

アーク継続時間と集電系材料の表面状態の関係

○ [電] 早坂 高雅 (鉄道総合技術研究所)

Relation between Arc Duration and Contact Materials

○Takamasa HAYASAKA (Railway Technical Research Institute)

Arc discharges by contact loss between contact wires and pantographs are the factors in damages of contact wires and contact strips. The experiment results show the same phenomena and results. We have experimented about arc discharges in which the arc duration is controlled in order to solve the arc phenomena between contact wires and contact strips. This paper shows the relation between arc duration and contact materials.

キーワード : アーク継続時間, 集電系材料, アーク痕

Key Words : Arc duration, Current collecting material, Arc trace

1. はじめに

電気接点にトロリ線とすり板を用いて, 実験室内で 1~2 sec のアーク継続時間を有するアーク放電を発生させると, アーク放電発生前後でトロリ線の質量は増加し, すり板の質量は減少することがわかっている⁽¹⁾. このときのトロリ線の質量増加は, 溶融したすり板の一部がトロリ線に付着するために生じていると考えられている. 一方, 鉄道のフィールドにおいてはトロリ線や剛体電車線のしゅう動面に生じる波状摩耗のように, 局所的な摩耗 (質量の減少) が確認されており, その形成に離線時のアーク放電が関係していると考えられている⁽²⁾. 実験室内での開離によるアーク放電と鉄道のフィールドにおける離線時のアーク放電の違いは, 電流の大きさ, アーク継続時間, 接点形状やその大きさ, 電気接点の移動方向など多岐にわたる. これらのうち, アーク放電前後でのトロリ線質量変化に影響を及ぼすのは, アーク継続時間である⁽³⁾.

アーク放電が集電系材料に及ぼす影響を明らかにするためには, 電気接点に集電系材料を用いたうえで, アーク継続時間を任意に変えて, 電気接点表面に形成される凹凸を詳細に解析する必要があるものの, これまでにそのような実験結果は報告されていない.

そこで, 筆者は集電系材料を用いてミリ秒オーダーでアーク継続時間を任意に変更してアーク放電を発生させた. 本論文では, アーク放電発生前後のトロリ線およびすり板

の質量変化ならびにトロリ線およびすり板表面の観察によって確認された窪み (凹部) の半径や深さの測定結果を報告する.

2. 実験条件

2.1 実験装置

図 1 に実験で使用した電極開閉装置および直流電源を, 図 2 にその回路図を示す. この電極開閉装置は, 電極としてトロリ線やすり板を上下対に固定して, 一方の電極を任意の速度で上下に移動させることのできる可動ステージを備えている. またアーク継続時間はサイリスタを用いて 0.2~500 msec とした.

2.2 電極

表 1 に各電極に用いた材料の種別と成分を示す. 実験に用いた電極は, 陽極に 20~30 mm の長さのみぞ付き硬銅トロリ線 110 mm², 陰極に約 20×25×10 mm の在来線で一般的に使用されているカーボン系すり板の一種である PC78A を使用した. トロリ線とすり板は, 実験前に 200 番の紙やすりで接触面を研磨したうえで, エタノールで脱脂し, 十分乾燥させた後に質量を測定してから, 固定ステージにトロリ線を, 可動ステージにすり板をセットした.

表 1 電極材料

極性	材料	組成 (重量%)
陽極	GT110	Cu (99.96%)
陰極	PC78A	Cu (50%), C (50%)

