

なぜ温度を測るか どのような測定方法があるか

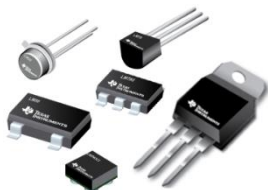
TIプレジジョン・ラボ：温度センサ

Presented by TJ Cartwright

日本語版講師：宮崎 仁

一般的な温度センサ

温度センサIC



サーミスタ



白金測温抵抗体



熱電対



Temp Range	-55°C to +150°C	-100°C to +500°C	-200°C to 850°C	-250°C to +2300°C
Accuracy	0.1°C to 3°C	0.1°C to 6°C	0.03°C to 4°C	0.5°C to 4.0°C
Calibration Required	No	For High Accuracy	Yes	Yes
Linearity	Best	Low	Best	Better
Requires Support Circuitry	No	Yes	Yes	Yes
Topology	Point to Point Multi-Drop Daisy Chain	Point to Point	Point to Point	Point to Point
Price	Low-Moderate	Low-Moderate	Expensive	Expensive

サーミスタ

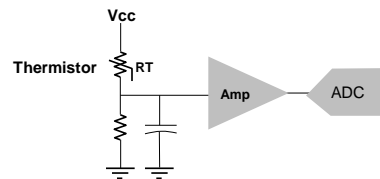
サーミスタは、温度によって抵抗値が変化する受動素子。
NTC(negative temperature coefficient)とPTC(positive temperature coefficient)がある。

長所：

- 比較的低コスト
- 供給が容易

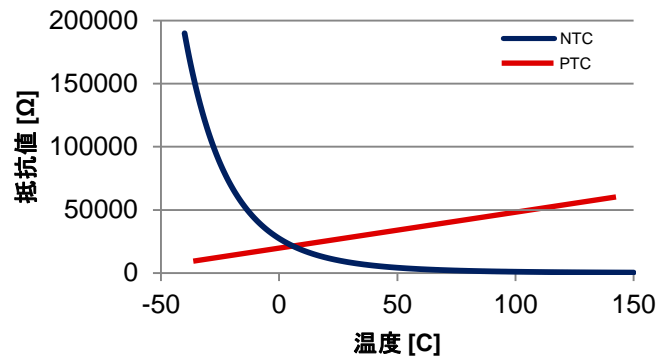
短所：

- 非線形 (NTC)
 - ソフトウェアのオーバーヘッド：メモリ容量、処理速度
- 長期信頼性が低い
 - 衝撃に弱い、湿度の影響を受ける
- システムのトータル精度の予測が難しい
- 部品点数



典型的な使用例

サーミスタ公称抵抗値

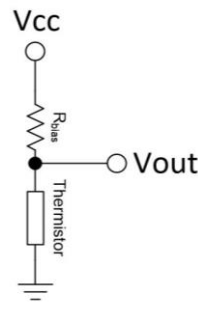
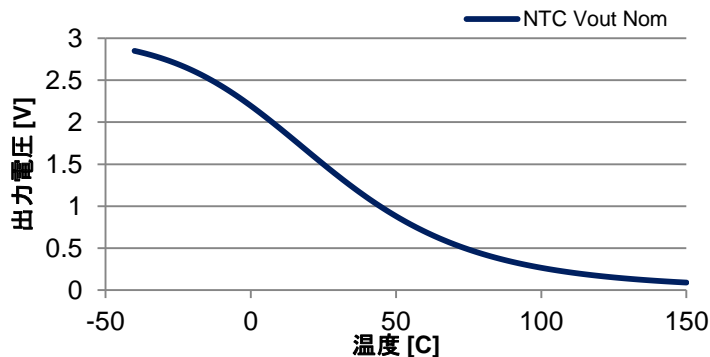


NTCサーミスタのシステム誤差

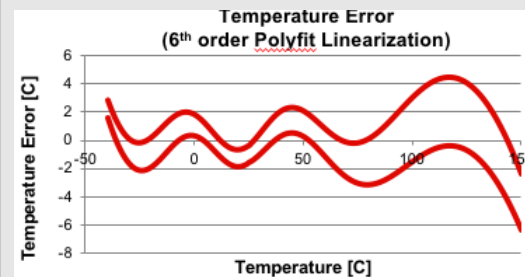
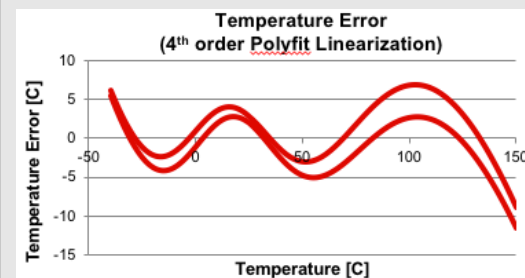
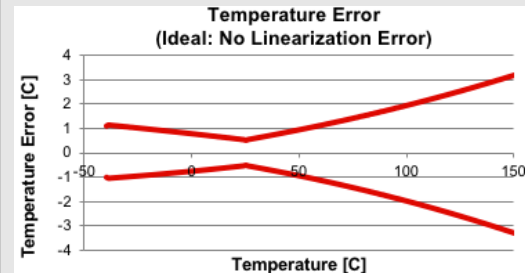
誤差の要因

