

# トランジスタ技術 SPECIAL

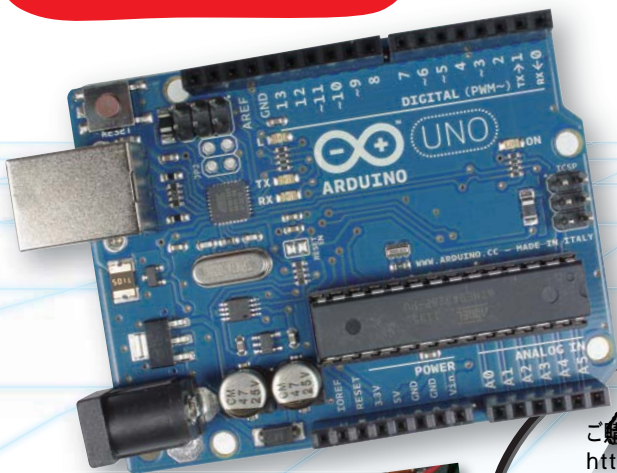
今すぐUSBマイコンArduinoと今すぐプログラムで収集・解析・制御

## 研究室で役立つ

## パソコン計測アナログ回路集

生物/化学系から  
機械/物理系まで

レポート/論文作りも  
バッチリ!



ご購入はこちら  
<http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSF/MSP201601.htm>

CD-ROM付属

プログラミング不要!  
全製作物の動作確認済み  
スケッチ・プログラム

見本

# Introduction データ収集・制御は学生マイコン Arduino でサクッと！ 生物 / 化学系から機械 / 物理系まで！ 電子計測の応用分野は無限大

二上 貴夫

## 1 読者ターゲット

● 医学 / 生命 / 材料 / 建築 / 造船 / 繊維 / 食品を含む理工系の人々へ

本書(トランジスタ技術SPECIAL No.133)では、医療、生命、材料、建築、造船、繊維、食品などの××工学と名が付く領域、あるいは農学、化学、薬学、医学、生物学など理工学にかかわる人たちが読者対象です。

業務、研究、学習、そして趣味のため日常的に電子技術を使うけれども、電子技術の専門家ではない人たち(ここでは理工系の人々と呼ぶ)が、電子回路を活用する方法を解説します。

● 電気回路の応用分野は無限に広がっている

新しいタイプの繊維素材ができあがったときには、その伸展性や保温性を調べます。東欧からの新種の発酵食品を日本で作る場合は、自社工場ではどれくらいの発酵速度になるのかを知りたいこともあるでしょう。

こうした場合は、**弾性や温度差、酸性度、糖度などを科学的に数値化する必要があります。**数値は電子技

術を応用した計測装置で取得します。従来は人の官能的な判断に依存していた果物の熟成度や色度も、現在は電子装置が能率良く正確に判定しています。味覚についてもまたしかりです。

## 2 研究に必要な装置は自作できる時代へ

● 昔は電子工学の専門家のみが電子回路を扱った

70年ほど前に電子管を使ったコンピュータが生まれて以来、コンピュータや電子素子は進化を続けてきました。電子回路技術者が、研究や産業の要請を受けてさまざまな装置を開発しその成果を提供してきました。

例えば、試料に含まれる極めて微量な物質を特定するには、物質を成分ごとに分離する「クロマトグラフィ」という手法が昔から使われています。試料を溶解して長いろ紙に浸潤させ、反対側まで溶媒で吸引して物質固有の移動速度から分析をするものです。この方法は、今では試料を小さなカプセルに入れてボタンを押せば、後はすべて電子装置とコンピュータがやってくれて、結果はパソコンにグラフや表で示されます。

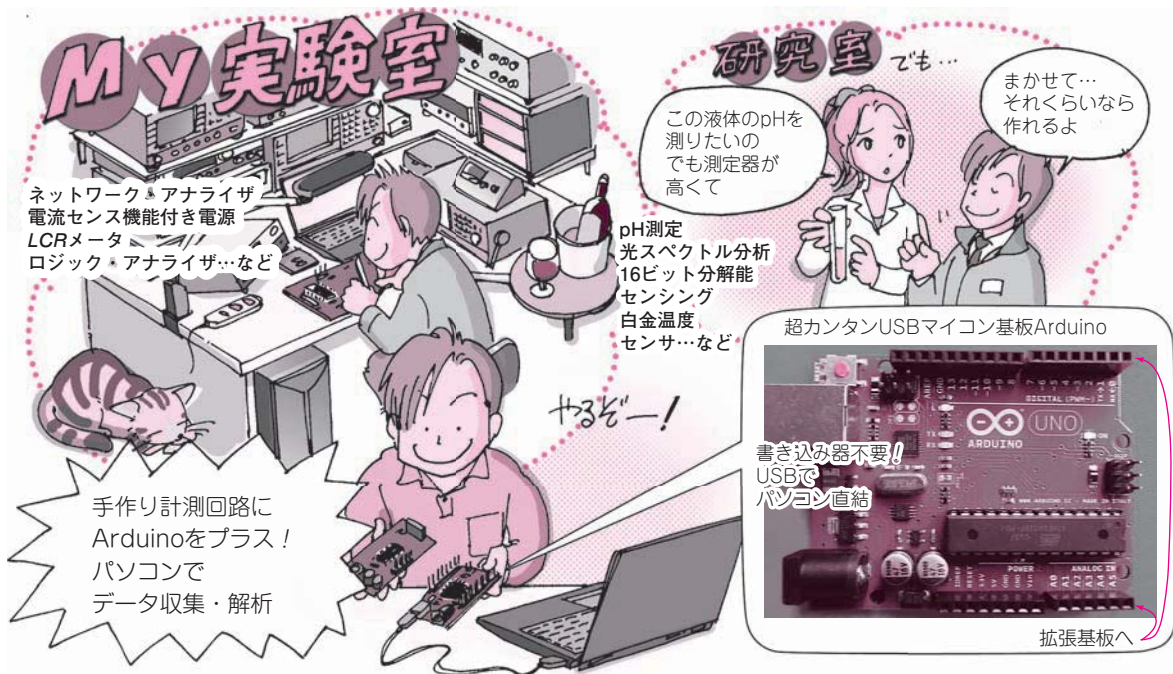


図1 研究に必要なデータを高精度に効率良く取得する装置が自作できるようになった

## Appendix 1

## 電子回路は分野の垣根を超える 本書で解説する実験・計測用アダプタの応用先

第2部で解説する実験・計測用アナログ回路の応用事例を紹介します。初めの二つの応用例は、私が実際に本書で紹介されている回路を使用して作成しようと考えているものです。そのほかの応用例は、各回路がこんな風に使えるだろうと考えたアイデアです。

