

# 大気圧ピストンによる熱・機械エネルギーの変換 (第一報：大気圧ピストンの概念)

栗須正登\*・河部秀彦\*

## Thermal Energy Conversion by an Atmospheric Pressure Piston (I: General Idea of an Atmospheric Pressure Piston)

by

Masato KURISU\* and Hidehiko KAWABE\*

Recently the small thermal energy conversion systems have been studied by many engineers for the alternative energy technology. According to Carnot's theory, when the temperature difference is very small, the efficiency of converting from thermal energy to machinery energy is poor.

Therefore a new idea of the energy conversion making good use of exhaust thermal energy, that is named "The Atmospheric Pressure Piston" is ideally proposed. This system is composed a vessel combined with evaporator, cylinder and condenser.

The general idea of "The Atmospheric Pressure Piston" is given an outline in this report.

### 1. 緒言

報告者らは、海洋温度差発電<sup>(21~27)</sup>や温泉温度差発電<sup>(28~31)</sup>など、低温度差エネルギーの利用の研究を進めているが、この場合の最大の難点は、温度差 ( $\Delta t = T_1 - T_2$ ) が小さいため、熱より機械エネルギーへの変換効率が悪いことである。

$$\eta_c = (T_1 - T_2) / T_1 \quad (1)$$

$$= (Q_1 - Q_2) / Q_1 \quad (1')$$

(1)および(1')式は周知のカルノーのサイクル効率 ( $\eta_c$ ) で、(1)は温度表現で、(1')は熱量表現である。ここで、 $T_1$ 、 $Q_1$ 、 $T_2$ 、 $Q_2$  はそれぞれ、与えられる温度と熱量、捨てられる温度と熱量である。

報告者の実験例<sup>(27)</sup>について述べると、( $T_1 = 273 + 23^\circ\text{K}$ 、 $T_2 = 273 + 2^\circ\text{K}$ )なので、 $\Delta t = 21$ 、 $\therefore \eta_c = 21/296 = 0.07$ となる。即ち、カルノーの理論効率は7(%)となり、実際には更に悪いものになる。

Fig. 1は、実験例の  $p-v$  線図である。実験例では  $Q_2/Q$  は13であり、有効な  $Q$  に比べて排熱  $Q_2$  が非常に

大きい。

現在運転中の我が国最大の石炭火力発電所、九州電力松島火力(石炭)発電所、発電出力100万kWにおいて

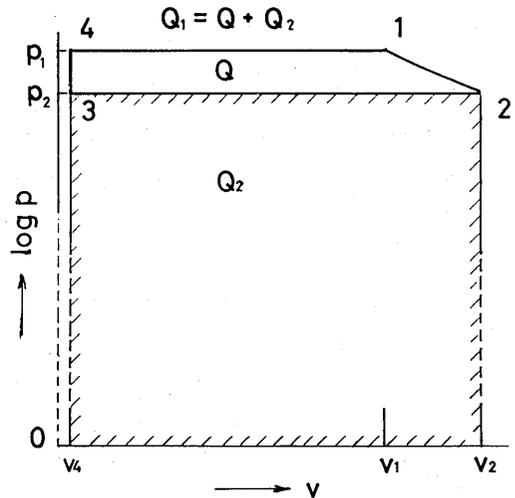


Fig. 1 p-v Diagram (Rankine's Cycle)

も、100万kW(Q)の発電を行うに当たり排熱(Q<sub>2</sub>)として、発電出力と同等のエネルギーを捨てている。

この研究は、従来の熱サイクルでは、利用不可能であった排熱 Q<sub>2</sub> を新理論の大気圧ピストンサイクルを用いて有効にエネルギー変換を行うものである。

## 2. ダルマポンプ

この研究は、Rankine Cycle における復水器内での排熱(Q<sub>2</sub>)を活用する点に最大の特長を有する。排熱活用の具体的手段として大気圧ピストンを用いるが、研究者は大気圧ピストンを考える際に、ダルマポンプをモデルにした。ダルマポンプは産業革命時代に盛んに利用されたものである。

Fig. 2 を用いて、この研究に取り入れたダルマポンプ作用と特長を述べる。

Fig. 2 において、現在弁Aは左方にあるため、高压の蒸気は①室へ流入するが、弁Cは閉じているので、弁Bを押し上げて外へ水が排出される。一方、左方の②室内では、蒸気が復水するため、ここが真空になり吸入管の下面に働く大気圧 p<sub>a</sub> と②室の真空との圧力差のため、水は弁Dを押し上げて②室内へ吸い上げら

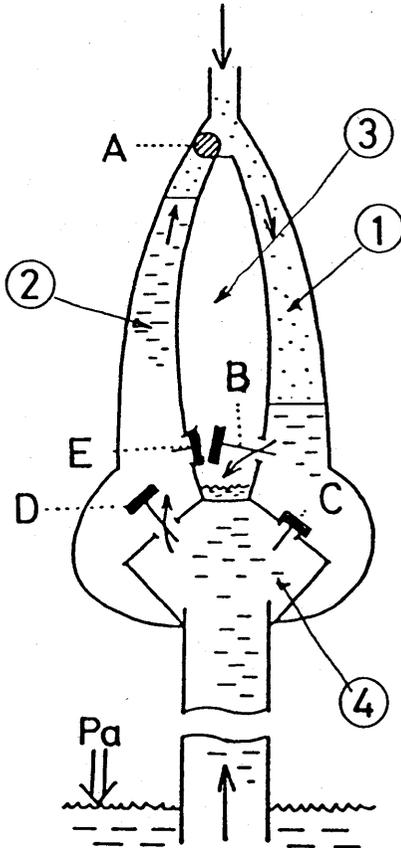


Fig. 2 Dharma Pump

れる。(このとき弁Eは閉)現在は、①室の水が押し出されて、②室へは水が吸い上げられているが、次に、弁Aを右方に切り換えると上述の作用の反対が実行されて交互に弁Aを切り替えることにより連続的にポンプ作用が行われる。

ここで、研究者がダルマポンプ作用で注目した点は、つぎの通りである。

- i) 大気圧 (p<sub>a</sub>) を利用している。
- ii) 蒸気の復水過程を利用している (蒸気の体積減少 (-dV) と負の圧力差 (p-p<sub>a</sub>) をかけた -dV × -(p-p<sub>a</sub>)=dV · Δp を+にして有効に活用している点である。)

