

# 平面型のUWBアンテナ

Flat Type UWB Antenna

倉本晶夫\*  
Akio Kuramoto

## 要旨

UWBシステムは、500MHz以上の広い帯域を用いて高速な情報伝送を実現するシステムです。近年、モノパルス方式やマルチバンドOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplex）方式による通信方式が提唱され、多くのアプリケーションへの応用が期待されています。本稿では、特にワイヤレスPAN、高速無線LAN用途に着目し、パソコンやワイヤレスTVなどの情報家電機器搭載用のアンテナを検討しました。

UWB帯域は、連邦通信委員会（FCC）により3.1～10.6GHzと定義されていますが、現状の無線LANやワイヤレスTVの使用周波数である2.4GHz帯の圧倒的な使用状況を考えると、開発するアンテナは、2.4GHz帯とUWB帯域（3.1～10.6GHz）をカバーしている方が有効です。さらに、将来的な観点から考えると、2GHz帯（1.92～2.17GHz）を使用する第3/3.5世代の携帯端末との情報交換や、2～11GHzを使用するIEEE802.16aの端末としての応用も想定され、1.92～11GHzで使用できれば理想的といえます。また、機器への内蔵を考えると、なるべく薄型・コンパクトであり、50Ωの同軸ケーブルで簡単に給電が必要です。さらに、アンテナの指向性としても、なるべく一様な放射が行われることが望ましいといえます。

本稿では、上記の条件を考慮し、1.92～11GHzのすべての帯域をカバーし、平面で、薄型・コンパクトのアンテナについて報告します。

The UWB (Ultra Wide Band) system will realize the high-speed data transfer using the wideband width more than 500MHz. Recently the mono-pulse system or the multi-band OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) system has been proposed and is expected to apply many kinds of applications. This paper focused on the antenna for wireless-PAN, or the high-speed wireless LAN system which will be installed in a PC, a wireless

TV and other home appliances.

The developed antenna for these appliances must cover from 3.1GHz to 10.6GHz defined as the UWB band by FCC and had better cover 2.4GHz band for the wireless LAN system, 2GHz band for the 3 or 3.5-Generation terminal and 2-11GHz band for the terminal as IEEE802.16a. On the other hand, the developed antenna should be flat and compact in order to be installed easily and fed by 50Ω coaxial cable in terms of easy RF interface. Additionally it is hopeful to have an omni-directional radiation pattern in the azimuth sweep plane.

Now we successfully developed the flat and compact antenna which covers the ultra wideband, which is from 1.92GHz to 11GHz including the 3 or 3.5-Generation band, 2.4GHz ISM band, IEEE802.16a band and UWB band. It is explained as follows in detail.

## 1. まえがき

UWB (Ultra Wide Band) システムに用いるアンテナは、非常に広い帯域特性を有している必要があります。広帯域のアンテナは、古くはVolcano Smoke アンテナ<sup>1)</sup>や、任意形状のディスク板を用いたアンテナなど<sup>2~5)</sup> がありますが、大きなグランド板が必要で立体的であったり、長い整合ラインが必要であるなど、機器筐体内への実装が難しいものばかりでした。本アンテナは、放射エレメントとして、大きさの異なる2枚の楕円状エレメントを用い、かつ、大きい方の楕円状エレメントに楕円の穴を設け、大きなグランド板の代わりに逆U字状のエレメントを使用することにより、平面状で、薄型・コンパクトな広帯域のアンテナを実現しました。

本稿では、前半に、金属板で構成した基本的なUWBアンテナの開発について述べ、2.4GHz帯無線LAN帯域～UWB帯域（2.4～10.6GHz）での特性を紹介しています<sup>6~8)</sup>。さらに、後半では、量産化を意識し、プリント板を用いた構成で実現し<sup>9)</sup>、帯域を第3/3.5世代端末帯域～UWB帯域

