

# システムの 温度測定と 保護に適した 温度センサの選び方

システム内の温度を測る方法は、サーミスタや熱電対、RTD、温度センサICなど数多くあり、それぞれ、状況に応じた利点や欠点があります。本稿では、よく使われる温度検出方法を比較し、プリント基板温度や周囲温度、CPUやFPGAといった消費電力の多い回路の温度検出にどの方法が適しているかを検討します。

## 温度検出技術

多くの電子システムでは、センサで温度を監視し、温度の異常上昇を防止します。以下によく利用される技術を列挙します。

**熱電対**とは、異なる金属の電線2本を結合したものです。結合部には、温度とほぼ比例する起電力が発生します。特長は、測定温度範囲が広い(最大1250℃)、低コスト、出力電圧が低い(Kタイプで40 $\mu$ V/℃程度)、直線性が比較的よい、少し複雑な信号調節を必要とする(冷接点補償と増幅)などです。熱電対にはいろいろなタイプがあり、アルファベットで区別されます。最もよく使われるのはKタイプです。マキシムでは、Kタイプの熱電対の信号調節を行うIC(MAX6674とMAX6675)を用意しています。このICを使うと、熱電対出力の増幅や冷接点補償、デジタル化などに必要な部品点数が大幅に削減され設計が簡単になります。熱電対は、プローブ状、あるいは裸リードの状態では供給されません。

**RTD**は、基本的に抵抗であり(白金線で作られることが多い)、電気抵抗が温度に応じて変化します。特長は、測定温度範囲が広い(最大750℃)、精度や再現性が高い、直線性が比較的よい、信号調節が必要である、などです。RTDの信号調節では、通常、高精度電流ソースと高分解能ADCを使用します。コストが高くなることがあります。RTDの供給形態は、プローブや表面実装パッケージ、あるいは裸リードです。

**サーミスタ**は温度依存性のある抵抗であり、多くが導電性材料の成形により作られます。よく使われるサーミスタは、負の温度係数(NTC)を持っています。特長は、測定温度範囲が比較的広い(最大150℃)、コストは低～中程度(精度による)、直線性は悪いが予測可能、信号調節が必要である、などです。サーミスタの供給形態は、プローブや表面実装パッケージ、裸リードのほか、スペシャル

パッケージも数多くあります。マキシムでは、サーミスタの電気抵抗をデジタル値に変換するICを用意しています。

**IC温度センサ**は、アナログ出力かデジタル出力のあるシリコンベースの検出回路です。特長は、測定温度範囲が比較的広い(最大150℃、低コスト、直線性が良好、その上信号調節やコンパレータ、デジタルインタフェースなどの付加機能を備えている点です。デジタルフォーマットは、3線式、4線式(SPI™など)、2線式(I<sup>2</sup>C™やSMBus™)、1線式(1-Wire®、PWM、周波数、時間)などに対応しています。他の検出技術では、信号調節やAD変換、温度自動調節機能などによってコストアップするのに対し、センサICはすべてを備えていることに注目してください。IC温度センサは、基本的に表面実装パッケージで供給されます。

## システムの温度測定ターゲットに適した 温度センサの選び方

適切なセンサ技術を選ぶためには、まず、温度測定のターゲットの特性と条件を正しく理解しなければなりません。一般的な温度測定ターゲットを以下に列挙し、その要約を表1にまとめてあります。

## プリント基板

プリント基板の温度測定には、表面実装センサが最適です。RTDとサーミスタとICセンサは表面実装パッケージで供給されており、測定温度範囲がプリント基板温度と同じです。RTDは精度が高く、測定再現性が高いのですが、サーミスタやICセンサよりも一般に高コストとなります。サーミスタは非直線性が強いのですが、予測可能です。狭い温度範囲で使う場合には、外付け抵抗を1、2個の追加で、かなりの直線性が得られることがよくあります。高い精度が必要でなければ、サーミスタは安価です。ただし、高精度サーミスタにすると、ある程度のコストがかかります。計算やルックアップテーブルによる線形化が必要になると、システムのコストと複雑度が大幅に増加します。ICセンサは線形性に優れるだけでなく、デジタルインタフェースを持つ、自動温度調節機能を持つなどの特長があります。このような特長によって、プリント基板温度の測定では、システムコストや設計難易度、性能などの面で他のセンサ技術よりも優れた結果を得ることができます。

