

2. 海洋温度差発電システムの確立について

2.1 海洋深層水及び表層水の取水に係る費用並びに海洋温度差発電の発電に係る費用を低減させる方法

2.1.1 昨年度までの検討概要

昨年度までの検討項目は次の通りである。

(1) 海洋温度差発電の発電コストの概要

NEDO 再生可能エネルギー技術白書等、これまでの検討で示された海洋温度差発電の発電コストについて整理した（～平成 26 年度）。

(2) 要素技術の技術的成熟度と費用低減シナリオ

海洋温度差発電プラントを構成する機器や装置、設備、工事等について、それぞれの技術成熟度と費用低減可能性を評価した。また、それぞれの費用低減の方向性について概観した。（～平成 26 年度）

(3) 熱交換器の費用低減

特に費用低減可能性の大きい熱交換器について、今後の費用低減の見込みを示した。（平成 27 年度）

(4) 開放型取水システムによる陸上設置型プラントのコスト、機能改善

費用比率が非常に大きい深層水・表層水取水システムについて、開放型取水システムと閉鎖型システムとの比較を行ない、出力 1 MW 級のプラントにおける費用低減・機能改善のための開放型取水システムの優位性について概説した。（平成 26 年度）

(5) 費用効率を最大化するプラントの最大出力検討

同規模の海洋温度差発電では、年間発電量の面では、プラントとしての最大出力が高い（最大出力の上限（頭打ち）がない）方が大きくなるものの、設備費も最大出力に応じて上昇してしまう。これを踏まえ、発電出力上限（頭打ち）の数値を仮定した場合の①年間発電量、②建設費を概算し、一年間の単位発電量あたりの建設費（②／①）を最小化する上限値について検討し、費用効率を最大化するプラントの最大出力について述べた。

2.1.2 今年度の検討

今年度は、これまでの5年間の運用実績をふまえて、運転費、維持管理費に関する要因分析を実施し、長期的な視点で見た発電コストの中で大きな割合を占める運転費、維持管理費の低減策を検討した。

(1) 背景と前提条件

陸上式の海洋温度差発電プラントにおける運転費、維持管理費について、これまでの研究においては、たとえば「人件費 2,600 万円/年、維持管理費 4,700 万円/年（商用化時）」といった数値が公開されている（図 2-1）。

	1MW 沿岸設置式		10MW 洋上浮体式	
	1基目	商用化時	1基目	商用化時
主要入力項目				
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	国家戦略室「コスト等検証委員会委員会」報告書(平成23年12月)による			
算定結果				
発電コスト[円/kWh](*3)	36.1～52.5	31.0～44.5	26.0～33.1	18.6～23.5

図 2-1 海洋温度差発電に関する費用(NEDO) ¹

これを出力あたりのコストで示すと、 $7,300[\text{万円/年}] / 1,700[\text{kW}] = 4.3[\text{万円/kW/年}]$ となる。これにさらに諸費および一般管理費を加えているため、運転費、維持管理費は合計で $6.3[\text{万円/kW/年}]$ となる。

一方、代表的な再生可能エネルギーである太陽光発電や風力発電の運転費、維持管理費は $0.6[\text{万円/kW/年}]$ 、蒸気井の管理やスケール析出、高温劣化による維持管理費が高いとされる地熱発電ですら $3.3[\text{万円/kW/年}]$ であり（図 2-2）、海洋温度差発電の現在の運転費、維持管理費の見積は削減の余地が大きいと推測される（表 2-1）。

¹ 出典：NEDO「平成27年度 NEDO 新エネルギー成果報告会」海洋エネルギー分野 発表資料（海洋温度差発電）

<太陽光(メガソーラー／10kW以上)>

		コスト等検証委員会 (2010モデルプラント)	調達価格等算定委員会 (2015年度調達価格の想定)
資本費	建設費	33~55万円/kW	29.4万円/kW ^(※)
	接続費用	—	1.35万円/kW
	廃棄費用	5%(対建設費)	5%(対建設費)
運転維持費	人件費	300万円	0.6万円/kW/年 (土地賃借料150円/㎡/年を含む)
	修繕費	1.0%(対建設費)	
	諸費	0.6%(対建設費)	
	業務分担費	14.0%(対直接費)	
	土地賃借料	—	
租税	固定資産税	1.40%	1.40%
	事業税	—	1.289%
その他	出力	1,200kW	2,000kW
	設備利用率	12%	14%
	法定耐用年数	17年	17年
	稼働年数(調達期間)	20,25年	20年買取
	IRR(税引前)	—	5-6%

※調達価格等算定委員会については、システム費用(29.0万円/kW)と土地造成費(0.4万円/kW)の和とした。

<陸上風力>

		コスト等検証委員会 (2010モデルプラント)	調達価格等算定委員会 (2015年度調達価格の想定)
資本費	建設費	20~35万円/kW	30万円/kW
	接続費用	上記内数	上記内数
	廃棄費用	5%(対建設費)	5%(対建設費)
運転維持費	人件費	1.4%(対建設費)	0.6万円/kW/年
	修繕費	—	
	諸費	0.6%(対建設費)	
	業務分担費	14.0%(対直接費)	
	土地賃借料	上記内数	
租税	固定資産税	1.40%	1.40%
	事業税	—	1.289%
その他	出力	20,000kW	20,000kW
	設備利用率	20%	20%
	法定耐用年数	17年	17年
	稼働年数(調達期間)	20,25年	20年買取
	IRR(税引前)	—	8%

図 2-2 (参考)各種再生可能エネルギーに関する費用(資源エネルギー庁)²

² 平成 27 年 5 月, 資源エネルギー庁 発電コスト検証ワーキンググループ, 「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告 参考資料 1」

<地熱>

		コスト等検証委員会 (2010モデルプラント)	調達価格等算定委員会 (2015年度調達価格の想定)
資本費	建設費	70~90万円/kW	79万円/kW
	接続費用	—	15億円
	廃棄費用	5%(対建設費)	5%(対建設費)
運転維持費	人件費	1.2億円	3.3万円/kW/年
	修繕費	2.2%(対建設費)	
	諸費	0.8%(対建設費)	
	業務分担費	16.1%(対直接費)	
	土地賃借料	—	
租税	固定資産税	1.40%	1.40%
	事業税	—	1.289%
その他	出力	30,000kW	30,000kW
	設備利用率	10,50,60,70,80%	83%
	所内率	10%	11%
	法定耐用年数	15年	15年
	稼働年数(調達期間)	30,40,50年	15年買取
	IRR(税引前)	—	13%

図 2-2 (参考)各種再生可能エネルギーに関する費用(資源エネルギー庁)(Cont'd)

表 2-1 運転費、維持管理費の比較(前掲 2 資料より)

発電種別	OTEC (現見積)	太陽光 10kW 以上	陸上風力	洋上風力	地熱	バイオマス
運転・維持管理費 [万円/kW/年]	6.3	0.6	0.6	2.25	3.2	2.7

