AIROC™ CYW20829 Bluetooth® LE SoC で長距離伝送を実現

本書について

適用範囲と目的

このアプリケーションノートは、AIROC™ CYW20829 Bluetooth® LE SoC を使用した長距離伝送の詳細なテストセットアップについて説明します。アプリケーションノートの中で使用しているファームウェアは、ModusToolbox™ソフトウェア開発キットのサンプルコードとして提供されます。

対象者

このアプリケーションノートは、CYW20829 に Bluetooth® LE の長距離機能を組み込みたい方を対象とします。

目次

本書について 1
目次 2
1 はじめに 3
1.1 AIROC™ CYW20829 Bluetooth® LE SoC 3
2 長距離アプリケーション 4
2.1 PHY 向けの Bluetooth®のスペック 5
2.2 LE Coded PHY の実装 6
2.3 LE Coded PHY パケットフォーマット 6
3 ハードウェアのセットアップ 7
3.1 CYW20829 評価ボード 7
3.2 LE-LR のセットアップ 8
3.2.1 外部アンテナ 9
3.2.2 ユーザーボタン 9
3.2.3 ディスプレイ シールド 9
4 ソフトウェアとツール 10
4.1 ModusToolbox™ 10
4.2 サンプルコード 10
4.3 LE LR セントラルアプリケーション 11
4.4 LE LR ペリフェラルアプリケーション 11
4.5 ファームウェアの構築とフラッシュ 11
5 テストと結果 12
5.1 テスト手順 12
5.2 ノイズ干渉 13
5.3 アンテナ方位 13
5.4 アンテナ放射 14
5.5 電力の推算 14
5.6 距離と RSSI 値の関係 16
5.7 Bluetooth® 距離測定 16
参考文献 17
改訂履歴 18
免責事項 19

1 はじめに

AIROC™ CYW20829 は、10 dBm の送信出力を提供するパワーアンプを内蔵し、LE 1 Mbps で-98 dBm/LE 長距離 125 Kbps で-106 dBm の受信感度を実現し、クラス最高の RF リンクバジェットを備えています。距離範囲は最高で 2.3 KM です。

1.1 AIROC™ CYW20829 Bluetooth® LE SoC

CYW20829 はデュアルコアの Arm® M33 デバイスで、1 つの M33 コアは Bluetooth®コントローラーとして確保され、もう 1 つの M33 コアはお客様のアプリケーション用に確保されています。

CPU サブシステムは、256 KB RAM, 外部フラッシュ向け XIP インターフェース, および豊富な周辺機能を提供し、多様なアプリケーションを可能にします。AIROC™ CYW20829 は ModusToolbox™ 開発環境でサポートされ、開発者は Bluetooth®対応 IoT ソリューションの市場投入までの時間を短縮できます。

2 長距離アプリケーション

Figure 1 に、CYW20829 Bluetooth® LE SoC を使用した長距離アプリケーションのブロック図を示します。このアプリケーションは、ペリフェラルデバイスとセントラルデバイスで構成されています。

LE 長距離ペリフェラルデバイスを Bluetooth® LE GATT サーバーとして設定し、LE 長距離セントラルアプリケーションはデバイスを Bluetooth® LE GATT クライアントとして設定します。

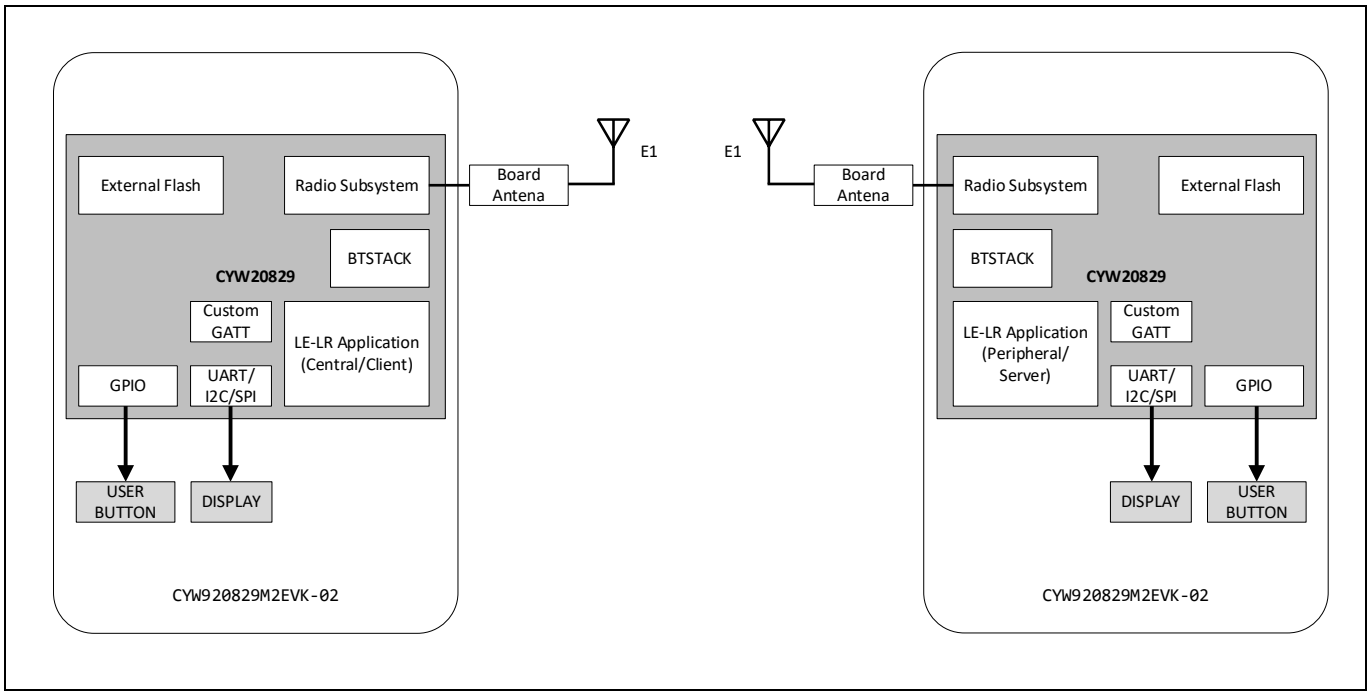

Figure 1 ブロック図

ペリフェラルデバイスは、以下のサービスを含むカスタム GATT サーバープロファイルを実行します。

- ハロー センサー カスタム サービス
- デバイス インフォメーション サービス
- バッテリー レベル サービス

ハロー センサー サービスは、カスタム通知特性を備えており、接続時に相手クライアントのデバイスに通知、もしくは表示を送信します。

このアプリケーションは、UART 端末エミュレータでデバッグメッセージを送信するために UART を使用します。周辺デバイスは、ボタン押下を検出すると、LE LR PHY を使ってその存在をアドバタイズし始めます。同様に、ボタンが押下されると、セントラルデバイスがペリフェラルデバイスをスキャンします。LE 接続が確立された後、セントラルデバイスは通知特性の CCCD ハンドルを使用して、通知の登録を行います。通知特性の CCCD ハンドルは書き込み認証を必要とするため、通知/表示を有効にしようとすると、中央側でのペアリングプロセスが作動します。ペアリングプロセスが完了すると、相手のデバイスのリンクキーとアドレスがデバイスのフラッシュメモリーに保存され、ボンディングされます。周辺ボードのユーザーボタンは、立ち下りエッジで割込みを検出するように設定されています。ボタンが押下されると、デバイスは、符号化アルゴリズムを S=2 と S=8 の間で切り替え、変更された符号化アルゴリズムを使用して通知します。

