|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| AN75511 | | |
| PSoC®3およびPSoC 5LP –熱電対による温度測定   |  | | --- | | ＜＜★Author: Todd Dust | | 関連製品ファミリ：PSoC 3およびPSoC 5LP | | 関連コード例：完全なリストについては、ここをクリックしてください。 | | 関連アプリケーションノート：完全なリストについては、ここをクリックしてください。 | | このアプリケーションノートの最新バージョンを入手するには、http：//www.cypress.com/AN75511にアクセスしてください。 | | | |
| AN75511は、熱電対による温度測定の理論を説明し、単一のPSoC 3またはPSoC 5LPデバイスでそれを行う方法を示します。外部ADCまたはアンプは必要ありません。ADCの読み取り値から温度を簡単に計算できるように、PSoC Creatorは熱電対コンポーネントを提供しています。コード例CE219905およびCE219929は、PSoC 3またはPSoC 5LPデバイスを使用した熱電対測定を示しています。 |

目次

[1 はじめに 2](#_Toc486262798)

[2 熱電対–動作理論 3](#_Toc486262799)

[2.1 熱電効果 3](#_Toc486262800)

[2.2 温度への熱起電力 4](#_Toc486262801)

[2.3 冷接点補正 5](#_Toc486262802)

[2.4 熱起電力の測定 6](#_Toc486262803)

[3 電圧から温度への変換 7](#_Toc486262804)

[3.1 熱電対コンポーネント 7](#_Toc486262805)

[4 PSoCによる熱電対測定 8](#_Toc486262806)

[5 複数の熱電対 10](#_Toc486262807)

[6 PSoC熱電対測定パフォーマンス 10](#_Toc486262808)

[6.1 温度分解能 10](#_Toc486262809)

[6.2 温度精度 11](#_Toc486262810)

[6.3 温度テスト 13](#_Toc486262811)

[6.4 熱電対シグナルチェーンテスト 14](#_Toc486262812)

[7 まとめ 15](#_Toc486262814)

[8 関連アプリケーションノート 15](#_Toc486262815)

[9 関連するコード例 15](#_Toc486262816)

# はじめに

温度は、最も一般的で頻繁に測定される環境変数の1つです。温度測定は通常、熱電対、サーミスタ、ダイオード、または測温抵抗体（RTD）の4つのセンサーのいずれかを使用して行われます。センサーを選択するための主な基準は、コスト、精度、および温度範囲です。表1に、4種類のセンサーの比較を示します。

表.温度センサーの比較

| **項目** | **RTD** | **熱電対** | **サーミスタ** | **ダイオード** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Temperature range (0 °C)** | –200 to +850 | –250 to +2350 | –100 to +300 | –50 to +150 |
| **25°Cでの感度** | 0.387 Ω/°C | 40 µV/°C (K-type) | 416 Ω/°C | 250 µV/°C |
| **精度** | 最高 | 中から高 | 中 | 低 |
| **リニア** | 良い | Fair | 悪い | 良い |
| **Typical cost (US $)** | $3–$80 | $3–$15 | $0.2–$10 | <$0.2 |
| **感知の典型的な距離** | オンボード温度用の表面実装  数百メートルまでの3線式および4線式 | <100 meters | オンボード温度用の表面実装  1メートル未満リード | 搭載温度 |
| **リソース要件** | 励起電流、アンプ、ADC、リファレンス抵抗 | アンプ、ADC、電圧リファレンス、および冷接点用の別の温度センサー | 励起電流、ADC、リファレンス抵抗 | 励起電流、アンプ、ADC |
| **反応時間** | 低速 | 速い | 速い | 低速 |
| **Computational complexity (best possible accuracy)** | 最高 | 非常に高い | 非常に高い | 中 |
| **サイプレスアプリケーションノート** | [AN70698](http://www.cypress.com/?rID=57546) | [AN75511](http://www.cypress.com/?rID=60544) | [AN66477](http://www.cypress.com/?rID=49052) | [AN60590](http://www.cypress.com/?rID=42993) |

熱電対は最大の温度測定範囲を持ち、最も堅牢な温度センサーの1つであり、工業環境や腐食性環境での使用に最初の選択肢となります。このアプリケーションノートは、Kタイプの熱電対に焦点を当てています。

このアプリケーションノートは、PSoC 3およびPSoC 5LPデバイスのみを対象としています。PSoC 4ファミリのデバイスは、正確な熱電対測定を行うために必要なアナログ性能を備えていません。

