## 油入遮断器の電弧による油の分解に就いて

### 藪 野 亥 石\*

### The Decomposition of Oil by the Arc in Oil Circuit Breakers

By Gaiseki Yabuno

Kokubu Branch Works of Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### **Abstract**

For. A.C. circuit breakers in which oil is used as an arc extinguishing medium, the phenomenon of the decomposition of oil by arc presents one of serious problems, because the are voltage is a material function of the decomposition rate of oil, and the arc is broken because its energy is consumed up in decomposing the oil into hydrogen carbide, hydrogen, etc.

In this paper, giving volumic percentage of the generated gas contents (Ph=% of  $H_2$ , Pa=% of  $C_2H_2$ , Pm=% of  $CH_2$  and Pe=% of  $C_2H_4$ ), the ratio of generated gas volume to total arc energy Vg (in c.c. per kw-s arc energy at  ${}^{\circ}C$ , 760 mmHg), calorific value of switch oil  $H_0$  (in cal/gr), etc., the writer discusses the methods to obtain the formula to calculate the oil quantity decomposed by arc ( $Q_0$  in gr per kw-s of arc energy), the carbon precipitation ( $K_0$  in gr per kw-s of arc energy), percentage carbon precipitation ( $K_0/Q_0$  in %) energy consumed in breaking up the oil ( $E_3$  in kw-s per kw-s of arc energy), etc.

The following are the relations the writer found in his research:

$$Q_0 = 6.25(P_h + P_a + 2 P_m + 2 P_e) Vg \times 10^{-6}$$

$$K_0 = 5.35(P_h - P_a + P_m) Vg \times 10^{-6}$$

$$\frac{K_0}{Q_0} = \frac{6}{7} \cdot \frac{P_h - P_a + P_m}{P_h + P_a + 2 P_m + 2 P_e} \times 100$$

 $\xi_3 = (0.305 P_h + 0.45 P_a + 0.58 P_m + 0.65 P_e) Vg - 4.2 Q_0 H_0) \times 10^{-3}$ 

and if  $P_h$ =70%,  $P_a$ =20%,  $P_m$ = $P_e$ =5% (being one of the general cases), Vg=100 cc and  $H_0$ =10,000

$$Q_0$$
=0.0688 gr/kw-s of arc energy  $K_0$ =0.0295 gr/kw-s of arc energy  $K_0/Q_0$ =43%  $\xi_3$ =0.70 kw-s/kw-s of arc energy

### [I] 緒 言

交流遮断器としての油入遮断器は、近時圧縮空気遮断器の開発々展によつて、その使用分野が幾分せまくなつた感はあるが、大局的に見てまだまだ油入遮断器が圧倒的に多いと見てよい。

\* 日立製作所日立国分分工場

油入遮断器が交流遮断器として重用されるのは、使用する絶縁油の卓越した絶縁耐力と電弧遮断の媒質として極めてよい特性を持つているからである。即ち油が電弧によつて分解されて数種の炭化水素系ガスや水素を発生する時に電弧から多量のエネルギを吸収して電弧の遮断を助ける作用は他に類を見ない所で、しかも電弧遮断に直接寄与する油量は極端に少量のものであることを考え

ると、油入遮断器の将来性には尚前途が多いことを示唆する所があるように思う。

本文はこの絶縁油が電弧遮断の時にどのような化学的変化を起こし、どの程度のエネルギの移動があるかの概念を把握するために草したつもりである。

一般に油入遮断器で電弧を遮断した場合に、電弧によって油が分解された結果出来るガスの組成と分量、電弧エネルギの量、圧力等は比較的に測定は容易であるが、その時に生ずる遊離炭素の定量は相当の困難を伴ない、実際問題としては、ほぶ不可能に近いことである。よって油が分解して生ずる混成ガスの組成及び単位電弧エネルギに対する発生ガス量を知ることによって、分解に寄与する油の量や析出炭素量を計算し又この反応に費されるエネルギを計算する式を求めた。かくして油の分解並びにこれに附属する諸現象の中で最も量的に支配的な現象把握によって現象の全般をうかがうことが可能となることを述べるのが目的である。

求めたものム中で主要なものをあげると次の如くなる。式の中の符号、略号は次の如く定める。

- $P_h$ ,  $P_a$ ,  $P_m$ ,  $P_e$  はそれぞれ水素、アセチレン、メタン、エチレンの標準状況下 (°C 760 mmHg) に於ける容積比率 %
- $V_g$  標準状況下に於ける単位電弧エネルギ当りの発生ガス量 cc/kw-s of A.E.
- $Q_0$  単位電弧エネルギ当りの分解された油量 gr/kw-s of A.E.
- $K_0$  単位電弧エネルギ当りの遊離炭素量 gr/kw-s of A.E.
- $\xi_3$  油  $Q_0$  gr を分解してガス量  $V_g$  と遊離炭素  $K_0$  gr を生成するに費されるエネルギ kw-s/kw-s of A.E.
- $\xi_5$  混成ガス  $V_g$  を更に  $H_2$  と C のみに分解するエネルギで電弧の中心部で一部この現象がおこつているとの仮定にもとづく。kw-s/kw-s  $o_f$  A.E.

 $Q_0 = 6.25(P_h + P_a + 2P_m + 2P_e)V_g \times 10^{-6}$ 

gr/kw-s of A.E.

 $K_0 = 5.35(P_h - P_a + P_m)V_g \times 10^{-6} \text{ gr/kw-s of A.E.}$   $\xi_3 = [(0.305 P_h + 0.45 P_a + 0.58 P_m + 0.65 P_e)V_g$   $4.2 Q_0 H_0] \times 10^{-3} \text{ kw-s/kw-s of A.E.}$   $\xi_5 = (-0.103 P_a + 0.034 P_m - 0.038 P_e)V_g \times 10^{-3}$  kw-s/kw-s of A.E.

