

HF帯/UHF帯共用RFIDタグアンテナ

西岡泰弘* 水野友宏***
 人見健三郎** 飯田佳和†
 桶川弘勝***

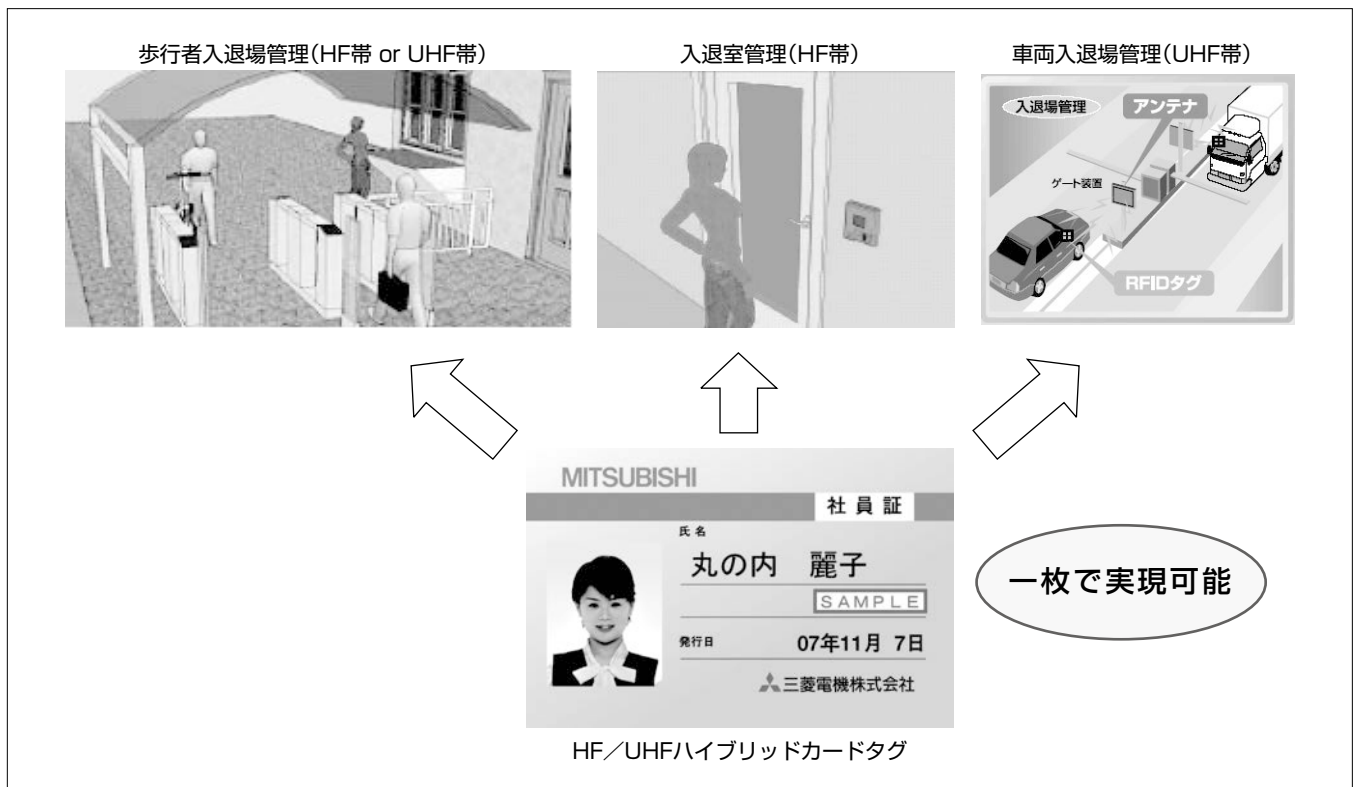
Novel Antenna Configuration for HF- and UHF-band Hybrid Card-type RFID Tag

Yasuhiro Nishioka, Kenzaburo Hitomi, Hirokatsu Okegawa, Tomohiro Mizuno, Yoshikazu Iida

