

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

# パンタグラフすり板の摩耗を低減する

新幹線では、開業当時の試験において焼結合金すり板が採用されて以来、現在でも焼結合金すり板が使用されていますが、すり板の寿命延伸や高速での使用に対応するためなどの目的で、これまでに数回の材質変更が行われてきました。ここでは、これまでに新幹線で実用化されてきたすり板を紹介するとともに、硫化マンガブレアロイ型快削鋼粉を用いて開発された最新のすり板について紹介します。



宮平 裕生

Yuki Miyahira

材料技術研究部  
摩擦材料研究室  
研究員

【専門分野】パンタグラフすり板、トライボロジー



土屋 広志

Hiroshi Tsuchiya

前 材料技術研究部  
摩擦材料研究室  
主任研究員

【専門分野】パンタグラフすり板、トライボロジー

## はじめに

パンタグラフは、電車が地上設備の電線（トロリー線）から電力を受給するための装置で、そのパンタグラフの最上部に取り付けられ、トロリー線と摩擦しながら電力を受給する部材を「パンタグラフすり板」（以下、「すり板」という）と呼んでいます。すり板とトロリー線の接点は電車の動きに合わせて移動するため、押付力は常に変動し、場合によっては両者が離れて離線アークを発生させます。この離線アークはすり板摩耗の大きな要因の1つとなっています。また、すり板は速度300km/h以上の高速条件で使用されたり、降雨・降雪条件下で使用されたりと、他に類を見ない厳しい条件で使用されています。そのため、すり板には次のような基本的な特性が求められます。

- (1) 耐アーク性があり、すり板自身が摩耗しにくいこと
- (2) 潤滑成分を加えてトロリー線を摩耗させにくいこと
- (3) 車両電気部品として必要な機械的特性と導電性を有すること
- (4) 消耗部品としての経済性が良いこと

これらの条件を満たしつつ、これまでにさまざまなすり板の開発が行われてきました。ここでは、実用化された新幹線すり板の変遷について紹介します。

## 新幹線すり板の変遷

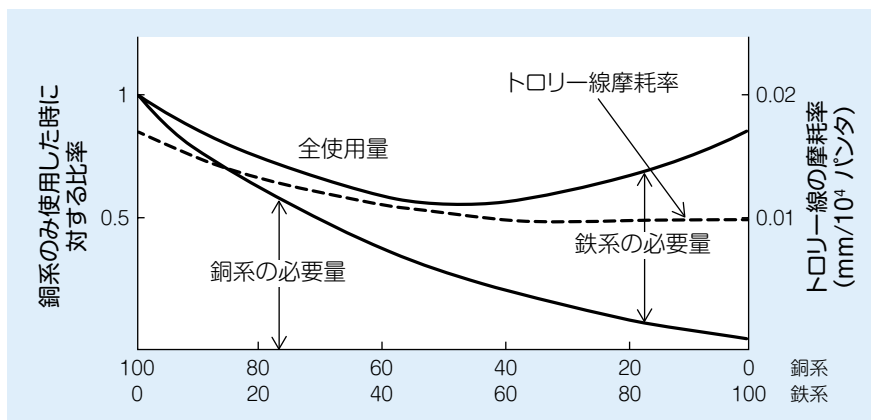
### 初期の新幹線用すり板（1964～）

新幹線用すり板の変遷を表1に示します。1964年に開業した東海道新幹線では、開業スケジュールに合わせて高速集電用すり板の開発が行われました。当時のすり板への要求仕様は、最高速度250km/h、1パンタグラフあたりの最大集電電流120A、パンタグラフ押上力75Nでした。この条件下で、すり板寿命が走行距離として7,000～8,000km、トロリー線の摩耗率がパンタグラフ1万回通過あたり0.02mmであることを目標としていました。

すり板の材料は銅系焼結合金、鉄系焼結合金、銅系鑄造合金が試作・試験されていました。当時の国鉄・鉄道技術研究所では、試験機を用いたすり板とトロリー線の摩耗評価試験（定置試験）を行った後、鴨宮モデル線区での実車試験を経て実用すり板を選定していました。開業当時に使われてい