(2) 検討方法

まず、本設備のこれまで 5 年間の運転における実際の維持・管理費を分析し、本設備における平均的な運転費・維持管理費を算定する。

次に算定結果をもとに、商用化への次ステップとなる出力 1MW 級陸上式 OTEC における費用削減方策と、それを考慮した維持・管理費について推定を行った。

(3) 検討結果

(a) 本設備（100kW 級）の平均的運転費・維持管理費

運転開始から 5 年間の運転費・維持管理費実績について、表 2-2、図 2-3 の通り算定した。

表 2-2 運転費、維持管理費実績

(単位：千円)

項目	H25-29 年度 実績平均 (*1)	備考
定期点検・補修 (*2)	1,826	電気事業法に基づく点検
タービン発電機	376	専門業者旅費含む
作動流体系統機器	470	専門業者旅費含む
電気・計装機器	980	専門業者旅費含む
臨時点検・補修	2,130	
塩害対応	1,838	防錆塗装補修および塩害由来の機器交換対応。人件費含む
その他	292	経年劣化および台風等災害対応
日常巡視・点検等	1,584	
その他雑費	208	見学対応用品・通信費等
合計	千円/年	5,748
	万円/kW/年	5.7

(*1) 初年度となる H25 年度はメーカー保証期間内であるため、その範囲で補修を行ったものもある。このため、一部の費用については、H26 年度～H29 年度の平均値を示した。

(*2) 定期点検の頻度については、電気事業法施工規則 第九十四条(下記)に次の通り定められている。本設備のうち、タービン発電機は「蒸気タービン及びその附属設備」に、その他の作動流体関連設備は「液化ガス設備」に分類される。

第九十四条の二 定期事業者検査は、次に掲げる時期に行うものとする。

- 一 蒸気タービン本体及びその附属設備についての定期事業者検査にあつては、運転が開始された日又は定期事業者検査が終了した日以降四年を超えない時期
- 二 ガスタービン（出力一万キロワット未満の発電設備に係るものに限る。）についての定期事業者検査にあつては、運転が開始された日又は定期事業者検査が終了した日以降三年を超えない時期
- 三 ボイラー及びその附属設備、独立過熱器及びその附属設備、蒸気貯蔵器及びその附属設備、ガスタービン（出力一万キロワット以上の発電設備に係るものに限る。）、液化ガス設備又はガス化炉設備についての定期事業者検査にあつては、運転が開始された日又は定期事業者検査が終了した日以降二年を超えない時期
- 四 燃料電池用改質器についての定期事業者検査にあつては、運転が開始された日又は定期事業者検査が終

了した日以降十三月を超えない時期

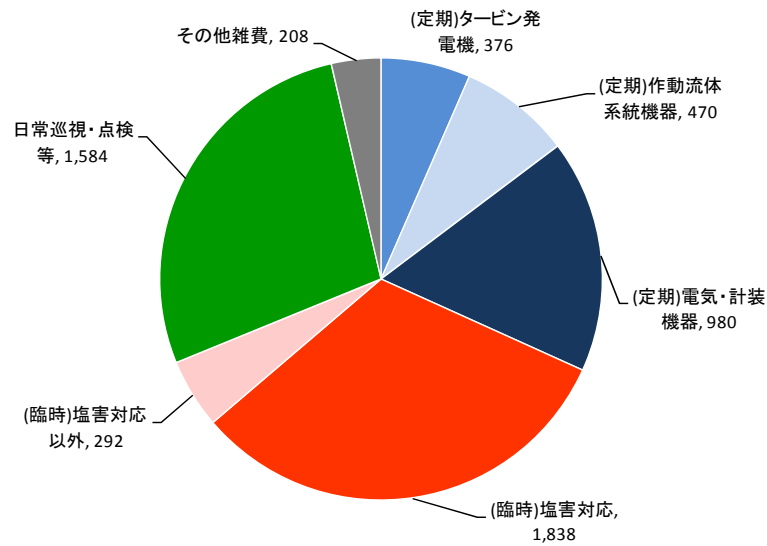


図 2-3 運転費、維持管理費実績

(b) 出力 1MW 級陸上式 OTEC における費用削減方策と運転費、維持管理費実績推定

前項の結果から、費用に占める比率が大きいのは、①塩害対応（臨時点検補修）、②日常巡視・点検、③電気・計装機器（定期検査・補修）であると分かる。①塩害対応については、本実証設備は沖縄県海洋深層水研究所の既存設備によるスペース面での制約から、屋外設備となっていることが、費用の大きい原因である。一方、出力 1MW 級プラントは建屋を設けることとしており、塩害の軽減が期待される。②日常巡視・点検は、スケールメリットが大きい項目である。現在は運転データ処理も含めて平均約 2 時間/日となっているが、10 倍規模のプラントでも日常巡視点検の対象箇所や運転データ数もほぼ同じであることから、所要時間は 2 倍にもならない程度であると推定される。③電気・計装機器の点検補修については、特に電気設備についてスケールメリットは小さいため、規模拡大による kW あたり費用の削減効果は前 2 者ほど大きくはない。

これらの各種のスケールメリット要因や費用削減方策を考慮した、運転費、維持管理費実績推定結果を表 2-3 に示す。結果は 1.6 万円/kW/年となり、太陽光発電や風力発電の 0.6 万円/kW/年には及ばないものの、現状見積の 6.3 万円/kW/年を大きく削減できる余地があることが分かる。

表 2-3 1MW 級陸上式 OTEC の運転費、維持管理費推定

(単位：千円)

項目	100kW 級 実績	1MW 級 推定	備考
定期点検・補修	1,826	9,550	
タービン発電機	376	1,500	スケールメリットを 0.6 乗則で評価 ³
作動流体系統機器	470	1,870	スケールメリットを 0.6 乗則で評価
電気・計装機器	980	6,180	スケールメリットを 0.8 乗則で評価
臨時点検・補修	2,130	3,300	
塩害対応	1,838	1,460	屋内設置により 8 割削減とする スケールメリットを 0.6 乗則で評価
その他	292	1,840	スケールメリットを 0.6 乗則で評価
日常巡視・点検等	1,584	3,170	余裕を見て 2 倍程度の時間を要すると想定する。
その他雑費	208	210	ほぼ同額とする（通信費が主）
一般管理費		2,270	上記合計の 14%
合計	千円/年	5,748	19,500
	万円/kW/年	5.7	1.9

(4) 発電コスト削減への寄与度

出力 1MW 級 OTEC プラントの運転費、維持管理費を 6.3 万円/kW/年（図 2-1 参照）から 1.9 万円/kW/年（前項参照）に低減できた場合の、OTEC の発電コスト（円/kWh）への影響を試算する。試算においては、図 2-1 で発電コストを求める際に使用した国家戦略室（当時）「コスト等検証委員会」報告書添付の Excel シートを使用し、割引率を代表値として 3%とした。運転費、維持管理費以外の原単位は図 2-1 と同様とした。算定結果を図 2-4 に示す。