こゝに  $H_0$  は与えられた条件下に於ける油蒸気の比熱 cal/gr を表わし、A.E. は電弧エネルギの略号である。 尚例として  $P_h$ =70%,  $P_a$ =20%,  $P_m$ = $P_e$ =5%,  $V_g$ =100 c.c.,  $H_0$ =10,000 cal として計算の結果  $Q_0$ =0.0688,

 $K_0$ =0.0295,  $\xi_3$ =0.7 kw-s/kw-s of A.E. 等を得た。この結果から電弧エネルギの大きな部分が油の化学的分解に消費されることが判かる。尚本文の計算は凡て単位電弧エネルギ kw-s に対して種々の量の計算式を立てた。これは数値計算のときに、その計算が直に電弧エネルギ 1 kw-s に対する割合を知るに便なるためである。

### 〔II〕油の分解と遊離炭素

### (1) 計算の基礎的考え方

絶縁油中で電弧がおこると、その高熱のために油は分解されて、水素、アセチレン、メタン、エチレン等のガスの混合体と遊離炭素の微粒子が析出される。

絶縁油は炭化水素で $C_nH_{2n}$ 即ちエチレン系のものと、 $C_nH_{2n+2}$ 即ちパラフィン系のものとがある。一般に用いられている絶縁油は原油の産地によつてこの両者が色々な割合で混入している。n の平均はほど 14 位と見られていて、実際の油の中にはこのn の色々な値のものが混在していると考えられている。

このように複雑な組成の油が熱的に分解するのであるから、単に上記のような混成ガスと炭素だけが結果的に測定出来たからといつて、この結果だけを用いて計算を進めることに妥当性を欠く点があるという考え方も成立つ。即ち電弧にふれた油の一部が分解してそれが測定可能なガスとして現われるが、一部の油は液状のまゝで変化するという考え方である。つまり $C_{14}H_{28}$ が一部 $C_{13}H_{26}$ に変化するがこれは簡単に把握出来ない変化である。併しかような液状のまゝの変化に要するエネルギは、液状油がガス体に化学変化する場合のエネルギに比して遙かに小さいと考えられるから、これは一応除外して考えを進めることゝした。

#### (2) 表による計算

この問題を解くために(1)節で説明したように、生成した混合ガスの組成 (%)  $P_h$ ,  $P_a$ ,  $P_m$ ,  $P_e$  及び  $V_g$  の値が測定出来たとする。これ等の実験的資料を用いて**第**1表の如く計算を進めて行く。

### 第1表に於て

- (1.1) は油の分解で生成したガスの分子式(1節)
- (1.2) は組成ガス等の分子量で  $H_2$ =2, C=12 として 計算した。
- (1.3) は組成ガス成分の百分率 (%) (1節)
- (1.4) は各ガスの 1 cc (標準状況下で) の質量即ち  $\frac{分子量}{22.4 \times 10^3}$  (gr)
- (1.5) は混成ガス 1,000 cc 中の各組成ガスの容積(標準状況下で)例えば水素のときは1,000 cc  $\times \frac{P_h}{100}$   $10 P_h$  (cc) の如し。
- (1.6) は (1.5) に相当するもの Δ質量 (gr)

第 1 表	油分解による生成物の表(°C 760 mmHg の条件に於て、但し $L=22,400$ cc)
Table 1.	Products out of Oil Decomposition (under °C 760 mmHg, provided $L=22,400$ cc)

番号		生成物	水 素	アセチレン	メタン	エチレン	合 計	炭素
1.1		分 子 式	$H_2$	$C_2H_2$	$CH_4$	$C_2H_4$		C
1.2		分 子 量	2	26	16	28		12
1.3		混 合 率 (%)	$P_h$	$P_a$	$P_m$	$P_e$	100	
1.4		1cc の質量 (gr)	2/L	26/ L	16/L	28/L		12/L
1.5		1,000 cc ガスの容積 (cc)	$10 P_h$	$10 P_a$	$10 P_m$	$10P_e$	1,000	
1.6		$(1.4)\times(1.5)$ (gr)	$2/L \cdot 10 P_h$	$26/L \cdot 10 P_a$	$16/L \cdot 10 P_m$	$28/L \cdot 10 P_e$	$m_h + m_c$	k
1.7	1.7.1	(1.6)の中の H <sub>2</sub> 分 (gr)	$2/L \cdot 10 P_h$	$2/L \cdot 10 P_a$	$4/L \cdot 10 P_m$	$4/L \cdot 10 P_e$	$m_h$	-
	1.7.2	(1.6) の中の C 分 (gr)	0	$24/L \cdot 10 P_a$	$12/L \cdot 10 P_m$	$24/L \cdot 10 P_e$	$m_c$	k
1.8		ガス V <sub>g</sub> cc 中の質量 (gr)	$2/L \cdot V_g/100 \\ \cdot P_h$	$26/L \cdot V_g/100 \cdot P_a$	$16/L \cdot V_g/100 \\ \cdot P_m$	$28/L \cdot V_g/100 \\ \cdot P_e$	$(m_h+m_c) \cdot V_g/10^3$	$k \cdot V_g/10^3$
1.9	1.9.1	(10)中央U内所具			$4/L \cdot V_g/100 \cdot P_m$	$4/L \cdot V_g/100 \\ \cdot P_e$	$m_h \cdot V_g/10^3$	
	1.9.2	Particular Commence of the Com				$24/L \cdot V_g/100 \\ \cdot P_e$		$k \cdot V_g / 10^3$
1	.10	1gr 当りの容積 (cc)	L/2	L /26	L/16	L/28		L/12
1.11		$(1.8) \times (1.10)$	$V_g/100 \cdot P_h$	$V_g/100 \cdot P_a$	$V_g/100 \cdot P_m$	$V_g/100 \cdot P_e$	$V_g$	159-47

表中、 $m_h$  は 1,000 cc の混合ガス中の水素分 $m_c$  は 1,000 cc の混合ガス中の炭素分k は 1,000 cc の混合ガスが出来た時に析出された遊離炭素の質量 (gr)

(1.7) は 1,000 cc 混合ガスを水素分と炭素分に分けた (1.7.1)は (1.7) の中での水素分(合計値は  $m_h$ )(gr) (1.7.2)は (1.7) の中での炭素分(合計値は  $m_c$ )(gr) (1.8) は  $V_g$  cc 中の混成ガスの質量 (1.6)  $V_g \times 10^{-3}$  (gr)

(1.9) は (1.8) の質量を水素分 (1.9.1) と炭素分 (1.9.2)とに分けたもので単位は gr/kw-s of A.E.
 (1.10)は 22.4×10<sup>-3</sup>÷(分子量)で標準状況下の各ガスの 1 gr りの容積 (cc) 即ち (1.4) の逆数

第1表より 
$$m_h, m_c$$
 等を求めると

こゝに G.G. は生成ガス (Generated Gas の略) で、このガス量 1,000 cc (標準状況 °C 760 mmHg) の中に含まれる水素と炭素の質量をそれぞれ (1) 及び (2) 式で求めうることになる。

