

スマホ/タブレットやパソコンで
いろいろ動かしたいなら

PS ハードウェア・セレクション

Bluetooth

無線で ワイヤレスI/O

トランジスタ技術編集部 編

超低消費電力の
最新規格 BLEも!

わずらわしいUSB
なんか使わない!!

電波法OKのモジュールが
続々誕生!!



CD-ROM付

CQ出版社

見本

切れにくく邪魔もしない!安全・安心・安定の3拍子そろった

Bluetooth 五つのミッション

紅林 薫

Bluetoothは、1994年にヨーロッパで産声をあげました。日本ではさまざまな経緯から、あまり光が当たりませんでしたが、実績十分の無線規格です。Bluetooth機器は、全世界で相互接続が保証されています。認証機関BQTF (Bluetooth Qualification Test Facility)が、図1-1に示すような申請された個々の機器について、プロフィールごとに接続試験を行い、認証マークである図1-2のBluetoothロゴを与えています。

Bluetoothは、パソコンのUSBケーブルをなくすことを目的として生まれた、数mまでの近距離で無線通信をする規格です。一般に、パソコンとマウスやキーボード、ヘッドセットなどをつなぐときはUSBを利用することが多くなりますが、パソコンの周辺はたいいてい図1-3のようにケーブルでいっぱいになります。こんなときは、パソコンにBluetoothアダプタを1個取り付けて、マウスやキーボードをBluetooth対応のものに取り換えれば、完全なケーブルレスのパソコン環境を実現できます。

パソコン側のBluetoothアダプタをマスタ、マウスやキーボードをスレーブと呼び、マスタは同時に最大7台のスレーブと通信ができます。

本章では、このBluetoothのミッションを見ていきます。

1-1 ミッション① 数m先を無線で確実に制御する

● 雑音の多い場所でも安心して使える

従来、データを収集するときは、パソコンを利用するのが一般的でしたが、最近はスマホやタブレットを使いたいという要望が増えています。しかし、これらにはI/O端子が用意されていません。



図1-2
Bluetoothの
ロゴ・マーク

Bluetooth®



(a) スマートフォン

(b) ヘッドセット

(c) バーコード読み取り器

(d) 血圧計

図1-1 Bluetooth 機器のいろいろ…かなりのポータブル機器に付いてきた

コイン電池で長時間動作！サッと起きてパッと寝る

Bluetooth 4.0のLEモード

田中 邦夫/道蔦 聡美

Bluetooth 4.0規格で用意されたLE (Low Energy) モードは、これまでの規格1.0～3.0 (以下、クラシック規格)とは出所も違うまったくの新しい機能です。コイン電池1個で長時間動作できるよう、超低消費電力化したものです(表2-1)。

表2-2に示すのはBluetooth規格の遍歴です。バージョンが上がるたびに、通信速度の向上や低消費電力化が計られています。4.0とクラシック規格は互換性がありません。

通信速度は、Bluetooth 3.0 + HS (High Speed) で最大24Mbpsに向上しています。消費電力を抑えるSniff SubratingはBluetooth 2.1で追加されましたが、Bluetoothは1回の通信に時間がかかるので、ZigBeeなど他の無線通信より消費電力が多め

でした。そこで、根本的に通信プロトコルを変えて、もっと低消費電力化を図るために生まれたのが、Bluetooth 4.0規格のLEモードです。

2-1 LEモードの特徴

● 使いどころ

クラシック規格は、ヘッドセットやヘッドホンなど常に通信している割合が高く、通信に若干の遅延があっても問題にならない使い方が前提でした。一方、LEモードは通信頻度が低く、スリープが長いセンサ類(温度や脈拍)と組み合わせると力を発揮します。

通信速度は、従来のBluetooth + EDR (3Mbps)

表2-1 従来のBluetooth規格(クラシック規格)とは互換性なし！Bluetooth 4.0

項目	クラシック規格	Bluetooth 4.0 (LEモード)	項目	クラシック規格	Bluetooth 4.0 (LEモード)
無線周波数チャンネル数	79	40	スキャン周期	11.25ms/1.25s	1.25ms/1.25s
電波形式	GFSK (1M～3Mbps)	GFSK (1Mbps)	接続までの時間	11.25ms/1.25s	1.25ms/1.25s
出力	+20dBm (クラス1), + 4dBm (クラス2)	+10dBm	スキャン+接続までの時間	22.5ms/1.25s	1.25ms/1.25s
パケット・フォーマット	6	2	LMP PDU's	75	14
Ackパケット送信時間	126μs	80μs	接続時間	20ms	2.5ms
8バイト(オクテット)送信時間	214μs	144μs	LMPネゴシエーション時間	5m～50ms	ネゴシエーションなし
最大パケット・サイズ	1021バイト(オクテット)	27バイト(オクテット)	L2CAP接続時間	5m～50ms	固定チャンネルの場合、ネゴシエーションなし
最大スループット	2178.1kbps	305kbps	アプリケーション・データ転送時間	30m～120ms	3ms
1Mバイト転送時間	2.9～18.2s	13.9s	ホッピング時間	1.25ms	瞬時
CRCビット長	16	24	L2CAPオーバーヘッド	4～12バイト(オクテット)	4バイト(オクテット)
暗号化	Safer+	AES-128	L2CAPコマンド	17	1
認証方法	1回	パケットごと			
Ack形式	即時	ウィンドウ内			
トポロジ	フレキシブル	スター形			

