

資料 - 3 塩竈市における海洋エネルギー利用に関する検討

塩竈市は松島湾の奥に位置し、船舶貨物の取扱量、水産物の水揚げ量など全国有数の港を擁し、松島湾の観光などの地域特性を有する海洋都市である。本新エネルギービジョンの検討にあたり、海洋エネルギーの利用について調査・検討し、その可能性を評価した。

1. 海洋エネルギーの種類および資源量

地球上において自然に得ることが可能なエネルギーは、太陽エネルギー、地熱エネルギーおよび潮汐エネルギーの3種類に大別され、これらのエネルギー量は次のようになっている。

1) 太陽エネルギー

総エネルギー	1.73×10^{14} kW (1.4kW/m ²)
大気圏外への反射されるエネルギー	30% (5.2 × 10 ¹³ kW)
大気圏内に残されるエネルギー	70% (1.2 × 10 ¹⁴ kW)
・水分環境および光合成で消費	22~23% (3.5~4.0 × 10 ¹³ kW)
・人類が利用可能なエネルギー	47~48% (7.8~8.1 × 10 ¹³ kW)

2) 地熱エネルギー 10^{10} kW (0.06W/m²)

3) 潮汐エネルギー 10^7 kW ~ 10^9 kW

海洋は大気圏内で消費したエネルギーおよび直接太陽エネルギーを自然界に蓄積する場であり、そのエネルギーは風、波、海流、潮流および潮汐、温度差、濃度差ならびに生物エネルギーのかたちで海洋に存在している。

海洋に存在するエネルギーとは、海洋に関わり、そこに存在または蓄えられているエネルギー形態の総てを指す。その種類は、(1)海潮流、(2)潮汐、(3)波浪、(4)海洋温度差、(5)塩分濃度差、(6)海中溶存エネルギー資源、(7)溶存無機栄養塩による海洋バイオマス、(8)海底地熱に分類されそこからエネルギーを得るために様々なエネルギー変換方式が考案され試験もしくは実用化が試みられている。

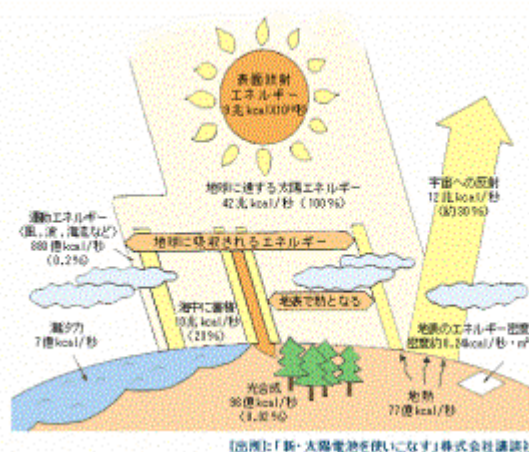


図1 地球に吸収される太陽エネルギーの概要

これらのエネルギーの種類別に物理化学量、潜在資源量、エネルギー密度、形態と特徴、エネルギー変換関係式、エネルギー変換方式、規模例について海洋エネルギーを総括し、表1に示す。

表1 海洋エネルギーの総括

エネルギーの種類	海洋物理・化学量	潜在資源量 (10 ¹² W)	エネルギー密度 (水頭: m)	形態と特徴	エネルギー変換関係式	エネルギー変換方式	規模例
海潮流	流速	0.05	0.05	機械エネルギー 定常流 時間変動	$P = \frac{\rho u^3}{2}$ (W/m ²) ρ : 海水密度, u : 流速	1. プロペラ方式 2. サボニアスロータ方式 3. 全流向縦軸形方式 4. セールキャノピー 5. 電磁流体力学的方式	5,000~ 20,000 kW
波 浪	波高・周期	2.7	1.5	機械エネルギー 非定常 時間・エネルギー変動	$P \approx H^3 T$ (kW/m) H : 波高(m), T : 周期(s)	1. 空気タービン方式 2. 垂直運動式 3. カム方式 4. いかだ振動方式 5. 水圧変動利用	<2,000 kW
海洋温度差	表層温度 深層温度	2.0	210 ($\Delta T=12^\circ\text{C}$)	熱エネルギー 定常 季節変動	$P = \eta_R C G \delta T \propto \Delta T^3$ (W) η_R : ランキン効率, C : 比熱, G : 流量, δT : 温水入口・出口温度差, ΔT : 全体温度差	1. クローズドランキンサイクル 2. オープンサイクル 3. ニチノールエンジン 4. 熱電変換 5. ハイブリッド 6. ミスト	100~ 400,000 kW
潮 汐	潮 位	0.03	4~10 (最大16 m)	位置エネルギー 定常	$P = Ggh$ (W) G : 流量, h : 水頭差	1. 水力タービン 2. 人工共振	~240,000 kW
塩分濃度差	河口海側 塩分濃度 淡水側 塩分濃度	2.6	240 (最大3,000 m)	化学エネルギー 定常 濃度・流量の時間変動	$P = \pi G$ (W) π : 浸透圧, G : 流量	1. 蒸気圧利用 2. 浸透圧差 3. 濃液電池 4. メカノゲミカル	1,000~ 200,000 kW
溶存鉱物資源の抽出ウラン	化学組成U	ウラン 4×10 ⁹ t	20.43 kcal/l	定常		1. 吸着剤利用により回収 2. 高磁気こう配の利用	~1,000 t/年
溶存無機栄養塩利用光合成	溶存無機塩濃度 NO ₃ -N PO ₄ -P	10	10 ⁴ ~2.1×10 ⁴ kcal/(m ² ・y)	定常	太陽光 ↓ 生物 (光合成) ↓ 栄養塩 ↓ 有機物→メタン	1. ジャイアントケルプ, こんぶ 2. 微生物による水素製造	4~400 km ²

日本における海洋エネルギーの利用は、1995年から内閣府のエネルギー戦略レポートの中で「中長期戦略プロジェクト」として取り上げられ、現状、研究開発段階であるが、四方を海に囲まれた日本にとって海洋エネルギーは、大いに期待されるエネルギーである。海洋エネルギーを利用した主な発電システム（海洋温度差発電、波力発電、潮流・潮汐発電）の実験実施地点を図2に示す。



日本で実海洋で比較的大規模な実験の行われた地点（実施中のものを含む）
 波力発電 1)増毛港 2)富崎港 3)酒田港 4)由良沖 5)窟屋漁港 6)三瀬立岩海岸 7)原町 8)九十九里町片貝 9)五力所湾
 10)西表島 11)宮津 12)大村湾
 海洋温度差発電 1)島根沖 2)伊万里 3)徳之島 4)富山湾
 潮流発電 1)来島海峡 2)鳴門海峡

図2 日本における主な海洋エネルギー実験実施地点

2. 海洋エネルギーに関する技術開発

海洋エネルギーのうち、ここでは（1）海潮流、（2）潮汐、（3）波浪、（4）海洋温度差、（5）塩分濃度差について検討する。

2 - 1 海潮流発電

海潮流は直進的力学エネルギーで、地球的規模で風により引き起こされる吹送流、温度の差、塩分の差による密度に起因する密度流とその勾配による流れとしての地衡流および補流が海流と総称され、潮流は干満差の地域的变化によって引き起こされる流れである。

