波高分析器による整流アーク放電の研究

稲垣純平*

A Study on the Commutation Spark With Pulse Height Analyzer

By Junpei Inagaki

Electromechanical Engineering Research Department, Central Research Laboratory,
Tokyo Shibaura Electric Co.

The sparking and arcing phenomena on d-c machines were investigated by means of the new commutation testing apparatus which consisted of three parts, i. e. a pulse height analyzer, a simulated commutation tester and a photomultiplier spark detector. The important results described in this paper are:

- (1) The sparking voltage is distributed over the range from about 2 volts to 5 volts and its mean value is about 2~3 volts.
- (2) The arc limiting values for brush current, commutating inductance and commutator speed were measured.
- (3) When the average reactance voltage exceeds the limiting value, i. e., at above 0.4 volts, an arc appears between the brush and the commutator segments.
- (4) The arc duration time is respectively proportional to the difference between the factors described above and its arc limiting values.
- (5) The arc energy is proportional to the square of the arc duration time, and to the cube of the brush current.

1. まえがき

筆者らは先に火花電圧は 2~5V の範囲の統計的分布をもつこと、その平均値はおおむね、2~3V の間にあることを報告した。^{1),2)} これが光学的に認め得る整流火花の発生条件であるが、整流火花の被害は主として整流アーク放電によって生ずるものであるから、とくにアーク放電を吟味することが必要である。整流火花をアーク放電とそうでないもの（いわゆる加熱火花）とに分類して吟味することは次のような実害の検討を行なう場合に重要となる。すなわち、整流不良が問題となるのは、(1) 主として整流子の荒損およびそれによる整流子寿命の低下、(2) ブラシ摩耗の増加、(3) 整流子かたさの低下、(4) せん絡事故の誘因、(5) ラジオ電波障害などの点であるが、どの点が問題となるかは整流火花の形態により異なる。一般には加熱火花だけの時には、いずれもそれほど問題とはならない場合が多い。むしろ、ある場合

には適度な整流子酸化皮膜の成長を助けて整流子条痕を抑制するというような効果があることはしばしば経験するところである。しかし、アーク放電が一たん発生すると事態はきわめて悪化し、とくに上記 (2), (3), (4) の諸点が重大な問題となる。以上のことから考えて整流不良の問題はその実害を主として考えるならばアーク発生の有無を主眼において検討すべきである。以下、整流アーク放電の発生がどういう要因によって支配されるか、いいかえれば発生条件は何であるかを検討してみた。

2. 整流火花の分類

アーク放電の発生条件を知るためにはまずどのようにして整流火花中のアーク放電だけを分離測定するかが問題となる。元来、俗に「整流火花」といいならわしているものは、単に肉眼または光電素子などで光として認知し得るある発光現象をさしているにすぎず、放電現象の厳密な分類上の火花放電ではないことはもち論である（以下、「整流火花」もこの意味で使用する）。しかし、いわゆる整流火花が大きくなる（火花番号が大きくな

* 東京芝浦電気株式会社 中央研究所

るにつれ、火花の色合いが漸次、赤黄色から白色または青色に変わってゆくの認められる。これはアーク放電によるカーボン及び銅のイオンの発色に原因する。したがって原理的には分光学的にもアーク放電の検出が可能であるが、実際問題としてやや面倒である。ここでは波高分布曲線に基づきアーク放電の弁別法を採用した。

相当地に強い整流火花が生じている場合の整流パルス波高分布曲線は一般に Fig. 1 のような形状となる。図に

Fig. 1 Pulse height distribution curves of reactance voltage pulse (with arcing)

おいて曲線 A は前にも述べたようにその波高値が V Volt 以上である整流パルスの累積度数（いわゆるひん度 f ）を表わし、曲線 B はその波高値が $V \sim V + dV$ の間に含まれる整流パルスの度数分布（密度分布）を示す。 f と p との間には次の関係がある。

$$f = \int_V^{\infty} p dV \quad (1)$$

または

$$p = \left| \frac{df}{dV} \right| \quad (2)$$

この波高分布曲線はその物理的性質の違いにより Fig. 2 のように三つの領域に分けることができる。

(1) 領域 I ($0 \leq V \leq V_1$)

この領域はすべての整流パルスが全く火花を伴なわな

Fig. 2 Three modes of pulse height distribution curves of reactance voltage pulse

