

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

2004MT057 儘田 有美 2004MT085 酒井 宏実

指導教員 稲垣 直樹

1 はじめに

1.1 研究の背景

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、無線通信を利用して対象物の認証、管理を行うシステムである。電波を利用しており、非接触型認証システムともよばれる [1]。RFID の歴史として 1940 年代の第二次世界大戦中、IFF (Identification Friend or Foe system) と呼ばれる敵味方識別システムが使用されていた。

現在、ユビキタスの社会の実現に伴い、今まで以上に RFID のさらなる発展が見込まれている。私たちの生活の中でスーパーマーケットで買い物をする際、待ち時間に苦痛を感じたことはないだろうか。2003 年のマルエツの調査によると、スーパーマーケットで買い物をする上で顧客が一番嫌がることの第 1 位に「レジで待たされること」といったことが挙げられている [2]。そこで、RFID レジシステムを導入することによって、レジでの待ち時間を短縮できないかと考え本研究を進めていく。

1.2 研究の目的

スーパーマーケットの商品一つ一つに IC タグを取り付け、商品を一度に精算できるよう追及していく。POS レジシステムは、一つ一つ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。こういった問題を解決するため、本研究では IC タグとリーダーライタにアンテナを設置し、どのアンテナが適しているのかについて検証していく。目的は、買い物の時間の短縮である。

1.3 研究の方法

IC タグを取り付けた商品を RFID システムによって精算する際、IC タグそれぞれが受ける受信電力に違いが生じてしまえば、正確な金額で精算することができない。そこで本研究では、リーダーライタに内蔵するアンテナと IC タグに取り付けるアンテナのモデルを FEKO によって作成し、図 1 のように設置された IC タグの受信電力をそれぞれ求め、取り付けした IC タグの受信電力の値が均等になるよう検証する。IC タグ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と呼ばれるものがある。本研究では電池を内蔵していないパッシブタグ、シールタイプでラベル型の IC タグを対象とする。

金属製品だと電波を反射してしまい、電力を求めることが困難である。生鮮食品は IC タグを取り付けることが難しいこと、冷凍食品は霜がつくので読み取りにくい

といったことが挙げられるので、金属製品、生鮮食品、冷凍食品以外のモノを対象とする [3]。周波数は一般的に 13.56MHz が使用されているので、本研究も同様に 13.56MHz に設定する。

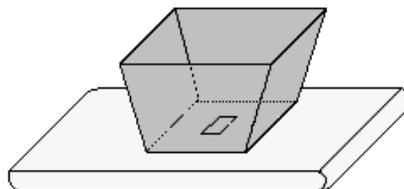


図 1 IC タグのついた商品に乗せた買い物かごとリーダーライタ

1.4 役割分担

儘田有美は主に FEKO 解析と文章作成、酒井宏実は主に FEKO 解析と図作成を担当した。

2 リーダライタと IC タグのアンテナの特性

2.1 FEKO による解析

図 2 のように、リーダーライタにアンテナを内蔵し、リーダーライタの上に IC タグを取り付け FEKO による解析を行う。IC タグを買い物かごに乗せる際、電力を受信する側の影響はないと考えた。A, B, C はそれぞれ商品に IC タグを取り付けたものとする。IC タグと IC タグの間はそれぞれ 20cm で、A, B, C それぞれリーダーライタに内蔵するアンテナからの受信電力を求める。リーダーライタに内蔵したアンテナ、IC タグに設置したアンテナの組み合わせを検証し、どの組み合わせがよいかということを検証する。このとき、IC タグの向きは全て水平に置かれているものとする。

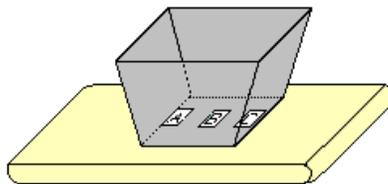


図 2 IC タグを 3 つ乗せた買い物かご

2.2 微小ダイポールアンテナとスパイラルアンテナの組み合わせ

リーダライタ内に内蔵するアンテナを水平にした微小ダイポールアンテナ, IC タグに設置するアンテナをスパイラルアンテナとし, 受信電力を求める. 微小ダイポールアンテナは真ん中に設置した IC タグの真下に設置した. このときの微小ダイポールアンテナの大きさはゼロとする. IC タグに設置するスパイラルアンテナの大きさは横 1.7cm, 縦 1.2cm とする. リーダライタに内蔵したアンテナから IC タグまでの距離は 3cm である.

