

STM32WB シリーズ・マイクロコントローラの立上げ手順

概要

STM32WB シリーズ・マイクロコントローラは、Bluetooth® Low Energy SIG 仕様 v5.0 および／または IEEE 802.15.4-2011 に準拠したワイヤレス機能を組み込んだ超低消費電力デバイスです。これらのプロトコルは、RF と略される無線周波数で動作します。

本書の目的は、アプリケーションの実装を最適化するための詳細なガイドラインを提供することです。

アプリケーションは次の手順を通して最適化されます。

- ボードと環境のセットアップ
- デバイスの設定
- 電源
- HSE の調整
- 出力テスト
- 感度テスト
- パケット交換テスト
- アドバタイジング・モードでの消費電力
- 認証のための RF テスト
- 生産のための RF テスト

このアプリケーション・ノートでは、リファレンス・ハードウェア・プラットフォームとして NUCLEO-WB55 ボード (MB1355C) を使用しています。その後、設定をカスタム実装に適用できます。

このアプリケーションはすべての STM32WB シリーズ・マイクロコントローラのワイヤレス機能に対応していますが、STM32WB シリーズ・マイクロコントローラの専用アプリケーションの実装例として、Bluetooth® Low Energy 規格が使用されています。同じプロセスは IEEE 802.15.4-2011 規格の実装にも使用されます。

1 一般情報

本書は STM32WB シリーズのデュアルコア Arm® ベース・マイクロコントローラに適用されます。
特定の例は STM32WB55 デバイスに基づいていますが、これはシリーズ全体に適用されます。

注 Arm は、米国内およびその他の地域にある Arm Limited (またはその子会社) の登録商標です。

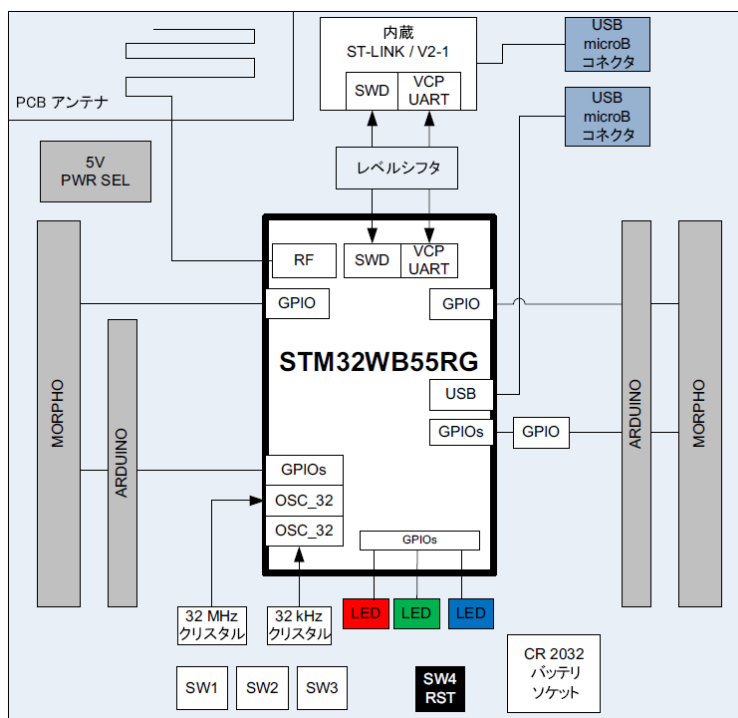


2 ボードのセットアップ

MB1355C NUCLEO-WB55 ボードは、68ピン VFQFPN68 パッケージの STM32WB55RG マイクロコントローラを中心に設計されています。このボードは、USB ドングル付きの P-NUCLEO-WB55 パックに含まれています。

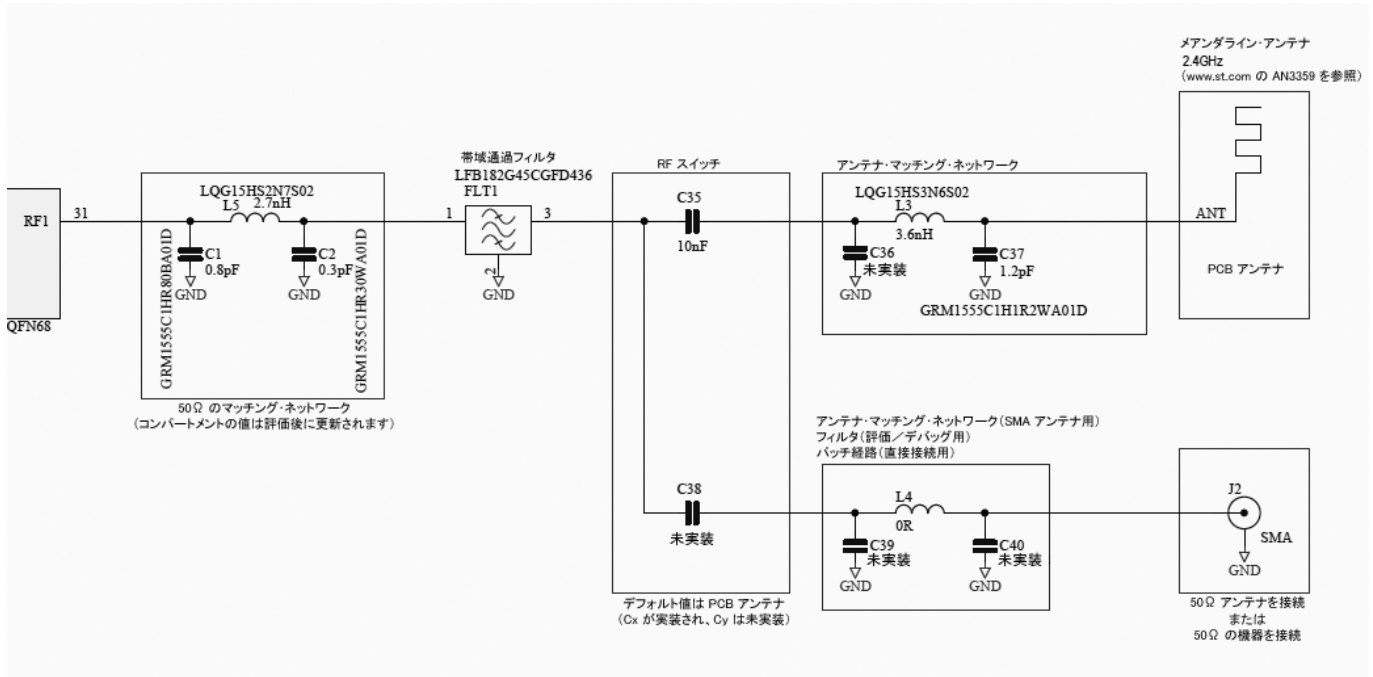
図 1 のハードウェア・ブロック図は、マイクロコントローラと周辺デバイス (ST-LINK/V2-1、プッシュボタン、LED、Arduino™ UNO V3 コネクタ、ST-Morpho コネクタ) 間の接続を示しています。