表1 新幹線用すり板の変遷

		すり板	材質	仕様・目的
導入	1964～	NT-3	鉄系	新幹線の営業走行で使えるすり板 すり板寿命：12,000～±5,000 km (2両に1パンタグラフ)
変更1	1968～	M39 K16, BC16	鉄系 銅系	すり板寿命を延伸させたすり板 すり板寿命：15,000～20,000 km (2両に1パンタグラフ)
変更2	1981～	TF5A, BF31 (現用すり板)	鉄系	パンタグラフ数の削減・走行速度向上に 耐えられるすり板 現在でも一部線区で使用されている
変更3	1996～	T3-2, (N4-2-1) (改良すり板)	鉄系	固体潤滑剤成分を変更したすり板
変更4	2009～	N5C-5 (開発すり板)	鉄系	MnS 快削鉄粉を使用してすり板の耐摩 耗性を向上させたすり板 一部線区では使用されている

図1 鉄系すり板と銅系すり板の混用による摩耗率の変化<sup>1)</sup>

た鉄系焼結合金すり板NT-3の寿命は12,000～±5,000kmでした。

#### すり板の寿命延伸(1968～)

1968年から新幹線開業当時のすり板の寿命を延伸するために、新たな材質の試作・現車試験が行われ、その結果、10,000km以上使用できる鉄系焼結合金すり板M39、銅系焼結合金すり板K16、BC16が開発されました。これらのすり板は現車試験を経て採用されましたが、その過程において、鉄系もしくは銅系のすり板だけを使用するよりも、鉄系と銅系のすり板を混用した方が、すり板とトロッピー線の摩耗率が減少することが見出されました。

図1に示すように、すり板の摩耗率は鉄系と銅系のすり板の割合が1:1の場合に最小摩耗量を示しました。しかし、トロッピー線摩耗量を考慮して、鉄系と銅系のすり板の割合が6:4となるのが最適な使用割合とされ、この割

合で使用されました。その結果、すり板の寿命は15,000～20,000kmに延伸しました<sup>1)</sup>。

#### 速度向上およびパンタグラフ半減に伴うすり板開発(1981～)

1981年から新幹線の騒音低減対策の一環として、パンタグラフ数を減らす一連の試験（パンタ半減試験）が行われました。この試験の過程で、パンタグラフを半減させると電流が増加し、すり板の摩耗率は2倍以上に増大することが明らかになりました。

さらに、その後に実施された一連の速度向上試験（240km/h、270km/h）でも、すり板の摩耗率は著しく増大することが明らかになりました。

この問題を解決するために、耐摩耗性能の向上を目指したすり板の試作が進められました。すり板の試作においては、潤滑成分の見直し、低融点金属や耐アーク用の硬質金属の再検討が行

われました。

この結果を反映し、開発された鉄系焼結合金すり板TF5A、BF31（以下、「現用すり板」という）は、東北新幹線の200系電車による240km/hの実車走行においても良好な性能を示したため使用が開始され、現在でも一部線区では継続して使用されています<sup>2)</sup>。

#### 改良すり板の開発(1996～)

1996年からは、すり板の潤滑成分を従来の低融点金属から近年の固体潤滑技術を反映したものに置き換えたすり板の開発を行いました。

一般的に多量の固体潤滑剤を添加すれば、現用材の低融点金属による潤滑と同程度の潤滑性を確保することは可能です。しかし、固体潤滑剤の多くは現用低融点金属と異なり、すり板材の強度を低下させる方向に働き、電気抵抗率は大きくなり、コストも高くなります。そのため、固体潤滑剤を多量に添加するとすり板に求められる機械的特性、導電性、経済性を満足できない可能性が高く、実際の開発では、固体潤滑剤の添加量は限られます。

