

屋内電波伝搬推定法に最大比合成（MRC）ダイバーシチ受信の効果を 考慮するための実験的検討

- 勧告 ITU-R P.1238 と無線 LAN アクセスポイント CAP3602E
(シスコシステムズ社製) の MRC ダイバーシチ受信の接点を探る -

松戸 孝[†] 宇都宮 光之[†] 田中 政満[†] 中野 清隆[†]
力石 靖[†] 山下 聖太郎[†] 丸田 竜一[†]

† ネットワンシステムズ株式会社 ビジネス推進グループ 第 1 製品技術部 ワイヤレス・モバイルチーム
〒140-8621 東京都品川区東品川 2-2-4 天王洲ファーストタワー

あらまし MRC ダイバーシチ受信（受信アンテナ数が 4 本）を実装したシスコシステムズ社製の無線 LAN アクセスポイントの CAP3602E を一般的な事務所のフロア環境において実験運用して（周波数 5300MHz）測定した受信電力データを用いて、MRC ダイバーシチ受信の効果を勧告 ITU-R P.1238 の屋内電波伝搬推定法に考慮するための実験的検討をした。その結果、MRC ダイバーシチ受信の場合には伝搬損失の距離に対する減衰係数が受信アンテナ数が 1 本の場合に比べて、見かけ上小さくなる傾向が見られた。そこで受信アンテナ数が 1 本の実験データと MRC ダイバーシチ受信の同データを比較することにより、MRC ダイバーシチ受信の効果がある場合での SNR の累積確率分布と伝搬損失の距離特性の関係を結びつける実験式を導いた。本実験式を利用することで伝搬損失の距離特性（勧告 ITU-R P.1238 の L_{total} ）に、MRC ダイバーシチ受信の効果を考慮するための一案を示した。

キーワード MRC, ダイバーシチ受信, 無線 LAN, 勧告 ITU-R P.1238, 伝搬損失, 累積確率分布

Experimental Study to Consider Effect of Reception Diversity with Maximal Ratio Combining (MRC) in a Prediction Method of Indoor Radiowave Propagation

- Investigating Relation between Recommendation ITU-R P.1238 and
Data Measured by MRC Diversity Receiver of the Wireless LAN
Access Point Cisco CAP3602E -

Takashi MATSUDO[†] Mitsuyuki UTSUNOMIYA[†] Masamitsu TANAKA[†] Kiyotaka NAKANO[†]
Yasushi CHIKARAISHI[†] Seitaro YAMASHITA[†] and Ryuichi MARUTA[†]

† Wireless Mobile Team, Product Engineering Department 1, Business Development Operations,
NetOneSystems Co., Ltd.

Tennoz First Tower, 2-2-4 Higashi Shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-8621 Japan

Abstract By using a MRC diversity receiver of the wireless LAN access point Cisco CAP3602E in an indoor office environment, we had experimental data of received power level transmitted by a wireless LAN terminal of a notebook PC in 5300MHz. We confirmed that a distance power loss coefficient of radio path loss became apparently smaller with the MRC diversity receiver than a single antenna operation receiver. We derived an empirical formula considering relation between a cumulative probability distribution of SNR and the distance power loss coefficient with the MRC diversity receiver from comparing data measured by the MRC diversity receiver with data measured by the single antenna operation receiver. We suggested an idea of using the empirical formula to consider effect of reception diversity with MRC in the prediction method of indoor radiowave propagation of Rec.ITU-R P.1238.

Keyword MRC, Reception diversity, Wireless LAN, Rec.ITU-R P.1238, Radio path loss, Cumulative probability distribution

構成される . ping 通信系の ping 通信 (送信) 部 (ノ

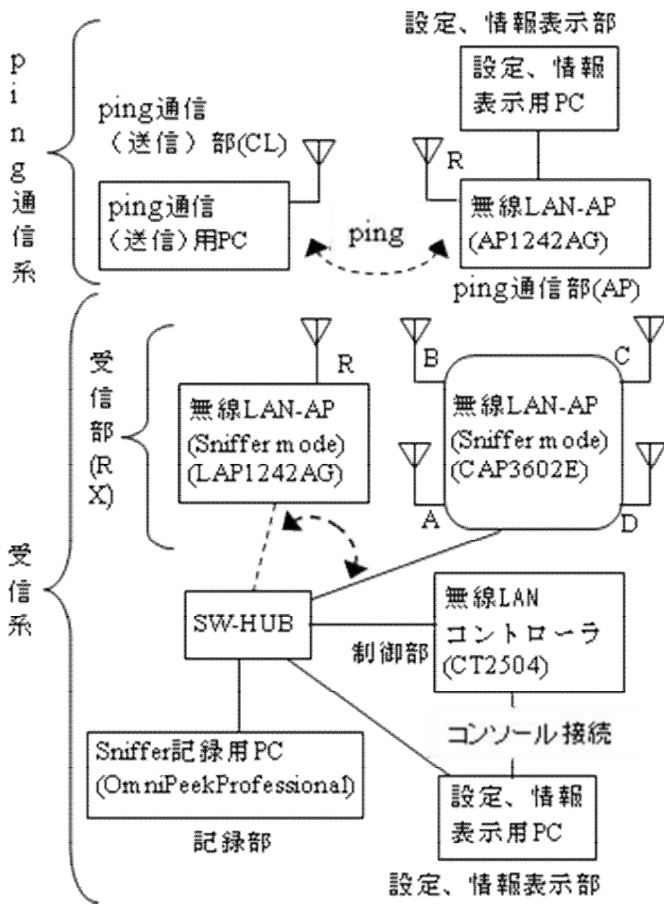


図 1 実験システムの構成

ping通信部・受信部共通	
送受信中心周波数	5300MHz
チャンネル番号	60
伝送帯域幅	20MHz
IEEE標準	IEEE802.11a
ping通信部(AP) (Cisco AP1242AG)	
送信電力	8dBm
アンテナ	Cisco ANT5135D-R ダイポール
アンテナ数	1 (Primary Port-Right接 続)
アンテナ利得	3.5dBi
アンテナ水平面内指向性	無指向性
アンテナ垂直面内半値角	40度
偏波(床面に対して)	垂直
ビーコン間隔	1000msec
アンテナコネクタ中心の床面 からの高さ	0.65m
IOS ソフトウェアversion	12.4(21a)JY

ping通信(発信)部(CL)	
ノート型PC型番名	Dell Latitude D430
無線LANモジュール型番名	Intel PRO/Wireless3945ABG Network Connection
PC液晶画面の傾斜角度(床 面に垂直から奥側への傾斜)	33度
PC液晶画面の最上端部の床 面からの高さ	0.88m
ping発信の距離間隔	約1.76波長
ping発信制御ソフトウェア	自作(EXCEL-VBA)
受信部(RX) 共通	
AP mode	Sniffer mode (受信専用モード)
アンテナ	Cisco ANT2524DW-R Dual-band ダイポール
アンテナ利得	4dBi
アンテナ水平面内指向性	無指向性
アンテナ垂直面内半値角	39度
偏波(床面に対して)	垂直
アンテナコネクタ中心の床面 からの高さ	1.56m
受信部(RX) (Cisco LAP1242AG)	
空間ダイバーシチ受信の方法	なし
アンテナ数	1 (Primary Port-Right接 続)
受信部(RX) (Cisco CAP3602E)	
空間ダイバーシチ受信の方法	MRCダイバーシチ受信
アンテナ数	4
アンテナ間隔(コネクタAとBの 中心間、及びコネクタCとDの 中心間)	約2.92波長
アンテナ間隔(コネクタBとCの 中心間、及びコネクタAとDの 中心間)	約1.94波長
制御部(Cisco CT2504)	
機能mode	Sniffer mode (受信専用モード)
ソフトウェアversion	7.4.100.0
記録部 (Wild Packets OmniPeekProfessional)	
ソフトウェアversion	6.8.2

