

## 集電系の摩耗低減に向けた研究開発

JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 車両G 課長  
横山 信行



電車や機関車への集電に関する大きなテーマの1つとして、架線、パンタグラフ双方の摩耗低減による長寿命化が挙げられます。今回はこのテーマに対するパンタグラフ側からのアプローチを2件紹介します。1件目は舟体やばねを変更して架線への追随性を良くすることによりアークの発生率を下げる方法、2件目はすり板用の新たな材料の開発によりすり板自身の耐摩耗性向上と架線への攻撃性低下を実現させる方法です。いずれも現在、最適化に向けて研究を進めているところであり、これまでのところ良好な成果が得られています。

### 1. はじめに

現在、電車や機関車への集電方法としては、線路の上空に張られた架線からパンタグラフを経由する方法が広く用いられています。

わが国でパンタグラフが初めて営業車両に搭載されたのは1914年のことです。その後1922年には当時の国鉄のすべての車両の集電装置がパンタグラフになりました。つまり、わが国の鉄道では一世紀近くにわたり、パンタグラフが車両の主たる集電装置として活躍していることとなります。

パンタグラフに求められる機能として最も重要なことは、必要な電流を必要な時に効率良く車両内部へと取り入れることです。そのために十分な導電性と、役割に応じた十分な電流容量を持つ必要があります。また、この機能は列車の高速走行時にも極力維持されなければなりません。

パンタグラフの集電性能を左右する要因は大きく2つに分けられます。1つはパンタグラフの運動性能、もう1つはすり板と架線の摩耗性能です。

パンタグラフは高速走行時にも架線の上下変位に対して確実に追随することが不可欠です。パンタグラフの最上部、架線と接触する部分には「すり板」(図1参照)が取り付けられています。パンタグラフが架線にうまく追

随できず、大電流を流している状態ですり板が架線から離れると、アークが発生したり、良好な集電ができなくなったりします。この状態を離線と呼びます。離線の際に発生するアークはすり板と架線の双方の摩耗を増やし、ひどい場合は双方を破壊してしまうこともあります。

また、架線やすり板そのものが摩耗しやすいものであったり接触する相手を摩耗させやすいものであったりすれば、いずれにしても寿命の短縮やメンテナンスコストの増大へと繋がります。

こうしたことから、当テクニカルセンターでは、架線とすり板双方の摩耗低減による長寿命化をめざした研究開発に取り組んでいます。今回はこのうち、車両側、すなわちパンタグラフとすり板の開発によるアプローチである「C/Cコンポジット材を適用した高追随パンタグラフの開発」と「RBセラミックスすり板の開発」の2件について紹介します。

### 2. C/Cコンポジット材を適用した高追随パンタグラフの開発

#### 2.1 概要

在来線用のパンタグラフとして現在広く用いられているシングルアームパンタグラフの概要を図1に示します。

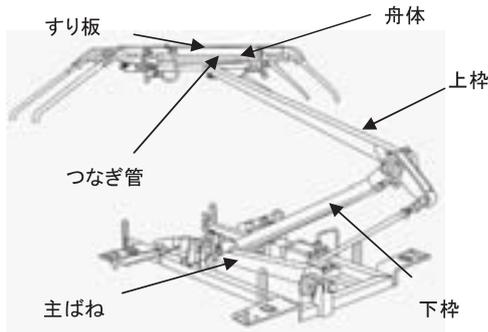


図1 シングルアームパンタグラフの構造

このシングルアームパンタグラフを基本に、シミュレーション結果などを踏まえ、架線への追随性を良くして離線アークを減少させるため、舟体やばねを変更したパンタグラフの設計を検討しました。

## 2.2 パンタグラフ追随性向上に向けた検証

現在、首都圏で多数運行しているE231系のパンタグラフであるPS33Bをベースとし、このパンタグラフの舟体・つなぎ管とこれらを支持するばねのみを変更することによって、さらに高い追随性を持つパンタグラフの開発をめざすこととしました。そのため、図2に示す各パラメータを変化させることができるベンチテスト用のパンタグラフを試作し、最適なパラメータの組み合わせを探ることにしました。まず、シミュレーションによってパラメータの組み合わせを複数選定した後、これらに合う部品などをこのベンチテスト用パンタグラフに組み込み、追随振幅の測定と離線率<sup>\*1</sup>の測定を行いました。そして、舟体質量を軽量化し、ペローばねと支えばねのばね定数を低くするなど、現状に対して非常に高い追随性が期待できるパラメータの組み合わせを設定し、この組み合わせを採用した現車に搭載可能なパンタグラフを試作しました。