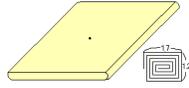


図3 微小ダイポールアンテナとスパイラルアンテナ

2.3 スパイラルアンテナとスパイラルアンテナの組み合わせ

リーダライタ内に内蔵するアンテナと IC タグに設置するアンテナをスパイラルアンテナとし, 受信電力を求める. リーダライタに内蔵するアンテナの大きさは横 50cm, 縦 45cm, IC タグに設置するアンテナの大きさは横 1.7cm, 縦 1.2cm とする. リーダライタに内蔵したスパイラルアンテナから IC タグまでの距離は 3cm である.

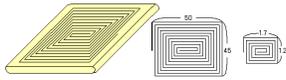


図4 スパイラルアンテナとスパイラルアンテナ

2.4 ループアンテナとループアンテナの組み合わせ

リーダライタ内に内蔵するアンテナと IC タグに設置するアンテナをループアンテナとし, 受信電力を求める. リーダライタに内蔵するアンテナの大きさは横 50cm, 縦 45cm, IC タグに設置するアンテナの大きさは横 1.7cm, 縦 1.2cm とする. リーダライタに内蔵したループアンテナから IC タグまでの距離は 3cm である.

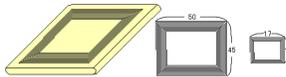


図5 ループアンテナとループアンテナ

2.5 メアンダラインアンテナとメアンダラインアンテナの組み合わせ

リーダライタ内に内蔵するアンテナと IC タグに設置するアンテナをメアンダラインアンテナとし, 受信電力を求める. リーダライタに内蔵するアンテナの大きさは横 50cm, 縦 45cm, IC タグに設置するアンテナの大きさは横 1.7cm, 縦 1.2cm とする. リーダライタに内蔵した

メアンダラインアンテナから IC タグまでの距離は 3cm である.

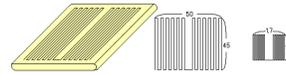


図6 メアンダラインアンテナとメアンダラインアンテナ

2.6 スパイラルアンテナとループアンテナの組み合わせ

リーダライタ内に内蔵するアンテナをスパイラルアンテナ, IC タグに設置するアンテナをループアンテナとし, 受信電力を測定する. リーダライタに内蔵するアンテナの大きさは横 50cm, 縦 45cm, IC タグに設置するアンテナの大きさは横 1.7cm, 縦 1.2cm とする. リーダライタに内蔵したスパイラルアンテナから IC タグまでの距離は 3cm である.

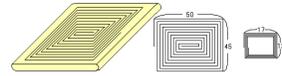


図7 スパイラルアンテナとループアンテナ

2.7 解析結果

2.2 から 2.6 の組み合わせでシミュレーションした受信電力を表 1 にまとめた. リーダライタからの電源の内部抵抗と IC タグの負荷抵抗は共に 50 Ω , 送信電力は 1mW とする.

