

700MHz帯導入に向けた5周波共用基地局アンテナの開発

急増するトラフィックへの対応として700MHz帯が新たな周波数帯として割り当てられた。現在の基地局は設置スペースが限られており、新たなアンテナの追加は困難なため、複数の周波数帯に対応した周波数共用化が必須である。周波数共用化においては周波数帯間の結合を低減することが課題となっていたが、ドコモ独自の干渉抑圧技術の導入により前記を実現する5周波共用基地局アンテナを開発した。これにより700MHz帯を含むエリア構築が容易となる。

無線アクセス開発部
吉原 龍彦 川合 裕之
井原 泰介

1. まえがき

近年、スマートフォンやタブレット端末の急速な普及に伴い、移動通信におけるトラフィックが急激に増大している。これに対応するため、移動通信への新たな周波数帯として、2012年6月27日に700MHz帯が割り当てられた。

一方、移動通信の基地局は、高いトラフィック需要に応えるため、都市部においては高い密度で設置されており、特に都心部繁華街などの超高トラフィック地域では2～3百メートルおきに設置されている。都心部における基地局の設置場所としてはほとんどがオフィスビル、マンションなどの一般のビルの屋上であるため、基地局装置および基地局アンテナの設置スペースは限られており、追加アンテナを設置する余地も

ない状況である。また、基地局アンテナの設置場所はサービスエリアと密接に関係するため、設置場所は限定される。そのため、周波数帯を追加する場合、当該周波数帯専用の基地局アンテナを設置するのではなく、すでにサービスを実施している周波数帯と共用を行う、基地局アンテナの周波数共用化が必須となってきた[1]。その際、アンテナは既存の基地局アンテナ[1]～[3]と同等のサイズ、重量で実現しなければならず、複数の周波数帯の電波を送受信することから、相互変調歪（PIM：Passive Inter Modulation）*1に配慮した設計としなければならない。

このような要求から今回、すでにサービスを実施している800MHz帯、1.5GHz帯、1.7GHz帯、2GHz帯に新規の700MHz帯を加えた5周波を共用する基地局アンテナを新たに開

発した。本アンテナではドコモ独自の干渉抑圧技術[4] [5]の導入により、周波数共用化において問題となる周波数帯間の結合を低減し、従来機種と同等のサイズを実現する。また、アンテナ自体を低PIMとなるように設計するのに加え、ドコモが提案するPIM評価方法[6]により、PIMが発生する周波数帯の組合せであっても受信特性の劣化量が一定値以下であることを保証している。5周波共用アンテナの実用化は国内初であり、本アンテナにより、700MHz帯を含むエリア構築が容易となる。

本稿では今回開発した5周波共用基地局アンテナの概要を解説する。

2. アンテナラインナップ

図1に示すように、ドコモでは、トラフィックや屋内・屋外などの利用シーンを考慮して複数の基地局ア

ンテナを開発しており、最適なエリア設計が可能である。屋外用の基地局では、360°方向を1つの基地局でエリア化するオムニ基地局構成と、360°を複数のセクタと呼ばれる単位に分割してエリア化するセクタ基地局構成がある。主に低トラフィック地域ではオムニ基地局構成が用いられるのに対し、都市部など高トラフィック環境ではセクタ基地局構成が用いられる。特に、ドコモでは3セクタに加えて6セクタを採用しており、より高トラフィック環境下でも快適な通信の実現が期待できる。今回開発した基地局アンテナはセクタ基地局構成用のアンテナである。

3. 5周波共用基地局アンテナの開発

3.1 要求条件とアンテナ構成

(1)要求条件

1章で述べたとおり、設置スペースが限られていることなどを考慮すると、すでにサービスを実施している800MHz帯、1.5GHz帯、1.7GHz帯、2GHz帯に700MHz帯を加えた5つの周波帯を1本のアンテナで共用し、かつ、大きさはすでに設置済みのアンテナ同等であることが要求される。以上を考慮して開発した5周波共用基地局アンテナの仕様概要を表1に示す。

(2)アンテナ構成

5周波共用基地局アンテナの構成例を図2に示す。所望の垂直面内指向性^{*2}を実現するため、電波を送受信するアンテナ素子を垂直方向に一定間隔で複数配置し、各素子への振

