

車両の安全性向上のための最近の取組み

小笠 正道*

The Latest Technology towards the Improvement in Safety of Rail-vehicles

Masamichi OGASA

This paper introduces three topics of the latest technology for improving rail vehicle-safety issues. The first one is a failure tendency of the on-vehicle train-protection equipment (ATS/ATC) obtained from the result of the investigation especially paying attention to the improvement of the reliability of the electronic device. The second one is the development of air wipe equipment as one of the methods to improve adhesion in the wet condition of the rail surface. The third one is the modeling and evaluation technique for clearing the standard value of the inductive interference examination.

キーワード：電子機器，信頼性，保安装置，粘着，エアークイップ，誘導障害，EMC

1. はじめに

安全性の向上は、鉄道総研の2014年度までの基本計画RESEARCH2010における研究開発4目標の1つである。

本稿では、車両の安全性向上のための最近の取組み3件を紹介する。1件目は車載電子機器の信頼性向上に向けて特に車上保安装置(ATS/ATC)の故障傾向を調査した結果¹⁾について、2件目はレール湿潤時における粘着向上の1方策としてのエアークイップ装置の開発²⁾について、3件目は誘導障害試験の基準値をクリアするためのモデル化と評価手法³⁾である。

2. 車上保安装置(ATS/ATC)の故障傾向

鉄道総研では2002(平成14)年度より、鉄道事業者36社、機器・車両メーカー13社及び鉄道総研のメンバーで「鉄道車両用電子機器の故障防止に関する検討会」を開催している。毎年ABC故障調査(新幹線電車は除く、JRはAB故障のみ)を実施し、故障の実績、原因を集計し、メーカーの知見を加えて分析し、電子機器の故障対策、保守のあり方、今後の電子機器に求められる要件を考察している。

対象は、駆動インバータ、補助電源、ブレーキ制御装置(電子機器部のみ)、車上保安装置(ATS/ATC)である。今回は2004年度から調査を開始した車上保安装置に関する故障傾向を紹介する。

2.1 調査対象装置と故障率

図1に年度ごとの調査対象装置累積台数(保安装置の種類別)と故障率[%](=報告された故障件数/装置台数

* 車両制御技術研究部 部長(現 主管研究員)

数×100)を示す。2010年度の調査対象装置台数は約25,000台である。車上ATS装置は全体の86%を占める。また、ATSとATCの一体型は「ATS+ATC装置」と記載した。年度ごとの故障率は1.0%以下で推移している。

図2に経過年数に対する故障率%(=故障件数/装置台数×100)の推移を示す。大規模修繕を考慮して(故障交換部品については経年リセットして)算出し、2004(平成16)年度～2010(平成22)年度の7年間分デー

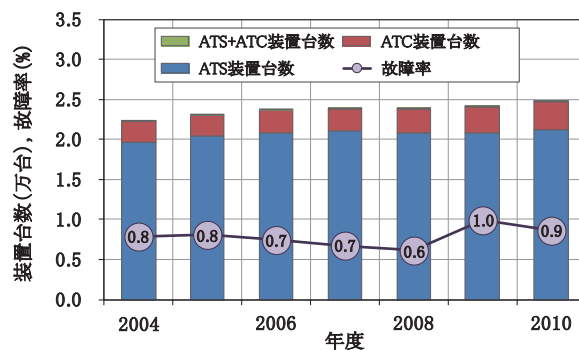


図1 年度に対する調査対象装置の累積台数と故障率

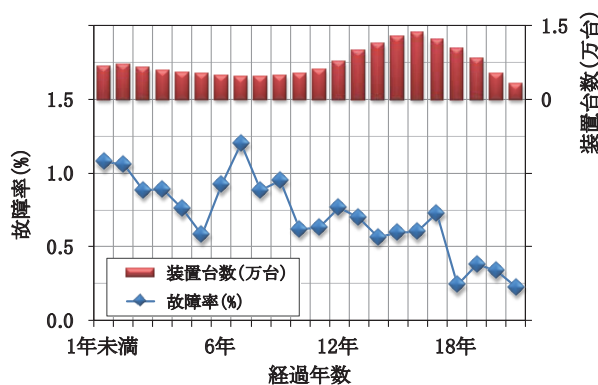


図2 経過年数に対する故障率(車上保安装置)

