# パンタグラフ測定システムの開発

○責	責 勇	森田	日晃	工藤	高裕	小身	良 和衫	谷(富士電機株式会社)
吉田	雄史	中村	幸太郎	下山	拓紀	岡田	洋祐	(東海旅客鉄道株式会社)

Development of a pantograph monitoring system

○Yong Huang, Akira Morita, Takahiro Kudo, Kazuhiro Koizumi (Fuji Electric Company) Yuji Yoshida, Kotaro Nakamura, Hiroki Shimoyama, Yosuke Okada (Central Japan Railway Company)

The pantograph condition monitoring system plays an important role in efficient maintenance of railway. The pantograph system has the same voltage of 25000Vac as contacting with the wire, so it usually uses a battery to power the system in order to keep electrical insulation between pantograph and the body of train. However, the battery change maintenance occurs frequently because of a high power consumption of the system. Therefore, this work presents an efficient method to extend the runtime of battery by using magnetic field power generation from the collection current of pantograph.

# キーワード:パンタグラフ,予防保全,状態監視,自立電源,磁場発電

Keywords: pantograph, preventive maintenance, condition monitoring, independent power supply, magnetic field power generation

## 1. はじめに

車両への電力供給する設備である電車線と集電装置は、 電気鉄道における必要不可欠な設備である。集電装置は電 車線に接触し、高速でしゅう動しながら車両に電気を取り 込む(これを集電という)ため、安定した集電状態を維持する ことが必要である。安定した集電状態を維持するため、専用 の新幹線電気軌道総合試験車を用いた定期的な電車線検測 が行われており、専用の検測用パンタグラフを用いた測定 が行われている<sup>(1)</sup>。今後は保守のさらなる省力化のため、検 測の高頻度化が必要であり、通常の営業走行車両での検測 が可能な、営業車両搭載型状態監視装置の実用化が進めら れている<sup>(2)(3)</sup>。

本研究では、営業走行車両に搭載可能で、かつ長時間測定 が可能な新たなパンタグラフ測定システムを開発した。従 来システムではバッテリにより 8 時間程度の連続測定しか できなかったが、測定系の低消費電力化により 312 時間の 長時間連続測定が可能となった。さらに、走行中の集電電流 による磁場発電によりバッテリを充電するシステムも開発 し、測定時間をさらに延伸可能なことを確認した。

## 2. システム概要

パンタグラフ測定システムは、走行中に屋根上のパンタ グラフの挙動(パンタ高さ、上下振動、前後振動、歪みなど) をリアルタイムに計測し、車内に設置した観測・データ収集 機器へデータを伝送するシステムである。パンタグラフ測 定システムは車両の屋根上に搭載するため、省メンテナン スと車内からリモート操作対応の利便性が求められてい る。

## 2.1 従来の測定システム

従来の測定システム<sup>(4)(5)</sup>はセンサ部、データ集約部、無線 通信部、電源部で構成されている。図1に従来の測定システ ムの概要を示す。センサ部の加速度センサ、歪みゲージ、ス トロークセンサで測定したデータは、データロガーに保存 すると同時に、無線 LAN アンテナを介して車内観測 PC に リアルタイムに伝送している。これら屋根上の測定システ ムの電源は屋根上に設置したバッテリから供給される。



図1 従来の測定システム概要図

従来の測定システムでは市販のデータロガー(最大消費 電力20W)および無線LANモジュール(最大消費電力20W) を使用したため、消費電力が18W(12V、1.5A)と大きく なり、搭載可能なバッテリ(12V、8Ah、2個並列)では約 8時間しか測定できないことが分かった。屋根上で車両から ガイシで絶縁されている箇所に設置しているパンタグラフ 測定システムは架線と同じ電位交流25000Vであり、車両 本体からの電源供給は容易ではない。従来のシステムでは、 毎回の走行ごとに充電されたバッテリを用いて測定を実施 していた。このメンテナンス作業は毎回、屋根上で作業員が バッテリの交換作業を実施するため、高頻度な測定を実施 する場合には交換作業が頻発するという課題がある。その ため、バッテリ交換頻度を低減するための測定システムの 省電力化、更にメンテナンスレス化が求められ、新たな測定 システムの研究開発を進めた。

## 2.2 開発した新システム

従来のシステムを省電力化するため、汎用データロガー の代わりに低消費電力のマイコンを使用することと、バッ テリ稼働時間を更に延ばすための磁場発電の二本立てで研 究開発を進めた。

(1) 低消費電力化

従来のシステムにおいて、消費電力が最も大きいのは市 販品を用いているデータロガーと無線 LAN モジュールで あり、これらの省電力化に着目した。そこで、データ収集と 無線通信制御を担当するマイコン、無線通信を担当する無 線 LAN モジュールを、それぞれ低消費電力の専用品とする 構成で検討した。また、これら回路の電源供給として、バッ テリ電圧からマイコン電源電圧へ変換するための DC-DC 降圧コンバータは高効率なものを採用することで降圧ロス を抑えた。

