

信頼性の向上をめざした メンテナンス技術への取り組み

JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 所長
高木 言芳



鉄道事業における狭義な意味での「信頼性」とは、「事故が起きないこと」、「列車が遅れないこと」と定義できます。人命に関わる安全の確保は鉄道事業において最優先課題ですが、安定輸送の確保も当社の重要な課題です。特に、車両や設備の故障による列車遅延＝「信頼性の低下」は、検査や修繕といったメンテナンス技術と密接に関連しています。首都圏でのトラブル発生状況の分析に基づいた弱点箇所抽出とその対策について、メンテナンス技術に関わる研究開発を中心に述べるとともに、更なる信頼性の向上をめざしたメンテナンスの将来像における新たな取り組みを紹介します。

1. はじめに

1.1 鉄道事業における信頼性向上は最優先課題

鉄道事業における「信頼性」を列車運行に限定して定義すると、「事故が起きないこと」、「列車が遅れないこと」とすることができます。具体的には、最近の列車の脱線や衝突事故、並びに首都圏で連続して発生した列車遅延は「信頼性」を大きく低下させたことになります。一方で、ここ数年、公共交通機関の事故・トラブルに対する関心がますます高くなってきていますが、特に安定的な輸送サービスに対する要求レベルが高まってきていることが最近の特徴と考えています。人命に関わる安全の確保は、鉄道事業において最優先課題ですが、安定輸送の確保も当社の重要な課題のひとつです。

1.2 信頼性向上はメンテナンス技術そのもの

安全・安定輸送の確保のためには、手のかからない車両や設備に順次置き換えていくことが重要なことですが、これらの車両や設備は多くのお客さまにご利用いただきながら機能を維持しなければならないので、検査や修繕といったメンテナンスを行いながら故障を防止することが求められています。そういった意味では、メンテナンス技術そのものが信頼性の向上と密接に関連していると考えています。また、メンテナンスの対象となるこれらの車両や地上設

備数量(図1)は膨大であり、また最新の新幹線車両から明治時代のトンネルまで、車両や設備の経年がまちまちなので、その信頼性の維持には細心の注意を払っています。

さらに、安定輸送の確保に関わる信頼性の向上には、手のかからない車両や設備を導入するだけでなく、トラブルが発生したときの早期復旧やお客さまへの的確なご案内等ハード・ソフト両面にわたる多くの課題があります。本特集では、特に「信頼性の向上」＝「安定輸送の確保」を目的としたメンテナンス技術に関わる研究開発の取り組みを紹介します。

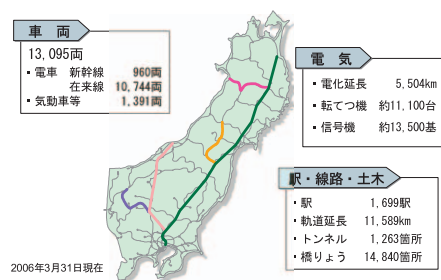


図1 主な車両・地上設備の現状

2. 当社における信頼性の現状分析

2.1 車両・設備故障によるお客様へのご迷惑度の分析

図2は、東京100km圏での2005年3月末までの10年間の部門別輸送影響度の推移を示したものです。輸送影響度はテクニカルセンターで定義した指標ですが、災害や部外

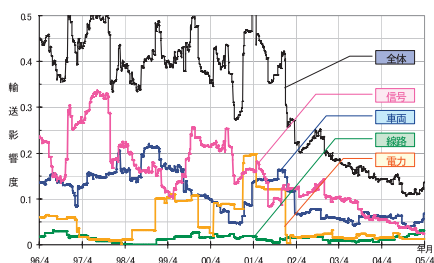


図2 東京100km圏での輸送影響度の推移

要因を除いた車両・設備故障並びにメンテナンスに関わる輸送障害（約9,600件）による総遅延時分（対象となるトラブル1件で生じた列車の遅れ時分の総計）を分析したものです。具体的には過去1年間の累計総遅延時分と稼動時分の比率10年間分を連続して示したものです。総遅延時分が分析の対象ですので、工学分野の信頼性分析でよく使われる平均故障間動作時間＝MTBF等の工学的指標とは異なり、復旧社員が途中の交通渋滞に巻き込まれてしまった時の現場到着時間や、トラブル発生時の列車の運用を通常ダイヤに戻すための指令員の取扱い等ソフト面での不確定要素が含まれることになりますが、お客さまへのご迷惑度という点では判りやすい指標と考えています。2001年度から漸減傾向にあった輸送影響度が、2004年度末に若干右肩上がりになっていますが、これは最近連続して発生したトラブルによるもので読者の皆さんの感覚とも一致しているのではないのでしょうか？

