

# 電波暗室における基地局アンテナの 放射特性測定手法の開発

基地局アンテナ

先進技術研究所

指向性

こみや かずひろ

小宮 一公

ちょう

€

けいぞう

敬三

利得

やまぐち

山口

りょう

良

基地局アンテナのような波長に対して長いアンテナ の放射特性を測定するためには屋外などの十分広い測 定場所が必要であり,一般的な大きさの電波暗室では 測定距離が不十分という課題がある.このため,基地 局アンテナを不十分な距離で測定したときの放射特性 を精度良く測定する手法を開発した.これにより,天 候に左右されず,電波暗室にある通常の指向性測定設 備を用いて基地局アンテナの放射特性を測定すること が可能になった.

## 1. まえがき

携帯電話基地局アンテナの放射特 性(指向性\*1・利得\*2)は回線設計 上重要なパラメータであり、仕様ど おりの性能になっているかを正確に 把握することは重要である。基地局 アンテナには周波数や設置場所に適 したさまざまな種類があるが、一般 に写真1に示すような屋外に設置さ れる基地局アンテナは,所望のサー ビスエリア形成のため, 垂直方向に は長く水平方向には短い特殊な形状 を有する。一例としてIMTで用いら れる2GHzの周波数(波長15cm)に おいて、基地局アンテナの垂直方向 は2mを越える長さとなる場合が 多い。

このように波長に対して大きな長 さを有するアンテナの遠方界\*<sup>3</sup>指向 性を測定するためには,長い測定距 離が必要である.具体的には前記の 周波数2GHzで長さ2mの基地局ア ンテナの場合,遠方界の指標として 一般に用いられる2D<sup>2</sup>/λ (Dはアン テナの長さ,λは波長)に当てはめ ると,このアンテナの測定距離とし ては約60mが必要となる.この距離 は一般的な大きさの電波暗室<sup>\*4</sup>では 確保が困難であり,上記に満たない 不十分な距離で測定しても指向性は 正確に測定できない.

これを解決するためには、十分な 距離を有する屋外で測定する方法が あるが、場所の確保や天候に左右さ れるという問題がある.また、電波 暗室などの屋内で指向性を測定する 方法[1][2]もあるが、別途大掛かり で特殊な装置系を必要とする.これ らのことから、基地局アンテナの遠 方界指向性を測定することは容易で はない.さらに,基地局アンテナの



- \*1 指向性:アンテナの放射特性のひとつで, アンテナからの放射強度(あるいは受信 感度)の方向特性のこと.
- \*2 利得:アンテナの放射特性のひとつで, アンテナの最大放射方向の放射強度が基 準アンテナの何倍あるかを示す指標.

© 2012 NTT DOCOMO, INC. 本誌掲載記事の無断転載を禁じます. 放射特性は、アンテナメーカごとに 測定環境が異なることから統一した 測定手法により行われておらず. メーカ間で測定精度に差分が生じる 可能性を考慮して基地局アンテナの 仕様合格範囲に余裕を見積もる必要 があった.現在の基地局アンテナが 周波数と偏波\*5を共用し、フィルタ や移相器を内蔵した複雑な構造に なっていることを考慮すると、ドコ モが性能を評価把握するうえでは. 基地局アンテナの放射特性を検証で きる環境が必要となっている. この ような課題に対し著者らは、アンテ ナメーカおよびドコモで共通に有す る設備である電波暗室において、基 地局アンテナを不十分な距離で測定 したときの放射特性を精度良く測定 する手法を開発した.開発した手法 は,アンテナ形状の特殊性を考慮 し. 通常の電波暗室にあるネット ワークアナライザや回転台などを使 用した指向性測定システムを適用し て不十分な距離での測定を行い、こ こで取得したデータを基にパソコン 上で平面波を生成することにより遠 方界指向性測定を可能にしたもの である.

