

## 2.4GHz帯無線LAN 802.11bシステムとBluetoothシステムの干渉問題の

### 解析についての一考察

荒井 隆之<sup>†</sup>      若原 俊彦<sup>†</sup>      松本 充司<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学 大学院国際情報通信研究科

〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10 早大 29-7 号館

<sup>‡</sup> 早稲田大学 国際情報通信研究センター

〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10 早大 29-7 号館

E-mail: <sup>†</sup> RHD03442@nifty.ne.jp

E-mail: <sup>‡</sup> matumoto@giti.waseda.ac.jp / wakahara@giti.waseda.ac.jp

あらまし 最近、発売されているノートブック PC には、Bluetooth または、IEEE802.11b 無線 LAN カードが実装されているものが増加している。これらは、2.4GHz 帯 ISM(Industrial Science and Medical) バンドを使用しているため、近傍で使用するとお互いに干渉し、これらの通信に妨害を与え接続性や音声伝送やデータ転送スピードに影響を与える。本稿では、その2システム間の距離を10cmから50mまで変化させ、データ転送レートに与える影響の度合いを測定し、実効的に使用できる配置条件の指針を求めた。また、音声通信中の干渉波の影響やデータ転送時のスループットの理論値を求めた。現システムに適用可能な干渉低減策について検討を行い、指向性アンテナを使用することによる D/U 比の改善状況を明らかにした。

キーワード 2.4GHz帯無線LAN 802.11b, Bluetooth, 干渉問題, 指向性アンテナ

## A Study on the Interference of Bluetooth and 802.11b Direct Sequence in 2.4GHz Wireless LANs

Takayuki ARAI<sup>†</sup>    Toshihiko WAKAHARA<sup>†</sup> and Mitsuji MATSUMOTO<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

29-7 building, 1-3-10 Nishi-Waseda Shinjuku-ku Tokyo 169-0051 Japan

<sup>‡</sup> Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University

29-7 building, 1-3-10 Nishi-Waseda Shinjuku-ku Tokyo 169-0051 Japan

E-mail: <sup>†</sup> RHD03442@nifty.ne.jp

E-mail: <sup>‡</sup> matumoto@giti.waseda.ac.jp / wakahara@giti.waseda.ac.jp

**Abstract** The paper analyzes the interference problems between the Bluetooth and the 802.11b IEEE Wireless LAN systems and shows data throughput characteristics. This paper presents a disposition requirements of these systems and also proposes a directional antenna for decrease the interference.

**Keyword** 2.4GHz IEEE 802.11b, Bluetooth, interference, directional antenna

## 1. はじめに

最近、発売されているノートブック PC には、Bluetooth または、IEEE802.11b 無線 LAN カードが実装されているものが増加している。また、PCMCIA カード・タイプも発売されていて、オフィスや家庭内でプリンターとのデータ転送やパソコン間のデータ転送などに利用され、ポピュラーなシステムとなっている。

これらは、2.4GHz 帯 ISM バンドを使用し無線従事者免許がいらないことや、機器が手軽にセット・アップできなおかつ安価で入手可能なので、多くのユーザに使われている。

しかし 2.4GHz 帯 ISM バンドは、他システムとの干渉問題などについて特に考慮されていなく、エチケットルールのよる機器の概要表記ラベルの塗布にとどまっている。そこで、両システムを近傍で使用するとお互いに干渉し、その通信に妨害を与え、接続性やデータ転送スピードに影響を与えている[1][2]。

このような状況下で IEEE802.11WG 内でも Task Group g や Task Group e などシステムの高機能化や高速化の検討がなされている[3]。

別の問題解決手段として、IEEE802.11b と Bluetooth の両システム間の動作を制御して干渉を軽減する方法も提案されている[4][5]。

本稿では、この 2 システム間の干渉の状況を調査するため、希望システム間の距離を 10m に固定し、妨害を与えるシステム間の距離を 10m と 50m に固定して、両システム間の距離を 10cm から 40m まで可変したときのデータ転送レートに与える影響の度合いを測定し、実効的に使用できる配置条件に関する指針を得た。また、この干渉低減策を検討するため、IEEE802.11b と Bluetooth 端末のフレームエラー特性を測定し、エラーフリーとなる時の必要な受信電界レベルを求めた。