# 熱電対–動作理論

## 熱電効果

1821年、エストニア語-ドイツ語の物理学者であるゼーベックは、図1（a）に示すように2つの異種金属が接続され、接合部の1つが加熱されると、ループに電流が流れ続けることを発見しました。ループが切断されると、電圧が生成されます（図1（b）を参照）。測定された電圧は、ジャンクション1とジャンクション2の間の温度差に正比例します。この現象は、熱電効果またはゼーベック効果と呼ばれます。加熱される接点は温接点または測定接点と呼ばれます。もう一方の接点は冷接点または基準接点と呼ばれ、発生する電圧（V）は熱起電力と呼ばれます。

図1（a）熱電対–ゼーベック効果



図1（b）。熱電対–ゼーベック効果



熱起電力は以下に依存します：

* 接点に使用される金属
* 温接点（測定）と冷接点（基準）の温度差
* 冷接点温度の絶対値。つまり、100°Cの温接点温度および0°Cの冷接点温度に対して生成される熱起電力は、800°Cの温接点温度および700°Cの冷接点温度に対して生成される熱起電力とは異なります。ただし、どちらの場合も温度差は100°Cです。

使用される金属の種類によって、熱電対は分類されます。熱電対のタイプは、動作温度範囲と感度（温度の単位変化あたりの電圧変化、V /°C）が異なります。熱電対の許容範囲は、IEC EN 60584-2とASTM E230の2つの主要な規格によって管理されています。許容誤差は熱電対の型について最大誤差を規定します。

表1に、ASTM規格に基づく一般的な熱電対タイプ、その金属の組み合わせ、温度範囲、感度、および許容誤差を示します。ASTMは、標準と特殊の2つの熱電対許容差規格を確立しています。

表2。熱電対のタイプ

| 熱電対タイプ | ＋極の金属組成 | －極の金属組成 | 温度範囲(℃) | 25°Cでの感度（µV /°C） | 許容誤差(ASTM) | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度範囲(℃) | 標準 | 特別 |
| B | 70.4% Platinum (Pt), 29.6% Rhodium (Rh) | 93.9% Pt, 6.1% Rh | 0–1820 | 0 | 800–1700 | 0.5% |  |
| E | 90% Nickel (Ni), 10% Chromium (Cr) | 55% Copper (Cu), 45% Ni | -270–1000 | 61 | -200–0 | 1.7℃または1% |  |
| 0–900 | 1.7℃または0.5% | 1℃または0.4% |
| J | 99.5% Iron (Fe) | 55% Cu, 45% Ni | -210–1200 | 52 | 0–750 | 2.2℃または0.75% | 1.1℃または0.4% |
| K | 90% Ni, 10% Cr | 95％Ni、5％さまざまな元素 | -270–1372 | 41 | -200–0 | 2.2℃または2% |  |
| 0–1250 | 2.2℃または0.75% | 1.1℃または0.4% |
| N | 84.4% Ni, 14.2% Cr, 1.4% Silicon | 95.5% Ni, 4.4% Si | -270–1300 | 26 | -270–0 | 2.2℃または2% |  |
| 0–1300 | 2.2℃または0.75% | 1.1℃または0.4% |
| R | 87% Pt, 13% Rh | 100% Pt | -50–1768 | 6 | 0–1450 | 1.5℃または0.25% | 0.6℃または0.1% |
| S | 90% Pt, 10% Rh | 100% Pt | -50–1768 | 6 | 0–1450 | 1.5℃または0.25% | 0.6℃または0.1% |
| T | 100% Cu | 55% Cu, 45% Ni | -270–400 | 41 | -200–0 | 1℃または1.5% |  |
| 0–350 | 1℃または0.75% | 0.5℃または0.4% |

## 温度への熱起電力

熱起電力電圧を温度に変換するプロセスでは、複雑な方程式を使用する必要があります。標準化と熱起電力電圧の温度への変換の容易さを提供するために、米国連邦情報・技術局（NIST）は、すべての熱電対タイプの熱起電力電圧対温接点温度の表を提供しています。NISTは、方程式を使用して熱起電力電圧を温度に変換できるように、多項式係数も提供します。NISTが提供する表と式では、冷接点温度が0°Cであると想定しています。これは、0°Cでの熱起電力電圧が0 Vになるためです。

通常、氷浴は0°Cの基準温度を提供します。図2は、一方の接合部で加熱され、もう一方の接合部で0°Cに維持されたKタイプの熱電対を示しています。図3は、0°Cで冷接点を持つKタイプ熱電対の熱起電力対温接点温度のグラフを示しています。

図2。0℃の冷接点のK型熱電対



図3。K型熱電対の熱起電力対温度(0 ℃の冷接点)

Kタイプの熱電対の感度はNISTの表から見つけることができ、温度が> 40の場合、約40μV/°Cです。–100°C。NISTの表と係数はここにあります。

## 冷接点補正

ADCを使用して熱起電力を測定することにより、温度を決定できます。一つの落とし穴があります。NISTテーブルを使用するには、冷接点を0°Cに維持する必要があります。冷接点温度で氷浴を提供することは非現実的であるため、別の方法が必要です。

