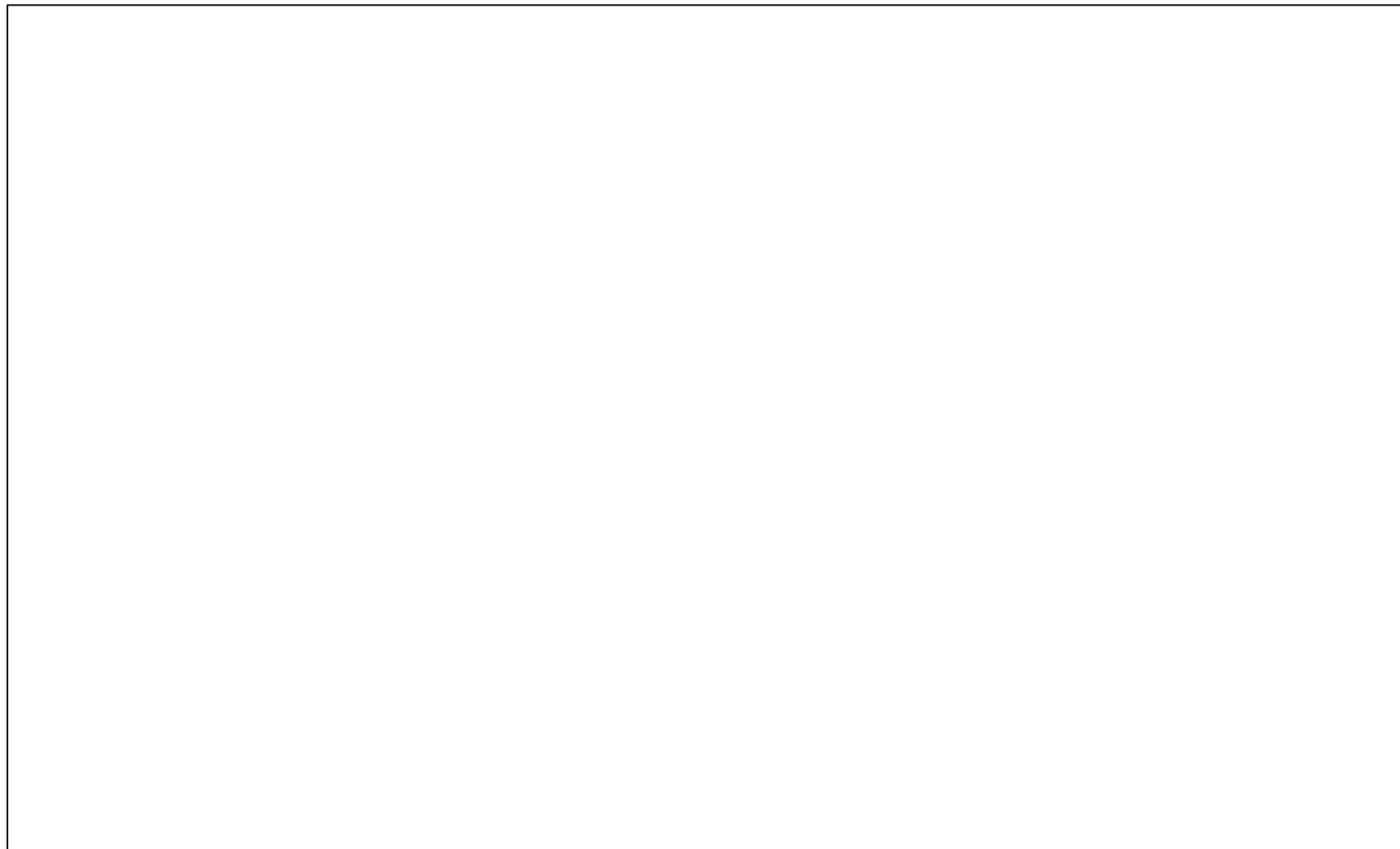


図 1-6 ピンチ温度(凝縮側)継時データ

## (3) 海水温別の性能

前項のピンチ温度を海水温別、海水流量別に集計したものをそれぞれ図 1-7～図 1-10 に示す。ピンチ温度は海水温にはほぼ関係なく、海水流量に依存することが分かる。

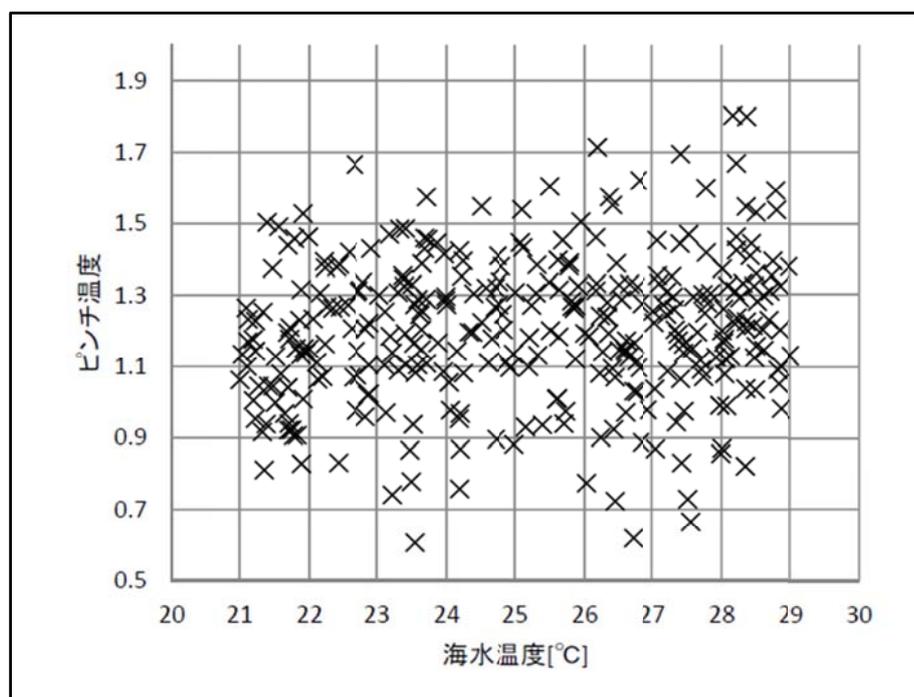


図 1-7 ピンチ温度(蒸発側)海水温別データ

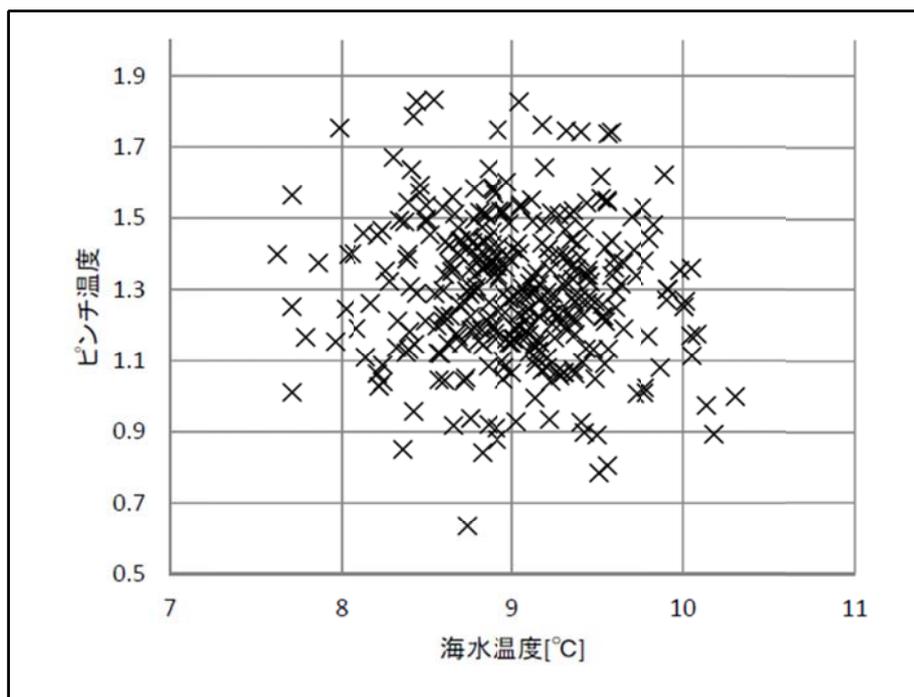


図 1-8 ピンチ温度(凝縮側)海水温別データ

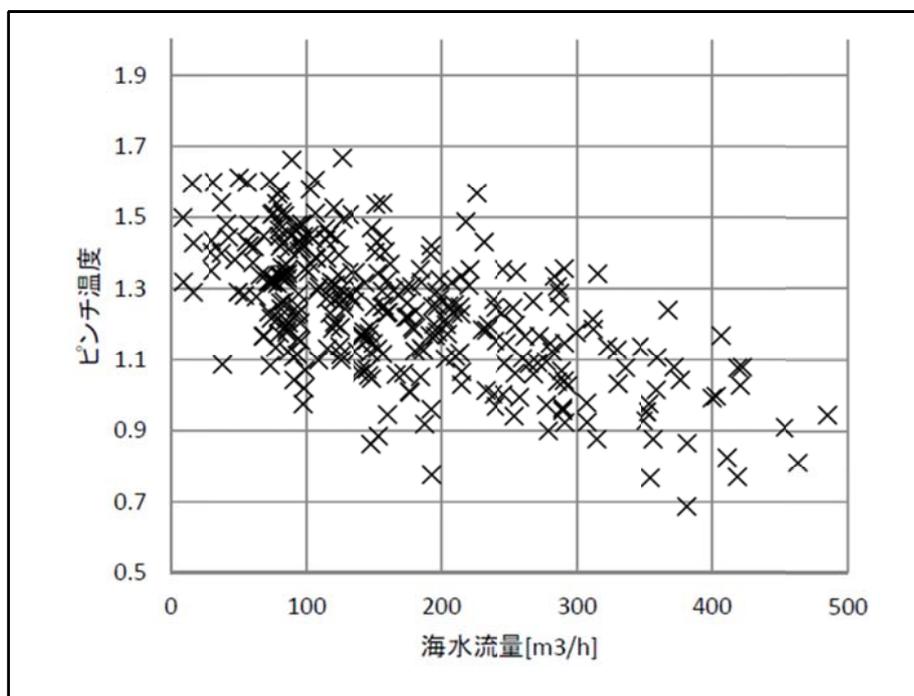


図 1-9 ピンチ温度(蒸発側)海水流量別データ

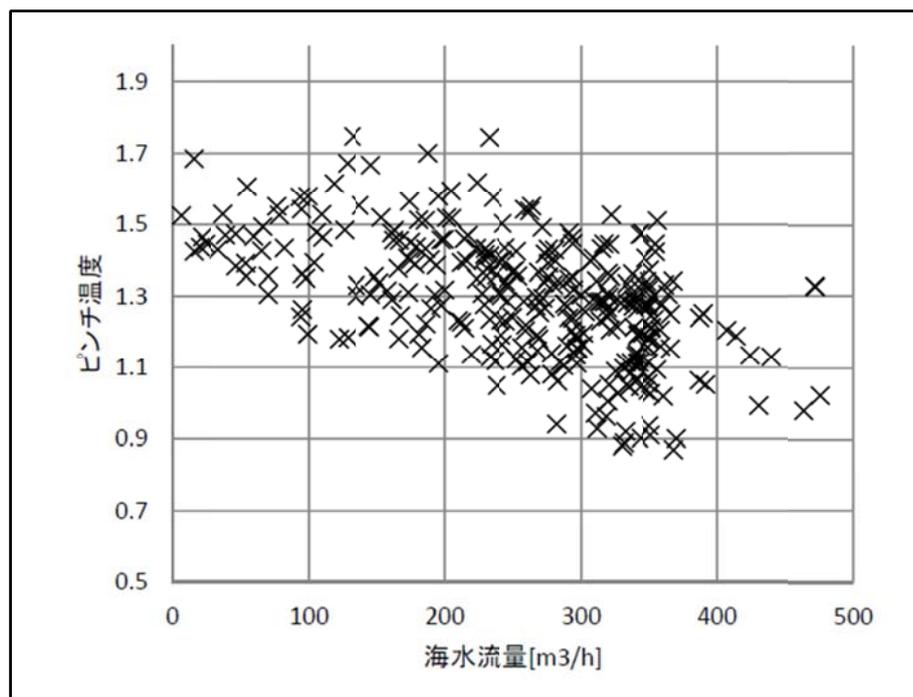


図 1-10 ピンチ温度(凝縮側)海水流量別データ

#### (4) タービン発電機特性

前項では、熱サイクル面での出力面での検討を行なった。

実際の発電出力では、熱サイクルにより取り出せる理論出力に対して、機械的・電氣的な効率:タービン効率及び発電機効率の考慮が必要となる。そこで、次の式により、タービン発電機効率を評価した。

$$\eta_T = \frac{W_{T\_a}}{G_{WF} \cdot (h_i - h_{ois})}$$

ただし、

- $W_{T\_a}$  : タービン発電機出力実測値[kW]
- $G_{WF}$  : 作動流体流量[kg/s]
- $h_i$  : タービン入口部エンタルピ [kJ/kg]  
※タービン入口部温度(実測値)及び圧力(実測値)から物性計算ソフト(REFPROP ver.9.0)を用いて計算した。
- $h_{ois}$  : タービン出口部エンタルピ [kJ/kg]  
※タービン出口部圧力(実測値)及びエントロピ(理想的な断熱変化時:タービン入口部エントロピと同じ値)から物性計算ソフト(REFPROP ver.9.0)を用いて計算した。

(2)項で用いた計算例と同じデータでのタービン発電機効率を表に示す。

表 1-2 タービン発電機効率計算例

物性値	単位	タービン入口 (実測値ベース) 添え字 i [*1]	タービン出口	
			実測値ベース 添え字 o_a	断熱変化時 [*2] O_is
温度 T	℃	23.6	-	14.8
圧力 P	kPaA	638	487	487
比エンタルピ h	kJ/kg	411.6	-	406.0
比エントロピ s	kJ/kg・℃	1.717	-	1.717
乾き度 X	kg/kg	1.0 (飽和蒸気)	-	0.995
作動流体流量 GWF	kg/s	4.3		
タービン発電機効率	-	$\eta_T = \frac{W_{T,a}}{G_{WF} \cdot (h_i - h_{o_{is}})} = 0.65$		

[\*1] 実測した圧力と飽和蒸気状態であることから、他の物性値を REFPROP にて算定した。

[\*2] 実測した圧力と、比エントロピ (断熱変化仮定のため、so\_is = si) から他の物性値を算定した。

同様の算定方法にて、タービン発電機運転時の代表値の効率をプロットしたものを図 1-11 に示す。ただし、大規模プラントでは今回と異なるタイプのタービンを採用する。運転範囲についてタービン効率カーブをあらかじめ把握しておくとともに、オフデザインでも効率が落ちにくい可変ノズル方式等を検討する。

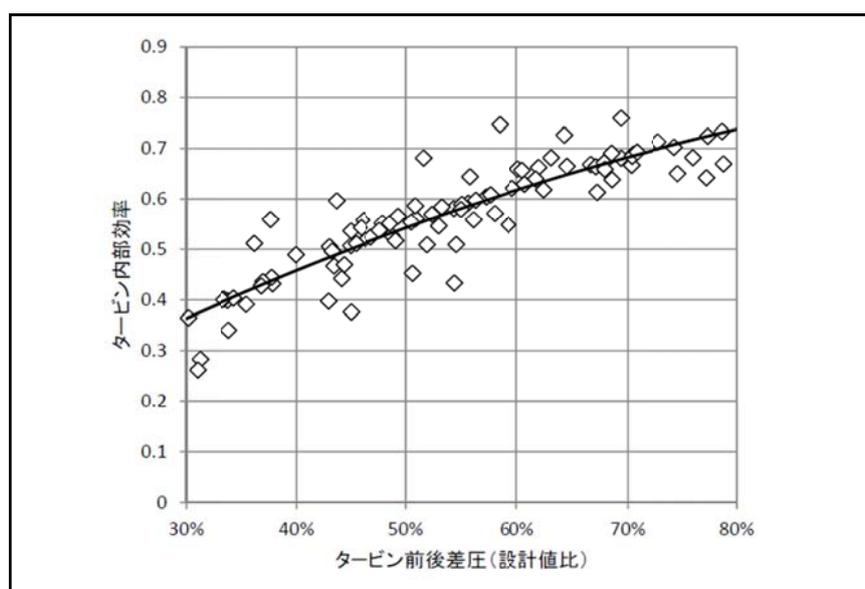


図 1-11 タービン発電機の効率実測値

(5) 解析結果を基にした規模拡大時(1MW, 10MW)の予測性能

目的

海洋温度差発電は、発電出力が大きいほど発電コスト(円/kWh)が低くなるとされる。最終的な商用プラントは出力 100,000kW 規模であり、その発電コストは 10 円/kWh 強である。その中間段階のプラントである出力 10MW では 20 円/kWh 前後、1,000MW では 40～60 円/kWh と算定されている(図 1-12 参照)。<sup>5</sup>

