

## 整流火花アーク継続時間測定装置とその火花号数検討への応用

その他（別言語等）のタイトル	Measuring System for Duration Time of Commutation Spark and Application to the Study of Commutation Spark Number
著者	鈴木 好夫, 沢井 孝哉, 松田 敏彦
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	35
ページ	125-134
発行年	1985-11-30
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/805">http://hdl.handle.net/10258/805</a>

# 整流火花アーク継続時間測定装置とその火花号数検討への応用

鈴木好夫・沢井孝哉・松田敏彦

## Measuring System for Duration Time of Commutation Spark and Application to the Study of Commutation Spark Number

Yoshio SUZUKI, Takaya SAWAI and Toshihiko MATSUDA

### Abstract

We have developed measuring system for arc duration time of commutation spark, which is fabricated to evaluate a commutation action of D-C machine quantitatively. The superior features of the developed system are as follows 1) It is enables measuring of the duration time of commutation spark all of the commutator segment. 2) Accuracy of the system is within  $0.1 \mu\text{s}$ . with  $0.5 \text{ ms}$ . commutator period (maximum rotation number). 3) It makes possible the long time automatic measurement. We have measured the duration time of commutation arc to JEC-54 commutation spark number. Findings are: 1) The ratio of frequency distribution has two peaks to the duration time of commutation arc. 2) The maximum point of arc duration time in the ratio of frequency distribution increases according to the commutation spark number. 3) Arc duration time depends on brush materials and revolving speed with the same commutation spark number which is measured with eye. It suggests that evaluation of commutation spark with eye measurement is inaccurate. Hence, quantitative measurement is necessary.

### 1. はじめに

近年の産業の高度化により、直流機の性能に対する要求もますます高度化し、高精度高速制御系の要素として、脈動整流電源やチョップ制御電源により変動の大きい負荷の駆動などに使用される場合が多くなっている。整流作用は、直流機に残されたほとんど唯一の問題であって、機械の最大容量、最高速度および制御性能を制限する主要因となっている<sup>1)</sup>。整流の良否は、主としてブラシ火花の有無として顕われる。整流悪化による火花の発生は、ブラシの異状摩耗、整流子の荒損、異常な温度上昇などをもたらす、最悪の場合はフラシオーバーにより機械を運転不能に到らしむることもある重要な問題である。整流の良否の判定は、現場においても整流作用の研究においてもブラシ火花の観測により行なわれることが多い<sup>2,3)</sup>。この整流火花発生の程度は、JEC-54の火花号数によって表わされ、一般に肉眼によって観測される。しかし、この肉眼による火花号数の観測には火花号数判定の観測者毎の認識の違いや、観測時の明暗などの環境条件の

---

\*北海道大学大学院、電気工学専攻

影響が入る可能性があり、より客観的・定量的な整流火花計測法の開発が望まれてきていた。従って、ブラシ火花の定量的測定法は、以前からいろいろな研究が行われてきたが、それぞれの方法には一長一短があり、特に個々の火花を連続して測定する実用的に使われる方法は見い出されていなかった。最近になってマイクロコンピュータの普及により、これを用いた整流火花計測法が報告され、整流研究に新しい知見をもたらしている。しかしこれらの測定法は、整流子1回転についての積算されたアーク継続時間を測定するもの<sup>4)</sup>、整流子1回転について特定の1枚の整流子片のアーク継続時間を測定するもの<sup>5)</sup>などであり、測定可能な最小整流時間(回転速度)についても十分な性能が得られていないようである。筆者らは、16ビットマイクロコンピュータを用い、火花継続時間をクロックパルス計数法により計測する方法を試み、1回転中の全整流子片の火花のアーク継続時間を連続計測でき、最小整流時間0.5 msでアーク継続時間測定精度0.1  $\mu$ sの測定を可能にし得た。

以下、この整流火花継続時間装置と、この測定装置の一適用として、JEC-54の火花号数と整流火花の定量的性質との関係について検討した結果について報告する。

## 2. 整流火花のアーク継続時間計測法

整流火花に関する現象としては、ブラシと整流子片間に生ずる電圧、火花の発光、ブラシ周辺に発生する高周波雑音などがある。これらの現象量の中で、ブラシと整流子片間の電圧、特にその中の火花電圧降下はオシロスコープによってその性質が明確に知られており、火花計測の対象量として最も適したものである<sup>6)</sup>。従って、ここに報告する整流アーク継続時間計測法は、既報<sup>4,5)</sup>と同様ブラシ-整流子片間電圧のアーク電圧波形を用いて計測するものである。