冷接点の温度が0°Cでない場合、冷接点も図4に示すように熱起電力V2を発生させ、測定電圧Vを下げます。温接点温度を正しく測定するには、冷接点電圧V2を最終電圧Vに追加する必要があります。

図4。0°Cではない冷接点



冷接点の温度がわかっている場合、電圧V2はNISTテーブルまたは多項式から計算できます。したがって、冷接点が0°Cでない場合は、冷接点温度を測定し、その温度に対応する熱起電力を熱電対電圧に追加する必要があります。この手順は冷接点補正と呼ばれます。

サーミスタ、RTD、ダイオード、またはICベースのセンサーを冷接点温度測定に使用できます。これらの冷接点温度測定センサーの1つは、非常に高い温度の測定に使用したり、腐食性または過酷な環境で使用したりすることができないため、熱電対を置き換えることはできません。

## 

## 熱起電力の測定

図5に示すように、ADCの入力リードを熱電対に接続することにより、ADCで熱起電力を測定できます。

図5。熱起電力の測定



ADCの入力（銅）リードは、さらに2つのジャンクション（熱電対）（銅アルメル）を形成して、さらに2つの電圧V3とV4を方程式に追加します。V3とV4は反対方向にあり、両方の接合部が同じ温度である限り、それらは同じ大きさになります。したがって、ADCへの2つの入力が同じ温度であることを確認して、熱起電力が変化しないようにする必要があります。

### 実用的な熱電対測定

実際の熱電対測定では、2つの金属が高温接合部で接合され、低温接合部で接合されます（接合部2および3）。図5と図6の回路が等価であることを示すことができます。図5と図6の回路で測定された電圧Vは、ジャンクション3と4の温度が図5で等しく、ジャンクション2と3の温度が図6で等しい限り、等しくなります。

等温ブロックは、熱電対設計の重要な部分です。このブロックは、ADC入力が同じ温度であることを保証します。また、コールド（基準）ジャンクションセンサーも同じ温度であることを保証します。温度を十分に保つ等温ブロックを設計するように注意する必要があります。多くの場合、これには等温ブロック上の空気の流れを制限することが含まれます。このアプリケーションでは、等温ブロックの設計について詳しく説明していません。

図6。実用的な熱電対



実用的な熱電対を使用して温度を測定するには、次の手順を実行します。

1. 熱電対電圧（VTC）の測定
2. コールド/リファレンスジャンクション温度（Tref）を測定する
3. 冷接点温度を補償電圧（Vref）に変換します
4. 冷接点補償電圧を熱電対電圧に追加します（V = VTC + Vref）
5. NISTテーブルを使用して電圧を温度に変換する

# 電圧から温度への変換

熱電対温度を計算する手順では、冷接点温度を同等の冷接点補償電圧に変換し、熱起電力電圧を温度に変換する必要があります。

NISTは、電圧から温度への変換のための多項式係数とテーブルの両方を提供します。NISTの表と係数はここにあります。これらの変換を簡素化するために、PSoC Creatorコンポーネントが提供されています。

## 熱電対コンポーネント

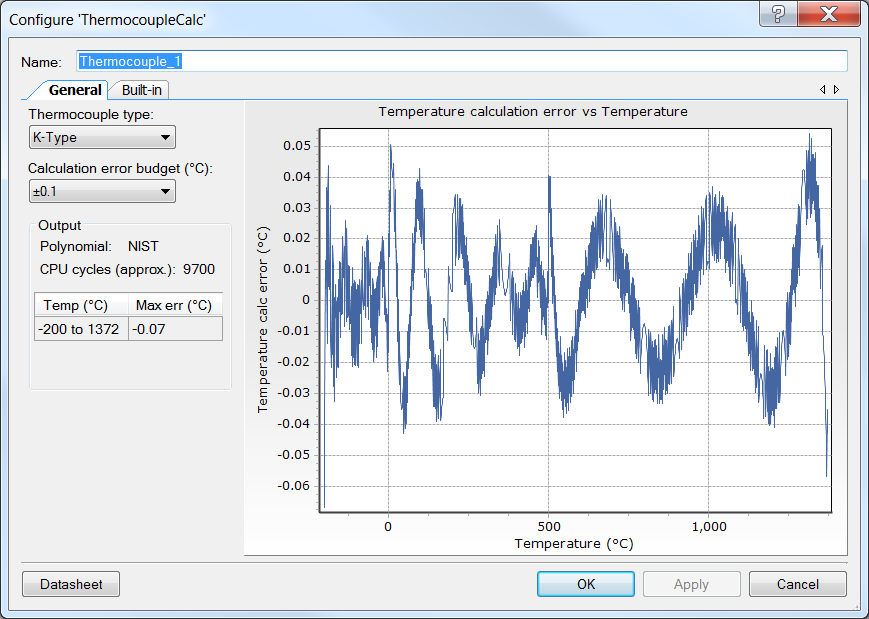
熱電対コンポーネントは、以下に示す2つのAPIを提供することにより、電圧から温度への変換を単純化します。

int32 Thermocouple\_1\_GetTemperature(int32 voltage)

int32 Thermocouple\_1\_GetVoltage(int32 temperature)