自分が携わっている分野で応用できないかいろいろと考えてみてください。

### 分野：住宅工学 応用内容：LPガスの消費量を自動計測

#### ● LPガスと日本の住宅事情

第2部の製作1「分解能15ビットの計測用A-D変換アダプタ」は、住居問題の解決に使えます。オール電化の家も増えてきましたが、日本の多くの地域ではLPガス(以前はプロパン・ガスと呼んでいた)が使われています。

家庭の消費者の立場で、毎日の暮らしの中でどれくらいのLPガスを使用しているかを知るすべはありません。環境に優しく、住みやすい住宅建築を目指して住宅工学しようと思うと、こうした数値データは重要です。

#### ● ガス消費量に悩むお父さんたち

私の見聞きするところ、給湯のシャワーを娘がたくさん使うのに文句も言えずストレスをためている大勢のお父さんがいます。父と娘の関係は微妙なので、直接対決は避けてデータに語ってもらうのがよいでしょう。

幸い、LPガスのボンベの重さはガスが満タンのと

きと空のときでは大きく異なります。この変化を日々計測することでガス・エコロジの基礎データになります。趣味の住宅工学であれば、計測値を台所の端末に表示しても面白いでしょう。

#### ● LPガスの消費量を計測する方法

ロードセル・タイプの重量物計測方式を考えます。重量物を金属性の脚のある板で支えると、脚には重量に応じた金属ひずみが生じます。LPガス・ボンベの荷重に対して金属脚の弾性が等しくなるところまで脚は縮みます(実際には見えない)。この縮みをストレイン・ゲージという薄いフィルム状のセンサ4枚をブリッジ回路にして微小なひずみの変化を計測します。

ボンベは総重量が60kgくらい、ガス重量はその半分の30kgくらいです。1日で1kgくらい使うのでほしい50gくらいの重量計測分解能があれば実用レベルになります。つまり1200g(=60000g÷50g)以上のデジタル分解能とそれに見合うアナログ・モジュールがあればよいことになります。

#### ● 実際の作り込み方

図1(a)のようにLPガス・ボンベの下に鉄板を2枚敷きます。2枚の鉄板の四隅に少し高さのある金属ブロックを入れます。ブロックがボンベの荷重を受けて圧縮される方向の面にストレイン・ゲージAを貼ります。また圧縮されないが温度が同じになるところにストレイン・ゲージB～Dを3枚貼り、4枚でブリッジ回路を作ります。

このブリッジを図1(b)のように微小電圧計の入力

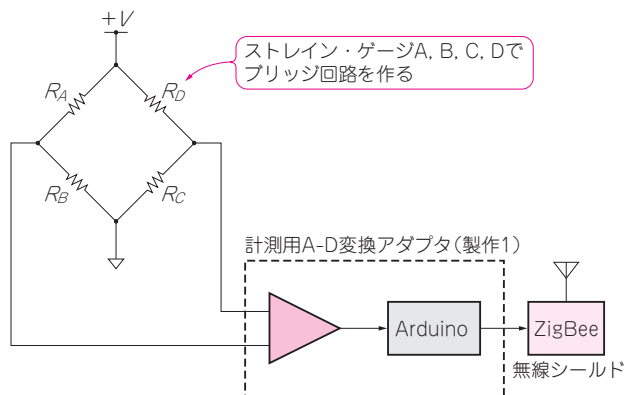
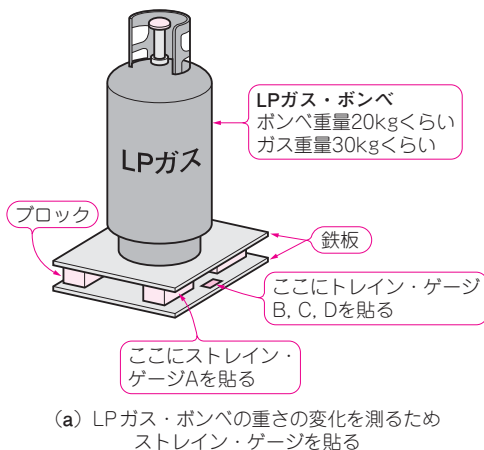


図1 応用例…LPガスの消費量を測る



# 第1部 USBマイコン・ボード Arduino でデータ収集・制御

## 第1章 パソコンへのデータ取り込みや制御も楽勝

# 誰でもマイコン・ボード Arduino 入門

島田 義人 Yoshihito Shimada

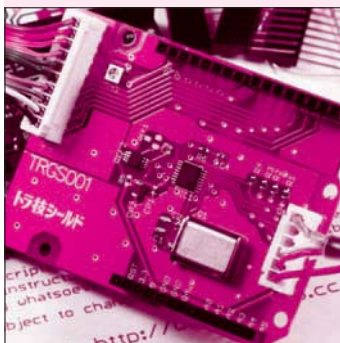


図1 Arduino を使って手っ取り早く My 実験室を作る

高速で高性能な 32ビット ARM マイコン・ボードが登場する中で、衰退するどころか逆に急速に普及しているマイコン・ボードがあります。その名も「Arduino」です。スケッチと呼ばれる豊富なサンプル・プログラムと、シールドと呼ばれるさまざまな拡張ボードを備え合わせ、マイコン独自の知識がなくても、短時間で動かせます(図1)。

