

1512 RFIDタグの応動感度向上の一方策

正 [電] ○進藤 正昭 正 [電] 佐々木 敏明 (ジェイアール総研電気システム)

正 [電] 市川 和男 杉本 経嗣 見目 光正 鈴木 洋司 (三工社)

A new method of extending the communication area of the 13.56MHz RFID tag

Masaaki Shindo Toshiaki Sasaki, JR-Soken Electric Consulting Co., Ltd

Kazuo Ichikawa Keiji Sugimoto Mitumasa Kenmoku Hiroshi Suzuki, Sankosha Co., Ltd

First, we explain the basic construction of wayside coil using the two loop coils to extend the communication area of the 13.56MHz RFID tag. Second, we calculate an electric current of the loop coil to read the tag. Finally, we introduce the measurement results of the communication performance of the manufactured wayside coil at a high speed.

Keywords: Electric railway, RFID tag, 13.56MHz RFID tag, ATS, signal, wayside coil

1. はじめに

ATS(自動列車停止装置)は、赤信号を無視して列車が走行した場合、ブレーキ装置に強制介入して列車を止めるものであり、全国に設置されて40年以上の歴史がある。一方、RFID(Radio Frequency Identification)タグは低コストの小型の情報伝送素子で、ユビキタス時代の自動認識技術として、あらゆる分野に適用されることが期待されている。RFIDタグは書き込みができるので、信号現示に応じてタグ情報を変更することも可能だが、書き換えるための入出力装置が必要となる。そこで、信号現示に対応するRFIDタグを2種類地上に設置し、信号機の現示により車上での読取タグを選択制御することで、信号現示に対応した13.56MHz帯RFIDタグ地上子の読取制御を行う方法を考案した。また、タグ地上子を試作し、4バイト読取では時速170kmでも1回は読み取れることを確認した¹⁾。しかし、RFIDタグに与える情報として現状のATS-Pと同程度の12バイト程度を想定し、車上での読取性能として時速160kmで数回程度を実現するためには、試作したタグ地上子の読取性能では不十分であることが分かった。そこで、タグの読取性能を向上させるため、タグの読取範囲を広くする方法を検討した。また、タグの温度特性や鉄板やまくら木による影響を確認した。

2. 13.56MHz帯RFIDタグ地上子の読取範囲拡大

2.1 2ループコイルによるタグ読取方法

(1) 2ループコイルによるタグ読取の構成

13.56MHz帯RFIDタグ地上子の高速走行時の読取回数を増やすためには、読取時間を短くすることや読取範囲を広くすることが考えられる。読取時間は規格や製品に左右されてしまうので、ユーザ側での対応には限界がある。そこで、読取範囲を広くするための方法を検討し、2ループコイルによるタグ読取方法(以下、2ループコイルによる方法という)を考案した。図1に2ループコイルによるタグ読取の構成を示す。電波受信用とタグ交信用の2つのループコイルで閉ループを構成し、リーダ

アンテナからの電波を電波受信用ループコイルで受け、それをタグ交信用ループコイルに伝達してタグの読取を行う。また、電波受信用ループコイルを1つ、赤信号用と青信号用で2つの交信用ループコイルを用意し、電波受信用ループコイルに接続する交信用ループコイルを切り換えることにより、信号機情報毎のタグの読取制御が可能となる。