要旨

近年、HF(High Frequency)帯又はUHF(Ultra High Frequency)帯を用いたRFID(Radio Frequency Identification)システムの実用化、普及が急速に進んでいる。これまで両周波数帯は独立に使用されてきたが、既存のHF帯RFIDシステムを保持したまま新たにUHF帯RFIDシステムを導入し、両システムを併用したいという要望が高まっている。例えば、人の入退室管理などは既存のHF帯RFIDシステムを継続利用し、敷地入退場門にUHF帯RFIDリーダーライタを新設することで、降車・開窓することなく車の入退場管理を行う機能を安価に付加することが可能になる。この場合、各々のRFタグの所持と使い分けが大変不便になる。そこで、両タグ機能を1枚のカード

に統合したHF/UHFハイブリッドカードタグを開発した。本稿では、まず、単純に両周波数帯のアンテナを1枚のカードに実装するだけでは実用に十分な性能を得るのは難しいことを述べる。次に、HF帯通信用コイル開口面積の縮小を極力抑えつつUHF帯アンテナの実効面積を最大にするために、コイル導体を積極的にUHFアンテナとして利用するUHFモノポールアンテナ構成と、コイル導体上に流すUHF帯電流を制御する方法を提案し、これらの有効性を述べる。最後に、提案構成を採用したHF/UHF共用タグを試作し、各周波数帯専用タグと同等の通信距離が得られたことを述べる(HF帯10cm以上、UHF帯6.5m以上)。



HF/UHFハイブリッドカードタグの外観と活用例

ハイブリッドカードタグにはHF帯タグとUHF帯タグの2つの機能が備わっているため、歩行者入退場管理や入退室管理などのセキュリティ認証に広く活用ができる。また、既に社員証や通行証としてHF帯タグを活用している、後からUHF帯の車両入退場管理システムを導入する場合、車両での入退場を行う人に対してのみ、ハイブリッドカードタグを発行するだけで、既存設備での認証とUHF帯車両入退場管理システムでの認証の両方に対応することができ、スムーズな運用が可能となる。

1. ま え が き

近年、RFIDシステムの実用化、普及が急速に進んでいる。RFIDの通信方式は、LF(Low Frequency)帯やHF帯の誘導界を用いる電磁誘導方式と、UHF帯(860~960MHz)やマイクロ波帯(2.45GHz)などの周波数帯の放射界を用いるいわゆる電波方式とに大別される。前者については、HF帯(13.56MHz)を使用したRFIDシステムが入退室、入退場セキュリティ管理や公共交通機関における自動料金精算(IC乗車券)などに広く実用化されており、現在のところ最も広く普及しているRFIDシステムと考えられる。一方、後者の電波方式では近年、UHF帯のRFIDシステム及びそれに用いるタグアンテナの研究開発が活発になされている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。我が国では数年前の電波法改正によって952~954MHzを使用できるようになった(パッシブタグ)。電磁誘導方式に比べて通信距離が長いという特徴を持ち、物流管理、生産工場における部品・工程管理、入退場管理などの用途に広く実用化されつつある。

このようななか、既存のHF帯RFIDシステムを保持したまま新たにUHF帯RFIDシステムを導入し、両システムを併用したいという要望がある。例えば、人の入退室管理などは既存のHF帯RFIDシステムを継続利用し、敷地入退場門にUHF帯RFIDリーダーライタを新設することで、降車・開窓することなく車の入退場管理を行う機能を安価に付加することが可能になる。この場合、ユーザーの利便性を考慮すると、ユーザーが各RFIDシステム専用のタグを複数所持することは好ましくなく、1つのタグで複数のRFIDシステムに対応できることが望ましい。HF帯/UHF帯共用RFIDタグの開発を考えた場合、既に広く普及しているHF帯カード型タグ(非接触ICカードと呼ばれることが多い)にUHF帯タグ機能を追加することが自然な流れと考えられる。

