

# 海洋温度差エネルギー利用技術と将来性

Status and Prospect of Ocean Thermal Energy Conversion Technology

梶川 武 信\*

Takenobu Kajikawa

## 1. はじめに

海洋温度差エネルギーを利用して経済性と信頼性のあるシステムから、電力などの有効エネルギーをとり出し利用するためには、一般のエネルギー資源利用におけるプロセスであるエネルギー採取→エネルギー変換→輸送・貯蔵→利用の各部における技術の確立を図らなければならない。海洋温度差エネルギー利用技術について、このプロセスに対応した要素技術は以下の様に分けて示すことが出来る。エネルギー採取技術とは、高温源としての海洋の表層（0～50m）の温海水及び低温源としての海洋の深層（600～1,000m）の冷海水を、エネルギー変換システムまで必要な温度及び流量で持って来ることである。このためには、①設置海域における海洋環境を把握するための技術と、②海水取水技術が必要となってくる。この高温源と低温源の間に熱機関を働かせて、電力などの有効エネルギーに変換するのが、次のエネルギー変換プロセスであり、いわゆる発電技術といわれているものである。①クロードランキンサイクル、②オープンランキンサイクル③熱電変換技術が選択肢として挙げられている。エネルギーの輸送・貯蔵プロセスは、海洋温度差発電システムが陸上に設置される場合には、既存技術で済まされるが、洋上に設置される場合には、①送電ケーブル技術や、②化学エネルギーへの変換技術が必要となる。エネルギー利用においては、①トータルシステムの利用技術や利用に際して環境へのインパクトを最小にするための、②環境アセスメント技術が必要となる。

海洋温度差エネルギーは、①海洋の利用水深が0mから1000mまでの大水深に及ぶこと、②海象、気象、海底地形は設置点に大きく依存していること、③利用温度差は、高々20℃前後と従来の火力・原子力エネルギー源に較べ一桁以上小さいこと、④海水は電解質で

腐食性があり、又、海中には多くの生物が含まれている。といった固有の問題点を持っている。一方、海洋温度差エネルギーの世界的にみた潜在的資源量は、膨大であると見積られており、通年、昼夜を通じて安定に存在している。ポンプ1つで海水を大量に1ヶ所に集めることが出来るため、1プラント当たりの規模をかなり自由に選べる、といった将来のエネルギー源の1つとして大きな可能性を秘めていると言える。

研究開発が開始されて10数年を経過し、実験室規模や実海域実験が本格化している。海洋温度差エネルギー利用技術をエネルギーの採取から利用までの技術に分けて概観し、その将来性について論じてみたい。

## 2. 海洋温度差エネルギー採取技術

### 2.1. 採取のための環境計測技術

広域に亘る資源の賦存状況は、海水温度及びその分布が海洋観測の基本物理量であるため、船舶計測やブイ計測等により大量のデータの蓄積があり、又近年人工衛星によるリモートセンシング技術の進展により、ほぼ満足のいく程度に把握することが出来る。しかし、計測点は特定海域を除いて細かくても1/2度メッシュ程度であり、大水深でのデータは数が少ないといった問題を残している。概査により設置点が絞られると、冷水取水管や海洋構造物の敷設法や構造の決定のため、海域環境を十分計測することが必要である。洋上設置型では、水温の通年変化、海流、波浪、気象観測及びプラントの移動範囲での海底状況の精査が必要である。表層に近い海流の強流域での長期計測技術は、現在確立されておらず、従来の係留系方式では失敗も多い。陸上型では、冷水取水管を陸上まで2～3kmに亘って敷設するため、沿岸域の複雑な海洋環境の把握が必要となる。サーミスタチェーンによる各層温度分布の係留系観測により水深方向の温度分布、温度躍層の変化周年、昼夜変動の把握が必要である。表層は気象や海流変化により、大水深部では潮汐や内部波により変化