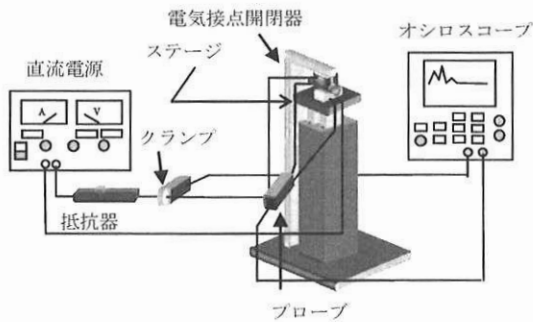


図1 電極開閉装置

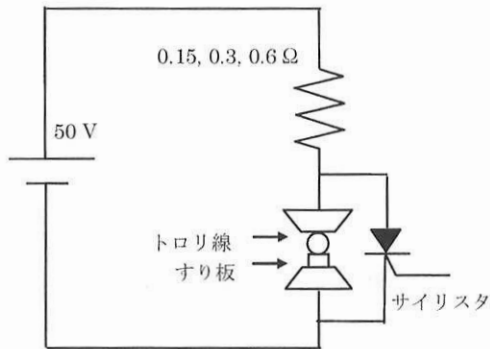


図2 回路図

3. 実験結果

3.1 トロリ線

図3にアーク継続時間とアーク放電発生前後でのトロリ線の質量変化の関係を示す。290Aのデータにばらつきが見られるものの、アーク継続時間が長くなるとトロリ線の質量増加が観測される。また290A以外のデータはアーク継続時間が約10 msecまでで、アーク放電発生後のトロリ線質量の減少が確認され、それ以上のアーク継続時間になるとトロリ線質量が増加する。図4に80Aの電流を流した状態でアーク放電を発生させた後のトロリ線表面を示す。アーク放電の発生によりトロリ線表面には凹部が形成されることがわかる。またアーク継続時間が長くなることで、トロリ線表面に付着物が確認できるようになる。この付着物はアーク継続時間の長さに応じて増加するため、トロリ線の質量を増加させる要因になる。

図5にアーク継続時間とアーク放電発生後にトロリ線表面で形成された凹部の半径の大きさと深さを示す。なお、図中に示した電流値はアーク放電発生前に電気接点に流れている電流の大きさである。

80Aの電流を流してアーク放電を発生させた場合、凹部の半径ならびに深さはアーク継続時間の変化によらずほぼ一定の値であった。160Aの電流を流してアーク放電を発生させた場合、凹部の半径ならびに深さは約80Aの電流を流した場合よりも大きくなる。加えて、その大きさはアーク継続時間が約1 msecまでの間で増加し、1 msec以上ではほぼ一定の値になった。この傾向は290Aの電流のときも同じであった。

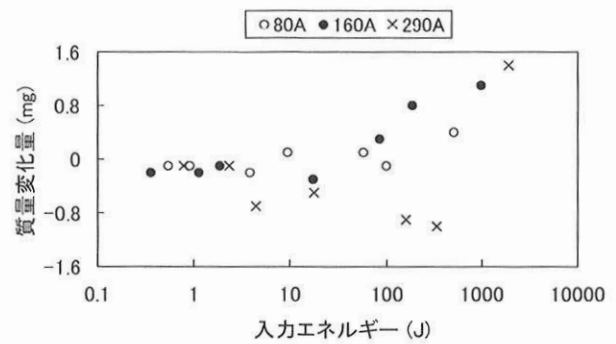
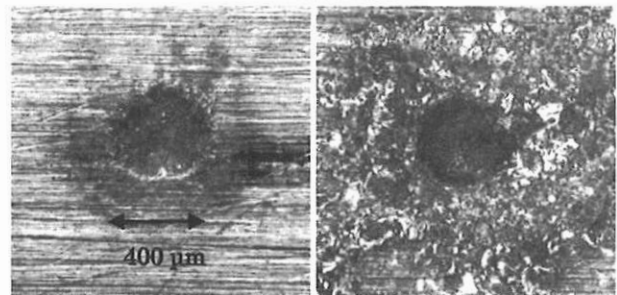
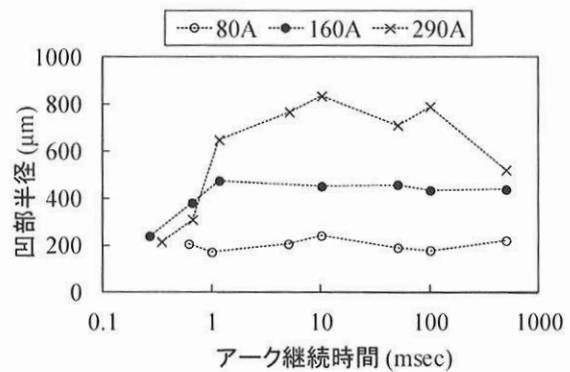


