

# 低ノイズオペアンプ TC75S67TU 電流センサー向け応用回路

## リファレンスガイド

### RD161-RGUIDE-01

---

#### **概要**

本リファレンスガイドは低ノイズオペアンプTC75S67TUを用いた電流センサー（以下、本センサー）の仕様、基板パターン、使用方法、特性について記載したものです。マイコンを使って、PC上で動作制御や結果表示が行える構成としておりますので、TC75S67TUを使って電流センサーを設計する際にご参照ください。

**東芝デバイス&ストレージ株式会社**

## 目次

<b>1. はじめに .....</b>	<b>3</b>
<b>2. 仕様と外観 .....</b>	<b>4</b>
2.1. 仕様.....	4
2.2. 外観.....	4
<b>3. 回路と基板パターン.....</b>	<b>5</b>
3.1. 回路図.....	5
3.2. 部品表.....	6
3.3. 基板パターン.....	7
<b>4. 動作手順 .....</b>	<b>10</b>
4.1. Arduino と Processing について .....	10
4.2. Arduino との接続 .....	10
4.3. 起動と停止 .....	11
4.4. 零点補正方法 .....	13
4.5. 評価時の注意事項.....	15
<b>5. 電流センサーの測定結果.....</b>	<b>16</b>

### 1. はじめに

本リファレンスガイドで解説する電流センサーは、電流センシング方式として構造がシンプルなシャント抵抗型を採用しています。最大2 Aまでの電流を計測することができるほか、GNDセンスや電流のリングング検出も可能な設計としました。ノートPCや電子タバコなどのバッテリー駆動機器の電流センシングや家電機器の過電流保護など、さまざまな用途に広く使用することができます。マイコンにはArduinoを使用し、PC上で動作制御や結果表示を行えるようにしました。また、電源もArduinoから供給される5 V直流電圧を使用しますので、本センサーのほか、ArduinoとPCがあれば電流センサーとして使用可能です。

本センサーリファレンスデザインの各種提供情報はこちらから → [Click Here](#)

オペアンプ以外の部品も表面実装品を使用して、20 mm×20 mmというコンパクトなサイズの基板上に配置し、さまざまな用途に使いやすい設計としました。

## 2. 仕様と外観

### 2.1. 仕様

表 2.1 電流センサー回路仕様

項目	仕様
I/F	Arduino 接続
制御方式	Arduino および Shield 接続 PC からの制御
電源電圧	Arduino および Shield 基板供給 5 V
測定電流	最大 2 A
シャント抵抗	TE connectivity 製 RL73H3AR10FTE 100 mΩ、±1 %精度、1 W@70 °C
搭載オペアンプ	東芝デバイス&ストレージ製 TC75S67TU

### 2.2. 外観

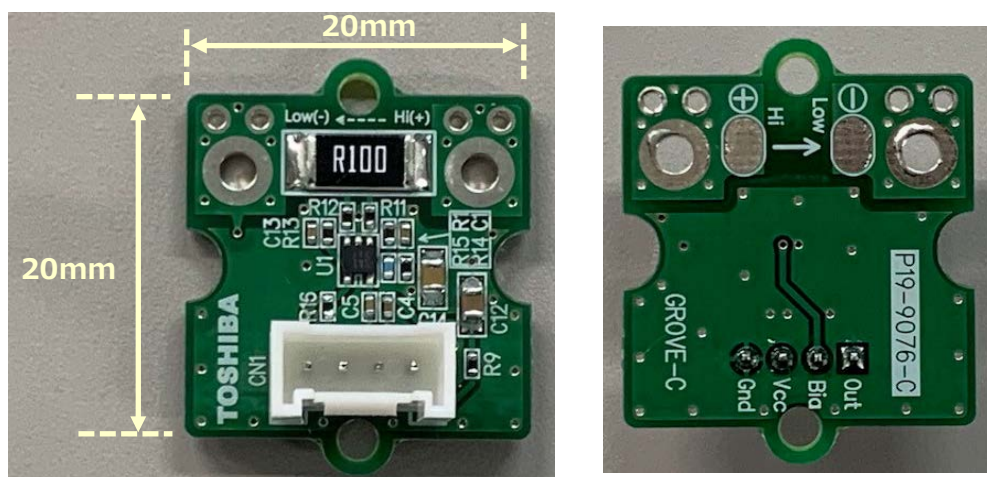


表 (部品実装面)

