

自己給電機能を持つ浮上式鉄道用の異状検知センサの開発

浮上式鉄道技術研究部 低温システム研究室
主任研究員 田中 実

1. はじめに

超電導磁気浮上式鉄道の高速走行時の安全を確保するには、地上コイルなど沿線設備の状態監視が重要である。しかし、多くのセンサを沿線に設置する際、電源線や信号線が必要となり、これら配線を省略できれば、設置コストの低減や利便性の向上が期待できる。そこで、浮上式鉄道特有の変動磁場を利用して自己給電を行い、自律して振動加速度と温度を監視して、センサデータを無線送信できる異状検知センサを開発したので紹介する。

2. 浮上式鉄道用異状検知センサ

図1に異状検知センサを用いた状態監視システムの構成例を示す。ガイドウェイの側壁に連続的に設置された地上コイルは、車両通過時に超電導磁石との相互作用によって加振される。振動を模擬したベンチテストを行うと、通常走行時は大きな振動は発生しないが、側壁固定ボルトの軸力を低下させると振動が増大した¹⁾。そこで、地上コイルに加速度センサを内蔵して、車両通過時の振動を監視すれば、ボルトの軸力低下が検知できると考えられる。また、加速度センサは飛来物の衝突検知や側壁の傾き監視などにも利用できる。一方、地上コイルの強度部材である樹脂材料の物性は温度の影響を受ける。そこで、地上コイルの通電による樹脂材料の温度上昇の監視も重要である。以上の検討より、状態監視用センサとして加速度センサと温度センサを選定した。

地上コイル毎にセンサを内蔵する場合、配線数が多くなり作業は容易ではない。そこで、信号線をなくすため、異状検知センサで取得したデータは、側壁上のデータ収集装置に無線送信することとした。一方、電源線を無くすには一次電池の利用が考えられるが、地上コイルに内蔵した膨大な数のセンサの電池交換は容易ではない。そこで、浮上式鉄道特有の変動磁場を利用した給電装置の検討を行った。

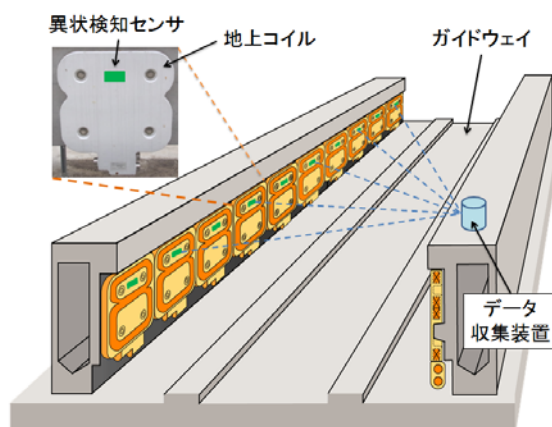


図1 異状検知センサを用いた状態監視システム構成例

3. 給電に利用する変動磁場

異常検知センサの給電には、列車がセクションと呼ばれる電氣的に区切られた領域を通過する際、地上コイルから発生する変動磁場を利用することとした。変動磁場の周波数 f [Hz] は、超電導磁石の極ピッチ τ [m]、速度 v [m/s] とすると、以下の式で表される。

$$f = v / 2\tau \quad (1)$$

ここで、 $v=500\text{km/h}$ (138.9 m/s)、 $\tau=1.35\text{m}$ とすると、 $f=51.4\text{Hz}$ となる。高速走行区間に異常検知センサを設置することを想定して、設計では 50Hz とした。変動磁場の発生時間は、セクション長や列車速度などに依存するが、設計では 300 秒あたり 10 秒間発生すると仮定した。

4. 異常検知センサの試作

図 2 に試作した異常検知センサの外観を示す。小型無線加速度センサ (WAA-004R: ワイヤレステクノロジー製)、温度センサ、給電装置により異常検知センサを構成した。給電装置は地上コイル肉盗みに内蔵可能なサイズ (縦 60mm×横 130mm×高さ 53mm) で、外周に 500 ターン巻線した給電コイル、内側に給電回路を配置した。

図 3 に異常検知センサの電力および信号の流れを示す。間欠的に短時間発生する変動磁場を利用して長時間センサを稼働させるには蓄電が必要となる。小型無線加速度センサには 150mAh のリチウムポリマバッテリーが内蔵されているが、急速充電が困難という課題があった。そこで、パワー密度が高く、サイクル寿命が長いポリアセン系有機半導体キャパシタ²⁾ (PAS キャパシタ) を併用した。地上コイルから発生した変動磁場は、給電コイルで交流に変換後、整流/平滑回路、過電圧保護回路を介して、5 直列の PAS キャパシタ (最大使用電圧 3V、容量 9F: 太陽誘電製) に急速充電した。なお、各キャパシタの蓄電量のばらつきを抑えるため、並列モニタ³⁾ を用いて分担電圧を均一にした。蓄電電圧はマイコンで監視して、充電後に 6V 以上であれば、出力電圧 5V の三端子レギュレータを介して、小型無線加速度センサのリチウムポリマバッテリーに給電を行い、4V 以下で給電を停止した。

