

UWBリングフィルタとUWB平面アンテナ

UWB用として世界初の超広帯域リングフィルタと、体積比性能が世界最高クラスの平面アンテナを開発しました。UWBデバイスのキーデバイスとなるフィルタとアンテナを、プリント基板にパターン形成で実現したことで、小形・低背化実装が可能となります。

はじめに

UWB(Ultra WideBand)とは、中心周波数の20%または500MHz以上の帯域を利用した通信方式で、数百MHz～数GHzの極めて広い帯域を使用します。図1に示すように、出力がPCのノイズレベル以下と小さいので、既に使用されている周波数と共用できます。また、次のような特長があります。

- ・マルチパスによる干渉の影響を受けにくい
 - ・高速通信が可能
 - ・測位・測距応用
 - ・搬送波を用いないため、回路構成が簡単(インパルス方式)
- またUWBは非常に広い帯域を利用するため、従来なかったような超広帯域のバンドパスフィルタとアンテナが必要となります。

UWBリングフィルタ

UWBの変調方法は主に、インパルス方式、MB-OFDM(マルチバンド-直交波周波数多重分割)方式、DS-CDMA(直接拡散-符号分割多重接続)方式の3つに分類されます。

図2にFCCによるUWBスペクトルマスクを、図3～5にUWB変

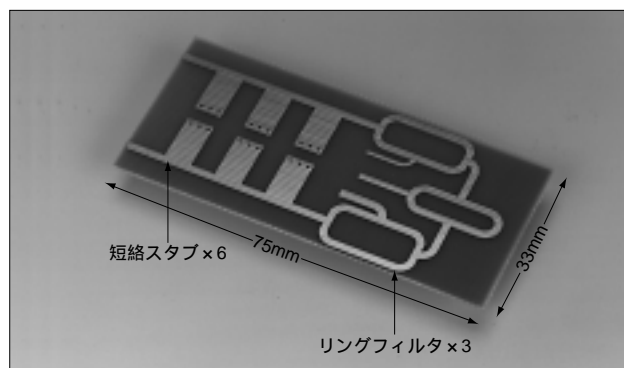


写真1 UWBリングフィルタ

図2 FCCによるUWBスペクトルマスク (FCC : Outdoor)

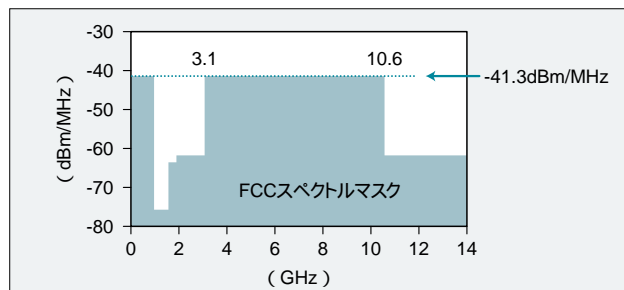


図1 スペクトル比較

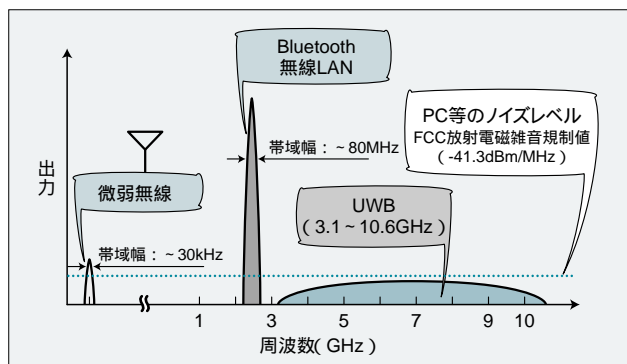
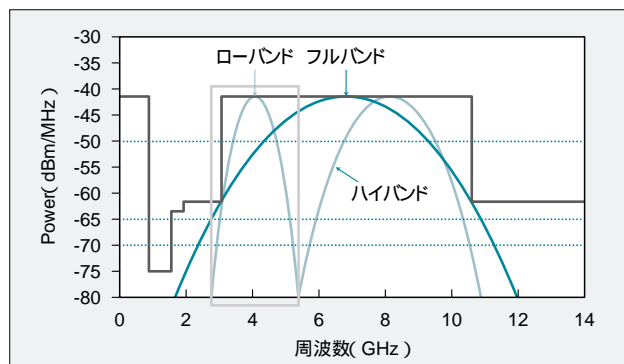


