

7 海洋温度差発電の技術の現状とロードマップ

7.1 技術を取りまく現状

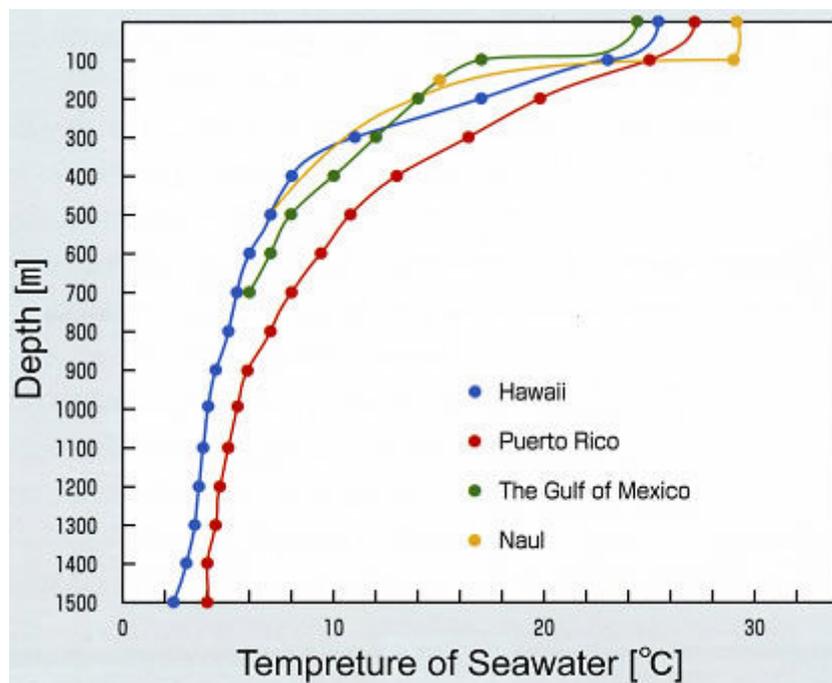
7.1.1 技術の俯瞰

海洋温度差発電（Ocean Thermal Energy Conversion : OTEC）は、表層の温かい海水（表層水）と深海の冷たい海水（深層水）との温度差を利用する発電技術である。

海洋の表層 100m 程度までの海水には、太陽エネルギーの一部が熱として蓄えられており、低緯度地方ではほぼ年間を通じて 26～30℃程度に保たれている。一方、極地方で冷却された海水は海洋大循環に従って低緯度地方へ移動する。移動に従い、周辺の海水との間に温度差が生じ密度が相対的に大きい極地方からの冷たい海水は深層へと沈み込んでいく。この表層水と深層 600～1,000m に存在する 1～7℃程度の深層水を取水し、温度差を利用して発電する。海洋温度差エネルギーは、昼夜の変動がなく比較的安定したエネルギー源であり、季節変動が予測可能であるため、ベース電源として使え、計画的な発電が可能となる。

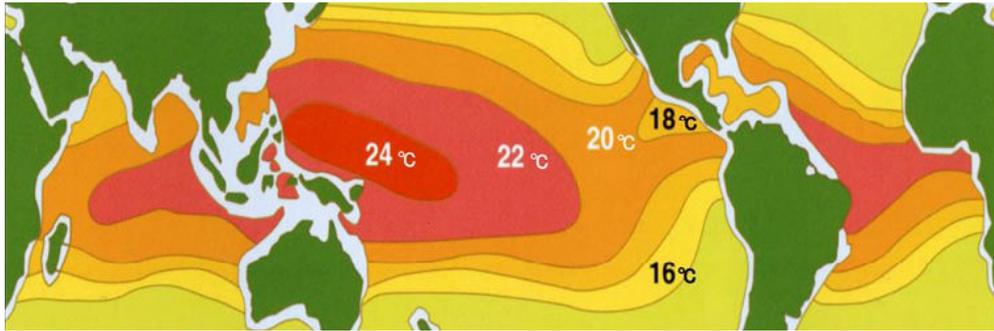
図表 7.1 に熱帯および亜熱帯地域の海水の垂直温度分布を、図表 7.2 に世界の海の表層と深層 1,000m との温度差分布を示す。赤道近くでは 24℃と特に高いことがわかる。

図表 7.1 熱帯および亜熱帯地域の海水の垂直温度分布



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ
(http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc.html)

図表 7.2 世界の海の表層と深層 1,000m との平均温度差分布



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ (http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc.html)

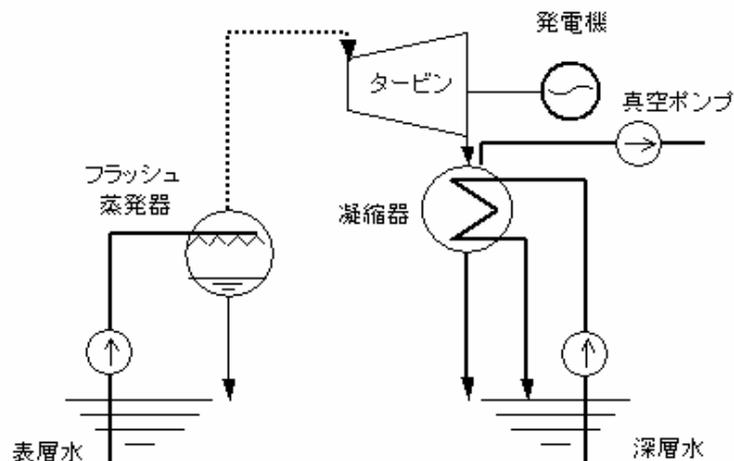
(1) 発電方式¹

海洋温度差発電のシステムは、蒸発器、タービン、発電機、凝縮器、作動流体ポンプ、表層水ポンプ、深層水ポンプで構成され、各機器はパイプで連結されている。主な発電方式として、オープンサイクル、クローズドサイクル、ハイブリッドサイクルの3種類がある。

1) オープンサイクル

オープンサイクルは、蒸発器、タービン、発電機、凝縮器から構成される。システムの構造上作動流体を循環させる必要がないため、作動流体ポンプは存在しない。オープンサイクルでは表層水から作り出した水蒸気を作動流体として用いる。蒸発器、タービン、凝縮器の中は真空ポンプによりあらかじめ減圧されており、表層水を蒸発器に導きフラッシュ蒸発させる。この水蒸気を作動流体としてタービンに送り、タービンを回して発電する。タービンから出た膨張した水蒸気は凝縮器に入り、汲み上げられた深層水によって冷却され、海に排出される。排出された水は飲料用としても使用できる。本システムは作動流体がサイクル内を循環しないため、オープンサイクルと呼ばれる。

図表 7.3 オープンサイクルのシステム図



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ (http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc_02.html)

¹ 本項は佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページをもとに取りまとめている。

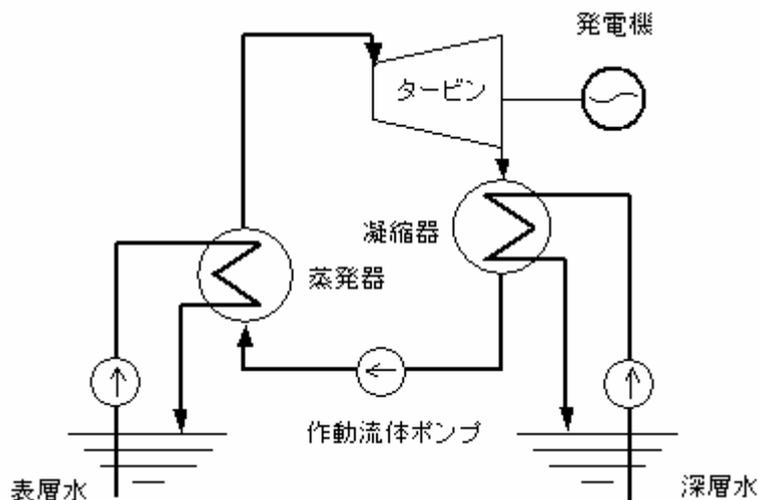
2) クローズドサイクル

クローズドサイクルは、蒸発器、タービン、発電機、凝縮器、作動流体ポンプから構成される。本サイクルのコンセプトは基本的に火力発電所と同じであるが、低温熱源として約 5°Cの海洋深層水、高温熱源として約 18~30°Cの表層水を用いる点、作動流体に低沸点の作動流体が用いられている点などが異なる。

蒸発器、タービン、凝縮器はパイプで繋がれており、低沸点の作動流体が封入されている。作動流体は、蒸発器で表層水から熱を受け取り蒸発する。蒸発した作動流体はタービンに送られて発電した後、凝縮器で汲み上げられた深層水に熱を捨てて液化し、作動流体ポンプにより再び蒸発器に送られる。本システムは作動流体がサイクル内を循環するため、クローズドサイクルと呼ばれる。

作動流体としては、アンモニアやフロン 22 等が適すると言われていたが、経済性や環境への影響等から、現在はアンモニアと水の混合媒体が有望視されている。

図表 7.4 クローズドサイクル海洋温度差発電の概念図



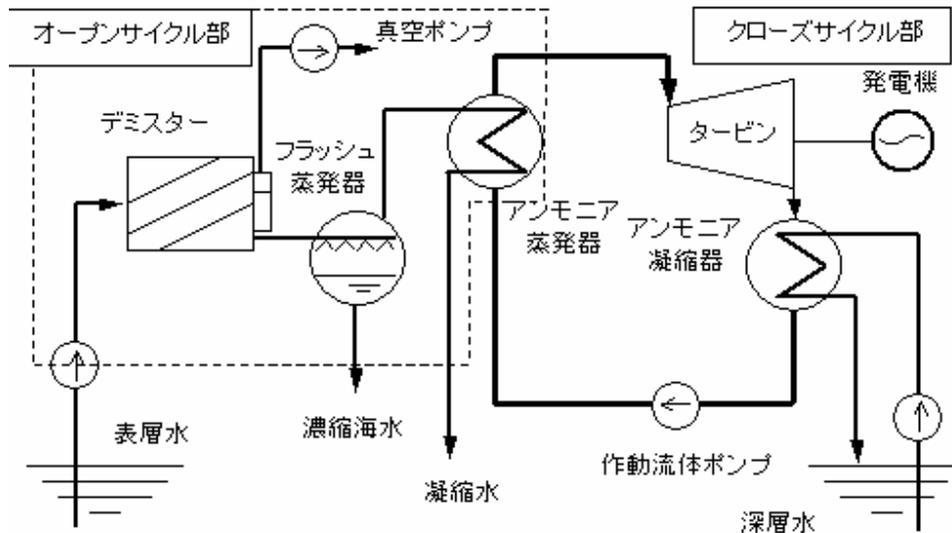
出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ (http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc_02.html)

3) ハイブリッドサイクル

ハイブリッドサイクルは、オープンサイクルとクローズドサイクルを組合せたシステムである。基本構造はクローズドサイクルであるが、蒸発器に導入する高温熱源が異なる。

クローズドサイクルでは、蒸発器に表層水を直接導入するのに対し、ハイブリッドサイクルでは、一旦オープンサイクルの蒸発器に表層水を導入し、そこで得られた水蒸気を高温熱源として使う。このことから、クローズドサイクルに比べ、蒸発器の海水による汚染がなく、性能の低下が防げる。また、オープンサイクル同様、蒸発器から排出された水は、飲料水として使えるため、淡水化技術の応用として考えられている。

図表 7.5 ハイブリッドサイクル海洋温度差発電の概念図



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ (http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc_02.html)

(2) 冷水取水管

深層水を水深 600~1,000m の深層から汲み上げるのに必要となる冷水取水管は、海洋温度差発電の重要な構成要素の一つである。現在、主に図表 7.6 に挙げる材料が使用・提案されている。

