ミリ波帯チップレス RFID タグの開発

代表研究者 渡 部 雄 太 東京都立産業技術研究センター 開発本部 副主任研究員

1 はじめに

Radio Frequency Identification(RFID)はタグとリーダ/ライタから構成されており、リーダ/ライタが非接触でタグのデータを読み書きする[1]。RFID はタグのバッテリーの有無により大きく二つに分けられ、タグ にバッテリーを搭載しているものをアクティブ型、タグがバッテリーをもたずリーダ/ライタから送信された 電磁波の電力を用いて動作するものをパッシブ型と呼ぶ。また、タグとリーダ/ライタの通信周波数によって も大別され、13.56 MHz などの電磁誘導を用いるものと 920 MHz 帯の電磁波を用いるものなどがあり[2]、 電磁誘導を用いたパッシブ型の RFID はすでに鉄道乗車券などで広く使われている。また、UHF 帯の電磁 波を用いたパッシブ型の RFID は非接触で数 m の通信が可能となるため、インフラ設備の同定管理などへの 応用が期待され、研究開発が進んでいる[3]。

パッシブ型の RFID に利用されるタグはバッテリーをもたないため,リーダ/ライタから送信された電磁波 を受信するアンテナと整流回路や実際の動作部などの IC チップから構成される[4]。近年ではさらにタグに IC チップを用いずに、タグの形状による共振周波数の変化などを用いて、タグのデータを読み取るチップレ ス RFID が提案され、研究されてきている。チップレス RFID はタグに IC チップを利用しないためメンテ ナンスフリー・廉価などの多くの利点をもち、物品管理やセンサタグへの応用が期待されている。しかし、 チップレス RFID は後方散乱波の共振の有無によりデータを識別するため、共振の数がタグのデータ容量と なり、データ容量を増加させるためには高い共振の Q 値をもつタグ構造にする必要がある。チップレス RFID に関する研究は主に相似形状の散乱体を複数設けたタグを用いるもの[5]と送信受信の二つのアンテナとそ の間を複数の周波数のバンドパスフィルタを設けた伝送線路でつないだタグを用いるもの[6]の二つに大別 できる。前者はそれぞれの散乱体の後方散乱波の共振周波数を読み取るため、遠方のタグを読み取ることが できるが、通信容量が小さい、タグが大きいという問題をもつ。

我々は前者の手法に着目し、小型化・大容量化のためにタグの後方散乱波の共振のQ値を最大化することを目的にUHF帯のタグ形状の最適化を行ってきた[7]。タグの形状による後方散乱波の共振周波数を利用する場合、従来のタグは共振周波数の後方散乱波を強く反射し、それ以外を透過する反射型チップレス RFID タグであるが、我々は共振周波数の後方散乱波のみを透過し、それ以外の周波数の後方散乱波を反射する透過型チップレス RFID タグを提案してきている。透過型チップレス RFID タグは同じ形状の反射型チップレス RFID タグと比較してQ値が高いことが分かったが、反射のための金属部が大きく、更なる小型化が課題となっている。

本研究ではチップレス RFID タグの大容量化のためには広帯域の周波数領域が必要,タグのサイズが大型 化するという問題を解決するために、ミリ波帯の電磁波を用いたチップレス RFID タグを提案する。ミリ波 帯では省電力データ通信システム[8]やミリ波レーダー用特定小電力無線[9][10]など広帯域の周波数が確保 されており、タグのデータ容量の増加が期待できる。さらに、タグ形状の共振を用いるため、ミリ波帯では 波長が短いため、UHF 帯のチップレス RFID のタグに比べ小型化可能である。しかし、ミリ波帯では誘電 体の誘電正接などによる損失が UHF 帯に比べ大きい、波長が短いためわずかな製造誤差で共振周波数が変 化するという問題をもつ。

本稿は以下のような構成となっている。第2章でははじめにチップレス RFID の概要について説明する。 第3章ではチップレス RFID タグとしてミリ波帯の反射型チップレスタグを提案し, FDTD 法を用いてその Radar Cross Section (RCS)を求め,形状によるQ値などの特性について検討する。次にミリ波帯の透過型 のチップレスタグを提案し,FDTD 法によりRCS を計算する。透過型タグの形状による特性変化について 検討し,さらに反射型タグとの比較を行う。最後に本研究のまとめを述べる。