特集：車両技術

タを使用した（1309件）。故障率は新製から1年目までは高く、2年経過すると低くなり始め、7年目に高くなり、その後は再度低くなる傾向である。

故障原因箇所を「車上子・受電器」、「受信部・送受信部」、「速度照査部（論理部）」、「受信共通部」、「リレー部」、「入出力機器等」、「電源部」、「検査部」、「記録部」等に分類して故障傾向をみた。

2.2 故障傾向

車上保安装置は、特定の装置形式で同一原因の故障が集中する傾向が見られるため、故障率が高くて、必ずしも各事業者の装置で故障発生の可能性が高いわけではない。よって最新のデータ（2010年度）を使用し、現状の不具合状況を分析する。

図3に故障箇所の分析結果を示す。故障箇所は、受信部・送受信部が34%と最も多く、次に速度照査部（論理部）26%、電源部14%、入出力機器等および速度発電機5%である。故障の特徴を以下に記す。

(1) 受信部・送受信部

- ・プリント基板まで原因を特定できたのは約40%である。
- ・原因が判明した基板上部品は約30%で、IC、トランス、はんだ、アルミ電解コンデンサ、水晶振動子、マイカコンデンサ、セラミックコンデンサ、リレーと様々である。最も多いICの故障原因は、単品不良と宇宙放射線（RAMデータが書換わった可能性）である。

(2) 速度照査部（論理部）

- ・ソフトウェアの不良が20%を占める。
- ・原因が判明した基板上部品は約50%で、スイッチ類、ダイオードが多く、次いでIC、抵抗、はんだ、リレー、フォトカプラである。その内、スイッチ類の故障原因は異物混入による導通不良と経年劣化、ダイオードの故障原因はサージ印加による短絡である。

(3) 電源部

- ・故障原因は経年劣化が60%と最も多く、単品不良13%、設計不良7%と続く。

(4) 入出力機器等および速度発電機

- ・速度発電機の不具合が50%を占める。

2.3 信頼性向上への取組み

車載電子機器の信頼性向上への取組みとして、劣化傾向の把握、サンプリング調査、補修・取替の計画と実施、部品改廃への対処方針、設計へのフィードバック、故障調査が重要である。

3. エアーワイブ装置の開発

雨天等によるレール面湿潤時には乾燥時に比べてブレーキ時の滑走が起き易くなり、その結果ブレーキ距離延伸や、車輪固着に起因する車輪踏面の扁平摩耗（フラット）を引起す可能性が高くなる。