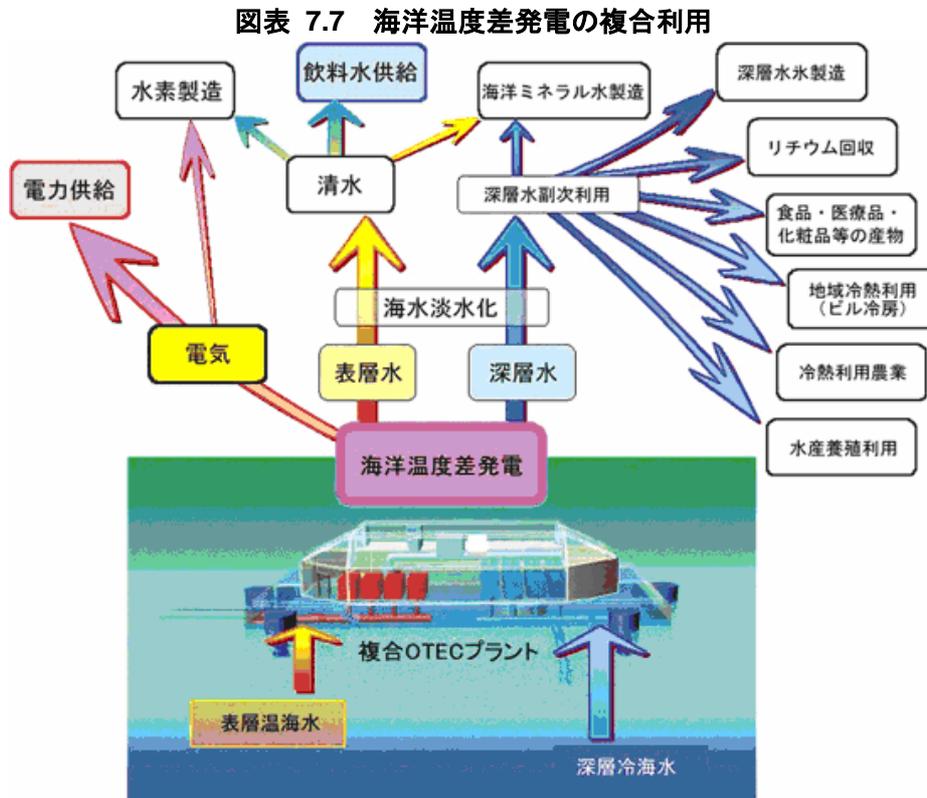
図表 7.6 冷水取水管の材料

材料	長所・特徴	短所・課題
FRP サンドイッチ構造体	<ul style="list-style-type: none"> 軽量 強度を必要に応じて変えられる 	<ul style="list-style-type: none"> 海水中の長期設置による劣化 大口径・長尺化技術の確立が必要 接合部の信頼性
ゴム等の柔軟材料	<ul style="list-style-type: none"> 折りたたみが可能 製造法が確立している 熱絶縁が良い 	<ul style="list-style-type: none"> 技術開発途上 海水の吸収による強度劣化 腐食対策
鋼	<ul style="list-style-type: none"> 機械的性質が十分既知 海洋中への利用実績あり 	<ul style="list-style-type: none"> 建築コストが比較的高い 重量が重くなる
コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 強度が高い 低コスト 耐久性が高い 熱絶縁が良い 	<ul style="list-style-type: none"> プレストレストコンクリートでないと引っ張り応力に弱い 接合部の信頼性

出典：L.A. Vega, Economics of Ocean Thermal Energy Conversion, Proc. Of Oceanology International vol.6 (1994)

(3) 海洋深層水の複合利用

深海から汲み上げられる海洋深層水は、発電以外にも様々な用途に活用することができる。具体的には、海水淡水化、海洋深層水による漁場造成、冷熱利用、水素製造、リチウム等の金属回収などが挙げられる。



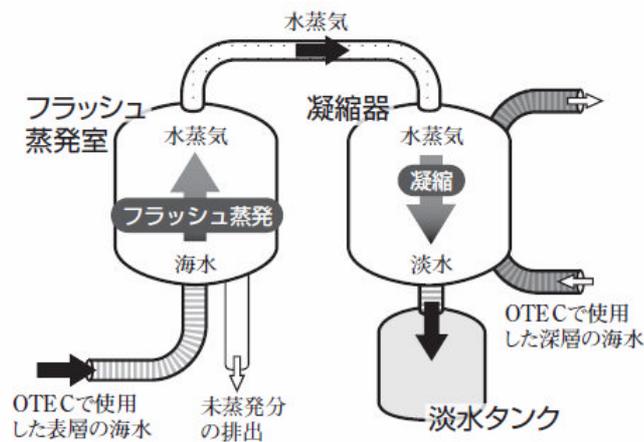
出典：海洋政策研究財団ホームページ (http://www.sof.or.jp/jp/news/51-100/88_3.php)

1) 海水淡水化

オープンサイクルでは、発電の過程で淡水が生成される。クローズドサイクルでは別途淡水化システムを設置する必要があるが、通常の淡水化技術の 1/10 程度のコストで淡水を生成できる。

図表 7.8 に海水淡水化装置の原理を示す。発電に利用された表層水を減圧された容器内に注水してフラッシュ蒸発させ、不純物を除去した水蒸気を凝縮器で冷却する。冷却には発電に利用した深層水を用いる。

図表 7.8 海水淡水化装置の原理



出典：株式会社ゼネシス資料

2) 海洋深層水による漁場造成

海洋深層水には、低温性・清浄性・富栄養性の三大特性があるとされている。このうち「富栄養性」を利用して植物プランクトンを飛躍的に増殖させることにより、動物プランクトン、小魚、大きな魚といった食物連鎖の環を拡大させて、付近に漁場を造成していこうとする取り組みが進められている。

日本においては2003年に海洋肥沃化装置「拓海」が、(社)マリノフォーラム21の「深層水活用型漁場造成技術開発事業」(2000～2007年度)により相模湾平塚沖に設置された(図表7.9)。

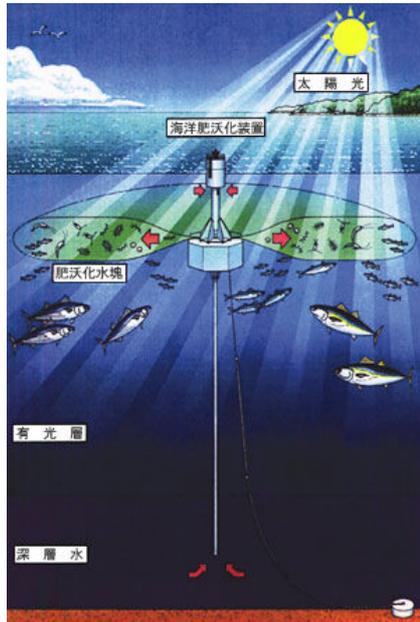
「拓海」は水深205mから約10万 m^3 /日の海洋深層水を汲み上げて、密度調整を行った後に有光層²に放水し、その豊富な栄養素により植物プランクトンの増殖を図り、魚を集めて新たな漁場を形成する浮体式海洋深層水汲み上げ装置である。外洋の厳しい海象条件に耐えるため、浮体形状は縦長構造にして水線面積を極小化することにより波浪の影響を少なくし、また浮体を没水させて風の影響も少なくするように設計された。これにより、5回来襲した台風の際にも安定した稼働状態を保った。

課題としては、海洋温度差発電に適した温度差が得られる地域と、漁場造成を図りたい地域とは必ずしも一致しない点が挙げられる。また海洋温度差発電は、沖縄諸島などの低緯度地域の大水深域が適しているが、こうした地域に多く分布するさんご礁は富栄養性の海水と相性が悪い。導入にあたっては、既存の生態系に十分に配慮する必要がある。

² 太陽光の届く範囲の水層のこと。

図表 7.9 海洋肥沃化装置「拓海」

<作動概念図>



<概観>



出典：海洋政策研究財団ホームページ (http://www.sof.or.jp/jp/news/51-100/81_3.php)

3) 水素製造・リチウム回収等

その他、洋上での水素製造や、海水中のリチウム回収等が提案されている。清浄性の高い海洋深層水は取水管等のメンテナンスが比較的容易というメリットがある。

なお、佐賀大学海洋エネルギー研究センターでは、実海水を用いて 150 日の連続運転に成功し、世界最高の回収効率を得ている。しかしながら海水 1 リットル中のリチウム濃度は約 0.2mg であり、回収量は現在の設備では日量 2g と非常に少ないのが現状である。なお、韓国政府は 2009 年に大規模（年間 2～10 万トン）の大型リチウム回収施設のプロジェクトをスタートさせている³。

³ <http://japanese.joins.com/article/article.php?aid=125926&servcode=300§code=320>

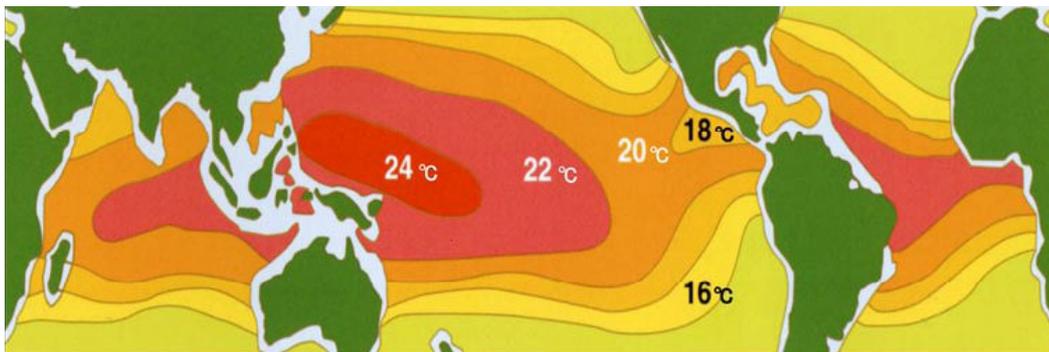
7.1.2 ポテンシャル

(1) 世界

海洋温度差発電では、経済性を成立させるためには平均的に 20℃程度の温度差が必要とされている。海の表層と深層 1,000m との温度差は赤道付近で大きく、インド、東南アジア、オーストラリア南部、メキシコ、ブラジル、アフリカ中部等の沖合が、温度差に恵まれている。

日本では沖縄、鹿児島、小笠原諸島などが適地に挙げられるが、本州においても理想的な温度差のもと発電を行うためには、発電所や工場等の温水排熱の活用が有効と考えられる。

図表 7.10 世界の海の表層と深層 1,000m との平均温度差分布（再掲）



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ
(http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc.html)

IEA-OES⁴の資料によると、世界の海洋温度差エネルギーの理論的な年間発電量は、10,000TWhとされている。

図表 7.11 世界の海洋温度差エネルギー資源量

海洋温度差エネルギー	10,000TWh/年
------------	-------------

出典：“Harnessing the Power of the Oceans” (2008, Gouri S.Bhuyan)

