

小型板状ボルケーノスモークアンテナの開発

Development of a Flat Type Small Volcano Smoke Antenna

越地 福朗*
Koshiji, Fukuro

江口 俊哉*
Eguchi, Toshiya

佐藤 幸一*
Sato, Koichi

越地 耕二**
Koshiji, Kohji

要旨

近年、ユビキタス社会を実現する有力な通信手段として、3.1-10.6 GHzの帯域を利用するUWB(Ultra Wideband)技術を用いた通信が注目されている。UWB通信は、3.1-10.6 GHzの帯域を使用するため、広帯域にわたって良好な特性を有するアンテナが必要とされる。我々はこれまでに、放射板を半円形と台形で構成することで、UWBの全帯域において良好なVSWR特性 ($VSWR \leq 2$) を有する半円台形不平衡ダイポールアンテナを開発している。本稿では、ボルケーノスモークアンテナを板状化および小型化した小型板状ボルケーノスモークアンテナを電磁界解析により検討し、各寸法に対する特性の変化を調べた。次に、実際にアンテナをプリント基板上に試作し、実験により特性を評価し、アンテナの有効性を確認した。その結果、提案する小型板状ボルケーノスモークアンテナは、水平面内無指向性でありUWBの周波数帯域を含む3.1-11.5 GHzで $VSWR \leq 2.3$ (帯域幅 115%) の良好な特性を得た。

Abstract

In recent years, wireless communications using UWB (ultra wideband) technology has promised to usher the so-called "ubiquitous world." In this paper, a flat type small volcano smoke antenna formed on a PCB (printed circuit board), miniaturizing the well-known volcano smoke antenna with wideband characteristics, is proposed, and the VSWR (voltage standing wave ratio), gain, and directional characteristics of the proposed antenna have been analyzed and measured. It was confirmed that the flat type small volcano smoke antenna was omnidirectional in the horizontal plane, and it had a VSWR of ≤ 2.3 in the frequency range from 3.1 to 11.5 GHz (bandwidth of 115 %) covering the UWB frequency band. Further, the radiation patterns for co-polarization were similar to that of a typical dipole antenna. The flat type small volcano smoke antenna proposed in this paper is easily formed on a PCB and fed by a microstrip line, thus enabling its use as a wideband and omnidirectional antenna for mobile and wearable equipment serving high-speed and high-capacity communication.

* コニカミノルタテクノロジーセンター(株) システム技術研究所
アーキテクチャ開発室

** 東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

1 はじめに

近年、ユビキタス社会を実現するための有力な通信手段として、UWB (Ultra Wideband) 技術を用いた通信が注目されている。UWB 通信は、3.1-10.6 GHz の周波数帯域を使用するため、従来の狭帯域通信に比べ、広帯域にわたって良好な特性のアンテナが必要とされる。

我々はこれまでに、放射板を半円形と台形で構成することで、水平面内無指向性であり、UWBの全帯域において良好なVSWR特性を有する平面型の半円台形不平衡ダイポールアンテナを開発している¹⁾。他の研究機関においても、多数のUWB用広帯域アンテナに関する研究がされている^{6~14)}。しかしながら、これらのアンテナは、立体形状を有していたり、平面形状であっても十分小型化されていないものが多い。UWB無線通信システムが携帯機器やパソコン周辺機器などの小型機器に搭載されることを考えると、さらなるアンテナの小型、薄型化が必須といえる。

本稿は、広帯域な特性を有することで知られている三次元形状のボルケーノスモークアンテナ^{2,3)}をもとに、放射板形状を平面形状化および小型化した小型板状ボルケーノスモークアンテナ^{4,5)}により、UWBの帯域において、小型でありながら良好な特性を有するアンテナを得ようとするものである。

2 アンテナの形状

Fig. 1 は、我々がボルケーノスモークアンテナ^{2,3)}をもとに、小型板状ボルケーノスモークアンテナへたどり着くまでの過程を示したものである。まず、ボルケーノスモークアンテナの外形を抽出し平面形状化する (同図(b))。次に、小型化のために外側を切り取る (同図(c))。最後に、形状を単純化し、マイクロストリップ線路を付加し、小型板状ボルケーノスモークアンテナ (同図(d))を得る。

