

# 刷子の摩擦特性

一 木 利 信\*

## Frictional Characteristics of Brushes

By Toshinobu Ichiki

Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

### Abstract

Frictional characteristic is important for sliding contact such as between brush and commutator. Therefore, the writer conducted on some experiments about it.

It is necessary that the coefficient of friction is small, but good sliding contact of brush is more important. Then the writer conducted on the next experiments. (1) the relation between physical and frictional characteristics of carbon brushes (2) the relation between brush material and frictional vibration (3) the effect of electric current on the frictional characteristics (4) the relation between physical characteristics and coefficient of friction of metal graphite brush. The results are as follows.

- (1) The coefficient of friction of carbon brush is related to its degree of graphitisation
- (2) The coefficient of friction of under-graphitising brush is large and such a brush vibrates.
- (3) The coefficient of friction of brush having large true density as natural graphite brush increase according to progress of operating time, but such a brush does not vibrate.
- (4) When the quantity of impurity is much or the connection of grains is poor, brush vibrates.
- (5) The coefficient of friction of metal graphite brush is related to the contents of graphite.

### [I] 緒 言

刷子と整流子（又は集電環）の摺動接触の基本的要素の一つは摩擦係数である。それ故に、摩擦特性を研究して置くことは実際の電気機械に於ける刷子の動作特性を理解する上に絶対に必要と考える。例えば、黒鉛化不足の刷子がチャタリングを起す如き、或はチャタリングを起していた刷子が温度が、上昇すると急に静かになる如き、現象は摩擦特性を考えなくては説明出来ない。

多くの研究者の努力に拘らず、未だ摺動摩擦の機構について十分な説明が与えられていない。これは摩擦現象

が多くの要素に関係し、その研究に非常な困難を伴うためであろう。刷子の摩擦特性の研究に於いてはその感を特に深くする。即ち刷子の摩擦係数は整流子表面状態、整流子温度、湿度、室温、ガス、刷子の振動等の影響を受けるもので、特に整流子表面状態によつてその摩擦係数は著しく異なるものである。整流子表面が不清浄な程摩擦係数を増大せしめることは良く経験することで、例えば酸類蒸気、塩素ガス、その他の腐蝕性の化学薬品蒸気の影響を受ける如きはその一例である。

刷子と整流子（又は集電環）が摺動接触を行う場合、刷子の摩擦係数の小さいことは勿論必要であるが、接触状態の良好であるべきことは更に必要である。従来は摩

\* 日立製作所日立研究所

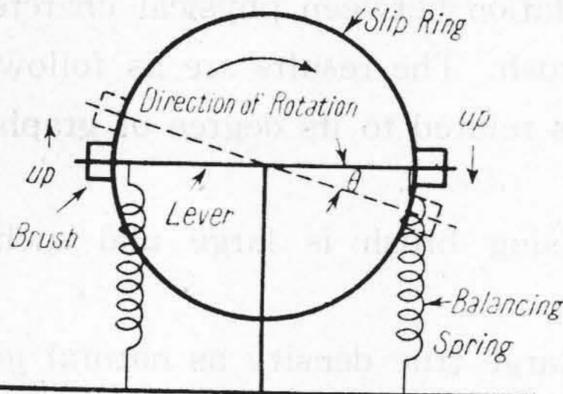
摩擦係数の大小のみを問題にし、刷子の振動については余り問題にしなかつた。摩擦係数が小さくても刷子が振動しては刷子と整流子（又は集電環）との良好な接触は保たれない。刷子と整流子の接触状態は刷子保持器の構造保持筐と刷子の間隙、機械の振動、雰囲気の状態等の影響を受けることは勿論であるが、刷子材質によつても非常に影響を受ける。

先に筆者は刷子の摩擦係数並びに刷子の振動を同時に測定出来る装置を考案したが<sup>(1)</sup>、本論文はその測定器を使用して摩擦特性について研究した結果である。なお温度と摩擦係数の関係については既に明らかにしたので<sup>(2)</sup>ここにはこれを割愛する。

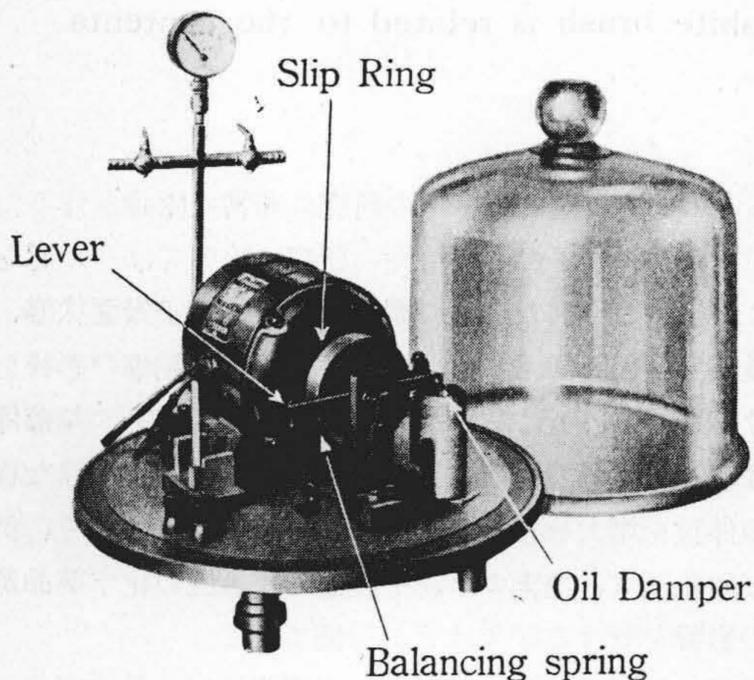
### [II] 測 定 器

筆者の考案した摩擦係数測定器については既に報告したので<sup>(1)</sup>、ここにはその概要を述べる。

第 1 図に測定器の説明図を、又第 2 図に測定器の外観を示す。第 1 図に於いてレバーは滑動環の中心軸と同一中心軸で支えられ、その両端には刷子保持筐が固定して



第 1 図 測 定 器 説 明 図  
Fig. 1. Schematic Diagram of Measuring Method for Friction Coefficient of Brushes



