

## User's Guide

## CCxxxx デバイスの RF テストの基礎



Abhishek Chattopadhyay, Dana Perez, and Andrew Lugo

## 概要

本書では、テキサス インスツルメンツのローパワー RF 製品を使用して、デバイス検証プロセスで実行されるさまざまな特性評価テストの概要を説明します。本書では、テスト システムの基本的なセットアップと、各テストの手順について説明します。

本書全体を通して、CCxxxx という用語は低消費電力の CC11xx、CC12xx、CC13xx、CC23xx、CC24xx、CC25xx、CC26xx、および CC27xx RF デバイス ファミリを指します。

## 目次

1 はじめに.....	4
1.1 略称.....	4
2 規格とシステム要件.....	5
2.1 規格.....	5
2.2 テスト装置サプライヤ.....	5
2.3 無線認証の URL.....	5
3 テスト装置要件.....	6
3.1 システムのセットアップ.....	6
3.2 テストの初期検討事項.....	7
3.3 テストに関する注意事項.....	7
4 ソフトウェアの設定.....	9
4.1 SmartRF Studio 7.....	9
4.2 SmartRF Studio 8.....	12
5 DUT およびテスト装置情報.....	15
5.1 DUT.....	15
5.2 テスト装置.....	15
6 クロック周波数のチューニング.....	16
6.1 内部コンデンサ アレイを使用した HF クロック チューニング.....	16
6.2 LF クロック チューニング.....	17
7 送信テスト.....	19
7.1 送信電力.....	19
7.2 電力スペクトル密度マスク.....	21
7.3 誤差ベクトルの振幅.....	23
7.4 送信中心周波数オフセット.....	26
7.5 スプリアス放射.....	27
8 受信テスト.....	31
8.1 レシーバ感度.....	31
8.2 干渉テスト.....	33
8.3 RF ジェネレータを使用した干渉テスト.....	36
付録 A オフセット EVM と EVM の比較.....	40
B 参考資料.....	41
B 改訂履歴.....	41

## 図の一覧

図 4-1. SmartRF Studio 7 のデバイス画面.....	9
図 4-2. SmartRF Studio 7 デバイス モード.....	10

図 4-3. SmartRF Studio 7 無線コントロール パネル - 動作モード.....	11
図 4-4. SmartRF Studio 7 無線コントロール パネル - 無線およびデバイス設定.....	11
図 4-5. SmartRF Studio 7 向けヘルプ ガイド.....	12
図 4-6. SmartRF Studio 8 のスタートアップ ウィンドウ.....	13
図 4-7. SmartRF Studio 8 の無線制御ウィンドウ.....	14
図 4-8. SmartRF Studio 8 向けヘルプ ガイド.....	14
図 6-1. 高周波クロック チューニングの設定図.....	16
図 6-2. 高周波クロック チューニング ベンチの設定.....	16
図 6-3. 低周波クロック チューニング ベンチの設定.....	17
図 7-1. 送信電力テスト設定図.....	19
図 7-2. 送信電力テストのベンチ設定.....	19
図 7-3. 送信電力テストからのスペクトル アナライザ出力.....	20
図 7-4. 電力スペクトル密度マスクの要件.....	21
図 7-5. 電力スペクトル密度マスクのテスト設定図.....	21
図 7-6. 電力スペクトル密度マスク テストのベンチ設定.....	22
図 7-7. 電力スペクトル密度マスク テストのスペクトル アナライザ出力.....	22
図 7-8. 誤差ベクトルの振幅.....	23
図 7-9. EVM および関連する数量.....	23
図 7-10. 誤差ベクトル振幅テスト設定図.....	24
図 7-11. SMA コネクタを使用した誤差ベクトル振幅テストのベンチ設定.....	24
図 7-12. アンテナを使用した誤差ベクトル振幅テストのベンチ設定.....	25
図 7-13. 送信中心周波数オフセット テスト設定図.....	26
図 7-14. SMA コネクタを使用した送信中心周波数オフセット テストのベンチ設定.....	26
図 7-15. アンテナを使用した送信中心周波数オフセット テストのベンチ設定.....	26
図 7-16. 送信中心周波数オフセット テストのスペクトル アナライザ出力.....	27
図 7-17. スプリアス放射テスト設定図.....	28
図 7-18. スプリアス放射テスト ベンチの設定.....	28
図 7-19. スプリアス放射テストからのスペクトル アナライザ出力.....	29
図 8-1. レシーバ感度のテスト設定の図.....	31
図 8-2. レシーバ感度テスト ベンチの設定 - 前面.....	32
図 8-3. レシーバ感度テスト ベンチの設定 - シールド ボックス.....	32
図 8-4. レシーバ感度テスト ベンチの設定 - 上面.....	33
図 8-5. 干渉テスト設定図.....	34
図 8-6. 干渉テスト ベンチの設定 - 概要.....	34
図 8-7. 干渉テスト ベンチの設定 - シールド ボックス.....	35
図 8-8. 干渉テスト ベンチの設定 - TX および干渉接続.....	35
図 8-9. RF ジェネレータによる干渉テストの設定図.....	37
図 8-10. RF ジェネレータによる干渉テストのベンチ設定 - 概要.....	37
図 8-11. RF ジェネレータによる干渉テストのベンチ設定 - シールド ボックス.....	38
図 8-12. RF ジェネレータによる干渉テストのベンチ設定 - TX 接続に。.....	38

## 表の一覧

表 1-1. 用語と略語.....	4
表 5-1. DUT の情報.....	15
表 5-2. テスト装置の情報.....	15
表 6-1. クロック周波数のチューニング.....	16
表 6-2. HF 発振器の結果.....	17
表 6-3. LF 発振器の結果.....	18
表 7-1. 送信テストの概要.....	19
表 7-2. 送信電力の結果.....	21
表 7-3. IEEE 802.15.4 規格の要件 (例).....	21
表 7-4. 電力スペクトル密度マスクの結果.....	23
表 7-5. 誤差ベクトル振幅テスト結果.....	25
表 7-6. 送信中心周波数オフセットのテスト結果.....	27
表 7-7. スプリアス放射テスト結果.....	30
表 8-1. 受信テストの概要.....	31
表 8-2. レシーバ感度テスト結果.....	33
表 8-3. 隣接チャネルのテスト結果.....	36

表 8-4. 代替チャネルのテスト結果.....	36
表 8-5. 隣接チャネルのテスト結果.....	39
表 8-6. 代替チャネルのテスト結果.....	39

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 はじめに

本書では、テキサス インスツルメンツのローパワー RF 製品を使用して、デバイス検証プロセスで実行されるさまざまな特性評価テストの概要を説明します。この説明文書により、ユーザーはシステムと機能をよりよく理解でき、また、さまざまな条件およびパラメータでのデバイス テストに関する一般的な情報も入手できます。本書では、テスト システムの基本的なセットアップと、各テストの手順について説明します。

テキサス インスツルメンツのローパワー RF 製品を使用すると、リモート コントロール、メータリング、センシングの各アプリケーションに適したワイヤレス リンクを容易に構築できるようになります。ほとんどの場合、製品はライセンス不要、またはライセンスフリーのワイヤレス製品内で使用されます。ライセンス不要とは、これらの製品のユーザーが電気通信規制当局からの個別のライセンスを必要としないことを意味します。ライセンス不要とは、規制されていないことを意味するものではありません。ワイヤレス製品は通常、厳格な規制を満たし、適切な規制当局によって認証されている必要があります。FCC、ETSI、ARIB などのさまざまな国際規制当局が、無線受信機と送信機の使用を規制しています。これらの機関は、アプリケーション レポートに記載されている各テストで、すべてのデバイスが満たす必要のある仕様を管理しています。それぞれの規格の資料を参照してください ([セクション 2.1](#) を参照)。

### 1.1 略称

[表 1-1](#) には、本書で使用されている多くの用語と略語が一覧で掲載されています。

**表 1-1. 用語と略語**

略称	定義/意味
ARIB	電波産業会
dBm	1mW を基準とする測定電力 dBm に対するデシベル (dB) 単位の電力比
DUT	テスト対象デバイス
ETSI	ヨーロッパ電気通信標準化協会
EVM	誤差ベクトルの振幅
FCC	連邦通信委員会
FSQ	フル スペクトル量子化
GUI	グラフィカル ユーザー インターフェイス
HF	高周波
IEEE	電気電子技術者協会
INT	干渉ソース、干渉信号
ISM	産業、科学、医療
LF	低周波
MSK	最小シフト キーイング
PER	パケット エラー レート
PSD	電力スペクトル密度
RBW	解像度の帯域幅
RSSI	受信信号強度インジケータ
RX	受信、レシーバ
SMA	超小型版 A コネクタ
SoC	システム オン チップ
SPI	システムの並列干渉
TX	送信、転送、トランスミッタ
VBW	ビデオ帯域幅

## 2 規格とシステム要件

### 2.1 規格

このドキュメントで説明するテストの参照には、次の規格があります。すべての電子リンクは、ドキュメント発行時点のものです。

- Bluetooth Low Energy の [RF PHY](#) 規格
- Zigbee [RF4CE](#) 規格
- FCC [セクション 47 CFR15 - Part 15](#) 規格
- ETSI [EN 300 220-Part 1、Part 2、Part 3-1、Part 3-2](#)、および [Part 4](#) 規格
- ETSI [EN 300 328](#) 規格
- ETSI [EN 300 440](#) 規格
- IEEE [802.15.4](#) 規格
- ARIB [T-66](#) 規格
- ANSI [C63.10](#) 規格

### 2.2 テスト装置サプライヤ

このドキュメントで説明されている各種の手順を実行するために使用されるテスト装置は、次のサプライヤから調達できます。一部の機器は代理店を介して入手する必要があります。すべての電子リンクは、ドキュメント発行時点のものです。

- [Rohde and Schwarz](#)
- [Keysight](#)
- [Anritsu](#)
- [Tektronix](#)
- [National Instruments](#)

### 2.3 無線認証の URL

CC26xx: <https://www.ti.com/tool/CC26XX-CERTIFICATION>

CC23xx: <https://www.ti.com/tool/download/CC23XX-REPORTS/7.20.00.00> (上記の CC26xx のようなホット サイトはありません)。

### 3 テスト装置要件

特性評価テストシステムには、いくつかの汎用コンポーネントと、追加の特殊エンジニアリング カスタマイズがあります。一般的なテストシステムは、以下のコンポーネントとサブシステムで構成されています。

- **信号アナライザ (スペクトル アナライザ):** このツールは、あらゆる種類の RF 回路の周波数応答、ノイズ、歪みの特性を測定するために広く使用されています。このデバイスは、さまざまな条件下で入力スペクトルと出力スペクトルを比較します。一般的なテストシステムでは通常、必要な信号アナライザは 1 つだけです。
- **信号ジェネレータ:** このデバイスは、(アナログまたはデジタル領域で) 繰り返しまたは非繰り返しの電子信号を生成します。標準的なシステムでは、少なくとも 2 つの信号ジェネレータを搭載する必要があります。1 つは主信号を生成するためのもので、もう 1 つは干渉信号を生成するためのものです。一部のラボ設定では、TI の CC デバイスを信号源として使用できます。ただし、電力分解能は、信号ジェネレータによって生成される電力分解能よりも劣る場合があります。
- **温度チャンバー:** 一連のテスト デバイスに対する指定温度条件の影響をテストするために使用される筐体です。ほとんどのテストシステムでは、温度チャンバー一つで十分です。
- **コネクタケーブルスプリッタ:** これらのコンポーネントは、テストシステムとテスト対象デバイス (DUT) との間の同軸ケーブルを使用して、さまざまな信号を接続します。
- **SmartRF™ Studio:** SmartRF Studio (参考資料 5 を参照) は、テキサス インストルメンツのローパワー RF IC の評価や設定に使用できる Windows ベースのアプリケーションです。RF システムの設計者は、このツールを使用すると、設計プロセスの初期段階で、該当するデバイスを迅速かつ簡単に評価できます。コンフィギュレーション レジスタ値の生成、RF システムの実用テスト、外部コンポーネントの最適値の特定に役立ちます。SmartRF Studio はスタンドアロンアプリケーションとしての使用、またはすべての Simplelink LaunchPad 評価ボードとの組み合わせでの使用が可能です。
- **ネットワーク アナライザ (ベクトル ネットワーク アナライザ):** このツールは、電気ネットワークのネットワーク パラメータを測定する機器です。現代のネットワーク アナライザは通常、S パラメータを測定します。これは、電気ネットワークの反射と伝送は高周波で簡単に測定できるためです。しかし、y パラメータ、z パラメータ、h パラメータなどの他のネットワーク パラメータ セットもあります。ネットワーク アナライザは、アンプやフィルタなどの 2 ポート ネットワークの特性評価によく使用されます。また、任意の数のポートを持つネットワークでも使用できます。ネットワーク アナライザが 1 つあると便利です。
- **オシロスコープ:** この電子試験装置を使用すると、常に変化する信号電圧を、通常は時間の関数 (水平軸または x 軸) としてプロットされた、垂直軸または Y 軸を持つ 1 つ以上の電位差の二次元グラフとして観察できます。オシロスコープは垂直軸に電圧を表示しますが、電圧に変換できる他の量も表示できます。ほとんどの場合、オシロスコープは変化なく繰り返されるイベント、またはゆっくりと変化するイベントを表示します。オシロスコープの使用は、テストシステムで役立ちます。

テスト構成に装備する機器が多いほど、さまざまなテスト プロセスを自動化する必要性が高くなります。

特定のテストシステムで利用可能な機器の機能によって、実行できるテストの種類が制限される可能性が高いことに注意してください。

#### 3.1 システムのセットアップ

本書では、伝導型テストと放射型テストの 2 種類のテストシステム構成について説明します。このセクションでは、各構成について簡単に説明します。実際のセットアップはテストによって異なる場合があります。各テストの開始に示します。テストが放射型でも可能と指定されていない限り、すべてのテストは伝導型になります。

##### 3.1.1 伝導型テストシステム

伝導型テストに使用されるシステムには、以下の試験装置とリソースが使用されます。

1. CCxxxx Launchpad™ 開発キット
2. LaunchPad™ 開発キット デバッグ (LP-XDS110 または LP-XDS110ET。CCxxxx LaunchPad にオンボード デバッグ デバイスがない場合は必要)
3. RF ケーブル
4. 可変アッテネータ (2 個必要、固定アッテネータに置き換えることが可能)
5. SmartRF Studio ソフトウェアがインストールされた PC
6. RF カプラ (コンバイナ)



7. RF 信号ジェネレータ
8. スペクトル アナライザ

### 3.1.2 放射型テスト システム

放射型テストに使用されるシステムには、以下の試験装置とリソースが使用されます。

1. CCxxxx Launchpad™ 開発キット
2. LaunchPad™ 開発キット デバッガ (LP-XDS110 または LP-XDS110ET。CCxxxx LaunchPad にオンボード デバッガ デバイスがない場合は必要)
3. アンテナ
4. 可変アッテネータ (2 個必要、固定アッテネータに置き換えることが可能)
5. [SmartRF Studio](#) ソフトウェアがインストールされた PC
6. RF カプラ (コンバイナ)
7. RF 信号ジェネレータ
8. スペクトル アナライザ

### 3.2 テストの初期検討事項

- 伝導測定のため、テスト対象デバイス (DUT) は、SMA コネクタ付きの 50Ω RF ケーブルを介してテストに接続されています。LaunchPad はデフォルトで、PCB アンテナへとルーティングされる RF 信号路を実装しています。信号路を SMA コネクタに再ルーティングするには、このコネクタの近くにあるコンデンサをボード上で 90° 回転させる必要があります。これには、元の位置から半田を除去し、回転させて新しい位置に半田付けし直す必要があります。詳細については、LaunchPad のユーザー ガイドをご覧ください。
- 放射測定の場合、テスト対象デバイス (DUT) をアンテナに接続する必要があります。これに応じて、スペクトル アナライザは入力にアンテナを接続する必要があります。LaunchPad はデフォルトで RF 信号路を PCB アンテナにルーティングしているため、変更は必要ありません。外部アンテナを SMA コネクタに接続する必要がある場合は、前述の手順に従ってコンデンサを回転させます。放射測定は通常、干渉や信号の反射を防ぐために無響室内で行われるため、読み取り値の不一致や不正確さの原因となることがあります。
- RX テストの場合、入力基準信号 (目的の信号と干渉信号の両方) は、それぞれの規格文書に従って設定する必要があります。特定の特性を持つ必要があります。
- 目的の信号のペイロード内容は、関連規格で指定されたシーケンスである必要があります。これらは、送信されるすべてのパケットについて同一である必要があります。
- 干渉信号を使用するテスト ケースでは、デバイスを評価する該当する規格によって干渉信号特性を定義する必要があります。