さらに、Bluetooth による音声通信において IEEE802.11b 無線 LAN から受ける干渉についても観測した。IEEE802.11b のデータ伝送スループットの理論限界値を求め、エアー上では衝突などによるバック・オフ時間の影響がスループットの低下の主な要因となっていることを確認した。

これらの検討結果にもとづき、現行システムに大幅な変更を加えないで干渉量を軽減できる方策として、ビーム・アンテナを使用し、アンテナゲインによる実効的な受信感度の向上と、アンテナのフォワード/バック電力(F/B)比の利用による妨害波の影響の軽減による希望波/妨害波電力(D/U)比の改善度合いを検討した。尚、自由空間伝搬ロスについては 2.4GHz 帯における自由空間伝搬ロス[6]より求めた結果を示した。

## 2. 実験システム

### 2.1 供試機器

現在、市販されている IEEE802.11b と Bluetooth の PCMCIA タイプの機器から以下のカードを選定して使用した。

- (1) IEEE802.11b: 日本 NCR (Lucent) PCMCIA カード (+15dBm 出力)
- (2) Bluetooth: デジアンサー PCMCIA カード (+20dBm 出力)

### 2.2 使用測定器

各システムの受信電界強度と、データ転送スピードを以下の機器で測定した。

- (1) 受信電界測定: H P 製スペクトラム・アナライザ + 標準ダイポール・アンテナ
- (2) 伝送レート測定: 伝送レート測定テストプログラム + 汎用 PC

### 2.3 システム構成

IEEE802.11b と Bluetooth を図 1 に示すように一直線上に配置し、互いに与える影響を測定した。

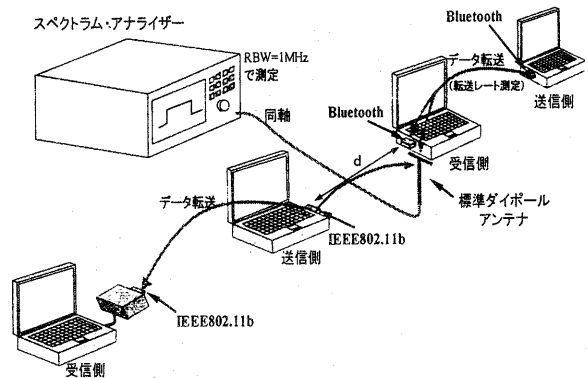


図 1 実験システムの測定回路

## 3. 実験結果

### 3.1 IEEE802.11b と Bluetooth のスペクトラム

実験に使用した IEEE802.11b と Bluetooth の送信波のスペクトラムを図 2 に示す。IEEE802.11b と Bluetooth の送信波のスペクトラムを図 2 に示す。

IEEE802.11b については、ほぼセンター周波数である 2.452MHz(9CH)を中心に測定した。一方、Bluetooth は ISM バンド全体にエネルギーが拡散されている状態を観測した。

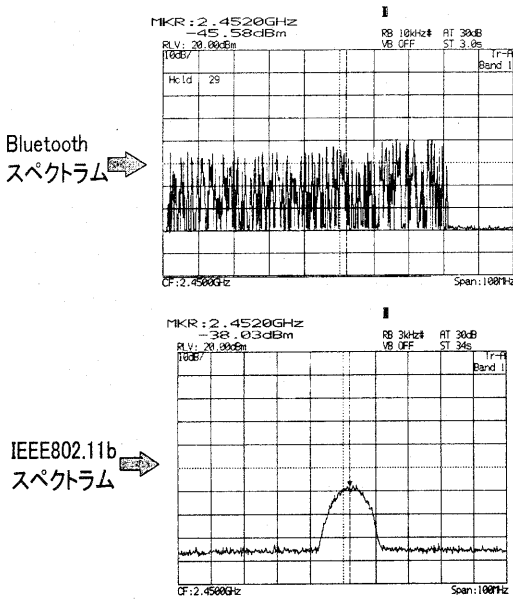


図2 IEEE802.11bとBluetoothのスペクトラム

### 3.2 Bluetoothが音声通信中に802.11bより受ける影響

BluetoothをSCO(Synchronous Connection Oriented Link)パケットでHV3を使用し、400Hzの正弦波で変調をかけて伝送中にIEEE802.11bからの妨害波で伝送波形が抑圧を受けている状況を図3に示す。

