

# 移動端末用アンテナ測定システムの開発

移動端末用アンテナについて、アンテナ単体の性能評価と移動端末の総合無線 性能評価の両方を効率的に行うことができる移動端末用アンテナ測定システムを 開発した.今回開発した測定システムの概要および高速化・高精度化のために適 用した技術とその効果について解説する. おかのよしき ちょう けいぞう 岡野 由樹 長 敬三

#### 1. まえがき

移動端末用アンテナは移動通信ネッ トワークの品質を左右する重要な要素 の1つであり、近年、移動端末用アン テナの性能について,自由空間中の待 受け状態だけでなく,通話状態やデー タ通信状態など実際の使用状況に即し て、より高精度に評価する必要が高ま っている。また、最近の移動端末は、 通信容量の確保やエリア拡大・多機能 化に対応するため、マルチバンドでの 動作が必須となっており[1]、アンテ ナ性能についてもマルチバンドでの評 価が必要となっている。さらに無線伝 送区間の高速化・高品質化に向け、ア ンテナダイバーシチ受信やMIMO (Multiple Input Multiple Output)<sup>\*1</sup>伝 送の適用に向けた検討も活発になって おり[2][3],移動端末に複数のアンテ ナを配置するマルチアンテナに関する 性能評価も重要度を増している。この ように、アンテナ性能に関する評価項 目が増える中,測定の高速化も重要な 課題となっている.

一方,近年,CTIA (Cellular Telecommunications & Internet Association)および3GPP(3rd Generation Partnership Project)では、移動 端末の総合無線性能評価方法に関す る議論が活発化している[4][5].こう した取組みの中では、アンテナ単体の 性能だけではなく無線回路部を含め た移動端末の総合無線性能を評価す ることが規定されている.したがっ て、移動端末の開発において、アンテ ナ単体の性能評価と移動端末の総合 無線性能評価の両方を必要に応じて 使い分けることができる測定環境が 求められている.

このような背景から,移動端末用ア ンテナについて,アンテナ単体性能評 価と移動端末の総合無線性能評価の両 立が可能で,かつ高速・高精度で測定 を行うことができる移動端末用アンテ ナ測定システムを開発した.

本稿では、まず移動端末用アンテナ の性能評価および総合無線性能評価に おける課題を概説した後、新たに開発 した測定システムの概要と、システム に適用している高速化・高精度化技術 について述べる.

### 2. 移動端末用アンテナ 評価における課題

#### 2.1 アンテナ単体性能評価 における課題

移動端末用アンテナの性能を評価す るためには、その基本として、アンテ ナに一定の電力を入力し、アンテナか ら放射された電力を空間の各方向にお いて取得する放射指向性の測定が必要 となる.この放射指向性を基に、入力 された電力のうち実際にアンテナから 空間に放射された電力の割合を表す放 射効率や、マルチアンテナ構成の場合 にはダイバーシチ伝送やMIMO伝送に 適用した場合の重要な指標となるアン テナ間の空間相関係数<sup>\*2</sup>を求める[6].

放射指向性を測定するシステムの基 本構成としては、図1に示すように被 測定物である移動端末を電波暗室内の 対向アンテナと高さが一致するように 回転台上に設置し、移動端末をアジマ ス\*<sup>3</sup>方向に回転させながら対向アンテ ナで電波を送信または受信することで 測定を行う構成が一般的である.放射 効率や空間相関係数については、複数 の断面において測定した放射指向性か

<sup>\*1</sup> MIMO:複数の送受信アンテナを用いて伝 送容量を拡大する無線通信技術。

<sup>\*2</sup> 空間相関係数:2つのアンテナの相関度合 を示すもの.係数が小さいほど2つのアンテ ナで独立した信号を受信することができる.

**<sup>\*3</sup> アジマス**:2軸ポジショナ装置における経 度方向の回転.

# Technology Reports

形のバッテリで発振器を動作させる必 要がある.その結果,頻繁にバッテリ 交換を行わなければならないための測 定効率の低下や,送信出力をモニタで きないため電池の消耗などに起因した 出力変動による測定精度の劣化が生じ る可能性がある.さらに,小形発信器 とスペクトラムアナライザを用いる方 法の場合には,ベクトルネットワーク アナライザとは異なり測定に参照信号 を用いないため,アンテナの位相特性 を測定できないなどの問題がある.