熱電対タイプとユーザーパラメータを入力するために使用されるコンポーネント構成ダイアログを図7に示します。

図7。熱電対コンポーネント構成ダイアログ



このコンポーネントでは、熱電対のタイプと計算エラーバジェットを選択できます。コンポーネントは、選択されたエラーバジェットに最適な多項式（NIST標準多項式、7次または5次多項式の中で）を自動的に選択します。設定ダイアログには、温度計算エラー対温度を示すグラフが表示されます。これは、多項式近似と関連する算術によるエラーです。全温度範囲での最大計算誤差も表示されます。図7は、Kタイプ熱電対のコンポーネントによって引き起こされる最大温度計算エラーが–0.07°Cであることを示しています。

温度エラーは、電圧から温度への変換エラー以外のいくつかの要因に依存します。熱電対カスタマイザは、電圧から温度への変換によるエラーのみを表示し、他のエラーは考慮しません。その他のエラーについては、温度精度のセクションで説明します。

冷接点温度を測定した後、Thermocouple\_1\_GetVoltage（）関数を使用して冷接点補償電圧を取得します。このAPIは、冷接点温度を入力として使用し（1/100°C）、冷接点補償電圧（マイクロボルト単位）を返します。

最後の熱起電力（VTC + Vref）を取得したら、Thermocouple\_1\_GetTemperature（）関数を使用して温度を取得します。このAPIは入力としてthermo-emf（マイクロボルト）を取り、温度（1/100°C）を返します。

次のコードスニペットは、2つの関数の使用方法を示しています。

|  |
| --- |
| void main()  {  int32 coldJnTemp, tcColdJnuVolt, tcHotJnuVolt, tcuVolt, tcTemp ;  /\* Measure cold junction temperature.  coldJnTemp = MeasureColdJnSensorTemp();    /\* ColdJunctionTempTomVolt() API is used to convert temp to microvolts \*/  tcColdJnuVolt = Thermocouple \_1\_GetVoltage (coldJnTemp);  /\* MeasureHotJnTemp () API finds the hot junction voltage in millivolts \*/  tcHotJnuVolt = MeasureHotJnVoltage();  /\* Add cold junction compensation voltage to hot junction voltage \*/  tcuVolt = tcColdJnuVolt + tcHotJnuVolt;  /\* mVoltToTemp() API is used for converting thermo emf to temperature \*/  tcTemp = Thermocouple\_1\_GetTemperature (tcuVolt);  } |

\* MeasureColdJnSensorTemp（）およびMeasureHotJnVoltageは、サイプレスが提供するAPIではありません。これらは、これらの特定の変数を測定するためにコードを追加する必要があることを示すためだけに使用されます。

熱電対コンポーネントに関連するデータシートには、熱電対コンポーネントの実装と、多項式のさまざまな次数でAPIが使用するCPUサイクル数の詳細が記載されています。

# PSoCによる熱電対測定

CE219905およびCE219929は、PSoC 3またはPSoC 5LPデバイスで熱電対を測定する方法を示すPSoC Creatorプロジェクトを提供します。コードがどのように機能するかの詳細な説明については、コード例のドキュメントを参照してください。このセクションでは、熱電対を測定するようにPSoCデバイスを構成する方法について簡単に説明します。

図8は、熱電対測定回路（PSoC Creatorの回路図）を示しています。この回路には、3チャネルADCと熱電対コンポーネントがあります。3つのADCチャネルとその目的を表3に示します。

表3。5つのADCチャネル

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| チャネル | 接続 | Measurement |
| 0 | 熱電対 | Thermo-emf |
| 1 | IC電圧出力 | 冷接点温度 |
| 2 | 短絡 | オフセット |

この回路図では、冷接点温度測定にIC温度センサーを使用しています。そのセンサーは、他の任意の温度センサーと置き換えることができます。

NISTの表によると、–270°Cでは、熱電対は–6.458 mVの出力電圧を与えます。PSoCデバイスは単一電源であるため、入力ピンの電圧を0 Vより高く保ちます。これを実現するには、熱電対の負の入力に外部抵抗を追加して、15 mVの小さなバイアスを追加します。