\*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

する場合は観測されている。海底地形の計測には、マルチビームエコーサウンダーやナロービームエコーサウンダーが用いられるが、海洋温度差発電プラントの設置点には、急傾斜地形が一般に選ばれるため、音響機器では十分に扱えられないことがフランスのタヒチ 5 MWe プラントプロジェクトの場合に見い出されている<sup>(1)</sup>。タヒチでは有人潜水調査船 Cyana を用いた様に無人機や有人機による光学的計測が不可欠である。タヒチでは急な崖の発見により、冷水取水管の敷設構造を当初計画より全面的に改め、新しくリバースドカタナリー方式を提案するに至っており事前の環境計測技術は重要な役割をはたす一例となっている。

## 2.2 海水取水技術

表層海水は手近にあるため、その入手は容易であり特別な技術を必要としない。冷水は水深 600 ~ 1,000 m に存在し、その取水量は発電出力 1 MWe で約 15,000 t/h、10 MWe で 6 ~ 7 万 t/h と大量であり、その口径は 1 MWe 級で約 2 m、10 MWe 級で 5 ~ 6 m、100 MWe では 12 ~ 15 m となる。陸上設置型では短かくても 2,000 m 程度、洋上設置型では 600 ~ 800 m の長さが必要である。この冷水取水技術は、①構造設計、②材料、③工法とに大別される。構造設計のためには、長尺大口径取水管と海洋環境との相互作用の解析が必要である。レイノルズ数が  $10^5$  以上の高レイノルズ流れとなること、取水管の背後渦とその防止技術、及び取水管表面の粗さが抗力の大きさに及ぼす効果などの解析が含まれる。洋上型では取水管の運動が海洋構造物との接合部の構

造に大きく左右されるため、海洋構造物の運動、接合部の構造を含めた解析が必要である。陸上型では、碎波帯での巨大な応力を避ける構造設計が不可欠である。取水管材料として、① FRP-サイドイッチ構造、② ゴムを主体とした柔軟構造、③ 鋼、④ 軽量コンクリートが候補に挙げられている。数 100 kW 以下の発電プラントでは、高密度ポリエチレンを用いることが出来る。大型化に際しては軽量であり、強度を必要に応じて変えられるという利点を持つ FRP 材料を主体にした構造が有力であると考えられている。海洋上での敷設時間を極力減らすことがコスト低下に大きく貢献するので、工法を含めた取水管構造の検討が不可欠である。陸上型では海洋環境の変化の激しい所を通るため、全体を一種類の材料でなく、浅海域をコンクリートで深海域を FRP などといった場所に応じて材料を変える設計も考えられている。取水管の敷設工法として、① 浮遊曳航工法（ナウル 100 kW パイロットプラント）<sup>(2)</sup> ② 海中曳航工法、③ 海底曳航工法（徳之島 50 kW パイロットプラント）<sup>(3)</sup>、④ 敷設船工法（Mini-OTEC）<sup>(4)</sup> などがある。括弧内はその工法で行なわれたプロジェクトの例を示した。工法は安全確実に且つ速やかに長大な取水管を所定の位置に敷設することが必要で、取水管の規模、設置点の海象、気象、海底地形及びインフラストラクチャ条件によって決定される。表 1 に現在までの実海域での取水管実験の例をまとめた。

洋上設置型においてはこの冷水取水管を支え、発電システムの格納容器となる海洋構造物技術が必要とな

表 1 冷水取水管の実績

プロジェクト	設置点, 深度	時間	仕様
Mini OTEC	ハワイ ケアホレ 2.1 km 沖 (洋上)	1979. 6 - 11	610 mm $\phi$ O. D $\times$ 561 mm I. D $\times$ 655 m H. D ポリエチレン 75 t/h
佐賀大学	島根沖 (洋上)	1979. 10. 11	267 mm $\phi$ $\times$ 216 m 鋼 250 t/h
OTEC-1	ハワイ ケアホレ 32 km 沖 (洋上)	1980. 12 - 1981. 4	1220 mm $\phi$ $\times$ 640 m $\times$ 3 本 ポリエチレン 15,480 t/h
NOAA	オアフ (洋上)	1983. 4	800 mm $\phi$ $\times$ 120 m FRP -
World Protein Inc.	セントクロイ (陸上) 1.9 km 沖 水深 870 m	1972 ~	95 mm O. D $\times$ 75 mm I. D $\times$ 1800 m $\times$ 3 本 ポリエチレン 9.6 t/h
SCTF	ハワイ ケアホレ 〔陸上〕 水深 610 m	1981. 11 ~	254 mm ポリエチレン 340 t/h
東電・東電設計	ナウル島 (陸上) 水深 580 m	1981. 8 ~ 1982. 8	750 mm $\phi$ t 30 ~ 35 mm $\times$ 945 m ポリエチレン 732 mm $\phi$ t 21 mm $\times$ 148 m 1,410 t/h
九電	徳之島 (陸上) 水深 370 m	1982. 7 ~ 1984. 9	500 mm $\phi$ t 23.3 mm $\times$ 2400 m H. D ポリエチレン 500 t/h