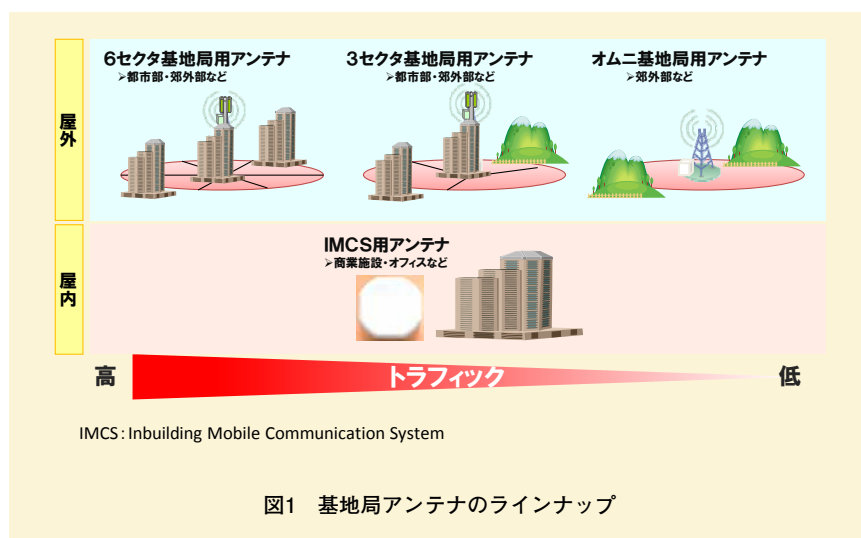


表1 5周波共用基地局アンテナの仕様概要

セクタ	3セクタ	6セクタ
周波数	700MHz帯 (728~793MHz) 800MHz帯 (830~890MHz) 1.5GHz帯 (1,448~1,511MHz) 1.7GHz帯 (1,765~1,880MHz) 2GHz帯 (1,940~2,150MHz)	
偏波	水平／垂直偏波	
VSWR	1.5以下	
利得	15.5～18dBi	
サイズ	長さ：2,700mm以下 直径：200mm以下	長さ：2,400mm以下 直径：300mm以下

偏波：電界面の地面に対する方向

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)：電圧定在波比。進行波と反射波の割合を示す値であり、VSWRの値が小さいほど電力効率が良い

幅・位相を移相器^{*3}で制御する構成[7]を採用している。アンテナ素子は、700/800MHz帯用アンテナ素子と1.5/1.7/2GHz帯用アンテナ素子の2種類の異なるアンテナ素子を用いており、それぞれ最適な素子間隔となるように設定している。これは、1種類のアンテナ素子で5つの周波数帯に対応する場合、垂直方向に並べたアンテナ素子の間隔は、波長で規格化すると、700MHz帯に対して2GHz帯では約2.6倍と非常に大きく

なることから、例えば700MHz帯の波長に合わせて設計すると2GHz帯の垂直面内指向性が大きく乱れ、隣接セル^{*4}方向への干渉が大きくなるためである。

また、所望の水平面内指向性を実現するため、反射板と呼ばれる金属板をアンテナ素子の後方に設置している[7]。水平面内指向性は狭くなりすぎると、エリアに穴ができてしまい、広すぎると隣接セクタへの干渉となるため、各周波数帯においてセ

^{*2} 指向性：どの方向にどの程度の強さで電波が放射されるかを表す。

^{*3} 移相器：アンテナにおいては、各素子への移相を変える回路のこと。

^{*4} セル：セルラ方式の移动通信ネットワークと移動端末との間で無線信号の送受信を行う最小のエリア単位。

クタ数やエリア影響を考慮した最適な指向性となるように反射板やアンテナ素子のパラメータなどを調整し、設計を行っている。5周波共用化にあたっては、この水平面内指向性の設計が課題であったが、独自の周波数間結合低減技術により前記課題を解決した。

3.2 周波数帯間結合低減技術

(1) 水平面内指向性歪み

前述のとおり、本アンテナでは700/800MHz帯用アンテナ素子と1.5/1.7/2GHz帯素子の2種類の異なるアンテナ素子を用いているが、アンテナ直径が限られているため、2素子を近接して配置せざるを得ない。このような状況下における影響を把握するため、一例として図3に示す解析モデルを用いて計算シミュレーションを行った。その結果、同図中に示すように、700/800MHz帯素子上に特に2GHz帯の不要な電流が大きく生じており、2GHz帯の水平面内指向性が歪むことが明らかとなった。本解析モデルでは、指向性が左右に広がっており、隣接セクタへの干渉が大きくなるなどの問題が生じる。