図8。熱電対測定回路



サイプレスは、温度検知用の特別なキットを作成しました：PSoC高精度アナログ温度センサーEBK（CY8CKIT-025）。このEBKは、熱電対、サーミスタ、RTD、およびダイオードの4つの温度センサーを提供します。さらに、インターフェイススロットを使用すると、独自の熱電対、サーミスタ、RTD、およびダイオードを接続できます。EBKは、CY8CKIT-001 PSoC開発キット（DVK）、CY8CKIT-030 DVK、またはCY8CKIT-050 ​​DVKに接続できます。図9にキットを示します。キットの詳細については、こちらをご覧ください。このキットには、図8に示すすべての外部抵抗が含まれています。

図.PSoC高精度アナログ温度センサーEBK

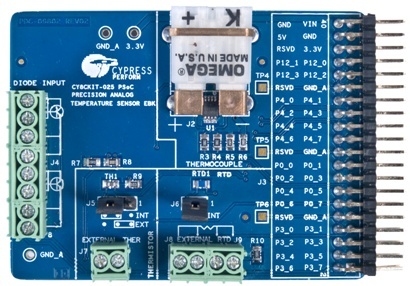
****

図10。EBKの熱電対セクション



### オフセットキャンセル

Kタイプの熱電対の標準的な感度は約40 µV /°Cです。40 µVのオフセットにより、1°Cの温度エラーが発生します。したがって、オフセットをなくすことは非常に重要です。オフセットのキャンセルは、相関二重サンプリング（CDS）によって行われます。この手法では、オフセットはすべての電圧測定後に測定され、差し引かれます。

また、CDSはオフセットドリフトを取り除き、低周波ノイズを減らしますが、ADCサンプルレートを50％減らします。オフセットはさまざまな方法で測定できます。オフセットを測定するさまざまな方法の詳細については、AN66444-PSoCPSoC 5LPの相関ダブルサンプリングを参照してください。この場合のオフセットは、ADCチャネル2を使用して測定されます（図8を参照）。

### 熱電対出力のフィルタリング

熱電対出力は、ノイズを低減し、ノイズのない温度分解能を向上させるために、ソフトウェアIIRフィルターを使用してフィルター処理されます。このIIRフィルターはAN2099に基づいています。

### 壊れた熱電対

熱電対のワイヤが断線すると、熱電対コネクタの負端子に加えられる小さな負のバイアス（図8を参照）により、ADC電圧が大きな負の値になります。大きな負の値（< -10 mV）がないか熱電対の出力電圧をチェックすると、熱電対の接続が壊れていることが検出されます。

# 複数の熱電対

設計では複数の熱電対を使用できます。使用できる熱電対の数は、PSoCデバイスで使用可能なGPIO（入力/出力端子）の数によってのみ制限されます。

同じタイプの複数の熱電対を使用している場合、1つの熱電対コンポーネントで十分であり、そのコンポーネントによって生成されたAPIはすべての熱電対で再利用できます。

プロジェクトで複数の熱電対を使用していて、複数の熱電対タイプがある場合は、タイプごとに1つのコンポーネントをプロジェクトで使用する必要があります。たとえば、プロジェクトに3つのKタイプ熱電対、2つのJタイプ熱電対、および1つのTタイプ熱電対がある場合、各タイプ（J、K、およびT）に1つずつ、3つの熱電対コンポーネントを使用する必要があります。

# PSoC熱電対測定パフォーマンス

熱電対ベースの温度検出市場は、パフォーマンス仕様に基づいて、ハイエンド、ミッドエンド、ローエンドの市場セグメントの3つのセグメントに分類できます。表4に分類を示します。

表4。熱電対の性能範囲

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 市場セグメント | 分解能\*（°C） | 精度\*（°C） |
| 最高 | 0.01 | 0.1% |
| 中 | 0.1 | 0.2 – 0.5% |
| 低 | >0.1 °C | >0.5 °C |
| \*解像度は通常、温度に対してのみ指定されます> –100°C。確度にはセンサーの確度は含まれません。通常、0.1％または1°Cなどの固定オフセットで指定されます。確度は、25°C±3°Cなどの特定の動作温度でも規定されています。 | | |

## 温度分解能

このセクションでは、PSoC 3およびPSoC 5LPデバイスが各セグメントの望ましい解像度を実現する方法について説明します。

### ハイエンド

–200°C〜1370°Cの温度範囲で0.01°Cの分解能では、最低157000レベル（18ビット）が必要です。–200°C〜1370°Cの温度範囲は、電圧範囲–5.891 mV〜54.88 mVに対応します（NISTの表を参照）。0.01°Cの温度分解能は、400 nVの電圧分解能に対応します（感度= 40μV/°C）。