1個から買えるモジュールでパソコンやタブレットと通信

30ドル・キットではじめる Bluetooth 無線

後閑 哲也

第2部では、タブレット端末(例えばNexus 7)とBluetooth通信を行える機器の作り方について解説します(図3-1)。手始めに本章では、タブレットとパソコンとのBluetooth無線通信の実験を行います。実験に使用するのは、BluetoothモジュールRN-42(マイクロチップ・テクノロジー、旧Roving Network社)を搭載した次の二つの開発

キットです。

- RN-42-SM : RS-232-C対応, マイコンとの接続が容易 [写真3-1 (a)]
- RN-42-EK : USB対応, パソコンとの接続が容易 [写真3-1 (b)]

いずれもTELEC(テレコムエンジニアリングセンター)による認証(技術基準適合証明および工事

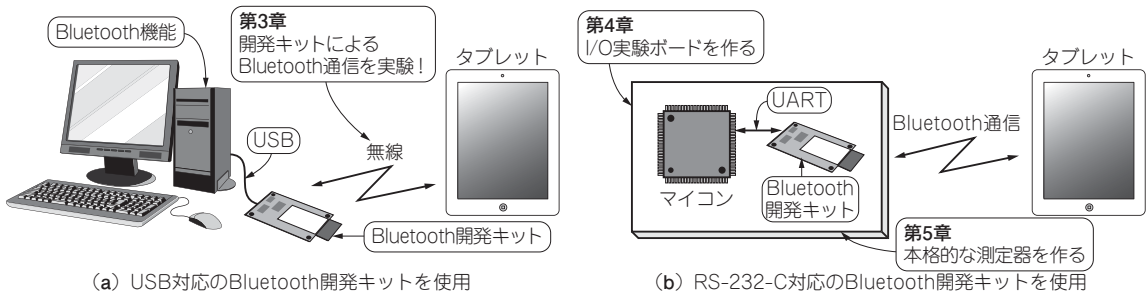
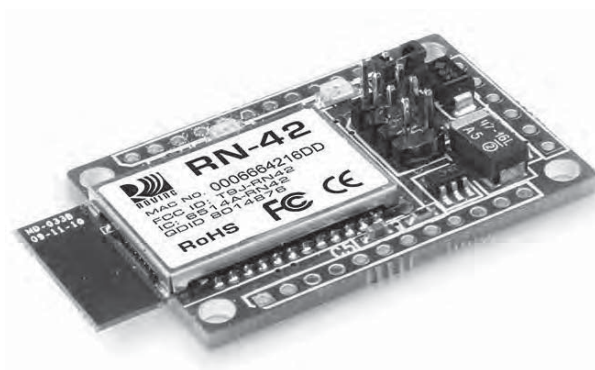


図3-1 タブレットとBluetooth通信できる機器を作る
第3章では、タブレットとパソコンとのBluetooth無線通信の実験を行う



(a) RS-232-C対応のRN-42-SM



(b) USB対応のRN-42-EK

写真3-1 実験に使うBluetoothモジュール

例

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

シリアル制御だけ！回路もソフトウェアも超シンプル！

タブレットとつながる！ カンタンI/O実験ボード

使用するプログラム：04_Sample Program

後閑 哲也

Bluetooth スタータ・キット RN-42-SM (RS-232-C インターフェース) を搭載したカンタンI/O実験ボード(写真4-1)を作りました。これを使って、タブレット(Nexus 7, Android 4.2.1)が親機(ホスト)、I/O実験ボードが子機(スレーブ)という関係で、ワイヤレス制御の実験を行います。

さらに、パソコンにスタータ・キット RN-42-EK (USB インターフェース) を接続して、同様の実験をします。

4-1 全部入りだから超カンタン！ マイコンのI/OをL/Hできる実験ボード

● ハードウェア

図4-1に、製作したI/O実験ボードのブロック

図を示します。表4-1に機能をまとめました。

制御用のワンチップ・マイコン (PIC16F1827) と Bluetooth スタータ・キット RN-42-SM は、USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) で接続します。周辺部品は、LEDが2個、スイッチが2個、温度センサが1個です。