また,両者に共通する課題として, 測定結果への影響を避けるため移動端 末を設置する治具には極力電気的に影 響のない非金属素材を用いる必要があ るが,非金属素材を用いて治具を構成 した場合,十分な強度および回転機構 の実現などの面で問題があり,この問 題を十分考慮した治具が必要となる.

# 2.2 移動端末の総合無線 性能評価における課題

移動端末の総合無線性能について、 CTIAおよび3GPPでは、実際に動作す る移動端末から放射される電力を全空 間で測定する全空間放射電力(TRP: Total Radiated Power)と、各方向か らの到来波に対する受信感度を全空間 で測定するTIS (Total Isotropic Sensitivity)の2つの評価項目を規定してい る[4][5]. この全空間測定を行う手法 については、その走査方法の違いから コニカルカットテスト法(図2(a))と グレートサークルテスト法(図2(b)) とに大別される. コニカルカットテス ト法は、図2(a) に示すように電波を 送受信するプローブを固定式の場合は 複数,可動式の場合には1つを垂直面

であり複数の周波数における性能を一 回の測定で取得することにより,送信 帯域と受信帯域や帯域内の各通信チャ ネルなど,周波数間のアンテナ性能の 差異について短時間で評価可能とな る.しかしながら,この測定方法では, 被測定端末のアンテナに給電するため の長い同軸ケーブルを接続する必要が あり,同軸ケーブルからの不要輻射の 影響により測定精度が劣化するという 問題がある.したがって,アンテナ性 能の評価にあたっては同軸ケーブルの 配置などを十分考慮する必要がある. 一方,小形発振器とスペクトラムア

一方,小形光振器とスペシドウム) ナライザを用いる方法は,アンテナに 給電するための長い同軸ケーブルが不 要となるため,同軸ケーブルからの不 要輻射の影響のない高精度な測定が実 現できる.しかしながら,一般にこの 測定方法で用いられる小形発振器は送 信周波数を瞬時に切り替えることがで きず,複数の周波数について測定を行 う場合には測定を複数回行う必要があ る.また,小形発振器自体による測定 結果への影響を回避するため,極力小

ら算出する.全空間を測定する方法に ついては2.2節で述べる.

また、アンテナ測定システムは、ベ クトルネットワークアナライザを用い る方法(図1(a))と、移動端末に小形 発振器を配置してスペクトラムアナラ イザで受信する方法(図1(b))とに大 別される. ベクトルネットワークアナ ライザを用いる方法では、ベクトルネ ットワークアナライザの信号出力端子 を被測定アンテナまたは対向するアン テナにケーブルで接続するとともに. 入力端子を他方のアンテナに接続す る. ベクトルネットワークアナライザ では、出力端子からの送信信号を分岐 して参照信号として入力端子へ帰還 し、測定信号と比較することができる ため,送信出力を常にモニタすること により送信出力変動の影響を受けない 高精度なアンテナ測定を実現でき、同 様に参照信号を基準とした位相特性に ついても測定可能となるため、アンテ ナ間の空間相関係数の評価も可能とな る. さらに、周波数掃引機能\*4を有す るため、出力信号の周波数変更も容易



<sup>\*4</sup> 周波数掃引機能:一定の速度で測定周波数 を特定範囲で変化させる測定器の機能.



内に配置し,アジマス方向に被測定端 末を回転させながら端末の送受信電力 を測定する手法である.特に,複数の 固定式プローブを電気的に切り替える ことで,高速な全空間測定が実現でき る.また,被測定端末の回転方向はア ジマス方向のみであるため,被測定端 末の近傍に全身模擬人体などの重い物 体を配置した場合についても全空間で の測定が可能である.しかしながら, 複数のプローブやプローブを固定する 大規模なアーチ構造,各プローブと測 定装置を接続する複雑なケーブル類な どが測定結果に影響を与えるという問 題がある.

