

# 有限地板上プリント円形双ハーフループアンテナの放射特性

工藤信博\*

## Radiation Characteristics of Printed Circular Twin Half-Loop Antenna on Truncated Ground Plane

Nobuhiro KUDO

Abstract: This paper describes radiation characteristics of the printed circular twin half-loop antenna on truncated ground plane. The FDTD (Finite-Difference Time-Domain) method has been applied in the analysis of this antenna. The measured maximum VSWR of the antenna is less than 1.5:1 over the 8.1- to 9.4-GHz band. Radiation patterns measured at 9 GHz are approximately equal to the monopole antenna on truncated ground plane. A VSWR<2:1 may be achieved over wide bandwidths.

Key words: circular twin half-loop antenna, FDTD, input and radiation characteristics.

### 1. まえがき

誘電体基板上的のストリップ導体で構成した周囲長1波長円形ループアンテナの垂直面(磁界面)内に、1.5波長程度の大きさの導体地板をループ中央に設定したイメージ形のプリント円形ハーフループアンテナ(Printed Circular Half-Loop Antenna, HLA)は、インピーダンス整合回路を考慮することなく導体地板上から50Ω系同軸ケーブルで直接に給電することができる。その比帯域幅は電圧定在波比(VSWR)1.5以下の帯域で約10[%]、2以下では約18[%]ある<sup>(1)</sup>。指向性は導体地板面から約40度上方で最大放射方向になり、有限地板上モノポールアンテナと近似した特性をしている。絶対利得は最大放射方向でモノポールアンテナより1~2[dB]大きいという特徴を持っている。このイメージ形のハーフループアンテナは、その入力特性の数値解析<sup>(2)</sup>や逆V形アンテナとして、また円形、方形、三角形、菱形など各種ループアンテナの入力インピーダンス測定用として用いられている。

本報告では、プリント円形ハーフループアンテナの広帯域化と高利得化を目的に、二つの円形ハーフループアンテナの給電点を並列に接続した構造のプリント円形双ハーフループアンテナ(Printed Circular Twin Half-Loop Antenna, TLA)を構成し、その入力特性と放射特性について検討し報告する。

\* 釧路高専電気工学科

各特性の数値解析には、時間領域差分法<sup>(3)</sup>(Finite-Difference Time-Domain Method, FDTD法)を適用した。解析領域端にはMurの2次吸収境界条件<sup>(4)</sup>を設定した。解析領域の分割には、領域内総セル数を極力少なくするために不等間隔メッシュ法<sup>(5)</sup>を採用して、アンテナ導体を含む誘電体基板周辺のみを細かく分割した。解析結果の確認実験は、比誘電率2.15、厚さ0.6[mm]の誘電体基板上にアンテナ導体幅1[mm]、直径33.0[mm]のプリント円形双ハーフループアンテナを構成して行った。すべての実験は9GHz帯で行った。

解析結果によると、50Ω系同軸ケーブルで給電したときの比帯域幅は、VSWR1.5以下の帯域で約14[%]、2以下で約27[%]あり、実験結果ともよく一致した。最大放射方向は、プリント円形ハーフループアンテナと同様に導体地板面から約40度上方となり、実験結果ともよく一致した。また、最大放射方向での絶対利得は、プリント円形ハーフループアンテナと比べて約1.5[dB]増加していることを解析結果により確認した。

### 2. 円形双ハーフループアンテナの構造

図1にプリント円形双ハーフループアンテナの構造を示す。本アンテナは、導体地板上円形双ハーフループのイメージを利用して構成された円形双ループアンテナである。その構造の概要を説明する。