SPIはMotorola, Inc.の商標です。

Maxim Integrated Products, Inc.または二次ライセンスを受けている同社の関連会社のI<sup>2</sup>C部品の購入により、これらの部品をI<sup>2</sup>Cシステムで使用するためのPhilips社のI<sup>2</sup>C特許権に基づくライセンスが許諾されたこととなります。但し、システムがPhilips社により定義されたI<sup>2</sup>C標準規格に合致していることを必要とします。

SMBusは、Intel Corporationの商標です。

1-Wireは、Dallas Semiconductor Corp.の登録商標です。

表1. システム温度モニタ用に適したセンサタイプ

Measurement Target	Best Sensor Types	Advantages	Disadvantages
PC Board	IC (analog)	Cost, linearity	—
	IC (digital)	Cost, digital output, linearity	—
	Thermistor	Cost	Nonlinearity
	RTD	Repeatability	Cost
Air	Thermistor	Cost, low thermal mass	Nonlinearity
	Thermocouple	Cost, low thermal mass	Signal conditioning (increases cost)
	RTD	Repeatability	Cost
	IC (analog or digital)	Cost, linearity	Difficult to isolate from PC board temperature
CPU, FPGA, Power Device, Module, etc. (measured under or near device)	IC (analog)	Cost, linearity	—
	IC (digital)	Cost, digital output, linearity	—
	Thermistor	Cost	Nonlinearity
	RTD	Repeatability	Cost
CPU, FPGA, Power Device, Module, etc. (contact)	Thermistor	Cost, low thermal mass	Nonlinearity
	Thermocouple	Cost, low thermal mass	Signal conditioning (increases cost)
	RTD	Repeatability	Cost
CPU, FPGA, Power Device, Module, etc. (with thermal diode)	IC (remote digital temperature sensor)	Linearity, digital output, response time, accuracy	—

プリント基板温度を正確に測定するポイントの1つは、センサを適切な場所に配置することです。多くの場合、特定の部品や部品グループの温度を測定し、適切な動作温度以上に昇温しないようにしたり、温度による部品性能の変化を補償したりします。センサ位置が重要なケースでは、SOT23のような小型パッケージの温度センサを使用して、他のレイアウトに影響しないようにして、適切な位置に配置します。電気的なノイズが多い場所や温度関連回路から離れた場所に配置する場合、デジタル出力を持つセンサが便利です。

## 周囲温度

周囲温度の測定には、センサが周囲の空気の温度には反応し、かつ、温度の異なる他の部品(プリント基板や電源、CPUなど)の影響を受けないようにしなければならぬという難しさがあります。リードの長いサーミスタや熱電対、RTDを使い、検出素子がプリント基板温度の影響を受けないようにするという方法があります。十分に長ければ、リード線をプリント基板につないだ状態で

検出素子は周囲温度の環境の中にあるとみなされます。一方、ICセンサによる周囲温度の測定は通常困難です。理由は、ICセンサに対して最良の温度伝導経路のリードがプリント基板と同じ温度になるからです。プリント基板温度が周囲温度と異なる場合(基板温度を上昇させる消費電力の多いコンポーネントがある場合など)、ICセンサによる周囲温度の測定ができません。プリント基板とセンサ部が離れるTO92のようなパッケージでも、リードの温度伝導が非常によく、センサの測定温度が基本的にプリント基板温度に等しくなります。ただし、IC温度センサが持つデジタル出力や自動温度調節機能の特長を生かして、周囲温度検出に使用されることもあります。このような場合は、周囲温度に等しくなるような「サテライト」プリント基板にセンサを取り付けます。センサの信号調節を行うことができる他のタイプのICもあります。たとえば、RTD用のADCとアンプを搭載したICや、MAX6691などのサーミスタからデジタルへのコンバータ、MAX6675などの熱電対からデジタルへのコンバータなどがあります(図1)。

## CPU、グラフィックスプロセッサ、FPGA、 パワーデバイス、モジュールなど

消費電力の大きい部品の温度は、多くの場合、表面実装センサ(サーミスタやICセンサ、RTD)をデバイスの下、あるいは近くに配置して測定します。このような方法が取れない場合や、デバイスに測定可能なヒートシンク、または他の表面がある場合には、測定対象表面に長いリードの付いたセンサ(熱電対やRTD、サーミスタ)を取り付けて測定します。測定温度が約150°Cを超える場合、熱電対かRTDを使用します。750°C前後、またはそれ以上では、熱電対しか選択肢がありません。

