

# もう一度学ぶ電磁気学の世界



## 第16回

## 近傍界の電磁エネルギーを吸収する

小暮裕明



ボードの記事



ビギナーズ



関連データ

前回は空間へ旅立った電磁波を捕捉・吸収する方法について学びました。電磁波の元をたどれば、そこにはかならずアンテナがあります。代表的なダイポール・アンテナは、シンプルな構造にもかかわらず放射効率に優れています(本誌2004年11月号, pp.139-146の連載第7回, 2005年1月号, pp.128-135の第8回, 2005年3月号, pp.88-96の第9回を参照)。電磁波の発生源はアンテナの導体エレメントに沿って移動する電荷すなわち電流ですが、空間を移動する電磁エネルギーが現れるのは、アンテナから波長程度離れた位置(遠方界)といわれています。もちろんアンテナの近傍にも電磁エネルギーは存在していますが、ほとんどは放射に寄与せず、その場にとどまっていると考えられます。したがって、近くに別の回路があれば電磁的な結合を生じ、EMI (electromagnetic interference)の原因になるかもしれません。そこで今回は、放射物の近傍に分布している電磁エネルギーを吸収する方法について学びます。(筆者)

(電磁妨害)の原因を探る助けになります。

### ● 微小ループで近傍磁界を測定する

近傍磁界を実測するために、微小ループ構造の磁界プローブが使われます。このプローブは13.56MHzのRFIDタグ(本誌2005年5月号, pp.133-140の連載第11回を参照)のように、波長と比べて十分小さいループ・アンテナであるため、周囲の高周波磁界によって起電力を生じます。これはファラデーの電磁誘導の法則による現象なので、微小ループ・アンテナは磁界を検出するセンサとして働きます。

磁界プローブは市販されていますが、[図1](#)のように自作することもできます。これは50ΩのBNCコネクタに銅線(ホルマル線など)をはんだ付けしただけの簡単な構造です。微小ループなので、ループ長は測りたい周波数の波長の1/10以下が望ましく、GHz帯ではループ径が数mmとなります。

2.45GHz帯や5GHz帯などの測定用には、[図2](#)のような構造が提案されています。これは同軸線路(セミリジッド・ケーブル)を巻き、外導体をはんだ付けして、その対向部にスリットを設けた構造で、一方の先端を50Ω終端しています。この例ではループ径3mm、スリット幅はその径の

### 1. 近傍磁界を検出する微小ループ

電磁界シミュレータは、解析空間に観測点を設けることで、任意の位置における電磁界の値を出力します。プリント回路基板をモデリングすれば、その近傍にできる電界ベクトルや磁界ベクトルを表示することもできるので、EMI

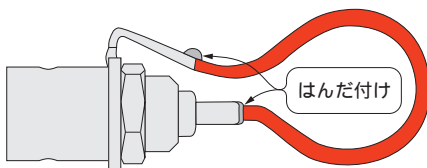
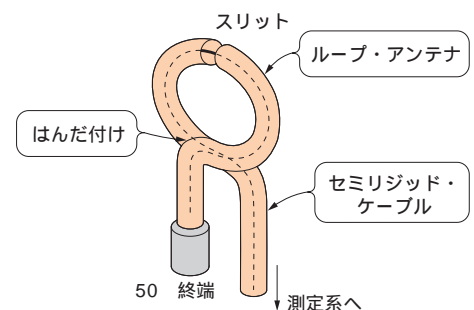


図1 自作した磁界プローブ

BNCコネクタに銅線をはんだ付けしたもの。

図2 スリットと50Ω終端付きのシールド・ループ(磁界プローブ)

同軸線路を巻き、外導体をはんだ付けして、その対向部にスリットを設けた構造で、一方の先端を50Ω終端している。



1/10以下で、6GHz帯まで測定しています<sup>(1)</sup>。

### ● 磁界プローブのしくみ

図2のループは、図1の構造よりもやや複雑です。図3は図2を模式的に表しており、各部位の数字は図4の等価回路のノード(節点)番号に対応しています。

周囲に発生している電界は、プローブの外導体によって静電シールドされます(本誌2005年11月号, pp.79-86の連載第14回を参照)。一方、磁界ベクトルは金属に平行に分布し、先端部のギャップから内部へ入り込みます。このため磁界プローブのループを貫通する磁束の変化に応じて、ファラデーの電磁誘導の法則に従う電圧が観測されるというしくみです。

