

UWB(ultra wideband)技術の概要

小林 岳彦

東京電機大学 工学部 情報通信工学科
ワイヤレスシステム研究室

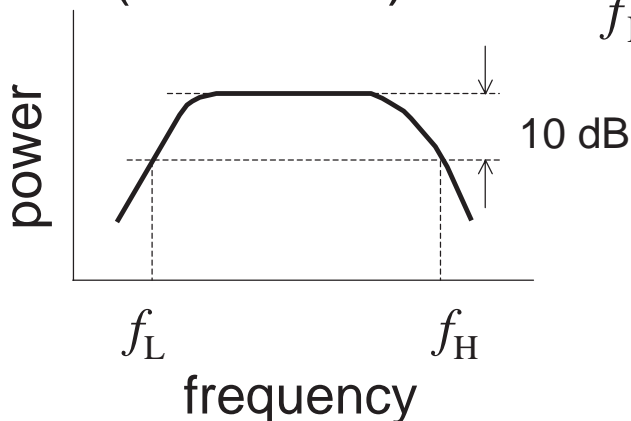
<http://www.wsl.c.dendai.ac.jp> koba@c.dendai.ac.jp

1. UWBとは何か
2. UWB事始め
3. 米国における規制緩和
4. WPANの標準化動向
5. 研究開発の動向
6. 法制化の動向
7. 今後の課題とまとめ

UWB(ultra wideband)の定義

- FCCの定義

Specific bandwidth(比帯域幅) = $\frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} > 20\%$



または帯域幅 > 500 MHz

(比較)

- VHF帯TV放送 6 MHz / 91.25 MHz = 6.6 %
- cdmaOne 1.25 MHz / 800 MHz = 0.15 %
- W-CDMA 5 MHz / 2.2 GHz = 0.23 %
- 無線LAN (IEEE 802.11b) 22 MHz / 2.45 GHz = 0.90 %

- 1990年ごろから使われるようになった言葉.
- 1994年ごろまでは軍事機密(米国).
- 当初は
 - ✓ 数10 psないし数psの短い時間幅のインパルスを直接に空間伝送するものを指していた
 - ✓ インパルスラジオ, キャリア(搬送波)なし
- その後
 - ✓ マルチバンドOFDMも登場(Σ 狭帯域 \Rightarrow UWB)

- 誤りなしに伝送可能なチャネル容量の限界

$$C = B \log_2 \left[1 + \frac{P}{BN_0} \right]$$

C : チャネル容量(b/s)

B : 帯域幅[Hz]

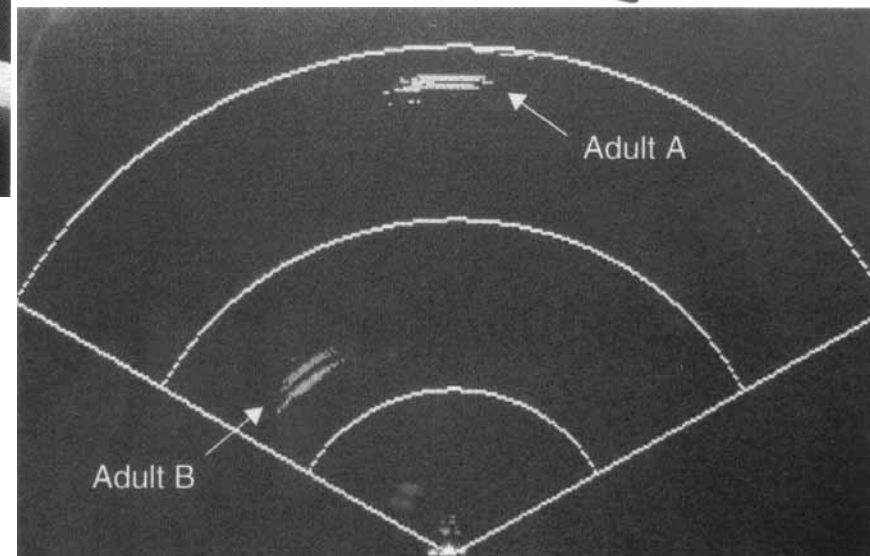
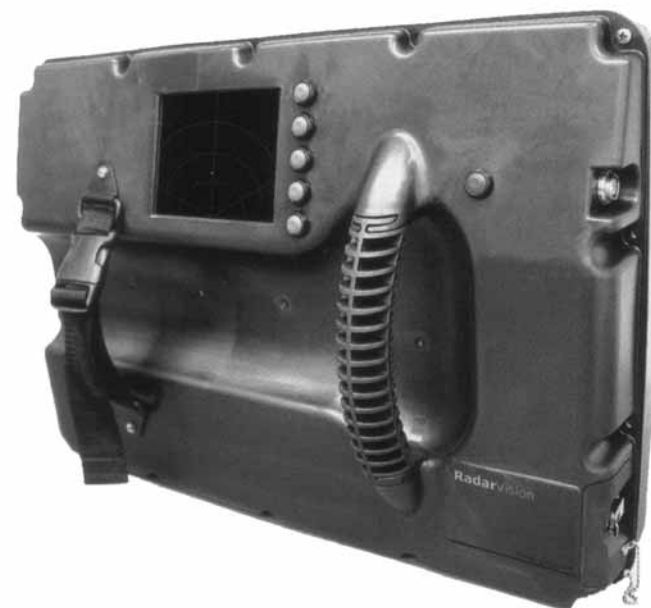
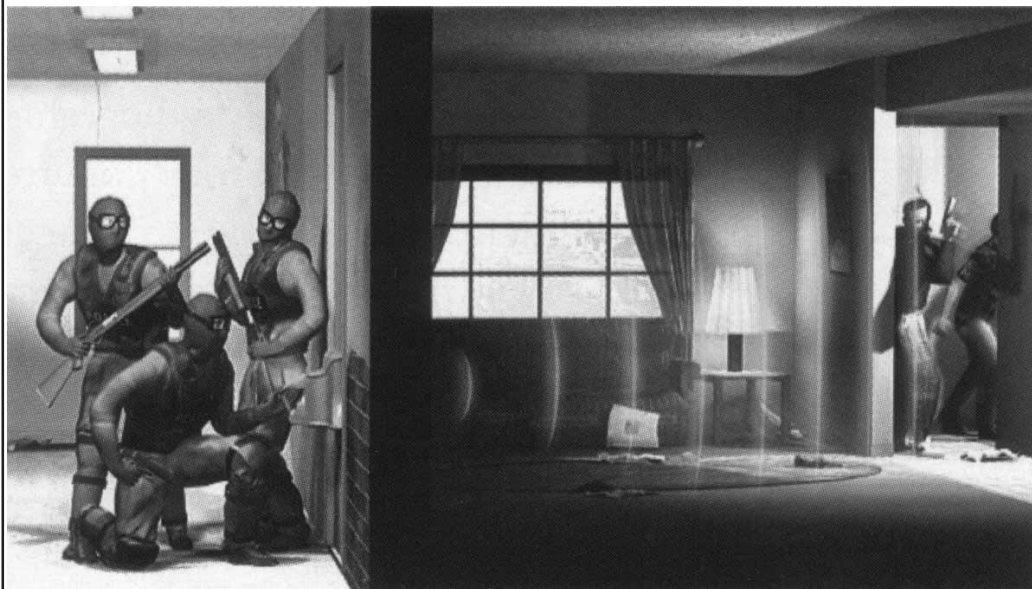
P : 信号電力[W]

N_0 : 雑音の電カスペクトル密度[W/Hz]

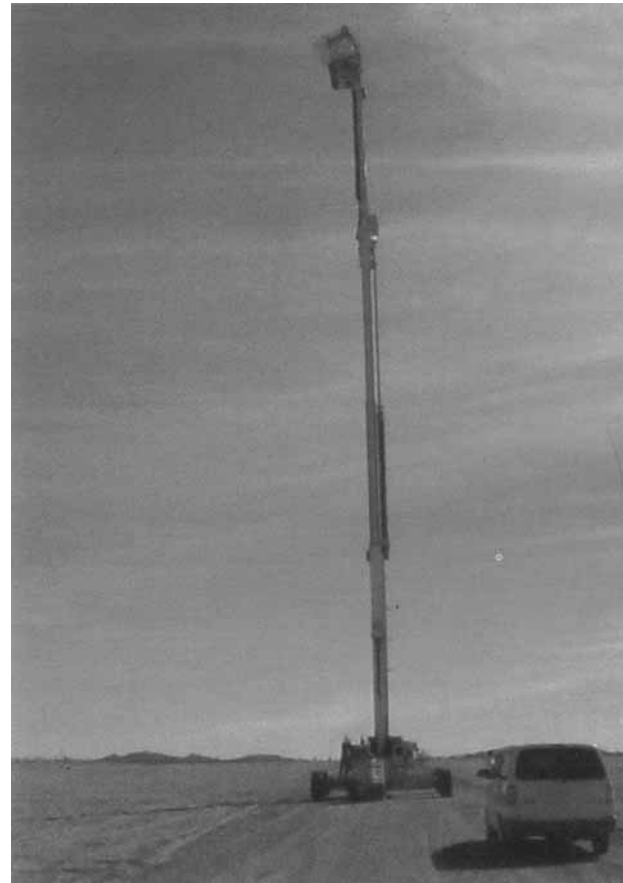
- チャネル容量は信号電力よりも帯域幅の関数としてより速く増加する.

⇒UWBによる超高速伝送の可能性

Wall Penetration Radar



Source: Time Domain Corp.



パルス立上り時間

150 ps

立下り時間

2 ns

ピーク送信電力

2 MW

ブーム長

45 m

US Army Research Laboratory BoomSAR

SAR = synthetic aperture radar (開口合成レーダ)

- 物理法則は不変
- UWBになったら何でも出来るという訳ではない
- それでも可能性は大きく広がる...
 - ✓ 高いマルチパス分離能力
 - ✓ 高い処理利得
 - ✓ 多重波環境でデッドスポットを生じない
 - フェージングマージンを小さくできる
- 超高速通信
- LPD/I (low probability of detection/interference)
- 高精度測位
- 高分解能レーダ
- 壁面/地面透過レーダ(ダイナミックレンジを広く取れる)
- 低コスト化, chip on everything
- センサネットワークの物理層

1. UWBとは何か
2. UWB事始め
3. 米国における規制緩和
4. WPANの標準化動向
5. 研究開発の動向
6. 法制化の動向
7. 今後の課題とまとめ

インターネットとUWBは兄弟

—その親は？

核兵器

1962. 7. 9 Starfishプロジェクト

ジョンストン島(ハワイ南西1,300 km)

における高高度核実験

TNT換算1.4 Mtonの原爆が高度400 kmで爆発

広島原爆(15 kton)の約100倍

- 2,600 km離れた地点でも目視
- オーロラが7分間継続
- ハワイの電力網・電話網・放送局ダウン
(街灯消える, ヒューズ・ブレーカ飛ぶ, 防犯ベル鳴動, . . .)