第 2 図 刷子摩擦係数測定器  
Fig. 2. Brush Friction Tester

ある。いま刷子押え全圧力を  $P$ (kg) 摩擦係数を  $\mu$  とすればレバーは  $2\mu P$  の回転力をうけて滑動環の回転方向に  $\theta$  だけ回転し平衡用スプリングと釣合つて点線の位置で止る。この場合のレバーの変位を  $x$  とすれば

$$2\mu P = kx$$

但し、 $k$  は平衡用スプリングのバネ常数

従つて、レバーの変位  $x$  を測定することによつて刷子の摩擦係数  $\mu$  を測定することができる。

レバーの一端及び刷子の頭部に凹面鏡を貼付け、3 エレメント電磁オシログラフの光源箱をそのまま利用しレバーの変位及び刷子の振動を感光紙に記録して求めた。

### [III] 炭素刷子の摩擦係数に及ぼす物理特性の影響

(1) 市販炭素刷子の摩擦係数及びその他の物理特性  
炭素刷子の摩擦係数とその他の物理特性の関係を明らかにするため、先ず各種炭素刷子の摩擦係数及びその他の物理特性を測定した。その結果を第 1 表（第 41 頁参照）及び第 2 表（第 42 頁参照）に示す。これらの結果から市販炭素刷子の摩擦係数は固有抵抗、見掛比重、硬度、灰分等には殆んど関係なく、次に述べる真比重と密接な関係のあることが判つた。

#### (2) 真比重と摩擦係数

刷子は多孔質であるため、刷子には見掛比重と真比重とがある。真比重は炭素の黒鉛化度と密接な関係があり現在では黒鉛化の程度を数量的に表わす最良の方法とされている。

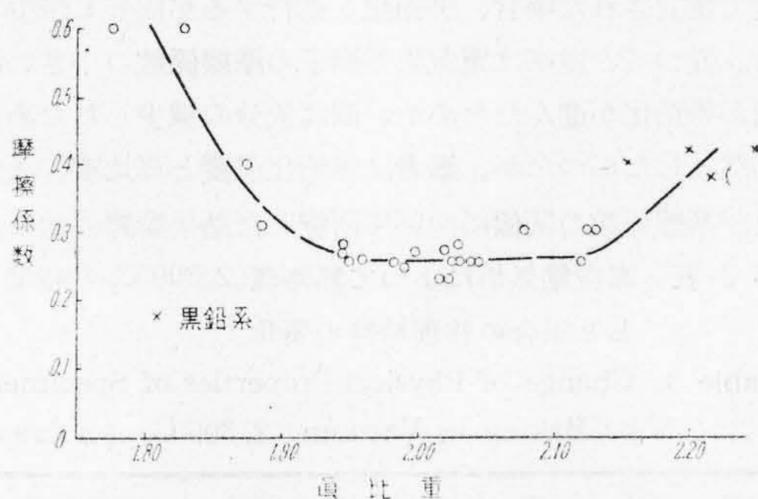
各種市販刷子の真比重と摩擦係数の関係を図示すれば第 3 図の如くなることは既に明らかにした通りである<sup>(3)</sup>これより一般に市販されている刷子については次のことが云える。即ち、原料、配合割合、製造工程及び製造方法等が異なるものであつても摩擦係数はその真比重即ち黒鉛化度によつて大体定まる。真比重は刷子全体の平均値であるから真比重が大きくても刷子材の中に黒鉛化の進まない部分が若干含まれている場合、例えば、黒鉛をタールで固めたのみで黒鉛化しないような場合には真比重は大きくても黒鉛化しないタールの残留炭素のため摩擦係数は大きく、刷子は摩擦振動をする。しかし、斯の如き刷子は現在では殆んど市販されていないから、ここではこれを除外する。第 3 図の結果から真比重が 1.95 以下になると摩擦係数は急に大きな値となるが、又黒鉛化度が極度に高く、真比重が 2.25 附近のものも摩擦係数が比較的大きいことがわかる。

黒鉛化度の極度に高い刷子即ち、真比重が 2.25 に近いものを使用すると、整流子面（或は集電環面）に黒鉛が黒く附着する。整流子面に黒鉛が黒く附着すると摩擦

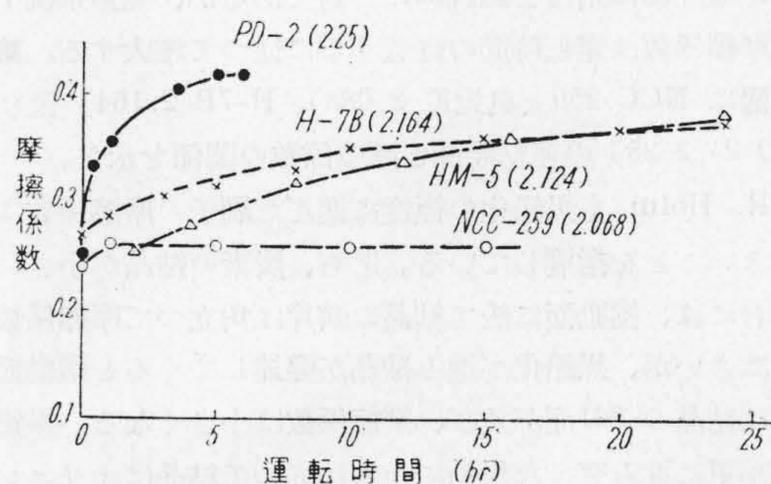
第1表 外国製著名炭素刷子の摩擦係数及びその他の物理特性

Table 1. Coefficient of Friction and the other Physical Properties of Foreign Manufacture Carbon Brushes

製造会社	刷子名称	固有抵抗 ( $\Omega$ -cm)	見掛 比重	真比重	抵抗力 (kg/cm <sup>2</sup> )	弾性率 (10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	硬度( Shore A)		灰分 (%)	摩擦係数
							加圧面	側面		
ナショナル (米国)	SA-25	0.0051	1.60	1,926	313	89.9	54~58	51~53	0.11	0.28
	SA-30	0.0056	1.58	1,944	208	71	48	43	0.12	0.28
	SA-35	0.0062	1.53	1,950	159	65	45	42	0.10	0.26
	SA-40	0.0061	1.54	1,960	122	47	45	40	0.12	0.26
	SA-45	0.0073	1.48	2,017	100	39.5	40~41	35~38	0.10	0.26
	NCC-255	0.0042	1.70	1,993	184	87.9	57~67	44~59	0.10	0.25
	NCC-258	0.0023	1.65	2,120	280	83.4	33~37	28~34	—	0.27
	NCC-258	0.0020	1.60	2,122	180	45.0	35	30	0.13	0.27
	NCC-259	0.0041	1.53	2,068	200	56	43~53	41~49	0.07	0.26
モルガナイ ト (英国)	EG-12	0.0023	1.55	2,033	—	51.7	58	55	—	0.28
	EG-7785	0.0043	1.66	2,009	—	—	—	—	—	0.23
	EG-7788	0.0036	1.72	2,017	390	—	—	—	2.23	0.23
	HM-5	0.0019	1.55	2,129	—	86	—	—	4.5	0.25~0.38
	HM-6	0.0024	1.18	2,109	—	48	—	—	—	0.25~0.42
ローレン	7091	0.0029	1.41	2,083	185	66.1	30~32	20~25	0.30	0.26
ルカーボン	EG-3398	0.0046	1.68	2.02	328	75	—	—	0.26	0.23
リングスド ルフ (独逸)	8618	0.0027	1.60	2,000	—	124.2	50	50	0.36	0.28
	8601 N	0.0041	1.61	1,999	440	115.3	50~53	47~49	0.05	0.27
	Ru-5	0.0016	1.32	2,213	79	59.7	14	11	7.18	0.28~0.38
シーメンス (独逸)	4962	0.0041	1.66	—	311	77.5	48~52	46~48	—	0.27
	H-7B	0.0064	1.49	2,164	80	44.3	43	12	0.70	0.27~0.38
	H-7F	0.0056	1.49	2,195	90	120	18~19	15~16	0.22	0.25~0.40
スタックポ ール	L-31	0.0033	1.67	2,075	460	92.5	61	57	0.18	0.27
ジーイー	GE-D	0.0019	1.75	2,120	280	78.1	50	44	—	0.26