### 3.3 テストに関する注意事項

これらの注意事項は、特定の状況で使用されているテスト設定に関係なく、すべてのユーザーにとって一般的な検討事項として提示されています。

1. DUT を信号アナライザに接続する SMA ケーブルの特性インピーダンスは 50Ω で、DUT の SMA ポートの 50Ω と一致するようにする必要があります。
2. 感度測定を行うときは、RX ボードをシールドする必要があります。
3. 感度テストを実行する際のシールドの適切なテストは、製品データシートに記載されている感度を超過して減衰を 20dB ~ 40dB 増加させることです。RX が TX 信号を受信できる場合は、シールドを改善する必要があります。
4. これらのテストを実行する場合は、TX および INT 無線の出力電力を約 0dBm に維持し、さまざまな減衰器によって提供される減衰を使用することをお勧めします。
5. 干渉信号の設定では、もう一方の出力をオフにして RX 端の RSSI をチェックして、TX 出力と INT 出力を相関させるのが適切です。これらのテストは、トランスミッタが連続送信モードのときに実行する必要があります。
6. RF カプラは非対称です。損失の多いパスに関連する減衰を考慮する必要があります。スプリッタ (つまりコンバイナ) を使用する場合は、両方のパスで同じ減衰で対称である必要があります。
7. 干渉信号は連続送信モードである必要があります。
8. キャリアが変調されていない場合、TX と INT の出力電力の差がブロックを示します。
9. キャリアが変調されている場合、TX と INT の出力電力の差は選択性を示します。

10. SmartRF Studio は、DUT、テストのいずれか、または互換性のある LaunchPad の場合はその両方を制御するために使用できます。このツールは、テスト対象の帯域 (サブ-1GHz または 2.4GHz) にわたって送受信パラメータを設定することで、BER/PER Rx 感度、Tx 出力電力などの各種テスト手順を可能にします。
11. RF ジェネレータを使用して IEEE 802.15.4 システムで干渉をテストするときに変調キャリアを使用する場合は、連続 MSK、2Mbps 変調キャリアを使用してください。
12. ケーブル/アッテネータ/コネクタを清潔に保ちます。そうしないと、ケーブルでの損失が過剰になる可能性があります。
13. 放射測定にアンテナを使用する場合は、テストの前に [SWRA726](#) を参照してください。



## 4 ソフトウェアの設定

本書に記載されているすべてのテストは SmartRF Studio を使用し、デバイスによっては SmartRF Studio 7 または SmartRF Studio 8 を使用します。このセクションでは、SmartRF Studio をインストールした状態でデバイスを PC に接続した後のソフトウェアのセットアップについて簡単に説明します。

テスト対象の EM または LaunchPad の機能によっては、ソフトウェアの一部のオプションが表示されないことに注意してください。

### 4.1 SmartRF Studio 7

#### 4.1.1 SmartRF Studio 7 のスタートアップ ウィンドウ

LaunchPad を PC に接続した後、SmartRF Studio 7 のスタートアップ ウィンドウで、「List of Connected Devices (接続済みデバイスリスト)」のデバイス名をダブルクリックし、デバイス コントロール パネルを開きます。

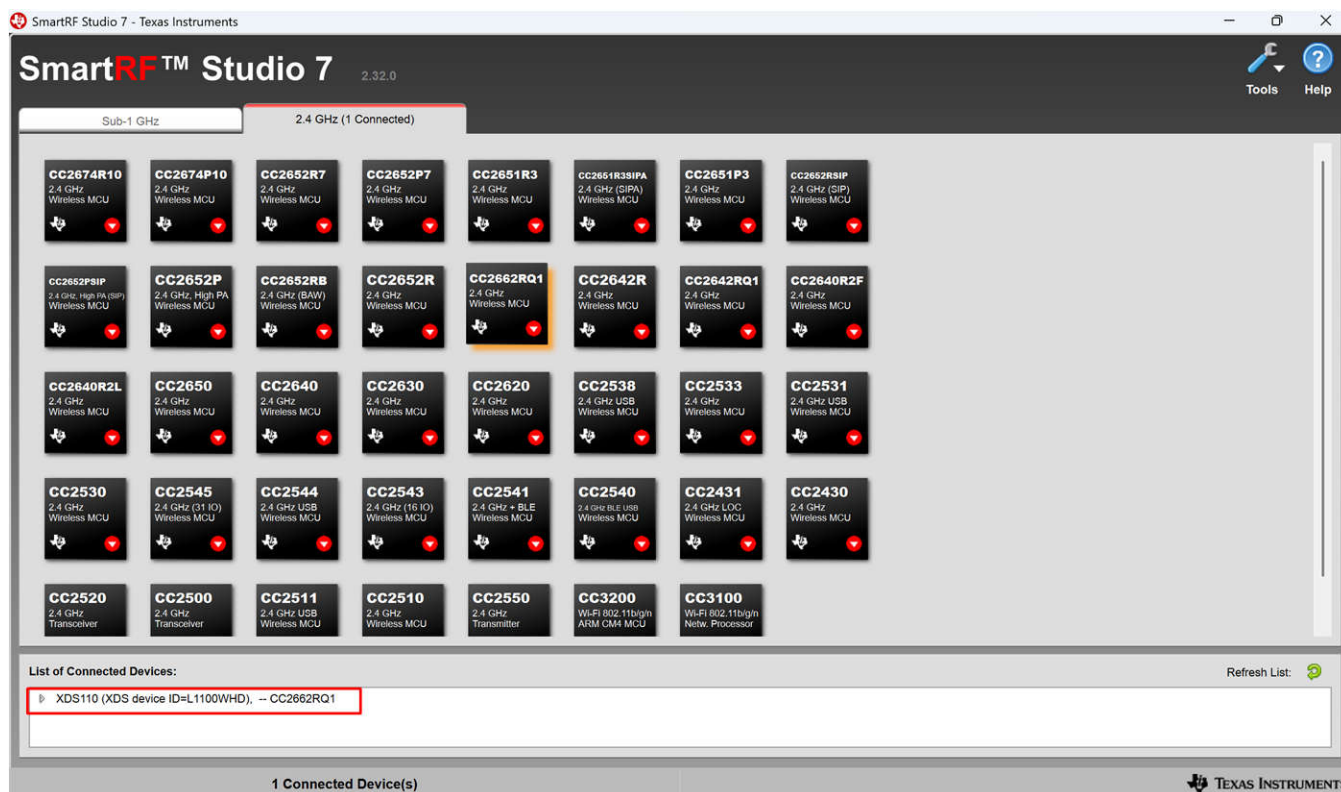


図 4-1. SmartRF Studio 7 のデバイス画面

#### 4.1.2 SmartRF Studio 7 のモード

デバイスに応じて、複数のモード/PHY を利用可能です。たとえば、BLE モード、独自モード、IEEE 802.15.4 などがあります。テストのニーズに最適なモードを選択してください。モードが 1 つしかない場合、オプションは表示されず、デバイス コントロール パネルは対応するモードでポップアップ表示されます。

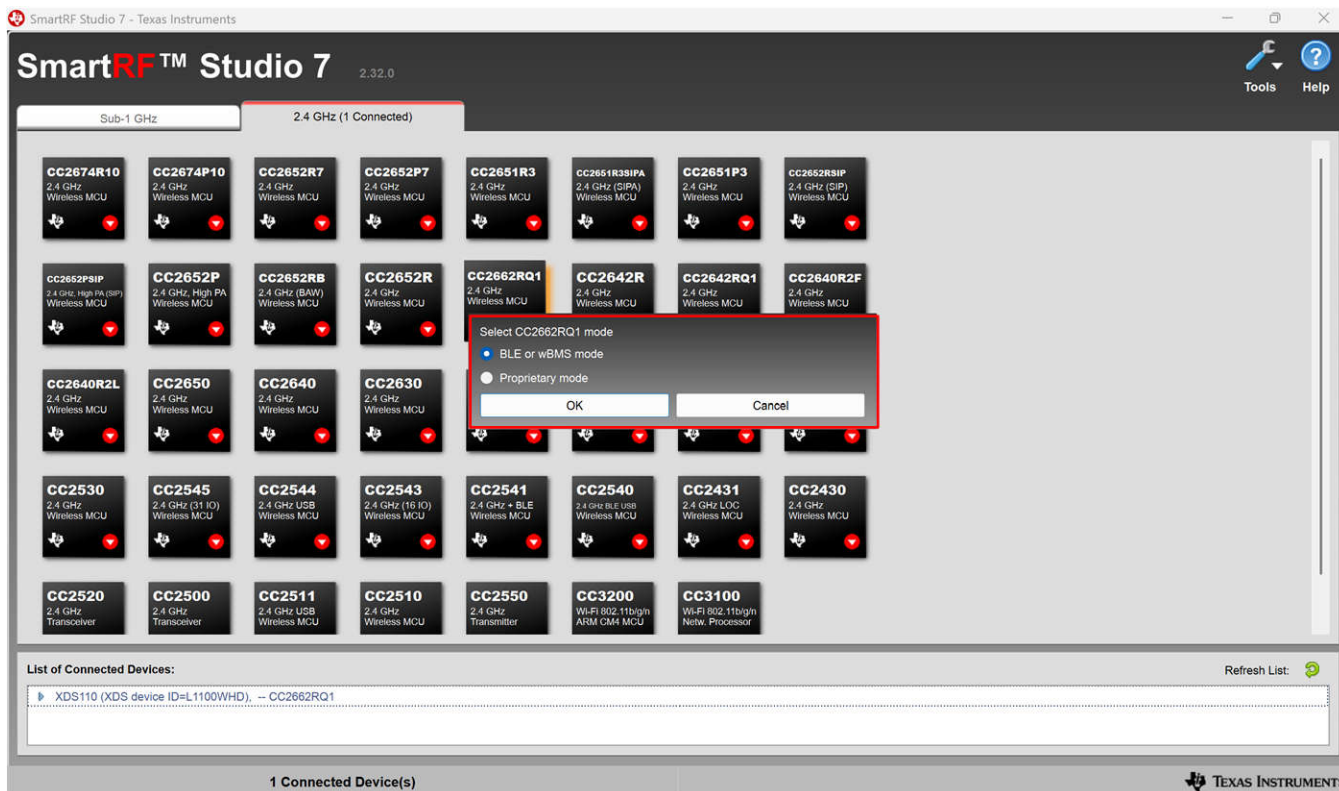


図 4-2. SmartRF Studio 7 デバイス モード

#### 4.1.3 SmartRF Studio 7 のデバイス コントロール パネル

デバイス コントロール パネルで、必要に応じて適切な設定と RF パラメータを使用してデバイスを設定します。特性評価テストの重要な設定は、RF テスト モード、変調設定、およびコンデンサ アレイ チューニングです。IEEE 802.15.4 (Zigbee) モードでは、EVM のテストが必要です。一部のデバイスには、簡易モードとエキスパート モードもあります。これらはデバイス コントロール パネルで選択されており、本書の特性評価テストに対応するためにはエキスパート モードが必要です。特性評価テストに応じて、データ フォーマットも変更されます。

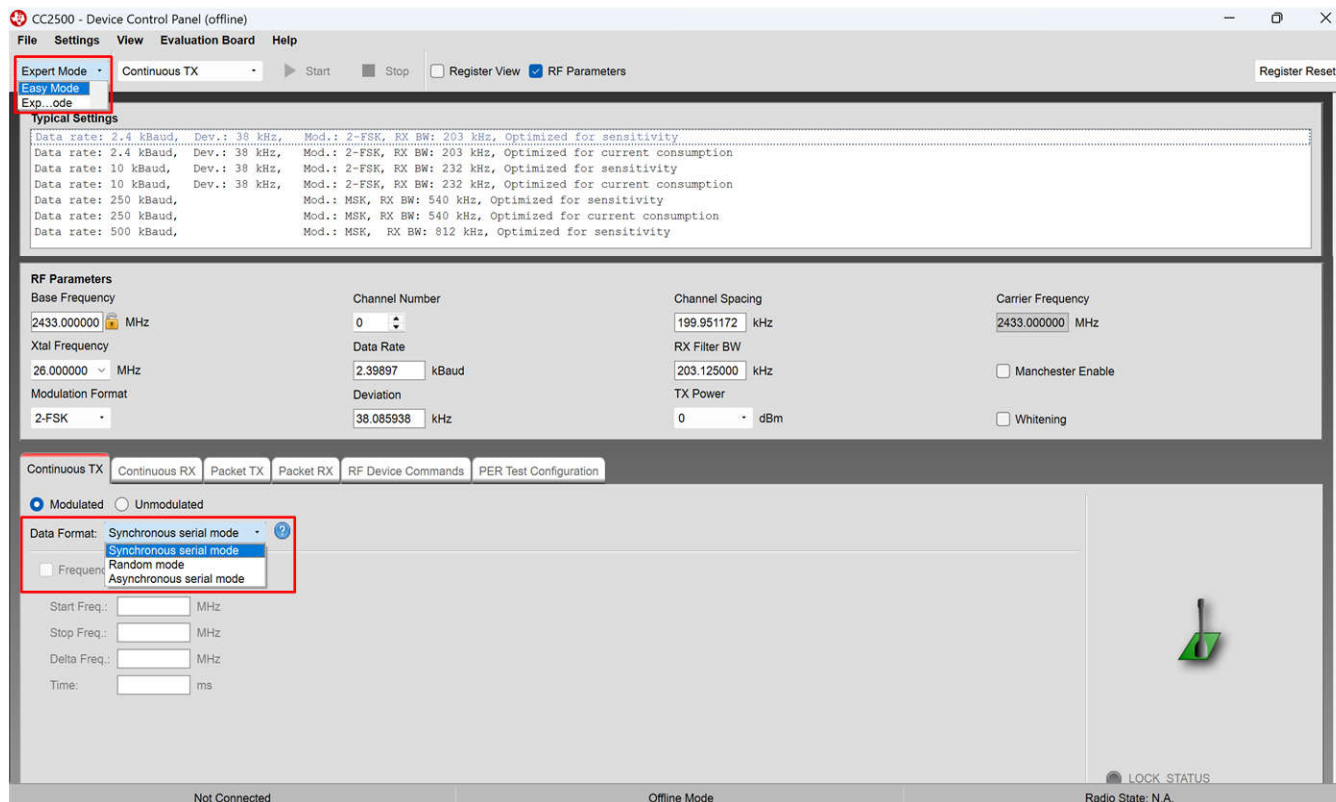


図 4-3. SmartRF Studio 7 無線コントロール パネル - 動作モード

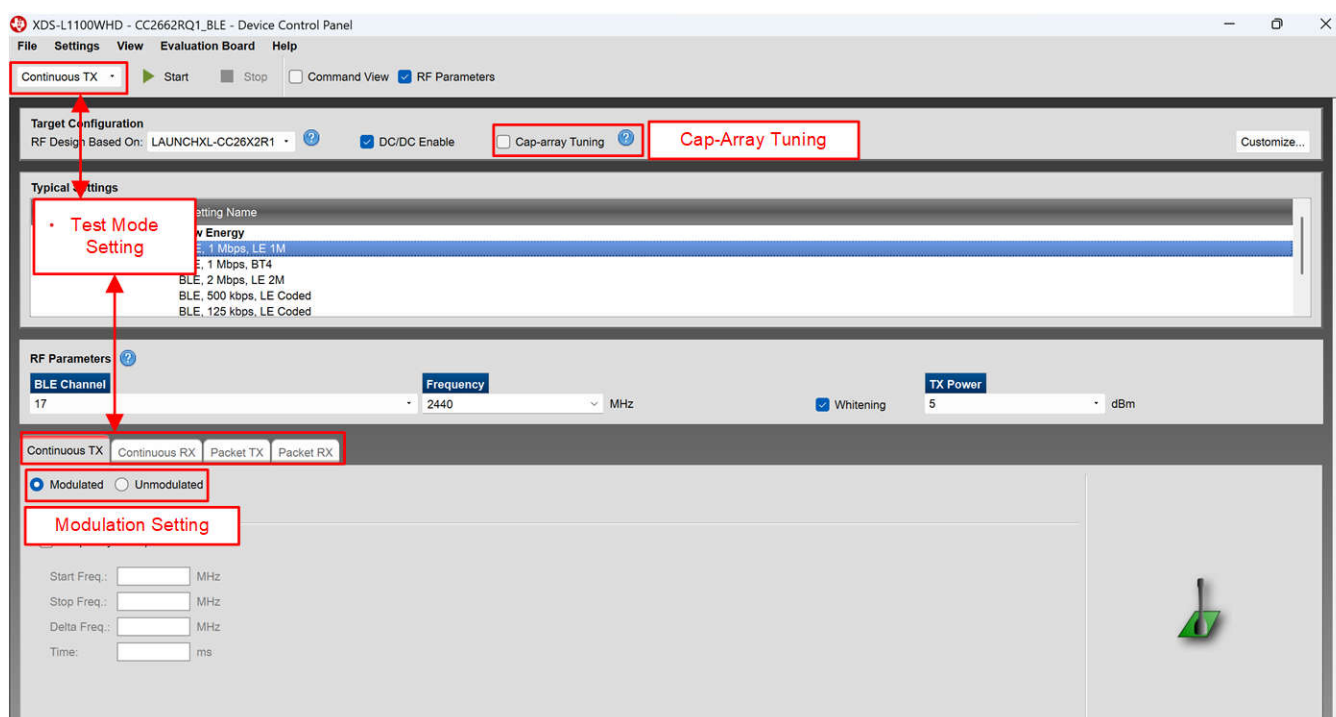


図 4-4. SmartRF Studio 7 無線コントロール パネル - 無線およびデバイス設定

#### 4.1.4 SmartRF Studio 7 ソフトウェア ユーザー マニュアル

詳細なヘルプを表示するには、スタートアップ ウィンドウの右上隅にあるヘルプ ボタンをクリックします。「SmartRF Studio ヘルプ」ウィンドウが表示されたら、「完全なヘルプドキュメントを参照」をクリックして、SmartRF Studio v7 ユーザー マニュアルを開きます。