Starfish プロジェクト

- バンアレン帯の厚さ倍増→軍事衛星を含む多数の人工衛星に影響
- ガンマ線→コンプトン散乱→自由電子→地球磁力線に巻き付く→EMP(electromagnetic pulse)→送配電網や電話網が巨大受信アンテナ
- NEMP(nuclear electromagnetic pulse)の脅威を暴露

NEMPの脅威

- 命中精度の低い弾道ミサイルでも米国上空で核爆発が起これば、軍用通信網損傷



- Robustnessの強い通信網の開発(DARPA)
→ ARPANET(1969) → インターネット
- EMPの研究(LLNL¹, LANL², NBS³等の研究所, 大学)
→ UWB

¹ Lawrence Livermore National Laboratory

² Los Alamos National Laboratory

³ National Bureau of Standards(現在は National Institute of Standards and Technology)

- 1960年代 LLNLとLANLがEMPとその軍事システムへの影響の研究を主導
- 1964 HPとTektronixがタイムドメイン測定器発売
- 1973 インパルスラジオ特許(Sperry Rand)
- 1986 “Time Domain Measurements in Electromagnetics,” edited by E. Miller (LLNL)
- 1990年代 Microwave Impulse Radar特許
さまざまな機器(wall penetration radar, 軍用通信システム, 測位システム等)

1. UWBとは何か
2. UWB事始め
3. 米国における規制緩和
4. WPANの標準化動向
5. 研究開発の動向
6. 法制化の動向
7. 今後の課題とまとめ

[米国では電波監理はFCC(民間)とNTIA(国, 軍)の二本建て]

2002. 4 FCC Part 15改訂版を公表(FCC 02-48)

FCC Part 15: 高周波を用いる機器のEMI規制

最も広範に適用されるFCCのEMI規制であって、コンピュータ、デジタル機器に加えて、車庫の自動開閉装置、ラジコン玩具、コードレス電話等の意図的放射源をも包含

cf. 日本

免許不要の無線機器 → 電波法令

(電波法施行規則第6条, 総務省告示昭63第127号)

コンピュータ等のEMI規制 → VCCI*(自主規制)

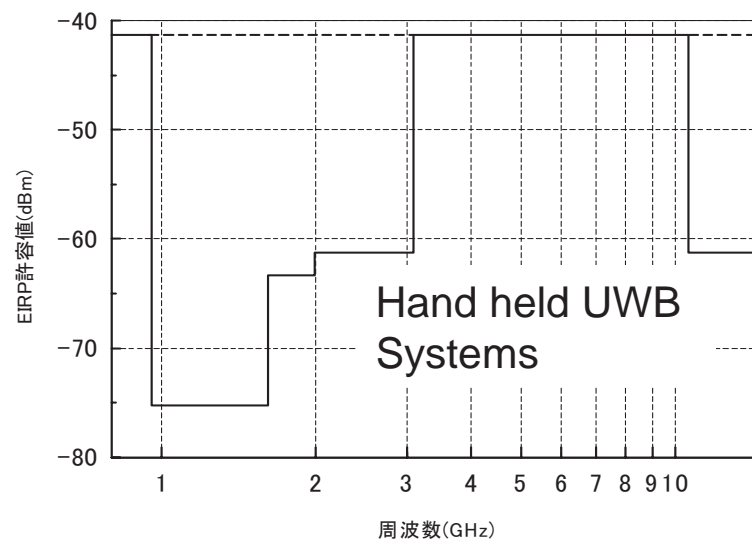
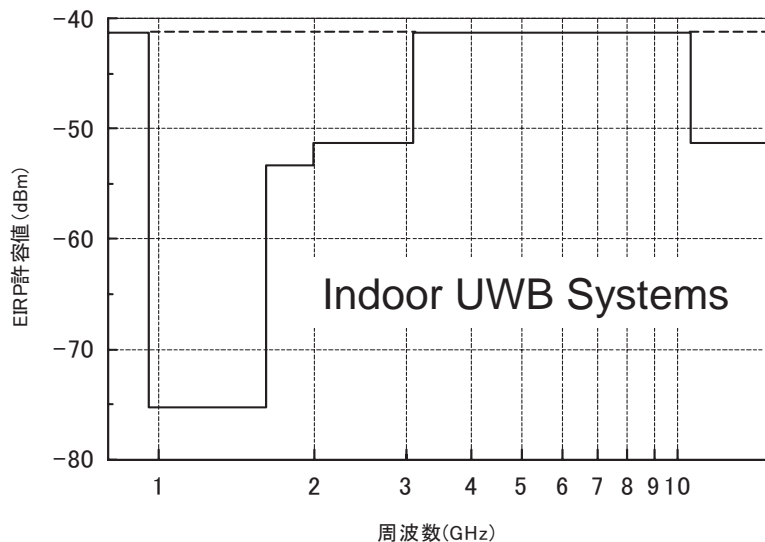
* 情報処理装置等電波障害自主規制協議会

UWB機器のカテゴリー分類と周波数指定

- Imaging Systems
 - Ground Penetration Radar Systems
(960 MHz以下または3.1 - 10.6 GHz)
 - Wall Imaging Systems (960 MHz以下または3.1 - 10.6 GHz)
 - Through-wall Imaging Systems
(960 MHz以下または3.1 - 10.6 GHz)
 - Surveillance Systems (1.99 - 10.6 GHz)
 - Medical Systems (3.1 - 10.6 GHz)
- Vehicular Radar Systems (22 - 29 GHz)
- Communication and Measurement Systems
(3.1 - 10.6 GHz)

- Communication and Measurement Systems

Frequency (MHz)	EIRP (dBm)		
	Indoor UWB Systems	Hand held UWB Systems	
960 - 1,610	-75.3	-75.3	→GPS等の保護
1,610 - 1,990	-53.3	-63.3	
1,990 - 3,100	-51.3	-61.3	
3,100 - 10,600	-41.3	-41.3	
above 10,600	-51.3	-61.3	



- 積極的なUWB推進
 - コミッショナのコメント:
 - “I strongly support...”
 - “I am excited...”
- 放射強度許容値は “extremely conservative”
- NTIA (GPSに対する干渉を解析・実験・評価)以外からの慎重なコメントには全て否定的:
- 本当か?

米国の情報政策・産業政策(2/2)

- 情報政策は国家安全保障政策の(重要な)一部
 - NII(National Information Infrastructure)構想
- ディフェンスコンバージョン政策
 - 最大の成功例はインターネット
- プロパテント政策(1970年代後半以降)
 - 1976 鉄鋼生産量で日本が米国を抜く
 - 1983 機械類輸出額で日本が米国を抜く

「サイバーフロンティアの開拓」1992 クリントン

cf. 1957 スプートニクショック → ニューフロンティア
(ケネディ)

フロンティアでは早い者勝ち・一人勝ち

ex. ルータはアメリカがほぼ独占

UWBも要注意?

1. UWBとは何か
2. UWB事始め
3. 米国における規制緩和
4. WPANの標準化動向
5. 研究開発の動向
6. 法制化の動向
7. 今後の課題とまとめ

正式名称: IEEE 802.15 WPAN High Rate Alternative PHY Task Group 3a (TG3a)

目的: IEEE 802.15.3 (データ速度11~15 MbpsのWPANに関するMAC層およびPHY層の標準化を2001年に完了)に対し, より高速伝送を可能にするためのPHY層の改定

802.15.3 MAC & PHYの特徴:

- データ速度11, 22, 33, 44および55 Mbps
- QoSアイソクロナスプロトコル
- アドホックP2Pネットワーク
- セキュリティ
- 低消費電力
- 低価格
- 画像/マルチメディアを含む携帯型アプリケーションに対応

MB-OFDM vs. DS-UWB 攻防史

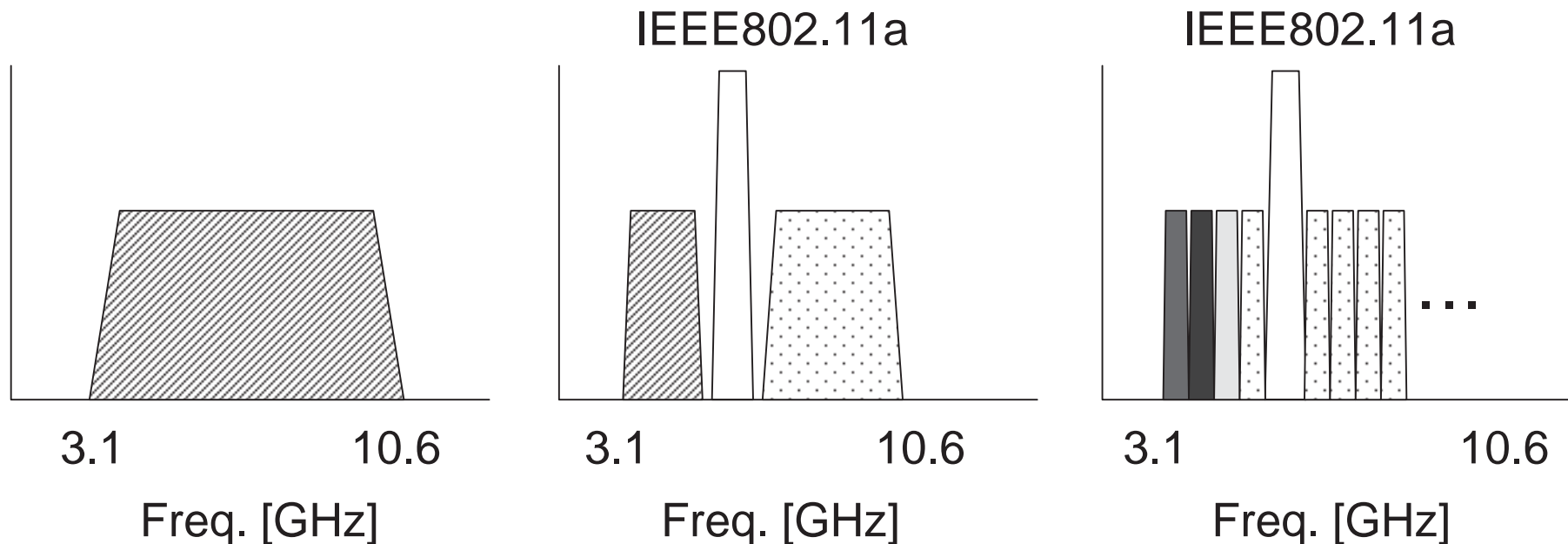
2001年12月	IEEE 802.15にSG3a 発足
2002年 1月	Call for Applications 発出
2002年 2月	Call for Proposals 発出, TG3a発足
	Technical Requirement 承認
	Selection Criteria 承認
2003年 3月	CFP締切, 31提案受理
2003年 7月	6提案に絞る
2003年 9月	MB-OFDMとDS-CDMAの2案残る
2004年11月	MB-OFDM信任されず
2004年 1月	MB-OFDM信任されず
2004年 3月	MB-OFDM信任されず
2004年 5月	MB-OFDM信任されず
2004年 7月	MB-OFDM信任されず
2004年 9月	MB-OFDM信任されず
2004年11月	MB-OFDM信任されず
2005年 1月	DS-UWB信任されず
2005年 3月	クリンチ
2005年 5月	MB-OFDM信任されず
2005年 7月	MB-OFDM信任されず
2005年 9月	MB-OFDM信任されず
2005年11月	MBOAがTG3a活動停止提案
2006年 1月	TG3a活動停止を決議