いか、または次に述べるような放電に達しない整流火花だけを含む範囲である。 P_s は P の中の火花を発生した整流パルスだけの度数分布であるが、すでに報告したように¹⁾ P_s の分布範囲 $V_0 \sim V_1$ は約 $2 \sim 5V$ であり、その平均値は $V_s = 2 \sim 3V$ である。この整流火花は整流終了直前におけるブラシ出口端の微小な接触点が大電流密度のために高温となり、いわゆる加熱スポットができる際に現われる発光現象である。したがって接触解離の過程で保ち得る接触電圧は接触子材の電気抵抗、融点、熱伝導率などの物理的性質により定まるある有限な値をとる。これが最高接触電圧降下であってカーボンでは平均として $2 \sim 3V$ くらいである。いいかえれば無火花で接触を解離するには接触電圧降下を上記の最高接触電圧降下以下に押えねばならない。この最高接触電圧降下は基本的には物質固有の常数であるが実際には接触点の性質に存依する統計的な量である。これが前述の P_s の変動範囲 $V_0 \sim V_1$ にがたいとする。したがって完全無火花とするためには常にブラシ接触電圧降下は V_0 以下としなければならない。このような整流火花を便宜上、加熱火花と呼ぶこととする。以上の説明でわかるように、加熱火花は温度輻射による発生であるから後述するようなアーク放電とははっきり区別しなければならない。

(2) 領域 II ($V_1 \leq V \leq V_2$)

この領域に存在する整流パルスの度数は一般にきわめて少ない。つまり整流パルスはその波高値が V_1 以上になるとほとんどその大部分が次の領域 III へ移行し領域 II に落ちるものは少ない。このように領域 II は加熱火花からアーク放電への移行過程であるが、やはり次の領域 III と同様にアーク放電領域と考えられる。

(3) 領域 III ($V_2 \leq V \leq V_3$)

領域 III はアーク放電領域である。整流パルスの最大値 V_3 はほぼ $20V$ 付近の値をとる。接触解離時のアーク放電はまず前駆現象として領域 I において加熱スポットが形成され、熱陰極から活発な熱電子放射が行なわれる。つづいて接触子材原子のイオン化によってアークへ移行する。接触アークが発生するための条件は電極間電圧、電流が最短アーク特性により定まる最小アーク電圧 V_m 、最小アーク電流 I_m 以上となることである⁶⁾。 V_m 、 I_m は接触子材質固有の値であって、たとえば銅で $V_m = 13V$ 、炭素では $V_m = 20V$ である。 V_m の値は測定者によって違うが、ほとんど $10V$ 以上である。整流アークは銅と炭素との間の放電であるが、このような異種材質の組合せの時は、その V_m は両極材質の V_m の中間の値をとる場合が多い。整流アーク電圧の今までの観測値はたとえば、Holm は $12 \sim 24V$ ⁵⁾、Binder は消弧時で $12.2V$ であり、平均 $10V$ 以上とし³⁾、また Lavrinovitz も 10

V 以上で発弧することをそれぞれ報告している。われわれの観測結果もほぼ同様で、発弧時は 14~24V、消弧時は最低 12V であった。

これを要するに、整流火花は領域 I における加熱火花と領域 II, III のアーク放電とに分類される。その境界 V_1 は上記の検討により

$$V_1=10V$$

とするのが妥当である。したがって $V_1=10V$ における整流パルスひん度 f_a をアークひん度と定義することができる。なお、 V_1 の値を 10V 付近の別の値、たとえば 12V にえらんだとしても、たまたま領域 II の間では f 曲線のスロープはゆるやかなので f_a の値はあまり変化しない。したがって V_1 の値をあまりうるさく吟味する必要はない。

Fig. 3 は以上の基本概念をたしかめるために、Fig. 2 のパルス密度分布曲線 P を正確に測定した結果であ

Fig. 3 Pulse height distribution curves of reactance voltage pulse

る。波高分析器の Base line (弁別レベル) を任意の値 (Fig. 3 の横座標の値) V に設定し、次に Channel Width ΔV を適当に設定しておけば、その波高値が V と $V+\Delta V$ の間にあるパルスのみが計数される。 ΔV を一定とし V のみを変化してゆけば図示のような密度分布曲線が得られる。このようにして測った Fig. 3 の結果は上記の概念を正確に実証している。すなわち、領域は明らかに三つの部分にわかれ、Fig. 2 の記号に従えば

$$V_1=10 \text{ volt}$$

$$V_2=15 \text{ volt}$$

$$V_3=26 \text{ volt}$$

である。なお、同図は 3 種類のブラシ電流についての分布曲線を示しているが、16.7 amp でアークが発生し (後述するようにこの時の電流 16.7 amp をアーク発生限界電流という)、以後、電流を 18.7, 20.8 amp と増加するにつれてアークひん度がふえる。しかし前記のモードは殆んど不変である。

