

USB/イーサ/シリアル/HDMI...
全部入り定番ボードでハード制御にトライ!

お手軽ARMコンピュータ ラズベリーパイでI/O

見本

コマンド・ライン/C言語/
Ruby/ブラウザで動かせる!

GPIO/I²C/UART/SPI

Linuxが動く!

ビデオ出力

オーディオ出力

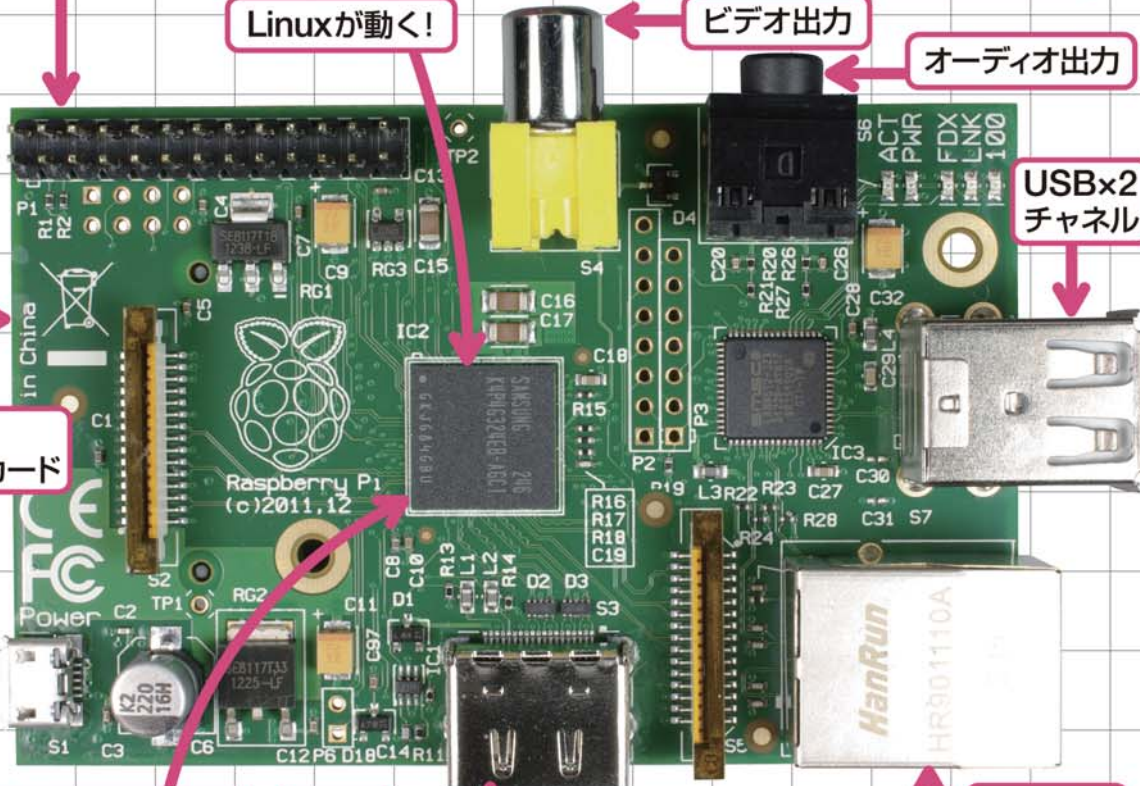
USB×2
チャンネル

裏に
SDカード

高性能ARMプロセッサ

HDMI

Ethernet



LinuxやAndroidが動く高性能ボードが30ドルそこそこ！

手のひらサイズ！ 定番 ARM コンピュータ

羽鳥 元康

定番1

ラズベリー・パイ

Raspberry Pi…フル装備の超お手軽ボード

ラズベリー・パイ (Raspberry Pi) の魅力は、何と言っても安さです。HDMI経由での画面出力やEthernet接続が可能なのに、\$35 (Type B, 2013年1月現在) で入手できます。これで、LinuxやAndroid4.0 (Ice Cream Sandwich) も動作するとのことで、非常に驚きです。SDメモリーカードだけ準備すれば、Linux/Androidを動作させることが可能です。消費電流は700mAと比較的抑えられています。

メインCPUのBCM2835 (Broadcom社) は、700MHzで動作し、H.264画像圧縮伸張用プロセッサや3Dグラフィックス・エンジンも搭載しています。H.264用プロセッサは、ストリーミング動画の再生が得意です。

難点は、CPUのコアが若干古く、かつ、BCM2835の情報が少ないことです。コアは、現在主流のARM Cortex-A

シリーズより前にリリースされているARM11を使っており、コアの部分のみをDhrystoneベンチマークで比較すると、後述するARMコンピュータBeagleBoneが搭載しているCortex-A8 (720MHz動作) の6割の性能しかありません。そのため、ほかの処理をしながら処理の重い方式のオーディオ・エンコードをすることが難しくなってきます。

最低限のペリフェラルを制御する資料はありますが、タイミングが記載されているBCM2835データシートが (Broadcom社から) 公開されていません。そのため、拡張も少し難しいかもしれません。しかし、まだ登場して年月は経っていないのに、YouTubeへはかなりの動画も投稿されており、ユーザ同士のコミュニティ活動に非常に期待しています。