## 3. 大気圧ピストン

### 3.1 絶対仕事ピストンと大気圧ピストン

Fig. 3 には大気圧ピストンとの比較のために、絶対仕事ピストンを示している。同図は、作動流体が1→2の膨張過程に於いて、ピストンにより熱エネルギーより機械エネルギーに変換される仕事は次の(2)式で示される。

$$W_{12} = \int_1^2 p dV \quad (2)$$

Fig. 4 は本研究の大気圧ピストンを示したものである。

同図が Fig. 3 と異なる点は、ピストンの外圧が絶対真空でなく大気圧 p<sub>a</sub> であることである。Fig. 4 において、2→1の圧縮過程に於いてこのピストンにより熱エネルギーより機械エネルギーへ変換される仕事は次の(3)式で示される。

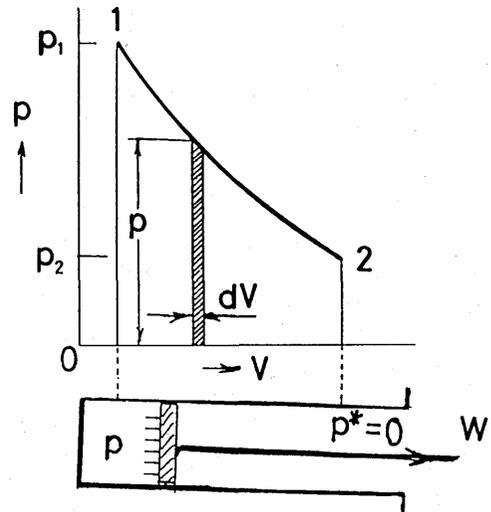


Fig. 3 Abs. Work Piston

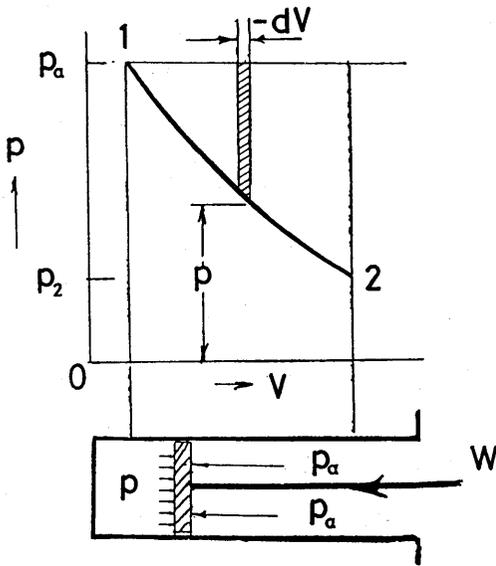


Fig. 4 Atmospheric Pressure Piston

$$W_{12} = \int_2^1 (p - p_a) dv \quad (3)$$

エネルギー変換が(2)式と(3)式で異なる点を更に詳述したい。

(a) 大気圧ピストンのエネルギー変換作用は、絶対仕事ピストンの作用とは全く逆である。絶対仕事ピストンでは作動流体の膨張過程において正(+ )のエネルギー変換(熱→機械エネルギー)が実行され、圧縮過程では、負(-)のエネルギー変換であるが、大気圧ピストンでは(+ )のエネルギー変換(熱→機械エネルギー)となる。

(b) 大気圧ピストンは  $p < p_a$  即ちピストンの内圧  $p$  が外圧の大気圧  $p_a$  より小さい作動流体の圧力範囲に限り、有効である。

(c) Fig. 4の大気圧ピストンにおいて、ピストンの大気圧側は、全サイクルを考えると、可逆である。(いま、ピストンの大気圧側だけを考えるため、シリンダ内の圧力は  $p^* = 0$  と仮定して考える。)  $1 \rightarrow 2$  では、外部より仕事  $W'_{12}$  を加えないと動かない。しかし、 $2 \rightarrow 1$  の過程ではこれと全く同じ仕事  $W'_{21}$  が取り出せる。簡単であるがこれを式で示せば(4)式となる。

$$W'_{12} + W'_{21} = 0 \quad (4)$$

即ち、大気圧ピストンの大気圧側のサイクル仕事は0である。

(d) 大気圧ピストンの大気圧側はサイクル全体では、0であることは(c)で述べたが、これを裏に返せば、大気圧ピストンのエネルギー変換に有効なのは、内圧面(作動流体側)である。サイクル全体で考える

ときエネルギー変換に有効に作用するのは、内圧面であり、大気圧サイドは、±0である。しかしながら、大気圧サイドがないと、エネルギー変換は実行できない。これについては、以下に詳述する。

### 3. 2 大気圧ピストンの本質

ダルマポンプは産業革命時代に発明されて、利用されたことをまえに述べたが、James Watt が注目した当初の蒸気(100°C, 1気圧)を直接用いたのでは揚水不可能であったが、Fig. 2のようにすれば水を10m近く吸い上げることが可能になった。これは、当時としては非常に画期的なことであつたろう。これを可能にしたのは、蒸気の復水過程と大気圧  $p_a$  を利用した点である。(通常蒸気の復水過程(-dv)では、有効エネルギー変換は実行できない。)

Fig. 2, Fig. 4および(3)式で説明したように、大気圧ピストンはピストンの背圧( $p_a$ )が内圧( $p$ )より大きい( $p < p_a$ )ので、蒸気の復水(圧縮)(-dv)過程が有効なエネルギー(- $(p - p_a) \times -dv = (p_a - p)dv$ )変換の過程となる。

再言するが、絶対仕事ピストンでは蒸気の圧縮過程では、負(-)のエネルギー変換(外部エネルギーを消費)であるが、大気圧ピストンは蒸気の圧縮過程を有効(+ )エネルギー変換過程に変えることができる。

上述のことが、本研究の本質であるので次章で更に詳述する。

### 4. 連続フラッシュサイクル

地熱や温泉水などの熱水を利用しての発電に関しては、一度熱水をフラッシュさせてその蒸気を用いて発電することが一般に行われる。(HSF方式やHDF方式など)。

報告者らは、フラッシュの段数を無限に増やした状態のものを連続フラッシュサイクルと呼ぶ。大気圧ピストンの説明に際しては、連続フラッシュをさきに説明した方が理解しやすいので、ここで述べる。またこの研究は初期の段階にあり、完成した一般理論を述べることに無理がある。従って具体的に熱媒体(水)