る。海洋温度差発電システム固有な点は、数万トンから数10万トンに及び巨大構造物を水深1,000 m程度の海域に長期に亘り設置することであり、その方式には、①浮遊型（表面浮遊型、半潜水型、潜水型）、②着底型、③洋上移動型に大別される。構造物技術は主に、海底石油掘削技術として発達し、ガイドタワー方式では1983年時点では水深305 m、重量48,000 ton LENA U・S・Aが水深としては最高となっている。<sup>(5)</sup> 寸法的には巨大タンカー技術として確立されている。システムの設置海域条件に十分適合した構造物方式の選択が必要であり、設置海域選定の自由度を増やすためには、大水深長期係留技術及び大型潜水型構造物の低コスト・高信頼性海洋構造物技術の確立が必要となる。

### 3. 発電技術

#### 3.1. クローズドランキンサイクル

サイクルの動作は、図-1のモリエル線図（温度-エントロピ）内に示されているが、作動流体は蒸発器で温海水より熱を受けとり、等圧過程で蒸発する。高圧蒸気となりタービンで断熱膨張をして仕事を外部に渡す。それ自身は凝縮器に入り、冷海水に熱を放出し、凝縮液化される（等圧過程）。作動流体ポンプによって液は断熱圧縮され蒸発器に戻り、作動流体は閉ループを形成する。図中I II II' III IV Iで囲まれた面積が有効仕事となり、I II' III IV Iで囲まれた面積が理想熱機関であるカルノーサイクルの有効仕事となる。海洋温度差は高々20℃で、蒸発温度と凝縮温度との差は高々10℃前後であるため、ランキンサイクル効率もカルノー効率のほぼ90～95%となっている。効率の議論に用いられる温度は蒸発温度や凝縮温度が基礎となっており、熱源の入口温度ではない。熱源から作動流体に熱を移

動させるため、温度差が必要となり、この温度配分が海洋温度差発電システムのシステム技術において重要な要素となっている。すなわち温度配分の確立は、各コンポーネントの性能とコストに大きく影響される。システムの最適化にあたっては、総出力から温冷水及び作動流体ポンプ動力などの所内動力を差し引いた正味出力に対する総建設費の割合がシステムの評価指標になっている。コストの代表として熱交換器伝熱面積をとることもある。単位出力の電力を得るために必要な伝熱面積は、その熱伝達係数Uとは反比例関係にある。例えば、1 kWの発電のためには蒸発器及び凝縮器で各々 $U=2.5 \text{ kW/m}^2\text{K}$ では約5.4  $\text{m}^2$ 、 $U=5 \text{ kW/m}^2\text{K}$ なら約2.7  $\text{m}^2$ の伝熱面積が必要となる。熱伝達係数Uは作動流体側、海水側、生物汚れ係数、伝熱壁熱抵抗により決ってくるため、伝熱面の高性能化およびそれに関連した作動流体の選択が大きい課題となり、今まで多くの研究開発努力がなされている。作動流体としては経済性の観点からアンモニア、安全性の観点からフロン22が候補として挙げられているが、最近非共沸系の混合媒体の導入によるサイクル効率の向上などから作動流体についての見直しがおこなわれている。<sup>(6)</sup> 熱伝達の高性能化は、蒸発、凝縮熱伝達、海水側強制対流熱伝達の促進、生物汚れ対策及び伝熱材料の選択に分けられる。蒸発熱伝達の高性能化には、①金属粉末や繊維による多孔質層の形成<sup>(7)(8)</sup> ②微細機械加工伝熱面の形成<sup>(9)</sup> が試作され、アンモニアを作動流体として熱流束 $10 \text{ kW/m}^2$ で $15\sim 30 \text{ kW/m}^2\text{K}$ が得られている。膨大な伝熱面が用いられるため、①均一性、再現性にすぐれていること、②加工費が安価であることが必須条件となる。凝縮熱伝達の高性能化には、出来るだけ薄い凝縮液膜として凝縮させ、速やかに伝熱面より引き離すことが必要である。表面張力を利用したフルテッド管<sup>(10)</sup> 重力効果による液排除を施したドレンガター付管<sup>(11)</sup> が試みられており、 $10 \text{ kW/m}^2$ でフロン22でも $10 \text{ kW/m}^2\text{K}$ が得られている。加工コストの低減化は蒸発器の場合と同様必須であり、材料選択と密接な関係を持っている。又、海水側の伝熱促進には様々の乱流促進機構が提案されているが、ポンプ動力及び生物汚れ対策法との兼ね合いを十分考慮しなければならないので、未だ確立されていない。生物汚れ除去技術には、①機械的（スポンジボール、スラリー、ブラシ）②化学的（塩素、オゾン）方法に大別される。ハワイ臨海実験場（STF）では0.05 ㎎の塩素添加で十分効果があることを実証した。我が国では環境保全の観点から、化学法の使用が

