

特集

大型プロジェクト —自然エネルギー利用（国内・海外）の現状と将来—

海洋温度差発電

Ocean Thermal Energy Conversion System

梶 川 武 信*

Takenobu Kajikawa

1. システムの分類と課題

海洋の表層（0～100m）の24～28℃（最大30℃）と深層（水深600～1,000m）での4～7℃との間の温度差を利用する海洋温度差発電システムの基本的構成は図-1のように示される。この体系から分かるように発電システムとそれを格納する海洋構造体システム、並びに、それを取り巻く海洋環境（入力条件、環境アセスメント）とに大別され、これらが十分有機的に結合してシステム化されることが必要である。同図では例として、クローズドサイクル方式による発電、及び海洋上に設置するプラントを想定している。同図のサブシステムは発電システムの容量、電力利用の目的、設置点条件などによって各種の形式に分けられる。例えば、熱交換方式についていえば、シュル&チューブ形（横型、縦形）、シュル&プレート型、及びプレートフィン型等があり、海洋構造物については、洋上浮遊型（船型、円盤型）、海中潜水型（船型、円盤型）、セミサブ型、及び、着底型などに分けられる。このように主要機器の形式の選択は、前述のように設置海域条件（海象・気象、及び海底地形）等によって大きな巾を持っているため、技術開発の目的が絞りにくいという特徴を海洋温度差発電システムの技術開発はかかえているといえるであろう。発電システム技術と海洋構造体技術とはかなり異質であり、技術開発アプローチには大きな違いがある。又、その要求はお互いに相反する場合も多い。例えば、海洋構造体側からは、冷水取水等は小口径で短い方がよいが発電システム側から、温度差を大きくとることや圧力損失の点から、大口径、長尺の方向を要求する。海洋構造体の形は、発電システムの構成機器の寸法、形状を規定する場合もある。一方、海洋温度差エネルギーは、低エネルギー密度であるため、高度な設計を行い付随的損失や過剰設計を

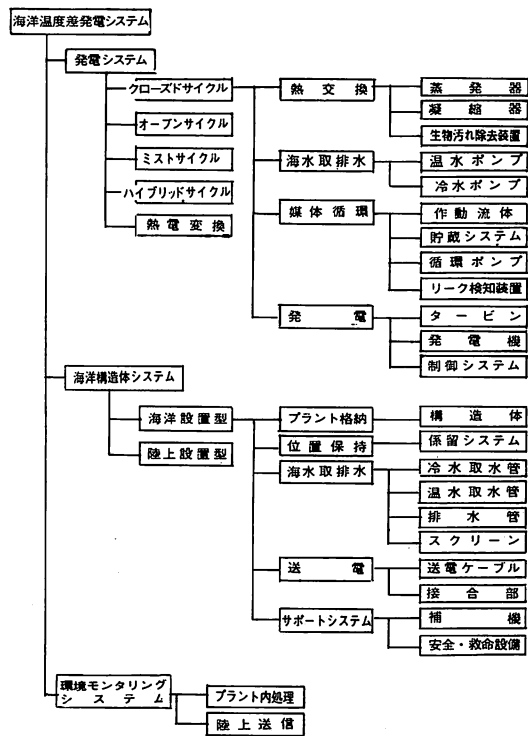


図-1 海洋温度差発電システム

極力抑えることが不可欠である。このように、海洋温度差発電技術は他のシステムに比べ、相互を十分考慮したシステム化技術が重要となる。

技術開発主要課題とその特徴付けは、表1のようにまとめることが出来る。これは実用化される時点、すなわち、社会への導入の準備の整った時点で、経済性、安全性、信頼性、及び環境へのインパクトの最小化という要因を満足していなければならない。海洋温度差発電を構成する機器、各々は他の産業分野で多数使用され、又、研究されており、その基本的な特性の把握もなされており、原理的に不可能な技術はないといえる。又、海洋温度差発電技術に適用され固有な現象の付け加わった特性についても、内外の研究機関において、実験室規模や実海域モデル実験、等が実施されてき

