

鉄道一般
車 両
施 設
電 気
運転・輸送
防 災
環 境
人間科学
浮上式鉄道

# 輪重横圧を測定して 走行安全性を向上する

あまり目にする機会は多くないと思いますが、デビュー前に試験走行を行っている新型車両などが、黄色く塗られた車輪の輪軸を履いていることがあります。その輪軸はPQ軸とよばれる、車輪とレールに働く力を測定するための輪軸です。車輪とレールの間に働く力は、極端に大きくなったり、小さくなったりすることで、軌道の破壊や脱線の原因となる場合があります。車両が安全に走行するためには、車輪とレールの間に働く力がどのような状態であるかを把握することがとても大切です。そのために実施されるのが、PQ軸を用いた輪重横圧測定です。この輪重横圧測定の手法のひとつに新連続輪重横圧測定法があります。この測定法で使用する専用の測定システムはいくつかの課題に直面しています。この課題を解消するため新しい測定システムを開発しましたので、その概要などを中心に紹介します。

## はじめに

走行する鉄道車両の車輪とレールの間には絶えずさまざまな力が作用しています。脱線などに対する車両の安全性すなわち走行安全性を考える際には、それらの力を、力が作用する方向別に分けて考え、鉛直方向の力を輪重(P)、まくらぎ方向の力を横圧(Q)、レール方向の力を前後接線力(T)、とよんでいます(図1)。

常時は、これらの力が一定の関係を保つことで、車両は安全に走行しています。しかし、その関係がひとたび崩れることで、軌道の破壊や脱線などの重大な事態を引き起こすおそれがあります。

とくに、輪重と横圧は、走行安全性と密接な関係にあります。このため、走行中の輪重と横圧がどのような状態にあるかを把握することは、車両が安全に走行するためには大変重要となります。

そこで、車両の走行安全性を測るために実施されるのが、輪重横圧測定、いわゆるPQ測定です。このPQ測定の手法のひとつに、今から遡ること30年ほど前に鉄道総研が開発した新連続輪重横圧測定法<sup>1)</sup>、いわゆる新連続法があります。新連続法によりPQ測定を行う際は専用の測定システムを用いていますが、現在、いくつかの課題に直面しています。



**鈴木 貢**  
Mitsugi Suzuki  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
主任研究員  
【専門分野】 車両運動、  
走行安全



**遠竹 隆行**  
Takayuki Tohtake  
車両構造技術研究部  
車両運動研究室  
副主任研究員  
【専門分野】 車両運動、  
走行安全



**本堂 貴敏**  
Takatoshi Hondou  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
副主任研究員  
【専門分野】 車両運動、  
走行安全



**國行 翔哉**  
Shouya Kuniyuki  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
研究員  
【専門分野】 車両運動、  
走行安全

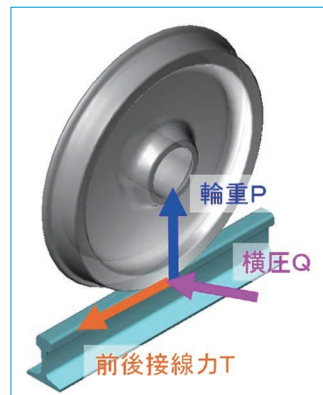


図1 車輪とレールの間に作用する力

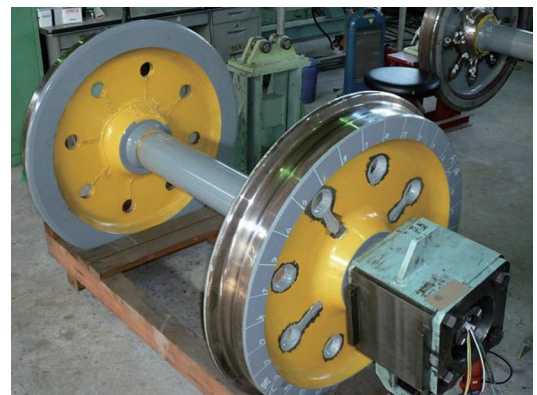


図2 PQ軸(新連続法用)

