

技術報告

日鉄レールウェイテクノス(株)の鉄道評価技術と摩擦調整材の紹介

Introduction of Evaluation Testing Technology and Friction Modifier

齋藤 慎治*
Shinji SAITOH

岡野 真行
Masayuki OKANO

藤井 一生
Kazuo FUJII

長澤 研介
Kensuke NAGASAWA

内山 壮
So UCHIYAMA

抄 録

日鉄レールウェイテクノス(株)は、日本製鉄(株)関西製鉄所製鋼所地区にて製造される製品の評価試験や鉄道事業者向けに車輪やレールの摩耗を抑える摩擦調整材を取り扱っている。本報では、それらの技術について紹介する。

Abstract

Nippon Steel Railway Technology Co., Ltd. conducts evaluation tests of products manufactured at the Kansai Works of Nippon Steel Corporation, as well as friction modifiers to reduce wear of wheels and rails for railroad companies. This paper introduces these technologies.

1. 緒 言

地球環境問題の高まりの中、エネルギー効率の高い輸送手段である鉄道への期待も高まっている。これまで、鉄道における輸送の安全確保や利便性向上を図るべく、多くの技術開発が行われており、その後の維持管理を含め、国内のみならず海外においても日本の鉄道の評価は高い。

その一方、国内では少子高齢化の進行や労働環境の変化により、現行の手法による設備等の維持管理を行うことが困難になりつつある。

日鉄レールウェイテクノス(株)(以下、NSRTと略す)は、日本製鉄(株)が製造する輪軸、台車の技術開発や品質保証の一端を担う性能評価試験を行っている。そして、その技術を生かし、日本製鉄の各製鉄所構内鉄道や鉄道事業者向けにも評価試験等の業務を拡大してきた。また、車輪やレールの摩耗抑制や、列車の曲線区間走行時に発生する騒音の低減効果がある摩擦調整材の提供事業も行うなど、鉄道の安定輸送に貢献してきた。

これらの状況の中、NSRTにおいては、進歩が目覚ましいIT技術の活用なども踏まえ、単なる評価試験ではなく、それら技術を生かしたソリューション事業の拡大を図っている。本報では、NSRTの展開する技術および将来展望について紹介する。

2. 鉄道事業者向けの測定評価技術

2.1 輪重、横圧測定とその他の測定

2.1.1 輪重、横圧測定

鉄道車両の走行安全性は、図1に示す車輪とレール間に作用する輪重(P)と横圧(Q)およびそれらの比(Q/P)である脱線係数によって評価される。車両側で評価する場合は、図2のように、PQ輪軸と呼ばれる特殊輪軸を装着した車両を用い、測定器にてデータの収録を行い、専用の解析ツールを使用し、全走行区間における安全性を確認する。

これらにおいて、車両側での測定は全走行区間に渡る性能評価が可能な反面、PQ輪軸などの測定センサー類が設置された特定の輪軸または台車の性能評価に限定される。一方で、地上側での測定は、測定地点のみでの評価に限定されるものの通過する全車両の性能を評価できる。

また、鉄道車両向け輪軸、台車の開発過程および諸研究、調査結果から、車輪とレール間に作用する輪重(P)と横圧(Q)は、時々刻々と変化することが明らかとなっている。例えば、同一車両を複数回に渡って特定地点を走行させる車輪上輪重、横圧測定(以下、車輪上PQ測定と略す)を実施した場合には走行回数ごとに結果が異なることがあり、特定地点での地上輪重、横圧測定(以下、地上PQ測定と略す)を実施した場合には時間帯や車両の種類ごとに結果が異なる

ることがある。

NSRTでは、この2種の方法による測定、評価が実施可能であり、それぞれの特徴を生かし、目的に応じて使い分けることで、有効な評価実施が可能になる。

最近では、車両性能の経時変化や車両の挙動確認、地上側の潤滑状況確認など、一時的な測定評価ではない、常時監視を行うことを目的とした、地上測定の有効性が高まっている。