状態監視方法について、地上コイルの変動磁場を検知すると、給電装置のマイコンから小型無線加速度センサに計測指令を送り、車両通過時の三軸加速度と時刻をデータ収集装置に無線送信した。変動磁場の発生が停止すると、樹脂の温度上昇を監視して、閾値を超えた場合は温度データも無線送信した。

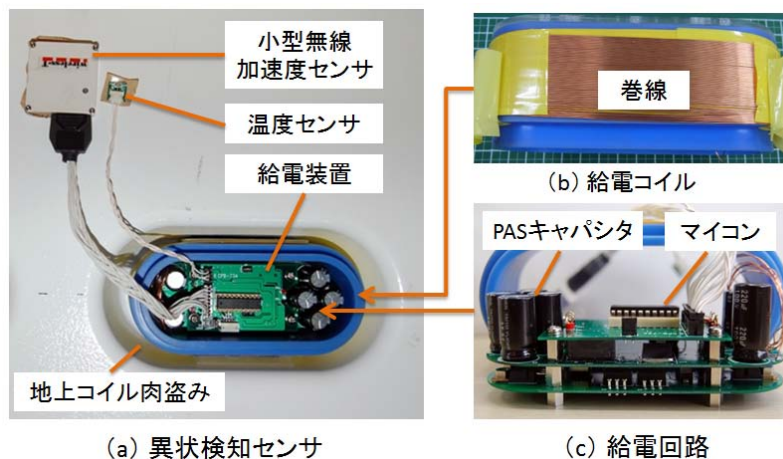


図 2 試作した異常検知センサ

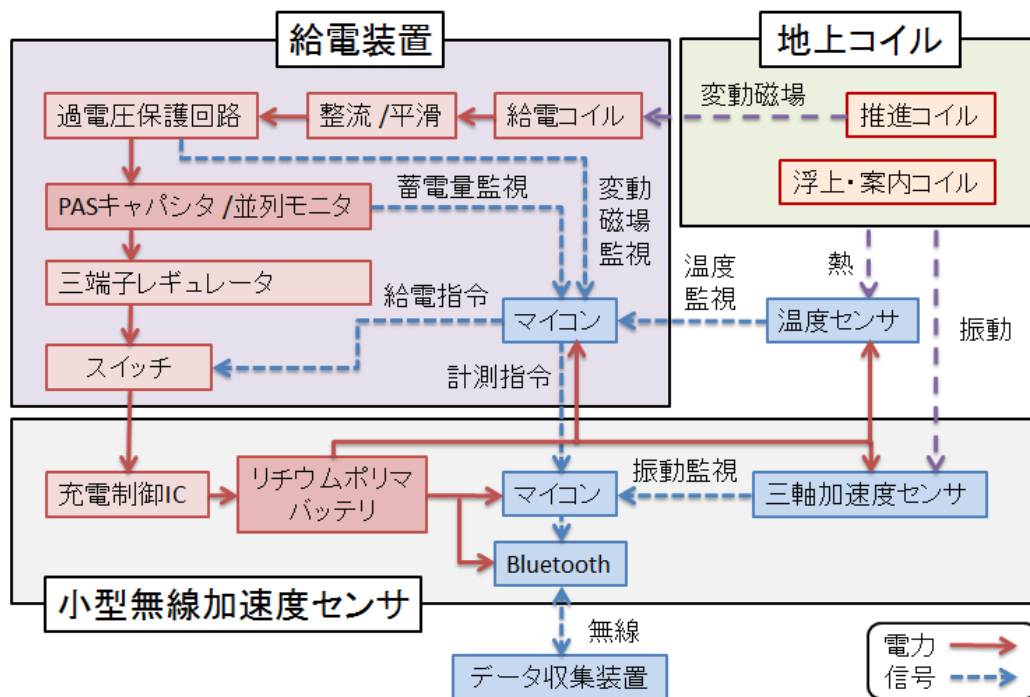


図3 異状検知センサの電力および信号の流れ

5. 異状検知センサの動作確認

異状検知センサの動作確認のためベンチテストを行った。図4に試験の様子を示す。鉄道総研が開発した推進・浮上・案内兼用地上コイル⁴⁾(PLGコイル)の肉盗みに給電コイルを内蔵した。電流値は50, 100, 150, 200Arms (50Hz)の4条件で、300秒あたり10秒間のサイクル通電を行い、PLGコイルから間欠的に変動磁場を発生させた。給電回路は給電装置から取り出して計測器と接続を行い、PASキャパシタの充放電特性や小型無線加速度センサへの給電特性を調べた。異状検知センサから自律して送信される振動加速度と温度は、データ収集装置を模擬したパソコン(通信ソフト Tera Term)で受信した。