したがって、使用されるADCは400 nVの電圧分解能、最低18ビットを備え、約61 mVの範囲を測定できる必要があります。

PSoC 3およびPSoC 5LP Del-Sig ADCは、20ビットの分解能で±0.064 Vの範囲で構成できます。これにより、20ビットで128 mVの入力範囲にわたって122 nVの電圧分解能が得られます。

### ミッドエンド

–200°C〜1370°Cの温度範囲で0.1°Cの分解能では、最低15700レベル（14ビット）が必要です。0.1°Cの温度分解能は、4 uVの電圧分解能に対応します（感度= 40μV/°C）。

したがって、ADCは4 uVの電圧分解能、最低14ビットを備え、約61 mVの範囲を測定できる必要があります。

PSoC 3およびPSoC 5LP Del-Sig ADCは、16ビットの分解能で±1.024 Vの範囲で構成できます。これにより、3.125μVの電圧分解能が得られます。

### ローエンド

一般に、ローエンドの熱電対温度センサーデバイスの分解能は1°Cです。

–200°C〜1370°Cの温度範囲で1°Cの分解能では、最低1570レベル（11ビット）が必要です。1°Cの分解能は、40μVの電圧分解能に対応します（感度= 40μV/°C）。

したがって、ADCは40μVの分解能、最小11ビットを備え、約61 mVの範囲を測定できる必要があります。

PSoC 3およびPSoC 5LP Del-Sig ADCは、12ビットの分解能で±0.064 Vの範囲で構成できます。これにより、31μVの電圧分解能が得られます。16ビットADC以上を使用してノイズ除去を改善できますが、12ビットADCを使用すると、低コストのPSoCデバイスを使用できます。

## 温度精度

熱電対の温度精度は、電圧測定および温度変換中に発生する個々のエラーの影響を計算することによって計算できます。さまざまなエラーを理解するために、最終温度を取得するために熱電対コンポーネントが使用する関数を検討します。

Th = Thermocouple\_1\_mVoltToTemp(VTC+Vref)

ここで、Thは熱電対の温度です。VTCは測定された熱電対電圧です。Vrefは冷接点電圧です。Thermocouple\_1\_mVoltToTemp（）関数は、電圧から温度への変換を実行します。

次に、冷接点温度を電圧に変換する関数を考えます。

Vref = Thermocouple\_1\_ColdJunctionTempTomVolt(Tref)

ここで、refは冷接点の電圧、refは冷接点温度です。

温度エラーは、次の要因のいずれかが原因である可能性があります。

1. 測定された熱電対電圧、VTC。
2. 測定された冷接点温度、および電圧への変換、Vref。
3. 電圧から温度への変換

各要素については、次のセクションで詳しく説明します。

### 熱電対電圧測定エラー

熱電対電圧測定エラーは、主にADCオフセットエラー、ゲインエラー、INLエラーが原因です。

#### オフセット誤差

ADCオフセットエラーにより、熱電対の電圧測定が不正確になります。オフセットキャンセルは、オフセットキャンセルで説明されているように、相関二重サンプリング（CDS）によって行われます。

#### ゲインエラー

ADCゲインエラーはまた、不正確な熱電対電圧測定につながります。PSoC 3およびPSoC 5LPデルタシグマADCは、ADC構成のサブセットにおけるゲインエラーに対して工場で較正されています。PSoC 3デバイスは、±1.024 Vの範囲で0.2％のゲイン誤差に対して校正されています。この0.2％のゲイン誤差には、ADCリファレンス誤差も含まれます。AN68403–アナログ信号チェーンのキャリブレーションには、工場でキャリブレーションされたADC構成がリストされ、キャリブレーションされていないADC範囲でキャリブレーションを実行する方法が説明されています。

0.2％のゲイン誤差は、測定電圧に0.2％の誤差をもたらします。さまざまな温度での0.2％ゲイン誤差による誤差を表5に示します。

周囲温度（PSoCデバイスの温度）が25°Cと異なる場合、ADCゲインドリフトにより追加のエラーが発生します。PSoCPSoC 5LPデルタシグマADCのゲインドリフトは50 ppm /°Cです。65°C〜–15°Cの周囲温度では、2000 ppmまたは0.2％になります。表5は、65°Cで0.2％のゲインドリフトによる誤差を示しています。

表5。ゲインエラー/ドリフトによる温度エラー

| 熱電対温度（°C） | 0.2％ゲインエラーまたはゲインドリフト（°C）によるエラー |
| --- | --- |
| –250 | –3 |
| –100 | 0.2 |
| 0 | 0 |
| 100 | 0.2 |
| 250 | 0.5 |
| 500 | 0.95 |
| 1000 | 1.9 |
| 1300 | 3 |