図4の等価回路では、プローブ・ループの自己インダクタンスを $L_s$ で表しています。 $V_{ind}$ は、周囲の磁界によってプローブ内で誘導された電圧を示します。プローブ・ループが特性インピーダンス50のセミリジッド・ケーブルで作られていれば、 $V_{ind}$ による電磁エネルギーは50線路を伝搬します。図4の左は整合がとれた50の抵抗で終端さ

れているため、反射はありません。一方、右側の50線路を伝搬する電磁エネルギーは、ネットワーク・アナライザ<sup>注1</sup>などの測定器の50系のインピーダンスで整合されています。

### ● 方向探知のしくみ

微小ループは遠方から到達する電磁界を検出するためにも使われます。方向探知(方探)は到来電波の方向を知る技術ですが、その歴史は古く、1900年代の初めまでさかのぼります。現在でも船舶用の無線方位測定器用ループ・アンテナとして使われています。

図5に示すように、遠方からの平面波(連載第7回を参照)がループ・アンテナの面に沿って到達しているときには、電波による磁束はループに直交します。この磁界は、電波の周波数と同じ速さで方向と大きさが変化しています。また、ループに発生する起電力は、ループに交わる磁束の単位時間中の変化(時間についての微分)に比例しますから、電波の電界(磁界)とループ・アンテナの起電力は、図6のように90°の位相差を生じます。

いま、図5の状態からループ・アンテナを電波の到来方向に対して角度を持つように回転すると、ループに交わる磁束が減少し、磁束は $\cos$ になります。90°のときには起電力がゼロになります。このようすを表したのが

図3 スリットと50Ω終端付きのシールド・ループの模式図

図2の模式図である。

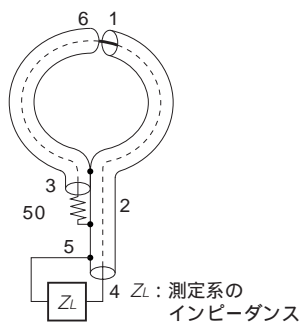
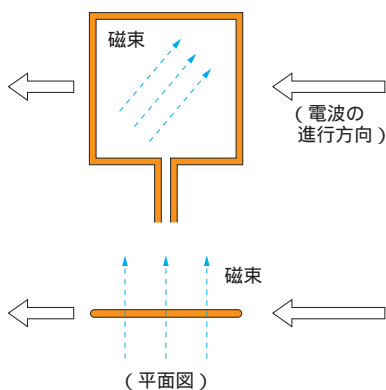


図5 ループ・アンテナと電波による磁束

遠方からの平面波がループ・アンテナの面に沿って到達しているときには、電波による磁束はループに直交する。



注1: ネットワーク・アナライザとは、高周波回路や基板に形成した平面アンテナのインピーダンスなど、高周波特性を計測する装置。

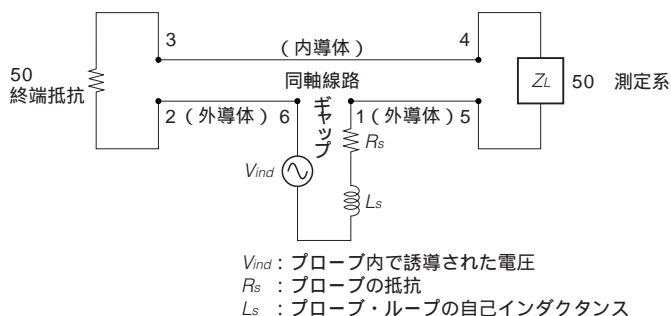


図4 50Ω終端されたシールド・ループの等価回路

<http://homepage3.nifty.com/tsato/emcj/0307-148-j.html>の解説を参考に作成した。

図6 ループ・アンテナの起電力の位相

電波の電界(磁界)とループ・アンテナの起電力は、90°の位相差を生じる。

