

5G 基地局の EIRP 測定

フィールドマスタ プロ MS2090A

目次

1. はじめに.....	2
2. EIRP の概要.....	2
3. EIRP 測定	7
4. まとめ.....	12

1. はじめに

5G 基地局にアクティブアンテナシステムを導入すると、基地局の設置／保守時には、今までとは異なる新しい測定方法で送信電力を測定します。それは、送信電力や送信ビームを検証する EIRP（Effective Isotropic Radiated Power：有効等方輻射電力）測定です。

このアプリケーションノートでは、まず EIRP と EIRP 測定の概要について解説し、その後にアンリツのフィールドマスタ プロ MS2090A とクワッドリッジホーンアンテナを使って運用中の 5G 基地局の EIRP を OTA（Over-The-Air）で測定する方法を紹介します。測定は 3GPP の仕様に基づいて実施し、製品設計の検証や現場での設置／保守に最適です。

2. EIRP の概要

2.1. EIRP 測定の背景

これまでの無線システムは、携帯電話、PMR、放送、防衛など、いずれも比較的シンプルな送信機とアンテナを使用して来ました。送信機の電力を測定するには、アブソーブションパワーメータを使用するか、アンテナフィードのポートにパワーメータを直接接続して、簡単に測定して来ました。

5G ではデータ送信効率とデータ速度が飛躍的に向上するため、新しい技術を使用した送信機とアンテナシステムが必要です。これにより従来の測定方法で送信電力を測定することは事実上不可能となりました。また、従来の方法で送信電力を測定できた場合でも、その測定結果は無線ネットワーク性能とはほとんど関係ありません。

5G 基地局には、その送信方式に合った、新しい送信電力測定方法が必要です。この新測定法は、単なる送信電力の測定ではなく、エリア内のユーザ機器（UE）との接続がどの程度良好であるかを通信事業者に示す必要があります。

この 5G 基地局送信電力の新しい測定方法が EIRP 測定です。このアプリケーションノートでは、前半で EIRP の概要を解説し、後半でアンリツのフィールドマスタ プロ MS2090A を使用した EIRP 測定の実際の手順について説明します。

2.2. EIRP とは？

まず、EIRP を定義します。点信号源のアンテナから RF エネルギーを全方向（3D 空間）に均等に放射した場合、ある一定の距離で測定した電波強度は方向に関係なく同じです。これを、このアンテナは等方的に電波を放射していると言います（等方性アンテナ）。等方性アンテナは、ユニティゲイン（0dB 利得）です。

ちなみに、等方性放射の 2 次元の例は、水面に小石を落とすと波がすべての方向に均等に伝搬する現象です。

さて、等方性アンテナに代わって送信アンテナに指向性アンテナを使用します。このとき指向性アンテナへの入力電力を調整し、以前と同じ地点で同じ電波強度が測定された場合、その指向性アンテナの特定方向への放射電力は、ある入力電力の等方性アンテナと同等です。

例えば、周波数 1GHz の信号源から 100m 離れた地点では、経路損失は 72dB となります。1W（+30dBm）の電力が等方性アンテナに入力された場合、100m 離れた地点では、電波強度は -42dBm となります（図 1A）。

一方、ボアサイト方向に 6dBi の利得を持つ指向性アンテナを使用した場合、測定結果は -36dBm です（図 1B）。これは、指向性アンテナが等方性アンテナよりも +6dBi、6dB 利得が多いと言えます。

言い換えれば、この指向性アンテナは、等方性アンテナに +36dBm、つまり 4W の給電をした場合の実効放射電力を持っていると言えます。つまり、EIRP が 4W ということになります。（注：アンテナの利得を測定する場合、一般的には等方性アンテナに対する dBi または dBs で示します）。

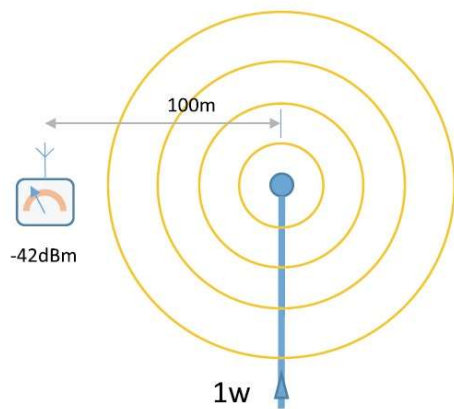


図 1A. 等方性アンテナは全ての方向に同じ電力を放射します

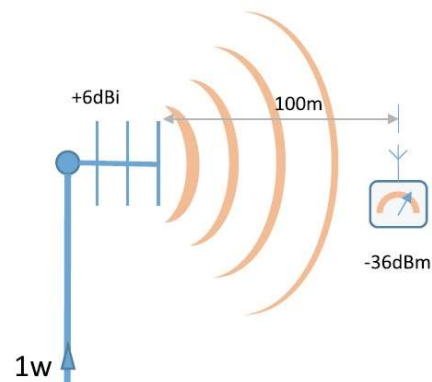


図 1B. 指向性アンテナは、特定方向に電力を放射します。等方性アンテナに比べて利得があります

2.3. 5G 以前と 5G の電力測定

指向性アンテナは以前から使用されてきましたが、具体的な指向特性はアンテナの構造や現場のアンテナ取付け時のボアサイトの方向で決定していました。セルラ用途では、基地局が対応するセクタ数に応じて、 $60^{\circ} \sim 120^{\circ}$ の範囲で電波放射するように設計されています。基地局からの送信電波がエリアカバレッジを最適化するために、現場で電氣的／機械的な調整を行うこともあります。送信する指向性アンテナの利得と入力電力により、通信事業者は現場での電波強度を予測し、モバイル通信のパフォーマンスを推定します。

