

磁界を調べるとわかること(その1)

小暮裕明

13.56MHzの短波帯で動作するRFID タグの6回巻き小型ループは一般には「アンテナ」と呼ばれています。しかし、送受信部をきわめて近接させて使う非接触カードは空間の伝送路を利用していないので電磁結合の応用と言えます。これらのアンテナはループ状の線路ですから、これをコイルと考えれば、RFIDのリダー・ライタ側のコイルで発生した磁界を、タグ側のコイルで誘導して電流が発生していると言えるでしょう。エルステッド^{注1}は、電流が磁石に力を及ぼすという現象を発見しました。またファラデー^{注2}は、電流から磁気を作れるということは、逆に磁気から電流を作れるのではないかというアイデアを思いついた学者のひとりでした。ファラデーのこの発見は、今日の発電の原理そのものです。今回は電磁界解析ソフトウェアの力を借りて、ファラデーゆかりの電磁誘導と磁界についてシミュレーションしてみます。

何年前か前、米国Sonnet社の社長Dr. Rautioの家に招かれた際に、小学生のお子さんが理科の時間に作った電磁石を見せてくれました。筆者にもわかるように(?)必死で説明してくれたのですが、このときは米国の理科教育について考えさせられました。手で作って体で学ぶといったコンセプトが伝わってきます。このお子さんの通っていた学校が特別のクラスだったということではありません。

そういえば筆者自身も小学校の理科の授業で、コイルをぐるぐる巻きにしてモータを手作りしたことを思い出しま

した。日本のほうが少し手の混んだ工作だったのかもしれませんが、みごとに回ったモータは半分もなかったように記憶しています。あのとき先生は一人一人の作品をていねいに直してくれました。そしてついには、全員のモータがブンブン音を立てて回り、大拍手のうちに終了したことを覚えています。筆者が通ったのも特別なクラスではなく、自宅近くの普通の小学校でした。担任の先生には今でも感謝しています。

このDr. Rautioのお子さんは、最近アマチュア無線のTechnician級(日本の第3級アマチュア無線技士に相当)に合格したそうです。米国では父親がハム(アマチュア無線家)で子供も触発されて資格を取るというケースが多いようです。日本のアマチュア無線は、通信機器のコマーシャリズムが目立った数十年前から衰退の一途をたどっているように思えてなりません。

閑話休題。手で作って体で学んだことがある人は、どこか違うと思います。最近は学校の物理実験や電気工学実験も、ほとんど電子ブロック^{注3}化(?)しているのだそうで、煙を出す測定器の台数もこのところ右肩上がりなのだそうです(旧式のヒューズが随所に必要とか...)。その点、電磁界解析ソフトウェアは、高電圧で壊れるといった心配はありません。安心して模擬実験にいそしむことができるでしょう。

1 ファラデーの業績をたずねて

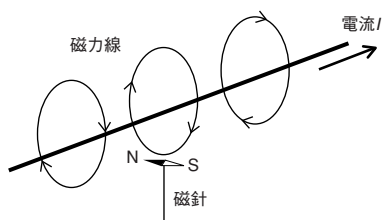
●直線路のまわりの電磁界

わたしたちが電気を伝えるために使う線は、金属導体でできていますが、高周波になってくると伝送線路としてきちんと扱う必要があります。伝送路というと、平行2線(または平衡2線)や同軸線路などがすぐに挙げられるでしょう。電磁波を閉じ込めて伝える導波管や光ファイバのほか、自由空間も伝送路として扱われます¹⁾が、ここでは特にシンプルな導体線に沿った電磁波の伝わりかたをモデリングして

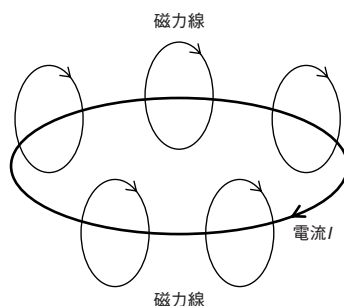
注1: エルステッド、1777年～1851年。デンマークの物理学者、化学者。1819年に電流の近くに磁界が発生し、磁針が一定の方向を向くことを発見。エルステッドは磁界の強さの単位名Oe(エルステッド)としても使われている。