### (3) 絶縁油を構成する炭素と水素の質量比

(1)節にのべたように、油はエチレン系とパラフィン系の混合物である。かりにこれをn=14で計算すると、

エチレン系  $(C_nH_{2n})$  の場合は 炭素の質量  $=\frac{12\times14}{1\times2\times14}$  = 6 で n の値如何に拘わらず常に 6 である。パラフィン系の場合はこの比が 5~6 の間で変るが、本文では簡単のために、この比を 6 一定として今後の計算を進めることにする。この比の実際の値はおそらく 5.8 前後であろうから、これを 6 と見て計算をするのである。 結局に於ては僅かの誤差の範囲で納まるからである。

#### (4) 電弧により分解される油量と遊離炭素

電弧によって発生した混成ガス 1,000 cc に対して、第 1 表(1.6)の如く k gr の炭素が析出し、このために q gr の油が分解消費されたとする。油中の炭素分と水素分の質量比を前節により 6 とすれば [ 第 1 表(1.6) 及び(1.7) 参照]

$$\frac{k+m_c}{m_g} = 6. \dots (3)$$

$$q = k+m_c+m_h \dots (4)$$

(3) 及び (4)式から 
$$q=7 m_h=1.17(k+m_c)....(5)$$

又は  $k=5.35(P_h-P_a+P_m)\times 10^{-3}$ 

$$k = \frac{120}{L} (P_h - P_a + P_m) \operatorname{gr}/1,000 \operatorname{cc} \text{ of G.G.}(8)$$

これ等の式から  $1 \,\mathrm{kw-s}$  の電弧エネルギに対して発生するガス量 ( $V_g \,\mathrm{cc}$ ) に対する分解油量  $Q_0$  と炭素析出量  $K_0 \,(1\,\mathrm{fi})$  を求めると

$$Q_0 = \frac{140}{L} (P_h + P_a + 2P_m + 2P_e) V_g \times 10^{-3}$$
  
 $gr/kw$ -s of A.E......(10)  
 $K_0 = \frac{120}{L} (P_h - P_a + P_m) V_g \times 10^{-3}$   
 $gr/kw$ -s of A.E.....(11)  
 $L = 22.4 \times 10^3 \text{ cc}$  安代人して  
 $Q_0 = 6.25 (P_h + P_a + 2P_m + 2P_e) V_g \times 10^{-6}$   
 $gr/kw$ -s of A.E......(10a)  
 $K_0 = 5.35 (P_h - P_a + P_m) V_g \times 10^{-6}$   
 $gr/kw$ -s of A.E......(11a)

次に電弧遮断の時に遮断器内に発生する電弧エネルギの総量をWkw-sとし、その時の油の分解量をQgr、これに対応する炭素の析出総量をKとすれば

$$Q = Q_0 W = 6.25 (P_h + P_a + 2P_m + 2P_e) V_g W \times 10^{-6}$$
  
 $gr/kw$ -s of A.E.....(12)  
 $K = K_0 W = 5.35 (P_h - P_a + P_m) V_g \cdot W \times 10^{-6}$   
 $gr/kw$ -s of A.E.....(13)

(12) 及び(13)式に依つて発生ガスの組成率(%)と $V_g$ , W等を知ることに依つて、分解された油量Qや炭素の沈澱量K等を計算的に求めることが出来る。尚当然考えられることではあるが、炭素の沈澱量Kはアセチレンの如く炭素と水素の質量比(12)の高いものが多く発生する場合は少くなるし、反対の場合は多くなること、またエチレンの発生率には関係がないことが(13)式から分かる。

### (5) 遊離炭素の析出率 (K/Q)

(12) 及び(13) 式を用いて析出炭素量と分解される油 量の質量比を取つて見ると

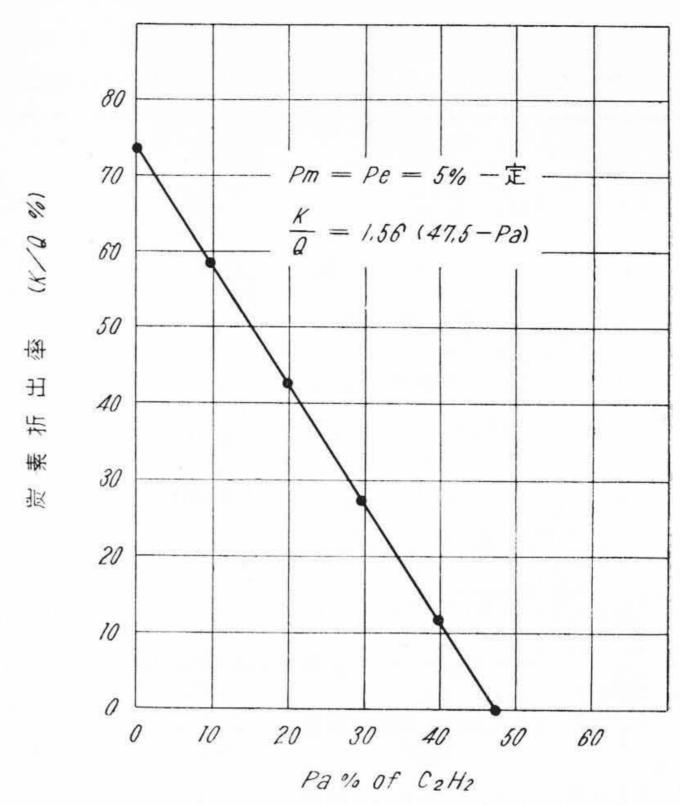
$$\frac{K}{Q} = \frac{K_0}{Q_0} = \frac{k}{q} = \frac{6}{7} \cdot \frac{P_h - P_a + P_m}{P_h + P_a + 2P_m + 2P_e} \times 100\%$$
.....(14)

となる。これは電弧によつて分解された油に対する炭素の析出の割合を示すもので、遮断器の特性を示す一つの目安として良いものと思う。これを仮りに遊離炭素の析出率と名付けることにしておく。

この析出率は各組成ガスの率が変わると色々に変化するが一般の油入遮断器に於ては  $P_m$  と  $P_e$  は  $P_h$  及び $P_a$  に対して低いのでこれをそれぞれ 5% 一定と見て、 $P_a$  を色々に変えた場合の遊離炭素析出率を計算して見ると、第(14)式は

$$\frac{K}{Q}$$
=1.56(47.5- $P_a$ ) 但し $P_m$ = $P_e$ =5%....(15)