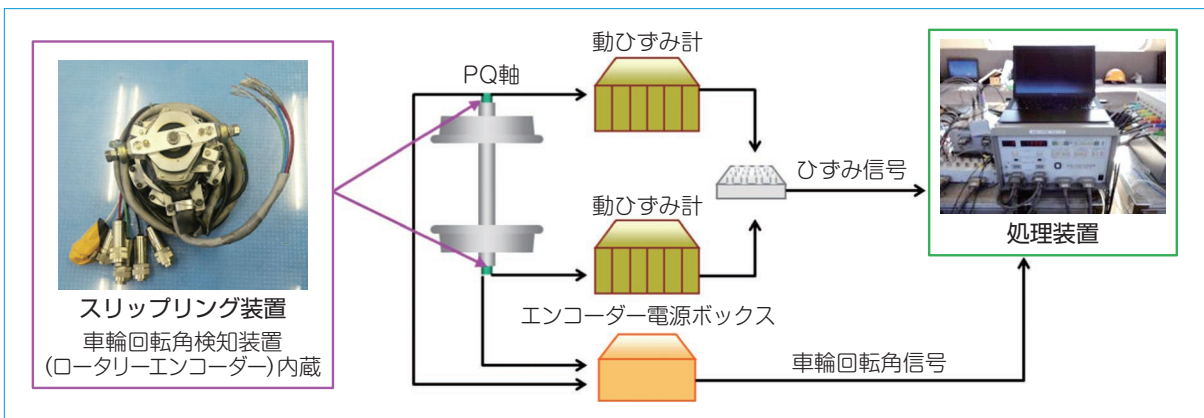


図3 新連続法用の測定システムの構成概略図(現行システム)

この課題に対処するため、新連続法用の新しい測定システムを開発しました。ここでは、開発した測定システムの概要と開発の様子について紹介します。

### 走行安全性を測る方法

PQ測定には、おもに使用するセンサーの設置場所や種類、その構成方法の違いにより、いくつかの手法が存在します。車上から実施するPQ測定では、PQ軸(図2)とよぶ、車輪に輪重と横圧を測定するためのホイートストンブリッジ(以下、ブリッジと記す、☞参照)を設けた、特別な輪軸をセンサーとして用いるのが一般的な手法といえます。

このPQ軸を用いる測定手法にも、ブリッジの構成方法の違いにより、いくつかの手法が存在します。新連続法は、そのうちのひとつです。PQ軸をセンサーとして用いる他の測定法との大きな違いは、測定の際、PQ軸からのひずみ信号を演算処理している点にあります。この演算処理により、他の測定法にはない、車輪円周上のすべての位置での輪重や横圧の連続的な測定を可能としています。また、脱線係数についても連続的に測定できることから、“脱線係数の目安値超過継続時間”(☞参照)を指標として、精度よい走行安全性評価が可能です。

新連続法による測定は、2つの特徴的な技術を中心に構成された、専用の測定システム(図3)により実現してい

ます。ひとつは処理装置とよぶ一種の演算装置です。そして、もうひとつは処理装置での演算に必要な車輪回転角を検知するためのロータリーエンコーダー(以下、エンコーダーと記す、☞参照)が内蔵されたスリップリング(☞参照)装置です。

輪重、横圧などの連続的な測定を実現したことで、精度よい走行安全性評価が可能となった新連続法は、現在、国内外を問わず多くのPQ測定で活用されています。しかし、現行測定システムは、現在、いくつかの課題に直面しています。そのうち、もっとも深刻な課題は老朽化、陳腐化です。処理装置、スリップリング装置ともに、開発からの経年による老朽化、陳腐化が進行しており、装置構成部品の中には交換部品の手配が困難となっているものもあります。あいにく、代替となる装置が存在しないことから、このままでは今後の新連続法によるPQ測定の実施に問題が生じるおそれが出てきました。このため、新しい測定システム向けの処理装置とスリップリング装置を開発する必要が生まれました。

### 汎用計測機を用いた処理装置

処理装置は輪重、横圧などを連続的に測定するための一種の演算装置です。この処理装置は、入力したPQ軸からのひずみ信号に対し、重み付け関数とよぶ係数による補正演算を施し、その

