

4-2 UWB 放射電力の時間領域測定

4-2 Power Measurement Emitted by UWB System in time Domain

石上 忍 後藤 薫 山中幸雄 松本 泰

ISHIGAMI Shinobu, GOTOH Kaoru, YAMANAKA Yukio, and MATSUMOTO Yasushi

要旨

Ultra Wide Band (UWB) 無線システムは、数 GHz にわたる帯域を持つ、電力スペクトル密度の低い信号を用いて通信を行う無線システムの総称である。米国連邦通信委員会 FCC は、2002 年に免許不要な無線局としての UWB 無線システムを民間において一定条件付で認可し、高周波機器及び免許不要局としての無線周波数機器の放射レベルの規制を規定している FCC Part 15 の UWB に関する記述を改定した。国際電気通信連合無線通信部門 ITU-R においては、UWB 技術の検討を行う TG1/8 (Task Group 1/8) が SG1 の下に設置された。TG1/8 は 2003 年 1 月から 2005 年 10 月まで、計 6 回開催され、UWB 特性、他の既存無線業務へのインパクト、スペクトラム管理フレームワーク、測定法の勧告案をまとめた。勧告案は連合国への郵便投票において規定数以上の賛成をもって勧告化される。会合全体を通して、我が国は入力文書を 30 件提出している。筆者は TG1/8 会合に第 1 回を除いて参加しており、また測定法に関する寄与文書を 7 件作成している。

本稿では、FCC における UWB システムの技術的要求条件と測定法及び ITU-R において作成された勧告案のうち、測定法に関する事項について概略を述べる。さらに FCC のピーク測定の見点を補うべく提出された、時間領域における測定法について述べ、実際の測定例を示した。さらに国内外の UWB システムの許容値の動向を示す。

ULTRA-wideband (UWB) technology is a wireless communications technology that transmits data with a low power-spectrum density with a bandwidth of several gigahertz. The U.S. Federal Communications Commission (FCC) approved the commercial implementation of UWB, within limits, in 2002. In ITU-R, Task Group 1/8 (TG1/8) was established to consider UWB standardization. TG1/8 was held six times from January, 2003 to October, 2005, and drew up drafts for new recommendation concerning the UWB characteristics, the impact to the other wireless communications, the spectrum management framework, and the measurement methods. The drafts will be published as new recommendations. Japanese administration had submitted 30 input documents through the entire meetings. The author delegated an expert to the TG1/8 except for the 1st meeting, and submitted seven contribution documents.

This paper describes the technical requirements and measurement methods of UWB system in FCC part 15 and in the drafts for new recommendations of ITU-R TG1/8. The paper also mentions a method of measuring the peak power-spectral density (PSD) of an ultra-wideband (UWB) transmitter in the time domain. The method uses a waveform reconstruction technique that enables an electric field to be reconstructed using a complex antenna factor of the receiving antenna and the waveform observed with an oscilloscope. In addition, the trends of UWB spectrum masks are shown.

[キーワード]

超広帯域無線システム, 測定法, 時間領域, ITU-R

Ultra-Wideband wireless system, Measurement method, Time domain, ITU-R

1 まえがき

Ultra Wide Band (UWB) 無線システムは、数 GHz にわたる帯域を持つ、電力スペクトル密度の低い信号を用いて通信を行う無線システムの総称である。その応用例としては、車載の近距離レーダや、数メートル程度の範囲における情報機器同士の情報伝送などが主なものである。例えば図1のように、複数のパーソナルコンピュータ(PC)やデジタル家電などに UWB 機器を組み込んで相互を無線によって結び、100~480 Mbps 程度の転送速度で動画像信号を高速に伝送するなどの応用が考えられる。通信可能な最大距離は 10 m 程度であり、その範囲内で従来の無線 LAN (Local Area Network) と比較し、高品質で大きな転送レートを実現しようとするものである [1] [2]。UWB システムは、上記の無線 USB のような用途のほか、通信機能を持つセンサを電子装置・機器に取り付け、装置の管理や環境の観測を行うセンサネットワークへの応用も考えられている。

