

十字構造台形モノポールアンテナの放射特性

山内健太* ・ 工藤信博**

Radiation Characteristics of Cruciform Structure Trapezoidal Monopole Antenna

Kenta YAMAUCHI Nobuhiro KUDO

Abstract — The demand for the wireless network between electronic equipment using in an indoor scale is growing. To realize broadband antenna is necessary. This paper describes radiation characteristics of cruciform structure trapezoidal monopole antenna. The FDTD (Finite Difference Time Domain) method has been applied to the analysis of this antenna. As a result, the antenna characteristics such as input impedance, return loss, radiation pattern are obtained. In the end, we were able to design the small and wideband antenna.

Key words : UWB, FDTD, Cruciform Structure Trapezoidal Monopole Antenna

1. はじめに

室内規模で用いる機器間を無線接続するワイヤレスネットワークの需要が高まっている。特に、高品質な大容量データを短時間で転送可能な近距離無線通信方式であるUWB(Ultra Wide Band)システムを用いたワイヤレスPAN(Personal Area Network)の実用化に向けての研究が盛んに行われている[1]。

UWBシステムは、10[m]程度の通信距離で数百[Mbps]の高速無線通信を実現するシステムである。既存のシステムに比べ、非常に広い周波数帯域を使用して情報を送るシステムであり、FCC(米連邦通信委員会)の指針によれば3.1[GHz]~10.6[GHz]に渡る周波数帯域内で比帯域が20%以上あるいは、500[MHz]以上の帯域を占めるものをいう[2]。これは超短パルスを用いることで、そのスペクトルが超広帯域になるためだが、一方では電力密度が非常に低くなり既存のシステムへの影響が少なく共存することが可能である。

近年は、UWBシステムを用いたワイヤレスPANやワイヤレスUSBを実現するための小型・広帯域アンテナが多数提案されている[1][3]。

本稿では、台形型の放射素子を2枚用いて十字にクロスさせた十字構造台形モノポールアンテナに着目した。このアンテナは、構造が単純で広帯域な特性が予想できる。そこで、台形型放射素子の寸法や、導体地板の形状、およびスリットの挿入などによる特性の変化をまとめ、その中から最終的に最も小型で広帯域な特性を持つアンテナを開発した。

数値電磁界解析には、FDTD法(Finite Difference Time Domain method)を用いて、反射損失特性と指向性を解析し、アンテナ特性の評価を行った。

反射損失特性の解析結果は、-10[dB]以下を使用帯域として評価すると2.83[GHz]~11.5[GHz]となり比帯域が121%となった。アンテナの寸法に関しても、一辺の長さが30[mm]の立方体に収納できるサイズとなった。

2. アンテナの構造

図1に台形型放射素子および導体地板の寸法、図2にアンテナの構造を示す。図2より、十字構造台形モノポールアンテナは、導体地板上に台形型の放射素子を2枚用いて、十字にクロスさせた構造をしている。また給電は、導体地板の中央から50[Ω]系同軸給電を想定している。

* 釧路高専専攻科電子情報システム工学専攻

** 釧路高専電気工学科

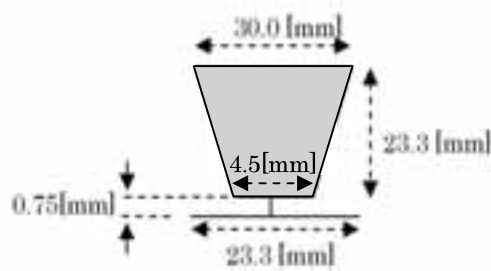


図1 台形型放射素子および導体地板の寸法

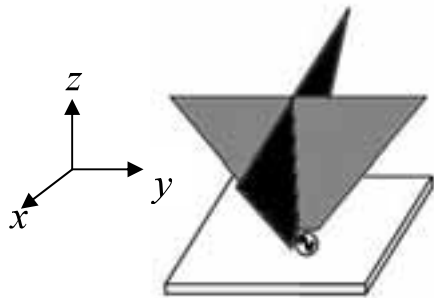


図2 十字構造台形モノポールアンテナの構造

3. FDTD法による解析

FDTD法では、本来無限に広がる電磁界を有限の領域で計算する。解析領域は微小なセルに分割され、各セルに対してマクスウェルの方程式を適用させる[4]。また、解析領域の境界面では反射波が発生するため、その防止のために吸収境界条件を設ける必要がある。吸収境界条件にはいくつか種類があるが、本研究ではMurの2次吸収境界条件を用いた。