カードサイズのHF/UHF共用タグに対するアンテナ構成法の従来技術としては、HF帯コイルの内外にUHF帯アンテナを配置する構成が検討されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。文献(4)では、HF帯コイルの実装面積を縮小し、その外側にUHF用ダイポールアンテナを配置している。この構成とした場合、UHFアンテナ配置エリアを確保するためにHF帯コイルの開口面積が大幅に減少するので、リーダーライタ内蔵コイルとの位置関係によっては両コイルと鎖交する磁束が著しく減少すると予想され、実使用時の通信性能が劣化する、又は、リーダーライタに対するカード型タグの設置位置、設置向きに著しい制約を設けなければならないなど運用上の課題が生じると考えられる。一方、文献(5)では、HF帯コイル内側にUHF用ダイポールアンテナを配置する構成が検討されている。この構成はコイル開口面積を最大にできる利点を持つ。UHF帯通信距離は2m以上と報告され

ているが、放射効率や利得などアンテナそのものの特性は明示されておらず、まだ検討の余地が残されている。

本稿では、実用に供する高性能なHF/UHF共用タグを開発するために行ったUHFアンテナ構成の検討結果について述べる。まず2章に、HF帯コイル内側にUHF帯ダイポールアンテナを配置する構成⁽⁵⁾の有効性を見極めるために行った放射効率測定結果を示し、この構成では実用に十分な性能を得るのは難しいことを示す。次に、コイル開口面積の縮小を極力抑えつつUHFアンテナの実効面積を最大にするために、コイル導体を積極的にUHFアンテナとして利用することを考える。HF帯コイル導体を地導体と見立て、それとその外側に配置した線状導体との間に給電するUHFモノポールアンテナ構成を提案し、コイル導体寸法を適切に選定すれば、簡素な構成で比較的高い放射効率が得られることを示す。さらに、UHF放射効率のHF帯コイル寸法への依存性を抑圧するためにコイル巻線間をコンデンサで接続する方法を提案し、その有効性を示す(3章)。最後に、提案構成を採用したHF/UHF共用タグを試作し、実用上十分な性能が得られることを示す(4章)。なお、本稿で示す計算結果はすべて、有限要素法に基づく数値電磁界解析で得た結果である。

2. コイル内に配置されたダイポールアンテナの特性

図1に検討モデルを示す。厚さ1mmの誘電体基板上に6巻コイルを形成し、その内側に小形化したダイポールアンテナを配置する。ダイポールの長さは $L_d=58\text{mm}$ 、幅は $W_d=11\text{mm}$ である。コイル巻線の線幅と線間隔は市販の非接触ICカードを参考に、ともに0.5mmとした。実用化されているHF帯カードタグでは、UHF帯ではほぼ短絡とみなせる程度の値のキャパシタが装荷されているため、この検討ではコイル端子を短絡した。

図2にUHF帯ダイポールアンテナの放射効率測定結果を示す。本稿では、放射効率 η は遠方への放射電力 P_{rad} をアンテナへの入力電力 P_{in} で除した値と定義している。また、横軸は $f_c=910\text{MHz}$ で規格化した周波数である。(a)が