一方、本実証設備の出力は 100kW 規模であり、本設備の技術評価をそのまま 10 倍規模、100 倍規模の発電プラントに適用することは困難である。技術面での違いについて、表 1-3 に示す。

したがって本実証試験については、データを解析・汎用化して、次のステップである 1MW(1,000kW)そして 10MW(10,000kW)の技術的信頼性向上に資することが必要である(イメージ図:図 1-13)。

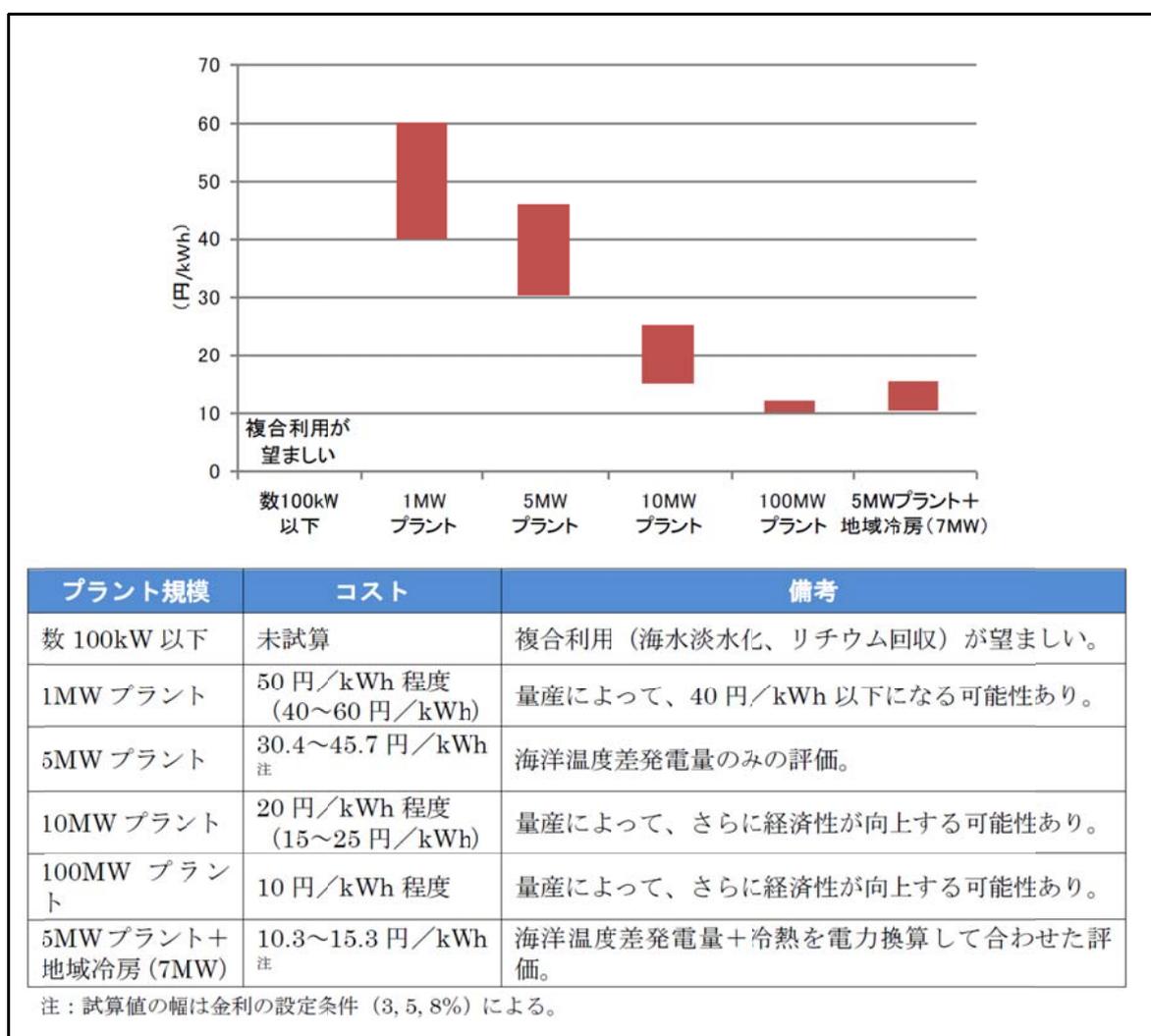


図 1-12 海洋温度差発電の発電コスト

(出典:NEDO, 平成 25 年 12 月, 「再生可能エネルギー技術白書第 2 版」, 19 頁, 図 6-16)

<sup>5</sup> NEDO, 平成 25 年 12 月, 「再生可能エネルギー技術白書第 2 版」, 19 頁, 図 6-16

表 1-3 本実証設備と商用プラントの技術仕様の違い

項目	沖縄久米島 実証設備	商用規模プラント	備考
深層水取水深度	612m (水温 8~9℃)	800~1000m (水温 4~6℃)	発電効率、自己消費電力に影響する
深層水取水管径	280 mm	1MW 級で直径 1m 強 10MW 級で直径 3~4m	細い管は同じ流速でも圧力損失面で不利となる
機器の性能	小規模ゆえの特殊仕様・海水流量面でのオフデザイン運転となっている。	1MW 級、10MW 級は、より商用化された機器を、設計点付近で運転可能。	機器の単体性能の相違発電端出力、自己消費電力に影響する。

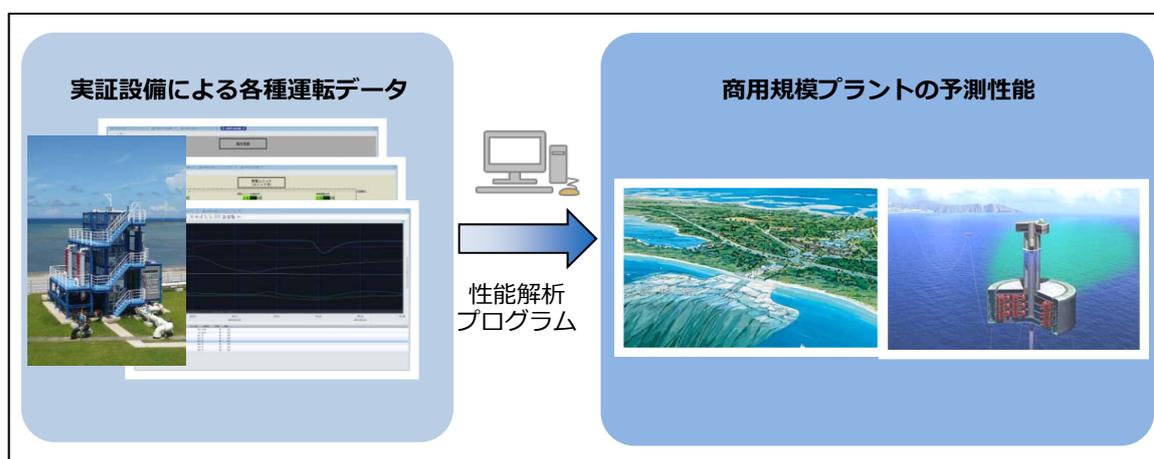


図 1-13 検討のイメージ

### 手法

商用規模のプラントの性能を推定するにあたり、次のステップにて実施する。

- ① 今回の実証設備のデータが正確なスケールビリティを持っており、商用規模のプラントにそのまま、あるいは比例等簡単な換算で適用できる場合、実証試験で得られたデータを用いて商用規模のプラントの性能推定を行なう。

対象: 熱交換器性能

- ② 実験データはそのまま使用できないが、汎用の設計式があり、性能推定手法が成熟している場合、その設計式をもちいて性能推定を行なう。実験データは、可能な限り、この汎用設計式と結果が合致しているかを評価する。主な汎用設計式について、表 1-4 に示す。

対象: 熱サイクル設計、取水管損失水頭、取水管温度損失、配管圧損各種

表 1-4 主な汎用設計式

項目	汎用設計式	備考
取水管損失水頭 ・圧力損失	・円管の圧力損失式: ダルシー・ワイス バツハ式 ・管摩擦係数: コールブルック式	海洋肥沃化装置「拓海」取水管(1mφ)でもよく合致した。
取水管損失水頭 ・密度差静水頭	・海水の密度: 海水の状態方程式 (UNESCO1981) ・静水頭計算: 管内外の鉛直方向積分による	日本国内の深層水取水設備の計算で用いられている。
取水管温度損失	・円管周り及び円管内の汎用熱伝達推定式(伝熱工学資料等)	沖縄県の実証でも、コンマ数℃と推定され、計算と合致している。
配管圧損各種	・円管の圧力損失式: ダルシー・ワイス バツハ式 ・管摩擦係数: コールブルック式	取水管同様の計算。各種のプラント設計に用いられている。

③実験データをそのまま使用できず、汎用の設計式がない場合、メーカーに情報を求める。特に、既に商用化された機器を用いる場合、精度のよい予測性能をメーカーから得ることが出来る。機器の商用化度合について、表 1-5 に示す。

対象:タービン発電機、作動流体ポンプ、海水取水ポンプ、その他機器類

表 1-5 使用する機器の商用化度合

項目	実証試験 100kW 級	1MW(1,000kW)	10MW(10,000kW)
発電プラント部			
タービン発電機	△ 現状は実証レベル	◎ 商用機あり:地熱バイナリー発電用等(神戸製鋼, (国外では GE, Atlas Copco))	
熱交換器	◎ 納期:数ヶ月	◎ 納期:12ヶ月	○ 製造設備増強を考慮する要あり
作動流体ポンプ	○ 小流量高揚程で標準範囲外	◎ メーカー標準仕様範囲	
海水ポンプ	◎ 商用実績多数	◎ 商用実績多数	◎ 商用実績多数
プラント建設	◎ 汽力発電プラントと類似の技術であるため、我が国企業で実績多数(エンジニアリング会社・重工重機系企業)		
深層水取水管敷設	◎ 全国約 20 か所の深層水取水設備は、世界最多。実績面で我が国企業がリード(ゼネコン、海洋土木会社)	○ ハワイ 自然エネルギー研究所に、直径 1.4m の取水管(取水深度 900m)が設置されている(敷設:米国企業)	△ 技術的には可能であるが、これまで世界で実装された実績は無い。

④①～③どれも当てはまらない、未商用の技術である場合、別途試験を実施して性能を確認する必要がある。

対象:10MW 級浮体式発電設備の場合の取水管

上記のフローチャートを図 1-14 に示す。

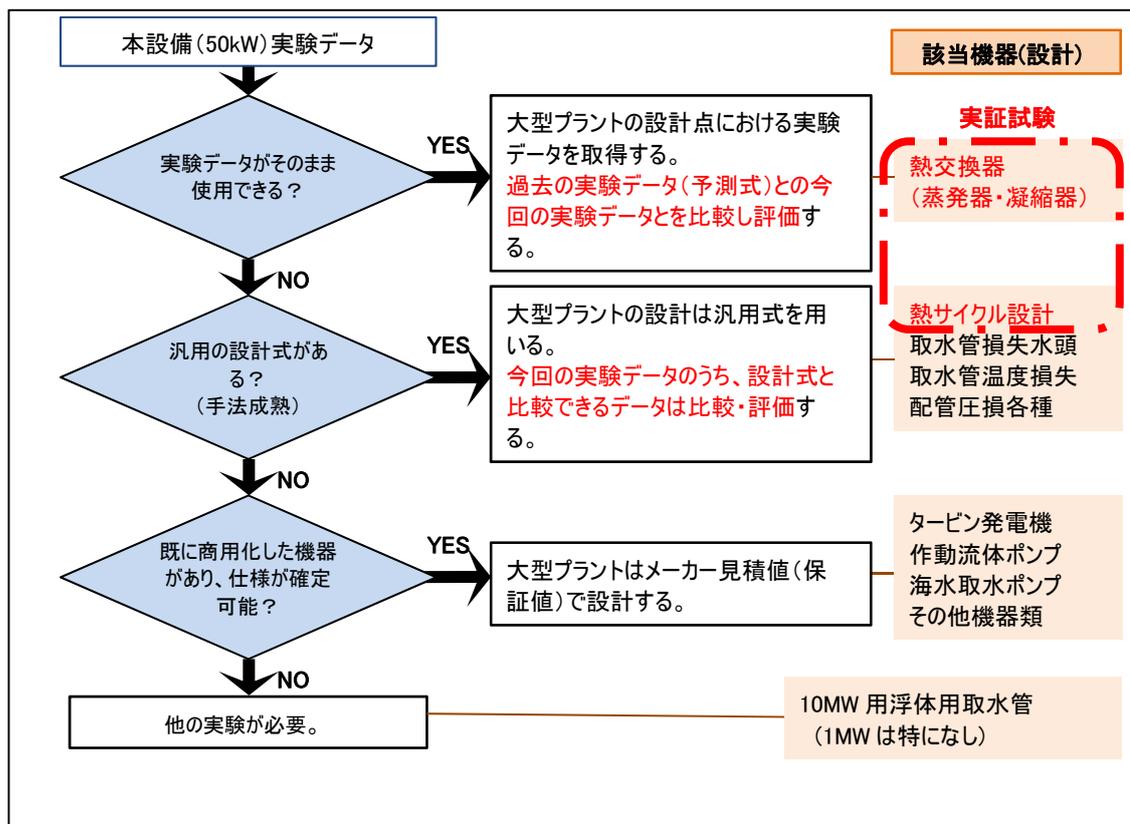


図 1-14 1MW 級、10MW 級の性能推定フローチャート

### 自己消費電力

自己消費電力についても、前項までの算定方法によって、1MW 及び 10MW の推定が可能である。

以下に算定のための式を示す。

$$W_{WSP} = \frac{Q_{WS} \cdot \rho \cdot g \cdot TH}{1000 \cdot \eta_P \cdot \eta_M}$$

$$TH = T_S + T_{HX} + T_{PI} + T_{PP} + T_{PD}$$

ただし

$W_{WSP}$ : 表層水取水ポンプ消費電力 [kW]

$Q_{WS}$ : 表層水流量 [ $m^3/s$ ]

$\rho$ : 海水密度 [ $kg/m^3$ ] (海水の状態方程式, UNESCO(1981))

$g$ : 重力加速度 [ $m/s^2$ ] (定数)

TH: 全揚程 [m 液柱]

$\eta_P$ : ポンプ効率 [-] (ポンプ効率として一般的な数値)

$\eta_M$ : 電動機効率 [-] (電動機効率として一般的な数値)

$T_S$ : 静水頭 [m 液柱] (サイフォン式とする)

$T_{HX}$ : 熱交換器内損失水頭 [m 液柱]

$T_{PI}$ : 取水口～取水管内損失水頭 [m 液柱]

$T_{PP}$ : 設備内配管損失水頭 [m 液柱]

$T_{PD}$ : 放水管～放水口損失水頭 [m 液柱]

$$W_{CSP} = \frac{Q_{WS} \cdot \rho \cdot g \cdot TH}{1000 \cdot \eta_P \cdot \eta_M}$$

$$TH = T_S + T_{HX} + T_{PI} + T_{PP} + T_{PD} + T_{DD}$$

ただし

$W_{CSP}$ : 表層水取水ポンプ消費電力 [kW]

$Q_{CS}$ : 表層水流量 [ $m^3/s$ ]

$\rho$ : 海水密度 [ $kg/m^3$ ] (海水の状態方程式, UNESCO(1981))

$g$ : 重力加速度 [ $m/s^2$ ] [ $m/s^2$ ] (定数)

TH: 全揚程 [m 液柱]

$\eta_P$ : ポンプ効率 [-] (ポンプ効率として一般的な数値)

$\eta_M$ : 電動機効率 [-] (電動機効率として一般的な数値)

$T_S$ : 静水頭 [m 液柱] (サイフォン式とする)

$T_{HX}$ : 熱交換器内損失水頭 [m 液柱]

$T_{PI}$ : 取水口～取水管内損失水頭 [m 液柱]

$T_{PP}$ : 設備内配管損失水頭 [m 液柱]

