

ITを活用した地上コイルの保守管理手法に関する検討

浮上式鉄道技術研究部 電磁路技術
研究室長 鈴木 正夫

1. はじめに

超電導磁気浮上式鉄道において、軌道の全線に亘って敷設される地上コイルは、長期間の屋外使用が前提となるばかりでなく、膨大な数が対象となる。そのため、地上コイルの安定運用に際しては、定期的な保守作業により安全性を確保する必要がある。従って、適正かつ簡易な保守管理手法の確立が、保守コスト低減やシステムの信頼性を確保する上で、極めて重要であると考えられる。本発表では、IC タグを利用した地上コイル個別情報管理手法並びに、トラブルの未然防止を目的とした地上コイル自己診断手法の開発状況について紹介する。

2. 検討の背景

現地に敷設される地上コイルは長期間の屋外使用が強いられるため、製造時から現地敷設、実運用に至るまで高度な品質管理が必要となる。ところが、製造メーカーや取付仕様、施工業者等が異なる種々のコイルを軌道の全線に亘って適正に管理することは容易ではない。また、作業記録に基づく定期的な保守データの更新は、多大な労力を要するばかりでなく、現物照合の困難さからデータベースの信頼性そのものを低下させかねない。そこで、地上コイルの製造から保管、敷設、保守運用に至る個別情報を個々のコイルに内蔵させた IC タグに記録、更新することを前提に、最新かつ正確なデータベースの一元管理を目指し、地上コイルの新たな保守用途として個別情報管理手法を検討した。

また、実運用時のトラブルを未然に防止するためには、トラブルに繋がる可能性のある異状状態を在姿で診断する必要があり、極力人手に頼らず信頼性の高い自己診断手法の構築が急務となっている。

3. IC タグを利用した個別情報管理手法の検討

3.1 IC タグの選定

IC タグは、バーコード等と異なり比較的大量のデータが扱えるばかりでなく、必要に応じタグ内の情報を書き換えられる利点から、広範囲な用途に急速な普及展開が図られている。地上コイルへの適用に際しては、特有の使用環境（長期屋外使用、振動、磁場、高電圧等）を考慮し、耐熱性樹脂で成形したコイン型 IC タグを選定した。表 1 に IC タグの使用条件を示す。

3.2 IC タグ埋込型地上コイルの試作

IC タグの地上コイルへの適用に際しては、現地使用時の環境劣化や振動による脱落を避けるため、樹脂による一体成形時に一緒に埋め込む方法を選択した。対象コイルは、鉄道総研にて開発中の PLG と呼ばれる推進・浮上・案内兼用型とした。特別高圧機器である同コイルには、現地に設置した際の車両面側に厚さ約 3mm の保護層が設けられている。本試作では、この保護層のスペースを利用して IC タグを埋め込んだ。図 1 に IC タ

表 1 地上コイル用 IC タグの使用条件

項目	条件
1. 製造時最高温度	120℃
2. 環境温度	-30~50℃
3. ICタグ表面電位	数十V
4. 磁場環境	最大1T(直流及び交流)
5. 振動加速度	最大300m/sec ²
6. 目標使用年数	35年間

グの設置位置を示す。因みに、保護層の両面には電気的接地処理が施されているため、IC タグが高電圧に曝される恐れはない。

3.3 試作コイルによる IC タグの性能評価

試作コイルに埋め込んだ IC タグを対象にデータ読み取り試験を行い、製造時の温度環境（120℃）や出荷時の耐電圧試験（AC70kV／1 分間）に対しタグ情報に影響がないことを確認した（図 2 参照）。また、励磁下の超電導磁石に当該コイルを対向させ、運用 35 年間相当の電磁加振による耐久性試験（図 3 参照）においても、IC タグの読み取り機能に問題がなく、直流高磁場や耐振動性においてタグの耐久性を確認した。



図 1 IC タグ設置箇所 図 2 IC タグ読み取り試験状況 図 3 IC タグ耐久性試験状況

4. 地上コイル個別情報管理装置の開発

4.1 地上コイル個別情報とデータ形式

個々の IC タグに記録できる情報量には限りがあるため、地上コイルの製造、保管、敷設、保守運用等の各段階における個別情報を可能な限りコード化し、実使用時のより多品種な情報に対応できるようにユーザ領域を確保した。また、各情報をブロック単位で区切ると共にヘッダーを設けることにより、情報の検索や読み書きが瞬時に行えるよう工夫を加えた。

4.2 個別情報管理装置の構成

個別情報管理装置は、地上コイルに内蔵された「IC タグ」、無線 LAN を介したデータ転送機能を有する「地上コイル個別情報読み書き装置」、取得データに基づくデータベースの自動作成や任意のデータ検索が可能な「転送データ管理装置」から構成される（図 4 参照）。なお、本個別情報管理装置では、運用上の工夫により情報管理のみに止まらず、現地保守点検作業時の「作業指示装置」として活用することも可能である²⁾。