2 チップレス RFID の概要

2-1 チップレス RFID の原理



図 1 反射型チップレス RFID の概要。3 bit の反射型チップ レス RFID タグを用いた場合。



図 2 透過型チップレス RFID の概要。3 bit の透過型チップ レス RFID タグを用いた場合。

チップレス RFID は RFID の一種で あり、図1の概念図に示すようにリーダ とタグから構成される。図1は3個の散 乱体を用いた 3 bit 反射型チップレス RFID タグを用いた場合の概念図である。 図 1(a)は3 種類の散乱体を用いたデータ 111 を示すタグであり、(b)は2種類のタ グを用いたデータ 101 示すタグである。 チップレス RFID ではタグを構成する散 乱体からの後方散乱波の共振周波数を読 み取ることによりタグのデータを読み取 る。図1に示すような反射型のチップレ ス RFID ではタグは散乱体の共振周波数 の後方散乱波のみ強く反射し、それ以外 の周波数は反射しない。そのため、図1 の(a)に示すような 3 つの相似形状の散 乱体から構成されているチップレス RFID タグの後方散乱波は3つの周波数 において共振をもち,(b)に示すような2 つの相似形状の散乱体による後方散乱波 は二つの共振をもつ。このように、リー ダはタグにチャープ信号やパルス信号の ような広い周波数成分をもった電磁波を 送信し、チップレス RFID タグからの後 方散乱波の共振の数,周波数の違いによ りタグを識別する。

図2に透過型チップレス RFID の概念 図を示す。透過型チップレス RFID は金 属面にスリットを設けた構造をしており, 図2は3種類のスリットを設けた 3bit の透過型チップレス RFID タグを用いた 場合の例である。透過型チップレス

RFID タグの後方散乱波はスリットの形状による共振周波数のみ透過し、それ以外の周波数の電磁波を反射 する。図 2(a)に示すような 3 つのスリットがある場合、タグの後方散乱波は 3 つの共振周波数をもち、(b) のように 2 種類のスリットがある場合は 2 つの共振周波数をもつ。リーダは反射型チップレス RFID と同様 にチャープ信号やパルス信号のような広帯域の周波数成分をもつ電磁波を送信し、タグからの後方散乱波の 透過する共振の数や周波数を読み取ることでタグのデータを読み取る。

2-2 チップレス RFID タグの特性

チップレス RFID タグの後方散乱波の共振周波数を評価するために RCS を求める。RCS はレーダーなどの電磁波を受けた場合,その電磁波の到来方向に反射する電磁波の大きさの尺度を表している。チップレス RFID タグの RCS は次式を用いて計算する[11]。

$$\sigma^{\rm tag} = \frac{S_{21}^{\rm tag} \cdot S_{21}^{\rm so}}{S_{21}^{\rm ref} \cdot S_{21}^{\rm so}} \sigma^{\rm ref} \tag{1}$$

ここで、 S_{21} はリーダの送信アンテナから受信アンテナまでの通過特性であり、 S_{21}^{tag} 、 S_{21}^{ref} はそれぞれ、チッ



図3 基準金属板のモデル。

した[12]。

 $\sigma = \frac{64\pi a^2 b^2}{\lambda^2} \cos\phi \left(\frac{\sin(2ka\sin\phi)}{2ka\sin\phi}\right)^2 \tag{2}$

プレス RFID タグ, RCS が既知である基準金属の通 過特性である。 S_{21}^{iso} はリーダの送信アンテナから受 信アンテナへの回り込みであり、チップレス RFID タグが無い場合の通過特性とする。 S_{21}^{iso} は理想的に は0であるが、リーダの送受信のアンテナの指向性 や周りの空間からの反射などの影響がある。 σ^{ref} は 基準金属板の RCS である。球体や長方形の金属の RCS は近似的に計算することができる。本研究では 基準金属板は図3に示すように長方形型のものを採 用し、a=bの正方形の銅箔膜として、式(2)より計算

