

RFID を利用した 車載型地上コイル保守支援装置の開発

田中 実* 高橋 紀之* 鈴木 正夫*
池田 遼平* 長坂 整**

Development of the On-board Maintenance Management System for Ground Coils of Maglev by Using RFID Technology

Minoru TANAKA Noriyuki TAKAHASHI Masao SUZUKI
Ryohei IKEDA Sei NAGASAKA

In the magnetically levitated transportation (Maglev) system, a huge number of ground coils installed along the entire length of the guide-way are required to withstand a long term outdoor use. Periodical maintenance work is essential for securing reliable operation of the Maglev system. However, maintenance management is not so easy since a huge number of ground coils having the same appearance are installed. An establishment of a reasonable and simple maintenance management method is important. Therefore, we have developed a maintenance support system of ground coils by using a maintenance car and radio frequency identification (RFID) technology.

キーワード：浮上式鉄道，地上コイル，保守用車，RFID，保守情報管理

1. はじめに

超電導磁気浮上式鉄道において、軌道の全線にわたって敷設される地上コイルは、磁界を発生させる機能を持ち、車両の台車に搭載される超電導磁石との相互作用により、車両に浮上・推進・案内力を発生させる重要機器であり、数が膨大で、長期間屋外で使用される。そのため、浮上式鉄道システム全体の信頼性を確保するためには、地上コイルの保守管理を如何に適正かつ簡易に行うかが重要である。

筆者は、地上コイル保守管理にRFID技術（Radio Frequency IDentification：無線による識別技術）を適用して、ICチップのメモリ部に固有の識別子とユーザデータ領域を持つRFタグを地上コイル製造時に内蔵して、識別子で外観が同じ地上コイルの識別を行い、製造から保管、敷設、保守運用に至る個別情報を携帯端末にてユーザデータに記録・更新できる地上コイル個別情報管理装置を開発した^{1~3)}。本装置を用いると、現地にて製品情報や保守作業履歴が確認できるため、保守管理の信頼性を高めることが期待できる。

装置運用の際、個別情報は地上コイルに内蔵したRFタグに書き込まれるため、最新のコイル情報を得るに

は、現地にてRFタグデータを読み取る必要がある。ここで、地上コイル保守用車にRFタグ読取装置を搭載して、走行しながらタグデータを読み取る機能を付加できれば、作業軽減やタグ読み忘れ防止だけでなく、データの利用により、車上で作業場所の確認や、保守作業履歴の確認ができるようになり、地上コイル保守管理の効率化と信頼性のさらなる向上が期待できる。

そこで、保守用車を用いて走行しながら地上コイルに内蔵したRFタグを読み取る方法について検討を行い、この方法を用いて保守管理業務の支援を行う地上コイル保守支援装置を開発したので報告する。

2. 保守用車によるRFタグ読取法

図1に地上コイルに設置したRFタグと車載アンテナの配置を示す。RFタグは数が膨大となることや、屋外使用となることを考慮して、電池非搭載で水分や粉塵の影響も小さい、ISO/IEC15693準拠で周波数13.56MHzの近傍型パッシブタグを選定した。このRFタグを地上コイルの車両走行側に、同一高さで同一ピッチとなるように設置する。一方、保守用車の両側面にはアンテナを搭載して、RFタグと向かい合わせ、適当な離隔距離を保つ。車両を走行させると、車載アンテナの移動に伴い、アンテナ読取範囲に順次RFタグが入り、データを読み取る

* 浮上式鉄道技術研究部（電磁路技術）

** 研究開発推進室（設計・試作）

特集：浮上式鉄道技術と在来鉄道への応用

ことが可能となる。

図2にアンテナ読取範囲とRFタグ読取距離の概念図を示す。RFタグ読取距離 L [m]，車両の移動速度 V [km/h]，RFタグの読取処理時間 T [秒] とすると，車載アンテナ通過時のRFタグデータ読取回数 N [回] は，以下の式で表される。

$$N = \frac{3.6L}{VT} \quad (1)$$

ただし，データ読取処理中に通信が途切れた場合は，処理途中のデータは利用できないため，読取回数は小数点を切り捨てた整数値となる。

式(1)より，保守用車の移動速度を上げた条件で確実にRFタグデータを読み取るには ($N \geq 1$)，読取距離を長くしたり，読取処理時間を短くしたりすればよいことがわかる。