以上、波高分布曲線による整流アークの弁別概念とア

ークひん度について述べた。最終的にアークエネルギーの算出に必要なアーク電圧の平均圧値も、同時にこの波高分布曲線の積分により容易に求めることができる。(なお、以後の記述において、ひん度の値はすべて便宜上、真値の 1/2 を記入している)。

3. アーク発生限界のブラシ電流

まずアークが発生し出す時のブラシ電流 (限界ブラシ電流) について検討する。整流インダクタンスと回転速度とを一定とし、ブラシ電流だけを変化した場合のアークひん度の成長の様子を Fig. 4 に示した。同図の波高

Fig. 4 Arcing frequency curves (relation to brush current)

分布曲線群 $V \sim f$ はブラシ電流をパラメータとしたもので、前述のように波高値 10V におけるひん度 f_a がおのおののブラシ電流に対するアークひん度である。ここで整流子片周波数を f_c とし、アークひん度 f_a との比を

$$\alpha = f_a / f_c$$

とする。 α とブラシ電流との関係を Fig. 5 に示した。本図はブラシ電流 I_0 ($\alpha=0$) でアークが始めて発生し、 $I_{0.5}$ ($\alpha=0.5$) において全体の半分の整流子片がアーク放電し、同様に I_1 ($\alpha=1$) では全整流子片がアークを生じたことを示すものである。なお、 $\alpha > 1$ となっているのは 1 整流子片から 1 個以上のアークが生じたことを示す。 α は 1 以上のある値へ飽和するがその飽和値 $\alpha_{\max}$ は整流子のおうとつ、ブラシの接触安定度に依存する。 $\alpha_{\max}$ も整流子及びブラシの良さの程度を示す一つの目安であって、もち論小さいほどよい。本試験機ではほぼ $\alpha_{\max}=1.0 \sim 1.2$ であった。このようにアークひん度はブラシ電流が I_0 以上になると急激に増加しう飽和する傾向がある。したがってアーク発生点のブラシ電流として I_0 の代わりに読みとりの容易な $I_{0.5}$ で表

Fig. 5 Relative arcing frequency curve (relation to brush current)

わしても大差はない。この $I_{0.5}$ は Binder のアーク限界電流 $I_g^{(3)}$ とほぼ同等である。

すでに述べたように完全な無アーク状態は I_0 以下の範囲であって、 $I_{0.5}$, I_g 以下ではない。しかし、後述するようにアークエネルギーはブラシ電流の3乗に比例するという関係からすればアーク放電による実害は $I_{0.5}$, または I_g 付近からようやく顕著となること、さらに前述のように認識が容易であることなどから考慮して、むしろ I_0 より $I_{0.5}$, I_g をとる方がより实际的であろう。

4. アーク発生限界の整流インダクタンス回転速度及び平均リアクタンス電圧

整流インダクタンス L , 回転速度 N が大きいほど、アークが発生しやすくなる。いいかえれば I_0 , $I_{0.5}$ は小さくなるであろう。一般に整流の条件は基本的にはこの三条件 L , N , I によって規定されるから、アーク放電に関しても何らかの三者間の結合関係が存在するであろうことが予想される。そこで L , N をパラメータとして I_0 , $I_{0.5}$ を測定した結果 Table. 1 および Fig. 6, Fig. 7 のとおりとなった。予想どおり L , N が大きいほど I_0 , $I_{0.5}$ が小さくなっている。次にこの結果から N をパラメータとして L と I_0 , $I_{0.5}$ との関係を図示したものが Fig. 8(a)である。この曲線はほぼ双曲線であって次式で表わされる。

$$LI^0 \approx \text{const}, LI_{0.5} \approx \text{const} \quad (3)$$

すなわち、 N が一定であればアーク発生限界のブラシ電流と整流インダクタンスとの積は一定である。積 LI_0 または $LI_{0.5}$ は整流開始前の磁束（初期磁束）であるから、これを Φ_0 , $\Phi_{0.5}$ とすれば

$$LI_0 = \Phi_0 \approx \text{const}, LI_{0.5} = \Phi_{0.5} \approx \text{const} \quad (4)$$

