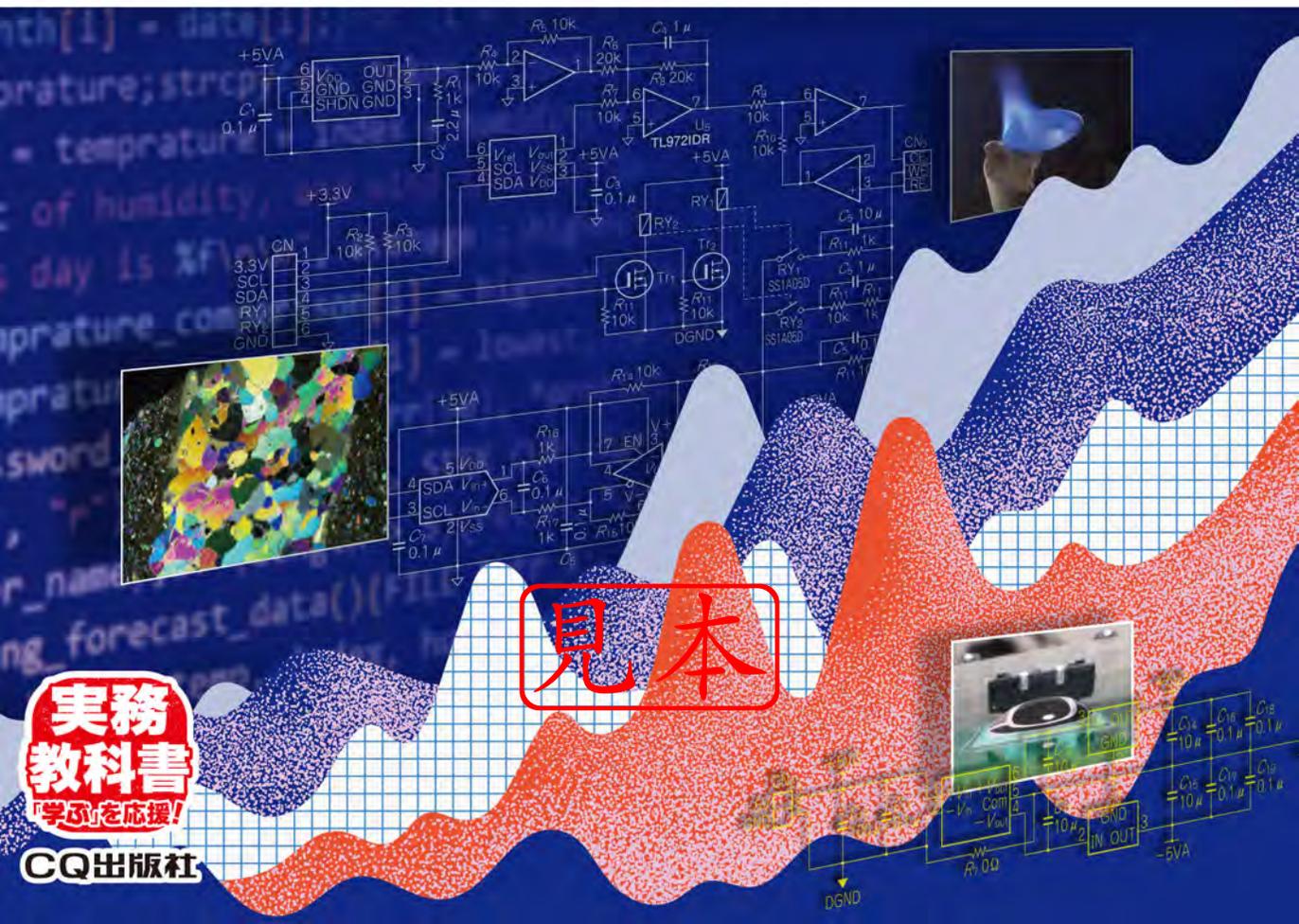


# トランジスタ技術 SPECIAL

測る基本的な考え方大集合！ 自動計測もPC計測も超入門

## ラズパイからはじめる 科学計測



**実務  
教科書**  
「学ぶ」を応援！

**CQ出版社**

# ラズパイ科学計測のススメ

田口 海詩 Uta Taguchi

## ラズパイによる科学計測のススメ

科学分析装置などの計測システムを構築する場合、**図1**、**図2**に示すような科学計測のプロセスを頭の中にイメージしながら製作に取り組むと、効率的にプロジェクトを進めていくことができます。

科学分析装置は、

- ① 物理現象の測定
- ② データ解析
- ③ 可視化

の機能を必要としています。それぞれに要求される性能や技術は、それぞれの機能ごとで大きく異なっています。具体的には、各機能に必要な電子回路やソフトウェアで考えてみると、①物理現象測定の機能では高精度アナログ回路や高速な信号収集回路が必要であったり、②データ処理や③可視化の機能では大量データを柔軟に処理できるハードウェアとソフトウェアが必要だったりします。

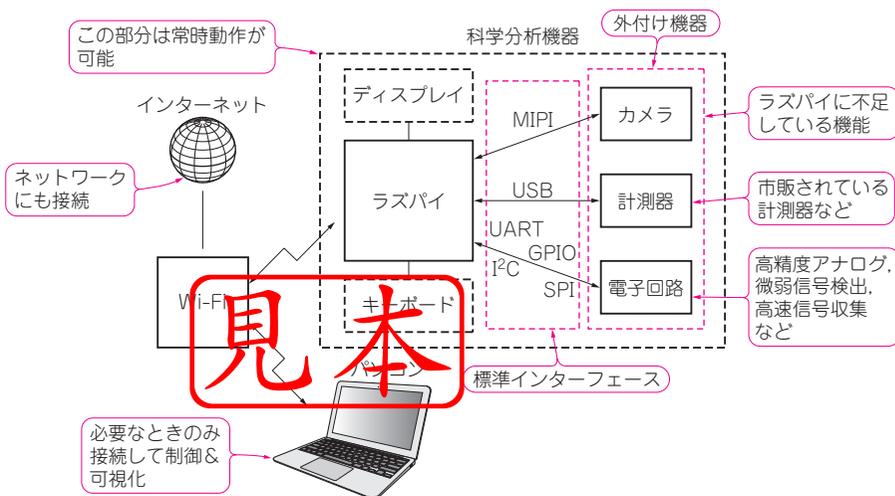
最近では、②データ処理の機能に関してAIの力を借りて意味ある情報を効率的に抽出することが行われ

たり、③可視化の機能ではデータ解析結果をわかりやすく視覚化するため、専門的な画像化ライブラリを活用したり、先端技術に柔軟に対応する必要が求められています。

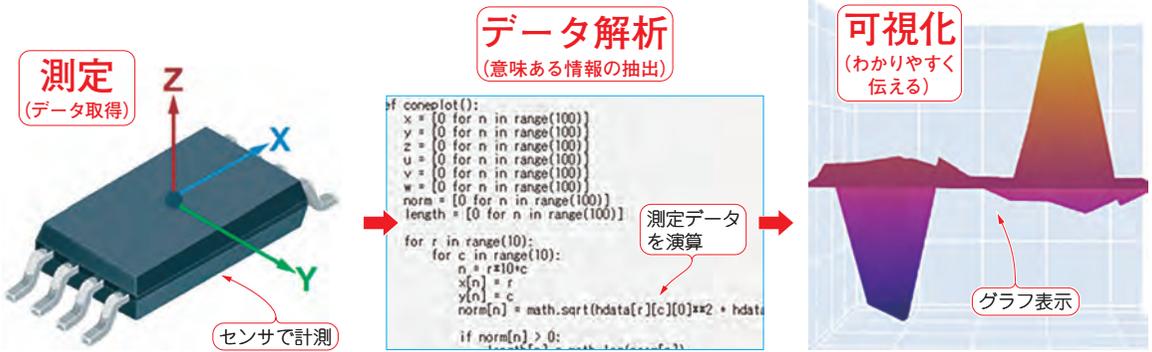
このような複雑なシステムを構築するには、**図2**に示すようにラズベリー・パイ(以下、ラズパイ)を中心として、ラズパイで不足する機能については自作回路製作や購入品機器追加などで実現していく開発方法が現実的です。科学計測システムのような極めて独自性の高い機器のプロトタイプ開発には、ラズパイは非常に良く合致した手段であると考えています。

## 科学計測にラズパイを使うメリット

ラズパイは、Python開発環境が標準で動作するシングル・ボード・コンピュータです。科学計測装置のプロトタイプを効率的に作りたいと考えたとき、演算能力が比較的高く、Python開発環境が標準で準備されているラズパイを用いることは、②データ処理や③可視化の機能を短時間で実現するためにはとても都合の良い方法です。