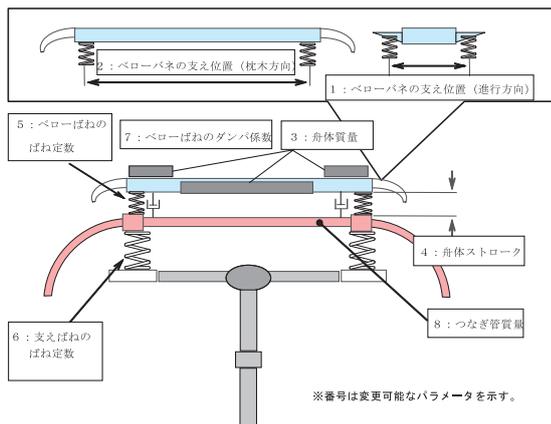


図2 ベンチテスト用パンタグラフの概要

## 2.3 現車試験

試作したパンタグラフを改良型PS33Bと呼ぶこととします。このパンタグラフと現行PS33Bを115系電車の同一編成に搭載して東北本線の小金井～上野間で試験走行を行い、離線率、接触力を測定しました。(図3)

その結果、改良型では現行に比べ離線率が大きく減少し、接触力も同程度の平均値を保ったまま変動幅が減少するなど、追随性能が大幅に向上していることが分かりました。(図4、図5)



図3 パンタグラフ・測定器取り付け状況

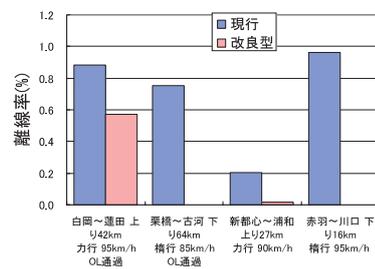


図4 光学式離線率測定結果（10径間 約500m）

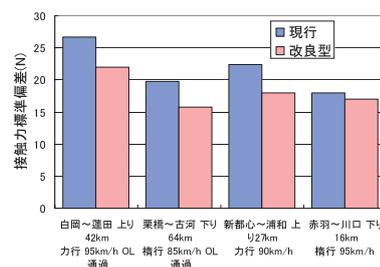


図5 接触力標準偏差算出結果（10径間 約500m）

## 2.4 C/Cコンポジットの適用

現車試験の結果からPS33Bの舟体、つなぎ管および関係するばねのみの改良で追随性能の高いパンタグラフが実現できることが分かりましたが、この現車試験では、舟体の重量パラメータを満たすため極端に薄いすり板を使用しました。そうすると、いかに高い追随性を実現できても、すり板の交換周期が現在よりもかなり短くなり、メ

\*1 測定時間に占める全離線時間の割合

メンテナンス量が大きく増えてしまいます。そこで、この高追随パンタグラフは、これに合ったすり板が登場するまで本格的な実用化を見込むことはできませんでした。

一方、さや止めという現在のカーボンすり板で用いられている締結方式を使用しなくてもすり板を直接ねじ止めでき、かつ軽量のカーボン繊維を主構造としたC/Cコンポジットすり板は、かつては耐摩耗性能が低いという欠点がありましたが、近年この点が改善されたという情報を得ました。(図6、図7) そこで、このすり板を高追随性パンタグラフに適用することを見据え、京浜東北線で走行する209系500代2編成に試験品として取り付けて、現行のPC78と耐摩耗性能を比較しました。

結果として、表1に示すように試験品は現行品に対し摩耗は多くなるどころか、むしろ少なくなることが確認できました。また、摺動面も図8に示すように現行品に比べて良好でした。