MBOA → WiMediaアライアンス
と合体

TG3aの主な技術要求仕様

伝送速度	110 Mbps @ 10m, 200 Mbps @ 4m, 近距離 480 Mbps
共存のピコネット	4(同時)
他のシステムとの共存	Bluetooth, 802.15.3&4 802.11, ISMコードレス電話等
MACプロトコル	802.15.3 ベース
消費電力	< 100mW @ 110Mbps, < 250mW @ 200Mbps
フォームファクタ	Hand-heldデバイスに収納可能なサイズ
コスト	Bluetooth程度

TG3aへの提案方式



(a) Singleband

↓
脱落

(b) Dualband

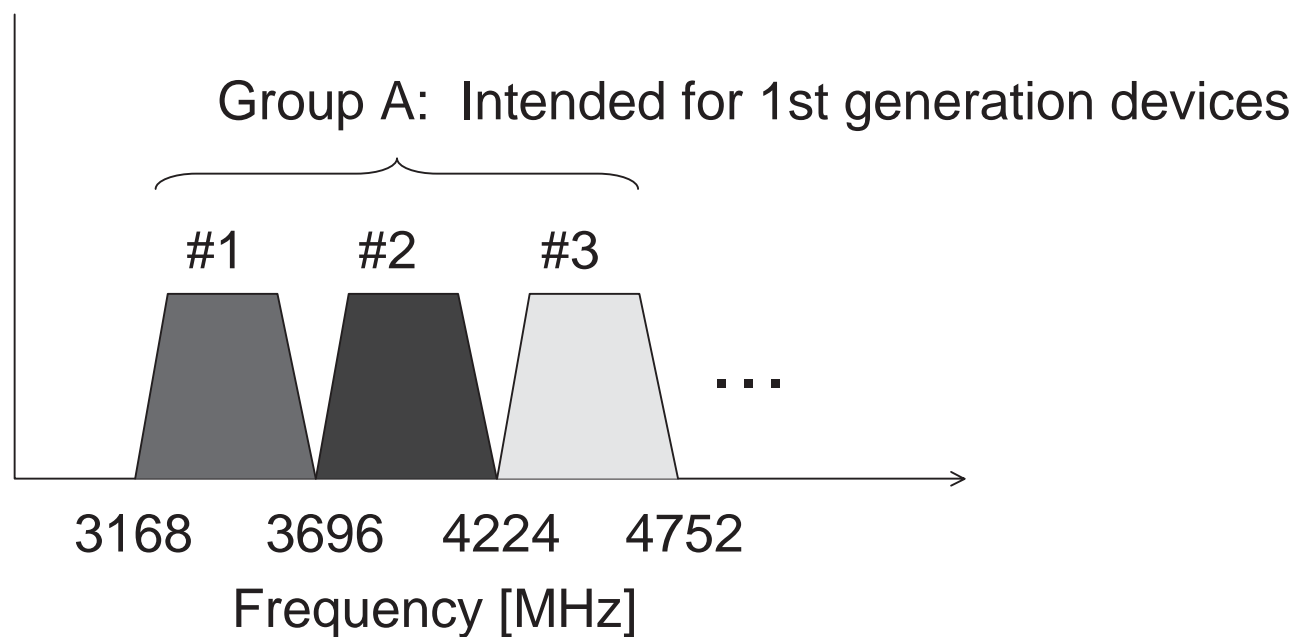
↓
DS-CDMA
(XSI/Motorola/PartusCeva
提案)

(c) Multiband

↓
MB-OFDM
(MBOA提案)

* Multiband OFDM Alliance (TI, Intel, Time Domain, ...)

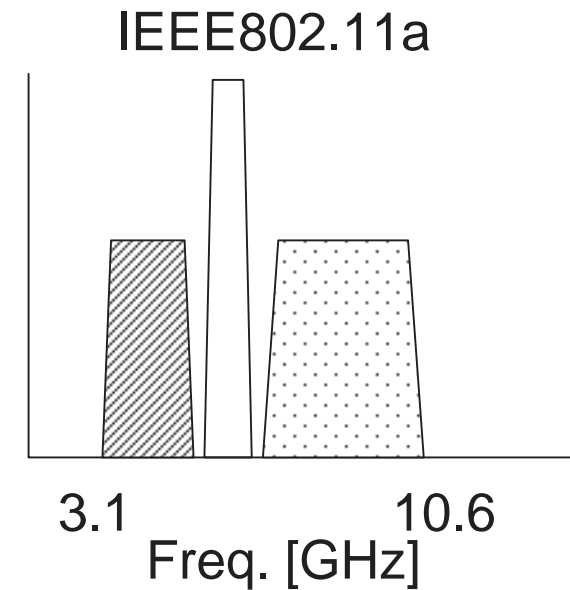
Multiband-OFDM



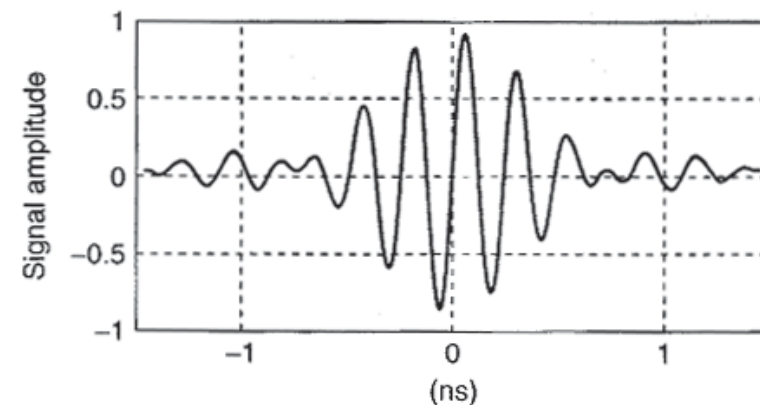
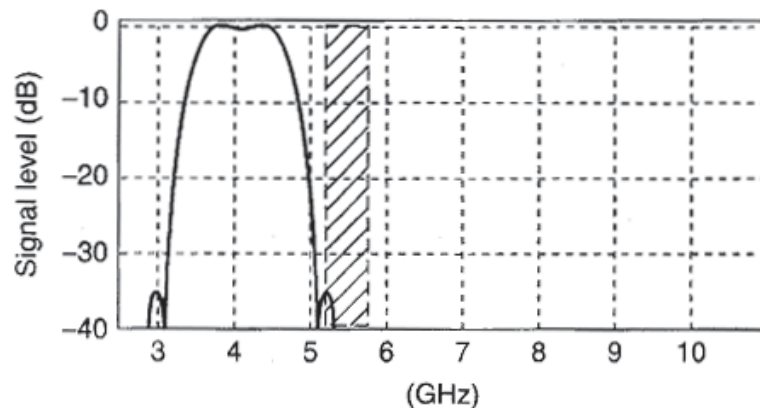
- 各528 MHzのサブバンド内にOFDMキャリア128本

DS-CDMA提案

- Low band: 3.1 – 5.15 GHz
25 – 450 Mbps
- High band: 5.825 – 10.6 GHz
25 – 900 Mbps
- Multiband (low + high)
Up to 1.35 Gbps
Support full duplex



UWB wavelet



- マルチパス耐性

MB-OFDM: 遅延時間がガードインターバル(9.5 ns)以内であれば, 各サブキャリアはフラットフェージング

→パイロット信号を用いた伝搬路推定による等化可能

DS-CDMA: 1チップ時間(0.73 nsおよび0.31 ns)以上, 17.5ないし23 nsまでのマルチパスを分離可能

→Rake受信可能

- 狭帯域システムからの干渉

MB-OFDM > DS-CDMA?

- 回路の複雑さ

MB-OFDM: 高速デジタル回路必要

DS-CDMA: Rake受信...複雑

- 最適解は存在しない(?)