### 2.1 火花電圧電流の性質とアークエネルギー

整流火花放電過程は、図-1(a)のような経過をとることが知られている。時刻 $t_0$ においてブラシ後端と整流子片との接触が弱まり、 $t_1$ からアーク放電が始まる。区間 $\Delta t_a = t_1 - t_0$ は、 $t_0$ において接触点に高温陰極点が形成されてから陽イオン発生をうながして完全なアークを形成するまでの時間おくれである。 $t_1$ で点孤し、 $t_2$ までアークが継続する。 $t_a$ は一般に2~数10  $\mu$ s程度であるが、 $\Delta t_a$ はこれに比べきわめて短かく1  $\mu$ s以下である。アーク電圧 $V_a$ は、その放電期間中はほぼ一定値を示し、正ブラシの場合は12~13(V)を、負ブラシにおいては19~22(V)を示す場合が多い。 $t_a$ をアーク継続時間といい、強い火花になるに従い大きくなるとされている。図-1(a)下図は、これに対応する電流波形で、アーク放電電流 $i_a$ は、初期値 $I_a$ から直線的に減少し最小アーク電流値 $I_a'$ にて消滅する。勿論、時刻 $t_0$ に始まる電圧上昇のすべてがアーク放電を形成するわけではない。実験的に、 $t_0$ からの電圧上昇が約3(V)を越えるアーク放電を形成することが知られている。この電圧ピーク値は、アーク放電を形成しない3(V)以下の値か、アーク

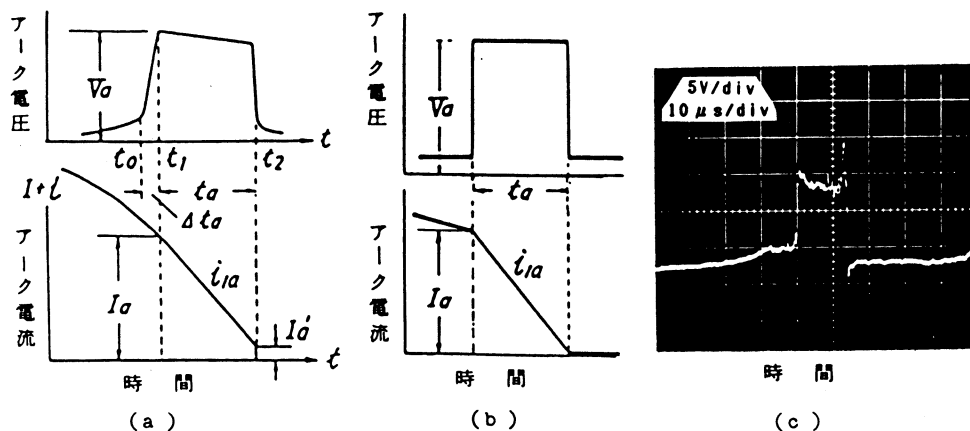


図-1 整流火花放電過程

放電に到った12(V)以上の値になるのが大半で、その中間値になることは少ない。従ってこの電圧ピーク値がある限界値  $V_c$ 、例えば10(V)を越えるかどうかにより整流火花がアーク放電に到ったかどうか判定できる。

次に、整流火花による実害と強く関係する一個の火花放電で消費されるエネルギー  $E$  は次式で表わせられる。

$$E = \int_0^{t_a} v_a i_a dt \quad (1)$$

ここで、 $v_a$ ：アーク放電電圧、 $i_a$ ：アーク電流、 $t_a$ ：アーク継続時間である。

図-1 (a)の火花放電過程を、同図 (b)のように単純化すると

$$E = V_a I_a \int_0^{t_a} (1 - t/t_a) dt = \frac{1}{2} V_a I_a t_a \quad (2)$$

となる。ただし  $V_a$ ：平均火花電圧、 $I_a$ ：火花電流の初期値である。直流機の模擬整流回路においては、 $|V_a|$  は整流コイルのリアクタンス電圧にほぼ等しいことから次式が得られる。図-1 (b)の  $i_a$  の変化形に注目して

