

## トロリ線摩擦面の移着炭素膜形成条件

Formation conditions of transferred carbon films onto friction surface of trolley wire sliding against metallized carbon contact strips

鉄道総合技術研究所（正）\*久保田 喜雄 （非）三谷 健斗 （非）森本 文子

Yoshitaka Kubota\*, Kento Mitani\*, Fumiko Morimoto\*

\*Railway Technical Research Institute

### 1. はじめに

電車はパンタグラフなどの集電装置をトロリ線と接触させ、必要な電力を外部から取り込んでいる。パンタグラフのトロリ線と接触する部分にはパンタグラフすり板（以下、すり板と表記）と呼ばれるしゅう動接点部材が取り付けられている。このすり板の材料は金属系と炭素系に大別される。炭素系すり板は自己潤滑性を有し、相手材のトロリ線を摩耗させにくいことから、近年では広く用いられている。炭素系すり板の潤滑効果発現条件の一つとして、トロリ線摩擦面における炭素被膜の形成が考えられているが、どのような条件で被膜が形成されるかは明らかになっておらず、室内実験で被膜の形成を再現した例もない。そこで、筆者らは炭素被膜の形成条件解明の端緒とすべく条件を変えて通電摩擦実験を行った。

### 2. 供試材

炭素系すり板のうち JR の在来線で主に使用されている銅含浸型メタライズドカーボンすり板（PC78A、東洋炭素製）を供試した。PC78A の化学組成と物理特性を Table1 に示す。PC78A の炭素基材は 1000～1500℃ で焼成された非黒鉛質炭素である<sup>2)</sup>。トロリ線にはスズ入り硬銅トロリ線（GT-SN110、横巻、三菱マテリアル製）を用いた。すり板試験片の寸法は幅 60mm×長さ 25mm×厚さ 10mm である。トロリ線（直径 12.34mm）は摩擦面の幅が約 5mm となるまで切削したのちに実験に供した。

Table 1 Chemical composition and physical properties of PC78A

Chemical composition (mass %)	
C	52
Cu	48
Physical properties	
Density ( $10^3 \text{ kg/m}^3$ )	3.0
Shore Hardness (HSD)	90
Electric resistivity ( $\mu\Omega\text{m}$ )	1.8
Flexural strength (MPa)	120
Charpy impact value ( $\text{kJ/m}^2$ )	4.2

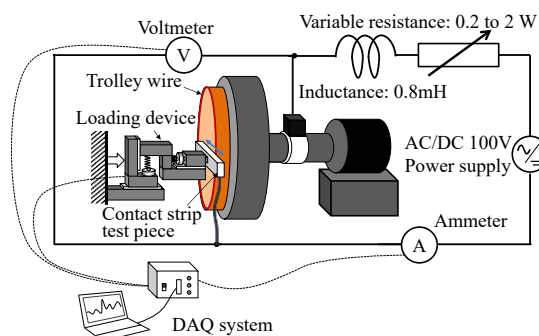


Fig.1 Schematic figure of wear tester

### 3. 摩耗実験

#### 3.1 実験装置

実験には Fig.1 に示す回転摩耗試験機を用いた。本試験機は直径 2m の回転円盤側面にトロリ線を固定し、そこにすり板試験片を接触させ、摩擦・通電するものである。実設備のトロリ線左右偏位を模擬するため、すり板試験片は左右に 5mm/s で 45mm 幅で揺動させた。ロードセルにより摩擦力と押付力を測定した。通電・摩擦中にすり板とトロリ線が離れる（離線する）ことによりアーク放電が発生することがある。すり板とトロリ線の間の電位差が 10V を超えた場合にアークが発生したと判断し、摩擦時間に対するアーク放電発生時間の割合をアーク離線率として算出した。

#### 3.2 実験条件

実験条件を Table2 に示す。1-1～1-9 は、炭素被膜の形成条件を探索するため、速度、電流、距離を変えて実験を行ったものである。2-1～2-4 は被膜の形成条件がある程度把握できたため、実設備と同様の被膜形成を目的に行ったものである。電流はいずれの条件でも直流とし、トロリ線からすり板に流れる向きとした。Table2 の Surface cutting の項は実験前のトロリ線摩擦面切削の有無を表している。切削した場合には新生面での実験となっている。