ここで図 3 に示すように 2*a* および 2*b* は基準金属板の縦,横の長さ、 ϕ は金属板への電磁波の入射角、 λ は波長であり、k は波数である。図 4 に a=b=1, 5, 10 mm, $\phi=5^{\circ}$ の場合の RCS の大きさを示す。金属板の大き さにより RCS の大きさが変化することが分かる。50 GHz の波長は 6 mm, 100 GHz の波長は 3 mm であ るため、a=b=1 mm のときの金属板は 1 辺の長さが波長より短く、RCS は約-50 dBsm と非常に小さい値と なっている。1 辺の長さが 5 mm, 10 mm と長くなるにつれて、50 GHz における RCS も大きくなるが、 a=b=10 mm の長さでは約 88 GHz において共振をもち、RCS が非常に小さくなるということが分かった。 図 5 に a=b=5 mm とし、 ϕ を 5, 10, 15° と変化させた場合の RCS の大きさを示す。 $\phi=15^{\circ}$ では約 59 GHz、 $\phi=10^{\circ}$ では約 88 GHz において共振をもつことが、共振の周波数以外では 1 辺の長さが長いほうが RCS は 大きくなることが分かった。また、 $\phi=5^{\circ}$ の場合は 100 GHz 以上の周波数で共振をもち、入射角の角度が大 きくなるほど低い周波数で共振し、さらに、RCS の値が小さくなることが分かった。基準金属面自身が後方 散乱波に共振をもつとチップレス RFID タグの後方散乱波と識別ができなくなるため、基準金属面は共振を もたずできるだけ RCS が大きいものが望ましい。チップレス RFID に用いられるリーダでは送受信のアン テナは同一のものを用いるまたは、非常に近くにあると考えられるため、本研究では基準金属面への電磁波 の入射角を $\phi=5^{\circ}$ とする。また、本研究では 57 GHz~66 GHz のミリ波帯を検討しているため、基準金属面 としては a=b=5 mm および 10 mm とする。



図 4 *a=b=*1, 5, 10 mm, *φ=*5[°] の場合の RCS の大きさ。





3 チップレス RFID タグの解析

3-1 FDTD 法によるチップレス RFID タグの解析

本研究では FDTD 法を用いてチップレス RFID タグの RCS の解析を行う。FDTD 法は Maxwell 方程式 を陽解法で計算する手法である。Maxwell 方程式を式(3), (4)に示す。

$$\nabla \times \boldsymbol{E}(\boldsymbol{x},t) = -\mu \frac{\partial \boldsymbol{H}(\boldsymbol{x},t)}{\partial t}$$
(3)

$$\nabla \times \boldsymbol{H}(\boldsymbol{x},t) = \epsilon \frac{\partial \boldsymbol{E}(\boldsymbol{x},t)}{\partial t} + \boldsymbol{j}(\boldsymbol{x},t)$$
(4)

ここで, $E \ge H$ は電界と磁界, $\varepsilon \ge \mu$ は誘電率と透磁率, jは電流密度, $x \ge t$ は座標と時間である。ここで, 式(3)の $t \ge t=n\Delta t$, 式(4)の $t \ge t=(n+1/2)\Delta t$, $j=\sigma E$ とし, それぞれの式を中心差分すると

$$H^{n+1/2}(\mathbf{x}) = H^{n-1/2}(\mathbf{x}) - \frac{\Delta t}{\mu} \nabla \times E^n(\mathbf{x}, t)$$
(5)
$$E^n(\mathbf{x}) = \frac{1 - \frac{\sigma \Delta t}{2\epsilon}}{1 + \frac{\sigma \Delta t}{2\epsilon}} E^{n-1}(\mathbf{x})$$
(6)
$$+ \frac{\frac{\Delta t}{\epsilon}}{1 + \frac{\sigma \Delta t}{2\epsilon}} \nabla \times H^{n-1/2}(\mathbf{x}, t)$$
(7)