表 1 測定した受信電力 [W]

	A	B	C
2.2	$3.2361e^{-10}$	$1.3711e^{-4}$	$3.2254e^{-10}$
2.3	$1.8523e^{-7}$	$3.3802e^{-7}$	$5.0895e^{-7}$
2.4	$3.5250e^{-15}$	$1.2411e^{-10}$	$2.4137e^{-16}$
2.5	$1.2531e^{-12}$	$2.5168e^{-9}$	$4.8890e^{-12}$
2.6	$4.2664e^{-12}$	$6.0090e^{-13}$	$2.0672e^{-12}$

2.8 考察

微小ダイポールアンテナとスパイラルアンテナの組み合わせ, ループアンテナとループアンテナの組み合わせ, メアンダラインアンテナとメアンダラインアンテナの組み合わせで測定した結果を見てみると, IC タグ A, C の受信電力は IC タグ B に比べて極端に小さいことがわかる. それに比べ, スパイラルアンテナとスパイラルアンテナの組み合わせは, 数値に多少のバラつきはあるものの指数部分の数値も同じなので, 目標に近い結果が得られたことがわかった. スパイラルアンテナとループアンテナの組み合わせもほぼ同等な数値と言えるが, スパイラルアンテナとスパイラルアンテナの組み合わせに比べると値は小さい. このことより, 今後リーダライタに内蔵するアンテナ, IC タグに設置するアンテナはスパイラルアンテナを対象として研究を進めていく.

3 IC タグについて

3.1 IC タグの個数と設置した位置

第2章まではICタグを横に3つ並べた状態で受信電力の測定を行ったが、今後は図8のようにICタグを8個並べた状態で受信電力の測定を行う。ICタグは真ん中に設置するだけでなく、買い物カゴの奥行きを受信電力も調べるために、真ん中に設置したICタグのモデル2，モデル2から-y方向に15cm移動したモデル1，y方向に15cm移動したモデル3の3種類の解析を行う。ICタグに設置するアンテナは横1.7cm，縦1.2cmのスパイラルアンテナ，リーダライタに内蔵するアンテナは横50cm，縦45cmのスパイラルアンテナを使用する。

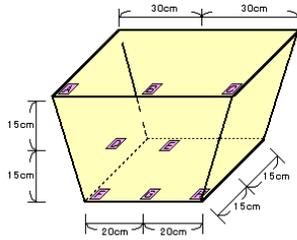


図8 今後使用するモデル (モデル1とする)

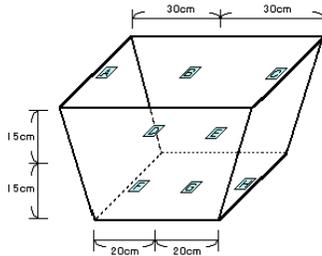


図9 今後使用するモデル (モデル2とする)

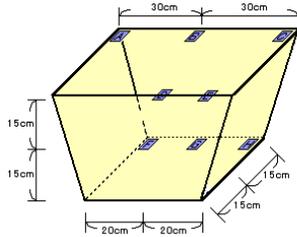


図10 今後使用するモデル (モデル3とする)

3.2 IC タグの向き

ICタグの向きを色々変え、受信電力の測定を行う。本研究では、図3のモデル1，モデル2，モデル3の状態ですべて水平方向，全て垂直方向，パラバラの状態をそれぞれ解析する。

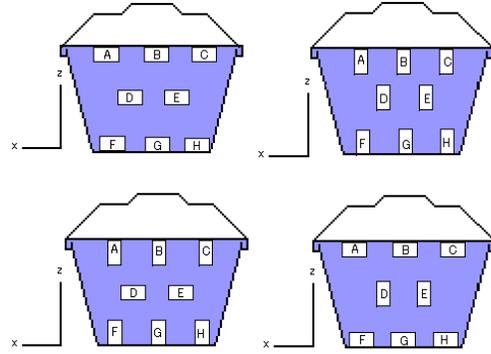


図11 向きの状態 (右上から全て水平方向，全て垂直方向，モデルAのバラバラ，モデルBのバラバラとする)

3.3 解析結果

モデル1，モデル2，モデル3の状態ですべてそれぞれ解析を行った。解析結果を以下にまとめる。リーダライタの電源の内部抵抗とICタグの負荷抵抗は共に50Ω，送信電力は1mWとする。

表2 測定した受信電力 (全て水平方向) [W]