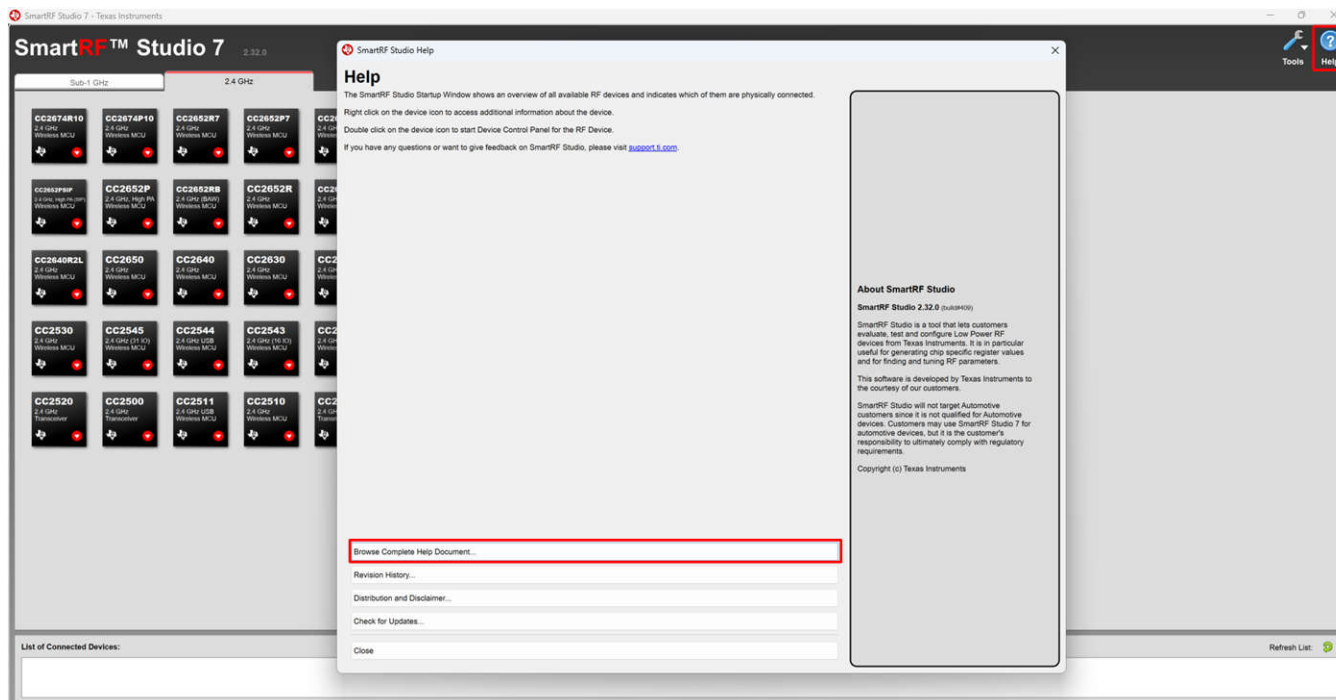


図 4-5. SmartRF Studio 7 向けヘルプ ガイド

## 4.2 SmartRF Studio 8

### 4.2.1 SmartRF Studio 8 のスタートアップ ウィンドウ

LaunchPad を PC に接続した後、SmartRF Studio 8 のスタートアップ ウィンドウで、「Device Selection List (デバイス選択リスト)」のデバイス名をダブルクリックし、「Radio Control Window (無線制御ウィンドウ)」を開きます。正しく接続されている場合は、デバッグ プローブのシリアル番号がデバイス名の下に表示されます。

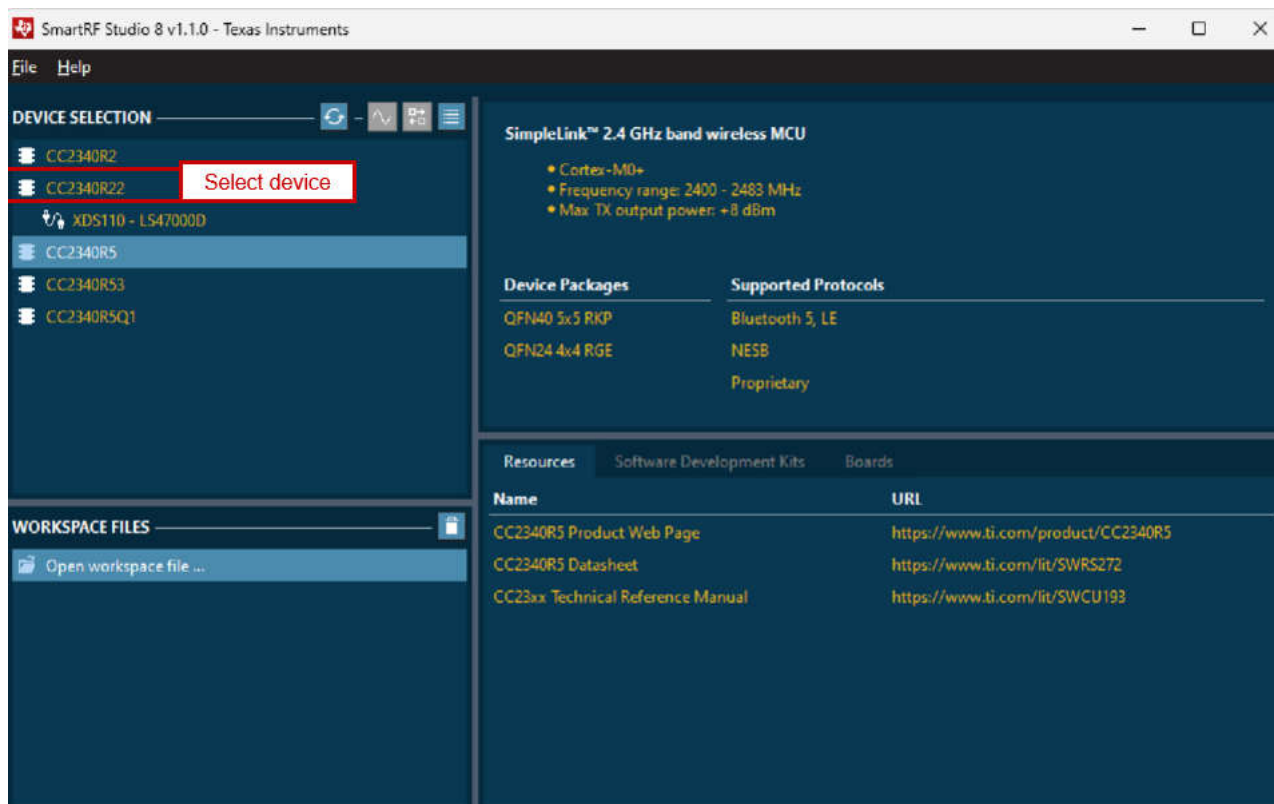


図 4-6. SmartRF Studio 8 のスタートアップ ウィンドウ

#### 4.2.2 SmartRF Studio 8 の無線制御ウィンドウ

「Radio Control Window (無線制御ウィンドウ)」が表示されたら、テストの必要性に応じてデバイスを設定します。特性評価テストの重要な設定は、RF テスト モード、PHY の選択、PHY プロパティ、信号タイプ、および HFXT コンデンサ アレイのチューニングです。

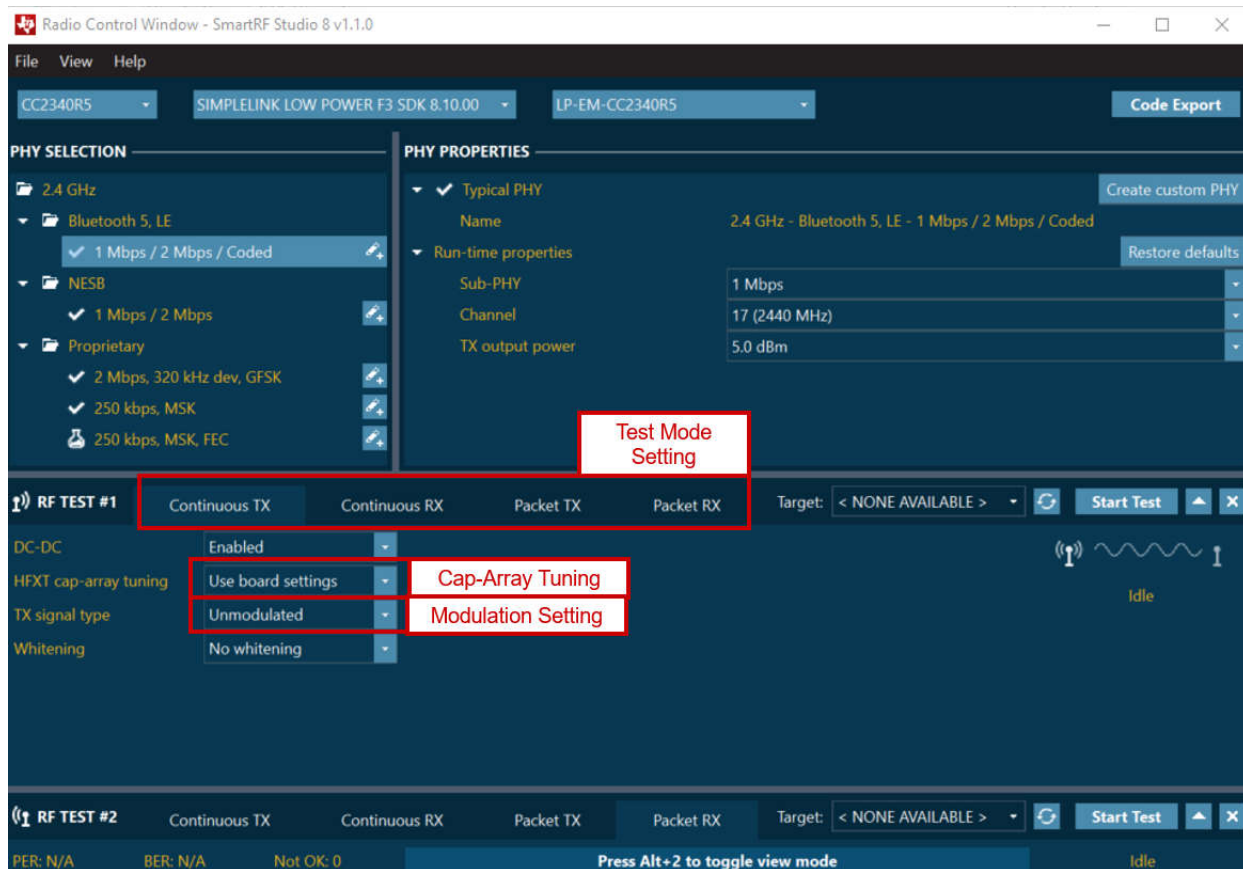


図 4-7. SmartRF Studio 8 の無線制御ウィンドウ

#### 4.2.3 SmartRF Studio 8 ソフトウェア ユーザー ガイド

詳細については、ソフトウェアを使用するときに F1 キーをクリックするか、左上のウィンドウ リボンの「Help (ヘルプ)」を選択してから「User Guide... (ユーザー ガイド...)」を選択し、SmartRF Studio 8 の「Help Viewer (ヘルプ ビューア)」を開きます。

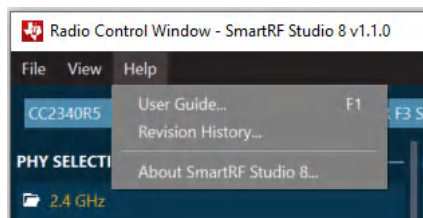


図 4-8. SmartRF Studio 8 向けヘルプ ガイド



## 5 DUT およびテスト装置情報

このページ (およびそれ以降のページ) を印刷して、それぞれのテスト設定の詳細の記録として使用できます。

### 5.1 DUT

表 5-1 に、一般的な DUT の情報を示します。

表 5-1. DUT の情報

製品	
モデル名	
ハードウェア バージョン	
ホスト インターフェイスの種類	
モジュール SN	

### 5.2 テスト装置

表 5-2 に、一般的なテスト装置のデータを示します。(詳細については「[セクション 3](#)」を参照。)

表 5-2. テスト装置の情報

項目	ベンダ	モデル名	数量
信号ジェネレータ			
パワー コンバイナ			
スペクトル アナライザ			
パワー メーター			
アッテネータ			
温度チャンバー			
オシロスコープ			
ネットワーク アナライザ			