\* モバイルワイヤレス事業部  
Mobile and Wireless Division

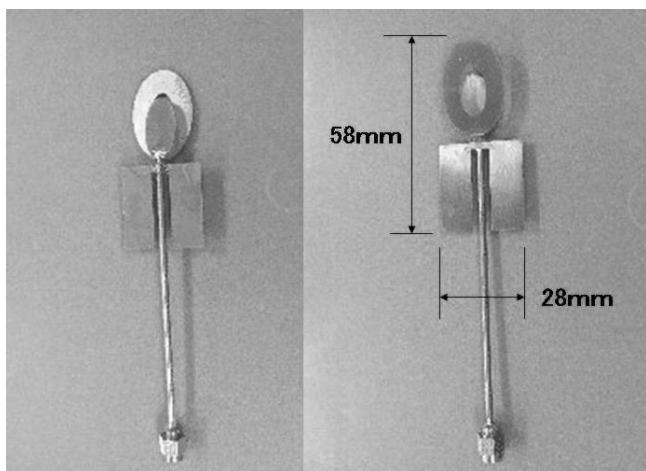
～IEEE802.16a帯域（1.92～11GHz）までカバーした特性を紹介しています。

## 2. 広帯域アンテナの構成

はじめに、金属板で構成されたUWBアンテナの外観を、写真1に示します。本アンテナは、放射エレメントとして大きな楕円状エレメント、小さな楕円状のエレメント、逆U字状のエレメントから構成されます。大きな楕円状エレメントには、小さな楕円状エレメントとほぼ同サイズの楕円の穴が設けられています。

これらのエレメントは、同軸ケーブルにより給電されます。この場合、2つの楕円状エレメントは同軸ケーブルの中心導体に、逆U字状のエレメントは同軸ケーブルの外部導体に接続されています。このようなユニークな形状により、薄型で広帯域な性能を得ることが可能となります。アンテナの大きさは、高さ58mm、幅28mmです。

次に、本アンテナの構成の検討プロセスについて、図1に示します。図1(a)は、Volcano Smokeアンテナです。このアンテナは立体的で広いグランド板が必要です。(b)は、Volcano Smokeアンテナの放射エレメント部を任意の形状の平面導体に置き換えたものですが、広帯域な特性を得るために広いグランド板が必要です。そこで、グランド板を省略するために、(c)のような上下対称なイメージエレメントを用い、テーパ線路により整合する方法を検討しましたが、平衡型で高インピーダンスのため、長いテーパ線路が必要になってしまいます。次に、グランド板を省略する施策として、(d)のように、イメージエレメントの代わりに、比較的広い帯域のとれる逆U字状のエレメント<sup>10)</sup>を用い、低い周波数帯でのインピーダンス整合を改善することができました。さらに高い周波数帯でのインピーダンス特性の整合のために、(e)のように高域用の小さなエレメントを付加しましたが、2つのエレメント間の相互結合が生じて特性が劣化したため、(f)のように低域用エレメントに相互結



(a)正面

(b)背面

写真1 UWBアンテナの外観

Photo 1 Outside view of UWB Antenna.

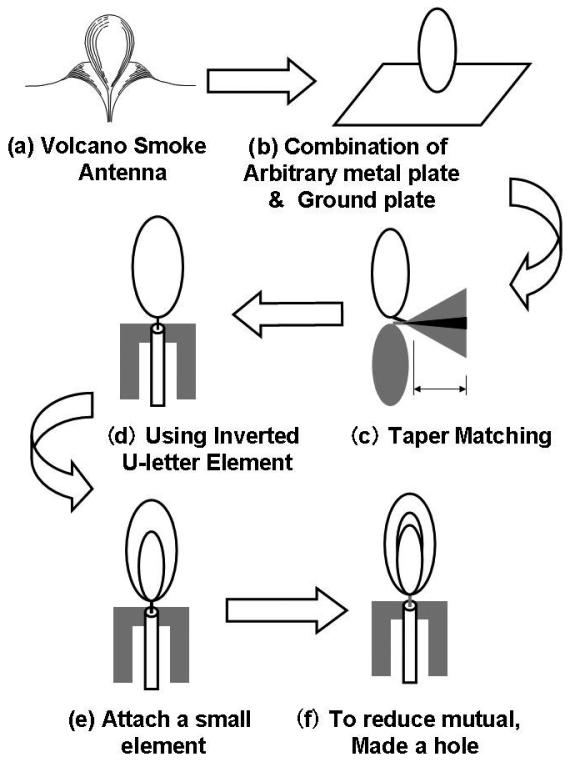


図1 アンテナ構成の検討プロセス

Fig.1 Process of consideration.

