

板状双ループアンテナの放射特性

工藤信博*

Radiation Characteristics of Metal-Plate Twin Loop Antenna

Nobuhiro KUDO

Abstract – Fundamental study of MTLA (Metal-Plate Twin Loop Antenna) printed on dielectric substrate is presented by FDTD analysis and experiment. The antenna characteristics such as input impedance, return loss, radiation pattern are obtained. MTLA with different geometrical parameters are simulated by FDTD and their simulated responses are used to optimize geometrical parameters of the antenna for achieving the maximum bandwidth. Through this optimization process an antenna with a return loss of lower than -9.5 dB ($VSWR < 2$) across a 6:1 frequency range is designed. Furthermore, the antenna exhibits a relatively consistent radiation pattern.

Key words: Twin Loop Antenna, UWB, FDTD, Reflector

1. はじめに

超広帯域 (Ultra Wide Band, UWB) を利用した短距離高速無線通信システムが注目されている⁽¹⁾。米連邦通信委員会 (FCC) は $3.1 \sim 10.6$ [GHz] の 7.5 [GHz] の帯域幅を UWB 用通信デバイスに割り当てている。UWB 無線通信システムでは、低放射電力 (FCC では電波の放射電力を 74.1 [nW/MHz] 以下と厳しく規制している) の信号をショートバーストで送信する通信方式を採用することで、現有の通信サービスに影響を与えずに、 10 [m] 前後の送受信間距離で $0.1 \sim 1$ [ギガビット/秒] の高速無線通信を実現しようとしている。無線信号はショートバーストでインパルス信号として送受信されるため、利得にヌル (ゼロ点) のない広帯域アンテナが必要になる。

線状アンテナである 4 分の 1 波長モノポールアンテナや半波長ダイポールアンテナなどを板状にして工夫を凝らした UWB 用アンテナが多く報告されている^{(2), (3), (4)}。本論文では、円形ループアンテナを連結して構成した双ループアンテナ⁽⁵⁾に着目して、アンテナ導体を板状にしたときの入力特性と放射特性について検討している。広帯域化と共に、 4 分の 1 波長モノポールアンテナを基本に

して構成した UWB 用アンテナ⁽⁶⁾ に比べて約 20% の低姿勢化が実現できることを報告する。

2. 板状双ループアンテナの構造

図 1 に本アンテナの構造を示す。金属地板のイメージ効果で双ループが形成されている。給電部導体は直角二等辺三角形にしてテーパ状に徐々に面積を増やし双ループ導体に接続している。これは、広帯域に渡って入力インピーダンスが 50 [Ω] 前後から大きく変動しないようにする板状モノポールアンテナとしての効果がある。

ループの外半径 R_o は、アンテナ給電端の電圧定在波比 ($VSWR$) が 50 [Ω] 給電系で約 2 以下 (反射損失 -9.5 [dB] 以下) になる周波数 (設計周波数) を f_d 、自由空間波長を λ_d とすると、 $R_o = (\lambda_d / 2\pi) \approx 0.16 \lambda_d$ 程度に定める。

ループの導体幅 A_w は、ループの内半径 R_i を与えると、 $A_w = R_o - R_i$ で定まる。 R_i は広帯域特性を考慮して、 $R_i = 0.1 \lambda_d$ 前後に定める。

金属地板は、幅 R_w 、奥行き R_d が共に $1 \sim 1.5 \lambda_d$ 程度の正方形としている。

アンテナ導体は、厚さ 1.6 [mm] の誘電体基板 (RT/d5870, ROGERS) 上の厚さ 36 [μm] の銅張り導体

* 釧路高専電気工学科

をエッチングして構成している。

表1に $f_d = 5$ [GHz], $\lambda_d = 59.96$ [mm]で設計したアンテナの構造パラメータを示す。ループ外半径 R_o は、給電部での R_o の重なりが 2 [mm] になるように $(\lambda_d / 2\pi) + 1$ [mm] に定めている。ループ内半径 R_i は、広帯域特性を考慮して $0.11\lambda_d$ に定めている。