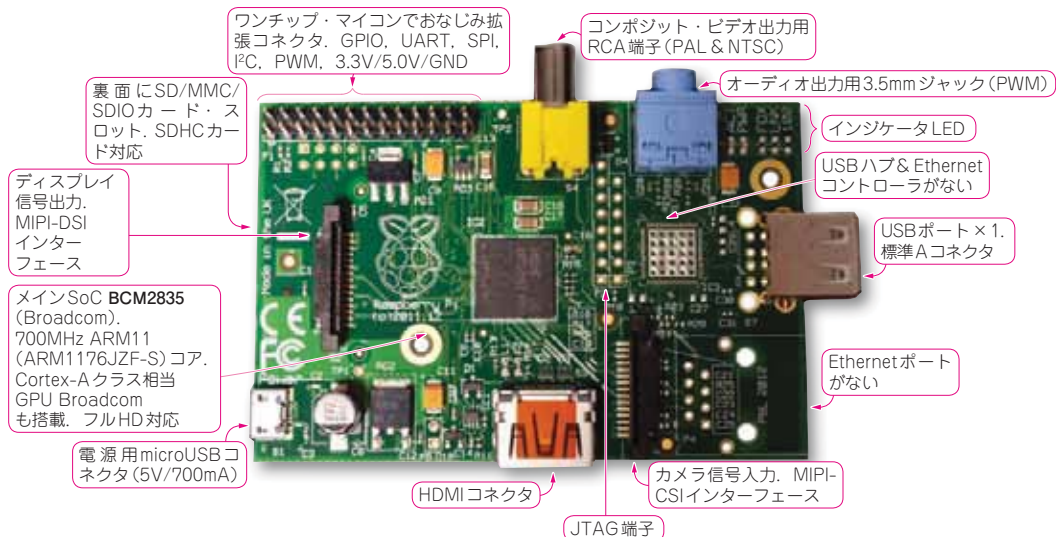


写真2 2013年2月に発売された定番ARMコンピュータの新バージョン「Raspberry Pi Type A」(開発: Raspberry Pi財団, 入手元: RSコンポーネンツ)

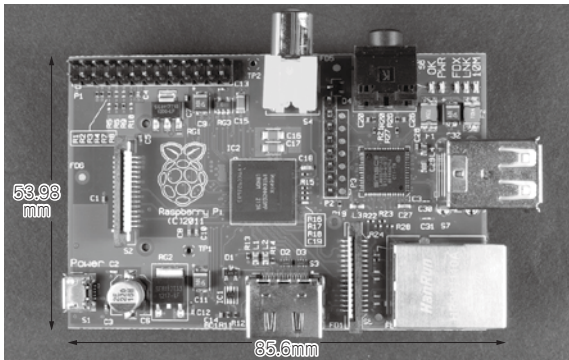
Model A はイーサなし, USBコネクタが1個だけ

第1章

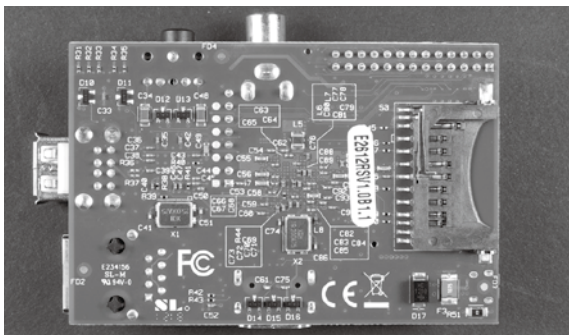
高性能CPU&I/O用コネクタ&Linux…
ほとんどパソコン並みのフル装備！

ARMコンピュータ “ラズベリー・パイ”のしくみ

桑野 雅彦



(a) 表面



(b) 裏面

写真1 高性能ARMにトライするには3,000円台とお手ごろ！周辺インターフェースがフル装備のARMマイコン・ボード Raspberry Pi

Raspberry Pi (ラズベリー・パイ) は、イギリスの Raspberry Pi Foundation (ラズベリー・パイ財団) が教育用に開発した、名刺サイズ大の ARM11 ベースのマイコン基板です(写真1)。価格は \$35 という低価格(2013年3月4日現在)で、電子部品通販会社の RS コンポーネンツ社 (<http://jp.rs-online.com/web/>) から購入できます。