合を小さくするための穴を設けることにより、全帯域にわたって良好なインピーダンス整合をとることができました。

## 3. アンテナ設計

### 3.1 アンテナの構成とサイズ

図2に、本UWBアンテナの構造とサイズを示します。大きな楕円状エレメントおよび逆U字状エレメントの高さは、通常、最低使用周波数の波長を  $W_L$  としたとき、約  $1/4W_L$  が選択され、ここでは0.23波長および0.22波長が用いられています。

また、小さな楕円状エレメントの高さは、 $0.16W_L$  となっ

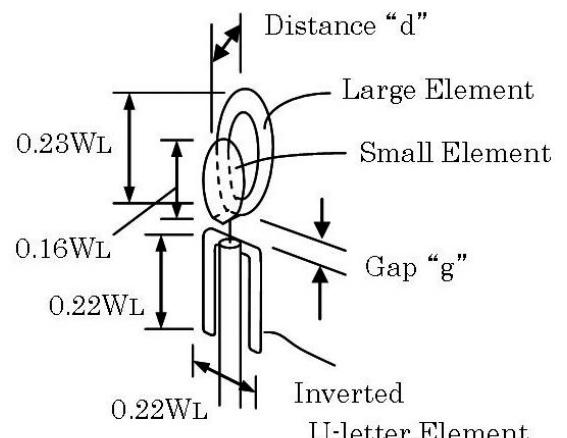


図2 UWBアンテナの構造とサイズ

Fig.2 Construction and size.

ています。図2において、インピーダンス整合特性に最も影響するのは、2つの楕円状エレメントの間隔“ $d$ ”と、楕円状エレメントと逆U字状のエレメントとの間のギャップ“ $g$ ”です。本UWBアンテナの寸法は実験的な検討により概略の値を調査した後、シミュレーションによる解析によって最適化し、決定しました。

### 3.2 シミュレーション解析

最適化は、モーメント法によるシミュレーション解析により行いました。シミュレーションには、NEC (Numerical Electromagnetic Code) を用いています。図3に、シミュレーションモデルの一例を示します。セグメント数は、最大3,422セグメントになっています。

図4に、2つの楕円状エレメントの距離“ $d$ ”を変化させたときの周波数に対するVSWR特性の計算値を示します。このとき、大きな楕円状エレメントと逆U字状のエレメントのギャップ“ $g$ ”は、1mmとしています。図4より、 $d = 6\text{mm}$ のとき、VSWRが最小であることが分かります。

次に、図5に、大きな楕円状エレメントと逆U字状のエレメントとの間のギャップ“ $g$ ”を変化させたときの、周波数に対するVSWR特性の計算値を示します。このとき、2つの楕円状エレメントの距離“ $d$ ”は、図4の最良パラ

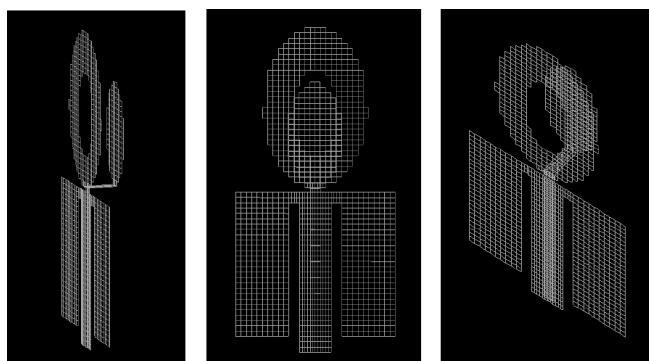


図3 シミュレーションモデルの一例

Fig.3 Example of simulated model.