発電コストは 39.3 円/kWh から 29.7 円/kWh となり、約 25%もの削減効果が見込まれる。本検討においてはスケールアップ効果による削減分は概算値であるため更なる精査の余地はあるものの、本設備の運転費、維持管理費が NEDO プロジェクト時の見積より十分小さい範囲で推移しており、この知見を生かした大型 OTEC プラントの発電コストの削減検討には今後も大きなポテンシャルがあると言える。

³ 一般的な工業プラントで用いられるコストの概算手法。同形式のプラントで規模を 2 倍とした場合、コストは 2 倍にはならず、たとえば 2 の 0.6 乗倍のように 1 未満の累乗に近いことが経験則として知られている。累乗数により、「0.6 乗則」「0.8 乗則」のように呼称される。

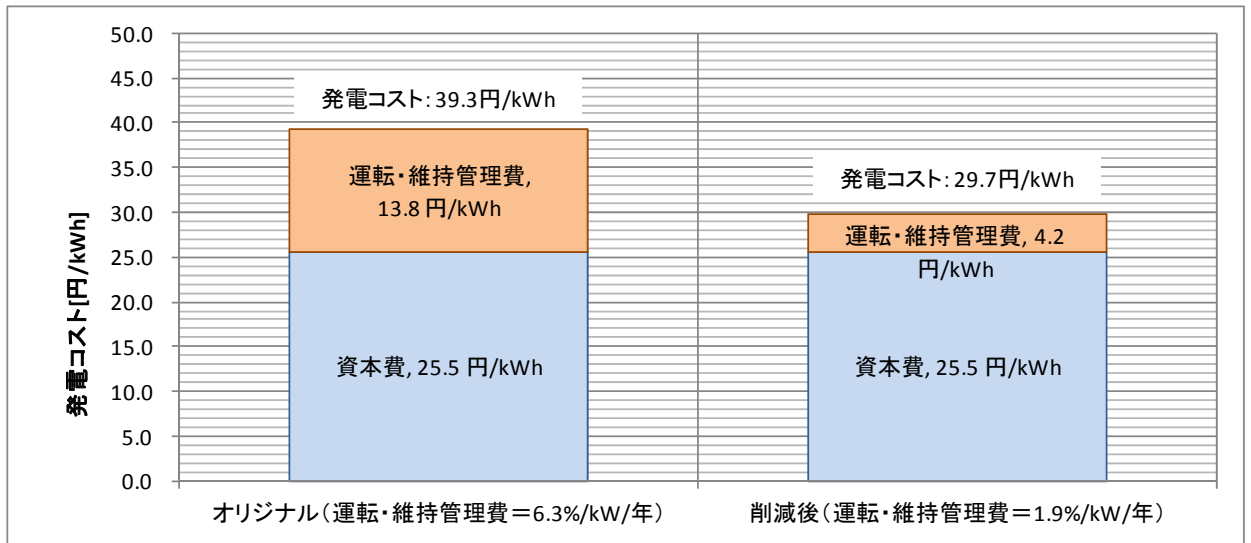


図 2-4 運転費、維持管理費削減による発電コスト削減効果の算定結果

2.2 海洋温度差発電技術に係る国際的な研究・開発動向の調査

本年度は、2013年のハワイ開催を皮切りに毎年開催されている海洋温度差発電に関する国際的シンポジウム”International OTEC Symposium”に参加し、同技術の国際的な研究・開発動向について情報を収集した。以下にその報告を記す。

(1) International OTEC Symposium の概要

本シンポジウムは、世界中の海洋温度差発電の研究者（大学関係、民間企業）が集まり、OTECに関する最新の研究成果や状況を発表する場として、2013年から毎年（第1回：ハワイ、第2回：韓国、第3回：マレーシア、第4回：オランダ）開催されている。第5回となる今回は、NAVAL ENERGIES社（旧 DCNS Energies）のOTEC研究室（熱サイクルの実験装置。ただし、タービン発電機は設置されていない。また実際の深層水は用いていない）があるフランス領レユニオン島⁴のレユニオン工科大学（IUT）で開催され、1日あたり約50名が参加した。

シンポジウムは3日間にわたって開催され、1、2日目はプレゼンテーション、3日目はレユニオン島視察ツアーという構成だった。

プログラム

11月7日 (1日目)	午前	開会 基調講演
	午後	ポスターセッション プレゼンテーションセッション
11月8日 (2日目)	午前	OTEC 実験装置見学 プレゼンテーションセッション
	午後	プレゼンテーションセッション レセプション
11月9日 (3日目)	午前	レユニオン島の見学（発電所など）

(2) 1日目（開会、基調講演、ポスター・プレゼンテーションセッション）

開会式

- ・レユニオン工科大学は6つの敷地に21の研究チームおよび学士、修士、博士課程があり、3つ

⁴ アフリカ大陸の南東海岸部マダガスカル島の東方のインド洋上に位置する島で面積2,512km²、人口約84.6万人。2030年には人口が100万人に増加する見込み。

の分野（人間科学、法学/経済/科学、技術/健康）に力を入れている。

- ・本イベントの共同スポンサーであるレユニオン地域議会は、税金、教育、産業などの政策で、必要とされている新たな挑戦や新技術を支援している。
- ・エネルギー自給率は、同議会にとって重要な関心事であり、現在の再生可能エネルギーが占める割合の 38%を、2020 年までに 50%、2050 年までに 100%へ増やすことを目指している。

【基調講演】

- 池上 康之, 佐賀大学海洋エネルギー研究センター **【IOES】** (日本)

- ・池上教授は、今年 8 月に亡くなられた上原春男氏を追悼し、同氏の OTEC 発電装置「しらぬい」を含むこれまでの研究を紹介した。
- ・上原氏は 203 の雑誌、28 冊の本を執筆し、11 の賞が贈られた。

【プレゼンテーションセッション】

カリブ海のプロジェクトに関する最新情報 - Paul Dinissen, Bluerise 社 (オランダ)

- ・前回オランダで開催された第 4 回 OTEC シンポジウムのサマリー、および Bluerise 社の紹介。同社は、アブダビ基金の開発融資の候補者リストに掲載されたとのこと。現在、2018 年の大きな投資ラウンドに備えてチームを拡大しており、特にプロジェクトマネージャーを探している。
- ・OTEC の収益向上とインフラ提供を目的として、深層水利用地域冷房 (SWAC) を計画している。
- ・キュラソー (カリブ海のオランダ領) のプロジェクト (オーシャンパーク構想：海洋深層水の様々な複合利用を進める構想) は地方選挙によって遅れた。現在、プロジェクトのための大規模な土地利用ができなくなり、SWAC と OTEC のみに焦点を当てている。
- ・モンテゴベイ (カリブ海のジャマイカの都市) のプロジェクト (SWAC および OTEC) について、ジャマイカ環境庁から「Letter of No Objection (同意書)」を受け取った。
- ・キュラソーとモンテゴベイの両プロジェクトでは、OTEC は SWAC ポンプに動力を供給することを目的としているため、出力は 500kW 規模である。
- ・昨年から、OTEC の標準化やロビー活動のため、各国に向けて国際 OTEC 協会の創設を呼びかけている。

