



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



電気車用摺板に関する若干の実験

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-05-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山名, 順圭 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3014

電氣車用摺板に關する若干の實驗

山 名 順 圭

Some Experiments on Electric Car Sliders

Junkei Yamana

Abstract

It is said that the wear of the trolley wire with carbon slider is less than that with copper slider, while the contact point temperature with carbon slider is higher than that with copper one. Sometimes the breaking of the trolley wire occurs on account of the temperature rise at the contact point, when the carbon slider is used. Many kind of sliders are now being used on the pantagraph of the electric car.

The author made some experiments on the characteristics of sliders by the sliding contact tester which he made, and he showed various kinds of wave forms of the sparking voltages between the trolley wire and the sliders.

The wear of the sliders were measured, and the photographs of the surface conditions of test pieces after the experiments were taken. The lubricating action of the carbon was excellent.

From the results of the wear test, the author calculated the life of sliders per unit volume wear, and he paid some considerations about the life of graphitized carbon slider.

I 緒 言

現在電氣車のパンタグラフ・ビューゲル等に使用されている摺板には、大別して、炭素質のものと金屬質のものがある。戰時中、銅資材の節約と言う目的に端を發して研究された、炭素質摺板は、架空電車線との摺動接觸狀況は良好であるが、集電容量が小さく、大容量の電氣車（特に、冬季、電熱暖房を使用している電氣機關車等）に使用された場合には、大なる起動電流又は、事故電流に依つて、架空電車線を熔斷し、大事故となつた例が尠くない。金屬質摺板は、固有抵抗・接觸抵抗も小さく、電流容量が大であるが、電車線との摺動接觸狀況は、炭素質摺板に及ばず、火花の發生が甚だしく、機械的にも電氣的にも、電車線の磨耗が大である。

最近、粉末冶金技術の進歩に伴つて、各種燒結合金の摺板製品が出現し、鐵道電化協會等關係方面でも、電氣車用摺板の改良・集電の研究等が活潑に行なわれているが、電氣車摺板の特性に關する實驗結果は、從來、あまり發表されていない様である。

これは、電車・電氣機關車等の複雑な構造物の一部である關係上、理論的にも、實驗的にも、

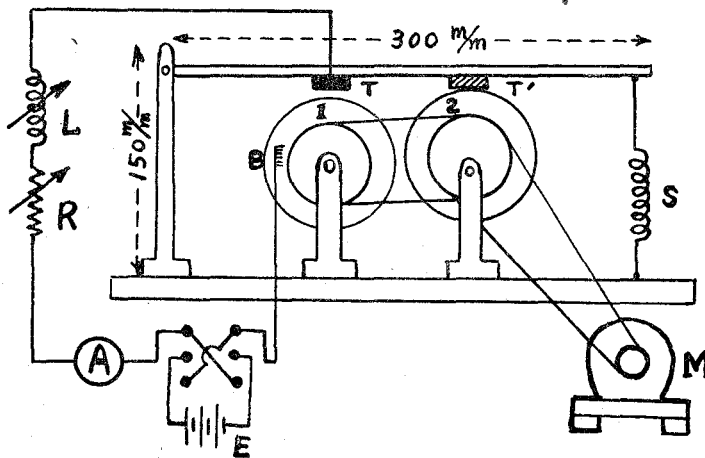
取扱いが面倒であることに依るものであろう。試験車を特別に運轉して、実験を行なつたり、車輛の整備工場等で、長期間の實際の使用結果をまとめたりして研究することは、人員・資材・時間等の點で、相當な困難があるばかりでなく、色々な條件（例えば、天候・線路状態・速度等々）に支配されて、實驗條件が不均等となつて、確實な資料を得がたい憾がある。これらの點に鑑み、電氣車用摺板の試験装置を製作して、これにより、各種の實驗を行ない、色々な摺板の機械的・電氣的特性を求めることは、單に摺動接觸の研究上興味深いばかりでなく、實際の電氣車用摺板の設計、製作、保守、運轉等の點からも極めて必要なことである。

筆者は電氣車用摺板の試験装置を試作し、若干の實驗結果を得たので、茲にとりまとめて報告し、關係各位の御批判を願う次第である。

II 試作試験装置の概要

(1) 摺動接觸試験装置¹

接點材料の試験装置或は整流試験器として、從來發表されている装置には色々なものがあるが、之等の中には、摺板材質の試験装置として適當なものはあまり例がない。即ち、常時摺動接觸を行なわせながら、電氣回路を斷續せしめて火花を發生させ、摺動接觸試験片の電氣的、機械的特性を判定すべき装置の試作を行なう必要があつた。筆者は單に摺板試験器としてではなく、一般に摺動接觸の研究を目的として、第1圖に示す如き試験器を試作してみた。



