

UHF帯RFIDを用いた重要書類管理システム向けアンテナ技術

Antenna Technologies for Important Document Control Systems Using UHF-Band RFID

山田 亜希子 庄木 裕樹 保里 房生

■ YAMADA Akiko ■ SHOKI Hiroki ■ HORI Fusao

オフィスでの書類単位の管理と棚卸し作業が効率化できるRFID (Radio Frequency Identification) を用いた重要書類管理システムが提案されている。その中でUHF (Ultra High Frequency) 帯RFIDは、複数のタグを一括して読み取れるなどの特長があるが、13.56 MHz帯RFIDと比べて通信距離が長く、電波の反射や回折などにより、想定した範囲外のタグを読み取ってしまうたり、複数のR/W (リーダ/ライタ) 間に干渉が生じたりするなどの問題がある。また、オフィスで一般的な金属製書棚では、金属壁面近傍で電波が打ち消し合うため、壁面から約3 cm以内に置かれたタグを読み取れないという問題があった。

そこで東芝は、これらの問題を解決するため、不要放射を低減できる近傍界結合型R/Wアンテナと、金属棚での読取り性能を向上させる周波数選択性 同相反射板を開発した。

Radio-frequency identification (RFID) systems have recently been introduced to important document control systems due to their superior efficiency in terms of document-by-document control and ability to facilitate inventories of the contents of filing cabinets. An ultrahigh-frequency (UHF)-band RFID is expected to be applicable to such document control systems because of its long read range and ability to read multiple tags. On the other hand, these advantageous characteristics can also cause several problems such as tag collision, overreaching to tags in unexpected places, and interference with other RFID reader/writer (R/W) systems. Furthermore, the tag reading performance in the case of commonly used metal cabinets is sometimes insufficient. As UHF electromagnetic signals are canceled near the metal surface of the cabinet, tags within 3 cm from the cabinet wall are frequently left unread.

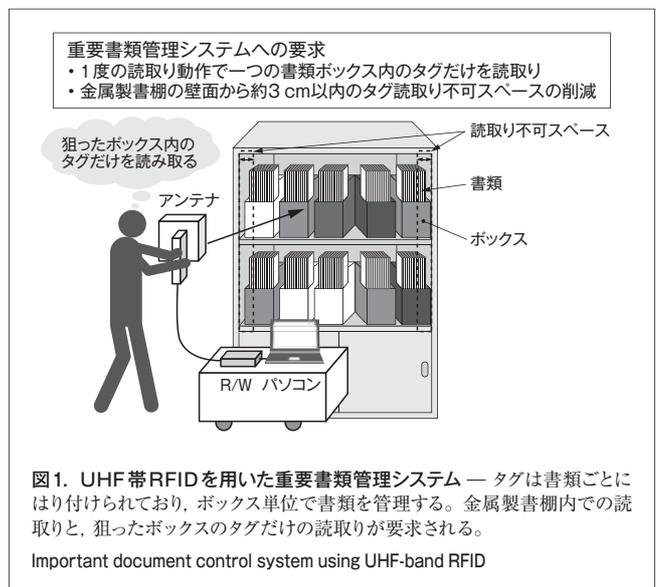
Toshiba has developed a near-field R/W antenna for simultaneous tag reading in a single file box. This antenna reduces unwanted emissions and incorporates an in-phase reflector for better control of important documents in metal cabinets.

1 まえがき

UHF帯RFIDは、複数のタグを一括で読取りができること、13.56 MHz帯RFIDと比較して通信距離が長いなどの特長から、様々な分野での応用が期待されている。オフィスでの重要書類管理システムの使用イメージと要求を図1に示す。

しかし、UHF帯RFIDは、電波の反射や回折などにより、想定した範囲外のタグ読取りや複数R/W間の干渉などの問題が生じる。書類管理用途では、想定した範囲外のタグを読まないよう不要放射の抑制が要求される。また、オフィスの書棚は金属製が一般的であるが、金属壁面近傍では電波が打ち消し合うため、壁面から約3 cm以内にあるタグを読み取れないという問題があり、その読取り性能の向上が要求される。

