

刷子の諸特性を考慮した整流理論 (續報)

一 木 利 信*

Commutation Theory Based on the Characteristics of Brush (continued)

By Toshinobu Ichiki
Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The writer measured the true density, the modulus of elasticity and the coefficient of solid viscosity of various brushes in the market, then conducted the commutation tests of these brushes, clarifying the relation between the physical characteristics and sparkless commutating zone of the brushes. Further the temperature and peripheral velocity of the commutator and the shape of brush influenced to commutation have been studied.

It is ascertained that the result of these experiments coincides with the writer's theory reported in the last issue.

[IV] 實驗的考察

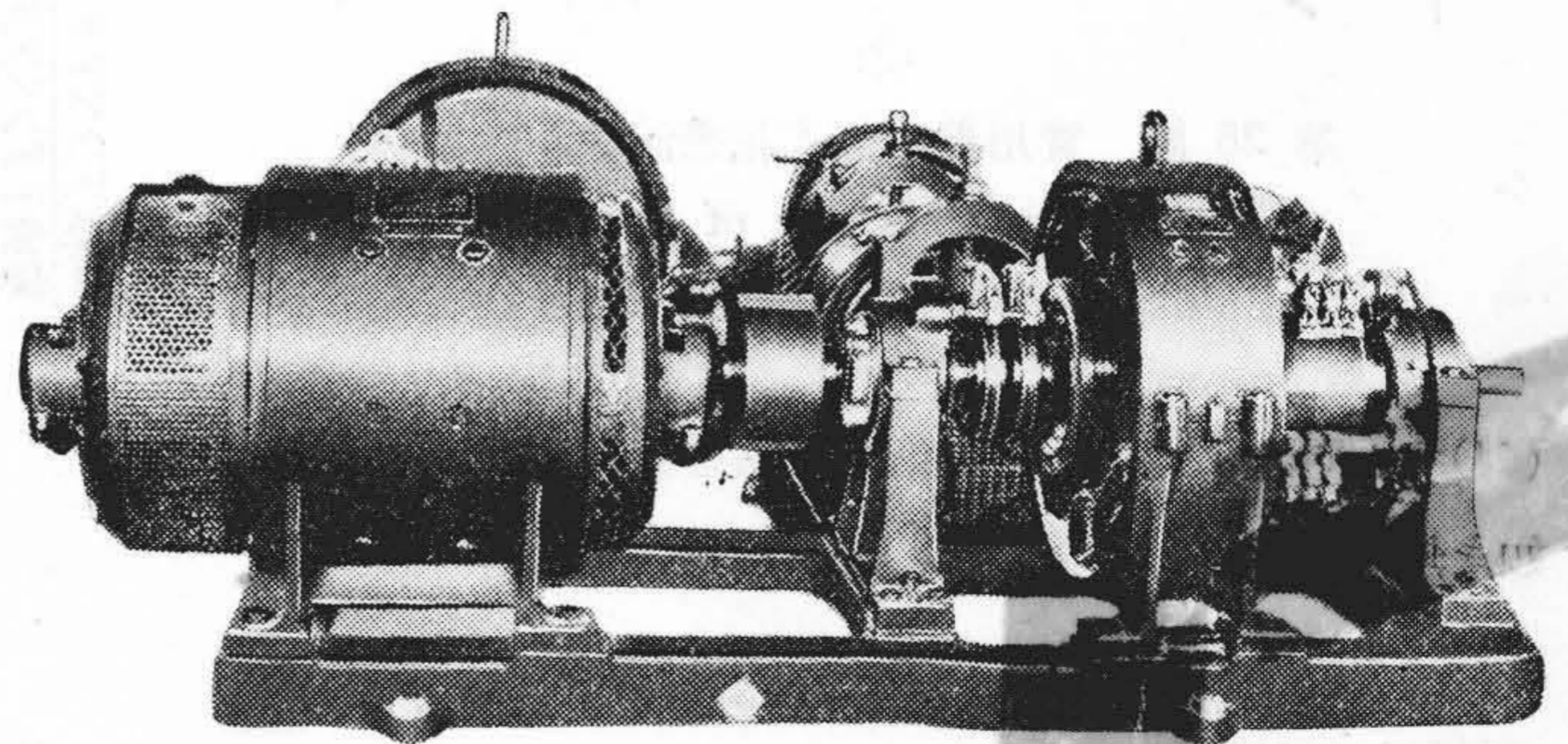
(1) 實驗の方法

各種市販刷子の眞比重、弾性率及び粘性係数を測定し次にこれら刷子の整流試験を 3 kW 整流試験機によつて行つた。又無火花整流帯に及ぼす回轉數並びに刷子接觸面形等について實驗を行つた。

測定方法については既に報告したので⁽³⁾、こゝには省略する。

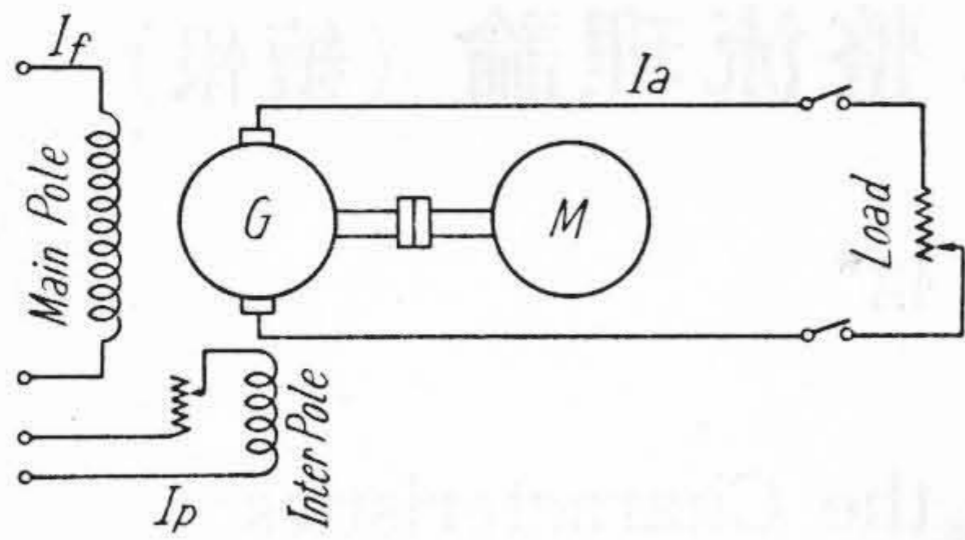
(2) 3 kW 整流試験機と實用機の無火花整流帯の比較 本研究には整流試験機として特別に造つた 3 kW の補極他勵磁式 4 極直流發電機を用い、補極強度を變え無火花整流帯の限度を比較する尾河博士の方法を用いた。第 23 圖に試験機を、又第 24 圖に結線圖を示す。本試験機で測定した無火花整流帯は第 25 圖の如くなるが、實際の機械の無火花整

流帯は一般に第 26 圖の如き形狀になる。實際の機械では補極は負荷に直列に挿入されていて電機子反作用による誘起電壓は打消される。然るに本研究に使用した整流試験機の補極は第 24 圖に示す如く他勵磁になつているから短絡巻線には電機子反作用による電壓が誘起される。従つて無火花帯の理論的中心線は、第 27 圖で電機子反作用による誘起電壓を示す OA 線に刷子の靜特性曲線 OB を加えた OC 線となる。この OC 線の上下に

