

スリップリング用ブラシの摩擦特性としゅう動特性

On the Frictional Characteristics and Sliding Contact of the Brush for Slip Ring

武 政 隆 一*
Takaichi Takemasa

内 容 梗 概

電機用ブラシのしゅう動特性の良否は整流およびその他の諸特性に大きな関係があり、電気機械の性能に重大な影響を与える。この見地から本研究ではスリップリング用ブラシの摩擦特性としゅう動特性との関連について究明した。その結果、摩擦特性はブラシ、リング材質、電流、皮膜、湿度、ブラシ面黒鉛の配向性およびその他の諸因子により影響される。また、摩擦特性は摩擦係数のみならず、摩擦変動も考える必要があることがわかった。全閉形で高温、低湿度の場合、あるいはステンレス鋼スリップリングの場合は接触電圧降下の変動が大きくなり、火花の発生、異常摩耗、荒損および温度上昇過大などの事故が起きやすいが、これの主原因としては摩擦特性の不安定があげられることがわかった。次に、高速度回転機の場合はブラシ材質の摩擦特性のみならず、素材の弾性係数および粘性係数もブラシのしゅう動特性と重要な関係があることが判明した。

1. 緒 言

ブラシの摩擦としゅう動特性との間に関係があることはかなり前から考えられていたが、ブラシの摩擦がしゅう動特性に及ぼす影響については、ほとんどこれに関する文献がなく不明な点が多い。

最近、スリップリング用ブラシでしゅう動特性不良に基因するとと思われる火花の発生、荒損などの事故が比較的によく発生している。ことにスリップリング材質がステンレス鋼の場合はブラシ温度上昇過大による事故が多く、また全閉形スリップリングの場合は荒損事故および温度上昇過大などの事故が多い。これら事故の共通因子として考えられることは摩擦特性不安定に基因するブラシしゅう動特性不良によるものであることが推定される。

本研究は上述の見地からブラシの摩擦特性としゅう動特性との関連について研究を行ない、これらの諸現象を解明することを目的とした。すなわち、正常状態におけるブラシの摩擦と電流密度、リングおよびブラシ材質などとの関係、摩擦と接触電圧降下および高温、低湿度の場合における接触電圧降下の変動などについて種々の角度から実験を行なった。

2. 実 験 方 法

2.1 摩擦特性測定法

摩擦係数は第1図の回路により摩擦に基因する電動機入力電流の増加分を測定し、(1)式により摩擦係数(μ)を算出した。

$$\mu = \frac{(EI - E_0 I_0) - R(I^2 - I_0^2)}{9.8 \times P \times V} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 E, E_0 : ブラシしゅう動時および無しゅう動時における電機子電圧 (V)

I, I_0 : ブラシしゅう動時および無しゅう動時における電機子電流 (A)

R : 電機子抵抗 (Ω)

P : ブラシ全圧力 (kg)

V : スリップリング周辺速度 (m/s)

本測定は電動機入力差法と称し、日本学術振興会第117委員会採用されている^{(1)~(3)}。ただ学振法では電機子の銅損が含まれているので摩擦係数値は(1)式の場合よりもいくらか大きくなる。いずれにしても絶対値ではないので、ここでは比較値として取り扱うことにした。

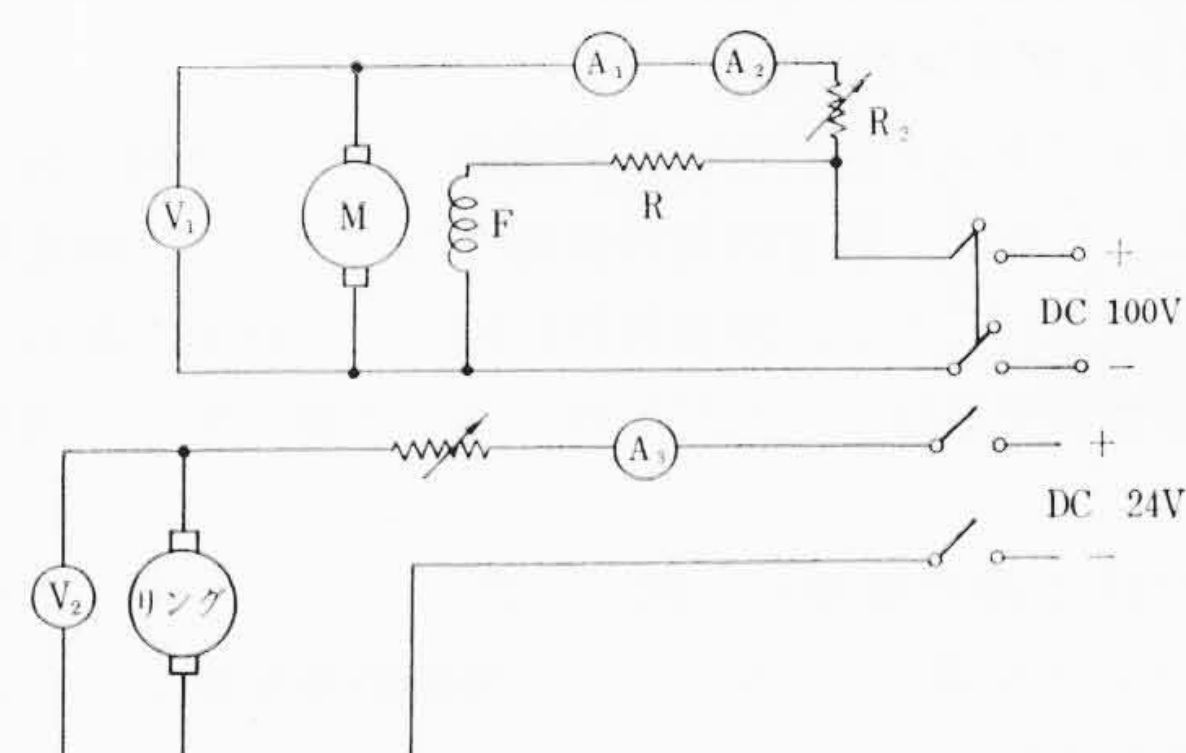
次に、ブラシしゅう動時における摩擦変動を知るため、電機子入力電流を電流記録計により記録し、このオシログラムより摩擦変動を推定した。

2.2 ブラシしゅう動特性

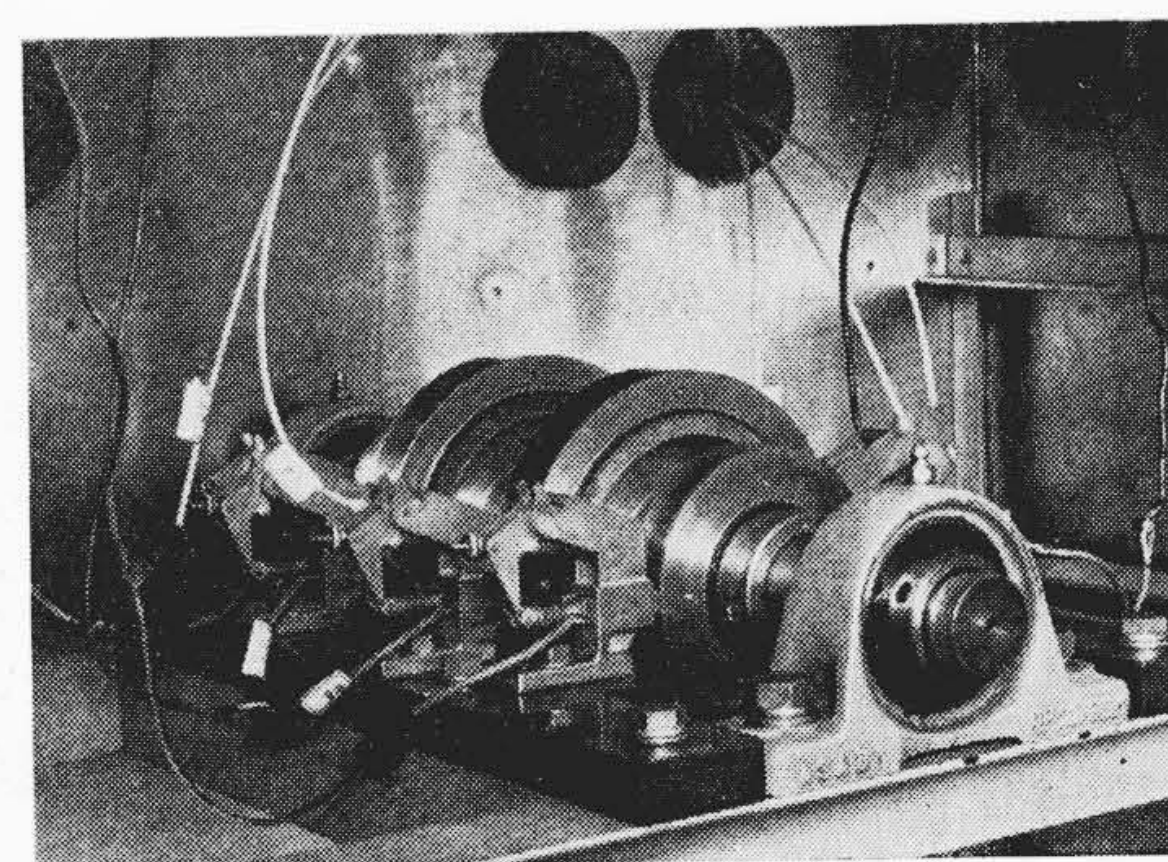
ブラシのしゅう動特性はスリップリングにブラシをしゅう動させ、無電流および通電時におけるブラシ接触電圧降下、温度上昇、摩擦特性、電流変動および電流不平衡率などを測定しこれにより判定した。

