

淡水化実験における海洋温度差分布の自動測定

(日本近海における実測データ)

高橋 賢一郎* ・ 東 克彦*
栗須 正登**Automatic measurements of the Temperature
distribution on the Desalt experimentation
of Sea water

(actual data in the near seas of Japan)

by

Ken-ichiro TAKAHASHI, Katuhiko HIGASHI

(Department of Electrical Engineering)

Masato KURISU

(Department of Mechanical Engineering)

On the July 1980, in the 20 sea miles offshore of the Izumo, the desalt experiment of sea water are carried out with the mini plant on the 500 tones laboratory ship and the expected fresh water was obtained as the planning.

On the three times pre-experimentation at near seas of the Nagasaki, the formal experiment and the desalt experiment utilized warm draining of a power plant, this paper describes measurement methods of the sea water temperature distribution, its data and defects.

Our project team intend to make the large sized proto-type plant under the three-year plan.

1. 緒言

日本海は平均深度1730mで、間宮・宗谷・津軽の各海峡は狭く袋小路になっており、水深約200m以深では年間を通してほとんど0℃の冷海水を持つ巨大な冷蔵庫と考えられる。これに対馬・朝鮮各海峡より表面約200m以浅を対馬暖流(夏期27℃max)が流入しており、このような特性をもつ海域は地球上では日本海

のみであり、日本にとって恵まれた利点と考えられる。

日本近海に存在する温海水と冷海水の温度差が最大で、かつ深度差が最小である地点は対馬暖流が日本海に流入する日本山陰海域と韓国南東海域である。

省エネルギー・省資源の時代になり、この海洋温度差約20～25℃のエネルギーと、さらに大型発電所の温排水の温度差8～10℃は、小さいながらその量は膨大なの

で、それらの活用が考えられるようになった。今回エネルギー資源活用の一環として、海洋温度差、発電所の温排水さらに化学的昇温サイクル方式ヒート・ポンプ利用の海水淡水化実験を行い、期待の海域の地点における海水温度差分布の実測を行った。本稿はそこで得られた正しいデータの整理と保持を含めて、測定理論、回路方式と共に各実験ごとのデータをまとめ、問題点をも記述しておくものである。

2. 測定理論と回路方式

温度測定用のセンサーとしては、従来よりサーミスタ、サーモカップル、熱電対等が多く用いられる。しかしサーミスタ等は温度変化に対する出力が直線的に変化しないためリニアライザ回路が必要になる。最近では半導体を使用した高性能のIC温度センサーが開発され使用されつつある。IC温度センサーは、(1)出力がすでに線形化されているためリニアライザ回路が不要でそのまま計器に接続できる。(2)出力インピーダンスが高いので伝送路の抵抗、コネクタ接触抵抗などの影響を受けにくい。(3)広範囲の温度変化を測定することができる等の多くの利点を持っているが、多数の測定点を必要とする場合は高価になる。

我々が今回行った三度の予備実験、鳥根県日御碕沖での海水淡水化実験では、サーミスタセンサーを使用したX-BT（自動平衡記録抵抗温度計）と安価なダイオードセンサーを使用した温度測定回路の両方を用いて実験を行った。

(1)X-BTの基本回路をFig.1に示す⁽¹⁾⁽³⁾。プローブ内のサーミスタ R_t の抵抗を一辺とするホイットストン

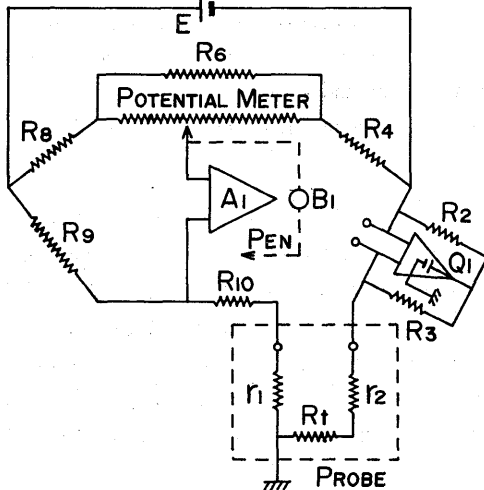


Fig. Circuit of X-BT.