Fig. 2 は、Fig. 1 (d)の小型板状ボルケーノスモークアンテナの詳細寸法を示した図である。本アンテナは、プリント基板の表裏に、各放射板を配置する構成である。放射板の一方を半楕円形と半楕円形に外接するように配置された三角形の組み合わせにより得られる形状 (裏面)

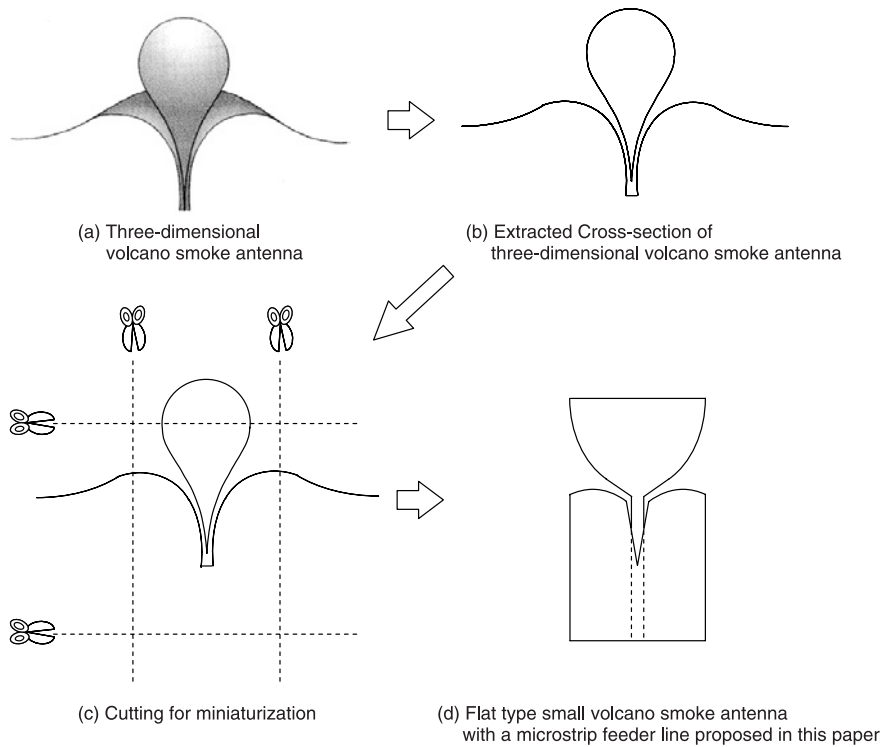


Fig.1 Process of modification

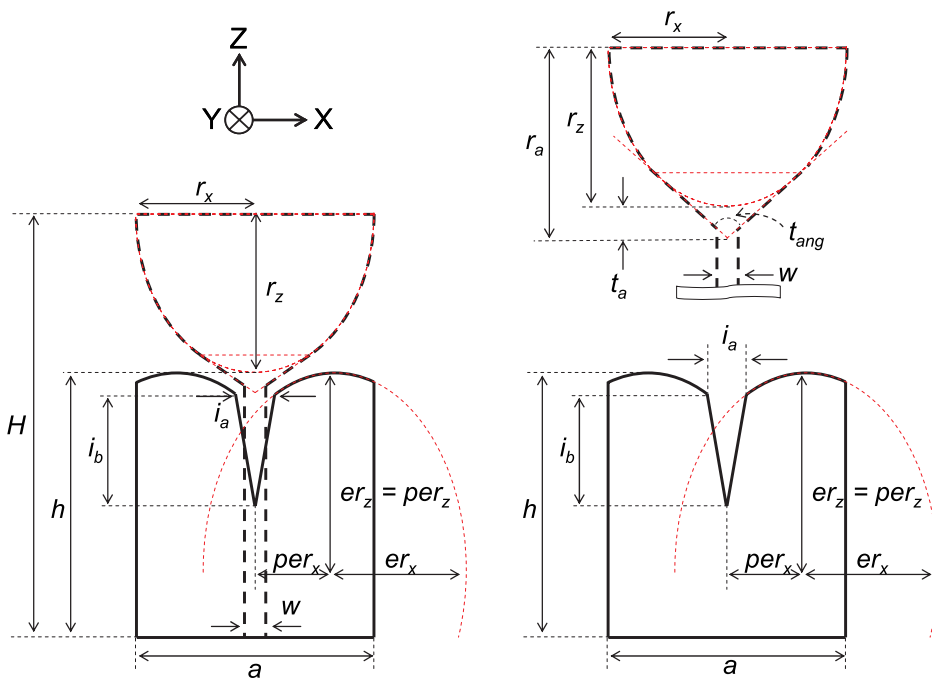


Fig.2 Flat type small volcano smoke antenna proposed in this paper and definition of geometrical parameters

とし、他方は、グラウンド導体とし、給電線路に沿って徐々に広がるようにテーパ状に形成し、さらに給電点から離れるにしたがって楕円曲線で描かれる形状（表面）としている。各寸法は、半楕円の長径 r_z 、短径 r_x 、半楕円形に外接する三角形の頂点位置 t_a 、頂角 t_{ang} 、上側放射板の

全長 r_a 、グラウンド導体幅 a 、グラウンド導体高さ h 、テーパ幅 i_a 、テーパ長さ i_b 、グラウンド導体の上部を丸める楕円曲線は、長径 er_z 、短径 er_x 、中心座標 (per_x , per_z)、マイクロストリップ線路のストリップ導体幅 w としている。

