

海洋温度差発電に関するフィールド実験

A Field Experiment on Ocean Thermal Energy Conversion off Shimane, Western Japan Sea

栗 須 正 登*

Masato Kurisu

1. 日本海

日本海底には、北方リマン海流による冷海水 (0.2°C : 実測) が、ほぼ無尽蔵に存在し、一方表層には黒潮の一部である対馬暖流が流入し、 27°C (夏場) の温海水が存在する。両者の膨大な温度差エネルギーの有効活用を意欲を燃やしている。

調査の結果、日本海は他の海域 (例えば、ハワイ沖の663m) より、浅い200mのところから冷海水が吸い上げられて、温度差利用の海域として好都合である。好都合の理由を以下に要約すれば、

- 洋上エネルギープラントの建設費が大巾に安くなる (例えば、ハワイ沖の建設費の約33分の1)。
 - 深海水を吸い上げるための動力が小さい。
 - 吸い上げパイプ中の温度上昇が小さい。
- などの利点が明らかになった。

2. 温度差発電の原理と問題点

海洋温度差発電の原理を図-1に示す。日本海では夏場、表層で 27°C の温海水だが、200mの深海においては 0.2°C が記録される。

水の沸点は1気圧で 100°C だが、気圧を0.02気圧に下げると 27°C でも沸騰する。したがって、 $27^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ の海水の間には、0.02 ~ 0気圧差があり、この圧力差で理論的にはタービンが回転できるが、実際にはこの圧力ではタービンは回らない。

このため、圧力を上げる各種の試みが行われている。このプロジェクトでは、圧力を上げる熱媒体としてフロン12を用いた (熱媒体としては、 NH_3 やフロン22の方が性能が良いことは明らかであるが、実験者が長崎大学の学生およびスタッフであるため、研究者の安全上の見地からフロン12を採用した)。フロン12を用いたので 27°C の温度差で 1.4 kg/cm^2 の圧力差となり、この圧

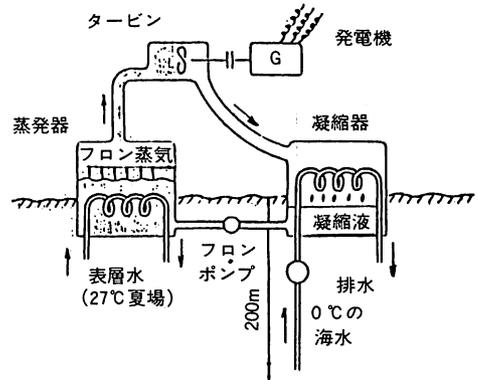


図-1 温度差発電の原理

力でタービンが十分回転出来た。

図-1に示すように、2つの容器があり、一方の蒸発器には表層水を入れてフロン溶液を加熱すると、ここでフロンガスが発生する。他方の容器（凝縮器）では200mの深海からポンプアップした冷海水で冷却すれば、フロン蒸気は液体に凝縮する。両者の間でフロンタービンを回し、これに直結した発電機で電力が得られる。

図-1のような発電において、タービンおよび発電機については現状の技術で全く問題はない。温度差発電では、石油や石炭などの燃料を全く使用しない、また原子力発電のような公害問題も発生しないのではなはだ都合が良いが、次に述べるような2つの技術難点を有する。

- 燃料は全く使用しないが、その代り極めて大容量の熱交換器を必要とする。例えば、この計画の5kW (洋上で得られたのは2kW) の発電に対して $1'' \times 8,000\text{m}$ の裸銅パイプを必要とする。裸銅パイプを用いたのではその設備資金の利子の方が石油の燃料代をはるかにオーバーする計算になる。この問題を解決するため、プロジェクトは、冷凍機および冷房設備グループの技術協力を受けた。日本のこの方面の技術の進歩には目覚ましいものがあり、その結果、前述の8,000mの10分の1の800mに短縮出来た。

* 長崎大学工学部機械工学科教授

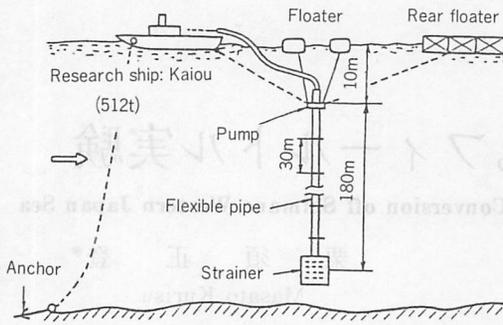


図-2 実験船の設定

(2) 海洋エネルギーはその量が膨大でほとんど無尽蔵と言って良い。問題は温度差が小さいことで、地球上の洋上で得られる温度差はおよそ 25°C 位である。温度差が小さいため現状の技術では発電の効率が1~2%程度と非常に小さい。これを石油発電所の効率約40%(最大)と比べると非常に悪く、換言すれば同じ容量の発電に対して、設備資金が20~40倍必要とすることを意味する。

3. 実験船の設定

図-2に、実験船“かいおう512t”の設定状況を示す。洋上設定のポイントは1点アンカー方式を採用した点である(揚水パイプライン、その他も All Tension とした。Tension Member にすることにより設備費の大巾低減を可能にした)。