となり、第1図の直線となる。即ちアセチレンの生成が 皆無の時は炭素の析出は分解された油の 74% となり、 アセチレンの生成が 47.5% の時は零となる。



第1図 油中電弧による遊離炭素の析出率 Fig.1. Precipitation Rate of Carbon by the Arc in Oil

遊離炭素の析出絶対量 K は K/Q を小さくすることの外に、 $V_g$  及び W を小さくすることに依つて制御出来る。現行の遮断器の設計は主として  $V_g$  及び W の制御を研究の対象にしているが、K/Q の制御に関しては未だ系統的には研究されていない。併し英国の Bruce 氏(1)等は、油入遮断器の構造の差即ち密閉タンクの場合と開放型タンクの場合で  $P_h$  と  $P_a$  の比率が著しく異り、後者の場合は  $P_a$  が相当に大きくなることを実験している。今後かゝる方面の研究も相当に有意義になると思う。

### (6) 計 算 例—1.

今迄の結果に一例として数値を入れて、およその数値 的概念把握の一助とする。今

 $P_h = 70\%$ ,  $P_a = 20\%$ ,  $P_m = P_e = 5\%$  $V_g = 100 \text{ cc}$ , W = 200 kw-s

### とすれば

(10) 式より  $Q_0 = 0.0688 \,\mathrm{gr/kw}$ -s of A.E.

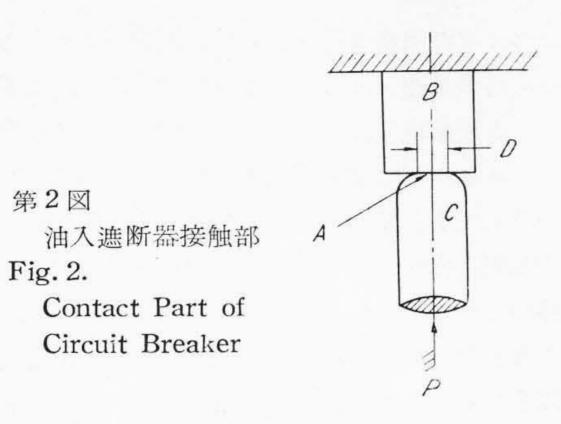
(12) 式より  $Q = Q_0 W = 13.7 \,\mathrm{gr}$ 

又(11) 式より  $K_0=0.0295\,\mathrm{gr/kw-s}$  of A.E.

(13) 式より  $K = K_0 W = 5.9 \,\mathrm{gr}$ 

又(15)式又は**第1図**より  $\frac{K}{Q}$ =43%

本例は最近の $66 \, \mathrm{kV}$ 級の大容量遮断器に起きる数値例と見てよい。 $Q=13.7 \, \mathrm{gr}$  は油の比重を $0.91 \, \mathrm{kE}$  見れば、これに相当する油量は $15 \, \mathrm{cc}$  となり、大容量遮断に対してもこの程度の油の破壊で十分であることが分かる。尚この場合の炭素の析出量及びその析出率もおよそこの種の遮断器の動作特性に適合した数字と見てよい。



### [III] 電弧発生初期の電弧と油の関係

この一節は本題の主旨から少しく離れた問題ではあるが、電極開離の初期に於て電弧と周囲の油との関係が如何ようになるかを考えるのは本題の理解に多少役立つと考えたので添えることにした。

第2図は遮断器接触部の略図である。接触面Aを拡大したものが第3図である。接触面は一般に図のように顕微鏡的突起の集合で、この突起部分が電流を流していると考える。今可動接触子を開離すると、この多数突起が段々に引離され、接触する突起部の数が減少する。従って接触点の電流密度が高まり局部加熱の度合がはげしくなる。かくして熱電子の放射となり電弧へ発展する。この時の発弧点の周囲の状況を考えて見ると、突起の高さを $G\mu$ ,電極開離の速度をVm/secとすると、突起点が完全に開離する迄の時間は $t=G\div 10^6 Vsec$ となる。

次に接触面Aの径を d として最後の接触開離の突起点と周囲の油壁との間隔を lmm とすると、突起点開離までにこの突起点に油壁が到達するに要する油壁の速度は

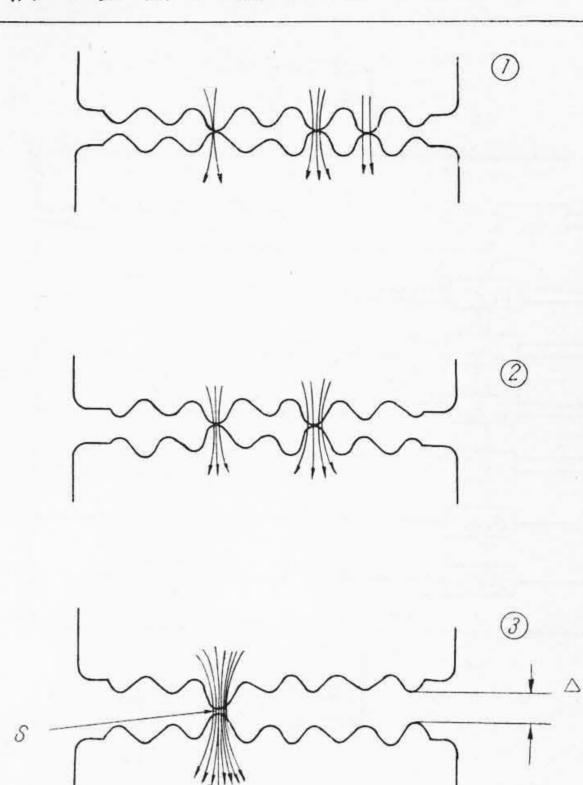
$$V_0 = \frac{l V}{G} \times 10^6 \text{ m/sec} \dots (16)$$

である。 $G=5\,\mu$ ,  $l=5\,\mathrm{mm}$ ,  $V=1\,\mathrm{m/sec}$  とすると  $V_0=1,000\,\mathrm{m/sec}$  となる。かような高速油流は考えられないから、電極開離の初期には、開離点の周囲に油は存在し得ないで、真空又は油蒸気の雰囲気の中で電弧が発足すると考えねばならない。

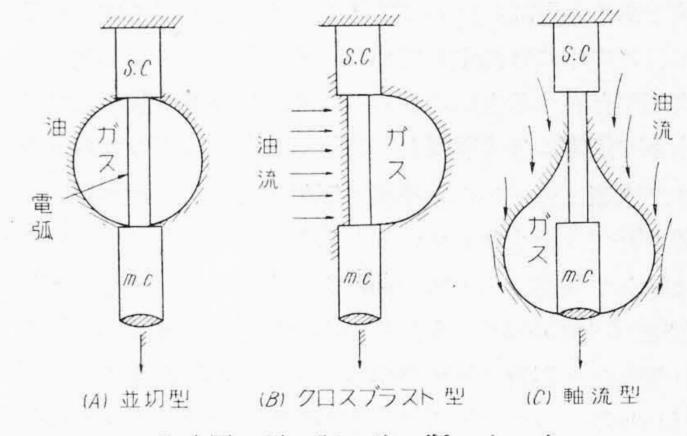
電弧発生の初期は電弧長も短かく、雰囲気も電弧の持続に好適であるからエネルギの大部分は電極の加熱熔融に向けられるであろう。このエネルギは英国Bruce氏の研究では電流に無関係で電圧降下の平均 30 V と見て計算すれば良いと報告されている。電極の開離が進むにつれて電弧と油壁の接触が始まり、油の分解作用等に電弧エネルギの大部分が向けられるようになる。