図 1. STM32WB55RG インタフェース・ブロック図



MB1355C ボードのハードウェア・レイアウトおよび設定の詳細は、ユーザマニュアル (UM2435: Bluetooth® Low Energy and 802.15.4 Nucleo pack based on STM32WB Series microcontrollers) をご参照ください。

デフォルトでは、MB1355C ボードは PCB アンテナパスを介して RF 信号を出力するように設定されています。そのため、図 2 に示すように、C35 は実装され、C38 は実装されていません。

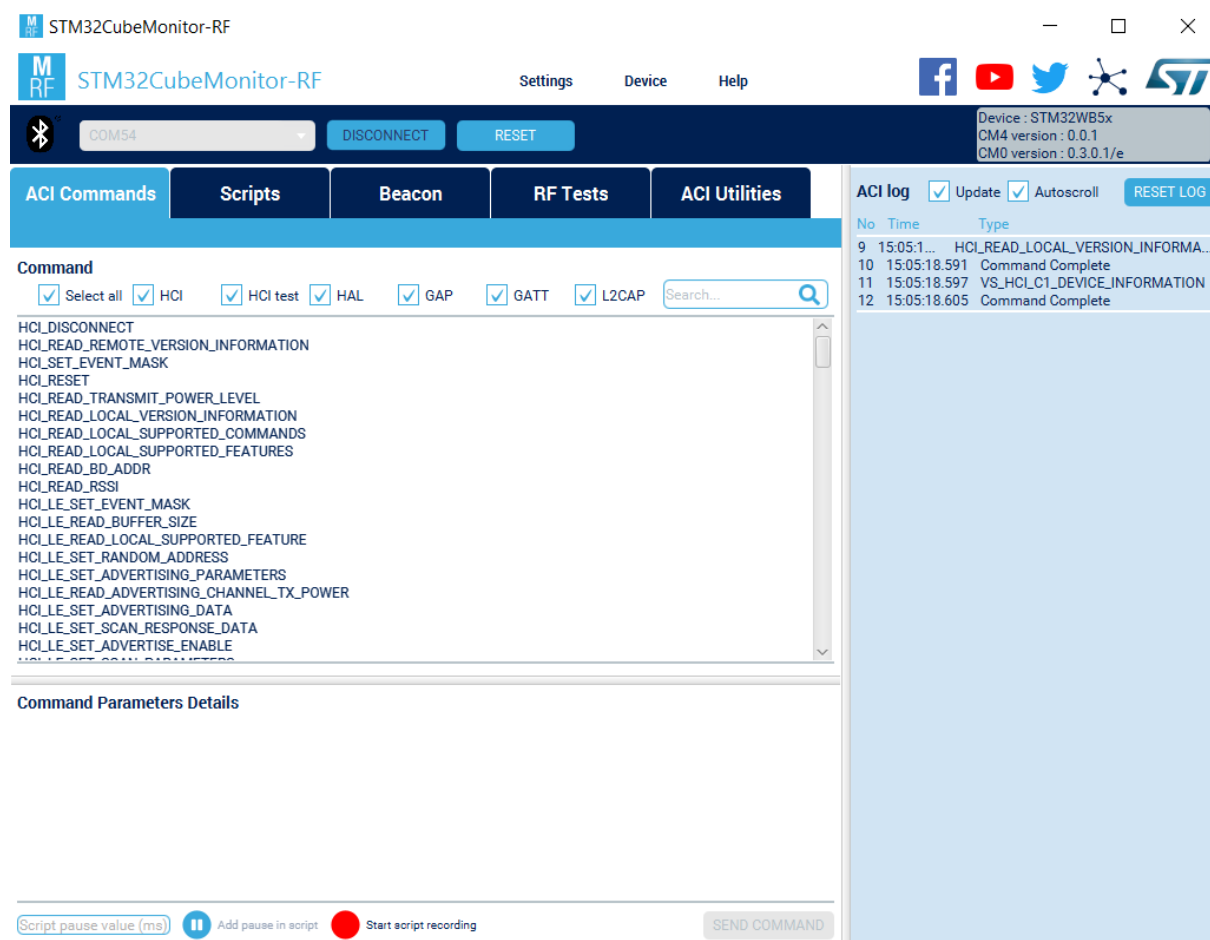
図 2. MB1355C のアンテナの設定


一部のテストを実行するには、RF 信号を SMA パスを介して送信する必要があります。その場合、C35 は取り外して C38 を取り付けする必要があります。SMA ボード・エッジ・コネクタも J2 にはんだ付けする必要があります。

3 環境のセットアップ

STM32CubeMonitor-RF は、STM32WB シリーズ・マイクロコントローラに無線パフォーマンス・テスト環境を提供するツールです。送信と受信の両方のテストと PER 測定機能が提供されます。図 3 に代表的な画面表示を示します。このソフトウェアパッケージは www.st.com から無料で入手できます。