(2) 日本

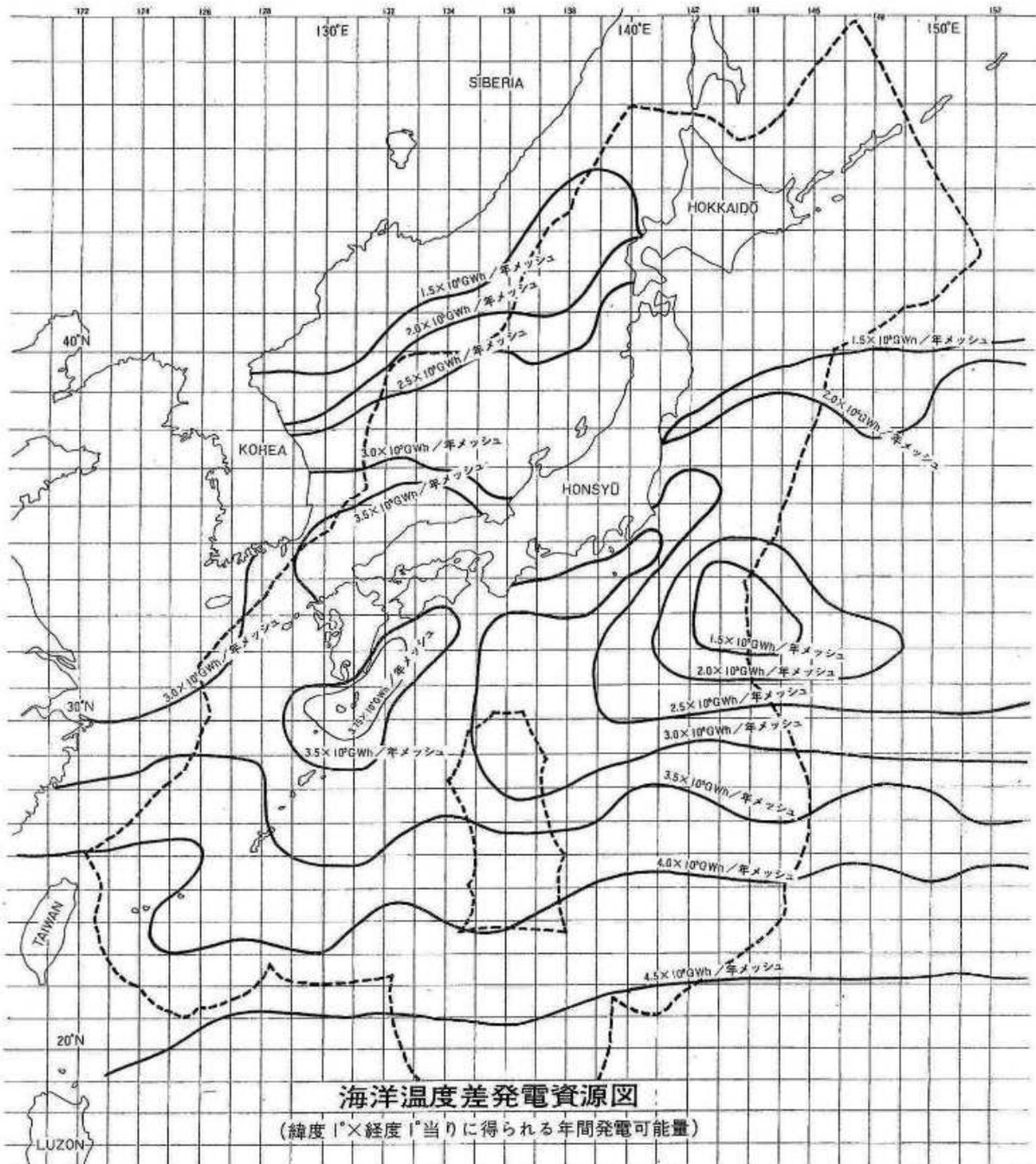
図表 7.12 に日本の経済水域内におけるポテンシャル試算例を示す。日本の経済水域内の熱エネルギーの総量は 106,000TWh と試算されており、このうち 1%を電力として取り出した場合でも発電電力量は 1,060TWh となり、日本の年間電力需要をまかなえる規模となる⁵。また、これは約 1 億トンの石油に相当するエネルギー量である。

なお、海洋温度差発電のポテンシャルをさらに正確に見積もるためには、海象条件、気象条件等の詳細な調査が必要であり、今後の課題の一つに挙げられる。

⁴ IEA-Ocean Energy Systems (<http://www.iea-oceans.org/index.asp>)、IEA（国際エネルギー機関）内の組織。

⁵ 2009 年度の電力需要は、10 社販売電力量合計で 858.5TWh（電気事業連合会確報）。

図表 7.12 日本の経済水域内におけるポテンシャル試算例



- ※ 冷水取水深度 600メートル
- ※ 四季平均温度差より積算
- ※ 海上保安庁水路部海洋資料センター統計(1923-1971)を基礎としている

出典：上原春男「海洋温度差発電読本」(1982年，オーム社)

7.1.3 導入目標量例

(1) 海外

海洋温度差発電については、近年、世界的に再注目され始めたところであり、具体的な導入目標を掲げている国は少ないが、近年フランスや米国、台湾等で導入に向けた動きが加速している（7.1.5 参照）。

米国ハワイ州は同州の再生可能エネルギーの導入計画の中で、海洋温度差発電を 2015 年までに 35MW、2030 年までに 365MW 以上導入する目標を掲げている（図表 7.13）。

図表 7.13 米国ハワイ州の導入目標

	2015 年	2030 年
累積発電容量	35MW	365MW ※再生可能エネルギー全体では 1GW

なお、フランスの海洋開発研究機構（IFREMER）は、最終消費エネルギーに占める再生可能エネルギーの割合を 2020 年までに 20%に引き上げるという環境グレネル会議⁶で提示された目標の達成を前提に、海洋エネルギーの寄与度について試算している。試算は 4 つのシナリオ別に行われており、ベストシナリオにおいて、200MW の海洋温度差発電が導入されると試算されている（図表 7.14）。

図表 7.14 海洋エネルギーの導入見通し（2020 年 20%目標達成への寄与度）

エネルギー種	発電容量 [MW]	電力量 [TWh/年]	電力量 [百万石油換算トン/年]	対 2020 年 エネルギー需要比
洋上風力発電	4,000	12	1.03	5.2%
海洋温度差発電	200	1.4	0.12	0.6%
塩分濃度差発電	55	0.4	0.03	0.2%
潮流発電	400	1.4	0.12	0.6%
海流発電	500	1.25	0.11	0.5%
波力発電	200	0.8	0.07	0.3%
海洋バイオマス	—	—	0.05	0.3%
合計	5,355	17.25	1.53	7.7%

出典：IFREMER 資料

⁶ 2007 年 7 月から 10 月まで、フランスのグレネルで行われた環境会議。政府、地方自治体、雇用者、被雇用者、NGO 団体等の代表が参加した。本会議の提言内容を反映させたグレネル法案が策定され、温室効果ガス削減の長期目標として 2050 年に 1990 年比 75%削減、中期目標として現時点と比較し、2020 年までに 20%削減が法定された。

(2) 日本

日本においては、海洋温度差発電についての導入目標値は掲げられておらず、海洋エネルギー資源利用推進機構（OEA-J）が作成した、2050年に向けた海洋エネルギー開発ロードマップにおいて、海洋温度差発電については2020年までに510MW、2030年までに2,550MW、2050年までに8,150MWの発電規模が想定或いは期待されるとしている。

図表 7.15 日本における海洋温度差発電の導入ロードマップ

	2008年	2020年まで	2030年まで	2050年まで
想定或いは期待される発電量	0 TWh/年	2.5TWh/年	12.5TWh/年	40TWh/年
想定或いは期待される発電規模	0 MW	510MW	2,550MW	8,150MW
(参考)		(1MW: 60基) (5MW: 40基) (10MW: 25基)	(1MW: 100基) (5MW: 40基) (10MW: 25基) (50MW: 40基)	(10MW: 40基) (50MW: 55基) (100MW: 50基)

前提条件) 発電端出力に対する設備利用率: 56%

出典: 海洋エネルギー資源フォーラム資料 (2008, 海洋エネルギー資源利用推進機構)

7.1.4 導入実績

現在、商用運転を行っている海洋温度差発電プラントは国内・海外とも存在しない。実証試験プラントについては、日米欧、およびアジアにおいて建設されたが、現在稼働しているのは、佐賀大学の伊万里実験プラントのみである。

各プラントの詳細については、「5.3.5 技術開発動向」にて詳述する。

7.1.5 技術開発動向

図表 7.16 に世界の主要な海洋温度差発電実証プラントを示す。海洋温度差発電の歴史は古く、1881年にはフランスにてその原理が提唱されていた。1970年代のオイルショック以降、各国にて研究開発が進められてきたが、これまでの実証試験は 100kW 級にとどまっており、実用化には 1MW 以上の実証試験が不可欠であるとされている。以下、欧州、米国、アジアにおける技術開発動向を概観する。

図表 7.16 世界の主要な海洋温度差発電実証プラント

プラント・開発主体・稼働年・形式	仕様	概要
Mini-OTEC －NELHA・ロッキード社 －1978～1979 －クローズドサイクル・洋上	発電出力：50kW 管延長：645m 取水量：75t/h 作動流体：アンモニア 温海水：26.1℃ 冷海水：5.6℃	<ul style="list-style-type: none"> ●発電プラントをバージ⁷（長さ 37m、幅 10m）にのせた、世界初の洋上プラント。 ●1979年8月、ハワイのコナ沖で実験が行われ、正味出力 15kW を得ることに成功。世界で初めて温度差のみで出力が得られることを証明。
ナウルプラント －東京電力・東電設計 －1982～1983 －クローズドサイクル・陸上	発電出力：100kW 管延長：約 900m 取水量：1,410t/h 作動流体：フロン 22	<ul style="list-style-type: none"> ●ナウル共和国の海洋温度差発電プラント。日本政府の補助を受けて東京電力と東電設計が建設。 ●世界で初めて海洋温度差発電による電力を供給。1982年にナウル共和国の小学校の照明に利用された。 ●設計値 100kW の出力を得ることに成功。（ただし、取水管の流出により長期運転に失敗。）
徳之島プラント －九州電力 －1982～1984 －クローズドサイクル・陸上	発電出力：50kW 管延長：2,400m 取水量：500t/h 作動流体：アンモニア 温海水：28.5℃ 冷海水：12.0℃	<ul style="list-style-type: none"> ●温海水にディーゼル発電の温排水を利用。
伊万里実験プラント －佐賀大学 －1985～2002) －クローズドサイクル・陸上	発電出力：75kW 作動流体：アンモニア 温海水：28.0℃ 冷海水：7.0℃	<ul style="list-style-type: none"> ●温海水はボイラで温度調節し、冷海水は冬場の伊万里湾の表層海水を利用。 ●主に、蒸発器、凝縮器の性能実験を実施。
ハワイのオープンサイクルプラント	発電出力：210kW 管延長：1,829m 作動流体：海水 温海水：26.0℃ 冷海水：6.0℃	<ul style="list-style-type: none"> ●ハワイ島のコナ海岸に建造されたオープンサイクルプラント。 ●1993年には、総出力 213kW の発電に成功。

⁷ 川や運河で砂利等を運ぶ平底船。

<p>伊万里新サイクルプラント －佐賀大学 －2003～現在稼働中 －各種サイクル・陸上</p>	<p>発電出力：30kW (海水淡水化装置とのハイブリッド) 作動流体：アンモニアと水の混合物質</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●ランキンサイクル、カーリーナサイクル、ウエハラサイクルの性能比較試験が可能。 ●カーリーナサイクルおよびウエハラサイクルの作動流体にはアンモニア/水の混合物質を使用。 ●ウエハラサイクルと海水淡水化装置を組合せたハイブリッドシステムを研究。 ●深層水は利用せず、表層水のみを利用した実験プラント ●夏場は表層水を温海水として利用し、冷海水は表層水を冷却することで、冬場は表層水を冷海水側に利用し、温海水はボイラで加温する、あるいは、両熱源とも設定温度に加温・冷却することで、それぞれ温度差を作り、実験を行っている。
<p>インド発電プラント －インド国立化医用技術研究所・佐賀大学 －1997～現在稼働中(海水淡水化) －クローズドランキンサイクル・洋上</p>	<p>発電出力：1MW(目標) 淡水化能力：日量1,000t</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●1MW以上の商用化発電施設を目指し、佐賀大学の技術提携のもとに実証試験を実施。 ●海水淡水化を実施。2007年に深さ約500mの海洋深層水を用いて日量1,000tを達成。 ●日量100トンの海洋深層水を用いた海水淡水化か、2005年より連続稼働中。2010年、新たに3基設置。現在、動力には、ディーゼル発電を用いているため、OTECとの組み合わせを計画中。

出典：「海洋エネルギーの利用技術に関する現状と課題に関する調査」(2008, NEDO) をもとに編集

(1) 欧州

欧州ではフランスが、海洋温度差研究の先導的役割を担っている。フランスにおける海洋温度差発電研究の歴史は古く、科学者 George Claude は、1926年に小さな実験装置を用いて、世界初の海洋温度差発電の公開実験を行った。1930年にはキューバにてオープンサイクルシステムを用いて海洋温度差技術を初めて検証している。1950年以降、石油価格の下落等により研究開発は沈静化していたが、近年になって地球温暖化問題、石油価格の高騰等の影響から、再び海洋温度差発電への関心が高まっており、フランス政府は国をあげて研究開発を推進する意向を示している。現在、タヒチと仏領レ・ユニオンにおいて、10MW規模の海洋温度差発電プロジェクトが計画されている。なお、タヒチのプロジェクトのフィージビリティスタディについて、日本のベンチャー企業である株式会社ゼネシスが受注している。