第3図 真比重と摩擦係数の関係  
Fig. 3. The Relation between True Density and Coefficient of Friction of Erushes



第4図 運転時間と摩擦係数の関係  
Fig. 4. The Relation between Running Time and Coefficient of Friction

第2表 国産刷子の摩擦係数及びその他の物理特性

Table 2. Coefficient of Friction and the other Physical Properties of Japanese Carbon Brushes

製造会社	刷子名称	固有抵抗 ( $\Omega$ -cm)	見掛 比重	真比重	抵抗力 (kg/cm <sup>2</sup> )	弾性率 (10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	硬度( Shore A)		灰分 (%)	摩擦係数
							加圧面	側面		
L	L-1	0.0024	1.76	2,014	—	90	53	49	—	0.27
	L-2	0.0016	1.73	2,160	—	101.6	40	35	0.30	0.35
	L-3	0.0054	1.54	1,917	130	62	43~45	38	0.17	0.30
	L-4	0.0016	1.64	2,083	300	73.7	52~57	32~35	0.25	0.30
	L-5	0.0012	1.60	2,150	250	90	—	—	0.13	0.30
	L-6	0.0012	1.58	2,153	140	65	11~13	10~11	0.10	0.25~0.40
	L-7	0.0030	1.76	1,987	400	138	55~58	53	0.50	0.25~0.32
	L-8	0.0066	1.45	1,95	93	36	—	—	0.28	0.27
M	M-1	0.0045	1.60	1,99	230	84.3	55~60	50~55	—	0.24
	M-2	0.0078	1.47	2,028	85	40	43~48	38~45	0.28	0.26
	M-3	0.0023	1.60	2,122	250	65	30	25	—	0.30
	M-4	0.0092	1.77	2,159	210	115.4	22	18	—	0.28
	M-5	0.0017	1.67	2,129	220	73.5	—	—	—	0.30
	M-6	0.0023	1.53	—	250	57	15	13	4.49	~0.43
	M-7	0.0054	1.52	1,962	200	65	50~60	45~53	—	0.24
	M-8	0.0090	1.60	—	—	—	31~32	21~24	0.14	~0.40
N	N-1	0.0070	1.48	1,980	100	38	—	—	0.10	0.27
	N-2	0.0045	1.40	2,100	200	52	—	—	—	0.25
	N-3	0.0020	1.60	2,130	380	100	—	—	—	0.26
	N-4	0.0022	—	2,110	455	79	45~52	45~47	0.35	0.27
	N-5	0.0017	1.42	2,250	50	20.4	—	—	0.01	0.25~0.42
O	O-1	0.0037	1.64	1,979	205	87	51~65	42~58	—	0.32
	O-2	0.0040	1.50	1,889	298	108	48~55	40~48	—	0.31
	O-3	0.0048	1.56	1,88	205	98.5	—	~	—	0.40
	O-4	0.0042	1.49	1,769	—	—	55~60	48~52	—	0.60
	O-5	0.0021	1.77	—	420	164	53	42	—	0.20

係数は大きくなるが、これを除去すると摩擦係数は小さくなる。油煙系及びピッチコークス系刷子の摩擦係数は運転時間には殆んど無関係に一定であるが、黒鉛系刷子の摩擦係数は運転時間の経過するに従って増大する。第4図に NCC-259 (真比重 2.068), H-7B(2.164) 及び PD-2 (2.25) の運転時間と摩擦係数の関係を示す。

R. Holm も黒鉛化の極度に進んだ刷子の摩擦係数は大きいことを指摘している。即ち、炭素の結晶が小さい場合には、摺動面に於て結晶の鱗片は角立つて摩擦係数は大きい、黒鉛化が進み結晶が発達してくると摺動面には結晶の 001面が並び、摩擦係数は小さくなる。黒鉛化が更に進み完全な黒鉛になるに従って結晶はオリエンテーションし易く、従って、摺動面には酸化物もなく、水分の附着し難い黒鉛との接触になるため摩擦係数が比較的大きな値となると述べている<sup>(4)</sup>。

電気黒鉛刷子は通常 2,200~2,500°C の高温で焼成(所謂黒鉛化)されたものである。刷子材が斯の如き高温で焼成された場合、黒鉛化も進行するが灰分も減少する。従って、従来は電気黒鉛刷子の摩擦係数の小さい原因が黒鉛化が進んだためか、或は灰分の減少したためか判然としなかつたが、筆者は黒鉛化温度と真比重、灰分及び摩擦係数の関係について研究した結果摩擦係数には第3表 真空電気炉によつて熱処理(2,300°C 4時間)した場合の物理特性の変化

Table 3. Change of Physical Properties of Specimens by Baking in Vacuum (2,300°C, 4 hours)

項目	真比重	灰分(%)	摩擦係数
黒鉛化前	1.73	1.98	0.8
黒鉛化後	1.83	0.05	0.6

第4表 真空電気炉で黒鉛化した場合の黒鉛化温度と摩擦係数及び灰分の関係  
Table 4. The Relation between Graphitising Temperature and Coefficient of Friction and Impurity when Graphitisation is Made in Vacuum

