

電磁シールド空間における無線通信実験

佐藤 博一
(技術研究所)
沼田 茂生
(技術研究所)
千葉 元
(技術研究所)

§ 1. はじめに

現在の建物では、電話、コンピュータといった個人向けの情報機器は必須で、また中央監視システムなどの情報設備の設置も増加している。これらの情報システムで利用される通信は有線がほとんどであるが、近年、業務の効率化、業務形態の変化などにより事業所 PHS が、また、ハードウェアの低価格化およびコンピュータネットワークの配線問題により無線 LAN が、それぞれ普及し始めている。また、無線システムは既存建物への導入も容易で、リノベーション技術としても注目されており、今後も普及の拡大が見込まれている。事業所 PHS、無線 LAN の普及拡大にとまらぬ、それら無線システムを有効に利用するために、電波の漏洩防止および外部ノイズの侵入防止を目的として、電磁シールドされた建物が増加している。また、無線システムが使う周波数を有効に利用するための通信セル確保を目的とし、一部の空間を電磁シールドする場合もでてきている。このように、無線システムや電磁シールドされた空間が増加しているにもかかわらず、無線通信にとっての空間、特に電磁シールドされた空間評価は明確には行っていない。無線通信では、反射波によるマルチパスフェージングなどにより、符号誤りが発生する可能性がある。電波を反射する面が多い程、また、無線システムの通信速度が速いほどマルチパスフェージングの影響が大きく、エラー発生による通信品質劣下が生じると考えられる。

当社は、サイバービルと称する電磁シールドされた空間を提供している。建築物というハードウェアの提供だけでなく、空間内で利用する無線システムというソフトウェアのための環境作りを行う必要がある。そこで、空間が無線通信に与える影響を評価することを目的とし、電磁シールド実験室において電波伝播環境を変化させ、事業所 PHS、無線 LAN 等

の通信実験を行った。その実験結果から、無線通信に対する空間が与える影響指標に関する検討および無線通信環境改善について述べる。

§ 2. 無線通信測定^{1), 2), 3)}

実験に用いた電磁シールド実験室は、6面を導電性不織布または亜鉛メッキ鋼板で囲まれ、約 6m×15m、高さ 2.8m の電磁シールド性能 40dB 以上の空間である(図-1 参照)。この空間で、オフィスで用いられる無線システムの事業所 PHS、無線 LAN を用いて無線通信の実験を行った。電波伝播環境を変化させるために、一部の電波反射面に電波吸収体を設置した状態で測定を行った。設置した電波吸収体は表-1 に示した 2 種類の吸収性能のものを用いた。これらの電波吸収体は、日本ペイント(株)との共同開発の成果物で、現在市販されている物ではない。

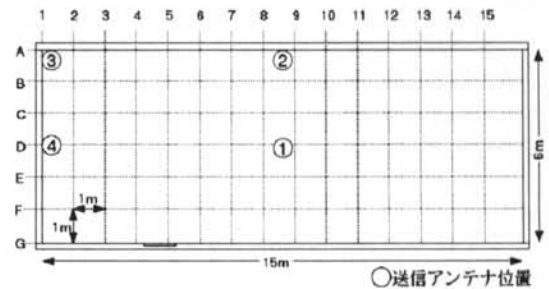


図-1 電磁シールド実験室

	1.9[GHz]	2.45[GHz]
A タイプ	10.84	13.02
B タイプ	4.24	9.45

表-1 実験に用いた電波吸収体

2.1 事業所 PHS を用いた測定

2.1.1 エラー発生率測定

PHS の通信時に生じるエラー発生率の測定システ

ムを図-2に示す。デジタル変調信号発生器により PHS モードで PN9 段の疑似ランダム信号を連続的に送信し、PHS メジャーリングレシーバにより受信復調し、誤り率測定器により 10^6 ビット中の符号誤り率を計測した。送信アンテナはダイポールアンテナを用い、設置高さを 2.5m とした。受信アンテナは PHS メジャーリングレシーバ付属のモノポールアンテナを用い、1.4m の高さで歩行速度で移動した際のエラー発生率を測定した。測定に用いた周波数は、1.89965GHz 帯である。

