

Bluetooth® Low Energy プロトコルスタック ご紹介

Rev 1.01 2021.1.29
R01QS0014JJ0101
ルネサス エレクトロニクス株式会社

BIG IDEAS
FOR EVERY SPACE

はじめに

本書は、RL78/G1D上で動作するアプリケーションの開発を始める前に Bluetooth low energy (BLE) プロトコルスタックの理解を深めて頂くためのガイドです。次ページより、下記について紹介します。

- BLEプロトコルスタック概要
- BLEアプリケーションの開発環境
- BLEアプリケーション開発のためのドキュメント
- BLEアプリケーション開発に有用なサンプルプログラムとツール

なお、文章中の[青字+下線で記述された部分](#)は、ウェブページまたはドキュメントへのリンクであることを示します。

BLEプロトコルスタック概要

BLEプロトコルスタックが動作するデバイス

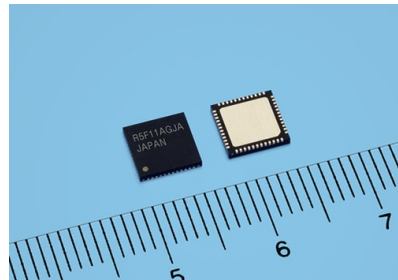
BLEプロトコルスタックはBluetooth low energyに対応したRL78/G1D上で動作します。

RL78/G1D ([製品情報](#))

Bluetooth low energy対応の低消費電力RFトランシーバと、RL78 CPUコアを搭載したマイクロコンピュータ

RL78/G1Dモジュール [RY7011] ([製品情報](#))

RL78/G1DとRFトランシーバ用の32 MHz水晶振動子、アンテナを搭載したモジュール



RL78/G1D

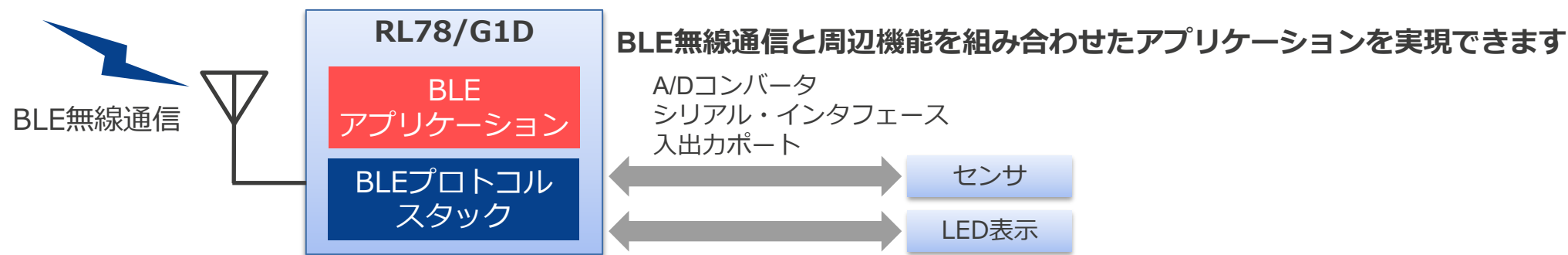


RL78/G1Dモジュール
(RL78/G1Dを内蔵)

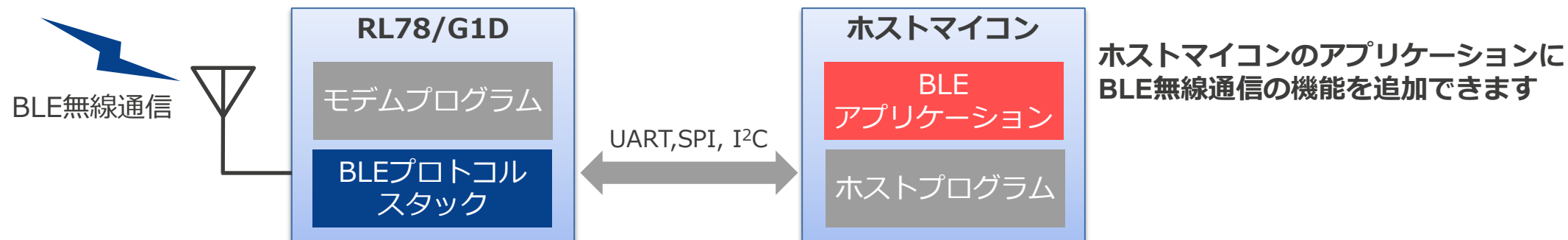
RL78/G1Dのシステム構成

BLEプロトコルスタックを使用することでRL78/G1Dは下記のシステム構成を実現できます。

組み込み構成(Embedded) : RL78/G1DマイコンのみでBLE無線通信するシステム構成



モデム構成(Modem) : RL78/G1DマイコンとBLE無線通信を制御するホストマイコンのシステム構成



BLEプロトコルスタックの機能

BLEプロトコルスタックには下記の機能があります。

BLEアプリケーションはAPIにアクセスすることでこれらの機能を利用できます。

- **GAP (Generic Access Profile)** : デバイスの探索、接続の管理、セキュリティ
- **SM (Security Manager)** : ペアリング、認証、暗号化
- **GATT (Generic Attribute Profile)** : アプリケーションのデータ通信
- **プロファイル** : Bluetooth SIGで策定されたGATTベースのデータ通信
- **VS (Vendor Specific)** : Bluetooth仕様で規定されないルネサスの独自機能
- **RWKE** : 簡易OS機能



