

RFIDを用いた精算レジシステムのための リーダアンテナに関する研究

2006MI052 影石英紀

2006MI099 箕浦健太

指導教員 稲垣直樹

1 はじめに

RFID (Radio Frequency Identification) とは、無線 IC タグを対象となる人やモノに取り付け、電磁界の誘導界または放射界を利用して無線通信し、対象物の認証、管理を行うシステムである。

今まで、物理的なものの個別識別にはバーコードや磁気カードが主に使われてきたが、情報量が多く、偽造や複製が困難な IC タグの発展が期待されている。また、RFID の持ついくつかの特性を情報システムに応用することにより、人の手により行われている多くの業務オペレーションを自動化、あるいは簡素化することができる。RFID を導入した企業は莫大なコストを削減できると言われている。さらに、人為的なミスの防止やシステムのリアルタイム性が向上することにより、情報の質が向上し、企業リソースの正確な把握や、迅速な意思決定を支援するものとしても期待されている [1]。

現在、多くのスーパーマーケットで使われている POS レジシステムは、一つ一つの商品に取り付けられているバーコードを読み取っているため精算に時間がかかることが問題となっている。そこで、商品に RFID タグアンテナを取り付け、一度に複数の商品を認識することで精算時間の短縮を目指す。本研究の目的は商品に受信機として、RFID タグを取り付け、その受信機と情報伝達を行うためにリーダアンテナの大きさ、配置を検討することである。まず、商品の素材としてアルミなどが貼られている場合、RFID タグアンテナを認識することができるか検証した。また、商品の置き方によってはタグが複数、平行でない場合が多いため、タグの数や角度を変えて電力伝送効率の違いを検証した。情報伝達を行うためにはある一定以上の電力伝送効率が必要である。

2 研究方法

この章では、本研究の流れを記述する。

2.1 実験

本研究のために、図 1 のマーステクノサイエンス社の「RFID GEAR PROFESSIONAL」で実験を行った。このキットのソフトと、付属されているリーダを用いるとタグの反応チェックが行える。反応したタグ数が図 2 のように PC のディスプレイに表示される。図 1 の左側のループアンテナがリーダであり、ループの中央にある白いカードにタグアンテナが装着されている。リーダのコードは PC の USB 端子に接続する。このキットは他にタグにデータを書き込み、そのデータを読み取ることができる。

2.2 シミュレーション

図 1 の RFID キットにより読み取ることができる最大の距離を実験し、それを基に FEKO[2] を用いて解析モデルを作成し、そのときの電力伝送効率をリーダがタグを認識できる値とする。キットと同じモデルで商品に金属が含まれる場合と、リーダを改善し、タグの角度や数を変えた場合の電力伝送効率の違いを検証する。

RFID タグアンテナには電池を内蔵しているアクティブタグ、内蔵していないパッシブタグがある。本研究では電池を内蔵していないパッシブタグを対象とする。周波数は RFID ではもっとも広く使われている 13.56MHz を使用する。



図 1 RFID キット (マーステクノサイエンス社)

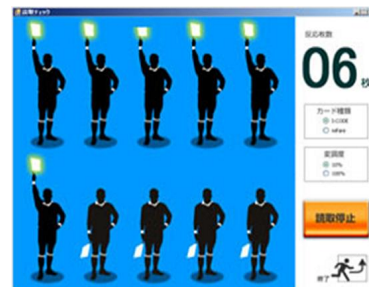


図 2 RFID キットの実行例 (6 枚のタグが反応した場合) [3]

3 RFID キットをもとにした解析モデルの作成

FEKO を用いて、RFID キットと同じ形のリーダとタグの解析モデルを作成する。

3.1 解析モデルの作成

リーダは、図 3 のように半径 $r=7.5\text{cm}$ 、導線半径 $wr=0.25\text{mm}$ のループアンテナモデルを作成した。タグは図 4 のように巻き数 $n=6$ 、巻き幅 1.4mm で、 $a=7.90\text{cm}$ 、 $b=4.75\text{cm}$ 、 $wr=0.25\text{mm}$ の長方形スパイラルアンテナモデルを作成した。ただし、ポートがあ