## 6 クロック周波数のチューニング

発振器の周波数のチューニングの概要については、表 6-1 を参照してください。

表 6-1. クロック周波数のチューニング

セクション番号	項目	結果
セクション 6.1	HF クロック チューニング	
セクション 6.2	LF クロック チューニング	

### 6.1 内部コンデンサ アレイを使用した HF クロック チューニング

**目的:** 水晶振動子のクロック精度仕様を満たすように HF 水晶振動子のクロック精度を調整するために、デバイスの内部コンデンサ アレイ設定を調整します。

**合格条件:** コマンドされた RF 出力周波数が、水晶振動子のデータシートの最終的なコンデンサ アレイ設定を基準とした規定の許容誤差内にあること。

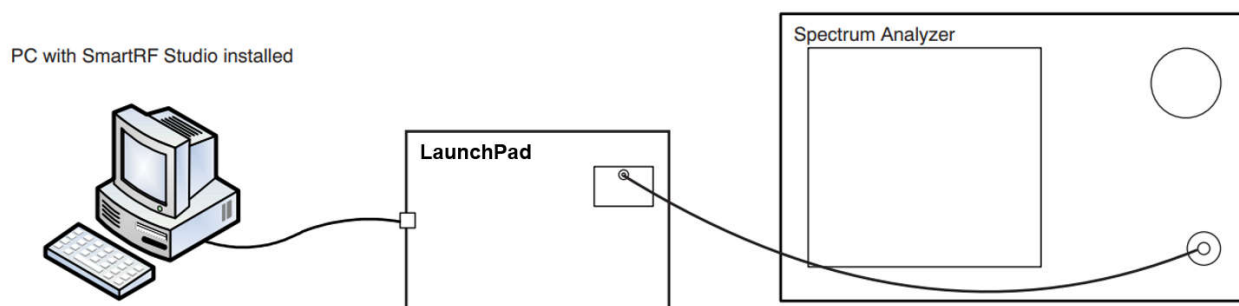


図 6-1. 高周波クロック チューニングの設定図

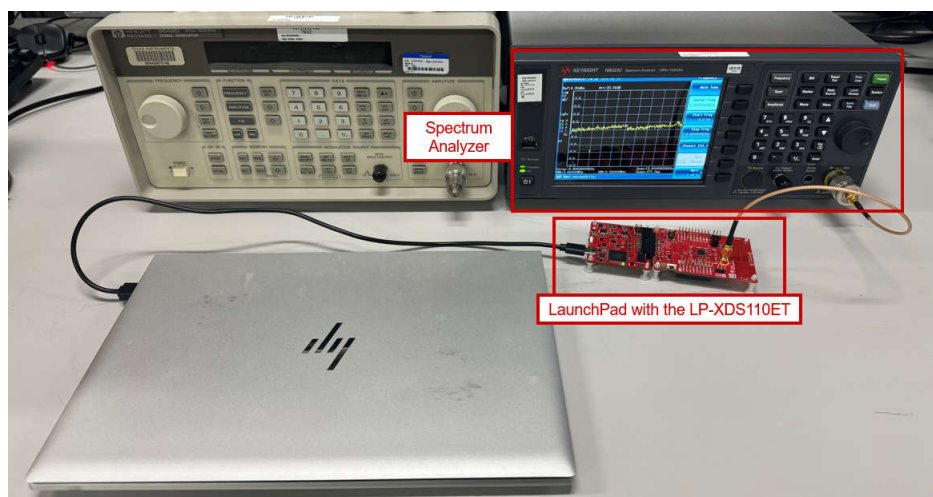


図 6-2. 高周波クロック チューニング ベンチの設定

手順:

- ステップ 1: 図 6-1 および 図 6-2 に示すように、機器を接続します。
- ステップ 2: SmartRF Studio を開き、RF パラメータで目的の周波数を選択します。
- ステップ 3: 「Cap-Array Tuning (コンデンサ アレイのチューニング)」のチェックマークを付けます (有効にします)。コンデンサ アレイを 0 から開始します。
- ステップ 4: 「連続 TX」タブで、TX が変調されていないことを確認し、「開始」をクリックします。
- ステップ 5: スペクトル アナライザで出力周波数を測定します。

- ステップ 6: 測定された周波数がコマンドされた周波数の許容範囲外である場合は、出力信号を停止し、必要な調整に応じてコンデンサ アレイ (デルタ) の値を変更してください。測定された周波数がコマンドされた周波数を上回っている場合は、コンデンサ アレイ設定を増やします。測定された周波数がコマンドされた周波数を下回っている場合は、コンデンサ アレイ設定を減らします。
- ステップ 7: RF 出力を有効にして、出力周波数を再測定します。
- ステップ 8: コマンドされた周波数にできる限り近い測定周波数を生成するコンデンサ アレイ デルタ値が見つかるまでステップ 6 ~ 7 を繰り返します。

#### 注

測定された周波数分解能が少なくとも数百 Hz 以内になるように、スペクトル アナライザの RBW と周波数スパンを小さくします。また、最高の精度を得るため、高精度の周波数リファレンスを備えたスペクトル アナライザを使用することを推奨します。カスタム アプリケーションの場合、水晶振動子の選択と実装については [SWRA495](#) を参照してください。

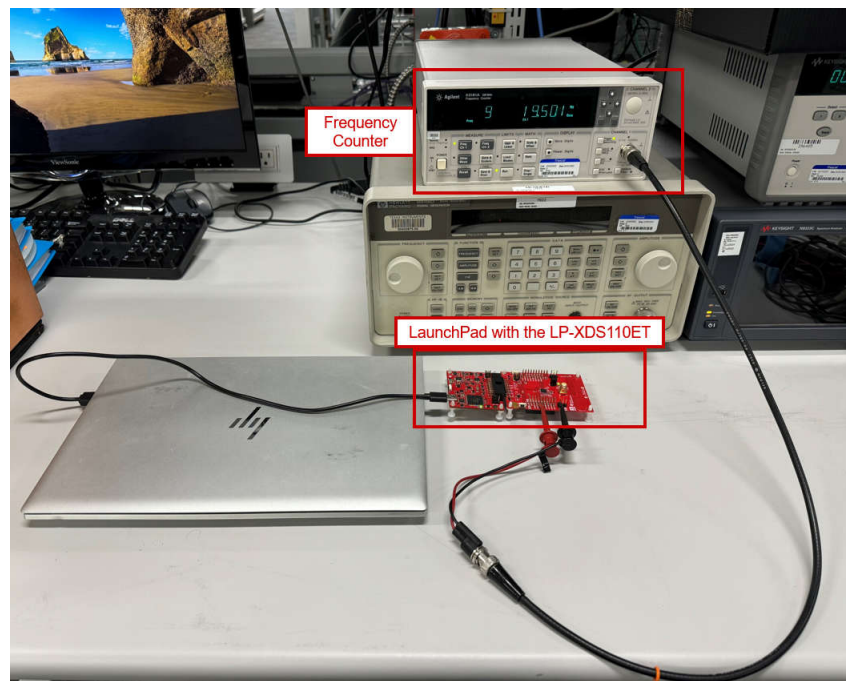
**表 6-2. HF 発振器の結果**

	コンデンサ アレイ値	選択した周波数	出力周波数	周波数デルタ	PPM
1					
2					
3					
4					

## 6.2 LF クロック チューニング

**目的:** LF 水晶振動子の負荷容量を調整し、水晶振動子のクロック精度仕様を満たすように LF 水晶振動子のクロック精度を調整するため。

**合格条件:** LF クロック出力周波数が、最終的な負荷コンデンサの値をインストールされた状態で、水晶振動子のデータシートに規定されている許容範囲内であること。



**図 6-3. 低周波クロック チューニング ベンチの設定**

**手順:**

- ステップ 1: **Code Composer** を使用して、LF クロックを簡単にプローブできる **GPIO** に出力するソフトウェア負荷を生成します。
- ステップ 2: 希望するプログラミング ツール (**Uniflash** または **SmartRF フラッシュ プログラマ**) を使用して、ソフトウェア負荷でデバイスをプログラムします。
- ステップ 3: [図 6-3](#) に示すように、機器を接続します。
- ステップ 4: デバイスの電源を投入し、LF クロックを出力するために割り当てられた **GPIO** ピンの周波数を測定します。
- ステップ 5: LF クロック周波数が許容誤差範囲外の場合、または必要に応じて定格周波数よりも近い値でない場合は、負荷容量を調整して周波数を適切にシフトします。一般に、負荷容量を大きくすると周波数が低下し、負荷容量が小さくなると、周波数が大きくなります。
- ステップ 6: 負荷容量を調整したら、目的の周波数クロック精度が達成されるまでステップ 4 と 5 を繰り返します。

**表 6-3. LF 発振器の結果**

	コンデンサ 1 の 値	コンデンサ 2 の 値	出力周波数	PPM
1				
2				
3				

## 7 送信テスト

各種送信テストの概要については、表 7-1 を参照してください。

**表 7-1. 送信テストの概要**

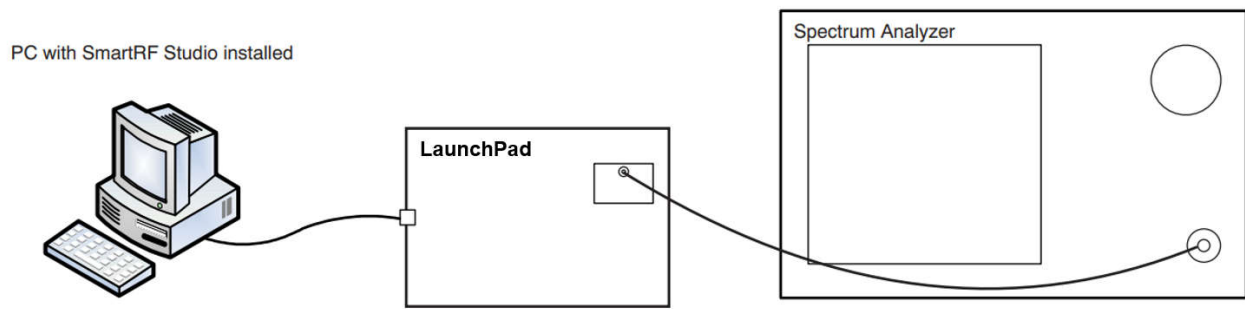
セクション番号	項目	結果
セクション 7.1	送信電力	
セクション 7.2	電力スペクトル密度マスク	
セクション 7.3	誤差ベクトルの振幅	
セクション 7.4	送信中心周波数オフセット	
セクション 7.5	送信時のスプリアス放射	

### 7.1 送信電力

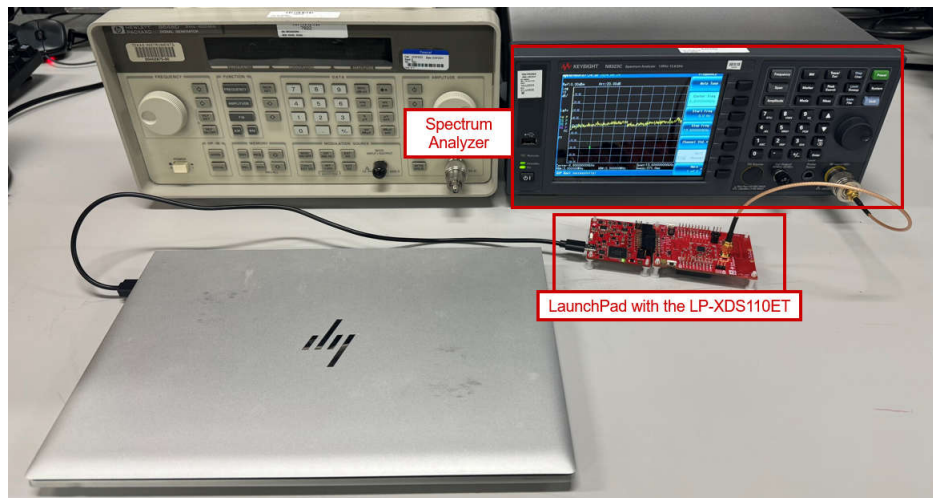
目的:DUT の送信出力電力が規格制限に適合していることを検証するため。

合格条件:仕様と合格条件については、それぞれの規格文書を参照してください。

テスト環境:図 7-1 に、送信電力のテスト設定を示します。



**図 7-1. 送信電力テスト設定図**



**図 7-2. 送信電力テストのベンチ設定**

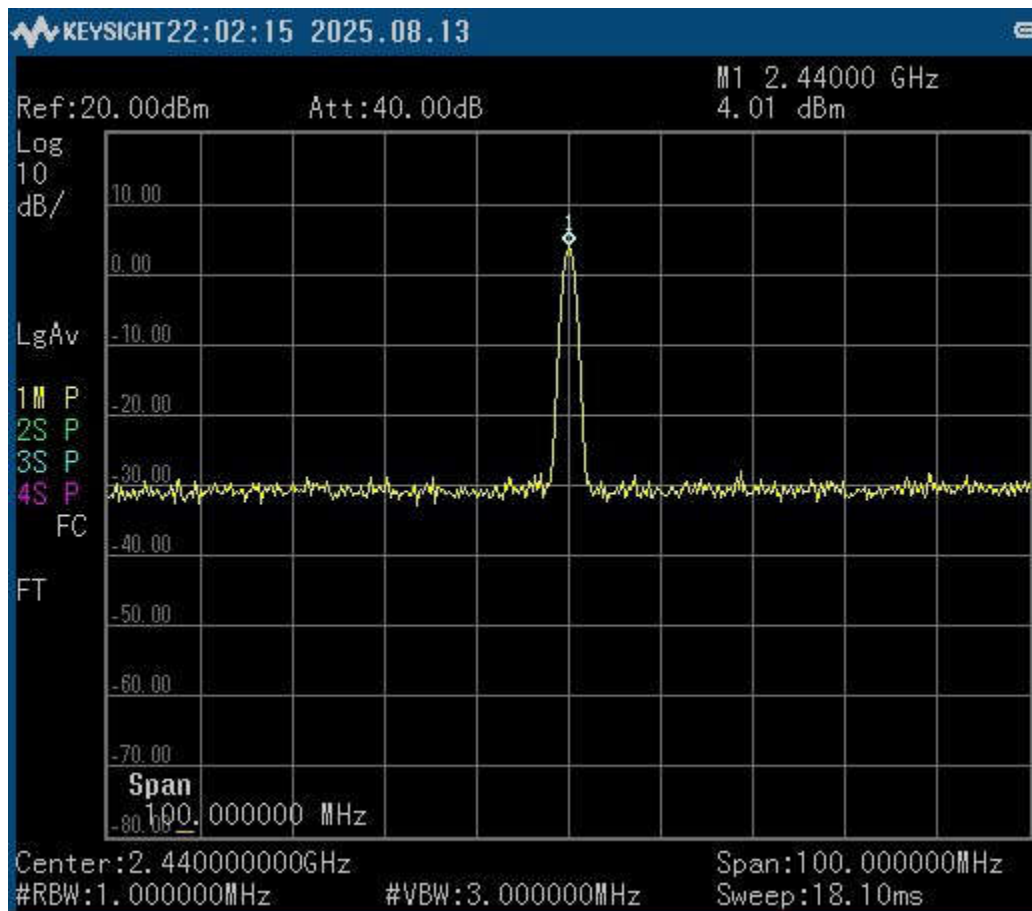


図 7-3. 送信電力テストからのスペクトル アナライザ出力

手順:

- ステップ 1: 図 7-1 および 図 7-2 に示すように、機器を接続します。
- ステップ 2: SmartRF Studio を使用して、EM を適切な出力電力レベルで変調されていない連続 TX モードに設定し、「Start (開始)」をクリックします。
- ステップ 3: スペクトル アナライザで出力電力レベルを測定し、EM にプログラムされた出力電力を確認します。(スペクトル アナライザの結果の例については 図 7-3 を参照してください)

注

ユニットの実際の出力電力を得るには、測定された出力電力にケーブル損失を加算します。

注

製品の送信電力は、製品が販売されている地域の規制当局によって定められた制限に準拠している必要があります。以下に例を示します。

ETSI (ヨーロッパ電気通信標準化協会) EN 300 328:2.4GHz 帯域を制御します。

- EIRP (実効等方放射電力) の最大値は 20dBm です。

FCC (連邦通信委員会)

- EIRP (実効等方放射電力) の最大値は 36dBm です。

製品設計が、各対象マーケットの適切な規制当局によって義務付けられた 2.4GHz 帯域の特定の最大送信電力制限に準拠していることを確認します。

表 7-2. 送信電力の結果

	出力電力 (dBm)			設計仕様 (dBm)	合格/不合格?
	周波数 1 (MHz)	周波数 2 (MHz)	周波数 3 (MHz)		
1					
2					

テスト結果:

## 7.2 電力スペクトル密度マスク

目的:DUT の PSD が規格制限に適合していることを検証するため。

合格条件:それぞれの規格の資料を参照してください。表 7-3 に、IEEE 802.15.4 規格要件の例を示します。図 7-4 に要件を示します。

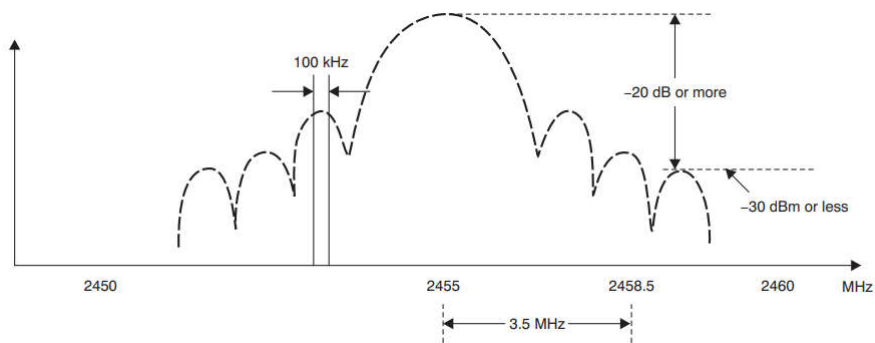


図 7-4. 電力スペクトル密度マスクの要件

表 7-3. IEEE 802.15.4 規格の要件 (例)