2.2 分析に基づいた当面の研究開発への取組み

上記の分析を部門ごとに詳細に分析すると、車両や設備の弱点が見えてきます。車両部門では保安装置、主回路、ブレーキ装置、戸閉装置、線路部門ではレール・溶接部、絶縁・ボンド類、電力部門ではエアセクション、信号部門では軌道回路、転てつ機、信号機等の故障による輸送影響度が大きいことがわかります。既に、現場段階でこれらの弱点に気づいて対策を立てたり、そのための設備投資を行ったものもありますが、これらの弱点箇所解消のために「車両用電子機器の劣化評価」「レール底端部の探傷手法」「セクションにおけるトリリ線溶断対策」「簡易にLEDタイプへの交換が可能な信号機構の開発」等の研究開発を行っています。たとえば図3は、エアセクションでのアークによるトリリ線断線防止対策の有力候補のひとつである溶断しにくいカテナリ式剛体架線での試験状況です。2007年度までに、変電所近傍のき電回路構成の見直し

等と組合わせてトリリ線断線対策としてまとめる計画です。



図3 カテナリ式剛体架線でのアーク試験

これらの研究開発テーマの成果や、既に開発が終了している「次世代分岐器・転てつ機」「長寿命化AVRの性能確認」等、さらには実施部門によるハード的な施策（表1）の現場導入が完了すると輸送影響度が約3割低減するという試算がありますので、表1に示した研究開発テーマを確実に具体化することが当センターの重要な使命と考えています。

表1 信頼性向上のための研究開発と施策

車 両	【研究開発】 (在来線) 車軸軸温検知装置 E231系車両の電子機器の信頼性評価 信頼性から見た車両管理情報活用研究 TC型防護無線試験装置 長寿命真空バルブ 光モジュール等の電子機器信頼性向上 (新幹線) 新幹線車両用電子機器の劣化評価 長寿命化AVRの性能確認 E3系新幹線車両側引戸凍結対策 E2系車両故障情報の信頼性評価 高速鉄道車両用軸輪の強度信頼性評価 【施策等】 主要機器の二重系化	線 路	【研究開発】 きしり割れ管理手法 レール構製の管理手法 溶接部における探傷検査器 レール腹部・底端部の腐食・電食管理手法 【施策等】 レールボンド鋼テリット化 絶縁継目のFRP化
	【研究開発】 次世代転てつ機、タフネス化 簡易にLED交換可能な信号機構 3次元レーザー障害物検知装置 信号設備の効率的な保全手法の研究 【施策等】 転てつ機のマグネット化 レール直結装置の導入 インダクタンスのオイルレス化 NFBの二重化 ケーブル防護対策、誤配線対策	信 号	
電 力	【研究開発】 セクションにおけるアークによるトリリ線断線対策		

3. メンテナンスにおける更なる信頼性向上の取組み

3.1 メンテナンスの将来像の構築

前章の分析や取組みによる信頼性の指標＝輸送影響度約3割減は、本年度初に首都圏で連続して発生した大きな輸送障害に対するハード・ソフト両面での新たな対策により、さらに大きな低減効果が見込まれます。しかし、お客さまの安定輸送に対する要求レベルが高い昨今では、さらなる信頼性向上のための研究開発が必要と考えています。

これまででは、トラブルの事象や弱点箇所を研究開発の対象としてきましたが、今後は、車両や設備に備えられるべき機能、並びに検査や修繕のあり方等のメンテナンスの将来像を構築し、それらに基づいた研究開発によるもう1ランク上位の信頼性向上を検討しています。

