

温泉・温度差発電

(第3報：ハイドロ・サーモ発電の原理)

栗須正登*・石橋稔宏**・山口淳***

Thermal Energy Conversion between Hot Spring and Sea Water

(Ⅲ：The Principle of Electric Generation Utilizing for Hydraulic and Thermal Energy)

by

Masato KURISU*, Toshihiro ISHIBASHI**
and Junichi YAMAGUCHI***

The authors have grappled with the study of sea-thermal power generator and practically tried the experiment in September of 1982. Some technical problems were found in this experiment. One of them, flon pump spends large power when it pump up liquid flon. Therefore, the over all efficiency falls. The authors want to solve this problem utilizing for hydraulic and thermal energy. This method is similar to the process of cloudgrowth in nature. That is, if flon gas is made by thermal energy of hot spring, they rise up to the upper part. After this flon gas through flon turbine, which is cooled by cool water and liquid flon is produced. Therefore, we do not need flon pump.

1. 研究の目的

筆者は海洋の小温度差エネルギー利用の研究を進めている。このエネルギーは、石油や石炭等の燃料を全く使用しないし、また、原子力のように公害も発生せずクリーンであるため、都合が良いが、解決を迫られている技術上の難点も多くかかえている^{1)~11)}。

Fig. 1のような海洋温度差発電について、技術上の難点を述べると、その発電効率が極めて悪いため、発電コストが高つくという点にある。発電効率が悪くなる原因の一つに、フロンポンプの動力が発電出力にしめる割合が大きいことがある。すなわち、内部消費動力が大きいため、外部へ取り出す動力が小さくなる。

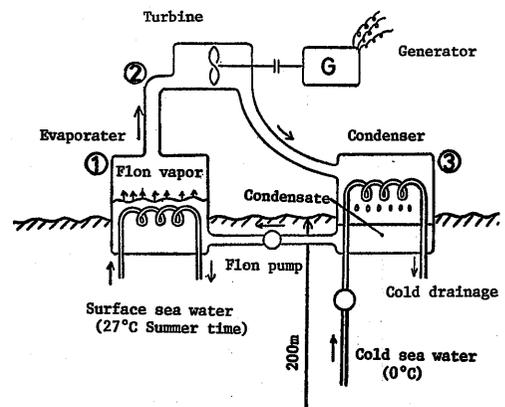


Fig. 1 Principle of electric generation by OTEC

昭和59年 4月28日受理

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

**機械工学専攻修士課程 (Graduate Student, Department of Mechanical Engineering)

***三洋電機株式会社 (Sanyo Electric Co.,)

通常、フロンポンプの動力は、これに直結したモータへ外部より電力を供給することによって行なわれる。この研究の目的は、外部より供給する電力を、発電サイクルの初期の段階においてサーモ・ハイドロスタティックに作り出すことにある。

Fig. 1 のサイクルにおいて、内部動力を消費するのは、フロンポンプの外に表層温海水の循環水ポンプの動力と深層温海水用のポンプ動力である。これらを軽減する研究は別に進めている。

2. サーモ・ハイドロスタティックの原理

Fig. 2 に、サーモハイドロスタティック発電の原理を示した。タービン、発電機および凝縮器の関係は Fig. 1 と全く同じであるが、蒸発器を位置的に下方にずらし、長さHの垂直の液圧管と気体管を設けた点異なる。いま、蒸発器内のフロン蒸気の温度および圧力をそれぞれ、 T_1 、 P_1 としこのサイクルの圧力を考えるため、 P_1 を基準にして議論を進める。凝縮器内の圧力 P_3 は静水力学的（ハイドロスタティック）には、次のようになる。

$$P_3 = P_1 - r'H \dots\dots(1)$$

(r' : フロン液比重量, r' は一定とする)

また、同じようにし、タービン入口の圧力 P_2 はハイドロスタティックに、(2)式となる

$$P_2 = P_1 - \int_0^H r'' dH \dots\dots(2)$$

(r'' : フロン蒸気の比重量)

