

## TC型エアセクションの開発

JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 電力設備G  
西 健太郎



直流電気鉄道において、送電区間を区分する箇所のアークセクションに列車が停止した場合に、アークという火花の発熱あるいはセクション間を流れる大電流による発熱により、パンタグラフに電気を供給するトロリ線の溶断が発生することがあります。そこで、表面積が大きく高い放熱機能と、トロリ線が熱により軟化し機械強度が低下した際にトロリ線を無張力とする機能を有したTC型エアセクションを開発しました。この開発品に対し各試験を行い、高い耐アーク特性を有し電車線路設備として問題ないことを確認しました。本稿では、開発品と試験の概要を紹介します。

### 1. はじめに

電気鉄道では、図1に示すように架線の移行箇所を電気的に区分するエアセクションと、電気的に接続するエアジョイントがあります。このエアセクションでは、図2に示すように、異なる電源系統間での電位差によりアークという火花が発生する場合や、電源間に大電流が流れる場合があります。そのため、この箇所に列車が停車した場合には、トロリ線に局部的に発熱が生じ、材料が軟化し断線に至る場合があります。よって、エアセクションに列車が停車しないように定められていますが、異常時などに停車する場合は想定されるため、アークでの断線要因の究明と対策の検討が必要です。

そこで、これまでトロリ線とパンタグラフ間でのアーク試験を行い<sup>1)~3)</sup>、アーク発生時とトロリ線断線時の電流、トロリ線とパンタグラフ間の電位差・ギャップの条件を解明しました。また、トロリ線の線種・太さや電車線の構造に対し、耐アーク特性を評価した結果、アルミ筐体架線が優れている<sup>4)</sup>ことが明らかになりました。

そこで、既存のエアセクション箇所に簡易に適用でき、アークによる熱を放散し、トロリ線が軟化した際に張力を負担する機能を有したアルミ筐体を構成要素とするTC型エアセクションを開発しました。開発に際して、風圧、集電、機械、アーク試験を行い、エアセクションに停車した際のアーク発生によりトロリ線が溶断しないこと、電車線路設備で具備す

べき条件を満たし問題ないことを確認しました。ここでは、開発品と試験の概要について紹介します。

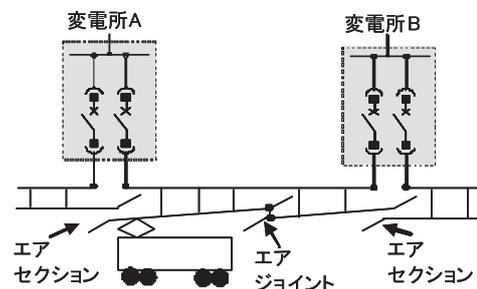


図1 エアセクション概要図

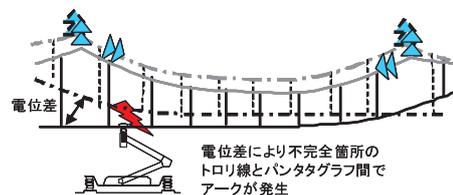


図2 エアセクションでのアーク発生

### 2. 開発概要

#### 2.1 開発コンセプト

アークによるトロリ線溶断を回避するために、電車線路設備で有すべき機能として、以下の2点が挙げられます。

- (1) トロリ線の温度上昇を抑制するための高放熱機能
- (2) トロリ線の温度上昇時に軟化すると、引張強度が低下するため、トロリ線を無張力にする機能

そこで、アルミ筐体を基本構成とし、以下の事項を満たすよう開発を行いました。

- ・既存のエアセクションに適用可能であること。
- ・エアセクションに列車が停止した際の耐アーク特性を有すること。
- ・電車線路設備として具備すべき風圧特性、集電特性、機械特性を満足すること。