**図1** ラズパイを用いた科学計測システム  
ラズパイと不足機能を補うための外付け機器を標準インターフェースで接続する科学計測システム構成は、安価で効率的に機器を実現する方法と言える



物理現象を計測し、測定データから意味のある情報を抽出し、わかりやすく可視化する一連のプロセスを科学計測と呼ぶ

図2 事前にイメージしておくべき科学計測のプロセス

Pythonは多くの研究者や技術者に利用されており、研究成果が学会やGitHubなどのリポジトリにも公開されています。さらに、生成AI(ChatGPT)に聞けばPythonのサンプル・コードも教えてもらうことが可能です。

ラズパイを利用したシステム構成を図1に示します。ラズパイには不足する性能、たとえば①物理現象の測定において高精度アナログ性能や高速サンプリング性能などが要求される場合、外部回路で実現するのが現実的な方法であると考えます。

ラズパイにはPython環境で使えるUART、I<sup>2</sup>C、SPIなどの標準インターフェースが標準装備されているので、外部回路との接続は比較的容易に実現できると考えられます。

## ラズパイにPythonがオススメな理由

ハードウェアを専門としている方の中には「プログラミングはちょっと苦手」なんて思っている方が多いのではないかと感じています。そのような方には次のような理由でぜひ、Pythonを使ってプログラミングを行ってみることをお勧めしています。

### ● 対話型開発で効率UP!

Pythonはインタプリタのため、プログラム実行時にコンパイル作業が不要です。プログラム・コード片をコンピュータに直接投げかける対話型プログラミング開発が行えます。対話型プログラミング開発はトライ&エラー(試行錯誤)が容易なため、ハードウェア動作確認を行いながら効率的にプログラム開発が行えます。

### ● 大量の先人の知恵を無料で活用できる

Pythonはオープンソース・ソフトウェアのエコシステム(相互に依存しあって発展していく仕組み)を利

用して発展した言語のためユーザー数が多いのが特徴です。AI分野や科学演算分野などで多くの科学者や技術者が参加しており、豊富なライブラリや活用事例がフリーで公開されています。例えば、データ解析、可視化の解析処理はNumPyやMatplotlibなどの科学演算ライブラリを活用できます。

また、Pythonを使っていて疑問に思うことがあっても、ネット検索を行えばたくさんの答えがヒットして大抵のことは解決できます。

### ● 覚えるルールが少なく済む

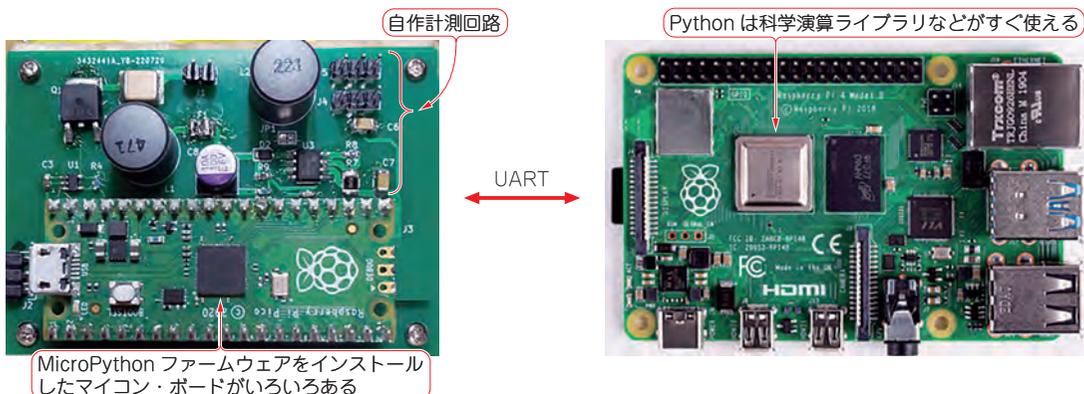
Pythonはほかのプログラミング言語と比べて短い行数で目的の動作を実現できる、開発効率がとても良い言語といえます。プログラムを動かすために覚えなくてはならないルールが少ないため、初心者でもすぐにプログラミングを始めることができます。また、命令の実行単位をインデント(文字下げ)のみで表現するため、プログラムが後で読みやすい記述となります。

## ラズパイ計測の相棒はPicoがオススメ

科学計測のうち、測定の部分を効率的に開発するには、別途MicroPythonが動作するラズパイPicoなどのマイコンを用意してプログラミングするほうが簡単で確実に動作させることができます。MicroPythonはハードウェアを制御することを前提に開発されたPythonのサブセット版(機能限定版)で、GPIO、I<sup>2</sup>C、UARTなどのハードウェア制御ライブラリを標準で備えています。Pythonと文法や記述方法が同じため、Pythonで学んだ知識やスキルをそのまま開発に生か

### ● ラズパイとマイコンを使い分けて組み合わせるのがハードウェア屋さん流!

ラズパイの標準OSであるRaspberry Pi OSは、



MicroPython ファームウェアをインストールしたマイコン・ボードがいろいろある

(a) 測定の部分はマイコン・ボードが担当

(b) データ解析と可視化の部分はラズパイが担当

図3 ラズパイでもマイコンでもPythonの知識が役に立つ

MicroPythonプログラミングで使用する統合開発環境 (IDE: Integrated Development Environment) の Thonny を標準で内蔵しています。ラズパイと MicroPython が動作するマイコン・ボードを USB ケーブルで接続するだけで、MicroPython プログラム開発を始められます。

図3に示すように、測定部分を MicroPython マイコンで行い、データ解析、可視化部分を Python コンピュータで担当し、後は信頼性の高いシリアル通信 (UART) で接続することが、科学計測のような難しいシステムを効率的に自作する場合の最強タッグといえます。

Python はインタプリタなので動作速度が遅いのは、との指摘がありますが、必要な部分を最初にコンパイルして動作速度を向上させることも可能です。タイミングがシビアな用途では検討の余地がありそうです。

◆参考文献◆

- (1) ラズベリー・パイ5大研究, Interface, 2024年5月号, CQ出版社.
- (2) Raspberry Pi OSダウンロード・ページ, <https://www.raspberrypi.com/software/>

## column 01 ラズパイの開発環境

田口 海詩

ラズパイ5の標準OSは、Raspberry Pi OS ダウンロード・ページ<sup>(2)</sup>にアクセスし、自分のパソコンに合ったRaspberry Pi Imagerをダウンロードして、ラズパイOSのセットアップを行います。

ラズパイ5で使用できるOSは、2025年6月時点ではカーネル・バージョン6.12 [Debianバージョン12(bookworm)]のみです。電子回路制御に見える gpiozero (I/O 制御), smbus2 (I<sup>2</sup>C), spidev (SPI), pyserial (UART), picamera2 (カメラ制御) などのハードウェア操作 Python ライブラリがインストール済みです。また、科学分析装置の開発に必要な

NumPy (数値演算), Matplotlib (可視化), Tkinter (GUI作成) のライブラリもインストール済みです。

Python 統合開発環境の Thonny もインストール済みなので、ラズパイOSをインストールしたらずくに Python 開発を行えます。本書の第1章~第3章で紹介する、ラズパイ5を用いた科学分析機器の製作に新たにインストールが必要だったライブラリは、OpenCv (画像処理) だけでした。OpenCvのインストールは、ラズパイ5のコンソール LXTerminal から、次に示すコマンドを入力するだけで完了できます。

```
$ sudo apt install python3-opencv
```



# 炎色反応による 元素分析機の製作

田口 海詩 Uta Taguchi

マイクロ分光器C12880MA(浜松ホトニクス)を用いて可視光スペクトル検出装置を製作し、炎色反応にどのような可視光スペクトルが含まれるかを調べます(写真1、図1)。

物質を構成する元素を分析する方法はいくつもありますが、炎色反応は測定方法が簡便で、しかも高感度に含有元素の同定が行える方法として有名です。

炎色反応は、図2に示すように試料に熱を加えることで試料に含まれる元素を励起状態にさせて、励起状態から基底状態に戻るときに元素特有の振動数の光を発光させる現象です。発光の振動波長が可視光領域(380nm~780nm)となるアルカリ金属の場合には、肉眼でも炎色反応を確認できます。ライタなどで試料を燃焼させるだけで炎色反応を確認できるので、ナトリウム(Na)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)など、入手しやすい材料で実験が行えます。図3に代表的な炎色反応が確認できる元素の例を示します。

## いろいろな材料の炎色反応を 観測してみる!

### ● 炎色反応のスペクトル測定

炎色反応は、食卓塩(ナトリウム)、除湿剤(カルシウム)など、入手しやすい材料を試薬として実験が行えます。そのほかに実験に使えるわかりやすい試薬が欲しくなります。今回は、塩化ナトリウム、塩化カルシウムのほかに、ミョウバン、ホウ酸、塩化ストロンチウムの試薬が含まれていた「実験くんNo. 60炎色反応キット(ジャパンマテリアル、写真2)」を使用しました注1。