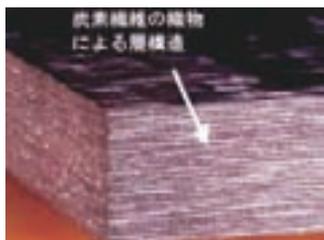


図6 C/Cコンポジットカーボン構造

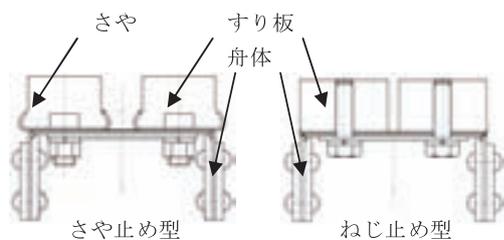


図7 すり板断面

表1 1万キロ走行あたりの平均摩耗量 (mm)

	81 編成	84 編成
現行品 (PC78)	0.93	1.17
試験品 (C/C コンポジット)	0.86	0.97
現行品に対する試験品の摩耗量	92.5%	82.9%
試験期間の走行距離	65,380km	57,390km

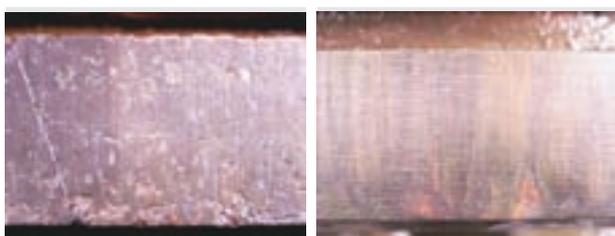


図8 すり板の表面状態

この結果から、現在のC/Cコンポジットすり板は現行品よりも高い耐摩耗性能を有していることが確認できました。そこで、今後はこのすり板の特徴を活かした実用的な高追随パンタグラフの開発を進めていくことにしています。

## 3. RBセラミックすり板の開発

### 3.1 概要

近年開発された搾油後の米ぬかを原料とする硬質多孔性炭素材料「RBセラミック (Rice Bran Ceramics: 以下RBCと略す)」は低密度、高硬度、低摩擦、高い耐摩耗性など魅力的な特徴を有する新しい材料としてさまざまな応用がなされています。また、製造、使用から廃棄に至るまで環境に大きな害を与えないという点でも期待されています。

RBC粉末 (図9) は各種材料と複合化することにより、さらなる新材料を開発することも可能です。これまでも樹脂やセラミックとの複合材料がさまざまな工業材料として応用されています。

このようなRBCの特徴は、パンタグラフのすり板に求められている高い耐摩耗性能、架線への低攻撃性という性能を実現する上で有効であると期待されることです。そこで、在来線用に多く用いられているカーボンすり板用の材料を母材として、これにRBC粉末を混合することにより理想的なすり板を開発することをめざした研究に取り組んでいます。これまで、基礎的研究として、すり板材料を試作しその集電材料としての性能評価を行いましたので、その概要を以下に示します。

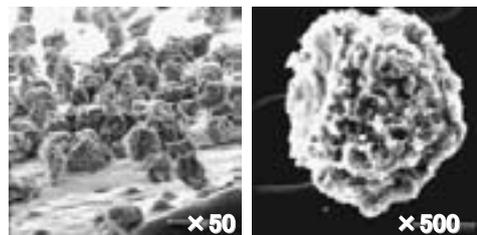


図9 RBC粉末

### 3.2 試験の内容および結果

カーボンすり板の製造方法には主に金属含浸法と混合焼結法がありますが、今回のRBC粉末の配合には、より均一に配合できる混合焼結法を選択することとしました。

そこで、現在使用されている混合焼結型カーボンすり板であるPC58を母材と位置づけ、各材料を重量比で（Cu（銅）60%）+（C（炭素）40~0%）+（RBC0~40%）となる複数の条件で配合した試験片を製作しました。また試験にあたっては、RBC粉末の粒径の違いによる特性の差を比較するために、平均粒径が150 $\mu$ m、83 $\mu$ m、30 $\mu$ m、5 $\mu$ mとなる4種類のRBC粉末を用いました。以下に各試験の内容と結果について順に述べていきます。