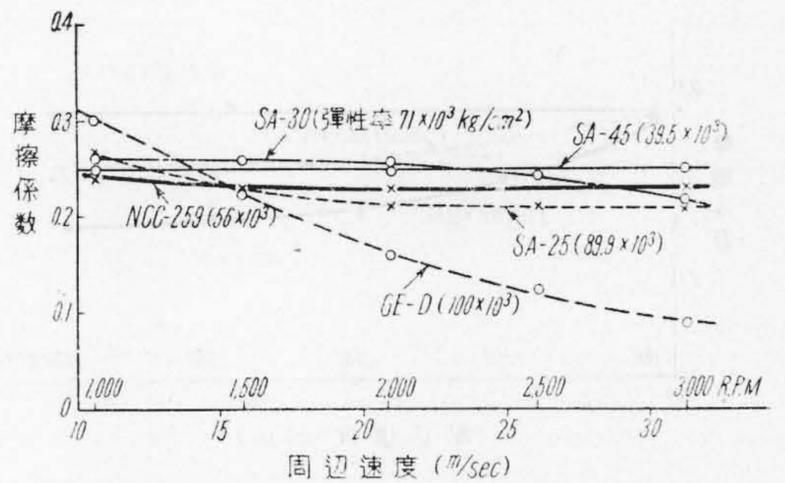
試料	項目	黒鉛化温度 °C		2,220~2,225		2,275~2,310		2,400~2,450		2,450~2,500		2,600~2,650		2,650~2,700	
		2,000~2,040	2,220~2,225	2,220~2,225	2,275~2,310	2,400~2,450	2,450~2,500	2,600~2,650	2,650~2,700						
		黒鉛化時間		2 hr		30 min		1 hr		30 min		15 min		20 min	
B	摩擦係数	—	0.47	—	0.45	—	0.39	0.34	0.34	—	—	—	—	—	—
	灰分 %	—	0.40	—	0.07	—	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—
D	摩擦係数	0.46	0.40	0.40	0.39	0.37	0.37	0.35	0.31	—	—	—	—	—	—
	灰分 %	—	0.35	—	—	—	0.15	0.24	—	—	—	—	—	—	—

黒鉛化度の影響することを先に発表した。又筆者は真空電気炉で黒鉛化を行つた場合には、抵抗式電気炉で黒鉛化した場合に比し黒鉛化し難いことを発見したので、これを利用して摩擦係数には黒鉛化度が影響するものか、或は灰分が影響するものかを確認するため、次の実験を行つた。即ち、真比重 1.73, 灰分 1.98% の一次焼成 (1,000°C) を行つた油煙系刷子の素材を真空電気炉で 2,300°C 4 時間黒鉛化した後、その摩擦係数、灰分、真比重を測定した。その結果を第3表に示す。又一次焼成を行つた刷子素材B (油煙系) 及びD (主原料ピッチコークス及び黒鉛) を真空電気炉で黒鉛化した場合の灰分と摩擦係数の測定結果を第4表に示す。これらの結果から、真空電気炉で黒鉛化した場合には、灰分は少ないが、摩擦係数が大きいことが判る。

以上のことから摩擦係数を左右するものは灰分ではなくて、炭素の黒鉛化程度であることが明らかである。即ち非晶形炭素は黒鉛化せられるに従い潤滑性を増し摩擦係数が低下する。勿論、灰分もその成分及びその量によつては摩擦係数に影響を及ぼすが、現在市販されている刷子の如く、高温で黒鉛化されたものは灰分が極めて少く、この程度の灰分では摩擦係数に殆んど影響しない。

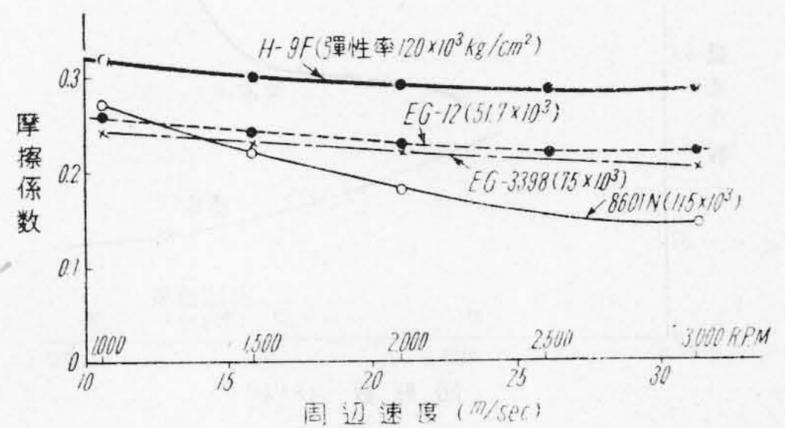
(3) 弾性率と摩擦係数

一般に周辺速度が大きくなるに従つて摩擦係数は減少するものとされている。高橋氏は周辺速度と刷子の摩擦係数の関係に弾性率が影響することを明らかにしている<sup>(5)</sup>。筆者は 3kW 整流試験機を用い、電動機入力法により各種市販刷子の周辺速度と摩擦係数の関係を求めた。第5図~第8図にその結果を示す。これらの結果から周辺速度と摩擦係数の関係は高橋氏が指摘している如く、弾性率に影響することが判る。即ち、一般に周辺速度が増大するに従つて摩擦係数は減少する。又摩擦係数の減少の程度は概して弾性率の大きい刷子程大きい。弾性率が大きい場合には、周辺速度が増大するに従つて刷子と整流子の接触が悪くなるために摩擦係数が減少す



第5図 摩擦係数に及ぼす周辺速度の影響 (その1)

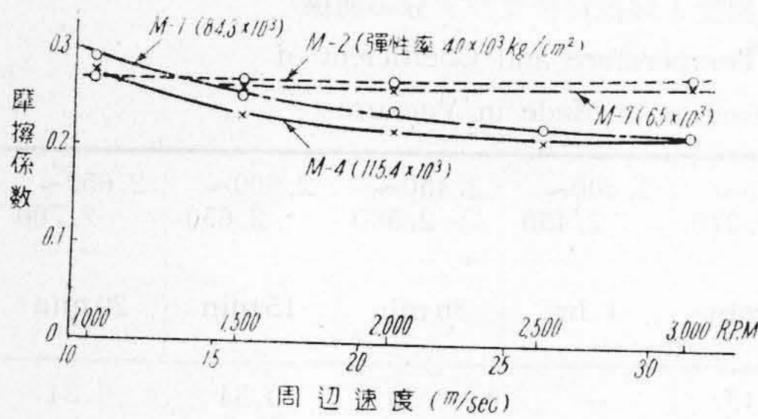
Fig. 5. The Effect of Peripheral Speed on Coefficient of Friction



第6図 摩擦係数に及ぼす周辺速度の影響 (その2)

