

Application Note

CC33xx/CC35xxE のシンプルな RF テストガイド



Zach Robbins

概要

このガイドでは、以下の TI デバイスの基本的な RF テスト手順について説明します。CC3300、CC3301、CC3350、CC3351、CC3300MOD、CC3301MOD、CC3350MOD、CC3351MOD、CC3501E、CC3551E。テストには、TX 電力、エラー ベクトル振幅 (評価基板)、RX 感度、周波数精度が含まれます。このガイドに従うと、開発ユーザーは HW プロトタイプのパフォーマンス評価を実施し、最終製品の規制試験を実施することもできます。

目次

1 必須項目.....	2
2 使用可能なツールの概要.....	3
3 無線ツールの使用の開始.....	3
4 キャリブレーション ツールの使用の開始.....	4
5 Wi-Fi テスト.....	5
5.1 無線ツールを使用した TX テスト.....	5
5.2 キャリブレーション ツールを使用した TX テスト.....	8
5.3 無線ツールを使用した RX テスト.....	9
5.4 キャリブレーション ツールを使用した RX テスト.....	10
6 BLE テスト.....	10
6.1 無線ツールを使用した TX 電力.....	11
6.2 HCI コマンドを使用した TX 電力.....	12
6.3 無線ツールを使用した RX 感度.....	12
6.4 HCI コマンドを使用した RX 感度.....	13
7 トラブルシューティング / FAQ.....	13
8 デューティ サイクル表.....	14
9 まとめ.....	14
10 参考資料.....	14

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 必須項目

RF テストを実施するには、以下が必要です。

- CC33xx、CC35xxE のいずれかの接頭辞があります。これは、テスト対象デバイス (DUT) です
- コンピュータ
- VSA/VSG (LitePoint など)。TX 測定はスペクトル アナライザ (SA) を使用して実行できますが、TX 電力測定の間違った解釈が発生する可能性があります (「[トラブルシューティング / FAQ](#)」セクションを参照)
- 最新の SDK をダウンロードしました。ここで、キャリブレーション ツールと無線ツールのガイドを入手できます。
 - CC33xx [SDK](#)
 - CC35xxE [SDK](#)
 - [Wi-Fi ツールボックス](#) (無線ツールを含む)
- 適切なデバugg (LP-XDS110ET など)
- 必要なケーブル接続 (図 1-1 および図 1-2 を参照)

無線ツールを使用している場合: 最新バージョンの Google Chrome が必要です (他の Web ブラウザもサポートされていますが、Chrome をお勧めします)

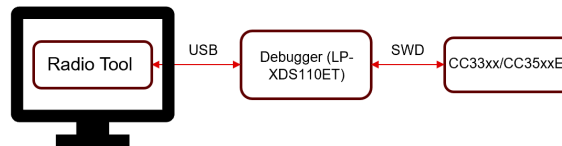


図 1-1. 無線ツールのケーブル接続設定

キャリブレーション ツールを使用する場合: 端末アプリケーション (PuTTY など) が必要です

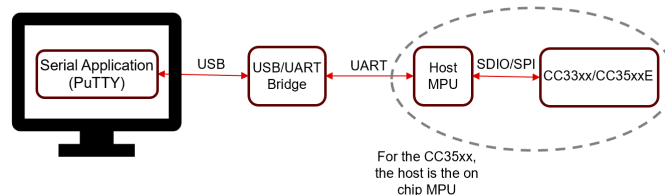


図 1-2. キャリブレーション ツールのケーブル接続設定

注

CC33xx を LP-XDS110ET と組み合わせて使用する場合、電源がターゲット ボードから供給されるように、レベル シフト電圧セレクタのピン 2 とピン 3 の間にジャンパを配置する必要があります。「[BP-CC3351 ユーザーガイド](#)」の次の図を参照してください

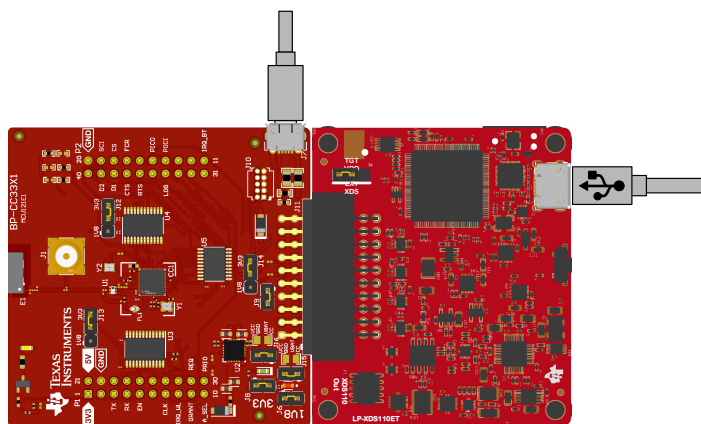


図 1-3. LP-XDS110ET のジャンパ位置の図

2 使用可能なツールの概要

無線ツールは、SWD インターフェイスに依存する GUI です。TI の評価キット (EVK) は、LP-XDS110ET デバッガとシームレスに統合されているため、EVK でテストを行うユーザーには無線ツールが推奨されます。たとえば、BP-CC3351 または LP-XDS110ET と組み合わせた LP-EM-CC35x1 があります。

キャリブレーション ツールはコマンド ライン インターフェイス (CLI) であり、ホスト上で実行されるため、デバッガは不要になります。CC33xx の場合、ホストは付属の MPU であり、CC35xxE の場合、これは内部マイコンです。