裏

図2.1 電流センサー外観

### 3. 回路と基板パターン

#### 3.1. 回路図

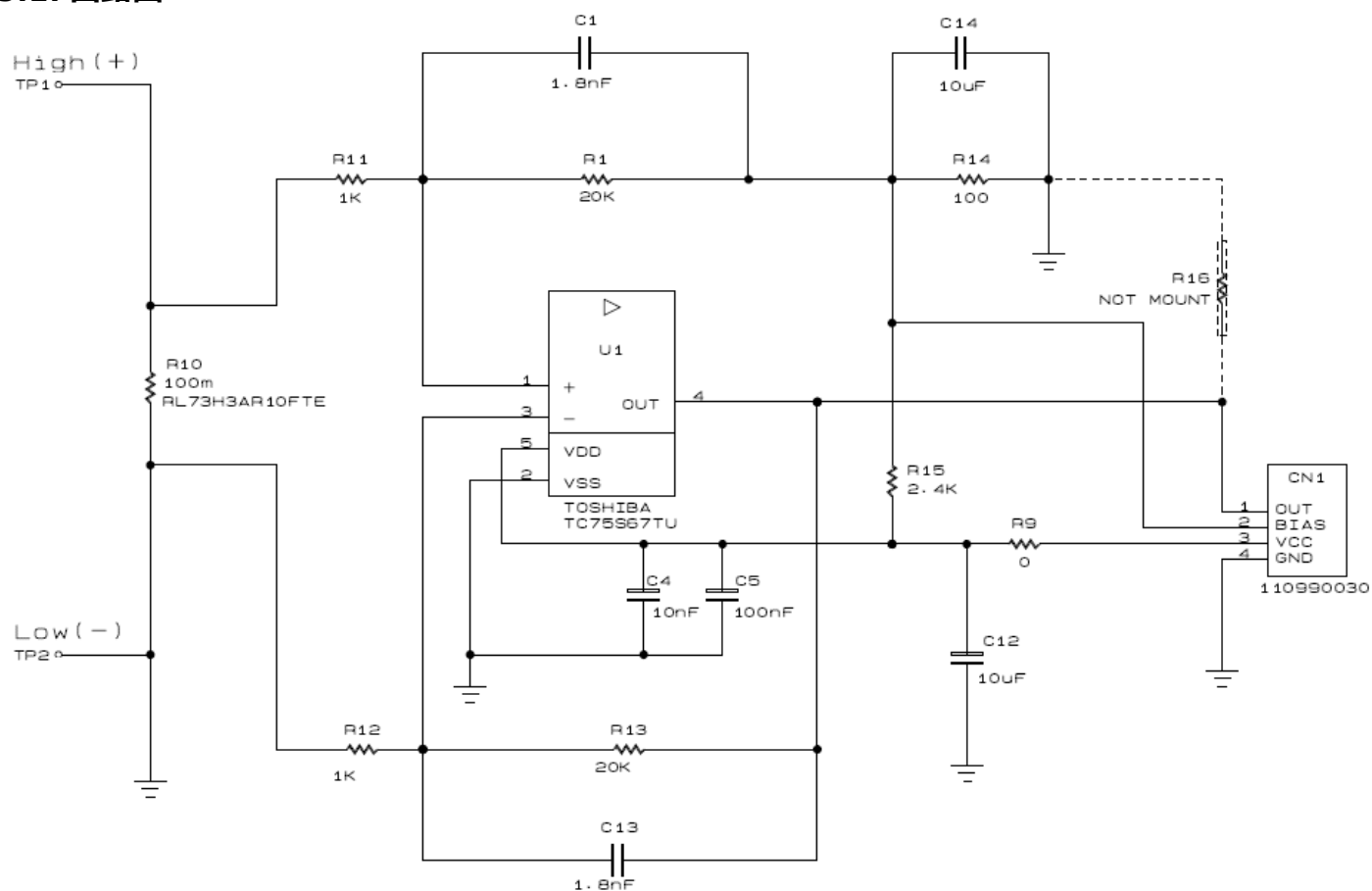


図 3.1 電流センサー回路図

## 3.2. 部品表

表 3.1 部品表

アイテム	部品	数量	値	部品名	メーカー	説明	パッケージ 名称	標準寸法 mm (inch)	実装
1	U1	1	-	TC75S67TU	TOSHIBA	オペアンプ	SOT-353F	2.0×2.1×0.7	
2	C1, C13	2	1800 pF			セラミック 50 V, ±10 %		1.0×0.5 (0402)	
3	C4	1	10 nF			セラミック 25 V, ±10 %		1.0×0.5 (0402)	
4	C5	1	100 nF			セラミック 16 V, ±10 %		1.0×0.5 (0402)	
5	C12, C14	2	10 μF			セラミック 25 V, ±10 %		2.0×1.2 (0805)	
6	R1, R13	2	20 kΩ			100 mW, ±1 %		1.0×0.5 (0402)	
7	R9	1	0 Ω			1 A		1.0×0.5 (0402)	
8	R10	1	100 mΩ	RL73H3A R10FTE	TE connectivity	シャント抵抗 1 W, ±1 %		6.4×3.2 (2512)	
9	R11, R12	2	1 kΩ			100 mW, ±1 %		1.0×0.5 (0402)	
10	R14	1	100 Ω			100 mW, ±1 %		1.0×0.5 (0402)	
11	R15	1	2.4 kΩ			100 mW, ±1 %		1.0×0.5 (0402)	
12	R16	1						1.0×0.5 (0402)	Not mounted ダミー負荷
13	CN2	1	-	110990030	Seeed Studio	Grove コネクタ 4pin/ストレート		10×5.1×8.1	