この手法を導入することにより,

- ・電波暗室で測定可能という点で 天候に左右されるという問題が ない
- ・不十分な測定距離における平面 波の生成を、特殊な装置系を必 要とせずパソコンを用いた数値 処理で実現可能という点で、本 測定手法の他の測定場所への展 開が容易である

というメリットが生じる. これによ り,メーカおよびドコモが統一した 測定手法で実施可能となった.

本稿では,電波暗室における基地 局アンテナの指向性・利得測定法の 基本検討について解説する.

### 2. 合成開ロアレーアン テナを用いた測定

#### 2.1 遠方界指向性測定

図1に本手法である合成開口アレ ーアンテナを用いた測定の測定原 理を示す.本測定は(A)実測定と (B)仮想測定の2つの過程に分けら れる.

 (A)実測定:まず図1 (a) に示す ように、電波暗室において被 測定アンテナ (AUT: Antenna Under Test)のブロードサイド
\*<sup>6</sup>正面をx軸方向とし、中心が 原点のに一致するように設置 する.次に、x軸の遠方界指標 に満たない測定距離(以下,有 限距離)*R*に対向アンテナを一 つ設置する.そして、AUTを 回転角*θ<sub>i</sub>*で回転させながら, 対向アンテナからの複素受信 電界<sup>\*7</sup> $E_{near}(\theta_i)$ をネットワー クアナライザにより測定し, そのデータをPCに取り込む. この過程は電波暗室における 通常の指向性測定と同じであ るが,ここで得られたデータ は,測定距離が不十分である ため正確ではない.

(B)仮想測定(アレー合成):こ の後、上記測定値を用いて数 値計算(オフライン信号処理) により合成開口アレーアンテ ナ\*\*を仮想的に形成する。図1 (b) に示すように, 仮想波源 を実波源である対向アンテナ の両側に対称にN個ずつ等間 隔に設置する(仮想波源総数 は2N+1). このときのアレー アンテナは角度ステップΔ ω で円弧に形成することが本手 法の特徴である. 合成開口ア レーアンテナが円弧形状であ るため、それぞれの波源に行 路差R(1−cos ψ)に対応する 位相差を与えることにより, 有限距離にあるAUT周辺(y軸 上) で擬似平面波\*9を生成す



- \*3 遠方界:アンテナから放射される電磁界 が観測点までの距離に依存せず方向の関 数のみで決まる領域。
- \*4 電波暗室:外部からの電波を遮断し,内 壁6面に電波吸収体を備えることで反射 波を抑制した実験設備.
- \*5 偏波:電磁波が空間を伝搬するときの電 界の振動方向、本稿で取り上げた基地局 アンテナの場合、地面に対して垂直な面 で振動する垂直偏波と水平な面で振動す る水平偏波を共用とした構成が多い。
- \*6 ブロードサイド:複数の素子を直線状に

配列したアンテナにおいて,配列軸方向 と直角となる方向のこと.

\*7 複素受信電界:複素表示された受信電界. 電界は振幅と位相からなる複素数で表現 できる. ることができる. この位相差 を考慮して得られる遠方界指 向性 $E_{lar}(\theta_i)$ は,有限距離にあ る各波源点からの受信電界 $E_{near}$ ( $\theta_i$ )の和,すなわち合成開口 アレーアンテナからの到来波 の合成受信電界として式(1) により求められる.

$$E_{far}(\theta_i) = \sum_{j=N}^{N} E_{near}(\theta_i + \psi_j)_{W_i} \exp \{jkR(1 - \cos\psi_j)\} \Delta \psi$$
(1)

ここで $E_{\mu}(\theta)$ は求めたい複 素遠方界,  $E_{near}(\theta_i + \phi_i)$  は有限 距離の各波源からの複素受信電 界(伝送特性),wはアレー合 成の重み, Rは測定距離,  $\psi_i$ は i番目の波源位置の相対角度, ップ,  $k (= 2\pi/\lambda)$  は波数で ある. 回転角度 θ と相対角度 ψ のとり得る角度点(測定時のサ ンプルポイント)を同一に設定 した場合には,いったん E  $(\theta_i)$ を測定しておけば,  $E_{near}$  $(\theta_i + \phi_i)$ を改めて測定しなおす 必要はない. つまり,  $E_{nagr}(\theta)$ は円周方向に一度測定するだけ でよい. なお, 式(1)の位相 項の $R(1-\cos\phi)$ は実測定の 際の励振\*10位相ではなく,前 述のとおり合成開口アレーアン テナを構成する各素子(波源) からの行路差分の位相補正を表 しており、アレー合成の際に仮 想的に与える項である.