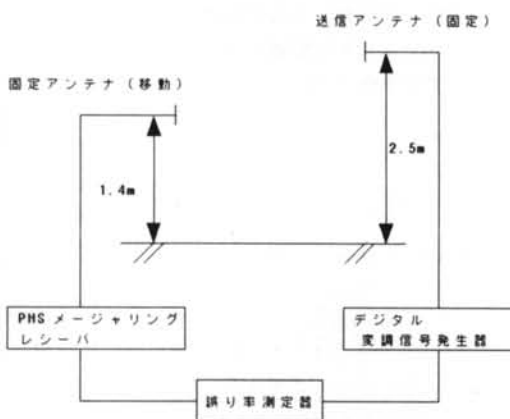


図-2 PHSエラー発生率測定システム

2.1.2 PHSデータ通信測定

事業所 PHS の PIAFS (PHS Internet Access Forum Standard) モードを用いて、データ転送速度の測定を行った。PIAFS は、PHS を用いた 32kbps の速度のデジタル・データ伝送方式の業界標準規格である。一方の端末を固定し、もう一方を移動局とし複数点にて計測を実施した。ファイル転送を行っている間は移動局側も固定し、Windows95 付属のハイパーターミナルを用いてファイルのコピーにかかる時間を計測した。

2.2 無線 LAN を用いた測定

2.2.1 無線 LAN ファイル転送速度測定

peer to peer による無線 LAN システムを、ネットワーク Os に Netware を用いて構築し、ファイルのネットワークコピーにかかる時間を計測した。片方の無線 LAN を固定し、もう一方を移動台車に設置し、複数点において測定した。ファイル転送中は移動局側も固定して計測を行った。計測に使用した無線 LAN はスペクトラム拡散方式で、最大通信速度

3Mbps の周波数ホッピング方式と、最大通信速度 5Mbps の直接拡散方式のものをを用いた。

2.3 遅延プロファイルの測定

図-3に遅延プロファイル計測システム図を示す。ネットワークアナライザのバンドパス、タイムドメイン、S21 モードで遅延プロファイルを測定した。測定は、送信および受信にディスコーンアンテナを使用し、1.2m の高さに設置し、複数の送信点および受信点で行った。測定に用いた周波数は、1.9GHz 帯(帯域幅 150MHz)と 2.45GHz 帯(帯域幅 150MHz)である。

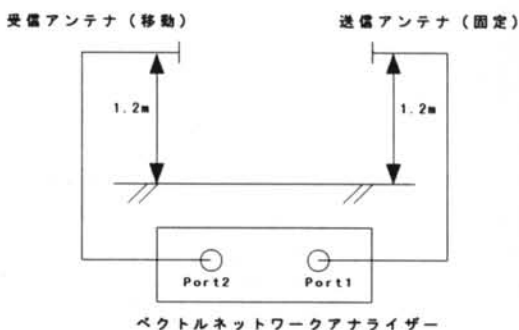


図-3 遅延プロファイル測定システム図

§ 3. 測定結果

3.1 事業所 PHS を用いた測定

3.1.1 PHS 通信におけるエラー発生率の測定

PHS エラー発生率の結果を図-4、図-5に示す。横軸は、誤り率測定器により検出した 10^6 ビット中の符号誤り率の指数部を示している。例えば、-6 乗とは、 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ のエラーが発生した事を示している。縦軸は、エラー発生率の出現頻度をエラー発生率の小さい順に累積した際の割合を示している。図-4は、表-1に示した A タイプの吸収体を施工した場合、図-5は B タイプの吸収体を施工した場合である。図を見ると、A タイプ、B タイプの吸収体ともに、床、短壁、長壁に吸収体を施工した場合にエラー発生が少なく、次いで床と短壁に施工した場合、床と長壁に施工した場合の順にエラー発生率が高くなっている。

次に、受信位置を微動した際の受信レベル、ビットエラー発生率を図-6～図-8に示す。受信アン

テナ位置を、エラーが発生するポイントから数センチ移動すると、エラーが発生しないことがわかる。今回の実験では受信レベルが-50dBm 以下になるとエラーが発生することがわかる。