$$V_a \simeq L \frac{di}{dt} \simeq LI_a/t_a \quad (3)$$

$$\text{故に } I_a \simeq V_a t_a / L \quad (4)$$

$$\text{従って } E \simeq \frac{1}{2} \cdot \frac{V_a^2}{L} \cdot t_a^2 \quad (5)$$

(5)式により火花エネルギーは、火花継続時間の二乗にほぼ比例することがわかる。

図-1 (c) は、実測したアーク電圧波形の例である。

## 2.2 整流火花のアーク継続時間測定装置

整流アーク継続時間の測定法としては、ブラシー整流子片間電圧が前節でのべた限界電圧  $V_c$  ( $\approx 10V$ ) を越える時間幅  $t_a$  を測定する方法を採用した。すなわち、ブラシー整流子片間電圧が  $V_c$  を越える部分を TTL レベル方形波に整形し、これによってクロック信号のゲートを開閉し、このクロックパルス数をカウンタ IC により計数し、計算機に採り込む方式である。図-2 は、本整流アーク継続時間測定装置に使用したクロックパルス計数式時間幅測定法の原理説明図である。図-3 は、試作測定装置のブロック図である。④部は、整流模擬装置及び回転角度エンコーダである。③部は、ブラシー整流子片間接触電圧をアーク発生判定電圧  $V_c$  でクリップし、アーク電圧部分のみを取り出すアーク判定回路である。②部は、前段でクリップされたアーク継続部電圧波形を TTL レベルに変換し、カウンタ部へと送り出す回路である。①部は、このアーク継続時間幅方形波信号と基本クロック信号との AND をとり、IC カウンタで計数してコード変換を行い、マイクロコンピュータの I/O ポートに送り出す。計測データの記憶及び計測制御には16ビットマイクロコンピュータを使用した。

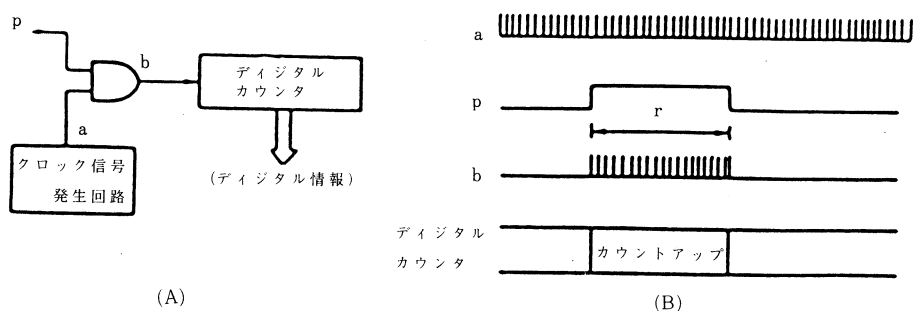


図-2 クロックパルス計数式時間測定法の原理説明図

クロック信号としては、20 MHz 水晶発振器の出力を波形および電圧値の変換をかねて1/2個に分周した10 MHz の方形パルス波を用いた。従って、整流アーク継続時間の最小値を  $1.0 \mu s$  とすると、最大相対誤差は10%以内になる。以上の本測定装置の性能の検証は、方形波信号発振器出力を模擬整流アーク電圧波として入力し、マイクロコンピュータによって計測記憶された測定値をプリント出力し、これらの両者を比較することにより行い良い結果を得ることができた。

