

# 実用化が期待される車両関係の新技術

小笠 正道\*

## Leading-edge of Technology of Rail-vehicles Expected for Practical Use

Masamichi OGASA

This paper introduces three leading-edge technical topics of rail vehicles to improve both of safety/reliability and comfort/convenience. The first topic is the development of strap bar shape and its placement to improve rigidity of body structure. The second one is the development of water-resistant composite brake blocks with cast-iron sludge, which improve the brake performance even in the rainy condition. The third one is the development of detection method as well as detecting device of disconnection points of the brake command lines for composed freight trains, which enables the quick restoration to ensure the brake performance.

キーワード：吊手棒，車体剛性，合成制輪子，鋳鉄スラッジ，引通し線，断線検知

### 1. はじめに

安全性の向上，環境との調和，低コスト化，利便性の向上は，鉄道総研における2010年度から2014年度にかけての中長期計画Research2010で掲げる4つの大きな柱である。本稿では，このうち1つ目の安全性の向上と，4つ目の快適性や省保守化を含む利便性の向上を同時に満たし，かつ実用化に近い新技術を3件選んで紹介する。1件目は車体剛性向上機能を持つ車内吊手棒<sup>1)</sup>，2件目は鋳鉄スラッジ複合型の耐水合成制輪子<sup>2)</sup>，3件目は車両引通し指令線の断線箇所検知装置<sup>3)</sup>である。

### 2. 車体剛性向上機能付き吊手棒の開発

近年の鉄道車両の軽量化やそれにとりま車体構造の変化などを背景として，乗り心地の観点から車体の上下曲げ振動が注目されるようになってきた。最近では，優等列車だけでなく，在来線通勤車両などの一般的な車両に対しても，車体曲げ振動低減のための取組みが進められている。

既存の通勤型車両への「後付け」を考慮した「剛性向上機能付き吊手棒」を提案し，この吊手棒を取付けた在来線通勤車両相当の試験車体を対象に，車両試験台における加振試験を実施して，車体曲げ振動特性に与える影響を調査した。

#### 2.1 剛性向上機能付き吊手棒

既存車両へ「後付け可能」で，現状からの大きな設計変更が不要であることを特長とした剛性向上機能付き吊

手棒の形状および配置についての設計を行った。適用対象車両はステンレス鋼製車体を持つ既存の通勤形車両を想定しており，今回それをベースとした試験車体（図1）を用いた。この試験車体は，内装等の車内設備を有しており，空調装置をダミー質量とした点，照明等の電装品，床下機器を省略している点を除き，ほぼ「完成車相当」の車体である。

試作した吊手棒の車体への配置（平面図：車体前後で対称のため半車体分のみ表示）を図2に，吊手棒の車体への取付け状況を図3に示す。図中の太黒色で示した吊手棒（A）～（C）の3種類が今回新たに設計したもので，いずれも車体のまくらぎ方向に取り付ける。灰色で示した箇所（吊手棒，荷棚等）は，既存の車両にもともとと備えられているものである。



図1 試験車体の外観

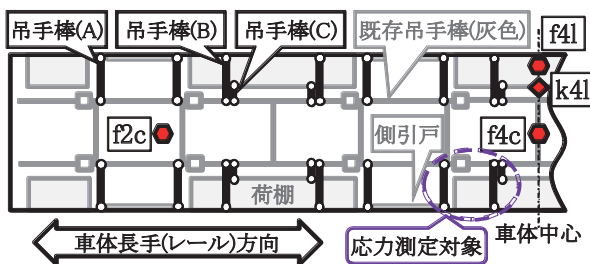


図2 剛性向上機能付き吊手棒の取付け状況

\* 車両制御技術研究部 部長

特集：車両技術

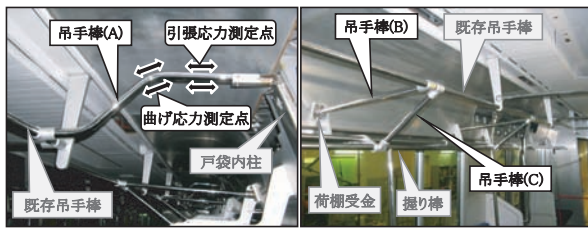


図3 吊手棒の取付状況

吊手棒 (A) は、既存の長手方向の吊手棒と戸袋内柱を連結するものである。荷棚の前後端に設置するため、出入口付近の乗客が荷棚にアクセスすることを考慮し、湾曲させたデザインとした。

