

営業走行車両における車軸の応力測定と強度評価
(その 1 : 無人・自動データ計測装置の開発)

○橋本通孝 (住友金属テクノロジー)

萩野智久 岩本厚 砥上靖弘 (東京地下鉄)

山村佳成 酒井宏樹 寺嶋真人 (住友金属工業)

**Measurement of Stress and Strength Assessment on Axle In-Service
(Part1: Development of Automatic Data Measurement System without Attendant)**

Michitaka Hashimoto, (Sumitomo Metal Technology, INC.)

Tomohisa Ogino, Atsushi Iwamoto, Yasuhiro Togami, (Tokyo Metro Co., LTD.)

Yoshinari Yamamura, Hiroki Sakai, Masato Terashima, (Sumitomo Metal Industries, LTD.)

The stress measuring system of an axle automatically in service line was developed for Tokyo Metro Line. This system is composed of axle mounted data-telemetry device, and automatic data acquisition device. The stress measurement of an axle with this system was made on Tokyo Metro Line for 4months, without any problems and the various important data for design of axle were obtained.

キーワード：鉄道，営業車，車軸，応力，テレメータ

Key Words : Railway, In-Service car, Axle, Stress, Telemeter

1. はじめに

鉄道車両用車軸に発生する応力（以下，単に「車軸応力」と呼ぶ）の計測はこれまで，測定専用で製作した輪軸（以下，単に「測定輪軸」と呼ぶ）を用いて，新車性能試験など限られた走行条件で実施されてきた。そのため営業運用上での実働車軸応力は測定されておらず，走行条件，乗車率等の実運用条件が車軸応力に与える影響を解明できていなかった。

そこで著者らは，国内で初めて営業走行車両で車軸応力を測定することを目標にした。営業走行車両で計測する上での課題は，測定輪軸を用いることができないため営業車の輪軸そのもので計測することや，安全性を維持しながら，長期計測の信頼性を確保することである。

以上の課題を解決するために，回転体計測機器（デジタルテレメータや誘導給電装置），および機器を車軸に固定する治具を新規開発した。また，無人で自動計測する機能を持った小型データロガーを採用してシステム構築し，東京地下鉄の営業車に搭載して，車軸応力を長期間，無人で自動計測することに成功したので，その概要を報告する。

2. 測定輪軸を用いる従来の計測方法

測定輪軸には，図 1 のように車軸に貼り付けたひずみゲージの配線を通す穴が，ボス部から軸端まで設けられている。軸端にはスリップリングを取り付けて，車軸応力信号である回転系の信号を非回転系に変換し，さらに車内に設置した計測器へ接続して計測する。車軸応力計測データと，他の車両情報データ（速度情報，曲線検知情報等）を合わせてデータロガーに記録し，測定者が持ち帰る。

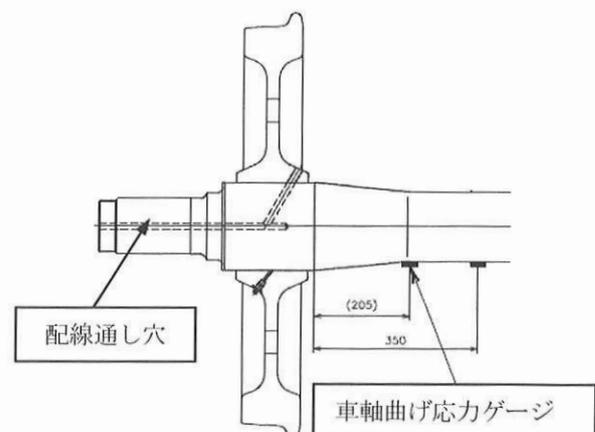


図 1 測定輪軸 配線通し穴の一例

3. システムに要求される基本性能

営業車走行車両における車軸応力の無人・自動計測システムには、下記の基本性能が要求される。

3.1 安全対策

計測器・装置の脱落などによる事故や運用乱れを起さないように、厳重な安全対策が必要である。また、長期計測を可能とするシステムの耐久性が要求される。

3.2 回転系の非接触計測

営業車輪軸には、強度上、測定輪軸のように配線通し穴を設けることができない。このためスリップリングに代えてテレメータを用いて、ひずみゲージの出力を車軸側から車体側へ無線送信し、車体床下に搭載した機器で記録する。それと同時に、回転しているひずみゲージと送信機へ電源を供給し続ける必要がある。

従来型テレメータによる短期間で簡易な車軸応力計測は過去にも試みており、図 2 に車軸への取付状況を示すが、この方法には以下の課題があり、本システムに適用することができない。