整流火花アーク継続時間測定装置とその火花号数検討への応用

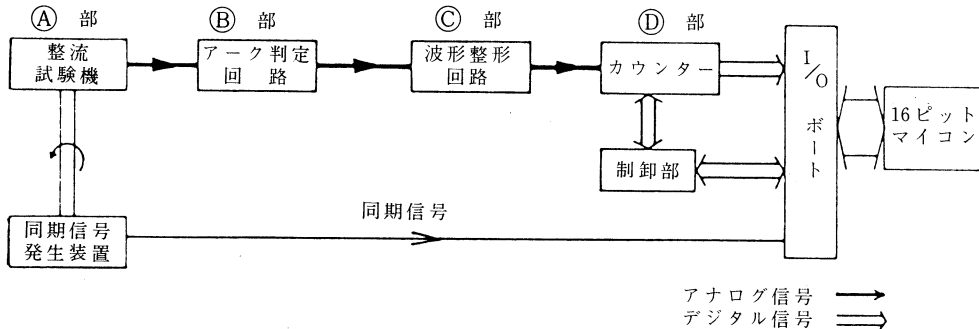


図-3 整流アーク継続時間測定装置のブロック図

3. 整流アーク継続時間計測装置による整流火花号数の検討

以上の整流アーク継続時間計測装置の性能を検証するため、JEC-54による目測火花号数と整流アーク継続時間とその平均値、火花号数と整流子1回転（全整流子片数）に対する火花発生数、ブラシ品種と火花号数とアーク継続時間との関係などを測定した。

以下、模擬整流装置と実験方法、実験結果について記す。

3.1 整流作用模擬装置と実験方法

実験に用いた整流作用模擬装置の回路図を、図-4に示す。装置の概要は、以下の通りである。ブラシ(B)の寸法は10×16×32(mm)、整流子(C)は直径135(mm)で幅10(mm)の子片40枚からなっている。従って、ブラシの子片被覆数は1である。整流子の奇数番号片はスリップリング(S1)に、偶数番号片は(S2)に接続されている。インダクタンス $L_a$ は一定で4.0 mH、 $L$ は整流インダクタンスであり5～50 $\mu$ Hの範囲に変化させる。またこの装置に、回転同期信号を発生する回転角エンコーダが取り付けられている。

供試ブラシとして電気黒鉛系の中から、比抵抗の異なる4品種を選んだ。この4品種をS1～S4の記号で表わし、ブラシ材質の物理特性を表-1に示す。

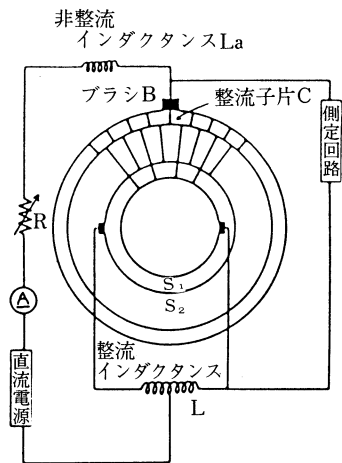


図-4 整流作用模擬装置の回路図

目測火花号数と火花継続時間との関係を検討する実験を、次の方法で行った。各ブラシにつき、すり合わせを十分に行った後、5(A)の小電流で約20時間の予備運転を行う。

各火花号数の火花の発生は、回転数1000 rpm又は1500 rpmと、整流インダクタンス15  $\mu$ H一定とし、電機子電流を変化させて行い、火花号数の判定は目測によった。すなわち目測による火花

表-1 供試ブラシの物理特性

略号	材質	見掛け 比重	比抵抗 ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	かたさ ( $\text{kg/cm}^2$ )	曲げ強さ ( $\text{kg/cm}^2$ )	摩擦 係数	接触電 圧降下 (V)	最大電 流密度 ( $\text{A/cm}^2$ )	最大 周速 ( $\text{m/s}$ )
S1	電	1.65	8.500	40	120	0.20	1.1	12	50
S2	気	1.60	6.400	48	140	0.20	1.1	12	50
S3	黒	1.60	2.800	44	230	0.24	1.0	10	30
S4	鉛	1.53	1.700	27	130	0.19	0.85	10	55

号数の判定は、科学的な計測ではいかなる測定結果になるかということも本実験の目的である。本報告の実験では、正極性ブラシを対象とし、1回の測定で整流子300回転中に各整流子片に発生するアーク継続時間幅を連続的に測定している。

