

# 直流区間における降雪時 トロリ線アーク溶断現象 の研究



林屋 均\* 阿部 泰久\* 中島 等\*

降雪時にパンタグラフ上に積雪してパンタグラフがトロリ線から離線、これによるアークでトロリ線が断線する事象が稀に発生する。筆者らはこのようなトロリ線アーク溶断現象について、その断線プロセスの把握、断線条件の明確化、および幾つかの対策の効果の検証を目的として、トロリ線アーク溶断試験を行ってきた。その結果、100A程度のアークでは最速で20秒程度(電荷量に換算すると2000C)で断線すること、断線までの所要時間はパンタグラフの離線の仕方に依存すること、断線対策の一つとして張力を移行させる機能をもつ複合架線は100A程度のアークに対しては効果を発揮すること、などが確認された。本稿では、合計100回以上の断線試験から得られた知見のうち、保守上も有用であると思われる結果を抜粋して報告する。

●キーワード：アーク、トロリ線溶断、添え線、複合架線

## 1 はじめに

降雪時に、ターミナル駅や電留線に長時間停車している列車のパンタグラフすり板上に積雪し、その重みでパンタグラフがトロリ線から離線、アークの発生によりトロリ線が断線する事象がJR東日本管内において稀に発生する。最近では、平成10年1月8日～9日の大雪の際に首都圏で同時多発的に事象が発生し、多くのお客様にご迷惑をおかけした。一方、このようなトロリ線のアーク溶断現象については、定性的にはメカニズムが推定されているものの、体系的にまとめられた事例に乏しい。断線指標として過去の文献<sup>1)</sup>に示された750C(クーロン=アンペア×秒)という目安はあるが、この値は30年ほど前に得られたものでありその適用条件が判然としないと同時に、当時とトロリ線材料もすり板材料も異なる現在に同様な指標を適用してよいかも疑わしい状況であった。

そこで筆者らは平成16年の4月から9月にかけて、JR東日本研究開発センターの大電流試験装置においてトロリ線のアーク断線実験を詳細に実施し、その断線条件の明確化や対策の効果の確認、現象把握を行ってきた。本稿ではその主要な成果について報告する。なお、筆者らの実験と期を同じくして、エアセクション箇所でもトロリ線が断線し輸送障害をもたらす事象が平成16年度に3回発生した。この事象では、本稿でまとめるアーク実験に比べ大きな電流値も視野に入れる必要があり、対策がより困難な事象であるが、アークの物理現象においては共通する事柄が多く、大いに参考になるものであると考えている。

## 2 降雪時のトロリ線アーク溶断

### 2.1 溶断プロセス

図1に降雪時のパンタグラフすり板上への積雪に伴うアーク溶断のプロセスを示す。

停留中の車両といえどもエアコンやコンプレッサなどの補機への電力供給を行っているため、雪の重みによりパンタグラフすり板がトロリ線から離線すると100A程度のアークが発生する可能性がある。アークの温度は数千℃であるが、その熱は陽極点(トロリ線とアークの接触点)を通じてトロリ線に伝達され、トロリ線は次第に加熱されていく。かたや、トロリ線は9.8kN程度の張力をもって張られているため、ある程度以上軟化したトロリ線は、