写真4-1の黒い四角い部品は3.7Vのリチウム・イオン蓄電池です。通常のアルカリ電池でも3本以上直列接続すれば問題なく動作します。これらの電池の出力電圧を3端子レギュレータで降圧して3.3Vを生成しています。

おまけで、RN-42-SMの汎用入出力ピンに2個のLEDを接続しました。

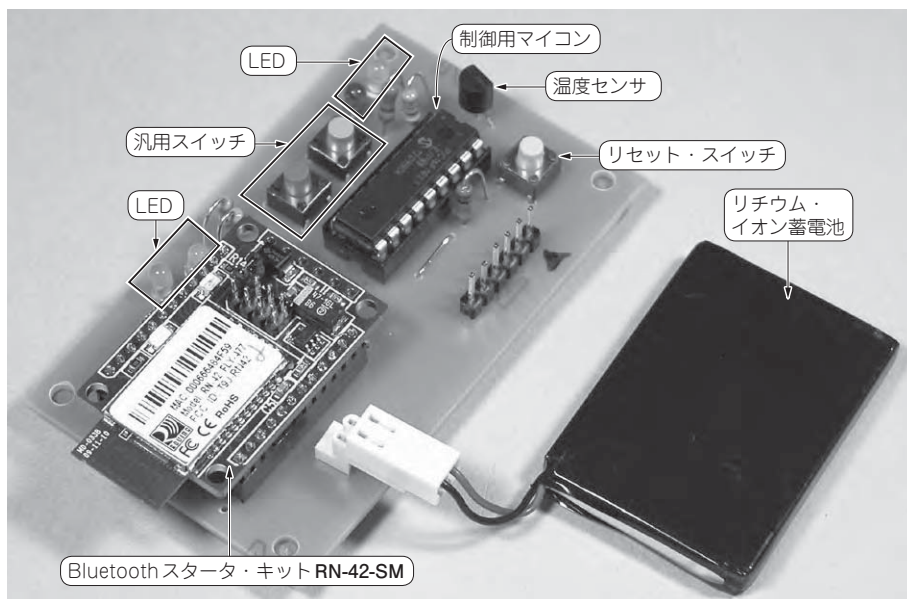


写真4-1 製作したカンタンI/O実験ボード

LED, スイッチ, 温度センサを搭載する

サッと出してピッ！大画面ディスプレイでまるで高級測定器

回路や部品の性能チェックに！ ポータブル周波数特性アナライザ

使用するプログラム：05_Sample Program

後閑 哲也

信号発生機能とレベル測定機能、Bluetoothモジュールによる無線機能を持つアナログ信号処理基板(写真5-1)を作りました。電池で動いて、持ち運び可能な周波数特性アナライザです。PICマイコンで制御するアナライザ本体と表示装置として利用するタブレット(Nexus 7)で構成されています。

タブレット端末を持ち歩いている方ならば、この基板を使って、いつでもどこでも回路や電子部品の周波数特性をチェックできます(図5-1)。何百万円もする巨大なネットワーク・アナライザ(フィルタなどの周波数特性を測れる)を使うほどではない測定用途はたくさんあります。

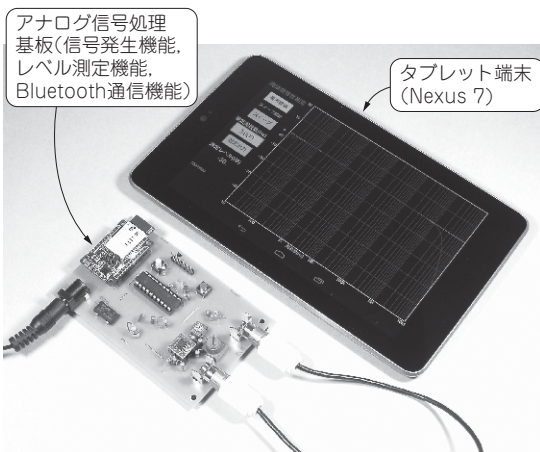


写真5-1 製作したポータブル周波数特性アナライザ

信号発生機能とレベル測定機能、Bluetoothモジュールによる無線機能を持つアナログ信号処理基板を製作した。表示装置としてタブレット端末を利用する

5-1 ・・・こんな装置

● 使い方

タブレット側で[端末接続]ボタンをタップします。「Analyzer」という端末を接続してから、[スイープ]ボタンをタップすると計測がスタートします。図5-2と図5-3に測定例を示します。コイルとコンデンサで作ったLCローパス・フィルタ(図5-2)とLCハイパス・フィルタ(図5-3)の周波数特性です。

