

# 実測伝搬パラメータを用いた方式評価の一検討

前山 利幸<sup>†</sup>, 米澤 健也<sup>†</sup>, 岩井 誠人<sup>†</sup>, 原田 博司<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> KDDI 研究所 神奈川県横須賀市光の丘 7-1

<sup>‡</sup> 情報通信研究機構 神奈川県横須賀市光の丘 3-4

E-mail: maeyama@kddilabs.jp

**あらまし** 伝送方式の評価に関するフィールド実験は伝送システムの開発に欠かせない評価項目である。しかし、フィールド実験において伝送方式のシステムパラメータを柔軟に変更することは難しく、さらに変更後の再実験は大変な労力が必要で評価効率を低下させる。これに対して、実測した伝搬データを方式評価に用いることで、フィールド実験を最小限に留め評価効率向上が見込まれる。筆者らは、福島県いわき市の市街地内およそ 4500 箇所、伝搬損失ならびに遅延プロファイルの伝搬データを取得した。これら実測した伝搬データを用いる伝送方式の評価シミュレータを開発し、代表的な伝送方式に対して評価シミュレーションを実施した。計算機上で伝送方式パラメータ変更することで、柔軟な伝送方式の評価を行うことが可能である。

**キーワード** 伝送方式, 伝搬, 伝搬損失, 遅延プロファイル, 遅延スプレッド

## 1. まえがき

筆者らは 5GHz 帯 (4.9~5.0GHz) において、各種サービスイメージを想定した伝搬実験を行い、サービス毎の伝搬特性の調査研究を進めている。福島県いわき市で実験局免許を取得し、受信信号強度ならびに遅延プロファイルの測定を行い、結果の一部は既に報告した [1-5]。

一方、伝送方式の評価におけるフィールド実験は、伝送システムの開発に欠かせない作業である。しかし、フィールド実験は、測定そのものが大変であり、評価途中でのシステムパラメータの変更は更なる工数増加を招く。

これらの問題を勘案し、筆者らは実測した伝搬データを活用した方式評価シミュレータを開発した。このシミュレータは、伝送方式をソフトウェアで組み込むことで、評価エリア全体の BER (bit error rate) を求めることを可能とするものである。また、シミュレータ上では、送信電力、遅延などの伝搬パラメータや、伝送速度などの伝送パラメータを変更することが可能であり、パラメータに対する伝送特性を容易に得ることができる。

本報告では、例として IEEE802.11a を伝送方式と選定し、実測伝搬データを用いた伝送特性評価を実施したので報告する。

## 2. 伝搬測定環境及び測定系諸元

伝搬データの取得は福島県いわき市で行った。いわき市は平均建物高 2~3 階程度の地方の中都市である。送信側では、7 階建てのビル屋上に 5GHz 帯送信アンテナを設置した。受信アンテナは測定車両の天井に取り

付け、市街地を面的に走行しながら遅延プロファイルと受信信号強度を同時に測定した。遅延プロファイルは 1 つの測定点で 100 個程度の複素遅延プロファイルを取得すると同時に、遅延プロファイル測定用の広帯域信号のスペクトル波形をリアルタイムスペクトルアナライザで測定しオフライン処理で受信信号強度に変換した。測定系の諸元を表 1 に示す。測定位置情報は、測定車両に搭載した GPS (Global Positioning System) を用いて取得した。用いた GPS の分解能で位置を決定した場合、測定点は 4490 箇所となった。

いわき市街の伝搬状況として、図 1 に伝搬損失特性 (距離特性) [4]、図 2 に遅延スプレッドの発生確率・累積確率分布 [2] を示す。いわき市街の遅延スプレッドの中央値は 300nsec であった。

表 1 実験諸元

中心周波数	4950 [MHz]
送信電力	40 [dBm]
送信信号	PN 系列 9 段
チップレート	40Mcps
周波数帯域幅	80MHz
送信アンテナ	水平面内無指向性 利得 9.7 [dBi] 設置高 約 40 [m]
受信アンテナ	水平面内無指向性 利得 4.7 [dBi] 設置高 2.5 [m]

