

### 第30回

# パンタグラフすり板

## パンタグラフすり板とは

パンタグラフすり板(以下、すり板)とは、パンタグラフの一番上に設置された摩擦部材(図1)のことで、トロリー線と直接しゅう動して電気を受け取る大切な部材です。すり板にはその時代時代でさまざまな材料が使われてきました。ここでは、この多種多様なすり板について、その歴史と各種材料を紹介するとともに今後の展望を述べます。

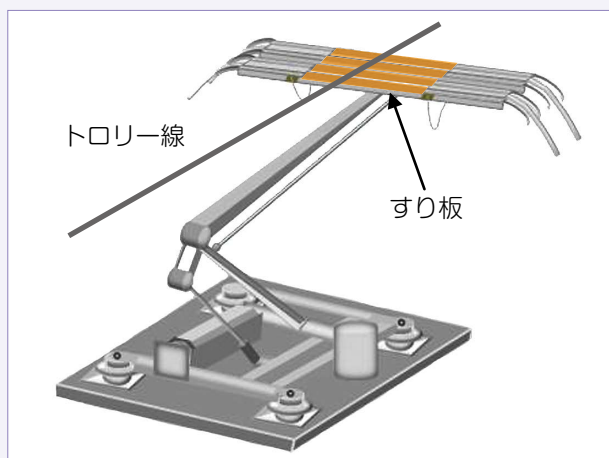


図1 パンタグラフとすり板

## 集電装置の歴史<sup>1),2)</sup>

### 【トロリーポール】

1890年(明治23年)、日本で最初の電気鉄道が登場しました。これは上野公園で行われたアメリカ製電車のデモンストレーション走行で、そのときの集電装置はトロリーポールでした。トロリーポールはパンタグラフが登場する前の集電装置で、現在でもトロリーバスなどで使われています(図2)。トロリーポールの先端にはホイールまたはスライダシュー(一種のすり板)がつけられています。スライダシューの材料は高硬度のカーボン(炭素材)や銅合金(銅-すず合金)などです。トロリーポールは架線への追随性が低く、高速走行が難しいこと、分岐での掛け替えが必要なこと、また架線から外れてしまうこともあったことから、架線とのしゅう動幅が大きなビューゲル(図3)やパンタグラフが普及し始めました。

### 【ビューゲル】

ビューゲル(Bügel)はドイツ語で「弓、弧」の意味で、英語ではBow(弓)Collectorと呼ばれる集電装置です。ビューゲルには幅の広いすり板が使われています。当初、すり板