## 2.2 基礎検討

本開発で大きな要素となるアルミ筐体の形状は、以下の特性により相反する関係にあります。

### ①大きな形状が望ましい事項

→耐アーク特性・引張強度などの機械特性

### ②小さな形状が望ましい事項

→風圧特性・集電特性

そこで、机上検討を行いアルミ筐体の断面形状・断面高さ、単位重量の目標を設定しました。この目標に対し、上記の特性を満足する条件をシミュレーションにより模索したうえで、候補となる複数の試作品を作成しました。これらの試作品に対し、実験室内でアーク試験を行い、耐アーク特性を満足しつつ、極力軽量である構造を採用しました。

## 2.3 開発品

開発品は、図2に示すエアセクションの交差部付近に、図3に示す金具を設置することができる構成とし、主に以下の4つの要素で構成されます。

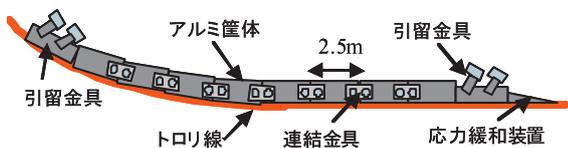


図3 TC型エアセクションの概要

### (1) アルミ筐体

アルミ筐体は、本開発品で最も重要な構成要素です。表面積を大きくし、トロリ線に接する箇所を肉厚とした構造で、アーク発生時にトロリ線に加わる熱を放熱し、トロリ線が軟化した際にトロリ線の張力を負担する機能を有します。開発に際して、以下の点からアルミ筐体の形状を検討し、図4に示す形状を採用しました。

- ①アーク発生時の熱放散特性を良好にする観点から、極力表面積と容積を大きくした形状

- ②トロリ線軟化時の張力を負担できる強度と電車線として具備すべき耐久性を有した構造
- ③パンタグラフ通過時の集電特性を良好にする観点から、極力軽量である構造
- ④強風時の風圧特性を良好にする観点から、極力高さと同幅を抑制した構造
- ⑤施工がしやすい構造

### (2) 連結金具

連結金具は、図5に示すようにアルミ筐体を連結する金具で、トロリ線軟化時の張力を負担できる強度と電車線として具備すべき耐久性を有した構造です。

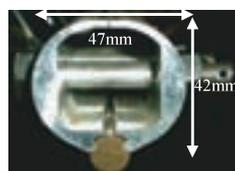


図4 アルミ筐体断面



図5 連結金具

### (3) 引留金具

引留金具は図3に示すように、アルミ筐体設置区間の端部に設置する金具で、トロリ線が軟化した際に、アルミ筐体に移行した張力を引留める機能を有します。形状を図6に、張力移行の概念を図7に示します。

### (4) 応力緩和装置<sup>5)</sup>

図3に示すように、本開発品の端部は、アルミ筐体設置箇所とトロリ線との境界であるため、単位長あたりの質量および剛性が異なります。そのため、端部でパンタグラフ通過



図6 引留金具

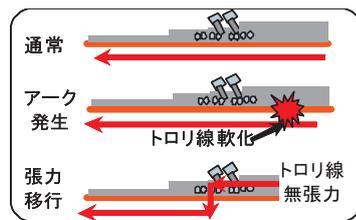


図7 張力移行概念



図8 応力緩和装置

時の衝撃が大きくなる懸念があるため、パンタグラフが滑動する端部に図8に示す応力を緩和する装置を適用しました。

### 3. 風圧特性

アルミ筐体の設置により、強風時に以下の2点について確認を行う必要があります。

- (1) ギャロッピングなどの異常振動の有無
  - (2) パンタグラフの割込事故防止の観点から横方向の風圧変位を把握するため、アルミ筐体の単位長抗力
- そこで、図9に示す試料に対し、風洞試験装置で風圧特性を測定しました。水平方向に働く力を抗力 $F_D$ 、鉛直方向に働く力を揚力 $F_L$ と定義し条件を以下に記載します。