これに対して、5G においてはデータ送信効率とデータ速度を飛躍的に向上するため、動的に設定変更が可能で、同時に複数の方向にビームを生成できる指向性アンテナを使用します。具体的には、複数の信号を送信するアレイアンテナ（マトリックス アンテナ）を使用します。アレイアンテナから離れた場所（ファースフィールド）では、アレイアンテナの各アンテナ素子の信号が位相を合わせたり外したりして、ビーム状のパターンを形成します（図 2）。このアレイアンテナがフェーズドアレイとも呼ばれているのは、連続する各アンテナ素子の信号位相差（フェーズ）によってビームの方向が決まるからです。

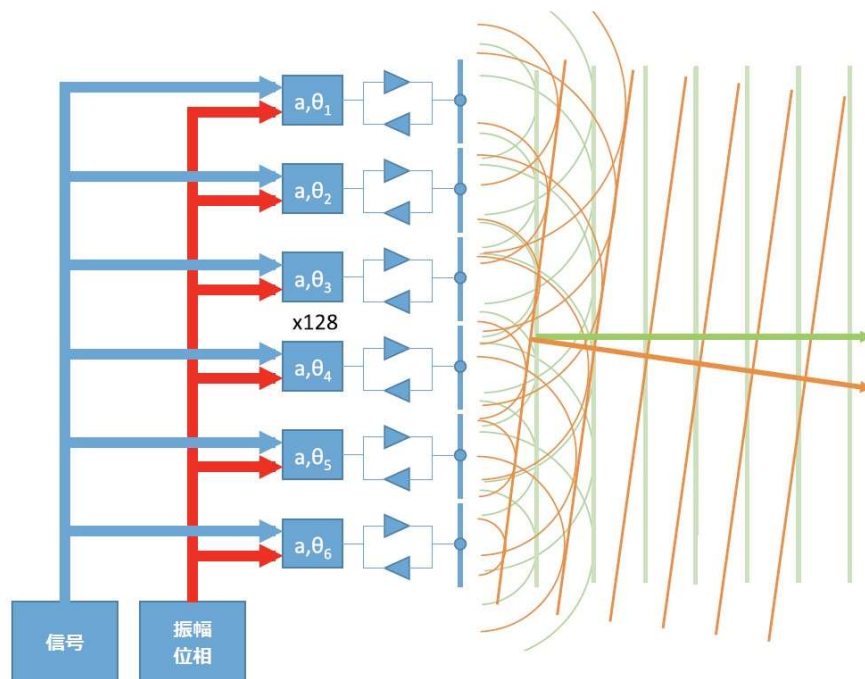


図 2. 電波（緑色）すべてのアンテナ素子が同相の場合

電波（オレンジ色）各アンテナ素子の位相を連続的に変化させた場合

5G のパフォーマンスを実現するために、アクティブアンテナの各アンテナ素子には個別のトランシーバーがあります。また、各アンテナ素子には、ダイバーシティを向上するために、交差-偏波放射機能もあります。5G アンテナでは、128 ~256 個のトランシーバーがアンテナ素子と一体化しています。そのため、従来方法でアンテナ入力電力を測定することは意味がなく、より適切な電力測定法が必要となります。

注：アジアの一部地域では、規制当局が従来方式の RF テストポートに接続する方法での測定要求もあります。しかし、テストポートが、アンテナアレイにどのように結合しているかは不明で、メーカーごとに異なる可能性があります。すべてのアンテナ素子がテストポートに接続され、接続状態が各アンテナ素子に同じ経路長を提供している場合にはボアサイトの電力を測定できます（図 3）。現実には、この方法はオフラインで経時的なドリフトを調べるための限定で、ボアサイトに向かってテスト信号を発信します。そのため、この方法は通信事業者にとっては実用的な測定方法ではありません。