そこで、すり板の機械的特性や潤滑性を現用すり板と同程度に保持したまま、潤滑成分を変更することを目標にすり板の開発を行い、T3-2とN4-2-1（以下、「改良すり板」という）が開発されました。改良すり板では、固体潤滑剤の増加の影響で電気抵抗率が現用すり板より若干大きくなりましたが、電気部品としての性能を十分に有していると考えられたため、電気抵抗率の増加をある程度許容しました。

改良すり板のうちT3-2は、固体潤滑剤の種類と添加量を調整し、素地となる鉄粉に潤滑成分や耐アーク成分を加えて混合・成形・焼結させる一般的な焼結合金手法（TF5Aと同様）で製造を行いました。一方、N4-2-1は

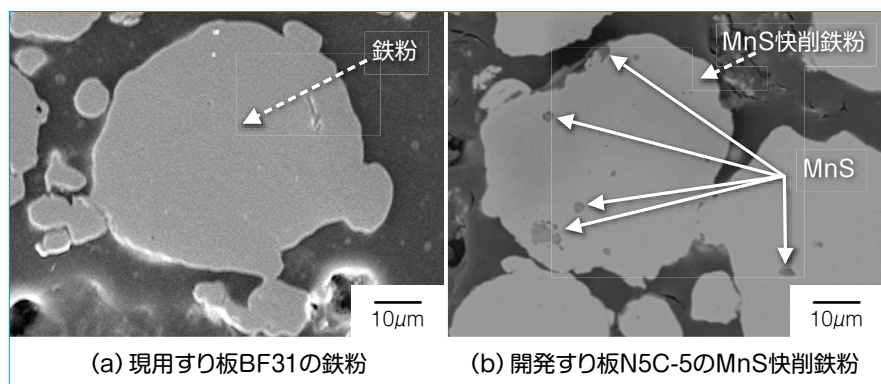


図2 鉄粉とMnS快削鉄粉の断面顕微鏡写真

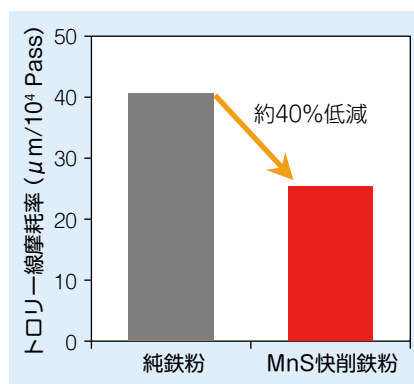


図3 素地鉄粉の種類とトロリー線摩耗率の比較 (50km/h, 100A)

T3-2の製造方法と同じ工程を行った後、不足する潤滑成分を補うため基材の硫化処理を行い、潤滑剤として働く金属硫化物を後から生成させる新たな方法で製造を行いました。これらの方法で製造した2種類の改良すり板で現車試験を行った結果、改良すり板使用時のすり板とトロリー線の摩耗は、現用すり板使用時と同程度でした<sup>3)</sup>。この結果から、新幹線の一部線区では2種類の改良すり板が採用されました。

しかし、2種類の改良すり板の採用後、保管中のN4-2-1に錆が発生するようになり、すり板をボルト締結する際、錆でボルトが締まらなくなりました。これは、焼結合金が多孔質体のため、N4-2-1の硫化処理時の溶液がすり板内部に残留し、徐々にすり板表面から滲出・吸湿して鉄成分の発錆を誘発したためです。このため、N4-2-1は現在では使用されていません。

## 最近のすり板開発 (2009～)

### 開発概要

改良すり板T3-2は、潤滑成分を従来の低融点金属から変更しても、従来のような鉄粉に固体潤滑剤を混合する方法を用いて、すり板とトロリー線の摩耗を現用すり板と同程度にして開発を行うことができました。しかし、すり板の摩耗を低減させるためには、同様の方法では、すり板の機械的特性や導電性を改良すり板と同程度に維持す

ることが容易ではないと考えられました。また、N4-2-1のように後から硫化処理を行う方法は、錆を助長させるだけでなく、製造コストも上昇させます。

そこで、新たなすり板製造方法として、自己潤滑性を持つ硫化マンガンブレアロイ型快削鋼粉 (以下、「MnS快削鉄粉」という)<sup>4)</sup>に着目して、これを素地材料に使用し、すり板素地自体の潤滑特性を向上させる新たな製造方法で試作を行いました。