Table2 Experimental conditions

Run number	Speed (km/h)	Current (A)	Sliding distance (km)	Load (N)	Surface cutting
1-1	50	100	50	50	-
1-2	50	300	50	50	-
1-3	50	100	50	50	done
1-4	50	500	50	50	-
1-5	100	100	800	50	done
1-6	150	100	800	50	-
1-7	150	100	800	50	-
1-8	100	100	800	50	-
1-9	50	100	400	50	-
2-1	250	100	1000	50	-
2-2	100	100	800	50	-
2-3	150	100	636.5	20	done
2-4	50	100	300	50	-

### 4. 実験結果

実験後のトロリ線摩擦面を Fig.2 に、実験 2-4 後のトロリ線摩擦面と実設備のトロリ線摩擦面の比較を Fig.3 に示す。トロリ線摩耗率やトロリ線摩擦面の粗さ（最大高さ  $R_y$  (JIS B 0601-1994)）などの測定結果を Fig.4 に示す。

アーク放電が発生しない実験 1-1～1-5 ではトロリ線摩擦面は銅色のままであった。速度を 150km/h に上げた実験 1-

6, 1-7 ではアーク放電が発生し、トロリ線摩擦面が黒色化した。その後、速度を 100km/h に下げ、再度アーク放電が発生しない条件で摩擦した実験 1-8 後には、トロリ線摩擦面に光沢がみられるようになった。その後、速度を 50km/h とした実験 1-9 後には摩擦面のほぼ全面が光沢面となった。図 5(a), (b)より、実験 1-8 と 1-9 ではそれらの前に行われた 1-5～1-7 と比べ、トロリ線摩耗率が低く、実験後の表面粗さ減少幅が大きかった。

トロリ線摩擦面を切削したのち、被膜形成の再現性を確認するため、速度を 250km/h まで上げて実験 2-1 を行った結果、実験後のトロリ線摩擦面は一部黒色化した。この時のアーク離線率は Fig.4(c)に示すように 3%弱であった。その後、速度をアーク離線が生じない 100km/h に下げて実験 2-2 を行ったが黒色部は消失し、被膜形成には至らなかった。離線を生じやすくするため、押付力を 20N とし、速度 150km/h で実験 2-3 を実施したところ、アーク放電が 20%程度発生し、トロリ線摩擦面のほぼ全面が黒色化した。その後、押付力を再度 60N とし、速度をアーク放電が発生しない 50km/h として実験 2-4 を実施した結果、Fig.3 に示すように、実設備のトロリ線摩擦面と外観が類似した平滑な黒色被膜が形成された。被膜が形成された実験 2-4 では Fig.4(a), (b)に示すようにトロリ線摩耗率とトロリ線表面粗さの減少が認められた。実験 2-4 後に走査型電子顕微鏡（日立ハイテク、S-3400N）のエネルギー分散型 X 線分析装置（Bruker, XFlash Detector4010）により黒色被膜の元素分析を行った結果、被膜からは Cu が 75.5wt%, C が 20.8wt%, O が 3.6wt%検出された。

## 5. 考察

黒色被膜の元素分析結果より、被膜はすり板からの移着炭素被膜であると推定した。実験 1-1～1-5 のようにアーク放電が生じない場合にはすり板が摩耗してもトロリ線に移着炭素被膜は生成しなかったことから、移着は単にすり板が摩耗することで起きるわけではなく、アーク放電が移着発生の一要因であると考えられる。これまでの研究から、今回用いたメタライズドカーボンすり板ではアーク放電が生じることですり板摩擦面から銅が溶出し炭素リッチとなること、炭素基材の黒鉛構造が増加することがわかっている<sup>2)</sup>。これらのことがトロリ線摩擦面への炭素の移着を促進した可能性が考えられる。移着した炭素は繰り返しの接触・摩擦により圧縮され、被膜化する可能性が考えられ、実験 1-7 や実験 2-3 のようにアーク放電が発生し続ける条件の場合、移着は起きるもののアーク放電や離線により移着炭素の圧縮が妨げられるために被膜が形成されなかった可能性が考えられる。被膜形成により摩擦面が平滑化した理由として、摩擦面の凹凸が移着炭素によって埋められた可能性が考えられる。被膜形成時にすり板とトロリ線の摩耗率が減少した理由として、被膜によりトロリ線とすり板の直接の接触が防がれ、凝着摩耗が生じにくくなったことが考えられる。