- DS-CDMA(UWB Forum)もMB-OFDM(MBOA SIG)も、製品の市場投入によるデファクトスタンダード獲得へシフト
- 例) Freescale Semiconductor:
チップセット開発, FCC認定取得(2004年8月), HDTV 動画伝送デモ
- MBOA SIGはWiMedia Allianceと合併(2005年3月);
USB Implementers Forumや1394 Trade Association
はWiMedia Alliance支持を表明.
- Wireless USB 1.0仕様完成(2005年5月)

正式名称: IEEE 802.15 WPAN Low Rate Alternative PHY Task Group 4a (TG4a)

目的: IEEE 802.15.4 (低速PAN, Zigbee)に対し, 高精度測位 (精度1 m以内), モビリティサポート, 耐干渉性, 他システムとの両立性, 超低消費電力, スケーラビリティなどを可能にするためのPHY層の改訂

802.15.4の特徴:

- 低価格
- 低データレート
- 複雑でないこと
- 低消費電力

アプリケーション:

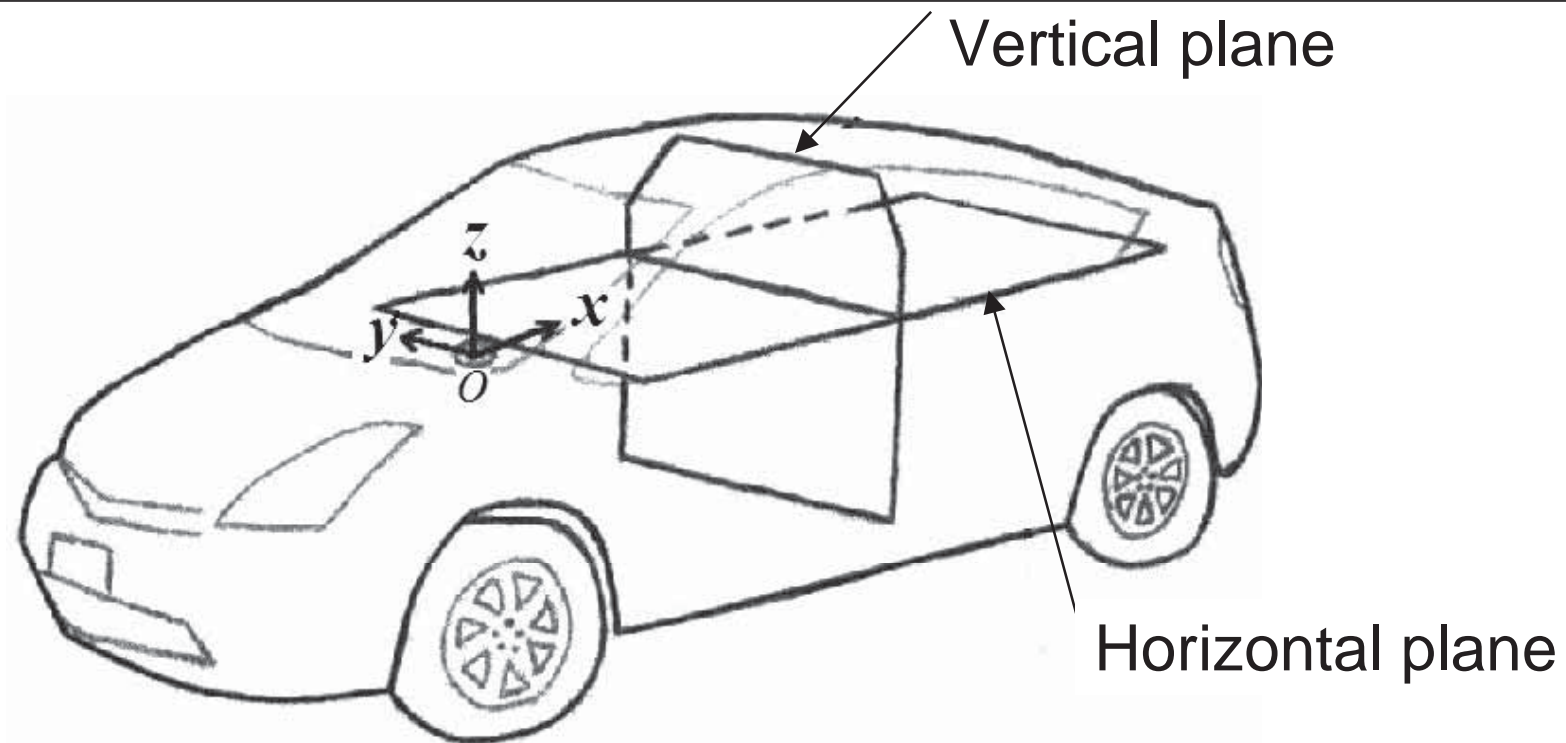
- ワイヤレスホームセキュリティ
 - 空調機器や照明機器の遠隔制御
 - TVなどの汎用コントローラ
 - 産業用オートメーション
 - センサネットワーク
- 2005年後半に製品出荷

TG4aの主な技術要求仕様

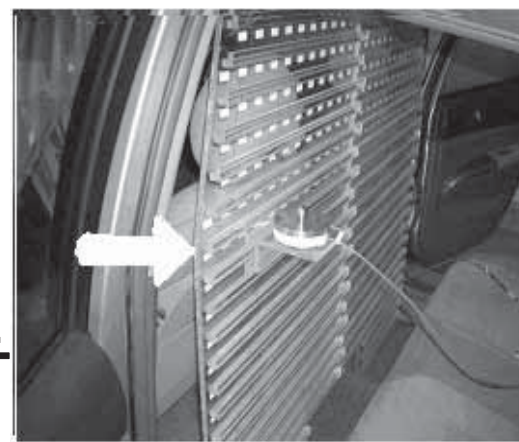
項目	要求条件
伝送速度 (伝送距離)	Individual: peer-to-peerで最低1 kbps Aggregate: data collectorは最低1 Mbps (0 – 30 m 程度)
サービス品質	パケット誤り率<1% (パケット長32 octet) リアルタイム伝送のサポート
消費電力	バッテリー寿命が数ヶ月から年単位
接続台数	4つの独立したネットワークを収容できること
他の無線方式との共存 ()内は関連する業界団 体の規格を示す)	IEEE802.11a/b (Wi-Fi), IEEE802.15.1 (Bluetooth) IEEE802.15.3 (WiMedia), IEEE802.15.4 (Zigbee) 2.4 GHzおよび5 GHz帯を利用する通信システムとの 共存が可能なこと
MAC方式	IEEE802.15.4対応
位置測定機能【必須】	精度1 m以下, 数十cm程度が望ましい

1. UWBとは何か
2. UWB事始め
3. 米国における規制緩和
4. WPANの標準化動向
5. 研究開発の動向
6. 法制化の動向
7. 今後の課題とまとめ

乗用車内におけるUWB伝搬(1/3)

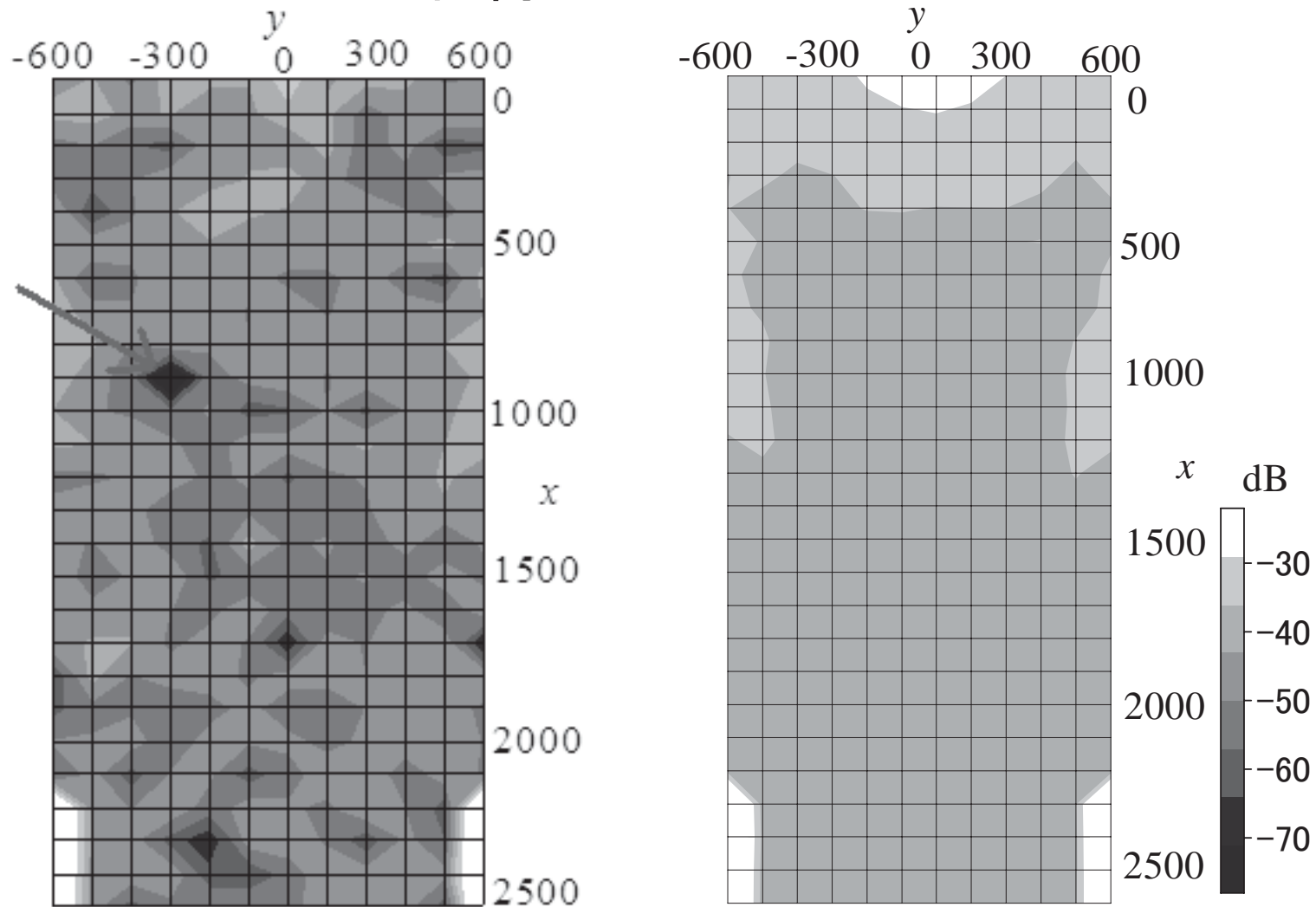


アンテナ



乗用車内におけるUWB伝搬(2/3)

