

# 5G NR ミリ波のモバイル活用に貢献する 2AoA チャンバ および測定システムの開発

飯田 弘明 Hiroaki Iida, 遠藤 秀之 Hideyuki Endo, 須永 孝一 Koichi Sunaga, 森田 智紀 Tomonori Morita,  
近藤 知明 Tomohiro Kondo

## [要 旨]

各国で 5G New Radio(NR)の運用が開始されている中、より広い通信帯域を確保できるミリ波帯の利用のため、携帯端末などの通信性能評価の要求が増加し、RF コンフォーマンス試験規格策定が進捗している。これまで 1 方向(Angle of Arrival, AoA)から到来する基地局信号の性能評価が主であったが、近年、実網のモビリティを担保するため、同時に 2 方向(2AoA)から到来する基地局信号の性能を評価する試験規格が定義された。ミリ波帯の測定には高価な設備と広い設置スペースが必要となる。そこで、従来の 1AoA 試験に加えて 2AoA 試験が測定可能であり、低コストなシステムを開発した。本稿では、これを構成する電波暗箱(チャンバ)および測定システムの特徴について紹介する。

## 1 まえがき

通信トラフィックの増加や高速通信の要求に伴い、各国で 5G NR の運用が開始されている。NR では、従来の移動通信で使われている 6 GHz 以下の Frequency Range 1(FR1)と、より広い通信帯域幅を確保できる 24.25 GHz 以上の Frequency Range 2(FR2)が使用される。現在は、FR1 が主流であるが、今後は FR2 の利用拡大が予想される。<sup>1)</sup>

FR2 端末などの RF 性能試験を評価する The 3rd Generation Partnership Project(3GPP) TS 38.521-2 NR; User Equipment(UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 2: Range 2 standalone<sup>4)</sup>では、Over The Air(OTA)で測定することが規定されており、後述のとおり、その実現方法として OTA チャンバと端末のポジショニングシステムを用いた Direct Far Field(DFF)方式や Indirect Far Field(IFF)方式が示されている。そのために従来の FR1 Conducted 試験と比べ、設備コスト・設置スペースが拡大している。

FR2 端末のモビリティ性能を評価する 3GPP TS 38.533 NR User Equipment(UE) conformance specification Radio Resource Management(RRM)<sup>2)</sup>では、受信性能測定やそれに基づくハンドオーバー(基地局間の移動)などを実現するために必要不可欠な機能が試験対象となっている。

FR2 RRM 試験では基地局信号の AoA に関してさまざまなテストシナリオが規定され、2AoA を模擬する試験が追加されている。2AoA 試験では 30°, 60°, 90°, 120°, および 150° の到来角度差の模擬が必須の機能である。そのため既存の 1AoA 試験よりも、高価なセットアップと広い設置スペースが必要となることが課題となっている。

本稿では、従来の 1AoA 試験(RF 試験, Demodulation 試験, RRM 試験)および 2AoA 試験(RRM 試験)を実施できる低コスト・

省スペースのチャンバと、このチャンバを含む RF コンフォーマンス テストシステム ME7873NR の特徴について紹介する。

## 2 チャンバ開発のコンセプト

測定システムで必要条件となる 3GPP 規格で試験要件を満たし、下記の 2 つの目標の達成を目指す。

### 2.1 1 つの製品構成による低コスト化

図 1 で示すように、OTA チャンバ内にアンテナから出た球面波が、空間を伝搬しおおむね一様と見なせる空間を 3GPP では Quiet Zone(QZ)と呼ぶ。また QZ 内の振幅の分散を、Quality of Quiet Zone(QoQZ)と呼ぶ。Power Class(PC) 3 UE で要求される QZ サイズ、D サイズ(端末のアンテナサイズ)を測定可能、かつ QoQZ を満たし、1AoA 試験(RF 試験, Demodulation 試験、および RRM 試験)と 2AoA 試験(RRM 試験)を低コスト・省スペースで実現することを目標とした。なお、図 1 のように直接的に遠方界を使う方式が DFF 方式である。これに対して放物面鏡(リフレクタ)で球面波を平面波に変換して使う方式が IFF 方式であり、CATR(Compact Antenna Test Range)とも呼ばれる。

