

海洋温度差発電 / 深層水利用の最前線*

池 上 康 之 (佐賀大学理工学部)

1. 緒 言

海洋深層水は、約2000年の歳月をかけて世界の大洋を旅しているといわれている。この海洋深層水を用いたエネルギー開発やその利用が、この新千年紀のスタートをころにして、まさに新しい段階の幕開けと言っても過言でないような状況になってきている。



講演中の著者

これらの海洋利用技術は、地球規模での環境問題およびエネルギー問題の急激な拡大と深刻化とともに、その役割がますます重要になってきている。一方、地球温暖化防止が緊急の課題として懸念されるなか、自然エネルギーの利用促進が有力な解決策として注目されている。海洋利用技術としての海洋温度差発電(Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC)は、自然エネルギーのなかでエネルギー規模および安定性などの点で最も有効なエネルギー源

の一つとしてその実用化が期待されている。また、海洋深層水は、10年前の高知県での深層水汲み上げを契機として、その優れた特性が期待され、学会はもとより産官や一般市民社会からも注目されている。今や、この「海洋深層水」という言葉は、専門用語から一般のなじみある用語になってきたように思える。このような状況のなか4年前に海洋深層水の普及と研究交流を目的として海洋深層水利用研究会が設立され、本研究会は産官学が一体となって国内における中心的役割を担っている。また、これらの流れを後押しするかのよう行政も近年この「海洋深層水」に関する数々のプロジェクトを立ち上げたたり、予定しており大きな活気を呈している。

海洋温度差発電に関する研究は、今から119年前の1881年(明治14年)、世界で最初の火力発電所ができた年まで遡る。この年にフランスのダルソンバール(J.D' Arsonval)が最初に考案したものである。その後、1973年の第一次エネルギーショックをきっかけにして、日本と米国で本格的な研究が行われるようになった。実証プラントは、表1に示すように、近年相次いで建設され、実験が行われてきた⁽¹⁾。しかし、これまでの実証試験は100kWレベルであり、実用化のためには1000kW(1MW)以上での実証試験が不可欠であると長年指摘されてきた。

ところが、海洋温度差発電の実用化に積極的なインド政府は、1MWの実証試験を行うために、佐賀大学と研究プロジェクトをスタートさせた。佐賀大学とインド国立海洋技術研究所(National Institute of Ocean Technology, NIOT)は、平成9年9月30日、『インドにおける海洋温度差発電の共同開発と実証における佐賀大学とインド国立海洋技術研究所間の協力協定の覚書』に調印し、1MWの実証試験の計画を遂行している⁽²⁾。現在では、インドだけにとどまらず、韓国、台湾、スリランカ、中国、フィ

*平成12年1月28日 関西造船協会 定期総会における講演

表 1 海洋温度差発電のこれまでの実証試験

プラント名	ミノオテック	ナウル	徳之島	佐賀大学	HELH
国	米 国	日 本	日 本	日 本	米 国
実 験 年	1978～1979	1982～1984	1982～1984	1985から	1933から
場 所	ハ ワ イ	ナ ウ ル	徳 之 島	伊 万 里	ハ ワ イ
定格出力[kW]	50	100	50	75	210
発電所方式	フ ロ ー ト	陸 上 型	陸 上 型	陸 上 型	陸 上 型
発 電 所	ク ロ ー ズ	ク ロ ー ズ	ク ロ ー ズ	ク ロ ー ズ	オ ー プ ン
建 設 者	Lockheed・Hawaii	TEPCO/TEPC	九州電力	佐賀大学	PICHTR
温海水温度[℃]	26.1	29.8	28.5	28.0	26.0
冷海水温度[℃]	5.6	7.8	12.0	7.0	6.0
作 動 流 体	ア ン モ ニ ア	R-22	ア ン モ ニ ア	ア ン モ ニ ア	水
蒸 発 器	プ レ ー ト	管	プ レ ー ト	プ レ ー ト	接 触 式
凝 縮 器	プ レ ー ト	管	管	プ レ ー ト	接 触 式
冷水管長さ[m]	645	950	2300		1829
冷水管直径[m]	0.61	0.7	0.6	0.4	0.1
正味出力[kW]	18	10	32		40～50

リピンなどで新たなプロジェクトが提案されるなど
 実際進行中である。

このように各国で海洋温度差発電や深層水に関する
 様々な研究プロジェクトが精力的に開始されている
 背景には、地球環境問題の顕在化とともに、他の
 自然エネルギーと同様ここ10数年の間に革新的技
 術開発が行われ飛躍的な効率向上への期待が強まっ
 ていることにある。特に、海洋温度差発電の発電サ
 イクルとして100年近く用いられてきたランキンサ
 イクルと比較して飛躍的に熱効率が向上する可能性
 があるカーリーナサイクルおよび佐賀大学で発明され
 たサイクルが注目されている。