したがって、タービンの入口および出口の圧力差は(3)式となる。

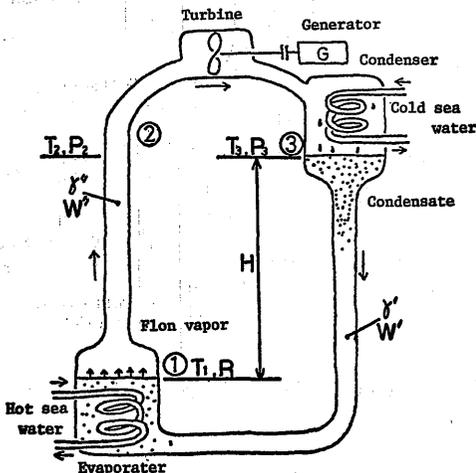


Fig. 2 Principle of electric generation utilizing for Thermo hydrostatics

$$P_2 - P_3 = r'H - \int_0^H r'' dH \dots\dots(3)$$

ここで、気体管は断熱するものとし、いま、断熱が行なわれたとすれば、

$$P r^{-K} = \text{Const} \dots\dots(4)$$

積分して、(5)式が得られる。

$$P_2 - P_3 = r'H - \frac{K-1}{K} r'' H \dots\dots(5)$$

ここで、 r' はフロン液の比重量であり、 r'' は蒸気の比重量であるため、 $r' \gg r''$ で、両器の間に数値的に大幅な差が生じる。(数値的検討は後述)。(1)~(5)式で述べたことは、本研究の本質を示す重要な基本原理なので、更に説明を追加する。

P_1 を基準として、液圧管では、 $r'H$ なる圧力が下がり、一方、気体管では $\int_0^H r'' dH$ なる圧力が下がるが、液圧管の減圧の方が大きい。(逆に上方の圧力を基準にして考えると、液圧管でも、気体管でも加圧されるが、液圧管の加圧作用の方が大きいため、フロンポンプ作用が行なわれる)。ここで、留意したい点は、これらの作用はハイドロスタティックに行なわれ

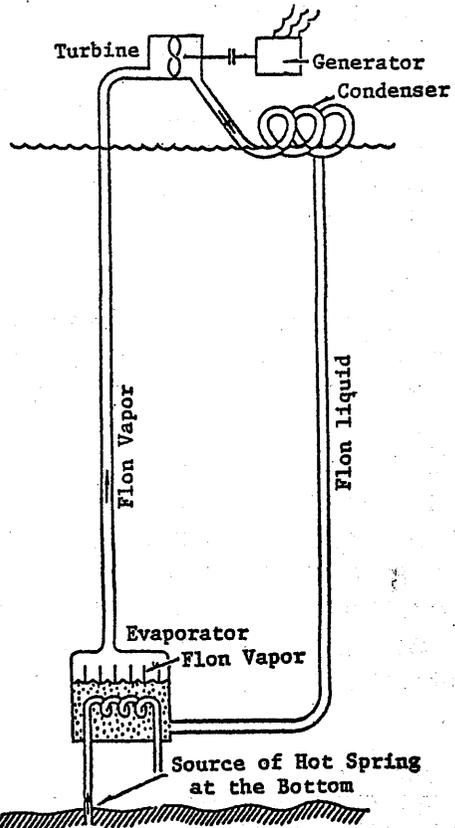


Fig. 3 Power from Hot Spring at the Bottom

ることである。ここで、液圧および気体管でのハイドロスタティックの圧力作用の理論動力は、(6.a)～(6.c)式で行なわれる。

$$Lp' = \gamma' W' H \dots \dots \dots (6.a)$$

$$Lp'' = W'' \int_0^H \gamma'' dH \dots \dots \dots (6.b)$$

ここで、 W' 及び W'' は液体管、気体管それぞれにおける流量とする。

ところで、ここで

$$Lp' = Lp'' \dots \dots \dots (6.c)$$

なる関係が成り立つ。(Fig. 2 参照)

いま、Fig. 1 と Fig. 2 を比較するに、

Fig. 1 では、 i_1 と i_3 の差がタービンで消費される。

$$\Delta i = i_1 - i_3 \dots \dots \dots (7)$$

Fig. 2 では、 i_2 と i_3 の差がタービンで消費される。

$$\Delta i' = i_2 - i_3 \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 Δi_p をポンプ作用に消費されたエンタルピとすれば、

$$\Delta i = \Delta i_p + \Delta i' \dots \dots \dots (9)$$

(i_1, i_2, i_3 は、それぞれ①, ②, ③点におけるエンタルピである。)

①～②間の作動物質の機械仕事は、次の(10)式で

示される。

$$Lp' = \int_1^2 p dv \dots \dots \dots (10)$$

もちろん

$$Lp = Lp' \dots \dots \dots (11)$$

となる。(Fig 4(a), (b)参照)

ここで、Fig. 1 と Fig. 2 においてフロンポンプの動力に着目して両者を比較して見よう。

(a) Fig. 2 では、液圧管と気圧管のサーモハイドロスタティックの作用でポンプ作用が行なわれるが、その能率は非常に良い(1に近い)。

(b) Fig. 1 では、タービン-発電機-モーターフロンポンプ-作動物質の経路を得てエネルギーが伝えられる。もともと、小温度差発電の発電効率は悪い。無理して作った電力をモーターフロンポンプの順に消費するよりも、サイクルの初期の過程において、サーモハイドロスタティックにポンプ作用を行なわせる方が得策であることはうなづけよう。

くどいようではあるがサーモハイドロスタティック発電の利点を別の観点から述べよう。一般に熱機関を使った発電においては、次のような順序でエネルギーの変換が行なわれる。