- ・風速 20m/s、30m/s (列車が運行する速度)
- ・風向  $0^\circ$ 、 $\pm 8^\circ$ 、 $\pm 16^\circ$ 、 $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 45^\circ$

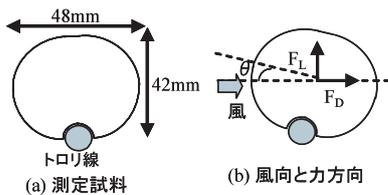


図9 風圧試験試料および風向

風圧試験結果から、測定試料の単位長抗力および単位長揚力の結果をそれぞれ図10および図11に示します。ギャロッピングが発生する条件<sup>6)</sup>は、抗力を $F_D$ 、揚力係数を $F_L$ 、迎角を $\theta$ とすると、(1)式で表わされます。

$$F_D + \frac{dF_L}{d\theta} < 0 \dots\dots\dots(1)$$

図10および図11の結果を(1)式に代入して検討すると、風速20m/s、風速30m/sではギャロッピングの発生する可能性がなく、列車を運転する風速においては、電車線の異常振動の発生のおそれはないと考えられます。

なお、アルミ筐体設置時の風圧荷重は既存の架線より

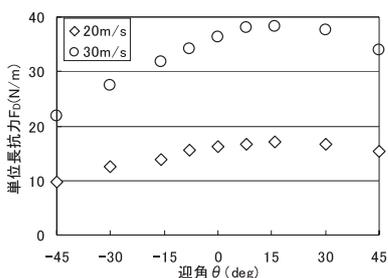


図10 単位長抗力測定結果

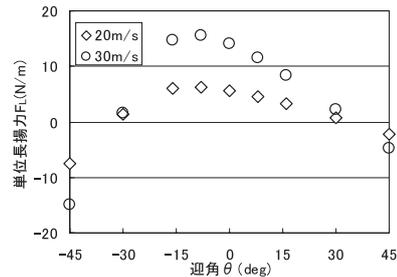


図11 単位長揚力測定結果

も大きくなります。そのため、図10の測定結果と電車線の張力、線種および支持点間隔の各種条件により、支持点の増設の要否を設計時に検討する必要があります。

### 4. 機械特性

機械強度を確認するため、本開発品に対する機械特性試験を行い、試験結果を表1に示します。いずれも所定の規定値をクリアしました。また、図7に示すように本装置の重要な機能であるトロリ線軟化時に、トロリ線張力がアルミ筐体に移行することを、トロリ線を切断することで試験を行いました。その結果、張力がアルミ筐体に移行し、耐引張強度は問題ありませんでした。以上より、開発品の機械強度は目標の機能を有していることを確認できました。

表1 機械特性試験結果

対象	試験項目	試験規定	試験結果
アルミ筐体	耐引張荷重	33kN	○
	最大引張荷重	45kN以上	○
	耐久性	振幅 +20~0mm 200万回	○
引留金具	耐引張荷重	33kN	○
	最大引張荷重	45kN以上	○
	耐久性	振幅 +20~0mm 200万回	○
連結金具	耐引張荷重	33kN	○
	最大引張荷重	45kN以上	○
	耐久性	振幅 +20~0mm 200万回	○
応力緩和装置	耐久性	振幅 +20~0mm 200万回	○

### 5. 集電特性

一般的に集電特性は、架線の総張力が低いほど、また架線の質量が大きいほど、悪くなります。本開発品は、エアセクション箇所にはアルミ筐体などの金具を設置するため、従来の架線に比して架線の移行箇所の質量が大きくなるため、パンタグラフ通過時の集電特性が悪化するおそれがあります。

