

なぜ電磁界解析が必要か -- 高速動作PCB開発の盲点 --

小暮裕明

電界・磁界と電流との物理的関係は誰でも知っているが、回路設計時に、その影響を考慮する人はまだ多くないであろう。ほとんどのデジタル回路設計者は、この現象に注意する必要がなかったからだ。しかし、クロックの高速化などにより、高周波回路の世界で考慮してきたことを、デジタル回路の世界でも考慮しなくてはならない時代が近づきつつある。そ

こで、電磁界解析ソフトを使用して、将来の高速クロックのプリント回路基板でどのような現象が起こるのかをシミュレーションし、その世界を考察する。基板上で磁界の影響を強く受ける場所、筐体におけるスリットの影響などを示すので、電磁界の影響について実感してほしい。

(編集部)

はじめに

PCB

筆者は、SE(システム・エンジニア)として情報産業界で20年ほど仕事をしてきました。システムといっても、どちらかというソフト屋です。それが、あるきっかけで「電磁界解析ソフト」と関わるようになりました。数年前のことです。当初は「よくできたシミュレータだな」といった印象でしかなかったのですが、使い込むうちに、そのおもしろさにのめり込んだのです。

筆者は、アマチュア無線の趣味が高じて、大学ではマイクロ波を専攻しました。当時(20数年前)はまだマイクロストリップ線路の研究をしている先生も少なく、筆者自身は導波管の実験で卒業させてもらいました。大学を卒業後、ソフト屋になってからも興味は捨てきれずに、現業で電力プラントを設計するかたわら、細々とアンテナの研究だけは続けていました。仕事柄さまざまなコンピュータを用いたソフト開発に携わってきましたが、ワープロもままならない18ビットPCの時代に発表されたアンテナ解析ソフトには当時たいへん驚き、夢中になったこともありました。

昔取ったきねづか? が、ひょんなことから今ようやく役に立っているわけですが、電磁界解析ソフトを導入される現場の声を聞くにつけ、回路設計に携わる技術者諸兄の抱える問題の多さに、あらた

めて離れていた20年のギャップを感じずにはいられませんでした。

そこで3年前に一念発起し、最新の技術を大学の社会人コースで勉強し直すことにしたのです。といっても根がソフト屋なので、どうしてもコンピュータで答えを出すというところに落ち着きます。これからお話することは、電磁界解析ソフトでいったい何がわかるのかということ、ソフト屋の厳しい目? で見た報告ともいえます。

3年間取り組んでみて、驚くほどいろいろなことがわかり、長年の勘違いもずいぶん正すことができました。実験だけでは、これだけのものは得られなかったでしょう。専門外を承知でここに発表するのも、筆者の感動! を共有していただき、さらに読者諸兄の現場の声をいただければという、筆者の都合のいい願いからです。

1 体験的電磁界解析ソフト入門

● MININEC の驚き

アマチュア無線ではアンテナは命です。筆者は、さまざまなアンテナを作って実験していましたが、10年以上も前、8ビットPCで動く“MININEC(ミニネック)”というアンテナ解析ソフトを手に入れました。MININECのNECとは、Numerical Electromagnetics Codeの略で、米国Lawrence Livermore国立研究所などが

共同で開発したソフトです。MININECはそのミニ版というわけですが、フリー・ソフトウェアとして配布されたため、世界中の多くのハムが使いはじめました。

説明書には「電界の積分計算にガレルキン(Galerkin)法をモディファイした手法を用いている」とあります。何のことやわからないままに使いはじめましたが、このプログラムは、任意形状のワイヤ系アンテナを解析でき、インピーダンスや電流分布を求めることができました。

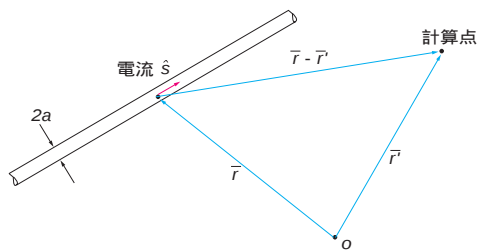
それまでのハムのアンテナ設計はというと、せいぜい波長を電卓でたたいて、あとはエレメントの長さを現場でcut & tryするといった方式でした。ワイヤを一箇所でも曲げたりすると応用がきかなくなってしまうのですから、この8ビット版MININECの威力には、当時たいへん驚きました¹⁾。

● アンテナ解析ツールのからくり

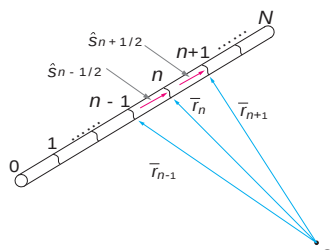
「任意形状のワイヤ・アンテナが解析できるというのは、いったいどういうからくりになっているのだろうか?」

技術文書入手して、辞書を片手に調べてみました。どうやらワイヤをいくつかのセグメント(小さい区分)に分割しているところが、任意の形状をコンピュータ処理できるミソのようなのです(図1)。