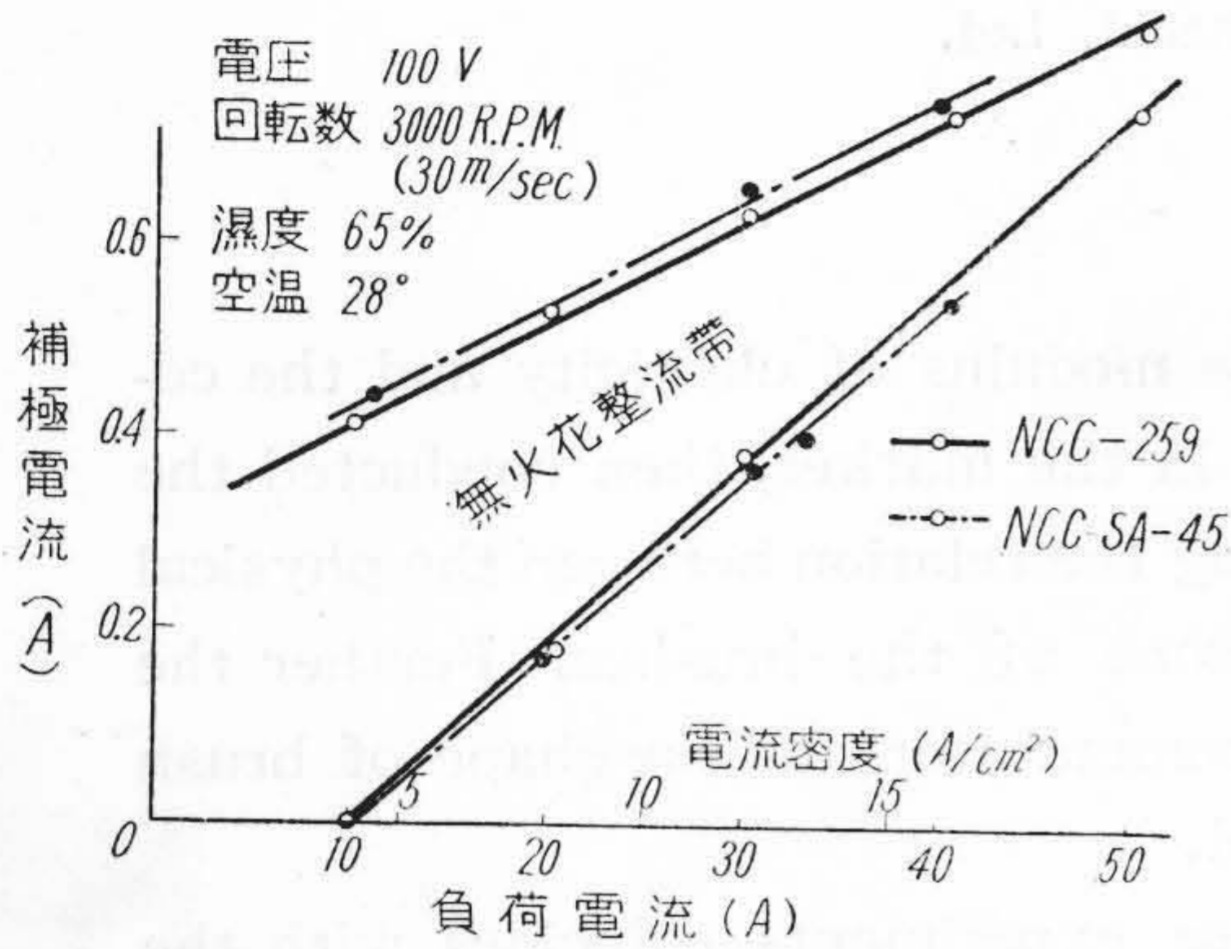


第 23 圖 3 kW 刷子試験機
Fig. 23 3 kW Brush Testing Machine.

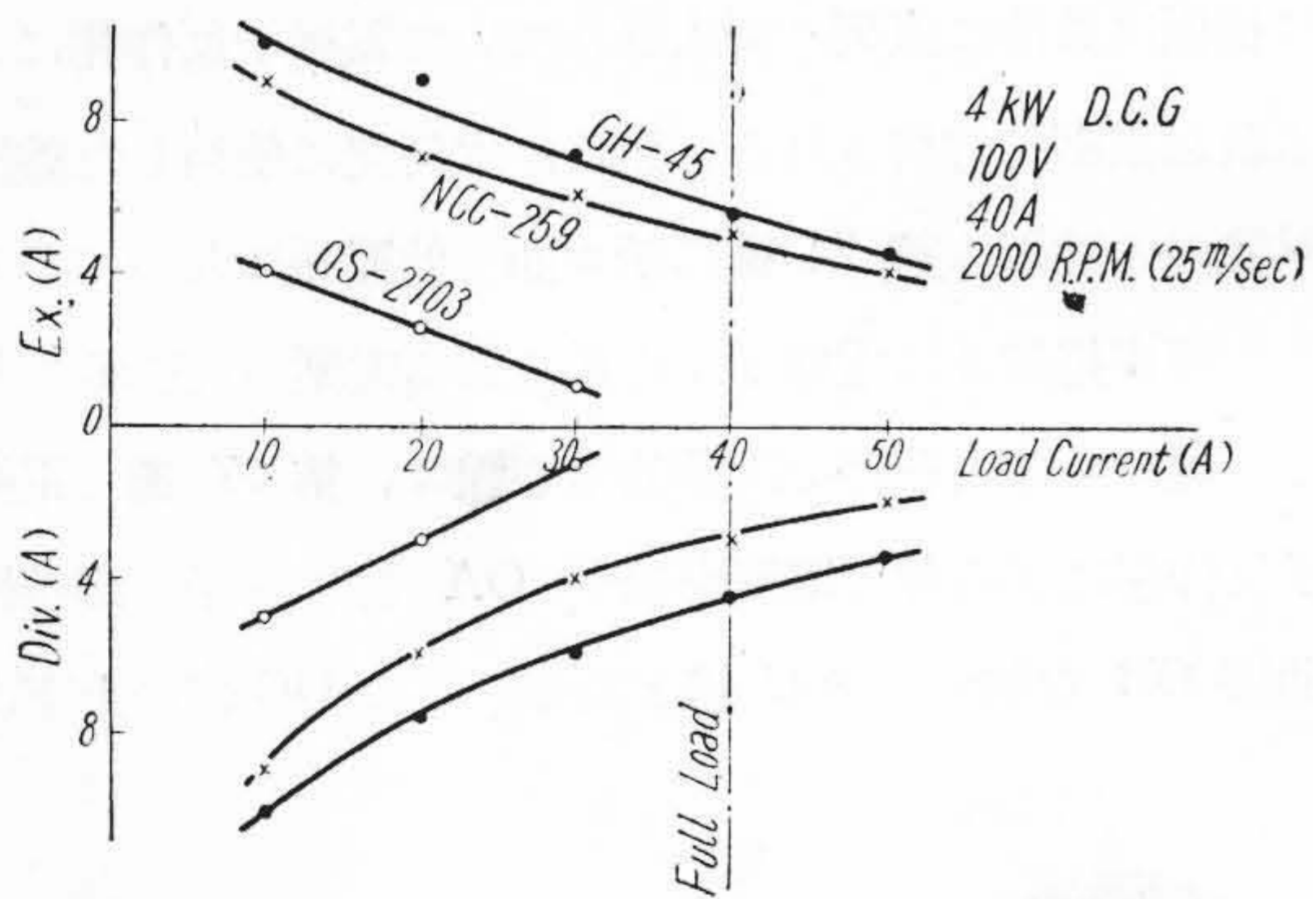
* 日立製作所日立研究所



第24圖 整流試験回路圖
Fig. 24 Testing Circuit of Commutation.



第25圖 3 kW 刷子試験機の無火花整流帯
Fig. 25 Sparkless Commutating Zone of 3 kW Brush Testing Machine.



第26圖 實用機の無火花整流帯
Fig. 26 An Example of Sparkless Commutating Zone of Commercial Machine.

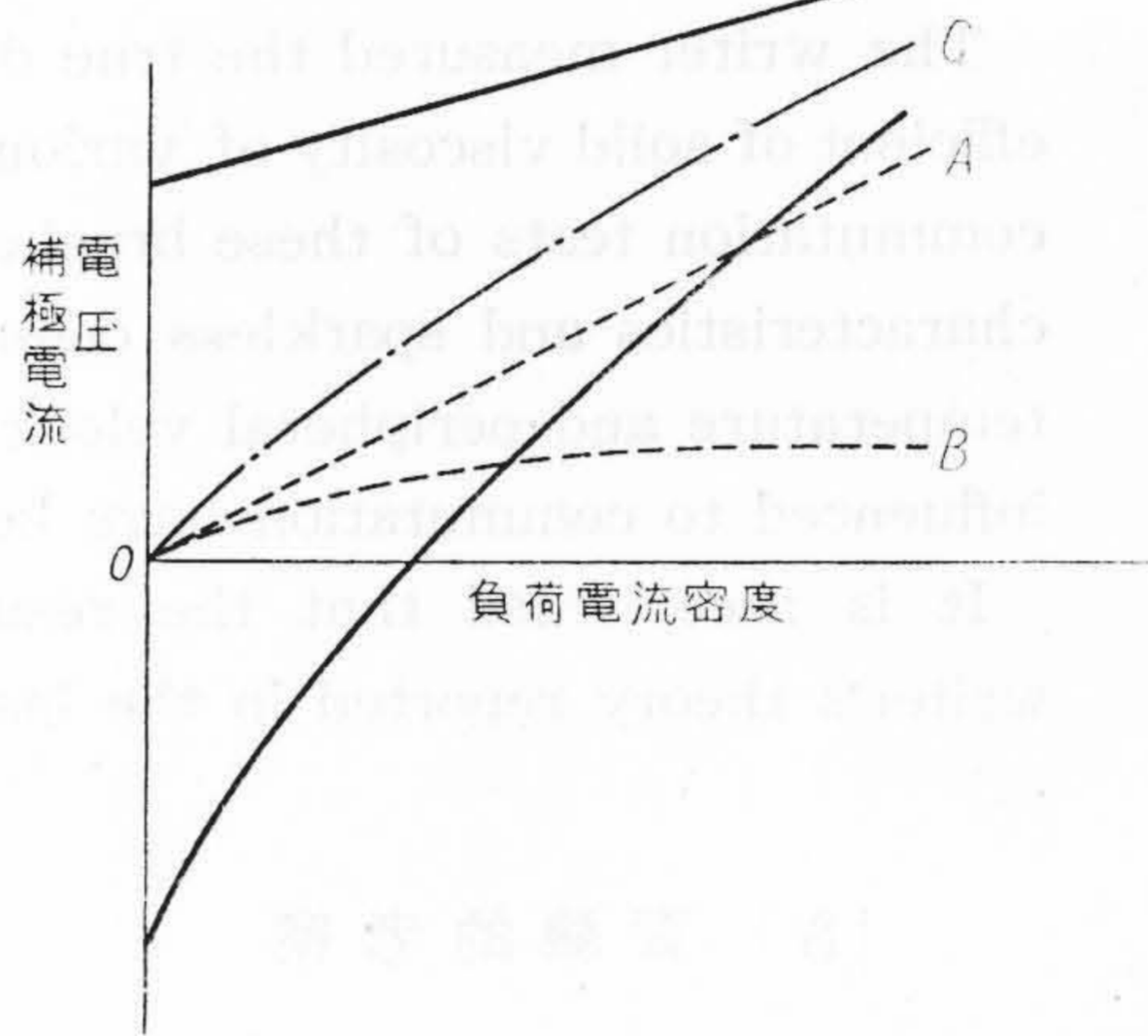
(54)式から求めた ezr を距てた點をとれば第27圖の如き無火花整流帯が得られ、第25圖に類似したものとなる。本試験機の場合でも縦軸を補極電流なく