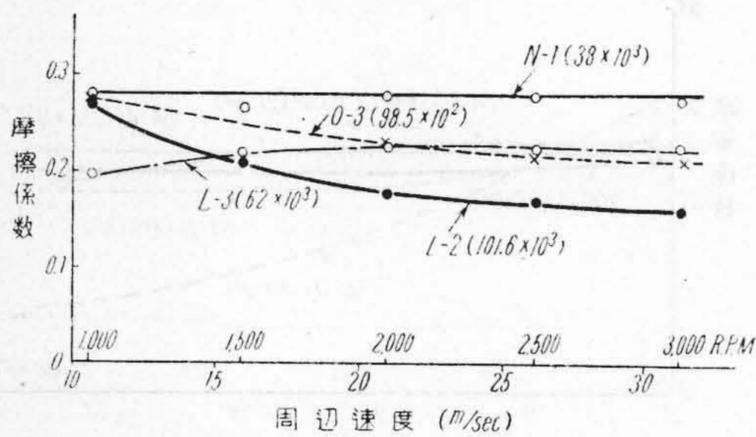
Fig. 6. The Effect of Peripheral Speed on Coefficient of Friction

るものと考えられる。高速度機で整流の良い SA-45, N-1 及び M-2 の摩擦係数は周辺速度に無関係に殆んど一定であるが、これら刷子の弾性率は何れも小さい。刷子が不良でチャタリングを起す場合には、その摩擦係数は周辺速度が増大するに従つて大きくなる。第9図にその一例を示す。



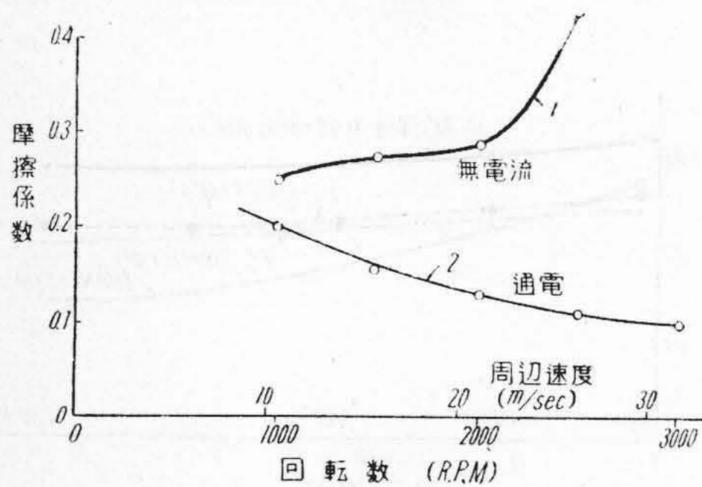
第 7 図 摩擦係数に及ぼす周辺速度の影響 (その 3)

Fig. 7. The Effect of Peripheral Speed on Coefficient of Friction



第 8 図 摩擦係数に及ぼす周辺速度の影響 (その 4)

Fig. 8. The Effect Peripheral Speed on Coefficient of Friction



第 9 図 刷子 N の周辺速度と摩擦係数の関係  
Fig. 9. The Relation between Peripheral Speed and Coefficient of Friction of Erush Grade N

[IV] 炭素刷子の材質と摩擦振動

刷子と整流子が摺動接触を行う場合雰囲気の状態或は刷子の材質によつては刷子が摩擦振動を起すことがある。これについては既に本誌で報告した<sup>(1)</sup>ので、ここにはその概要を述べた後前回報告した以後に行つた実験結果について述べる。

筆者は先に次の様な場合に刷子は振動することを明らかにした<sup>(1)</sup>。即ち

1. 煙草の煙を吹きかけた場合
2. 刷子材中に有害な灰分の残存する場合
3. 灰分の非常に多い場合
4. 刷子を構成している粒子の結合状態が著しく悪い場合

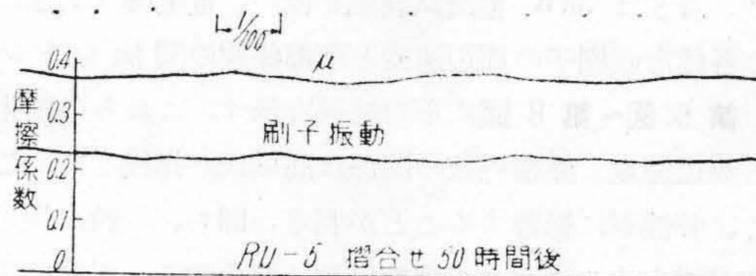
真空電気炉で刷子材を黒鉛化した場合には灰分は少くなるが、黒鉛化は余り進まず、摩擦係数の大きいことを既に述べたが、これらの刷子はどれも数千サイクルの摩擦振動を起し、その振幅は黒鉛化温度の低いもの程大きかつた。第 13 図 (a) に真空電気炉で 2,275~2,310°C 30 分間黒鉛化した C-5 の測定結果を示す。

真比重が大きい刷子の摩擦係数は運転時間が経過するに従つて大きくなり、その値は 0.4 前後になることを既に述べたが、斯の如き刷子は摩擦係数が大きいにも拘らず、刷子の接触状態は良好で、刷子は摩擦振動を起さない。第 10 図に Ru-5 の測定結果を示す。同図で 25 回の振動は滑動環の偏心による振動である。黒鉛系刷子の中には灰分の非常に多いものもあるが、このような刷子でも油煙系及びピッチコークス系の灰分の多い刷子に起るような摩擦振動は起らない。黒鉛は非常に潤滑性に富み、又整流子面 (又は集電環面) によく附着し易いため灰分が多くても良好な接触が保たれるものと思う。

以上の諸実験から刷子が摩擦振動を起す原因が大体判明したが、更に若干の刷子について摩擦振動及びその他の諸特性を測定した結果を第 5 表に示す。E(3)は灰分が過大なために、又 K は黒鉛化不足のために摩擦振動を起したものと考えられる。

以上の諸実験から次のような場合に刷子が摩擦振動を起すことが判つた。即ち

1. 刷子材が充分黒鉛化されていない場合
2. SiC のような硬い不純物が残存している場合
3. 不純物の量が多い場合 (但し黒鉛系の刷子では灰分が多くても、その影響が余り現われない)
4. 粗粒子を緩く成形して造る刷子で、粒子の結合状態が悪い場合



