

日本と欧州の高速鉄道における 架線方式・パンタグラフの違い



小山 達弥
Tatsuya Koyama
電力技術研究部
電車線構造研究室長



山下 義隆
Yoshitaka Yamashita
鉄道力学研究部
集電力学研究室長



久保田 喜雄
Yoshitaka Kubota
材料技術研究部
摩擦材料研究室
主任研究員

はじめに

欧州の高速鉄道では、日本と同様に、架空式電車線（以下、架線）とパンタグラフを用いた集電システムが用いられています。しかし、両者の電車線やパンタグラフには設計思想の違いが表れています。例えば、欧州では離線の頻度を低くするため、後述するように日本に比べて接触力が高く設定されているといった違いがあります。

本稿では、架線、パンタグラフ、そしてパンタグラフの主要な部材の一つであるすり板に焦点をあてて、高速鉄道における日本と欧州の違いを紹介します。なお、本稿における「高速鉄道」とは、主たる区間を200km/h以上で走行する鉄道を意味¹⁾し、日本では新幹線が該当します。

集電

変電所から電気を電気車に送る導体を電車線といい、電車線から車両に電気を取り込むことを集電といいます。電車には電車線から電気を取り込むための装置として集電装置が搭載されています。架線に対する集電装置としてはパンタグラフなどが使用されます。

離線

集電装置が電車線から離れることを離線と言います。離線は、安定した走行の障害、電車線やすり板の損耗につながります。

架線方式の違い

現在の新幹線の架線は、在来線に比べて張力を高くしたシンプル架線やコンパウンド架線が使用されています（図1(a)(b)）。一方、欧州ではシンプル架線に加えて、変形Y形架線（stitched catenary suspension, 図1(c)）が使用されています²⁾。

走行中のパンタグラフから架線を見たとき、支持点では架線が押し上がりやすく、支持点間では押し上がりやすい特性があります（図2）。このような特性により、パンタグラフには支持点周期の振動が生じ、場合によっては支持点周期の離線が発生することがあります。変形Y形架線は、シンプル架線の支持点付近のちょう架線にY線（stitched wire）を設けた構造となっており、Y線により支持点における架線を押し上がりやすくすることで、前述の特性を緩和する効果があります。なお、新幹線のシンプル架線は張力を高くすることで、このような特性が小さくなるようにしています。また、日本ではちょう架線もしくは補助ちょう架線からトロリー線をつり下げる金具をハンガーと呼んでいますが、海外ではハンガー（hanger）よりもドロッパー（dropper）と呼ぶのが一般的です。