熱エネルギー-機械エネルギー-電気エネルギー、この過

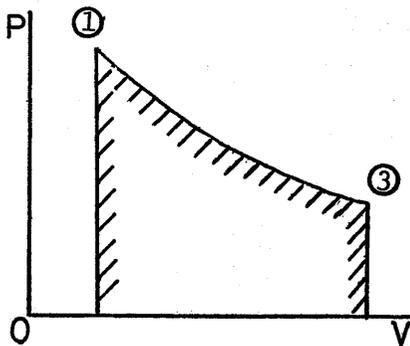


Fig. 4 (a) P-V Diagram in the case of Fig. 1

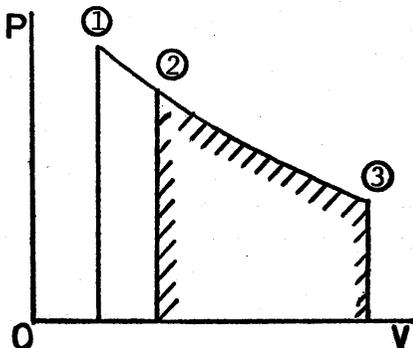


Fig. 4 (b) P-V Diagram in the case of Fig. 2

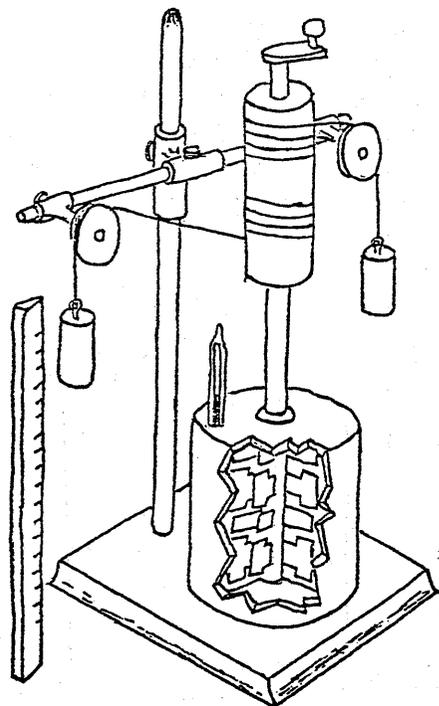


Fig. 5 Joule's experiment

程において、熱エネルギー-機械エネルギー（熱機関）の変換率は悪く、とくに、小温度差では極めて悪い。

サーモハイドロサイクルにおいては、作動物質の一つ熱エネルギーを消費して、ポンプ作用を行なわせるが、その作用は、作動物質それ自身の内部作用であり、エネルギー変換に何も外部機関の助けを借りていないため、その効率が良い点に注目したい。

この原理を用いれば、Fig. 3のように海底泉源の存在する場所に蒸発器を、海面に凝縮器を備えれば、Fig. 1におけるフロンポンプの必要がなくなる。

3. 熱落差と水力落差

熱エネルギーと機械エネルギーの数値的関係を求める第1の実験はFig. 5のようにして行なわれた。（断熱容器内に水を入れ、これに羽のついた攪拌機を入れ、攪拌機の軸にプーリーを設けこれに荷重Wをつり下げて、荷重の上下量と容器内の水温の上昇から熱の仕事当量が求められた）。 $1 \text{ kcal} = 427 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ であるから、単位容量（例えば、 1 m^3 ）の水を考えた場合、この水の 1°C の熱落差は、 427 m の水力落差に等しいことを意味する。

4. 自然界におけるサーモハイドロ作用

水力落差 427 m を利用して発電することは、現状の水力発電の技術では能率良く（約90%以上）行なわれている。一方、 1°C の温度差を利用して発電することは現状では極めて困難と言えよう。

すなわち、エネルギーの変換には、方向性があり、熱エネルギー以外の他のエネルギー（例えば、機械エネルギー、光エネルギー、電気エネルギー、水力エネルギー等）より、熱エネルギーへの変換は水が低くへ流れるように自然に行なわれるが（エントロピの法則）その逆変換には困難を伴うものである。

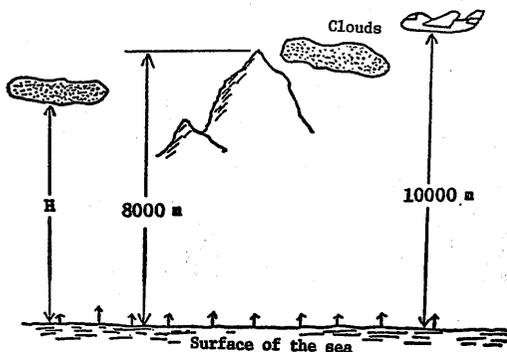


Fig. 6 The process of cloud growth in nature

Fig. 5の Joule の実験にもどるが、 $427 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の機械エネルギーを消費して 1 kcal の熱エネルギーを得ることは極めて容量に実行出来る。しかしながら、これに反して、 1 kcal の熱エネルギーを使って、 $427 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の機械仕事を取り出すことは現状の技術では極めて困難視されるのである。

