RFID タグ用アンテナ技術

RFID Tag Antennas

高橋応明†
Masaharu Takahashi†

Summary

近年の RFID（Radio Frequency Identification）システムの急速な普及には目覚ましいものがある．使用されているアンテナは，システム全体の中で最も設計が難しいといっても過言ではない．これはアンテナの設計パラメータが，形状，材質，IC とのインピーダンス整合，通信エリアや各種規制等の遵守等々と非常に多岐にわたるためである．RFID システム(以下 RFID) には使用する周波数帯がいくつか用意されており，13.56 MHz 帯と UHF 帯(860 ～ 960 MHz)，2.45 GHz 帯等では，動作原理が異なるため，使用するアンテナの種類が異なる．また，RFID タグを貼り付ける物質(金属や高誘電体等) によっても，アンテナ特性が大きく変化する．本論文では，RFID タグ用アンテナの設計について述べる．

Key words

RFID，スパイラルアンテナ，ループアンテナ，ダイポールアンテナ，パッチアンテナ

1. まえがき

1.1 RFID タグの種類と分類

東日本旅客鉄道 (株) の「Suica®」や (株) 日立製作所の「μ-Chip®」に代表される RFID システムは急速に普及し，今では社員証や学生証などの身分証明や電子マネーと複合されて，部屋の入退室管理など様々な用途に使用されるようになってきている [1] ～ [3]．主な利用分野としては (1) 課金，プリペイド，(2) セキュリティ管理，(3) 物品・物流管理，トレーサビリティ等に大別される [4]．RFID システムはカード形状などユーザがもつ RFID タグと，その情報を読み書きする Reader/Writer（以下 R/W) から構成されている [5], [6]．

まず，RFID タグには，電源や発振回路を内蔵したアクティブ型（バッテリー搭載）と，電源を内蔵せず R/W からの電磁波を駆動電源とするパッシブ型（バッテリー非搭載）が存在する [7]．更に，RFID タグは使用する用途により，課金やセキュリティ管理では通信距離を短く，物流管理などでは長くと，必要とされる通信距離が異なっている．アクティブ型のものは電源と発振回路があるため通信距離を長くでき，物流などに使用されている．このアクティブ型に使用されているアンテナは，パッシブ型のアンテナとほぼ同じである．ここでは，アンテナの利得が重要なファクタとなるパッシブ型について述べる．パッシブ型 RFID タグは電源を搭載していないことから，通信と同時に駆動に必要な電力の伝送を行う必要がある．ほとんどの場合，この電力伝送可能な距離によって通信距離が決定される．この電力は搬送波で送信されるため，電力伝送可能距離は，搬送波周波数，R/W 出力，通信方式，変調方式，符号化方式，IC の消費電力に加えて，実装されるアンテナの利得及び周辺の電波環境によって決定される．

1.1.1 周　波　数

パッシブ型 RFID タグの搬送波として使用可能な周波数帯域は，ISM バンド (産業・科学・医学用帯域) を中心にいくつか決まっている．主なものとしては，135 kHz 帯 (125 kHz [8] を含む)，13.56 MHz 帯等を用いた電磁誘導方式と 2.45 GHz 帯または 900 MHz 帯の UHF 帯を用いた電波方式である（このほかにも 433 MHz 帯，5.8 GHz 帯がある)．ここで通信距離は R/W の出力に大きく左右されるため，現行の電波法規制（図 1）で定められ

† 千葉大学フロンティアメディカル工学研究開発センター，千葉市
Research Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522 Japan