トロリー線とちょう架線の材料については、新幹線ではトロリー線としてすず入り銅や析出

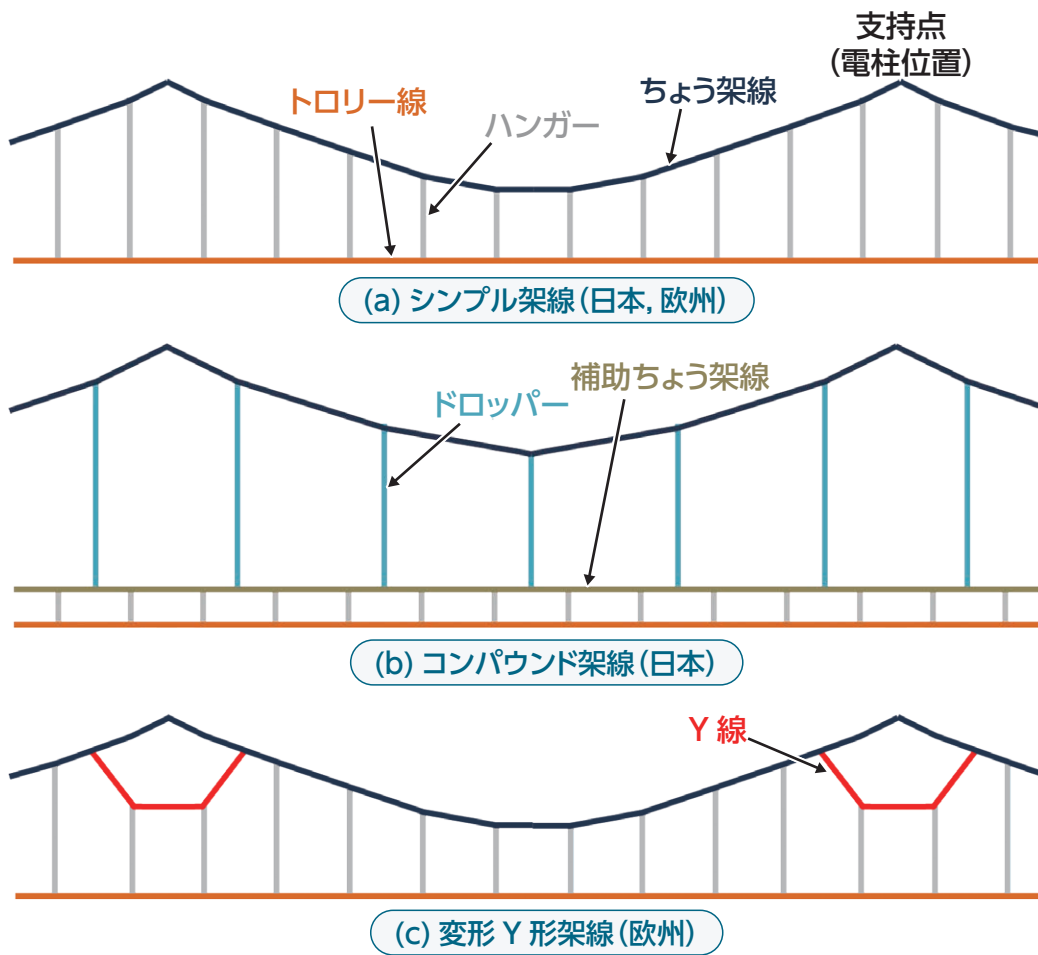


図1 日本と欧州の架線形式

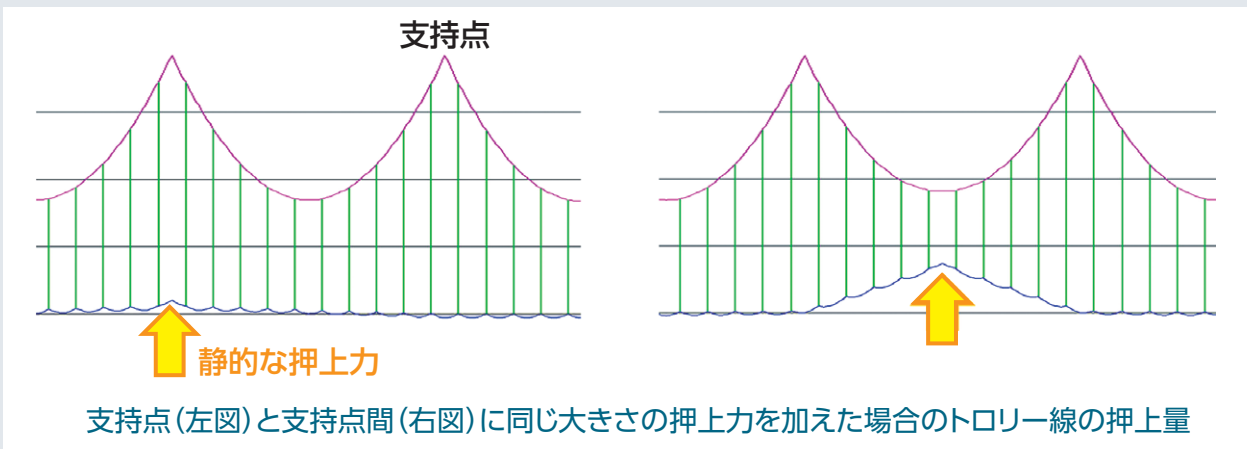


図2 トロリー線に静的な押上力を加えたときの架線の押上量の模式図

強化型銅合金[®]などが、ちょう架線として鋼より線や硬銅より線などがそれぞれ使用されています。一方、欧州の高速鉄道ではトロリー線として硬銅やマグネシウム入り銅が、ちょう架線として硬銅より線のほかにすず入り銅がそれぞれ使用されています³⁾⁴⁾。