本稿では、海洋温度差発電を中心に海洋深層水の
 近年の動きとあわせて新しい研究成果を紹介し、将
 来の展望について述べる。また、講演中にふれた海
 洋温度差発電に学ぶ技術開発などについても若干述
 べさせていただきます。

2. 海洋温度差発電の原理

海洋の表層部の温海水と深層部の冷海水との間に
 は約10～25℃の温度差がある。この海洋に蓄えら
 れた熱エネルギーを、電気エネルギーに変換する発
 電システムが海洋温度差発電である。図1に、熱帯
 および亜熱帯地域の海洋の垂直方向の温度分布を示
 す⁽¹⁾。

この発電方式には、オープンサイクルとクローズ
 ドサイクル、そしてこれらのサイクルを組み合わせた
 ハイブリッドサイクルの3つに大別される。オープ

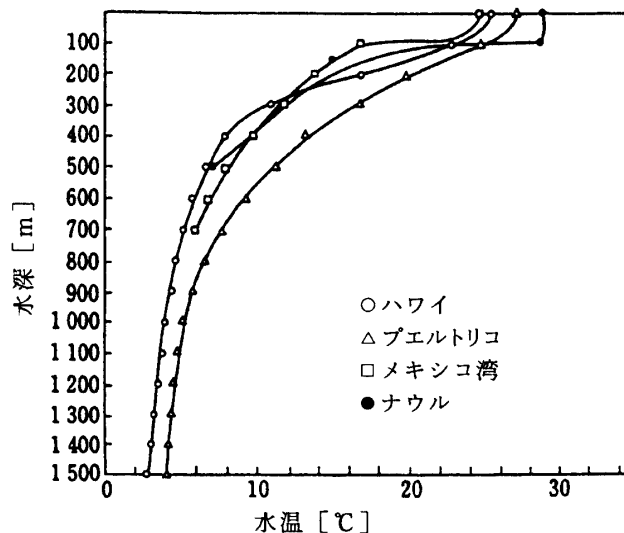


図 1 海水の温度分布

ンサイクルに関しては、米国のHELH(Natural
 Energy Laboratory of Hawaii)を中心に研究開発
 が行われ定格出力210kWの実証実験に成功してい
 る⁽³⁾。しかし、クローズドサイクルを用いる方が経
 済的でより大きな出力の発電が可能であることが明
 らかとなり、近年ではクローズドサイクルを用いた
 海洋温度差発電に関する研究開発の方が主流となっ
 ている。本報では、主にクローズドサイクルについ
 て述べる。

図2に、クローズドサイクル方式を用いた基本的
 な海洋温度差発電システムを示す⁽¹⁾。主な構成機
 器は、蒸発器、凝縮器、タービン、発電機、ポンプ
 からなる。これらの機器はパイプで連結され、作動

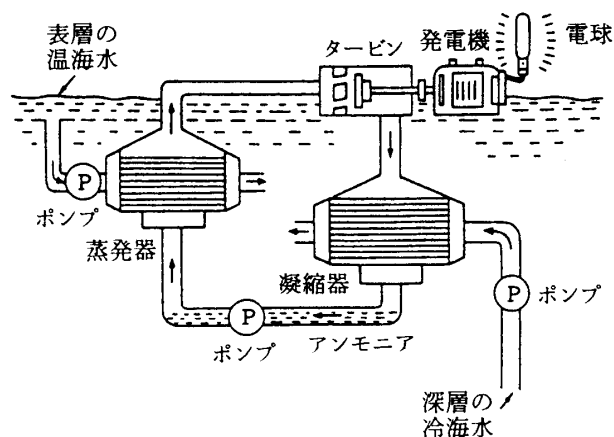


図 2 海洋温度差発電の原理(クローズドサイクル)

流体としてアンモニアが封入されている。

作動流体は、液体の状態ではポンプによって蒸発器に送られる。そこで、表層の温海水によって加熱され、蒸発し、蒸気となる。蒸気は、タービンを通過することによって、タービンと発電機を回転させて発電する。タービンを出た蒸気は、凝縮器で約600m～1000mの深層より汲み上げられた冷海水によって冷却され、再び液体となる。この繰り返しを行うことで、化石燃料やウランを使用することなく海水で発電することができる。

このサイクルは、原理的には従来の火力発電や原子力発電と同じであり、1851年にランキンが確立した、いわゆるランキンサイクルを基本としたサイクルである。クローズドサイクルでは、これまで長年このランキンサイクルについてのみ研究開発が行われてきた。ところが、近年海洋温度差発電に関する新しいサイクルが発明され、海洋温度差発電も新しい段階に入ったと考えられている。