* 電子技術総合研究所エネルギー部海洋エネルギー研究室長
〒305 茨城県新治郡桜村梅園 1-1-4

表1 技術開発課題の分類

課 題	基本的課題を解決するに不十分であるとする原因	技術的基本機能の未熟さに起因するもの		大規模化に起因するもの	海洋空間という特殊環境におかれることに起因するもの
		性能	耐久性		
発電	熱 交 換 器 媒体側高性能化	○		○	○
	海水側 “	○	○		
	生物汚れ対策 シェル&チューブ		○	○	
	シェル&プレート	○	○	○	
	タービン軸シールの完全化				○
	発電システム全体の効率化			○	○
システム	アンモニア 安全対策の完全化			○	○
	熱 交 換 器 凝縮器での不凝縮気体の除去	○		○	○
	タービン ブレード材料		○	○	
	システム制御	○		○	○
熱電	高性能熱電材料	○			
海洋構造システム	海洋構造物 潜水型			○	
	冷水取水管 材 料			○	
	施 工 法			○	
	接 合 部		○		
	係 留		○	○	
送電	送電ケーブル ボトムケーブル			○	○
	ライザーケーブル (接合部を含む)	○	○	○	○
環境アセスメント	冷排水ブリュームと温度構造の把握、大規模利用と気象・海象へのインパクト	○		○	
	生物圏へのインパクト	○		○	

ている。同表にまとめられたように今後の主題は、大規模化の課題と共に、海洋特有の現象（即ち、生物汚れ対策、海洋構造物と海象との相互関係、動揺や変動と発電システムの関係、送電ケーブルの海中挙動など）に結びついた課題へと移り、これらの究明により、経済性を満し、信頼性ある技術への確立が目指されている。

2. 国内の開発動向

2.1 サンシャイン計画の中での研究開発

通産省の新エネルギー技術開発プロジェクトとしてサンシャイン計画があり、海洋温度差発電技術についても「総合研究」部門「新エネルギー技術の基礎的研究開発」項目の中で、風力発電などと共にとりあげられている。

昭和58年8月にまとめられた、中間報告書「サンシャイン計画の新たな展開について」¹⁾によれば、海洋温度差エネルギーの特徴とプロジェクトの位置付けは次のように示されている。

“①海洋は太陽エネルギーの広大なコレクターということが出来、潜在資源量が膨大でかつ再生可能エネル

ギー中、最も安定的なエネルギー供給が可能であり、有望な定常電力源として期待される。

②サンシャイン計画では、海洋温度差発電が、2000年頃に実用化されることを目指し、最終的には、国内電力系統への供給源として大型化が可能でかつ、立地上の制約が少ない洋上設置型の開発を目指して、現在基礎的研究開発を推進している。”

このような観点から、海洋温度差発電システム技術を、発電技術、海洋構造物技術及び環境アセスメントに分け、その中の最重要課題を取り出し、研究目標を以下のように掲げている。²⁾

(1) 発電システム

- (i) 海洋温度差発電システム全体の高性能化にかかわる技術の確立を図る。
- (ii) 温度降下の小さい条件下での高効率熱交換技術を確立する。
- (iii) 海洋環境における熱交換特性の技術的データを収集する。
- (iv) 海洋環境が海洋温度差発電のシステムの要素、特に熱交換に及ぼす影響を検討し、その問題点を明確にすると共にその解決を図る。

(2) 海洋構造物

- (i) 具体的なシステム及び要素機器に関する技術課題を検討し、開発を推進する。このために、海域調査、海洋システムの研究、海洋構造物の開発、発電システムについての調査研究を行う。
- (ii) 深海係留索を開発し、その有効性を研究する。

(3) 環境アセスメント

- (i) 海洋温度差発電プラントの設置海域における温度分布構造、賦存エネルギー量を把握すると共に、取排水の挙動を水理実験によって明らかにし、発電プラントの最適配置、設計条件の決定資料を得る。

