

# 車両への電気の取り入れ口

久保 俊一

材料技術研究部(部長)



くぼ しゅんいち

## はじめに

架線からパンタグラフへの電気の流れの中で、架線とパンタグラフが直接接触し電流の授受が行われる部分がパンタグラフすり板(以下、すり板)です。すり板はパンタグラフ上部の舟体と呼ばれる可動部分に取り付けられており(図1)、電気回路中の一素子であると同時に、トロリ線と摩擦する機械部品でもあるという、二重の性格を持ちます。このため、電気と機械の両面の条件に合うことが求められます。むろん鉄道車両の部品として丈夫なことが基本です。

ここでは、すり板に求められる条件や使われている材料とその性質について紹介します。

## すり板に求められる性質

**鉄道車両部品として：**使用中に破損しない十分な強度が必要です。すり板は車両の最上部にあるため、破損した場合には沿線に破片が飛散する可能性があります。

**電気回路の素子として：**回路素子としては電気接点として働き、導電性が高く電気を容易に通すことが必要です。通電による発熱で溶けたり、トロリ線との接触抵抗により過大に発熱したりしない十分な導電性が必要です。

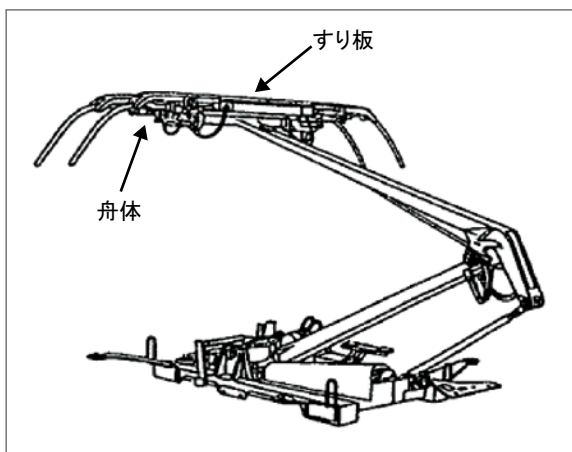


図1 在来線用パンタグラフの例

**摩擦する機械部品として：**滑りが良く摩耗が少ないことが必要です。自分が摩耗しないだけでなく、相手のトロリ線を摩耗させないことが求められます。また、摩耗したら取替える必要があるため高価では困ります。パンタグラフのトロリ線への追従性能向上のために軽いことも望まれます。

## どんな通電条件で使われているか？

1台のパンタグラフには舟体が1~2体あり、舟体にはすり板が間隔をあけて数列並べて取り付けられ、それぞれの列がトロリ線との接点となります。すり板1列の幅は25~40mmです。列の数はパンタグラフ1台の通電電流を目安に決められ、直流電車は2~4、直流電気機関車は4~10、新幹線電車を含む交流電車・電気機関車は2です。ただし新幹線のシングルアーム式パンタグラフでは、低騒音化のために、すり板2列を間隔をあけずに並べ1列としたり、幅広のすり板1列だけにしてトロリ線との接点を1か所とするパンタグラフの簡略化がなされています(図2(a), (b))。

直流電車・電気機関車ではパンタグラフ1台あたりの走行時の電流が1,500Aを超えるものもあります。直流電車・電気機関車のすり板・トロリ線の接触点での条件比較のために走行時、停車時それぞれでのすり板1列あたりの通電電流を調べると概ね図3のようになります。直流電気機関車ではパンタグラフ1台での通電電流は大きいものの、トロリ線と接触する頻度が高い舟体中心部のすり板列数を多くしてトロリ線との接点を増やしているため(図2(h), (i))、この部分のすり板の列数で計算すると、すり板1列あたりの電流は小さくなります。近年は直流電車でもすり板が2列のパンタグラフを使うものがあり(図2(d))、その場合はすり板1列あたりの最大電流が走行時600A程度、停車時60A程度になる場合もあります。一方、交流電車・電気機関車は電圧が20kVまたは25kVと高いため、パンタグラフ1台あたりの走行時の電流は高速走行で大電力が必要な新幹線電車でも最大500A程度です。