● イタリア生まれ

Arduino は、8ビットまたは32ビットの AVR マイコン(Dialog Semiconductor, 元 Atmel)を搭載したイタリア製のマイコン・ボードです(写真1)。

2005年暮れにイタリアの大学で、電気・電子の学生のために、イタリアの大学教授 Massimo Banzi(マッシモ・バンジ)氏らによって開発されたものでした

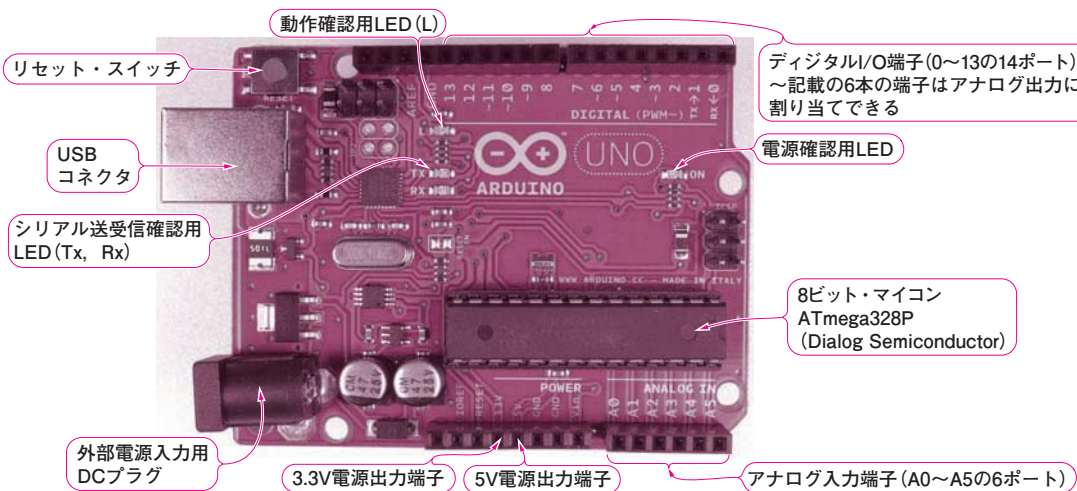


写真1 Arduinoの定番といえば「Arduino Uno」

イントロ

1

2

3

製作1

製作2

製作3

製作4

製作5

製作6

製作7

製作8

製作9

製作10

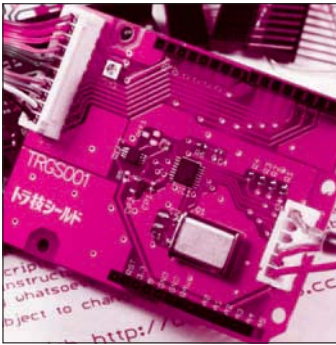
製作11

製作12

製作13

製作14

製作15



## 第2章 サンプル周波数や出力できる電流の上限を確認する

# 8ビットUSBマイコン Arduinoの実力チェック

島田 義人 Yoshihito Shimada

Arduino純正開発ツール Arduino IDE で記述するプログラム「スケッチ」では、ユーザにとって簡単な表記で分かりやすい、Arduino言語リファレンスと呼ばれる関数が使われています。この言語リファレンスはI/O(入出力)の設定やレジスタ制御といった面倒な処理を肩代わりしてくれるので、マイコンのしくみを意識せずとも簡単に動かせます。

反面、単純なI/O制御でも内部処理に時間を要するデメリットがあります。

入出力の処理能力などを測定して、Arduinoの実力を調べてみます。なお、Arduino Unoのクロック周波数は16 MHzです。

### 【実力チェック1】 出力信号の最小パルス幅

#### ● 実力

“H/L”出力にかかる時間の観測結果から、出力できる最小パルスは約4  $\mu$ sであることが分かりました。出力パルスを周波数に換算すると約125 kHzに相当します。

Arduinoは高速なトリガ信号を要求する用途には不

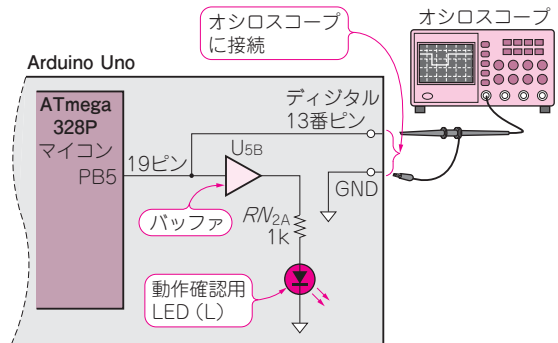


図1 “H/L”の入出力にかかる時間を測るための接続

向きですが、100 kHz程度の簡易測定器のトリガ信号であれば生成できることがわかります。

#### ● 搭載LEDを点滅させる

Arduino Unoには動作確認用のLED(L)が搭載されています。図1に示すように、このLEDは電流増幅用のバッファ(U5B)と電流制限用の1k $\Omega$ 抵抗(RN2A)を介してデジタル13番ピンに接続されています。

#### リスト1

LED点滅のテスト・プログラムを動かしてI/Oの応答速度をチェック

Arduinoの開発環境 Arduino IDEに用意されている。これを書き換えて使った

```

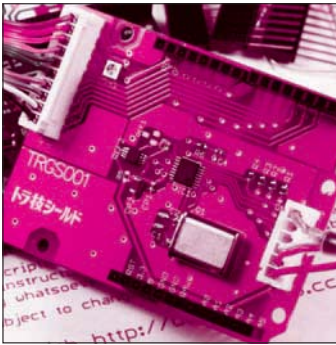
/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
 * This example code is in the public domain.
 */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13; // デジタル13番ピンを定義する

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() { // Arduinoの初期設定
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT); // デジタル・ピンを出力に設定する
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() { // 繰り返し実行する
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on(HIGH is the voltage level) // 出力を“H”に設定(LED点灯)
  delay(1000); // wait for a second // 1000 ms(=1秒)待ち
  digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW // 出力を“L”に設定(LED消灯)
  delay(1000); // wait for a second // 1000 ms(=1秒)待ち
}