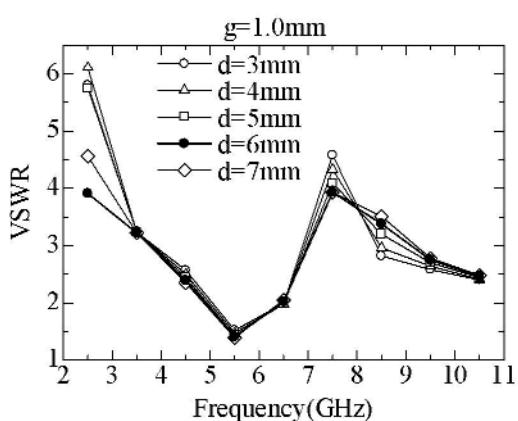


図4 “ $d$ ”に対するVSWR特性

Fig.4 Simulated VSWR versus “ $d$ ”.

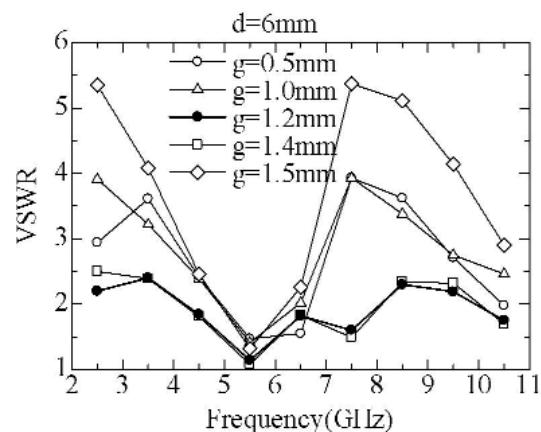


図5 “ $g$ ”に対するVSWR特性

Fig.5 Simulated VSWR versus “ $g$ ”.

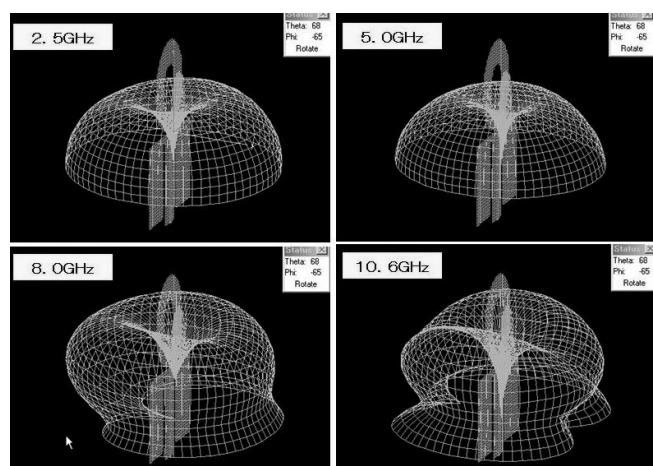


図6 3次元の放射パターン

Fig.6 3-dimensional radiation patterns.

メータである  $d=6\text{mm}$  としています。 $g=1.2\text{mm}$  のときにVSWRが最小となり、2.4~10.6GHzにおいて、VSWRが2.4以下となることが分かります。

図6に、本アンテナの3次元放射パターンの計算値を示します。なお、放射パターンは、上半球のみを表示しています。2.5GHzおよび5GHzの放射パターンでは、ドーナツ状の放射パターンが形成され、ダイポールアンテナと同じような放射パターン特性となっています。また、8GHzでは背面方向にヌルがあり、10.6GHzでは前後方向に小さなヌルが発生しています。これは、本アンテナの放射素子の非対称性によって生じているものと考えられます。

### 4. 電気的特性

次に、第3章のシミュレーション結果から試作したアンテナの電気的特性を示します。なお、試作したアンテナは、シミュレーションで得たパラメータで製作したアンテナについて実験的な微調整を加え、最終的に  $d=5\text{mm}$  となっています。