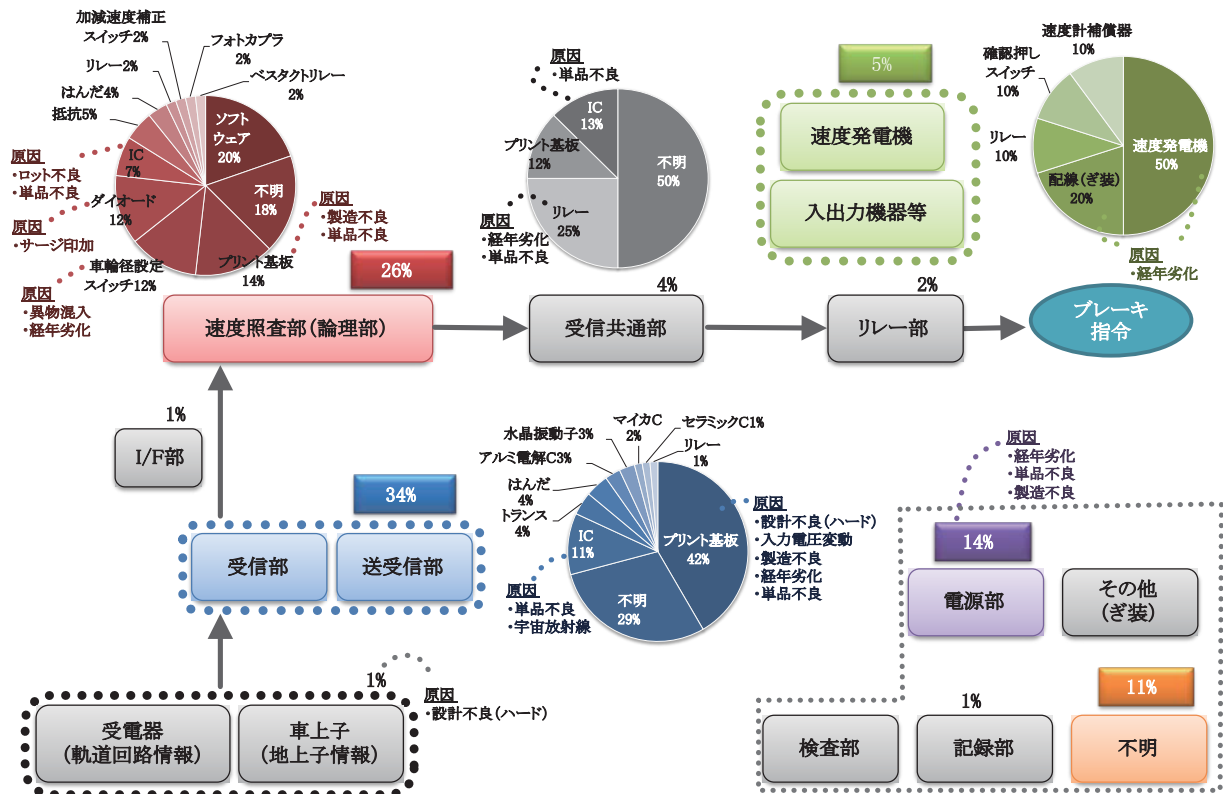


図3 故障分析結果（車上保安装置）

防止策として滑走粘着制御によるブレーキ距離安定化やフラット防止が図られているが、直接的に車輪／レール間の最大摩擦係数である粘着係数を大きく増加させる訳ではない。また、砂撒きやセラミック等硬質粒子の噴射で粘着係数を増加する手法も実現しているが、車輪踏面への影響懸念から採用に消極的な事業者もある。

これらに対し別の新手法として、湿潤レール上の水膜を圧縮空気除去して粘着係数低下を抑制する「エアークワイプ装置」を開発中である。ブレーキ距離の短縮等、安全性向上に繋がる技術である。概要を紹介する。

3.1 エアークワイプの搭載構成と期待効果

試作したエアークワイプは、先頭台車の前縁側にエアークワイプノズルを搭載（図4）し、持続的供給が可能な圧縮空気を利用して、レール頭頂面や車輪踏面に噴射する方式である。水膜を除去することで乾燥時の摩擦係数になるべく近づけるのが狙いで「粘着係数の低下をなるべく抑制する」ことを目的とする装置である。走行時にレールから供給される水分量を一定程度減らす効果が期待できる。

3.2 本線走行試験での効果

3両編成の在来線電車（図5）を用いて速度130km/hからの散水状態での非常ブレーキ時におけるエアークワイプ動作試験を実施した。噴射ノズルをレール頭頂面に安定噴射できるよう台車軸箱に固定するとともにレール面上33mmの高さとなるよう取り付けした（図6）。これは

