

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 (第2報)

○砥上 靖弘 大林 弘史 [機]齋藤 拓也 岩本 厚 (東京地下鉄)

大木 康孝 小坂田 潤 水野 将明 (住友金属)

[機]谷本 益久 (住友金属テクノロジー)

2nd report; Report of the commercial train running data
measured by new on-board measuring method of derailment coefficients

○Yasuhiro Togami, Hiroshi Ohbayashi, Takuya Saito, Atushi Iwamoto, (Tokyo Metro)

Yasutaka Ohki, Jun Osakada, Masaaki Mizuno, (Sumitomo Metal Industries)

Masuhisa Tanimoto, (Sumitomo Metal Technology)

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

Key Words : 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、新形式車両導入時や既存車両の改良時等の節目に実施される、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はもちろん、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られる。

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。

そこで東京地下鉄では、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、輪重は軸パ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、実際の営業車両で使用できる量産仕様台車(PQモニタリング台車)を製作し、平成21年1月より丸ノ内線02系へ2台車(T車, 標準軌)、平成23年8月より新たに東西線15000系へ2台車(T車, 狭軌)装着し、営業使用を開始している^{(2),(4)}。

本報告では、15000系PQモニタリング台車仕様及び営業線で得られたPQデータとその活用方法について報告する。

2. 狭軌仕様量産台車の製作及び現車走行試験

丸ノ内線にて標準軌仕様 PQ モニタリング台車の有用性並びに技術的な実現性が確認されたことから、今回、狭軌仕様としては世界で初となる PQ モニタリング台車を東西線へ導入し、走行台車としての台車性能試験および PQ モニタリング台車としての各種機能確認試験を行った。

2.1 15000系 PQ モニタリング台車概要

15000系 PQ モニタリング台車の概観を図1に示す。基本的な構造は、丸ノ内線標準軌仕様 PQ モニタリング台車と同様である。横圧検知のために、C種車輪(板部ストレート)およびディスクブレーキ(軸マウント式)を採用している。また、車輪板部の横圧測定面は精密平面加工を施し、ディスクブレーキの採用により車輪部の熱変形を防ぎ、上述の軸箱-車輪間のスラスト方向移動量を極力小さくするため

に、円錐ころ軸受を採用する等の測定精度向上を図った設計としている。

輪重測定用の磁歪式変位計、振動測定用の振動加速度計および横圧測定用の渦電流式変位計の設置状況を図 2、図 3 に示す。

2.2 輪重・横圧測定方法及びセンサ概要

PQ モニタリング台車での測定項目は 4 項目あり、それぞれ①輪重を求めるための軸ばね上下変位、②横圧を求め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である。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。

図 4 に横圧測定方法の概要を示す。横圧測定用の非接触変位計は軸受けのガタによる車輪の平行移動や車輪の傾きによる変位の影響を補正するため、車輪板部以外に車軸の上下位置にも取り付けており、3 カ所の変位から横圧による変形量のみを捉えるようにしている。

2.3 現車走行試験概要

現車走行試験は、東西線全線において行った。試験では、空車および満車条件を設定し、営業運転並みの速度の他に、特定曲線に関して 10km/h 以下での低速走行を行った。なお、本台車による測定結果との比較のために、従来の輪重・横圧測定用 PQ 輪軸を装着した。

表 1 に台車諸元と試験条件を示す。

表 1 台車諸元及び試験条件

車両形式		東西線15000系(T車)
台車諸元	台車形式	FS580
	軸距	2100mm
	台車中心間距離	13800mm
	踏面形状	東西円弧
試験条件	荷重条件	空車及び満車
	走行速度	営業運転並速度及び低速走行
	車輪/レール摩擦状態	現状敷設状態
	軌間	1067mm

2.4 現車走行試験結果

現車走行試験における、特定区間走行結果の一例を図 5 に示す。この図を見ると、丸ノ内線 PQ モニタリング台車現車試験結果と同様に、PQ モニタリング台車により測定される測定値と PQ 輪軸による測定値の波形はよく一致していることが確認できる。

本台車による脱線係数監視の主目的は、脱線係数値の精密な計測ではなく、営業線走行時における異常値の早期発見であることから、必ずしも PQ 輪軸による測定値に正確に一致する必要はなく、走行安全上の常時モニタリングに使用するのであれば、実用上問題ないと考える。