BLEプロトコルスタック

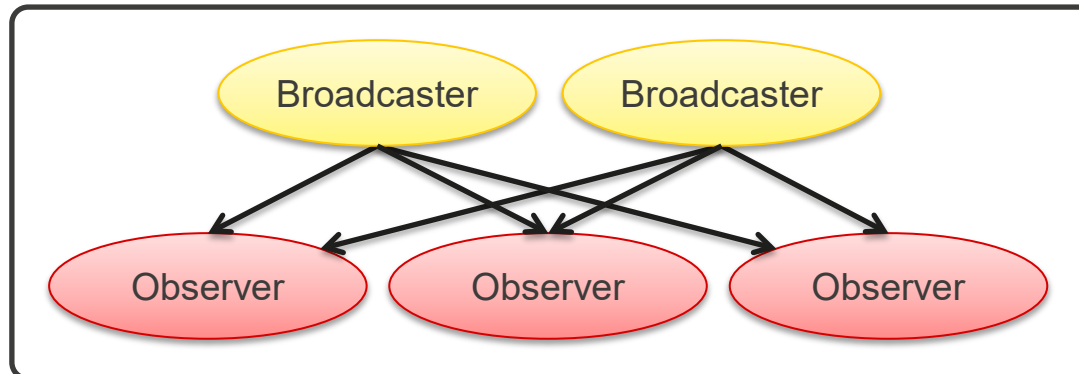
GAP(Generic Access Profile)

BLEプロトコルスタックには下記を実行するGAP(Generic Access Profile)機能があります。

- 接続を確立しないデータのブロードキャスト
- 周辺デバイスの探索
- 対向デバイスとの接続の確立と切断

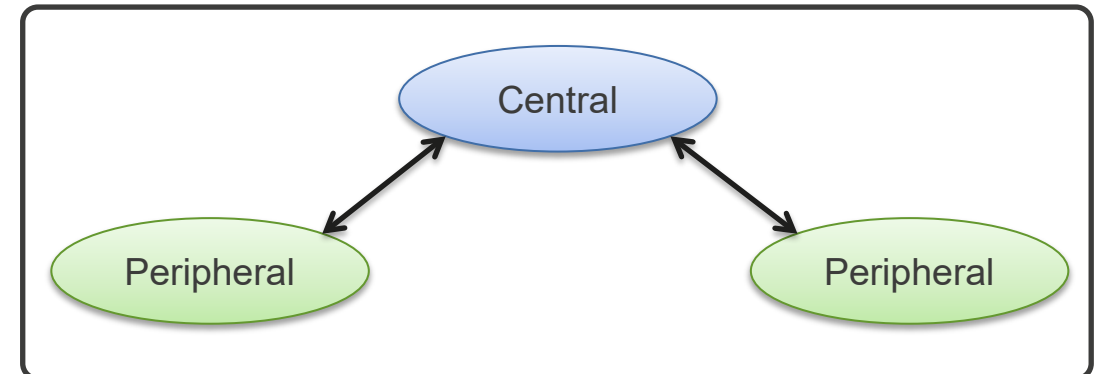
GAP機能を利用することで下記のネットワークを実現できます。

接続を確立しないデータのブロードキャスト



Broadcaster : 不特定多数のObserverに送信
Observer : 不特定多数のBroadcasterから受信

周辺デバイスの探索、接続の確立と切断



Peripheral : Centralとの接続
Central : 複数Peripheralとの同時接続（最大8台）

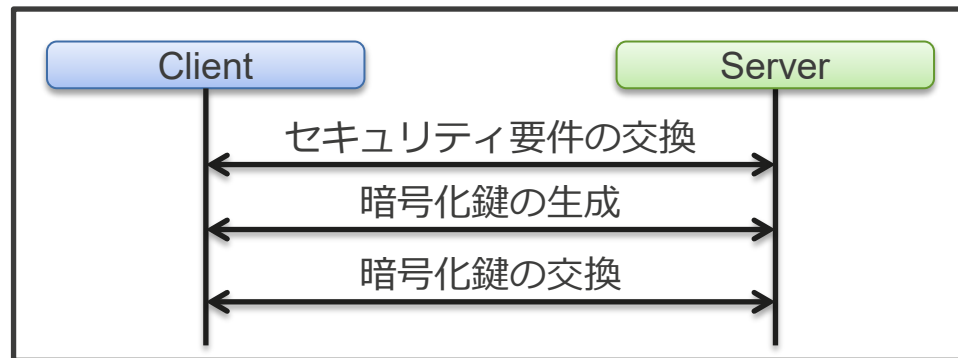
BLEプロトコルスタック

SM(Security Manager)

BLEプロトコルスタックには下記を実行するSM(Security Manager)機能があります。

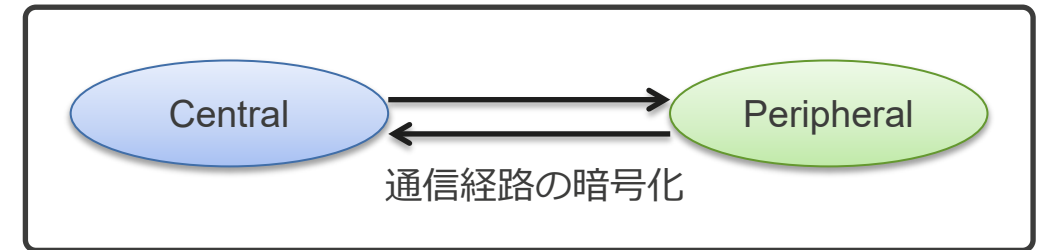
- 暗号化鍵の交換のためのペアリング
- データの暗号化、動的アドレスの生成と解決