読取距離を長くするには，アンテナを大きくしたり，アンテナ出力を上げたりすることが有効であり，今回開発した装置は，車載アンテナを $420 \times 297\text{mm}$ (A3サイズ)，最大送信出力を 1W とした。RFタグは汎用性を考慮して $85.6 \times 54\text{mm}$ (カード形状) を選定した。設置方向は，車載アンテナとRFタグの長手方向と保守用車の進行方向を合わせるようにした。

読取処理時間を短くするには，複数のRFタグを同時に読まないようにすること(アンチコリジョン無し)が有効なため，RFタグ読取距離をタグピッチより短くして，同時に複数のRFタグがアンテナ読取範囲に入らないようにした。データ量を小さくすることも有効で，ユーザデータ量を必要最小限の8バイトとした。

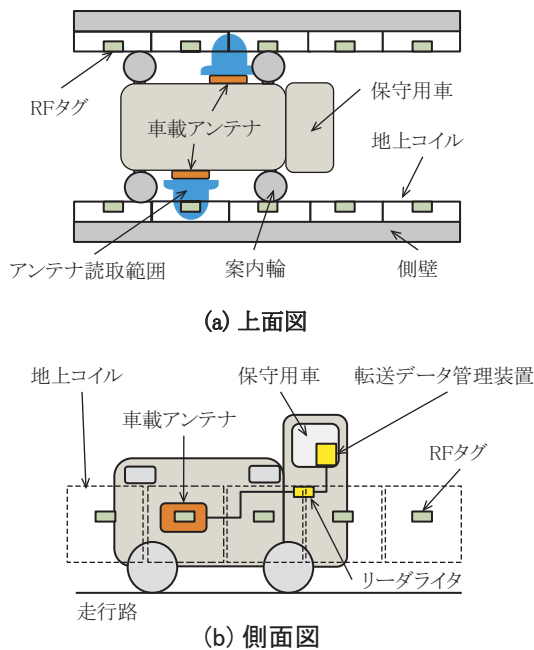


図1 RFタグと車載アンテナの配置

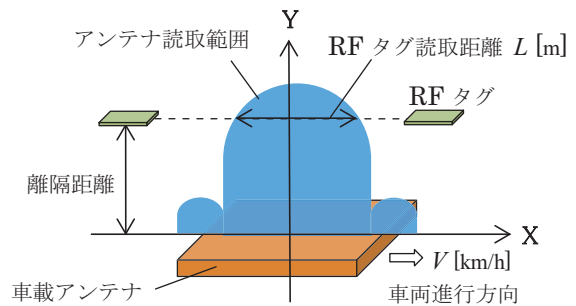


図2 アンテナ読取範囲とRFタグ読取距離の概念図

3. 走行試験によるRFタグ読取性能確認

保守用車を模擬した車両にRFタグ読取装置を搭載して，走行しながら地上コイルに設置したRFタグを読み取る試験を行った。詳細を以下に示す。

3.1 地上設備構成

図3に地上設備構成を示す。宮崎実験線のコンクリートで囲まれたガイドウェイの海側と山側の側壁に，地上コイル⁴⁾，⁵⁾を2個ずつ仮設して，浮上式鉄道特有の周囲環境がRFタグの読取性能に及ぼす影響を調べた。RFタグ仮設位置は，下側コイル下辺導体上のコイル表面で，発泡ブチル両面テープにて接着した。コイル表面から内部導体までの距離は 18mm である。同じ側壁に並べた2個の地上コイルに仮設したRFタグは，路面からの高さを合わせて，進行方向間隔を地上コイルピッチと同じ 900mm とした。さらに，同ピッチで海側と山側に27個ずつ合計54個のRFタグを，発泡スチロールブロックを介して仮設して，走行車両によるRFタグの連続読取性能を調べた。