一方,グレートサークルテスト法 は,図2(b)に示すように対向アンテ ナを固定し,被測定端末をアジマスお よびロール\*<sup>5</sup>の両方向に回転させるこ とにより全空間の測定を行う方法であ る.グレートサークルテスト法では, コニカルカットテスト法のように大規 模かつ複雑なプローブ装置が不要とな るため,一般的なアンテナ測定システ ムとの親和性も高く,高い測定精度が 期待できる.その反面,被測定端末を 3次元的に回転させるための回転軸を 2つ設ける必要があり,被測定端末お よびその近傍に配置する物体の重量に 対して一定の制限が生じる.また,コ ニカルカットテスト法と比較して測定 時間がかかるという問題がある.

## 3. 開発した移動端末用 アンテナ測定システム

3.1 測定システムの概要

移動端末用アンテナ測定システムの 開発にあたっては,以下の2つを開発 方針とした.

- ・複数周波数およびマルチアンテナの特性を効率的に測定可能であること
- ・アンテナ単体性能評価と移動端末
  総合無線性能評価を両立可能で
  あること

アンテナ単体の性能評価について は、2章で述べたように、出力変動の 影響を回避できること、位相特性を取 得可能であること、また、測定周波数 の切替えが容易であることから、ベク トルネットワークアナライザを用いる 測定システムを採用した.さらに、移 動端末総合無線性能評価については、 高い測定精度が期待できるグレートサ ークルテスト法を採用した.

開発した移動端末用アンテナ測定シ ステムの構成を図3に示す.電波暗室 内に2軸で回転するポジショナ装置と 偏波切替え機構を有する対向アンテナ を設置し,電波暗室外にアンテナ単体 性能評価に必要なベクトルネットワー クアナライザと移動端末総合無線性能 評価に必要な無線機テスタを配置して いる.本測定システムを構成するすべ ての機器は,汎用計測器制御規格 (GPIB:General Purpose Interface Bus)で接続されており,制御用PC にインストールした自動計測ソフトウ ェアによりアンテナ単体性能評価およ



<sup>\*5</sup> ロール:2軸ポジショナ装置における緯度方 向の回転.

び移動端末総合無線性能評価共に完全 自動化している. アンテナ単体性能評 価の場合は、ベクトルネットワークア ナライザを送信源ならびに受信機とし てアンテナ放射指向性の測定を行い。 移動端末総合無線性能評価の場合は、 無線機テスタを基地局シミュレータと して電波暗室内に設置した被測定端末 との間でループバック通信を行うこと で端末送受信電力の測定を行う。な お、ベクトルネットワークアナライザ と無線機テスタは、スイッチを用いて 容易に切替え可能な構成としており、 アンテナ単体性能評価と移動端末総合 無線性能評価を行う際に,電波暗室内 の配置を変更する必要はない。一般 に、 電波暗室内に設置する電波吸収体 や治具などの配置位置変更により測定 精度が劣化することが懸念されるた め、2種類のアンテナ性能評価におい て配置変更を必要としない本構成は測 定精度の向上に大きく貢献している.

#### 3.2 測定の高速化・高精度化 に向けた改良点

本測定システムでは,測定の高速 化・高精度化を実現するため,ポジシ ョナ装置の構成,被測定アンテナへの 給電方法および被測定端末の回転方法 に関して改良を行った.改良点につい て以下に述べる.

(1) 非金属製2軸ポジショナ装置

本測定システム用に開発したポジシ ョナ装置の構成を図4に示す.本装置 は,アンテナから放射された電磁界が 被測定端末の近傍に配置した治具に反 射して測定精度が劣化することを避け るため,ロール軸回転用モーターユニ ット以外はすべて非金属素材を用い

ており、非金属素材についても比誘電 率\*61~4程度の低誘電率素材を採用 している、 金属素材を有するロール軸 回転用モーターユニットは、ポジショ ナ装置底部の回転台下に配置しており 被測定端末との距離を十分確保するこ とにより測定精度劣化を最大限回避す る構成としている。また、低誘電率の 非金属素材のみで構成していながら. アジマスおよびロールはそれぞれ最大 で6rpm (rounds per minute) および 20rpmの高速回転に対応可能な強度と 1°以内の停止角度精度を確保してお り,端末アンテナの3次元性能評価の 高速化と高精度化の両立を図っている. (2) 光ファイバケーブル給電の適用