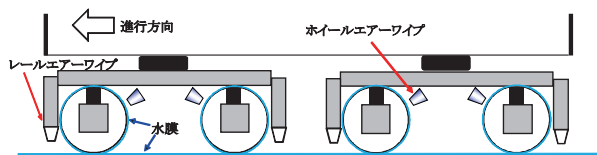


図4 エアークワイプの搭載構成

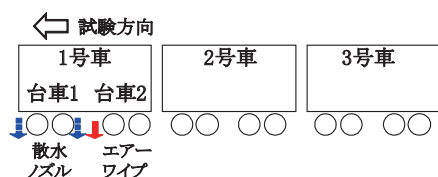


図5 エアークワイプ動作試験の供試編成



図6 エアークワイプ取り付け状態

事前に実施した塩沢実験場での曳航試験結果から、レール面での被噴射圧力は走行速度に依らずレール面上高さに依存することが判明したことを受けての措置である。また湿潤条件を作り出す散水量は車輪1輪当たり毎分4リットルとし、その上で圧力700kPaのエアークワイプを行って水膜の除去具合を確認した。効果の評価は、動画での目視確認の他、平均ブレーキ力、ブレーキ距離がどう変わるかを測定することにより実施した。

走行試験の結果、エアークワイプを作用させない場合に比べて、平均ブレーキ力は5%以上向上し、ブレーキ距離は約3%短縮した（図7）。これは滑走の発生自体を抑え得るまでには至らなかったものの、滑走度合いが軽減されていることを示している。現在、より効果的な湿潤時の粘着係数低下抑制手法について検討を進めている段階である。

なお、今回はレール面上の水を対象として進めたが、落ち葉のように軽量かつ受圧面積の大きい物に対しては本手法による飛散除去がさらに容易となる。力行時の乾燥落ち葉による空転の抑制に対して高い効果を得られる可能性がある。

4. 誘導障害試験の基準値をクリアするためのモデル化と評価手法

車両完成後の誘導障害試験で基準クリアに時間を要する例が増加している。誘導障害には帰線電流と直達ノイズがあるが、双方ともにこれまでの対策は対症療法的なものが多く、機器搭載後のギ装変更が容易でないことが対応をさらに難しくしている。極端な例では、誘導障害試験不合格が続いて車両完成後2年近く本線に出られなかった車種もある。

背景としてインバータなどスイッチングを伴う電力変換機器の増加やスイッチング周波数の向上がある。これまでも、直達ノイズはスイッチング周波数の向上により電波として放出し易くなったことが要因ではないか等、種々の要因推測が行われてその対策が実施されてきたが、その努力とは裏腹に一向に成果が上がらない状況

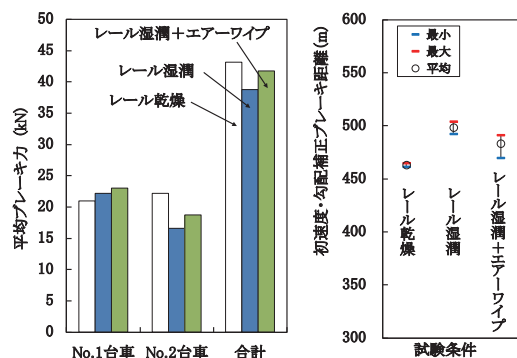


図7 平均ブレーキ力およびブレーキ距離の比較

特集：車両技術

が続いてきた。

この課題への対応は、EMC (Electro-Magnetic Compatibility：電磁環境両立性) 環境対策であると同時に、信号回路への影響低減による安全性向上策である。

4.1 直達ノイズの正体

「直達ノイズ」なる言葉は電磁波を想像させるが、誘導障害に限っては磁界だけで良い。その理由は、最高周波数が3MHz以下であること、被害機器がすぐ直近にあること、の2点である。妨害源と被害機器が波長の100分の1程度の距離まで近接した場合、電界よりも磁界が圧倒的に優位であり、疑うべきノイズ源は電流だけとなる。

この物理原則から、被害を受ける信号機器で使用する周波数と同じあるいは近い周波数の電流が流れ得る配線を探せば、それが原因だと特定でき、対策も可能となる。なおこの場合、機器外部の配線だけでなく機器内部の配線にも注意が必要である。

4.2 主電動機配線からの直達ノイズの定量化

現行車両でノイズ源として最も疑われるのが駆動インバータと主電動機間の配線（以降、主電動機配線と称する）である。主電動機配線には電動機を回転させる3相線と、ノイズ対策用の電動機フレーム線がある。