3 無線ツールの使用の開始

無線ツールを使用してテストを行う場合は、次の手順に従います。

1. 「simplelink-wi-toolbox」アプリケーションを開き、無線ツールを起動します。図 3-1 に示すように、最初の画面が表示されます

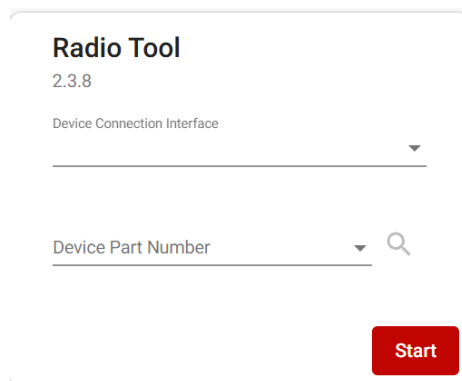
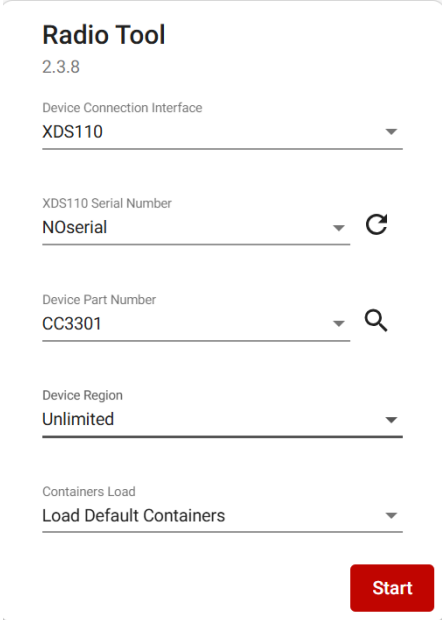


図 3-1. 無線ツールホームページ

2. 最初のドロップダウンで、XDS110 を選択します。2 番目のドロップダウンで、デバイスに一致するシリアル番号を選択します。シリアル番号が表示されない場合は、[リフレッシュ] ボタンをクリックします。



Radio Tool
2.3.8

Device Connection Interface
XDS110

XDS110 Serial Number
N0serial

Device Part Number
CC3301

Device Region
Unlimited

Containers Load
Load Default Containers

Start

図 3-2. 無線ツール XDS110 接続ページ

3. ボードに対応する型番 (CC3301 など) を選択します。
4. 適切な地域を選択します。IC テストでは、IEEE に完全準拠した性能を得るには、この制限を無制限にする必要があります。モジュール テストでは、他の地域を選択して、規制に準拠する電力制限を有効にします。
5. 必要なコンテナ タイプを選択します。TI は、デフォルトのコンテナのロードを推奨しますが、以下のオプションを使用できます
 - プリロード済み: 前のセッションで目的のソフトウェアがすでにデバイスにロードされている場合は、このオプションを選択します
 - デフォルト: 公式の Wi-Fi Toolbox 統合ソフトウェアをロードするには、このオプションを選択します
 - カスタム: カスタム ブート ローダー、ファームウェア、構成ファイルのいずれかまたは両方をデバイスにロードする場合は、このオプションを選択します。詳細については、無線ツール ガイドを参照してください
6. [Start] をクリックします。これで、ユーザーは無線機ツールを使用してテストを実行する準備が整いました。

4 キャリブレーション ツールの使用の開始

キャリブレーション ツールを使用してテストを行う場合は、次の手順に従います。注: キャリブレーション ツールはネットワーク ターミナル内で実行されます。

1. コンピュータで [デバイス マネージャー] を開き、割り当てられた COM ポート番号を確認します。CC33xx の場合、1 つのオプションのみが表示されます。CC35xxE の場合、「Class Application/User UART」の隣にある番号を書き留めます。
2. PuTTY (または別のターミナルアプリケーション) を開き、[Connection Type] で [Serial] を選択します。
3. [Serial Line] に COM ポート番号を入力します。
4. ホスト シリアル インターフェイスに対応するボー レートを選択します。TI SDK のデフォルト値は 115200 です。
5. (CC35xxE のみ): 出力は図 4-1 に似ているはずです。

```
=====
Available commands:

help                clear                wlan_ap_role_up      wlan_ap_role_down
wlan_sta_role_up    wlan_sta_role_down  wlan_connect         wlan_set_early_term
wlan_get_early_term wlan_disconnect      wlan_scan            wlan_get_mac
wlan_set_mac        wlan_get_ps         wlan_set_ps          wlan_set_pm
wlan_set_if_ip      wlan_get_if_ip      wlan_set_dhcp        wlan_get_dhcp
test_sleep          wlan_set_LSI        wlan_get_fw_ver      wlan_start
wlan_stop           iperf               iperf_stop           ble_adv_cfg
ble_adv_enable      ble_scan_cfg        ble_scan_enable      ble_connect
ble_disconnect      ble_peers           ble_delete_bonds     ble_get_bd_addr
ble_set_bd_addr     ble_set_tx_pwr      ble_conn_update      ble_set_phy
ble_start           ble_stop            csi_enable           csi_stop
csi_disable         csi_get_results     csi_config           csi_set_mac
calibrator          snmp_config_servers snmp_update          set_date_time
get_date_time       vend_IE_add         vend_IE_remove       set_peer_aging
p2p_role_up         p2p_role_down      p2p_find            p2p_connect
p2p_stop_find       p2p_group_remove   p2p_set_channel      p2p_get_channel
p2p_listen          p2p_cancel         start_ap_wps         wlan_set_con_policy
wlan_get_con_policy wlan_add_profile     wlan_del_profile     wlan_get_profile
wlan_set_dwell_time wlan_profile_connectping
set_cstm_reg_domain get_cstm_reg_domain

=====

user: █
```