### 3.3. 基板パターン

本基板は表裏の両面基板で構成します。表が部品実装側です。

<表 (部品実装側) >

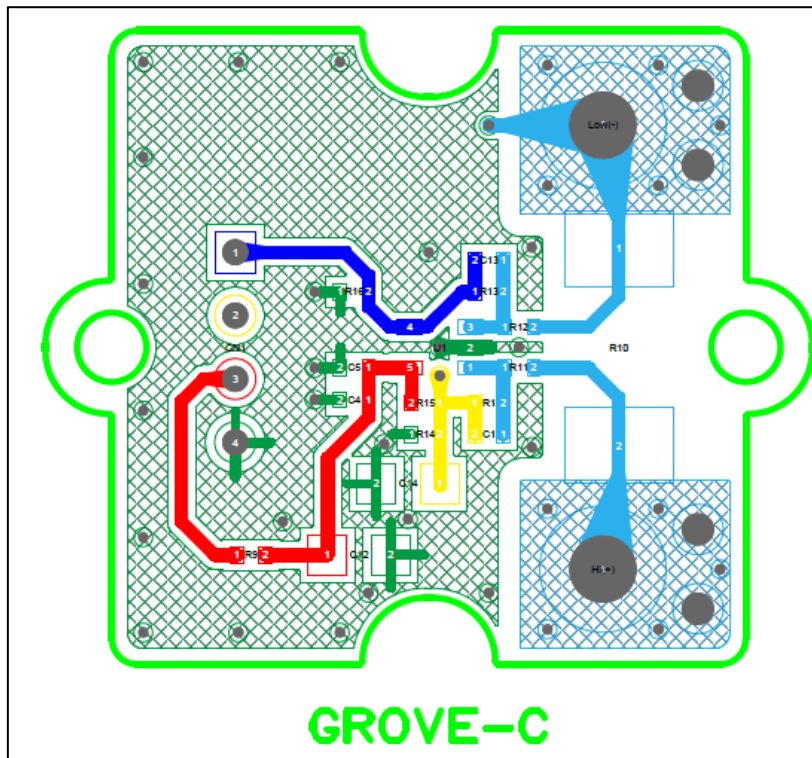


図 3.2 基板表面パターン

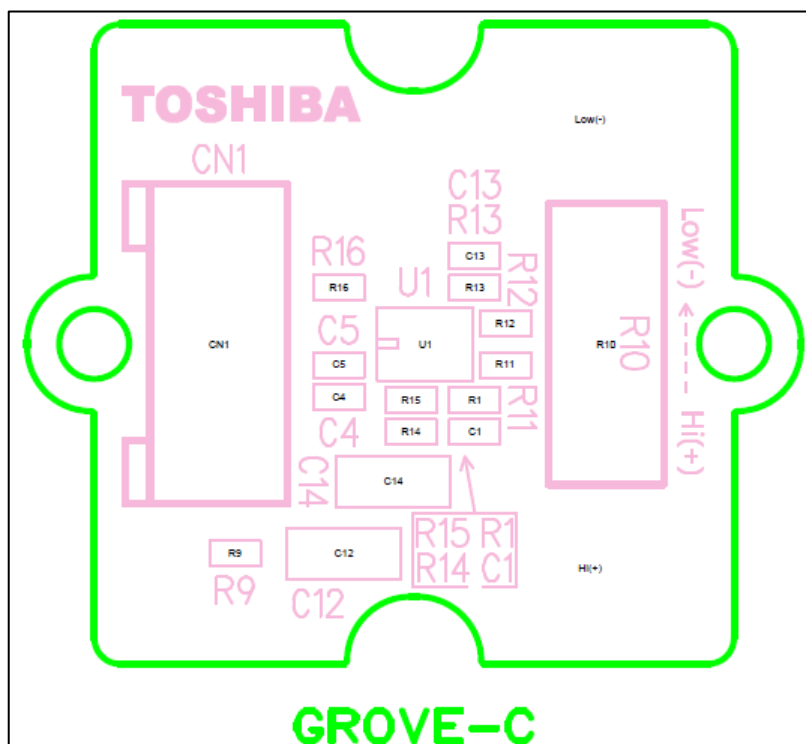


図 3.3 基板表面シルク

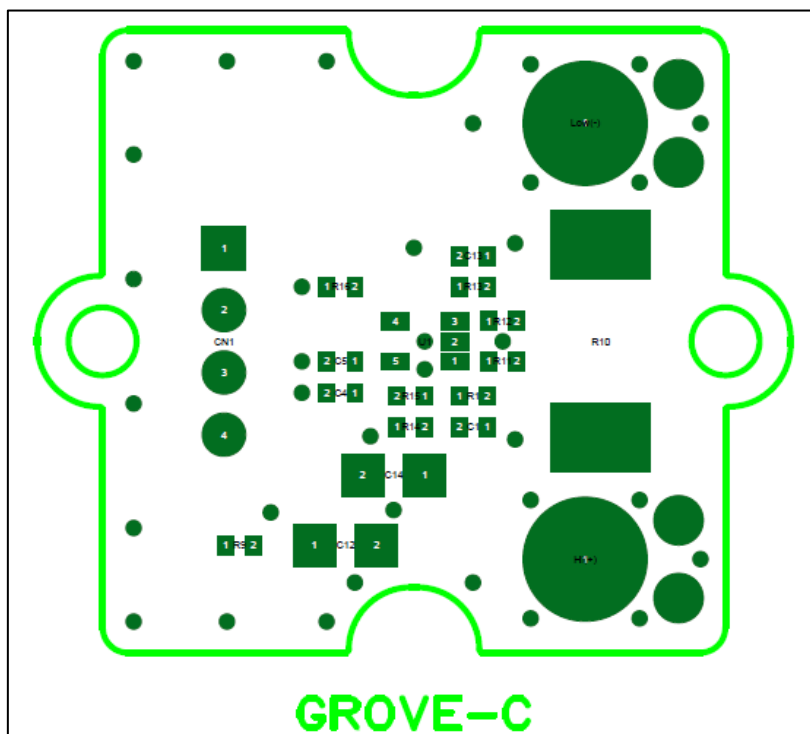


図 3.4 基板表面ソルダー

<裏>

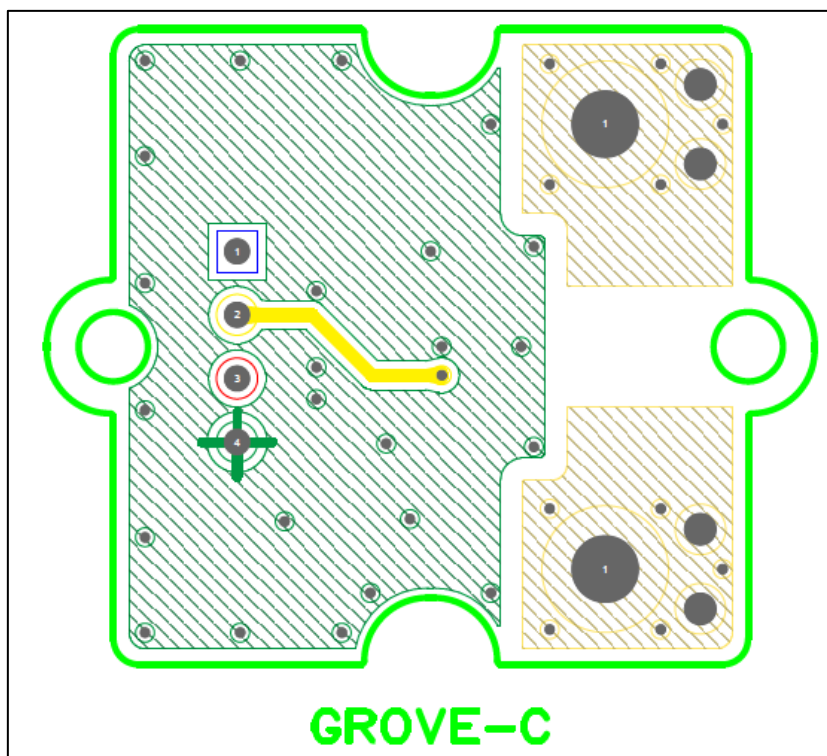


図 3.5 基板裏面パターン