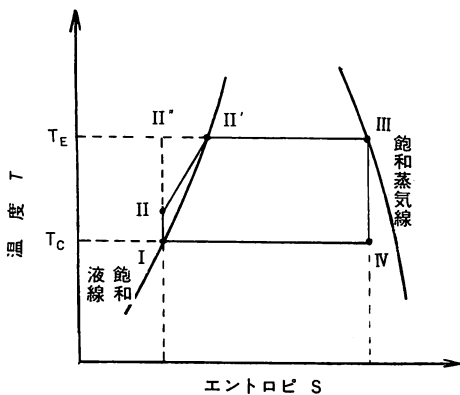


図-1 ランキンサイクル

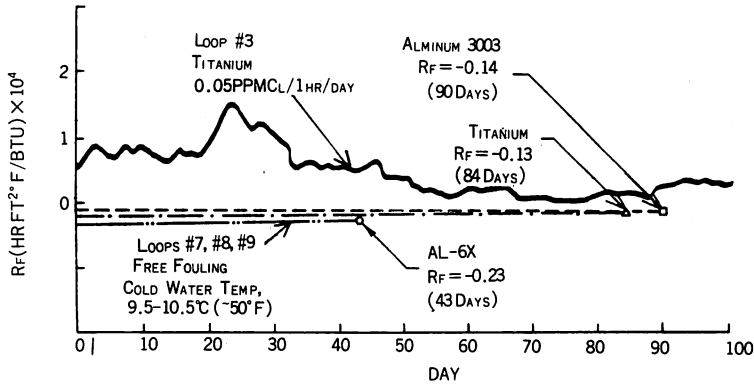


図-2 表層水(塩素注入)と深層水(無処置)の生物汚れ(ハワイ島)

制限されていること、及び生物付着は海域条件に大きく依存することなどから、決定的方法が確立されていない。特にプレート式では間隔が狭く複雑であるため、その解決は、主要な課題となっている。深層冷水ではほぼクリーンでほとんど汚れないという実験結果が多く出されている。図-2にハワイにおける温水及び冷水の生物汚れの実験を示した<sup>(12)</sup>温水には0.05 ppmを1時間/1日によるクリーニングを施しているが、冷水の場合には何もしていない。耐海水性低コスト伝熱材料技術の確立が、低コスト化を一段とすすめるために不可欠であり、二重管、耐海水対策を施したアルミ合金や耐海水ステンレス材料技術の確立が望まれる。