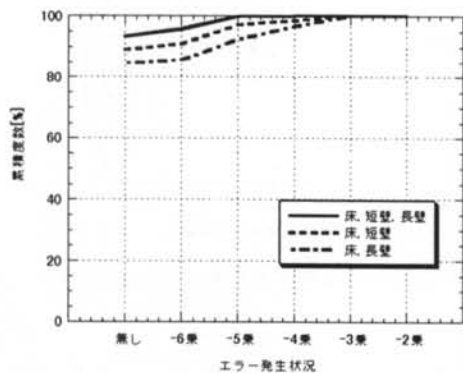


図-4 Aタイプ吸収体施工時 PHS のエラー発生率

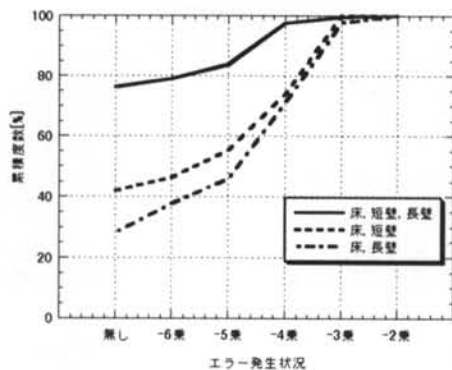


図-5 Bタイプ吸収体施工時 PHS のエラー発生率

3.1.2 PIAFS データ通信実験

吸収体を施工しない場合、70 点の測定ポイントのうち、約 25%にあたる 17 ポイントにおいてファイル転送速度の低下が見られた。しかし、床 1 面に吸収体を施工することにより、ファイル転送速度は PIAFS で規定されている最大通信速度で行われた。

3.2 無線 LAN の転送速度

図-9、図-10 に B タイプの吸収体を施工した場合の、無線 LAN のファイル転送速度の測定結果を示す。図-9 は最大通信速度 3Mbps の周波数ホッピング

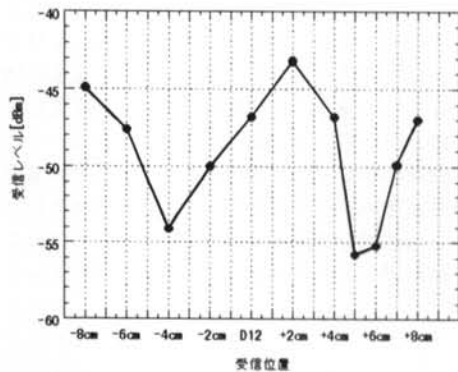


図-6 受信位置と受信レベルの関係

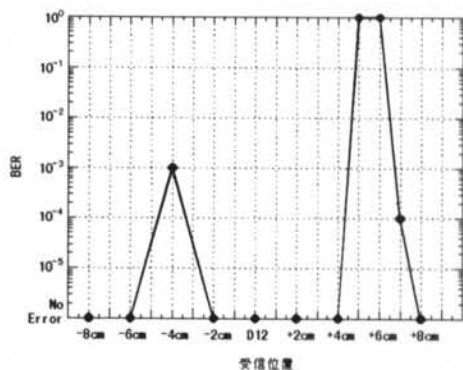


図-7 受信位置と BER の関係

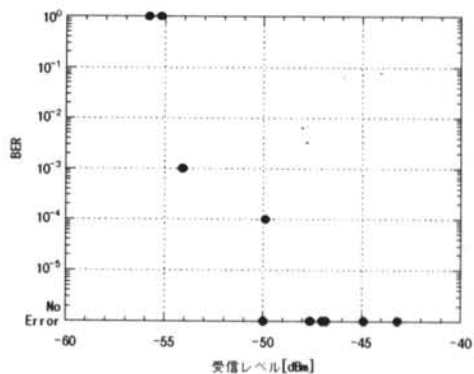


図-8 受信レベルと BER の関係

方式のもの、図-10 は最大通信速度 5Mbps の直接拡散方式の無線 LAN の結果である。横軸は、1 秒

間に送れるビット数で、縦軸は転送速度の違いものから順に累積した割合である。両図を見ると、どちらの無線 LAN も 3 面に吸収体を施工した場合に相対的に高速な通信が行えており、次いで床と長壁に吸収体を施工した場合、床と短壁に吸収体を施工した場合の順となっている。最大通信速度が 5Mbps タイプの実験結果を見ると、3 面施工と 2 面施工の場合の違いが顕著で、3 面施工することにより相対的に高速な通信が行えており、2 面施工の場合通信速度が遅い測定ポイントの割合が多く、無線 LAN の性能が発揮できないことがわかる。