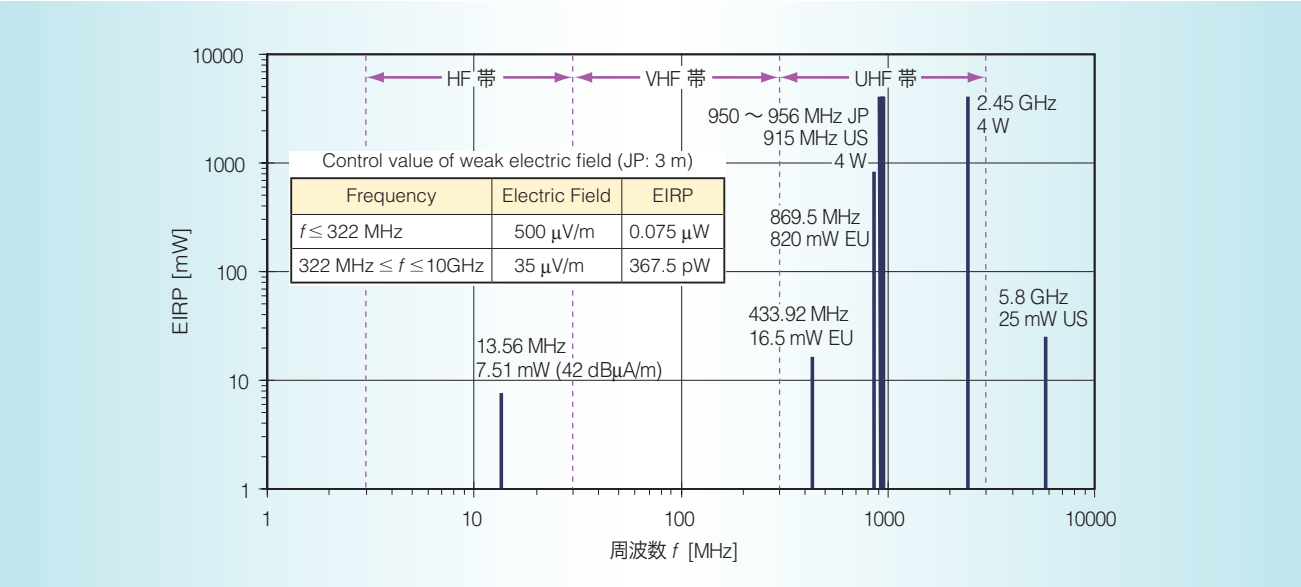


図 1　RFID 利用可能帯域と電波法規制値

ている放射電力（Equivalent Isotropically Radiated Power）から，HF 帯では短く，UHF 帯では長くなる[9]．RFID システム利用分野のうち，鉄道や航空分野，電子マネーや個人認証などで利用されている，(1)課金，プリペイド，(2)セキュリティ管理の分野は，その利用形態から通信可能なエリアを限定したいものであり，135 kHz 帯に比べ波長が短い 13.56 MHz 帯が一般的に広く用いられている．一方，135 kHz 帯の RFID タグは水や金属の影響を受けがたい特徴を生かして，家畜管理，スキー場のリフト乗り場，回転寿司の皿，クリーニングの管理 RFID タグ，カジノのチップなどの分野で利用されている[10]～[12]．

一方，(3)物品・物流管理，トレーサビリティ等に関しては，通信距離の延伸化要求が強く，2.45 GHz 帯と同じ送信出力が可能で波長の長い 900 MHz 帯 RFID システムが注目されている．2.45 GHz 帯は，2005 年愛・地球博のチケットや，駐車場の入退場管理などに，900 MHz 帯は，パレットに積んだ物流管理などに使用されている[12]～[15]．

1.1.2　RFID タグで用いるアンテナの種類

RFID タグに利用されている基本的なアンテナ形状は，使用している搬送波周波数によって異なっている．

13.56 MHz 帯では，コイルやスパイラルアンテナを利用する電磁誘導方式が主に用いられている．図 2 に距離 r に対する放射界（準静電界，誘導電磁界，放射電磁界）の変化を示す．ここで k_0 は波数を表す．13.56 MHz 帯では通信エリアが近傍界内（$k_0 r \ll 1$）となるため，電界を用いると距離 r の 3 乗に反比例して減衰し，最も近接した場合に動作するように設計すると通信可能距離がほ

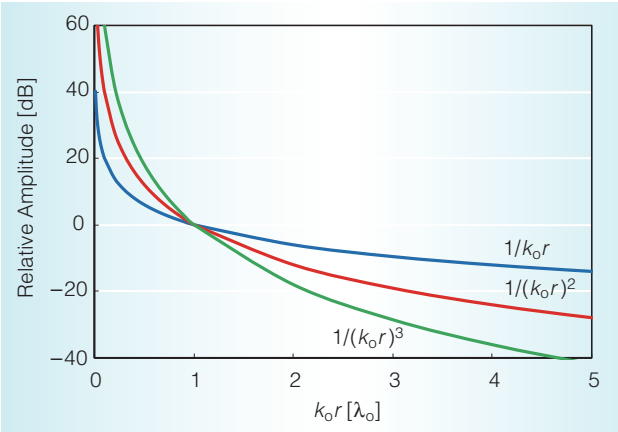


図 2　放射界の距離特性

とんど得られず，最大距離で動くように設計すると近接したときの誘起電圧が IC の耐圧を超える可能性が出てくる．これに対し磁界は，同じ近傍界内でも距離の 2 乗に反比例して減衰するので，距離に対する減衰が電界ほど急しゅんではなく，IC 駆動電力を伝送できる距離範囲が広くなる．このため 13.56 MHz 帯ではコイル，スパイラルアンテナを用いた電磁誘導方式により電力伝送・通信を行う．

一方 UHF 帯では通信距離範囲のほとんどが遠方界（$k_0 r > 1$）となるため，コイルやスパイラルアンテナなどの短絡型アンテナに比べインピーダンスが高く空間インピーダンスとの整合性が良い，ダイポールアンテナやパッチアンテナ等の開放型アンテナを RFID タグ用アンテナとして用い，電波方式による電力伝送・通信を行う．

RFID タグの形状は，アクティブ型は電源を内蔵する

ことからBOX形状をしているものが多い．パッシブ型については，これまでのクレジットカードの置換用途などもあり，サイズは横85.6 mm×縦54.0 mm，厚さ0.76 mmの「ID-1（ISO/IEC 7810）」に準拠しているものが多い．このカードに使用されているシートの材料は，ポリエチレン・テレフタレート（PET），ポリ塩化ビニル（PVC），アクリロニトル・ブタジエン・スチレン（ABS）といったものが使われており，後述するアンテナの設計では，これらシートの誘電率等を考慮して設計する必要がある．