$T_{PD}$ : 放水管～放水口損失水頭

$T_{DD}$ : 密度差静水頭

## 1MW プラントの性能

本項の方法で算定した 1MW プラントの性能を表 1-6 及び表 1-7 に示す。

表 1-6 1MW プラントの概略仕様

項目	単位	計画値	備考	沖縄実証設備
表層水				
取水深度	m	15		15
取水温度	℃	25.9(年間平均)	沖縄近海の JODC データ	
取水量	m <sup>3</sup> /h	10,950	計画値	
深層海水				
取水深度	m	800		612
取水温度	℃	5.7	沖縄近海の JODC データ	8~10
取水量	m <sup>3</sup> /h	8,350	計画値	
発電部仕様				
作動流体		無水アンモニア		HFC134a
最大発電端出力(夏期)	kW	1,750		50
年間平均発電端出力	kW	<b>1,480</b>		(水量による)
自己消費電力	kW	480		(既設流用)
年間平均送電端出力	kW	<b>1,000</b>		(水量による)

表 1-7 1MW プラントの設計値

項目	単位	数値
表層水ポンプ	[kW]	<b>138</b>
流量	[m <sup>3</sup> /h]	10,950
揚程	[m]	3.6
取放水管圧力損失	[m]	0.6
プラント内圧力損失	[m]	1.0
熱交換器圧力損失	[m]	2.0
ポンプ効率	[%]	85
電動機効率	[%]	94
深層海水ポンプ	[kW]	<b>280</b>
流量	[m <sup>3</sup> /h]	8,350
揚程	[m]	9.6
取放水管圧力損失	[m]	4.8
プラント内圧力損失	[m]	1.0
熱交換器圧力損失	[m]	1.6
密度差静水頭	[m]	2.2
ポンプ効率	[%]	85
電動機効率	[%]	94
作動流体ポンプ	[kW]	<b>33</b>
その他雑補機	[kW]	<b>30</b>
合計	[kW]	<b>480</b>

## 10MW プラントの性能

本項の方法で算定した 10MW プラントの性能を表 1-8 及び表 1-9 に示す。

表 1-8 10MW プラントの概略仕様

項目	単位	計画値	備考	沖縄実証設備
表層水				
取水深度	m	15		15
取水温度	℃	25.9(年間平均)	沖縄近海の JODC データ	
取水量	m <sup>3</sup> /h	96,700	計画値	
深層海水				
取水深度	m	1,000		612
取水温度	℃	4.6	沖縄近海の JODC データ	8~10
取水量	m <sup>3</sup> /h	86,000	計画値	
発電部仕様				
作動流体		無水アンモニア		HFC134a
最大発電端出力(夏期)	kW	16,700		50
年間平均発電端出力	kW	<b>14,960</b>		(水量による)
自己消費電力	kW	4,960		(既設流用)
年間平均送電端出力	kW	<b>10,000</b>		(水量による)

表 1-9 10MW プラントの設計値

項目		単位	数値	
表層水ポンプ		[kW]	<b>2,090</b>	
	流量	[m <sup>3</sup> /h]	96,700	
	揚程		[m]	6.2
		取放水管圧力損失	[m]	0.4
		プラント内圧力損失	[m]	1.0
		熱交換器圧力損失	[m]	4.8
	ポンプ効率	[%]	85	
	電動機効率	[%]	94	
深層海水ポンプ		[kW]	<b>2,250</b>	
	流量	[m <sup>3</sup> /h]	86,000	
	揚程		[m]	7.5
		取放水管圧力損失	[m]	1.3
		プラント内圧力損失	[m]	1.0
		熱交換器圧力損失	[m]	2.8
	密度差静水頭	[m]	2.4	
	ポンプ効率	[%]	85	
電動機効率	[%]	94		
作動流体ポンプ		[kW]	<b>320</b>	
その他雑補機		[kW]	<b>300</b>	
合計		[kW]	<b>4960</b>	

## (6) まとめ

ユニット A の運転においては、以下の結果が得られた。

- ・ 熱交換器性能及び熱サイクル性能について、所期の性能以上の運転結果となった。
  - ・ これを用いて、商用プラント規模となる 1MW、10MW の性能を、より確度の高い形で予測した。
- また、次年度の課題としては、系統連系時の無人自動発電をより長時間化することが、今後、商用化プラントの運用方法やコストを考える上で重要となる。

## 1.2 要素技術試験：ユニット B

### (1) ユニット B 運転の概要

ユニット B は、要素技術運転試験として、可能な限りの連続運転による熱交換器等の性能の継時変化観察と、次項以降に示す特殊条件を模した試験を実施した。運転時間は本格稼働を開始した平成 25 年 4 月 15 日～平成 26 年 2 月末までの 10.5 ヶ月間で 4383 時間である。

ユニット B における試験の主な目的は、より大出力の商用プラントで起こり得る課題の程度の検証（本節第(3)項関連）、最適な設計点及び運転点の模索（本節第(2)(4)項関連）及び運転特性の把握（本節第(5)項関連）である。

いずれも興味深い結果が得られたため、次年度は今年度の結果を反映した試験条件設定を行ない、重要ポイントに関する更なるデータ収集・解析を行う。

### (2) 運転条件による熱交換器性能の差異

ランキンサイクルを用いた海洋温度差発電において、プラント稼働時に運転者が人為的に制御できる運転条件は「蒸発器出口蒸気の乾き度（もしくは過熱度）」である。また、これに付随して凝縮器入口蒸気の乾き度（もしくは過熱度）も変化する。

蒸発器出口蒸気の乾き度（もしくは過熱度）は蒸発器の伝熱性能（ピンチ温度）及び熱サイクル出力に、凝縮器入口蒸気の乾き度（もしくは過熱度）は凝縮器の伝熱性能（ピンチ温度）及び熱サイクル出力に、それぞれ影響する。

そこで、本設備を用いて蒸発器出口蒸気の乾き度を人為的に操作し、蒸発器、凝縮器の伝熱性能及び熱サイクル出力の変化を観察した。結果を図 1-15～図 1-18 に示す。

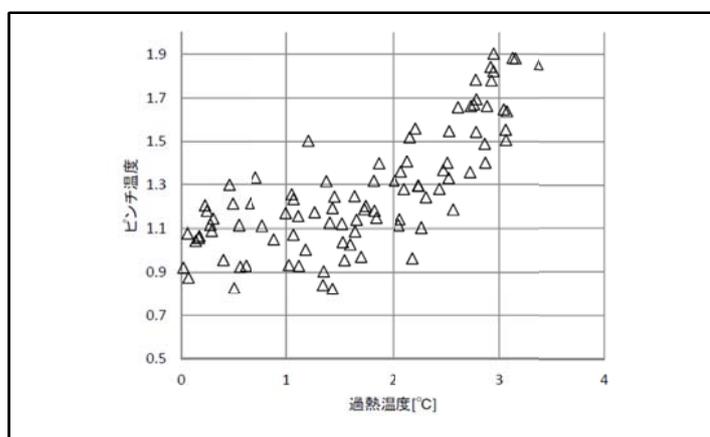


図 1-15 蒸発器出口過熱度とピンチ温度の関係

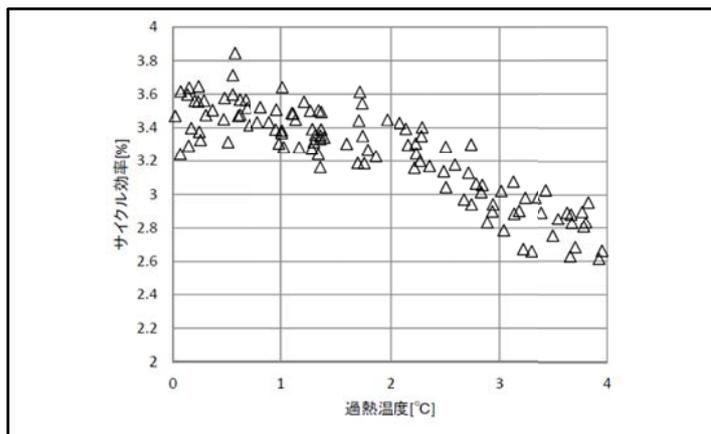


図 1-16 蒸発器出口過熱度と熱サイクル出力の関係

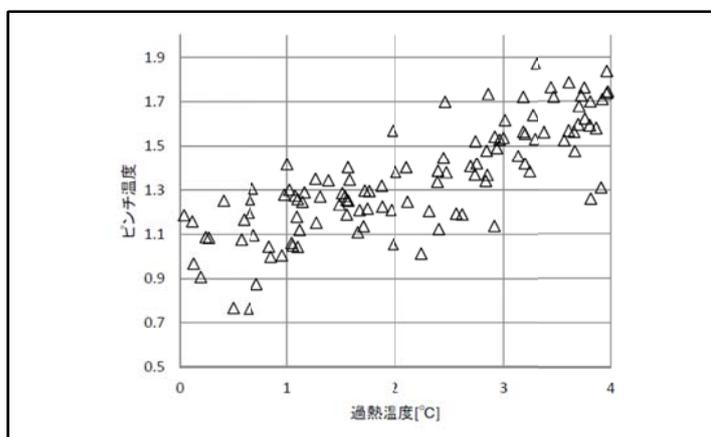


図 1-17 凝縮器入口過熱度とピンチ温度の関係

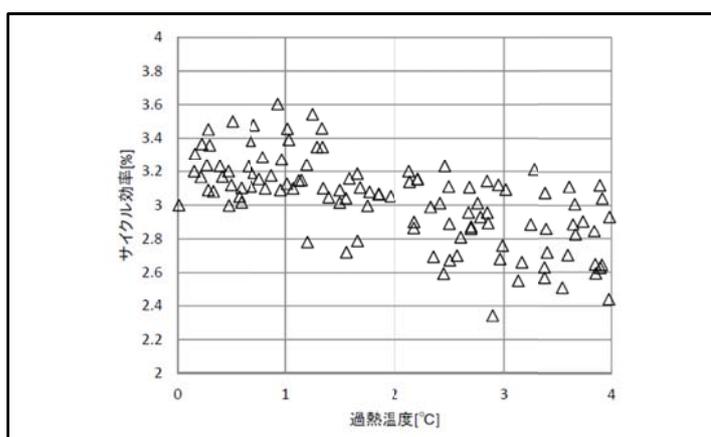


図 1-18 凝縮器入口過熱度と熱サイクル出力の関係

(3) 熱交換器性能及び圧力損失の経時変化と逆洗効果の検証

海水を通水する熱交換器は、海水内の生物汚れの付着により、短期間で伝熱性能の低下や圧力損失の増加が懸念されることから頻繁な清掃が必要であることが知られている。一方、本実証設備が設置された沖縄県海洋深層水研究所では、清浄性が高く汚れが付きにくいとされる深層水だけではなく、表層水を用いた熱交換器も開所以来 13 年間以上清掃を行わずに順調に稼働させている。

そこで、伝熱性能及び圧力損失の継時変化について、本設備の試験結果を図 1-19～図 1-22 に示す。なお、本設備においては海水流量が常に変動するため、これに伴った伝熱性能及び圧力損失の変動も存在する。そこでこれらのグラフでは、シミュレーションによる計算値との比率(実測値/シミュレーション値)をプロットすることによって、海水流量の変動を無視できるようにしている。また、使用したデータは、10 分間平均データである。

なお、逆洗の効果検証のために数回逆洗操作を行なっているが、顕著な変化は見られなかった。

#### (4) タービンを模擬した膨張弁の開度(流量－圧力特性)による熱サイクルへの影響

ユニット B では、タービン発電機の代わりに、タービンを模擬した膨張弁が搭載されている。ここでは、この開度を変化させることにより膨張弁の流量－圧力特性を変化させ、熱サイクルへの影響を評価した。開度に対する蒸発器の熱交換量及び熱サイクル出力の変化を、それぞれ図 1-23、図 1-24 に示す。

#### (5) 表層水温・流量変化時の動的特性

表層水の水温について、今年度の観測データのうち最も一日の変化が激しかった 8 月 30 日の水温変動と、その時の作動流体蒸発圧力の変化を図 1-25 及び図 1-26 に示す。作動流体蒸発圧力が水温変動に追従する速度は、水温変動の速度よりはるかに速く、表層水の水温変動はプラント稼働に支障をきたさないことが分かる。

また、表層水流量を急激に減らした場合の作動流体蒸発圧力の変化を図に示す。この場合、蒸発器内に残留した作動流体がバッファとなり、熱サイクルは緩やかに停止に至る。急激な圧力変動を起こさないことは、機器類の保護面で有利な特性である。

#### (6) まとめ

ユニット B における試験では運転条件を故意に変化させた運転を行なったが、いずれもプラントの稼働に支障をきたすような影響は無いことが確認された。今年度の試験では興味深い結果が得られたため、次年度は今年度の結果を反映した試験条件設定を行ない、重要ポイントに関して更なるデータ収集・解析を行う。