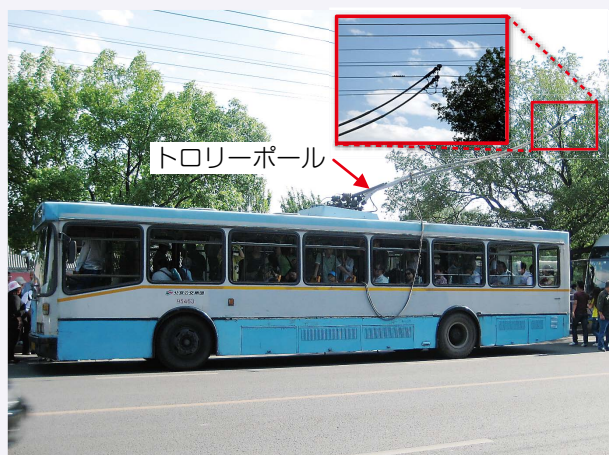


図2 トロリーバスとスライダ式トロリーポール



図3 ビューゲル

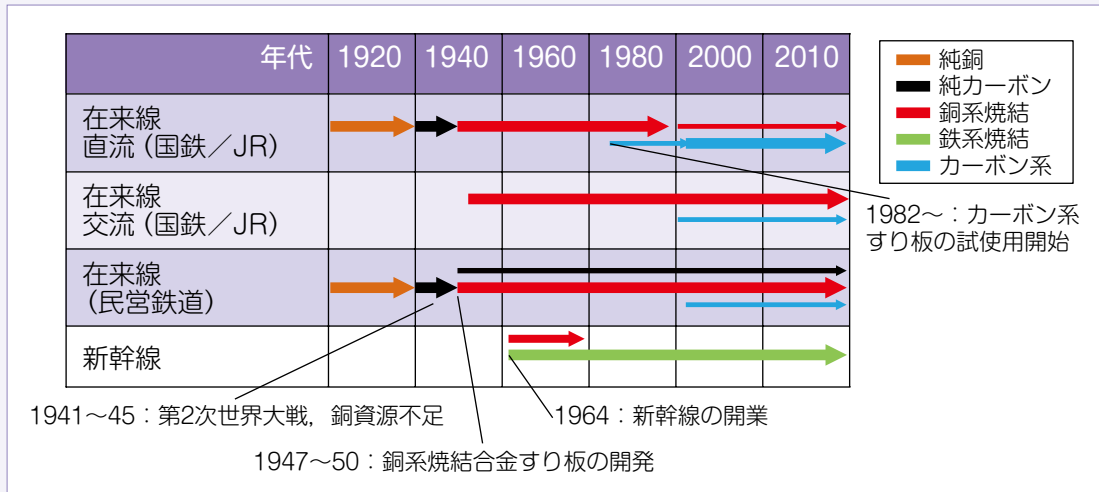


図4 パンタグラフすり板材料の変遷

にはアルミ合金鋳物などが使われていましたが、トロリー線の摩耗を減らすことができるカーボンに置き換えられていきました。ビューゲルはトロリーポールと違って、架線から外れる心配はなくなったのですが、トロリーポールと同様、高さによって押し上げ力が変わり、高速走行での架線への追随性が悪いことから、パンタグラフに変更されていきます。

**【パンタグラフ】**

日本で初めにパンタグラフが登場したのは、1914年（大正3年）、東京－横浜間（現在の京浜東北線）の電車運転開業時でした。このパンタグラフは、アメリカのGE社製で、トロリー線との接触部には長いローラーがつけられていました。しかし、ローラー方式は集電性能が低かったため廃止され、代わりに現在と同じくすり板がつけられるようになりました。



図5 各種すり板

すり板材料の変遷<sup>1)</sup>

次に、すり板材料の変遷（図4）とそれぞれの材料（図5）について説明します。

**【純銅すり板】**

パンタグラフ導入当初、すり板の材料は純銅でした。トロリー線の材料も多くは純銅ですが、この同種金属の組み合わせは摩擦・摩耗の世界では「ともがね」と呼ばれ、互いにくっつき合って摩耗する「凝着摩耗」が起きやすく、最も良くない組み合わせだと考えられています。このため、当初はトロリー線のしゅう動面も荒れ、すり板の摩耗も多かったと言われていました。

**【純カーボンすり板】**

第2次世界大戦が始まり銅資源が不足すると、すり板に純カーボンが使われるようになりました。当時の純カーボンすり板はもろく、使用中にすり板が破損することも多かったと言います。戦後も資源不足は続き、純カーボンすり板が使用されましたが、純カーボンすり板は銅製のすり板と比べて電気抵抗率が高いため停車中の集電電流でトロリー線が過熱され溶断するなどの事故が相次ぎました。ただし、純カーボンすり板には、軽いことや、トロリー線の摩耗が少ないという大きな利点もあるため、一部の民営鉄道では架線に溶断対策を施すなどして現在に至るまで純

カーボンすり板が継続して使用されています<sup>3)</sup>。

### 【銅系焼結合金すり板】

純カーボンすり板には上記の欠点があったため、1949年に電気車すり板改良研究委員会が鉄道電化協会に設置され、銅系焼結合金すり板の開発が開始されました。焼結合金とは、金属や黒鉛などの粉末を混ぜて圧縮成形したのち、炉で焼き固めたものです。金属を溶かして作る合金と違い、黒鉛などの潤滑成分を比較的自由に配合できることが特徴で、すり板に向いた製造方法です。銅系焼結合金すり板が開発されている中、桜木町事故（工事中に誤って架線を切断してしまい、垂れ下がった架線が電車と接触し、車両火災となった事故）が起こります。純カーボンすり板はこの事故の原因ではありませんでしたが、電気抵抗率が高く架線を溶断する可能性があることから、国鉄では純カーボンすり板の使用が中止され、焼結合金すり板に全面的に置き換えられました。しかし、銅系焼結合金すり板は、銅を主成分とするため、純カーボンすり板を使っていたときよりもトロリー線の摩耗が増えてしまいました。そのため、グリースなどの外部潤滑を併用する方法が多く取られました。