3.2 メンテナンスの将来像のコンセプト

図4は、将来のメンテナンスのあり方について新しい技術の導入という観点からまとめたものです。鉄道におけるメンテナンスでは、対象となる車両や設備が保障され



図4 メンテナンスの将来像のコンセプト

た期間トラブルなく機能を維持することが重要です。最近では電子機器の導入により、故障が突然発生することが現場の悩みです。主要機器を二重系化したり、電子機器を含んだ装置の余寿命を信頼性評価に基づき的確に捉えることが重要になります。また、キズや摩耗に強い新材料や自己修復機能を備えた材料、機構等を導入することによって、手のつかない車両・設備にすることも重要な課題です。

これらの車両や設備を適切な検査と修繕でトラブルなくメンテナンスすることが次の課題です。将来の検査の中で特に注目しなければならない技術は車上から地上を、地上から車上をモニタリングする技術です。既に一部でこれらの技術が導入されていますが、検査業務全体の流れとはなっていません。IT技術の発達により膨大なデータを瞬時に処理することが可能になりましたので、日常的に設備等の異常の予兆を知ることが可能となります。

修繕面では、コールドスプレー法に代表される金属材料接着技術や産業用ロボットによる高度な修繕技術、機能が100%復旧しなくても安全の確保を前提に機能の一部を回復させて復旧する縮退機能、故障発生部位の早期特定と遠隔操作による早期復旧等の故障時対応を含めた新技術の導入による信頼性向上を検討しています。

3.3 手のつかない車両・設備

上記のコンセプトに基づいた、具体的な将来像の主なものを紹介します。

3.3.1 電車線設備の更なる簡素化

電車線設備はインテグレート架線の導入により、電車線を支持している柱回りでは電線等の線条類がかなり簡素化されましたが、これをさらに電車線長手方向に簡素化しようと考えています。具体的には、高強度・軽量・低線膨張等の特性を有した材料の利用により電車線の更

なる簡素化を狙っています。また、電車線だけでなく、電車線に付随する引留装置やエアジョイント等を削減することにより、故障が発生しにくい構造とします（図5）。

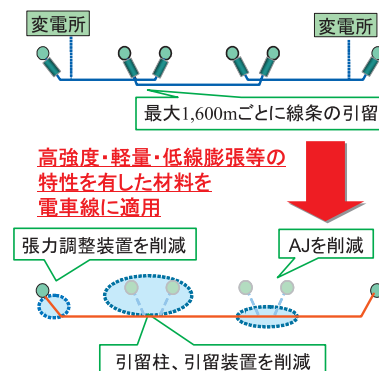


図5 電車線設備の更なる簡素化

3.3.2 キズ、腐食の進展しないレール

レールは列車の荷重を支える重要な部材であり、これまでも折れにくく摩耗しにくいレールなどの開発が続けられ、材質や形状の改良がなされてきました。列車の車輪とレール間に生じる接触疲労によって発生するレールキズは、レールの製造過程で内部に発生する引張残留応力により、キズの進展が促進されることがわかっています。そこで、レールの製造過程でこの残留応力を圧縮応力とすることにより、レールキズが進展しにくいレールができないかと考えています。

また、レール底部は電食等により腐食が発生しやすい箇所であるとともに、超音波によるレールの探傷が難しい部位であるため、これらの腐食現象に耐えられるような材質または表面の改質が必要です。さらに、レールは季節や朝晩の温度変化による熱応力を受ける材料のため、熱応力による座屈現象を発生させないための日常管理には多くの手間がかけられています。線膨張率が低い材料の開発により、これらの手間を省力化するとともに信頼性を向上させることが望まれています。当然のことながら、これらの改良による製品化はリーズナブルなコストが必須条件です（図6）。

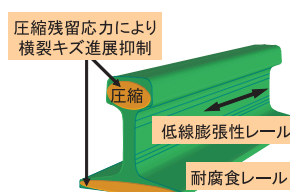


図6 キズ・腐食の進展しないレール

3.3.3 自己修復機能を備えた材料・機構の適用

擦り傷や切り傷は自然に治ってしましますが、これは生物体に備えられている自己修復機能によると言われています。このような機能を工業材料や構造体に持たせようという研究が、世の中で盛んに行なわれています。鋼材に対する表面自己修復は、鋼の弱点である錆に対する有効な対策ですし、図7に示すようにコンクリート部材に内蔵されたマイクロカプセルや光ファイバーがひび割れを検知した際、自動的に樹脂がしみ出て補修する複合材料が研究開発されつつあります。このような機能が、車両や橋梁の鋼材やコンクリート構造物に応用されると事前にそれらの変状が検知され故障発生前に機能回復が可能になるだけでなく、ひび割れの発生を最小限に抑えることも可能になります。2010年代にはこれらの技術が種々の構造物に適用されると期待されています。