アナライザ側はPICマイコンのファームウェアを、タブレット側はアプリケーション・プログラムを使います。

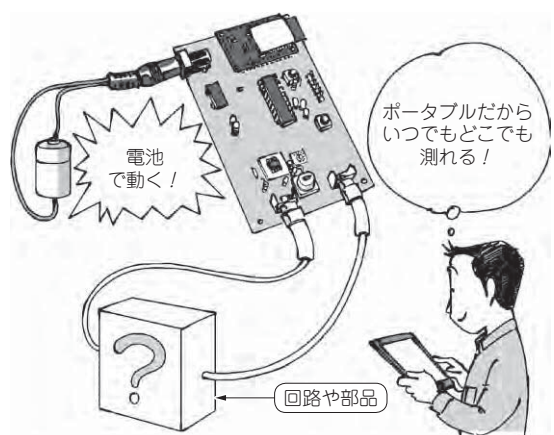


図5-1 本器を使えばいつでもどこでも手軽に回路や電子部品の周波数特性を測れる

PICマイコンでセンサのデータを集めてBluetoothで送信!

Myパソコンでデータ収集! ワイヤレス百葉箱

使用するプログラム: 06_Sample Program

後閑 哲也

本章では、温度、湿度、気圧、明るさの四つの環境データを測定し、Bluetooth無線でパソコンへ無線で送信して表示するシステムを製作します。表示データには、アナログ計測とデジタル情報も追加されています。パソコンのアプリケーションはVisual Basicで製作します。

6-1 ・・・ こんな装置

● 本器の構成

写真6-1に本システムの外観を、図6-1に全体の

構成を示します。PICマイコンを搭載したボードでセンサによる測定を行い、測定データをPICマイコンからBluetoothを使って無線でパソコンに送信して結果を表示します。

本システムには、写真6-2に示す二つのBluetoothモジュールを使用しています。RN-42-SM(マイクロチップ・テクノロジー)はワイヤレス・センシング基板に搭載し、PICマイコンとTTLレベルで直結します。また、RN-42-EK(マイクロチップ・テクノロジー)はパソコンとUSBケーブルで接続しています。

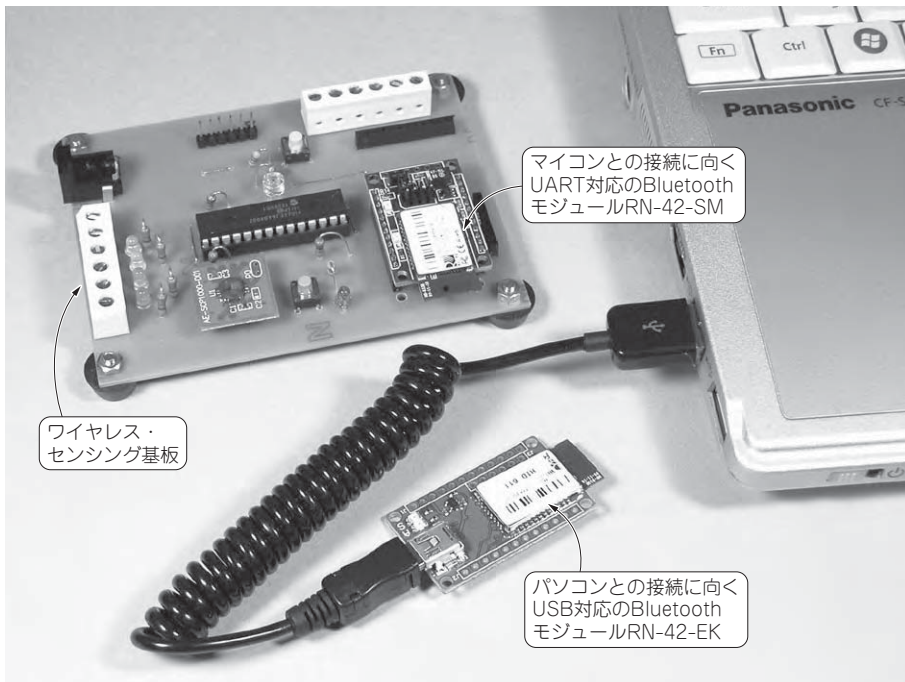



写真6-1 Bluetoothワイヤレス百葉箱の接続

4チャンネル入力, 15サンプル/秒, 分解能62.5 μ V

タブレットで大画面表示! ポータブル・データ・ロガー

 使用するプログラム: 07_Sample Program

後閑 哲也

18ビット分解能の $\Delta\Sigma$ 型 A-Dコンバータ MCP3424で測定したデータを, PICマイコンのメモリにログ・データとして保存し, Bluetoothによる無線通信でタブレットに送って表示する装置を作ります. タブレットに接続されたときにデータを一括して送信し, タブレットでグラフ化します(図7-1).