3. 海洋温度差発電に学ぶ技術開発など

特別講演においては、講演の主旨から外れて、日ごろ考えている技術開発などについて触れさせていただいたので、本拙稿でも若干述べさせていただきます。

海洋温度差をはじめとする自然エネルギーは、よく知られている火力発電などの従来型のエネルギーとは、エネルギー変換の観点からも大きく異なる。ひいては、それらの開発に臨む場合においても考え方を変えていかなければならない。

エネルギーには種々の定義の仕方があるが、示強変数(Intensive Quantity: IQ)と示量変数(Extensive Quantity: EQ)の掛け算(IQ×EQ)で表すこ

とができる。力学的エネルギーは、力(IQ)×変位(EQ)、流体のエネルギーは、圧力(IQ)×流量(EQ)。海洋温度差で用いる内部(熱)エネルギーは、温度(IQ)×エントロピー(EQ)である。従来の火力発電では、温度が高いためIQが大きい、自然エネルギーである海洋温度差発電では、IQが原理的に小さいのでEQを相対的に大きくしなければならない。風力発電も圧力(IQ)が小さいので、EQである流量で稼がなければならない。分かり易いイメージに言い換えると、IQは「投入する量」あるいは「押す量」を表し、EQは「引き出す量」あるいは「押し出される量」を表す、と言える。

このように、石油や石炭を用いる火力発電は、IQが非常に大きくなる。数億年かけて出来た密度の高いエネルギーを投入し一瞬で使い切る。今、このエネルギーが枯渇しようとし、さらには、これらによって引き起こされる環境問題が懸念されている。

一方、上述のように自然エネルギーは、密度の小さいエネルギー源なので、EQが大きくなければならない。言い換えれば、EQを経済的に大きく出来れば多くのエネルギーが引き出せる。自然エネルギーは、石油などを投入して得るエネルギーではなく、自然界から「引き出す」エネルギーである。引き出す場合は、引き出すまでの最初の労力は大変であるが、一度引き出し始めると、何も投入せずに自力で生み出せる。それは、本来持っている能力だからである。

「押し込む」から「引き出す」、IQからEQ、このような考え方の転換が、これから重要になってくるように考える。また、EQの技術開発においては、IQ型の技術ではなくEQ型の技術が必要である。例えば海洋温度差発電の実用化において、管式の熱交換器(IQ型の技術)では実用化できなかったものが、高性能なプレート式熱交換器(EQ型の技術)の開発で実用化レベルに達したように。素人の感覚で恐縮であるが、高性能高速艇を目指す造船技術において、高性能なエンジンだけに頼るIQ型の技術から、船本来の能力を引き出す船型や制御性、プロペラの技術(EQ型)が見直されているようである。

全くの子断であるが、教育においても知識を詰め込む教育(IQ型)から、能力を引き出す教育(EQ型)が求められている。

4. 地球環境問題と海洋温度差発電 / 深層水利用

エネルギーおよび環境技術研究開発が地球温暖化

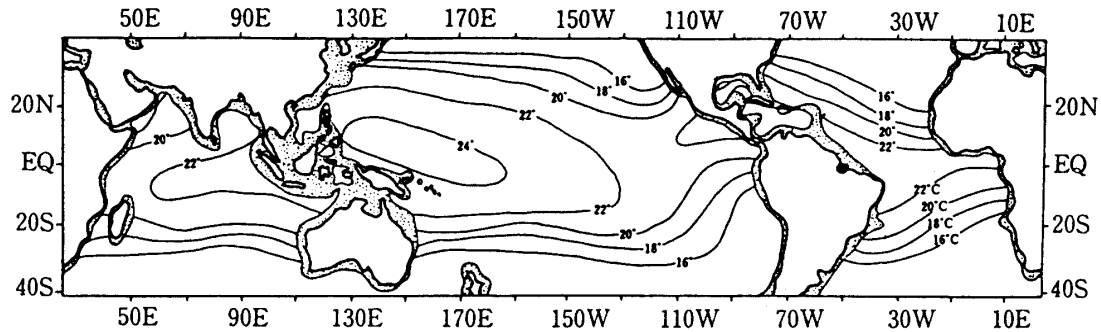


図3 海洋温度差発電の可能な海域

対策の主要な政策の一つとして、近年より明確な位置づけが求められるようになり、各種エネルギーのあり方について総合的な検討が積極的に行われてきている。海洋温度差発電/深層水利用もこのような地球温暖化防止の観点から、その量及び特性が再評価されてきている。