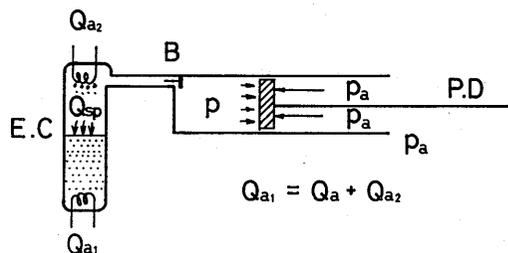
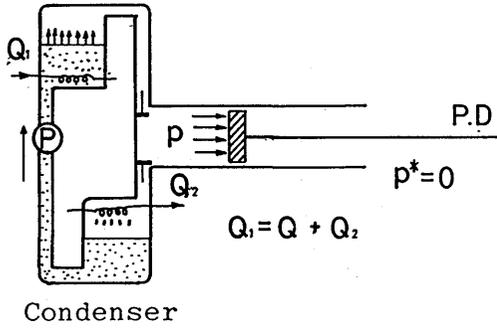


Fig. 5 Atmospheric Pressure Piston

Evaporator



Condenser

Fig. 6 Absolute Work Piston

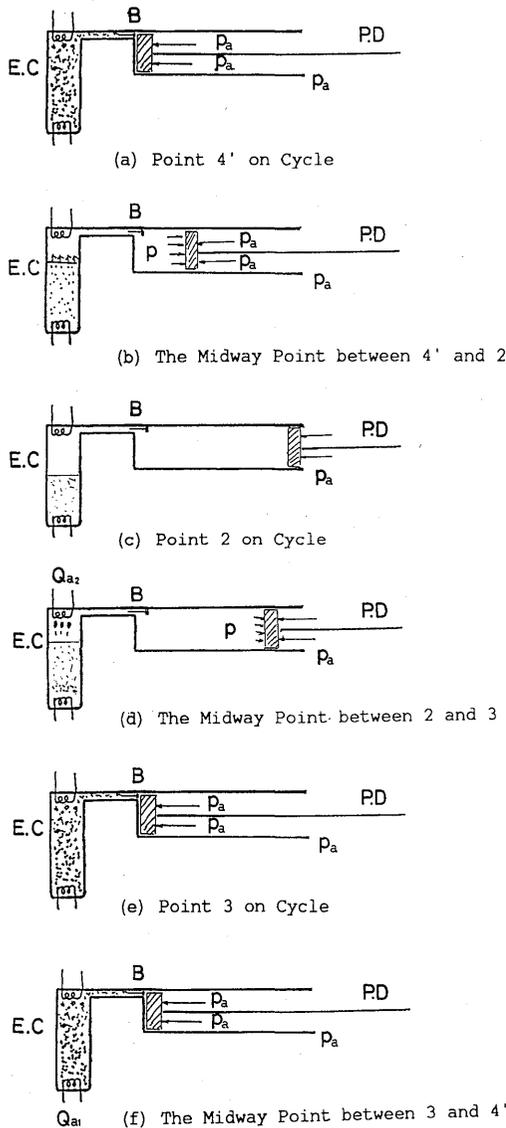


Fig. 7 States at Each Point on Cycle (Continuous Flash)

と温度 (100~0°C) を限定して報告することにする。

4. 1 大気圧ピストンと絶対仕事ピストンの構造の違い

Fig. 5には大気圧ピストンの構造を示した。また、Fig. 6には絶対仕事ピストンを示してその違いを比較した。

Fig. 6は一般のクローズドサイクルを示したものである。また Fig. 5は大気圧ピストンのサイクルを示している。Fig. 5では、普通の蒸気サイクルの復水器と蒸発器が1つの容器になっており、弁Bの切り換えにより、ある時は復水器となり、別の時点では蒸発器となる。このことについては、サイクル図で説明した方が良いので後述することにする。勿論、ピストンの背圧は、絶対仕事ピストンでは、 $p^*=0$ であり、大気圧ピストンでは  $p^*=p_a$  である。

4. 2. 1 連続フラッシュの具体的な方法

Fig. 7 (a~f)で、連続フラッシュの具体的なサイクルを示す。同図の(a)は、サイクル上の4'点の状況を示しここでは、100°Cの熱水の状態である。この点よりピストンロッドに外力を加えて引っ張りシリング内の空間を広げると熱水は自身の温度を下げてフラッシュ蒸発を続けると同時に蒸気は膨張する。4~2の間点の状況が(b)である。この状況は連続的に実行されるので、この報告で連続フラッシュと名付けた。(c)は膨張の最終点を示し、ここでは熱水はすべて蒸気になりその温度は0°Cとなる。弁(B)は (b~d)の間は開いている。(d)は圧縮過程を示し、ここで、上部熱交換器より  $Q_{a2}$  を外部低熱源へ排出する。(e)は圧縮の最終点で、ここで蒸気は全部冷水 (0°C) に復水する。(f)は加熱であり、弁(B)を閉じて、外部より熱を加えると、熱水の圧力は飽和液線に沿って上昇する。加熱の最終点は(a)であり、(a)も(e)は容器E.Cが満水であることは同じであるが、(e)は0°Cであり(a)は100°Cであることが異なる。

4. 2. 2 ステップフラッシュ

連続フラッシュの具体的な手段を前述したが、このフラッシュの理解を深めるために、ステップフラッシュの数値計算を行った。

Fig. 8に示すように、 $t$ °Cの熱水を考えこれを( $t-1$ )°Cに温度を下げてフラッシュさせるが、フラッシュの前と後ではエンタルピが等しいと仮定して計算し、フラッシュ蒸気の重量( $G_{r1}$ )を求める。つぎに、( $t-1$ )°C→( $t-2$ )°Cの変化の段階では、熱水は等エンタルピフラッシュを行い、フラッシュ蒸気  $G_{r1}$  は断熱変化を行うものとする。ここで、留意したいのは、 $G_{r1}$  なる蒸気が断熱変化すれば  $G_{sw}(t-2)$  なる復水が実行さ