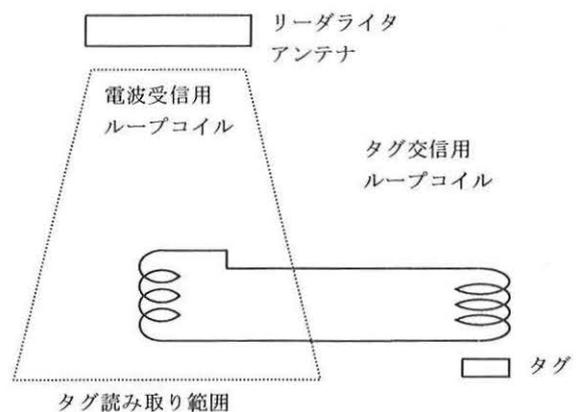


Fig.1 The basic construction of the wayside coil using the two loop coils

(2) 2ループコイルによるタグ読取の等価回路

2ループコイルによるタグ読取の等価回路を図2とした。ここで、R1:タグ交信用ループコイルの抵抗、L1:タグ交信用ループコイルのインダクタンス、R2:電波受信用ループコイルの抵抗、L2:電波受信用ループコイルのインダクタンス、C:同調コンデンサ容量である。リーダライタアンテナから出る電波により、L2に誘導電圧が発生し、 i_2 が流れる。 i_2 によりCに電圧がかかり、 i_1 が流れると考える。 i_1 が流れることによりL1がリーダライタのアンテナとして作用し、タグの読み取りを行う。

リーダライタアンテナからの磁界によりL2に発生する誘導電圧より、i2は以下ようになる。

$$i2 = \frac{V\phi}{j\omega L2 + R2 + \frac{1}{j\omega C}} \quad (1)$$

ここで、Vφはリーダライタアンテナからの磁界によりL2に発生する誘導電圧、ωは電波の角周波数である。

電波受信用ループコイル タグ交信用ループコイル

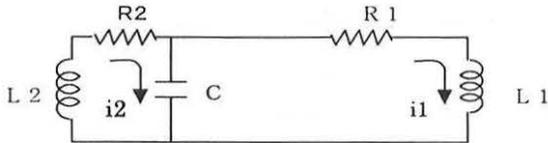


Fig.2 The equivalent circuit of the wayside coil using the two loop coils

(1)式より、同調コンデンサの端子間にかかる電圧は以下ようになる。

$$V = i2 \cdot \frac{1}{j\omega C} = \frac{V\phi}{1 - \omega^2 CL2 + j\omega CR2} \quad (2)$$

ここで、Vは同調コンデンサの端子間にかかる電圧である。

同調コンデンサの端子間にかかる電圧により、i1が流れると考えると、i1は以下ようになる。

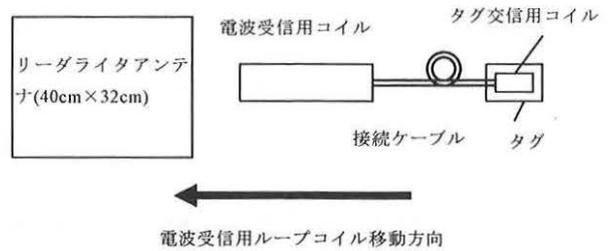
$$i1 = \frac{V}{j\omega L1 + R1 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{V\phi}{1 - \omega^2 CL2 + j\omega CR2} \cdot \frac{1}{j\omega L1 + R1 + \frac{1}{j\omega C}} \quad (3)$$

2.2 2ループコイルによる方法の基礎実験結果

2ループコイルによる方法の効果を確認するため、L2の大きさを変えた場合の応答離隔の変化（この時のL1の大きさは5cm×7cm、巻き数は7巻、接続線長は1.95m）を図3の構成で測定した。また、L1の巻き数を変えた場合の応答離隔の変化（この時のL2の大きさは20cm×7cmの8巻、同調コンデンサは1.5pF）を図3の構成で測定した。

実験結果を表1、表2に記す。L2の大きさや巻き数に応じて同調コンデンサを挿入することにより応答離隔を確保できることが分かった。また、L1の巻き数が4～5巻以上になると大きな応答離隔が得られることが分かった。

上面図



断面図

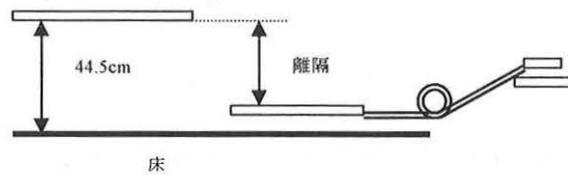


Fig.3 Measuring method of the communication area of the wayside coil using the two loop coils

Table1 Measuring results of the communication area of the wayside coil using the two loop coils

L2大きさ:cm (巻数)	10×7 (3)	15×7 (3)	20×7 (3)	40×7 (3)
同調コンデンサ:pF	44	30	25	5
応答最大離隔:cm	42	42	42	42