音声通信は、TDD(Time Division Duplex)伝送なので、自局伝送パケットと相手の伝送パケットは交互に存在する。

図3よりBluetoothの最初のホッピング周波数の衝突から3.75(ms)×2スロット後の7.5(ms)後に次の衝突が起こり、衝突時間は3.75(ms)間であることが確認された。

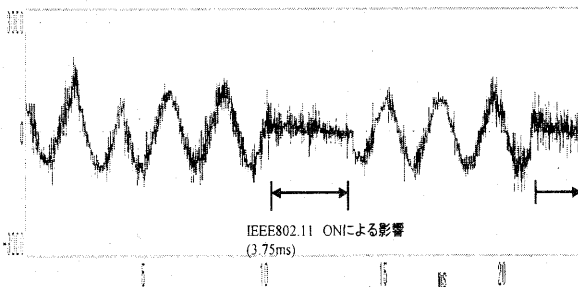


図3 Bluetoothが音声通信中にIEEE802.11bより受ける影響

### 3.3 IEEE802.11bがBluetoothより受ける影響

図1に示す配置で、妨害源であるBluetooth間の距離を10mに固定して、IEEE802.11b間の距離を10mと50mにして、各システム間の距離をパラメータとして、転送レートの劣化度合いを測定した結果を図4に示す。

縦軸に転送レートの劣化度合いを示し、横軸に両システム間の妨害強度を示す。妨害の無いときのIEEE802.11bの転送レートは約4.8Mbpsであった。

IEEE802.11b間の距離を50mにして、希望波受信電界レベルを比較的弱くした場合には、この図に示すように、両システム間の距離を50cmより近づけると通信が出来ない状態が発生した。

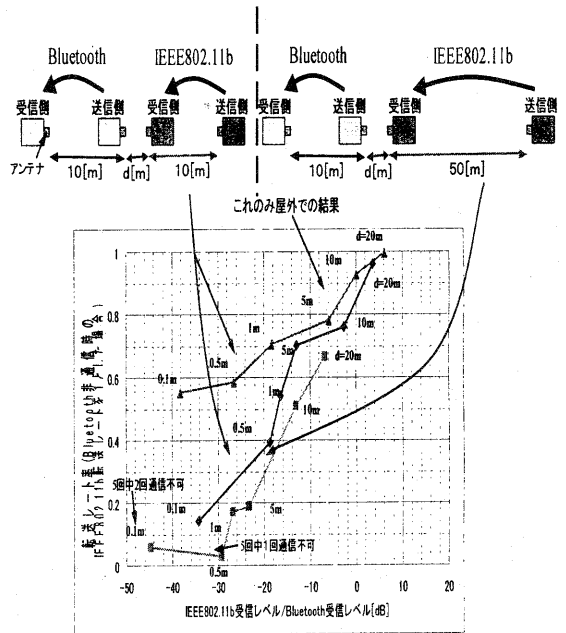


図4 IEEE802.11bがBluetoothより受ける影響

### 3.4 Bluetoothが802.11bより受ける影響

BluetoothがIEEE802.11bから受ける影響について取得したデータを図5に示す。

妨害源であるIEEEBluetooth間の距離を10mに固定し、Bluetooth間の距離を10mと50mにして、各システム間の距離をパラメータとして、3.3項と同じように転送レートの劣化度合いを測定した。

同様に、縦軸に転送レートの劣化度合いを示し、横軸に両システム間の妨害の強度を示します。

妨害の無いときのBluetoothの転送レートは約540Kbpsであった。(DH5: Data High 5 732.2/56.7kbps非対称)

非対称)