そこで東芝は、重要書類管理システムへの適用を目的として、狭い間隔で配置された複数のタグを読み取るため、不要放射を低減できる近傍界結合型R/Wアンテナ⁽¹⁾と、金属棚での読取り性能を向上させるため、FSS (Frequency Selective Surface) とグランド板から成る周波数選択性 同相反射板を開発した。ここでは、それらの概要と評価の結果を述べる。



2 近傍界結合型R/Wアンテナ

ここで想定する重要書類管理システムは、書類ごとにタグが付けられ、図1に示したように、所定の書類が所定のボックス内にあるか、混入はないかなどを管理するものである。例え

ば、ボックス内に30部程度の書類が収納され、タグは書類の指定位置にはり付けられているとする。したがって、各タグは、約2 mmの間隔で整列した状態となっている。

2.1 不要電波の放射削減の概念

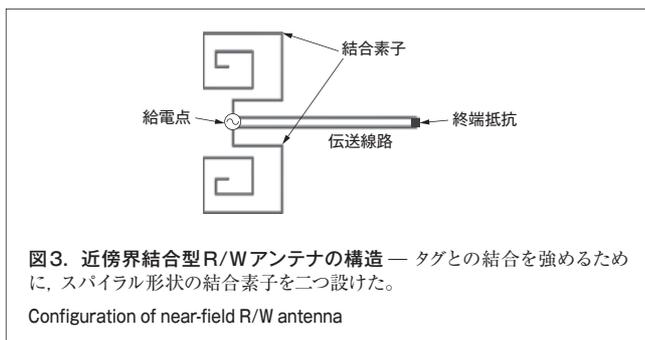
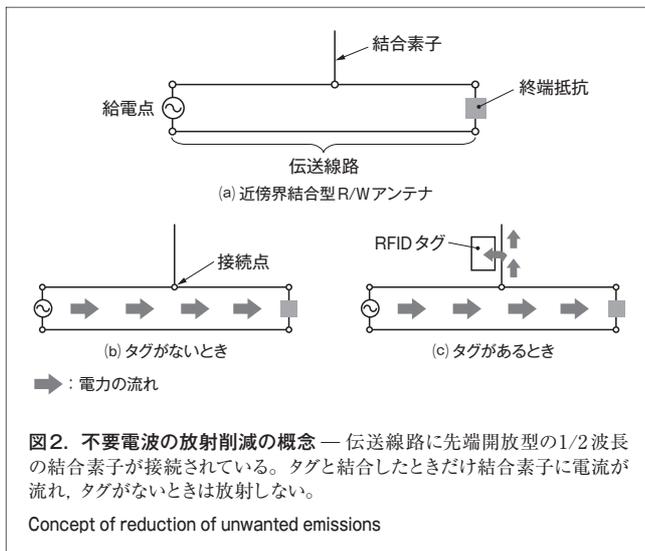
開発したアンテナの概念を、図2を用いて説明する。

(a)は、近傍界結合型R/Wアンテナの基本構造を示している。端部に反射を防ぐ終端抵抗を実装した伝送線路と、動作周波数の1/2波長の長さを持つ結合素子から構成される。1/2波長の結合素子の先端は開放端とする。

(b)は、タグがない場合の動作説明である。矢印は電流を示している。結合素子は1/2波長で先端が開放となっているため、伝送線路側から見て、接続点で高インピーダンスになる。したがって電流は結合素子には流れず、終端抵抗で消費される。タグ読取り時以外、電力はほぼすべて終端抵抗で消費され、不要な電波の放射を低減することができる。

(c)は、タグ読取り時の動作を示している。タグが結合素子に近接すると、タグと結合素子の間で結合が生じ、接続点から見たインピーダンスが下がり、伝送線路から結合素子へ電流が流れやすくなる。その結果、タグアンテナに電力を供給することができる。