アンテナ単体性能評価については, 2章で述べたように被測定アンテナへ の給電に使用する同軸ケーブルからの 不要輻射の影響により測定精度が劣化 する可能性がある.そこで本測定シス テムでは,図5に示すように被測定ア ンテナへの給電を同軸ケーブルの代わ りに電気/光変換装置を適用し光ファ イバケーブルを用いて行っている.ベ クトルネットワークアナライザから出 力された電気信号を、電波暗室外に設 置したレーザーダイオードモジュール において電気から光へ変換し、光ファ イバケーブルで伝送された信号を被測 定端末に配置した小型のフォトダイオ ードモジュールにおいて光から電気へ 変換することで再び電気信号に戻し、 非常に短い給電ケーブルを経由してア ンテナに給電する.光ファイバケーブ ルからの不要輻射がないため、給電ケ ーブルに起因した測定精度の劣化を大 幅に改善することができる.また、マ ルチアンテナ測定時には、フォトダイ







\*6 比誘電率:電束密度と電場との比が誘電率 として定義され、物質の誘電率を表す際に は、真空の誘電率に対する比誘電率を用い ることが一般的である.

オードモジュールをアンテナ素子数に 応じて被測定端末に複数配置し,各光 ファイバケーブルを高速同軸スイッチ を経由してベクトルネットワークアナ ライザに接続する.制御用PCにイン ストールした自動計測ソフトウェアに より各給電ケーブルを高速に切り替え ながら測定を行うことで,マルチアン テナの性能評価を一回の測定で実現可 能な構成としている.なお,本測定シ ステムでは1入力,4出力端子を備え た高速同軸スイッチを採用しており, 最大4素子を有するマルチアンテナに ついて同時測定が可能となる[7]. (3)2軸同時回転測定

移動端末の総合無線性能評価におい て、送信性能の評価指標であるTRPは 測定における全空間のサンプリンググ リッド<sup>\*7</sup>間隔を15°以下に設定する ことが規定されている[4][5]. 全空間 をグリッド状に測定する場合、もっと も基本的な測定方法として、ロール方 向の任意の角度で停止させた状態でア ジマス方向に回転させながら測定し. 次にロール方向を異なる角度に移動し て停止させ、ふたたびアジマス方向に 回転させながら測定するという手順を 繰返し行う1軸回転方式がある.この 場合. ロール方向の回転中は測定を行 うことができず、アジマス方向につい ては初期位置移動が必要となるため, 全空間の測定を終えるまでに多くの時 間を要する. そこで本測定システムで は、測定中にアジマスとロールの2方 向を同時に回転させる制御(2軸同時 回転方式)を行うことで、回転機構の 制御に起因した測定時間の増大を大幅 に改善している.

# 4. 高速化・高精度化の 効果

#### 4.1 放射パターン・放射効率 測定精度

本測定システムにおいて採用した2 軸ポジショナ装置および光ファイバケ ーブル給電について,その測定精度を 検証するため、もっとも基本的なアン テナである標準ダイポールアンテナ<sup>\*8</sup> を2軸ポジショナ装置の近傍に配置 し、光ファイバケーブルを用いて給電 した場合の放射指向性について測定を 行った.標準ダイポールアンテナの配 置を**写真1**に示す.ポジショナ装置の 治具(ポール部)とアンテナとの間隔 は約200mmであり、2GHz帯では約 1.5波長となる.本測定システムを用



写真1 測定精度検証用標準ダイポールアンテナの配置

いて測定した標準ダイポールアンテナ の最大利得とパターン積分法\*\*[8]を用 いて算出した放射効率の測定結果を表 1に示す。測定周波数帯は800MHz帯 および2GHz帯であり、それぞれ2軸 ポジショナ装置を配置しない自由空間 中の値で規格化している、表1より、 800MHzおよび2GHzにおいて、最大 利得および放射効率の自由空間中との 差異は±0.1dB以内であり、被測定ア ンテナの近傍に2軸ポジショナ装置を 配置した場合においても,自由空間中 と同等の測定精度でアンテナ特性を評 価可能であることが分かる.2GHz帯 における放射指向性を図6に示す。比 較のため、自由空間中に配置した標準 ダイポールアンテナの数値計算結果 と,通常の同軸ケーブルを接続して測 定した結果についても併せて示す。 図 6より、本測定システムを用いて得ら れた測定結果は数値計算結果と一致し ており, 同軸ケーブルを用いた場合に 生じていた主偏波成分に関する放射指