### 3.2 測定結果と考察

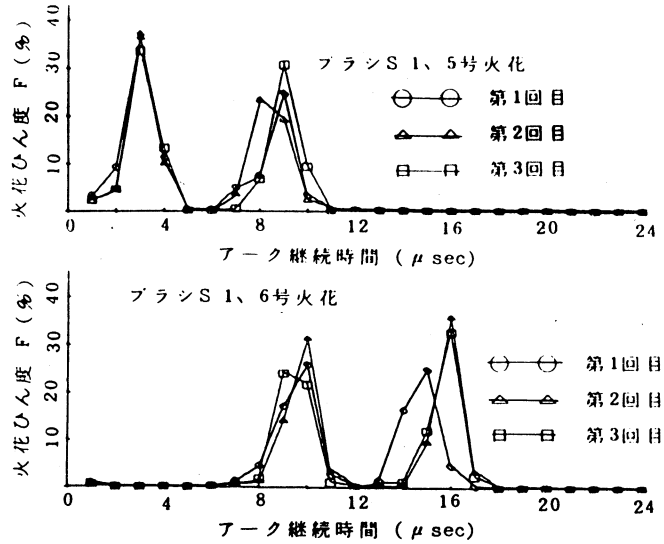
図-5は、火花継続時間幅測定の一例である。図において、横軸はアーク継続時間[ $\mu\text{sec}$ ]で、縦軸は火花頻度  $F[\%] = (\text{各アーク継続時間区間内の継続時間を持つアークの発生数}) \times 100 / (\text{全火花アーク発生数})$  である。図-5(a)は、ブラシS1による5号と6号火花であり、(b)図はブラシS3による4号と5号火花である。各1回の測定は整流子300回転分、すなわち整流子片数12000(=300 $\times$ 40)であり、これを3回繰返し測定したものであるが、概ねよい測定の再現性をみている。

表-2は、目測火花号数に対する最大アーク継続時間の関係を表示したものである。また同一ブラシ・同一号数のもとでは回転数が大きくなると、最大アーク継続時間が小さくなっている。ブラシ材質を比較してみると、1000 rpmでは、最大火花継続時間の大きい順にブラシ品種は  $S2 > S3 > S4 > S1$  であるが、1500 rpmでは、 $S3 > S2 > S4 > S1$  となっている。図-5の度数率分布曲線にみられるような二つの度数ピーク点のアーク継続時間が、目測火花号数の変化でどのようになるかを示したのが表-3である。なお表中の数値で、例えば、3.5というのは3( $\mu\text{sec}$ )と4( $\mu\text{sec}$ )の間にピーク点が存在することを示す。二つのピーク点アーク継続時間の小さい方のピーク点継続時間は、火花号数の変化に不規則な変化をしている。しかし二つのピーク点のアーク継続時間の大きい方のピーク点継続時間は、目測火花号数の増大とともにアーク継続時間の大きい方へ変化している。双峰性のピーク点のうち大きな継続時間幅の点と目測火花号数に相関関係があるとみなすことができる。図-6は、目測火花号数と火花継続時間の平均値を示した。い

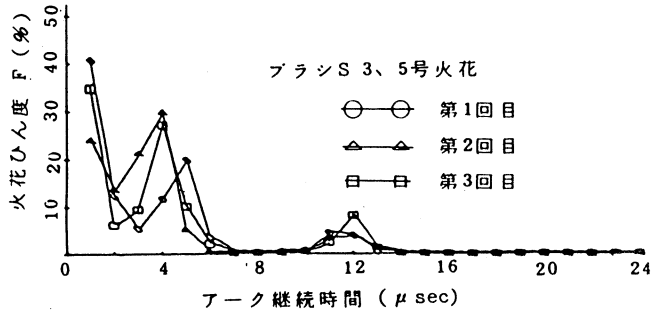
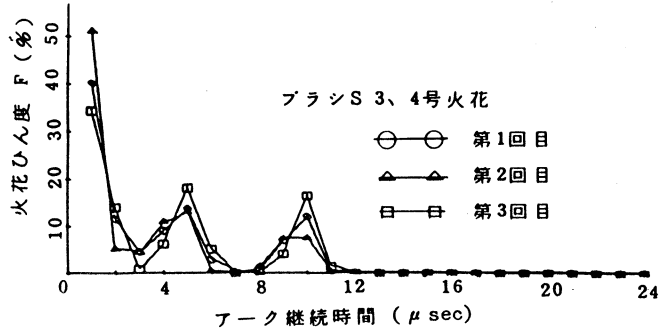
ずれのブラシ品種についても目測火花号数が大きくなると、火花継続時間の平均値も大きくなっている。ブラシ材質による目測火花号数に対する平均火花号数に対する平均火花継続時間の差異を比較すると、1000 rpm, 1500 rpm の両回転数の場合とも  $S3 > S2 > S4 > S1$  の順に平均アーク継続時間が大となっている。S4 ブラシは、比抵抗が小さくかつ摩擦が少ない整流性能のよいブラシとして最近開発されたものである。S1, S2, S3 を比べると、比抵抗の小さい材質は目測火花号数に対する平均アーク継続時間が大きいといえる。図-7 に、目測火花号数と一回転当りのアーク発生数の平均値を示した。1000 rpm 及び1500 rpm の両者とも、目測火花号数の増大とともに一回転当りのアーク発生数が増えている。特に回転数が増大すると、アーク発生数の増加が顕著になっている。