1.2 RFIDの通信方式

変調方式及び符号化方式に関しても，各方式の信号がもつ周波数帯域がアンテナに要求される帯域となることから，アンテナ設計に大きく関係してくる．また，電力伝送の観点からは，搬送波成分を時間的な積分値として最も多く含む方式が望ましい．しかしICの小型化の観点から，RFIDタグ側に複雑な復調回路をもつことは困難であり，変調方式としては最も単純なASK（Amplitude Shift Keying）変調が多く用いられる．表1に13.56 MHz帯のRFIDの種類を示す．一方，RFIDタグからの返信は，IC内部のRF（Radio Frequency）回路から発信した信号を電磁波として放射するのではなく，Back Scatter方式によりICの動作をR/W側から見た負荷の変動として読み取ることで行っている．符号化に関しては，Lowの時間が長いと整流後のDC（Direct Current, 直流）動作電圧が低下しICがリセットされるため，安定した通信が困難となる．そのため，電力伝送の観点から単純にHighの時間が最も多い符号化方式が搬送波成分を最も多く送信できるため有利である．ここで符号化の例を図3に示す．電力伝送の観点からのみを考えると，拡張ミラー（Modified Miller）符号化が最も良いことになる．しかし，この変調方式は負のパルスが入るため，非常に広い帯域を必要とする．そのため，実際には，Lowの時間が1 bit分以上続かず，帯域としても半bit分の信号を送受できればよいマンチェスタ（Manchester）符号化がよく用いられる．これはDC成分をもたないという意味からも，R/Wからの送信に有効である．また，RFIDタグからの返信は，ビットの区別が判別しやすい，送受の分離がしやすいなどからBi-phase space（FM0）やミラー（Miller）符号化が用いられる[15], [16]．

次に，ICの消費電力は低いほどよいのは当然であるが，その動作に必要な電力を集められるか否かはアンテナの面積に比例する．このため，同じ搬送波周波数のRFIDタグでは，広い実装面積が得られれば通信可能距離の延

表1 13.56 MHz帯RFIDの種類

	Type A	Type B	Felica（Type C）	NFC
変調方式	100% ASK	10% ASK	10% ASK	既存規格すべて
符号化方式	拡張ミラー	NRZ	マンチェスタ	既存規格すべて
規格	ISO/IEC 14443	ISO/IEC 14443	—	ISO/IEC 18092 ISO/IEC 21481
推進企業団体	Philips	Motorola	Sony	Moversa （Sony ＋Philips）
実用例[17]	ICテレホンカード taspo	住民基本台帳カード IC運転免許証	Suica, Edy	携帯電話

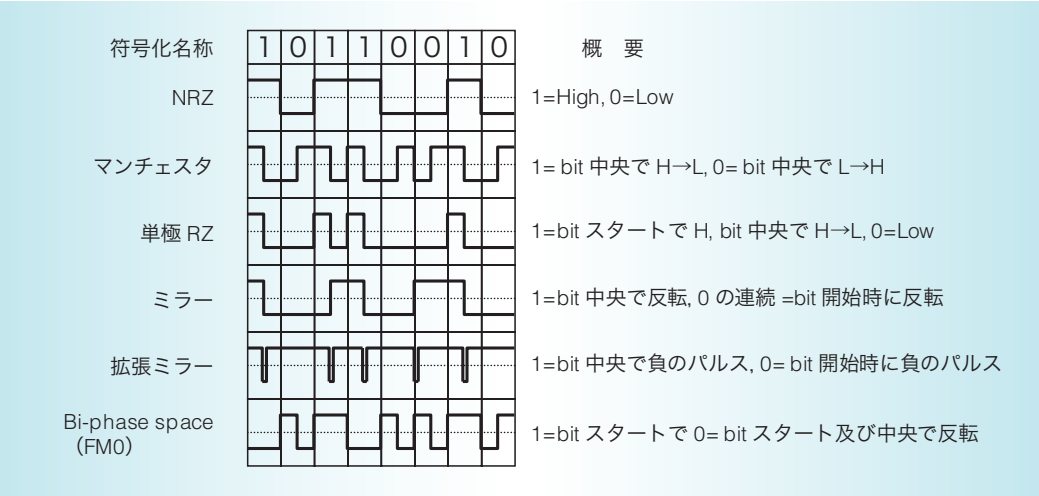


図3 符号化例

伸化が可能である．実際には，RFID タグの大きさや貼付け領域から制限されることになる．よって IC の低消費電力化とアンテナの高効率化は重要な鍵となる．

1.3　RFID タグ用アンテナ設計の課題

通常のアンテナ設計では，アンテナは 50 Ω系の給電線路につながるのが普通であるため，入力インピーダンスは 50 Ωになるように設計する．しかし，RFID タグ，特にパッシブ型の RFID タグはアンテナと IC が直結しているため，IC の出力インピーダンスの複素共役にアンテナの入力インピーダンスを合わせる必要がある．したがって，50 Ω系で構成されている測定系で測定する場合，インピーダンスの不整合による漏れ電流の低減や，低インピーダンスに伴う測定精度の改善等，様々な工夫が必要となる．

RFID タグに使用されている IC は，製造メーカによって出力インピーダンスが異なっている．同じ型番でもばらつきがあるため，アンテナに実装した場合，共振周波数がずれ通信距離が短くなるなど問題が生じることがある．そのため，設計するアンテナの周波数特性に余裕をもたせる，調整機能をもたせるなどの対策を必要とする．