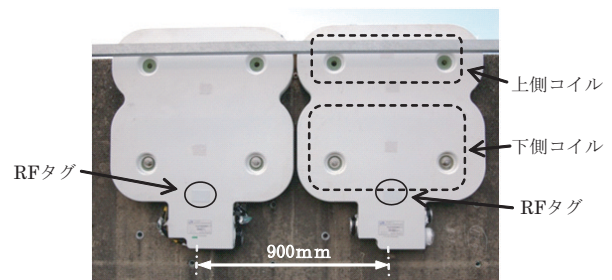
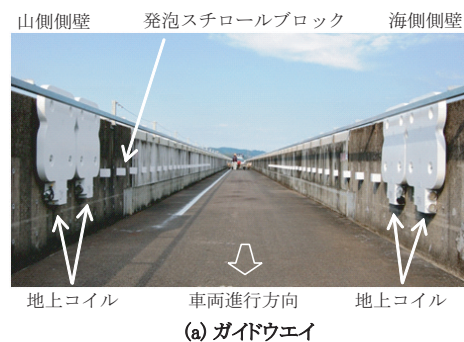


図3 地上設備構成

3.2 地上コイル保守支援装置の車載

車載する地上コイル保守支援装置の外観を図4に示す。車載アンテナとリーダライタを海側用と山側用にそれぞれ2台ずつと、転送データ管理装置1台で構成した。装置を動作させると、リーダライタが単独でRFタグを読み取る状態となり、アンテナ読取範囲に入ったRFタグを繰り返し読み取り、転送データ管理装置にデータを送る仕組みとした。

保守用車を模擬した車両に地上コイル保守支援装置を搭載した様子を図5に示す。運転席から車載アンテナとRFタグが確認できるように、車両前方に台車を連結して、台車上に木製アンテナ取付台を介して、車載アンテナを設置した。台車には側壁への接触を防止するための案内輪が設置されていて、車載アンテナを案内輪近くに設置することで、RFタグと車載アンテナの離隔距離を200mmに保つようにした。リーダライタと転送データ管理装置は車内に設置して、走行中に装置の動作を確認できるようにした。

なお、車両両側に仮設した車載アンテナは、進行方向

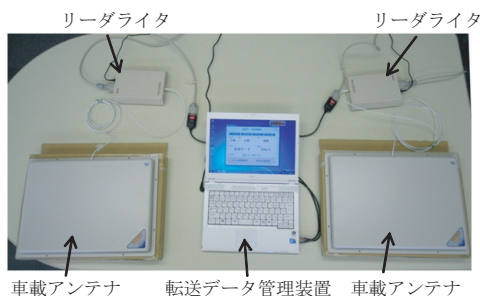
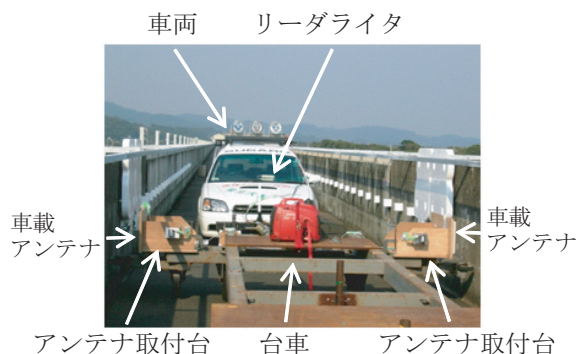
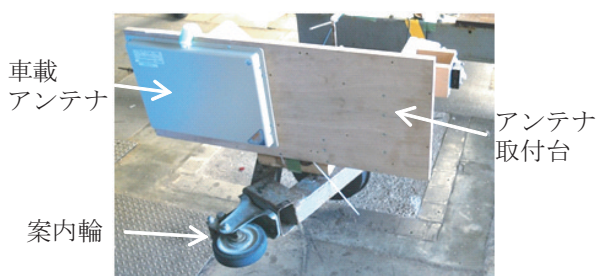


図4 地上コイル保守支援装置 (RFタグ読取装置)



(a) 地上コイル保守支援装置の車載



(b) 車載アンテナと案内輪

図5 地上コイル保守支援装置の車両への搭載

に450mmずらして、海山交互にRFタグを読み取るようにした。これは、転送データ管理装置が海山2個のRFタグを同時に読み取るのを避けて処理能力を向上させると共に、後述する地上コイル位置検索の位置精度を向上させるためである。