#### 2.2 利得測定

本手法に適用する利得測定は、あ らかじめ利得の分かっている基準 アンテナ(REF: REFerence antenna)とAUTを同一の地点で置換し て比較する方法(置換法.比較法と もいう)により行う.ここで、REF とAUTは同一の測定環境において 置換する条件があるため、REFも その開口の大きさにかかわらず AUTと同じ手順、すなわち回転測 定を行い複素受信電界 $E_{near}(\theta)$ を 取得する必要がある.

置換法において対向アンテナを 送信側, REFとAUTを受信側とす ると, 求めたい方向の利得*G<sup>AUT</sup>*は 以下の式で求められる.

$$G^{AUT} = G^{REF} P^{AUT} / P^{REF}$$
  
=  $G^{REF} (E_{far}^{AUT} / E_{far}^{REF})^2$  (2)

ここで $G^{REF}$ ,  $P^{AUT}$ ,  $P^{REF}$ ,  $E_{far}^{AUT}$ ,  $E_{far}^{REF}$ は, それぞれ REFの既知利得, AUTの受信電力, REFの受信電力, 式(1)により求まるAUTの受信電界 強度, および式 (1) により求まる REFの受信電界強度である.

### 3. 遠方界指向性測定の 有効性検証

#### 3.1 モーメント法による検証

本手法の有効性を検証するため. 有限距離での実験に相当するモー メント法\*11によるシミュレーショ ンを行った.AUTの例として等振 幅給電の半波長ダイポールアレー アンテナを用い.表1に示す計算 機シミュレーション仕様で測定距 離10mにおける電界分布を計算し た. なお,ここでは便宜上AUTを送 信アンテナとして取り扱い,対向 アンテナ自体はモデル化せず観測 点での電界の複素値をそのまま用 いた(対向アンテナを無指向性と みなしたことに相当).また、同時 に遠方界指向性も計算した. 結果 を最大値で規格化した相対指向性 表記として,有限距離電界の指向 性を遠方界指向性とともに図2(a) に示す.特に主ビーム\*12付近の不 一致が顕著であり、有限距離の測 定では遠方界指向性を正確に測定 できないことが確認できる。

次に,本手法により有限距離電 界のアレー合成を行った結果を遠 方界指向性とともに図2(b)に示 す.ここでは式(1)の波源の重み

表1 計算機シミュレーション仕様

周波数	2.0GHz
AUT	半波長ダイポールアレーアンテナ
AUTの長さ	2.1m
測定距離	10m
合成開口の開き角	150°
合成開口の素子数	375
合成開口の角度ステップ	0.4°

- \*8 アレーアンテナ:複数の素子を配列した アンテナのこと.
- \*9 平面波: 伝搬方向に垂直な平面内で電磁 界の振幅と位相が一定となる電磁波のこ
- \*10 励振:アンテナに給電し,電磁波を発生

\*11 モーメント法:電磁界解析法の1つで,金 属上に流れる電流を効率よく計算し,こ れを基に電波が放射される方向などを計 算できる.

<sup>\*12</sup> 主ビーム:最も強い放射方向のビームの こと.

はすべて1とし位相補正のみを実施 した.図より,エンドファイア\*<sup>13</sup> 方向の値にやや誤差が見られるも のの,主ビームの形状もよく一致 する結果が得られた.

以上のことから,本手法を用い ることにより有限距離での測定に おいても高精度な遠方界指向性が 得られることが確認できた.