- NTC(精度、ベータ)
- バイアス抵抗(精度、温度ドリフト)
- 基準電圧
- ADC(量子化誤差)
- 線形化誤差

分圧出力



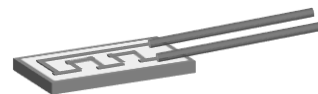
Example Circuit:
10K NTC (1%, 1% Beta)
+ 10K Rbias. (1%, 100ppm/C)



測温抵抗体 (RTD)

Resistive Temperature Detectors

白金、ニッケル、銅などの高純度の材料を用いて、元素に固有の抵抗温度特性を温度センサとして利用したもの



名称 :

PT100 : 0°Cで100Ωの抵抗値をもつ白金RTD

PT1000 : 0°Cで1000Ωの抵抗値をもつ白金RTD

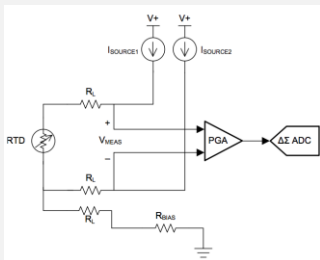
長所 :

- 白金RTDは極めて高精度、全温度範囲で出力値を予測できる
- 高い線形性
- 低い温度ドリフト
- 広い測定レンジ、最高600°C

短所 :

- 抵抗変化が微小、高精度の測定回路が必要とされる
- 揃った基板パターン、ケルビン接続、チョッパ回路など複雑なシステム設計
- 部品コストが高い
 - 白金RTDは高価で、他の材料では精度が低くなる
 - 高精度のバイアス抵抗、基準抵抗、基準電流、アンプ、ADCが必要
- 高精度部品 (RTD、抵抗、アンプ、ADC、電流源)が多く、誤差解析が複雑
- 信号収集回路のドリフトに敏感 (定期的に校正が必要)

一般的な3線式RTD検出回路



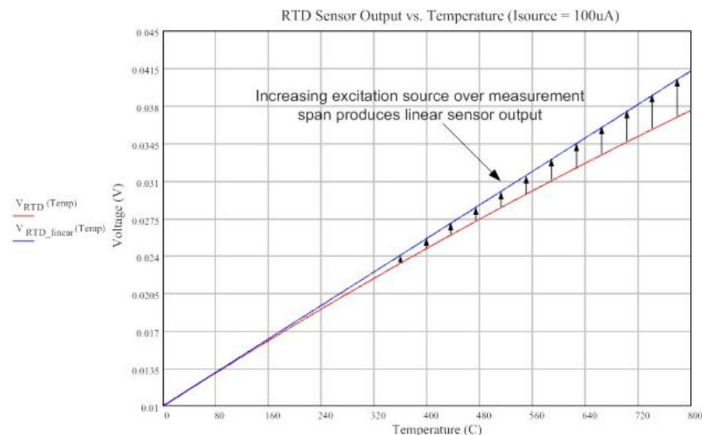
RTDのシステム誤差

誤差の要因：

- 部品誤差
 - RTDの精度 (表参照)
 - ADCのオフセット/ゲイン誤差、温度ドリフト
 - 基準電圧
 - 抵抗ネットワーク (精度、ドリフト)
- 非線形性 (Callendar-Van Dusen方程式)
 - $t > 0^{\circ}\text{C}$: $R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$
 - $t < 0^{\circ}\text{C}$: $R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + C (t - 100)^3)$
- 自己加熱

Tolerance Class (DIN-IEC 60751)	**Temperature Range of Validity		Tolerance Values (C)	Resistance at 0C (Ohms)	Error at 100C (C)	Error over Wire-Wound Range (C)
	Wire-Wound	Thin-Film				
*AAA (1/10 DIN)	0 - +100	0 - +100	+/- (0.03 + 0.0005*t)	100 +/- 0.012	0.08	0.08
AA (1/3DIN)	-50 - +250	0 - +150	+/- (0.1 + 0.0017*t)	100 +/- 0.04	0.27	0.525
A	-100 - +450	-30 - +300	+/- (0.15 + 0.002*t)	100 +/- 0.06	0.35	1.05
B	-196 - +600	-50 - +500	+/- (0.3 + 0.005*t)	100 +/- 0.12	0.8	3.3
C	-196 - +600	-50 - +600	+/- (0.6 + 0.01*t)	100 +/- 0.24	1.6	6.6

*AAA (1/10DIN) is not included in the DIN-IEC-60751 spec but is an industry accepted tolerance class for high-performance measurements



熱電対

熱電対は、2種類の異なる導体の一端を接合（他端を開放）したデバイスで、両端をそれぞれ異なる温度に置くことによって、ゼーベック効果（熱電効果）に従って温度に依存する起電力を生じる。