このような研究課題に対し、国立研究機関3、大学1、民間1、に研究開発費、委託費が出されて開発がすすめられている。サンシャイン計画における海洋温度差発電の研究開発のフェーズは、(1) 予備的検討期 (S49～S51)、(2) フィーザビリティ・スタディ (S52～S54)、(3) 要素技術開発期 (S55～) とすすんできている。要素技術開発期では、実海域のパイロットプラント (1,000kW級) に対するコンポーネントの主要部分の開発がすすめられている。

発電システムについては、我が国近海での立地を考えた場合には、温度差の変動が比較的大きく且つ得ら

れる温度差が小さいなど、赤道直下の海域より厳しい設計及び最適なシステム制御が要求される。それ故、実海域条件を十分考慮に入れる高精度システム設計法及び、最適な運転制御法の確立が必要である。実海域では、複雑にからみ合った変動となるため、1つ1つの感度をあらかじめ陸上で分析し、過剰設計や不足設計を避けることが必要である。S56年度に1kW級ETL-OTEC-IIを用いた定常特性実験、並びに1,000kW級パイロットプラントの基本設計検討³⁾を行った後、S57年度から電総研に温度及びに流量変動を個別的に与えられる。OTECシミュレータが試作された。これを用いて、システムの各種変動に対する感度分析、動特性検討がなされている⁴⁾。又、船体動揺に伴う熱伝達性能変化についても検討がすすめられている⁵⁾。

発電システムの中の主要コンポーネントである熱交換器に関する研究については、高性能化、低コスト化を目指して、電総研・佐賀大・中工試において研究がすすめられている。蒸発伝熱面の高性能化として、径の異なる金属繊維を組み合わせることにより、任意の均一的なリエントラントキャピティを形成させ、高性能化のための形状因子を明らかにした⁶⁾。又、凝縮伝熱面としては、より効果的に凝縮液の排除(ドレン)を行わせたドレンガター付スパイラルダブルフィン管の開発を行っている⁷⁾。プレート式熱交換器については、実海水を使用した長期間連続運転実験により、その性能特性を検討している²⁾。材料研究として、①熱交換器系材料(Ti, Ni, Cu合金, アルミ合金, ステンレス系)の耐海水性 ②熱交換器系材料の耐アンモニア性 ③海水中での生物汚れ防止法、特にウィルスを用い生物汚れの初期段階から防除する方式の基礎研究がすすめられている⁸⁾。以上の発電方式はすべて、クローズドランキンサイクル方式に関するものであるが、新しい発電方式として、S55年度より、熱電発電の研究が開始されている。100kWの熱電発電機概念設計が行われ⁹⁾、S56年度には100Wの発電モジュールがエン振協に作られた。電総研でも同じく、S55年度より熱電発電の研究を進め、30W発電モジュールを試作実験し、現状技術に基づく海洋温度差発電システムの問題点を明らかにした。S59年度より、熱電発電技術を海洋温度差エネルギーばかりでなく、他の中低温域や高温域の熱源にも適用することを考えた研究開発に発展し、項目も独立した。

海洋構造物技術については、その設計の前提条件となる海域条件を明らかにすることが不可欠である。そ

のため海域調査、及びその方法についての検討がなされている。沖縄県粟国島周辺海域について、S55年予備調査、S55年度に本格的調査として、水温・波浪・海流・海底地形の調査が行われ、S58年度から海流の長期観測が行われている。海洋構造物本体については、潜水型構造物と冷水取水管の結合した状態での挙動を検討するため、1/50スケールのモデルにより、水槽シミュレーション実験がなされている。又、S59年度には、ジョイント部のモデルが試作され、強度・曲げ試験の実験が実施されている¹⁰⁾。S57年度より四国試が参加し、深海域でのテンション係留方式の1つとして係留索をチェーンとゴム、及びスチールワイヤとゴムの複合構造を有する索を提案した。係留中の挙動についてのモデル実験や陸上での強度特性を把握するための静的引張りテスト、繰返し引張り荷重疲労試験を行っている。環境アセスメントは、調査研究と併行して、S56年度より中工試により温度構造の研究と冷排水プルームの挙動に関するモデル水槽テストが行われている。サンシャイン計画における基本的なスケジュールの展望としては、前出文献¹⁾で以下のように述べられている。