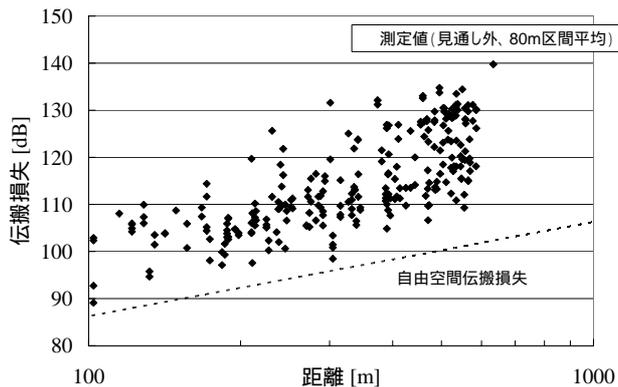


図 1 伝搬損失特性

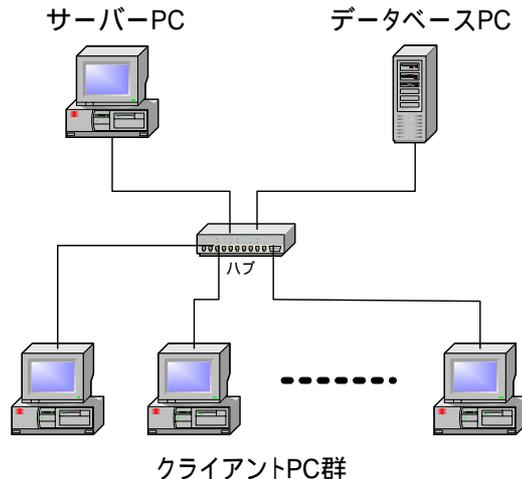
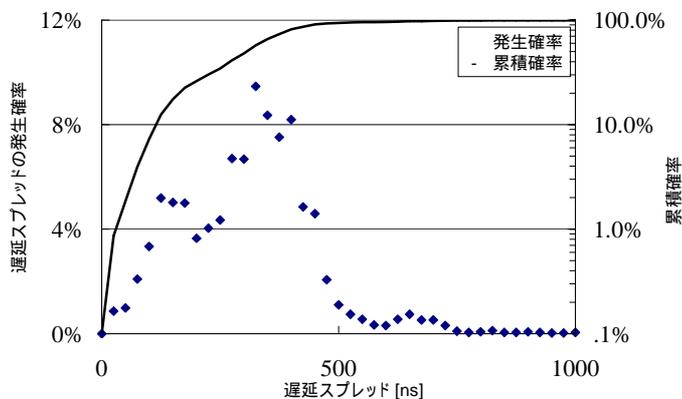


図 3 方式評価シミュレータ



(遅延スプレッドの刻み幅：25nsec)

図 2 遅延スプレッドの発生確率・累積確率分布

### 3. 方式評価シミュレータ

いわき市街の測定で取得した遅延プロファイルデータは、4490 箇所×約 100 個のデータがある。一方、方式評価シミュレータでは、1つの遅延プロファイルデータに対し BER を計算するが、例えば  $10^{-5}$  の BER を得るには少なくとも  $10^6$  bit 程度の伝送をシミュレーションしなければならない。従って、いわき市街地において面的に BER を求めると、膨大な計算量となる。そこで、遅延プロファイルデータについては、1つの測定点から 1つの遅延プロファイルデータを採用した。また、方式評価シミュレータに分散処理機能を搭載することで計算時間の短縮を図った。

方式評価シミュレータについて説明する。遅延プロファイルや伝搬損失などの伝搬データを蓄積するデータベース PC とプロセスの分散処理を管理するサーバー PC ならびに BER 計算プロセスを実行するクライアント PC で構成される(図 3)。クライアント PC の数を増やし、BER 計算プロセスを各クライアント PC に効率的に分配管理することで計算時間の短縮を図った。

