

5G NR ミリ波における UE RF コンフォーマンステストの規格動向

馬場 寛之 Hiroyuki Baba, 山下 治 Osamu Yamashita, 飯田 弘明 Hiroaki Iida, 薛 雅文 Masafumi Setsu

[要 旨]

5G NR 規格を定める 3GPP のうち, TSG-RAN WG5(RAN5)ではユーザ端末(UE)の規格適合性を確認するためのコンフォーマンステスト規格を策定している。LTE や NR FR1 では有線による試験が採用されていたのに対し, NR FR2(ミリ波)では新たに Over The Air(OTA)試験が採用されその試験方法について活発な議論が交わされてきた。本稿では, 3GPP において 2018 年頃から 2021 年 11 月までに規格化された, 5G NR FR2 における UE RF コンフォーマンステスト規格について解説する。また現在の課題と将来展望について述べる。さらに, 同規格に準拠した RF コンフォーマンステストシステム ME7873NR の概要を紹介する。

1 まえがき

5G New Radio(NR)の規格化は The 3rd Generation Partnership Project(3GPP)と呼ばれる標準化団体で実施されている。同団体を構成する Working Group(WG)のうち, TSG-RAN WG 5(RAN5)ではユーザ端末(User Equipment, UE)のコンフォーマンステスト規格を策定している。このうち, RF コンフォーマンステスト規格は送受信機(TRx)試験^{1), 2)}, 復調(Demodulation)試験^{3), 4)}, Radio Resource Management(RRM)試験^{5), 6)}の 3 つの試験規格に分類され, TSG-RAN WG4(RAN4)で策定された RF 性能要件をもとに策定される。コンフォーマンステスト規格は, Global Certification Forum(GCF)や PCS Type Certification Review Board(PTCRB)といった認証機関で用いられる。

5G NR では, Frequency Range 1(FR1)と Frequency Range 2(FR2)という 2 つの周波数帯が定義されている¹⁾。FR1 は Long Term Evolution(LTE)など従来の移動体通信で使用されてきた周波数帯(おおむね 6 GHz 以下)であるのに対し, FR2 は 24.25 GHz 以上の準ミリ波/ミリ波帯(以降, ミリ波)であり 5G NR で導入された新しい周波数帯である。LTE や FR1 の RF 性能要件は UE アンテナコネクタ端で規定され, 有線での試験である Conducted 試験が採用されていた。これに対し, FR2 では RF 性能要件および試験方式が Over The Air(OTA)で規定された。これは, FR2 では送受信機とアンテナが一体化され, アンテナコネクタへの接続が不可能であるためである。

ミリ波の OTA 試験の規格化は 3GPP において過去に例がなく, さまざまな課題が議論されてきた。通常, RAN5 におけるコンフォーマンステスト規格策定は, その他の WG が担当する機能仕様, プロトコル仕様, 性能要件といったコア規格の策定完了後に開始される。5G NR の Release 15 のコア規格は既に 2018 年に完成している

が, RF コンフォーマンステスト規格は Release 15 の範囲を 2021 年 11 月現在も策定中である。本稿では RAN4 および RAN5 で 2018 年頃から 2021 年 11 月までに規格化された, FR2 UE RF コンフォーマンステスト規格について解説した上, 課題と将来展望について述べる。また, 同規格に準拠した RF コンフォーマンステストシステム ME7873NR の概要についても紹介する。なお, 3GPP では RF コンフォーマンステスト規格とは別に, SISO/MIMO OTA 試験と呼ばれる OTA 試験規格が存在する^{8), 9)}。SISO/MIMO OTA 試験は RF コンフォーマンステストでは扱わないアンテナ性能を含めた試験や疑似人体モデル等を使用したより実的な使用環境での性能を試験するものである。FR2 では両試験とも OTA 試験となったが, それぞれ試験内容は区別され別規格として規定されている。本稿では SISO/MIMO OTA 試験規格については触れない。

2 FR2 RF コンフォーマンステストの現状

2.1 OTA 試験概要

本節では, RF コンフォーマンステスト規格における OTA 試験の概要を説明する。

2.1.1 試験方式

FR2 OTA 試験に関する基礎的検討は RAN4 で 2017 年頃から行われ, 2018 年に下記の方式が合意された¹⁰⁾。

- Direct Far Field(DFF)方式
- Indirect Far Field(IFF)方式
- Near Field to Far Field Transform (NFTF)方式

DFF や IFF で代表される Far Field 方式は遠方界領域で試験する方法であるのに対し, NFTF 方式は放射近傍界領域(Radiated Near Field)で試験する方法である(図 1)。

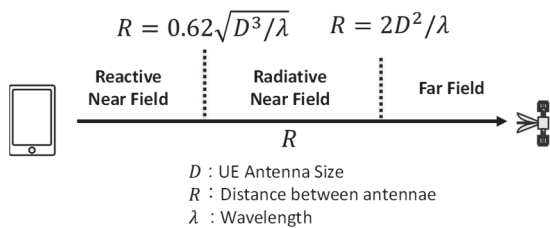


図 1 Far Field と Near Field¹¹⁾

2018 年から RAN5 においてコンFORMANCEテスト規格の議論が開始され、各試験方式について測定不確かさ(Measurement Uncertainty, MU)や測定手順が検討された。TRx 試験規格ではテストシステムベンダが IFF 方式に注力したことから、事実上 IFF のみが利用可能な方式となっている。Demodulation, RRM 試験規格では DFF, IFF 両方式を含めた検討が行われた。NFTF 方式は現状ではコンFORMANCEテスト規格で利用不可であるが、3 章で後述するとおり今後再び Near Field 方式が採用される可能性もある。コンFORMANCEテスト規格で認められた 2 つの Far Field 方式(DFF, IFF)を図 2 に示す。図 2 中の Quiet Zone は、OTA チャンバ内において位相および振幅がおおむね一様となる空間領域のことである。Quiet Zone の品質(Quality of Quiet Zone, QoQZ)は TS 38.521-2²⁾ Annex O にて測定方法が規定され、MU の一要素として計上される。DFF では放射された電波が平面波と見なせるよう遠方界距離以上離れた場所に測定アンテナを設置す

るのに対して、IFF ではパラボラ型のリフレクタを用いて平面波を形成する。DFF ではアンテナサイズ D が大きい場合には試験系が大きくなる上、 D に関して UE ベンダの情報開示を必要とする。IFF では UE と測定アンテナ間距離は D に依存しないため、小さなスペースで D サイズを拡張可能である。そのため IFF は Compact Antenna Test Range(CATR)法とも呼ばれる。

2.1.2 テストアプローチ

試験規格を定めるにあたり、試験対象 UE のアンテナ実装に関する情報の開示度に応じて Black Box, Grey Box, White Box の 3 つのアプローチが検討された。表 1 に各アプローチの概要を示す。UE ベンダから設計情報開示のリスクが懸念されたことでコンFORMANCEテスト規格では White Box アプローチは採用されていない。Grey Box アプローチ適用の際に必要なアンテナの実装情報の開示様式は TS 38.508-2¹²⁾に規定されている。

2.1.3 Quiet Zone サイズ

テストシステムの標準化の観点から Quiet Zone サイズはテストシステムの実装依存とするのではなく、特定のサイズに規定されている。現状の RF コンFORMANCEテスト規格では 20 cm, 30 cm, 40 cm, 55 cm の 4 種類の Quiet Zone サイズが規定されている。測定手順や MU など各 Quiet Zone サイズに対してそれぞれ規格化されることになる。

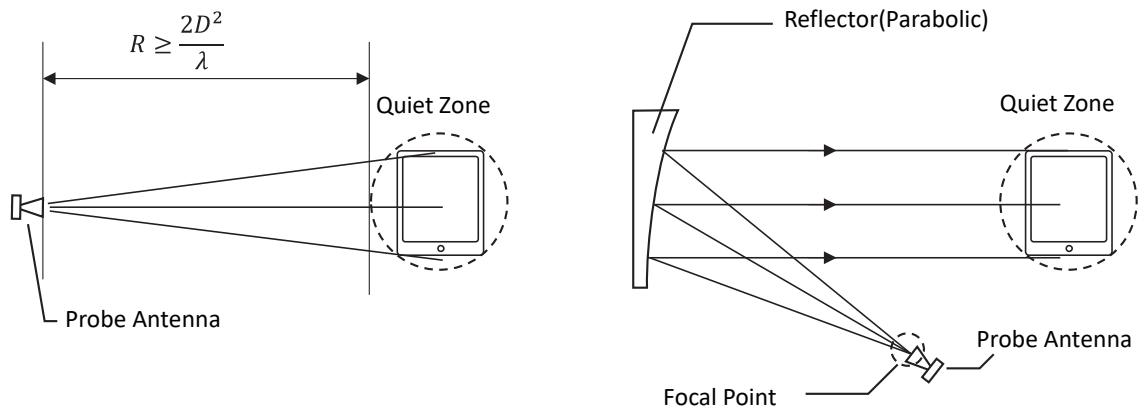


図 2 DFF 方式(左)および IFF 方式(右)