L2大きさ:cm (巻数)	40×7 (1)	80×7 (1)	120×7 (1)	160×7 (1)
同調コンデンサ:pF	100	56	39	33
応答最大離隔:cm	42	42	42	42

Table2 Measuring results of the communication area of the wayside coil using the two loop coils

L1の巻き数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
応答離隔:cm	10	15	25	30	40	40	42	42	35	35

2.3 2ループコイルによるタグ地上子の試作

2ループコイルによるタグ地上子を試作した。図4にタグ地上子の結線図、図5にタグ地上子の構造概要を示す。

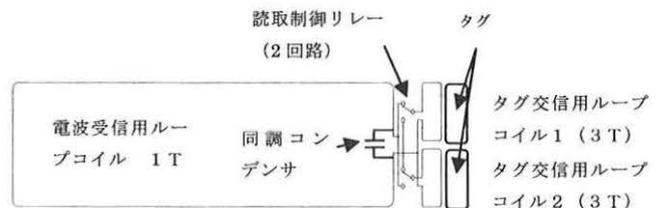


Fig.4 The wiring of the wayside coil using the two loop coils

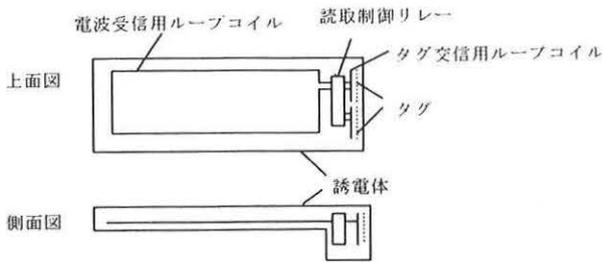


Fig.5 The construction of the wayside coil using the two loop coils

試作地上子の仕様を以下に記す。

- ・電波受信用コイルは、800mm×150mmのリッツ線1ターンとした。
- ・タグ交信用コイルは、70mm×50mmのリッツ線3ターンとした。
- ・タグとタグ交信用コイルをシールドする構造とし、無効制御時のタグ交信用コイルの両端をショートする回路とした。

2.4 2ループコイルによるタグ地上子の静特性

2ループコイルによるタグ地上子の読取範囲を把握するため、静的な応動特性を調査した。測定方法を図6に示す。リーダアンテナとRFIDタグを垂直方向に離れた場合について、離隔を変えた場合の読取範囲(応動距離)を測定した。

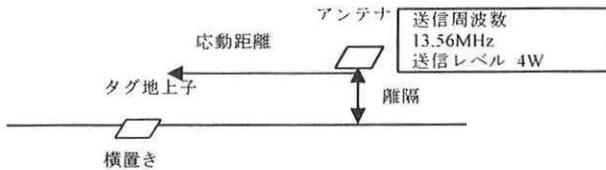


Fig.6 Measuring method of the communication area of the wayside coil using the two loop coils

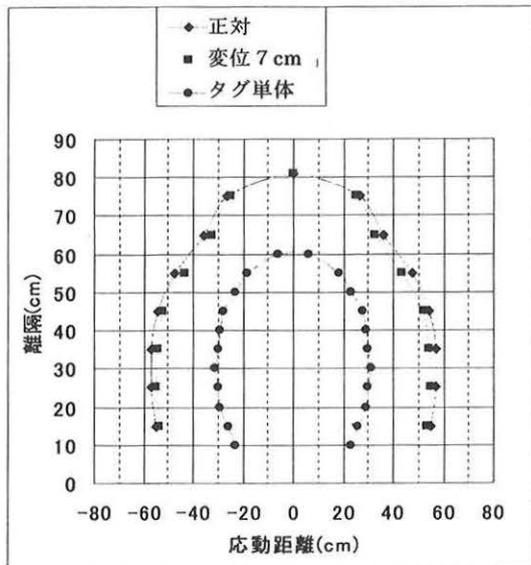


Fig.7 Measuring results of the communication area of the wayside coil using the two loop coils