(1) 材料特性試験

製作した各試験片について、曲げ強度測定と電気抵抗測定を行いました。結果を図10および図11に示します。RBCの配合比が高くなるほど、曲げ強度は低下し、電気抵抗率は増大する傾向が見られました。また、RBCの粒径が小さくなるほど、曲げ強度は増大し、電気抵抗率は減少する傾向が見られました。結果として、RBCの粒径を5~30 $\mu$ mおよび配合量を5%程度とすることで、今回すり板の開発目標値とした曲げ強度100MPa以上、電気抵抗率3m $\Omega$ ・m以上を達成できることが分かりました。

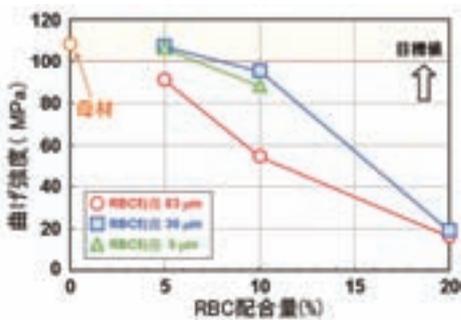


図10 曲げ強度測定結果

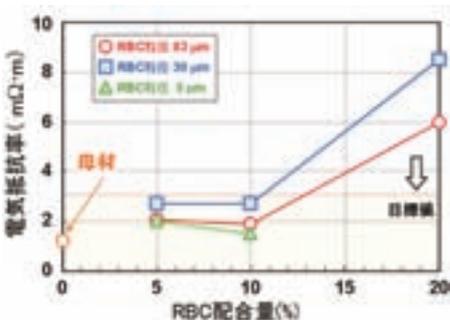


図11 電気抵抗率測定結果

(2) 機械的摩耗性能試験

図12に示すピンオンディスク型すべり摩擦試験装置を用いて、大気中無潤滑下における摩耗性能を測定しました。

試験で得られた摺動速度に対する試験片の比摩耗量<sup>\*2</sup>の関係を図13に示します。このように、粒径の小さいRBC

を適切に配合すれば試験片の比摩耗量を母材に比べ大きく減少させることが可能であることが分かりました。なお、本試験装置では、摺動速度が低いため、接触圧力を高く設定して、実走行に近い摩耗状態となるようにしました。



図12 ピンオンディスク型すべり摩擦試験装置

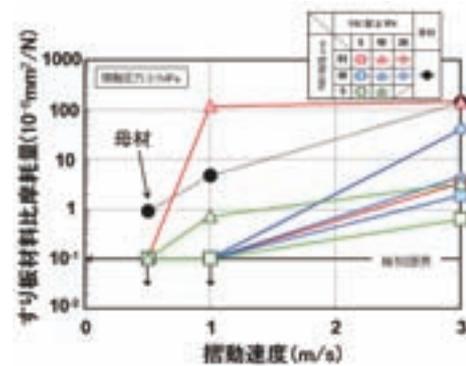
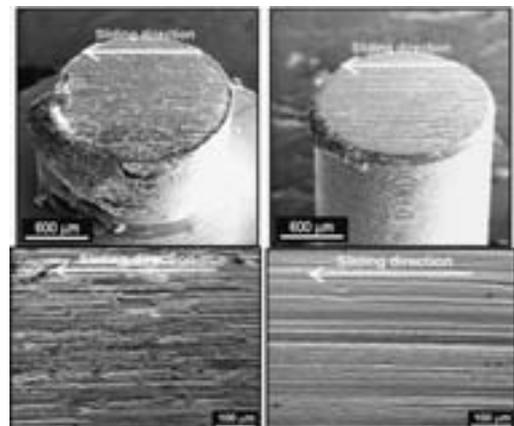


図13 摺動速度と比摩耗量の関係

また、この試験終了後、相手材（トロリ線材料）の表面をSEM観察したものを図14に示します。母材に対するものは銅の塑性流動に伴う線条痕が見られ粗い表面となっているのに対し、RBCすり板材料に対するものは非常に少なく滑らかになっていることが分かります。



(a) 母材に対して (b) RBCすり板に対して

図14 相手材（トロリ線材料）の摩耗状況

\*2 単位加重、単位摺動距離あたりの摩耗体積

### (3) 通電摩耗試験

機械的摩耗性能が良好であった配合比率を有する試験片に対し、図15に示す集電材摩耗試験装置を使用し、100Aの通電条件下で定速摩耗試験を実施しました。この試験は安定した集電状態下で行う試験です。なお、試験片の接触圧力は、架線に対するパンタグラフの標準的な押上圧力にほぼ等しい0.39MPaとしました。

