



第3章 入力インピーダンス, 放射電磁界, 導体抵抗, 帯域特性, アンテナのQ, マイクロストリップ・アンテナなど

小形アンテナの特性と設計に使う基本式

山田 吉英
Yoshihide Yamada

3.1 小形線状アンテナの放射に関する諸式(3)

線状アンテナの基本的な構造として、微小ダイポール・アンテナと微小ループ・アンテナがあります。以下には、各々のアンテナについて、前章で示した表2.2の電気量を表す式を説明します。

■ 微小ダイポール・アンテナ

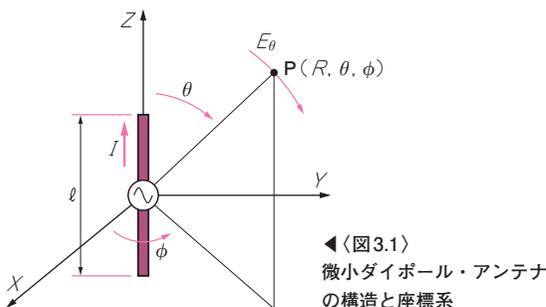
アンテナの構造を図3.1に示します。アンテナは座標原点に位置し、Z軸に沿って配置されています。アンテナの長さは l で表され、波長に比べて十分小さいとします。電流(I)は l 方向にのみ存在します。観測点の位置をPで表し、距離をRで表しています。放射電界は、極座標成分の E_θ と E_ϕ で表します。直線電流源からの主偏波は、 E_θ の直線偏波となります。

● 入力インピーダンスを表す式

アンテナ放射効率や給電線との整合において重要となる、入力インピーダンスを表す式を求めます。この際には、電流の分布形状が重要になります。微小ダイポール・アンテナでは、電流はアンテナの中央で最大となり、両端で零になるような三角形形状に分布します。放射抵抗(R_r)の式とリアクタンス(X)の式は次のようになります。ここで、 d はアンテナ導体の直径です。

$$R_r = 20 \pi^2 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

$$X = - \frac{120 \{ \ln(\ell / d) - 1 \}}{\tan(\pi \ell / \lambda)} \dots\dots\dots (3.2)$$



放射抵抗は、アンテナ長の2乗に比例して小さくなります。リアクタンスは容量性となり、絶対値はアンテナ長が小さくなると大きくなります。

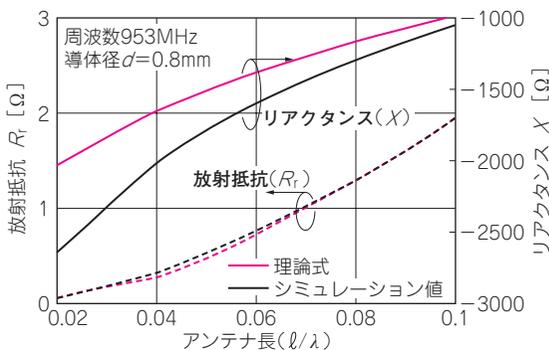
● 入力インピーダンスの具体例

具体的な R_r と X の例を図3.2に示します。周波数を953 MHzとし、導線直径を $d = 0.8$ mmとしています。 R_r と X の表示式の妥当性を検証するために、電磁界シミュレーションにより求めた値と比較しています。さまざまなアンテナ長において、 R_r では表示式とシミュレーション値はよく一致しています。 X については、両者に少し差が出ています。 R_r の値は、0.1波長で 2Ω と非常に小さくなっています。 X の絶対値は $1000 \sim 2500 \Omega$ と非常に大きな値となっています。

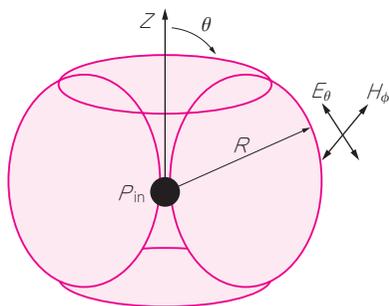
アンテナの容量(C)との関係式である $X = -1/(\omega C)$ を考えると、容量が非常に小さいことがわかります。大きな容量性リアクタンスは、アンテナ近傍に大きな蓄積エネルギーを生じます。このままでは、アンテナに注入した電力の大半がアンテナ近傍に蓄積され、放射に使用される電力はわずかしか残りません。わずかな放射成分を有効に取り出すためには、大きな容量性リアクタンスを打ち消すために、誘導性の付加素子を導入する必要があります。

● 放射電磁界

次に、アンテナからの放射電磁界の各成分は、次の各式で表されます。



〈図3.2〉 アンテナ長(l/λ)に対する R_r と X の値



◀図3.3) 微小ダイポール・アンテナの指向性

$$E_R = \frac{I \ell e^{-jkR}}{j2\pi\omega\epsilon} \left(\frac{1}{R^3} + \frac{jk}{R^2} \right) \cos\theta \dots\dots\dots (3.3)$$

$$E_\theta = \frac{I \ell e^{-jkR}}{j4\pi\omega\epsilon} \left(\frac{1}{R^3} + \frac{jk}{R^2} - \frac{k^2}{R} \right) \sin\theta \dots\dots\dots (3.4)$$

$$H_\phi = \frac{I \ell e^{-jkR}}{4\pi} \left(\frac{1}{R^2} + \frac{jk}{R} \right) \sin\theta \dots\dots\dots (3.5)$$