また、輪重、横圧測定以外にも、台車枠や車軸等各種台車部品の応力測定やブレーキディスク・パッドの温度測定、車内・沿線の騒音測定など多岐にわたる測定手法を用いて車両の性能評価を行っている。

2.1.2 車上輪重、横圧測定とPQ輪軸の概要

日本製鉄において、新規開発された鉄道車両向け輪軸、台車は、開発段階や鉄道事業者向けへの納入に際し、その性能確認のための車上PQ測定を行う²⁾。また、この測定に用いるPQ輪軸は、図3に示すように、特殊加工を施した車輪にひずみゲージを高精度で貼付けることで、車輪に作用する輪重(P)と横圧(Q)を測定可能にしたものである。

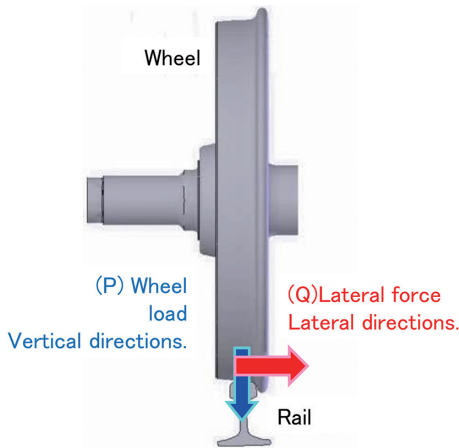


図1 車輪とレール間に作用する力
Contact force between wheel and rail

これらの車上PQ測定およびPQ輪軸の製作について、NSRTは日本製鉄向けとして長年に渡って担当しており、また日本国内において、その業務が実施可能な数少ない事業会社の一つでもある。

2.1.3 地上輪重、横圧測定

地上PQ測定は、図4に示すように、レール側面と底面に貼付けたひずみゲージに生じるせん断ひずみから、レールに作用する輪重(P)と横圧(Q)を測定するものである。



図3 PQ輪軸

Wheel set for contact force between wheel and rail measurement



図4 地上輪重・横圧測定用センサー設置状況
Rail for contact force between wheel and rail measurement

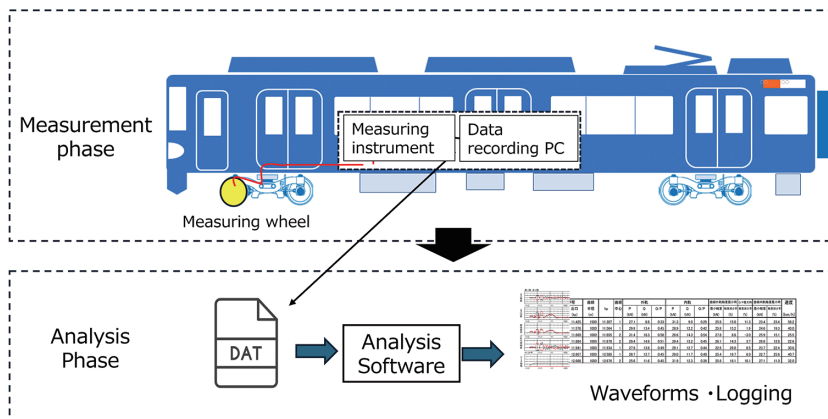


図2 車上PQ測定
Onboard measurement of wheel/rail contact force

これまでの車上PQ測定の結果から、そのデメリットを補うことを目的として、地上PQ測定の有用性が高まってきた。両方式での測定および評価が可能なのはNSRTの強みである。

2.2 測定評価技術の常時監視装置への展開

鉄道車両の走行安全性を確保するための施策の一つとして、輪重バランスの管理がある。これは、同一輪軸内の左右の輪重バランスが崩れた状態で曲線を走行した場合、脱線リスクが高くなることもあり、過去に生じた脱線事故の原因の一つとなっている。事故以降、国土交通省から出された省令に基づき、鉄道事業者においては車両の定期検査時等に輪重調整および管理を実施しており^{3,4)}、輪重測定用の装置が導入されている。また、貨車においても単体にて同様の管理が行われているものの、積載物に偏積が生じた場合には輪重バランスが崩れる可能性もあり、積載後の輪重測定も必要とされている。