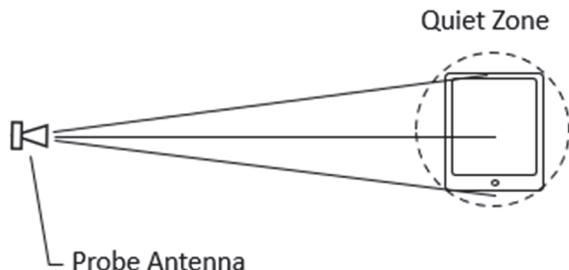


図1 Quiet Zone

### 2.2 既存ハードウェアからの拡張性

1AoA 測定が可能な従来製品である CATR チャンバ MA8172A 構成からの拡張性を持たせ、既存部分を流用できるものとする。

### 3 設計の要点

ハードウェア設計の 2 つの要点について紹介する。

#### 3.1 Hybrid 方式とチャンバサイズの最小化

2AoA RRM 試験の実現方法として 3 つの方法が認められている。DFF のみを使う方法、IFF のみを使う方法(複数のリフレクタ)、および DFF と IFF を組み合わせて使う方法(Hybrid 方式)である。それぞれに Measurement Uncertainty が規定されており、導入コストなど長所・短所がある。その中で RF 試験における Measurement Uncertainty を満たすことを前提として、導入コストが抑えられる Hybrid 方式を採用した。新たに開発した MA8172B では  $0^\circ$ となる位置に IFF 方式を使用し、 $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ 、および  $150^\circ$ の位置で DFF 方式を使用する。従来製品である MA8172A は、1AoA 試験のため IFF 方式を使用している。そこで MA8172B は、図 2 のように MA8172A に DFF 方式の部分を拡張した構成とすることで、ME7873NR FR2 システムにおける既存資産の活用が容易になる設計とした。

DFF 方式では、D サイズ 5 cm、周波数 52.6 GHz、QZ サイズ 40 cm の場合、QZ の中心から DFF アンテナまでの間に約 110 cm の距離が必要となる。図 3 の仮想アンテナのように QZ 中心からこの距離だけ離れ、かつ  $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ 、および  $150^\circ$ にアンテナを置いた場合、図 3 よりも一回り大きいチャンバが必要になる。当然、設置スペースや導入コストの観点から、チャンバサイズは小さいことが望ましい。そこで MA8172B では図 4 のようにアンテナとミラーを配置することで、下方に設置した DFF アンテナからのビームをミラーで反射する構造を採用した。これにより、図 4 に示すように DFF アンテナが仮想アンテナ位置に設置される場合に比べ、チャンバを小型化できた。