Table. 1 Arc limiting values

(a) 限界ブラシ電流値

$N(\text{rpm})$	$L(\mu\text{H})$ $I(\text{A})$	3.5	6.0	9.2	13.2
1,000 {	I_0			15	13.5
	$I_{0.5}$			16	15
1,500 {	I_0		21.5	13	7.5
	$I_{0.5}$		23	14	9.5
2,050 {	I_0	21.5	11.5	8.0	5.8
	$I_{0.5}$	23.5	14	9.0	7.5
2,300 {	I_0		11	9	
	$I_{0.5}$		13	10	

(b) LI/T および限界リアクタンス電圧

$N(\text{rpm})$	1,000	1,500	2,050	2,300	平均	$V_{r0}(\text{V})$
LI_0/T	0.17	0.19	0.16	0.18	0.18	0.35
$LI_{0.5}/T$	0.19	0.21	0.19	0.21	0.20	0.40

注) $V_{r0} = 2(LI/T)$

Fig. 6 Arcing frequency curves (relation to commutating inductance)

Fig. 7 Arcing frequency curves (relation to commutating inductance)

Fig. 8 Limit curves on arcing

いいかえればアーク発生限界の整流コイル初期磁束は一定である。次に Fig. 8(b) は回転速度 N と $LI=\Phi$ の関係である。ただしここでは N の代りに整流子周波数 $f_c \propto N$ を用いている。これも上記と同様に双曲線関係が成立し

$$LI_0 N \approx \text{const}, LI_{0.5} N \approx \text{const} \quad (5)$$

$$\text{または } LI_0 f_c \approx \text{const}, LI_{0.5} f_c \approx \text{const} \quad (6)$$

である。すなわち、アーク発生限界のブラシ電流、回転速度及び整流インダクタンスの相乗積は一定である。さらに整流周期を T とすれば $f_c = 1/T$ であるから

$$\frac{LI_0}{T} \approx \text{const}, \frac{LI_{0.5}}{T} \approx \text{const} \quad (7)$$

(7) 式の“const”は電圧のディメンションをもつ。この際の平均リアクタンス電圧を V_{r0} , $V_{r0.5}$ とすれば

$$V_{r0} = 2 \left(\frac{LI_0}{T} \right), \quad V_{r0.5} = 2 \left(\frac{LI_{0.5}}{T} \right)$$

$$\therefore V_{r0} \approx \text{const}, \quad V_{r0.5} \approx \text{const} \quad (8)$$

すなわち、アーク発生限界の平均リアクタンス電圧は一定である。(3), (5), (7) 式で表わされる曲線 (Fig. 8) をアーク発生限界曲線と呼び、この曲線の上側、下側がそれぞれアーク領域、無アーク領域である。 V_r の測定値は

$$V_{r0} \approx 0.35 \text{ V}$$

$$V_{r0.5} \approx 0.40 \text{ V}$$

であった。

以上を要約すればアーク発生条件は次のとおりである。平均リアクタンス電圧が約 0.4 V 以上になるとア

ーク放電が発生する。

5. アークの放電時間

次にアークの継続時間 τ を検討する。アーク放電波形は Fig. 9 のように近似することができるから

Fig. 9 Idealized wave form of arc voltage and current

$$V_a = L \left| \frac{di_a}{dt} \right| = L \frac{I_a}{\tau}$$

$$\tau = L \frac{I_a}{V_a}$$

$V_a = \text{const}$ であるから

$$\left| \frac{di_a}{dt} \right| = \frac{I_a}{\tau} = \text{const}$$

である。つまりアーク放電電流は初期値 I_a より直線的に減少する。しかし、前出のアーク発生条件により I_a は 0 となり得ないから、アーク放電時間 τ にも最小値 τ_m が存在することになる。これと (3)~(8) 式とからアーク放電時間は

$$\tau = \tau_m + \frac{k}{V_a} \left(LI - \frac{V_{r0}}{f_c} \right)$$

τ_m は微小であるから、無視して

$$\tau = \frac{k}{V_a} \left(LI - \frac{V_{r0}}{f_c} \right) \quad (9)$$

V_a , V_{r0} (または $V_{r0.5}$) は常数であるから、 τ は独立変数 L , I , f_c に関する。(9) 式を変形し、 τ とおのおの独立変数との関係を示せば

