

有限長金属筒構造利用による金属円筒裏面の RFID タグ読取り性能向上方法の提案

大鷲 祐貴[†] 伊藤 隆広[†] 内田 涼仁[†] 武田 茂樹^{††}
 鹿子嶋憲一^{††} 梅比良正弘^{††}

A Reading Characteristic Improvement of an RFID Tag Attached to Rear Side of a Metallic Cylinder Using Finite Length Metallic Cylindrical Structure

Yuki OWASHI[†], Takahiro ITO[†], Ryoto UCHITA[†], Shigeki TAKEDA^{††},
 Kenichi KAGOSHIMA^{††}, and Mashahiro UMEHIRA^{††}

あらまし シールドケーブル製造時に RFID タグを一定間隔でシールド表面に貼り付け、シールドケーブルとその中に内蔵されている RFID タグの ID 情報を一体化し、敷設後のケーブル管理を容易にする方式が提案されている。しかし、リーダに対し RFID タグが金属物体裏面に位置するとき金属物体が遮へい物体となり読取り性能が劣化する。本論文ではこのようなケーブル製造への RFID の応用を想定し、円筒状の金属物体裏面にタグが位置している場合の読取り性能を向上させる手法を提案する。金属物体裏面にタグが配置されても読取り可能とするため、金属円筒及びリーダの周囲に共振器となる金属筒を設置した。この金属筒は円形同軸導波管の TM₀₁ モードと同等の金属物体周囲で一様な電界強度分布を発生させるように設計した。金属筒配置による有効性をモーメント法を使用した電磁界解析及び実験から評価した。その結果、提案手法により円筒状の金属物体裏面に位置する RFID タグの読取り特性が大幅に向上することを明らかにした。

キーワード UHF, RFID タグ, 金属物体, 裏面, 共振器, 導波管構造

1. ま え が き

RFID (Radio Frequency Identification) は, Suica, Edy を代表例として流通, 図書管理など様々な分野で応用が広がっている。また, RFID 技術の応用として電力プラントにおけるケーブルや工具の管理など, 金属物体の認識にも活用されている [1]。更にシールドケーブル製造時に RFID タグを一定間隔でシールド表面に貼り付け, シールドケーブルとその中に内蔵されている RFID タグの ID (Identification number) 情報を一体化し, 敷設後のケーブル管理を容易にする方式が提案されている [2]。ここで, ケーブルは巻き取りながら製造されるため常に動いており, またタグの読取り時にねじれなどが起こる。このケーブルのねじれ

によってタグがリーダに対して裏面に位置する場合, タグの受信電力が低くなり, 読取りが困難になる。特にシールドケーブルは, 信号ケーブルが円筒状の金属で囲われた構造であるため, タグを金属に近接して貼り付ける場合, 読取り特性は更に劣化する。また, 先に述べたように, ケーブルは常に移動しているので RFID タグはリーダ正面からずれる場合もある [2]。

一方, ゲート上に複数のリーダアンテナを配置して様々な位置にある RFID タグを読み取る手法もある [3] が, 複数のアンテナやリーダが必要となり, コスト増が問題となる。また, 他所にある RFID タグを読み取るなどの問題発生も予想される。

本論文では, UHF (Ultra High Frequency) 帯 RFID 技術をシールドケーブル製造・管理に適用することを想定し, 円筒状金属の任意の位置, 特に裏面に位置する RFID タグの読取りについて問題を明確にし, またその解決方法を提案する。RFID タグは金属裏面に貼り付けると金属物体が遮へい物体となりタグの読取り性能は著しく劣化し, 認識は困難になる。

[†] 茨城大学大学院理工学研究科, 日立市
 Graduate School of Engineering, Ibaraki University, 4-12-1
 Nakanarusawa, Hitachi-shi, 316-8511 Japan

^{††} 茨城大学工学部, 日立市
 College of Engineering, Ibaraki University, 4-12-1 Naka-
 narusawa, Hitachi-shi, 316-8511 Japan

ここで、ケーブルを有限長の金属筒で覆う構造を考えると、シールドケーブルを内部導体とする同軸導波管構造が形成されることにより、リーダアンテナで1点から励振するだけで共振現象により、シールドケーブル周囲に一様で強い電界分布を発生させることが可能であると考えられる。そこで、RFID 技術による円筒金属物体裏面に貼り付けたタグの読取り性能を向上させる手法として円筒金属物体及びリーダ周囲を共振器となる方形状金属筒で囲い、共振器を構成し、金属筒内に一様な管軸方向電界をもつ TM_{01} (Transverse Magnetic wave) モードを発生させる。こうしてリーダに対して金属物体の正面、側面、裏面にタグが存在する場合でも読み取れる手法を提案する。

まず 2. において、RFID 内蔵ケーブルの製造工程について説明し、その問題点について述べる。金属円筒に貼り付けられたタグの通常のリードを用いた読取り特性について述べる。次に、3. において、共振器となる金属筒を利用したタグの読取り手法について述べ、この効果や最適形状及び設計方法について述べる。また、4. では実験による特性評価について示す。最後に 5. でまとめを行う。