を得る。同様に式(5)および(6)の右辺第2項の回転も中心差分し計算する[13]。FDTD 法は式(5)および(6)に 示すように時間領域の陽解法であるため、有限要素法など比較するとメモリが少ないなどの利点があるが、 自由空間を表現するために境界条件として吸収境界条件を用いる必要がある。また、解析領域を直方体のセ ルで分割する必要があるため、球や三角形などを表現するためには小さいセルを用いる必要がある。FDTD 法は時間領域の解析手法ではあるが、入射波にガウスパルスなどの広帯域な周波数成分をもつ信号を用い、 その結果をフーリエ変換することにより、1回の解析で入射波がもつ成分の周波数領域の解を求めることが できる。

チップレス RFID タグの RCS を求めるためには、タグに電磁波を入射し、その散乱波を求める必要がある。本研究ではチップレス RFID タグがリーダから十分に遠方に配置されていると仮定し、入射波として平面波の式(7)に示すガウスパルスを用いる。

$$E_{z}^{n}(\mathbf{x}) = E\exp(-\alpha(t-\tau_{0})^{2})$$

$$H_{x}^{n+1/2}(\mathbf{x}) = \frac{E}{Z_{0}}\exp(-\alpha(t-\tau_{0})^{2})$$
(7)

ここで Z_0 は波動インピーダンス, $\alpha = (4/\tau_0)^2$ である。 $\tau_0 = \pi/\omega_0$ である。FDTD 法では散乱界を計算することができるため、入射波と散乱波を完全に分離することができる。そのため、式(1)の S_{21}^{iso} は0となる。

3-2 反射型チップレス RFID タグ

(1)1 bit モデル

□反射型チップレス RFID タグは複数の相似形状の散乱体から構成される。初めにミリ波帯の散乱体の RCSの共振特性を明らかにするために1つの散乱体から構成される1bitの反射型チップレス RFID タグの 解析を行う。

1 bit の反射型チップレス RFID タグとして線状のタグ構造を考える。図 6 に線状散乱体を用いた 1 bit 反 射型チップレス RFID タグの外観を示す。図 6(a)は FDTD 法の解析モデルの概要であり,反射がチップレス RFID タグに式(7)の平面波を入射している。線状の散乱体は図 6(b)に示すように長さ *1* [mm],幅 0.5 mm, 厚さは無視し,平面波が垂直に入射するように配置した。材質としては銅とし,導電率は $\sigma = 59 \times 10^6$ S/m としている。*x*, *y*, *z*方向それぞれのセル数は *NX*=200, *NY*=200, *NZ*=300 であり,*x*, *y*, *z*方向のセルサイズ Δx , Δy , Δz は最大 0.2 mm,最小 0.1 mm としている。自由空間を表現するために、解析領域の境界には境界 条件として Uniaxial Perfectly Matched Layer (UPML)[14]を用いている。図 7 に FDTD 法により求めた線



図 6 線状散乱体を用いた 1 bit の反射型チップレ ス RFID タグの外観



状の1 bit の反射型チップレス RFID タグの RCS を

図 7 線状散乱体を用いた 1 bit の反射型チップレ ス RFID タグの RCS

示す。線状の散乱体の長さを 2.0, 2.5, 3.0 mm と変化させ,それぞれの RCS を計算した。図 7 に示すように 散乱体が 1 つではそれぞれ 1 つの共振周波数をもち,約 62.8, 51.5, 43.2 GHz で共振することが分かった。 また,RCS は共振周波数では最大-26.2 dBsm となることが分かった。*1*が長いほど低い周波数で共振し,波 長が線状散乱体の長さと幅の和の周波数で共振することが分かった。また,長さ 2.0, 2.5, 3.0 mm 線状散乱 体の Q 値はそれぞれ,約 4.2, 4.0, 4.1 とほぼ等しくなることが分かった。