る部分や内側へまたぐ部分は細かい形状となっているので、図5のように①の部分には0.05mm、②の部分には0.07mm、③の部分は0.10mmと細く設計した。

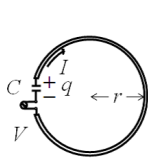


図3 リーダ（ループアンテナ）

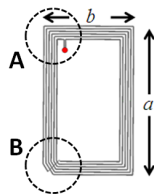


図4 タグ（長方形スパイラルアンテナ）

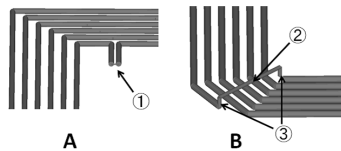


図5 図4のA, Bの拡大図

3.2 タグを認識する電力伝送効率の検証

RFIDキットを使用した結果、リーダーとタグを15cm離れたとき、認識しなくなった。このキットをもとに作成したモデルをFEKOで解析した結果、このときの電力伝送効率は0.12%とわかる。しかし、実験とシミュレーションでは条件が異なるので、FEKOの電力伝送効率は1%以上が望ましい。よって、電力伝送効率が1%以上のときは、リーダーがタグを認識できるものとして、シミュレーションを行う。

4 商品に金属が含まれる場合

RFIDは金属面で利用できない。これは、リーダーから発せられる電磁界が金属面により反射されてしまうからである。しかし、スーパーマーケットの商品には金属が含まれるものもある。そこで、金属がタグアンテナに与える影響を以下の3つのシミュレーションで検証する。

1つめは、タグアンテナに金属板を接触させた場合の電力伝送効率をFEKOで調べる。図6のように、リーダーからタグの距離 $d=1\text{cm}$ にして、タグの下に金属板を取り付けた。

2つめは、図6のタグアンテナの下に誘電体を取り付け、直接金属とタグが触れないようにして、シミュレーションを行う。ここで誘電体の誘電率は2.3としてプラスチックに近い物質を仮定した。誘電体の厚さは0.25cmとし、送信機と受信機の距離は1cmとした。

3つめは、図6のタグアンテナの上と下の両側に厚さ0.25cmの誘電体を取り付けた場合の、電力伝送効率をFEKOで解析した。2つめと同様に、誘電体の誘電率は2.3として、送信機と受信機の距離は1cmとした。

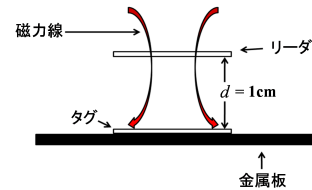


図6 タグアンテナに金属板を接触させた場合

4.1 解析結果

解析結果は以下の表のようになった。リーダーとタグのポートインピーダンスは50である。

表1 電力伝送効率解析結果まとめ

| | 電力伝送効率 [%] |
|-------------------------|------------|
| タグアンテナに金属板が接触している場合 | 0.0012 |
| 誘電体をタグアンテナの下側のみに取り付けた場合 | 0.23 |
| 誘電体をタグアンテナの上下に取り付けた場合 | 0.24 |

4.2 考察

金属板とタグアンテナが接触している場合は、電磁界が反射してしまい、電力伝送効率は、0.0012%と、かなり悪いものとなった。誘電体を取り付けた場合は、磁力線が通る隙間ができるので、電力伝送効率を0.23%まで向上させることができた。両側に誘電体をつけた場合の電力伝送効率は、0.24%と、下側のみ誘電体をつけた場合とあまり変わらなかった。しかし、実際にスーパーマーケットなどで利用する場合は金属がどこに置かれているかわからないので、両側に誘電体をつけたほうが実用的と考えられる。

5 リーダアンテナの改善

買い物かご内全体の商品を確認するため、半径35cmの円状のリーダーアンテナにする。また、実用的なリーダーアンテナを設計するためには、ポートインピーダンスが1以上、50程度である必要がある。そこで、共役影響アドミタンスの概念[4]を用いてリーダーとタグのポートインピーダンスと装荷キャパシタンスの最大電力供給の条件を求め、その条件が実用的なものになるようにリーダーアンテナの解析モデルを改善する。

5.1 リーダアンテナの半径とポートインピーダンス

半径35cmのリーダーアンテナのポートインピーダンスが50程度になるように、ヘリカルアンテナの巻き数を変化させてモデルを設計した。今回のシミュレーションでは、買い物かご中央での最大電力供給の条件がポートインピーダンス35.74となった半径35cm、2巻きのヘリカルアンテナを用いることにする。このときのタグのポートインピーダンスは0.011である。

6 タグアンテナの位置と角度を変えた場合の電力伝送効率を検証

RFID はリーダとタグとの角度が垂直に近づくとも認識できないという欠点がある．そこで，角度に関係なく認識できるリーダアンテナを考える．

6.1 作成した解析モデル

リーダとタグとの角度が 90° 前後の場合は良好な電力伝送効率を得られなかった．そこで角度の異なるリーダを2つ使うことで，一方のリーダとタグとの角度が 90° のときに，もう一方のリーダが認識できるようにする．そのために，リーダ同士の干渉を防ぐため片方ずつ電流を流すこと，図7のようにリーダはかごの下に置くことが必要である．