このような概念を基に開発したアンテナの形状を図3に示す。



1/2波長の長さの結合素子は、タグとの結合が強まるよう二つ設け、更にタグアンテナの形状に合わせて、ほぼ同じ大きさの平面スパイラルを用いた構造とした。

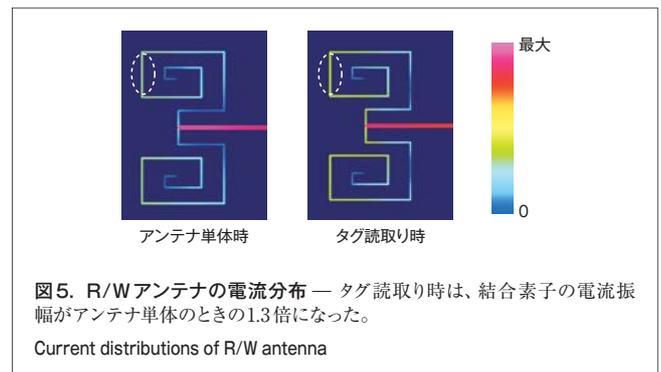
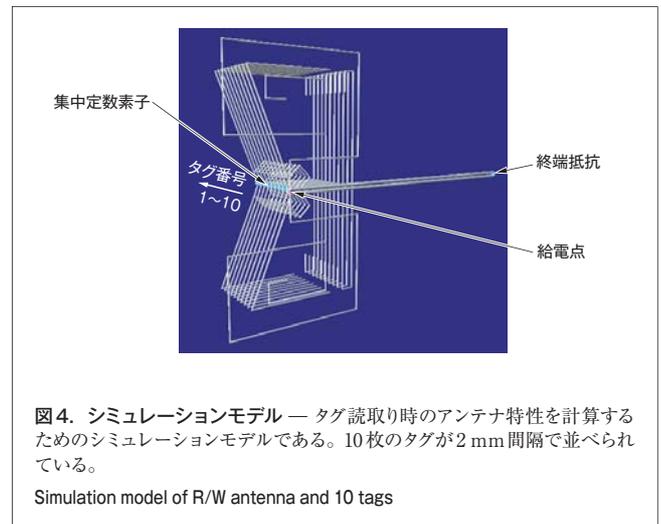
2.2 R/Wアンテナの電流分布

図3に示したR/Wアンテナの動作を確認するために、電流分布を計算した。シミュレーションにはモーメント法に基づく電磁界シミュレータを用いた。R/Wアンテナの終端抵抗値は、伝送線路の特性インピーダンスに合わせ、110 Ωとした。タグアンテナは、ICの代わりに953 MHzにおけるICのインピーダンス値を持つ集中定数素子を給電点に接続し、2 mm間隔で10枚を並べた(図4)。

アンテナ単体時とタグ読取り時のR/Wアンテナの電流分布を図5に示す。結合素子の破線で囲った部分の電流振幅を比較すると、タグ読取り時の値はアンテナ単体のときの1.3倍になっており、タグとの結合によって結合素子に流れる電流が増えたことが確認できた。

2.3 試作アンテナの評価

試作したR/Wアンテナ(図6)を用いて、タグ30枚の読取り実験を行った。実際の使用状態を模擬するために、2 mm厚に重ねた紙にタグをはり付けた。リーダ出力が500 mWのとき、1度の読取り動作で30枚のタグを読み取れることを確認した。



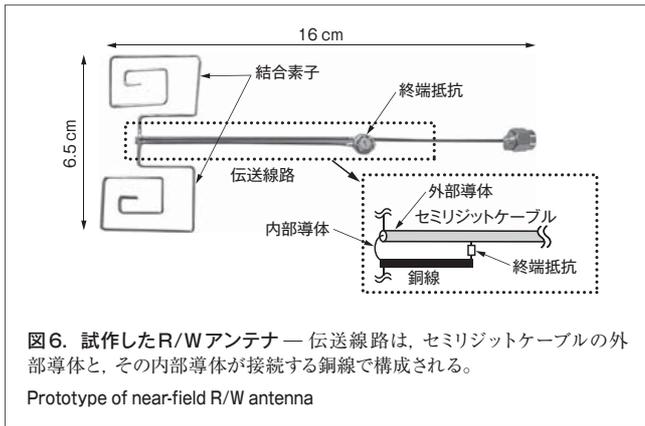


図6. 試作したR/Wアンテナ— 伝送線路は、セミアジツケーブルの外部導体と、その内部導体が接続する銅線で構成される。
Prototype of near-field R/W antenna