図 3. STM32CubeMonitor-RF 画面の図



このソフトウェア・ツールの詳しい説明については、STM32CubeMonitor-RF software tool for wireless performance measurements (UM2288)をご参照ください。STM32CubeMonitor-RF を使用するには、STM32WB シリーズ・マイクロコントローラで M4 トランスパレント・モードのファームウェアをプログラムする必要があります。

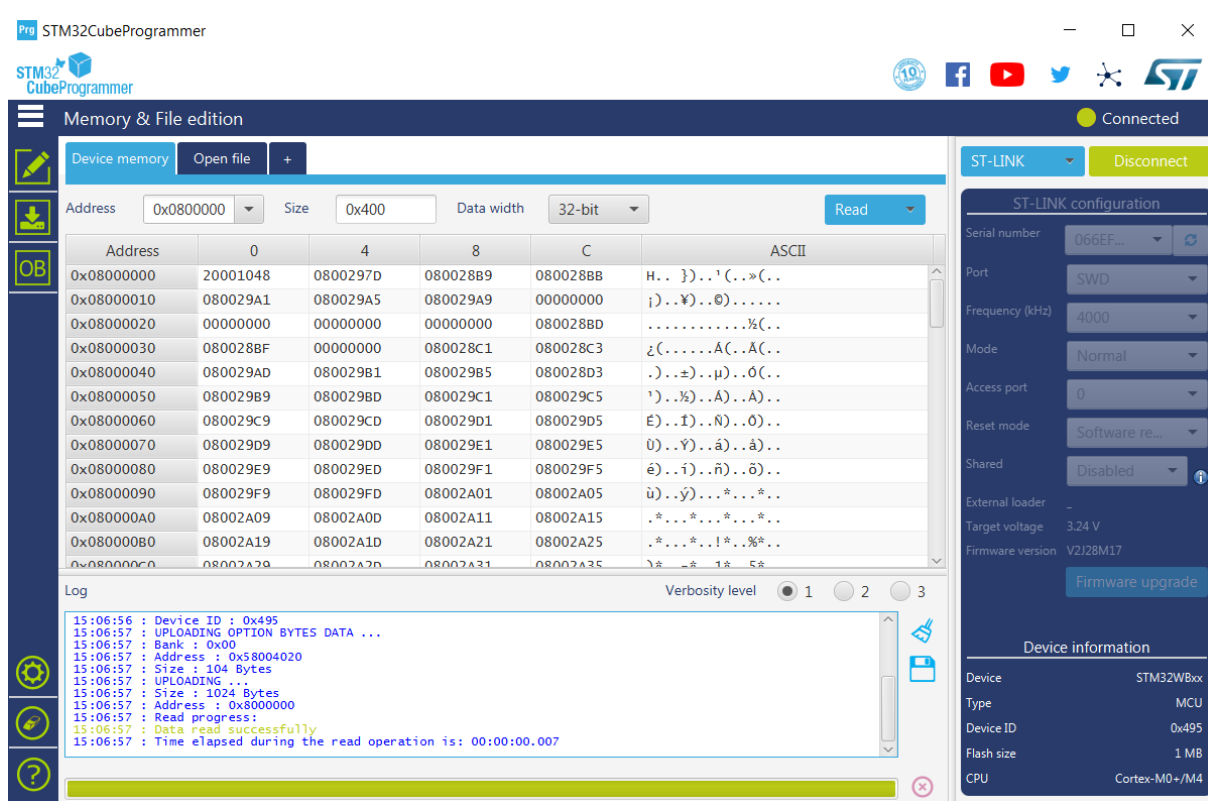
4 デバイスの設定

STM32CubeProg は、STM32 製品のプログラミングに使用されるツールであり、次の 2 つのインタフェースを介して、デバイスのメモリのプログラミングや検証をするための扱いやすい環境を提供します。

- デバッグ・インタフェース (JTAG および SWD) – STM32WB55 デバイス用のリファレンスマニュアル (RM0434: Multiprotocol wireless 32 bit MCU Arm® A-based Cortex®M4 with FPU, Bluetooth® Low-Energy and 802.15.4 radio solution) をご参照ください。
- ブートローダ・インタフェース (UART、USB DFU、I2C、SPI、および CAN) – STM32WB55 デバイス用のリファレンスマニュアル (RM0434: Multiprotocol wireless 32 bit MCU Arm® A-based Cortex®M4 with FPU, Bluetooth® Low-Energy and 802.15.4 radio solution) をご参照ください。

STM32CubeProg のインタフェースを図 4 に示します。このソフトウェアは www.st.com から無料で入手できます。

図 4. STM32CubeProg インタフェース図



このソフトウェア・ツールの詳しい説明については、ユーザマニュアル (UM2237: STM32CubeProgrammer software description) をご参照ください。

Bluetooth® Low Energy の場合、ダイレクト・テストモード (DTM) を使用して、アプリケーション・コマンド・インタフェース (ACI) およびホスト・コマンド・インタフェース (HCI) を介して STM32WB シリーズ・マイクロコントローラにコマンドを送信します。

MB1355C 上で STM32WB シリーズ・マイクロコントローラをプログラムするには、ユーザマニュアル (UM2550: Getting started with STM32CubeWB for STM32WB Series) で説明されている「ワイヤレス・コプロセッサのバイナリを格納する方法」の手順に従ってください。stm32wb5x_BLE_Stack_fw ファームウェアを Arm® Cortex®-M0+ コプロセッサに格納し、STM32WB シリーズ・マイクロコントローラのサンプルプログラム BLE_TransparentMode を Arm® Cortex®-M4 プロセッサに格納する必要があります。ファームウェアの場所については、Getting started with STM32CubeWB for STM32WB Series ユーザマニュアル (UM2550) をご参照ください。

5 電源

セクション 4 で述べたファームウェアの Arm® Cortex®-M0+ (stm32wb5x_BLE_Stack_fw) および Arm® Cortex®-M4 (BLE_TransparentMode) を両方ロードしたボードの電源を投入します。