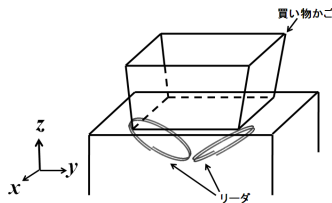


図7 レジシステムにおけるリーダの位置

作成した解析モデルは図8, 9のようになった．また，リーダを傾ける角度は 30° とする．

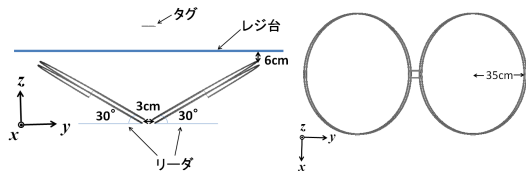


図8 作成した解析モデル (yz 平面)

図9 作成した解析モデル (xy 平面)

6.2 解析方法

一般的な買い物かごの大きさは縦 51cm ，横 36cm ，高さ 24cm である．この大きさを考慮して，1つのタグアンテナを図10のように27ヶ所で $0^\circ \sim 180^\circ$ まで 30° ずつ角度を変えて解析を行い，電力伝送効率を求める．

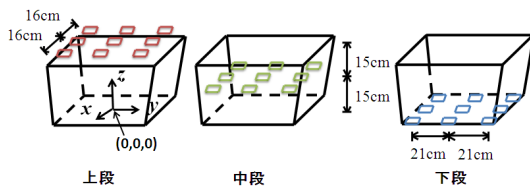


図10 買い物かご内のタグの配置

6.3 解析結果

買い物かごの上段，中段，下段をそれぞれリーダが1つの場合と2つの場合で比較する．リーダが2つの場合

は電力伝送効率が高い方の値をグラフの値とする．

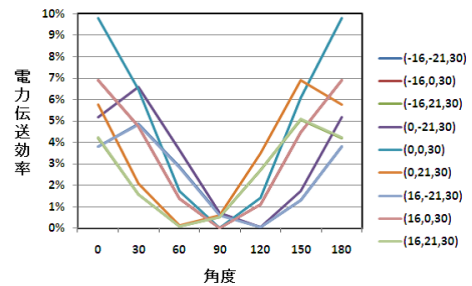


図11 リーダが1つのときの買い物かご上段の解析結果 (凡例は原点を図10のように下段の中央にとった場合の座標であり，単位は cm である)