### 3.2 平面波精度と測定距離 の評価

本手法はAUT周りで仮想的な擬 似平面波を生成することが前提であ るため、その生成精度が測定パラメ ータ設定に直接影響すると考えられ る.ここでは、遠方界測定が可能と なる要因を明らかにするためAUT 周りの平面波の生成精度(振幅分布 と位相分布)をシミュレーションに より定量的に評価し、本手法の基本 特性を明らかにする.

**表2**に平面波評価シミュレーションの仕様を示す.ここで波源側は 各々の波源からの振幅・位相分布を 数値的に重ね合わせることにより AUT周りの合成電界 $E_{AUT}$ (x, y)を 求める.また,単純化のため各波源 は点波源として扱う.

通常の指向性測定システムでは対 向アンテナ側は単一波源である.こ のとき測定距離を*R*=60m,10mと した場合のAUT周りの電界分布を 図3に示す.図から分かるように, 単一波源の場合は振幅分布よりも位 相分布が急激な変化をすることによ り測定条件が制限されている.

次に,本手法を適用した場合の特

\*13 エンドファイア:直線状に素子を配列し たアンテナにおいて,配列軸方向のこと. 性を評価する.測定距離はR=10m としたまま,本手法に相当する波源 広がり(仮想的合成開口アレーアン テナを形成)を150度とした場合の AUT周りの電界分布を図4に示す. 図3の単一対向アンテナ(通常の指 向性測定システム)の場合と比較す ると,振幅分布の偏差は大きくなり 波長程度の周期で振動しており,そ の偏差は最大で約0.6dBである.こ の振動は,合成開口アレーアンテナ からの距離が十分遠くないために定 在波が存在しており完全な平面波と はなっていないことを意味してい る.一方,位相分布も同様に細かい 周期的な変動が見られるが,図3と 比較すると偏差の絶対値は極めて小 さく5度以内に抑えられており,か つ場所依存性も極めて小さい.この 位相偏差の抑圧が,合成開口アレー アンテナを適用した効果であると考 えられる.図には*R*=5mの場合の



表2 平面波評価シミュレーションの仕様

周波数	2.0GHz
AUT	点波源
測定距離	10m
合成開口の開き角	150°
合成開口の素子数	1,501
合成開口の角度ステップ	0.1°



値も併記している.測定距離を短く したことにより,位相特性には大き な変化はなく良好であるが,振幅分 布は大きく劣化していることが分か る.

図5に平面波電界分布の振幅特性,位相特性の測定距離依存性を示す.ともに最大値と最小値の幅の最 悪値をプロットした.振幅偏差は測 定距離が短くなるにつれて増大し, 5mのときほぼ1dBとなっている. 一方,位相特性はほとんどの測定距 離において10度以内の良好な特性 を有している.

以上の結果より,本手法を用いる ことにより振幅特性は若干劣化して いるものの,位相特性を飛躍的に改 善できることにより,有限距離にお いても遠方界指向性測定を可能とし たといえる.

### 4. 利得測定の有効性 検証

4.1 モーメント法による測 定距離の評価

遠方界指向性測定と同様に,合 成開口アレーアンテナまでの距離 が利得測定精度に影響をおよぼす ものと考えられるため,送受信間 測定距離をパラメータとしてモー メント法による検証を行った.利 得評価シミュレーションの仕様は **表3**のとおりである.測定距離Rと 仮想波源の角度ステップ $\Delta \phi$ の間 には,仮想波源の素子間隔を $\Delta L$ と すると(ただし $R \gg \Delta L$ )

 $\Delta \phi = \Delta L/R \quad (3)$ 

の関係がある.これは*R*が大きいと △ *∮*を細かくとる必要があることを 意味する.本検証は,通常の指向性 測定システムの角度ステップ設定を 考慮し,△*∮*=0.2度とした.