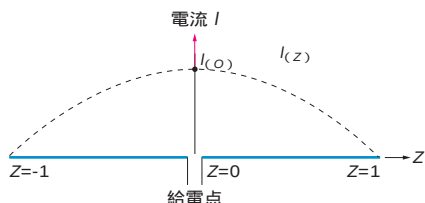
MININECは、モーメント法という数値解法を用いていますが、この手法は、コンピュータを使って問題を解く汎用的



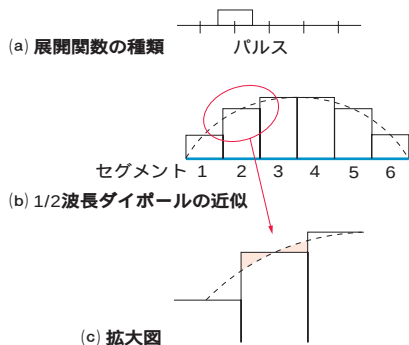
(a) 任意の位置にあるワイヤ
〔図1〕任意のワイヤとベクトル表記¹⁾



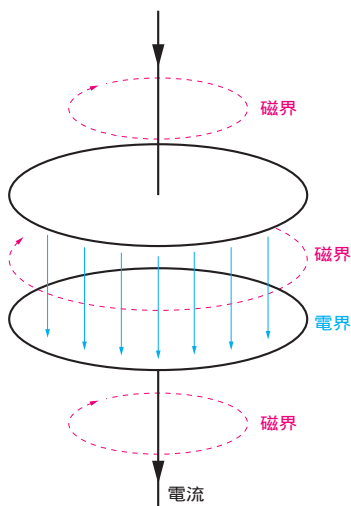
(b) セグメントに分けた表記



〔図2〕半波長ダイポール・アンテナの正弦波電流分布²⁾



〔図3〕モーメント法で電流分布を求める展開関数²⁾



〔図5〕コンデンサに交流電流が流れている場合のまわりの磁界

な計算手順(アルゴリズム)です(先のガレルキン法は、モーメント法の一つ)。たとえば、半波長ダイポール・アンテナのエレメント上の電流分布は、図2に示すように正弦波であると仮定する方法があります。しかし、コンピュータでは、この連続した分布を、図3のようにいくつかのセグメントに近似します(高校で習った連続した関数の定積分の説明にでてくる棒グラフの面積に似ている)。

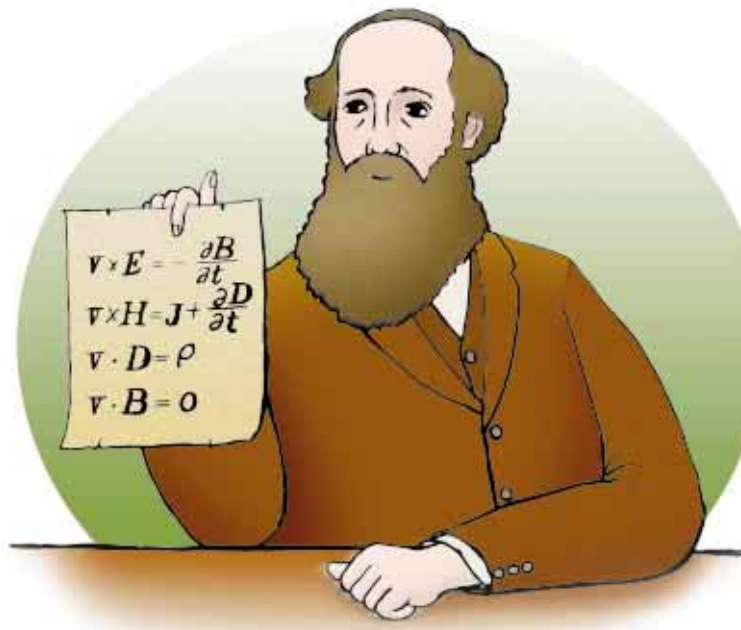
各セグメントの電流をどのように近似するかですが、それには「展開関数」と呼ぶ手法を用います。MININECでは図3のようなパルスを採用しています²⁾。そしてこのアンテナ問題は、空間にこのような電流源があるとき、電界と磁界を求め

ることとして考えられるということです。そして、このために必要なのがマクスウェルの方程式です。

●マクスウェルが予言した変位電流

ちょっとおさらいをしておきます。マクスウェル(図4)は1831年、エジンバラに生まれたイギリスの科学者です。1860～70年代に、電波の存在を予言する論文をつぎつぎに発表し、個別に発見されていた四つの電気の法則と磁気の法則を、統一的に「マクスウェルの方程式」としてまとめあげました。彼の業績は、それまでの法則を統合して、四つの法則が電磁気の本質であることを確認した点にありますが、卓見は「磁場を発生させるものとして変位電流を付け加えた」点です。

図5はコンデンサに交流電流が流れている場合を示しています。まず導線部ですが、導線の金属導体中の電子が移動して電流が流れ、そのまわりには循環型の磁界が発生します。ではコンデンサのまわりはどうでしょう。極板の間は空間ですから電子の移動はありませんから電流は流れません。そうすると磁界がコンデンサの部分だけとぎれていることになる



〔図4〕マクスウェルとマクスウェルの方程式