アンテナ導体を構成する方法は，銅はくやアルミはくをプレスで打ち抜く方法，エッチングやめっきで構成する方法や，金属ペーストをシルクスクリーンにより印刷して構成する方法，金属線を巻く方法などがある［5］．パッシブ型 RFID タグは，R/W からの電磁波エネルギーにより IC を駆動するため，アンテナを構成する導体が低損失であることが重要となる．エッチングによってアンテナ導体を構成する方法が材料的には低損失であるが，コストが高くなる．また，廃液などの問題があり，環境への影響も懸念される．しかし，バーコードに代わって流通させるためにも，RFID タグの製造コストは非常に重要なファクタとなっている．製造コストを下げるため，材料や製造方法の改善以外に，配線長を短くするなどアンテナの設計でも工夫が必要となってくる．

乗車券など RFID タグを単独で使用する場合は大きな問題とはならないが，物流やトレーサビリティのように何かに貼付して用いる場合は，貼付するものによって RFID タグの特性が大きく変化してしまうことがある．金属や液体，人体などに貼付する場合は，その影響が顕著であり，専用の設計が必要となる．特に，容量が変化する液体や，身動きする人体などは電気特性の変化幅が大きく設計が困難とある．

以上のように様々な用途，周波数が存在する RFID について，本論文では **2.** で 13.56 MHz 帯，**3.** で 900 MHz，2.45 GHz 帯を利用する RFID タグのアンテナ設計に関し簡単に述べる［18］．

2.　13.56 MHz 帯アンテナの設計

2.1　アンテナの基本設計

「Edy®」に代表される金銭やセキュリティ等に関連した非接触 IC カード等の利用分野では，通信可能距離を制限したシステムが必要となる．そのため，一般的に搬送波として 13.56 MHz 帯を，アンテナとしては平面実装可能なループアンテナやスパイラルアンテナ（図 4）が用いられている．大抵の RFID タグ用アンテナは，スパイラルを同一平面上に形成し，巻き始めと巻き終りはブリッジした構成で IC と接続されている．13.56 MHz 帯の R/W も同様なスパイラルアンテナを用いている［19］～［21］．

ループアンテナの端子に誘起される電圧 V は，電磁気学の知識として，ループ面積 S とループを鎖交する磁界 H によって，$V=\omega\mu SH$ と表される．ここで，μ は透磁率，ω は角周波数を示す．また，スパイラルアンテナの場合は，簡単にはその巻数 N 倍の誘起電圧が発生すると考えることができる（厳密には，各ターンにより面積 S は異なる）．パッシブ型 RFID タグはこの誘起電圧によって IC を駆動するため，IC の動作電圧が得られる巻数が必要となる．クレジットカードの大きさだと，巻数 7 回のものが多い．また，共振周波数は，スパイラルのインダクタンス成分 L とその線間の結合容量，更に装荷するキャパシタンス C による，LC 共振により求まる．そのため，設計手順としては，以下のようになる．

① RFID タグの大きさから実現できるループ面積 S の決定
② 動作電圧に必要な巻数決定
③ スパイラルの配線決定（L 及び線間結合容量が求まる）

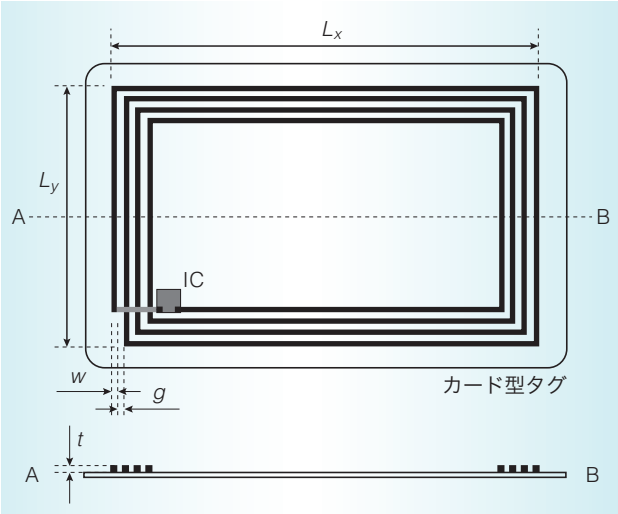
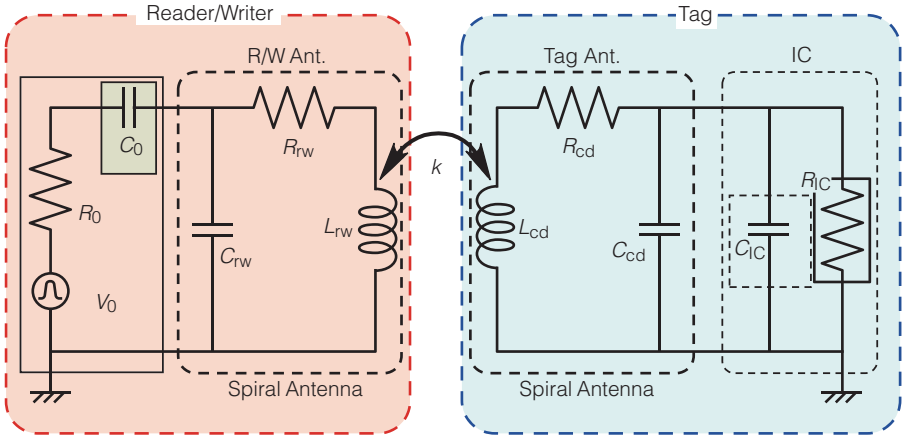


