

もう一度学ぶ電磁気学の世界



第2回

配線の周りの電界と磁界

小暮裕明



ボードの記事



ビギナーズ

前回は人類が初めて電流と磁界の関係を明らかにするまでの科学史を学びました。今ではオームの法則やキルヒホッフの法則は回路設計に欠くことのできない、いわば技術者の常識になっています。これらはいうまでもなく「電流・電圧による設計」ですが、エルステッドやアンペールが電気と磁気の結び付きを発見したことで大きな進展がありました。マクスウェルの方程式の一つが、アンペールの法則にマクスウェルの変位電流項を加えたものであることが、これを物語っています。回路に電気信号を与えたときに発生する電氣的な現象は、その周りの「電界と磁界」を解くことで説明できます。電流・電圧だけではわからなかった回路からの不要輻射のメカニズムも、電界・磁界を詳しく調べることで理解を深めることができます。そこで今回は、電界と磁界を身近な体験の中で学ぶことから始めます。

(筆者)

1. まずは電界を考える

● 電界を体験する

筆者はかつて、超高圧変電所のコンピュータ制御システムを設計・開発していました(写真1)。現地調整のために50万Vの母線の直下を初めて歩いたとき、なんとなく身体がむずがゆくなる感じがしました。このとき即座に「高圧線の下にいる人間は等価的にコンデンサである」と教わった電気磁気学の授業を思い出しました。これは学生時代に学んだ「電界」というものを初めて体感できた瞬間でもありました。

図1は、直径2cmの導体線を高さ20mの位置に走らせた架空送電線を模した電磁界シミュレーション^{注1}の結果で



写真1 超高圧変電所

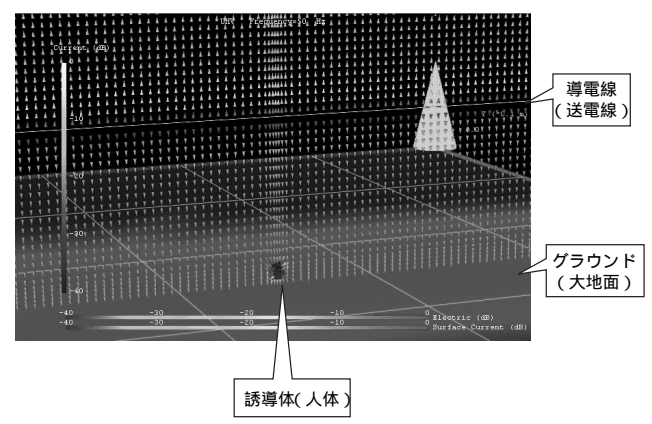


図1 線路の進む方向に水平な平面内の電界ベクトルのようす

50Hzにおける超高圧線モデルの電界のようすを示している。電界ベクトルは線路の表面からグラウンドに垂直に向かっている。人体を模した誘電体付近の電界ベクトルに影響を与えているのがわかる。

注1：電磁界シミュレーションにはTLM法⁽¹⁾による電磁界シミュレータMicro-Stripesを使用している。関連情報のWebサイトは、<http://www.microstripes.com/>