3. アンテナ特性の解析と測定結果

図1に示す板状双ループアンテナの広帯域化に関するアンテナ構造パラメータとしては種々考えられる。ここでは給電部の直角二等辺三角形の面積を増減するのに関係するループ内半径 R_i に着目した。 R_i を種々変えて反射損失と放射指向性を解析した。確認実験としては、放射指向性を測定して計算値との比較検討を行った。尚、解析には誘電体を含む板状導体アンテナの解析に有効な時間領域差分法 (FDTD法) を用いた。

3.1 アンテナ特性の解析

表2にFDTD法による本アンテナの解析条件を示す。円形のアンテナ導体を正方形単位セルで階段近似している。このことによる計算誤差を極力避けるために不等間隔メッシュ法⁽⁷⁾を用いている。アンテナ基板を含むアンテナ導体近傍の正方形単位セルは設計波長 λ_d の約300分の1 (細メッシュ) に、他の領域は約50分の1 (粗メッシュ) に分割している。金属地板の厚さは細メッシュのセルサイズと同じ寸法で解析し、実験では解析と同じ厚さの銅板を用いている。給電電圧には、スペクトルの最大振幅を9 [GHz] に設定し、40 [GHz] で -120 [dB] まで減衰する正弦波変調されたガウスパルスを用いている。給電方式は内部抵抗 50 [Ω] の抵抗を給電部に装荷した電界励振とした。解析領域端には簡便性を考慮して Mur の2次吸収境界条件を設定した。

3.2 アンテナ特性の解析結果

設計周波数 $f_d = 5$ [GHz] に設定して、ループ内半径 R_i を種々変化させときの 50 Ω 給電系での反射損失を解析した。その結果、5 ~ 30 [GHz] に渡って反射損失が -9.5 [dB] 以下 ($V_{SWR} < 2$) になる R_i は $0.08\lambda_d \sim 0.15\lambda_d$ 程度であった。前章で示した表1は、広帯域に渡って反射損失が小さかった $R_i = 0.11\lambda_d$ のときのアンテナ構造パラメータである。このときのアンテナ特性の解析結果を図2 ~ 図5に示す。また、設計周波数 $f_d = 3$ [GHz] の場合の解析結果を図6, 図7に示す。

図2の入力インピーダンス特性は、2.8 [GHz]

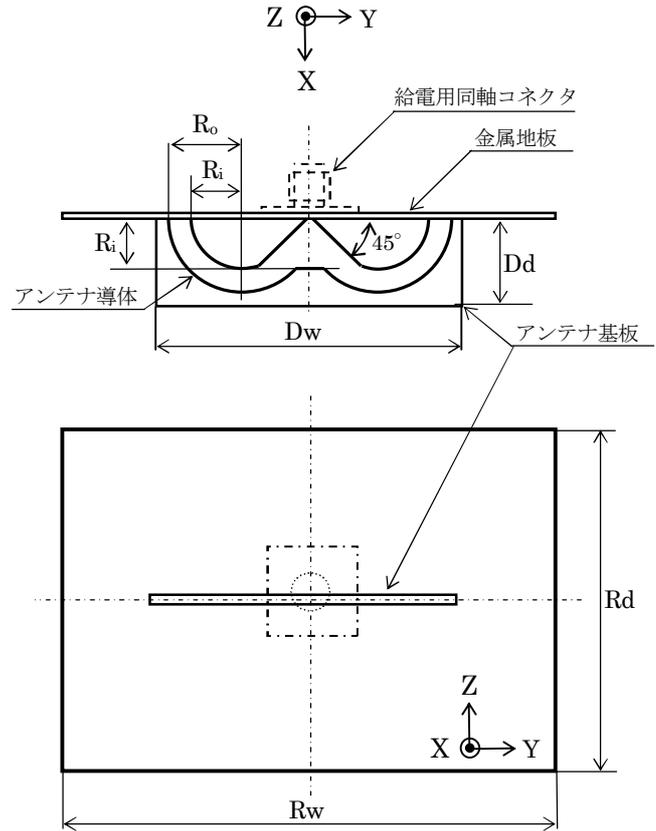


図1 板状双ループアンテナの構造

表1 構造パラメータ 単位 [mm]

ループ外半径	R_o	10.5
ループ内半径	R_i	6.6
アンテナ導体幅	A_w	3.9
アンテナ基板幅	D_w	44.0
アンテナ基板奥行き	D_d	12.5
金属地板幅	R_w	90.0
金属地板奥行き	R_d	90.0
設計周波数	f_d	5 [GHz]
設計自由空間波長	λ_d	59.96