図 4-1. 使用可能なネットワーク ターミナル コマンドのリスト

6. **(CC33xx のみ):**カーネルとモジュールが正しく設定されていることを確認します。

```
zcat /proc/config.gz | grep NL80211_TESTMODE
```

想定出力:

```
CONFIG_NL80211_TESTMODE=y
```

7. **(CC33xx のみ):**プロンプトが表示されたらログイン認証情報を入力し、次のコマンドを実行して、ファームウェアが正しくロードされていることを確認します。

```
ifconfig wlan0
```

出力は図 4-2 に似ているはずです

```
root@am335x-evm:~# ifconfig wlan0
wlan0      Link encap:Ethernet  HWaddr A4:34:F1:B3:19:54
           UP BROADCAST MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
           RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
           TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
           collisions:0 txqueuelen:1000
           RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:0 (0.0 B)

root@am335x-evm:~# █
```

図 4-2. ファームウェア ダウンロードの確認

5 Wi-Fi テスト

このセクションでは、基本的な Wi-Fi RF テストについて説明します。IEEE 802.11 規格に準拠するために一般的に必要なテストは次のとおりです。TX 電力、評価基板、周波数の精度。

5.1 無線ツールを使用した TX テスト

画面は、図 5-1 のようになります。まだ無線機ツールを設定していない場合、またはユーザーが無線機ツールを設定していない場合は、まず、「無線機ツールの概要」セクションに移動し、手順に従います。

Device : CC3351
Connection Interface : XDS110 Serial Number : LS420CFD FW Version : cc3xxx_rev_1.7.16.323 PHY Version : 1.2.0.47.6.8.40.69

Wi-Fi TX

Transmit Parameters

Antenna Number: 0 Source MAC Address: 00:11:22:33:44:55 Destination MAC Address: 10:02:03:04:05:06 Packet Length Start [Bytes]: 100 Packet Length End [Bytes]: 100

Band *: 2.4 Ghz Preamble Type *: 11ag Legacy OFDM Phy Rate *: 6 Mbps TX Power [dBm]: 10 Regulatory Limit Tx Power [dBm]: 21

Channel *: 6 [2437 MHz] Disable CCA Sensing

Packet Mode *: Continuous

Delay [uSec]: 3000

Data Mode *: Random Value

Export Import

Tune Ch. and Calibrate on TX Start **TX Start**

図 5-1. 無線ツールの Wi-Fi TX ホームスクリーン

1. [Transmit Parameters] カラムで、必要な設定を行います。最も関連性の高いパラメータは、バンドとチャンネルです。
2. [TX Parameters] で、目的のプリアンブル タイプと PHY レート、および TX Power のターゲット テスト値を選択します。
3. 最適な性能を得るには、デューティ サイクルが約 30% になるように、[Delay] パラメータと [Packet Length] パラメータを設定します。入力する値が不明な場合は、「[デューティ サイクル表](#)」を参照してください。
4. [Tune Ch. and Calibrate on TX Start] を有効にします。
5. 送信を開始する前に、RF テスト機器を無線ツールで設定した周波数と同じ周波数で VSA モードに設定します。TX 電力、評価基板、および周波数誤差を表示するように測定表を構成します。LitePoint の例を以下に示します。

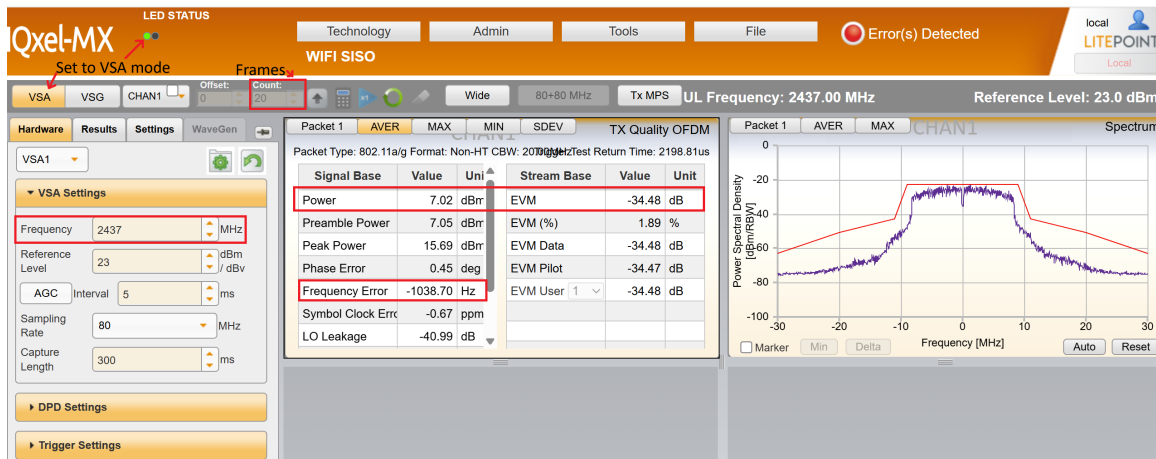


図 5-2. LitePoint 画面の設定例

7. [TX Start] をクリックして、VSA の送信を開始し、連続解析を実行します。TX 電力、プリアンブル タイプ、Phy レートを変更する場合、デバイスがデータシートの TX 電力仕様と、802.11 評価基板および周波数精度に関する規格を満たしていることを確認する必要があります。