3 周波数選択性 同相反射板

前述したように、金属製書棚では金属棚側壁面から約3 cm以内のタグを読み取れないという問題がある。この問題を改善するため、周波数選択性 同相反射板を試作し評価した。

3.1 金属棚内のタグ読取り性能向上の概念

電磁波のふるまいを図7を用いて説明する。(a)は金属板の近傍に波源(タグ)がある場合を示している。タグから放射した電波(入射波)は、金属表面で位相が反転して反射する。金属板の近傍ではこの反射波と入射波がほぼ逆相となるため、電波が打ち消し合う。したがって金属壁近傍で、タグの読取りができない読取り不可スペースが生じる。

そこで当社は、金属壁面近傍で電波の打消しが生じないように、周波数選択性 同相反射板を適用して反射波の位相を制御することを検討した。同相反射板表面で、(b)に示すように、反射波が入射波と同相で反射するように設計されているため、同相反射板の近傍では反射波と入射波がほぼ同相となり、金属壁面近傍のタグ読取り不可スペースを解消することができる。

周波数選択性 同相反射板は、図8に示すように誘電体基板上に周期的に金属パッチを並べたもので、誘電体裏面はグラウンド板となっている。設計対象となるパラメータは、パッチ

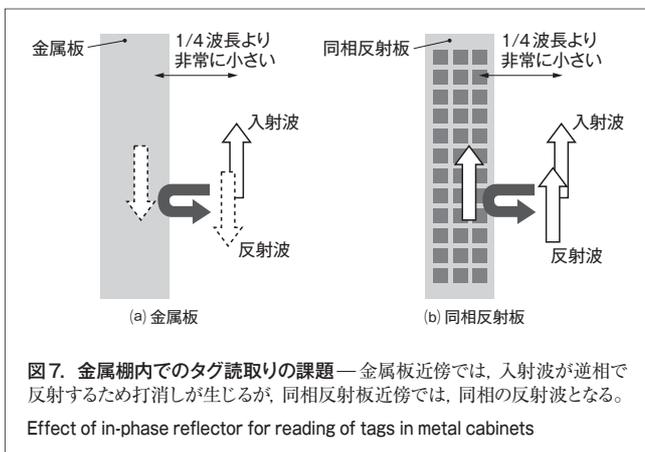


図7. 金属棚内でのタグ読取りの課題— 金属板近傍では、入射波が逆相で反射するため打消しが生じるが、同相反射板近傍では、同相の反射波となる。
Effect of in-phase reflector for reading of tags in metal cabinets

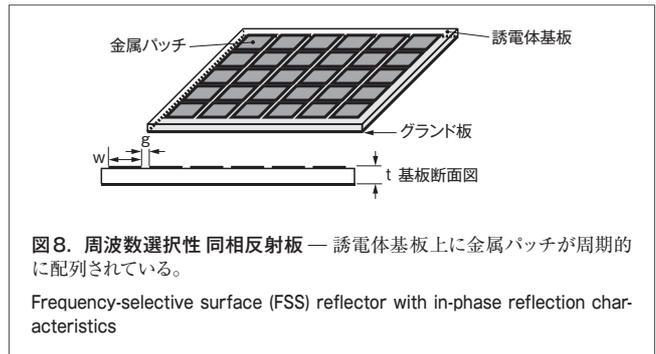


図8. 周波数選択性 同相反射板— 誘電体基板上に金属パッチが周期的に配列されている。
Frequency-selective surface (FSS) reflector with in-phase reflection characteristics

幅 w 、ギャップ g 、誘電体基板の比誘電率 ϵ 、基板厚 t である。今回、誘電体基板は低コストで入手しやすいFR-4基板(ガラスエポキシ基板)を想定し、 ϵ を4.8、 t を3.2 mmの固定値として、そのほかのパラメータを調整し、950 MHz帯で同相反射特性が得られるよう設計を行った。

