

PQ モニタリング台車による 営業線データの報告とその活用方法について

中里 祐一*, 齋藤 拓也, 清水 忠, 鹿田 敬司 (東京地下鉄)

佐藤 興志, 根来 尚志, 大木 康孝, 小坂田 潤 (住友金属)

谷本 益久 (住友金属テクノロジー)

Report of the commercial train running data
measured by new on-board measuring method of derailment coefficients

Yuichi Nakasato*, Takuya Saito, Makoto Shimizu, Keiji Shikata (Tokyo Metro Co.,LTD.),

Yoshi Sato, Shoji Negoro, Yasutaka Ohki, Jun Osakada (Sumitomo Metal Industries,LTD.)

Masuhisa Tanimoto (Sumitomo Metal Technology,INC.)

By using a new monitoring system for derailment coefficients, the authors have succeeded in measuring derailment coefficients everyday on every curve of a commercial line. From these data, we could evaluate the variations of derailment coefficients statistically which change according to the track conditions and train boarding conditions. In this paper we introduce the commercial running data analysis, and propose a new management method for maintaining good railway track conditions.

キーワード：鉄道，脱線係数，車輪／レール接触，接触力，測定
(railway, derailment coefficient, wheel/rail contact, contact force, measurement)

1. はじめに

車両の走行安全性は，新線開業や路線延伸，新形式車両導入時等の節目に終車後の脱線係数測定によって評価することが一般的である。しかしながら，更なる安全性の向上のためには，脱線係数測定の実施頻度を増やし現状の車両および軌道状態での走行安全性評価を行うことや，理想的には営業時間中に常時脱線係数測定を行い，状態の変化や異常値の早期発見等リアルタイムで走行安全性を確認・管理できるシステムを構築することが有効であると考え。

このような考えにありながら，車輪に貼り付けた歪ゲージにより車輪の歪量を計測し，輪重・横圧を推定するPQ輪軸を用いた従来の測定方法では，その耐久性から営業線での常時測定は難しい状況にあった。具体的には，歪ゲージの測定用配線を車軸の中央に貫通させる必要があり，長期的には車軸の強度が問題となることや，車輪のひずみ信号を回転系である輪軸から静止系である車上の測定器に伝達するために使用する，スリップリングの接点部分の摩耗が問題であった。

そこで東京メトロでは，交通安全環境研究所，住友金属，住友金属テクノロジーと共同で，脱線係数の常時監視を目的に，台車枠等の静止系から簡易的に脱線係数を測定する方法を検討した。そして，輪重は軸バネのたわみ量を磁歪式変位計により測定し，横圧は渦電流式の非接触変位計により車輪板部の変位を測定することで，強度・耐久性の問題を解決し，脱線係数を測定する新手法を確立した。¹⁾

この測定方法の妥当性を検証するために実施した，交通安全環境研究所の台上試験機による曲線通過実験および本線路での走行試験の結果から，技術的な実現性が確認されたことから，実際の営業車両で利用できる量産仕様台車を製作し，平成21年1月より丸ノ内線車両第3車両(T車)へ2台車装着し，営業使用を開始している。²⁾

本報告では量産使用PQモニタリング台車により営業線で得られたPQデータとその活用方法について報告する。

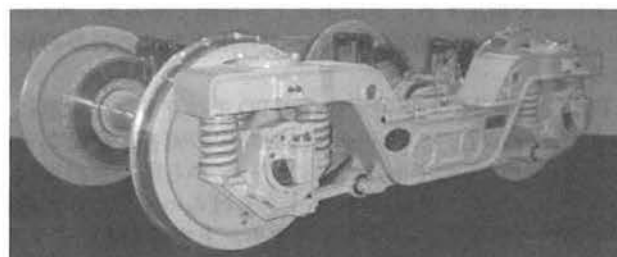


Fig.1 Derailment coefficient monitoring bogie



Fig.2 Sensor for lateral and vertical contact force

2. 輪重・横圧推定方法とシステム概要

Fig.3 にシステム概要を示す。台車に設置した各センサからの信号は、コネクタ台を経由し、アンプ BOX→モニタリング装置へ送られる。アンプ BOX において信号増幅等の処理を行った後、モニタリング装置において演算処理を行い出力データが作成されるとともに、記録メディアへの記録を行う。