注: IEEE 802.11 に従い、評価基板を適切に測定するには、少なくとも 20 フレームにわたってテストを実行する必要があります。これらのフレームの平均値を IEEE しきい値と比較できます。フレームは少なくとも 16 の OFDM シンボル長でなければなりません。

注: セットアップでの損失を考慮に入れてください。上の図に示すように、ケーブル損失による 3dBm の不一致があります。測定された TX 電力が無線機ツールで設定された値を下回っている場合は、「[トラブルシューティング / FAQ](#)」セクションを参照してください。

5.1.1 802.11ax トリガー ベースのテスト

必要に応じて、[Preamble Type] で [11ax TB] を選択することで、トリガー ベース (TB) テストを実行できます。その後、画面が [図 5-3](#) に一致している必要があります。

図 5-3. Wi-Fi TX 11ax TB 無線ツール ホームページ

無線ツールには、Autonomous Trigger または External Trigger を TB モードとして設定するオプションがあります。外部モードの設定は非常に複雑なため、自律モードを使用することをお勧めします。自律モードの使用方法については、以下の手順を参照してください。External Trigger を使用する場合は、External Trigger の手順に進みます。

1. 無線ツールおよび VSA で目的の PHY Rate を選択します。
2. 必要な GI/LTF タイプと HeLtf の数を選択します。これらの設定に一致するように VSA を構成する必要があります。そうしないと、評価基板値は通常は High と表示されます。
3. 無線ツールおよび VSA で目的の RU アロケーション インデックスを選択します。
4. 無線ツールで [Start] をクリックし、VSA で連続解析を実行します。

外部トリガ

外部トリガを使用する場合、トリガ フレーム波形は無線ツールとテスト機器の両方で設定する必要があるすべてのパラメータを決定します。

注

無線ツールで TX Power を設定しても、TX Power はトリガ フレームで定義されるため、何の影響もありません。

1. VSA モードと VSG モードの両方になるようにテスト機器を設定します。
2. VSA の場合、GI LTF Type、Num LTF、PHY Rate、および RU index を、トリガ フレームで定義されている値と一致するように設定します。
3. 無線ツールで、PHY レートと AID をトリガ フレームで定義されている値と一致するように設定します。[TX Start] をクリックします。
4. VSA で連続分析を開始します。
5. トリガ フレームを VSG にアップロードし、デバイスへの送信を開始します。

5.2 キャリブレーション ツールを使用した TX テスト

キャリブレーション ツールがまだ設定されていない場合は、「[キャリブレーション ツールの使用の開始](#)」セクションに移動してから続行してください。TX テストの実施方法については、以下のフロー例を参考にしてください。キャリブレーション ツールの詳細については、該当する SDK に掲載されている CC33xx および CC35xx のキャリブレーション ツール ガイドを参照してください。

CC33xx 例のチャンネル 6 のフロー、11ax SU プリアンブルタイプ、MCS6 レート、TX パワー 21:

```
calibrator wlan0 plt power_mode on
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 6 0 0
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_manual_calib -tx 1
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_tx -preamble_type 5 -phy_rate 19 -tx_power 31
calibrator wlan0 cc33xx_plt start_tx
calibrator wlan0 cc33xx_plt stop_tx
```

CC35xx 例のチャンネル 6 のフロー、11ax SU プリアンブルタイプ、MCS6 レート、TX パワー 21:

```
wlan_start
calibrator power_mode on
calibrator tune_channel 6 0 0
calibrator set_manual_calib -tx 1
calibrator set_tx -preamble_type 5 -phy_rate 19 -tx_power 31
calibrator start_tx
calibrator stop_tx
```

注: [図 5-4](#) は、デバイスを調整する際に役立ちます。パラメータは、表示される順序で入力する必要があります。

Parameter	Option	Description
CHAN	1 - 13	2.4 GHz Wi-Fi Channels
	36 - 165	5 GHz Wi-Fi Channels
BAND	0	2.4 GHz Wi-Fi Band
	1	5 GHz Wi-Fi Band
BANDWIDTH	0	Bandwidth Allocation

図 5-4. TX パラメータ表

VSA で、TX 電力、評価基板、および周波数誤差を表示できるように表を構成します。TX 電力、プリアンブル タイプ、Phy レートを変更するには、デバイスがデータシートの TX 電力仕様と、802.11 評価基板および周波数精度に関する規格を満たしていることを確認する必要があります。

5.2.1 802.11ax トリガー ベースのテスト

必要に応じて、プリアンブル タイプを 8 に設定して、トリガー ベース (TB) テストを実行できます。キャリブレーション ツールには、TB_AUTO パラメータを設定して、Autonomous モードまたは External Trigger モードを使用するオプションがあります。外部トリガー モードの構成はより複雑なため、自律モードを推奨します。外部トリガー モードを使用する場合は、[\[External Trigger\]](#) セクションに進みます。パラメータ選択の詳細については、「[キャリブレーション ツール ガイド](#)」を参照してください。

1. キャリブレーション ツールおよび VSA で、[\[PHY Rate\]](#) を選択します。
2. 必要な GI/LTF タイプと HeLtf の数を選択します。これらの設定に一致するように VSA を構成する必要があります。そうしないと、評価基板値は通常は High と表示されます。
3. キャリブレーション ツールおよび VSA で目的の RU アロケーションインデックスを選択します。
4. キャリブレーション ツールで start_tx を実行し、VSA で連続解析を実行します。

外部トリガ:

外部トリガを使用する場合、トリガ フレーム波形は Calibrator Tool とテスト機器の両方で設定する必要があるすべてのパラメータを決定します。

注: キャリブレーション ツールで TX Power を設定しても、TX Power はトリガ フレームによって定義されるため、何も変化しません。

1. VSA モードと VSG モードの両方になるようにテスト機器を設定します
2. VSA の場合、GI LTF Type、Num LTF、PHY Rate、および RU index を、トリガ フレームで定義されている値と一致するように設定します
3. キャリブレーション ツールで、PHY レートと AID をトリガ フレームで定義されている値と一致するように設定します。
[start_tx] を実行します
4. VSA で連続分析を開始します
5. トリガ フレームを VSG にアップロードし、デバイスへの送信を開始します

5.3 無線ツールを使用した RX テスト

画面の左側には、ユーザーが [Wi-Fi RX] をクリックできるパネルがあります。まだ無線機ツールを設定していない場合、またはユーザーが無線機ツールを設定していない場合は、まず、「無線機ツールの概要」セクションに移動し、手順に従います。[Wi-Fi RX] をクリックすると、画面は図 5-5 のようになるはずです。

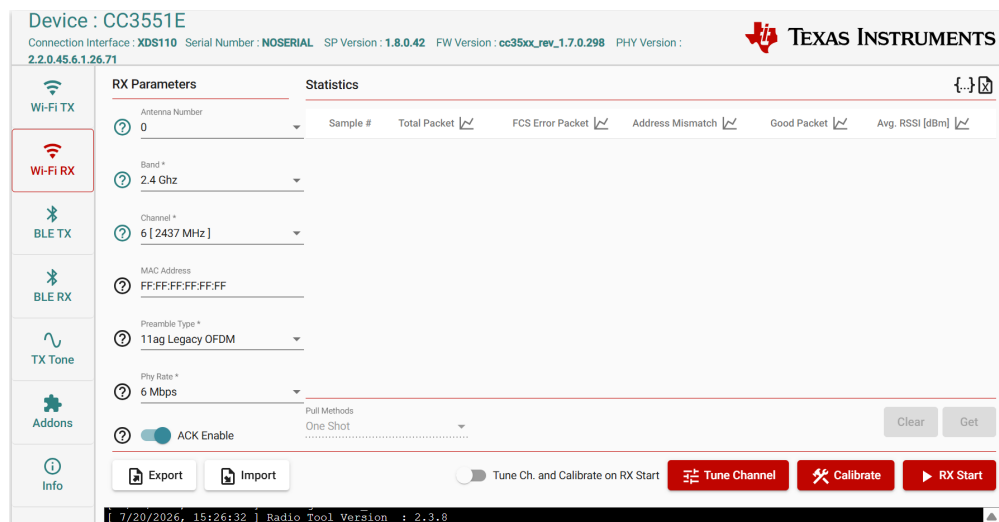


図 5-5. 無線ツールの Wi-Fi RX ホームページ

1. [RX Parameters] カラムのデフォルトの MAC アドレスは FF:FF:FF:FF:FF:FF で、レシーバーはブロードキャスト モードになります。これは導電性テストに適しています。無線テストでは、送信元アドレスに一致するように MAC アドレスを設定することで、MAC フィルタリングを適用すると便利です。
2. 必要に応じて、残りの RX Parameters を構成します。
3. [Tune Ch. and Calibrate on RX Start] トグルを有効にし、[RX Start] をクリックして受信を開始します。
4. 次の 3 つの統計情報プル方式を使用できます。
 - ワンショット: [Get] ボタンがクリックされた瞬間の統計情報をキャプチャします。
 - interval: ユーザ定義のインターバル (秒単位) でポーリングし、停止するまで累積統計情報を投稿します。
 - Interval and Count: Interval と同じですが、Number of Samples パラメータによってポーリング サイクル数を制限します。

デバイスの感度をテストするには、対応するデータシートの「レシーバの特性」セクションを参照し、損失を考慮して VSG TX 電力を記載の感度値よりわずかに高く設定します。無線ツールで選択したデータレートに一致する波形をインポートします。PER が適用可能なスレッシュホールド (プリアンブル タイプに依存) を下回っている場合は、デバイスがスレッシュホールドに達するまで VSG 電力レベルを下げます。

注: 最良の結果を得るには、このテストおよびその他の RX 感度テストを RF シールド付きエンクロージャで実行する必要があります。また、DUT が受信するパケット数と比較するために、参照として VSG から特定の数のパケットを送信するようにしてください。

パフォーマンスが低下したり、パケットが受信されなかったりする場合は、「[トラブルシューティング / FAQ](#)」の項を参照してください。

5.4 キャリブレーション ツールを使用した RX テスト

このセクションでは、キャリブレーション ツールを使用した感度テストについて説明します。キャリブレーション ツールが設定されていない場合は、「[キャリブレーション ツールの使用の開始](#)」セクションに移動してから続行してください。感度テストの実行方法の参照として、以下のフローの例を使用します。キャリブレーション ツールの詳細については、該当する SDK に掲載されている CC33xx および CC35xx のキャリブレーション ツール ガイドを参照してください。

VSG:

- キャリブレーション ツールで選択したのと同じ周波数で構成します
- キャリブレーション ツールで選択したデータ レートに一致する波形をインポートします
- 損失を考慮して、TX 出力をデータ シートの感度値よりわずかに高く設定します

チャンネル 6 での CC33xx のフロー例、ブロードキャスト モード、11ax SU プリアンブル タイプ、MCS7 レート:

```
calibrator wlan0 plt power_mode on
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 6 0 0
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_manual_calib -rx 1
calibrator wlan0 cc33xx_plt start_rx -source_mac FF:FF:FF:FF:FF:FF -preamble_type 5 -rate 20
calibrator wlan0 cc33xx_plt get_rx_stats
calibrator wlan0 cc33xx_plt stop_rx
```