次に 1 bit の反射型チップレス RFID タグとして C-like 型の散乱体を考える。C-like 型のチップレス RFID タグは図 8 に示すように線状の散乱体を折り曲げた形をしている。線幅は 0.2 mm とし、横方向の線の長さ E I[mm],縦方向の線の長さを 0.6 mm としている。FDTD 法の解析条件は線状のチップレス RFID タグの 場合と同様としている。C-like 型の散乱体は入射波の偏波による特性をもち,図 8(b)に示す配置の場合は z 方向の電界成分を強く反射し, x 方向の電界成分をもつ入射波に対して、後方散乱波は小さいことが分かった。図 9 に C-like 型の 1 bit チップレス RFID タグの長さ Iを変えた場合の RCS の大きさを示す。E1.5, 1.6, 1.7 mm のときは 50 GHz~60 GHz で共振をもつことが分かった。長さ E1.7, 1.6, 1.5 mm の場合のチップレス RFID タグの RCS の共振の Q 値はそれぞれ、34.5, 25.2, 21.9 となった。このことから長さ Iが短くな り、共振周波数が高くなるほど C-like 型の散乱体の RCS の Q 値は低くなることが分かった。また、共振時の RCS の大きさはどの周波数でも約・32 dBsm となることが分かった。

線状の散乱体と C-like 型の散乱体を比較すると, C-like 型の方が非常に Q 値は高くなることが分かった。 線状の散乱体では長さ 2.5 mm で約 51.5 GHz で共振しているが, C-like 型では全体の線長で 4.0 mm で約 51.7 GHz で共振し, 共振周波数はほぼ等しいが, 実際の線長は異なるということが分かった。これは線状 の散乱体を折り曲げることにより上下の線が近づくことで結合し,容量成分が増えたためと考えられる。ま た,線状の散乱体と C-like 型の散乱体の RCS の大きさを比較すると,線状の散乱体のほうが約 6 dB 大きい ということが分かった。



図8 C-like 型散乱体を用いた 1 bit の反射型チッ プレス RFID タグの外観



図 9 C-like 型散乱体を用いた 1 bit の反射型チッ プレス RFID タグの RCS



図 10 C-like 型スリットを用いた 1 bit の透過型 チップレス RFID タグの外観



図 11 C-like 型スリットを用いた 1 bit の透過型 チップレス RFID タグの RCS

3-3 透過型チップレス RFID タグ

(1)1bit モデル

□透過型チップレス RFID タグは基準金属面にスリットを設けた構造をしている。初めに、スリットの構造による RCS の共振特性を求めるために、基準金属面にスリットを1つ設けた1bit モデルについて解析を行う。

1 bit の透過型チップレス RFID タグとして 1 辺が 2.5 mm の銅箔膜の中心に幅 0.2 mm,横方向のスリット長 0.6 mm,縦方向のスリット長 I[mm]の C-like 型のスリットが設けられたものを考える。図 10 (b)に示す 1 bit の透過型チップレス RFID タグを縦横それぞれ 2 個正方形状に並べたものに平面波を入射したときの RCS の大きさを FDTD 法により解析した。材質としては銅を想定し、導電率は σ = 59×10⁶ S/m としている。FDTD 法の解析条件として x, y, z方向それぞれのセル数は NX=200, NY=200, NZ=300 であり, x, y, z方向のセルサイズ Δx , Δy , Δz は最大 0.2 mm,最小 0.1 mmとしている。自由空間を表現するために、解析領域の境界には境界条件として Uniaxial Perfectly Matched Layer (UPML)を用いている。C-like 状のスリットをもつ透過型チップレス RFID タグは入射波の偏波による特性をもち,図 10(b)のような座標系に配置

<i>l</i> [mm]	共振周波数 [GHz]	Q值	
0.95	64.56	1291	
1.00	61.55	3078	
1.05	58.81	1470	
1.10	56.30	804	
1.15	53.99	900	
1.20	51.86	740	
1.30	48.06	600	

表 1 C-like 型スリットを用いた 1 bit の透過型チップレス RFID タグの RCS の共振周波数および Q 値

した場合, z方向の電界成分は透過し, x 方向の電界成分は反射することが分かっ た。スリットの縦方向の長さ lを変えた 場合の RCS の大きさを図 11 に示す。l を 0.95~1.3 mm まで変化させることで RCS の 共振 周 波 数 が 48.0 GHz ~ 64.6GHz まで変化することが分かった。 表 1 に lを変化させた場合の各共振周波 数と Q 値を示す。図 11 および表 1 より l が長くなると共振周波数が低くなって いることが分かる。また、l が長くなる