NSRTにおいて、これらの需要に対応するために図5に示す地上輪重測定および評価技術をベースにIT技術を組み合わせた輪重測定装置の提供を行っている。

通信機能を有した輪重測定装置では図6のように鉄道事業者の各拠点に設置された輪重測定装置での測定結果が社内サーバー上に送信され、輪重値に異常が生じている場合には、列車が車両基地から営業線に出る前にアラートが



図5 輪重測定装置(ひずみゲージ部)
Sensor for wheel load measuring device

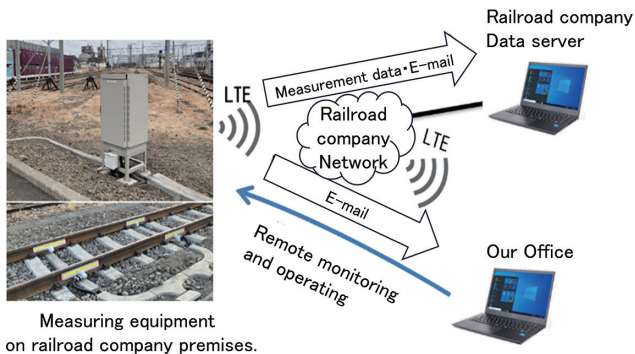


図6 ネットワーク機能を有した輪重測定装置
Wheel load measuring device with internet connection

発信されるシステムとなっている。また、装置の稼働状態をNSRT拠点から確認することが可能となっており、装置異常時の速やかな対応も可能となっている。

測定および評価技術とIT技術を組み合わせた装置開発および展開により、鉄道車両や関連設備の維持管理を目的とした常時監視需要に対応することが可能となる。

2.3 映像を組合わせた測定技術の展開

測定技術は、センサー類などのハード面だけでなく、IT技術でもあるソフト面においても大きく進歩している。

例えば、これまでは組合わせることの難しかった、アナログのセンサー信号と位置情報(GPS)や動画との同期測定が容易に実施できるようになっている。これまでセンサー類から得られた測定値から測定対象物の挙動を推察し、評価していたが、図7に示すように動画の視覚的な情報や、リアルタイムの位置情報から、従来よりも実態の挙動と地点の把握が容易になった。

これらの技術について、自動車の分野では先行している技術である。それらを取り入れ、測定、評価技術の向上を図りつつ、前述の常時監視への展開も図れるものである。

2.4 製鉄所構内鉄道への測定評価技術展開

日本製鉄の各製鉄所には製品運搬等を目的とした構内鉄道が存在している。これら構内鉄道における車両や軌道、レールなどの構成は、JR各社をはじめとした一般鉄道事業者のものとは大きくは変わらず、NSRTの有する測定評価技術を展開することは可能である。

その一例としては、車両の状況調査を目的とした地上PQ測定の実施などがあり、その結果は車両使用の可否や整備の要否の判断材料として活用されている。前述の輪重測定装置と同様の目的であり、安定操業に寄与している。

また、構内鉄道で運搬される積載物の重量は大きく、一般鉄道事業者における車両の輪重値が最大80kN程度であるのに対して、構内鉄道における運搬車両の輪重値は150kNを超える場合もある。そのため、車両や軌道、レールに対しての負荷は大きく、異常等の発生確認を目的とした常時監視は有用であると考えられる。



図7 映像を活用した測定、評価技術
Examples of measurements using video

3. 車輪とレール間の摩擦調整技術

3.1 車輪とレール間の潤滑

前述したとおり、鉄道車両の走行安全性は、車輪とレール間に作用する輪重(P)と横圧(Q)およびそれらの比(Q/P)である脱線係数によって評価される。そのため、特に曲線走行時に発生する横圧を低減するために車輪形状の最適化や台車への操舵機構の付与などの施策がとられてきた。

また、車輪とレール間の潤滑を実施することも、発生する横圧を低減し、同時に曲線部におけるレールや車輪の摩擦、高周波騒音の発生を抑制することもできる。これは、車輪がレールを転がりながら進む際、その接触面に生じる摩擦力が低減されるためである。