- (1) アナログ方式であり、データにはノイズが多く重畳されているため、自動解析が困難である。テレメータの機種選定にあたっては、耐ノイズ性に優れたものを選定する必要がある。
- (2) FM 受信アンテナを車軸周りにループ状に設置する必要がある。
- (3) テレメータの電源は電池で供給しているため、毎日電池交換が必要である。

3.3 無人計測

パンタグラフ上げ、下げで入り切りされる車両電源に対して、自動でシステムを起動する機能や、自動で収録開始、終了する機能が必要である。さらに電源が突然遮断された場合においても、記録中のデータファイルが壊れることを防止する必要もある。

3.4 走行状況の把握

車軸応力データと同時に、速度情報、曲線検知情報、進行方向、乗車率などの車両情報を収録する。

4. 計測システムの概要

前章で述べた基本性能を満たすシステム開発を行ったのでその概要を以下に示す。

4.1 システムの基本構成

図 3 に本計測のシステム構成図を示す。概要は下記のとおりである。

- (1) ①は回転系（営業車車軸）、②は静止系（車体下部に取り付けた無人計測機器）を示す。
- (2) 車軸応力測定用ひずみゲージの出力は、テレメータの送信機と受信機を使い、①回転系から②静止系に対して非接触送信する。
- (3) テレメータ送信機への電源供給は、送電コイルと受電コイルを使い、②静止系から①回転系に対して非接触で誘導給電する。
- (4) データは、②静止系に搭載した小型データロガーで記録される。車軸応力データだけでなく、車両情報も同時に記録する。データロガー内のメモリカードを約 10 日毎に回収し、③事務所の解析 PC で頻度解析等の処理を行う。

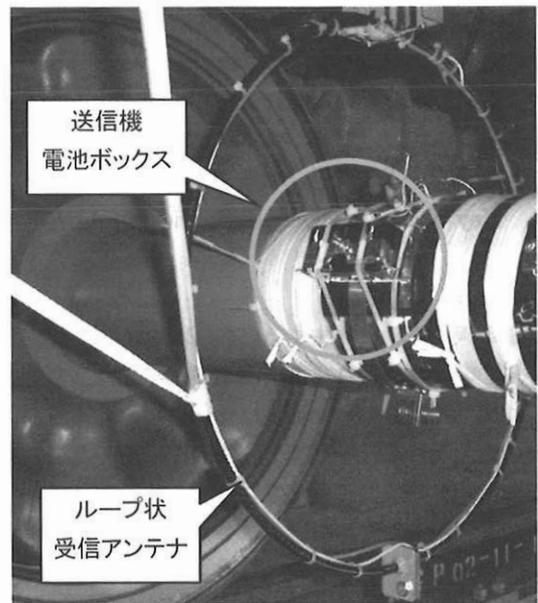


図 2 従来型テレメータの現車取付状況(過去事例)

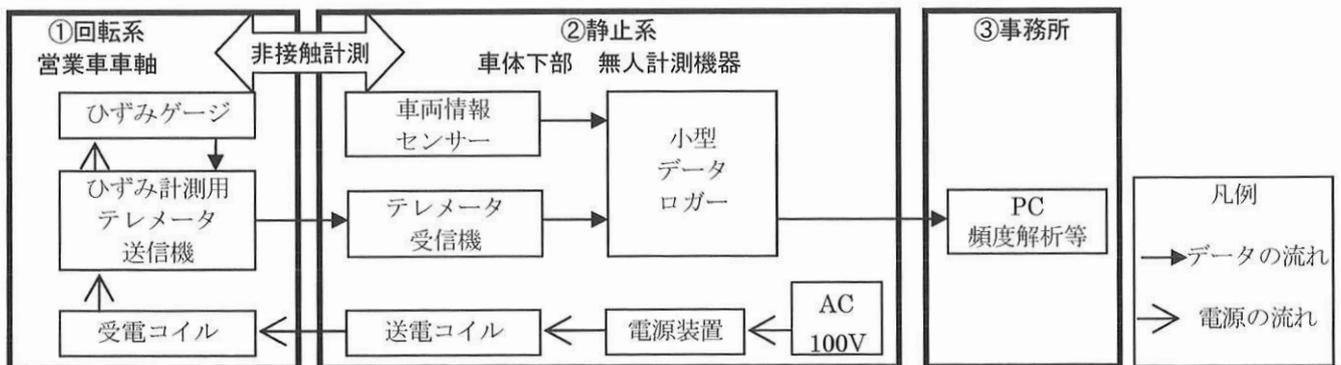


図 3 営業車長期無人計測 システム構成図(新規開発)