熱エネルギーより機械エネルギーの変換において最も能率良く実行されるモデルを自然界に見ることが出来る。Fig. 6は、自然界における雲（小水滴の集合）の出来る作用を示した。水面において加熱されて（サーマルに）発生した水蒸気は、ハイドロスタティックに上昇して上空で冷却されて水滴の集団（雲）となる。この現象において海面の水は、上空の雲（小水滴）へ持ち上げられたことになる。

Fig. 6の作用を数値的に見て見よう。海水の温度を 20°C 、上空の雲の中の水滴の温度を 0°C と仮定すれば両者の間には、 20°C の熱落差があり、 1 kgf の単位重量水のエンタルピー差は 20 kcal となる。したがって、 $20 \text{ kcal} = 8540 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ となり、 8540 m の上空に水滴が持ち上げられることが数値的に言える。 8540 m の上空に貯水池を作り、これを利用した水力発電を行なえば、 20°C の熱落差でも能率良く利用出来ることが推定される。現状で直ちに 8540 m の上空に貯水池を作ることは困難であるが理論的には考えられることである。

筆者は、小温度差を利用して、サーマルに水蒸気を作り、水蒸気をハイドロスタティックに上空に持ち上げて、ここで冷却して水とし、貯水池にためて、上空の貯水池と海面との水の位置エネルギーの差を利用した水力発電方式をサーモハイドロスタティック発電と呼ぶこととして研究を進めている。

8540 m の上空に貯水池を作ることは困難であるが、長崎県の橋湾の温海水（年平均温度 18.1°C ）を利用し、水蒸気を作り、これを雲仙山頂（約 700 m ）で冷却して、ここに貯水池を作ることはやろうと思えば実行可能なことである。更に、清水港近くの太平洋海岸と富士山頂（約 3400 m ）を利用すれば、工学的に極めて現実的なことになる。

筆者は、エベレスト山頂（約 8000 m ）で、地中海面で発生した水蒸気が雲になることを目撃し、また、高度約 1 万 m を飛行中のゼット機より、更に、上空に雲が存在することをたびたび見て自然界の作用がいかに能率良く実行されているかを知り驚いた。もちろん、自然界の雲の形成作用には、水蒸気の外に空気との混合作用で実行されている。このことを識別するため、完全な水蒸気系のサーモハイドロ作用について数値的検討を行なうことにする。

1 空気 1 m^3 あたり 1.2 kg , 水 1 m^3 あたり 1000 kg よって 1 m^3 あたりの流体のもつエネルギーは $1.2:1000$ の関係となる。

2 1°C の温度差を持つ水についてこのエネルギーの差は 1 kg の水 (1ℓ) について 1 kcal であるが、このエネルギーの差を機械エネルギーに換算すると $1\text{ kgf}\cdot\text{m}$: $427\text{ kgf}\cdot\text{m}$ となり実に 427 倍のエネルギー集中度である。

3 1 g のウラン = 2 t の石油のもつ熱エネルギー, また石油の発熱量は 10000 kcal/kg であるからウラン $1\text{ kg} = 2000\text{ tkg}$ の石油 = 200 万 kg の石油。

参 考 文 献

- 1) 栗須; 工業材料, 28-7, (昭. 55-7), p 12
- 2) 栗須; OHM, 67-11, (昭55. -11), p 106
- 3) 栗須, 工業材料, 29-1, (昭. 56-1), p 44
- 4) 栗須, 他 4 名; 長崎大学工学部研究報告, 16, (昭. 56-1), p 19
- 5) 栗須, 他 3 名; 機講論, No. 813-4, (昭. 56-7), p 123
- 6) 栗須, 他 5 名; 長崎大学工学部研究報告, 17, (昭. 56-7), p 9
- 7) 栗須, 他 2 名; 長崎大学工学部研究報告, 17, (昭. 56-7), p 17
- 8) 東, 他 2 名; 長崎大学工学部研究報告, 17, (昭. 56-7), p 29
- 9) 栗須, 他 2 名; 機講論, No. 835-4, (昭. 58-11), p 207
- 10) 山口, 他 3 名; 長崎大学工学部研究報告, 21, (昭. 58-8), p 115
- 11) 田中, 他 4 名; 長崎大学工学部研究報告, 22, (昭. 59-1), p 7
- 12) 栗須, 他 5 名; 長崎大学工学部研究報告, 23, (昭. 59-7), p 99
- 13) 植木, 他 2 名; 長崎大学工学部研究報告, 23, (昭. 59-7), p 107