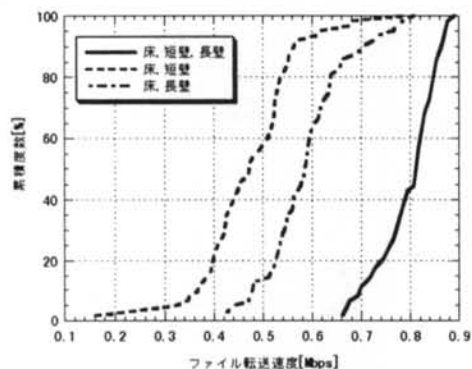


図-9 ファイル転送速度 (3Mbps タイプ)

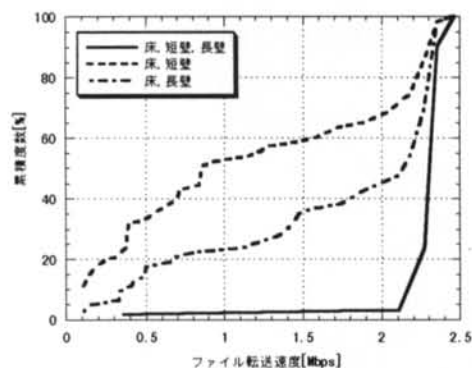


図-10 ファイル転送速度 (5Mbps タイプ)

次に、図-11～図-13 に無線 LAN 種類の違いによる比較を示す。最大通信速度が異なるため、この実験でそれぞれの無線 LAN システムで得られた最大通信速度で正規化している。図-11 を見ると、3 面に吸収体を施工するとどちらの無線 LAN システム

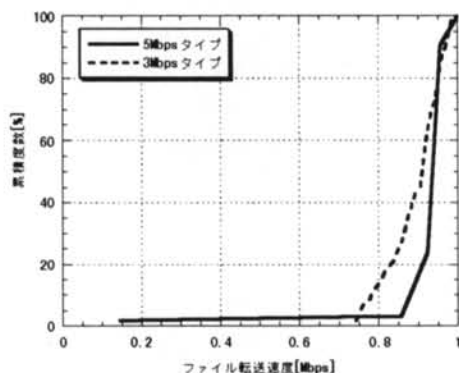


図-11 無線 LAN 種類による違い (3 面施工時)

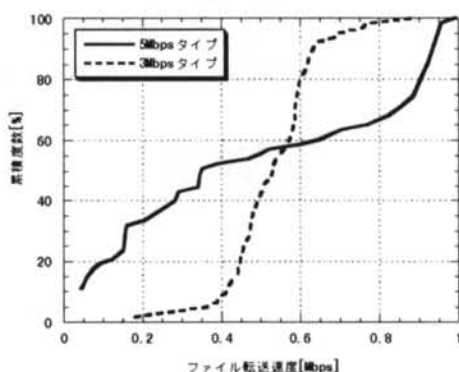


図-12 無線 LAN 種類による違い (床, 短壁施工時)

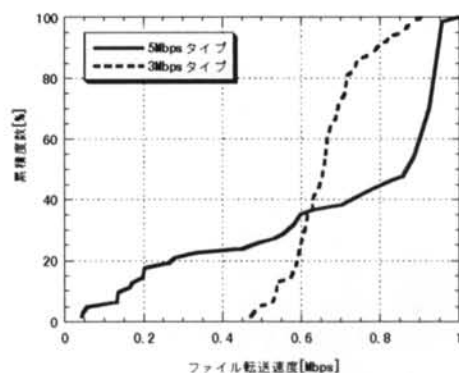


図-13 無線 LAN 種類による違い (床, 長壁施工時)

もそれぞれの性能を発揮していることがわかる。一方、図-12、図-13 を見ると、2 面に吸収体を施工

した場合、5Mbps タイプの無線 LAN の方が、3Mbps タイプの無線 LAN よりも転送速度の劣化度が大きいことがわかる。このことから、5Mbps タイプの無線 LAN の方が反射面の影響を受けやすいと言える。

