

Bluetooth LE MCU

Bluetooth Test Tool Suite 操作説明書

要旨

本文書は、ルネサス製 *Bluetooth*[®] Low Energy (以降 Bluetooth LE) 対応 MCU (以降 MCU) を Windows 上から制御する GUI ソフトウェア「Bluetooth Test Tool Suite」について記載します。

対象デバイス (MCU)

RX23W グループ

RA4W1 グループ

RE01B グループ

目次

1. 概要	4
1.1 特徴	4
1.2 適用	5
1.3 注意事項	5
1.4 動作環境	5
2. インストール	7
2.1 内容物	7
2.2 インストール手順	7
2.3 アンインストールについて	7
3. 共通操作	9
3.1 初期設定	9
3.1.1 HCI モードファームウェア書き込み	9
3.1.2 COM ポート設定	9
3.2 ツールランチャー起動とツール選択	11
3.3 EVB の接続と切断	12
3.4 ツールとツールランチャーの終了	13
4. 共通機能	14
4.1 ステータス表示	14
4.2 ログ出力	14
4.2.1 API・イベントログ表示・出力	14
4.2.2 HCI ログ出力	15
5. RF を評価する	17
5.1 Continuous Wave データを送信する	17
5.1.1 送信波	18

5.1.2	送信周波数チャネル	18
5.1.3	送信パワー	19
5.1.4	送信開始・停止	19
5.2	Direct Test Mode で評価する	20
5.2.1	DTM 送受信操作	22
5.2.2	DTM 受信結果表示	25
6.	ビーコン機能の評価する	27
6.1	ビーコンデータを送信する	27
6.1.1	アドバタイジングハンドル	27
6.1.2	アドバタイジング送信パワー	28
6.1.3	レガシー／拡張アドバタイジング切り替え	28
6.1.4	レガシー／拡張アドバタイジング共通設定	29
6.1.5	レガシーアドバタイジング設定	29
6.1.6	拡張アドバタイジング設定	31
6.1.7	アドバタイジング開始・停止	34
6.1.8	アドバタイジングハンドル設定データの保存	34
6.2	ビーコンデータを受信する	35
6.2.1	スキャンモード	35
6.2.2	PHY およびスキャン動作設定	36
6.2.3	フィルタ設定	36
6.2.4	スキャン開始・停止	37
6.2.5	アドバタイズメントデータの表示	38
7.	データ通信機能の評価する	39
7.1	サービス定義	39
7.2	スマートフォン対向でスループットを測定する	40
7.2.1	アドバタイジング開始 (MCU 側)	40
7.2.2	スキャン開始・接続 (スマートフォン側)	41
7.2.3	Notification 送信許可設定 (スマートフォン側)	43
7.2.4	Notification 送信開始 (MCU 側)	43
7.2.5	スループット確認 (MCU 側)	45
7.3	MCU 対向でスループットを測定する	46
7.3.1	アドバタイジング開始 (スレーブ側)	47
7.3.2	スキャン開始・接続 (マスター側)	47
7.3.3	RF 設定・コネクションインターバル設定 (スレーブ側)	50
7.3.4	RF 設定・コネクションインターバル設定・ATT_MTU 設定 (マスター側)	50
7.3.5	Notification 送信スループット測定 (スレーブ側)	52
7.3.6	Write without response 送信スループット測定 (マスター側)	54
7.4	ペアリングを行う	56
7.4.1	スマートフォンとペアリング	56
7.4.2	MCU 対向でペアリング	62
7.4.3	ペアリング情報のセーブ／ロード	66
8.	電波法認証試験で BTTS を使用する	69
8.1	CW (無変調連続波) の送信	70
8.2	疑似乱数の連続送信	71

8.3	受信動作	72
8.4	スキャンング実行.....	73
8.4.1	アドバタイジング実行	73
8.4.2	スキャンング実行.....	74
	改訂記録.....	75

Bluetooth® ワードマークおよびロゴは登録商標であり、Bluetooth SIG, Inc. が所有権を有します。ルネサス エレクトロニクス株式会社は使用許諾の下でこれらのマークおよびロゴを使用しています。その他の商標および登録商標は、それぞれの所有者の商標および登録商標です。

1. 概要

1.1 特徴

Bluetooth Test Tool Suite（以降 BTTS）は、Windows PC と USB Serial で接続した MCU 評価ボード（以降 EVB）を制御し、Bluetooth (Core Specification) 5.0 における RF、ビーコン通信、データ通信の 3 つの機能を評価するためのツールスイートです。

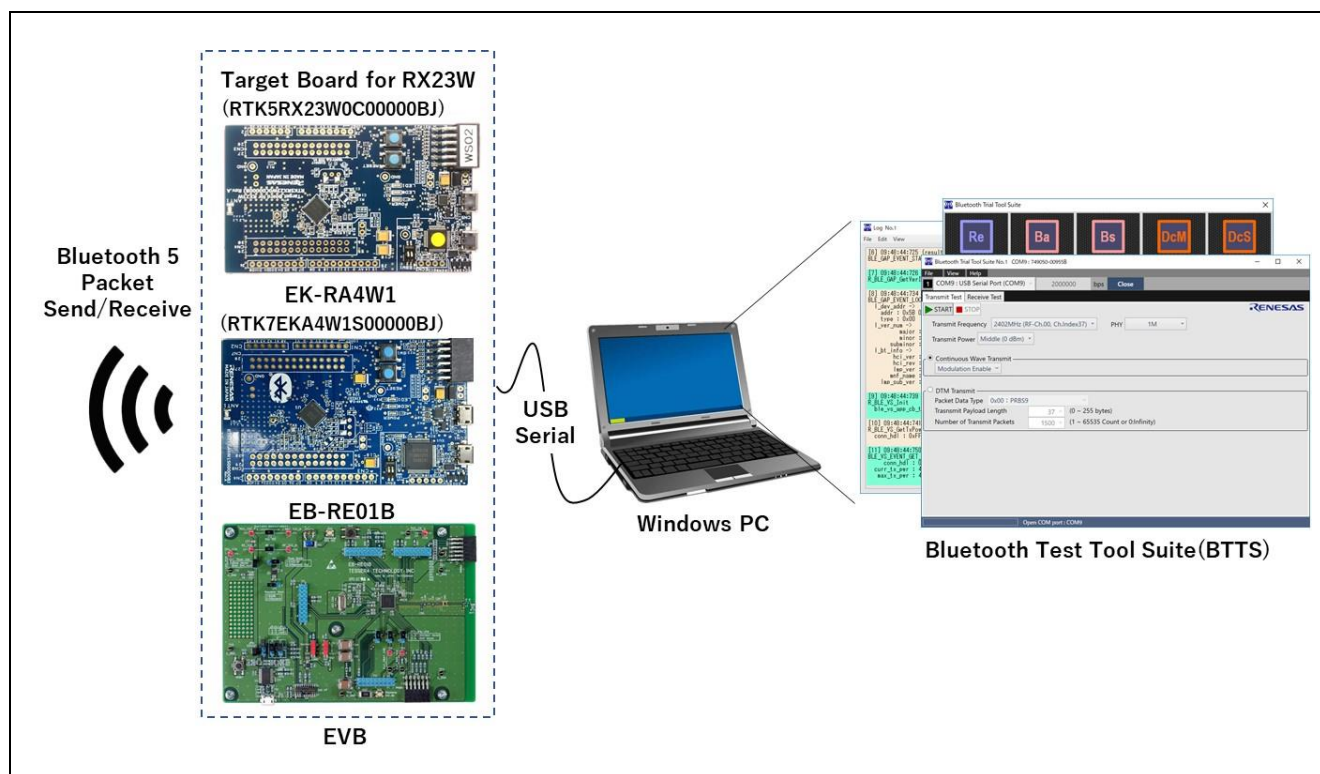


図 1-1 BTTS 概要図

BTTS 上で GUI を操作すると、操作した機能に応じた Bluetooth プロトコルスタックの API がコールされます。API は、内部で HCI (Host Controller Interface) コマンドに置き換えられ MCU 側に送信されます。BTTS は送信したコマンドの内容と、その結果として受信するイベントを GUI 上に表示します。「Log」ウィンドウには、BTTS で使用される Bluetooth プロトコルスタックの API およびイベントとそれぞれのパラメータ情報が出力されますので、Bluetooth 応用製品を開発する際の参考として役立てることができます。

本文書では、BTTS の構成、インストール、使用方法について解説します。

Bluetooth プロトコルスタックの API の詳細については、以下の各 MCU のドキュメントをご参照ください。

- RX23W :
Bluetooth® Low Energy プロトコルスタック 基本パッケージに含まれる「API リファレンスマニュアル」
- RA4W1 :
RA Flexible Software Package (FSP) に含まれる「RA Flexible Software Package Documentation」
- RE01B :
Bluetooth Low Energy サンプルコード (using CMSIS Driver Package) に含まれる「API ドキュメント」

1.2 適用

本文書の記載内容は、BTTS 1.06 以降に適用します。BTTS の機能追加等により内容が変更される場合があります。

1.3 注意事項

- 本文書で解説する BTTS は、MCU の Bluetooth 機能の評価用途でのみ使用可能です。その他の用途では使用できません。
- BTTS は通信の負荷によっては処理が間に合わず、データの取りこぼしやデータ化けが発生しアプリケーションが異常終了することがあります。以下の対応で異常終了の発生頻度を低くすることができます。
 - スキャンングを行う時、アドレスフィルタを有効にする (6.2.3、7.3.2 参照)
 - 双方向のデータ通信を行わない
 - ログ表示機能をオフにしてツールの処理負荷を軽くする (4.2.1 参照)

1.4 動作環境

BTTS の実行には、次の動作環境が必要です。

- MCU 実装ボード (HCI 動作用ファームウェア書き込み済み)
本文書では以下の EVB を使用します。
 - RX23W 用 EVB : Target Board for RX23W (RTK5RX23W0C00000BJ)
 - RA4W1 用 EVB : EK-RA4W1 (RTK7EKA4W1S00000BJ)
 - RE01B 用 EVB : EB-RE01B ([テセラ・テクノロジー株式会社](#))
- Windows 10 (64 ビット版) 動作 PC
- 接続用ケーブル
使用する接続用ケーブルにより MCU 実装ボード上の構成が異なります。
 - USB ケーブルを使用する場合
USB コネクタと FTDI チップを経由して、MCU のシリアルコミュニケーションインタフェース (SCI) の入出力端子 (TXD, RXD, CTS) と接続します。本文書で使用する EVB との接続には USB A-MicroB ケーブルを使用します。

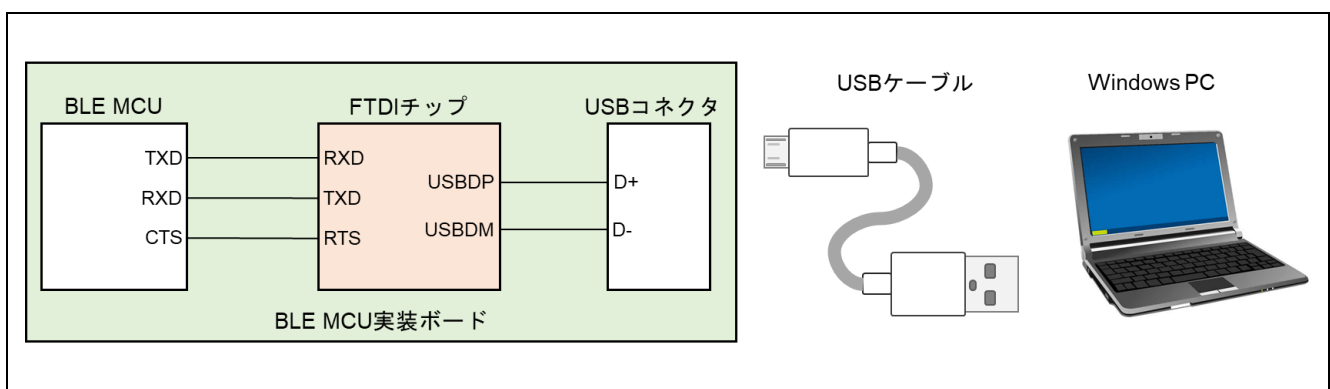


図 1-2 USB ケーブルを使用する場合

— FTDI ケーブルを使用する場合

汎用コネクタ等を経由して、MCU の SCI の入出力端子 (TXD, RXD, CTS) と接続します。

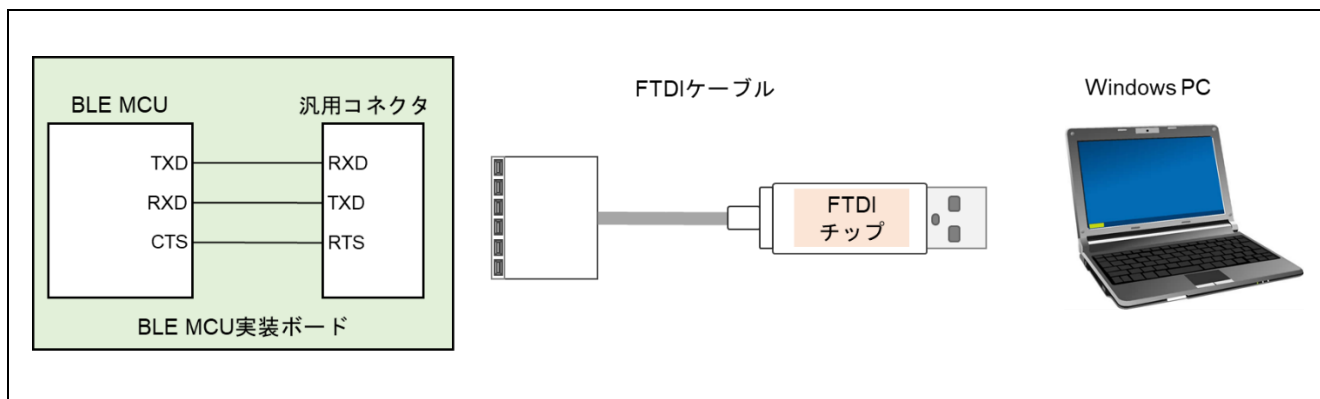


図 1-3 FTDI ケーブルを使用する場合

- 【注】
1. SCI 入出力端子のピン番号は使用するチャンネルにより変わります。SCI については各 MCU のユーザーズマニュアルをご参照ください。
RX23W グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0823) — 「SCI8」
RA4W1 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0883) — 「SCI4」
RE01B グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0903) — 「SCI2」
 2. 「FTDI」とは、USB とシリアルインタフェースの変換に使われる Future Technology Devices International 社の製品の総称です。USB を UART に変換可能なチップ、ケーブルのデータシート、およびデバイスドライバは下記 URL より入手してください。
<https://www.ftdichip.com>

2. インストール

2.1 内容物

BTTS のパッケージのファイルとフォルダ構成を以下に示します。

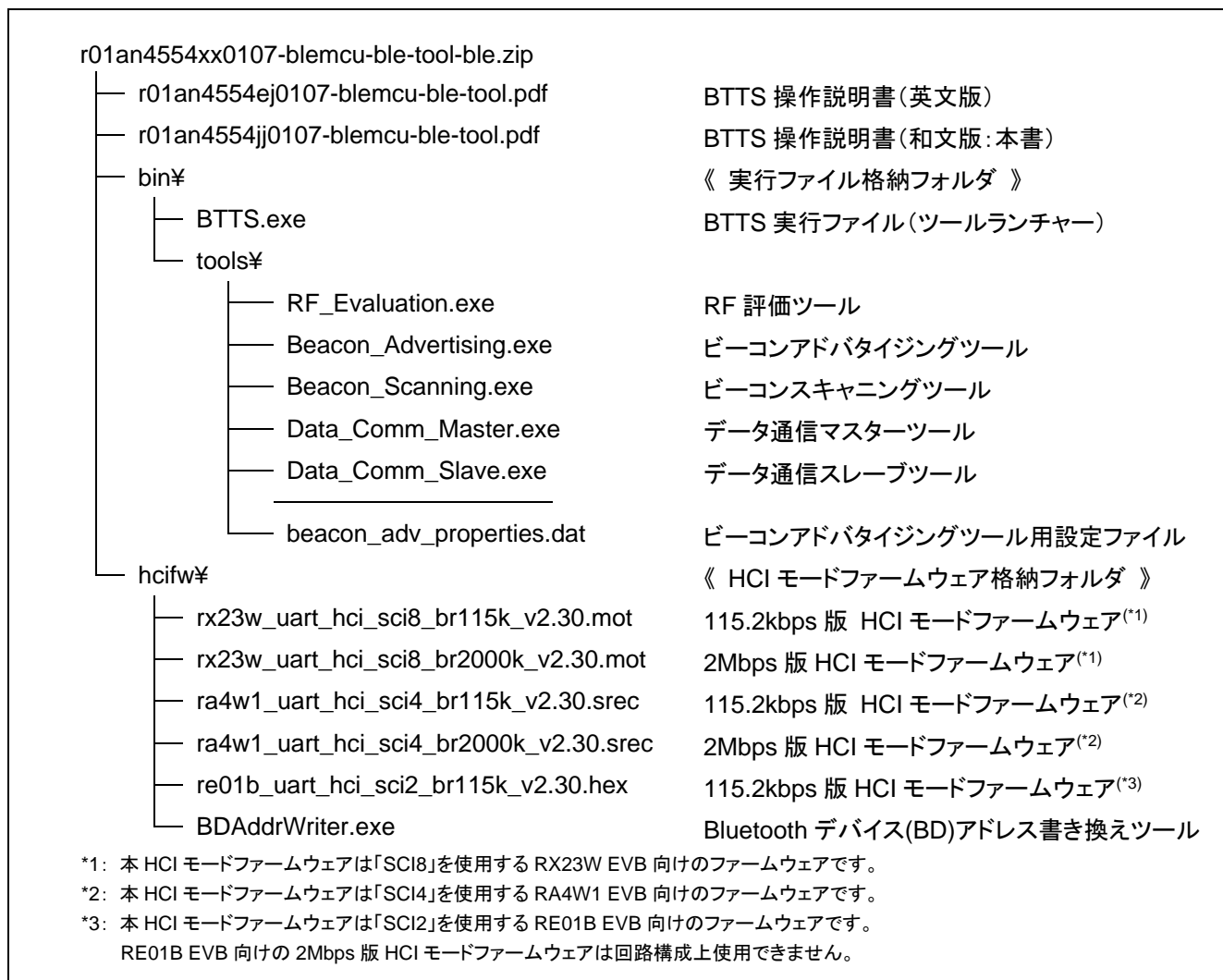


図 2-1 BTTS パッケージ内容一覧

2.2 インストール手順

BTTS のパッケージを任意のフォルダに展開してください。図 2-1 に示すパッケージ一覧と比較して、ファイルに不足が無いことを確認してください。

【注】 旧バージョンは新しいバージョンをインストールする前にアンインストールしてください。

2.3 アンインストールについて

BTTS をアンインストールする場合は展開したフォルダを削除してください。なお BTTS はインストールおよび実行に際し、Windows のレジストリは使用していません。

アプリケーションのプロパティは以下のフォルダに自動的に保存されています。アンインストール時には下記の自動生成されたフォルダも削除してください。

C:\Users\%(ユーザー名)\AppData\Local\BTTS

図 2-2 BTTS アプリケーションプロパティ保存フォルダ

3. 共通操作

3.1 初期設定

3.1.1 HCI モードファームウェア書き込み

BTTS では、Windows PC と EVB 間で高負荷の通信が発生しますので、EVB の HCI モードファームウェアは、ボーレート 2Mbps 版を使用します。展開したパッケージ内の HCI モードファームウェア格納フォルダにある各 MCU 用の「xxxxx_uart_hci_scix_br2000k_vx.xx.xxx」ファイルを EVB に書き込みます。

また、HCI モードファームウェアの書き込みにより EVB の BD アドレス（パブリックアドレス）が消失する場合があります。消失した場合は、HCI モードファームウェア格納フォルダにある BD アドレス書き換えツール「BDAddrWriter.exe」を使用して、パブリックアドレスを書き込んでください。

BTTS では、パブリックアドレスが無効な場合、代わりに MCU のユニーク ID から生成されるデバイスごとに固定のランダム（スタティック）アドレスを使用しますので、アプリケーションの動作には影響ありません。

HCI モードファームウェアおよび BD アドレスの書き込み方法については、各 MCU の下記ドキュメントをご参照ください。

- RX23W :
Bluetooth Low Energy プロトコルスタック 基本パッケージ ユーザーズマニュアル (R01UW0205)
- RA4W1 :
Host Controller Interface Firmware (R01AN5429)
Public BD Address writing tool (R01AN5439)
- RE01B :
Bluetooth Low Energy サンプルコード (using CMSIS Driver Package) (R01AN5606)

【注】 RF テスタ等との通信でボーレート 115.2kbps を使用する場合は、HCI モードファームウェア格納フォルダにある各 MCU 用の「xxxxx_uart_hci_scix_br115k_vx.xx.xxx」ファイルを EVB に書き込んでください。

【注】 RE01B では「BDAddrWriter.exe」による BD アドレス書き込みをサポートしていません。Renesas Flash Programmer を使用して BD アドレスを書き込む必要があります。

【注】 RE01B では EVB の回路構成上 2Mbps 版 HCI モードファームウェアを使用できません。115.2kbps 版 HCI モードファームウェアをご使用ください。

3.1.2 COM ポート設定

【注】 本設定は Windows PC と EVB 間のデータ転送時のタイムロス小さくするための USB ドライバの設定です。設定により割り込み頻度が高くなりシステムへの負荷は重くなります。ツールの利用目的が性能評価でない場合、本設定を行う必要はありません。

Windows PC に EVB を初めて USB ケーブルで接続すると、自動的に USB Communication Device Class (CDC) ドライバのインストールが開始されます。インストール完了後に、デバイスマネージャを起動してください。デバイスマネージャ上のカテゴリ「ポート(COM と LPT)」の中に、接続した EVB が使用する COM ポートが表示されています。

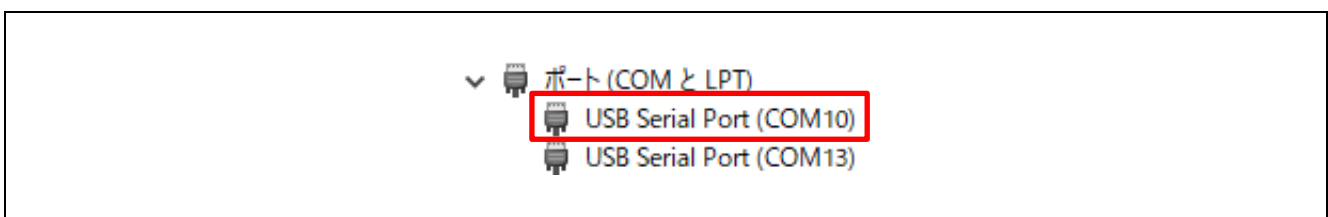


図 3-1 デバイスマネージャ COM ポート設定

該当の COM ポートを選択してマウスの右ボタンを押下し「プロパティ」を選択します。表示された COM ポートのプロパティより「ポートの設定」タブの「詳細設定」をクリックします。表示された詳細設定パネルから、データ転送時間（データを受信して USB ホスト側へ転送するまでの待ち時間）を短縮するため、「BM オプション」の「待ち時間 (msec) : 」のプルダウンメニュー（デフォルトは「16」）を「1」に設定して、「OK」ボタンをクリックしてください。

その後プロパティダイアログを閉じて、設定を反映します。

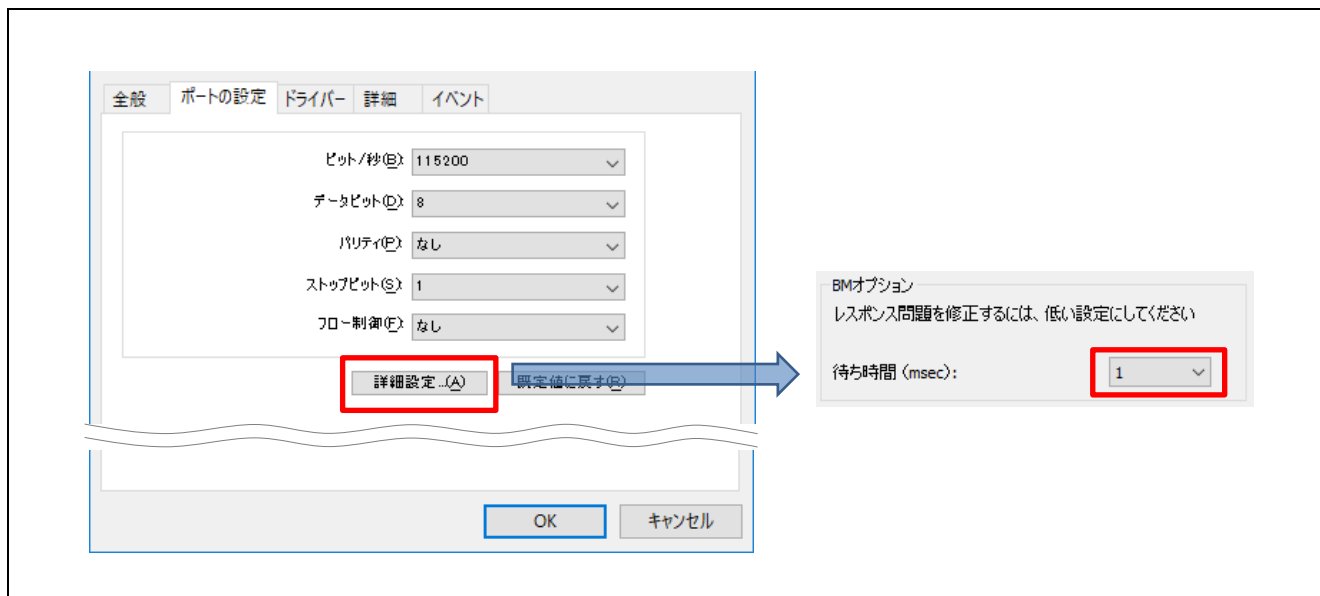


図 3-2 ポートの設定

3.2 ツールランチャー起動とツール選択

BTTS の起動は、展開したパッケージ内の実行ファイル格納フォルダにある「BTTS.exe」を実行します。

実行すると、5つのツールを選択するためのツールランチャーが表示されます。ツールランチャーから実行するツールを選択してクリックします。このツールランチャーは常時表示されます。

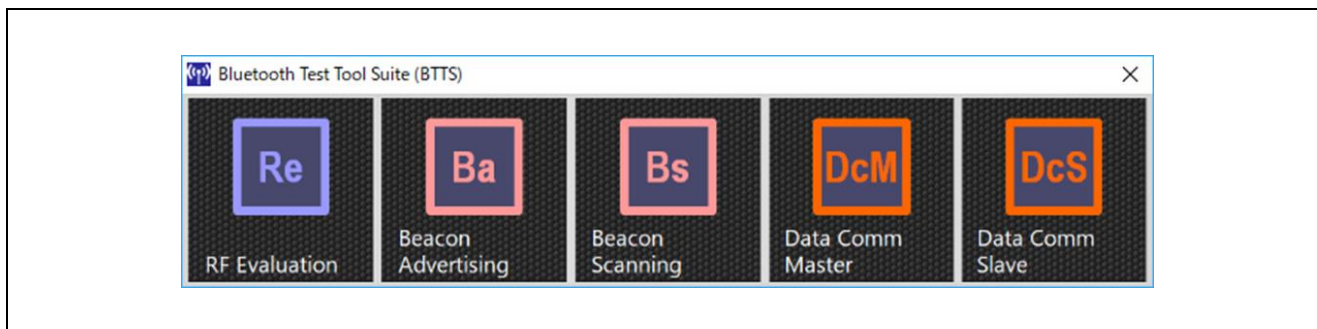


図 3-3 ツールランチャー

- RF 評価ツール
認証試験および Direct Test Mode の RF 評価を行う場合は「RF Evaluation」を選択します。
- ビーコン (アドバタイジング / スキャン) ツール
拡張アドバタイジングおよび周期アドバタイジング機能を使用したビーコン通信機能の評価を行う場合に選択します。アドバタイジングを行う場合は「Beacon Advertising」を、スキャンを行う場合は「Beacon Scanning」を選択します。
- データ通信 (マスター / スレーブ) ツール
ペアリングセキュリティ機能、スループット測定を行うデータ通信機能の評価を行う場合に選択します。マスター動作を行う場合は「Data Comm Master」を、スレーブ動作を行う場合は「Data Comm Slave」を選択します。
スマートフォンと接続を行う場合は GATT データベースを保有するスレーブ動作を実行するために「Data Comm Slave」を選択します。

3.3 EVB の接続と切断

ツールを起動すると、各ツールのウィンドウのタイトルバーに識別番号が各ツールごとに 1 から順番に割り振られ表示されます。

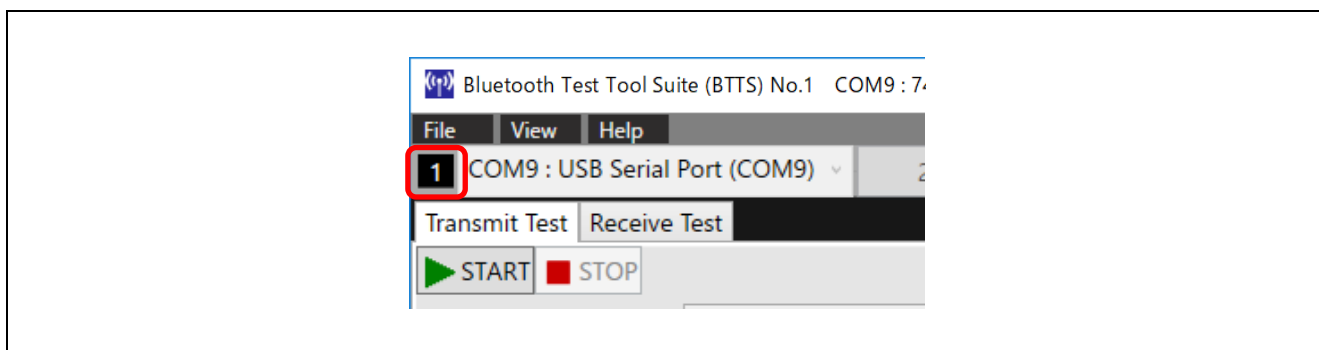


図 3-4 識別用 ID 番号表示

接続ポート選択用プルダウンメニューには、Windows PC に接続された COM ポートが接続候補として表示されます。既に別のツールで選択済みの COM ポートは、使用中を示す「(In use)」が付与されて表示されます。