### MnS快削鉄粉

MnS快削鉄粉は、溶製中の鉄にマンガンおよび硫黄を添加し、凝固時にMnSを鉄粉中に分散させたもので (図2)、鉄粉自体に潤滑性があり、自動車のエンジンのバルブガイドなどの焼結機械部品に用いられています。すり板の素地となるこの鉄粉の摩耗特性を評価するため、MnS快削鉄粉および従来の鉄粉のみを焼結した摩耗試験片を試作し、鉄道総研所有の「集電材摩耗試験機」を用いて摩耗試験を行いました。試験条件は、すり板押付力：49N、通電電流：DC100A (すり板1枚)、摩擦速度：50km/h、摩擦時間：60分間としました。試験の結果、MnS快削鉄粉により、鉄粉に比べて模擬トロリー線の摩耗率が約40%低減し、従来の鉄粉よりも潤滑性が向上することを確認しました (図3)。

### 開発すり板N5C-5

すり板の耐摩耗性を向上させるには

硬質金属粒子の増量が必要ですが、硬質粒子の増量はトロリー線摩耗を増加させるため、固体潤滑剤を増量する必要があります。これまでのようなすり板の製造方法では、すり板の機械的特性や導電性を低下させてしまいます。しかし、MnS快削鉄粉を使用することで素地の潤滑性が従来よりも向上し、硬質粒子の添加量を従来よりも大幅に増量させても、潤滑性を維持することが可能となりました。このMnS快削鉄粉を使用し、固体潤滑剤を大幅に増量させたすり板がN5C-5 (以下、「開発すり板」という)です。

表2に新幹線用焼結合金すり板の諸元を示します。改良すり板では、硬質粒子として高融点のクロム (Cr) やクロム・バナジウム (Cr-V) を添加していましたが、N5C-5ではこれに加えて窒化フェロチタン (FeTiNx) やフェロモリブデン (Fe-Mo) といった鉄系の硬質粒子を添加しました。鉄系の硬質粒子は酸化されやすいため、酸化皮膜の形成による凝着摩耗の低減効果や、素地の鉄粉と結び付いて高硬度素地を形成します。このようにして試作したN5C-5は、すり板の機械的特性や導電性をN4-2-1より高めることができました。さらに、MnS快削鉄粉の使用により、N4-2-1で行っていた硫化処理の工程を省略することができ、経済性も高まりました。



表2 現用すり板、改良すり板、開発すり板の諸元

	すり板 型番	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	硬さ (HB)	引張強さ (Mpa)	シャルピー 衝撃値 (J/cm <sup>3</sup> )	抵抗率 (μΩ cm)	素地	硬質成分	潤滑成分
	(目標値)	---	70～115	176以上	9.8以上	80以下			
現用すり板	TF5A	7.1	91	282	21.7	40	鉄粉	Cr	MoS <sub>2</sub>
	BF31	7.4	95	220	13.0	25		Fe-Ti, Fe-Mo	---
改良すり板	T3-2	7.0	100	255	11.0	58		Cr	MoS <sub>2</sub> , Bi, BN
	N4-2-1	6.8	95	207	10.5	59		Cr, Cr-V	MoS <sub>2</sub> , WS <sub>2</sub>
開発すり板	N5C-5	6.9	113	260	10.5	45	MnS 快削鉄粉	Cr, Cr-V, FeTiNx, Fe-Mo	MoS <sub>2</sub> , WS <sub>2</sub>

