

振動発電デバイスを用いた簡易な列車振動監視方法の基礎的検討

株式会社ジェイアール総研情報システム 正会員 蒲地 秀矢
 公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 村本 勝己
 オムロン株式会社 生田雅代 鮫島裕 内田大道

1. はじめに

線路近接工事箇所や路盤陥没等の恐れのある箇所では列車の安全な運行を保証するために、軌道や路盤の状態を常時監視するシステムへのニーズが高まっている。現在、鉄道で使用されている常時監視システムは基本的に静的な変位を監視するものであるが、軌道や路盤の異常を検知するには、静的な変位よりも列車振動の変化を監視する方がより早く異常を検知できる場合が少なくない。しかしながら、一般に、動的な振動監視はコストが高く、また、測定機器を一定時間連続駆動する必要があるため、バッテリー駆動の無線センサネットワークを用いた常時監視システムとは相性が悪い。

筆者らは、無線センサネットワークを用いた静的な軌道変位常時監視システムの開発を進めているが、これに列車振動の監視を行う機能を付加することを検討している。本稿では、筆者らが考案した、無線センサシステムに適用可能な簡易な列車振動監視方法について、実物大軌道模型を用いた載荷試験で検証した結果について報告する。

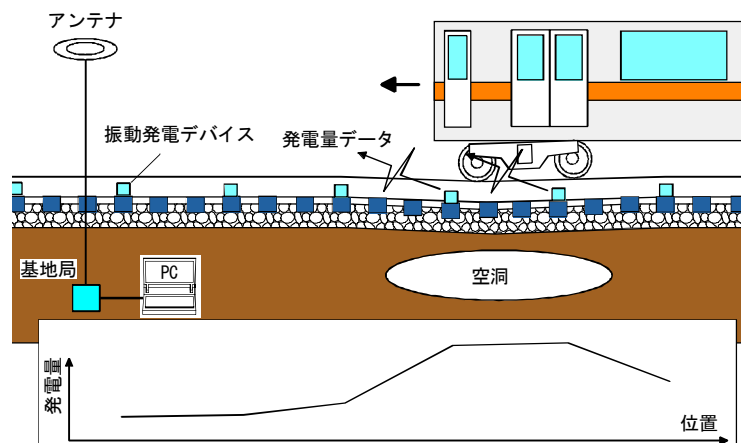


図1 振動発電デバイスによる列車振動監視の概念図

2. 簡易な列車振動監視方法の概要

鉄道では、列車の運行本数、列車編成および列車速度は運行スケジュールで厳密に管理されているため、ある特定の時間帯に通過する列車が、ある特定の箇所で発生させる振動値は、軌道や路盤の状態が同じであれば概ね同等となる。ここで、軌道や路盤に何らかの異常が生じて軌道の支持剛性が変化すると、そこで発生する列車振動の特性も変化する。すなわち、振動の絶対値がわからなくても、振動特性の変化を検知することができれば、少なくとも軌道や路盤の状態の変化を検知することができるはずである。そこで、筆者らは、軌道に振動発電デバイスを取付けて列車振動を静的な発電量に変換し、間欠周期毎の発電量の変化から振動特性の変化を検知するシステム(図1)を考案し、開発を進めている。本システムの特徴は以下の通りである。

- ① 一般的な動的なデータ収集手法より格段に収集データ量を落とすことができるため、データ伝送量に制限がある無線センサネットワークでも容易に使用できる。
- ② 発電デバイスを用い、キャパシタの蓄電量によって振幅を推測することになるので、駆動のための電力が不要で極めて省電力。
- ③ 発電デバイスがトリガとしても機能するので、別途トリガ機構が不要であり、システムの構成要素を単純化可能であることから低コストなシステムが見込める。

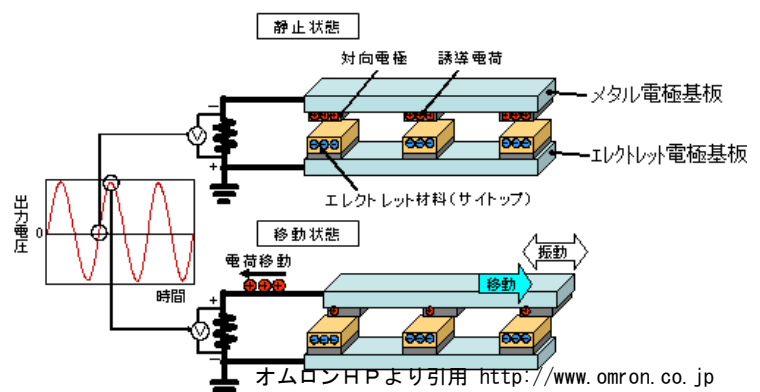


図2 エレクトレット発電の概念図

キーワード 環境振動発電デバイス, センサ, 列車振動, 路盤変状

連絡先 〒185-0034 東京都分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7266

本研究では振動発電デバイスとして、列車振動の周波数帯域においても高効率の発電が見込めるエレクトレット振動発電デバイス(図2)を用いて評価を行った。エレクトレット発電とは、エレクトレット電極に対向電極が近づくことで起こる静電誘導現象を利用し、振動によってこれらの電極の重なり面積を変化させることで移動した電荷を外部回路に取り出して発電を行うものである¹⁾。