“①S60年度を目途に熱交換器の高性能化、低コスト化を重点に基礎的研究開発を推進すると共に、海洋構造物の大型化、係留索の検討、取排水挙動の検討など、周辺技術の開発を行う。また熱電素子にかかる基礎的研究も当面並行的に行う。

②その後、高性能・低コストの熱交換器が開発された段階で、海洋温度差発電の実用化可能性に関して技術的見通し、及び経済性を中心に十分な評価を行い、その評価を踏まえて、1,000kW級パイロットプラントの開発を行うことを検討する。”

2.2 電力会社を中心とした研究開発

陸上設置型クローズドランキンサイクル海洋温度差発電の実海域実験が、東京電力・東電設計グループ(発電システム; 東芝, 海洋構造物; 清水建設)及び九州電力グループ(発電システム; 三菱重工, 日阪製作所, 神戸製鋼, 海洋構造物; 東京久米, 飛鳥建設)によって行われた。前者では、ナウル共和国に総出力100kW正味設計出力11kWのパイロットプラントが、1981年8月から約1年弱、実験がなされた¹¹⁾。金属粒子により多孔質層を形成させたチタン管を蒸発器に、又フルテッド管を凝縮器に用いた。作動流体は安全性の観点から、フロン22が採用された。冷水は水深580mのところから、外径750mm、全長945mのポリエチレン製冷水取水

管により、1410t/h取水した。実験では、定格発電出力100.5kW、正味出力14.9kW、最大出力試験では120kW（20分間）正味出力31.5kWが得られている。実験期間内に総発電量358,000kWh、発電時間410時間、起動停止を155回等のデータを得ている。又、生物汚れについても実験を行ったが、温・冷水共に設計値より少ない値であった。これらの成果を基に引き続き10MW程度の実用化プラントの基本設計等を行い研究を継続している。

後者は鹿児島より南西400kmにある徳之島に総出力50kWの陸上設置型クロードランキンサイクルハイブリッド型パイロットプラントが建設された。1982年9月～1984年8月の2ケ年に亘り、実験が行われた¹²⁾。高温源として徳之島に既設の4,500kWディーゼル発電プラントのジャケットから排熱を利用し、40.5℃約250t/hの熱を得ている。一方冷水は、水深360mより、外径500mm、全長2,400mのポリエチレン製取水管により約500t/hを取水した。このためハイブリッド型と称される。作動流体にはアンモニアが用いられた。チタン製プレート式蒸発器、及びチタン製平滑管を用いた水平型シェル&チューブ凝縮器が用いられた。蒸発器では2.91kW/㎡K、凝縮器では1.7kW/㎡K程度の性能が得られている。1年間近くの長期間テストでは、両熱交換器共に汚れにより10%程度の性能低下がみられている等、貴重なデータが取得されている。大学では熱伝達の高性能化という観点から、特に海洋温度差発電に限らず、多くの研究室で行われている。新しい発電方式の研究として、オープンサイクルの変形であるミストサイクルの基礎的研究が、東工大において実施されている¹³⁾。

3. 海外における開発動向

3.1 アメリカ

太陽エネルギー利用の一環として1973年以来他の自然エネルギー利用の開発と共にすすめられているが、立地点としてハワイ、プエルトリコ、フロリダ沖等本土内のエネルギー資源に比べてエネルギー源に対する寄与が余り多くないため全体の中でのウエイトはそれほど高くない。

現在研究開発の流れは3つに大別出来る。1つは、クロードサイクルに関するもので、これはほぼ成熟期に達したとの認識から民間主導型への移行期にある。具体的には、エネルギー省が40MWパイロットについての募集を1979年頃から開始し、財政上の理由から当