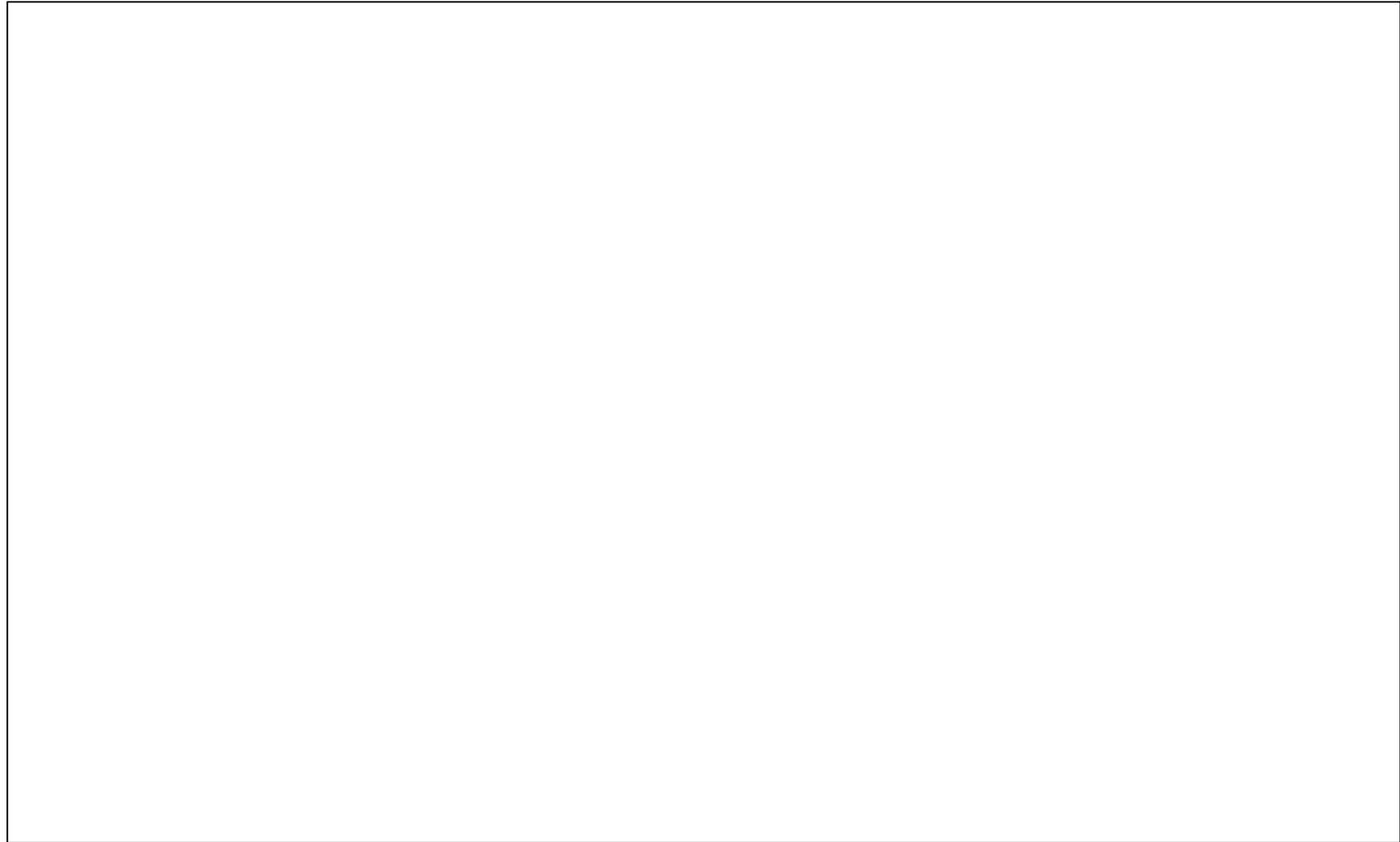


図 1-19 蒸発器伝熱性能(総括熱伝達係数:シミュレーション値との比較)継時データ

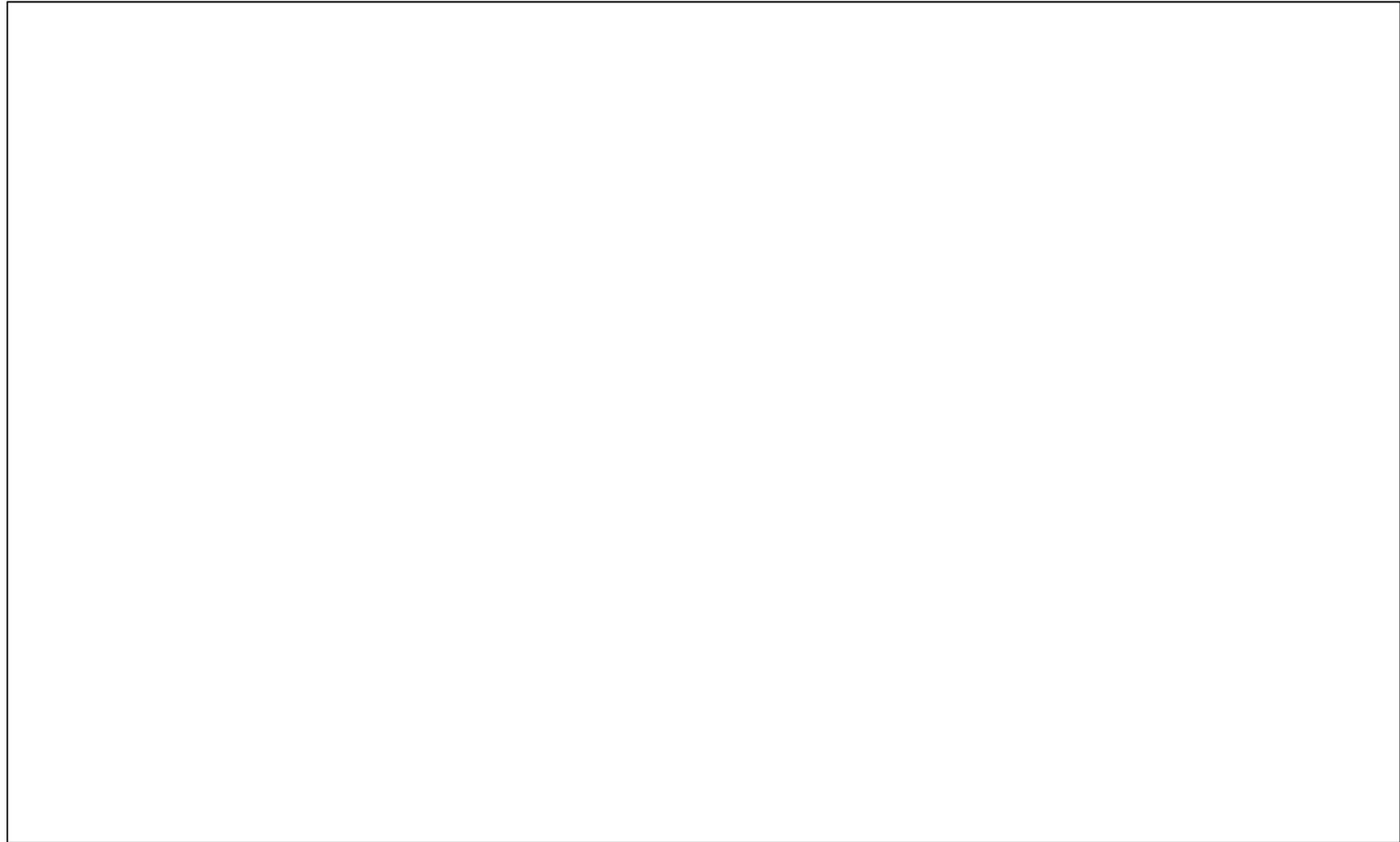


図 1-20 蒸発器海水側圧力損失(総括熱伝達係数:シミュレーション値との比較)継時データ

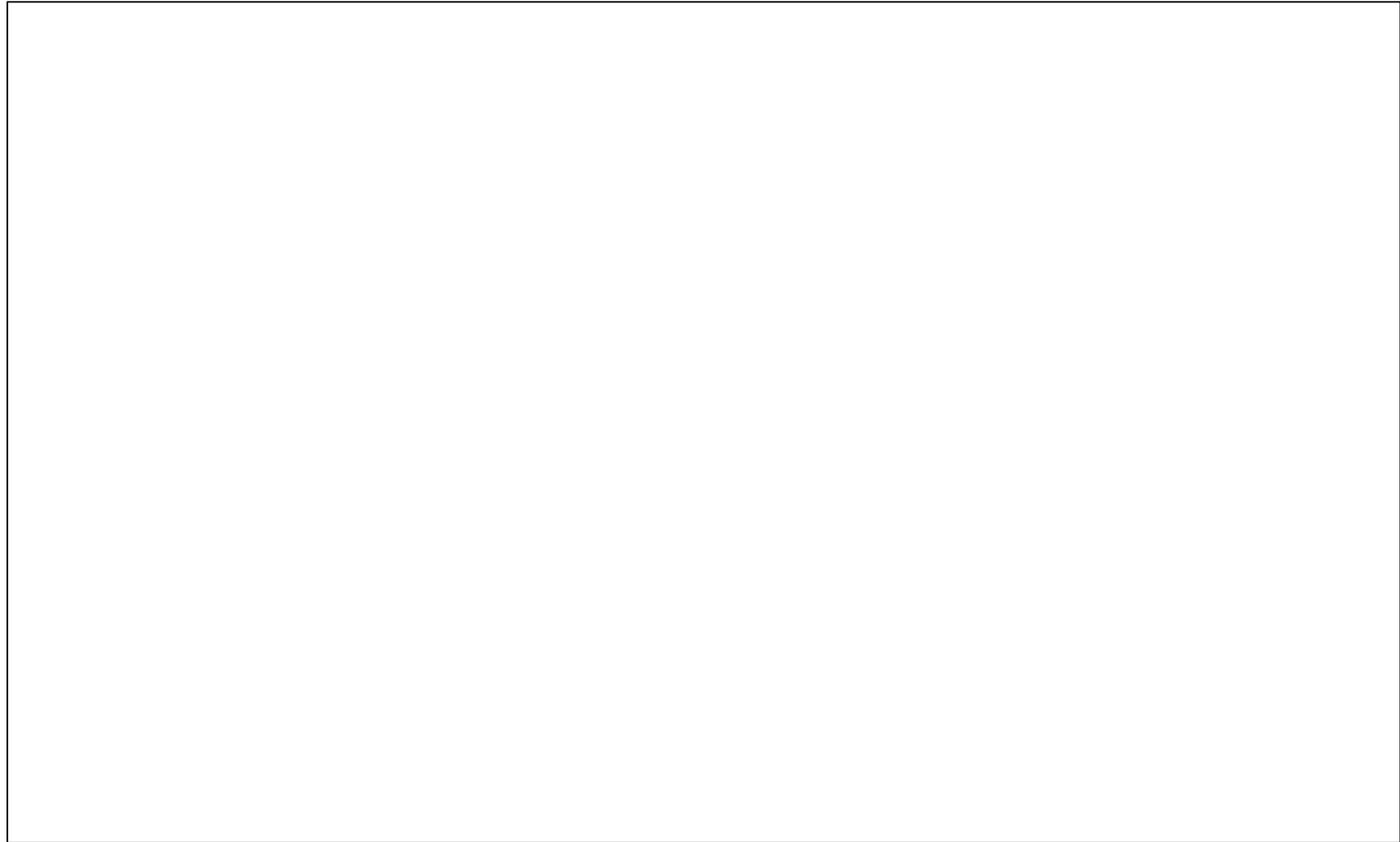


図 1-21 蒸発器伝熱性能(総括熱伝達係数:シミュレーション値との比較)継時データ



図 1-22 蒸発器海水側圧力損失(総括熱伝達係数:シミュレーション値との比較)継時データ



図 1-23 開度に対する蒸発器の熱交換量の変化



図 1-24 開度に対する熱サイクル出力の変化

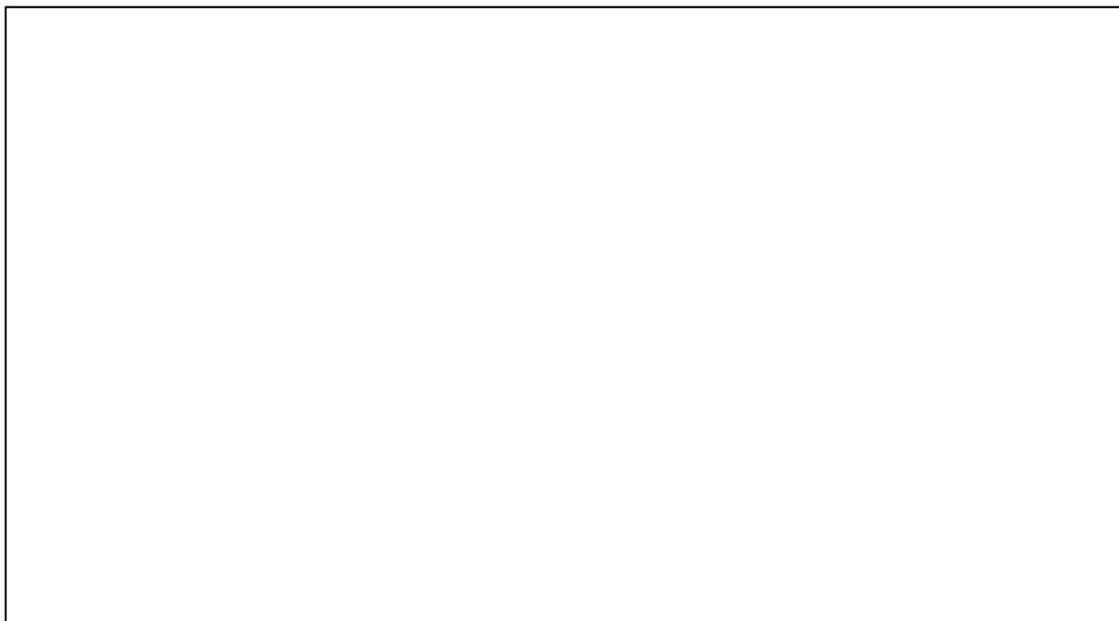


図 1-25 表層水の水温度変動と作動流体蒸発圧力(8 月 30 日)

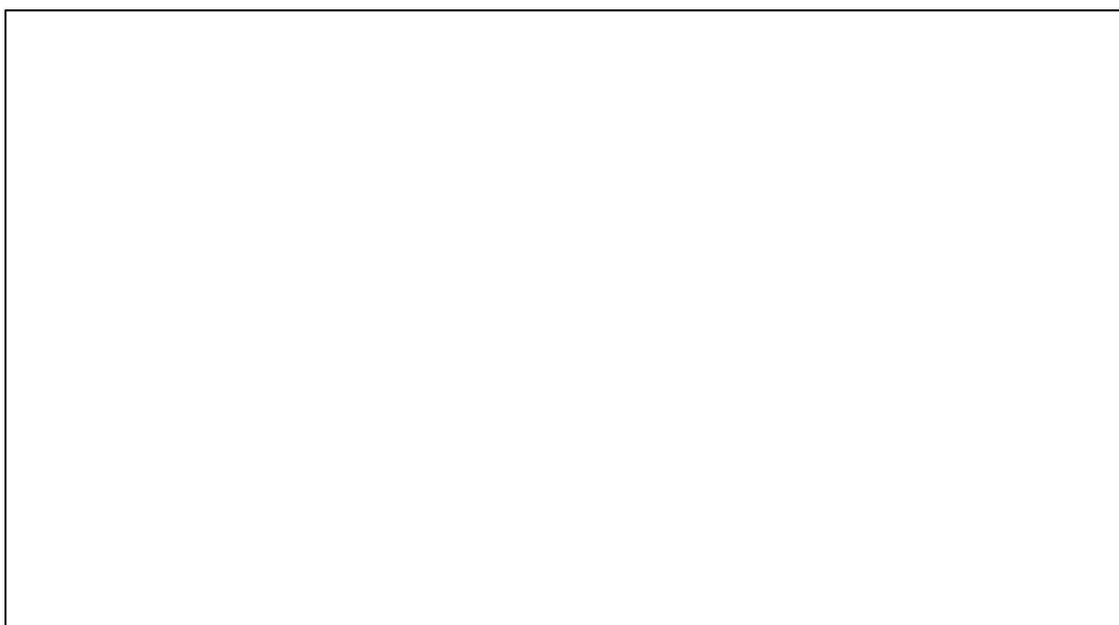


図 1-26 表層水の流量変動と作動流体蒸発圧力(2 月 28 日)

## 2. 海洋温度差発電システムの確立に関する検討

### 2.1 海洋温度差発電の費用低減に関する検討

本報告書第 1-1 節では、蒸発器、凝縮器それぞれのピンチ温度について検討を行なった。この検討では、設計点での蒸発器のピンチ温度は約 1.2℃、凝縮器のピンチ温度は約 1.3℃となることが分かった。

この結果に基づいて、昨年度実施した 1MW、10MW プラントの海水温(表層水温)別の出力を見直した。比較の際、ピンチ温度以外の条件(海水流量や出入口温度等)は全て昨年度の数値と同一とした。また、昨年度実施した 1MW、10MW プラントのピンチ温度の設計値は、それぞれ次の通りである。

1MW		10MW	
蒸発側	凝縮側	蒸発側	凝縮側
1.5℃	1.3℃	1.2℃	1.8℃

結果は表 2-1 及び表 2-2 の通り、全体的に出力が上がる方向となった。

ただし、商用プラントでは、経済性を高めるために敢えてピンチ温度を上げて熱サイクル効率を下げることもあるため、実際の設計において「ピンチ温度は低ければ低いほど良い」とは言い切れない。したがって本結果は「昨年度実施した 1MW、10MW プラントの設計は、熱サイクル効率(ピンチ温度)面から十分達成可能である」「熱交換器のコストに低減の余地がある」と理解される。

また、平成 23 年度から実施されている NEDO 海洋エネルギー技術研究開発 次世代海洋エネルギー発電技術研究開発(海洋温度差発電)においても 1MW、10MW プラントが計画され、現在その建設費用の見積が行われている。同計画における設計についても、本データを用いて信頼性を確認することが可能であると考えられる。

表 2-1 表層水温別送電端出力 送電端出力 1MW 級 陸上設置式プラントのケース

(取水深度=800m, 深層水水温=5.5℃)

表層水 温度	平成 24 年度検討値			ピンチ温度実測値による数値		
	発電端 出力	自己消費 動力	送電端 出力	発電端 出力	自己消費 動力	送電端 出力
℃	kW	kW	kW	kW	kW	kW
31.0	2,050	450	1,600	2090	450	1640
30.0	2,050	450	1,600	2090	450	1640
29.0	1,980	450	1,530	2020	450	1570
28.0	1,880	450	1,430	1920	450	1470
27.0	1,770	450	1,320	1810	450	1360
26.0	1,650	450	1,200	1690	450	1240
25.0	1,532	450	1,082	1570	450	1120
24.0	1,410	450	960	1440	450	990
23.0	1,270	450	820	1300	450	850
22.0	1,130	450	680	1160	450	710
21.0	990	450	540	1020	450	570
20.0	840	450	390	870	450	420
19.0	690	450	240	710	450	260
年平均	<b>1,450</b>	<b>450</b>	<b>1,000</b>	<b>1490</b>	<b>450</b>	<b>1040</b>

表 2-2 表層水温別送電端出力 送電端出力 平均 10MW 級 洋上設置式プラントのケース

(取水深度=1,000m, 深層水水温=4.4℃)

表層水 温度	平成 24 年度検討値			ピンチ温度実測値による数値		
	発電端 出力	自己消費 動力	送電端 出力	発電端 出力	自己消費 動力	送電端 出力
℃	kW	kW	kW	kW	kW	kW
31.0	20,800	5,200	15,600	21,200	5,200	16,000
30.0	20,800	5,200	15,600	21,200	5,200	16,000
29.0	20,100	5,200	14,900	20,500	5,200	15,300
28.0	19,100	5,200	13,900	19,500	5,200	14,300
27.0	18,100	5,200	12,900	18,500	5,200	13,300
26.0	17,100	5,200	11,900	17,500	5,200	12,300
25.0	16,000	5,200	10,800	16,400	5,200	11,200
24.0	14,800	5,200	9,600	15,200	5,200	10,000
23.0	13,600	5,200	8,400	14,000	5,200	8,800
22.0	12,400	5,200	7,200	12,700	5,200	7,500
21.0	11,000	5,200	5,800	11,300	5,200	6,100
20.0	9,700	5,200	4,500	10,000	5,200	4,800
19.0	8,200	5,200	3,000	8,500	5,200	3,300
年平均	<b>15,228</b>	<b>5,200</b>	<b>10,028</b>	<b>15600</b>	<b>5,200</b>	<b>10400</b>