給電は導体地板上からの電界励振としている。給電電圧には、図3に示す直流成分を含まない正弦波とガウシアンパルスの積を入力波として使用した。給電電流は図4に示し、最大値の約1/1000で零であると近似し、その時点で電磁界の計算を打ち切っている。表1にその他の解析条件を示す。

表1 FDTD法の解析条件

解析領域の総セル数	232×232×270
セルサイズ	$\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.15$ [mm]
タイムステップ	$\Delta t = 0.2889$ [psec]
計算ステップ数	$N_{\max} = 3550$
給電方式	抵抗装荷電界励振 内部抵抗 $R_s = 50$ [Ω]
給電電圧	正弦波とガウシアン パルスの積

4. 解析結果

4.1 給電電圧・給電電流

給電電圧に用いた直流成分を含まない正弦波とガウシアンパルスの積を式(1)に示す。式(1)より図3の結果が得られる。また、給電電流の波形を図4に示す。

$$v_s(t) = \exp(-\alpha T^2) \sin(\omega_s T) - i_s R_s \dots (1)$$

ただし、 $\alpha = 1.19316 \times 10^{21}$ [s^{-2}]

$$T = t - t_0 = n\Delta t - 173.701 \times 10^{-12}$$
 [sec]

$$\Delta t = 0.28887$$
 [psec] $n = 0, 1, 2, \dots, 3550$

$$\omega_s = 2\pi f_s = 5.68306 \times 10^{10}$$
 [rad/s]

i_s : 給電電流 R_s : 内部抵抗

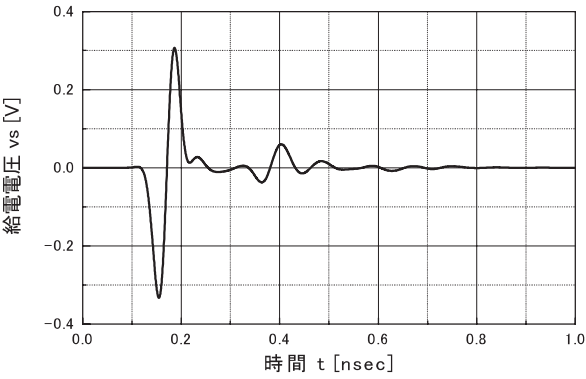


図3 給電電圧

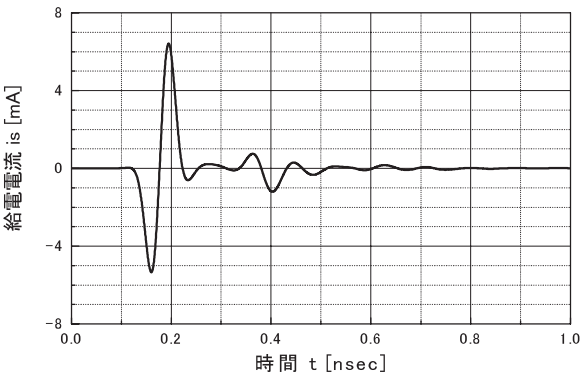


図4 給電電流

4.2 入力インピーダンス特性

給電電圧および給電電流を離散フーリエ変換して時間領域から周波数領域に変換する。その比から式(2)に示す給電部入力インピーダンス Z_{in} [Ω] が求められる。図5は入力インピーダンス特性の解析結果である。

$$\dot{Z}_{in}(\omega) = \frac{\dot{V}_s(\omega)}{\dot{I}_s(\omega)} \dots (2)$$

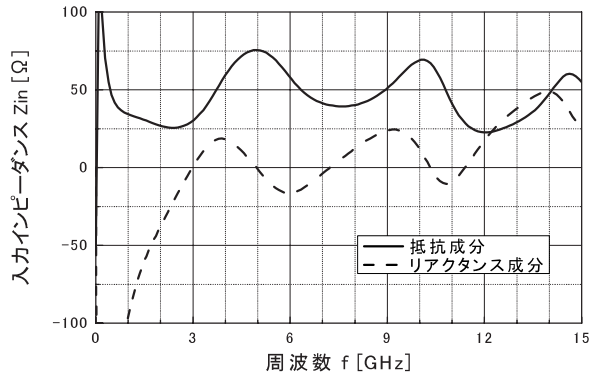


図5 入力インピーダンス特性

4.3 反射損失特性

入力インピーダンスと特性インピーダンスから反射損失特性が求められる。反射損失特性は、反射波電圧と入射波電圧の比である反射係数 Γ をdB表記した値で、反射電力がどの程度あるかを知ることができる。ただし、特性インピーダンスは $R_c=50[\Omega]$ の同軸給電を想定している。