#### 4. む す び

直流機の整流作用の良否を定量的に判定するための整流アーク継続時間測定装置を試作した。更に、この計測装置の一適用例として、JEC-54による目測整流火花号数に対する整流アーク継続時間を測定し、両者の関係について興味ある結果を得た。



(a) ブラシ S 1 の 5 号と 6 号火花



(b) ブラシ S 3 の 4 号と 5 号火花

図-5 火花継続時間幅測定例



表-2 火花号数と最大火花継続時間

単位 [μs]

材質 回転数 号数	S 1		S 2		S 3		S 4	
	1,000 rpm	1,500 rpm	1,000 rpm	1,500 rpm	1,000 rpm	1,500 rpm	1,000 rpm	1,500 rpm
4号	6.0	6.0	12.0	12.0	11.0	10.0	11.0	8.0
5号	10.0	10.0	15.0	12.0	18.0	16.0	12.0	10.0
6号	14.0	12.0	22.0	16.0	18.0	18.0	16.0	10.0
7号	16.0	14.0	24.0	20.0	21.0	20.0	20.0	18.0
8号	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0

表-3 火花号数とピーク点

単位 [μs]

材質 回転数 号数	S 1		S 2		S 3		S 4	
	1,000 rpm	1,500 rpm	1,000 rpm	1,500 rpm	1,000 rpm	1,500 rpm	1,000 rpm	1,500 rpm
4号	3,5と5,5	2,5と4,5	6,5と10,5	8,5と15,5	3,5と9,5	3,5と7,5	1,5と8,5	3,5と6,5
5号	4,5と10,5	4,5と7,5	10,5と14,5	8,5と20,5	10,5と17,5	7,5と13,5	1,5と9,5	4,5と7,5
6号	4,5と12,5	4,5と8,5	6,5と20,5	9,5と21,5	13,5と19,5	5,5と14,5	9,5と14,5	4,5と8,5
7号	8,5と14,5	5,5と11,5	10,5と23,5	10,5と23,5	10,5と23,5	11,5と15,5	9,5と15,5	5,5と11,5
8号	6,5と22,5	7,5と23,5	12,5と23,5	12,5と23,5	21,5と23,5	18,5と23,5	18,5と23,5	6,5と23,5

試作整流アーク継続時間測定装置は、アーク電圧が約12~22(V)一定であることを利用し、このアーク電圧を整形したアーク電圧パルス波のパルス幅をクロック信号により計数し、マイクロコンピュータに入力するものである。これまでに報告されている整流アーク計測装置に対する本装置の特長は、

- (1) 整流子1回転の全整流子片についての整流アーク継続時間を測定しうること。
- (2) 整流周期0.5 msの最大回転速度で、整流アーク継続時間測定精度0.1 μsの測定が可能であること。
- (3) 長時間自動測定が可能であること。