表2 FDTD解析条件

解析領域のセル数		106 × 304 × 128
セルサイズ	細メッシュ	0.2 [mm]
	粗メッシュ	1.2 [mm]
給電方式	抵抗装荷電界励振 内部抵抗 50 [Ω]	
給電電圧	正弦波変調された ガウスパルス	
タイムステップ	0.3852 [ps]	
計算ステップ数	3100	
吸収境界条件	Mur の2次吸収境界	
アンテナ基板	RT/d5870 厚さ1.6 [mm] 比誘電率 2.33	

の並列共振を境に30 [GHz]までの高域に渡ってリアクタンス成分は0 [Ω]近傍、抵抗成分は50 ~ 70 [Ω] 近傍を変化している。このときの反射損失特性

は図3に示すように、並列共振周波数を遮断周波数とした高域通過フィルタの反射特性と近似している。広い帯域で反射損失が -12 [dB] 以下 ($VSWR < 1.7$) である。図4, 図5に示す放射指向性の解析結果によれば、 $4 \sim 12$ [GHz] に渡り安定して特性が維持されていると言える。同様に、図6, 図7に示すように設計周波数 3 [GHz] の解析結果においても $3 \sim 12$ [GHz] に渡り安定して放射指向性が維持されていることが分かる。

3.3 アンテナ放射指向性の測定

設計周波数 5 [GHz] の板状双ループアンテナを試作して放射指向性を測定した。試作したアンテナの外形写真を図10に示す。図8, 図9はZX面内電界とXY面内電界の主偏波成分を 8 [GHz] で測定した結果を示す。FDTD法で計算した結果と指向性の傾向が良く一致していることが分かる。X軸方向にヌル点があり、約 30 度方向に最大放射がある。地板上のモノポールアンテナと近似した放射特性となっている。

4. まとめ

6倍以上の帯域比に渡り $VSWR$ が2以下で、放射指向性が安定した特性を示す板状双ループアンテナの放射特性について述べた。

ループ外半径 R_o はアンテナの高さを示し、設計波長 λ_d の約 16 [%] に設定している。文献(6)の広帯

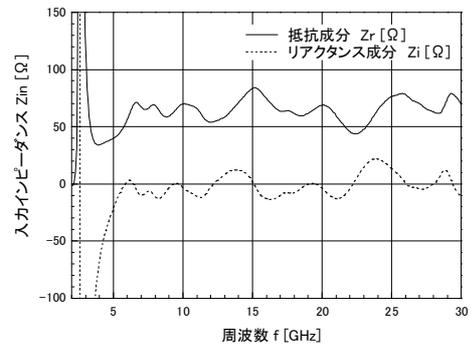


図2 入力インピーダンス特性

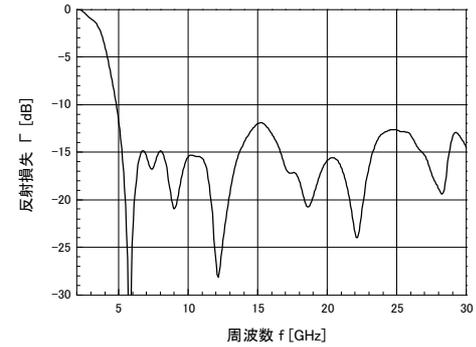


図3 反射損失特性

域板状モノポールアンテナの高さは、 $VSWR$ が2以下の低域側波長に対して約 20 [%] である。単純に比較することは出来ないが、板状モノポールを基本としたUWBアンテナに比べて板状双ループアンテナは、約 20 [%] の低姿勢化を実現していると言える。