(2) 耐ノイズ性

パンタグラフのような過酷な環境(高圧、大電流、アーク など)では、低消費電力のマイコンや無線モジュールを載せ た回路の耐ノイズ性が高く要求される。そこで、耐ノイズ性 の対策として、主に以下の2点が挙げられる。架線と接触す る舟体の加速度などを測定するセンサの信号 GND を直近 の舟体(金属導電体)と同電位とすることで、金属舟体がシ ールド効果を示し、舟体と架線で生じるアークによる電磁 ノイズの影響を低減する。また、複数の加速度を測定するセ ンサの信号を集約する演算装置も舟体内部に設置すること により、舟体からの信号をデジタル化してシリアル通信が 可能となるため、信号線の本数を低減することができ、ノイ ズシールド付きの太いケーブルを使用し、ノイズの影響を 低減できる。

開発した新システムの概要について図2に示す。舟体内 部に加速度センサを取付け、平衡リンク下部にはパンタグ ラフ高さを検知するストロークセンサを取付け、舟体の動 特性を測定する。舟体内部の加速度センサのデータはデジ タル化され、平衡リンク内をシリアル転送し、台枠に設置し ているマイコン回路①へ送信される。マイコン回路①はス トロークセンサからの情報も取得し、合わせて Wi-Fi 通信 にて屋根上に設置しているアンテナを経由して車内にある 受信回路へデータを伝送する。伝送されたデータは、受信回 路にて他の車両情報データ(速度、位置など)と結合され、 PC ヘデータ送信される。PC では伝送された情報をリアル タイムで表示すると共にハードディスクに保存する。



## (3) 磁場発電

測定システムの低消費電力化を行いつつ、集電電流を活か した磁場発電を併用してバッテリ稼働時間を延ばすことを 狙った。図3に開発した新システムの電源系統図を示す。ガ イシの上部にクランプした磁場発電機、バッテリ、充放電制 御回路と測定システムで構成した。充放電制御回路は磁場 発電機からバッテリへの充電、バッテリから測定システム への電源供給を制御するとともに、バッテリの過充放電保 護機能を備える。磁場発電機の発電特性を把握するため、電 池式電流ロガーを用いてバッテリへの充放電電流を測定し ているが、本来の測定システムでは電流ロガーを搭載しな い予定である。図4に開発した新システムおける屋根上の 部分のイメージ図を示す。



図3 開発した新システム電源系統図



表1に従来システムとの比較を示す。省電力化のため、低 消費電力のマイコン、専用の無線モジュールを使用して、デ ータ収集と無線通信を実現している。さらに、電源自立化を 狙うための磁場発電方式を採用して、バッテリが測定シス テムへ電力を供給すると同時に、磁場発電機からバッテリ へ充電することを実現している。以上より、開発した測定シ ステムの消費電力は従来システムと比べ、大幅に低減でき ると考えられる。

項目		従来のシステム	開発のシステム
センサ部	加速度	<ul><li> 歪ゲージ式加速度セン</li><li> サ、3 個、3ch</li></ul>	MEMS 加速度センサ、 3 個、6ch
	歪	4 ゲージ法、2ch	なし
	高さ	ストロークセンサ、1ch	同左
サンプリング 周波数		2000Hz	同左
データ収集		市販データロガー (消費電力最大 20W)	マイコン (消費電力 60mW)
無線通信		無線 LAN モジュール (消費電力最大 20W)	Wi-Fi モジュール (消費電力 200mW)
無線スイッチ		市販無線 (消費電力 50mW)	なし (コマンドで制御)
バッテリ		12V 鉛電池、8Ah 2 個	同左
自立電源		なし	磁場発電
システム消費 電力		18W(実測値)	0.7W(設計値)
バッテリ稼働 時間		8h(実測値)	磁場発電なしの場 合:336h (設計値)

表1 従来システムとの比較

#### 3. 現車走行試験

#### 3.1 試験結果

開発した新システムを N700S 確認試験車に搭載し、東海 道新幹線区間にて走行試験を実施した。

走行試験結果の一例として、東京駅から新大阪駅間の走 行時における測定結果を用いて説明する。測定データはパ ンタグラフの状態を観測するためのセンサ部のデータと発 電特性を把握するための電源部のデータである。表2に主 な測定データの詳細を示す。加速度センサはパンタグラフ の舟体内部に両端(シリンダ側、バネ側)、中央の三箇所に 設置し、それぞれ上下方向と前後方向の2方向のデータを 測定した。新幹線はトロリ線のわたり線交差箇所を通過し た時、わたり線からパンタグラフに大きな衝撃を与えるこ とが分かっている。図5に駅出発直後のわたり線を通過す る時に取得したデータを示す。上下方向、前後方向とも大き な加速度が観測され、パンタグラフが衝撃を受けたことが 分かる。また、この現象は別の走行日にも同じ地点で観測さ れ、再現性があることを確認した。また、そのような衝撃の ある状態でも電源部から測定システムへ安定に電源を供給 することを確認した。