チャンネル 6 での CC35xx のフロー例、ブロードキャスト モード、11ax SU プリアンブル タイプ、MCS7 レート:

```
wlan_start
calibrator power_mode on
calibrator tune_channel 6 0 0
calibrator set_manual_calib -rx 1
calibrator start_rx -source_mac FF:FF:FF:FF:FF:FF -preamble_type 5 -rate 20
calibrator get_rx_stats
calibrator stop_rx
```

注: 各測定の新しい統計情報を取得するには、コマンド 4 ~ 6 を繰り返します。ストップ / スタート サイクルを省略すると、統計情報が実行中の合計として蓄積されます。

注: [図 5-6](#) は、デバイスを調整する際に役立ちます。パラメータは、表示される順序で入力する必要があります。

Parameter	Option	Description
CHAN	1 - 13	2.4 GHz Wi-Fi Channels
	36 - 165	5 GHz Wi-Fi Channels
BAND	0	2.4 GHz Wi-Fi Band
	1	5 GHz Wi-Fi Band
BANDWIDTH	0	Bandwidth Allocation

図 5-6. RX パラメータ表

注: 最良の結果を得るには、このテストおよびその他の RX 感度テストを RF シールド付きエンクロージャで実行する必要があります。また、DUT が受信するパケット数と比較するために、参照として VSG から特定の数のパケットを送信するようにしてください。

パフォーマンスが低下したり、パケットが受信されなかったりする場合は、「[トラブルシューティング / FAQ](#)」の項を参照してください。

6 BLE テスト

このセクションでは、すべての基本的な BLE テストについて説明します。

6.1 無線ツールを使用した TX 電力

左側の列で BLE TX を選択します。画面が一致している必要があります [図 6-1](#)。まだ設定されていない場合、または無線ツールがまだ設定されていない場合は、まず、「[無線ツールの概要](#)」セクションに移動し、手順に従ってください。

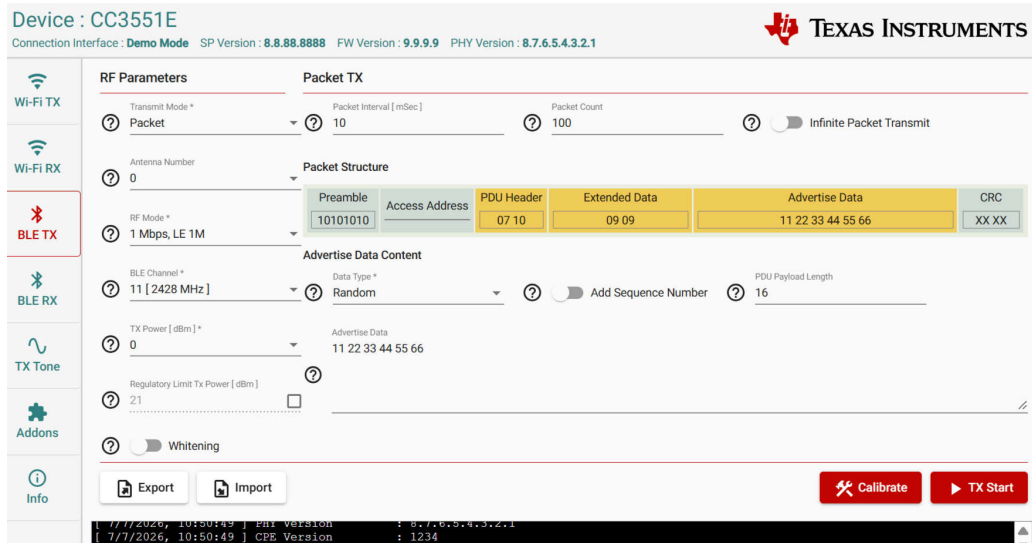


図 6-1. 無線ツールの BLE TX ホームページ

1. BLE チャンネル、RF モード、TX 電力などの設定を構成します。
2. よりスムーズなテストを行うには、[Infinite Packet Transmit] トグルをオンにします。この切り替えをオフにすると、ユーザはパケットを送信するたびに [Calibrate and TX Start] を繰り返しクリックする必要があります、煩わしい作業となります。
3. [Calibrate] をクリックします。TI は、TX 開始のたびにこの作業を行うことをお勧めします。
4. 送信を開始する前に、VSA を正しく設定してください。LitePoint を使用している場合は、画面が [図 6-2](#) に似ているはずです