オランダは、インドネシアの数社と共にバリ島にある100kWのクローズサイクルプラントの研究を成功させている。その他のヨーロッパ各国もまた海洋温度差発電に関するいくつかの基礎もしくは実用的問題の解決に貢献しており、例えば、ノルウェーは汎用性のあるポンプの研究を行った。クロアチアは、モジュール規範のコンセプトに基づき配管構造システムのための熱伝達の計算手順や陸地外での海洋温度差発電の研究を行ってきた。ウクライナでは、複雑な海洋温度差発電システムのエネルギー効率の理論的解析が行われた。ルーマニアでは、システ

ム効率性の改善のために海洋温度差発電の構成要素について研究が行われた⁸。しかし現在ほどの研究開発も終了し、技術者もほとんど残っていない。

(2) 米国

米国では、クローズドサイクルについては1980年代までにはほぼ技術が成熟したと政府は判断し、以降オープンサイクルについての基礎的研究が中心となった、1993年には210kWのオープンサイクル方式海洋温度差発電で総電力213kWの発電を成功させた。しかしその後大きな進展はなく、原油価格の下落とともに、研究開発は衰退した。

近年になり、地球温暖化問題、石油価格の高騰等の影響から、米国においても海洋温度差発電が再び脚光を浴びている。2008年には、米国エネルギー省(DOE)の海洋エネルギー推進プロジェクトの一貫として海洋温度差発電が盛り込まれた。ハワイ州では10MW級の実証試験が計画されており、DOEの支援で2013年の運転開始を目指している。これは、ハワイ州における再生可能エネルギーの導入計画に基づくもので、海洋温度差発電を2015年までに35MW、2030年までに365MW以上の導入する計画が盛り込まれている。その他、グアムなどでも、海洋温度差発電の設置が検討されている。一方、ハワイ州では、海洋深層水を利用した大規模な冷熱利用が検討されている。海洋深層水の冷熱利用で、70-80%の二酸化炭素削減が期待されている。

(3) アジア諸国

近年、インドをはじめとするアジア諸国が海洋温度差発電技術に興味を示しており、日本の研究者との共同研究により発展を遂げている。

1) インド

インド政府は、海洋温度差発電について量質ともに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、インド政府は海洋温度差発電のポテンシャルを約180,000MWと試算している。インド国立海洋技術研究所(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と海水淡水化のプロジェクトを開始した。

「SAGAR SHAKTHI」(サンスクリット語で海から授かる力の意)と命名されたこの実証プラントでは、現在海水の淡水化を行っており、2007年には1,000トン/日の淡水製造に成功している。今後、海洋温度差発電とのハイブリッド化を計画している。

このプロジェクトの遂行に際し、佐賀大学のこれまでの知的資産が注目され、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が佐賀大学との間で結ばれた。本プロジェクト成功後、インドでは積極的に海洋温度差発電の商用プラントを国内に建設する予定で、その規模は約1,000基と計画されている。

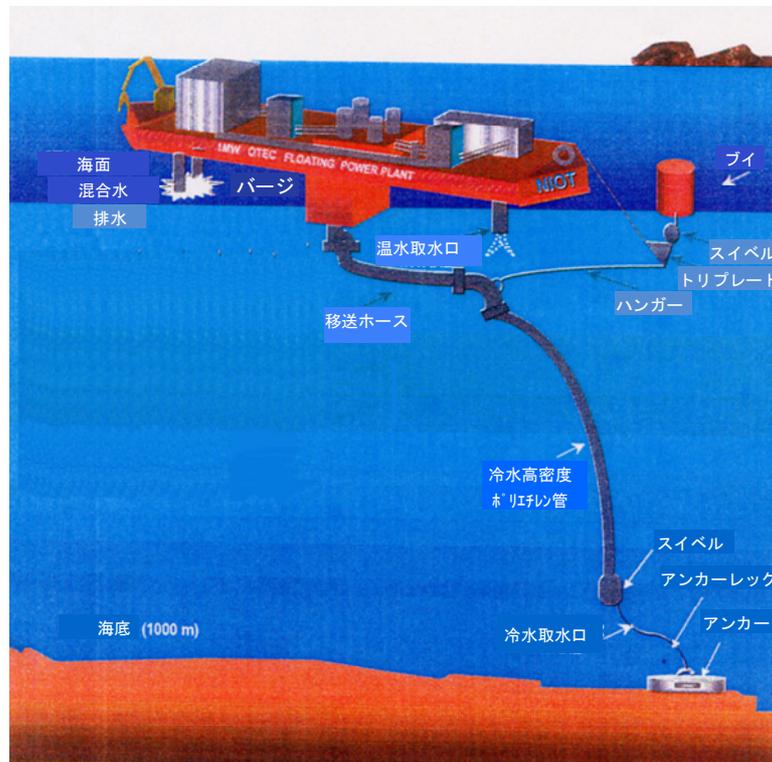
⁸ 佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ (http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc_02.html)

図表 7.17 SAGAR SHAKTHI 実証プラント



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センター ホームページ (<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/index.html>)

図表 7.18 1MW 海洋温度差発電の概念図



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センター ホームページ (<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/index.html>) より作成

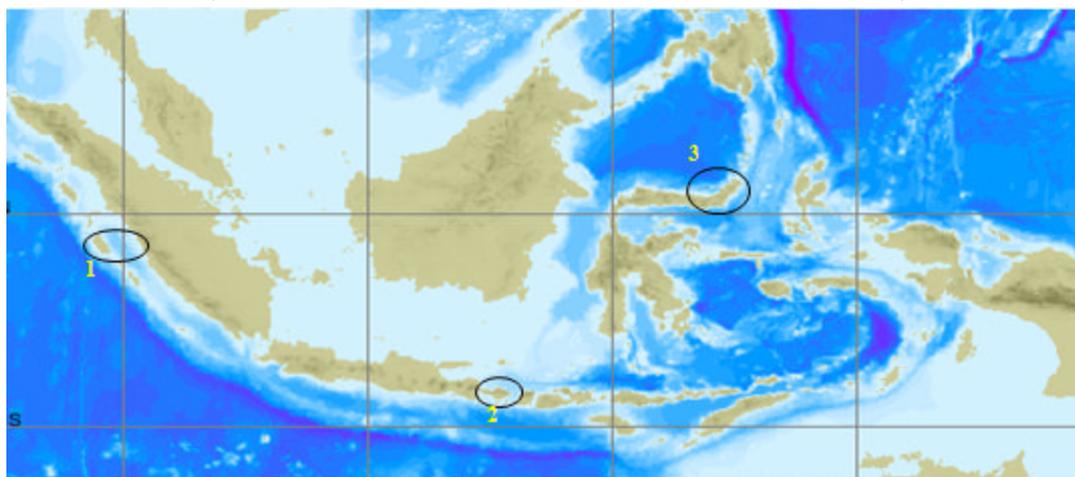
2) 台湾

台湾は海洋温度差発電の導入にとって最も適している場所の一つであり、かつては海洋温度差研究の中心的役割を担っていた。これまでに大規模 OTEC プラントの設計研究に貢献してきた Multi-product OTEC プラントや Master OTEC プラントの幅広い設計に関する研究を成功させている。欧米同様、原油価格の下落とともに研究開発は衰退したが、2007 年に台湾政府の支援のもと、台湾電力が実用化に向けた研究開発を再開している。2010 年は、1 MW の陸上タイプと 100MW の浮体式の基本設計が行われている。

3) インドネシア

インドネシアは、海洋温度差発電の適地が多く、これまで、政府で検討が行われてきたが、原油の下落とともに中断されていた。近年、州政府と大学（Dama Persada University など）を中心に、海洋温度差発電の本格的な導入が検討されている。特に West Sumatra、Bali island、North Sulawesi の3カ所（図表 7.19）を最も有力な候補地としており、2009年にはフィージビリティスタディを行っている。

**図表 7.19 インドネシアの海洋温度差発電導入候補地
(1. West Sumatra 2. Bali island 3. North Sulawesi)**



出典：“POSSIBILITY STUDY OF OTEC & DOWA IN INDONESIA”
(International Symposium on Sustainable Energy and Environmental Protection 2009 (Indonesia) 資料)

(4) 日本

日本は数十 kW 級の実証研究では世界トップレベルにある。日本では当初オープンサイクルの研究開発が行われ、1974年にスタートしたサンシャイン計画および1988年に発足した日本海洋温度差発電研究会（民間主体の組織）において、実用化に向けた研究が進められた。佐賀大学では、クローズドサイクルの研究が集中的に実施されてきた。

1979年には島根沖で日本初の海洋温度差発電の短期間の洋上実験が行われた。本洋上実験では、海洋温度差発電システムの性能、経済性、環境影響等が検討され、そのポテンシャルの大きさが確認されたが、システム性能に起因する経済性の課題や石油価格の下落等により事業性が低くなったことなどから研究開発は中止となった。

しかし、その後も佐賀大学海洋エネルギー研究センターが先導的に研究開発を行い、1994年にウエハラサイクル（図表 7.21）を開発、現在も世界で唯一稼働している伊万里実験プラントにおいて実証研究が行われている（図表 7.20）。平成 21 年度 NEDO 洋上風力発電等技術研究開発（海洋エネルギー先導研究）では、革新的凝縮器を有するアンモニア/水を用いた新しい海洋温度差発電の研究開発に関する佐賀大学の提案が採択されている。

ウエハラサイクルとは、作動流体にアンモニア/水混合液を用い、2段階で発電する点、作動流体の蒸発器と凝縮器に独特のプレート式熱交換器を用いる点が特徴である。世界トップレベ

ルのサイクル熱効率⁹と理論的に評価されており、国内外 12 カ国の特許が確定している。ただし、アンモニア/水混合液を用いるとサイクル熱効率の向上が期待される一方、熱交換器の伝熱性能の低下が懸念される。システムの効率向上には、これらの特性を総合的に評価することが重要である。現在、アンモニア/水混合液の特性を活かした一層の効率向上を目指して研究が進められている。

日本の技術レベルは現在、世界トップレベルであり、近年米国等から協力依頼および共同研究の依頼が多数来ている。しかしながら、MW 級の実証試験はまだ行われておらず、実用化に向けた大きな課題となっている。

先述のとおり、世界的に海洋温度差発電への関心が再び高まっており、米国や台湾、フランスを中心に MW 級のプロジェクトが計画されている。日本の現在の技術的地位を維持するためにも、MW 級の実証試験を早急に実施する必要がある。

図表 7.20 30kW 海洋温度差発電システム

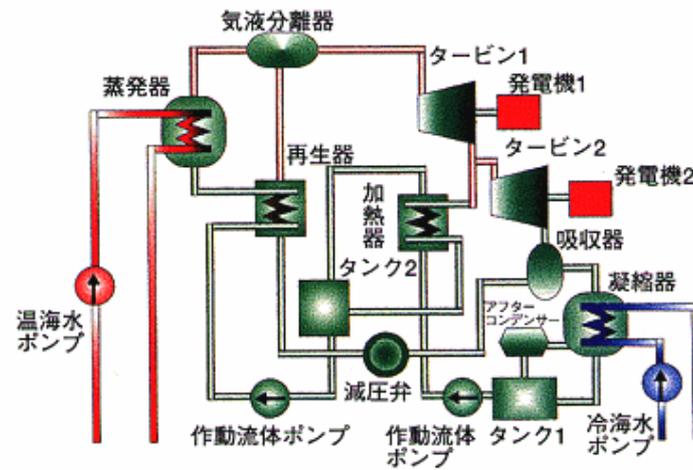


佐賀大学海洋エネルギー研究センターには、30kW 海洋温度差発電装置が設置されている。最近の研究成果では、濃度 99%以上のアンモニア/水作動流体を用いた場合に、温度差 21℃、温水流量 111kg/s、冷水流量 111kg/s で最大正味出力約 20kW を得ている。また、温・冷海水を模擬した海水淡水化実験装置でも効率よく淡水化できることを実証している。