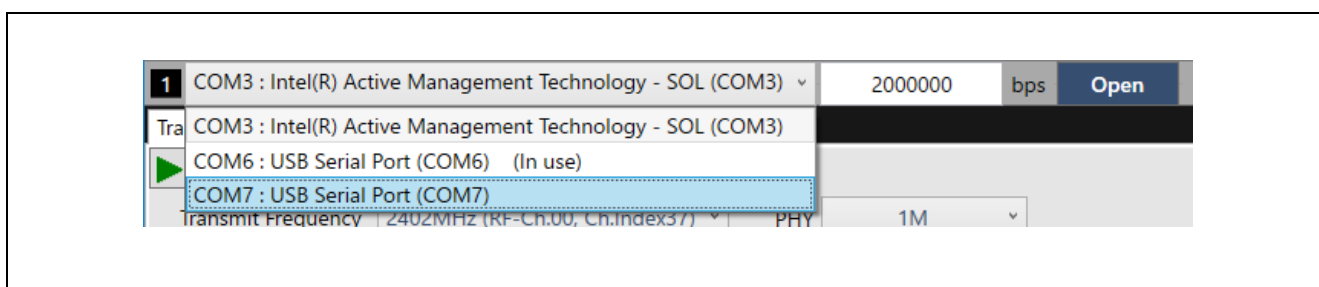


図 3-5 接続ポート選択

EVB との接続に使用するボーレート値はテキストボックスに直接入力して設定します。このパラメータは接続した EVB 側のシリアル通信設定に反映されます。BTT では「2000000」(2Mbps) または「115200」(115.2kbps)を設定してください。

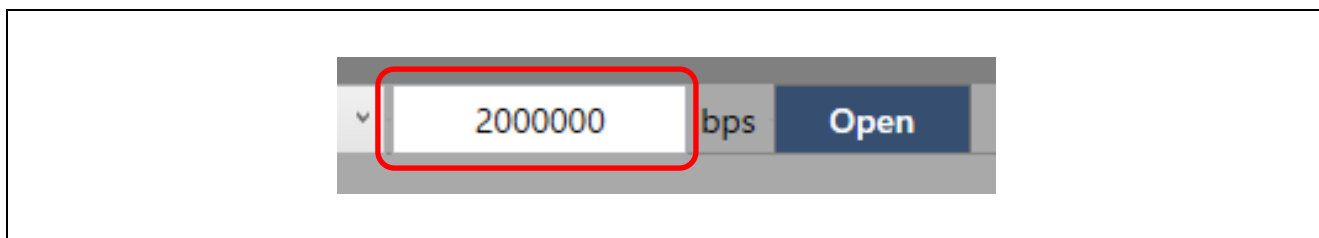


図 3-6 ボーレート設定

COM ポートの選択と、接続に用いるボーレートの設定が終わったら、「Open」ボタンをクリックします。EVB との接続に成功すると、ボタンの表記は「Close」に切り替わります。この「Close」ボタンをクリックすることで EVB との通信を切断します。通信切断後、ボタンの表記は「Open」に切り替わります。

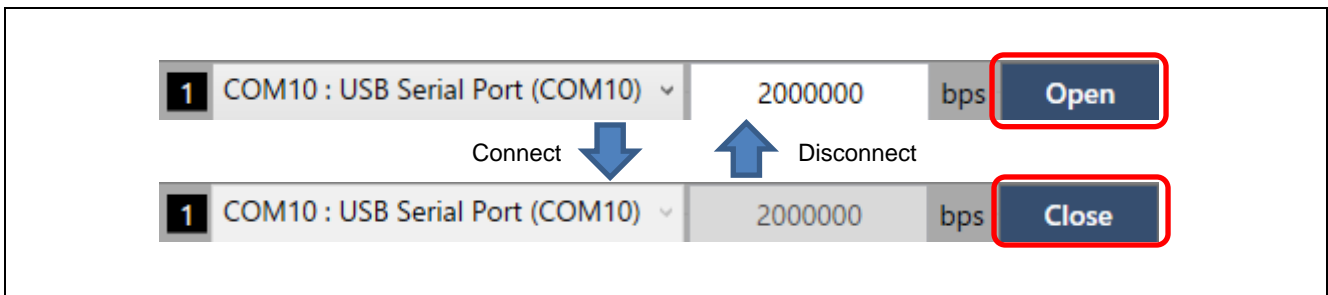


図 3-7 接続ボタン表示

3.4 ツールとツールランチャーの終了

各ツールの終了手順は以下のとおりです。

1. 通信中の場合は「■STOP」ボタンをクリックして通信を停止します。
2. COM ポートが開いている場合は「Close」ボタンをクリックしてポートを閉じます。
3. ウィンドウの「閉じる (×)」ボタンをクリックしてツールを終了します。

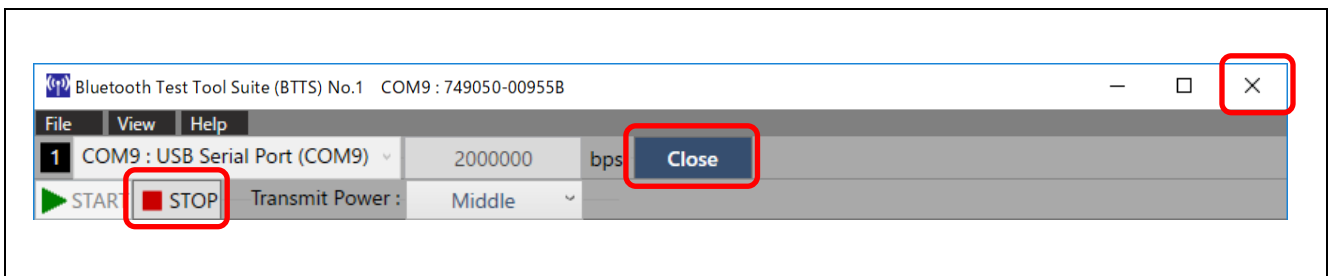


図 3-8 ツールの終了

ツールランチャーは、ウィンドウの「閉じる (×)」ボタンをクリックして終了します。

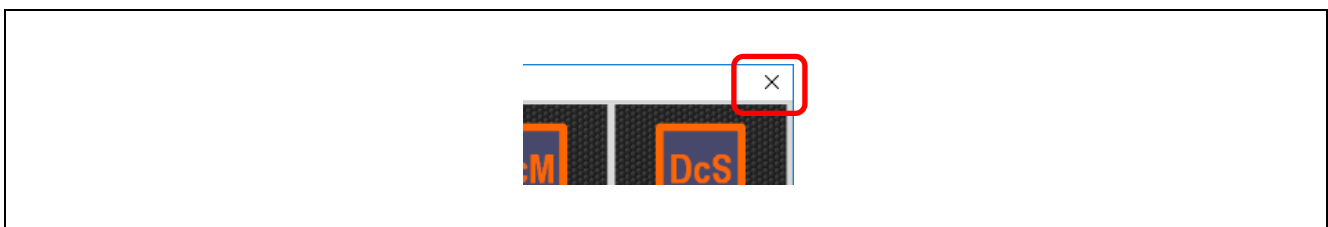


図 3-9 ツールランチャーの終了

終了処理により各ツールのプロパティは自動的に保存されます。

4. 共通機能

4.1 ステータス表示

ウィンドウの下部にあるステータス表示部は、GUI を操作して MCU を制御し応答を待っている間、プログレスバーのアニメーションが実行されます。

プログレスバー右横の文字列フィールドには、MCU からのフィードバック情報が表示されます。

後述の HCI ログをファイルへ出力する機能（4.2.2 参照）を選択している間、ステータスバー右端に有効中を示す文字列「●REC」が表示されます。



図 4-1 ステータス表示例

4.2 ログ出力

BTTS には、MCU の制御に使用する Bluetooth プロトコルスタックの API・イベントログを「Log」ウィンドウに表示しファイルに出力する機能と、Host Controller Interface (HCI) のログをファイルに出力する機能があります。

4.2.1 API・イベントログ表示・出力

ツールランチャーより評価を行うツールを選択すると、各ツールの操作ウィンドウとは別に「Log」ウィンドウが表示されます。このウィンドウには、GUI 操作により呼び出される Bluetooth プロトコルスタックの API と、API コール時のパラメータおよび、API コールにより Bluetooth プロトコルスタックから通知されるイベントとイベント構造体の情報が表示されます。

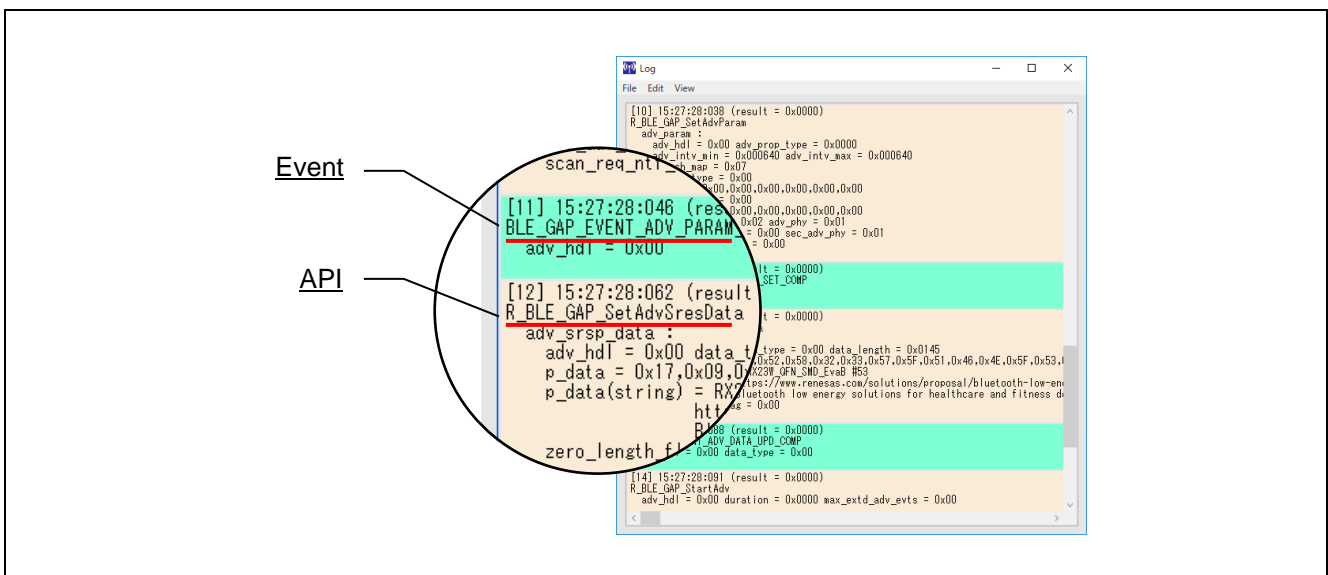


図 4-2 「Log」ウィンドウ

- 「Log」ウィンドウの上部メニューバーの「File」メニューから「Save」を選択することで、ログを任意のフォルダ、任意の名前でテキストファイルに保存することができます。

- 「Edit」メニューの「Clear」を選択することで、ウィンドウに表示されたログを全て消去することができます。
- 「View」メニューの「Log Output ON」のチェックを外すことで、ログを停止することができます。デフォルトは、チェックが ON になっています。

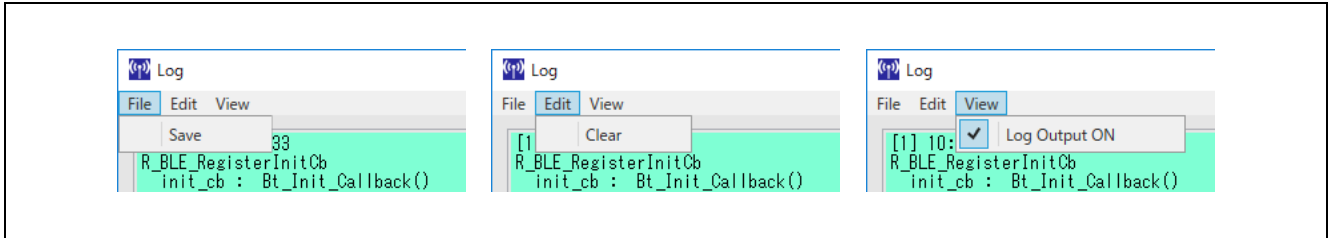


図 4-3 メニューバー「File」「Edit」「View」メニュー

【注】 データ通信のスループット測定時は、「Log Output ON」のチェックを OFF にしてログ表示に掛かる処理負荷を軽くすることでパフォーマンスが向上します。

4.2.2 HCI ログ出力

HCI ログ出力機能は、Bluetooth プロトコルスタックが MCU との間で送受信する HCI のコマンドおよびイベントのログを Windows 上の BTTS.exe が格納されたフォルダにファイルを生成して保存します。

本機能は、各ツールの操作ウィンドウの上部メニューバーの「File」メニューの「HCI Log Save」にチェックを入れることで有効になります。「HCI Log Save」にチェックを入れると、操作ウィンドウ下部のステータスバーに「●REC」が表示されます。

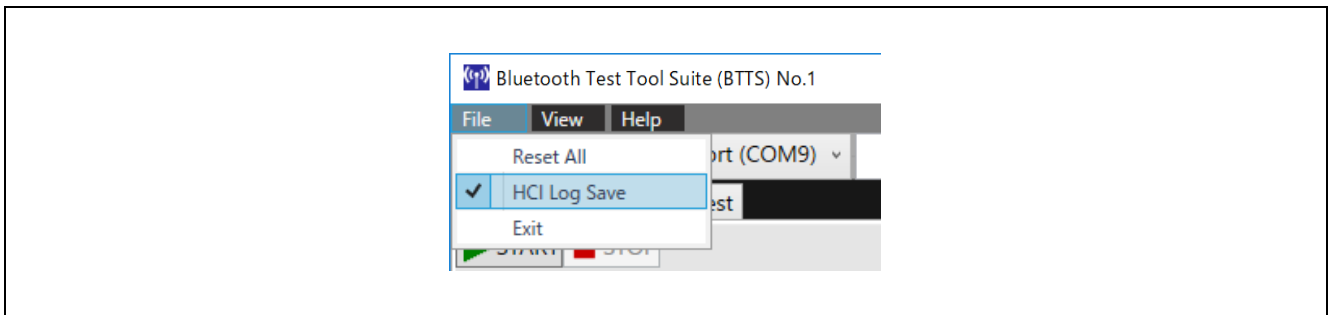


図 4-4 メニューバー「File」-「HCI Log Save」メニュー



図 4-5 ステータスバーHCI ログ出力中表示

保存された HCI ログファイルは、Wireshark 等の HCI ログを対象とするアプリケーションでブラウザすることができます。

※Wireshark バージョン 3.2.1 でブラウザできることを確認しています。

HCI ログファイルは「ツール識別子_yyyy_mm_dd_hh_mm_ss.snoop」というファイル名で出力されま
す。時刻はログ取得開始時刻が設定されます。ツール識別子は表 4-1 のとおりです。

表 4-1 HCI ログファイル付随のツール識別子

ツールランチャーで選択したツール		ツール識別子
RF Evaluation		RFEva
Beacon	Advertising	BeaconAdv
	Scanning	BeaconScan
Data Communication	Master	DataCommMaster
	Slave	DataCommSlave

5. RF を評価する

本章では、MCU を使用した RF 評価ツールについて解説します。

5.1 Continuous Wave データを送信する

ツールランチャーにて「RF Evaluation」を選択して、RF 評価ツールを起動します。3.3 に記載の手順で EVB を接続してください。

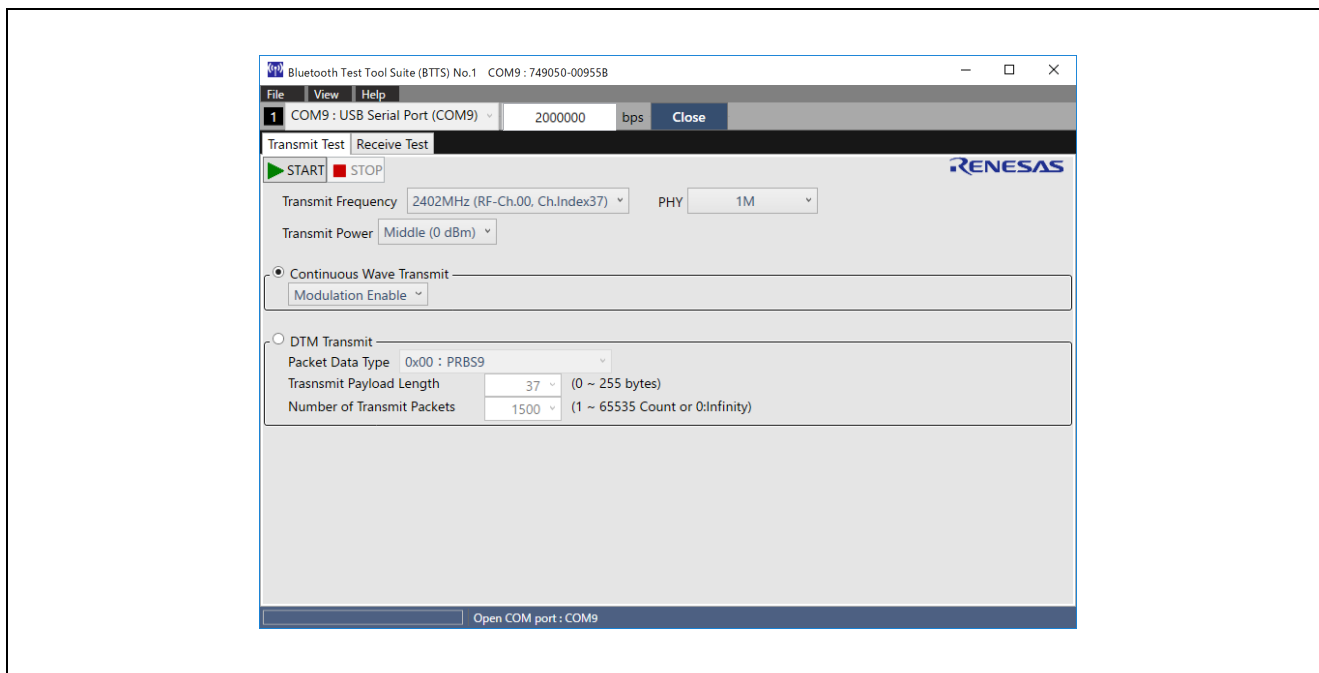


図 5-1 RF 評価ツール

Continuous Wave を送信するには、上部タブの「Transmit Test」をクリックし、「Continuous Wave Transmit」ラジオボタンを選択します。

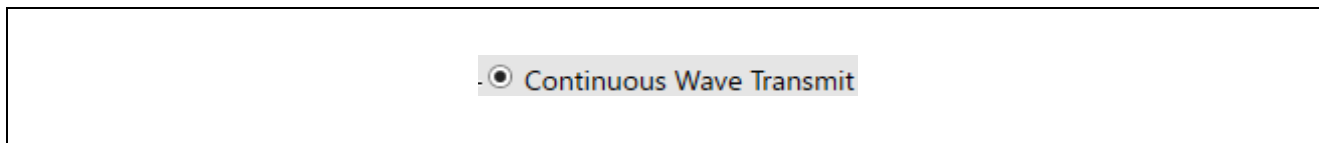


図 5-2 Continuous Wave 送信選択

関連する設定項目は以下のとおりです。

- 送信波
- 送信周波数チャンネル
- 送信パワー

5.1.1 送信波

「Continuous Wave Transmit」ラジオボタン下部のプルダウンメニューより、送信波を選択することができます。

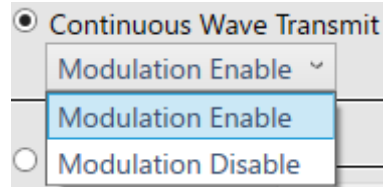


図 5-3 Continuous Wave 波形選択

- Modulation Enable
変調波形を選択。
- Modulation Disable
無変調波形を選択。

5.1.2 送信周波数チャンネル

「Transmit Frequency」のプルダウンメニューより、送信周波数チャンネルを選択することができます。2MHz 単位でチャンネル 00~39 の選択が可能です。

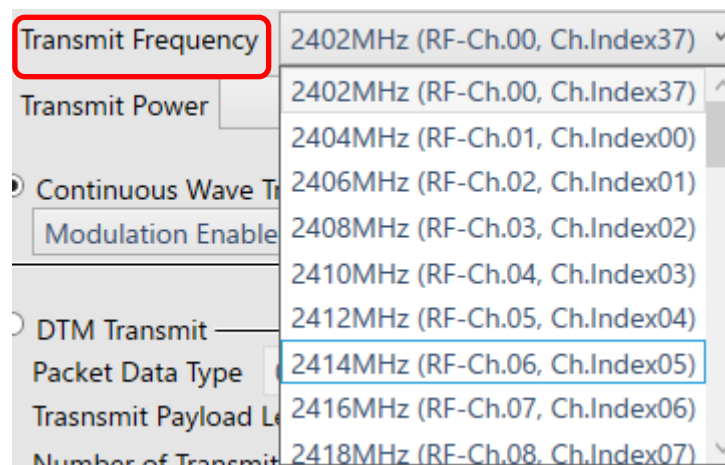


図 5-4 送信周波数チャンネル選択

5.1.3 送信パワー

「Transmit Power」のプルダウンメニューより送信パワーを選択することができます。Low/Middle/Highの3段階の設定が可能です。

【注】 各段階の送信パワー(dBm)は、MCUのファームウェアの設定に依存します。

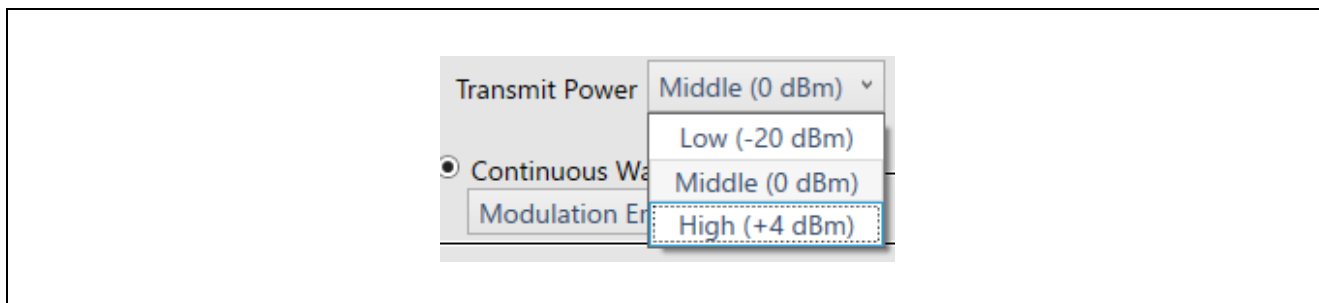


図 5-5 送信パワー選択

5.1.4 送信開始・停止

「▶START」ボタンをクリックすると、波形の送開始されますので、スペクトルアナライザ等の計測器で、波形の測定を行うことができます。

「■STOP」ボタンをクリックすると停止します。

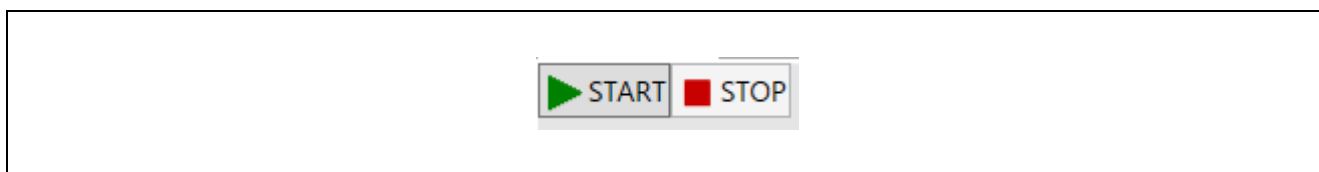


図 5-6 送信開始・停止ボタン

5.2 Direct Test Mode で評価する

Bluetooth 仕様では、RF を試験するためのテストモードとして Direct Test Mode（以降 DTM）が規定されています。電波法認証試験を行うときは、デバイスを DTM に入れる必要があります。

本章では、MCU 対向で DTM での評価実施手順について記載します。

ツールランチャーにて「RF Evaluation」を選択して、RF 評価ツールを起動します。3.3 に記載の手順で EVB を接続してください。

送信側は「Transmit Test」タブで、「DTM Transmit」ラジオボタンを選択します。

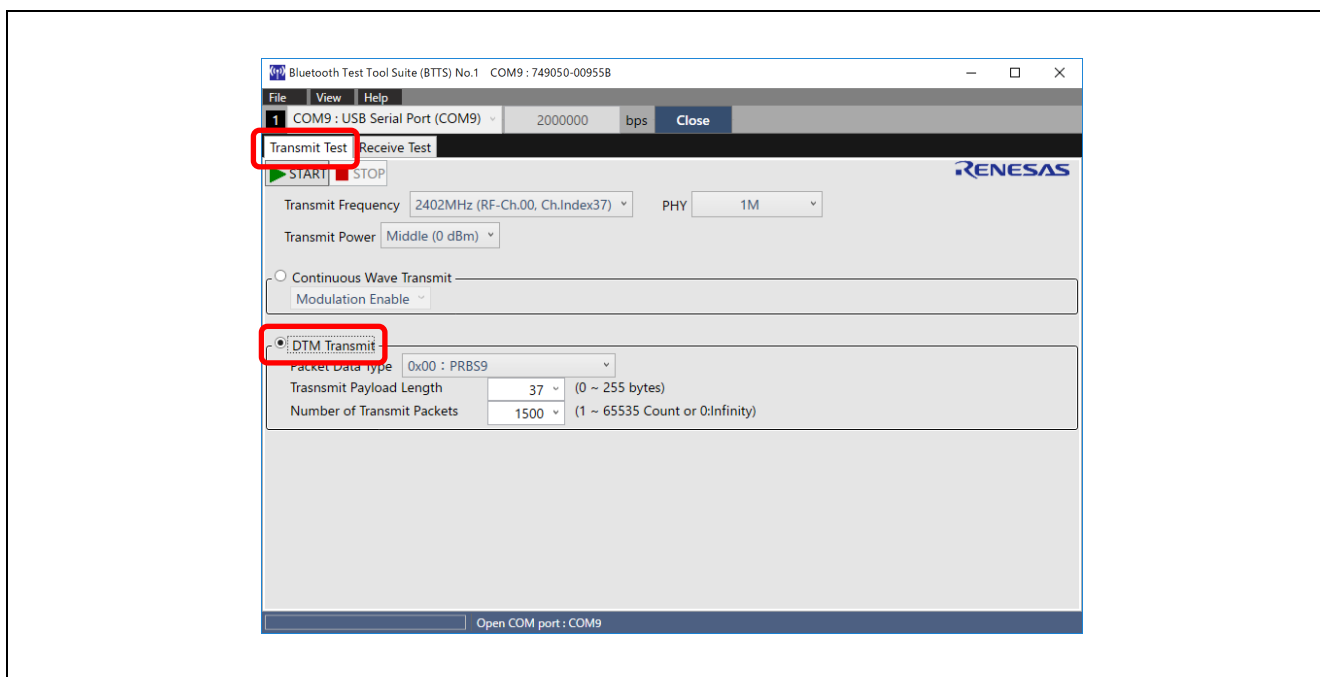


図 5-7 Transmit Test タブの DTM 送信選択

送信側の関連する設定項目は以下のとおりです。

- 送出パッケージタイプ
- 送信ペイロード
- パッケージ送出回数
- 送信周波数チャンネル
- 送信 PHY
- 送信パワー

受信側も、送信側と同様にツールランチャーにて「RF Evaluation」を選択して、RF 評価ツールを起動します。3.3に記載の手順でEVBを接続してください。

接続後、「Receive Test」タブを選択します。

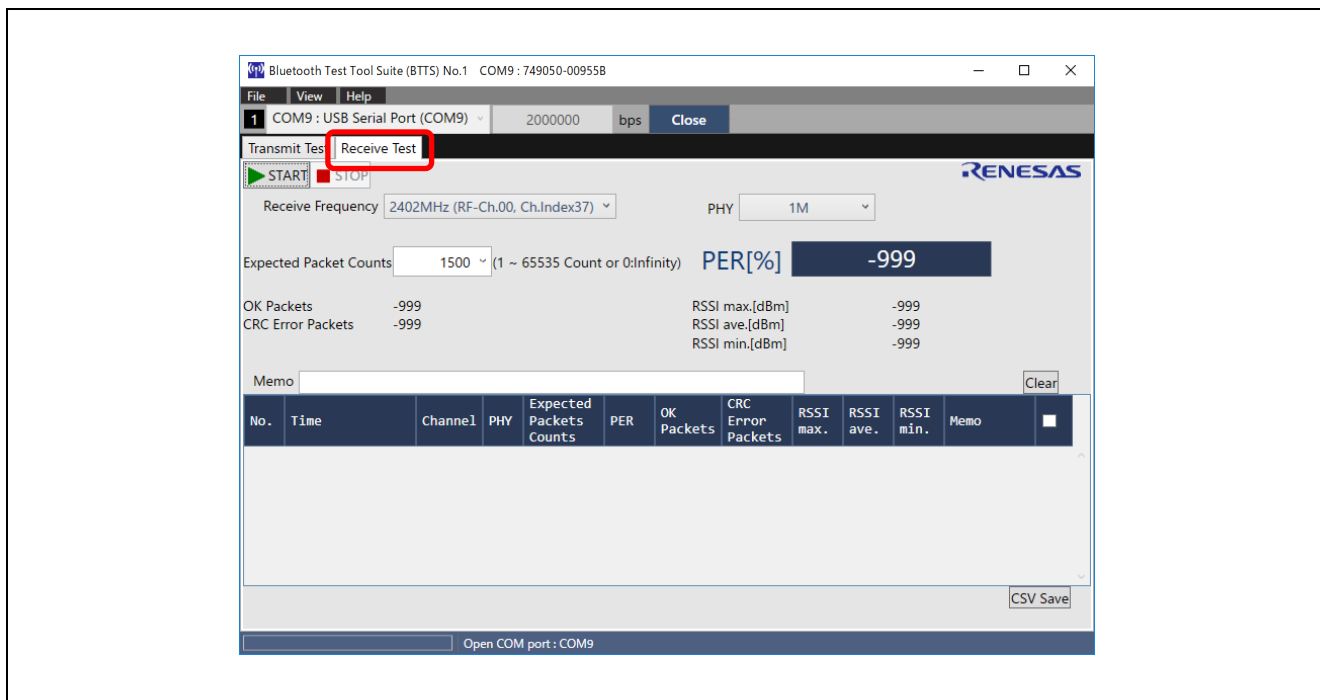


図 5-8 Receive Test タブ

受信側の関連する設定項目は以下のとおりです。

- 受信周波数チャンネル
- 受信 PHY
- 受信パケット数

5.2.1 DTM 送受信操作

<送信側・受信側> 送信側は「Transmit Frequency」、受信側は「Receive Frequency」プルダウンメニューより周波数チャネルを選択します。送信側と受信側で同じチャネルを選択します。

