

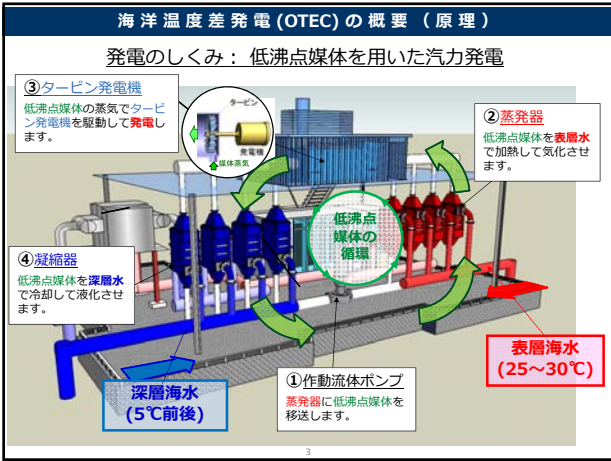
関係者限り

## 海洋深層水の利用高度化に向けた 発電利用実証事業 H26年度 実証運転報告

【目次】

1. 海洋温度差発電の概要と動向
2. 発電利用実証試験
3. 海洋温度差発電システムの確立
4. 海洋深層水利用の高度化
5. 見学・視察状況

# 1. 海洋温度差発電 の概要と動向



### 各種発電技術における OTEC 技術の位置付け

#### 他のタービン発電との比較

海洋温度差発電は再生可能エネルギーを駆動源とするタービン発電です。

発電方法	高温熱源 Heat Source	低温熱源 Heat Sink	温度差	作動媒体
石炭火力 (汽力)	石炭の 燃焼熱	一般的に 海水 (15~30℃)	1000℃以上	H <sub>2</sub> O
地熱川付 発電	低圧蒸気・ 温泉水 (70~200℃)	一般的な 冷却源 (水冷・空冷) (15~30℃)	50~150℃	低沸点媒体： 代替700・ ペントラ・ アモニア水等
排熱発電	低温の 工場排熱 (70~200℃)			
海洋温度差	表層海水 (25~30℃)	深層海水 (5℃)	20℃	無水アモニア・ アモニア水・ 代替700

### 海洋温度差発電 (OTEC) の概要 (特徴)

#### 海洋温度差発電の特徴

- ① 出力の安定性・予測可能性  
深層海水の温度は年間を通じてほぼ一定。また、表層海水温も急激な変化をしないため、安定した出力が得られます。また、季節ごとの表層海水温度データから、発電量の予測が可能です。
- ② 高い設備利用率  
海洋温度差発電の適地である沖縄や南伊豆・小笠原地域、黒潮流域等では、表層海水温は年間を通じて高いため、60~90%以上の設備利用率が達成できます。
- ③ 汲み上げた深層海水の副次利用により、離島等の省エネや産業振興に貢献  
海洋温度差発電に用いる深層海水は5℃前後。発電に用いた後も水質は変わらず、水温も10℃程度と低温のため、これを空調や冷熱利用農業、漁業等に用いることができます。

### 海洋温度差発電開発の導入ポテンシャル

#### 導入ポテンシャル (国内)

##### 沖縄地域で膨大なポテンシャル

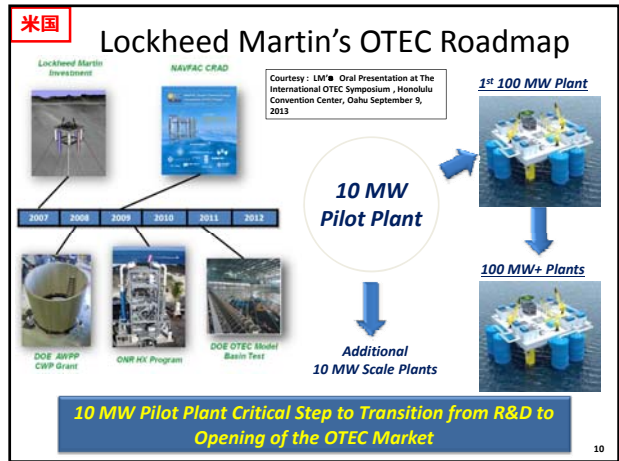
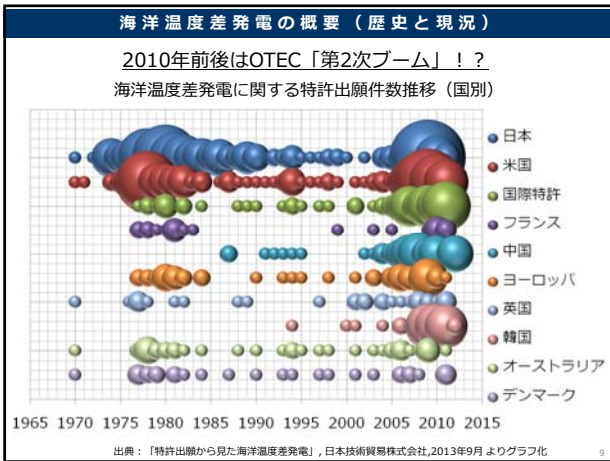
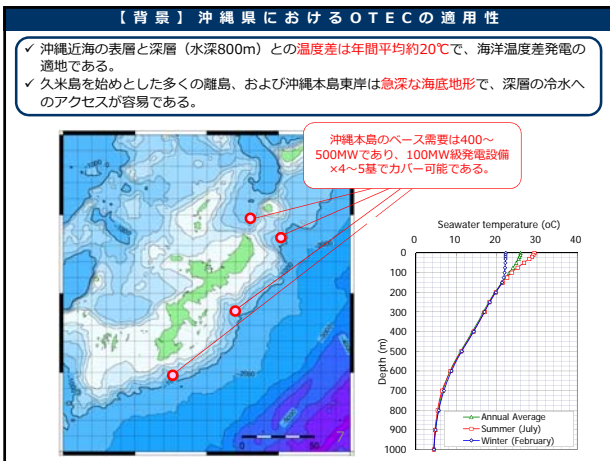
単位：メガワット (MW)

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

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)、平成23年3月

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

注：海洋環境への影響が無視できる導入量の上限として「30km四方に100MW一基」を設定して算定されています。



**米国 Lockheed Martin社**

ロッキード・マーティン社は2013年4月に中国ReignwoodグループとOTECに関するMoUを締結、中国南部における10MW規模の発電プラント設置を計画しています。

Lockheed Martin and Reignwood Group to Develop Ocean Thermal Energy Conversion Power Plant

**Prototype Plant to be First Project in the Multi-Billion Dollar Clean Energy Agreement**

BALTIMORE, April 16, 2013 – Lockheed Martin [NYSE: LMT] has announced that it is working with Reignwood Group to develop an Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) pilot power plant off the coast of southern China. A memorandum of agreement between the two companies was signed in Beijing on Saturday. Following the ceremony, both companies met with United States Secretary of State John Kerry during his first official state visit to the People's Republic of China.

<http://www.lockheedmartin.com/us/news/press-releases/2013/april/lockheed-martin-and-reignwood-group-to-develop-ocean-thermal-ene.html>

**米国 Lockheed Martin社**

【直近の動向】 中国南部の10MW OTEC発電設備について、2015年2月に同社のChairmanは「今年、詳細設計や許認可の取得を行なう」とし、「このデモプラントが、“in the very near term”に10～100メガワットのプロジェクトにつながるだろう」と年次記者発表で述べています。

Lockheed Martin (NYSE: [LMT](#)) Chairman, President and Chief Executive Officer Marilyn Hewson shared the Corporation's business growth strategy during the annual Media Day event.

(中略)

We've also made significant advancements in the energy sector, as we look for viable, affordable ways to generate clean and abundant power to meet growing global demand. We are increasing the commercial viability of new energy technologies like tidal power generation and ocean thermal energy conversion—or OTEC.

In fact, this year we will begin detailed design, pre-construction and permitting for the largest OTEC power plant, off the coast of southern China. This 10 megawatt plant—being designed by Lockheed Martin and built by our partners at Reignwood Group—will provide 100 percent of the power needed for a green resort. It will also demonstrate this unique technology which could lead to several new installations ranging in size from 10 to 100 megawatts in the very near term.

