

Technology Reports

実使用状態の特性を反映させた 端末アンテナ総合無線性能評価と測定効率化

実際にユーザが端末を利用する状態での特性を忠実に反映させた FOMA 端末アンテナ性能評価法の確立を目的として、通話状態、データ通信状態や待受状態における性能を、アンテナ部と RF 部の双方を考慮した端末総合無線性能として評価する測定方法を導入した。その結果、実効放射電力・実効受信感度の向上が可能になり、高い端末総合無線性能を有する FOMA 端末の開発が実現できた。また、非電波暗室型の測定システムを導入し、端末総合無線性能の測定時間を従来の約 1/6 に短縮した。

移動機開発部
 おかの よしき くりた だいすけ
 岡野 由樹 栗田 大輔
 なかまつ しん おかだ たかし
 中松 慎 岡田 隆

1. まえがき

移动通信システムにおいて、伝搬損失や干渉マージンとともに端末に搭載されるアンテナの性能は、無線回線設計を決定する重要な構成要素の1つである。一般に、端末アンテナの性能を評価するためには、電波暗室^{*1}において被評価アンテナの放射指向性測定を行う必要があり、従来この放射指向性測定には、外部信号源から同軸ケーブルを介してアンテナに給電するパッシブ測定と呼ばれる方法が一般的であった。しかしながら、パッシブ測定の場合には、被測定端末からアンテナ測定用の給電ケーブルを引き出す必要があり、この給電ケーブルに生じる漏洩電流に起因した不要輻射の影響により、測定精度が大きく劣化するという問

題があった。近年この課題を克服するとともに、製品の最終状態でアンテナ特性を評価するための方法として、端末自身の RF (Radio Frequency) 部を内部信号源として用い、擬似基地局装置と擬似通信を行うことによりアンテナの放射指向性を高精度に測定するアクティブ測定が普及してきた。このアクティブ測定の場合には、前述の利点とともに実装状態におけるアンテナ部と RF 部のインピーダンス整合状態^{*2}などを反映した端末総合無線性能評価が可能となる。

当初、このアクティブ測定は、標準アンテナを基準とした相対利得評価であるため、評価対象がアンテナ単体に限定されることが課題であった。この課題に対し、米国セルラー通信工業会 (CTIA) では、アクティ

ブ測定法をさらに発展させた評価方法として、端末の実効放射電力および実効受信感度を3次元で測定し、アンテナも含めた端末総合無線性能を評価する方法を規定している[1]。この実効放射電力と実効受信感度による端末アンテナ性能評価は一般に OTA (Over The Air) 測定と呼ばれる。3GPP においても欧州科学技術研究協力機構 (COST: European Cooperation in Science and Technology) での検討結果に基づき、CTIA と同様の OTA 測定法を採用した[2][3]。これを受け 3GPP では、送信性能について総合放射電力 (TRP: Total Radiated Power)、受信性能については総合受信感度 (TRS: Total Radiated Sensitivity) を指標とする性能規定を設定した[4]。

従来のアンテナ性能評価が、標準

*1 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。

*2 インピーダンス整合状態：伝送線路における入力側および出力側の電気的特性の整合状態。

アンテナを基準としたアンテナ単体性能評価として行われるのに対し、TRP・TRSによるOTA性能評価は被測定端末に搭載したアンテナ部とRF部の性能を総合した端末総合無線性能として評価が行われる点が大きく異なる。このTRP・TRSは端末を構成するすべての無線部分を被評価対象として含み、アンテナを介した端末の実効放射電力および実効受信感度に基づく絶対性能評価となるため、実際にユーザが端末を利用する形態における無線特性を忠実に反映する性能評価指標であるといえる。

このような理由から、FOMA端末に対して端末アンテナ総合無線性能評価法（OTA性能評価法）を導入した（図1）。なお、本性能評価法は従来の測定法と比較して膨大な測定時間を要するという課題があり、導入に際しては測定効率化に関する検討も必要である。

本稿では、FOMA端末アンテナ総合無線性能評価法ならびに測定効率化を目的として新たに導入した反響チェンバによるOTA測定システムおよび測定時間の短縮効果について解説する。