しかしながら、従来から行われている塗油主体の潤滑では、摩擦係数が極端に下がることによる車輪の滑走や空転が生じる弊害もあり、その運用には課題がある。

3.2 摩擦調整材

車輪とレール間の潤滑に用いる油、グリスに代わる潤滑材として摩擦調整材がある。NSRTはL.B. Foster社の代理店として摩擦調整材および、その塗布装置を国内事業者向けに販売を行っている。

摩擦調整材には、塗布方法に対応して、レジンなどによって成形した固体の製品と、水ベースの液体の製品がある。摩擦調整材を用いることで、鉄どうしの理想的な摩擦係数に近い0.3程度を維持することが可能で、油のように摩擦係数を極端に下げることなく、潤滑効果が得られるものである。以下ではその効果を示す。

3.3 摩擦調整材による効果

3.3.1 レールの摩耗抑制

レール摩耗の一例として波状摩耗がある。曲線区間の内軌レール頭頂面に発生することが多く、車両走行時の振動・騒音原因となる。その発生要因は、車輪とレール間で生じる摩擦力が大きいこととされている。図8に示すように、車輪センサー(Wheel Sencer)にて車両の通過の検知を行い、レールに設置した塗布バー(Top Wiping Bar)から潤滑材を吐出する。それを車輪で踏み塗り広げ対象となる曲線に潤滑材を行き渡らせることで潤滑状態を改善し、波状摩耗の発生を抑えることができる。

塗布装置本体(Main Unit)に内蔵されたコントローラーにて通過車輪数、吐出時間を設定が可能であり、設置箇所に応じた最適な条件を提供することができる。

図9は鉄道事業者の曲線区間における波状摩耗発生状況の推移である。摩擦調整材の適用時には波状摩耗の伸展が抑えられている。波状摩耗が成長した場合、専用の保守用車での削正工事やレール交換が行われるが、それらに要するコストは小さくない。摩擦調整材を適用することで、

摩耗発生抑制し、維持管理に要するコストや労力を低減できる可能性がある。

3.3.2 騒音の低減

摩擦調整材導入前には90dB以上の騒音が発生していた地点の潤滑状態を改善することで、図10のように最大で80dB程度に抑制できた事例もある。また、図11に示すように高周波騒音の一つであるきしり音に対しても効果を発揮し、環境改善につながるアイテムでもある。