補強アンペアターン
電機子アンペアターン とすれば第28圖の如くなり、第26圖の實用機の無火花整流帯と類似のものとなる。

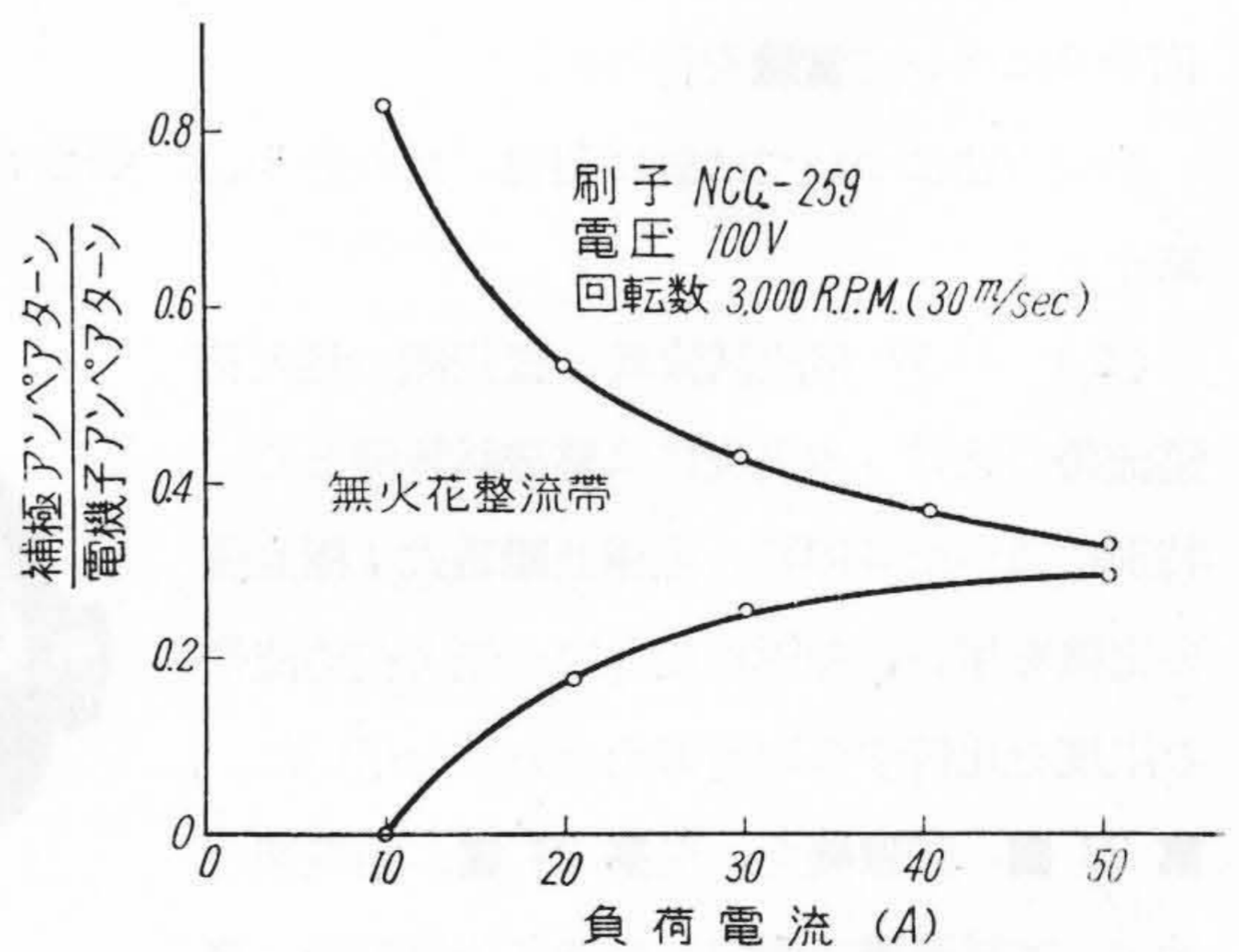
然し種々の刷子の無火花整流帯を比較するには無火花整流帯を示す曲線は直線であつた方が便利である。

(3) 各種刷子の整流試験並びに物理試験結果
各種刷子について測定した整流試験結果並びに物理試験結果は既に報告した(3)が、本論文を説明する上に必要であるので、その後測定した結果を補足して第3表に示す。

表の I_p は 10 A 負荷に於ける無火花整流帯の幅を示し、 I_p' は 30 A 負荷(全負荷)に於ける無火花整流帯の幅を示す。



第27圖 3 kW 整流試験機無火花帯説明圖
Fig. 27 Schematic Diagram of Sparkless Commutating Zone of 3 kW Brush Testing Machine.



第28圖 3 kW 刷子試験機の無火花整流帯
Fig. 28 Sparkless Commutating Zone of 3 kW Brush Testing Machine.

第3表 整流試験及び物理試験結果
Table 3. Results of Commutation Test and Physical Tests.

刷子名稱	眞比重	彈性率	粘性係數	ξ/\sqrt{E}	I_p	I_p'	δ	
	D	10°C.G.S.	10°C.G.S.		A	A		
8601 N	1,997	100	55	1.75	0.35	0.09	74	A
SA-25	1,926	83	64	2.23	0.25	0.08	68	A
SA-30	1,944	61	30	3.25	0.30	0.13	57	A
SA-35	1,950	56	75	3.19	0.33	0.16	52	A
SA-40	1,960	47	80	3.70	0.40	0.21	48	A
SA-45	1,965	43	—	—	0.36	0.16	35	B
"	2,017	38	92	4.73	0.34	0.22	35.3	B
"	"	"	"	"	0.42	0.27	35.5	A
GH-45	1,965	—	—	—	0.36	0.19	47	B
"	1,980	38	97	4.98	0.32	0.21	34.3	B
"	"	"	"	"	0.41	0.26	35.5	A
GH-235	1,965	61	—	—	0.29	0.16	45	B
"	2,105	29	—	—	0.27	0.22	18	B
GH-240	1,943	45	48	2.25	0.27	0.09	57	B
DS-2703	1,999	60	60	2.45	0.28	0.11	61	A
"	1,990	—	—	—	0.27	0.14	48	A
DS-602	2,016	10	—	—	0.32	0.22	31	B
"	2,028	48	—	—	0.25	0.18	28	A
EG-3398	2,020	—	—	—	0.25	0.18	32	B
L-31	2,075	—	—	—	0.20	0.15	25	A
Ncc-259	2,060	56	100	4.25	41	0.25	39	A
"	"	"	"	"	31	0.19	39	B
GH-125	2,110	73	93	3.4	0.18	0.10	44.5	B
CS-50	2,104	100	76	2.46	0.36	0.15	59	B
GE-0	2,120	82	90	3.16	0.33	0.17	48	A
HM-5	2,124	86	210	7.15	0.30	0.26	13	A
G-6	2,153	73	152	5.66	0.33	0.27	21	A
H-7 B	2,164	—	—	—	0.48	0.42	12.5	A
H-9 F	2,190	—	—	—	0.40	0.36	12.5	A
HM-6	2,199	48	179	7.7	0.36	0.33	8	A
PD-2	2,255	20	105	7.4	0.30	0.28	6.7	B
*Ncc-258	2,123	44	147	7.0	0.29	0.24	17	B

* 終戦後輸入品

無火花整流帯は負荷電流が増大するに従つて狭くなり、その程度は刷子によつて異なることを既に述べたが⁽³⁾、變化の程度を數量的に表わすため $\delta = I_p - I_p' / I_p \times 100\%$ を求め、 δ を無火花整流帯の變化率と呼ぶことにした。

整流試験は出来るだけ一定條件で行つたが、試験期間が非常に長期に渡つたため(約 12 年間)、全く同一條件で試験することが出来なかつた。第3表の A と B とでは試験機の状態が若干異なることを示す(主として機械的振動の差)。