[http://www.streetinsider.com/Corporate+News/Lockheed+Martin+\(LMT\)+CEO+Hewson+Updates+on+Growth+Strategy+at+Media+Day+Event/10286684.html](http://www.streetinsider.com/Corporate+News/Lockheed+Martin+(LMT)+CEO+Hewson+Updates+on+Growth+Strategy+at+Media+Day+Event/10286684.html)

**仏国** Akuo Energy社, DCNS社等

マルティニーク浮体式10.6MW  
2014年7月発表

マルティニーク陸上式5MW  
2014年12月発表

インドネシア電力会社とのMoU締結  
2015年2月発表

フィリピン国営石油とのMoU締結  
2015年2月発表

Press Release  
Cooperation agreement in the Philippines

Akuo Energy has, today in Manila, signed an agreement with Bell Pine Power Corp. and Philippine National Oil Company Renewables Corp. (PNOC-RC) regarding the deployment of an electricity power plant in the Philippines using Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC).

**仏国** Akuo Energy社, DCNS社等  
フランス企業によるOTECプロジェクト

プロジェクト名称	ネモ(NEMO)	ナウティルス(AUUTILUS)	インドネシアとのMoU締結	フィリピンとのMoU締結
発表日	2014年7月8日	2014年12月23日	2015年2月11日	2015年2月26日
場所	仏 海外県 マルティニーク島 (カリブ海)	仏 海外県 マルティニーク島 (カリブ海)	インドネシア	
形式	洋上浮体式	陸上式	(情報なし)	(情報なし)
出力	発電機 16.0MW 送電機 10.7MW	5~7 MW	風力・太陽光と併せて560MW	(情報なし)
初期費用	約3億ユーロ (約390億円)	約1.5億ユーロ (約180億円)	(情報なし)	(情報なし)
補助金等	7200万ユーロ (約100億円) (EU NER300から)	(情報なし)	(情報なし)	(情報なし)
実施主体(仏)	Akuo Energy DCNS	Akuo Energy DCNS Entrepose	Akuo Energy	Akuo Energy Bell Pirie Power Corp.
実施主体(現地)	-	-	国有石油・ガス 関連会社 (Pertamina)	フィリピン国営石油 (PNOC-RC)
建設スケジュール	2018年7月 稼働開始	2016年 建設開始	2018年7月プロジェクト開始	(情報なし)

**仏国** 【参考】フランスが取得したEU補助金の概要(2014年7月)

NEMO (New Energy for Martinique and Overseas) プロジェクト

- NER300は、欧州委員会、欧州投資銀行と加盟国が共同で管理している低炭素エネとCCSのための資金調達手段。  
今回、12カ国の19プロジェクトに10億ユーロを支給する。  
仏のOTECプロジェクト「NEMO」は、そのうちの1つとして選定された。
- 「NEMO」プロジェクトへの資金提供額は、7200万ユーロ。  
プロジェクト開始から5年間のFIT (260ユーロ/MWh) として支払われる。
- 仏Akuo Energy (大手PPSとのこと) が発電事業者、DCNSは事業化のパートナーでサプライヤーの立場。
- 対象プロジェクトは、マルティニーク向け発電端出力16MW (送電端出力10.7MW) 浮体式OTEC。  
2018年から発電を開始する。
- 技術仕様：タービン発電機4MW×4基、アンモニアランキンサイクル

情報出典：DCNS社、Akuo Energy社のプレスリリースおよび各種WE Bニュース記事

**韓国** KIOST: Korean Institute of Ocean Science and Technology  
Final Goals and Approaching Steps

Final Goals: Design, manufacture, installation and operation of 100MW commercial OTEC plants in tropical waters

- 2010-2013: 100W & 20kW OTEC Experiments  
Educational demonstration of OTEC mock-up in 2011  
Public demonstration of small OTEC pilot plant in 2013
- 2014-2017: 200kW HdT & 1MW LdT OTEC Pilot Plant  
Design and fabrication of small practical OTEC plant  
Installation and operation for domestic(HdT) and tropical(LdT) implementation of Blue Infrastructure
- 2018-2020: 10MW OTEC Practical Plant  
Practical OTEC plant for multi-staged use  
ODA project and deep sea mining assistance
- 2020\*: 100MW OTEC Commercial Plant  
Prototype 100MW OTEC plant for commercialization

Courtesy: KIOST's Oral Presentation at The International OTEC Symposium, Honolulu Convention Center, Oahu September 9, 2013

**韓国** OTEC - 1MW OTEC at Tarawa, Kiribati

Water depth (m)

President Anote Tong

VLFS - OTEC/SWAC/Desalination/Aqua-agriculture Plants

OTEC - 2016-2020

OTEC & SWAC, Desalination Plant

Agriculture Plant

House

Seafood Plant

Plant & Storage

Aquaculture Plant

Waterfront Park

VLFS - 2021-2025

**沖縄県の海洋温度差発電実証の意義**

世界唯一・第2次ブーム期で世界初の実証試験設備

本事業の実証設備の稼働開始は、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年度末現在も、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年度末現在、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。

新聞・雑誌で50件以上、テレビ・ラジオで12件取り上げられている。来場者は2年で30カ国-3000人以上。



Makai Ocean Eng.社の熱交換器試験設備の現状



2015年2月12日撮影

蒸発側

- (1) ロッキード・マーティン 機型シェル&チューブ (アルミ)
- (2) Chart社 プレートフィン (アルミ)
- (3) APVクロスフロープレート (チタン)

凝縮側

- (1) 初代ロッキード・マーティン シェル&チューブ (アルミ)
- (2) 改良型ロッキード・マーティン シェル&チューブ (アルミ)
- (3) APV四つ目プレート (チタン)

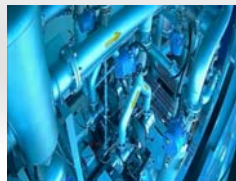
タービン発電機 (105kW) の搭載



- 12,000rpm, 減速機付き。
- 2015年2月12日時点で、配管は接続済み。電気関係が未了。
- 4月頃に発電試験開始予定。
- 8月21日にAsia Pacific Clean Energy Summitに併せてオープニングセレモニーを開催



- 20kW OTEC pilot plant in 2013
  - Use of combined heat sources of solar, geothermal and incineration
  - Use of mixture of deep and surface sea waters as heat sink
- 200kW Hybrid OTEC power plant in 2014
  - Combined operation with wood chip gasification power plant



2. 発電利用  
実証試験

～実証試験の設備仕様と試験結果～

海洋温度差発電実証試験設備の概要

設備構成

発電実証試験用  
ユニット-A  
(最大出力50kW)

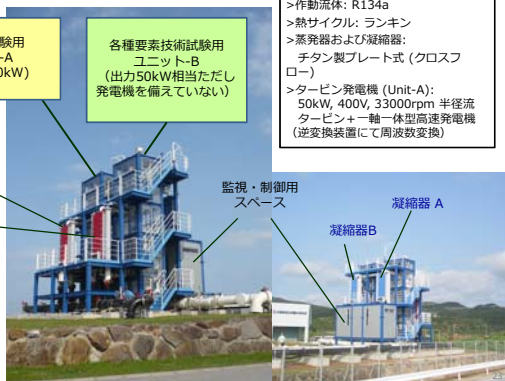
各種要素技術試験用  
ユニット-B  
(出力50kW相当ただし  
発電機を備えていない)

>作動流体: R134a  
>熱サイクル: ランキン  
>蒸発器および凝縮器:  
チタン製プレート式 (クロスフ  
ロー)  
>タービン発電機 (Unit-A):  
50kW, 400V, 3300rpm 半径流  
タービン+一軸一体型高速発電機  
(逆変換装置にて周波数変換)