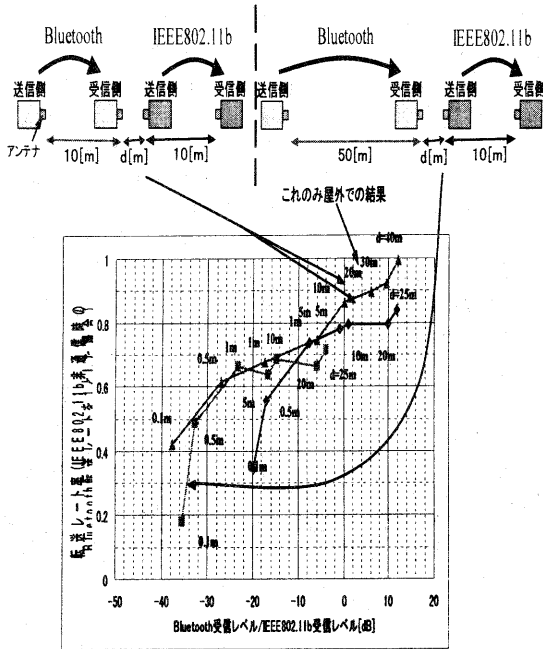


図5 BluetoothがIEEE802.11bより受ける影響

### 3.5 測定結果のまとめ

3.2項で検討したBluetoothの影響による

IEEE802.11bの転送レートの劣化を表1に示す。

表1 IEEE802.11bがBluetoothより受ける影響

転送 レ ー ト 劣 化 (%)	BT送受信間距離:10m 802.11b送受信間距離 10m 固定		転 送 レ ー ト 劣 化 (%)	BT送受信間距離:50m 802.11b送受信間距離: 10m 固定	
	D/U比	システム間距離		D/U比	システム間距離
55%	-38dB	0.1m	20%	-23.5dB	5m
60%	-26dB	0.6m	50%	-13.5dB	10m
70%	-14dB	1m	67%	-7dB	20m

BluetoothがIEEE802.11bに与える影響は、妨害源であるBluetoothシステム間距離10mに固定して、IEEE802.11bの送受信間距離が10mの時、転送レ

ートが70%に低下した時の両システム間の距離は1mである。

同様にIEEE802.11bシステム間距離50mの時で両システム間の距離10mにした時の転送レートは50%まで低下した。

表2 BluetoothがIEEE802.11bより受ける影響

転送 レ ー ト 劣 化 (%)	BT送受信間距離:10m 802.11b送受信間距離 10m固定		BT送受信間距離:10m 802.11b送受信間距離 50m固定	
	D/U比	システム間距離	D/U比	システム間距離
50%	-33dB	0.2m	-33dB	0.5m
60%	-27dB	0.5m	-27dB	0.8m
70%	-14dB	1.5m	-15dB	10m

妨害源であるIEEE802.11b間の距離を10mに固定して、Bluetoothシステム間距離10mの時で転送レートは70%に低下する両システム間の距離は、1.5mである。

Bluetoothシステム間距離50mの時で両システム間の距離10mの時の劣化は70%である。

現行のBluetoothシステムは、他局が発呼中かの確認のためのキャリアセンスをしておらず、短い時間でもISMバンド全体を周波数ホッピングしているののでシステムに妨害を与えやすい。

実験結果からも、Bluetoothからの妨害の影響の方がIEEE802.11bからの妨害より大きいことが判明した。

## 4. 干渉量の軽減

3項までの検討で、IEEE802.11bとBluetoothが近接して使用された場合のお互いに与える影響についてのデータが得られた。

転送レートの劣化の許容量を決めれば、両システム間の設置距離の目安が得られる。ただし、自システム間の距離が10mと50mの場合である。

本項では、現行システムのプロトコルに変更を加えないで、干渉量を削減するための方策と、より自由度の高いシステムの設置条件を求めるとの検討を行う。

### 4.1 IEEE802.11bスループットの理論限界値

値を求める。

検討に使用したフォーマット[7]を図6に示す。

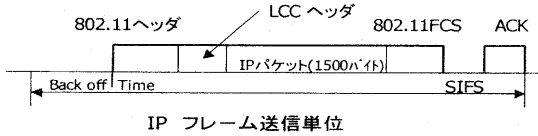


図6 IPフレーム単位フォーマット

IEEE802.11bのヘッダにはLongとShortがあるので、それぞれのスループットをバックオフ時間を決定している2値指数関数的休止アルゴリズム[8]をパラメータとして求めた結果を図7に示す。