周囲長が1波長程度になる直径Dの円形ハーフループを、幅AWのストリップ導体を用いて誘電体基板上に二つ構成する。二つのハーフループは、各々のハーフループの一端を50Ω系同軸コネクタの中心導体に接続することで並列に給電される。ハーフループのもう一端をアンテナ基板に垂直な大きさRW×RHの矩形導体地板に直接接続するか、あるいは微小間隙を残して容量的に接続すると、導体地板のイメージを利用した円形双ループアンテナが構成される。このアンテナはその電流分布から考えて、導体地板面に垂直な4本のモノポールアンテナを誘電体基板上に直線的に並べた配列アンテナと近似できる。誘電体基板外縁の誘電体領域は、アンテナ導体幅程度の大きさとする。

### 3. 円形双ハーフループアンテナの解析

図2にプリント円形双ハーフループアンテナ(以下、TLAと記述する)をFDTD法で解析するときの解析領域と座標系を示す。表1にはTLAのFDTD解析で用いる種々の解析条件を示す。これらを参照にしてFDTD法によるTLAの解析の概要を説明する。

解析領域内でのTLAの設定位置は、導体地板またはTLA基板と吸収境界面との距離が、TLAの動作中心波長の約1/2の位置に設定する。これにより、吸収境界面からTLAに達する反射電磁界をできるだけ減衰させてその影響を除き、電磁界の計算誤差を小さくする。遠方電磁界を求めるのに必要な積分計算は、吸収境界面の内側約10セル(TLAの動作中心波長の約1/4)の面上で行う。解析領域の分割サイズは不等間隔とする。アンテナ導体を含むTLA基板領域ではTLAの動作中心波長の約1/200に、他の解析領域では約1/30に分割サイズを設定する。解析領域を不等間隔メッシュに分割することで、総セル数を減らしてFDTD解析に要する時間や計算機の使用メモリを少なくする。給電は導体地板上からの電界励振とする。解析時間を短縮するために、給電部に内部抵抗50[Ω]を装荷して給電電流が零へ収束するのを早める。給電用入力電圧源は、周波数スペクトル振幅がTLAの動作中心周波数で最大振幅、その約4オクターブ高域で120[dB]減衰する正弦波変調されたガウシアンパルス電圧とする。用いたガウシアンパルス電圧を(1)式に示す。給電電流は給電部近傍のアンテナ導体周辺磁界を周回積分して求める。給電電流がその最大値の約1/1000に減衰した時点で電磁界の計算を打ち切り、それ以降の電流値は零と近似する。給電部入力インピーダンス $Z_{in}$ は、給電電圧と給電