蒸発器 A  
蒸発器 B

監視・制御用  
スペース

凝縮器 A  
凝縮器 B



写真提供: 沖縄県

海洋温度差発電実証試験設備の概要

海水のフロー



**表層海水**

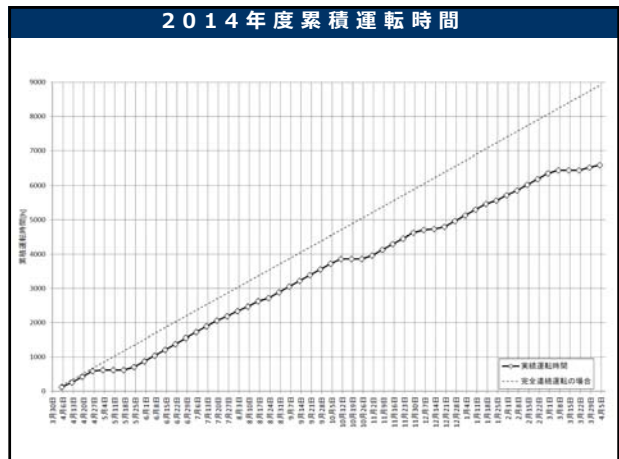
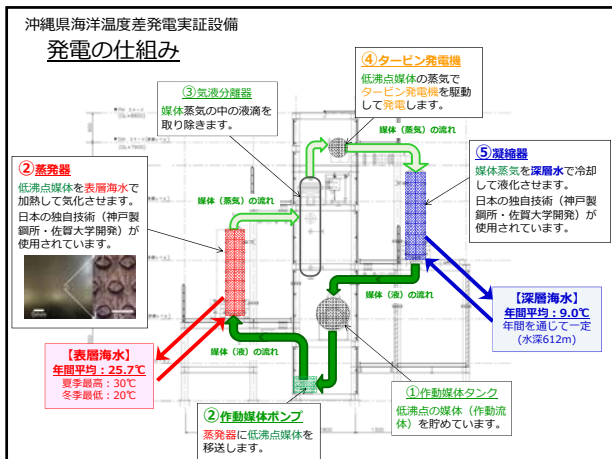
- 流量: 最大 13,000 t/d (540t/h) …既存取水設備と共用
- 水温: 年平均 25.8 °C, 夏季 29°C, 冬季 23°C

**深層海水**

- 流量: 最大 13,000 t/d (540t/h) …既存取水設備と共用
- 取水深度: 612m
- 水温: 年間平均 9°C (ほぼ一定)

写真提供: 沖縄県

24



### 主な停止理由と停止期間、対策（1）

日付	停止理由	停止期間	次プロジェクトでの対策（案）
4月7日	発電制御盤 設定調整（安定化）のための手動停止	3日	-（トラブルではない）
5月5日	付近への落雷による制御機器故障（図2-17） 実証設備から約50mの電柱に落雷。該電柱の支線がたるんでおり、落雷時に風により実証設備への通信ケーブルと接していたと考えられる。このため、通常支線を通じて地面に流れ込むはずのサージ電流が、プラント通信機器に流れしまい故障に至った。	3週間	今回は、支線がたるんでいる電柱に落雷したこと、それが通信ケーブルと接していたことこの2重の不運が重なった。レアケースとはいえ、支線がたるんでいなければ起こらなかった故障である。次ステップでは、設備本体だけでなく、周辺の状況にも日常的に注意を払う。
7月22日	台風対策として手動停止	2日	-（トラブルではない）
7月31日	台風対策として手動停止	1日	-（トラブルではない）
8月3日	研究所停電のため自動停止	1日	-（トラブルではない）
8月9日	冷房用小径管補修のため手動停止	1日	-（トラブルではない）
8月19日	熱交換器海水ヘッダ塗装補修のため手動停止	3日	塩害対策（建屋内への建設、換気口への塩害防止フィルター設置）

### 主な停止理由と停止期間（2）

日付	停止理由	停止期間	次プロジェクトでの対策（案）
10月7日	台風による既存海水タンク水位計～発電ユニット間の信号線保護管の破損とケーブル断線（図2-18） 台風による飛来物もしくは突風により、既存深層水タンク水位計～発電ユニット間の信号線保護管が破損し、ケーブルが断線した。このため、既存深層水タンクの水位が計測できなくなり、自動運転が不可能となった。	3週間	今回のケーブル破断箇所は、本設備固有のもので、次ステップでは存在しない。ただし、一般論として、ケーブル破断により設備停止が必須となるものについては、二重化を検討する。
12月3日	東京大学による深層水を用いた海洋生物試験設備の配管工事および試運転のため、発電設備への海水供給を停止した。	断続的に10日	-（トラブルではない）
12月13日	制御装置用の無停電電源装置（UPS）に、塩害による故障が生じた。UPSをバイパスする形で配線を直し、UPS修理期間をしのいだ。	3日	塩害対策（建屋内への建設、換気口への塩害防止フィルター設置）

### 主な停止理由と停止期間（3）

日付	停止理由	停止期間	次プロジェクトでの対策（案）
1月22日	研究所電気設備点検のため、商用電力変電を停止した。このため、本設備も停止した。この機会を利用して塩害対策塗装を行なったため、停止期間が長くなった。	4日	-（トラブルではない）
2月5日	研究所の海水タンク点検のため、手動停止	1日	-（トラブルではない）
3月3日	制御室内の天井部ドレンパッドからの漏水により、逆変換装置（PCS）の上部ファンから内部に浸水、PCSをショートさせた。これにより、系統連系を維持することが出来なくなった。	3週間～	配置面で、制御室内への水配管は行わない。

### 停止理由と次ステップでの対策

#### 1. 落雷による通信・制御関係機器の故障

発生：5月5日  
再運転までの期間：3週間  
事象：実証設備から約50mの電柱に落雷。当該電柱の支線がたるんでおり、落雷時に風により実証設備への通信ケーブルと接していたと考えられる。このため、通常支線を通じて地面に流れ込むはずのサージ電流が、プラント通信機器に流れしまい故障に至った。

↓

**次ステップでの対策：**  
今回は、支線がたるんでいる電柱に落雷したこと、それが通信ケーブルと接していたことこの2重の不運が重なった。レアケースとはいえ、支線がたるんでいなければ起こらなかった故障である。次ステップでは、設備本体だけでなく、周辺の状況にも日常的に注意を払う。

### 停止理由と次ステップでの対策

#### 1. 落雷による通信・制御関係機器の故障



31

### 停止理由と次ステップでの対策

#### 2. 台風による既存海水タンク水位計～発電ユニット間の信号線保護管の破損とケーブル断線

発生：10月7日

再運転までの期間：3週間

事象：台風による飛来物もしくは突風により、既存深層海水タンク水位計～発電ユニット間の信号線保護管が破損し、ケーブルが断線した。このため、既存深層海水タンクの水位が計測できなくなり、自動運転が不可能となった。



#### 次ステップでの対策：

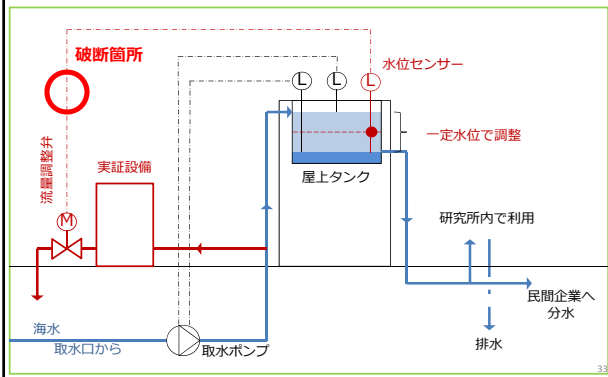
今回のケーブル破断箇所は、本設備固有のもので、次ステップでは存在しない。

ただし、一般論として、ケーブル破断により設備停止が必須となるものについては、二重化を検討する。

32

### 停止理由と次ステップでの対策

#### 2. 台風による既存海水タンク水位計～発電ユニット間の信号線保護管の破損とケーブル断線



33

### 停止理由と次ステップでの対策

#### 2. 台風による既存海水タンク水位計～発電ユニット間の信号線保護管の破損とケーブル断線



34

### 停止理由と次ステップでの対策

#### 3. 台風対策のための手動停止

実施：7月22日, 31日, 10月7日

再運転までの期間：1～2日

事象：台風時に研究所停電によって、海水の流量制御弁（電動弁）が動かなくなることに備えて、停電が予想される際には、あらかじめプラントを停止している。



#### 次ステップでの対策：

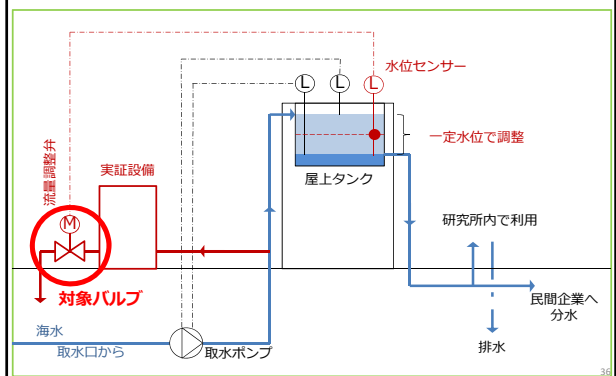
当該の流量制御弁は、本設備固有のもので、次ステップでは存在しない。

ただし、一般論として、外部電源喪失時に開閉動作が必要なバルブ類については、外部動力源が無くても自動開閉する仕様とする。

35

### 停止理由と次ステップでの対策

#### 3. 台風対策のための手動停止



36

### 停止理由と次ステップでの対策

#### 4. 熱交換器海水ヘッダ塗装補修のため手動停止

実施：8月19日  
再運転までの期間： 3日  
事象： 台風時の風雨により、熱交換器海水ヘッダの塗膜が一部割れたため、塗装のタッチアップを行なった。  
OTECは低温で稼働する上高温多湿の気候であることから、運転時は常時結露する機器が多く、塗装のためには設備の停止が必要となる。