ブリッジ回路を用いて、温度変化によるサーミスタの抵抗変化をサーボアンプ、サーボモータを使用して自動的に温度に追従記録させている。

(2)ダイオードセンサーを使用した温度測定の実際の回路をFig.2に示す⁽²⁾。各ブリッジ回路は R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_t で構成され R_t の抵抗変化を電圧に変換しOPアンプ（演算増幅器）で増幅し打点記録計で多数の測定温度を記録している。

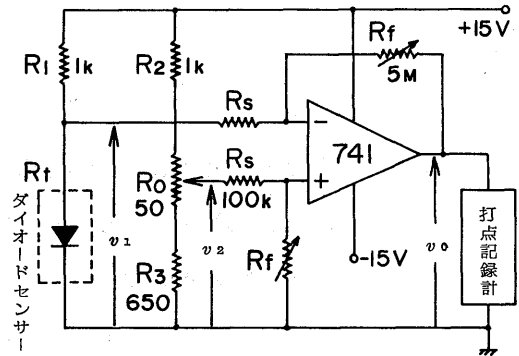


Fig. 2 Practical circuit of the temperature measurement using a diode sensor.

いまOPアンプの \ominus 端子（反転端子）に v_1 の電圧、 \oplus 端子（非反転端子）には v_2 の電圧がかかっているものとする、出力 v_0 は

$$v_0 = R_f / R_s \cdot (v_2 - v_1)$$

で表わされ $v_1 = v_2$ の時出力 v_0 は0 [V]である。温度が変化した場合、 R_t の内部抵抗が変化し v_1 が変化するため v_0 には $R_f / R_s \cdot$ 変化分が表われる。今回使用したダイオードセンサー（NEC, 1S121）は温度が上昇すると内部抵抗が減少し、 v_1 がそれにつれて減少するため、OPアンプの \ominus 端子（反転端子）に接続し出力 v_0 に正の電圧を得ている。Fig.2の実際の測定回路で、 R_0 は零調整用、 R_f は出力電圧 v_0 を予想測定温度の上限値に設定する感度切換用の半固定ポリュームである。この回路は+B電源（+15V）が安定であること、ブリッジを構成している R_1 、 R_2 、 R_0 、 R_3 と R_s 、 R_f の値が温度変化によっても誤差が少ないということが必要条件である。これが不安定だと零調整、上限値設定が狂いそのため測定温度に誤差が生じる。

Fig.2の回路を使用して得られた出力電圧と温度の関係をFig.3、ダイオードセンサーの動作抵抗、温度、出力電圧の関係をTable.1に示す。Fig.3は0℃のとき出力電圧を0 [V]、50℃の時10 [V]に R_0 、 R_f でそれぞれに設定したものである。図から分るように出力電圧—温度

の関係はほぼ直線的に変化しているため出力を記録計等に接続すると、温度の時間的変化を直読することができる。

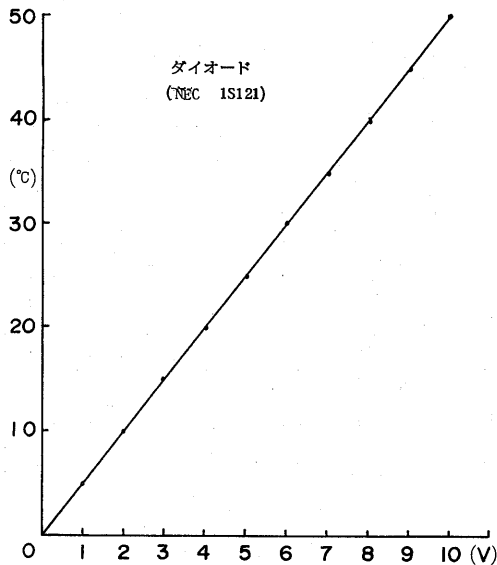


Fig. 3 Characteristic curve of a diode sensor.

温度 (°C)	動作抵抗 (Ω)	出力電圧 (V)	温度 (°C)	動作抵抗 (Ω)	出力電圧 (V)
0	674	0.0	16	639	3.2
1	672	0.2	17	637	3.4
2	670	0.4	18	635	3.6
3	667.5	0.6	19	633	3.8
4	665.5	0.8	20	630	4.0
5	663	1.0	21	628	4.2
6	661	1.2	22	626	4.4
7	659	1.4	23	624	4.6
8	657	1.6	24	622	4.8
9	654.5	1.8	25	620	5.0
10	652.5	2.0	26	618	5.2
11	650	2.2	27	615	5.4
12	648	2.4	28	613	5.6
13	646	2.6	29	611	5.8
14	643	2.8	30	609	6.0
15	641	3.0			