高性能 ARM マイコンに挑戦するには、この Raspberry Pi がお手ごろです。

ここでは、Raspberry Pi を例にして、高性能 ARM マイコン基板 (ARM コンピュータ) のつくりや使い方を紹介します。

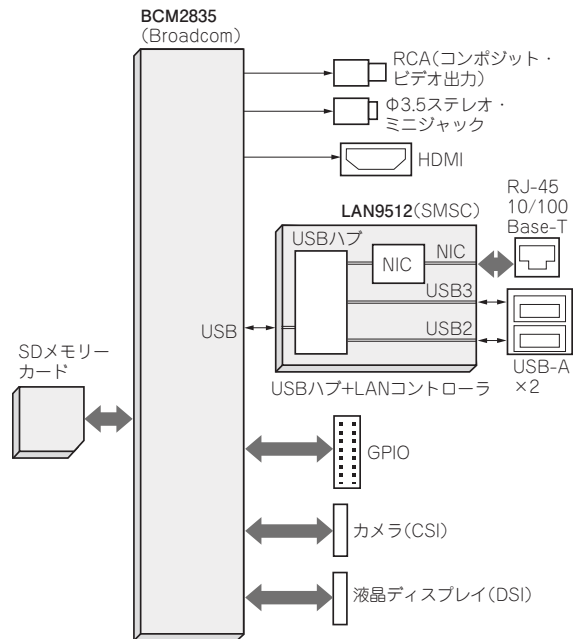


図1 Raspberry Pi のブロック図

ハードウェア

● 超パワフルな ARM マイコン基板なのに作りはシンプル！

図1に、Raspberry Pi のブロック図を示します。実際の回路図⁽¹⁾は Raspberry Pi の公式サイトからダウンロードできますが、ほとんどブロック図と同じです。表1に主な仕様を示します。

Raspberry Pi の中心になるのは、BCM2835 (Broadcom) という SoC (System-on-a-Chip) です。最高 700 MHz で動作する ARM11 (ARM1176JZF-S) を CPU コアにして、DRAM やビデオ・コントローラ、タイマ、USB ホスト、

第4章

パソコンだとめんどくさいI/O操作も
ARMコンピュータ基板&Linuxなら簡単！

コマンド入力 外付け回路を動かしてみる

桑野 雅彦

本章からは、Raspberry PiのGPIOアクセスを例にしてプログラムを作成し、実行する方法を解説します。Raspberry Pi用LinuxであるRaspbianの場合は、最初からC/C++コンパイラなどのさまざまな言語処理系が用意されています。コンパイラはOSそのもののほか、さまざまなツール類のソース・コードをコンパイルするためにも利用

されています。

そこで、Raspberry PiにインストールしたLinuxを活かすべく、次の四つの方法でGPIOアクセスを行ってみます(図1)。

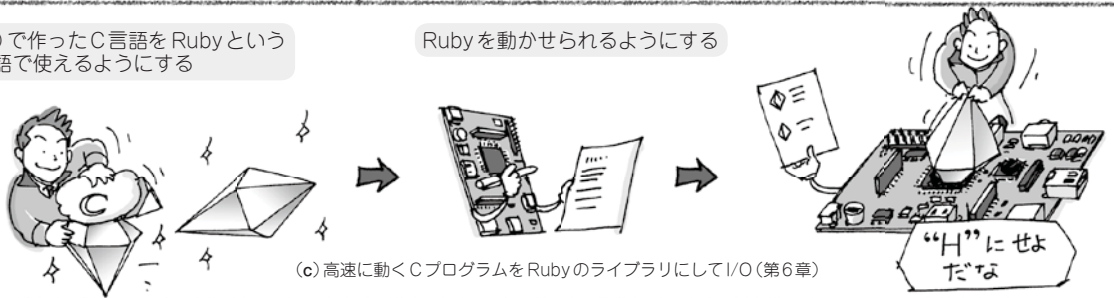
(1) シェルから動作確認(本章)

特別なプログラミングを必要としないシェルからアクセスすることにより、簡単に配線チェックを行います。



(b) で作ったC言語をRubyという言語で使えるようにする

Rubyを動かせられるようにする



(c) に加え、ネットワーク動作もできるようにする



(d) ネットワーク処理が得意なRubyを使ってブラウザからI/O(第7章)

図1 第4章～第7章ではいろいろな方法でGPIOアクセスを行ってみる

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

第5章

Linux アプリからレジスタを直接たたく！
高速アクセスにトライ！

おなじみC言語でI/O制御

桑野 雅彦

シェルを使った入出力はスクリプト言語なので、複雑な処理を行うのは難しく、遅延も大きくなります。

本章では、おなじみのC言語を使ってGPIOを効率良く制御します。

GPIO制御…2種類の方法でトライする

次の二つの方法を試します(第4章の図1を参照)。

● 方法1：GPIOデバイス・ドライバを使う …手軽で安全だけどアクセス速度は遅い

Raspberry Pi用Linux「Raspbian」にあらかじめ用意されているGPIOアクセス用のデバイス・ドライバを利用します。アプリケーションからGPIOデバイスをオープンして、リード/ライトするという形でアクセスします。

アクセス速度の面ではレジスタを直接操作する(たたく)方法には劣りますが、レジスタのアドレスなどを気にしなくてもよく、ある程度のチェックはドライバで行えます。アドレスを間違えて、ほかのレジスタやメモリの内容を書き換えてしまうなどといったトラブルが起りにくいことから、安全性は高くなります。

ハードウェアの違いはドライバで吸収できるため、ハードウェアの置き換えや仮想化にも対応しやすい方法です。

● 方法2：レジスタを直接たたく

…手間がかかるがアクセス速度は速い

GPIOの制御レジスタを直接操作するというものです。アクセス速度の面では一番優れた方法ですし、複数ポートへ同時にデータを設定できるなど、自由度は一番でしょう。MMU(メモリ・マネジメント・ユニット)を持たない8ビットや16ビット・クラスのワンチップ・マイコンを利用してきた方にとっても、一番馴染みのある方法だと思います。