図3 インパルス方式の帯域



調方法の各方式の占有帯域を示します。FCCによるスペクトルマスクに対して、各方式とも5GHzを挟んでローバンドとハイバンドに分かれており、いずれの場合でも、先ずローバンドの帯域(3.1GHz~5.1GHz)から使われるだろうといわれています。そこで当社は、通過帯域3.1GHz~5.1GHzをバンドパスフィルタの開発ターゲットに設定しました。

バンドパスフィルタの基本には、リングフィルタ技術を応用していません。これには次のような特長があります。

- ・低損失で平坦な通過特性
- ・急峻な減衰特性
- ・多段接続しても特性が平坦
- ・ $Z_1 \sim Z_3$ のインピーダンス比で減衰極周波数を設定でき、広帯域化が可能
- ・プリント基板上で実現

図6にリングフィルタ例を示します。Port 1とPort 2は直接リング部につながっており、リングの実効周長は中心周波数の波長、開放スタブは $1/4$ 、特性インピーダンスはリング上部 Z_1 、リング下部 Z_2 、開放スタブ Z_3 とします。リングフィルタの左右対称性から、偶奇モード解析を行うと、減衰極は次式に表すことができます。

$$\tan^2 \rho = \chi \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) \frac{Z_3}{Z_2}$$

ρ は減衰極周波数を与える(電気長)

中心周波数を2GHzとして図6の $Z_1 \sim Z_3$ の値で算出すると、 $\rho = 36.6^\circ$ 、 143.4° となり、減衰極周波数はそれぞれ0.813GHz、3.19GHzとなります。この計算値は実測値とほぼ一致しており、確立された技術と考えられます。*1

図7に3段のリングフィルタ(イメージ)を示します。実際の設計

図6 リングフィルタ例

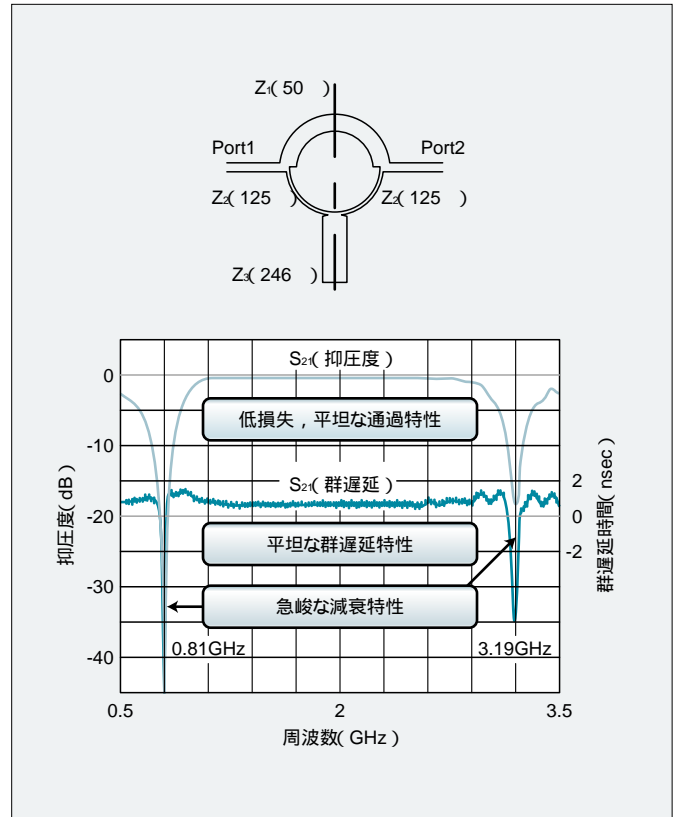


図7 3段のリングフィルタ(イメージ)