2. 端末アンテナ総合無線性能評価法

2.1 OTA性能規定の考え方と評価指標

OTA性能規定の基本的な考え方を図2に示す。OTA性能規定を設定するためには、アンテナ部とRF部の2つの要素について各々の性能を考慮する必要がある。まず、アンテナ部

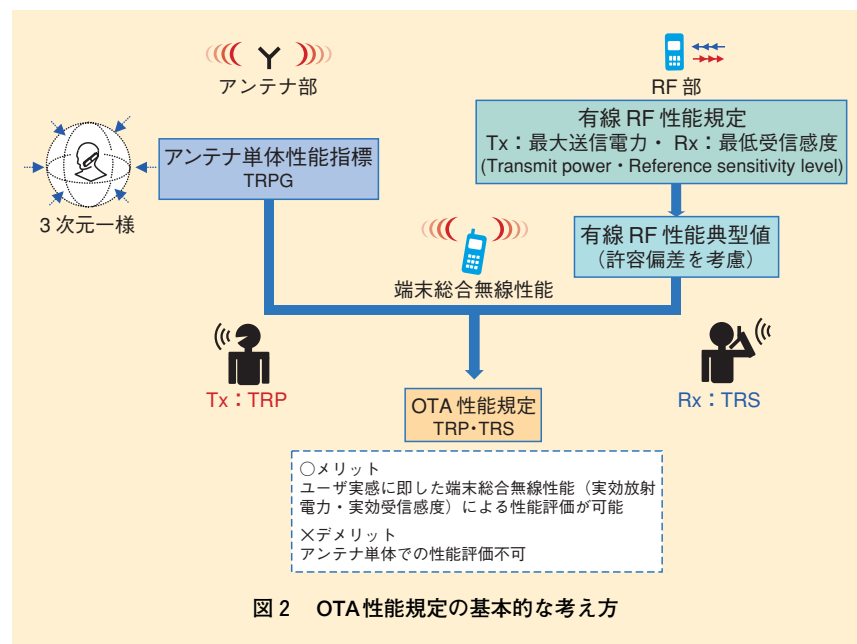
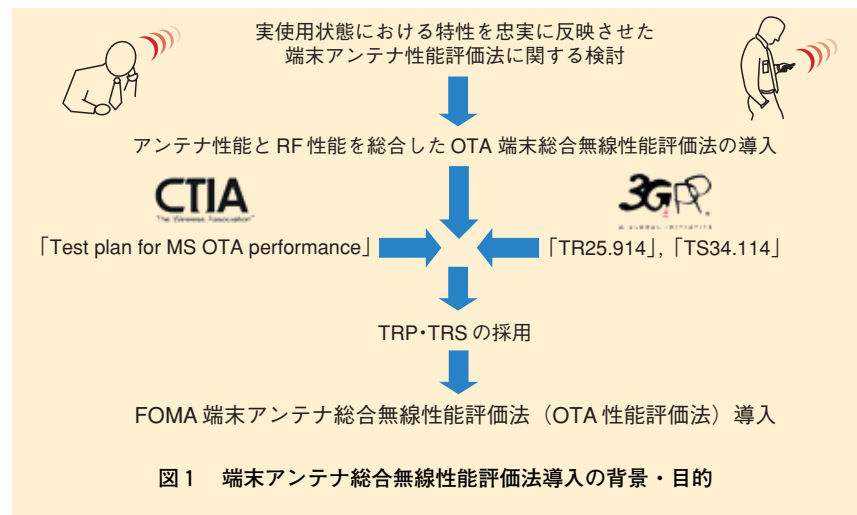
についてはアンテナ単体で満足すべきアンテナ性能として、式(1)に示す総合放射電力利得（TRPG：Total Radiated Power Gain）を用いて所要アンテナ性能を設定する。

$$TRPG = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (G_{\theta} + G_{\phi}) \sin\theta d\theta d\phi \quad (1)$$

ここで、 θ および ϕ は被測定端末

の仰角および方位角方向の座標系を示し、 G_{θ} および G_{ϕ} はアンテナ利得パターンの垂直偏波および水平偏波成分を示す。このTRPGは、全方位アンテナ利得の総和であり、アンテナ放射効率に相当する。なお、アンテナ利得パターンの垂直・水平偏波成分は均一に合成する。