接続確立後のペアリングシーケンス



完了
⇒

通信経路の暗号化によって通信安全性を向上



ペアリング：セキュリティ要件の確認と下記の暗号化鍵を交換

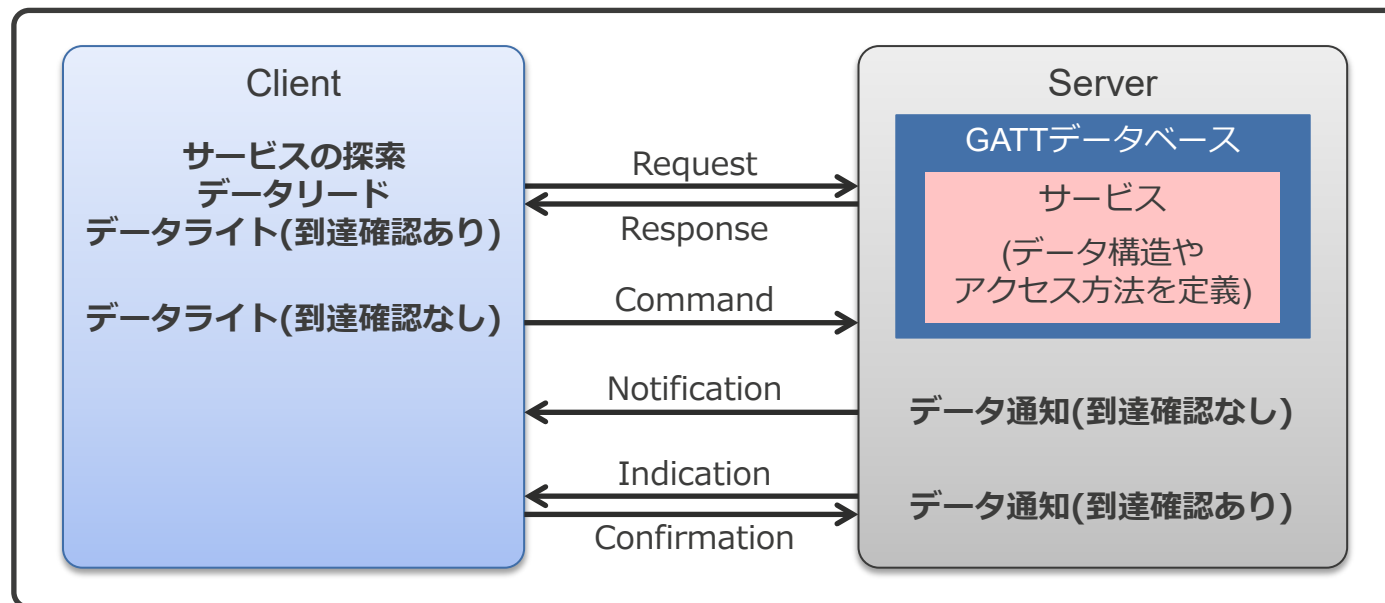
- 通信経路の暗号化のための鍵 (LTK)
- データへの署名のための鍵 (CSRK)
- 動的に変更されたアドレスを解決するための鍵 (IRK)

BLEプロトコルスタック

GATT(Generic Attribute Profile)

BLEプロトコルスタックには**接続後にクライアント/サーバ構成でアプリケーションデータを通信**するためのGATT(Generic Attribute Profile)機能があります。

クライアント/サーバ構成



BLEアプリケーションはGATT機能を利用することで
**ユーザーが独自に策定したプロファイル
(カスタムプロファイル)**でデータ通信ができます

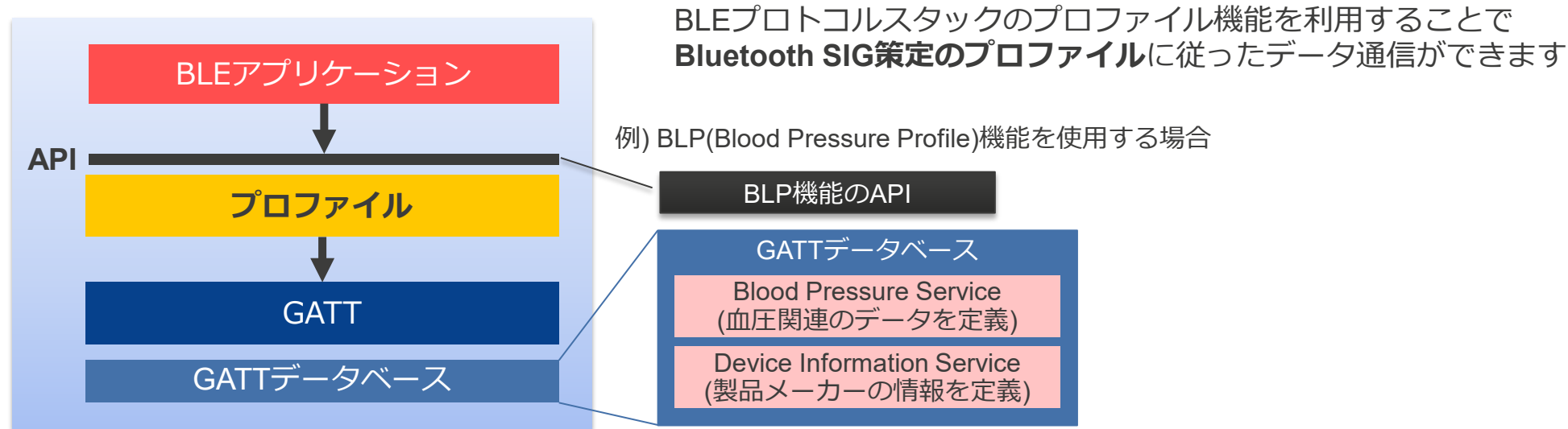
※ Central、PeripheralのどちらがClientまたはServerの役割を担うかはユースケースによって異なります

BLEプロトコルスタック プロファイル

BLEプロトコルスタックにはBluetooth SIGが策定したGATTベースプロファイル仕様でデータ通信するためのプロファイル機能があります。

BLEプロトコルスタックの対応プロファイル：

FMP(Find Me), PXP(Proximity), HTP(Health Thermometer), HRP(Heart Rate), BLP(Blood Pressure), GLP(Glucose), HOGP(HID Over GATT), CPP(Cycling Power), CSCP(Cycling Speed and Cadence), TIP (Time Profile), など



BLEプロトコルスタック

VS(Vendor Specific)

