

共振周波数を自由にコントロールする —— RFID タグのアンテナを電磁界解析してわかること ——

小暮裕明

電磁界解析ソフトウェアでわかる共振現象を調べてきましたが、筐体の共振だけでなく、回路基板が実装されることによって新たに形成されるさまざまな部位にも共振源が見つかりました。いずれのケースも電磁波の節と腹がきれいに観測され、アニメーション表示によって、半波長や高次の共振が認められました。筐体が共振する周波数はその寸法によって決まりますから、導体で囲まれた空洞(キャビティ)の共振周波数はあらかじめ計算できます。また線路に強い電流が分布したり、スロット(開口部)の縁に沿って強い電流が分布する場合なども、その部位の長さからあらかじめ共振周波数を予想することができました。一方、共振現象を積極的に利用する装置の一つにアンテナがありますが、最近のアンテナはワイヤレス技術の進歩により、思わぬ場所で活躍しています。今回は小型化された代表的なアンテナのモデルを電磁界解析して、動作している共振周波数が、なぜその寸法から計算した値と合わないのかを探ります。またそのしくみをつかむことで、これらの共振周波数を自由にコントロールする方法についてもまとめます。(筆者)

JR 東日本の Suica などで行われている非接触 IC カードの内部は、写真1のようになっています。使用している周波数は 13.56MHz ですから、これは短波帯に属します。アマチュア無線で海外局との遠距離交信によく使う 14MHz



〔写真1〕非接触 IC カード (RFID タグ) の内部
アンテナの右上に数 mm 角の IC チップがある (トッパン・フォームズ提供)。

帯では、1波長が 20m にもなりますから、例えば八木アンテナのエレメント長は半波長で 10m ほどです。IC カードでは、スパイラル・インダクタのような 6 回巻きのコイル部分がアンテナです。カード自体の寸法は 5cm × 8cm 程度ですから、コイルの全長を考えると 1 波長の約 22m にはほど遠いといえます。IC カードの読み出し/書き込み装置も小型化されていますから、装置内の送信用あるいは受信用のアンテナも、カードのアンテナ同様、かなり小型化する必要があるでしょう。

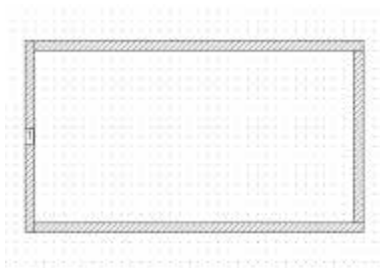
アンテナの外形寸法が、その動作周波数の波長に比べて十分小さな種類を、小型アンテナや微小アンテナと呼んでいます。いくつかの基準が提唱されていますが、1/10 波長以下の寸法で一般的に用いられているようです¹⁾。この定義によれば、IC カード内のアンテナは、微小ループ・アンテナの一種と考えられます。

非接触 IC カードの技術は、ID カードだけではなく、航空手荷物に付ける管理用のタグや、生産管理、物流システムの分野など、さまざまなアプリケーションで可能性が試されているようです。

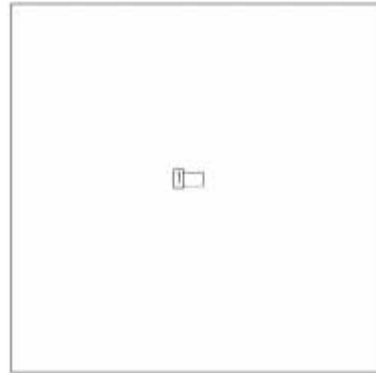
アンテナの近くには、見落としそうな数 mm 角の小さい IC チップがあります。このような構成のモジュールを「非接触 ID タグ」とか「RFID (Radio Frequency Identification) タグ」などと呼んでいます。

現在使用されている周波数は、125kHz、13.56MHz、2.45GHz などです。それぞれの波長から単純計算したアンテナの寸法は、いずれも実装できる領域をはるかに超えてしまうので、それぞれの周波数で共振させるためには、何らかの工夫が必要になります。