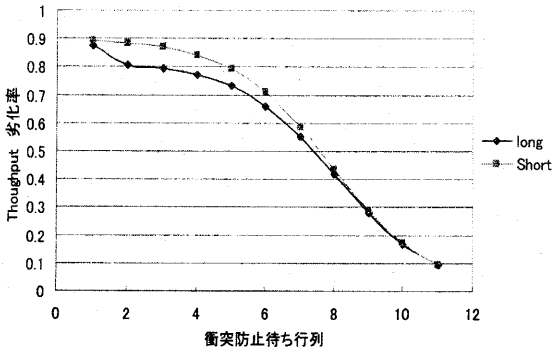


図7 IPレベルのスループットの理論限界値

衝突待ち行列数によりスループットが劣化する状況を把握した。スループットの向上には、衝突待ち行列数の低減が有効であることを確認した。

#### 4.2 フレーム誤り率

IEEE802.11bとBluetoothのフレーム誤り率を求め、エラー・フリーの通信を行うのに必要な受信電界強度の目安を検討した。

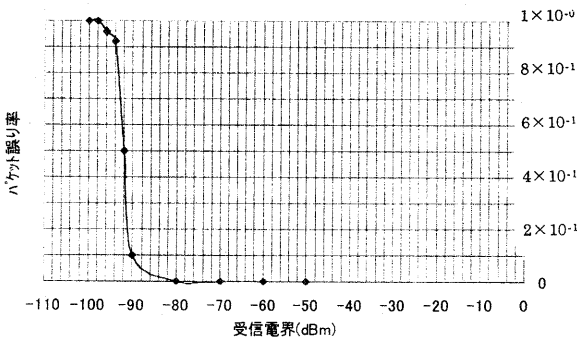


図8 IEEE802.11bのフレーム・エラー特性

IEEE802.11bの受信電界は-75dBm以上あれば、エラー・フリーの通信条件が確保できる。

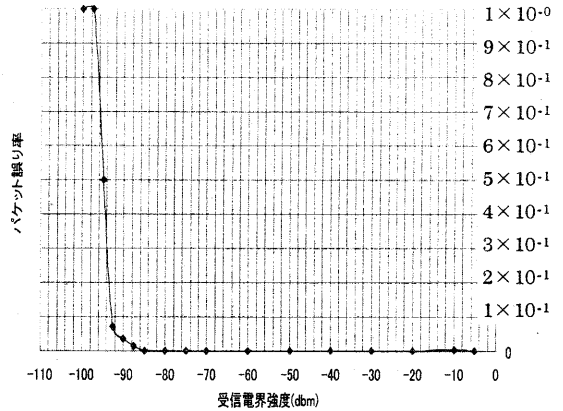


図9 Bluetoothのフレーム誤り率

Bluetoothのフレーム誤り率もIEEE802.11bと同様に-75dBm程度の受信電界があればエラー・フリーの通信が行える。

両システムともエラー・フリー通信を行うためには、目安として-70dBm以上の電界強度が得られる環境で使用すれば良いことを確認した。

#### 4.3 ISMバンドの自由空間伝搬ロス

2.4GHz帯のISMバンドにおける自由空間伝搬ロス[6]を式(1)、式(2)より求め図10に示す。

$$L_p = -40.0 - 20\log(d) \quad d \leq 8m \quad (1)$$

$$L_p = -58.5 - 33\log(d/8) \quad d > 8m \quad (2)$$

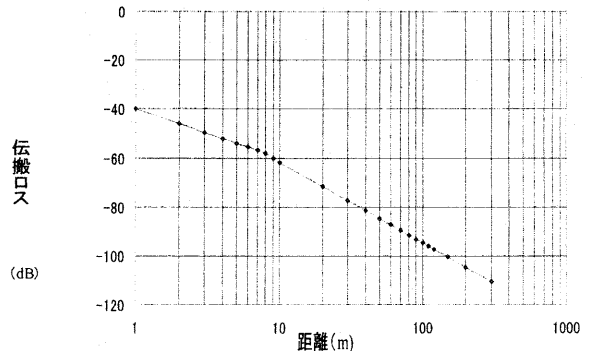


図10 ISMバンドの自由空間ロス

式(1)、式(2)を使い Bluetooth 間と IEEE802.11b 間の距離を 1m, 5m, 10m, 20m として、他システム間の距離を変化させた時の希望波と妨害波の比を図 11 に示す。