2.1 PHY 向けの Bluetooth®のスペック

Bluetooth®テクノロジーは完全なプロトコルスタックです。このスタックの最下層を Physical Layer (物理層) といい、通常、PHY と呼ばれています。

Bluetooth® 5 では、PHY 仕様に、新しく 2 つの PHY の型が追加されました。PHY の型は、それぞれ特有の特長を持ち、特定の目的を持って設計されています。LE 1M, LE 2M, LE Coded の 3 つの PHY は、仕様書で参照していただけます。

LE 1M は、Bluetooth®4 およびそれ以前のバージョンで使用されている PHY です。ガウス型周波数偏移変調 (GFSK) を使用し、シンボル レートは 1 Msps です。スタックの上位では、1 シンボルが 1 データビットに相当するため、これは 1 Mbps のビットレートに相当します。LE 1M は引き続き Bluetooth®5 で使用可能であり、実際、そのサポートは必須です。

新しい **LE 2M** PHY は物理層を 2 Msps で動作させ、LE 1M よりも高いデータレートを可能にします。Bluetooth®チップでのサポートはオプションです。

LE Coded PHY は、Bluetooth®4 に比べて約 4 倍の通信距離を可能にし、これは必要な送信電力を増加させることなく、達成できます。

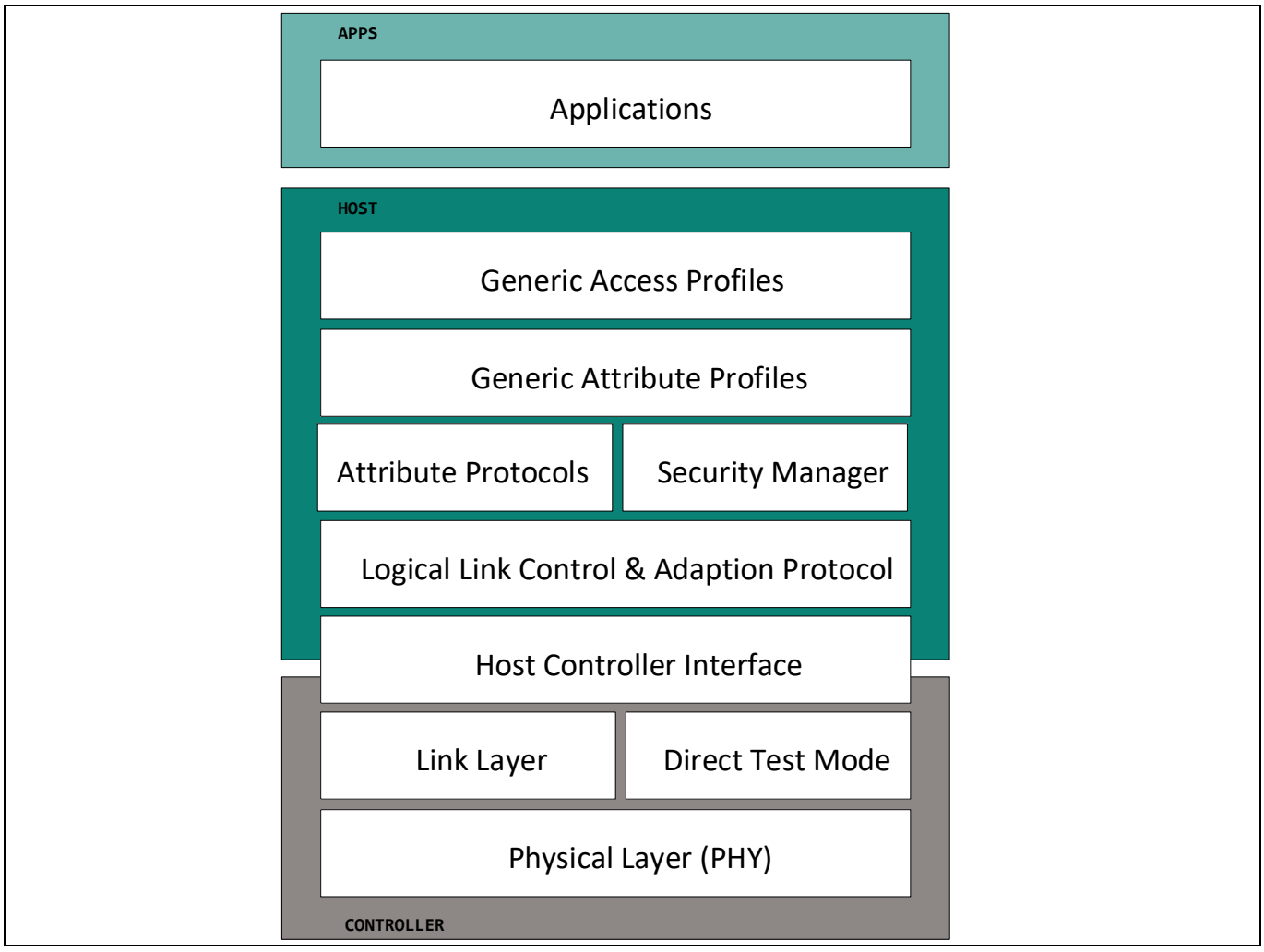

Figure 2 Bluetooth®構造図

2.2 LE Coded PHY の実装

LE Coded PHY は、2 つの異なる符号化方式で使用できます: S=2 および S=8 です。パターン マッパーは、たたみ込み FEC 符号器からの各ビットを P シンボルに変換します。ここで、P の値は使用される符号化方式に依存します。S=2 の場合、変化はありません (すなわち P=1)。S=8 の場合、FEC 符号器からの各ビットは、パターン マッパーから 4 つの出力ビット (すなわち P=4) を生成します。このセクションで詳細を説明します。

LE Coded PHY での符号化方式 S=2 または S=8 の選択は、2 つの結果をもたらします。2 つのシンボルが 1 ビットを表す場合、PHY データレートは 500 Kbps です。S=8 (8 が 1 ビットを表す) の場合、PHY データレートは 125 Kbps です。