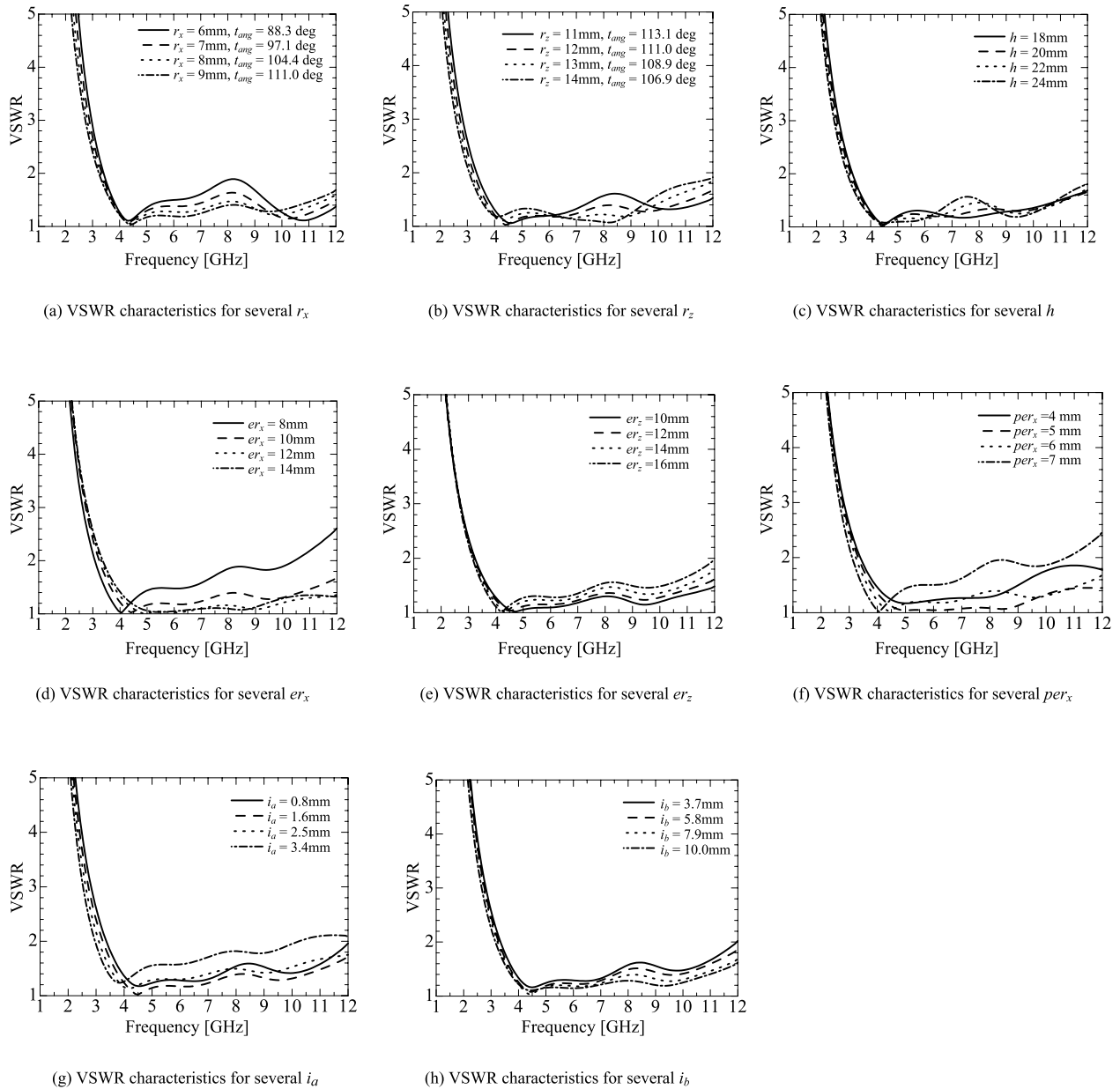


Fig.3 VSWR characteristics as a function of frequency of proposed antenna

3 各寸法に対する VSWR 特性の検討

Fig. 3 は、小型板状ボルケーノスモークアンテナを厚さ $t = 0.6 \text{ mm}$ のプリント基板（比誘電率 $\epsilon_r = 4.2$ ）上に形成し、アンテナの基本寸法を、半楕円の長径 $r_z = 12 \text{ mm}$ 、短径 $r_x = 9 \text{ mm}$ 、半楕円形に外接する三角形の頂点の位置 $t_a = 1.5 \text{ mm}$ 、頂角 $t_{ang} = 111.0^\circ$ 、上側放射板の高さ $r_a = 13.5 \text{ mm}$ 、グラウンド導体幅 $a = 18 \text{ mm}$ 、グラウンド導体高さ $h = 20 \text{ mm}$ 、テーパ幅 $i_a = 1.6 \text{ mm}$ 、テーパ長さ $i_b = 7.5 \text{ mm}$ 、グラウンド導体の上部を丸める楕円曲線は、長径 $er_z = 15 \text{ mm}$ 、短径 $er_x = 10 \text{ mm}$ 、中心座標 $(per_x, per_z) = (6, 15) \text{ mm}$ 、マイクロストリップ線路のストリップ導体幅 $w = 1.15 \text{ mm}$ とした場合の各寸法に対する VSWR 特性を検討したものであ