ただし、 k は波数であり $k = (2\pi/\lambda)$

ここで、 $1/R^3$ の項は「静電界」、 $1/R^2$ の項は「誘導界」、 $1/R$ の項は「放射界」とそれぞれ呼ばれます。

静電界と誘導界は、 R の依存性を考慮すると $R < \lambda / (2\pi)$ の距離でしか存在しません。それより遠方では、 $1/R$ の項である放射界のみとなり、 E_θ と H_ϕ 成分だけとなります。

放射界では電界と磁界は直交しています。放射電界の角度依存性は $\sin\theta$ となり、図3.3の形状となります。 Z 軸に対し線対称です。ちょうど果物のりんごの表面のような形です。断面形状は、 Z 軸の周りに8の字の形になっています。

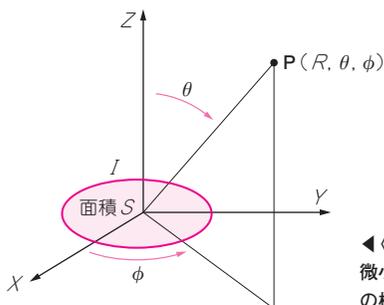
■ 微小ループ・アンテナ

● 入力インピーダンスを表す式

アンテナの座標系を図3.4に示します。ループには一様な電流(I)が流れており、ループの面積を S としています。面積が波長に比べて十分に小さい場合、微小ループ・アンテナは微小磁気ダイポールと等価となります。微小磁流(J_m)は次式で表されます。

$$J_m = \mu IS \dots\dots\dots (3.6)$$

放射抵抗は、次式で表されます。ここで、 n はループの巻き数です。



◀図3.4) 微小ループ・アンテナの構造と座標系

$$R_r = \frac{2P_r}{I^2} = 20(k^2 n S)^2 \div 31200 \left(\frac{nS}{\lambda^2} \right)^2 \dots\dots\dots (3.7)$$

ループを半径 a の円とした場合、次式となります。

$$R_r = 320 \pi^6 \left(\frac{a}{\lambda} \right)^4 n^2 \dots\dots\dots (3.8)$$

ループ半径の4乗で小さくなることがわかります。

また、リアクタンスは次式となります。誘導性リアクタンスであることがわかります。

$$X = 240 \pi^2 \frac{a}{\lambda} \left[\ell n \left(\frac{8a}{b} \right) - 1.75 \right] \dots\dots\dots (3.9)$$

● 入力インピーダンスの具体例

図3.5は R_r と X の具体例です。横軸は、ループの周長(D)を使っています。式において、 D が0.1波長程度では R_r は 2Ω 程度と小さくなり、 X の値は 500Ω 程度と大きな値となります。ループ長が0.05波長以上では、シミュレーション値が上述した式の値よりかなり大きくなります。理論式ではループ上の電流が一定としていますが、ループ長が0.05波長以上になると電流に高次モードが発生するようになります。ループ長がさらに大きくなると高次モードの量が大きくなり、インピーダンスが急に大きくなると考えられます。

● 放射電磁界

放射電磁界を求めると、微小ダイポールによく似た次の各式が得られます。

$$H_R = \frac{I S e^{-jkR}}{2\pi} \left(\frac{1}{R^3} + \frac{jk}{R^2} \right) \cos\theta \dots\dots\dots (3.10)$$

$$H_\theta = \frac{I S e^{-jkR}}{4\pi} \left(\frac{1}{R^3} + \frac{jk}{R^2} - \frac{k^2}{R} \right) \sin\theta \dots\dots\dots (3.11)$$

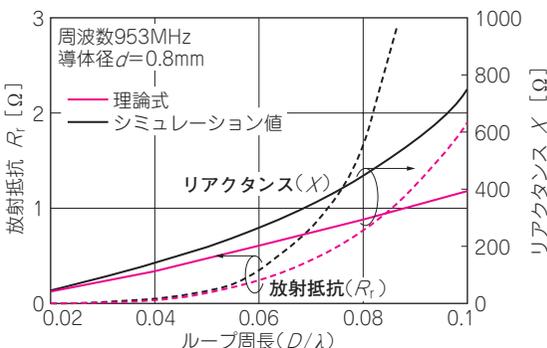
$$E_\phi = \frac{\omega \mu I S e^{-jkR}}{4\pi} \left(-\frac{j}{R^2} + \frac{k}{R} \right) \sin\theta \dots\dots\dots (3.12)$$

放射界では E_θ と H_θ 成分だけとなります。指向性を図3.6に示します。電界と磁界は直交しています。放射電界の角度依存性は $\sin\theta$ となります。

■ 導体抵抗

● 導体抵抗を表す式

小形アンテナでは、アンテナ入力抵抗の一部である



◀図3.5) ループ周長(D/λ)に対する R_r と X の値