

海洋温度差エネルギー利用の研究

(第2報. 昇温サイクルを用いた海水淡水化)

宇都 幸一*・栗須 正登*
琴浦 和樹*

Studies on Utilizing of Temperature Difference Energy in The Sea

(The 2nd Report : Used Temperature-raising System to desalinate)

Kouichi UTO, Masato KURISU and Kazuki KOTOURA

(Department of Mechanical Engineering)

Although there are Inexhaustible Energy in the Sea, the Temperature Difference is too small to use in desalination. Accordingly, using Temperature-raising System (Secondtype Heat Pump) to raise the temperature can be utilized in desalination. This Paper is discribed the Relation between Quantity of Fresh producing Water and Temperature Difference (between the Cold and the Warm Sea Water), and the Ratio of Input-Output Thermal Energy for this System.

1. 緒言

近年海洋エネルギー利用に関する研究が数多くみられる。著者らは海面と海底との温度差エネルギーの利用について研究を進め、有効海域の温度測定¹⁾、および冷海水のポンプUP²⁾について報告した。しかしながら冷海水と温海水(表層水)の温度差は20~25℃前後である、この温度差を直接利用することは熱効率や熱交換器面積の点等、多くの問題が生じる。著者らはこの低温度差の問題を解決するために、昇温サイクル(第2種ヒートポンプ)を用い、温度差の増加を試み結果を得た。本報告はこの昇温サイクルを用いた海水淡水化実験を昭和55年7月、島根県日御碕沖の日本海洋上において行い、表層部の温海水と水深約200mの冷海水の温度差をエネルギー源として淡水を得ること

に成功し、結果を得たので次に述べる。

2. フラッシュ蒸発による海水淡水化

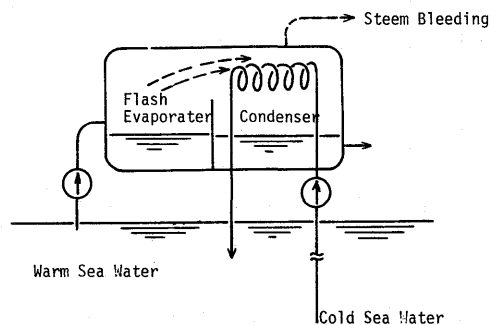


Fig 1. Desalination Distiller

図1にフラッシュ蒸発による淡水化の原理図を示す。フラッシュ蒸発室に海水を入れ、温(海)水によりフラッシュ蒸発させる、蒸気は次に凝縮室に導びかれ冷(海)水により凝縮することにより淡水を得ることが出来る。しかしながら海水中には非凝縮性ガス(空気)が約1%含まれており、装置内の圧力を一定に保つためにはガスを抽気しなければならない。海水淡水化の場合には抽気動力が実用の面で大きな問題となる。

図2は水蒸気の凝縮温度と抽気動力の関係を示す。図より温度が30℃以下においては急激に抽気動力が増加しており、抽気温度は30℃以上が望ましいことが示されている。しかしながら日本海で直接得られる温海水は25℃前後であるため、多くの動力を必要とする、よって昇温サイクルにより、凝縮温度を高めることは非常に有利であることがわかる。また一方、凝縮温度を高めることは凝縮内の圧力を上昇させるため、蒸気の密度が上昇し伝熱面を大きく削減することができる。