3.3 RFタグ読取処理時間と読取距離

走行試験を行う前に、表1に示すリーダライタ設定で、RFタグ読取処理時間と読取距離を測定した。

任意データ長を1回読み取るのに必要な処理時間は、車載アンテナとRFタグを向かい合わせて、静止させた状態で測定した。結果を表2に示す。車両を走行させながら識別子8バイトとユーザデータ8バイトを読み取るには、アンテナ読取範囲のRFタグ通過時間を、26.5msecより長くとればよいと考えられる。

次に、車載アンテナとRFタグの離隔距離を200mmに保って、アンテナを車両進行方向に移動させて、RFタグ読取距離を測定した。地上コイル表面に設置したRFタグの読取距離は、導体上に設置した方が、上側または下側コイル導体がつくるループ中心に設置した場合よりも長くなった。また、RFタグと地上コイル表面との間を発泡ブチル両面テープで接着して、わずかな空隙を設けた方が、空隙無しの場合と比べて、読取距離が長くなった。原因としては、地上コイル導体が形成するループが、RFタグと車載アンテナとの通信に悪影響を及ぼすことや、RFタグの共振周波数が周囲環境により変動することが考えられる⁶⁾。

表3に示すように、地上コイル下コイル下辺導体上に設置したRFタグ(図3(b)参照)の読取距離は、520mm以上となった。

表1 リーダライタ設定

設定項目	設定内容
読取データ	識別子, 識別子+ユーザデータ
データ転送速度	本体⇒RFタグ: 26.48kbps RFタグ⇒本体: 26.69kbps
シリアル通信	上位機器⇄本体: 38.40kbps
アンチコリジョン	無し (単独読取)

表2 RFタグデータ量と平均読取処理時間

RFタグデータ量	平均読取処理時間 [msec]
識別子8バイト	11.5
識別子8バイト + ユーザデータ8バイト	26.5

表3 RFタグ設置条件と平均読取距離

RFタグ設置条件	平均読取距離 [mm]
地上コイル上	545 (520 ~ 570)
発泡スチロール上	592 (550 ~ 640)

特集：浮上式鉄道技術と在来鉄道への応用

3.4 データ読取回数の車両速度依存性

地上コイル保守支援装置を搭載した車両を走行させて、地上コイル表面および発泡スチロールブロック上に設置した58個のRFタグを連続で読み取る試験を行った。

図6にRFタグデータを識別子8バイトとした場合と、識別子8バイトに加えてユーザデータ8バイトとした場合の読取回数の車両速度依存性を示す。図のプロットは58個のRFタグの読取回数の平均値を示し、エラーバーは最小値と最大値を示している。同じ図に式(1)から求めた計算値も併せて示す。計算の読取距離には58個のRFタグの平均値(589mm)を用いたが、測定値と計算値はよい一致を示した。

測定結果について、RFタグデータを識別子8バイトとした場合は、時速84kmまで読み飛ばすことなく全データを読み取ることが確認できた。式(1)に基づくと、時速180km程度までデータ読み取り可能と推定され、保守用車の運用速度を考えると、十分な読取性能を有していることがわかった。

一方、RFタグデータを識別子8バイトとユーザデータ8バイトとした場合は、時速59kmまでは読み飛ばすことなく全データを読み取ることが確認できたが、71kmでは2個のRFタグを読み飛ばした。原因としては、表3に示した読取距離のばらつきが考えられる。識別子8バイトとユーザデータ8バイトのデータを確実に読み取るには、実測データに基づき、最高時速を40~60km程度に制限する必要がある。