吊手棒 (B) (C) は長手方向吊手棒と、各荷棚を車体に固定する受金、もしくは荷棚先端の握り棒を連結するものである。もともと荷棚に段差が設けられ、手荷物がその前後にわたって置かれることがない位置に配置した。吊手棒 (の取付け数は (A) 16本, (B) (C) が各12本) で、質量増は合計 70kg 程度である。

以下、吊手棒 (A) ~ (C) をいずれも取付けない場合を【N】通常条件 (既存の吊手棒は設置)、図2の状態を【P】吊手棒追加条件と称する。

2.2 車両試験台での加振試験

車両試験台を用いて左右それぞれの車輪に 3 ~ 30Hz ではほぼ平坦な周波数特性を持つ無相関のランダム波を同時に入力する「バンドランダム加振」と、走行時に計測した軸箱加速度を再現する「実軌道模擬加振」を行った。

2.2.1 振動モード解析

【N】【P】各条件の車体に対するバンドランダム加振時の振動を計測し、腰掛を除く 52 点の加速度により振動モード解析を実施した。同定された固有振動モードのうち主要なものを図4に示す。

最左欄の Z-10 などの記号は、振動形状の特徴を表したもので、最初の文字は A が屋根と床が車体中央部で逆位相 (方向) に変形するもの、Z はその判別が難しいことを示し、その後の 2 桁の数字は、1 つ目が屋根、2 つ目が床の腹の数を表す。また、J は車体断面にせん断変形を生じるモードであり、屋根と床の腹の数が常に同一であったため、数字は一桁とした。また、各モードの左下の数値は各モードの固有振動数、モード減衰比を表す。

図4によると、J-2 モードでは吊手棒の違いによる固有振動数の差異がほとんどないが、それ以外は、いずれのモードも条件【N】に対して【P】で固有振動数が上昇しており、今回取り付けした吊手棒が車体剛性を向上させることが確認できた。

2.2.2 加速度 PSD

実軌道模擬加振時 (走行速度 83km/h 相当) に測定した振動加速度のうち、代表的な測定点として、図2に示

(1) J-1		
(2) Z-10		
(3) Z-20		
(4) A-31		
(5) J-2		
	【N】通常条件	【P】吊手棒追加条件

図4 車体条件による振動モード比較

した床上 3 点、腰掛 1 点における加速度パワースペクトル密度 (PSD) を計算した。その結果、床上の (b) f4c, (c) f4l では 3dB 程度、腰掛 (d) k4l では 6dB 程度低減していた。床上測定では、もともと振動のパワーが小さい個所では、乗り心地レベル  $L_T$  の低減量が小さい一方、振動が大きい測定点では低減量が大きく、位置による乗り心地のばらつきが平均化される結果となった。

2.2.3 発生応力

吊手棒によって車体の振動特性に変化が生じることが確認できたが、これは、吊手棒が振動により発生した力を伝達していることを示すためと考えられる。そこで、振動発生時に強度上の問題が生じないかを確認するため、条件【P】の吊手棒にひずみゲージを貼付し、応力測定を実施した。

吊手棒には、上述のような車体振動に起因する動的な荷重のほか、乗客が吊り革につかまることによる準静的な荷重が作用する。静荷重、動荷重 (走行速度 83km/h 相当) による応力の測定値 (曲げ応力は、最大となる表面の値) を表1に示す。吊手棒表面の材質 SUS304 の規格上の耐力は 205MPa、疲労限度は実力値 220MPa である<sup>4)</sup>。測定値は表1に示した値の 3 倍以上で、安全率を見込んだ応力限界図にプロットした場合でも十分に余裕があった。静荷重と動荷重が同時に付加された場合でも強度的に問題がないことが示された。