図 10 と 4.2 項の検討結果より、自由空間においてエラー・フリーで使用するためには、自システム間の設置距離は約 30m 以内にする必要があることがわかる。

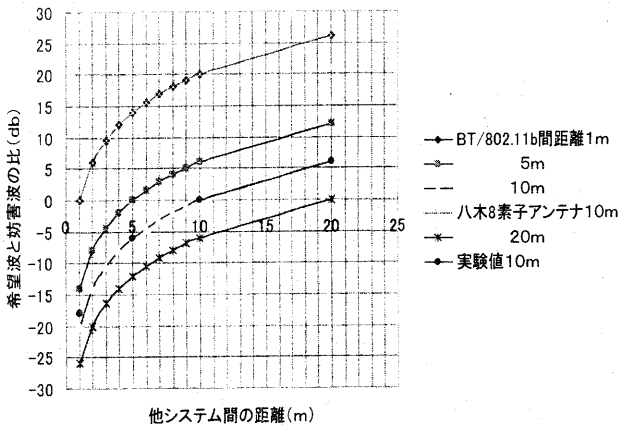


図 11 自由空間における希望波と妨害波強度

図 4 で求めた、自システム間距離 10m にて野外で測定したデータを図 11 に実験値 10m としてあらわした。

これらの値は、式(1)、式(2)、を使用して求めた計算値と良く一致している。

多くの場合、両システムとも室内で使用される場合が多いと思われるが、その室内の環境が千差万別であるため、室内における ISM バンドの伝搬ロスとは特定できない。しかし、本検討における野外などの自由区間伝搬ロスを目安に検討することが可能である。

また、自由空間における任意の自システム間の距離で (IEEE802.11b 間距離 ≠ Bluetooth 間距離)、他システム間の距離を変化した場合の妨害強度も式(1)、式(2)より求められる。

#### 4.4 指向性アンテナ

現行の電波法では、ISM バンドの機器は、その 4 条 3 号や同 38 条などの規定により、空中線電力が最高 10mW/MHz とされている。

これは、指向性をもつアンテナを使用しても、その空中線放射電力を 10mW 以下に保てば良いことを意味している。

指向性アンテナの例として、8 素子八木アンテナを用いた場合を検討する。検討に使用した 8 素子八木アンテナの主な仕様を図 12 に示す[9]。

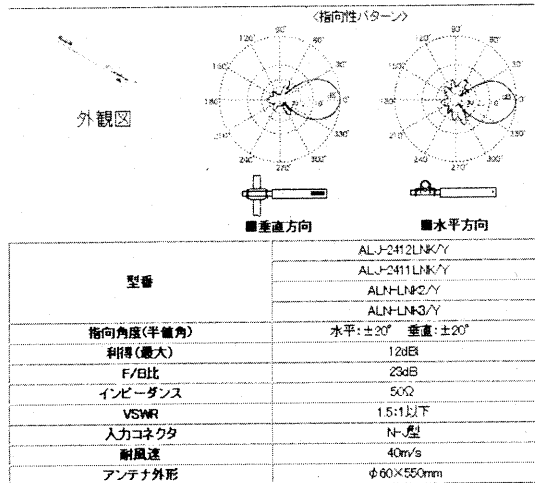


図 12 8 素子八木アンテナの例

図 12 より利得が 12dB でフォワード/バック比が 23dB 得られることがわかる。

このアンテナを IEEE802.11b のシステムに使用した場合を検討する。給電線のロスを 2dB とすると、送信側の IEEE802.11b の空中線電力を -10dBm しぼることになる。しかし、受信側にも同様の 8 素子八木アンテナを使用すると 10dB の感度向上効果があるので、4.3 項までの自システム内の検討結果に変更は生じない。