スリップリング材質としては銅、砲金 (BC-2)、鉄およびステンレス鋼などを用い、またこれらの寸法は多種なので、実験結果の表に記載する。

次に、周囲条件としては大気中および恒温、恒湿槽内で行ない、必要に応じて周囲温度および湿度を変えた。第2図は恒温、恒湿槽内における試験機を示す。なお、この場合スリップリングを駆動させる電動機はすべて槽外におき、軸受から発生する油蒸気による影響を除去した。



第1図 摩擦係数測定方法説明図



第2図 恒温恒湿槽におけるブラシ試験機

* 日立化成工業株式会社鮎川工場 工博

2.3 供試ブラシおよび実験項目

供試ブラシとして油煙系、油煙コークス系、コークス系および黒鉛系ブラシを使用した。これらブラシの物理特性を第2表および第5表に記載した。また、ブラシの寸法は特記しないものは10×16×32 mmである。

実験項目としては摩擦係数、摩擦変動、接触電圧降下、電流変動、温度上昇および電子回折によるブラシ面の黒鉛配向性などである。

3. 摩 擦 特 性

3.1 電 流 密 度

一般にブラシのしゅう動時における摩擦係数は無電流の場合よりも通電の場合のほうが小さいことはすでに実験的にも経験的にも確認されているが⁽⁴⁾、再確認の目的から次の実験を行なった。

コークス系ブラシ C-1 (物理特性は第2表)を用い、十分ブラシのすり合わせを行なってから銅リング面の皮膜をおとし、2時間しゅう動させた場合の摩擦と電流との関係を求めたところ、第3図の結果を得た。なお本測定では電機子入力電流の変化から摩擦係数を求めているので、入力電流のオシログラムは時々刻々に変化する摩擦変動と考えることができる。第4図は上述の見地から第3表ステンレス鋼リングの摩擦係数測定時における電機子入力電流のオシログラムすなわち摩擦変動を示したものである。第3図(銅リングの場合)および第4図(ステンレス鋼リングの場合)から明らかなように、無電流の場合よりも通電の場合のほうが摩擦係数が減少しており、従来の結果と一致している。

第5図は前と同じく C-1 ブラシを用い、十分すり合わせを行ってから銅リング面の皮膜を除去して5分しゅう動後における摩擦係数を測定し、摩擦係数と電流密度との関係を図示したものである。第3図と第5図とを比較すると、同一ブラシであるにもかかわらず、しゅう動時間の大小のみで逆の結果になっている。第5図の場合はおそらくしゅう動時間が短いので皮膜が生成されないため、ブラシのしゅう動特性が不安定になることが推定される。したがって、このような状態で通電するため電流が多いほど微小火花によりブラシ面が荒損し、摩擦係数が増大したものと解される。また、第3図の場合は最初摩擦が大きくても漸次皮膜が生成されるに従い、摩擦特性が安定化したものと考えられる。

3.2 スリップリング材質

従来スリップリング材質といえば砲金、鉄および銅がおもに使用されていた。しかし、最近防食の見地からステンレス鋼も使用されるようになった。しかし、摩擦特性に関しては砲金、銅および鉄に対しては相当研究されていたが、ステンレス鋼の場合は明らかでなかった。

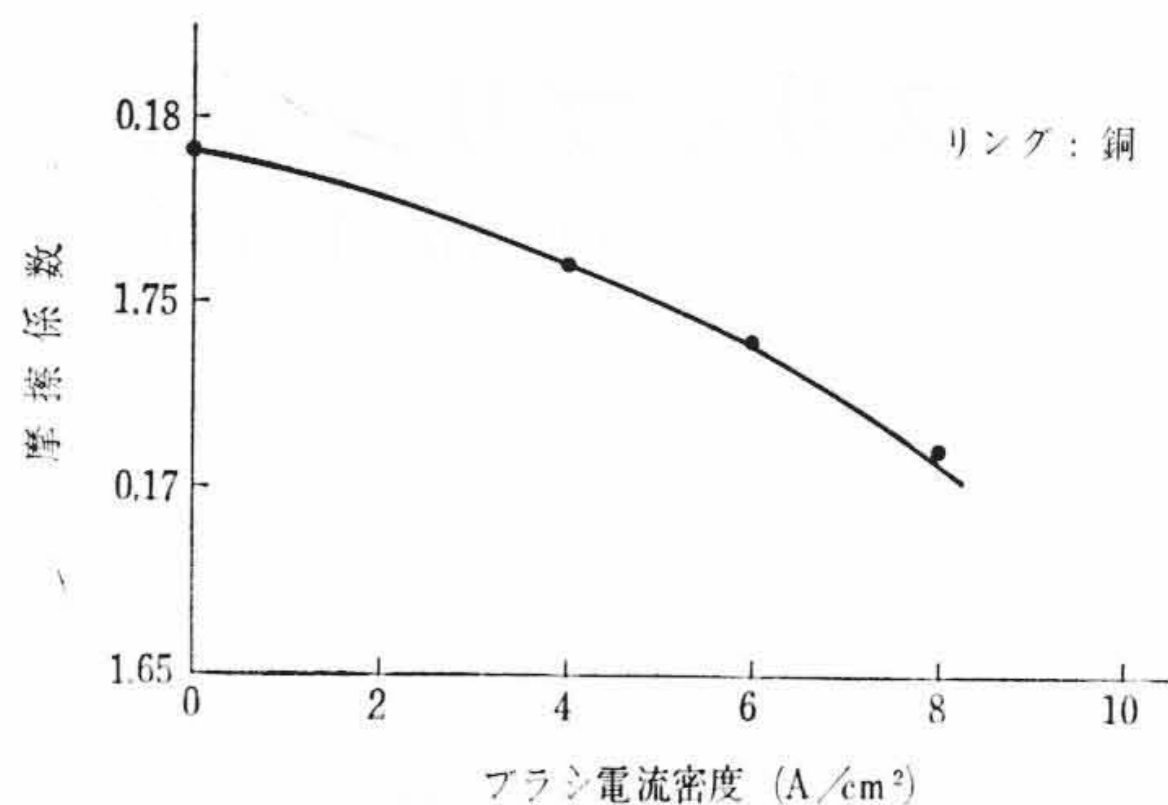
本実験では上述の見地から銅およびステンレス鋼(本実験では SUS-22)リングを用い、各種ブラシの摩擦特性を測定したところ第1表の結果を得た。

第1表をみると C-1 は銅リングに対して D-1 とたいたい同程度の摩擦特性を示しているが、ステンレス鋼リングに対しては C-1 よりも D-1 ブラシのほうが摩擦係数は小さい。

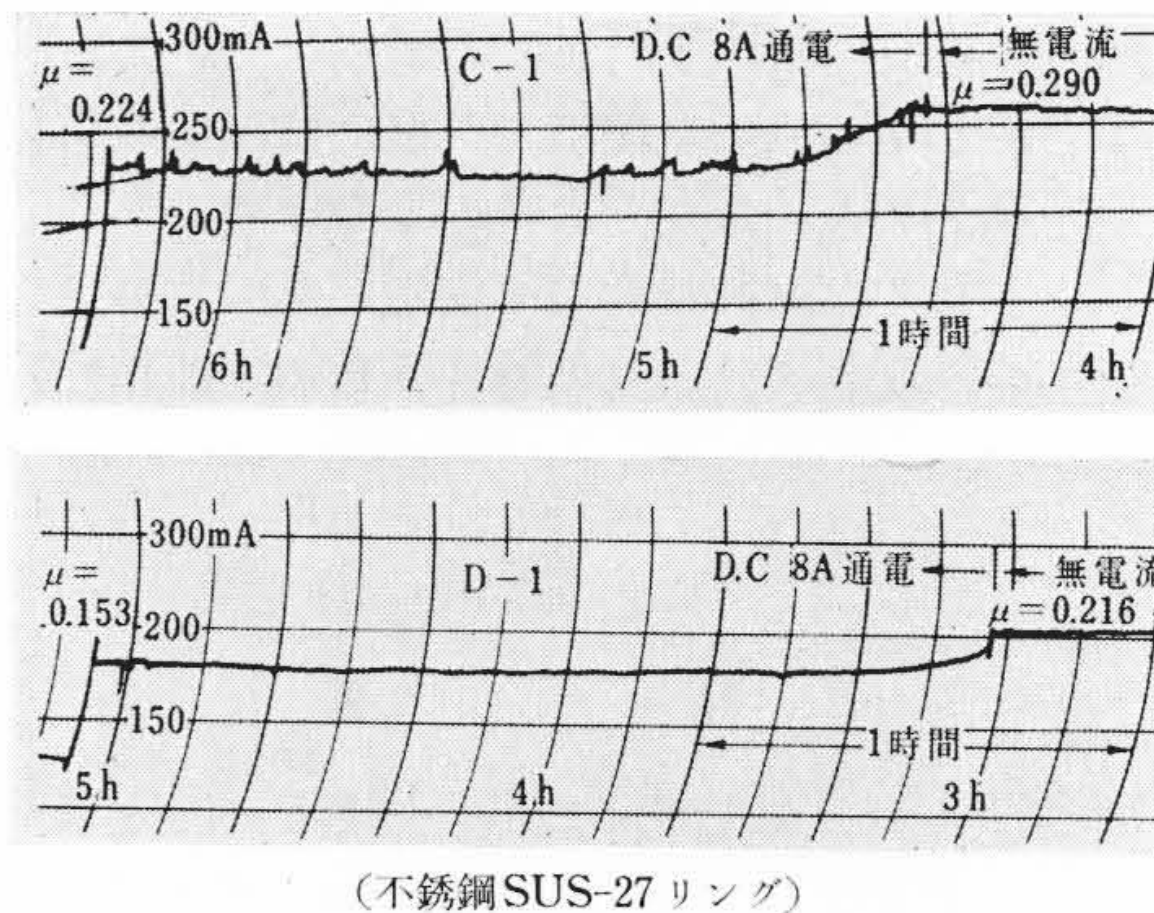
3.3 摩 擦 変 動

従来摩擦係数が小さいほどブラシの摩擦特性は良好であると考えられていた。しかししゅう動時におけるブラシの摩擦係数は一定でなく、しゅう動面の凹凸、振動、皮膜の不均一などにより変動する^{(3)~(5)}。したがってブラシ材質によっても摩擦変動が異なるものと考えられるが、これについての文献はあまり見あたらない。よって、油煙系、コークス系および黒鉛系ブラシについて摩擦変動を測定した。