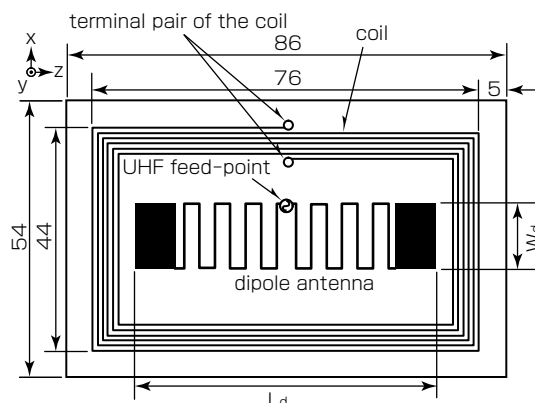


図1. コイル内に配置されたダイポールアンテナ

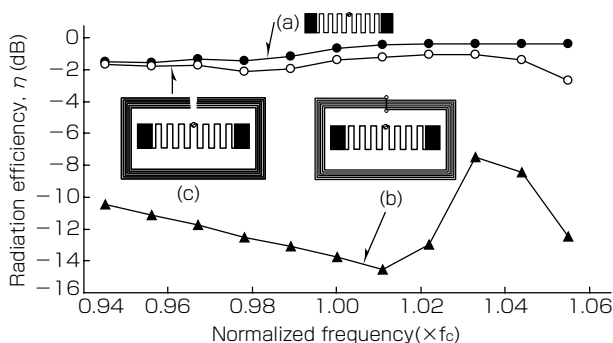


図2. ダイポールアンテナの放射効率測定結果

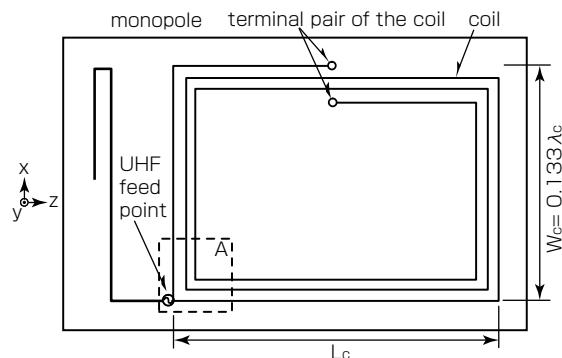


図3. コイル導体を地導体とするUHF帯モノポールアンテナ構成

ダイポール単体, (b)がダイポールをコイル内に配置したときの特性である。このように単純に配置しただけでは放射効率は約-7 dB以下と非常に低くなる。一方, (c)のようにコイル端子部で巻線全線を分断すると, 放射効率は帯域全体で約-2 dB以上まで大幅に改善される。この現象はコイル巻数を1にしても生じる。電流分布を解析した結果, 巻線を分断しない場合, ダイポールの主電流(z方向) I_1 と逆位相で比較的振幅の大きい電流 I_2 がコイル導体上に誘起されることが分かった。 I_1 と I_2 の距離が0.1波長未満であるため I_1 からの放射界を I_2 からの放射界がおおむね打ち消すことによって放射効率が大幅に低下したと考えられる。一方, 巻線を分断した場合には I_2 の振幅が大幅に低減することが分かり, これによって放射効率が大幅に向上したと考えられる。

このように, UHF帯で理想的にコイル導体を電氣的に分断できれば帯域全体にわたって高い放射効率が得られることが分かったが, これを実現する手段を見いだすことができず, この構成で高性能を得ることは困難であると結論づけた。

3. コイル導体を地導体とするUHF帯モノポールアンテナ構成

コイル導体を積極的にUHFアンテナとして利用することでコイル開口面積の縮小を極力抑えつつUHF帯アンテナの実効面積を最大にする方法を考えた。提案構成を図3に示す。コイル導体を地導体と見立て, コイル導体の外側にUHF帯で約4分の1波長の電気長を持つ線状導体(以下“モノポール”という。)を配置し, コイル導体の1角とモノ

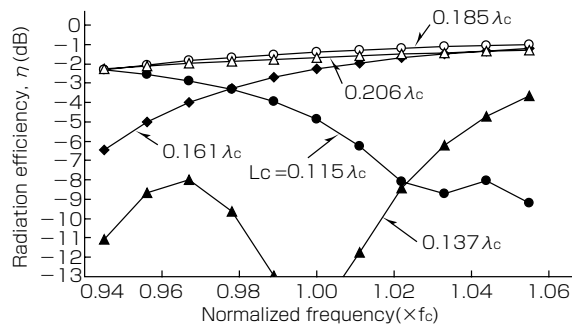


図4. 放射効率周波数特性の計算結果

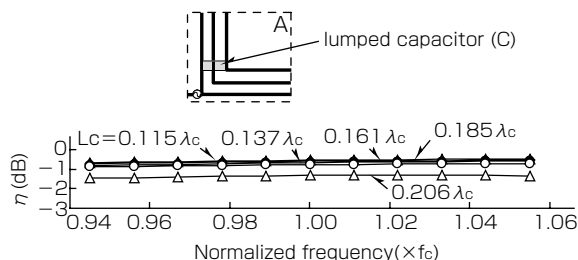


図5. 放射効率周波数特性の計算結果 (コイル巻線間をC=4pFで容量結合)