2. 金属円筒裏面に配置されたタグの読取り特性

2.1 RFID タグ内蔵ケーブルの製造方法と問題点

図 1 に RFID 内蔵ケーブルの製造工程を示す [2]。このシステムは通信用シールドケーブル内のシールドにダイポールタグを一定間隔で貼り付けて、製造時に ID を読み取り、データベースを作成し、敷設後のケーブル管理を行う手法である。RFID タグは z 軸方向に沿って挿入される。RFID タグはボビンで巻き取りながらシールドケーブル内に挿入されていく。その後、シースと呼ばれる外皮を形成し、ボビンによる巻取り前にリーダにより ID を読み取る。このようにして、

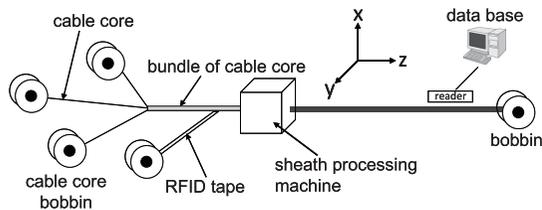
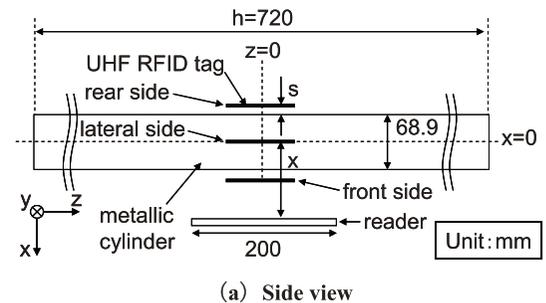


図 1 RFID 内蔵ケーブルの製造工程
Fig. 1 A manufacturing process of a cable with RFID tags.

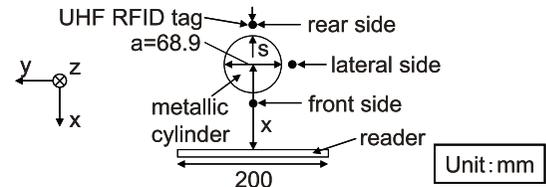
データベースを作成する。このとき、RFID タグが側面や裏面に位置する場合があります。読取り誤りが発生する。また、読取りタイミングによってはタグがリーダ正面に位置しない場合も考えられるため、 z 軸方向のずれに対しても、安定して読み取れる必要がある。このずれに対する許容範囲が広いほど、ケーブルを高速にボビンで巻き取ることが可能となる。

2.2 実験及び解析による特性評価

リーダに対して金属円筒物体の正面、側面、裏面に配置した UHF 帯 RFID タグの読取り性能評価実験を行った。実験環境を図 2 に示す。シールドケーブルを円筒状金属物体とし、リーダと金属円筒中心との距離 x 及び金属円筒とタグ間隔 s を変化させる。金属円筒の直径を 68.9 mm (半径 34.45 mm) としている。このため、リーダと金属円筒中心の距離を 50 mm から測定を始め、50 mm 刻みで 200 mm まで正面、側面、裏面のそれぞれで測定した。RFID タグの中心をリーダ中心 $z = 0$ mm と一致させた。用いたリーダ及びアンテナは三菱電機株式会社製 RF-ALTP002 及び RF-RW003 [4] であり、出力は 30 dBm に設定した。このリーダの中心周波数は 953 MHz であり、偏波は直線偏波である。また、リーダアンテナの寸法は $200 \times 200 \times 25$ mm である。タグには RF-TGP005-W [5] のダイポールタグを用いた。ここで



(a) Side view



(b) Top view

図 2 実験環境
Fig. 2 Experimental environment.

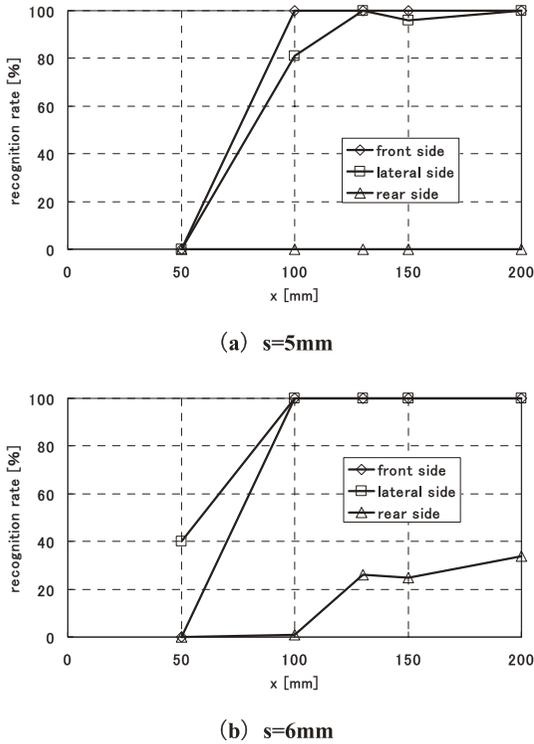


図3 金属円筒中心とリーダ間距離に対する読取り率
Fig. 3 Recognition rates as a function of distance between the center of a metallic cylinder and a reader antenna.