BLEプロトコルスタックには**RL78/G1Dの制御と評価**のための下記の独自機能があります。

- **消費電流ピーク通知機能** : RF送受信動作の開始と停止をアプリケーションに通知
- **Sleep機能** : 自動でMCU部とRF部を低消費電力状態に切り替え
- **Bluetooth Deviceアドレス書き込み機能** : データフラッシュ領域にデバイスアドレスを書き込み
- **Direct Test Mode機能** : RF特性評価のための送受信を実行
- **送信パワー設定機能** : RF送信パワーを変更
- **GPIO端子機能** : RF部のGPIO端子を制御
- **アダプタブル機能** : 送受信状況に応じてRF送受信特性を変更
- **RFトランシーバ電源制御機能** : RF部の電源を変更

BLEプロトコルスタック

RWKE（簡易OS）

BLEプロトコルスタックには**BLEアプリケーションの処理を管理**するためのRWKE機能があります。



RWKEの機能

- **カーネルイベント管理機能** : 割り込みなどのイベントに対する処理の実行順序を管理
- **メッセージ通信監理機能** : 処理間でパラメータを受け渡すためのメッセージ通信を管理
- **タスク状態管理機能** : タスクの状態を管理し、タスク状態に応じて処理を切り替え
- **タイマ管理機能** : 指定した時間の経過後に処理を実行するためのタイマを管理
- **メモリ管理機能** : ヒープ領域から動的にメモリを確保

BLEアプリケーションの開発環境

開発環境（ハードウェア）

- RL78/G1D評価ボード [RTK0EN0001D01001BZ] ([製品情報](#))



- RL78/G1D モジュール評価ボード [RM-110-RFB-2] ([製品情報](#))



開発環境（ハードウェア）

- **RL78/G1D BLE Module Expansion Board [RTKYRLG1D0B00000BJ]** ([製品情報](#))



- オンチップデバッグエミュレータ
 - **E2エミュレータLite [RTE0T0002LKCE00000R]** ([製品情報](#))



開発環境（ソフトウェア）

- BLEプロトコルスタック（[製品情報](#)、[ダウンロード](#)）
- 下記のフラッシュライブラリ
 - データフラッシュライブラリ（[製品情報](#)、[ダウンロード](#)）
 - コードフラッシュライブラリ（[製品情報](#)、[ダウンロード](#)）
- 下記いずれかの統合開発環境とコンパイラ
 - **CS+** : CC-RLコンパイラ（推奨）またはCA78K0Rコンパイラ（[製品情報](#)）
 - **e²studio** : CC-RLコンパイラのみ（[製品情報](#)）
 - **IAR Embedded Workbench for Renesas RL78 V2.21.5** : IARコンパイラのみ（[製品概要](#)）
- フラッシュ書き込みソフトウェア
 - **Renesas Flash Programmer**（[製品情報](#)）

BLEプロトコルスタックに含まれるサンプルプログラム

- 機能評価のためのプログラム

- ✓ **コンソール入出力サンプルプログラム** : コンソールでBLEプロトコルスタックを制御してBLE無線通信を実行
- ✓ **Direct Test Modeサンプルプログラム** : RL78/G1DのRF特性を評価するDirect Test Modeを実行

- アプリケーション開発のベースとなるプログラム

- ✓ **Modem構成サンプルプログラム** : Modem構成のBLEアプリケーションを開発するためのベース
- ✓ **簡易サンプルプログラム** : Embedded構成のBLEアプリケーションを開発するためのベース

- BLEプロトコルスタックの応用プログラム

- ✓ **Sample Custom Profileサンプルプログラム** : カスタムプロファイルを利用したBLE無線通信のデモを実行
- ✓ **FWアップデートプログラム** : RL78/G1DのBLEアプリケーションをBLE無線通信でアップデート

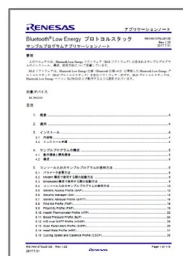
BLEアプリケーション開発のための ドキュメント

BLEアプリケーション開発のためのドキュメント

BLEプロトコルスタックの動作確認

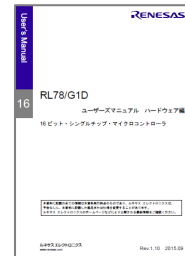


クイックスタートガイド

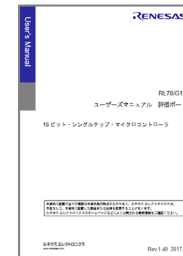


サンプルプログラム
アプリケーションノート

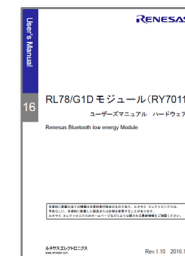
ハードウェア仕様



RL78/G1D
ユーザーズマニュアル

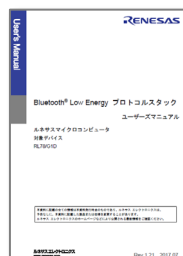


RL78/G1D評価ボード
ユーザーズマニュアル



RL78/G1Dモジュール
ユーザーズマニュアル

BLEアプリケーションの開発



ユーザーズマニュアル



APIリファレンス
マニュアル
基本編



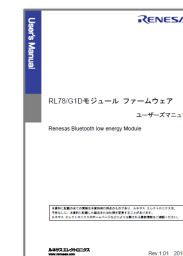
APIリファレンスマニュアル
プロフィール編



アプリケーション
作成ガイド



rBLEコマンド
仕様書

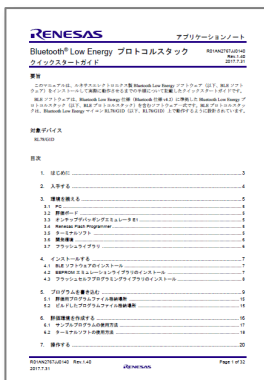


RL78/G1Dモジュール
ファームウェア
ユーザーズマニュアル

クイックスタートガイド

BLEアプリケーション開発環境の立ち上げ

クイックスタートガイドは、BLEアプリケーション開発環境の立ち上げと動作確認の手順を示したものです。



クイックスタートガイド

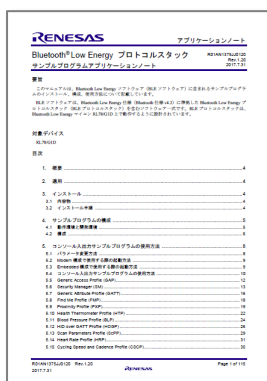
■ BLEプロトコルスタック クイックスタートガイド ([ダウンロード](#))