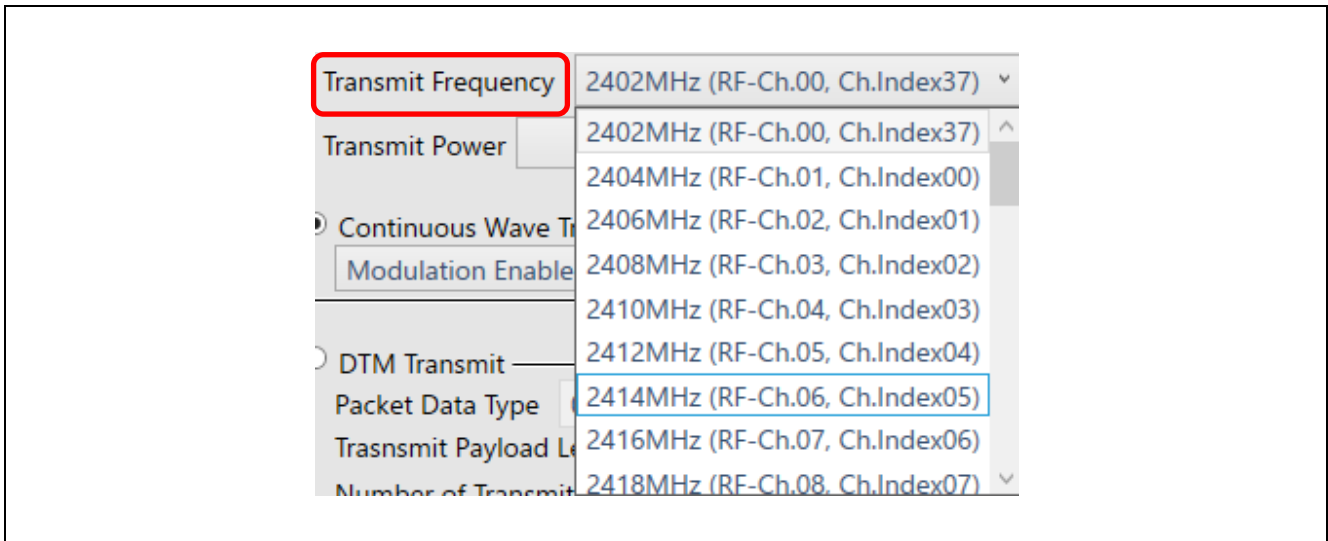


図 5-9 周波数チャネル選択

<送信側・受信側> 「PHY」のプルダウンメニューより使用するPHYを選択します。送信側と受信側で同じPHYを選択します。

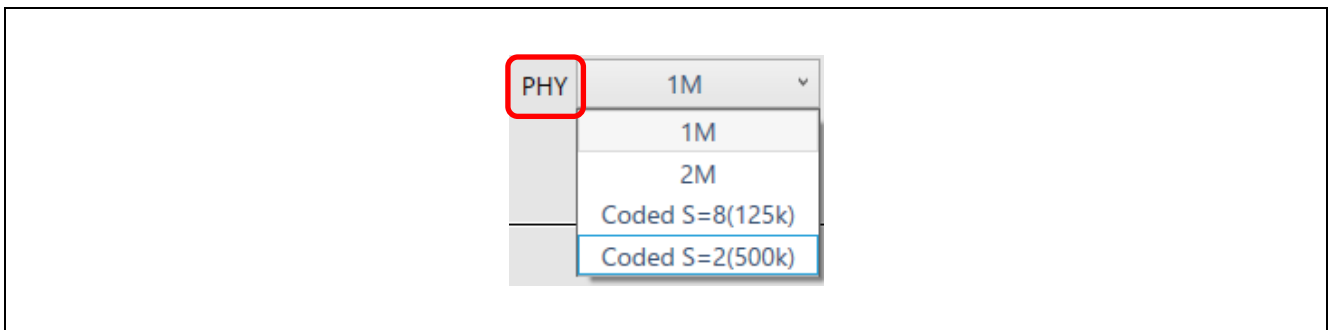


図 5-10 PHY 選択

<送信側> 「Transmit Power」のプルダウンメニューより送信パワーレベルを選択します。

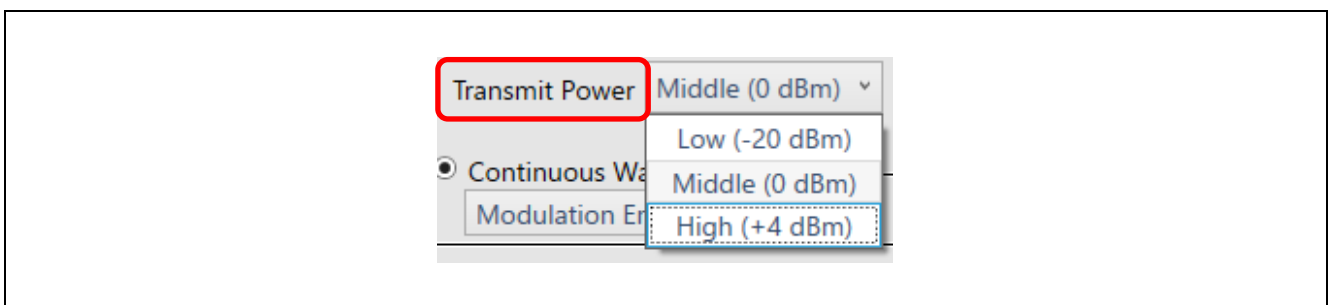


図 5-11 送信パワー選択

<送信側> 「DTM Transmit」ラジオボタン下部にある「Packet Data Type」のプルダウンメニューより送信パケットのデータタイプを選択します。

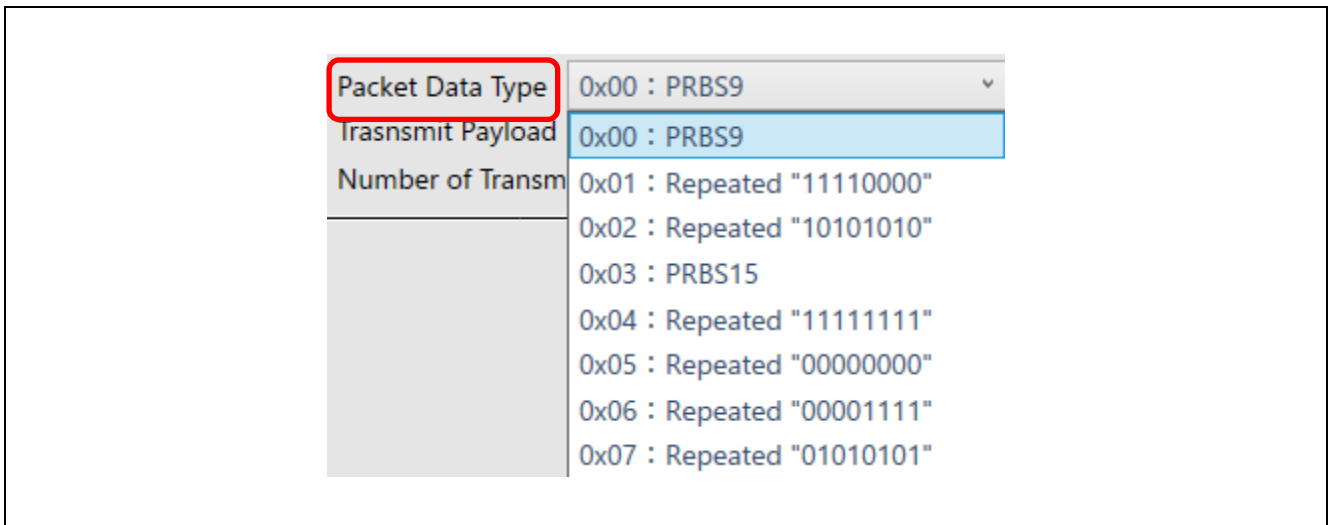


図 5-12 送信パケットデータタイプ選択

<送信側> 「Transmit Payload Length」のプルダウンメニューより送信ペイロードのレングスを選択します。0~255 の値を直接入力することも可能です。

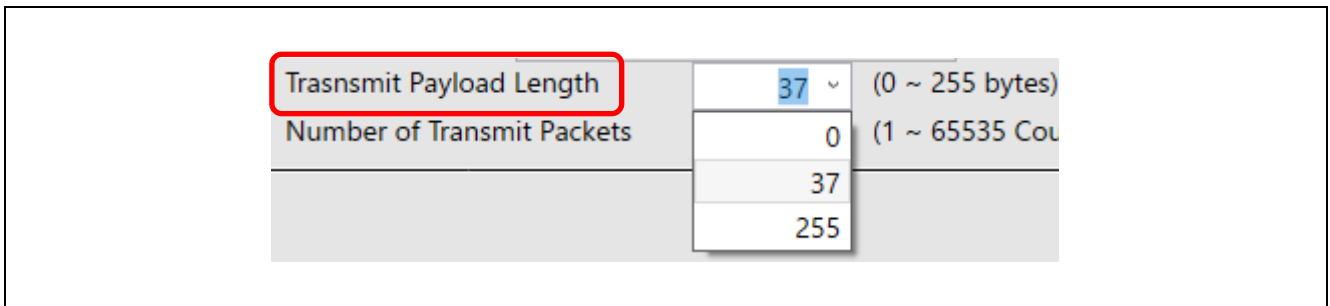


図 5-13 送信ペイロードレングス設定

<送信側> 「Number of Transmit Packet」のプルダウンメニューより送信パケット数を選択します。0~65535 の値を直接入力することも可能です。0 を設定した場合は「無限送信」指定となります。

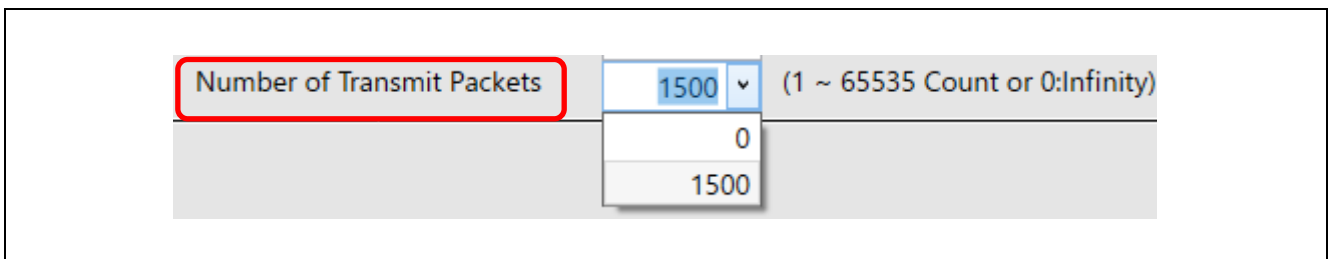


図 5-14 送信パケット数設定

＜受信側＞ 「Expected Packet Counts」のプルダウンメニューより受信パケット数を選択します。0～65535の値を直接入力することも可能です。0を設定した場合は「無限受信」指定となります。

【注】 送信側の「Number of Transmit Packet」で設定した値を設定します。

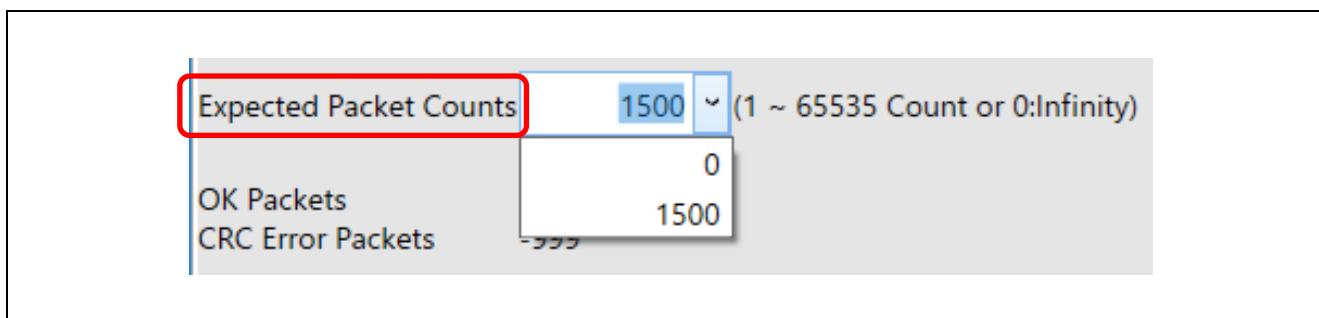


図 5-15 受信パケット数設定

＜送信側・受信側＞ DTMのデータ送受信を開始します。開始・停止は、各ウィンドウのタブ上部にある「▶START」・「■STOP」ボタンで実行します。

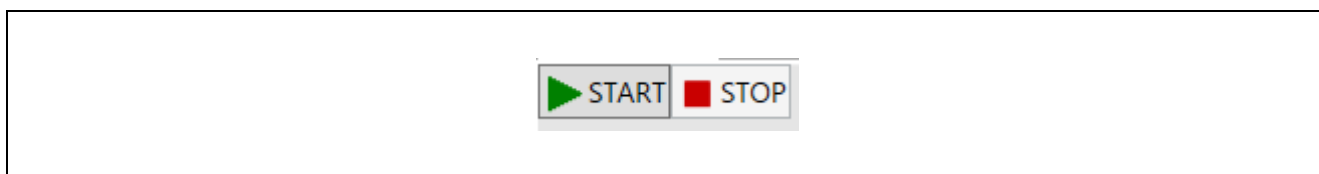


図 5-16 DTMのデータ送受信 開始・停止ボタン

先に受信側の「▶START」ボタンをクリックしてDTMデータ受信を開始します。次に送信側の「▶START」ボタンをクリックしてDTMデータ送信を開始します。

送信側は、「Number of Transmit Packet」で指定した回数パケットを送出し自動停止します。「無限送信」が指定されている場合は「■STOP」ボタンをクリックして手動で停止してください。

送信側のパケット送信が停止したら、受信側で「■STOP」ボタンをクリックして受信を停止してください。

【注】 先に送信を開始すると正しい結果が得られません。

5.2.2 DTM 受信結果表示

受信側で「**STOP**」ボタンをクリックすると受信結果が表示されます。

「PER (Packet Error Rate)」は「Expected Packet Counts」で設定した値と、受信結果の「OK Packets」の値を用いて計算されます。結果は小数点第二位まで表示されます。

【注】「PER」は「Expected Packet Counts」の値が0の場合は無効を示す「-999」が表示されます。
「RSSI (Received Signal Strength Indicator) max.」、「RSSI ave.」、「RSSI min.」は、「OK Packets」、「CRC Error Packets」の値が双方共に0の時は無効を示す「-999」が表示されます。



図 5-17 測定結果表示部

また「**STOP**」ボタンクリックで測定が完了する都度、ウィンドウ下部のデータグリッドに測定結果レコードが追加されます。

No.	Time	Channel	PHY	Expected Packets Counts	PER	OK Packets	CRC Error Packets	RSSI max.	RSSI ave.	RSSI min.	Memo	
1	18/04/11 17:45:35	1	1M	1500	0	1500	0	-25	-25	-25	Distance 1m	<input type="checkbox"/>
2	18/04/11 17:46:01	1	1M	1500	0	1500	0	-26	-26	-26	Distance 3m	<input type="checkbox"/>
3	18/04/11 17:46:14	1	1M	1500	0	1500	0	-26	-26	-26	Distance 5m	<input type="checkbox"/>

図 5-18 測定結果履歴表示部

データグリッド上部の「Memo」テキストフィールドには、結果に付随させるメモを入力することができます。入力したテキストは、「**STOP**」ボタンをクリックした際に、測定結果レコードの「Memo」欄に反映されます。

No.	Time	Channel	PHY	Expected Packets Counts	PER	OK Packets	CRC Error Packets	RSSI max.	RSSI ave.	RSSI min.	Memo	
1	18/04/11 17:45:35	1	1M	1500	0	1500	0	-25	-25	-25	Distance 3m	<input type="checkbox"/>
2	18/04/11 17:46:01	1	1M	1500	0	1500	0	-26	-26	-26	Distance 3m	<input type="checkbox"/>
3	18/04/11 17:46:14	1	1M	1500	0	1500	0	-26	-26	-26	Distance 5m	<input type="checkbox"/>

図 5-19 結果レコードに付随するメモの設定

データグリッド上部の「Clear」ボタンをクリックすると、データグリッドの右端にあるチェックボックスで選択されたレコードが削除されます。データグリッドヘッダー行のチェックボックスを操作すると、全てのレコードを選択・選択解除することができます。

データグリッド下部の「CSV Save」ボタンをクリックすると、データグリッドに表示されている測定結果履歴を CSV 形式でファイルに保存することができます。

6. ビーコン機能の評価する

本章では、MCU を使用したビーコンツールについて解説します。

6.1 ビーコンデータを送信する

ツールランチャーにて「Beacon Advertising」を選択してビーコンアドバタイジングツールを起動します。3.3に記載の手順でEVBを接続してください。

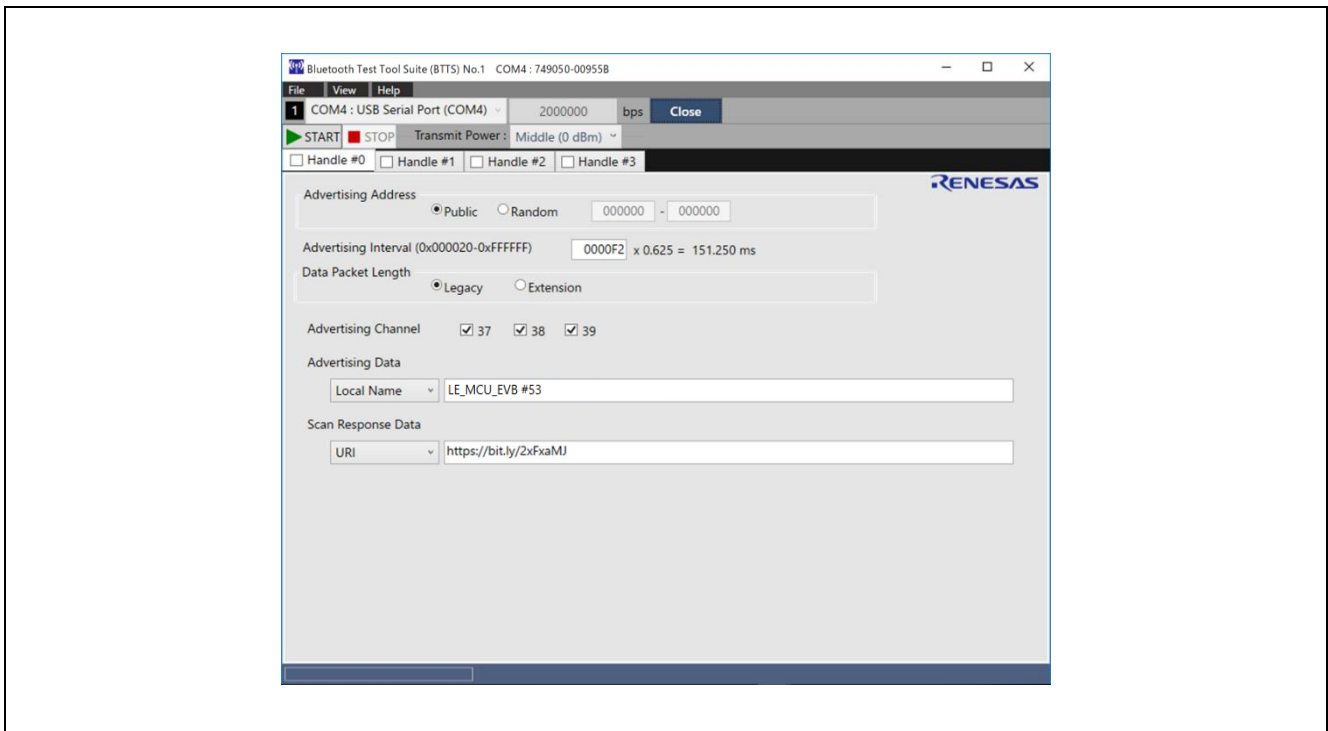


図 6-1 ビーコンアドバタイジングツール操作画面

6.1.1 アドバタイジングハンドル

MCU はアドバタイジングハンドルを最大 4 つまで設定することができます。各ハンドルの表示は、ビーコンアドバタイジングツール操作画面のタブで切り替えます。ハンドルの有効/無効は、チェックボックスで設定します。チェックボックスが ON(☑)の場合ハンドルは有効です。OFF(☐)の場合ハンドルは無効で、アドバタイズメントデータがセットされていてもアドバタイジングは実行されません。

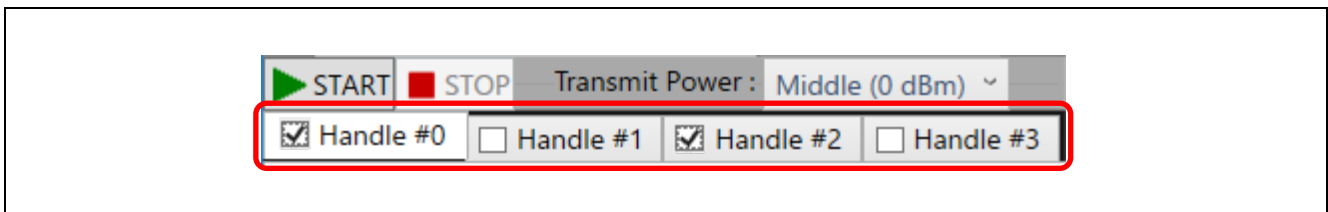


図 6-2 アドバタイジングハンドル切り替えタブ

6.1.2 アドバタイジング送信パワー

アドバタイザの送信パワーを設定します。

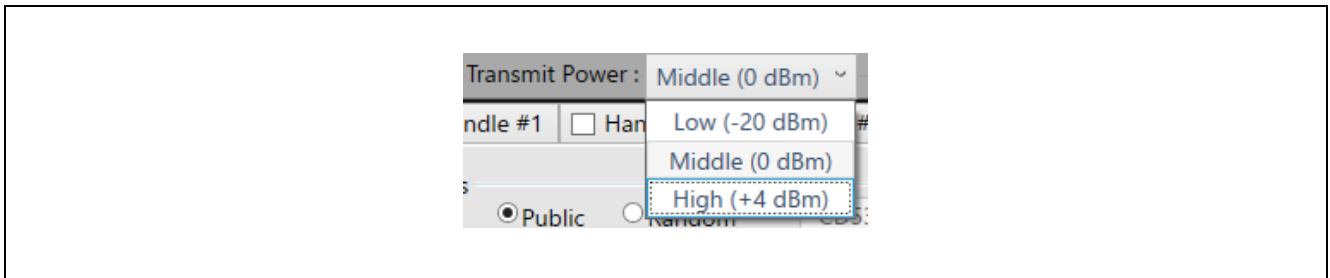


図 6-3 アドバタイジング送信パワー設定

6.1.3 レガシー／拡張アドバタイジング切り替え

ハンドルタブ内にある「Data Packet Length」ラジオボタンで「Legacy (レガシー)」（パケット中のペイロードは最大 31 オクテット）アドバタイジングと「Extension (拡張)」（パケット中のペイロードは最大 255 オクテット）アドバタイジングを切り替えます。選択されたアドバタイジングの設定画面に表示が切り替わります。

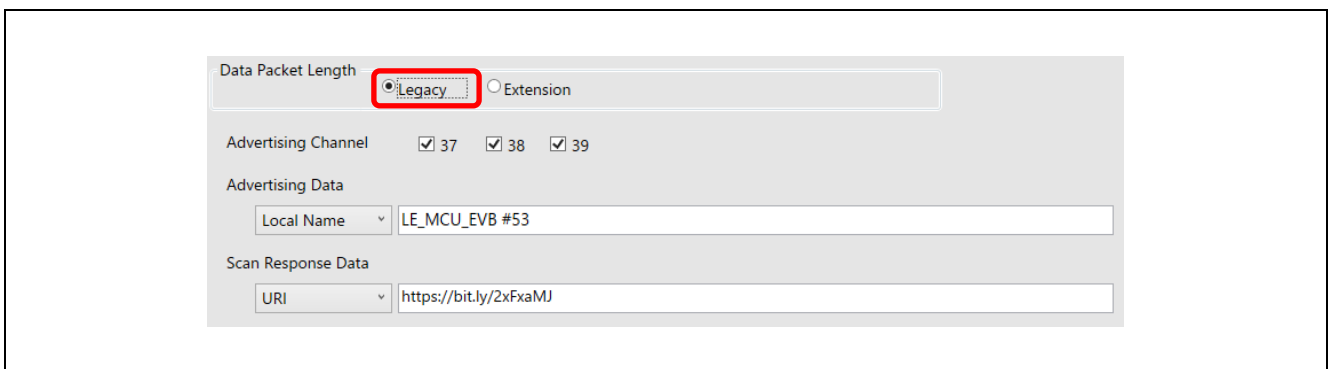


図 6-4 レガシーアドバタイジング設定画面

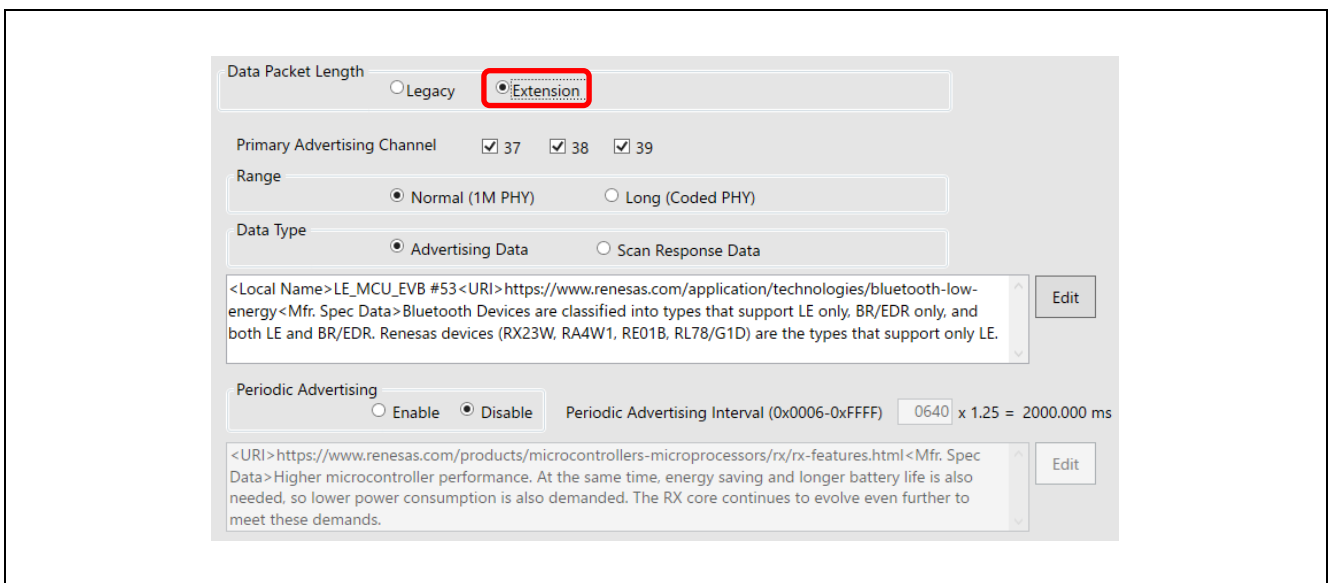


図 6-5 拡張アドバタイジング設定画面

6.1.4 レガシー／拡張アドバタイジング共通設定

レガシーアドバタイジングと拡張アドバタイジングに共通する設定項目は以下のとおりです。

- アドバタイジングアドレス種別
- アドバタイジングインターバル

アドバタイジングアドレス種別設定では、アドバタイジングする際にデバイス固有の物理アドレスであるパブリックアドレスを使用するか、MCU のユニーク ID から生成されるデバイスごとに固定のランダム（スタティック）アドレスを使用するかを選択します。ランダムアドレスは、EVB 接続時にテキストボックスに自動的にセットされます。パブリックアドレスが無効な場合、「Public」ラジオボタンは選択できません。

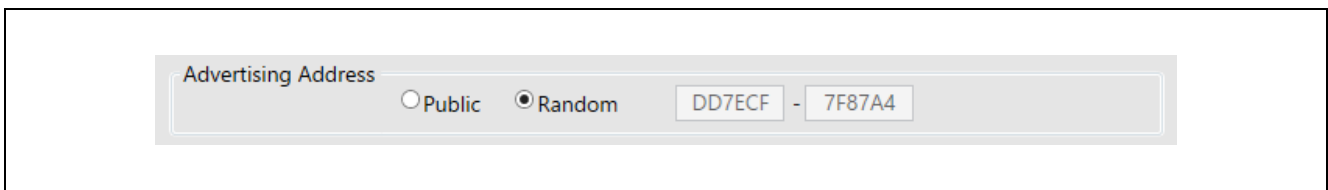


図 6-6 アドバタイジングアドレス種別指定

アドバタイジングインターバルは、アドバタイジングの間隔を Bluetooth 仕様にしたいが 16 進数で設定します。設定可能な値は 0x20～0xFFFFFFFF までで、0.625ms を乗じた値が実際のインターバル値になります。