などである。

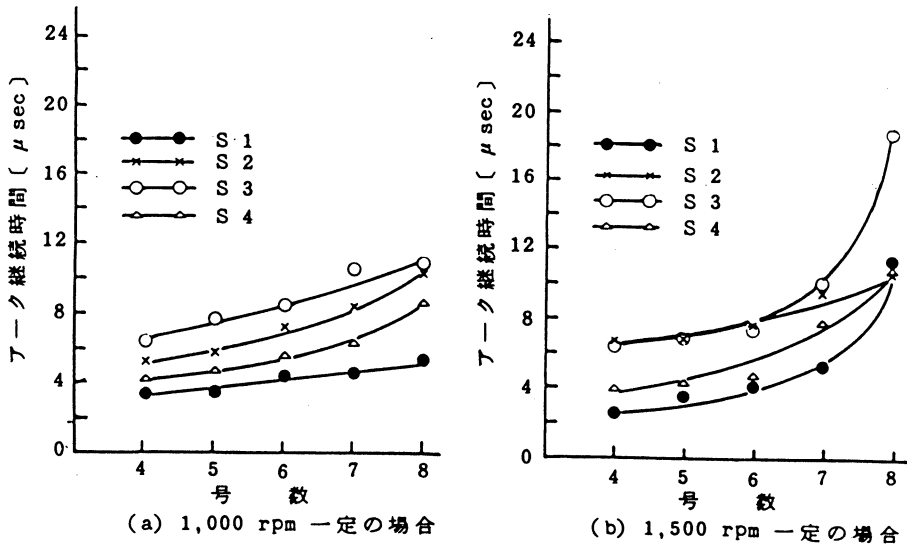


図-6 目測火花号数と火花継続時間の平均値

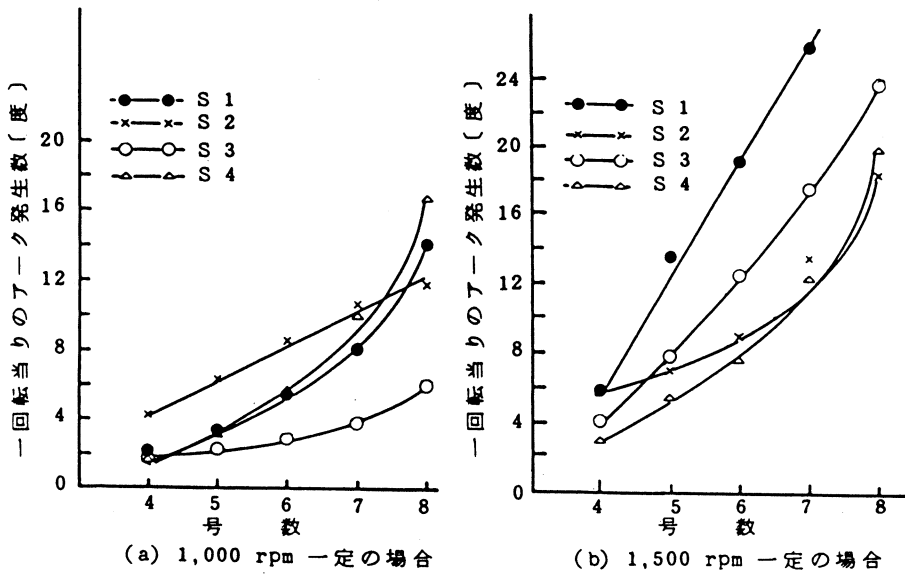


図-7 目測火花号数と一回転当りのアーク発生数

本整流アーク継続時間の一適用実験として、整流模擬装置による目測火花号数に対する整流アーク継続時間を測定し次のような結果を得た。

(4) ある火花号数に対する整流アーク継続時間測定値は、継続時間を横軸に取って度数分布を

描くと2つのピークを持つ分布となる。

- (5) アーク継続時間度数分布率曲線の最大継続時間点は、火花号数と共に大きくなる。
- (6) 目測火花号数が同一であるのに、アーク継続時間の平均値は、ブラシ材質、回転数などにより異なる値に測定される。これは、整流アーク継続時間の統計的なバラツキ以上に、目測火花号数の不確定性による影響が大きいものと考えられる。
- (7) 従って、目測火花号数は整流火花の実害等の見地から、不確実な判定方法であり、定量的な測定による整流火花の評価が必要であることが知られた。

最後に、整流模擬装置と整流試験法について御助言をいただき、低抵抗率高整流性能ブラシのサンプルの提供をいただいた、日立化成(株)茨城研究所主任研究員茂木正二氏に感謝の意を表します。

(昭和60年5月21日 受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 高目 一 他：電気学会雑誌, 100, 3, (昭55-3)
- 2) 稲垣純平：電気学会雑誌, 84-1, 3 (1964)
- 3) 松田敏彦 他：室工大研報 第6巻第3号 (昭44-7)
- 4) 大久保勝広 他：昭57年電気学会全国大会 No.768
- 5) 宮地邦夫 他：昭58年電気学会全国大会 No.777
- 6) 炭素材料学会編：“電気用ブラシとその使い方” (日刊工業)