## 2.2 沖縄県の海域における洋上型海洋温度差発電設備の設置の可能性

本項の検討に関して、昨年度は、深層水利用可能量、設置密度、電力需要、海底地形等から見た発電ポテンシャルを評価し、洋上型海洋温度差発電設備の基本仕様の試設計を行なった。

今年度は、試験結果をベースとした規模拡大時の発電性能予測により、洋上型海洋温度差発電設備の発電量に関する信頼性向上を図る。具体的には、昨年度の浮体式の発電設備設計値と、本試験に基づく性能予測値を比較し、設計値が達成可能であることを確認する。

仕様の比較を表 2-3 に示す。

表 2-3 仕様の比較:平成 24 年度設計値と今年度の性能予測値

	昨年度検討値	今年度性能予測値 (同量の海水を使用した場合)
発電端出力 (年間平均)	17,300kW	17,700kW
設備利用率	92.0%	92.0%
所内率	42.2%	41.2%
送電端出力 (年間平均)	10,000kW	10,400kW

### 3. 海洋深層水のより高度な利用の可能性及び方法

現状の研究所から民間企業への深層水分水は、夏場にその使用量が大幅に増加する。この傾向は、商用化段階の深層水複合利用システムでも同様となると考えられる。

一方、海洋温度差発電の出力も、海水流量が同じ場合、夏場に増大する。

そこで、夏場に海洋温度差発電への深層水流量を減少し、より多くの冷熱を複合利用(水産業、農業)に直接用いることのメリット(水産業、農業の拡大と、発電側の出力抑制による建設費現象等)を、実証設備の運転結果を基に検証する。

昨年度は、深層水冷熱を中温(20℃)で利用する場合と、低温(12℃)で利用する場合の2通りについて、カスケード利用(発電後利用)の省電力面及びエクセルギー効率向上面でのメリットを検討した。これに対し、本項の検討はカスケード利用ではなくパラレル利用(発電前利用)のメリットについて述べる。

#### (1) 検討対象： 深層水冷熱利用のうち、低温利用

深層水の冷熱については、次の用途が提案されている。

- ・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(直接及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
- ・海水淡水化(フラッシュ蒸発法)

世界的には、カナダ・トロントの湖水利用地域冷房や、仏領ポリネシア ボラボラ島のリゾートホテルやハワイ州自然エネルギー研究所における建物空調利用など、空調利用が先行している。冷房空調に用いる場合、必要とする冷水は低温(7℃～12℃程度)である。

一方、現在、沖縄県海洋深層水研究所から民間企業などへの分水量の9割以上が、水産養殖用(クルマエビ種苗生産及び)となっている。この場合、生物へのショックを緩和するために、深層水は表層水と混合し、18～20℃程度の中温にして利用されている。

中温利用についてはカスケード利用に多くのメリットがあるため次節にて検討し、ここでは低温利用の場合のパラレル利用(発電前に分岐して利用)について述べる。

(2) パラレル利用による発電電力量の減少と低温冷熱利用量の増加

ここでは、第 1-1 節で検討した1MW 級発電設備の設計条件及び仕様を用いて検討する。表層水温が高い時期を、深層水の低温冷熱利用需要が高い時期と考え、発電出力が設定値を超えないように深層水を発電前に分岐させて利用することを考える。

代表的な設計点として、表層水の温度が 28 度を超えた場合に、深層水の発電前分岐によるパラレル利用を行ない、発電出力をそれ以上上げないケースについて、表 3-1 にまとめた。

なお、パラレル利用の場合の深層水冷熱利用可能量の増加分については、次の式で算定している。

$$Q_{av} = C_P \cdot G_{SW} \cdot (T_o - T_i)$$

- $Q_{av}$  : 深層水冷熱利用可能量の増加分[MJ/h]
- $C_P$  : 海水比熱[kJ/kg・°C]
- $T_o$  : 発電に利用した場合の深層水温度[°C]
- $T_i$  : 発電に利用する前の深層水温度[°C]

表 3-1 発電前分岐を行なった場合の電力・冷熱量得失

表層水 温度	オリジナル			発電前 分岐 送電端 出力	差		年間日数
	発電端 出力	自己消費 電力	送電端 出力		発電 出力	冷熱 利用量	
°C	kW	kW	kW	kW	kW	GJ/h	日
31.0	1,750	480	1,270	1,160	△110	+216	0
30.0	1,750	480	1,270	1,160	△110	+207	4
29.0	1,700	480	1,220	1,160	△60	+199	42
28.0 以下	1,640	480	1,160	1,160	±0	±0	319
年間合計					△71,000 kWh	220,500 GJ	

(3) パラレル利用によるプラント建設費用低減効果

前項の通り発電プラントの最大発電出力は減少するものの、その分発電プラントの建設費用も減少する。ここでは、この建設費用の減少分を、化学プラント等の建設費の概算で広く用いられている「0.7 乗則」を利用して算定する。この法則は同型のプラントAとBの容量をそれぞれCA、CB、建設費をYA、YBとすると、次の関係が成立するというものである。

$$\frac{C_B}{C_A} = \left( \frac{Y_B}{Y_A} \right)^{0.7}$$

ここで発電前分岐を行なわない場合のプラント容量 CA(最大発電出力)は 2090kW、このときの初

期費用 YA を 30 億円と仮定すれば、発電前分岐を行なう場合の発電プラント(最大発電出力 CB=1910kW)の初期費用は 28.2 億円となる。すなわち、建設費用は 1.8 億円減少する。

#### (4) パラレル利用の経済性

パラレル利用(発電前分岐)のメリット、デメリットを経済性の面から評価する。

##### 発電減少による収入減

第(1)項の検討結果から、発電量は年間 71,000kWh 減少する。1MW 級の海洋温度差発電プラントの発電単価:1kWh=40~60 円で換算すれば、収入減は年間 284~426 万円となる。

##### 低温冷熱利用による収入増

第(1)項の検討結果から、低温冷熱利用可能量は年間 220,500GJ 増加する。仮にこの冷熱を全て利用できた場合、1MJ=1.1 円(電気式冷房熱源機の COP=5, 1kWh=20 円相当)で換算すれば、収入増は年間約 2.4 億円となる。

ただし、中温冷熱の利用可能量は減少することに注意が必要である。

##### 経済性まとめ

建設費低減効果と発電減少分のみに着目すれば、建設費低減 1.8 億円に対して年間の収入減は年間数百万円のオーダーであり、パラレル利用はこの点でも経済的に考え得る選択肢と言える。

さらに、低温冷熱利用増のメリットは大きく、利用率が高ければ発電減少分をカバーして余りある。

このように、夏季の低温冷熱利用増がどの程度見込めるかによって、パラレル利用のアドバンテージは変化する。

#### 4. 海洋温度差発電に利用した後の海洋深層水の利用の可能性及び方法

実証設備の発電後の表層水及び深層水温度から、冷熱利用可能量の発電有無による差異を検証する。海洋深層水の冷熱利用では、用途により必要とする温度が異なる。現在、沖縄県海洋深層水研究所から分水を受ける量の多い水産養殖分野では、急激な低温水の注入による水産物へのダメージを避けるため、深層水と表層水を混合して中温にしてから養殖池に注入している。

そこで本章では、冷熱需要が高まる夏季を対象として、温度差別の海水利用可能量の比較を行ない、発電利用後の海洋深層水を利用することのメリットを考察する。なお、夏季の海水流量、温度条件mp、モデルケースとして、表4-1の通り設定する。

表 4-1 表層水及び深層水の温度、流量(モデルケース)

種別		温度	流量	備考
表層水	発電利用前	29.0℃	13,000m <sup>3</sup> /日	流量は現研究所取水量と同量と仮定
	発電利用後	25.0℃		利用後温度は設計値
深層水	発電利用前	9℃	13,000m <sup>3</sup> /日	流量は現研究所取水量と同量仮定
	発電利用後	12.9℃		利用後温度は計算値

##### (1) 利用水温による混合比の違い

表4-1の温度、流量の場合の、冷熱利用温度帯別の表層水、深層水の混合比を算定する。発電利用前の温度の場合の混合比を表4-2及び図4-1、発電利用後の温度の場合の混合比を表4-3及び図4-2にそれぞれ示す。

表4-2 利用水温による混合比(発電利用前温度ケース)

利用水温	℃	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0
表層水比率	%	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0
深層水比率	%	100.0	95.0	90.0	85.0	80.0	75.0	70.0	65.0
利用水温	℃	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0
表層水比率	%	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0
深層水比率	%	60.0	55.0	50.0	45.0	40.0	35.0	30.0	25.0

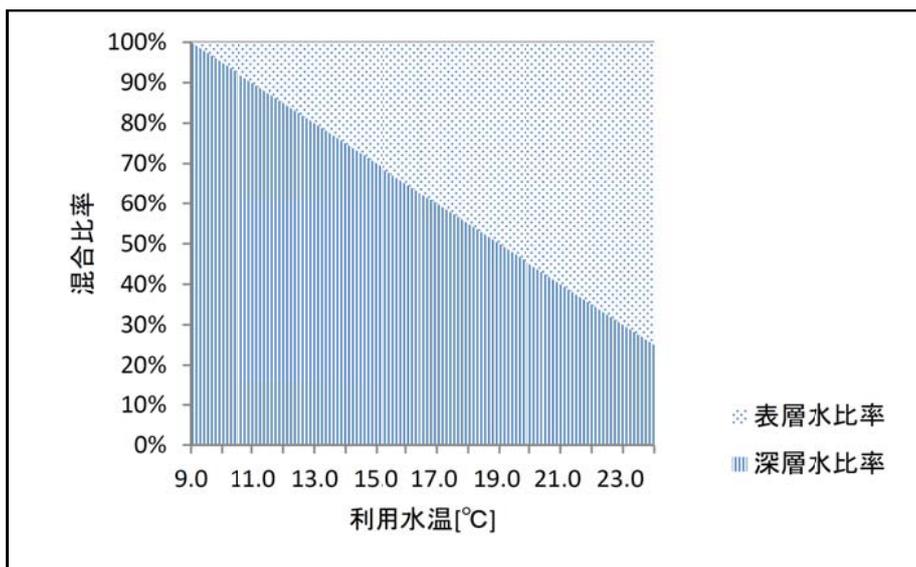


図 4-1 利用水温による混合比(発電利用前温度ケース)

表4-3 利用水温による混合比(発電利用後温度ケース)

利用水温	℃	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0
表層水比率	%	-	-	-	-	0.8	9.1	17.4	25.6
深層水比率	%	-	-	-	-	99.2	90.9	82.6	74.4
利用水温	℃	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0
表層水比率	%	33.9	42.1	50.4	58.7	66.9	75.2	83.5	91.7
深層水比率	%	66.1	57.9	49.6	41.3	33.1	24.8	16.5	8.3

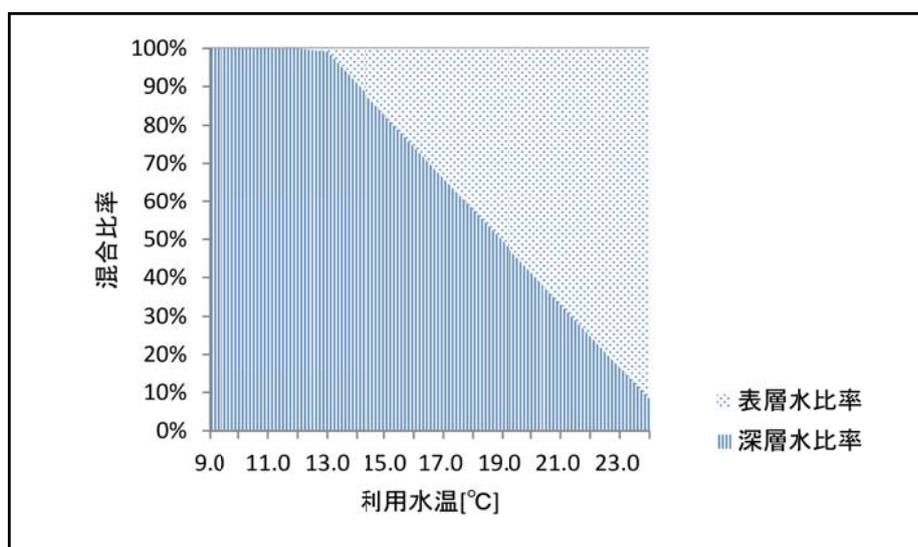


図 4-2 利用水温による混合比(発電利用後温度ケース)

## (3) 冷海水利用可能量の発電利用前後による差異

前項で算定した混合比、及び流量上限(13,000m<sup>3</sup>/h)を考慮すると、利用水温別の冷海水利用可能量は、表 4-4 及び図 4-3 の通りとなる。特に水産利用で多く用いられる中温利用の場合、発電利用後の海水を用いても冷熱量をほぼ変わらない。

表4-4 利用水温別冷海水利用可能量の比較

利用水温	℃	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0
発電利用前	m <sup>3</sup> /h	13,000	13,684	14,444	15,294	16,250	17,333	18,571	20,000
発電利用後	m <sup>3</sup> /h	-	-	-	-	13,108	14,300	15,730	17,478
利用水温	℃	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0
発電利用前	m <sup>3</sup> /h	21,667	23,636	26,000	23,636	21,667	20,000	18,571	17,333
発電利用後	m <sup>3</sup> /h	19,663	22,471	25,787	22,155	19,420	17,286	15,574	14,171

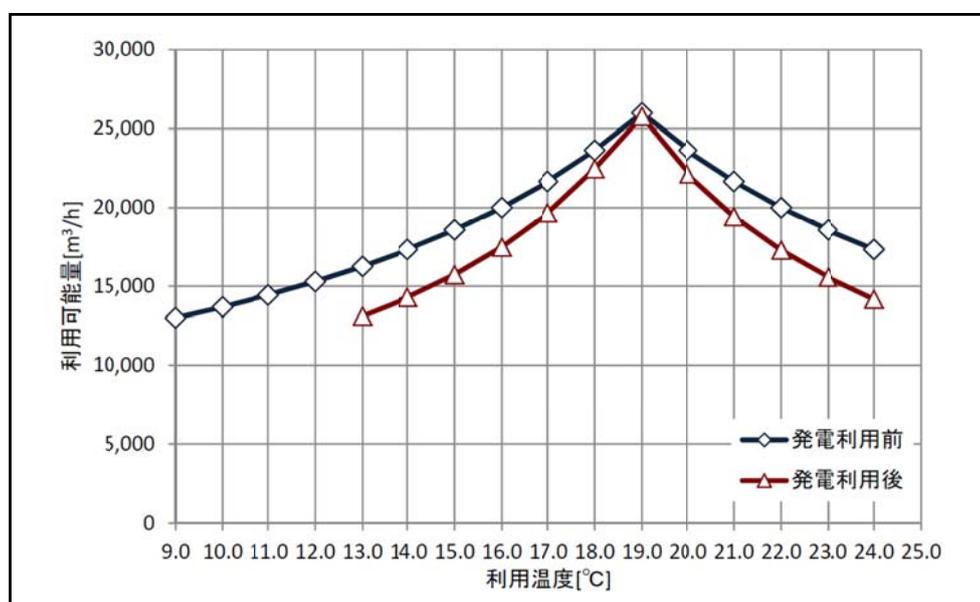


図 4-3 利用水温別冷海水利用可能量の比較

## (4) 2 段ランキンによる中間分岐の可能性

上記は単段のランキンサイクルについて述べたが、2 段ランキンサイクルの場合はサイクルの途中から分水することにより、前項の 2 つの中間的なメリットを得ることも出来る。

## 5. 検討委員会

本事業の実施状況の報告と実施のあり方を検討するため、検討委員会設置準備を行なった。委員会メンバーは、琉球大学、佐賀大学、沖縄県商工労働部、久米島町役場プロジェクト推進室、受託企業とし、必要に応じて拡張することとした。

一方、今年度中は主にスケジュール調整の難航等により、検討委員会を開催することが出来ず、実施内容報告や課題検討については個別の相談によって行った。検討委員会は次年度改めて開催するものとする。

## 6. 設備維持管理・見学者対応等

### 6.1 設備維持管理

本設備は無人での自動運転を基本思想としており、常時監視は行っていない(運転データは常時記録している)。ただし、設備にトラブルが起きた際の警報は、管理担当者に自動的にメールされることとなっている。平成 25 年度は、設備面での重大なトラブルは起きていない。