3.3 遅延プロファイル

図-14～図-16 に 2.45GHz 帯の遅延プロファイルを示す。図-14 は 6 面反射の場合、図-15 は 2 短壁に吸収体を施工した場合、図-16 は 5 面に吸収体を施工した場合の遅延プロファイルである。図を見ると、6 面反射の場合、電波がほとんど減衰せずにいるのがわかる。直接波を受信してから 3μ秒後でも 10dB の減衰にとどまっておき、高いレベルの反射波が到来していることがわかる。一方、5 面に吸収体を施工した場合の遅延プロファイルを見ると、直接波を受信後、約 0.2μ秒後には受信レベルはノイズレベルまで減衰し、反射波が大きくないことがわかる。1.9GHz 帯における遅延プロファイルも同様の傾向であった。

§ 4. 考察 ^{4), 5), 6)}

測定した遅延プロファイルより、遅延スプレッドを求め、PHS のエラー発生率および無線 LAN のファイル転送速度との関係について考察を行う。この指標は、本来は屋外を対象として用いられているが、建築空間のような閉空間へどの程度活用できるかを検討するものである。遅延スプレッドは、図-17 のように最初に閾値以上となる時刻を t_0 、最後に閾値以下となる時刻 t_1 を決め、式(1)～(3)から求めた。式に有る P_m 、 T_D 、 DS はそれぞれ受信電力、平均遅延、遅延スプレッドを表している。今回は、受信レベルの最大値から 30dB 減衰したレベルを閾値レベルとして算出した。

$$P_m = \int_{t_0}^{t_1} f(t) dt \quad (1)$$

$$T_D = \frac{1}{P_m} \int_{t_0}^{t_1} (t - t_0) f(t) dt \quad (2)$$

$$DS = \sqrt{\frac{1}{P_m} \int_{t_0}^{t_1} (t - t_0)^2 f(t) dt - T_D^2} \quad (3)$$

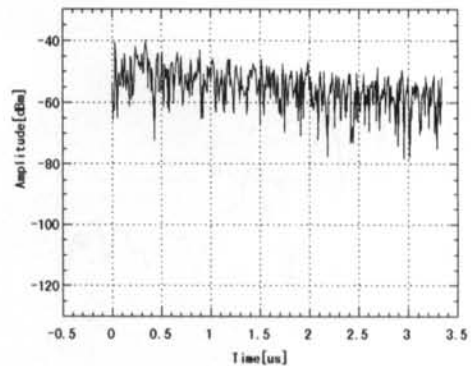


図-14 6面反射時遅延プロファイル

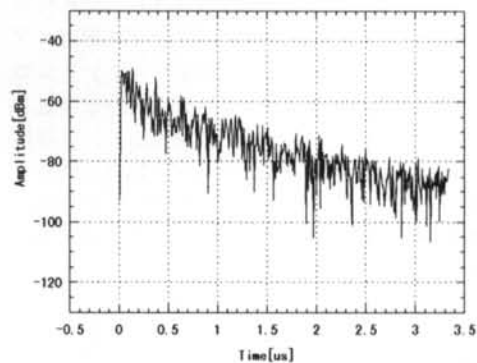


図-15 2短壁吸収体施工時遅延プロファイル

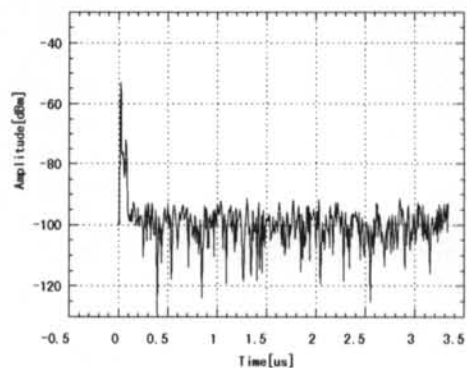


図-16 5面吸収体施工時遅延プロファイル

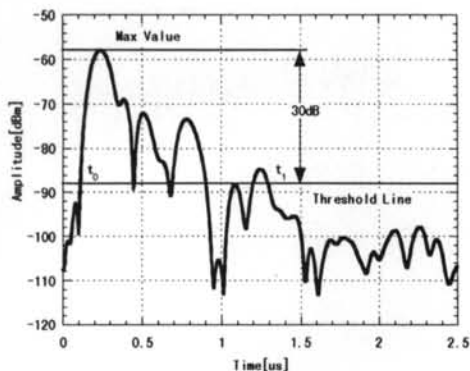


図-17 遅延スプレッドの定義

表-2 に計測した遅延プロファイルから求めた平均遅延スプレッドを示す。表に示した平均遅延スプレッドは、複数点で測定した遅延プロファイルの0.6μ秒までのデータを用いて計算し求めた遅延スプレッドの平均値とした。表-2を見ると、吸収体を施工することにより遅延スプレッドに差を認めることができる。また、吸収体の施工面積だけでなく、吸収体設置位置も遅延スプレッドに影響を与えることがわかった。