Table 1 Characteristic data of a diode sensor

3. 実測データ

昨年4月～7月に行った水深40m（長崎港沖）、水深70m（伊王島沖）、水深200m（五島黄島沖）の3度の予備実験のうち、水深200m（五島黄島沖）の海域

日御碕 19.95海里—309.5° 昭和55年7月21日長崎丸測定		日御碕 21.9海里—329° 昭和55年7月24日長崎丸測定	
水深m	温度℃	水深m	温度℃
0	22.76	0	22.98
50	17.59	50	17.34
100	15.42	100	15.26
110	14.74	110	14.84
120	13.29	120	14.52
130	9.68	130	13.28
140	7.30	140	10.59
150	5.96	150	7.33
160	5.45	160	6.03
170	4.25	170	5.34
172	2.33	180	5.06
		190	4.41
		200	3.51
		210	2.09

Table 2 Temperature distribution data with depth of the Izumo offcoast.

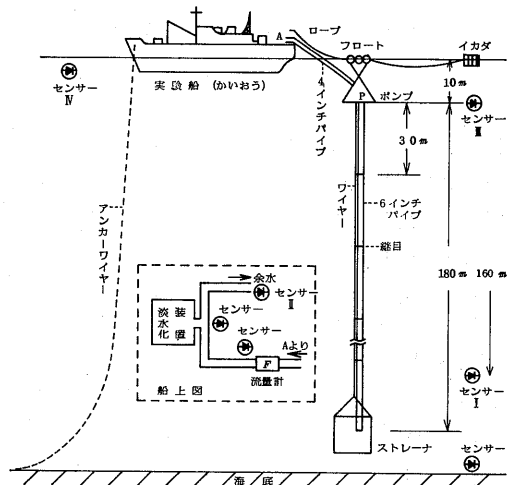


Fig. 4 Schematic outside of the sensor set situation

での実験では水面温度21℃、海底温度13.6℃（昭和55年・7月4日実測）で温度差7.4℃という結果が得られた。

島根県大社沖（日御碕燈台より19.95海里～309.5°）での淡水化実験では水面温度（最高25℃、最低19℃）、海底の温度（最高4.8℃、最低0.9℃）、淡水化装置冷水入口温度（最高7.8℃、最低2.4℃）で温度差は最高22℃（昭和55・7・22～27実測）で淡水化実験に必要な温度差には満たなかったが、約1.2l/hの淡水を作る

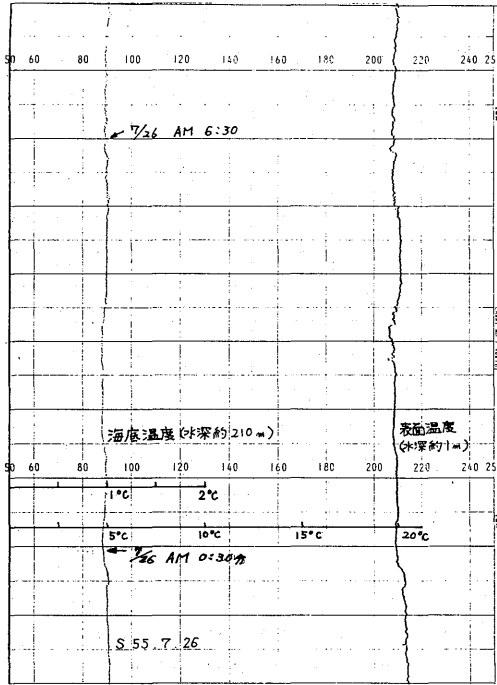


Fig 5 Record graph of the surface and bottom of the sea in the IZUMO offcoast.