始めに、試作アンテナのリターンロス特性を図7に示します。

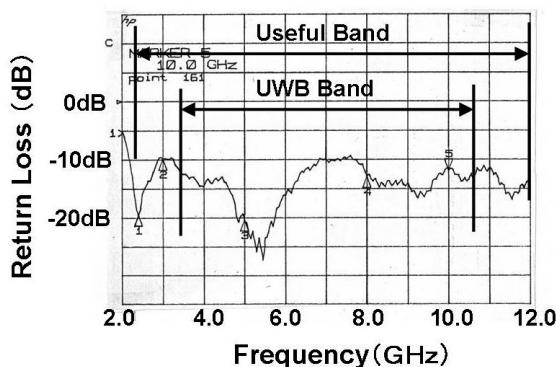


図7 試作アンテナのリターンロス特性

Fig.7 Return loss of trial antenna.

連邦通信委員会 (Federal Communications Commission : FCC) で定義する UWB バンドは 3.1 ~ 10.6GHz ですが、本アンテナは、2.4 ~ 12GHz まで良好なリターンロス特性を有しています。2.4 ~ 12GHz におけるリターンロスは、-9.5 dB 以下であり、VSWR では 2.0 以下になっています。

次に、図8および図9に、Azimuth面、およびElevation面の実測の放射パターン（正規化パターン）を示します。

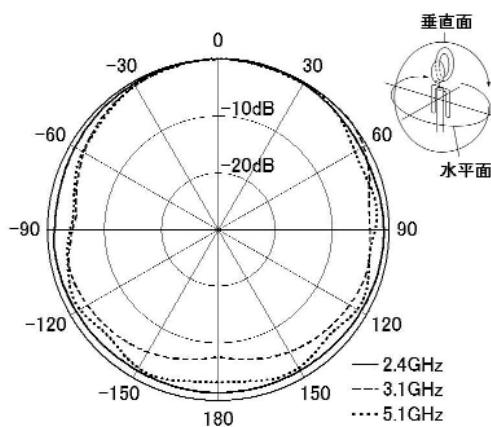


図8 Azimuth面の放射パターンの実測値

Fig.8 Measured radiation pattern in Azimuth plane.

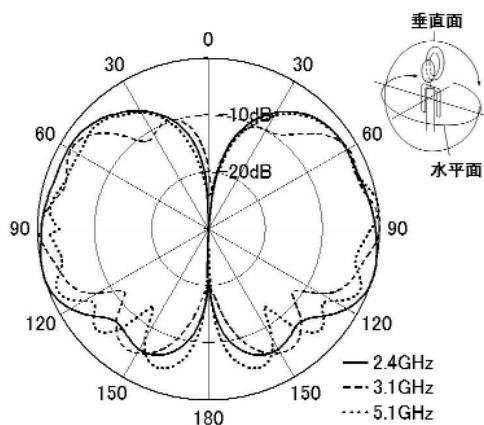


図9 Elevation面の放射パターンの実測値

Fig.9 Measured radiation pattern in Elevation plane.

表1 アンテナ特性一覧

Table 1 Antenna Performance.

項目	性能
周波数帯	2.4~10.6GHz
VSWR	2.0
ピーク利得	2.4GHz 2.6dBi
	3.1GHz 2.8dBi
	5.0GHz 3.0dBi
	8.0GHz 5.2dBi
	10.6GHz 2.9dBi
偏波	Vertical
アンテナ寸法	高さ 58mm
	幅 28mm
	厚さ 5mm

図8のAzimuth面の放射パターンでは、ほぼ無指向性の放射パターンが得られ、ワイヤレスPAN (Personal Area Network)などの用途においては好適と考えられます。