につれて,Q値が小さくなる傾向があることが分かった。F0.95 mmのときは1.0 mmに比べて共振周波数 が小さくなっているが,これはRCSの値を10 MHzごとに解析したためであると考えられる。また,C-like 状の反射型チップレスRFIDタグと比較するとQ値は非常に大きくなっており,ほぼ同じ共振周波数の56.30 GHzにおいては約32倍のQ値をもつことが分かった。また,透過型チップレスRFIDタグの非透過周波数 と反射型チップレスRFIDタグの共振周波数のRCSの大きさを比較すると,透過型チップレスRFIDタグ の方が約5 dBほど大きくなることが分かった。

次に 1bit の透過型チップレス RFID タグとして 1 辺が 3.0 mm の銅箔膜の中心に幅 1.0 mm, 1 辺の長さ 1 [mm]の正方形状のスリットを設けたものを考える。図 12 に正方形のスリットを設けた 1bit 透過型チップ レスタグの解析モデルを示す。図 12 (b)に示す 1 bit の透過型チップレス RFID タグを縦横それぞれ 2 個正 方形状に並べたものに平面波を入射したときの RCS の大きさを FDTD 法により解析した。FDTD 法の解析 条件は C-like 状のスリットを設けた透過型チップレスタグの解析と同様である。図 13 に長さ *I*を 1.6 mm~2.0 mm まで変えた場合の正方形のスリットを設けた透過型チップレス RFID タグの RCS の大きさを示す。



図 12 正方形型スリットを用いた 1 bit の透過型 チップレス RFID タグの外観



図 13 正方形型スリットを用いた 1 bit の透過型 チップレス RFID タグの RCS

図13よりRCSの共振周波数は波長に反比例するた

め *I*が長くなると低くなることが分かる。また,55 GHz の共振時の Q 値は約 86 となり C-like 型の散乱体 を用いた反射型チップレス RFID タグの約 3.4 倍大きくなることが分かった。しかし,C-like 状のスリット を設けた透過型チップレス RFID タグと比較すると約 1/10 の大きさとなることが分かった。

このことから C-like 状のスリットを設けた透過型チップレスタグが最も Q 値が大きく,狭い帯域に多くの共振をもたせることができることが分かったが,0.5 mm というわずかなスリットの大きさの違いで共振 周波数が大きく動いてしまうため,製造誤差などへのロバスト性は低いことが分かった。本研究では製造誤 差へのロバスト性,Q値の大きさから5 bitの正方形状のスリットを設けた透過型チップレス RFID タグを 検討した。

(2)5 bit モデル

図 12(b)に示す正方形状のスリットの長さ1を 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0 mm と変えてフラクタル上に設けた 5 bit の透過型チップレス RFID タグを考える。図 14 に 5 bit の透過型チップレス RFID タグの解析モデルを 示す。図 14 に示すモデルを FDTD 法により解析し, RCS を求めた。解析条件は 1 bit の透過型チップレス RFID タグのときと同様である。図 15 に 5 bit の透過型チップレス RFID タグの RCS を示す。図 15 より提 案透過型チップレス RFID タグは約 50.3, 55.5, 56.1, 64.0, 68.6 GHz において共振をもつことが分かった。 図 13 に示す RCS の共振周波数と異なっているが、これはスリットが近傍にあるため相互作用により影響を 受けたと考えられる。これより異なる大きさのスリットを設けることによりスリットの大きさに応じた共振 が得られ、多ビットのチップレス RFID タグができることが分かった。しかし、複数の異なる大きさのスリ ットを設けることにより互いに影響し、共振周波数が変化することが分かった。各 bit のスリットの大きさ は事前に決まっているため、それぞれのデータを表すタグに相互作用を考慮したスリットの大きさを選ぶこ とにより解決できると考えている。