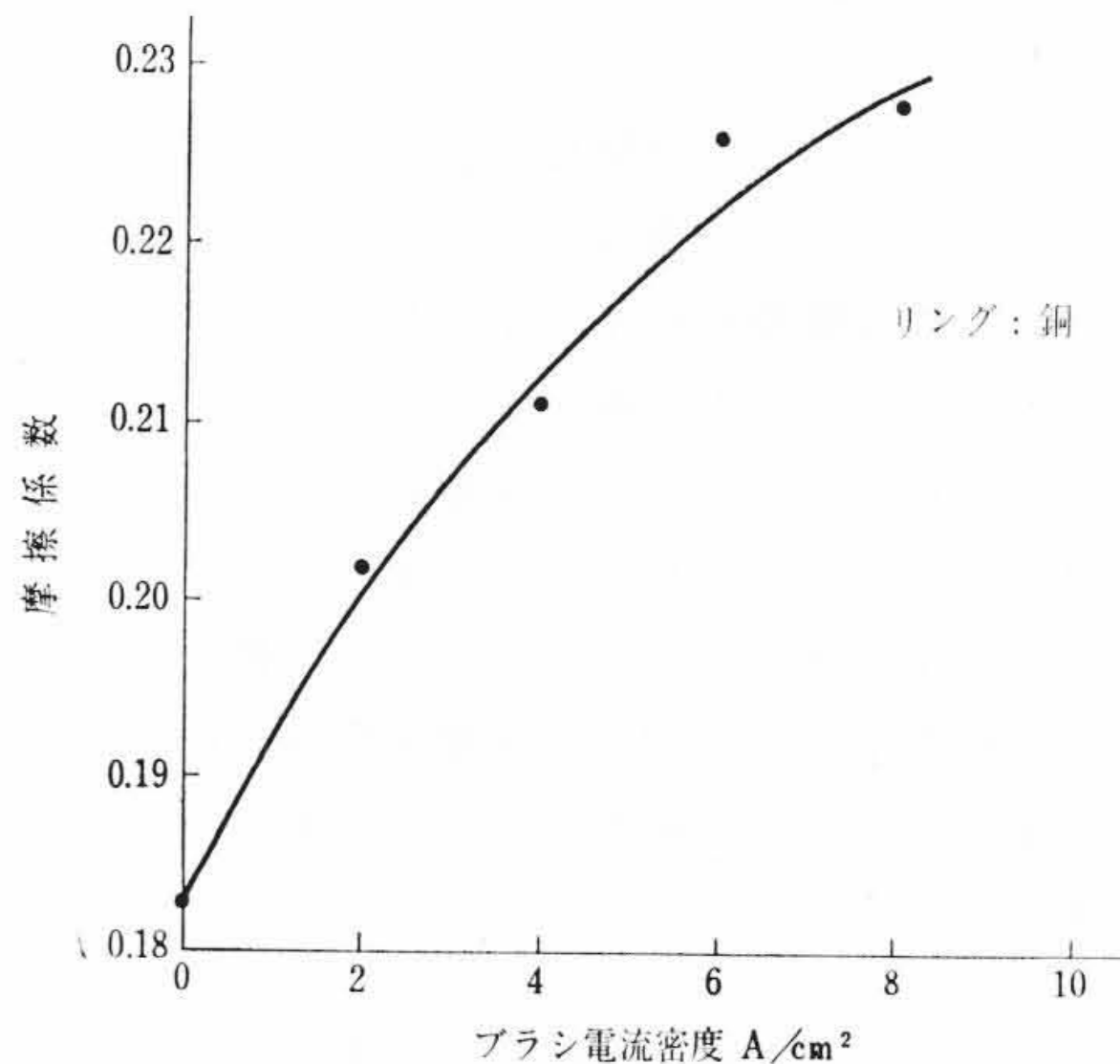
摩擦変動が比較的に大きいのは油煙系で、次にコークス系、黒鉛



第3図 C-1 ブラシの摩擦係数を電流密度との関係



第4図 電流密度 8 A/cm²通電した場合の C-1 および D-1 ブラシの摩擦変動



第5図 すり合せ時間が短い場合における C-1 ブラシの摩擦係数と電流密度との関係

第1表 リング材質とブラシ摩擦係数

ブラシ 種 別	銅リングの場合における摩擦係数					ステンレス鋼リングの場合における摩擦係数				
	周囲温度 (°C)	相対湿度 (%)	無電流	通 電		周囲温度 (°C)	相対湿度 (%)	無電流	通 電	
				電流密度 (A/cm ²)	測定値				電流密度 (A/cm ²)	測定値
C-1 No.1*	18.5	41	0.23	16	0.21	14	45	0.31	8	0.30
C-1 No.2	16.0	48	0.27	16	0.25	20	47	0.29	16	0.23
D-1 No.1*	17.0	47	0.24	16	0.24	14	46	0.21	8	0.19
D-1 No.2	12.5	58	0.26	16	0.23	14	59	0.22	16	0.17

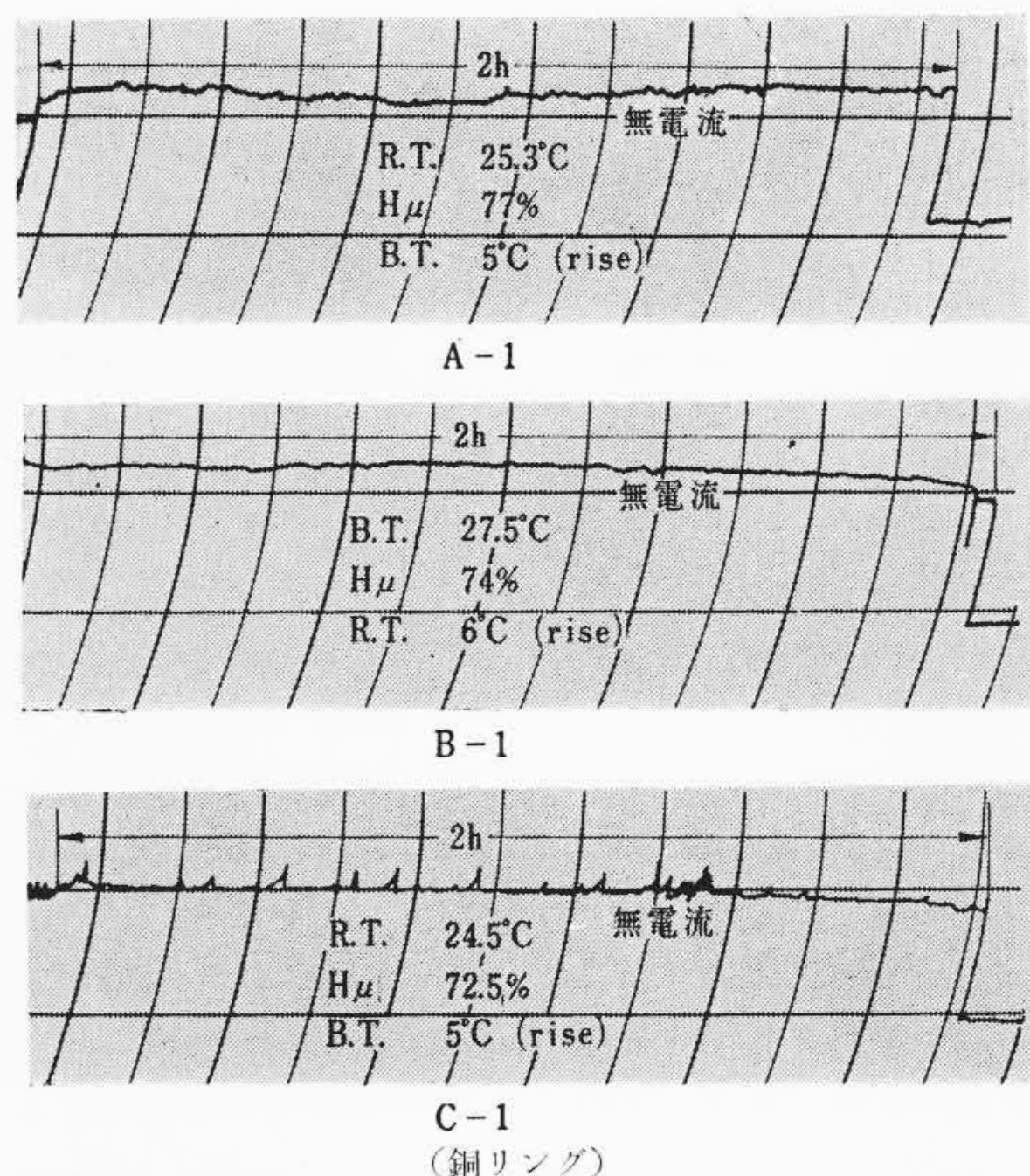
備考: リング材質: 銅およびステンレス鋼 (SUS-27) 直径 60 mm

ブラシ圧力: 600 g/cm², 回転数 1,450 rpm

* D-1 ブラシ物理特性第2表参照

系の順序になっている⁽⁴⁾。

油煙系ブラシの場合は主原料が油煙であるため黒鉛化されにくく、また黒鉛化されても均一性に乏しい。したがって、黒鉛化されていない部分があると、ブラシの摩擦面が不均一となり摩擦変動を起こしやすい。これに対してコークス系は油煙系ブラシより黒鉛化