出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センター ホームページ (<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/index.html>)

⁹ 海水温度を表層 28℃、深層 8℃を想定した場合、ウエハラサイクルは、カーリーナサイクルとの比較では、熱交換率で約 10%ほど効率が良くなるとの試算がある（日本海水学会論文集、2005 年）。A.A.Kalina は、特許（昭和 62-39660（1987））に於いて、カーリーナサイクルは、従来のランキンサイクルより、約 2 倍の熱効率になると示している。

図表 7.21 ウエハラサイクル システム図



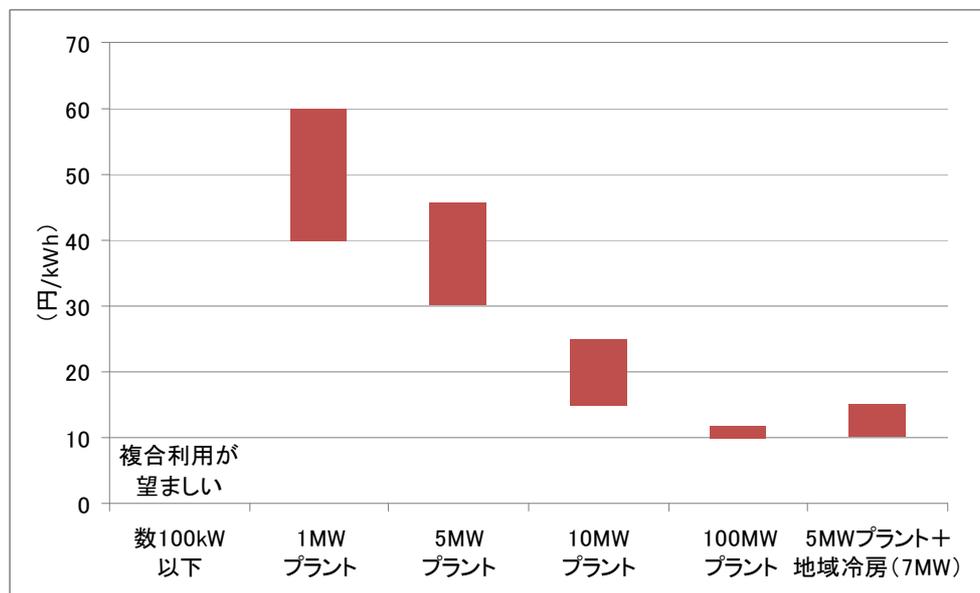
出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ (<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/index.html>)

7.1.6 システム価格、発電単価等¹⁰

海洋エネルギー資源利用推進機構（OEA-J）の海洋温度差分科会が試算した海洋温度差発電の発電コストを図表 7.22 に示す。なお、海洋温度差の発電コストは、温度差、設置域の取水条件（深さ、陸からの距離等）等により異なることに留意が必要である。

数 100kW 以下の規模では発電のみで経済性を成り立たせるのは難しく、海水淡水化技術や海洋深層水の利活用、リチウム回収等との複合利用¹¹が望ましいとされている。プラント規模が大きくなるほど発電コストは低減され、1MW プラントは約 50 円/kWh であるのに対し、10MW プラントでは約 20 円/kWh、さらに 100MW プラントでは約 10 円/kWh にまで低減されると試算されている。経済性向上策として、地域冷房等との組み合わせも提案されている。

図表 7.22 海洋温度差発電の発電コスト



プラント規模	コスト	備考
数 100kW 以下	未試算	複合利用（海水淡水化、リチウム回収等）が望ましい。
1MW プラント	50 円/kWh 程度 (40~60 円/kWh)	量産によって、40 円/kWh 以下になる可能性あり。
5MW プラント	30.4~45.7 円/kWh ^{※2}	海洋温度差発電量のみの評価。
10MW プラント	20 円/kWh 程度 (15~25 円/kWh)	量産によって、更に経済性が向上する可能性あり。
100MW プラント	10 円/kWh 程度	量産によって、更に経済性が向上する可能性あり。
5MW プラント+ 地域冷房 (7MW)	10.3~15.3 円/kWh ^{※2}	海洋温度差発電量+冷熱を電力換算して合わせた評価。

※ 試算値の幅は金利の設定条件（3, 5, 8%）による。

出典： OEAJ 海洋温度差発電分科会資料

¹⁰ 1\$=100 円、1 ユーロ=130 円として換算している。以下同様。

¹¹ 詳細は P369 を参照のこと。

7.1.7 推進施策・関連法令

(1) 欧州

EU の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 7.23 に示す。EU は、エネルギーセキュリティ、化石燃料依存からの脱却、社会的・経済的団結等を背景に、地球温暖化対策に係る野心的な目標を掲げ、積極的な環境・エネルギー政策を打ち出している。

図表 7.23 欧州における主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
再生可能エネルギー白書 ¹² (1997)	<ul style="list-style-type: none"> 2010 年までに EU 内のエネルギー消費量の 12% を再生可能エネルギーで賄う目標を設定（法的拘束力なし）。 目標達成に向けた行動計画を策定。
再生可能電力推進に関する欧州指令 ¹³	<ul style="list-style-type: none"> 2010 年までに電力供給量の 21% を再生可能エネルギーでまかなう目標を設定。 加盟各国に示唆的目標を設定（法的拘束力なし）。 目標達成は困難な見通し（2010 年までに 19% の達成見込み）。
バイオ燃料促進に関する欧州指令 ¹⁴	<ul style="list-style-type: none"> 2010 年までにガソリン、ディーゼル油の 5.75% をバイオ燃料で代替する目標を設定（法的拘束力なし）。 目標達成は困難な見通し。
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令 ¹⁵	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能電力推進に関する指令とバイオ燃料促進に関する指令を修正、廃止する新たな指令。 2020 年までに EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20% にする目標を設定。 2020 年までに運輸部門における再生可能エネルギーの割合を 10% にする目標を設定。 各国に法的拘束力のある目標値を設定。

<再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令>

2007 年 3 月、欧州理事会は、EU の地球温暖化対策として以下 4 項目について合意した。

- 2020 年までに、EU 全体の温室効果ガス排出量を 1990 年比で少なくとも 20% 削減する。
- 2020 年までに、EU 全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を 20% に引き上げる。
- 2020 年までに、各国の輸送用燃料におけるバイオ燃料の比率を 10% に引き上げる。

¹² COM(1997)599 “Energy for the Future: Renewable Sources of Energy”

¹³ Directive 2001/77/EC on the promotion of the electricity produced from renewable energy source in the internal electricity market

¹⁴ Directive 2003/30/EC on the promotion of the use of biofuels and other renewable fuels for transport

¹⁵ Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

- 4) 新規化石燃料発電所への CO₂回収・地中貯留 (CCS) システムの設置に向け、各国間で協力して技術開発、法的枠組み作り等を進める。

再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令は、上記 4 項目のうち 2) と 3) を達成するための手段や国別目標値を具体化したもので、再生可能電力推進に関する欧州指令 (2001) とバイオ燃料促進に関する欧州指令 (2003) を修正、廃止する指令である。

図表 6.19 に EU 加盟各国における 2020 年時点の再生可能エネルギー比率の目標値を示す。本指令は「2020 年までに 20%」という目標を達成するために、法的拘束力のある目標値を加盟各国に課している。国別目標値の設定にあたっては、再生可能エネルギーに関する各国の状況や経済力等が考慮されている。

図表 7.24 EU 加盟国の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー比率の経年変化と 2020 年目標値

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES” (2008, BMU)、Directive 2009/28/EC より作成

(2) 米国

米国の主要な推進施策・関連法令を図表 6.20 に示す。世界第 1 位の CO₂ 排出国として、米国の地球温暖化対策推進の必要性が高まる中、オバマ政権の発足に伴い、グリーンニューディールという政策方針のもとで再生可能エネルギーの導入普及に向けた動きが加速している。

海洋温度差発電については、これまで大きくフォーカスされることはなかったが、近年 PTC（生産税控除、後述）の対象エネルギーに海洋温度差発電が追加されており、注目が高まっている。

図表 7.25 米国の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
2005 年エネルギー政策法 ¹⁶ (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • 包括的なエネルギー法案。エネルギーインフラの強化、エネルギー効率の向上、再生可能エネルギーの利用拡大、在来型燃料の国内増産等を掲げる。 • 再生可能エネルギーについては、再生可能燃料基準（RFS）¹⁷を導入した他、政府機関の再生可能電力比率を 7.5%に引き上げる目標を設定。また、各種インセンティブ制度を認可・拡充。
ITC（投資課税控除） (Federal Business Investment Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> • 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。 • 太陽光発電の控除率は 30%。
PTC（生産税控除） (Renewable Energy Production Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> • 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。 • 条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。 • 太陽光発電は対象外。 • <u>エネルギー改善・延長法により、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電を対象技術に追加。</u>
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	<ul style="list-style-type: none"> • 2009 年 2 月に成立した米国経済再生法により、米国財務省による本助成制度を創設。 • 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。
MACRS（修正加速度償却法） (Modified Accelerated Cost-Recovery System)	<ul style="list-style-type: none"> • 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。 • 太陽光発電の投資に対しては、5 年間の加速的な減価償却が適応できる。

出典：各種資料より取りまとめ

¹⁶ Public Law 190-58, Energy Policy Act of 2005, Aug. 2005

¹⁷ 再生可能燃料基準（Renewable Fuel Standard）。自動車用燃料等へのバイオ燃料の使用を義務付けるもの。

① 2005 年エネルギー政策法¹⁸

2005 年エネルギー政策法 (Energy Policy Act of 2005) は、1992 年に成立した「1992 年エネルギー政策法」を踏まえ、より包括的なエネルギー法案として策定された。「エネルギー効率」「再生可能エネルギー」「石油・天然ガス」「石炭」「原子力」「自動車・燃料」「調査・研究開発」等、エネルギーに係る各種項目について、既存の法律の改正、各種インセンティブ制度の策定等が実施されている。

再生可能エネルギーに関しては、連邦政府に対して一定量の再生可能エネルギー由来の電力の買取を義務付けたほか、PTC (生産税控除) や ITC (投資課税控除) 等の各種インセンティブ制度を認可・拡充している (PTC、ITC については後述)。特に ITC については、同法により、商業用太陽光発電システムの税控除率が 10% から 30% に大幅に拡充された。

- 連邦政府に対する再生可能電力買取りの義務付け (2013 年までに 7.5%)。
- 再生可能燃料基準 (RFS) の導入。2012 年に年間 7.5 ガロンの目標を設定。
- 再生可能エネルギーに係る各種インセンティブの延長・拡充。
 - PTC (生産税控除) の期限を延長
 - 住宅用太陽光システム・燃料電池について 30% の ITC (投資課税控除) を創設
 - 商業用太陽光システムの ITC による税控除額を 10% から 30% に引き上げ

② 各種インセンティブ制度

連邦政府による主要なインセンティブ制度には以下が挙げられる。各制度の詳細を図表 7.26 に示す。

- ITC (Federal Business Investment Tax Credit : 投資課税控除)
 - ◇ 1992 年のエネルギー政策法 (Energy Policy Act) により創設。
 - ◇ 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。
 - ◇ エネルギー改善・延長法¹⁹により、太陽エネルギー利用設備、燃料電池、マイクロタービンに係る課税控除が 2016 年まで延長された。また、小型風力発電システム、地中熱ヒートポンプ、CHP が対象エネルギーに追加された。
- PTC (Renewable Energy Production Tax Credit : 生産税控除)
 - ◇ 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。
 - ◇ 太陽光発電は対象外。
 - ◇ エネルギー改善・延長法により、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電を対象技術に追加。

¹⁸“Energy Policy Act of 2005: Summary and Analysis of Enacted Provisions”(Mar. 2006, CRS)、米国総務省資料、Pew Center on Global Climate Change ウェブサイト