### 3.2 オープンランキンサイクル

サイクルは図-1と同じであり、作動流体は温海水を蒸発させた水蒸気を用いる。蒸発器、ミスト分離器、タービン・発電機、凝縮器、不凝縮ガス除去装置が、主要構成要素となる。オープンサイクル技術の確立のためには、①温海水の蒸発性能の向上、②溶存ガスの挙動解明、③直接々触凝縮の高性能化、④ミスト分離器の最適化、⑤タービン翼、⑥不凝縮ガス除去の高効率化、⑦生物汚れ対策、⑧環境へのインパクトの最小化といった技術課題を解決しなければならない。近年海洋温度差発電システムの実用化はまず、離島用小規模発電システムからという意見が強くなり、比較的小容量を開発目標に掲げはじめたこと、火山性離島では淡水が不足する場合が多く、淡水の価値が高いことから副生物として淡水の得られるオープンサイクルが見直されてきている。蒸発器については、温度差が小さいため水圧効果により僅か8mmの水深ですでに発泡が抑制されてしまうため、従来のフラッシュ蒸発器とは異なるアプローチが必要とされる。アメリカ太陽エネルギー研究所(SERI)では、図-3に示される4つ

の方式の検討を行ない、特に垂直噴流式(スパウト)が良いとしている<sup>(13)</sup>性能を表す指標として $\xi = (Two - Twi) / (Tsi - Twi)$ を選んでる。ただし、w, s, o, i は各々温海水、蒸気、出口、入口を意味する添字である。この値をスパウトの中にスクリーンを何枚も入れることにより、0.82~0.95にすることが出来ることを示した。凝縮器についても、SERIでは7種類のパック型直接々触凝縮器を検討した<sup>(14)</sup>溶存空気の影響については多くの検討例はあるが、実海域実験が少なく、今後の研究が待たれる分野である。蒸発に際しては、海水の発泡作用を促す良い効果を持つ凝縮器では不凝縮ガスとして凝縮性能を低下させ、且つ蓄積される。この濃度を減らすための効率的な不凝縮ガス除去システムの確立は、オープンサイクル成功の鍵をにぎっている。タービンについては、フランスでは現状最大規模の原子力発電プラントの最終段ブレード(直径5.6m)を利用することを考えており、タヒチ5MWeはこれを2台で駆動することを計画している。低圧タービンの高効率化とエロージョン対策、大型化技術の確立が必要である。オープンサイクルでは圧力差が高々0.03気圧と小さく、エネルギーの体積当りの密度が小さいため大型化には不向きである。これを補う方法として、蒸気エネルギーの一部をミストに変えて二相流化した蒸気を上方にはこび、そこで復水させて位置エネルギーに変換し、水力発電所のようにその位置エネルギーで水車発電機を回す蒸気ミストサイクル(蒸気リフトサイクル)が提案され基礎研究が行なわれている。