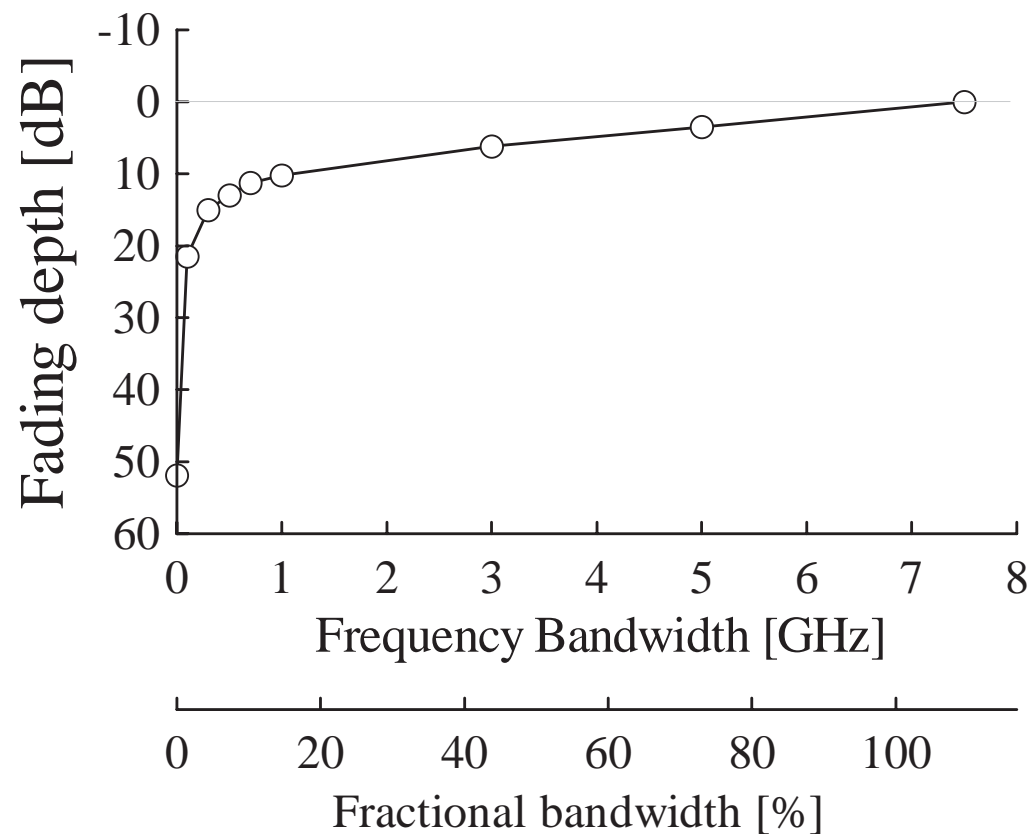
車内水平面上のパス利得



(a) CW(6.85 GHz)

(b) UWB(3.1-10.6 GHz)

フェージング深さの帯域幅依存性



1. 多くの多重波が存在する環境では, UWB信号は狭帯域信号(CW)と比べて受信電力の空間変動が少ない.

→ UWBには周波数ダイバーシチメカニズムが含まれている.

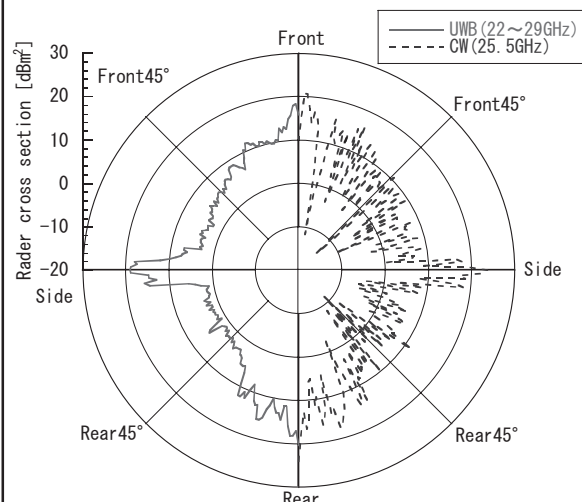
2. 車内での人間による遮蔽が生じててもUWB付加損失は5dB程度に止まる.

➡ 回折設計上, 狭帯域システムと比較してUWBの優位性がある.

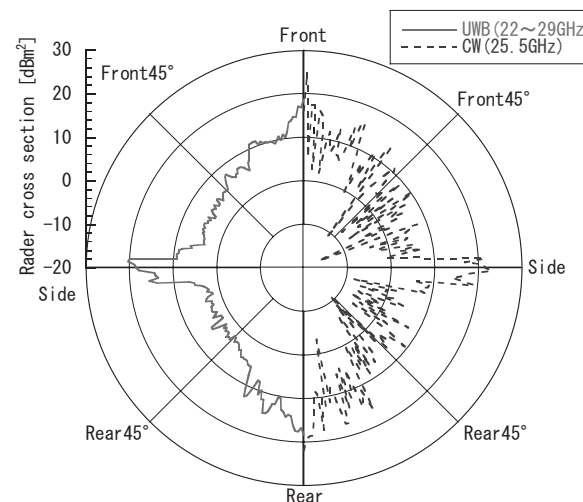
車輻のUWB(22-29 GHz)レーダ断面積測定 WSL



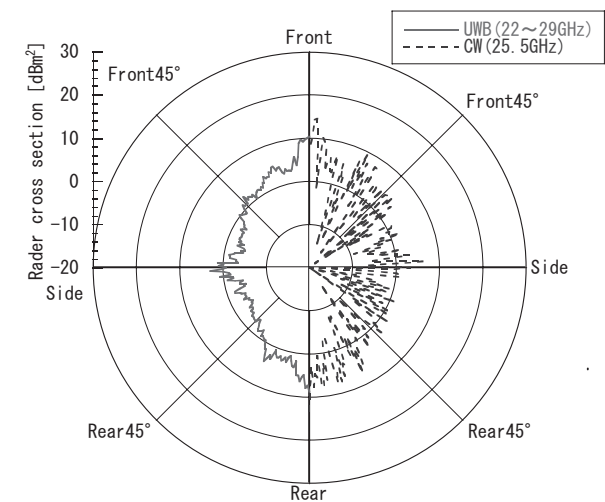
UWBはCWと比べてレーダ断面積の変動幅が小さい



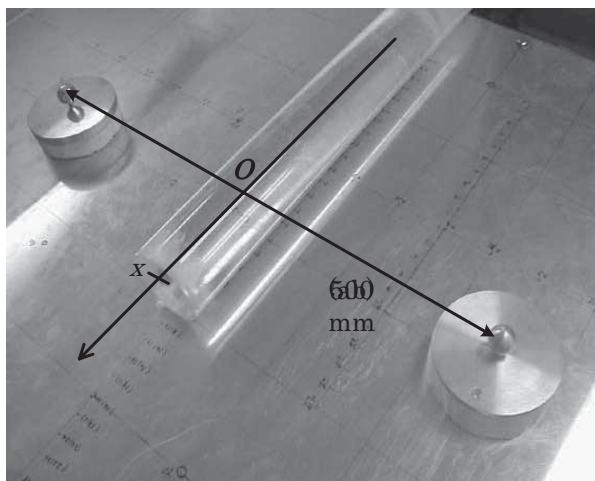
(a)V-V 偏波



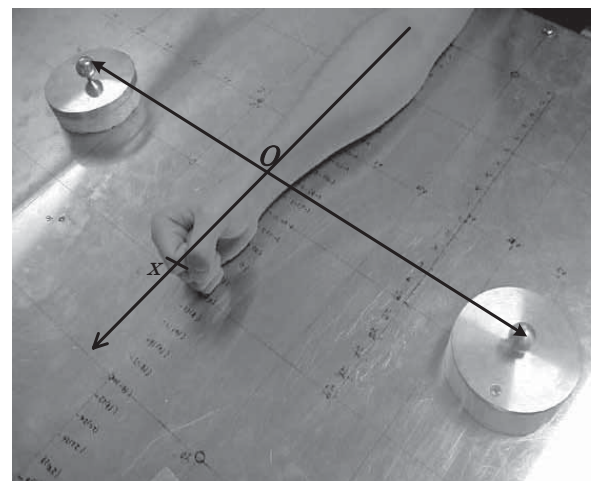
(b)H-H 偏波



(c)+45° -45° 偏波

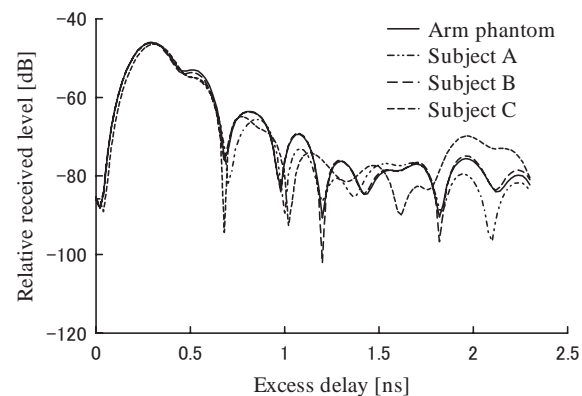
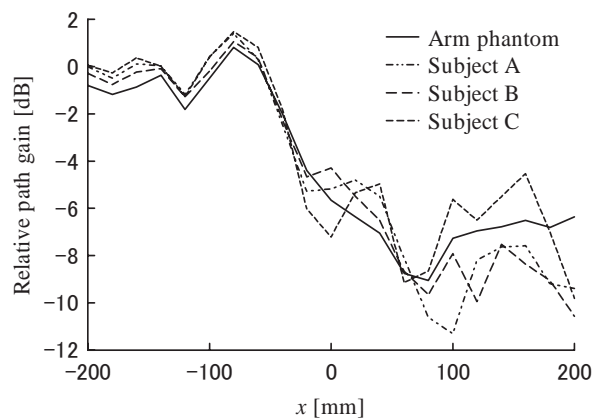


(a)