初は7システム併用検討という構想から2システムの検討、時期も1982年5月からと縮少と遅延を余儀なくされた。GE社とOTCグループの2社が委託をうけ1983年5月フェーズⅠ（概念設計）を終了した。DOEでの総合評価の結果OTCグループの案が採用され、フェーズⅡ（基本設計）へと移行し、1984年末に終了した。現在フェーズⅢ（詳細設計）以後にすすむかどうかの検討が行われている。フェーズⅢ以後は民間主導で実施しなければならないためとフェーズの進行に伴ない相当額（40MWパイロットプラント建設費として360M\$）の資金を必要とするため計画に遅れが出ている。現在提案されている40MWパイロットプラントの主要仕様はフェーズの進行と共に見直し修正がなされているので最終的姿でないが、以下のような仕様が考えられている。設置点はハワイ州オアフ島ハワイ電力のプラントのすぐ近くのカヘ岬の沖合550mの海中に72m×82m高さ11.6mの海洋構造物を着底させ人工島を作り、発電システムを格納する。冷水取水管は直径8m長さ3,200mのFRP管で水深790mから取水する。正味発電出力は40MWで現在オアフ島電力消費の5%に対応する容量である。総出力は49.2MWeで所内動力の内訳は温水ポンプ2.03MW、冷水ポンプ6.12MWアンモニア循環ポンプ0.93MW、その他0.12MWと計画されている。図-2にスケジュールの概要を示した。第2の研究開発の流れは、ハワイ州政府の主導するもので海洋温度差発電を離島などの中小規模発電所と位置付け、最終的には海洋温度差発電をエネルギー源としたトータルシステム（OTECコミュニティと呼ばれる）を作り上げるというものである。ハワイ州政府は1979年8月にミニオテックというアンモニアを作動流体とするクロードサイクルで50kW出力（正味出力15kW）のデモンストレーションをロッキード社デリンガム社等の民間と協力して実現するなど海洋温度差発電の実用化に活発な活動をしてきている。又、ハイテク研究のための国際センター（PICHTR）の構想を打

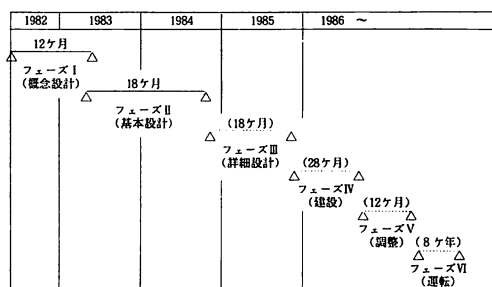


図-2 40MWパイロットプラントの計画

上げ、その中のテーマの1つとして1986年度より5年間20M\$で200kWのオープンサイクルパイロットプラントの建設・運転を行う計画も発表している。既にあるハワイ島の自然エネルギー研究所では、クローズドサイクルの伝熱管の腐食、生物汚れ対策実験と併行して深海栄養塩利用についても民間よりプロポーザルを募って基礎データを取得している。オープンサイクルの基礎研究はSERI(太陽エネルギー研究所)で行われている。又、800kWプラントの概念設計コスト試算なども検討されている。第3の流れは、前述のように本土に直接送電する適地がないため逆に赤道直下の条件のよい海域にプラント船を浮べ、海洋温度差エネルギーを電力に変え、それをアンモニアやメタノールなどの化学エネルギーに変えて、本土へ輸送し、化学肥料の原料や燃料電池用などに利用しようとする考えがあり300MW程度の大容量プラントが想定されている。概念設計やコスト試算の範囲にとどまっている。

3.2 フランス

研究開発はフェーズA～Dに分けられている。本土付近に適地がないため開発目標は、赤道海域に点在している離島領土用電力源の確立としている。フェーズAは、'78～'80に7MFの予算でなされオープンサイクル及びクローズドサイクル両方について概念設計検討が行われた。'81～'82はblankで'83～'85にフェーズBが実施されている。ここでは、タヒチ島に5MW陸上設置型半実用パイロットプラントを建設するための要素研究、主に、サイクルの検討及び冷水取水管の検討が行われている。それ以後の計画は確立したものではないがこれに引き続き、フェーズC(プラントの建設)、フェーズD(プラントの運転)を経て、1990年頃には、数10MW程度のプラント規模での実用化を図りたいとしている。開発体制としては、IFREMER (Institut Francais de Recherche pour l'Exploitation de la Mer. 前CNEXO) がプロジェクトマネージメントを行い、その下にERGOCEANという民間のマネジメントスタッフ機構を持っている。このERGOCEANから2つの大きな民間グループ(CG EとES)に研究委託を出している。サイクルの検討ではトータルシステム化しやすいオープンサイクルに関心が深くオープンサイクルについて小さなループを作って実験を行っている。クローズドサイクルでは各種の熱交換器の高性能伝達面の検討も行っている。冷水配水管の検討に大きな力をさいており、タヒチ島の立地点Papeete海域の詳細調査を実施した。その結果