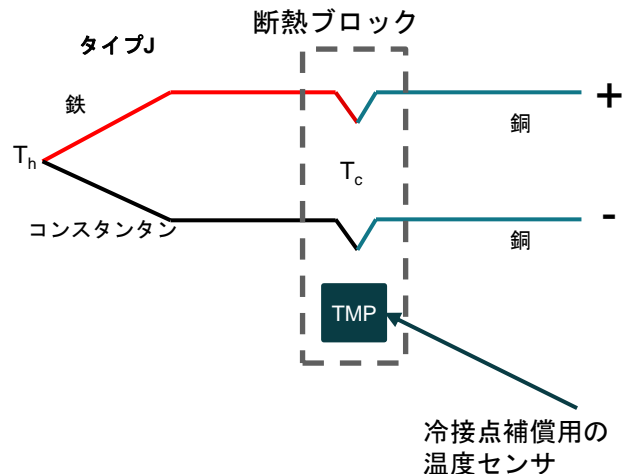
この電圧は、温接点の温度(T_h)と冷接点の温度(T_c)の差を示す。

長所：

- 測定レンジがきわめて広い：>2000°C
- 外部からの励起は不要 -> 自己加熱がない
- 堅牢
- 安価
- RTDより低コスト

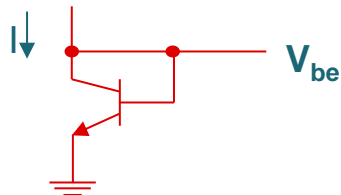
短所：

- 冷接点補償(CJC)のために別の温度センサが必要
- 非線形
- 熱電対取り付けなどから生じる寄生接合に敏感



シリコン温度センサ

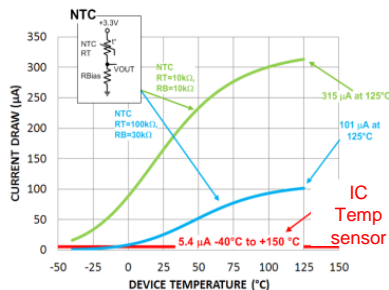
シリコン温度センサは、シリコンバンドギャップ固有の温度特性で動作する。



$$\Delta V_{BE} = \frac{KT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}}\right)$$



Significant power savings



長所:

- 線形性が高い
- 広い温度範囲にわたって精度を保證できる(最高±0.1°C)
- 広範囲な機能統合が可能
 - たとえばADC、コンパレータ、MCU、湿度センサ、電流アンプなど
 - 標準的なインターフェース: I2C、SPI、アナログ
- 低消費電力(最小4.2µW)
- 低ドリフト
- 超小型のCSPからスルーホール実装まで広範囲なパッケージを選べる
- 同じ精度のセンサとはコストも同等

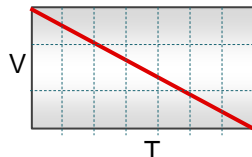
短所:

- 測定レンジに限られる (-55°C~150°C)
- オフボード向けのパッケージオプションが少ない

シリコン温度センサのソリューション

ローカル
デバイス自体の温度測定

アナログ

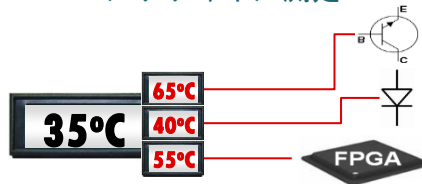


デジタル

35°C

I2C
SPI
パルス数
UART

リモート
外部デバイスの接合温度の測定
マルチチャネル測定



スイッチ/サーモスタット
シンプルな過冷/過熱保護

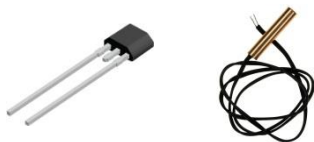


アラート

オフボード温度測定ソリューション

2ピン (Point to Point)

プローブに統合可能
最大2メートル



デジチェーン

単一ケーブルに数珠つなぎにセンサを配置
最大300メートル



温度センサ : Integrated Features

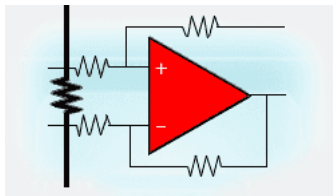
湿度測定

温度センサと湿度センサの統合
HDC2010 : 超小型BGA パッケージ
HDC2080 : QFNパッケージ



シャントモニタ

デジタル電流/電圧/電力モニタの統合
TMP512 : リモート2ch + ローカル
TMP513 : リモート3ch + ローカル



ファン制御 & システム監視

ファン制御とシステム監視の統合
AMC80 : 温度 + タコ2ch + ADC 7ch
LM87 : リモート + ファン2ch + DAC
LM96164 : リモート + タコ4ch + PWM + ADC 2ch

Fan DAC / PWM

PI

Lookup

Tach

ADC

Vcc Monitors

Intrusion
Detection