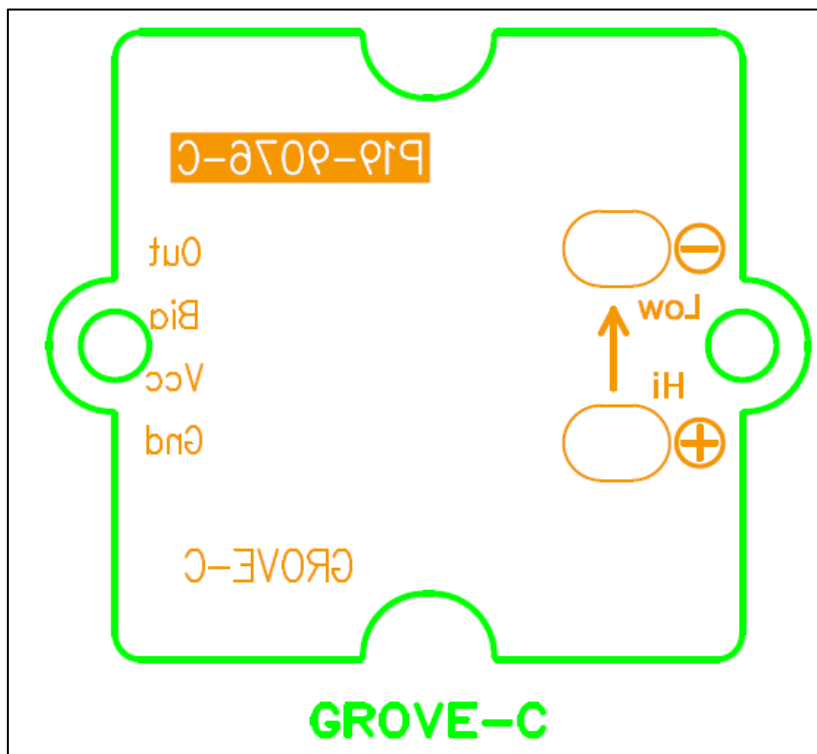


図 3.6 基板裏面シルク

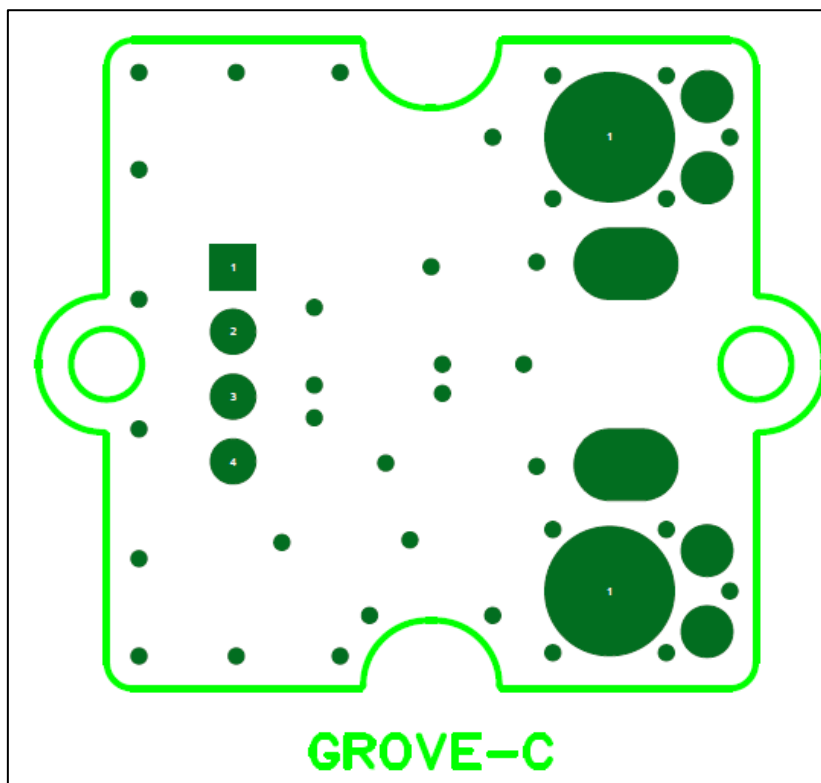


図 3.7 基板裏面ソルダー

## 4. 動作手順

### 4.1. Arduino と Processing について

Arduinoは手のひらサイズのワンボードマイコンです。一般に市販されており、容易に入手できることや、一度プログラムを転送しておけば、PCがなくてもセンサーを動作させることができることなどから、本リファレンスデザインの制御用マイコンとして選定しました。また、測定結果をPC画面上に表示するため、Processingを使用します。