海潮流の潜在資源量は 5×10^7 kW 程度と推定されており、これを水頭にすると 0.05m であるため、エネルギー変換システムと経済性に問題が残されている。また、これらの流れからエネルギーを得るための技術は、現在、推算、想定段階から基礎実験および調査段階に進んでいる。

日本近海には、黒潮という非常に流速が速く、かつ流量の大きい海流がある。これまで、海流のエネルギー密度が小さいうえ、平均流速が 1 m/sec もある海流中に巨大な海洋構造物を設置・係留することは困難であると考えられ、海流からエネルギーを取り出そうという海流発電の試みはほとんどなされていなかった。しかし、近年、北海油田のリグのように海洋建造物に対する技術進歩がめざましいこと、海流エネルギーを取得するのに必要

な技術は、水力発電技術など既に陸上で用いられている技術体系が利用できることなどから、技術環境が整いつつある。

潮流発電システムは、発電システム、海洋構造物で構成されている。エネルギー変換装置は、潮汐現象に伴う流れのエネルギーを回転エネルギーに変換するものがほとんどで、ダリウス型水車、クロスフロー型水車などがある（図3参照）。

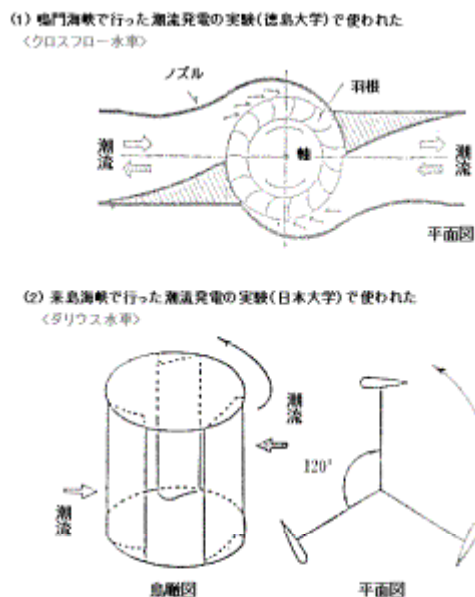


図3 潮流発電で使われる水車の例

潮流発電のエネルギーは潮位差があまり大きくななくても、海底地形が狭まっているところ、流れの速い「瀬戸」や「海峡」と呼ばれるところに集約される。国内では、徳島大学が鳴門海峡で行ったクロスフロー水車による潮流発電の実験、日本大学が来島海峡で行ったダリウス水車による潮流発電実験など瀬戸内海や九州を中心にいくつかの実験が行われている。また、日本近海の主要潮流のエネルギーの合計は、電力中央研究所の試算によると、年間発生電力量は 6×10^{10} kWh と試算されている。

このシステムの開発課題としては、流速の変化に対して一定回転数を保持する機構、流れの向きの変化に対応する機構、大型構造物の係留設備、一定流速が長時間持続する地点の選定などが重要である。また、発電場所が陸地から離れているため、電力の輸送には海底送電ケーブルが考えられているが、電気エネルギーを化学エネルギーに変換して輸送する方法も研究されている。

2 - 2 潮汐発電

潮汐発電は、天体の運行（月の引力）によって生じる干満の潮差を利用して発電するもので、低落差の水力発電の一種である（図4参照）。

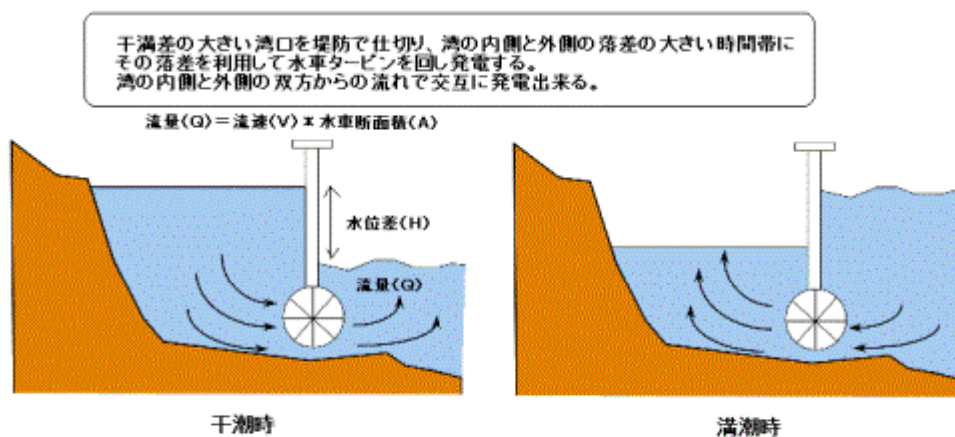


図4 潮汐発電の原理

【出所】 猪上 太氏ホームページ: 潮汐発電によってえられるエネルギー、
<http://www.mset.t.u-tokyo.ac.jp/alumni/inoue/TiedGeneration/GenEne.htm>
および
熊本大学工学部インテリジェント制御研究室: 潮汐発電について、
http://wildcat.eng.kumamoto-u.ac.jp/2002/mech/mech005/WWW/ic_monokuri/sub2.htm

潮汐発電で得られる電力 P (kW) は、ほぼ $P = 9.8 Q H$ (: 総合変換効率) となる。ここで、 H (m) は水位差を、 Q (m^3) は流量を表す。

潮汐は干満差が重要であり、干満差が 10m あるとして資源量は 3×10^7 KW である。

潮汐発電は、その発電方式によって、海水位と貯水池水位の落差を利用する一方向発電方式、干潮時および満潮時のいずれの場合にも発電が可能な二方向発電方式、2つの貯水池の落差を利用する二貯水池方式の3つに分類することができる。

日本では、潮位の差が少ないため（日本で潮位差の一番大きい九州有明海奥部の住ノ江で 4.9m ほど）経済性に難点があるが、海外では、フランス北西部サン・マロ湾河口の「ランス発電所」が 24 万 kW の発電機を備え、1967 年から 30 年以上にわたって稼働している。図5にランス川発電所の断面図を示す。なお、ランス発電所の発電効率は 15%、潮位差は平均で 8 m である。そのほか、カナダのアンナポリスの潮汐発電所 (Annapolis、平均潮位差は 6.4 m)、中国の江夏の潮汐発電所 (Jiangxia) など、潮汐のエネルギーに恵まれた韓国、ロシア、オーストラリアなどでパイロットプラントが建設されている。