図-2で解るように、船首を一本のアンカーで固定し、船尾より約70m後方浮子との間にパイプラインを吊した。したがって、潮流が変わればそれにつれて全設備がゆっくり一日に2回その方向を変える。海底のアンカーには長さ25mのチェーンがあり、これに長さ600m(25φ)のワイヤロープを連結して実験船を繋留した。

島根沖の洋上実験は昭和57年9月2~14日に実施し

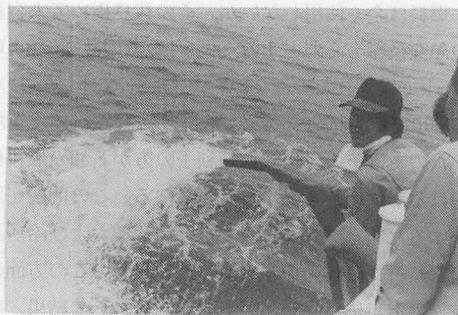


図-3 冷却水のポンプアップ

たが、プロジェクトはこれに先だって、東支那海で数回の冷水ポンプアップの予備を行った。図-3は、東支那海における深海水のポンプアップ状況である。

実験海域は島根県日御崎北東38kmの地点である。同地点付近は、俗に島根沖冷水と呼ばれる冷水水塊が強く接岸する海域である。

4. 実験船上の発電設備の概要とその特徴

図-4に、発電機の写真を、また、表1にその主な仕様を示した。以下に、このプロジェクトの研究設備の特徴について述べる。

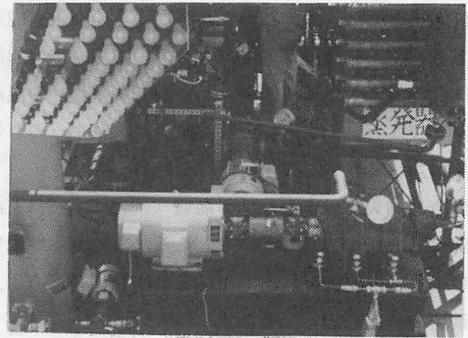


図-4 実験船上の発電設備

熱交換器の性能がこの種の研究の死命を制すると言っても過言でないが、ここでは、空調用に開発された22φの特殊パイプを図-5に示すように、2重管方式の管群方式とした。管群方式とすれば、シエル・アンド・チュー方式のシエルを必要としないので、大巾な重量軽減となる。2重管の内側に海水を通し、2重管の中間にフロンを通す。海水も、フロンも強制循環としたので、動力はあるが、熱交換器の出力は増加する。

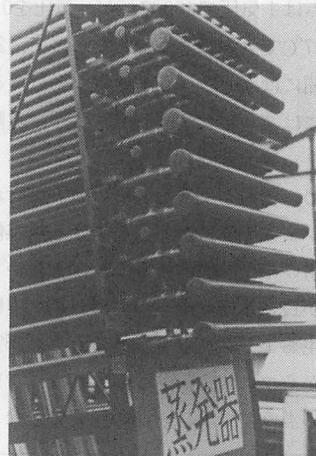


図-5 凝縮器

表1 主な研究設備の仕様

船舶設備		(b) 蒸発器	
実験船「かいおう：512t」		特種パイプ	22φ×4m×100本=400m
全長：50.2m 幅：10.1m 深さ：4.6m		温海水入口温度	25℃
宿泊設備 38名		“ 出口 “	22℃
冷海水ポンプUp設備		フロン蒸発 “	20℃
(a) 揚水パイプ：6"×210m, 60m ³ /H		エンタルピー(蒸気)	139.12 kcal/kg
(b) “ : 4"×30m, 35m ³ /H		(液体)	104.56 “
(c) 4"水中ポンプ×2台 H=8.5m		蒸発熱	212154 kcal/H
	Q=1.2m ³ /min	(64冷凍トン相当)	
熱交換器(管群方式)		温海水流量	70.718m ³ /H
(a) 凝縮器		=1.18m ³ /min	
特種パイプ	22φ×4m×100本=400m	フロン・タービン	
冷海水入口温度	2℃	型式	スクリュウ膨張式
“ 出口 “	5℃	容量	10kW
フロン凝縮 “	7℃	回転数	3000~4000 rpm
エンタルピー(蒸気)	137.56 kcal/kg	タービン熱落差	1.54 kcal/kg
(液体)	101.12 “	フロン流量(重量)	100 kg/min
凝縮熱	203444 kcal/H	7.5kVA 発電機	
(61 冷凍トン相当)		仕様	220V 19.8A
冷海水流量	67.8m ³ /H		1500~3600 rpm
=1.13m ³ /min			(max. 4000 rpm)