表 1 テストアプローチ

アプローチ	開示情報	採用	長所	短所
White Box	アクティブアンテナの位置、サイズ	No	測定系が小型化できる Black Box に比べ測定確度が良い	UE ベンダにとって UE 設計情報開示のリスクがある 動的にアンテナが切り替わるケースへの対応が難しい
Black Box	なし	Yes	UE の設計情報の開示が必要ない 動的なアンテナ切り替えにも対応	UE サイズが大きい場合、測定系が大型化する White Box に比べ測定確度が悪い
Grey Box	アクティブアンテナの位置、サイズに関する一部の情報	Yes	White Box, Black Box の中間	

このうち、20 cm と 30 cm は、スマートフォンやタブレット端末などのハンドヘルド型端末を想定し規格検討の初期から導入されていたものである。40 cm および 55 cm は、大型のタブレット端末やラップトップパソコンなどを想定し 2021 年に新たに導入された。その際、40 cm の Quiet Zone サイズについては、試験コスト最小化の観点から既存の 30 cm のテストシステムを 40 cm に対応させる前提で規格化が進んでいる。また、Quiet Zone サイズが大きい場合、表 1 に示した Black Box アプローチの短所が顕著になることから、従来のアンテナサイズの宣言(DFF のみ必要)に加え、アンテナの位置に関する宣言が導入された。具体的には、アンテナが含まれる球状領域(中心点座標と半径)を UE ベンダに開示させ、その領域がテストシステムの Quiet Zone に含まれるよう UE を配置できる場合に試験可能とした(図 3)。

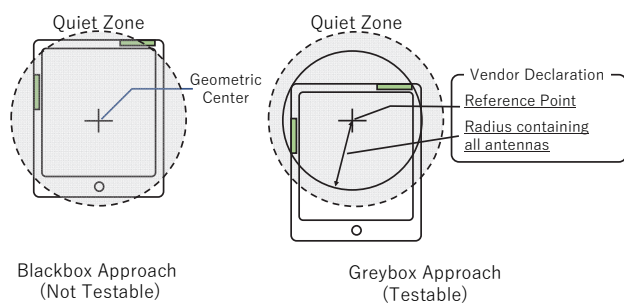


図 3 Grey Box アプローチ

2.1.4 対象デバイス

5G NR のデバイスにはさまざまな種類が存在し、用途で分類すると例えばスマートフォンやタブレット端末、ラップトップ、モバイルルータ、車載デバイスなどがある。3GPP 規格上、デバイスの種類を区別する 1 つの基準にパワークラス(Power Class, PC)がある。TS 38.101-2¹⁾においてパワークラスと代表的な UE 種別の対応表が規定されている(表 2)。

表 2 パワークラスと UE 種別

パワークラス	代表的な UE 種別
1	Fixed wireless access (FWA) UE
2	Vehicular UE
3	Handheld UE
4	High power non-handheld UE
5	Fixed wireless access (FWA) UE

RAN4 で規定する RF 性能要件は、原則としてパワークラスごとに規定される。コンFORMANCEテスト規格の観点でも、RF 性能要件や UE の実装の違いに起因して、パワークラスで試験方法が変わる。例えば、PC1 UE は PC3 UE に比べ多エレメントのフェーズドアレーア

ンテナを使うためビーム半値角が小さくなることから、測定誤差を一定以下に収めるためにより細かな空間サンプリング(測定グリッド、後述)が必要になる。RAN5 における規格化はスマートフォンやタブレット型端末を含む PC3 から進んでおり、一部 PC1 でも進んでいる。その他のパワークラスについては未進捗であり、今後市場要求に応じて規格化される予定である。なお、パワークラスを特定の UE サイズと結び付ける規格はないことに注意が必要である。

2.1.5 座標系の定義

図 4 にコンFORMANCEテスト規格で規定されているテストシステムの座標系を示す。全球面の測定のためにテストシステムは 2 軸の回転自由度を持つ必要がある。2 軸の自由度の与え方に関して Combined-axis system と Distributed-axis system の 2 つの実装がある。前者が 2 軸の回転自由度をポジショナ側を持たせるのに対し、後者はポジショナと Probe Antenna 側に 1 軸ずつ配置しトータルで 2 軸自由度を実現する。両者ともに、ポジショナの支柱の影響により十分な確度が担保できない領域が存在する。 $\theta = 0^\circ$ がプローブアンテナまたはリフレクタ方向であり、 $\theta = 180^\circ$ の方向にポジショナの支柱が存在するものとして定義されている。

$90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ の部分における確度の担保はテストシステムの実装によるが、QoQZ の測定結果でそれを示す必要がある。一定の確度が担保されていない場合、支柱側の半球における測定を避けるために、UE を半球ずつ裏返して測定する必要がある。これを Re-positioning Concept と呼ぶ。

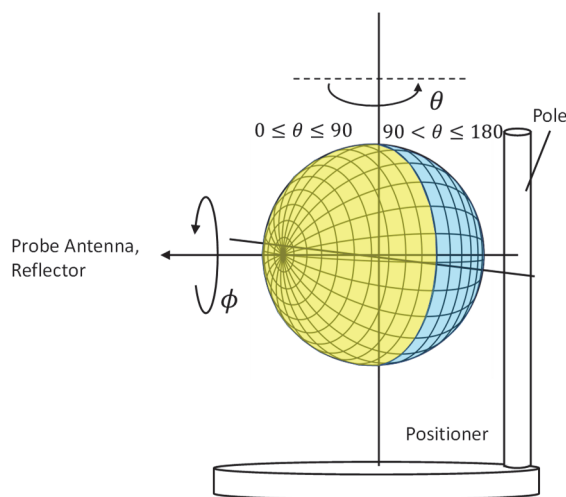


図 4 座標系定義(Combined-axis system)

2.1.6 測定グリッド

実際の試験では球面上の連続値を測定することはできないため、球面上に有限個の測定ポイント(以降、ポイント)を置く。ポイントのセットを測定グリッドと呼ぶ。3GPP では Constant Step Size Grid

と Constant Density Grid の 2 種類の測定グリッドが規定されている。図 5 に 266 points の測定グリッド例を示す。また、各測定グリッドの特徴を表 3 に示す。

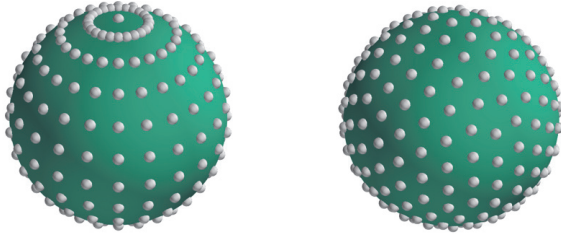


図 5 測定グリッド例
左: Constant Step Size Grid 266 points(15° step),
右: Constant Density Grid 266 points

表 3 2つの測定グリッドの特徴

	Constant Step Size Grid	Constant Density Grid
配置方法	極座標平面上で等分割	ほぼ一定密度で分布するように配置
長所	各ポイントが θ, ϕ 平面上で 1 列に並ぶため、高速に走査可能	誤差が小さく、ポイント数も少なく済む
短所	誤差が大きく、誤差を小さくするために多くのポイントが必要	走査に時間がかかる

各試験に必要な最低ポイント数が TS 38.521-2²⁾ Annex M に規定されている。これらのポイント数は、ある UE のビーム放射パターンの仮定(参照放射パターン)に対し、測定誤差が一定値以下となるよう決められている。参照放射パターンには PC3 は 2×8 または 2×4 , PC1 は 12×12 のフェーズドアレーアンテナが仮定される。スプリアス試験以外ではエレメント間隔がキャリア周波数の波長の $1/2$ の場合のビーム放射パターンを用いる(図 6)。スプリアス試験では、同フェーズドアレーアンテナから放射される 2 倍高調波における放射パターンを用いる。

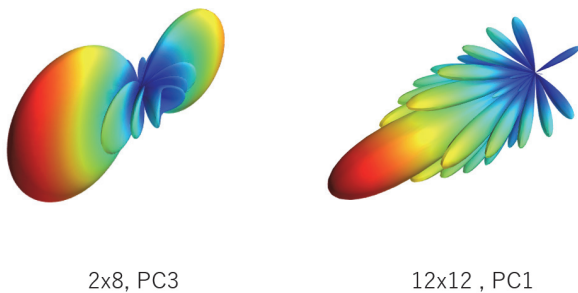


図 6 Reference Emission Pattern for PC3 and PC1

2.2 代表的なテストメトリックと測定方法

FR2 の送信機(Tx)性能要件は、ある 1 方向の放射強度を表す等価等方放射電力(Equivalent Isotropic Radiated Power, EIRP)や、総放射電力(Total Radiated Power, TRP)、全球上の