図 4　RFID タグに実装されたスパイラルアンテナ例



R_0：RF 回路出力インピーダンス，V_0^2/R_0：RF 回路出力電力，C_0：アンテナ共振容量，C_{IC}：IC 入力容量，R_{IC}：IC 消費電力等価抵抗

図 5　13.56 MHz 帯 RFID システムの等価回路

④　装荷するキャパシタンス C の決定

2.2　等価回路モデル

13.56 MHz 帯 RFID は，RFID タグも R/W も同じようなスパイラルアンテナを用いるため，これらの系は図 5 に示すような疎結合のトランス回路として扱うことができる．伝送される電力は，スパイラルの誘起電圧とアンテナ配線を流れる電流の積で得られる．電力伝送効率を向上させるためには，アンテナの配線抵抗を小さくし，インダクタンス L をある程度大きくすることが要求される．この「ある程度」とは，インダクタンスが大きければ受信電圧は増大するが，配線抵抗も増加するので電流値が減少し，ある巻数より多く巻いても，電力伝送効率の向上にはつながらないため，最適値が存在することを意味する．実際には，IC の動作電圧が得られる最低限の巻数にすることで配線抵抗を軽減し電流値を増やしている．また，通信信号を受けるのに必要な帯域幅 BW から決まる Q 値（$=f_c$/BW，f_c：搬送波周波数）を RFID タグの Q 値（$=\omega L/R$）が超えてはならない（f_c/BW $>\omega L/R$）ため，インダクタンス L に上限が生じる．更に巻数が多いと，R/W と RFID タグのアンテナ間の結合係数 k が大きくなるため，通信距離範囲内での結合係数 k の変動幅が大きくなり，この変動幅全域で動作させることが必要となるため設計が困難となる [18],[22]．ここで，結合係数 k は，Neumann の公式より二つのループ間の相互インダクタンス M を求め，各ループのインダクタンスより算出することができる[22]．

2.3　応 用 事 例

RFID タグ側のアンテナは，ループアンテナが基本となっている．一度に複数の RFID タグを読み取れるアンチコリジョンの対応, RFID タグを重ねたときのインピーダンス変化への対応などにより，様々な形状，意匠（例えば木の葉型など）のアンテナが採用されている．また，R/W 側のアンテナも同様のループアンテナを採用しており，改札機や決済システムなど単体で使用されるものが多いが，用途によっては RFID タグの向きによる未検知を防ぐため，二つのアンテナを直交して配置する等，対応がなされている．

13.56 MHz 帯の RFID は，携帯電話へ内蔵されて使用されていたりするが，バッテリーなど金属への貼付は大きな課題がある．金属に直接貼付した場合，ループアンテナを鎖交する磁界がないため，誘導起電力が発生せず動作しない．そのため，金属とアンテナ間にできるだけすき間を設け，鎖交する磁界を増やす必要がある．一方，RFID タグの厚さはできるだけ薄くしたい要求があるため，一般的に磁性体のシートを金属と RFID タグの間に挿入し，磁性体内に磁界を集中させる方法が用いられている［5］．厚さ 0.1 ～ 0.2 mm 程度，比透磁率 50 ～ 100 程度の磁性体シートで使用されている．

3．UHF，マイクロ波帯アンテナの設計

3.1　アンテナの基本設計

物品・物流管理，トレーサビリティ等の用途に用いられる RFID タグは，UHF 帯（860 ～ 960 MHz）やマイクロ波帯(2.45 GHz 帯)を用いる．また，アンテナは基本的にはダイポールアンテナを用いている．自由空間中でのダイポールアンテナの長さは，900 MHz 帯の場合で約 16 cm，2.45 GHz 帯の場合で約 6 cm となることから，クレジットカード大で実装しようとすると，2.45 GHz 帯の場合は問題ないが，900 MHz 帯の場合は，ダイポールアンテナを折り曲げたメアンダーラインを用いるなど細工が必要となる[20],[23]～[26]．また，900 MHz 帯は使用されている国によっても，日本：950 MHz，アメリカ：915 MHz，ヨーロッパ：859.5 MHz と微妙に異なってい