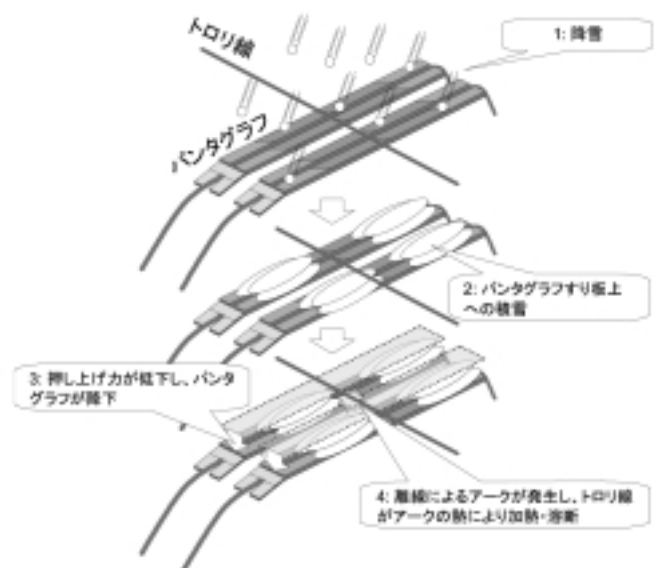


図1 降雪時のトロリ線断線プロセス

引きちぎられるようにして溶断するものと考えられている。

## 2.2 アーク溶断対策

降雪時のトロリ線アーク溶断対策として、当社の各現業機関では、添え線を施すことにより、トロリ線が断線しても垂下しないようにする、もしくは、トロリ線の張力がアークからの加熱により弛んだ場合でも張力を添え線に移行することによりアークに晒された箇所においてトロリ線が断線しないようにする、などの対策を検討している<sup>3)</sup>。図2に諸対策案の一例を示す。このようなアーク溶断対策はターミナル駅や電留線の限定的な場所に施されるもので、予め分かっているパンタグラフ停止位置に対してのみ施工されるものである。

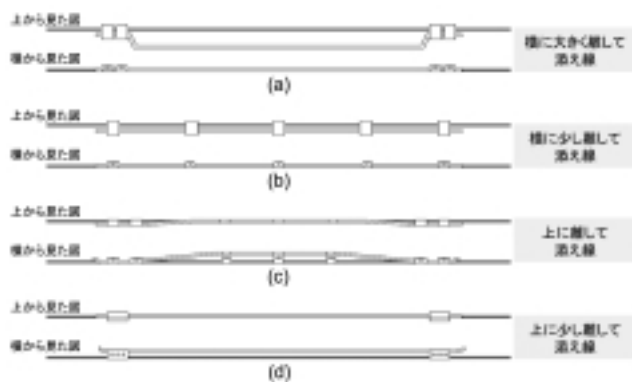


図2 トロリ線アーク溶断対策案の一例

## 3 アーク試験

### 3.1 試験装置

一連のトロリ線アーク溶断試験を行うため、以下の機能を持つ架線-パンタグラフ間アーク試験装置を構築した。図3に架線-パンタグラフ間アーク試験装置の概要を示す。

〔架線-パンタグラフ間アーク試験装置の機能〕

- ✓ 5m程度までのトロリ線を張り、WTBにより15kNまでの張力を与えることができる。
- ✓ パンタグラフ側はすり板1枚のみの模擬パンタグラフとし、一定速度 (0.1~150mm/s) で昇降できる。
- ✓ 電源にはJR東日本研究開発センターの大電流試験装置を用い、電流値は50A~800A、電圧値はDC900V~1800Vで調整することができる。

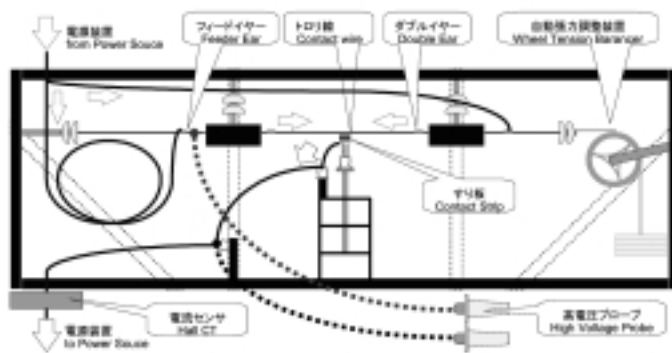


図3 試験装置の概要

### 3.2 断線基礎特性

図4は様々なすり板下降速度における最初のアーク発生からトロリ線が断線するまでの所要時間の関係を示すグラフである。複数回の実験を行った条件については、平均値をプロットし、最大と最小の範囲をエラーバーにて示してある。トロリ線にはGT-Sn 110mmトロリ線を、すり板にはメタライズドカーボンすり板を使用した。