$$\tau(I) = \frac{kL}{V_a} \left(I - \frac{V_{r0}}{L f_c} \right) = \frac{kL}{V_a} (I - I_0) \quad (10)$$

$$\tau(L) = \frac{kI}{V_a} \left(L - \frac{V_{r0}}{I f_c} \right) = \frac{kI}{V_a} (L - L_0) \quad (11)$$

$$\tau(f_c) = \frac{kLI}{V_a} \left(1 - \frac{V_{r0}}{LI} \cdot \frac{1}{f_c} \right) = \frac{kLI}{V_a} \left(1 - \frac{f_{c0}}{f_c} \right) \quad (12)$$

ここに、 I_0 , L_0 , f_{c0} はそれぞれアーク発生限界値であって

$$I_0 = \frac{V_{r0}}{L f_c}, \quad L_0 = \frac{V_{r0}}{I f_c}, \quad f_{c0} = \frac{V_{r0}}{LI}$$

である。以上の関係を図示すれば、Fig. 10 のとおりになる。

ここで、(10)~(11) 式中の I_0 , L_0 , f_{c0} はそれぞれ I , L , f の中の他の二つの積は反比例するものであるか

Fig. 10 Relation between arc duration time and L , I , f_c respectively

ら、理論上はいくらでも小さくなり得る。しかし、実際にはアーク放電の性質による制限条件のためにゼロでない最小値が存在するのではないかという疑問が生ずる。 I_0 については既述のように最短アーク特性によって $I_0 \geq I_m$ であり、 L_0 については $I \geq I_m$ であれば $L \rightarrow 0$ となり得る。 f_{c0} についてはどうか。Binder は f_{c0} には最小値が存在すると述べている³⁾。

τ の具体的数値は次のとおりである。前述のようにアーク放電時間は近似的に

$$\tau = \frac{LI_a}{V_a}$$

であり、 V_a は一定と考えて来たが実際は I_a , V_a ともに統計的な変量であるから τ もまた統計的なものである。ただし V_a , I_a は互に独立であるが、 V_a は他の因子によって余り大きく変動しないが、 I_a は L , I に大きく関係する。したがって τ は I_a にもっとも強く支配される。[整流インダクタンス、回転速度を一定とし、 τ と I との関係測定した結果、Table 2 および Fig. 11 の結果を得た。なお、この τ はシンクロスコープにより行なった 10~20 回の測定値の平均である。

図示のように、 τ はほぼブラシ電流と直線的な関係をもち (10) 式の成立することが実証された。

Table 2 Mean arc duration time, τ

ブラシ電流 I (A)	12	13	14	15	16	18	25
τ (μ S)	3	5	7.5	9.5	11.5	15.5	19.5
$\tau' = \tau/T$ (%)	0.48	0.8	1.2	1.5	1.8	2.5	3.1

注) $T = 625 \mu$ sec

6. アークエネルギー

1 回の整流アーク放電によって消費されるエネルギー E_a は

$$E_a = \int_0^\tau v_a i_a dt$$

$v_a = V_a \approx \text{const}$, ただし ΔV_a を無視する。

$i_a = I_a(1 - t/\tau)$, ただし $0 \leq t \leq \tau$

$$\therefore E_a = V_a I_a \int_0^\tau \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) dt = \frac{1}{2} V_a I_a \tau \quad (13)$$

ここで

Fig. 11 Relation between arc duration time, arcing power and brush current

$$I_a = V_a \frac{\tau}{L}$$

であるから

$$E_a = \frac{1}{2} \frac{V_a^2}{L} \tau^2 \quad (14)$$

つまり、アーク・エネルギーはアーク時間の 2 乗に比例する。1 秒間当りの平均アーク・エネルギーすなわち平均アーク電力は

$$W_a = f_a E_a = \frac{1}{2} f_a \frac{V_a^2}{L} \tau^2 \quad (15)$$

また、アークの尖頭電力は

$$W_p = \frac{E_a}{\tau} = \frac{1}{2} \frac{V_a^2}{L} \tau = \frac{W_a}{f_a \tau} \quad (16)$$