析出強化型銅合金

銅と合金になりにくい成分（ジルコニウムやコバルトなど）を急冷により強制的に合金化すると銅の中でこれらの成分が集合体を形成し（これを析出といいます）、析出物によって銅の変形が妨げられることで強度が向上する現象を利用した合金です。PHCTトロリー線やCPSトロリー線があります。

パンタグラフの仕様の違い

日本と欧州のパンタグラフの相違点は多くあります。新幹線では、パンタグラフが追従しなければならない電車線高さの変動が欧州よりも小さいこと、沿線人口密度の高い区間が多く騒音に関する環境基準に適合しなければならないことから、欧州の高速鉄道用パンタグラフ(図3)よりも小型のパンタグラフが使用されています。また、電車線への押上力にも違いがあります。新幹線用パンタグラフは停止中の押上力(これを静押上力といいます)を54N程度で調整することが多いのですが、欧州の高速鉄道における交流および直流区間のパンタグラフの静押上力はそれぞれ60~90Nおよび70~140Nと、比較的高く調整するように定められています⁵⁾。日本および欧州のいずれの場合においても静押上力の公称値(許容誤差を除いた値)は鉄道事業者などの顧客が指定しますが、公称値に対して図4のような許容範囲が設けられている点は共通しています⁶⁾⁷⁾。なお、



図3 欧州のパンタグラフの例 (ICE)