受信側で FEC アルゴリズムをサポートするために冗長データが必要なため、送信しなければいけないシンボル数にも影響し、全体的なデータレートが低下します。具体的には、FEC 符号器とパターン マッパーの両方を通過した 1 ビットは、S=2 のとき 2 ビットになり、S=8 のとき 8 ビットになります。以下の表を確認してください。

入力	S=2 での出力	S=8 での出力	データレート
0	0	0011	125 kb/s または 500 kb/s
0	1	1100	125 kb/s または 500 kb/s

2.3 LE Coded PHY パケットフォーマット

Figure 3 は、LE Coded PHY で定義されたパケットフォーマットです。

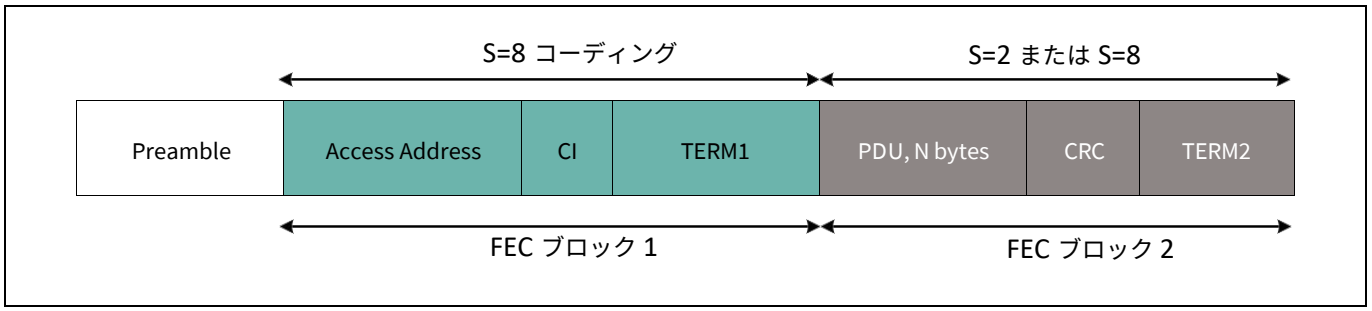

Figure 3 パケットフォーマット

各パケットは、Preamble, FEC ブロック 1, FEC ブロック 2 で構成されます。

- Preamble は符号化されていません。
- FEC ブロック 1 は、3 つのフィールドで構成されています: Access Address, コーディングインジケーター (CI), および TERM1 です。CI は、FEC ブロック 2 にどの符号化方式を使用するかを決定します。
- FEC ブロック 2 は 3 つのフィールドで構成されています: PDU, CRC, および TERM2 です。これらは CI の値に応じて S=2 または S=8 の符号化方式を使用します。

パケット全体が 1 Msym/s 変調で送信されます。

3 ハードウェアのセットアップ

3.1 CYW20829 評価ボード

CYW20829 M.2 ボード (CYW920829M2IPA2) は、ベースボード (CYW9BTM2BASE3-01) とインターフェースするカスタムピンアウト M.2 カード上の 56 ピン シリコンターゲットデバイスで構成されています。CYW20829 のシリコンピンは、UART や I2C などのペリフェラルデバイスを備えた M.2 コネクターを通してベースボードに接続され、センサーやディスプレイで使用されます。ボードは USB マイクロタイプ B ケーブルを使用して給電されます。詳細については、CYW920829M2EVK-02 kit user guide を参照してください。

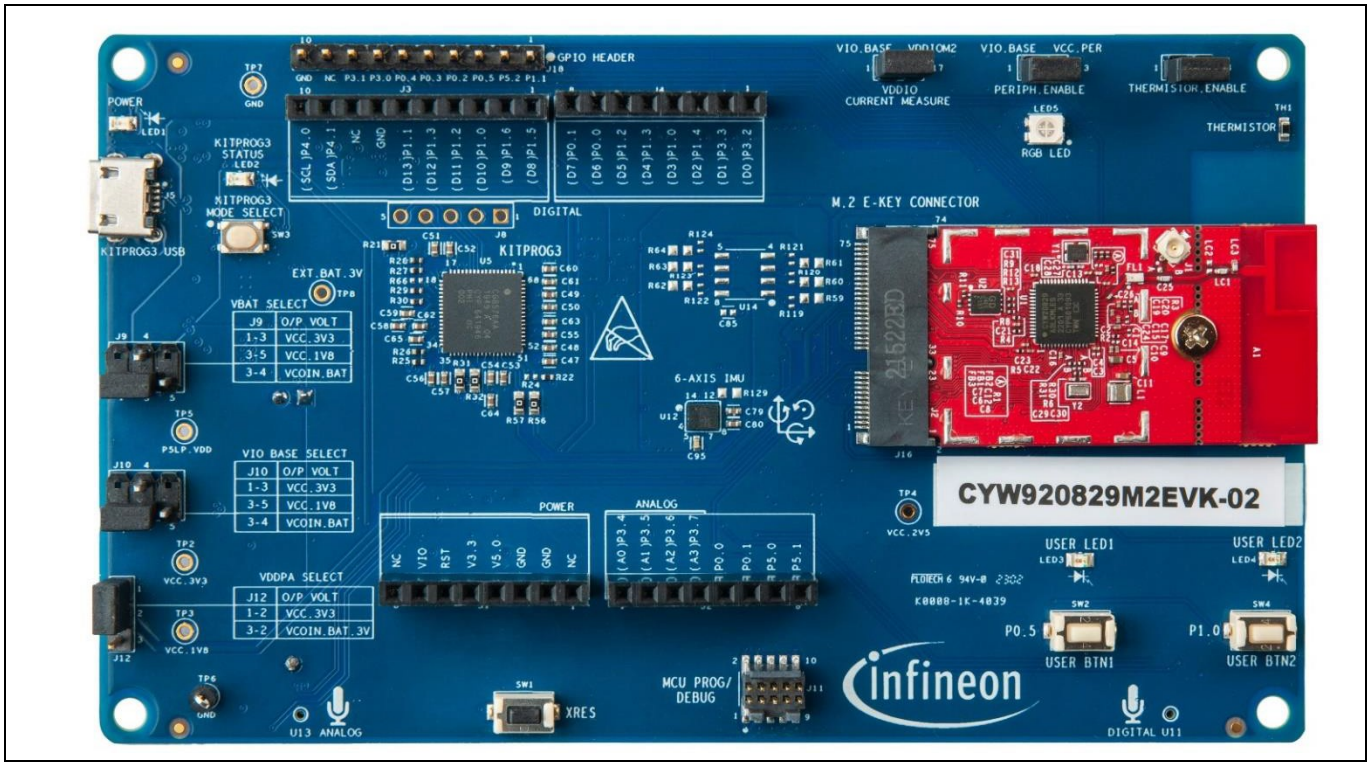

Figure 4 評価ボード

3.2 LE-LR のセットアップ

LE-LR デモのセットアップには 2 つの評価ボードを使用します。CYW920829M2EVK-02 ボードは、PCB ベースのアンテナを用いた CYW920829M2IPA1 (M.2 カード) とともに使用します。