図 14 正方形型スリットを用いた 5 bit の透過型 チップレス RFID タグの外観



図 15 正方形型スリットを用いた 5 bit の透過型 チップレス RFID タグの RCS

4 まとめ

RFID の一種であるチップレス RFID はリーダと IC チップを搭載しないタグから構成される。リーダは チップレス RFID タグを構成する散乱体形状による後方散乱波の RCS の共振周波数を読み取ることにより タグのデータを読み取る。本研究ではチップレス RFID タグの小型化,高Q値化のためにミリ波帯のチップ レス RFID タグを開発した。チップレス RFID タグとして反射型と透過型の2種類のタグを提案し,反射型 チップレス RFID タグでは線状と C-like 状の散乱体を,透過型チップレスタグでは C-like 状と正方形状の スリットを設けたタグを提案し,それぞれの1bit モデルの解析を行った。その結果,透過型チップレス RFID タグは反射型チップレス RFID タグに比べて,大型化するがQ値が非常に大きくなることが分かった。また, 透過型チップレス RFID タグにおいても C-like 型は非常に高Q値となることが分かったがわずかな製造誤 差により共振周波数が大きく変化するということが分かった。本研究では正方形状のスリットを設けた5bit の透過型チップレス RFID タグを提案し,その後方散乱波の RCS を FDTD 法により計算した。その結果 50 GHz~70GHz の間で5つの共振をもたせることができ,5 bit のデータをもたせることができることが分か った。

今後は C-like 型のスリットを設けた透過型チップレス RFID タグを更に検討し,更なる高 Q 値化,製造 誤差などに対するロバスト化を実施する予定である。

【参考文献】

- R. Want, "An Introduction of RFID Technology," IEEE Pervasive Computing, Vol. 5, pp. 25-33, 2006.
- [2] V. Chawla and D. S. Ha, "An Overview of Passive RFID," IEEE Communications Magazine, Vol. 45, No. 9, pp. 11-17, 2007.
- [3] Y. Watanabe, K. Watanabe, and H. Igarashi, "Optimization of Meander Line Antenna Considering Coupling Between Nonlinear Circuit and Electromagnetic Waves for UHF-Band RFID," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 47, No. 5, pp. 1506-1509, 2011
- [4] S. Preradovic and N. C. Karmakar, "Chipless RFID: Bar Code of the Future," IEEE Magazine, Vol. 11, No. 7, pp. 87-97, 2010.
- [5] J. McVay, A. Hoorfar, and N. Engheta, "Space-filling Curve RFID Tags," IEEE Radio and Wireless Symp., pp. 199-202, 2006.
- [6] S. Preradovic, I. Balbin, and N. Karmaker, "The Development and Design of a Novel Chipless RFID System for Low-Cost Item Tracking," Proc. Asia Pacific Microwave Conf., pp. 1-4, 2008.
- [7] Y. Watanabe, and H. Igarashi, "Shape Optimization of Chipless RFID Tags Comprising Fractal Structures," International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 52, No. 1-2, pp. 609-616, 2016.
- [8] 省電力データ通信システム/60GHz 帯超高速スループットワイヤレス LAN システム,標準規格 ARIB STD-117,一般社団法人電波産業会。
- [9] 特定小電力無線局ミリ波レーダー用無線設備,標準規格 ARIB STD-T48,一般社団法人電波産業会。
- [10] 79GHz 帯高分解能レーダー,標準規格 ARIB STD-T111,一般社団方針電波産業会。
- [11] A. Vena, E. Perret, and S. Tedjini, "Chipless RFID Tag Using Hybrid Coding Technique," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 59, No. 12, 2011.
- [12] R. A. Ross, "Radar Cross Section of Rectangular Flat Plates as a Function of Aspect Angle," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vo. 14, No. 8 pp. 329-335, 1966.
- [13] A. Taflove, A. Oskooi, SG, Johnson, "Adavances in FDTD Computational Electrodynamics: Photonics and Nanotechnolgy," Artech House.
- [14] B. Wei, S. Zhang, F. Wang, and D. Ge, "A Novel UPML FDTD Absorbing Boundary Condition for Dispersive Media," Waves in Random and Complex Media, Vol. 20, No. 3, pp. 511-527, 2010.

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
スリット型チップレスタグのトポロジー最 適化	平成 30 年電気学会電子・情報・シ ステム部門大会	2018年9月5日
Optimization Design of Slit Type Chipless RFID Tag Comprising Fractal Structure	The Eighteenth Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation CEFC 2018	2018年10月29日