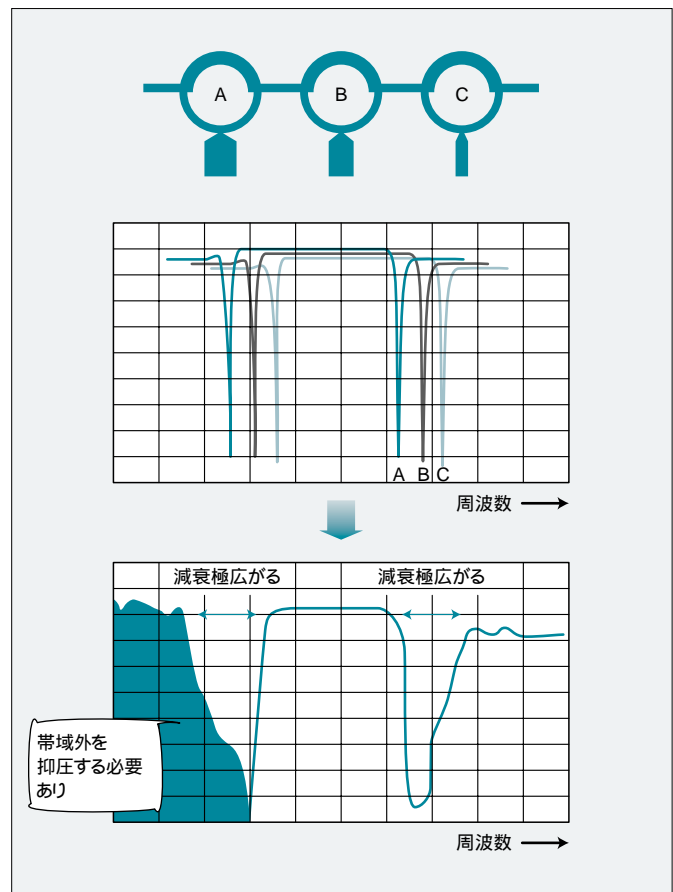


図4 MB-OFDMの帯域

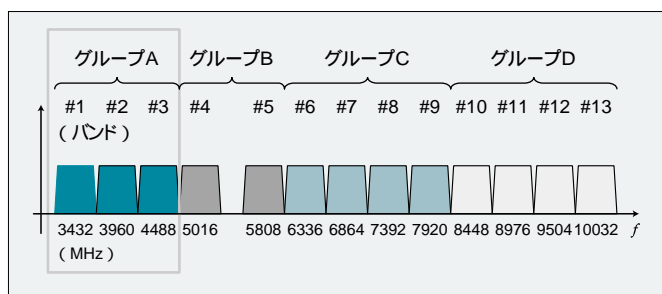
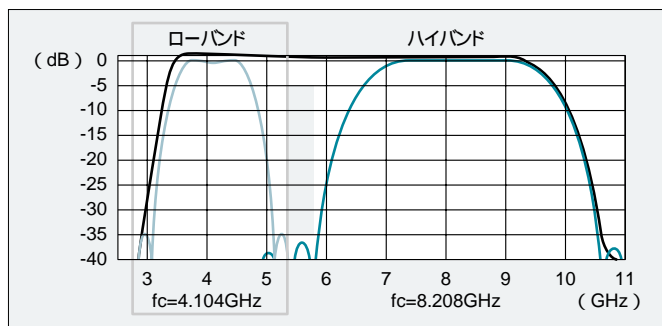


図5 DS-CDMA方式の帯域



では、この図に示すようにZ₀の異なるリングフィルタABCを3段重ね、各々の中心周波数もずらして減衰極の幅を広げています。しかし、リングフィルタ本来の急峻なバンドエリミネータ特性により、低域部分の抑圧が不十分です。このため、図8に示す短絡スタブを6段重ねたものを組み合わせました。これにより、挿入損失は6dB以下、3.1GHz以下の低域で25dB以上、5.1GHz以上の高域において17dB以上の減衰特性を得ました。また、バンドエッジでの100MHzあたりの減衰量は、低域で10.5dB、高域で8dB以上と、急峻な特性のリングフィルタを得ています。