表 1 実験での測定諸元

ト型 PC の CL)から ping 通信部(AP)宛てへ ping(ICMP (Internet Control Message Protocol) の echo コマンド を利用したネットワークの疎通を確認するために使用されるコマンド)を送信したときに、周辺へ伝搬した電波を MRC ダイバーシチ受信 (受信アンテナ数は 4 本) の受信部(RX)を持つ受信系で受信して記録する。また、受信系を切り替えて、受信アンテナ数 1 本であり MRC ダイバーシチ受信を未実装の受信部(RX)を持つ受信系でも受信して記録する。具体的には、シスコシステムズ社製の無線 LAN の AP 製品の CAP3602E に実装された MRC ダイバーシチ受信 (受信アンテナ数は 4 本) の受信系[4],[5]と、同製品の LAP1242AG に実装された選択ダイバーシチ受信を停止した状態 (受信アンテナ数は 1 本になる) の受信系である。

ping 通信系の ping 通信部(AP)は、同社の自律型 AP 製品の AP1242AG に同社製の 5GHz 帯用ダイポールアンテナ製品の ANT5135D-R を 1 本取り付けて(選択ダイバーシチ受信を停止した状態。利用するアンテナコネクタを Primary port の Right だけ利用に設定)、5GHz 帯無線 LAN のチャンネル番号 60(中心周波数 5300MHz) で、ping 通信 (送信) 部 (ノート型 PC の CL) と通信する。

MRC ダイバーシチ受信での測定の場合には受信部 (RX)は集中制御型 AP 製品の CAP3602E を動作させる。受信アンテナ数 1 本の受信での測定の場合には受信部 (RX)は同製品の LAP1242AG を動作させる。CAP3602E と LAP1242AG は、シスコシステムズ社製の無線 LAN コントローラ CT2504 で制御される。CAP3602E の MRC ダイバーシチ受信には、同社製の Dual-band(2.4GHz 帯と 5GHz 帯)用ダイポールアンテナ製品の ANT2524DW-R を 4 本、また、LAP1242AG の受信アンテナ数 1 本の受信にも、同製品の ANT2524DW-R を 1 本、各々取り付けて動作させる。本実験の受信部 (RX) の CAP3602E と LAP1242AG は、電波を送信しない受信専用装置(Sniffer mode)として動作させるので、接続する受信アンテナの種類は自由に選択できる。CAP3602E と LAP1242AG で受信測定条件を同じにするために、本実験では CAP3602E で通常に利用されるアンテナの ANT2524DW-R を LAP1242AG の受信アンテナとしても利用する。

2.3. AP での受信電力と雑音電力を時系列データとして記録する測定方法

受信部(RX)の AP の LAP1242AG と CAP3602E は、制御部の無線 LAN コントローラ CT2504 で制御される。この CT2504 では制御する AP を、電波を送受信して無線 LAN 通信する通常の mode から、電波を送信しない受信専用装置(Sniffer mode)へ設定変更することが可能である[6]。Sniffer mode では受信部(RX)の受信アンテナ

と AP が、伝搬してきた無線 LAN の電波を受信し続け、その結果、無線 LAN のパケットをキャプチャし続ける動作をする。そしてキャプチャされたパケットは記録部の Sniffer 記録用 PC のパケット解析のソフトウェアである Wild Packets 社製 OmniPeekProfessional で実時間で解析して各種情報(例えば AP と CL 間の相互接続する手順等)を表示、また、記録保存が可能である。

OmniPeekProfessional で解析されたパケット毎の情報の中に、パケット毎の受信電力(単位: dBm)とその際の雑音電力(単位: dBm)も記録されている。例えば、一定の間隔で運用される ping 通信の電波を受信すると、そのパケットも一定の間隔で受信、そしてキャプチャされているので、ping 通信の電波の受信電力とその際の雑音電力が一定の間隔で測定された時系列データとして記録されることになる。

2.4. 実験場所の環境

図 2 に、本実験場所の環境をフロアの平面概要図として示す。本実験場所は、一般的な事務所のフロア環境と理解できる。

受信部(RX)はフロア居室エリアのほぼ中央部、図 2 の RX 地点に床面から高さ 1.56m に設置されており、ping 通信 (送信) 部(CL)とは見通しあり環境である。

ping 通信部(AP)は、同 RX 地点の床面から高さ 0.65m に設置されている。

ping 通信 (送信) 部(CL)は台車の上に載せて人がゆっくりと移動させており、その測定経路は図 2 の P1、P7、及び P8 の 3 つの経路である。

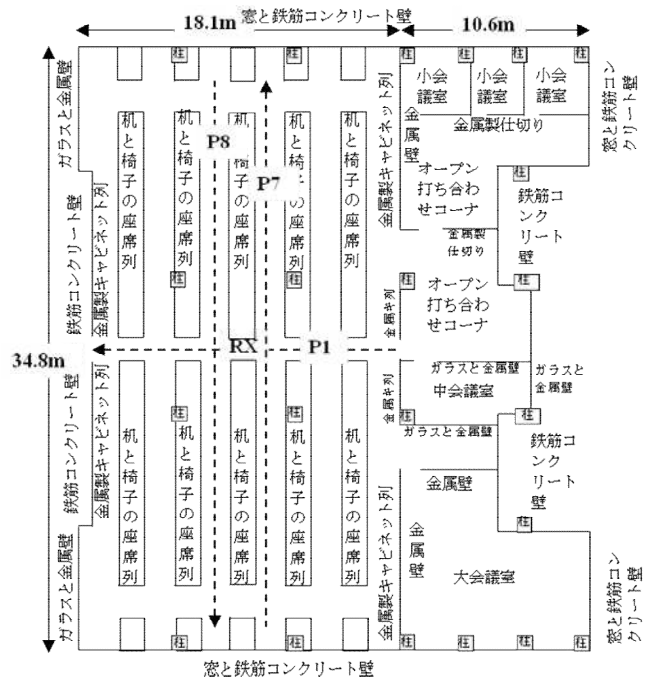


図 2 実験場所の環境(フロアの平面概要図)

本実験場所は、人が多数存在し着席して仕事をする居室であるが(机と床面の距離は0.71m)、本実験は休日に実施しており、居室は数人以下の着席状態である。壁面の状況は図2のとおりであるが、居室部の天井と床面の距離は2.65mであり、天井の材質は石膏ボードである。床面にはカーペットが敷かれている。

2.5. ping 通信(送信)部(CL)の台車

ping 通信(送信)部(CL)からは、台車の車輪の1/3回転(120度の回転角)ごとに1回のpingが送信されるように工夫している。車輪には120度間隔で磁石を設置し、回転により磁石がリードスイッチを通過するときに同スイッチをONする。そのONをCLのPCのマウスの右クリック信号として取り出し、ONを検知する毎にpingを1回送信するように自作のソフトウェア(マイクロソフト社製の表計算ソフトウェアEXCELのVBA)で制御している。pingは約1.76波長(約0.0994m)毎に送信されることになる。

2.6. 実験の手順

MRCダイバーシチ受信の場合、及び受信アンテナ数が1本の場合に次の手順で測定、記録した。

(Step1) ping 通信(送信)部(CL)を測定経路の出発地点へ移動。

(Step2) 受信系記録部のOmniPeekProfessionalで記録開始。

(Step3) ping 通信(送信)部(CL)を測定経路にそって到着地点まで、ゆっくり移動させる。2.5節で述べたようにpingがping通信部(AP)へ自動的に送信される。

(Step4) 受信系記録部のパケットの記録を停止する。

(Step5) 次の測定経路へ向けて(Step1)へ。

2.7. 測定データの処理手順

(Step1) OmniPeekProfessionalで1回の測定データを表示させて、CSV形式へ変換した測定データを作成する。

(Step2) CSV形式へ変換した1回の測定データを表計算ソフトウェアEXCELで参照し、ping通信(送信)部(CL)から送信されたpingの各パケットで、受信電力(単位: dBm)と雑音電力(単位: dBm)から、受信電力対雑音電力の比(SNR(単位: dB))を計算して、SNRのデータ列を追加する。2.5節で述べたようにpingは約1.76波長(約0.0994m)毎に送信されているので、受信電力、雑音電力、及びSNRも約1.76波長(約0.0994m)毎に測定されたデータになる。