4.1 海洋温度差発電

Wolff⁽⁴⁾は、世界各地の海水の温度分布を調査し、図3に示す海域が海洋温度差発電の設置に適していると述べている。表層と深度1000mの海水との温度差が22℃以上ある海域だけでも、6千万km²になる。Avery-Wu⁽⁵⁾は、図3の範囲内で32km間隔に正味出力200MWの海洋温度差発電を設置すると、1兆kWの発電が可能としている。Dunbar⁽⁶⁾は、世界中の98カ国で海洋温度差発電が可能であることを示している。

日本の経済水域での海洋温度差エネルギーの総量は、試算によると1年間に1014kWhになる⁽¹⁾。これは石油に換算すると約86億トンに相当し、2000年に日本が必要とするエネルギーの約15倍に相当する。仮に、日本経済水域内の温度差エネルギーの1%を利用するとすると、年間8600万トンの石油を節約できることになる。一方、従来のライフサイクルアセスメント(LCA)により、自然エネルギーを利用する発電所は希薄なエネルギーを用いるため、発電所建設によるCO₂排出がかなり大きいことが指摘されていた。一方、近年種々の高精度なLCAが提案され、建設時や運用時のCO₂排出量のLCA手法による評価によって、改めて自然エネルギーの有用性が定量的に明らかにされている。

田原ら⁽⁷⁾は、海洋温度差発電を含めた代替エネルギーの発電方式と石油など既存の発電方式のLCAを行い、自然エネルギーの中でも、特に水力発電とともに海洋温度差発電に利があることを示している。表2に、田原らによる各発電方式の1kWh

表2 各発電方式の1kWhあたりのCO₂排出原単位

発電方式	kg-CO ₂ /kWh
石炭火力	0.916
石油火力	0.756
LNG	0.563
水力	0.017
OTEC (2.5MW)	0.119
OTEC (100MW)	0.014
太陽電池	0.153

文献(7)より作成

あたりのCO₂排出原単位を示す。100MWの海洋温度差発電の場合、石炭火力発電の約1.5%、LNGの2.4%、太陽電池に対しても約10%と極めて僅かな排出量であることが確認できる。このような評価により、海洋温度差発電は、二酸化炭素削減を含めた地球温暖化対策の有力な解決策の一つとして従来以上に期待されている。

4.2 海洋深層水利用

海洋深層水は、安定的な冷熱エネルギーを保有し、海洋での基礎生産に必須の窒素・リン等の栄養塩に非常に富んでいる。例えば、この海洋深層水が自然に湧昇している海域は大漁場となっている。地球上にはこのような湧昇海域は全海洋面積の0.1%しかないといわれているが、湧昇海域のみで世界の魚類生産の半分を賅っているといわれている⁽⁸⁾。

このような海洋深層水を有効に利用する検討が日本及び米国を中心に近年一層積極的に行われている。米国では、ハワイにある深層海水研究所、国内では、既に高知県海洋深層水研究所(1989年設立)、富山県水産試験所の深層水利用研究施設(1995年完成)で研究開発が行われており、2000年には沖縄県久米島において深層約600mから日量約15000トンの海洋深層水を汲み上げる研究所が完成する予定である。

海洋が保有する冷熱エネルギーも、発電後十分に空調用として利用可能であり、その量は膨大である。化石燃料を用いた火力発電による電気を空調設備で利用する場合と比べて大幅な二酸化炭素削減になる。一方、この冷熱を利用し淡水化装置と海洋温度差発電をハイブリッドに組み合わせることにより、化石燃料を用いずに淡水を造水することができる。

このように現在、地域振興を目指した海洋深層水に関する幅広い分野での研究開発が、産官学の有機的な連携のもと精力的に行われている。海洋深層水を利用した食品、化粧水など50種類以上の商品が既に開発されており各方面で注目されている。また、海洋深層水は、医療面でも期待されている⁽⁹⁾。

5. 海洋温度差発電 / 深層水利用における新しい技術開発

近年、海洋のもつ熱エネルギーと海洋深層水の保有する物資の特性を総合的に利用することによってトータルのエネルギー効率を高め、海洋温度差発電の発電コストを相対的に下げることができる海洋温度差発電 / 深層水の多目的利用が注目されている(図4)。