また、図9のElevation面の放射パターンにおいては、ほぼ8の字に近い形の指向性が得られており、良好といえます。

図8および図9の測定結果は、図6の計算結果とも、おおむね一致しています。

ここまで本試作アンテナの特性を表1にまとめます。

## 5. アンテナのプリント基板化

第4章までのUWBアンテナは、写真1に示す金属板による構成でしたが、今後の量産や特性の安定化を考えた場合、プリント基板によって構成した方が有利です。また、第4章までの構成では、アンテナの厚さは5mmでしたが、プリント基板構造にすることにより、さらに薄型化できれば、ワイヤレスPAN機器内への実装もより容易になるといえます。また、周波数帯域の観点から、2GHz帯における第3/3.5世代の端末にも応用したデータ伝送も考えると、1.92GHzからのカバーが必要になります。さらに、IEEE802.16aの端末では、上限11GHzまでの周波数に対応する必要があります。よって、プリント基板化と同時に、1.92~11GHzの帯域の適応も含めることにしました。

プリント基板化に際しては、はじめに使用するプリント基板を選定する必要があります。本UWBアンテナは、上限周波数として11GHzでの使用となるため、上限周波数でも低損失のテフロン基板を使用することにしました。使用したテフロン基板は、最も汎用なもので、厚さ0.8mm、比誘電率 $\epsilon_r=2.6$ の基板を使用しました。プリント基板を使用した場合についても、モーメント法によるシミュレーション解析により最適な寸法を計算しました。シミュレーションには、IE3Dを使用しました。

シミュレーションの一例として、図10に、小さな楕円状エレメントの高さ“hs”に対するVSWR特性の計算値を示します。図10では、小さな楕円状エレメントの高さが28mm

の場合、VSWRが最小になり、かつ2GHz付近で極小となることが分かります。このようにして、各部において寸法を最適化しました。

図11に、最終的なプリント基板の表面と裏面の構造と寸法を示します。基本的な構造として、図11は、写真1および図2の構造と変わっていませんが、大きな楕円状エレメントと小さな楕円状エレメントの接続を、スルーホールによって接続している点が異なります。寸法的には、最低使用周波数を1.92GHzとして $W_L$ を換算するように表記しています。図2の構造と比較して、波長換算で、小さな楕円状エレメント高さが約12%大きくなり、大きな楕円状エレメント高さが約25%小さくなっています。ただし、実寸法では、大きな楕円状エレメントの大きさはほとんど変化しておらず、外形寸法をほとんど変えずに、低域の周波数帯域を1.92GHzまで伸ばすことができました。なお、図11で示した寸法は、上記の最適化を実施後にプリント基板による試作を行い、VSWR最小となるように実験的に微調整を行った値です。

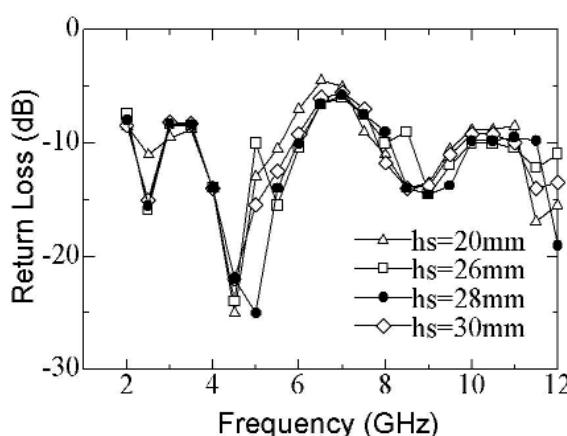


図10 小さな楕円状エレメントの高さに対するVSWR特性  
Fig.10 Simulated VSWR versus height of small element.

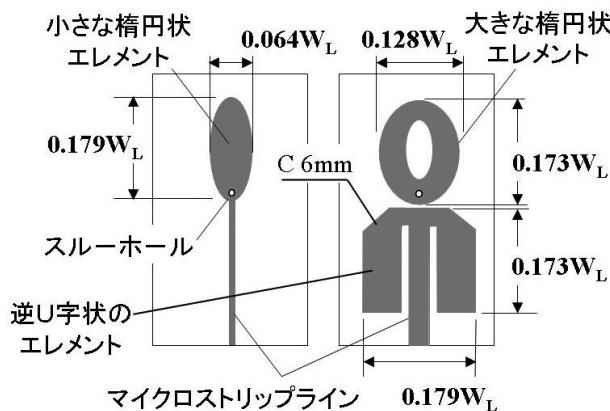


図11 プリント基板化したUWBアンテナの構造と寸法  
Fig.11 Construction and size of UWB Antenna by printed wired board.