第 10 図 Ru-5 の 試 験 結 果  
Fig. 10. Result of Friction Test of Brush Grade Ru-5

第5表 供試刷子の諸特性

Table 5. Some Properties of Specimens

刷子名称	真比重	灰分	摩擦係数	刷子振動	備考
E (1)	2,1116	0.05	0.31	なし	
// (2)	2,125	0.03	0.31	なし	
// (3)	2,060	1.78	0.49	あり	灰分過大
// (4)		0.35	0.29	なし	
// (5)	—	0.30	0.24	なし	
K	1,945	0.64	0.37	あり	黒鉛化不足

第6表 供試刷子の物理特性

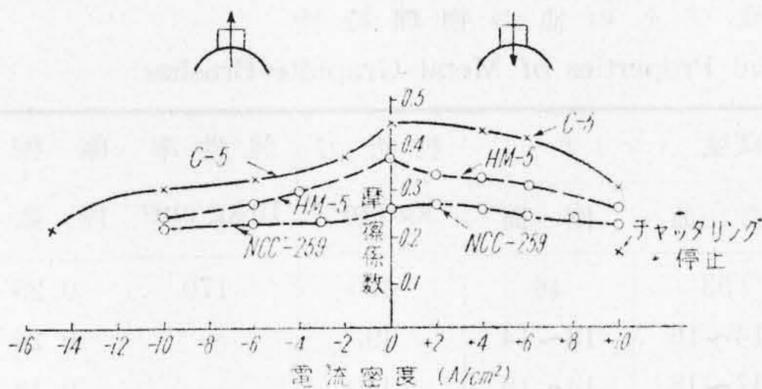
Table 6. Some Properties of Specimens

刷子名称	見掛比重	真比重	弾性率 10kg/cm <sup>2</sup>	抵抗力 kg/cm <sup>2</sup>	備考
NCC-259	1.60	2,068	56	200	
HM-5	1.55	2,199	86	45	黒鉛系
C-5	—	—	480		
E(1)	1.50	1,980	340	125	油煙系
E(2)	1.41	1,938	21.6	59	E(1)の不良品粒子の結合悪

[V] 炭素別刷子の材質と電流-摩擦特性

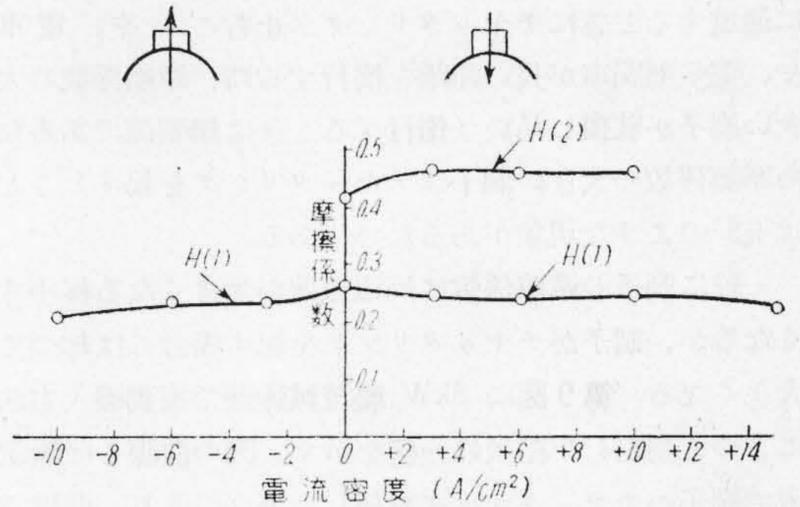
一般に電流には潤滑作用があり、通電すると刷子の摩擦係数は小さくなるものとされている。第6表の如き物理特性の刷子について電流摩擦特性を測定した。第11図及び第15図にその結果を示す。

NCC-259 及び H (1) の如く、通常の摩擦係数値を有する刷子の摩擦係数は電流の影響を受けることが少く通電を流を増しても摩擦係数は若干減少するのみである。然るに、真比重の大きな刷子に通電した場合には、電流密度が大きくなる程摩擦係数は著しく小さくなる。



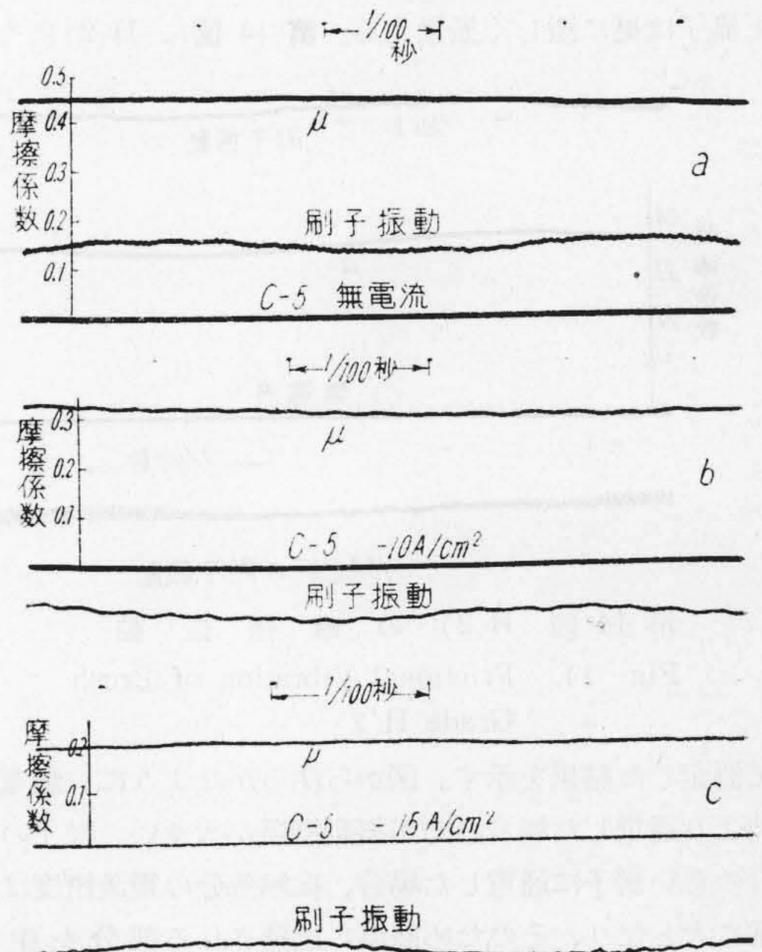
第11図 摩擦係数に及ぼす電流密度の影響 (その1)

Fig. 11. Effect of Current Density on Coefficient of Current



第12図 摩擦係数に及ぼす電流密度の影響 (その2)