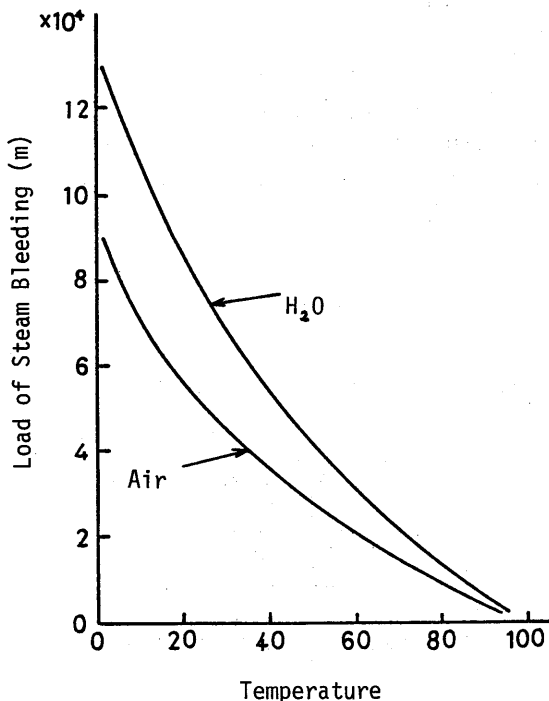


Fig 2. Load of Steam Bleeding and Temperature

3. 昇温サイクル

硫酸などの水溶液は、濃度を薄することにより発熱し水溶液は温度上昇する。このような性質を利用しサイクルにしたものが昇温サイクルである。今回は吸収液としてLiBrを用い、冷媒として水を用いた。LiBr

は食塩と類似して安定な物質であり、大気中で変質することなく、分解や揮発も全く起こらない、きわめて水に溶解し易く、常温では約6%であり、60%水溶液の比重は約1.7である。比熱は60%溶液で0.44であり、水の蒸発潜熱が大であることを考えると吸収液として良い性質を示している。表1に無水のLiBrの特性を示す。

Molecular Formuler	LiBr
Molecular Weight	86.856
Melting Point	549℃
Boiling Point	1265℃

Table 1. Properties of LiBr

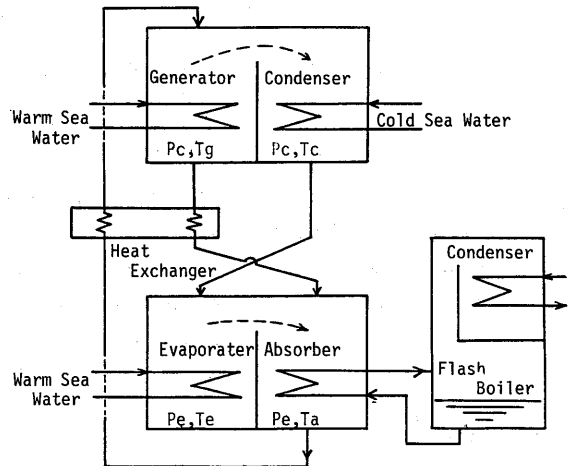


Fig 3. Temperatur-Raising System and Desalination Distiller

図3に昇温サイクルの原理図、図4にLiBr水溶液の飽和蒸気圧、温度線図を示す、発生器では温海水によりLiBr水溶液中の水を蒸発させLiBr水溶液の濃度を高める。蒸発器では水を温海水による蒸発させ、この水蒸気を、発生器で得た高濃度のLiBr水溶液を吸収部で混合させることにより、水蒸気はLiBr水溶液に吸収されかつ凝縮される。この過程において、LiBr水溶液は水蒸気の凝縮熱および希釈熱により温度上昇する。吸収部で得られた高温の熱量は伝熱管により淡水化装置へ送られる。凝縮部ではLiBr水溶液を濃くするために発生した水蒸気を、冷海水によって凝縮させるものである。これをサイクルにするため凝縮器で凝縮された水は蒸発器におくられ吸収器の低濃度のLiBr水溶液は熱交換器をへて発生器に送られる。図