(2) 提案技術

前記の指向性歪みを改善する技術として、図4に示す2種類の700/800MHz帯素子の構造を提案している[4][5]。本技術を用いることで、同図中矢印のように700/800MHz帯素子上に流れる2GHz帯の不要な電流を打ち消し、700/800MHz帯素子がない場合と同等の指向性を実現する

ことが可能である。

本提案以外にも指向性歪みを改善する方法として、無給電素子*5と呼ばれる金属構造を付加する方法も知られている[8]。しかし、多周波化が

進むほど指向性を改善したい周波数が増えるため、設計パラメータの増大、構造の複雑化が問題となる。本提案は素子構造の変更という比較的、簡易な技術であることから、5周波

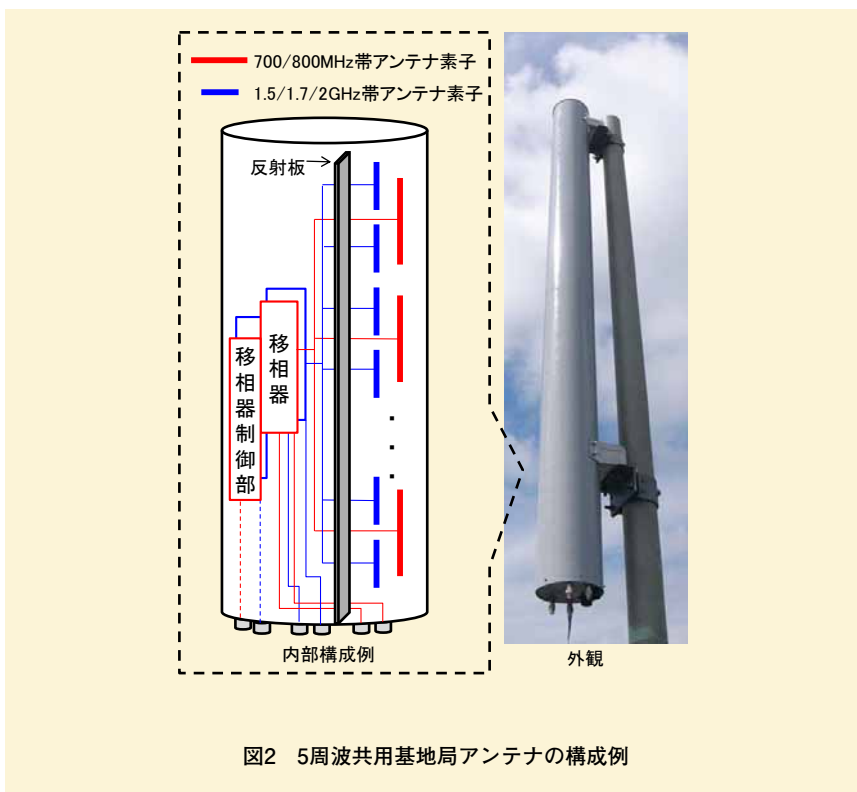


図2 5周波共用基地局アンテナの構成例

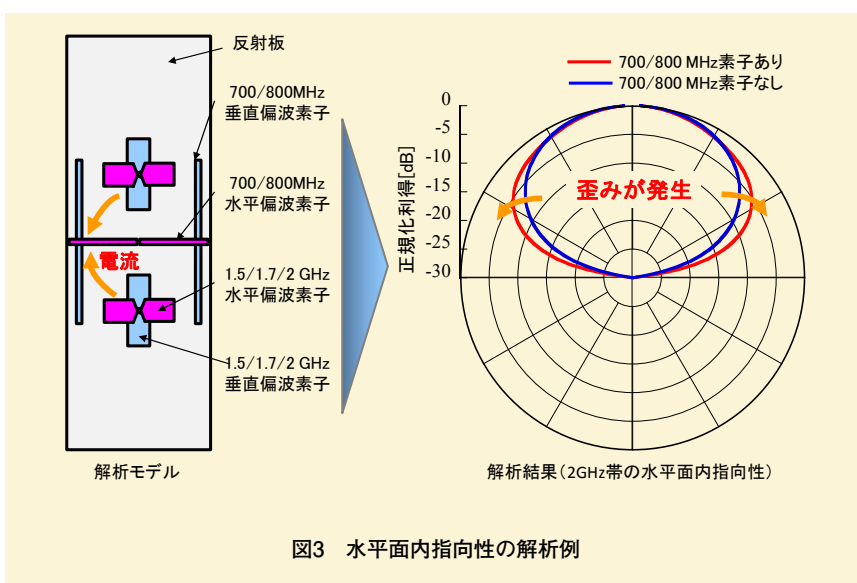


図3 水平面内指向性の解析例

*5 無給電素子：直接給電せずに、給電されたアンテナ素子の近傍に設置することで、電波の放射に寄与する素子。

共用基地局アンテナにおいても図4の提案構造②が適用されている。

3.3 低PIMアンテナ実現に向けた評価方法の確立

(1)PIMの発生と組合せ

基地局アンテナでは、1つ以上の周波数を入力した際に、内部の非線形性^{*6}に起因して、入力した周波数とは異なる周波数で不要波（PIM）が発生する。例えば、2種類の周波数 f_1 、 f_2 を送信した際には $f_1 \pm f_2$ に2次のPIM、 $2f_1 \pm f_2$ に3次のPIMが発生し、3つの送信周波数 f_1 、 f_2 、 f_3 を送信した際には $f_1 \pm f_2 \pm f_3$ に3次のPIMが発生する。