	モデル1	モデル2	モデル3
A	$4.7001e^{-10}$	$7.4403e^{-10}$	$1.3299e^{-9}$
B	$3.2812e^{-8}$	$4.4313e^{-11}$	$5.3975e^{-8}$
C	$8.2346e^{-13}$	$2.9659e^{-10}$	$6.2297e^{-13}$
D	$4.3816e^{-8}$	$3.8924e^{-11}$	$8.3115e^{-8}$
E	$2.0838e^{-8}$	$3.9924e^{-11}$	$3.4193e^{-10}$
F	$4.0774e^{-7}$	$5.4014e^{-7}$	$8.2820e^{-7}$
G	$2.3106e^{-7}$	$3.6587e^{-7}$	$8.5830e^{-7}$
H	$1.6287e^{-8}$	$1.2493e^{-7}$	$5.8546e^{-8}$

表3 測定した受信電力 (全て垂直方向) [W]

	モデル1	モデル2	モデル3
A	$1.5169e^{-8}$	$2.4821e^{-8}$	$1.5169e^{-8}$
B	$1.1947e^{-9}$	$2.2070e^{-9}$	$4.4006e^{-10}$
C	$5.8584e^{-9}$	$9.9975e^{-9}$	$5.3577e^{-9}$
D	$2.2350e^{-8}$	$4.1727e^{-8}$	$1.3046e^{-8}$
E	$5.2239e^{-8}$	$9.6661e^{-8}$	$3.9962e^{-8}$
F	$6.8944e^{-7}$	$1.0684e^{-6}$	$1.1861e^{-7}$
G	$3.6643e^{-10}$	$2.7871e^{-9}$	$5.7958e^{-11}$
H	$4.7218e^{-7}$	$5.8458e^{-7}$	$4.0358e^{-7}$

表4 測定した受信電力 (モデルA) [W]

	モデル1	モデル2	モデル3
A	$1.5269e^{-8}$	$2.5043e^{-8}$	$1.3122e^{-8}$
B	$1.1404e^{-9}$	$2.2671e^{-9}$	$4.6123e^{-10}$
C	$5.9382e^{-9}$	$9.9624e^{-9}$	$5.4106e^{-9}$
D	$9.1158e^{-8}$	$1.7780e^{-7}$	$4.7086e^{-8}$
E	$2.4146e^{-8}$	$1.4532e^{-7}$	$1.6983e^{-8}$
F	$6.7923e^{-7}$	$1.0735e^{-6}$	$1.2007e^{-7}$
G	$4.0198e^{-10}$	$2.5013e^{-9}$	$5.2452e^{-11}$
H	$4.8232e^{-7}$	$1.5739e^{-7}$	$4.0922e^{-7}$

表 5 測定した受信電力 (モデル B) [W]

	モデル 1	モデル 2	モデル 3
A	$4.6843e^{-10}$	$3.9995e^{-9}$	$1.2527e^{-9}$
B	$3.2578e^{-8}$	$1.1033e^{-7}$	$5.3116e^{-8}$
C	$1.1345e^{-12}$	$3.6636e^{-11}$	$2.9914e^{-13}$
D	$1.3137e^{-8}$	$1.7802e^{-7}$	$2.2661e^{-8}$
E	$4.0393e^{-8}$	$6.2349e^{-8}$	$5.2406e^{-8}$
F	$4.1397e^{-7}$	$5.3460e^{-7}$	$8.2005e^{-7}$
G	$2.3368e^{-7}$	$3.6077e^{-7}$	$8.4995e^{-7}$
H	$4.5681e^{-8}$	$2.1614e^{-7}$	$1.1159e^{-7}$

3.4 考察

4つの解析結果を見てみると、モデル1,モデル2,モデル3の状態にしても受信電力にそれぞれそれほど大差がないことがわかった。Cの位置はリーダライタから少し距離が離れているため、他のICタグに比べ値が小さくなってしまったと考えられる。全体的に見てみると、水平方向にした場合は他の3つの解析に比べ値が小さくなってしまった。