EIRP の分布等で規定される。同様に受信機(Rx)性能要件も、ある 1 方向の感度指標である等価等方性感度(Effective Isotropic Sensitivity, EIS)や、その全球上での分布で規定される。これらをテストメトリックといい、試験項目に関わらず共通的な測定手順を持つ。本節では、FR2 RF コンフォーマンステストにおいて共通的に用いられる代表的なテストメトリックとその測定方法について概説する。TRx 試験の各テストケースのテストメトリックを Annex 表 1 に示す。

2.2.1 Peak EIRP

Peak EIRP は全球上で最大となる EIRP である。Annex 表 1 に示すようにキャリア周波数での性能要件の多くは、Peak EIRP あるいは Peak EIRP が得られる方向(Tx Beam Peak 方向)で規定されている。Peak EIRP の探索手順は TS 38.521-2²⁾ Annex K.1 に記載があり、下記のように概略される。

1. EIRP を Beam Peak Search Grid の各ポイント i で測定する。EIRP はダウンリンク(DL)信号の偏波面を θ, ϕ 方向とした場合について各ポイントで測定され、それぞれ $EIRP_{link=\theta}(\theta_i, \phi_i)$, $EIRP_{link=\phi}(\theta_i, \phi_i)$ とする。
2. 各ポイントの $EIRP_{link=\theta}$, $EIRP_{link=\phi}$ の中から最大値を選び Peak EIRP とし、そのときのポイント位置と DL の偏波方向を Tx Beam Peak 方向とする。

Re-positioning Concept を適用する場合は、手順 1 を半球ずつ UE を反転させて測定する。

Beam Peak Search Grid のポイント数は、PC3 向けの Constant Density Grid では 800 点以上と規定され、手順 1 の探索には長い時間を要する。そこで、TS 38.521-2²⁾ Annex M.2.2 に示される Coarse Scan の利用も認められている。Coarse Scan では荒い測定グリッドで測定したうえで上位の EIRP 値が得られたポイントの近傍を細かい測定グリッドで測定し真のピークを探索する。Coarse Scan の詳細な手順はテストシステムの実装に委ねられている。

2.2.2 TRP

TRP は UE から放射される電力の総和である。スプリアス試験や Spectrum Emission Mask(SEM)試験などの不要輻射の要件は TRP で規定される。TRP は全球にわたる EIRP の平均値と等しく、測定グリッドの種類により下記の式で近似される。

Constant Step Grid:

$$TRP \approx \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M EIRP(\theta_i, \phi_j) W(\theta_i) \quad (1)$$

$W(\theta_i)$ は測定グリッド密度の非均一性を補正するための重みであり、 $W(\theta_i) = \sin(\theta_i)$ または TS 38.521-2²⁾ Annex M.4.2.1 で規定される Clenshaw-Curtis Weight である。

Constant Density Grid:

$$TRP \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N EIRP(\theta_i, \phi_j) \quad (2)$$

TRP の測定手順は TS 38.521-2²⁾ Annex K.1.7 に記載があり、下記で概略される。

1. Re-positioning concept を適用する場合、Tx Beam Peak 方向が $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ (支柱の反対側) にくるよう UE を設置する。
2. DL 信号の偏波を Peak EIRP Search で得られた偏波に設定し、UE を Tx Beam Peak 方向に向ける。
3. UE に送信ビームのロックを指示する(UE Beamlock Function, UBF)。
4. TRP Grid の各ポイント i で EIRP を測定し、TRP を算出する。

手順 3 の UBF は DL 方向の推定結果などをもとに UE が自律的に形成したビームを固定させる指示であり、試験用インターフェイスを介して UE に指示する。このような試験用に規定された特別な機能を Test Function といい、TS 38.509¹³⁾ に規定がある。また、スプリアス試験以外の場合、Peak EIRP Search の場合とは異なり、Re-positioning concept を適用する場合でも $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ を測定する際に UE を裏返す必要はない。これは手順 3 でピーク方向を支柱の反対側に向けた状態でビームロックするため、放射される電力量の大半が支柱の反対側に集中すると想定されることが理由である。スプリアス試験の場合はこの想定は成り立たないため、Re-positioning concept 適用時は半球づつ UE を裏返す必要がある。

2.2.3 Peak EIS

Peak EIS は地球上で最小となる EIS である。3GPP においては、スループットが最大スループットの 95% となる DL 信号のレベルを EIS として規定している(後述のブロッキング試験は除く)。テストシステムの DL 信号の偏波 θ, ϕ に対応し偏波ごとの EIS が得られる。測定値として用いられる EIS は、それらを下記の式で調和平均をとった値である。

$$EIS(\theta_i, \phi_i) = 2 \left(\frac{1}{EIS_{link=\theta}(\theta_i, \phi_i)} + \frac{1}{EIS_{link=\phi}(\theta_i, \phi_i)} \right)^{-1} \quad (3)$$

ピークサーチの方法は EIRP の場合と同様であり、Beam Peak Search Grid の各ポイント i で $EIS(\theta_i, \phi_i)$ を測定し最良ポイントの値を Peak EIS、その方向を Rx Beam Peak Direction と定義する。Re-positioning の考え方、Coarse Scan の考え方は Peak EIRP と同様である。

2.2.4 Spherical Coverage (EIRP, EIS)

EIRP Spherical Coverage の要件は全球で測定された EIRP の累積分布関数(CDF)の X percentile 値で規定される。EIS Spherical Coverage の要件は、全球の EIS の相補累積分布関数(CCDF)の X percentile 値で規定される。X は Power Class により異なり、例えば PC3 ならば X=50、PC1 ならば X=80 である。テストシステムは、Spherical Coverage Grid でサンプリングされた EIRP、EIS の確率密度関数(PDF)と、それを累積した CDF または CCDF を算出し X percentile 値を得る。PDF を算出する際、Constant Step Size Grid の場合は、測定グリッドの密度が一定でないため TRP の場合同様 $\sin(\theta_i)$ または Clenshaw-Curtis Weight を用いて重み付けする必要がある。Re-positioning concept の考え方は Peak EIRP/EIS Search の場合と同様である。

2.3 Extreme Condition 試験

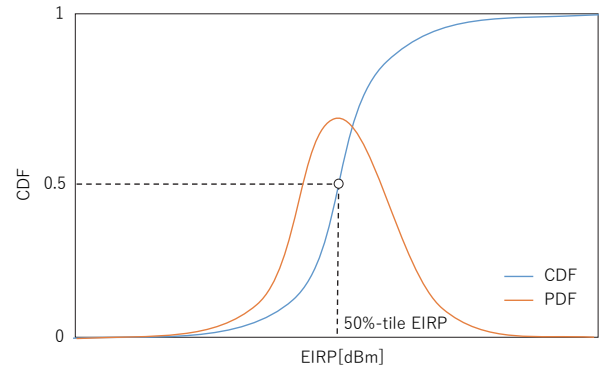


図 7 Spherical Coverage

RF 性能要件は、温度、電圧について Normal Condition と Extreme Condition のそれぞれで規定される。表 4 に TS 38.101-2¹⁾ Annex E で規定される温度および電圧条件を示す。温度、電圧を Extreme Condition で試験する場合をそれぞれ Extreme Temperature Condition(ETC)試験、Extreme Voltage Condition(EVC)試験と呼ぶ。

表 4 Environmental Condition

	Normal	Extreme
Temperature	+25°C ±10°C	-10°C ±55°C
Voltage	1.0 × Nominal or 1.1 × Nominal	0.85 × Nominal – 1.3 × Nominal
	* Applied condition depends on power source type (e.g. AC main, battery)	

RF 性能要件の項目により、Normal Condition と Extreme Condition で同一の要件、異なる要件、Normal Condition のみで規定されるものがある。

LTE や FR1 ではアンテナコネクタにテストシステムを接続した状態で UE のみを恒温槽に入れたり、外部電源と接続することで Extreme Condition の試験を行っていた。これらの試験環境は MU に影響を与えないものとして取り扱われてきた。一方 OTA 環境においては、チャンバ内に設置する断熱箱の影響や、電源電圧制御のためのケーブルが測定値に影響を及ぼす可能性があり、その取り扱いについて議論された。

ETC 試験については、結露の問題や断熱箱が試験結果へ与える影響、DUT 回転の実現可能性などについて議論された。結論として、チャンバ内へ断熱箱追加と Normal Condition と同様の 2 軸回転自由度の確保が MU の 0.29 dB の増加で実現可能であることがテストシステムベンダで合意された。図 8 に ETC 試験環境の例を示す。チャンバ内に Air Conditioner と接続され 2 軸ポジショナを包含した断熱箱を設ける実装例である。

EVC 試験については、FR2 RF コンフォーマンステストでは試験対象となっていない¹⁴⁾。これは、電源電圧制御に用いるケーブルの存在や電圧制御装置からのケーブルを介した漏洩電力などが測定結果に与える影響を定量的に評価する手段が確立されていないためである。