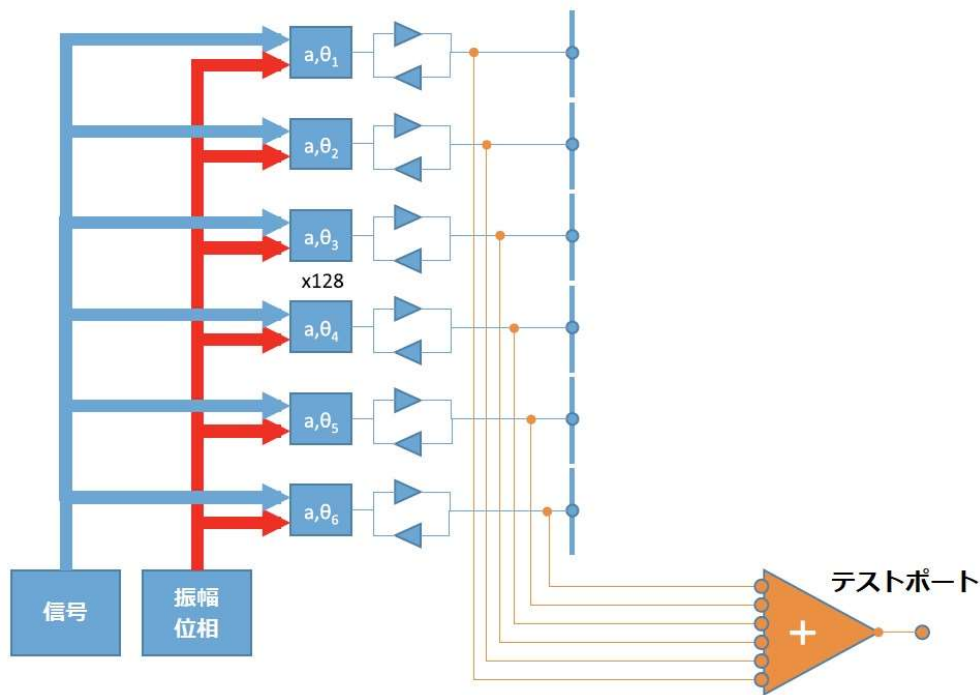


図 3. テストポートでは各アンテナ素子は、同じ経路長と減衰量を持つ場合にボアサイトの電力を測定できます。

2.4. OTA による EIRP 測定

アクティブアンテナは、ビームを動的に設定変更できるだけでなく、ビーム形状を変えて焦点を狭くしビームを目的方向に集中させて 1 人のユーザに向けたり、ビームを広げてより多くの人に向けたりできます。これにより、アンテナ利得が変化し、入力電力も変化します。そのため、現場での最も有効な送信電力測定方法は EIRP であると評価されています。EIRP は、セル内の任意の場所、経路損失を考慮した電波強度測定で、信頼できる指標です。

現場での EIRP 測定では、測定器の受信性能が重要です。Sub 6GHz の 5G 送信機でも最大 100MHz の帯域幅を使用することがあります。そのため、測定器の受信性能は、測定帯域外の隣接チャネルの影響を除いて、測定チャネルの帯域幅でフラットな利得特性が求められます（測定器の受信利得がフラットでないと、電波強度の誤差に直結します）。基地局から適度な距離離れた地点では、電波強度は非常に小さくなります。周波数 1GHz、基地局から 100m の離れた地点の場合、経路損失は 72dB です。このため、電波強度測定では、測定器は高い受信感度も必要です。

運用中の基地局での測定では、測定方向に放射されているビームを抽出し、EIRP を測定します。つまり、ブロードキャストシグナリングをデコードし、その情報を使って測定タイミングを制御します。

EIRP 測定では、最終的に様々な損失要因を取り除きます。経路損失は重要な要因で、測定アンテナと基地局の間の距離を計測する必要があります。この距離は、GPS、レーザー／光学式距離計、精密地図などを用いて計測します。その他の損失要因としては、測定アンテナの利得や、接続ケーブルの挿入損失などがあります。

2.5. スペクトラムアナライザを使った EIRP 測定

アンリツの MS2090A ハンドヘルド スペクトラムアナライザは、5G 基地局の EIRP 測定が可能です。

MS2090A は 100MHz 以上の帯域を正確に測定するための十分な測定帯域幅と、アクティブな基地局からの EIRP を測定するための十分な感度と低ノイズフロアを備えています。また、プライマリおよびセカンダリの同期信号にロックオンする機能も備えています。これらの機能を利用して、5G 基地局が各セクタでステップ掃引する最大 8 本（FR1）のブロードキャストビームの EIRP を測定可能です。この測定結果を基地局の設置／保守にフィードバックすることにより、エリア内の各携帯端末は、5G 基地局と良好な状態で同期できるようになります。（図 4）。