図8 摩擦調整材塗布装置
Application equipment of friction modifier

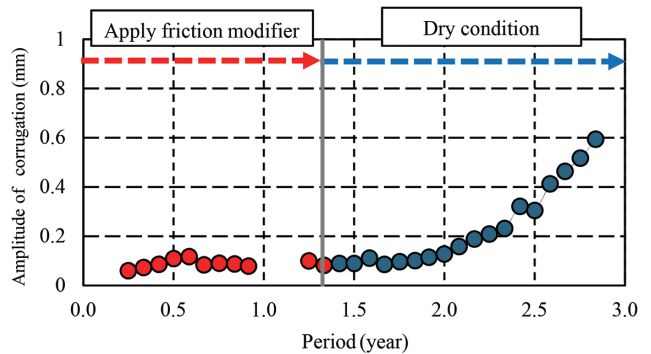


図9 摩擦調整材による波状摩耗の抑制効果
Effect of friction modifiers on rail corrugation

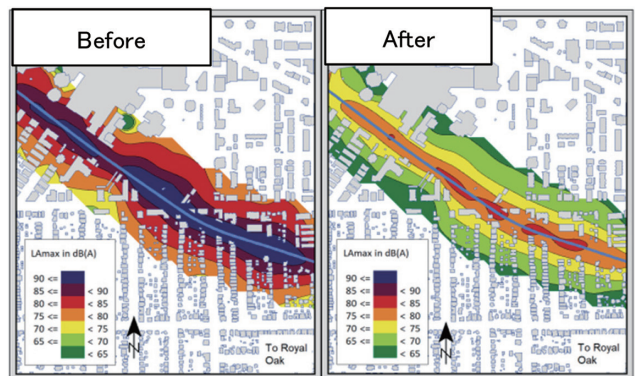


図10 摩擦調整材による沿線騒音の低減
Reduction of roadside noise by friction modifiers

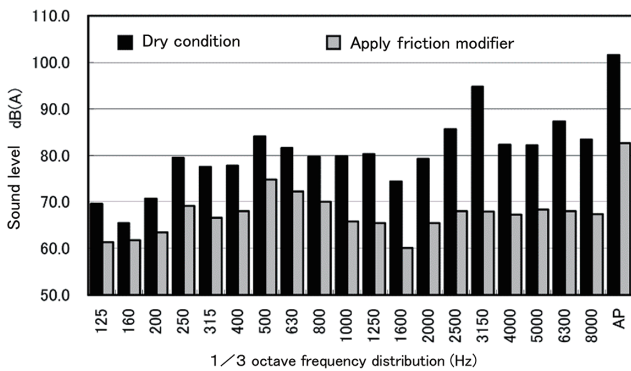


図 11 摩擦調整材による騒音低減効果
Noise reduction effect by friction modifiers

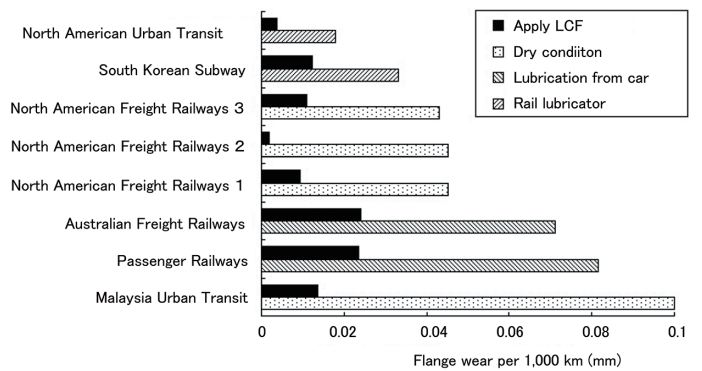


図 15 フランジ直立摩耗低減効果例
Actual examples of the effect of reducing wheel flange wear



図 12 フランジ摩耗した車輪
Flange worn wheels



図 13 側摩耗したレール
Side worn rail

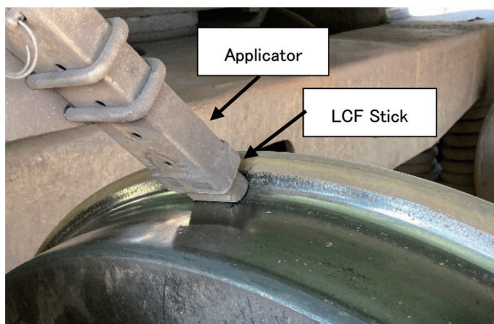


図 14 LCF とアプリケーターの設置状態
State of installation LCF and applicator

3.4 車輪、レール摩耗抑制について

車輪のフランジの摩耗を抑制するために油やグリスを用いるのが一般的である。一方で海外鉄道では、欧州の環境規制の関係で、油の使用が制限されており、その代替として固体潤滑材 LCF (Low Coefficient of Friction) が広がっている。NSRT では、LCF の取り扱いも行っており、国内の鉄道事業者へ供給し、フランジ摩耗対策に使用されている。また、一部国内製鉄所においても搭載されている。

フランジ摩耗が発生し易いのは、急曲線の多い地下鉄や重量物を運搬する貨物鉄道であり、図 12, 13 に示すような車輪のフランジ摩耗や軌道の摩耗の要因となる横圧 (Q) が大きい傾向にある。横圧によりフランジ部分が薄く直立した形になることで、フランジの割損や、条件によっては車両の脱線に至る可能性もあるため、車輪形状を維持することが重要である。LCF は、二硫化モリブデンを含有した樹脂系の材料であり、図 14 に示すように、潤滑材を保持するホルダー (アプリケーター) を介して、車輪踏面に直接