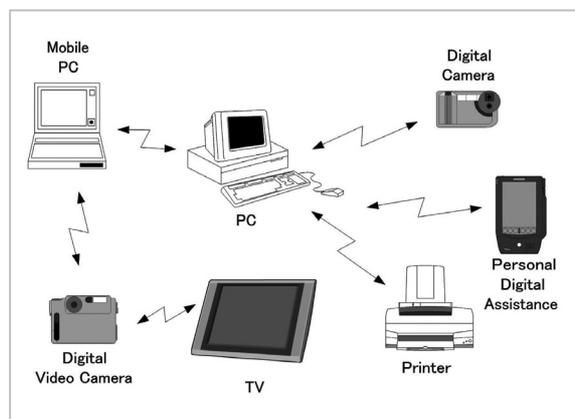


図1 UWB 無線システムの利用例

米国 FCC¹ は、2002 年に免許不要な無線局としての UWB 無線システムを民間において一定条件付で認可した。同年高周波機器及び免許不要局としての無線周波数機器の放射レベルの規制を規定している FCC Part 15 の UWB に関する記述が改定になり、FCC 02-48 文書が発行されている [3]。欧州では、現在 CEPT² が UWB 無線システムに関する標準化の検討を行っている。我が国では、総務省によって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が 2003 年 4 月に発足し、現在国内の標準化に向けての検討を行って

いる。さらに、電気通信業務に関する国際連合 (UN) の専門機関の一つである ITU³ においては、その一つの部門である ITU-R (無線通信部門) における 2002 年 7 月の SG1⁴ 会合で、UWB 技術の検討を行う TG1/8 (Task Group 1/8) が設置された。

TG1/8 は 2003 年 1 月から 2005 年 10 月まで、計 6 回開催された。TG1/8 には四つの WG (Working Group) が置かれており、WG1 は特性 (Characteristics)、WG2 は他の既存無線業務へのインパクト (Impact)、WG3 はスペクトラム管理フレームワーク (Spectrum management framework)、WG4 は測定法 (Measurements) である。WG1 が担当する勧告には、用語定義や UWB の定義等に関する事項が記述された。WG2 は UWB 既存の無線業務への影響 (インパクト) を担当し、勧告案には UWB と他の業務との共用基準が示され、干渉検討をまとめたレポート案が提出された。WG3 は、UWB システムの導入を検討する主管庁へのガイダンスとしてスペクトラム管理のフレームワークに関する勧告案を作成し、WG4 は測定技術を検討して勧告案を作成した。これら勧告案は親委員会の SG1 に提出され、勧告案が採択されれば、その後連合国への郵便投票となり、規定数以上の賛成をもって勧告化される。

会合全体を通して、我が国は入力文書を 30 件提出しており、うち測定法 (WG4) に関係する寄与文書は 22 件である。筆者は TG1/8 会合に第 1 回を除いて参加しており、また測定法に関する寄与文書を 7 件作成 [4] - [10] している。

本稿では、FCC における UWB システムの技術的要求条件と測定法の概略を述べ、また ITU-R において作成された勧告案のうち、測定法に関する事項について説明する。さらに通信システム EMC グループが作成した勧告案への寄与文書のうち、FCC のピーク測定欠点を補うべく提出された、時間領域における測定法について述べる。

- 1 Federal Communications Commission, 米国連邦通信委員会
- 2 Conference of European Postal and Telecommunications administration, 欧州郵便電気通信主官庁会議
- 3 International Telecommunication Union, 国際電気通信連合
- 4 Study Group 1, 周波数管理を担当する。

2 FCCにおける技術的要求条件と測定法

FCC Part 15^{[11][12]}の規定では、UWBシステムは幾つかのカテゴリーに分類される。主なものは3種類で、地中レーダや医療用のイメージングシステム、自動車レーダシステム及び通信・測定用システムである。自動車レーダシステムは準ミリ波である22 GHz～29 GHzを用いるが、そのほかのシステムでは原則として3.1 GHz～10.6 GHzのマイクロ波周波数帯域を使用する。