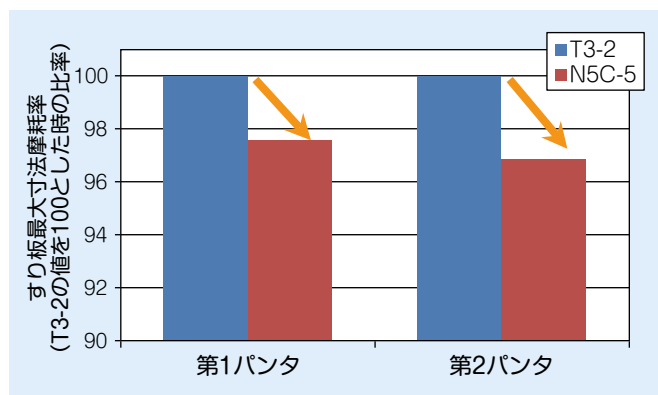


図4 T3-2とN5C-5を併用時のすり板摩耗率の平均値

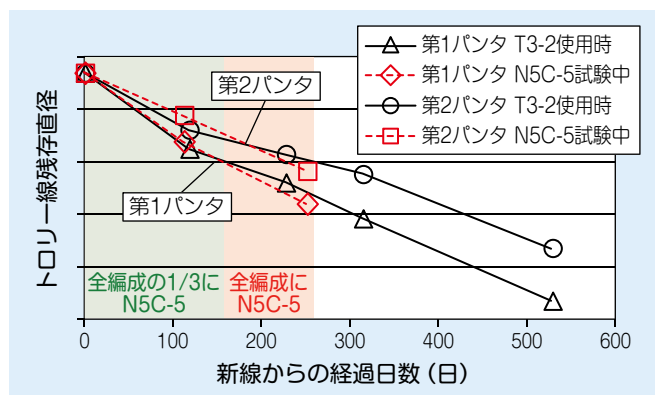


図5 駅構内パンタグラフ停止位置でのトロリー線の摩耗推移

## N5C-5の現車試験

こうして製造したN5C-5は定置試験でも良好な結果を示したため、特定区間で、実際の新幹線に搭載する現車試験を行いました。試験ではN5C-5の搭載編成数を段階的に増加させて、すり板とトロリー線の摩耗を改良すり板T3-2と比較しました。

N5C-5とT3-2を併用したときのすり板摩耗を図4に示します。N5C-5のすり板最大寸法摩耗率は、T3-2より約3%小さくなりました。また、試験区間の駅のパンタグラフ停止位置で測定したトロリー線の摩耗推移を図5に示します。調査箇所のトロリー線は、試験開始直前に新線に張替えられたため、新線の状態から開発すり板が導入されたものとみなし、N5C-5導入試験中のトロリー線の摩耗推移をT3-2使用時と比較しています。N5C-5導入試験中のトロリー線摩耗推移は

T3-2使用時とほぼ同じでした。

以上のように、N5C-5のすり板摩耗は改良すり板より低減し、トロリー線摩耗が改良すり板使用時と同程度であることから、新幹線の一部線区で実用化されました。

## まとめ

東海道新幹線が開業してから49年以上経ちますが、すり板材質の変更は4回しか行われておらず、新幹線用すり板の開発は慎重かつ長期的なものになっています。

とはいえ、新幹線のすり板の交換周期は短いため、この交換周期を1日でも延伸できれば、メンテナンスコストの大きな軽減になります。また、新幹線ではこれまでに焼結合金すり板しか使用されておきませんが、トロリー線摩耗が少ないカーボン系すり板を使用することで、メンテナンスコストの

削減につながると考えられます。特に、C/C複合材製すり板は、炭素繊維で強度を高めたカーボン系すり板であり、高速で走行する新幹線への適用が期待されます。

今後も、摩耗低減を図った材料開発、定置での摩耗評価、さらに使用する車種・環境条件・車両運用などに合ったすり板の選択や提案を続けていきたいと考えています。【RRR】

## 文献

- 1) 寺岡利雄：パンタグラフすり板の摩耗，鉄道技術研究資料，p.155，1977
- 2) 土屋広志：R&M，Vol.16，No.20，pp.43-46，2008
- 3) 土屋広志，久保俊一，久保田喜雄：電気情報通信学会，Vol.109，No.263，pp.1-6，2009
- 4) 田中浩之，古田智之，谷口祐司：R&D神戸製鋼技報，Vol.60，No.2，pp.75-78，2010