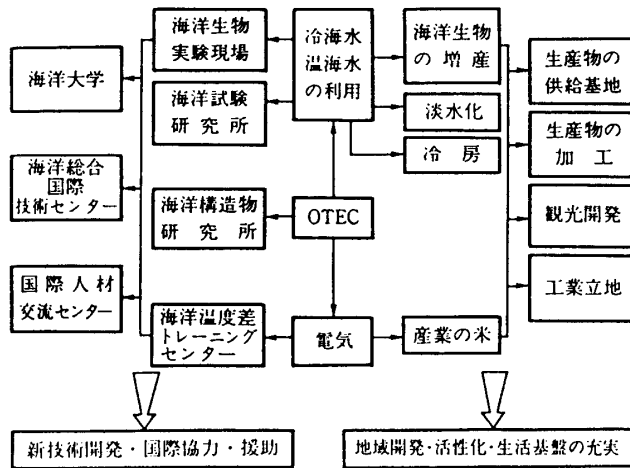


図4 海洋温度差発電の多目的利用

一方、多目的利用の推進によるトータル効率の向上とともに、海洋温度差発電の発電効率そのものを飛躍的に高める研究開発が近年新たな展開を始めている。

5.1 カリーナサイクル

カリーナ(A. A. Kalina)は、従来の発電サイクルとは異なった新しいサイクルを発明した。昭和62年海洋温度差発電用として日本国内でも特許(特公

昭62-39660)を取得している。このカリーナの特許では、従来のランキンサイクルと比較して熱効率が約2倍向上し、冷海水流量は約40%減少し、必要な熱交換器面積も約40%減少する、と示している。このサイクルは今日カリーナサイクルと呼ばれ、海洋温度差発電以外にコンバインド発電、地熱発電、ゴミ発電などそれぞれの発電方式に適したサイクルが10数種類提案されている。図5にカリーナサイクルを用いた海洋温度差発電の概念図を示す。従来のランキンサイクルでは作動流体として純物質(アンモニアやフロン)が用いられていたが、カリーナサイクルでは、作動流体に水とアンモニアの混合物質が用いられる。

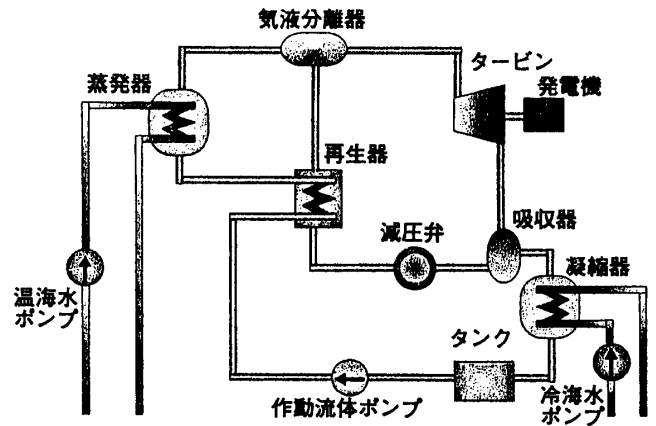


図5 カリーナサイクル

著者らは、このカリーナサイクルに注目し理論的考察を行った。その結果、温海水入口温度が28℃、冷海水入口温度が4℃のときランキンサイクルでは、サイクル熱効率は約3%であるが⁽¹²⁾、カリーナサイクルでは、約5%にもなることを示した。

しかし、カリーナサイクルでは、作動流体にアンモニア/水の混合物質を用いるため、純粋のアンモニアを利用するランキンサイクルに比較して、蒸発器および凝縮器の性能が低下する欠点などが懸念されている。

5.2 ウエハラサイクル

著者らはカリーナサイクルの欠点を補うために図6に示す新しいサイクルを佐賀大学方式として考案した。このサイクルは、1994年海洋温度差発電国際会議(IOA'94)で発表以来「ウエハラサイクル」と呼ばれている。このウエハラサイクルは、カリーナサイクルが1個のタービンに対して、2個のタービンを用いる。第1段のタービンを出力した蒸気を抽気

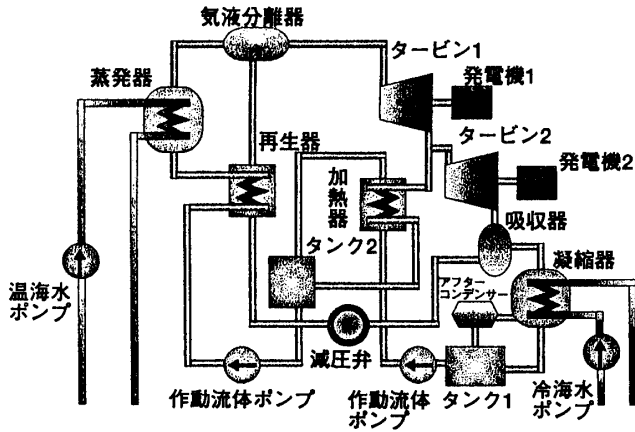


図 6 ウエハラサイクル

し、凝縮器の負荷を低減させるなどの工夫がなされている。ウエハラサイクルの実機においては、2つのタービンを1つにし、従来の発電所で用いられている抽気方式を行うことによってこのサイクルを実現させる。