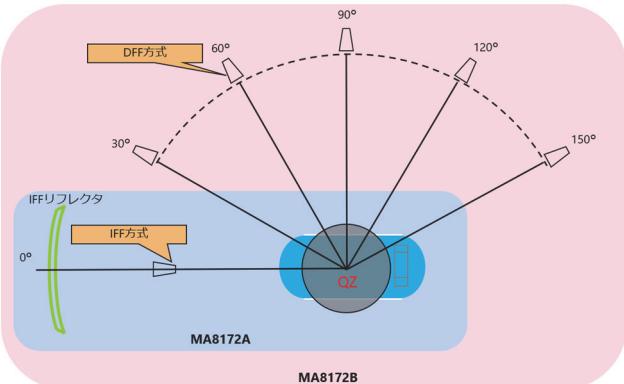


図 2 MA8172A, MA8172B 構成イメージ

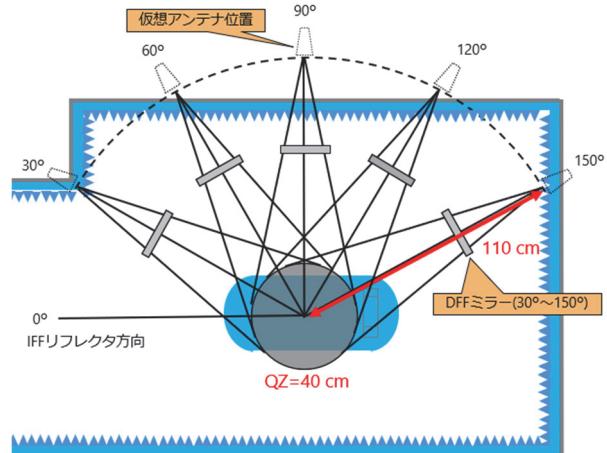


図 3 チャンバと仮想アンテナ位置

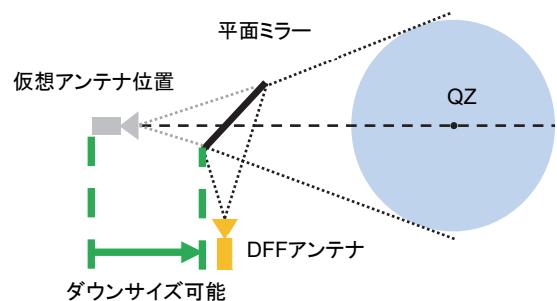


図 4 平面ミラーと DFF アンテナ配置

#### 3.2 アンテナ設置方法の決定

3.1 節に記載したアンテナとミラーを組み合わせた構造を実現するには、(i)各角度位置に 5 つのアンテナを固定する方法、(ii)1 つのアンテナを各角度位置に稼働させる方法の 2 つが考えられる。MA8172B では 3GPP 以外の試験にも柔軟に対応するために、3GPP で規定された角度以外の任意の到來角度を設定できる(ii)を採用した。

図 5 に固定式と可動式の構成要素を示す。固定式では 1 組の Remote Radio Head(RRH)を 5 つのアンテナで共用する構造となるため、ディバイダや RF ケーブルなどを用いて信号を分岐する必要がある。さらに、RRH とアンテナ間の信号強度の低下を補うためのアンプが必要になり、周辺デバイス数が多くなるが、可動式では必要なデバイス数を少なくすることができる。固定式で多数必要になる FR2 のデバイスは高額になる傾向があるが、可動式では FR2 のデバイス数を抑え、汎用的なモータを使用したポジショナで駆動させることで、安価に測定系を構築できる。

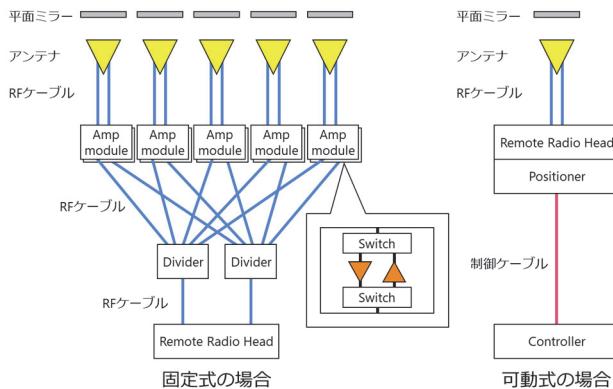


図 5 固定式と可動式の構成要素

図 6 に可動アンテナの概要を示す。QZを中心とする円弧状のレール上にポジショナを用意し、1組のDFFアンテナ、平面ミラー、RRHを載せて、IFFのリフレクタ(AoA #1)の向きから30°～150°までモータ駆動する構造とした。可動式の場合、測定を行う位置までの移動時間や可動部材の劣化を考慮しなければならない。測定位までの移動時間は30°あたり数秒であるが、各位置での測定時間は移動時間よりも十分長く、運用上問題にならない。また、移動中に屈曲するケーブル類(主にTest StationとRRHとを接続するIFケーブル、制御ケーブル)は、ケーブルルベアを使用して繰り返し曲げなどのダメージを避ける構造とした。