本リファレンスデザインではArduinoの動作プログラムと、測定結果を表示するProcessingのプログラムを準備しておりますが、このプログラムを動かすためには、「Arduino IDE」と「Processing 3」をPCにインストールする必要があります。これらのソフトウェアはそれぞれの公式サイトに無料で公開されていますので、ダウンロードして事前に使用するPCにインストールしておいてください。これらのソフトウェアは、それぞれのプログラムを編集する際にも必要です。なお、Arduino、Processingではこれらのプログラムのことを「スケッチ」と呼びます。

また、Windows10の場合、Processingの結果表示が起動しないことがあります。そのような場合には、Processingの初回起動時に自動的に生成される初期値の設定ファイルを変更する必要があります。対処方法はPCによって異なりますので、Webなどを参照してお使いのPCにあった適切な対処をお願いします。

そのほかArduinoとProcessingの詳細については、市販の解説書などをご参照ください。

### 4.2. Arduino との接続

Arduino との接続例を図 4.1 に示します。

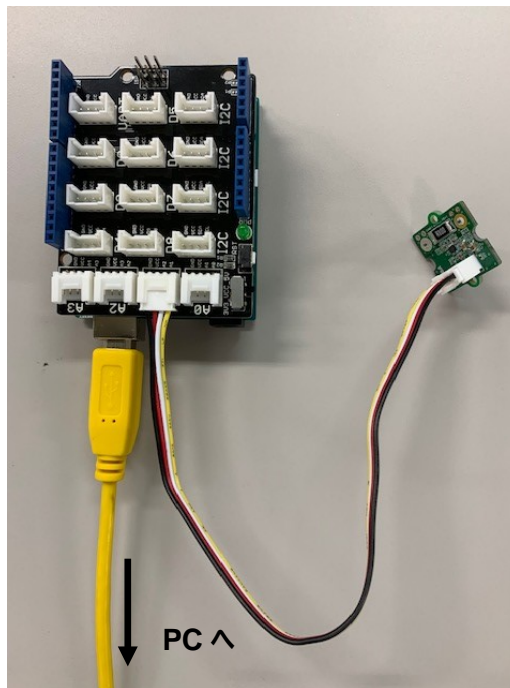


図 4.1 Arduino との接続例

本センサーでは、Arduino を seeed studio 製のベースシールドと組み合わせて使用します。センサーを接続するベースシールドへの接続ポートは A1 コネクタを使用しています。ベースシールドと PC は USB ケーブルで接続してください。

### 4.3. 起動と停止

本センサー用として準備しているスケッチの圧縮ファイル「RD161-SKETCH-01\_.zip」を下記リンク先からダウンロードして PC 上の適当な場所で解凍すると「Current\_sensor\_Arduino.ino」と「Current\_sensor.pde」の 2 つのファイルとご利用規約が入ったフォルダーが作成されますので、そのまま保存してください。

スケッチのダウンロードはこちら → [Click Here](#)

Arduino IDE を起動して、「ファイル」→「開く」を選び、保存した「Current\_sensor\_Arduino.ino」ファイルを開いてください。起動時に開いたウィンドウとは別に図 4.2 左のようなウィンドウが開きます。ここで、「スケッチ」→「マイコンボードに書き込む」を選ぶと、ファイルのコンパイルが始まり、コンパイル終了後 Arduino にスケッチが書き込まれます。書き込みが正常に終了すると、ウィンドウ最下部にメッセージが表示されます。これで Arduino の準備は整いました。