マルチメータを使用して、次のポイントで電圧を測定します (詳細については、ボードの回路図をご参照ください)。

- VDD
- VDDA
- VBAT
- VDDSMPS (STM32WBx0 には適用されません)
- VFBSMPS (STM32WBx0 には適用されません)
- VDDRF
- VDDUSB (STM32WBx0 には適用されません)

MB1355C では、レベルシフタを内蔵しているため、使用可能な最大電圧は 3.3V です。VDD、VBAT、VDDUSB、VDDA、および VDDSMPS 電源は、デフォルトで VDD_MCU という名称のグローバル電源に接続され、電圧レベルは JP2 で確認できます。

より一般的には、SMPS が有効になっている場合、測定されたピン電圧は下記の値に整合している必要があります。

記号	パラメータ	条件	最小値	最大値	単位
VDD	標準動作電圧	-	1.71 ⁽¹⁾	3.6	V
VDDA	アナログ供給電圧	A/D コンバータ または COMP を使用	1.62 ⁽²⁾	3.6	
		VREFBUF 使用	2.4		
		A/D コンバータ、COMP、VREFBUF 未使用	0		
VBAT	バックアップ動作電圧	-	1.55	3.6	
VDDSMPS	SMPS 動作電圧	-	1.71	3.6	
VFBSMPS	SMPS フィードバック電圧	-	1.4	3.6	
VDDRF	最小 RF 電圧	-	1.71	3.6	
VDDUSB	USB 供給電圧	USB 使用	3.0	3.6	
		USB 未使用	0	3.6	

1. STM32WBx0 の場合、最小値 = 2V

2. STM32WBx0 の場合、関係ない

SMPS が無効の場合、VFBSMPS は VDDSMPS に接続します。

STM32WB シリーズ・マイクロコントローラの SMPS の使用方法の詳細については、Usage of SMPS on STM32WB Series microcontrollers アプリケーション・ノート (AN5246) をご参照ください。

注 STM32WB シリーズ・マイクロコントローラのデータシートでは、KPI BLE テストケースの消費電流は VDD を参照しますが、RF スタティック値は VDDRF + VDDSMPS を参照します。

6 HSE の調整

STM32WB マイクロコントローラでは、BLE の場合は周波数許容誤差が 50ppm 未満、802.15.4 の場合、また BLE と 802.15.4 の両方を使用する場合は 40ppm の外部 32 MHz クリスタル・オシレータを使用します。デバイスには、PCB の寄生容量を補償するためにクリスタル周波数を調整するために使用できるプログラム可能な内部コンデンサが含まれています。

RF が正しく動作するかどうかは正確なクロックに依存しているため、これは非常に重要な手順です。クロック周波数の偏差は無線周波数に直接影響し、その結果、RF の性能が低下したり、法的要件に違反したり、最悪の場合はシステムが機能しなくなったりします。

「STM32 ワイヤレス・マイクロコントローラを使用した高精度 HSE 周波数トリミング」アプリケーション・ノート(AN5042)では、STM32WB シリーズ・マイクロコントローラのための 3 つの HSE 調整方法について説明しています。

X-CUBE-CLKTRIM 拡張ソフトウェアでは、RF アプリケーションで求められる高精度周波数を達成するための HSE クリスタル・オシレータの調整方法が示されています。

HSE クリスタル・オシレータの正しいセンタリングを検証する簡単な方法は、CH17(2440MHz)の搬送波でデバイスをプログラムし、スペクトル・アナライザでトーン周波数の精度を測定することです。その手順は以下のとおりです。

1. J2 に SMA コネクタがある場合は MB1355C ボードをスペクトル・アナライザに RF ケーブルで接続し(その場合、C35 を取り外して C38 を取り付けます)、それ以外の場合は 2.4GHz アンテナを計器の入力ポートに差し込みます。
2. MB1355C の電源を投入します。
3. スペクトル・アナライザを次のように設定します: スパン = 500kHz、RBW と VBW は AUTO。
4. STM32CubeMonitor-RF を使用して、STM32WB シリーズ・マイクロコントローラに接続し、[図 5](#) に示すパラメータを使って START TONE(送信テスト)を実行します(ToneONE モードでは、データの長さやパケットペイロードは無視されます)。

図 5. STM32CubeMonitor-RF の設定例

7 出力テスト

出力テストは、送信チェーンが適切に機能していることを検証するための主要なテストです。テスト手順は、次のとおりです。

1. J2 の SMA コネクタを使って MB1355C ボードをスペクトル・アナライザに RF ケーブルで接続し(その場合、C35 を取り外して C38 をはんだ付けします)、それ以外の場合は 2.4GHz アンテナを計器の入力ポートに差し込みます。
2. MB1355C の電源を投入します。
3. スペクトル・アナライザを次のように設定します: スパン = 500kHz、RBW と VBW は AUTO。
4. STM32WB シリーズ・マイクロコントローラが起動したら、STM32CubeMonitor-RF を使用し、[図 7](#) に示すパラメータを使って START TONE (送信テスト) を実行します (TONE モードでは、データの長さやパケットペイロードは無視されます)。

図 7. STM32CubeMonitor-RF の START TONE パラメータの設定

The screenshot shows the STM32CubeMonitor-RF web interface. The top navigation bar includes 'Settings', 'Device', and 'Help'. The main content area is divided into several tabs: 'ACI Commands', 'Scripts', 'Beacon', 'RF Tests', and 'ACI Utilities'. The 'RF Tests' tab is selected, and the 'Transmitter' sub-tab is active. The configuration fields are as follows:

- PA Level: 25 (0dBm)
- TX Frequency: 2440 MHz (Channel 17)
- Length of Data: 0x25
- Packet Payload: 0x00 - Pseudo-Random bit sequence 9
- PHY: 0x01 - Transmitter set to use the LE 1M PHY

Buttons for 'START TONE' and 'START TX' are visible. Below the configuration, there is a 'Test measurement' section with input fields for 'Transmitted packets count', 'Received packets count', 'Packet Error Rate (PER)', and 'RSSI'. On the right, the 'ACI log' is visible, showing a table of log entries:

No	Time	Type
11	15:30:57.127	Command Complete
12	15:30:57.130	VS_HCI_C1_DEVICE_INFORMATION
13	15:30:57.139	Command Complete

5. マーカーメニューのピーク検索機能を使用して、チップの出力に 0dBm がプログラムされているときに得られるトーンを確認します。

図 8. 0dB 出力時に測定された出力

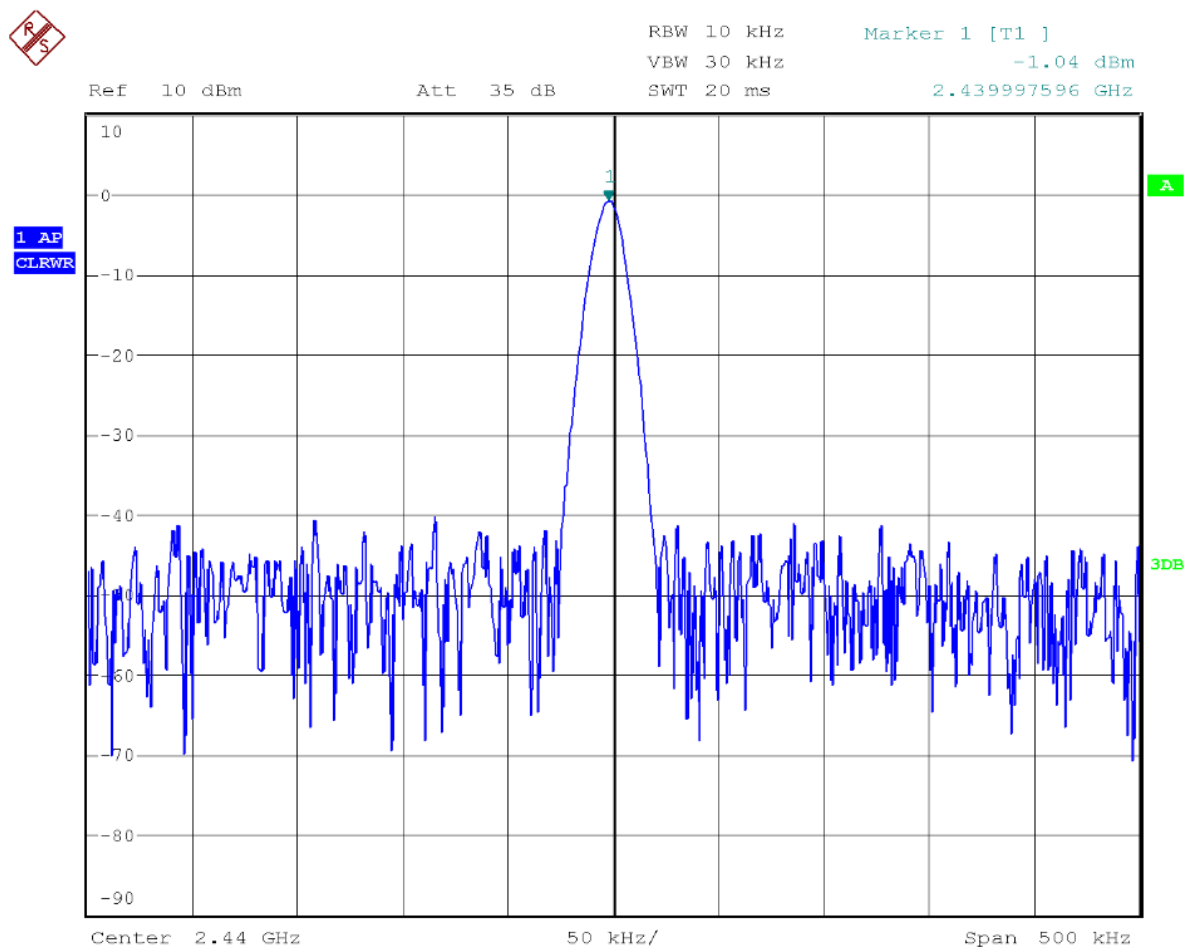


図 8 では、STM32WB シリーズ・マイクロコントローラを 0dBm 出力にプログラミングすることによって出力を測定しています。部品、パターン、および測定ケーブルを含むアプリケーションボードの損失を低減します。

8 感度テスト

感度テストでは、次の手順で受信の品質を検証します。

1. MB1355C ボードの SMA コネクタ J2 (C35 は取り外し、C38 をはんだ付けします) を RF ケーブル (大きな損失のないもの) を介して信号発生器に接続します。発生器が仕様で定義されているとおりのパケットを送信することを確認します。
2. MB1355C の電源を投入します。
3. STM32WB シリーズ・マイクロコントローラが起動したら、STM32CubeMonitor-RF を使用し、[図 9](#) に示すパラメータを使って START RX (受信テスト) を実行します。

図 9. STM32CubeMonitor-RF の 受信テストの設定

The screenshot shows the STM32CubeMonitor-RF interface with the following details:

- Device:** STM32WB5x, CM4 version: 0.0.1, CM0 version: 0.3.0.1/e
- RF Tests Section:**
 - RX Frequency: 2440 MHz (Channel 17)
 - PHY: 0x01 - Receiver set to use the LE 1M PHY
 - Index modulation: 0x00 - Assume transmitter will have a standard modulation index
 - Get RSSI
- Test measurement at 2440 MHz (Channel 17):**
 - Transmitted packets count: 1500
 - Received packets count: 1151
 - Packet Error Rate (PER): 23.27 %
 - RSSI: (empty field)
- ACI log:**

No	Time	Type
59	09:59:32.416	Command Complete
60	09:59:32.425	VS_HCLC1_DEVICE_INFORMATION
61	09:59:32.435	Command Complete
62	09:59:41.540	HCL_LE_ENHANCED_RECEIVER_TEST
63	09:59:41.544	Command Complete
64	09:59:42.271	HCL_LE_TEST_END
65	09:59:42.274	Command Complete