今後における課題はエネルギー変換システムに関する技術開発である。

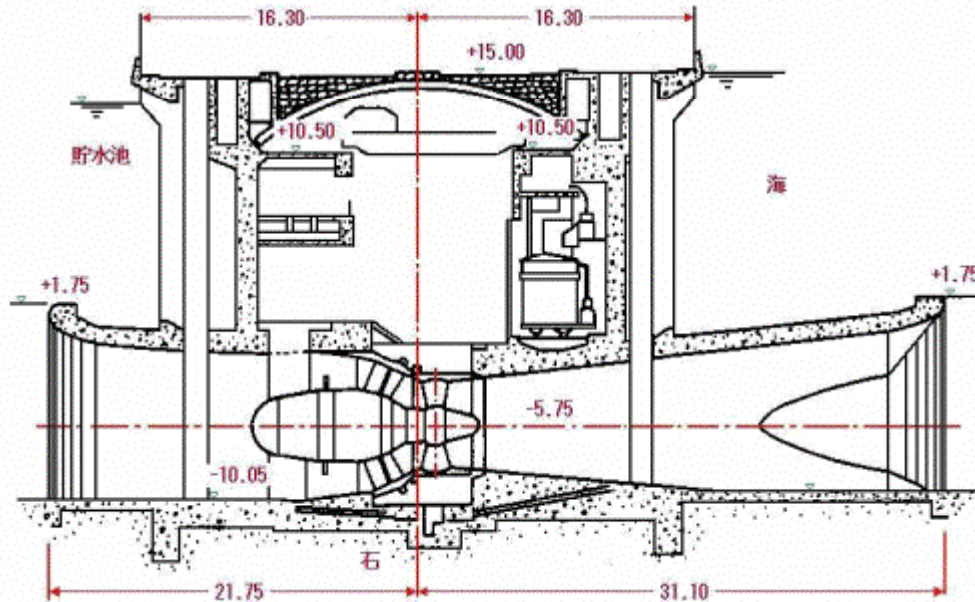


図5 ランス川発電所の断面図

[出典] 上原: 海洋エネルギー-日本機化学会誌, vol.93, No.860, p.566(1990年)
 および Australian Greenhouse Officeホームページ: Tidal Power Around the World
 (<http://www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/ocean/tidal.html>)

2 - 3 波力発電

波浪は波高という形態で存在し、平均波高を 1.5m とすると 2.7×10^9 KW 程度の資源量が存在する。日本は、四方を総延長 34,386km にも及ぶ海岸線 (1989 年調査値) に囲まれ、その全資源量は 3×10^8 kW 程度有ると推定されており、ノルウェーやイギリス、スウェーデンなどとともに波エネルギーの豊かな国の一つに数えられている。世界中では 2,000 基以上の波エネルギーを利用した波力発電が使用されている。国内では、航路標識ブイや小型灯台用電源などの移動電源として 1965 年前後に開発され、出力 100W の波力発電ブイを中心に 1,000 基以上の使用実績があるほか、10 箇所以上の実験用発電施設がある。ヨーロッパでは、EU の波力発電プロジェクト「第 2 次ジュール計画」として大西洋にあるポルトガル領アゾレス諸島のピコ島で波力発電の研究開発が 1994 年から行われている。

波力発電装置は、設備の耐久性や経済性の面でさらに改良が必要である。また、海上や海岸で発電した場合に、電力需要地までの送電が必要となるなどのコスト面での問題があるが、地域振興策として活用しようとする考え方もある。

1) 波力発電のしくみ

波は太陽光が風を経由してできるものであるが、変換のあいだにエネルギーが濃縮される。単位は異なるので直接の比較はできないが、1平方メートル当たりの太陽光は約100Wあるのに対して、1m幅の波の持つエネルギーは100kWにまで濃縮される。

四方を海に囲まれている日本は波エネルギー資源に恵まれていて、沿岸部に打ち寄せる年平均の波エネルギーの賦存量は、運輸省港湾技術研究所の試算によれば 3.6×10^8 kWにも達する。

図6に港湾技術研究所が推定した日本沿岸の波浪パワーの分布を示す。

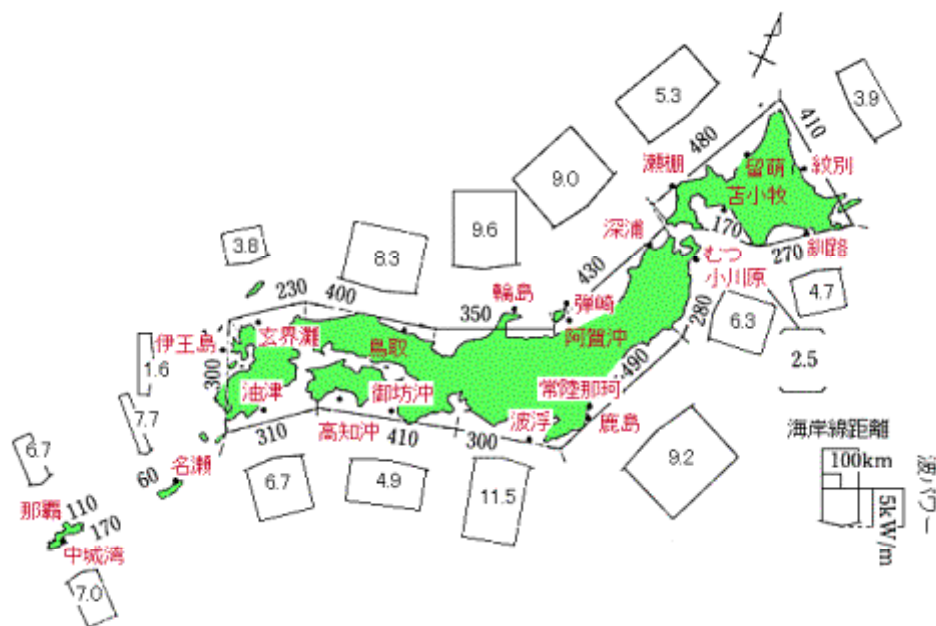


図6 沿岸の波浪パワーの分布

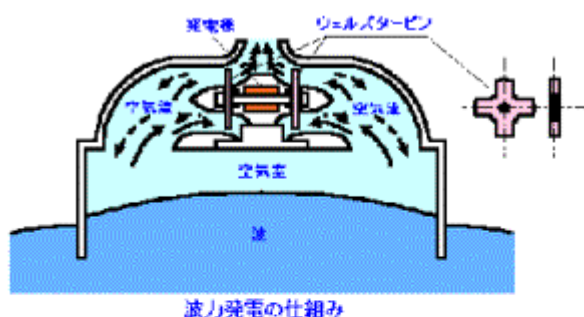
【出典】近藤 俊郎: 波浪発電システム最近の進歩, 火力原子力発電, 50(6) p.638(1999.6)

波力発電システムにはいくつかの方式があるが、大別すると、

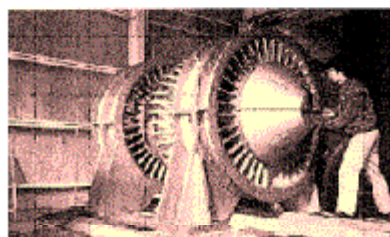
- (1) 波の上下振動を利用、
 - (2) 波の水平振動を利用、
 - (3) 遡上波を利用して用水池に海水を貯水し水車を回転、
- の3方式がある。また(1)(2)の両者を併用する方法もある。