Table 1 Computed Results of Step Flash

t	p	Gs (=Gss+Gf)		V		S		I	
		1°C	0.25°C	1°C	0.25°C	1°C	0.25°C	1°C	0.25°C
100	1.03323	0.00000	0.00000	0.0010	0.0010	0.3121	0.3121	100.0920	100.0920
95	0.86192	0.00923	0.00922	0.0193	0.0193	0.3122	0.3122	100.0650	100.0600
90	0.71491	0.01822	0.01821	0.0441	0.0440	0.3122	0.3122	99.9692	99.9592
85	0.58943	0.02698	0.02695	0.0773	0.0772	0.3122	0.3122	99.8044	99.7894
80	0.48294	0.03550	0.03546	0.1220	0.1219	0.3123	0.3122	99.5694	99.4930
75	0.39309	0.04379	0.04375	0.1820	0.1818	0.3123	0.3122	99.2633	99.2386
70	0.31776	0.05186	0.05181	0.2627	0.2624	0.3123	0.3122	98.8854	98.8559
65	0.25502	0.05971	0.05965	0.3594	0.3590	0.3123	0.3122	98.4341	98.4000
60	0.20313	0.06734	0.06727	0.5180	0.5175	0.3124	0.3122	97.9096	97.8707
55	0.16051	0.07476	0.07468	0.7171	0.7163	0.3124	0.3122	97.3091	97.2655
50	0.12578	0.08197	0.08189	0.9883	0.9873	0.3124	0.3123	96.6330	96.5849
45	0.09771	0.08897	0.08888	1.3600	1.3586	0.3124	0.3123	95.8797	95.8270
40	0.07520	0.09576	0.09566	1.8727	1.8707	0.3125	0.3123	95.0479	94.9907
35	0.05732	0.10235	0.10224	2.5847	2.5821	0.3125	0.3123	94.1358	94.0741
30	0.04325	0.10874	0.10862	3.5815	3.5778	0.3125	0.3123	93.1426	93.0764
25	0.03228	0.11492	0.11480	4.9888	4.9836	0.3125	0.3123	92.0683	91.9978
20	0.02383	0.12091	0.12079	6.9943	6.9869	0.3126	0.3123	90.9089	90.8340
15	0.01738	0.12671	0.12657	9.8811	9.8707	0.3126	0.3123	89.6650	89.5857
10	0.01251	0.13231	0.13217	14.0824	14.0674	0.3126	0.3123	88.3350	88.2514
5	0.00889	0.13772	0.13758	20.2687	20.2469	0.3126	0.3123	86.9161	86.8283
0	0.00623	0.14296	0.14280	29.4938	29.4620	0.3127	0.3123	85.4075	85.3154

Note: V (Volume, m<sup>3</sup>) ; T (Temperature, °C) ; p (Pressure, kgf/cm<sup>2</sup>)  
 I (Enthalpy, kcal) ; S (Entropy, kcal/°K) ;  
 Gs (Weight of Steam, kgf) ; Gss (Weight of steam after Adiabatic Change, kgf)  
 Gf (Weight of Steam after Equi. enthalpic Change, kgf)

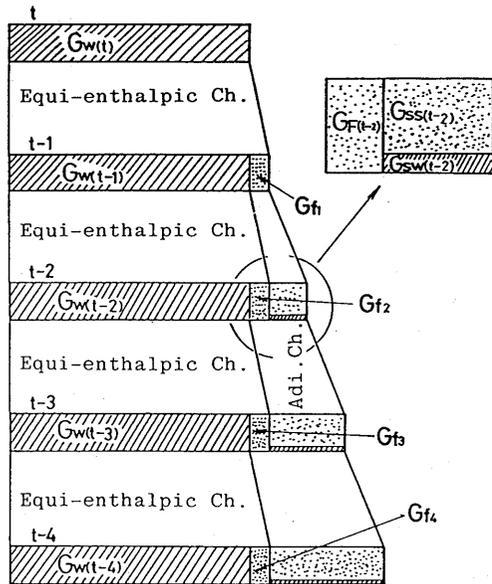


Fig. 8 Step Flash

れることである。

Table 1は、このような考えのもとに、数値計算を行った結果であり、同表には、1°Cおきの計算と0.25°Cおきの計算を合わせて載せた。

同表から、ステップの段数を無限大にした前述の連続フラッシュでは等エンタルピ変化ではなく断熱変化となる。

4. 2. 3 p-v線図

Fig. 9 (a~f)は前述の連続フラッシュについてのp-v線図を示したものである。

縦軸および横軸

大気圧ピストンと絶対仕事ピストンでは、縦軸と横軸の意味が異なり、従来の思想と違うために説明を加える。(+と-の仕事)

Fig. 9の(a)において、4→2の膨張では、 $p < p_a$ なので、このピストンロッドは外部よりエネルギー( $(p - p_a) \cdot dV = -\Delta p dV$ )を必要とする。同図の4-2<sub>(+v)</sub>-3<sub>(+v)</sub>-4で囲まれた面積が外部より加えられた機械仕事である。ここで、横軸は比容積vであり、縦軸には、絶対圧p\*で示した。同図の下半分は膨張を、ま

た、上半分は圧縮を示す。ピストン内圧  $p$  は常に大気圧  $p_a$  より小さい ( $p < p_a$ ) ので、ピストンロッドには、常に右方より左方に力が作用しているが、比容積  $v$  は膨張を (+) で、圧縮で (-) となる。従って、膨張時は (-) の機械仕事であり、圧縮時は (+) であり、両者の差が有効な機械仕事となる。同図に示すように、圧縮時の (+) 仕事は面積  $2(-v)-3(-v)-4-2(+v)$  となる。

4-3の圧縮を基準に取れば、上方が (-) で、下方が (+) となる。

Fig. 9の圧縮時の (+) 仕事から膨張時の (-) 仕事の差を取って示した(b)が、全サイクルで変換されるエネルギーの全量である。

周知のように絶対仕事ピストンで変換される機械仕事は  $\int (p-p_2)dv$  であり、また、Fig. 5に示した大気圧ピストンで変換される仕事は、 $\int (p-p_a)(-dv)$  であり、ここで示した場合の両者は数値的に等しい。ここで、注意したいことは、連続フラッシュで変換される全機械エネルギーは、大気圧ピストンでも絶対仕事ピストンでも数値的に等しいことである。後述の説明に必要なので、これを(5)式で示した。

$$\int (p-p_2)dv = \int (p-p_a)(-dv) \quad W_{ab} = W_{con.f} \quad (5)$$

Fig. 9(b)には、縦軸に  $\Delta p$  を取り、また、横軸には容積 ( $V$ ) を示しているが、同図より解るように、縦軸の  $\Delta p$  の方向が、絶対仕事と大気圧ピストンでその方向が異なる点である。