である。 τ , f_a はブラシ電流 I に関しそれぞれ

$$\tau(I) = \frac{k_1 L}{V_a} (I - I_0)$$

$f_a = k_2 (I - I_0) \dots \dots f_a \sim I$ の直線範囲

$f_a = m f \dots \dots f_a \sim I$ の飽和範囲

k_1, k_2 は比例常数

これを (15) 式に代入して

$$W_a = \frac{1}{2} k_1^2 k_2 L (I - I_0)^3 \dots \dots \text{直線範囲} \quad (17)$$

$$W_a = \frac{1}{2} k_1^2 f_m L (I - I_0)^2 \dots \dots \text{飽和範囲} \quad (18)$$

すなわち、アーク電力は発生初期においてはブラシ電流の 3 乗に比例して増加し、アークひん度が飽和するとブラシ電流の 2 乗に比例する。(17), (18) 式から求めた計算値を Fig. 11 W_a に示した。また同図の W_p は (16) 式のアーク尖頭電力である。

7. 整流アーク放電の実害

整流不良はアーク放電を含むことによって、実害が著しくなることを冒頭に述べた。実害を数量的に論ずるに必要な整流アークの基本的な性質が明らかになったので、その結果にもとづき 2, 3 検討を加える。

7.1 ブラシの摩耗 整流不良によってブラシの摩耗が増加するのは種々の理由によるが、整流アーク放電がその主要原因である。すなわち、(1) アーク放電そのものによりブラシが焼耗する、(2) アークにより整流子が荒損し機械的摩耗が増加する。この関係を実験的に証明したものが次の Holm の式である。

$$\omega_a = \gamma Q + gSP \sqrt{\frac{Q}{S}} \quad (19)$$

ここで、 Q はアーク放電電流によって運ばれた電気量(クーロン)、 S は摩擦距離、 P はブラシ接触加重、 γ, g は比例常数である。右辺第一項、第二項がそれぞれ上記の (1)、(2) にがいうする摩耗量である。ブラシの摩耗の総量はこの ω_a とアークが存在しないときの通電摩耗、機械的摩耗との和として与えられる。前者は後者にくらべ著しく大きくなるので問題となる。(19) 式において Q をアークひん度、アーク時間で書きかえれば

$$q = \int_0^{\tau} i_a dt = \frac{I_a}{2} \tau \cdots \cdots \text{アーク 1 コの電気量。}$$

$$Q = f_a q t = \frac{f_a I_a}{2} \tau t$$

ここで

$$f_a = k_2(I - I_0)$$

$$I_a = \frac{V_a}{L} \tau, \tau = \frac{k_1 L}{V_a} (I - I_0)$$

$$\therefore Q = \frac{k_2^2 k_1 L}{2 V_a} t (I - I_0)^3$$

ただし t : 摺動時間。

したがって

$$\omega_a = \left\{ \frac{\gamma k_1^2 k_2 L}{2 V_a} (I - I_0)^3 + k_1 g P \left(\frac{k_2 L v}{2 V_a} \right)^{1/2} (I - I_0)^{3/2} \right\} t \quad (20)$$

ただし v : 周速

すなわち、ブラシ電流が限界電流 I_0 を越えると (20) 式の形でブラシ摩耗が正常な通電摩耗に付加される。数値計算は省略するがこれは非常に大きな量となることが (20) 式から推定され、実験的にも確かめることができた。

7.2 整流火花の実害と火花番号

整流不良の程度を表はす目安として、一般に 1 号から 8 号までの火花番号が用いられているが、整流火花の実害と火花番号との相関関係は殆んど調べられていない。

そこで以上の論旨に基づきこれを考察してみる。

いま、ブラシ電流を増大していった場合の火花番号の変化及び前記諸量の消長を実験結果及び既述の理論に従い近似すれば **Fig. 12** となる。したがって火花番号 S は電流に関し

Fig. 12 Relation between spark number and brush current

$$S-1 = k_3(I - I_0) \quad (21)$$

(17), (18), (21) 式より

$$W_a = \frac{1}{2} k_1^2 k_2 k_3^3 L (S-1)^3 \quad (22)$$

$$W_a = \frac{1}{2} k_1^2 k_3^3 f_a (S-1)^2 \quad (23)$$

すなわち、火花の実害はアークエネルギーに比例し、アーク・エネルギーは火花番号に対し (22), (23) 式の関係にあるから、結局、極端に火花が大きい範囲では実害は火花番号の 3 乗、とくに火花の大きいときは火花番号の 2 乗に比例する。**Table 3** は (22), (23) 式より求めた火花番号と実害(相対値)との対応である。