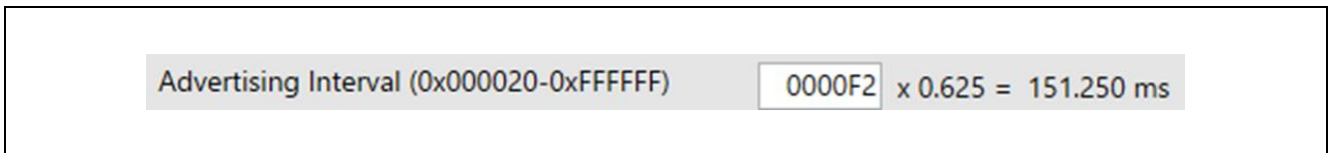


図 6-7 アドバタイジングインターバル指定

6.1.5 レガシーアドバタイジング設定

レガシーアドバタイジングに関連する設定項目は以下のとおりです。

- アドバタイジングチャンネル
- アドバタイジングデータ
- スキャンレスポンスデータ

レガシーアドバタイジングで使用するチャンネルをチェックボックスで選択します。

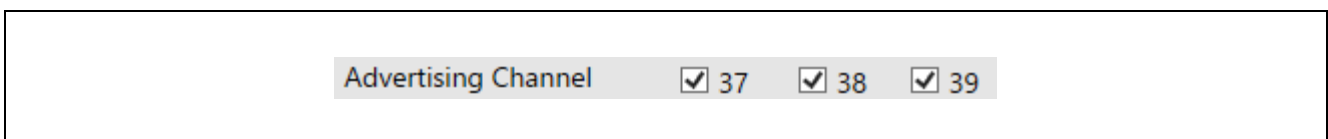


図 6-8 レガシーアドバタイジングチャンネル指定

アドバタイジングデータおよびスキャンレスポンスデータを設定します。アドバタイジングデータはアドバタイザが能動的に発信するアドバタイズメントデータで、スキャンレスポンスデータはスキャナ側からの要求に応じて受動的に発信するアドバタイズメントデータです。

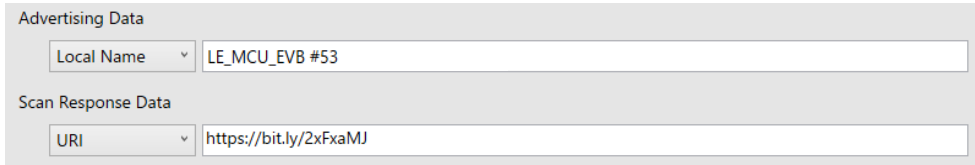


図 6-9 アドバタイジングデータおよびスキャンレスポンスデータ設定

アドバタイジングデータおよびスキャンレスポンスデータの設定欄左側のプルダウンメニューで、送信するアドバタイジングデータ(AD)のタイプを選択します。

本ツールで選択可能な AD タイプは、「Local Name」「URI」「Mfr. Spec Data」の三種類です（その他の AD タイプについては Bluetooth SIG Web サイトの「Assigned Numbers / Generic Access Profile」を参照）。プルダウンメニューの右側のテキストボックスには、AD タイプに対応する AD データを設定します。AD データが空の場合、アドバタイジングを実行しません。スキャンレスポンスデータの AD データが空の場合、スキャンリクエストに対して応答しません。AD データの最大長は 29 オクテットです。

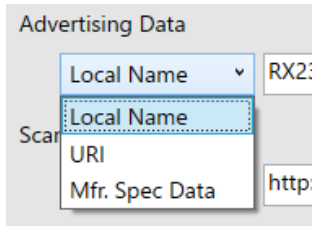


図 6-10 アドバタイジングデータ種別の選択

6.1.6 拡張アドバタイジング設定

拡張アドバタイジングに関連する設定項目は以下のとおりです。

- プライマリアドバタイジングチャンネル
- レンジ
- アドバタイズメントデータ
- 周期アドバタイジング設定

拡張アドバタイジングで使用するプライマリチャンネルをチェックボックスで選択します。

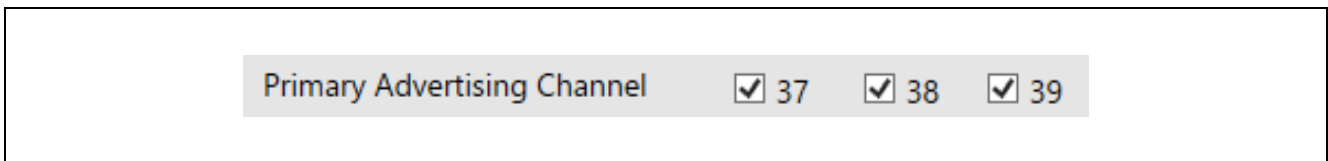


図 6-11 拡張プライマリアドバタイジングチャンネル指定

拡張アドバタイジングの通信範囲を「Range」ラジオボタンで「Normal (1M PHY)」または「Long (Coded PHY)」を選択します。Coded のコーディングスキームは、デフォルトの S=8, 125kb/s が使用されます。(デフォルトの設定は Bluetooth プロトコルスタックの API を使用して変更することができますが、本ツールでは使用していません。また、レガシーの場合は、Normal (1M PHY) が使用されます。)

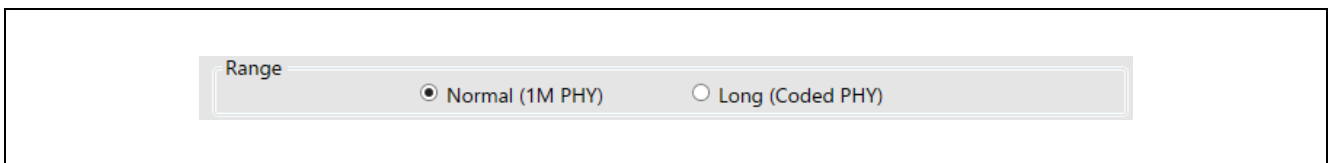


図 6-12 通信範囲の設定

拡張アドバタイジングのアドバタイズメントデータの発信方法を「Data Type」ラジオボタンで設定します。アドバタイズメントデータをアドバタイジングインターバルの周期で能動的に発信するか、スキャナ側からの要求に応じて受動的に発信するかを、それぞれ「Advertising Data」「Scan Response Data」を選択して指定します。

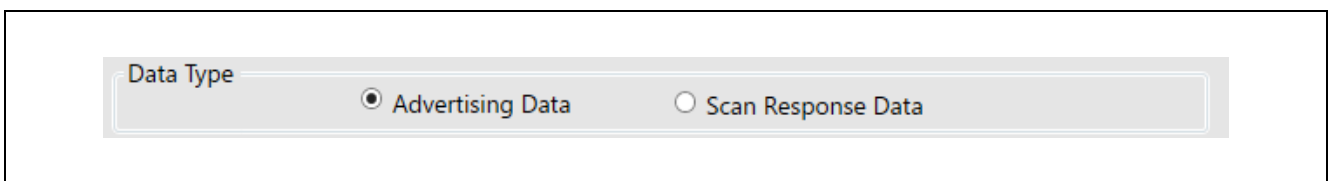


図 6-13 拡張アドバタイジングデータタイプの選択

テキストボックスに指定する拡張アドバタイジング用のアドバタイズメントデータは、図 6-15 の「Edit」ボタンをクリックして表示される「Multi AD Structure Editor」ウィンドウで編集します。左側のプルダウンメニューで AD タイプを指定し、そのタイプに応じた AD データを右側のテキストボックスに入力します。最大 3 つまでの AD ストラクチャを設定可能で、各 AD ストラクチャで設定できる AD データの長さは最大 254 オクテットです。AD ストラクチャの追加、削除はテキストボックス右側の「+」「-」ボタンで操作します。

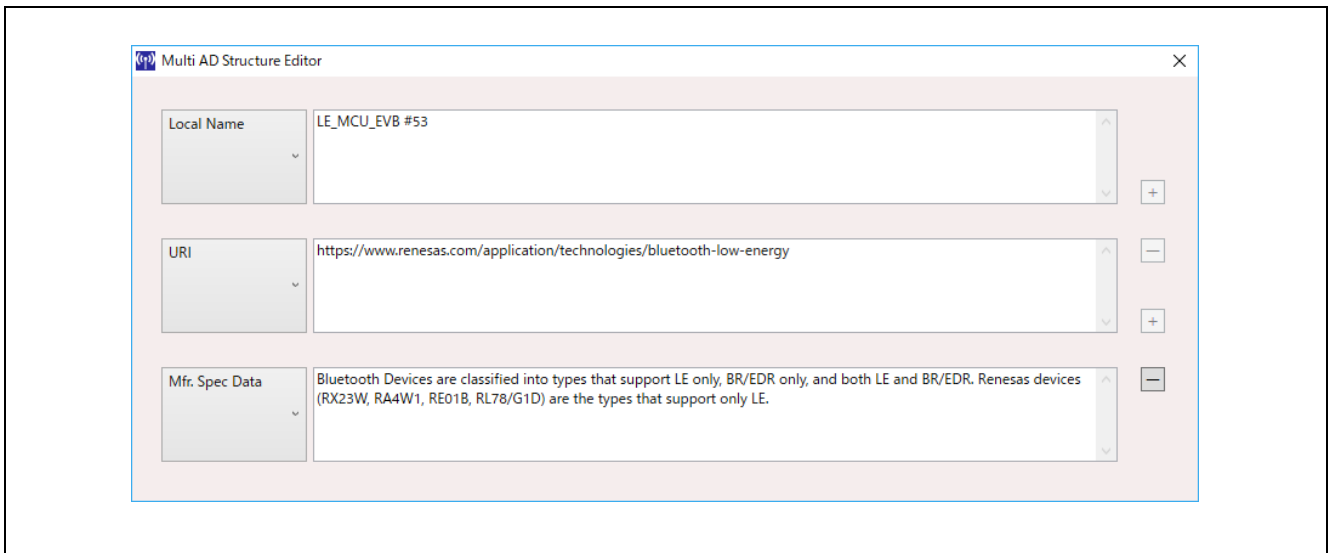


図 6-14 「Multi AD Structure Editor」 ウィンドウ

編集後のデータは AD Structure (<AD Type>AD Data) の様式でアドバタイズメントデータ表示テキストボックスに連続して表示されます。

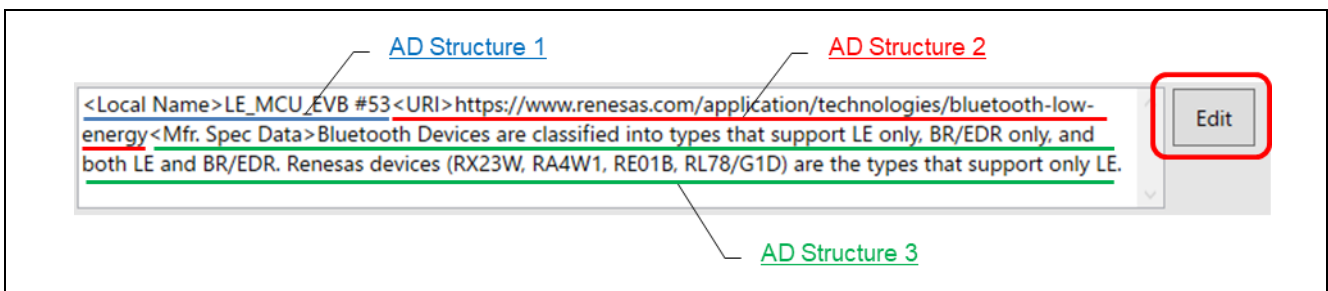


図 6-15 アドバタイズメントデータ表示テキストボックス

周期アドバタイジングに関連する設定項目は以下のとおりです。


- 周期アドバタイジング有効 / 無効指定
- 周期アドバタイジングインターバル
- 周期アドバタイジング用アドバタイズメントデータ

周期アドバタイジングを行う場合には、「Periodic Advertising」ラジオボタンを「Enable」にセットします。「Disable」の場合は周期アドバタイジングを行いません。



図 6-16 周期アドバタイジング設定

周期アドバタイジングを行う場合、周期アドバタイジングのインターバル値を設定します。



Periodic Advertising Interval (0x0006-0xFFFF) 00FF x 1.25 = 318.750 ms

図 6-17 周期アドバタイジングインターバル設定

周期アドバタイジング用アドバタイズメントデータも、拡張アドバタイジング用アドバタイズメントデータと同様に「Multi AD Structure Editor」ウィンドウで編集します。

6.1.7 アドバタイジング開始・停止

「▶START」ボタンをクリックすると、アドバタイジングが開始されます。「■STOP」ボタンをクリックすると停止します。アドバタイジング動作およびアドバタイズメントデータはスキャナ側（EVB またはスマートフォン）で確認することができます。



図 6-18 アドバタイジング開始・停止ボタン

6.1.8 アドバタイジングハンドル設定データの保存

ビーコンアドバタイジングツールはツール共通のプロパティの保存（「3.4 ツールとツールランチャーの終了」参照）とは別に、ツール終了時に4つのアドバタイジングハンドルの設定データを、exeファイルと同じフォルダの"beacon_adv_properties.dat"にテキストデータとして保存します。次回ツール起動時には、"beacon_adv_properties.dat"から自動的に保存したデータがロードされ前回の設定が復元されます。

6.2 ビーコンデータを受信する

ツールランチャーにて「Beacon Scanning」を選択してビーコンスキャンングツールを起動します。3.3に記載の手順でEVbを接続してください。

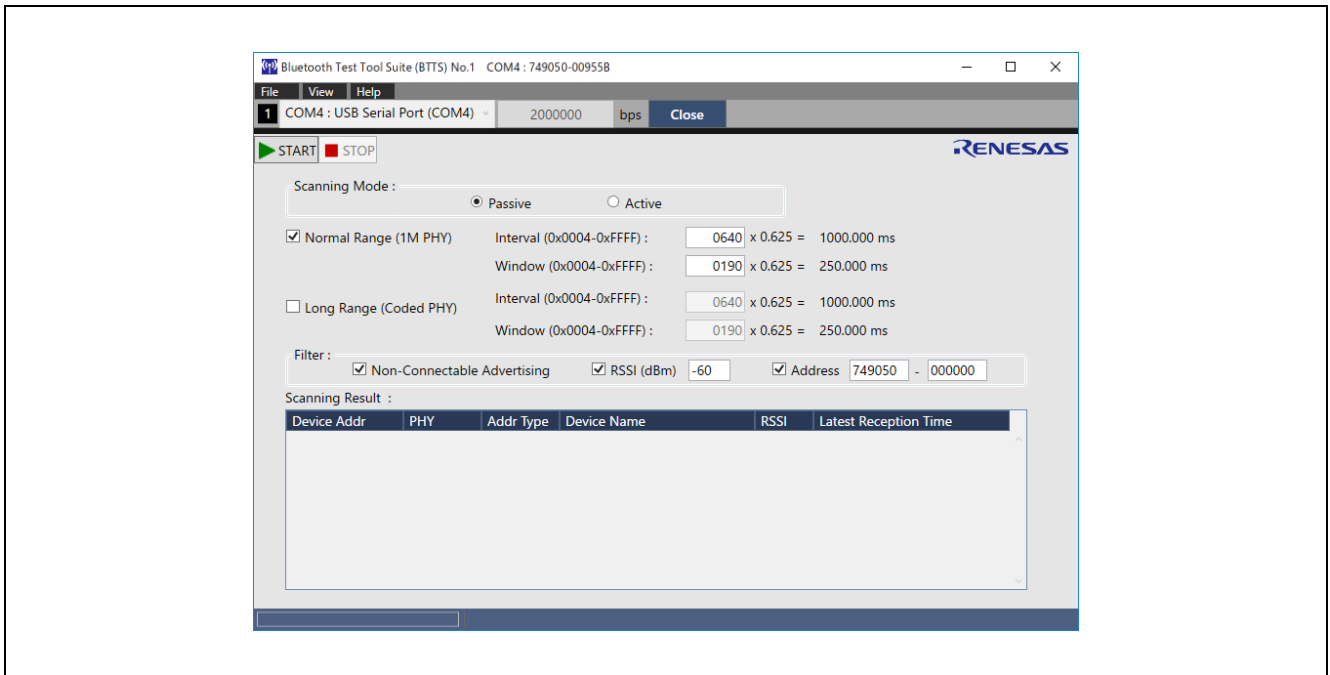


図 6-19 ビーコンスキャンングツール操作画面

6.2.1 スキャンングモード

スキャンングモードの設定は「Scanning Mode」ラジオボタンで指定します。「Passive」の場合はアドバタイザが能動的に発信するアドバタイズメントデータを、「Active」の場合はスキャナ側からの要求に応じてアドバタイザが受動的に発信するアドバタイズメントデータ（スキャンレスポンスデータ）を取得します。

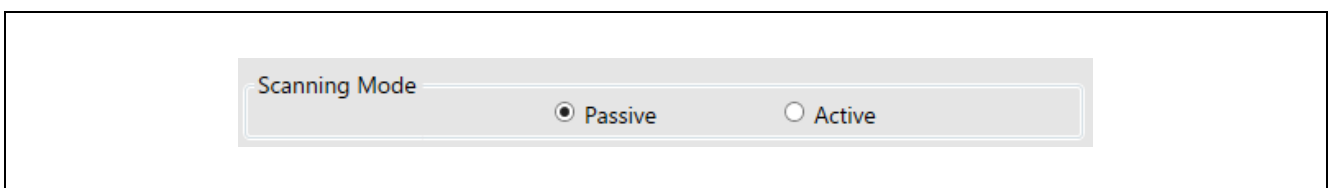


図 6-20 スキャンングモードの選択

6.2.2 PHY およびスキャン動作設定

スキャンするレンジに合わせて使用する PHY を設定します。「Normal Range (1M PHY)」と「Long Range (Coded PHY)」が選択できます。両方の PHY を選択することも可能です。Coded のコーディングスキームは、デフォルトの S=8, 125kb/s が使用されます。(デフォルトの設定は Bluetooth プロトコルスタックの API を使用して変更することができますが、本ツールでは使用していません。)

使用する PHY のスキャン動作をスキャンインターバルとスキャンウィンドウで設定します。テキストボックスに入力した 16 進数の値は、ミリ秒単位に変換されテキストボックスの右側に表示されます。

【注】 両方の PHY を選択した場合、トータルでスキャンデューティサイクルを 100%以下に設定する必要があります。以下の計算式を満たすように設定してください。

$$1M \text{ Window} / 1M \text{ Interval} + \text{Coded Window} / \text{Coded Interval} \leq 1$$

<input checked="" type="checkbox"/> Normal Range (1M PHY)	Interval (0x0004-0xFFFF) :	<input type="text" value="0640"/> x 0.625 =	1000.000 ms
	Window (0x0004-0xFFFF) :	<input type="text" value="0190"/> x 0.625 =	250.000 ms
<input type="checkbox"/> Long Range (Coded PHY)	Interval (0x0004-0xFFFF) :	<input type="text" value="0640"/> x 0.625 =	1000.000 ms
	Window (0x0004-0xFFFF) :	<input type="text" value="0190"/> x 0.625 =	250.000 ms

図 6-21 スキャン用 PHY の選択とスキャン動作設定

6.2.3 フィルタ設定

周囲に多くのアダプタイザが存在する場合、フィルタを設定することでターゲットデバイスを検出し易くします。

- 「Non-Connectable Advertising Filter」をチェックすると、接続不可のデバイスだけがスキャン結果リストに表示されます。
- 「RSSI (dBm) Filter」をチェックすると、テキストボックスに入力した数値（設定範囲は-127～20）以上の RSSI 値のデバイスだけがスキャン結果リストに表示されます。
- 「Address Filter」をチェックすると、BD アドレスによるフィルタが有効になります。ベンダー管理フィールド（テキストボックス右側）の値が"000000"の場合、OUI (Organizationally Unique Identifier) フィールド（テキストボックス左側）が一致するアドレスを持つデバイスだけがスキャン結果リストに表示されます。ベンダー管理フィールドの値が"000000"以外の場合、指定したアドレスが "White List" に登録され、完全にアドレスが一致するデバイスだけがリストに表示されます。

Filter :	<input checked="" type="checkbox"/> Non-Connectable Advertising	<input checked="" type="checkbox"/> RSSI (dBm) <input type="text" value="-60"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Address <input type="text" value="749050"/> - <input type="text" value="000000"/>
----------	---	---	---

OUI フィールド

ベンダー管理フィールド

図 6-22 フィルタ設定

6.2.4 スキャン開始・停止

「▶START」ボタンをクリックするとスキャンが開始されます。「■STOP」ボタンをクリックすると停止します。



図 6-23 スキャン開始・停止ボタン

スキャンを開始すると、検出したアドバタイザの一覧が「Scanning Result」リストに表示されます。アドバタイズメントデータを表示するには、表示対象のデバイスをダブルクリックしてアドバタイズメントデータ表示ウィンドウを開きます。

A screenshot of a software window titled 'Scanning Result'. At the top, there is a 'Filter:' section with three checked checkboxes: 'Non-Connectable Advertising', 'RSSI (dBm) -60', and 'Address 749050 - 000000'. Below the filter is a table with the following data:

Device Addr	PHY	Addr Type	Device Name	RSSI	Latest Reception Time
749050-00955B	1M	Public	LE_MCU_EVB #53	-52	19/11/15 16:34:25:153
749050-009559	1M	Public	LE_MCU_EVB #50	-57	19/11/15 16:34:27:126

図 6-24 スキャン結果表示

6.2.5 アドバタイズメントデータの表示

選択されたデバイスのアドバタイズメントデータ（アドバタイジングレポート）をアドバタイズメントデータ表示ウィンドウに表示します。

Handle	PHY	Data Type	AD Type	Time	Data
00	1M	Advertising	Local Name	20:28:53:855	LE_MCU_EVB #53
00	1M	Advertising	URI	20:28:53:862	https://www.renesas.com/products/microcontrollers-microprocessors/rx.html
00	1M	Advertising	Mfr. Spec Data	20:28:53:862	The RX Family consists of 32-bit microcontrollers that realize both high performance and low power consumption with max. 5.8 CoreMark/MHz and max. 44.8 CoreMark/mA.
03	1M	Advertising	URI	20:28:53:737	https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification/
03	1M	Advertising	URI	20:28:53:743	https://www.bluetooth.com/specifications/working-groups/
03	1M	Advertising	URI	20:28:53:743	https://www.bluetooth.com/specifications/assigned-numbers/
00	1M	Periodic	URI	20:28:54:872	https://www.renesas.com/products/microcontrollers-microprocessors/rx/rx-features.html
00	1M	Periodic	Mfr. Spec Data	20:28:54:879	Higher microcontroller performance. At the same time, energy saving and longer battery life is also needed, so lower power consumption is also demanded. The RX core continues to evolve even further to meet these demands.
01	Coded	Scan Response	URI	20:28:52:673	https://www.bluetooth.com/about-us/our-history/
01	Coded	Scan Response	Mfr. Spec Data	20:28:52:678	Bluetooth celebrates 20 years of innovation. Membership at the SIG hits 35,000 companies. The SIG launches new test facility programs (BQTF & BQRF) to ensure high quality testing services for members.
01	Coded	Scan Response	Mfr. Spec Data	20:28:52:788	The SIG initiates market research program and releases 2018 Bluetooth Market Update report. Major SIG events experience record attendance, including Bluetooth Asia and the Working Group Summit.
FF	1M	Advertising	URI	20:28:53:950	https://bit.ly/2X7ADPf
FF	1M	Scan Response	Mfr. Spec Data	20:28:53:960	Radio Versions

図 6-25 アドバタイズメントデータ表示ウィンドウ

アドバタイズメントデータは、AD Structure 単位でリスト表示されます。各リストの表示項目は以下のとおりです。

- Handle
拡張アドバタイジングデータの場合、ハンドル番号 ("00"~"03") が表示されます。レガシーアドバタイジングの場合、"FF" が表示されます。
- PHY
データを受信した PHY の情報 "1M" / "Coded" を表示します。
- Data Type
アドバタイザが能動的に発信したアドバタイズメントデータは "Advertising"、スキャナ側からの要求に応じてアドバタイザが受動的に発信したデータは "Scan Response"、周期アドバタイジングで発信したデータは "Periodic" を表示します。
- AD Type
アドバタイジングデータタイプを表示します。本ツールでは、"Local Name" / "URI" / "Mfr. Spec Data" を表示します。
- Time
ミリ秒単位で受信時刻を表示します。
- Data
AD Data を表示します。表示可能なコードは Ascii コードのみです。

7. データ通信機能の評価する

本章では、MCU を使用した接続・データ通信機能について解説します。

7.1 サービス定義

データ通信ツールは、独自の「スループットサービス」を使ってデータ通信を行うことでスループットを測定します。「スループットサービス」は、サーバー（データ通信スレーブツール）側で、以下のとおり定義されています。

CUSTOM SERVICE**UUID: 9CEF3D10-7FAB-49DC-AB89-762C9079FE96****Name: Renesas Throughput Service****PRIMARY SERVICE**

CUSTOM CHARACTERISTIC**UUID: 9CEF3D11-7FAB-49DC-AB89-762C9079FE96****Name: Throughput Data 1 Characteristic****Properties: Write / Write Without Response**

CUSTOM CHARACTERISTIC**UUID: 9CEF3D12-7FAB-49DC-AB89-762C9079FE96****Name: Throughput Data 2 Characteristic****Properties: Indicate / Notify****Descriptors:****Client Characteristic Configuration****UUID: 0x2920**

【注】 クライアント（データ通信マスターツール）側では、サーバーデバイスと接続後にサービスの探索を行います。その結果、「スループットサービス」が見つかった場合のみ、データ通信ウィンドウはスループット測定ウィンドウに切り替わります。

7.2 スマートフォン対向でスループットを測定する

本章では、MCU で、Bluetooth 5 対応スマートフォンとデータ通信を行う手順について説明します。

ツールランチャーにて「Data Comm Slave」を選択して、データ通信スレーブツールを起動します。3.3 に記載の手順で EVB を接続してください。

【注】 スループット測定を開始するに当たり、4.2.1 に記載の API・イベントログ表示・出力機能を OFF にしてツールの処理負荷を軽くしてください。

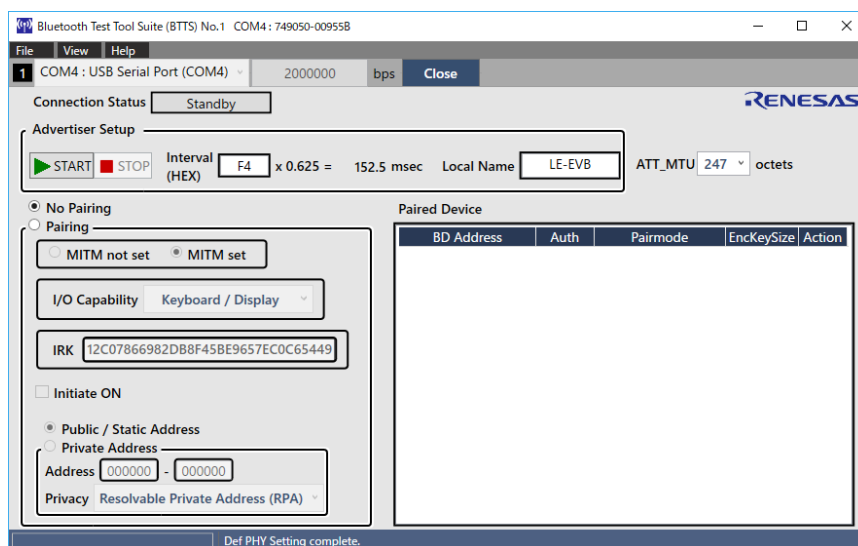


図 7-1 データ通信ウィンドウ (スレーブ)

7.2.1 アドバタイジング開始 (MCU 側)

最初に、MCU からアドバタイジングを行うための設定をします。「Advertiser Setup」枠内の「Interval (HEX)」および「Local Name」を設定します。

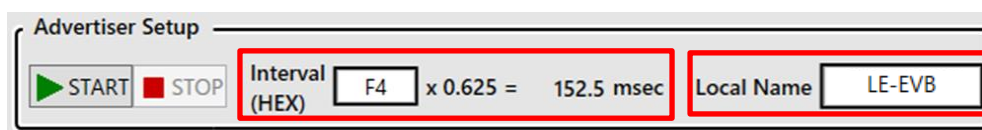


図 7-2 アドバタイジング設定表示

「Interval (HEX)」のテキストボックスに、アドバタイジングインターバル設定値を入力します。入力は 16 進数で行います。入力を行うと、テキストボックス右側に実際の設定値が計算されて 10 進数で表示されます。入力可能な範囲は 0x20~0x4000 です。設定されたインターバルが長い場合、スマートフォンのスキャン操作で EVB を検出するのに時間が掛かる場合があります。

「Local Name」のテキストボックスに、アドバタイザのデバイス名称を設定します。ここに入力したテキストデータがスマートフォンのスキャン時に「機器名」として表示されます。

続いて、接続後にスマートフォン側から受け入れる ATT_MTU の最大値をプルダウンメニューで選択します。23~247 の値をテキストボックスに直接入力することも可能です。スレーブ側はこのメニューで設定し

た値と、スマートフォン側からの Exchange MTU Request で受信した ATT_MTU サイズを比較して、小さい方を Exchange MTU Response で応答します。



図 7-3 ATT_MTU 設定

設定を終えたら、図 7-2 に表示される「▶START」ボタンをクリックしてアドバタイジングを開始します。

7.2.2 スキャン開始・接続（スマートフォン側）

Bluetooth 5 対応スマートフォンで Bluetooth LE 対応アプリケーションを起動してスキャンを行います。ここでは、当社製「GATTBrowser for Android」を使用した場合の例を示します。

【注】 iOS 版「GATTBrowser for iOS」は表示例と画面が少し異なります。



図 7-4 GATTBrowser スキャン結果表示

GATTBrowser で表示された EVB のアドバタイジング情報の接続アイコン「▶」をタップし、接続を行います。接続が確立すると、データ通信ウィンドウと GATTBrowser の画面表示がそれぞれ以下のように切り替わります。なお、EVB のアドバタイジングは自動的に停止します。