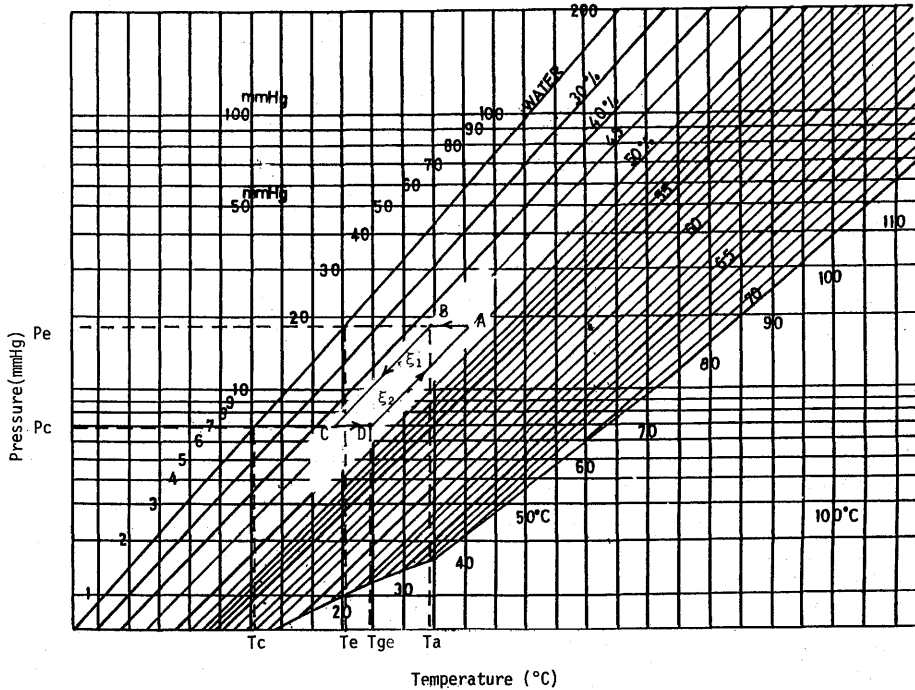


Fig 4. Relation between Presswe and Temperatuae of Satwation

4 の閉曲線はこのサイクルを示したものである。
 T_c, P_c は、凝縮器内の温度および圧力であり T_c はほぼ冷海水温度により決定され、 P_c は水の T_c における飽和蒸気圧により決定される。 T_e, P_e は蒸発器内の温度および圧力であり、 T_e はほぼ温海水により決定され、 P_e も P_c 同様決定される。 T_g は発生器内の温度であり、これも温海水によりほぼ決定され T_e とほぼ同じ温度である。図中の ξ_1 および ξ_2 は LiBr 水溶液の濃度であり水溶液の飽和蒸気圧は水の飽和蒸気圧とほぼ平行であり、 T_c および T_g によって ξ_2 (高濃度の LiBr) は決定され、昇温された温度 T_A は ξ_1 によって決定される。また最高温度は ξ_2 との交点の温度である。

4. 昇温サイクルのヒートバランスと造水量

昇温装置における各熱量を次式で示す。

$$Q_H = (I_2 - I_7) aD = (I_3 - I_4) (a - 1) D$$

$$Q_g = (a - 1) DI_4 + DI_1^4 - aDI_7$$

$$Q_c = DI_4' - DI_3$$

$$Q_e = DI_1' - DI_3$$

$$Q_A = DI_1' + (a - 1) DI_8 - aDI_2$$

ここで

$a = \xi_2 / \xi_1 - \xi_1$: 低濃度 LiBr の循環量

ξ_2, ξ_1 : LiBr の高および低濃度 %

Q_H : 熱交換器の熱交換量

Q_g : 発生器での加熱量

Q_c : 凝縮器での取りさるべき熱量

Q_e : 蒸発器での加熱量

Q_A : 吸収器で得られる熱量

I_1' : 熱交換器より発生器へおくられる飽和蒸気のエンタルピー

I_2 : 熱交換器より発生器へおくられる希溶液のエンタルピー

I_3 : 凝縮器より蒸発器におくられる飽和水のエンタルピー

I_4' : 発生器から凝縮器におくられる蒸気のエンタルピー

I_7 : 吸収器より熱交換器におくられる希溶液のエンタルピー

I_8 : 熱交換器より吸収器におくられる濃溶液のエンタルピー

D : 発生器および蒸発器の蒸発量である。

昇温装置のヒートバランスは

$$Q_g + Q_E = Q_C + Q_A$$

となる。この場合 Q_C を loss と考えると出力の比は

$$\frac{Q_A}{Q_C + Q_E}$$

となり、淡水量 F は、海水の平均蒸発潜熱を λ とすると

$$F = \frac{Q_A}{\lambda}$$

となる。

Depth (m)	Temp (°C)
0	22.76
50	17.59
100	15.42
110	14.74
120	13.29
130	9.68
140	7.30
150	5.96
160	5.45
170	4.25
172	2.33