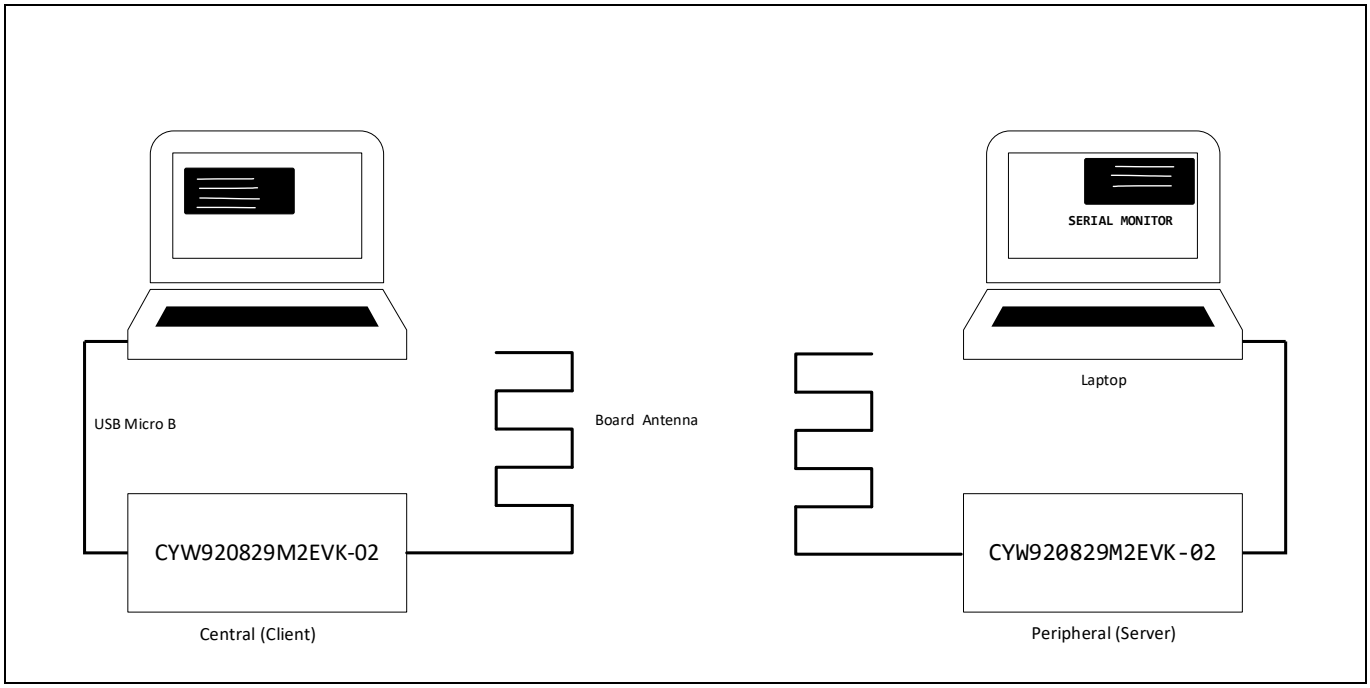

Figure 5 テストセットアップ

Figure 5 にセットアップのブロック図を示します。両方の評価キットが、2 メートル以上の USB ケーブルでノート PC に接続されています。ボードは、長さ 2 メートルのパイプに取り付けられています。同じ USB コネクターを使って給電され、シリアル ログはシリアル モニターを使ってノート PC に取り込まれます。一方のボードは、サーバー (ペリフェラル) として、もう一つは、クライアント (セントラル) として設定されます。オプションのディスプレイ シールドはクライアント側で使用し、OLED スクリーンに接続の詳細と RSSI 値を表示します。EVK のユーザーボタンは、2 つのボード間の接続を開始するために使用されます。テストシーケンスについてはセクション 5 を参照してください。Figure 6 は実際のセットアップです。

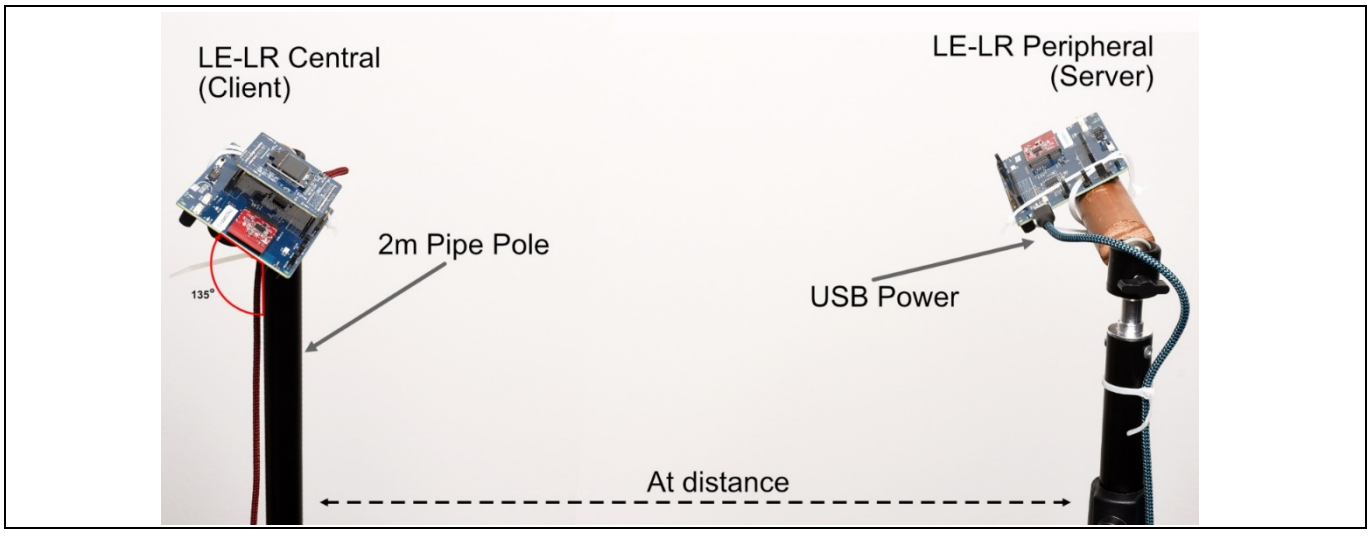

Figure 6 テストセットアップ

3.2.1 外部アンテナ

外部アンテナは、ロングレンジアプリケーションでよく使用されるオプションの 1 つです。外部アンテナを使用するには、Figure 7 に示すように、CYW920829M2IPA1 (M.2 カード) のコンデンサ (C25) を外部アンテ ナ経路に向けて切り替えてください。

