

低アンテナ高送受信における 5GHz 帯伝搬損失特性

米澤 健也，野原 光夫

KDDI 研究所 神奈川県横須賀市光の丘 7-1

E-mail: yonezawa@kddilabs.jp

あらまし 新世代移動通信におけるセルサイズ拡張を目的としたマルチホップセルラシステムの検討がされている。本システムの一要素である端末間伝送に関して、伝搬損失特性については解明されていない。本稿では低アンテナ高送受信環境における伝搬損失特性について測定・検討を行ったので報告する。

キーワード マイクロ波帯，低アンテナ高，ストリートセル，マルチホップセルラ，アドホック

1. まえがき

新世代移動通信の候補周波数帯として 3 ~ 5GHz が有力と考えられている。この周波数帯は従来の移動通信に割り当てられている 800MHz 帯，2GHz 帯等より伝搬損失が大きく，従って，セルサイズも従来のものよりも小さくなる。よって，セルラサービスの面的展開を考えた場合に基地局設置数が増加し，また，不感地帯も増加する。この対策として，例えばマルチホップセルラシステムが検討されている[1-2]。マルチホップセルラシステムは基地局(BS)-端末(MS)間の信号を中継機能を有する端末(M-RS)または中継局(F-RS)によって数ホップ区間中継することにより，信号の伝送距離を向上させる技術である。図 1 に本システムのイメージ図を示す。

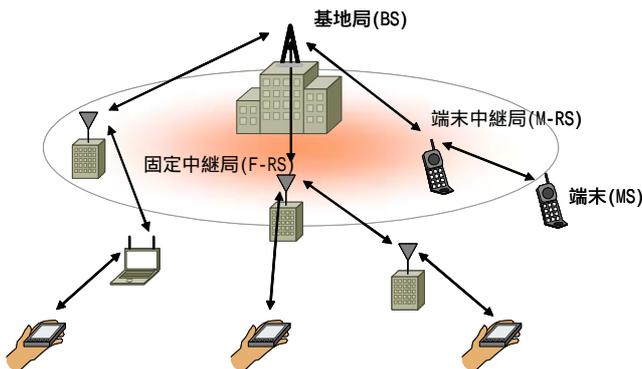


図 1 マルチホップセルラシステム概念図

マルチホップセルラシステムにおいて，例えば，リンクバジェットを検討するに際して，高周波数帯における伝搬損失推定式が必要となる。マイクロ波帯における伝搬損失推定式として，基地局～中継局間の伝搬モデル，すなわち，高アンテナ高送信においては，COST231 Walfisch-Ikegami モデルの拡張式[3]，レイトレースをベースとした推定

式[4]，坂上式の拡張[5]，奥村-秦式の拡張[6]など多くの研究がされている。また，固定中継局～端末間，すなわち，中アンテナ高送信においてはストリートセルにおける検討がされている[7]。しかしながら，ストリート伝搬モデルの送信アンテナ高の想定範囲は 4m 以下であり，中継端末～端末間，すなわち低アンテナ高送受信環境は範囲外である。本稿では，マイクロ波帯マルチホップセルラシステムにおける端末間伝送の見通し外伝搬モデルを検討する。具体的には，交差点見通し外（コーナー 1 回を曲がった環境）での低アンテナ高送受信における伝搬損失特性を対象とする。本検討はアドホックネットワークに対しても適用可能である。

まず，低アンテナ高送受信環境において測定した伝搬損失特性について述べる。次に，測定した伝搬損失を用いて，その特性を定式化する。

2. 伝搬損失測定実験

2.1. 測定諸元

実験は福島県いわき市にて実施した。まず，測定に先立ち，測定環境をモデル化した(図 2)。このモデルに示す各パラメタに対する伝搬損失の依存性を測定により検討した。

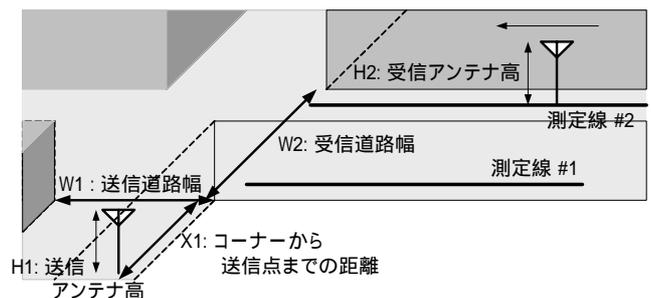


図 2 測定環境モデル

表 1 測定パラメタ

コーナーから送信点までの距離	5, 10, 20 [m]
送受信アンテナ高	1.4, 1.2, 1.0 [m]の組合せ
測定線	道路両端 (歩道上)
送受信道路幅	表 3