一般的に次数^{*7}が低いほど発生するPIMのレベルは高いものの送信電力に対しては100dB以上低い値である。しかし、携帯端末から基地局への受信信号レベルも同様に非常に低い値であるため、PIMが受信帯域に発生する場合、そのレベルを十分に抑えないと受信特性の劣化が問題となる[9]。

PIMが受信帯域に発生する可能性は5周波共用アンテナのように送信する周波数帯の組合せが増えるほど顕著となる。より具体的な例としてドコモの5周波共用基地局アンテナで受信帯域にPIMが発生する送信周波数帯の組合せを表2に示す。なお、同表の組合せは、前述の $f_1 \pm f_2$ 、 $2f_1 \pm f_2$ 、 $f_1 \pm f_2 \pm f_3$ の3通りのみを考慮している。同表より、例えば、800MHz帯、1.7GHz帯、2GHz帯の3周波数帯の共用であれば発生するPIMは800MHz帯送信周波数の2波の組合せによって1.7GHz帯受信帯域に

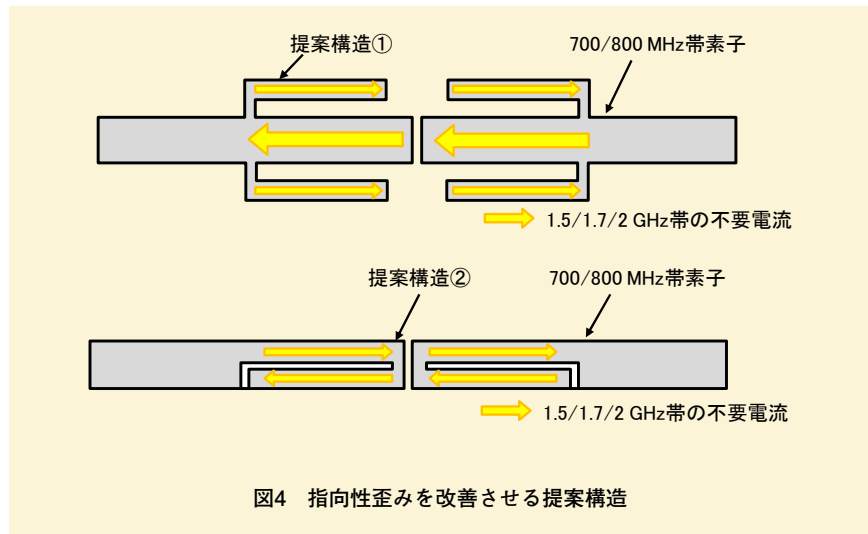


図4 指向性歪みを改善させる提案構造

表2 PIM発生周波数帯と送信周波数帯の組合せ

PIM発生周波数帯	送信周波数帯
800MHz受信帯に発生	1.5GHz帯と2GHz帯を同時に送信時
1.7GHz受信帯に発生	800MHz帯送信時
	700MHz帯と800MHz帯と1.7GHz帯を同時に送信時
	1.5GHz帯と1.7GHz帯と2GHz帯を同時に送信時
2GHz受信帯に発生	700MHz帯と800MHz帯と1.7GHz帯を同時に送信時