4.2 デジタルテレメータの採用

従来型テレメータの課題を解決するために、新たな方式の実用化に取り組んだ。従来型のアナログ方式に代えて、ノイズに強く、電波到達距離も長いデジタルテレメータを採用した。図4にデジタルテレメータのブロック図を示す。ひずみゲージの出力は送信機内のマイコンで A/D 変換され、無線 LAN と同じ 2.4GHz 帯の電波を使って受信機に送られる。受信機内のマイコンでは、逆に D/A 変換するが、これは車両情報センサーなどのアナログデータと車軸応力データの同時記録をするためである。

図5に受信アンテナの取付写真を示す。機器箱側面に取付けることで受信可能であり、従来型テレメータのように車軸周りにループ状のアンテナを設置する必要がなくなった。

4.3 誘導給電方式の採用

テレメータ送信機への電源供給は、図6に示す給電方法を用いて静止系から非接触で給電した。送電ドライバーに電車から AC100V を供給すると、受電コイルに約 AC6V が発生するように調整した。テレメータ送信機の電源は DC 動作であるため、整流器で AC/DC 変換して供給する。図7に営業車への搭載状況を示す。

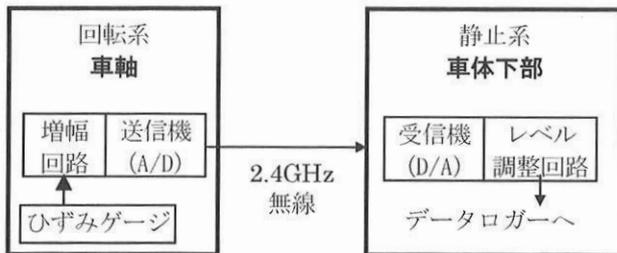


図4 デジタルテレメータ内部ブロック図

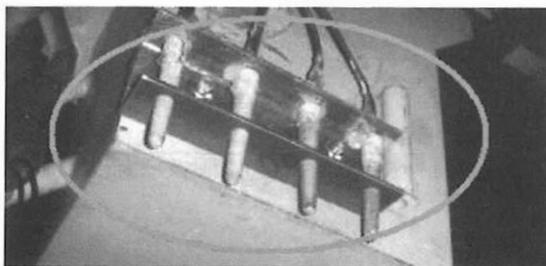


図5 機器箱側面に取付けた棒状受信アンテナ

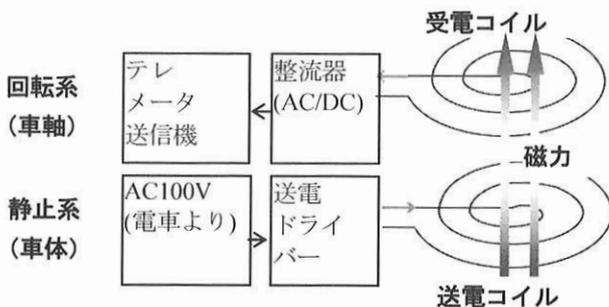


図6 回転系(テレメータ送信機)への給電方法

4.4 テレメータ収納治具の設計

テレメータを車軸に強固に固定するために、専用治具を設計した。図8に製作した治具の写真を示す。治具の材質は、耐振動性、電波透過性、耐候性、難燃性などの観点から、繊維強化プラスチック FRP (Fiber Reinforced Plastics) とした。2分割形状になっており、車軸に固定できるようにになっている。

事前確認として、弊社設備の加振器を用い、JIS E4031 鉄道車両用品—振動及び衝撃試験方法¹⁾に従って、テレメータ収納治具の耐振動試験を実施した。また、実車に近い状態を模擬するため 120km/h 相当で回転させた状態で加振し、使用上問題のないことを確認した。