メキシコの OTEC 研究 - Alatorre Miguel Angel - 国立メキシコ大学 (メキシコ)

- ・メキシコには 10,000km の海岸線がある。5 年前から OTEC の可能性についての研究を開始。社会的な問題、季節的な気温の変動、台風などを考慮した結果、バニヤ・デ・バンデラス地域

を潜在的な建設候補地として考えている。

- ・海洋エネルギーを研究するための4年間の政府プロジェクトがあり、今年は2年目である。

キュラソー島周辺の海象パターンの研究 - Irene Lewis, Bluerise 社 (オランダ)

- ・発表者の Bluerise 社は、海象の OTEC への影響を理解するため、大規模な海象パターンの研究を行った。
- ・コペルニクスグループのモデルを活用し、1日1回、1/12度の分解能で10年間のデータから海象パターンを検討した。その結果、南米の海面の海水を吹き飛ばしている風によって、冬に強い湧昇を伴う非常に変動の多い海流が見つかった。
- ・このモデルは、海洋および衛星データによって検証された。
- ・同モデルは、キュラソーにおいては海洋深層水の湧昇は海水温度に影響を及ぼさないものの、他地域の海岸では大きな影響を及ぼす可能性があることを示している。

浮体式 OTEC に関する専門知識 - Martin Brown, Aqualis Offshore 社 (イギリス)

- ・発表者は、2017年の曳航中に喪失した淡水化プラントのパイプを示し、世界中の大型取水管に関する過去の問題（破損や落下など）および注意深い設置作業の必要性を指摘した。
- ・現在、石油やガスに使用されている多くの技術が OTEC に適用可能である。特に FLNG（浮体式液化天然ガス生産設備）の船には、冷却のため既に海洋深層水を利用しているものがあるため、OTEC の足掛かりになりうると発表した。
- ・上海には、FLNG のモデルをテストするための、巨大な水槽を備えた研究室がある。
- ・沈没して行方不明となっていたソビエトの潜水艦を引き上げるために建設された大型船「Glomar Explorer」（図 2-5）には、取水管を安定化させるジョイントや、海底に沈んだ潜水艦を引き上げるために使用された 15 インチ（30~40cm）のパイプなど、OTEC に転用可能な技術が使われていた。なお、同船は掘削船に改造され、その後廃棄された。
- ・いくつかの浚渫技術は、パイプと船のジョイントシステムや超高分子量ポリエチレン（UHMWPE）製のスラリー（泥状用）パイプも含めて、OTEC に適用可能である。
- ・近年、シェールオイルなどによる原油価格の下落により、維持管理などのコストが合わず廃棄される船舶があり、それらは洋上型 OTEC として利用が可能である。

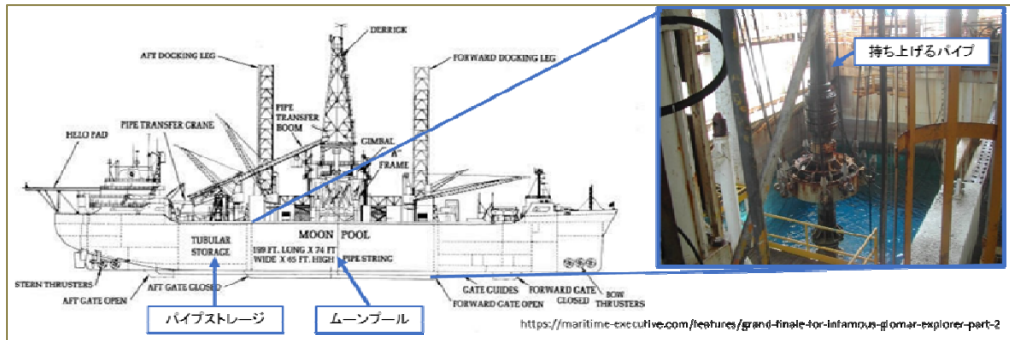


図 2-5 Glomar Explorer

久米島における OTEC ポテンシャルの概要 - Benjamin Martin, (株)ゼネシス (日本)

- ・沖縄県久米島町における OTEC と海洋深層水の産業利用について、現在の海水の需要および今後の拡張と高度利用への展望を中心に紹介した。

Bardot 社の OTEC システム - Pierre Guerin, Bardot 社 (フランス)

- ・発表者の Bardot 社はエンジニアリング会社（エンジニアは 18 人）で、5 つの OTEC デザイン（陸上 0.3MW、洋上 1MW、洋上 2.5MW、小型 OTEC システムを集約した 50MW など（全て送電端出力））を設計している。
- ・ OTEC 設備で最高の経済性を持つのは 2.5MW と考えている。
- ・同社は 3～5 年以内に OTEC を提供することを目標している。
- ・同社は、200kW 範囲のタービンを製造している。浮体構造の動的効果からタービンのテストするために、研究室で海洋環境よりも高い熱源を使用している。
- ・同社は 0.5MW OTEC 設備の設計で、LCOE（均等化発電原価）に基づき、ディーゼル発電の発電価格より低い価格を目標としている。
- ・モルディブ（インドとスリランカの南西に位置する島国）に計画された新たなリゾート施設に電力を提供するため、2016 年にモルディブで最初の OTEC に関する商業契約を結んだ。しかし、設計の 1 年後、顧客から発電規模を当初の 300kW から 1～2MW に増やしたいとの要望があり、今後さらに変更の可能性があることから、現在本契約は止まっている。同社は経済的観点から、1 MW 以上の OTEC は洋上設備が必要と考えている。
- ・Doris 社と提携し、2016 年に 1MW 以上の洋上浮体構造の基本設計、2017 年に 1MW の詳細なヤード設計に取り組んでいる。
- ・現在、研究室では R134a 作動流体を使用している。

- ・パイプの大型化は限られたメーカーしか製造できなくなることからコストの上昇を招くため、直径 1.5～1.6m の高密度ポリエチレン (HDPE) パイプの使用を計画している。
- ・2015 年に Total 社の FPSO (海底の石油などの浮体式生産貯蔵積出設備) システムのプロジェクトがスタートし、Bardot 社は水深 150m 用ライザー (流体用パイプ) を提供した。
- ・石油会社と協力し、石油生産コストを 25%削減するために、600m ライザーを開発している(詳細は表示されていない)。
- ・病院の地域冷房を開発している (開発予定地は発表されなかったが、レユニオン島の病院を対象としていると推測された)。

韓国の OTEC テストについて

- ・ Ho-Saeng Lee, 韓国船舶・海洋工学研究院【KRISO】(韓国)
- ・1MW の OTEC プラントを建設するため、まず 20kW の実験設備を導入した。
- ・実験設備では、5°Cの深層水を使用した。
- ・OTEC の安定運転のためには過熱度の制御が重要である。
- ・作動流体は R32 を使用している。