Table 3 The damage by sparking and spark number

火花番号	1	2	3	4	5	6	7	8	摘 要
実 害	0	1	4	9	16	25	36	49	(S-1) ² に比例するとき
	0	1	8	27	64	125	216	343	(S-1) ³ に比例するとき

以上の考察では、加熱火花の実害を 0 と考えている。しかし、加熱火花と整流アーク放電とが単独に発生することはまれで、多くは必ず整流アーク放電が含まれる。火花番号 2, 3 という小さな火花でも、ひん度は非常に小さいがアーク放電が検出される場合が多い。従って火花の実害をつねにアーク放電のみに結びつけて考えることは必ずしも不当ではない。

(22), (23) 式または **Table 3** の結果は、整流火花の実害は整流アーク放電エネルギーに比例するという思想に基づいているが、現実の障害はブラシの摩耗、整流子の荒損、温度上昇その他種々な項目に分れて現われる。したがってこれら諸量に対するアーク・エネルギーの分

配率の多寡によって実害の現はれ方が違ってくる。エネルギーの分配率を実測する方法は現在のところ見当らないから火花番号と個々の実害との対応を一義的に現わすことはできない。ただ、Case by Case に火花番号と実害との対応が知られるだけである。一例として火花番号とブラシ摩耗との関係を模擬整流試験で実測したところ、火花による摩耗の増加率は表 3 の $(S-1)^2$ にほぼ近い値を示した。(たとえば、6 号火花の摩耗は無火花時のその 23 倍となった)。摩耗は火花番号の何乗に比例するかというせんさくは、火花番号の視誤差、摩耗因子の多様性などのために正確には決め難いが、この実験結果および上述の考察を含めた大体の目安として、火花によるブラシ摩耗の増加率は

$$(S-1)^n, \quad n \approx 2$$

に比例すると考えられる。

8. む す び

本文は学振 117 委員会、第 14 回炭素材料学術講演会その他において数次にわたり発表した論文を要約したものであるが、学振 117 委員会委員各位を始めとし多くの人々から有益な御批判御指摘を戴いた。ここにあら

ためて謝意を表する次第である。

文 献

- 1) 稲垣, 伊藤: 波高分析器による新整流試験法, 電気四学会連大論文集, No. 634 (昭 35.7)
- 2) 稲垣, 伊藤: 波高分析器による新整流試験法, 日本学術振興会第 117 委員会, 資料 No. 117-62-B3 (昭 35.4)
- 3) K. Binder: Grenzbedingungen der Lichtbogenbildung bei der Kommutierung. E. T. Z-A, Bd. 81 (1960), H. 16, pp. 558~562
- 4) L. L. Lavrinovitz: Primenenie Fotoelektronntikh Umnozhitelei (feu) dlyas Nastroyki Kommutatsii Elektricheskikh Mashin, Vestnik Elektroprom, Vol. 30, No. 12, pp. 40~44
- 5) R. Holm: Contribution to the Theory of Commutation on D-C Machines, A. I. E. E. Tr, pp. 1124~1129 (Dec. 1958)
- 6) 鳳: 電気接点と開閉接触子 (昭 23, 克誠堂)

文部省大学学術局監修

専門別 大学研究者・研究題目総覧

1961 年 版 自然科学編 B 5 1180 頁 2,000 円

(昭和36年3月刊行) 人文科学編 B 5 850 頁 1,500 円

さきに本会は、上巻に文部省所管の国立大学・研究所の教授・助教授・講師をそれぞれ大学別、学部別に配列して、その研究題目を併記、下巻には同様に公立関係のものを収録し、「大学研究者・研究題目総覧」(上巻)(下巻)として刊行し、多大の好評を得ました。

今回は、これと趣きをかえて、自然科学・人文科学とで巻を分って編集し、大学・研究機関および研究者の研究上の相互連絡の便を図るようにしました。本書が、ますます、学界・産業界等、広範囲に有効に利用されるならば幸いと存じます。

— 内 容 —

範 囲 : 文部省直轄研究機関・同公私立大学・同短期大学の教授, 助教授, 講師, 助手およびこれに準ずる者

記載事項 : 氏名, 生年月日, 出身学校, 勤務先, 学位, 研究テーマ

調査期日 : 昭和 34 年 6 月 1 日現在 (この後の異動は判明した限り訂正)