### 4. 伝送特性評価

福島県いわき市で測定した伝搬データを基に、方式評価シミュレータを用いた伝送特性の評価シミュレーションを行った。対象とする伝送方式は、無線 LAN で用いられている IEEE802.11a とした。IEEE802.11a の OFDM 変復調を行なう物理部をシミュレータ上に構築し、誤り訂正を行わずに BER を直接評価した。シミュレーション諸元を表 2 に、シミュレーション系ブロック図を図 4 に示す。

シミュレータ上における OFDM の同期処理について説明する。遅延プロファイルデータから、電力値の最も大きいパスを抽出しその位相に対して同期をとる。FFT タイミングは、OFDM シンボル間の干渉量が最小となる様、タイミングを抽出した。また、OFDM シンボル内においては、各パイロット信号の位相回転量を抽出しパイロットサブキャリア間を周波数軸上で線形補完し、シンボル内の位相補正值を求めた。

伝搬パラメータならびに伝送方式パラメータを変化させ、いわき市街の各測定点の BER を求め地図上にプロットした結果(BER マップ)を以下に示す。BER マップにおいて、0.5 誤りを黒色、誤り無し ( $10^{-5}$  以下)を薄いグレー色としてグレースケールで表示した。伝送特性の評価条件を表 3 に示す。また、福島県いわき市の市街地図を図 5 に示す。

表 2 シミュレーション諸元

サンプリング周波数	20MHz
サブキャリア数	52 (含む 4 サブキャリア)
パイロット サブキャリア番号	-21, -7, 7, 21
FFT ポイント数	64 ポイント
シンボル周期	4 μ sec
ガード インターバル長	800nsec ( 16 ポイント )
サブキャリア 変調方式	QPSK

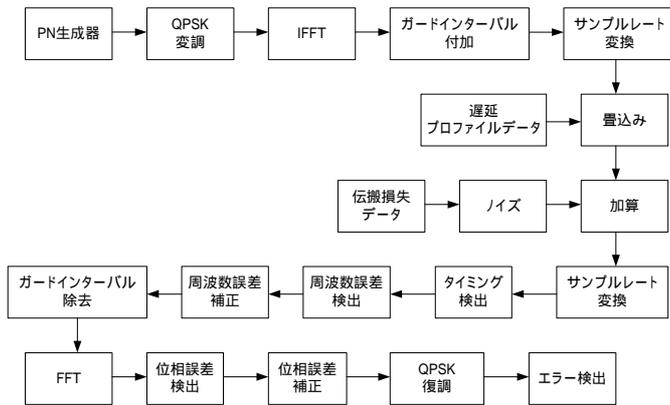


図 4 OFDM シミュレーションブロック図



(図中の黒点は送信点を示す)

図 5 いわき市街地図

表 3 評価条件

	送信出力	遅延 プロファイル	補足
ケース 1	規定以上 例: 10W	遅延波無し	
ケース 2	規定せず	実測値を使用	C/N 無限大
ケース 3	規定出力 250mW	実測値を使用	
ケース 4	規定以上 例: 10W	実測値を使用	
ケース 5	規定以上 例: 10W	実測値を使用	OFDM パラメ ータ変更

【ケース 1】

遅延波が無い状態 (インパルス状の遅延プロファイル) を模擬し、各測定点における伝搬損失を用いて BER を計算した。従って、誤り発生は C/N の劣化のみに起因する。図 6 より、伝搬距離が長く伝搬損失が大きい点において、 $10^{-2}$  程度の誤りが発生していることが解る。



図 6 BER マップ (ケース 1)

【ケース 2】

受信信号強度は十分に大きく、伝搬損失が無い状態を模擬し、各測定点における遅延プロファイルを用いて BER を計算した。従って、誤りの発生は遅延歪みのみに起因する。図 7 より、遅延歪みによる 0.5 誤りとなる地点が多く発生していることが解る。IEEE802.11a 方式で BER を改善するには、伝搬路推定などによる歪み補償回路が必要であることがわかる。