(a) すり板 2 列を間隔をあけず並べ 1 列 (低騒音型)・鉄系焼結合金



(b) 幅広のすり板で 1 列 (低騒音型)・鉄系焼結合金  
新幹線電車



(c) 2 列・鉄系焼結合金



(d) 2 列・カーボン系



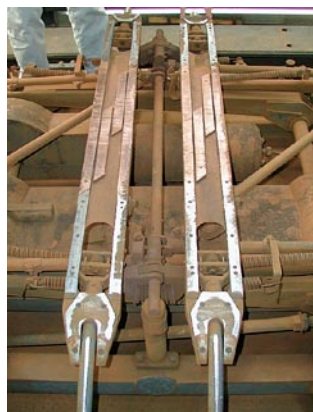
(e) 4 列・銅系焼結合金 (固形潤滑材を併用)  
在来線直流電車



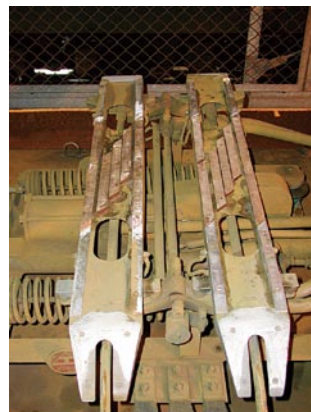
(f) 4 列・カーボン系



(g) 交流 2 列・銅系焼結合金



(h) 直流 4 ~ 8 列・銅系焼結合金 (中心部に 2 列ずつ追加)  
電気機関車 (交流, 直流)



(i) 直流 4 ~ 10 列・銅系焼結合金 (中心部に 3 列ずつ追加)

図2 種々の車種のパンタグラフ舟体とすり板の配列と材料

### 流せる電流の上限を決めるもの

パンタグラフに流せる電流の上限はどの程度でしょうか。停車時では、電流の上限はすり板とトロリ線との接触条件によって決まります。すり板とトロリ線の接触点に通電すると、接触点での接触抵抗により発熱し、接触点付近のトロリ線とすり板の温度は上昇します。トロリ線材料として広く使われる純銅は、90℃以上の状態が長時間続くと強度が低下することが知られています。トロリ線には一定の張力がかけられるため、強度が低下すると断線の恐れがあります。従って停車時は、すり板に接するトロリ線の温度が90℃を超えない程度の電流値が上限となります。温度上昇を左右する接触点での発熱量は接触抵抗により決まり、接触抵抗は使用するすり板の材料、接触点の数、接触

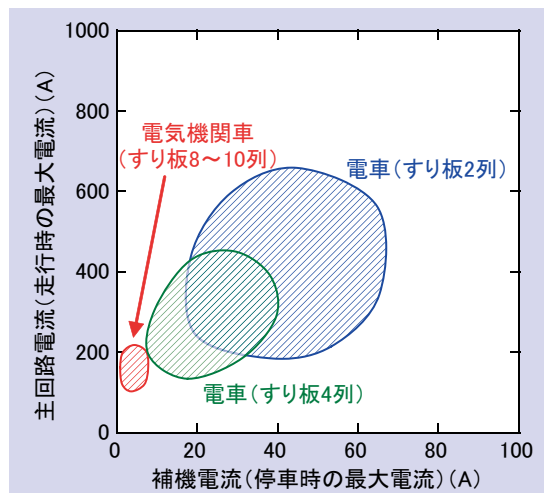


図3 直流電車・電気機関車のすり板 1 列あたりの最大電流

表1 規格に定められたすり板用材料の特性値 (JRIS E 6301 : 2005による)

材料の種類	機械的特性			電気的特性
	引張強さ (MPa)	曲げ強さ (MPa)	シャルピー吸収エネルギー (J)	固有抵抗 ( $\mu\Omega\cdot m$ )
銅系焼結合金	120以上	—	4.9以上	0.4以下
鉄系焼結合金	170以上	—	9.8以上	0.8以下
単体金属, 溶融合金	180以上	—	—	0.2以下
炭素	—	25以上	—	40以下
炭素を主体とした金属を含む材料	—	70以上	0.3以上	3以下

状態などで変わりますが、最も影響するのがすり板自体の導電性で、後述する規格でも基準値が決められています。

走行時では、トロリ線とすり板の接触点は移動するため、接触点での発熱に伴うトロリ線の温度上昇は問題とはなりません。従って、電流は車上の回路の上限まで流せるはずですが、実際には、①通電によるすり板の発熱とそれによる軟化・溶融・摩耗増大、②すり板の発熱による他のパンタグラフ部材への熱影響、③パンタグラフ可動部のバイパス用電線（前の記事参照）の断線・抵抗増加やその接続部での抵抗増加など、パンタグラフ各部分の電流路確保に障害となる現象の発生が電流の上限を決める要因となります。しかし、通電による発熱量は予測できても、これらの現象の発生とその影響は予測が難しく、走行中の電流の上限はそれまでの経験に基づいて想定されているのが実情です。

