

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信  
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 電車線とパンタグラフの接触力を測る

電気鉄道では、走行する車両にエネルギー（電力）を供給するための必要不可欠な設備として、電車線と集電装置があります。これらは電気鉄道固有の設備であり、それを支える多くの固有技術が存在します。この中には測定技術も含まれており、その1つとして電車線とパンタグラフの接触力測定があります。ここでは、接触力とその測定方法について解説するとともに、現在研究を進めている接触力測定結果の活用法について紹介します。



**小山 達弥**  
Tatsuya Koyama  
鉄道力学研究部  
集電力学研究室  
副主任研究員  
【専門分野】電車線・パンタグラフの相互作用



**池田 充**  
Mitsuru Ikeda  
鉄道力学研究部  
集電力学研究室  
室長  
【専門分野】電車線・パンタグラフの相互作用、騒音

## はじめに

電気鉄道では車両に電力を供給するための必要不可欠な設備として電車線と集電装置があります。集電装置が電車線に接触し、高速でしゅう動しながら電気を取り込む（これを「集電」といいます）ようなシステムは、他の産業製品にはほとんど見られず、電気鉄道固有のシステムです。そのため、このシステムを支える多くの固有技術があります。このような技術の中に、接触している電車線と集電装置間の力の測定があります。ここではその測定方法について解説します。

なお、電車線と集電装置としては、それぞれ図1に示すカテナリーちょう架式電車線（シンプル架線）およびパンタグラフを例にとり解説します。

## 電車線とパンタグラフ間の接触力

はじめに、電車線とパンタグラフ間の接触力について説明します。

パンタグラフを電車線にしゅう動させることにより、電車線から車両へと電力を供給します。このとき、パンタグラフの最上部に固定されているすり板とトロリー線の間に力が発生します。

これを電車線とパンタグラフ間の接触力（以下では単に「接触力」と記載します）といいます。電車線から見ると、接触力はパンタグラフにより押し上げられる力（図2の青矢印）と見ることもできます。パンタグラフが電車線から離れると（これを「離線」といいます）接触力は0になります。接触力は負になることはなく、常に0以上の力です。

車両が停止している場合は接触力は一定になります。一方、車両が走行すると、トロリー線の高さ変化や、ハンガーや支持点などの周期構造物、コネクターや曲線引き金具などの電車線金具、対向風による空気力、車両の上下振動、などにより時々刻々と接触力が変動します（図2参照）。紙面の都合上、ここではこれらの変動要因について詳細に記載できませんので、ご興味のある方は参考文献1)を参照ください。

走行中の接触力波形の模式図を図3に示します。接触力変動が大きくなり、著大な接触力となる箇所では、トロリー線とすり板の摩耗量が多くなったり、最悪の場合にはトロリー線の断線や電車線金具の破損が引き起こされたりします。一方、接触力が0となる箇所