	1.9[GHz]	2.45[GHz]
1面(床)施工	152.39	152.18
2面(床, 短壁)施工	103.44	78.12
2面(床, 長壁)施工	86.07	74.04
3面施工	43.09	25.16

表-2 平均遅延スプレッド[ns]

算出した遅延スプレッドと PHS のエラー発生率の関係を図-18 に、遅延スプレッドと無線 LAN のファイル転送速度との関係を図-19、図-20 にそれぞれ示す。図-18 から平均遅延スプレッドが大きくなるにつれ、エラー発生率が大きくなっていることがわかる。また、図-19、図-20 からは、平均遅延スプレッドが大きくなるに従い、ファイル転送速度が小さくなることがわかる。これらのことから、遅延スプレッドと無線通信品質との間に関連があることがわかる。

次に、測定した遅延プロファイルから、音響分野で用いられる残響カーブ、残響時間を求め、ファイル転送速度との関連を調べた。残響カーブは、図-21

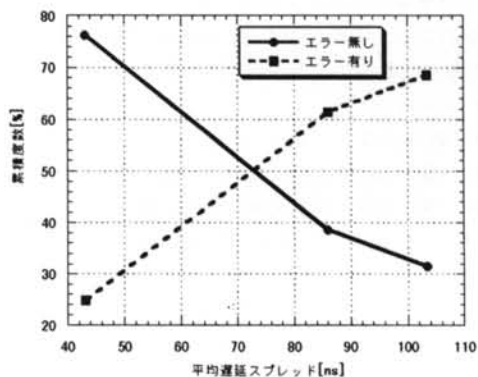


図-18 遅延スプレッドと PHS エラー発生率

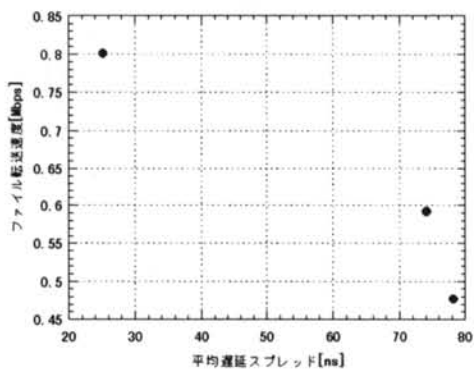


図-19 遅延スプレッドとファイル転送速度(3Mbps
タイプ無線 LAN)

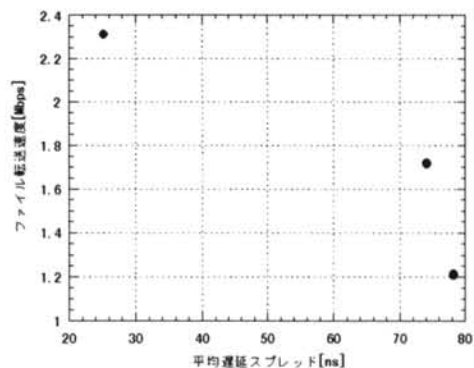


図-20 遅延スプレッドとファイル転送速度(5Mbps
タイプ無線 LAN)

に示したように、受信電波の後ろから積分して得る。図-22 が $0.4\mu\text{s}$ を積分開始位置として得られた残響カーブである。この残響カーブから、図のように、回帰直線を求め、30dB 減衰した時刻を残響時間とした。図-23、図-24 に積分開始ポイントを $0.4\mu\text{s}$ とした際に得られた残響時間とファイル転送速度の関係を示す。図を見ると残響時間が大きくなるにつれ、ファイル転送速度が遅くなる傾向がわかる。