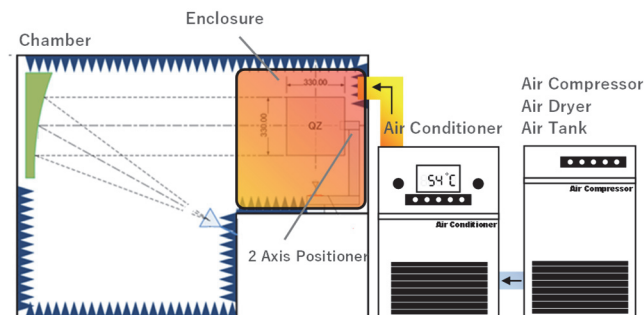


図 8 ETC 試験セットアップ例

2.4 TRx 試験

TRx 試験にはキャリア周波数における各種無線性能試験の他、スプリアス試験等の不要輻射試験や、妨害波耐性を見るブロッキ

ング試験が含まれる。特に不要輻射試験については、各国や地域の法令や規制を要件としている試験が多い。本節では、TRx 試験のうち特筆すべき試験の試験方法について概説する。

2.4.1 スプリアス試験

スプリアス試験は課題の多い試験の一つである。これは、スプリアスの RF 性能要件の規定が 30 MHz から希望波周波数の 2 倍までの非常に広帯域にわたること、またスプリアス性能要件が TRP で規定されるため測定に多大な時間を要するためである。スプリアス試験規格では、テストシステムに求められる技術的難易度、複雑性やコスト、試験時間と言った点を勘案し下記が合意された。

- ・試験周波数範囲: 6.0 GHz からキャリア周波数の 2 倍
- ・複数の測定アンテナを用いる場合、オフセット角度 10° までのオフセットアンテナの使用を許容
- ・測定時間削減のために Coarse Scan を導入。本来の測定グリッドよりも荒い測定グリッドを用い、MU 増加分だけ強化した要件で試験する。PASS しない場合のみ本来の測定グリッドで再計測する。

図 9 にオフセットアンテナを用いたスプリアス試験のセットアップ例を示す。オフセットアンテナを用いる場合は、焦点がずれることで QoQZ が悪化するが、数度程度のオフセットであればリフレクタへの照射角度を調整することで顕著な影響が出ないことが確認されている。

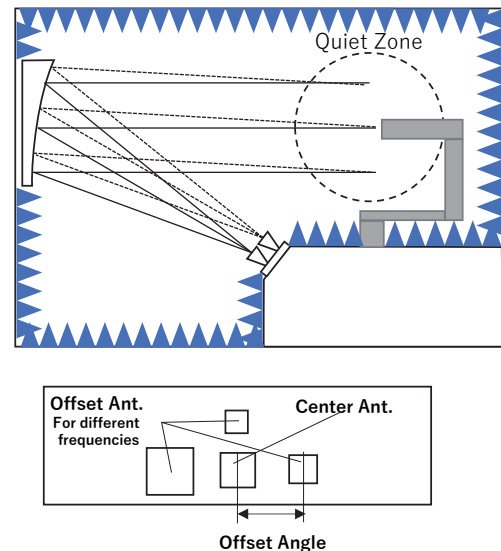


図 9 スプリアス試験でのオフセットアンテナの使用例

2.4.2 ブロッキング試験

FR2 においてブロッキング試験は In-band ブロッキングおよび Adjacent Channel Selectivity の RF 性能要件が規定されている。これらの試験では、希望波の近傍に高いレベルの妨害波を与えたときの EIS 要件を試験する。実環境では希望信号と妨害波の到来方向の組み合わせはさまざまな考えられるが、RF 性能要件は希望

波と妨害波がともに希望波の Rx Beam Peak 方向から到来する前提で規定されている。

通常、テストシステムでは希望波と妨害波の生成には異なる機器を使う。そのため、両信号を同一方向から出すには、アンテナから出力する前に信号合成する必要がある。特に、単一の RF Frontend (アップコンバータやアンプ) がサポートする帯域幅以上に周波数が離れている場合は、ミリ波信号へ変換後に信号合成が必要になる。3.2 節で記載するように FR2 では Low PSD/High Power 試験に関する測定限界の問題があるため、信号合成により失われる数 dB は問題となる。そのため、妨害波にオフセットアンテナを用いる実装も認められている(図 10)。ただしオフセットアンテナ方向は、UE 側のアンテナゲインが落ちるため、事前に測定したアンテナゲインの差分だけパワーを高く設定し補正することが求められている。

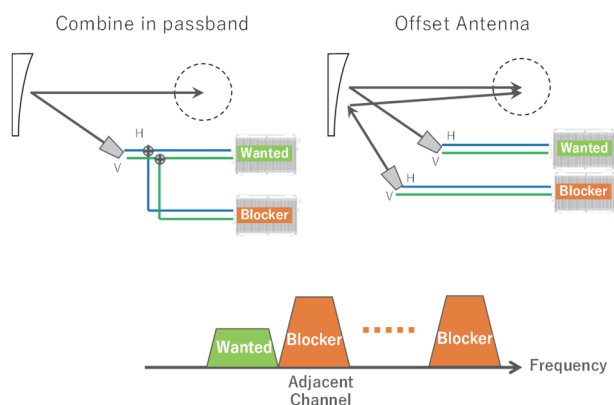


図 10 ブロッキング試験セットアップ

2.4.3 Beam Correspondence 試験

Beam Correspondence(BC)は DL の到来方向の測定結果を元に適切なアップリンク(UL) Beam を選択する UE の能力であると TS 38.101-2¹⁾で定義される。また、下記の 2 種類の UE が存在する。

- (1) UL Beam Sweeping に依存せず BC を実現する UE
- (2) UL Beam Sweeping に依存し BC を実現する UE

ここで、UL Beam Sweeping は UE 側で複数方向にビームを送信後、基地局側に最良なビームを選択させ UE に通知させる処理を指す。具体的には Sounding Reference Signal(SRS)を用いて UL Beam Sweeping を実施する。

(1)の UE の場合、UE が自律的に選んだ UL ビームが Maximum Output Power 試験の Minimum Peak EIRP および EIRP Spherical Coverage の要件を満たしていれば BC 要件を満たすものとされる。したがってこの場合は、BC に特化したテストケースは用意されておらず、通常の Maximum Output Power 試験に含まれる。(2)の UE の場合、UL Beam Sweeping を用いて Maximum

Output Power 試験の Minimum Peak EIRP および EIRP Spherical Coverage の要件を満たす必要がある。さらに、UL Beam Sweeping の使用有無による EIRP 差分の CDF が、規定を満たしているが求められる。この場合、UL Beam Sweeping 使用時・未使用時それぞれについて、Spherical Coverage Grid 上で EIRP を測定し(EIRP₂, EIRP₁とする)、EIRP₂ の N percentile 以上のポイントで算出される $\Delta \text{EIRP}_{\text{BC}} = \text{EIRP}_2 - \text{EIRP}_1$ の X percentile 値を試験要件と比較する。PC3 の場合 N=50, X=85 である。

2.5 Demodulation 試験

Demodulation 試験は UE の復調性能や CSI Report の精度を確認する試験である。RAN4 で FR2 の Demodulation 要件を定めるにあたり、アンテナ性能までを含めた End-to-End 試験とするのか、Baseband 性能を確認する試験とするのか議論が行われてきた。結論として UE コンフォーマンステストにおいては Baseband 試験を採用することとなった¹⁵⁾。End-to-End 試験は FR2 の MIMO OTA 試験で扱われている¹⁶⁾。

FR2 Demodulation 試験では Baseband 試験の実現に、Wireless Cable Mode(WCM)という考え方が導入された。図 11 に WCM の概念図を示す。WCM は従来の Conducted 試験を仮想的に OTA 環境に適用する考え方である。FR2 のテストシステムおよび通常の UE は互いに直交した偏波の Dual Polarized アンテナを持つ。したがって互いの偏波面を合わせることで仮想的にケーブルで接続した状態を考えることができる。これが WCM の基本的な考え方である。ただし、実際には偏波面を合わせることを直接要求するものではなく、テストシステムと UE の 2 つの送受信 Branch 同士で 12 dB 以上の Isolation を確保した独立したチャンネルを確立することを条件としている。12 dB 以上の Isolation が確保できているかは、TS 38.215¹⁷⁾で規定される SS-RSRPB(Reference Signal Received Power per Branch)レポートを使うことで確認することができる。12 dB 以上の Isolation を確保する具体的方法は規定されずテストシステムの実装依存となっている。