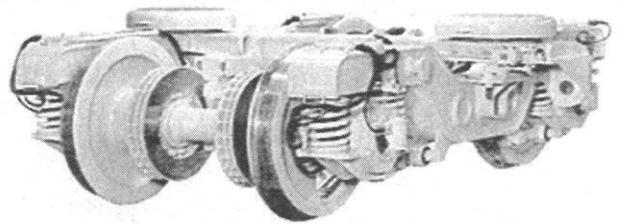


図 1 PQ モニタリング台車概観

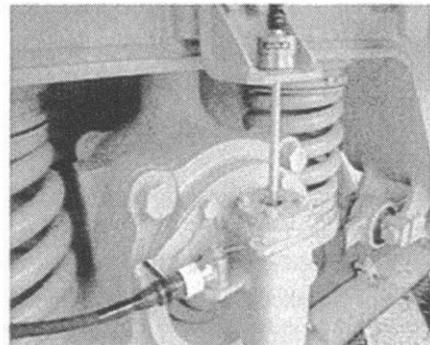


図 2 輪重測定用センサ及び振動加速度センサ

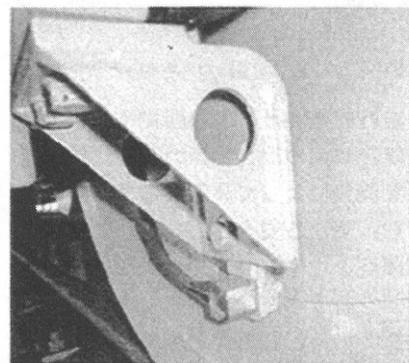


図 3 横圧測定用センサ

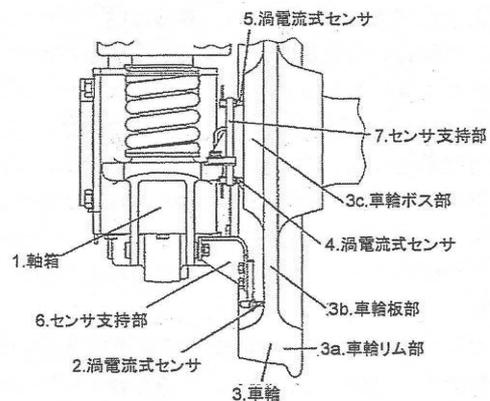


図 4 測定用センサ位置関係

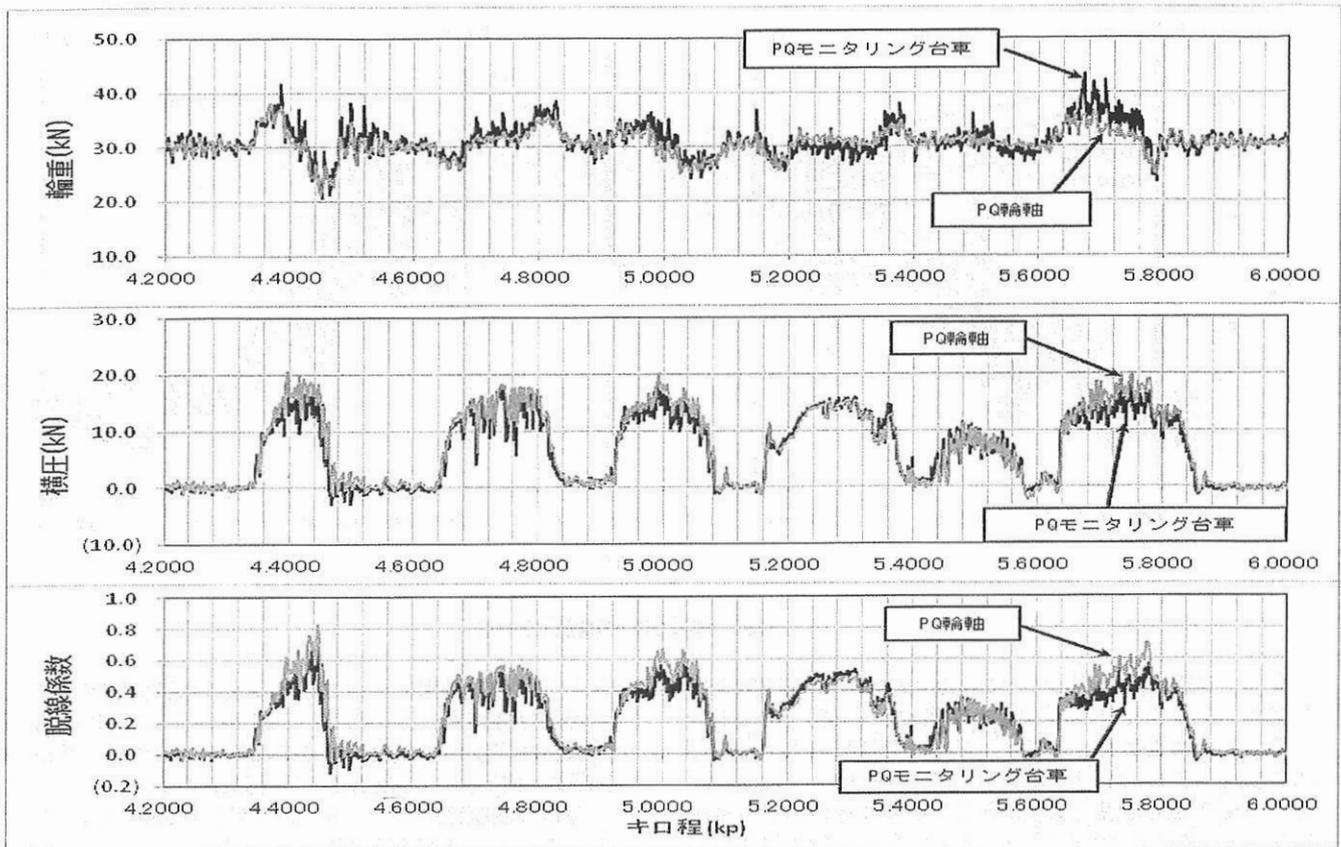


図 5 実車試験による測定値比較 (PQ モニタリング台車 vs. PQ 輪軸)

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。