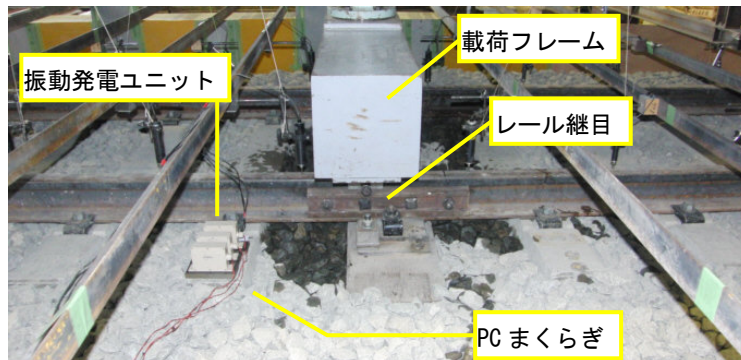


図3 繰返し载荷試験の状況

3. 評価試験

振動発電デバイスの評価を行うため、実物大軌道模型を用いた繰返し载荷試験を行った(図3)。路盤は K_{30} 相当値が 50MN/m^3 程度の比較的剛性の小さい路盤条件とし、一般的なバラスト軌道のレール継目部を想定した軌道模型を構築した。振動発電デバイスを組込んだユニットは継目に隣接したまくらぎ上に固定した。载荷は、レール継目直上への定点繰返し载荷とし、荷重は軸重 160kN 、周波数 5Hz の正弦波荷重とした。载荷回数は 120 万回とし、途中約 40 万回で軌道に大量の降雨を想定した散水を行い、意図的に軌道に変状を発生させた。

本試験では、振動発電デバイスが発電した電気は評価用回路のキャパシタに一旦充電し、キャパシタの電圧が 3V を超えるとLEDを点灯させて放電させるように設定した。この放電回数を単位時間ごとにカウントして、振動発電デバイスの発電量に換算した。

図4にレール変位振幅と発電量の関係を示す。軌道状態が正常な初期では発電量は $1\sim 2\mu\text{W}$ であったが、軌道に変状が発生し、浮まくらぎが顕著になってレール変位振幅が急増すると、発電量も $4\mu\text{W}$ 以上に急増し、軌道変状を検知することが可能であることがわかった。

図5にレール変位振幅と発電量の関係を示す。バラツキはあるものの、レール変位振幅とデバイスの発電量は概ね線形の比例関係を示していることが確認された。

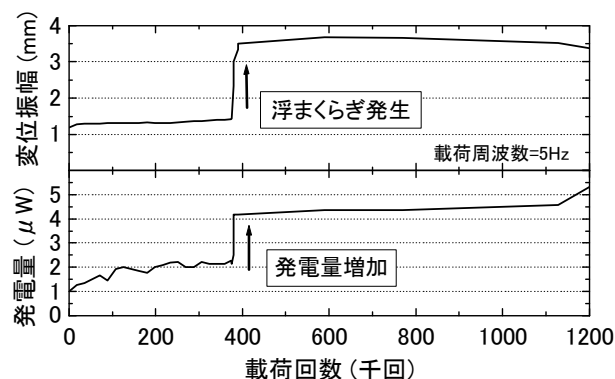


図4 レール変位振幅と発電量の推移

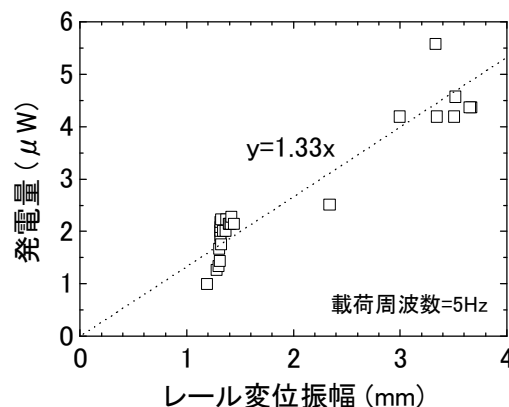


図5 レール変位振幅と発電量の関係

4. おわりに

開発中の簡易な列車振動監視方法は、振動の絶対値を評価できるかは不明であるが、少なくとも軌道や路盤状態の変化を検知可能であることが確認できた。本計測手法は、無線センサネットワークへの適用も容易であり、従来の動的な振動計測手法に対し大幅に低コストで自動計測化が図れる可能性があると考えられる。今後は、本計測手法を用いた無線センサシステムを試作し、営業線等での評価を進める予定である。

参考文献

- 1) Yuji Suzuki, "Recent Progress in MEMS Electret Generator for Energy Harvesting", IEEJ Trans. Electr. Electr. Eng., Vol. 6, No. 2, (2011), pp. 101-111.