押し当てて使用する。

図 15 に海外でのフランジ摩耗低減効果の例を示す。実測データでは、無潤滑状態はもとより、車上フランジ塗油や地上外軌側レール頭部の側面グリス塗布よりも大きい効果が得られている。

製鉄所構内には、生産設備の配置状況などの影響もあり比較的曲線半径の小さい箇所が多い傾向にある。運搬物の重量も、通常の鉄道に比べて大きく、フランジ摩耗や軌道の摩耗が発生し易いこともあり、一部の製鉄所で摩耗対策に LCF が使用されている。

今後、環境に配慮した製鉄所の運営が求められるため、LCF のような潤滑材を活用することも望ましいと考える。

4. NSRTの目指す将来像

近年労働者不足による、設備管理の継続が困難になることが懸念されており、それらの課題に対して、NSRT では先に紹介した技術を活かしたモニタリング技術の展開を鉄道事業者、製鉄所問わず展開することを目指している。

モニタリングのデータを活用することで、車両や軌道の整備・設計を各使用環境に応じた、最適化に貢献できると考える。

4.1 地上側からの測定による車両の状態監視

2.4 節では、NSRT 社員が製鉄所を訪問し、状態診断の判断材料となるデータの採取および提供していることを紹介した。今後はそのような都度測定ではなく、常時監視による状態機能保全 (CBM) が求められると考える。

2.2 節に示した輪重測定装置のように、製鉄所に類似の測定装置を設置することで、状態の悪い車両を特定し、操業に支障が生じるような車両故障を未然に防ぐことができる可能性がある。

このような車両の状態監視結果および車両の検査・修繕履歴を合わせることで、車両の保守メンテナンスの最適化や、予防保全につなげることができると考える。

4.2 車両側からの測定による軌道の状態診断

車両側からの軌道状態診断のアイテムの開発にも着手しており、鉄道事業者・製鉄所向け問わず展開する計画である。

軌道の点検は、徒歩巡回による外観確認、測定器による調査が一般的であるが、軌道状態は車両の走行によっても変化しており、車両側からの測定を実施することが望ましい。また、巡回作業者の確保にも課題がある。

これらの状況から、慣性センサー等の測定器を既存の車両に搭載し、軌道を状態診断するアイテムの有効性は高く、その開発を進めているところである。

5. 結 言

本報では、鉄道事業者向けに展開している測定、モニタリング技術や摩擦調整材およびそれらの製鉄所関係への展

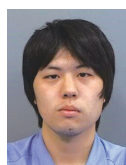
開について紹介をした。少子高齢化の進行や労働環境の変化により、現行の手法による設備等の維持管理に代わる、モニタリング技術を鉄道事業者、グループ内問わず、技術を展開し、鉄道輸送ならびに、製鉄所の更なる安定操業に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 運輸省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：在来鉄道運転速度向上試験マニュアル・解説. 1993
- 2) 小泉：台車技術からみた鉄道車両の高性能化の状況と今後の展望. 新日鉄住金技報. (395), 11-18 (2013)
- 3) 国土交通省：帝都高速度交通営団日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故に関する調査報告書. 2000
- 4) 国土交通省鉄道局監修 日本鉄道車両機械技術協会：解説 鉄道に関する技術基準(車両編). 2006



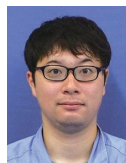
斎藤慎治 Shinji SAITOH
日鉄レールウェイテクノス(株)
鉄道評価試験部 上席主幹
大阪府大阪市此花区島屋5-1-109 〒554-0024



長澤研介 Kensuke NAGASAWA
日鉄レールウェイテクノス(株)
鉄道評価試験部 主査



岡野真行 Masayuki OKANO
日鉄レールウェイテクノス(株)
鉄道評価試験部 鉄道ソリューション開発室長



内山 壮 So UCHIYAMA
日鉄レールウェイテクノス(株)
鉄道評価試験部 主査



藤井一生 Kazuo FUJII
日鉄レールウェイテクノス(株)
装置技術部 電気制御室長