る。各寸法に対する VSWR 特性を把握することで、短時間に所望の特性のアンテナ形状へと追い込むことができる。解析には TLM 法（Flomerics 社：Micro-Stripes）を使用した。

Fig. 3 (a) に半楕円形放射板の短径 r_x に対する VSWR 特性を示す。ここで、半楕円に外接する三角形の頂角 t_{ang} も r_x の変化に伴い変化する。半楕円形放射板の短径 r_x の変化に対して、高域（9～11 GHz 付近）の共振周波数のみが変化を示す。

Fig. 3 (b) に半楕円形放射板の長径 r_z に対する VSWR 特性を示す。ここで、半楕円に外接する三角形の頂角 t_{ang} も r_z の変化に伴い変化する。半楕円形放射板の短径 r_x と同様、長径 r_z の変化に対して、高域（8～11 GHz 付近）の

共振周波数が大きく変化する。また、長径 r_z が大きくなるとアンテナ全長 H が大きくなり、最低共振周波数（4 GHz 付近）も変化している。

Fig. 3(c)にグラウンド導体の高さ h に対するVSWR特性を示す。グラウンド導体の高さ h の変化に対して、中域（5～8 GHz 付近）の特性が変化し、6.5 GHz 付近をさかいに、 $h \geq 22$ mm とすることで、5 GHz 付近の特性が良好になり、 $h \leq 20$ mm とすることで、7.5 GHz 付近の特性が良好になる。また、グラウンド導体の高さ h が変化することで、アンテナ全長 H が変化するが、最低共振周波数（4.5 GHz 付近）はほとんど変化しないことがわかる。