また、設備の日常管理は、別途提出の「設備点検記録」にて、毎日実施している。

### 6.2 パンフレット及びウェブサイトの作成

本設備は平成 26 年 3 月現在も、実際の表層水及び深層海水を用いて発電を行なう設備としては世界唯一となる。このため、平成 25 年度は 1500 人を超える視察・見学者が来場した。

視察・見学者対応のため、本事業を説明するパンフレット(図 6-1)及びウェブサイト(<http://otecokinawa.com/>)を作成した。

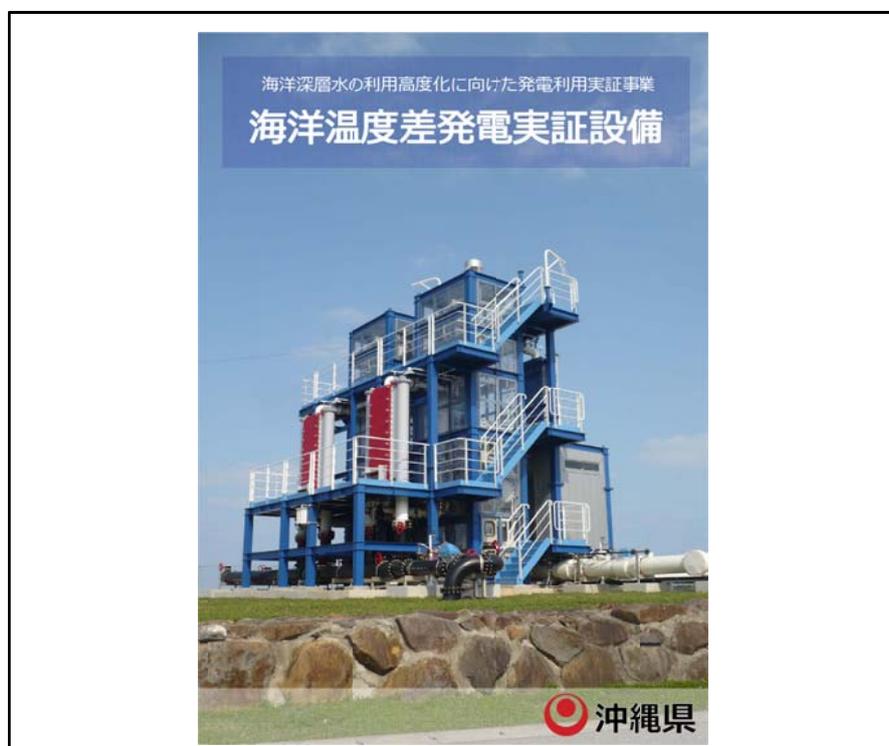


図 6-1 パンフレット表紙

### 6.3 見学者対応

本事業は沖縄県における再生可能エネルギーの導入拡大の一環として実施されていることから、再生可能エネルギーの一つとしての海洋温度差発電に対する理解促進のため、視察・見学者を積極的に受け入れた。

平成 25 年 4 月から運転を開始した沖縄県久米島町の海洋温度差発電 (OTEC) 実証設備の来場人数は、平成 25 年 4 月 9 日から平成 26 年 3 月 19 日の約 11 ヶ月間で、1,512 人にのぼった。(ただし、平成 25 年 6 月 16 日に行われたオープニングセレモニー (通電式) の来場者は含まない)。そこで、以下に内訳別 (月別、訪問目的別、所属別、地域別) の統計を示す。

#### (a) 月別来場人数及び件数

来場人数を月別で見ると、10 月が最も多く、次いで 11 月となっており、いずれも一ヶ月あたり 300 人以上が訪れている (表 6-1、図 6-2 参照)。件数については、8 月、10 月、11 月が一ヶ月あたり 30 件以上と多くなっている。10 月から 1 月にかけては団体による訪問が多く、来場 1 件あたりの人数の平均は約 8 人と、他の月 (平均 3~5 人/件) に比較して多い。

表 6-1 OTEC 実証設備 月別来場人数及び件数 (H25.4.9~H26.3.19)

月	人数	%	件数	%	人数 / 件
4 月	12	1%	4	2%	3.00
5 月	57	4%	10	4%	5.70
6 月	54	4%	16	6%	3.38
7 月	71	5%	22	8%	3.23
8 月	130	9%	36	14%	3.61
9 月	77	5%	23	9%	3.35
10 月	319	21%	37	14%	8.62
11 月	274	18%	34	13%	8.06
12 月	150	10%	19	7%	7.89
1 月	136	9%	14	5%	9.71
2 月	138	9%	25	9%	5.52
3 月	94	6%	25	9%	3.76
合計	1,512	100%	265	100%	5.71

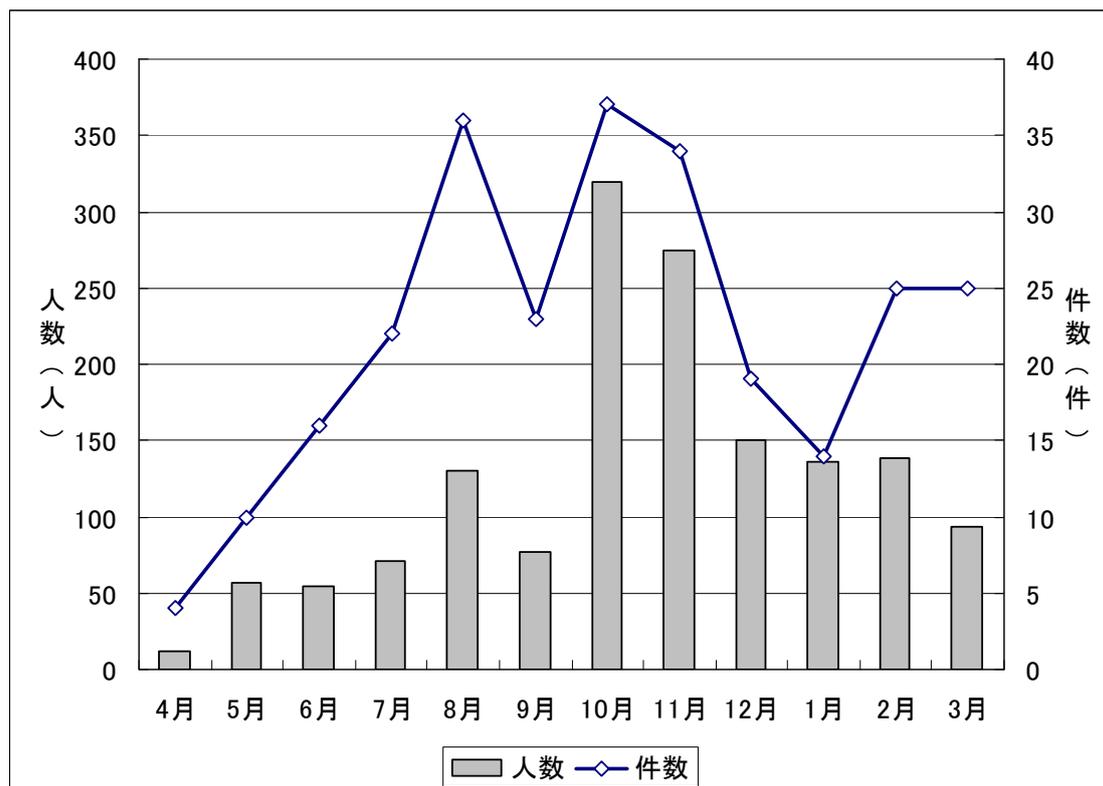


図 6-2 OTEC 実証設備 月別来場人数及び件数 (H25.4.9~H26.3.19)

(b) 訪問目的別来場人数及び件数

来場者を訪問目的別でみると、見学・視察目的が圧倒的に多く、件数で見ると217件の86%となっており、学習目的が20件の8%、取材目的が16件の6%であった(表 6-2、図 6-3 参照)。人数で見ると、学習目的が20%と多くなり(表 6-3、図 6-4 参照)、1件あたりの人数も15人と多かった。

見学・視察目的の内容をみると、民間企業や官公庁・政府関係者、個人など様々であった。さらに詳しい目的の内訳は、先進地視察研修や情報収集、興味関心がある、観光など本設備の見学を主目的とした来場のほか、他目的での久米島来島に併せて来場したケースも多く見られた。また、きっかけは、TV やマスコミの情報、関係者や知人からの情報、町役場からの紹介、研究所隣接の海洋深層水アンテナショップ「ふれあい館」からの紹介などが多かった。特に8~10月はTBS番組「夢の扉」を見たことがきっかけという来場者が多かった。

学習目的の内容をみると、島内においては久米島高校、久米島の地元小中学校の教員研修・生徒及びNPO法人沖縄・球美の里の子どもたちであった。県内においては、琉球大学の教員と学生、沖縄本島の小学校(離島体験交流促進事業)、インターナショナルスクールの生徒であった。また県外は徳島科学技術高校、海外はハワイのコナワエナ高校の生徒が訪問した。

申込の経路については、沖縄県海洋深層水研究所、久米島町役場経路が最も多く、次いで沖縄県産業政策課、ふれあい館となっている。本設備のウェブサイトが完成した11月以降はウェブからの申込み画像えている。

表 6-2 OTEC 実証設備 訪問目的の別来場件数及び人数(H25.4.9~H26.3.19)

訪問目的	件数	%	人数	%	人数 / 件
見学・視察	228	86%	1,175	78%	5.15
学 習	20	8%	302	20%	15.10
取 材	17	6%	35	2%	2.06
合 計	265	100%	1,512	100%	5.71

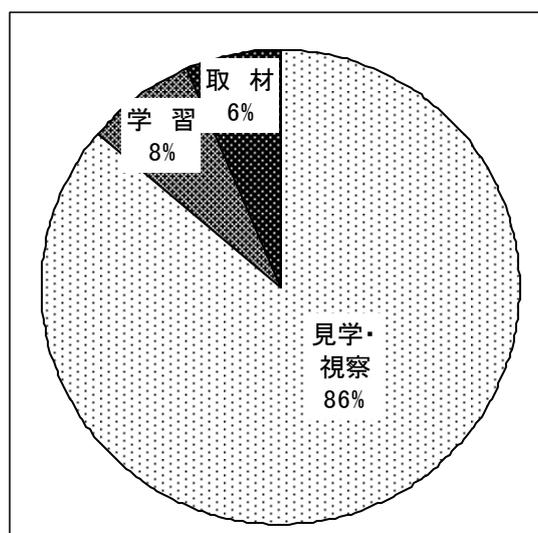


図 6-3 OTEC 実証設備 訪問目的の別来場件数(H25.4.9~H26.3.19)

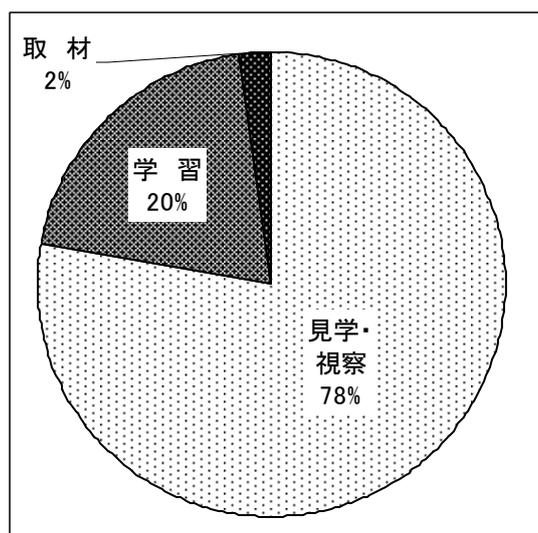


図 6-4 OTEC 実証設備 訪問目的の別来場人数(H25.4.9~H26.3.19)

## (c) 所属別来場件数及び人数

来場件数を所属別で見ると、民間企業の割合が 76 件の 30%と最も多く、次いで観光客などの個人が 73 件の 29%、官公庁・政府関係者が 56 件の 22%となっている(表 6-3、図 6-5 参照)。また、所属別を来場人数で見ると、個人などが最も多く 462 人の 31%、次いで民間企業が 377 人の 26%、学校が 320 人の 22%、官公庁・政府関係者が 258 人の 17%となっている(図 6-6)。件数別と人数別との比率の差異は、学校及び個人などの 1 件あたりの人数が多いことによるものである。

また、所属別に月別の来場者を見ると、ピークの月が個人などは 12 月、民間企業、学校は 11 月、官公庁・政府関係者は 10 月、報道関係は 6 月となっている(

表 6-4、図 6-7 参照)。

民間企業の内容をみると、今後の業務のため情報収集を目的とする企業(エネルギー、建設、機械、電気関連企業、協会や委員会、研究会といった民間企業による組織)が主であり、そのほか、観光や深層水関連企業もあった。

官公庁・政府関係者の内容をみると、国や都道府県、市町村の職員による視察のほか、国会議員、県議会議員などによる先進地視察もあった。

表 6-3 OTEC 実証設備 所属別来場人数及び件数(H25.4.9～H26.3.19)

所属分類	件数	%	人数	%	人数 / 件
民間企業	77	29%	378	25%	4.91
個人等	77	29%	472	31%	6.13
官公庁・政府関係者	62	23%	274	18%	4.42
学校	29	11%	320	21%	11.03
報道関係	14	5%	25	2%	1.79
NPO	6	2%	43	3%	7.17
合計	265	100%	1,512	100%	5.71

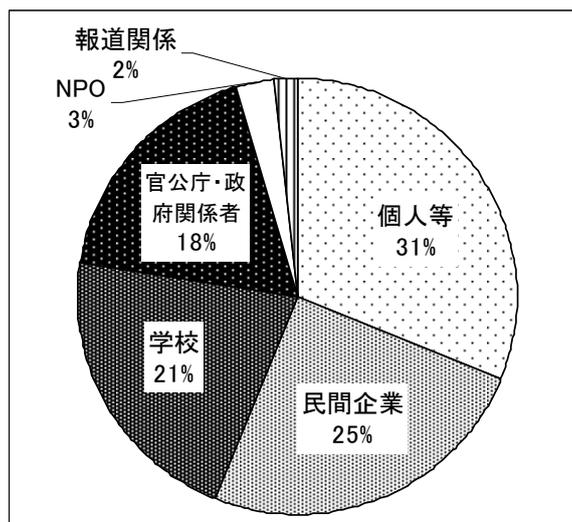


図 6-5 OTEC 実証設備 所属別来場件数(H25.4.9~H26.3.19)

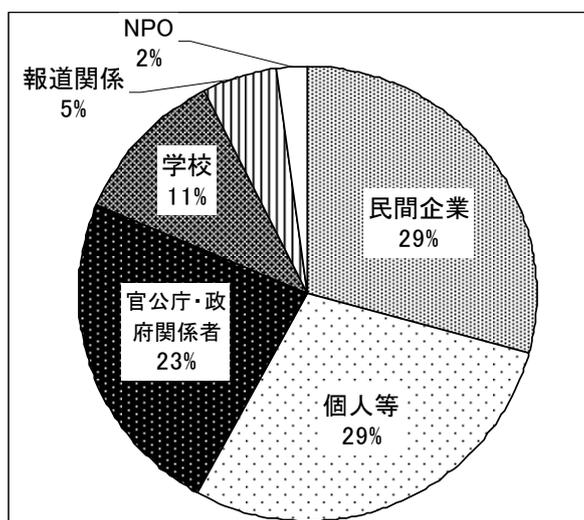


図 6-6 OTEC 実証設備 所属別来場人数(H25.4.9~H26.3.19)

表 6-4 OTEC 実証設備 月別所属来場人数(H25.4.9~H26.3.19)

所属分類	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
個人など	3	3	5	2	1	0	1	2	0	0	0	7	25
民間企業	2	0	0	0	0	11	26	0	2	0	0	0	43
学校	0	6	22	30	17	10	91	18	10	19	16	35	274
官公庁・政府関係者	4	40	0	21	0	5	43	77	27	15	24	17	320
NPO	3	8	15	11	18	30	70	113	19	42	34	15	378
報道関係	0	0	6	7	51	20	88	64	92	60	64	20	472
合計	12	57	48	71	87	76	319	274	150	136	138	94	1,512