は、UHF 帯 RFID タグを使用することを想定しているが、2.45 GHz 帯のタグを用いる場合も波長が異なるのみで現象は同一である。また、金属円筒導体の直径についても本論文で用いる形状は一例であり、後に提案する手法は細いものから太いものまでそれらに応じた設計を行うことで適用可能である。

実験結果を図3に示す。また、図4に同一の構造におけるモーメント法解析結果を示す。Ez成分はタグと平行な電界成分である。パッチアンテナの地板部は200×200 mm、パッチ部は140×140 mmとし、メッシュサイズはそれぞれ5, 2.5 mmである。また、地板とパッチ部間は10 mmで空気としている。このときの入力インピーダンスは47.0-j8.02Ωとなり、VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) は約1.2である。給電は同軸給電を想定して、パッチ部と地板部の間に送信電力が30 dBmとなり50Ωの電源インピーダンスを有する電圧源を配置することにより行った。次章以降もここで設計したパッチアンテナを用いるものとする。解析にはモーメント法を用いて計算を行う電磁界解析

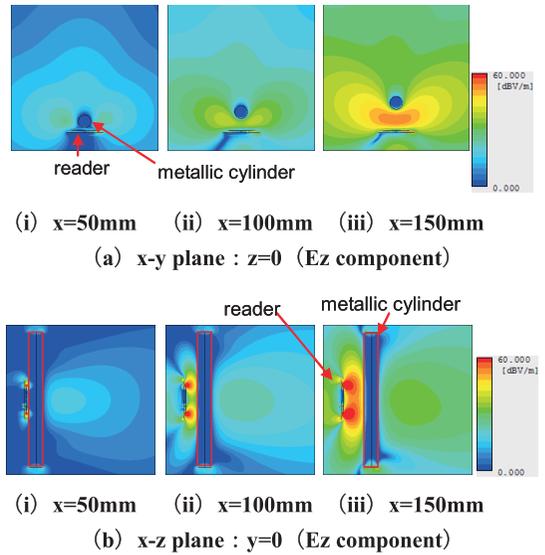


図4 金属円筒周辺の電界 (Ez) 成分
Fig. 4 Electric field (Ez) distribution around the metallic cylinder.

ソフト EEM-MOM ver.1.5 [6] を使用している。図3よりリーダと金属円筒中心間距離を50 mmにし、金属円筒表面とタグ間隔sを5 mmとした場合、読み取れていないが金属円筒からリーダを離すことにより、正面の読取り率は改善する。このことは図4のリーダと金属円筒間の電界の変化からも確認できる。リーダと金属円筒間距離が近い場合に読取り率が低いのは、金属表面での電界の接線成分がゼロとなることが原因である。また、裏面の読取り率はs=6 mmのとき最大でも30%程度と非常に低い。シールドケーブルへのRFID タグの挿入を考えた場合、RFID タグと金属円筒間隔は極力小さいことが望ましい。そのため、裏面の読取りは非常に困難であることが確認できた。

3. 金属筒を用いた読取り手法

3.1 読取り手法の提案

前章で述べたように、金属物体裏面に貼り付けられたタグの認識率は非常に低い。ここで、シールドケーブルを内部導体とみなすと同軸導波管構造を適用することにより、リーダアンテナで1点から励振するだけで、共振現象によりシールドケーブル周囲に一樣で強い電界分布を発生させることが可能であると考えられる。そこで、図5に示すようにリーダアンテナとケーブルの周囲を共振器となる方形金属筒で囲う方式を提案する。なお、金属筒を方形とするのは平面状の

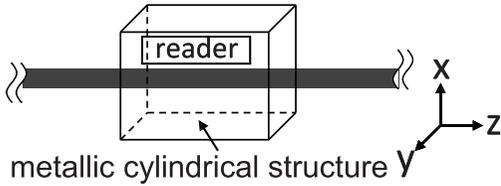


図 5 金属筒を利用した読取り手法
Fig. 5 The proposed reading technique of RFID tags with a metallic cylindrical structure.

リーダアンテナを配置するためである。アンテナが設置可能であれば円筒状でもよい。

先に述べたように図 5 の構造はシールドケーブルが内導体となり、周囲の金属筒が外導体となる同軸状の導波管構造とみなせると考えられる。このような考え方を導入することにより、以降に示すように提案手法の動作原理や最適構造に関する理解が容易になる。

円形同軸導波管は理論的に設計手法が確立されている [7] ので、これを利用して方形同軸導波管の設計を行う。

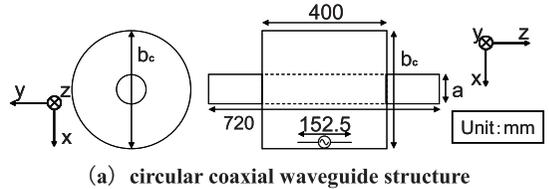
3.2 解析モデル

円形同軸導波管構造及び方形同軸導波管構造の解析モデルを図 6 に示す。外導体及び内導体のメッシュサイズはそれぞれ 10 mm, 5 mm とした。ここでは円形同軸導波管における構造の関係で送信アンテナにはパッチアンテナではなく、ダイポールアンテナを用いた。ここでの設計周波数は 953 MHz とし、使用するダイポールアンテナのインピーダンスは自由空間において $73 + j0.0 \Omega$ で整合をとり、 73Ω の電源インピーダンスを有する電圧源で励振し、出力電力が 30 dBm となるようにしている。外部導体となる金属筒の高さはリーダ寸法 (200 mm) とタグの z 軸方向ずれへの対応も考慮して 400 mm (1.27λ , λ は使用周波数における自由空間波長) としている。円形及び方形同軸導波管構造の外部導体の直径及び辺の長さを 110 mm から 450 mm まで 10 mm 刻みで変化させた。内部円筒導体の直径は 68.9 mm である。