Fig. 3(d)にグラウンド導体の上部を丸める楕円曲線の短径 er_x に対するVSWR特性を示す。楕円曲線の短径 er_x が大きくなるにつれて、中高域（5 GHz 以上）のVSWR特性が良好になるが、最低共振周波数（4 GHz 付近）が上昇する。

Fig. 3(e)にグラウンド導体の上部を丸める楕円曲線の長径 er_z に対するVSWR特性を示す。楕円曲線の短径 er_x が大きくなるにつれて、最低共振周波数（4 GHz 付近）が低下するが、中高域（5 GHz 以上）のVSWR特性が悪化する。

Fig. 3(f)にグラウンド導体の上部を丸める楕円曲線の中心座標 (per_x, per_z) の per_x に対するVSWR特性の変化を示す。同図から per_x が大きいほど最低共振周波数が低下することがわかる。また、 $per_x = 5.0$ mm 付近に広帯域にわたってフラットな特性を持つ値が存在することがわかる。

Fig. 3(g)にテーパー幅 i_a に対するVSWR特性を示す。テーパー幅 i_a が大きくなるにつれて、最低共振周波数（4 GHz 付近）が低下し、3～4 GHz 付近のVSWR特性が良好になるが、4 GHz 以上では、 $i_a = 1.6$ mm 付近に最も良好になる値が存在することがわかる。

Fig. 3(h)にテーパー長 i_b に対するVSWR特性を示す。テーパー長 i_b が大きくなるにつれて、インピーダンス整合が改善し、全体的にVSWR特性が改善することがわかる。

4 試作アンテナの特性

Fig. 4は、試作した小型板状ボルケーノスモークアンテナの写真である。Fig. 4のアンテナは、Fig. 3の解析結果

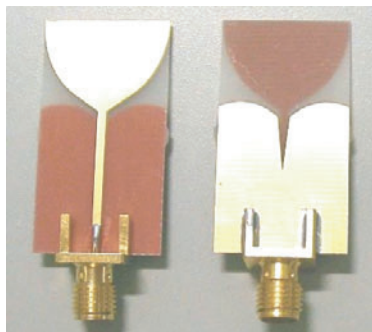


Fig.4 Proposed flat type small volcano smoke antenna

から、小型化を優先し、プリント基板のサイズを、縦 $H = 33$ mm、幅 $a = 18$ mm という条件のもとで、UWBの周波数帯で良好なVSWR特性を有することと、最低共振周波数がより低くなることを目指したものである。アンテナ各寸法は、半楕円の長径 $r_z = 12$ mm、短径 $r_x = 9$ mm、半楕円形に外接する三角形の頂点の位置 $t_a = 1.5$ mm、頂角 $t_{ang} = 111.0^\circ$ 、上側放射板の高さ $r_a = 13.5$ mm、グラウンド導体幅 $a = 18$ mm、グラウンド導体高さ $h = 21$ mm、テーパー幅 $i_a = 1.7$ mm、テーパー長さ $i_b = 8$ mm、グラウンド導体の上部を丸める楕円曲線は、長径 $er_z = 15$ mm、短径 $er_x = 10$ mm、中心座標 $(per_x, per_z) = (6, 15)$ mm、マイクロストリップ線路のストリップ導体幅 $w = 1.15$ mm である。

Fig. 5は、Fig. 4のアンテナのVSWR特性の測定結果と解析結果を比較したものである。解析値と実測値の比較をすると、共振周波数に若干のずれはあるもののほぼ一致している。このことからシミュレーションが妥当な結果であることが確認できる。また、実測値において、4.5 GHz、5.6 GHz、8.5 GHz 付近でVSWR特性に若干の劣化がみられる。これはコネクタの挿入やコネクタ部分の半田付けによる反射の影響と考えられる。