¹⁹ Energy Improvement and Extension Act of 2008、金融危機対策関連法案 (Public Law 110-343) の一つ。再生可能エネルギー、CO2 回収・除去技術、エコカー・バイオ燃料、省エネ機器等に係る各種インセンティブが延長、拡充された。

- ◇ 米国経済再生法²⁰により風力発電の控除期間が 2012 年末に延長された。

- Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)
 - ◇ 米国経済再生法により創設。
 - ◇ 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。
 - ◇ 潮流発電、波力発電、海洋温度差発電も同制度の対象。

- Modified Accelerated Cost-Recovery System (MACRS) (修正加速度償却法)
 - ◇ 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。
 - ◇ 太陽光発電の投資に対しては、5 年間の加速的な減価償却が適応できる。

²⁰ American Recovery and Reinvestment Act、2008 年末の金融危機対策として 2009 年 2 月に成立。各種経済刺激策に加え、科学技術、環境保護、各種インフラへの投資、州や地方政府の財政安定化策等が盛り込まれている。

図表 7.26 連邦政府の主要な再生可能エネルギー支援施策

施策名	対象セクター	対象システム	インセンティブ	期限
ITC (投資課税控除)	商業、産業、電気事業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、風力、バイオマス、地熱発電、燃料電池、小型風力発電、地熱利用、マイクロタービン、CHP 等	<控除率> <ul style="list-style-type: none"> 30%：太陽熱利用、太陽光発電、燃料電池、風力発電 10%：地熱利用、マイクロタービン、CHP 	2016/12/31
PTC (生産税控除)	商業、産業	風力発電、バイオマス、地熱発電、埋立地ガス発電、廃棄物発電、水力発電、 <u>潮流発電、波力発電、海洋温度差発電</u> 等 ※太陽光発電、太陽熱発電は対象外	<控除額> <ul style="list-style-type: none"> 風力：2.1 ¢/kWh 閉鎖系バイオマス、地熱：2.1 ¢/kWh 開放系バイオマス、埋立地ガス、廃棄物、水力、海洋エネルギー：1.0 ¢/kWh 	2013/12/31
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	商業、産業、農業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、燃料電池、小型風力発電、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス、廃棄物、地中熱ヒートポンプ、マイクロタービン、CHP、 <u>潮流発電、波力発電、海洋温度差発電</u> 等	<助成率> <ul style="list-style-type: none"> 固定資産の30%：燃料電池、太陽エネルギー関連設備、小型風力、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス 固定資産の10%：その他対象エネルギー 	2011/10/1
MACRS (修正加速度償却法)	商業、産業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、埋立地ガス、風力発電、バイオマス、再生可能燃料(運輸用)、地熱発電、地熱利用、燃料電池、廃棄物利用、CHP、マイクロタービン等	<償却期間> <ul style="list-style-type: none"> 5年：太陽熱利用、太陽光、地熱発電、風力発電、燃料電池、マイクロタービン 条件を満たす設備については、初年度50%のボーナス償却を利用できる。 	2009/12/31

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より取りまとめ

(3) 日本

日本の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 7.27 に示す。我が国のエネルギー自給率は極めて低く、「エネルギーの安定供給」は最重要課題の一つであること、また地球温暖化対策への取組みが急務であること等から、これまで多くのエネルギー政策が展開されてきた。

海洋エネルギーについては、2007 年に海洋基本法が策定され、日本として戦略的に海洋エネルギー開発に取り組む素地が出来た。以下にエネルギー基本計画、技術戦略マップ、海洋基本計画について詳述する。

図表 7.27 日本における主要な環境・エネルギー政策

政策名称	概要
エネルギー基本計画（2003） 第一次改定 2007 年 3 月 第二次改定 2010 年 6 月	<ul style="list-style-type: none"> 「エネルギー政策基本法」（2002）に基づき策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。 2007 年に第一次改定、2010 年に第二次改定を実施。第二次改定では、2030 年までの今後 20 年程度を視野に入れた具体的施策を明示。 再生可能エネルギーについては、2020 年までに一次エネルギー供給の 10%をまかなう目標を設定。
電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法：RPS 法（2003）	<ul style="list-style-type: none"> 電気事業者が新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。
新・国家エネルギー戦略（2006）	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー安全保障を軸に、我が国の新たな国家エネルギー戦略を提示。 ①国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立 ②エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立 ③アジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献を目標として掲げる。
技術戦略マップ（エネルギー技術）（2007、毎年更新）	<ul style="list-style-type: none"> 新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示。 産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的とする。
海洋基本法（2007）	<ul style="list-style-type: none"> 海洋に関する施策を総合的かつ計画的に推進し、我が国の経済社会の健全な発展および国民生活の安定向上を図るとともに、海洋と人類の共生に貢献することを目的とした法律。

	<ul style="list-style-type: none"> ● 本法律に基づき、海洋に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため「海洋基本計画」が策定された。
海洋基本計画（2007）	<ul style="list-style-type: none"> ● 「海洋基本法」に基づき、海洋に関する基本的な計画を定めたもの。 ● 排他的経済水域等における当面の探査・開発の対象を石油・天然ガス、メタンハイドレートおよび海底熱水鉱床とする。 ● 海洋エネルギーに関しては、洋上風力、波力、潮汐発電等の技術開発を支援。
Cool Earth エネルギー革新技術計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> ● 2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するという長期的目標の実現に向け、 <ol style="list-style-type: none"> ①重点的に取り組むべき21の革新技術の選定 ②21技術の技術ロードマップの提示 ③国際連携のあり方の提示 を行っている。
京都議定書目標達成計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> ● 「地球温暖化対策推進法」（1998）に基づき、6%削減約束を達成するために必要な措置を提示。 ● 再生可能エネルギーについて、太陽光、太陽熱、風力、バイオマス、未利用エネルギー（温度差エネルギー、雪氷熱等）等の導入を促進。
エネルギー供給構造高度化法（2009）	<ul style="list-style-type: none"> ● 電気やガス、石油事業者等のエネルギー供給事業者において、非化石エネルギー源の利用拡大、化石エネルギー原料の有効利用を促進することを目的とする。 ● 電力会社に加え、ガス会社や石油会社にも新エネルギーの利用を義務付け。 ● 本法律の枠組みの中で、「太陽光発電の固定価格買取制度」を策定。
各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業	<ul style="list-style-type: none"> ● 図表 7.30 参照

1) エネルギー基本計画

国がエネルギー政策を進めるに当たり、「安定供給の確保」、「環境への適合」及びこれらを十分考慮した上での「市場原理の活用」を基本方針とすること等を内容とする「エネルギー政策基本法」が2002年6月に制定された。「エネルギー基本計画」は、エネルギー政策基本法に基づき2003年に策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。

本計画は少なくとも3年ごとに検討を加え、必要に応じて改定されることが法定されており、2007年3月に第一次改定、2010年6月に第二次改定が実施された。

第二次改定では、エネルギー政策は、国民や事業者の理解・協力のもと、中長期的な視点で総合的かつ戦略的に推進する必要があるとの考えに立ち、2030年までの今後「20年程度」を視野に入れ、以下の目標の実現に向けた具体的施策を明示している。

- ① 資源小国である我が国の実情を踏まえつつ、エネルギー安全保障を抜本的に強化するため、エネルギー自給率（現状18%）²¹及び化石燃料の自主開発比率（現状約26%）をそれぞれ倍増させる。これらにより、自主エネルギー比率を約70%（現状約38%）とする。
- ② 電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力及び再生可能エネルギー由来）の比率を約70%（2020年には約50%以上）とする（現状34%）。
- ③ 「暮らし」（家庭部門）のエネルギー消費から発生するCO₂を半減させる。
- ④ 産業部門では、世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化を図る。
- ⑤ 我が国に優位性があり、かつ、今後も市場拡大が見込まれるエネルギー関連の製品・システムの国際市場において、我が国企業群が最高水準のシェアを維持・獲得する。

再生可能エネルギーについては、2020年までに一次エネルギー供給に占める割合を10%に高めることを目標に掲げている。主な再生可能エネルギーとして、太陽光発電、風力発電、地熱発電、水力発電、バイオマス利用、空気熱や地中熱利用、太陽熱利用、雪氷熱利用等を挙げている。

2) 技術戦略マップ

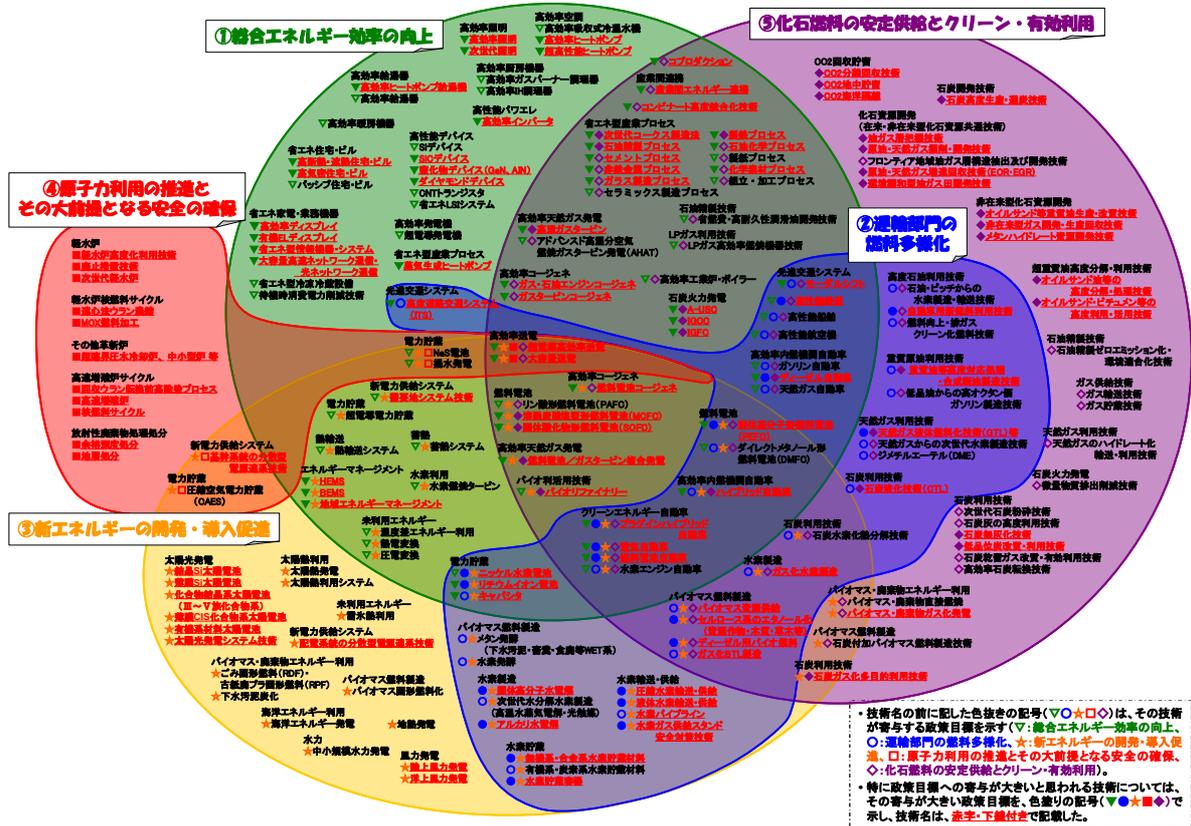
技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示するものである。産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的としている。技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオ、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ、技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップから構成されている。

本技術戦略マップの作成にあたっては、「新・国家エネルギー戦略」（2006）における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・

²¹ 一次エネルギー国内供給のうち、国産エネルギー（再生可能エネルギー等）および準国産エネルギー（原子力）の供給の占める割合。OECD 諸国のエネルギー自給率の平均値は約70%。

導入促進、④原子力の利用、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出している（図表7.28）。本技術戦略マップの中に、海洋エネルギーも一技術として取り上げられ、波力発電、潮汐・潮流発電、海洋温度差発電の技術ロードマップが示されている。

