

特集



第6章 測定サイト、回路素子としてのアンテナ、反射損失の測定、指向性の測定

アンテナ測定の実際

桑原 義彦

Yoshihiko Kuwahara

6.1 アンテナ測定の概要

アンテナは「電気信号を電磁波として空間に放射する」、または逆に「空間を伝搬している電磁波を捉えて電気信号に変換する」デバイスです。アンテナの測定は、アンテナを回路素子として捉える評価（おもに入力インピーダンス）と、エネルギー変換素子として捉える評価（おもに指向性の測定）があります。

アンテナの主な測定項目をまとめて表6.1に示します。

〈表6.1〉アンテナの主な測定項目

| 項目 | 説明 |
|-----------|--------------------------|
| 入力インピーダンス | 使用周波数帯域での整合状態を確認 |
| 指向性 | 利得の角度依存性を測定 |
| 利得 | 通常は最大利得を測定 |
| H面パターン | ビーム幅、覆域、サイドローブ、バックローブを確認 |
| E面パターン | 同上 |
| 交差偏波 | 直交偏波成分を測定 |
| 軸比 | 円偏波アンテナのみ |

6.2 測定サイト

6.2.1 遠方界測定とみなせる距離

電磁波は空間を自在に伝搬し、地面や構造物で反射/回折するので、指向性を正確に測定するためには、これらの反射/回折波の影響を遮断する必要があります。アンテナの指向性は別に送信アンテナを用意し、アンテナの姿勢を変えて受信信号の出力を記録していきます。アンテナは信号を速く送ることが求められますので、遠方での指向性を測定するのが普通です。どれくらいの距離で遠方とみなせるかという指標として、次の式がよく使われます。

$$R > \frac{2(D+d)^2}{\lambda} \dots\dots\dots (6.1)$$

R は遠方とみなせる距離 [m]、 D は測定するアンテナの大きさ[m]、 d は送信するアンテナの大きさ[m]、 λ は波長 [m] です。

図6.1に示すように、アンテナから放射される電磁波は、水面に石を落したときの波紋のように、アンテナの中心から同心円状に広がっていきます。アンテナから離れるほど波紋の曲率は小さくなって、遠方ではほぼ直線とみなせるようになります。式(6.1)は、送信アンテナから測定アンテナに電波を照射したとき、測定アンテナの中心と端での伝搬長の差が $\lambda/16$ 以下となる指標です。300 MHzで動作する長さ1 mのアン

テナを測定する状況を考えます。送信アンテナとして1/2波長ダイポール・アンテナを使います。この場合、送信アンテナの長さは0.5 mです。したがって、

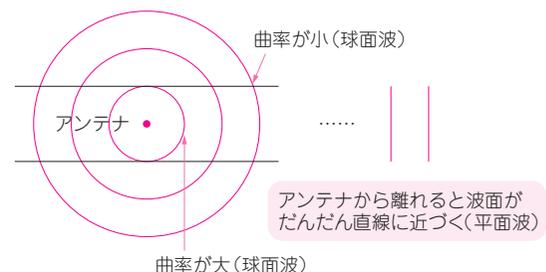
$$R > \frac{2(1+0.5)^2}{1} = 4.5 \dots\dots\dots (6.2)$$

から4.5 m離す必要があります。

アンテナが大きく、波長が短いアンテナでは R が大きくなります。私が会社で職中に開発したXバンド(9 ~ 9.2 GHz)の精測進入レーダのアンテナは開口長が2.7 mもあります。送信アンテナとして直径1 mのパラボラ・アンテナを使用する場合、

$$R > \frac{2(2.7+1)^2}{0.0326} \approx 840 \dots\dots\dots (6.3)$$

となって、1 km近く離す必要があります。この場合、周囲の建造物や地面の反射を避けるため、測定アンテナと送信アンテナを高所に設置するタワーを作って測定します。そのような測定環境を「オープン・サイト」といいます。