また測定項目は 4 項目あり、①輪重を推定するための軸ばね上下変位、②横圧を推定するための車輪板部変位、③車輪/レール間の潤滑状態を推定するためのモノリンク荷重、④レール波状摩耗の有無を検知するための軸箱上下振動を測定している。なお脱線係数は進行方向先頭台車の前軸にて測定をしている。

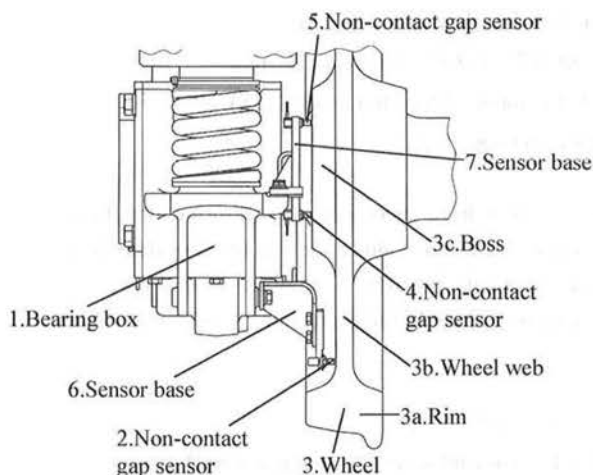


Fig.3 Practical sensing method for lateral contact force

3. 営業線における PQ データとその活用方法

〈3・1〉 変動する脱線係数 PQ モニタリング台車最大の強みは営業時間中に繰り返しの測定ができることである。脱線係数の値は毎回同じ値が計測されるわけではなく、様々な外部要因から影響を受け、値が大きく変化する。横圧 Q は車輪/レール間の潤滑状態の変化によって大きく増減し、輪重 P は乗車率（空車条件・満車条件）・走行速度（超過遠心力の作用）などにより変化する。従来の PQ 輪軸を用いた数回の夜間試運転では、これらの全ての状況における脱線係数を測定することは事実上不可能であるが、PQ モニタリング台車を営業線に供することにより、これが可能となった。

Fig.4 と Fig.5 にある特定曲線の PQ モニタリング台車によるデータを示す。このデータは曲線中の値を、測定ごとに重ね合わせたものである。このデータから同一車両の同一台車であっても、外軌 Q/P が大きくばらつくことが再確認できる。このようにバラつきを含めた上で評価することで、より厳密な走行安全性評価が可能となる。

PQ 輪軸による測定は夜間試運転のみの測定のため測定回数を増やすことが困難であるが、PQ モニタリング台車であれば 1 日に最大 5~6 回の測定が可能となる（ただし運用による）。仮に PQ モニタリング台車を搭載した車両が 1 日に路線を 6 往復し、それを 1 カ月繰り返したとすると、1 カ月で 180 回の測定をすることが可能となり、最終的には統計処理を用いた走行安全評価も可能となる。

脱線係数を測定し思わしくない値が出た場合、暫定的に

は脱線防止ガードの設置により機械的に脱線を防ぐ方法や、塗油調整をすることで横圧を低減し脱線係数を低く保つなどの方法があるが、根本的な解決ではない。PQ モニタリング台車の繰り返し測定データを確認すると、内軌 Q/P の影響により増減はあるものの、走行中に横圧が増加する地点はほぼ決まった場所であることが確認された。逆にいつも決まった場所で横圧が減少している場合も確認された。

また今後の課題でもあるが、横圧が何故減少するのか、何故増加するのかを突き詰めて行くことで、車両の走行安全性を向上させる軌道改良が出来る可能性がある。曲線入口から出口までの輪重変動を見ることで、その曲線のカント減速倍率が十分か否かを実際の車両の挙動から判断することができる。緩和出口においてあまりにも輪重抜けが大きい場合には、カント減速曲線を長く取るなど、軌道改良にフィードバックするなどの改善策が考えられる。