#### 表1 標準ダイポールアンテナの最大利得および放射効率

	最大利得(dB)	放射効率(dB)
800MHz	0.0	-0.1
2GHz	0.0	-0.1



\*7 グリッド:本稿では、3次元測定における測 定ポイント.

- \*8 ダイポールアンテナ:アンテナの中でもっ とも簡易なアンテナ.ケーブル(給電点) の先に2本の直線状の導線(エレメント)を つけたアンテナである.
- \*9 パターン積分法:アンテナから全空間に放射された電力を全空間の放射指向性測定から算出し、アンテナに入力された電力と比較することによりアンテナの放射効率を求める方法。

向性の歪みがほぼ除去されていること が確認できる.また,数値計算上は存 在しない交差偏波<sup>\*10</sup>成分についても, 同軸ケーブルを用いた場合と比較して 10dB程度改善しており,主偏波成分 から-20dB以下のレベルにまで抑制 されていることが確認できる.以上の 結果より,本測定システムでは,2軸 ポジショナ装置を配置した場合におい ても自由空間と同等の高い測定精度が 得られ,また,光ファイバケーブル給 電を行うことで測定精度を大幅に改善 できることが分かる.

#### 4.2 空間相関係数測定精度

本測定システムを用いたアンテナ間 の空間相関係数の測定精度について検 証するため,基本的なマルチアンテナ 構成として図7(a)に示すように平行 に配置した2素子ダイポールアレーア ンテナの放射特性を本測定システムに より取得し空間相関係数を算出した. ダイポールアンテナは800MHz用と 2GHz用の2つとし,アンテナ素子間 隔*d*を変化させ放射指向性の測定を行 った.なお,空間相関係数はアンテナ へ到来する電波の到来状況に依存する が[6],ここでは図7(a)に示すように 水平面内の一様な方向から到来すると 仮定して算出を行った.

放射指向性の測定結果を用いて算出 した空間相関係数の素子間隔依存性を 図7(b)に示す.比較のため,放射指 向性の数値計算結果を用いて算出した 空間相関係数も併せて示す.図7(b) より,800MHzおよび2GHzの測定結 果について,空間相関係数の差異は 0.1以内と非常によく一致しており, マルチアンテナを同時測定する場合に ついても、近接するポジショナ装置や ケーブルなどによる影響のない高精度 な測定が実現可能であることが確認で きる. 数値計算結果との比較において も、素子間隔0.2波長以上の範囲では 非常によく一致している。素子間隔 0.1波長の場合に差異が生じているが、 この要因としてダイポールアンテナの 構造が数値計算で用いているものと実 際に測定に用いているものとで完全に 一致していないことなどが考えられる が、詳細な考察は今後の課題である。 以上の結果より、本測定システムを用 いることで、移動端末用マルチアンテ ナの空間相関係数を十分な測定精度で 評価できることが分かる.

#### 4.3 総合無線性能測定時間の短縮

本測定システムを用いた場合の移動 端末総合無線性能の測定時間短縮効果 •Technology Reports •

について検証するため, TRP測定時間 に関する従来構成との比較を行った. 従来構成と本測定システムは、ポジシ ョナ装置の回転方法が異なり、3.2節 (3) 項で述べたように、従来構成ではロ ール方向を停止してアジマス方向のみ をスキャンして測定を行う1軸回転方 式とし、新たに開発した測定システム ではロールとアジマスの2方向を同時 に回転させる2軸同時回転方式とし た。ポジショナ装置の回転方法の違い によるTRP測定時間の比較を図8に示 す. 従来構成である1軸回転方式の場 合には,アジマス方向の回転速度は 2rpmと高速であり1回転当りの所要 時間は約30秒となるが、1回転終了後 に次の回転のための初期位置移動が必 要となるため合計で40秒程度必要と なり、ステップ動作するロール方向の 角度変更にも数秒程度必要となる。こ



<sup>\*10</sup> 交差偏波:2つの偏波のうち主偏波と直交 する偏波成分.