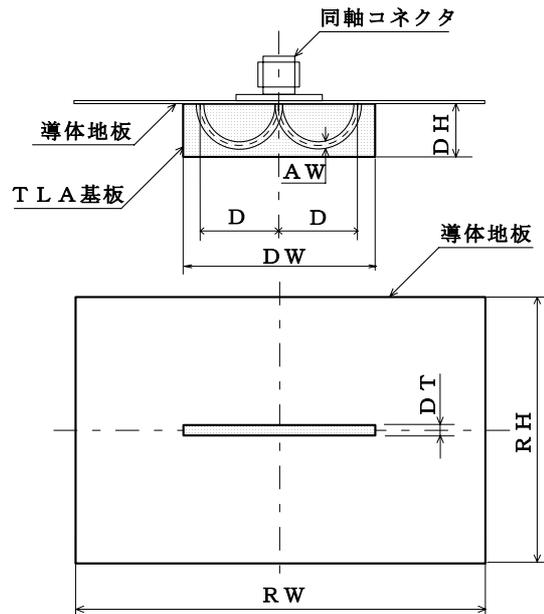


図1 円形双ハーフループアンテナの構造

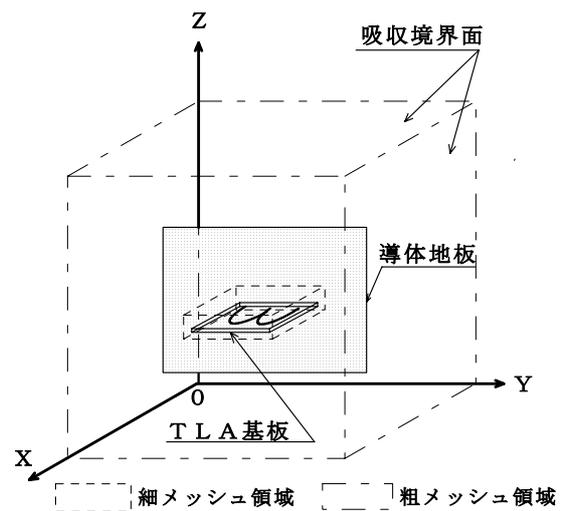


図2 解析領域と座標系

表1 FDTD解析の条件

解析領域のセル数	86×236×106=2151376	
セル	細メッシュ	$\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 0.15$ [mm]
サイズ	粗メッシュ	$\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 0.90$ [mm]
給電方式	抵抗装荷電界励振 内部抵抗 $R_s = 50$ [Ω]	
入力電圧	正弦波変調された ガウシアンパルス (1)式	
タイムステップ数	5100	
吸収境界条件	$Mu_r$ の2次吸収境界	
誘電体基板	比誘電率	2.15
	基板の厚さ	0.6 [mm]
	導体の厚さ	17.5 [μm]

電流とを離散フーリエ変換して周波数領域に変換し、その比から求める。給電部入力端反射損失 $R_{Loss}$ は、特性インピーダンス $R_c = 50 [\Omega]$ の同軸ケーブル給電を想定して(2)式で計算する。

$$v_s(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t-t_0}{T}\right)^2\right\} \times \sin\{2\pi f_s(t-t_0)\} \text{ [V]} \quad (1)$$

但し、 $t_0 = 226.7[\text{ps}]$ ,  $T = 37.94[\text{ns}]$ ,  $f_s = 8.803[\text{GHz}]$   
 $t = n \times dt$ ,  $dt = 0.2889[\text{ps}]$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots, 5099$

$$R_{Loss} = 20 \times \log_{10} \left| \frac{(Z_{in} - 50)}{(Z_{in} + 50)} \right| \text{ [dB]} \quad (2)$$

#### 4. TLAの解析及び実験結果

表2にFDTD解析及び確認実験に供したTLAの寸法を示す。TLAの動作中心周波数は9[GHz]に設定した。円形ループ周囲長が1共振波長になるように円形ループ直径を決める。誘電体基板の外縁には、円形ループ導体幅程度の誘電体領域を設定する。導体地板は一辺が円形ループ周囲長の約1.5倍の正方形とした。実験に供したTLAを図8に示す。

##### 4.1 入力インピーダンス特性

図3は(1)式に示すガウシアンパルス電圧で給電部を抵抗装荷電界励振したときの給電電流を示す。最大ピーク電流は時間0.206[ns]で-4.45[mA]である。時間1.40[ns]で給電電流は3.11[μA]となり最大ピーク電流の1000分の1以下に減衰している。これ以降は給電電流を零と近似して解析領域内での電磁界計算を打ち切っている。

図4は給電電流と給電電圧とを周波数領域に変換して、その比から求めた給電部入力インピーダンス特性である。9[GHz]近傍でリアクタンスが零となり共振状態になる。そのときの給電部入力抵抗は54[Ω]である。従って、50Ω系同軸ケーブルでTLAを良好に給電することができる。

図5は(2)式で計算した反射損失特性を示す。VSWR 1.5以下の帯域幅は、測定値で1240[MHz](比帯域幅13.9[%]、中心周波数8.90[GHz])、FDTD法による計算値で1260[MHz](比帯域幅14.1[%]、中心周波数8.93[GHz])である。両者はほぼ良く一致している。VSWR 2.0以下(反射損失で-9.5[dB]以下)の帯域でみると、比帯域幅は約27[%]となる。1波長プリント円形ハーフループアンテナ<sup>(1)</sup>に比べて40~50[%]程度広帯域になっている。

表2 TLAの寸法 単位 [mm]