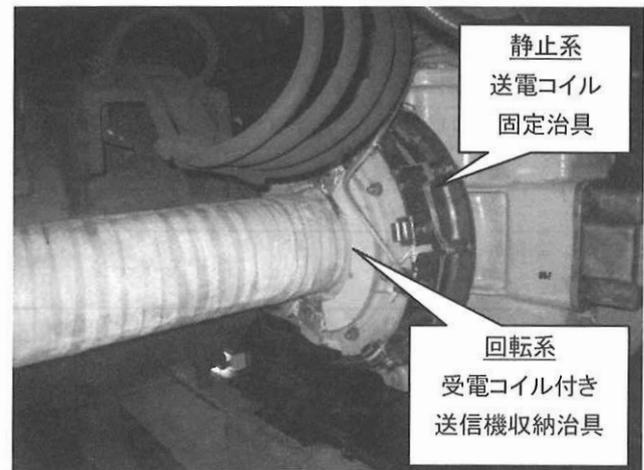


図7 誘導給電装置の営業車取付状況

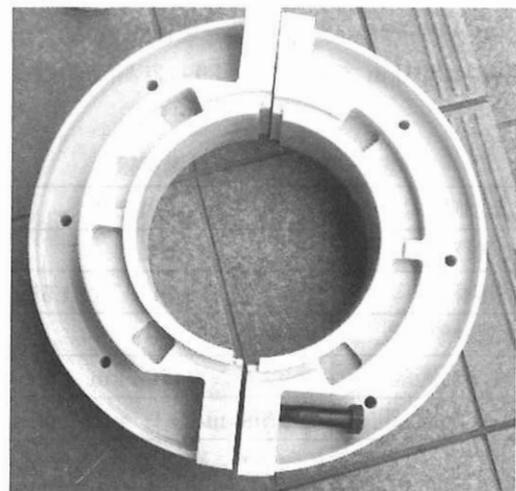


図8 テレメータ収納治具

4.5 無人自動収録

データロガーは、営業車の床下に取り付けた機器箱に収納できる小型のものとした。電車の電源はパンタグラフが上がる架線から供給され、同時にデータロガーの電源も入る。このデータロガーは電源投入と同時に収録動作を自動で開始するプログラムを搭載できる。また、パンタグラフが下がると収録途中で電源が切れるが、このときデータファイルが壊れるおそれがある。そこで UPS (Uninterruptible Power Supply) を内蔵することにした。電源断から約 30 秒間データロガーの電源を保持し、その間に収録ファイルを安全な状態にすることができるようにした。

4.6 車両情報の同時収録

車軸応力データの解析のために、表 1 に示す車両情報を同時に取り込み記録した。

表 1 車両情報

項目	計測方法
曲線検知	ヨー角速度センサー
進行方向	車体前後加速度センサー
乗車率	空気ばね内圧センサー
後軸モノリンクカ モーメント	ひずみゲージ
車速	車軸曲げ応力波形の 周期と車輪径から計算

5. システム性能の評価

5.1 試運転車による有人試験

最終確認として試運転車を用いた有人現車試験を実施した。システムは正常に動作し、ノイズの発生もなく、良好な計測を行うことができた。また、走行後、床下搭載機器を点検し、異常のないことを確認した。

5.2 営業車で無人計測システム稼働実績

東京地下鉄の営業車において約 4 カ月間、車軸応力を計測した。表 2 に示すとおり、計測対象日は 89 日、一日平均走行距離は 391km であった。図 9 に計測波形例を示す。

表 2 システムの稼働実績

計測期間	124 日
走行日数	101 日
車両稼働率	101 日/124 日 = 81.5%
計測対象日数	89 日
総走行距離	34798 km
一日平均走行距離	34798km/89 日 = 391.0km/日

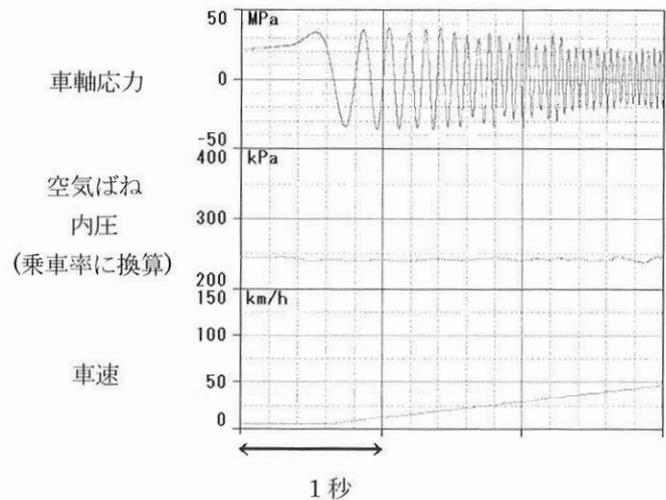


図 9 車軸応力と車両情報(一部)の計測波形例

6. まとめ

今回、営業車で車軸応力を長期間無人で測定するシステムの開発に国内で初めて成功した。システムの開発にあたって以下の技術を確認した。

(1) 従来の FM テレメータ方式から、新たに無線 LAN と同じ 2.4GHz 帯のデジタルテレメータを鉄道車両の車軸応力計測に初めて応用した。

(2) 長期間の無人計測を可能とするため、回転系のテレメータおよびセンサーへの給電には、従来のバッテリー方式から、新たに誘導給電方式に変更した。

(3) 車軸に搭載するテレメータの固定治具は FRP 製とすることで、営業線において安全にかつ長期的に計測することができた。

(4) 国内で初めて営業走行車両の実働車軸応力計測し、実運用条件で発生する応力を解明するためのデータを得た。

参考文献

1) JIS E4031 鉄道車両用品—振動及び衝撃試験方法