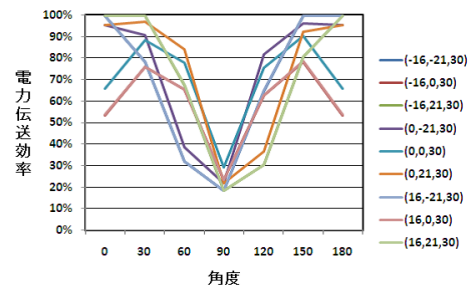


図12 リーダが2つのときの買い物かご上段の解析結果

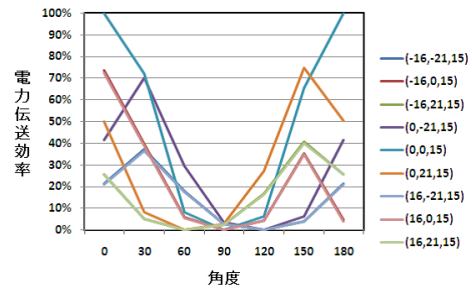


図13 リーダが1つのときの買い物かご中段の解析結果

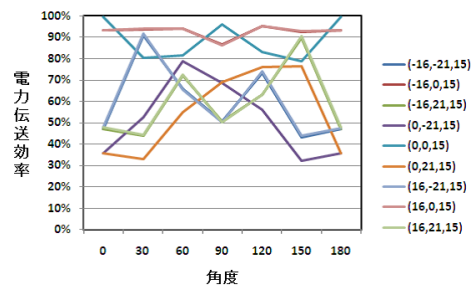


図14 リーダが2つのときの買い物かご中段の解析結果

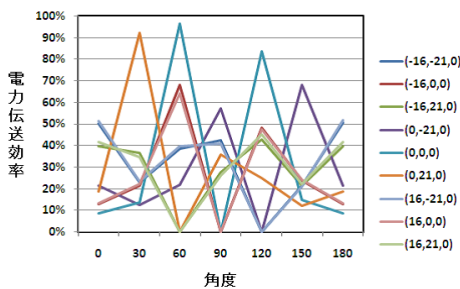


図 15 リーダが 1 つのときの買い物かご下段の解析結果

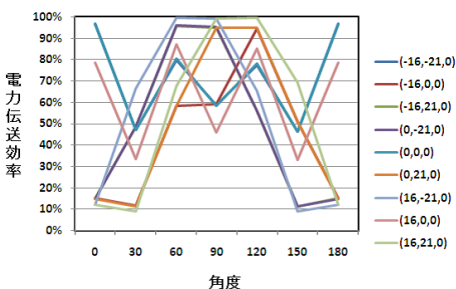


図 16 リーダが 2 つのときの買い物かご下段の解析結果

6.4 考察

リーダーが 1 つのときは、リーダーとタグとの角度が 90 度付近になるにつれて良好な電力伝送効率である 1% 以上を得ることができなかった。しかしリーダーが 2 つのときは、27ヶ所全ての位置で 10% 程度より高い電力伝送効率を得られた。リーダーが 2 つの場合はそれぞれでリーダーとタグとの角度が異なることで、一方が認識できないところはもう一方が認識し、お互いを補い合っていることがわかる。

7 買い物かごに複数のタグがある場合の電力伝送効率を検証

レジシステムで利用するためには、複数のタグを認識することが必要である。そこで、図 8, 9 の解析モデルを用いて買い物かごに商品が複数ある場合の検証を行う。

7.1 タグが 2 つあるときの電力伝送効率

ここではタグを 2 つにして検証を行う。図 17 のように中段の A と B、中段の C と D、上段の E と下段の F の 3 パターンで解析を行う。リーダーとタグのポートインピーダンスは 5.1 で求めた 35.74, 0.011 を用いる。また、タグのポートインピーダンスを 1 にしたときの解析も行う。

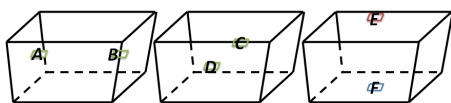


図 17 解析を行う 2 つのタグの配置

リーダーとタグ A~F との電力伝送効率は表 2, 3 のようになった。リーダーは左と右で電力伝送効率の大きい方を表にした。

表 2 タグのポートインピーダンスが 0.011 の場合

| タグ | A・B | C・D | E | F |
|------------|------|------|------|------|
| 電力伝送効率 (%) | 7.21 | 3.07 | 1.95 | 0.43 |

表 3 タグのポートインピーダンスが 1 の場合

| タグ | A・B | C・D | E | F |
|------------|-------|------|------|------|
| 電力伝送効率 (%) | 14.83 | 3.11 | 2.14 | 6.71 |

7.2 考察

タグアンテナのポートインピーダンスの値を最大電力供給の条件より大きくすることで、タグが 1 つの場合の電力伝送効率は低下するが、タグが複数ある場合も 1% 以上の電力伝送効率を得られた。

8 まとめと今後の課題

本研究では、FEKO を用いてリーダーとタグのアンテナモデルを作成し、最大電力供給の条件を求めることで、実用的なポートインピーダンスのリーダーアンテナを設計した。キットをもとに作成したリーダーアンテナは、買い物かご内全体のタグアンテナを認識すること、リーダーとの角度が垂直に近いタグを認識することができなかった。そこで、かごの大きさに適した大きさ、実用的なポートインピーダンスのリーダーアンテナを検証した結果、リーダーアンテナを半径 35cm で 2 巻きのヘリカルアンテナに決定し、リーダーアンテナを 2 つにしてそれぞれ異なる角度をつけることで買い物かご内全体で垂直なタグアンテナも認識することができた。

金属板を置いたとき、誘電体を取り付けた場合でも良好な電力伝送効率を得られなかったため、誘電体の誘電率を変えたり、大きさ、形を変更してシミュレーションすることが必要である。今回のシミュレーションではタグアンテナのモデルは RFID キットと同じ構造のものを作成、使用したが、タグアンテナの小型化、コスト削減のための形状の簡素化が必要である。そのためにリーダーアンテナのさらなる改善が今後の課題である。

参考文献

- [1] Microsoft ホームページ, <http://www.microsoft.com/>
- [2] FEKO ホームページ, <http://www.feko.info/>
- [3] 株式会社マーステクノサイエンス ホームページ, <http://www.mars-techno.co.jp/>
- [4] 丸地, 稲垣, 藤井: 誘導電界を用いた新しい無線接続方式, 信学技報, A-P2009-84, pp.29-34 (2009.9).
- [5] 儘田有美, 酒井宏実: RFID を用いたレジ精算システムのためのアンテナに関する研究, 南山大学数理情報学部情報通信学科 2007 年度卒業論文 (2008.3).