円形ループ周囲長 L	33.0
円形ループ直径 D=L/π	10.5
円形ループ導体幅 AW	1.0
誘電体基板厚さ DT	0.6
誘電体基板奥行き DH	6.8
誘電体基板幅 DW	24.0
導体地板奥行き RH	50.0
導体地板幅 RW	50.0

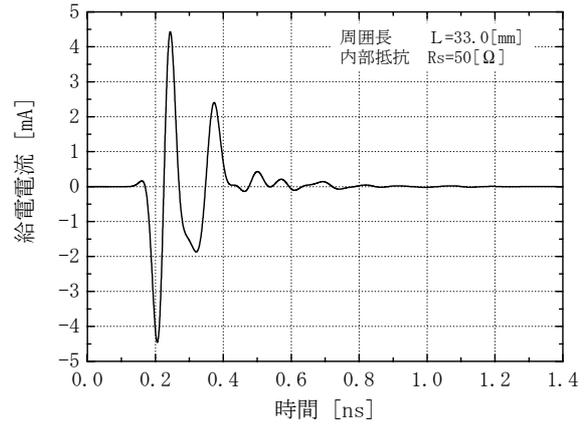


図3 給電電流

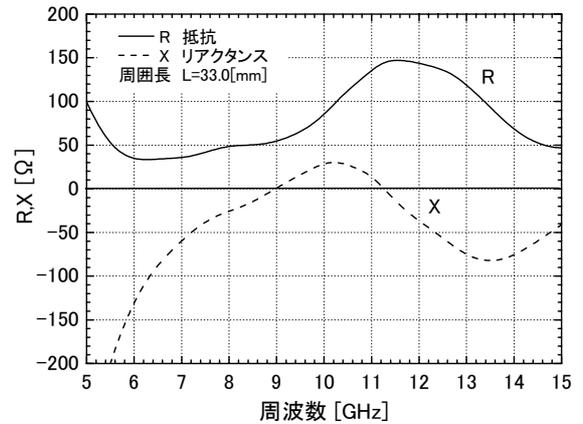


図4 給電部入力インピーダンス特性

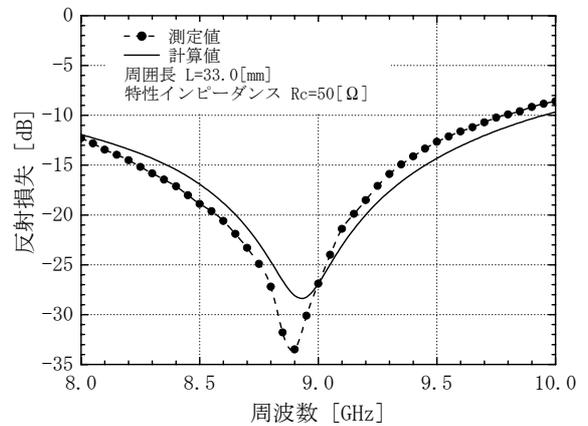


図5 反射損失特性

#### 4.2 指向性

図6に共振周波数8.9 [GHz]における垂直面内指向性を示す。最大放射方向は導体地板面 (YZ面) から40度上方であり、実験値と測定値とは良く一致している。 $\theta = 220 \sim 320$  [度]内での導体地板裏側への放射電力は、最大放射方向より約10 [dB]減衰している。交差偏波成分 ( $E_\phi$ 成分) は、図には記載していないが-50 [dB]以下である。

図7に水平面内指向性を示す。最大放射方向は導体地板面 (YZ面) から約50度上方である。垂直面と約10 [度]異なるのは、水平面上で近似されるモノポールアンテナの配列効果によると考えられる。交差偏波成分 ( $E_\theta$ 成分) は、図には記載していないが-30 [dB]以下である。水平面内と垂直面内の最大放射方向での放射電力は、後者が約6 [dB]高くなっている。