## 6. プリント基板化したアンテナの特性

次に、プリント基板化したアンテナの電気特性の実測値について示します。図12は、プリント基板で試作アンテナのリターンロス特性を示します。目標としていた1.92～11GHzまで、リターンロス -9.5dB以下、すなわち、VSWR2.0以下の良好な特性が得られています。

次に、図13および図14に、Azimuth面、およびElevation面の実測の放射パターン(正規化パターン)を示します。図13では、ほぼ無指向性の放射パターンが得られています。Azimuth面内のリップルは、1.92GHzで2.9dBとなっています。また、ピーク利得は、1.92GHzにおいて、3.1dBiが得られています。図14のElevation面内の放射パターンにおいても、良好な8の字の放射パターンが得られています。

以上、プリント基板化した平面型のUWBアンテナの特性を、表2にまとめます。本アンテナは、第3/3.5世代端末、ISMバンドの2.4GHz無線LAN、FCC規定のUWBバンドおよびIEEE802.16aを含んだ1.92～11GHzで、良好な特性のアンテナといえます。

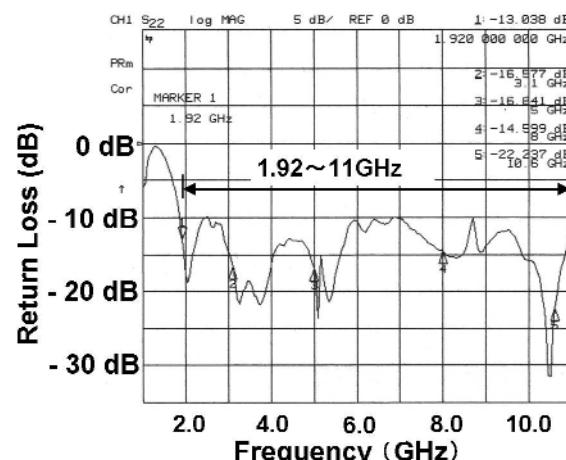


図12 試作アンテナのリターンロス特性  
Fig.12 Return loss of trial antenna by printed circuit board.

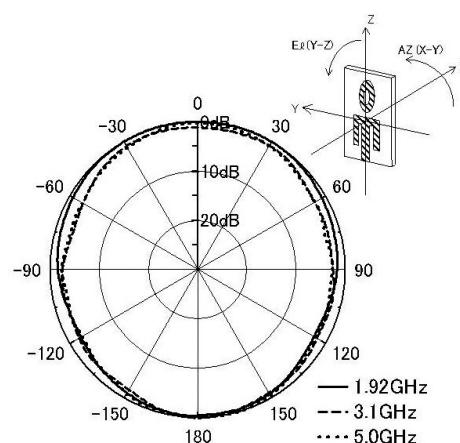


図13 Azimuth面の放射パターンの実測値  
Fig.13 Measured radiation pattern in Azimuth plane.

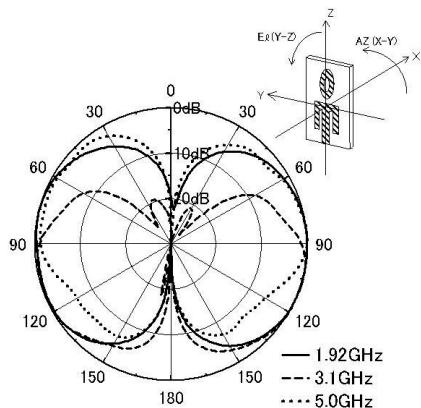


図14 Elevation面の放射パターンの実測値

Fig.14 Measured radiation pattern in Elevation plane.