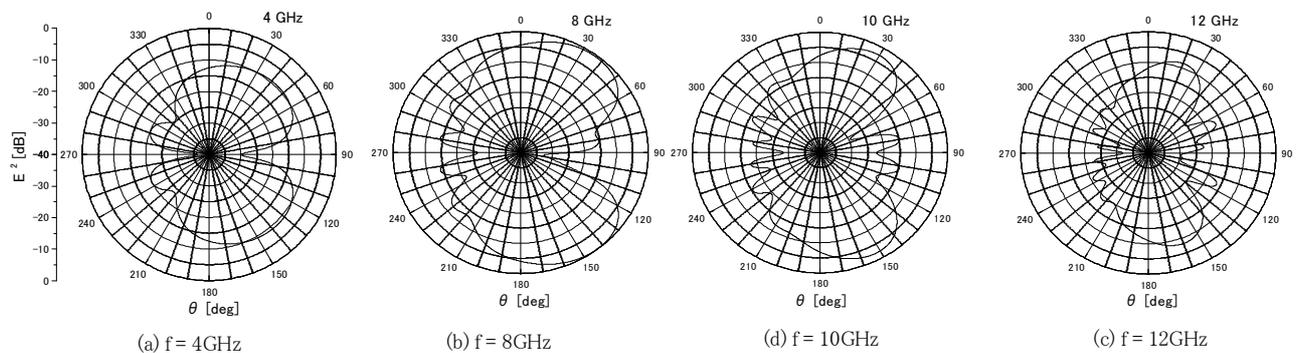


図4 ZX面放射指向性 (E_θ)

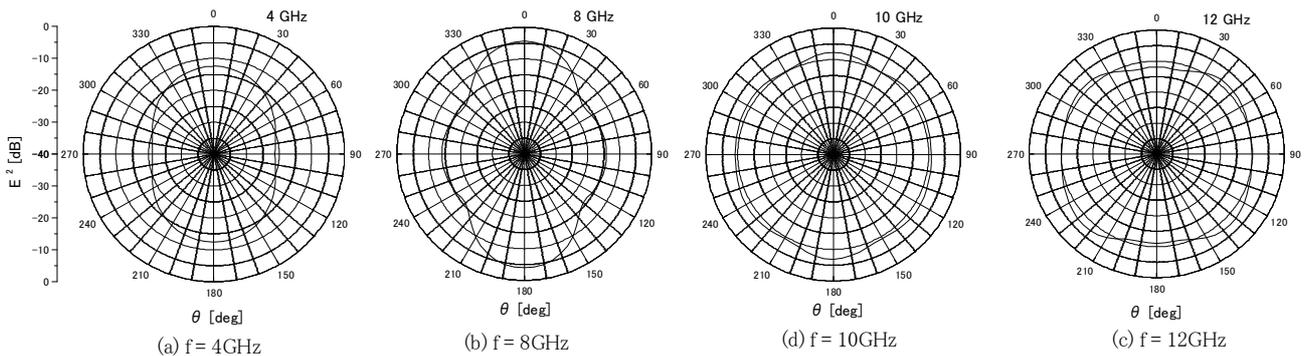


図5 YZ面放射指向性 (E_ϕ)

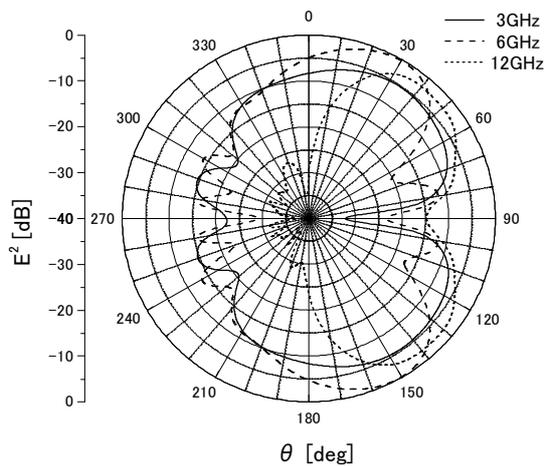


図6 ZX面放射指向性 (E_{θ}) (設計周波数3GHz)