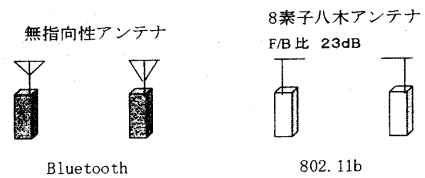


図 13 指向性アンテナの使用例

一方、妨害源となる Bluetooth 側からの妨害波は使用する指向性アンテナの F/B 比だけ減衰される。

この場合は、23dB 分だけ Bluetooth からの妨害波が減衰したことになり、4.3 項の検討結果より自由空間伝搬においては、実効上 10m 距離を離れた効果が得られる。

図 11 に自システム間の距離 10m で 8 素子八木アンテナを使用した時の効果を示した。

Bluetooth 側も同様の 8 素子八木アンテナを使用すれば、同様に F/B 比の 23dB が加算されて妨害波の影響が軽減される。

## 5. まとめ

BluetoothとIEEE802.11bシステムを互いに近傍に置き使用した場合の影響について実験を行い、その影響について検討を行った。その結果、本検討ではBluetoothのほうがデータ転送レート劣化に強いという結果が得られた。また、データ転送レートの劣化の許容値を決めた時、両システム間の離さなければならない設置距離の目安を示した。

次に、現行システムのプロトコルに変更を加えることなく、この影響を軽減するための方策を検討した。

データ転送レートに影響を与える、IPレベルの理論限界値が他システムとの衝突に支配されていることを明らかにした。

無線区間におけるデータ転送レートを劣化させないため、両システムのエラー・フリーに必要な受信電界強度を求めた。その結果、自由空間伝搬で無指向性アンテナを使用したときには、自システム間距離を約30m以内とすればエラー・フリーの伝送が行えることを示した。

自由空間伝搬で他システムとの距離をパラメータとして、任意の自システム間距離で、お互いに与える干渉強度を計算からもとめる方法を示した。

この結果、実験で求めた干渉量と計算値が良く一致した。

指向性アンテナを使用することにより、他システムからの妨害波の影響を低減できることを示した。本稿の検討結果では、現行システムに変更を加えないでお互いの影響を軽減する方法が望ましく、指向性アンテナの使用が有効性であるとの結論を得た。

## 6. 今後の検討

指向性アンテナの使用は、通信相手がどこにいるか確認する必要がある。しかし、設置条件によっては確認できない場合や、移動しながら通信を行う場合には、本稿で提案した単純な指向性アンテナでは利便性の低下が懸念される。

MACレベルでの変更などの方法は、現行システムとの整合性がとれなくなるので望ましくなく、指向性アンテナを用いて電波の到来方向を自動的に追尾するアダプティブアレイ・アンテナの利用を検討したい。

また、通信距離に適した送信出力に送信電力を制御して、他局に与える影響を少なくする検討も行いたい。

## 文 献

- [1] 齋藤,井上他 “他システム干渉存在時のIEEE802.11b無線LANのスループット特性”  
総合大会 B-5-255
- [2] 玄 “2.4GHz帯電波干渉の深刻度 無線LANへの影響は? 抜本的な解決策はあるか? 日経コミュニケーションズ 2001.12.3 p122-127
- [3] 井上,守倉 “IEEE802.11b無線LANシステム標準化の最新動向” NTTジャーナル 2001.1 p125-128
- [4] Mobilian Corporation “Wi-Fi(802.11b) and Bluetooth: An Examination of Coexistence Approaches”
- [5] 蓬田 “無線LANとBluetooth干渉対策技術が急浮上” 日経エレクトロニクス 2001.5.7 p33-34
- [6] A. Kamerman “Coexistence between Bluetooth and IEEE802 CCK” IEEE802.11-00/162 July 2000
- [7] IEEE “Wireless LAN Medium Access Control” IEEE Std 802.11b-1999
- [8] 福永,泉,萩原 “コンピュータ通信とネットワーク” 共立出版 p82-84
- [9] 関西電気株式会社 <http://www.kansai-elec.co.jp/>