各電流値共通の傾向として、すり板の下降が遅いと、アークにより溶けたトロリ線がすり板との間を橋絡するためにアークが消弧してしまい、その後も一定速度ですり板の下降を続けているために再びアークが点弧し、という繰り返しとなるため、結果的にトロリ線が断線するまでの所要時間は長くなる。逆に、すり板の下降速度が速い場合は、アークが長くなることでアークが電磁力により駆動されやすくなり、アークの挙動が不安定になるため、結果的にトロリ線への入熱が分散することになり、断線までの所要時間が増す傾向が見れる。図示した下降速度より速く下降すると、不安定になったことでアークがトロリ線長手方向に駆動されてしまい、金具箇所まで点弧して断線に至らなかったり、自己消弧したりする機会が増す。トロリ線が最も速やかに断線してしまう条件を表1にまとめるが、これまで使用されてい

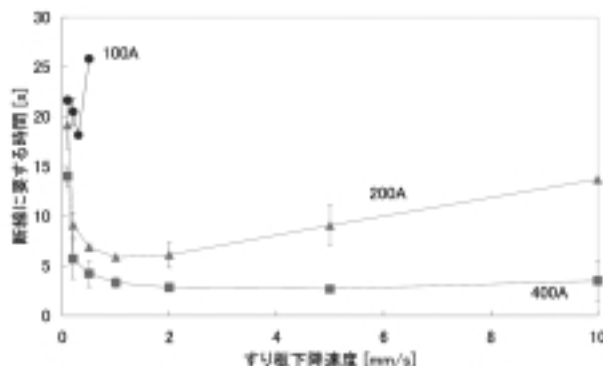


図4 すり板下降速度と断線までの所要時間の関係

る断線指標である750Cと比較すると、いずれも1000C以上とやや断線し難い方向の結果が得られた。補機電流レベル(100A)では、断線条件は750Cより倍以上大きい1800C程度であった。一方で、400Aでの試験においては試番ごとのばらつきも多く、1.5s (=600C)程度で断線した事例も見られた。

表1 トロリ線が最も速やかに断線する条件

アーク電流	100A	200A	400A
すり板下降速度	0.3mm/s	1.0mm/s	5.0mm/s
断線時間(平均)	18.1s	5.8s	2.7s
電荷量	1810C	1160C	1080C

### 3.3 摩耗量や張力の影響

図5にトロリ線摩耗量と断線までの所要時間の関係を示す。図4までの一連の試験は新品のトロリ線を使用して行っているが、図5より摩耗量2mm(残存径10mm)程度までは新品トロリ線同様な断線特性を持つと考えられる。逆に、トロリ線摩耗の管理値は断面積110mm<sup>2</sup>のトロリ線では7.5mmであるが、摩耗量が3mm以上ではアーク溶断に対して顕著に弱くなるため、注意が必要である。

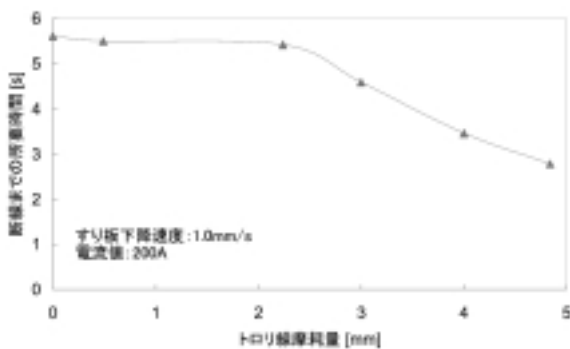


図5 トロリ線摩耗量と断線までの所要時間の関係

図6はトロリ線張力と断線までの所要時間の関係である。100Aと400Aについて測定を行ったが、いずれの場合も、張力が高いほど断線しやすくなる傾向はあるものの、それほど大きな影響は受けない。例えば、STBの張力変動幅である±10%の張