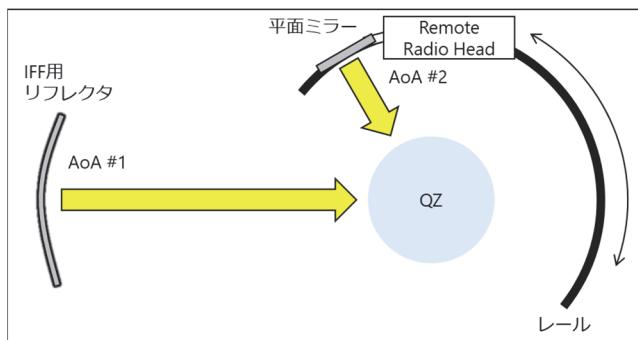


図 6 可動アンテナ概要

## 4 製品紹介

### 4.1 ME7873NR の紹介

アンリツでは、3GPP規格に準拠し、端末認証団体であるGCF(Global Certification Forum)/PTCRB(PCS Type Certification Review Board)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。測定システムを構成する測定器の組み合わせによって、FR1だけでなくFR2を含む、3GPP規格の主要な周波数バンドをサポートしている。

ME7873NRは試験実施が容易なユーザーインターフェースをもち、RF試験・Demodulation試験・RRM試験を連続して測定できる。試験ソフトウェア上で測定したいテストケースを図7のように画面中央のタスクペインから選択し、Insertボタンをクリックすることによりシーケンスを作成でき、測定の実行、測定結果の合否判定をテストレポートに出力する。これにより、測定端末で必要な測定を効率的に実施できる。

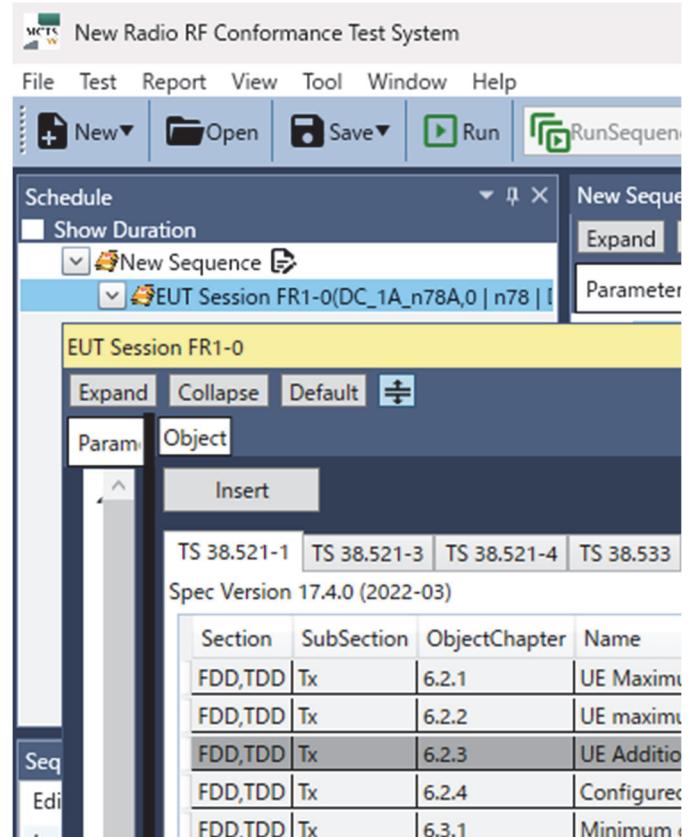


図 7 測定シーケンス作成画面

開発したME7873NR MA8172B(図8)では、MA8172Aの左側部分と共に構造にしており、MA8172Aの右側部分を置き換えることでも、2AoA RRM試験が測定可能となる。



図 8 ME7873NR FR2 System(MA8172B構成)

## 4.2 2AoA RRM Test Case(TC)の実装紹介

### (TS38.533 5.6.1.1)

3GPP TS 38.533<sup>2)</sup>には 2AoA RRM テストケースが複数定義されている。本節では、3GPP TS 38.533 の 5.6.1.1 節で定義された EN-DC FR2 event-triggered reporting without gap in non-DRX(簡単のため、以下では TC 5.6.1.1 と呼ぶ)を題材として、試験概要、および ME7873NR による測定結果について解説する。