センサーNo.	I	II	III	IV	
測定	流量	水面下 160m	パイプ 出口	水面下 10m	水面
時刻	m ³ /min	温度℃	温度℃	温度℃	温度℃
13:32	0.302	3.2	4.6	23.9	25.0
13:40	0.302	3.2	4.6	23.8	25.0
13:50	0.302	3.2	4.6	23.8	25.0
14:07	0.191	3.2	5.4	23.9	24.9
14:20	0.191	3.2	5.6	23.9	24.9
14:30	0.191	3.2	5.6	23.8	24.9
14:33	0.099	3.1	6.4	23.6	24.9
14:40	0.099	3.1	6.9	23.9	24.9
14:50	0.099	3.1	7.1	23.9	24.9
15:00	0.099	3.1	7.2	23.8	24.9
15:05	0.346	3.1	5.2	23.7	24.9
15:10	0.346	3.1	4.7	23.7	24.9
15:15	0.346	3.1	4.8	23.8	24.9
昭和55年7月27日		海底温度 1.9℃			

Table 3 Actual data of Fig. 4

ことに成功した。

長崎丸の X-B T を使用して得られたデータを Table.2 に示す。Fig.4 はダイオードセンサーでの測定箇所と、海底の冷水取出法を示し、そのデータを Fig.5, Table.3 に示す。

Fig.4 から分るように海底の冷水は内径 6 インチ、長さ 30 m のプラチックホース (塩ビ) 6 本を鉄製の継手で接続し、ホースの先端はストレーナにもう一方は水中ポンプを経て 4 インチのホースで船上に取り出されている。ホース内での温度上昇はホースの長さ 210 m (6 インチ 180 m 4 インチ 30 m,) で約 1.2℃, 配管用の塩化ビニールパイプ約 15 m で約 0.2℃ となった。

Table.4 に淡水化実験における淡水化装置内の各部の状態とその生成量等のデータを示す。

さらに我々は本実験の他にも、大村発電所において復水器冷却後の温排水を利用して淡水化実験を行ったので報告する。この実験では、海底の冷たい海水の代りに冷却用の海水を、水面の温海水の代りに復水器冷却後の温排水 (26℃) を利用して淡水を作ることに成功した。そのデータを Table.5 に示す。

4. 誤差および問題点

4.1 誤差

(a) 導線の温度変化による誤差…温度が変化すると導線

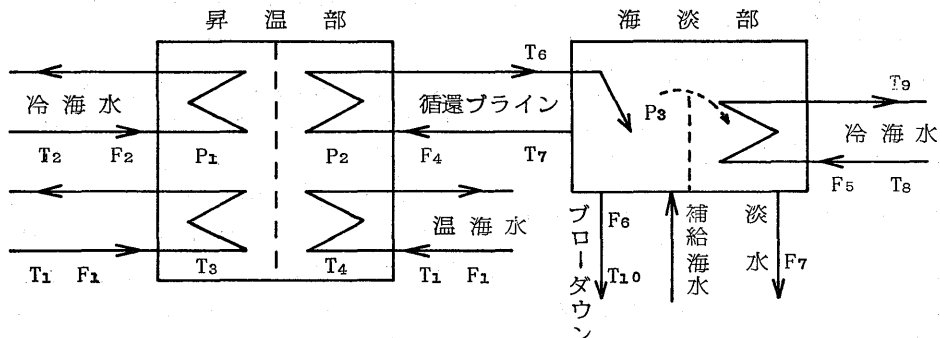


Table 4(a)

実 験 No.			1	2	3
実験月日・実験開始時刻			S. 55. 7. 16 12:00~14:30	S. 55. 7. 22 16:00~18:15	S. 55. 7. 23 11:30~13:30
実 験 場 所			長崎港・柳阜頭	日本海洋上	日本海洋上
	温海水	温度 T_1 °C	27.0	23.4	23.2
		流量 F_1 ℓ/H	600+600	600+600	600+600
	冷海水	温度 T_2 °C	2.0	4.1	7.8
		流量 F_2 ℓ/H	300	480	480
昇温部	濃縮室	温度 T_3 °C	25	22	22
		圧力 P_1 mmHg	7	12	11
	昇温室	温度 T_4 °C	42	38	38
		圧力 P_2 mmHg	26	20	20
器内圧力 P_3 mmHg			25	20	20
補給	海水	流量 F_3 ℓ/H	4	3	4
		温度 T_5 °C	27	23	23
循環	ライン	流量 F_4 ℓ/H	74	40	33
		入口 T_6 °C	40	37	37
		温度 出口 T_7 °C	24	20	20
度 フラッシュ差			16	17	17
濃縮器	冷却水	流量 F_5 ℓ/H	65	52	62
		入口 T_8 °C	2	4	8
度 出口 T_9 °C			20	17	17
ブロー	ダウン	流量 F_6 ℓ/H	2	2	2
		温度 T_{10} °C	24	20	20
生成淡水量 Q ℓ			5.2	2.7	2.0
運 転 時 間 H			2.5	2.25	2.0
淡 水 流 量 F_7 ℓ/H			2.1	1.2	1.0

Table 4(b) Data of the desalt experiment of sea water.