#### ADC INL

任意の時点でのADCのINLは、ゲインとオフセットの補正が行われた後の、その時点での理想的なADCカウントと実際のADCカウントの差です。データシートは、プロセス、電圧、および温度（PVT）全体のすべてのポイントの最大INLを指定します。Del-Sig ADCのINLは±1.024 Vモードで±32 LSbです。32LSbは、20ビットの分解能と±1.024 V範囲の64μVに対応します。この64μVの誤差は、1.5°Cの温度誤差に対応します（温度> 100°Cの場合）。

これらは最悪の場合のエラーであることに注意してください。

### 冷接点補償電圧エラー

冷接点補償電圧の誤差は、測定された冷接点温度の誤差または温度から電圧への変換の誤差が原因です。Thermocouple\_1\_ColdJunctionTempTomVolt（）関数は、温度から電圧への変換によるエラーをほぼゼロにします。

冷接点温度誤差は、冷接点補償に使用されるセンサーに依存します。冷接点温度に1°Cの誤差があると、温度> 100°C（10.2°C）。

### 電圧から温度への変換エラー

電圧から温度への変換エラーは、多項式近似エラーまたはLUT近似エラーが原因です。Thermocouple\_1\_mVoltToTemp（）APIは、このエラーがほとんどの場合0.05°C未満であることを保証します。

すべてのKタイプ熱電対は、NISTの熱起電力対温度データを正確に追跡しません。2つの主要な規格IEC EN 60584-2およびASTM E230によって提供される熱電対の許容誤差を表2に示します。

表6は、500°Cと100°Cでのさまざまなコンポーネントによる温度誤差を示しています。表からわかるように、熱電対の許容誤差が誤差の最大の原因です。表6に、Kタイプの熱電対で考えられるすべてのエラーの原因を示します。列3は、1回限りのゲインキャリブレーションとリファレンスドリフトキャリブレーションを実行した場合の誤差を示しています。

### ハイエンドキャリブレーション

0.1％の精度を達成するには、1回限りのゲインキャリブレーションが必要です（PSoCは、0.2％の精度が±1.024 V範囲でのみ工場でキャリブレーションされます）。CE219929は、これがどのように行われるかを示しています。

PSoCゲインエラーは50 ppm /°Cでドリフトします（これにはADCとリファレンスが含まれます）。これはほとんどのハイエンドアプリケーションに適していますが、より優れた温度性能を必要とするアプリケーションがいくつかある場合があります。

### エラーの概要

表6。500°Cおよび100°Cでの熱電対温度測定で起こり得るエラー

| エラーソース | 500°Cでの最大誤差値（Kタイプ） | 100°Cでの最大誤差値（Kタイプ） | 500°Cでの最大誤差値（Kタイプ）校正済み |
| --- | --- | --- | --- |
| オフセット誤差/ドリフト\* | 0 °C | 0 °C | 0 °C |
| ゲインエラー | 0.95 °C | 0.2 °C | 校正ソースと同等 |
| ゲインドリフト（周囲温度= 25°C） | 0 °C | 0 °C | 0 °C |
| ゲインドリフト（周囲温度= 65°C） | 0.95 °C | 0.2 °C | 外部基準ドリフトと同等 |
| ADC INL\*\* | 1.5 °C | 1.5 °C | 1.5 °C |
| 冷接点温度エラーによるエラー | 冷接点温度エラーと同じ | 冷接点温度エラーと同じ | 冷接点温度エラーと同じ |
| 熱電対の許容誤差によるエラー（特殊） | 1.1 °C | 1.1 °C | 1.1 °C |
| 電圧から温度への変換エラー | 0.05 °C | 0.05 °C | 0.05 °C |
| \* CDS測定が行われていることが前提です。  実際の温度誤差は、その時点でのINLに応じて、1.5Cよりはるかに低くなります。約4 LSbの標準的なINLの場合、INLによる温度誤差は< 0.2°Cです。 | | | |

## 温度テスト

PSoCPSoC 5LPが熱電対を測定する能力を検証するために、CE219905からのプロジェクトは、異なる温度を強制して結果を記録することによりテストされました。熱電対によって測定された温度は、標準の温度計によって測定された温度と比較されます（精度±0.5°C）。精密温度強制システム（空気の流れ）を使用して、さまざまな温度を設定します。

精度の結果を表7に示します。列1は温度強制システムに設定された温度を示し、列2は標準温度計によって表示される温度を示し、列3は熱電対温度を示し、列4は温度誤差を示します。