結果として連続的な輪重や横圧を出力します。

処理装置は、これまでに一度、機器更新を行っていますが、要求する性能を満足するよう、いずれも専用機として製作されてきました。現行の処理装置では、老朽化、陳腐化とあわせて、専用機ならではの事情が課題となっています。具体的には、ほかにない新しい装置を製作するため開発に多くの費用と労力がかかること、機器更新のた

#### ☞ ホイートストンブリッジ

複数のひずみゲージにより構成された電子回路で、ひずみ測定などに用いられます。回路内の電気的な変化からひずみを測定します。

#### ☞ 脱線係数の目安値超過継続時間

脱線係数(横圧を輪重で除した値)の連続的な測定を前提とした、脱線に対する安全性の評価指標です。脱線係数が0.8を超えている時間が0.015秒に満たなければ安全と評価します。

#### ☞ ロータリーエンコーダー

回転変位を計測するためのセンサーです。新連続法用のスリップリング装置には、円周上に一定間隔で設けられたスリットを通る光を検知し回転変位を計測する、光学式の装置を用いています。

#### ☞ スリップリング

回転する物体との間での信号伝送に用いる装置です。回転軸上に取り付けられた円盤の外周部にある金属製のリングと、固定側の金属製のブラシとが接触することで信号が伝送されます。

め一定間隔でこの開発が必須となること、電子分野での技術発展が目覚ましい現在では陳腐化が早いこと、製作後の改修の自由度が低いこと、などです。

そこで、新しい処理装置の開発に当たっては、装置の構成方法について抜本的な見直しを行いました。近年の技術発展により、現行装置と同等以上の処理が可能となった市販の汎用計測機器を用い処理装置を構成することで、現行装置の抱える課題の解消を図りました。

試作した処理装置(図4)では、汎用計測機器を用いたことで、次のような特長を実現しています。市販品を活用したことで、開発費用の削減が可能となりました。汎用性の高い開発環境を用いソフトウェアを作成したことで、軽微な修正のみで時々の最新のハードウェアを活用することが可能となりました。機能別のプログラムをモジュール化しソフトウェアを作成したことで、運用途中でソフトウェアの機能改修や機能拡張への柔軟な対応が可能となりました。なお、輪重や横圧の連続処理に用いる連続演算処理プログラムについては、実績のある現行装置のプログラムを移植し使用しました。また、処理装置の操作画面の仕様については、使用者に装置が新しくなることによる負担が極力生じないように、現行装置の仕様を踏襲しました。

### 省力化を図るスリップリング装置

走行中の輪重や横圧を測定するためには、回転するPQ軸から信号を取り出す必要があります。このために用いられる装置がスリップリングです。一般には、スリップリング単体もしくは緩衝機構を備えたフレームにスリップリングを内蔵したスリップリング装置が用いられます。一方、新連続法では、緩衝機構を備えた筐体きょうたいに、輪重、横圧の連続処理に必要な車輪回転角を検知