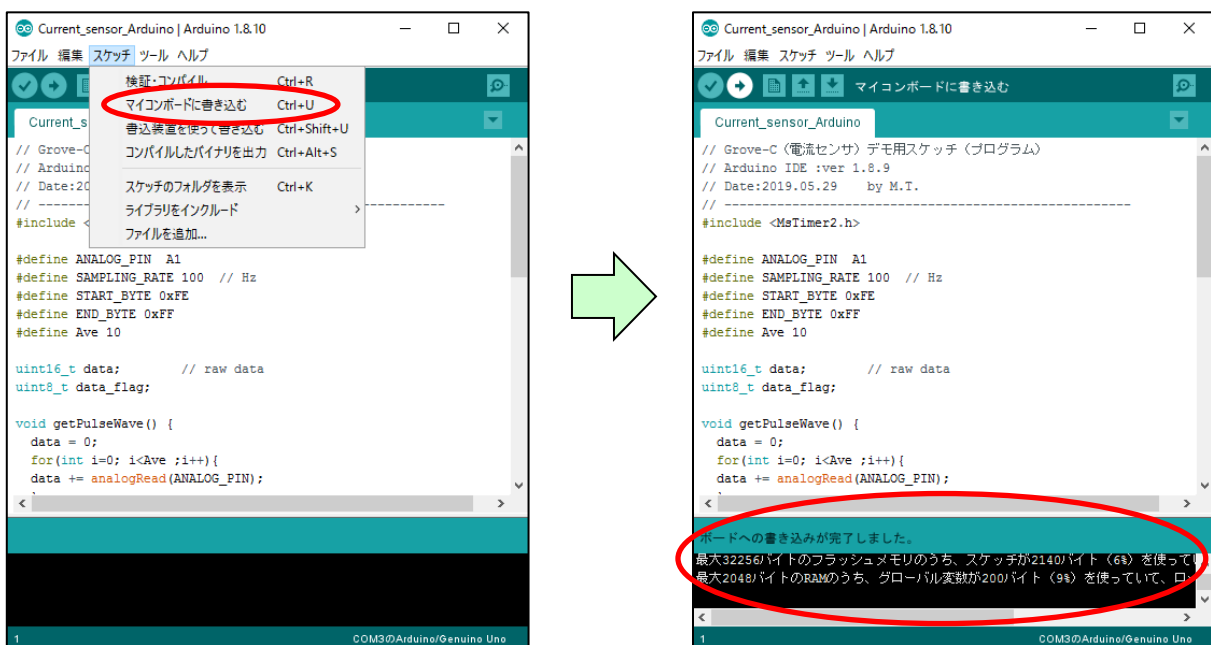


図 4.2 Arduino IDE の操作画面

次に Processing 3 を起動します。Processing 3 を起動すると図 4.3 のようなウィンドウが開きますので、子ウィンドウ右下部の「Get Started」をクリックしてください。その後、「ファイル」→「開く」を選び、保存した「Current\_sensor.pde」ファイルを開いてください。

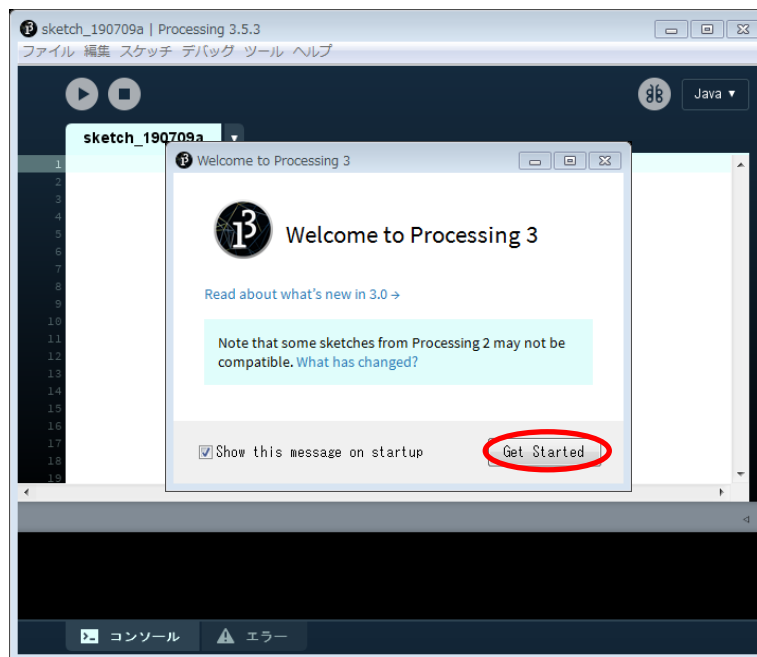


図 4.3 Processing 3 の起動画面

起動時に開いたウィンドウとは別に図 4.4 のようなウィンドウが開きます。ここで動作ボタン（赤丸部）をクリックすると、結果表示ウィンドウが開き、測定が始まります。

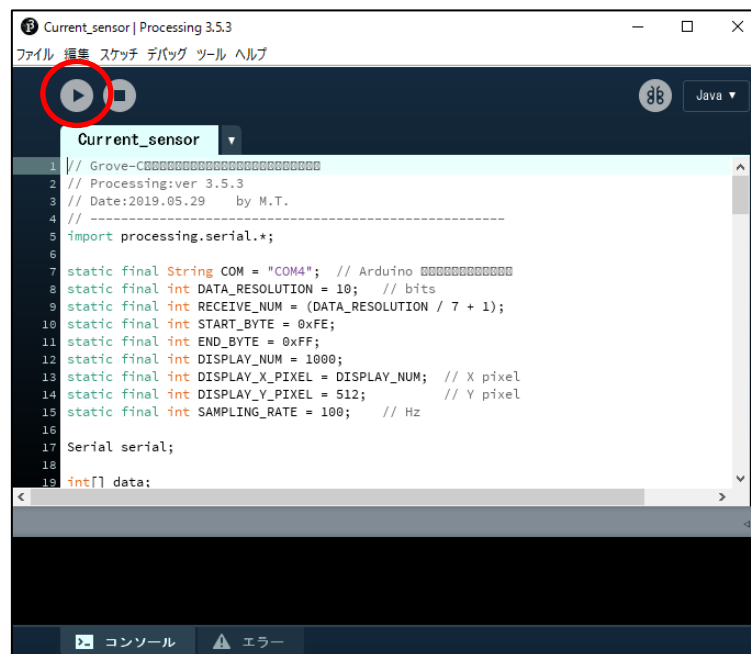


図 4.4 Processing の測定開始画面

測定を終了するときには、このウィンドウの停止ボタン（図 4.5 赤丸部）をクリックしてください。結果表示ウィンドウが閉じ、測定を終了します。その後は開いているウィンドウを、順次閉じてください。