## CPU、グラフィックスプロセッサ、FPGA、 パワーデバイス、モジュールなど (オンボードサーマルダイオード内蔵)

CPUやグラフィックスプロセッサ(GPU)、FPGAといった高性能ICは、温度検出用のダイオード接続バイポーラトランジスタを内蔵しています。温度検出用トランジスタがICダイ上に形成されているため、他の方法と比較して測定精度が高く、時定数が小さくなります。

マキシムでは、このようなサーマルダイオードによる温度測定を精度よく行い、出力をデジタル化する専用ICを各種用意しています。サーマルダイオードの数では、

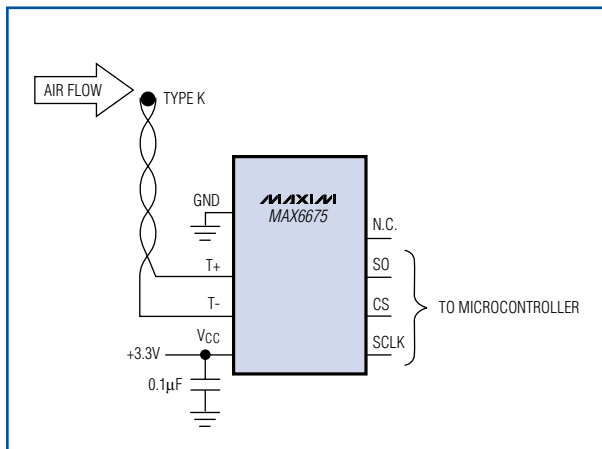


図1. 熱電対で周囲温度を測定するとき、MAX6675を使うと、冷接点補償を行うとともに、熱電対出力を直接デジタル形式に変換することができます。

1本のものから、最大で4本の計測を行うことができるものもあります。出力は小さい(200µV/°C程度)ですが、熱電対よりは大きいレベルです。内蔵フィルタか外付けフィルタを使い、レイアウトに若干の注意を払えば、コンピュータやサーバ、ワークステーションといったノイズの多い環境でリモートダイオードセンサを活用することができます。このようなICの多くには、監視対象ICの保護機能があります。たとえば、ターゲット温度が安全動作温度範囲を超えると、過熱アラーム出力によってシステムをシャットダウンすることができます。図2は、リモートダイオードセンサの例(MAX6642)です。このICは、サーマルダイオードと自分自身の温度を測定し(150°Cまで)、過熱アラーム出力を持っています。なお、過熱アラーム出力を作動させる温度は、SMBus経由でプログラミングすることができます。

## まとめ

システム設計者には採用可能なさまざまな温度検出技術があります。どの技術が適しているかは、測定するターゲット温度と、コストや回路サイズ、設計期間などのシステム要件によって異なります。設計時に遭遇する温度測定に対して優れた性能を低コストで実現することができるように、マキシムではさまざまな温度検出用ICを用意しています。

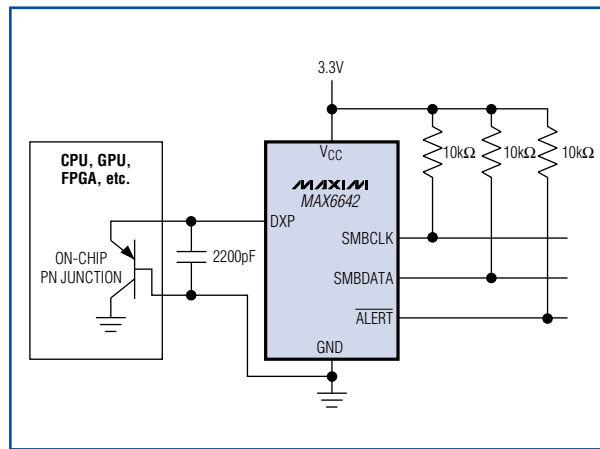


図2. MAX6642は、世界最小のリモート温度センサです。ALERT出力を割込信号やシステムシャットダウン信号として用いると、監視対象ICを過熱による損傷から保護することができます。