一方、RF部に関して、全温度範



圏を保証する有線性能規定の3GPP仕様値[5]を参照し、その典型値を所要RF部性能として設定する。なお、送信性能を示す最大送信電力については、3GPP仕様書TS25.101の6.2項「Transmit power」に記載の許容偏差を考慮する。さらに、受信性能を示す受信感度については、同TS25.101の7.3項「Reference sensitivity level」に記載の個別チャンネル1チップ当り電力密度(DPCH_Ec)を基に、ビット誤り率(BER: Bit Error Rate)のしきい値を0.1%とした端末アンテナコネクタ端帯域内電力密度(REFI_{or})へ換算し、これをTRS測定時の同条件となるBERしきい値1%の値に換算することで、所要RF性能を導出する。

こうして設定した所要アンテナ性能と所要RF性能を総合し、端末総合無線性能規定として、式(2)および式(3)に示すTRPとTRSの2つの性能評価指標を用いたOTA性能規定を設定する。

$$TRP = \frac{1}{4\pi} \int (P_{tx} G_{\theta}(\Omega; f) + P_{rx} G_{\phi}(\Omega; f)) d\Omega \quad (2)$$

$$TRS = \frac{4\pi}{\int \left[\frac{1}{EIS_{\theta}(\Omega; f)} + \frac{1}{EIS_{\phi}(\Omega; f)} \right] d\Omega} \quad (3)$$

ここで、 G_{θ} および G_{ϕ} は周波数 f におけるアンテナ利得パターンの垂直偏波および水平偏波成分であり、 Ω は立体角^{*3}を示す。 P_{tx} は被測定端末の送信電力であるため、 $P_{tx} G_{\theta}$ および $P_{tx} G_{\phi}$ はEIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) として知られる実効放射電力を示す。EIS (Effec-

tive Isotropic Sensitivity) は、各偏波成分に関する所要感度しきい値のアンテナ出力端電力である。

このようにOTA測定では、端末に搭載されるアンテナ単体の性能評価はできないものの、アンテナ部とRF部を総合した端末総合無線性能としてその性能を評価するため、実装状態におけるアンテナ部とRF部のインピーダンス整合調整や、アンテナ部とRF部との間の伝送線路構成の最適化などが可能となり、OTA測定結果に基づく端末の無線特性調整は端末の実効放射電力および実効受信感度の向上に大きく貢献する。

2.2 OTA測定システム

電波暗室における一般的なOTA測定システムを図3に示す。OTA測定では、実端末を被測定端末として用いるため、端末と擬似通信が可能で擬似基地局装置を備え、電波暗室内にあるアンテナタワーに設置した

対向アンテナを介して、被測定端末とリンクを確立する。また、垂直・水平の両偏波成分について測定を行うため、対向アンテナは偏波切替機構を有する。さらに、3次元性能評価を行うため、被測定端末をアジマス軸^{*4}およびロール軸^{*5}の2軸に関して回転させるポジション装置を備えており、各端末設置角度において実効放射電力および実効受信感度を測定し、これを全方位に対して繰り返し行うことでTRPとTRSを求める。これら一連の測定は、制御用PCにインストールした測定用ソフトによりすべて遠隔制御で行われ、OTA測定システムによるTRP・TRSの自動計測が実現されている。

なお、こうしたOTA測定システムを用いたTRP・TRS測定においては、測定システムを構成する各機器の有する測定精度や測定手順に起因した多くの不確かさを含み、一部には軽減困難な不確かさも存在する。