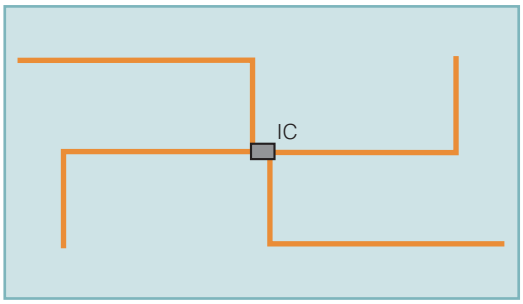


図 6　900 MHz 帯 RFID タグの例

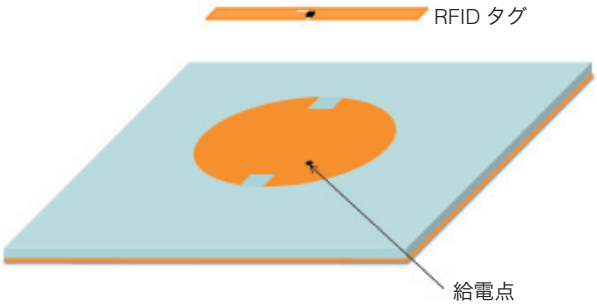


図 7　UHF 帯 RFID タグのアンテナ系

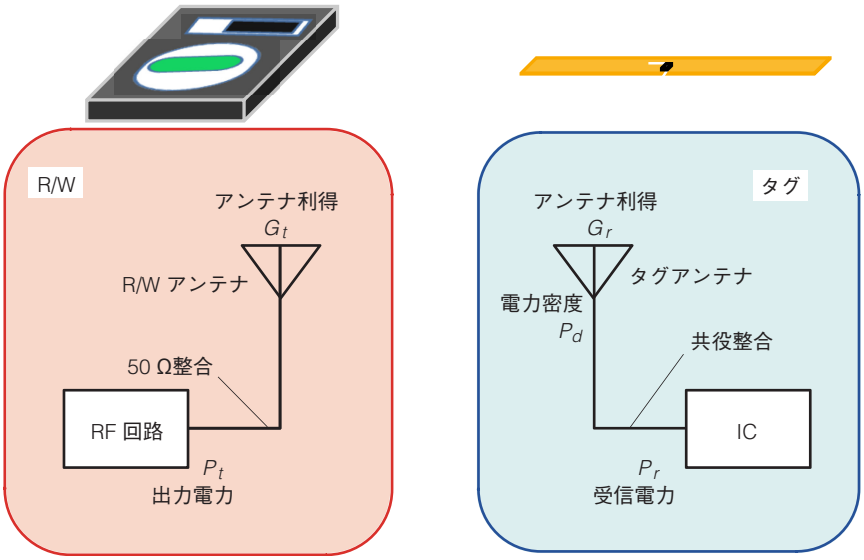


図 8　R/W−RFID タグ間の電力流れ図

る．そのため，航空貨物や物流などの用途において世界中で使用可能とするには，広帯域化が絶対に必要となる．図 6 に 900 MHz 帯 RFID タグの例を示す．カード内で共振させるため，ダイポールアンテナを折り曲げて配置してある．更に広帯域化のため，長さの異なる素子を付加したり，アンテナの配線幅を広くしたりしている．図では，卍型であるが，M 字型，父字型，π 字型，筆記体型[14], [27], [28]などの意匠が存在する．

R/W 側のアンテナは，回路側に電磁波を放射し誤動作をさせないため，かつ，回路と同一平面上に作製するため，図 7 のように単向性のパッチアンテナがよく用いられている．また，RFID タグのアンテナの向きに対する任意性をもたせるために，円偏波放射素子を用いているものが多い．

3.2　受 信 電 力

RFID タグのアンテナ設計の上で最も重要なのは，RFID タグのアンテナの利得もさることながら，RFID タグに取り付ける IC との整合性である．図 8 の模式図のように，電力の流れを示すことができる．アンテナ側で共役整合をとることで，受信電力をもらさず IC に供給することが必須である．一般的に，IC は入力容量成分が支配的なので，IC の入力インピーダンス z_{IC} は，式(1)で表される．これより，アンテナに求められる入力インピーダンス z_{Ant} は，式 (2) のように定義される．更に，アンテナで受信した電力が熱損失として消費されるのを防ぐために，その抵抗分(R_{IC}, R_{Ant})は極力小さいことが望ましい．

$$z_{\mathrm{IC}} = R_{\mathrm{IC}} - j\frac{1}{\omega C_{\mathrm{IC}}} \tag{1}$$

$$z_{\mathrm{Ant}} = R_{\mathrm{Ant}} + j\omega L_{\mathrm{Ant}}$$
$$\begin{cases} R_{\mathrm{Ant}} = R_{\mathrm{IC}} \\ \omega L_{\mathrm{Ant}} = \dfrac{1}{\omega C_{\mathrm{IC}}} \end{cases} \tag{2}$$

R_{IC}：IC の抵抗，C_{IC}：IC のキャパシタンス，
R_{Ant}：アンテナ導体の抵抗，
L_{Ant}：アンテナ配線によるインダクタンス

ここで，IC の入力インピーダンスは各々の設計及び周波数にもよるが，一般的に

$$\begin{cases} 5 \leq R_{\mathrm{IC}} \leq 50 \\ 5 \leq \dfrac{1}{\omega C_{\mathrm{IC}}} \leq 2000 \end{cases} \tag{3}$$

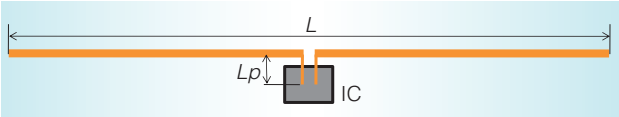


図 9　引出し配線付 RFID タグ

程度の範囲にある．半波長ダイポールアンテナのインピーダンスは，$z_{\mathrm{Dipole}} \fallingdotseq 73 + j45$［Ω］であり，IC と直接共役整合をとることが難しいことが分かる．更に図 9 に示すように，アンテナ長 L を若干短くすることで抵抗成分 R が下がり抵抗分の整合がとれやすくなる．リアクタンス成分の不足は，IC を接続する引出し配線の線路長 Lp でインダクタンスを生成し補うことで共役整合を実現できる．