#### 次ステップでの対策：

本設備は全ての機器が屋外設置であるため、塩害の被害を受け、防錆のための塗装タッチアップが頻繁に必要である。  
次ステップでは、建屋内設置+塩害対策換気フィルタを計画している。これにより、1～2年に一度の定期点検停止時に塗装のタッチアップをすればよいレベルとする。

37

### 停止理由と次ステップでの対策

#### 5. 制御室内の天井部ドレンパッドからの漏水により、逆変換装置（PCS）が故障

発生： 3月3日  
事象： 制御室内の天井部ドレンパッドからの漏水により、逆変換装置（PCS）の上部ファンから内部に浸水、PCSをショートさせた。これにより、系統連系を維持することが出来なくなった。ドレンパッドはステンレス製で、塩分の混入により腐食していた。（現在はプラスチック製に変更するとともに、バックアップのカバーも設置している。）



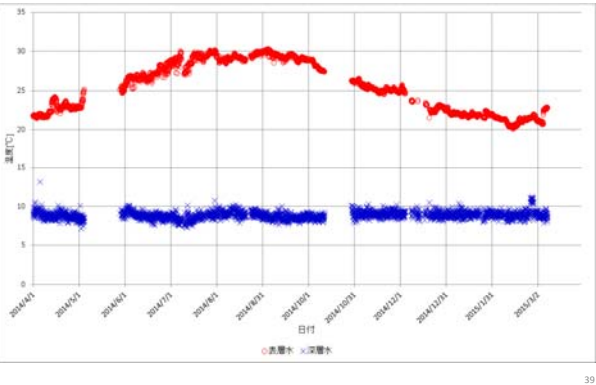
#### 次ステップでの対策：

今回はスペースの制限により制御室天井に結露配管が走っているが、次ステップでは結露配管は制御室内に設置しない。

38

### 海水温度推移

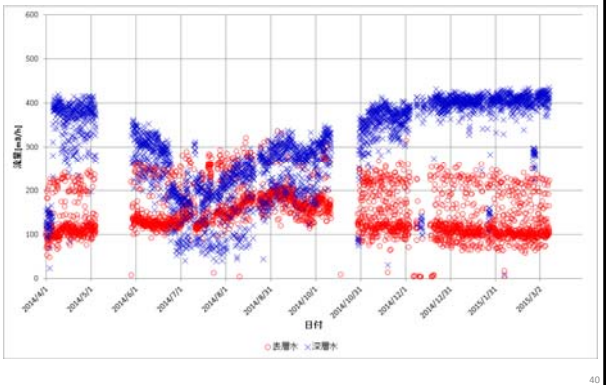
#### 表層水温度と深層水温度の年間推移



39

### 利用海水流量推移

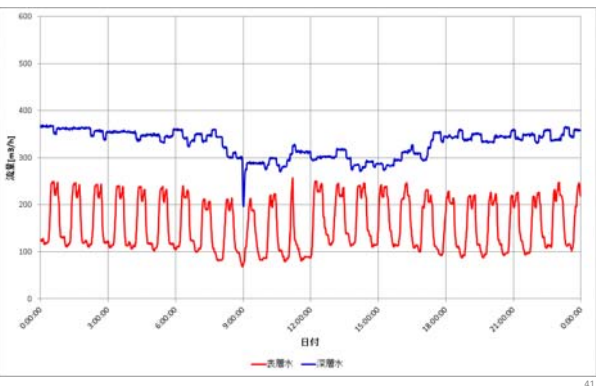
#### 表層水流量と深層水流量の年間推移



40

### 利用海水流量推移

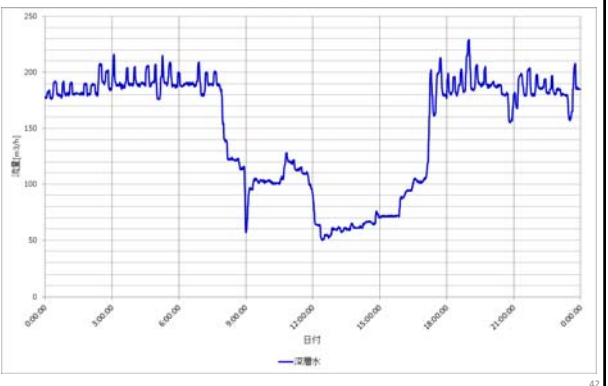
#### 表層水流量と深層水流量の日間推移（中間期：11月1日の例）



41

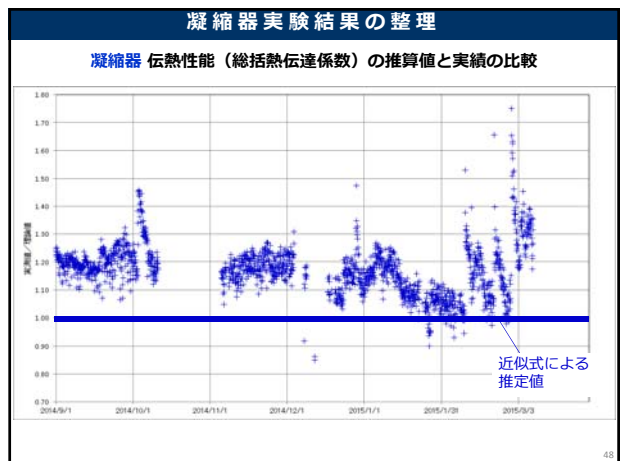
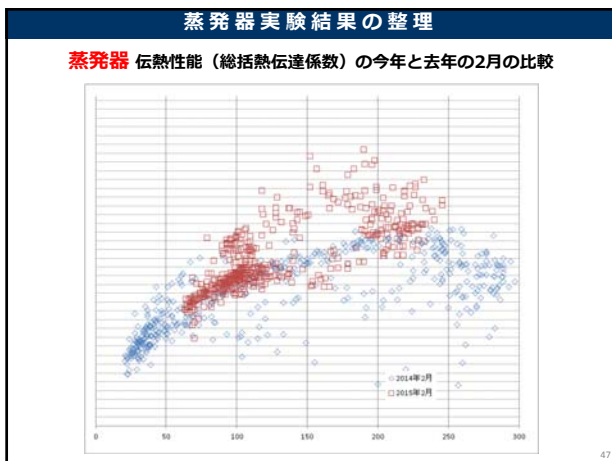
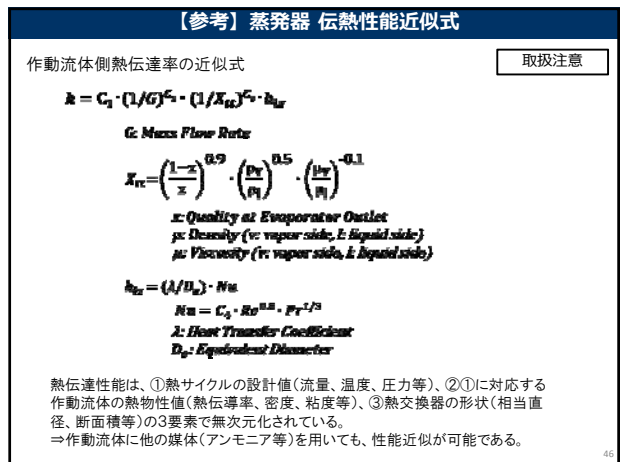
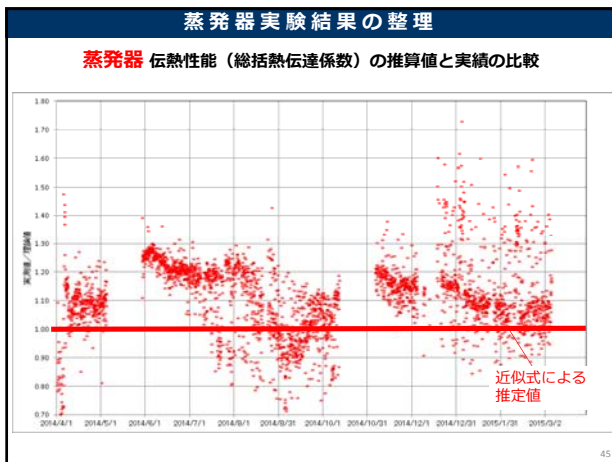
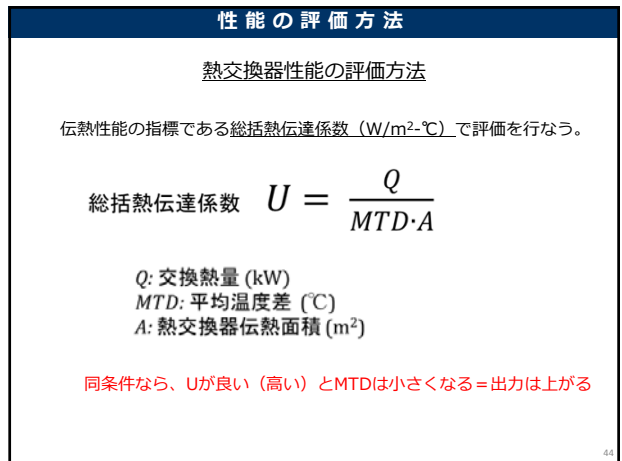
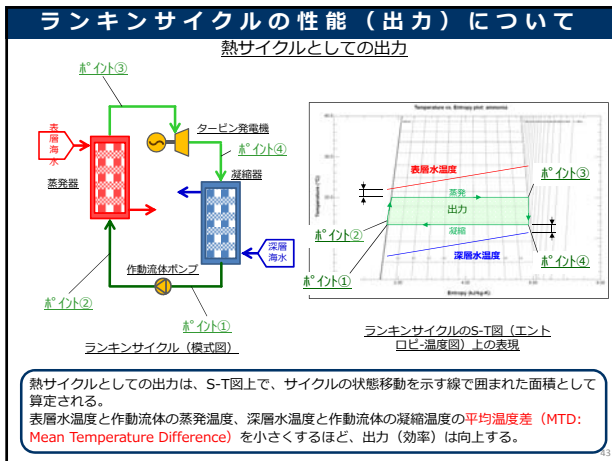
### 利用海水流量推移