第6図 無電流の場合におけるA-1, B-1, C-1ブラシの摩擦変動

されやすく、また黒鉛系の場合は原料自体が潤滑性に富んでいるため、摩擦変動は少ない。

第4図はコークス系および黒鉛系ブラシの摩擦変動を示し、コークス系C-1ブラシは若干摩擦変動を起こしている。これはリング面に摩耗粉が付着し、ブラシと摩耗粉との摩擦となり、摩擦変動を起こしたものと解される⁽⁴⁾。これに対して黒鉛系D-1ブラシの場合はきわめて安定な摩擦特性であるが、これは黒鉛が潤滑性に富んでいると同時に、特殊原料による皮膜調整作用があるため摩擦特性が安定であると解される。

第6図は油煙系A-1、油煙コークス系B-1およびコークス系C-1ブラシの摩擦変動を示す。A-1の摩擦特性は微小な摩擦変動を起こしているが、これは油煙系であるため前述の理由によるものである。C-1は第4図の場合と異なる機械で測定したが摩擦変動を起こした。これは摩耗粉が付着しやすいためである。次にB-1の場合は最も摩擦特性が安定している。これは上述のようにいくらか研磨性のある油煙と潤滑性のあるコークスとが配合されているため、両者の特長を表わしているわけである。

以上の結果から、どんなブラシでも火花その他の原因により摩耗粉が付着するようになると摩擦変動を起こしやすくなることがわかった。

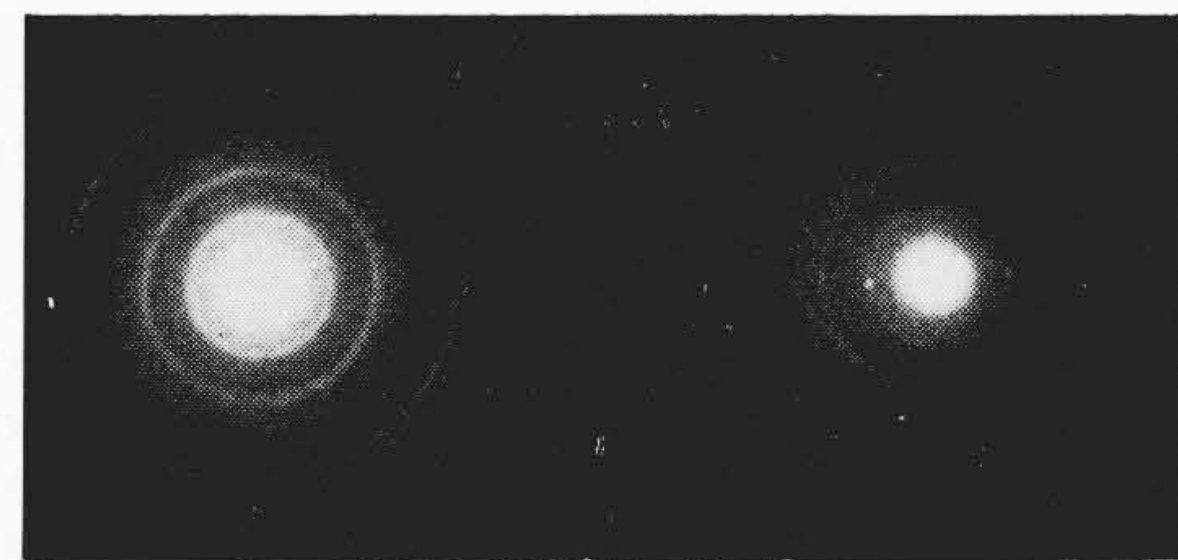
3.4 ブラシ材質と黒鉛結晶の配向性

(1) 各種ブラシの黒鉛配向性

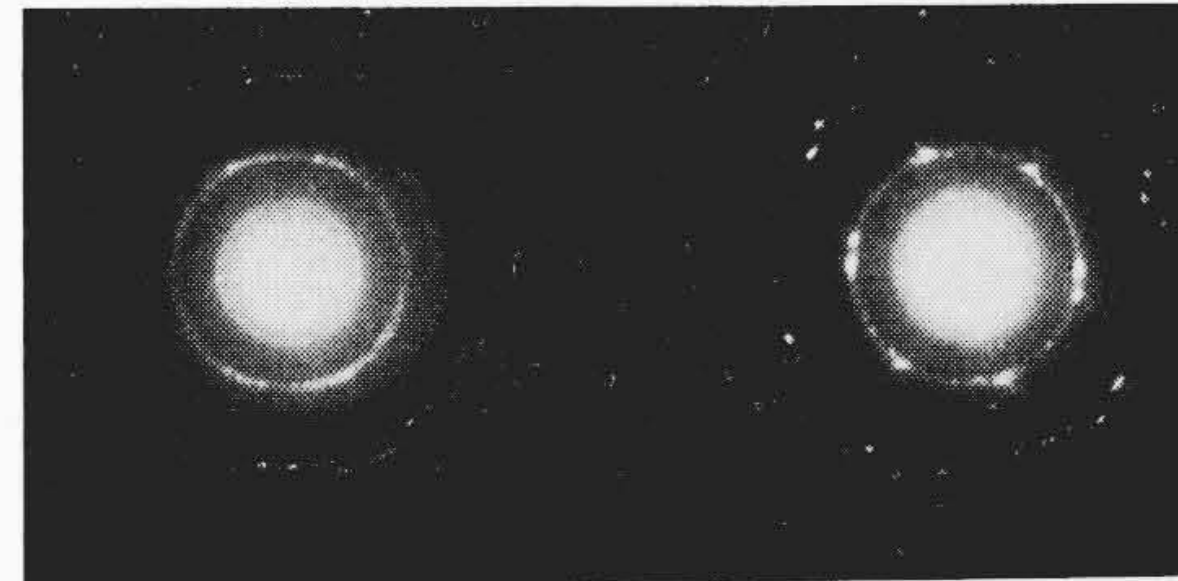
ブラシの摩擦と黒鉛結晶の配向性と関係がありそうであることは亀山博士らの研究により知られている。すなわち亀山博士⁽⁶⁾⁽⁷⁾は電子回折によって直流機に用いたブラシの表面を調べたところ、摩耗面には微細化した黒鉛がその002面を摩耗面に平行に配列することが実験により確認された。次に、ブラシの主体原料によって摩擦特性が異なることは前述のとおりであるが、黒鉛結晶の配向性に関係がありそうであることは想像できる。

黒鉛結晶の配向性測定については電子回折が利用されている。周知のように電子線の波長は $0.05 \text{ \AA}$ 程度でX線波長の数十分の一である。したがって、電子線の透過力はX線に比較してきわめて小さく 10^{-6} cm 前後より深くはいらないから、その回折像によりブラシ面付近の結晶構造を推定することができる。このような見地から油煙系、コークス系および黒鉛系ブラシしゅう動面の電子回折写真を撮影した。