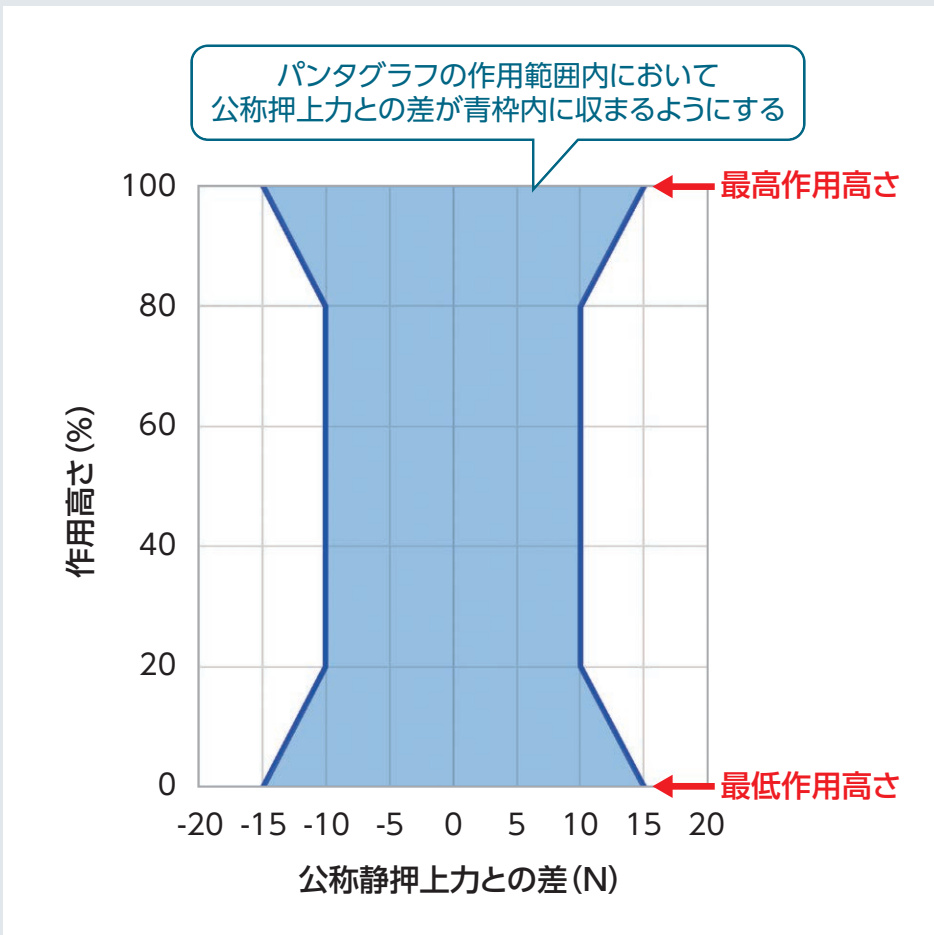


図4 公称押上力の許容範囲※文献6および文献7を元に著者が作図

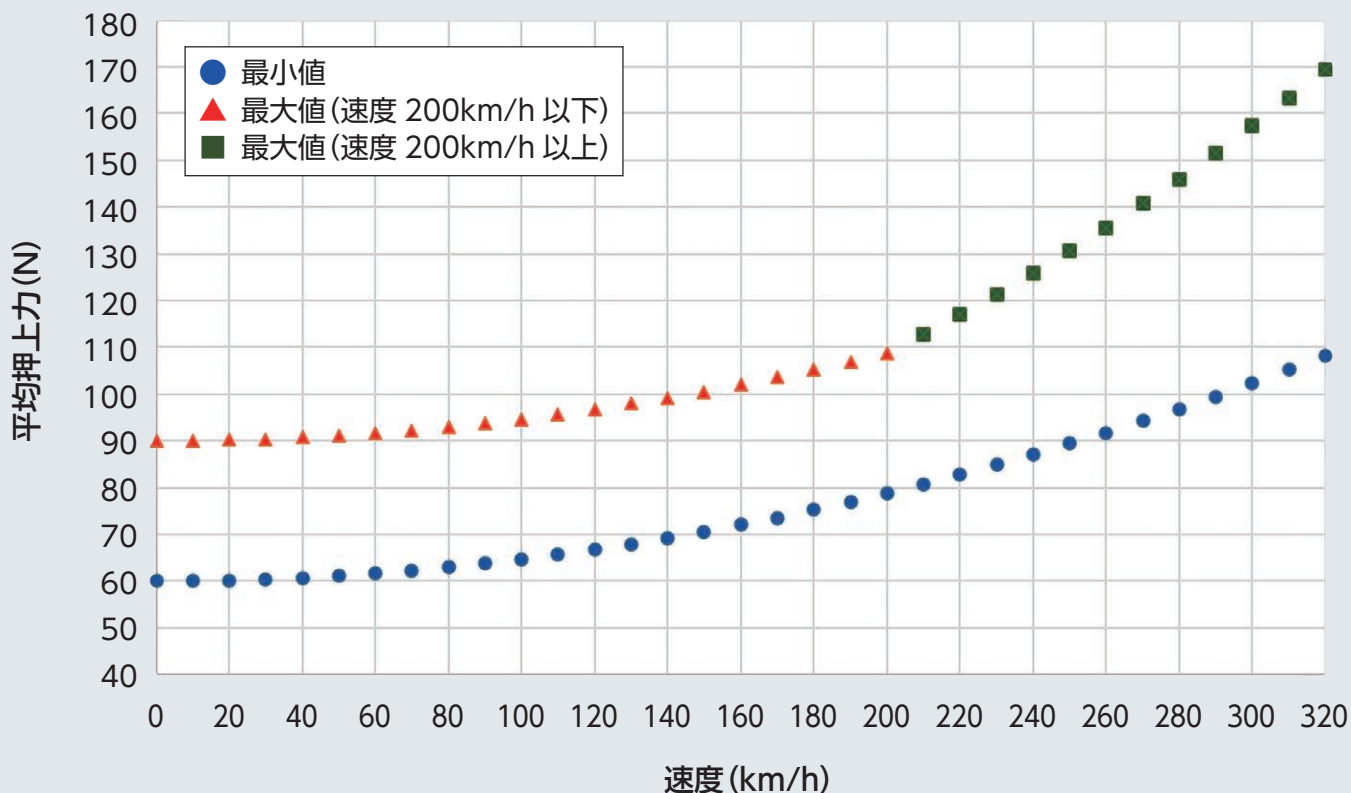


図5 欧州における動的な押上力の上下限值に関する規定 (交流区間の例) ※文献5を元に著者が作図

欧州に関しては、図5のように走行中のパンタグラフの押上力（これを動的な押上力といい、静押上力+走行中にパンタグラフに作用する上下方向の空気力による押上力の増加分のことで、図5では平均押上力と記載）の上下限值も規定されています⁵⁾。欧州の高速鉄道では、動力集中方式の車両が多く利用されていたため、その場合には「1編成に1基のパンタグラフのみが利用されること」および「これらの編成が併結された際に隣接する動力車上のパンタグラフ間隔が短くなること」などの理由から押上力を高くして離線を抑制しているものと考えられます。