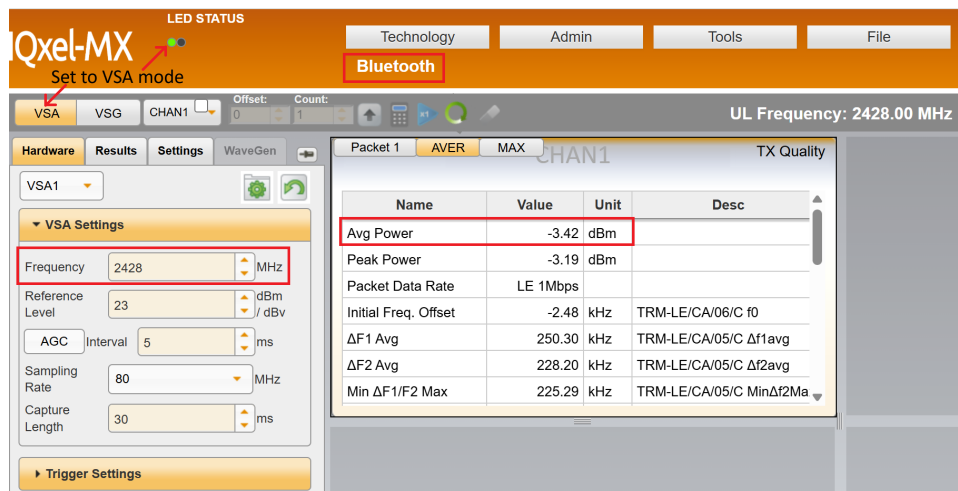


図 6-2. LitePoint 画面の設定例

5. VSA で連続解析を実行します。無線ツールで、[TX Start] をクリックします。

注: セットアップでの損失は常に考慮してください。上の図に示すように、ケーブル損失による 3dBm の不一致があります。測定された TX 電力が無線ツールで設定された値よりも低い場合は、「[トラブルシューティング / FAQ](#)」セクションを参照してください。

6.2 HCI コマンドを使用した TX 電力

キャリブレーション ツールがまだ設定されていない場合は、「[キャリブレーション ツールの使用の開始](#)」セクションに移動してから続行してください。

テスト用にデバイスを準備するには、次の行を入力します。

```
cd /usr/share/cc33xx/
./set_power_mode.sh 0
calibrator wlan0 cc33xx_plt ble_plt
calibrator wlan0 plt power_mode on
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 8 0 3
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_manual_calib -tx 1 -rx 1
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 6 0 0
bluetoothctl power on
calibrator wlan0 plt power_mode off
ifconfig wlan0 down
```

次に、パラメータを必要に応じて構成し、テストを実行します。以下のコマンドは、パケット長 255、パケット パターン PRBS9、PHY レート 1Mbps (LE 1M) の TX 出力 20dBm (チャンネル 10) でのフローの例を示しています。詳細については、「BLE RF Testing Via Linux Driver Guide」[CC33xx SDK](#) 内を参照してください。

```
hcitool cmd 3F 11 0x6 #Set TX power
hcitool cmd 08 34 0xB 0xFF 0x00 0x01 #Set CHANNEL, PACKET LENGTH, PACKET PATTERN, PHY RATE. Start TX
hcitool cmd 08 1F #Stop TX
```

TX パワーを表示できるように VSA を構成します。Start TX HCI コマンドを開始した後、VSA で連続分析を実行してデータをキャプチャします。

6.3 無線ツールを使用した RX 感度

左側の列で、[BLE RX] をクリックします。画面は、[図 6-3](#) と同じようになるはずです。まだ設定されていない場合、または無線ツールがまだ設定されていない場合は、まず、「[無線ツールの概要](#)」セクションに移動し、手順に従ってください。

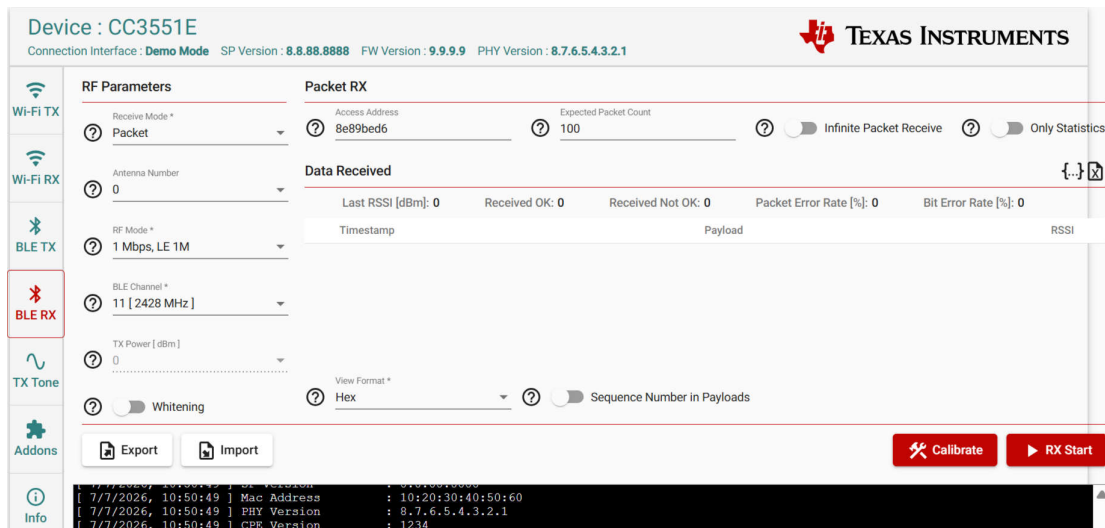


図 6-3. 無線ツールの BLE RX ホームページ

1. BLE チャンネル、RF モード、TX 電力など、必要な RF パラメータを構成します。
2. 予測パケット数を、VSG から送信されるパケット数に設定します。
3. [RX Start] をクリックする前に [Calibrate] をクリックします。TI は、すべてのテストでこの実施を推奨します。
4. VSG で、無線ツールで選択した周波数に一致するように周波数を設定し、目的の電力レベルを設定します。
5. BLE 波形を VSG にアップロードし、送信を開始します。

注: 正確な結果を得るには、このテストおよびその他の RX 感度テストは RF シールドエンクロージャで実施する必要があります。

6.4 HCI コマンドを使用した RX 感度

キャリブレーション ツールがまだ設定されていない場合は、「[キャリブレーション ツールの開始](#)」セクションに移動してから続行してください。

テスト用にデバイスを準備するには、次の行を入力します。

```
cd /usr/share/cc33xx/
./set_power_mode.sh 0
calibrator wlan0 cc33xx_plt ble_plt
calibrator wlan0 plt power_mode on
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 8 0 3
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_manual_calib -tx 1 -rx 1
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 6 0 0
bluetoothctl power on
calibrator wlan0 plt power_mode off
ifconfig wlan0 down
```