ポールの一端との間に給電する構成である。このままではUHF帯の特性がコイル端子に接続するHF帯ICのインピーダンスに依存することになる。これを回避するために, コイル端子にはHF帯ICと並列にキャパシタを接続する。容量値を数十pF程度以上に選定すればこのキャパシタはUHF帯でほぼ短絡とみなせるので, HF帯ICの電氣的影響を無効にできる。HF帯コイルの設計はこのキャパシタをあらかじめ考慮して行えばよい。一方, モノポール長はHF帯では高々約 $\lambda/280$ なので, モノポール付加によるHF帯特性への影響はほとんどない。

図4に, コイルの巻数を3とし, コイル外形長 L_c を約 $0.1\lambda_c$ から約 $0.3\lambda_c$ まで変化させたときの放射効率周波数特性計算結果を示す。ここで, λ_c は910MHzにおける空气中波長である。放射効率がコイル寸法に大きく依存すること, コイル寸法を適当に選べば帯域全体にわたり高い放射効率が得られることが分かる。

放射効率低下の原理を明確にするためにアンテナ導体上の電流分布を解析した結果, コイル導体上には所望電流成分(z成分) I_{+z} と逆向きの I_{-z} が比較的多く流れていた。これら電流源間の距離は波長に比べて十分近いので, I_{+z} からの放射界を I_{-z} からの放射界がほぼ全方向で打ち消した結果, 放射効率が大幅に低下したと考えられる。

したがって, コイル寸法に依存せずに高い放射効率を得るためには, HF帯コイルの各巻線に流すUHF電流をコイル寸法に無関係に同位相にすればよい。これを実現する最も簡単な方法はコイル巻線間を適当な位置で短絡する方法である。しかし当然ながら, コイル巻線間を短絡するとHF帯コイルが所望の動作をしなくなる。

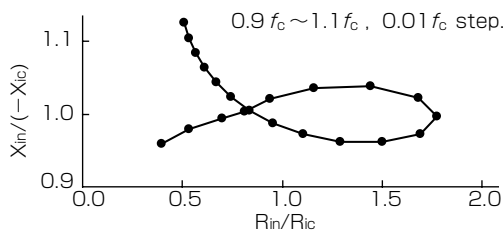


図6. UHF帯アンテナ入力インピーダンス周波数特性(設計値)
(ICインピーダンス: $R_{ic} + jX_{ic}$)

そこで、HF帯に対するUHF帯の周波数比が約67であることを利用し、コイル巻線間を集中定数キャパシタ(C)で容量結合する方法を提案する。Cのインピーダンスは $I/j\omega C$ なので、Cの値を適当に選べばHF帯ではおおむね開放に、UHF帯ではおおむね短絡にすることができる。これによってHF帯コイルの動作に大きな影響を与えることなくUHF帯特性を改善できると考えられる。

図5に、給電点近傍でコイル巻線間を $C = 4pF$ で結合したときの放射効率周波数特性計算結果を示す。コイル外形寸法に依存せず、10%以上の広帯域にわたり-1.5dB以上の高い放射効率が得られている。図示しないが、実験結果は図4、図5の計算結果とよく対応した。