```



## 第3章 LEDが1秒周期でチカチカしたらスタンバイOK!

# Arduino IDEのインストールからボードを動かすまで

使用するプログラム  
Arduino IDE

島田 義人 Yoshihito Shimada

Arduinoボードを入手したら、スケッチ(プログラム)を作るための開発環境 Arduino IDEを準備します。ここでは統合開発環境を略してIDE(Integrated Development Environment)と呼んでいます。Arduino IDEはパソコン上で動作するソフトウェアです。これを使ってArduinoのスケッチを書き、Arduinoボードに転送して動作させます。

### 統合開発環境 Arduino IDEをインストール

#### ● 手順1…Arduino公式サイトからファイル入手

Arduinoの公式サイト(<http://arduino.cc/>)<sup>注1</sup>を開きます。図1のArduino公式サイトには最新の情報が用意されています。サイトのメニュー・バーにある[Download]をクリックすると、Arduinoのソフトウェアのウェブ・サイトが開きます。図2に示すように、Arduino IDEには、Windows、Mac OS X、Linuxに対応するパッケージが用意されていて、ここから最新のArduino IDEをダウンロードできます。

2015年11月現在のArduino IDEのバージョンは、Arduino 1.6.6です。

Windowsについては、「Installer」と「ZIP file for non admin install」の二つのリンクがあります。前者をクリックした場合は、インストーラが直接起動します。後者をクリックした場合は、ZIPファイルのダウ

ンロードが開始されます。Admin権限を持たないユーザは、後者の方法でダウンロードしてください。Windows用のファイルは、「arduino-1.6.6-windows.zip」というzip形式の圧縮ファイルとなっています。

#### ● 手順2…Arduino IDEのインストール

インストールは、ダウンロードした圧縮ファイル「arduino-1.6.6-windows.zip」(付属CD-ROMに収録)を展開し、好みのフォルダに配置するだけです。インストーラは付いていないので、ダウンロードしたファイルを右クリックして「すべて展開」を選択します。展開先に配置したい場所を指定し「展開」ボタンをクリックすると完了します。展開したフォルダ「arduino-1.6.6」の下にArduino.exeというファイルがあるので、これのショートカットをデスクトップに作っておくと便利です。図2に示すように、OSごとのインストール手順はArduino公式サイト[Getting Started(<http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>)]のページで説明されています。

#### ● 手順3…ArduinoをUSBケーブルでパソコンと接続

Arduino IDEをインストールしたら、マイコン・ボードArduinoを接続します。ここではArduino Unoを例に説明します(写真1)。ケーブルをパソコンのUSBポートに接続したらボードの「ON」という文字の横のLEDが点灯します。USB対応のArduinoは