(Step3) 1つの測定経路ではデータ解析する際には2つの経路に分離する。即ち、1つめは出発地点からRX地点近傍の最大の受信電力を測定した地

点まで(Fと呼称する)の経路、2つめはRX地点近傍の最大の受信電力を測定した地点から到着地点まで(Bと呼称する)の経路である。測定経路P1ではP1-FとP1-Bと呼称し、同P7では同様にP7-FとP7-Bと呼称し、同P8では同様にP8-FとP8-Bと呼称する。

(Step4) 第3章の検討のデータ解析を実施する。

なお、各測定での出発地点と到着地点のズレや台車の車輪の微妙なスリップ状態の影響によると推測される受信パケット数のゆらぎは存在した。

2.8. 実験の結果の一例: 受信測定データによるSNRの累積確率分布

実験の結果の一例として、図3に、測定経路P1-F(全長約8m)の受信測定データによるSNRの累積確率分布を示す。なお、データ数は、受信アンテナ数1本の場合は82、MRCダイバーシチ受信(アンテナ数4本)の場合は78である。

受信アンテナ数1本の場合に比べて、MRCダイバーシチ受信(アンテナ数4本)の場合には、同じ累積確率で見たときにSNRが大きくなっており、MRCダイバーシチ受信によるダイバーシチ利得(受信利得)の効果が存在することがわかる。

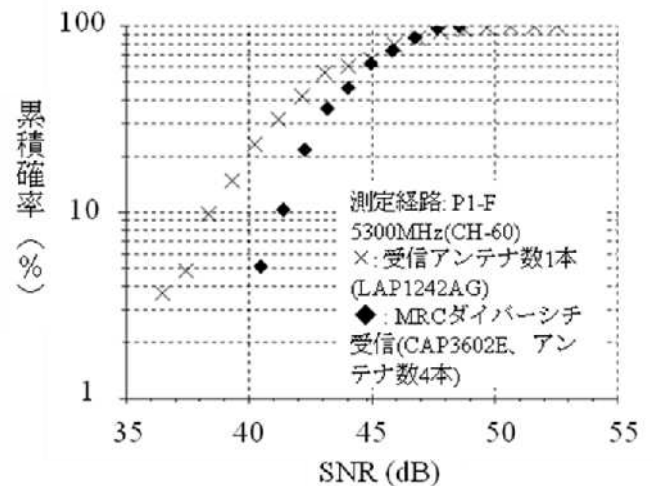


図3 測定経路P1-F(全長約8m)の受信測定データによるSNRの累積確率分布

3. 屋内電波伝搬推定法にMRCダイバーシチ受信の効果を考慮するための検討

3.1. 実験データから求めた屋内の伝搬損失距離特性

(1) 屋内の伝搬損失の距離に対する減衰係数N及び定数Cを実験データと測定諸元で表す式

勧告 ITU-R P.1238 における屋内の伝搬損失距離特性 $L_{total} (dB)$ の推定式は、本実験環境のように床・天井・壁等による完全な遮へいがない場合、式(1)で表される [2],[3] .

$$L_{total} = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + C \quad (1)$$

ここで、

d : 送受信点間距離(m), 但し $d > 1 \text{ m}$

N : 送受信点間距離に対する減衰係数

5200MHz で、事務所環境では、 $N = 31$

f : 送受信周波数(MHz)

本実験では、 $f = 5300 \text{ MHz}$

C : 定数 . $C = -28 \text{ dB}$

本実験での CL が送信する電波を AP で受信する場合の AP における受信電力 $P_{ra} (dBm)$ は、式(2) で表される .

$$P_{ra} = CL_t + CL_g - L_{ca} + AP_g \quad (2)$$

ここで、

CL_t : CL の送信電力(dBm)

CL_g : CL の送信アンテナ利得(dBi)

L_{ca} : CL と AP 間の伝搬損失(dB)

AP_g : AP の受信アンテナ利得(dBi)

式(2)から、本実験における L_{ca} は、式(3)と表される .

$$L_{ca} = CL_t + CL_g + AP_g - P_{ra} \quad (3)$$

式(3)の右辺は実験での測定諸元と実験データから計算可能である . ここで、式(3)=式(1)とすると、式(4)へ変形できるので、本実験環境における N と C が計算可能となる .

$$N \log_{10} d + C = CL_t + CL_g + AP_g - P_{ra} - 20 \log_{10} f \quad (4)$$

但し、測定諸元として CL_t 、 CL_g 、及び AP_g を定めるには工夫が必要である . CL_t と CL_g はノート型 PC に

内蔵された無線 LAN 機能の値であるが公開情報がない . そこで、 CL_t と CL_g は、付録に示す方法で簡易測定した最大の等価等方向輻射電力 (EIRP:Equivalent Isotropic Radiated Power): CL_{eirp} 、水平面内 (対床面) 指向性パターン: CL_{az} 、及び垂直面内 (対床面) 指向性パターン: CL_{el} によって表現する .

AP_g は、本実験で使用した Cisco ANT2524DW-R Dual-band ダイポールアンテナのメーカーであるシスコシステムズ社の公開情報 [7] から得られるアンテナ利得と E 面=垂直面内 (対床面) 指向性パターン: AP_{el} によって表現する .

従って、実験データと測定諸元で表した式(4)は、最終的に式(5)と表される .

$$\begin{aligned} N \log_{10} d + C \\ = CL_{eirp} + CL_{az} + CL_{el} + AP_g + AP_{el} - P_{ra} - 20 \log_{10} f \end{aligned} \quad (5)$$

(2) 実験データと測定諸元から計算した屋内の伝搬損失の距離に対する減衰係数 N と定数 C

図 4 には、受信アンテナ数が 1 本の場合における測定経路 P1-F の実験データ (データ数は 2.8 節で述べたように 82) と測定諸元から計算した式(5)の右辺の値 (伝搬損失の距離項の値) を、横軸に送受信点間距離 $d(m)$ を 10 を底とする対数として表示した . なお、測定経路 P1-F での d の最小値は 0.74m であるが、この値は約 1m と理解できるので、 d が 0.74m から 1m までのデータも今回のデータ解析では採用した . この表示結果を一次式で近似すると (決定係数は 0.76), $N=19.1$, $C=-33.0$ となった .

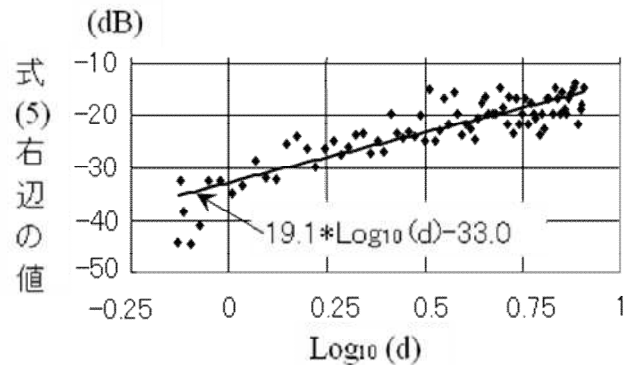


図 4 伝搬損失の距離項の測定値 (式(5)右辺の値) と近似線 . 測定経路 P1-F (受信アンテナ数が 1 本の場合), 周波数=5300MHz .

図 5 には、MRC ダイバーシチ受信 (受信アンテナ数が 4 本) の場合における測定経路 P1-F の実験データ (データ数は 2.8 節で述べたように 78) と測定諸元を用いて図 4 と同様に表示した . この表示結果を一次式

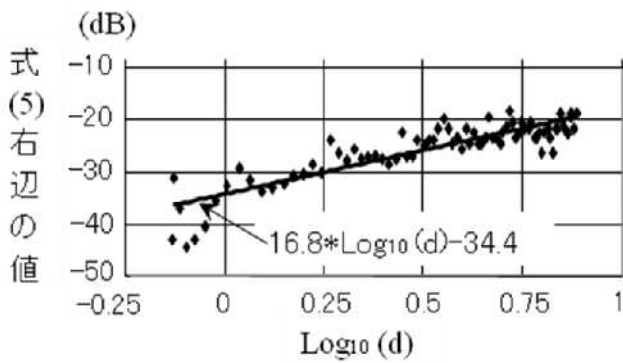


図 5 伝搬損失の距離項の測定値(式(5)右辺の値)と近似線. 測定経路 P1-F(MRC ダイバーシチ受信の場合), 周波数=5300MHz.