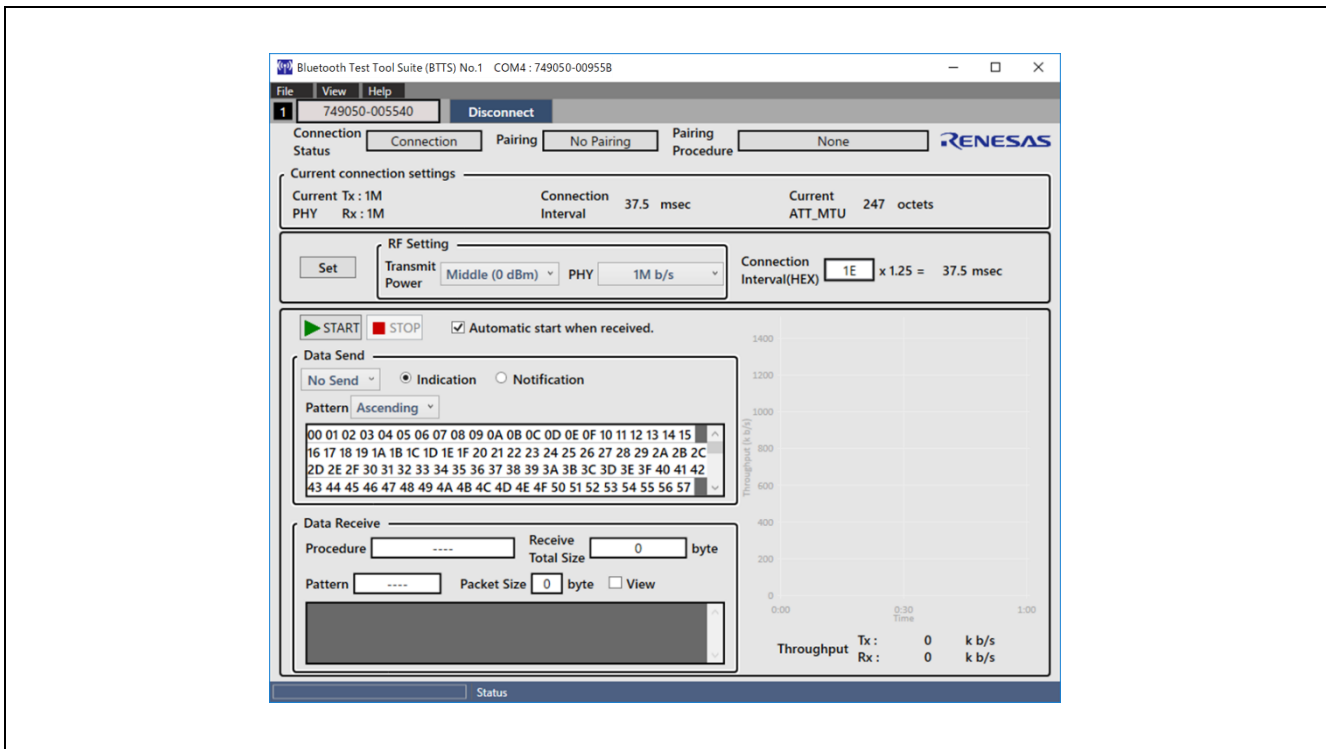


図 7-5 スループット測定ウィンドウ（スレーブ）

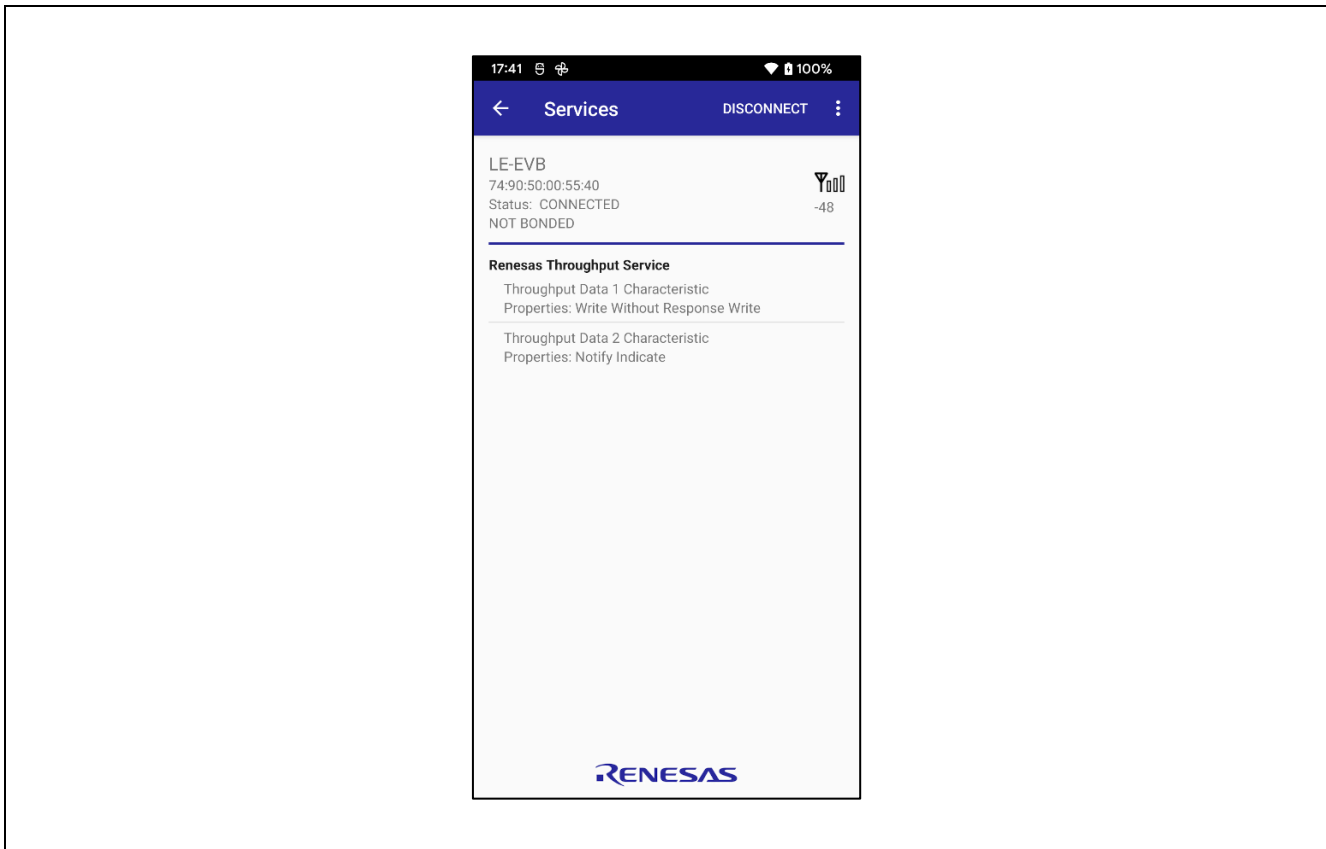


図 7-6 接続画面（GATTBrowser）

7.2.3 Notification 送信許可設定（スマートフォン側）

接続後、GATTBrowser 画面に表示されている "Throughput Data 2 Characteristic" をタップします。その後「Notification Off」をタップして「Notification On」に設定を切り替えます。これにより、MCU からの Notification 送信が許可されます。



図 7-7 Characteristic 操作画面

7.2.4 Notification 送信開始（MCU 側）

スマートフォン側で Notification の許可を行ったら、スループット測定ウィンドウ側の操作を行います。

7.2.4.1 RF 設定（MCU 側）

「RF Setting」枠内の「Transmit Power」で RF の送信パワーを、「PHY」で物理層でのデータ伝送速度を設定します。送信パワーは「Transmit Power」のプルダウンメニューで Low/Middle（初期値）/High を選択して切り替えます。伝送速度は、「PHY」のプルダウンメニューで 2M/1M（初期値）/Long Range(500k)/Long Range(125k)を選択して切り替えます。



図 7-8 RF 設定（スレーブ側の場合）

【注】 「PHY」のプルダウンメニュー「Long Range」で選択するコーディングスキーム (500k / 125k) は、ローカル側の伝送速度です。リモート側の伝送速度はローカル側では分かりません。

7.2.4.2 コネクションインターバル設定 (MCU 側)

「Connection Interval (HEX)」のテキストボックスでコネクションインターバル設定を行います。入力値は16進数で行います。入力を行うと、テキストボックス右側に実際の設定値が計算されて10進数で表示されます。入力可能な範囲は0x6~0xC80となります。

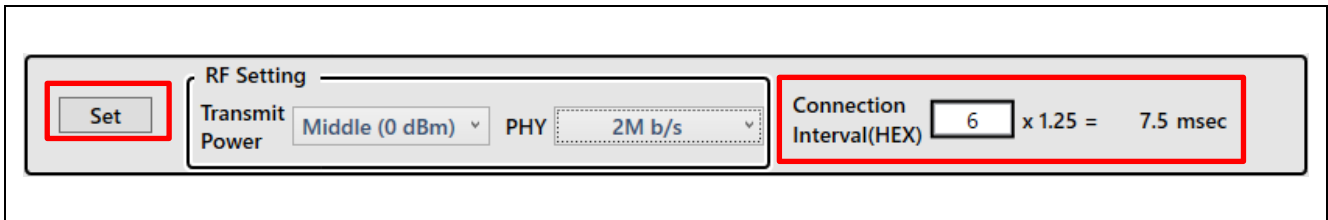


図 7-9 コネクションインターバル設定

上記設定を行った後に、左側にある「Set」ボタンをクリックすると設定が反映されます。設定が反映されると、上部にある「Current connection settings」に設定内容が表示されます。これはスマートフォンとMCU間で設定値をすり合わせた結果が表示されます。MCU側の設定が必ずしも反映されるとは限りません。

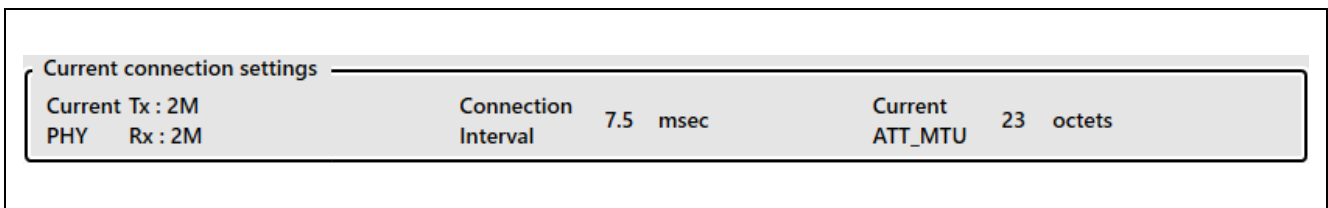


図 7-10 接続設定状態表示 (スマートフォン対向時)

【注】 スマートフォン側が Long Range に対応していない場合、2M PHY にしか切り替わらない可能性があります。

「Data Send」枠内のプルダウンメニューで「Send」を選択し、データ送信種別選択ラジオボタンが「Notification」になっていることを確認したら、「▶START」ボタンをクリックしてMCUからのNotification連続送信を開始します。

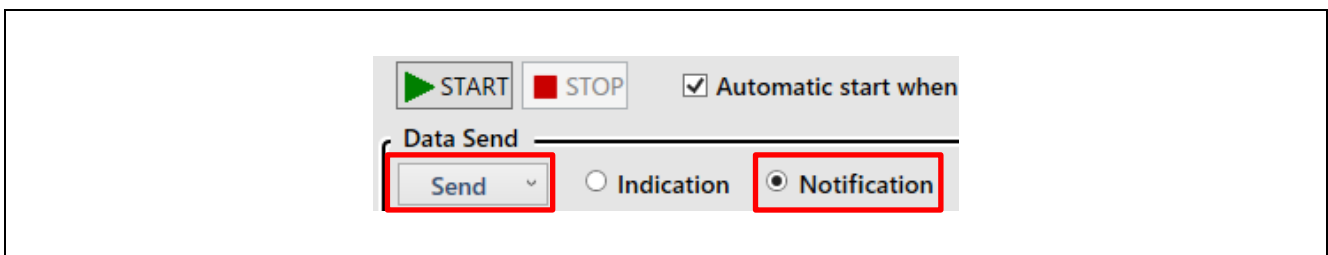


図 7-11 Notification 連続送信開始

7.2.5 スループット確認 (MCU 側)

「▶START」ボタンをクリックすると、スループット測定ウィンドウ右側に送信スループットが表示されます。1秒ごとにスループット値がプロットされます。青線が送信スループット値、赤線が受信スループット値を示します。グラフ表示下部には、最新のスループット値がテキスト表示されます。「■STOP」ボタンをクリックすると、データ送信は停止します。

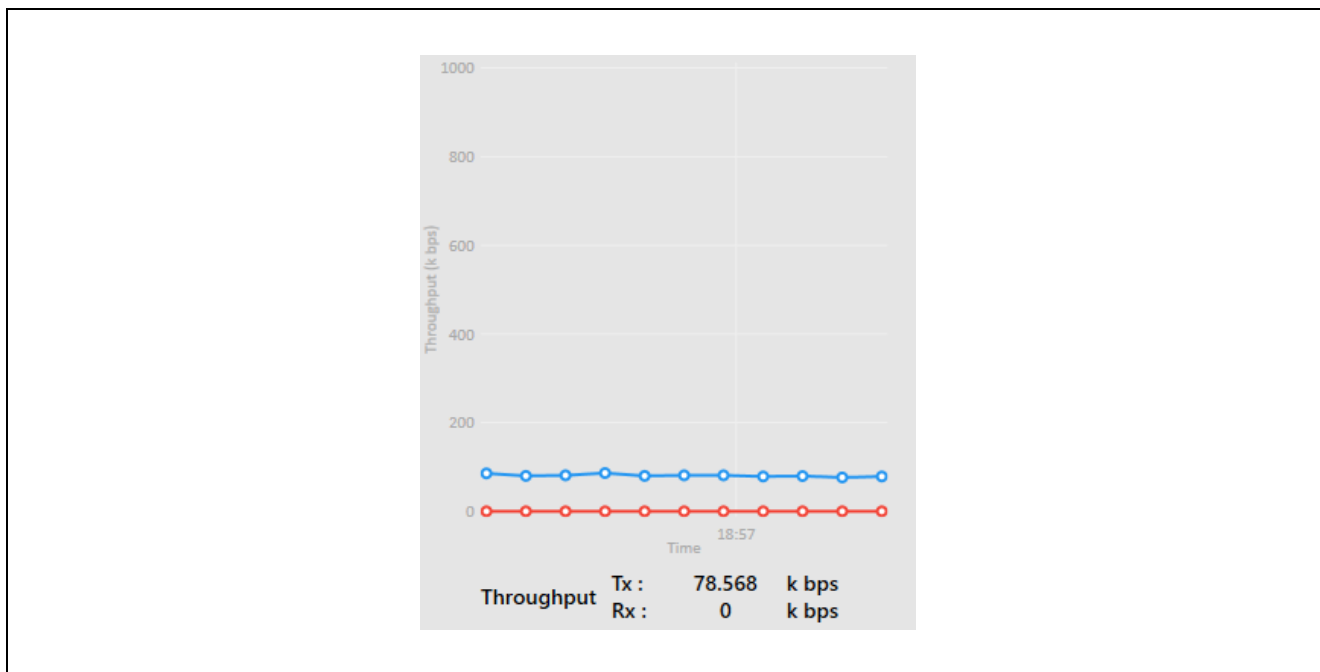


図 7-12 スループット表示 (スレーブ側)

【注】 GATTBrowser が動作しているスマートフォンのプロトコルスタックの実装によっては、Exchange MTU Request が実行されず、ATT_MTU サイズがデフォルト値 (23) のまま通信を行うことがあり、その場合は、高スループットレートを得られません。

7.3 MCU 対向でスループットを測定する

本章では、EVB を 2 台使用してデータ通信を行う場合の手順を説明します。

ツールランチャーにて「Data Comm Master」と「Data Comm Slave」を選択して、データ通信マスターツールとデータ通信スレーブツールを起動します。起動後、3.3 に記載の手順でそれぞれ EVB を接続してください。

【注】 スループット測定を開始するに当たり、4.2.1 に記載の API・イベントログ表示・出力機能を OFF にしてツールの処理負荷を軽くしてください。

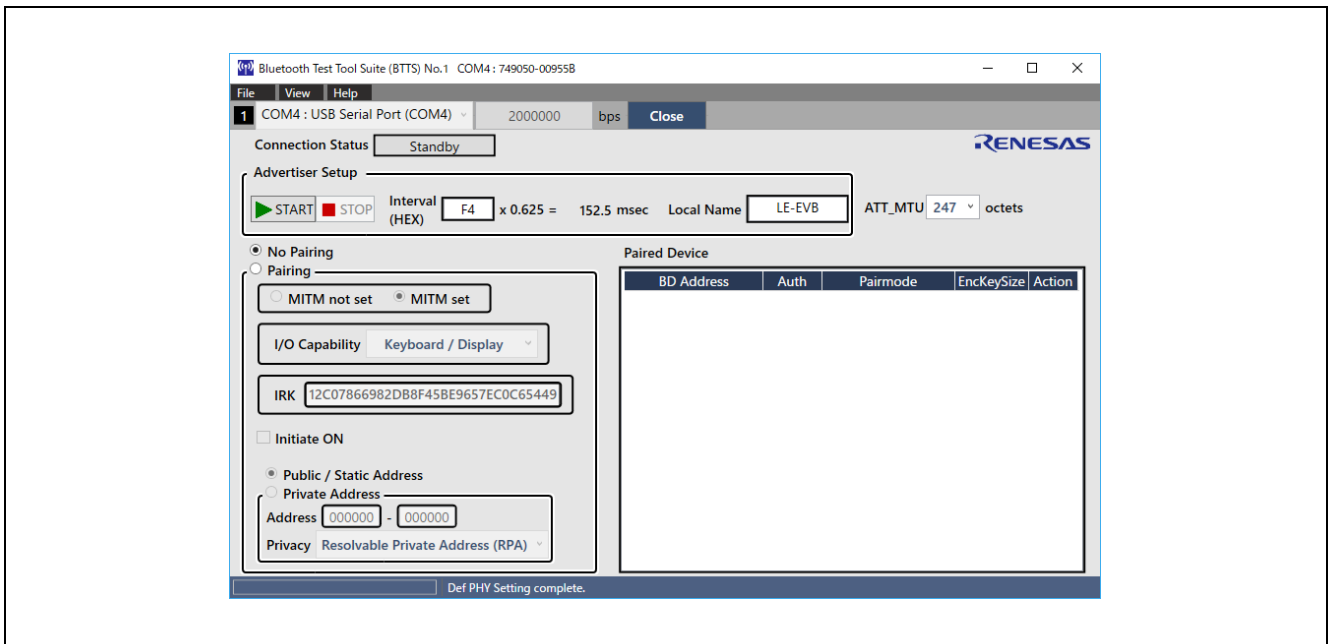


図 7-13 データ通信ウィンドウ (スレーブ)

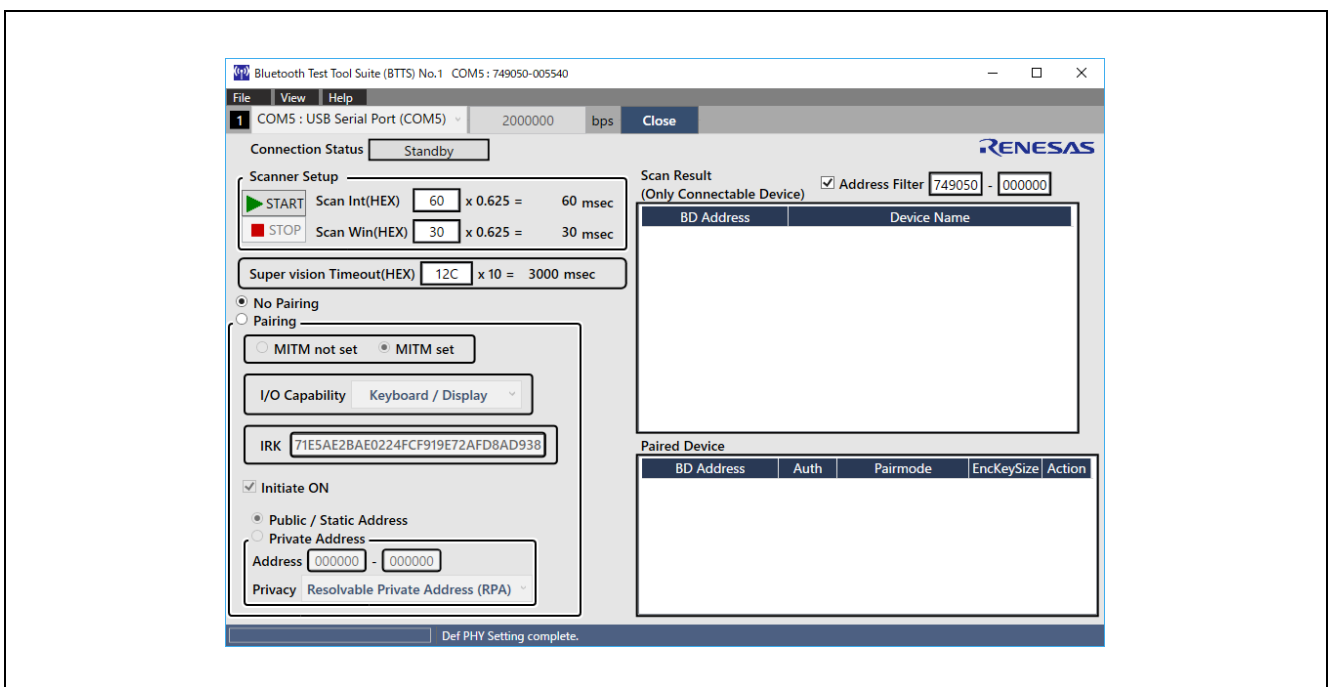


図 7-14 データ通信ウィンドウ (マスター)

7.3.1 アドバタイジング開始（スレーブ側）

最初に、データ通信ウィンドウ（スレーブ）でアドバタイジングを行うための設定をします。

「Advertiser Setup」枠内の「Interval (HEX)」および「Local Name」の設定を入力します。

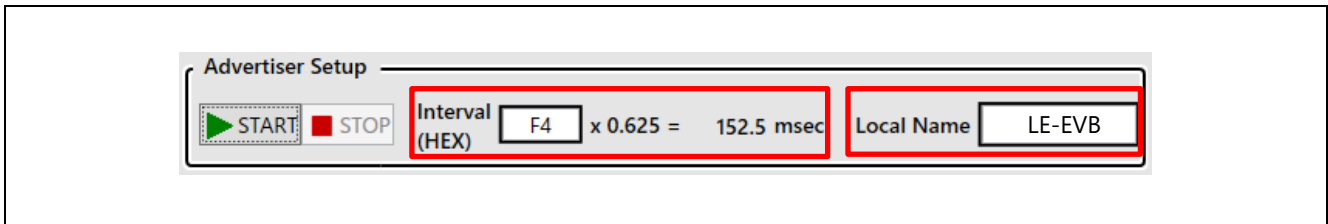


図 7-15 アドバタイジング設定表示

「Interval (HEX)」のテキストボックスに、アドバタイジングインターバル設定値を入力します。入力は 16 進数で行います。入力を行うと、テキストボックス右側に実際の設定値が計算されて 10 進数で表示されます。入力可能な範囲は 0x20~0x4000 です。設定されたインターバルが長い場合、マスター側のスキャン操作で検出するのに時間がかかる場合があります。

「Local Name」のテキストボックスに、アドバタイザのデバイス名称を設定します。ここに入力したテキストデータがマスター側のスキャン結果に「機器名」として表示されます。

続いて、接続後にマスター側から受け入れる ATT_MTU の最大値をプルダウンメニューで選択します。23 ~247 の値をテキストボックスに直接入力することも可能です。スレーブ側はこのメニューで設定した値と、マスター側からの Exchange MTU Request で受信した ATT_MTU サイズを比較して、小さい方を Exchange MTU Response で応答します。

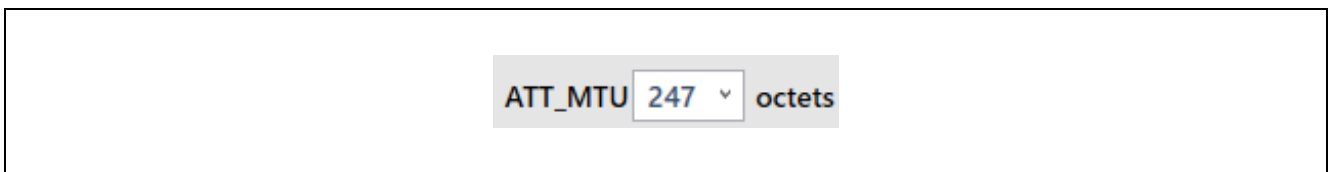


図 7-16 ATT_MTU 設定

設定を終えたら、図 7-15 に表示される「▶START」ボタンをクリックしてアドバタイジングを開始します。

7.3.2 スキャン開始・接続（マスター側）

データ通信ウィンドウ（マスター）で、「Scanner Setup」枠内の「Scan Int(HEX)」テキストボックスにスキャンインターバル設定値を、「Scan Win(HEX)」テキストボックスにスキャンウィンドウ設定値を入力します。入力はそれぞれ 16 進で行い、入力した値から計算される設定値が右側に表示されます。入力可能な範囲は 0x4~0xFFFF です。

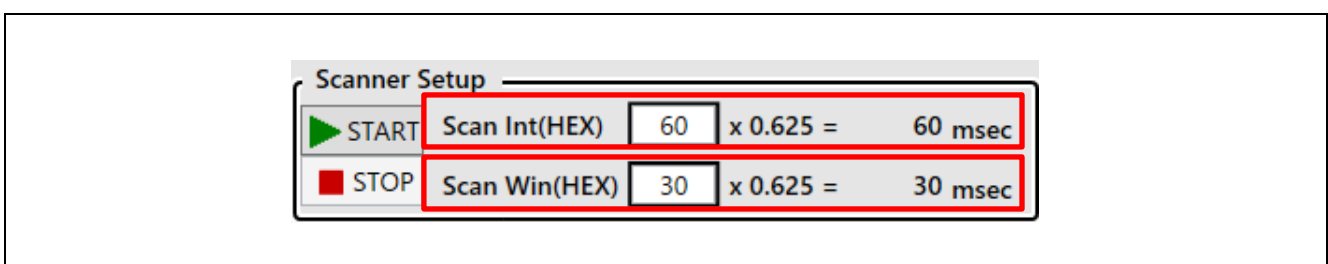


図 7-17 スキャナ設定

また「Super vision Timeout (HEX)」で接続が失われたと判定するためのスーパービジョンタイムアウト値を設定します。入力値は16進で行い、入力値から計算される設定値が右側に表示されます。入力可能範囲は0xA~0xC80です。

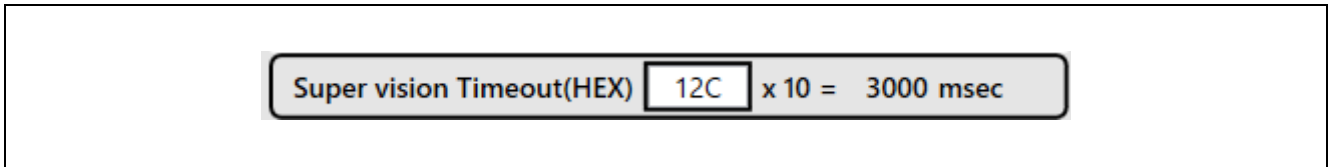


図 7-18 スーパービジョンタイムアウト設定

続いてスキャン結果のフィルタを設定します。スキャン結果には接続可能なアドバタイザのみ表示するフィルタが常時適用されていますが、更に「Address Filter」をチェックすると、BD アドレスによるフィルタが有効になります。ベンダー管理フィールド（テキストボックス右側）の値が"000000"の場合、OUI フィールド（テキストボックス左側）が一致するアドレスを持つデバイスだけがスキャン結果リストに表示されます。ベンダー管理フィールドの値が"000000"以外の場合、指定したアドレスが "White List" に登録され、完全にアドレスが一致するデバイスだけがリストに表示されます。下記例ではスキャンした際の BD アドレスが「749050-XXXXXX」（XXXXXX は任意のアドレス）に一致するアドバタイザだけが表示されます。

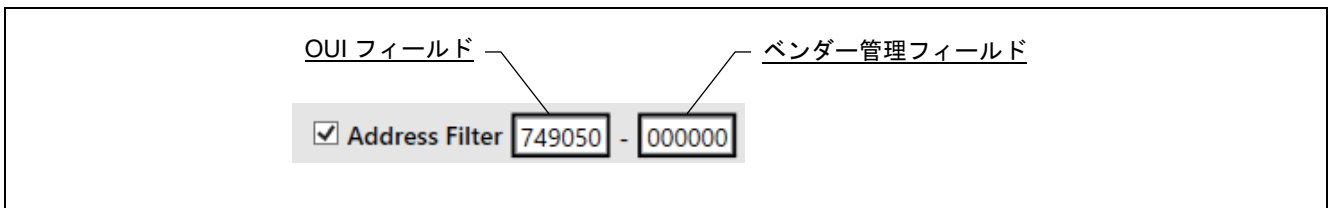


図 7-19 Address Filter 設定

設定を終えたら、図 7-17 に示す「▶START」ボタンをクリックしてスキャンを開始します。スキャンした結果はデータ通信ウィンドウ（マスター）の右側の「Scan Result (Only Connectable Device)」に表示されます。

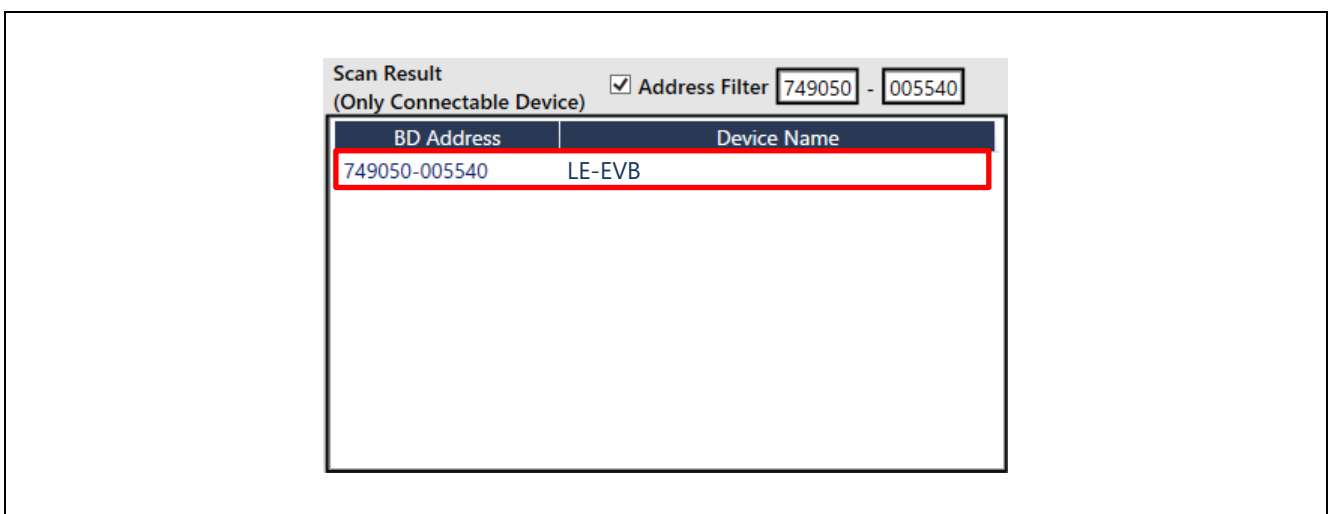


図 7-20 スキャン結果表示

スキャン結果に表示された対象機器をダブルクリックすると、マスター側から接続を開始します。接続が確立すると、データ通信ウィンドウ（スレーブ）およびデータ通信ウィンドウ（マスター）は、それぞれスループット測定ウィンドウに切り替わります。スレーブ側のアダプタイジングとマスター側のスキャン動作は自動的に停止します。なお、この段階で、スレーブ側の「Notification」、「Indication」送信は、マスター側から自動的に"許可"に設定されています。