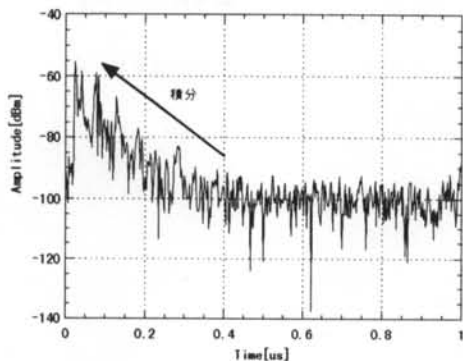


図-21 遅延プロファイル

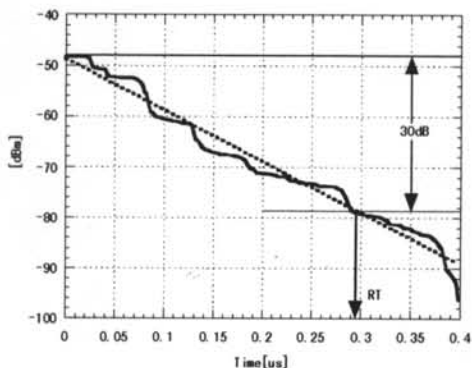


図-22 残響時間の定義

§ 5. まとめ

電磁シールド実験室で、PHSのエラー発生率測定、無線LANのファイル転送速度測定および遅延プロファイルの測定を行った。

電波吸収体を実験室の反射面に施工することにより、遅延スプレッドが小さくなることがわかった。

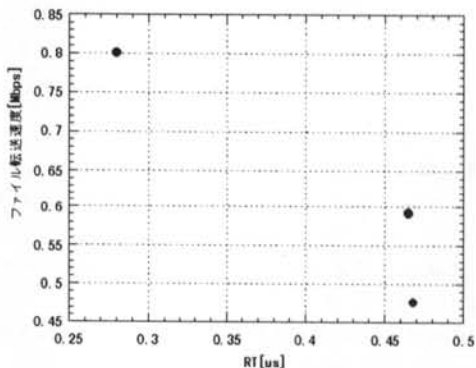


図-23 残響時間とファイル転送速度(3Mbps タイプ無線LAN)

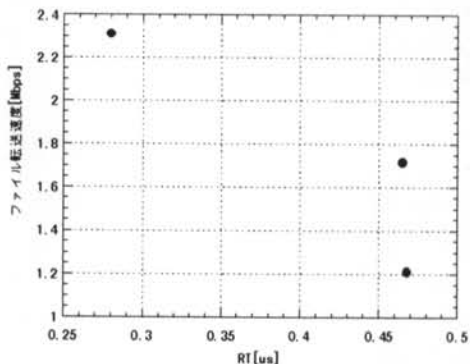


図-24 残響時間とファイル転送速度(5Mbps タイプ無線LAN)

今回の実験からは、吸収体の面積だけでなく、吸収体の設置位置も遅延スプレッドに影響することがわかった。空間指標と無線通信システムの間連は、遅延スプレッドが大きくなるにしたがい、PHSのエラー発生率が増加し、無線LANのファイル転送速度が低下することがわかった。また、残響時間が長くなるにつれて、無線LANのファイル転送速度が低下することがわかった。

本報告書で示した測定結果から、電波の反射面が多いほど、PHSのエラー発生が増加し、無線LANのファイル転送速度が低下することが言える。また、無線通信利用空間の評価指標として、遅延スプレッドおよび残響時間の有用性が示唆された。今後はそれら空間指標と空間の大きさとの関係、人および什

器の影響把握，空間指標を求める際に影響が大きい 等をサイバー実験棟等で行う予定である。
ノイズレベルの定義方法，ノイズレベルの低減手法

<参考文献>

- 1) 小田他：“オフィスにおける無線データ伝送の障害について”，日本建築学会大会学術講演概要集，D-1，pp.1041-1042，1997.
- 2) 佐藤他：“遅延スプレッドによる無線システム利用空間評価”，日本建築学会大会学術講演概要集，D-1，pp.1045-1046，1997.
- 3) 長田他：“電波吸収体を用いた電磁シールド内の伝送特性改善”，日本建築学会大会学術講演概要集，D-1，pp.1047-1048，1997.
- 4) 進士昌明：“無線通信の電波伝搬”，(社)電子情報通信学会，コロナ社，pp.208-210，1992.
- 5) 村翔：“建築音響と騒音防止計画”，彰国社，pp.70-73，1977.
- 6) 永田穂：“建築の音響設計”，オーム社，pp.20-25，1