注1: 2025年6月時点で、キットに付属する試薬がミョウバンから塩化カリウムに変更になっている。ミョウバンは「実験くんNo.30ミョウバン」として入手できる。

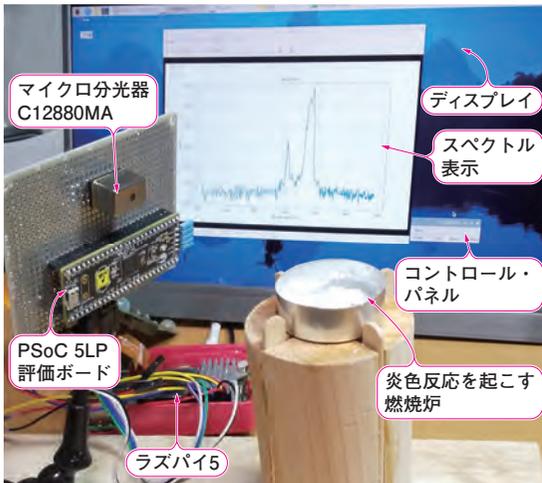


写真1 製作した炎色反応による元素分析機  
燃焼炉で炎色反応を起こし、そこで発生する可視光をマイクロ分光器モジュールで検出する。取得したデータをUARTでラズパイ5に送り、演算を行ってモニタに表示する

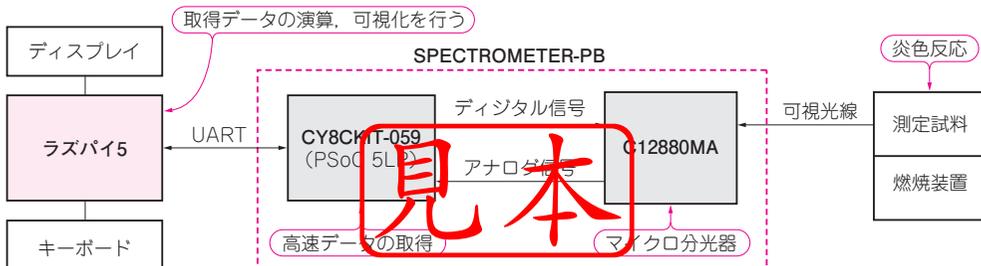


図1 炎色反応分析装置の構成  
マイクロ分光器モジュールC12880MAの制御およびスペクトル信号取得には数百kHzオーダの高速タイミングが必要となり、ラズパイ5の性能では実現できない。PSoC 5LP(CY8CKIT-059)を外回路として用いてラズパイ5で不足する機能を補う

部品やソフトウェアは変更になることがあるので  
適宜読みかえてください。

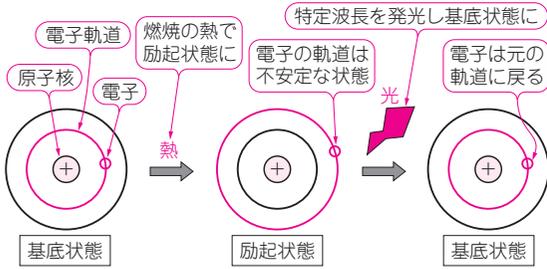


図2 炎色反応の原理

燃焼の熱エネルギーによって励起された電子が、安定な基底状態に戻ろうとする際に、余分なエネルギーを電磁波として放出する。放出する電磁波がちょうど可視光範囲に入る場合は炎色反応を確認できる



図3 炎色反応が確認できる物質

代表的な炎色反応としては、リチウム(Li): 赤、ナトリウム(Na): 黄、カリウム(K): 紫、カルシウム(Ca): 橙、ストロンチウム(Sr): 紅、銅(Cu): 緑青、バリウム(Ba): 黄緑、ルビジウム(Rb): 薄赤、セシウム(Cs): 青紫などがある

炎色反応の可視光スペクトルを測定する測定実験のようすが写真1です。炎色反応は試料とエタノールを混ぜて燃焼炉で燃焼して炎色反応を行い、可視光スペクトルをマイクロ分光モジュールで測定します。

● ストロンチウムの炎色反応

図4にストロンチウムをエタノールで燃焼させたときの可視光スペクトルを測定した結果を示します。ス



(a) ストロンチウム燃焼のようす

図4 ストロンチウムの炎色反応

ストロンチウムをエタノールで燃焼させて、炎色反応スペクトルをマイクロ分光器で検出した。660 nm~670 nm付近に2つのピークが確認できた。600 nm付近にもピークがある



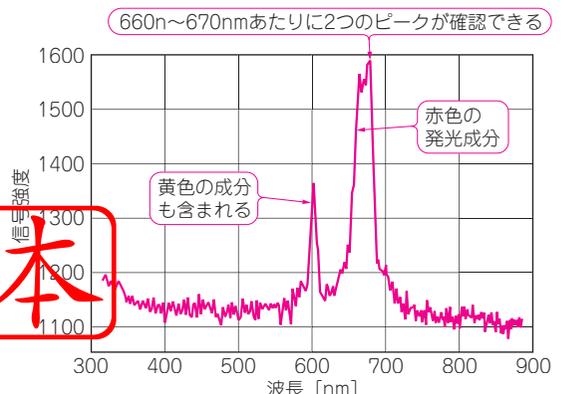
写真2 実験の試薬として今回使った炎色反応実験キット

キットには塩化ストロンチウム、塩化ナトリウム、ミョウバン、塩化カルシウム、ホウ酸の試薬が含まれていた。炎色反応で使用する少々の薬品を容易に入手したい場合には便利

ストロンチウムの炎色反応は赤色であることが知られており、660 nm~670 nm付近に2つの特徴的なピークが確認できます。また、600 nm付近にもピークが確認できます。

● ホウ酸の炎色反応

図5にホウ酸をエタノールで燃焼させたときの可視光スペクトルを測定した結果を示します。ホウ酸に含



(b) ストロンチウム燃焼のスペクトル

ラスバイで始める  
自動計測入門  
PICO計測  
付録プロの考え方

# 偏光で色づく… ラズパイ顕微鏡カメラの製作

田口 海詩 Uta Taguchi

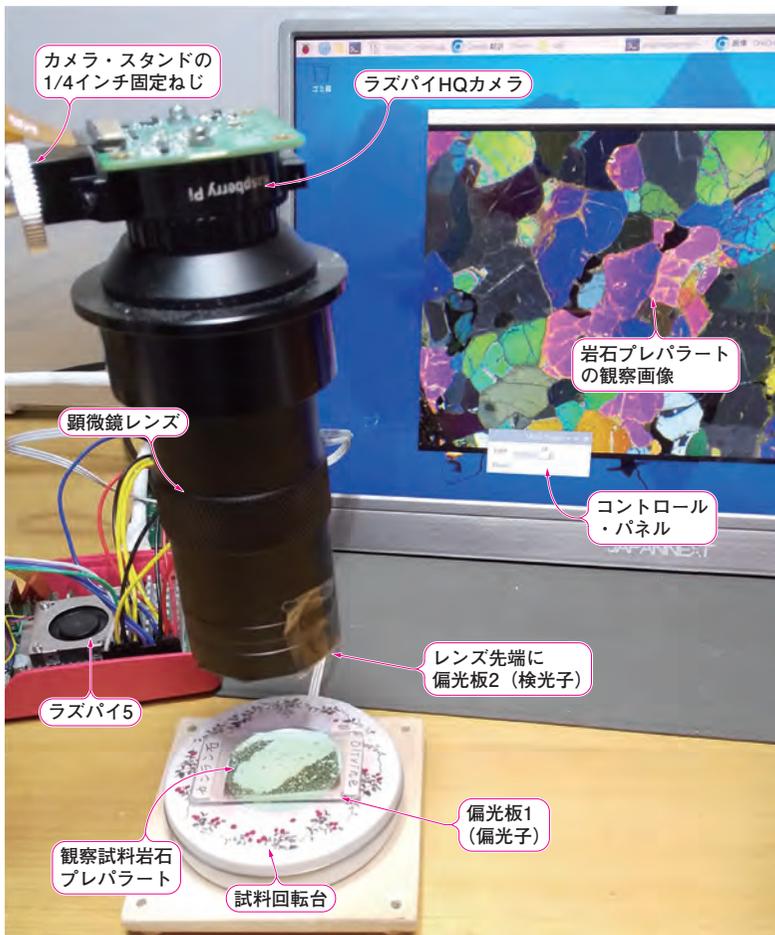


写真1 製作したラズパイ顕微鏡カメラの全体像

偏光板をクロスニコル構成にした偏光顕微カメラを用いて、岩石プレパラートの鉱物組織画像を取得している実験のようす。モニターに表示される画像を見ながら顕微鏡レンズの調整を行い、観察位置が決まったらコントロール・パネルの [Capture] ボタンを押して画像の取り込みを行う