ただし、RaspbianはLinuxベースであり、仮想記憶機構が動いている中で動いているアプリケーション・プログラ

ムからのアクセスになります。アプリケーション・プログラムから見える仮想メモリ空間から、実際の物理メモリ空間(ハードウェア的なアドレス空間)へのマッピングが必要になるなど、ひと手間かかります。

方法1：デバイス・ドライバを使う

GPIOデバイス・ドライバを使うときは、基本的にはシェルからアクセスしたときと同じ考え方で、デバイス名も同じです。違うのは、シェルからのときはファイルのオープン/クローズを意識しないで済みましたが、C言語からGPIOデバイス・ドライバを使うときは、GPIOデバイス名を使ってオープン/クローズするなどの処理が必要になることです。

■ プログラムを作成

サンプル・プログラムをリスト1(gpio_dev.c)に示します。主要な部分を順に紹介します。

● ポートの使用開始を指示する…export

シェルのときと同じように、まずexportして該当するポートに対する入出力動作を行うことをリスト1①のようにドライバに知らせます。そして、使用するポートを通知して、クローズします。

シェル・スクリプトでアクセスしたときは使い終わるまでexportしておくので、ついopenしたままにしたいくなります。しかし、ドライバ側ではopen/closeではなく、exportデバイスに対するポート番号指定が行われたことで使用可能にしているので、設定が終わったらファイルそのものはクローズしてしまいます。

C言語のアプリケーションの中からアクセスしている場合、unexportのほうは省略してもエラーにはなりませんが、リスト中ではunexportするのが作法であろうと考えてunexportも入れています。

第6章

Cプログラムをライブラリ化し、Rubyで高速に動かす ネットワークが得意な上位言語 RubyからのI/O制御にトライ

桑野 雅彦

ネットワークが得意な上位言語Ruby

● C言語で作成したプログラムをライブラリ化し、Rubyで高速に動かす

C言語で直接I/Oアクセスするプログラムが動いたので、図1に示すように、これをライブラリ化して利用してみましょう。今回は、上位言語としてRubyを使いました。

速度が必要な処理やI/Oの直接アクセスなどの低レベルな処理部分は、手続き型のC言語で記述してライブラリ化しておき、より上位にあたる処理はオブジェクト指向のRubyの利点を活かして豊富なライブラリを使って効率良く記述することを目指します。これによりソフトウェア生産性を上げ、高い応答性や細かい低レベルな操作も満足できます。

Rubyは、日本のまつもと ゆきひろ氏によって開発され

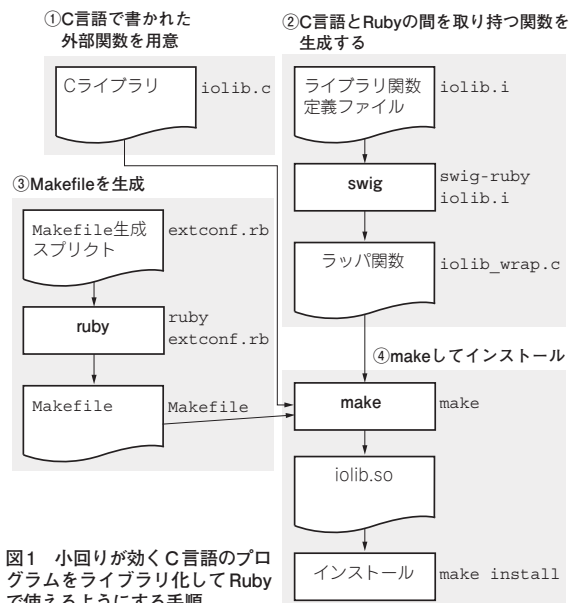


図1 小回りが効くC言語のプログラムをライブラリ化してRubyで使えるようにする手順

たオブジェクト指向のプログラミング言語です。ネットワーク・アクセスやファイルの取り扱いに適しているという特徴があります。JIS規格(JIS X 3017)に続き、ISO/IEC 30170として国際規格としても登録されています。Perlなどと同様、スクリプト処理などの用途のほか、一般的なプログラミングなども行えます。

Rubyと同様のものとしては、PerlのほかにPython(パイソン)やPHPなどがあり、RaspbianでもX Window System上にPythonの開発環境が用意されています。

C言語などで作成したライブラリ(拡張モジュール)の登録/呼び出しなども、比較的簡単に行えるように配慮されています。Perlなどと同じく、ウェブ・サーバからCGIを使って呼び出される処理プログラムを記述するのにも利用されています。

準備…追加ソフトのインストール

C言語で作成したプログラムをライブラリ化し、Rubyで動かすためにはRubyをはじめ、いくつかのソフトウェア・パッケージが必要です。これらは初期状態ではインストールされていません。まずは、これらをインストールしておきましょう。次の4種のデータをインストールします。