### [IV] 電弧による油の熱分解のエネルギ

油入遮断器の遮断方式を油流と電弧の関係から大別すると三つの型になる。第4図はその略図で並切型(A)、

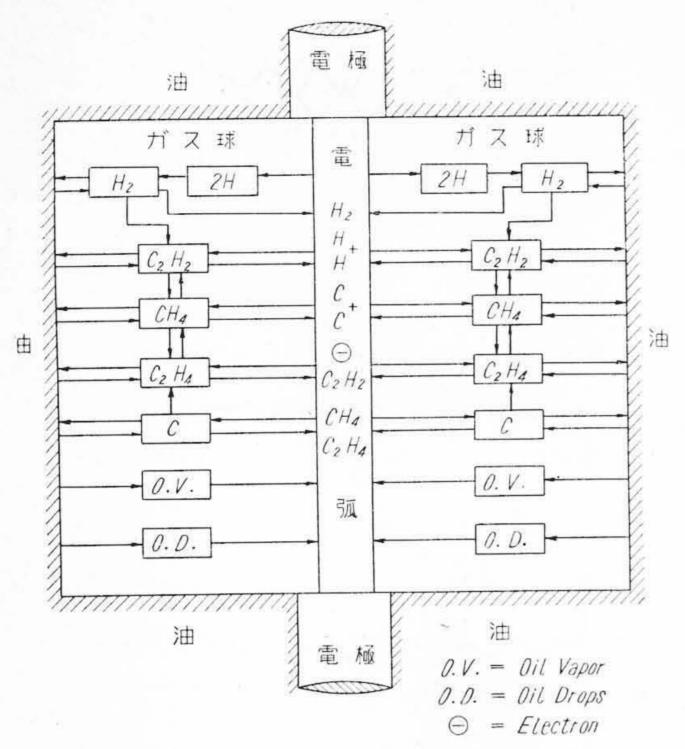


第3図 電 弧 の 初 期 Fig. 3. First Stage of Arc



第4図 電 弧 遮 断 方 式 Fig. 4. Arc Breaking Methods

クロスブラスト型(B)及び軸流型(C)の三種である。並 切型は油中で単に電弧を起すだけで、特に仕掛はないか ら、電弧によつて発生したガスは図の如く球状となつて 電弧を取まく。クロスブラスト型は電弧軸と直角に油を 吹き付けるものであるから、電弧の一面は直接油に接し、 その結果ガス球は反対側に吹きよせられる。又軸流型は 油流を電弧軸の方向に起すから、ガスは油流の下流に吹 き流されて上流は直接に油が電弧に接する形となる。か ようにこれらの三つの型は油とガスと電弧の関係は相対 的に位置が変わり、電弧と油の接触の度合いや様式が変 わるが、油とガスと電弧が共存するのは同じである。従 つて電弧による油の分解の問題を考える場合には三つの 型はいづれも同じ考え方で取扱つて差支えなはないと思 われる。



第5図 電弧によるガス球の模形 Fig. 5. Model of Gas Bubble Model

第5図は電弧によつて油中にガスが発生した時に電弧 の中と周囲のガス球の中の模様を考えるのに便利な模型 図である。電弧の核心になる部分は高温のガス体である が、この中には測定して得られる諸種のガスや気化した 炭素が存在する上にこれらのガスは尚高度に解離されて 水素や炭素に多く解離し、尙その上にこれ等のガス分子 中で水素は分子から原子状に解離され、又これが更に電 離されてイオン化していると考えられる。しかもこの場 は絶えず外部からガスや油蒸気が突入して、内部で解離 電離の現象が起り、またその中から一部のガスが放出さ れ電弧から周囲のガス球内へエネルギを搬出する作用が 行われる。つまり電弧は外部から熱的ポテンシャルの低 い物質を引入れて熱的ポテンシャルの高い状態にして外 部へ放出する。その他に尙電弧自体から輻射線を出して 周囲の油壁を蒸気化する作用も営む。これ等の現象を図 示してある。例えば水素は電弧内では 2H 又は H+ と なつているが、これが外部へ出て外部に熱を放出して H<sub>2</sub> の形の帰える。またその一部が油壁から油蒸気を剝 離してガス球内に止める作用をする。可測部分としては H<sub>2</sub> の外に C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 及び C (遊離炭素) がある が、これ等も水素の場合と同様に電弧の核心に入つてそ れぞれ解離され電離されて外部に放出されて、ガス球内 に於て再結合すると考えられる。またその一部は油壁か ら油を剝離してこれを気化する作用をする。これはガス 運動による電弧エネルギの移動であつて、電弧が続く限 り周囲の油壁は剝離されて解離されガス量は漸増する。 つまり電弧のエネルギはかくして分解ガスの形に大部分 は蓄積されて行くのである。

電弧エネルギの消費部門はこの外に電弧の加熱、ガス球を取まく油の加速、ガス球の加熱等である。勿論電弧を中心とする遮断現象は上記の如く複雑ではあるが電弧が放出したエネルギは解離や電離等如何に複離な作用が営まれるにしても、結局は電極の加熱、ガス球の生成、ガス球の加熱、膨脹、従つてガス球を包む油の加速エネルギに移つて行く訳である。従つて遮断方式が如何ようであつても油の分解された結果を測定してその分解エネルギを算定することは共通的な理論で取扱つてよい筈である。以下はこの見地に立つてガス生成のエネルギが費された電弧エネルギに対して如何なる割合を占めているかの算定である。

# (1) 常温の油が沸点まで加熱せらるゝに要するエネルギ(ξ₁)

今  $Q_0$ =電弧エネルギ  $1 \, \mathrm{kw}$ -s 当りの分解油量  $(\mathrm{gr})$   $\rho$ =油の比熱  $(\mathrm{cal/gr})$ 