(a) カメラ・スタンド



(b) HQカメラおよびレンズ



(c) ラズパイ5

## 見本

写真2 ラズパイ顕微鏡カメラの主な機材

今回製作した偏光顕微カメラではラズパイ公式のHQカメラをラズパイ5に接続して使用する。ラズパイ5とHQカメラの接続にはMIPI専用リボン・ケーブル(500mm)を使用。ラズパイ5のMIPIコネクタはラズパイ4から変更されているため、ラズパイ4用コネクタは使用できない

光学顕微鏡は、肉眼で識別できない微細な構造を目に見えるように拡大してくれる装置です。最近では、電子部品の表面実装を観察するためのCMOS顕微鏡カメラが頻繁に使用されるようになり、CMOSカメラに取り付けて使用する顕微鏡レンズも安価で入手できるようになりました。

一方で、ラズベリー・パイ(以降、ラズパイ)などのシングル・ボード・コンピュータにはCMOSカメラから出力される大量データを高速に取り込む専用インターフェースMIPI(Mobile Industry Processor Interface)が標準装備され、MIPI規格に合致したカメラ・モジュールを容易に接続できます。

カメラの画像データをラズパイに取り込むことができれば、Pythonを用いて画像処理を行うシステムを構築できます。科学分析や計測システムでは、大量データを一気に収集して意味ある情報を効率的に抽出したいので、CMOSカメラをセンサとしてラズパイに接続し、画像データを取得するシステム構成がとても合致した方法と言えます。

### 製作するラズパイ顕微鏡カメラ

完成した顕微鏡カメラを写真1と図1に、主な機材を写真2に示します。光を偏光させることにより、色づいて見えるようにするので、以降、本装置を偏光顕微鏡カメラと呼ぶことにします。

ラズパイ公式のHQカメラのフランジにCマウント顕微鏡レンズを取り付け、HQカメラをカメラ・スタンドの1/4インチねじに接続しています。

使用時はラズパイで偏光顕微鏡カメラのプログラムを起動し、ディスプレイにプレビュー画面を映します。

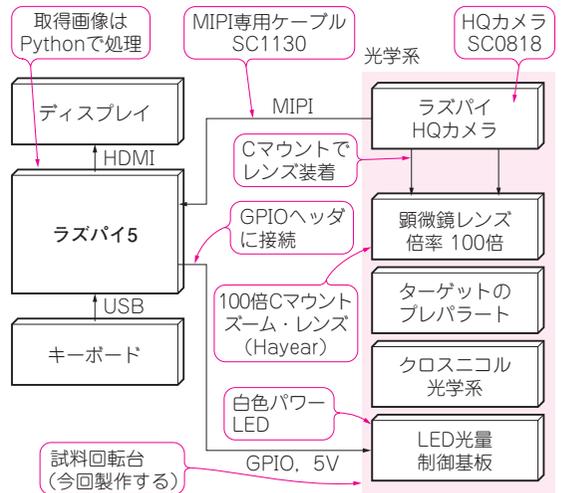


図1 偏光顕微鏡カメラの全体構成

ラズパイ公式のHQカメラに100倍のCマウント・レンズを接続し、像観察を行う。試料に偏光光を与えるためのLED光源の光量制御はラズパイ5のGPIOヘッダから行う

顕微鏡レンズと試料回転台の距離を倍率に合わせて設定し、顕微鏡レンズのフォーカス調整を行います。

顕微鏡レンズの先端に検光子として使用する偏光板を貼り付け、試料回転台の偏光板と直交位置になるように配置します。試料回転台の偏光板と検光子の偏光板の配置が直交位置になっていればLED光量を増加させても光が通過しないので、画像は黒い状態となります。この状態で試料回転台の上に観察試料をセットすると、後述するクロスニコル偏光画像を観察できます。光量や試料の観察角度を調整し、撮影画像が決まったらファイル保存を行う [Capture] ボタンを押します。

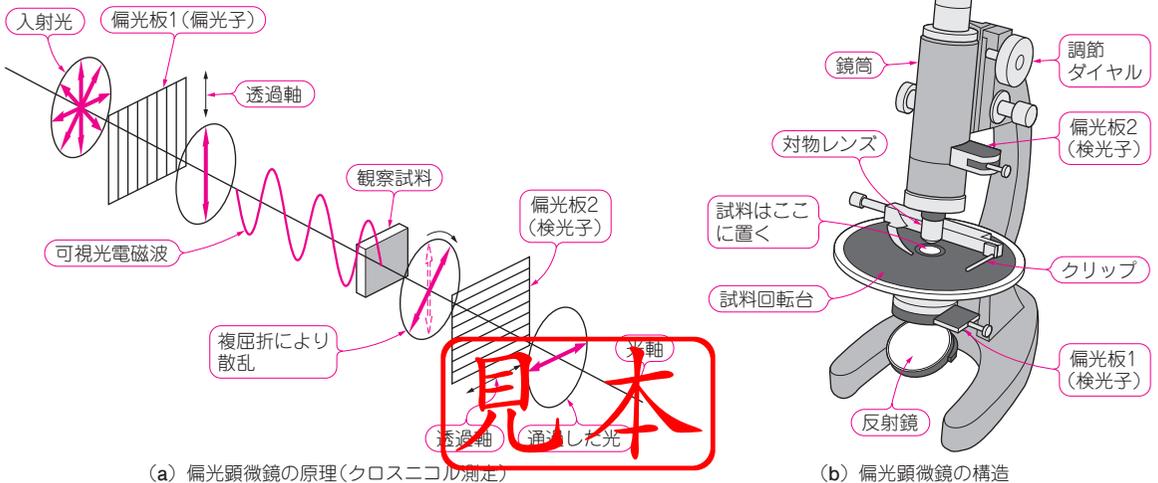


図2 偏光顕微鏡の構造

クロスニコル測定は2枚の偏光板の透過軸が直交する状態に配置し、その間に観察試料を置き、試料で複屈折により通過する光の状態を検出する方法。偏光顕微鏡は通常の光学顕微鏡に上下2枚の偏光板と試料回転台が追加された構造となる

ラズパイで  
はじめる

自動計測入門

PiCO計測

付録プロの考え方

第5章 箱入りラズパイ400のI/O&カメラ拡張の実際

# AI認識&温度イメージ合成付き! ラズパイ計測カメラの製作

砂川 寛行 Hiroyuki Sunagawa

ラズベリー・パイ (Raspberry Pi, 以下、ラズパイ) にはGPIOが豊富に準備されています。パソコンで動かすような画像認識AIのアプリケーションと組み合わせると、GPIOから得たセンシング情報と画像の識別結果から何かを判定したり、画像の識別結果を基に各種GPIOを操作したりできます。

本稿では、カメラと温度センサなどを組み合わせた科学計測カメラ・スタンドの製作事例を紹介します(写真1)。

## 温度が測れるラズパイ計測カメラ

● **グーグルAI認識や赤外線イメージ・センサを載せる**  
今回製作した科学計測カメラ・スタンドは、カメラ・モジュール部とラズパイ400用計測基板で構成しています。キーボード一体型のラズパイ400に接続して動作します。構成を図1に示します。

カメラ・モジュール部には、USBカメラと赤外線サーマル・イメージ・センサ・モジュールと照明用のLEDを搭載しています。

ラズパイ400用計測基板には、LCDモジュール、熱電対アンプ、A-Dコンバータ、I<sup>2</sup>Cコネクタ(Groveコネクタ)、ブザーを搭載して、各種計測をしたり、その結果を出力表示したりするようにしました。

ラズパイ400では、USBカメラで撮影した画像をウェブ・ブラウザ上のAIツール、Teachable Machineで学習し、画像認識AIのモデル・データを作ります。作ったモデル・データをTensorFlow Liteで動かし、カメラ画像の認識を行います。

サーマル・イメージ・センサのデータの画像化処理や熱電対アンプのデータ取得、A-Dコンバータのデータ取得、ブザー出力や小型LCDへの出力なども行います。

● **応用可能なようにいろいろつなげられる**

画像認識の結果に、サーマル・イメージ・センサや熱電対アンプ、A-Dコンバータの計測結果などを組

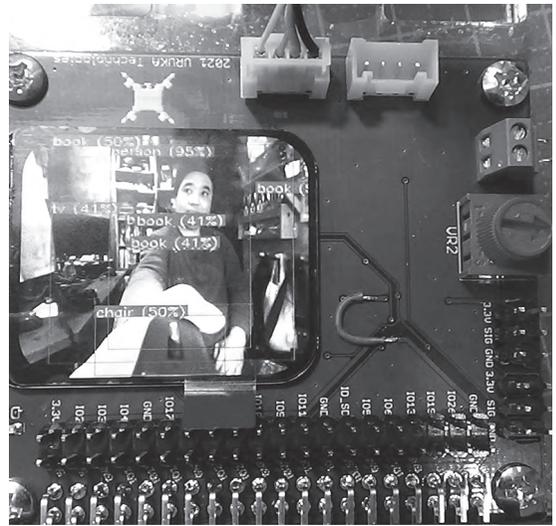


写真1 今回やること…ラズパイで撮影した画像をグーグルAIで認識させたり赤外線温度画像と合成したりする

み合わせることで、画像判定の精度を上げられるでしょう。また、判定結果をGPIOに反映させてアクチュエータを駆動することもできます。

応用すれば、不法侵入者を捉えて警告を発する防犯装置や害獣駆除装置が製作できそうです。画像だけだと誤検知が避けられませんが、温度を条件にすることで検出対象を体温のある生き物に限定できるでしょう。