- (1) ruby (Ruby本体)
- (2) ruby-dev (拡張モジュール・コンパイル用ヘッダなど)
- (3) tcl-dev (tcl関連ヘッダなど)
- (4) swig (ソフトウェア・インターフェース用ラップ生成ツール)

インストールとはいっても、Linuxのパッケージ管理ツールのおかげで、ややこしいことはほとんどありません。apt-get installの後ろに、インストールしたいパッケージ名を付けるだけです。次のような具合です。

```
apt-get install ruby
```

第7章

処理性能は十分！ちょっと重たいCGIで
ダイナミック制御/計測も簡単！

ブラウザからの 動的I/O制御にトライ

桑野 雅彦

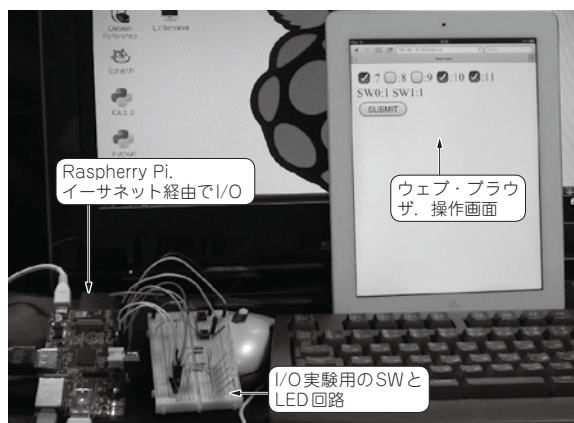


写真1 ブラウザからイーサネットと無線LAN経由でI/O制御するのも簡単！

第6章では、RubyからI/Oできるようになりました。これをもう一步進めてウェブ・ブラウザからウェブ・サーバ上のプログラムを呼び出し、GPIO出力やスイッチの読み込みを行います。動的にHTMLファイルを生成するプログラムCGI (Common Gateway Interface) から呼び出す方法を試してみます。操作側の機器は、ブラウザさえ動けば、OSや機器の種類も関係ありません。ネットワーク越しにGPIOの操作や入力値の読み込みができます(写真1)。

動的に表示内容を更新できる ウェブ・サーバのしくみ

● ここがキモ！動的HTML生成プログラムCGIにI/O制御を任せる

ブラウザからI/Oを扱うときの動作を図1に示します。ウェブ・ブラウザ(クライアント)からCGIを直接指定してもよいですが、ここではあえてHTMLを用意して、そこからCGIを呼ぶ方法を試してみました。手順は次のとおりです。

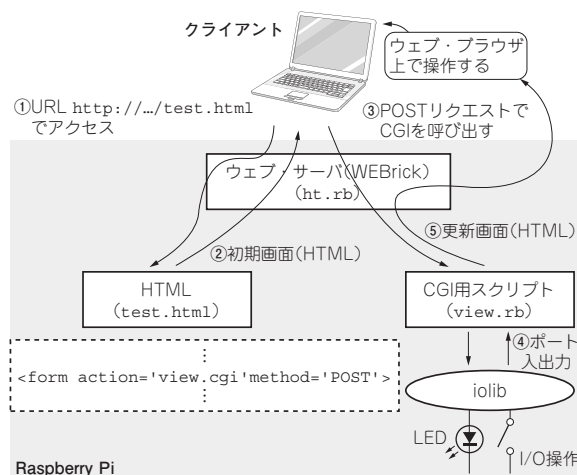


図1 ウェブ・サーバとCGIを介してブラウザからI/Oを操作する

① ウェブ・ブラウザからRaspberry Piにアクセス

Raspberry Pi側のウェブ・サーバが起動している状態で、パソコンなどからブラウザでURLを指定して、Raspberry Piにアクセスします。例えば次のような具合です。

```
http://192.168.1.20:3000/test.html
```

IPアドレスの後ろの“:3000”はポート番号です。今回は3000番を使いました。ブラウザには図2のような画面が表示されます。

② Raspberry Piから初期画面のHTMLファイルをウェブ・ブラウザに送る

クライアント(ウェブ・ブラウザ)側からtest.htmlへのアクセスがあると、test.htmlファイルの内容をクライアントに送ります。これが初期画面になります。

このHTMLにはチェック・ボックスやボタンを配置して、図2で[SUBMIT]ボタンをクリックされたときにCGI (view.cgi)が呼び出されるようにしておきます。

第11章

Wi-Fi ドングル/USBカメラ…
パソコン周辺アクセサリ&オープン・ソース・ソフトで拡張が超簡単!