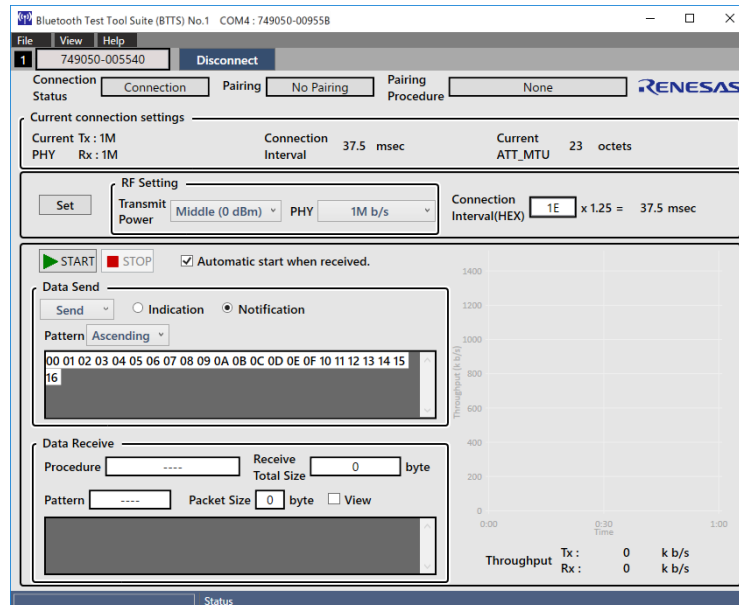


図 7-21 スループット測定ウィンドウ（スレーブ）

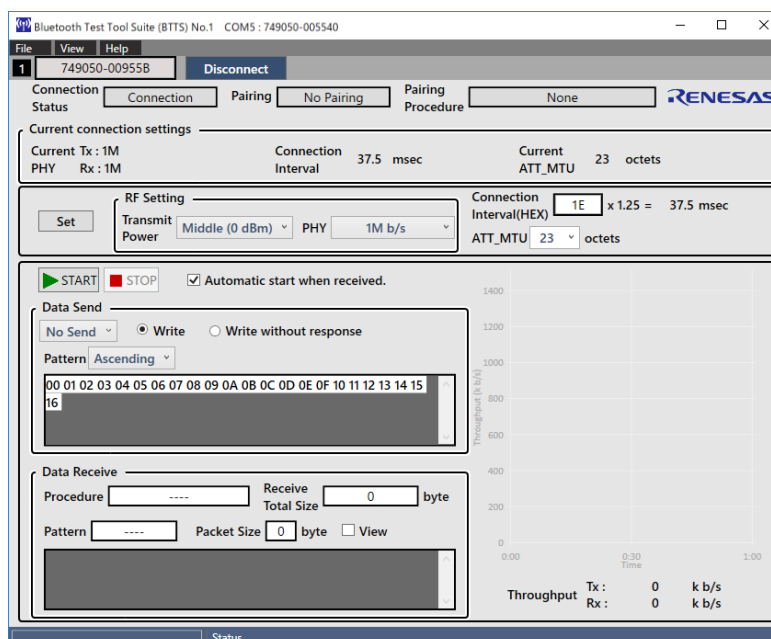


図 7-22 スループット測定ウィンドウ（マスター）

7.3.3 RF 設定・コネクションインターバル設定（スレーブ側）

接続が確立したら、スループット測定ウィンドウ（スレーブ）の「RF Setting」枠内の「Transmit Power」で RF の送信パワーを、「PHY」で物理層でのデータ伝送速度を設定します。送信パワーは「Transmit Power」のプルダウンメニューで Low/Middle（初期値）/High を選択して切り替えます。伝送速度は、「PHY」のプルダウンメニューで 2M/1M（初期値）/Long Range(500k)/Long Range(125k) を選択して切り替えます。

また、「Connection Interval (HEX)」のテキストボックスでコネクションインターバル設定を行います。入力値は 16 進数で行います。入力を行うと、テキストボックス右側に実際の設定値が計算されて 10 進数で表示されます。入力可能な範囲は 0x6~0xC80 となります。

設定を行った後に、左側にある「Set」ボタンをクリックすると設定が反映されます。

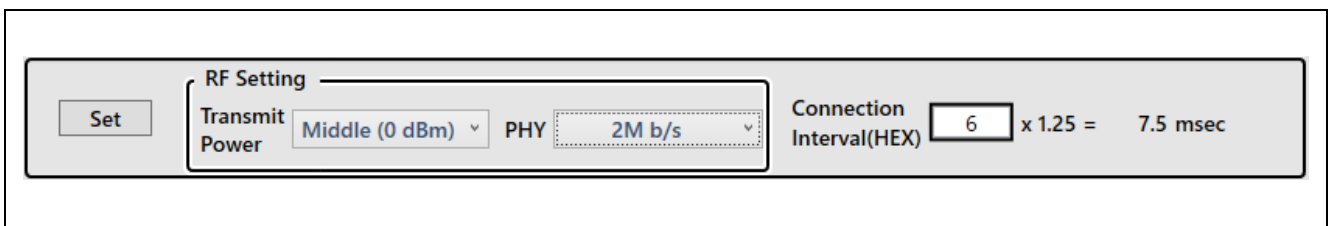


図 7-23 スレーブ側 RF 設定

7.3.4 RF 設定・コネクションインターバル設定・ATT_MTU 設定（マスター側）

スループット測定ウィンドウ（マスター）では、スレーブ側と同様の RF 設定、コネクションインターバル設定に加えて、ATT_MTU の値を設定することができます。ここで設定した値がスレーブ側に Exchange MTU Request で送信されます。スレーブ側は要求された ATT_MTU の値とローカルの ATT_MTU の設定値を比較して、小さい方を Exchange MTU Response で応答します。これにより双方の ATT_MTU の値が決定されます。

設定を行った後に、左側にある「Set」ボタンをクリックすると設定が反映されます。

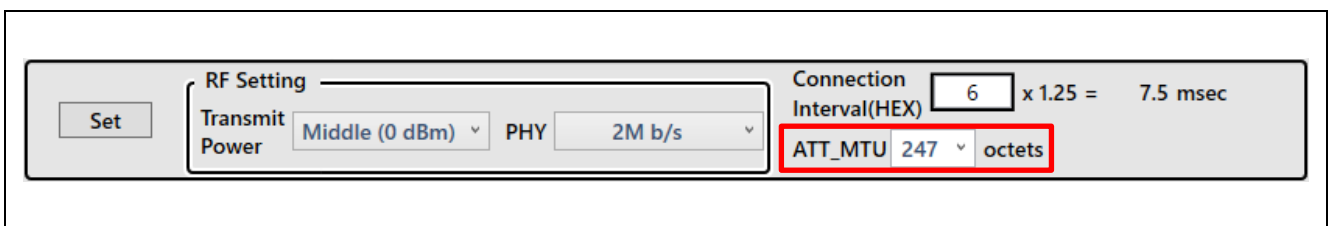


図 7-24 マスター側 RF 設定

このとき、マスター・スレーブ間で各設定のネゴシエーションが実施され、その結果が、マスター側・スレーブ側共に、ウィンドウ上部にある「Current connection settings」に表示されます。

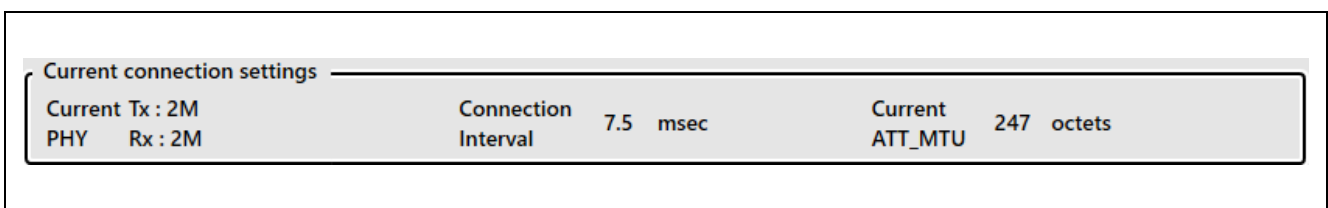


図 7-25 接続設定状態表示（MCU 対向時）

更新された ATT_MTU 値に合わせて、送信予定のデータ長が変わります。マスター側・スレーブ側双方の「Data Send」枠内の送信データテキストの表示が更新されます。

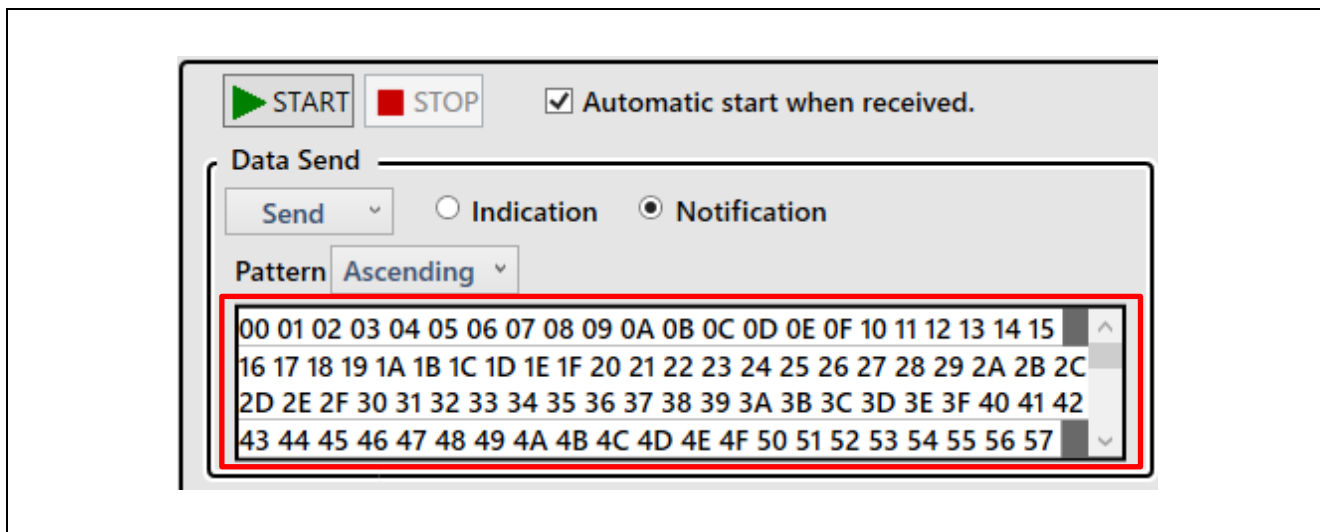


図 7-26 送信データテキスト表示（スレーブ側表示例）

7.3.5 Notification 送信スループット測定（スレーブ側）

スレーブ側からの Notification 送信のスループットを測定する手順を説明します。

最初に、スループット測定ウィンドウ（マスター）にて、「Data Send」枠内のプルダウンメニューで「No Send」を選択します。これにより、スループット測定に際しマスターからデータ送信を行わない設定になります。スレーブ側は、スループット測定ウィンドウ（スレーブ）にて「Send」を選択します。

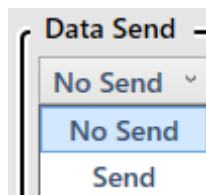


図 7-27 データ送信プルダウンメニュー

マスター側で「Automatic start when received」チェックボックスにチェックが入っていることを確認してください。

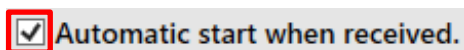


図 7-28 受信時自動開始チェックボックス（マスター側）

スレーブ側からデータ送信を開始します。「Data Send」枠内の、データ送信種別選択ラジオボタンが「Notification」になっていることを確認して「▶START」ボタンをクリックします。



図 7-29 データ送信種別選択ラジオボタン（スレーブ側）

スレーブ側から Notification データの送信が開始されると、マスター側はスレーブからの Notification データを受けて自動的にスループット測定が開始され、マスター・スレーブ双方のスループット測定ウィンドウの右側にスループット情報が表示されます。1 秒ごとにスループット値がプロットされます。青線が送信スループット値、赤線が受信スループット値を示します。グラフ表示下部に、最新のスループット値がテキスト表示されます。

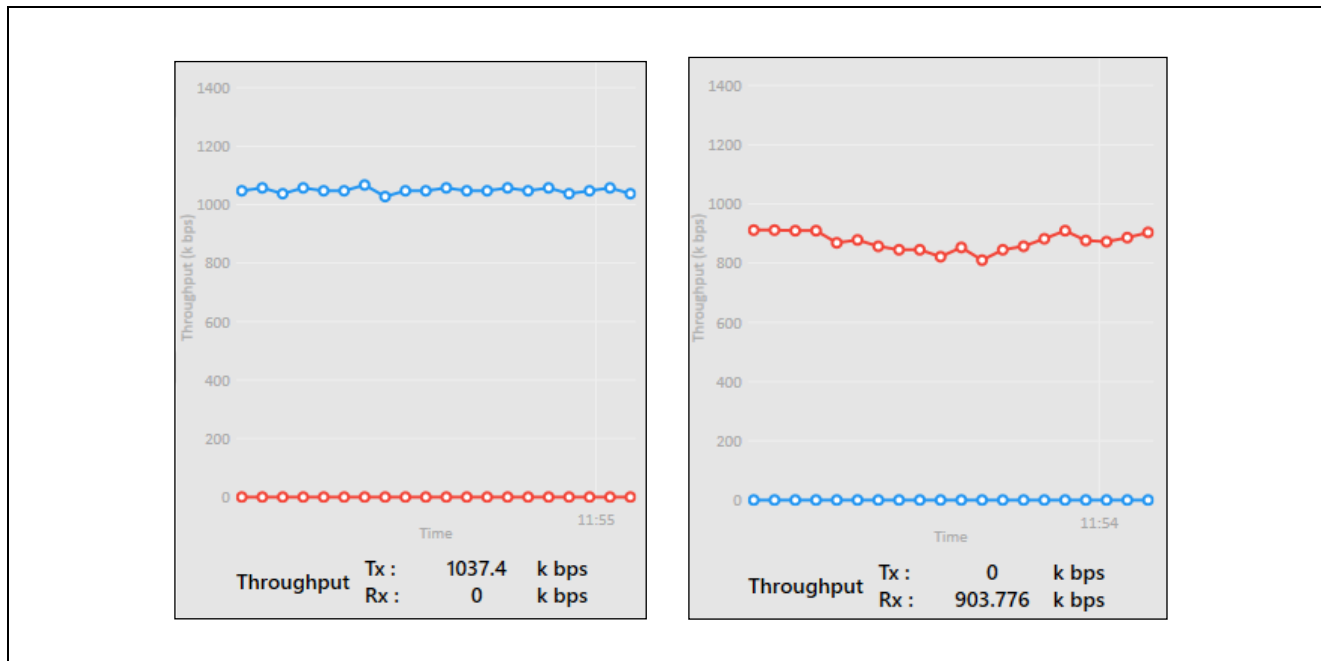


図 7-30 スループット表示例（左：スレーブ側 右：マスター側）

【注】 スループットは周辺の Bluetooth や Wi-Fi 等の無線通信の影響により安定しない場合があります。

7.3.6 Write without response 送信スループット測定（マスター側）

マスター側からの Write without response 送信のスループットを測定する手順を説明します。

最初に、スループット測定ウィンドウ（スレーブ）にて、「Data Send」枠内のプルダウンメニューで「No Send」を選択します。これにより、スループット測定に際しスレーブからのデータ送信を行わない設定になります。マスター側は、スループット測定ウィンドウ（マスター）にて「Send」を選択します。

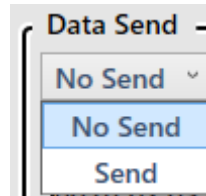


図 7-31 データ送信プルダウンメニュー

スレーブ側で「Automatic start when received」チェックボックスにチェックが入っていることを確認してください。

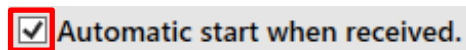


図 7-32 受信時自動開始チェックボックス（スレーブ側）

マスター側からデータ送信を開始します。「Data Send」枠内の、データ送信種別選択ラジオボタンが「Write without response」になっていることを確認して「▶START」ボタンをクリックします。



図 7-33 データ送信種別選択ラジオボタン（マスター側）

マスター側から Write without response データの送信が開始されると、スレーブ側はマスターからの Write without response データを受けて自動的にスループット測定が開始され、マスター・スレーブ双方のスループット測定ウィンドウの右側にスループット情報が表示されます。1 秒ごとにスループット値がプロットされます。青線が送信スループット値、赤線が受信スループット値を示します。グラフ表示下部に、最新のスループット値がテキスト表示されます。

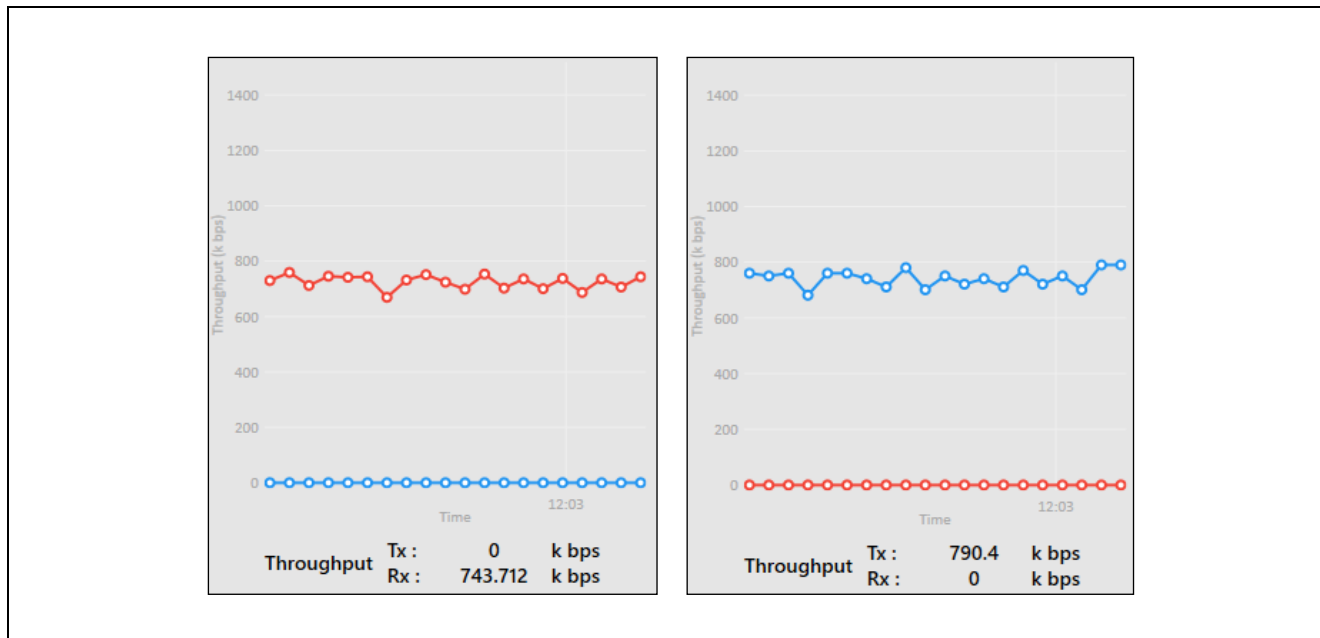


図 7-34 スループット表示例（左：スレーブ側 右：マスター側）

【注】 スループットは周辺の Bluetooth や Wi-Fi 等の無線通信の影響により安定しない場合があります。

7.4 ペアリングを行う

本章では、Bluetooth 機器のペアリングについて解説します。

7.4.1 スマートフォンとペアリング

本章では、MCU（スレーブ）とスマートフォン（マスター）をペアリングする手順について説明します。

【注】 Bluetooth 4.1 以前のバージョン、もしくは「LE Secure Connections」非対応のスマートフォンと接続してペアリングを実行すると「Legacy Pairing」によるペアリング手順が実行されます。

ツールランチャーにて「Data Comm Slave」を選択して、データ通信スレーブツールを起動します。3.3 に記載の手順で EVB を接続してください。

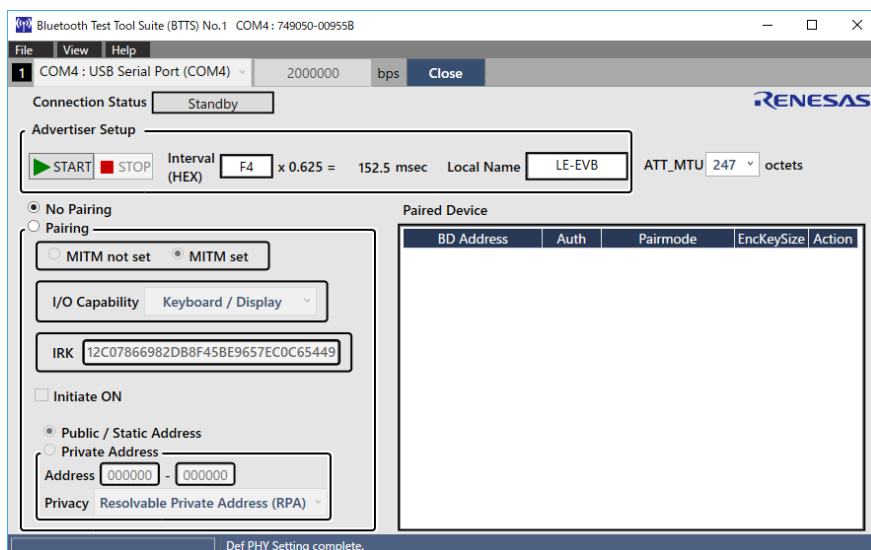


図 7-35 データ通信ウィンドウ（スレーブ）

- EVB 接続後に、「Pairing」ラジオボタンをチェックしてペアリングを行う設定にします。

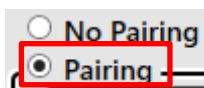


図 7-36 ペアリング設定

- MITM (Man In The Middle) プロテクションの有効・無効を設定します。本例では「MITM set」ラジオボタンをチェックしてMITM プロテクションを有効にします。

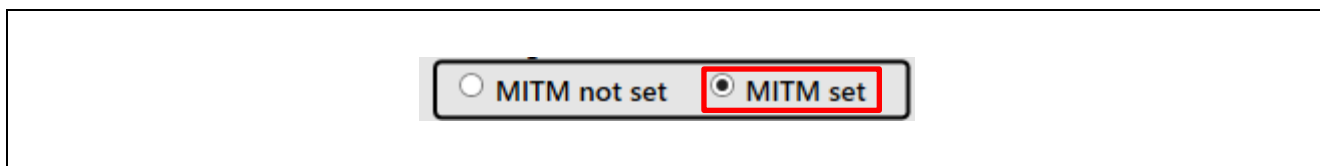


図 7-37 MITM 設定

- I/O Capability をプルダウンメニューで設定します。本例では「Keyboard / Display」を選択します。

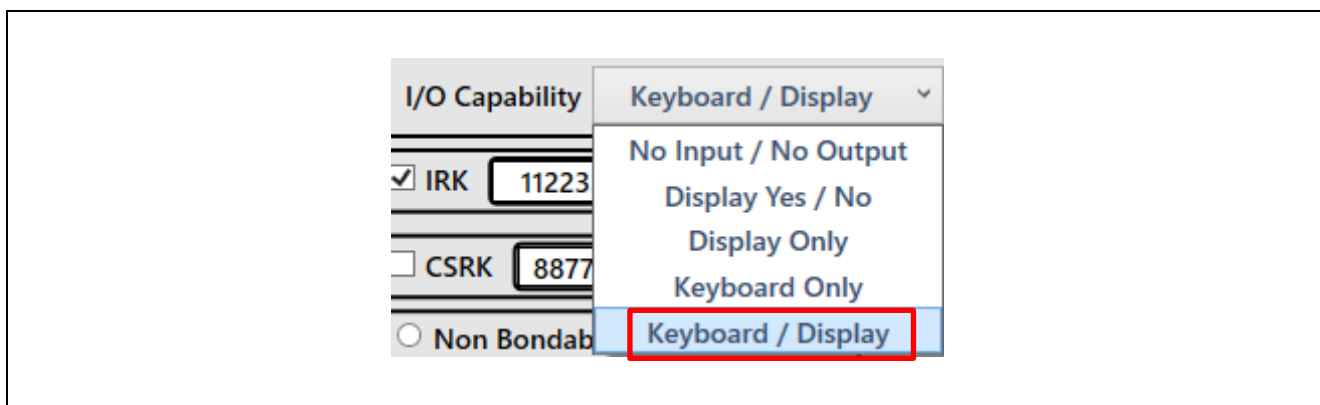


図 7-38 I/O Capability 設定

MCU とスマートフォンの間のセキュリティ種別は、双方の「MITM」と「I/O Capability」の設定から、表 7-1 に示すロジックで決定されます。スマートフォンの I/O Capability は通常「Keyboard Display」となりません。

表 7-1 セキュリティ種別決定ロジック

● 「MITM」プロテクションと「I/O Capability」

Responder	Initiator	
	MITM Set	MITM Not Set
MITM Set	IO Capabilities Table 参照	IO Capabilities Table 参照
MITM Not Set	IO Capabilities Table 参照	Just Works

● IO Capabilities Table

Responder	Initiator				
	DisplayOnly	Display YesNo	KeyboardOnly	NoInput NoOutput	Keyboard Display
DisplayOnly	Just Works	Just Works	Passkey Entry	Just Works	Passkey Entry
Display YesNo	Just Works	(Just Works) Numeric Comparison	Passkey Entry	Just Works	(Passkey Entry) Numeric Comparison
KeyboardOnly	Passkey Entry	Passkey Entry	Passkey Entry	Just Works	Passkey Entry
NoInput NoOutput	Just Works	Just Works	Just Works	Just Works	Just Works
Keyboard Display	Passkey Entry	(Passkey Entry) Numeric Comparison	Passkey Entry	Just Works	(Passkey Entry) Numeric Comparison

【注】 ()は LE Legacy Pairing の場合の動作

- ペアリングキーを設定します。IRK(Identity Resolving Key)テキストボックスに 16 進数で 16 バイトのオールゼロ以外の任意のキーを設定します。BTTS は、初回 EVB 接続時に、Bluetooth プロトコルスタックの API (R_BLE_VS_GetRand) を使用して生成した 16 バイトの乱数を設定します。設定を変更する場合は、「IRK」ラベル (図 7-39 の破線枠内) をクリックします。



図 7-39 ペアリングキーの設定

- ペアリングリクエストを行う側 (イニシエーター) かどうかを設定します。マスター側からペアリングリクエストを行うのが一般的なので、「Initiate ON」チェックボックスのチェックを外します。

【注】 iOS スマートフォンはペアリングリクエストを行いません。iOS スマートフォンの場合は「Initiate ON」チェックボックスにチェックを入れてください。

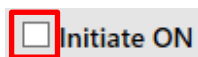


図 7-40 イニシエート設定

- 最後に BD アドレスの種別をラジオボタンで設定します。本例では「Public / Static Address」を選択します。「Private Address」を選択した場合には、プライバシー種別を「Privacy」プルダウンメニューで指定します。プライバシー種別には「Resolvable Private Address (RPA)」と「Non-RPA」がありますが、データ通信ツールでは「RPA」のみが選択可能です。

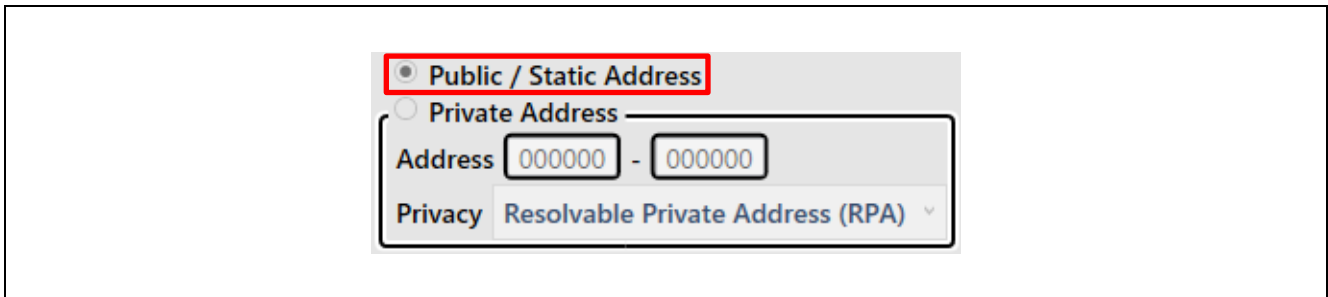


図 7-41 BD アドレス種別設定

- 設定を終えたら、「▶START」ボタンをクリックして MCU（スレーブ）側でアドバタイジングを開始します。Bluetooth 5 対応スマートフォン（マスター）側では、Bluetooth LE 対応アプリケーションを起動してスキャンングを行い EVB と接続した後ペアリングを開始します。
- 表 7-1 に示すロジックに従ってペアリング処理に入ります。MCU 側で MITM プロテクションが有効な場合、選択する「I/O Capability」によって、表 7-2 に示すセキュリティ種別が、スマートフォンとのペアリングで動作します。

表 7-2 作動するセキュリティ種別（スマートフォン対向）

I/O Capability	セキュリティの種別
No Input / No Output	Just Works（ノーアクション）
Display Only	Passkey Entry（パスキー表示ダイアログ表示）
Keyboard Only	Passkey Entry（パスキー入力ダイアログ表示）
Display / YesNo Keyboard / Display	Numeric Comparison（数値比較ダイアログ表示）

セキュリティ種別が「Just Works」の場合、ノーアクションでペアリングが完了します。セキュリティ種別が「Passkey Entry」の場合には、「パスキー表示」または「パスキー入力」ダイアログが表示されます。パスキーが表示された場合は、ダイアログに表示されたパスキーをスマートフォン側で入力してください。このとき、表示されるパスキーは下位レイヤ（プロトコルスタック）で自動的に生成されます。なお、ダイアログ右上部には、タイムアウトまでの時間が表示されます。