**表2 アンテナ特性一覧**  
Table 2 Antenna Performance.

項目	性 能	
周波数帯		1.92~11GHz
VSWR		2.0
ピーク利得	1.92GHz	3.1dBi
	2.4GHz	1.8dBi
	3.1GHz	2.3dBi
	5.0GHz	2.8dBi
	8.0GHz	4.7dBi
	10.6GHz	4.3dBi
偏 波		Vertical
アンテナ寸法	高さ	67mm
	幅	29mm
	厚さ	0.8mm

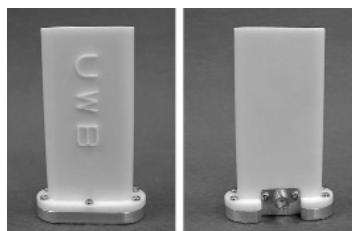


写真2 外付けアンテナの外観

Photo 2 Outside view as external antenna.

最後に、本アンテナの使用形態の1つである外付けアンテナとして用いる場合の外観を写真2に示します。写真2のアンテナの大きさは、高さ75mm×幅45mm(底部)×厚さ20mm(底部)となっています。

## 7. むすび

2つの楕円状エレメントと逆U字状のエレメントを組み合わせることにより、周波数帯域1.92~11GHzをカバーする広帯域のアンテナを実現しました。

金属板による構成では、モーメント法により寸法を最適

化して、実験で良好な特性を得ることを確認しました。

その後、プリント基板による構成について、再度、寸法の最適化を行い、計算と実験により、1.92~11GHzでVSWRが2.0以下となるように調整しました。放射パターンおよび利得を実験により確認し、おおむね全帯域で良好な特性が得られていることを確認しました。

本アンテナは、第3/3.5世代端末、ISMバンド(2.4GHz無線LAN)、FCC規定のUWBバンド、IEEE802.16aを含んだ1.92~11GHzにおいて良好な特性を示し、前記すべての用途に応用することができるアンテナとなっています。

## 参考文献

- 1) J.D.Kraus, "Antennas," 2nd Edition, pp.692-694, McGraw-Hill, New York, 1988.
- 2) S.Honda, M.Ito, H.Seki and Y.Jimbo, "A DISK MONO-POLE ANTENNA WITH 1:8 IMPEDANCE BAND-WIDTH AND OMNIDIRECTIONAL RADIATION PATTERN," Proc. of ISAP' 92, pp.1145-1148, SAPPORO, 1992.
- 3) T.Ihara and K.Tsunekawa, "Broadband Characteristics of Rounded Semi-Circular Antenna," Proc. ISAP' 96, pp.513-516, Chiba, 1996.
- 4) T.Taniguchi and T.Kobayashi, "An Omnidirectional and Low-VSWR Antenna for the FCC-Approved UWB Frequency Band," IEEE APS Int. Symp. vol.3, pp.460-463, June 2003.
- 5) J.A.Evans and M.J.Ammann, "PLANAR TRAPE-ZOIDAL ANTENTAGONAL MONOPOLES WITH IMPEDANCE BANDWIDTHS IN EXCESS OF 10:1," IEEE APS Int. Symp. vol.3, pp.1558-1561, July 1999.
- 6) 倉本晶夫,「平面型のUWBアンテナ」,2004信学総大, B-1-70.
- 7) 倉本晶夫,「Flat Type UWB Antenna」,2004信学ソ大, BS-8-1.
- 8) A.Kuramoto, "Flat Type UWB Antenna," Proc. of ICCEA2004, B1-017, pp.212-pp.215, Beijing, China, Nov. 2004.
- 9) 倉本晶夫,「プリント基板を用いた平面型のUWBアンテナ」,2004信学ソ大, B-1-118.
- 10) 北野進一郎, 菊地健一, 倉本晶夫,「2周波共用変形X型ダイポールアンテナの特性改善」,2003信学総大, B-1-149

## 筆者紹介



Akio Kuramoto

倉本 晶夫  
くらもと あきお  
1985年、NEC入社。現在、モバイルネットワーク事業本部モバイルワイレス事業部第六開発部マネージャー。電子情報通信学会会員。