また、新幹線では、パンタグラフをばねの力で架線に押し付ける機構（これを押上機構といいます）としてばね上昇式押上機構を採用しています。一方で、欧州の多くの高速鉄道におい

ては、パンタグラフを空気圧で架線に押し付ける空気上昇式押上機構が採用されています。空気上昇式のパンタグラフは、異常時に空気を排出することでパンタグラフを自重で降下させることができます。これを利用した自動降下装置 (Automatic Dropping Device (ADD) または Pantograph Dropping Device) を装備したパンタグラフも多く存在します。欧州内を相互直通運転する際の技術仕様を定める相互運用性に関する技術仕様書 (Technical Specification for Interoperability, TSI) では、ADDの装備が義務付けられています。JIS E 6302⁶⁾においても、国際規格⁷⁾との整合を図るためADDに関する規定が盛り込まれていますが、現時点でADDを装備している量産パンタグラフは日本国内にはありません。



図6 鉄系焼結合金すり板



図7 カーボンすり板（接着式，舟体一体型）

すり板材質の違い

日本と欧州ではパンタグラフすり板の材質も異なります。日本の新幹線では金属のすり板（鉄系焼結合金^⑧，図6）が使われているのに対し，欧州の高速鉄道ではカーボンすり板（図7の黒色部）が使われています。鉄系焼結合金すり板は機械的な強度やじん性（割れにくさの指標）が高く，衝撃に強いという特長がありますが，カーボンすり板と比べ低速域ではトロリー線の摩耗率が高くなります。一方，カーボンすり板は強度が低く，場合によっては割れることもあるため，前述したADDが事実上義務化

⑧ 焼結合金

金属粉などを融点以下の温度で焼き固めて作る合金を焼結合金と言います。溶け合わない金属同士でも焼結体として一体化できることが特徴です。

⑨ 舟体

パンタグラフの上部に位置し，トロリー線と接触するすり板が取り付けられる部材のことです。

されています。ADDでは，すり板が割れたことを検知するために，空気回路を用いています。図8のようにすり板と舟体の間には空気の通路が設けられており，すり板が破損するとこの通路から空気が漏れ，ADDが作動しパンタグラフが降下する仕組みとなっています。

材質の違いにより舟体^⑨へのすり板の取付方法も異なります。焼結合金すり板はボルトで舟体に締結しますが，カーボンすり板はねじ加工が難しいため，接着剤で舟体に固定されます。この接着式は欧州で一般的ですが，日本では輸入品のパンタグラフを除いて使われていません。なお，日本の在来線では，カーボンすり板が使用されていますが，カーボンすり板を鉄製のサヤに収め，そのサヤをボルトで舟体に固定しています。接着式では舟体とすり板が一体構造のため，すり板が摩耗限度に達すると一式で交換しますが，日本ではすり板のみを交換し，舟体は再利用します。接着式は軽量という利点があ