- ✓ 開発環境の入手（1章 – 3章）
- ✓ 開発環境の構築（4章 – 6章）
- ✓ BLE無線通信の動作確認（7章）
- ✓ BLEファームウェアのカスタマイズとビルド（8章、9章）

サンプルプログラムアプリケーションノート

BLEプロトコルスタックサンプルプログラムの動作確認

サンプルプログラムアプリケーションノートは、BLEプロトコルスタックに含まれるさまざまな**サンプルプログラムの動作確認方法**を示したものです。
サンプルプログラムを動作確認することでBLE無線通信動作の理解を深めることができます。



サンプルプログラム
アプリケーションノート

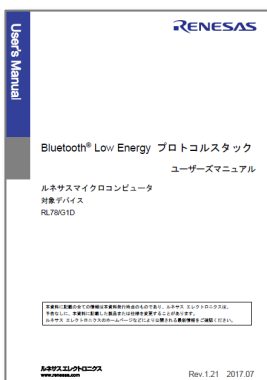
■ BLEプロトコルスタック サンプルプログラムアプリケーションノート ([ダウンロード](#))

- ✓ コンソール入出力サンプルプログラム（5章）
 - ✓ Modem構成の起動（5. 2節）
 - ✓ Embedded構成の起動（5. 3節）
 - ✓ GAP、SM、GATT、各プロファイル（5. 5節－5. 19節）
- ✓ 簡易サンプルプログラム（6章）
- ✓ Direct Test Modeサンプルプログラム（7. 7節）
- ✓ FWアップデートサンプルプログラム（7. 9節）

ユーザーズマニュアル

BLEプロトコルスタックの機能仕様

ユーザーズマニュアルは、**BLEプロトコルスタックのソフトウェア構成や機能の詳細**を示したものです。
BLEプロトコルスタックが提供する機能を理解することができます。



ユーザーズマニュアル

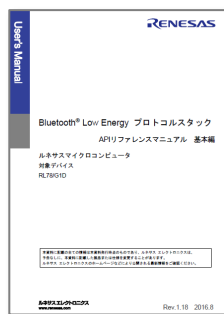
■ BLEプロトコルスタック ユーザーズマニュアル ([ダウンロード](#))

- ✓ BLEソフトウェアの構成（5章）
- ✓ BLEプロトコルスタックの提供機能（7章、11章、12章）
 - ✓ GAP機能（7.2節）
 - ✓ SM機能（7.3節）
 - ✓ GATT機能（7.4節）
 - ✓ プロファイル機能（7.5節－7.19節）
 - ✓ VS機能（7.20節）
 - ✓ FWアップデート機能（11章）
 - ✓ HCIパケットモニタ機能（12章）

APIリファレンスマニュアル

BLEプロトコルスタックのAPI仕様

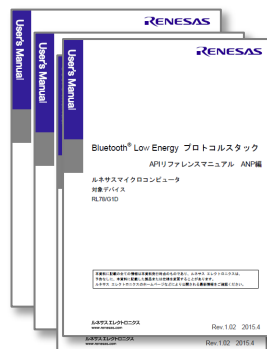
APIリファレンスマニュアルは、BLEプロトコルスタックのAPI仕様を示したものです。



APIリファレンスマニュアル: 基本編

■ BLEプロトコルスタック APIリファレンスマニュアル基本編 ([ダウンロード](#))

- ✓ GAP機能のAPI仕様 (5章)
- ✓ SM機能のAPI仕様 (6章)
- ✓ GATT機能のAPI仕様 (7章)
- ✓ VS機能のAPI仕様 (8章)
- ✓ RWKE機能のAPI仕様 (9章)



APIリファレンスマニュアル: プロファイル編

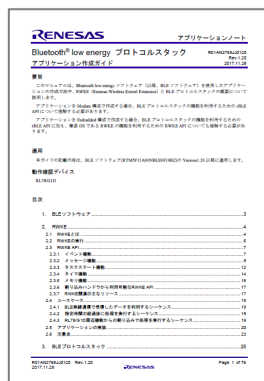
■ BLEプロトコルスタック APIリファレンスマニュアル プロファイル編

FMP, PXP, HTP, BLP, HOGP, ScPP, HRP, CSCP, CPP, GLP, TIP, RSCP, ANP, ..., など

アプリケーション作成ガイド

BLEアプリケーションの実装方法

アプリケーション作成ガイドは、**BLEプロトコルスタックのAPIの具体的な使用方法**を示したものです。
BLEアプリケーションの実装方法を理解することができます。



■ BLEプロトコルスタック アプリケーション作成ガイド ([ダウンロード](#))

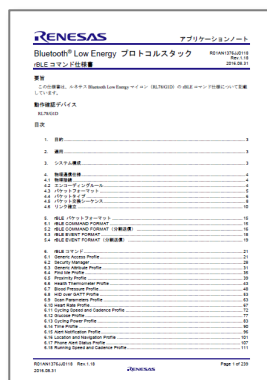
- ✓ RWKE APIの使用方法（2章）
- ✓ rBLE APIの使用方法（3章）
- ✓ カスタムプロファイルの実装方法（4章）
- ✓ アプリケーションの動作例（5章）
- ✓ 開発のヒント（6章）