油煙系およびコークス系ブラシ面の電子回折写真は第7図のとおりで、また黒鉛系ブラシはコークス系と大差がない。一般的に



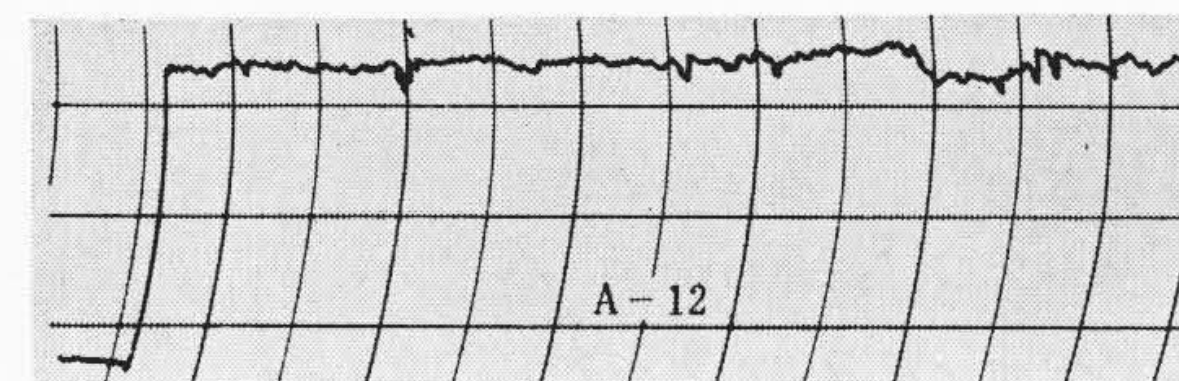
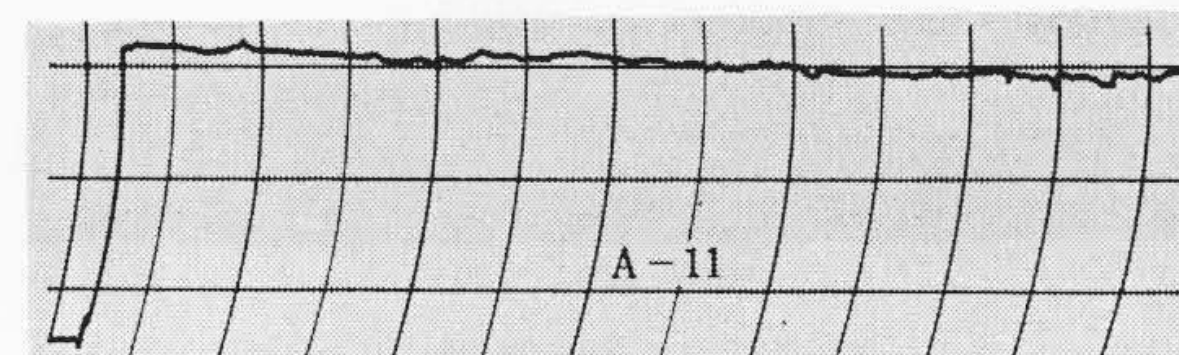
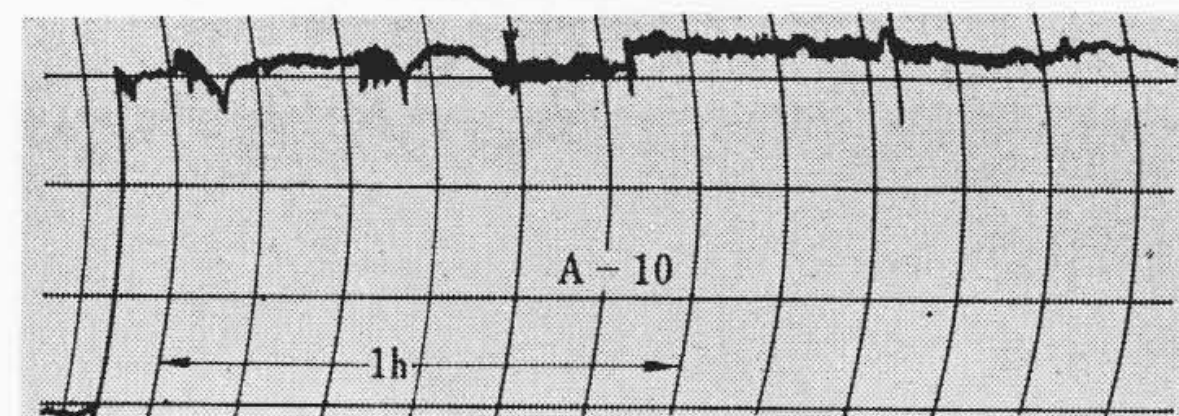
(A) 油煙系A-10ブラシ



(B) コークス系C-1ブラシ

(すり合わせ後通電運転10時間、銅リング)

第7図 油煙系およびコークス系ブラシ面の電子回折写真



第8図 無電流の場合におけるA-10, A-11およびA-12摩擦変動

いて油煙系ブラシの回折像は著しくボケ、斑点が明瞭に見えないが、コークス系および黒鉛系ブラシの回折像はかなり斑点が明瞭に認められる。回折像がボケていることは結晶の配向性が悪いため、電子線が乱反射を起こすためである。したがって、結晶の配向性がよいほど乱反射が少なくなり、斑点が明瞭にあらわれるようになる。野田博士らも黒鉛結晶の配向性について研究され、油煙系よりもコークス系ブラシのほうが回折像のボケが少ないことを発表している⁽⁸⁾。

(2) ブラシの結晶配向性と摩擦特性

ブラシ面の結晶配向性と摩擦特性に関係があるとすれば、なんらかの方法により結晶の配向性を改善した場合、当然摩擦特性は改善されるはずである。これを確認するために油煙系ブラシの素材を用い、これに特殊処理を行ない、ブラシの配向性を改善した場合の摩擦特性について検討した。

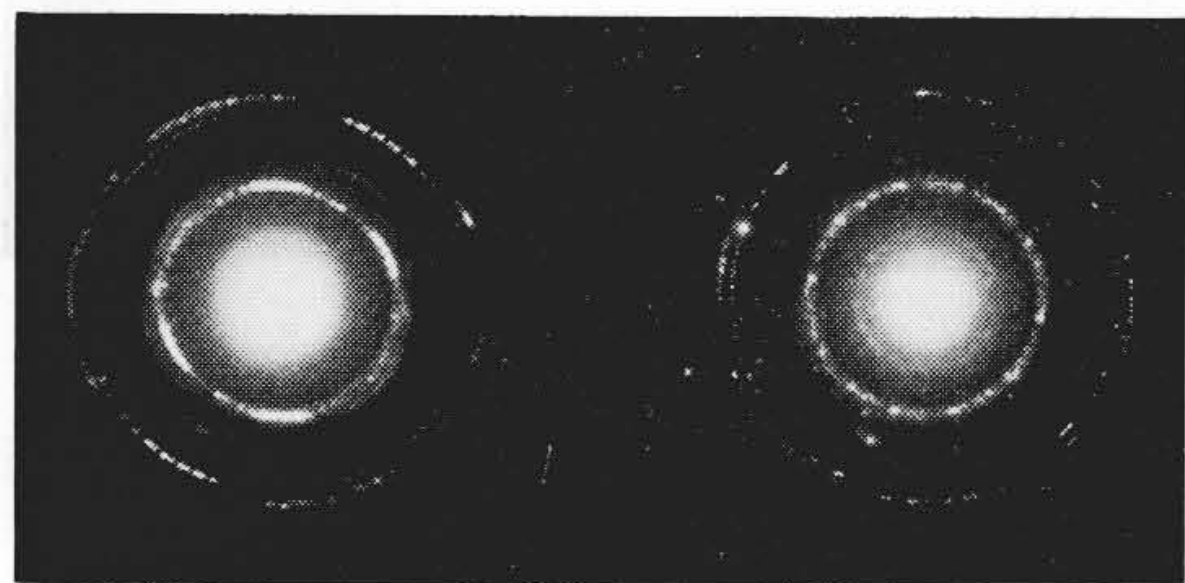
第2表に記載したA-10ブラシは油煙系であるが、これについて特殊処理を行なったA-11およびA-12ブラシの平均摩擦係数は第2表から明らかなようにA-0よりも小さい。また、第8図のように、A-10よりもA-11およびA-12ブラシのほうが摩擦変動が小さい。

次にこれらのブラシについて電子回折写真を撮影したところ、第9図の回折像を得た。第7図の無処理A-10ブラシの回折像に

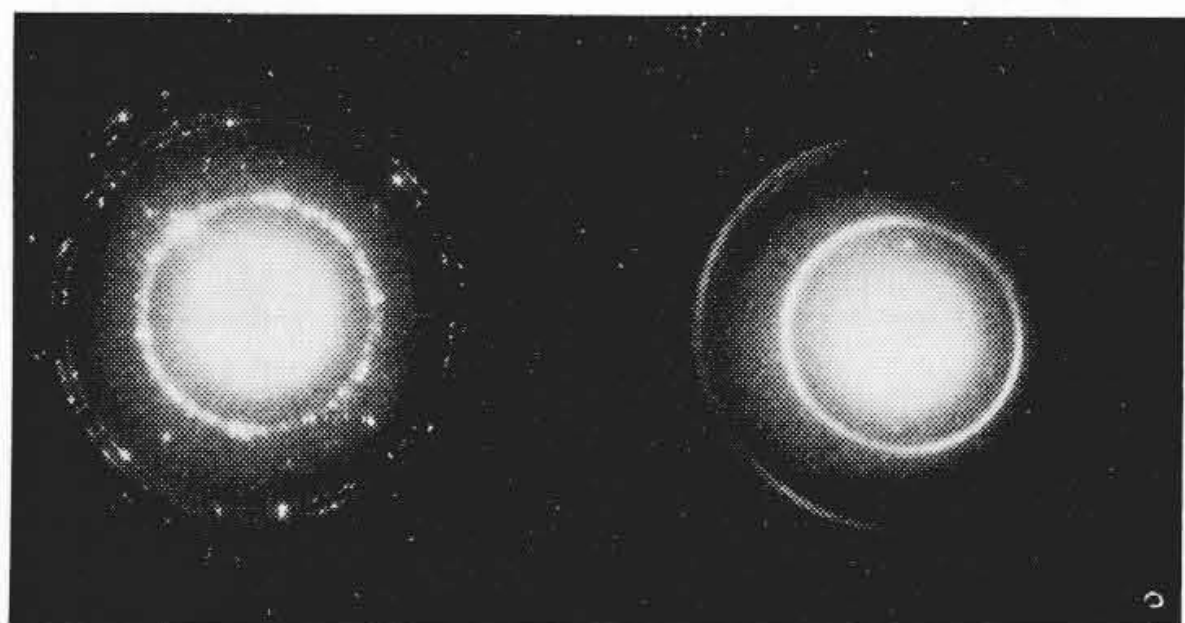
第2表 各種原料別ブラシの摩擦係数

ブラシ種別	素 材		見掛比重 (g/cm ³)	電気比抵抗 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	曲げ強さ (kg/cm ²)	弾性係数 (kg/mm ²)	硬 さ (ショープ)	測 定 条 件		摩 擦 係 数	
	原 料	処 理						温度(℃)	湿度(%)	無電流	通 電
A-1	油 煙 系	な し	1.60	6,860	135	451	43~45	26	75	0.17	0.12
B-1	油煙コークス系	な し	1.62	2,920	183	662	38~40	28	73	0.18	0.14
C-1	コークス系	な し	1.77	1,580	418	800	50~55	25	73	0.15	0.14
A-10	油 煙 系	な し	1.53	7,050	145	510	50~53	26	70	0.17	—
A-11	油 煙 系	処 理*	1.53	7,050	145	510	50~53	28	67	0.15	—
A-12	油 煙 系	処 理*	1.53	7,050	145	510	50~53	28	69	0.16	—
D-1	黒 鉛 系	な し	1.78	960	284	2,500	20~23	—	—	—	—