$$20 \log_{10} |\dot{\Gamma}| = 20 \log_{10} \left| \frac{\dot{Z}_{in} - 50}{\dot{Z}_{in} + 50} \right| \text{ [dB]} \cdots (3)$$

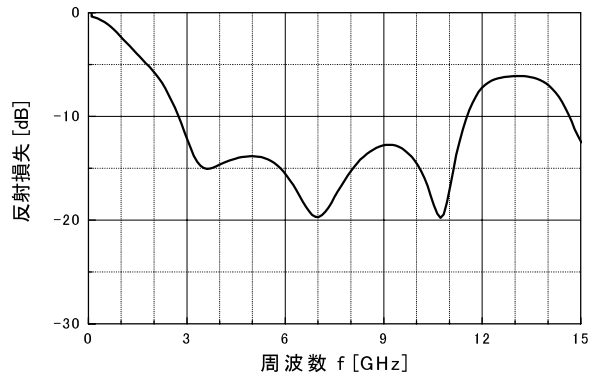


図6 反射損失特性

図6が、反射損失特性の解析結果である。反射損失が $-10[\text{dB}]$ 以下、つまり反射波電力が入射波電力の1割以下のときを使用周波数帯域として評価すると、 $2.83[\text{GHz}] \sim 11.5[\text{GHz}]$ となり比帯域が121%となった。

4.4 指向性

アンテナから放射される電波は、一般に放射する方向によって強弱を生じる。その性質を指向性という。指向性を求めるための遠方電磁界の導出については、吸収境界面から数セル内側の面上電磁流を積分するこ

とで得られる。

図7に、YZ-planeの6[GHz]および9[GHz]での主偏波と交差偏波を示す。最大放射方向は、上方 40° 方向である。また、地板の裏側になる $150^\circ \sim 210^\circ$ の範囲では、最大放射方向より12[dB]以上減衰している。交差偏波については、 $-30[\text{dB}]$ 以下の値となっている。

図8に、XY-planeの6[GHz]および9[GHz]での主偏波と交差偏波を示す。主偏波は、周囲 360° ほぼ均等に電力を放射しており、無指向性である。交差偏波は、6[GHz]では最大でも $-35[\text{dB}]$ 以下で、9[GHz]でも約 $-25[\text{dB}]$ 以下の値であり交差偏波が少なく抑えられている。

また、ZX-planeの特性はYZ-planeと等しい指向性になっている。

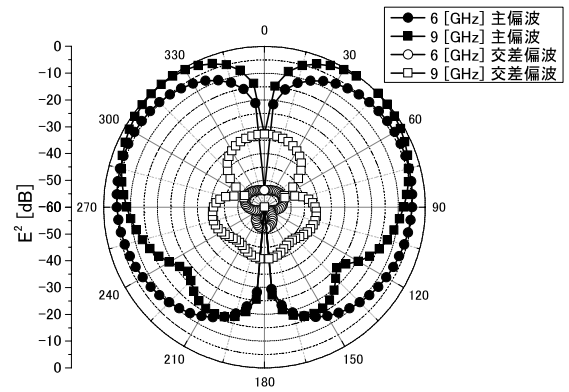


図7 YZ-plane 主偏波および交差偏波指向性

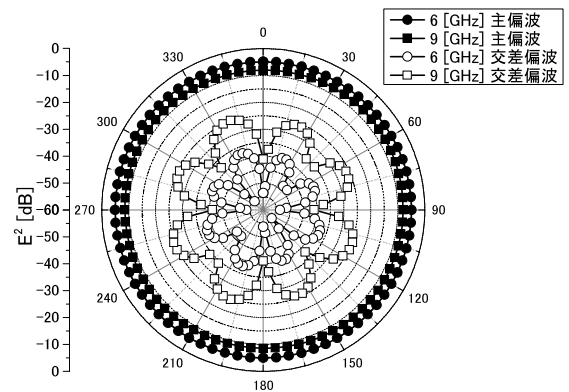


図8 XY-plane 主偏波および交差偏波指向性

4.5 地板の形状・スリットの追加

図3から図8までの解析結果は、台形型放射素子の寸法と地板の大きさを変化させながら解析を行った中で最も小型なサイズで、かつ広帯域な特性がえられたモデル(図1)を用いた場合の解析結果である。このモデルは一辺が $23.3[\text{mm}]$ の正方形地板を用いているが、