ほかにも、USB顕微鏡カメラ(コラム1参照)を使った、顕微鏡AIカメラではんだ付けの画像学習を行えば、イモはんだなど、はんだ付けの品質が悪いと警告をする検査装置なども作れるかもしれません。

## キーパーツ



● その1…入手しやすいラズパイ「ラズパイ400」  
今回は、ラズパイ400(写真2)を使用しました。

ラズパイ400は、キーボード一体型のラズパイです。クロック周波数が1.8 GHzとラズパイ4の1.5 GHzよりも高速です。

# ラズパイ×USB測定器… 自動計測ステーション

加藤 忠 Tadashi Kato

安価、小型、高性能と3拍子そろったラズベリー・パイ (Raspberry Pi、以下、ラズパイ) ですが、単独では電気計測用途には向きません。しかし、定番のマルチ測定器 Analog Discovery と組み合わせれば、立派な計測ステーションに様変わりします。さらに、ラズパイ×Pythonの黄金コンボによって、計測の自動化=IT化の基盤が容易に構築できます。

本章では、ラズパイを活用した電気計測として、Analog Discovery と組み合わせた自動計測ステーションの製作を紹介します(図1)。

## ラズパイ×USB測定器による 電気計測のメリット

### ● 電気計測におけるラズパイの限界

通常のパソコンと比べてときのラズパイの利点は、低レイヤI/O(PWM, I<sup>2</sup>C, SPI, UARTなど)をもち、直接制御できることです。これにより、さまざまな外部機器を直接接続して制御できます。

しかし、ラズパイはアナログ/デジタル信号を直接計測する手段をもちません。ラズパイ単体では、電

気計測用途には不向きです。そのため、電気計測用途で使用するには、外部計測器やアドオン・ボードの助けを借りることになります。

### ● これ1台でなんでも計測できるUSB測定器「Analog Discovery」

個人向けの電気計測器 Analog Discovery (Digilent) は、コンパクトなボディながら、表1に示す豊富な機能をもち、これ1台でほとんどの電気計測項目をカバーします。

価格もポイントです。個別に産業用計測器(オシロスコープ、周波数特性分析器、シグナル・ジェネレータ、ロジック・アナライザ)をそろえたら、100万円はゆうに超えます。それが5万円台と、個人が手に届く範囲で購入できます。

今回の製作で使用しているのは初代 Analog Discovery ですが、Analog Discovery 2や3に差し替えても問題なく動作します。プログラムには互換性があります。

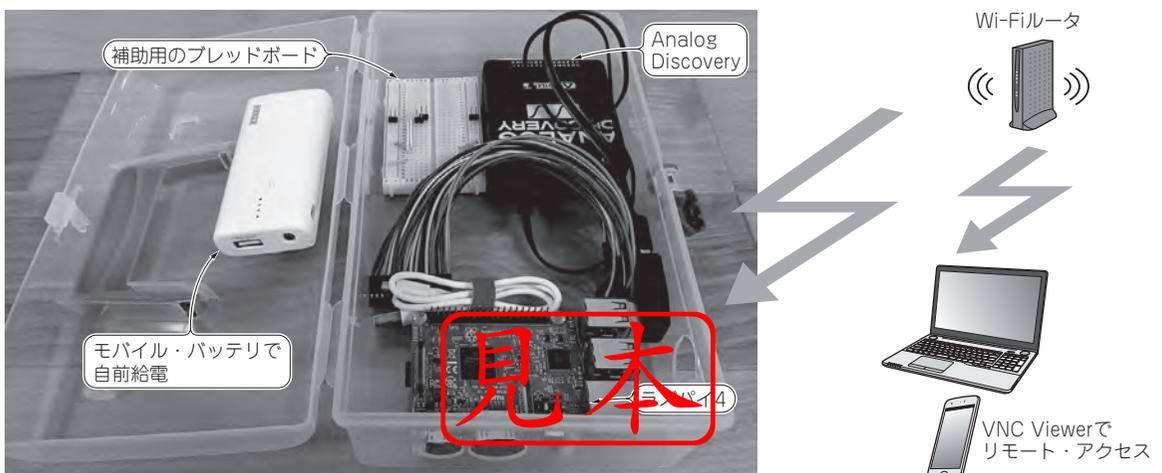


図1 ポータブル万能計測ステーション  
ブラケース加工し、持ち運び、即計測可能

部品やソフトウェアは変更になることがあるので  
適宜読みかえてください。

# 計測器の自動制御の 基礎知識

加藤 忠 Tadashi Kato

## 計測の自動化の背景

### ● 研究室や工場では計測の自動化が当たり前

産業界の量産工程では、多数の計測器を連動して、さまざまなテストを行います。ここでは、当然のように自動化システムが組まれています。パソコンと計測器を通信線で接続し、計測器の制御、計測データの取得をプログラムによって自動化しています。大多数の産業用途の計測器には、こうした制御のためのインターフェースが備わっています。

計測器の自動化は、実験室での研究開発段階でも威力を発揮します。研究開発現場では、多数の検査項目を、多数のサンプルで、繰り返し試験することになります。人手による計測器操作、パソコンへのデータ手入力では、とても非効率です。計測の自動化は、省力(人)化、ヒューマン・エラー防止、検査時間短縮の面で、大きなメリットがあります。

### ● 大工場と中小工場の検査系

大規模設備投資をして大量生産する検査工程(例えば半導体ウェハ検査)では、専用の特注計測システムが組まれます。

一方、中小規模の量産検査工程では、汎用計測器を使ってVISAというライブラリを介した計測自動化が一般的です。筆者も、携帯基地局に使われる通信基板で、検査工程自動化に携わりました。試験対象に、電源、デジタル・マルチメータ、ビット・エラー計な

どを接続し、恒温槽の制御も自動化し、1試験が半日もかかる計測を完全自動化しました。

### ● ラズパイを使った自動制御のポテンシャル

計測器の自動制御に使うパソコンは、Windowsが使われることが多いですが、ラズベリー・パイ(Raspberry Pi, 以下、ラズパイ)でも同等の計測器自動制御が実現できます。安価で小さなラズパイの特徴を生かすと、産業用途にも活躍の場が広がります。

## 計測器制御の 世界共通ソフトウェア規格「VISA」

初めに、計測器の自動制御に関わる基本知識を紹介します。押さえるべきキーワードは「VISA」と「SCPI」です。

### ● 通信インターフェースの差を吸収するAPI「VISA」

通信インターフェースごとに、プロトコルは異なります。これらの通信プロトコルの違いに関係なく、同じAPI(Application Programming Interface)で制御できるようにライブラリが規格化されています。このライブラリ規格をVISA(Virtual Instrument Software Architecture)と呼びます。

これにより、制御インターフェースが変わっても、さらにOSが変わったとしても、高い互換性のあるプログラムが実現できます。

### ● メーカー提供のVISAライブラリ事情

VISAは、全世界の計測器業界共通の規格です。VISAライブラリ(計測器メーカーなどが提供する公式デバイス・ドライバ)は、ナショナルインスツルメンツやキオクシア・テクノロジー、菊水電子工業など、複数の計測器メーカーから提供されています。

各社から提供されるライブラリは、おもにWindows、Mac、一部のLinuxディストリビューション向けです。記事執筆時点(2023年1月)では、ラズパイに対応したライブラリは見当たりません。ラズパイ・ユーザーは、