4 リーダライタの改善

4.1 リーダライタについて

リーダライタ内とICタグにスパイラルアンテナを設置し今まで解析を行ってきたが、これまでの解析では平均的、そして目標に近い値を得ることができなかった。そこで、図12のようなボックスタイプのリーダライタを考えた。これは今まで買い物カゴの底にあったリーダライタに加え、側面の部分にもリーダライタを設置した。側面の部分にはアンテナを巻くことによって作られるヘリカルアンテナというものを使用した。

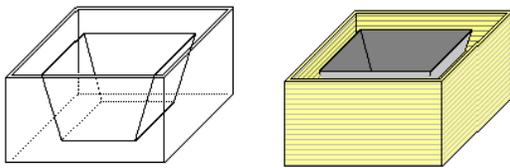


図 12 改善したリーダライタ

4.2 解析の方法

改善したリーダライタを使用し、4.3の解析結果で一番悪い結果であった、ICタグを水平方向にしたときの状態で受信電力を測定する。今回もモデル1,モデル2,モデル3の状態をそれぞれ解析する。

4.3 解析結果

解析結果を表6にまとめる。抵抗はリーダライタの電源の内部抵抗とICタグの負荷抵抗は共に50Ω,送信電力は1mWとする。

4.4 考察

解析結果を見てみると、モデル1,モデル2,モデル3とも全体的に均等な値がとれている。そして、リーダライタを改善する以前の結果よりも、遥かに目標に近い値

表 6 改善したリーダライタで測定した受信電力 (IC タグの向きは全て水平方向) [W]

	モデル 1	モデル 2	モデル 3
A	$5.1033e^{-8}$	$4.2974e^{-8}$	$3.2812e^{-8}$
B	$4.0674e^{-8}$	$2.4968e^{-9}$	$1.3210e^{-8}$
C	$7.7061e^{-8}$	$2.6468e^{-7}$	$1.7698e^{-8}$
D	$5.8064e^{-8}$	$3.6950e^{-7}$	$3.8514e^{-7}$
E	$1.0675e^{-7}$	$3.0721e^{-7}$	$2.0012e^{-7}$
F	$3.2599e^{-7}$	$2.3957e^{-7}$	$3.9294e^{-7}$
G	$5.4837e^{-7}$	$5.9606e^{-7}$	$5.8506e^{-7}$
H	$3.4015e^{-7}$	$3.0748e^{-7}$	$3.6581e^{-7}$

を得ることができた。

5 まとめと今後の課題

本研究では、リーダライタ内とICタグにアンテナを設置し、ICタグが受ける受信電力を測定することをFEKO上で行った。買い物カゴの中の商品にICタグを設置したものとし、ICタグが受ける受信電力の数値が均等になるように検証することが目的であった。リーダライタ内とICタグに設置するアンテナを検証した結果、両者ともスパイラルアンテナで目標に近い値を得ることはできたので、アンテナはスパイラルアンテナを使用した。スパイラルアンテナでさまざまな解析を行ったが、全体的に目標に近い値を得ることができなかった。リーダライタを買い物カゴの下だけに設置したものから、側面にも設置したものに改善した。このようにリーダライタを改善することにより、今まで一番目標に近い値を得ることができた。

今回は金属製品、生鮮食品、冷凍食品以外のモノで検証を行った。したがって、金属製品、生鮮食品や冷凍食品にもICタグの読み取りが可能となり、どんな状態でも均等な値を取れるようにする必要がある。これからの問題を解決することが今後の課題である。また、受信電力の計算において抵抗値を全て50Ωとしたが、この値の最適値を求めたり、回路が共振するためのコンデンサを含めるなど、回路設計を行うことが今後の課題として残されている。

参考文献

- [1] NTT データ・ユビキタス研究会: "ICタグって何だ?", 大日本印刷株式会社 (2003.9)
- [2] Microsoft ホームページ, <http://www.microsoft.com>.
- [3] 山田英吉・杉尾嘉彦・伊藤公一: "小型アンテナとシステム応用", ケイラボ出版, (2004.3)