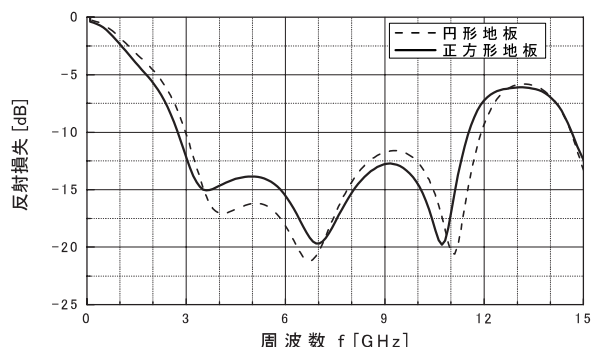


図9 導体地板の形状による反射損失特性の変化

この地板を直径が23.3[mm]の円形地板に変更して解析を行った。

図9は、正方形地板と円形地板の反射損失特性を比較している。正方形地板は2.83[GHz]から-10[dB]以下となり、円形地板は3.0[GHz]から-10[dB]以下となった。帯域幅は、正方形地板が8.68[GHz]で円形地板が8.87[GHz]となり、円形地板の方が若干広帯域となった。

また、図10のようなスリットを追加した場合の解析を行った。反射損失特性の結果は、ほぼ変化が得られず、スリットの影響による特性の変化はなかった。そのためスリットの追加によって、特性に影響を与えずにアンテナの軽量化が可能である。

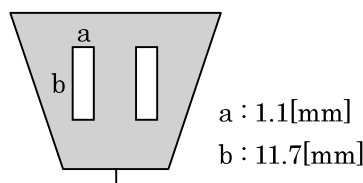


図10 スリットの追加

指向性に関しては、円形地板とスリット共に影響がみられなかった。このことから、十字構造台形モノポールアンテナの放射特性を左右するパラメータは、台形型放射素子と導体地板の寸法、さらに放射素子と地板とのギャップ長であり、地板の形状やスリットの追加は効果が少なかった。

5. まとめ

十字構造台形モノポールアンテナの放射特性について検討した。反射損失が-10[dB]以下を使用周波数帯域とすると2.83[GHz]～11.5[GHz]となり比帯域が121%と非常に広帯域な特性が得られた。さらに、アンテナのサイズが小型であり、機器への実装も十分可

能である。指向性に関しては、水平面内では無指向性で、周囲360°どこでも接続性を確保でき、交差偏波も少なく抑えられている。

また、このタイプのアンテナは構造がシンプルであるため容易に製作することができる。実際に製作したアンテナを図11に示す。

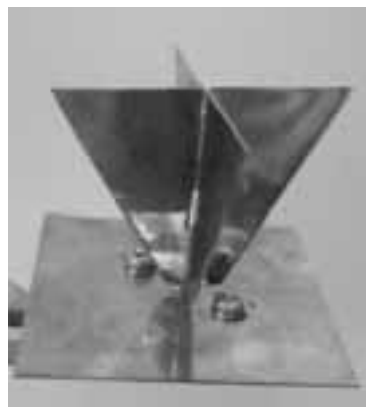


図11 十字構造台形モノポールアンテナ

参考文献

- [1] 倉本晶夫, “ワイヤレス PAN を目指した広帯域アンテナ”, pp.797-809, 電子情報通信学会論文誌, B Vol.J90-B No.9, 2007.
- [2] 藤本京平, “入門電波応用”, pp.170-172, 共立出版, 2007.
- [3] 近藤隆明 山内潤治 中野久松, “広帯域扇形アンテナ”, 電子情報通信学会総合大会, B-1-123, 2004.
- [4] 宇野亨, “FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析”, コロナ社, 1999.