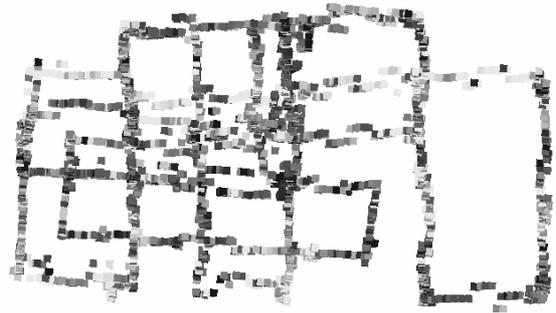


図 7 BER マップ (ケース 2)

【ケース 3】

当該実験で用いた 4.9~5.0GHz 帯は電気情報通信審議会の答申で無線アクセス用途としての利用が認められている [6][7]。当該周波数帯の利用規定に基づいて送信電力 250mW とし、伝搬損失、遅延プロファイル

データを用いて BER を計算した。BER マップを図 8 に示す。図 6(ケース 1)で C/N の劣化により誤りが発生していた地点は、当該ケースにおいてもほとんど 0.5 誤りとなっている。図 7(ケース 2)で示された遅延歪による誤り地点も S/N の劣化によりさらに誤りが増加している。

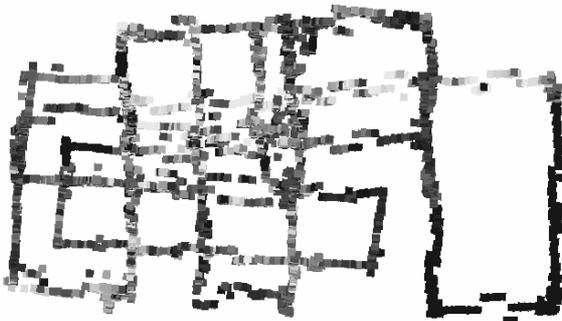


図 8 BER マップ (ケース 3)

【ケース 4】

今回の伝搬データは移動通信環境で取得していることを勘案し、例としてケース 3 の条件において送信電力を 10W として BER を計算した結果を図 9 に示す。C/N の劣化による誤りが発生していた地点では、誤りが改善していることが解る。

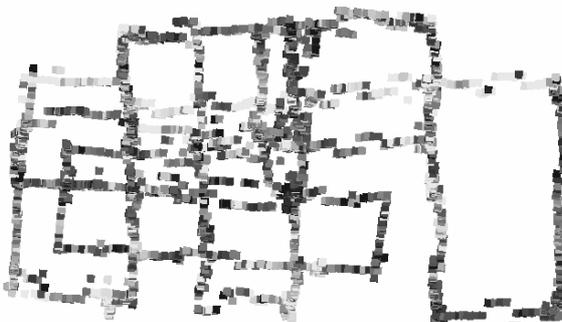


図 9 BER マップ (ケース 4)

【ケース 5】

ケース 4 から、伝送パラメータを変更して BER を計算した結果を図 10 に示す。IEEE802.11a における OFDM シンボルレートを 1/2 となるよう、サンプリングレートを 10MHz に変更した。サブキャリア数や FFT ポイント数は変更していないので、帯域幅は 1/2、ガードインターバル長は 2 倍となっている。シンボルレートが低下したことで、遅延歪みの影響が減少し、BER が改

善していることが解る。

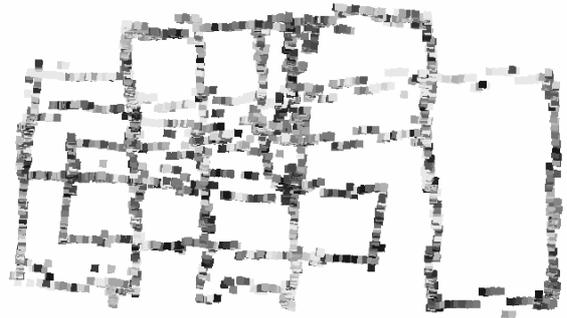


図 10 BER マップ (ケース 5)