### 【鉄系焼結合金すり板<sup>4)</sup>】

1964年の東海道新幹線開業に向けて、新幹線用すり板の開発が行われました。このときの目標は、①東京-大阪を5~7往復できること（走行距離にして5000~7000km）、②高速走行に耐えうる耐衝撃性を持つこと（シャルピー衝撃値が150kJ/m<sup>2</sup>以上）、③トロリー線の交換寿命10年（摩耗率にして、0.02mm/パンタグラフ1万回通過）でした。開業前の走行試験では、多くの材料の中から選ばれた銅系焼結合金、銅系鑄造合金、鉄系焼結合金それぞれ1種類ずつが試験され、鉄系焼結合金すり板のみが上記の目標をクリアできたため、開業時にはこれが全車に取り付けられることになりました。

しばらくはこの鉄系すり板が使用されていましたが、1966年頃にトロリー線がすり板によって削られるというトラブルが起きました。これは、トロリー線の張力が大きく低下し、たるんでいたことが原因でしたが、鉄系のすり板が悪いのではないかという意見が出され、新幹線用の「銅系」焼結合金すり板が開発されることになりました。そして銅系のすり板を導入したところ、鉄系すり板を全編成の65%、銅系すり板を35%使用することで、トロリー線の摩耗を増やすことなく、すり板の摩耗を半減できるという面白い現象が発見されました。混合使用によってトロリー線摩擦面に良い被膜ができるため<sup>4)</sup>などとも言われて

いますが、この不思議な現象の理由は未だに明らかになっていません。

その後、1988年頃まで鉄系と銅系の混用が続きましたが、騒音低減を目的としたパンタグラフ数の減少や、速度向上の結果、すり板の摩耗が多くなったため、比較的摩耗の少ない鉄系すり板のみが新幹線用すり板として使用されることとなります。さらに、最近では360km/hを超える高速走行に対応するため、多分割式のすり板（図6）が開発され、E5、E6系などで使用されています。これはすり板を小片に分割し、それぞれをばねで支えることでばね上質量を小さくし、架線への追従性を向上させたものです。

### 【カーボン系すり板】

前述したように、純カーボンすり板にはトロリー線を摩耗させにくいという大きな利点がある反面、機械的強度が低く、電気抵抗率が高いという欠点もあります。そこで、この欠点を改良して焼結合金なみの機械的、電気的特性を持つカーボンすり板の開発が1981年から始められました。通常カーボン材料は気孔を多く含む多孔質材で、気孔がき裂の起点となりやすいため十分な強度が得られません。そこで、この気孔を銅合金を含浸して埋めることで、強度と電気抵抗率の両方を改善した「銅合金含浸型」カーボンすり板が開発されました<sup>5)</sup>。また、銅とカーボンの粉末を混ぜて作った「混合焼結型」カーボンすり板も開発されました。これらを総称して「カーボン系」すり板と呼びます。カーボン系すり板は1990年代からJRで使用が開始され、線区によってはトロリー線の摩耗が1/3になることもあり<sup>6)</sup>。集電系のメンテナンスコストを削減できることから、カーボン系すり板は普及が進み、現在では多くのJR会社で使用されています。