図表 7.28 エネルギー技術俯瞰図



出典：「技術戦略マップ2010 エネルギー分野」（2009，経済産業省）

3) 海洋基本計画

1994年に国連から発行された「国連海洋法条約」により、従来の領海と公海に加え排他的経済水域（EEZ）、大陸棚等の海域区分が導入された結果、沿岸国の権限が拡大し、日本は国土面積の12倍に及ぶ世界第6位の管轄海域を持つことになった。これは海洋利用の可能性の広がりをも意味するとともに、海洋管理という新たな視点での政策を整備する必要性を意味する。また、国際社会における海洋の管理と利用を巡る動きは活発であり、我が国も海洋を管理する立場から明確な姿勢を持って対応していく必要がある。

このような状況を踏まえ、2007年7月20日「海洋基本法」が施行され、海洋に関する基本姿勢が明確化されるとともに、海洋に関する施策を集中的かつ総合的に推進するための体制として、内閣に総合海洋政策本部が設置された。『海洋基本計画』は、「海洋基本法」第16条の規定に基づき、海洋に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、政府が海洋に関する基本的な計画を定めたものである。計画の概要を図表7.29に示す。

図表 7.29 海洋基本計画の概要



出典：環境省 中央環境審議会資料

第1部では6つの基本的な方針、第2部では12の施策計画、第3部ではその他必要な事項が挙げられている。このうち海洋エネルギーに関連する項目は、基本方針の「①海洋の開発及び利用と海洋環境の保全との調和」と「③科学的知見の充実」、施策計画の「①海洋資源の開発及び利用の推進」と「③排他的経済水域等の開発等の推進」である。

この中で、排他的経済水域等における当面の探査・開発の対象を石油・天然ガス、メタンハイドレートおよび海底熱水鉱床とし、必要な政策資源を集中的に投入するとともに、コバルトリッチクラストについては今後の調査・開発のあり方について検討する、としている。その他の海洋エネルギーに関しては、洋上風力発電の設置コストの低減、耐久性の向上のための技術的課題、環境影響評価手法の確立等に取り組むとする他、波力、潮汐等による発電については、国際的な動向を把握しつつ、我が国の海域特性を踏まえ、その効率性、経済性向上のための基礎的な研究を進めるとしている。

4) 各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業

図表 7.30 に、主要な再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業について、海洋温度差発電関連事業を中心に示す。

図表 7.30 2009 年度の再生可能エネルギー導入補助事業例

事業名（補助率等）	制度概要	対象者	対象エネルギー	実施主体
地方公共団体対策技術率先導入補助事業 補助率：1/2 以内	地方公共団体が策定した実行計画に基づく代エネ・省エネ設備導入事業や、公共施設へのシェアード・エスコ事業について、要件を満たす設備の導入費用の一部を補助する。	地方公共団体/地方公共団体の施設へシェアード・エスコを用いて省エネ化を行う民間団体等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省
地域イノベーション創出研究開発事業 （一般型） 初年度目 1 億円以内/件 2 年度目 5 千万円以内/件 （地域資源活用型） 3 千万円以内/件 2 年度目 2 千万円以内/件	産学官の研究開発リソースの最適な組合せからなる研究体を組織し、新製品開発を目指す実用化技術の研究開発を通じて、新たな需要を開拓し、地域の新産業・新事業の創出に貢献しうる製品等の開発を支援する。	研究体	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	経済産業省
新エネルギーベンチャー技術革新事業 委託費：1 千万円/件（1 年、FS）	中小・ベンチャー企業等が保有している潜在的技術シーズを活用した技術開発の推進、および新事業の創成と拡大等を目指した事業化を支援する。	企業/大学/独立行政法人等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	NEDO
地球温暖化対策技術開発事業 【競争的資金】 委託事業：上限なし（予算枠 7 億円） 補助事業：1/2（上限なし、予算枠 2.5 億円）	再生可能エネルギー導入技術実用化開発、省エネ対策技術実用化開発等の技術開発分野ごとに、実用的な温暖化対策技術の開発について、優れた技術開発の実施に係る提案と実施体制を有する民間企業等を公募により選定し、委託又は補助を行う。	民間事業者/公的研究機関/大学等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省

出典：NEDO、経済産業省、環境省資料より取りまとめ

7.1.8 ビジネスモデル

海洋温度差発電において想定される展開は、離島における海洋深層水の複合利用と組み合わせた地域共生システムや、大規模発電プラント、工場等排熱の利用などである。

海洋温度差発電は、大規模化によって発電コストを低減できるとされているが、電力需要の少ない離島などでは10MWを越えるような大規模プラントは設置できない。そこでそれらの地域では、海洋深層水の持つ低温性、富栄養性、清浄性または有用金属を含むなどの多様な付加価値を利用することにより、地域産業の活性化につながる地域受容性の高いシステムを提供することが有効である。

将来的には、大規模エネルギー発電プラントとして、沖縄本島などの大きな電力需要のある地域へのエネルギー供給、洋上のエネルギー補給基地としての展開が考えられる。また、工場等排熱など、地域に賦存する未利用熱エネルギーを活用したシステムも有望である。

(1) 離島における海洋深層水の複合利用との組合せ

海洋温度差発電の商用展開にあたっては、当面のターゲットとして、発電コストの高い離島における分散型電源としての利用が考えられる。また、経済性を向上させるために発電以外の様々な用途を開拓し、海洋温度差エネルギーを最大限に利活用することが得策である。

日本には多くの離島が存在するが、離島の電力系統は本土と連系していない場合が多い。発電設備は一部の島で水力発電、地熱発電、太陽光発電、風力発電や移動用発電設備としてのガスタービン発電機等を有しているものの、概ね全てがディーゼル発電機である²²。ディーゼル発電は、既存電源と比較して発電コストがときに4倍以上になる上、近年の石油価格の高騰によりさらに割高となる傾向にある。従って、実用化の初期段階は離島のディーゼル発電に対しては競争力を有する可能性がある。

また、7.1.1節にて述べたとおり、海洋深層水は、海水淡水化技術、漁場造成、冷熱利用、水素製造技術、リチウム等の金属回収技術など、発電以外に様々な用途に利用可能である。これらを複合的に利用することにより、経済性の向上、高付加価値化を図るとともに、地域産業の活性化につながる地域受容性の高いシステムを提供することが有効である。淡水化プラントや漁場創出など、地域のニーズに合わせて組合せられたこれらのシステムは、エネルギー価格の高い途上国などへの支援策の一つのアプローチとしても有用と考えられる。

(2) 沖合浮体式の大規模発電プラント

海洋温度差発電は大規模化することで、コストのおよそ半分を占める取水管のコスト比率を下げることができるため、低コスト化が可能となる。海洋エネルギー利用推進機構による発電コスト試算では、1MWプラントで50円/kWh程度に対し、10MWプラントでは20円/kWh程度、100MWプラントでは10円/kWh程度まで低減される(7.1.6節参照)。

従って、1MW~10MW程度の中規模なシステムでの技術が実証された後は、10MW~100MWクラスの沖合浮体式海洋温度差発電プラントによる発電事業が有望と考えられている。これら

²² 「離島等独立系統における新エネルギー活用型電力供給システム安定化対策実用化可能性調査」(2006, NEDO)

の沖合浮体式発電プラントは、陸上の電力系統までの距離が近い場合は系統連系を、遠い場合は独立エネルギープラントとして利用される。独立エネルギープラントの場合の用途としては、船舶や飛行機のエネルギー供給基地などの利用方法が考えられている。

(3) 工場等排熱の利用

海洋温度差発電は、経済性を成立させるためには平均的に 20℃程度の温度差が必要とされている。日本では沖縄、鹿児島、小笠原諸島などが適地に挙げられるが、本州においても理想的な温度差のもと発電を行うためには、発電所や工場等の低温排熱の活用が有効と考えられる。

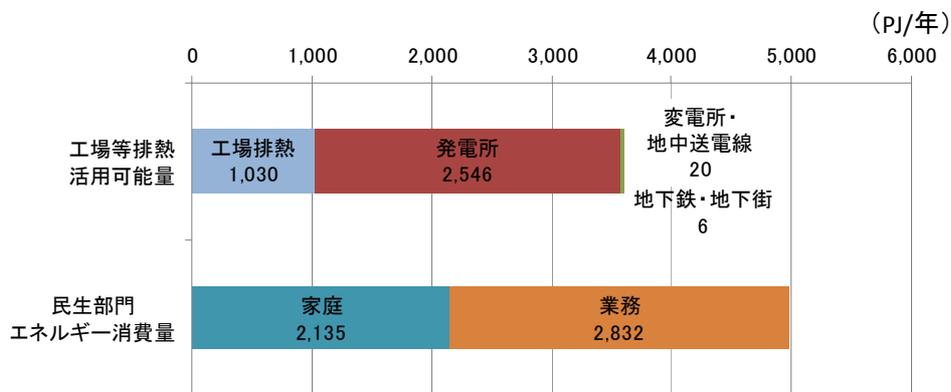
日本における工場等排熱のポテンシャルを図表 7.31 に示す。全国の工場等排熱の賦存量の合計は約 4,143PJ（原油換算 10,845 万 kL）、活用可能量は約 3,602PJ（原油換算 9,430 万 kL）と見積もられている。これは 2007 年度の民生部門のエネルギー消費量 4,967PJ（原油換算 13,003 万 kL）²³の 83%と 73%にそれぞれ相当する膨大な量であり、有効利用の必要性がかねてより議論されている。

工場等排熱は、排熱回収ボイラによる発電、および熱導管による地域熱供給などが一般的である。しかしながら、排熱が低温の場合は発電に不向きであり、また熱の需要地が遠い場合は、熱供給配管からの熱損失がある他、膨大な配管敷設コストがかかり導入は困難となる。

海洋温度差発電は、20℃程度の温度差があれば発電が可能であることから、低温排熱でも十分に発電に利用することができる。また、熱をオンサイトで発電利用することから、熱損失等の熱の運搬に係る問題の解決策ともなる。

富士石油株式会社の袖ヶ浦製油所では、NEDO の「エネルギー使用合理化技術戦略的開発事業」にて、工場の温排水を利用した低位熱発電プラントとして、作動流体にアンモニア水を用いた温度差熱発電の実証試験が行われている。最大出力は約 4,000kW で、2005 年の運転開始から安定した出力が得られており、その有効性が確認されている。なお、同様のシステムである地熱発電に関して、政府は、アンモニア水を用いて地熱を利用して発電するシステムを平成 20 年度より「新エネルギー」として追加しその利用を促進している。

図表 7.31 工場等排熱の活用可能量と民生部門エネルギー消費量の比較



出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007，経済産業省）、
「総合エネルギー統計」（2007，資源エネルギー庁）より作成

²³ 「総合エネルギー統計」（資源エネルギー庁）

7.1.9 国内技術の競争力

現在、海洋温度差発電の実証試験サイトは佐賀大学海洋エネルギー研究センターが世界で唯一のものであり、これまで継続して研究開発が行われてきた日本の技術力は世界に先行している。

我が国の海洋温度差発電技術の優位性は、コア技術となる海洋温度差に特化した熱交換器、世界最高レベルの効率を誇る発電サイクル（ウエハラサイクル：1994年 上原ら）、システム制御技術およびそれらを組み合わせた高度なプラントシステムの設計技術にある。また、日本は海洋深層水の汲み上げ実績は世界トップレベルであり、取水技術の信頼性は高い。

要素部材についても、日本企業が競争力を有するものは多い。海洋温度差発電に取り組むゼネシス²⁴は海洋温度差発電に特化した熱交換器の開発を進め、チタンを利用したプレート型の熱交換器を開発している。海洋温度差発電には、大規模な熱交換器が搭載されるため、世界市場が拡大した際に、ゼネシス社製に代表される日本のチタンプレート型の熱交換器が世界シェアを獲得できれば、相当量（1MW 規模で 12.4～18 トン）のチタンの需要が生まれることとなり、これによる日本のチタン産業への波及効果も期待できる。なお、チタン製造技術については、平成 17 年度からの 4 年間、経済産業省により海洋温度差発電を含む今後の大量チタン利用を想定し、国際競争力を高めるために「高機能チタン合金創製プロセス技術開発プロジェクト」が実施され、チタンの低コスト製造方法等に関する技術開発が行われた。