以上より、ステンレス鋼製試験車体に試作した吊手棒を取付けることで、曲げ振動の固有振動数が 0.2 ~ 1.9Hz

表1 吊手棒の最大応力

種別	引張応力 [MPa]		曲げ応力 [MPa]	
	静荷重	動荷重	静荷重	動荷重
吊手棒A	0.73	1.23	30.44	24.96
吊手棒B	1.33	0.83	67.73	1.20
吊手棒C	0.10	0.76	50.98	3.40

上昇して車体剛性が向上すること、振動条件下でも著大な応力は発生せず強度的に問題がないこと、さらに副次的に、最大で床上3dB、腰掛け6dBの振動を低減する効果があることが確認できた。

### 3. 鋳鉄スラッジ複合型の耐水合成制輪子の開発

現在使用されている合成制輪子の一部では、車輪と制輪子間の水膜を除去し、湿潤時の摩擦係数の低下を防ぐ目的で、硬質粒子や金属ブロックが挿入されている。一方でこれらは車輪にダメージを与える等の報告もある。

そこで、硬質粒子の大きさや配置を見直すとともに車輪の形状になじみやすい弾性的な接触方法について検討を行い、より適正な制輪子へと改良を行った。

#### 3.1 鋳鉄スラッジの活用

鋳鉄製造過程で排出される廃棄砂（＝鋳鉄スラッジ）を活用し、耐水性能と車輪とのなじみ性を向上した合成制輪子を開発した（図5）。鋳鉄スラッジを摩擦調整剤として配合し、制輪子中央部に弾性構造を採用することで、等圧効果による車輪とのなじみ性の向上を図った。

開発品の台上試験を行い、高速サーモカメラによりブレーキ時の車輪踏面の熱負荷を測定した。その結果、非常ブレーキ時の車輪表面の温度状態（図6）から、既存品は赤色で示した500℃以上の局所的な温度上昇が見られるのに対し、開発品は等圧効果により車輪とのなじみ性が向上し均一な温度分布となった。また、温度分布の