このような実寸とは合わない共振のしくみはどのようなになっているのでしょうか。それがわかれば、アンテナに限らず、測定や電磁界解析の結果が予想した共振周波数から大きく外れた場合でも、逆になぜそのような結果になったのかという原因を究明するヒントになるかもしれません。

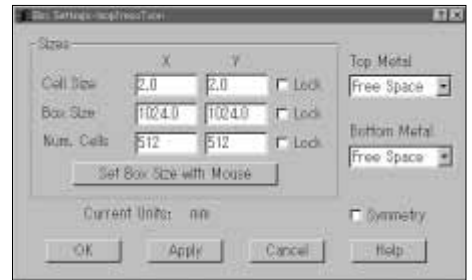


(a) 6回巻きのモデルを簡略化したワンターンのモデル



(b) Sonnetの解析空間であるBoxを1,024 mm x 1,024mmにした場合の全体表示

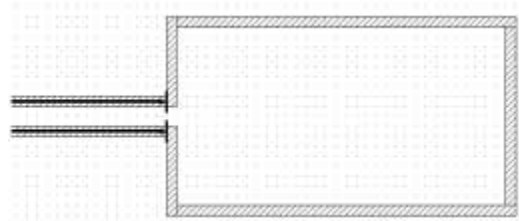
〔図1〕ワンターン(1回巻き)のモデル



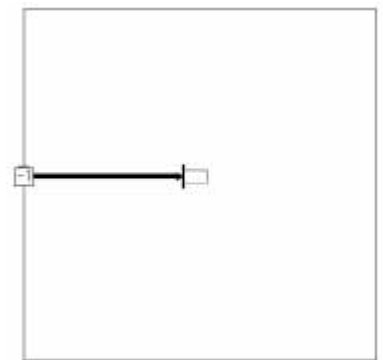
〔図2〕Box Setting

Top MetalとBottom MetalをFree Spaceに設定。

〔図3〕Sonnet Liteで解析できるワンターンのモデル



(a) Boxwall ポート・モデル



(b) ポート番号は1と-1のペアに設定

1 ループ線路を調べる

●ワンターンのループ線路を電磁界解析してみる

写真1のアンテナ部分は、マイクロ波の受動回路素子として使われるスパイラル・インダクタ²⁾によく似た形状をしています。これはMMIC^{注1)}で用いられ、インダクタを実現する構造の一つですから、アンテナの部分も等価的にL(インダクタンス)ではないかと想像できますが、そのとおりでしょうか。

6回巻きのモデルを電磁界解析する前に、フリー・ソフトウェア版のSonnet Lite^{注2)}でも解析できるように、使用メモリを減らすことのできるワンターン(1回巻き)のモデルを作ってみました。図1(a)は外側の緑の寸法が70mm x 40mm、線幅2mmのループ構造です。給電部はSonnetの

インターナル・ポート(内部ポート)を使っています。図1(b)はSonnetの解析空間であるBoxを1,024mm x 1,024mmにした場合の全体表示。セルはx, yとも2mmに設定しています。線路から電磁波の放射があるので、Top MetalとBottom MetalはFree Spaceに設定しました(図2)。

Sonnet Liteではインターナル・ポートが使えないので、図3(a)に示すような2平行線路を給電線として加え、左側のBox側壁にポートをとっています。2平行線路なのでポートが二つになります。図3(b)のように片方のポート番号を1に、もう一方を-1に変更します。ポート番号は、順次自動で番号が増えていきますから、ポート2という番号が付いた後で、ポート2の上をマウスの左ボタンでダブルクリックして表示されるPort Propertiesダイアログ・ボックスのPort Numberを2から-1に変更してください(図4)。

注1 MMIC(モノリシック・マイクロ波集積回路)。MIC(マイクロ波集積回路)は、広義には「二つ以上の回路素子(R, L, C, トランジスタなど)を一体化したマイクロ波回路」である。このなかでGaAsやSiなどの半導体基板上に素子を一括して製造するものをモノリシックMIC(略してMMIC)と言う。

注2 米国Sonnet社のホームページ <http://www.sonnetusa.com/>