マレーシアの洋上固定型 OTEC のコンセプト

- ・ Mohd Khairi Abu Husain, マレーシア工科大学【UTM】(マレーシア)
- ・マレーシアの海域における OTEC の導入ポテンシャルは 105,000MW である。
- ・最近、NAVAL ENERGIES 社 (旧 DCNS Energies) と実施可能性調査 (F/S) を終了した。
- ・マレーシアは遠浅な地形および海岸近くのサンゴがあるため、100m 沖の洋上固定施設とし、浮体設備から伸びるパイプで水深 700m から取水することを検討している。
- ・同大学では、石油・ガス産業のエネルギー輸送で使用している既存の洋上固定施設 (23m x 20m 二脚または三脚構成) と貯蔵用のブイ (現在はオイルをプラットフォームから船へ移送するために使用。将来の使用目的は不明。) を利用した洋上固定型 OTEC を検討している。本 OTEC システムの推定費用は 1 億 4,000 万ドル (約 158 億円) である。

OTEC 実験装置運転の分析

- ・ Jean Castaing-Lasignottes, レユニオン技術大学【IUT】(フランス)
- ・レユニオン島の OTEC 実験装置では、7つの熱交換器をテストしており、アンモニアを使用し、

タービンがない。設備の詳細は翌日のツアー中に見学できた。

(3) 2日目 (OTEC 実験装置見学、プレゼンテーションセッション)

【OTEC 実験装置見学】

- ・NAVAL ENERGIES 社の OTEC 研究室には、元の施設に加えて、大規模なシェル・チューブ式熱交換器（7 段タイプの蒸発器）を備えた新しい施設が建設されていた（図 2-6）。



図 2-6(写真)NAVAL ENERGIES 社の OTEC 研究室(レユニオン島)

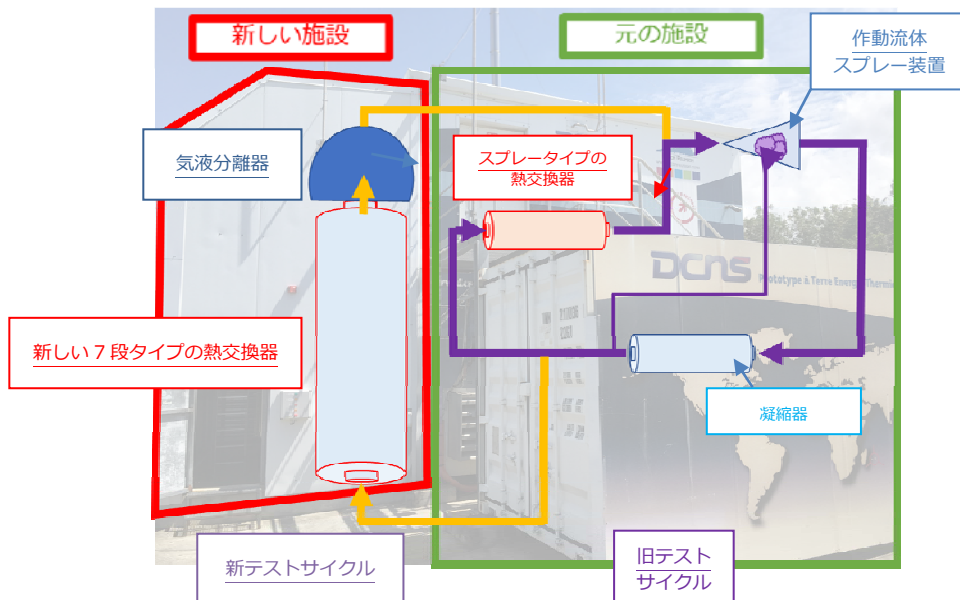


図 2-7 OTEC 研究室内のイメージ

※新しい熱交換器（7 段タイプ）を使用する場合は、従来の熱交換器（スプレータイプ）は使用しない。

- 元の施設内にあるスプレータイプの熱交換器には気液分離器がないが、新しい7段タイプの熱交換器の上にはある（図2-7）。
- 現在同社では、シェル・チューブ式熱交換器について、新しい7段タイプ（図2-8）およびスプレータイプ（図2-9）を試験している。
- 新しい7段タイプの熱交換器（図2-8）は、NEMO⁵マルティニーク OTEC 施設で使用予定のものと同じ高さで、気液分離器を含めて約5mであった。円筒形の直径は約1mと小さく、2.5MW 海洋温度差発電の熱交換器のほんの一部のサイズである。熱交換器の内部には、垂直に積み重ねられた7段の水平チタンチューブ束がある。発電端出力が4MW、送電端出力が2.5MWの場合、150MWの熱を熱交換するために、熱交換器の横幅（直方体の形状になることが予想される）は8~17mとなる。
- タービン発電機の代替として、膨張弁と冷却された作動流体スプレー装置（図2-7）を使用して、タービン使用後の圧力や温度を作りだしている。

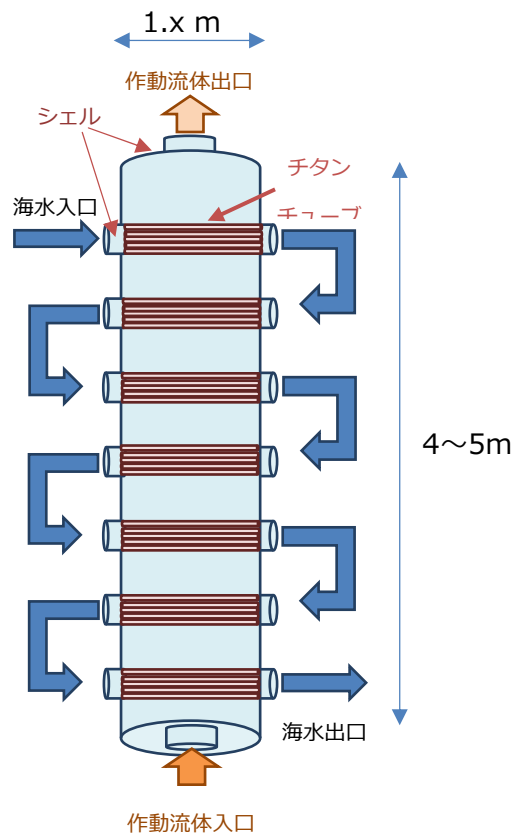


図 2-8 新しい7段タイプの熱交換器(蒸発器)のイメージ

⁵ マルティニーク島（カリブ海のフランス領）の10MW OTECプロジェクト。EUからの資金調達により7,200万ユーロを提供されたが、最近、EUの資金援助の制約を受けて停止している。