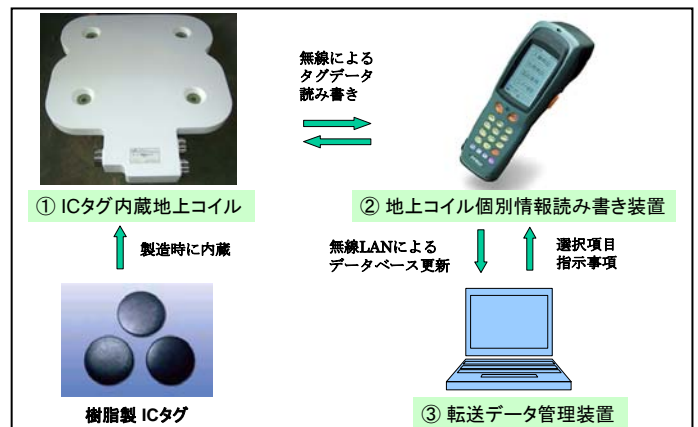


図 4 地上コイル個別情報管理装置の構成

5. 地上コイル自己診断手法の検討

5.1 地上コイルスマートセンシングの概念

地上コイルに関するこれまでの各種加速劣化試験から、不具合発生時の前兆として、モールド樹脂の歪み変化、振動増加、温度上昇異状等が認められている。そこで、センサと情報処理部を一つのチップに集積した小型センサを開発し、コイル成形時に内蔵することにより、コイル自身が発する多種

多様な情報を外部から収集することが可能となる。

つまり、これまで作業者が徒歩による目視点検で判断していたコイル異状の有無を、地上コイル自ら異状を発信することになり、トラブルを未然に防ぐことが可能となる。

例えば、保守用車両に地上コイルデータの集録・解析装置を搭載することにより、点検時間を大幅に短縮できるばかりでなく、作業者による技量の差や見落としがなくなり、飛躍的な信頼性改善を図ることが可能となる。なお、スマートセンシングの実現には小型かつ高機能な異状検知センサの開発が鍵となる。

5.2 電源装置の基礎検討

地上コイルは長期間の屋外使用が前提となるため、スマートセンシングに必要な構成部材は可能な限り小型化し、巻線コイルの樹脂成形時に埋め込むことにより、環境劣化の影響が最小限となるよう工夫する必要がある。

センシングやデータ伝送に必要な電源部も同様であるが、電池ではせいぜい数ヶ月～1年程度しか寿命が見込めず、埋込を前提とした長期運用には適さない。そこで、地上コイルに通電されるLSM電流（車両に推進力を与えるために通電される三相交流）により発生する交流磁場を利用した電磁誘導発電及び振動発電を対象に電源装置を検討した³⁾。

(1) 電源装置の試作

開発の第一ステップとして、PLGコイルの上側単位コイル窓部への組み込みを想定した各発電方式の電源装置を試作した。電源装置は発電部、整流部、蓄電部から構成され、個々の地上コイル内での単独運用を前提とした。図5に電源装置の構成概念、図6に試作機の外観を示す。

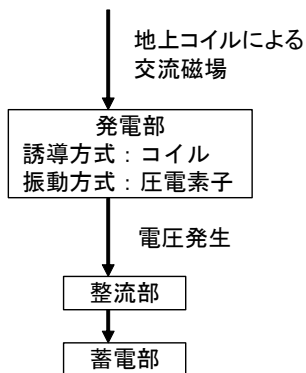


図5 電源装置の構成概念

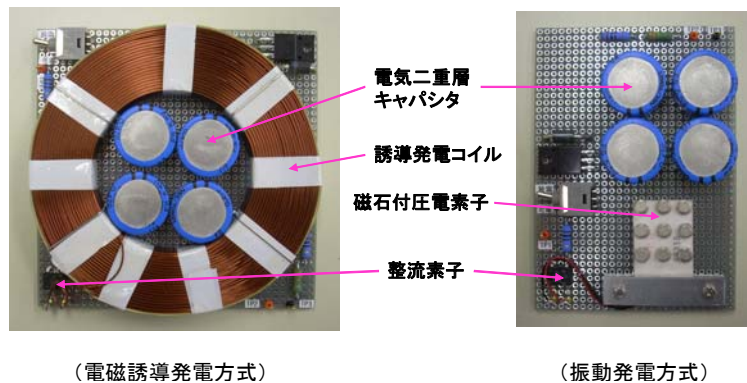


図6 試作電源装置の外観

(2) 電源装置の性能

試作機の性能評価により所期の特性が得られた電磁誘導発電方式について、電源装置の充放電特性を確認した。

① 充電特性

電源装置を地上コイルの上コイル窓部中心に取り付け、地上コイルに定格および定格の1/2の交流電流（周波数40Hz）を5分につき10秒間通電（実走行を想定）し、蓄電部の充電電圧を測定した。なお、所要充電電圧は蓄電媒体である電気二重層キャパシタの耐電圧を考慮して10Vとした。充電特性から、定格電流による磁場条件では2回、定格電流の1/2では7回の通電で充電電圧が所定の10Vに達した（図7参照）。