図1 Arduinoの公式ウェブ・サイトを開く  
<http://www.arduino.cc/>

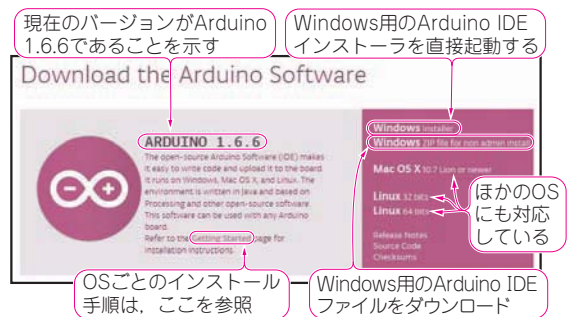


図2 Arduinoのソフトウェアのウェブ・サイトからArduino IDEをダウンロードする

注1: Arduino IDEは、<http://arduino.org>からも入手できる。

イントロ

1

2

3

製作1

製作2

製作3

製作4

製作5

製作6

製作7

製作8

製作9

製作10

製作11

製作12

製作13

製作14

製作15



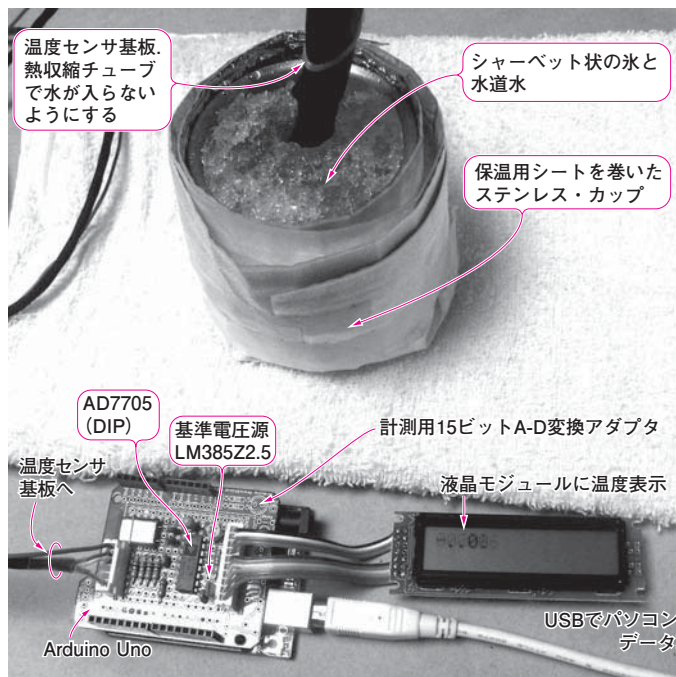
## 第2部 実験・計測用アナログ回路集

製作

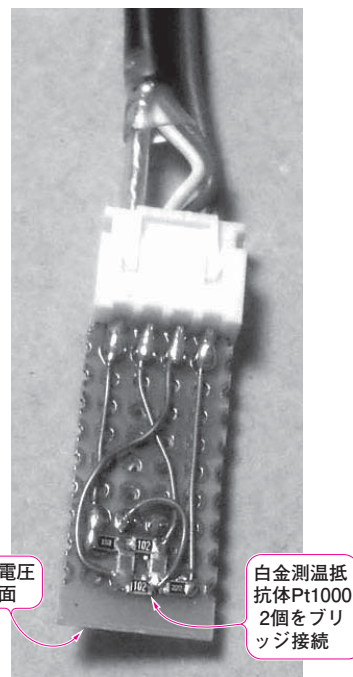
1

分解能15ビットの  
計測用A-D変換アダプタ使用するプログラム  
Arduino Program01

協澤 和夫

白金測温抵抗体を接続すれば $-25 \sim +100 \pm 0.001^{\circ}\text{C}$ が測定できる

(a) 全体



(b) センサ部

写真1 Arduinoで作成したアナログ・センサ計測アダプタを使用して温度を測る  
水を使って校正しているようす。水と氷が触れているところがほぼ $0^{\circ}\text{C}$ 、 $100^{\circ}\text{C}$ の校正には熱湯を使う

Arduinoに実装されているA-Dコンバータは、分解能10ビットの逐次比較型です(約 $5\text{mV}$ 分解能)。より高分解能で計測したいときは、パソコンなどから発生するノイズが気になるので、外付けのA-D変換器が欲しくなります。

とはいえ、12ビットを越えたあたりからノイズ対策は大変になります。例えば電源電圧 $5\text{V}$ でノイズが12ビットであれば、約 $1.2\text{mV}$ ( $=5 \div 4096$ )の精度が要求されますが、パソコンが出すノイズはそれを越えてしまい、信号がノイズに埋もれて測定できません。

そこでノイズの影響を受けにくく、使いやすいA-D変換シールドを製作することにしました。

有効分解能は15ビット(サンプリング・レート $30\text{Hz}$ 時)です。ここまで分解能が高ければ、水をかき混ぜたときの温度変化や、海の深さに対する温度差、人が部屋に入ってきたときの温度変化まで測れます。

## 本計測アダプタを使用した温度計の仕様

- 測定温度範囲： $-25 \sim +100^{\circ}\text{C}$ 程度  
ただし、LM385Zの使用温度範囲(保証値)は $0 \sim 70^{\circ}\text{C}$
- 測定分解能： $0.001^{\circ}\text{C}$ <sup>注1</sup>
- 精度：校正による
- 製作費： $5,000 \sim 5,500$ 円

## 応用例

- ブリッジ回路(ロードセル、ひずみゲージ、圧力センサ)による、重さやひずみの計測
- ノイズが大きい環境で配線を引き回す用途( $4 \sim 20\text{mA}$ など)
- 熱電対など出力がDCのセンサ(温度、湿度、重さ)

注1：白金測温抵抗体の抵抗変化とAD7705のプログラマブル・ゲイン・アンプのゲイン、コンバータの分解能から計算した値。

イントロ

1

2

3

製作1

製作2

製作3

製作4

製作5

製作6

製作7

製作8

製作9

製作10

製作11

製作12

製作13

製作14

製作15

## 製作

## 2

# 充電時間カウント方式で $\mu\text{A}$ オーダを測る微小電流メータ

使用するプログラム  
Arduino Program02

協澤 和夫

低消費電力マイコンの待機時消費電流も丸見え

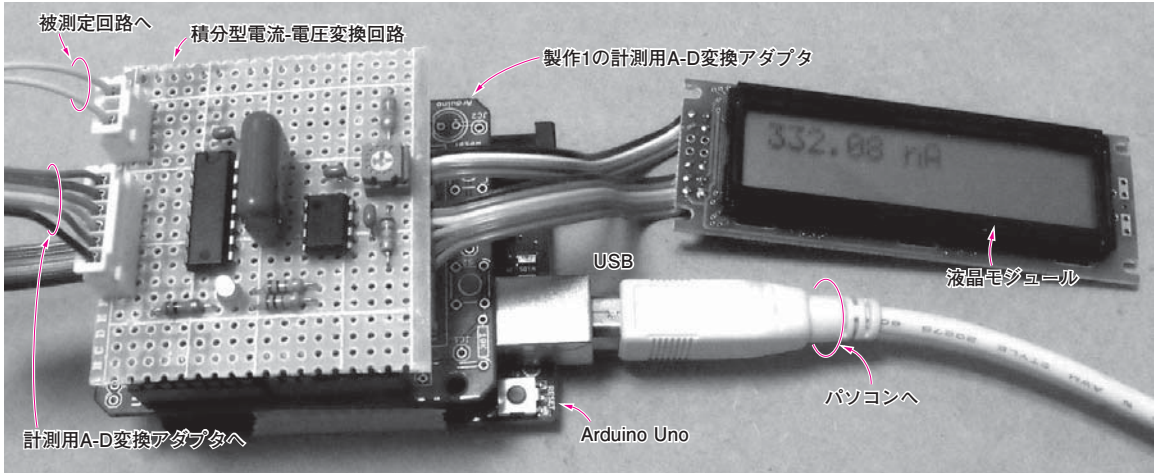


写真1 Arduinoで製作した微小電流メータ

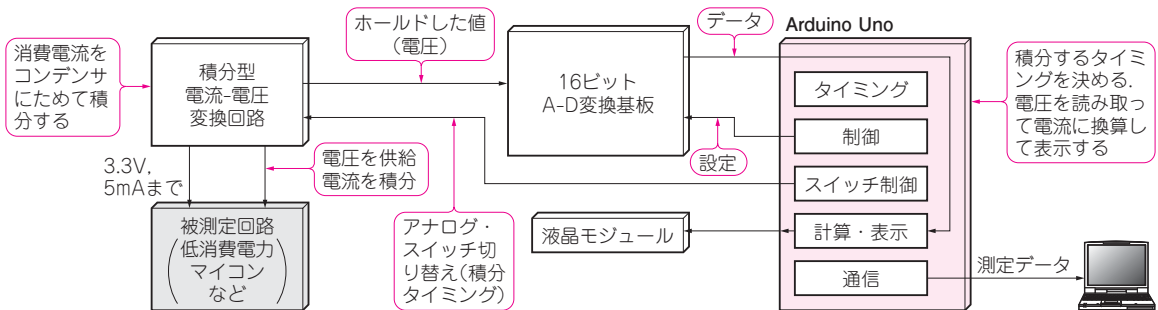


図1 Arduinoで製作した微小電流メータのブロック図

写真1に示すのは、Arduinoで製作した微小電流メータです。製作1の計測用A-D変換アダプタと組み合わせて使います。最近のワンチップ・マイコンの低消費電力モードなど、**電源電流変動の大きいデバイスの消費電流を積分しながら測定します。**