そのため、最も電車線の総張力が小さく本装置の設置による影響が大きいと想定されるシンプル架線の集電特性を(財)鉄

道総合技術研究所の集電試験装置において確認しました。測定した架線の概要を図12に、試験状況を図13に示します。

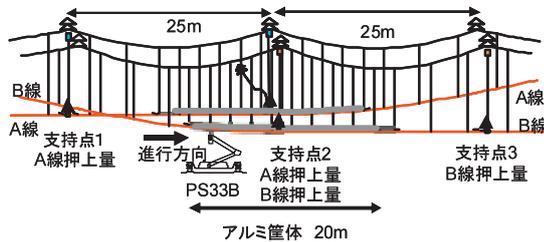


図12 集電試験概要



図13 集電試験状況

集電特性試験において、以下の項目について評価する必要があります。

(1) 支持点トオリ線押上量

押上量が過度になり、架線が破壊されるおそれがないかを確認します。

(2) トオリ線およびアルミ筐体ひずみ

トオリ線およびアルミ筐体の応力が過度になり、パンタグラフ通過による振動で疲労破壊するおそれがないかを確認します。

(3) 最大離線時間

離線時間が過度になり、車内停電の発生のおそれがないかを確認します。

ここで、支持点におけるトオリ線押上量測定結果を図14に示します。その結果、トオリ線押上量は最大で48mmであり、目安値の70mm<sup>7)</sup>を大きく下回りました。

次に、支持点におけるトオリ線ひずみ測定結果を図15に示します。その結果、トオリ線ひずみは、最大で339×10<sup>-6</sup>であり、目安値の500×10<sup>-6</sup><sup>7)</sup>を下回りました。なお、

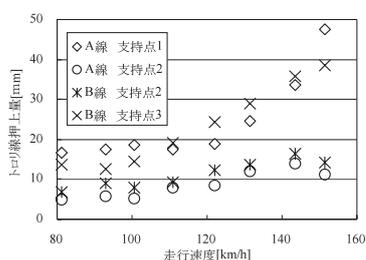


図14 トオリ線押上量測定結果

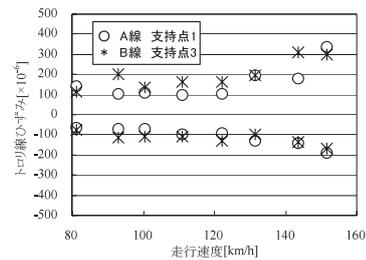


図15 トオリ線ひずみ測定結果

TC型エアセクション設置箇所の端部では線密度が急激に変化するため、トオリ線ひずみが過大になる懸念がありました。最大で200×10<sup>-6</sup>を下回りましたが、この要因として、応力緩和装置の設置により、過大な応力の発生を抑制できたものと考えられます。

次にアルミ筐体のひずみ測定値の最大値は、-117×10<sup>-6</sup>であり、アルミ合金の疲れ強さ229N/mm<sup>2</sup><sup>8)</sup>から算出した許容ひずみ1817×10<sup>-6</sup>を大きく下回りました。

また本開発品の設置により、通常の運転速度においてエアセクションで過大な離線が生じ、車内停電が発生するおそれがないか最大離線時間を測定しました。その結果、シンプル架線の実用速度の120km/h以下では最大離線時間は15msであり、補助電源装置がSIV（静止型インバータ）である場合の目安値20ms<sup>7)</sup>を下回りました。また150km/h以下では最大離線時間が44msであり、補助電源がMG（電動発電機）である場合の目安値200msを下回りました。よって、最大離線時間について問題ないものと考えられます。

## 6. アーク実車試験

エアセクションでの列車停車および力行と同一の条件を設定し、実験室内で開発品のアーク試験を行いました。その結果、トオリ線の溶断には至らず、高い耐アーク特性を確認<sup>9)</sup>しました。

そのうえで、エアセクション箇所に開発品を設置し、実車によるアーク試験を実施しました。その試験方法は、エアセクションに列車が停止し、その後走行する状況を模擬し、以下の手順で行いました。

①エアセクション箇所の電位差設定

異電源間の電位差を、これまでに各エアセクションで測定した最大値程度の150Vに設定しました。

②エアセクションでの列車停止

車両をエアセクションに停止させ、高電位側のトロリ線とすり板が不完全接触となり、アークが継続する状態としました。そこで、補機電流相当の100Aの電流を5分間継続して流しました。