第1圖 摺動接觸試験器説明圖

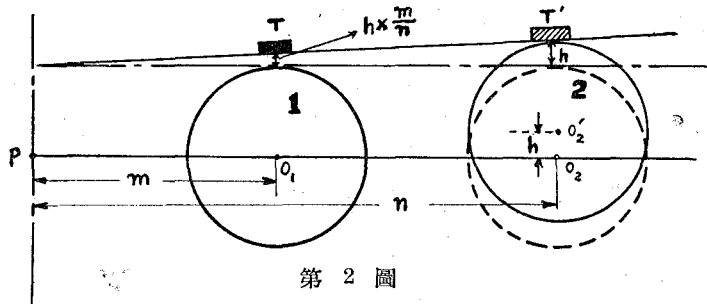
第1圖は偏心板驅動式摺動接觸試験装置の説明圖である。圖に於て1, 2はそれぞれ6 mm×80 mmφの銅圓板で、2は偏心になつて保持されている。

これを電動機Mで驅動してやると、銅圓板1と試験片Tは摺動接觸を行ない

- 1 本装置に関しては學振第117小委員會・研究報告 第3-17-2號 宗宮知行・山名順圭「摺動接觸試験装置の試作及び若干の實驗結果」に詳細發表した。
- 2 代表的なものとしては 鳳誠三郎著「電氣接點と開閉接觸子」克誠堂發行（昭和25年）G. WINDRED「ELECTRICAL CONTACT」MACMILLAN LONDON（1940）等にある。

ながら圖中の電氣回路を斷續する。 T と 1 との接觸壓力はスプリング S に依つて與えられる。 T 、 1 間に發生する火花電壓波形を電磁オシログラフに依つて撮影したり、試験片 T の摺動面や銅圓板 1 の接觸面の變化を記録したりする。實驗前後の試験片の重量變化から、火花回数及び摺動接觸距離に對する磨耗量も知り得る。 L 、 R 及び E を適當に撰定し、 S にて接觸壓力を加減し、電動機を速度を變化すれば、色々な條件の試験が出来る。又、この装置を箱の中に入れ、水蒸氣或は瓦斯等を送つて、その接觸に及ぼす影響を調査したり、油、水滴等を摺動面に供給して、その影響等も調べることが出来る。猶、銅圓板 2 の偏心度を取付位置を變化したり、 2 をカムにして、その形狀を變えれば、最大火花間隙や、摺動接觸距離（時間）も比較的簡單に變化することが出来る。

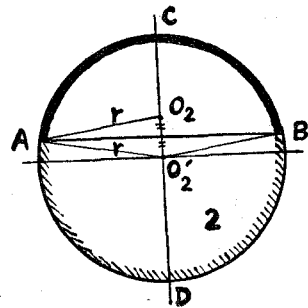
第2圖から容易に理解し得る如く、銅圓板 2 の偏心度を $h = O_1O_2'$ とすると、銅圓板 2 の回轉中に於いて T' の接觸點が第3圖の \widehat{ACB} の範圍では、 T は銅圓板 1 に接觸し \widehat{ADB} の範圍では、



第 2 圖

T と 1 との間で電氣回路は開放される。第2圖から明かなる如く、一般には、 T と 1 との最大間隙は $h \times m/n$ である。勿論 $\overline{PO_1} = \overline{O_1O_2}$ として置けば、最大間隙は $h/2$ となる。

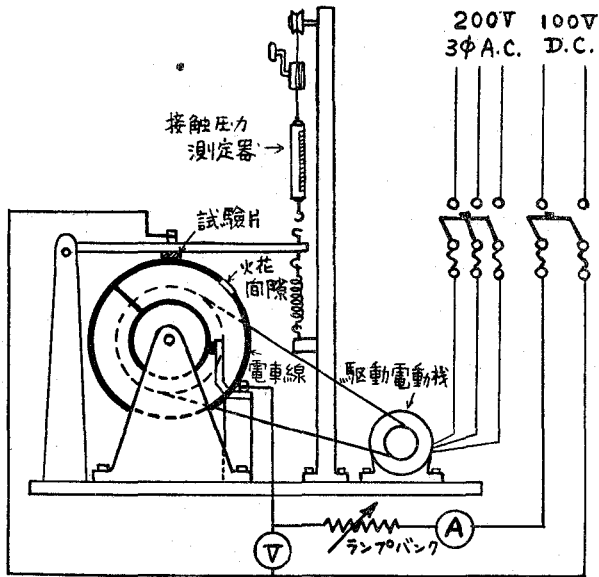
銅圓板 1 の回轉數を R r. p. m. とすると、 t 分間運轉を行なつた場合には、電氣回路斷續回数(火花回数)は $R \times t$ 回であり、通電時間、摺動接觸距離はそれぞれ $t \times \theta/2\pi$ 、 $2\pi r \cdot R \cdot t \cdot \theta/2\pi$ である。[但し、 r は銅圓板半径、 θ は \widehat{ACB} の中心角(ラジアン)である。]