(4) ξ/\sqrt{E} と無火花整流帯の關係

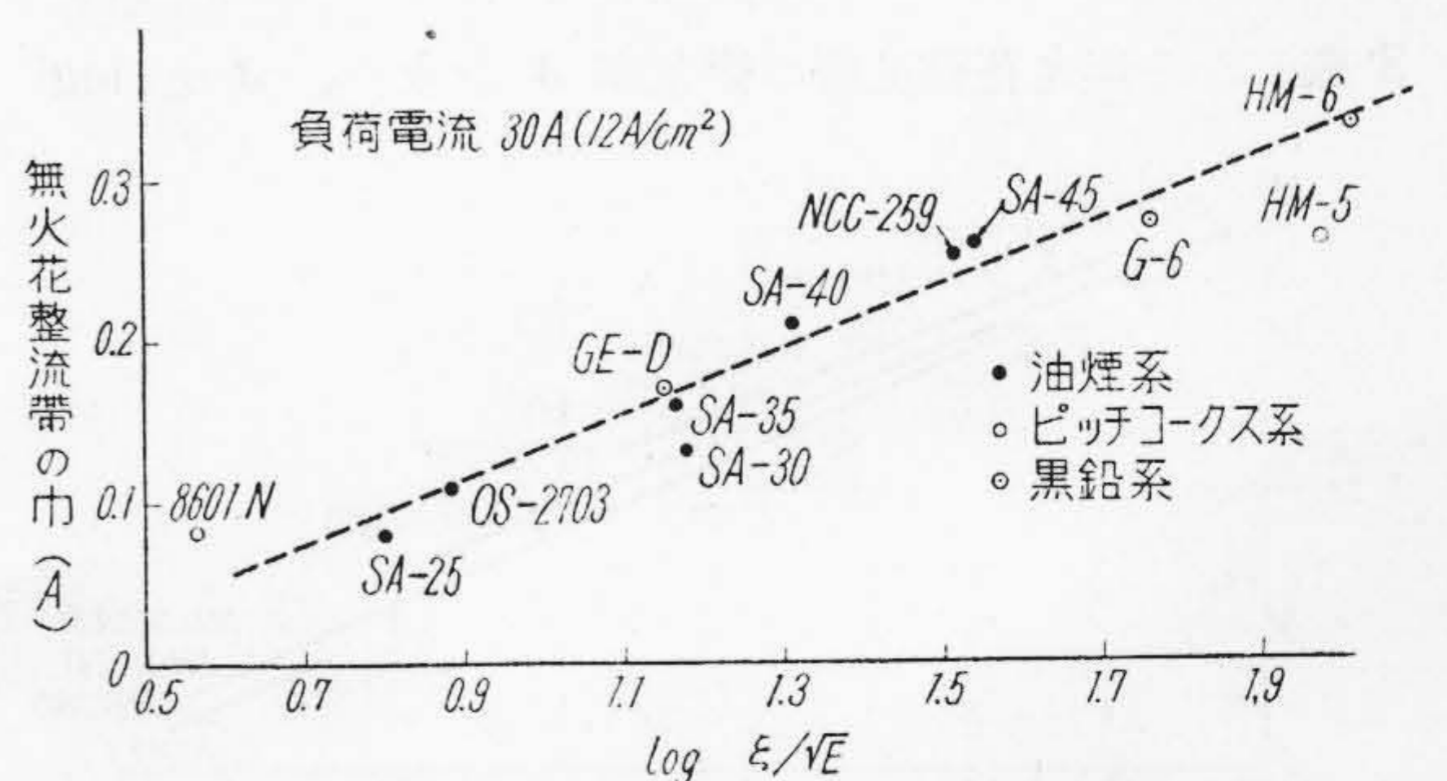
刷子の電壓—電流曲線((4)式で表わされる特性曲線)

が同一であるならば ξ/\sqrt{E} の大きい程振動による接觸面の變動は少なく、理論的に無火花整流帯が廣いことを既に述べたが、果して ξ/\sqrt{E} と無火花整流帯の幅の間には如何なる關係があるか検討してみよう。

第 29 圖及び第 30 圖にそれぞれ 10 A 負荷及び 30 A 負荷に於ける無火花整流帯の幅と $\log \xi/\sqrt{E}$ の關係を示す。第 29 圖で油煙系刷子のみについて考える場合には、 ξ/E が大きい程無火花整流帯が廣い。又黒鉛系刷子のみについても同じことが言えるようである。(實驗結果が少ないので油煙系の場合程明らかでない)。油煙系刷子の接觸抵抗は刷子によつてそれ程著しい差異はない。従つて無火花整流帯の幅は ξ/\sqrt{E} によつて定まる。黒鉛系刷子の ξ/\sqrt{E} は大きい、接觸抵抗が小さいため、 ξ/\sqrt{E} の大きい割合に無火花整流帯が廣くない。

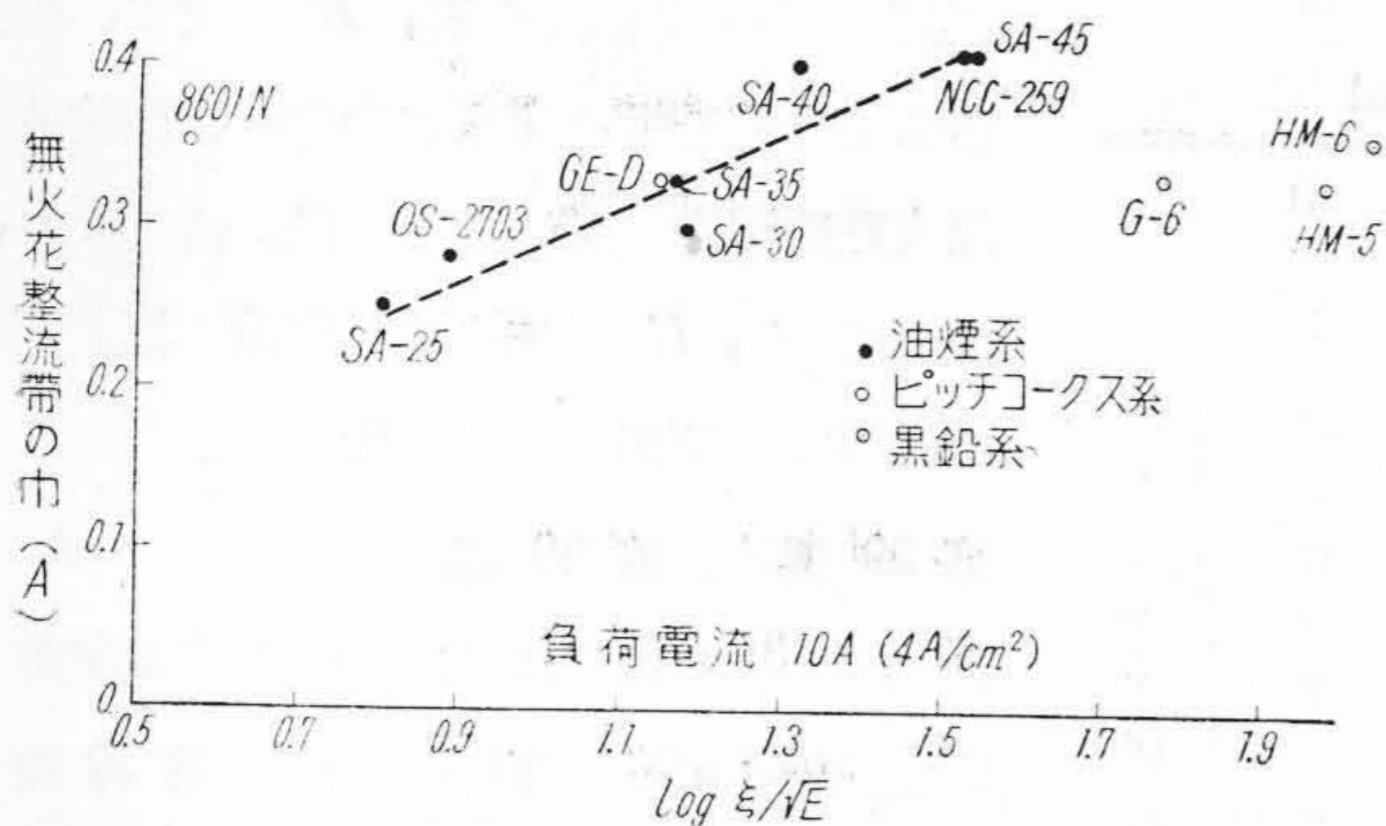
第 17 圖或は第 22 圖で明らかなように無火花整流帯の幅を決定する e_{zr} の大きさは特性曲線と直線の傾斜によつて決定される。特性曲線は刷子の接觸抵抗に、又刷子が振動する場合の直線の傾斜は ξ/\sqrt{E} に關係するから、第 29 圖は接觸抵抗をパラメーターとして畫かるべきである。

第 30 圖の 30 A (12 A/cm²) の場合には、 $\log \xi/\sqrt{E}$



第 29 圖 $\log \xi/\sqrt{E}$ と無火花整流帯の幅の關係

Fig. 29 Relation between $\log \xi/\sqrt{E}$ and Width of Sparkless Commutating Zone. (Load Current 10 A).

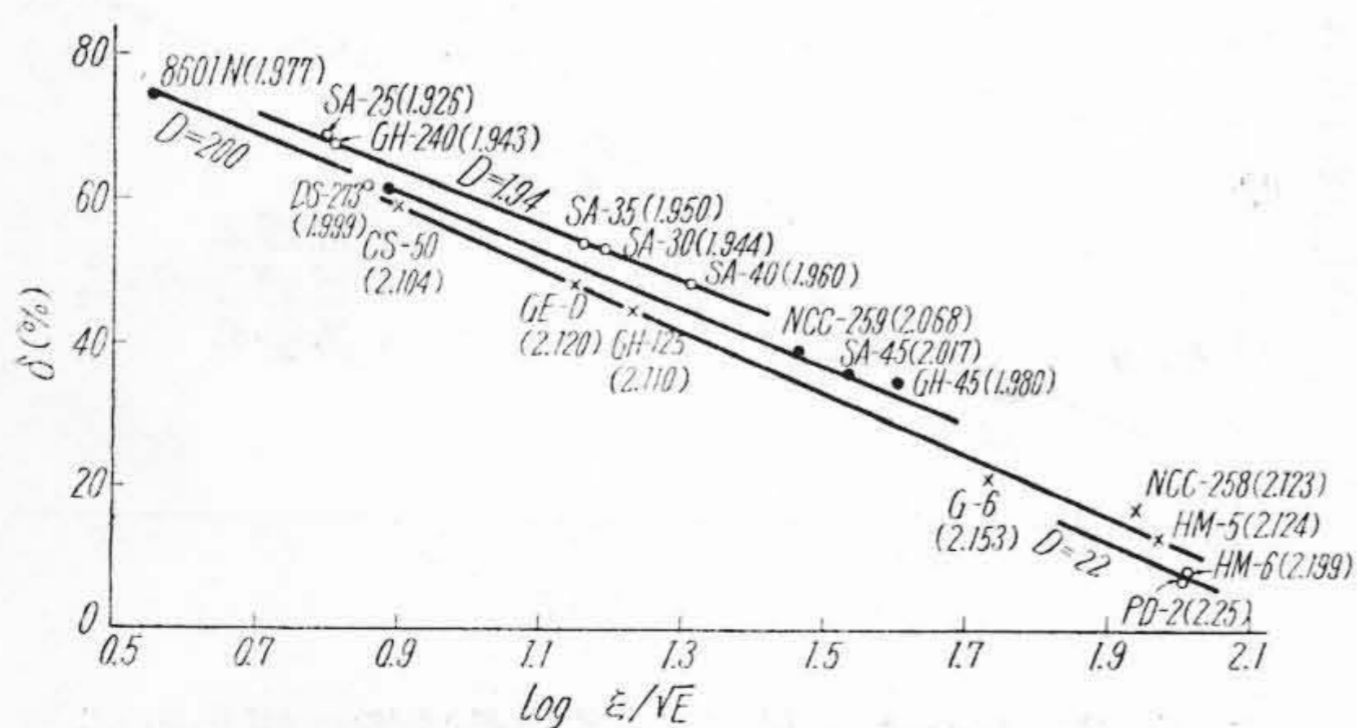


第 30 圖 $\log \xi/\sqrt{E}$ と無火花整流帯の幅の関係
 Fig. 30 Relation between $\log \xi/\sqrt{E}$ and Width of Sparkless Commutating Zone. (Load Current 30 A).