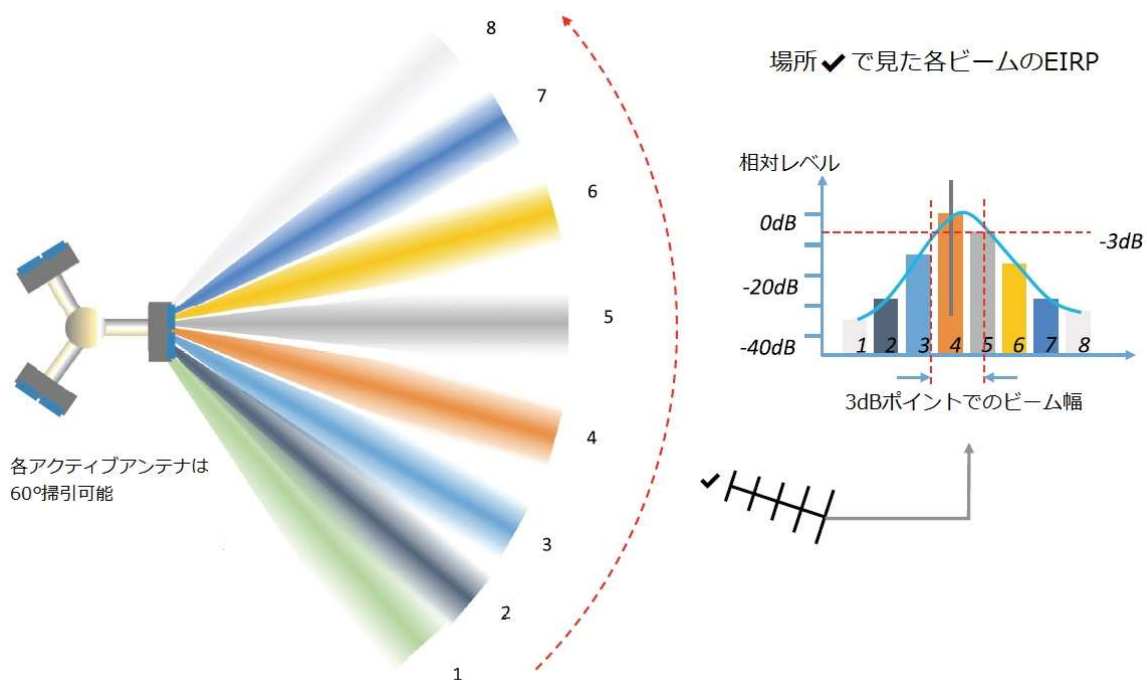


図 4. アンテナフィールドをステップ掃引するプライマリ同期信号（PSS）

また、故障時や試運転時では、基地局はテストモードで既知のテストモデル信号を規定の方向と強度で送信します。この測定試験で、放射パターンを決定し複雑な環境下での電波強度を決めます。またこの方法は、コンフォーマンステストの手法をフィールドで活用可能にします。

現場で EIRP を測定するために、スペクトラムアナライザ（MS2090A）に以下のパラメータを入力します（チャンネル周波数に合わせて）。

1. MS2090A に入射する電力
2. チャンネル周波数と帯域幅
3. 測定アンテナのゲイン（dBi）
4. 測定アンテナと MS2090A 間のケーブル損失
5. 基地局アンテナからの距離（GPS またはレーザー距離計の計測値を利用）

EIRP 以外にも、モバイル通信のパフォーマンスやエリアカバレッジを評価する指標があります（これらの指標は送信する信号品質と UE の受信品質にも関連します）。MS2090A は、EIRP に加えてこれらの指標も測定、表示します。

1. RSRP、SINR：チャンネル帯域幅内の送信信号と、不要な信号やノイズとの比率を示します。
2. RSRQ：受信信号の品質を示します。検出されたエラーレートから計算します。
3. EVM：別の信号品質測定法です。理想的な波形に対して送信時の変調の正確さを見ます。

2.6. EIRP - 今後

5G によるビームフォーミング方式の登場により、現場での測定でエリアカバレッジを最適化する通信事業者にとっては、従来の測定方法（基地局の総放射電力を測定）は実用的ではなく、ほとんど役に立たません。

MS2090A のような新しいタイプの現場測定器は、多素子アクティブアンテナからビームが形成されるファーフィールドの EIRP を実用的かつ簡便に測定できます。様々な方向の EIRP を測定することで、通信事業者はビーム形状、ヌル位置／角度、基地局付近の電波強度の安全性を確かめることができます。またこれにより、他の通信サービスへの干渉を最小限に抑えることもできます。EIRP 測定は、どのような送信機でも使用でき、今後のモバイルネットワークの最適化に必須です。

3. EIRP 測定

3.1. 実用的な EIRP 測定方法

5G 基地局はダイバーシティを改善し、フェージングを減らすために 2 つの偏波アンテナアレイを採用しています。通常、この 2 つのアンテナアレイは $\pm 45^\circ$ の角度で設置し、以下の場合に使用します。

SSB ビームの場合、UE の位置は不明なため、両方のアンテナアレイが同じ電力レベル、同じ情報を送信可能です。UE アンテナの偏波が不明であるため、ランダムな場所／方向での受信が最適化します。

トラフィックビームでは、2 つのアンテナアレイを MIMO 方式で使用して、UE への複数のパスを実現します。これにより受信品質や、データスループットの最大化を実現します。

基地局が 2 つのアンテナアレイの信号を変化させる理由は他にもあります。例えば、基地局間の干渉を低減させたり、近くの建物からの反射信号の影響を最小化します。

したがって、正確なビームパワーを測定するためには、直交する 2 つの偏波のパワーを測定し、それらを合計して EIRP を算出します。3GPP の基地局試験仕様書 TS38.141 では、直交する 2 つの偏波を同時に、或いは別々に測定すると述べています。後者の方法を採用することで、測定手順が簡素化し、測定器コストが削減され、校正が必要な要素も減少します。

3.2. MS2090A によるビームパワーの測定

MS2090A は、3GPP 仕様 TS38.141 に準拠した EIRP 測定に必要な機能を搭載しており、シングルビームのパワー測定を実施できます。測定はどのような偏波対応アンテナでも実施できますが、2 つのエレメントがボアサイト軸に沿って直角に配置されたデュアルアンテナを推奨します。デュアルアンテナを使用することにより、シングルアンテナを 90° 回転させて測定する必要がなくなります。具体的には、クワッドリッジホーンアンテナが適しています。ホーンアンテナは、利得、指向性、前後方向のアイソレーションに優れています。また、クワッドリッジホーンアンテナは、広い帯域幅にわたって 2 つの直交する出力を備えています（図 5、図 6）。（注：シングル偏波対応アンテナを使用する場合は、測定ごとにアンテナを正確に 90° 回転する必要があります）。