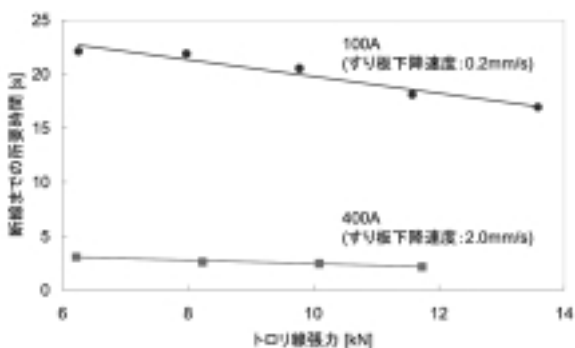


図6 トロリ線張力と断線までの所要時間の関係

力変動に対しては、断線時間は数%しか影響を受けないことが確認できる。

### 3.4 断線対策の効果

様々な添え線手法の効果をアーク試験により確認したところ、単に添え線を行っただけでは断線を回避することは出来ないのみならず、断線に至るまでの時間を延長する効果もほとんど無いことが確認された。試行した手法のうちでアークによる断線に対する耐力を持たせることができるのは、合成架線ないし複合架線と呼ばれるもので、添え線側にも予め張力を持たせて添え線する手法である。図7に複合架線の概要をまとめる。例えば張力9.8kNの架線の場合、予め2kN程度の張力を添え線側に持たせておく良いことが実験的に確認された。もし予め持たせておく張力が十分でなければ、添え線に張力が移行する過程で添え線が伸びるため、この伸び代で本線が破断してしまう可能性がある。複合架線の具体的な効果としては、100Aのアークでは1分以上の通電でも断線しない結果を得た。400Aのアークでは8秒程度で断線し、万全な対策とは言えないものの、補機電流レベルのアークを対象とすれば、断線を回避する効果があると言える。なお、実導入に向けては張力移行検知の要否、およびその手法の開発、添え線手法の最適化などの課題を残している。

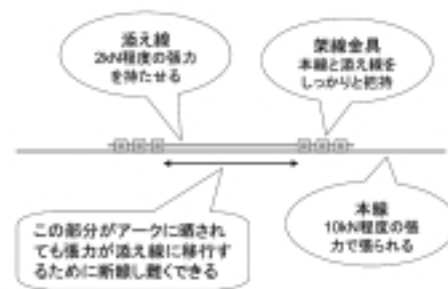


図7 複合架線の構成

### 3.5 アークがトロリ線に与える影響

前節の結果で、400Aのアークの場合に比べ100Aのアークの場合は複合架線の効果が顕著であった。トロリ線の断線は、アークにより加熱されたトロリ線が軟化し、これに張力が加わることでもたらされるが、断線痕をつぶさに観察すると、100Aの場合はトロリ線が溶損したような痕跡は見られず引き伸ばされたような切り口となるのに対し、400Aの場合はトロリ線が溶けて滴り落ちるような状況となっていた。このことを定量的に把握するた

め、アークに5秒程度トリ線を晒した場合の質量減少量を計量した結果を図8に示す。本試験では、アークに晒すトリ線には張力をかけていないため、アークからの熱によりトリ線が溶解・蒸発し質量が減少した分のみを計量している。

図8より、200A程度まではトリ線はアークによりそれほどダメージを受けないが、300A以上ではアークに晒された部分が溶解するなどして大きく質量が欠損していることが分かる。このことを33節で示した複合架線の効果に照らせば、100A程度のアークではトリ線へのアークからの入熱がそれほど大きくないため、アークの熱によりトリ線は軟化するものの、張力の移行により断線は回避されるのに対し、400Aのアークではアークからの入熱によりトリ線が直接損耗を受け、最終的には破断してしまうものと考えられる。