* 処理： ブラシの潤滑性を改善する目的で特殊処理を行なったものであるが，物理特性には変化を与えない。



油煙系 A-11 ブラシ



油煙系 A-12 ブラシ

(すり合わせ後通電運転10時間，銅リング)

第 9 図 A-11およびA-12 ブラシ面の電子回折写真

比較して第9図の回折像はボケが少なく，かつ班点が明瞭に認められる。このことは特殊処理をした A-11 および A-12 ブラシは黒鉛結晶の配向性が改善されたことを示すものである。また A-11 と A-12 とを比較すると A-11 のほうが A-12 よりもボケが少なく良好であるが，第8図の摩擦変動も A-11 のほうが A-12 よりも小さく符合している。以上の結果から考えるとブラシの摩擦特性は黒鉛結晶と重要な関係があることが推定できる。

4. 摩擦特性と接触電圧降下との関係

ステンレス鋼リングにしゅう動させた場合のコークス系および黒鉛系ブラシの摩擦係数，接触電圧降下およびブラシ温度上昇の関係を示すと第3表のとおりである。

第3表に示したブラシの摩擦変動は第4図のとおりである。また接触電圧降下の変動は第10図に示すとおりである。両図をみると明らかに摩擦変動の少ない D-1 ブラシのほうが C-1 ブラシよりも接触電圧降下の変動は小さい。結局，摩擦変動の大きいブラシはしゅう動特性が不安定となり，その結果接触電圧降下の変動が大きくなることが考えられる。

4.1 摩擦とブラシ温度上昇

ブラシしゅう動時における温度上昇は摩擦と電流とに基因するが，従来は主として電流に基因する温度上昇のみを考慮する傾向が大きかった。したがって，摩擦過大による温度上昇についてはあまり検討されていないようである。これは一つには銅および砲金リングの摩擦特性が良好であったことにも原因があると思う。

本実験ではあまり摩擦特性のよくないステンレス鋼リングに C-1 および D-1 ブラシをしゅう動させて，無電流および通電時の場合におけるブラシ温度上昇を測定したところ，第4表の結果を得た。

第3表 摩擦および接触電圧降下測定結果

ブ ラ シ		摩擦係数		接触電圧降下 (V)		温度上昇 (℃)		周囲条件	
種別	原 料	無電流	通 電	正*	負*	正 負 測定値	無電流	通電	室温 (℃)
C-1	コークス系	0.31	0.30	0.95	1.40	2.50	25	50	14
D-1	黒 鉛 系	0.21	0.19	1.15	1.27	2.60	21	45	14

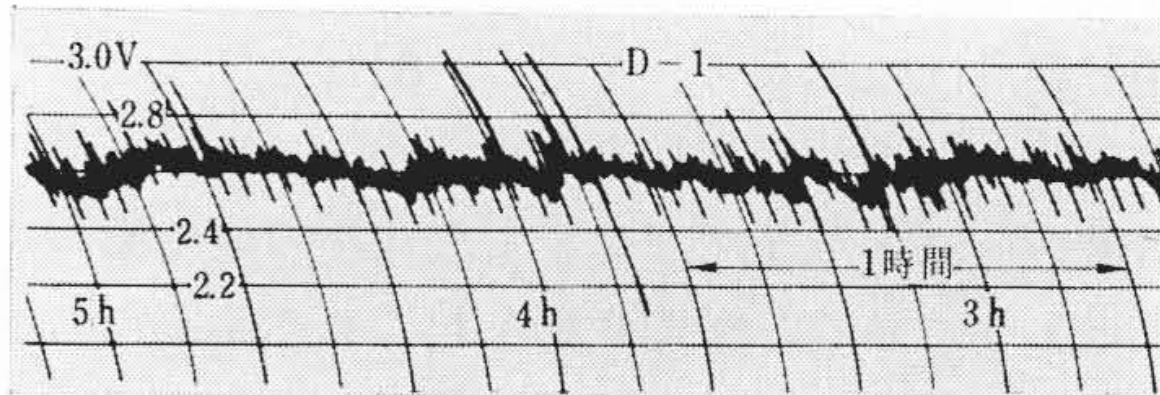
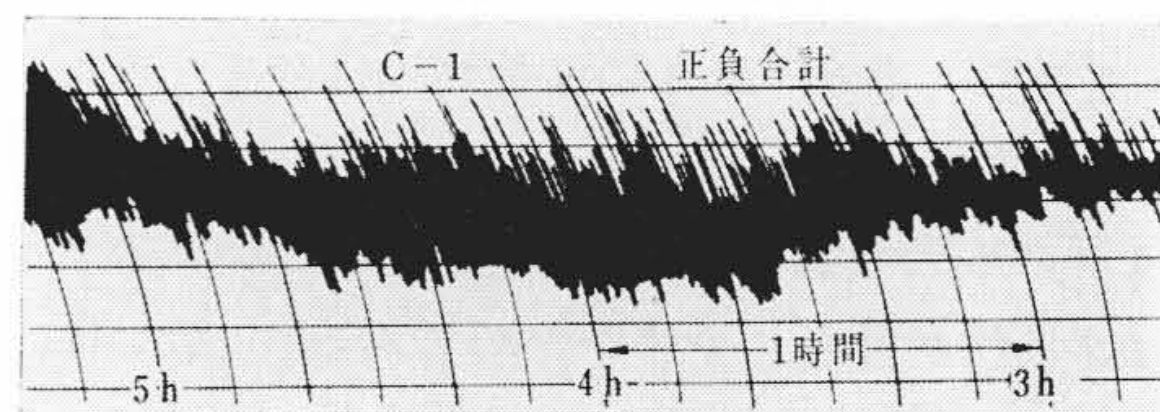
備考： リング材質： SUS-27， 寸法 60φ×20 mm， 回転数 1,450 rpm (4.5m/s)
 ブラシ寸法： 10×10×25 mm， ブラシ圧力： 600 g/cm²
 電 流： D.C. 8 A/cm²

* 極性： 正 ブラシ→リング， 負 リング→ブラシ

第4表 SUS-27 スリップリングの場合のブラシ温度上昇

ブラシ種別	電流密度 (A/cm ²)	リング周速 (m/s)	ブラシ圧力 (g/cm ²)	ブラシ温度上昇 (℃)			接触電圧降下 (V)
				リング No.1	リング No.2	リング No.3	
C-1	0	25.4	200	46	39~47	39	—
	6	25.4	200	100	113~121	95	1.45~1.5
D-1	0	25.4	200	32	35~38	32	—
	6	25.4	200	57	57~65	52	1.45~1.5

備考： リング材質： SUS-27， 寸法： 270φ×32 mm， 周速： 25.4 m/s
 電 流： A.C 50 c/s， 電流密度： 6 A/cm²， 試験時間： 200 h
 ブラシ寸法： 20×32×32 mm， ブラシ個数： 8 個/リング



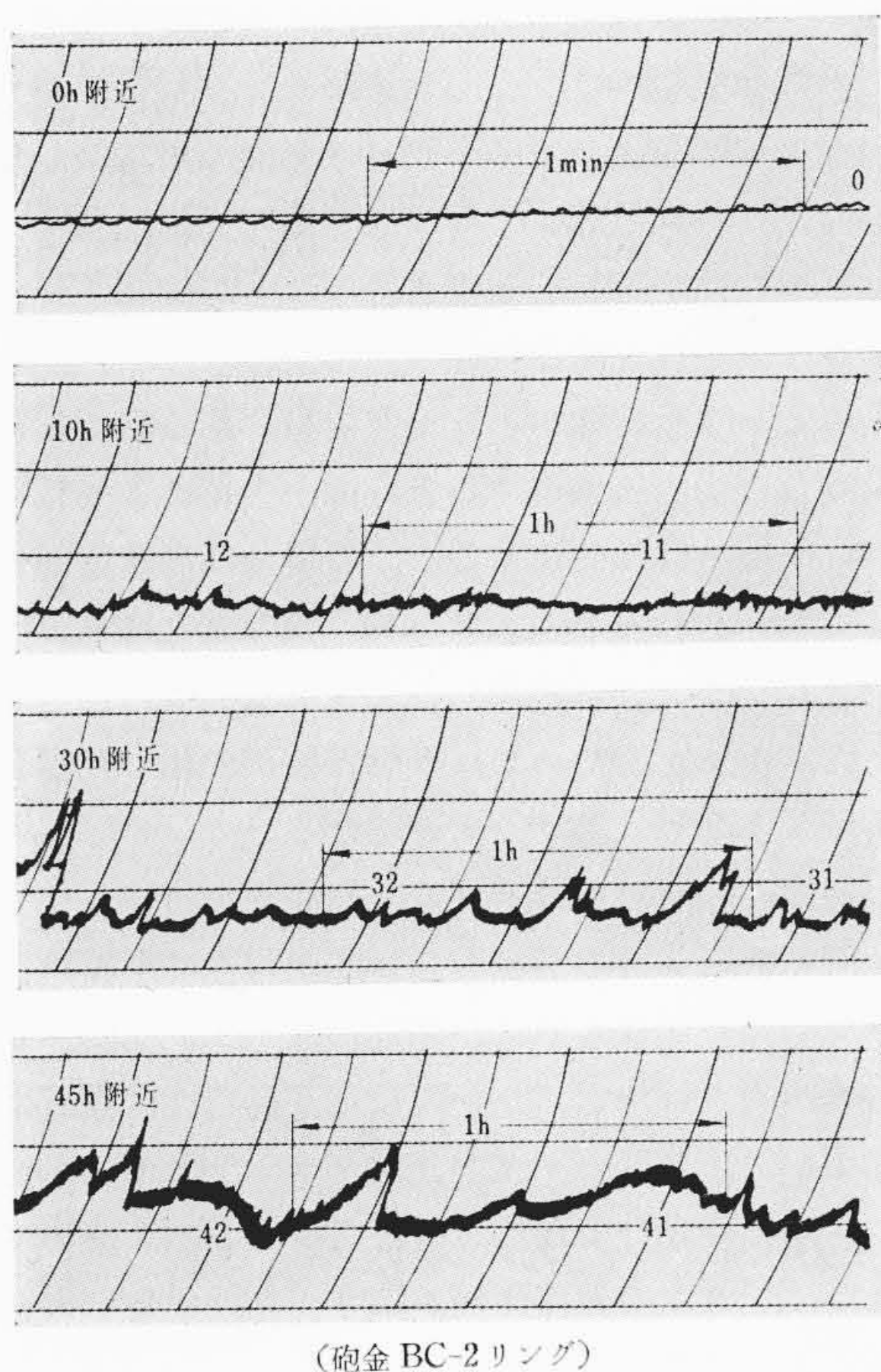
(不銹鋼SUS-27 リング)