本検証の解析結果として,利得の 測定距離依存性を図6に示す.ここ で横軸は送受信間測定距離14mまで とし,縦軸はAUTの遠方界の全方向 への放射電力から算出される指向性 利得を基準とした利得変動量による 表記とした.送受信間測定は6m以上 とすることで0.1dB以内の偏差に収 まっていることがわかる.その一方 で,これよりも送受信間測定が短く なると利得変動量が増大する結果と





表3 利得評価シミュレーションの仕様

周波数	2.0GHz
基準アンテナ	半波長ダイポールアンテナ
被測定アンテナ	半波長ダイポールアレーアンテナ
被測定アンテナの長さ	2.1m
測定距離	10m
合成開口の開き角	150°
合成開口の素子数	751
合成開口の角度ステップ	0.2°



なる、この理由は、図6に示すよう に距離が短くなるにつれてAUT周辺 で振幅偏差が増大し,疑似平面波を 生成できなくなるためと考えられる.

### 4.2 基準アンテナの影響に よって生じる利得誤差 の実測評価

前述したように、置換法による 利得測定では、利得既知のREFを 測定する必要がある.通常,移動通 信の周波数帯ではREFとして標準 ホーンアンテナ<sup>\*14</sup>を用いることが 多いが、ここではAUTと同様の指 向性を有する REFを用い、アンテ ナ設置時に生じる位置精度に対す る利得変動特性をドコモの電波暗 室(送受信間距離10m)で測定し た.

表4に測定仕様を示す. REFの中 心を、それぞれ対向アンテナに対 して原点から前後方向(dx),左右 方向(*dv*) および高さ方向(+*dz*) へ変化させて測定した. なお, 回転 台の大きさと設置の安定性の制約 により、3つのパラメータ間でずら す位置の最大値が異なる. このと

\*14 標準ホーンアンテナ:利得の標準を供給 するアンテナ.通常は導波管の一端を拡 げたホーンアンテナを用いる.

XI EERCENT OTHICLE		
周波数	2.0GHz	
被測定アンテナ・基準アンテナ	半波長ダイポールアレーアンテナ	
被測定アンテナ・基準アンテナの長さ	2.1m	
測定距離	10m	
合成開口の開き角	150°	
合成開口の素子数	1,501	
合成開口の角度ステップ	0.1°	

表4 位置精度に対する利得変動の測定仕様

き式(1)による変換は、REFの中 心が原点にあるものとして行った. 図7に位置精度に対する利得変動を 示す. グラフは中心を原点に設置 したときの利得値で規格化した. 利得変動差が最も大きなパラメー タはdxであることが分かる。これ は距離特性に対応する変動を受け るためと考えられる。一方、パラメ ータ dyと dzの利得変動は dxと比較 すると小さくなっている、これは、 REFにもAUTと同様に波長に対し て長いアンテナを用いることで、 アレー合成することにより暗室に 生じる反射の影響を軽減したため と考えられる. 図から、本電波暗室 においては各方向の設置精度を 10cm以内の誤差とすることで、利 得変動が0.2dB程度で測定できるこ とが分かる.

### **5.** あとがき

本稿では、電波暗室における基地 局アンテナの放射特性の基本検討に ついて解説した. 電磁界シミュレー ションと実際の暗室での測定実験に より,本手法を用いて波長に対して 大きな長さを有するアンテナの遠方 界指向性と利得が精度よく測定でき ることを明らかにした.本稿では



2GHz帯の垂直偏波アンテナで検討 を行ったが,他の周波数帯や水平偏 波での測定も同様の手法で測定可能 である、今後は、本手法をアンテナ メーカの測定サイトに適用するた め、各社の電波暗室間での測定精度 の評価を行い、基地局アンテナの仕 様合格範囲の適正化に反映する予定 である.

#### 文 献

- [1] R. C. Johnson, H. A. Ecker and R. A. Moore: "Compact range techniques and measurements," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. AP-17, No. 5, pp. 568-576, Sep. 1969.
- [2] J. E. Hansen : "Spherical Near-field Antenna Measurements," Peter Peregrinus Ltd., London, 1988.