また，現実の RFID タグ用アンテナは単純な 2 導体のダイポールとはなっておらず，図 7 は，1 導体で IC 接続部に L 字形のスリットが入った構造となっている［15］，［29］，［30］．これは，ダイポールアンテナではすべての周波数成分に対し IC 端子が開放端になるため，アンテナの片側に静電気等の高電圧ノイズが印加されると IC 端子に高電圧がかかり破損するからであり，DC 的に短絡した形状とすることでこれを防いでいる．

通信距離は，式(4)のフリスの伝達公式から容易に類推可能である．RFID タグからの返信が Back Scatter 方式であり，RFID タグが動作可能な電力が送信できさえすれば，その動作による返信信号は R/W から見たインピーダンス変動という形で検知されるためである．この結果，RFID タグのアンテナの利得がダイポール相当の場合，IC 消費電力が 1 mW であれば最大通信距離は，搬送波が 2.45 GHz の場合で約 80 cm，950 MHz の場合で約 2 m となり，波長換算分だけ通信距離が延伸化される．

$$P_d = \frac{P_t A_t}{\lambda^2 r^2},\quad A = G\frac{\lambda^2}{4\pi},\quad P_r = P_d A_r$$
$$\therefore\ r = \sqrt{\frac{P_t A_t}{\lambda^2 P_d}} = \frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}} \tag{4}$$

P_t：R/W 側 RF 回路出力，G_t：R/W アンテナ利得，
A_t：R/W アンテナ実効面積，
P_r：RFID タグ IC 消費電力，
G_r：RFID タグアンテナ利得，
A_r：RFID タグアンテナ実効面積，
P_d：RFID タグ受信電力密度，r：通信距離

3.3　応用事例

一般の RFID タグは自由空間中で用いるように設計されているため，衣料品などに貼り付けて使用する場合は，貼付物の電気的特性への影響はほとんど問題とはならない．しかし，缶ジュースやペットボトル飲料といった金属や高誘電体に貼付して使用する場合には，アンテナの特性変化により通信距離が短くなったり，または動作しなくなったりする．このため，このような使用環境ではそれに特化したアンテナが必要となる［5］．

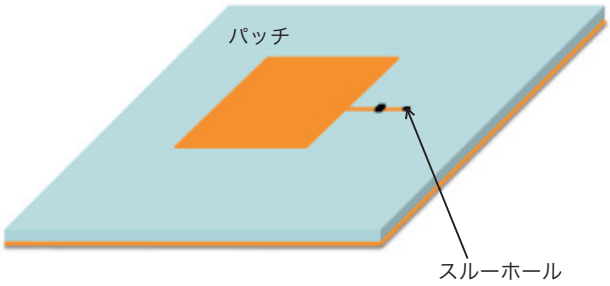


図 10　パッチアンテナ

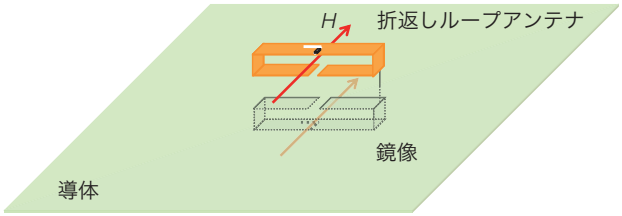


図 11　金属貼付 RFID タグ用折返しループアンテナ

水や人体のような高誘電体に貼付して用いる場合では，比誘電率 ε_r による波長短縮効果から，アンテナ長 L を短くすればよい．また，これらの媒質に RFID タグ用アンテナを装着させて用いる場合，例えば図 10 に示すパッチアンテナのような単向性の素子を用いることが最も簡単な方法である．この場合，R/W との通信は金属/誘電体と反対側からに限定されるが，金属/誘電体側は GND によりシールドされた形となるため，その影響を無視することが可能となる．

更に装着対象が金属の場合は，通常の RFID タグを貼付させるとその鏡像効果により電界が打ち消され通信不可能となるが，ループアンテナでは磁界が強め合うことからアンテナとして機能する．そこで，通常の RFID タグの両端を折り返し，ループ形状を作り出すことで金属に装着させても通信が可能となる（図 11）．このアンテナは，折返しによりできるループ面積を大きくすることで，アンテナ効率を上げることが可能である．しかし，実際には低姿勢化の要求から厚さを最小限に抑える必要があり，通信距離と厚さのトレードオフの問題となる．通常インレット（チップにアンテナを取り付けた形態）を折り曲げて厚さ 1 mm のループを作成した場合，通信距離はパッチアンテナの場合と比べ低下するが，R/W 出力によっては認証可能となる．

4. む す び

13.56 MHz，900 MHz 帯，2.45 GHz 帯の RFID タグ用アンテナの課題と設計について概説してきた．このほか，実際のモノづくりという観点でも，ここでは述べることができなかった困難や問題点も数多くあったが，それを乗り越えて実用化されている．普段持ち歩いているカードのように見える RFID タグには，様々な課題を克服した技術が詰め込まれているのである．実際の RFID タグ用アンテナには，様々な意匠が施され登録されているので，そのデザインを見るだけでも，面白いものがある．文献をもとに実際の製品のデザインを見てみることをお勧めする．