表1にUWBリングフィルタ特性を、図9にUWBリングフィルタ周波数特性を示します。*2

UWB平面アンテナ

図10にUWB平面アンテナのアイデアを示します。広帯域アンテナとしては、の無限長バイコニカルアンテナが知られています。これをより現実的なアンテナにするため、無限長モノコーンアンテナ(), 有限長モノコーンアンテナ()の考え方を経て、の涙滴型モノポールアンテナが開発されました。このアンテナは、のVolcano Smokeアンテナを単純化したものとも考えられます。涙滴型モノポールアンテナは、ほぼ同じ大きさの有限長モノコーンアンテナよりVSWRを低くでき、3~20GHzにおいてVSWR < 1.3を実現しています。*3

当社のUWB平面アンテナは、さらに小形化・平面化し、プリント基板上に形成することを開発ターゲットとしました。涙滴型モノポー

表1 UWBリングフィルタ特性

項目	特性
帯域幅	1.6GHz(中心周波数4.1GHz)
比帯域	39%
帯域外抑圧	25dB以上(DC~3.1GHz)
挿入損失	6dB以下
サイズ	75mm x 33mm(t = 0.8mm)

図8 6段の短絡スタブ特性 (イメージ)

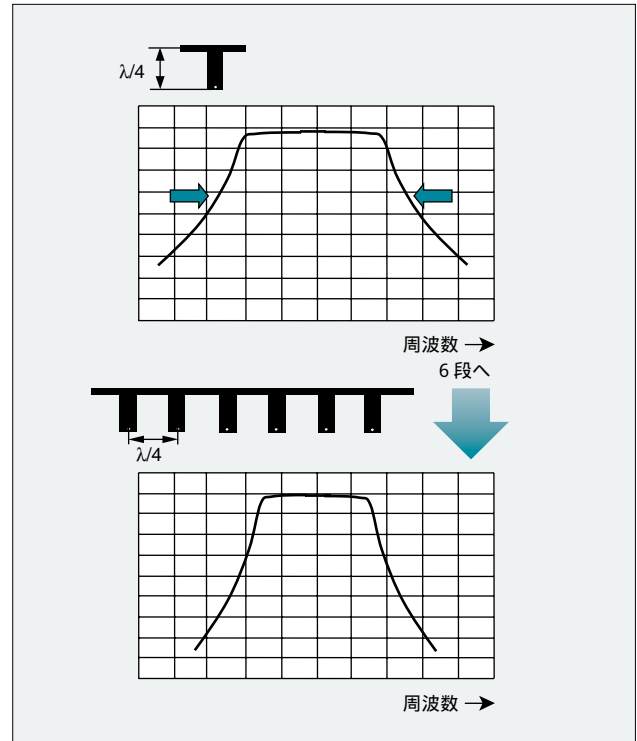


図9 UWBリングフィルタ周波数特性

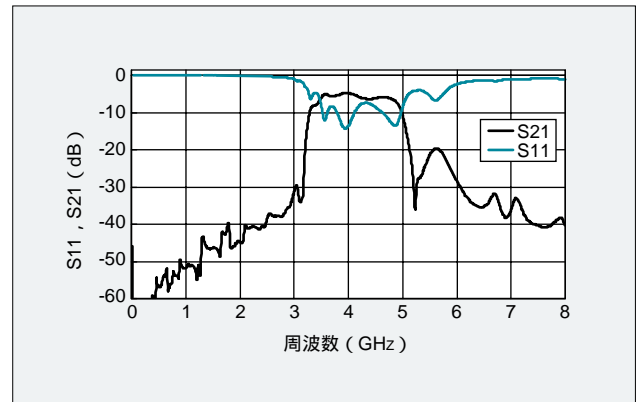
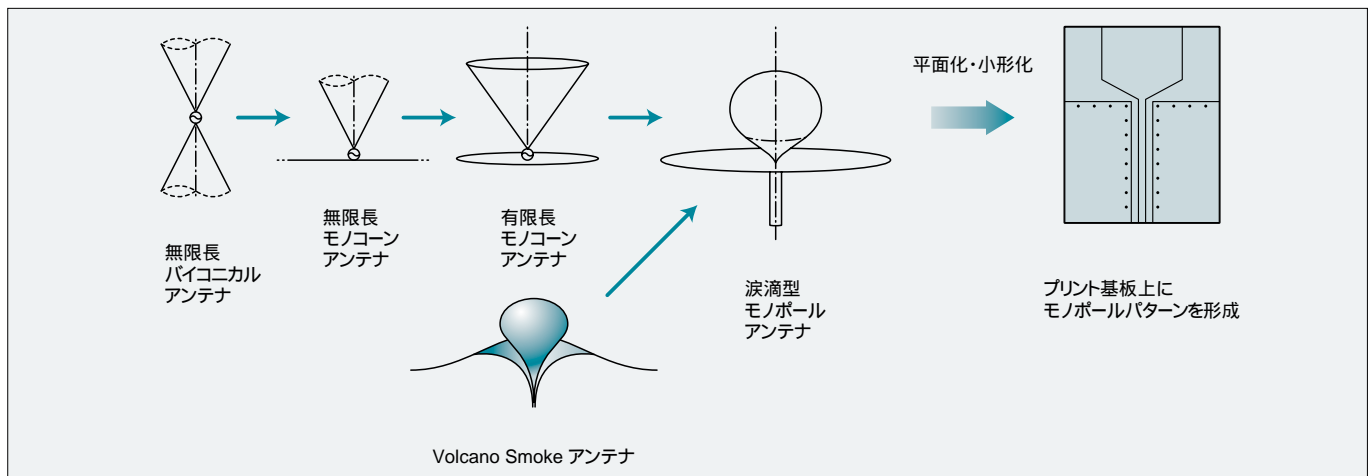