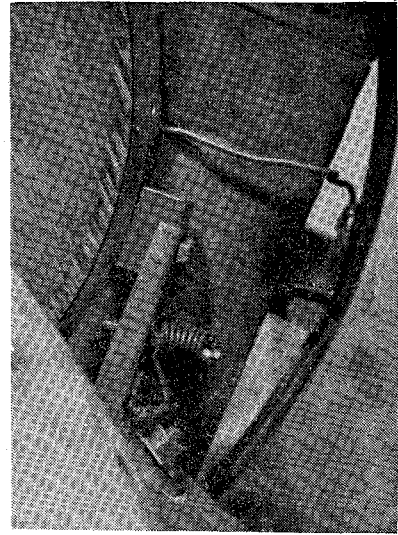
第 3 圖

(2) 摺板試験装置

(1) で述べた摺動接觸試験装置に依れば、摺動接觸を行ないながら、電氣回路を斷續した場合の現象が精密に實驗出來て好都合であるが、摺板の試験を行なう場合には、寸法、形狀及び使用材料等の點から、現事實驗に近い狀況とすることが困難で、いささか物足りない感があつたので、前記の試験装置に色々検討を加えて、摺板の試験装置として、次の如き装置を製作した。第4圖・第5圖は、試作試験装置及びその一部の構造を示すものである。製作に際して、少しく注



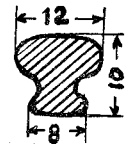
第4圖 摺板試験装置



第5圖 摺板試験装置の一部

意を拂つた主要な点を列挙すれば次の如くである。

(a) 銅圓板の代わりに實際の架空電車線を使用した。北海道では、電車線の入手が困難であり、三井美明鑛業所の坑道に使用されている硬銅電車線の磨耗限度に達した古線を使用した。概略の寸法は第6圖の如くである。之を直径46 cm の旋盤の勢車に巻き付けて切断し、厚さ 3cm 直径46cmの木材圓板

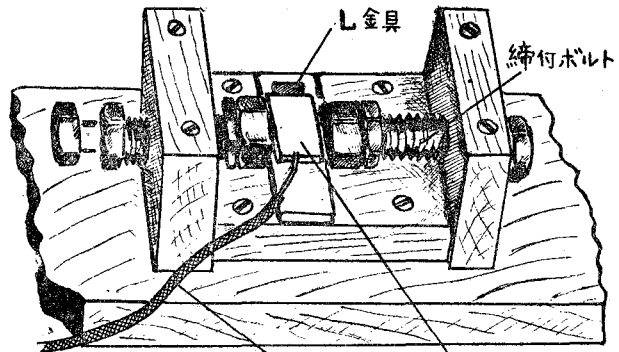


第6圖 電車線断面

に鐵線で締め付け、眞圓になる様に仕上げた。火花発生間隙として、電車線の繼目に電車線と同一高さに、長さ 55 mm の木片を挿入したが、實驗中、發生火花の爲めに焼損したので、人工大理石を加工して使用した。

(b) 摺動速度を約 27 km/hr に増大した。驅動電動機は、適當な可變速度電動機がなかつたので 1/4 H.P. 200V, 3φ, 1000 r.p.m. の誘導電動機を使用した。電動機のプーリーの直径が 9cm で、電車線圓板のプーリーの直径が 29 cm であるから、摺動接觸速度は約 27km/hr となる。

(c) スプリングバランスに依つて、試験片抑え壓力を平衡させ、パイロットランプを含んだ電気回路を開き、ランプを消灯させて、接觸壓力の測定を行なつたが、この接觸壓力測定装置を常時使用し得る如く、試験装置に取付け、壓力の測定・點檢を便利にした。



第7圖 試験片保持器

(d) 試験片保持器を改良した。ドリルで試験片に直接孔を穿け、之を保持板にボルト締めすることは、取扱上の不注意や、運轉中の摩擦力等に依つて、ドリル孔周邊に欠損を生じ易く、磨耗量の測定が行ない難かつたので、これを、第7圖の如く改めた。即ち、試験片の兩側をボルト・ナットではさみ付け、電車線の回轉方向に L 金具を付けて、運轉中に試験片が飛ばされない様にした。