#### 4.2.1 試験目的

TC 5.6.1.1 では UE の隣接<sup>1</sup>FR2 NR Cell に対する測定性能指標の一つである、隣接 Cell 検出時間を評価する。LTE Cell および FR2 NR Cell を用いて EN-DC(E-UTRA NR Dual Connectivity)を確立した状態で、別方角から到来する隣接 FR2 NR Cell を UE が規定時間内に検出可能かを試験する。

#### 4.2.2 試験構成・手順

本節では TC 5.6.1.1 の試験構成、測定手順、および性能要件を概説する。Cell 構成は、EN-DC PCell(Primary Cell)としての LTE Cell、EN-DC PSCell(Primary SCell)としての FR2 NR Cell、および PSCell と同じ周波数帯に位置する隣接 FR2 NR Cell の 3Cell からなる。測定区間として T1、T2 が定義され、EN-DC 確立後、RMC(Reference Measurement Channel)<sup>2)</sup>、PSCell DL 到来方向等の初期設定を行い、測定区間に移行する。T1 および T2 区間での一連の RRC レイヤのメッセージングナーリングを図 9 に示す。T1 区間では LTE Cell 経由で RRC(Radio Resource Control)Connection Reconfiguration<sup>3</sup>メッセージを送信し、隣接 Cell 測定を UE に指示する。T2 区間では隣接 Cell の DL 出力が開始される。隣接 Cell を検出した UE は、事前設定された Measurement report<sup>4</sup>報告条件である Event A3<sup>5</sup>条件を満たしたことを契機に、Measurement report を UL information transfer MR-DC<sup>6</sup>メッセージに格納して LTE Cell に通知する。T2 開始から

LTE Cell での Measurement Report 受信までの時間差が Measurement Reporting delay として定義され、TC 5.6.1.1 での評価対象となる。

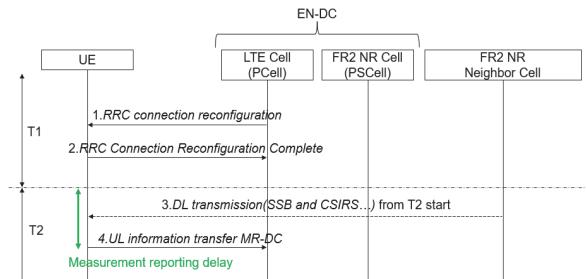


図 9 TC 5.6.1.1 の測定シーケンス

一般的な RRM 試験では、性能要件を満足しているかを複数試行の測定結果とともに統計的に判定する。本試験もこの統計的手法に準じており、T1 および T2 からなる測定区間を 1 試行とし、試行ごとに隣接 Cell の物理 ID(PCID)<sup>7</sup>、および DL 到来方向を更新し、UE にとって新規隣接 Cell の測定となるような条件下で繰り返し測定を行う。最短 33 試行で本試験は合格となる。

#### 4.2.3 TC 5.6.1.1 の性能要件

TS38.533<sup>2)</sup> 5.6.1.0 章 Minimum conformance requirements によれば、SSB based intra frequency cell の検知所要時間要件は、PSS/SSS によるフレーム同期所要時間、SSB 信号測定時間の和として定義される。これらは試験条件により変わるが、その中で代表的なパラメータは下記のとおりである。

- C-DRX(Connected-Discontinuous Reception)<sup>8</sup>設定
- 隣接 Cell の周波数位置および Measurement Gap 設定<sup>9</sup>
- SMT(SS/PBCH block Measurement Timing Configuration)周期<sup>10</sup>
- 隣接セルが FR2 か否か<sup>11</sup>

<sup>1</sup> UE が通信している NR Cell 以外で空間的に近接する Cell を総称して隣接 Cell と呼称する。TS38.533<sup>2)</sup>では通称“neighbor cell”であり、その和訳となる。

<sup>2</sup> DL/UL スケジュールの諸設定のこと。

<sup>3</sup> LTE RRC レイヤの再設定を行う汎用メッセージ。EN-DC の場合、UE NR RRC 再設定向けの nr-SecondaryCellGroupConfig メッセージも本メッセージに格納可能であり、5.6.1.1 での隣接 Cell 測定指示も UE 側 NR RRC に対しての設定であり、nr-SecondaryCellGroupConfig を使用する。