水深80m付近から急峻な崖となっており、岩石の落下など地形が不安定であることがわかった。5つの方式の冷水取水管敷設法を検討し、2,400m長さの逆カタナリー方式と1,000m長さの逆カタナリー方式との2つに絞った¹⁴⁾。これはいずれも、この急峻な傾斜とそれにつづく不安定な海底地形の部分では海中に取水管を浮遊させ深海部を海底につけて取水しようとする方式である。IFREMERの分室であるCOBでは生物汚れ対策の基礎実験及び耐海水材料の防食実験などもすすめている。

4. 将来展望

海洋温度差エネルギーは潜在量が膨大であり、多くの国々(国連の調査では99ヶ国)によって、純粋の国産エネルギー源となり得る可能性を有している。昼夜別なく、エネルギー貯蔵設備を作らなくとも安定な電力を年間を通じて取得することが出来る。又、一度建設してしまえば、松川地熱発電所の例にみられるように石油等化石燃料価格の変動をほとんど受けず、長期安定なエネルギー源となり得る可能性を持っている。このようにエネルギー源の社会的側面からみると、海洋温度差発電は、かなり優秀な条件を備えているといえそうであるが、技術的(経済的)側面からは、一言でいえば、高々20℃しかない全体温度差の小さいことと、我々にとってなじみの少ない海洋のしかも、表層から水深1,000m以上及びその海底地形にいたるまでを活用することに対する未経験さが大きな障害になっているといえる。“ニーズあるところイノベーションあり”と云われるように、これらの障害に対する挑戦が期待される。

経済性の検討では、システムが設置海域条件に大きく依存するため評価が絞りにくい。海洋設置型プラントのコスト試算例を表2に示した¹⁵⁾。右端を除いて全体平均温度差を22.4℃としているが、これはプエルトリコ海域を想定したものである。コストの基準はパイロットプラント又は、実用1号機を前提としたものである。規模に対するコスト依存性をみることが出来る。特に海洋構造体にスケール効果が大いことがわかる。ただ20～30万kW程度にしないとその効果は顕著ではない。同表右端は全体温度差が20℃とした我が国近海域(沖縄県久米島付近)を前提とした浮遊型3MWパイロットプラントの試算例で、民間スタディ・グループがまとめたものである。規模が小さいため3万kW級に較べて、約3倍の建設コストがかかること

表2 コスト試算例（海洋設置型）

①	正味発電出力 (MW)	$\Delta T = 22.4^{\circ}\text{C}$				$\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$
		34.3	51.4	98.1	266.0	3.0
②	*(百万ドル)					
	海洋構造物	82.7	118.9	188.5	282.0	6.4
	冷水取水管	11.3	11.3	22.3	40.0	2.0
	発電システム	50.0	72.4	135.8	350.0	20.8
	送電システム	27.4	28.8	30.2	50.0	0.4
	試運転・調整	1.1	1.3	1.7	3.0	—
③	敷設	25.0	32.0	49.4	60.0	5.2
	設計費	4.5	5.5	6.4	8.0	
④	合計** (百万ドル)	201.5	270.0	434.2	793.0	44.0
⑤	建設コスト (ドル/kW)	5,875	5,254	4,423	2,983	14,670
⑥	温度差を20℃とした時の建設コスト (ドル/kW)	7,343.7	6,567.5	5,528.8	3,728.8	14,670
⑦	発電コスト (ドル/kW)					
	稼働率 70%	0.216	0.193	0.162	0.110	0.431
	年経費率 18%					
⑧	学習効果後の発電コスト (ドル/kWh)	0.151	0.135	0.114	0.077	0.301