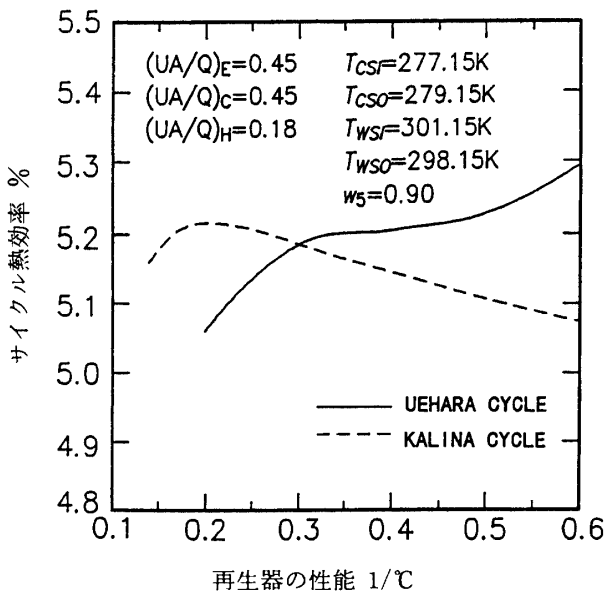


図 7 熱効率の比較

図7に、著者らの計算によるカーリーナサイクルとウエハラサイクルの熱効率の比較を示す⁽¹³⁾。最大で比較すると、ウエハラサイクルの熱効率は、カーリーナサイクルの熱効率より約1%~2%高くなっている。著者らは、理論的研究成果を実験的に立証するために図8に示す発電出力9kWの実証プラントを建設し、現在研究を行っている。

この新しいサイクルを用いた海洋温度差発電が実用化されれば、海洋温度差発電の経済性は飛躍的に

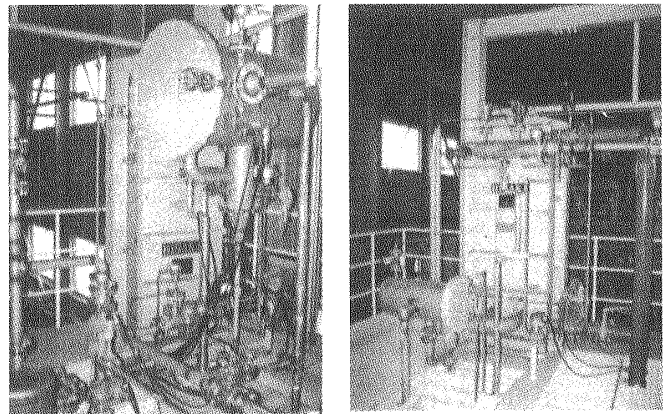
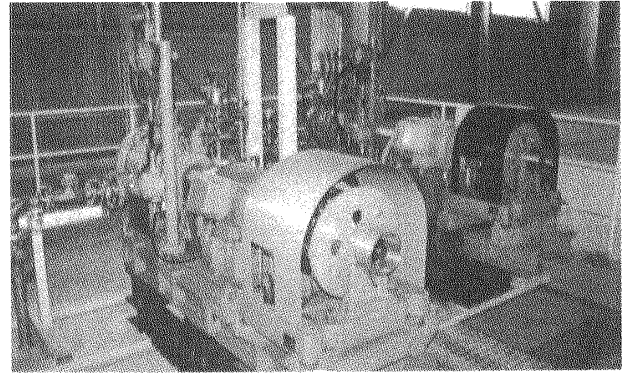


図 8 ウエハラサイクルの実証試験プラント

向上することが期待される。ウエハラサイクルは、インドのプロジェクトにおいても採用される予定である。

一方、紙面都合上省略するが、これらの技術は、これまで利用し難かった船用機関での廃熱を利用した発電システムへの適応が可能になる⁽¹⁸⁾。特に、システムの高効率化とともに、中低温域へのアンモニア/水の利用が拡大できる。

5.3 インド洋での1000kW実証試験

インドは、自然エネルギーの利用推進に積極的に取り組んでいる。風力発電一つ取ってみても、その発電設備容量は1997年末で日本の18MWに対してインドは940MWである⁽¹⁴⁾。インド政府は、この風力発電などと同時に極めて重要視しているのが海洋エネルギーである。海洋エネルギーの中でも、特に、海洋温度差発電と波力発電の実用化に向けて重点的に取り組んでいる。

海洋温度差発電についてインド政府は、量質ともに21世紀の重要なエネルギー源の一つとして大きな期待を寄せている。これまでの調査の結果、図9に示す範囲(約 $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2$)で海洋温度差発電が