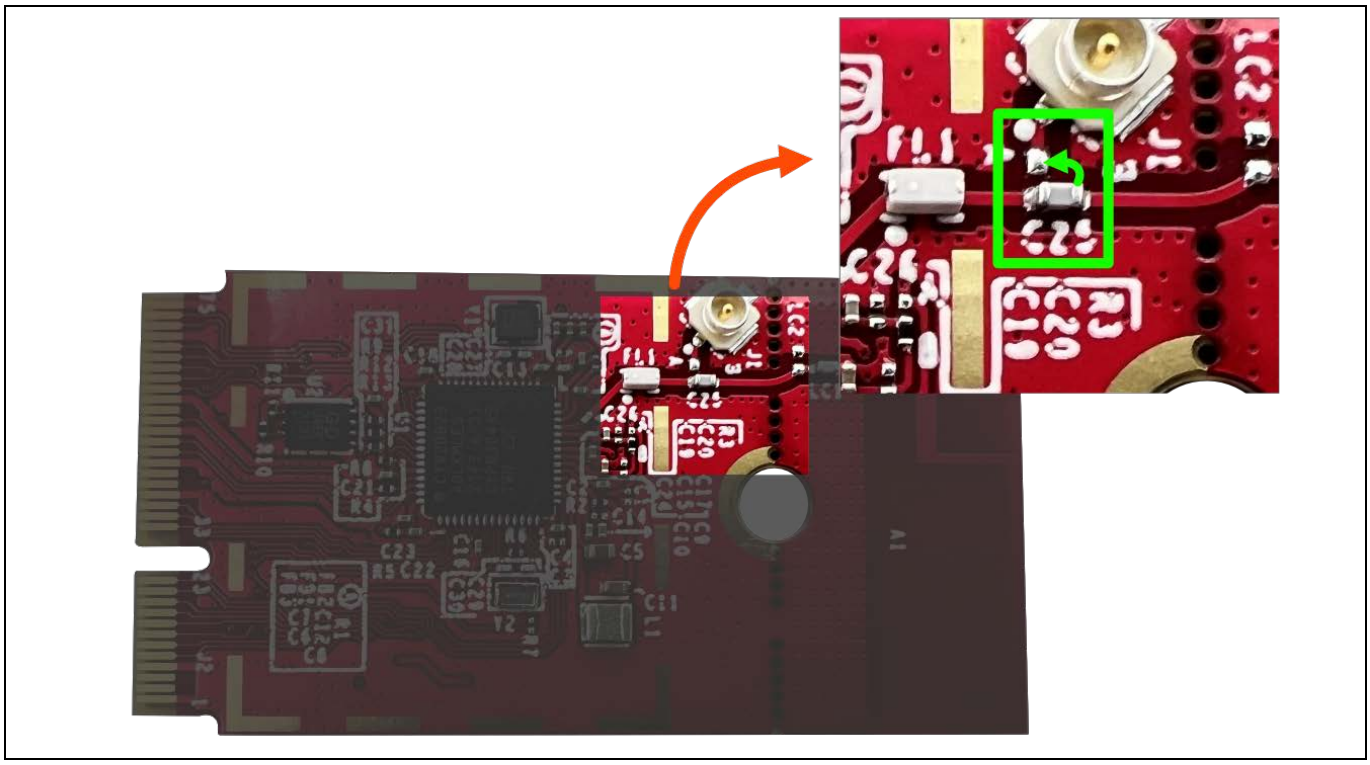

Figure 7 アンテナ切り替え

3.2.2 ユーザーボタン

EVK のユーザーボタン (SW2) は、以下の用途に使用されます。

- サーバー側で情報を表示し、クライアント側でスキャンを開始します。
- 接続確立後、符号化方式を S=2 と S=8 の間で切り替えます。

リセットボタン (SW1) は、セントラル側とペリフェラル側のアプリケーションを再度開始するために使用します。

3.2.3 ディスプレイ シールド

ディスプレイシールドはオプションで、符号化方式, RSSI 値, 接続状態などを表示するために使用できます。ユーザーは、ファームウェアの設定 (ファイル作成) でディスプレイシールドを有効または無効にできます。

4 ソフトウェアとツール

ここでは、テスト用の長距離アプリケーションを作成、構築するために必要なソフトウェアツールについて説明します。

4.1 ModusToolbox™

ModusToolbox™ソフトウェアは、幅広いインフィニオン マイクロコントローラー デバイスをサポートする最新の拡張可能な開発環境です。柔軟なツールセットと、アプリケーションに特化した多様で高品質なソフトウェア コレクションを提供します。設定ツール, ローレベルドライバー, ライブラリ, オペレーティング システム サポートが含まれ、そのほとんどが Linux, macOS, Windows 環境と互換性があります。詳細は Eclipse IDE for ModusToolbox™ user guide を参照してください。

4.2 サンプルコード

ModusToolbox™サンプルコードは、GitHub サンプルコードページから見つけることができます。LE-LR アプリケーションを実行するには、以下の 2 つのサンプルコードが必要です。

- mtb-example-btstack-freertos-le-lr-central
- mtb-example-btstack-freertos-le-lr-peripheral

Figure 8 に示すように、Project Creator ツールを使用してこれらの例をインポートしてアプリケーションを作成し、ModusToolbox™ ツールで直接使用します。