### どんな機械的条件で使われているか？

すり板とトロリ線を接触させるために、パンタグラフ舟体は一定の力でトロリ線に押し付けられます。日本ではこの力（接触力とも呼ばれる）は車種によらず約50～60Nです。しかし前の記事でも紹介のとおり、接触力は走行中ではトロリ線から受ける作用や空気流による揚力などにより変動し、動的には停車時の2倍程度になることがあると同時にゼロになることもあります。また走行時には接触力と摩擦係数に比例した摩擦力が働きます。さらに、トロリ線の高さの急変や、架線金具の不具合などにより、瞬間的に大きな接触力が働くこともあり、そのような場合でも破損しない強度がすり板には必要となります。ところで、接触力や摩擦力の変動は、車両の走行速度、架線の構造や保守状態などにより大きく異なり、一概にどの程度の範囲にあるとは言いきれない面があります。従って、すり板の強度がどの程度であれば十分かは必ずしも明確ではありません。

### どんな材料が使われてきたか

これらの条件で使われるすり板には、実際にはどんな性

能が必要でしょうか。これはかつてはJISや国鉄規格で定められていましたが、現在は鉄道車両の業界団体、(社)日本鉄道車輛工業会の規格に定められています(表1)。

表1にはすり板材料の種類ごとに必要性能が決められています。通常、同一条件で使う材料に必要な性能は同一のはずですが、すり板の規格がそうではないのは、すり板用材料の選択での歴史的な経緯に由来しています。

電気鉄道の黎明期には、材料の選択肢も少なく導電性を重視し純銅が使われ、その後、滑りの良さと摩耗の少なさで純カーボン（炭素）が使われました。日本では第二次大戦後、焼結合金すり板が開発され、以降広く使われています。新幹線のすり板も開業時から焼結合金です。JR発足後は、トロリ線等の設備保守の軽減のためにトロリ線の摩耗が少ないカーボン系すり板が開発され使われています。

すり板材料は、決められた性能条件だけで選ばれるのではなく、その時々々の経済や車両性能などの状況と必要性に応じ選ばれてきました。また、事業者や線区、車種ごとで材料選択の幅は広く、鉄道部材としては材料の変更が比較的容易なこともあり、現在でも様々な種類の材料が使われ、規格もそれに対応した形となっています。次に現在多くの線区で使われている代表的なすり板材料を紹介します。

### 焼結合金すり板

焼結合金すり板は、第二次大戦後に開発され、その後数多くの改良がなされ現在でも広く使われています。焼結合金とは、種々の金属粉末を混合、成形し、融点より低い温度で焼いて金属粉を結合させて製作した合金です。混合する粉末としては、主体となる金属粉（銅、鉄）の他、潤滑性の化合物（二硫化モリブデン、黒鉛など）、硬さを高め摩耗を防ぐための硬い金属粒子（クロム、フェロモリブデン、フェロチタンなど）があり、混合する粉末の種類と量を調整して合金の特性を調節できるため、すり板材料のように複数の特性を求められる材料の製作に適しています。図4(a)は代表的な焼結合金すり板の金属組織です。図の

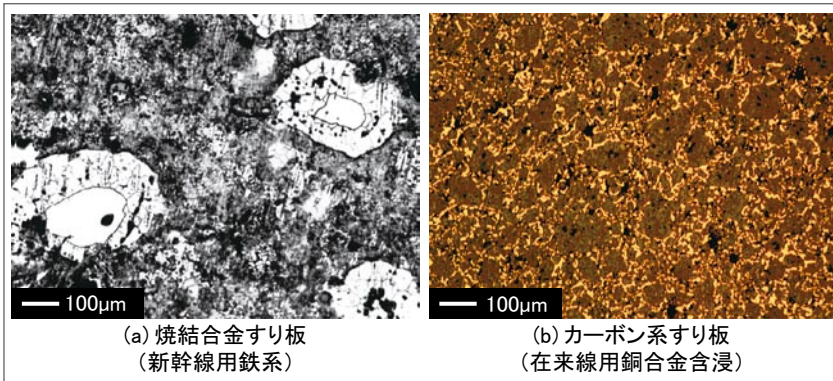


図4 光学顕微鏡で観察したすり板材料の組織

丸く白い部分が硬い金属粒子です。焼結合金すり板は、二硫化モリブデンなどの潤滑成分を含みますが、トロリ線との摩擦は金属同士の摩擦となり潤滑が不足して摩擦が増えるため、補助潤滑剤としてワックス系固形潤滑材や潤滑グリースがすり板と併用されます。図2 (e) では、2列の銅系焼結合金すり板(茶色の部分)の間にワックス系固形潤滑材(黒色の部分)を並べて使用しています。