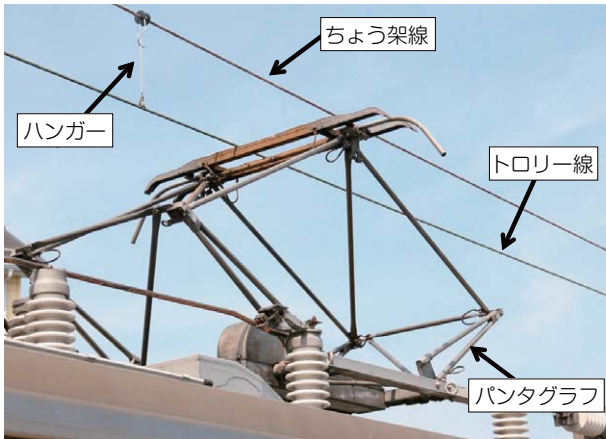


図1 カテナリーちょう架式電車線とパンタグラフの例

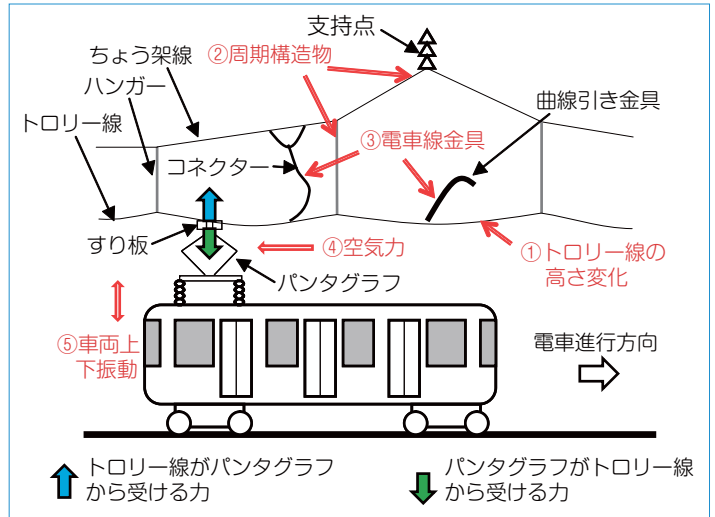


図2 接触力と接触力変動の要因

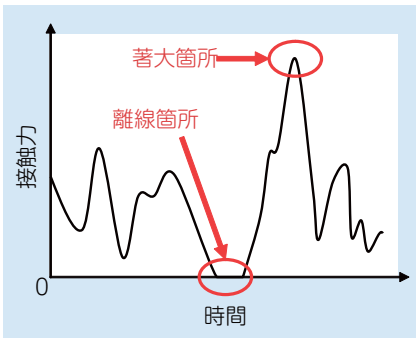


図3 接触力波形の模式図

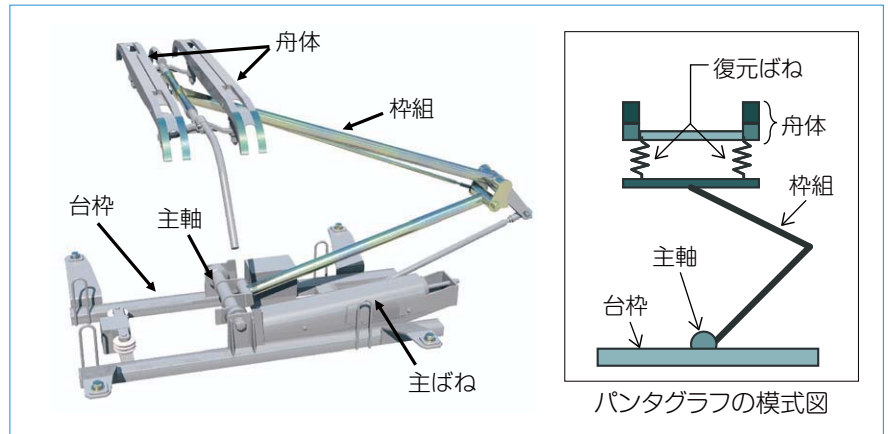


図4 パンタグラフの構造

所では、離線が発生し、離線が長時間（数百msec）継続すると、室内灯の減灯などが起こります。また、離線が発生する初期段階ではパンタグラフと電車線の間にはアークが発生します。アークは数千度の高温になるため、すり板やトロリー線にダメージを与えます。さらにアークは火花とともに音や電磁波を放射するため、騒音や電波障害も引き起こされます。これらの問題が発生しないよう、著大な接触力や離線ができる限り抑制する必要があります。

### 接触力を測る

「接触力は大きくないか」「離線時間は長くないか」「離線頻度は高くないか」などを把握するために様々な測定が行われています。このような測定の中にここでの主題である「接触力の測

定」があります。なお、パンタグラフや電車線に関わる接触力測定以外の測定については参考文献2)を参照ください。

接触力測定には、パンタグラフにセンサーを設置する方法と、電車線にセンサーを設置する方法があります。前者は、測定用パンタグラフが走行する全区間の接触力を測定することができます。ここでは、前者について解説します。なお、後者については、参考文献3)を参照して下さい。