フロン・タービンにはスクリュウ空気圧縮機(工用用エアマン)を逆転したスクリュウ膨張機を用いた。プロジェクトは、当初ジェット機に用いられるガスタービン(遠心式タービン)の小型のもので実験した。その結果、性能は良いことが確認出来たが、問題は回転数で、小型のため、10~20万回の高速となり、これにつなぐ発電機にこのような高速のものが現状では見当らなかった。スクリュウ膨張機の回転数2,000~4,000rpmで、これと直結する発電機の回転数と同じで好都合であった。もちろん、発電容量の大きいプラントでは、遠心式フロン、タービンが良いことは明白であるが小容量のものでは設備費の点でスクリュウ膨張機の方が勝る。

発電機には7.5kWの市販の漁船用のものを用いた。船舶設備や深海水揚水設備については、表1に掲載することにとどめて、詳細説明を省略するが、深海水の揚水には、6"のフレキシブル・ビニール管を用いて成功した。揚水ポンプは水中ポンプが良いことを経験した。

5. 実験結果

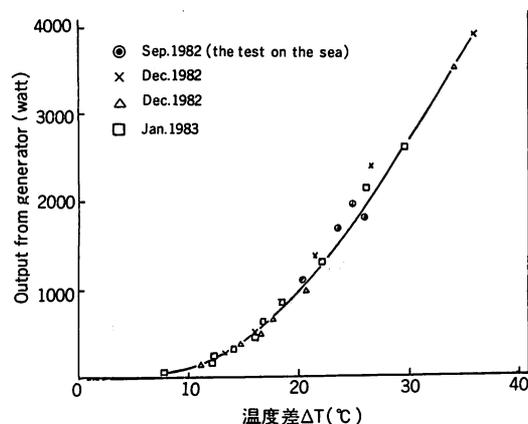


図-6 温度差と発電機出力

図-6に、たて軸に発電機出力をとり、横軸に海水の温度差をとって示した。同図には、洋上の実験結果のほかに、長崎大学の学内予備実験も合せて載せた。同図より温度差が大きい程出力が増すことが解る。

表2は発電機出力とポンプ動力の関係を示したもので、ここでは、ポンプ発生圧力(循環水配管の圧力損失) $p = rH$ に流量 Q を掛けた rQH (実験値) およびフロン循環系の $r'Q'H$ を発電機出力と合せて比較し

表2 循環水およびフロン管路の流体損失

Diff. of the temp.	Output (watt)	Net loses measured for the water pump (watt)	Net loses measured for the flon pump (watt)
20 °C	840	1288	434
25 °C	1512	1305	560
30 °C	2448	1299	694
35 °C	3792	1311	821

た。(水力損失 (γQH))は、流体管路の純損失であり、この中には、ポンプ損失および駆動用電動機の損失は含まれていない。この表から判るように、25°Cの温度差では、1,512 Wattの電力を得るためには、1,305+560=1,865 Wattの水力損失を消費した。表2を見るに、温度差の増大とともに、発電機出力は増大するが、管路損失は増加せず、特に循環水管路の損失はほぼ一定である。

洋上で最大1,512 Wattの発電機出力が得られたが、この時の回転数は1,500 rpm、熱交換器の熱落差は1.6 kcal/kg、冷海水の水温は2.3°C、温海水の温度は24.4°C、冷海水量は45(t/H)であった。

この洋上実験により、つぎのようなことが明らかになった。

- a) シェル・アント・チューブ方式より管群方式の熱交換器のほうが海洋温度差発電に適する。
- b) 作動熱媒体としては、アンモニアとフロンが上げられるが、総合的には後者の方が有利なことが指摘出来る。
- c) フロン・タービンとして、スクリュウ膨張機(工用エア・マンの逆転)を使用した。小型(2,000 kW)程度までは、発電機の回転数とのマッチングの点で極めて好都合であることが確認出来た。また、

エア・マンは多量生産されているので設備費の軽減となる。

文 献

- 1) 栗須;工業材料, 28-7, (昭.55-7), p12
- 2) 栗須;OHM, 67-11, (昭. 55-11), p106
- 3) 栗須;工業材料, 29-1, (昭. 56-1), p44
- 4) 栗須, 他4名;長崎大学工学部研究報告, 16, (昭. 56-1), p19
- 5) 栗須, 他3名;機講論, No813-4, (昭56-7), 123
- 6) 栗須, 他5名;長崎大学工学部研究報告, 17, (昭. 56-7), p9
- 7) 栗須, 他2名;長崎大学工学部研究報告, 17, (昭. 56-7), p17
- 8) 東, 他2名;長崎大学工学部研究報告, 17, (昭. 56-7), p29
- 9) 栗須, 他2名;機講論, No835-4, (昭. 58-11), p207
- 10) 山口, 他3名;長崎大学工学部研究報告, 21, (昭. 58-8), p115
- 11) 田中, 他4名;長崎大学工学部研究報告, 22, (昭. 59-1), p7
- 12) 植木, 他2名;長崎大学工学部研究報告, 23, (昭. 59-12), p17
- 13) 栗須, 他2名;長崎大学工学部研究報告, 23, (昭. 59-12), p40

お知らせ

「第2回波浪エネルギー利用シンポジウム」
(主催:海洋科学技術センター, 協賛:本研究会ほか)の論文募集要項は、
本号の巻末(ii)に掲載されていますのでご参照下さい。