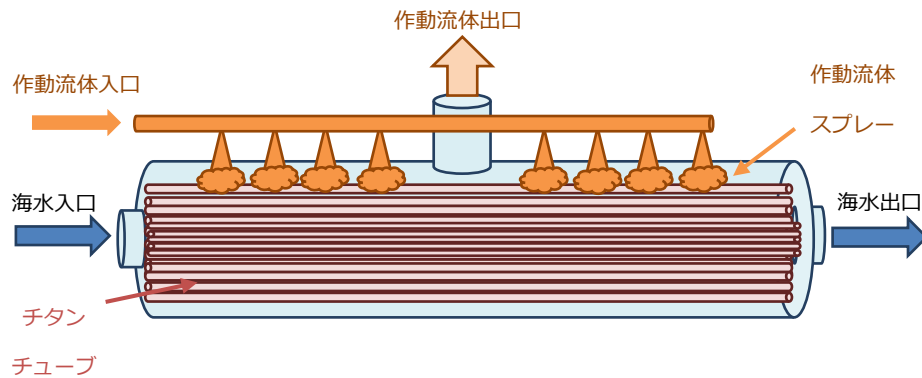


図 2-9 スプレータイプの熱交換器のイメージ

- ・製造および部品などの供給上の制約から、熱交換器の束（1 セットのチタンチューブ）の直径は 1.3m に制限されている。
- ・施設全体の規模は 15kW（正味出力か総出力かは記載なし）である。
- ・同社では 6 台の蒸発器と 1 台の凝縮器を試験した。蒸発器は、研究室が狭いため交換に 6 ヶ月かかることがある。
- ・熱交換器は、ユニット数を減らすことで、熱交換器間のスペースやヘッダーなどの周辺のスペースを最小限に抑え、必要なパーツ（ユニット 1 つあたりに必要な水圧計、ヘッダー、パイプなどの部品）を減らすことができる。このため、①ユニットの大きさをできるだけ大きくすることを設計コンセプトとしている。
- ・実験装置には作動流体タンクが設置されておらず、装置とは別の場所にあるアンモニア貯蔵タンクを使用している。また、冷水および温水の供給にヒートポンプを使用している。ヒートポンプのシステムはある程度のバランスを必要とするが、必要な範囲の温度を提供することができる。
- ・装置を運転する際は消費電力が大きいので、大学の電気使用量が少ない夕方に運転されることが多いが、勤務時間外のスタッフ不在時にはアンモニアシステムを停止させているため、運転できる時間が少ない。
- ・同社では、MW スケール以下で 2 つの陸上型 OTEC プロジェクトに取り組んでおり、その 1 つのハワイからの提案依頼書（RFP）⁶を検討している。

⁶ 2017 年秋に、ハワイの NELHA は 300~500kW 級の OTEC プラント設置に関する提案依頼を公表した。NELHA からは無料の土地と水を供給するとされている。

【プレゼンテーションセッション】

ランキンサイクルの動的モデリング

- Alexandre Dijoux, レユニオン技術大学【IUT】(フランス)

- ・同大学では、起動時、シャットダウン時、および電力需要の変動時における OTEC プラントの制御性に関心があり、細かなコントロールができるよう検討している。
- ・発表者は、熱交換器を加熱、蒸発、および過熱の 3 つのセクションに分離する「移動境界モデル」を使用した。境界は時間の経過とともに様々な位置に変化し、作動流体流量を減少させると、蒸発に使われる伝熱面積が増加する。今後の計画には、実験装置によるモデルの検証が含まれている。

OTEC 業績検証 -安永 健, 佐賀大学海洋エネルギー研究センター【IOES】(日本)

- ・ OTEC システムの最適化について、熱交換器のコストが大きな割合を占める場合の全体コストを最小限にするために、正味電力当たりの熱交換器の総熱伝達面積が使用される。
- ・しかし、小規模の陸上 OTEC システムでは、深層水取水のための配管システムおよび施設のコストが他の施設よりも相対的に高くなる。したがって、可能な選択肢として、OTEC システムのためのエネルギー効率の最大化に基づくシステム最適化方法が提案されている。

OTEC の環境影響評価 (EIA) 研究における課題

- Jaafar A. Bakar, マレーシア工科大学【UTM】(マレーシア)

- ・同大学は、DCNS 社と予備実行可能性調査 (プレ F/S) を完了し、OTEC の候補地 2 カ所を決定した。マレーシアでは小規模 OTEC の EIA は不要で、政府のガイドラインはないが、EIA を行うことは我々の責任と考えている。また、建設前の EIA だけでなく、建設後のモニタリングも考慮する必要がある。
- ・主な関心事は、シガテラ (熱帯の海洋に生息するプランクトンが産生する毒素に汚染された魚介類を摂取することで発生する食中毒) である。OTEC の排水によって毒素を産生するプランクトンを増やさないようにする必要がある。
- ・同大学の予算は 40%削減されており、将来的に OTEC の収益性が高まることによって資金調達ができることを期待している。
- ・世界で行われている環境影響評価の手法やデータの共有を希望している。

Bardot 社の OTEC 研究室 - Aletas Maeva, Bardot 社 (フランス)

- ・発表者の会社の研究室はフランスのラ・シオタにある（研究室（図 2-10）のビデオを見せながら説明）。オンライン制御の設備もある。
- ・長期間の海水曝露をシミュレートするため、人工的な方法で熱や圧力などのストレスを与えて、パイプや部品などをテストしたことがある。また、油圧機器などを使用して実物サイズの部品のテストを行っている。



図 2-10(写真) Bardot 社の OTEC 研究室(フランス)

- ・2016 年の中頃に機器仕様の設計を開始し、2017 年第三・四半期（7～9 月）に最初の発電を行った。
- ・ヒートポンプで温度を調節している温水と冷水はそれぞれ 30t タンクを使用し、熱サイクルでは作動流体に R134a を使用している。
- ・次のステップでは、研究室の結果に基づいて数値モデルを作成する予定。

熱交換器の生物付着制御

- Françoise Dubois, NAVAL ENERGIES 社（フランス）

- ・発表者の NAVAL ENERGIES 社は、バイオフィウリング（様々な有機物質や生物が水中で設備の表面に付着すること）が、熱交換器の効率低下と、パイプおよび浮体設備の重量増加を招くと考えている。
- ・プロジェクトマーリンは 2013 年に ADEME(フランスの環境・エネルギー管理機関)の支援を受け、様々な対処的かつ予防的なバイオフィウリングコントロールをテストした。電気塩素処理およびオゾン処理をしたチタン管の使用、またバイオポリマー（天然に存在するたんぱく質、多糖類、核酸など）と 3 つのチタン回路を用いた試験をタヒチで実施し、生物付着の影響を大幅に減少させた。

- ・バイオポリマーは、長期間の殺菌剤使用を低減することができる。
- ・海洋深層水ではテストしたことがない。
- ・海水の温度上昇時に生物付着のわずかな増加が見られた。

深層水利用地域冷房 (SWAC) ケーススタディ

- **Franck Lucas**, フランスポリネシア大学 (フランス)
- ・タヒチ (南太平洋のフランス領ポリネシアに属する島) で行われている SWAC システムを考察した。
- ・システムでは、建物の外部および内部の気温や湿度の変化を考慮する必要がある。各時間帯の冷房ニーズを予測するため、気象データおよび建物内の各部屋の条件を「Energy Plus」ソフトウェアに入力して算出した。その結果、需要に応じた海水流量の一定化や、様々な調整が可能な SWAC システムをモデル化した。本ソフトウェアは、一般のエアコンのデータも提供可能である。
- ・タヒチで第 7 回 OTEC シンポジウム (2019 年) を開催したいと考えている。