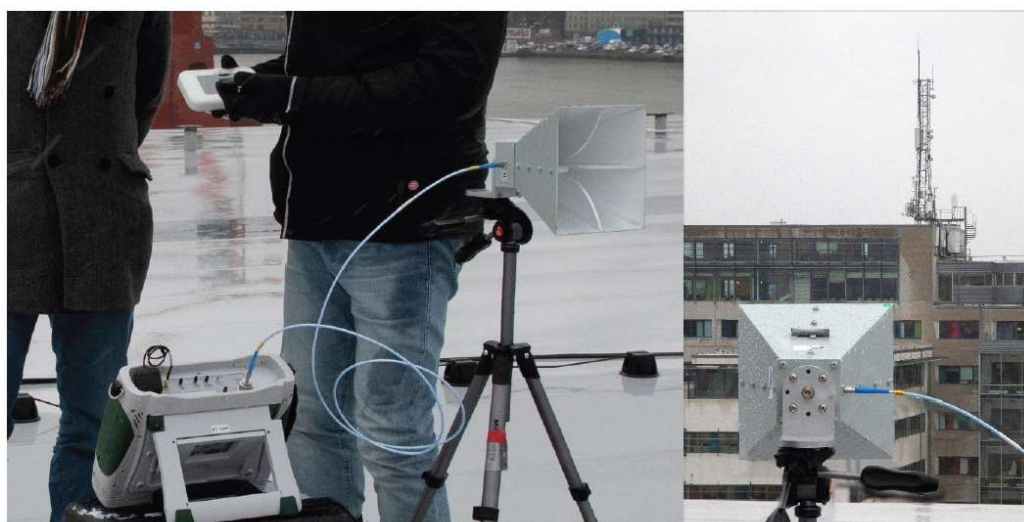


図 5. 使用中のクワッドリッジホーンアンテナ。

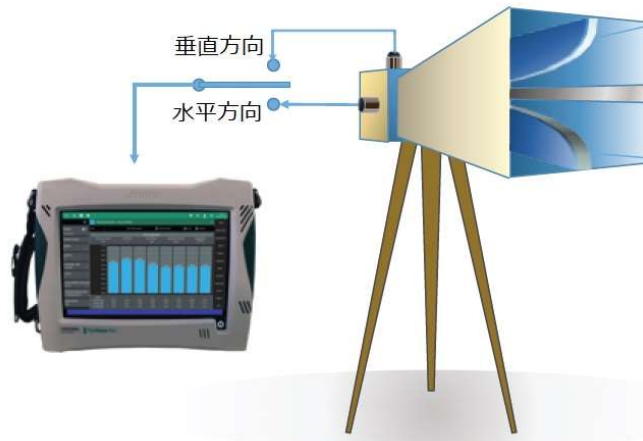


図 6. RF スイッチを装備したデュアルアンテナの接続設定

3.3. 5G 基地局の EIRP を測定する具体的な手順 (MS2090A)

1. 現場に測定に行く前に事前準備として、使用する RF ケーブルを測定周波数／帯域の挿入損失に対して校正します。RF スイッチも損失校正プロセスに含めることを推奨します。理想的には、ベクトルネットワークアナライザを使用して校正を実施します。ベクトルネットワークアナライザが利用できない場合、他の方法もありますが、終端のインピーダンスマッチを考慮していない場合、測定精度に影響がでます。
2. ホーンアンテナとスイッチを接続するケーブルの種類と長さを同じにします。このとき、ケーブルの損失が水平方向と垂直方向で同じであることが重要です。ケーブルの挿入損失を予め MS2090A に設定して、測定時に備えます。
3. 測定アンテナは、メーカーが提供する周波数に対する校正済みゲインを持っている必要があります。また、校正済みゲインを予め MS2090A に設定して、測定時に備えます。
4. 測定を行う安全な場所を決定します。
 - a. 基地局のアンテナがはっきり見える場所
 - b. 基地局自身および他の共同設置送信機の危険作業領域から離れている場所
 - c. 送信機試験の作業指示書に従う
5. 測定アンテナを三脚の上に立てて、基地局のアンテナに直接向けます。これには、方位と傾きの両方を含みます。(正しい位置に合わせ、EIRP 測定を実施します。手順 15 を参照してください。測定アンテナを移動してピーク値を取得します。)
6. 測定アンテナを、RF スイッチを介して MS2090A に接続します。その際、校正済みケーブルを使います。頻繁な脱着は避けることを推奨しますが、接続したまま移動する場合は、コネクタを機械的な歪みや衝撃から保護します。(校正後はケーブル配線を乱さず、コネクタを正しいトルクで締め付けることで、より安定した結果が得られます)。
7. 次に、基地局アンテナから測定用アンテナまでの距離を計測します。レーザー距離計の使用が最もシンプルで正確な方法です。市販されているレーザー距離計は、比較定安価なもので±1m または 1 ヤード位の精度です。基地局アンテナまでの距離を MS2090A に設定します。
8. MS2090A のメニューを起動し「5GNR ANALYER」を選択します (図 7)。
9. 次に「MEASURE」メニューの、「EIRP」ソフトキーを押します。

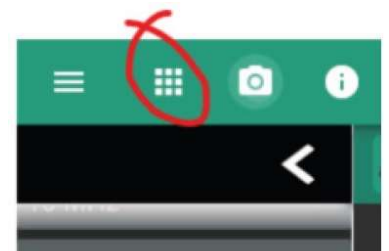


図 7. MS2090A の機能選択アイコン

10. **[Quick View]**表示では、セットアップの簡単な図と、EIRP 測定に必要なパラメータを見やすく表示します。

11. ケーブル損失、基地局アンテナまでの距離、測定アンテナの利得などがすべて正しく設定されていることを画面で確認します (図 13)。

12. 測定対象信号のバンド (搬送波周波数)、チャンネル帯域幅、サブキャリア間隔、および SSB オフセットを、適切な値に設定します。

13. 基地局が 5G NR の信号を送信している場合、MS2090A は数秒以内に同期し、EIRP 画面で SYNC インジケータが緑色に表示されます。(図 8)