実 験 月 日		昭和55年12月8日			昭和55年12月9日			
測 定 時 間		14:44	15:35	16:20	11:10	13:48	14:46	
温海水	温 度 T_2 °C	46	47	49	42.5	36.5	32.5	
	流 量 F_1 ℓ/H	560 300	600 290	600 290	600 280	580 580	570 570	
冷海水	温 度 T_2 °C	22	19	18	18	18	17	
	流 量 F_2 ℓ/H	144	258	228	240	210	216	
濃縮室	温 度 T_3 °C	43	43	46	40	35	31	
	圧 力 P_1 mmHg	27.5	26	30	18	18	16	
昇温室	温 度 T_4 °C	55	57	59	52	48	42	
	圧 力 P_2 mmHg	63	63	72	52	42	32	
海 淡	器内圧力 P_3 mmHg	88	76	65	102	80	58	
	循 還	流 量 F_4 ℓ/H	31.8	48.0	52.8	19	15	17.5
		温 入口 T_6 °C	49	46	43	52	47.5	41
度 出口 T_7 °C		45	36	28	40	35	32	
凝 縮	器 水	流 量 F_5 ℓ/H	5.1	18	79.2	10.9	10.3	10.0
		温 入口 T_8 °C	21	19	18	19	18	17
度 出口 T_9 °C		46	37	28	40	36	31	
淡 水 流 量 F_7 ℓ		0.22	0.84	1.4	0.40	0.33	0.25	

Table 5 Data of the desalt experiment at the OHMURA power plant.

抵抗も変化し測定温度に誤差を生じる。(ACコードの場合温度変化幅0~25℃で導線抵抗の10%程度変化)この誤差を少なくするため、温度変化による抵抗変化の少ない導線を使用し、抵抗変化分を打ち消す回路を挿入することが必要である。

(b)測定回路の誤差 測定回路の誤差としてブリッジを構成している抵抗 R_1 , R_2 , R_3 , R_0 および R_s , R_f の温度、あるいは熱による誤差が考えられるが、これは精度の高い抵抗を使用することが若干は解決できる。+B(+15V)の直流電源には定電圧(流)安定化電源を使用し、またスタビライザーを使用することでより安定な電圧を得ることができる。

4. 2 問題点

(a)本実験では海底温度を計測するためにビニールケーブルコード(0.75mm², 2芯, 外径6.8m/m)を外径4m/mの麻ロープで並列結索して保護しながら使用したが、水深200mともなると潮流、コードのたるみ等を考慮に入れて、300m~400mの長さを船上よりおろすわけであるが、400mでコードの自重が約25kg, おもり等を加えると30kg以上にもなりそれを人間の力でやろうとすると下記のような問題点がある。

- (1)コードに断線防止のため重みをかけないようにするためコードをたるませて並行ロープにしぼっているため上げおろしの操作がしにくい。
- (2)引き上げるのに重くて大変である。
- (3)潮流などの影響でコードが弧を描いておりてい

ため正確な水深が分らない。

(b)またセンサーとして一般のダイオードを使用しているため下記のような問題点がある。

- (1)個々のダイオードの動特性が異なっているため、測定回路の調整を個々のダイオードについて行う繁雑さがある。
- (2)測定回路がダイオードセンサーの数だけ必要になってくる。
- (3)ダイオードセンサーが破壊等のため交換を要する場合、その都度調整が必要であるため不便である。

5. 結論

昨年の夏はつゆ明けが遅く異常気象の影響で海水の温度が上らなく希望の温度差は得られなかったが淡水化は初期の目的のデータを得ることができた。今後の問題としては海底温度測定の声波によるテレメータ化、コードによらない無線化方式等に変換していくことで、今後も数年淡水化の研究をつづけていくつもりである。最後に本研究に対して御協力いただいた九電大村発電所末吉所長、水産学部中根重勝氏、その他関係諸氏の方々に深く感謝する。

参考文献

- (1)X-BT(水温記録装置(MK-2A)取扱説明書(株式会社鶴見精機)
- (2)実用電子回路ハンドブックCQ出版社
- (3)琴浦, 栗須:長崎大学工学部研究報告 第16号(昭56)