周波数	相対制限	絶対制限
$ f - f_c  > 3.5\text{MHz}$	-20dB	-30dBm

テスト環境: 図 7-5 にテスト設定を示します。

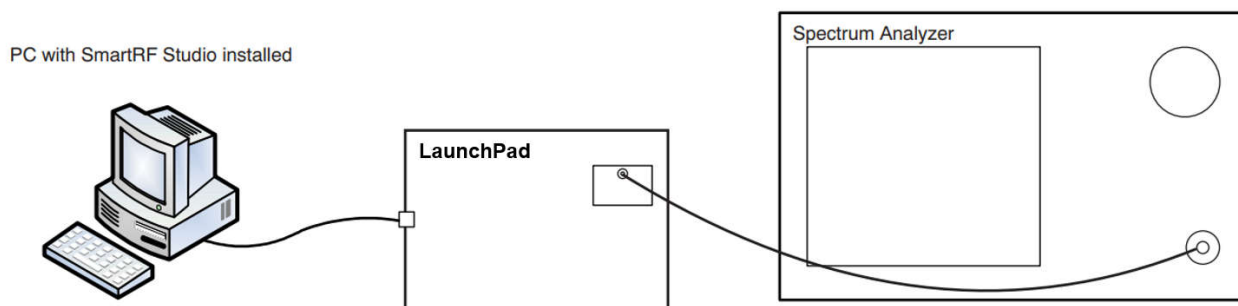


図 7-5. 電力スペクトル密度マスクのテスト設定図



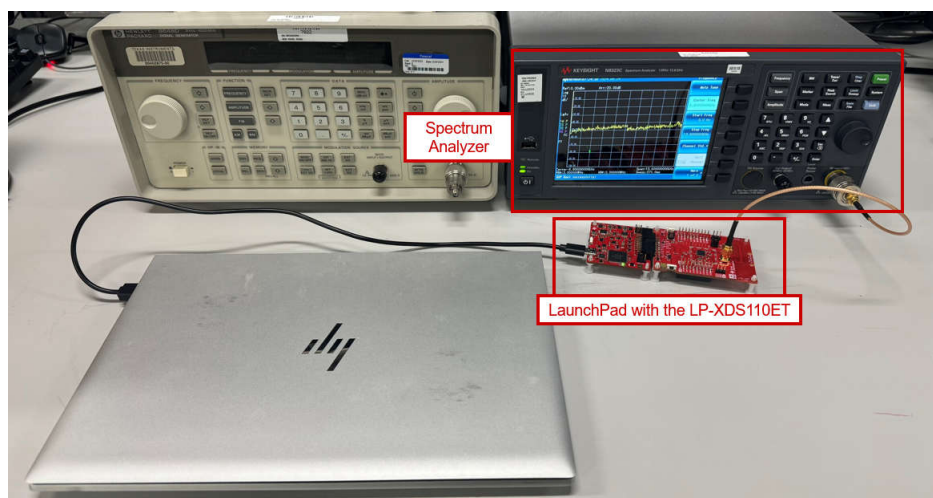


図 7-6. 電力スペクトル密度マスクテストのベンチ設定

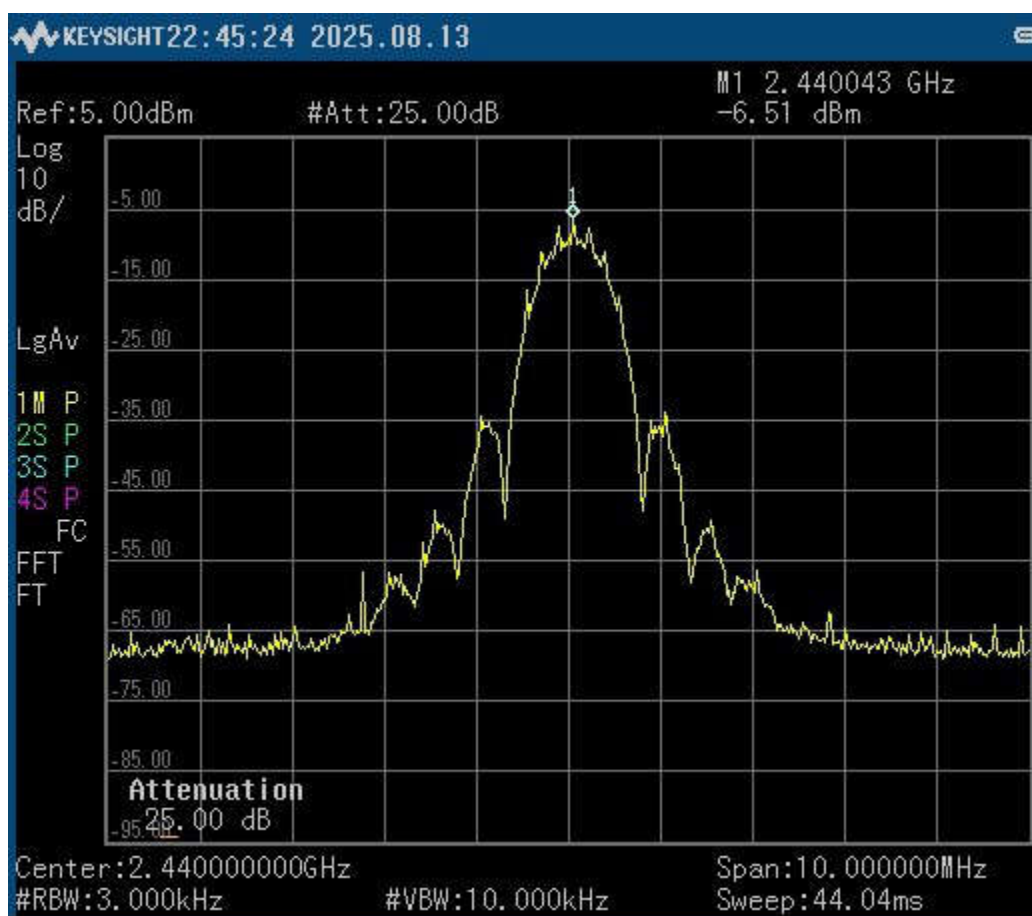


図 7-7. 電力スペクトル密度マスクテストのスペクトルアナライザ出力

手順:

- ステップ 1: 図 7-5 および 図 7-6 に示すように、機器を接続します。
- ステップ 2: SmartRF Studio を開き、RF パラメータで目的の周波数を選択します。
- ステップ 3: SmartRF Studio を使用して、EM を変調済みの連続 TX モードに設定し、「Start (開始)」をクリックします。



- ステップ 4: PSD マスクがスペクトル アナライザの所定の規格に準拠していることを確認します。(スペクトル アナライザの結果の例については 図 7-7 を参照してください)

**注**

ユニットの実際の出力電力を得るには、測定された出力電力にケーブル損失を加算します。

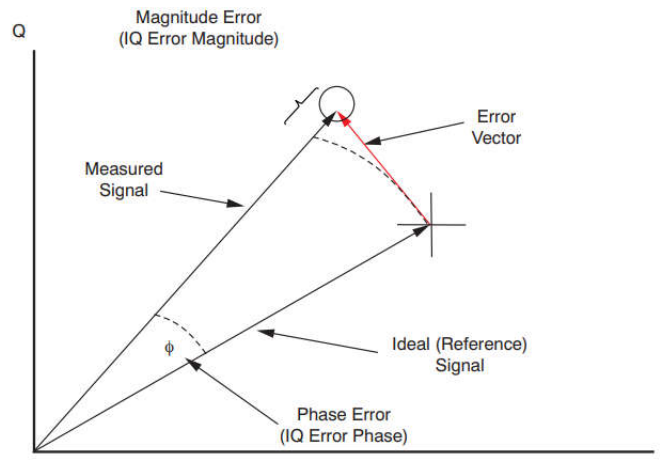
**表 7-4. 電力スペクトル密度マスクの結果**

	PSD 相対制限 (%)			設計仕様 (%)	合格/不合格?
	周波数 1 (MHz)	周波数 2 (MHz)	周波数 3 (MHz)		
1					
2					

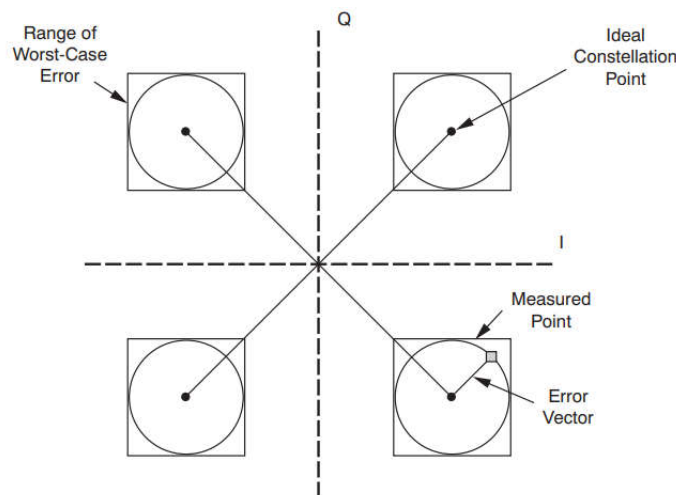
テスト結果:

### 7.3 誤差ベクトルの振幅

目的: 送信変調の精度は、誤差ベクトルの振幅 (EVM) を使用して測定されます。EVM は、図 7-8 と 図 7-9 に示すように、理想的な基準信号と測定された送信信号間の位相差の大きさを時間の関数として表したものです。