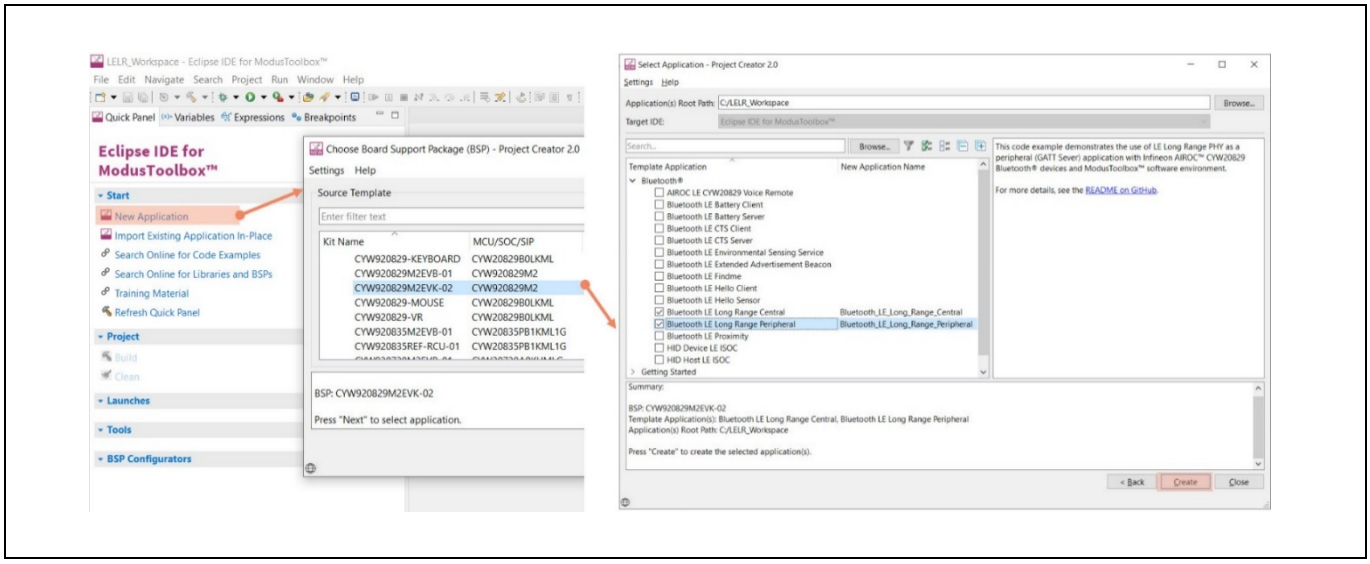

Figure 8 インポート例

4.3 LE LR セントラルアプリケーション

LE-LR PHY を使用し、サーバー デバイス (ハローセンサー) のサービスに接続し、アクセスするために設計された GATT クライアント アプリケーションです。以下の機能を備えています。

- さまざまなイベントのための LE スタック登録
- ペリフェラルデバイスへの接続
- サーバーからの通知を処理
- スキャンし、LE Coded PHY 経由でピアに接続
- S=2 と S=8 PHY の間でコーディング アルゴリズムの切り替え

詳細は、セントラルアプリケーションの *README.md.*を参照してください。

4.4 LE LR ペリフェラルアプリケーション

センサーデータ (シミュレートされたもの) を取得し、LE-LR PHY を使用してクライアント アプリケーションに接続するように設計された GATT サーバーアプリケーションです。

- さまざまなイベントのための LE スタック登録
- クライアントへの接続
- 通知データの送信
- LE Coded PHY で接続

詳細は、ペリフェラルアプリケーションの *README.md* を参照してください。

4.5 ファームウェアの構築とフラッシュ

LE-LR アプリケーションは ModusToolbox™または ModusShell cmd ラインで構築できます。バイナリーデータは、build folder で生成されます。ファームウェアは、KitProg3 を使用するか、または Cypress Programmer で外部 SWD を使用することで、Eval キットに取り込むことができます。詳細については Cypress Programmer user guide を参照してください。

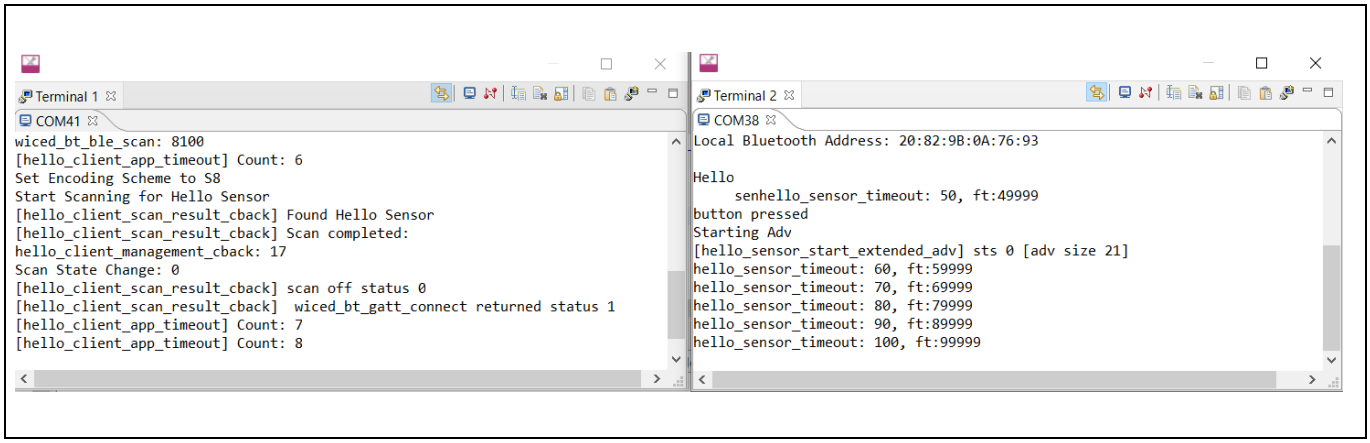

Figure 9 コンソール シリアル出力

5 テストと結果

テストは見通しがよく、周囲の電波ノイズが少ないカリフォルニア州ニューポートビーチで行われました。

5.1 テスト手順

1. ボードをノート PC に接続し、ファームウェアをダウンロード
2. ペリフェラルデバイスとセントラルデバイスの両方で SW1 (リセット) を押して、アプリケーションを初期化
3. アプリケーションが起動し、コンソールにログメッセージが表示されるまでしばらく待つ
4. ペリフェラルデバイスの SW2 を押して表示を開始
5. クライアント機器の SW2 を押してサーバーの検出を開始、サーバーに接続
6. 接続が確立されると、ログは RSSI 値とタイムカウンター値の表示を開始する。もしディスプレイが使用されている場合、詳細はディスプレイにも表示される
7. 任意の 1 枚のボードを遠くに移動させる: その距離は約 2.3 km
8. その間に切断があった場合、クライアントはサーバーとの接続の再確立を試みる