表 3 実証プラントの仕様⁽¹⁷⁾

温海水入口温度	28℃	蒸発温度	24.2℃
冷海水入口温度	8℃	凝縮温度	14.3℃
冷海水取水管長	800 m	蒸発器総伝熱面積	2,359 m ²
冷海水取水管径	1.5 m	凝縮器総伝熱面積	2,071 m ²
発電出力	1000.0 kW	蒸発器プレート枚数	1,144 枚
正味出力	616.7 kW	凝縮器プレート枚数	1,004 枚
温海水ポンプ動力	118.5 kW	温海水流量	24,159 t/h
冷海水ポンプ動力	242.6 kW	冷海水流量	13,535 t/h
作動流体ポンプ動力	22.2 kW	評価関数	7.2 m ² /kW

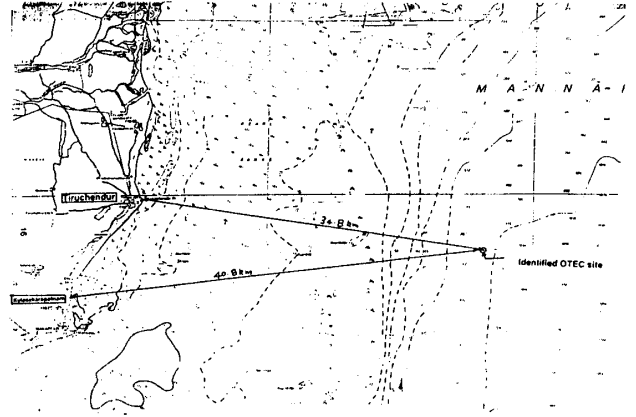


図 10 インドの実証試験のサイト⁽¹⁶⁾

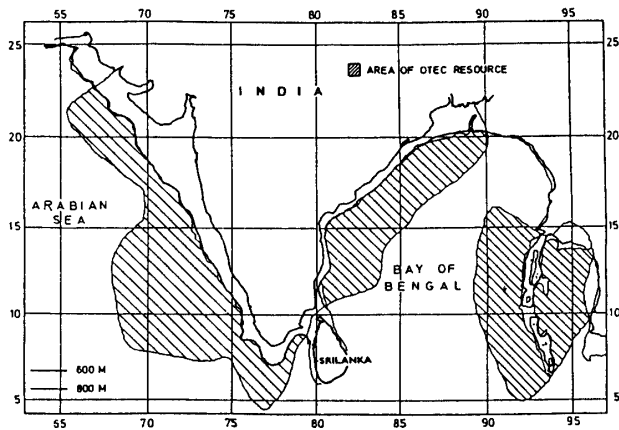


図 9 インドにおいて海洋温度差発電が可能な海域⁽¹⁶⁾

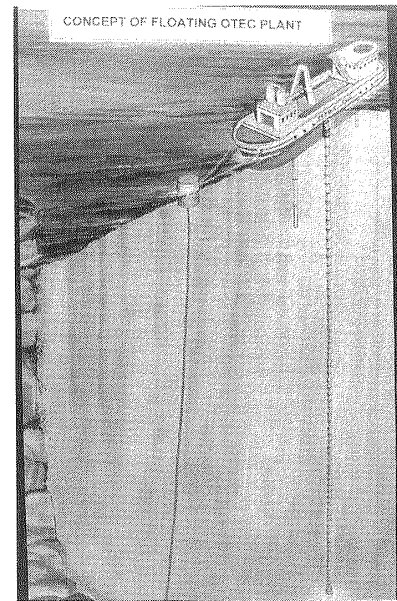


図 11 インド洋での 1MW 海洋温度差発電の概念図

可能であり、そのポテンシャルは約 180,000MW であることを明らかにしている⁽¹⁶⁾。そこで、NIOT は 5MW 規模の海洋温度差発電商用プラントの実用化を目的とし、1MW の実証試験プロジェクトを開始した。このプロジェクトの遂行に際して佐賀大学のこれまでの知的資産に着目し、1997 年 9 月にインドにおける海洋温度差発電の共同開発と実証試験のための協力協定を佐賀大学と結んだ。

本年 10 月実証試験を行うべく準備をすすめている。実証試験は洋上式で、その設置予定場所は図 10 に示すようにインド南東部の Tiruchendur 沖 35km に位置する⁽¹⁶⁾。図 11 に、NIOT が作成した 1MW 海洋温度差発電の概念図を示す。

5.4 海洋深層水利用

海洋深層水には、前述の通り、低水温特性、富栄養特性、清浄特性、安定特性などの優れた諸特性が注目され、21 世紀に求められる循環型社会において、再生・循環型のクリーンな大規模資源として期待されている。今日では、これらの特性を活かした研究開発が進み、水産加工食品、飲料水、豆腐、塩、化粧品などが既に商品化され、新しい産業の創出として期待されている。この動きは全国的に広がっている。