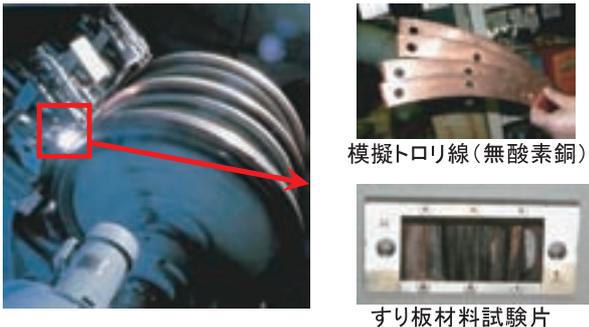


図15 集電材摩耗試験装置

結果を図16、図17に示します。摺動速度27.8m/s (=100km/h) の条件下で、RBCを混合した試験片の摩耗量は母材に対して98%減となりました。また、相手トロリ線材料の摩耗量は23%減となりました。

### 3.3 現在の取り組み

上記のように、材料レベルでの基礎試験を行い良好な結果が得られたことから、現在、実物大のすり板を試作し、パンタグラフに実際に取り付けて各種ベンチテストを実施しているところです。

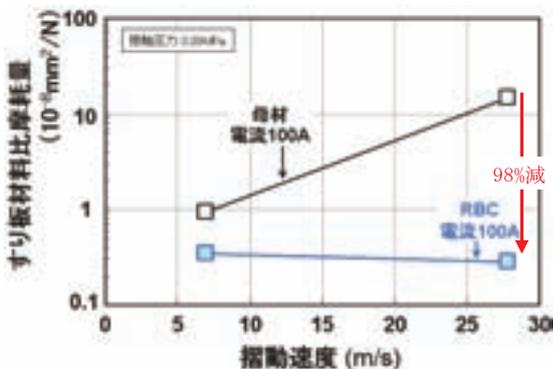


図16 すり板試験片の比摩耗量

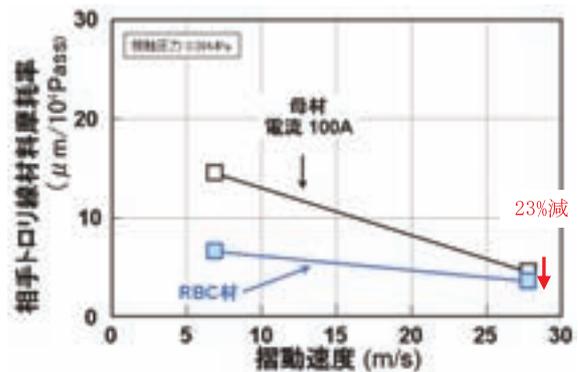


図17 相手トロリ線材料の摩耗率  
(パンタグラフの単位通過回数あたりのトロリ線摩耗厚さ)

## 4. おわりに

高追随性パンタグラフの実現と、高い耐摩耗性能、架線への低攻撃性を実現するすり板の実用化は、鉄道事業のコスト低減に繋がるだけでなく、原料の使用量削減、製造エネルギーの削減など、環境負荷低減という面でも大きな意味があると考えます。技術によってコストダウンと環境負荷低減を両立させるこうした取組みは、電気鉄道の集電系分野のみならず、今後の社会のあらゆる分野でますます重要となってくることは疑う余地もありません。

今後とも、当テクニカルセンターではこうした諸テーマに対して技術面で何ができるかを常に念頭に置き、研究開発を進めていきたいと考えます。

### 参考文献

- 1) 柴田圭、山口健、八尾勇太、堀切川一男 (東北大)、三島潤一郎 (JR東日本) : Cu/C/RBC 複合材料の通電条件下における摩擦・摩耗特性、トライボロジー会議 講演予稿集p123-124、日本トライボロジー学会、2008-9
- 2) 土屋広志 ((財) 鉄道総合技術研究所) : C/C複合材料製カーボン系すり板の摩耗特性、固体潤滑シンポジウム 講演予稿集p103-106、日本トライボロジー学会 第二種研究会 固体潤滑研究会、2007-7