#### 夏季の深層水流量の日間推移（7月4日）



42







**【参考】凝縮器 伝熱性能近似式**

作動流体側凝縮熱伝達率の近似式 取扱注意

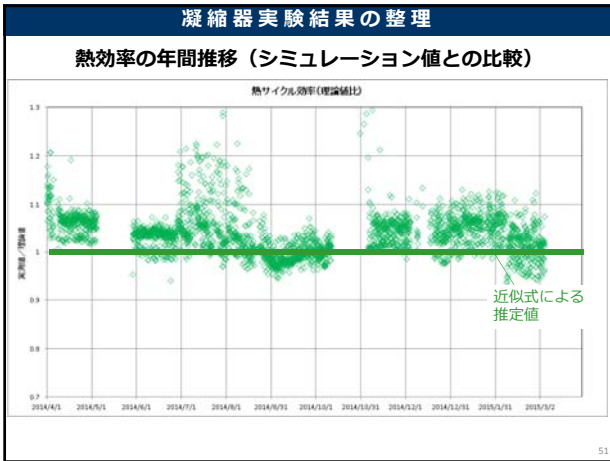
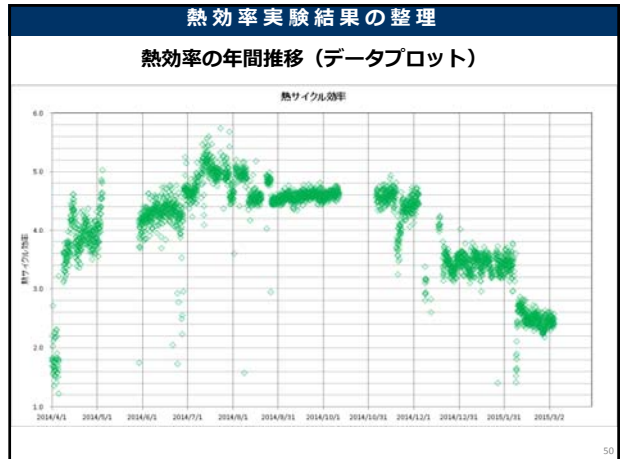
$$h = (\lambda/D_e) \cdot Nu_c$$

*h*: Heat Transfer Coefficient  
*D<sub>e</sub>*: Equivalent Diameter

$$Nu_c = \frac{C_1 \cdot (H_c \cdot \Delta T_c)^{C_2}}{H_c}$$

*C<sub>1</sub>*: Colburn Number  
*H<sub>c</sub>*: Condensation Number =  $\frac{H}{Pr}$   
*H*: Sensible/Latent Heat Factor  
*Pr*: Prandtl Number

熱伝達性能は、①熱サイクルの設計値(流量、温度、圧力等)、②①に対応する作動流体の熱物性値(熱伝導率、密度、粘度等)、③熱交換器の形状(相当直径、断面積等)の3要素で無次元化されている。  
 ⇒作動流体に他の媒体(アンモニア等)を用いても、性能近似が可能である。



**実証設備の結果評価まとめ**

**熱交換器 (蒸発器・凝縮器) について**

- 全体としてはシミュレーション値以上の性能が得られている。
- 蒸発器は、性能の振れが大きい。2014年度は夏季に一回性能が落ちて、その後昨年レベルまで回復している。なんらかの原因で海水側に空気が入った疑いもあり、今年度検証が必要である。
- 凝縮器については2月に性能の振れ幅が広がっている。現在は元の水準に戻っており、原因は不明である。

**熱効率について**

- 熱交換器性能が推算値より高いため、理論計算よりも熱サイクルとしての出力は高い結果となっている。ただし、蒸発器の性能が落ちた今年度の夏季は、シミュレーションより若干低い数値となっている。

**3. 海洋温度差発電システムの確立**

～実証試験結果による1MW, 10MWの性能推定～

**実証設備試験データからの性能予測**

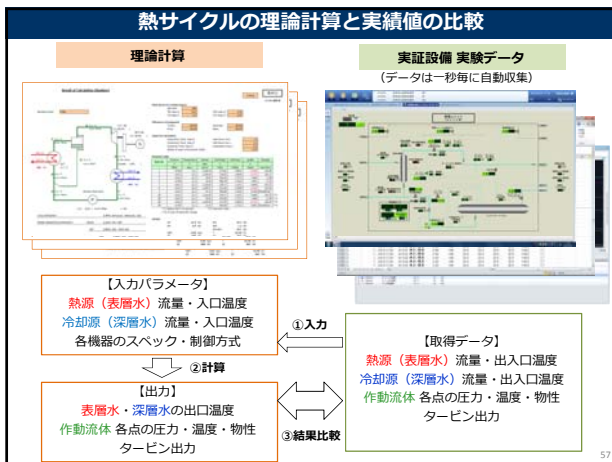
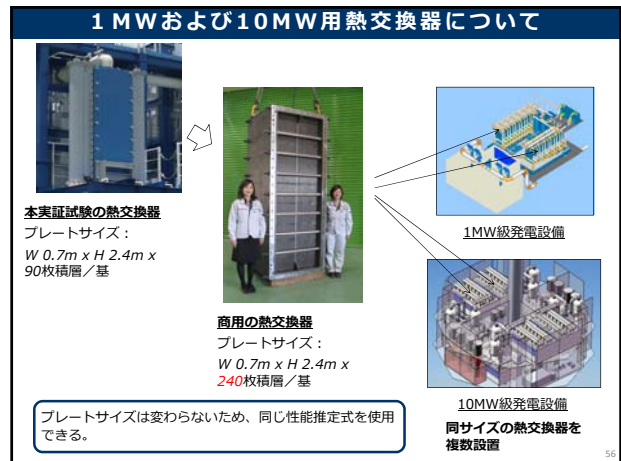
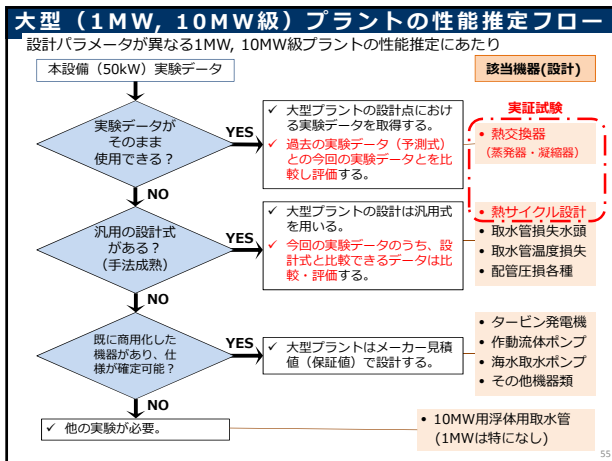
このため、沖縄県による実証試験でも、「**運転データを用いた商用規模プラントの性能予測**」が調査テーマとして挙げられている。