#### 4.3 絶対利得

共振周波数8.9 [GHz]における最大放射方向での絶対利得の計算値は、1波長プリント円形ハーフループアンテナ (HLA) で3.5 [dBi]、TLAで5.0 [dBi]であった。また、TLAとHLAの最大放射方向での遠方電磁界の計算値から、その比で求めた利得の上昇分は1.6 [dB]であった。これらより、HLAからTLAへの双ループ化により絶対利得が約1.5 [dB]上昇していると考えられる。

#### 5. まとめ

50  $\Omega$ 系同軸ケーブルで給電された有限地板上プリント円形双ハーフループアンテナの入力特性及び放射特性について検討した。ハーフループから双ハーフループへの双ループ化により、①比帯域幅が約1.4倍 ( $VSWR \leq 1.5$ ,  $R_c = 50$  [ $\Omega$ ]) ②絶対利得が約1.5 [dB]上昇することをFDTD解析と9 GHz帯での実験により確認した。

#### 文献

- (1) 工藤信博、“有限地板上プリント円形ハーフループアンテナの放射特性”、釧路高専紀要35号、Dec. 2001.
- (2) Guangping Zhou, and Glenn S. Smith, "An Accurate Theoretical Model for the Thin-Wire Circular Half-Loop Antenna", IEEE Trans. Antennas Propagat. AP-39, no. 8, pp. 1167-1177, 1991.
- (3) 宇野亨、“FDTD法による電磁界およびアンテナ解析”、コロナ社、1998.

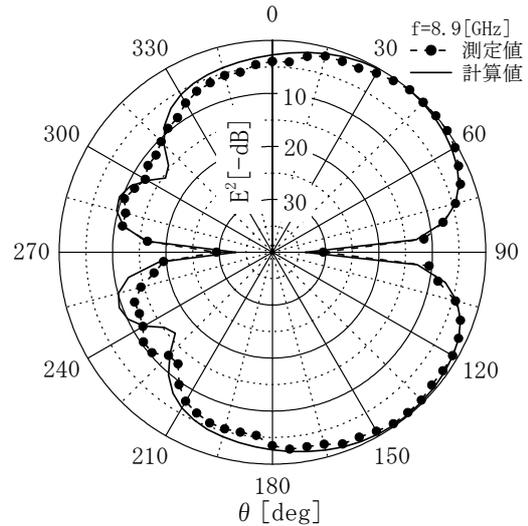


図6 垂直面内指向性 (ZX-plane,  $E_\theta$ )

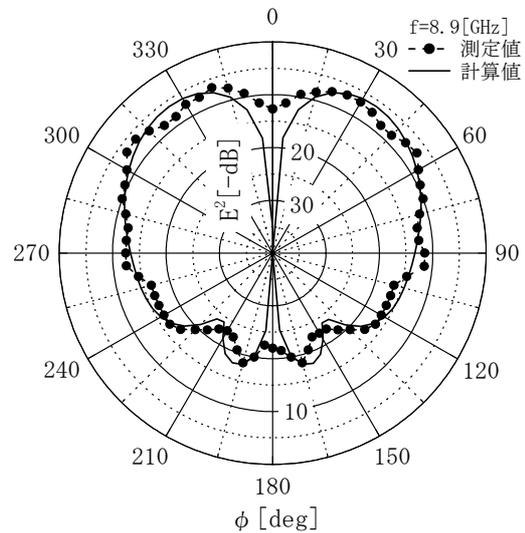


図7 水平面内指向性 (XY-plane,  $E_\phi$ )



図8 プリント円形双ハーフループアンテナ

- (4) G. Mur, "Absorbing boundary conditions for the finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic-field equation", IEEE Trans. Electromagnetic Compat., EMC-23, no. 4, pp. 377-382, 1981.
- (5) 新井宏之、“FD-TD法によるアンテナ解析の実際”、アンテナ・伝播における設計・解析ワークショップ(第17/18回)、pp. 48-56、March 2000.