図 6 と図 7 にある特定曲線の 15000 系 PQ モニタリング台車による取得データを示す。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は困難であるが、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。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。

また、PQ モニタリング台車の繰り返し測定データを観察することにより、車輪/レール間の摩擦係数により増減はあるものの、走行中に横圧が増減する地点はほぼ決まった場所であることが確認されている。

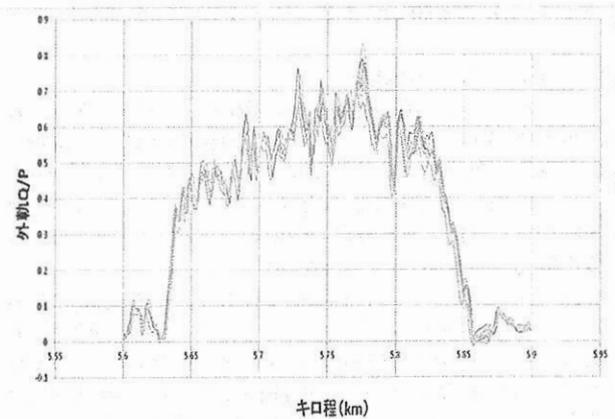


図 6 営業線走行データ① (サンプル曲線, R200)

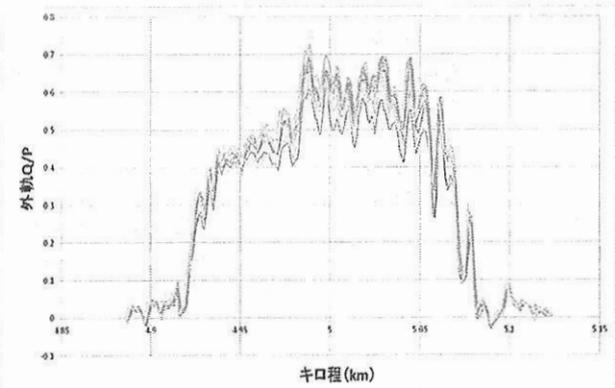


図 7 営業線走行データ② (サンプル曲線, R247)