このような状況の中、科学技術庁の「海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究」プロジェクトをはじめ、水産庁の漁港高度利用活性化対策事業の対象施設としての海洋深層水供給施設の整備、通産省所管団体等による「エネルギー使用合理化海洋

資源活用システム開発」など、産官学が一体となったプロジェクトが活気を増している⁽¹⁹⁾。先日、政府は、国家産業技術戦略のうち、海洋関連分野の戦略方針を明らかにし、「資源・エネルギー安定供給のための海洋ポテンシャルの活用」など6つの重点的技術開発テーマとしての戦略目標を選定している。このように、益々、海洋深層水の果たす役割、期待が高まっている。

6. 結 言

海洋温度差発電/深層海水の現状などについて述べたが、紙面の都合上ご紹介できたプロジェクトおよび研究開発成果はその一部にすぎない。詳細は、参考文献を参照いただきたい。

海洋温度差発電/深層水利用は、前述のようにこれまでの革新的な発明と研究開発等によって飛躍的な性能向上がなされ、新しい研究開発の段階に入ったといえる。と同時に次世代で果たすべき役割もますます大きくなっている。

特に、インド洋でNIOTと佐賀大学が行っている本格的な1MW海洋温度差発電の実証試験が成功すれば今後海洋温度発電の実用化が飛躍的に進展するものと期待される。

今後も多くの方々海洋温度差発電/深層水利用に関心を持たれ、研究開発が一層進展することを切望する。

参 考 文 献

- 1) 上原春男他：“海洋エネルギー利用技術”，森北出版(1996-4)。
- 2) 佐賀大学理工学部附属海洋温度差発電エネルギー実験施設，“施設概要”(1998-6)。
- 3) Trenka, A. R., IOA Newsletter, 3, 4, 6 (1992)。
- 4) Wolff, P. M., : “Temperature difference resource.”, Proc. 5th OTEC Conf., Miami Beach, Fla., Feb., III, 11 (1978)。
- 5) W. H. Avery and C. Wu : *Renewable Energy from the Ocean - A Guide to OTEC*, Oxford Univ. Press (1994)。
- 6) Dunbar, L. E., Market Potential for OTEC in Developing Nations, Proc. 8th OTEC Conf., Washington, D.C. June (1981)。
- 7) 田原聖隆・小島紀徳・稲葉敦：“LCA手法による発電プラントの評価：CO₂ペイバックタイムの算出”，化学工学論文集, 23-1, pp.88-94(1997)。
- 8) John Ryther, Photosynthesis and Fish Production in the Sea, Science vol.166 (1969)。
- 9) 池田政身・松田雄吉：“アトピー性皮膚炎に対する深層海水入り入浴剤の使用経験”，第2回海洋深層水利用研究会全国集会, pp.28-29 (1998)。
- 10) Ikegami, Y., et. al, : “Antifouling Technology for plate type-heat exchanger by Ozonation”, Proc. Of 2nd JSME-KSME Thermal Eng. Conf., pp.3/105-3/108, (1993)。
- 11) 上原春男・池上康之：“海洋温度差発電の現状と展望”，化学工学, 60-9, pp.19-22 (1996)。
- 12) Uehara, H., and Ikegami, Y., “Optimization of a Closed-Cycle OTEC System”, Trans. of the ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol.112, No.4, pp.247-256 (1990)。
- 13) 上原春男・池上康之・西田哲也：“吸収と抽気作用を伴うサイクルを用いた海洋温度差発電システムの性能解析”，64-624, pp.384-389 (1998-8)。
- 14) 窪谷達雄：“風力エネルギー”，火力原子力発電, 505-49, pp.48-54 (1998)。
- 15) 瀬戸口俊明：“波力発電の現状と将来”，新エネルギープラザNo.76, pp.28-31 (1998)。
- 16) NIOT, Technical Report on Establishment of a 1MW Pilot Ocean Thermal Energy Conversation (OTEC) Plant in Indian Waters, (1998-7)。
- 17) 上原春男・池上康之・三森智裕・M.Ravindran・V. Jayashankar・C. Balaji：“インド洋における1MW海洋温度差発電の実証試験”，第2回海洋深層水利用研究会全国集会, pp.20-21 (1998)。
- 18) 九州・沖縄地区中小造船業・船用工業の地域ビジョン策定に関する調査研究報告書, (財)日本小型船舶工業会(1999)
- 19) 海洋深層水利用研究会ニュース, 第3巻, 第1号, (1999)