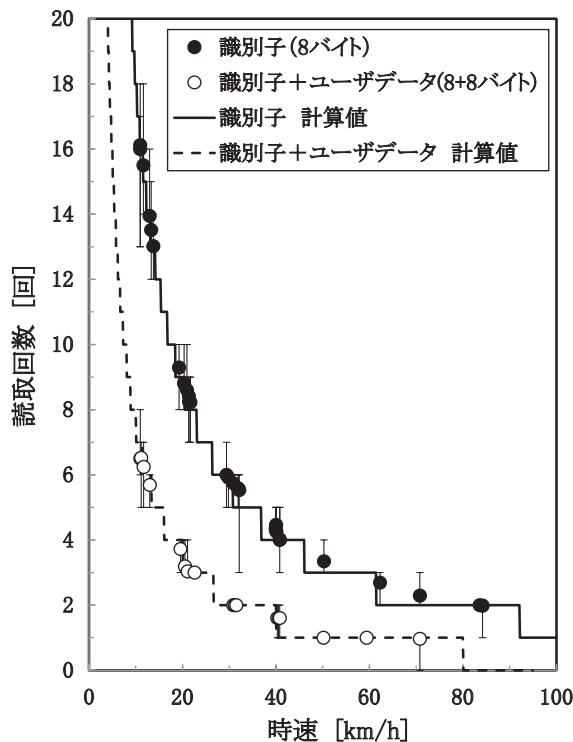


図6 RFタグデータ読取回数の車両速度依存性

4. 地上コイル位置検索

地上コイル保守作業を行う際、作業場所に向かうため、保守用車で移動しながら、外観が同じ地上コイルの中から作業対象コイルを探す必要がある。そこで、車上からの地上コイル位置検索を支援するため、識別子に製品情報や位置情報を関連付けたデータベースを作成し、転送データ管理装置に目的地の地上コイルデータを入力すると、走行しながら順次RFタグの識別子を読み取り、データベースに基づいて目的地まで案内できるようにした。

表4に示す3条件について、地上コイル位置検索の動作確認を行った。図7に示した転送データ管理装置の地上コイル位置検索画面例により、動作を以下に説明する。目的地情報入力部に、①コイル位置情報、②コイル製品番号、③識別子のいずれかを入力して検索ボタンを押すと、目的地表示部にキロ程を表示して、該当する側壁内のコイル位置を点灯させるようにした。その後、開始ボタンを押して車両を走行させると、順次RFタグの識別子データ8バイトを読み取り、現在位置のキロ程と目的地までの距離を表示するようにした。

保守用車移動中に車両位置を把握しやすくするため、プログレスバーで全体の移動距離に対する到達距離をパーセント表示させた。また、目的地に近づくと、音声案内と共に該当する側壁内の現在位置を点灯させて、画面上の目的地と点灯位置を合わせることで、正確に目的地に到着できるようにした。走行試験では、3条件とも位置検索対象コイルの横に車載アンテナを停止させられることを確認した(図8)。

表4 地上コイル位置検索条件

番号	検索条件	検索内容
条件1	キロ程	海側 0.0180km
条件2	コイル製品番号	56番
条件3	識別子	E0070000147D8AD7



図7 地上コイル位置検索画面例(条件2)



位置検索対象コイル

図8 地上コイル位置検索結果（条件2）



RFタグ

図9 携帯端末による保守作業情報の書き込み

5. 地上コイル保守作業検索

保守用車を走行させながら、最新の保守作業履歴が確認できれば、点検で異状が見つかったコイルを探して補修したり、交換作業など工事を行ったコイルを探して、あと確認したりできるようになる。そこで、携帯端末を用いてRFタグのユーザーデータに保守作業情報を書き込み、車載した地上コイル保守支援装置を用いて、最新の保守作業履歴を検索できるようにした。

5.1 携帯端末による保守作業情報の書き込み

走行試験で読取確認したユーザーデータ8バイト（16進数16桁）に、保守作業日（8桁）、携帯端末番号（4桁）、保守作業内容（4桁）の各情報を記録できるようにした。保守作業内容はコード化して、各桁は作業項目、重要度、作業箇所、状態を表すようにした（表5）。

保守作業情報の書き込み例として、0000年00月00日に携帯端末1番を持つ地上コイル保守作業者が、点検で浮上コイルに軽度のキズを見つけたと仮定する。作業者は点検後、携帯端末の操作画面にて表5の1～4桁目の該当項目を選択してRFタグにかざす（図9）。携帯端末には作業日と端末番号を自動付加する機能を持たせてあり、RFタグのユーザーデータには「00000000-0001-2112」（保守作業日－携帯端末番号－保守作業内容）が書き込まれるようにした。

表5 保守作業内容コード表（例）

16進	1桁目 作業項目	2桁目 重要度	3桁目 作業箇所	4桁目 状態
0	保管	なし	なし	なし
1	設置	軽度	浮上コイル	汚れ
2	点検	中度	推進コイル	キズ
3	修理	重度	PLGコイル	緩み
.
.
F	交換	緊急	ケーブル	剥がれ

5.2 車載装置による保守作業履歴検索

表6に示す3条件について、携帯端末からRFタグに地上コイル保守作業情報を書き込み、車載した地上コイル保守支援装置を用いて、走行しながら最新の保守作業履歴の検索を行った。