パンタグラフにセンサーを設置して接触力を測定する方法には数種類の方法がありますが、ここでは最も一般的

な方法である力の平衡式に基づいた測定手法について記載します。

測定方法を解説する前に、パンタグラフの構造について簡単に解説します。一般的なパンタグラフを図4に示しますが、その基本構造はどの形式も同じです。構成部材のうち、舟体、枠組、復元ばねが接触力測定を行う上で重要な部材となります。舟体はパンタグラフの最上部に設置され、トロリー線と接触するすり板が固定されています。枠組はパンタグラフを所定の高さまで上昇させる部材で、菱形や図4のような「く」の字の形状のものがあります。復元ばねは枠組と舟体間に設置されており、パンタグラフの追随性を

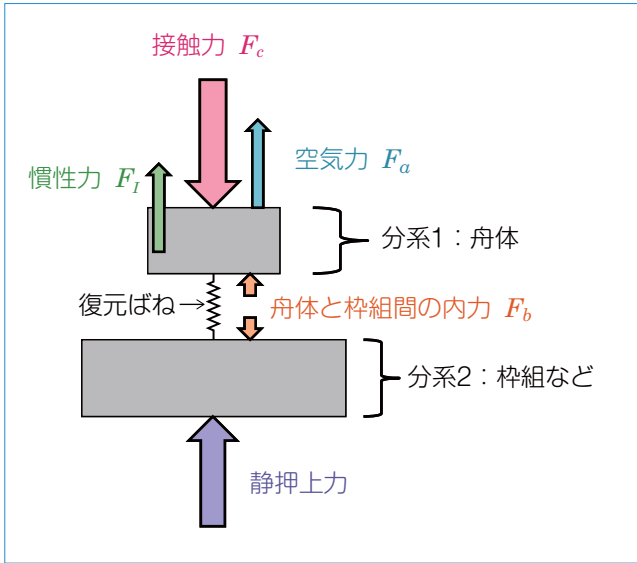


図5 パンタグラフの模式図

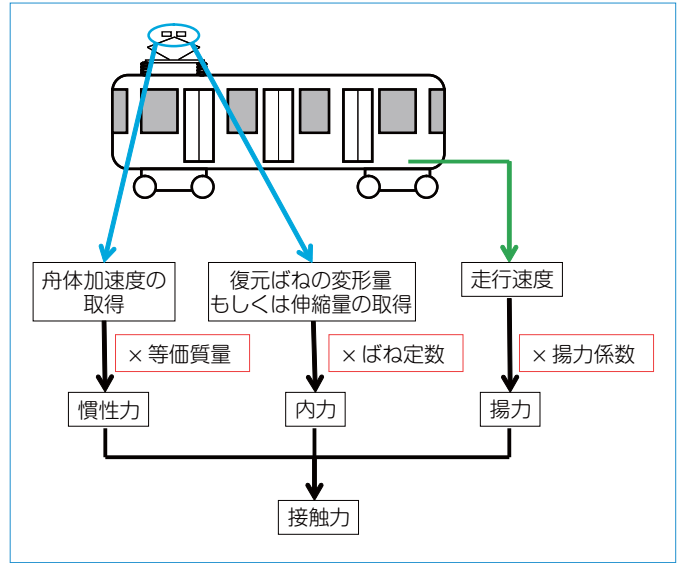


図6 接触力測定の流れ

向上させる役割があります。その他の構成部材に、台枠や主軸、主ばねなどがあります<sup>2)</sup>。

つぎに、パンタグラフに設置したセンサーによる接触力測定の方法を解説します。パンタグラフを図5のようにモデル化します。このとき、舟体を分系1、枠組やその他の構成部材を分系2とします。分系1と分系2の間には復元ばねがあります。分系1に作用する力は、接触力 $F_c$ 、分系1の慣性力 $F_I$ 、復元ばねの伸縮により発生する内力 $F_b$ 、分系1に作用する空気力 $F_a$ 、となります。なお、復元ばねのストロークが短く舟体と枠組などが直接接触する場合や、舟体に板ばねなどの機構が含まれる場合は、内力 $F_b$ にそれぞれの力を含める必要がありますが、ここでは説明を簡略化するために内力を復元ばねの反力のみとします。分系1に作用する力は上記の4つの力なので、分系1の力の平衡式は、