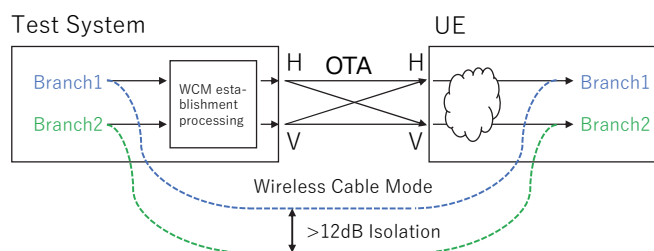


図 11 Wireless Cable Mode for FR2 Demodulation Tests

2.6 RRM 試験

RRM 試験ではセルの品質測定やそれに基づくハンドオーバー実施など、モビリティを実現するのに不可欠な機能が試験対象となる。

FR2 の RRM 試験では信号到来方向(Angle of Arrival, AoA)に関してさまざまなテストシナリオが規定されている。表 5 にコンフォーマンステスト規格で規定されている AoA セットアップを示す。

表 5 FR2 RRM Test AoA Setup

Setup	AoA 数	テスト方向
Setup 1	1	Rx beam peak direction
Setup 2	1	Non Rx beam peak direction
Setup 3	2	Non Rx beam peak directions
Setup 4	2	Rx beam peak direction および non Rx beam peak

Non Rx beam peak direction の場合は, EIS Spherical Coverage の要件を満たす任意の方向で試験を実施する。

ここで特筆すべきは 2AoA テストセットアップ(Setup3, Setup 4)の存在である。このセットアップでは異なる 2 種類の到来方向(2AoA)を模擬する必要がある。PC3 の場合, 2AoA 試験を実施するテストシステムでは 30° , 60° , 90° , 120° および 150° の到来角度差の模擬が必須化されている。図 12 に示すように, 2AoA セットアップの実現方法として 3 つの方法が認められている。DFF のみを使う方法, IFF のみを用いる方法(複数のリフレクタ), および DFF と IFF を組み合わせ使う方法(Hybrid 方式)である。それぞれの方式に長所・短所があるが, 特に DFF 方式では TRx 試験が実施できないこと, IFF 方式では複数リフレクタの実装によりコストが増加するといった短所がある。それに対し, PC3 UE で要求される Quiet Zone サイズ, D サイズを元に最適化した Hybrid 方式では, TRx 試験および 2AoA RRM 試験を低コスト・省スペースで実現することができる。

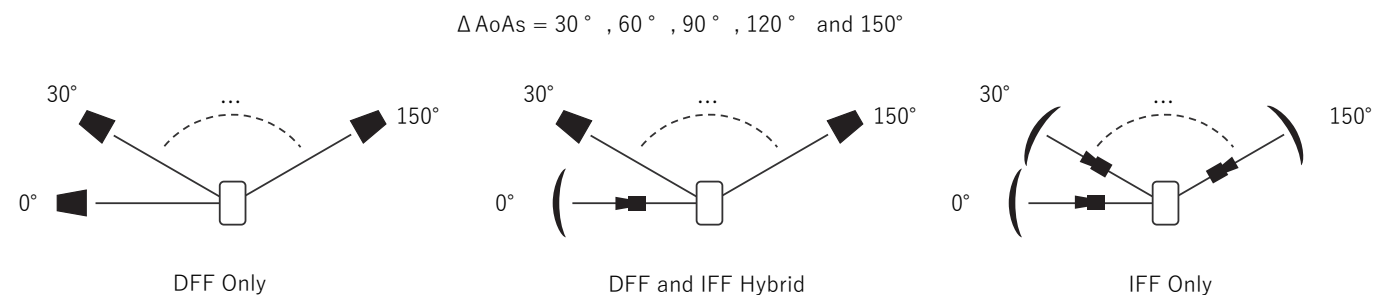


図 12 FR2 RRM 2AoA Setup 例

2.7 測定不確かさと Test Tolerance

RAN5 の主要なタスクの一つに, テストシステムの要件となる最大測定不確かさ(Maximum Test System Uncertainty, MTSU)の規定および Test Tolerance(TT)の規定がある。FR2 OTA 試験では LTE や FR1 に比べ MU が大きくなることから多くの企業の関心を集め議論されてきた。

コンフォーマンステスト規格では, MU は 95%信頼区間の拡張不確かさ(Expanded Uncertainty)で評価され, テストケースごとにテストシステムベンダが主体となって議論を行ってきた。MTSU は TS 38.521-2²⁾ Annex F に記載され, その算定根拠は TR 38.903¹⁸⁾ にテストケースごとにまとめられている。

TT は MU に起因し, 適合 UE が不適合と判定されるリスクを低減するために, 要件に適用される緩和量である。このような考え方を Shared Risk Principle¹⁹⁾という。もとの要件をコア要件(Core Requirement)と呼ぶのに対し, 試験で用いる TT 適用後の要件を試験要件(Test Requirement)と呼ぶ。図 13 に Shared Risk Principle の概念図を示す。

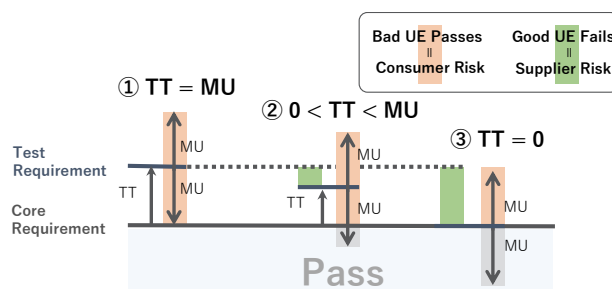


図 13 Shared Risk Principle

表 6 に代表的な試験の MTSU と TT の例を示す。他の試験については TS 38.521-2²⁾ Annex F に記載がある。MTSU が技術的根拠を元に算定される量であるのに対し, TT は UE ベンダや通信事業者のリスク許容度に応じて決定される。LTE では TT=MTSU または TT=0 が用いられることが一般的であったが, FR2 において

は MU の d により UE ベンダ、通信事業者がとるリスク総量が増したことで、その中間的な値 ($0 < TT < MTSU$) で規定されているものが多い。法令に由来する要件については $TT=0$ が適用されるものもある。

表 6 MTSU と TT の例 (23.45 GHz - 32.125 GHz)

	MTSU	TT
MOP (Minimum Peak EIRP)	± 4.89 dB	2.87 dB
MOP (Maximum Peak EIRP)	± 4.89 dB	0 dB
MOP (TRP)	± 4.42 dB	2.65 dB
REFSENS (Peak EIS)	± 5.19 dB	2.34 dB

3 FR2 RF コンフォーマンステスト規格の課題と展望

本章では、FR2 RF コンフォーマンステスト規格に関する課題と展望について述べる。

3.1 測定不確かさの改善

2.7 節で述べたとおり、FR2 における MU は LTE/FR1 に比べ大きく、UE ベンダおよび通信事業者側のとるリスクの総量が増大している。これにより UE ベンダはコア要件よりも厳しい条件での製造が必要となり、通信事業者やサービスプロバイダは UE の性能要件が TT で緩和されることで、周波数資源の利用効率低下のリスクを負う。一方で MU の削減はテストシステムベンダにとって技術的難易度や製造コストといった点でのリスクとなる。RAN5 では UE ベンダや通信事業者からの提案を受け、Release 15 のテストケースの策定に一定の目途がたった時点で MU 削減の Study (MU Evolution と呼ばれる) を始めることが合意された^{20), 21), 22)}。2021 年 11 月現在、当初期待された進捗に近づいていることから、2022 年頃から MU Evolution の Study が開始されると考えられる。UE ベンダ、通信事業者、テストシステムベンダによる活発な議論が想定される。

3.2 Low PSD/High Power 試験の測定限界の改善

FR2 の OTA 試験では、ミリ波の高い自由空間減衰特性により測定可能な UL Level または実現可能な DL Level に制限があり、多くの試験が Testability Issue を持っている。Tx 試験の Transmit OFF Power 試験がその最たる例である。コア要件は -35 dBm/ChBW で規定されるが、UE 端で -35 dBm、自由空間減衰 (1 m 程度) とその他減衰量の合計からアンテナゲインを引いたテストシステムの減衰量が 55 dB であると仮定すると、テストシステムの入力端で -90 dBm/ChBW となる。400 MHz BW の場合、これは熱雑音 -174 dBm/Hz よりも低いレベルであり、測定が不可能であ

る (図 14)。また受信機 (Rx) 試験についても、高い空間減衰量を補うために、テストシステム側で大電力の出力が必要なものがある。Rx 試験の Maximum Input Level 試験はその一例で、現状のテストシステムではこの試験に必要な電力が不足するため試験不可能項目とされている。TRx 試験以外でも Demodulation 試験の高い変調次数の試験などで同様の問題がある。