測定経路	受信アンテナ数	データ数	N	C	決定係数
P1-F	1	82	19.1	-33	0.76
	4(MRC)	78	16.8	-34.4	0.77
P1-B	1	62	24.2	-31.5	0.8
	4(MRC)	83	17.6	-31.8	0.82
P7-F	1	136	15.4	-27.9	0.66
	4(MRC)	128	18.2	-33.8	0.82
P7-B	1	116	19.8	-25.1	0.7
	4(MRC)	125	20.1	-29.1	0.8
P8-F	1	125	20	-32.5	0.75
	4(MRC)	131	17.9	-34.4	0.81
P8-B	1	109	24.2	-29.7	0.82
	4(MRC)	120	20.5	-29.3	0.81

表 2 実験データと測定諸元から計算した送受信点間距離に対する減衰係数 N と定数 C

で近似すると(決定係数は 0.77), $N=16.8$, $C=-34.4$ となった. 他の測定経路についても同様なデータ解析を実施して, その結果を表 2 に示した. これより, 次のことがわかる.

本実験環境では, N (送受信点間距離に対する減衰係数)は, 勧告 ITU-R P.1238 の値 ($N=31$) より小さい傾向がある. また, 自由空間伝搬の場合の $N=20$ よりも小さくなる状況もある.

測定経路 P1 と P8 における 4 つの測定経路では, MRC ダイバーシチ受信の N が, 受信アンテナ数が 1 本の N より小さい傾向がある.

測定経路 P7 における 2 つの測定経路では, MRC ダイバーシチ受信の N が, 受信アンテナ数が 1 本の N よ

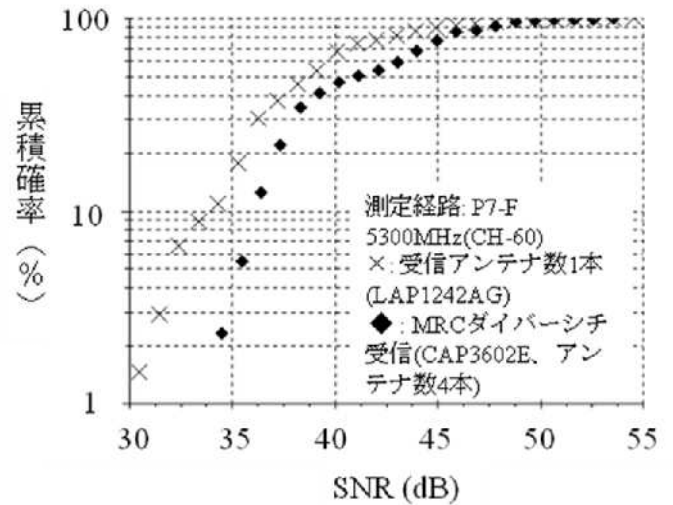


図 6 測定経路 P7-F (全長約 13m) の受信測定データによる SNR の累積確率分布

り大きい傾向がある.

(3) 考察

測定経路 P1 と P8 における 4 つの測定経路では, MRC ダイバーシチ受信の効果によって受信利得が増加することで, 受信アンテナ数が 1 本の場合より見かけ上, 伝搬損失が軽減, 即ち N が小さくなっていると理解できる.

受信アンテナ数が 1 本の場合でも N が 20 よりも小さくなることがある, 即ち, 自由空間伝搬より伝搬損失が軽減されていることがある詳細な理由は不明である. 本実験の各装置は正常に動作していると確信しているが, 反射波の影響があるものと推測する. なお, 本実験環境では AP と CL 間は見通しありであったが, 文献[3]によると見通しありの場合には, $N=15$ 程度になることもあると紹介されている.

測定経路 P7 における 2 つの測定経路では, N についての傾向が測定経路 P1 と P8 における 4 つの測定経路の場合と反対であるが, 図 6 に示した測定経路 P7-F (全長約 13m) の受信測定データによる SNR の累積確率分布から, MRC ダイバーシチ受信によるダイバーシチ利得(受信利得)は存在していることがわかる. なお, データ数は, 受信アンテナ数 1 本の場合は 136, MRC ダイバーシチ受信(アンテナ数 4 本)の場合は 128 である. 測定経路 P7-B も同様に MRC ダイバーシチ受信によるダイバーシチ利得(受信利得)は存在していることは, 別途, 確認した.

本 3.1 節では, 測定実験で得られた受信電力データを距離特性という視点から解析した. 続く 3.2 節では同データにより得られる SNR の累積確率分布という視点から解析を試みる.

3.2. 実験データの SNR の累積確率分布から新たな特徴量を抽出する試み

本 3.2 節では ,3.1 節で述べた屋内の伝搬損失距離特性と組み合わせるための 2 つの新たな特徴量を SNR の累積確率分布に対して定義する . そして , 実験データの SNR の累積確率分布から , それら 2 つの特徴量を抽出する .

第 1 の特徴量は ,

SNR の等価単位距離あたりの傾き (dB/m)

であり ,

第 2 の特徴量は ,

SNR の累積確率 63.2% 値 (dB)

である .

これら 2 つの新たな特徴量について , 以下に述べる .

(1) SNR の等価単位距離あたりの傾きの定義

SNR の等価単位距離あたりの傾きを $SNR_{sl}(dB/m)$ と記載する . 図 7 には , SNR の累積確率分布から , SNR_{sl} を定義するための各値を示した .

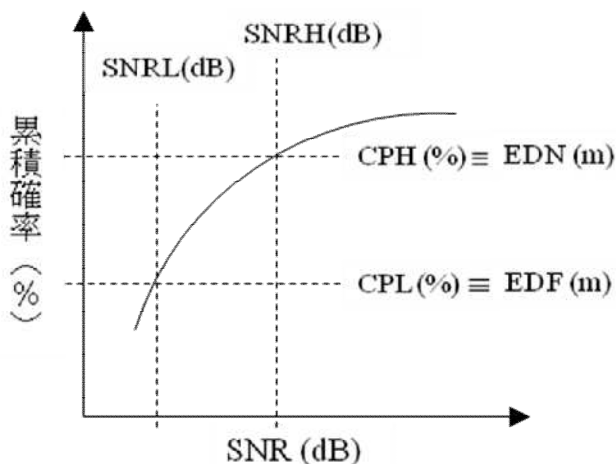


図 7 SNR の等価単位距離あたりの傾き $SNR_{sl}(dB/m)$ を定義するための各値

図 7 より , SNR_{sl} は式 (6) のように定義される .

$$SNR_{sl} = \frac{SNRH - SNRL}{EDN - EDF} \quad (6)$$

ここで ,

$SNRH$: 累積確率 $CPH(\%)$ のときの SNR (dB)

$SNRL$: 累積確率 $CPL(\%)$ のときの SNR (dB)

$$EDN = \frac{d_m (100 - CPH)}{100} \quad (m)$$

$$EDF = \frac{d_m (100 - CPL)}{100} \quad (m)$$

d_m : 累積確率の総量 100% 分に相当する距離 . 即ち , 送受信点間距離の最大値 .

$EDN(m)$ と $EDF(m)$ は , 累積確率 $CPH(\%)$ と $CPL(\%)$ を等価的な距離へ換算していることになる .

累積確率分布についての第 1 の特徴量である SNR_{sl} は , 屋内の伝搬損失距離特性の N と関係づけようとする意図がある . この関係を実験データを用いて考察する詳細は , 3.3 節で述べる .