FCCでは送信機の部分的帯域幅として500 MHz以上かまたは式(1)を満たす比帯域幅を持つものをUWB無線システム⁵と呼んでいる。

$$\frac{2(f_H - f_L)}{(f_H + f_L)} \geq 0.20 \quad (1)$$

ただし f_H 、 f_L は周波数上限及び周波数下限であり、この周波数範囲内に最大放射を起こす周波数 f_M が存在する。なお、 f_H 及び f_L は、 f_M におけるレベルに対し10 dB減の周波数である。この技術的要求条件を満たすならば、インパルスラジオ(Impulse radio)、DS-SS(Direct Sequence Spread Spectrum, 直接拡散)、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 直交周波数分割多重)等、変調方式を問わずUWB無線システムと呼称できる。

FCCが分類している通信・測定用UWB無線システムに対する許容値、すなわちスペクトルマスクを図2に示す。屋内、屋外(ハンドヘルド)用とも、使用可能な周波数範囲である3.1 GHz～10.6 GHzの範囲において、その許容値は-41.3 dBm/MHzである。なお許容値が階段状に変化する周波数の境界では、レベルの低い方の許容値を

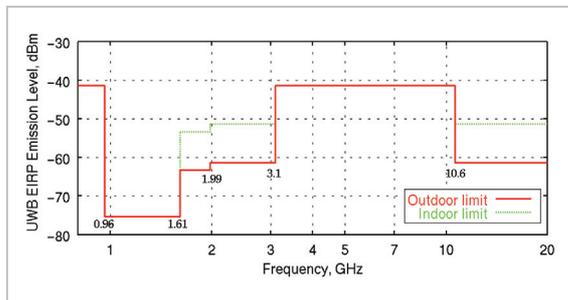


図2 通信・測定用UWB無線システムのスペクトルマスク(赤:屋外用、緑:屋内用)

満たすようにする。UWBシステムの仕様周波数帯域は、同図のとおり広範囲で、かつ既存業務の帯域と重複しており専用帯域を確保できないので、既存システムの帯域に重畳して使用することになる。

この許容値は、スペクトルを測定する測定器(スペクトラムアナライザなど)のモードをRMS(Root Mean Square)検波、分解能帯域幅(RBW, Resolution Bandwidth)を1MHzとし、EIRP(Equivalent Isotropically Radiated Power, 等価等方輻射電力)へ換算するという規定における値である。距離を3mとすると、dB μ V/m表示された電界はdBm表示されたEIRPに約95.23を加えた値となる。

通信・測定用UWB無線システムのスペクトルマスクは、上記以外に測定器のRBWを1kHz以上として表1の許容値を満たす必要がある。

表1 室内及び室外のUWB無線システムの許容値(追加)

周波数範囲[MHz]	EIRP[dBm](室内)	EIRP[dBm](室外)
1164-1240	-85.3	-85.3
1559-1610	-85.3	-85.3

FCC Part 15では、最大放射が発生している周波数 f_M で、RBW=50 MHzのピーク値測定においてEIRP値0dBmを許容値としている。しかしながら、スペクトラムアナライザでRBW=50 MHzを持つものは、現状ではほとんど普及していない。ゆえに選択可能なRBWでピーク値測定を行い、以下の式を用いて許容値を換算するか、あるいはまったく別の方法でピーク値を測定することになる。

$$P_{lim} = 20 \log_{10} \left(\frac{B_{RBW}}{50} \right) \quad (2)$$

ただし同式中、 P_{lim} と B_{RBW} は、それぞれ換算後の許容値[dBm]及び測定時のRBW[MHz]である。例としてRBW=3 MHzで測定したとすると、許容値は-24.4 dBmとなる。この換算による場合、RBW=3 MHz、VBW(Video Bandwidth, ビデオ帯域幅) \geq 3 MHzとし、スペクトラムアナライザはマックスホールドに設定する。

960 MHz以下の周波数はCISPR16-1-1^[13]に準拠し、準尖頭値(QP, Quasi-Peak)検波で測定す

る。RBW の値も CISPR16-1-1 で周波数範囲ごとに与えられている。960 MHz 以上の周波数では RMS モード、RBW は 1 MHz の設定とする。ただし 960 MHz を境界の周波数とするのは米国のみで、CISPR の規定では、準尖頭値測定の上限は 1 GHz である。