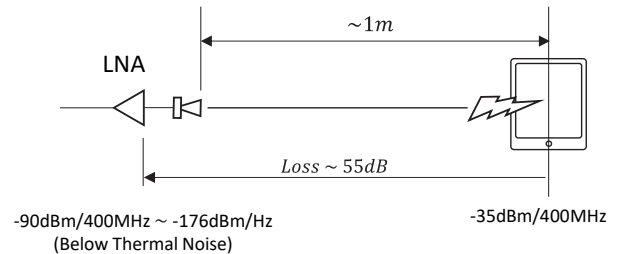


図 14 Low PSD Testability Issue in Tx OFF Power

本問題は RAN4/RAN5 で長く議論されてきた。このような測定限界の問題は、前述の Transmit OFF Power や Receiver Spurious Emission 試験などの規制に由来する試験についても存在し、各国地域が定める規制要件への適合性を試験できないことが大きな問題となる。このため、3GPP と各国地域の規制機関の間で Liaison が交わされてきた経緯もある^{23), 24), 25)}。

本問題の解決策として、テストシステム側の性能改善が考えられるが、今後はより高い周波数や広い帯域帯への対応要求によるテストシステムの複雑性の増加、大きな UE サイズへの対応などにより減衰量は増大する方向にあり、その中での改善は困難を伴う。このような背景もあり、再度 Near Field に基づく方法: CFFNF 法 (Combined Far Field and Near Field) および CFFDNF 法 (Combined Far Field and Direct Near Field) の導入が検討されている。いずれも、Far Field 方式と Near Field 方式を組み合わせることで測定精度の確保と減衰量の改善を実現する方法であり、チャンバ内に Far Field 方式 (IFF, DFF) のアンテナ/リフレクタと Near Field のアンテナを共存させる形となる (図 15)。



図 15 CFFNF, CFFDNF 法のチャンバ (TR 38.884²⁶⁾ より抜粋)

3.3 測定時間の改善

FR2 RF コンフォーマンステストにおける測定時間は当初より問題視され議論されてきた。これは OTA 試験となったことで空間方向の測定次元が生まれたため、LTE/FR1 の Conducted 試験に比べ

単純計算でポイント数倍(例:PC3のTRPならば135倍以上)の時間がかかるからである。すでに下記のようなソリューションが取り入れられている。

- Coarse Scan の仕組みの導入:Beam Peak Search, Spurious Emission など
- グリッドポイント数の削減:UE ベンダから 2×4 以下のアレーアンテナの使用が宣言された場合に適用するポイント数の少ない測定グリッドの導入
- Beam Peak 情報の再利用に関する規約導入:UE ベンダの宣言次第で特定条件(周波数, 帯域幅, 変調方式など)でのビームピークの情報を他条件に再利用することを認める
また, 下記のような方式の導入が検討されている。
- Spherical Coverage 試験の Early Decision:一部のポイントを測った時点で PASS を判断する
- RSRPB レポートを用いた Rx Beam Peak Search
- Single link polarization measurement:EIRP 測定時の DL の偏波を片方のみとする
- Non-Uniform TRP Measurement Grids:Tx Beam Peak の周辺に細かい測定グリッドを, その他は荒い測定グリッドを用いる

3.4 帯域幅の拡張

チャンネル帯域幅の拡張はミリ波帯のバンドを使用するにあたって最も特徴的な通信容量拡大策の一つである。これまでに LTE で使用されてきた 1CC(Component Carrier)あたり最大 20 MHz というチャンネル帯域幅に対し, Release 16 までに定義されている FR2 (52.6 GHz 以下)の周波数領域では 1CCあたり最大 400 MHz まで, CA 時には最大 1.6 GHz までの帯域幅が規格化されている。また, Intra-band non-contiguous CA 時にはギャップを含め最大 2.4 GHz の帯域幅となっており, 基地局シミュレータは非常に広帯域な信号を処理する必要がある。このようにチャンネル帯域幅の広帯域化に際してテストシステムおよびコンフォーマンステスト規

格が抱える課題としては, 処理可能な帯域幅だけでなく, 受信感度の平坦性, 出力可能な信号パワーレベルといったことが挙げられる。特に 3.2 節に述べたように Low PSD/High Power 試験問題は帯域幅の広帯域化により MU の増加, 測定限界の悪化が進むことが予想される。これらの課題に対しチャンネルの広帯域化をテストシステムとして実現するための手法としては, 図 16 に挙げるような複数の送受信装置を用いて信号合成もしくは信号分配するという方法が考えられる。図 16 に挙げた各方式の特徴を表 7 に示す。

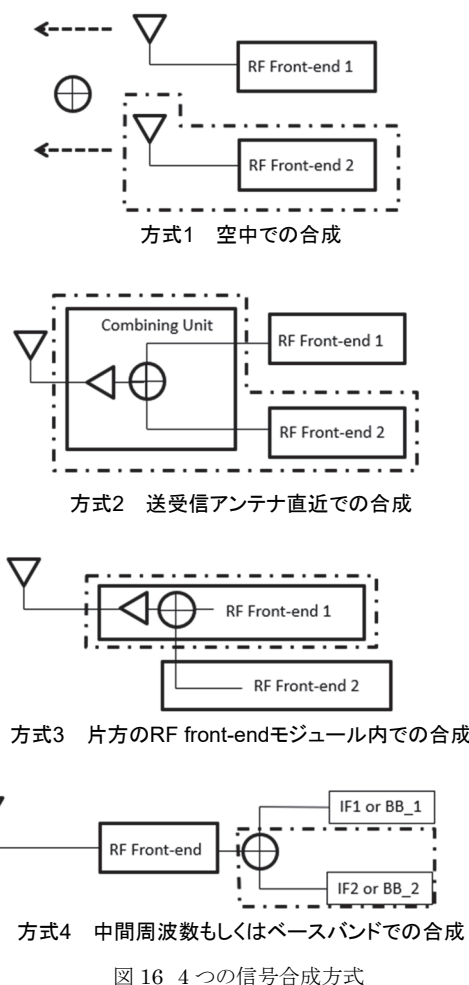


図 16 4 つの信号合成方式

表 7 信号合成方式 1-4 の比較

信号合成方式	合成点	利点	欠点
1 (複数アンテナ出力)	空中	- 既存のシングルキャリアでの試験方法, MU に対し影響を与えることなく広帯域幅の CA に対応可能。 - システムスケーラビリティあり。	アンテナ配置に制約あり。QoQZ の悪化, UE のビームピーク方向からずれた位置での測定, Quiet Zone 内での電界強度分布の傾き, アンテナ結合などの影響を最小化するために設計や校正方法に工夫が必要。
2, 3, 4 (1 アンテナ出力)	アンテナ前段	1 つの測定アンテナからの信号出力が可能。 - CA 時にも方式 1 のようなビームの到来方向のずれによる MU を加味する必要なし。	- 信号合成器により増加する経路損失を補填する増幅回路が必須。Low PSD/High Power 試験の測定限界に対し更に技術課題が増える。 - 既存の TRx 試験系に対しても途中の測定経路損が変化してしまうため, CA 時の MU だけでなく, 既存の MU に関しても改めて検証が必要。

また RAN4 の Study Item 内においてオフセットアンテナ方式を用いた測定系の実現性については検討済みであり、現状は Independent Beam Management(IBM)機能を実装された UE に対しては本測定系を適用可能という検討結果となっている。検討結果の詳細については TR 38.884²⁶⁾にまとめられているので参照されたい。

3.5 周波数の拡張

現在活動中の Release 17 を含め、FR2 の 24.25 GHz から 52.6 GHz の範囲で定義されているバンドとしては n257 から n262 までがあるが、同じく Release 17 の Work Item 活動として更に 52.6 GHz を超えた周波数帯の利活用の議論も進められている。本活動は 2019 年に ITU が開催した World Radiocommunication Conference 2019(WRC-19)において IMT 用途の周波数帯の 1 つとして 66 GHz から 71 GHz 帯が特定されたことを受け検討が開始された²⁷⁾。これは現在既に各国のデータ通信用周波数として 57 GHz から 71 GHz の周辺帯域が UnlicensedBand として割り当てられていることから ITU が結論付けたものであり、3GPP でも 2022 年 6 月を目標にこの範囲でのバンド定義をするべく活動が続けられている。表 8 に 52.6 GHz から 71 GHz の間の各国の Unlicensed Band 割り当て状況を示す。

表 8 52.6 GHz 超領域での地域別 UnlicensedBand 割当状況 (TR38.807²⁸⁾より転記)

Region	Country/Region	Frequency (GHz)										
		52.6-54.25	54.25-55.78	55.78-56.9	56.9-57	57-58.2	58.2-59	59-59.3	59.3-64	64-65	65-66	66-71
ITU Region 1	Europe/CEPT											
	Israel											
	South Africa											
ITU Region 2	USA											
	Canada											
	Brazil											
	Mexico											
	China											
ITU Region 3	Japan											
	Korea											
	India											
	Taiwan											
	Singapore											
	Australia											

続いて従来の 52.6 GHz 以下の帯域と 52.6 GHz を超える範囲へのバンド追加に関しコンフォーマンステストへの影響を考える。新たに Release 17 で追加されたバンド n262(47.2 GHz～48.2 GHz)に関しては当初から想定されていた FR2 の周波数範囲内ということもあり、チャンバ、リフレクタを含め 5G NR 開始当初から検討されている設計の範疇での拡張と言え、各テストシステムベンダは一部の既存設計資産を流用することも可能である。しかしこれまでのバンドと比較しより高い周波数での試験となるため、先述の測定限界／MU の問題は現状規格化されている他のバンド以上に顕著となる。また 52.6 GHz を超える領域でのバンド追加に関してはテストシス