4. STM32WB シリーズ・マイクロコントローラと同じ周波数で信号発生器を使って、PER が 30.8% に達するまで出力を下げます。

PER = 30.8% で得られた出力が感度に相当します。

9 パケット交換テスト

伝導モードで実行された前のテスト(無線モードでも可能であるとしても)とは異なり、このテストは無線(OTA)モードで行います。2 台の MB1355C が必要です。1 つは送信モード用で、もう 1 つは受信モード用です。RF 信号は、PCB アンテナを介して 2 つのボード間で交換されます。

- 2 つの MB1355C ボードの電源を投入します。
- STM32WB シリーズ・マイクロコントローラが起動したら、STM32CubeMonitor-RF を使用し、[図 10](#) に示すパラメータを使ってパケットエラー率(PER)テストを実行します。

図 10. STM32CubeMonitor-RF のパケットレート交換の設定

The screenshot shows the STM32CubeMonitor-RF software interface. The top navigation bar includes 'Settings', 'Device', and 'Help'. The main interface is divided into several sections:

- Top Bar:** Shows 'COM11' selected, 'DISCONNECT', and 'RESET' buttons. On the right, it displays 'Device: STM32WB5x', 'CM4 version: 0.0.1', and 'CM0 version: 0.3.0.1/e'.
- Navigation Tabs:** 'ACI Commands', 'Scripts', 'Beacon', 'RF Tests', and 'ACI Utilities'. The current path is 'Test mode > Packet Error Rate (PER) > COM50 > COM11 > Settings'.
- Configure additional settings:**
 - PER tests on multiple channels
 - Get RSSI (Measurement period (sec): 3)
 - Save test verdict in file
- Test measurement at 2440 MHz (Channel 17):** A line graph showing RSSI (dBm) over time (sec). The y-axis ranges from -90 to -50 dBm, and the x-axis ranges from 3.0 to 21.0 seconds. The RSSI values are approximately: 3.0s (-60), 6.0s (-60), 9.0s (-60), 12.0s (-60), 15.0s (-70), 18.0s (-68), 21.0s (-80).
- ACI log:** A table of log entries with columns 'No', 'Time', and 'Type'. The log shows various commands and their completion times, including 'HCL_READ_LOCAL_VERSION_INFORMATION', 'VS_HCL_C1_DEVICE_INFORMATION', 'HCL_LE_ENHANCED_RECEIVER_TEST', 'ACL_HAL_READ_RAW_RSSI', and 'HCL_LE_TEST_END'.

受信信号強度インジケータ(RSSI)が表示されます。このパラメータは受信信号の強度を示します。

10 アドバタイジング・モードでの消費電力

前のテストと同様に、アドバタイジング・モードでの消費電力テストは OTA モードで行います。このテストでは、1つの MB1355C と、デバイスをアドバタイジング・モードにするアプリケーションを使用します (サンプルプログラムがファームウェアのパッケージで提供されています)。Transparent モードと HCI コマンドが開始されます。STM32CubeMonitor-RF のアドバタイジング・シーケンスも使用できます。電力アナライザを VDD (MB1355C の J2) に直列に接続します。ボードに電源を投入すると、アドバタイジング中に電流は以下に示すような形になります (図 11 を参照)。