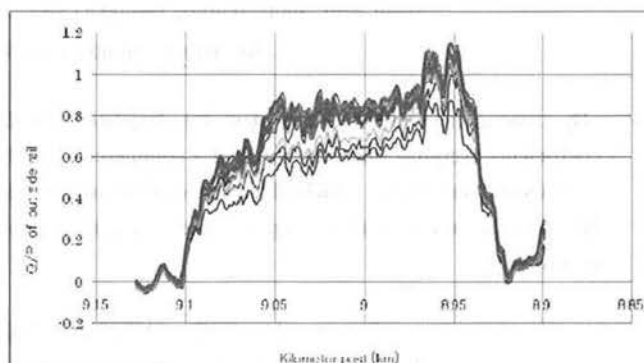


Fig.4 Running data of commercial train (Sample curve1=R160)

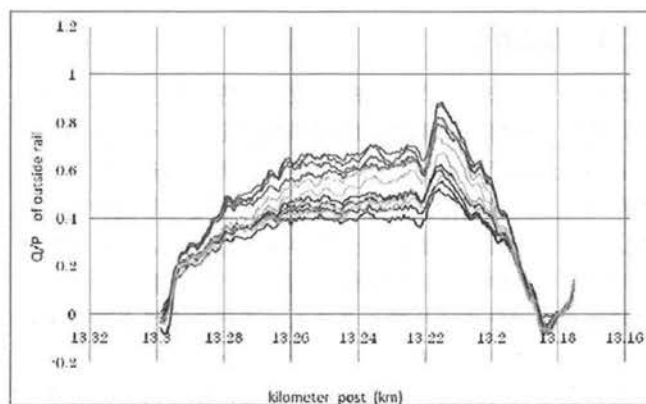


Fig.5 Running data of commercial train (Sample curve2=R200)

〈3・2〉 軌道のフェール検知 上記のように、脱線係数の波形は絶対値はばらつくが、波形に再現性があるため明らかにこの傾向と異なる波形を示した場合、軌道側になんらかのフェールが発生したと捉え、フェール検知に使用できる可能性がある。Fig.6 にある特定曲線の外軌 Q/P の各測定の波形を平均化し、地点毎の値のバラつき σ を記載したものを示す。

9 キロ地点のデータに着目すると、この地点の平均値は 0.669、平均+3 σ の値は 0.734 である。通常の測定方法では仮にこの地点の脱線係数が 0.9 と測定されても目安値以下であるため安全であるとの評価になるが、統計的に考えると 0.9 という値はその地点の平均+3 σ の値をさらに越えるため、何らかのフェールが発生したと推測することとなる。