アプリケーション作成ガイド

rBLEコマンド仕様書

Modem構成通信（RSCIP）の仕様

rBLEコマンド仕様書は、Modem構成時のシリアル通信プロトコルであるRSCIPの仕様を示したものです。Modem構成のシリアル通信を理解することができます。



rBLEコマンド仕様書

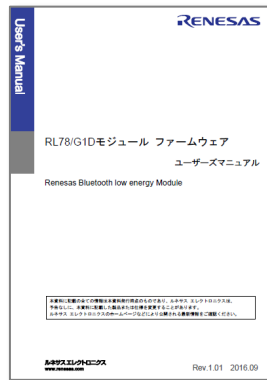
■ BLEプロトコルスタック rBLEコマンド仕様書 ([ダウンロード](#))

- ✓ RSCIP通信プロトコルの仕様（4章）
- ✓ rBLEパケットのフォーマット仕様（5章）
- ✓ rBLEコマンドのフォーマット詳細（6章）
- ✓ rBLEイベントのフォーマット詳細（7章）

RL78/G1Dモジュールファームウェア ユーザーズマニュアル

RL78/G1Dモジュールのファームウェア仕様

RL78/G1Dモジュールファームウェアユーザーズマニュアルは、RL78/G1Dモジュール（RY7011）に最適化された RL78/G1Dモジュールファームウェア の仕様や実装プロファイル、ファームウェアの書き換え方法を示したものです。



- RL78/G1Dモジュールファームウェア ユーザーズマニュアル ([ダウンロード](#))

- ✓ ファームウェア仕様（5章、6章）
- ✓ プロファイル（7章）
- ✓ ファームウェアの書き換え方法（8章）

RL78/G1Dモジュールファームウェア
ユーザーズマニュアル

その他、BLE製品開発に有用なドキュメント（1 / 2）

その他、BLE製品開発に有用な下記のようなドキュメントが公開されています。

RL78/G1Dのハードウェア仕様と評価

- RL78/G1D ユーザーズマニュアル ハードウェア編 ([ダウンロード](#))
- RL78/G1D 評価ボード (RTK0EN0001D01001BZ) ユーザーズマニュアル ([ダウンロード](#))
- RL78/G1D モジュール (RY7011) ユーザーズマニュアル ハードウェア編 ([ダウンロード](#))
- RL78/G1D 消費電流測定 アプリケーションノート ([ダウンロード](#))

RL78/G1Dボードの開発

- RL78/G1D RF部 基板設計ガイドライン ([ダウンロード](#))
- RL78/G1D 評価ボード搭載モジュール基板設計データ ([ダウンロード](#))
- RL78/G1D パターン・アンテナ設計ガイド ([ダウンロード](#))
- RL78/G1D リファレンス・アンテナ・デザイン ([ダウンロード](#))

その他、BLE製品開発に有用なドキュメント（2／2）

その他、BLE製品開発に有用な下記のようなドキュメントが公開されています。

電波法の認証

- RL78/G1D 電波法（日本）の技術適合証明の取得 アプリケーションノート ([ダウンロード](#))

Bluetooth SIGの認証

- BLE マイコン／モジュール Bluetooth 認証取得 アプリケーションノート ([ダウンロード](#))

困ったときは

KNOWLEDGEBASE(FAQ) : <https://ja-support.renesas.com/knowledgeBase/category/31070>

RL78/G1Dを導入する上でよくある質問がまとめられています。

かふえルネ : https://japan.renesasrulz.com/cafe_rene/

ルネサスユーザ同士の技術的な情報交換のためのフォーラムサイトです。

お問い合わせ : <https://www.renesas.com/contact/>

販売や技術などに関する問合せ窓口のご案内サイトです。

BLEアプリケーション開発に有用な サンプルとツールの紹介

サンプルプログラム

BLEプロトコルスタックを応用した下記のようなサンプルプログラムを公開しておりBLEアプリケーション開発の際のベースとしてご使用頂けます。

Embedded構成向け

- [Embedded構成サンプルプログラム](#)
- [仮想UARTアプリケーション](#)

Modem構成（RL78/G1Dモジュール向け）

- [RL78/G1Dモジュール制御ソフトウェア（モジュールファームウェア含む）](#)

Modem構成（ホストマイコン向け）

- [ホストサンプル（RL78/G14 Renesas Starter Kit版、RL78/G14 Fast Prototyping Board版、RL78/I1E版、RX113版）](#)
- [ホストサンプル シンプルAPI版（RL78/G14版、RX113版）](#)

その他

- [RL78/G1Dビーコンスタック](#)

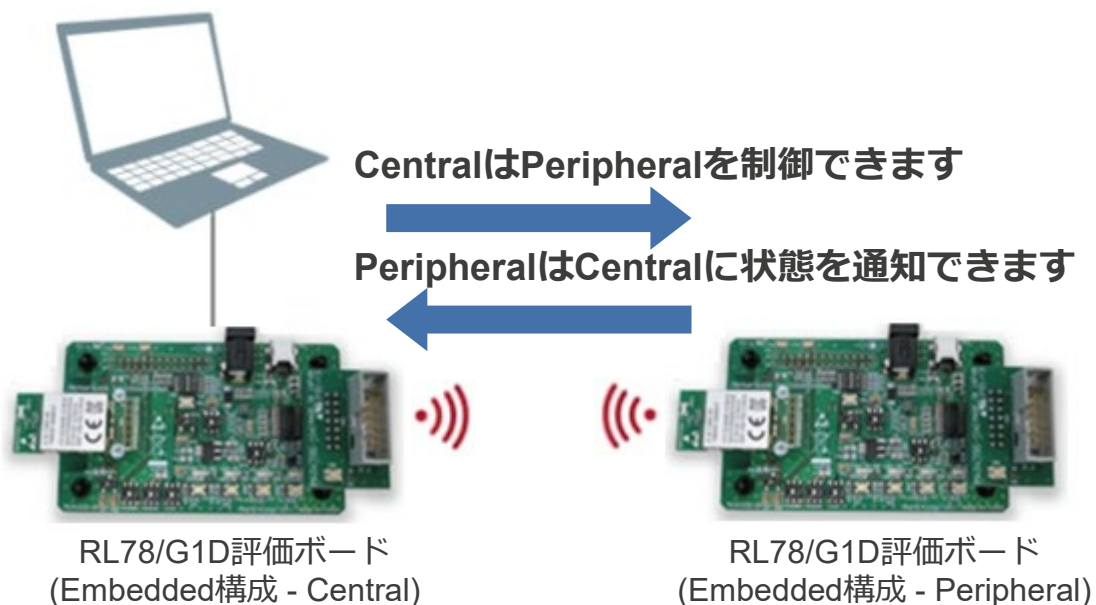
Embedded構成 汎用サンプルプログラム

Embedded構成BLEアプリケーション開発のベースとなるプログラム

■ Embedded構成サンプルプログラム ([ダウンロード](#))