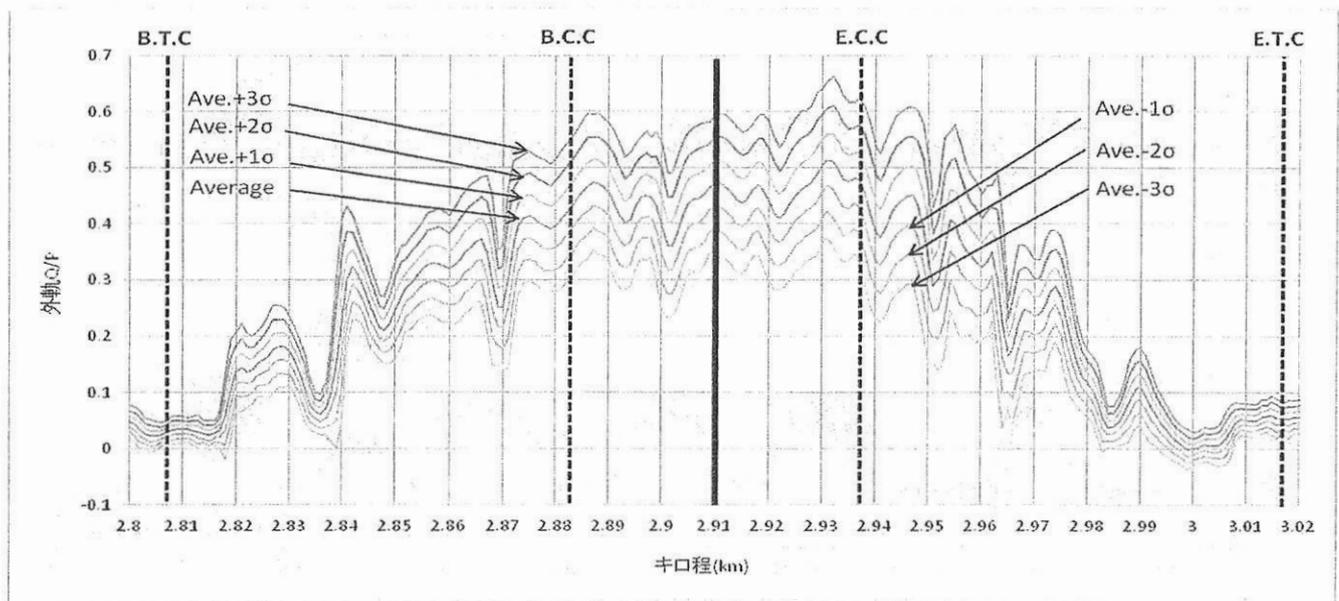


図 8 外軌 Q/P の統計データ

また、今後の課題として、これらの横圧の増減要因を突き詰めて行くことで、走り装置の新開発や改良、踏面形状の見直し、軌道改良等、車両の走行安全性を向上させる方法を検討することが可能となる。また、曲線入口から出口までの輪重変動を観察することで、その曲線のカント遞減倍率が十分か否かを判断することもできる。特に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、カント遞減区間を長く取るなど、軌道改良にフィードバックする改善策等、様々な要因を早期発見できると考えられる。

3.2 軌道のフェール検知

上記のように、脱線係数の絶対値の大小はあるが、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と考えている。図 8 にある特定曲線の外軌 Q/P の各測定の波形を平均化し、地点毎の値の標準偏差 σ を記載したものを示す。

2.91 キロ地点のデータに着目すると、この地点の平均値は 0.472、平均+3 σ の値は 0.595 である。通常の測定方法では仮にこの地点の脱線係数が 0.8 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 0.8 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、軌道側に何らかのフェールが発生したと推測できることとなる。

このフェールを早期に検知できるように、日々のモニタリングデータを統計化することで、PQ モニタリング台車のシステムが、走行安全性向上に寄与できる。

4. まとめと今後の課題

第 1 報でも既に報告したが、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。今回は、狭軌路線への PQ モニタリング台車投入であり、標準軌及び狭軌仕様の両条件での実績が得られた。また、東西線は東京メトロの路線の中でも、乗車率が高い路線であり、今回新たに、PQ モニタリング台車を営業線投入することで、定期的な夜間測定では取得できなかったデータを取得することができる可能性が

ある。また軌道側についても、従来は軌道検測車を用いて夜間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。

今後の課題は、リアルタイムに軌道を監視することのできるシステムの構築及び得られたデータの活用方法である。

現在、PQ モニタリング台車で得られたデータはアンブ BOX を経由し、モニタリング制御装置に一定期間分蓄積されるようになっており、その都度、人の手により解析するため、事実上リアルタイムにデータは監視できていない。より PQ モニタリング台車を走行安全性向上に寄与させるために、営業線で得られたデータをネットワークにより、関係各所の PC モニタでリアルタイムに確認できるよう、システムを構築してゆく予定である。

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、最も効果的な方法を確立し、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。

また、PQ モニタリング台車が、車輪/レール間の接触問題の解決や、より走行安全性向上に寄与できる台車関連装置の開発のヒントを与えてくれると考える。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貢献していきたい。

参考文献

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)
4. 鹿田, 中里他: 「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」, J-Rail2010, PP639-642(2010)