図4 異状検知センサの動作確認

図5に5直列のPASキャパシタの充放電特性を示す。PLGコイル電流を50Armsとした場合、変動磁場発生毎にPASキャパシタ電圧が上昇していき、10セット目で6Vを超えて放電を開始して、4Vで停止した。一方、100Armsでは2セット目、150Arms以上では1セット目から急速充電と放電を繰り返した。図6に10セット目のPASキャパシタの充放電特性と小型無線加速度センサへの給電特性を示す。10秒間の急速充電時間に対するリチウムポリマバッテリーへの給電時間は、100Armsでは約2倍、150Armsでは約4倍、200Armsでは約6倍となり、PASキャパシタの併用効果が確認できた。さらに、異状検知センサの連続稼働試験を8時間行った結果、100Arms以上では小型無線加速度センサに十分な給電を行うことができ、変動磁場発生中は振動加速度、発生後は温度を測定して、監視結果をデータ収集装置に無線送信できることを確認した。

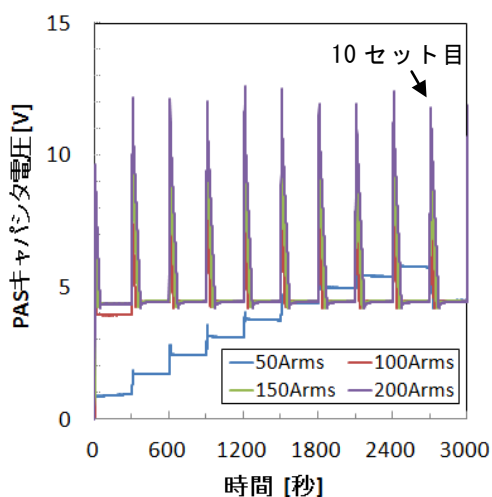


図5 PASキャパシタの充放電特性

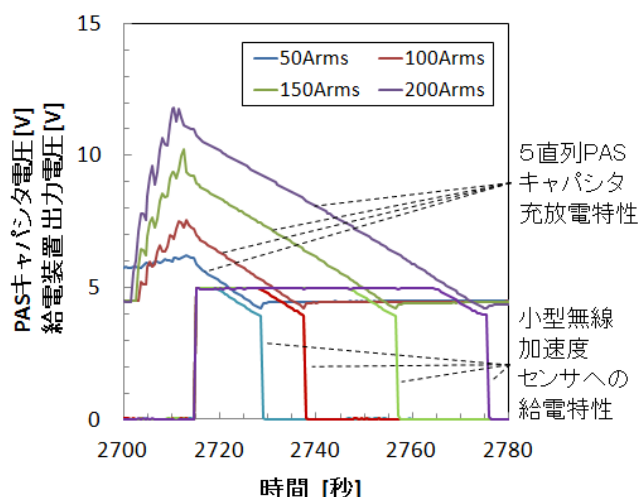


図6 10セット目の充放電特性と給電特性

6. まとめ

超電導磁気浮上式鉄道の高速走行時の安全を確保するため、地上コイルに内蔵するだけで複雑な電源線や信号線の配線なしで状態監視ができる異状検知センサを開発した。地上コイルから発生する変動磁場を利用して、PASキャパシタに急速充電後、リチウムポリマバッテリーに給電することでセンサを長時間稼働させる自己給電機能を持ち、自律して振動加速度と温度を測定して、監視結果をデータ収集装置に無線送信できることを確認した。

本研究開発の一部は、国土交通省からの国庫補助を受けて実施した。

参考文献

- 1) 田中 実, 鈴木正夫: 地上コイル異状検知への加速度センサの適用検討, 平成 24 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp.Ⅲ-375-Ⅲ-376, 2012
- 2) エネルギー供給の多様化に対応する PAS キャパシタ/リチウムイオンキャパシタの適用, Taiyo Yuden Navigator, Vol.4, pp2-9,2010
- 3) 岡村廸夫: 電気二重層キャパシタと蓄電システム 第二版, pp.144-158,2001
- 4) 饗庭雅之, 鈴木正夫, 田中 実, 松江 仁, 鈴木裕之: 浮上式鉄道用高機能化推進・浮上・案内兼用地上コイルの開発,平成 19 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp.Ⅲ-167-Ⅲ-168, 2007