(5)式が示すように、Fig. 5のエネルギー変換量は、従来の絶対仕事と同じであるが、物理的意味は大きく異なる。即ち、絶対仕事ピストンでは、膨張仕事より圧縮仕事より大きく、その差がサイクルの全仕事であるが、大気圧ピストンでは、これが全く逆である。Fig. 5および(5)式では絶対仕事と大気圧ピストンとは同じであるが、後述するように、大気圧ピストンは絶対仕事ピストンでは不可能であった事を可能にする。このことについては更に後述する。

Fig. 10は、Fig. 9(b)と同じ図であるが、比較のために Rankine Cycle と合わせて載せた。Fig. 10で、4-(1)-(2)-3が Rankine Cycle (説明省略) である。

ダルマポンプサイクルの p-V 線図

ダルマポンプ (揚水作用) における p-V 線図を Fig. 10に示す。

Fig. 2のこのポンプの構造と Fig. 10のサイクルを比較して見るに、サイクルの 4'-1 (Fig. 2では、蒸気の供給過程) では、水面の前後はいずれも大気圧  $p_a$  に等しいので、何も蒸気は仕事はしない。しかしなが

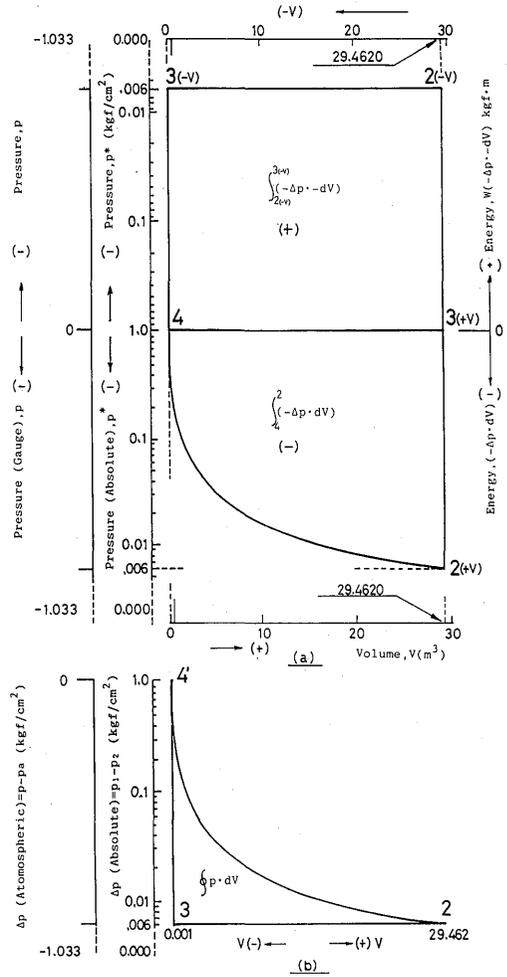


Fig. 9 p-v Diagram (Continuous Flash)

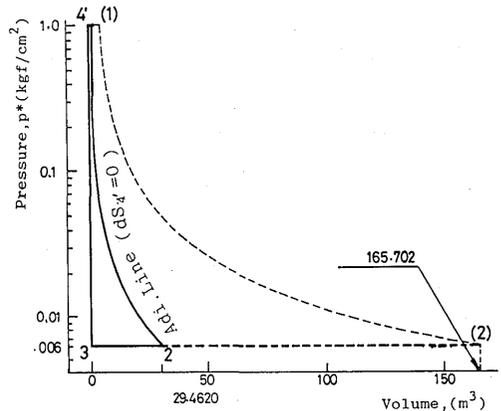


Fig. 10 p-v Diagram (Continuous Flash)

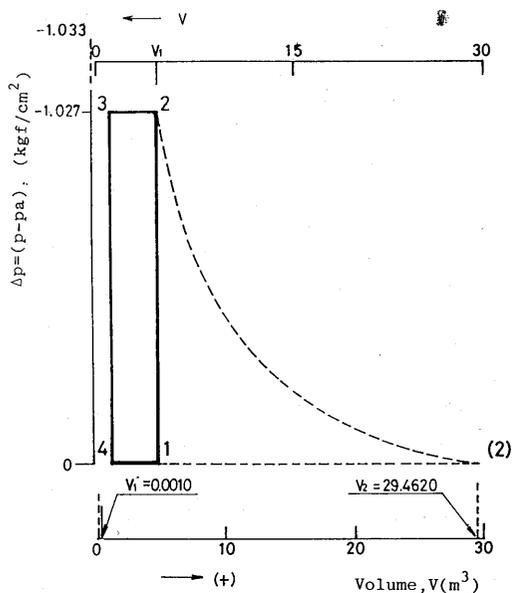


Fig. 11 p-v Diagram (Dharma Pump)

ら、2-3 (復水過程) では、0°Cの冷水と仮定すれば、 $p - p_a = 1.027 \text{ kgf/cm}^2$  (10.27m相当) の圧力差が蒸気水面と大気圧水面とに作用するので、この高さだけ水を吸い上げること (揚水作用) が可能になる。

Fig. 11 には、比較のため Rankine Cycle 3-2-(2)-4 を示した。ダルマサイクルは 2-(2)-1-2 の膨張を活用しないので効率が悪いので、産業革命の初期を除いて利用されていない。しかしながら、ここで注目したい点は、サイクル上の 2-3 の圧縮 (冷却) 時をエネルギー変換に利用しており、このため、当時としては、100°C 1 気圧の蒸気で約 10m の揚水を可能にしたことである。

#### 4. 2. 4 T-s 及び T-S 線図

大気圧ピストンサイクルの中には、新しい 2, 3 の思想が入っている。これを説明するために、T-s および T-S 線図 (S: エントロピ kcal/°K, s: 比エントロピ kcal/kgf·°K) の違いを述べねばならぬ。

Fig. 12 には、理想的連続フラッシュを示し、この T-s 線図を Fig. 13 に示した。Fig. 12 と Fig. 7 は全体として取り扱うときは全く同じであるが、Fig. 12 の変化は準静的に実行されると考えると、フラッシュした蒸気は容器 E. C に下部に分離されて、乾いた蒸気と熱水に分離した状態で変化が実行される。一方、Fig. 7 では、フラッシュ蒸気の断熱膨張は容器 E. C とは別のシリンダとピストンの空間で実行されるので、異なった T-S 線図となる。再言するが、全体として取り扱うときは両者全く同じであるが、別々に取り扱うときは異なったものとなる。