と無火花整流帯の幅の関係は直線となる。第 29 圖の 10 A/cm^2 (4 A/cm^2) の場合には接觸抵抗を考慮する必要があつたが、 30 A 負荷の場合には接觸抵抗には餘り影響しない。これは既に述べた如く、特性曲線が立上つている場合には無火花整流帯の限界を示す e_{zr} に及ぼす ξ/\sqrt{E} の影響が比較的小さいが、特性曲線がねている程 ξ/\sqrt{E} の影響が大きいと (第 22 圖参照)、負荷電流密度が小さい場合には刷子材質によつて特性曲線に差異があるが、負荷電流密度が大きくなるに従つて接觸抵抗は小さくなり、刷子材質による特性曲線の差異が少なくなるためと考える。

(5) ξ/\sqrt{E} と無火花整流帯の變化率の関係

曩に筆者は負荷電流が増大するに従つて無火花整流帯は狭くなり、又狭くなる割合は刷子によつて異なることを報告した⁽³⁾。又 3 kW 整流試験機で測定した結果 (第 3 表) から無火花整流帯の變化率 δ を求め、 δ と \log



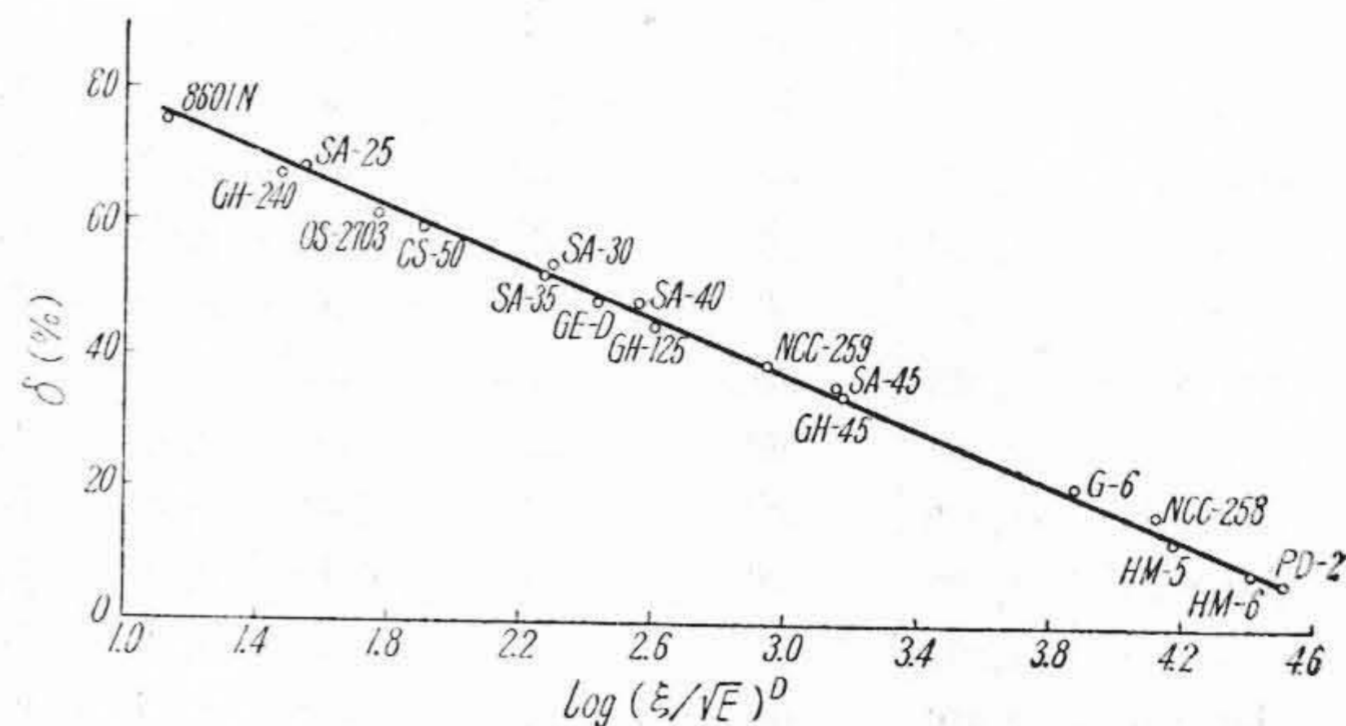
第 31 圖 $\log \xi/\sqrt{E}$ と無火花整流帯の變化率の関係
 Fig. 31 Relation between $\log \xi/\sqrt{E}$ and Regulation of Sparkless Commutating Zone.

ξ/\sqrt{E} 及び $\log(\xi/\sqrt{E})^D$ の関係を圖示すれば、それぞれ第 31 圖及び第 32 圖の如くなり、 δ は次式で表わせることを明らかにした。

$$\delta = a - b \log(\xi/\sqrt{E})^D$$

但し a, b は常數、 D は眞比重

安部氏或は林教授の理論では無火花整流帯の幅は負荷電流密度に無關係に一定であるから、上述の現象を説明



第 32 圖 $\log(\xi/\sqrt{E})^D$ と無火花整流帯の變化率の関係

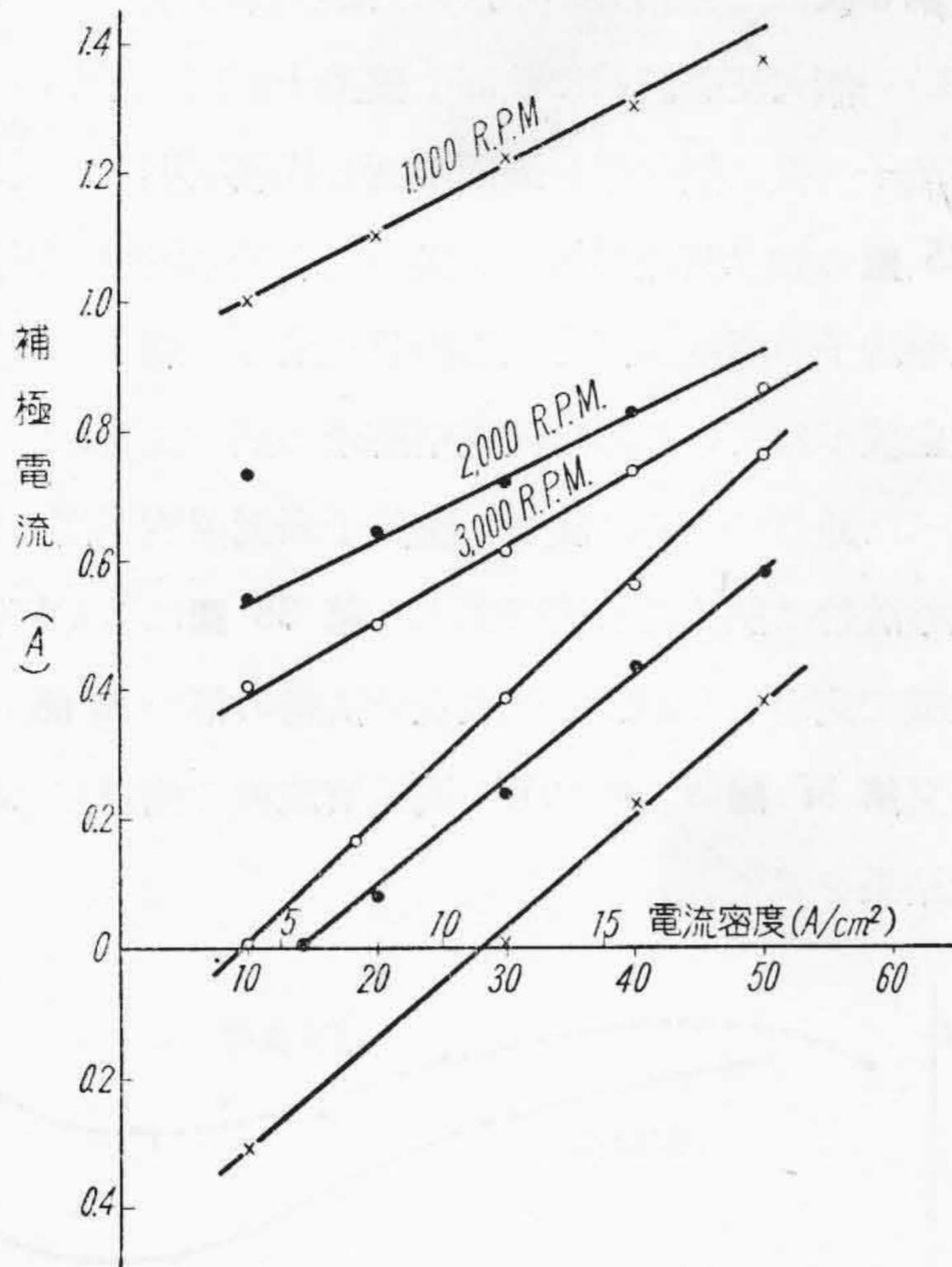
Fig. 32 Relation between $\log(\xi/\sqrt{E})^D$ and Regulation of Sparkless Commutating Zone.