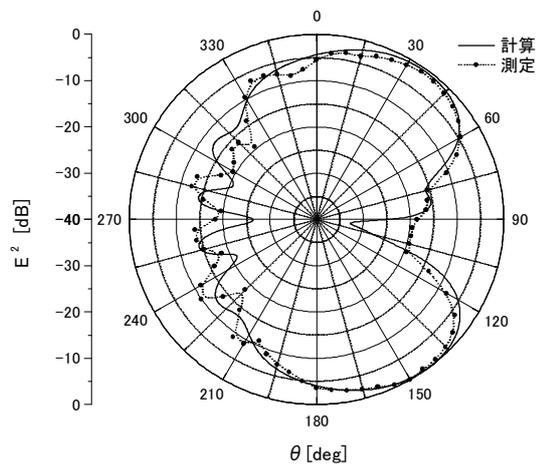


図8 ZX面放射指向性 (E_{θ}), 8GHz

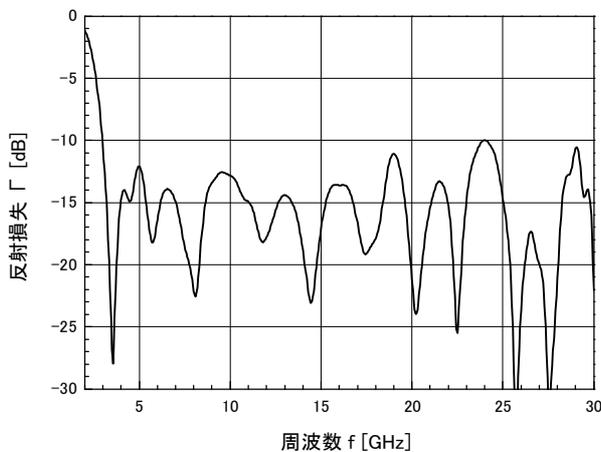


図7 反射損失特性 (設計周波数3GHz)

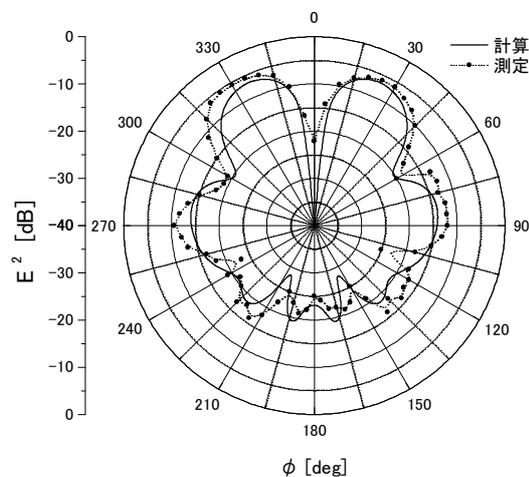


図9 XY面放射指向性 (E_{ϕ}), 8GHz

参考文献

(1) <http://www.ednjapan.com/content/issue/2006/01/content04.html>, "UWB試験-家庭で試すべからず", EDN Japan, 2006年1月号 (no. 59).

(2) Daniel Valderas, Jon Legarda, Inigo Gutierrez, and Juan Ignacio Sancho, "Design of UWB Folded-Plate Monopole Antennas Based on TLM", IEEE Trans. on Antennas and Propagat., vol. 54, NO. 6, pp. 1676-1687, July 2006.

(3) 鮎谷充隆, 山本学, 野島俊雄, 伊藤靖彦, "反射板付きUWBプリントアンテナの基礎的検討", 信学技報, vol. 106, No. 140, AP2006-44, pp. 31-36, July 2006.

(4) Mader Behdad, Kamal Sarabandi, "A Compact Antenna for Ultrawide-Band Applications", IEEE Trans. on Antennas and Propagat., vol. 53, NO. 7, pp. 2185-2192, July 2005.

(5) 工藤信博, "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", 釧路高専紀要 36号, pp. 19-22, Dec. 2001.

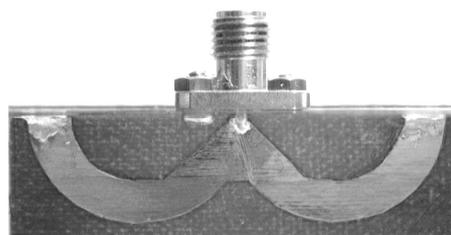


図10 板状双ループアンテナ

(6) Narayan Prasad Agrawal, Girish Kumar, and K. P. Ray, "Wide-Band Planar Monopole Antennas", IEEE Trans. on Antennas and Propagat., vol. 46, NO. 2, pp. 294-295, Feb. 1998.

(7) Huiling Jiang, "Study of FDTD Numerical Analysis by Using Non-Uniform Mesh", A Master Thesis, Division of Electrical and Computer Engineering, Yokohama National University, Jan. 1999.