次に、パラメータを必要に応じて構成し、テストを実行します。次のコマンドは、PHY レート 1Mbps (LE 1M) のチャンネル 10、および標準変調指数の使用例を示しています。詳細については、「[BLE RF Testing Via Linux Driver Guide](#)」[CC33xx SDK](#) 内を参照してください。

```
hcitool cmd 08 33 0xB 0x01 0x00 # Set CHANNEL, PHY RATE, MODULATION INDEX. Start RX
hcitool cmd 08 1F # Stop RX, show results
```

VSG で、無線ツールで選択した周波数に一致するように周波数を設定し、目的の電力レベルを設定します。次に、BLE 波形を VSG にアップロードして、送信を開始します。

7 トラブルシューティング / FAQ

TI EVK を使用する際、デバイスのキャリブレーションがうまくいきません。

- 両方の USB ケーブルが使用されていることを確認してください。キャリブレーション時には大きな電流が流れるため、USB ケーブルを 1 本しか使用していないと、デバイスが電圧低下を起こす可能性があります。
- (RX のみ) 導電性テストでは、デバイスが受信準備を整える前に VSG が送信を開始すると、デバイスの初期化に失敗する可能性があります。VSG からデータを送信する前に、デバイスを RX モードで起動します

デバイスが RX モードのときに多くのエラー パケットが表示されます。テストの設定に応じて、RF コネクタからチップへ、またはアンテナからチップへのコンデンサが使用されている場合があります。導電性テストでは、コンデンサが RF コネクタではなくアンテナに面している場合、パケットが誤って解釈される可能性があります。コンデンサが RF コネクタに面している場合も、ワイヤレス テストで同じ問題が発生する可能性があります。

VSA がデータを取得していないか、デバイスがパケットを受信していません。テスト機器のポート モードがテスト タイプと一致していることを確認します。TX テストでは、装置が VSA モードである必要があります。RX テストでは、装置が VSG モードである必要があります。さらに、DUT とテスト装置が同じチャンネル上にあることを確認します。

802.11ax Trigger Based (TB) テストを実行していますが、VSA がデータを読み取っていません。トリガー ベースのテストには、無線機ツールまたはキャリブレーション ツールを使用しているかどうかに関係なく、さらにいくつかの設定が含まれます。これらは VSA で正確に一致する必要があります。次の設定があります。GI LTF タイプ、LTF 数、RU アロケーション、PHY レート。

予想よりも低い TX 出力値が表示されています。

- スペクトル アナライザ (SA) を使用している場合は、テスト スペクトルの幅に注意してください。データシートの仕様は、WiFi スペクトル (20MHz) の全幅に基づいて計算されており、多くの SA にはその機能がないため、WiFi 電源に外挿するために計算が必要になります。この計算を行うには、次の式を使用します。
 - $P_{\text{補正済み}}(\text{dBm}) = P_{\text{測定済み}}(\text{dBm}) + 10 \times \log_{10}\left(\frac{20\text{MHz}}{\text{SARBW}}\right)$
- 基板配線損失とケーブル損失が測定で考慮されていることを確認します

- 基板にアンテナと SMA コネクタの間にコンデンサがある場合は、コンデンサが正しい方向を向いていることを確認してください
- 導電性テストでは、RF ケーブルが完全にねじ込まれ、良好な状態でねじれがないことを確認します
- 最適な性能を得るには、デューティ サイクルを **30%** に設定します。デューティ サイクルが大きいと、TX 出力の低下につながる可能性があります
- モジュールを使用している場合は、電力制限アレイ (PLA) の設定を確認します。PLA は、リージョン、チャネル、および RU インデックスに基づいて電力出力を制限します。「無制限」領域を使用している場合、PLA は電力出力に影響を与えません

8 デューティ サイクル表

約 30% のデューティ サイクルを実現するためのパケットの長さと遅延の値の例

表 8-1. 30% デューティ サイクルの値例

プリアンブル タイプ	PHY レート	パケット長 (バイト)	遅延 (μs)
11b	1Mbps	100	2875
	2Mbps	200	2595
	5.5Mbps	550	2417
	11Mbps	1100	2366
11a/g OFDM	6Mbps	650	2170
	9Mbps	800	1773
	12Mbps	950	1575
	18Mbps	1100	1221
	24Mbps	1250	1044
	36Mbps	1400	789
	48Mbps	1550	662
	54Mbps	1800	680
11n/ax	MCS0	240	810
	MCS1	480	863
	MCS2	710	738
	MCS3	950	732
	MCS4	1450	735
	MCS5	1880	712
	MCS6	2110	710
	MCS7	2350	710

9 まとめ

このガイドでは、無線ツールとキャリブレーション ツールの両方を使用する TI の CC33xx および CC35xx デバイスの RF テスト プロセス全体を順に紹介します。これらの手順に従うことで、開発ユーザーはデバイスが、公式部品のデータシートに掲載されている TX 電力、評価基板、RX 感度、周波数精度の仕様を満たしていることを確認できます。テスト中に発生した問題については、「トラブルシューティング / FAQ」の項を参照してください。

10 参考資料

テキサス インストルメンツ、「[BP-CC3351 ユーザー ガイド](#)、[ユーザー ガイド](#)」

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 © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月