 $T_1$  及び  $T_1$  それぞれ油の初期と沸点温度 (°C)  $\alpha$ =混成ガス内で分解されないで残る油蒸気の含有率

$$\xi_1 = 4.2(1+\alpha)Q_0\rho(T_1'-T_1)\times 10^{-3}$$
  
kw-s/kw-s of A.E. .....(17)

### (2) 油の気化に要するエネルギ $(\xi_2)$

これは油の気化エネルギと容積変化に要するエネルギの和である。

h<sub>2</sub>=油の気化熱 (cal/gr)

 $P_2$ =場の気圧(kg/cm<sup>2</sup>)

 $V_2$ =沸騰油  $Q_0$  gr の容積 (cc)

 $V_{2}'$ =所定の温度及び圧力下に於ける  $Q_{0}$  gr の油蒸気の容積 (cc)

とすれば

この式の第一項は気化のエネルギで第二項は容積変化に対する生成熱エネルギである。尚ガス球内にはガスに分解しない油蒸気が $\alpha\%$ だけ余分に含まれているために $Q_0$ に相当する量を $(1+\alpha)$ 倍した。

### (3) 油蒸気の分解エネルギ $(\xi_3)$

前項の油蒸気は更に熱せられて、 $H_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $CH_4$  及び  $C_2H_4$  等からなる混成ガスと遊離炭素Cに分解される。これに要するエネルギ $\xi_3$  は、これ等の分解生成物の燃焼熱の総和から、 $Q_0$  gr の油蒸気の燃焼熱を差引いた量で表わすことが出来る。この計算を簡明にするため第2表を作る。

第2表中の(2.5)=(2.4)のそれぞれの値に**第1表**(1.6)

第 2 表 油蒸気の分解生成物の燃焼熱の表 (°C 760 mmHg の条件に於て、但し L=22,400 cc) Table 2. Combustion Heat Developed at Oil Steam Decomposition

(under °C 760 mmHg, provided L=22,400 cc)

番号		生,	成 物	水 素	アセチリン	メタン	エチレン	遊離炭素
2.1	分	子	式	$H_2$	$C_2H_2$	$\mathrm{CH_4}$	$\mathrm{C_2H_4}$	C
2.2	分	子	量	2	26	16	28	12
2.3	1モルの	燃焼熱	kcal	68.3	312.4	212.8	345.8	94.2
2.4	1 gr 0 /	然 焼 熱	kcal	68.3/2	312.4/26	212.8/16	345.8/28	94.2/12
2.5	1,000 cc 要素の燃		各 cal	$68.3/L \cdot 10^4 P_h$	$312.4/L \cdot 10^4 P_a$	$212.8/L \cdot 10^4 \cdot P_m$	$345.8/L \cdot 10^4 P_e$	$94.2/12 \cdot k \times 10^{3}$
2.6	S STATE IN COLUM	OF STREET	焼熱 cal	$68.3/L \cdot 10 V_g P_h$	$312.4/L \cdot 10V_g$ $\cdot P_a$	$212.8/L \cdot 10V_g$ $\cdot P_m$	$345.8/L \cdot 10V_g$ $\cdot P_e$	$94.2/12 \cdot V_g k$

の各々の値を乗じた。炭素の燃焼熱は(8)式の値を代入 して

$$\frac{94.2}{12}$$
× $k$ × $10^3$ = $94.2(P_h-P_a+P_m)$ × $\frac{10^4}{L}$  cal/1,000 cc of G.G.....(19) を得る。

 $(2.6)=(2.5)\times 10^{-3}V_g$  として求める。

従つて  $Q_0$  gr の油蒸気の分解生成物の燃焼熱の総和は **第2表** (2.6) の和で、これを  $\xi_3$  で表わすと (第(8)式 併用)

$$\xi_{3}' = 4.2 \times 10^{-3} \cdot \frac{10V_g}{L} \begin{pmatrix} 68.3 P_h + 312.4 P_a \\ +212.8 P_m + 345.8 P_e \\ +94.2 P_h - 94.2 P_a \\ +94.2 P_m \end{pmatrix}$$

$$\vdots \quad \xi_{3}' = \frac{4.2 \times V_g}{100 \times L} (162.5 P_h + 218.2 P_a + 307 P_m + 345.8 P_e) \quad \text{kw-s/kw-s of A.G.} \quad \dots (20)$$

ここに  $L=22.4 \times 10^3$  であるから、これを(20)式に代入すると

$$\xi_3' = (0.305 P_h + 0.41 P_a + 0.58 P_m + 0.65 P_e) V_g$$
  
  $\times 10^{-3}$  kw-s/kw-s of A.E. . . . . . . . . . (20a)

次に油蒸気の燃焼熱を  $H_0$  cal/gr として  $Q_0$  gr の油蒸気の燃焼熱  $\xi_3$ " は

 $\xi_3''=4.2\,Q_0H_0 imes10^{-3}\,$  kw-s/kw-s of A.E...(21) となる故に、油を分解するに要するエネルギ $\xi_3$ は $\xi_3'$ ー $\xi_3''$ であつて、

$$\xi_{3} = \frac{4.2 \times V_{g}}{100 \times L} (162.5 P_{h} + 218.2 P_{a} + 307 P_{m} + 345.8 P_{e}) -4.2 Q_{0} H_{0} \times 10^{-3} \text{ kw-s/kw-s of A.E....} (22)$$

# (4) 油蒸気 $Q_0$ gr の分解の際の容積変化に要するエネルギ $(\mathcal{E}_4)$

前節に於ては容積の変化に対するエネルギは考えに入れていないが、本節でこれを計算する。

 $Q_0$  gr の油蒸気が**第1表**(1.1)の組成で**第1表**(1.3)の混合率のガスに分解した場合に起る容積変化のエネルギを求むるに当つて、まづ油の平均分子式を $C_{14}H_{28}$ とすればその一モル当りの質量は 196 gr であるから、 $Q_0$  gr の油蒸気を(°C,760 mmHg) の標準状況においた時の容積  $V_4'$  は

$$V_4'' = 114 Q_0 \times \frac{T_4}{273}$$

この場合は炭素分は固形として考え、これの容積は一 応無視している。この油蒸気が電弧のために分解されて  $V_g$  cc の混成ガスになつたとすれば、このガスの  $T_4$ °K に於ける容積は  $V_g \times \frac{T_4}{273}$  となる。故にこの時の圧力を  $P_4$  とすれば求むるエネルギ  $\xi_4$  は

$$\xi_4 = (V_g - 114 Q_0) \times \frac{P_4 T_4}{273} \times 9.81 \times 10^{-6}$$
  
kw-s/kw-s of A.E.....(24)