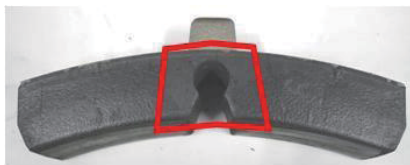


図5 開発した耐水合成制輪子

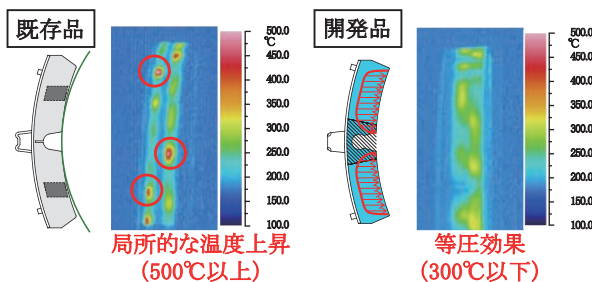


図6 車輪踏面温度（初速125km/h・非常ブレーキ）

割合（図7）に示すように、開発品の車輪表面温度を500℃以下に抑制することに成功した。

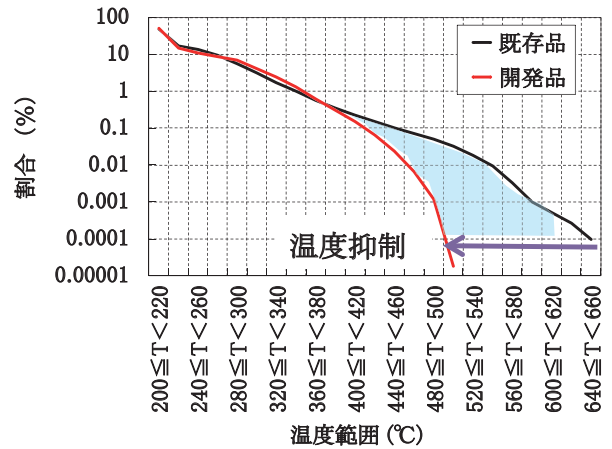


図7 開発した耐水合成制輪子の温度分布

#### 3.2 走行試験

2両1編成の在来線列車で現車試験を実施し、既存品を用いた場合とのブレーキ距離を比較した。

乾燥条件では初速度110、90、60、30km/hから、1軸散水条件では初速度90、60、30km/hから、それぞれ非常ブレーキ試験を行った。その結果、開発品を使用した場合、既存品使用時に比べて、乾燥条件、散水条件ともにブレーキ距離が約10%短縮する結果を得た（図8）。

これらの結果から、鋳鉄スラッジ複合型の耐水合成制輪子は以下の特長を有していると言える。

- (1) 車輪になじみやすく、車輪踏面の局所的な温度上昇を防ぐ。その結果、熱負荷等に関連する車輪ダメージを軽減できる可能性がある。
- (2) 降雨時においても乾燥時と同様に安定したブレーキ力が得られる。既存の耐水合成制輪子に比べ、降雨時でのブレーキ性能が向上する。

今後も引き続き、長期耐用試験により車輪に対する影響等の確認を行っていく予定である。

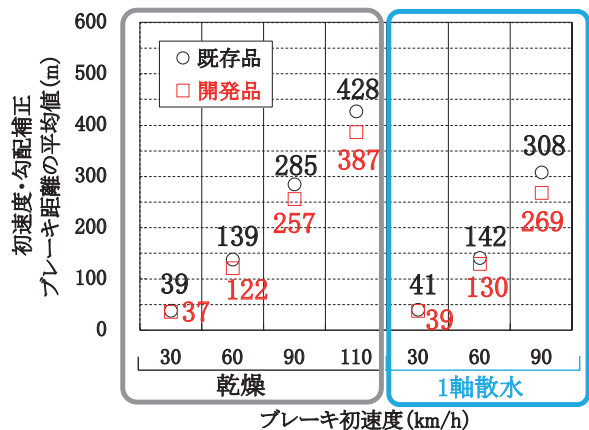


図8 在来線（2両1編成）での非常ブレーキ試験結果

特集：車両技術

4. 車両引通し指令線の断線箇所検知装置の開発

高速コンテナ貨車では貨車ごとに電磁弁を搭載し、電氣的指令によって編成各貨車のブレーキを一斉に動作させる電磁自動空気ブレーキが用いられている。一方、指令線に断線等が発生した場合は自動空気ブレーキのみとなり、乗務員が通常感覚でブレーキ操作を行った場合に所定の停止距離で止まらない事象も発生しかねない。そのため貨物列車組成時には検査項目として、電磁弁指令引通し線の導通確認を実施している。その際に、万が一指令線回路に断線がある場合にはその箇所を特定するのが容易でないことから、復旧に時間を要する。

そこで、電磁弁指令引通し線の抵抗値等の電気回路定数を測定することにより、断線の有無および断線箇所を特定するアルゴリズムを提案し、それを反映した断線箇所特定装置を開発した。

4.1 指令線の断線箇所特定の方法

電磁弁コイル素子の非線形性を考慮し、直流抵抗成分を扱った回路網とした。各車両の指令線回路素子は、1貨車の車体長分の指令線抵抗 $r$ と電磁弁コイル抵抗 $R$ である。貨車の端側(図9の左端)には、抵抗測定用の電圧 $E[V]$ と、電圧 $E$ によって流れるコネクタ間の電流 $I[A]$ が示される。

グラフ理論に基づく回路網解析を行い、電流 $I$ を算出し印加電圧 $E$ を除すれば、指令線とグラウンド線間の理論抵抗値が求まる。営業編成列車での最大貨車数は26両であるから、回路網解析に必要な閉回路方程式の数は78である。つまり78本の電圧方程式を解いて電流 $I$ を求めることになる。