2ループコイルによるタグ地上子の読取範囲を図7に示す。離隔が30cm程度の場合に応動距離が片側55cm程度となり、離隔変化に対する応動距離が最大になった。車上アンテナ中心と地上子中心との変位を7cmにしても、正対させた場合(変位は0cm)と同程度の応動距離であった。また、離隔80cm以上になるとほとんど感度がなくなった。タグ単体と比べて、応動距離が片側で25cm程度、最大離隔で20cm程度大きくなることが分かった。

2.5 2ループコイルによるタグ地上子の動特性

2ループコイルによるタグ地上子の高速時読取可否を把握するため、動的な応動特性を調査した。図8に示した回転アームの先端にタグ地上子を取り付け、一回の通過(結合)で、受信できる電文数を調査した。リーダアンテナとタグ地上子間の離隔を25cmに離れた場合について、回転速度を変えた場合の読取回数を測定した。読取バイト数は12バイトとした。

測定結果を図9に示す。時速160kmでも2回は読み取れることが分かった。

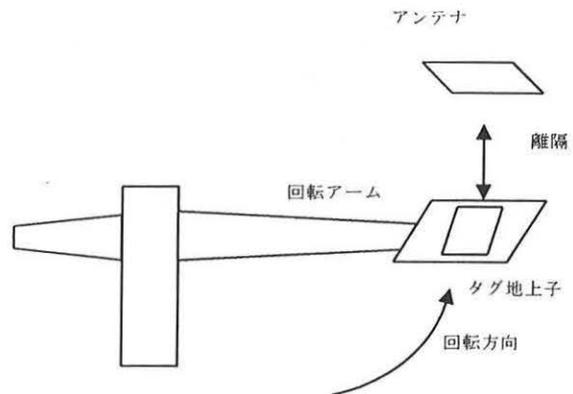


Fig.8 Measuring method of the reading ability of the wayside coil using the two loop coils at high speed

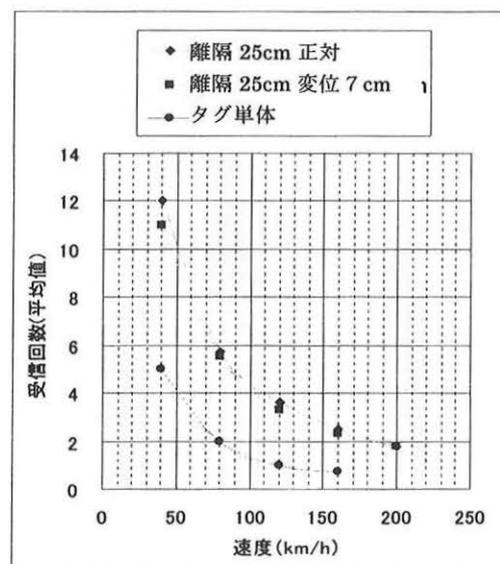


Fig.9 Measuring results of the reading ability of the wayside coil using the two loop coils at high speed

2.6 タグの温度特性

汎用のタグの温湿度仕様は使用時で $-10^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ （結露・凍結なきこと）となっている。一方、ATS 地上子の温度範囲は $-30^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ となっている。タグの温度範囲は低温領域で 20°C 狭くなっており、タグの温度特性を把握するためにリーダーアンテナ～タグ間の応答可能距離（応動距離）の温度による変化を測定した。

測定結果を図 10 に示す。図より、常温が最も性能が良く、 60°C ではほぼ常温と同性能、 -20°C での特性がやや悪くなるのが分かる。

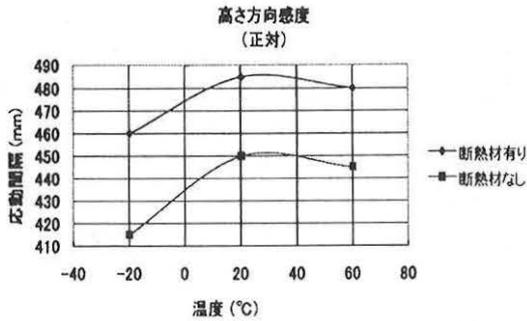


Fig.10 Measuring results of the maximum distance to read the RFID tag by changing the temperature