Embedded構成のCentralデバイスとPeripheralデバイスの動作が実現できるサンプルプログラムです。
Central向けの複数台接続にも対応し、**様々なアプリケーション開発でベースのプログラム**としてご使用頂けます。
また、セキュリティ機能を容易に使用できるセキュリティライブラリを含みます。

ターミナルソフト



ソフトウェア構成



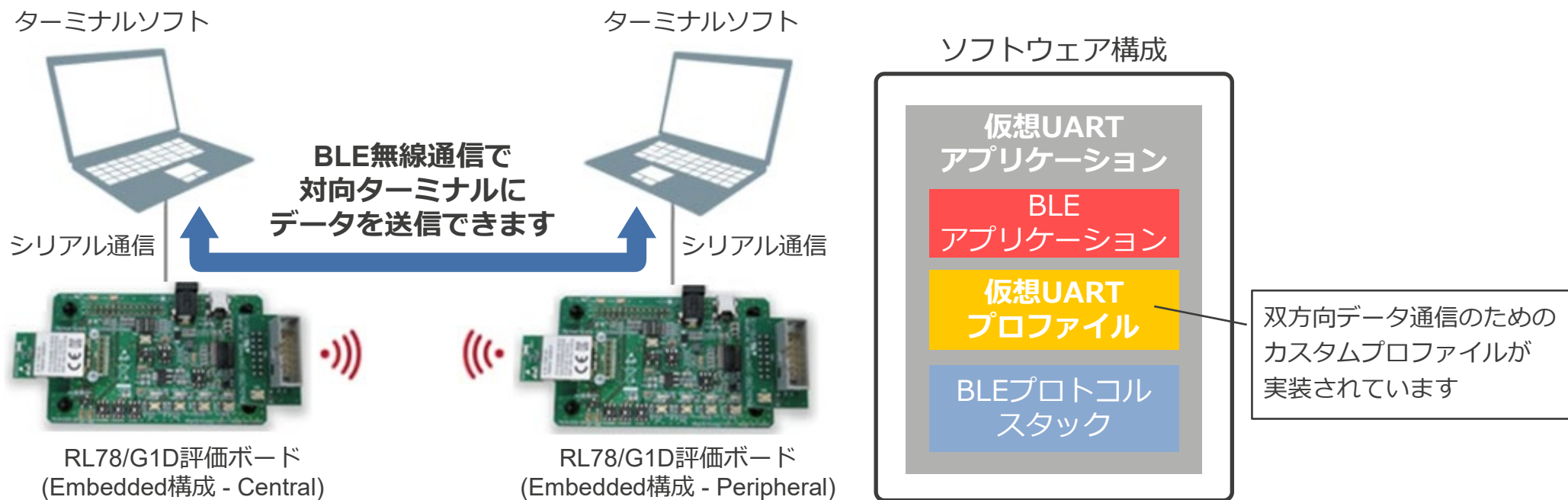
ソースコードが提供されるため
他のEmbedded構成やModem構成の
サンプルプログラムでも使用できます

Embedded構成 仮想UARTアプリケーション

UARTなどの有線通信をRL78/G1Dで無線化

- 仮想UARTアプリケーション ([ダウンロード](#))

ターミナルソフト経由で双方向に文字列を通信するサンプルプログラムです。
UARTなどの有線通信をRL78/G1Dで無線化するといった用途にご使用頂けます。



Modem構成 RL78/G1Dモジュール制御ソフトウェア

RL78/G1Dモジュールに最適化されたサンプルプログラム

- RL78/G1Dモジュール制御ソフトウェア（モジュールファームウェア含む）（[ダウンロード](#)）

RL78/G1Dモジュールに最適化されたModem構成のソフトウェアです。

本ソフトウェアには下記のカスタムプロファイルが実装されています。

- 汎用双方向通信プロファイル：RL78/G1Dの双方向でデータ通信するためのプロファイル
- ファームウェアアップロードプロファイル：RL78/G1Dのアプリケーションを更新するためのプロファイル

RL78/G1Dモジュール制御ソフトウェア

- Modem構成
- ホストマイコンから制御
- RL78/G1Dモジュールに最適化



RL78/G1Dモジュール [RY7011]