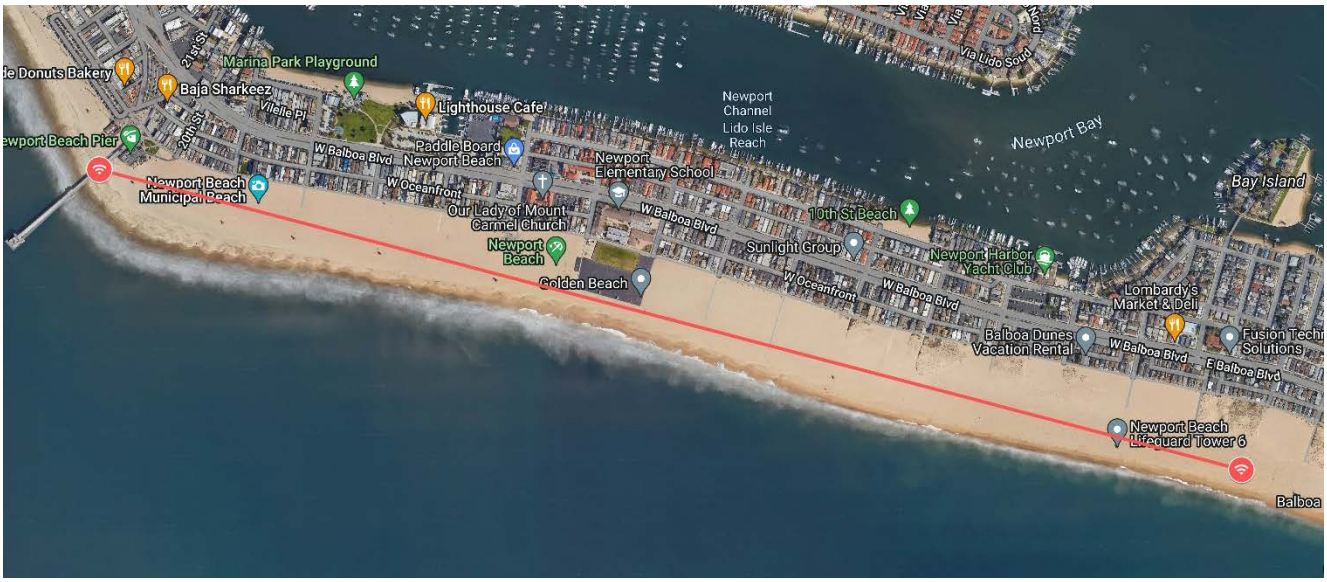

Figure 10 距離範囲 (グーグルマップ)

5.2 ノイズ干渉

ノイズと干渉は、長距離テストの環境において、到達距離に悪影響を及ぼす最大の要因です。現実の世界では、ノイズの増加により、Bluetooth®デバイスが表示されているよりも、はるかに短い距離で切断される可能性があります。SNR を改善するためには、試験中のノイズおよび干渉を減らすことが重要です。また、干渉を減らすため、必ず午前中にテストし、ノイズの影響を減らすために人から距離を取ります。視線 (LoS)、およびペリフェラルデバイスとセントラルデバイスの接続を常に維持します。

我々は大抵、2.4 GHz 帯で動作する複数のデバイスを持ち歩いています。スマートフォン, スマートウォッチ, ワイヤレスイヤホンなどです。建物の壁が Bluetooth®の範囲を阻害することがあるように、ビーチの傘やライフガード タワーなど他の物理的物体もマルチパスの原因となり、無線周波数エネルギーを吸収することがあります。マルチパス (多重通路) は、無線信号が 2 つのアンテナ間を多経路で伝搬するときに発生します。マルチパスは、干渉や信号の歪みにつながる可能性があり、望ましくありません。現実の世界では、デバイス間の視線 (LoS) は妥当ではないかもしれません。私たちは、受信機の受信信号強度インジケーター (RSSI) を積極的にモニターし、RSSI が S8 Coded PHY の最大感度より高く保たれるよう、テスト中に海岸沿いの歩行経路を調整しました。CYW20829 MCU の最大出力電力は、内蔵パワーアンプを使用して 10 dBm であり、Coded PHY は最大感度を-106 dBm に改善するのに役立ちます。リンクバジェットは、無線周波数システムのすべての利得と損失の絶対値の合計をデシベルで表すものです。理想的な環境では、最大リンクバジェットは｜10 dBm｜出力電力＋｜106 dBm｜感度＝116 dB です。

5.3 アンテナ方位

アンテナの指向性は、特定の方向に移動する放射エネルギーの量の尺度です。アンテナの利得はアンテナの指向性と効率の両方を取ります。Figure 11 に示すように、アンテナはすべての方向に同じパワーで放射するわけではありません。キットが最も強く放射する方向を決定するために、CYW920829M2EVK-02 キットのアンテナ利得を測定します。Bluetooth® アンテナは、それぞれ異なる方向に最適な放射をします。これは、テスト中にボードが向く方向に影響を与えます。送信時のアンテナの指向性は受信時のアンテナの指向性と同じであるため、アンテナの最大利得を考慮して、両方の基板を向かい合わせで配置しました (Figure 6 参照)。CYW920829M2EVK-02 キットは、放射パターンが特定の角度方向で最も強いため、「指向性」アンテナとみなされます。