テムへの影響は更に大きく、複数の観点から課題が発生する。まず各ベンダから供給されている現状の FR2 向けテストシステムはスプリアス領域の測定を含め、チャンバ、リフレクタなど上限でおよそ 100 GHz までを想定した設計となっている。これに対し、66 GHz から 71 GHz 帯、更に 5G-Advanced (Release 18 以降の呼称)／6G を見越した高周波数帯に対応したシステムを供給するとすると、チャンバ、リフレクタ、アンテナ等の対応周波数は 2 倍高調波である 140～200 GHz までを想定した設計が必要となる。また今後は 52.6 GHz 以下の周波数帯のためのテストシステムと、52.6 GHz 超のテストシステムの共通化といった課題もあがってくる。RAN4 での Study Item 議論内ではこれらの周波数帯をすべて包括したテストシステムの提供が望まれているが²⁹⁾、共通のシステムを提供する場合にはテストシステムの複雑さが増加することになり、従来の 52.6 GHz 以下の測定系にまで影響を与えることになる。その結果として RAN5 では前述のように MU Evolution の検討が開始されようとしているが、その改善が困難になることや、システムの市場への提供時期が遅れるといった懸念も挙げられている³⁰⁾。同 Study Item 内では引き続きシステムの共通化の可否を検討中であるが、上述のように市場投入の時期と MU の増加はトレードオフの関係になっている。高い周波数帯への拡張を含めたインフラを市場に配備するにあたっては、MU の増加の可否に応じてこれらのテストシステムの分割化も含めて業界内での合意形成が必要となるであろう。

一方で FR2 と FR1 の間を埋める周波数帯 (7 GHz から 24 GHz) でのバンド定義の議論については、WRC-19 で挙げられた 10 GHz から 10.5 GHz 帯の検討成果が TR 38.921³¹⁾にまとめられている。ただこの周波数においては UE 内のアンテナ構造は FR1 と同様となることが結論付けられており、UE の測定法は FR1 と同じく Conducted 方式での試験となることが想定されている。

3.6 測定シナリオの拡大

LTE においても既に V2X, NB-IoT, Category M といった各種のユースケースは存在していたが、5G NR では更にその活用範囲が広がり、当該技術が使用される対象が多岐に渡ってきている。まず前述のとおり従来のモバイル端末とは別に、タブレット端末、ラップトップ、FWA/CPE、自動車、鉄道、ドローン、航空機、人工衛星といった通信機器の実装される対象物が増えてきている。その他、電力消費を極力抑えつつ通信カバレッジを維持したり、さまざまなパワークラスの定義が追加されたりというように TRx/RRM/Demodulation 規格の分岐が進んでいる。本項ではそのうちのいくつかの測定シナリオを挙げ、それらに特有な課題を説明する。

High Speed Train (HST)

FR2 領域での High Speed Train に関する規格議論は Release 17 の中で行われている。HST の特徴としては Remote Radio Head (RRH) の配備シナリオに応じて Customer Premises Equipment (CPE) への信号の到来方向が 1 方向 (uni-directional), もしくは 2 方向 (bi-directional) という違いが発生すること、既存の試験と異なり CPE の位置は固定という前提条件がなくなるということである。そのため高速移動中にビームの切り替えが行われる状態で同時に 2 方向での測定が必要になる可能性がある。TRx 規格に関しては Release 17 では既に uni-directional 前提での規格のみが規定されることが合意されているが、RRM/Demodulation 試験に関しては uni-directional, bi-directional 両方のシナリオを考慮に入れた規格が議論されており、これらに対応するために測定系が複雑化することが懸念される。図 17 に uni-directional の場合の RRH 配備シナリオを示す。

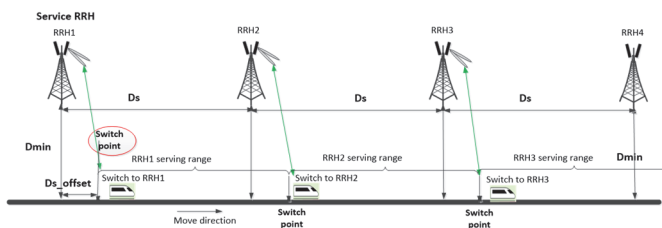


図 17 FR2 HST uni-directional RRH deployment scenario
(R4-2114024³²⁾より抜粋)

Multi-TRxP (Transmission and Reception Point)

現在までに検討された試験方式は、同時にアクティブとなるアンテナパネルはたとえ複数あったとしても、一部の RRM 試験を除いては単一の方向にある基地局と接続することを前提としていた。Release 16 以降、複数のビームやアンテナパネル制御を前提とした Multi-TRxP の規格整備が検討対象となっている^{33), 34)}。図 18 に 2 つの異なる方向にある gNB (TRxP) と同時に通信を行う場合のイメージを示す。Multi-TRxP/マルチアンテナパネル固有の要件については、現在 RAN4 で TRx, Demodulation, RRM 向けにそれぞれ検討しているところである。その検討結果によっては、TRx 試験や Demodulation 試験で新たに 2AoA での試験が必要になる可能性がある。FR2 Demodulation 試験で用いられている WCM では UE とテストシステムの接続は 1AoA 前提であるが、今後 2AoA 条件が追加された際には複数アンテナ構成の WCM 接続が必要となることが予想される。

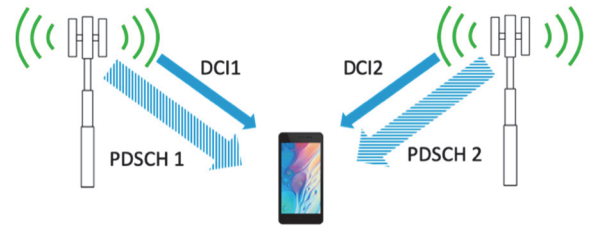


図 18 Multi-TRxP (RP-192406³⁵⁾より抜粋)

PC3 UE 以外の測定シナリオ

前述のとおり現在 FR2 領域では UE のパワークラスは 1 から 5 まで定義されている。現状はこれらのパワークラスごとの RAN4 規格上での違いは Maximum Output Power (TRP, EIRP) や受信感度 (EIS), EIRP/EIS Spherical Coverage およびその Percentile 値などであり、違いは一見その値だけであるかのように見える。しかし FR2 UE の RF コンフォーマンステストはアンテナ特性を含めた最終製品状態での OTA 試験を前提としているため、各 DUT のサイズとそれを試験可能なテストシステムの関係は切り離すことができない。今後 5G NR 通信モジュールがさまざまな機器に搭載された場合、これまでの PC3 UE 同様に通信モジュールを実装した最終製品状態での OTA 試験は実施困難になると予想される。自動車やドローンといった大型の測定対象に対しても認証試験の実現性が問題にならないよう、3GPP としてもコンフォーマンステストの実施方法について指針を示すことが近い将来に必須となると考える。例えば通信モジュール単位でのコンフォーマンステストを行う段階と、機器全体の放射・受信特性のみを試験する段階を設けるといった仕組みづくりを行い、5G NR 普及を速やかに進める土台を作ることが今後の大きな課題の一つとなるであろう。

4 RF コンフォーマンステストシステム ME7873NR

UE は、認証団体である GCF や PTCRB で定められたテストケースを実施し、認証を得る必要がある。認証を得るためのテストシステムも同様に GCF/PTCRB に認定されている装置を使用することが必要とされる。

アンリツでは、3GPP のコンフォーマンステスト規格に準拠し、端末認証団体である GCF/PTCRB に適合したテストプラットフォームである、New Radio RF コンフォーマンステストシステム ME7873NR を提供している。



図 19 ME7873NR FR1 System



図 20 ME7873NR FR2 System

ME7873NR は、ラジオ コミュニケーション テストステーション MT8000A を 5G NR の基地局シミュレータとして使用し、3GPP 規格に準拠した UE の TRx 性能、Demodulation 性能、および RRM 性能の試験が実施できる。また、3 ヶ月ごとに更新される最新の 3GPP 規格に追従し、通信事業者の端末受け入れ試験（北米通信事業者向け受け入れ試験）にも対応している。対応項目を以下に記す。

- 3GPP TS 38.521-1 NR User Equipment (UE) conformance specification Radio transmission and reception Part 1: Range 1 Standalone
- 3GPP TS 38.521-2 NR User Equipment (UE) conformance specification Radio transmission and reception Part 2: Range 2 Standalone
- 3GPP TS 38.521-3 NR User Equipment (UE) conformance specification Radio transmission and reception Part 3: Range 1 and Range 2 Interworking operation with other radios