5 ITU-R 勧告案でも同じ定義。

3 ITU-R TG1/8 における測定法勧告案

本節では、ITU-R TG1/8 WG4 においてまとめられた測定法勧告案^[14]の主要な点を述べる。

3.1 平均電力測定

勧告案 2.4 節によれば、UWB 機器による放射における平均電力の測定法としては、スペクトラムアナライザ (EMI テストレシーバ等を含む) を用いた以下の 3 種類の方法が使用できる。

- (1) RMS 検波器を用いる場合
 - RBW = 1 MHz, VBW = 1 MHz 以上 (3 MHz 推奨)
 - 周波数スパンは測定上都合のよい値に設定 (測定点 600 ならば 600 MHz など)
 - 1 測定点当たり 1 ms の積分時間
- (2) ゼロスパンモードの場合
 - RBW = 1 MHz, VBW = 1 MHz 以上 (3 MHz 推奨)
 - ゼロスパン、サンプル検波
 - 1 ms の掃引時間、1 回掃引
 - 1 MHz ごとに中心周波数を動かし、以下の式で平均出力を算出 (n は測定点数、 $P(i)$ は各測定点における測定電力)

$$P_A = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n 10^{\frac{P(i)}{10}} \right) \quad (3)$$

(3) 電力積分による方法の場合

- RBW = 10 kHz, VBW = 30 kHz
- 周波数スパン 1 MHz、サンプル検波、読み値は dBm で設定
- 掃引時間はオート
- 1 MHz ごとに中心周波数を動かし、以下の式で平均出力を算出 (S_p はスパン、 k は RBW を等価雑音帯域幅に変換する係数)

$$P_A = 10 \log_{10} \left(S_p \times \frac{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n 10^{\frac{P(i)}{10}}}{RBW \times k} \right) \quad (4)$$

3.2 ラジオメータ法による微小電力測定

1~2 GHz の GPS 帯、また準ミリ波帯等における極めて低い許容値以下の電力を測定する場合、通常の方法では測定器のノイズに信号が埋もれてしまい、極めて困難となる。そこで、図 3 のようにラジオメータによる測定方法が提案されている。これは、まず電波吸収体の熱雑音温度を測定し、これを基準として、次に UWB 送信機からの雑音温度を測定し基準雑音温度と比較し、微小電力を知る方法である。この方法は、熱雑音レベル以上の電力であれば測定可能である。

3.3 ピーク電力測定

勧告案では、UWB 機器による放射におけるピーク電力の測定法としては、以下のスペクトラムアナライザによる方法と、または後の節で述べるオシロスコープを用いた方法が記述されている。

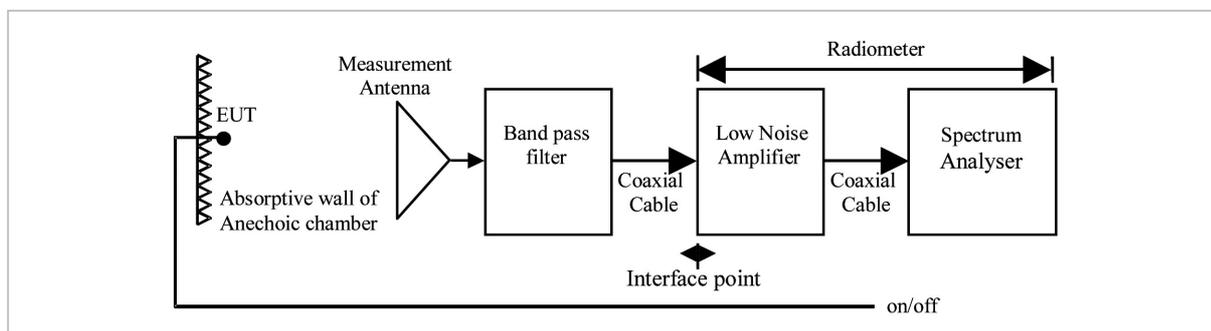


図3 ラジオメータ法による 1-2GHz 帯測定装置例^[14]