Fig. 12. Effect of Current Density on Friction of Coefficient



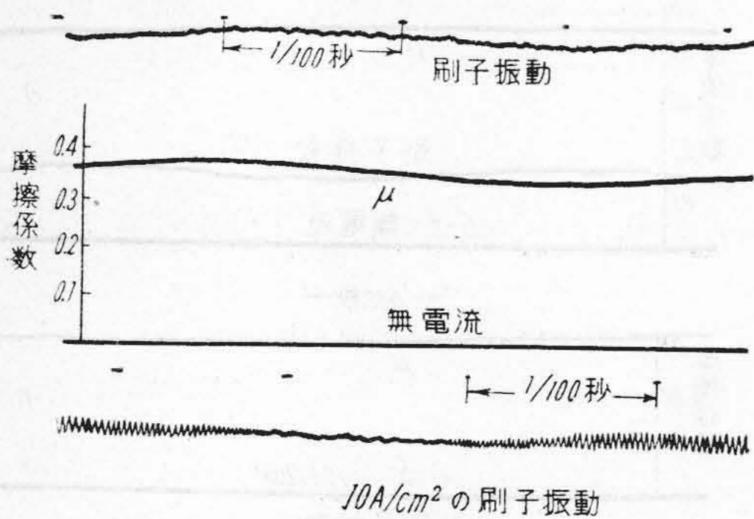
第13図 真空中で黒鉛化したC-5の試験結果  
Fig. 13. Result of Friction Test Brush Grade C-5 Graphitised in Vacuum Condition

(第11図 HM-5)。又黒鉛化不足の刷子を無電流で使用した場合には、その摩擦係数は大きく、又刷子は高い周波数で振動するが、摩擦係数は正常刷子の摩擦係数程度に小さくなるのみならず、刷子の振動数は低くなり、刷子の摺動音は小さくなる。第13図に測定結果の一例を示す。図のaは無電流の場合、bは10 A/cm<sup>2</sup>、cは15 A/cm<sup>2</sup>の電流を流した場合である。電流密度が高い程摩擦係数は小さく、又通電した場合には無電流時の場合のような高い周波数の振動が現われない。黒鉛化不足のためチャタリングを起して激しく振動している刷子

に通電すると急にチャタリングが止むことや、電車や、電気機関車が長い距離を惰行する時、摩擦係数の大きい刷子が破損し易い（惰行するときは無電流であるため摩擦係数の大きい刷子はチャタリングを起す）ことは上記のような現象があるためである。

一般に刷子の摩擦係数は周辺速度が大きくなる程小さくなるが、刷子がチャタリングを起す場合には却つて大きくなる。第 9 図に 3kW 整流試験機で電動機入力法によつて測定した結果の一例を示す。図の曲線 1 は無電流で刷子がチャタリングを起した場合であり、曲線 2 は通電した場合で、チャタリングは止み摩擦係数は小さくなった。

粒子の結合状態が著しく悪い場合には、刷子は摩擦振動を起すことを既に述べたが、斯の如き刷子に通電すると刷子は更に激しく振動する。第 14 図に H(2) につい



第 14 図 H(2) の 摩 擦 振 動  
Fig. 14. Frictional Vibration of Brush Grade H(2)

て測定した結果を示す。図から明らかなように、無電流時より通電した場合の方が振動振幅が大きい。粒子の結合の悪い刷子に通電した場合、接触部分の電流密度は非常に大となり、そのため高温に過熱される部分を生ずる。このような温度条件の下に刷子が崩壊し、緩い構成粒子は無電流の場合より一層多く整流子片で運び去られ

ることはほぼ疑う余地のない事柄であつて（粒子の結合が悪い場合には、ある温度条件の下に滑動環へ刷子の緩い構成粒子が運び去られたり、或は刷子の微粒子が離脱すると Neukirchen は述べている<sup>(6)</sup>）、これらの微粒子は途中で冷却した後、再び刷子面に触れるため接触障害を起す。この種刷子では高電流密度になる程粒子は離脱し易く、刷子の振動も大きくなる。このような場合でも集電環表面に布を軽く当て附着物を除去すれば摩擦係数及び摩擦振動は小さくなる。上述の如き粒子の結合の悪い刷子を実際に使用した場合、運転時間が経過するに従つて整流が著しく悪化し、高電流密度では使用出来ない。これについては既に発表した<sup>(7)</sup>。

### [VI] 金属黒鉛刷子の摩擦係数と他の物理特性の関係

金属黒鉛刷子の摩擦係数とその他の物理特性の関係を明らかにするために市販金属黒鉛刷子の摩擦係数及びその他の物理特性を測定した。第 7 表にその結果を示す。

第 7 表の結果から金属黒鉛刷子の摩擦係数は黒鉛量と関係があることが略々推察される。しかし、市販刷子はその原料、製造方法等が各社で異なるので、市販刷子から両者の関係を明らかにすることは困難である。そこで原料及び製造方法を同一とし、黒鉛と銅粉の配合割合を変え、冷圧法により刷子を試作し、これら刷子の摩擦係数を測定した。なお参考のため他の物理特性も測定した。又某社に於て配合割合を変えて試作した刷子についても測定を行つた。第 8 表に試作刷子の配合割合を、又第 9 表及び第 10 表に測定結果を示す。

第 9 表及び第 10 表から黒鉛含有量の少い時は摩擦係数は小さいが、黒鉛含有量が増すに従つて摩擦係数が増大することがわかる。黒鉛含有量が多い程黒鉛が集電環面に良く附着するため、黒鉛と黒鉛の摩擦となり、又黒鉛含有量が多い程刷子材の弾性率は小さくなるため接触が良好となり摩擦係数が大きくなるものと考えられる。

第 7 表 市販金属黒鉛刷子の摩擦係数及びその他の物理特性

Table 7. Coefficient of Friction and the other Physical Properties of Metal-Graphite Brushes

試料名称	成 分 %				見 掛 比 重	硬 度 (シ ョ ア ー)		抗 折 力 kg/cm <sup>2</sup>	弾 性 率 10 kg/cm <sup>2</sup>	摩 擦 係 数
	銅	黒 鉛	鉛	鉄		加 圧 面	側 面			
Eclipse S	39.25	60.15	—	—	2.5	53	46	490	170	0.25
MG-3R	72.80	24.82	2.04	0.34	4.95	14~16	13~14	497	—	0.20
MG-5R	65.68	32.06	1.93	0.33	4.55	17~18	14~15	440	—	0.18
MG-9R	51.64	47.65	—	0.71	2.6	23~24	18~19	322	—	0.22
MG-9RB	48.30	47.65	—	0.83	2.9	26~35	22~28	369	—	0.25
NCC-549	47.52	51.98	—	0.50	2.87	13~18	13~15	219	—	0.27
M-31	55	45	—	—	3.52	15~16	11~12	120	—	0.24