② 放電特性

蓄電部の初期電圧を10Vとし、出力電圧3.3Vの固定電圧レギュレータによる出力電流が約250mA

となるような抵抗を接続した回路構成にて放電を行い、出力電圧が 3.3V を下回るまでの時間を測定した。蓄電部の放電特性を図 8 に示す。3.3V (約 250mA) の放電が 10.3 秒間持続し、蓄電容量が約 2500mAs であることを確認した。

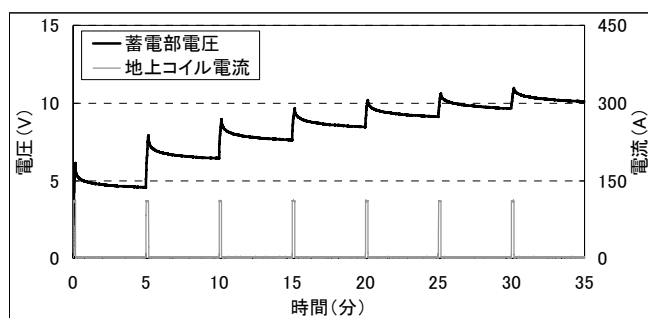


図 7 蓄電部の充電特性

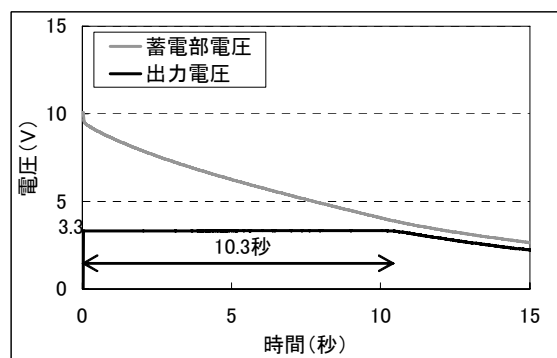


図 8 蓄電部の放電特性

5.3 異常検知センサの開発

地上コイルの状態監視にスマートセンシングの概念を適用しようとした場合、前述のように小型かつ高性能な異常検知センサの開発が不可欠となる。また、長期屋外環境で機能させるためには、構成要素である電源部、センサ部、信号処理部、データ記憶部、データ伝送部等を小型化し、異常検知センサとして集約、モールド樹脂内への埋込使用を検討する必要がある。本開発では、MEMS (微小電気機械素子) センサを活用し、地上コイル埋込時の単独運用を想定した評価用異常検知センサを試作した (図 9)。また、当該センサを PLG コイル口出し部に固定し、電磁加振試験による動作確認を行った。その結果、構成要素である電源部、センサ部、データ記憶部、データ伝送部が高磁場中でも問題なく、組合せ状態で異常検知センサとして機能することを確認した。

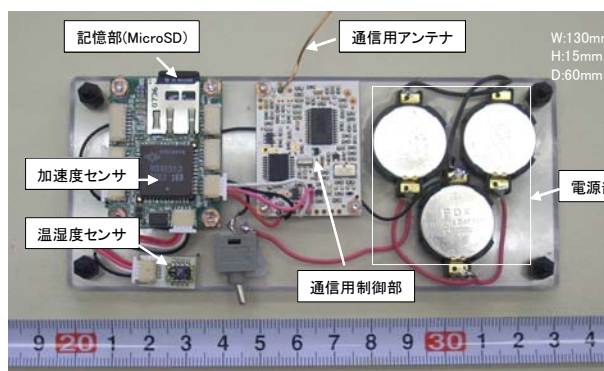


図 9 評価用異常検知センサ外観

6. まとめ

現地に敷設された膨大な数の地上コイルを適正かつ安定的に保守・運用するためには、これまでにない新たな管理手法を導入する必要がある。そこで、IT を活用した地上コイルの保守管理手法に関する検討を行った。検討の結果、IC タグを利用した個別情報管理手法によりデータベースの一元管理が可能となり、作業効率、信頼面で大幅な改善が期待できる。また、異常検知センサを利用した地上コイル自己診断手法はトラブルの未然防止に不可欠であり、究極の状態監視システムとして期待が大きい。なお本研究は、国土交通省からの国庫補助を受け実施した。

参考文献

- 1) 饗庭雅之, 鈴木正夫, 田中実, 岡田重紀: 表面保護層付き浮上式鉄道用推進・浮上・案内兼用地上コイルの開発、第 14 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp. 319-320, 2007
- 2) 鈴木正夫, 饗庭雅之, 田中実: IC タグを利用した地上コイル個別情報管理装置の開発、第 14 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp. 605-606, 2007
- 3) 饗庭雅之, 鈴木正夫: 地上コイルの異常検知に向けたセンシング用電源装置の検討、第 15 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp. 159-160, 2008