### ③エアセクションからの力行

5分間の停車後、車両をエアセクションから力行させ、発車時に力行時相当の約300Aのアーク電流を流しました。

試験時のアークの発生状況を図16に、またトロリ線とアルミ筐体の温度上昇測定結果を図17に示します。この試験でのトロリ線の最高温度は273℃、アルミ筐体の最高温度は257℃であり、トロリ線が断線に至る温度の500℃<sup>(2)</sup>を大きく下回りました。また走行後のアーク発生によるトロリ線の軟化などの影響はありませんでした。以上のことから、実車によるアーク試験において、開発品は高い耐アーク特性を有していることを確認しました。



図16 アーク実車試験状況

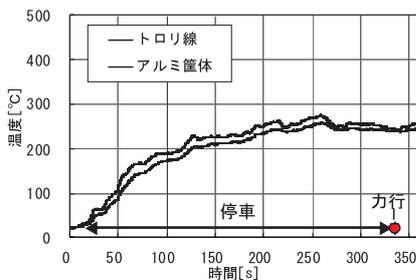


図17 温度測定結果

## 7. フィールド試験

上記のように開発品は、耐アーク特性が良好であることと電車線路設備として具備すべき特性を有していることを確認しました。そこで、青梅線立川～西立川間および



図18 青梅線 立川～西立川間設置状況

び東北本線さいたま新都心～大宮間のエアセクション箇所に、開発品を設置しました。

現在のところ、良好に経過しております。図18に青梅線立川～西立川間の設置写真を示します。

## 8. まとめ

エアセクション箇所における耐アーク特性を有したTC型エアセクションを開発しました。本開発品の備える機能と試験で得られた事項を以下に示します。

- (1) 主要な構成要素となるアルミ筐体は、アーク発生時の熱を放散し、トロリ線軟化時に張力を負担する機能を有します。
- (2) 列車が運行する風速30m/s以下で、ギャロッピングなどの異常振動の発生の可能性はありません。
- (3) 機械強度試験結果より、電車線として具備すべき機械強度を有しています。
- (4) シンプル架線では、150km/h以下でトロリ線押上量、トロリ線ひずみ、アルミ筐体ひずみ、最大離線時間の測定結果より、集電性能上問題ありません。
- (5) 実車によるアーク試験で、高い耐アーク特性を確認しました。

これらの結果より、開発品は電車線としての使用に問題ないことを確認したので、現在フィールド試験を青梅線および東北本線で行っています。

### 参考文献

- 1) 林屋均 ほか：「降雪時のトロ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,TER-04-05,pp.19-24 (2004)
- 2) 林屋均 ほか：「トロリ線の熱伝導シミュレーションと断線試験結果の対比および考察」,電気学会交通・電気鉄道研究会,TER-06-40,pp.1-6 (2006)
- 3) 林屋均 ほか：「パンタグラフの移動とトロリ線のアーク断線について」,J-Rail2005,S8-47,pp.47-50
- 4) 濱田貴弘 ほか：「エアセクション箇所におけるトロリ線耐アーク溶断性能の評価」,平成19年電気学会全国大会, No.5-186, pp.284-285
- 5) 清水政利ほか：「剛体電車線とカテナリ架線の新しい移行構造の開発」,鉄道総研報告,Vol.21,No.10,2007.10
- 6) 谷口修ほか訳,デン ハルトック著：「機械振動論」,コロナ社,1967
- 7) 鉄道総合技術研究所：「電車線とパンタグラフ講座」,研友社,2002.11
- 8) 日本アルミニウム協会：「アルミニウムハンドブック」,日本アルミニウム協会,2007.1
- 9) 西健太郎ほか：「エアセクション構成におけるアルミ筐体架線のアーク試験結果」,平成20年電気学会全国大会,No.5-90,pp.145-146