(2) SNR の累積確率 63.2% 値

SNR の累積確率 63.2% 値を , $SNR_{632}(dB)$ と記載する . 累積確率分布についての第 2 の特徴量である SNR_{632} は , 屋内の伝搬損失距離特性の C と関係づけようとする意図がある . この関係を実験データを用いて考察する詳細は , 3.4 節で述べる . なお , 累積確率の 63.2% 値を採用した理由は , 仲上-ライスフェージングの特徴に着目したからである .

無線 LAN の回線は , 送信点と受信点間の見通しを確保することが一般的である . 本実験でもそれを想定して実験している . 送信点と受信点間に見通しが確保される場合には , 受信点では , 受信される電波の変動 (フェージング) は , 送信点からの定常的な直接波と周辺の様々な物体からの反射波や散乱波が合成された変動になる . この変動は , 仲上-ライスフェージングと呼ばれる [8] . そして直接波と反射波・散乱波の比をライスファクタと定義している .

文献 [9] では仲上-ライスフェージングでは規格化包絡線 (受信電力を直接波とマルチパス波の電力和の平方根で規格化したもの) の累積確率分布の 63.2% 値は , ライスファクタにかかわらず , 0.5dB 以内に収まるという特徴が述べられている . 本実験による検討では , CL の移動に伴って受信電力の平均値や中央値が変化するのでライスファクタ等の仲上-ライスフェージングの特徴をとらえにくい . SNR の累積確率分布の特徴を把握する 1 つの目安として 63.2% 値に着目した .

3.3. 実験データによる SNR_{sl} と N の関係の考察

累積確率分布についての第 1 の特徴量である SNR_{sl} と , 屋内の伝搬損失距離特性の N との関係を実験データを用いて考察する .

(1) SNR_{sl} の計算結果

実験データの累積確率分布から計算した測定経路別の SNR_{sl} の値を表 3 に示す . 各測定経路で受信アンテナ数が 1 本の場合と MRC ダイバシティ受信 (受信アンテナ数が 4 本) の場合で , d_m が異なっているのは , 2.7 節で述べたように , 各測定での出発地点と到着地点のズレや台車の車輪の微妙なスリップ状態の影響によるためと推測される . CPL は , 実験データの累積確率分布の累積確率の最小値を採用した . CPH は , 同

測定経路	受信アンテナ数	dm (m)	SNRL (dB)	SNRH (dB)	CPL (%)	CPH (%)	SNRsl (dB/m)
P1-F	1	8.0856	36.5	38.4	3.7	9.8	-3.9
	4(MRC)	7.6898	40.5	41.4	5.1	10.3	-2.3
P1-B	1	6.1088	33.5	38.2	1.6	9.7	-9.5
	4(MRC)	8.1846	38.5	41.2	3.6	10.8	-4.6
P7-F	1	13.5175	30.5	34.3	1.5	11	-3
	4(MRC)	12.7284	34.5	36.4	2.3	12.5	-1.5
P7-B	1	11.5465	28.5	33.3	0.9	14.7	-3
	4(MRC)	12.4328	33.5	35.4	1.6	13.6	-1.3
P8-F	1	12.4376	29.5	35.2	0.8	13.6	-3.6
	4(MRC)	13.0289	32.5	36.3	0.8	9.9	-3.2
P8-B	1	10.8636	27.5	34.2	0.9	12.8	-5.2
	4(MRC)	11.9452	32.5	35.3	0.8	14.2	-1.7

表 3 実験データの SNR の累積確率分布から計算した測定経路別の SNRsl の値

分布の累積確率 10%前後の値を採用した。

例えば、図 3 測定経路 P1-F (全長約 8m) の受信測定データによる SNR の累積確率分布の SNRsl は、表 3 から、受信アンテナ数が 1 本の場合は -3.9dB/m, MRC ダイバーシチ受信 (受信アンテナ数が 4 本) の場合は -2.3dB/m と計算されていることがわかる。

(2) MRC ダイバーシチ受信の効果による N の差と SNRsl の差の関係

実験により得られた受信測定データの解析結果から、MRC ダイバーシチ受信の効果は、表 2 では、見かけ上、屋内の伝搬損失距離特性の送受信点間距離に対する減衰係数 N の変化として出現していた。さらに、同効果は、表 3 では、SNR の累積確率分布における SNR の等価単位距離あたりの傾き SNRsl の変化として出現していた。

そこで図 8 には、受信アンテナ数が 1 本の場合に対する MRC ダイバーシチ受信の効果による N の差と SNRsl の差の関係を示した。

横軸は SNRsl の差、即ち、

$$SNR_{sl} = mrcSNR_{sl} - rx1SNR_{sl} \quad (7)$$

ここで、

$mrcSNR_{sl}$: MRC ダイバーシチ受信 (受信アンテナ数が 4 本) の場合の SNRsl

$rx1SNR_{sl}$: 受信アンテナ数が 1 本の場合の SNRsl

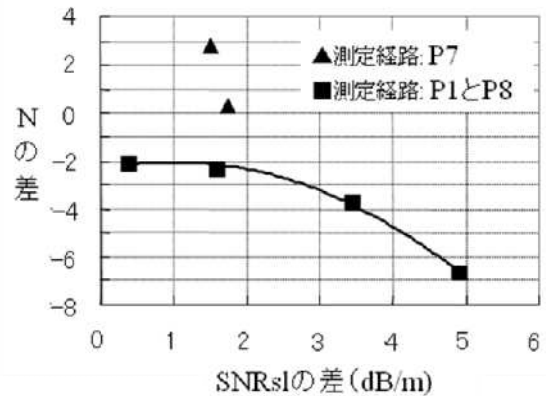


図 8 受信アンテナ数が 1 本の場合に対する MRC ダイバーシチ受信の効果による N の差と SNRsl の差の関係、及び測定経路 P1 と P8 における近似線。

SNRsl は、表 3 から各測定経路について計算できる。

縦軸は N の差、即ち、

$$N = mrcN - rx1N \quad (8)$$

ここで、

$mrcN$: MRC ダイバーシチ受信 (受信アンテナ数が 4 本) の場合の N

$rx1N$: 受信アンテナ数が 1 本の場合の N

N は、表 2 から各測定経路について計算できる。

図 8 からは、N の差が負である測定経路 P1 と P8 の状況と、同差が正である測定経路 P7 の状況は区別して理解することが妥当であると思われる。本稿では初期段階の検討を進めているので、現時点は測定経路 P1 と P8 の状況について、まずは検討を進める。

N の差が負である測定経路 P1 と P8 の状況における近似式は、2 次式の形では、式(9)となった。

$$N = -0.3055 \quad SNR_{sl}^2 + 0.65 \quad SNR_{sl} - 2.3876 \quad (9)$$

但し、

$$0.4 \leq SNR_{sl} \leq 4.9$$

図 8 から、N の差が負である状況においては、SNRsl の差が小さい場合、即ち、SNR の累積確率分布で、受信アンテナ数 1 本と MRC ダイバーシチ受信 (受信アンテナ数が 4 本) の同分布の傾きの差が小さい場合には、N の差も小さい、即ち、受信アンテナ数 1 本の場合に対する MRC ダイバーシチ受信 (受信アンテナ数

測定経路	受信アンテナ数	SNR632(dB)
P1-F	1	44
	4(MRC)	45
P1-B	1	45
	4(MRC)	45
P7-F	1	40
	4(MRC)	43
P7-B	1	39
	4(MRC)	40
P8-F	1	42
	4(MRC)	44
P8-B	1	42
	4(MRC)	40

表 4 実験データの SNR の累積確率分布から計算した測定経路別の SNR632 の値

が 4 本) の場合の伝搬損失の距離に対する傾きの変化が、見かけ上小さくなる傾向があると理解できる。

また、反対に、SNR_{s1} の差が大きい場合、即ち、SNR の累積確率分布で、受信アンテナ数 1 本と MRC ダイバーシチ受信(受信アンテナ数が 4 本) の同分布の傾きの差が大きい場合には、N の差も大きい、即ち、受信アンテナ数 1 本の場合に対する MRC ダイバーシチ受信(受信アンテナ数が 4 本) の場合の伝搬損失の距離に対する傾きの変化が、見かけ上大きくなる傾向があると理解できる。