図10 UWB平面アンテナのアイデア



ルアンテナの断面形状をプリント板のパターンとして、モノポールに対向する地板の効果を確保するため、グラウンドパターンを大きくしました。グラウンドの大きさやモノポール形状などをパラメータにしてシミュレーションを行い、小形でVSWRの低い形状を見いだしました(図10)。給電には50Ωのストリップ線路を用いています。

写真2はFR-4プリント基板($t = 0.8\text{mm}$)にモノポールアンテナパターン形成し、パターン形状を最適化したものです。40mm×30mmの大きさで、3.1~10.6GHzにおいてVSWR < 2.2となり、実用的な値が得られました。(図11)

図12にXY面内の指向性を示します。これはシミュレーション結果と一致し、ほぼ無指向性のUWB平面アンテナを実現していることが分かります。*4

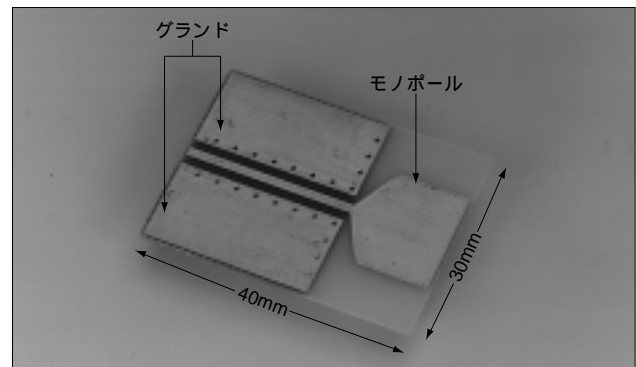


写真2 UWB平面アンテナ

アプリケーション

本UWBリングフィルタとUWB平面アンテナはプリント基板上に形成できるため、UWBチップセットを実装すれば容易に小形・低背UWBモジュールが構成できます。

またUWBは超広帯域であるため、マルチパスによる干渉の影響を受けにくいという特長があります。従来、微弱電波では通信できなかった領域(不感領域)でも通信でき、小形・低背・高性能モジュールへの応用も可能です。