波の上下振動で作った圧搾空気を送風してタービンを作動させる(1)の方式は、構造が単純で耐久性に優れているため各研究機関で研究され、現在は主流になっている(図7参照)。この方式はタービン方式、振動水柱形とも呼ばれる。

浮体振動では、コイルを磁場中で上下させるなどの単純な方法もあるが、主流はポンプを動かすものである。また、(2)の波の水平振動を利用する振り子式のものもある(図8参照)。



波力発電の仕組み



ウェルズタービン

図7 波力発電のしくみとタービン

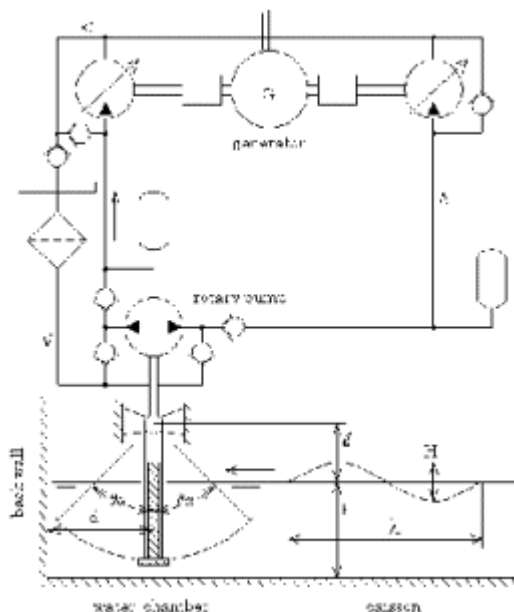


図8 振り子式波力発電装置の原理

2) 波力発電の開発状況

ヨーロッパでは波力発電の歴史は古く、フランスでは200年前に特許申請がなされ、今世紀の初めにボルドーの海岸で1kW発電所が作られた。1970年代から英国、ノルウェーなどで研究が行われ、また、1993年からはヨーロッパ委員会(EC)の「第2ジュール計画」として波力発電開発研究が開始された。この計画では、1994~1995年を空気タービン方式の発電テストを行う第1段階、1995~1998年に沖合波力発電所の実海域テストを行う第2段階として、いくつかの発電方式の研究が進められている。

わが国では、航路標識用の電力に浮体式水柱形の発電装置が実用化されている他に、実験用として10を越える発電装置が作られたが、ほとんどは波の上下運動を利用した水柱形である。主なものは浮体式水柱振動型(沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」、50kW、10kW×各1基、30kW×2基、波力発電船「海明」、125kW×8基)、沿岸固定式水柱振動型(三瀬40kW、酒田60kW、原町130kW、鶴岡40kW、九十九里30kW)。

振子式（北海道増毛 1～20kW、京都府宮津市 1kW 相当の噴水用動力源）等の波力エネルギー装置の開発が行われている。

山形県酒田港では、1989 年度から波力発電防波堤を設置され、現地実証試験が行われた。実証試験では（1）防波堤の耐波設計・施工法の確立、（2）発電システム設計法の妥当性検証、（3）波力発電電力の利用技術の開発、（4）一般商業電力線への接続運転などの成果が得られ、経年劣化試験後、1999 年 7 月に終了している。

また、振動水柱式空気タービン方式波力発電装置「マイティーホエール」は 1998 年 9 月から三重県南勢町五ヶ所湾沖で実海域実験を行い、波エネルギー変換技術、静穏海域造成技術、海洋環境改善技術を中心に研究を進めている。（以下：詳細）

（1）浮体式波力発電装置「海明」

科学技術庁の海洋科学技術センターが、国際エネルギー機関（IEA）の協同研究として、米国、英国、アイルランド、ノルウェー、スウェーデンの参加を得て、浮体式波力発電装置「海明」（設備定格 1,000kW）の研究開発を行った。「海明」は、振動水柱型空気タービン方式で波エネルギーを電気エネルギーに変換する。これは、底の無い箱を水面に伏せ、その上部に開孔を設けてそこに空気タービンを取り付けたもので前述の（図 7）の方式を採用し、波が発生すると箱の中の水面が上下して開孔部を出入りする高速空気流が発生し、それにより空気タービンを回転させるものである。

「海明」は、このような空気室が長手方向に 13 室並んだ全長 80m、幅 12m の大型の波力発電ブイである。1977 年から 1982 年にかけて第一期の研究開発に取り組み、山形県鶴岡市由良沖で実海域実験を実施、多種類の発電方式、各種の空気タービンを使って、過酷な荒波の中における安全性およびエネルギー変換装置としての性能を確認した。さらに、第一期に続き、1983 年から 1987 年にかけて実海域実験を含む第二期の研究開発の成果として、以下が発表されている。

- 1) 水槽実験と海域実験との相似則の確認
- 2) 世界最初の大出力波力発電の実証（年間 190MWh）
- 3) 小規模陸上送電の成功
- 4) 最適浮体形状の決定
- 5) 日本海側で発電コスト 63.2 円/kWh（1987 年価格）を達成

（2）沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」

「マイティーホエール」は、波エネルギーを吸収し、利用可能なエネルギーに変換するとともに、装置の背後に静穏海域を創成し、波が荒く利用が不可能であった海域を海洋牧場やレクリエーションの場として利用可能とするなど、海洋空間の総合利用を目指した多目的の機能をもった装置で、1988 年から科学技術庁の海洋科学技術センターで研究開発を行い、1998 年には三重県度会郡南西町の五ヶ所湾沖に係留し、装置の安全性・耐久性

および経済性を実証するための実海域実験を行っている。

構造は、複数の空気室と浮力室から成る浮体式で、空気室の底部は、波の来る方向に開いており、まるで「くじら」が大きな口を開き波エネルギーを飲みこむような形状をしている。このため、マイティーホエール（図9参照）と呼ばれる。

波エネルギーは、空気室で高速の空気流に変換され、空気室の上部に置かれた空気タービンを回転させることにより、電力や圧縮空気を得ることができ、目的に応じてさまざまな形態のクリーンエネルギーとして周辺の施設などに供給される。

発電装置は50kW×1基、10kW×1基、30kW×2基を備えている。波エネルギーは、これまで、多方面の利用が可能な電力

に変換して利用されてきたが、この装置では、発電機をコンプレッサーに変えることにより圧縮空気を作り、この圧縮空気を海底に設置した貯気槽に蓄えて、利用することも考えている。たとえば、エアレーションによる海水混合、深層水の導水などによる海域環境の改善、魚群制御など、幅広い利用がある。わが国の水深50m以浅の沿岸域の総面積は、国土面積の22%に相当し、そのうち約80%が未利用となっているが、この装置の高い消波機能は、背後に広大な静穏海域を創成し、今まで波が荒く利用不可能であった海域に海洋牧場、海洋レジャーなどの海洋空間の有効利用の可能性を開く。また、この装置の上面は、多目的利用スペースとしてレジャー用、プラント用など目的に応じて利用が可能である。さらに、この装置は浮体式なので、海底設置式と異なり、海水の交換を妨げず、水質、生態系に悪影響を及ぼさないことに加え、デザインは周囲の景観を損なわないことを条件として行うので、自然との調和に配慮した装置となっている。現在、模型装置により、波力利用装置の諸特性、海洋環境へ与える影響および効果について研究を進めており、今後は、実海域における実証実験へと進めていく。