14. 同期が取れない場合は、「**AUTO DETECT SSB**」機能を使用して、正しい SSB オフセットを設定します。

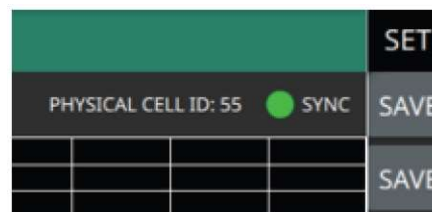


図 8. SYNC インジケータ

15. TDD 5G NR の EIRP 測定では、ゲート掃引を使用し、gNB が信号を送信しているときのみ、測定を実施します。

MS2090A の「**SWEEP**」メニューの「**GATED SWEEP**」ソフトキーを押します。次に、「**PWR VS TIME**」を有効にします。

すると、MS2090A 画面には、5G TDD のフルフレームが表示されます。フレーム内の一定の信号 (SSB ビームなど) にゲートを設定します (図 9)。MS2090A が GPS に同期している場合、SSB 信号はフレームの開始点付近にありますが、GPS に同期していない場合は、SSB 信号を手動で確定する必要があります。SSB 信号のゲートは 120 μ s 付近です。SSB 信号にゲートを設定したら、「**PWR VS TIME**」を無効にし、「**GATED SWEEP**」を有効にします。