<sup>4</sup> 検出した Cell 情報等を network 側に通知するための NR RRC メッセージ

<sup>5</sup> イベント駆動方式で Measurement Report を network 通知する設定に用いられるパラメータの一種。Event A3 は PSCell と隣接 NR Cell の RSRP 差を閾値とする。TC 5.6.1.1 では T2 での DL level 設定が Event A3 を満たすように設計されている。

<sup>6</sup> EN-DCにおいて、LTE PCell 経由で PSCell NR RRC に NR RRC 関連シグナーリング(NR RRC Measurement report 等)を転送する際に使用される。

<sup>7</sup> 物理レイヤでの Cell 識別子のこと。

<sup>8</sup> 消費電力節約のための間欠送受信の仕組みのこと。検知所要時間がこの DRX 周期に依存する。

<sup>9</sup> 測定対象の周波数が PSCell のものと異なる場合、一般的な UE 実装として、Measurement Gap で指定された区間でのみ RF tuning を行い隣接セルの測定を試みる。検知所要時間がこの Measurement Gap 周期に依存する。

<sup>10</sup> UE は基本的に SMT(SS/PBCH block Measurement Timing Configuration)の周期区間でしか隣接 Cell の SSB 探索を行わないため、検知時間がこの周期に依存する。

<sup>11</sup> FR2 の場合は主に受信ビーム掃引による測定時間増大が考慮されている。

TC 5.6.1.1 の場合、検知所要時間要件は 1440 ms と計算される。この隣接セルの検知所要時間に加え、Measurement report 送信に要する通信遅延として 2 ms を想定する。つまり計 1442 ms が TC Measurement Reporting delay として、UE が満たすべき性能要件となる。

#### 4.2.4 2AoA 到來角決定

TC 5.6.1.1 が参照する AoA setup<sup>2)</sup>は Setup3 である。PC3 UE の場合、EIS Spherical Coverage を満たす任意の方向の中から、2 方向の到來角度差が 30°, 60°, 90°, 120°, および 150° のいずれかを満たし、かつ到來角の組み合わせおよび到來角度差が各試行で異なる条件を満たす必要がある。MA8172B チャンバを有する ME7873NR では、2AoA 向け DFF アンテナおよび UE 回転治具の駆動により 2 方向到來角を実現する。

#### 4.2.5 ソフトウェア実装・測定結果例

ME7873NR 向け自動測定系ソフトウェアでは、FR1 および FR2 1AoA テストケースと同様の GUI 操作で、2AoA RRM テストケースである TC 5.6.1.1 の実行および測定結果の確認が可能である。図 10 に TC 5.6.1.1 の測定結果レポートの一部を示す。各試行のパラメータと共に測定結果が一覧表示される。

Verdict Configuration		Duration(Start/End)		Temperature	Voltage	Remarks
Pass						
Verdict	PASS					
Start Date Time	11/11/2022 22:42:14+09:00:00					
End Date Time	11/11/2022 22:42:14+09:00:00					
Duration	00:00:55					
Vibration	none					
Wedge	(N/A) (N/A)					
Temperature	19.6°C (19.6°C)					
Test Channel						
CC Setting		Target		Unit		Axes
Parameter	PCI0	PCI0	Neighbor			
PCI0	1	1	N/A	dBm	dBm	YZ
Band	PCI02	+260	+260	dBm	dBm	YZ
Frequency Range	Initial	Initial	Initial	Hz	Hz	YZ
PCI0	-120	-120	-120	dBm	dBm	YZ
Bandwidth	100MHz	100MHz	100MHz	Hz	Hz	YZ
Channel	500	2254243	2254243			
Parameter		Target		Unit		Axes
SSB_RNTI1	SCG	Test1				
SSB_RNTI2	SCG	-98.03		dBm	dBm	YZ
Propagation Condition	SSB_RNTI1	0.00		dBm	dBm	YZ
SSB_RNTI2	SCG	-98.03		dBm	dBm	YZ
Propagation Condition						
Verdict	Normal Reporting Delay (T1,T2)	Target	Lower Limit	Value	Upper Limit	Unit
Service Test	Physical layer cell selection (U1,U1)	Last than 1442ms	400	100	me	ms
	Physical layer cell selection (U1,U1)	Neighbor	2			
	Analyzed LTE Trace Log (U1,U1)					
	Analyzed NR Trace Log (U1,U1)					
	LTE Event Log (U1,U1)					
	NR Event Log (U1,U1)					
Service Test	Normal Reporting Delay (T1,T2)	Target	Lower Limit	Value	Upper Limit	Unit
	Physical layer cell selection (U1,U1)	Last than 1442ms	150	100	me	ms