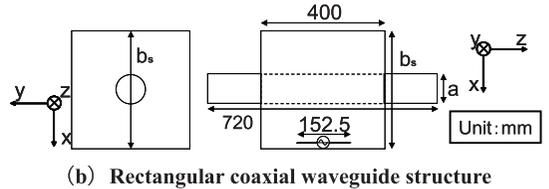
3.3 電界分布

リーダは電界の E_z 成分を放射する直線偏波アンテナである。このため、電界だけが管軸方向の成分をもち、磁界は管軸と垂直方向となる。したがって、本論文で必要とする電磁界分布は TM モードである。TM_{*m*n} モードとは電界強度が ϕ 方向 0 から 180° の間で電界の変化が *m* 回繰り返し、*r* 方向 (円形同軸導波管構造の半径方向) に *n* 回繰り返すモードのことである。

本節では TM モードの電界 E_z 成分について述べ、



(a) circular coaxial waveguide structure



(b) Rectangular coaxial waveguide structure

図 6 円形及び方形同軸導波管構造モデル
Fig. 6 Analytical models of a circular and rectangular coaxial waveguide structure.

TM₀₁, TM₁₁ モードを例として図 7 に示す。図 7 (a)～(d) 及び図 7 (e)～(h) は、それぞれ円形及び方形同軸導波管構造における電界分布である。ここで、TM₀₁ モードについてその前後の直径及び他のモードを有する構造も併せて示す。なお、本論文ではそれぞれのモードの分布形態の中で、最も E_z 成分の電界強度が高いものを選択して、TM₀₁ 及び TM₁₁ モードと表示している。本研究ではリーダに対し、金属円筒の正面、側面、裏面全てでの読取りを実現することが目的である。これを可能とするために金属筒内に電界が一様に分布する TM₀₁ モードを意図的に作り出すことで、金属円筒周囲のどこに RFID タグが設置されても読み取れる手法を実現する。

図 7 (b) より、円形同軸導波管構造の TM₀₁ モードが最適な電界分布であることが確認できる。また図 7 (d) の TM₁₁ モードのように分布が一様でない場合、電界 E_z の低い部分で読取り誤りが起こるため不適切である。更に、図 7 (e)～(h) より、円形と方形で電界分布がほぼ同一であることが確認できる。

また図 8 (a) 及び (b) に図 7 (b) 及び (f) に対応する縦面内 ($x-z$ 面内) の E_z 成分の分布を示す。このように金属筒のエッジに向かって単調に減衰することが確認できる。これはタグが管軸方向へずれている場合でも安定して読み取れることを意味している。

更に図 9 及び図 10 に高さ H (金属筒の z 軸方向の高さを H と定義) が 1λ 及び 1.5λ の場合の $x-y$ 面内及び $x-z$ 面内の E_z 成分分布を示す。 $H = 1\lambda$ の場合は、これまでの検討で用いた $H = 1.27\lambda$ の場合に比べて電界強度が弱い。一方、 $H = 1.5\lambda$ の場合は、

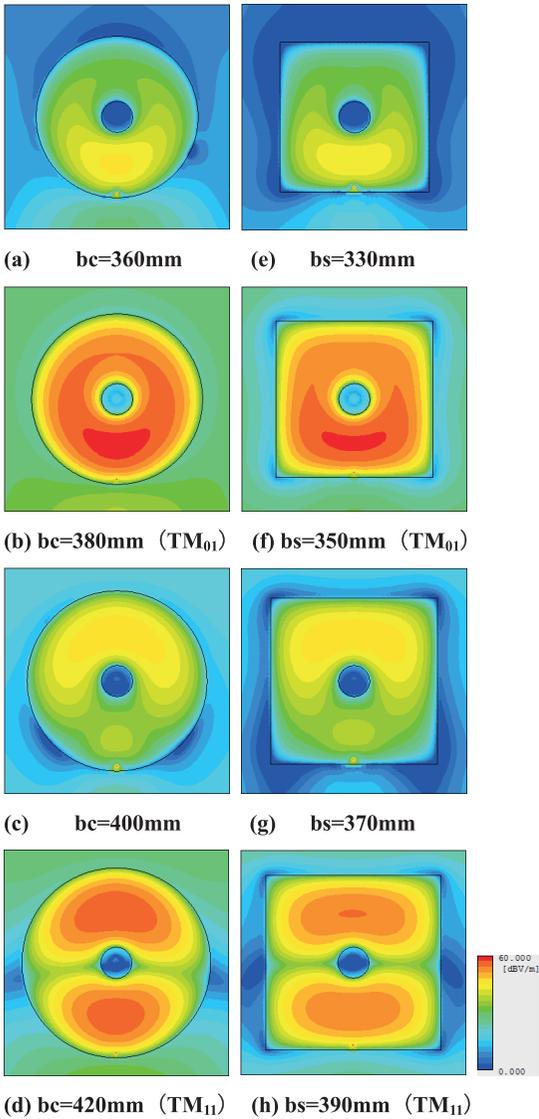


図 7 円形及び方形同軸導波管構造の比較

Fig. 7 A comparison of electric field (E_z component) distribution between a circular and rectangular coaxial waveguide structure.