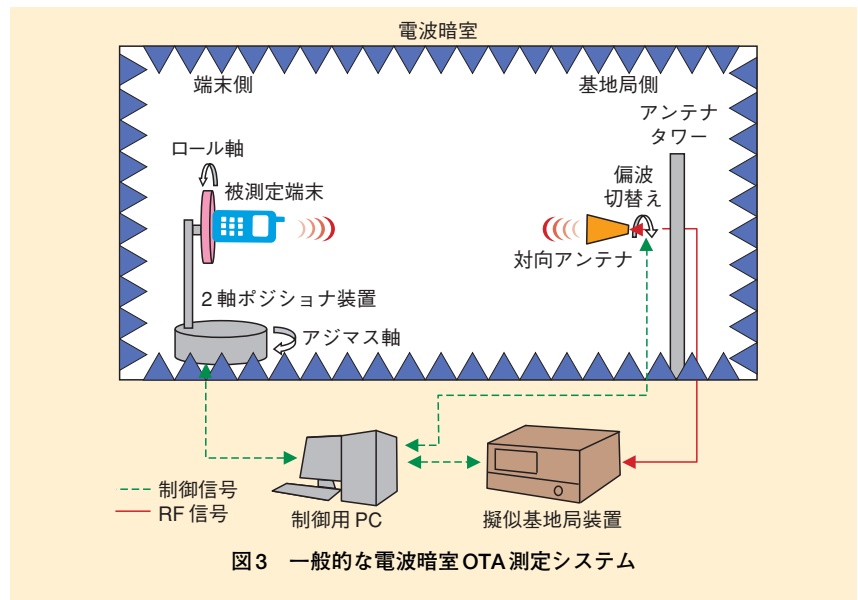


図3 一般的な電波暗室OTA測定システム

*3 立体角：球体の中心を頂点とする円錐によって切り取られる球面の面積。

*4 アジマス軸：2軸ポジション装置における仰角方向の回転軸。

*5 ロール軸：2軸ポジション装置における方位角方向の回転軸。

このため、3GPPではTRP・TRSに関する測定誤差許容値が規定されていることに留意されたい[4].

2.3 端末利用形態の考慮

3GPPでは、携帯端末のアンテナ性能評価における端末利用形態について、現在は「通話状態」のみを対象としており、推奨値と最低要求値が規定されている(表1)[4]. 例えば、Band I (2GHz)におけるTRP/TRSの推奨値および最低要求値は、各々+18/+104dBmおよび+15/-101dBmである。しかしながら、実際にユーザが端末を利用する形態を十分考慮してその性能を評価するためには、音声通信を想定した通話状態に加え、近年利用頻度が上昇しているパケット通信を想定した「データ通信状態」や「待受状態」についても、端末利用形態として考慮する必要がある。したがっ

て、端末のOTA性能評価では、通話状態、データ通信状態、待受状態の3つの端末利用形態を考慮することが重要となる(写真1).

通話状態については、被測定端末に近接配置される人体頭部の影響について考慮するため、SAM (Specific Anthropomorphic Mannequin) 規格^{*6}の擬似人体頭部に対して被測定端末をIEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) [6] および欧州電気標準化委員会 (CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization) [7]が規定する「頬の位置」に配置した状態で測定を行う。この端末設置条件では、被測定端末の表面と擬似人体頭部の頬が接触した状態となる。

データ通信状態については、端末を保持する手の影響について考慮するため、擬似人体手部により被測定端末を保持させた状態で測定を行

う。データ通信状態測定に使用する擬似人体手部については、現在、その構造や素材、電気定数、端末の配置位置に関する議論がCTIAで行われており、端末形状に応じた擬似人体手部が規格化される予定である。

待受状態については、被測定端末の周辺に人体頭部や手部などの損失性媒質を配置しない「自由空間」において測定を行い、折畳み型端末の場合には端末開状態ではなく端末閉状態を対象とする。

3. 測定の効率化

2.2節で述べた一般的なOTA測定システムでは、TRPの測定は15度以下、TRSの測定は30度以下の一定間隔で、3次元全方位について繰り返し行う必要があるため、1回の測定には膨大な時間を要する。特にTRSの導出に必要な受信感度の測定は、擬似基地局装置の出力電力を徐々に低下させながら被測定端末でのBERを測定する作業を繰り返し行う必要があるため、1チャンネル当りのTRS測定時間は一般的に1時間を超えてしまう。また測定は、各周波数帯域での低域(L)、中域(M)、高域(H)チャンネル、さらに端末の設置条件について擬似人体頭部の右側および左側に配置した場合の双方について評価を実施する必要があるため、すべての測定項目を完了するためには非常に膨大な時間を要する。

そこで、OTA測定の効率化を目的とし、反響チェンバ[8]と呼ばれる非電波暗室型の測定システムを

表1 3GPPにおけるOTA性能規定一覧

Band	推奨値 (dBm)		最低要求値 (dBm)	
	TRP	TRS	TRP	TRS
I (2GHz)	+18	-104	+15	-101
VI (800MHz)	+14.5	-101	+11	-96
IX (1.7GHz)	+18	-103	+15	-100