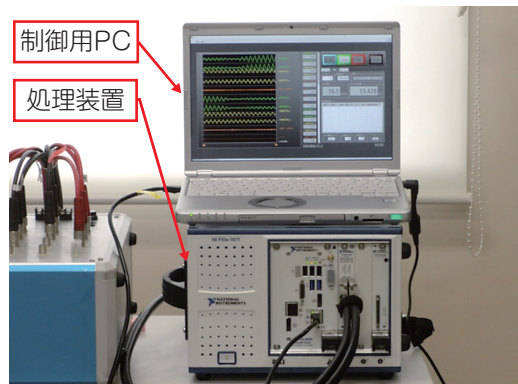


図4 汎用計測器を用いた試作処理装置

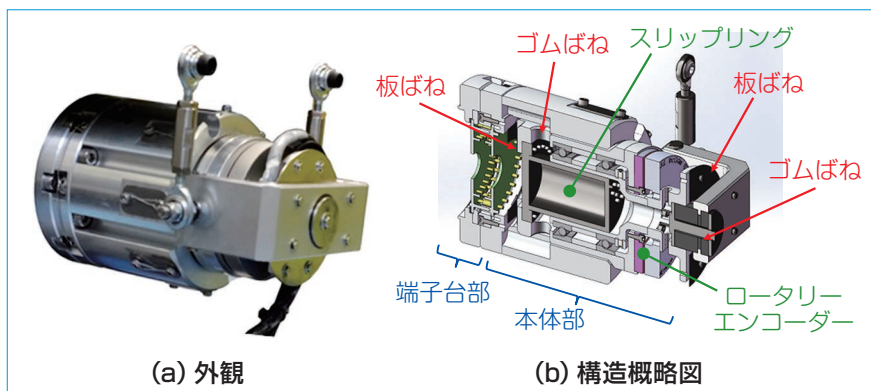


図5 運用時の省力化を図る試作スリップリング装置

するためのエンコーダーとスリップリングとを内蔵した専用のスリップリング装置を用います。

処理装置と同様に、スリップリング装置も大きく2つの課題に直面しています。一つは、老朽化、陳腐化です。主要構成部品であるエンコーダーはすでに生産停止となっており、交換部品の手配が困難となっています。そしてもう一つは、作業性に関する課題です。スリップリング装置の取り付け作業は、精密さが要求される細かな作業で、ベテラン作業員をもってしても1個あたり3時間もかかる、大変時間のかかる作業です。この作業を、工場や区所などの現場の、限られたスペースと時間の中で行わなければなりません。今後、作業経験者が減少していくことが予想されるなか、この煩雑な作業の品質をどのように保っていくかが大きな課題となっています。

そこで、新しいスリップリング装置の開発に当たっては、装置構造の見直

しを行い、現場作業の省力化を実現するための構造を採用することで、現行装置の抱える課題の解消を図りました。

試作したスリップリング装置(図5)では、現場での装置取り付け作業の省力化を目的に、スリップリングとエンコーダーが内蔵された本体部と、PQ軸からの信号配線をはんだ付けする端子台部から成る分割構造を採用しました。端子台部は小型の部品であることから、これをPQ軸の軸端に装着した状態であっても軸箱体の組み込みが可能で、このため、スリップリング装置の取り付け時に発生する作業のうちもっとも時間のかかるはんだ付け作業を現場以外の場所であらかじめ済ませておくことができます。現場では、端子台部のプラグと本体部のソケットをはめ合わせ、6本のボルトで固定するだけで装置取り付け作業の大部分が完了することから、作業時間の大幅な短縮が可能となります。このほか、試作したスリップリング装置では、ばね下

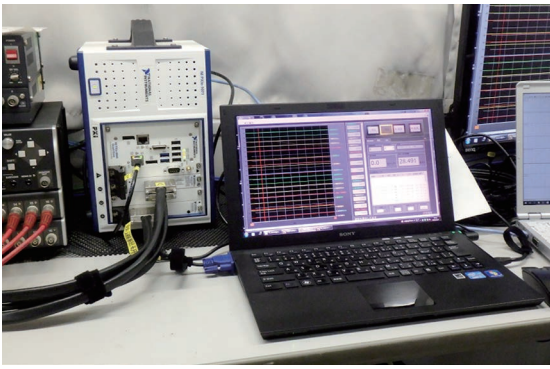


図6 試験車内に仮設した試作処理装置

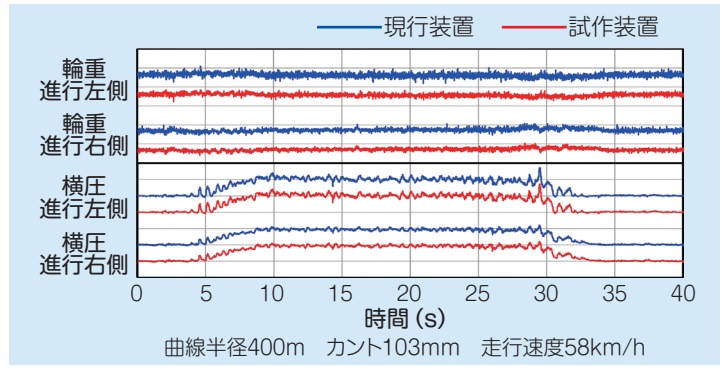


図7 試作処理装置による現車環境下での連続処理結果

(図6参照)の振動環境に耐えうるよう、緩衝機構の見直しなどを行っています。

試作したスリップリング装置の耐振動性能および耐回転性能を調査するため、専用の装置を用いた試験を実施しました。その結果、すべての試験条件において、破損などの構造上の問題が生じないこと、信号伝送が正常に行われることを確認しました。