$H = 1.27\lambda$ の場合の電界強度分布と 3.4 での金属筒の設計手順で示す電磁界解析による最適値の探索を考慮すると、ほぼ同等とみなせる。本論文ではこれを踏まえた上で、先に述べたようにタグ位置のずれへの対応も考慮して高さが短く実用上取扱いが容易となる $H = 400 \text{ mm}$ (1.27λ) を採用している。

このように図 7 の解析結果より方形同軸形状の電界分布は円形のものとはほぼ同一であることが確認でき

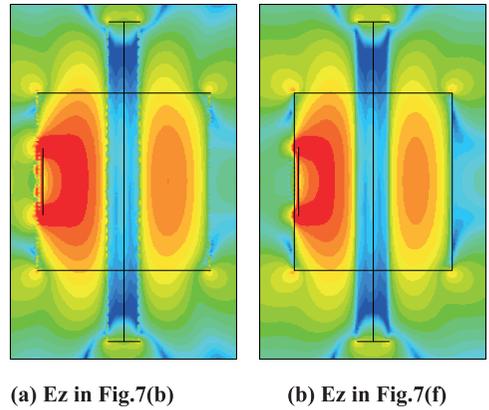


図 8 図 7 (b) 及び (f) における $x-z$ 面内の電界 E_z の分布

Fig. 8 E_z distribution in $x-z$ plane of Fig. 7 (b) and (f).

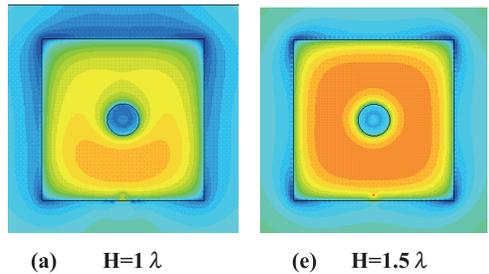


図 9 高さを変化させた場合の電界 (E_z 成分) の $x-y$ 面内分布

Fig. 9 E_z distribution in terms of H ($x-y$ plane).

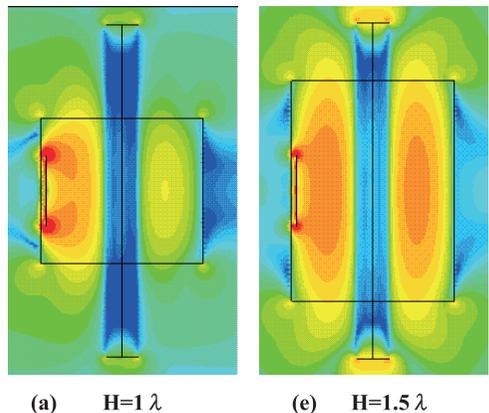


図 10 高さを変化させた場合の電界 (E_z 成分) の $x-z$ 面内分布

Fig. 10 E_z distribution in terms of H ($x-z$ plane).

た。したがって、円形同軸導波管から方形同軸導波管構造の寸法を決定する設計手法を提案する。

方形同軸導波管構造における TEM (Transverse

Electric and Magnetic wave) モードの特性インピーダンスについては設計式が報告されている [8]. しかし, TM モードの特性に関する報告はない.

3.4 金属筒サイズの設計手法

まず, 基準となる円形同軸導波管の TM_{01} モードを発生させるために 953 MHz がカットオフ周波数となる条件から外形 b_c を求めた. このとき RFID タグを動作させるために必要な E_z 成分が最大となる. また, 無限長の導波管を仮定すると, カットオフ周波数において管内波長が無限大になる. 本論文では有限長の導波管構造を用いるが, この性質はタグの z 軸方向へのずれに対して有効であると考えられる. ここで使用した近似式を以下に示す [9].

$$\lambda_{c(01)} \cong 2 \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) \quad (1)$$

ここで a [m] は内導体の直径, b [m] は外導体の直径, λ_c はカットオフ波長を表している.

式 (1) から求めた値と解析で TM_{01} モードにおける E_z 成分が最も高い場合の外導体の寸法を図 11 に示す. 図 11 より円形同軸導波管構造の計算結果とモーメント法より求めた解析結果がほぼ一致している. また, この結果より, 本論文で用いている高さ 1.27λ の導波管構造であれば, 無限長の導波管とほぼ同等の共振特性を有することが確認できる.

次に, 円形同軸導波管構造の場合と同様に, 図 11 に方形同軸導波管構造において金属筒内の電界分布が TM_{01} モードで最大となる寸法について示す. 円形同軸導波管構造と方形同軸導波管構造の最適寸法を比較すると, 内部の金属円筒の直径を変化させた場合でも金属筒のサイズが約 30 mm (0.0953 λ) 程度の一定のずれを維持している. また, 図 11 に示すように方形

同軸導波管構造において, 送信アンテナをパッチアンテナに変更した場合 (金属筒の影響でパッチアンテナの VSWR は 1.2 から 1.7 に劣化する), ダイポールアンテナのとときと比較して 10 mm 異なる程度であり, この値を基準とすれば最適化は比較的容易である.