(a) 通話状態



(b) データ通信状態



(c) 待受状態
(端末閉状態)

写真1 端末使用形態

*6 SAM規格: 人体頭部モデルに関する国際電気標準会議IECの規格。

導入した。

(1)反響チェンバOTA測定システムの構成

反響チェンバを用いたOTA測定システムの構成を図4に示す。1章で述べたように、一般的なアンテナの性能評価は、電波吸収体により反射波を抑制した電波暗室において直接波のみを対象としたアンテナ放射指向性測定に基づいて行われるのに対し、反響チェンバを用いた性能評価は、金属箱の中に複数の攪拌器と回転台、複数の壁アンテナを備え、これらを用いて反射波を「攪拌」しながら行われる。

本測定システムにおいて、擬似基地局装置からの信号は、反響チェンバ内の壁アンテナを介して被測定端末に到達するが、このとき、攪拌器および被測定端末を設置した回転台を動作させ、さらに、壁アンテナを切り替えることで、被測定端末周辺には統計的に3次元一様分布するレイリーフェージング*7環境が生成される。攪拌器などが動作している間は、3次元一様レイリーフェージング環境が定常的に生成されているため、この状態で被測定端末と擬似基地局装置とのリンクを確立することで、被測定端末の3次元放射電力および受信感度測定が実現される。

(2)TRP・TRS導出方法の比較

電波暗室と反響チェンバのTRP・TRS導出方法の違いを図5に示す。電波暗室の場合には、放射指向性の測定を全方位に対して繰り返し行うことで全空間における放射パターンを取得し、それを積分することで

TRP・TRSを導出する。一方、反響チェンバの場合には、送信電力または受信感度について多数の測定サンプルを取得する。各測定サンプル（瞬時値）は20dBを超える範囲で変動するが、これを統計的に平均化処理することでTRP・TRSが得られる。

反響チェンバを用いた測定法は、反射波を利用した測定方法であるため被測定アンテナの放射指向性を取

得することはできないが、高い再現性で3次元一様レイリーフェージング環境を生成できるため、3次元環境を前提としたTRP・TRS測定には好適である。

(3)測定時間の短縮

OTA測定時間に関する電波暗室を用いた従来の測定方法と新たに導入した反響チェンバを用いた測定方法の比較を図6に示す。電波暗室で

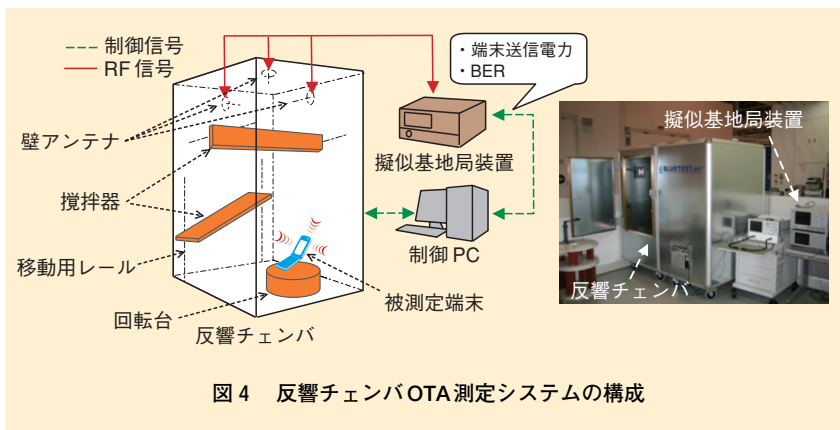


図4 反響チェンバOTA測定システムの構成

測定環境	収集データ	データ処理方法
<p>電波暗室</p>	<p>放射指向性 → 3次元パターン</p>	積分
<p>反響チェンバ</p>	<p>放射電力 (dB) vs 測定サンプル数</p> <p>送信電力・受信感度</p>	平均