〈図6.1〉遠方界とみなせる距離



〈写真6.1〉私の所属する大学にある電波暗室

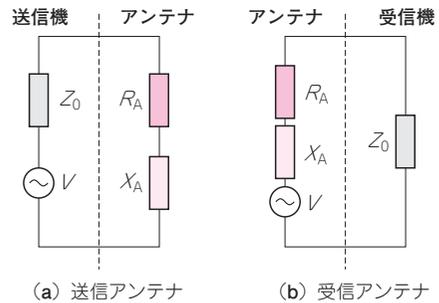
6.2.2 近傍界測定は電波暗室内で行う

オープン・サイトの確保が困難な場合、アンテナ近傍の電磁界分布を測定し、フーリエ変換の原理を使って遠方界の指向性に変換します。このような測定法を「近傍界測定」といいます。近傍界測定では位相情報が必要となるので、ネットワーク・アナライザは必須の測定器となります。

普通、アンテナの試作評価は電波暗室内で行います。電波暗室は閉じた空間(部屋)をシールドし、その上に電波吸収体を密に張り付けた部屋です。写真6.1は私の所属する大学にある電波暗室です。

電波暗室に張られた電波吸収体は入射する電磁波をすべて吸収するわけではなく、小さいレベルですが反射させます。また、使用できる周波数範囲もあります。電波暗室には壁面からの反射レベルが定められたレベル以下となるクワイエット・ゾーンが設けられています。一般に、測定アンテナはクワイエット・ゾーンに入るように設置します。測定アンテナと送信アンテナの距離 R が小さければ、ネットワーク・アナライザの二つのポートに送信と測定アンテナを接続し、 S_{21} を測定することで指向性を測定できます。

電波暗室を設置できない場合はどうするのでしょうか？ デバイス(株)からは電波吸収壁が市販されています。これで周囲を囲って、簡易的に測定環境を作ることができます。または市販の電波吸収体を購入し、これを並べて測定空間を作ります。いずれにせよ、自分で測定環境を0から整えるのはコストの点で困難です。アンテナ測定用の電波暗室のある自治体の工業技術センタを探して、これを借用するのが一番経済的です。



〈図6.2〉アンテナの等価回路

6.3 回路素子としてのアンテナ

アンテナを等価回路で表すと図6.2のようになります。

送信に使う場合、アンテナは送信電源の負荷となります。受信に使う場合、アンテナは内部インピーダンスを持つ電源となります。この場合、アンテナの出力端に発生する受信開放電圧が電源となります。

アンテナの入力インピーダンス Z_A は、

$$Z_A = R_A + jX_A \\ = R_r + R_\ell + j(X_r + X_\ell) \dots \dots \dots (6.4)$$

で表されます。 R_A は放射に寄与する放射抵抗 R_r と導体損 R_ℓ の和、 X_A はアンテナの周りに無効電力として蓄えられたエネルギーに対応する放射リアクタンス X_r とアンテナ自身のリアクタンス X_ℓ の和になります。効率よく信号を放射し、受信するためには、

$$Z_A = Z_0^* \dots \dots \dots (6.5)$$

となる必要があります。上付きの*は複素共役を表します。一般に $Z_0 = 50 \Omega$ なので、 Z_A を 50Ω に近づける必要があります。すなわち、ネットワーク・アナライザでアンテナ入力での反射を測定して、使用帯域でのVSWRや反射損失を確認する必要があります。

6.4 反射損失の測定

それでは実際に反射損失を測定してみます。
用意したのは写真6.2に示す2種類のUWBアンテナです。出典は本章末に記した文献(1)と(2)です。

写真6.3はアンテナ測定の様子ですが、これは便宜上、机の上で撮影したものです。アンテナの入力インピーダンスを測定する場合、周りに反射物がない場所を選び、ネットワーク・アナライザやアンテナは木台に設置すべきです。入力インピーダンスを測定する場合、この写真のように測定ケーブルは1本で済みます。

ネットワーク・アナライザの測定条件は、次のよう