4. 試 作

この章では、3章で検討したアンテナ構成法の有効性を実証するために行った試作評価結果について述べる⁽⁶⁾。クレジットカードサイズの誘電体フィルム基板の表面に前節で検討したアンテナを形成する。アンテナとUHF帯ICとの広帯域整合を行うために、モノポールとコイルの間に方形ループ導体を配置してその一部に給電する磁界結合給電方式⁽⁷⁾を採用した。コイル巻線間容量結合については、チップコンデンサなどを用いる方法では製造コストが増大するので、コイル巻線導体を部分的に太くするとともに、この対向部(裏面)に導体板を配置し、導体パターンでコイル巻線間を容量結合する方法とした。これによって製造コストを増大させずにコイル巻線間容量結合を実現できる。アンテナ導体パターンと電気部品(UHF帯IC、HF帯IC、コンデンサ)が実装された誘電体フィルム基板を誘電体カバーでサンドイッチすることによってカード化される。

HF帯で所望の特性が得られるようにコイル寸法を定めた後、UHF帯でICと広帯域整合がとれるように、有限要素法解析によってモノポール長及び給電ループの大きさと位置を定めた。図6にUHF帯アンテナ入力インピーダンス設計結果を示す。横軸はアンテナ入力抵抗 R_{in} をUHF帯ICの抵抗分 R_{ic} で規格化した値、縦軸はアンテナ入力リアクタンス X_{in} をUHF帯ICのリアクタンス分 X_{ic} で規格化した値である。また、プロット周波数は $0.9f_c$ から $1.1f_c$ まで $0.01f_c$ 刻みである。ここで、 f_c は設計中心周波数である。広帯域なインピーダンス特性が得られていることが確認できる。

表1. 試作タグの読み取り距離測定結果

UHF帯(953MHz)		HF帯 (13.56MHz)
IC-1	IC-2	
6.5m	8.0m	10cm以上

この広帯域効果は主に先に述べた磁界結合給電に起因している。

表1に試作タグの読み取り距離測定結果を示す。HF帯リーダーライタ(R/W)にはソニー製RC-S462Cを用いた。また、UHF帯R/Wには三菱電機製RF-RW003(EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) 4W, 直線偏波)を用い、UHF帯ICには2種類のICを用いた。UHF帯で6.5m以上、HF帯で10cm以上の読み取り距離を得た。なお、UHF帯読み取り距離は電波暗室内で測定した。

5. む す び

コイルアンテナを用いた既存のHF帯カードタグにUHF帯タグ機能を追加するという課題に対し、コイル導体を積極的にUHF帯アンテナの一部に利用するとともに、コイル導体上に流すUHF帯電流を制御する工夫を導入することによって、各周波数帯専用のタグと同等の読み取り距離を持つHF帯/UHF帯共用ハイブリッドカードタグを実現した。

参 考 文 献

- (1) Rao, K. V. S., et al.: Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application, IEEE Trans. Antennas Propagat., **53**, No. 12, 3870~3876 (2005)
- (2) Marrocco, G.: The Art of UHF RFID Antenna Design: Impedance-Matching and Size-Reduction Techniques, IEEE Antennas Propagat. Mag., **50**, No. 1, 66~79 (2008)
- (3) 上坂晃一, ほか: 無線ICタグにおけるアンテナ技術, 信学論B, **J89-B**, No. 9, 1548~1557 (2006)
- (4) Toccafondi, A., et al.: Compact Meander Line Antenna for HF-UHF Tag Integration, 2007 IEEE Antennas Propagat. Int. Sym. Dig., 5483~5486 (2007)
- (5) Leong, K. S., et al.: Miniaturization of dual frequency RFID antenna with high frequency ratio, 2007 IEEE Antennas Propagat. Int. Sym. Dig., 5475~5478 (2007)
- (6) 西岡泰弘, ほか: コイルを地導体とするUHF帯モノポールアンテナ方式を採用したHF帯/UHF帯共用カード型RFIDタグの設計と試作, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-1-139 (2010)
- (7) Choo, H., et al.: Design of electrically small planar antennas using inductively coupled feed, Electron. Lett., **39**, No. 22, 1563~1565 (2003)