**図 7-8. 誤差ベクトルの振幅**



**図 7-9. EVM および関連する数量**

合格条件: 仕様と合格条件については、それぞれの規格文書を参照してください。

テスト環境: 図 7-10 に、EVM テストの設定を示します。図 7-10

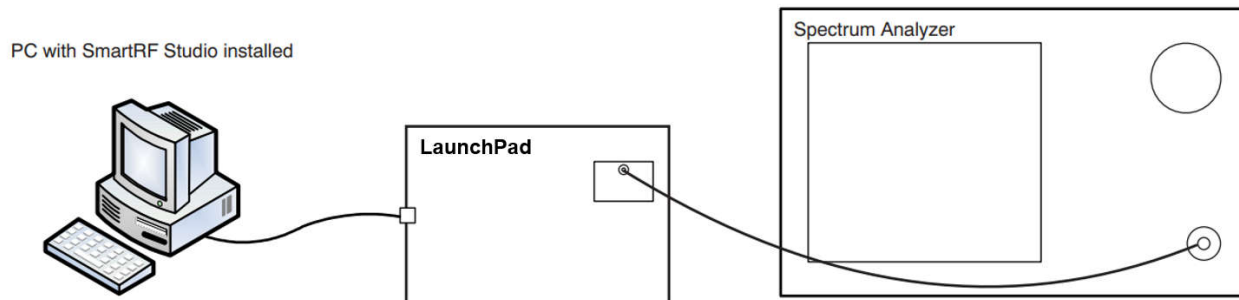


図 7-10. 誤差ベクトル振幅テスト設定図

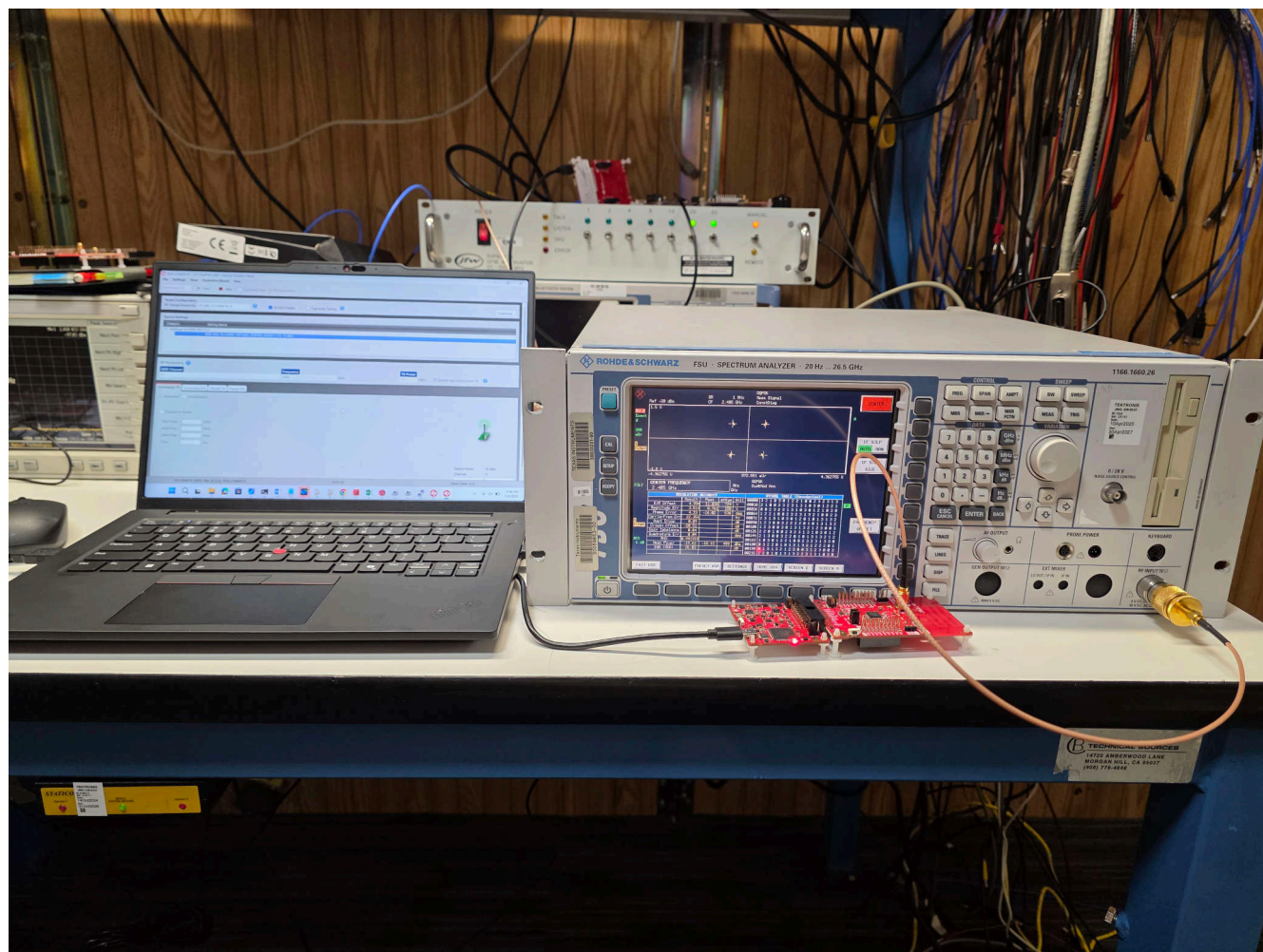


図 7-11. SMA コネクタを使用した誤差ベクトル振幅テストのベンチ設定

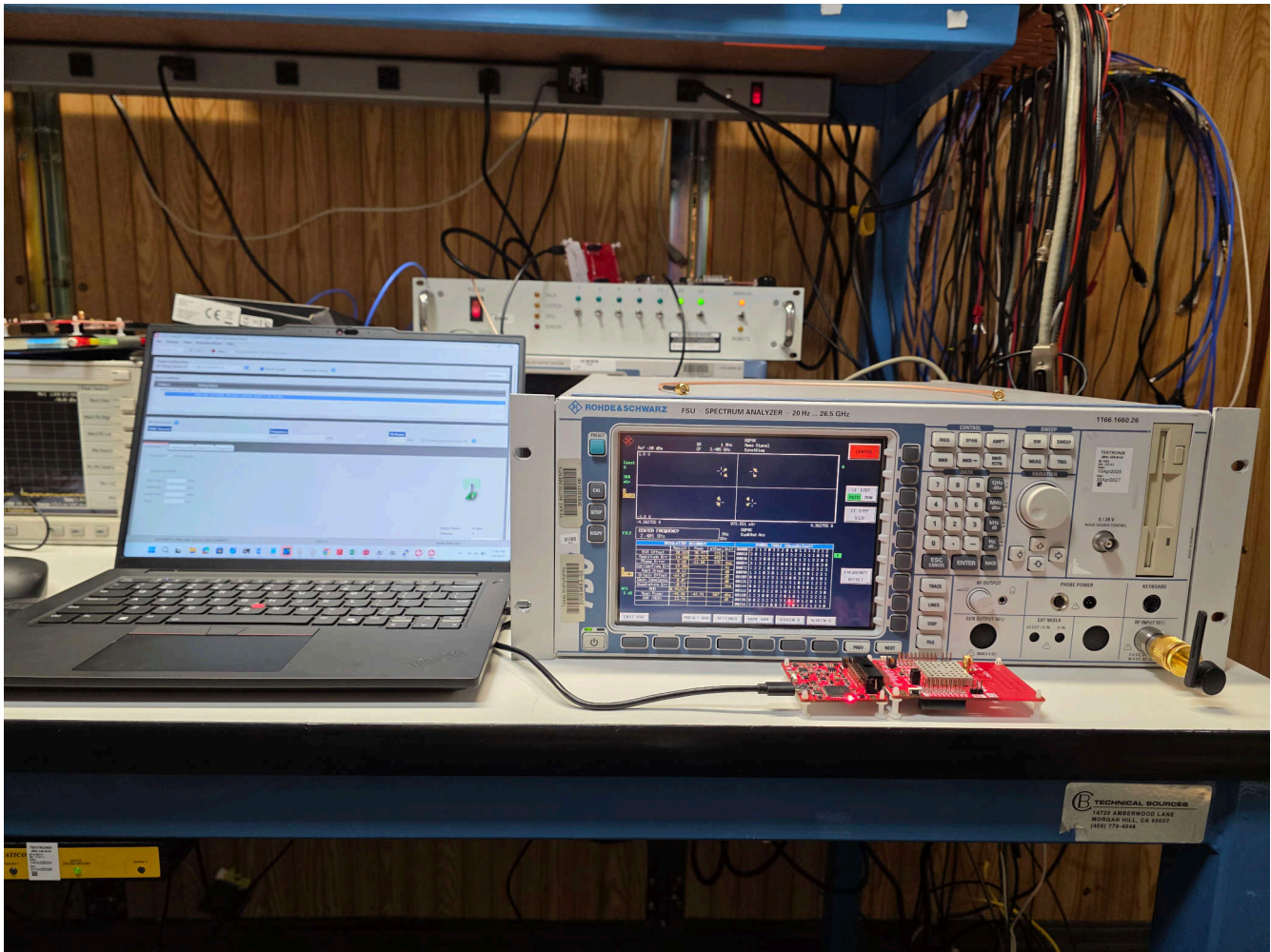


図 7-12. アンテナを使用した誤差ベクトル振幅テストのベンチ設定

手順:

- ステップ 1: 図 7-10 および 図 7-11 に示すように、またはアンテナを使用する場合は 図 7-12 に示すように機器を接続します。
- ステップ 2: SmartRF Studio を使用して、EM を変調済みの連続 TX モード (該当する場合、ランダム変調データを使用) に設定します。
- ステップ 3: ツールのユーザー マニュアルの手順に従って、機器をセットアップした後、スペクトル アナライザを使用して EVM を測定します。(詳細については「Appendix A」を参照。)

例: Rohde & Schwarz FSQ を使用した ZigBee 信号の EVM 測定は、参考資料 1 の手順に従って設定できます。

このテストですべてのスペクトル アナライザが機能するわけではないことに注意してください。テストを実行するには、スペクトル アナライザに EVM 測定機能が必要であり、測定を実行するように設定されている必要があります。

表 7-5. 誤差ベクトル振幅テスト結果

	EVM (%) は ____ kbp/s			設計仕様 (%)	合格/不合格?
	周波数 1 (MHz)	周波数 2 (MHz)	周波数 3 (MHz)		
1					
2					

テスト結果:



## 7.4 送信中心周波数オフセット

**目的:** 中心周波数オフセットが制限範囲内にあることを確認するため。

**合格条件:** 仕様と合格条件については、それぞれの規格文書を参照してください。

**テスト条件:** 図 7-13 に、送信中心周波数オフセット テストの設定を示します。

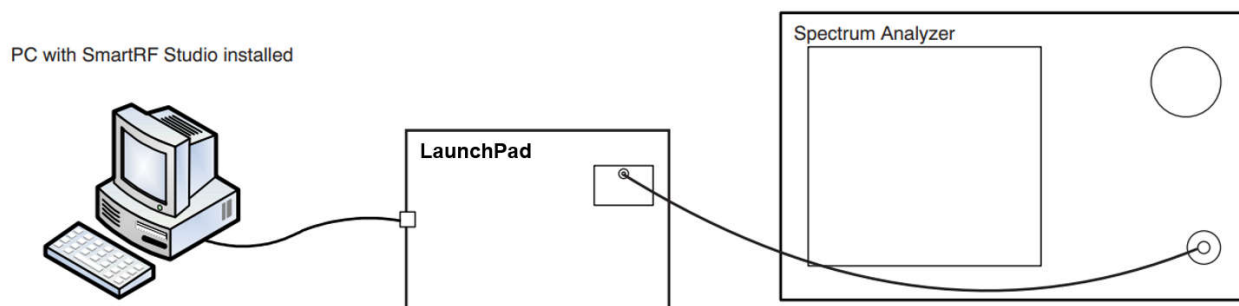


図 7-13. 送信中心周波数オフセット テスト設定図

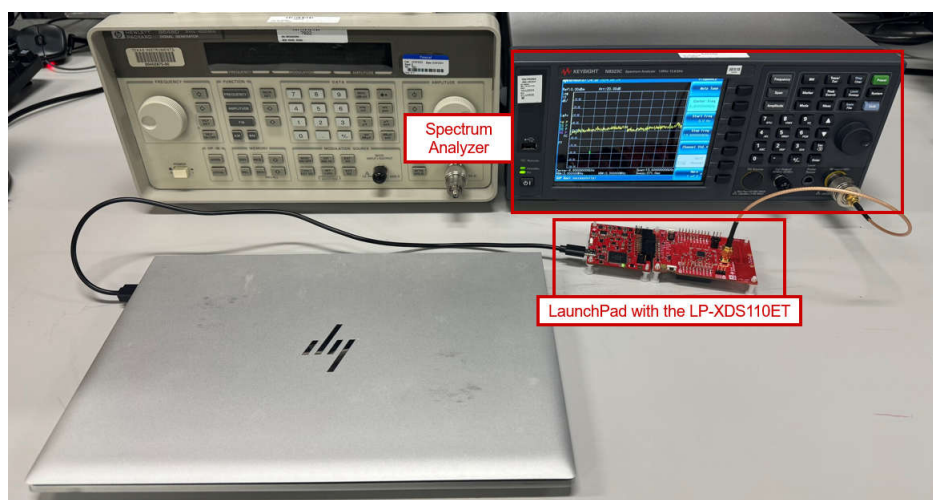


図 7-14. SMA コネクタを使用した送信中心周波数オフセット テストのベンチ設定

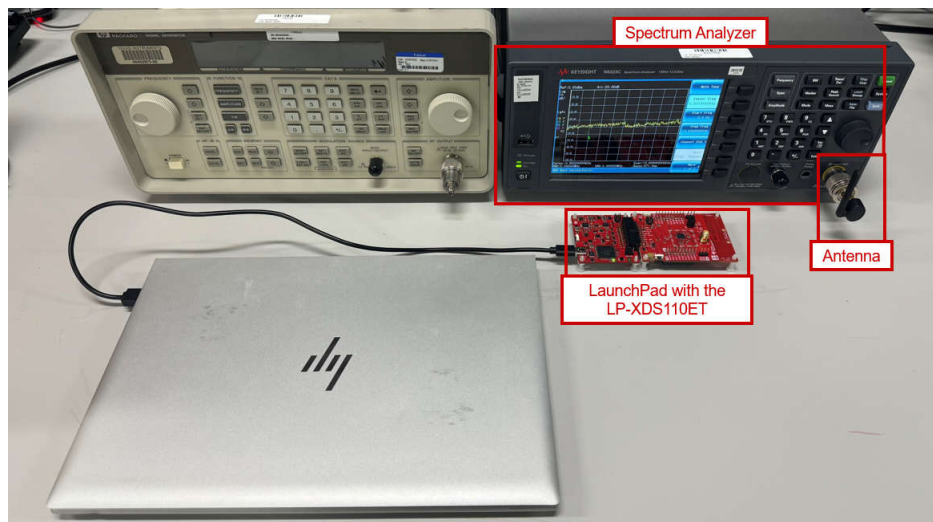


図 7-15. アンテナを使用した送信中心周波数オフセット テストのベンチ設定

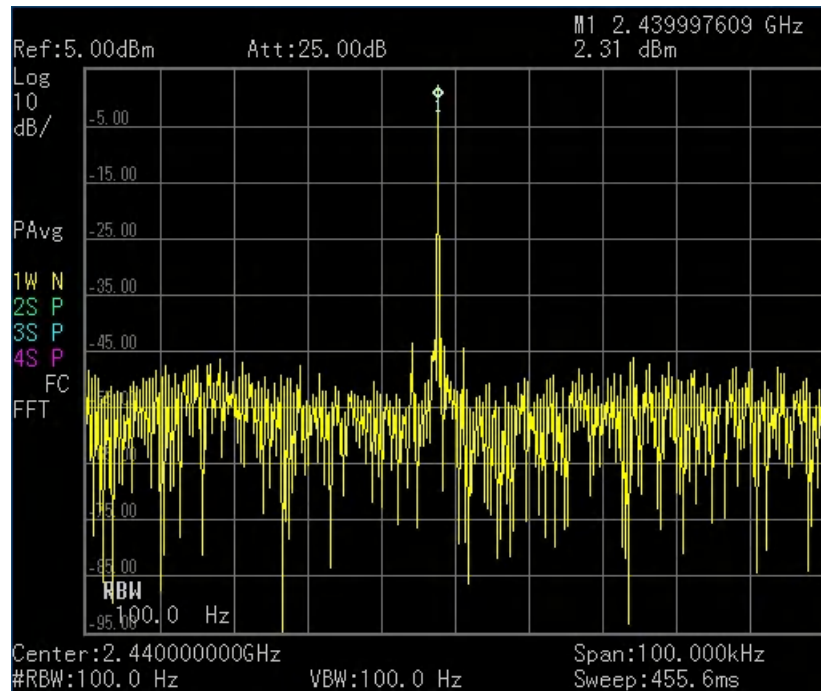


図 7-16. 送信中心周波数オフセット テストのスペクトル アナライザ出力

手順:

- ステップ 1: 図 7-13 および 図 7-14 に示すように、またはアンテナを使用する場合は 図 7-15 に示すように機器を接続します。
- ステップ 2: SmartRF Studio で、EM を変調されていない連続 TX モードに設定します。
- ステップ 3: 中心周波数を目的のチャンネル周波数に設定します。
- ステップ 4: スペクトル アナライザで実際の周波数を測定します。実際の周波数と中心周波数の差が周波数オフセットです。(スペクトル アナライザの結果の例については、図 7-16 を参照してください。RBW と VBW が低いほど、周波数測定の精度が高くなります)

表 7-6. 送信中心周波数オフセットのテスト結果

	チャンネル	周波数	周波数オフセット	設計仕様 (ppm)	合格/不合格?
1					
2					
3					

テスト結果:

## 7.5 スプリアス放射

目的: 伝導型スプリアス放射が制限範囲内であることを検証するため。

合格条件: 仕様と合格条件については、それぞれの規格文書を参照してください。

テスト条件: 図 7-17 に、スプリアス放射テスト設定のセットアップを示します。

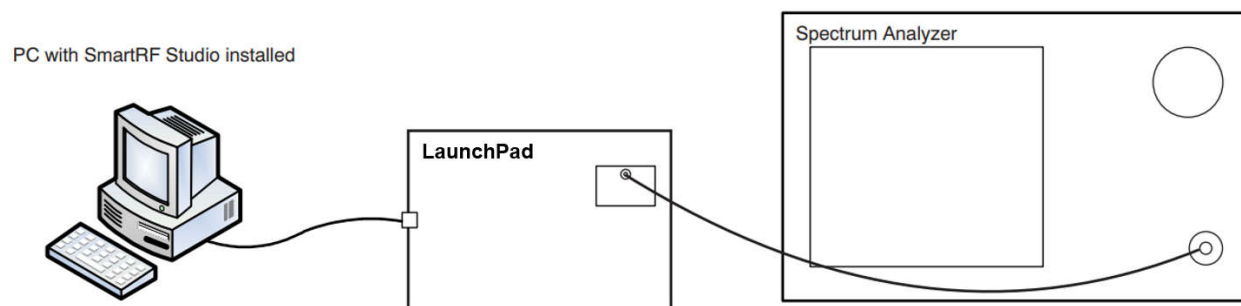


図 7-17. スプリアス放射テスト設定図

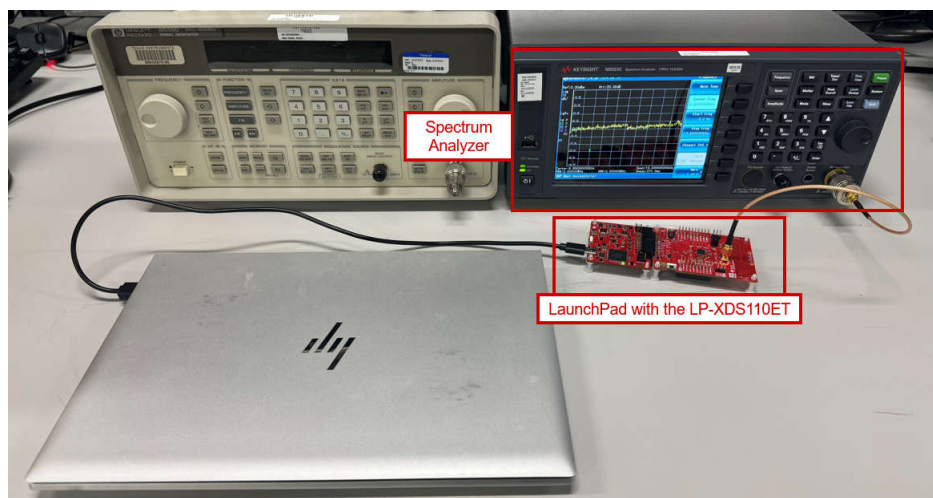


図 7-18. スプリアス放射テスト ベンチの設定

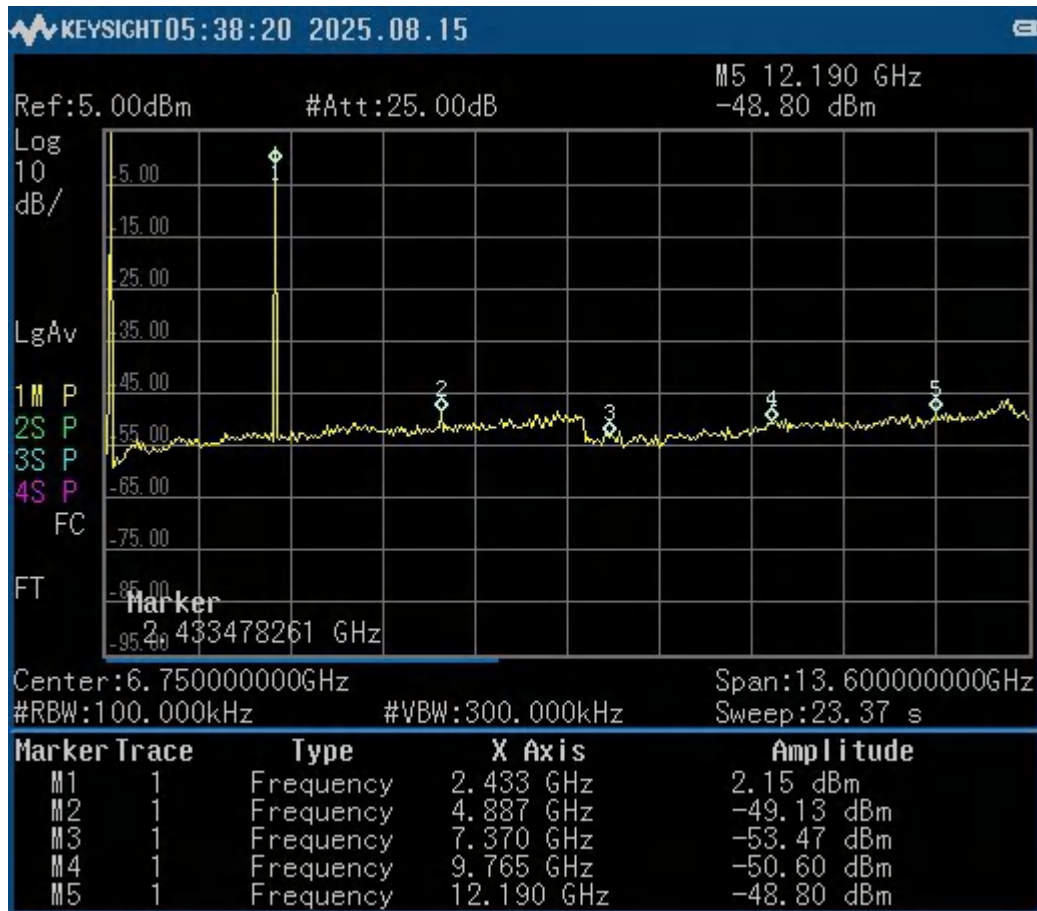


図 7-19. スプリアス放射テストからのスペクトル アナライザ出力

**手順:**

- ステップ 1: 図 7-17 および 図 7-18 に示すように、機器を接続します。
- ステップ 2: SmartRF Studio で、EM を変調済みの連続 TX モードに設定します。中心周波数を目的のチャンネル周波数に設定します。
- ステップ 3: スペクトル アナライザの最小制限値から最大制限値までのスプリアスを測定します。(スペクトル アナライザの結果の例については 図 7-19 を参照してください。示されているスプリアスは高調波です)