熱交換器の開発 - Sebastien Vimeux, NAVAL ENERGIES 社 (フランス)

- ・DCNS、Technip、Investment Bank が合併して NAVAL Group 社となった。また、DCNS の子会社 DCNS Energies 社は、社名を変更して NAVAL ENERGIES 社となった。
- ・2009 年に熱交換器の研究開発を開始し、2012 年には OTEC の試運転を開始した。
- ・7 つの熱交換器をテストした。温度やその他のパラメータを詳細なスケールで測定可能である (温度は 0.02°C 間隔で測定した)。
- ・浸液タイプの蒸発器 (図 2-11) は、円周長が 4m のシェルユニットで、100MW の熱を熱交換できる。
- ・スプレータイプの熱交換器は、作動流体に浸される浸液タイプの熱交換器に必要なパラメータ (気液混合) を扱う必要がなく、2 段階 (気体か液体) のため、モデル化が容易である。
- ・新しい 7 段タイプの熱交換器の継続的なテストは 2018 年 2 月に終了し、2018 年 6 月に評価を行う予定である。

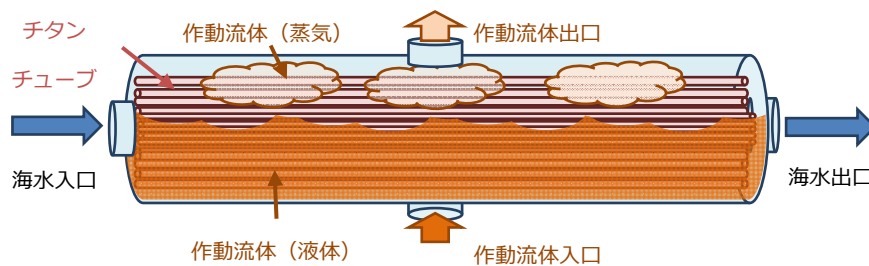


図 2-11 浸液タイプの蒸発器

- ・ HTRI (熱交換器のモデル) は OTEC パラメータでは利用できないため、独自のモデルを作成している。
- ・ 熱交換器の洗浄の際、ボール型ではなく、ペレット型洗浄方式を計画している。この場合、熱交換器を開き、ペレットを各チューブに挿入する必要がある。圧縮空気あるいは水を使用してペレットを吹き込み、チューブを洗浄する。

OTEC 技術の高度化

-池上 康之, 佐賀大学海洋エネルギー研究センター **【IOES】** (日本)

- ・ 神戸製鋼所が蒸発器用に開発した熱伝達プレート、IOES と久米島で試験した二段ランキンサイクル、低海水圧力損失用のクロスフロー熱交換器を、伊万里と久米島に導入したことが紹介された。
- ・ 来年 (2018 年) の第 6 回シンポジウムが沖縄県で開催されることが発表された。
- ・ 今後、シンポジウムにおいて最高のプレゼンテーション内容に「上原賞」を授与することが提案された。

洋上 OTEC のためのガイドライン - Aude Leblanc, Buerau Veritas 社 (フランス)

- ・ 発表者の Buerau Veritas 社 (認証機関) は、OTEC 建設 (洋上専用) の概念承認 (AIP) の取得を目指す開発者のため、近いうちに新しいガイドラインを公表する予定である。ガイドラインでは、設計、実現可能性、海洋条件の適合性、すべての作業段階に対する適合性、推奨事項をカバーしている。
- ・ 認証の範囲には、浮体設備の構造を考える上で、製造、設置場所、動きなどの設計条件、有人または無人か、作動流体の危険性の有無などが含まれる。
- ・ 浮体物の保守においては、浮体物の安定性やトラブル時の予測、海底に固定するためのチェーンやケーブル、プロペラなどとパイプの設置状況も考慮される。また、有人プラントの非常用照明などの安全性の要件もある。

レユニオン島の海洋影響に関する考察

- Cardot Anne-Laure, ACOA Consulting 社 (フランス)

- ・発表者の ACOA Consulting 社は Bardot 社と業務提携し、海洋環境影響評価に関するコンサルティングを行っている。
- ・Bardot 社は環境管理を OTEC プロジェクトの基盤として捉えており、生物多様性保全への取り組みや OTEC 運用上の環境への影響を考慮している (実際の試験などは行われていない)。
- ・本発表では、ACOA Consulting 社の海洋環境影響調査に関する一般的な手法の紹介が中心であった。

IMPALA プロジェクト

- Morgane Lejart, France Energies Marine 【公益法人の海洋エネルギー研究所】 (フランス)

- ・France Energies Marine の洋上 OTEC および自然海水湧昇の考察を紹介した。
- ・100,000t/日の海洋深層水の排水について、OTEC 運転の初期状態、様々な運転方法による海水のシミュレーション、および植物プランクトン生態系への影響を調べることにより検討している。
- ・海洋深層水が植物プランクトンの成長に与える影響を研究するため、2013年11月および2014年6月に海水のサンプリングを実施した。
- ・水深45mのクロロフィルレベルが最も高いことから、水深45mの海水に深層水を混ぜることにより、プランクトンの最大の成長が期待された。
- ・海水試料を水深45mと80mで採取し、海洋深層水を0%、2%、10%の割合で混合した。混合後のサンプルはビンに入れ、係留しながら水深45mと80mの海域に戻した (図2-12)。

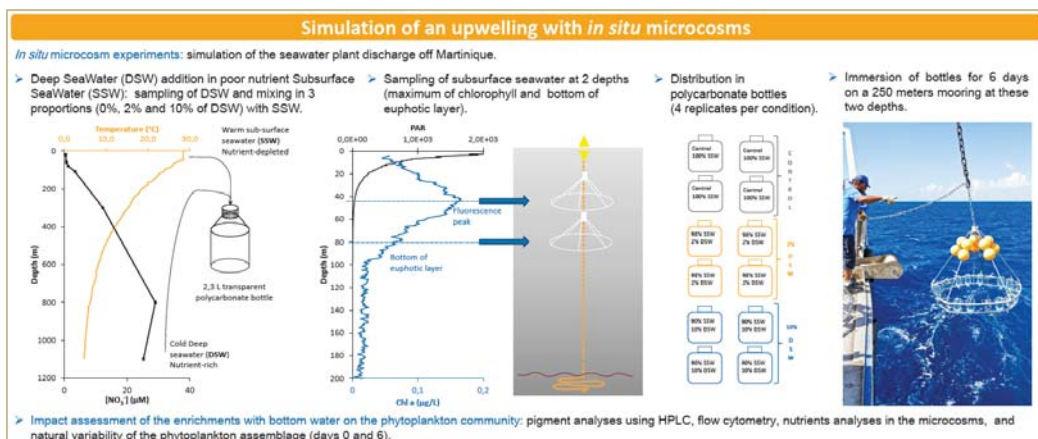


図 2-12 海洋深層水が植物プランクトンの成長に与える影響の研究

- ・その結果、水深 45m の海域への放出によって、植物プランクトン（珪藻）の成長が見られた。また、深層水 10%混合後の海水と自然湧昇の海水が混ざったサンプルでは同様の変化が見られた。
- ・水深 80m へ放出したすべてのサンプルからは、植物プランクトンの成長がほとんど見られなかった。水深 80m へ放出した深層水ありと深層水なしのサンプルの結果はあまり変わらなかったことから、深層水の栄養塩による影響はなかったと言える。この結果は、深層水の排水による影響が、水深 80m より浅い深さに限定されていることを示唆している。
- ・試験はビンの使用によって行われたので、今後はオープンな状態で試験し、排出プルーム（冷海水は重いため沈む可能性があるが、その沈み具合）を検査する必要がある。
- ・深層水による細菌への影響については、プランクトンとは別に研究されている。注：本発表では、有光層の定義を 80mの深さとしているが、他のほとんどの発表者が定義する深さよりはるかに浅かった。（日本では水深 200 m）