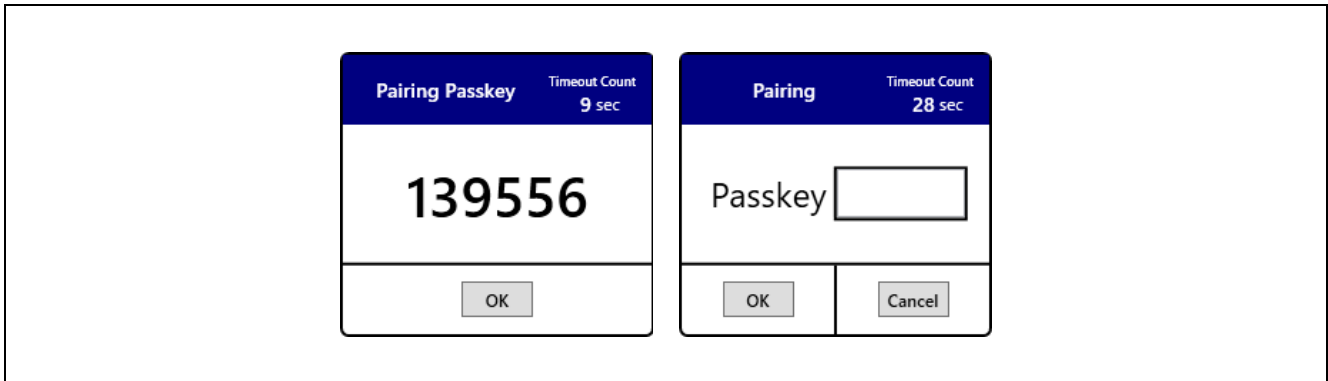


図 7-42 パスキー表示・パスキー入力ダイアログ表示

セキュリティに「Numeric Comparison」を用いる場合は、以下の「数値比較確認」ダイアログが表示されます。スマートフォンと MCU 双方で同じ値が表示されている場合には「OK」ボタンをクリックしてペアリング処理を継続させます。表示された数値が異なる場合には「Cancel」ボタンをクリックしてペアリング処理を中止させます。数値は「Passkey Entry」と同様に下位レイヤ（プロトコルスタック）で自動的に生成されます。本ダイアログ右上部には、タイムアウトまでの時間が表示されます。

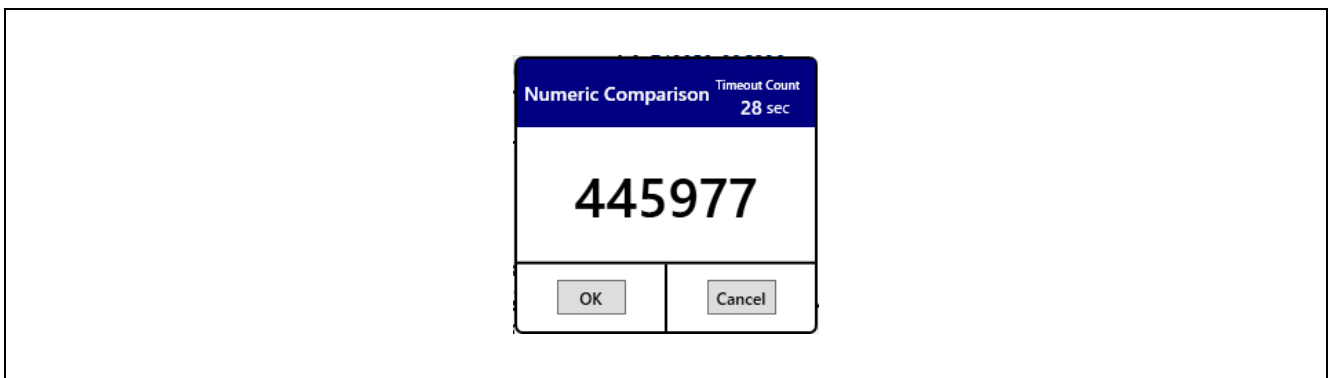


図 7-43 数値比較確認ダイアログ表示

- ペアリングに成功すると、スループット測定ウィンドウに切り替わり、データ通信が可能になります。スループット測定ウィンドウのステータス表示部の「Pairing Procedure」には、接続したスマートフォンとの間で実行されたペアリング手順（「LE Secure Connections」または「Legacy Pairing」）が表示されます。

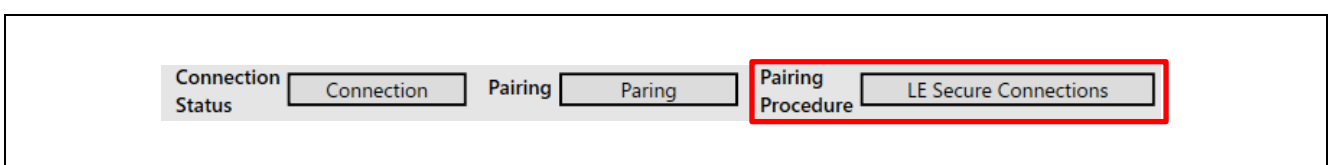


図 7-44 ステータス表示（LE Secure Connections の場合）

なお、通信切断後に「Paired Device」リストを確認すると、ペアリングしたデバイスの情報が追加されています。リストにはペアリング時に取得したセキュリティ情報が表示されます。

リスト中にある「Del」ボタンをクリックすることで選択デバイスのペアリング情報を削除することができます。

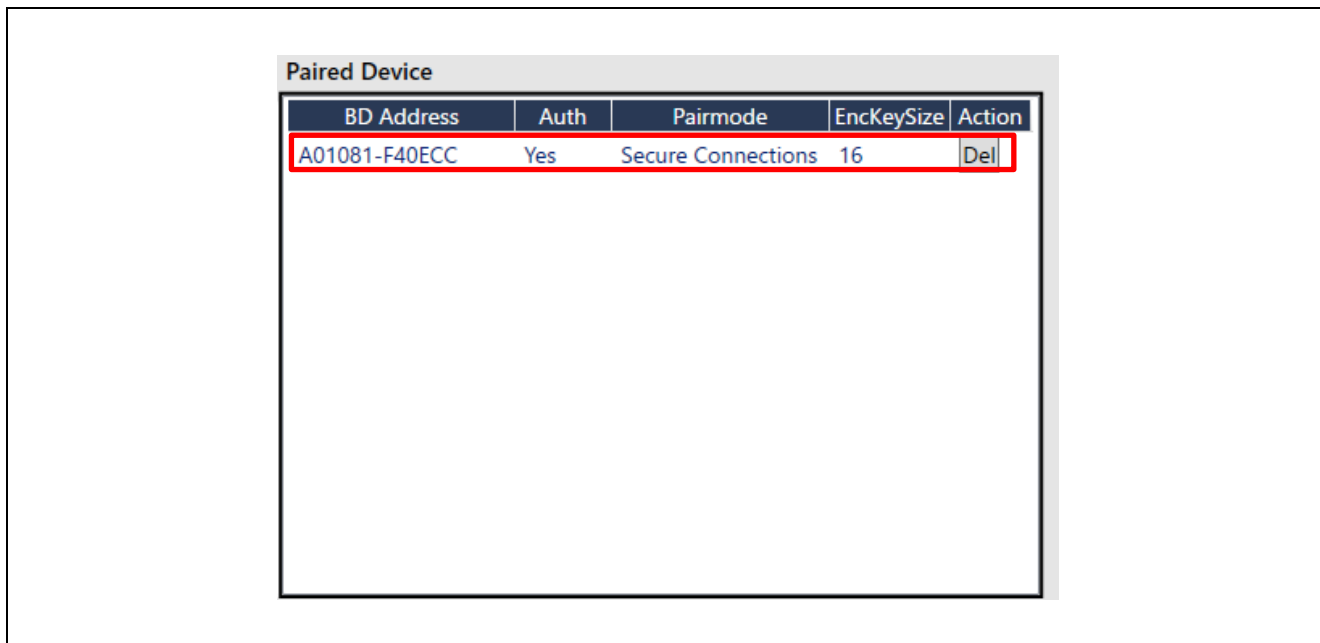


図 7-45 「Paired Device」リスト表示

【注】 削除した場合、スマートフォンとの再接続ができなくなります。再接続を行うには、スマートフォン側でボンディングされたペアリング情報を削除してください。

7.4.2 MCU 対向でペアリング

本章では、EVB を対向動作させてペアリングする手順について説明します。

【注】 MCU 対向でペアリングを実施すると、自動的に「LE Secure Connections」によるペアリング手順が実行されます（「Legacy Pairing」によるペアリング手順は実行されません）。

ツールランチャーにて「Data Comm Master」と「Data Comm Slave」を選択して、データ通信マスターツールとデータ通信スレーブツールを起動します。起動後、3.3 に記載の手順でそれぞれ EVB を接続してください。

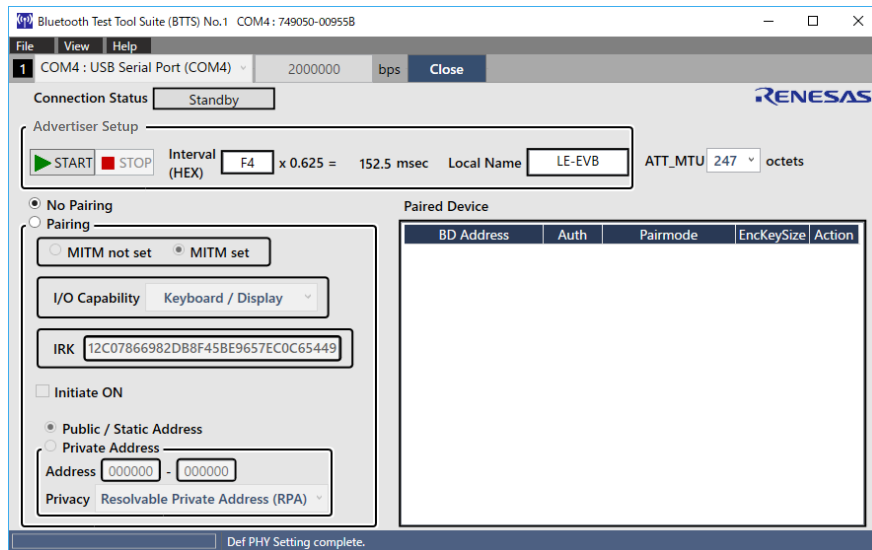


図 7-46 データ通信ウィンドウ（スレーブ）

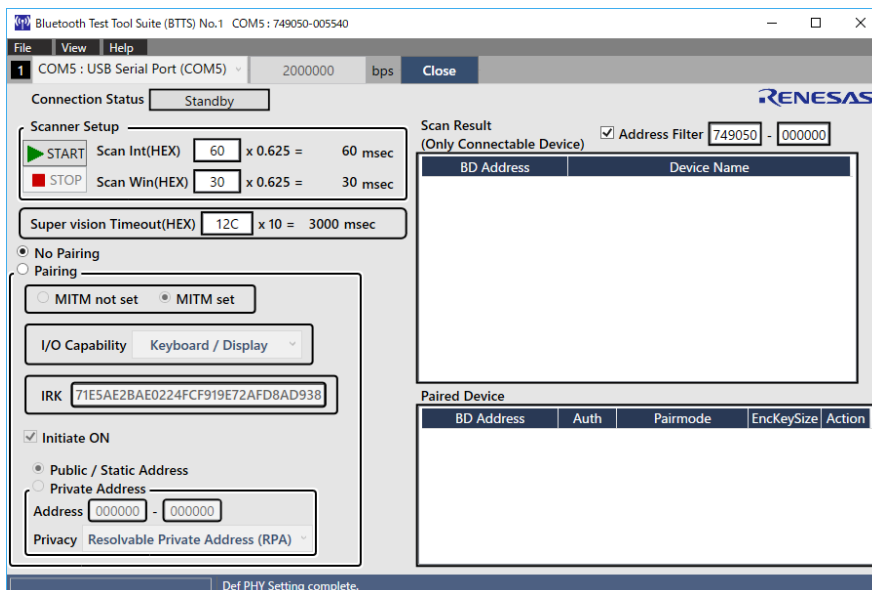


図 7-47 データ通信ウィンドウ（マスター）

- EVB 接続後に、マスター・スレーブ双方の「Pairing」ラジオボタンをチェックしてペアリングを行う設定にします。

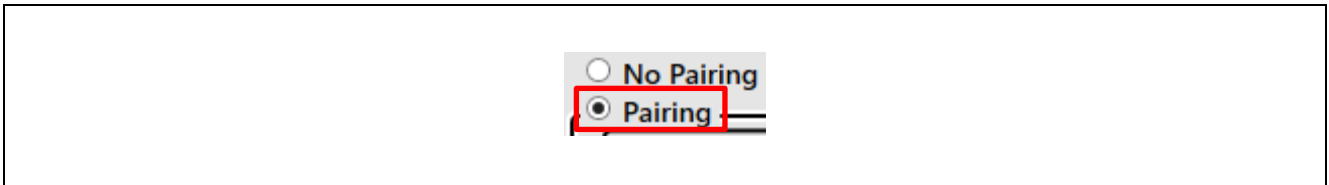


図 7-48 ペアリング設定

- MITM (Man In The Middle) プロテクションの有効・無効を設定します。本例ではマスター・スレーブ双方にて「MITM set」ラジオボタンをチェックして MITM プロテクションを有効にします。

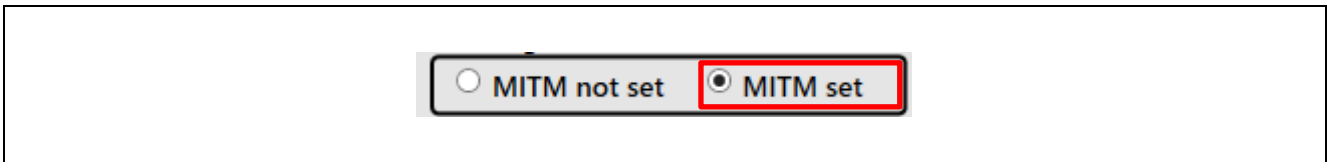


図 7-49 MITM 設定

- I/O Capability をプルダウンメニューで設定します。本例ではマスター・スレーブ双方にて「Keyboard / Display」を選択します。

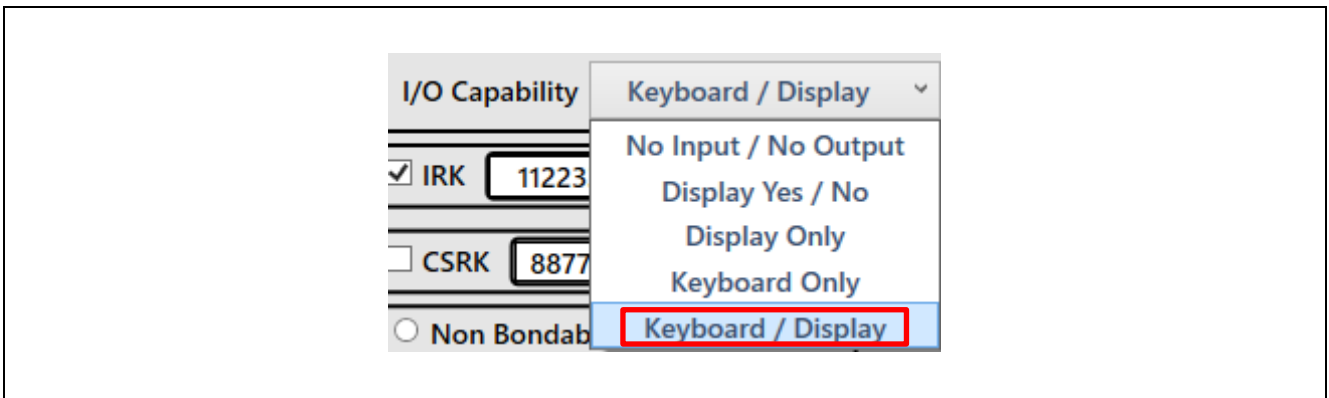


図 7-50 I/O Capability 設定

MCU 対向間のセキュリティ種別は、双方の「MITM」と「I/O Capability」の設定から、表 7-1 に示すロジックで決定されます。

- マスター・スレーブともにペアリングキーを設定します。IRK(Identity Resolving Key)テキストボックスに16進数で16バイトのオールゼロ以外の任意のキーを設定します。BTTSは、初回EVB接続時に、BluetoothプロトコルスタックのAPI(R_BLE_VS_GetRand)を使用して生成した16バイトの乱数を設定します。設定を変更する場合は、「IRK」ラベル(図7-51の破線枠内)をクリックします。



図 7-51 ペアリングキーの設定

- ペアリングリクエストを行う側(イニシエーター)か、ペアリングリクエストを待つ側(レスポンドャー)かを設定します。本例では、一般的なユースケースに合わせて、マスター側で「Initiate ON」チェックボックスにチェックを入れイニシエーターとし、スレーブ側でチェックを外しレスポンドャーとします。

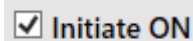


図 7-52 イニシエート設定(マスター側: ON、スレーブ側: OFF)

- 最後にBDアドレスの種別をラジオボタンで設定します。本例ではマスター・スレーブ双方で「Public / Static Address」を選択します。「Private Address」を選択した場合には、プライバシー種別を「Privacy」プルダウンメニューで指定します。プライバシー種別には「Resolvable Private Address (RPA)」と「Non-RPA」がありますが、データ通信ツールでは「RPA」のみが選択可能です。



図 7-53 BDアドレス種別設定

- 設定を終えたら、スレーブ側で「▶START」ボタンをクリックしてアドバタイジングを開始します。マスター側で「▶START」ボタンをクリックしてスキャンングを行いスレーブと接続します。

- 接続が完了すると表 7-1 に示すロジックに従ってペアリング処理に入ります。本例では「Numeric Comparison (数値比較)」が動作します。マスター・スレーブ双方で「数値比較確認」ダイアログが表示されますので、双方で同じ値が表示されている場合には「OK」ボタンをクリックしてペアリング処理を継続させます。表示された数値が異なる場合には「Cancel」ボタンをクリックしてペアリング処理を中止させます。数値はパスキーと同様に下位レイヤ（プロトコルスタック）で自動的に生成されます。本ダイアログ右上部には、タイムアウトまでの時間が表示されます。

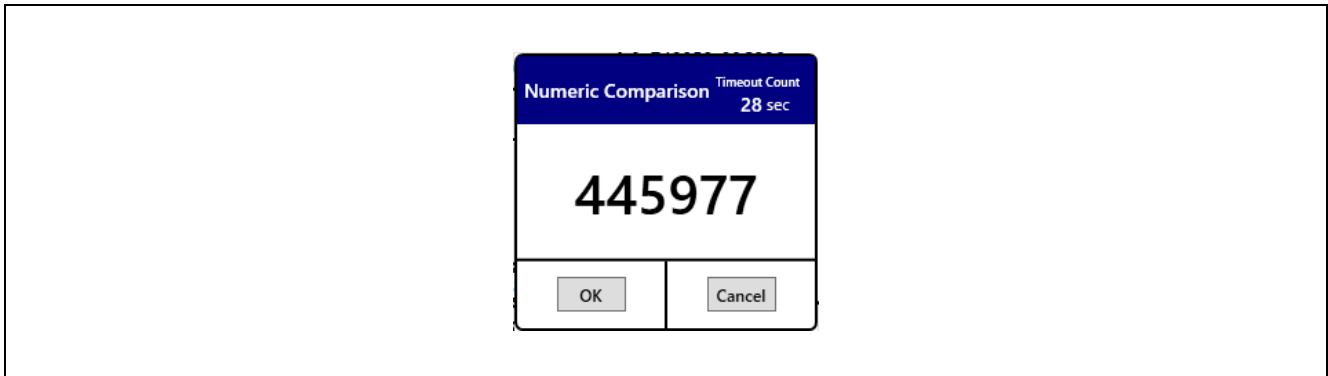


図 7-54 数値比較確認ダイアログ表示

- ペアリングに成功すると、マスター・スレーブともにスループット測定ウィンドウに切り替わり、データ通信が可能になります。スループット測定ウィンドウのステータス表示部の「Pairing Procedure」には、実行されたペアリング手順「LE Secure Connections」が表示されます。

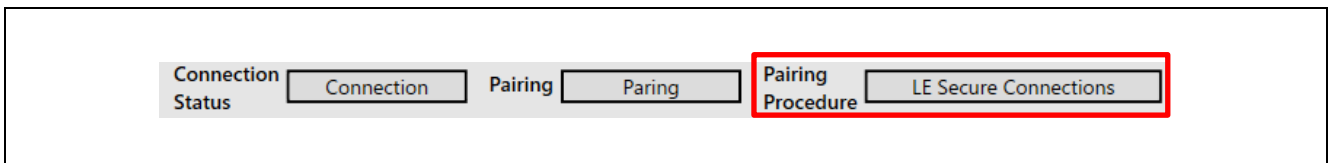


図 7-55 ステータス表示 (MCU 対向の場合)

なお、通信切断後に「Paired Device」リストを確認すると、ペアリングしたデバイスの情報が追加されています。リストにはペアリング時に取得したセキュリティ情報が表示されます。リスト中にある「Del」ボタンをクリックすることで選択デバイスのペアリング情報を削除することができます。

登録できるデバイスの数は最大 7 台です。8 台目のデバイスとペアリングを行うとリスト先頭のペアリング情報が自動的に削除されます。

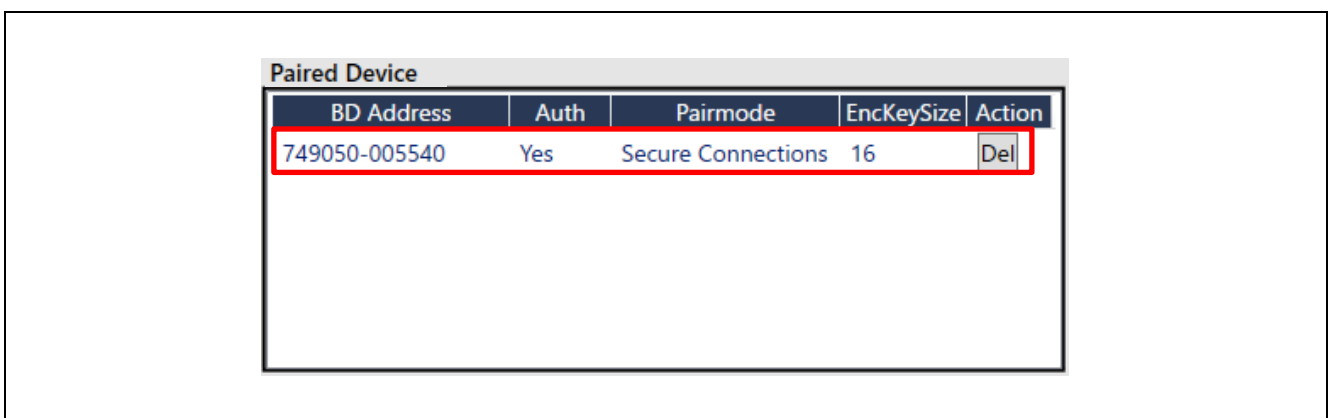


図 7-56 「Paired Device」リスト表示

【注】 スレーブ側のペアリング情報のみ削除した場合、マスター側との再接続ができなくなります。再接続を行うには、マスター側のペアリング情報を削除してください。

7.4.3 ペ어링情報のセーブ／ロード

「Paired Device」リストに表示されているペアリング情報は、ボンディング情報ファイルにセーブすることができます。またボンディング情報ファイルからロードすることで、ペアリング情報をMCUに再設定することができます。これらの操作は「3.3 EVBの接続と切断」で接続成功後に可能になります。

- ペアリング情報をセーブする

「File」メニューから「Bonding information」→「Save」を選択してボンディング情報ファイルにペアリング情報をセーブします。

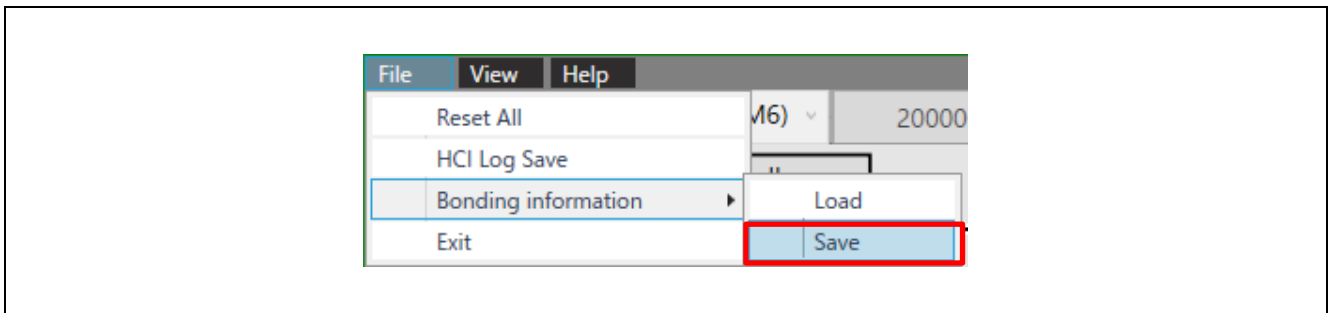


図 7-57 ボンディング情報セーブメニュー

「ボンディング情報セーブ」ダイアログが表示されますので、任意のファイル名を指定して保存してください。ファイルは「（指定したファイル名）.bondinf」という名前で保存されます。

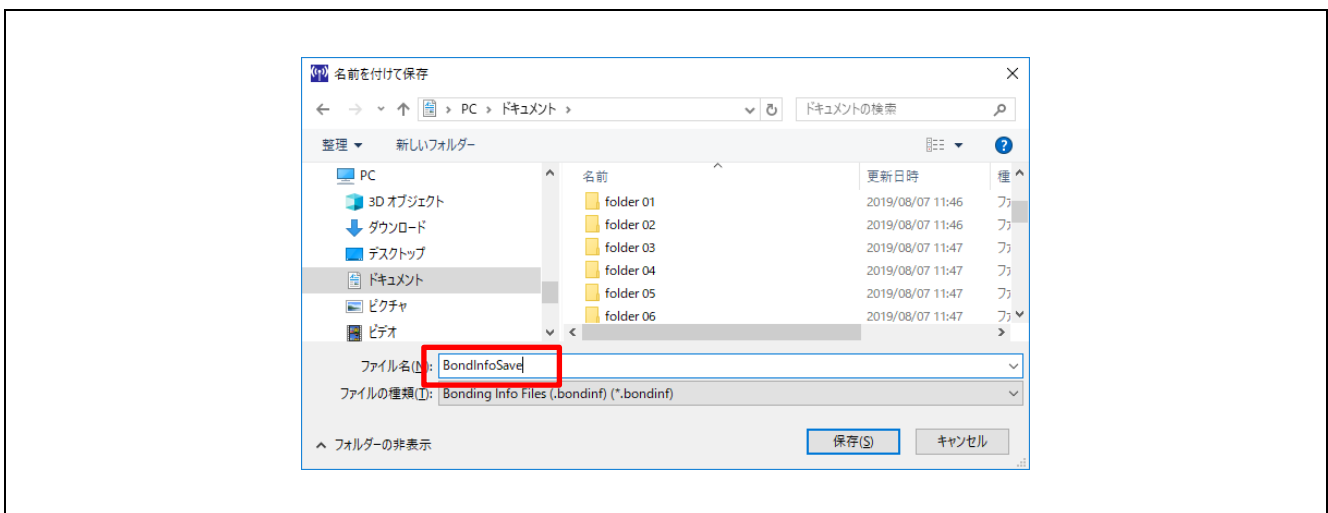


図 7-58 ボンディング情報セーブダイアログ（ファイル名指定例）

ペアリング情報は、1 バイトを 2 文字で表し、表 7-3 に示すフォーマットで格納されています。

表 7-3 ペアリング情報フォーマット

バイト位置	バイト数	内容
0	6	ペアリング時のピアデバイスの BD アドレス
6	1	ペアリング時のピアデバイスの BD アドレスタイプ
7	1	セキュリティレベル(Unauthenticated / Authenticated)
8	1	ペアリングモード(Legacy / Secure)
9	1	キーサイズ
10	1	キーの種別(bit0: LTK / bit1: IRK / bit2: CSRK)
11	16	LTK
27	10	EDIV / Rand
37	16	IRK
53	7	Identity address
60	16	CSRK

【注】 ペアリング情報はセキュリティ情報ですので、取り扱いにはご注意ください。


8. 電波法認証試験で BTTS を使用する

本章では、電波法認証試験項目ごとに BTTS の実行方法について説明します。

受験する機器（受審機）と認証機関の測定器との接続には、SMA コネクタを使用します。アンテナ端から SMA コネクタと接続できるようにしてください。

表 8-1 に試験項目と実行動作と使用する BTTS ツールについて記載します。

表 8-1 試験項目と実行動作と使用する BTTS ツール

試験項目	実行動作	BTTS ツール
周波数の偏差	8.1 CW（無変調連続波）の送信	RF 評価ツール 
占有帯域幅および拡散帯域幅	8.2 疑似乱数の連続送信	RF 評価ツール 
スプリアス発射また不要発射の強度	8.2 疑似乱数の連続送信	RF 評価ツール 
空中線電力の偏差	8.2 疑似乱数の連続送信	RF 評価ツール 
副次的に発する電波などの強度	8.3 受信動作	RF 評価ツール 
混信防止機能（識別符号）	8.4 スキャンング実行 (*1)	ビーコンツール  

*1： 対向する機器の BD アドレスを確認する（対向する機器はアドバタイジング実行）

8.1 CW（無変調連続波）の送信

1. ツールランチャーにて「RF Evaluation」を選択して、RF 評価ツールを起動します。3.3に記載の手順で EVB を接続してください。
2. 上部タブの「Transmit Test」をクリックし、「Continuous Wave Transmit」ラジオボタンを選択します。
3. ラジオボタン下部のプルダウンメニューで、無変調波形「Modulation Disable」を選択します。
4. 送信パワーは、「Transmit Power」のプルダウンメニューで「Middle」を選択します。
5. 送信 PHY は、「PHY」のプルダウンメニューで「1M」または「2M」を選択します。
6. 「Transmit Frequency」のプルダウンメニューで、送信周波数チャンネルを選択します。
Low:2402MHz(RF-Ch.00), Middle:2440MHz(RF-Ch.19), High:2480MHz(RF-Ch.39)
7. 「▶START」ボタンをクリックして CW の送信を開始します。
8. 「■STOP」ボタンをクリックして送信を停止します。
PHY を変更する場合は 5~8、周波数を変更する場合は 6~8 の操作を行ってください。