次に、ケース 2(遅延のみ)、ケース 4(10W 送信)、ケース 5(シンボルレート 1/2)について、サービスエリアサイズを検討した[5]。エリア半径 100m 毎に、誤り閾値  $10^{-2}$  以下となる測定点の割合をサービスエリアのカバー確率として図 11 にプロットした。

ケース 2, ケース 4 とともにエリア半径 600m までは同等のカバー率である。600m 以降、ケース 4 はケース 2 に対し伝搬距離に応じてカバー率が劣化している。この結果、誤り発生原因は、エリア半径 600m までは遅延歪みが支配的であるが、600m 以降は C/N 劣化が支配的であることが解る。

ケース 4 に対しケース 5 は 10% 程度の場所率の改善が得られた。これは、シンボルレートの低下により遅延歪みの影響が低減したと思われる。

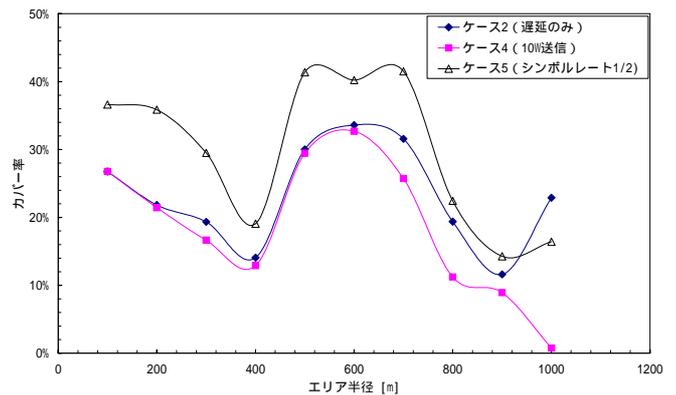


図 11 エリアカバー率

5. まとめ

実測した伝搬データを用いて無線方式の伝送特性評価を行った。ここでは一例として、IEEE802.11a に準じた方式を想定した。伝搬損失、遅延の有無などの伝搬パラメータや伝送方式のパラメータを変更に応じて BER マップの変化を確認した。例として、エリア内

におけるサービスエリアのカバー率を求めた結果，エリア半径に応じた誤り発生の支配的な要因を示すことが出来た．

## 文 献

- [1] 原田，藤瀬，米澤，前山，岩井，篠永，“5GHz 帯高基地局高アンテナシステムのマルチパス特性，” 2003 年総大会，B-1-47．
- [2] 米澤，前山，岩井，原田，“5GHz 帯マイクロセルシステムにおける遅延スプレッド分布特性，” 2003 年総大会，B-1-39．
- [3] 岩井，米澤，前山，篠永，原田，藤瀬，“5GHz 帯高基地局高アンテナシステムにおける伝搬損失の測定実験，” 2003 年総大会，B-1-46．
- [4] K. Yonezawa, T. Maeyama, H. Iwai, H. Harada, “Path Loss Measurement in 5 GHz Macro Cellular Systems and Consideration of Extending Existing Path Loss Prediction Methods,” IEEE WCNC2004Conference Record, 2004.
- [5] 国澤，米澤，前山，岩井，篠永，原田，藤瀬，“5GHz 帯無線アクセスシステムのエリアサイズに関する実験的検討，” 2003 年総大会，B-5-225．
- [6] 総務省報道資料，無線インターネットの高速化に向けて - 「5GHz 帯無線アクセスシステムの技術的条件」を答申 - ，2002 年 5 月  
[http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020507\\_1.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020507_1.html)
- [7] 総務省報道資料，マイクロ波帯固定通信システムの周波数割当の見直し - 「固定通信システムによるマイクロ波帯の利用に関する調査研究会」報告 - ，2001 年 6 月  
[http://www.soumu.go.jp/joho\\_tsusin/pressrelease/japanese/sogo\\_tsusin/010629\\_2.html](http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/pressrelease/japanese/sogo_tsusin/010629_2.html)