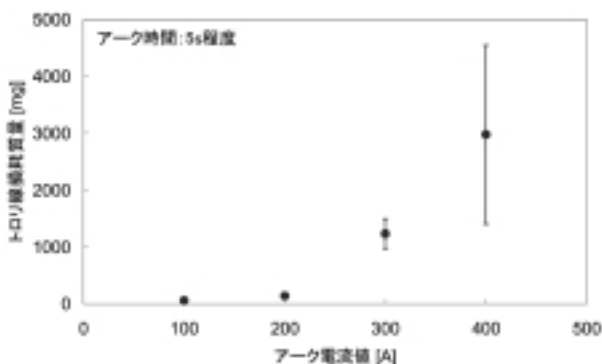


図8 アークによるトリ線質量減少

### 3.6 トリ線線種による違い

これまでの試験結果は、全てGT-Sn110mm<sup>2</sup>トリ線における試験結果であった。本稿の最後に、既に実用化されている高耐張力トリ線のアーク溶断試験結果を図9に示す。図9に示したように、電流値が小さい200A以下の領域では、PHCTトリ線やCSTトリ線はGT-Sn110mm<sup>2</sup>トリ線に比べ時間にして5割増程度のアークに対する耐力を持つことを示す結果となった。し

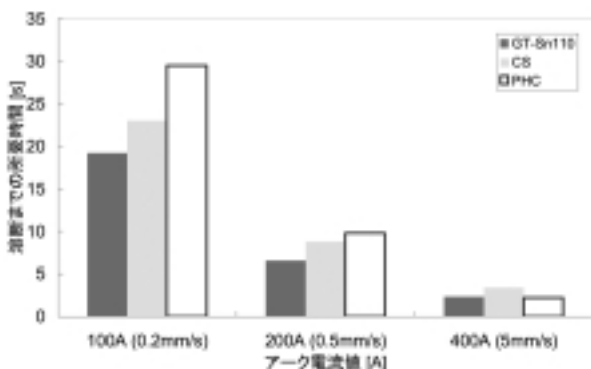


図9 トリ線線種による断線所要時間の違い

かし、降雪時のパンタグラフ降下に伴う補機電流レベルのアークを想定すれば、複合架線方式による効果よりは劣る結果であった。

## 4 おわりに

トリ線のアーク断線について、断線条件の明確化と対策の効果の確認を目的に、様々なトリ線アーク溶断実験を行った。その結果、以下のことが確認された。

- ✓ トリ線のアーク断線条件は離線の仕方により大きく影響されるが、およそ1000C程度のアークに晒されることで断線に至る。
- ✓ 張力を移行させる機能を持つ複合架線方式は、100A程度のアークに対しては断線を回避する効果がある。
- ✓ トリ線線種の変更も効果が見られるが、複合架線方式ほどではない。

なお、一連の実験を通じ、これまでに無い貴重なデータを多数得ることが出来た。本稿ではそのごく一部のみを紹介したが、より詳細なデータについては、文献<sup>9)~11)</sup>を参考として欲しい。

### 参考文献

- 1) 大西, 荒木; トリ線溶断事故の検討, 電気鉄道, Vol.20, No.10, pp.25~28, 1966
- 2) 三浦, 諸永; トリ線溶断試験 鉄道電気, Vol.27, No.6, pp.6~9, 1973
- 3) 福田; 運転所構内におけるトリ線溶断事故防止, 鉄道電気, Vol.46, No.1, pp.50-52, 1993.
- 4) 林屋, 阿部, 根岸 他; 降雪時のトリ線アーク溶断可能性の検証試験, 電気学会 交通・電気鉄道研究会資料, TER-04-57, pp.19-24, 2004.
- 5) 林屋, 阿部, 中島, 出野 他; 直流電気鉄道における架線-パンタグラフ間アークによるトリ線断線現象の極性効果, 平成17年電気学会全国大会, No.5-154, 2005.
- 6) 林屋, 阿部, 中島, 出野 他; トリ線アーク溶断試験 ~すり板上の痕跡が物語るもの~, 電気学会 交通・電気鉄道研究会, TER-05-17, pp.19-24, 2005.
- 7) 林屋, 中島 他; 架線-パンタグラフ間の直流アーク電圧について, 電気学会 交通・電気鉄道研究会, TER-05-58, 2005.