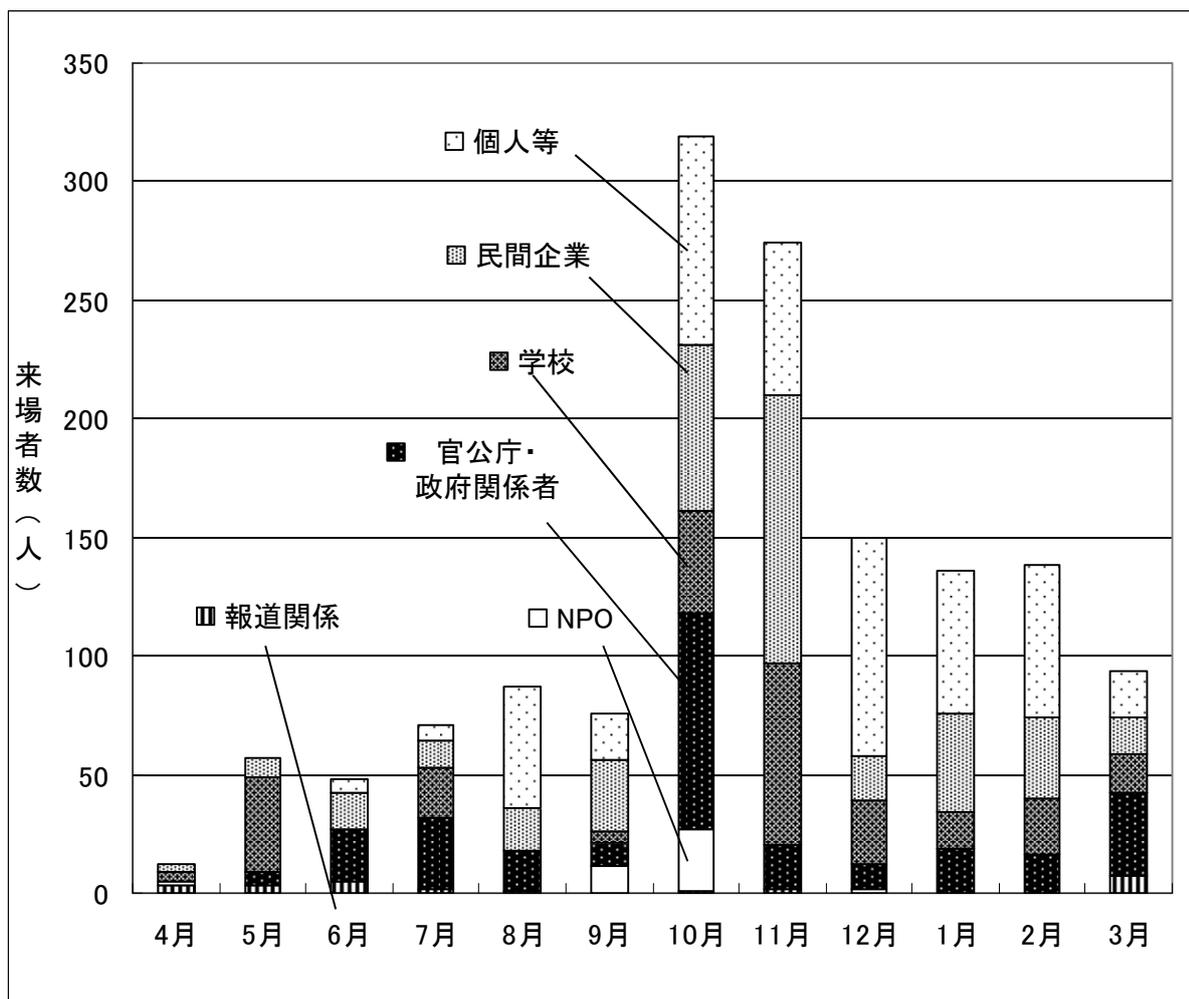


図 6-7 OTEC 実証設備 月別所属来場人数(H25.4.9~H26.3.19)

## (d) 地域別来場人数及び件数

来場件数を地域別で見ると、県外が最も多く47%、次いで県内の35%、島内の11%、海外の7%となっており、来場件数の約半分が県外からとなっている(表 6-5、図 6-8 参照)。次に来場人数を地域別で見ると、県内が39%、県外が34%、島内が24%、海外が4%となっており、県内が最も多くなっている(表 6-6、図 6-9 参照)。1件あたりの人数をみると、県外の4.19人よりも県内の6.45人ほうが多くなっている。また、島内の来場者は、1件あたり12人と多いが、これは学校や老人会といった団体の割合が多いことによる。

海外の来場者17件の内容をみると、8カ国から訪れており、多い順に韓国、アメリカ(ハワイ)、台湾、オランダ、インドネシア、マレーシア、ドミニカ共和国、ジャマイカとなっている(表 6 参照)。

表 6-5 OTEC 実証設備 地域別来場件数及び人数(H25.4.9~H26.3.19)

地域	件数	%	人数	%	人数 / 件
県外	126	48%	516	34%	4.10
県内	92	35%	583	39%	6.34
島内	30	11%	353	23%	11.77
海外	17	6%	60	4%	3.53
合計	265	100%	1,512	100%	5.71

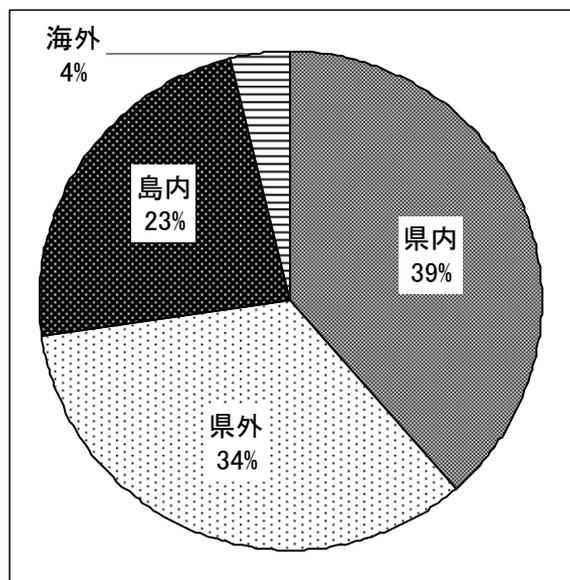


図 6-8 OTEC 実証設備 所属別来場件数(H25.4.9~H26.3.19)

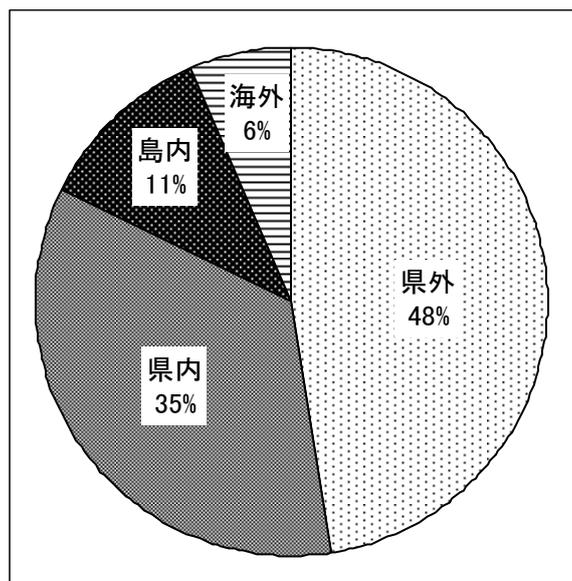


図 6-9 OTEC 実証設備 所属別来場人数(H25.4.9~H26.3.19)

表 6-6 OTEC 実証設備 海外来場者詳細(H25.4.9~H26.3.19)

国名	日付	所属	機関名	人数
韓国	7月22日	官公庁・政府関係者	韓国海洋科学技術院 海洋深層水研究センター	2
	7月3日	民間企業	POSCO JAPAN	2
	8月22日	民間企業	POSCO Growth and Investment Division	3
	9月3日	民間企業	KEPCO / Korea SE Power	3
	9月13日	民間企業	株式会社ポスコ	4
	2月25日	民間企業	POSCO JAPAN	2
アメリカ (ハワイ)	6月10日	一般	ハワイ沖縄県人会	6
	6月16日	官公庁・政府関係者	在沖米国総領事館	2
	11月12日	学校	コナワエナ高校	6
		一般	コナ沖縄県人会	
3月28日	学校	ハワイ州大学	1	
アメリカ	2月20日	一般	一般	1
台湾	11月6日	民間企業	石材資源産業研究発展センター	2
	11月12日	学校	台東大学	2
	3月31日	学校	台東大学	3
官公庁・政府関係者		石材資源産業研究発展センター		
オランダ	7月1日	民間企業	Bluerise 社/ Bluewater Energy Service B.V.	2
	12月9日	NPO	OTEC Foundation	2
	H26.4 (予定)	民間企業	Bluerise Columbia	未定
インドネシア	11月29日	学校	スラバヤ工科大学 ダルマプルサダ大学	4
官公庁・政府関係者		エネルギー鉱物資源省		
マレーシア	2月21日	学校	マレーシア工科大学	5
官公庁・政府関係者		OTEC センター		
ドミニカ共和国	5月20日	官公庁・政府関係者	SIDS DOCK	1
ジャマイカ	5月20日	官公庁・政府関係者	SIDS DOCK	1

※平成 26 年 4 月予定分まで含む。

(e) 見学・視察対応

本設備の来場者に対して、一般的な対応方法は、室内の説明(研究所の研究内容、久米島の深層水産業利用、OTEC の概要についてプレゼンテーションソフトウェア、パンフレット、展示物を使用:約 30 分)及び屋外の案内(OTEC 実証設備及び研究所の敷地内:約 30 分)という流れとした。また、来場者のニーズ(所属、関心度、時間など)に合わせて、説明方法、内容及び詳細度を調整した。



図 6-10 見学・視察時の様子

## 7. その他、本件事業の目的に適合する内容について

### (1) 沖縄ハワイクリーンエネルギー協力 第 4 回 海洋エネルギーワークショップへの参画

経済産業省、米国エネルギー省、沖縄県、ハワイ州の 4 者が、平成 22 年 6 月 17 日、沖縄県・ハワイ州間でのクリーンエネルギー協力に関する覚書に署名を行った。この沖縄県・ハワイ州間でのクリーンエネルギー協力の具体化に向け、日米両国の政府関係者及び専門家が、平成 22 年 8 月 22 日から 9 月 4 日まで沖縄及びハワイを訪問し、関連する施設の視察、企業関係者及び研究者との議論を行い、協力のあり方についての提言を行った。<sup>6</sup>

上記議論の中で、海洋エネルギー、とりわけ海洋温度差発電は、沖縄、ハワイ双方にとって重要な再生可能エネルギー資源であると位置付けられ、「海洋エネルギーワークショップ」を同協力の中で行っていくことが両国関係者間で合意された。<sup>7</sup> 本海洋エネルギーワークショップのミッションは、「沖縄とハワイで実証される効果的な海洋温度差発電システム(OTEC)の実施と促進を助長することである」とされている。<sup>8</sup>

本合意に基づき、海洋温度差発電を中心とした海洋エネルギーワークショップが、毎年実施されている。今年度は、ハワイ州ハワイ島のハワイ州自然エネルギー研究所(NELHA: Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority)において、平成 25 年 9 月 13 日に行われた。また、これに先立って 12 日には海洋温度差発電用熱交換器実験施設及び深層水を利用したアワビ養殖の見学ツアーも実施された。

本ワークショップには、昨年度の第 3 回ワークショップ(平成 26 年 9 月 11-12 日 於久米島町)に引き続き、本事業の受託共同事業体の構成員である IHI プラント建設株式会社の親会社である株式会社 IHI、株式会社ゼネシス、横河ソリューションサービス株式会社の横河電機株式会社の他、実証設備に特殊チタンプレートを供給している株式会社神戸製鋼所も参画し、本事業について報告を行なった。報告内容を添付資料①に示す。

### (2) 沖縄県が関わる海洋温度差発電に係る会議または共同研究に対する支援

平成 26 年 2 月を締切として内閣官房総合海洋政策本部が都道府県を対象に公募を行なった海洋再生可能エネルギーの実証実験のための海域を提供する「実証フィールド」について、沖縄県も応募している。この際の基礎データとして、本事業で取得した海水温データ等を提供した(図 7-1 図 7-2)。

<sup>6</sup> 経済産業省プレスリリース、「沖縄ハワイクリーンエネルギー協力に向けた、日米専門家の沖縄及びハワイへの相互訪問について」、平成 22 年 8 月 20 日、

<sup>7</sup> 経済産業省プレスリリース、「沖縄ハワイクリーンエネルギー協力に向けた、日米専門家の沖縄及びハワイへの相互訪問について」、平成 23 年 6 月 3 日、経済産業省プレスリリース

<sup>8</sup> ハワイ州ハワイ郡、沖縄県、久米島町、沖縄・ハワイクリーンエネルギー協力第 3 回海洋エネルギーワークショップ報告書、平成 24 年 9 月、

沖縄県 久米島  
 沖縄県海洋深層水研究所における取水温度（表層水、深層水）の実測値まとめ（月別）

月間データ	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
表層水温度										
平均 [°C]	23.1	24.4	26.5	29.0	29.0	27.2	26.2	24.2	22.9	21.5
最高 [°C]	24.5	25.4	30.6	29.8	32.8	28.3	27.8	25.1	24.0	22.5
最低 [°C]	22.5	23.7	24.0	27.5	26.1	26.7	24.3	21.9	21.7	20.7
(参考) JODCデータ [*1]	23.8	25.7	27.7	28.9	28.7	28.2	26.8	25.4	23.9	22.5
深層水 (612m) 温度										
平均 [°C]	9.2	9.4	9.2	9.0	9.0	8.7	8.7	8.7	8.8	8.9
最高 [°C]	10.8	10.2	11.0	10.3	10.1	9.9	10.1	10.3	10.4	12.6
最低 [°C]	8.3	8.7	7.6	8.0	7.9	7.6	7.3	7.9	7.7	7.8
(参考) JODCデータ [*1]										
水深600m	8.6	8.5	8.3	8.6	8.4	8.4	8.3	8.0	8.6	8.7
水深700m	6.9	6.6	6.7	6.5	6.6	6.7	6.6	6.4	6.6	6.8
水深800m	5.5	5.5	5.6	5.4	5.4	5.7	5.5	5.4	5.6	5.6
表層-深層 温度差										
平均 [°C]	14.0	15.0	17.3	20.0	20.0	18.5	17.5	15.5	14.1	12.6

[\*1] JODC 日本海洋データセンターによる水温統計データ。表層海水は水深10mと20mの平均値

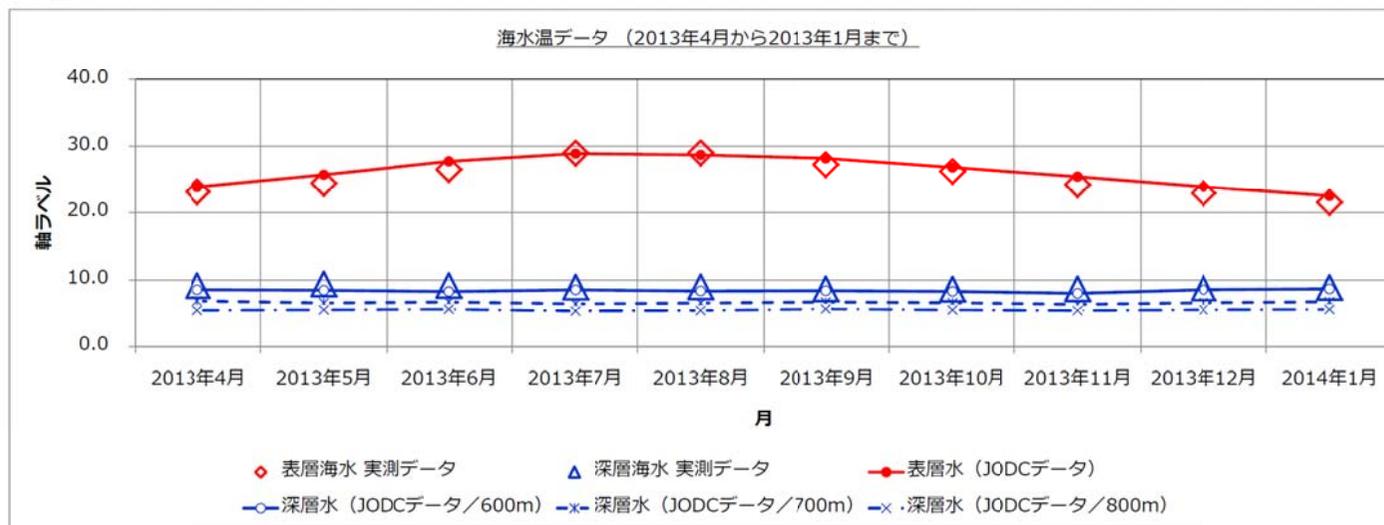


図 7-1 海水温度変化(月別)