図3 入力エネルギーとトロリ線の質量変化の関係

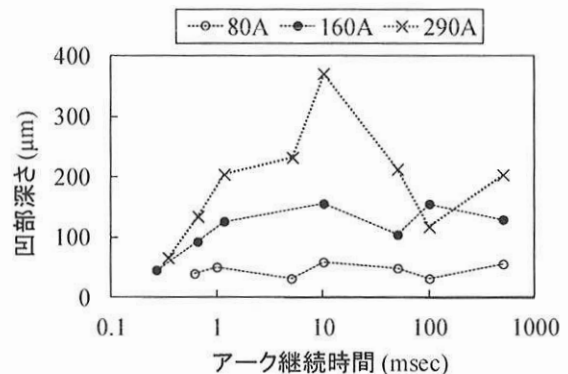


(a) アーク継続時間 (0.5 msec) (b) アーク継続時間 (10 msec)

図4 アーク放電発生後のトロリ線表面 (80A)



(a) 凹部半径変化



(b) 凹部深さ変化

図5 アーク継続時間とトロリ線凹部の形状変化

3.2 すり板

図 6 にアーク放電発生後のすり板表面の状態を示す。すり板上に残されたアーク痕には、黒い箇所と灰色で小さな粒が確認できる箇所がある。すり板上のアーク痕の半径は、黒い箇所と灰色で小さな粒が確認できる箇所の面積から算出している。なお、アーク放電終了後のすり板には、凹凸がほとんど観測されなかったため、すり板の凹部深さ測定を省略している。

図 7 にアーク電圧、アーク電流、アーク継続時間を乗ずることで得られる入力エネルギーとすり板の質量変化の関係を示す。入力エネルギーの増加とともに、すり板の質量減少が確認された。また電流依存性は、この実験条件において確認されなかった。図 8 にアーク放電発生後のアーク痕の大きさを示す。(a) に示したようにアーク痕半径は、アーク継続時間に応じて緩やかに増加する傾向にある。また (b) に示したように入力エネルギーとアーク痕の半径においても同じ傾向が示されている。また、アーク痕の半径は電流の大きさに応じて大きくなることもわかる。

4. 考察

実験結果をアーク継続時間の観点で整理すると次のようになる。

① アーク継続時間：～約 1msec

- トリ線凹部：半径、深さともに増加する傾向にある。
- トリ線質量：減少する傾向にある。
- すり板アーク痕：半径が増加する傾向にある。
- すり板質量：減少する傾向にある。

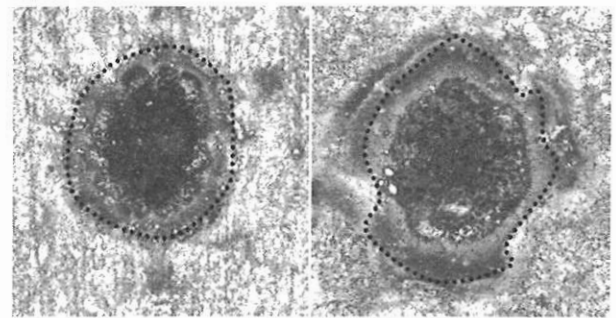
② アーク継続時間：1～10 msec

- トリ線凹部：半径、深さともにほとんど変化しない。
周囲に付着物が観測される。
- トリ線質量：減少する傾向にある
- すり板アーク痕：半径が増加する傾向にある
- すり板質量：減少する傾向にある。

③ アーク継続時間：10 msec～500 msec

- トリ線凹部：半径、深さともにほとんど変化しない。
- トリ線質量：増加する傾向にある。
- すり板アーク痕：半径がわずかに増加する傾向にある。
- すり板質量：減少する傾向にある。

トリ線の表面に形成される凹部の大きさは、10 msec 以上のアーク放電でほとんど変化せず、電流の大きさに依存する。すり板でもトリ線と同様な現象が確認されたものの、すり板質量の減少が入力エネルギー（アーク継続時間）に依存する。したがって、アーク継続時間が長くなると、アーク痕の半径の増加傾向が緩やかになるものの、アーク放電の影響が、すり板の深さ方向に伸展し、これにともない、すり板の質量が減少すると考えられる。



(a) アーク継続時間 (0.5 msec) (b) アーク継続時間 (10 msec)

図 6 アーク放電発生後のすり板表面 (80A)