## 4. エネルギー輸送、貯蔵技術

### 4.1 送電ケーブル

海洋温度差発電は昼夜別なく安定に電力を発生出来

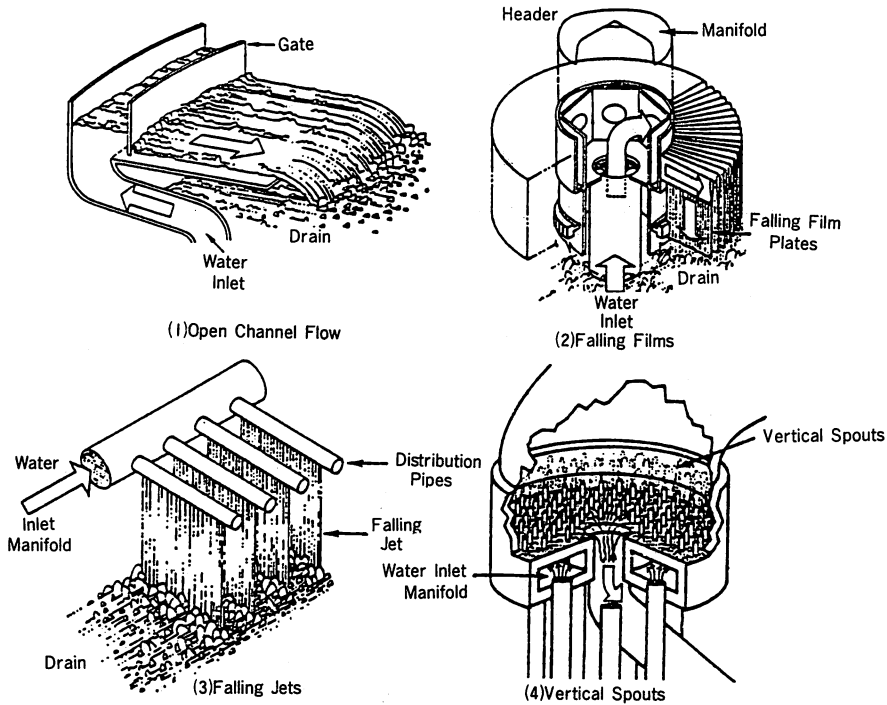


図-3 直接々触蒸発器の方式

るため、洋上設置型プラントの場合も、まず陸上へ送電し、系統電力と連係することが考えられ、そのため送電ケーブル技術が必要となる。送電容量、海洋構造物の挙動、海域条件により送電ケーブルに要求される仕様は大巾に異なり、そのため技術開発目標を絞りにくくしている。海洋構造物が浮遊型の場合には、波浪、海流、風により動揺する。動揺浮体からの大電力送電の実用例はなく、又、水深1,000 m以上の大水深海域での電力ケーブルの例もない。交流送電ではケーブルが長くなると、ケーブルのリアクタンス成分による無効電力が増大し、両端部にシャントリアクトルを設置して、無効電力を補償することが必要となる。そのためケーブルの絶縁体の静電容量が小さいことが要求される。又、60~100気圧の水圧に耐えることも要求されるので、これらの観点からFRP 鎧装XLPE ケーブル（架橋ポリエチレン絶縁ビニールシースケーブル、CV ケーブルとも呼ばれる）が選ばれている。直流送電では変換器が必要になるため、短距離（30~50km）では交流送電が、有利と考えられている。その他浮体と海底ケーブルを結ぶライザーケーブル及び接合部技術が必要となり、中間パイとカタナリー形のケーブルとの組み合わせや冷却取水管に沿わせるなど様々の検討がなされている。

#### 4.2 化学エネルギー変換

陸上より100~200 km以上離れた海洋温度差発電に適した海域で発電する場合、発生電力を化学エネルギーに変換・貯蔵する方法が考えられる。定期的に輸送船で陸上へ輸送し、化学エネルギー→電気変換により電力として利用したり、化学製品として利用する。水素、アンモニア、メタノールへの変換が提案されている。水素は貯蔵法が難しいため、アンモニアへの変換が主に検討されている。1 tのアンモニアを作るのに天然ガスは1,100 m<sup>3</sup>が必要となるため海洋温度差発電でのアンモニア製造は直接化石燃料の節約につながる。又燃料電池によりアンモニアを直接電力に再変換することも出来る。電気分解により作られた水素と空気より分解された窒素を用いてアンモニアに合成する技術そのものは、すでに確立した技術となっている。アンモニアは-33℃で液化し、貯蔵も容易である。石炭資源と海洋温度差発電による水の電気分解と電力とを組み合わせ、メタノールを製造する方法についても検討されている。この様に陸よりはるか離れている場合には保留せず、条件のよいところを探しつつ移動するプラント船となる。

#### 5. トータルシステム技術

表2 海中の栄養塩濃度 (バージン諸島セントクロイ島北側) ( $\mu\text{g at}/\ell$ )

	$(\text{NO}_3 + \text{NO}_2) - \text{N}$	$\text{NO}_2 - \text{N}$	$\text{NH}_3 - \text{N}$	$\text{PO}_4 - \text{P}$	$\text{SiO}_2 - \text{Si}$
表層水 (距岸 3 km)	0.2	0.2	0.9	0.2	4.9
深層水 (水深 870 m)	31.3	0.2	0.7	2.1	20.6