表2 主な測定項目

	測定項目						
	加速度上下方向(シリンダ、中央、バネ)						
センサ部	加速度前後方向(シリンダ、中央、バネ)						
	パンタ高さ						
	バッテリ電圧						
雪》百寸/	発電機からの充電電流						
电你司	バッテリの充放電電流						
	測定システムの消費電流						



図5 測定データ(キロポスト、高さ、加速度)の一例

次に電源部の測定結果を説明する。図6、7に東京駅から 新大阪駅間の走行時の発電電流とバッテリ電圧変化を示 す。ここで、発電電流は発電機の出力からバッテリ充電まで の効率を考慮したバッテリへの充電電流である(図3に示 す)。なお、集電電流と発電電流は瞬時値ではなく全走行区 間の時間積分値により評価した。集電電流に対する発電電 流の設計値は 0.92mA/Arms±10%である。図6に今回測定 した結果を示す。その結果は 0.98mA/Arms で設計値の範囲 内であることを確認した。

また、この走行区間で列車速度とバッテリ電圧の変化を 図7に示す。バッテリは測定システムへ電源を供給しなが ら、電圧値が増加していることが観測され、発電機から充電 されていることを確認できた。





### 3.2 考察

測定システムで取得したデータにおいて、わたり線のような特徴がある地点で加速度の変化を再現性良く観測できたため、パンタグラフや架線の異常検知に貢献することが 期待できる。

省電力化において、測定システム消費電力の実測値は 0.66W であった。測定システムの稼働時間は磁場発電を実施しない場合に 312時間であり、従来システムより、39倍 長く稼働することができた。これより省電力化の有効性を 確認できた。また、磁場発電を利用することでバッテリの稼 働時間が 832 時間(走行前後車庫での待機時間を含む)と 観測され、磁場発電を実施しない時と比べ、バッテリ稼働時 間がさらに 2.6 倍延長することができ、磁場発電による電源 自立化の効果を確認できた。その比較結果を表3にまとめている。

なお、走行試験期間中のバッテリ電圧を確認すると、走行 頻度が小さい期間においてバッテリ電圧の低下が認められ た。これは、走行しない期間の測定システムの待機電力に よる消費電力量が、走行中の発電電力量を上回ったためで ある。走行頻度が小さい場合には、測定システム待機電力の 更なる省電力化が必要であることが分かった。

表3 バッテリの稼働時間

従来のシステム	開発のシステム						
磁場発電なし	磁場発電なし	磁場発電あり					
8h	312h	832h					

## 4. まとめ

本研究では、パンタグラフ測定システムを試作し、N700S 確認試験車に搭載し走行試験を行った。測定システムは通 信部等問題なく稼働し、加速度、ストローク各種の測定デー タを無線で収集することができた。また、測定システムの省 電力化対策において、従来システムより消費電力を大幅に 低減できた。さらに、電源自立化対策において、測定システ ムを動作させながら、パンタグラフの集電電流を利用した 磁場発電機からのバッテリへの充電を確認できた。バッテ リの稼働時間を延ばすことより、省メンテナンスを実現し た。以上の結果より、今回開発したシステムはパンタグラフ の状態監視システムとしての実用化が見えてきたと考えら れる。

今後は、走行頻度が小さい場合における測定システムの バッテリ電圧低下を防ぐための電源システムの最適化を図 り、あらゆる走行パターンで測定システムへ安定的な電源 供給ができるよう改良を行っていく。

## 献

文

- (1) 田口 尚, 永沼 泰州:「ドクターイエロー・ドクター東海を用いた線路設備の検査」, 計測と制御, Vol.56, No.2 pp.131-137 (2017)
- (2) 作田 大輔, 浜岡 敬伸, 明石 洋介, 田中 賢治:「営業車に搭載可能 な検測技術の開発と実用化」, 日立評論, Vol.100, No.05 pp.74-78 (2018)
- (3) 比佐 隆文, 金谷 元就, 坂井 光夫, 浜岡 敬伸:「安全・安心な鉄道 輸送を支える軌道・架線検測技術」, 日立評論, Vol.94, No.06 pp.41-45 (2012)
- (4) 小山 達也,池田 充:「電車線とパンタグラフの接触力を測る」, RRR, Vol.69, No.4 pp.4-7 (2012)
- (5) 中村 幸太郎, 井上 輝明, 齊藤 真吾, 成瀬 功:「パンタグラフ接触 力測定に関する取り組み」, 第 21 回鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail 2014)講演論文集 (2014)