以上を要するに、従來の装置に比べると、精密試験器としては、幾分取扱上不便かとも思われるが、高電壓、大電流、高速度の實驗が行ない易く、然も實際の架空電車線を使用し、出来る限り、現車の條件に近づけた點が特徴と言える。

III 實驗結果

次に、前述の摺動接觸試験装置及び摺板試験装置を用いて行なつた各種電氣車用摺板の特性試験結果を述べる。

(1) 發生火花の色及び長さ

摺板試験装置を用い、電車線圓板の回轉數：300 r.p.m. (摺動速度 27km/hr)、接觸壓力：4 kg、回路電壓：110V D.C.、負荷電流：靜止接觸時 15A, 30A, 45A, (負荷：ランプバンク使用) の場合の發生火花を觀測した結果を第1表に示す。

CM-30 及び 8601N は摺板ではないが、丁度手近な所にあつたので、参考までに試験してみたのである。CM-30 は粉末となつて飛散する傾向があり、8601N はこの傾向が甚だしく、數十分の運轉で、約3坪の實驗室いつばいに炭素粉末が飛散した。

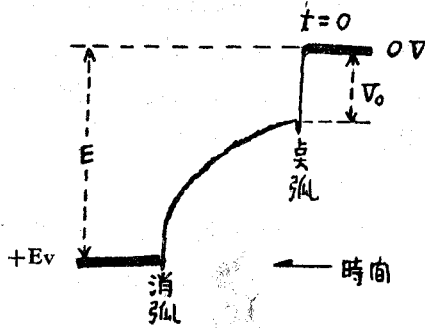
プロイメツト・スライイト等は飛散はするが、比重が大なる爲め、試験装置の附近に落下するのみであつた。

炭素摺板、黒鉛化炭素摺板は、磨耗量も少く、飛散も少く、時々赤色の火の粉となつて飛ぶ程度であつた。

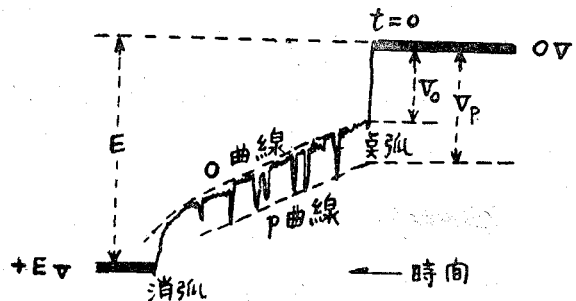
(2) 發生火花電壓波形

第1表 發生火花の色及び長さ

摺板名	火花の色	15 A	30 A	45 A
CM-30	青白色	約 3.0 ^{cm}	約 3.5 ^{cm}	約 4.0 ^{cm}
8601 N	白桃色	3.0	3.0	3.5
スライイト #1	青綠色	2.5	2.5	3.0
スライイト #2	青綠色	2.0	2.5	3.0
プロイメツト	青綠色	3.0	3.0	3.5
IH 合金	白色がかった青綠色	1.5	1.5	1.5
アルミニウム	青綠色	1.0	1.0	1.0
銅	濃青綠色	1.0	1.0	1.0
炭紙摺板	青白色	1.2	2.0	4.5
黒鉛化炭素摺板	青白色	1.0	2.0	4.0



第 8 圖

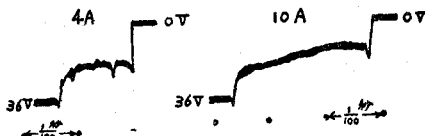


第 9 圖

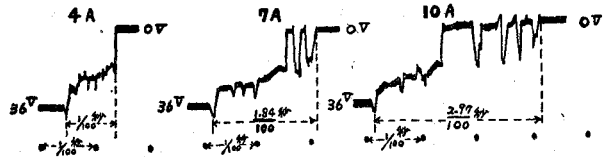
一般に、電極を予め接觸させておき、之を漸時に引離した場合の電弧電圧を記録してみると第8圖の如くなる。點弧と同時に發生する電壓 V_0 は、電弧長が非常に短い時の電弧の電壓である故 $V_0 = (\text{陰極降下}) + (\text{陽極降下})$

と考へてよい。然しながら、電弧に依つて、電極が異常消耗する様な場合には、一般に電弧の電壓波形は不安定となり、電弧電圧は不規則的な急上昇をする様になり、第9圖に示す如くなる。この場合電弧電圧の底部を連ねる曲線(O-曲線)と、其の尖頭部分を連ねる曲線(P-曲線)とを考へる。