試作アンテナは、Fig. 5に示すように、3.1～11.5 GHz でVSWR ≤ 2.3 、帯域幅 115 % の良好な特性を示した。

Fig. 6(a)～(c)にFig. 4のアンテナの3.1 GHz、5 GHz、8 GHz、10.6 GHzにおける放射パターンの測定値（主偏波成分）を示す。

まず、XY面に着目する。Fig. 6(a)に示すとおり、水平面内（XY面内）においては、ほぼ無指向性を示している。水平面内のゲインは、 $-4 \sim 0$ dBi と一般的なダイポールアンテナと比較すると若干利得が小さいが、小型の広帯域水平面内無指向性アンテナとしては、十分な特性といえる。

次に、Fig. 6(b), (c)に示すYZ面、ZX面に着目する。3.1 GHzにおいて、半楕円形放射板からの放射が弱い特性となっているものの、中高域（5, 8, 10.6 GHz）において

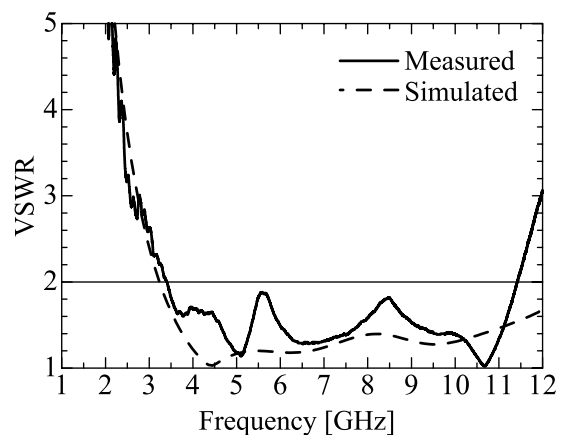


Fig.5 Comparison of VSWR characteristics obtained from analysis and measurement as a function of frequency