写真1 計測器は実は制御されること前提...たいていGPIBやLANやUSBなどの制御バスが用意されている AFG3252, テクトロニクス

# PC計測の基本… アナログ信号をPCに取り込む

田口 海詩 Uta Taguchi

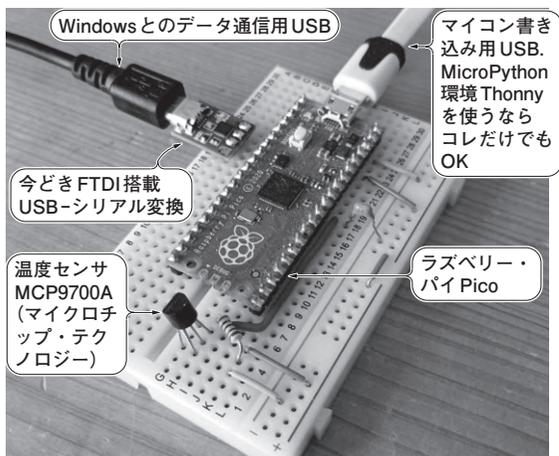


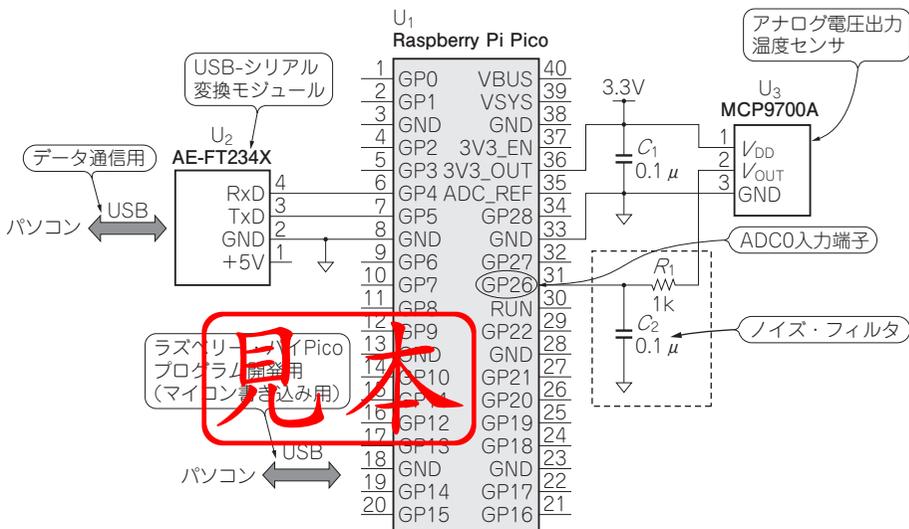
写真1 Windows11から自作回路を認識させるにはUSBドライバが標準装備のFTDIの今どきUSB-シリアルがイチバン! ブレッドボードを用いた温度測定回路。USB-シリアル変換モジュールAE-FT234X(秋月電子通商)を使用。ラズベリー・パイPico基板は幅幅が細いのでEIC-801(5穴ブレッドボード, 秋月電子通商販売コード100315)でも十分に部品追加するためのピンが確保できる

ラズベリー・パイPico(以降、Pico)に内蔵されているA-Dコンバータで取得したアナログ信号データをWindowsパソコン上に取り込み、表示する方法について解説します(写真1)。アナログ信号として、アナログ温度センサMCP9700A(マイクロチップ・テクノロジー)を接続して温度を取得する回路を作りました(図1)。PicoのプログラムにはMicroPythonを使用して、測定した電圧値データをパソコン側に送ります。パソコン側では、Picoから送られてくるデータを開発環境ソフトウェア、ロガー・ソフトウェア、表計算ソフトウェアExcel、自作Pythonプログラムなど、いろいろな方法を用いて取得します。パソコンのOSはWindows 11 Homeエディションを使用しています。

## 方法1: Python開発環境 Thonnyで表示する

マイコン・ボードで取得したデータをパソコン上に取り込んでグラフ化する方法として、Python/MicroPython統合開発環境Thonnyに付属しているプロッタ機能を利用する方法があります。

図1 温度測定回路  
アナログ電圧出力の温度センサをラズベリー・パイPicoの12ビットA-Dコンバータ入力端子に接続することで温度測定が行える実験回路を作れる。パソコンとはThonnyとの通信用(マイコン書き込み用)USBと、UARTによるデータ通信用USBで接続している



リスト1 温度測定プログラム(Thonnyに表示, ADC\_temp1.py)

```

1 from machine import Pin, UART, ADC
2 import time
3 adc = ADC(26)
4 while True:
5     adc_value = adc.read_u16()
6     voltage = adc_value * 3.3 / 65535
7     temp = (voltage-0.5)*100
8     print(temp)
9     time.sleep(1)
    
```

A-D変換値を電圧値に変換  
 ADC0(GP26)を使用  
 A-D変換値を取得  
 電圧値を温度に変換  
 Thonnyシェルに温度を表示  
 1秒間停止

Thonnyには、シェルに表示された数値データをグラフ化してくれるプロッタ機能が備わっています。プロッタ機能は、もともとMicro:bitで使用される統合開発環境Muエディタに備わっていた機能です。非常に便利な機能なので、Thonnyにも導入された経緯があります。

Thonnyのプロッタ機能はプログラム開発に用いるUSB通信でデータ転送を行うため、PicoのUART端子に接続するデータ送信用のシリアル通信線を接続しなくても利用できます。自作したセンサ計測回路の動作確認を手軽に行いたい場合に非常に便利な機能です。

### ● 温度センサの情報を取得してThonnyで可視化

Picoで動作させる温度測定プログラムをリスト1に示します。MicroPythonでThonnyを用いて開発しました。プログラムは、温度センサMCP9700Aから出力されるアナログ電圧をPico内蔵のA-Dコンバータを用いて1秒間に1回の頻度でデータ取得します。取得データは、温度に変換してからprint関数を用いてThonnyのシェルに表示します。

Thonnyシェル・ウィンドウに数値が順次表示されるようすを図2に示します。

プロッタ機能を用いてグラフ表示することも可能です。Thonnyの「表示」-「プロッタ」を選択すると、シェル・ウィンドウの横にプロッタ・ウィンドウが表示されます。プロッタ・ウィンドウにはシェルで表示

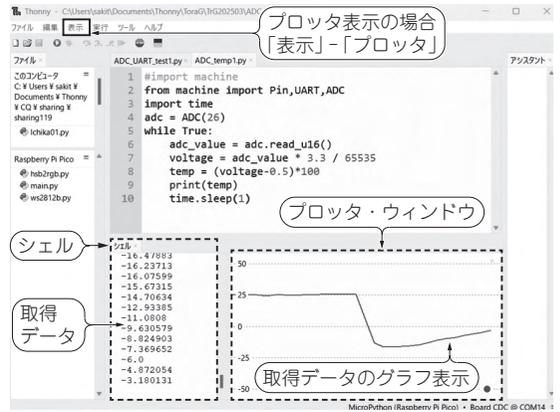


図2 Thonnyプロッタを使えばPC側プログラムを書くまでもない

統合開発環境Thonnyにはプロッタ機能があり、シェルに送信した数値をグラフにして表示してくれる。温度測定のように刻々と変化するデータの場合、数値よりもグラフで表示する方が容易にトレンドを把握できる

された数値が自動でグラフ表示されます。シェルに複数の数値を表示した場合には、グラフの線色を自動で変えて複数の線を表示してくれます。

## 方法2：シリアル通信で受信してTera Termで表示する

### ● シリアル通信送信用のPicoプログラム

図1の温度測定回路を用いて、シリアル通信端子から温度測定データを定期的に送信し、パソコンのCOMポートでデータ受信して、オープンソースの通信ソフトウェアTera Termで表示する実験を行います。

Pico側で動作させる温度測定MicroPythonプログラムをリスト2に示します。温度測定プログラムは、A-Dコンバータのサンプリング・ノイズを軽減するため10回サンプリングして平均化し、1秒間に1回の割合でUART通信を用いてデータ送信を行います。データ送信を行うときに、数値データを文字列やバイト配列に変換してから送る必要があるため、Micro

リスト2 温度測定プログラム(UARTを利用, ADC\_UART\_test1.py)

```

1 from machine import Pin, UART, ADC
2 import time
3 adc = ADC(26)
4 uart = UART(1, baudrate=9600, tx=Pin(4), rx=Pin(5))
5
6 while True:
7     adc_value = 0
8     for n in range(10):
9         adc_value = adc_value + adc.read_u16()
10        time.sleep(0.1)
11    voltage = (adc_value/10) * 3.3 / 65535
12    temperature = (voltage-0.5)*100
13    uart.write("Temperature {:.2f} C\n".format(temperature))
14    # uart.write("{:.3f}\n".format(temperature))
15    # uart.write("{:.3f};{:>5d}\n".format(temperature, adc_value))
16    print(temperature)
    
```

A-Dコンバータの設定  
 UART条件設定  
 A-D変換値取得  
 10回積算平均化  
 電圧を温度値に変換  
 数値を文字列に変換して送る  
 CPLTへのデータ送信実験で使用  
 エスケープ・シーケンス  
 \n:改行(LF)  
 \r:復帰(CR)  
 UART転送命令  
 Thonnyシェルにデータ表示  
 Excelへのデータ送信実験で使用

はラスパイで

自動計測入門

PICO計測

付録プロの考え方

# ラズパイPicoの A-D変換性能の実際

加藤 忠 Tadashi Kato

## 背景

### ● A-D変換やD-A変換の落とし穴

プログラム視点から見れば、ライブラリのAPI関数を呼び出すだけで、「良きに計らった」アナログ処理ができてるように見えます。果たしてそれは、本当に正しいアナログ処理結果なののでしょうか? デジタル機能はデータシートからうかがい知れますが、アナログ機能はあまり詳しく記載されていません。そのため、普段意識する機会が少ないのではないのでしょうか。