一方、実証試験の試験条件と、商用規模プラントの運転条件は異なるため、性能推定は単なる出力比例計算とはならない。したがって、規模拡大時の性能推定の手法を検討し、これを用いて性能を推定した。

**沖縄久米島実証設備と商用規模プラントとの主要な相違点**

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	280mm	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・海水流量面でのオペレーショ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が発電出力、自己消費電力に影響する。

実証設備による各種運転データ
性能解析プログラム
商用規模プラントの予測性能



### 【参考】NEDO研究開発における1MW, 10MW設計

#### 海洋温度差発電の仕様検討 詳細設計とコスト試算

今回の研究開発内容を反映した基本設計をもとに、専門の民間企業に詳細仕様策定とコスト見積を外注。

専門の民間企業による詳細仕様策定とコスト見積により、入力値 (建設費、維持管理費等) に関する信頼性を向上させた。

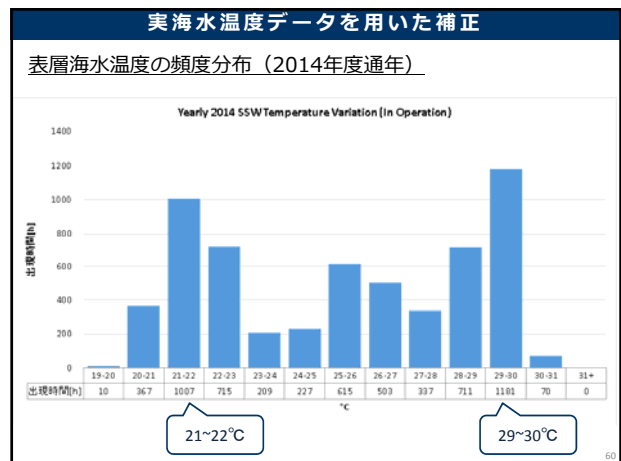
項目	陸上式1MW	浮体式10MW
建設費	発電プラント機器: (株)JHIプラント建設 工事費: (株)JHIプラント建設 取水管材料費・工費: 過去の検討事例より	発電プラント機器: (株)JHIプラント建設 浮体、プラント機器の浮体への据付、取水管: (株)ジャパン・マリン・ユナイテッド
維持管理費	定期メンテナンス (機器): (株)JHIプラント建設 監視システム計画および人件費: 横河電機(株)	定期メンテナンス (機器): (株)JHIプラント建設 定期メンテナンス (浮体): (株)ジャパン・マリン・ユナイテッド 監視システム計画および人件費: 横河電機(株)

### 【参考】NEDO研究開発における1MW, 10MW設計

#### ⑨ 海洋温度差発電の仕様検討 発電コスト算定結果

主要入力項目	1MW 沿岸設置式		10MW 海上浮体式	
	1基目	商用化時	1基目	商用化時
発電端出力 (発電機最大出力)	1,700kW		16,900kW	
発電端出力 (年間平均)	1,490kW		15,100kW	
設備利用率	87.6%		89.3%	
所内率	32.8%		34.2%	
送電端出力 (年間平均)	1,000kW		10,000kW	
建設費 (*1)	発電部 33億円 取水管 30億円 (*2)	発電部 30億円 取水管 25億円 (*2)	401億円	277億円 (*4)
人件費	2600万円/年		5100万円/年	
維持管理費	5200万円/年	4700万円/年	3.3億円/年	2.6億円/年
割引率	0~5%			
発電コスト算定手法	国家戦略「コスト等検証委員会」報告書 (平成23年12月) による			
算定結果	発電コスト [円/kWh] (*3)		26.0~33.1	
	36.1~52.5	<b>31.0~44.5</b>	26.0~33.1	<b>18.6~23.5</b>

(\*1) 沖繩本島周辺での海水温度条件による  
(\*2) 適合利用設備と共用とし、費用 (一基目60億円、商用時50億円) の半分を発電設備で負担するとして試算  
(\*3) 数値の幅は割引率 (利率) の変動幅による  
(\*4) 浮体サイズの縮小によるコスト削減を含む



### 実海水温度データを用いた補正

#### 出力1,000kW設備の年間発電量算定結果

表層海水温	発電端出力	自己消費電力	送電端出力	頻度		発電量	送電量
℃	kW	kW	kW	h	%	kWh/年	kWh/年
19-20	790	450	340	10	0.2	12,100	<b>5,200</b>
20-21	945	450	495	367	6.2	510,900	<b>267,600</b>
21-22	1090	450	640	1007	16.9	1,615,200	<b>948,400</b>
22-23	1230	450	780	715	12.0	1,293,900	<b>820,500</b>
23-24	1370	450	920	209	3.5	420,700	<b>282,500</b>
24-25	1505	450	1055	227	3.8	503,700	<b>353,100</b>
25-26	1630	450	1180	615	10.3	1,475,100	<b>1,067,900</b>
26-27	1750	450	1300	503	8.4	1,295,300	<b>962,200</b>
27-28	1865	450	1415	337	5.7	926,300	<b>702,800</b>
28-29	1970	450	1520	711	11.9	2,060,800	<b>1,590,100</b>
29-30	2055	450	1605	1181	19.8	3,571,600	<b>2,789,500</b>
30-31	2090	450	1640	70	1.2	214,400	<b>168,200</b>
単純平均	1524	450	1074	合計		13,900,000	<b>9,958,000</b>
頻度考慮平均[kW]						1,587	<b>1,137</b>

### 実海水温度データを用いた補正

#### 出力10,000kW設備の年間発電量算定結果

表層海水温	発電端出力	自己消費電力	送電端出力	頻度		発電量	送電量
℃	kW	kW	kW	h	%	kWh/年	kWh/年
19-20	9250	5200	4050	10	0.2	142,000	<b>62,000</b>
20-21	10650	5200	5450	367	6.2	5,758,000	<b>2,947,000</b>
21-22	12000	5200	6800	1007	16.9	17,782,000	<b>10,076,000</b>
22-23	13350	5200	8150	715	12.0	14,044,000	<b>8,573,000</b>
23-24	14600	5200	9400	209	3.5	4,483,000	<b>2,887,000</b>
24-25	15800	5200	10600	227	3.8	5,288,000	<b>3,548,000</b>
25-26	16950	5200	11750	615	10.3	15,339,000	<b>10,633,000</b>
26-27	18000	5200	12800	503	8.4	13,323,000	<b>9,474,000</b>
27-28	19000	5200	13800	337	5.7	9,437,000	<b>6,854,000</b>
28-29	20000	5200	14800	711	11.9	20,922,000	<b>15,482,000</b>
29-30	20850	5200	15650	1181	19.8	36,237,000	<b>27,200,000</b>
30-31	21200	5200	16000	70	1.2	2,175,000	<b>1,641,000</b>
単純平均	15971	5200	10771	合計		144,930,000	<b>99,377,000</b>
頻度考慮平均[kW]						16,545	<b>11,344</b>