図1に、微小電流メータのブロック図を、図2に回路を示します。

計測できるのは直流だけで、交流成分や変動などは測れません。高抵抗や特殊なOPアンプを使う高ゲイン電流アンプを作る必要がなく、比較的簡単に微小電流を計測できます。時間軸で平均化できるのでノイズをキャンセルでき、発振の心配も少ないです。

## 仕様

- 負荷印加電圧：3.3 V
- 積分時間：1 s
- 電流分解能：約125  $\mu\text{A}$
- 入力電流範囲：10  $\mu\text{A}$  ~ 1 nA 程度
- 積分時間：10 m ~ 1000 ms
- ノイズ・レベル：1 nA 程度  
(ユニバーサル基板使用時)
- 制作費：8,500 ~ 9,000 円

## 応用例

- 低消費電力マイコンの微小電流の平均値を測る

イントロ

1

2

3

製作1

製作2

製作3

製作4

製作5

製作6

製作7

製作8

製作9

製作10

製作11

製作12

製作13

製作14

製作15



## 製作

## 3

フルスケール1 nA, 分解能  
1 pAの微小電流測定アダプタ使用するプログラム  
Arduino Program03

藤崎 朝也

100 GΩの高抵抗もバッチリ！ケーブルのわずかな振動も捉える

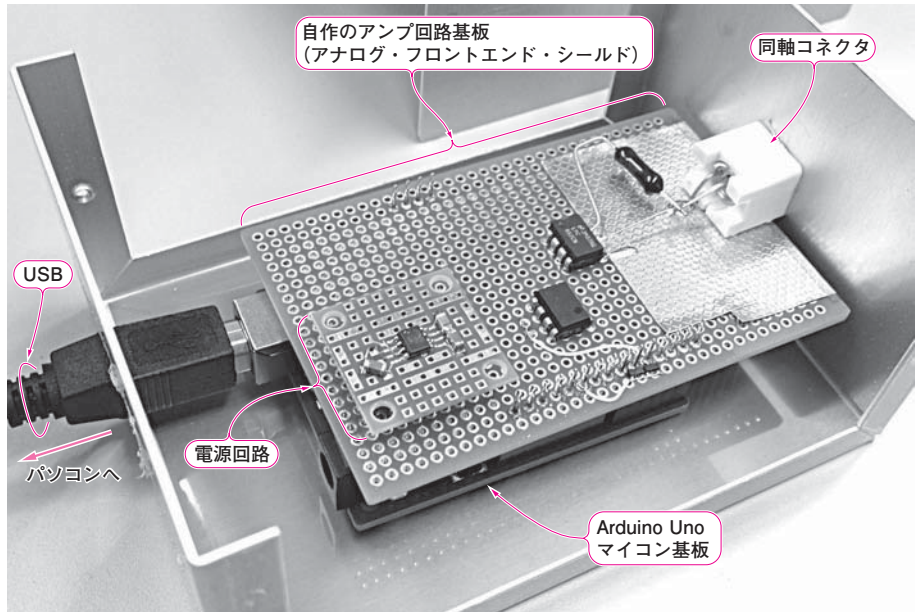


写真1

Arduinoで製作したフルスケール1 nA, 分解能1 pAの微小電流アダプタ

回路に電気が流れる際に発生するノイズは、電子機器の高精度化の妨げになります。

例えば、機器をつなぐケーブルが振動するだけでもごく微小の電流ノイズが発生します。電流ノイズの状態を知るには測定器が必要ですが、市販品は高価です。

そこで、市販の測定器のように多機能で測定値が保証されていないものの、1 pA分解能を持ち1 nAまでの直流電流を検出できる写真1の測定器を製作しました。

基板に実装した同軸コネクタで対象物からの漏れ電流を直接検出します。

自作のアンプ回路基板と市販のArduino Unoマイコン基板を組み合わせてデータを取り込み、パソコンで表示させます。アンプ回路基板は、秋葉原のパーツ・ショップやインターネット上から購入できる部品だけで構成しました。

〈編集部〉

## 仕様

## ▶外部仕様

- 表示分解能は1 pA程度
- 測定値のフルスケールは±1 nA程度  
(正負両極性の電流に対応)

## ▶内部仕様

- A-Dコンバータ(10ビット)の入力はArduino Unoマイコン基板のアナログ入力ピンを使用
- OPアンプの正電源はArduino Unoマイコン基板から供給される+5 Vを使用
- OPアンプの負電源は+5 Vから反転コンバータ(チャージ・ポンプ式)で生成

## アナログ・フロントエンド

## ●電流測定の方法

## ▶シャント方式は大電流向き

一つ目は図1(a)に示すシャント方式と呼ばれるものです。あらかじめ抵抗値が分かっている抵抗を用意して、これに電流を流し、抵抗の両端に生じる電圧値を測定します。測定された電圧値を抵抗値で割り算すれば電流値が求まります。抵抗を使って電流を電圧に変換するという簡便な方式ですが、ある欠点があります。