電子工作愛好家に大人気のマイコンとして、RP2040(ラズベリー・パイ Pico)とESP32が2大巨頭として君臨しています。いずれも安価かつ、豊富な機能、優れた開発環境で、絶大な人気を誇っています。

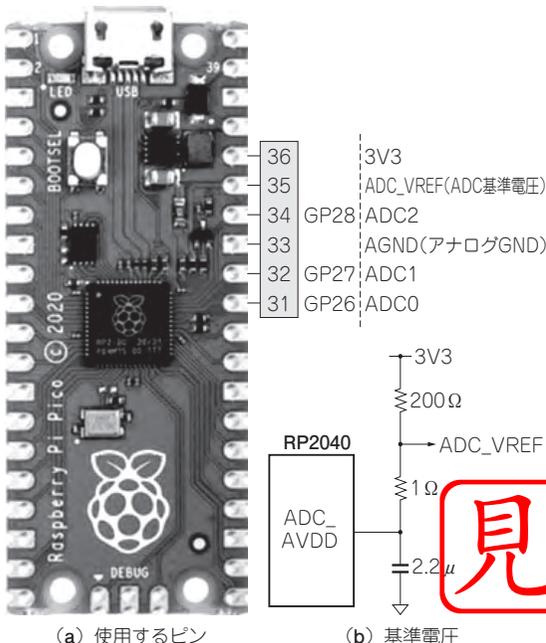


図1 ラズパイPicoのマイコンはA-Dコンバータでアナログ電圧を取得できる

本稿では、この2大マイコンに対してラズベリー・パイにはないアナログ機能、要はA-DコンバータとD-Aコンバータを実測評価して性能を確認します(図1)。

## ラズパイにはないマイコンのメリット… A-DコンバータとD-Aコンバータ

### ● A-DコンバータADCとD-AコンバータDAC

マイコンのアナログ機能の代表格は、アナログ-デジタル・コンバータ(以下ADC)、デジタル-アナログ・コンバータ(以下DAC)です。図1に示すようにアナログ電圧とデジタル値をそれぞれ変換します。

### ● ADC(Analog to Digital Converter)の役割

ADCは、外部から入力されるアナログ入力電圧を、線形変換と丸め込みで整数の離散値に変換して、マイコン内部に取り込む機能です。計測可能な電圧範囲は、マイコンによって異なります。離散値の最大値も、マイコンによって異なります。離散値の最大値が大きいほど、目盛りが細かくなり、表現できる電圧分解能が上がります。

図2(a)のADCは、0~3.3V入力の12ビット分解能( $2^{12} - 1 = 4095$ 分解能)の事例です。

### ● DAC(Digital to Analog Converter)の役割

DACは、マイコンから設定した整数の離散値を線形変換して、マイコン外部に電圧出力する機能です。出力できる電圧範囲や、離散値の最大値は、マイコンによって異なります。ちょうどADCの逆の働きをしますが、出力電圧は離散値になるので注意が必要です。

### ● ラズパイにはなくてマイコンにはわりとある

ラズパイZeroやラズパイ4は汎用のADCやDACをおもいません。ラズパイPicoは、12ビット分解能のADCをもっていますが、DACはもっていません。比較対象のESP32は、12ビット分解能のADCと、8ビット分解能のDACをもっています。

ADCのないマイコンでは、外部アナログ電圧を取



# ラズパイPicoを乾電池駆動… 間欠動作センサ・ロガー

佐藤 弘樹 Sato Hiroki

ラズベリー・パイ Pico(以降、ラズパイ Pico)を用いて、温度、湿度、大気圧を記録するデータ・ロガーを製作します(写真1)。

筆者は農作物を育てています。温度、湿度は、農作物の育成にとって重要ですが、畑が自宅から車で20分ほどの郊外にあるため、その場での環境がわかりません。そのため今回のデータ・ロガーで農作物の生育に重要な実際の畑での温度、湿度がどうなっているか、記録する目的で製作しました。あわせて、環境データとして大気圧も計測しています。

本稿は、単にデータ・ロガーを製作するだけでなく、コンセプトから実際の作成、評価をどのように行うかまで、流れに沿って解説します。データ・ロガー以外の製作にも参考になるとと思います。

## 製作する温度/湿度/気圧ロガーの コンセプト

何かを作る際に初めに重要になるのが、何を実現したいかという目的をはっきりさせることです。電子工作の場合、いわゆる「リチカ」から始め、そのあとでセンサによる計測やモータなどの駆動、カラーLED

やLCDなどによる表示などに挑戦すると思います。しかし、次にどのようなものを作るか、結構悩む例が見られます。その際にはぜひ身の回りでの課題を見つければ、目的のヒントになり、さらにどのように実現するか考えるとよいです。

このように思考を巡らせたあとで実際に製作、評価を行うと、次のさらなる課題が見つかります。そして、その課題を達成することに挑戦していき、このループを何度も繰り返すことで技術力が向上し、さらに難しいことに挑戦できます。

少し脱線してしまいましたが、今回製作する温湿度大気圧データ・ロガーのコンセプトは下記になります。

- (1) 屋外に設置し、温度、湿度、大気圧を計測し、そのデータを保存する
- (2) 計測は5分程度の間隔にする
- (3) バッテリー駆動にして、最低1週間程度は継続動作できる
- (4) できるだけ小さくし、防水対策をとる
- (5) できるだけ安価にする
- (6) 簡単な記述ができ、汎用性が高いMicroPythonで開発を行う



(a) 畑で設置することを目指して (実際には直射日光を避け、雨が直接当たらないところに設置)



(b) 実際の基板と筐体

写真1 製作する温湿度&大気圧データ・ロガー

# ラズパイPico 小型サーモグラフィの製作

エンヤ ヒロカズ Enya Hirokazu

ラズベリー・パイPico(以降、Pico)を使ったサーモグラフィを製作しました。温度センサには解像度8×8(64画素)赤外線アレイ・センサGrid-Eye AMG8833(パナソニック)を使用し、LCDディスプレイには1.14インチ、解像度240×135、65K色ST7789コントローラ・ユニットを使用しました。

写真1に外観を示します。

## 自作サーモグラフィの概要

### ● メイン・マイコンPicoを使う上で

Picoは、DIP形状のボードで、端子は一部を除き、2.54mmピッチで並んでいます。そのままブレッドボードに挿せて実験しやすくなっていますし、このピン配置に合わせたHAT(ハット)と呼ばれる拡張基板群が用意されています。それらを用いることで新しく基板を作ることなく、デバイスを接続できます。

Picoの端子配列で特徴的なところは、GND端子が片側に4つ、両側で合計8つ配置されているところです。

ほかのマイコン基板、例えばArduino UnoはGND端子が3つで、GNDの安定性を確保するのが難しい場合もありました。その点でPicoは、設計時から配慮されていることがわかります。信号線は1つの端子に複数の機能が割り当てられており、プログラム上で自由に割り当てて使うことができます。

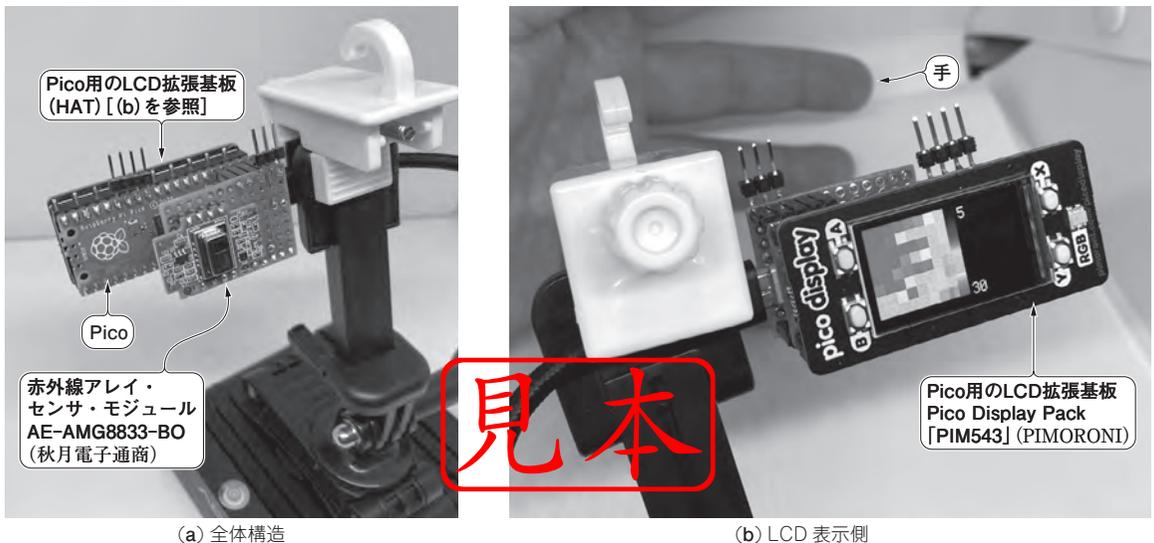
Arduino Unoでは利用できるピンが固定されていたI<sup>2</sup>CやSPIも、多くのピンで割り当てて使用可能です。