第 8 表 試料の配合割合  
Table 8. The Combination Ratio of Materials of Specimens

試料名称	成分 %	
	銅	黒鉛
F-1	50	50
F-2	40	60
F-3	30	70
F-4	20	80
F-5	10	90

第 9 表 金属黒鉛刷子の摩擦係数及び他の物理特性  
Table 9. Coefficient of Friction and the other Physical Properties of Specimens

試料名称	見掛比重	抵抗力 kg/cm	弾性率 $10^3 \text{kg/cm}^2$	摩擦係数
F-1	3.06	297.6	303	0.27
F-2	2.77	361.2	239	0.27
F-3	2.44	293.7	220	0.33
F-4	2.15	328.3	189	0.35
F-5	1.97	252.1	166	0.35~0.38

第 10 表 某社試作金属黒鉛刷子の物理特性及び摩擦係数

Table 10. Physical Properties and Coefficient of Friction of Trial Manufactured Metal-Graphite Brushes

試料名称	成分 %		見掛比重	硬度 (ショアー)		弾性率 $10^3 \text{kg/cm}^2$	摩擦係数
	銅	黒鉛		加圧面	側面		
G-1	70.7	29.30	3.44	18~20	16~18	203	0.25
G-2	61.07	38.93	3.02	22~23	18~20	167	0.25
G-3	51.73	48.27	2.62	22~23	19~21	157	0.27
G-4	41.84	58.16	2.33	22~24	19~22	134	0.33
G-5	31.70	68.30	2.14	23~25	20	96	0.30

[VII] 結 言

以上を要約すれば次の如くである。即ち、炭素刷子では

1. 刷子の摩擦係数はその真比重即ち黒鉛化度と密接な関係がある。
2. 真比重が 1.95 以下の場合には摩擦係数が大きいのみならず、刷子は振動する。
3. 天然黒鉛刷子の如く、真比重が非常に大きい場合には、その摩擦係数は運転時間の経過と共に増大しその値は 0.4 前後となる。しかし、刷子は振動しない。
4. (1) 刷子材が充分黒鉛化されていない場合 (2) 硬い不純物が残存する場合 (3) 不純物の量が非常に多い場合 (4) 粒子の結合状態が悪い場合に刷子は摩擦振動をする。
5. 一般に周辺速度が増すに従つて摩擦係数は減少するが、その程度は弾性率の大きい程顕著である。
6. 黒鉛化不足の刷子及び黒鉛系刷子の摩擦係数は電流密度の影響を受け、電流密度が増大するに従つてその値は減少するが、通常の摩擦係数値を有する刷子はその影響を余り受けない。

又金属黒鉛刷子では

1. 摩擦係数はその黒鉛含有量に関係し、黒鉛含有量の多い程その値が大きい。

終りに、本研究を行うに当り御指導を賜つた副所長三浦博士並びに今尾課長、牧課長及び多賀工場刷子課高橋課長に対し厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

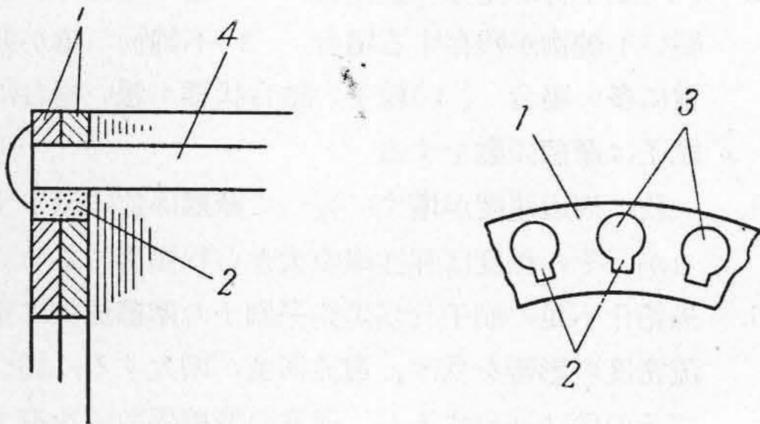
- (1) 一木；日評、30, 6, 239~246 (昭 24.3)
- (2) 高橋、一木；日評、23, 5, 262~266 (昭 15.5)  
// 電評、31, 1, 1~12 (昭 18.1)
- (3) 一木；日評 30, 6, 247~254 (昭 24.3)
- (4) R. Holm; Wiss. Veröff. Siemens Werken, 18, 73 (1939)
- (5) 高橋；日評、22, 6, 386 (昭 14.6)
- (6) J. Neukirchen; Carbon Brushes
- (7) 一木；日立評論々文集、9 号、216~227 (昭 24)



登録新案 386753 号

四倉輝夫

小型誘導電動機回転子



この新案は、回転子の短絡環1にポケット2を有する孔3を明け、これにバー4を挿入し、その頭部をカシメ付けたのち、上記ポケットに半田を流し込んだものであつて、短絡環1とバー4との接着不十分による電動機の特性の不均一を簡単な作業を以て除去し得たものである。(田中)

第34巻 日立評論 第4号

日立メタルクラッドスイッチギヤ	日立製作所・多賀工場	安藤 卓郎
東北電力仙台変電所 15,000kVA 同期調相機について	{ 日立製作所・日立工場 日立製作所・多賀工場	高橋 照吉 池田正一郎
充電々流遮断時に於ける再点弧防止の研究	{ 日立製作所・多賀工場 日立製作所・日立研究所	森田 誠一 牧 元
液圧押上機による巻上機の世界制御	日立製作所・亀有工場	秋田 六郎
原動機用ガスタービンについて	{ 日立製作所・日立研究所 日立製作所・日立工場	前田 繁 { 森島 国男 藤井 修
トルダイヤル用 NS 型搬送電話装置	日立製作所・戸塚工場	{ 中谷 信夫 野上 邦茂
通信用 MRS-27 受信機	日立製作所・戸塚工場	{ 内藤 大三 角 七男
伸線用ダイスの精密測定法	日立製作所・電線工場	{ 久本 方 柿崎 公男
焼鈍炭素の大いさに及ぼす焼鈍方法の影響	日立製作所・中央研究所	南波 栄吉
タングステン粉末の粒度分布の研究(第二報) — タングステン粒子の成生と粒度分布の特性 —	日立製作所・茂原工場	伊地山 昇

東京都品川区  
大井坂下町 2717

日立評論社

誌代 100 円 千 12 円  
半年分 360 円 千 70 円  
一年分 720 円 千 120 円