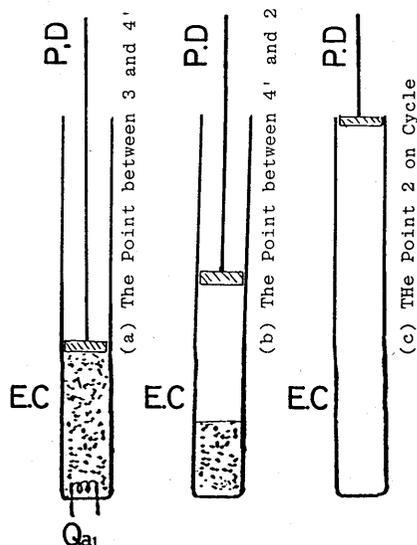


Fig. 12 Simple Continuous Flash

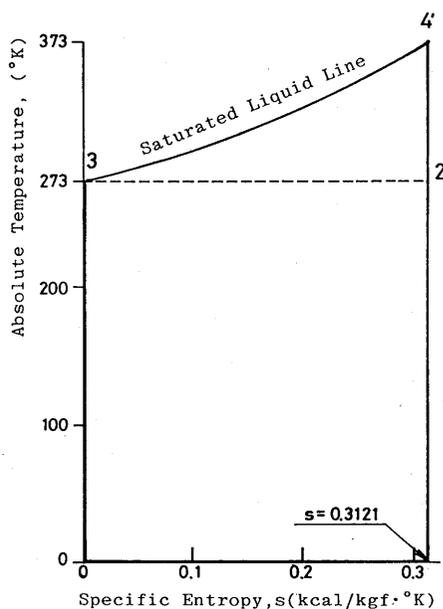


Fig. 13 T-S Diagram (Saturated L.L.)

まず、Fig. 12 について述べる。同図の (a) は加熱過程でピストンが熱水に密着した状態で加熱が実行される。ここでは、Fig. 13 の 3→4 の過程が進む。Fig. 12 の (b) が理想的連続フラッシュで、4→2 は断熱で実行される。(2→3, 説明省略)

Fig. 14 が、Fig. 7 の T-S 線図である。Fig. 14 と Fig. 13 で大幅に異なるのは、Fig. 13 の横軸は比エントロピであるが、Fig. 14 はエントロピである。Fig. 14 において、中心より左半分は容器 E. C 内の熱水の熱量変

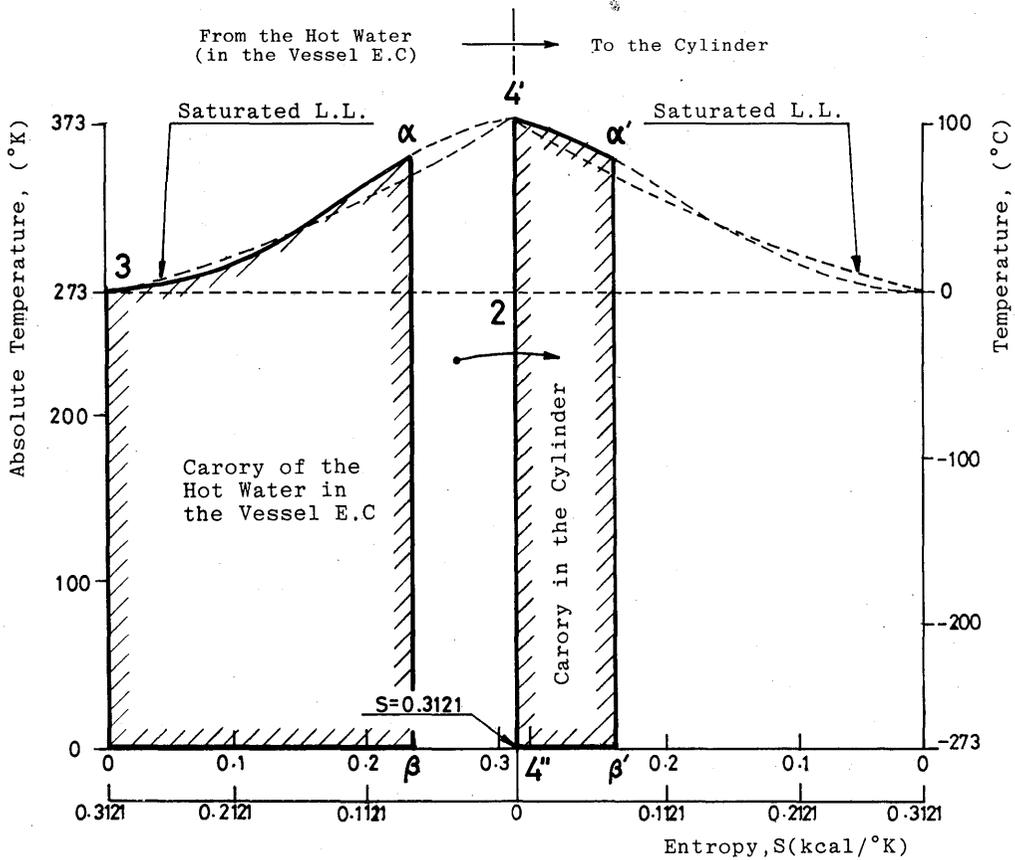


Fig. 14 T-S Diagram (Fig. 7, Continuous Flash)

化で右方は熱水よりシリングへ移動した熱量を示す。  
 Fig. 14で解るように、熱水4'より2への連続フラッシュをFig. 7のようなシステムで実行するときは、熱水のT-S線図はFig. 13の飽和液線のT-sと異なる。勿論、点4で熱水を持つ熱量は同じであるので、飽和液線に沿ったフラッシュ時の熱量(面積4304')は、Fig. 7のフラッシュ時の熱量(面積4α30β4')と等しい。

いま、任意の点αで、容器E.Cの中の熱水の有する熱量は面積(α30β)で示される。この点までに、熱水よりシリングへ移動した熱量は面積(4α'β'4')で示される。

Fig. 14の持つ意味はこの研究では大きいですが、数式的な説明は、つぎのP-I線図と合わせて行うので、ここでの説明はこれでとどめる。

4. 2. 5 p-v, V, T-s, S, p-i, I線図

Fig. 15に、連続フラッシュのp-V, S, I線を示した。(a)はp-Vで(b)はT-S, (c)はp-I線図である。

Fig. 13とFig. 15で、T-sとT-S線図の違いを説明した。Fig. 7が、ここで取り扱っている連続フラッシュの構造で、また、Fig. 12は理想的(Simple)連続フラ