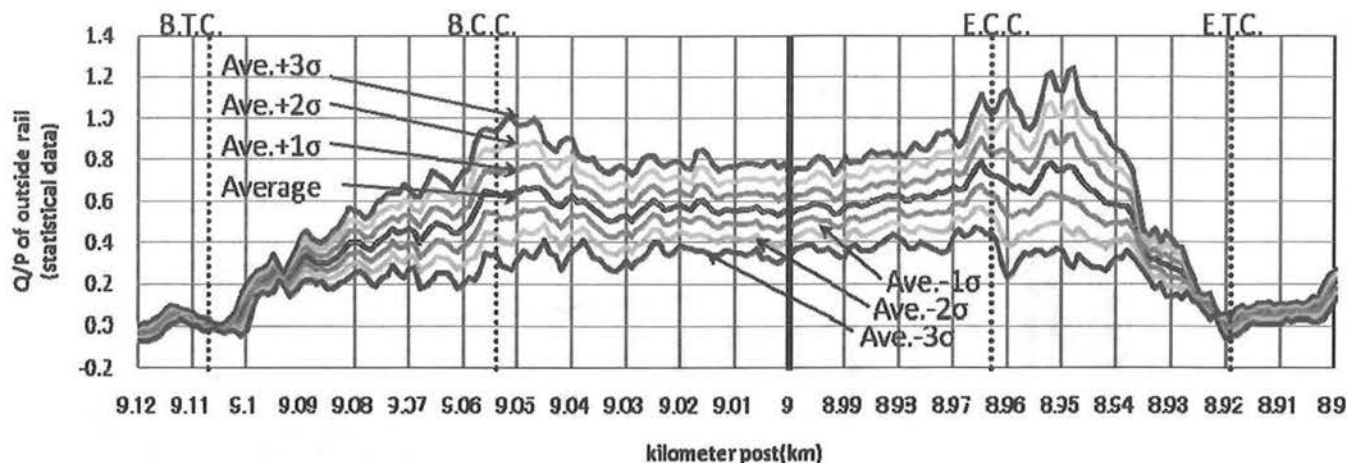


Fig.6 Statistical data of Q/P of outside rail

(3・3) 全線における曲線の傾向把握 前述のとおり PQ モニタリング台車の特長は営業線全線にわたりすべての曲線の脱線係数を継続的に測定できることである。Fig.7はPQ モニタリング台車で得られた全区間における各曲線の最大脱線係数データを曲線半径毎にまとめたもので、この図から同一曲線半径であっても脱線係数値の取りうる幅が異なり、バラつきを有していることがわかる。図中の近似曲線(a)はすべての曲線における脱線係数の最大値について曲線毎になぞったものであるが、曲線半径がR300以上ではすべての曲線で脱線係数比 1.02 (フランジ角=67.11)を下回っているものの、R250以下では1.02を超えている曲線が存在する。このような曲線は改良の必要があり、既に脱線防止ガードを設置している。

Fig.8はFig.7のすべて曲線のうち比較的脱線係数が低い曲線のデータ抜き出したものである。近似曲線(b)はFig.7と同様に最大値をなぞって求めたもので、近似曲線(a)を平行移動したものと一致する。すべての曲線において脱線係数が近似曲線(a)から近似曲線(b)以下の値になることが望ましいといえる。Fig.9は同一半径である特定の2曲線の脱線係数の最大値と内軌Q/Pをプロットしたものであるが、なぜこのような違いが現れるのか、塗油潤滑や軌道形状などの

観点から検証が必要である。

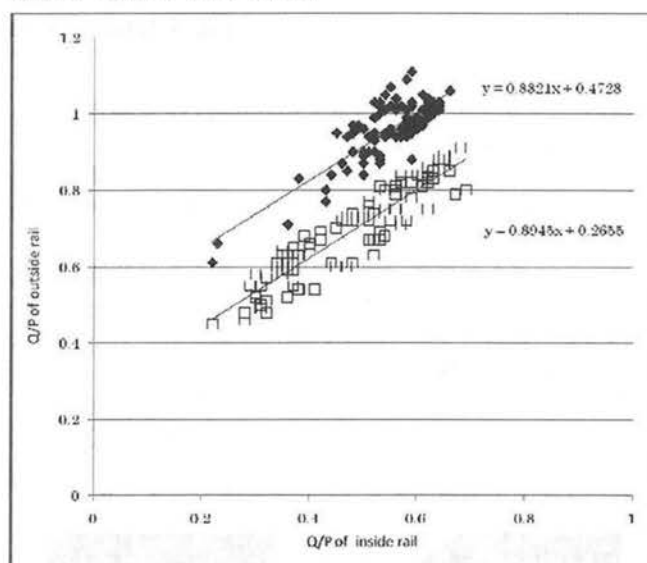


Fig.9 Relationship between Q/P of inside rail and outside rail on the same radius curves