したがって, 円形同軸導波管構造の設計値から約 0.0953 λ を引いた大きさの一边をもつ方形同軸導波管構造を設計することで方形同軸導波管構造においても TM_{01} モードの最適形状に関する目安を求めることが可能である.

ここで円筒導体直径 68.9 mm の場合を例にして, これまでに述べた設計手順を示す. まず, 方形金属筒の一边の長さを円形同軸導波管の理論式から得られる直径から 0.0953 λ 引くことにより求めた. 円形同軸導波管の外導体直径は式 (1) を用いると約 384 mm となり, ここから 0.0953 λ 引いた値, 354 mm が方形同軸導波管構造の一边の長さとなる. 次に, この大きさの方形金属筒の一边をこの目安値を中心に変化させて, 電磁界解析を行い, 内部の電界分布が最大になる形状を求めた. その結果, 一边の長さの最適値は 360 mm となった. このように方形同軸導波管構造に関する目安が得られることで, 電磁界解析の探索範囲は大幅に縮小される.

次に, たわみなどによりケーブル位置が金属筒中心からずれる場合の影響について考察する. まず, 実環境ではロータ等によりケーブル位置を固定する手段が存在する. しかし, ここではこのずれの発生も考慮して中心で 5 mm の上下方向のたわみを想定してパッチアンテナ励振時の特性評価を行った. ただし, 解析ではケーブル全体が上下に 5 mm オフセットするモデルとした. 金属筒サイズは, 先の考察で決定された一边 360 mm のものである. 図 12 に金属円筒から 2 mm

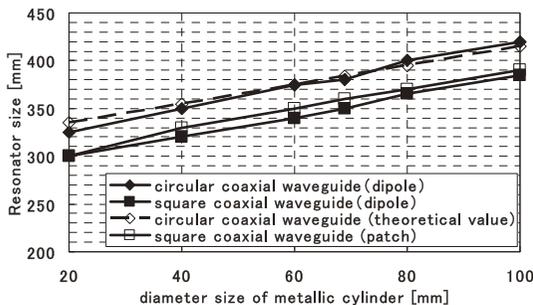


図 11 方形同軸導波管構造の最適寸法の設計手順
Fig. 11 Design procedure of a rectangular coaxial waveguide from a circular one.

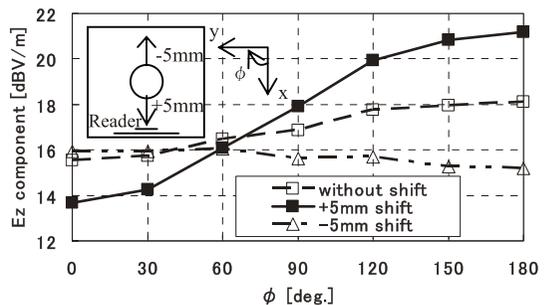


図 12 ケーブル位置ずれの影響
Fig. 12 Effect of deviation of a cable position.

離れた位置における金属円筒周囲（高さはパッチアンテナ中心）の Ez 成分を示す。図中の +5 mm shift は図 5 においてリーダ方向へケーブルが 5 mm ずれることを意味している。同様に -5 mm shift はリーダから離れる方向に 5 mm ずれることを意味している。その結果、電界強度が最も低くなる特性としてケーブルが 5 mm リーダ方向にずれる場合、リーダ正面方向 ($\phi = 0^\circ$) の電界強度が 2 dB 劣化した。したがって、ケーブルの変動は先に述べたロータで十分に抑制する必要がある。

4. 金属筒の効果

4.1 実験結果

使用する金属筒は前節で述べたように $360 \times 360 \times 400$ mm とする。金属円筒と RFID タグ間間隔を s とし、金属筒の有無による読取り率の比較を実験結果から検証した。実験概要図を図 13 に示す。リーダとタグは自由空間における実験のときと同じものを使用している。 s が 1, 2, 3 mm のときの結果を図 14 に示す。図 1 のシステムより、 z 軸方向への物体の移動に

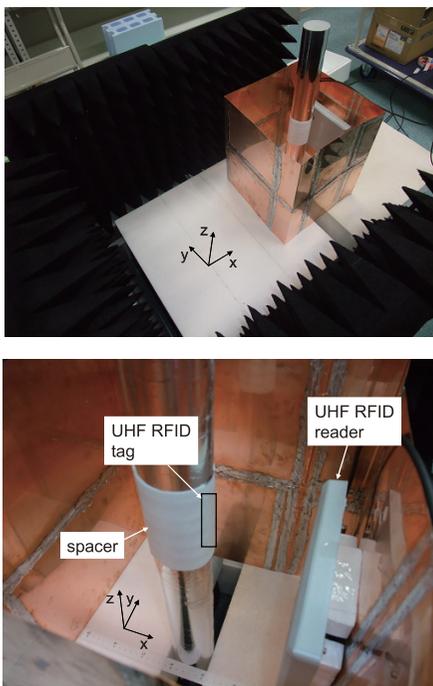


図 13 実験概要図（上：外観，下：内観）

Fig. 13 An experimental setup (Upper one: the external appearance, lower one: the internal one).