理想の電流計は内部抵抗値がゼロ(Column1参照)ですが、図1(a)では抵抗が入ってしまっています。10 Aくらいの比較的大きな電流を測定するのであれ

イントロ

1

2

3

製作1

製作2

製作3

製作4

製作5

製作6

製作7

製作8

製作9

製作10

製作11

製作12

製作13

製作14

製作15

## 製作

## 4

pHが測れる！1 G $\Omega$ 高入力インピーダンス・プリアンプ

脇澤 和夫

液に浸した電極2枚間の抵抗値測定に成功

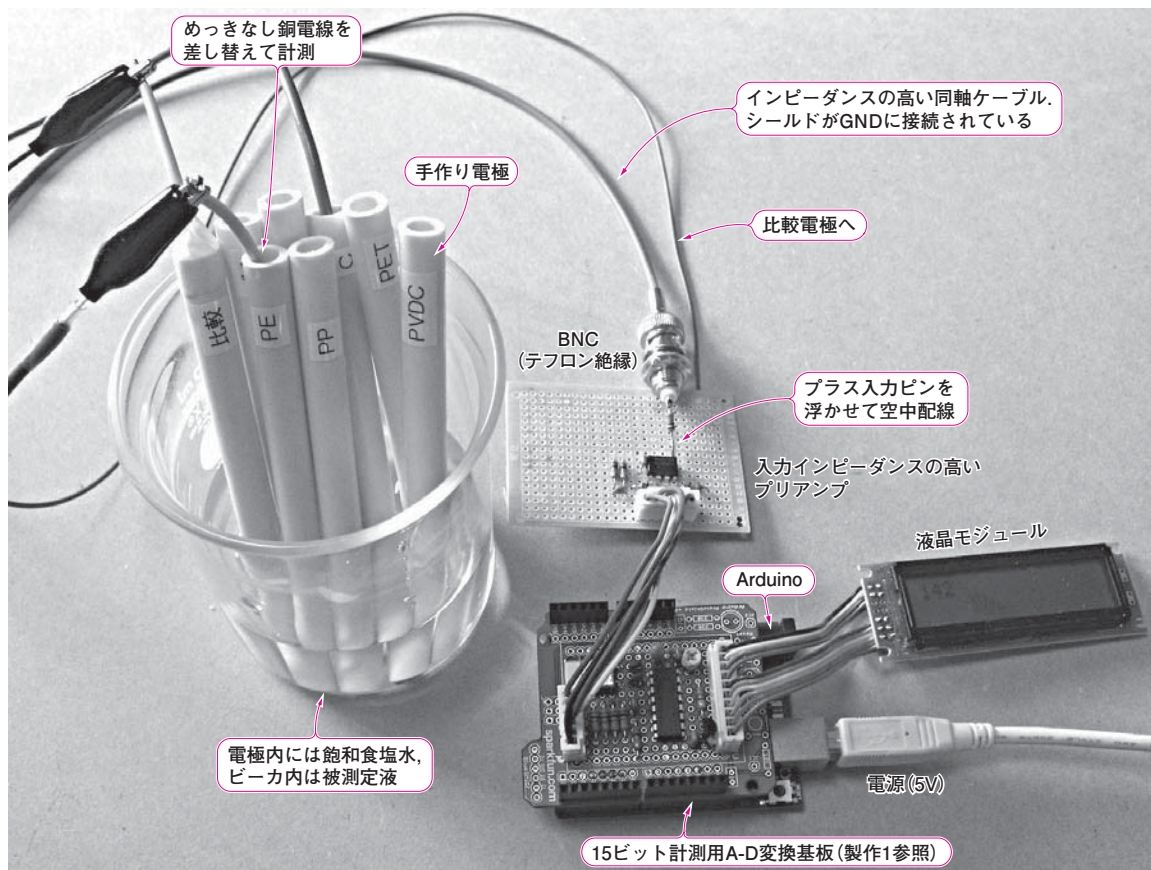


写真1 pHなどを測定しているようす

pH測定用の2枚の電極間のインピーダンスは100 M $\Omega$ 以上と高い。高入力インピーダンスのプリアンプを使えば測れる

pHを測定できる高入力インピーダンス・プリアンプを作りました。製作1の計測用A-D変換アダプタを使います。外観を写真1に、全体の構成を図1に示します。

## 仕様

- 最大入力電圧範囲：0～5 V(対グラウンド)
- 測定可能範囲：-1.25～+1.25 V(マイナス入力基準，プラス入力の電圧範囲)
- 入力インピーダンス：1 G $\Omega$ 以上(対グラウンド)
- 製作費：7,000～7,500円

## 応用例

- 電圧計…被測定対象に影響を与えない(半導体テストなど)
- 高圧プローブ…分圧値の抵抗値をG $\Omega$ のオーダーまで上げられる(半導体の漏れ電流など)
- 微小電流の計測…100 M $\Omega$ をシャント抵抗にできるのでnAオーダーまで測れる(半導体の漏れ電流，X線の検出など)
- センサ電極間の抵抗は100 M $\Omega$ 以上  
測定に使った電極のガラス膜は，非常に高い内部抵