(3) 波力発電防波堤

運輸省港湾技術研究所においては、1982年度より波エネルギー利用防波堤についての研究を開始し、現在ではケーソンおよび発電装置の設計がほぼ可能となっている。この防波堤は、波エネルギーを空気流に変換するための空気室と発電装置などを装備する機械室を持つ特殊な形状のケーソン防波堤（図10参照）である。

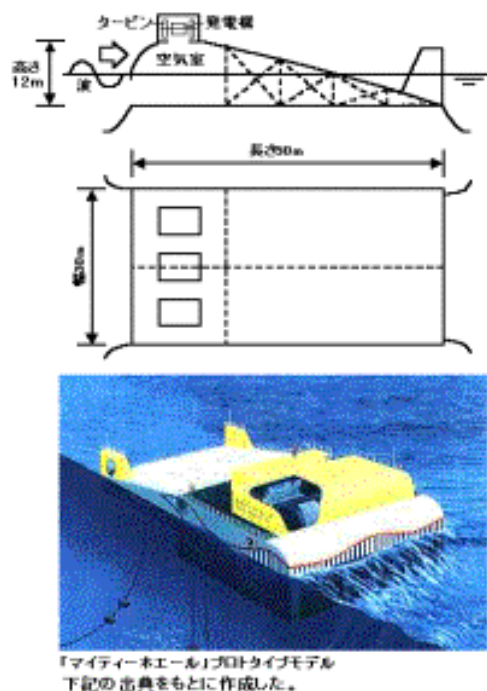


図9 マイティーホエール

その成果を受け、運輸省第一港湾建設局管内の酒田港において、波エネルギー利用システムの実用化への最終段階として、1989年度にケーソンを設置した後、波エネルギー利用防波堤の設計法の検証などの現地実証試験（定格60kW）を実施している。

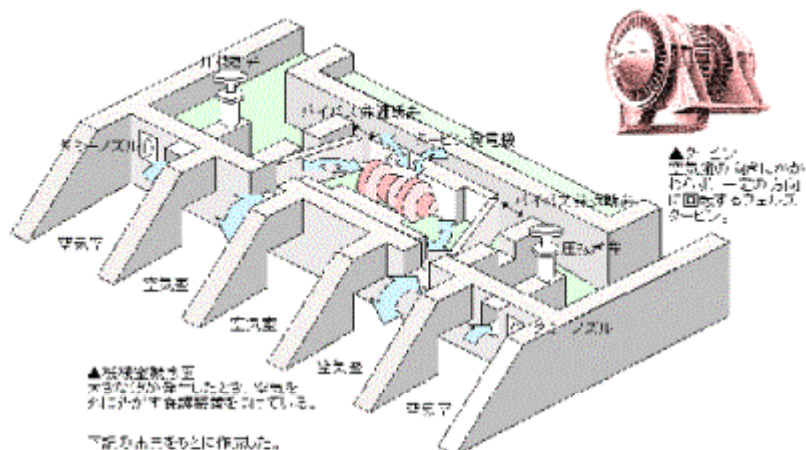


図 10 発電防波堤機械室概念図

この防波堤に用いられる特殊な形状をした波力発電ケーソンは、空気室と呼ばれる中空の箱の部分と、それを支持する通常のケーソンの部分からなる。空気室の前壁はカーテンウォールとなっており、波が空気室に侵入できるよう開口部を有し、波の作用によって空気室の水位が変動し、空気室内の空気を圧縮膨張させ、波のパワーを空気のパワーに変換する。この空気流をタービンによって回転力に変え、発電機を回転させて電力を得ようとするものである。なお、波力発電ケーソン防波堤は、単に機能の優秀さだけでなく、波力発電電気の利用方策、利用施設計画があって初めて実用化に至ることとなる。したがって、今後は利用方策を含めた幅広い検討を併せて実施していく必要がある。

また、1996年8月に原町火力発電所（福島県原町市）の南防波堤突端部に水弁集約式（防波堤）波力発電システムである実証試験設備（定格130kW）を完成し、運転研究を始めた（図11参照）。実働中の波力発電としては単機出力で日本最大であるとともに、世界最大の規模である。

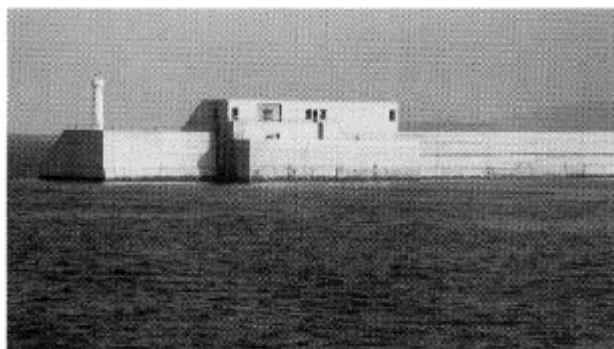


図 11 波力発電装置の全景

(4) その他の波力発電

その他の波力発電としては、波によって打ち寄せられる水塊（すいかい：水のかたまり）を構造物の斜面に沿って遡上・越波させ、背後の池に貯留し、池の水面と海面との水位の差を利用して低落差用水車タービンを回す方法がある。水の位置エネルギーまたは水流エネルギーを利用する方法で、ノルウェーのタブチャン（TAPCHAN：Taped Channel Power Plant）など実証プラントはあるものの、日本では事例がない。

3) 波力発電のコスト

波力発電の開発上の問題点としては、波力発電装置は、激しく変化する海洋気象のために極端に大きな負荷に耐えなければならず、また、耐食性の良い材料を使用する必要がある。さらに、海上や海岸で発電した場合には、電力需要地までの送電が必要になるなどコスト面での問題が多い。

発電コスト（¥/kWh）の推定を火力発電などに用いられている方法で行うと、エネルギー種別による各種コストの試算による推定は表2のようである。

表2 エネルギー種別による各種コスト

(円/kWh)						
種類	地域	発電コスト	環境コスト	社会コスト	全コスト	全コスト/石油火力の全コスト
波浪	関東	46.0	-12.5	0.9	34.4	1.4
海流	津軽海峡	33.3	3.3	1.0	37.0	1.5
石油火力	関東	12.0	12.0	1.0	25.0	1.0
潮汐	有明海	73.0	3.7	2.2	78.9	3.2
風力	室蘭	48.0	-14.0	1.0	35.0	1.4

【出典】近藤 徹郎：波浪発電システム最近の進歩、火力原子力発電、50(6)、p644 (1999.6)