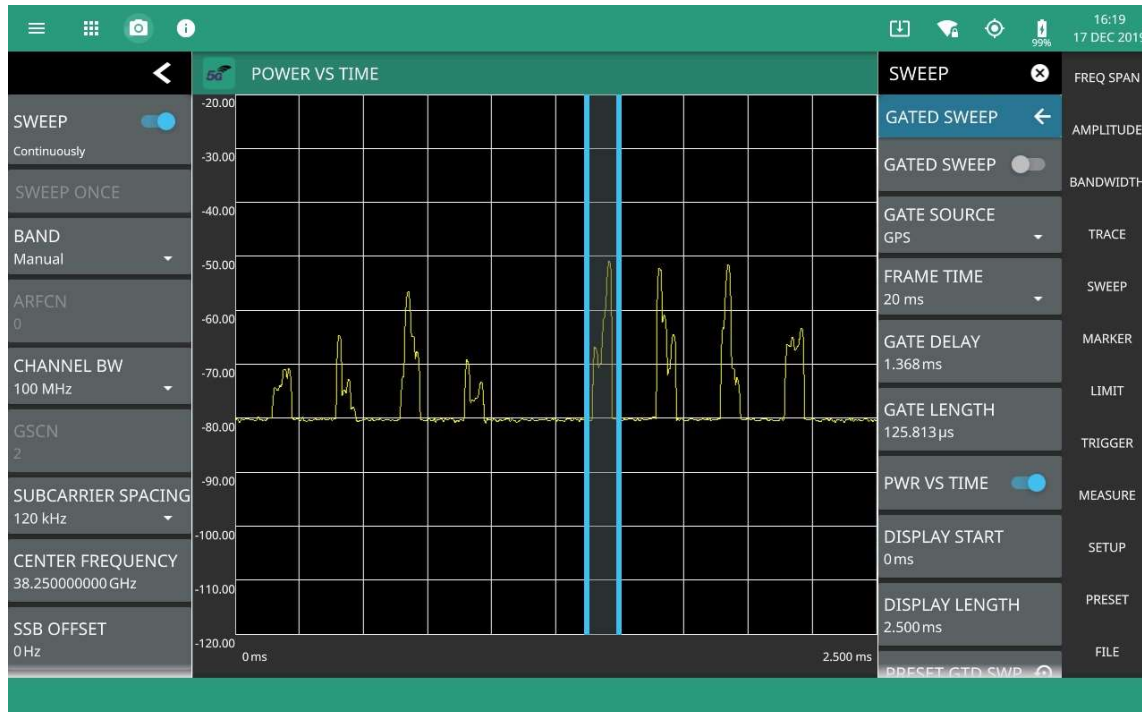


図 9. POWRE VS TIME 画面

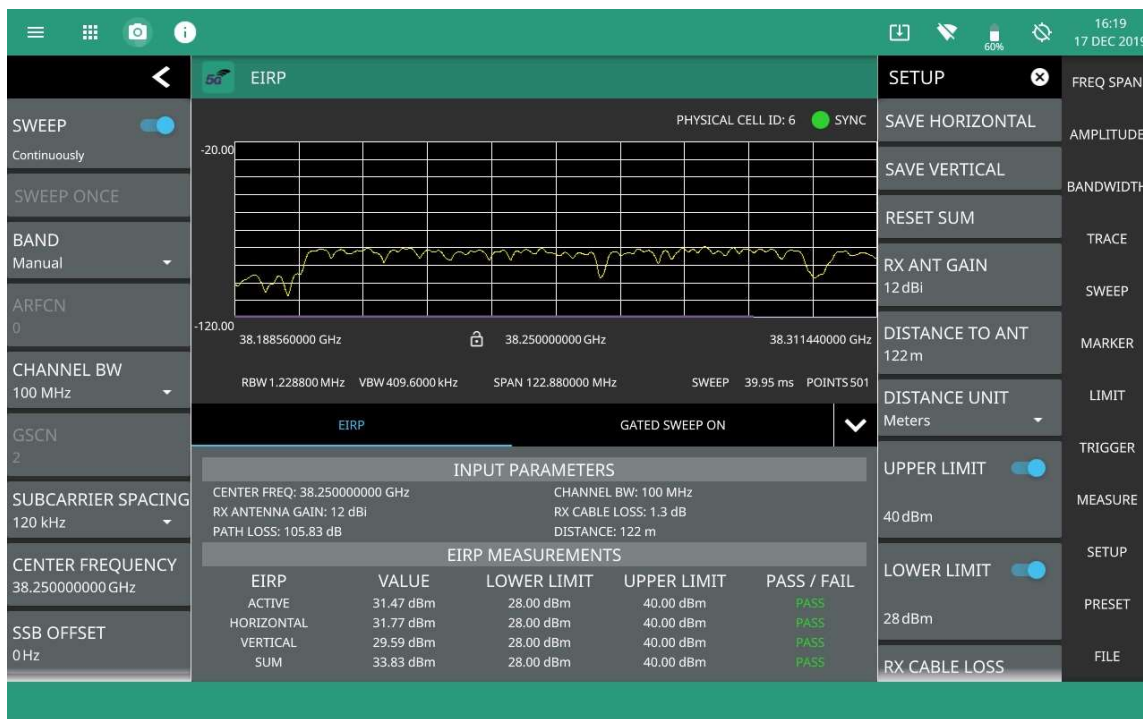


図 10. EIRP 画面

16. 信号と同期すると、MS2090A は現在のアクティブ信号の EIRP を表示します（図 10、11）。

INPUT PARAMETERS			
CENTER FREQ: 3.449820000 GHz		CHANNEL BW: 100 MHz	
RX ANTENNA GAIN: 0 dBi		RX CABLE LOSS: 0 dB	
PATH LOSS: 83.20 dB		DISTANCE: 100 m	
EIRP MEASUREMENTS			
EIRP	VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIM
ACTIVE	-2.24 dBm	OFF	OFF
HORIZONTAL	--	OFF	OFF
VERTICAL	--	OFF	OFF
SUM	--	OFF	OFF

図 11. EIRP 測定値

17. ホーンアンテナスイッチのモードに応じて、「**SAVE HORIZONTAL**」または「**SAVE VERTICAL**」ソフトキーを押します。その後、スイッチを切り替え、データが更新するのを待って、まだデータを取り込んでいないもう一方の方向ソフトキーを押します。