車載した転送データ管理装置の保守作業履歴検索画面例を図10に示す。まず、検索条件入力部に保守作業期間、作業項目、重要度を入力する。次に、開始ボタンを押して車両を走行させると、順次RFタグの識別子8バイトとユーザーデータ8バイトを読み取り、データベースの保守作業履歴を更新すると共に、検索条件と合致する地上コイルを画面に表示するようにした。また、RFタグの読み飛ばし対策として、事前に作成したデータベースの識別子と照合を行い、読取データに漏れが無いか確認できるようにした。

制限速度内の走行試験では、表6に示した3条件とも、携帯端末からRFタグに書き込んだ全ての保守作業情報を読み取り、データベースを更新すると共に、検索結果を転送データ管理装置の画面に表示できることを確認した。ただし、本方式を用いると、検索した地上コイルが画面表示された時点で、保守用車は対象コイルから離れてしまい、検索した地上コイル位置に向かうには、車両を後退させる必要があった。そこで、検索結果表示部で対象の地上コイルを選択して、コイル位置検索ボタンを押すと、図7に示した位置検索画面で目的地まで案内できるようにした。

一連の動作確認により、RFIDを利用した車載型地上コイル保守支援装置の実用化の見通しを得ることができた。

表6 地上コイル保守作業履歴検索条件

番号	項目	検索条件	対象
条件1	点検	地上コイルキズ	8箇所
条件2	点検	地上コイルボルト緩み	4箇所
条件3	補修	ボルト緩み箇所増締	4箇所

特集：浮上式鉄道技術と在来鉄道への応用



図10 保守作業履歴検索画面例(条件1)

6. まとめ

ガイドウェイ内を走行する地上コイル保守用車に、アンテナ、リーダライタ、転送データ管理装置を搭載して、走行しながら地上側にあるRFタグデータを読み取る試験を行った。その結果、データを識別子8バイトとした場合は時速84kmまで、識別子8バイトとユーザデータ8バイトとした場合は、時速59kmまで読み飛ばすことなく全データを読取可能なことを確認した。

地上コイルの保守管理を行う際、作業場所に向かうため、保守用車で移動しながら、外観が同じ地上コイルの中から作業対象コイルを探す必要があり、現地では点検で異常のあったコイルを探して補修したり、工事を行ったコイルを探して、あと確認したりする必要がある。これら保守管理業務を支援するため、保守用車を走行させながらRFタグの識別子やユーザデータを読み取り、地上コイル位置や最新の保守作業履歴が検索できる地上コイル保守支援装置を試作して、実際に動作確認を行い、実用化の見通しを得ることができた。

7. おわりに

RFタグのユーザデータの読取処理時間は、RFタグのメモリ種類の変更や、リーダライタのファームウェアの改良などにより短縮できる余地が残されており、車両を走行させながらRFタグを読み取る際の移動速度やユーザ

データ容量は、今後さらに向上できるものと考えられる。

なお、本装置は低コストで、車両への搭載も容易であるため、浮上式鉄道だけでなく、他の鉄道の保守用車にも幅広く適用が可能である。

謝辞

本開発を進めるにあたり、御協力頂いた東北大学未来科学技術共同研究センター小濱教授、原田様、フェニックス電子、ユービックシステム、タカヤ、富士エレクトロニクス、オオタエンジニアリングをはじめ関係各位に感謝の意を表します。

なお、本研究は国土交通省からの国庫補助を受けて実施している。

文献

- 1) 鈴木正夫, 饗庭雅之, 田中 実, 太田 聡: ITを活用した地上コイル保守管理手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.1, pp.17-22, 2010
- 2) 鈴木正夫: ITを活用した地上コイルの保守管理手法に関する検討, 第223回鉄道総合技術研究所月例発表会講演要旨, pp1-4, 2009
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 鈴木正夫, 饗庭雅之, 田中 実, 岡田重紀: 表面保護層付PLGコイルの基礎開発, 第13回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.21-22, 2006
- 6) 藤崎清孝: 図書館用RFIDシステムの開発I - 13.56MHz RFIDタグの共振周波数の評価 -, 九州大学附属図書館研究開発室年報, pp.1-6, 2006