となる。

### (5) 計 算 例-2.

計算例—1 と同様に  $P_h=70\%$ ,  $P_a=20\%$ ,  $P_m=5\%$ ,  $P_e=5\%$ ,  $V_g=100$  cc とし  $H_0=10,000$  cal/gr と取れば (22)式により、

$$\begin{array}{l} \xi_3\!=\!\frac{4.2\!\times\!100}{100\!\times\!22,400} (162.5\!\times\!70\!+\!218.2\!\times\!20\!+\!307\!\times\!5\\ +345.8\!\times\!5)\!-\!4.2\!\times\!0.0688\!\times\!10,000\!\times\!10^{-3} \end{array}$$

 $\vdots$   $\xi_3 = 0.70 \text{ kw-s/kw-s of A.E.}$ 

すなわち電弧エネルギの 70.0% が油の分解に費されていることを示している。次に(24)式で、 $P_4=5$  kg/cm²  $T_4=3,000$ °K と仮定して  $\xi_4$  を求めると

$$\xi_4 = (100 - 114 \times 0.0688) \times \frac{5 \times 3,000}{273} \times 9.81 \times 10^{-6}$$
  
 $\vdots$   $\xi_4 = 0.05 \text{ kw-s/kw-s of A.E.}$ 

すなわち、電弧エネルギの 5% が容積変化のために費 されることを示している。

この例を見ても分かるように油入遮断器に於ける電弧 エネルギの大部分が油の分解に費されているということ は注目すべきことである。即ち本例の場合は $\S_3+\S_4=70$ +5=75%となる。

### (6) 混成ガス $V_g$ が水素と炭素に完全解離される 場合の必要なエネルギ $(\xi_5)$

今までは電弧によつて油が分解された結果の混成ガスの組成やその比率をそのまゝに測定して、その結果がそのまゝに電弧遮断中にも存在するものとして計算を進めて来た。けれども電弧中心の温度は少くとも色々の実験から数千度以上であるといわれているので、油の分解は

直ちに測定結果の混成ガスへの課程をたどらないで電弧中心を通過したガスは一部は水素と炭素に解離してこれが電弧を離れた時に測定で知られるような混成ガスに再結合すると考えることも強ち無理ではない。電弧中で水素と炭素に完全解離した過渡状態を $\mathbf{B}$ の状態と名付け、電弧を離れて再結合した最後の状態を $\mathbf{A}$ の状態と名付けると、 $\mathbf{B}$ の状態では $\mathbf{A}$ の状態よりも大きいエネルギを取った状態と考えられる。この二つの状態のエネルギの差が求むるエネルギ $\boldsymbol{\xi}_5$ を表わす。

Bの状態にあるときは、第1表(1.9.1)の総計に相当する水素と同じ(1.9.2)に相当する炭素に分かれるものとして、その各々に第2表(2.4)の水素及び炭素の燃焼熱をそれぞれ用いて各々の熱量を計算すると、

$$\frac{68.3}{2} \times m_h \times \frac{V_g}{10^3} = \frac{68.3V_g}{100 \times L} (P_h + P_a + 2P_m + 2P_e)$$

$$gr/kw-s \text{ of A.E.} \dots (25)$$

$$\frac{94.2}{12} (k+m_c) \frac{V_g}{10^3} = \frac{942 V_g}{100 L} (P_h + P_a + 2P_m + 2P_e)$$

$$gr/kw-s \text{ of A.E.} \dots (26)$$

(25)+(26) が  $Q_0$  gr の油が**第1表** (1.1) の如く分解した 分解生成物の熱量総計  $E_5$  となる。

$$E_{5} = \frac{162.5 V_{g}}{100 L} (P_{h} + P_{a} + 2 P_{m} + 2 P_{e}) \times 4.2$$

$$\text{kw-s/kw-s of A.E.}$$

$$\mathbb{Z}$$

$$E_{5} = 0.305 (P_{h} + P_{a} + 2 P_{m} + 2 P_{e}) V_{g} \times 10^{-3}$$

$$\text{kw-s/kw-s of A.E.}$$
(27)

(27)式から(20)式  $\xi_3$  の値を差引いたものが求むる熱 解離エネルギとなるが、その解離の率を全ガス量の  $\beta\%$ とすれば求むるエネルギ  $\xi_5$  は次の如くなる。

$$\xi_5 = \beta(-0.103 P_a + 0.034 P_m - 0.039 P_e) V_g \times 10^{-3}$$
  
kw-s/kw-s of A.E.........(28)

(28)式は A の状態から B の状態に変化せしむるに要するエネルギであるが、一般に  $P_a > P_m$  であるから実際問題としては  $\xi_5$ は負となる。これは A の状態から B の状態に変化させるために却つて熱が放出されることを意味している。 尚この上に二つの状態の上に容積の変化に対するエネルギの吸収があるが、次節で述ることにする。

### (7) 第 4.6 節の A 状態と B 状態の容積の差に よるエネルギの算定 ( ξ<sub>6</sub> )

 ${f A}$ の状態では遊離炭素は固体としてその容積は無視して ${f B}$ の状態では遊離炭素も気体と考える。しからば前者の場合の容積は標準状況 (°C,760 mmHg) に於て  $V_g$ ccであるものが、 ${f B}$ の状態に於ては次の如くなる。

電弧エネルギ  $1 \, \mathrm{kw-s}$  当りの分解油量  $Q_0 \, \mathrm{gr}$  中の水素が全部解離すると、その容積は (25) 式に**第1表** (1.10) の水素の単位重量当りの容積を乗じて、標準状況で次の如くなる。

$$V_h = (P_h + P_a + 2 P_m + 2 P_e) V_g \times 10^{-2}$$
  
cc/kw-s of A.E.....(29)

次に炭素のガス容積は(26)式より 
$$V_c = \frac{22.4 \times 10^3}{12} \times (k+m_c) V_g \times 10^{-3}$$

又は 
$$V_c = (P_h + P_a + 2 P_m + 2 P_e) V_g \times 10^{-2}$$
 cc/kw-s of A.E.....(30)

故に

$$V_h + V_c = 2(P_h + P_a + 2P_m + 2P_e)V_g \times 10^{-2}$$
  
cc/kw-s of A.E.....(31)

 ${f A}$ の状態に於ては、ガス容積は  $V_g$  cc であるから、 ${f B}$ の状態の容積は  ${f A}$  の状態の容積の  $2(P_h+P_a+2\,P_m+2\,P_e) imes 10^{-2}$  倍になる。