第 10 図 C-1およびD-1 ブラシの接触電圧降下の変動状況

第4表をみると C-1 は D-1 に比較して無電流の場合は 7~14℃ 前後，通電時の場合は 50~60℃ 前後高くなっている。無電流の場合は明らかに摩擦熱による温度上昇であるが，通電の場合は摩擦熱および電流熱によるものと一応考えられる。摩擦熱による温度上昇に比較して摩擦および電流熱による温度上昇は著しく大きい， C-1 および D-1 の接触電圧降下より考えて電流熱のみにより温度上昇に差異を生じたとは考えられない。

第5図に示すとおり C-1 ブラシは皮膜が生成されずしゅう動特性が不安定の場合は電流密度が高くなるに従って摩擦係数が増大する傾向がある。第4表の場合はステンレス鋼リングであるため， C-1 の摩擦係数が大きく，しゅう動特性が不安定となり，通電によりますます摩擦係数が高くなり，温度が著しく上昇したものと考えられる。これに対して D-1 は摩擦特性が安定しているため，通電による微小火花の発生が少なく，したがって摩擦特性は安定しているため温度上昇は小さいものと解される。

上述の見解が正しいとすればスリップリングの周速が低速の場合



第 11 図 高温低湿度の場合における C-1 ブラシの接触電圧降下の変動状況

合は高速度の場合よりも摩擦特性が安定していることは明らかで、したがって温度上昇は小さいはずである。これの裏付証明として周速 4.5 m/s (第 3 表) の場合は C-1 および D-1 ブラシの温度差は 5°C 前後にすぎないが、周速 25 m/s (第 4 表) の場合の温度差は 60°C 前後に達している実験結果があげられる。また実用機の場合でもだいたい周速が 20 m/s 以下であれば C-1 ブラシでも問題はないが、周速が 25 m/s 以上では温度上昇が過大になり、だいたい本実験結果と傾向は一致している。

5. 高温低湿度の場合

ブラシのしゅう動特性がいかに影響されるかを知るために周囲温度 50°C、相対湿度 20% 一定の恒温、恒湿槽内において実験を行なった。

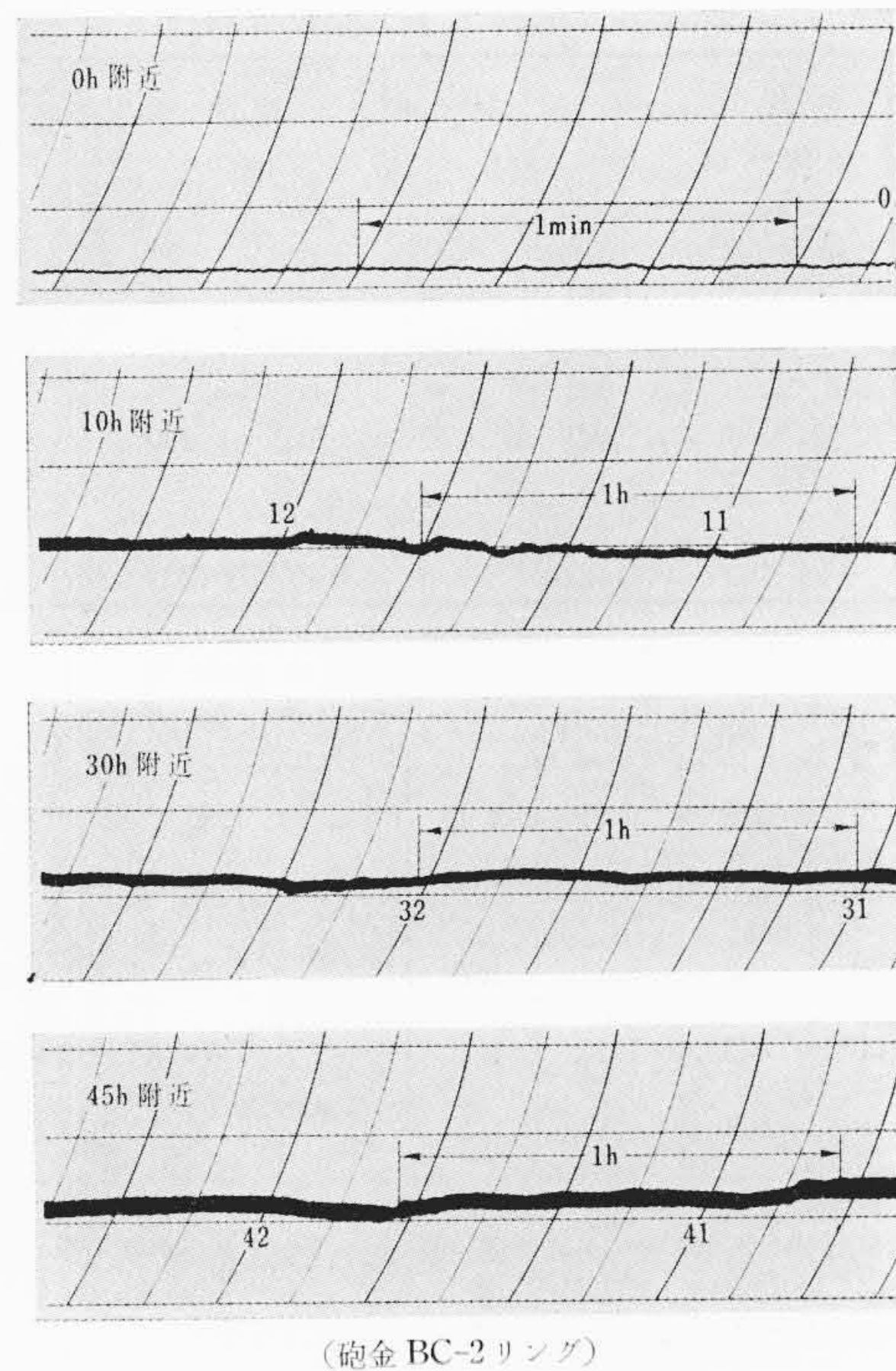
砲金リングに C-1 および D-1 ブラシをしゅう動させ、この場合の接触電圧降下の変動を電圧記録計に記録させた。その結果は第 11 図および第 12 図のとおりで、両図より明らかなように、C-1 は運転 30 時間以後になると接触電圧降下の変動が大きくなった。これに対して D-1 は 100 時間まで連続運転を行なったが、接触電圧降下変動の増大は認められなかった。

このように高温、低湿度で C-1 ブラシの接触電圧降下変動が大きい理由としては摩擦特性悪化によるしゅう動特性不良が考えられる。低湿度になるほど摩擦特性が悪化することは実験的にも経験的にも知られている事実である^{(9)~(12)}。次に C-1 と D-1 とでは接触電圧降下の変動に著しい差異があるが、これはブラシ自身の摩擦特性の差異に基因するものである。