図7-1のCH-1にはオフセット付きの正弦波を入力し, CH-2にはオフセット付きの矩形波を入力しています. サンプリングは1秒としているので, いずれも1Hz以下の周波数としています.

7-1 ・・・ こんな装置

写真7-1に, 本器の外観を示します. Nexus 7タブレットと, PICマイコンで制御するワイヤレス・データ収集基板とで構成されています. 四角の黒い部品は, リチウム・イオン蓄電池です. バッテリには, アルカリ電池3本または4本を使

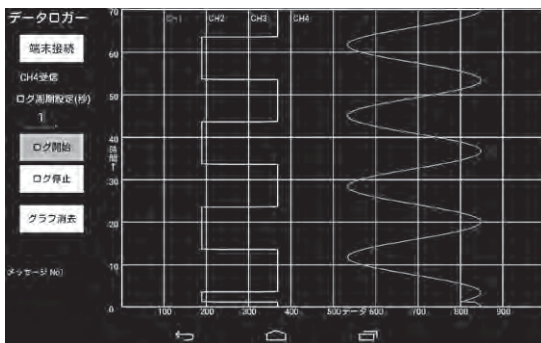


図7-1 ポータブル・データ・ロガーで波形を観測してタブレットで表示させた(100データ/div, 10秒/div)

用しても大丈夫です.

● 全体の構成

図7-2に, 本器の構成を示します.

ワイヤレス・データ収集基板のBluetoothモジュールには, RN-42-SM(第6章参照)を使っています. TTLレベルのUARTに直結できるので, PICマイコンからも簡単に制御ができます.

ワイヤレス・データ収集基板の制御は, PICマイコンで行います. マイコンは, UARTを内蔵した28ピンのものであればどれでも使えます. 今回は収集したデータを保存するため, RAMの多い16ビットのPIC24FJ64GA002を使いました.

● 機能と仕様

本器の機能を表7-1に示します. ログ・データを700回分グラフに表示しますが, サンプリング間隔は自由に設定できるようにします.

ワイヤレス・データ収集基板の仕様は, 表7-2

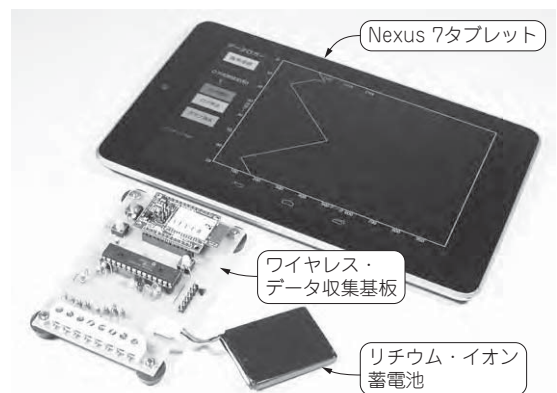


写真7-1 ポータブル・データ・ロガーの外観

Bluetooth, SDカード, ラインの3入力! スタンドアロンでも使える

タブレットで再生&操作! MP3オーディオ・ステーション

◎ 使用するプログラム: 08_Sample Program

後閑 哲也

Bluetoothモジュールを使って、タブレット「Nexus 7」から音楽再生と音源切り替えの制御をする「MP3オーディオ・ステーション」を製作しました(図8-1)。タブレットに保存した音源をBluetooth経由で再生するだけでなく、SDメモリーカード(以下、SDカード)に保存したMP3の再生、パソコンやテレビなど汎用外部入力からの再生もできます。音源の切り替えや音量設定などの制御は、タブレットからBluetoothで操作します。

Bluetoothモジュール「RN-52」(マイクロチップ・テクノロジー)は、オーディオ用のプロファイルに対応しており、オーディオ・データと制御用データを同時に送受信できます。さらに、コーデックを内蔵しており音楽データをスピー

カに出力できます。

8-1 MP3オーディオ・ステーション のシステム構成

製作したMP3オーディオ・ステーションの外観を写真8-1に示します。図8-2に示すように、タブレット(Nexus 7)、メイン・ボード、スピーカから構成されます。メイン・ボードには、MP3デコーダ・ボードとBluetoothモジュール RN-52の評価ボード RN-52-EKを利用しました。