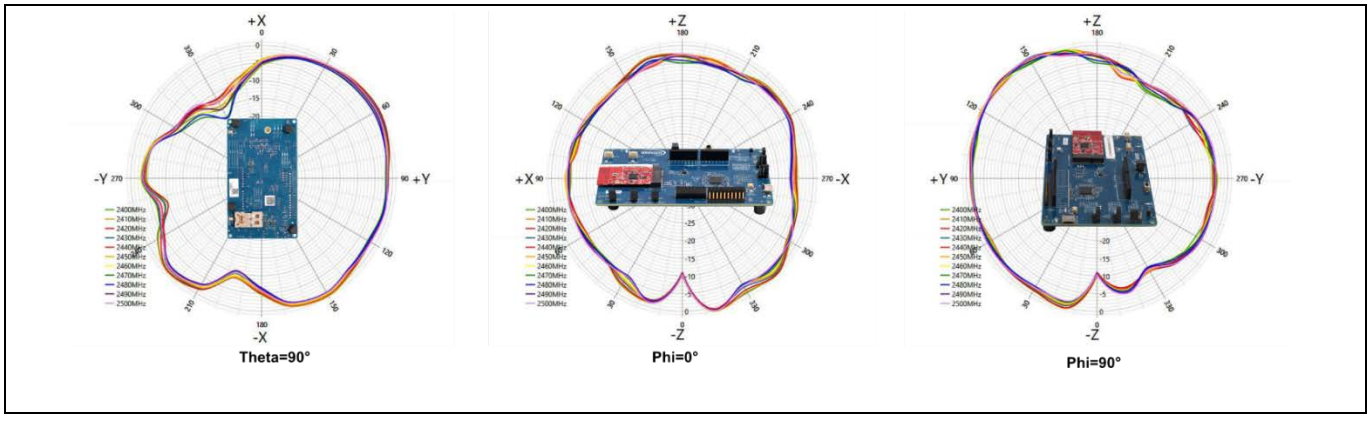

Figure 11 ボードのアンテナ方位

5.4 アンテナ放射

アンテナ放射は、異なる周波数でテストされました。Figure 12 に、アンテナ利得が最大になる方向で、周波数の違いによる放射パターンを示します。

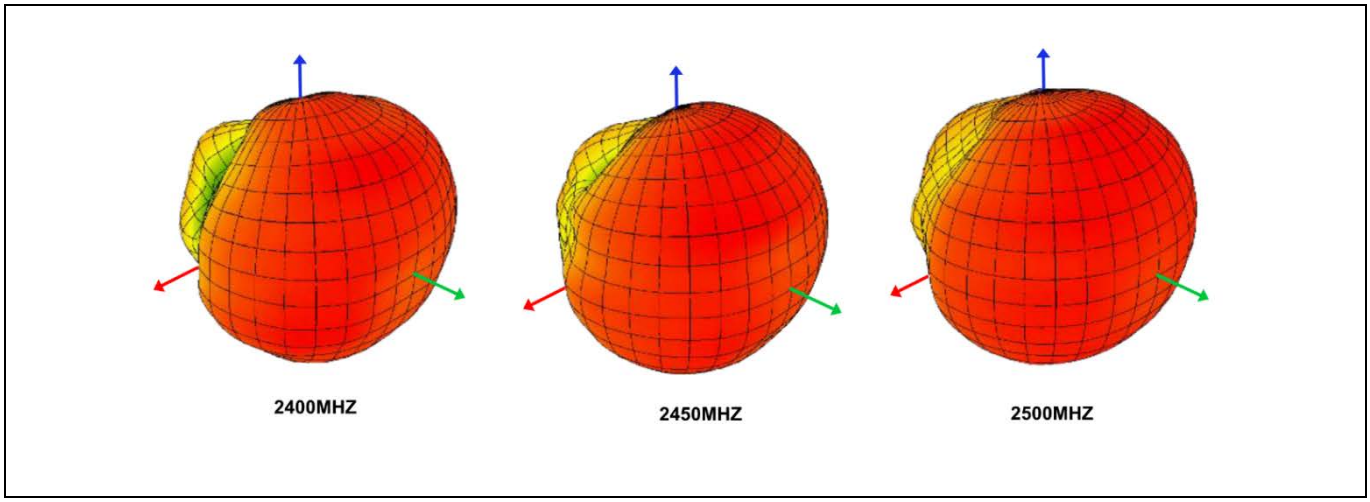

Figure 12 ボードアンテナ放射

5.5 電力の推算

LE-LR アプリケーションの消費電力は、セントラルデバイスとペリフェラルデバイスが接続された状態で計算されます。Figure 13 に 1 分間の電流測定を示します。



Figure 13 電流測定

5 テストと結果

電流測定は異なる距離で行われ、以下の表に示します。

デバイス モード	VPA平均電流	VBAT平均電流	VDDIO平均電流	総電流	RSSI
ペリフェラル	3.72 mA	227.68 µA	41.446 µA	3.989 mA	-55 dBm
セントラル	250.27 µA	111.68 µA	2.671 µA	362 µA	-55 dBm

5.6 距離と RSSI 値の関係

RSSI 値は送信データとともに毎秒取り込まれます。Figure 14 に、距離に対する RSSI 値を示します (横軸の距離の単位はメートル)。

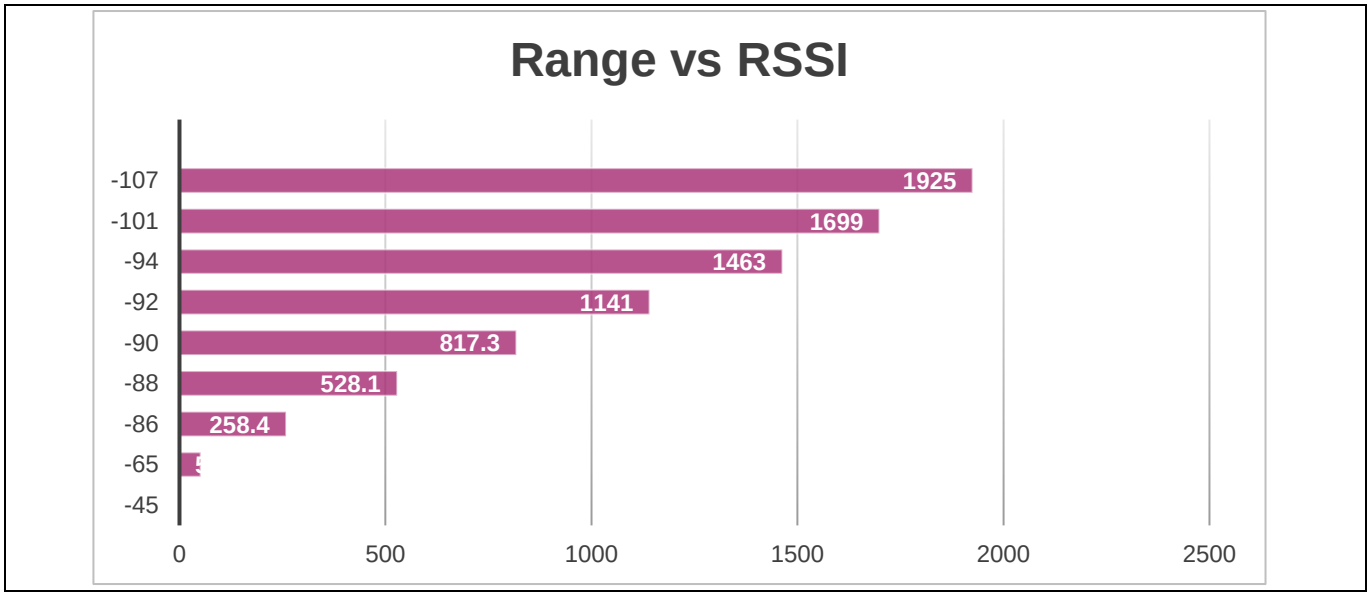

Figure 14 距離と RSSI 値

5.7 Bluetooth®距離測定

Bluetooth® SIG の Bluetooth®距離範囲測定ツールは、パラメーターを使用して Bluetooth®の範囲を推定するために使用されます。

参考文献

[1] GitHub code examples for ModusToolbox™ software

[2] AIROC™ CYW20829 Datasheet

[3] ModusToolbox™ software

[4] Bluetooth® Sig Spec

改訂履歴

版数	発行日	変更内容
**	2023-11-30	これは英語版 002-38518 Rev. ** を翻訳した日本語版 002-39153 Rev. ** です。

Trademarks
All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2023-11-30

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2023 Infineon Technologies AG. All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference

002-39153 Rev. **

重要事項
本手引書に記載された本製品の使用に関する手引きとして提供されるものであり、いかなる場合も、本製品における特定の機能性能や品質について保証するものではありません。本製品の使用の前に、当該手引書の受領者は実際の使用環境の下であらゆる本製品の機能及びその他本手引書に記された一切の技術的情報について確認する義務が有ります。インフィニオンテクノロジーズはここに当該手引書内で記される情報につき、第三者の知的所有権の不侵害の保証を含むがこれに限らず、あらゆる種類の一切の保証および責任を否定いたします。

本文書に含まれるデータは、技術的訓練を受けた従業員のみを対象としています。本製品の対象用途への適合性、およびこれら用途に関連して本文書に記載された製品情報の完全性についての評価は、お客様の技術部門の責任にて実施してください。

警告事項
技術的要件に伴い、製品には危険物質が含まれる可能性があります。当該種別の詳細については、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください。
インフィニオンの正式代表者が署名した書面を通じ、インフィニオンによる明示の承認が存在する場合を除き、インフィニオンの製品は、当該製品の障害またはその使用に関する一切の結果が、合理的に人的傷害を招く恐れのある一切の用途に使用することはできないこと予めご了承ください。