## 4. 海洋深層水利用の高度化

～海洋温度差発電と海洋深層水複合利用の組み合わせ高度化～

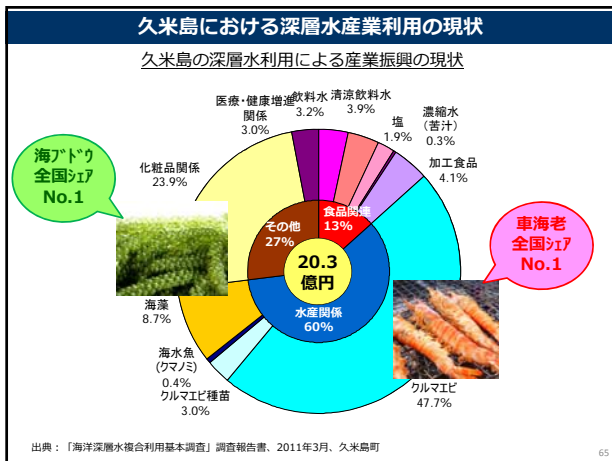
### 久米島における深層水産業利用の現状

#### 久米島における深層海水利用

沖縄県海洋深層水研究所(2000～)  
 水産業・農業を対象とした沖縄県所属の研究施設  
 エリア外供給用パイプライン  
 冷熱利用農業研究  
 水産研究  
 深層海水(水深612m) 取水能力: 13,000m<sup>3</sup>/日  
 表層海水 取水能力: 13,000m<sup>3</sup>/日

**技術移転**  
 深層海水利用企業  
 海ぶどう(全国17位)  
 車えび種苗(全国17位)

- 深層海水関連企業18社の生産額は年間20億円。新規雇用者数は140名で、久米島における一大産業となっている。
- 深層海水使用量の多い水産業(海ぶどう陸上養殖・車えび種苗育成)は、いずれも深層水の冷熱をエネルギー利用している。



### 増加する深層水需要と新規プロジェクト

- 「完全自動化」特製の陸上養殖施設 (民間) 操業を15倍に拡張 (2013年度～)
- 海ぶどう養殖場 (民間) 操業を1.5倍に拡張 (2013年初期稼働開始)
- 久米町 冷熱利用温室 10ヘクタール17棟 (2014年10月竣工)
- 研究機関からの技術移転で高度化した。パワースの成長 (生産量と生産者の増大)
- 東京大学 深層水実証施設 稼働 (2014年12月開始)
- 伊豆大学 深層水を利用した海水淡化実験 (2014年10月～)
- 沖縄県 海洋温度差発電実証施設稼働 試験稼働 (2013年4月～)
- 伊豆大学 深層水を活用した海水淡化実験 (2014年10月～)
- 伊豆大学 深層水を活用した海水淡化実験 (2014年10月～)
- 伊豆大学 深層水を活用した海水淡化実験 (2014年10月～)

### 久米島 海洋深層水利用の将来像

✓ 低炭素社会と地域振興の両立…海洋再生可能エネルギーを用いた産業振興と自立発展  
 ✓ 深層水利用の研究開発から実証、商用化までを実現できる総合型地域  
 ✓ 世界の熱帯・亜熱帯の島嶼・沿岸地域に向けたモデル地域へ

取水管の増設(直径1.2m×2本) 輸送管の新設  
 深層水利用事業の拡大  
 深層水利用企業  
 沖縄県海洋深層水研究所(2000-)  
 1メガワット 海洋温度差発電 実証設備  
 冷熱利用農家の拡大  
 エリア内の電力の自給、余剰分を周辺地域へ供給  
 海洋資源・エネルギー研究拠点

### 地方創生としての1メガワット海洋温度差発電

✓ 海洋温度差発電で地域の電力を自給し、低炭素循環型地域を形成します。  
 ✓ 発電で使用した後の深層水はまだ十分低温で、水質も変化しません。

深層水 (設備増強) → 1MW海洋温度差発電 → 電力(1MW) → 余剰分は商用系統へ  
 深層水 → 海水フロー表

**深層水利用事業**

- 既存事業の拡張**  
 技術と販売ルートが確立しており、確実な拡張が見込める分野  
 畜産(豚、鶏、牛)、水産(魚、貝)、野菜(トマト、ナス、ピーマン)、果樹(柑橘、りんご)、畜産(鶏、豚、牛)、畜産(鶏、豚、牛)、畜産(鶏、豚、牛)
- 実証から商用へ**  
 現在久米島で実証中の分野  
 畜産(豚、鶏、牛)、水産(魚、貝)、畜産(鶏、豚、牛)、畜産(鶏、豚、牛)
- 技術「モデル」への移行**  
 他地域へのモデルとしての技術デモ  
 畜産(豚、鶏、牛)、水産(魚、貝)、畜産(鶏、豚、牛)、畜産(鶏、豚、牛)
- 技術開発**  
 将来需要が高い分野の研究開発  
 畜産(豚、鶏、牛)、水産(魚、貝)、畜産(鶏、豚、牛)、畜産(鶏、豚、牛)

### 高度利用の手法

多目的にパラレル利用(並列に接続)するだけでも、取水設備の費用負担の意味はあるが・・・

6°Cの冷たくてきれいな海水を提供  
 取水ポンプ → 6°C → 海洋温度差発電 → 11°C → まだまだ冷たいのに捨てるのはもったいない  
 6°C → 冷熱利用(農業) → 14°C → 水質も高いまま  
 6°C → 冷熱利用(漁業) → 25°C → 水質は高いまま  
 6°C → 蒸発法海水淡水化 → 17°C → 水質は高いまま  
 6°C → 逆浸透海水淡水化 → 7°C → 冷たすぎてエネルギーをたくさん消費した  
 こんなに低い水温は要らない

### 高度利用の手法

基本手法：カスケード利用(直列接続)による無駄の削減

取水ポンプ → 6°C → 海洋温度差発電 → 11°C → 冷熱利用(農業) → 14°C → 冷熱利用(漁業) → 25°C → 養殖用海水と混合 → 15°C → 逆浸透海水淡水化 → 濃縮  
 6°C → 蒸発法海水淡水化 → 19°C → 濃縮

### 冷海水(深層水)の有効利用

カスケード利用の一例

**並列利用(上):**  
 表層水: 220t/h, 29.0°C → 表層水ポンプ → 400t/h, 20.0°C → 養殖水槽へ  
 深層水: 180t/h, 9.0°C → 深層水ポンプ → 400t/h, 20.0°C → 養殖水槽へ  
 海水流量はほぼ同じ

**カスケード利用(下):**  
 表層水: 222t/h, 29.0°C → 表層水ポンプ → 222t/h, 24.3°C → 養殖水槽へ  
 深層水: 178t/h, 9.0°C → 深層水ポンプ → 178t/h, 14.6°C → 海洋温度差発電 → 400t/h, 20.0°C → 養殖水槽へ  
 電力も得られる

### 冷海水(深層水)の有効利用

発電-他の深層水利用間の一次深層水の融通(夏季のみパラレル利用)

海洋温度差発電の年間出力推移


夏季に発電用の一次深層水を他の深層水利用施設に回すことにより、発電出力のピークは下がる。(年間発電量が下がるデメリット)  
 ■ 他の深層水利用施設設備の夏季の冷熱需要増加に対応できる。  
 ■ 発電設備の設備容量を抑えられるため、初期費用が小さくなる。



**久米島を例とした利用高度化検討**

**需要① クルマエビ 夏季の成エビ養殖への適用**

【現状】 クルマエビ種苗生産用に深層水を使用する他、試験的に成エビへの利用も行っている。成エビの場合、夏季は養殖池に**11℃の深層水をそのまま注入している。**



写真：クルマエビ養殖場

【利用目的】 水温調整（22～23℃）が主目的。

【制約】 クルマエビの生育適温は22～23℃  
クルマエビは珪藻類で濁った水を好むため、**換水率を上げて水の透明度を上げてはいけない**（温度が上がった深層水を大量に注入する方策は不可）


↓

需要：現状通り**11℃の深層水**

**久米島を例とした利用高度化検討**

**需要② ウミブドウ養殖の拡張**

【現状】 深層水と表層水を**混合した20℃程度**の海水を養殖槽に注入している。養殖槽内の適温は25℃程度。



写真：久米島ウミブドウ養殖場

【利用目的】 水温調整

【制約】 ウミブドウの生育適温は25℃。  
深層水に多く含まれるケイ素分は雑藻である珪藻類繁茂の原因となるため、**深層水の比率を増やしたくない。**


↓

需要：20℃の**表層水**がベスト

**久米島を例とした利用高度化検討**

**需要③ 牡蠣の陸上養殖（試験中）**

【現状】 約**18℃**に温度調整した**深層水100%の海水**を養殖試験に用いている。また、深層水の富栄養性による植物プランクトン（牡蠣の餌）の生産試験も行っている。