## 6. おわりに

炭素系すり板と摩擦するトロリ線摩擦面の炭素被膜の形成条件を明らかにすべく、種々の条件のもと通電摩擦実験を行った。その結果、離線アーク放電が発生する条件で摩擦し、トロリ線にすり板の炭素成分が移着したのち、アーク放電が発生しない条件で摩擦し続けることにより、実設備と同様の平滑な炭素被膜が生じることがわかった。

## 文献

- 1) 久保・土屋：カーボン系パンタグラフすり板の開発，RRR (1999) pp.10-13.
- 2) 久保田・早坂・古賀・野崎：銅含浸型メタライズドカーボンすり板の局部摩耗発生機構，電気学会論文誌 D，Vol.141，N0.5 (2021) pp.395-404.

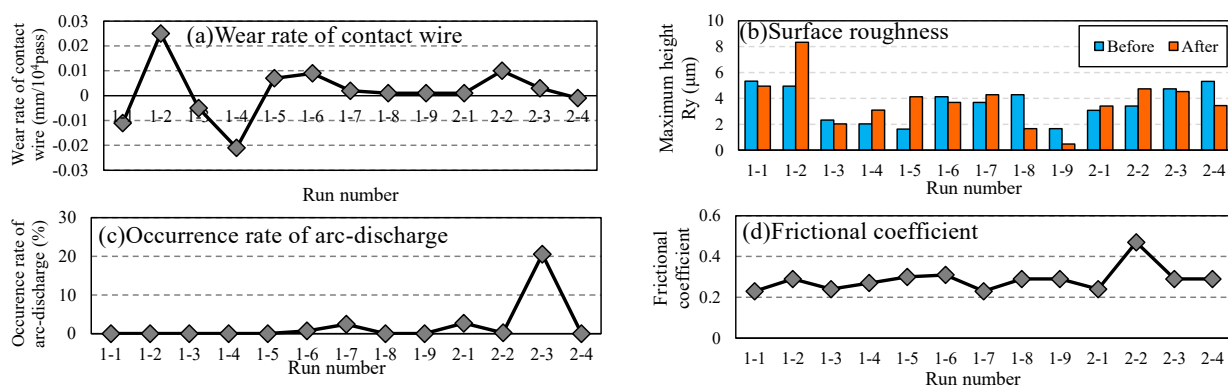


Fig.4 Measurement results of contact wire wear rate, surface roughness, arc-discharge and frictional coefficient

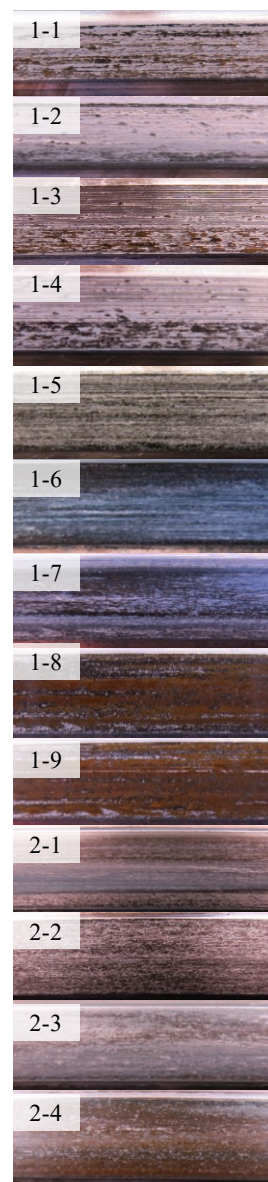


Fig.2 Frictional surface of contact wire

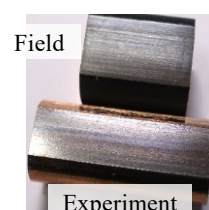


Fig.3 Comparison of contact wire frictional surface