**注**

ユニットの実際の出力電力を得るには、測定された出力電力にケーブル損失を加算します。また、スペクトルアナライザによって最大周波数は異なります。最大 25GHz あれば十分です。

**注**

**スプリアス放射の規制遵守**

スプリアス放射は、運用地域に固有の規制制限の対象となります。製品は、適用されるすべての地域規格および規制に準拠している必要があります。参考までに、2.4GHz 周波数動作の一般的な高調波放射制限を以下に示します。

ETSI (ヨーロッパ電気通信標準化協会) EN 300 328:2.4GHz 帯域を制御します。

- 電界強度: 54dBuV/m を超えることはできません。
- スプリアス放射: EIRP (実効等方放射電力) は、3 メートルの距離で -30dBm 未満である必要があります。

FCC (連邦通信委員会) §15.209 一般排出量制限。

- 電界強度: 3 メートルの距離で 500uV/m を超えることはできません。これは 54dBuV/m に相当します。



- スプリアス放射:EIRP (実効等方放射電力) は、3 メートルの距離で  $-41.3\text{dBm}$  未満である必要があります。

**表 7-7. スプリアス放射テスト結果**

	チャンネル周波数	スプリアス周波数	測定スプリアス (dBm)	設計仕様 (dBm)	合格/不合格?
1					
2					
3					

テスト結果:

## 8 受信テスト

レシーバの各種テストの概要については、表 8-1 を参照してください。

**表 8-1. 受信テストの概要**

セクション番号	項目	結果
セクション 8.1	レシーバ感度	
セクション 8.2	干渉テスト	
セクション 8.3	RF 信号ジェネレータを使用した干渉テスト	

### 8.1 レシーバ感度

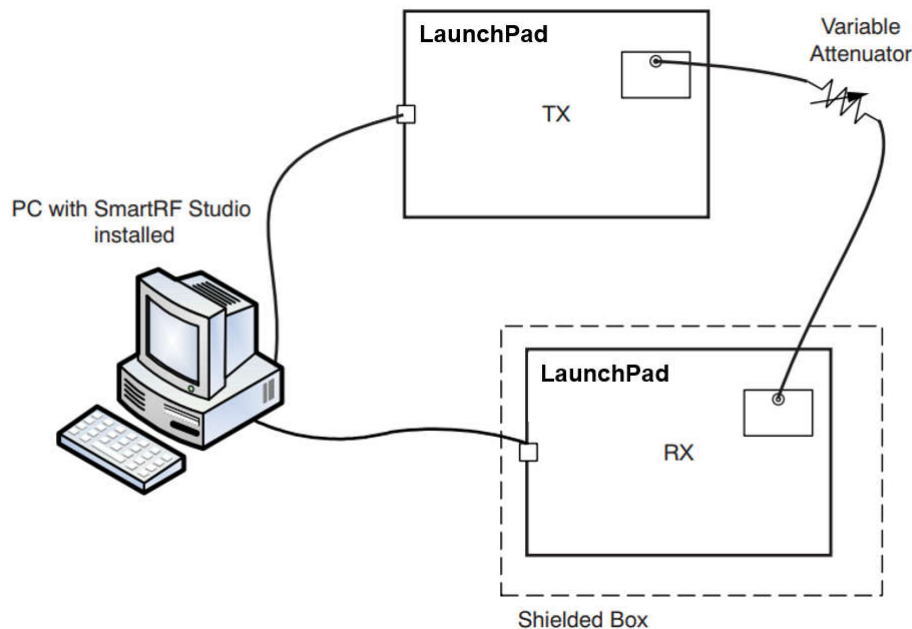
#### 注意

ここで説明されている構成で注意すべき問題の 1 つは、RF 電力が同軸ケーブルとアッテネータを経由してパス外のレシーバに到達できることです。この問題は、2 枚のボードを非常に近くに配置し、レシーバが非常に優れた感度（データレートとレシーバ帯域幅が低い）で動作している場合、より大きな懸念事項になります。この問題は、受信側が非常に高い減衰であってもパケットをデコードでき、感度のスレッシュホールドを正しく見つけることができない場合に発生します。この問題を回避するには、ボードの 1 つをシールドが接地されているシールドボックスに配置し、ボックスの唯一の開口部はケーブルが出る小さな穴だけにする必要があります。この構成により、放射線量が最小限に抑えられます。

**目的:**レシーバの感度が性能規格に準拠していることを検証するため。

**合格条件:**仕様と合格条件については、それぞれの規格文書を参照してください。

**テスト環境:**レシーバ感度のテスト設定を 図 8-1 に示します。



**図 8-1. レシーバ感度のテスト設定の図**

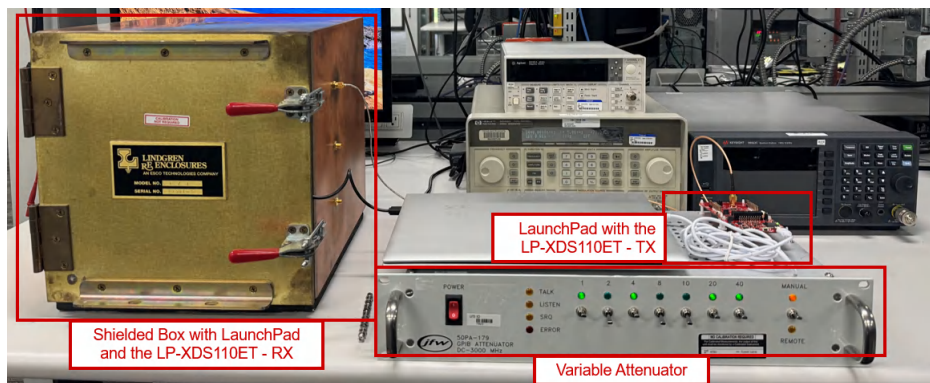


図 8-2. レシーバ感度テスト ベンチの設定 - 前面

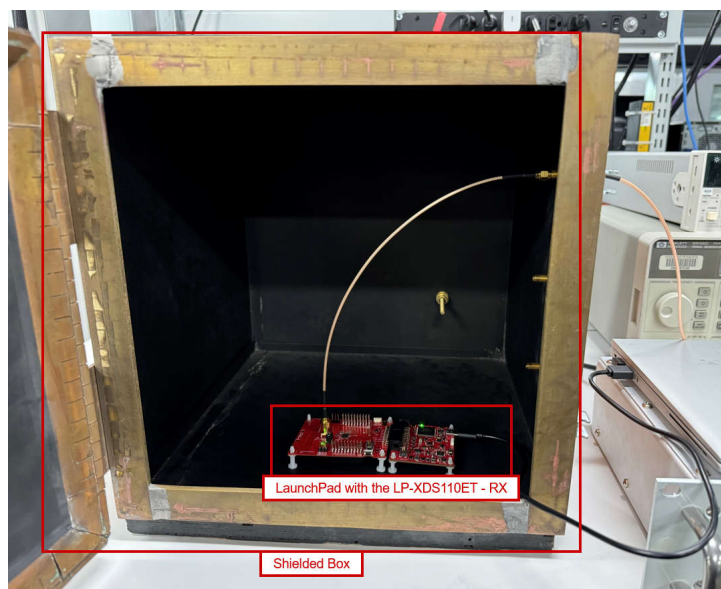


図 8-3. レシーバ感度テスト ベンチの設定 - シールド ボックス

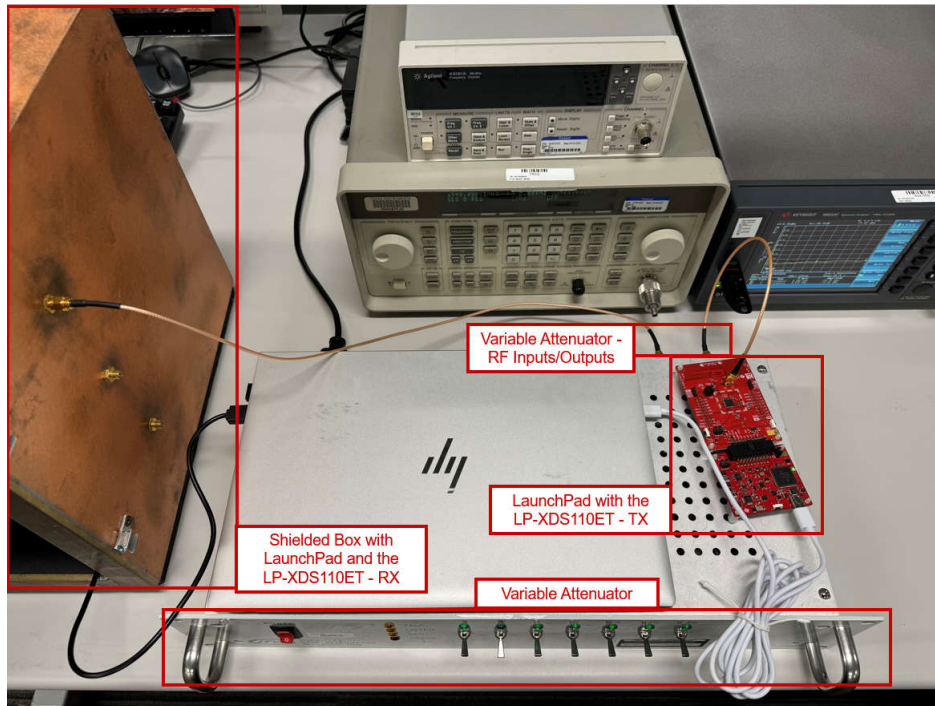


図 8-4. レシーバ感度テスト ベンチの設定 - 上面

手順:

- ステップ 1: 図 8-1、図 8-2、図 8-3、図 8-3 に示すように、機器を接続します。
- ステップ 2: TX 側と RX 側の両方を適切な RF 設定で構成します。対応するデバイスのパケット TX またはパケット RX タブを選択し、適切なパケットフォーマットを選択します。
- ステップ 3: 最初にレシーバを起動します。「Seq number included in payload (ペイロードに含まれるシーケンス番号)」ボックスがチェックされている (有効になっている) ことを確認します。
- ステップ 4: 「Start (開始)」をクリックしてトランスミッタを起動します。
- ステップ 5: RX 側の RSSI 読み取り値は、信号強度の相対的なインジケータを提供します
- ステップ 6: PER は、次の式を使用して計算されます。
  - PER % = (パケット損失数 / パケット総数) x 100
- ステップ 7: RX 側で示されている PER が 1% に達するまで減衰を増やします。このレベルは、感度スレッショルドを定義します。これは常にそうとは限りません。標準 / パケット サイズなどに依存します

表 8-2. レシーバ感度テスト結果

	感度 (dBm)、PER < 1%			設計仕様 (dBm)	合格/不合格?
	周波数 1 (MHz)	周波数 2 (MHz)	周波数 3 (MHz)		
1					
2					

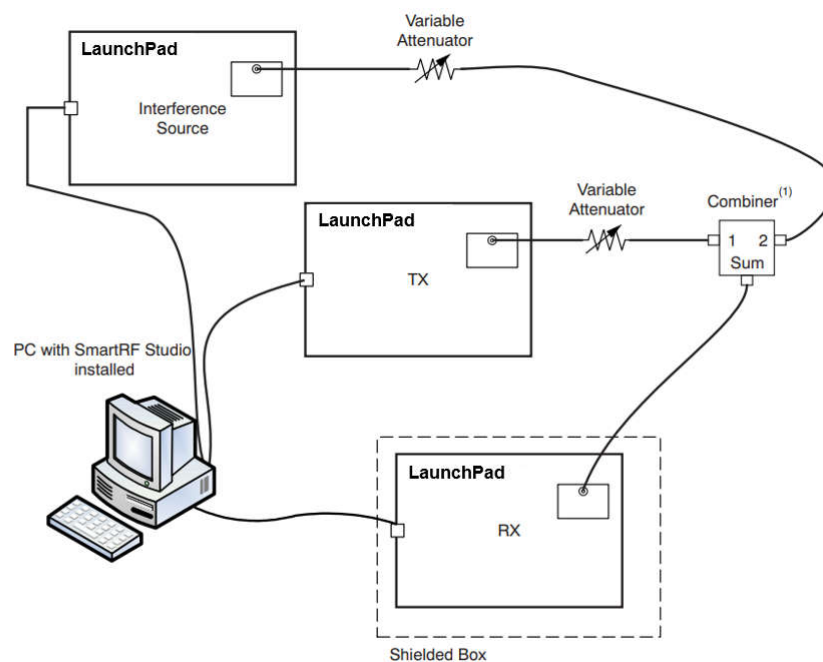
テスト結果:

8.2 干渉テスト

目的: レシーバの感度が公開されている規格に準拠していることを検証するため。

合格条件: 仕様と合格条件については、それぞれの規格文書を参照してください。

テスト環境: 図 8-5 に、干渉テスト設定を示します。



(1) 3-dB loss in signal on each input path through the combiner.