ッシュであり、Fig. 12のような構造でアイデアルの運転を行えば、Fig. 13のT-s線図となることを前に述べた。ここで、p-Vおよびp-I線図についてまとめて述べる。v, s, iとV, S, Iの関係は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} V &= G \cdot v \\ S &= G \cdot s \\ I &= G \cdot i \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

(ここで、G……W, Sの重量(kgf))

この研究でのエネルギー変換には、W, Sとして、水(液相)と蒸気(気相)の2つを合わせて用いることを1つの特長とする。両者のエンタルピは次式となる。

$$\left. \begin{aligned} I_w &= U_w + ApV_w \\ I_s &= U_s + ApV_s \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Fig. 7の構成のエネルギー変換について、以下順を追ってサイクルの説明と合わせて、p-V, T-s, p-I線図について述べる。

サイクルの出発点を100°C, 1 kgfの熱水(Fig. 7の(a), サイクル上の4'点)として説明を進める。4'→2の間では、熱水よりフラッシュして発生した蒸気はシ

リングへ入り、ここで断熱膨張が実行される。即ち、 $4' \rightarrow 2$  は断熱変化であり、 $4'$  点のエントロピ  $S_{4'} = 0.3121$  が Const. (従って、 $dS_{4'} = 0$ ) の変化である。

$4' \rightarrow 2$  では、熱は熱水より、シリンダへ移動するがその移動量の関係は次のようになる。即ち、熱水の熱量の減少量だけ、蒸気 (従ってシリンダ) へ移動することになる。

熱水の熱量の減少量

$$-dQ_w = G_w(-dT) \quad (8)$$

(8)式の  $-dQ_w$  の数値計算には、次の近似計算を行った。即ち数値的に

$$V_w \ll V_s \text{ なので、(7)式において}$$

$$I_w \approx U_w$$

$$-dQ_w = -dI_w = -dU_w$$

液相の失った熱量は、そのままが気相へ移るのでこの間の関係は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} -dQ_w + dQ_s &= 0 \\ |dQ_w| &= |dQ_s| \\ dQ_s &= -dQ_w \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

気相が受け取った熱量  $dQ_s$  は第一法則より

$$dQ_s = dU_s + A p dV_s \quad (10)$$

気相の内部エネルギーの増加  $dU_s$  と気相の圧力、体積エネルギーの増加 ( $A p dV_s$ ) となる。

エンタルピーの関係は次式となる。液相の失ったエンタルピーだけ気相のエンタルピーが増加するので、即ち、

$$I_w + I_s = \text{Const.} = i_0 \quad (11)$$

$$i_0 = 100.04 \text{ kcal}$$

(11)式が得られる。

(11)式の関係を図. 15の(c)に示したが、同図より解ることは、Fig. 7の連続フラッシュでの、容器E、C中の熱水のp-I線図は、飽和液のp-i線図とは異なる点である。(c)図の横軸、Fig. 7ではエンタルピーIであり、Fig. 12では、比エンタルピー*i*である。)ここで注意したいことは、Fig. 7とFig. 12では、容器E、C内の熱水量が異なる点である。Fig. 12は熱水の全量がE、C内にあるが、Fig. 7では、熱水の一部はシリンダで復水する。

(10)式の関係を用いた数値計算した結果を図. 15の(c)図に示す。(4' → 2)

T-S線図については、前に述べたので、ここでは省略。

Fig. 9およびFig. 15のp-V線図について一言しておく。

両図とも、Fig. 7のような構造についてであるので横軸は*v*でなく*V*の方が正しい。Fig. 7で、シリンダとピストンの間で蒸気の膨張が実行されるが、この空間へは、時々刻々容器E、Cよりフラッシュした蒸気が送り込まれていて、この、W、Sの重量は常に変化しているため、*V*でないと正しくない。

#### 4. 2. 6 数値計算の結果

結果はTable 1およびFig. 15に示しているが、連続フラッシュは等エンタルピー変化でなく断熱(等エントロピ)変化である。

熱水100°C 1 kgfを連続フラッシュさせると蒸気の容積は( $V_2 = 29.4620 \text{ m}^3$ )となり、膨張で、機械エネルギーに変換される量は熱量表示で14.6kcalである。

#### 4. 2. 7 連続フラッシュとステップフラッシュ (エントロピフラッシュとエンタルピーフラッシュ)

この研究において、連続フラッシュの持つ意味は大きい。

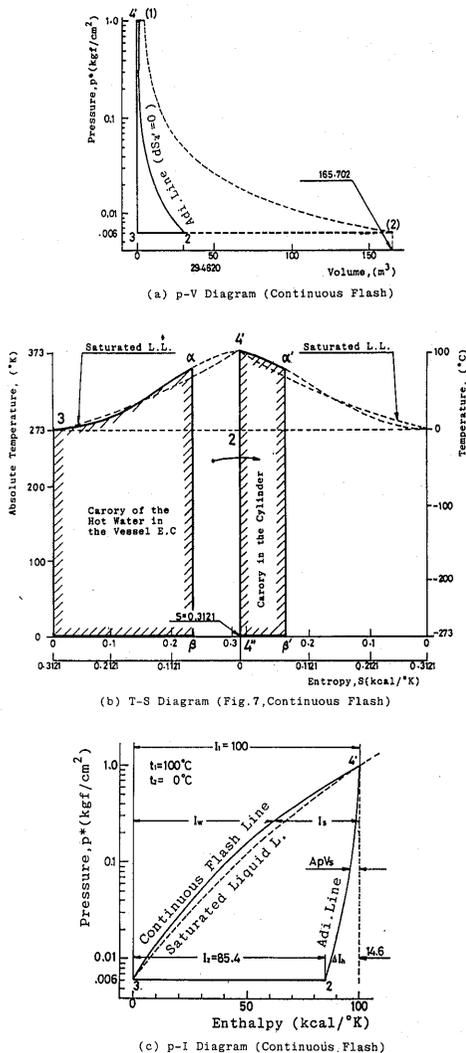


Fig. 15 p-V, S, I Diagram (Continuous Flash)

地熱発電においてはフラッシュ蒸気が活用されてプラントの出力が増加していることは周知のことである。一段フラッシュ (HSF方式) では、サイクルの前段において等エンタルピフラッシュによるフラッシュ蒸気を作り、得られた蒸気は熱機関へ導き、等エントロピの変化で機械エネルギーへの変換が実行される。ここで注意したいのは、エネルギー変換は等エントロピの過程で実行される。変換エネルギーを増加させる目的で二段フラッシュ (HDF方式) が考えられた。