図 10 TC 5.6.1.1 の test report(抜粋)

各試行試験時の Cell - UE 間のシグナリングログも添付されており、Measurement report 未受信、性能要件未達時の原因調査等を目的としたシグナリングログの詳細解析が可能である。シグナリングログの一例として、T1, T2 中のシグナリングログ、および UL information transfer MR-DC メッセージのデコード結果の一部を図 11 に示す。デコード結果のメッセージツリー内部に Measurement Report が存在しており、PCID=2 の隣接 NR Cell の測定結果が報告されていることが読み取れる。

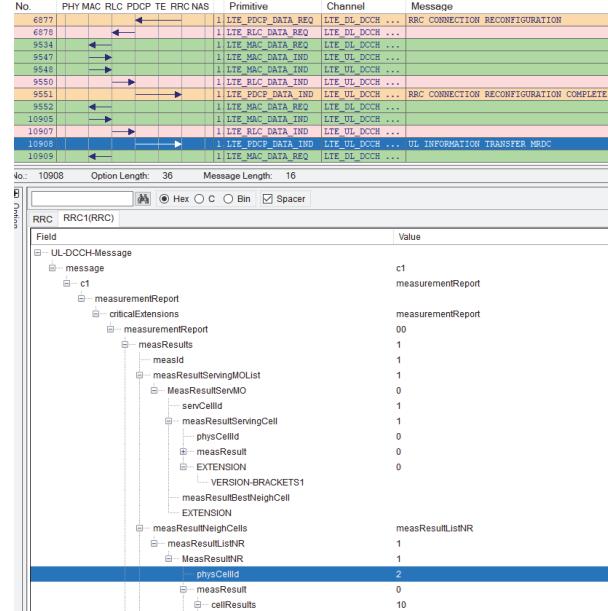


図 11 TC 5.6.1.1 測定時のシグナリングログ抜粋

## 5 むすび

本稿では、従来の FR2 端末性能試験（RF 試験、Demodulation 試験、RRM 試験）に加えて 2AoA 試験（RRM 試験）に対応できる OTA チャンバ MA8172B の特徴を述べた。またこれを含む RF コンフォーマンステストシステム ME7873NR について 2AoA RRM 試験のテストケースを 1 つ例に挙げて紹介した。

本開発により ME7873NR は 2AoA の性能評価を可能にし、FR2 端末のモビリティを担保するために必要な RRM 評価に貢献できる。

今後も複雑化を続ける端末試験への要求に対応した測定システムを継続的に提供することで、5G NR の発展に貢献をしていきたい。

## 参考文献

- 1) 馬場寛之, 山下治, 飯田弘明, 薛雅文, “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”, アンリツテクニカル 97 号, pp1- 15 (2022.03)
- 2) 3GPP TS 38.533 v17.3.1(2022-07), “NR User Equipment (UE) conformance specification Radio Resource Management (RRM)”
- 3) 3GPP TR 38.810 v16.6.1(2020-11), “NR Study on test methods”
- 4) 3GPP TS 38.521-2 v16.12.0(2022-07), “NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 2: Range 2 standalone”

---

## 執筆者



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



遠藤 秀之  
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2商品開発部



須永 孝一  
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



森田 智紀  
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2商品開発部



近藤 知明  
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

公知