イントロ

1

2

3

製作1

製作2

製作3

製作4

製作5

製作6

製作7

製作8

製作9

製作10

製作11

製作12

製作13


製作14

製作15

製作

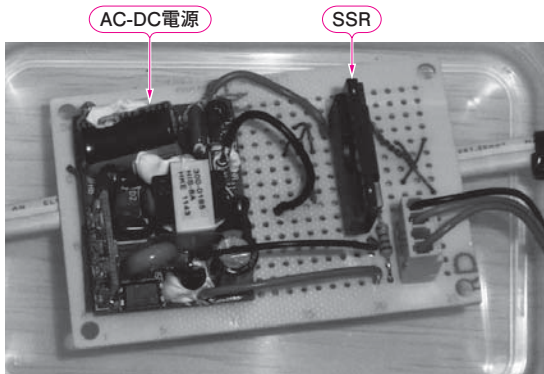
5

# 100～300℃で設定できる 自動温度調節器

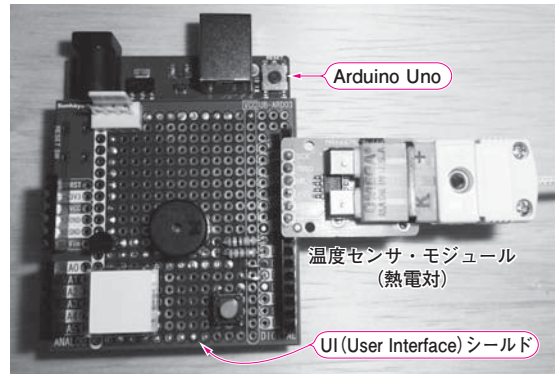
 使用するプログラム  
Arduino Program05

丸山 裕

設定値に達したらAC100 Vを自動でON/OFF！ 切り忘れブザー付き



(a) 電源コントロール・ユニット



(b) UIシールドと温度センサ・モジュール

写真1 Arduinoで作したはんだごて自動温度調節器  
電源コントロール・ユニット、UIシールド、温度センサ・モジュールで構成している

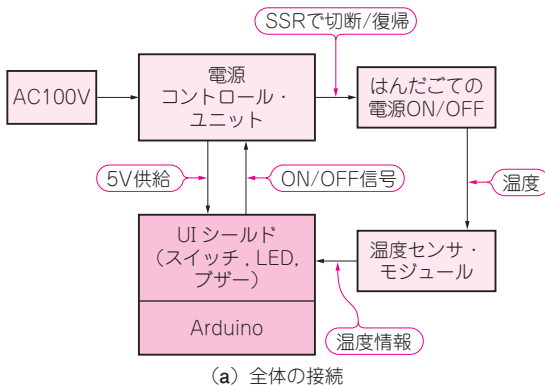
はんだごてを安全に扱うための、切り忘れタイマ付き自動温度調節器を製作します(写真1)。

ON/OFFボタンは、操作状態を分かりやすくするため、別々に実装します。

タイマで一定時間たったらACケーブルを切断する機能と、設定した上下限の温度に達したらAC電源を切断/復帰させる機能を搭載しています。タイマは1時間に設定しました。時間延長もできます。

## 仕様

- 切り忘れタイマ&ブザー
- こて先の過熱保護(劣化予防)
- 製作費：約7,000円



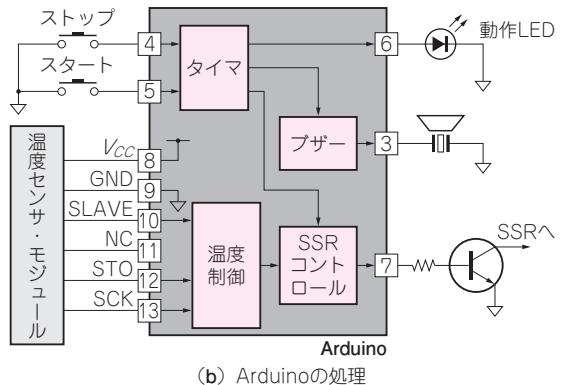
(a) 全体の接続

## こて先を適温に保つと長もちする

図1に全体のブロック図を示します。

はんだごての温度が上がるとフラックスが蒸発し、はんだが酸化してこて先が劣化するので、はんだごての温度は必要最小限に保つ必要があります。フラックスの沸点は350℃付近です。350℃を超えないようにします。

はんだ付けをする際、こての温度ははんだの融点+100℃程度が良いとされています。フラックスが耐えられる温度ぎりぎりになるので、気温の影響などを考えると温度を自動的に調整できると便利です。



(b) Arduinoの処理

図1 はんだごて自動温度調節器のブロック図

イントロ

1

2

3

製作1

製作2

製作3

製作4

製作5

製作6

製作7

製作8

製作9

製作10

製作11

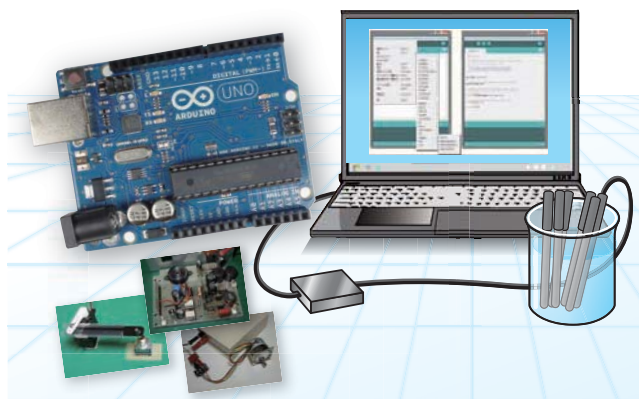
製作12

製作13

製作14

製作15





今すぐUSBマイコンArduinoと今すぐプログラムで収集・解析・制御

## 研究室で役立つ パソコン計測アナログ回路集

全15  
事例

- 製作 1 分解能15ビットの計測用A-D変換アダプタ
- 製作 2 充電時間カウント方式で $\mu\text{A}$ オーダを測る微小電流メータ
- 製作 3 フルスケール1nA, 分解能1pAの微小電流測定アダプタ
- 製作 4 1G $\Omega$ 高入力インピーダンス・プリアンプ
- 製作 5 100~300 $^{\circ}\text{C}$ で設定できる自動温度調整器
- 製作 6 特性変化を自動測定!リピート・テスト・アシスタント
- 製作 7 メカ部品の耐久試験に使える反復直線運動装置
- 製作 8 ACモータによる回転リピータ&テスト状況レコード
- 製作 9 水分中のイオンを検出!光スペクトラム分析装置
- 製作 10 周波数や波形を設定!ポータブル・プログラマブル・インバータ
- 製作 11 1M~100MHz, 1MHzステップの周波数特性測定器
- 製作 12 16チャンネル通信ラインのループバック・テスタ
- 製作 13 出力特性を自動測定!ACアダプタ用電流チェッカ
- 製作 14 16チャンネル/12kポイントのロジック・アナライザ
- 製作 15 Arduino Uno用AVRマイコン複製アダプタ