図6 多分割すり板

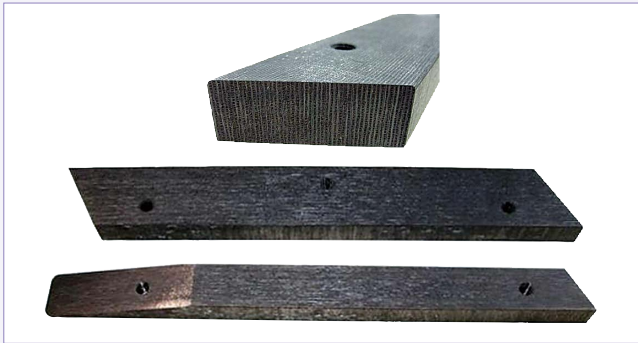


図7 C/C複合材製すり板

### 海外のすり板

欧州では交流電化区間において純カーボンすり板が古くから使われており、現在でも主流です。昔(1960年代)は、銅合金やアルミ合金製のすり板も使われていたようです<sup>7)</sup>。フランス国鉄のTGVでは交流区間では純カーボンすり板、直流区間では鋼(Si-Mn鋼)のすり板とカーボンのすり板が半分ずつ使われていましたが、大電流を流すことのできるカーボン系すり板が開発され、今では直流区間でもカーボン系すり板が使われています<sup>8)</sup>。中国や韓国では、欧州と同じく純カーボンやカーボン系すり板が多く使われていますが、鉄系や銅系の焼結合金製すり板も使われているようです<sup>9)</sup>。ちなみに海外では、純カーボンすり板の割れなどの問題に対しては、すり板の破損を検知してパンタグラフを自動で降下させる装置で対応しています。

### 最近のすり板に関する研究開発

#### (1) 新しい固体潤滑材を用いた新幹線用すり板

新幹線用の鉄系焼結合金すり板には、潤滑成分として低融点金属が配合されていましたが、最近では低融点金属の代わりに二硫化モリブデンなどの固体潤滑材を配合したすり板が開発され、現在ではこの新しい鉄系焼結合金すり板が使われています。

#### (2) C/C複合材製すり板

カーボン系すり板はカーボンと金属の複合化により強度を大きく増加させたものですが、それでもじん性(割れにくさ)が低く、ぜい性材であることに変わりはありませんでした。そこで近年、このじん性の低さを改善するためにカーボンコンポジット(炭素繊維を編んで作ったシートを積層し焼き固めたもので、じん性に優れる)に銅合金を含浸させることで作った「C/C複合材製すり板(図7)」が開発

されました<sup>10)</sup>。C/C複合材製すり板は高い潤滑性や耐アーキ性を有することに加え、金属系のすり板と同様にねじ止めが可能のため、銅系焼結合金すり板を多く使用していた民営鉄道を中心に導入が進んでいます。鉄道総研では、このC/C複合材製すり板の摩耗要因の解明や、新幹線への適用に向けた検討を行っています。

#### (3) すり板とトロリー線の摩耗メカニズムの解明

以上で説明したように、すり板とトロリー線の摩耗を減らすため、これまでに多くの試行錯誤が繰り返されてきました。さらなる摩耗低減のためには、すり板とトロリー線の摩耗現象について、より理解を深める必要があります。鉄道総研では、新幹線用すり板とトロリー線の摩耗メカニズムや、カーボン系すり板の局部摩耗メカニズムについて基礎的な検討を進めています。今後はそうした研究から得られた知見を基に、集電系材料の摩耗に伴うメンテナンスコストの低減を目指していきます。

以上、すり板の歴史と最近の取り組みについて簡単にまとめました。すり板は現在でも、鉄道会社や線区によってさまざまな材料が使われています。この記事を機に、ホームから通過するパンタグラフを眺める際、すり板にも注目していただけると幸いです。

(久保田喜雄/材料技術研究部 摩擦材料研究室)

### 文献

- 1) 松山晋作：パンタグラフすり板とトロリー線，金属，Vol.7，No.2，pp.128-136，2000
- 2) 小野寺正之ほか：日本におけるパンタグラフの歴史と東洋電機I，東洋電機技報，pp.2-8，2001
- 3) パンタグラフすり板の昨日・今日・明日，車両と機械，vol.4，No.5～11，1990
- 4) 岩瀬勝：集電技術ア・ラ・カルト，研友社，1998
- 5) 寺岡利夫：カーボンがすり板を変える，RRR，pp.9-13，1987
- 6) 針山隆史：カーボンすり板の開発経緯とJR東日本での取組(1)～(3)，電車，Vol.1～3，1993
- 7) R.Holm：Electric Contacts，Springer，1967
- 8) G. Auditeau：Un carbone haute intensité pour les pantographes，Revue générale des chemins de fer，no.200，pp.8-19，2010
- 9) K-S.Kim：A Experimental Study on Wearing Phenomenon of Cu-type Wearing Slider for the Rail Motor Car's Pantograph，Vol.15，pp.224-230，2012
- 10) 久保俊一ほか：C/C複合材のパンタグラフすり板への適用，電子情報通信学会技術研究報告，2003