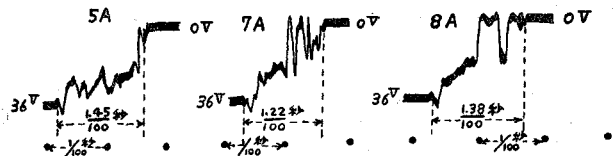
O, P 兩曲線を $t=0$ 迄延長した値をそれぞれ V_0, V_P とする。今、若し、電弧電圧の不規則な急上昇が、電弧柱部分の現象のみに起因するものであるとすれば、O, P 兩曲線は $t=0$ に於いて、交わるべきであり、従つて、 $V_0 = V_P$ となる筈である。故に $V_P > V_0$ であれば、電極面に特異現象が現れてゐると解釋すべきである。³⁾



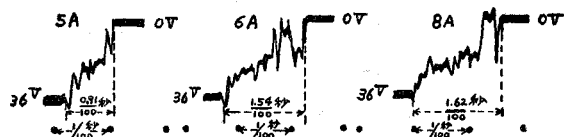
第 10 圖 炭素摺板の電弧電壓波形



第 11 圖 アルミニウム摺板の電弧電壓波形



第 12 圖 銅摺板の電弧電壓波形



第 13 圖 スライライトの電弧電壓波形

3 鳳誠三郎 電弧電極の異常消耗機構に就いて、電學誌 P. 557 (昭和 16. 10)

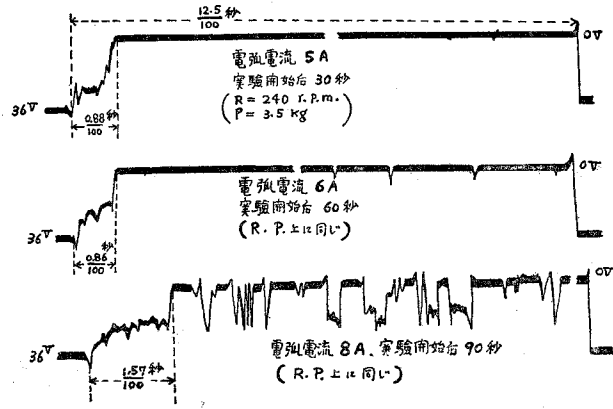
第10圖～第13圖は何れも同一陽極材料（摺動接觸試験装置・第1圖の銅圓板1）を用い、陰極側に各種摺板材料を用いた場合の電弧電壓波形で、その一例を示したものである。 V_p が各試験片に依つて異なつてゐるのは、電極面に於て（此の場合は、同一陽極である故、特に陰極面に於て、前述の特異現象が発生しているものと見なければならぬ。 V_0 、 V_p の値は色々な原因⁴によつて左右されるものと考えられるので、各試験片についてそれぞれ何ボルトとなるかを斷定することは困難であるが、炭素摺板の場合、波形に不規則な急上昇が少く、 $V_0 \approx V_p$ と見做すことが出来るのであつて、然も電弧電流の増加にも拘らず、略々 $V_0 = V_p =$ 一定なる關係にあることが第10圖より判る。

これに對して、他の金屬質の摺板を用いた場合は、何れも特徴のある、不規則な電壓波形を示し、特にアルミニウム摺板の如きは、部分的に熔着現象が生じていると考えられる波形を示している。

圖中に示した電流値は、實驗中に、回路に挿入した電流計の讀みを示したもので、靜止接觸時の電流値ではない。

以上の電壓波形から、炭素摺板以外のものは、大體に於て皆、異常消費をしていると考えられる。

次に、接觸面の粗れ方を示している一例として、プロイメットを用いた場合の電壓波形を見てもみると、第14圖の如くである。同圖は上から、電弧電流を5A、6A、8Aに調節して、それぞれ30秒ずつ運轉を行ない、30秒後の電弧電壓波形をとつたものである。5A、6Aの場合、摺動接觸時には殆んど火花発生が見られないが、電弧電流の増



第14圖 プロイメット摺板の摺動接觸狀況

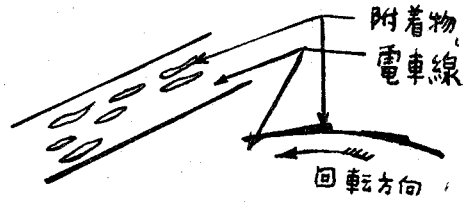
加に伴い、摺動接觸の圓滑は全く失われて、常に小さい火花が発生していることが判る。これらの火花は、摺動接觸時に發生するもので、長さが極めて短い場合であつて、火花電壓はほぼ V_0 に等しくなつてゐる。