3.4. 実験データによる SNR632 と C の関係の考察

累積確率分布についての第 2 の特徴量である SNR632 と、屋内の伝搬損失距離特性の C との関係を実験データで考察する。

(1) MRC ダイバーシチ受信の効果による C の差と SNR632 の差の関係

実験データの SNR の累積確率分布から計算した測定経路別の SNR632 の値を表 4 に示す。MRC ダイバーシチ受信の効果による SNR632 の差と、表 2 に示した屋内の伝搬損失距離特性の定数 C の差の関係を考察する。

そこで図 9 には、受信アンテナ数が 1 本の場合に対する MRC ダイバーシチ受信の効果による C の差と SNR632 の差の関係を示した。

横軸は
SNR632 の差、即ち、

$$SNR632 = mrcSNR632 - rx1SNR632 \quad (10)$$

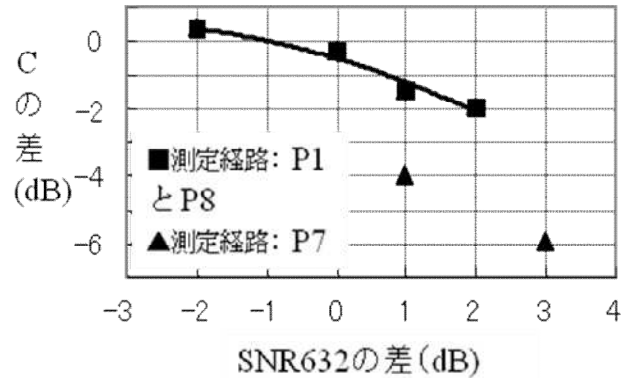


図 9 受信アンテナ数が 1 本の場合に対する MRC ダイバーシチ受信の効果による C の差と SNR632 の差との関係、及び測定経路 P1 と P8 における近似線。

ここで、

$mrcSNR632$: MRC ダイバーシチ受信(受信アンテナ数が 4 本) の場合の SNR632

$rx1SNR632$: 受信アンテナ数が 1 本の場合の SNR632

SNR632 は、表 4 から各測定経路について計算できる。

縦軸は C の差、即ち、

$$C = mrcC - rx1C \quad (11)$$

ここで、

$mrcC$: MRC ダイバーシチ受信(受信アンテナ数が 4 本) の場合の C

$rx1C$: 受信アンテナ数が 1 本の場合の C

C は、表 2 から各測定経路について計算できる。

3.3 節(2)における検討結果も考慮すると図 9 からは、測定経路 P1 と P8 の状況と、測定経路 P7 の状況は区別して理解することが妥当であると思われる。

測定経路 P1 と P8 の状況における近似式は、2 次式の形では、式(12)となった。

$$C = -0.075 \quad SNR632^2 - 0.605 \quad SNR632 - 0.48 \quad (12)$$

但し、

$$-2 \leq SNR632 \leq 2$$

測定経路 P1 と P8 の状況においては、図 9 から、SNR632 の差が負側の場合、即ち、SNR の累積確率分布で、累積確率 63.2% の SNR が受信アンテナ数 1 本より MRC ダイバーシチ受信(受信アンテナ数が 4 本)

のほうが小さい場合には、 C の差も小さい、即ち、受信アンテナ数 1 本と MRC ダイバーシチ受信（受信アンテナ数が 4 本）の伝搬損失距離特性の定数の差が小さくなる傾向があると理解できる。また、反対に、SNR₆₂₃ の差が正側の場合、即ち、累積確率 63.2% の SNR が受信アンテナ数 1 本より MRC ダイバーシチ受信（受信アンテナ数が 4 本）のほうが大きい場合には、 C の差も大きい、即ち、受信アンテナ数 1 本と MRC ダイバーシチ受信（受信アンテナ数が 4 本）の伝搬損失距離特性の定数の差が大きくなる傾向があると理解できる。

3.5. 屋内電波伝搬推定法に MRC ダイバーシチ受信の効果を考慮するための一案

3.4 節までの考え方を使って、屋内電波伝搬推定法に MRC ダイバーシチ受信（受信アンテナ数が 4 本）の効果を考慮するためには、次の Step で進めることが一案である。

（適用条件）次に示す Step は、実験データを解析して得られた実験式を使っている。従って、本実験で利用した装置等、即ち、MRC ダイバーシチ受信は、AP に Cisco CAP3602E を使い、受信アンテナには Cisco ANT2524DW-R を 4 本使い、5GHz 帯で運用する場合が、次に示す Step の現時点の適用条件である。

(Step1) MRC ダイバーシチ受信の場合の SNR の累積確率分布と、受信アンテナ数が 1 本の場合の同分布を用意する。例えば、文献 [10] から導かれる MRC ダイバーシチ受信の場合の SNR の累積確率分布の理論式を用いる。あるいは、電波伝搬を推定したいエリアにおいて MRC ダイバーシチ受信の場合と受信アンテナ数が 1 本の場合で、各々受信測定したデータによる SNR の累積確率分布を用いる。

(Step2) 式(6)の SNR_{sl} と SNR_{632} を (Step1) から計算する。

(Step3) 式(7)の SNR_{sl} と 式(10)の SNR_{632} を (Step2)の結果から計算する。

(Step4) 式(9)の N と、式(11)の C を (Step3)の結果から計算する。

(Step5) 勧告 ITU-R P.1238 の L_{total} の N と C において、(Step4)の結果を考慮する。即ち、 N は、 $N+$ N へ変更し、 C は、 $C+$ C へ変更する。

4. まとめ

事務所内見通しあり環境における MRC ダイバーシチ受信による電波伝搬実験データを使って、屋内電波伝搬推定法に最大比合成 (MRC) ダイバーシチ受信の効果を考慮するための方法を検討した。

(1) 6 つの測定経路の電波伝搬実験データの解析結果からは、MRC ダイバーシチ受信（受信アンテナ数が 4 本、Cisco CAP3602E に実装）の場合には、伝搬損失の距離に対する減衰係数 N が見かけ上、受信アンテナ数が 1 本 (Cisco LAP1242AG に実装) の場合に比べて小さくなる傾向が 4 つの測定経路に見られた。

(2) 上記項目 (1) の 4 つの測定経路における SNR の累積確率分布から、2 つの特徴量、即ち、SNR の等価単位距離あたりの傾き (SNR_{sl})、及び、SNR の累積確率 63.2% 値 (SNR_{632}) を新たに定義した。

(3) 受信アンテナ数が 1 本の実験データと MRC ダイバーシチ受信（受信アンテナ数が 4 本）の同データを比較することにより、

SNR の等価単位距離あたりの傾き SNR_{sl} の差と伝搬損失の距離に対する減衰係数 N の差の関係を実験式で示した。

SNR の累積確率 63.2% 値 SNR_{632} の差と伝搬損失距離特性の定数 C の差の関係を実験式で示した。

(4) MRC ダイバーシチ受信の効果が見える累積確率分布が存在する場合に、上記項目 (3) の実験式を利用することで、伝搬損失の距離特性 (勧告 ITU-R P.1238 の L_{total}) に、MRC ダイバーシチ受信の効果を考慮するための一案を示した。

(5) 今後の課題は、次のとおりである。

別の屋内環境での実験データを使って、本稿での考え方の一案を検証評価する必要がある。

MRC ダイバーシチ受信の効果が、同じ屋内環境において、利用する AP の機種（含むアンテナ種類）毎に異なるか否かを検証評価する必要がある。

本稿では現時点、検討対象外とした MRC ダイバーシチ受信の場合に、伝搬損失の距離に対する減衰係数 N が受信アンテナ数が 1 本の場合に比べて、見かけ上、大きくなる傾向の状況を詳細に理解する必要がある。