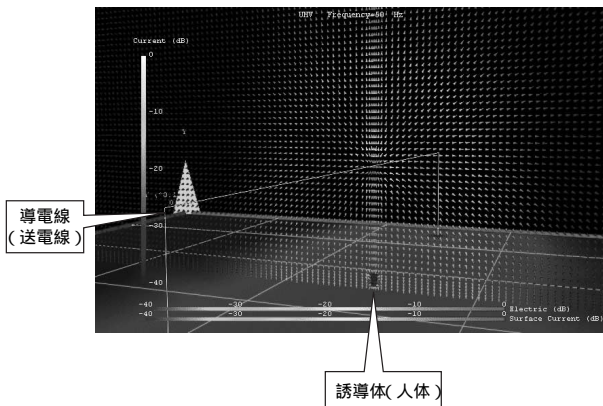


図2 線路の進む方向に垂直な平面内の電界ベクトルのようす

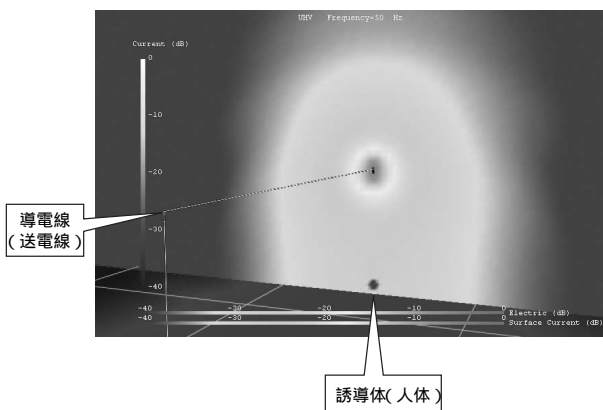


図4 線路の進む方向に垂直な平面内の電界の分布
電界の分布を色で連続的に表現したもの。

す。50万Vの送電鉄塔は高さが80mもありますから、これは厳密なモデルではありません。グラウンドを無損失導体としており、微小部分に分けた解析空間の電磁界を、マクスウェルの方程式に基づいて計算し、電界ベクトルを小さな円すい形の向きと色(大きさを表す)でグラフィックス表示しています。図1は線路を含んだ大地に垂直な平面内の電界分布を示しており、電界ベクトルは線路の表面からグラウンド(大地面)へと垂直に向かっています。人体を模した円柱形の誘電体が線路の直下に置いてあるので、その付近の電界ベクトルに影響を与えていることがわかります。

図2は、線路の進む方向に垂直な平面内の電界ベクトル、

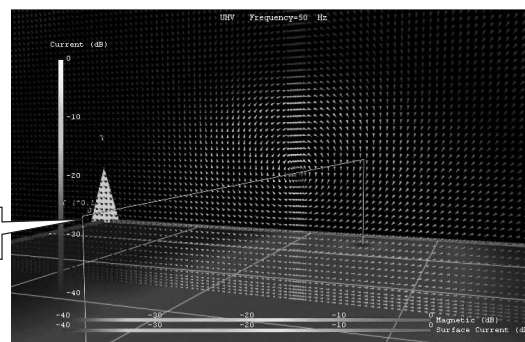


図3 線路の進む方向に垂直な平面内の磁界ベクトルのようす

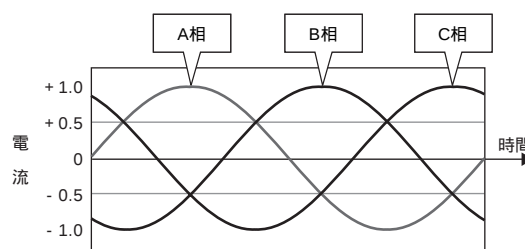


図5 三相交流方式の電流

図3は同じ場所の磁界ベクトルのようすです。中央付近の円すい形が密になっていますが、これは人体モデルの周りをやや細かく離散化したことによりです。また図4は電界の分布を色で連続的に表現した結果です。

実際の送電線は、三相交流方式の場合なら3本で1組になっています。送電線に流れる電流は、図5のようにA相、B相、C相で位相差を持たせています。三相の電流を加えるとゼロになりますから、送電線の下に発生する磁界は互いに打ち消し合っています。厳密には各相の線路からの距離がわずかに異なるため、これによって磁界を生じます。

送電線の周りは空間ですが、空気は線路間や対地間を絶縁するという役割を担っています。しかし、空気の絶縁には限界があり、ある電圧値を超えると絶縁破壊が生じます。これを「フラッシュオーバー」と言います。また、空気の絶縁強度は電圧の波形にも関係しています。筆者は変電所で何度か落雷を経験しました。この雷はたいへん短い時間に高電圧が発生するので、インパルス^{注2}波形と考えられています。

注2：インパルスとは、振幅が無限大、時間幅が無限小で、面積(両者を掛けた値)が1となる信号である。雷インパルス(雷サージを想定)は、波頭長×波尾長=1×40μsを標準波形としている。

● 送電線の等価回路

電線には鋼線や合金線が使われます。これらの金属の導