スマホでササッ! 動画中継ラジコン・カーの製作

知久 健

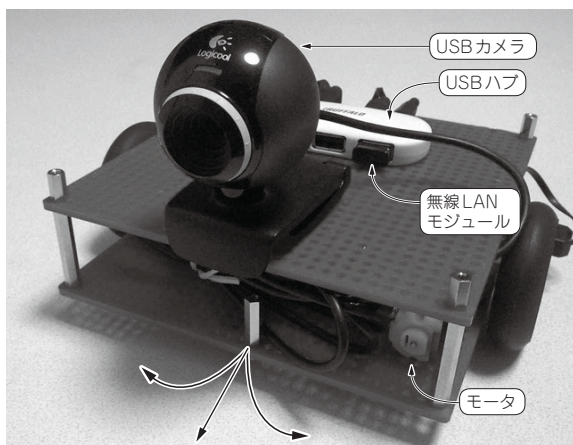


写真1 スマートフォンで動かす Raspberry Pi ラジコン・カー

本章では、Raspberry Pi を使って、スマートフォンから制御できるカメラ付きのロボットを製作します(写真1)。Raspberry Pi を使うと、SDメモリーカード・スロット、USB、Ethernet、GPIO、シリアル・ポートなどを通常のLinuxパソコンと同じように使えます。今回はOSとして、Raspberry Pi用のLinux“Raspbian”をインストールしました。

スマートフォンの画面にラジコン・カーが取得したカメラの映像をストリーミング表示し、画面に表示されたボタンによってラジコン・カーを操作できます。ルータを介してスマートフォンとラジコン・カーを無線LAN通信させています(図1)。

モータ制御にはRaspberry Piのシリアル・ポート、I²C、GPIOを使えますが、今回はGPIOポートを使います。

製作したモータ・ドライバをRaspberry Piに接続し、USBポートにウェブ・カメラと無線LANドングルを接続してハードウェアは完成です。

これに簡単なオープン・ソースのソフトウェアを導入し、これらを組み合わせることによって、マイコン単体では実

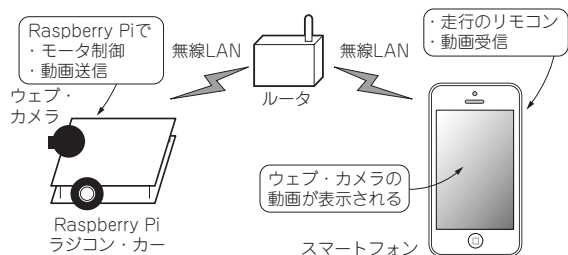


図1 製作したスマホ・ラジコン・カーはWi-Fiで操作したり画像転送したりする

現が難しかったものを低コストで簡単に製作できます。

ハードウェアの製作

信号の流れを図2に示します。Raspberry Piに、次の四つのモジュールを接続してロボットを作ります。

- (1) セルフ・パワー付きUSBハブ
- (2) 無線LANドングル
- (3) USBカメラ(UVC対応)
- (4) モータ・ドライバ/電源(GPIOで駆動)

● セルフ・パワー付きUSBハブ…電流不足を解決、Raspberry Piと各モジュールを接続

Raspberry Piの各USBポートの最大出力電流は140mAです。定格以上の電流を出力すると、ポリスイッチによりUSB接続が切断される仕様になっています。

今回の構成のように、USBバス・パワーに無線LANドングルとウェブ・カメラを接続すると電流容量が足りなくなり、接続されているUSB機器が認識されなくなります。これを予防するため、セルフ・パワーのUSBハブの使用が必須となります。

● 無線LANドングル…ルータを介してスマートフォンと通信

Raspberry Piには無線LANが導入されていないため、

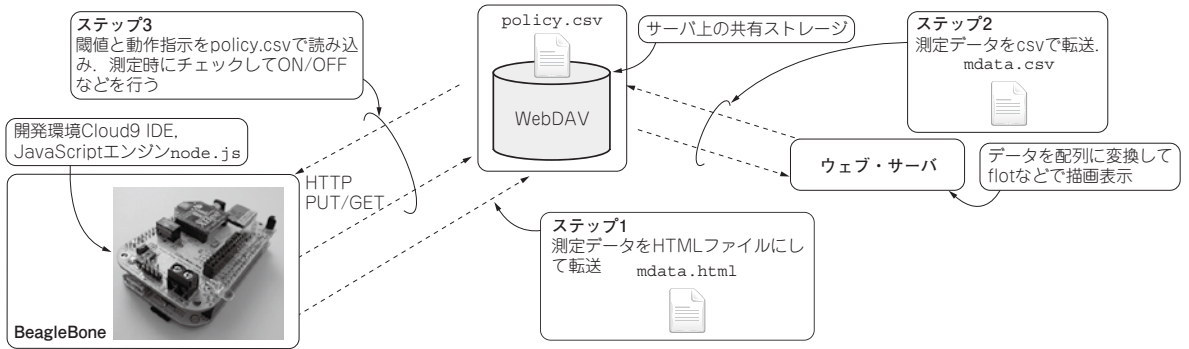


図1 BeagleBone + センサ搭載拡張基板(「ちょいモニ」Cape)で測定したデータをHTML形式にしてクラウド・サーバに保存し、ブラウザに表示できる
ブラウザからの制御もOK