### 営業線上での機能確認

試作した処理装置とスリップリング装置の、実用速度域の現車環境下での機能を確認するため、在来線の営業線上において最高速度110km/h、累積走行距離約600kmの走行試験を実施しました。

試作した処理装置の機能確認では、試験車両の車内に、試作装置と比較用の現行装置を設置し、両方の装置にPQ軸からの同じ信号を入力し、試作処理装置の動作や処理結果に異常がないことなどを調査しました(図6)。図7は、曲線部において各装置から出力された輪重と横圧を時刻歴で示したものです。試験の結果、試作処理装置において処理動作が遅滞なく正常に行われること、試作装置の処理結果は現行装置の結果と比較して目立った違い

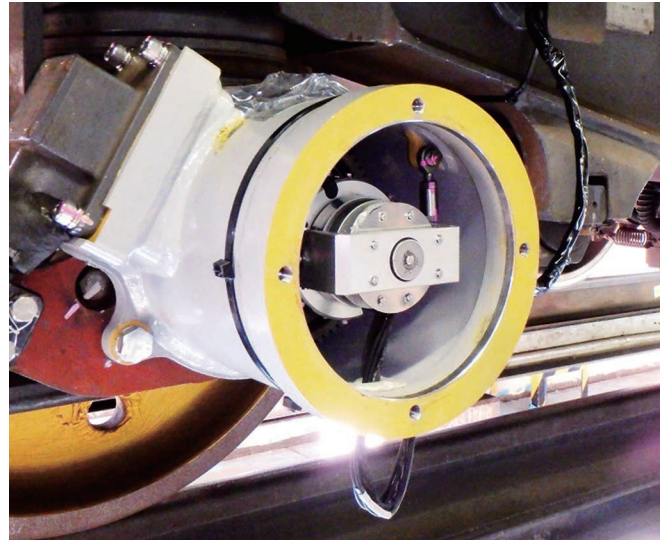


図8 試験車両に装着した試作スリップリング装置

はなく妥当なものであること、などを確認しました。一方、試作したスリップリング装置の機能確認(図8)では、装置取り付け作業時間の短縮効果と現車環境下での構造上の健全性について調査しました。まず、装置の取り付け作業時間の短縮効果を調査するため、端子台部がPQ軸の軸端に取り付けられた状態から本体部ならびにスリップリングカバーとよぶ保護カバーの取り付けが完了するまでの時間を計測しました。その結果、現行装置の約1/3の時間で装置の取り付けが可能であることを確認しました。次に、現車環境下における構造上の健全性を調査するため、試験後に装置を分解し、各部の状態を確認しました。その結果、締結部品類の緩みや構成部品の破損などはなく、構造上の問題が生じていないことを確認しました。

### おわりに

老朽化、陳腐化をはじめとした現行の測定システムが抱える課題に対処するため、新連続法用の新しい測定システム向けの処理装置とスリップリング装置を試作しました。さらに、営業線上において試験を行い、各装置とも実用レベルにあることを確認しました。今後は、鉄道事業者をはじめとした皆様に、精度よい走行安全性評価を行うためのツールとして活用いただけるよう、開発した処理装置およびスリップリング装置の商品化に向けた取り組みを行っていきます。[RRR]

### ばね下

鉄道車両の軸ばねより下にある部分のことです。これに対し、まくらばねより上にある部分を“ばね上”，軸ばねとまくらばねの間にある部分を“ばね間”とよびます。

### 文献

- 1) 石田弘明, 植木健司, 深沢香敏, 手塚和彦, 松尾雅樹: 輪重、横圧、脱線係数連続測定装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.7, No.8, pp.25-32, 1993