注2: ファラデー、1791年～1867年。イギリスの物理学者、化学者。ロンドン郊外の鍛冶(かじ)屋の子として生まれ、科学に興味を持ち、試作・実験を繰り返す。王立研究所で助手、教授として清貧の生活を続ける。電磁誘導の発見(1831年)、電気分解のファラデーの法則の確立(1833年)、自己誘導の発見(1834年)など。また静電気の研究では電場、磁場、力線などを用いた近接作用論を提唱(1835年)。静電容量(キャパシタンス)の単位F(ファラッド)は、彼の名にちなんでいる。

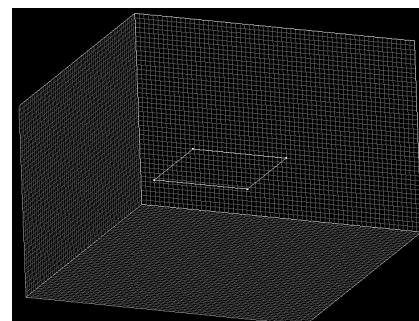
注3: 電子ブロックのホームページは<http://www.denshiblock.co.jp/>。復刻版の学習研究社(学研)電子ブロックEX-150や、最近ではソフトウェアによるバーチャル電子ブロックという製品もある。



〔図1〕直線状電流による磁界のようす
1819年にエルステッドが発見したときの道具に近い。



〔図2〕閉じたループ状の線路による磁界のようす



〔図3〕Micro-Stripesのワイヤ(wire)機能を使ってモデリングしたループ

みます。

図1は、一般的な教科書にある直線状電流による磁界のようすです。これは1819年にエルステッドが発見したときの道具に近いものです。彼は導体線の近くにある磁針の向きが、導体に電流を流したときに変わることから、導体の周囲に磁界ができることを発見しました。磁針は導体と垂直の位置で止まりますから、図のような磁力線ができていると考えられます。磁針のN極とS極の向きと電流の向きには次の関係があります。

「磁界の向きに右ネジを回転させると、ネジの進む向きが電流の向きになる」

これをアンペア^{注4}の右ネジの法則と言います(アンペアの右ネジの法則は、かつて初級アマチュア無線の国家試験によく出題された)。

教科書にあるこのような図の導線は、出発点と到着点がかかれていない(無限の線路?)ことが多いのですが、電磁界解析では無限長線路をモデリングすることは困難です。そこでアンペアたちが実際に測定して研究したというモデルを考えてみます。

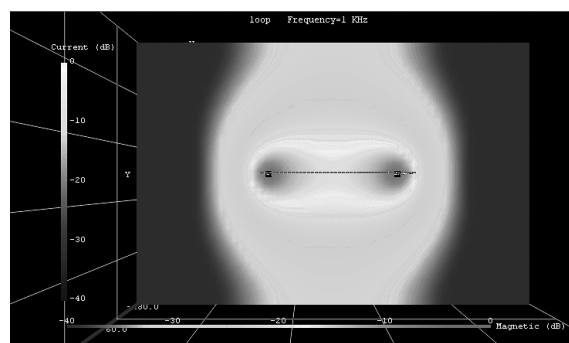
●ループ線路(閉路)を流れる電流と磁界

いま電流が図2のような閉じたループ状の線路に流れていると、アンペアの右ネジの法則から、図のような磁力線ができると考えられます。

「右ネジを電流の流れる方向に回すと、磁力線はネジの進む(回転する)向きにできる」

これは右ネジの法則の文で、電流と磁界を入れ換えたものです。

図3はMicro-Stripesのワイヤ(wire)機能を使って簡単



〔図4〕図3の解析結果

にモデリングしたループで、1辺が200mmの正方形です。図2に忠実に円形のループにしてもよいのですが、一般にx, y, z各方向の直交座標を扱う電磁界解析では、矩形に沿っていけばより少ないメモリと時間で解析できます。

図4は解析結果の磁界を表示したもので、ループの中央断面の磁界のようすをRMS(実効値)で表示しました。強さは色で表現しており、誌面上ではわかりにくいですが、線路の付近が強くなっています。図5は磁界を細かい円錐の集合でベクトル表示したもので、図2で考えた磁界がきれいに現れています。

●ファラデーの電磁誘導の法則

さてファラデーは電磁誘導の発見者です。電流から磁気を作れるということから、逆に磁気から電流が作れるので

注4：アンペア(アンペール)。1775年～1836年、フランスの物理学者。エルステッドについて電流間の相互作用を発見。彼は立ったままでないで勉強できないというくせがあり、立ち机を愛用していた。電流の単位A(アンペア)は彼の名にちなんでいる。