MP3オーディオ・ステーションは、

- 音源1: タブレットに保存した音楽をBluetooth経由で再生する
- 音源2: SDカードに保存したMP3データを再生する

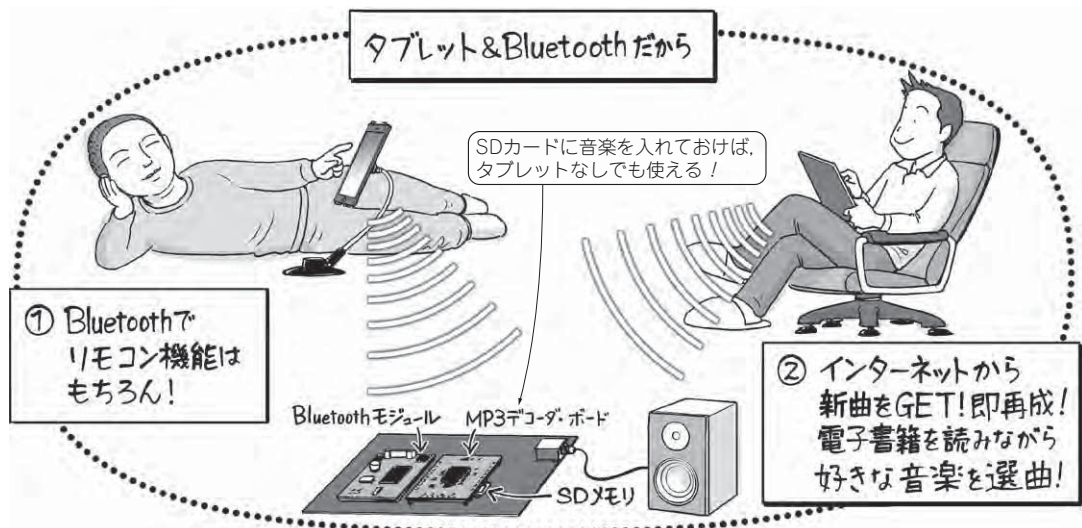


図8-1 タブレット(Nexus 7)からBluetoothで音楽データをワイヤレス転送&再生

充電機能付きだから持ち運びもできる

Myスマホとつなぐ! Bluetoothコードレスホン実験ボード

使用するプログラム：09_Sample Program

大野 俊治



図9-1 製作した「BlueHANDボード」でできること

本章では、音声対応のBluetoothモジュールを実装した「BlueHAND実験ボード」を製作します。そして、ノート・パソコンやタブレット、スマートホンなどのBluetooth対応機器から本実験ボードを制御して、スピーカから音楽を流したり、音楽情報を取得したり、通話したりします。

9-1 ハードウェア

● その名も「BlueHAND 実験ボード」

Bluetoothの評価実験のために、**写真9-1**に示すBlueHAND実験ボードを製作しました。構成を**図9-2**に示します。

▶機能

- USB-シリアル変換器FT230Xを介して、Bluetoothモジュール変換基板WCA-009をUSBでパソコンと接続して、Bluetoothモ

ジュールWT32の設定や動作を対話的に確認ができる。また、USB給電も可能

- WT32のアナログ入出力用にマイク・アンプとヘッドホン・アンプを用意する。ヘッドホンや電話機の受話器を接続するだけで、音楽再生やハンズフリーでの通話ができる
- リチウム・イオン/リチウム・ポリマ電池を接続するための端子を持ち、電池での動作確認ができる。また、WT32のチャージャ機能を利用して、USB経由で電池を充電できる
- 制御マイコンとしてARM Cortex-M0コア搭載のLPC1114FN28を実装できる。シリアル選択ジャンパの設定(**写真9-2**)により、WT32をLPC1114からも制御できる
- JTAGあるいはUSB経由のシリアルでマイコンへ書き込む
- WT32のGPIO端子とアナログ入力端子、マイ

低消費電力&短時間接続！

BLE4.0対応！ I/Oアダプタ基板&ファームウェア

◎ 使用するプログラム：10_Sample Program

辻見 裕史

写真10-1は、Bluetooth 4.0 LE (Low Energy) モードを備えたUSBドングルとPICマイコンを使って製作したI/Oアダプタです。パソコンとの間で低消費電力無線通信が可能で、電池で動きます。

今回、LEモード用のファームウェア(簡易「プロトコル/プロファイル」)を開発しました。図10-1に示すように、パソコンから文字列を送ると、最初の1文字だけが変化した文字列がI/Oアダプタから返ってきます。

10-1 こんなふうに使える

● 応用1…RS-232-Cケーブルが不要になる

図10-2(a)に示すように、PICマイコンの入出力(I/O)端子で制御できるもの、例えば、LEDや温度センサ、モータ、USBメモリ、音声処理、RS-232-C機器、GP-IB機器など、これらがすべてパソコンから無線で制御できるようになります。

● 応用2…自作の装置にワイヤレス入力機能をアドオンできる

図10-2(b)のように、スイッチなどを付加してPICマイコン用のファームウェアに少し手を加えれば、マウスやキーボード、ジョイスティックなどのBluetoothデバイスを自作できます。