- (1) 50 MHz RBW から任意への RBW の許容値の換算式を用いる場合
 - RBW = 3 MHz (例), VBW = RBW の 1 倍以上 (3 倍を推奨)
 - 周波数スパンは測定上都合のよい値で
 - ピーク検波、マックスホールド
 - 掃引時間はオート
 - 許容値: $L_{3\text{MHz}} = L_{50\text{MHz}} + 20\log_{10}(3/50) = L_{50\text{MHz}} - 24.4 \text{ dB}$
- (2) 50 MHz RBW から任意への RBW の許容値の換算式を用いる場合
 - RBW = 3 MHz (例), VBW = RBW の 1 倍以上 (3 倍を推奨)
 - ゼロスパン、中心周波数は最大放射周波数
 - サンプル検波
 - 掃引時間はオート
 - CCDF (相補累積分布関数) を測定して、レイリー (Rayleigh) 分布に対し $\pm 2 \text{ dB}$ 以内であればガウス雑音とみなし、以下の式を許容値の換算に用いる
 - 許容値: $L_{3\text{MHz}} = L_{50\text{MHz}} + 10\log_{10}(3/50) = L_{50\text{MHz}} - 12.2 \text{ dB}$

3.4 時間領域における測定

UWB 送信機の開発段階などでは、送信電力のスペクトルのみならず、波形そのものを観測したい場合がある。その場合には一般的には時間領域における測定器、すなわちオシロスコープが用い

られる。ただし、オシロスコープで観測されている波形は、電界波形そのものではない。

図 4 は UWB 送信機の電界波形を測定する装置の例である。オシロスコープによって観測される波形 $v_m(t)$ には、上記のようなプリアンプやケーブルなどの装置群の特性がアンテナ出力 $v_a(t)$ に対して重畳されている。電界波形を求めるには、波形測定装置及びアンテナの特性を取り除かなければならない。この波形測定装置の等価回路を図 5 に示す。同図において、プリアンプ及びケーブルの S マトリクスを $S_a(f)$ 、オシロスコープの周波数応答特性を $S_{21o}(f)$ とし、また Γ_a 、 Γ_o をアンテナ及びオシロスコープ入力端子の反射係数とすると、電界波形 $E(t)$ は以下の式のように表される [16]。

$$E(t) = T_F^{-1} \left[\frac{(1 - S_{11a}\Gamma_a)(1 - S_{22o}\Gamma_o)}{S_{21a}S_{21o}} F_c(f) T_F[v_m(t)] \right] \quad (5)$$

ただし T_F 、 T_F^{-1} はそれぞれフーリエ変換、フーリエ逆変換を示している。また、 $F_c(f)$ はアンテナの複素、アンテナ係数 [15] である。なお、通常プリアンプの出力から入力への透過係数は入力から出力への透過係数 (増幅度) と比べて無視できるほど小さいので、 $S_{12a} = 0$ を仮定している。

図 6 は、インパルス発生器によって励振されたアンテナより放射される電界の波形を受信アンテナとオシロスコープを用いて測定する装置の例である。この例では、送受信アンテナにはダブルリッジガイドホーンアンテナを用い、送受信間の距