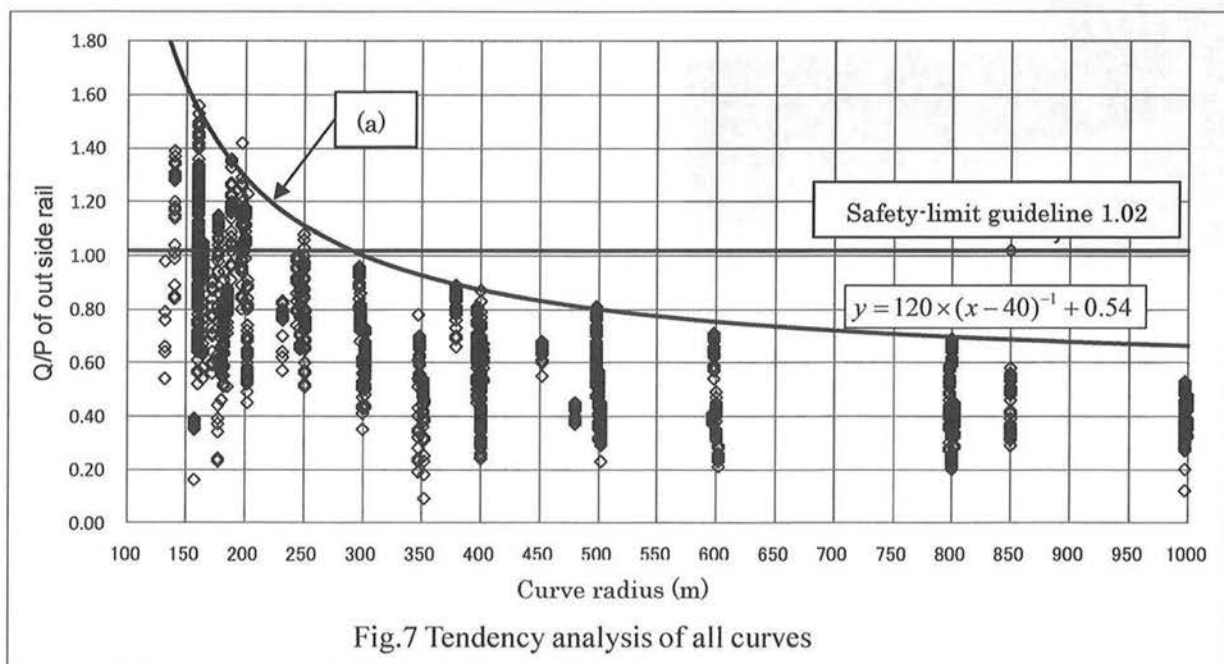


Fig.7 Tendency analysis of all curves

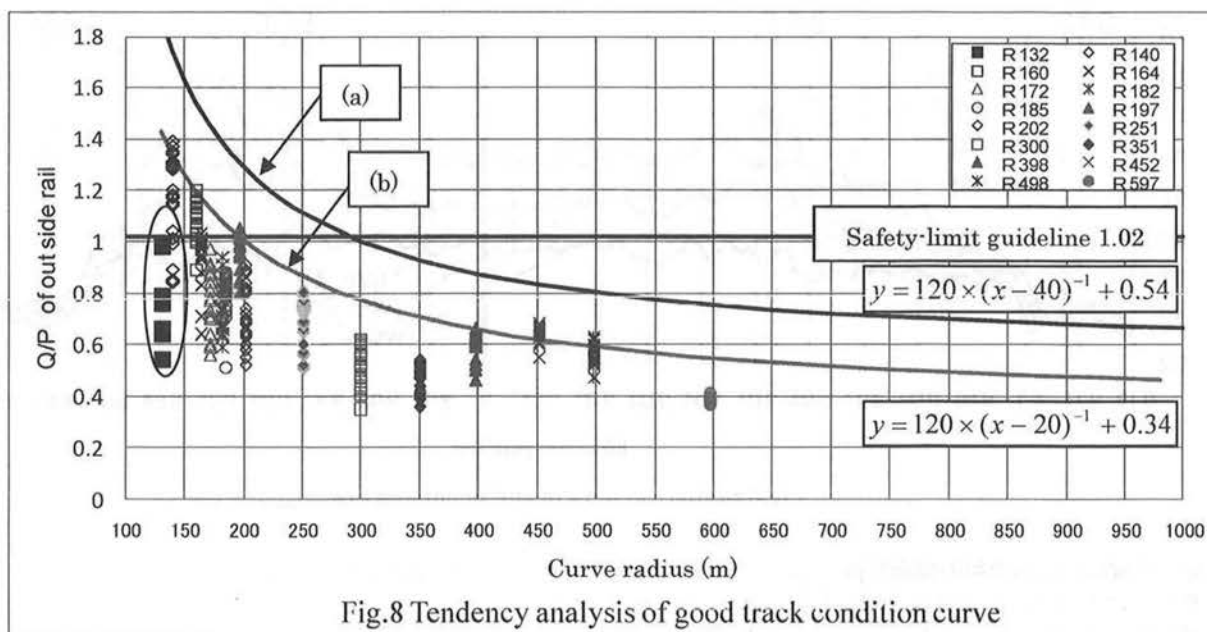


Fig.8 Tendency analysis of good track condition curve

PQ モニタリング台車では車上から内軌 Q/P を測定することで、路線全体を連続して測定することができる。これにより、曲線毎の潤滑状況を把握することができ、潤滑状態が良くなければ、塗油器の吐出量や吐出タイミングを調整することで改善を図ることができる。

またそれでも対処不可能な場合は、新たな塗油器の設置や車上からの潤滑管理（摩擦調整材）などの施策をとることが考えられる。また、図中の楕円で囲まれたデータは急曲線にも拘らず、Q/P 値が低く抑えられているが、これは車上からの摩擦調整材噴射を実施している曲線である。このように内軌 Q/P を制御することで脱線係数を低く抑えることが可能である。これにより、走行安全性の向上と、軌道保守の面の両方で大きなメリットを得られると考える。

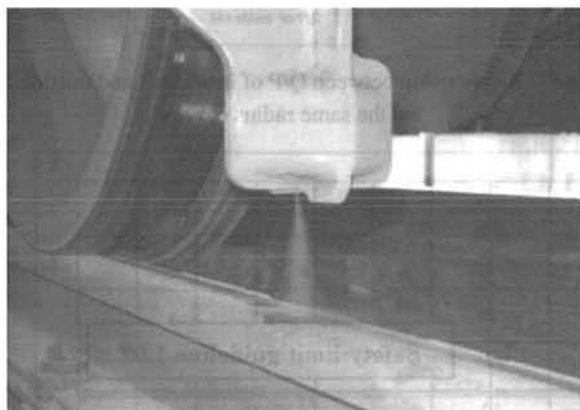


Fig.10 On-board friction control system

〈3・4〉 測定データのデータベース化 平成 21 年 1 月より営業線にて測定を開始し現在までに膨大なデータを収集している、これは従来の PQ 輪軸を用いた PQ 測定の数と比較にならない数である。

しかし現在のところこの膨大かつ有用なデータを手解析によってデータ解析しているため、多くの時間と労力を要しているのが現状である。そこで将来的には曲線ごとにデータベース化し、その曲線の統計値を求め、走行安全性の判断基準を示すシステムの構築が必要である。