(3) 電車線の表面變化

炭素ブラシ 8601N、金屬黑鉛質ブラシ CM-30、炭素摺板、黑鉛化炭素摺板の四種は、摺

⁴ 例へば摺動速度・接觸壓力・負荷電流・回路電壓：表面の物理的・化學的状況等々

板試験装置に依つて試験してみると、電車線の摺動面は炭素が附着して黒變し、極めて滑かとなつている。電車線の磨耗は殆んど無いようであり、炭素の粉末は、電車線の小凹凸を無くするように附着し、炭素の潤滑性の良好さを如實に物語つていた。



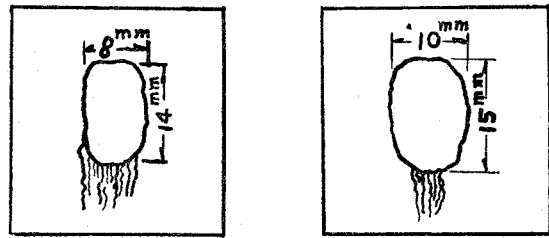
第15圖 電車線えの熔着

焼結合金系の摺板を使用した場合は、電車線表面に、鼠色に變色した「ささくれ」が発生し、電車線が焼けただけのように見え、磨耗の激しさが窺える。

銅及びアルミニウム摺板は運轉中に、明かに、小熔着現象を呈し、電車線の上に、銅及びアルミニウムが削り取られて行く様に附着する。アルミニウムの場合は、この傾向が特に甚だしく、電車線の磨耗よりも、アルミニウムの附着の方が著しいようである。この附着現象の一例を第15圖に示す。銅の場合は、負荷電流 15A の場合でも、實驗開始後約2分で摩擦力が急増し、ベルトが外れ、ベルトワックスを塗つても運轉不能となつた。

(4) 試験片の表面變化

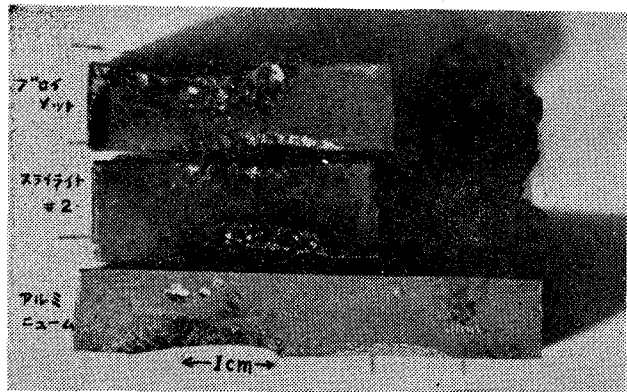
摺板試験装置を用いて、各種摺板の磨耗量の測定を行なつたが、その際の試験片の表面變化について述べる。[接觸壓力 4kg 摺動速度 27km/hr, 負荷 110V D.C. 15A, 30A, 45A それぞれ15分間運轉]



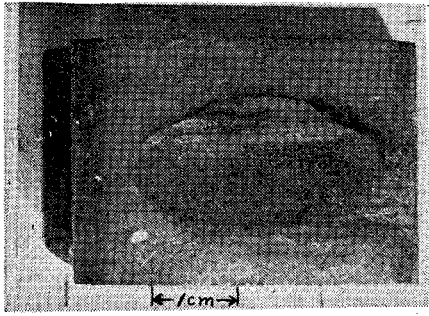
(A) 炭素摺板 (B) 黒鉛化炭素摺板

第 16 圖

實驗後、摺動面の最も滑らかに磨耗しているものは、炭素ブラン(8601 N) 及び金屬黒鉛ブラン (CM-30) である。炭素摺板及び黒鉛化炭素摺板も同様に滑らかな磨耗面を呈するが、火花の切れる部分の狀況は第16圖 (A), (B) の如くである。同圖を見るに、黒鉛化炭素摺板の方が磨耗量は大きであるが火花の發生度合は小さいものと思われ、興味ある結果を示している。