自然エネルギーの発電コストは、火力や原子力に比べてかなり高価であるという評価となった。

航路標識などの特殊な場所を除けば、単純な発電設備としての波力発電では採算があわないが、波力発電を地域振興政策に組み入れて、活用しようとする考え方がある。すなわち、波をせき止めるエネルギー吸収装置は、消波ブロックとしての機能があり、結果的に背後に静かな海をつくり出すことになり、この海域をレクリエーションや海洋牧場などに幅広く使うことが考えられている。このように、離島やリゾート地、あるいは、漁業地域などにおけるクリーンなローカルエネルギーとして利用する場合には、地域振興と関連させて開発するなどの二次的な効果もある。

2 - 4 海洋温度差発電

温度差発電は地球上において利用可能と考えられる資源が平均で 2×10^9 kW ともいわれ、最も有望なエネルギー資源である。海洋温度差発電に関する技術開発の歴史は非常に古いが、最近わが国とアメリカが熱心の取り組んでいる。

日本周辺や熱帯・亜熱帯地域の海洋における海水の温度は、一般に海表レベルで摂氏 20 度から 30 度、約 700 メートルの深海では 2 度から 7 度といわれており、海洋温度差発電とは、太陽エネルギーで温まった海の表面水と、冷たい深海水の温度差を利用する発電方式である。この発電方式には、作動流体（アンモニアなど）を温海水で気化し、タービンを回転した後、冷海水で凝縮させて発電するクローズドサイクル（図 12）と温水そのものを気化発電するオープンサイクル（図 13）、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。オープンサイクルに関しては、米国の NELH（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。淡水も副産物として得られる。

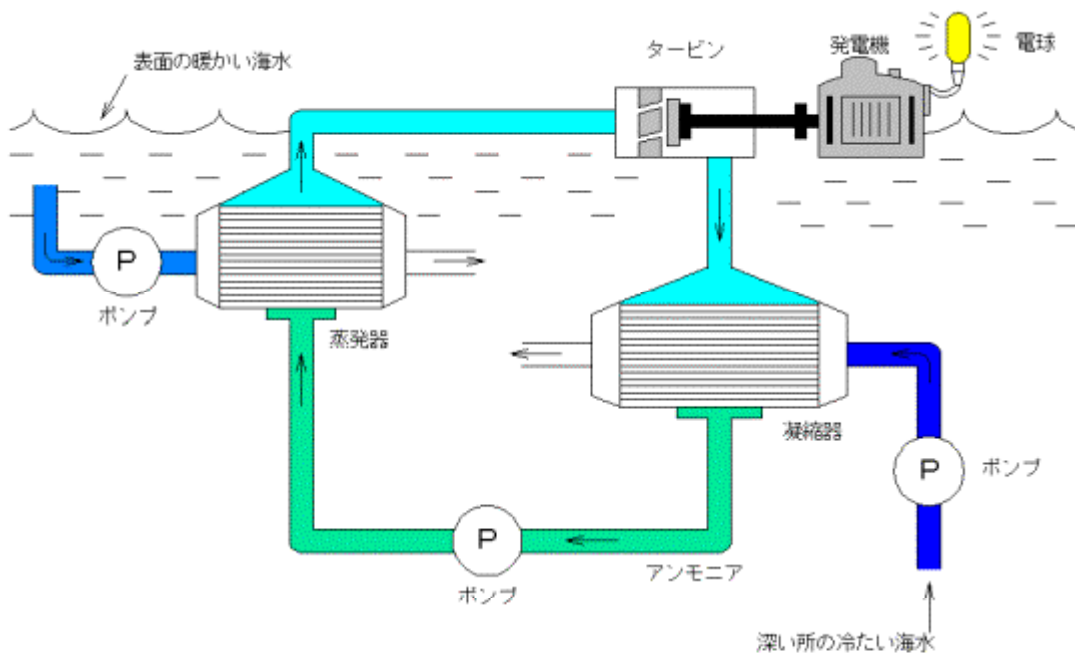


図 12 海洋温度差発電のしくみ（クローズドサイクル方式）

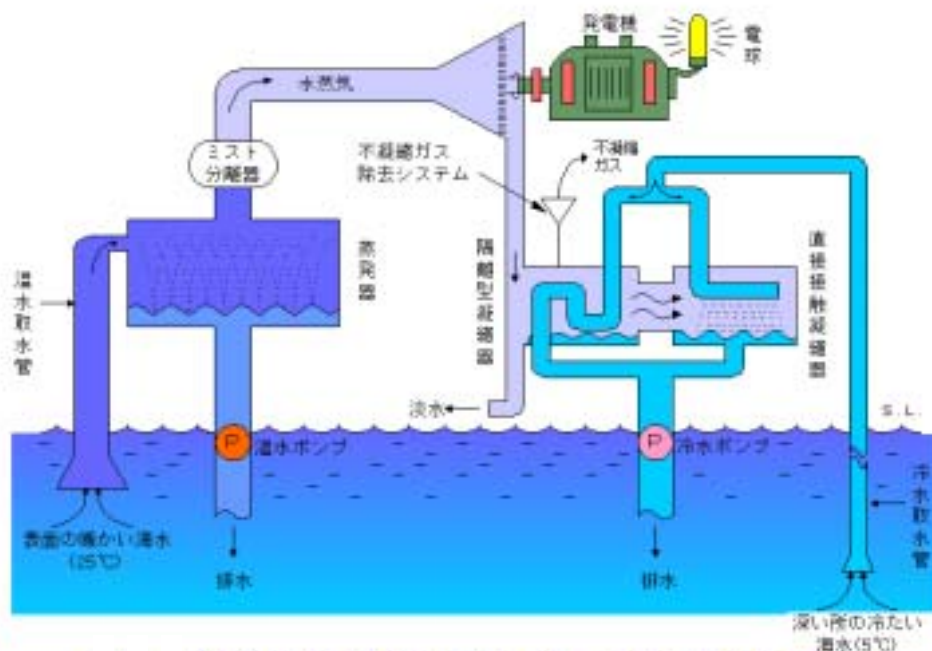


図 13 海洋温度差発電のしくみ（オープンサイクル方式）

日本ではニューサンシャイン計画で、この方式の要素技術開発を進めている。しかし、クローズドサイクルを用いる方がより経済的で、大きな出力の発電が可能であることから、現在の研究開発の主流となっている。島根沖での洋上実験（1979年10月）、ナウル島の実験プラント（120kW、東京電力、1981年）および徳之島実験プラント（50kW、九州電力のディーゼルの廃熱との組み合わせた発電、1982年）、伊万里の海洋温度差発電実験設備（50kW、佐賀大学1992年4月）、富山湾での「豊洋」洋上試験（通産省工業技術院電子技術総合研究所、洋上係留システム、1989年）などの実証試験が実施されている。しかし、発電プラント単体では経済性を見いだせない状況で、その上、海洋温度差発電には、(a) フロンやアンモニア等の作動流体の改良、(b) ポンプの改良などの問題も多く抱えている。