4. まとめと今後の課題

PQ モニタリング台車を営業線投入することで、営業線走行時の脱線係数を常時測定することが可能となっている。従来は限られた時間の中で限られた条件（潤滑状態・車両重量）の中でしか、車両走行安全性のデータを取得することができなかったが、PQ モニタリング台車を営業線投入することで、従来では分からなかった様々なデータを取得することが可能となった。

また軌道側についても、従来は軌道検測車を用いて夜間に測定を実施していたが、今回の台車では特に軌道の走行安全性に関わる指標が直接的に出てくるため、今後の軌道管理の手段として使用できる可能性がある。

今後は、得られたデータをどのように活用していくかが課題となっている。今回紹介した評価方法以外にも様々な評価方法を検討し、最も効果的な評価方法を確立し、その評価方法を基に、軌道改良等の走行安全性に関する取り組みを確実に実行していく次第である。

この PQ モニタリング台車が、車輪/レール間の接触問題の解決に寄与するものであると考える。今後ともこの PQ モニタリング台車を大いに活用していくことで鉄道システムのさらなる安全性向上に寄与することを願っている。

文 献

- 1) 佐藤, 田口他: 「PQ 輪軸を用いない車輪/レール接触力の測定方法 第 4 報」, J-Rail2009, PP639-642(2009)
- 2) 清水, 中島他: 「東京メトロ営業線車両の脱線係数常時モニタリング」, 鉄道車両と技術 No.167, PP15-23(2010)
- 3) Makoto, Shimizu, et al.: "A New Monitoring System For Derailment Coefficients without a Special Wheel-set (Monitoring results on a subway line)", Bogie10, (2010)