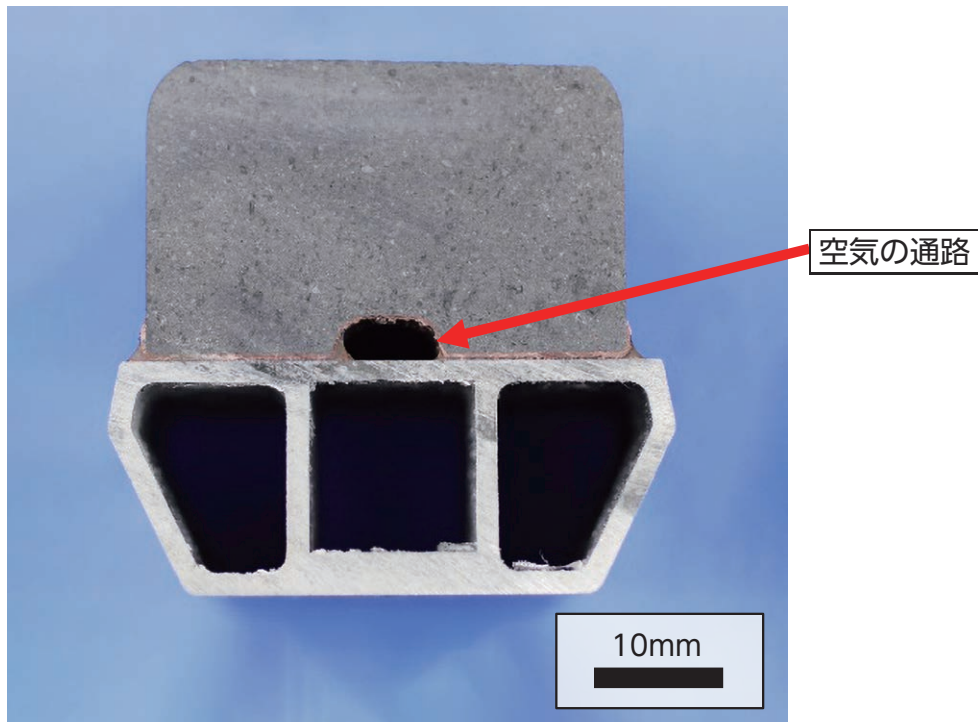


図8 接着式純カーボンすり板の断面

る一方、接着部が高温になると接着力が低下する欠点があり、トロリー線の着氷・着霜時のアーク放電による過熱が原因とみられる破損事例も報告されています⁸⁾。

おわりに

本稿では日本と欧州の高速鉄道における架線やパンタグラフといった要素の主な違いを紹介しました。上記以外にも違いがありますが誌面の都合上主要なものだけを記載しました。支持点の間隔やトロリー線などの張力、営業最高速度などの詳細については文献2～4を参照ください。また、欧州の高速鉄道を深く理解しようとすると、国際規格(IECやISO)^{例えば1)5)7)}や欧州規格(EN)^{例えば9)}への理解が必要になります。こちらについても誌面の都合で解説は割愛しますが、集電システムの国際規格などについては、例えば文献10～12を参照ください。RRR

文 献

- 1) IEC 62313:2009 Railway applications - Power supply and rolling stock - Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock
- 2) Friedrich Kiessling, Rainer Puschmann, Axel Schmieder, Egid Schneider: Contact Lines for Electric Railways 3rd edition: Planning, Design, Implementation, Maintenance, Publicis, 2018
- 3) 持永芳文, 柴川久光, 亀田和之: 電気鉄道技術, エース出版, 2021
- 4) 島田健夫三: 世界の高速鉄道用シンプル架線の比較, 技術士, 697号, pp.14-17, 2025
- 5) IEC 62486:2017 Railway applications -Current collection system- Technical criteria for the Interaction between pantograph and overhead contact line (to achieve free access)
- 6) JIS E 6302:2015 鉄道車両用パンタグラフ
- 7) IEC 60494:2013 Railway applications - Rolling stock - Pantographs - Characteristics and tests - Part 1: Pantographs for main line vehicles
- 8) Werner Krötz, Uwe Resch: Oberleitungen und Stromabnehmer -Entwicklungen bei der Deutschen Bahnmit-, Elektrische Bahnen, pp.211-215, 2011
- 9) EN 50119:2020 Railway applications - Fixed installations - Electric traction overhead contact lines
- 10) 小林樹幸: 電力・電車線国際規格の動向, 鉄道と電気技術, Vol.31, No.5, pp.3-9, 2020
- 11) 池田充: 近年の集電系関連国際規格の審議状況, 鉄道総研報告, Vol.29, No.12, pp.47-52, 2015
- 12) 北川敏樹, 野澤浩之: 2024年の電気・信号・車両電機分野などにおける国際標準化活動の概要, 鉄道と電気技術, Vol.36, No.3, pp.67-71, 2025