様々な屋内環境における仰角-ライスフェージングの特徴量（直接波の SNR とライスファクタ）をどのように表現することが適切かを検討する必要がある。

ノート型 PC に内蔵された無線 LAN 機能の性能を、通常の屋内の部屋で、簡易ながらも、さらに適切に把握する方法を検討する必要がある。

謝 辞

仰角-ライスフェージング環境における MRC ダイバーシチ受信の理論について詳細に解説いただいた電気通信大学 大学院 情報理工学研究科の唐沢好男 教授 (IEEE Fellow) に感謝する。無線 LAN 製品の様々なことで日頃よりお世話になっているシスコシステムズ合同会社の 大野奈津子様、久保井俊行様、鈴木麻倫子様に

感謝する。本実験実施の機会を与えていただいたネットワークシステムズ株式会社の篠浦執行役員，岩本ビジネス推進グループ参事，飯田第1製品技術部長，大高ワイヤレス・モバイルチームリーダーに感謝する。

文 献

- [1] 無線 LAN ビジネス研究会, "無線 LAN ビジネス研究会報告書 参考資料", 総務省, http://www.soumu.go.jp/main_content/000168907.pdf, 2012 年 7 月 20 日。
- [2] Rec. ITU-R P.1238-7: "Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz", ITU-R Recommendations P Series, <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.1238-7-201202-I/en>, 2012.
- [3] 守倉正博, 久保田周治, "改訂三版 802.11 高速無線 LAN 教科書 第 11 章高速無線 LAN 環境における電波伝搬", インプレス R&D, 2008 年 4 月 11 日, ISBN978-4-8443-2546-8.
- [4] Fred Niehaus, "Understanding RF Fundamentals and the Radio Design of Wireless Networks: Slides from Expert Training Program", Cisco systems, <https://supportforums.cisco.com/docs/DOC-22956>, Feb. 24, 2012.
- [5] Cisco systems, "Cisco Aironet 3600 Series Access Point Data Sheet", Cisco systems, http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps11983/data_sheet_c78-686782.html.
- [6] Cisco systems, "Collecting a Wireless sniffer trace using the Cisco Lightweight AP in Sniffer mode", Cisco systems, <https://supportforums.cisco.com/docs/DOC-19214>, Oct. 24, 2011.
- [7] Cisco systems, "Aironet Dual-band Dipole Antenna (AIR-ANT2524DB-R, AIR-ANT2524DG-R, and AIR-ANT2524DW-R)", Cisco systems, <http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/antenna/installation/guide/ant2524.html>.
- [8] 唐沢好男, "デジタル移動通信の電波伝搬基礎", コロナ社, 2003 年 3 月 17 日, ISBN 4-339-00752-8.
- [9] 張間勝茂, 杉山功, 山中幸雄, 篠塚隆, "3-5 反射箱による無線機の放射電力測定", <http://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/kihou-vol52no01/03-05.pdf>, 情報通信研究機構季報, Vol.52, No.1, 2006 年.
- [10] 鶴田誠, 唐沢好男, "仲上-ライスフェージング環境における MIMO チャネル行列の第 1 固有値の簡易計算法", 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J87-B, no.9, pp.1486-1495, 2004 年 9 月.
- [11] Cisco systems, "Cisco Aironet 3.5-dBi Articulated Dipole Antenna (AIR-ANT5135D-R)", Cisco systems, <http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/antenna/installation/guide/ant5135d.html>.

付 録

3.1 節の式(5)における CLeirp, CLaz, 及び CLe1 を簡易測定する方法について

(1) 概要

電波暗室ではない，通常の屋内の部屋で，本実験で

使用したノート型 PC に内蔵された無線 LAN 機能の CLeirp, CLaz, 及び CLe1 を簡易測定した。

通常の屋内の部屋では，仲上-ライスフェージング環境と想定されるので，高さ方向の変化による受信電力の変化，即ち，ハイトパターンを測定し，3.2 節(2)で述べた測定値の累積確率分布の 63.2% 値を利用する方法を実施した。なお，規格化包絡線[9]としてではなく，測定した受信電力を着目する視点として，ここでは累積確率分布の 63.2% 値を利用した。

目的とする CLeirp, CLaz, 及び CLe1 の測定の前に，アンテナの指向性パターンがメーカーであるシスコシステムズ社から公開されている同社製の 5GHz 帯ダイポールアンテナ Cisco ANT5135D-R[11]を，上記の簡易な方法で測定し，その測定結果とメーカーの公開情報も比較して，電波暗室ではない，通常の屋内の部屋での本簡易な測定方法の状況を把握した。

(2) Cisco ANT5135D-R の指向性パターンの簡易測定 (2-1) 測定方法概要

測定用電波の送信装置

5300MHz の測定用電波の送信装置は，表 1 の実験での測定諸元の中の項目 ping 通信部 (AP) (Cisco AP1242AG)の測定諸元を無線 LAN コントローラ Cisco CT2504 で集中制御される AP の Cisco LAP1240AG へ適用したものである。但し，送信電力=-1dBm へ変更，ビーコン間隔=20msec へ変更，アンテナコネクタ中心の床面からの高さ=0.63m へ変更である。また測定対象アンテナ Cisco ANT5135D-R の H 面を測定する際には送信装置アンテナの偏波 (床面に対して) =垂直であるが，測定対象アンテナの E 面を測定する際には同偏波 (床面に対して) =水平である。

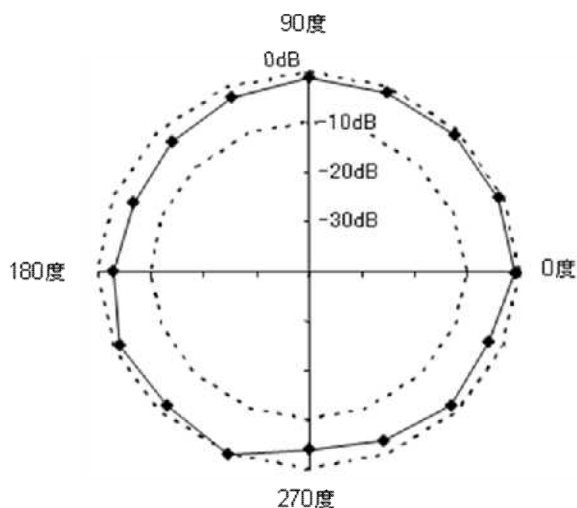
測定対象アンテナでの受信電力測定

測定対象アンテナは，自律型 AP の Cisco AP1242AG をクライアント端末のモード (WGB: Work Group Bridge)へ変更して，長さ約 86cm の変換コネクタ付き同軸ケーブル (5300MHz での損失は 4dB 程度) を経由して接続し，送信装置の AP からの受信電力を WGB の受信モニタ表示で測定した。

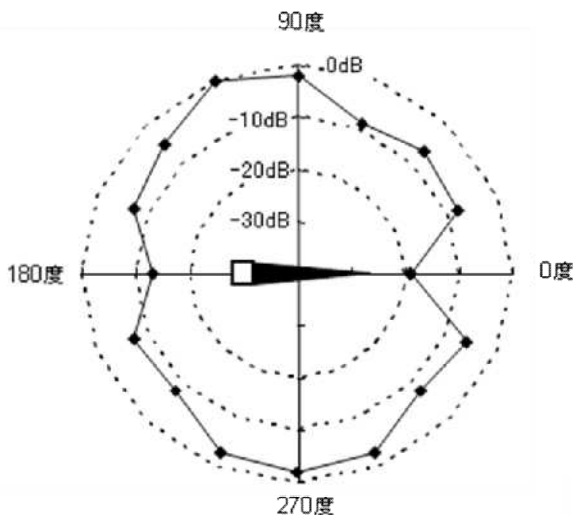
送信装置のアンテナと，測定対象アンテナ間の距離は，2.4m である。

測定対象アンテナは，H 面のときも，E 面のときも，送信装置のアンテナに対して，22.5 度間隔で半固定で床面と並行に水平回転させて，0 度から 337.5 度までの 16 方位での受信電力を測定した。