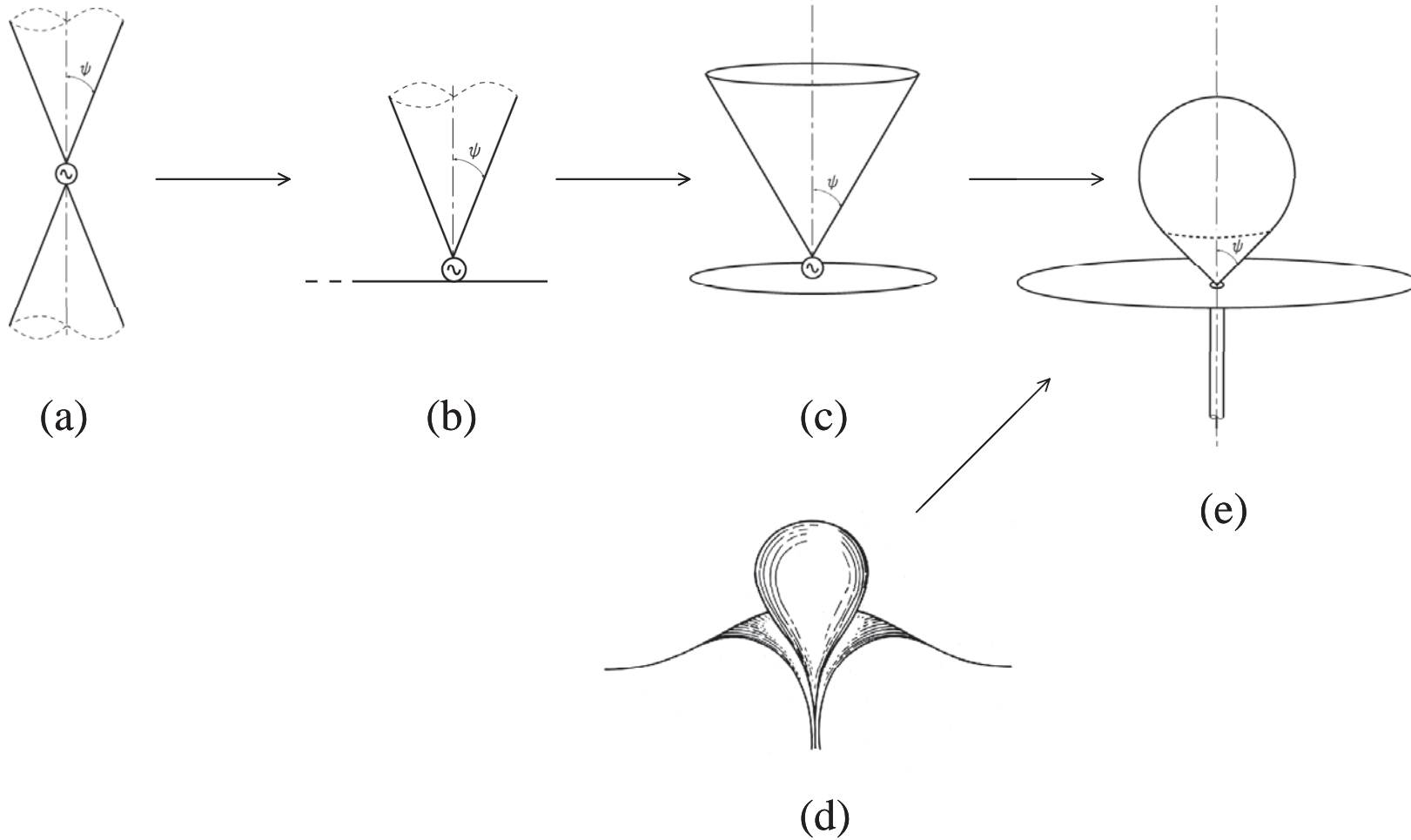
(b)

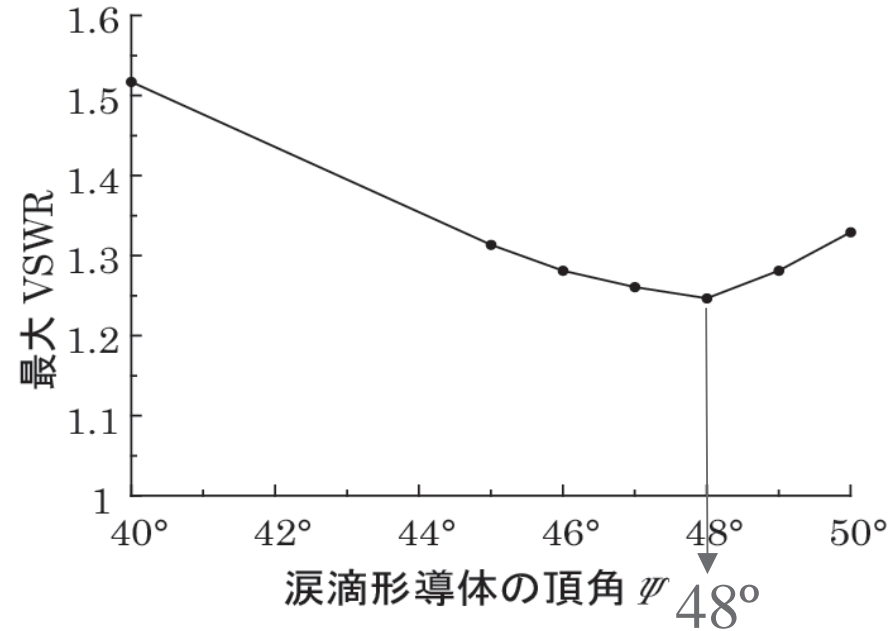
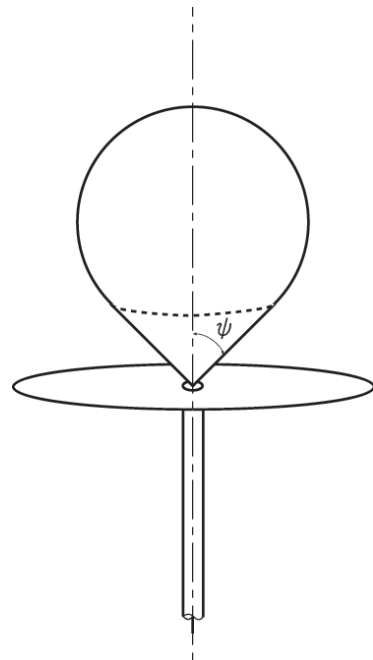
Measurements of additional loss caused by (a) an arm phantom and (b) a human arm on a conductive plane.

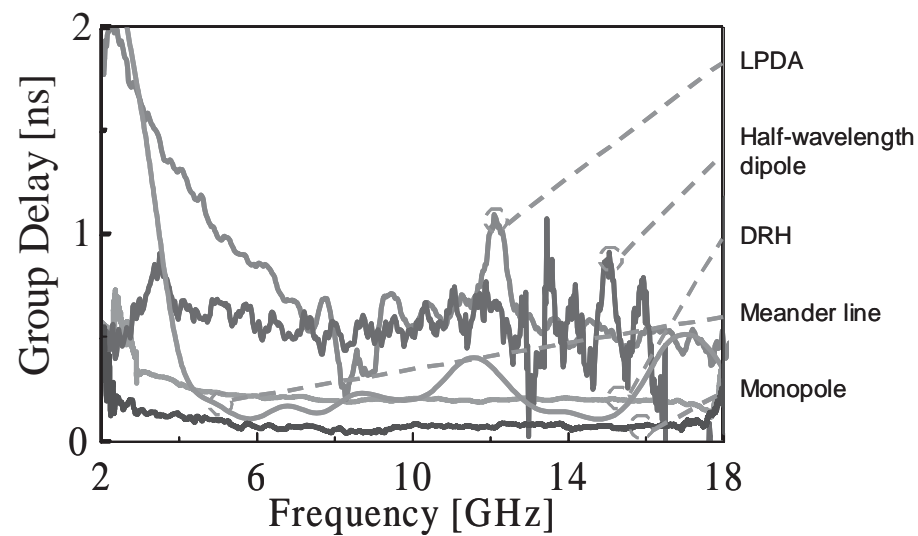
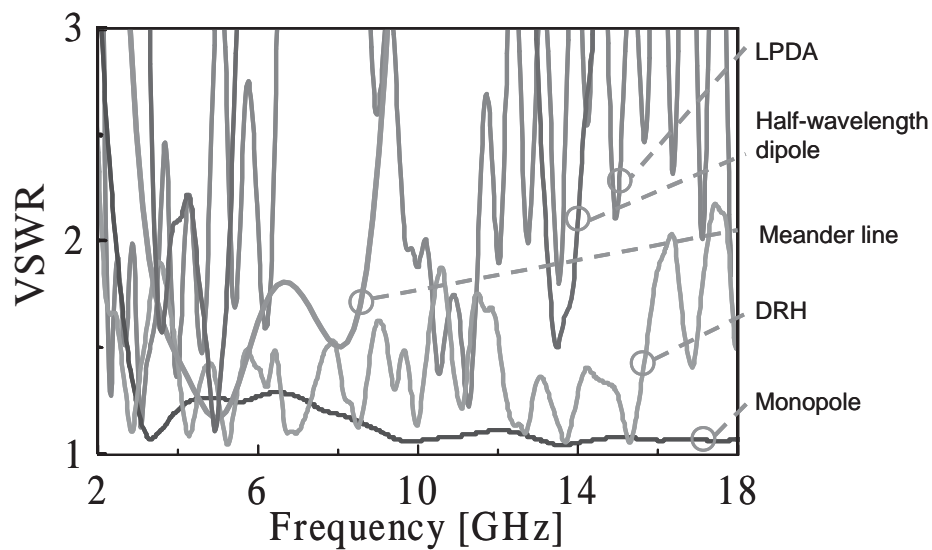


Comparison of the arm phantom and the human arms: (a) relative path gain and (b) delay profile.

バイコニカルアンテナの変形







- 1993 T.E. McEwan(LLNL): MIR(micropower impulse radar)特許出願

→最初に文献に現われた超低電力UWBデバイス

- コンピュータ等から出る放射雑音と同程度以下に放射電力を抑えれば, 既存の狭帯域ワイヤレスシステムが占有しているスペクトルにオーバレイして使えるはず
- 新しい周波数資源が開拓されたのと実質的に同等

−41.3 dBm/MHzとは

EIRP(等価等方輻射電力) = −41.3 dBm とは. . .

距離 3 m において電界強度 $54 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m} = 500 \mu\text{V}/\text{m}$
を発生する放射源

従来からのFCC Part 15におけるクラスB(民生機器)放射妨害波規制値(無線通信, 放送, レーダ等の保護)と同じ.