図5 TRP・TRS導出方法の違い

*7 レイリーフェージング：移動通信の見通し外環境における代表的なフェージング特性。

の測定時間は、図3に示す2軸ポジショナ測定システムを用いた場合の例であり、反響チェンバでの測定時間は図4に示す測定システムを用いた場合の例である。図6より、送信性能を示すTRPについて、電波暗室の場合に1チャンネル当り約6分必要となるのに対し、反響チェンバの場合には約1分と測定時間が約1/6に短縮されることが分かる。さらに、受信性能を示すTRSについて、2.2節で述べたように測定には膨大な時間が必要であり、TRPと比較して約10倍の測定時間を要するが、反響チェンバを用いることにより電波暗室の場合と比較して約1/6となり、測定時間の大幅な短縮が可能となることが分かる。なお、TRP・TRSの測定結果については電波暗室と反響チェンバでおおむね一致しており、測定精度を維持しつつ測定の効率化が実現できることを確認している。

4. FOMA 端末 OTA 性能測定結果

反響チェンバを用いて取得した2GHz帯の通話状態におけるFOMA端末5機種のOTA性能測定結果を図7に示す。図7より、送信性能を示すTRPについて、すべての被測定端末が3GPP最低要求値ならびに推奨値を超える性能を有することが分かる。また、受信性能を示すTRSについても、3GPP最低要求値ならびに推奨値を超える高い水準にあることが確認できる。小型化・薄型化・多機能化が進むと同時に、マルチバンド化にも対応す

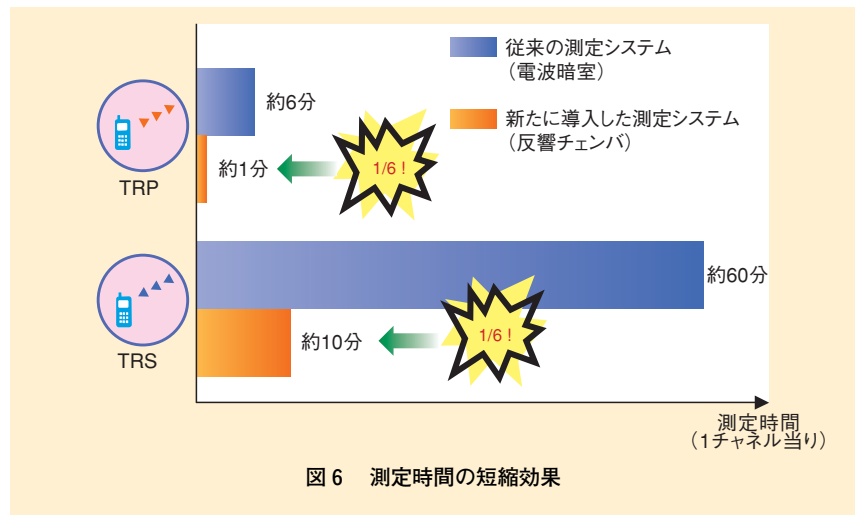


図6 測定時間の短縮効果

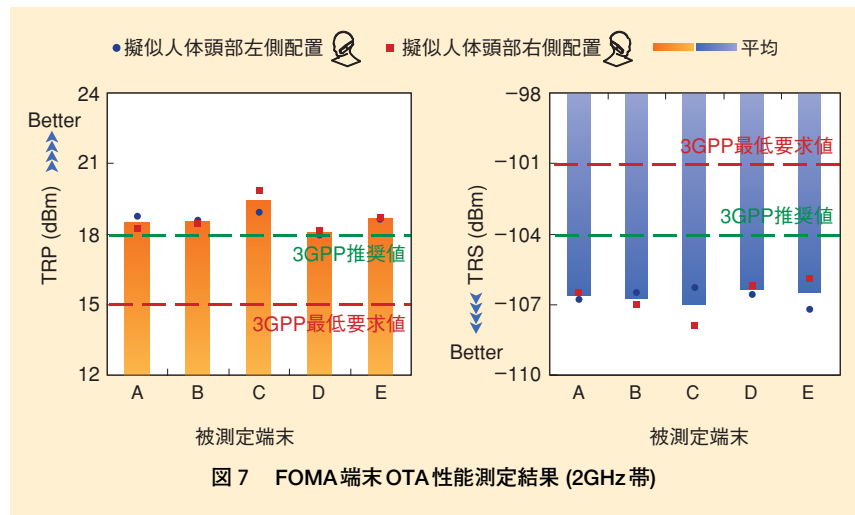


図7 FOMA 端末 OTA 性能測定結果 (2GHz帯)