● 応用3…スマホと一緒に持ち歩けばいつでもどこでもI/O

図10-2(c)のように、PIC用のファームウェアを改造すると、I/OアダプタはiPadやiPhone、アンドロイド携帯などと低消費電力で無線接続できます。

10-2 回路とキーパーツ

図10-3に、I/Oアダプタの回路図を示します。コネクタ類を含めても10個ちょっとの部品で作ることができます。

● 低消費電力規格 Bluetooth 4.0 対応！ LEモード搭載のUSBドングル

市販のドングルは、大別して次の2種類あります。

- (1) 従来のBluetooth 2.1/3.0 + EDRのドングル [写真10-2(a), (b)] (1,000円程度)
- (2) Bluetooth 4.0のドングル [写真10-2(c), (d)] (1,500円程度)

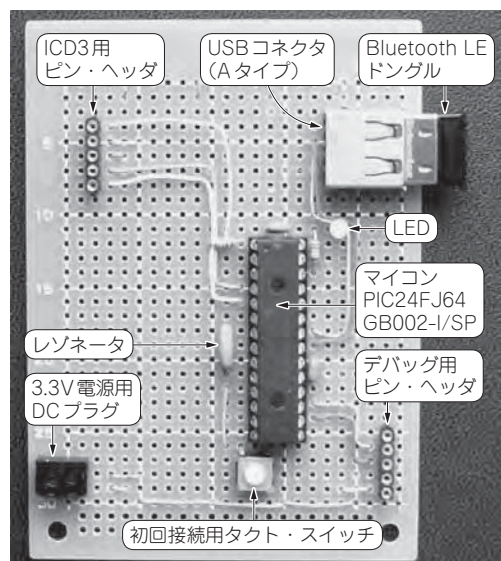



写真10-1 PICマイコンとBluetooth LEドングルで作った汎用I/Oアダプタ

PICでオリジナル・アダプタ作りに挑戦!

Bluetoothドングルを制御する マイコン・プログラムの全容

 使用するプログラム：10_Sample Program

辻見 裕史

11-1 自作のBluetooth機器を作るには

● GATT プロファイルで必要なサービスをまとめる

LEモードでBluetooth通信をするときは、どのような用途に使うのかを決め、それに合うプロファイルを選びます。

USB-HIDデバイス(例えば第10章作ったI/Oアダプタ)とBluetooth 4.0 LEモードで無線通信するときは、HOGP(HID Over GATT Profile)を選択します。次にそのプロファイルが必要としている各種サービスが何であるかを調べます。HOGPのサービスは次の四つです。

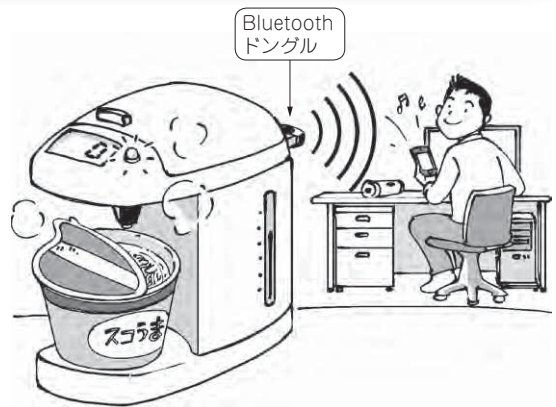
- (1) デバイス名などを提供する「Generic Access サービス」
- (2) 送受信データの形式(バイト数など)を提供する「HIDサービス」
- (3) 電池残量情報を提供する「電池残量サービス」
- (4) PnP(プラグアンドプレイ)情報を提供する「デバイス情報サービス」

これらのサービスをまとめてデータベース化する方法を規定しているのがGATT(General ATtribute)プロファイルです。

どのような用途にせよ(HOGP以外のプロファイルでも)、各種サービスはすべてGATTプロファイルに沿ってデータベース化する必要があります。LEモード用のファームウェアを開発するときは、GATTプロファイルの理解が不可欠です。

● オリジナルのプロファイルを作る

Bluetooth 4.0 LEモードで、HOGP(プロファイ



ル)に準拠した通信をするだけなら、第4部 第10章の説明で十分です。しかし、Bluetoothによる無線の入力装置を自作する場合は、用途に応じて必要なサービス群をGATTデータベースとして一つにまとめる必要があります。

例えば、キーボードとマウスはどちらも入力機器ですが、前者は主にキー・コードを、後者は主に移動距離の情報をパソコンに送るという、互いに異なるサービスを提供しています。したがって、キーボードとマウスのそれぞれで、互いに異なるGATTデータベースを構築しなければなりません。

また、iPadやAndroid携帯にI/Oアダプタをつなぐ場合、手順はそれぞれ異なります(Windowsの場合とも異なる)。それぞれに対応する手順を採用する必要があります。例えば、あるBluetoothキーボードがiPadにはつながっても、Android携帯にはつながらないということがありますが、これはプロファイルが同じでも手順が異なる場合があるからです。