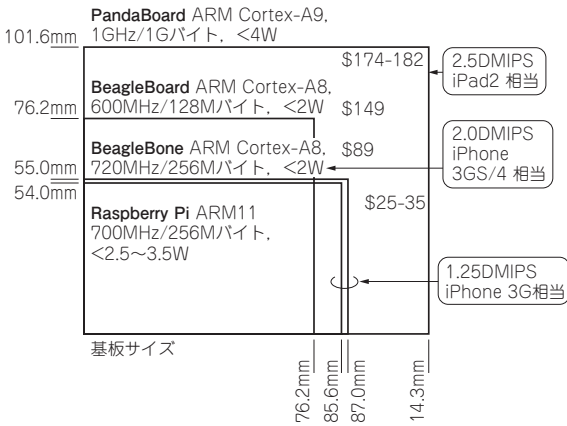


図2 BeagleBoneは周辺機能を外付けするコンパクト・タイプ

らからでも給電ができます。前部には、USBのコネクタとOSを格納するSDメモリーカードのソケットがあります。USBコネクタに取り付けられる小型のWi-Fiアダプタも市販されていますので無線化も容易です。

46ピンの拡張コネクタに接続できる拡張ボードは、「Cape」と呼ばれます。これはBeagle(犬)がケープ(マント)を着替えているいろいろな能力を発揮することを表しています。基板の左右の46ピンの拡張用コネクタを使い、GPIOに加えタイマ、PWM、UART、SPI、I²CがCape上で利用できます。

製作した拡張基板 …センサ&制御信号出力回路

● 機能

今回は、図3のように部屋に置いておくと色々と気の利

いたこと、例えば環境の監視や、ちょっとした機器の制御を自動運転させたり携帯からのリモート制御も簡単にできる、いわゆるホーム・オートメーション用基板「ちょいモニ(ちょいっとモニタリング)」を製作しました。写真2に回路図と外観を示します。

組み込みエンジニアでなくとも、フロントエンドのプログラム(HTML + JavaScriptを少々)をかじったことがあれば、組み込み開発ができるというプラットフォームです。

温度、湿度、光、気圧の各センサや、汎用アナログ入力端子、フォトカプラの絶縁出力端子、赤外線送受信端子があります。スイッチ類は、アドレス設定などができる4ビットのDIPスイッチ、動作の起動などに使えるプッシュ・スイッチがあります。

インターフェースとしては、拡張コネクタに用意された、UART、SPI、I²C、PWM端子、タイマ端子、汎用ポートがあります。拡張コネクタを使った例として、3軸加速度センサMMA7455L(フリースケール・セミコンダクタ)を小型の基板に載せました。UARTで送受信の制御ができる無線モジュールXBeeの接続端子もあります。

● アナログ入力回路

BeagleBoneには、アナログ端子が6本ついています。そのうちの4本を使い、温度、湿度、光センサの三つのセンサと汎用のアナログ端子を接続しました。

アナログの入力電圧制限は1.8Vなので、測定値は抵抗で1/2に分圧して、ボルテージ・フォロワ回路経由で端子に入力されるようにしています。

アナログ出力のセンサが載っている部分の基板は、電源

第14章

はじめやすい！Lチカまでならすぐ！
ネットに情報が満載！

ARMコンピュータの先駆け的存在！ Cortex-A8搭載 BeagleBoard

永原 柁

BeagleBoard (写真1) は、マルチメディア用SoC (System on a Chip) であるOMAP3530 (テキサス・インスツルメンツ) を使った、ARMコンピュータの先駆け的存在といえるボードで、初代は2008年に発売されました。