することは困難である。筆者の理論によれば無火花整流帯は負荷電流が増大するに従つて狭くなり、又狭くなる割合は刷子の接觸抵抗が小さい程、又 ξ/\sqrt{E} が大きい小さいことを既に述べたが、これは上述の實驗結果と程よく一致する。

眞比重が無火花整流帯の變化率に影響する理由としては次のことが考えられる。即ち眞比重が大きい程接觸抵抗小さく、負荷電流の變化に對する刷子の電壓—電流曲線 (定常電流に尖頭電流を重疊した電流に對する特性曲線) の移動が少ないことを既に第 III 節で明らかにしたが、特性曲線の移動が少ない程負荷電流の増大による無火花整流帯の幅の減少が少ない。即ち ξ/\sqrt{E} が同じ場合には眞比重が大きい程無火花整流帯の變化率が小さい。

(6) 無火花整流帯に及ぼす回轉數の影響

回轉數が小さい程 (53) 式の V' 及び V''_{\max} は小さく、従つて V_{\max} は小さいから無火花整流帯は廣く、且その變化率も小さくなる筈である。第 33 圖に回轉數を變えて行つた整流試験結果の一例を示す。圖から明ら



第 33 圖 無火花整流帯に及ぼす回轉數の影響
Fig. 33 Effect of Peripheral Speed on Sparkless Commutating Zone.

かのように回轉數が小さい程無火花整流帯は廣く、且無火花整流帯の幅の狭くなる割合も少ない。第 33 圖から無火花整流帯の幅及び變化率を求めると第 4 表の如くなる。回轉數が著しく小さい場合には刷子の振動振幅は小

第 4 表 回轉數と無火花整流帯の幅及びその變化率の關係 (刷子 SA-40)

Table 4. Influence of Revolution Speed on Width of Sparkless Commutating Zone and its Regulation of Sparkless Commutating Zone.

R.P.M. 項目	I_p (A)	I_p' (A)	δ (%)
1,000	1.33	1.17	12
2,000	0.62	0.48	23
3,000	0.40	0.21	48

さくなり、刷子の材質に無關係に接觸状態は安定する。従つて整流は良好になる筈である。實際に低速機で試験した場合には刷子の優劣が表われないが、高速機で試験した場合には刷子材質によつて著しく差異が認められる。第 5 表は試験場で測定した整流試験成績を表にしたものである。機械の周速が如何に整流に影響するかがこの結果からよくわかる。

(7) 無火花整流帯に及ぼす刷子接觸面形の影響

刷子の接觸面を三角形にした場合には整流が良好になることは既によく知られていることであるが、林教授はこれを理論的に明らかにした⁽²⁾。(54)式で刷子出口の幅 yr を小さくすることは ezr を大きくすることになる。又 yr を小さくすることは第 22 圖の直線の傾斜を小さくすることになるから、負荷電流の増加に對する ezr

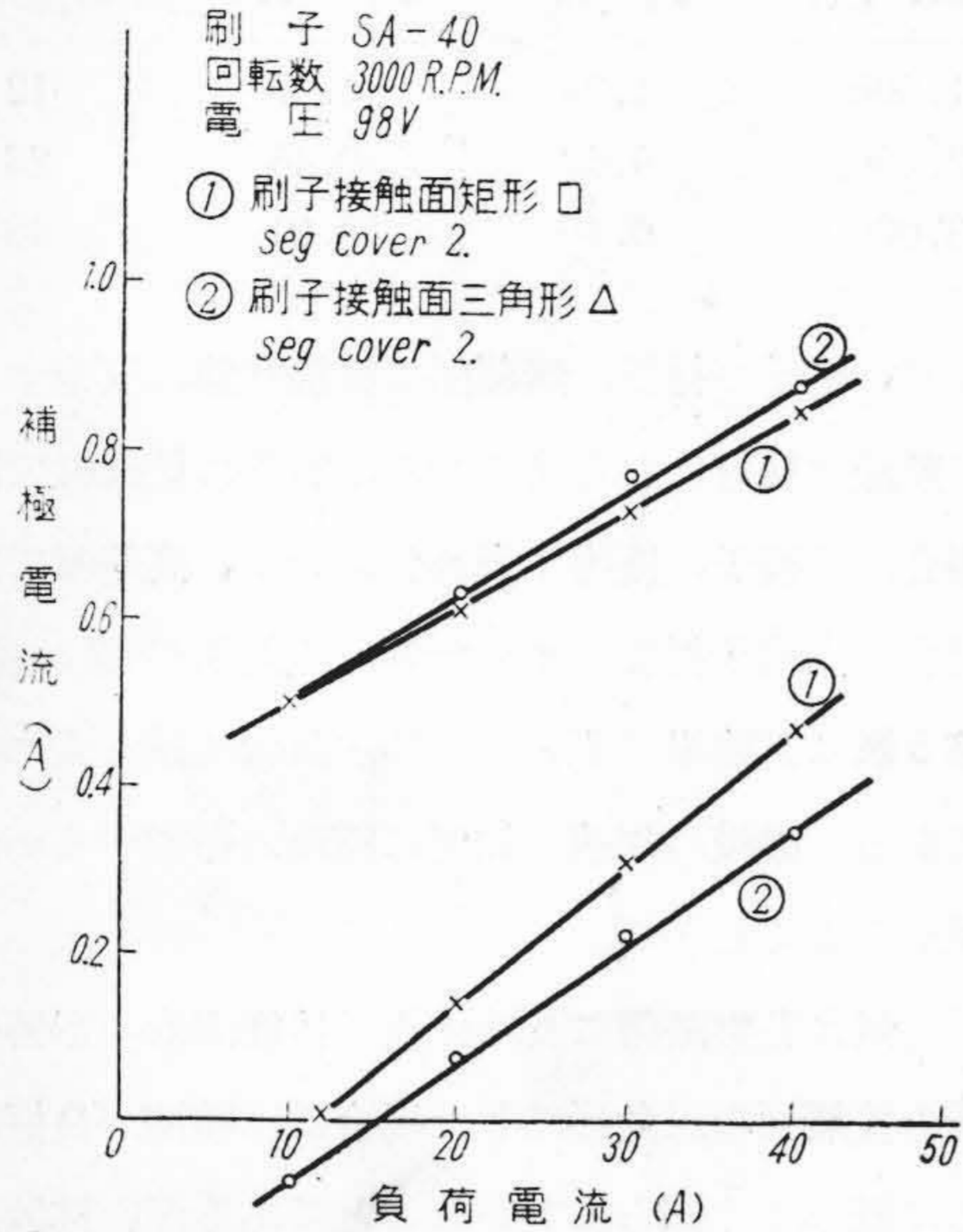
第 5 表 刷子整流試験成績表

Table 5. Results of Commutation Tests of Brushes.

周速 m/sec	63.6	628	51.8	49.5	44	31.1	30.2	25.3	22	20.7	18	16.3	14.2	11.2	8.8	6.3	5.6	成績 順 位
電流密度	12.6	13	12.2	11.5	12	8.1	7.4	2.5	8.5	8	5.5	5.5	5.7	6.9	5.4	3.3	5.7	
馬力 (IP)	380	255	120	90	60	55	1000 kW	4 kW	100 kW	46	10	75	10	1	75	20	75	
電壓 (V)	220	220	220	220	220	330	250	100	225	240	220	330	100	100	220	220	240	
刷子																		
GH-45	°1	°1						°1	°1	°1	°1		°1					1
SA-45	°2	°2	°1		°1													2
Ncc-259	°3			°1		°1						°1						3
OS-602	△4	°3	°2	°2	°2		°2		°2	°2								4
Ncc-255								°2										5
OS-2703				△3		△2		△3				°2	°2	°1		°1		6
EG-AS				△4							△	△3	°2	△	△4	°1		7
EG-GS																°2		8
EG-5																△3		9
RC-A																	△2	10

° 印合格 △ 印不合格 數字は成績順位を表わす

の減少も小さくなる。即ち刷子出口の幅を小さくすることにより無火花整流帯を広く、且その變化率も小さくすることが出来る筈である。第34圖に刷子断面を通常の矩形断面とした場合と三角形断面にした場合の試験結果