### ● ちょうどいいLCD拡張基板(HAT)を活用

Picoには、HATと呼ばれるさまざまな拡張基板が販売されています。多くの基板はPicoと同じサイズでコンパクトにできています。Picoの両側のヘッダ・ピンにソケットを差し込んで接続します(写真2)。

今回拡張する液晶ユニットは、Picoに合わせて設計されているため、直接取り付けが可能です。入手性を考えて2種類のLCDユニットが使えるようにピン割り当てを考慮しました。

「赤外線アレイ・センサ・モジュールAE-AMG8833-



(a) 全体構造

(b) LCD表示例

写真1 温度画像をウォッチ! …赤外線アレイ・センサと超小型LCDを使ったサーモグラフィ

## 第1章

## 電源&amp;アナログ回路

瀬川 毅

Takeshi Segawa

## ● 測定とは性能を確認すること

人間が作った製品に、完全はありません。実際には使用上も設計的にもさまざまな制約があり、理想の性能が実現できないのが現実です。現状は、理想と現実の折り合いをつけた性能の製品が販売されて

います。測定の1つの目的は、そうした性能を確認することです。さらに踏み込んで書くと、回路技術の現実を確認することなのです。

本章は、電源の理想と現実を測定によって明らかにすることをテーマに話を進めます。

## 1-1 入出力する電圧 / 電流

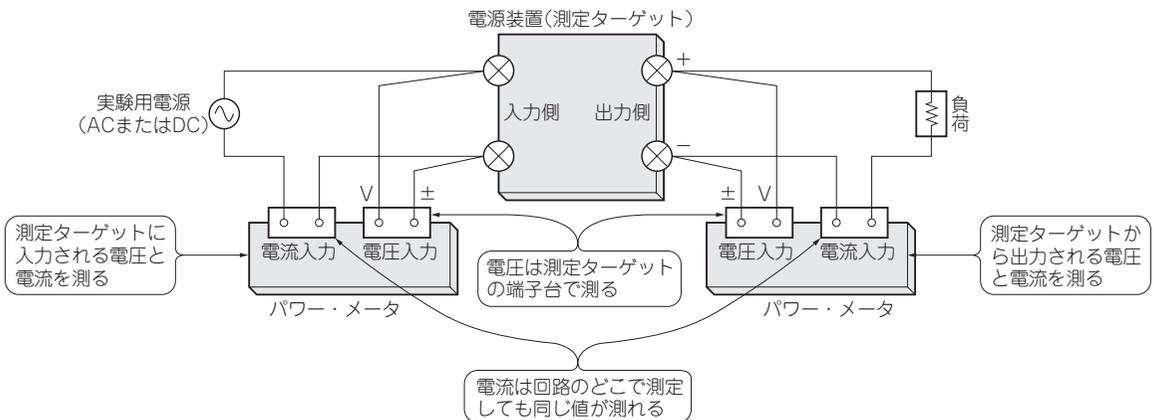


図1 測定対象の電源とパワー・メータの接続

## ● 測定する項目

電源を測定するとき一番最初に測るのは、入力電圧、入力電流、出力電圧、出力電流です。

交流入力の場合はさらに入力側の力率、実効電力を測定します。交流では単純に電圧と電流の測定値の積をとると皮相電力 [VA] になり、実効電力 [W] ではありません。

ここで、電源について2つ問いかけをしてみます。

問い1：どんな入力範囲の電圧でも動作し、出力電圧が一定か？（入力変動）

問い2：出力電流をいくら流しても出力電圧は一定か？（負荷変動）

問い1の答えは、いいえです。電源には入力範囲があり、商用電源を入力としたタイプの多くはAC100～240Vの範囲で動作します。この入力電圧範囲で一定の電圧が出力されます。入力電圧が変化したときの

出力電圧の変化を入力変動と呼び、これが現実と理想の差です。

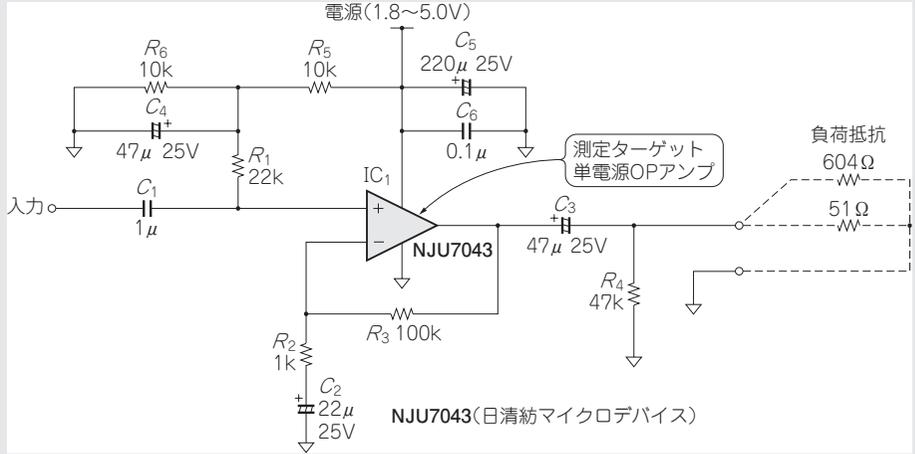
問い2の答えも、いいえです。電源には供給できる最大値があり、仕様で明記されています。その出力電流範囲で一定の電圧が出力されます。出力電流が変化したときの出力電圧の変動を負荷変動と呼び、これも理想と現実の差です。

負荷となる電子回路側から見れば、こうした入力変動や負荷変動は必ずしもゼロである必要はなく、必要に応じて、ある程度の範囲電圧に収まっていれば問題はありません。それゆえ、電子機器は実用化されて広く普及しているのです。

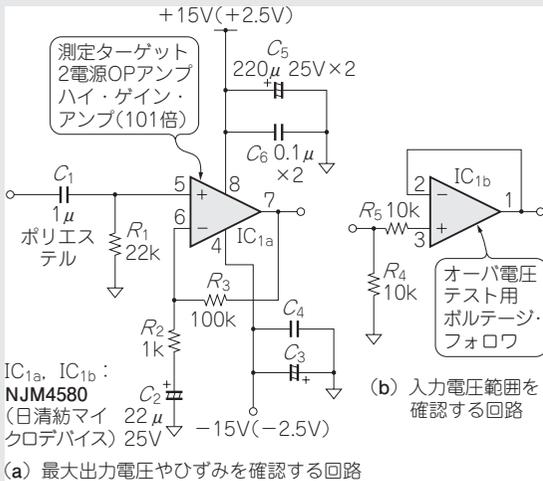
## ● 使用する測定器

入力電圧、入力電流、出力電圧、出力電流などの4つ以上のパラメータを同時に測定するので、パワー・メータを使用します。接続の方法を図1に示します。

見本



図X 本章の例題回路①…単電源OPアンプで構成した増幅回路  
ゲイン101倍のフラット・アンプ。負荷抵抗はE96の値で51Ωと604Ωを使用した



図Y 本章の例題回路②…両電源OPアンプで構成した増幅回路  
ゲイン101倍のフラット・アンプとボルテージ・フォロウ

## ● 2つの例題回路

本章では、図Xと図Yに示す2つの回路を例に、オーディオ用OPアンプ回路のプロフィール作りに必要な性能と測定方法を紹介します。

### (1) 単電源OPアンプを使った例題回路(図X)

OPアンプの直流動作点は、電源電圧の半分になっていて、入出力ともコンデンサで直流を切り離しています。また、アンプのゲインは101倍と高く設定しているので、直流のゲインは下げています。ゲインを高くしたのは、OPアンプの特性が目立つようにするためです。これは、あくまで測定の説明の対象なので、アンプ設計の理想を示すものではありません。

### (2) 両電源OPアンプを使った例題回路(図Y)

基本は単電源用と変わりませんが、出力のコンデンサを省略しています。また、入力電圧の範囲を確認するため、ボルテージ・フォロウの回路も付加しました。ただし、両者は同時には測定しません。

## 2-1 最大出力電圧



### ● 意味

オーディオ用OPアンプの場合、特に指定がなければ、600Ωの負荷をつないで正弦波を入力したときの、全高調波ひずみ率が10%に達する出力電圧の実効値を最大出力電圧とします。最大出力電圧は電源電圧に

直接依存するので、条件パラメータとして明記します。

### ● ひずみ率が10%のときの出力電圧が1つの目安

最大出力をピーク電圧で測定すると、ある値で限界(クリップ)に達して、それ以上は入力が上がっても変

このPDFは、CQ出版社発売の「トランジスタ技術SPECIAL No.171」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 <https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSP/MSP202507.html>

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

**CQ出版社**