対応する必要があるため、横軸をタグ位置の z 座標として評価している。図 14 より、金属筒を配置することで側面、裏面に配置したタグの読取り率が向上しているのが分かる。特に、裏面における向上が著しいことも確認できる。

また図 2 の構造における金属筒がない場合の読取り率特性も図 14 に示す。このとき、金属円筒中心とリーダ間距離は図 13 と同一としている。これは $x = 130$ に相当する。またこれは、リーダ正面である $z = 0$ に RFID タグが配置された場合の読取り率である。金

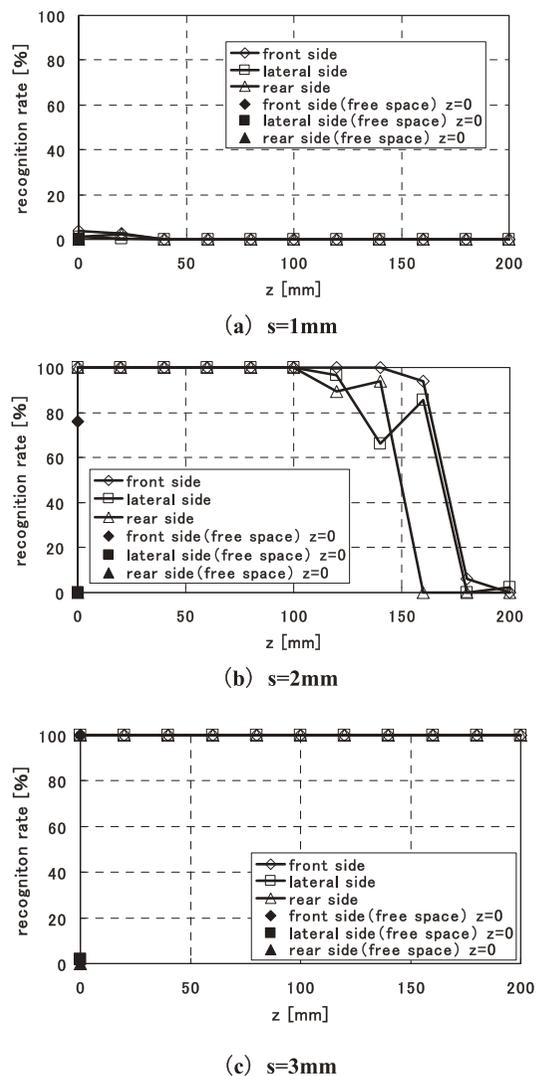


図 14 金属筒による読取り率の改善効果

Fig. 14 Effectiveness of the proposed method.

属筒がない場合は金属円筒と RFID タグ間間隔 s が 2 mm のとき、読取り率が 100%ではないが、金属筒を用いることにより読取り率が 100%となり、正面の読取り率も向上することが確認できる。

金属筒を用いることで s が 2 mm 以上ではリーダ正面である $z = 0$ における正面、側面及び裏面の読取り率が 100%になる。また、 s が 3 mm より大きいとき、タグ位置の長手方向に対するずれが金属筒のエッジ部に相当する ± 200 mm の範囲において読取り率が 100%となった。これは図 8 に示す図 7 (b), (f) の x - z 面内の電界強度分布からも理解できる。

4.2 解析と実験の比較

解析の妥当性を確かめるために、金属筒の寸法は変えず、金属円筒直径を 40 mm としたときの電界強度分布を実験と解析から比較を行い解析の妥当性を確認した。直径を 40 mm とすることで内部の電界分布が一様でなくなるため、実験結果との比較が容易になる。このときの送信電力は特性が顕著になるように 26 dBm とし、金属円筒とタグ間間隔 s を 2 mm としている。

解析結果及び実験結果をそれぞれ図 15 及び図 16 に示す。このときの観測面は $z = 0$ の x - y 面であり、

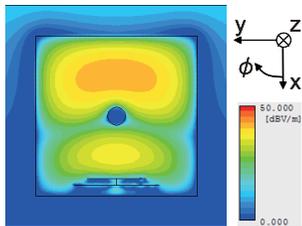


図 15 金属円筒直径が 40 mm の場合の電界強度 E_z 成分 (x - y 面)

Fig. 15 E_z distribution in x - y plane in the case of the diameter of the metallic cylinder of 40 mm.

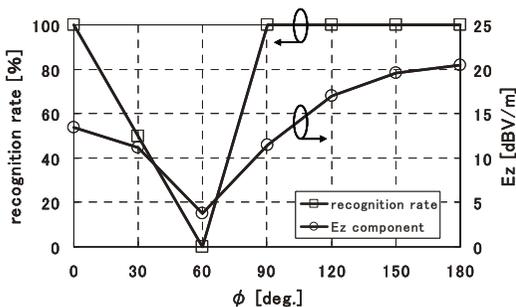


図 16 解析と実験結果の比較

Fig. 16 Evaluation of analytical results.