表 2 測定システム諸元

送信周波数	4.95 [GHz]
送信電力	10 [W] (40 [dBm])
送受信アンテナ	水平面内無指向性, 5 dBi

表 3 測定環境

測定ポイント	送信道路幅	受信道路幅
商店街	24 m	10 m
住宅街 1	4 m	8 m
住宅街 2	4 m	6 m
官庁街 1	30 m	12 m
官庁街 2	18 m	20 m

表 1 に実験パラメタ, 表 2 に実験システム諸元を示す. コーナーから送信点までの距離(X_1)は 5m, 10m 及び 20m と変化させた. 送受信アンテナ高 (H_1, H_2)は, 送受信点間の伝搬路は可逆と想定し, 1.4m, 1.2m, 1.0m の組合せ, すなわち 6 通りの組合せで測定を行った. 送信点を固定し, 受信アンテナを道路の両端に設定した測定線上(#1, #2)を移動させながら約 3cm 毎にスペクトラムアナライザで受信信号強度を測定し, 伝搬損失に変換した. 送受信道路幅(W_1, W_2)を連続的に変化させることはできないので, それらが異なる環境, 5ヶ所の交差点を選定し測定場所とした. 表 3 に各測定ポイントの送受信道路幅を示す.

2.2. 測定結果

2.2.1 送受信アンテナ高及び測定線に対する依存性

図 3 に測定結果の一例として, 商店街での送受信アンテナ高 1.4m 及び 1.0m における測定結果を示す. (送信点のコーナーからの距離は 10m である.) ここで, 測定線及びアンテナ高に対する依存性が低いように見えるので, 自由空間伝搬損失を基準とした追加損失の統計値をみた. 追加損失の中央値を表 4 に示す. 表 4 より, 測定線及び送受信アンテナ高に対する伝搬損失特性の依存性はほとんどないと考えられる. 以降, 送受信アンテナ高及び測定線が異なるものについては平均化処理を行ったデータを示すこととする.

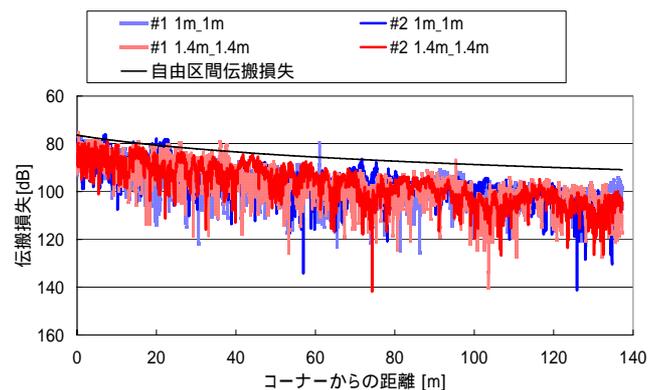


図 3 商店街における測定結果 (一例)

表 4 追加損失の中央値 (商店街)

測定線	送受信アンテナ高	追加損失
#1	1.0 m	14.1 dB
#1	1.4 m	14.0 dB
#2	1.0 m	13.8 dB
#2	1.4 m	13.9 dB

2.2.2 距離特性

各測定ポイントにおけるデータに対し, 送受信アンテナ高, 測定線が異なるデータについて平均化処理を行った後, 伝搬距離 (送信点からコーナーまでの距離 + コーナーから受信アンテナまでの距離) に対する対数関数で近似した. 図 4 に各測定ポイントにおける対数関数近似を示す.