3.2 試作基板の評価

評価には、東芝テック(株)製のハンディ型リーダ UF-2000-WL及びタグ UF-2000-TGを用いた⁽²⁾。前節で設計した同相反射板を試作し、UF-2000-WLリーダアンテナを用いて読取り実験を行った結果、タグ位置によって同相反射板近傍で読取りできない場合があることがわかった。950 MHz帯は波長が30 cm以上と長く、また基板の誘電率も4.8と比較的低いため、周期構造のサイズが65 mmとタグと同等のサイズになる。そのため、平面波を仮定すれば基板表面で同相反射特

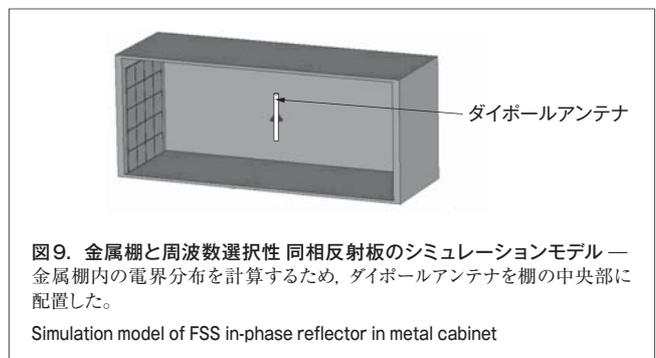


図9. 金属棚と周波数選択性 同相反射板のシミュレーションモデル— 金属棚内の電界分布を計算するため、ダイポールアンテナを棚の中央部に配置した。
Simulation model of FSS in-phase reflector in metal cabinet

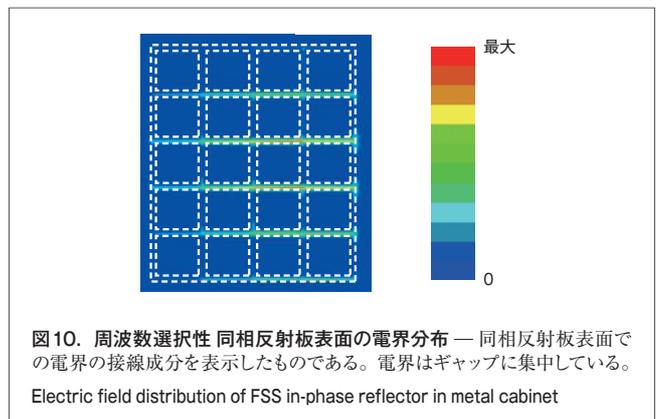


図10. 周波数選択性 同相反射板表面の電界分布— 同相反射板表面での電界の接続成分を表示したものである。電界はギャップに集中している。
Electric field distribution of FSS in-phase reflector in metal cabinet

性は得られるものの、近傍では、目的の特性が得られていないものと考えられる。

同相反射板表面の電界分布を求めるために、図9に示す金属棚内の中央に配置したダイポールアンテナのシミュレーションを行った。図10は、同相反射板表面における、電界の接線成分の分布をシミュレーションした結果である。電界はギャップに集中し、金属パッチ上では電界は0となっていることがわかる。つまり金属パッチ上にタグが重なった場合、同相反射板として動作せず、金属板と同じように作用していると考えられる。

3.3 位置依存性の改善

同相反射板の構造周期とタグサイズが同等の場合、電界が0となる面積がタグサイズと同等になり、問題となる。 ϵ の高い基板を使用すれば、周期サイズを小さくすることができ、読取り性能の位置依存性を改善することができるが、材料費が非常に高くなる。そこで、パッチ形状を工夫し、電界強度が0となる面積を小さくすることを検討した。具体的には、金属パッチをメッシュ化することで電界分布のむらを低減させた。