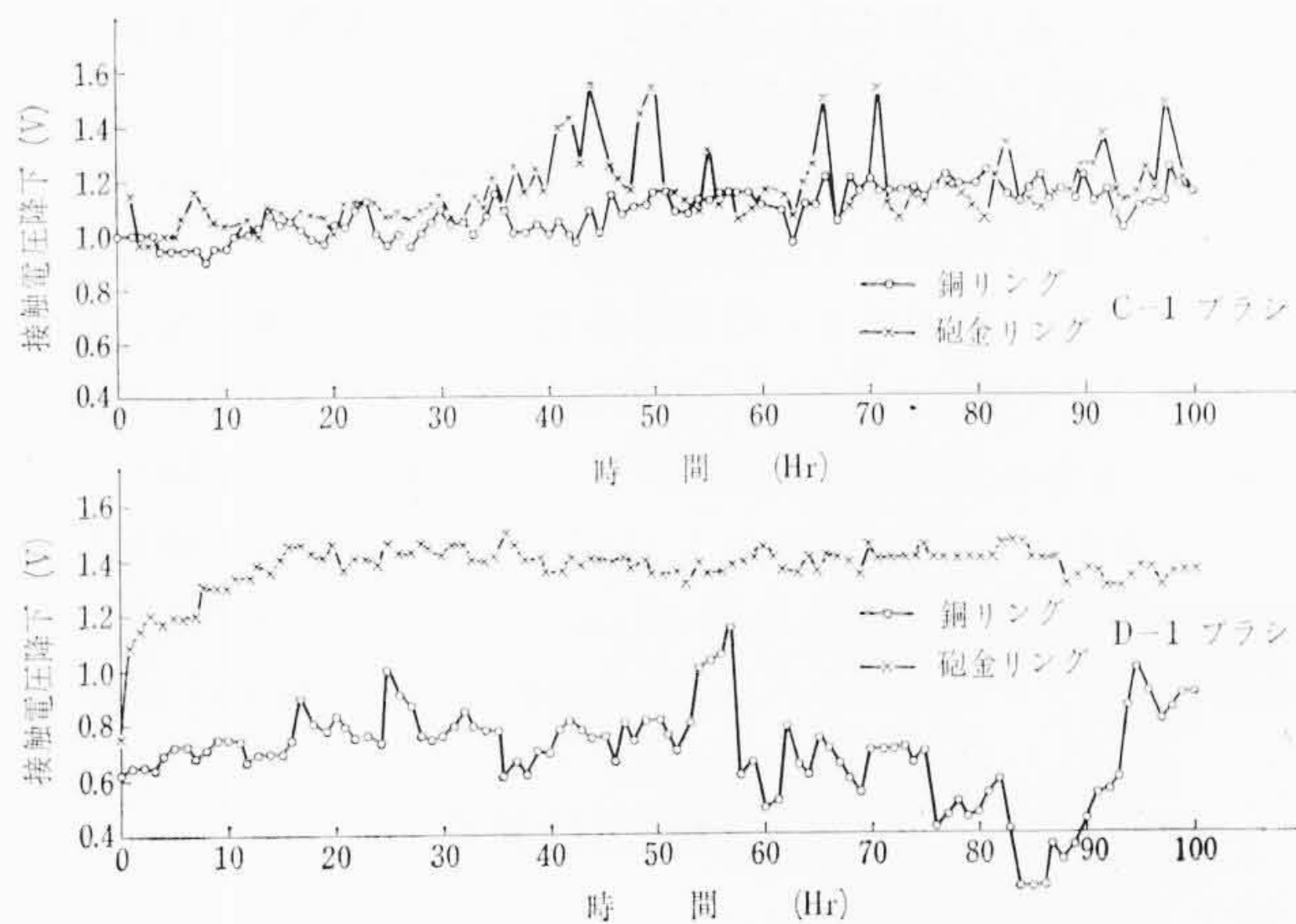
5.1 銅 リ ン グ

前述のように高温、低湿度の場合、C-1 は D-1 に比較して接触電圧降下の変動が大きかったが、これは C-1 の摩擦特性不安定に関係があるものとすれば、比較的摩擦特性が安定であった銅リング (第 1 表) では C-1 の接触電圧降下変動は小さいはずである。

上述のことを確認するために、砲金の場合と全く同一条件で C-1 および D-1 ブラシの接触電圧降下変動を銅リングにて測定した。



第 12 図 高温低湿度の場合における D-1 ブラシの接触電圧降下の変動状況



第 13 図 C-1 および D-1 の接触電圧降下

その結果は第 13 図のとおりで C-1 は D-1 ブラシよりかえって接触電圧降下の変動が小さく良好である。以上の結果から接触電圧降下の変動は摩擦特性と重要な関係があることがわかる。

6. 高速度回転におけるブラシしゅう動特性

前述のようにブラシのしゅう動特性は摩擦特性と重要な関係があるが、高速度の場合はブラシ材の弾性係数および粘性係数が関係する振動吸収性能にも重要な関係があることは周知の事実である⁽³⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。今まで述べた実験はすべて周速 25 m/s 以下の低速度で行なったため、振動吸収性能による影響が顕著にあらわれなかった。ので、本実験ではリングの周速 70 m/s の高速度試験機を用い実験を行なった。

試験機に直径 450 mm、みぞ切り鉄スリップリングを取り付け、回転数 3,000 rpm (周速 70.8 m/s) にて回転させた場合におけるブラシの特性を測定した。なお供試ブラシの特性は第 5 表のとおりである。

弾性係数の著しく異なった試料を用いて次の条件で実験を行なったところ、第 6 表の結果を得た。

第 5 表 供試ブラシの物理特性

ブラシ 種 別	ブ ラ シ 主 体 原 料	弾性係数 (kg/mm ²)	見掛比重 (g/cm ³)	電 気 比 抗 ($\mu\Omega$ -cm)	曲げ強さ (kg/cm ²)	か た さ (ジョーア)	灰 分 (%)
外国ブラシ	黒鉛系(推定)	326	1.17	3,650	52	13~14	1.77
C-1	コークス系	800	1.68	1,300	340	41~44	0.07
C-1(A)	コークス系	362	1.36	1,320	141	23~25	0.08
B-2	油煙コー ス系	832	1.68	2,060	260	47~48	0.07
D-3	人 造 黒 鉛 系	623	1.52	1,760	180	21~23	0.07

第 6 表 高速度スリップリング実験結果

ブラシ 種 別	ブラシ 長 さ (mm)	弾性係数 (kg/mm ²)	摩耗寸法 (mm/1,000h)	接触電圧 降 下 (V)	ブ ラ シ 温 度 上 昇 (℃)***	電流不平 衡率** (%)	スリップリング面状況	
							炭 沢	皮 膜
外国ブラシ	70	326	6.95	1.45	51~69 (20)	1.25	少 な し	う す い
C-1	50*	800	5.30	1.25	79 (15)	1.45	あ り 厚 く	黒化
C-1(A)	70	362	7.32	1.20	65~80 (15)	1.15	黒色の光沢	う す い
B-2	50*	830	7.15	1.40	48~83 (22)	1.24	黒色の光沢	う す い
D-3	70	623	3.17	1.15	52~64 (15)	1.35	黒色の光沢	稍々厚い

* ブラシ長さ 70 mm の場合は火花発生、よって 50 mm にした。

** 電流不平衡率は 200h 後における測定値で、ブラシ 1 個当たりの平均電流に対する最大電流(1 個当たり)の比をとった。

*** ブラシ温度上昇のうち、() 内の数字は室温(℃)を示す。

回転数: 3,000 rpm

周速: 70.8 m/s

ブラシ圧力: 156 kg/cm²

試験時間: 200 h

ブラシ寸法: 20×32×70 mm

ブラシ個数: 20 個

電流密度: 8 A/cm² (A・C 50 c/s)

第 6 表の結果をみると弾性係数 (E) が 800 kg/mm² 以上のブラシはブラシ長さ 70 mm では火花を発生し、50 mm 以下では無火花になった。なお供試ブラシの粘性係数 (ξ) の測定値がないので、 $\xi/\sqrt{E}$ の値は不明であるが、一応弾性係数の小さいブラシは長さが 70 mm でもしゅう動特性が良好であるため無火花で実験を行なうことができた。ことに C-1 と C-1(A) とは同一原料を使用し、見掛比重および弾性係数のみを変えたものであるが、弾性係数の小さい C-1(A) ブラシのほうがしゅう動特性が良好で無火花であった。

7. 考察および結言

(1) 摩 擦 特 性

ブラシの摩擦特性は電流、ブラシおよびリング材質、温度、湿度およびその他の諸因子により著しく影響される。また摩擦特性は従来摩擦係数値のみで良否が判定されていたが、摩擦係数値ば

かりでなく、摩擦変動についても検討する必要があることがわかった。ことに摩擦変動はブラシおよびリング材質ばかりでなく、しゅう動面の皮膜およびブラシしゅう動面の黒鉛結晶配向性に関連がある。また特殊処理によりブラシ面の黒鉛配向性を改善した場合には摩擦特性が著しく改善されることが確認された。

(2) しゅう動特性と摩擦特性

ブラシのしゅう動特性が不安定な場合、あるいはしゅう動面の皮膜が全くない場合に通电すると、微小火花によりしゅう動面が荒損され、摩擦特性は悪化する。この現象は高速度回転、低湿度の場合にもあらわれるが、ステンレス鋼のように材質自身の摩擦が大きい材質をリングに使用した場合にも顕著にあらわれる。また摩擦特性が不安定なためしゅう動特性が悪化した場合はブラシの接触電圧降下変動は著しく大きくなる。

(3) 高速度回転時におけるブラシしゅう動特性

高速度回転機におけるブラシしゅう動特性は摩擦特性のみならず、ブラシの弾性係数 E および粘性係数 (ξ) にも関係し、一般に $\xi/\sqrt{E}$ の値が大きいほどブラシのしゅう動特性は良好である。

以上の結果から、スリップリング用ブラシとしては摩擦特性が安定しており、摩擦変動の少ないことが必要である。高速度機の場合にはこのほかにブラシの弾性係数が小さく粘性係数の大きいブラシを選定することが必要である。

本研究を行なうに当たり、鮎川工場長高橋博士および鮎川工場製造課関係者より貴重なご意見ならびにご配慮をいただいた。また実験に当たっては試験課関係者のご協力をわずらわした。これらのかたがたに対し深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 日本学術振興会編: 電刷子の研究 (I) (昭 15)
- (2) 一木: 日立評論 30, 228 (昭 24-3)
- (3) 武政: 電気ブラシの性能と使用法 (東京電機大学) (昭 33-12)
- (4) 一木: 日立評論 34, 479 (昭 27-4)
- (5) 武政: 昭和 27 年度電気学会東京支部連合大会 (昭 27-10)
- (6) 亀山: 電刷子の研究 (I) 119 (昭 15)
- (7) 亀山: 工化 45, 658 (1942)
- (8) 野田ほか: 炭素 8, No. 1, 19 (昭 35-6)
- (9) 一木(訳): 炭素 No. 27, 35 (昭 35-11)
- (10) 高橋, 武政: 炭素 No. 33, 11 (昭 37-11)
- (11) R. H. Savage & D. L. Schaefer: J. Appl. Phys., 27, 136 (1956)
- (12) R. H. Savage: G. E. Rev. (Oct. 28, 1945)
- (13) 高橋, 武政: 日立評論 29, 134 (昭 22-12)
- (14) 一木: 日立評論論文集 No. 9, 216 (1947)