CISPR Pub. 22では1 GHz以上を $50 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ (3 m)
とする方向.

cf. 日本の免許不要無線局の基準(322 MHz – 10 GHz):
3 mで $35 \mu\text{V}/\text{m}$ (EIRP = −64 dBm → 23 dB の差異!)

- 後発のUWBワイヤレスシステムは、既存(狭帯域)システムに干渉を与えてはならない。

- 争点(許容干渉レベルの考え方)

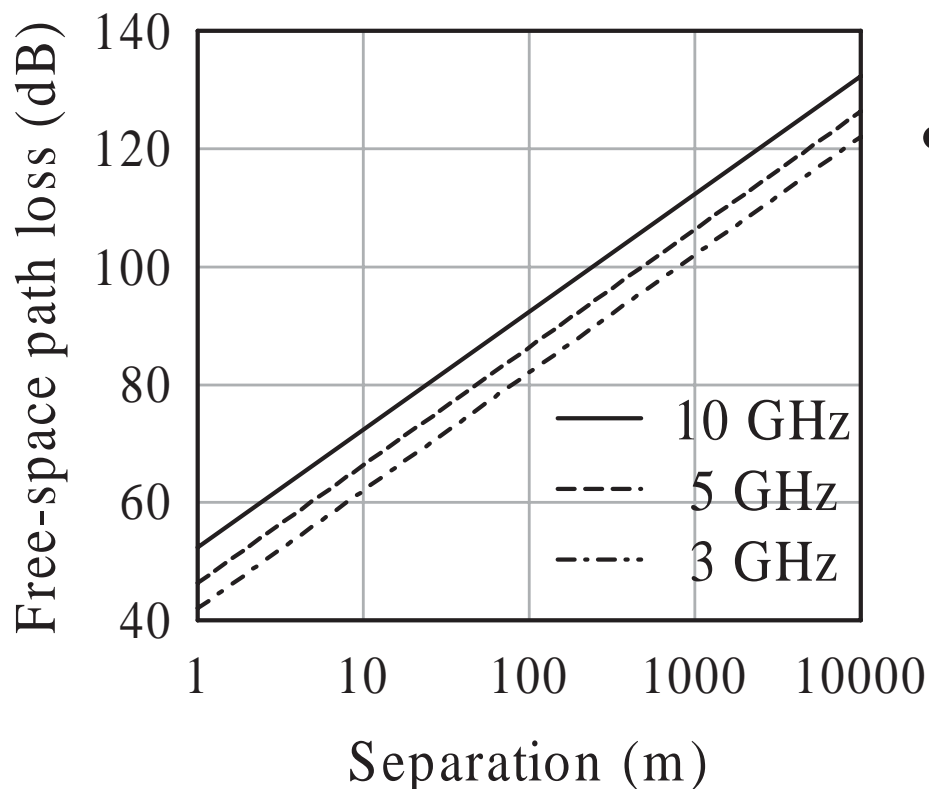
➤ FCCのUWB認可条件: EIRP = -41.3 dBm/MHz
コンピュータやデジタル機器の放射妨害波の限度値と同じ。

➤ ITU-R勧告 F1094-1等における許容干渉レベル
(1次業務と2次業務の間): 熱雑音 -20 dB

$kTBF - 20 \text{ dBm}$

- マイクロ波中継, FPU 代表的には数 km
- レーダ 代表的には数 km
- 電波天文 数10~200 km
- セルラ基地局 0.1~10 km
- 端末 5~400 m

- FCC: EIRP = -41.3 dBm/MHz
- ITU-R: 干渉電力(受信機入力端) = 熱雑音 -20 dB
= (例えば) -130 dBm/MHz



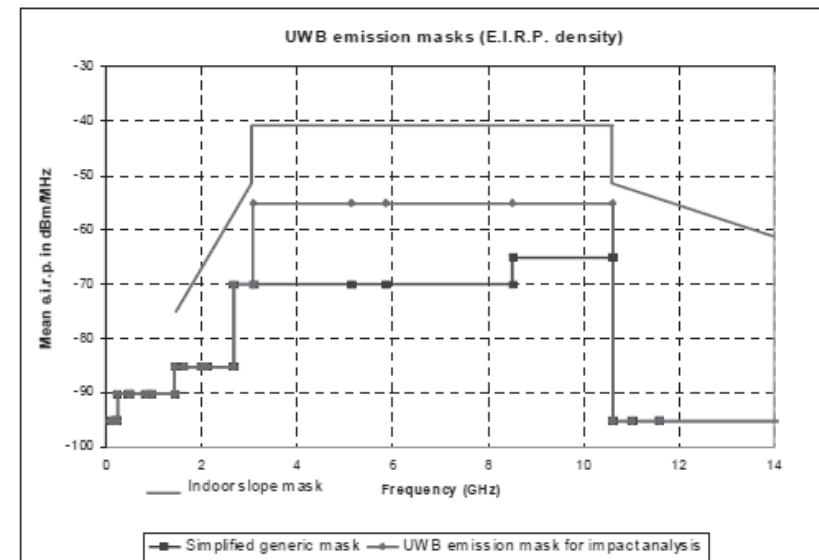
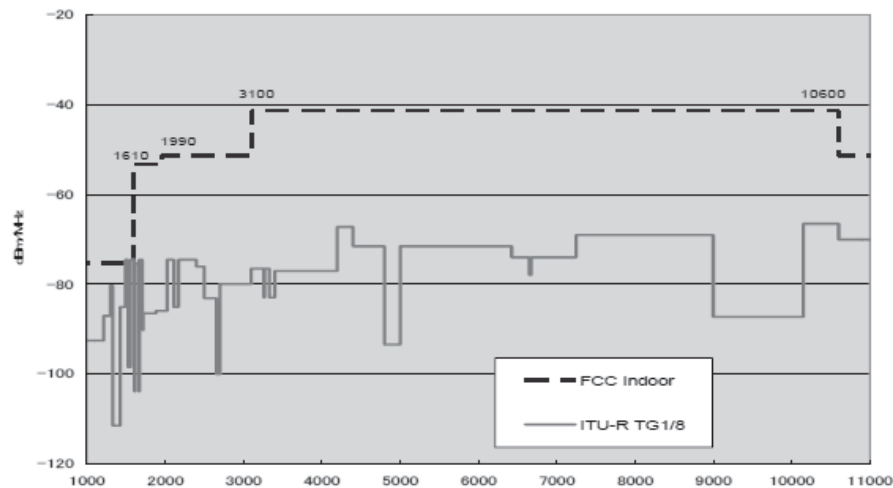
- 自由空間伝搬損失は5 GHz, 3 mでは56 dBしかない.

↓
ITU-R勧告「熱雑音 -20 dB 」の見直しが必要(?)

1. UWBとは何か
2. UWB事始め
3. 米国における規制緩和
4. WPANの標準化動向
5. 研究開発の動向
6. 法制化の動向
7. 今後の課題とまとめ

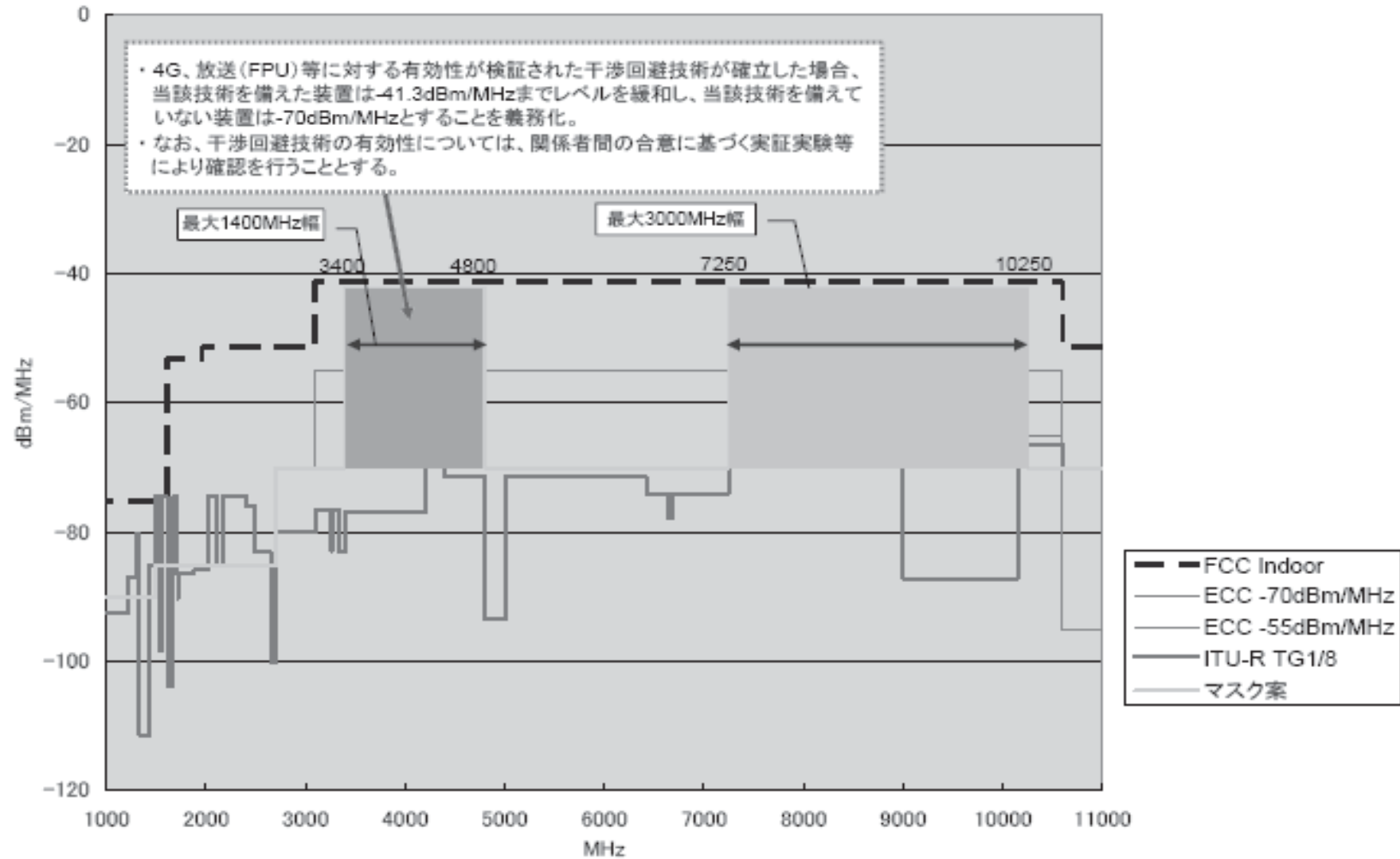
International Telecommunication Union –
Radiocommunication Sector Task Group 1/8:
Compatibility between ultra-wideband devices
(UWB) and radiocommunication services