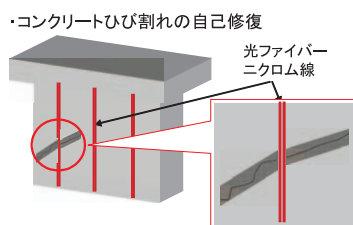


図7 自己修復機能を備えた材料・機構の適用

3.4 検査・修繕のインテリジェント化

3.4.1 地上、車上からの車両・設備モニタリング

ひと昔前までは、車両の検修業務は床下に潜り込んで床下機器を直接検査していましたが、最近ではTIMSと呼ばれる列車情報管理装置により、運転台から車両に搭載されている各機器の検査や各機器の故障記録の把握が可能となり、車両故障防止に大きく貢献しています。また、地上設備の検査においても、従来は線路を歩いて行っていたものを専用の試験車（電気・軌道総合検測車（愛称 East-i））等により詳細な検査を行っています。

しかしながら、更なる信頼性の向上を図るため、TIMSでは把握できない台車やパンタグラフ周りの常態監視が必要であるほか、運用が限定されている試験車では設備の急激な常態変化が把握できないため、地上設備の常態監視が求められています。具体的には、図8のような地上からの車両常態監視、営業車からの地上設備の常態監視（モニタリング）システムの開発を始めています。モニタリングには多くの手法がありますが、設備状態を示す大量のデータを在来線の営業最高速度130km/hでどのように

授受するかが最大の課題です。

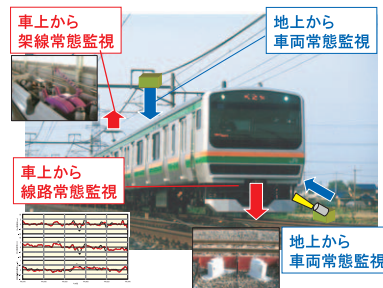


図8 地上、車上からの車両・設備モニタリング

3.4.2 常態監視データによる新しい信号保全手法

現在、信号関係では軌道回路、ATS-P、転てつ機、信号機等の電氣的データを常態監視していますが、東京地区では1日1万件の監視データが発生しています。これらのデータの中には、通常の工事に伴うものなどの真の故障やその予兆ではないデータも多く含まれていますので、指令員の経験と勘により真の故障を判断しているのが実態です。これらのデータを各種の統計的手法や故障情報のモデル化により解析し、真の故障情報や故障部位の特定や、故障の予兆把握を行うことを研究しています（図9）。

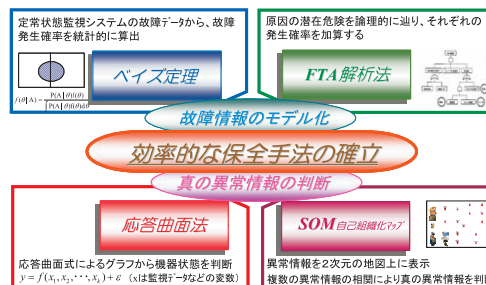


図9 常態監視データによる新しい信号保全手法

4. 終わりに

1章でも述べましたが、信頼性の向上はハード対策だけでなくソフト対策も重要な課題です。2007年問題に代表されるベテラン技術者の経験や勘の技術継承は具体的な課題であり、彼らの暗黙知の技術をシステム化して若年技術者に継承する研究を始めています。とりあえずの取り組みとして車両の台車組立や溶接作業を対象に、トレーニングシミュレーション等の高度な技術による若年者への技術継承に挑戦しています。

メンテナンス技術におけるハード、ソフト両面での研究開発を通じて、鉄道事業の信頼性の向上に貢献できればと考えています。