しかしながら、海洋温度差発電は、深層海水を表層海水と組み合わせて有効エネルギーを取り出すばかりでなく、栄養塩を利用した海洋生物生産性の向上や、低温性を利用した海水淡水化などトータルシステム（図14参照）として有効利用を図れることから、高知県海洋深層水研究所（1989年設立）や富山県水産試験場深層水利用研究施設（1995年完成）、沖縄県久米島海洋深層水研究所（2001年完成）では、深層水を利用する研究も進んでいる。

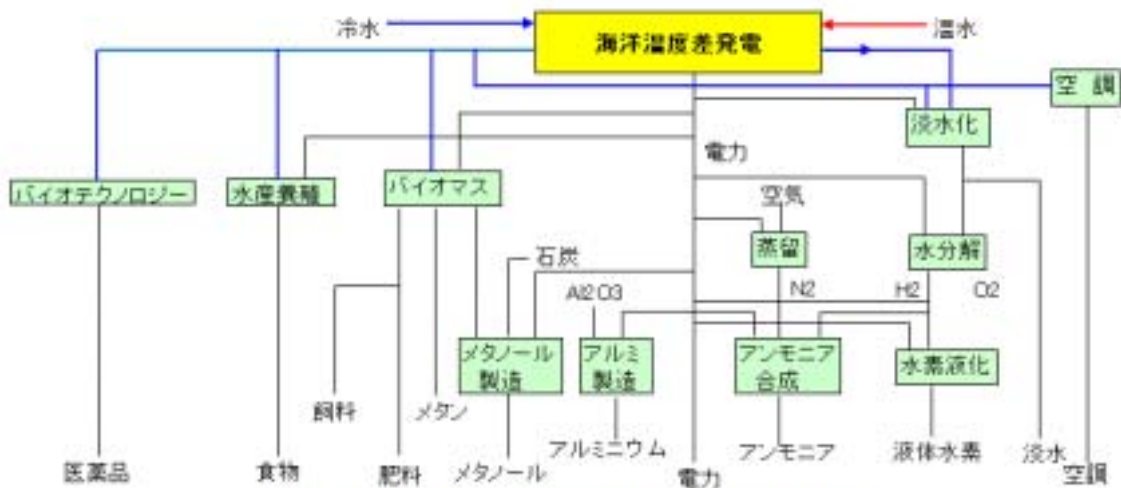


図 14 海洋温度差発電トータルシステム概念

【出所】電経研ニュース：洋上型深層水利用システムのための海洋温度差発電の実海域実験。
<http://www.techno-qanda.net/dsweb/Get/Document-6941>

また、経済産業省は新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）と協力して「エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発」（1999 年度から 5 ヶ年計画）を計画している。100 万 t / 日および 10 万 t / 日の深層水を揚水することで、第 1 段で火力発電所の冷却などへの活用、第 2 段で昇温した深層水を海域に環流させ、植物生産を増加させて CO₂ の吸収（固定）促進などを目標に要素技術の開発が進められている。

2 - 5 濃度差発電

半透膜の両側に濃度の異なる 2 つの溶液を置いたときその間には浸透圧が作用する。この浸透圧を利用して発電をしようとするものである。（図 15 参照）

Wick によると海水と淡水との間の浸透圧は 240m のヘッド差に相当するという。これはコロンビア河に建設された水力発電ダムの総ヘッド差に等しい。言い換えると、淡水を海へ放出することは 240m ものヘッド差をロスしていることになる。

実際には、発電に利用するほど淡水が十分に有るわけではないので、死海、ソールトレイク、ソールトマーシュ等高濃度の塩分を有する湖沼の水を利用することが有効である。

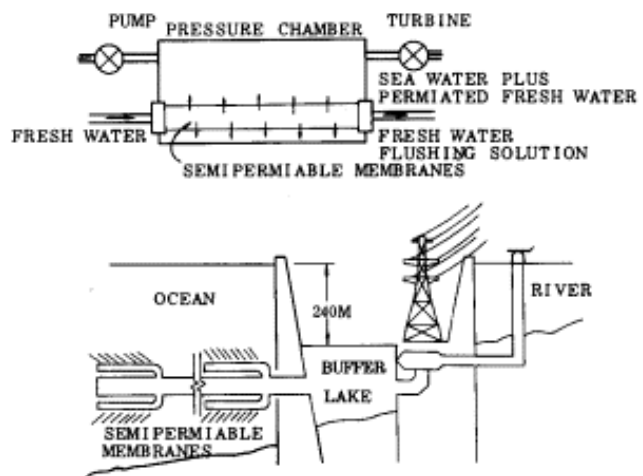


図 15 濃度差発電

例えば、死海の塩分濃度は 26.7%以上であり、海水の塩分濃度を 3.05%としても 3,000mのヘッドが得られる。また、太陽熱を利用して蒸発ダムで海水を濃縮することも考えられる。

世界的に見ると 2.6×10^9 kW の出力が期待出来るが、アマゾン河、ラプラタ河、コンゴ河などが有望視されている。しかし、ダムの建設費が高いこと、半透膜の開発、美観の損傷、淡水と海水との自然混合の妨げなど解決しなければならない問題も多い。

3 . 塩竈市において利用の可能性のある海洋エネルギーの評価

3 - 1 海潮流発電

海流発電に関しては、地勢的に黒潮から遠く離れ親潮圏内の仙台湾の奥に位置するためその可能性は無いと思われる。

ただし、潮流に関して浦戸諸島に流速が大きい箇所があるとの情報があるので別途調査が期待されるが、現状では利用可能な機器、システムもまだ研究段階で、実用化されていないことから実現は難しい。

3 - 2 潮汐発電

塩釜港の干満差は、大潮差で88cm、小潮差で33cmと考えられ、潮汐発電の成立条件と目される潮位差10mには及ばず、可能性は無いと判定される。

日本沿岸各地における潮差の分布

			大潮差	小潮差
1	紋別	別	52 cm	20 cm
2	剣路	路	82	32
3	浦河	河	90	33
4	函館	館	67	25
5	小樽	樽	13	5
6	釜石	石	88	33
7	小名浜	浜	88	33
8	小東	東	151	52
9	南伊豆	豆	116	43
10	南本	本	132	50
11	高知	知	142	55
12	大泊	泊	200	79
13	博多	多	159	57
14	博佐	佐	246	92
15	佐住	住	494	195
16	三富	富	345	138
17	富岡	岡	278	106
18	青浜	浜	316	123
19	青門	門	208	80
20	青名	名	291	121
21	笠岡	岡	306	137
22	萩原	原	157	56
23	舞鶴	鶴	18	8
24	新海	海	16	7
25	名瀬	瀬	160	63



図 16 観測点の所在地

3 - 3 波浪発電

寒風沢島荒崎、須賀ノ鼻、舟入島を結び仙台湾に面する塩竈湾口の市域の幅は約3kmであり、図6で波浪パワーを算定すると27,600kWとなる。また、湾口付近の市域から離れた遙か沖合に発電プラントを設置することも可能ではあるが、事業性は低い。