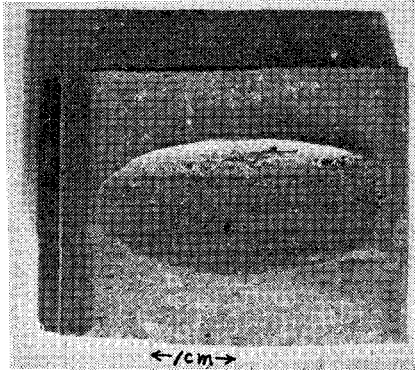
第 17 圖 火花切れ側磨耗の一例



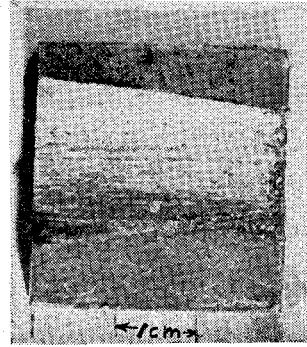
1. 炭素摺板



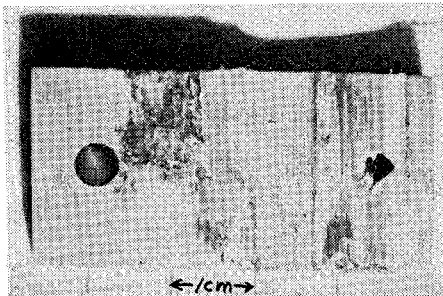
5. スライライト No. 2



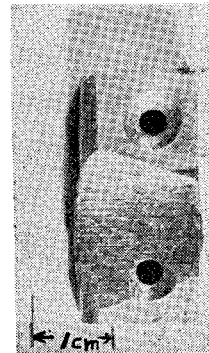
2. 黒鉛化炭素摺板



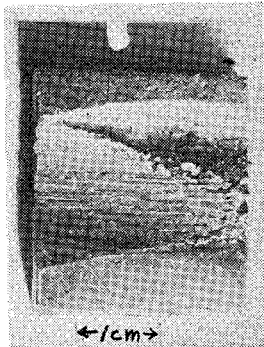
6. ブロンズ板



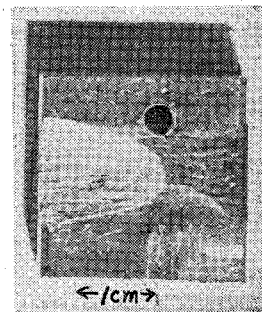
3. アルミニウム摺板



7. IH合金



4. スライライト No. 1



8. 銅摺板

第18圖 各種摺板の磨耗面
(29)

焼結合金系のものは、磨耗面は金属光澤を有し輝面磨耗と熔融磨耗⁵が生じていることを示している。火花の切れる側が、はげしく熔融し第17圖の如き状態となる。IH合金は、表面が熔けて押しつぶされたような状態となり、熔融ひさしとも名付くべきものが出来ている。アルミニウムは、電車線に依つて削り取られたような磨耗面を呈し、小凹凸が激しく生じて居り、火花の切れる側は焼結合金よりも著しく熔融している。以上の結果を第18圖に示す。

(5) 試験片の磨耗量及び寿命

摺板試験装置に依り、接觸壓力 4kg, 摺動速度 27km/hr で、回路に 110V D.C. の電圧を加え、ランプバンクに依つて静止接觸時電流を 15, 30, 45A に調節し、それぞれの場合に就き15分間運轉を行なつて、運轉前後の重量を秤量し、磨耗量を求めた。従来、磨耗量は重量（ミリグラム）又は試

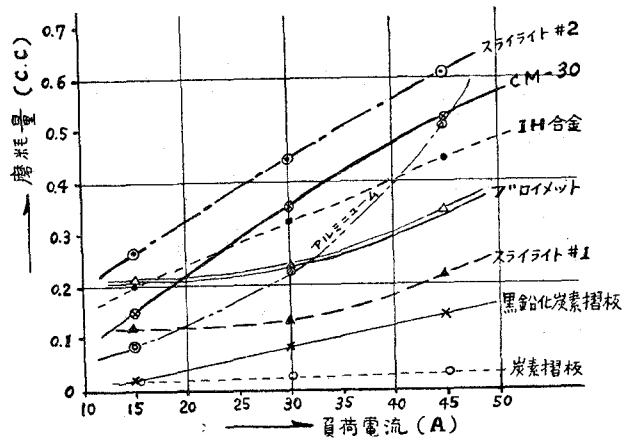
験片の寸法（ミリメートル）で表わされているものが多いが、磨耗で問題となるのは体積磨耗であり、体積で表わす方が比較するのに便利であるから、磨耗重量を体積に換算して第2表及び第19圖に示した。

8601N 及び CM-30 はブラシであつて、摺板ではないが、手持りものがあつたので参考までに試験してみたのである。結

果は予想通り莫大な磨耗量を示した。然し CM-30 は脆弱である爲めの機械的磨耗が相當大であることが考えられるので、この欠点を除けば、潤滑性は良好であり、且つ、機械的強度そのものは強いのであるから、今後製造上の研究に依つては、摺板として優秀なものが製作可能と思われる。

第2表 各種摺板の磨耗量

摺板名	体積磨耗量 (CC)		
	15 A	30 A	45 A
CM-30	0.15	0.36	0.53
8601 N	0.99	1.35	2.07
スライライト #1	0.13	0.14	0.23
スライライト #2	0.27	0.45	0.61
プロイメツト	0.22	0.24	0.35
IH 合金	0.21	0.33	0.45
アルミニウム	0.09	0.24	0.51
炭素摺板	0.02	0.02	0.03
黒鉛化炭素摺板	0.02	0.09	0.15