一方で、1990 年代の実証試験を境に一時研究開発が行われていなかった海外においても、近年各国で研究開発を再開する動きが見られる。

2008 年には、米国エネルギー省（DOE²⁵）の海洋エネルギー推進プロジェクトの一貫として海洋温度差発電が盛り込まれ、ハワイ州では DOE の支援により、2013 年の運転開始を目指した 10MW 級の実証試験が計画されている。フランス、台湾、韓国など数多くの国々においても数 MW 級の開発プロジェクトが計画されている（7.1.5 節参照）。

以上のことから、我が国の技術競争力は、海外の実証プラントが未だ稼働されていない現段階では優位性を保っているが、今後海外の実証試験が進むにつれ、国内技術の流出、実証による海外メーカーの技術力の躍進により、急速に競争力を失う危険性がある。

我が国の技術競争力を保ち、かつ世界市場シェアを獲得していくためには、国内での迅速な実証試験の実施および他国の追随を許さないコア技術の研鑽に取り組む必要がある。

²⁴ <http://www.xenesys.com/japanese/index.html>

²⁵ Department of Energy (<http://www.energy.gov/>)

7.2 技術ロードマップ

7.2.1 目指す姿

海洋温度差発電における数十 kW 級の実証研究では我が国は世界のトップレベルにある。佐賀大学海洋エネルギー研究センターは、現在世界で唯一稼働している伊万里実験プラントを有し、我が国の海洋温度差発電研究を支えてきた。日本は海洋深層水の汲み上げ実績も豊富であり、取水技術の信頼性も高い。また、要素部材についても日本企業が競争力を有するものは多く、チタンを利用したプレート型の熱交換器は日本発の有望技術であるとともに、日本のチタン産業への波及効果も期待できる。

一方、近年の米国や台湾、フランスを中心に MW 級の海洋温度差発電プロジェクトが計画されているように、地球温暖化の問題やエネルギーセキュリティの問題を背景として、世界的に海洋温度差発電に対する関心が高まっている。海外諸国の技術開発が加速化することにより、日本の技術的優位性が低下することが懸念される。

我が国が引き続き、海洋温度差発電の技術開発において指導的立場を維持するためには、当面の技術課題と考えられる MW 級の実証研究を世界に先導して実施することが不可欠である。その上で、海洋温度差発電の実用化を実現するとともに、将来的には、数十～数百 MW 級のプラント技術を確立し、国内導入量の拡大を図ることで、我が国の技術優位性を維持・向上することが重要である。

以上より、海洋温度差発電の目指す姿を図表 7.32 の通り掲げる。

図表 7.32 海洋温度差発電の目指す姿

- 海洋温度差発電の商用化に向けた技術開発を加速し、海外市場を創出するとともに世界最先端の技術的地位を維持し、国内企業の育成、国際競争力の強化を図る。
- 国内産業の育成、低炭素社会の実現、エネルギーセキュリティ等の観点から、国内での導入促進、新規産業の創出を実現する。

7.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応

(1) MW級プラントの実証試験による技術開発の推進、信頼性の向上

海洋温度差発電は、他の再生可能エネルギーとは異なり、スケールメリットが極めて大きいという特性を有している。これまで国内外において、100kW 級の実証試験がなされてきたが、この出力レベルでは経済的に成立しないとされている。世界初となる 1MW 級の実証試験を実施し、日本の技術的優位性を維持することが重要である。実証試験を実施することにより、各種性能値および知的資産を取得するとともに、経済性の成立を根拠付ける試算結果を得ることは海洋温度差発電の信頼性の向上に大きく寄与することとなる。

(2) コア技術の確立

我が国の海洋温度差発電技術の優位性は、コア技術となる海洋温度差発電に特化したチタン製プレート型熱交換器、制御技術およびそれらを組み込んだ高度なプラントシステムの設計技術にあり、これらの技術優位性を保つ必要がある。海洋温度差発電産業は、未だ創出されていない市場であることから、実証研究を通じた市場の創出と合わせ、コア技術の性能を強化することにより、世界トップシェアを獲得、継続していくことを目指す必要がある。

(3) 事業性の向上、発電コストの低減

海洋温度差発電の国内外における導入を図るには、事業性の向上、発電コストの低減が重要である。小規模プラントについては、発電コストの高い離島における分散型電源としての利用に加え、海水淡水化、漁場造成、冷熱利用などの複合利用により事業性を確保することが有効となる。また、将来的には数十～数百 MW 級まで大規模化し、抜本的に発電コストの削減を図る必要がある。従って、短期的には複合利用型の最適設計、長期的には大規模プラント技術の確立、高度な全体システムの構築等が必要となる。

7.2.3 技術開発目標と技術開発の内容

以上、我が国技術の目指すべき姿と、課題と対応から導き出される、海洋温度差発電の技術開発目標、技術開発内容を以下に示すとともに、海洋温度差発電の技術ロードマップを図表 7.35 に示す。

(1) 技術開発目標

技術開発目標については、図表 7.33 の通り設定した。

国内企業の育成、国際競争力の強化については、早期に 1MW プラントの実証試験を実施し、2015 年以降は商用プラントの運用、国内導入の促進、2020 年以降はプラント出力の大型化、世界市場シェアの拡大を目標に掲げた。

プラント規模については、現時点では、100kW 級の実証が実施されている段階にとどまっているが、2015 年には 1MW 級の実証プラントを整備し、2020 年には 10MW 級、2030 年には 50MW 級の海洋温度差発電システムの整備を目指す。

発電コストについては、まずは分散電源としての実用化を図るべく、2015 年には 40～60 円/kWh、2020 年には 15～25 円/kWh を目指す。さらに 2050 年には系統への接続も視野に 8～13 円/kWh を目指す。

図表 7.33 海洋温度差発電の技術開発目標

項目	2015 年	2020 年	2030 年
国内企業の育成、国際競争力の強化	<ul style="list-style-type: none"> • 1MW プラントの実証試験 	<ul style="list-style-type: none"> • 商用プラントの運用開始 • 国内導入の促進 	<ul style="list-style-type: none"> • プラント出力の大型化 • 世界市場シェアの拡大
プラント規模	～1MW	～10MW	～50MW
発電コスト	40～60 円程度	15～25 円/kWh 程度	8～13 円/kWh 程度

(2) 技術開発内容

前項で設定した技術開発目標を実現するため、以下に示す技術開発課題に取り組む必要がある。

図表 7.34 海洋温度差発電の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
コア技術の確立	イニシャルコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> 低コスト材料の開発（低コストチタン製造技術の開発、チタン代替材料の開発等） 低コスト施工技術（新しい取水管の開発、取水管敷設技術の高度化等）
	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> サイクル熱効率の向上 高効率作動流体 高効率新サイクルの開発
プラント運用技術の確立	プラントの維持管理・故障の防止	<ul style="list-style-type: none"> モニタリングシステム 海洋環境の予測システム 遠隔操作システム
	海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> 海洋生物の付着防止（環境に優しい防汚技術、防汚塗料、音・超音波システム、オゾンガスの海水混合等）
	環境影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験による基礎データ収集 環境影響評価手法の確立
事業性の向上	温排水源の有効利用	<ul style="list-style-type: none"> 工場排水、発電所排水等を利用したプラント開発
	海洋深層水の複合利用	<ul style="list-style-type: none"> 複合利用技術の高度化・検証 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 海水淡水化技術 ▶ 海洋深層水による漁場形成 ▶ 冷熱利用（空調など） ▶ 水素製造 ▶ リチウム回収 等

1) コア技術の確立

① イニシャルコストの削減

イニシャルコストの削減には、材料の低コスト化や施工費の削減が必要となる。熱交換器には耐腐食性の高いチタンが用いられることが多いが、チタンは非常に高価であり、イニシャルコストを押し上げる原因となっている。

チタンを利用したプレート型の熱交換器は日本が技術優位性を発揮しているコア技術の一つであり、低コストチタン製造技術の開発は、世界市場の拡大に向けた重要課題に挙げられる。

日本のチタンプレート型の熱交換機が世界シェアを獲得できれば、相当量（1MW 規模で 12.4～18 トン）のチタンの需要が生まれることとなり、日本のチタン産業への波及効果も期待できる。また、チタン代替材料の開発も重要である。

なお、海洋温度差発電のランニングコストについては、海洋深層水は清浄性が高いため、汚れ・生物付着は起こりにくく、取水管のメンテナンス等にコストはかからない。沖縄県久米島における海洋深層水の取水設備は、10 年間メンテナンスフリーで稼動し続けている²⁶。表層付近は汚れているため汚れ・生物付着の可能性はあるが、現時点で大きな問題にはなっていない。

② 発電効率の向上

発電効率の向上に係る課題として、サイクル熱効率の向上、高効率作動流体、高効率新サイクルの開発等が挙げられる。

海洋温度差発電の効率向上には、蒸発器・凝縮器における熱交換効率の向上が重要となる。佐賀大学海洋エネルギー研究センター（IOES）は、表面に細かい凹凸をつけて伝熱面積を増やしたプレート式熱交換器を開発し（特許取得）、発電効率を飛躍的に向上させた。引き続き、サイクル熱交換効率の向上に向けた技術開発が重要となる。

また、発電効率の向上には、設計上、作動流体に何を採用するかも大きく影響する。現時点では、アンモニアと水の混合媒体が有望視されている。その他の高効率作動流体の探索も重要である。

現在、日本の独自技術であるウエハラサイクルが世界トップレベルのサイクル熱効率と理論的に評価されている。本サイクルの技術改良を進めるとともに、より高効率な新サイクルについても、技術開発を進める必要がある。

2) プラント運用技術の確立

① 設備の維持管理・故障の防止

商用プラントの運用に際しては、プラントの維持管理・故障の防止が重要となる。プラントの稼働状況の把握や、異常の早期発見等のため、モニタリングシステムや海洋環境の予測システムの開発が重要となる。また、沖合浮体型プラントの運用においては、陸上で管理できるよう遠隔操作システムが必要となる。

② 海洋環境への対応

深層水側では殆ど問題は生じないが、表層水側では生物汚れの問題が生じる。熱抵抗を増大させるため対策を要する。複雑な形状の伝熱面では汚れの防止が難しいため平滑な面にしたり、防汚塗料の塗布、あるいは、音や超音波を使った除去や、塩素添加やオゾンガスの間欠的・局所的な注入が挙げられる。より環境に優しいく効果の優れた防汚技術が重要である。

③ 環境への影響

海洋温度差発電は大量の水を汲み上げ、外洋に排出するシステムである。1MW クラスの発電

²⁶ 沖縄県海洋深層水研究所では、地下 612m から 13,000 t/日の海洋深層水を汲み上げ、飲料用として販売している。

プラントの場合、毎時 13,000 トンの深層水を継続して汲み上げることになる。これによる海水循環の変化、熱の移動は、海洋環境に様々な変化を及ぼす可能性がある。海洋環境への影響を実証試験による基礎データの収集、各種シミュレーションによる予測との比較等により検証していく必要がある。また、プラント規模に応じた環境影響評価手法が必要となる。

3) 事業性の向上

① 温排水源の有効利用

海洋温度差発電は、表層と深層の温度差が大きいほど発電効率が向上することから、工場や発電所の温排水を高温側の熱源として用いるシステムは、国内導入量の拡大を図る上で非常に有効である。富士石油株式会社の袖ヶ浦製油所では、工場の温排水を利用した低位熱発電プラントとして、作動流体にアンモニア水を用いた温度差熱発電の実証試験が行われている。最大出力は約 4,000kW で、2005 年の運転開始から安定した出力が得られており、その有効性が確認されている（7.1.8 節参照）。

② 海洋深層水の複合利用

海洋温度差発電の商用展開にあたっては、海洋温度差エネルギーを最大限に活用し、事業性を向上する必要がある。海洋深層水は、海水淡水化技術、漁場造成、冷熱利用（空調など）、水素製造技術、リチウム等の金属回収技術など、発電以外に様々な用途に利用可能である（P369 参照）。個々の複合技術について、高度化・検証を進めることが有効である。

図表 7.35 海洋温度差発電の技術ロードマップ