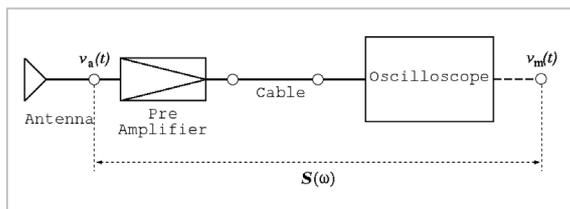


図4 波形観測装置の例

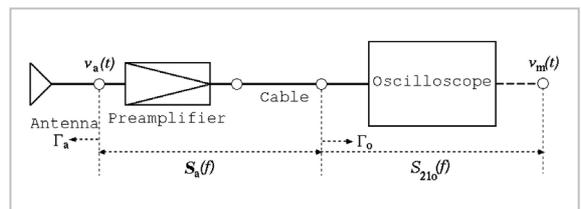


図5 波形観測装置の等価回路

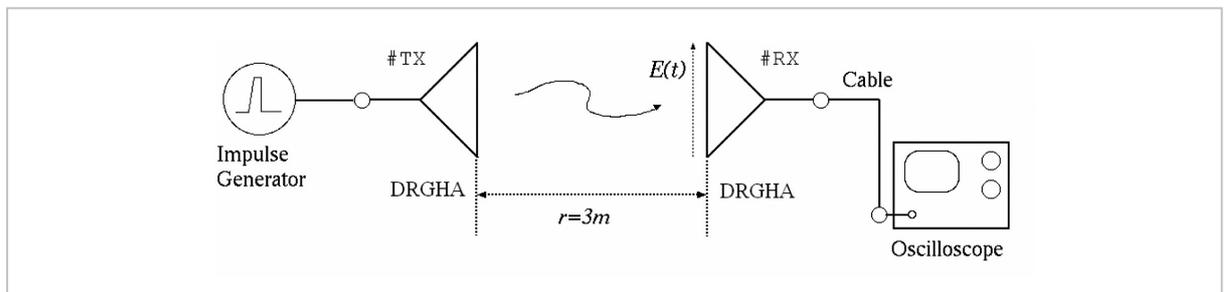


図6 UWB 電界波形測定装置の例

離は 3 m としている。インパルス発生器はインパルスラジオ方式の UWB 信号を模擬している。図 7 のオシロスコープ観測波形に対し、式 (5) に適用して求めた再生電界波形及びインパルス発生器の出力信号、送信アンテナの特性より計算した電界波形を図 8 に示す。同図より両波形の形及びピーク値はよく一致していることが分かる。また、ピークの立ち下がり時間についても、再生波形で 45.0 ps、推定波形で 50.0 ps であり、両波形は定量的にも一致している。なお同図の両波形は比較のため表示上の時刻を意図的にずらしている。

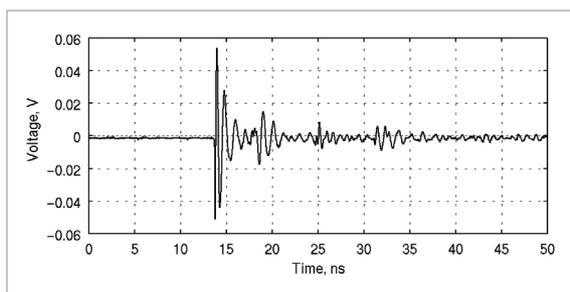


図7 オシロスコープ観測波形

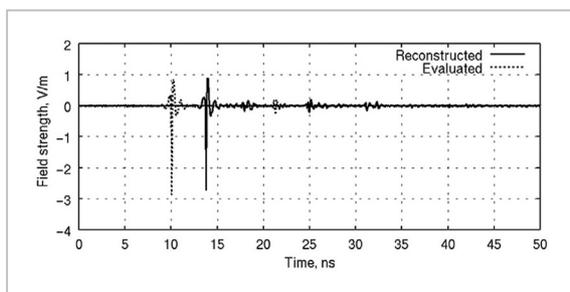


図8 再生電界波形及び推定電界波形

この手法を応用すると、50 MHz RBW におけるピーク電力を求めることができる。前節で述べたとおり、50 MHz の RBW を持つスペクトラムアナライザは現時点ではほとんど普及しておらず、式 (2) のような換算式が必要であった。式 (2) の換算は、方式によらず一律の許容値を当てはめるもので、方式によっては 0 dB/50 MHz の許容値よりも厳しくなるということもあり得る。特にスペクトラムアナライザは、RBW が 3 MHz を超えると IF (Intermediate Frequency、中間周波) フィルタが理想的な特性をとらなくなる傾向にあり、そのため RBW = 1 MHz ないし 3 MHz で測定して換算式を用いる方法を探らざるを得ない。ゆえに一番よいのは、換算式を用いるのではなく、