### カーボン系すり板

すり板として用いられるカーボン(炭素)は、コークスなどの炭素粉末を成形し1,000~1,500℃程度の炉で焼いて(焼成して)製作します。炭素単体(純カーボン)をすり板として使うことも可能で、第二次大戦中には銅資源節約のために使われた時期がありました。戦後は国鉄を中心に焼結合金に変更されましたが、現在も純カーボンを使用している事業者も少なからずあります。

一方、JR発足後に、純カーボンすり板よりも導電性、機械的強度、耐摩耗性を高め、集電電流の大きな車両でも使用できる新たなすり板材料が開発されました。この材料は、炭素粉に金属粉、金属繊維、炭素繊維を混ぜる方法、焼成した炭素に溶けた金属を含浸する方法などにより製作するもので、カーボン系すり板(または、メタライズド・カーボンすり板)と呼ばれています。図4 (b) は代表的なカーボン系すり板の組織です。図の暗い部分がカーボン、明るい部分がカーボンに含浸された金属です。

純カーボンすり板やカーボン系すり板の特徴は、トロリ線との滑りが良く、トロリ線の摩耗が少ないことです。銅系焼結合金すり板からカーボン系すり板への材料変更を行った線区での調査では、材料変更後のトロリ線の摩耗率は、変更前の約1/2~1/3になったとの報告があり、最近15年の間にJR会社の在来線のパンタグラフの約2/3で焼結合金に代わりカーボン系すり板が採用されています。

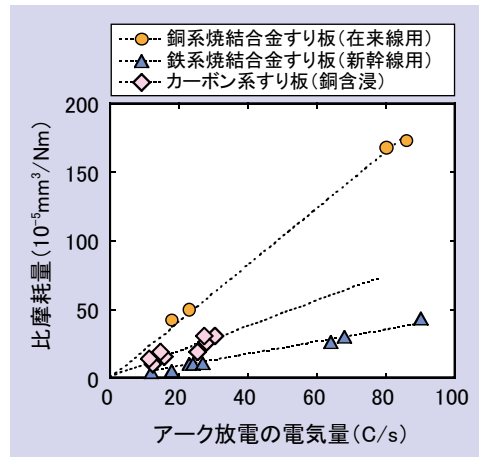


図5 アーク放電と摩耗率の関係 (定置試験)

### 摩擦・消耗部材としてのすり板

すり板材料にとって、実用上最も重要となるのは耐摩耗性です。どんなに強度や導電性が高くても、摩擦により容易に摩耗しては意味がありません。通電しながら摩擦するすり板材料では、摩耗はどのように進むのでしょうか。現在までの調査研究によれば、すり板の摩耗は、その他の摩擦材料と同様に摩擦により摩耗する部分と、通電により摩耗が促進される部分とに大別されることが知られています。通電により摩耗が促進されるとは、通電や離線(走行中にトロリ線とすり板が瞬間的に離れること)した際に発生するアーク放電により発生した熱による影響で、すり板材料の摩擦面の硬さや強度などの物性が変わり、それにより摩耗が増加することです。定置試験装置や実車での計測によれば、焼結合金すり板やカーボン系すり板の摩耗は、すり板が離線した時に発生するアーク放電に左右され、すり板の摩耗率はアーク放電の発生量にほぼ比例して増加することがわかっています(図5)。従って、すり板の耐摩耗性を向上するには、アーク放電が発生しても摩耗しにくい材料を開発すればよいことになります。

このため近年、焼結合金すり板では耐熱金属粒子を分散させた材質が、カーボン系すり板では黒鉛量を増やした材質や炭素繊維を用いた複合材料が開発されています。

### おわりに

車両への電気の取り入れ口であるパンタグラフすり板の役割についてご紹介しました。普段は目にする事の無い部材ではありますが、電気素子として、消耗部材として、さらにはトロリ線などの電気設備の寿命を左右する部材として重要な役割を負っていることを知っていただければ幸いです。今後も、鉄道の高速度化や保守経費の低減を実現するために、すり板材料の耐久性向上を含む、架線・パンタグラフ系全体の技術開発が望まれるところです。RRR