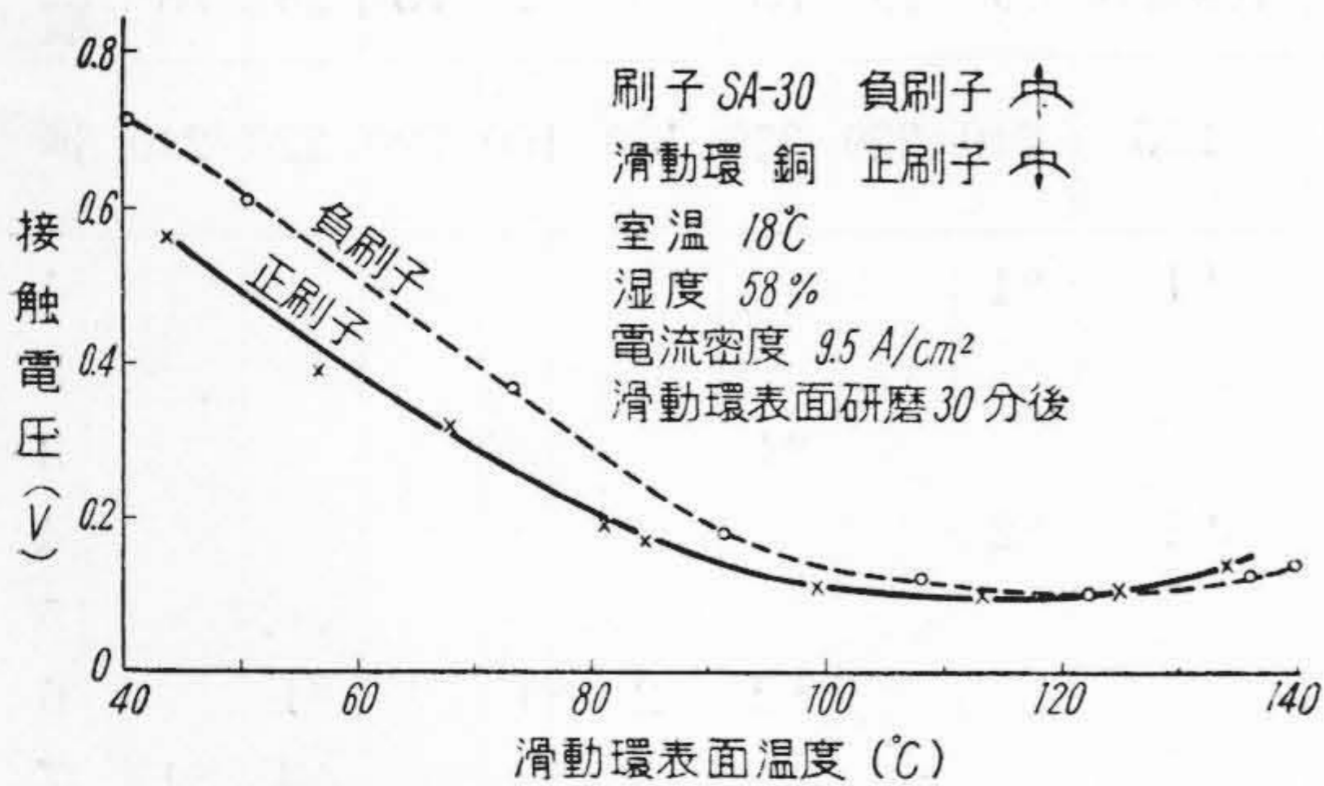


第34圖 無火花整流帯に及ぼす刷子接触面形の影響
 Fig. 34 The Effect of Shape of Brush Contact Surface on Sparkless Commutating Zone.

第6表 無火花整流帯に及ぼす刷子断面形の影響
 (刷子 SA-40)

Table 6. The Effect of Brush Section on Sparkless Commutating Zone. (Brush SA-40 used)

接触面の形状	I_p (A)	I_p' (A)	δ (%)
矩形断面	0.54	0.42	2.2
三角形断面	0.57	0.54	5.6

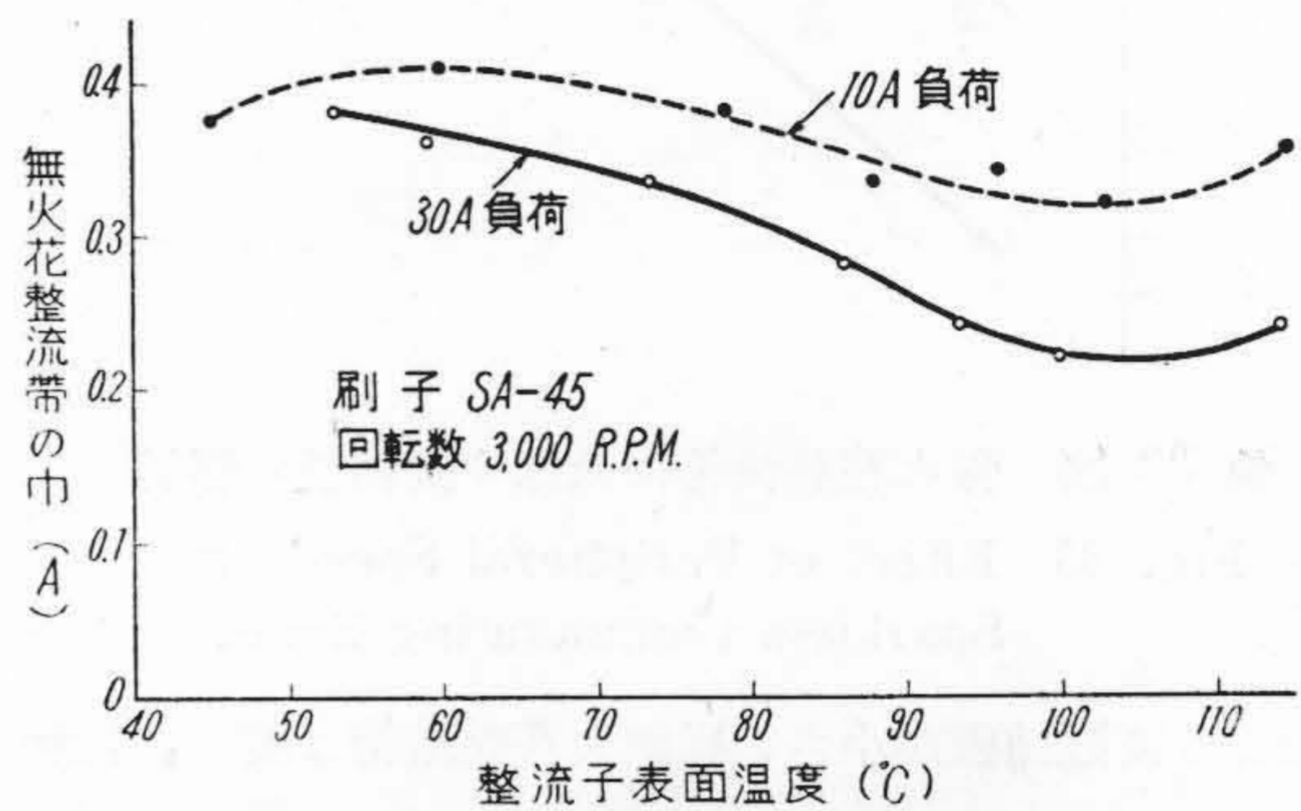


第35圖 滑動環表面温度と刷子接触電圧との関係
 Fig. 35 Relation between Surface Temperature of Slip Ring and Brush Contact Drop.