沖縄県海洋深層水研究所における取水温度（表層水、深層水）の実測値まとめ（週別）

週間データ (上期)	4月14日 ～ 4月20日	4月21日 ～ 4月27日	4月28日 ～ 5月4日	5月5日 ～ 5月11日	5月12日 ～ 5月18日	5月19日 ～ 5月25日	5月26日 ～ 6月1日	6月2日 ～ 6月8日	6月9日 ～ 6月15日	6月16日 ～ 6月22日	6月23日 ～ 6月29日	6月30日 ～ 7月6日	7月7日 ～ 7月13日	7月14日 ～ 7月20日	7月21日 ～ 7月27日	7月28日 ～ 8月3日	8月4日 ～ 8月10日	8月11日 ～ 8月17日	8月18日 ～ 8月24日	8月25日 ～ 8月31日	9月1日 ～ 9月7日	9月8日 ～ 9月14日	9月15日 ～ 9月21日	9月22日 ～ 9月28日	9月29日 ～ 10月5日
表層水温度																									
平均 [°C]	23.0	23.4	23.8	24.5	24.4	24.9	24.6	25.8	26.6	26.6	27.4	28.9	29.1	28.6	29.2	29.2	29.5	30.0	28.5	27.5	27.2	27.4	27.2	27.2	27.2
最高 [°C]	24.0	24.5	24.8	25.2	25.0	25.3	25.8	27.1	30.6	28.5	29.0	29.4	29.5	28.8	29.8	31.3	30.6	32.8	30.2	28.5	28.3	27.9	28.1	27.8	27.8
最低 [°C]	22.5	22.6	22.6	23.9	23.6	23.8	23.7	24.8	24.9	24.0	26.1	27.5	28.3	28.4	28.8	27.8	27.9	27.7	26.1	27.1	26.7	27.1	26.8	26.8	26.8
深層水 (612m) 温度																									
平均 [°C]	9.2	9.2	8.9	9.0	9.1	9.3	9.4	9.4	9.1	9.2	9.1	9.0	9.0	8.8	9.1	9.0	8.8	9.3	9.1	8.9	8.8	8.8	8.7	8.4	8.4
最高 [°C]	10.1	10.8	10.6	10.1	10.0	10.1	10.2	11.0	9.7	10.2	10.3	9.6	9.9	9.8	10.3	10.3	9.4	10.1	10.0	10.1	9.6	9.8	9.9	9.8	9.8
最低 [°C]	8.5	8.3	8.1	8.3	8.4	8.7	8.7	8.3	8.5	7.6	8.2	8.4	8.2	8.0	8.1	8.3	8.0	8.5	8.0	7.9	8.0	8.1	7.7	7.6	7.6
表層-深層 温度差																									
平均 [°C]	13.7	14.2	14.9	15.5	15.3	15.7	15.2	16.4	17.5	17.4	18.3	19.9	20.1	19.8	20.1	20.2	20.7	20.7	19.5	18.6	18.3	18.5	18.6	18.8	18.8

週間データ (下期)	10月6日 ～ 10月12日	10月13日 ～ 10月19日	10月20日 ～ 10月26日	10月27日 ～ 11月2日	11月3日 ～ 11月9日	11月10日 ～ 11月16日	11月17日 ～ 11月23日	11月24日 ～ 11月30日	12月1日 ～ 12月7日	12月8日 ～ 12月14日	12月15日 ～ 12月21日	12月22日 ～ 12月28日	12月29日 ～ 1月4日	1月5日 ～ 1月11日	1月12日 ～ 1月18日	1月19日 ～ 1月25日	1月26日 ～ 2月1日
表層水温度																	
平均 [°C]	26.5	25.5	24.8	24.5	24.6	24.1	23.3	23.0	23.5	23.1	22.1	-	21.4	21.2	21.8	21.9	
最高 [°C]	26.8	26.4	25.2	25.2	24.8	25.1	24.6	24.2	23.5	24.0	23.5	22.5	-	21.6	21.8	22.0	22.5
最低 [°C]	26.3	25.0	24.3	24.3	24.2	24.2	23.7	21.9	22.6	23.3	22.7	21.7	-	21.1	20.7	21.5	21.5
深層水 (612m) 温度																	
平均 [°C]	8.5	8.8	9.1	9.1	8.7	8.6	8.7	9.0	8.8	8.8	8.9	8.9	-	8.7	9.2	8.8	8.9
最高 [°C]	9.8	10.1	10.1	10.1	9.7	9.6	9.4	10.3	9.8	9.5	10.4	10.4	-	9.7	10.8	11.1	12.6
最低 [°C]	7.3	7.9	8.5	8.5	7.9	7.9	8.0	8.2	7.9	7.9	7.7	8.3	-	7.9	7.8	8.1	8.1
表層-深層 温度差																	
平均 [°C]	18.0	16.7	15.7	15.7	15.8	16.0	15.4	14.4	14.2	14.7	14.2	13.1	-	12.7	12.0	12.9	13.0

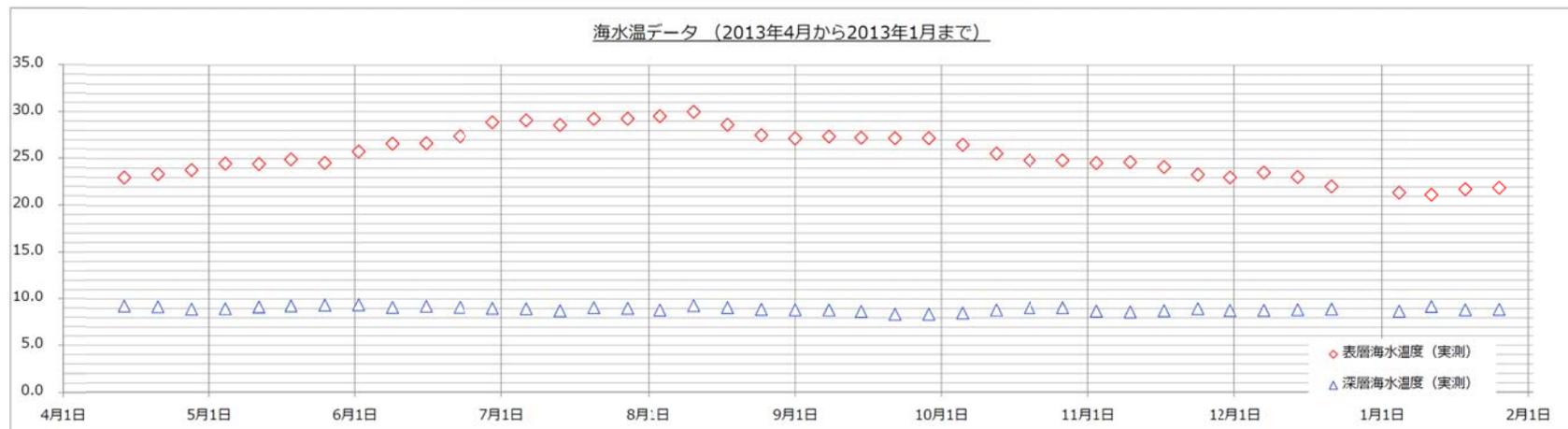


図 7-2 海水温度変化(詳細)

## (3) 実証設備の撤去費用

実証設備の撤去費用は、およそ次の通りと概算される。

ただし、撤去における諸条件(杭や既設配管の処理等)や実施時期により変動の可能性があるため、下記費用はあくまで参考とする。

(単位:百万円)	
設備撤去・島内及び海上輸送・処分	38
電気・計装ケーブル・盤撤去・処分	5
基礎撤去・処分・芝新設	24
作動流体回収処分	3
現場雑費、監督用役費、社内計画費、旅費、保険費等	15
間接経費	9
合計(概算)	94

## (4) 本事業の進捗及び成果の発信

本事業で設置した海洋温度差発電実証設備は、実際の表層水と深層水の温度差を用いた発電設備としては、現在稼働している世界唯一の設備である。

したがって、TV や新聞などに多く取り挙げられ、成果を発信することが出来た。表 7-1 にメディアのリストを示す。また、添付資料②に、主な記事を掲載する(許可取得済)。

表 7-1 本事業が取り挙げられた TV, ラジオ, 新聞等

テレビ			
日付	局	番組名	コーナー名、トピック名
H24.11.18	NHK	サイエンスZERO	夢のエネルギー！海洋発電への挑戦
H25.6.22	BS11	未来ビジョン 元気出せ！ニッポン！	海洋エネルギーを世界へ
H25.7.7	TBS	夢の扉+	海水の温度差で半永久的に発電！
H25.7.8	テレビ東京	ワールド・ビジネス・サテライト	新エネルギーの取り組み 海洋温度差で発電
H25.7.11	BS-TBS	夢の扉+	海水の温度差で半永久的に発電！
H25.7.24	NHK 総合	時事公論	海洋パワーと日本のエネルギー戦略
H25.12.21	サガテレビ	ドキュメント九州	海からエネルギーを取り出した男たち～佐賀大学海洋温度差発電～

表 7-1(Cont'd) 本事業が取り挙げられた TV, ラジオ, 新聞等

インターネット			
日付	局	番組名	コーナー名、トピック名
H25.7.4	NHK-WORLD	NEWSLINE	Biz/Tech:Green Ocean Power
H25.7.13	TBS ニュースバード	夢の扉+	海水の温度差で半永久的に発電!
H25.11.5	NHK-WORLD	NEWSLINE	Science View:The Leading Edge:Marine Power - The New Wave in Renewable Energy!
ラジオ			
日付	局	番組名	コーナー名、トピック名
H25.7.30	NHK WORLD ラジオジャパン	Japan & World Update 内 Radio Japan Focus	Technology and Business: Electricity from Ocean Temperature Differences
H25.8.1	R2 放送枠 東京 693kHz	Japan & World Update	
H25.9.14	TOKYO FM	Eco Action World	第 162 回 日本発の新エネルギーを目指して'海洋温度差発電'
新聞			
日付	メディア	面	タイトル
H25.4.3	日経	地方経済_沖縄九州経済	海洋温度差発電を実験 沖縄県 久米島で深層水利用
H25.4.3	琉球新報	経済	海洋温度差発電 15 日稼動 出力安定へ検証
H25.4.4	日経産業	地域発 エコトピックス	海洋温度差発電、15 日に実験 沖縄県
H25.4.23	日経産業	P21	多彩な発電 開発競う
H25.4.29	日経 電子版		海洋温度差発電、久米島で始動 クリーンで無尽蔵な再生エネ
H25.4.30	電気新聞	P6	海洋温度差発電プラントで世界初連続運転実証へ/IHI など、5 月から
H25.6.10	琉球新報	朝刊	〈今週のキーワード〉海洋温度差発電実証プラント通電式 16 日(日曜日)
H25.6.13	日経産業	P14	新チタン板材、熱伝導 2 割向上、神鋼、表面に凹凸

表 7-1(Cont'd) 本事業が取り挙げられた TV, ラジオ, 新聞等

新聞			
日付	メディア	面	タイトル
H25.6.17	日経	朝刊	海洋温度差で発電 沖縄県 実証プラントを稼動
H25.6.17	沖縄タイムス		久米島の海洋温度差発電で通電式
H25.6.17	スマートジャパン	自然エネルギー	久米島の「海洋温度差発電」、深層水と表層水の 20 度の違いを生かす
H25.6.18	電気新聞	P4	沖縄・久米島で記念式典 海洋温度差発電で世界初の商用系統へ連系
H25.6.18	毎日新聞	西部朝刊	ニュースボックス:海洋温度差発電の試験開始・沖縄
H25.6.18	沖縄タイムス	朝刊 P2	[記者のメモ]町民との「温度差」なし
H25.6.18	沖縄タイムス	朝刊 P9	海洋温度差発電に期待／プラント完成 久米島シンポ 深層水再利用も／専門家ら提言
H25.6.18	沖縄タイムス		海洋温度差発電に期待 プラント完成 久米島シンポ 深層水再利用も
H25.6.19	琉球新報		温度差発電で通電式 実証事業海洋深層水を利用 久米島
H25.7.11	電気新聞	P4	[海の時代]海洋温度差発電<上>日本勢の巻き返し
H25.7.12	電気新聞	P4	[海の時代]海洋温度差発電<下>コスト低減への取り組み
H25.7.12	毎日新聞	朝刊 P16	海洋発電:無尽蔵のクリーンエネルギー 研究が本格化
H25.7.21	日経	朝刊 P15	海洋温度差発電に脚光 一定出力強み、実証装置稼動
H25.7.23	日経	夕刊 P9	海洋温度差発電の開発をけん引、池上康之氏(フォーカス)
H25.7.25	からはーい	第 2 号	沖縄エネルギー事情と米国の関係
H25.8.5	沖縄タイムス	朝刊 P23	海洋深層水 誘致探る／糸満市長ら久米島視察
H25.8.16	琉球新報	朝刊 P26	海洋深層水施設 設置可能性探る／糸満市長が久米島訪問
H25.8.22	沖縄タイムス	朝刊 P23	大城琉大学長 久米島を視察／キャンパス設置表明
H25.9.3	沖縄タイムス	朝刊 P5	[論壇]謝花良広／海底資源 県担当部署を／海洋政策の頭脳集積急いで
H25.9.11	夕刊読売新聞		不思議科学館 海の力で電気を作る 水温差使って蒸気生む
H25.10.15	日経ビジネス	技術&トレンド	海洋温度差発電 エメラルドの海を発電所に
H25.10.25	日経	地方経済_沖縄九州経済	大自然からエネルギー <エコ>最先端 自立目指す 動き出す離島・国ざかいビジネス③

表 7-1(Cont'd) 本事業が取り挙げられた TV, ラジオ, 新聞等

新聞			
日付	メディア	面	タイトル
H25.12.6	電気新聞	P3	海事協会が海洋エネ主題に講演 浮体の船級取得役割紹介
H25.12.11	沖縄タイムス		深層水で発電実験 世界に先駆け 久米島町
H25.12.19	J-Net21	新エネルギーに挑む企業・研究機関	第 52 回海の温水・冷水の温度差を利用する海洋温度差発電〔ゼネシス〕
H26.1.2	空調タイムス	第 2 部低温編	海水を利用した地産地消エネルギー 海洋温度差発電実証試験本格始動
H26.1.9	沖縄タイムス	朝刊 P23	久米島の発展へ「足がかりの年」／島民 300 人 新年祝う
H26.1.10	Asia Pasific Bulletin		Innovation, the “Third Arrow” and US-Japan Relations
H26.1.15	時報 PV+	P12	無尽蔵の資源、安定電源として高まる期待〈総力特集:再生エネ今年の見通し(4)〉海洋エネルギー
H26.2.18	沖縄タイムス	朝刊 P25	浦添婦連 30 人 久米島ツアー／植栽・特産を体験
学会誌、技報等			
日付	メディア	面	タイトル
H.25 Vol.133	電気学会誌		十見百聞 海洋深層水の複合利用モデルの最前線～久米島の海洋温度差発電実証設備～
H25.9 Vol.64	TES MAGAZINE		海はエネルギーの宝庫！！『海洋温度差発電』

## 8. 今年度のまとめと次年度への課題

今年度は、ユニット A の運転試験及び解析において、熱交換器性能及び熱サイクル性能が計画時のシミュレーションより若干高い結果が得られることが確認された。この結果から、熱交換器計画時の設計式及び熱サイクル計画時のパラメータ設定がいずれも妥当であると判断される。将来的なより大規模な設備：1MW(1,000kW)や 10MW(10,000kW)規模のプラント設計においても、同じ熱交換器の設計式や熱サイクルのパラメータ設定を用いることが出来るため、これらの大規模設備における性能の確実性が大きく向上したといえる。

ユニット B では、商用設備の設計時または運用時に想定される課題を模した運転を行ない、いずれも有用な知見を得た。今後の大規模設備における発電コストの低減に貢献されるものと期待される。

海洋深層水の利用高度化については、これまで注目されなかったパレル利用の有用性や、発電利用後の海水利用（カスケード利用）が冷熱利用可能量を却って増やすケースがある点等について考察し、より幅広く経済性の高い利用方法の枠組みを提案した。

本設備は、実際の表層水及び深層海水を用いて発電を行なう設備としては世界唯一であるため、今年度の見学・視察者数は 1500 人を超え、TV、新聞等でも取り上げられた。これまで一般的に知名度が低かった海洋温度差発電を、より広く周知することができた。また、見学・視察対応や設備の日常管理は現地雇用者に移管しながら地域のエネルギーとして根付くことを目指している。

次年度は、ユニット A については、今年度達成できなかった商用系統連系下の無人での長期連続運転を目指す。ユニット B については、今年度さまざまな有用な結果が得られたことから、この結果に基づき、より深掘りしたデータの取得と解析を行なう。

### **添付資料**

- ① 沖縄・ハワイクリーンエネルギー協力 第 5 回海洋エネルギーワークショップにおける説明資料(本文 第 7 章(1)参照)
- ② 本事業に関する主な新聞雑誌記事(第 7 章(4)参照)