5. 実験結果

Table 2. Depth and Temperature

海水淡水化実験は昭和55年7月16日に長崎港にて冷

DAY		7/16	7/22	7/23
Warm Sea Water	Tg.	27.0°C	23.4	26.0
Cold Sea Water	Tc.	2.0°C	4.0	7.8
Consentrator	Pc	7 mmHg	12	9.5
Generator	Tg	25.0°C	22.0	24.0
ConDenser	Tc	6.0°C	6.5	10.0
Temperature-rising Room	Pe	26mmHg	22	24
Evaporator	Te	25.6°C	22.0	25.0
Absorber	Te	42.0°C	37.0	38.0
Heate Exchanger	Qh	302Kcal/h	228	127
Generator	Qg	1191Kcal/h	681	562
Condensor	Qc	1304Kcal/h	741	611
Evaporator	Qe	1300Kcal/h	738	610
ABSorber	Qa	1184Kcal/h	680	561
Fresh Water Quantity	F	2.0 l/h	1.17	0.919
$Q_a / (Q_g + Q_e)$		47.5%	47.9	47.8

Table 3. Fresh Water Quantity and $Q_a / (Q_g + Q_e)$

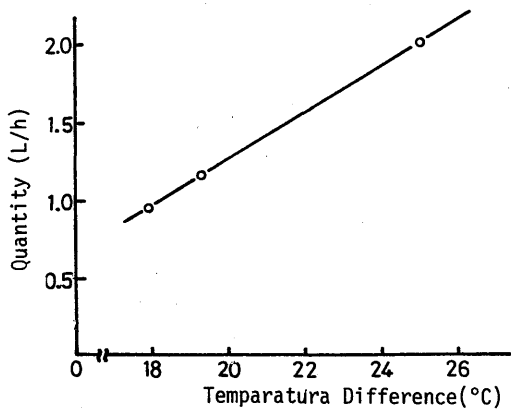


Fig 5. Relation Between the Fresh Water Quantity and the Temperature Difference

海水のかわりとして氷を用いた実験につづき、7月22日、23日島根県日御碕沖20海里の海域において、実際に日本海より揚水した冷海水および表面の温海水を利用して行なった。

表2は7月21日実験海域での温度を水産学部長崎丸の水溫測定装置(XBT)により測定した水溫であり、温海水と冷海水の温度差は約20°Cであった。

表3は7月16日および7月22~23日における昇温実験結果を示したものである。また図5に冷海水と温海水の温度差と淡水量の関係を示す。図より淡水量は温度差と共に増加していることが示されている。しかしながら熱量の入力と出力の比は0.47~0.48で一定であ

り、入力された熱量の約50%が約15 °~18℃昇温されたエネルギーとしてと出されている。

6. 結言

昇温装置を利用した海水淡水化実験により次の点が明らかとなった。

- (1)昇温装置により低温度のエネルギーは約15℃~20℃の昇温が可能である。
- (2)淡水化に利用した場合抽気動力の約30~40%を消滅できる。
- (3)淡水化装置の凝縮部を大幅に減少できる。

(4)昇温装置により温度差を大幅に上昇させることは、発電等についても、大きな効果が期待できる。

最後に本報究に対して、御協力いただいた流体研、田中清裕技官をはじめとする多数の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1)日本海の流動数値シミュレーション
「温度境界層の実例について」長大工報16号
市屋，中根，野中，栗須，琴浦
- 2)海洋温度差利用の研究
「第1報：実験船の洋上設置と冷海水のポンプアップ」
東，田中，栗須，中根，東，宇都