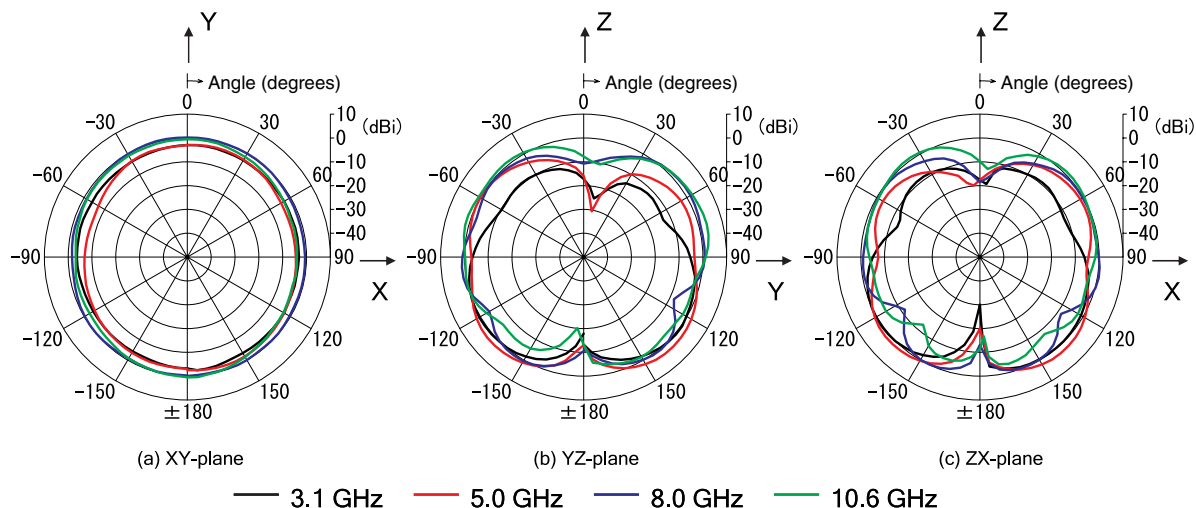


Fig.6 Radiation patterns obtained from measurements

は、一般的なダイポールアンテナの指向性に近い良好な特性となっていることがわかる。

したがって、携帯端末などに搭載する広帯域用の水平面内無指向性アンテナとしては、十分な特性と考える。

5 まとめ

本稿では、立体形状を有するボルケーノスモークアンテナを板状化および小型化した小型板状ボルケーノスモークアンテナを提案し、その特性の検討を行った。まず、電磁界解析によりアンテナの各寸法に対する特性を調べ、次に、実際にアンテナを試作し、実験により特性を評価した。その結果、提案する小型板状ボルケーノスモークアンテナは、水平面内無指向性を有し、UWBの周波数帯域を含む3.1-11.5 GHzで $VSWR \leq 2.3$ (帯域幅115%)の特性を得た。また、放射パターンの主偏波については、若干の指向性の変化はあるものの、ダイポールアンテナに近い良好な指向性が得られている。

本アンテナは、プリント基板を用い、マイクロストリップ線路による給電を行うため、携帯機器やウェアラブル機器などの高速大容量通信を行う小型無線端末などに内蔵可能と考える。

●参考文献

- 1) 越地福朗, 江口俊哉, 佐藤幸一, 越地耕二, “UWB用半円台形不平衡ダイポールアンテナの検討,” 2006 電子情報通信学会 総合大会, B-1-118, Mar. 2006.
- 2) J. D. Kraus and R. J. Roland, “Antennas, 3rd edition,” McGraw-Hill, 2003.
- 3) Lee Paulsen, J. B. West, W. F. Perger and J. Kraus, “Recent Investigations on the Volcano Smoke Antenna”, IEEE APS Int. Symp. Vol.3, 845- 848, Jun 2003.

- 4) 越地福朗, 江口俊哉, 佐藤幸一, 越地耕二, “小形板状ボルケーノスモークアンテナの検討,” 2006 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 最新の広帯域・マルチバンドアンテナ技術シンポジウム, BS-1-12, Sep. 2006.
- 5) F. Koshiji, T. Eguchi, K. Sato, K. Koshiji, “Proposal and investigation of a flat type small volcano smoke antenna”, 2006 International Symposium on Antennas and Propagation, Conf99a330-r307, Nov. 2006.
- 6) N. P. Agrawal, G. Kumar and K. P. Ray, “Wideband Planar Monopole Antennas”, IEEE Trans. on Antenna and Propagation, 46(2), 294- 295, Feb 1998.
- 7) T.Taniguchi and T.Kobayashi, “An omnidirectional and Low-VSWR antenna for the FCC-approved UWB frequency band”, IEEE APS Int. Symp. Vol.3, 460-463, June 2003
- 8) 越地福朗, 江口俊哉, 佐藤幸一, 越地耕二, “広帯域小型平面アンテナにおける放射板形状の検討,” エレクトロニクス実装学会 超高速高周波エレクトロニクス実装研究会, 5(3), Nov. 2005.
- 9) 齊藤昭, 岩木孝憲, 本城和彦, 佐藤謙一, 小山とよこ, 渡部貢市, “樹脂プリント基板上に作製したUWB用自己補対アンテナ小型化の基本検討,” 2004 電子情報通信学会 総合大会, B-1-73, Mar. 2004.
- 10) 河村尚志, 山本綾, 梅田等, 手代木扶, “UWB用自己補対スパイラルアンテナの伝送特性,” 2004 電子情報通信学会 総合大会, B-1-109, Mar. 2004.
- 11) 鉛谷充隆, 山本学, 野島俊雄, 伊藤精彦, “自己補対放射素子を用いたマイクロストリップ給電広帯域プリントダイポールアンテナ,” 電子情報通信学会 論文誌(B), 88-B(9), 1662- 1673, Sep. 2005.
- 12) 手嶋正雄, 島崎寛, 峯邑隆司, 天野隆, “広帯域台形形状モノポールアンテナに関する検討,” 2004 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-73, Sep. 2004.
- 13) 小林弘幸, 笹森崇行, 戸花照雄, 阿部敏士, “円形プリントモノポールアンテナの広帯域化の一検討,” 2006 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-1-114, Mar. 2006.
- 14) 倉本晶夫, “2種類の楕円状素子を平行に配置した平面型のUWBアンテナ,” 電子情報通信学会 論文誌(B), 88-B(9), 1710- 1717, Sep. 2005.