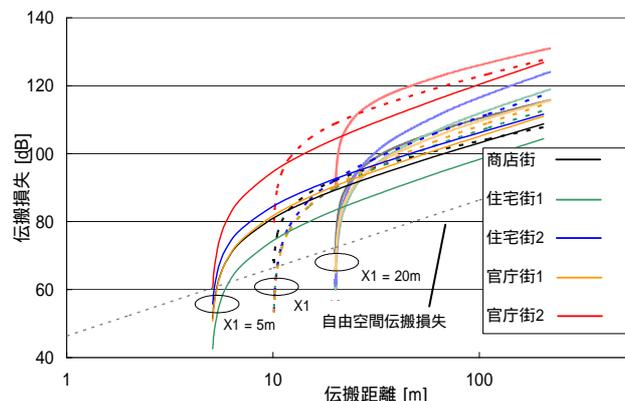


図 4 測定データの対数関数近似

図 4 において, 官庁街 2 における近似曲線のみ他の曲線よりやや大きい. これは送信点周囲の樹木による遮蔽の影響と思われる. 他の近似曲線については, 自由空間伝搬損失との交点が送信点からコーナーまでの距離と概ね一致している. また, ある程度の距離以降は自由空間伝搬損失とほぼ平行であると考えられる.

3. 推定式の検討

前項である程度の距離(コーナーから 5m 程度)以降は測定した伝搬損失距離特性が自由空間伝搬損失と近似的にはほぼ平行であったことから、再度、自由空間伝搬損失からの追加損失に着目する。図 5 に一例として $X1=10m$ のときの追加損失の距離特性を示す。ただし、ここで伝搬損失は 3m ごとに移動平均処理をしている。

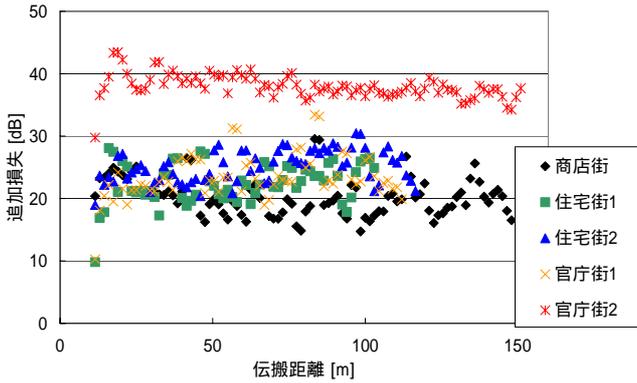


図 5 追加損失の距離特性 ($X1=10m$)
(3m 区間平均)

図 5 より追加損失は距離によりばらつきが大きい平均的にはほぼ一定であり、距離にあまり依存しないことが確認できる。例えば文献[7]では回折波の損失を送受信点のある道路幅、コーナーから送受信点までのそれぞれの距離及びコーナー角の関数で表しているが、本検討では追加損失がある分布に従うものと仮定し、推定式の簡易化を試みる。追加損失の発生確率分布を図 5 に示す。

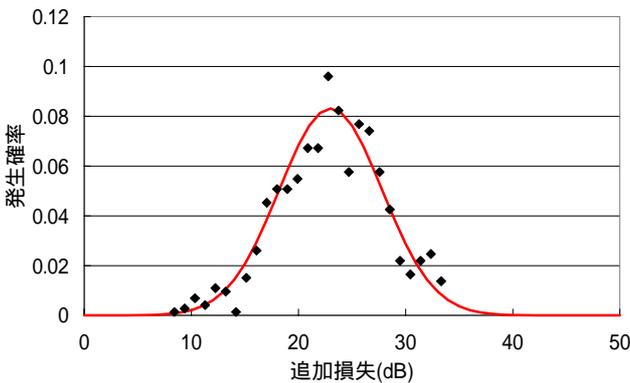


図 6 追加損失の発生確率

図 6 において は追加損失の発生確率を示し、実線は対数正規分布を表す。ここで対数正規分布の平均値は 23dB、標準偏差は 4.8dB とした。追加損失の発生確率は対数正規分布で良く近似でき

ることが分かる。

以上より、低アンテナ高送受信環境における見通し外(1回コーナーを曲がったとき)の伝搬損失推定 $L[dB]$ は以下の形式で表すことができる。

$$L = L_0 + \alpha \quad [dB] \quad (1)$$

ここで、

$$L_0 = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad [dB] \quad (2)$$

(自由空間伝搬損失)

ただし、

d : 伝搬距離 [m]

(送信点からコーナーまでの距離とコーナーから受信点までの距離の和)

λ : 波長 [m]