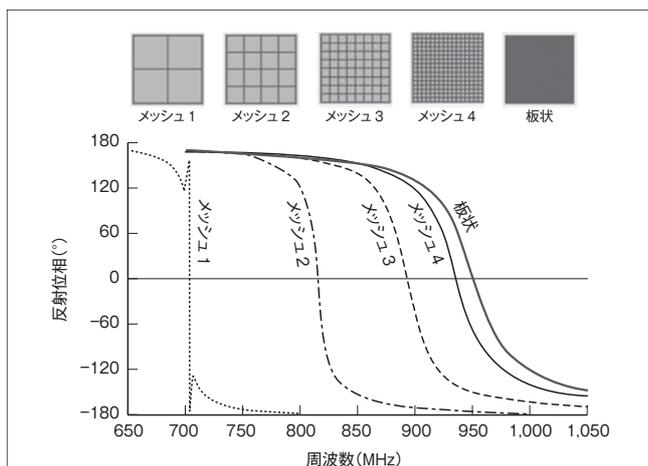


図11. メッシュ化した周波数選択性同相反射板の反射位相特性 — 同相反射特性が得られる周波数は、金属パッチのメッシュを細かくすると板状の特性に近づき、メッシュを粗くすると低周波になる。

Reflection phase characteristics of various FSS in-phase reflectors

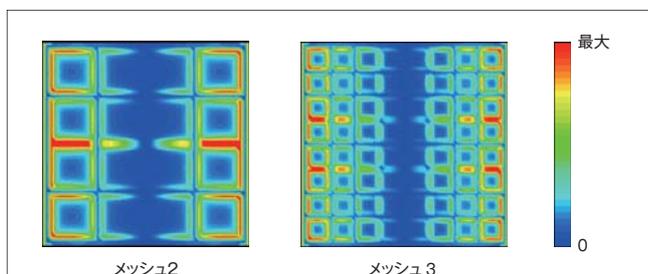


図12. メッシュ化した同相反射板の金属パッチ1枚分の電界分布 — 金属パッチをメッシュ化したことで、金属パッチ上にも電界が分布している。タグが金属パッチの真上にある場合も読取り可能となった。

Electric field over one unit cell of FSS reflector with meshed patch

それぞれ w 及び g を固定にした4種類のメッシュ形状の反射位相特性を図11に示す。メッシュが粗いほど、同相反射特性が得られる周波数が低くなっていることがわかる。またメッシュが細かいほど、構造が板状に近づくため、同相反射特性が得られる周波数も板状の特性に近づいていく。

図12は、メッシュ2とメッシュ3の金属パッチ1枚の表面における電界分布である。板状の基板では電界が0となっていたパッチの中央付近にも電界が分布していることが確認できた。

メッシュ2, 3の基板を実際に製作し、読取り試験を行った結果、タグの位置がどこであっても読み落としなくすべてのタグを読み取れた。

4 あとがき

UHF帯RFIDを用いた重要書類管理システム向けに開発した、近傍界結合型R/Wアンテナ及び周波数選択性同相反射板について、それらの概要と評価結果を述べた。

近傍界結合型R/Wアンテナは、アンテナ単体では結合素子から放射はせず、タグが近接した場合だけ結合素子のインピーダンスが下がり電力を供給できるようにしたことがポイントである。また、同相反射板は、周期構造の金属パッチ部をメッシュ化することで、同相反射板の表面における電界分布のむらを低減し、金属パッチ部とタグが重なった場合にも読み落としなく、すべてのタグを読み取ることが可能になった。

今後は、UHF帯RFIDを用いるほかのシステムへの応用も検討していく。

文献

- (1) Yamada, A., et al. "A UHF RFID Near-Field Reader Antenna for a Document Management System". 2008 International Symposium on Antennas and Propagation, Taipei, Taiwan, 2008-10, Paper no.1645016.
- (2) 東芝テック. "RFIDリーダライタ・RFIDタグカードUF-2000". 東芝テックのサブライチエーションソリューション. <<http://ap.tec.jp/product/uf2000/s/>>, (参照2010-06-25).



山田 亜希子 YAMADA Akiko

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー。
RFID及び携帯端末用アンテナの研究・開発に従事。電子情報通信学会、IEEE会員。
Wireless System Lab.



庄木 裕樹 SHOKI Hiroki, D.Eng.

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー研究主幹、
工博。アンテナ及び無線システムの研究・開発に従事。
電子情報通信学会、IEEE会員。
Wireless System Lab.



保里 房生 HORI Fusao

東芝テック(株) 海外POS&AIプリンタ事業部 技術統括部
技術部専門主幹。RFID関連商品の開発に従事。
Toshiba TEC Corp.