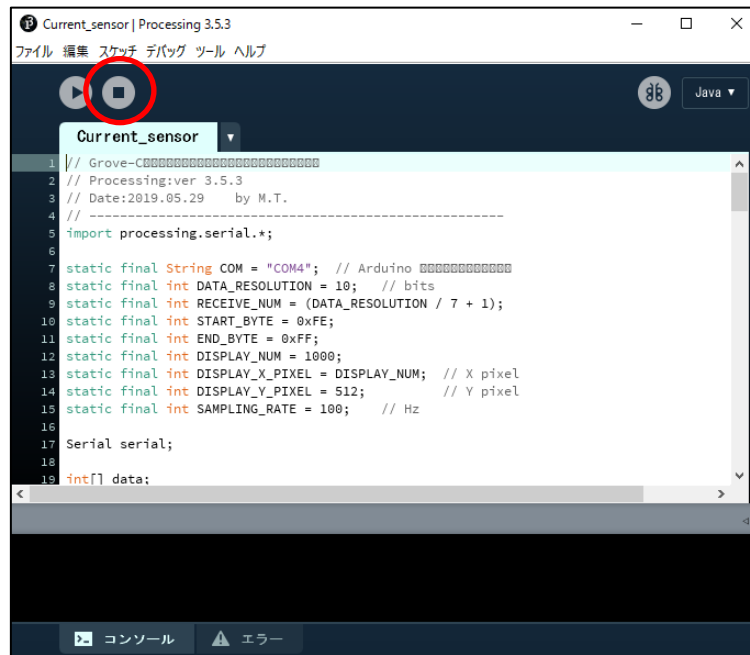


図 4.5 Processing の測定終了画面

なお、測定実行中に結果表示ウィンドウ上でクリックすると、測定を一時停止させることができます。このときは、結果表示ウィンドウは閉じず、測定波形が停止したままとなります。測定を再開する場合は、もう一度ウィンドウ上でクリックしてください。

#### 4.4. 零点補正方法

TC75S67TU は製品規格上、標準 0.5 mV、最大 3 mV の入力オフセット電圧がある可能性があります。出力ではこれをゲイン倍したオフセット電圧となるので、ゲイン設定 20 倍 (26 dB) の本センサーでは最大 60 mV の出力オフセット電圧が発生する可能性があります、これは零点ずれを発生させて誤差の要因になります。

たとえば、入力換算で 0.5 mV のオフセット電圧があった場合、これは 100 mΩ のシャント抵抗で 5 mA の電流に相当するので、実際は電流が流れていないにもかかわらず、計測結果には 0.01 A と表示されてしまいます。

この零点ずれは、ソフトウェアで補正することが可能です。ここでは零点ずれが発生した場合の補正方法を解説します。

本電流センサーはシャント抵抗の電圧降下から電流値を計算していますが、本センサーのオペアンプでは 0 A 付近の電流検出精度向上と GND センシングのため、入力端子を 200 mV でバイアスして直流電圧を底上げしており、電流値を計算するときにこの分を引いています。この部分を変更して、オペアンプのオフセットによる零点ずれを補正します。

該当する部分は、本リファレンスデザインで用意した Processing のスケッチの 62 行目（図 4.6）です。

```

60     textSize(28);
61     fill(255, 0, 0);
62     text( "Current : " + nf(((float)(value-41))*2500.0/1023.0/1000.0,1,2) + " A", 435, 41);
63 }
64 }
65 //println(frameRate);
66 }

```

図 4.6 Processing スケッチ 62 行目部分

図 4.6 の赤枠で囲った ( ) 内は、Arduino への入力電圧を入力 AD コンバーターの LSB (最下位ビット : Least significant bit) でカウントした数値で計算しており、“value” はオフセットを含むオペアンプの出力電圧を測定した結果となります。ここから底上げ電圧分を引いてキャンセルしています。

Arduino の入力 AD コンバーターの bit 数は 10 なので、LSB1 カウントあたりの電圧  $V_{LSB}$  は下式の通りとなります。

$$V_{LSB} = \frac{V_{CC}}{2^{10}-1} = \frac{5}{1023} \cong 0.00488 = 4.88 \text{ ( mV)} \quad \cdots (4.1)$$

この式の分母で 1 を引いているのは、0 が最初の 1 カウント目になるためです。

出力オフセット電圧を  $V_{OS}$  とすると、オフセット電圧を LSB でカウントした数 (“value” から引く数)  $x$  は下式 4.2 によって求められます。

$$x = \left\lceil \frac{V_{OS}}{V_{LSB}} - 0.5 \right\rceil = \left\lceil \frac{V_{OS}}{\left(\frac{V_{CC}}{2^{10}-1}\right)} - 0.5 \right\rceil = \left\lceil \frac{V_{OS} \times (2^{10}-1)}{V_{CC}} - 0.5 \right\rceil = \left\lceil \frac{V_{OS} \times 1023}{5} - 0.5 \right\rceil \quad \cdots (4.2)$$

カウント数は  $V_{OS}$  を  $V_{LSB}$  で割った値に最も近い整数値になるので、式 4.2 では割り算の結果から 0.5 を引いたものに数値以上の最小の整数を与える操作 (天井関数) を行って整数化しています。式中の  $\lceil \rceil$  は天井関数を示す記号です。オペアンプのオフセットがないときには  $V_{OS}=0.2 \text{ V}$  なので、このときのカウント数は下式 4.3 の通り 41 となります。

$$x = \left\lceil \frac{0.2 \times 1023}{5} - 0.5 \right\rceil = \lceil 40.92 - 0.5 \rceil = 41 \quad \cdots (4.3)$$

このリファレンスデザインで用意している Processing のスケッチは、デフォルトで 41 と設定しています。零点ずれがある場合は下記に従って補正してください。スケッチは Processing の画面上で編集、保存することができます。