連続フラッシュの前述の考えを押し進めたもので、無限段の (連続) フラッシュとしたものである。

この章での研究で、連続フラッシュは等エンタルピでなくて等エントロピ変化である。更に、等エンタルピの部分は0で総て等エントロピであった。

従って、連続フラッシュが熱水と冷水の2者の間で変換されるエネルギーでは最大である。従来の熱力学での有効エネルギーの中で得られる最大仕事である。

(この研究では有効エネルギーの思想を否定するものである。同じことではあるが、無効エネルギーの思想も否定するものである。)

## 5. 結 言

この報告では、大気圧ピストンの研究を始めた経緯や、一般的概念を述べた。

大気圧ピストンだけでは、効率100%のエネルギー変換は出来ず、これにつぎの3つの新しい思想を組み合わせる必要がある。その1は、連続フラッシュであり、その2は、潜熱クローズであり、その3は、大気圧ピストンの第2種ヒートポンプ作用である。以上の3者の中で今回は連続フラッシュについて述べた。

## 参考文献

- 1) 栗須, 海洋温度差エネルギー利用の工業材料, (日刊), 工業材料, VOL 28-7, 55年7月
- 2) 栗須, 海洋温度差を利用した海水淡水化装置海洋実験に成功, (オーム社), OHM VOL 67-11, 55年11月
- 3) 栗須, 海洋エネルギー, (日刊), 工業材料, VOL 29-1, 56年1月
- 4) 栗須・中根・野中, 日本海の流動数値シミュレーション(温度境界層の実測について), 長大工報 16号, P19~25, 56年1月
- 5) 山畳・栗須, 海洋温度差エネルギー利用の研究(日本海の流動数値シミュレーション), 機械学会第12回九州学生会, 210, 56年3月
- 6) 山畳・栗須, 海洋温度差エネルギー利用の研究(カ
- ラーグラフィック利用による日本海のグラフィック表示), 機械学会第12回九州学生会, 211, 56年3月
- 7) 東・二宮・栗須, 海洋温度差エネルギー利用の研究(深海水の揚水実験について), 機械学会第12回九州学生会, 212, 56年3月
- 8) 市屋・白石・栗須, 海洋温度差エネルギー利用の研究(昇温サイクルの利用を応用した海水淡水化), 機械学会第12回九州学生会, 213, 56年3月
- 9) 栗須・高橋, 昇温サイクルの利点を応用した海水淡水化, 日本機械学会東海支部創立30周年記念講演会, 56年7月
- 10) 東・田中・栗須, 海洋温度差エネルギー利用の研究(1. 実験船の洋上設置と冷海水のポンプUp), 長大工報 17号, 56年7月
- 11) 栗須・琴浦・宇都, 海洋温度差エネルギー利用の研究(2. 昇温サイクルの利用を応用した海水淡水化), 長大工報 17号, 56年7月
- 12) 東・高橋・栗須, 海洋温度差分布測定法について(日本海近海における実測), 長大工報 17号, 56年7月
- 13) Masato KURISU, Katsuhiko HIGASHI, Shigekatsu NAKANE, Tsuneo AOYAMA, Sankichi TAKAHASHI and Genichiro TOMIOKA, A Fundamental Field Experiment on Ocean Thermal Energy Conversion by the Form of Freshwater Production, Societe franco-japonaise oceanographie, La mer 21: 37-43, 1983
- 14) 栗須・田中, フロン用伝熱管内面(水面)の形状比較とその応用, 長大工報 21号, 58年7月
- 15) 栗須・青山, 洋上観測プラットフォームの係留に関する研究, 東大海洋シンポジウム, 55年3月
- 16) 栗須, 発電所温排水を利用した海水淡水化試験, 日本機械学会誌, 57年7月
- 17) 青山・栗須・中根, 海洋温度差利用海水淡水化の洋上基礎実験, 日仏海洋学会, 56年5月
- 18) 阿部・福山, 長大パイプによる深海水汲み上げとその利用法, 東大海洋研報告, D.20, 56年3月
- 19) 栗須・平野・青山, 日本海の冷海水と対馬海流との温度差を利用した海水淡水化の研究, 鹿島学術振興財団, 55年度年報
- 20) 栗須・野中・宇都, 日本海における潮流数値シミュレーションに関する研究, 佐世保高専研究報告 18号, 56年11月
- 21) 栗須, 海洋温度差発電, トリガーNo.2, P50, 58年1月

- 22) 栗須・謝偉・宇都, A Preliminary Experiment on Utilizing the Ocean Temperature Difference for Desalination (I : Fixing the ship for Experiment in the Sea and pumping up the Cold Sea Water), 長大工報 19号, 57年8月
- 23) 栗須・謝偉・宇都, (II : Used Temperature-Raising System to Desalinate), 長大工報 19号, 57年8月
- 24) 栗須, 発電所温排水を利用した海水の淡水化実験, (日本工業), 配管技術, 58年4月
- 25) 山口・田中・中根・栗須, 日本海・島根沖における海洋温度差発電(第1報: 温度差海域の調査), 長大工報 21号, 58年7月
- 26) 田中・高橋・東・児玉・栗須, 日本海・島根沖における海洋温度差発電(第2報: 実験船上の研究設備), 長大工報 22号, 59年1月
- 27) 栗須・児玉・田中, 日本海・島根沖における海洋温度差発電(実験船上の研究設備), 日本機械学会講演論文集, 58年11月
- 28) 栗須・田中・児玉・東・高橋・植木, 温泉・温度差発電(第1報: 小浜温泉の現地試験結果), 長大工報 23号, 59年7月
- 29) 植木・児玉・栗須, 温泉・温度差発電(第2報: フロンタービンと性能予測), 長大工報 23号, 59年7月
- 30) 栗須・石橋・山口, 温泉・温度差発電(第3報: ハイドロ・サーモ発電の原理), 長大工報 23号, 59年7月
- 31) Masato KURISU, Yoshio KODAMA and Kiyohiro TANAKA, A FIELD EXPERIMENT ON THE OCEAN THERMAL POWER GENERATION OFF SHIMANE, WESTERN JAPAN SEA, 5th International, OMAE Symposium, 1986-Apr.