$$F_c = F_I + F_b + F_a \dots\dots\dots (1)$$

となります。この式は、「3つの力( $F_I$ ,  $F_b$ ,  $F_a$ )がそれぞれ既知であれば、それらを合算することで接触力 $F_c$ を評

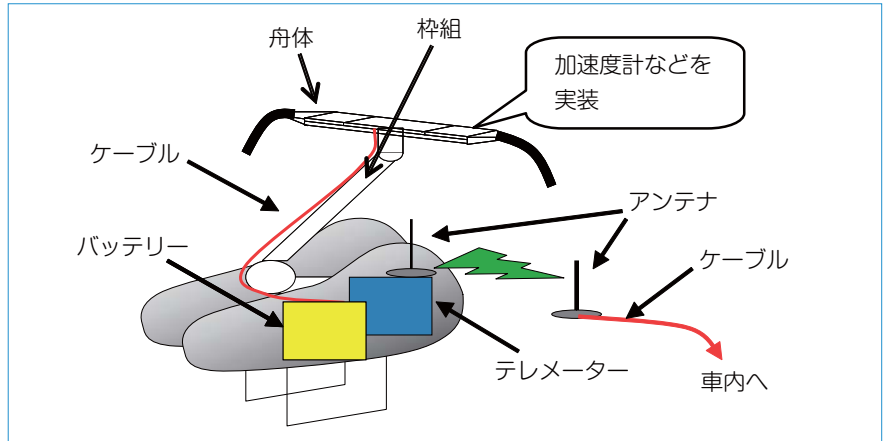


図7 従来の接触力測定方法の模式図

価できる」ことを表わしています。実際の接触力測定では、この考えに基づいて、これらの力をそれぞれ測定することで接触力を求めています。

接触力測定の流れを図6に示します。慣性力 $F_I$ は舟体の等価質量と舟体の加速度の積により、内力 $F_b$ は復元ばねのばね定数と伸縮量の積により、空気力 $F_a$ は揚力係数と走行速度の積により、それぞれ求めます。このうち、舟体の等価質量や、復元ばねのばね定数、揚力係数については静荷重試験や加振試験、風洞試験を行うことで接触力測定を行う前にあらかじめ求めておきます(図内の赤枠内)。つまり、接

触力測定においてパンタグラフ近傍のセンサから取得しなければならない物理量は、舟体の加速度と、復元ばねの変形量もしくは伸縮量となります。

### 画像情報による接触力測定方法

これまでの接触力測定では、加速度計やひずみゲージなどのセンサーを舟体内部に実装して舟体の加速度と復元ばねの変形量を測定していました。このような方法では、台枠上に設置したテレメーターなどの信号伝送装置を用いて測定信号を車内の収録装置に伝送しています(図7参照)。しかし、この方法では、信号伝送装置の設置が煩雑で