以下、0.01 A の零点ずれが発生している場合を例として手順を説明します。

表示のずれ分の電流で発生するシャント抵抗 ( $100 \text{ m}\Omega=0.1 \text{ }\Omega$ ) の電圧降下がオペアンプの入力オフセット電圧  $V_{IO}$  と考えられるので、この場合は式 4.4 の通り  $V_{IO}=1 \text{ mV}$  と考えられます。

$$V_{IO} = 0.01 \times 0.1 = 0.001 = 1 \text{ (mV)} \quad \cdots (4.4)$$

このときのオペアンプの出力出力オフセット電圧  $V_{OS}$  は、 $V_{IO}$  を 20 倍した電圧に底上げ分の 0.2 V を加えた電圧となり、下式 4.5 の通り求められます。

$$V_{OS} = 0.2 + 0.001 \times 20 = 0.22 \text{ (V)} \quad \cdots (4.5)$$

これを式 4.2 に代入してカウント数を計算します。

$$x = \left\lceil \frac{0.22 \times 1023}{5} - 0.5 \right\rceil = \lceil 45.012 - 0.5 \rceil = \lceil 44.512 \rceil = 45 \quad \cdots (4.6)$$

Processing のスケッチ 62 行目 (図 4.6) を以下の通り変更します。

```
text("Current : " + nf((float)(value-45)*2500.0/1023.0/1000.0,1,2) + " A", 435, 41);
```

なお、本リファレンスデザインの Processing スケッチでは、結果表示の最小ケタが LSB で決まる分解能よりも大きいため、零点ずれが解消されない場合もあります。そのような場合は、実際の結果表示を見ながらこの数字を 1 ずつ変えて調整してください。

### 4.5. 評価時の注意事項

- 本電流センサーの分解能は約2.4 mAです。
- 電流センサーのシャント抵抗は発熱を考慮して微小な抵抗値に設定していますが、電流が長時間流れ続けた場合には高温になることがあります。このようなときに基板に直接触れると火傷のおそれがありますので、ご注意ください。
- 本ガイドの電流センサーはシャント抵抗のLow (-) 端子を接地しており、負荷のローサイド (GND) 側に接続して使うことを想定した設計となっています。ハイサイド (電源) 側に接続して使うことはできません。
- この電流センサーを接続した場合、負荷となる機器の起動および停止シーケンスに影響が出る場合があります。

## 5. 電流センサーの測定結果

Processing では測定結果から算出した電流値が表示されます。

以下に、直流電源をシャント抵抗に接続して電源を投入したときの測定結果表示ウィンドウを示します。図 5.1 は電流を 0.10 A に設定したときの波形で、図 5.2 は 1.50 A に設定したときの波形です。表示された電流値は電源投入後の電流値を示しています。



図 5.1 Processing の結果表示 (1)

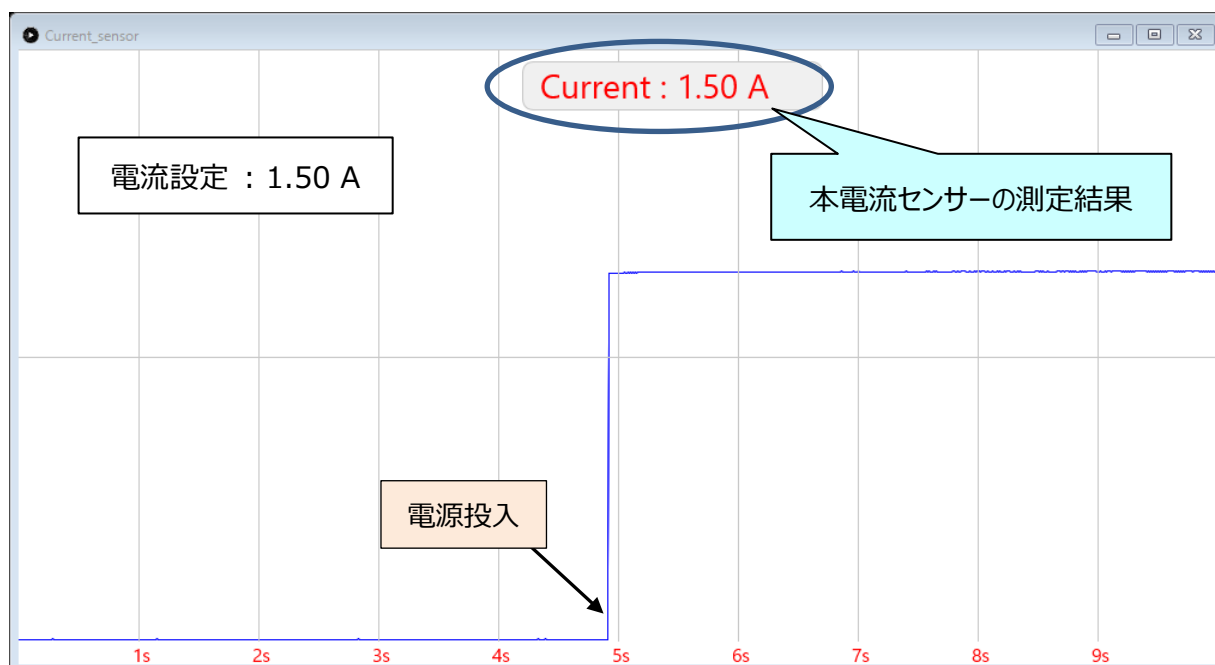


図 5.2 Processing の結果表示 (2)



## ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス&ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本リファレンスデザイン」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。本リファレンスデザインをダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄しなければなりません。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄し、その破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

### 第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本リファレンスデザインは、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本リファレンスデザインを販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本リファレンスデザインは、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本リファレンスデザインを、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用しないでください。

### 第2条 保証制限等

1. 本リファレンスデザインは、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
2. 本リファレンスデザインは参考用のデータです。当社は、データおよび情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断して下さい。当社は、適用可否に対する責任を負いません。
5. 本リファレンスデザインは、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
6. 当社は、本リファレンスデザインに関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をせず、また当社は、本リファレンスデザインに関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

### 第3条 輸出管理

お客様は本リファレンスデザインを、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用してはなりません。また、お客様は「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守しなければなりません。

### 第4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。