るFOMA端末[9]について、各周波数帯において3GPP最低要求値および推奨値を満足するためには、端末に搭載するアンテナについて克服すべき複数の技術的課題があるが、アンテナ周辺に搭載される部品との干渉回避対策や、端末筐体全体に生じる電流の有効活用などにより、広範なエリアで安定して使用することが可能な、高いOTA性能を有するFOMA端末の開発を実現している。

5. 反響チェンバ測定システムの機能拡張

5.1 端末ノイズ影響の評価

TRP・TRSは端末の総合的な基本無線特性を示すが、さらなるユーザ実感の追求に向けては、端末ノイズの影響を考慮する必要がある。これは、受信性能を示すTRSについて、アンテナおよびRF部が十分な性能を有していても、端末自身から発生するノイズの影響により受信感度劣

化が生じる場合があるためである。受信感度劣化の要因となるノイズの発生源としては、液晶ディスプレイやカメラモジュール、各種プロセッサ、デジタルインタフェースなどが挙げられ、これらのノイズが端末の受信帯域に発生し、アンテナまたは内部伝送線路を介して受信部に混入すると受信感度の劣化が生じる。こうした端末ノイズに起因した受信感度劣化への対策としては、シールドなどによるノイズ源の遮蔽や、端末構造、部品配置、アンテナ給電点位置の最適化などがあるが、新たに導入した総合無線性能評価を用いることで、こうしたノイズ対策の適用効果についても定量的に評価することが可能となると同時に、反響チェンバを用いることで、端末ノイズ影響の評価についても測定的大幅な効率化を図ることができる。

5.2 マルチアンテナ対応

広域性と高速データ伝送を高い次元で両立するLTE (Long Term Evolution) システム[10]では、ピークデータレートの向上を目的としてMIMO (Multiple Input Multiple Output) 伝送技術を導入することが検討されている。これに伴い、端末にも複数のアンテナ素子を構成要素とするマルチアンテナを搭載する必要があるが、マルチアンテナの性能を

評価するためには、従来の電波暗室における放射指向性測定では十分ではなく、アンテナ間の空間相関についても評価するため、到来波の角度広がり模擬した測定環境が必要となる。OTA測定の効率化が可能な反響チェンバは、到来波の角度広がりを模擬することも可能であるため、マルチアンテナの性能評価にも適用可能である[11]。

6. あとがき

実際にユーザが端末を利用する状態での特性を忠実に反映させたFOMA端末アンテナ性能評価法の確立を目的として、通話状態やデータ通信状態、待受状態における性能を、アンテナ部とRF部の性能双方を考慮した端末総合無線性能として評価する端末アンテナ総合無線性能評価法を導入し、高い端末総合無線性能を有するFOMA端末の開発を実現した。さらに、OTA測定の効率化のため、反響チェンバと呼ばれる非電波暗室型の測定システムを導入し、測定精度を維持しつつOTA測定時間を従来の1/6に短縮した。今後は、反響チェンバのマルチアンテナ性能評価への適用可能性について検討を進める予定である。

文献

[1] CTIA Certification : "Test plan for

mobile station over the air performance Rev.2.2."

- [2] 3GPP TR 25.914 v.1.0.0 : "Measurements of radio performances for UMTS terminals in speech Mode."
- [3] 3GPP TS 34.114 v.7.0.0 : "User Equipment (UE) / Mobile Station (MS) Over The Air (OTA) antenna performance; Conformance testing (Release 7)."
- [4] 3GPP TS 25.144 v.7.0.0 : "User Equipment (UE) and Mobile Station (MS) over the air performance requirements."
- [5] 3GPP TS 25.101 v.8.4.0 : "User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)."
- [6] IEEE standard P1528 : "Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Experimental Techniques," Apr. 2003.
- [7] CENELEC Standard ENS 50361 : "Basic Standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz-3 GHz)," CENELEC, p.51, Jul. 2001.
- [8] P. S. Kildal : "Overview of 6 Years R&D on Characterizing Wireless Devices in Rayleigh Fading Using Reverberation Chambers," iWAT2007, 2007.
- [9] 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.
- [10] 3GPP Release 8.
- [11] 栗田 大輔, 岡野 由樹, 中松 慎, 岡田 隆 : "反響チェンバを用いたマルチアンテナ測定システムに関する検討," 信学技報, AP2008-187, Jan. 2009.