海洋温度差発電で用いる冷海水は、冷熱としての価値と無機栄養塩が豊富な生物生産性活性化の価値を有している。電力と同時に、これらの付加価値のある冷海水資源の活用は、海洋温度差発電の実用化にとって重要な意味を持っている。その意味から、トータルシステム技術として特にここでとり上げた。3.2で述べたようにオープンランキンサイクル方式を採用し、復水器として隔壁型表面熱交換器を用いれば、作動流体の凝縮によって淡水が得られる。設計条件にも依存するが、概略値として温海水流量の約 2.2% に当る約 6.6 kg/h の淡水が発電出力 1 kw 当りに得られる。その量は凝縮器に直接々型とを併用し、その面積比率を変えることにより 0 ~ 100% まで必要に応じて変えることが出来る。クローズドサイクルの場合でも、凝縮器で利用した冷水は入口冷水温度より約 3°C 程度上昇しているのみであるから、フラッシュ淡水化装置の冷却源として利用し淡水を得ることが出来る。この場合には、余分にポンプ動力が必要となる。

海水は、沿岸域を除いて水深の増大と共に硝酸態一窒素、リン酸態一リン、ケイ酸態一ケイ素など無機栄養塩の濃度が増加する。その温度は、表層域に比べ約 10 倍以上高濃度となっている。表 2 にカリブ海セントクロイ島における栄養塩の表層と、水深 870 m との比較を示した。NO<sub>3</sub>-N 濃度が 10  $\mu\text{g-at}/\ell$  から 30  $\mu\text{g-at}/\ell$  に 3 倍増加するだけで植物プランクトンの収量は 1 ml 中の細胞数として約 1 桁向上するといった実測例がある。又深層水は、清浄で有害な微生物や、人工汚染物を含まないため、選択的に意図した生物を活性化することが可能となる。水温が低いとプランクトンの増殖速度が遅いとか、深層水のみではプランクトンの初期増殖抑制作用があるといった問題点が見い出されつつあり、深層水の諸特性の十分な把握とプランクトン等生物の特性とを十分把握して、深層水栄養塩利用システム技術の確立を図っていくことが必要となっている。トータルシステム技術としては、コストゼロの排出された海水を用いて海水ウラン採取技術システムと結合させたり、電力利用として洋上でアルミやチタンの精練を行うトータルシステムなどが提案さ

れている。

### 6. 環境アセスメント

2.1 では海水を取水するため、すなわち海を利用するために必要な海洋計測技術について述べたが、本節は、発電システムを設置したことによる環境へのインパクトを評価する技術について述べる。海洋環境の把握については共通する部分が多いが、海洋温度差発電システム固有の問題はプラントから排出される冷海水排水の挙動に関するものである。冷排水は、温水の排水と混合されて排出されるとしても表層水温にくらべて、10°C 以上の差がある。冷排水現象は、現実の海洋現象として存在しないため、実測によりその影響を評価するということが出来ない。それ故、海洋力学的、地球流体力学的、及び水理学的な考察を通して、その本質を想定し、数値シミュレーション又は水槽内の流体モデル実験を行ってその挙動を予測するという手法をとることになる。冷排水の振舞いは、発電プラント側条件と、周辺海域条件によって大きく影響を受け、又海底地形や海象・気象を十分模擬した実験は不可能ともいえるので、典型的あるいは理想的モデル実験によって概略把握を行い、段階的実海域実験においてその実態を把握するというアプローチとならざるを得ない。冷排水の拡散とは、運動量及び温度差を失なうプロセスである。この拡散のモデル化にあたっては、発電プラントの周辺ではいわゆるプリューム (水塊) として振舞うので「近接領域」問題と、周囲水と密度差を失ったのち広がって成層をなす「遠方領域」問題とに分けることが出来る。近接領域では噴流的扱いが、遠方領域ではコリオリ力などの海洋の中規模現象とし

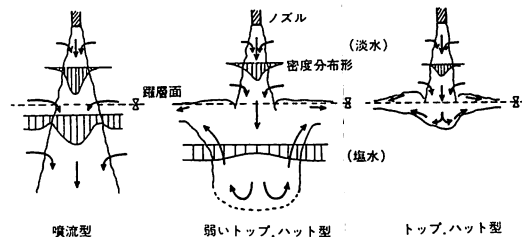


図-4 密度二成層場での冷排水の振舞いのパターン

での取扱いが必要となる。近接領域では、広がりの中、希釈率、温度拡散率などが指標となり水槽実験、数値シミュレーションがすすめられている。図-4に密度二成層場での冷排水の拡がりのパターンを示した。このような冷排水の挙動解明と併行して、生物相への影響を調べることが次の段階として必要である。