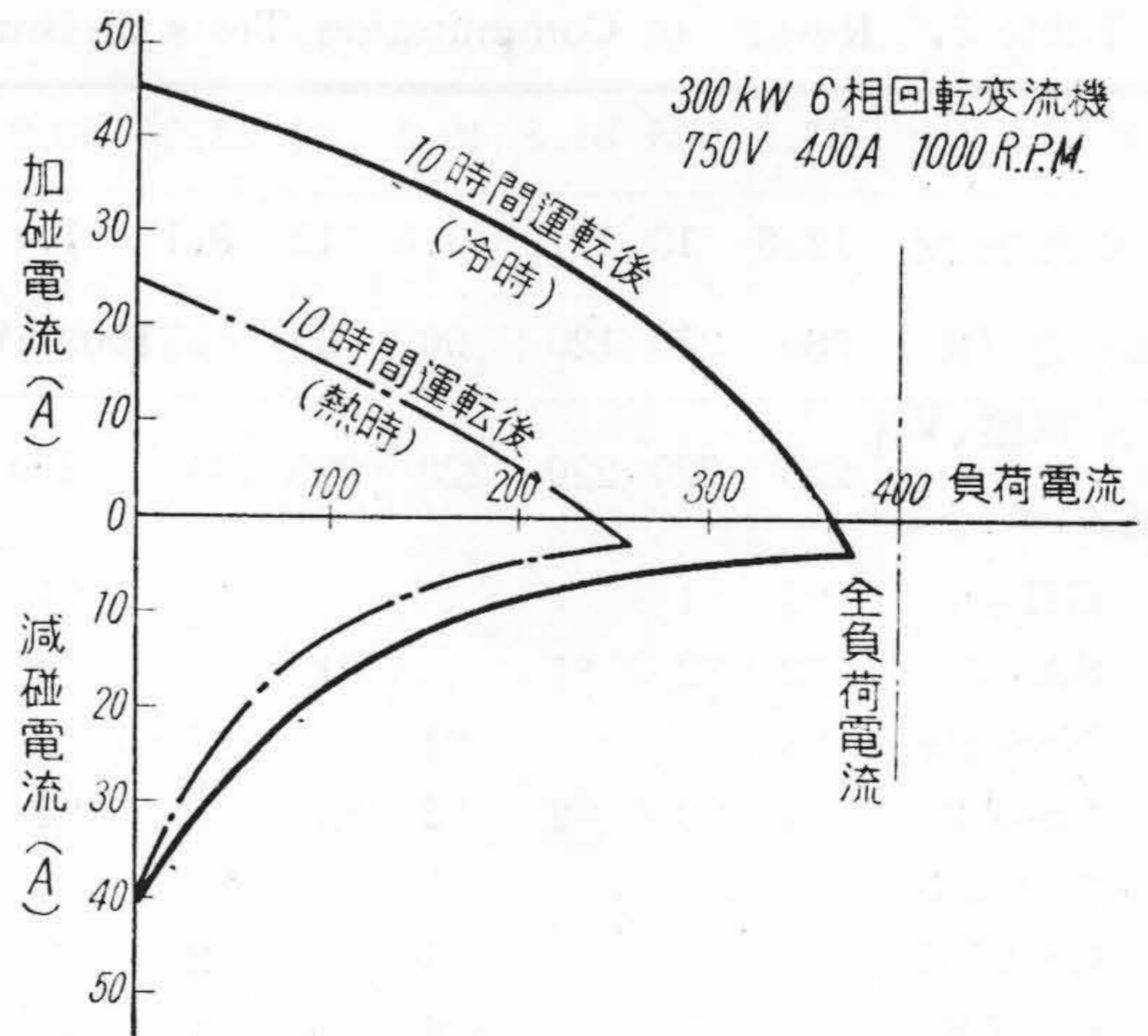
を又第6表にこの結果から求めた變化率を示す。

(8) 無火花整流帯に及ぼす整流子温度の影響

整流子(又は集電環)表面温度と接觸電圧との間には第35圖の如き關係がある。従つて刷子の電壓—電流曲線は整流子の温度が高くなる程ねて来る。刷子の電壓—電流曲線がねている程無火花整流帯の狭いことは既に屢々述べた通りである。従つて整流子表面温度が高い程無火花整流帯は狭くなる筈である。第36圖に3kW整流試験機で測定した温度と無火花整流帯の幅の關係を示す。又第37圖に300kW回轉變流機で測定した整流試験結果を示す。



第36圖 整流子表面温度と無火花整流帯の幅の關係
 Fig. 36 Relation between Surface Temperature of Commutator and Width of Sparkless Commutating Zone.



第37圖 無火花整流帯に及ぼす温度の影響
 Fig. 37 The Effect of the Temperature of Commutator on Sparkless Commutating Zone.

(9) 異常刷子の無火花整流帯

以上は正常刷子についての實驗結果であるが、異常刷子とも稱すべき黒鉛化不足の刷子、灰分の非常に多い刷子或は粒子の結合の著しく不良な刷子は著しく摩擦振動を起し、接觸状態は不良となる。斯の如く刷子が著しく振動して接觸面が非常に變動する場合には第 22 圖の直線の傾斜は著しく變化するため火花の發生は不安定となり、又無火花整流帯は著しく狭くなる。これについての實驗結果は既に報告してあるので⁽³⁾、こゝには割愛する。

[V] 結 言

以上を要するに刷子出口及び入口の電流密度は刷子上に於ける平均の負荷電流密度に尖頭電流を重疊したものとなる。斯の如き電流に対する電壓曲線は平均負荷電流密度によつて變化する。そしてその變化は刷子の接觸抵抗に關係し、接觸抵抗が大きい程變化が大きい。又刷子は整流子面の凹凸偏心等のため回轉方向に角的動搖をし接觸面が變動する。その變動は ξ/\sqrt{E} が大きい程少ない。

以上の二性質を利用し林教授の整流理論の進展を試みた處、

1. ξ/\sqrt{E} が大きい程整流が良好である。
2. 接觸抵抗が大きい程整流が良好である。
3. 無火花整流帯は負荷電流密度が増加するに従つて狭くなる。
4. 無火花整流帯の狭くなる割合即ち變化率は ξ/\sqrt{E} が大きい程、又接觸抵抗が小さい程小さい。
5. 整流子温度が低い程整流が良好である。
6. 回轉數及び刷子出口の幅の小さい場合には無火花整流帯は廣く、且その變化率は小さい。

ことを理論的に明らかにすることが出来た。又これらの結果は實驗結果とよく一致する。

本研究を行うに當つて種々御指導を賜つた當所部長三浦博士及び牧課長並びに北大林教授に、又種々御援助を賜つた中野、島、木村、小林、武政の諸氏に對し厚く感謝の意を表す。尙實驗に種々御協力下さつた泉、川崎兩君に厚く感謝の意を表す。

參 考 文 獻

- (1) 安部：電學誌、60 卷、619 號、昭 15,2
- (2) 林： // 718 號、昭 23,8
- (3) 一木：日立評論々文集、9, 1949
- (4) E. V. Cox & H. W. Buck: El. E. Vol. 120 1895
- (5) E. Arnold : Gleichstrommaschinen, Bd. I.S. 268
- (6) R. B. Tiballs & Löwenberg & W. G. Burns: El. Wld. & Eng., 16, 9, 1899
- (7) R. Holm : Zeit. Tech. Physik, Heft 9, 10, 11, 1922
- (8) R. M. Baker : El. Jour., 9, 1934
- (9) // // // 11, //
- (10) 高橋：日評、20 卷、9 號、昭 12
- (11) Bowden : Proc. of Roy. Soc.
- (12) R. Holm : Wiss. Ver. Siemens, 18, 1939
- (13) Neukilhen : Kohlebürsten, 1934 (尾河武雄譯)
- (14) G. Dettamr : E. T. Z. S. 429, 1900
- (15) Baily & Clegorne : J. I. E. E. 162, 38, 1907.
- (16) R. E. Hellmund & L. R. Ludwig : El. Eng., 54, 1935.
- (17) 吉田：三菱電機、20 卷、1 號、昭 19.
- (18) 稻木：日評、16 卷、12 號、昭 8.

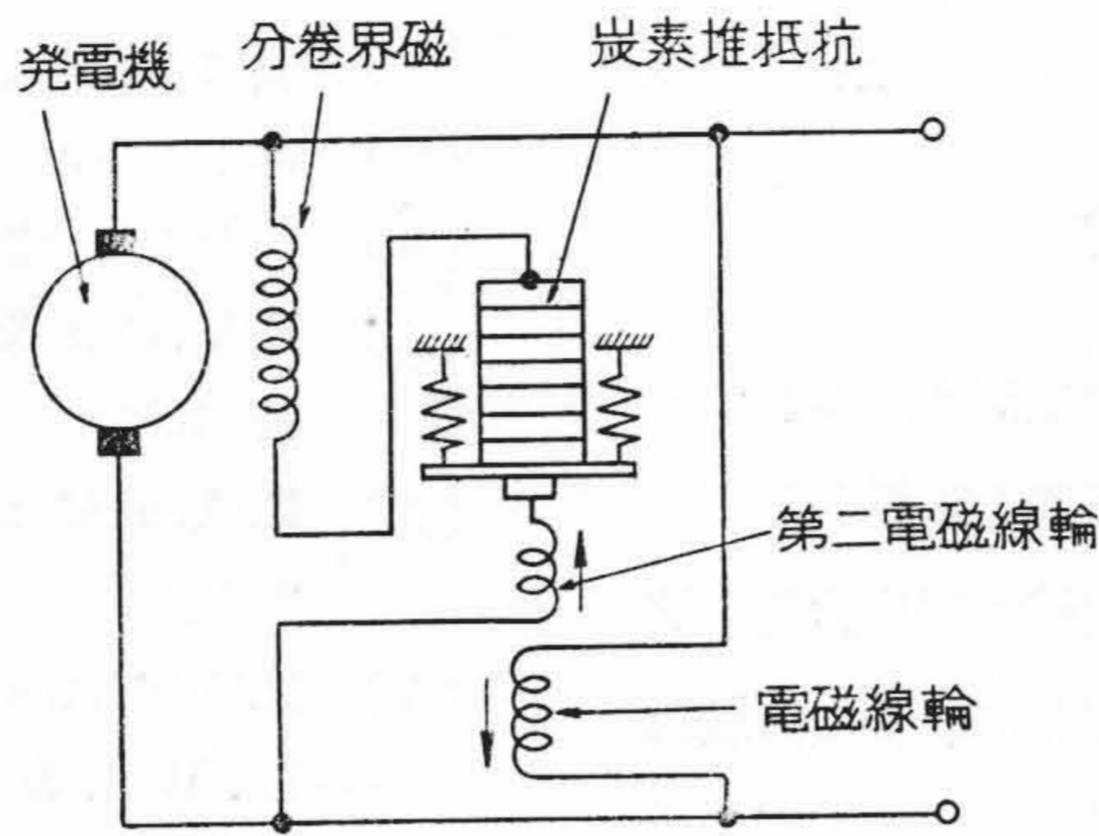
特許第 183335 號

小室 甲 二 郎

可 變 速 度 定 電 壓 發 電 機

直流發電機の分巻界磁に炭素堆抵抗を直列に接続し、この壓力を發電機電壓によつて附勢される電磁線輪を以て調整するようにした定電壓發電機は廣く使用されているが、從來のものは發電機が起動して電壓が発生すると、これが直ちに電磁線輪に動き炭素堆抵抗の壓力を減じ、その抵抗値を増大する。従つて正規

電壓確立まで時間を要する缺點がある。この發明は上記電磁線輪に對して差動的に働く第二電磁線輪を設け、これを界磁電流を以て附勢するようになし、電壓確立時に電磁線輪の力を相殺して、炭素堆抵抗値の増大することを防ぎ、速かに正規電壓を確立するようになしたものである。



(田 中)

登録新案第 317549 號

阿 部 哲 義

頭 付 キ ー 脱 止 装 置

頭付キーが軸の端面から裸出せる箇所の角部を、適當の長さだけ削つて切欠をつくり、この切欠に適合させる V 形切欠部を有し、直径が軸より大きい丸座金を、軸端面にボルト等により取りつける。

本考案によれば、頭付キーを軸端に打込みたる後、それを抜くことなく、そのままの位置で手仕上により簡単に加工することが出來、頭付キー及びボスの脱出を確實に防止し得る。

(會 田)