18. 「RESET SUM」ソフトキーを押して、測定結果を表示します。



図 12. RESET SUM ソフトキー

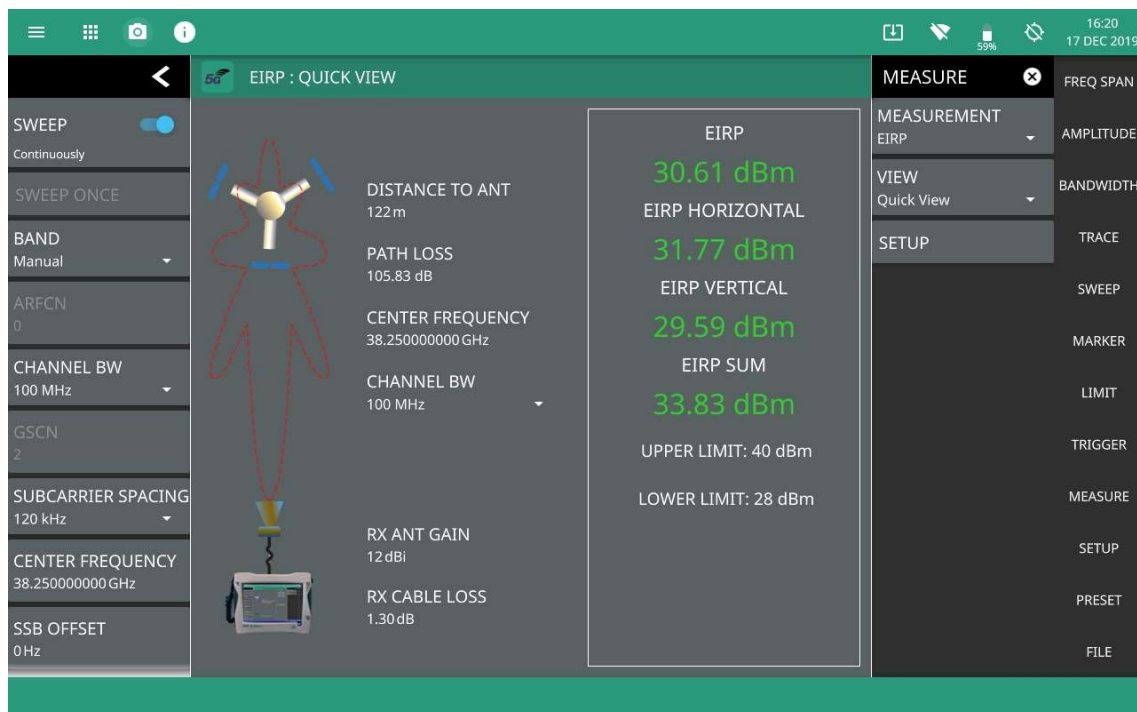


図 13. 5G 基地局の EIRP QUICK VIEW 画面の例

3.4. その他の注意点

同期が取れない場合



- MS2090A のスペクトラムアナライザ機能を使用して、チャンネル／バンド番号の信号（搬送波周波数）があることを確認します。断続的な信号はピークホールドなどを使って確認します。（MS2090A は、観測した信号のみデコードします。）
- 5G NR の基地局では、同期ブロック（SSB）が特定のサブキャリアに配置されます。この SSB は、バンド／チャンネル内のラストで定義されます。SSB オフセットが不明の場合、MS2090A はこのラストをスキャンして SSB を探し、見つかった場合にのみ同期します。SSB サーチ機能を起動すると、チャンネル内で SSB を探します。この検索には時間がかかる場合もありますが、非標準シナリオでは便利です。

ERIP 測定値が高い、または低い場合

- EIRP の測定値が予想以上に高い場合は、別の信号が測定に干渉している可能性があります。よくある原因としては、測定アンテナに近い、或いは測定軸に沿った、送信機または UE の影響が挙げられます。このような場合には、スペクトラムアナライザのスペクトログラムで波形観察すると干渉波が存在しています。また、信号がバンド番号に存在していること、フレームの繰り返し速度が 1ms であることを確認します。
- EIRP の測定値が予想よりも低い場合は、以下を確認します。
 - ✓ 測定アンテナの方位と傾きが正しく調整されているか？
 - ✓ 「PWR VS TIME」の「SWEEP」メニューで SSB 信号にゲートを設定しているか？
 - ✓ 隣り合う SSB ビームの間の場所で測定していませんか？
基地局を中心にどちらかの方向に数度移動すると、測定パワーの変化が見られることがあります。リアルタイムに場所移動して測定結果を確認します。移動した場合は、基地局までの距離を再設定します。
 - ✓ RF ケーブル配線のすべてのコネクタが損傷或いは、接合が緩くなっていないかを確認します。
 - ✓ 水平方向と垂直方向の測定値が大きく異なる場合は、測定用アンテナを 90°回転して、相互の極性で測定値が再現するかを確認します。再現しない場合は、ケーブル配線、スイッチ、測定アンテナを確認します。
- 基地局と測定アンテナ間の伝搬経路の変化は、特にミリ波や FR2 信号の場合、測定値に大きく影響することがあります。以下の条件を確認します。
 - ✓ 樹木、架空ケーブル、街灯、高層ビルなどの障害物が伝搬経路に沿ってありませんか？
 - ✓ 強い反射を引き起こす可能性のある物体や建物（ビルや車両、水、高い塀など）はありませんか？
 - ✓ 雨や霧はミリ波信号を減衰します。重要な測定は、晴天時に実施することを推奨します。
 - ✓ 測定軸に沿った他の送信機がありませんか？測定対象の基地局以外の基地局も含みます。
- 法律上、基地局は人が定期的に高い電磁場（EMF）にさらされる可能性がある場合、特定の方向に送信する総電力を制限する必要があります。例えば、基地局の近くにオフィスビルがある場合、通信事業者は、オフィスビルに向けられた基地局のビームエネルギーを監視し、総電力を安全しきい値以下に抑える必要があります。この安全しきい値は、放送信号を含む他のすべての電波を考慮します。したがって、基地局はフルパワーで送信することが期待されていても、この規制によって送信電力が制限される可能性があります。

4. まとめ

5G によるアクティブアンテナシステム、ビームフォーミングの登場により、従来の測定方法（基地局の送信電力測定）は実用的ではありません。今後普及する 5G のエリアカバレッジを最適化するには、現場での EIRP 測定は重要です。MS2090A は、3GPP 仕様 TS38.141 に準拠した EIRP 測定に必要な機能を搭載しており、EIRP 測定が可能な測定帯域幅、感度、低ノイズフロアを備えています。また、プライマリおよびセカンダリの同期信号にロックオンする機能も備えています。これらの機能を利用して、5G 基地局が各セクタでステップ掃引する最大 8 本（FR1）のブロードキャストビームの EIRP を測定可能です。

関連する Web は下記です

エリアには無数の電波—ローカル 5G のネットワークで直面する課題とは？

<https://pages.anritsu-jpresponse.com/local5g-lp1.html>

フィールドマスタ プロ MS2090A 製品ページ

<https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/ms2090a>





お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。
記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

アンリツ株式会社

<https://www.anritsu.com>

本社 〒243-8555 神奈川県厚木市恩名5-1-1 TEL 046-223-1111

厚木 〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5

通信計測営業本部 TEL 046-296-1244 FAX 046-296-1239

通信計測営業本部 営業推進部 TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248

仙台 〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 S S 3 0

通信計測営業本部 TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529

名古屋 〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19 住友生命名古屋ビル

通信計測営業本部 TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485

大阪 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル

通信計測営業本部 TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118

福岡 〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクエア

通信計測営業本部 TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699

■カタログのご請求、価格・納期のお問い合わせは、下記または営業担当までお問い合わせください。

通信計測営業本部 営業推進部

TEL: 0120-133-099 (046-296-1208) FAX: 046-296-1248

受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)

E-mail: SJPost@zy.anritsu.co.jp

■計測器の使用法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)

受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)

E-mail: MDVPOST@anritsu.com

■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。
また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

ご使用前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

2104