さらにUWBの特長として、通信と同時に高精度の測位・測距ができるため、無線タグやレーダユニットへの応用も可能です。

[アプリケーション例]

- ・高速データ通信用デバイス
- ・キーボード、マウスなど近距離通信用デバイス
- ・無線タグなど測位・測距応用デバイス
- ・レーダユニット など

今後の展開

当社では無線実験局予備免許を取得し、インパルス送受信モジュールの試作と、データ伝送および電波伝搬実験を始めました。本UWBリングフィルタとUWB平面アンテナのさらなる小形化・高性能化を図り、近距離高速通信用デバイスや測位・測距用デバイスの実用化を目指して、技術と製品の開発に注力していきます。

* UWBリングフィルタは東京工業大学 大学院理工学研究科 荒木純道教授との共同開発です。
 * UWB平面アンテナは東京電機大学 情報通信工学科 小林岳彦教授との共同開発です。
 * 図3・図4・図5は、「総務省情報通信審議会情報通信技術分科会UWB無線システム委員会2004.2.2資料」より。

図11 VSWR特性

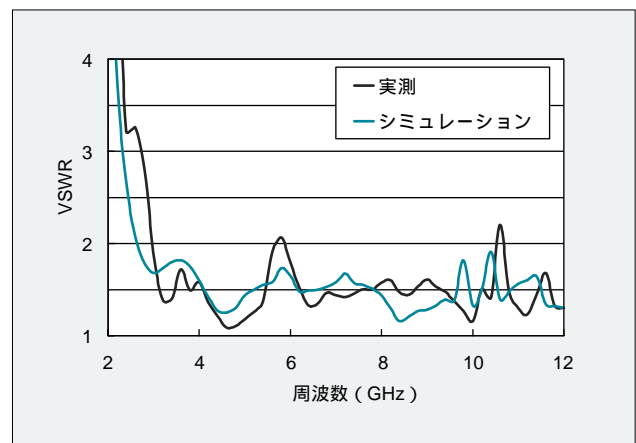
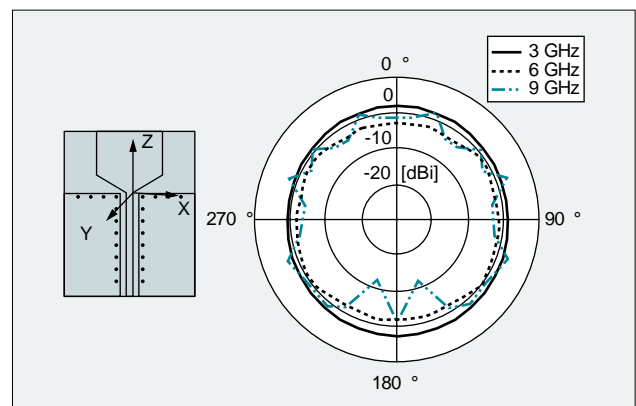


図12 XY面内指向性



[参考文献]

* 1 : H.Ishida and K.Araki, " Design and Analysis of UWB Bandpass Filter with Ring Filter ", IEEE MTT-S TH1A-5, June 2004.
 * 2 : 井上, 倉島, 柳, 有田, 石田, 荒木, " UWB用広帯域バンドパスフィルタの開発 ", 2004年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会, (2004-9)
 * 3 : T.Taniguchi and T.Kobayashi, " An omnidirectional and low-VSWR antenna for the FCC-approved UWB frequency band," 2003 IEEE AP-S International Symp., vol.3, pp. 460-463, June 22-27, 2003.
 * 4 : 柳, 倉島, 有田, 小林, " プリント基板上に形成したUWBモノポールアンテナ ", 2004年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, (2004-9)