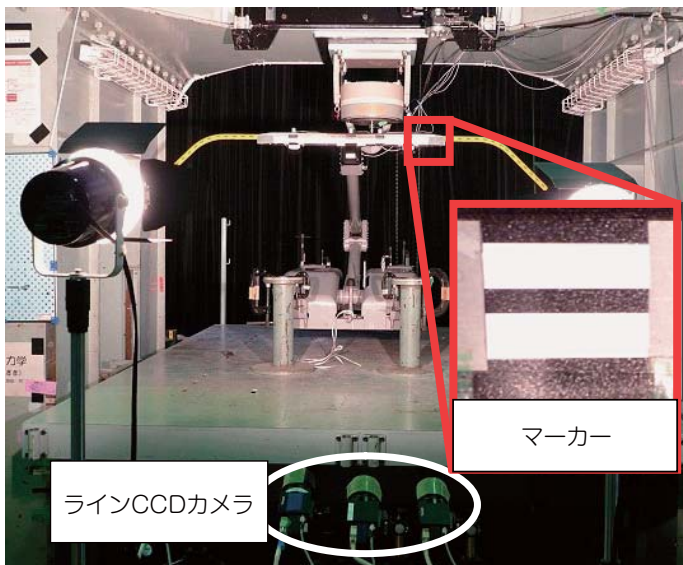


図8 画像情報による接触力測定の構成例

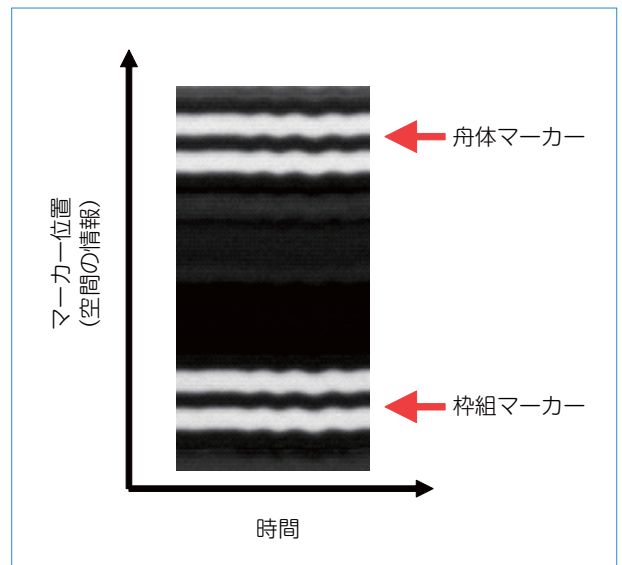


図9 ラインCCDカメラによる取得画像例

あるうえ、舟体の構造が複雑なパンタグラフでは、センサーを設置すること自体が難しいなどの問題がありました。

そこで、加速度計などのセンサーの代わりに、カメラを用いる「画像情報による接触力測定方法」を開発しました。この測定方法の構成例を図8に示します。本方法では、舟体および枠組の側面に白と黒の帯から成るマーカーを複数箇所貼り付け、パンタグラフ近傍に複数台のラインCCDカメラ(※参照)を設置してマーカーを撮影します。ラインCCDカメラを用いてマーカーを撮影した画像例を図9に示します。

ラインCCDカメラにより得られる画像は1次元画像であり、図9は複数の画像を取得時間順に横方向に並べた画像です。そのため、一般的なデジ

タルカメラで撮影した写真とは異なり、縦軸はマーカーの位置(空間情報)を、横軸は時間を表しています。得られた画像から画像処理技術を用いてマーカーの移動量、つまり舟体と枠組の変位を求めます。舟体の変位を時間で二階微分して舟体加速度を、舟体と枠組の変位の差から復元ばねの伸縮量を、それぞれ求めます。得られた加速度と伸縮量に等価質量と復元ばねのばね定数をそれぞれ乗じることで接触力を算出します(図6参照)。この方法により、従来の測定方法に関わる前述の問題点を解決することができます。

### おわりに

ここでは電車線とパンタグラフの固有技術として、電車線とパンタグラフ

の接触力測定について解説しました。接触力は集電性能を評価する重要な物理量であるため、各種パンタグラフに適合した測定方法の研究開発を進めています。

また、前述のとおり、接触力変動は電車線の状態により起こります。これを逆に考えれば、接触力を測定し、その波形を分析することで、電車線の状態を把握し、電車線設備のメンテナンスに活用できると考えられます。

鉄道総研では、各種のパンタグラフや測定条件に適合した接触力測定手法の開発を行うとともに、その測定結果を活用したメンテナンス手法の研究も行っていきます。[RRR]

#### ※ ライン CCD カメラ

ライン CCD カメラは一見すると一般的なカメラと同じような形状をしています。内部の素子の配置が異なります。一般的なカメラでは二次元に、ライン CCD カメラでは一次元に、素子が配置されています。ライン CCD カメラの方が一般的なカメラよりも素子の全数は少ないのですが、一次元方向のみの素子数はライン CCD カメラの方が多くなります。そのため、一次元方向に対して細かな画像を取得することができます。また、素子の全数が少ないため連続的な高速撮影が可能です。ライン CCD カメラの一般的な用途に、コピー機などがあります。

#### 文献

- 1) 池田充：走る電気接点—架線とパンタグラフとの相互作用と接触力, RRR, Vol.59, No.10, 2002.10
- 2) 鉄道総合技術研究所編：電車線とパンタグラフの特性, 研友社, 2002
- 3) 臼田隆之：トロリ線の摩耗を予測する, RRR, Vol.67, No.5, 2010.5