専用ケーブルより安価！到達距離60mで混信にも強い

Bluetooth ドングルとPICで作るワイヤレス GPIB

使用するプログラム：12_Sample Program

辻見 裕史

● 取り回しにくい GPIB 通信のケーブルをなくしたい

計測器とパソコンの間をつなぐ GPIB (General Purpose Interface Bus) 規格はかなり古いものですが、いまでも数多くの応用機器において現役です。ただし有線ですから、遠くに GPIB 機器があると、あの太いケーブルを長く引き回す必要があります。

これを避けるため無線 Bluetooth ドングルと PIC マイコンを用いて、GPIB 機器とパソコンとの間を無線接続するための装置(写真 12-1、以降 B-GPIB)を作成しました。

● システム構成…混信に強い Bluetooth を使う

システム全体としては図 12-1 のような構成になります。GPIB 機器 1 台につき B-GPIB 1 台が必要です。1 台のパソコンで 7 台までの GPIB 機器を制御できます。7 台までというのは Bluetooth の制約です。ZigBee でなく Bluetooth を選択した理由は、混信に強いからです。さらに Bluetooth ドングルには、

- ・ ZigBee モジュールに比べ小さくて違和感がない
- ・ 近くの電気店ですぐ手に入る
- ・ 安価(千円程度)である

という利点があります。

● 製作した装置の特徴

▶ GPIB ケーブル 1 本より安価

Bluetooth モジュールは、プロフィールを内蔵したタイプが一般的だと思います。一方、最近には写真 12-2 に示すようなプロフィールを内蔵していない安価な Bluetooth ドングルを PIC で制御する試みが Harada 氏 (Android OS) と筆者 (Windows

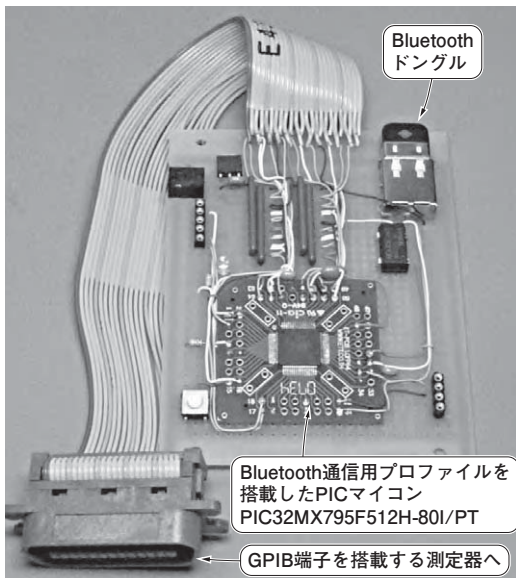


写真 12-1 製作したワイヤレス GPIB [B-GPIB]

GPIB 機器とパソコンを無線で接続できる

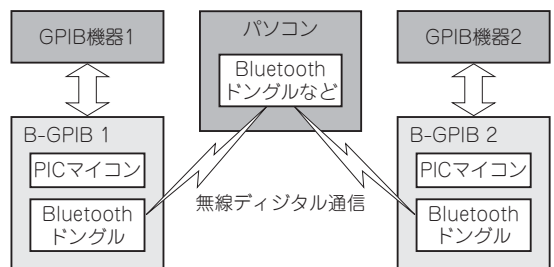


図 12-1 機器同士の GPIB 通信を無線化するためのシステム構成

GPIB 機器 1 台につき B-GPIB 1 台が必要

例

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

このPDFは、CQ出版社発売の「Bluetooth無線でワイヤレスI/O」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/41/41341.htm>

購入方法 <http://www.cqpub.co.jp/order.htm>



Bluetooth無線でワイヤレスI/O



付属 CD-ROM 内容

製作記事のプログラムが収録されています

● 1 日体験コース オールインワン・モジュールで超高速開発

- ・タブレットとつながる！カンタン I/O 実験ボード
- ・回路や部品の性能チェックに！ポータブル周波数特性アナライザ

● Bluetooth モジュール活用事例

- ・Myパソコンでデータ収集！ワイヤレス百葉箱
- ・タブレットで大画面表示！ポータブル・データ・ロガー
- ・タブレットで再生&操作！MP3 オーディオ・ステーション
- ・Myスマホとつなく！Bluetooth コードレスホン 実験ボード

● Bluetooth ドングル活用事例

- ・BLT4.0 対応！I/O アダプタ基板&ファームウェア
- ・Bluetooth ドングルを制御するマイコン・プログラムの全容
- ・Bluetooth ドングルと PIC で作るワイヤレス GPIB



見本