本章では、BeagleBoard Rev C4と、GPIO端子のコントロール例を紹介します。

BeagleBoardの特徴

図1にBeagleBoardの機能ブロック図を、表1に仕様を示します。

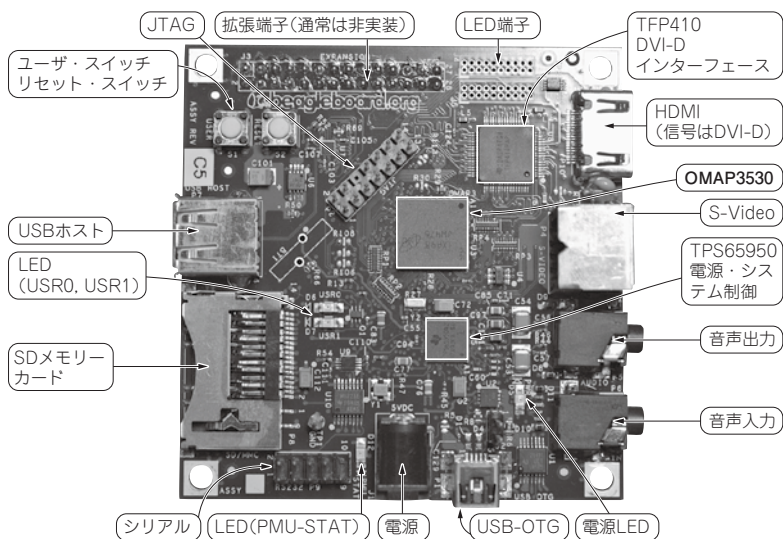


写真1
ARM Cortex-A8 (720MHz) 搭載
BeagleBoard

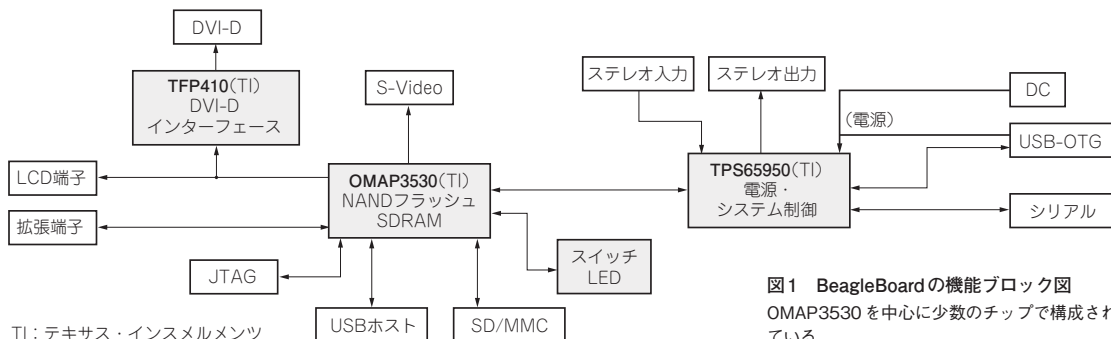


図1 BeagleBoardの機能ブロック図
OMAP3530を中心に少数のチップで構成されている

TI: テキサス・インスツルメンツ

第15章

フルHD画像処理可能な
高性能オールインワン・チップを試せる

ほとんどパソコン!?

Cortex-A9搭載PandaBoard ES

丹下 昌彦

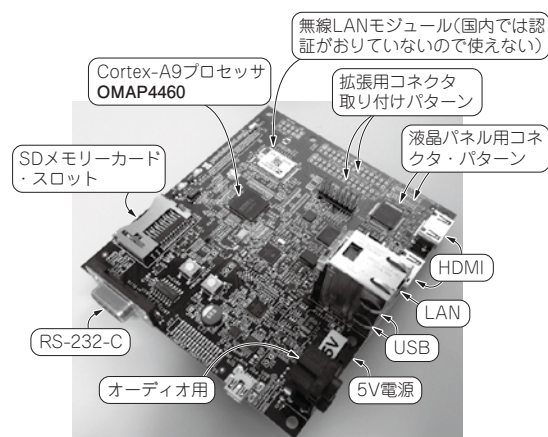


写真1 ARM Cortex-A9 Dual Core (1.2GHz) 搭載PandaBoard ES

PandaBoard ES (以降, PandaBoard) は、オープン・ソース・コミュニティにより開発されたプラットフォームで、Cortex-A9プロセッサOMAP4460 (テキサス・インスツルメンツ) のほとんどの機能を手軽に使えるように作られたボードです (写真1)。この小さなボードに、パソコン並みの機能が凝縮されています。ユーザが拡張できるコネクタ類も多数あり、自作のハードウェアを接続することも簡単にできます。

今回は、これを使って図1のようなネットワーク時計付きフォトフレームを作ったり、GPIOの制御をしてみます。

PandaBoardの中心となるのは、OMAP4460です。このチップは一つに見えますが、上側が1GバイトのLPDDR2メモリ、下側が1.2GHz Cortex-A9 Dual Coreプロセッサ+各種インターフェースという構成です。そのため、ボード上を探してもメモリ・チップは見当たりません。そのほかのチップは、オーディオなどのアナログ入出力や電源制御などの機能を持つものやLANコントローラなどです。ボード上には、Wi-FiとBluetoothの無線モジュールが載っていま

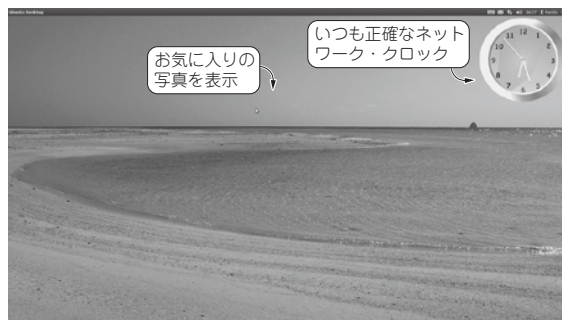


図1 ササッと作ったネットワーク・クロック付きデジタル・フォトフレームの画面

すが、国内では認定を取っていないので今回は使いません。

● メイン・デバイス OMAP4460はスマートフォン用のオールインワン・チップ

OMAP4460は、スマートフォン・タブレットで35%ものシェアを持つチップで、1.2GHz Dualコアの高性能ARMプロセッサに加え、GPIO (汎用入出力ポート)、カメラ、オーディオ、LCD、HDMI、SD/MMC、ストレージ・メモリなど、必要と思われるものはすべて入っています。

携帯機器用に作られているため、ピン間隔0.4mmピッチ576ピンの高密度パッケージです。OMAP4460はチップの上にメモリを実装する構造になっているため、ちょっと実験に使ってみたいと思っても簡単に使えるものではありません。しかし、PandaBoardを使えば簡単に試せます。

準備

● 入手方法

PandaBoardは、インターネット通販で簡単に購入できます。筆者は、Digi-Keyという電子部品のインターネット商社から購入しました。拠点はアメリカですが、日本語の



このPDFは、CQ出版社発売の「お手軽ARMコンピュータ ラズベリー・パイで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/MIF/MIFZ201304.htm>

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