2.7 鉄板がタグに与える影響

タグの読み取りには、周囲金属の影響があることは周知のことである。車両に取り付ける必要があるリーダーアンテナに対する金属の影響を把握するため、アンテナとタグ間の距離及び、アンテナと鉄板の距離を変化させて応動距離を測定した。

測定結果を図 11 に示す。図より、アンテナを鉄板から 200mm 程度離すとほぼ影響がないことが分かる。

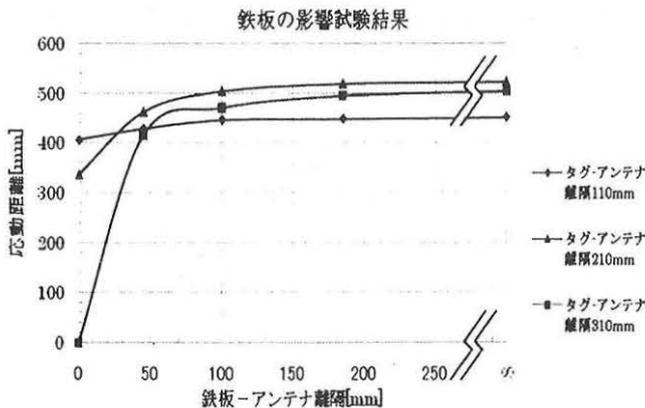


Fig.11 Measuring results of the maximum distance to read the RFID tag by changing the distance from the reader antenna to iron board

2.8 まくら木がタグ地上子に与える影響

実用に近い設置環境において、プレテンション形 PC まくら木、及び木まくら木によるタグ地上子への影響を確認した。

測定結果を図 12 に示す。図より、ATS 地上子が通常設置される車上下子・地上子距離 $280\sim 290\text{mm}$ の位置においては、プレテンション形 PC まくら木は木まくら木

と同程度の応動距離があり、PC まくら木の鉄筋等の影響はほとんど問題ないことが分かった。

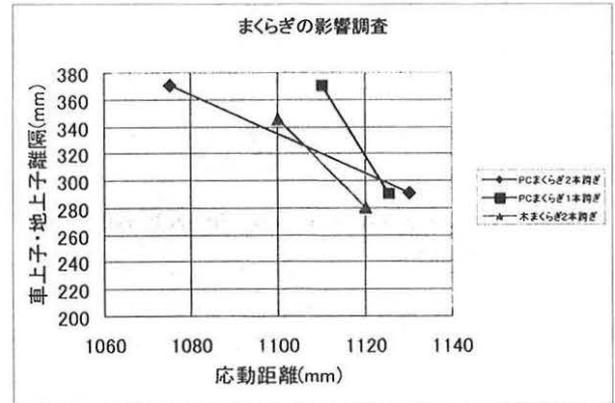


Fig.12 Measuring results of the communication area of the wayside coil by changing the kind of the sleeper

3. あとがき

タグの読取性能を向上させるため、タグの読取範囲を広くすることを検討し、2ループコイルによるタグ読取方法を考案した。次に、2ループコイルによるタグ地上子を試作し、試作したタグ地上子の静的応動特性、動的応動特性、などを確認した。また、タグの温度特性や鉄板やまくら木による影響を確認した。この結果、2ループコイルによるタグ地上子の応動距離は、タグ単体と比べて片側で 25cm 程度大きくなることが分かった。12バイトのデータを時速 160km でも2回は読み取れることが分かった。また、タグの温度特性は -20°C での特性がやや悪くなること、鉄板の影響はアンテナを鉄板から 200mm 程度離すとほぼ影響がないこと、タグ地上子の PC まくら木の鉄筋等の影響はほとんど問題ないこと等が分かった。実用性を目指した組み込み式 RFID 装置についても検討しており、車上～地上子間通信性能として今回の測定結果よりも良好なものが実現できる見通しが得られている。今後、 13.56MHz 帯 RFID タグによる ATS システムの実現に向けて、さらに検討を継続する予定である。

参考文献

- 1) 進藤正昭, 佐々木敏明, 市川和男, 杉本経嗣, 見目光正, 鈴木洋司: 13.56MHz 帯 RFID タグの ATS への応用, J-Rail2008, pp183-186, 2008