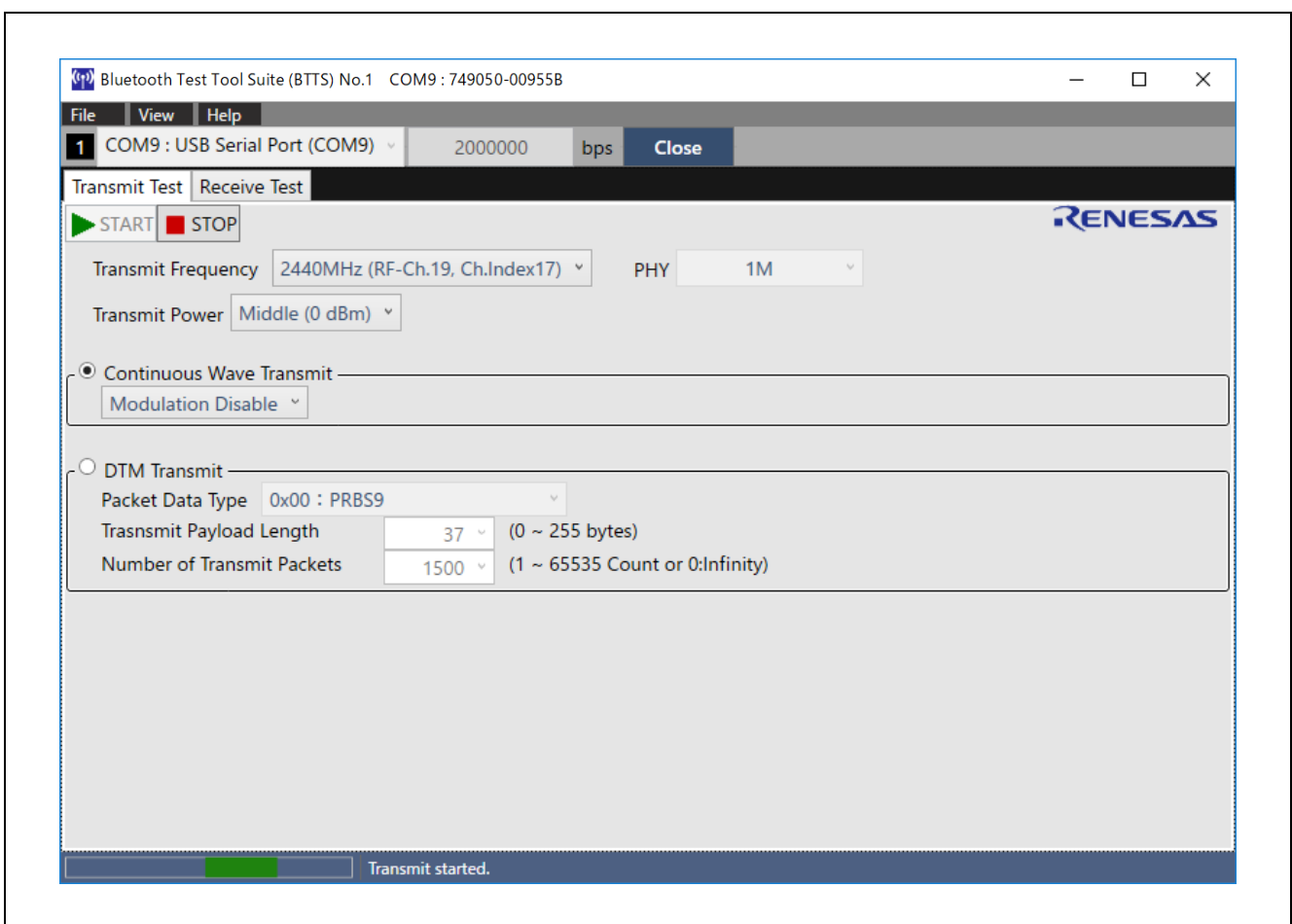


図 8-1 CW の送信設定

8.2 疑似乱数の連続送信

1. ツールランチャーにて「RF Evaluation」を選択して、RF 評価ツールを起動します。3.3 に記載の手順で EVB を接続してください。
2. 上部タブの「Transmit Test」をクリックし、「DTM Transmit」ラジオボタンを選択します。
3. ラジオボタン下部のプルダウンメニューで、疑似乱数「0x00:PRBS9」(周期 2^9-1 の疑似ランダム・ビット・シーケンス)を選択します。
「Number of Transmit Packets」のプルダウンメニューで「0」(Infinity)を選択します。
4. 送信パワーは、「Transmit Power」のプルダウンメニューで「Middle」を選択します。
「空中線電力の偏差」試験の場合は、「Low」, 「High」を選択してください。
5. 送信 PHY は、「PHY」のプルダウンメニューで「1M」または「2M」を選択します。
6. 「Transmit Frequency」のプルダウンメニューで、送信周波数チャンネルを選択します。
Low:2402MHz(RF-Ch.00), Middle:2440MHz(RF-Ch.19), High:2480MHz(RF-Ch.39)
7. 「▶START」ボタンをクリックして疑似乱数の連続送信を開始します。
8. 「■STOP」ボタンをクリックして連続送信を停止します。
PHY を変更する場合は 5~8、周波数を変更する場合は 6~8 の操作を行ってください。

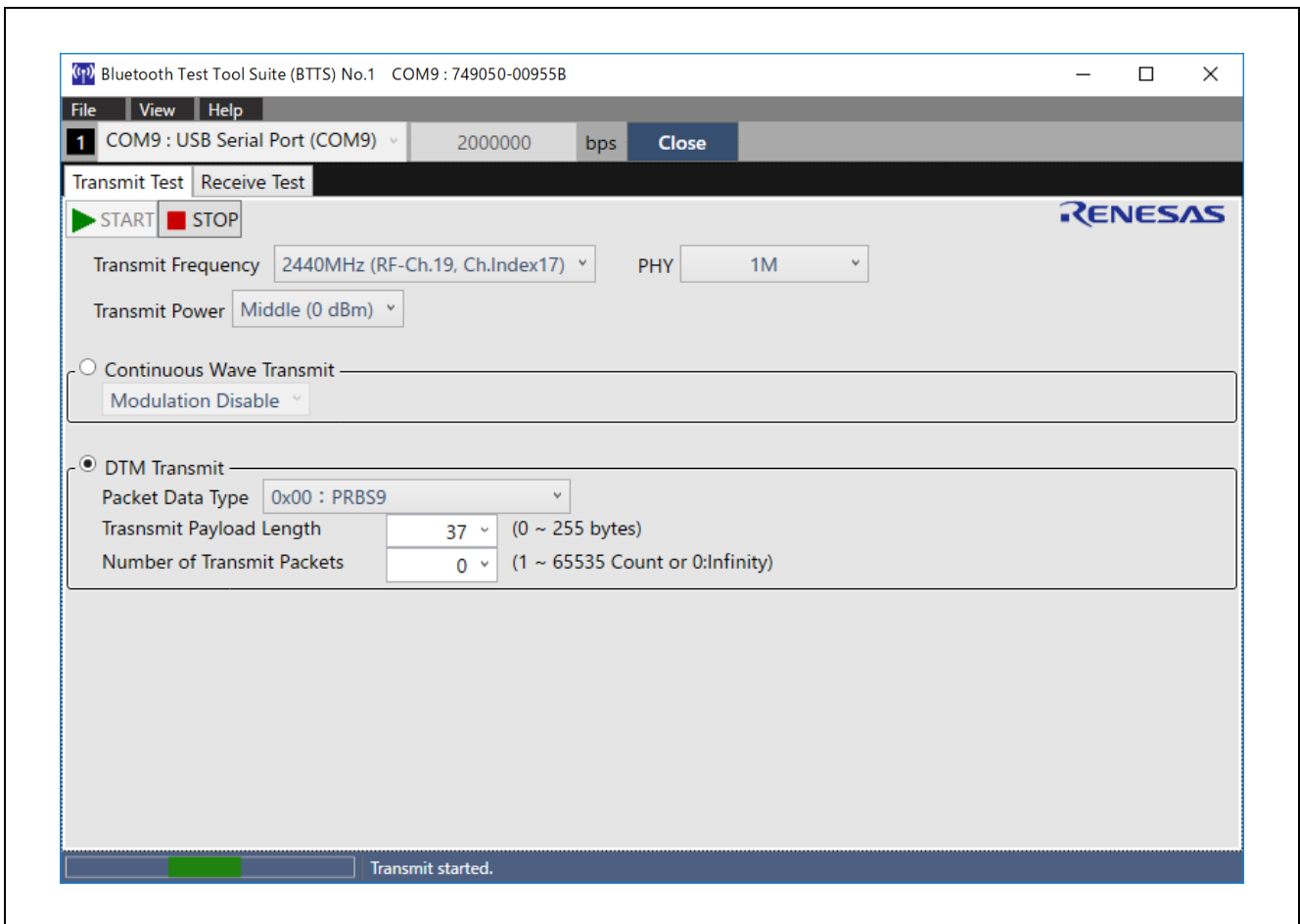


図 8-2 疑似乱数の連続送信設定

8.3 受信動作

1. ツールランチャーにて「RF Evaluation」を選択して、RF 評価ツールを起動します。3.3に記載の手順で EVB を接続してください。
2. 上部タブの「Receive Test」をクリックします。
3. 「Expected Packet Counts」のプルダウンメニューで「0」(Infinity)を選択します。
4. 受信 PHY は、「PHY」のプルダウンメニューで「1M」または「2M」を選択します。
5. 「Receive Frequency」のプルダウンメニューで、受信周波数チャンネルを選択します。
Low:2402MHz(RF-Ch.00), Middle:2440MHz(RF-Ch.19), High:2480MHz(RF-Ch.39)
6. 「▶START」ボタンをクリックして受信動作を開始します。
7. 「■STOP」ボタンをクリックして受信動作を停止します。
PHY を変更する場合は 4~7、周波数を変更する場合は 5~7 の操作を行ってください。

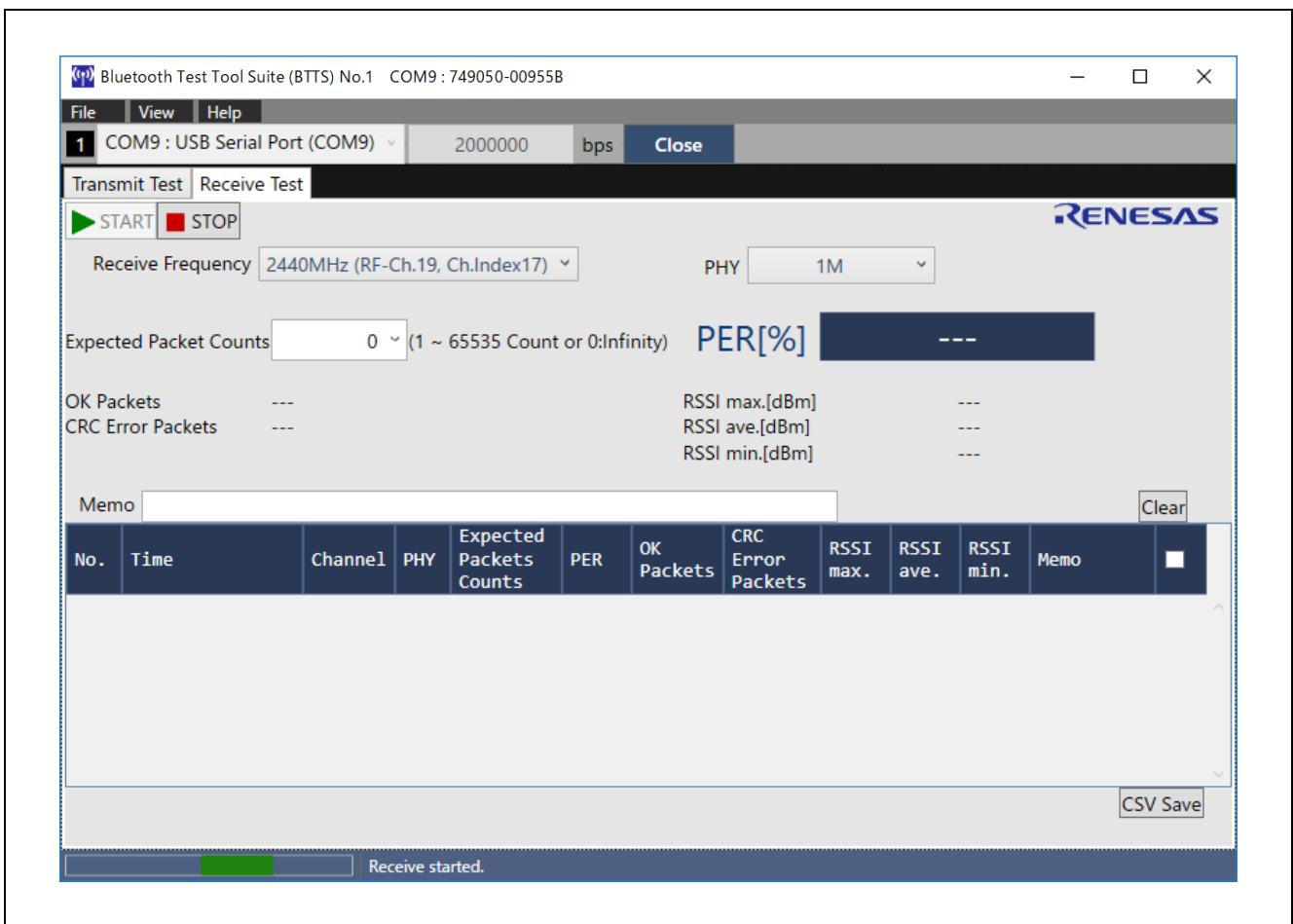


図 8-3 受信動作設定

8.4 スキャンング実行

8.4.1 アドバタイジング実行

受信機側でスキャンングを実行するために、まず対向機側でアドバタイジングを実行します。

1. ツールランチャーにて「Beacon Advertising」を選択して、ビーコンアドバタイジングツールを起動します。3.3に記載の手順で EVB を接続してください。
2. 上部の「Handle #0」タブのチェックボックスにチェックを入れます。
3. 「Advertising Address」枠内の「Public」ラジオボタンをチェックします。
4. 「Advertising Interval」のテキストボックスに"0000A0"を入力してアドバタイジングインターバルを 100 ミリ秒に設定します。（任意のインターバルに変更可能です）
5. 「Data Packet Length」枠内の「Legacy」ラジオボタンをチェックします。
6. 「Advertising Channel」の全てのチャンネルのチェックボックスを選択します。
7. 「Advertising Data」のプルダウンメニューで「Local Name」を選択し、テキストボックスに任意のデバイス名称を入力します。
8. 「▶START」ボタンをクリックしてアドバタイジングを開始します。
9. 試験終了後に「■STOP」ボタンをクリックしてアドバタイジングを停止します。

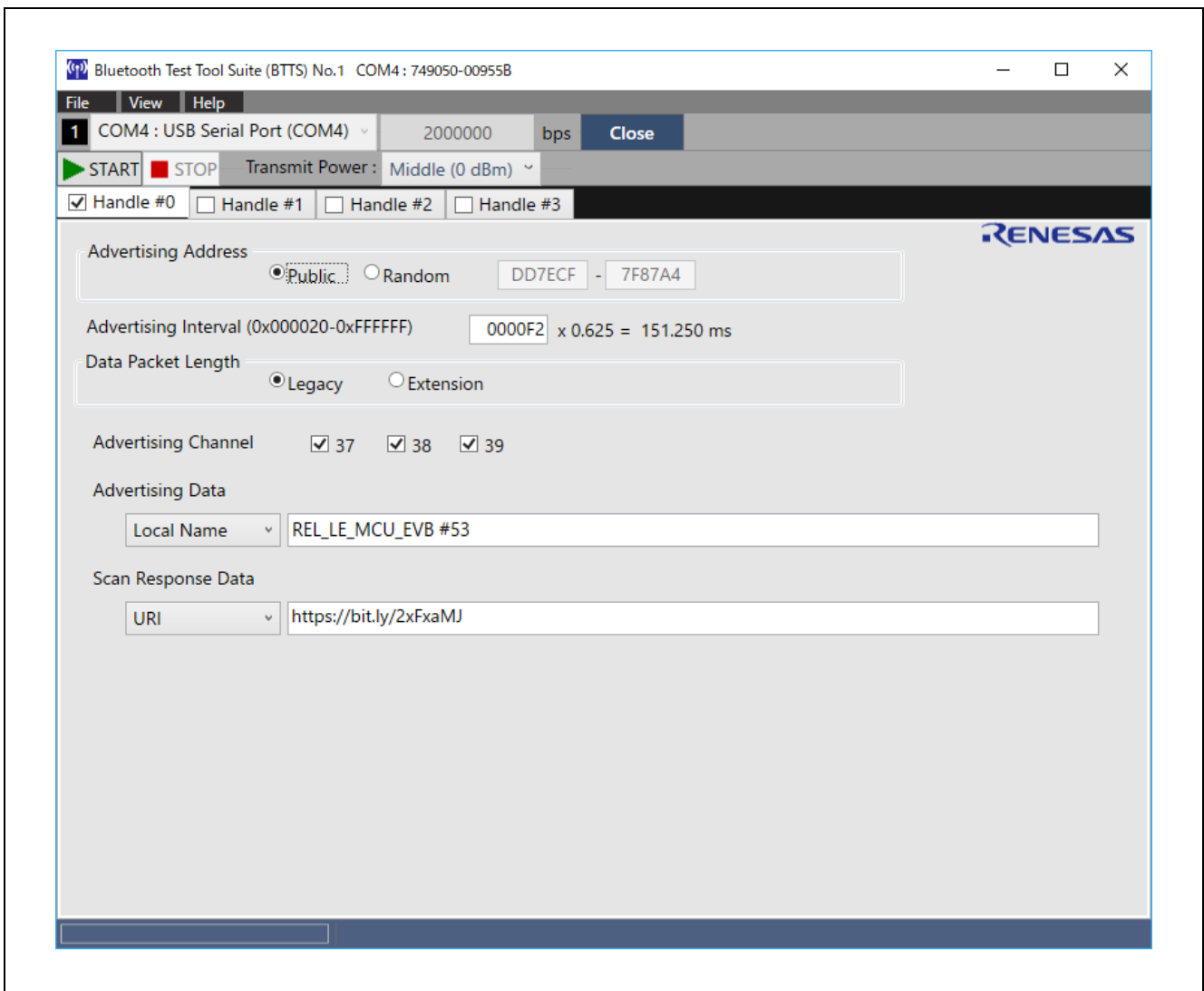


図 8-4 アドバタイジング設定（対向機側）

8.4.2 スキャンング実行

受信機側でスキャンングを実行します。

1. ツールランチャーにて「Beacon Scanning」を選択して、ビーコンスキャンングツールを起動します。
3.3に記載の手順でEVBを接続してください。
2. 「Scanning Mode」枠内の「Passive」ラジオボタンをチェックします。
3. 「Normal Range (1M PHY)」チェックボタンを選択します。
4. 「Interval」テキストボックスに"0640"を「Window」テキストボックスに"0640"を入力してスキャンングのデューティ比を100%に設定します。（任意の値に変更可能です）
5. 周囲のアドバイザの状況によっては、6.2.3に記載の手順でフィルタ機能を有効にします。
6. 「▶START」ボタンをクリックしてスキャンングを開始します。
7. 「Scanning Result:」データグリッドで対向機の情報が表示されることを確認します。
8. 試験終了後に「■STOP」ボタンをクリックしてスキャンングを停止します。

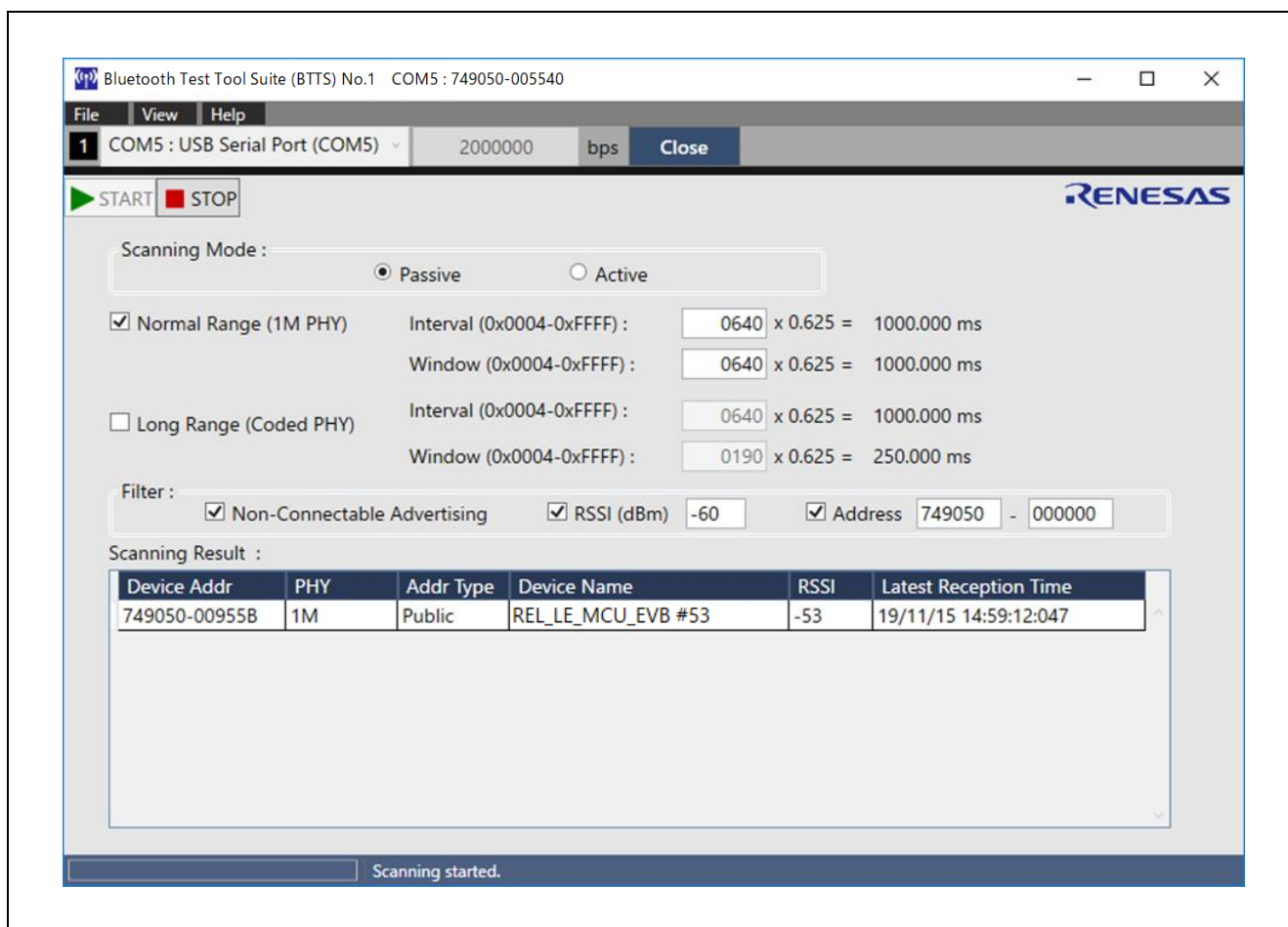


図 8-5 スキャンング設定（受信機側）

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	Sep.01.19	—	初版発行
1.01	Nov.28.19	—	<ul style="list-style-type: none"> • BTTS 1.01 の下記更新内容に伴う説明追加／変更および画像データの差し替えを実施 <ul style="list-style-type: none"> — 「Beacon Advertising」 ツール <ul style="list-style-type: none"> • "Advertising Interval", "Periodic Advertising Interval" の初期値変更 — 「Beacon Scanning」 ツール <ul style="list-style-type: none"> • フィルタ設定に"RSSI(dBm) Filter"を追加 — 「Data Comm Slave」 ツール <ul style="list-style-type: none"> • スループット測定ウィンドウの"Notification"と"Indication"ラジオボタンの位置入れ替え — 「Data Comm Master/Slave」 ツール <ul style="list-style-type: none"> • データ通信ウィンドウのボンディング設定ラジオボタンを廃止 • データ通信ウィンドウのリスト名称を"Bonded Device"から"Paired Device"に変更 • "Paired Device"リストへ登録できるデバイスの数を7台に変更 • スループット測定ウィンドウの"RF Setting"の設定変更を2回目以降も有効に変更 • 8.1~8.3 実行動作 <ul style="list-style-type: none"> — PHY の変更動作を追加
1.02	Dec.20.19	—	<ul style="list-style-type: none"> • ツール名称の変更（「Bluetooth Trial Tool Suite」から「Bluetooth Test Tool Suite」へ）および関連する画像データの差し替えを実施 • BTTS 1.01 からの変更内容は以下のとおりです <ul style="list-style-type: none"> — 「Data Comm Master/Slave」 ツール <ul style="list-style-type: none"> • データ送信時に、BLE_VS_EVENT_TX_FLOW_STATE_CHG イベントを使ったフロー制御処理を追加 • スループット計算の対象を ATT-MTU サイズから PDU のペイロードサイズに変更
1.03	May.07.20	—	<ul style="list-style-type: none"> • ドキュメントタイトル変更 RX23W グループ → Bluetooth Low Energy MCU • 対象デバイスに RA4W1 グループを追加 追加に伴いドキュメント中の"RX23W"表記を"BLE MCU"に、"TB"表記を"EVB"に変更 • 図 1-1 に EK-RA4W1 追加 • 1.4 動作環境 <ul style="list-style-type: none"> — EVB に EK-RA4W1 追加 — RA4W1 グループ ユーザーズマニュアル情報追記 • 図 2-1 差し替え • 3.1.1 HCI モードファームウェア書き込み RA4W1 用プロトコルスタックマニュアル情報追記 • BTTS 1.02 からの変更内容は以下のとおりです <ul style="list-style-type: none"> — 「Data Comm」 ツールで、コネクショントーバルの初期値を 0x14(25ms)に変更

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
			— 「Data Comm Slave」 ツールのアドバタイジングデータにスループットサービスの UUID(128 ビット)データを追加
1.04	2021.03.01	7	<ul style="list-style-type: none"> 図 2-1 差し替え RX23W EVB 向け HCI モードファームウェアバージョンアップ
		9	<ul style="list-style-type: none"> 3.1.1 に、パブリックアドレスが無効な場合の説明追記
		29	<ul style="list-style-type: none"> 6.1.4 に、「Random」 ラジオボタン選択時にスタティックアドレスが使用されることを追記
		40	<ul style="list-style-type: none"> 図 6-6 差し替え 図 7-1 差し替え
		46	<ul style="list-style-type: none"> 7.2.1 に、ATT_MTU の最大値をテキストボックスに直接入力できることを追記
		47	<ul style="list-style-type: none"> 図 7-13, 図 7-14 差し替え 7.3.1 に、ATT_MTU の最大値をテキストボックスに直接入力できることを追記
		56	<ul style="list-style-type: none"> 図 7-35 差し替え
		58	<ul style="list-style-type: none"> ペアリングキー(IRK)の設定方法変更 図 7-39 差し替え BD アドレス種別の設定に、プライバシー種別についての説明追記 BD アドレス種別の設定に関連するラジオボタン及びプルダウンメニューの表示変更 図 7-41 差し替え
		61	<ul style="list-style-type: none"> スマートフォンから IRK が配布されない場合の注記を削除
		62	<ul style="list-style-type: none"> 図 7-46, 図 7-47 差し替え
		64	<ul style="list-style-type: none"> ペアリングキー(IRK)の設定方法変更
		64	<ul style="list-style-type: none"> 図 7-51 差し替え BD アドレス種別の設定に、プライバシー種別についての説明追記 BD アドレス種別の設定に関連するラジオボタン及びプルダウンメニューの表示変更 図 7-53 差し替え
1.05	2021.03.21	—	<ul style="list-style-type: none"> "BLE"表記を"Bluetooth LE"に変更 "BLE MCU"表記を"MCU"に変更
		1	<ul style="list-style-type: none"> 対象デバイスに RE01B グループを追加
		4	<ul style="list-style-type: none"> 図 1-1 に EB-RE01B を追加
		4	<ul style="list-style-type: none"> RE01B の MCU ドキュメント情報を追加
		5	<ul style="list-style-type: none"> 1.4 に RE01B 用 EVB を追加 RE01B ユーザーズマニュアル情報を追加
		7	<ul style="list-style-type: none"> 図 2-1 差し替え
		9	<ul style="list-style-type: none"> 3.1.1 に RE01B のドキュメント情報および注記を追加
		59, 64	<ul style="list-style-type: none"> Non-RPA の用途はコネクションレス通信が主なためプライバシー種別で選択不可に変更
1.06	2022.03.10	7	<ul style="list-style-type: none"> RX23W, RE01B 用 HCI ファームウェアを更新
		30	<ul style="list-style-type: none"> "Assigned Numbers / Generic Access Profile"のハイパーリンクのアドレスを修正

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
		exe	<ul style="list-style-type: none">Resolvable Private Address (RPA)のリモートデバイスと接続した場合、誤ったリモートのBD アドレスタイプがボンディング情報に設定される不具合を修正
1.07	2022.12.29	39 42,43 exe	<ul style="list-style-type: none">サービスの定義に Name 情報を追加GATTBrowser の画面及び説明を変更リモートデバイスが RPA を使用する場合に誤ったプライバシーモードが設定される不具合を修正

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

1. 静電気対策

CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。

2. 電源投入時の処置

電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

3. 電源オフ時における入力信号

当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れしないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。

4. 未使用端子の処理

未使用端子は、「未使用端子の処理」に従って処理してください。CMOS 製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI 周辺のノイズが印加され、LSI 内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。

5. クロックについて

リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

6. 入力端子の印加波形

入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、 V_{IL} (Max.) から V_{IH} (Min.) までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、 V_{IL} (Max.) から V_{IH} (Min.) までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。

7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられている リザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

8. 製品間の相違について

型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。同じグループのマイコンでも型名が違えば、フラッシュメモリ、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ輻射量などが異なる場合があります。型名が違う製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含まれます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
6. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。

標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等

高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。

7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア/ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限られません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因したまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア/ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
10. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。
11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものいたします。
13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.5.0-1 2020.10)

本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

www.renesas.com

お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

www.renesas.com/contact/

商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。