発生するPIMのみであるが、5周波数帯を共用し同時に送信する場合は、800MHz帯受信帯域と1.7GHz帯受信帯域と2GHz帯受信帯域の3帯域にPIMが発生するため、より低PIM化に配慮した設計が重要となることがわかる。

(2)低PIM化のための対策例

基地局アンテナでは通常、ダイオードなどの非線形素子は用いられず線形素子で構成される。しかしながら、ケーブルどうしを接続するコネクタの接点や異種金属の接点などの不連続部分で非線形性を生じる。そこで、低PIM化に向けた対策としては、コネクタレスとすることや、金属どうしの接触部の面積を大きくと

り電流を分散させるなどの積重ねによってアンテナ内部での非線形性を小さくするような設計をしている。

(3)PIMレベルの評価方法

製品出荷時にはPIMが受信特性に与える影響を把握し、一定値以下に抑えることが必要である。実際の基地局装置と接続して、受信特性を直接把握することが望ましいが、アンテナの製造ラインで実現することは設備規模・測定稼働の面からも困難である。そこで、図5に示すように、実際の通信と同様の変調波信号を送信した際に、受信帯域に広がって発生するPIMの分布[10] [11]を把握することができれば、受信特性の劣化量を算出することができる。しかし、

^{*6} 非線形性：入力レベルに対する出力レベルの変化量が一定の傾きとならないこと。線形回路として扱われる材料でも微小な非線形性を有する。

^{*7} 次数：相互変調歪が発生する入力周波数の組合せ数。たとえば $mf_1 \pm nf_2$ に発生する場

合の次数は $m+n$ となる。

PIMレベル自体が非常に低く、さらに、観測帯域が広がると測定器の受信感度が低下するため、本測定も実現は困難である。そこで、変調波信号ではなくCW (Continuous Wave) *8信号送信時のPIMレベルであれば測定可能なことに着目し、CWにおけるPIMレベルから変調波信号送信時に受信帯域に発生するPIMレベルを推定する手法を提案し、その妥当性を確認した[6]。本手法により、CW測定という簡易な測定手法で、PIMによる受信特性の劣化量が一定値以下であることを保証している。

3.4 アンテナと基地局装置間のケーブル削減

5周波共用アンテナに接続される無線機 (RE : Radio Equipment) *9は周波数帯ごとに異なっており、両者を接続するRF (Radio Frequency) *10ケーブルの数は周波数帯域数の増大とともに、増加することになる。図6に示すように、今回の5周波共用アンテナの場合、アンテナ内部に周波数共用器*11を内蔵すると、アンテナ底面の入出力端子は5周波×2偏波となり10本のRFケーブルが必要となる。このような状況では、鉄塔上部のアンテナから屋上面のREまでのRFケーブルの引き回しスペースの確保など施工性の悪化が懸念される。そのため本アンテナでは、同図に示すように周波数共用器を別筐体とし、REの近くに配置する構成とすることで、鉄塔上部から屋上面まで引き回すケーブルの本数を700/800MHz帯用・1.5/1.7/2GHz帯