OTEC：温室効果ガスの排出に及ぼす影響

-C.B. Panchal, E3Tec Service 社（アメリカ）

- ・発表者は現在、アルバータ州の CO2 管理プロジェクトに取り組んでいる。
- ・2005 年のモーリシャス（レユニオン島の北東に位置するアフリカ国家）で行われた国際会議では、島々がエネルギーの価格変動の影響を受けやすいことが共通認識として確認された。
- ・1kWh の電力使用によって約 1kg の CO2 を排出するので、レユニオン島の消費電力である 436MW は多くの CO2 を排出していることになる。
- ・OTEC プラント船は、CO2 をメタノールに転換して再利用するために使用することができる。
- ・大規模 OTEC による CO2 削減には、様々なリスク管理の評価が必要である。

OTEC 設計の前段階としての海洋環境影響調査 - Remi Garnier, Creoccean 社（フランス）

- ・発表者の Creoccean 社は、顧客の OTEC プロジェクトについて、環境への影響範囲の調査を行っている。
- ・レユニオン（2 か所）、マルティニーク、マヨット（アフリカ大陸とマダガスカル島の間にあるフランス領の島々）の合計 4 か所で調査を完了した。また、フランス領ポリネシアの 2 か所の影響評価も完了した。
- ・環境影響評価調査にかかる予算は、1 か所あたり 50,000 ユーロ（約 660 万円）を見積もっている。

KRISO MW 級 OTEC プロジェクト

- Hyeon-Ju Kim, 韓国船舶・海洋工学研究院【KRISO】(韓国)
- ・2016年に陸上1MW OTECの設計を完了した。また、タービンの製造も既に完了している。1MW用の凝縮器は現在製造中で、2017年に完成予定である。
- ・2019年から2020年にかけて韓国海域でのテストを経て、キリバス(太平洋上に位置する共和国)のタラワに OTEC を運ぶ予定である。
- ・取水設備を含む1MWのコストは、90百万ドル(約100億円)と予想される。
- ・KRISOでは、タービン用軸受の寿命が未知であるため、アクティブ制御磁気軸受を開発した。タービン発電機は1.2MWで、発電機の使用で予想される消費電力は32.5kWである。
- ・凝縮器は半溶接非対称プレートである。
- ・期待できる発電コストは0.35ドル/kWh(39.4円/kWh)である。
- ・深層水の取水方法について、顧客からの承認を得ていないため、別の方法で取水した場合、コストは120百万ドル(約135億円)以上に増える可能性がある。

熱交換器パフォーマンスの比較

- Sinama Frantz, レユニオン技術大学【IUT】(フランス)
- ・レユニオン島内の OTEC 候補地として最も可能性が高い地域は、深層水の取水位置が陸から1~2.8km沖にあるサン・アンドレである。

(4) 3日目 (レユニオン島の見学)

Bois-Rouge 発電所

- ・レユニオン島内の利用可能な土地の大半は、サトウキビ生産に使用されており、 OTEC や海洋深層水開発の関係者がプロジェクト用地を見つけることは難しい。
- ・サトウキビ生産を維持するための強力なロビー(政治的利益集団)がある。
- ・100以上の製糖工場が2つの大規模な工場に統合されたが、まだ他地域よりも製造コストが高いため、政府から助成を受けている。
- ・Bois-Rouge製糖工場は労働力のコストが高い。コスト競争力をより強めるため、火力発電所と蒸留所(ラム酒)を事業統合した。
- ・7月から12月の収穫期は、発電所の運転にサトウキビのバガスが使用され、収穫期以外の1月

から 6 月までは発電に石炭が使用されている。

- ・発電後の蒸気は、砂糖精製プロセスで再利用されており、効率が向上している。

セントアンドレア産業クラスター

- ・見学中、セントアンドレアの港湾プロジェクトが、市長によるスピーチおよびビデオで紹介された。同市は 10 億ユーロ（約 1,327 億円）のプロジェクトを推進し、インド洋のハブ港として、島の第 2 の港を建設する予定である。
- ・プロジェクトを最大限に活用するため、港湾だけでなく OTEC、SWAC、海洋深層水利用産業、排熱発電、データセンター、LNG 貯蔵なども計画しており、それら付加価値のメリットについても述べられた。

その他の地域

- ・島内にはいくつかの風力発電所があり、1 カ所あたり 16 基のデュアル（二重）ブレードおよび 500kW/基（推定）のタービンがあった。沖縄にある風力発電と同様に、台風の際はこれらのタービンを下げることができる（可倒式）。
- ・3 つある地方刑務所の 1 つの敷地に 5MW の太陽光発電所があった。また、山から流れる水がパイプで供給されている水力発電所も見られた。
- ・レユニオン島の最大のプロジェクトは、島の北東側の海岸といくつかの地域を結び、さらに洋上にも設置されている新しい道路である。道路建設用の資材が島に運び込まれて組み立てられた際、「世界で最も高価な道路」と言われた。
- ・橋脚の設置に特化した浮体設備が見られた。
- ・レユニオンの OTEC および深層水産業に対して政府が支援する主な理由の 1 つは、島の自給自足への移行である。

その他

- ・今回のシンポジウムでは、将来的に事務局の設置を求める声がいくつかあった。
- ・本シンポジウムでは、独自のウェブサイトの作成や参加者同士のコミュニケーションの欠如など、これまでの開催で結びつきが欠けていたことが指摘された。
- ・また、国際 OTEC 協会の創設が呼びかけられた。
- ・OTEC シンポジウム事務局および国際 OTEC 協会は、共に進めていくことでうまくいくのではないかとの声もあった。

- Bluerise 社の Dinnissen 氏は、次回開催の第 6 回国際 OTEC シンポジウム（於：沖縄）では、多くの政府機関や関係者にも参加してほしいと要請した。また、前回のシンポジウムで OTEC のロードマップ作成が決定されたが、進展がないことから、次回開催地の沖縄においてロードマップ会議 の開催を提案し、数人の参加者が合意を表明した。