第19圖 各種摺板の磨耗量

⁵ 坂本雪太郎：電氣鉄道 P.2. 第4巻 第2號 (1950)

焼結合金系のものでは、45A迄の實驗結果では、スライライト #1 は、電流値が増大しても磨耗量は大きく増加せず、概して良好な結果を示している。之に反して、電流値の増加に依つて磨耗量が急激に増加するのはアルミニウムである。

本實驗に於ては、炭素摺板は、他の各種摺板に比して、極めて良好な結果を示した。黒鉛化炭素摺板が、15Aの負荷では、炭素摺板と同一磨耗量を示しているながら、負荷電流45Aの時は約5倍の磨耗量を示したことは注目すべき結果である。

以上の測定結果は、從來發表されている磨耗量に比して、かなり大きいように思われるが、これは、次の如き理由に依るものと推察される。即ち、負荷電流15A、30A、45Aをそれぞれ15分間連続通電し、火花發生回数も5回/秒であり（従つて15分間では4500回火花を發生する。）且つ、電車線と試験片の接觸面積も小さく、比接觸壓力も相當高くなつてゐること、及び、電車線も相當な溫度上昇をすること等々を考え合せると、實驗條件としては、相當厳しいことに起因しているのであろう。

次に以上の實驗から、試験片1ccの磨耗で可能な走行距離を算出して、摺板の壽命を比較すると第3表の如くなる。

$$1\text{cc 磨耗に要する時間(分)} = \frac{\text{實驗時間(15分)}}{\text{實驗時間(15分間)中の磨耗量(cc)}}$$

従つて、壽命 km/cc = (1分間の摺動距離) × (1cc 磨耗するに要する時間)

ここに示した、摺板の壽命は、負荷電流を通電したままで、パンタグラフが毎秒5回離線して負荷電流を斷續して、火花を發生し、27km/hrの速度で走つた場合、摺板の同一場所で摺動して1ccの磨耗で走行し得る距離であることに注意しなければならない。所謂、摺板の壽命とは別である。

この結果から見ると、炭素摺板は磨耗については斷然優秀で、他の如何なる材質のものも、遠くこれに及ばないことが判然している。黒鉛化炭素摺板は、電車線を荒らさない點は優秀であり、且つ接觸抵抗・固有抵抗も低くなり、⁶通電容量を増大し、電車線の溫度上昇を低下せしめて斷線の危険を防ぐと稱せられているが、本實驗結果の如く、負荷電流の増大に伴つて壽命

第3表 各種摺板の壽命

摺板名	壽命 (km/cc)		
	15 A	30 A	45 A
CM-30	45.2	19.0	12.7
8601 N	30.0	4.1	3.3
スライライト #1	54.3	49.5	29.2
スライライト #2	25.0	16.8	10.0
プロイメツト	30.0	23.7	19.2
IH 合金	31.0	20.6	15.1
アルミニウム	77.0	28.2	13.3
炭素摺板	410.0	357.0	242.0
黒鉛化炭素摺板	357.0	75.0	45.2

⁶ 宗宮知行：電氣車用炭素摺板「炭素」第1巻 第1號 P.19.

が低下するのでは、大容量の電氣車に用いる場合に注意する必要がある。

IV 結 言

以上試作装置の概略を説明し、兩装置に依る各種摺板の特性試験結果の大略を述べた。摺板のみならず、摺動接觸そのものの研究は、それが各種の因子によつて影響される爲に簡単に斷定を下すことは危険であるが、炭素の潤滑性の優秀さは異論の余地が無い。専ら問題はその通電容量の増加法にあると言えよう。IH合金を炭素摺板で挟んだり、炭素摺板と金屬質摺板を同一パンタグラフに混用する様な方法が行われているが、これ等の場合の、火花電壓波形、電流の不均衡、磨耗の問題等に就いての研究は、後日、機を見て報告したい。又、本装置に依つて、水滴、油滴、グリース等が、電車線及び摺板に及ぼす効果、或は、電車線に附着した氷雪の影響等についても研究を行なう予定であるが、關係各方面の御教示を切望する次第である。

最後に實驗に關して色々御教示下され、且つ、電車線及び摺板等をお世話された、慶應大學工學部教授宗宮知行氏及び上木忠勇氏、三井美唄鑛業所の川島傳六氏・工藤義光氏に厚く感謝申し上げる次第である。又、終始實驗に従事された本學學生川島一彦君の勞を謝するものである。猶、本研究の一部は、北海道科學補助金に依るものであることを附記して感謝の意を表する次第である。

(昭和28年4月4日受付)