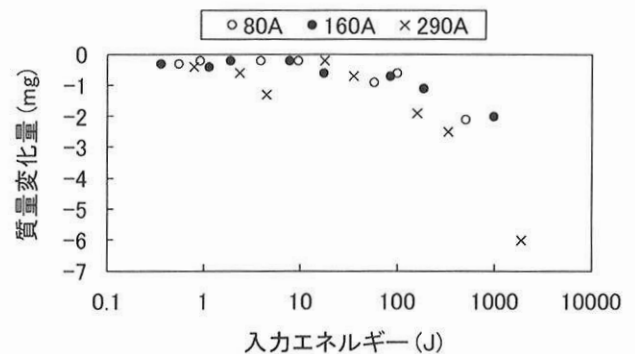
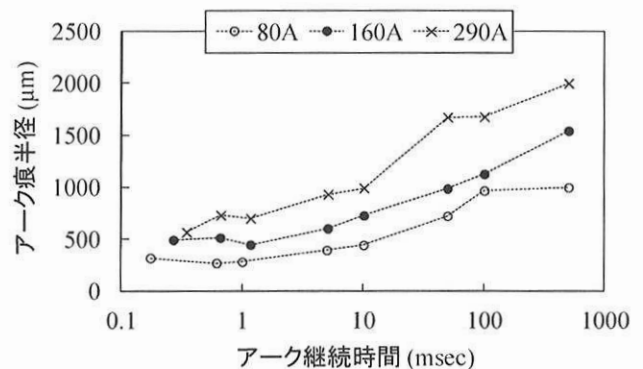
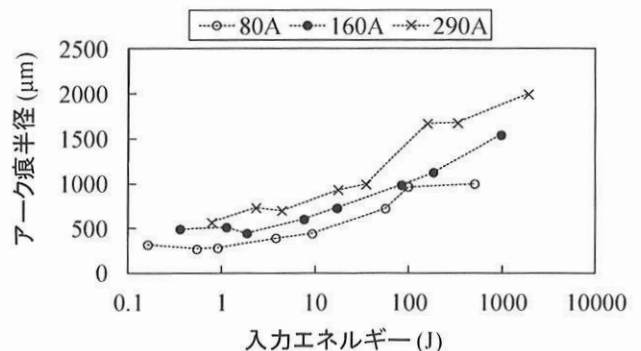


図 7 入力エネルギーとすり板の質量変化



(a) アーク継続時間とアーク痕半径の関係



(b) 入力エネルギーとアーク痕半径の関係

図 8 アーク放電発生後のアーク痕の大きさ

5. まとめ

アーク継続時間が集電系材料に及ぼす影響を明らかにするため、電気接点に集電系材料を用いたうえで、アーク継続時間を任意に変えて、電気接点表面に形成される凹凸を詳細に解析した。その結果、次のことがわかった。

(1) アーク放電がトロリ線（陽極）表面に及ぼす影響

- ・アーク放電の発生によりトロリ線表面には凹部が形成される。

- ・トロリ線凹部は 1 msec までに形成される。また、その大きさはアーク継続時間に依存せず、電流値に依存する。

- ・アーク放電発生後のトロリ線質量は、アーク継続時間が 10 msec 以上になると増加する傾向にある。

(2) アーク放電がすり板（陰極）表面に及ぼす影響

- ・アーク放電の発生によりすり板表面にはアーク痕が形成されるものの、陰極にカーボン系すり板を使用すると、アーク痕に凹部が確認されない。

- ・アーク痕の半径は、電流の大きさとアーク継続時間に依存する。また、アーク継続時間が 10 msec 以上になると、アーク痕の半径の増加傾向が緩やかになる。

- ・アーク放電発生後のすり板質量は、入力エネルギー（アーク継続時間）の大きさに応じて減少する。

参 考 文 献

- 1) 早坂高雅：「集電系材料を用いて形成された開離時アーク放電における通過電気量と接点の質量変化の関係」，平成 22 年鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail'10)，S2-2-3，pp.145-148 (2010)
- 2) 網干光雄，中谷浩，東海林博行：「剛体電車線における波状摩耗の発生機構」，電学論 D，Vol. 126，No.2，pp.109-0115 (2006)
- 3) Koichiro SAWA, Makoto HASEGAWA: "Recent Research and New Trends of Electrical Contacts", IEICE TRANS. ELECTRON, Vol.E83-C, No.9, pp1363-1376 (2000)