尚  $V_g$  は**第1表** (1.11) から  $(P_h + P_a + P_m + P_e)V_g imes 10^{-2}$  であるから、これを(31)式から差引くと二つの状態の容積差となる。これを  $V_6$  で表わすと

$$V_6 = (P_h + P_a + 3 P_m + 3 P_e) V_g \times 10^{-2}$$
  
cc/kw-s of A.E.....(32)

となる。尙この場合の

場の圧力を  $P_6 \, \mathrm{kg/cm^2}$ 

場の温度を  $T_6$   $^{\circ}$ K とするとこの場の条

件下で(32)式の容積増加をするための必要エネルギは

$$\xi_6 = 0.981(P_h + P_a + 3P_m + 3P_e)V_g \cdot P_6 \frac{T_6}{273} \times 10^{-8}$$
  
kw-s/kw-s of A.E.....(33)

となる。この結果に前の計算例と同値の数を与え且つ  $P_6 = 10 \ \mathrm{kg/cm^2} \ T_6 = 6,000 \ \mathrm{K} \ を与えて見ると$ 

 $\xi_6 = 0.026 \,\text{kw-s/kw-s}$  of A.E.

となり、電弧エネルギ 1kw-s の入力に対して 2.6% が この種の現象に費されることになる。

### [V] 水素の解離エネルギ

これに関する究明はまだ十分とはいえないが、英国 Bruce 氏は水素が電弧中で原子状態に解離するエネルギ を計算して、電弧エネルギの  $4\sim10\%$  位がその方に使われているとしているがこれに関してはこゝでは触れないことゝする。

### [VI] 結 言

本文の目的は最初にも述べたように比較的簡単に測定出来る遮断現象の資料即ちガス量とその成分及び電弧エネルギを知つて、分解される油に就いて考え、これが如何なる役割を果しているかの概念を把握することにあるので、電弧エネルギの入力を最も多く消費する油の分解に就き述べることに主限点を置いた。併し現象が非常に複雑で色々大胆な仮定を設けないと議論を進め得ない点が多いために途中色々な仮定を設けている。これ等の点に関してはまだ不備な点が多々あること」思うが、結論的にいつて

(1) 油入遮断器でアセチレンの発生量をコントロー

ルすることにより炭素の析出を抑える方法は将来の問題 である。

- (2) 電弧エネルギの大部分は油の分解に費されるが 分解される油の量はまことに微々たるものである。これ が将来の油入遮断器の少油量化への考え方のより所を与 えるように思う。
- (3) 油が熱せられて蒸気化する場合のエネルギやこの油蒸気がガスに化学的の分解をした時の容積変化に必要なエネルギ即ち生成熱は、油蒸気の化学分解に必要なそれに比べて遙るかに少い。
  - (4) かようなエネルギを算定する方針として、すべ

て単位電弧エネルギ当りの計算公式を求め得たので遮断 器特性検討の一助となれば幸である。

終りにこの種の計算はまだ十分検討を進む可き部分が 多い。殊に水素分子の熱解離や水素、炭素の電離エネル ギの問題は本文には全然触れなかつたが将来の問題とし て興味あることである。

本文脱稿に当つて大方諸賢の御叱正を得たく、又計算 等に関して有益な助言を寄せられた日立製作所日立研究 所島史朗理学博士に謝意を表する次第である。

### 參 考 文 献

(1) C.E.R. Bruce: J.I.E.E. Vol. 69 (1931) P. 557

# 実 用 新 案

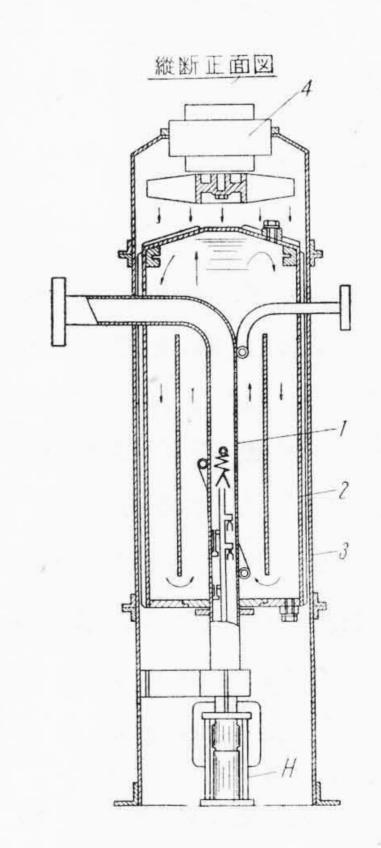
実用新案 第398682号

毛 利 銓 一 ・ 豊 田 宏

### 風水冷式水銀ポンプ

従来水銀整流器の排気に使用する水銀ポンプはその水 銀蒸気凝縮用冷却水を更に冷却するために水冷式のリクーラーを別設するのが一般である。この考案はリクーラーを水銀ポンプとともに一つのものに纏めた新規構造に 関するもので、かくすることにより資材の節減はもとより、水銀整流器設置箇所が附属機器によつて占有されるスペースを減じ得る効果は大きい。図を参照するに、水銀ポンプ1の主体(誘導式電熱器Hを除く)は密封水冷タンク2内に封入され、このタンク2は電熱器Hをも含めて竪型風洞3によつて蔽われる。風洞3の上部に装備した送風機4からの強制通風はタンク2の外壁に触れて下降しながら温まつた内部の水を冷却する。これによつて矢示の如き冷却用水の対流は熾んならしめられ、ポンプ本体の冷却はリクーラーを別設した場合と同一程度に良好となし得る。

(宮 崎)





## 『日立評論』 水力発電機器特集号 別冊 No. 5

• ♦ •

我国の豊富な水力を原動力としての水力発電は益々国策上からも重要な使命を帯びてきております。日立製作所に於ては戦前より卓越せる技術を以つて水力発電機器の製作に当つて参りましたが、戦後は更に各種の記録的な製品を完成し、斯界のエポックメーカーとして注目されております。本誌はさきに Vol. 32 No. 12 に「電源開発特集号」を発行、水力発電に関する劃期的なルポルタージュとしましたが、今回はその後の日立技術の成果を収録して「日立評論」別冊 No. 5「水力発電機器特集号」として来る 12 月下旬発行することになりました。

内容は下記の通り本文約 140 頁、写真図版約 300 枚を収録した集大成で、即刊の別冊 No. 4「火力 発電機器特集号」の姉妹篇であります。何卒本誌同様御愛読願上げます。

### ◈ 内 容 ◈

東京都千代田区丸ノ内1の4 (新 丸 ビ ル 7 階) 日 立 評 論 社 誌代特集号1冊 ¥100 〒16 (振替口座東京 71824番)