図 16 は金属円筒から 2 mm 離れた位置における電界強度 E_z 成分である。金属物体周辺で電界が最小となるのは ϕ が 60 度のときであり、解析結果及び実験結果から電界の谷の発生位置は認識率がゼロとなる位置と一致していることが確認できた。したがって、解析結果が妥当であるといえる。なお、 ϕ が 30 度の実験結果については認識率が不安定だったため、10 回実験を行い、平均値をプロットしている。

5. む す び

RFID タグ内蔵ケーブル製造時に RFID タグがシールドケーブル裏面に位置する場合の読取り率を改善するために、シールドケーブルが内導体となり、この周囲に配置する方形金属筒が外導体となる同軸構造の適用を試みた。その結果、この方形金属筒とシールドケーブルが共振器を構成し、リーダにより内部の一点を励振することにより、シールドケーブル周囲に一様で強い電界を発生させられることを示した。また管軸方向を向き、シールドケーブルの正面、側面、及び裏面に位置する RFID タグを読み取るためには、カットオフ波長において動作するように設計した TM_{01} モードが最適であることを示した。この設計方針は、管軸方向に対する RFID タグのずれに対しても強いことを明らかにした。また、円筒同軸導波管構造における最適構造と方形同軸導波管構造のそれとのずれが金属円筒直径の変化に対してほぼ一定であることを示した。この性質を利用して円形同軸導波管構造の設計値から方形同軸導波管構造の共振器を設計する手法により最適形状を得るための設計時間を大幅に縮小できることを明らかにした。

今後の課題としては、送受信電力解析、ケーブル挿入を安易にする手法の確立、ケーブルのたわみに対する対策等が挙げられる。

文 献

- [1] 川畑淳一, 石波雅幸, 荒木憲司, 湯藤芳裕, “RFID 応用 高度信頼性原子力プラント建設技術,” 日立評論, vol.88, no.2, pp.25–28, Feb. 2006.
- [2] 伊藤隆広, 尾保手茂樹, 鹿子嶋憲一, 鶴沼宗利, 湯田晋也, “ケーブルに貼り付けられた 2.45 GHz 帯パッシブ RFID タグの反射板を利用した読み取り手法に関する提案,” 2010 信学ソ大 (通信), B-1-140, Sept. 2010.
- [3] K.V.S. Rao, S.F. Lam, and P.V. Nikitin, “UHF RFID tag for metal containers,” 2010 Microwave Conference Proceedings, pp.179–182, Dec. 2010.
- [4] <http://www.mitsubishielectric.co.jp/device/rfid/products/index.html#02>

- [5] <http://www.mitsubishielectric.co.jp/device/rfid/products/index.html#03>
- [6] <http://www.e-em.co.jp> (株) EEM.
- [7] N. Marcuvitz, Waveguide Hand Book, pp.39-81, McGraw-Hill, 1951.
- [8] 小西良弘, 実用マイクロ波技術講座—理論と実際, 第1巻, p.18, ケイラボ出版, 2001.
- [9] 小口文一, マイクロ波およびミリ波回路, pp.42-45, 丸善, 1964.

(平成 24 年 2 月 15 日受付, 4 月 28 日再受付)



大鷲 祐貴

平 22 茨城大・工・メディア通信卒。平 24 同大学院理工学研究科修士課程了。在学中 RFID に関する研究に従事。



伊藤 隆広

平 22 茨城大・工・メディア通信卒。平 24 同大学院理工学研究科修士課程了。在学中 RFID に関する研究に従事。



内田 涼仁

平 23 茨城大・工・メディア通信卒。現在、同大学院理工学研究科修士課程在学中。RFID に関する研究に従事。



武田 茂樹 (正員)

平 8 鳥取大・工・電気電子卒, 平 12 同大学院博士後期課程了。博士(工学)。現在、茨城大学工学部メディア通信工学科准教授。無線通信システム, アダプティブアンテナ, RFID の研究に従事。平 14 本会学術奨励賞受賞, 平 17 本会通信ソサイエティ活動功労賞受賞。IEEE 会員。



鹿子嶋憲一 (正員:フェロー)

昭 44 東工大・理工・電子卒。昭 49 同大学院博士課程了。同年日本電信電話公社入社。以来、衛星、固定通信用反射鏡アンテナ、移動通信用アンテナの研究に従事。平 9 茨城大学工学部教授。平 5~6 IEICE Trans. on Com. Editor。平 11~12 本会アンテナ・伝播研究会委員長。工博。昭 48 米沢賞, 平 10 本会論文賞受賞。IEEE シニア会員。



梅比良正弘 (正員:フェロー)

昭 53 京大・工・電子卒, 昭 55 同大学院修士課程了。同年日本電信電話公社(現 NTT)入社。平 18 より茨城大学工学部教授。主として衛星通信システム, 広帯域ワイヤレスアクセスシステム, ワイヤレスユビキタスサービスシステム, コグニティブ無線等の研究開発に従事。昭 61~62 カナダ・CRC/DOC (通信省通信研究所) 客員研究員。工博(京都大学)。昭 62 本会学術奨励賞, 平 11 本会業績賞受賞。平 13 文部科学大臣賞研究功績者表彰, 平 15・平 22 電気通信普及財団テレコムシステム技術賞受賞。平 21 Wireless Vitae 2009 Outstanding Paper Award。IEEE 会員。