図 11. アドバタイジング・モードの電流出力

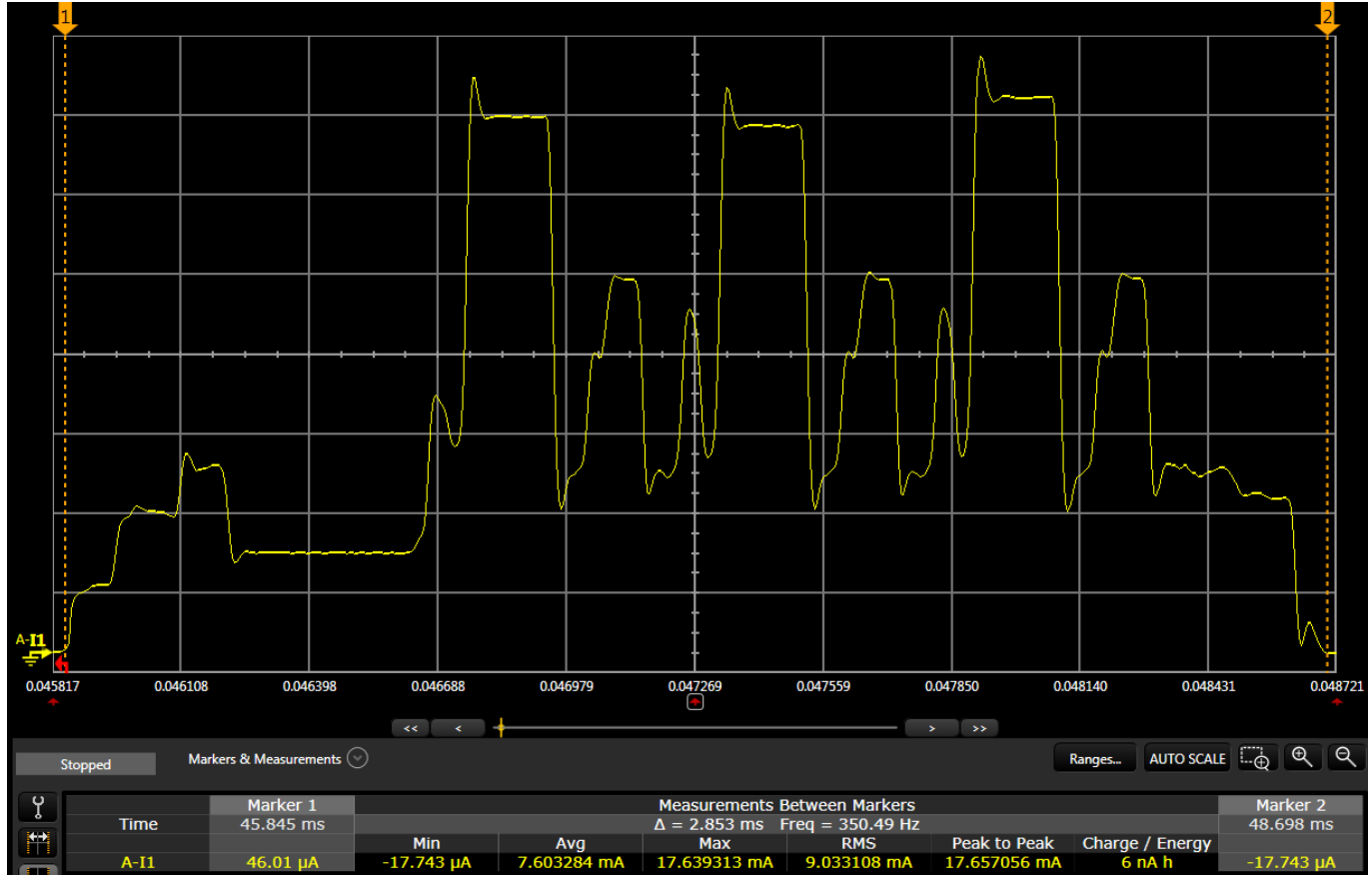
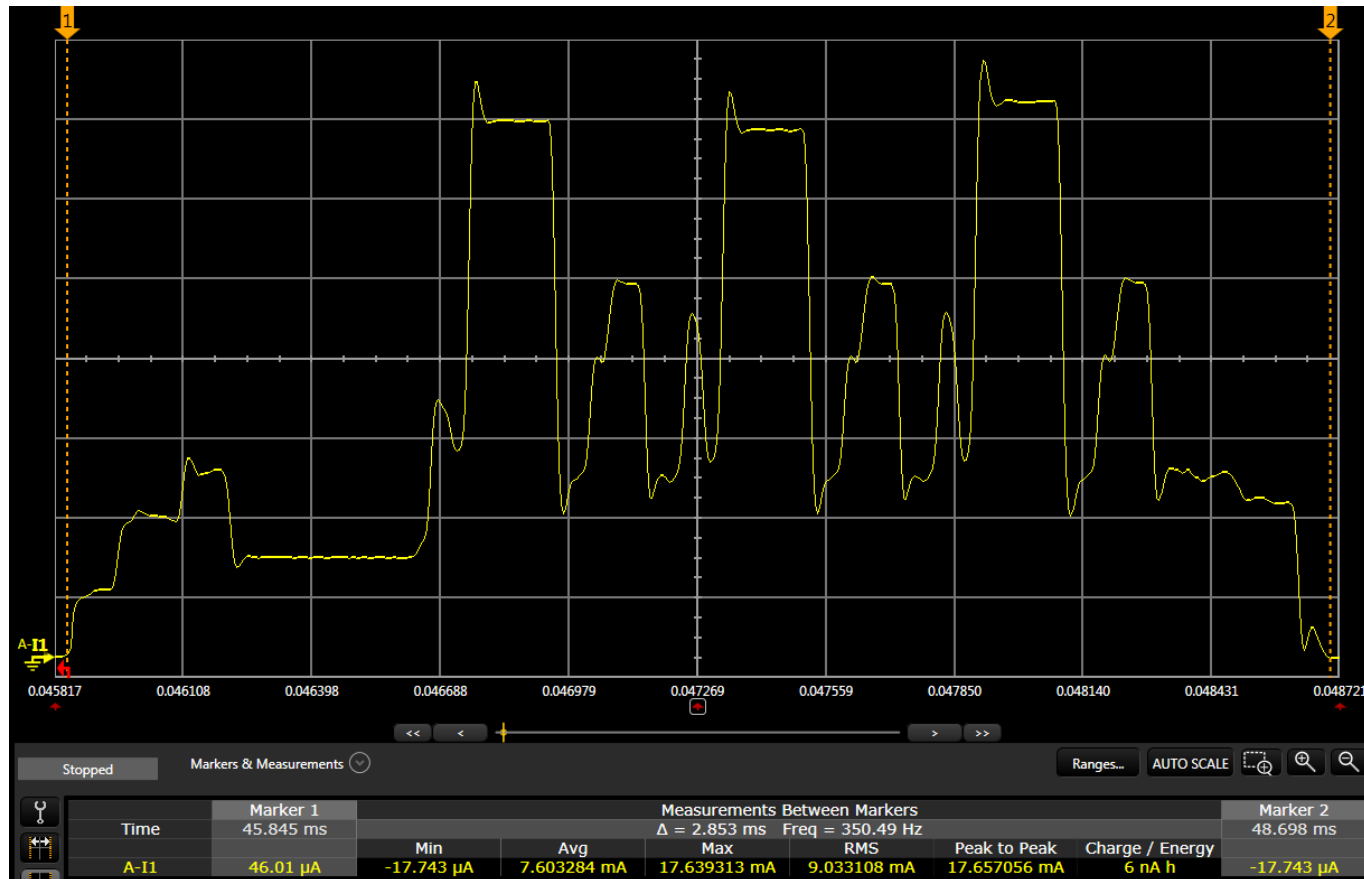


図 12 に示すように、STM32CubeMonPwr を使用してこの種の測定値を取得することもできます。このソフトウェアは www.st.com から無料で入手できます。

図 12. STM32CubeMonPwr サンプルの画面



11 認証のための RF テスト

STM32WB シリーズ・マイクロコントローラは、Bluetooth® Low Energy SIG 仕様 v5.0 および IEEE 802.15.4-201 に準拠しています。新しい RF 設計で STM32WB シリーズ・マイクロコントローラを使用する場合、RF-PHY 層をテストする必要があります。

Bluetooth® Low Energy SIG 仕様 v5.0 に関して、実行する必要がある RF テストは次のとおりです（詳細は「RF-PHY.TS.5.0.2」文書を参照）。

- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-01-C [出力、Constant Tone Extension なし]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-03-C [帯域内放射、1Ms/s の符号化なしデータ]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-05-C [変調特性、1Ms/s の符号化なしデータ]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-06-C [ペイロード全体で搬送周波数のオフセットとドリフト、1Ms/s の符号化なしデータ、プリアンブル]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-08-C [2Ms/s での帯域内放射]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-10-C [2Ms/s での変調特性]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-12-C [ペイロード全体で 2Ms/s での搬送周波数のオフセットとドリフト、プリアンブル]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-01-C [受信感度、1Ms/s の符号化なしデータ]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-03-C [C/I および受信選択度性能、1Ms/s の符号化なしデータ]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-04-C [ブロッキング性能、1Ms/s の符号化なしデータ]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-05-C [相互変調性能、1Ms/s の符号化なしデータ]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-06-C [最大入力信号レベル、1Ms/s の符号化なしデータ]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-07-C [PER レポートの整合性、1Ms/s の符号化なしデータ]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-08-C [2Ms/s での受信感度]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-09-C [2Ms/s での C/I および受信選択度性能]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-10-C [2Ms/s でのブロッキング性能]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-11-C [2Ms/s での相互変調性能]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-12-C [2Ms/s での最大入力信号レベル]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-13-C [2Ms/s での PER レポートの整合性]

IEEE 802.15.4-2011 に関して、実行する必要がある RF テストは次のとおりです（詳細は認証に使用する「ZigBee 4 文書 095436r21 ZB_CSG-ZigBee-IP IEEE 802.15.4 レベル・テスト仕様」文書および「ZigBee アライアンス IEEE 802.15.4 テスト仕様-ZigBee 文書 14-0332-01」を参照）。

- TP/154/PHY24/TRANSMIT-01 (正しい変調)
- TP/154/PHY24/TRANSMIT-02 (エラー・ベクトル振幅 (EVM))
- TP/154/PHY24/TRANSMIT-03 (中心周波数の許容誤差)
- TP/154/PHY24/TRANSMIT-04 (出力レベル)
- TP/154/PHY24/TRANSMIT-05 (パワースペクトル密度マスキリミット)
- TP/154/PHY24/RECEIVER-01 (感度 PER)
- TP/154/PHY24/RECEIVER-02 (隣接チャンネル)
- TP/154/PHY24/RECEIVER-03 (オルタネート・チャンネル)
- TP/154/PHY24/RECEIVER-04 (最大入力電力)
- TP/154/PHY24/RECEIVER-05 (エネルギー検出 ED)
- TP/154/PHY24/RECEIVER-06 (リンク品質指標 LQI)
- TP/154/PHY24/RECEIVER-07 (クリア・チャンネル評価 CCA)
- TP/154/PHY24/TURNAROUND-TIME-01 (受信から送信までのターンアラウンド時間)
- TP/154/PHY24/TURNAROUND-TIME-02 (送信から受信までのターンアラウンド時間)

さらに、使用する国によっては、製品を販売する前に 1 つ以上の規格に準拠している必要があります。例：

- 北米の FCC
- 欧州の RED
- 日本の JRL/MIC

12 生産のための RF テスト

カスタム・アプリケーションボードを設計し、生産手配をする準備ができたなら、以下のテストを実行して、アプリケーションが正しく設定され、STM32WB シリーズ・マイクロコントローラが正しく動作していることを確認する必要があります。

- 電源
- 出力
- 受信感度
- パケット交換テスト
- RF テストの認証

テストの詳細は、これまでのセクションで説明されています。

改版履歴

表 1. 文書改版履歴

日付	版	変更内容
2019 年 10 月 08 日	1	初版発行
2020 年 5 月 4 日	2	更新: <ul style="list-style-type: none"> • セクション 1 一般情報 • セクション 4 デバイスの設定 • セクション 6 HSE の調整 • セクション 7 出力テスト • セクション 9 パケット交換テスト • セクション 11 認証のための RF テスト

目次

1	一般情報	2
2	ボードのセットアップ	3
3	環境のセットアップ	5
4	デバイスの設定	6
5	電源	7
6	HSE の調整	8
7	出力テスト	10
8	感度テスト	12
9	パケット交換テスト	13
10	アドバタイジング・モードでの消費電力	14
11	認証のための RF テスト	16
12	生産のための RF テスト	17
	改版履歴	18

図一覧

図 1.	STM35WB55RG インタフェース・ブロック図	3
図 2.	MB1355C のアンテナの設定	4
図 3.	STM32CubeMonitor-RF 画面の図	5
図 4.	STM32CubeProg インタフェース図	6
図 5.	STM32CubeMonitor-RF の設定例	8
図 6.	得られたスペクトル・アナライザ出力	9
図 7.	STM32CubeMonitor-RF の START TONE パラメータの設定	10
図 8.	0dB 出力時に測定された出力	11
図 9.	STM32CubeMonitor-RF の 受信テストの設定	12
図 10.	STM32CubeMonitor-RF のパケットレート交換の設定	13
図 11.	アドバタイジング・モードの電流出力	14
図 12.	STM32CubeMonPwr サンプルの画面	15

重要なお知らせ(よくお読み下さい)

STMicroelectronics NV およびその子会社(以下、ST)は、ST 製品及び本書の内容をいつでも予告なく変更、修正、改善、改定及び改良する権利を留保します。購入される方は、発注前に ST 製品に関する最新の関連情報を必ず入手してください。ST 製品は、注文請書発行時点で有効な ST の販売条件に従って販売されます。

ST 製品の選択並びに使用については購入される方が全ての責任を負うものとします。購入される方の製品上の操作や設計に関して ST は一切の責任を負いません。

明示又は黙示を問わず、ST は本書においていかなる知的財産権の実施権も許諾致しません。

本書で説明されている情報とは異なる条件で ST 製品が再販された場合、その製品について ST が与えたいかなる保証も無効となります。

ST および ST ロゴは STMicroelectronics の商標です。ST の登録商標については ST ウェブサイトをご覧ください。www.st.com/trademarks その他の製品またはサービスの名称は、それぞれの所有者に帰属します。

本書の情報は本書の以前のバージョンで提供された全ての情報に優先し、これに代わるものです。

© 2023 STMicroelectronics – All rights reserved