図9は緩め指令線とグラウンド線間の理論抵抗値を算出する場合について示しているが、切換えスイッチで電圧 $E$ を印加する指令線を変えることで、常用ブレーキ指令線とグラウンド線間、非常ブレーキ指令線とグラウンド線間の理論抵抗値も求められる。

各指令線の断線箇所を特定するために、予め車両ごとに指令線の断線が発生した場合を想定して、理論抵抗値を算出する。例えば、車両19両目と車両20両目の間の指令線に断線が発生した場合の指令線とグラウンド線間の理論抵抗値を $R_{19}$ とすると、その前後隣り合う車両で断線が発生した時の理論抵抗値は $R_{18}$ と $R_{20}$ である。 $R_{19}$ との差は $\Delta R_1 = R_{19} - R_{20}$ 、 $\Delta R_2 = R_{20} - R_{21}$ となる。そして、

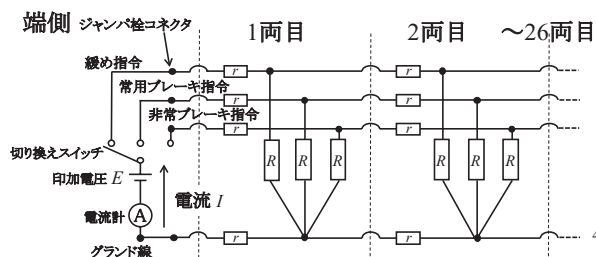


図9 引通し指令線の電気回路網モデル

実測抵抗値 $R_m$ が(1)式の関係を満たす時、19両目と20両目の間に断線有りと判定する。

$$R_{19} + 0.5 \cdot \Delta R_1 < R_m < R_{19} - 0.5 \cdot \Delta R_2 \quad (1)$$

他の車両間で断線が生じた場合も同様に判定できる。

4.2 指令線の断線箇所特定装置

上述の原理に基づいて、実測抵抗値と比較することで断線の有無と断線箇所を特定する可搬型の断線箇所検知装置を試作した(図10)。本装置では編成車両数の設定と外気温度の自動入力により約30秒で断線判定が可能である。これにより、半日程度要していた断線箇所を特定する作業時間が大幅に短縮される。また、バッテリー駆動により約30分の連続動作が可能である。

なお、可搬型以外に、走行中に断線箇所を特定できる、機関車に搭載可能な車載型装置も試作した。ノッチ動作により発生する指令線のサージ電圧処理、ノッチ扱いとの輻輳防止機能を加えた。試験用貨物列車を用いた走行中の模擬断線試験で、電磁弁動作に影響を与えずに断線箇所を特定できた。

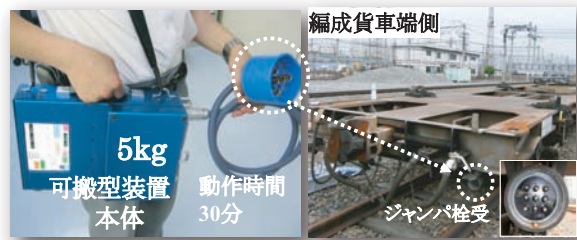


図10 可搬型の断線箇所特定装置

5. おわりに

安全性の向上と、快適性や省保守化を含む利便性の向上を同時に満たし、かつ実用化が近いと思われる新技術を紹介した。十分な確認を行いながら、実用化に繋げて行く予定である。

文献

- 1) 瀧上唯生：車体剛性向上機能付き吊手棒の開発，鉄道総研月例発表会講演要旨，<http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0011/2011/0011002035.pdf>，2011
- 2) 新しい耐水合成制輪子，鉄道総研技術フォーラム2011，<http://www.rtri.or.jp/events/forum/2011/pdf/forum2011-03-06.pdf>
- 3) 山下道寛，近江昭徳，矢野健児：編成貨車の引通し指令線断線検知箇所特定装置の開発，R&M，Vol.20，No.2，pp.31-34，2012
- 4) 金属材料技術研究所疲れ試験部編：機械構造用ステンレス棒用SUS304(18Cr-8Ni)の疲れ特性データシート，No.33，1983