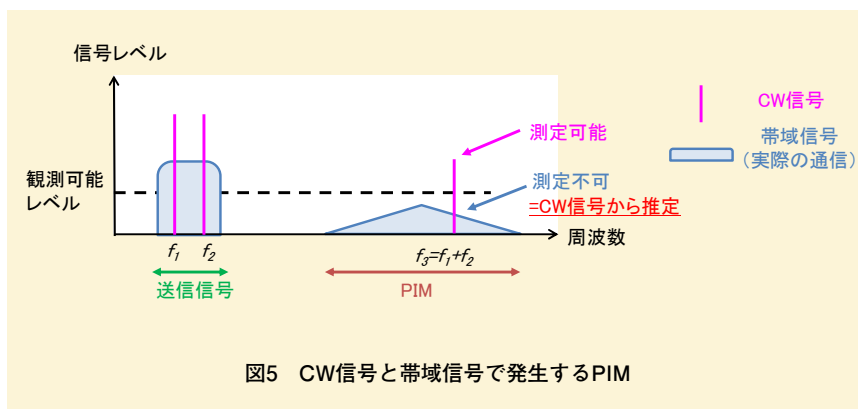


図5 CW信号と帯域信号で発生するPIM

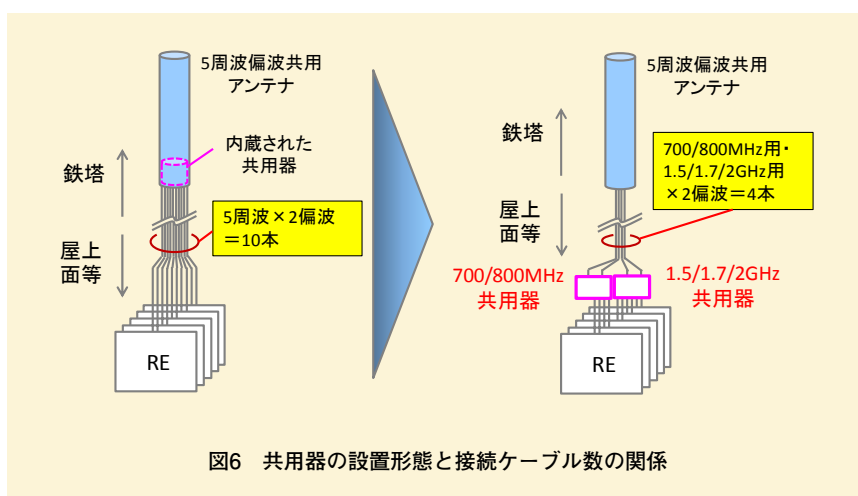


図6 共用器の設置形態と接続ケーブル数の関係

用×2偏波の合計4本へと60%削減する構成とした。これにより、アンテナ設置における施工性を向上させ、設置コストを低減することが可能となった。

4. あとがき

本稿では、国内初となる5周波共用基地局アンテナについて、開発したアンテナの概要と実現に向けた周波数間の結合低減技術および低PIM化の取組みとPIMの評価方法について解説した。本アンテナにより、700MHz帯を含むエリア構築が容易となり、さらなる通信エリアの拡大、および通信品質の向上が期待される。

文 献

- [1] 恵比根 佳雄, “次世代移動通信用 (IMT-2000) 基地局アンテナの設計,” 信学技報AP2000-4, Mar. 2000.
- [2] 蔣 恵玲, 吉良 文夫, 長 敬三, “垂直広帯域アンテナの細径化の一設計,” 信学技報, AP2005-128, Jul. 2005.
- [3] 水村 慎, “周波数共用偏波ダイバーシチアンテナにおける指向性の改善,” 信学ソ大, B-1-108, 2008.
- [4] 吉原 龍彦, 蔣 恵玲, 長 敬三, “周波数共用アンテナにおけるチョーク構造を用いた水平面内周波数偏差の低減に関する検討,” 信学ソ大, B-1-81, 2011.
- [5] 吉原 龍彦, 蔣 恵玲, 長 敬三, “周波数共用アンテナにおけるスロット構造素子を用いた水平面内指向性歪みの低減に関する検討,” 信学総大, B-1-

*8 CW : 無変調連続波。信号が変化しないため、測定が容易である。

*9 無線機 (RE) : 光ファイバなどを使って基地局から離れた場所に設置した無線装置。

*10 RF : 無線通信などで用いられる高周波数帯のこと。

*11 共用器 : 各周波数帯のREからの送信波を合成し、基地局アンテナからの受信波を周波数帯毎に分離するための機器。

- 154, 2012.
- [6] 吉原 龍彦, 井原 泰介, “PIM測定値に基づくCNR劣化量の推定方法に関する検討,” 信学ソ大, B-1-200, Sep. 2012.
- [7] 恵比根 佳雄, “基地局アンテナ,” 本誌, Vol.6 No1, pp38-45, Mar. 1998.
- [8] 水村 慎, “周波数共用ダイバーシチアンテナにおける指向性の改善,” 信学ソ大, B-1-108, 2008.
- [9] 入江 健治, 久我 宣裕, 長 敬三, “PIM測定環境評価用ダイオード付き楕円板状モノポールアンテナ,” 信学論 vol. J94-B, No.9 pp.1-8.
- [10] W. C. Jakes, “Microwave Mobile Communications,” Wiley-IEEE Press, 1994.
- [11] Transmission Systems for communications, 3rd ed., Technical Staff Bell Telephone Laboratories, 1964.