*: 1982年半ばドル価値 ** : ②欄の合計と相違するものがあるが原文のままとした。

が示されている。日本近海では、全体温度差はほぼ20℃とすることが妥当と思われる。そこで同表⑤欄に全体温度差を20℃にまとめ直した場合の建設コストを示した。これは、海洋温度差発電では出力が全体温度差のほぼ自乗に比例するので、他を一定として増加比率は1.25倍としたものである。⑥欄には、年間稼働率を70%、年間経費率を18%とした場合の発電コスト（ドル/kWh）を試算した。実用期に入ると、実用1号機にくらべ、リスクは軽減され学習効果や量産効果が見られ、コスト低減に結びつく、この割合は、実用1号機を1.0とするとプロトタイプ1.20、実用8号機では0.69となるという検討例がある。⑦欄に学習効果等による低減率を0.7とした発電コストを示した。小規模プラントでも特別な場所を選べは十分他と競合出来る。特に、赤道直下では温度差も楽に22℃はとれ、稼働率も90%以上となり発電コストは、他の発電システムと十分競合出来る範囲に入っているといえそうである。

エネルギー技術の確立には、長期的展望に立ったしっかりした開発思想と息の長い研究開発が不可欠である。我が国の海洋温度差発電も、実験室規模の研究と並行した実海域での要素研究やシステム研究を取り入れ、両者の間で十分なフィードバックをかけつつ研究開発を進めることが必要な段階に来ているものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 産業技術審議会エネルギー開発部会、サンシャイン計画の新らたな展開について、中間報告（1982.8）
- 2) サンシャイン計画推進本部、サンシャイン計画10年の歩み（1984）
- 3) T. Kajikawa, Preliminary Design of a 1-MWe OTEC Test Plant, J. of Solar Energy Engineering, 104,

（1982）3-8

- 4) T. Kajikawa ら；OTEC Power System Simulator, Proc. of PACON '84, Hawaii (1984), MRM 2/13-19
- 5) 西山ら；周期運動をする凝縮器の伝熱性能に関する研究、機械学会論文誌B 51, 466, (1985) 1944-1999
- 6) T. Kajikawa ら；Heat Transfer Performance of Metal Fiber Sintered Surfaces, J. of heat transfer engineering 4, 1, (1983) 57-66
- 7) H. Takazawa, T. Kajikawa, Condensing Heat Transfer Enhancement on Vertical Spiral Double Fin Tubes With Drainage Gutters, J. of Solar Energy Engineering, 107, (1985) 222-228
- 8) K. Kamimura, M. Araki, Control of Microbiofouling Formed on the Heat Exchanger by Bacteriophage, Proc. of PACON '84, Hawaii (1984) MRM 2/40-46
- 9) H. Kato, K. Yamane, A Design of 100kW Thermo-electric OTEC Experimental Power Plant, Proc. of 8th Ocean Energy Conference, Washington D. C, (1981) 259-267
- 10) エンジニアリング振興協会、海洋温度差発電システムの研究、S59年度サンシャイン計画調査報告（1985）
- 11) T. Mitsui et al, Outline of the 100kW OTEC Pilot Plant in the Republic of Nauru, IEEE/PES Winter Meeting 83WM 212-8, New York (1983)
- 12) 原ら；徳之島OTEC取水管布設工事について、電力土木 188, (1984) 79-89
- 13) 土方ら；低温熱水の膨張による高速ミスト流生成の基礎的研究、日本伝熱シンポジウム、第21回（1984）217-219
- 14) R. H. Vilain, A. E. R. Vitalis, Studies of Cold Water Installation for OTEC Pilot Plant in TAHITI, Conference Record of Oceans '84, Washington D. C (1984) 349-353
- 15) E. J. Francis, D. Richards, OTEC-status and Potential of Private Funding, Proc. of Ocean Energy Workshop, MTS, Washington D. C (1982)