図 17 塩竈湾口周辺図

3 - 4 温度差発電

本格的温度差発電を行うためには約20以上の温度差が必要といわれている。塩竈に近い宮古および小名浜の海域の年間水温分布を見ると、宮古では海表面水温と水深600m以上の水深の海水温度の差が20度付近に達するのは8月のみでありその他の月は15以上の温度差になる月はない。また、小名浜では年間を通して温度差が15以上になることはない。これらから類推すると、塩竈付近でも温度差20を得ることは困難であり、温度差発電事業の実現性は低い。

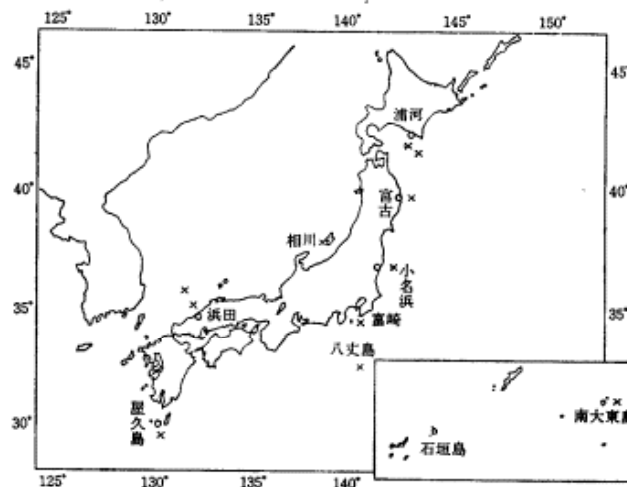


図 18 日本海における水温分布

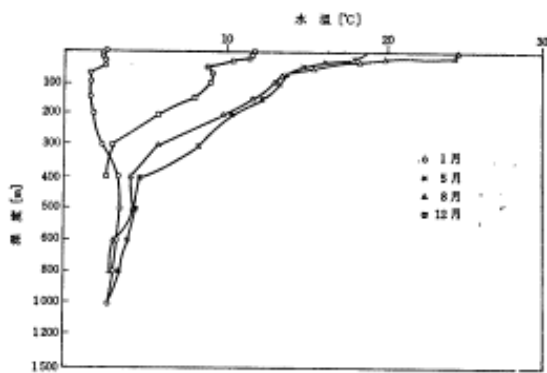


図 6-6 宮 古

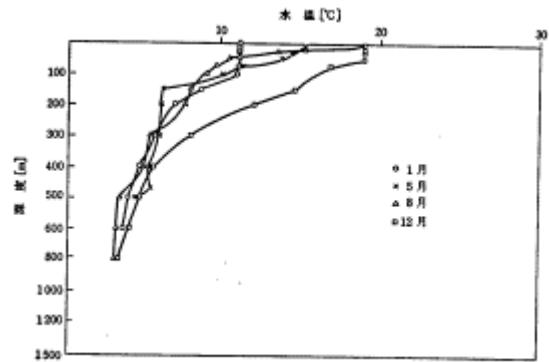


図 6-7 小 名 浜

図 19 海水深度と温度

ただし、温度差発電とは異なるが海水の温度の活用方法として、海水温度が大気と比べ変化が少なく気体に比べれば熱容量が大きいことに注目し、冷凍機などのヒートポンプの冷却に海水を利用することが可能であると考えられるので、冷熱需要の大きい冷凍倉庫団地等のプロジェクトにおいて、検討する価値があると考えられる。

3 - 5 濃度差発電

濃度差発電は、大量の淡水の供給および高濃度の塩水が得られないため、可能性は低い。

<参考文献>

- (1) 海洋工学ハンドブック コロナ社
- (2) 新しい海域利用技術便覧 フジテクノシステム
- (3) 第4回海洋工学シンポジウム 日本造船学会
- (4) 原子力百科事典 ATOMIKA 高度情報科学技術研究機構
(<http://mext-atm.jst.go.jp/atomica/>)

*海洋エネルギーによる発電の引用文献

- 1) 益田：日本の波力発電、霞出版社
- 2) 渡部：日本の波力発電、エネルギーレビュー、8月号 p.8 - 12 (1994年)
- 3) 益田：ヨーロッパの波力発電、エネルギーレビュー、
8月号 p.13 - 16 (1994年)
- 4) 上原：海洋エネルギー、日本機械学会誌、
Vol.93 No.866 p.560 - 566 (1990年)
- 5) 高野：海洋とエネルギー、共立出版
- 6) 資源エネルギー庁(編)：新エネルギー便覧 平成10年度版、
(財)通産産業調査会(1999年3月) p.71 - 73
- 7) 高柳 幹男：海洋温度差発電、火力原子力発電技術協会、505(49)
p.30 - 34 (1998)
- 8) 牧野 朝昭：波力発電、火力原子力発電技術協会、505(49) p.35 - 41(1998)
- 9) 牧野 朝昭：潮汐・潮流発電、火力原子力発電技術協会、505(49)
p.42 - 47 (1998)
- 10) 株式会社東レ経営研究所ホームページ：エネルギー使用合理化海洋資源活用
システム開発周辺動向調査(2003年1月)
(<http://www.nedo.go.jp/iinkai/hyouka/bunkakai/13h/6/2/sankou2-1.pdf>) および
(<http://www.nedo.go.jp/iinkai/hyouka/bunkakai/13h/6/2/sankou2-2.pdf>)
- 11) 新エネルギー・産業技術総合開発機構ホームページ
(<http://www.nedo.go.jp/>)
- 12) 電力中央研究所有識者会議推進室 廣瀬 学著：波力発電の現状ホームページ
(<http://www.glocom.ac.jp/eco/esena/resource/hirose/>)

* 波力発電の引用文献

- 1) 科学技術庁科学技術政策局監修：日本のエネルギー開発、
日本科学技術振興協会 出版部（1997年10月）p.94 - 99
- 2) 上原：海洋エネルギー、日本機械学会誌、Vol.93 No.866（1990）
- 3) 渡部：日本の波力発電、エネルギーレビュー、1994年8月号
- 4) 益田：ヨーロッパの波力発電、エネルギーレビュー、1994年8月号
- 5) 資源エネルギー庁（編）：新エネルギー便覧 平成10年度版、
（財）通商産業調査会（1999年3月）p.71
- 6) 海洋科学技術センター：沖合浮体式波力装置 マイティールの開発
（1998/9）
- 7) 鷺尾 幸久：沖合浮体式波力装置「マイティール」実海域実験について（日本造船学会誌 第836号（1999年2月）p.80 - 86）
- 8) <http://www.jamstec.go.jp> 海洋科学技術センターホームページ
- 9) 近藤 俣郎：波浪発電システム最近の進歩、火力原子力発電、50（6）、
p.636 - 645（1999.6）
- 10) 牧野 朝昭：波力発電、火力原子力発電、49（10）、p.1269 - 1275
（1998.10）