従来の考え方では、コモンモード電流が流れるループの面積が直達ノイズに関係するとされていた。この考え方に沿うと、電動機フレーム線を3相線になるべく這わせて施行すれば直達ノイズの値が低減するはずである。しかしながら、信号装置の最高周波数である3MHzの波長は約100cmであることから、ケーブル配置の数cmの差がノイズの大きさに大きく影響することには疑問が残る。

そこで、ループだけでなく全体を考えると図8に示される回路で表現される。電動機フレーム線を取り付けるとコモンモード電流の一部が駆動インバータに戻る。この電流はコモンモード電流と逆向きで磁界を相殺する。また、電動機フレーム線は台車枠や接地ブラシと接続されており、外部への漏れ電流が存在する。この漏れ電流こそが磁界を作っていると考えたと辻褃が合う。

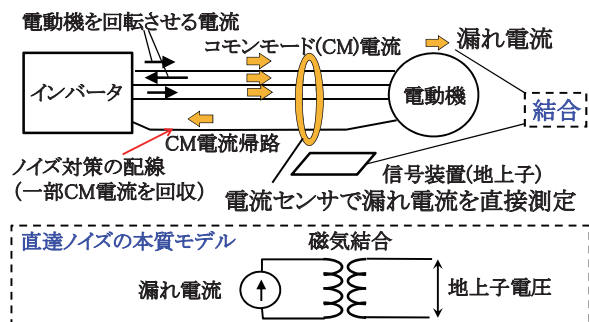


図8 誘導障害（直達ノイズ）の本質のモデル化

この考え方に基づくと、電動機フレーム線の有無に関係なく直達ノイズが説明できる。漏れ電流は3相線と電動機フレーム線の合計4本を束ねて電流センサーで測定できる。主電動機配線と信号装置の地上子間の相互インダクタンスは両者の幾何学的配置から計算できる。いずれも波長を考慮すると等価回路は集中定数モデルで表現できる。これにより漏れ電流と直達ノイズが定量的に結び付いた。

4.3 許容上限値の逆算

このように、直達ノイズの本質は「磁界」であり、それを与える漏れ電流の発生が要因であることを解明した。

信号装置側で許容し得る最大の直達ノイズ電圧から漏れ電流を逆算すると、この漏れ電流の値は誘導障害試験の限度値に相当する磁界を誘起するものであることから、許容上限値であると言える。障害成分を抑えるための許容上限値を明確に規定することができるようになった。

そこで、メーカ等における機器組合せ試験の段階で事前確認を行い、実車への機器搭載前に障害成分とそのレベルを明らかにした上で、障害成分を許容上限値以下に抑制する対策がこの段階で実施可能となる。この手順を経ることで、車両完成後の誘導障害試験において基準値をクリアできる可能性が十分に高まる。その結果、現時点で発生している手戻り作業の大幅な低減が期待できる。

現在既にJRの信号装置については漏れ電流の許容上限値の算出が概ね終わっており、一部の事業者で試行が始まっている。

5. おわりに

車両の安全性向上のための最近の取組み3件を紹介した。鉄道輸送の基本である安全性向上に資する、実態把握、課題解決のための技術開発、ならびに導入前確認を含む運用時点の評価方法などについて、引続き取り組んで行く予定である。

なお、本稿で紹介した調査研究および技術開発に当たり、ご協力を頂いた各鉄道事業者、各メーカの関係各位に深く感謝の意を表します。

文献

- 1) 福田典子, 米山崇: 鉄道車両用電子機器の故障調査と分析, 第42回信頼性・保全性シンポジウム, pp.301-306, 日本科学技術連盟・信頼性学会, 2012.7
- 2) 嵯峨信一: レールエアワイプ装置の基礎的研究, J-Rail2012 講演論文集, 3205, 2012.12
- 3) 廿日出悟: 鉄道車両のEMCに関する理論化の進展, 鉄道車両と技術, No.206, pp.15-18, 2013.10