の測定をロール方向に15°間隔で0~ 165°まで12回行い、さらに、各スキ ャンについて対向アンテナを垂直偏波 および水平偏波として2回行う必要が あるため、合計で17分程度必要とな る、一方、2軸同時回転方式の場合は、 TISの簡易測定に必要な移動端末受信 電力である共通パイロットチャネルの RSCP (Received Signal Code Power)<sup>\*11</sup> の更新周期を考慮してロール方向の同 転速度を約5rpmとし、アジマスおよ びロール方向のグリッド間隔を15° とするためアジマス方向の回転速度を 約0.2rpmに設定する. その結果, 両 偏波合わせた測定時間の合計は約5分 となる、したがって、2軸同時回転方 式を採用する本測定システムでは、従 来の手法と比較してTRPの測定時間 を1/3以下に短縮可能となることが分 かる. なお. ここでは. TRP 測定に必 要な移動端末送信電力の測定と同時に RSCPについても測定を行うことを前 提としてポジショナ装置のロール方向 の回転速度を最大で約5rpmとしてい るが、TRP測定のみであればRSCPを 取得する必要がないため. 回転速度を 5rpm以上とすることでさらなる測定 時間の短縮が可能となる。なお、図9 に示すように,回転方式の違いにより 測定グリッド間隔に差異が生じ,2軸 同時回転方式の場合にはグリッドの変



形による測定精度への影響も考えられ る.しかしながら,従来手法により得ら れたTPRとの差異は0.1dB以内であ り,本測定システムにより高速化と高 精度化を両立した移動端末総合無線性 能評価が実現可能となることが分かる.

### 5. あとがき

移動端末用アンテナ性能評価の高速 化・高精度化を目的とし、アンテナ単 体性能および移動端末の総合無線性能 を同一の測定環境において評価可能な 移動端末用アンテナ測定システムを開 発した.標準ダイポールアンテナを用 いた検証の結果、本測定システムを用 いることでアンテナ利得および効率に ついて誤差±0.1dB以内、マルチアン テナ構成時の空間相関係数測定につい て誤差0.1以内の非常に高精度な測定 が実現できることを示した.また移動 端末総合無線性能評価における全空間 測定時のデータ取得方法を改良するこ とにより,測定時間を従来の1/3以下 に短縮可能であることを明らかにし た.今後は,本測定システムを用い て,FOMA端末用アンテナのさらなる 高性能化とMIMO伝送用アンテナの 実現に向けた要素技術検討を行ってい く予定である.

#### 文 献

- 小岩,ほか: "マルチバンド移動端末の 開発,"本誌, Vol.14, No.2, pp.31-37, Jul. 2006.
- [2] 佐和橋, ほか: "マルチアンテナ無線伝送 技術 その1 マルチアンテナ無線伝送 技術の概要,"本誌, Vol.13, No.3, pp.68-75, Oct. 2005.
- [3] 安部田, ほか: "Super 3Gの技術動向 その2 Super 3Gの技術検討,"本誌, Vol. 14, No.3, pp.63-69, Oct. 2006.
- [4] CTIA Certification: "Test plan for mobile station over the air performance Rev.2.2."
- [5] 3GPP, TR25.914 : "Measurements of radio performances for UMTS terminals in speech Mode."
- [6] 唐沢 好男:"ディジタル移動通信の電波 伝搬基礎 44節,"コロナ社,2003年3月.
- [7] Y. Okano and K. Cho: "Novel internal multi-antenna configuration employing folded dipole elements for notebook PC," European Conference on Antennas and Propagation 2006, 2006.
- [8] 後藤 尚久,中川 正雄,伊藤 精彦:"ア ンテナ・無線ハンドブック Ⅲ. 低利得 アンテナ Chapter 3,"オーム社,2006 年10月.

 \*11 RSCP:移動端末の受信する信号電力を示 す値.