大きな違いのあるものを併記

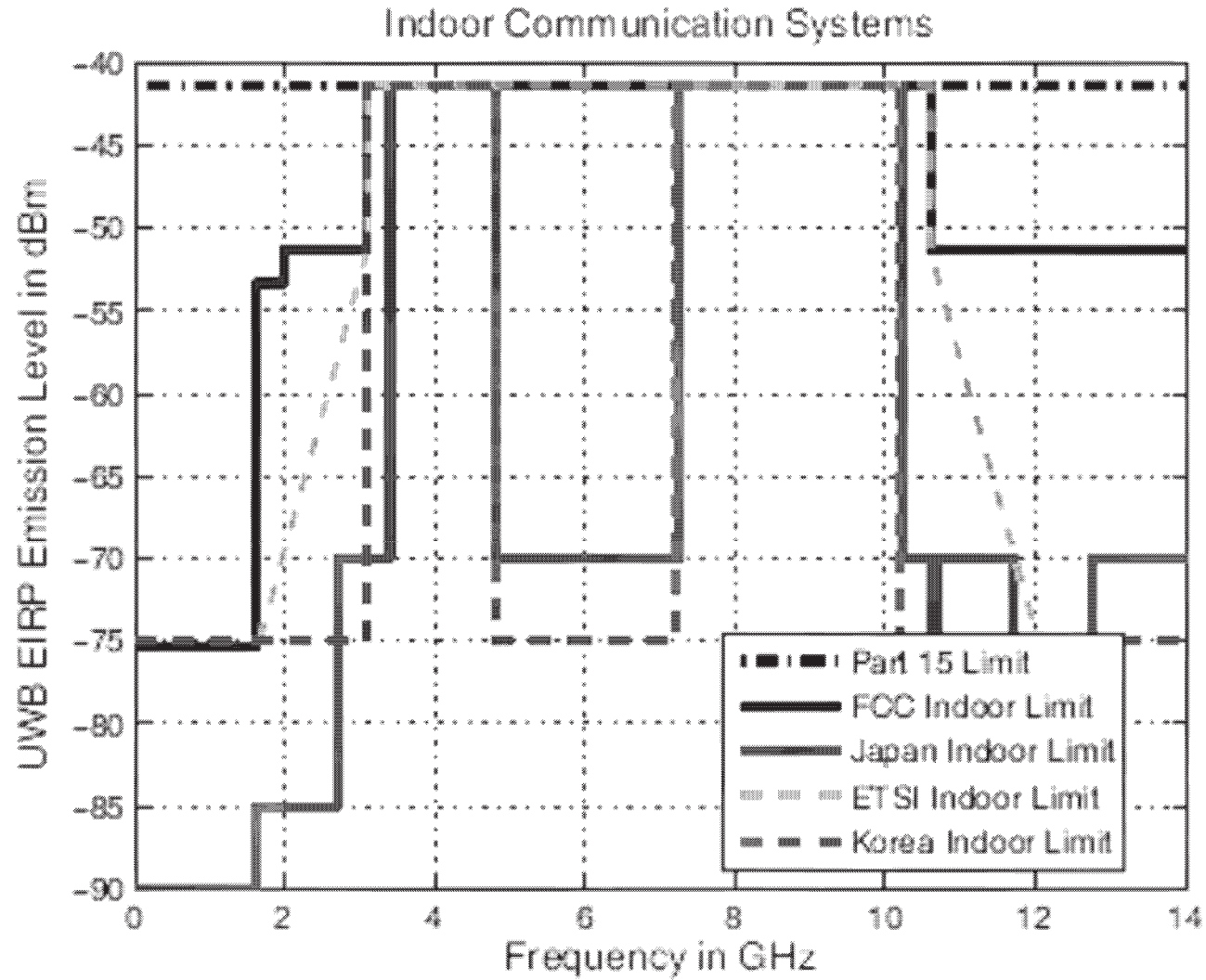


日本の暫定マスク

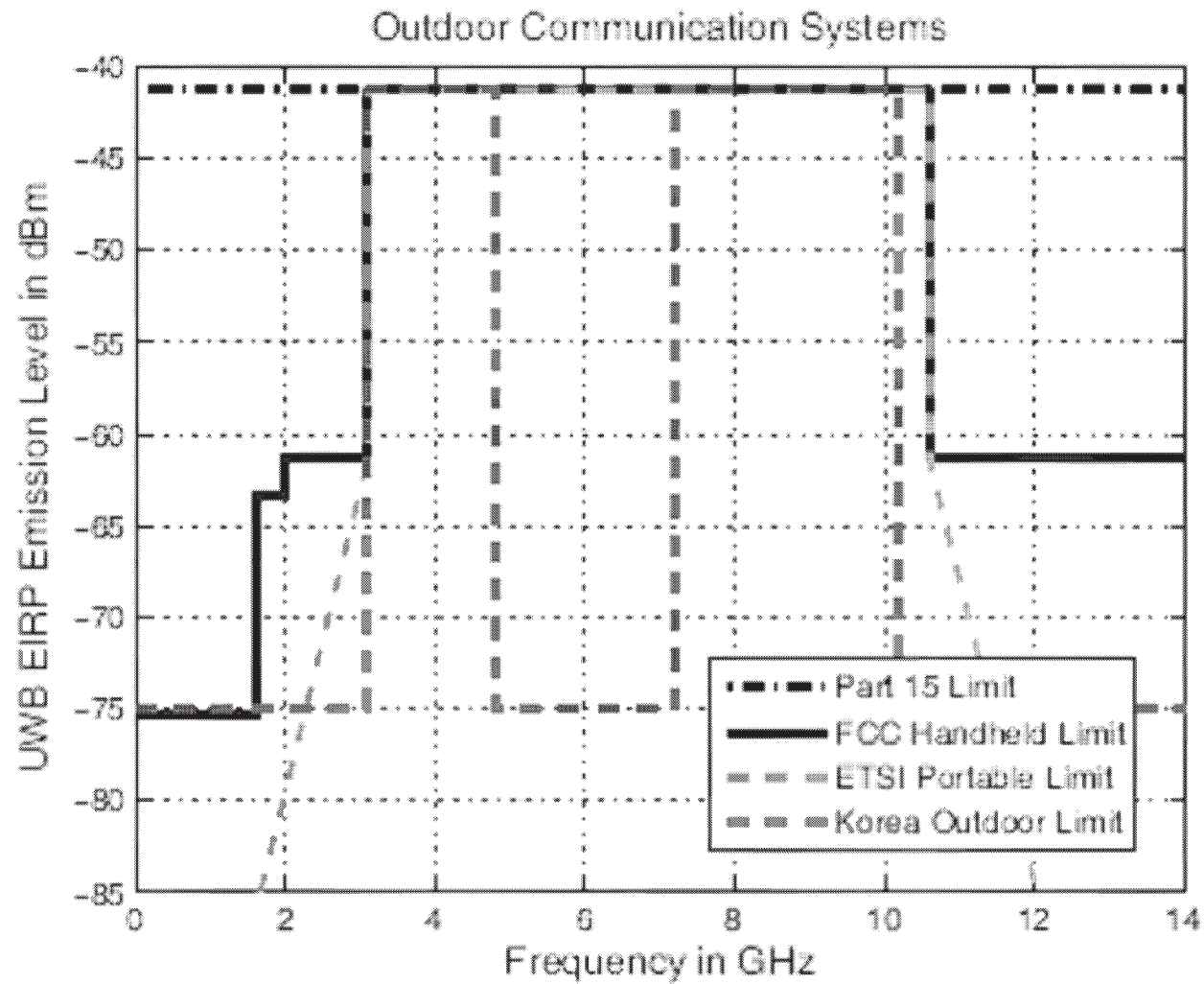
※ UWBの利用は屋内限定とする



屋内システムの日米欧韓比較



日本は屋外での使用禁止



	United States	Japan	Korea
Approval date	14 Feb 2002 15 Dec 2004 (Amendment)	27 Mar 2006	Jun 2006 (Expected)
Frequency bands	3.1 – 10.6 GHz	Lower band: 3.4 – 4.8 GHz Upper band: 7.25 – 10.25 GHz	Lower band: 3.1 – 4.8 GHz Upper band: 7.2 – 10.2 GHz
Transmission power	–41.3 dBm/MHz	–41.3 dBm/MHz	–41.3 dBm/MHz
Operating bandwidth	$B_f = 20\%$ or $B = 500$ MHz	$B_f = 20\%$ or $B = 450$ MHz	$B_f = 20\%$ or $B = 500$ MHz
Operation limitation	Indoor and handheld systems	Indoor systems only	Indoor and outdoor systems
Interference mitigation technique	Optional	Mandatory at lower band by Dec 2008	Mandatory at lower band by Jun 2010

1. UWBとは何か
2. UWB事始め
3. 米国における規制緩和
4. WPANの標準化動向
5. 研究開発の動向
6. 法制化の動向
7. 今後の課題とまとめ

標準化

- 高速WPAN・・・一本化失敗
- MB-OFDMとDS-UWBの攻防激化
- 低速WPAN・・・一本化成功

技術開発

- 研究開発 ↗
- 製品開発 ↗ (米欧)
- 依然としてEMCや低電力化に課題
- キラーアプリケーションは？

規制緩和

- ITU-R TG1/8スペクトルマスクを一本化せず
- 米日欧で少しずつ異なる技術的条件

失敗例の轍を踏まないように...

普及しなかったホームネットワーク/ワイヤレスインタ
フェース:

HBS

IrDA

IEEE 1394 (?)

Home PNA

HomeRF

HomeRF-Lite

Bluetooth (?)

- 標準化
 - デファクトスタンダードを目指した攻防
- 研究開発
 - EMC, DAA, LDC
 - キラーアプリケーションの模索
- 規制緩和
 - 暫定(安全サイド)の技術的条件による規制緩和
 - 状況に応じた模索