用語解説

Back Scatter（後方散乱変調）
R/W から電波をタグに伝送し，タグに書き込まれている情報に応じた変調がかかってリーダに戻ってくること．

アンチコリジョン
複数の無線 IC タグが存在しても，同時にデータの処理ができる機能．

インレット
IC チップとアンテナから構成された，IC カードや RF タグを作るための部品．ラミネート加工などされている．

共役整合
負荷インピーダンスを電源の内部インピーダンスの共役複素数に等しくすること．電源から取り出し得る電力が最大になる．

ダイポールアンテナ
給電点に 2 本の直線状の素子を左右対称に付けた線状アンテナ．

非接触 IC カード
国際的には ISO/IEC 14443．リーダとライタの通信距離に応じて「密着型」「近接型」「近傍型」「遠隔型」の 4 種類に区別される．

フリスの伝達公式
送信電力とある距離離れた地点のアンテナ受信電力の関係．

ループアンテナ
素子を環状にしたアンテナ．

文　献

[1] 上坂晃一，非接触 IC カード/RFID 用アンテナ設計技術，トリケップス，2004.
[2] K. Finkenzeller，RFID ハンドブック，日刊工業新聞社，2001.
[3] 日本電気(株)，無線 IC タグの基本と仕組み，秀和システム，2005.
[4] 阪田史郎，“パーソナルエリアネットワークとその動向，”信学通誌，no.2, pp.44–54, Sept. 2007.
[5] 伊賀　武，森勢　裕，よくわかる IC タグの使い方，日刊工業新聞社，2005.
[6] 石井宏一，図解流通情報革命の切り札「IC タグ」がよくわかる，オーエス出版，2004.
[7] 澤田喜久三，“RFID システムの基礎と国際標準化の最新動向，”RF ワールド，no.2, pp.81–90, June 2008.
[8] Verichip Corporation, http://www.verichipcorp.com/
[9] “ユビキタス社会の RFID タグ徹底解説，”電子ジャーナル，Dec. 2003.
[10] 高部佳之，清水隆文，大和忠臣，後藤浩一，山口弘太郎，伊藤公一，“ワイヤレスカードの現状と展望，”信学誌，vol.81, no.1, pp.41–50, Jan. 1998.
[11] “寿司店から小学校まで広がる用途　街中の利用では悪用される心配も，”日経 NETWORK，June 2005.
[12] “理想の全体最適を求めて，”日経コンピュータ，2007 年 3 月 19 日号．
[13] 日経 RFID テクノロジ，日経システム構築（共編），無線 IC タグ活用のすべて　実証実験から本格導入へ！，日経 BP 社，2005.
[14] 日経 RFID テクノロジ編集部（編），無線 IC タグ導入ガイド先進ユーザーと実証実験に学ぶ！，日経 BP 社，2004.
[15] 岸上順一，RFID 教科書　ユビキタス社会にむけた無線 IC タグのすべて，アスキー，2005.
[16] J. Cho, K.-W. Min, and S. Kim, “An ASK modulator and antenna driver for 13.56 MHz RFID readers and NFC devices,” IEICE Trans. Commun., vol.E89-B, no.2, pp.598–600, Feb. 2006.
[17] 岩田昭男，図解よくわかる IC カードビジネス，有楽出版社，2003.
[18] 上坂晃一，高橋応明，“無線 IC タグにおけるアンテナ技術，”信学論(B)，vol.J89-B, no.9, pp.1548–1557, Sept. 2006.
[19] 新井宏之，新アンテナ工学，総合電子出版，1996.
[20] トッパンフォームズ，http://rfid.toppan-f.co.jp/
[21] オムロン，http://www.omronrfid.jp/
[22] 上坂晃一，幕内雅巳，須賀　卓，“非接触 IC カード・RFID 用スパイラルアンテナの設計解析技術，”信学技報，A・P2003-239, Jan. 2004.
[23] K. V. S. Rao, P. V. Nikitin, and S. F. Lam, “Antenna design for UHF RFID tags: A review and a practical application,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol.53, no.12, pp.3870–3876, Dec. 2005.
[24] 滝口將人，山田吉英，“0.1 波長以下の超小形メアンダラインアンテナの電気特性，”信学論（B），vol.J87-B, no.9, pp.1336–1345, Sept. 2004.
[25] G. Marrocco, “Gain-optimized self-resonant meander line antennas for RFID applications,” IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol.2, pp.302–305, 2003.
[26] Alien Technology, http://www.alientechnology.com/tags/
[27] GAO Inc., http://www.gaorfid.com/
[28] M. Keskilammi and M. Kivikoski, “Using text as a meander line for RFID transponder antennas,” IEEE Antennas Propag. Lett., vol.3, pp.372–374, 2004.
[29] C. A. Balanis, Antenna Theory, Analysis and Design, Second ed., John Wiley & Sons, 1997.
[30] 日立製作所ミューチップ，http://www.hitachi.co.jp/Prod/mu-chip/jp/

（平成 20 年 4 月 30 日受付，6 月 17 日再受付）

高橋　応明（正員）

▶平元東北大卒．平 6 東工大大学院博士課程了．武蔵工大，東京農工大を経て，現，千葉大フロンティアメディカル工学研究開発センター准教授．平面アンテナ，小形アンテナ，環境電磁工学，人体と電磁波の研究に従事．工博．IEEE シニア会員．現在，青い海，白い砂浜に憧れ中．