図 8-5. 干渉テスト設定図

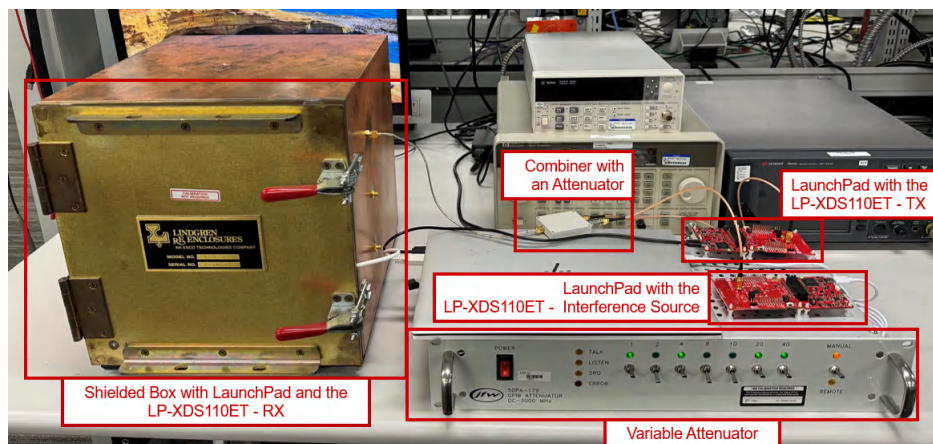


図 8-6. 干渉テスト ベンチの設定 - 概要



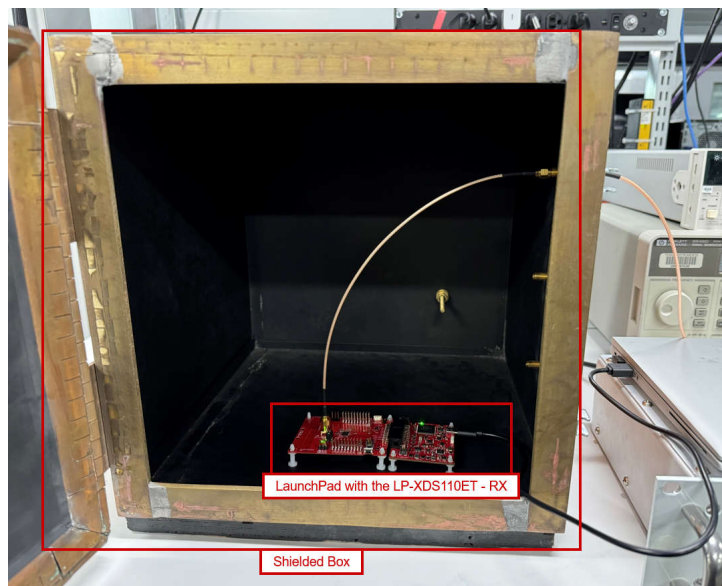


図 8-7. 干渉テスト ベンチの設定 - シールド ボックス

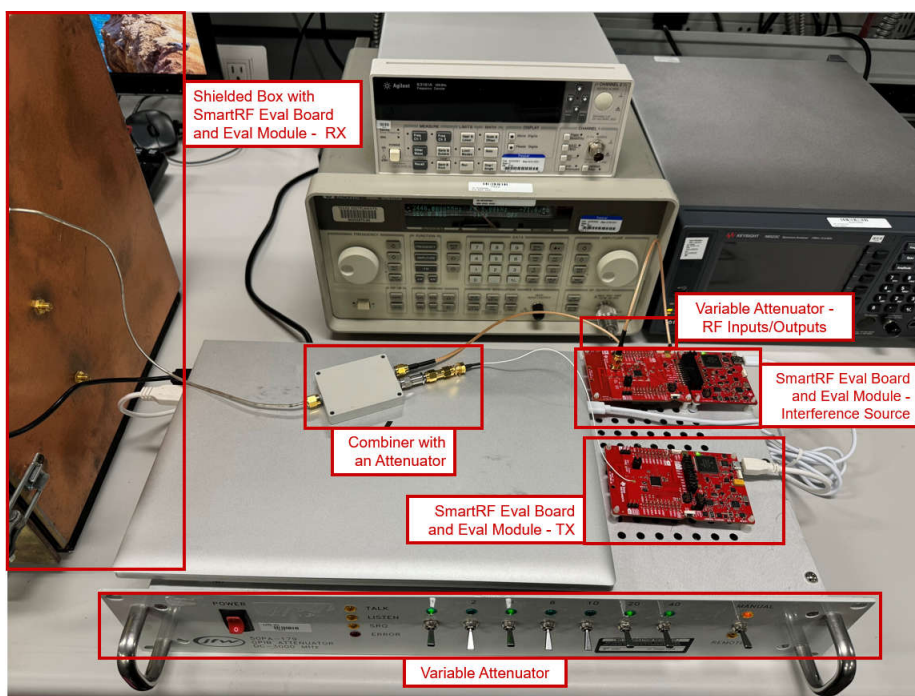


図 8-8. 干渉テスト ベンチの設定 - TX および干渉接続

#### 注

可変アッテネータが使用できない場合は、一連の固定アッテネータを代わりに使用できます。また、図 8-8 図 8-8 に示すように、可変アッテネータと固定アッテネータを組み合わせることで減衰係数を大きくすることもできます。

#### 手順:

- ステップ 1: 図 8-5、図 8-6、図 8-7、図 8-8 に示すように、機器を接続します。
- ステップ 2: TX ボードと RX ボードには、感度テスト 8.1 と同じ構成を使用します。
- ステップ 3: INT (干渉) ボードをトランスミッタとして設定します。ただし、周波数は TX 信号と RX 信号のどちらも異なる場合があります。同一チャネル干渉をテストする場合は、周波数を同じにする必要があります。そうしないと、周波数

が変動します。さらに、パケットを送信する TX とは異なり、INT は連続的に送信します (つまり、連続変調信号であるということです)。

- ステップ 4:RX 側での受信電力が感度テストから得られた感度スレッショルドより 10dB 上になるように TX の出力電力を設定します。これも規格によって異なります。(感度テスト完了後、アッテネータから 10dB の減衰を除去します。)
- ステップ 5:まず、INT ボードの出力電力を可能な限り低い出力電力に設定し、送信を開始します。
- ステップ 6:RX ボードと TX ボードの間で感度テストを実行し、PER を記録します。RX 側に表示される PER が 1% を超えるまで、INT の出力電力を上げ続けます。RX 側で測定された TX 電力と INT 電力の差は、CCxxxx デバイスが干渉を克服できることを示しています。

**表 8-3. 隣接チャネルのテスト結果**

	チャンネル	周波数 (MHz)	差 (dB)	設計仕様 (dB)	合格/不合格?
1					
2					
3					

**表 8-4. 代替チャネルのテスト結果**

	チャンネル	周波数 (MHz)	差 (dB)	設計仕様 (dB)	合格/不合格?
1					
2					
3					

テスト結果:

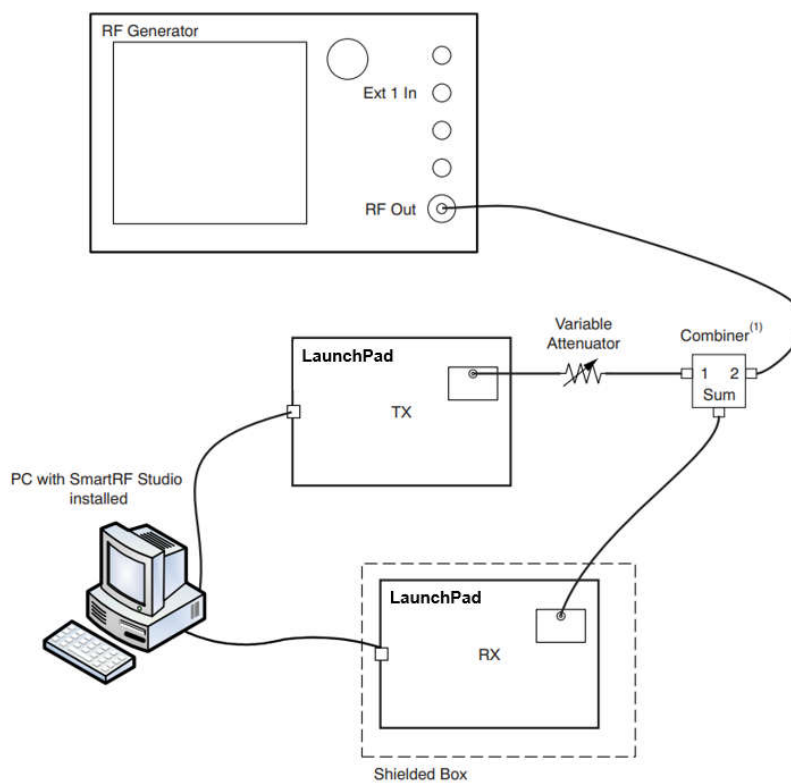
### 8.3 RF ジェネレータを使用した干渉テスト

目的:レシーバの感度が公開されている規格に準拠していることを検証するため。

合格条件:仕様と合格条件については、それぞれの規格文書を参照してください。

テスト環境: [図 8-9](#) は、RF ジェネレータを使用した干渉テスト設定を示しています。





(1) 3-dB loss in signal on each input path through the combiner.

図 8-9. RF ジェネレータによる干渉テストの設定図

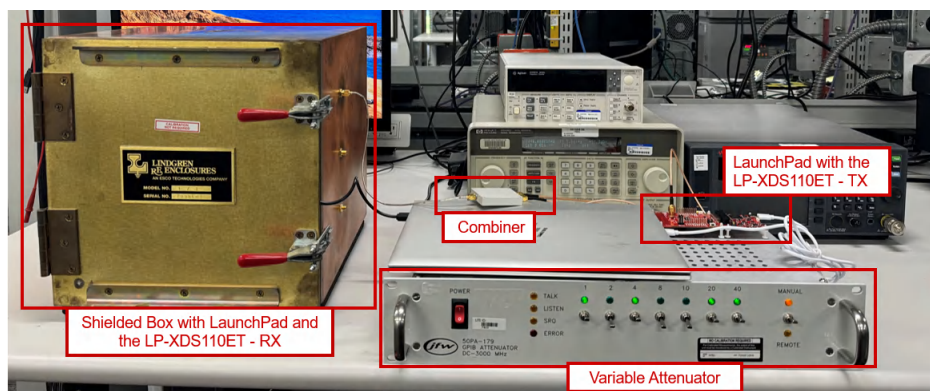


図 8-10. RF ジェネレータによる干渉テストのベンチ設定 - 概要

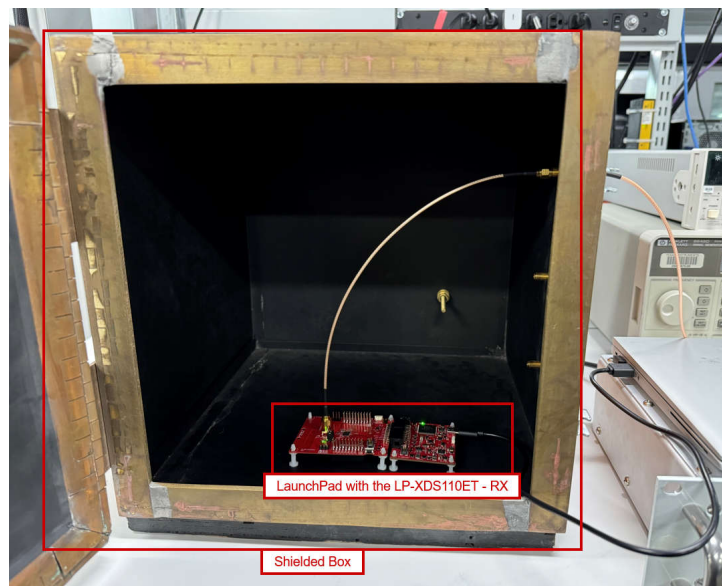


図 8-11. RF ジェネレータによる干渉テストのベンチ設定 - シールド ボックス

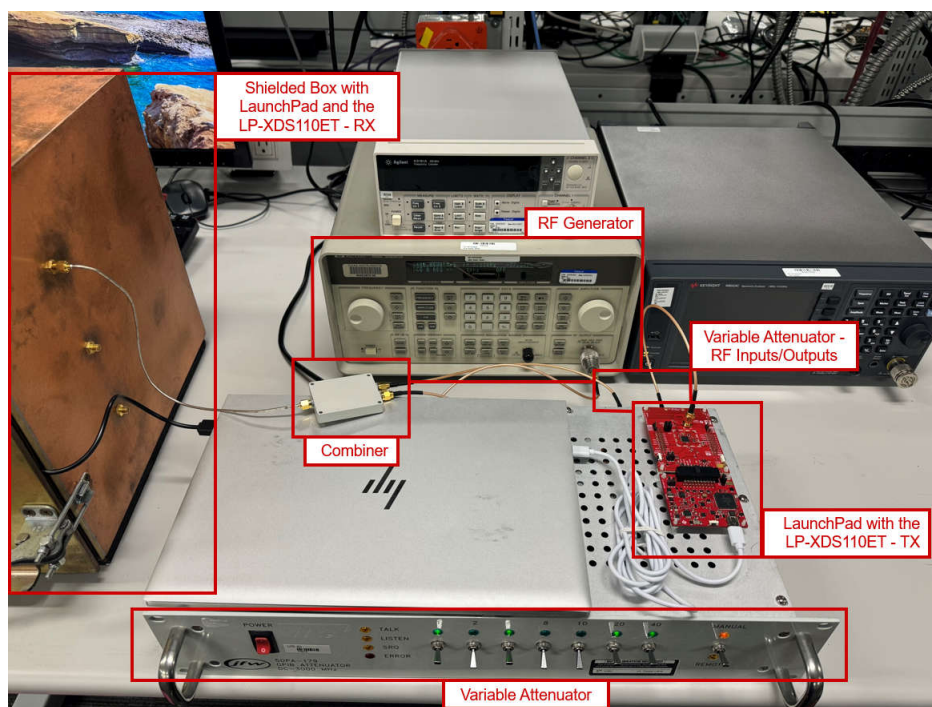


図 8-12. RF ジェネレータによる干渉テストのベンチ設定 - TX 接続に。

手順:

- ステップ 1: 図 8-9、図 8-10、図 8-11、図 8-12 に示すように、機器を接続します。
- ステップ 2: 感度テスト用に TX ボードと RX ボードを設定する必要があります。
- ステップ 3: 干渉信号は、連続的な非変調信号を使用して設定されます。この場合、同一チャネル干渉をテストしない限り、周波数は TX および RX と異なる可能性があります。
- ステップ 4: RX 側での受信電力が感度テストから得られた感度スレッショルドより 10dB 上になるように TX の出力電力を設定します。(感度テスト完了後、アッテネータから 10dB の減衰を除去します。)
- ステップ 5: まず、INT ボードの出力電力を可能な限り低い出力電力に設定し、送信を開始します。

- ステップ 6:RX ボードと TX ボードの間で感度テストを実行し、PER を記録します。RX 側に表示される PER が 1% を超えるまで、INT の出力電力を上げ続けます。RX 側で測定された TX 電力と INT 電力の差は、CCxxxx デバイスが干渉を克服できることを示しています。

**表 8-5. 隣接チャンネルのテスト結果**

	チャンネル	周波数 (MHz)	差 (dB)	設計仕様 (dB)	合格/不合格?
1					
2					
3					

**表 8-6. 代替チャンネルのテスト結果**

	チャンネル	周波数 (MHz)	差 (dB)	設計仕様 (dB)	合格/不合格?
1					
2					
3					

テスト結果:

## 付録 A オフセット EVM と EVM の比較

オフセット EVM と EVM はどちらも、誤差ベクトル振幅の測定値です。言い換えると、実際の信号位置が理想的な位置からどれだけ離れているかを示します。

オフセット EVM と EVM の違いは、これらの測定値をいつ取得するかです。オフセット EVM 測定では、シンボルの開始部分の信号の同相 (I) 部分と、シンボルの中央部分の直交位相 (Q) 部分の EVM を計算します。このアプローチにより、復調器がデコードしようとするときに下す実際の決定ポイントで、EVM を入手できます。この方法は、CCxxxx デバイス内の実際の復調器を反映するため、EVM の正しい測定方法です。

完全な信号を得るためには、オフセット EVM と EVM のどちらを使用するかは関係ありません。I 位相と Q 位相のそれぞれの遷移が決定点よりもノイズが多いスペクトルの場合、通常の EVM 測定を実行すると結果は悪くなりますが、信号受信能力には影響しません。

## 9 参考資料

特に記述のない限り、以下の参考資料はテキサス インストルメンツの Web サイトからダウンロードできます。  
([www.ti.com](http://www.ti.com))

1. [Rohde and Schwarz](#)。(2005 年)Rohde & Schwarz、185:1 からのニュース。製品情報速報。
2. [ヨーロッパ電気通信標準化協会](#)。欧州諸国の政府の規制委員会。
3. [連邦通信委員会](#)。米国政府の規制委員会。
4. [電波産業協会](#)。業界団体のウェブサイト。
5. [SmartRF Studio](#)。[www.ti.com](http://www.ti.com) の製品フォルダ

## 10 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision * (September 2011) to Revision A (December 2025)	Page
• リンクを更新、クロック チューニング セクションを追加、LabView への参照を削除、より詳細な手順と画像を追加、放射測定基準を追加。.....	1



## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月