α は対数正規分布に従い、5GHz 帯においては平均 23dB、標準偏差 4.8dB である。

4 考察

以上より、交差点見通し外における低アンテナ高送受信環境の伝搬モデルはコーナーにおいて損失(コーナーロス)を受け、コーナーロスはいくつかの要因により、対数正規分布するものと考えられる。

ITU-R 勧告 P.1411[8]において、文献[7]と同様に、到来波を回折波と反射波の合成波として考えるストリートセル伝搬モデルが採用されている。ここで、ITU-R 勧告の伝搬損失推定式と実測値を比較する(図 7)。ただし、ITU-R モデルでは送信アンテナ高 4m 以下はサポートしていない。(ただし、式中に送信アンテナ高を含む項はない。)

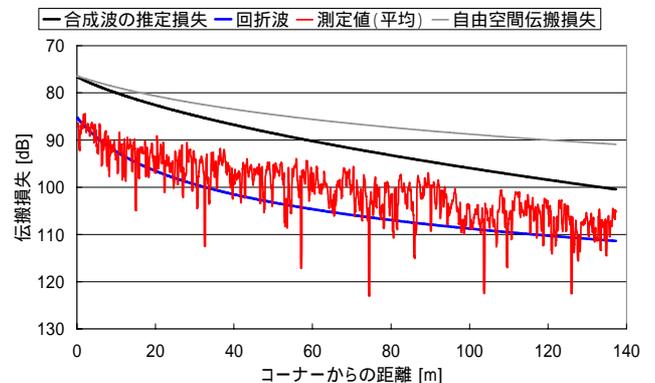


図 7 ITU-R モデルと実測値
(商店街, $X1=10m$)

図7より, ITU-R 推定式による推定値と実測値は大きく異なるが, 干渉波のみの推定値により近いことが分かる. 従って, 5GHz 帯での低アンテナ高送受信環境においては, 反射波よりも回折波が支配的であると考えられる.

5. まとめ

マルチホップセルラシステムにおける端末間伝送を対象とした交差点見通し外環境での伝搬損失推定式を検討した. 5GHz 帯における測定結果より, 以下のことが分かった.

- ・送受信アンテナ高及び受信位置に対する依存性は低い.
 - ・コーナーまでは自由空間伝搬損失である. コーナー以降はコーナーロスを受けるが, 距離特性の傾きは自由空間伝搬損失とほぼ同じである.
 - ・コーナーロスは対数正規分布に従い, 5GHz 帯においては平均 23dB, 標準偏差 4.8dB となる.
- これらの結果から, 簡易的な伝搬損失推定式を導出した.

今後, より詳細な伝搬メカニズム及び周波数特性の検討を進める. 最後に日頃ご指導頂く(株)KDDI 研究所浅見所長, 松本センタ長, 篠永執行役員, 武内グループリーダ, 実験にご協力頂いた福家氏, 山本氏に深謝致します.

文 献

- [1] O. Maeshima, et al., "Simulation evaluation on area extension and system capacity of CDMA packet communication system utilizing multihop connection," *Proc. IEEE PIMRC 2003*. IEEE, pp. 1496-1500, 2003.
- [2] T. Ohseki, et al., "Multihop mobile communications system using MC-CDMA in forward links," *Proc. IEEE WCNC 2005*. IEEE, Mar. 2005.
- [3] 米澤他, 「800MHz帯/5GHz帯伝搬損失比較実験と5GHz帯伝搬モデルの一検討」, 第485回 URSI-F, 2004年6月.
- [4] N. Kita, et al., "A Path Loss Model with Height Variation in Residential Area Based on Experimental and Theoretical Studies Using a 5G/2G Dual Band Antenna", *VTC 2000*, pp. 840-844, 2000.
- [5] 太田他, 「マイクロ波帯における伝搬損失推定式の検討」, 信学技報 AP2003-319, 2004.
- [6] K. Kitao and S. Ichitsubo, "Path loss prediction

formula for microcell in 400MHz to 8GHz band", *Electronics Letters* 27th May 2004 Vol.40 No.11.

- [7] H. Masui, et al., "Microwave Path-loss Characteristics in Urban LOS and NLOS Environments", *VTC'01*, pp.395-398, 2001.
- [8] Recommendation ITU-R P.1411-2.