50 MHz 当たりのピーク電力が測定できることである。

一方時間領域における測定は、オシロスコープの周波数上限があり、それが周波数の制限となるものの、基本的には全周波数帯域における測定である。式 (5) による電界波形再生の際、以下の式のように、スペクトラムアナライザ (又は EMI テストレーバなど) の理想的な周波数応答特性、すなわち IF フィルタの応答特性に相当する関数 $X(f)$ を乗ずることで、 $X(f)$ によって帯域制限された電界波形 E_x が得られる。通常スペクトラムアナライザの IF フィルタはガウシアンフィルタであるので、50 MHz RBW のピーク電力を求めるためには、 $X(f)$ を 50 MHz 帯域幅 (-3dB) のガウス関数形とすればよい。ピーク電力はこの E_x より式 (2) の関係を用いて求められる。

$$E_x(t) = T_F^{-1} \left[\frac{(1 - S_{11a} \Gamma_a)(1 - S_{22a} \Gamma_o)}{S_{21a} S_{21o}} F_c(f) X(f) T_F [v_m(t)] \right] \quad (6)$$

例として、上記信号の 50 MHz 帯域幅ピーク電力を式 (6) より求める。ただし、このインパルス信号の最大放射周波数は 5.8 GHz である。このとき、50 MHz 帯域幅におけるピーク電界強度 $E_x(t)$ は 0.01683 V/m と計算され、これよりピーク電力は 85.0 μ W (-10.7 dBm) と求められる。

4 日本及び欧州におけるスペクトルマスクの検討

2005 年 12 月現在の欧州 (CEPT) 及び我が国の暫定マスクを図 9 に示す。我が国の暫定マスクは、MMAC 推進協議会等が行った UWB 無線システムと他の既存無線業務との共用検討の結果より作成されたもので、気象レーダや航空レーダ等の受動無線業務のある周波数や放送業務等に割り当てられている周波数に対して低い許容値が設定されている。したがって、上の帯域と下の帯域に分割するようなマスクとなっている。さらに下の帯域に関しては、UWB システムに干渉軽減技術を導入したもののみ -41.3 dBm/MHz の放射を許容している。一方欧州の暫定マスクは、基本的には日本のものと考え方が同じであるが、上下の帯域における周波数範囲が、欧州の周波数割当て事情に応じて若干日本とは異なっている。また、欧州マスクの 4.2~4.8 GHz に関しては、2010 年までの

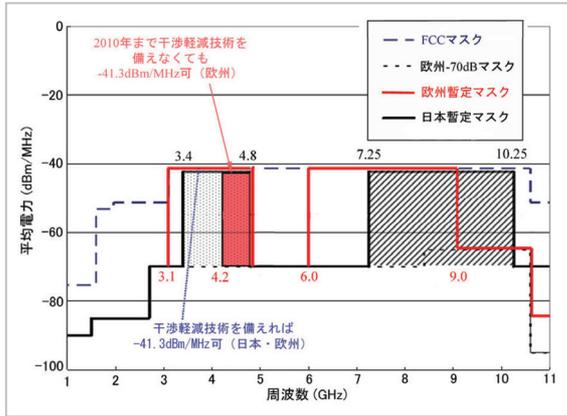


図9 欧州及び日本の暫定マスク (2005年12月現在) [17]

期間限定で干渉軽減技術なしでも -41.3 dBm/MHz の放射を許容している。

なお、欧州の場合は、下の帯域の周波数幅は 1.7 GHz ある一方で、日本の場合は 1.4 GHz となっている。仮に $1 \text{ バンド } 500 \text{ MHz}$ 帯域のマルチバンド OFDM をこの帯域でを使用することを考えた場合、欧州では 1 バンドグループ で 3 バンド 確保できるが、日本のマスクでは 2 バンド 分しか確保できない。したがって、今後その点も踏まえてマスクが検討されるか、または UWB 方式を考えるかすることになると思われる。