RL78/G1Dモジュール 制御ソフトウェア

モデムプログラム

BLEプロトコル
スタック

UART

ホストマイコン

BLE
アプリケーション

ホストプログラム

Modem構成 ホストマイコン向けサンプルプログラム

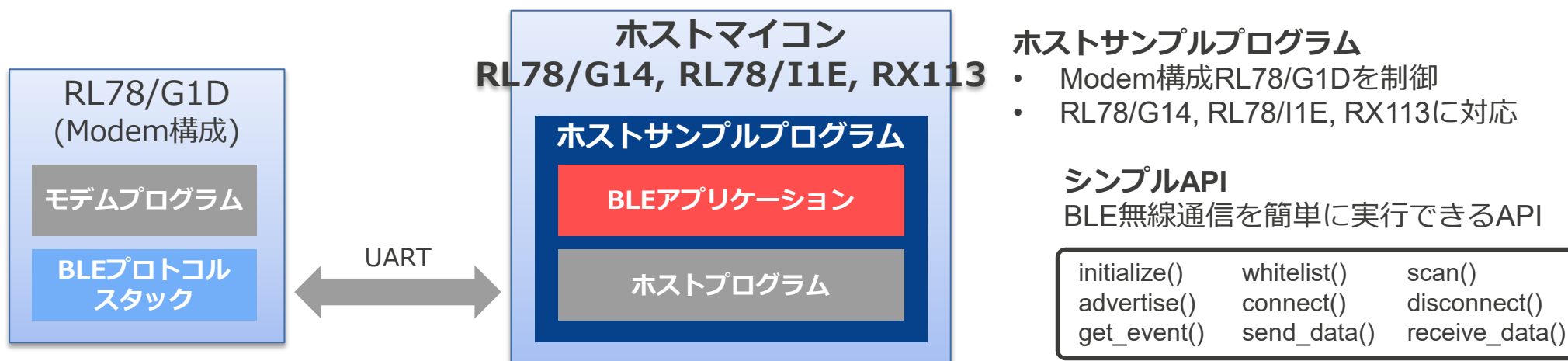
RL78/G14やRX113で動作するホストサンプルプログラム

- **ホストサンプル** ([RL78/G14 Renesas Starter Kit版](#)、[RL78/G14 Fast Prototyping Board版](#)、[RL78/I1E版](#)、[RX113版](#))

Modem構成のRL78/G1Dを制御するホストマイコン上で動作するサンプルプログラムです。

- **ホストサンプル シンプルAPI版** ([RL78/G14版](#)、[RX113版](#))

上記のホストサンプルに、簡単にBLE無線通信を実装できる**シンプルAPI**が追加されたサンプルプログラムです。
汎用双方向通信プロファイルとファームウェアアップロードプロファイルが実装されています。



RL78/G1Dビーコンスタック

BLEビーコンに最適化されたソフトウェアスタック

- RL78/G1D ビーコンスタック ([ドキュメント](#))

RL78/G1DをBLEビーコンとして使用するためのソフトウェアスタックです。

ビーコンスタックのライブラリは下記のサンプルプログラムに含まれています。

- 基本機能サンプルプログラム ([ダウンロード](#)、[ドキュメント](#))

- 接続確立とビーコンデータ更新サンプルプログラム ([ダウンロード](#)、[ドキュメント](#))



ツール

ソースコードの生成や、BLE無線通信を実行する下記のようなツールを公開しており、RL78/G1DのBLEアプリケーション開発や評価でご利用頂けます。

Modem構成の評価ツール

- [GUIツール](#) : Modem構成RL78/G1DのBLE無線通信を制御するツールです。
GUIでBLEプロトコルスタックを制御して**BLE無線通信の初期評価やシーケンス確認に使用**できます。

スマートフォン向けBLE無線通信ツール

- [GATTBrowser \(iOS版、Android版\)](#) : スマートフォンでGATTベースのデータ通信するためのアプリです。
サンプルプログラムの機能性評価やアプリケーションのデバッグ時に**対向デバイスとして使用**できます。

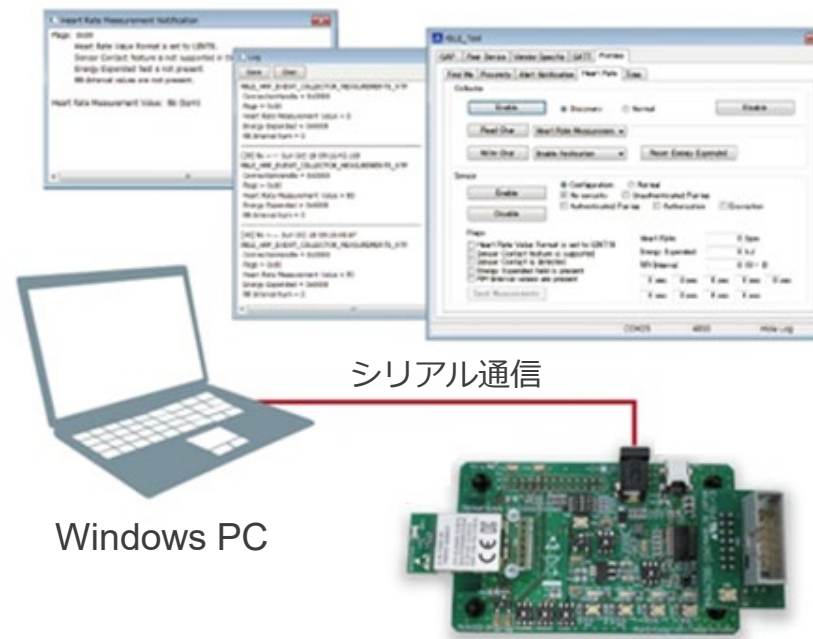
GUIツール

Modem構成の動作確認ツール

- GUIツール ([ダウンロード](#))

PC上で動作し、Modem構成RL78/G1DのBLE無線通信を制御するツールです。

GUIでBLEプロトコルスタックを制御して**BLE無線通信の初期評価やAPIシーケンスの確認**に使用できます。



GUIツール（PC上で動作）

Windows PC

RL78/G1D評価ボード
(Modem構成)

GATTBrowser

スマートフォンでBLE無線通信するためのアプリ

- GATTBrowser ([iOS版](#)、[Android版](#))

スマートフォンで動作し、BLEデバイスとGATTベースでデータ通信するためのツールです。

サンプルプログラムの評価やBLEアプリケーションのデバッグで**対向通信デバイスとして使用**できます。



RL78/G1D評価ボード
(Embedded構成およびModem構成)

GATTBrowser (Androidデバイス、iOSデバイス上で動作)

BIG IDEAS FOR EVERY SPACE

[Renesas.com](https://www.renesas.com)

- Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc., U.S.A.の登録商標です。ルネサスは、使用許諾を受けています。
- Bluetooth is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc., U.S.A. Renesas is licensed to use this trademark.