## 7. 将来展望

海洋温度差発電技術をエネルギーの採取から利用・環境アセスメント技術まで、エネルギーの流れの中でブレイクダウンして概観した。海洋観測技術、海洋構造物技術、発電技術、電力送電技術など従来の他分野からの適用技術があり、海洋温度差発電技術の基盤を形成していることがわかる。海洋温度差発電では海洋の側面からは、表層から水深1,000m以上までの大水深海域を利用すること。陸から数km～数10km離れた海域利用であること。冷海水という温度的、栄養塩的に表層と大きく異なる物質を表層に持ってくることといった従来にない固有の利用の仕方である。発電システムなどハード的にみると、全体温度差が高々20℃しかないという極限的に小さい温度差であること。冷水取水量な大口径長尺であるなど従来技術の枠を越えるものも少なくない。実験室レベルの実験や実海域実験の積み上げにより技術の確立の努力がなされている。原理的に可能な技術であり、ここでの技術の確立とは、リスクの低減をはかり、どこに手が抜けるかを明らかにする技術開発と、高性能化、高効率化、コンパクト化を達するための技術開発であり、低コスト、高信頼性システムの構築に向けての技術開発である。実験室での技術を実海域システムに結びつけるため、実海域での要素技術の実験を多方面から、ある場合には長期に亘って行う段階に来ているものと考えられる。これらの実験と実海域システム実験との関係により、海洋温度差発電の新しい展開がはかられるのではないかと思う。その意味で赤道付近の条件のよい所で、半実用発電プラント又は半実用トータルシステムを稼動し実績を積む方法は一つのアプローチであろう。

## 参考文献

1. IFREMER, Ocean Energy Conversion, the French Program (1985)
2. 山本; 100kW 海洋温度差発電実証プラント, 配管技術, 56-64 (1983)
3. 原ら; 徳之島 OTEC 取水管布設工事について, 電力土木

- 188, 79-89 (1984)
4. L.C. Trimble et al, Review of Mini-OTEC Performance, 15th IECEC, 809261, 1331-1338 (1980)
5. R.L. Geer, Energy, Proc. of Oceans '83 1176-1180 (1983)
6. 梶川ら; 非共沸混合媒体サイクル海洋温度差発電 S61 年電気学会全国大会予稿集11, 1517-1518 (1986)
7. J.J. Young et al, OTEC-1 Heat Exchanger Test Result, Proc. of 8th Ocean Energy Conf. VII A 3-1-14 (1981)
8. T. Kajikawa et al, Heat Transfer Performance of Metal Fiber Sintered Surfaces, J. of heat transfer engineering 4, 1, 57-66 (1983)
9. T. Torii et al, the Use of Heat Exchangers with Thermoexcels' Tubing In Ocean Thermal Energy Power Plants, Proc. of ASME Winter Meeting (1978)
10. S.K. Combs, Experimental Data for Ammonia Condensation on Vertical and Inclined Fluted Tubes, ORNL-5488 (1979)
11. H. Takazawa et al, Condensing Heat Transfer Enhancement on Vertical Spiral Double Fin Tubes with Drainage Gutters, J. of Solar Energy Engineering 107, 222-228 (1985)
12. H.C. Stevens, ANL RSD Programs at the Seacoast Test Facility, Proc. of Ocean Energy Workshop 56-64 (1982)
13. D. Bharathan et al, An Overview of Heat and Mass Transfer in Open-Cycle OTEC Systems, Proc. of Thermal Engineering Tenth Conf. II 301-314 (1983)
14. D. Bharathan et al, An Experimental Study of Steam Condensation on Water in Counter current Flow in Presence of Inert gases, ASME 84-WA/sol-25 (1984)
15. サンシャイン計画推進本部, サンシャイン計画成果概要集, 11-19 (1985)