参考文献

- 1 河野隆二, “超広帯域無線技術 (UWB ; Ultra Wide Band) の特徴と実用化への課題”, 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共用モデル作業班第一回会合 参考資料 1, 2003.
- 2 情報通信審議会 UWB 無線システム委員会事務局, “UWB 無線システムの概要”, 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共用モデル作業班第一回会合資料 2008-作-1-8, 2003.
- 3 小林岳彦, “UWB 研究の流れと今後の課題”, 電子情報通信学会 MW/WBS 研究会パネル討論資料 PA-5, 2003.
- 4 ITU-R Document 1-8/44-E, "Proposed text for § 4.1.5 of a Working Document towards a PDNR ITU-R SM. [UWB.MES] concerning radiated measurements in a reverberation chamber", Oct. 2003.
- 5 ITU-R Document 1-8/47-E, "Proposed text for § 5.1.2.3 of the Working Document towards a PDNR ITU-R SM. [UWB.MES] concerning peak power measurement by using a spectrum analyzer", Oct. 2003.
- 6 ITU-R Document 1-8/49-E, "Proposed text for § 5.2.1 and § 5.2.2 of the Working Document towards a PDNR ITU-R SM. [UWB.MES] concerning the time domain measurements by using oscilloscopes", Oct. 2003.
- 7 ITU-R Document 1-8/148-E, "Proposed text for § 6.2.7 of the working document towards a PDNR SM. [UWB.MES] concerning time domain measurement of electric-field waveform", June 2004.

いずれにせよ、我が国も欧州も来年 3 月を目途に、スペクトルマスクも含めた UWB 無線システムの技術的条件をまとめる予定となっている。

5 まとめ

本稿では、FCC における UWB システムの技術的要求条件と測定法及び ITU-R において作成された勧告案のうち、測定法に関する事項について概略を述べた。さらに FCC のピーク測定の欠点を補うべく提出された、時間領域における測定法について述べ、実際の測定例を示した。また、国内外の UWB システムの許容値の動向を示した。

謝辞

有益なるご指導と測定器などのサポートを賜りました、NICT UWB 結集型特別グループの河野 GL 様、滝沢様、陸田様、西山様、JICA (元 NICT) の安井様、また NICT UWB コンソーシアム 新潟大学 佐々木先生、東京工業大学 高田先生、アドバンテスト 中田様、アンリツ 内野様、TELEC 中川様に深謝いたします。

- 8 ITU-R Document 1-8/151-E, "Proposed text for section 5.1.6 of working document towards a PDNR SM. [UWB.MES] concerning measuring receiver between 30MHz and 1000MHz", June 2004.
- 9 ITU-R Document 1-8/181-E, "Proposed modification of § 6.2.7.3 and 6.2.7.4 of the working document towards a PDNR ITU-R SM. [UWB.MES] concerning signal processing and post-processing of waveform data", Nov. 2004.
- 10 ITU-R Document 1-8/185-E, "Proposed modification of § 6.1.1 of the working document towards a PDNR SM. [UWB.MES] concerning the radiated power measured by using a reverberation chamber", Nov. 2004.
- 11 FCC Part 15, 2002.
- 12 FCC 02-48, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems", 2002.
- 13 CISPR Publication 16-1-1, Nov. 2003.
- 14 ITU-R Document 1/83-E, "Draft new Recommendation ITU-R SM. [UWB.MES] – Measurement techniques of ultra-wideband transmissions", Oct. 2005.
- 15 S.Ishigami, H.Iida and T.Iwasaki, "Measurements of complex antenna factor by the near-field 3-antenna method", IEEE Transactions. on EMC, vol.38, pp.424-432, Aug. 1996.
- 16 “電磁波雑音のタイムドメイン計測技術”, コロナ社, 1995.
- 17 ITU-R Doc.1-8/Temp191-E, "Draft new Recommendation ITU-R SM. [UWB.FRAME] – Framework for the introduction of devices using ultra-wideband technology", Oct. 2005.



いしがみ しげお
右上 忍
 無線通信部門通信システム EMC グループ主任研究員 博士 (工学)
 環境電磁工学



ごとう かおり
後藤 薫
 無線通信部門通信システム EMC グループ研究員 博士 (工学)
 環境電磁工学、無線通信



やまなか ゆきお
山中 幸雄
 無線通信部門 EMC 計測グループリーダー
 EMC 測定



まつもと たかし
松本 泰
 無線通信部門通信システム EMC グループリーダー 博士 (工学)
 環境電磁工学、無線通信