1 つの測定方位では，測定対象アンテナを床面からの高さ 0.68m から 0.58m まで 1.1cm 間隔で降下させて 10 個の受信電力データを記録した。そして，この 10 個の受信電力の累積確率分布の 63.2% 値を，その方位



付録図1 Cisco ANT5135D-R の H 面指向性パターン
の簡易測定結果. 周波数: 5300MHz



付録図2 Cisco ANT5135D-R の E 面指向性パターン
の簡易測定結果. 周波数: 5300MHz

での受信電力値として採用した。

本簡易測定を実施した屋内の部屋

本簡易測定を実施した屋内の部屋は、木造家屋であり、広さ約 3.5m×約 5.5m、床面（木製）と天井間の距離は、約 2.4m である。下記項目（3）と（4）の簡易測定もこの同じ環境である。

（2 - 2）簡易測定結果

測定対象アンテナ Cisco ANT5135D-R の簡易測定結果を H 面については付録図 1 に、E 面については付録図 2 に示した。文献[11]に示されたメーカーの公開情報と比較すると、簡易測定でも、概ねの傾向を把握はできていることがわかる。このような測定環境であることを承知して、本実験で使用したノート型 PC に内蔵

された無線 LAN 機能の CLairp, CLaz, 及び CLe l を簡易測定した。

（3）ノート型 PC に内蔵された無線 LAN 機能の CLaz と CLe l の簡易測定

（3 - 1）測定方法概要

測定用電波の送信装置と受信装置

測定用電波の送信装置は、上記項目（2 - 1）と同様である。そしてこの送信装置が、測定対象となるノート型 PC に内蔵された無線 LAN 機能からの送信電波も受信する装置となる。送信装置である AP から測定対象に対して Linktest コマンドを送信すると、その結果としてその AP が受信装置としても動作して、測定対象が Linktest コマンドに反応して返信送信した電波を AP で受信し、受信電力を測定できる。

CLaz または CLe l での 1 つの測定方位では、本送受信装置の AP のアンテナコネクタ中心の床面からの高さは、0.68m から 0.58m まで 1.1cm 間隔で降下させて 10 個の受信電力データを記録した。そして、この 10 個の受信電力の累積確率分布の 63.2% 値を、その方位での受信電力値として採用した。

ノート型 PC の水平面内（対床面）指向性パターン:CLaz の簡易測定

ノート型 PC は、床面から高さ 0.54m のダンボール箱の上に置き、送受信装置の AP のアンテナに対して、22.5 度間隔で半固定で床面と並行に水平回転させて、0 度から 337.5 度までの 16 方位で、上記項目（3 - 1）で述べたように受信電力を測定した。

なお、PC 液晶画面の最上端部の床面からの高さは、0.73m であった（PC 液晶画面の傾斜角度（床面に垂直から奥側への傾斜）は 33 度の状態）。

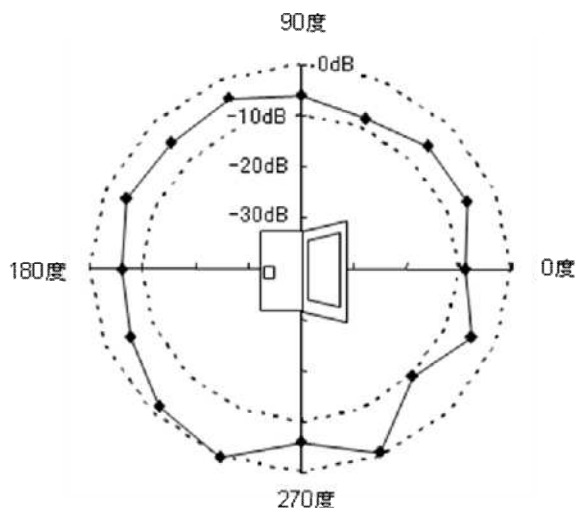
ノート型 PC の垂直面内（対床面）指向性パターン:CLe l の簡易測定

ノート型 PC は、床面から高さ 0.46m のダンボール箱の上に横転させて置き（PC 液晶画面を見るためには頭を右肩方向へ 90 度傾ける状況）、送受信装置の AP のアンテナに対して、22.5 度間隔で半固定で床面と並行に水平回転させて、0 度から 337.5 度までの 16 方位で、上記項目（3 - 1）で述べたように受信電力を測定した。

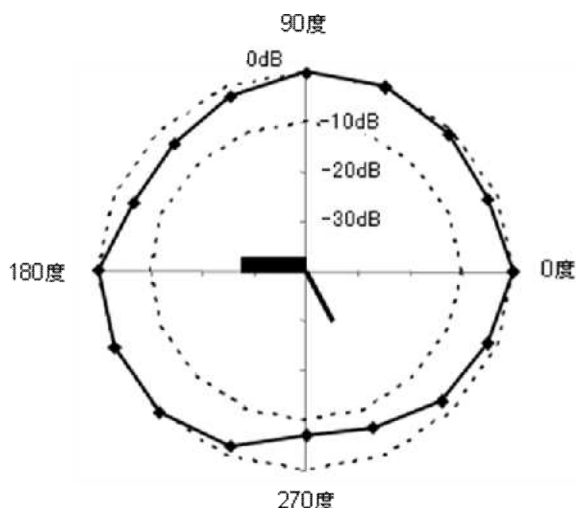
なお、横転させた PC 液晶画面の最上端部の床面からの高さは、0.755m であった（通常利用における PC 液晶画面の傾斜角度（床面に垂直から奥側への傾斜）は 33 度の状態）。

（3 - 2）簡易測定結果

ノート型 PC の簡易測定結果を CLaz については付録図 3 に、CLe l については付録図 4 に示した。これらの結果を、CL から見た AP の方位角と仰角を各測定経路



付録図3 ノート型 PC の水平面内(対床面)指向性パターン:CLaz の簡易測定結果. 周波数: 5300MHz



付録図4 ノート型 PC の垂直面内(対床面)指向性パターン:CLel の簡易測定結果. 周波数: 5300MHz

で計算しながら,式(5)に適用した.

(4) ノート型 PC に内蔵された無線 LAN 機能の CLeirp の簡易測定

(4-1) CLeirp を計算する式

3.1 節(1)の式(2)から,CLeirp は,次のようになる.

$$CL_{eirp} = CL_t + CL_g$$

$$= P_{ra} + L_{ca} + L_{cbl} - AP_g$$

付録式(1)

ここで, Lca は上記項目(2-2)の H 面の簡易測定結果と測定諸元から計算でき 57.2dB である. なお, 周波数が 5300MHz で送受信点間の距離 2.4m の場合の

自由空間伝搬損失の理論値は 54.5dB である.本簡易測定環境での Lca のほうが, 2.7dB 大きいことは承知しておく.

また, Lcbl は上記項目(2-1) で述べた長さ約 86cm の変換コネクタ付き同軸ケーブルの 5300MHz での損失の 4dB である. また, APg は表 1 実験での測定諸元の ping 通信部(AP)のアンテナ利得 3.5dBi である.

Pra は, 次のように測定した.

(4-2) Pra の測定方法概要

測定用電波の送信装置と受信装置

測定用電波の送信装置は,表 1 の実験での測定諸元の中の項目 ping 通信部(AP) (Cisco AP1242AG)である.そしてこの送信装置が,測定対象となるノート型 PC に内蔵された無線 LAN 機能からの送信電波も受信する装置となる.上記項目(3-1)と同様にて Linktest コマンドを使って,受信電力 Pra を測定できる.

上記項目(3-1)の CLaz と同様に 16 方位での Pra を測定し,各方位での 63.2%値を採用する.

そして, Pra が最大値の方位,及びその最大値とほぼ同じ Pra となった隣の方位の 2 つの Pra の平均値を計算して,付録式(1)へ適用した.

(4-3) 簡易測定した CLeirp の結果

以上の簡易測定の方法により,付録式(1)から,本実験で使用したノート型 PC に内蔵された無線 LAN 機能の CLeirp の最大値は, 8.2dBm であると計算された.この結果を 3.1 節(1)の式(5)に適用した.