写真出典：美ヒューマンウェブ ウェブサイト

【利用目的】 ウィルスフリーの海水での養殖（清浄性利用）・水温調整・餌の生産（富栄養性利用）

【制約】 **ウィルスフリー性を確保するため、表層水の使用は不可。** 深層水が冷たすぎると加温する必要あり。


↓

需要：18℃の**深層水**（**表層水不可**）

**久米島を例とした利用高度化検討**

**需要④ 冷熱利用農業（養液土耕）**


【現状】 **深層水（11℃）で冷やした冷水**を土中に埋めたパイプに通して土壌を冷却、夏季の葉物野菜栽培を可能としている。



写真：沖縄県海洋深層水研究所の冷熱農業施設

【利用目的】 土壌冷却（冷温性）

【制約】 冷熱供給が目的のため、**深層水供給温度に上限がある？**（11℃程度が限界？）



写真提供：沖縄県海洋深層水研究所


↓

需要：約**11℃の深層水**（**12℃の淡水**）

**久米島を例とした利用高度化検討**

**需要⑤ 空調**

【現状】 **深層水（11℃）で冷やした淡水（12℃）**を用いて、研究所本館の冷房を行っている。



写真：沖縄県海洋深層水研究所の深層水空調機

【利用目的】 省エネ空調（冷温性）

【制約】 冷熱供給が目的のため、**深層水供給温度に上限がある。** 通常の冷房用冷水の温度は7℃であるため、現状の12℃は上限ぎりぎりであると考えられる。


↓

需要：11℃以下の**深層水**（**12℃以下の淡水**）  
※低ければ低いほど良い

**久米島を例とした利用高度化検討**

**需要⑥ 海水淡水化（蒸発法）**

【現状】 海洋温度差発電で使用後の表層水と深層水との温度差を用いて、佐賀大学が連続運転実験中。インドでは実用プラント稼働中



写真はインドの海水淡水化施設（出典：NIOT）

【利用目的】 温度差を用いた海水淡水化

【制約】 表層水と深層水との温度差が10℃以下でも淡水化が可能である。ただし、温度差が大きい方が省エネ性は高い。

↓


需要：ほぼ同量の**表層水**および**深層水**（温度差は10℃程度でもよいが、差が大きい方が効率アップ）

### 久米島を例とした利用高度化検討

**需要⑦ 海水淡水化（逆浸透膜法）**


【現状】 久米島では深層水起源ミネラルウォーターの製造所で行われている。

【利用目的】 深層水の清浄性により、前処理が不要、メンテナンスも削減できる省エネ型海水淡水化

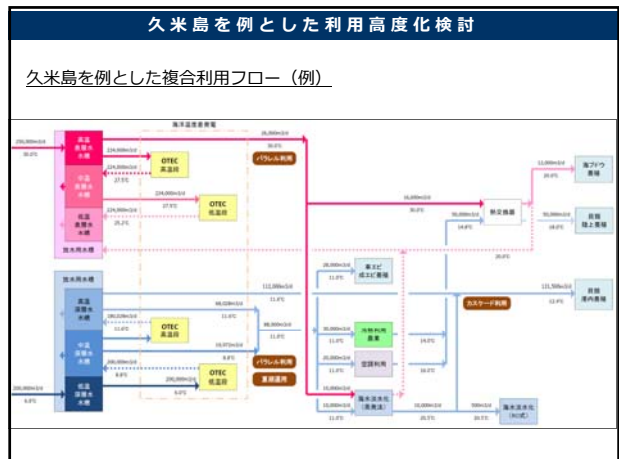


写真は北谷の海水淡水化施設（出典：沖縄県企業局）

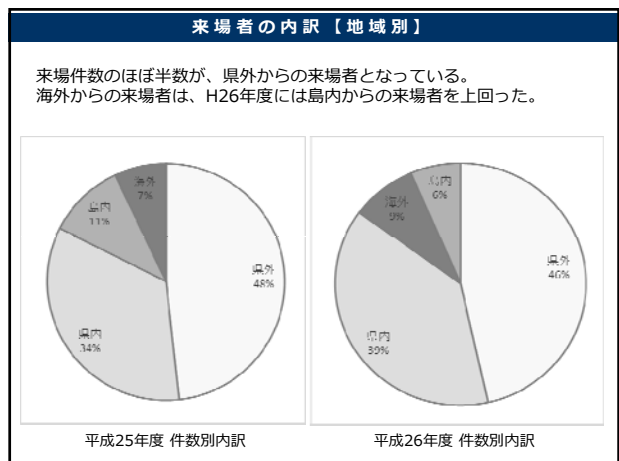
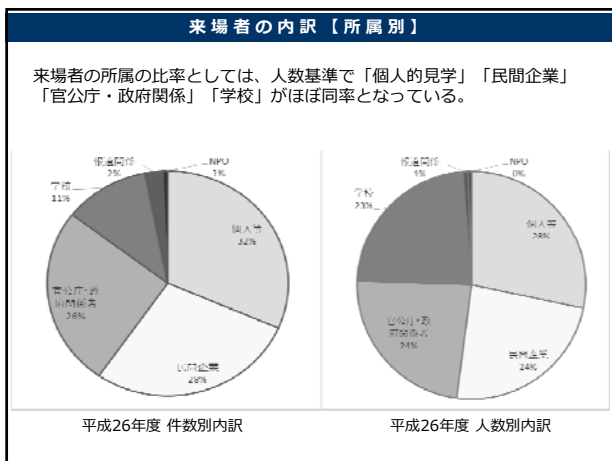
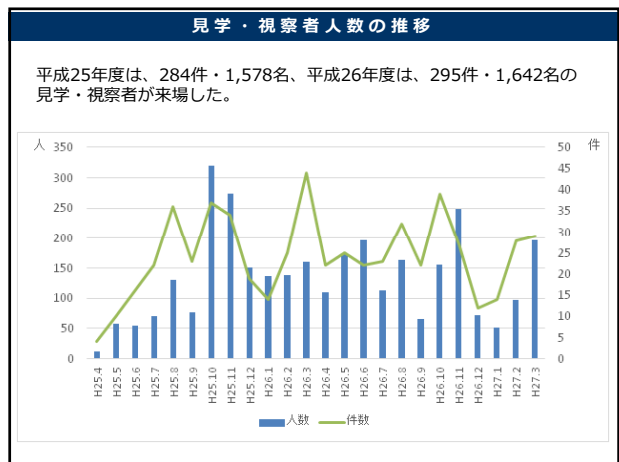
【制約】 温度が高い方が海水の粘性が小さいため、淡水化のための消費電力が小さくなる。清浄性が重要であるため、深層水を用いる。



需要：なるべく温度の高い深層水が好ましい

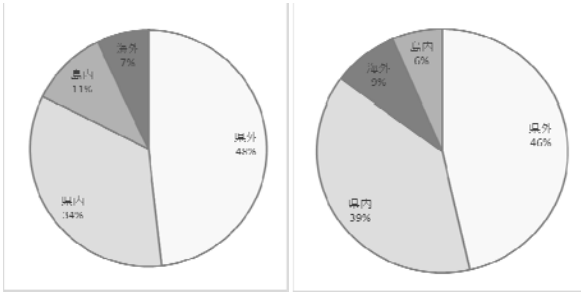


## 5. 見学・視察 受け入れ状況



### 来場者の内訳【地域別】

来場件数のほぼ半数が、県外からの来場者となっている。  
海外からの来場者は、H26年度には島内からの来場者を上回った。

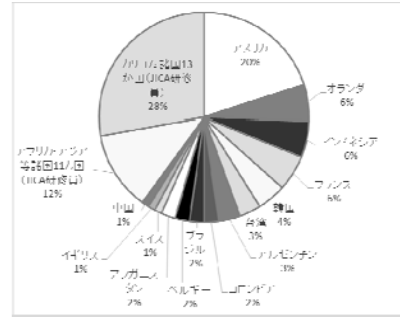


平成25年度 件数別内訳

平成26年度 件数別内訳

### 海外からの来場者

H26年度は海洋温度差発電の適地であるカリコム諸国のミッションの受け入れもあり、来場者の国籍は30カ国を超えた。



平成26年度 人数別内訳 (国別)



ご清聴ありがとうございました。