- 3GPP TS 38.521-4 NR User Equipment (UE) conformance specification Radio transmission and reception Part 4: Performance requirements
- 3GPP TS 38.533 NR User Equipment (UE) conformance specification Radio Resource Management (RRM)

表 9 ME7873NR FR1 規格

Downlink 出力周波数	450 MHz～3.8 GHz (LTE) 450 MHz～6 GHz (NR)
Uplink 測定周波数	450 MHz～3.8 GHz (LTE) 450 MHz～6 GHz (NR)
妨害波周波数	450 MHz～6 GHz(変調波) 1 MHz～12.75 GHz (CW)
スプリアス測定周波数	9 kHz～26 GHz
その他	・ DC サプライによる電源制御 (EVC 試験向け) ・ 恒温槽による温度環境制御 (ETC 試験向け)

表 10 ME7873NR FR2 規格

Downlink 出力周波数	450 MHz～6 GHz (LTE) 24.25 GHz～29.5 GHz, 37 GHz～43.5 GHz (NR)
Uplink 測定周波数	24.25 GHz～29.5 GHz, 37 GHz～43.5 GHz (NR)
スプリアス測定周波数	6.0 GHz～87.0 GHz
Quiet Zone	330 mm
その他	・ DC サプライによる電源制御 (EVC 試験向け) ・ 恒温槽による温度環境制御 (ETC 試験向け)

5 むすび

本稿では、5G NR FR2(ミリ波)における UE RF コンフォーマンステスト規格の動向について紹介した。2021 年 11 月現在、FR2 コンフォーマンステストの規格化は Release 15, PC3, 40 GHz 以下といった限定的なケースでは概ね完了に近づいている。ただし、Low PSD/High Power の測定限界の問題や MU の削減などの改善課題を残している。より高い周波数や広い帯域幅への拡張、モバイル端末以外のデバイス向けの試験、Release 15 以降で出現する新シナリオの試験方法などについても議論されており、既存の課題と合わせ引き続き活発に議論される見込みである。アンリツはテストシステムベンダとして引き続きのコンフォーマンステスト規格の策定・課題解決に深く参画するとともに、規格に準拠した試験ソリューションを継続的に提供することで、5G NR の普及・発展に継続的に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 3GPP, TS 38.101-2 v17.4.0 (2021-12), “User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone”
- 2) 3GPP, TS 38.521-2 v16.10.0 (2021-12), “User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone”
- 3) 3GPP, TS 38.101-4 v17.3.0 (2021-12), “NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 4: Performance requirements”
- 4) 3GPP, TS 38.521-4 v16.10.0 (2021-12), “NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 4: Performance”
- 5) 3GPP, TS 38.133 v17.4.0 (2021-12), “NR; Requirements for support of radio resource management”
- 6) 3GPP, TS 38.533 v17.1.0 (2021-12), “NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio Resource Management (RRM)”
- 7) 3GPP, News Release, https://www.3gpp.org/news-events/1965-rel-15_news, June 2018
- 8) 3GPP, TS 38.151 v0.6.0 (2021-11), “NR; User Equipment (UE) Multiple Input Multiple Output (MIMO) Over-the-Air (OTA) performance requirements”
- 9) 3GPP, TS 38.161 v0.0.1 (2020-11), “NR; User Equipment (UE) TRP (Total Radiated Power) and TRS (Total Radiated Sensitivity) requirements; Range 1 Standalone and Range 1 Interworking operation with other radios”
- 10) 3GPP, TR 38.810 v16.6.1 (2020-09), “NR; Study on test methods”
- 11) C.A. Balanis, “Antenna Theory: Analysis and Design”, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- 12) 3GPP, TS 38.508-2 v17.3.0 (2021-12), “5GS; User Equipment (UE) conformance specification; Part 2: Common Implementation Conformance Statement (ICS) proforma”
- 13) 3GPP, TS 38.509 v16.3.0 (2021-12), “5GS; Special conformance testing functions for User Equipment (UE)”
- 14) Anritsu, R5-185525, “Treatment of power supply cable for FR2 UE tests”, RAN5#80, Aug. 2018
- 15) Intel, Qualcomm, R4-1801288, “WF on performance testing for FR2”, RAN4 NR AdHoc 1801, Jan. 2018
- 16) RP-181402, “Study on radiated metrics and test methodology for the verification of multi-antenna reception performance of NR UEs”, Study Item Proposal, RAN#80, June 2018
- 17) 3GPP, TS 38.215 v16.4.0 (2020-12), “Physical layer measurements”
- 18) 3GPP, TR 38.903 v16.10.0 (2021-12), “Derivation of test tolerances and measurement uncertainty for User Equipment (UE) conformance test cases”
- 19) Recommendation ITU-R M.1545, “Measurement uncertainty as it applies to test limits for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications-2000”
- 20) R5-190793, “WF of test tolerances and measurement uncertainty for User Equipment (UE) conformance test”, RAN5 AdHoc NR#4
- 21) R5-192820, “WF on Maximum Test System Uncertainty Evolution for FR2”, RAN5#82
- 22) R5-195410, “WF on Test System Uncertainty Evolution for FR2”, RAN5#83
- 23) TSG-RAN, RP-191603, “5G-NR FR2 Transmitter & Receiver Testability Issues”, RAN#84
- 24) ARIB, R5-196960, “Reply LS on 5G-NR FR2 Transmitter & Receiver Testability Issues”, RAN5#84
- 25) MSG TFES, R5-200018, “Reply LS on 5G-NR FR2 Transmitter & Receiver Testability Issues”, RAN5#86-e
- 26) 3GPP, TR 38.884 v1.1.0 (2021-08), “Study on enhanced test methods for FR2 NR UEs (Release 17)”
- 27) WRC-19 Final acts, Article 5/ Resolution 241
- 28) 3GPP, TR 38.807 v16.1.0 (2021-03), “Study on requirements for NR beyond 52.6 GHz”
- 29) Moderator (Intel), R4-2115804, “Email discussion summary for [100-e][335] FR2_enhTestMethods_Part2”, RAN4#100e
- 30) Keysight, R4-2114386, “On 52.6-71GHz Testability”, RAN4#100e
- 31) 3GPP, TR 38.921 v17.0.0 (2021-03), “Study on International Mobile Telecommunications (IMT) parameters for 6.425-7.025GHz, 7.025-7.125GHz and 10.0-10.5 GHz”
- 32) Nokia, R4-2114024, “TR for FR2 HST”, RAN4#100e
- 33) Samsung, RP-200474, “Revised WID: Enhancements on MIMO for NR”, RAN#87e
- 34) Samsung, RP-202024, “Revised WID: Further Enhancements on MIMO for NR”, RAN#89e
- 35) NTT Docomo, RP-192406, “Summary of email discussion on inter-gNB coordination for multi-carrier/TRP operations for NR”, RAN#86

執筆者



馬場 寛之
通信計測カンパニー
モバイルソリューション事業部
商品開発統括部 第1 商品開発部



山下 治
通信計測カンパニー
モバイルソリューション事業部
商品開発統括部 第1 商品開発部



飯田 弘明
通信計測カンパニー
モバイルソリューション事業部
商品開発統括部 第1 商品開発部



薛 雅文
通信計測カンパニー
モバイルソリューション事業部
商品開発統括部 第1 商品開発部

Annex 表 1 TRx 試験

Test Case		Test Metric
Transmitter(Tx) Characteristic	UE Maximum Output Power	Peak EIRP (Min., Max.), TRP (Max.), Spherical Coverage (EIRP)
	UE Maximum Output Power Reduction	Peak EIRP
	Minimum Output Power	Peak EIRP
	Transmit OFF Power	TRP
	Transmit ON/OFF Time Mask	Peak EIRP
	Absolute Power Tolerance	Tx Beam peak
	Relative Power Tolerance	Tx Beam peak
	Aggregated Power Tolerance	Tx Beam peak
	Frequency Error	Tx Beam peak
	Error Vector Magnitude (EVM)	Tx Beam peak
	Carrier Leakage	Tx Beam peak
	In-band Emission	Tx Beam peak
	EVM Equalizer Spectrum Flatness	Tx Beam peak
	Occupied Bandwidth (OBW)	Tx Beam peak
	Spectrum Emission Mask (SEM)	TRP
	Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR)	Core requirement: TRP Test requirement: Peak EIRP (Changed due to low PSD testability issue)
	Transmitter Spurious Emission	TRP (Section 2.4.1)
	Beam Correspondence	Difference of EIRP with and without UL Beam Sweeping (Section 2.4.3)
Receiver (Rx) Characteristic	Reference Sensitivity	Peak EIS, Spherical Coverage (EIS)
	Maximum Input Level	Peak EIS
	Adjacent Channel Selectivity	Peak EIS (under the presence of interferer) (Section 2.4.2)
	In-band Blocking	Peak EIS (under the presence of interferer) (Section 2.4.2)
	Receiver Spurious Emission	TRP (Section 2.4.1)

公知