表7。精度テスト

| 温度ソース（°C） | 標準温度計（°C） | 熱電対（°C） | 温度エラー（°C） |
| --- | --- | --- | --- |
| –40 | –39.5 | –39.7 | 0.2 |
| –20 | –19.5 | –19.5 | 0 |
| 0 | –0.2 | –0.7 | 0.5 |
| 25 | 24.8 | 25.2 | –0.4 |
| 40 | 39.4 | 39.6 | –0.2 |
| 60 | 59.1 | 59 | 0.1 |
| 80 | 78.9 | 78.7 | 0.2 |
| 100 | 98.8 | 98.2 | 0.6 |
| 120 | 118.8 | 118.2 | 0.6 |

からわかるように、温度誤差は–40°C〜120°Cで< 1°Cです。

## 熱電対シグナルチェーンテスト

温度テストには、熱電対の許容誤差によって引き起こされる温度エラーが含まれます。表6に示すように、熱電対の許容誤差は最大の誤差原因の1つです。シグナルチェーンの精度は、熱電対コネクタにミリボルトソース入力を供給し、PSoCで測定された結果の熱電対温度を記録することでテストできます。mVソース電圧もマルチメーターで測定され、予想温度はNISTテーブルを使用して測定された電圧から計算されます。このテストの実行中、冷接点温度は強制的に0°Cになります。表8に、サンプルボードのシグナルチェーンの精度の結果を示します。表9は、校正後のCE219929の結果を示しています。

表8。シグナルチェーンの精度結果

| シミュレーションされた熱起電力（mV） | 予想温度（°C） | 測定温度（°C） | エラー（°C） |
| --- | --- | --- | --- |
| –4.695 | –141 | –141.1 | 0.1 |
| –3.666 | –103.7 | –103.7 | 0 |
| –2.575 | –69.6 | –69.5 | –0.1 |
| –1.741 | –45.9 | –45.7 | –0.2 |
| –0.654 | –16.8 | –16.7 | –0.1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.666 | 16.7 | 16.7 | 0 |
| 1.754 | 43.5 | 43.4 | 0.1 |
| 2.58 | 63.5 | 63.5 | 0 |
| 3.663 | 89.5 | 89.4 | 0.1 |
| 4.712 | 114.9 | 114.9 | 0 |
| 9.582 | 235.9 | 235.8 | 0.1 |
| 19.58 | 475 | 4.9 | 0.1 |
| 28.76 | 691.2 | 691.0 | 0.2 |
| 39.54 | 955.7 | 955.4 | 0.3 |
| 49.816 | 1227 | 1226.6 | 0.4 |

表9。PSoC 3デバイスのキャリブレーション後のサンプルテスト結果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 入力電圧（µV） | 予想温度（°C） | 実際の温度（°C） | エラー（°C） |
| 54527 | 1361.43 | 1361.4 | –0.03 |
| 45083 | 1099.05 | 1098.99 | –0.06 |
| 32438 | 779.64 | 779.63 | –0.01 |
| 23539 | 567.92 | 567.96 | 0.04 |
| 9140 | 224.95 | 224.97 | 0.02 |
| 2230 | 55.04 | 55.06 | 0.02 |
| 912 | 22.8 | 22.15 | –0.65 |
| 0 | 0 | 0.12 | 0.12 |

# まとめ

熱電対は、産業環境および850°Cを超える温度の測定に最適なセンサーです。熱電対には高分解能ADCが必要であり、冷接点温度を測定するには別の温度センサーが必要です。PSoCPSoC 5LPデルタシグマADCおよび熱電対コンポーネントにより、熱電対温度を正確に測定することが容易になります。

# 関連アプリケーションノート

[AN70698](http://www.cypress.com/?rID=57546) [– PSoCPSoC 5LP – RTDによる温度測定](http://www.cypress.com/?rID=57546)

[AN66477](http://www.cypress.com/?rID=49052) [PSoCPSoC 5LP –サーミスタによる](http://www.cypress.com/?rID=49052)温度測定

[AN60590](http://www.cypress.com/?rID=42993) [PSoCPSoC 5LP –ダイオードによる温度測定](http://www.cypress.com/?rID=42993)

[AN2099](http://www.cypress.com/AN2099) [PSoCPSoCPSoCPSoC 5LP 単極無限インパルス応答（IIR）フィルター](http://www.cypress.com/AN2099)

# 関連するコード例

[CE219905 – PSoCPSoC 5LP-熱電対による温度測定](http://www.cypress.com/CE219905)

[CE219929 – PSoCPSoC 5LP –熱電対キャリブレーション](http://www.cypress.com/CE219929)

改訂履歴

ドキュメントタイトル：AN75511-PSoC®3およびPSoC 5LP –熱電対による温度測定

＜＜★Document Number: 001-75511

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 版 | Engineering Change Notification (技術変更届) | 元の変化の | 発行日 | 変更内容 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |