

わかる。 温度計測

温度計測のプロが
基礎知識から計測
ノウハウまで解説

熱 電 対 編

熱電対の基礎

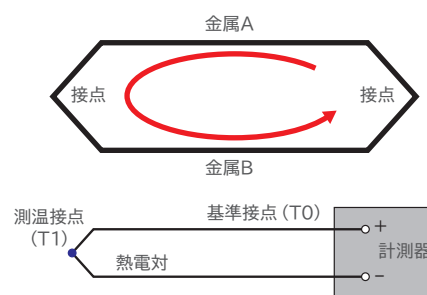
熱電対とは

熱電対とは2種類の異なる金属導体で構成された温度センサのことです。主に工業用として使用されるこの熱電対は、他の温度計（水銀計、サーミスタなど）と比較して右のような特長があります。

1. 応答が早い。
2. $-200^{\circ}\text{C} \sim +1700^{\circ}\text{C}$ と広範囲の温度測定が可能。
3. 特定の点や小スペースでの温度測定が可能。
4. 温度情報が電気信号（熱起電力）として検出されるので情報処理・解析がシンプル。
5. 安価で入手しやすい。

熱電対の原理

1821年、ドイツ人科学者ゼーベック（T.J. Seebeck）が、2つの異なる金属をつなげて、両方の接点に温度差を与えると、金属の間に電圧が発生し、電流が流れることを発見しました。この現象を発見者の名前をとって「ゼーベック効果」と言います。この回路に電流を起こさせる電力を熱起電力（Thermoelectromotive force）と呼ばれ、その極性と大きさは2種類の導体の材質と両端の温度差のみによって定まることが確認されています。

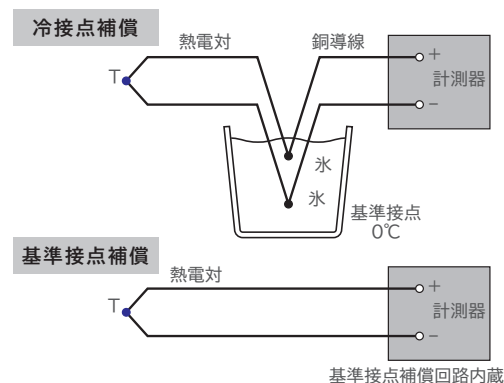


熱電対は「ゼーベック効果」により、
2種類の金属の接合部（測温接点）T1の温度と
計測器側接点（基準接点）T0の温度差Tによる電圧が発生します。
熱電対を使用して温度を計測する場合、計測器でこの電圧を測定します。

●計測器の測定方法としては、次の2種類があります。

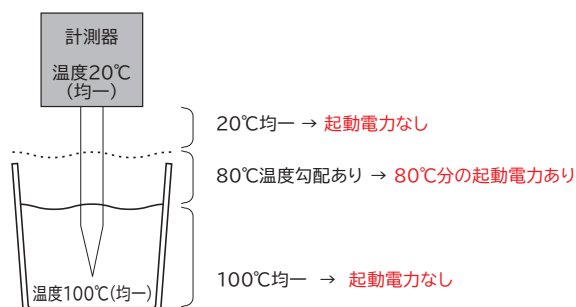
- ① 基準接点を 0°C （冷接点補償）にして温度を直読する方法
- ② 基準接点の気温を測り（基準接点補償）、温度差 ΔT に加算する方法

冷接点を測定中 0°C に維持するのは大変です。端子付近の温度を測定し、 0°C を基準とする熱起電力を加算することにより、測温接点の温度を求めることができます。これを基準接点補償と言います。



熱電対のセンサ部はどこ？

右図は熱電対を熱い液体の入ったコップに挿入したイメージです。液体の中の温度は均一に 100°C であると仮定します（温度勾配がない）。この時、液体内の熱電対部分に熱起電力は発生しません。熱起電力が発生するのは温度勾配がある部分のみです。熱電対のセンサ部は熱起電力が発生する部分ですので、この温度勾配部が熱電対のセンサ部になります。



熱電対の選定

測定温度で選定

熱電対には、二種類の金属導体の組み合わせ方で以下の8種類があります。

種類の記号	構成材料		測定範囲
	+脚	一脚	
B	ロジウム30%を含む白金ロジウム合金	ロジウム6%を含む白金ロジウム合金	+ 600 ~ + 1700℃
R	ロジウム13%を含む白金ロジウム合金	白金	0 ~ + 1100℃
S	ロジウム10%を含む白金ロジウム合金	白金	+ 600 ~ + 1600℃
N	ニッケル、クロムおよびシリコンを主とした合金	ニッケルおよびシリコンを主とした合金	- 200 ~ + 1200℃
K	ニッケルおよびクロムを主とした合金	ニッケルおよびアルミニウムを主とした合金	- 200 ~ + 1200℃
E	ニッケルおよびクロムを主とした合金	銅およびニッケルを主とした合金	- 200 ~ + 900℃
J	鉄	銅およびニッケルを主とした合金	- 40 ~ + 750℃
T	銅	銅およびニッケルを主とした合金	- 200 ~ + 350℃

B/R/S熱電対は貴金属熱電対、N/K/E/J/T熱電対は卑金属熱電対と呼ばれます。

白金、ロジウムといった融点の高い金属が含まれる貴金属熱電対は+1000℃以上の測定に使用され、+1000℃未満の測定には卑金属熱電対が使用される傾向にあります。

以下、各熱電対の特徴を記載します。

B 熱電対

他の貴金属熱電対と比較してロジウムの含有量が多いので、融点および機械的な強度が増していて、長寿命です。起電力が極めて低く、低温領域の測定は不可能です。基本的にR/S熱電対で測定できないような、更に高温の領域を測定する場合に選定します。

R/S 熱電対

高温領域で耐久性が必要な場合に選定します。貴金属熱電対の中ではR熱電対が最も使用されます。

N 熱電対

安価に+1000℃以上の高温領域を測定したい場合に選定します。

K 熱電対

貴金属熱電対と比較すると安価ですので、現在工業用として最も普及しています。起電力特性の直線性が優れていて、耐熱・耐食性も高いので、まずはK熱電対を使用することから考えます。

E 熱電対

1℃あたりの起電力が非常に高く、分解能が優れているタイプです。特に精度良く温度を測定したい場合に選定します。

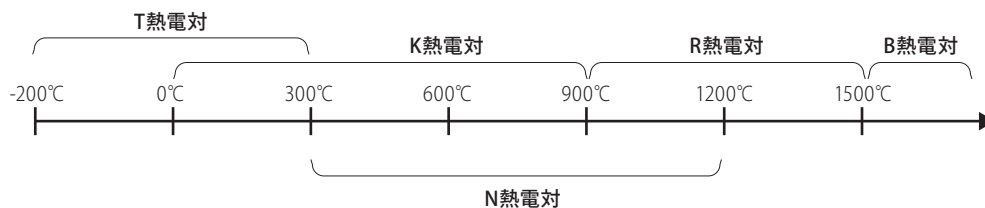
J 熱電対

E熱電対について1℃あたりの起電力が高く、分解能が優れているタイプです。E熱電対よりも安価なものも特長です。

T 熱電対

低温領域(-200~+300℃)の起電力特性がよいタイプです。低温領域を精度良く測定したい場合に選定します。

【温度別熱電対選定例】



熱電対の選定

環境性と応答性で選定

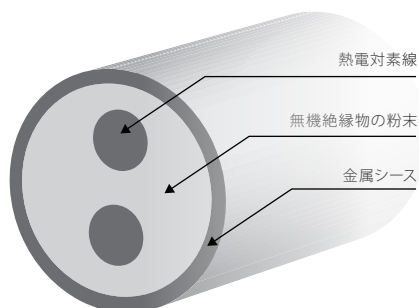
熱電対の素線は、酸化や腐食性雰囲気での耐久性を持たせるために、通常は外気から遮断します。外気から遮断するため、金属の被覆と一対の熱電対素線の間に、粉末状の無機絶縁物を充填封入して加工した熱電対のことを、「シース型熱電対」といいます。

シース型熱電対の特長としては以下のような点が挙げられます。

- ① 機械的強度が大きいことによる、優れた曲げ特性と耐衝撃性
- ② 耐食性、耐圧性に優れる

これらの特長から、十数年前に実用化されて以来、使用実績は徐々に拡大しています。

【シース熱電対の断面図】

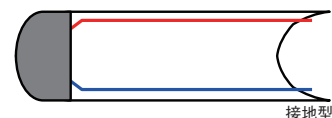


山里産業株式会社様 シース熱電対

シース熱電対の測温接点には3通りあります。使用用途に応じて最適な接点形を選定します。

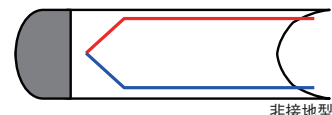
接地型

熱電対の素線をシースの先端部に直接溶接して測温接点を作ったシース熱電対です。応答性が早いのが特長です。素線がシースに接地していますのでノイズのある場所、危険な場所での使用はできません。



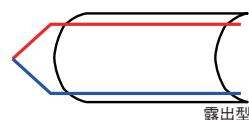
非接地型

熱電対の素線をシース部と絶縁し、測温接点を作ったシース熱電対です。応答性は接地型には劣りますが、長時間の使用に耐え、また、ノイズのある場所、危険な場所でも影響されずに使用可能です。



露出型

熱電対の素線をシースから露出し、測温接点を作ったシース熱電対です。応答性は3タイプの中では最も早く、わずかな温度変化も追従します。エンジンテストなど、早い応答性が求められる場合に使用します。ただ、強度は著しく低いので基本的には使い捨てで使用します。



熱電対の延長

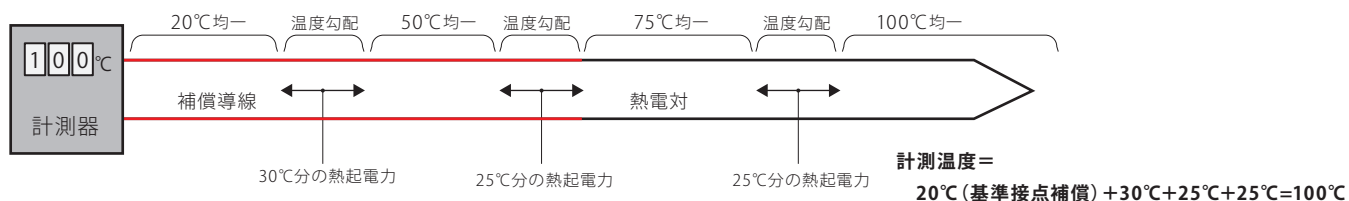
補償導線とは

補償導線とは熱電対と温度計測器との間を接続するのに使用する導線のことです。

使用温度範囲(0℃～+60℃)においては熱電対とほぼ同等の熱起電力特性をもっていますので、主に熱電対の延長に使用します。

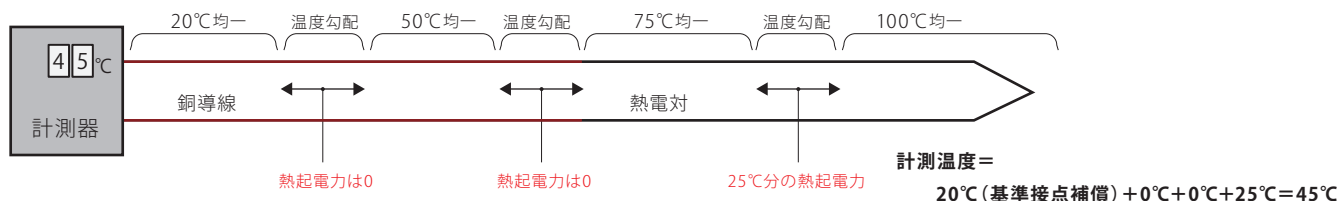
熱電対の延長はなぜ補償導線でないとダメなのか

下図のような温度勾配を考えます。



感温部は温度勾配がある部分ですので、補償導線においても、その温度差に相当する熱起電力が発生します。

計測器では発生した熱起電力の合計値を演算し、温度として表示します。



上図のように補償導線を使用せず、仮に銅導線を使用すると、温度勾配のある部分であっても熱起電力が発生しません。

その結果、温度の測定結果としては誤差が生じてしまいます。

コラム

温度勾配がなければ銅導線でもOK?

実際に温度勾配がない場合においては、1章でも述べたように、熱起電力が発生しません。従って、熱起電力が発生しないような温度勾配のない部分の延長に関しては銅導線でも問題ありません。

熱電対と補償導線の接続

熱電対と補償導線の接続は、接続部の温度勾配がない場合、通常の端子台で問題ありませんが、仮に温度差が生じると正確な計測ができなくなります。その場合は使用する熱電対と同等の熱起電力特性をもつ、専用のコネクタを使用します。

熱電対の最大延長

熱電対自体は1 km 以上延長しても使用可能です。ただし、計測器には通常、配線できる入力信号抵抗値の最大値、"入力信号抵抗"が決まっています。熱電対の総抵抗値がこの値以上になると正確な計測ができなくなりますので注意が必要です。

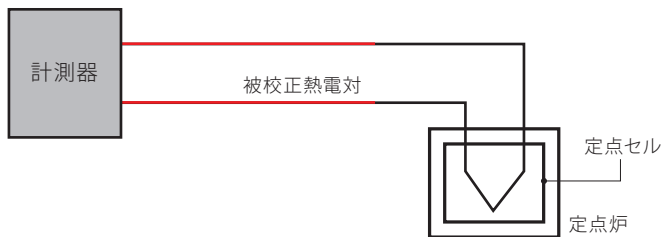
熱電対の校正

定点法と比較法

熱電対の校正とは使用する熱電対が示す値と、真の温度との関係を決める作業のことをいいます。校正は通常、半年に1回行います。校正方法は大きく分けて定点法と比較法があります。

定点法

定点法とは正確な温度値を温度定点で与えて校正を行う方法です。



上図のように定点の温度を測定して校正します。
温度定点は物質の相平衡状態ですので、いつ再現しても温度は一定です。

【一般によく使用される定点】

定点	温度
窒素の沸点	-195.798℃
酸素の沸点	-182.954℃
氷点	0℃
水の沸点	99.974℃
水の三重点	0.01℃
錫の凝固点	231.928℃
亜鉛の凝固点	419.527℃
アルミニウムの凝固点	660.323℃
銀の凝固点	961.78℃
金の凝固点	1064.18℃
白金の凝固点	1768℃

コラム

水の三重点(0.01℃)とは

水の三重点とは液体、気体、固体が共存する温度で、一般に水の三重点セルと呼ばれるガラス製のセルで実現されます。
±0.001℃と、最も良い精度が得られますので、定点法ではよく使用されます。

比較法

比較法とは任意に定めた恒温槽の温度を標準熱電対で計測し、同時に計測した被校正熱電対との誤差を求めて校正を行う方法です。



定点法と比較すると精度は落ちますが、
任意の温度で校正できることが特長です。

熱電対の寿命

熱電対にも寿命があります。使用する温度や雰囲気で大きく変わりますが、一般的に酸化雰囲気中で常用温度以下で使うと貴金属熱電対で約2000時間、卑金属熱電対は約10000時間程度です。上限温度で使用すると約50～250時間と寿命は大幅に短くなります。熱電対が寿命に近づくと正常な温度を示さなくなり、最終的には断線します。正確な計測を行うために、熱電対の定期的なメンテナンス・交換を行うようにしてください。

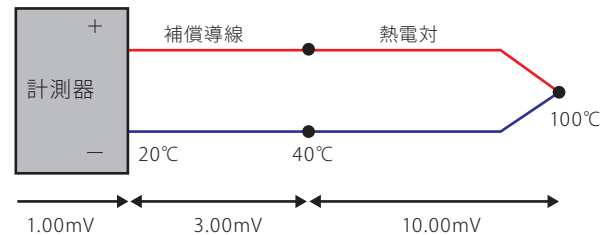
熱電対計測トラブルシューティング

熱電対を使用して温度を計測する際、正確な計測値が得られないことがあります。以下は熱電対計測において、陥りやすいトラブル事例をまとめています。

右記は正常に熱電対計測を行っている様子です。

全体の熱起電力は $1.00\text{mV} + 3.00\text{mV} + 10.00\text{mV} = 14.00\text{mV}$ から測定値は 100°C となります。

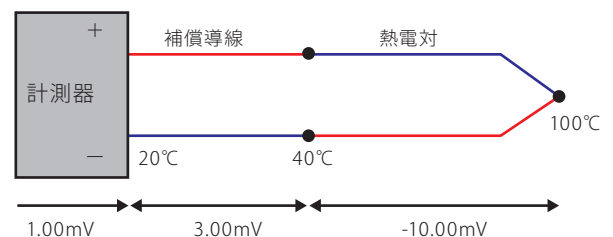
(熱起電力の各値は参考値とします)



熱電対、補償導線の極性が違う

熱電対、補償導線の極性を間違えると正確な計測ができません。

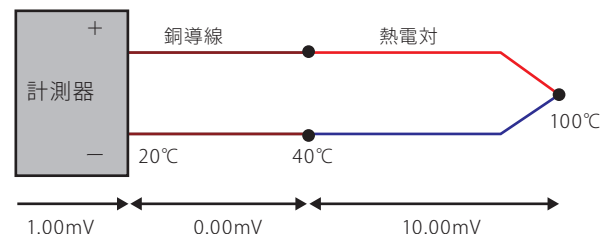
全体の熱起電力は -6.00mV となり、計測器には間違った温度が表示されてしまいます。



補償導線に銅導線等を使用している

温度勾配がある場合、補償導線の代わりに銅導線等を使用すると正確な計測ができません。

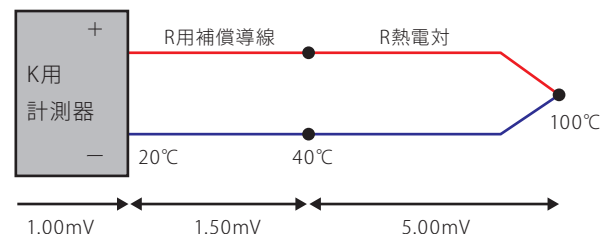
全体の熱起電力は 11.00mV となり、計測器には間違った温度が表示されてしまいます。



種類の異なる熱電対、補償導線を使用している

計測器とは異なる種類の熱電対、補償導線を使用すると正確な計測ができません。

全体の熱起電力は 7.50mV となり、計測器には間違った温度が表示されてしまいます。



全商品、送料無料で

当日出荷

必要な時に、必要な量だけ
在庫不要でトータルコストを削減

センシング・計測の
最新ソリューションを探せる
www.keyence.co.jp



安全に関する注意

商品を安全にお使いいただくため、ご使用の
前に必ず「取扱説明書」をよくお読みください。

株式会社 キーエンス

技術相談、お問い合わせ

お客様の身近な技術営業が
ダイレクトにサポート

アプリセンサ事業部

盛岡 019-603-0911	浜松 053-454-0911
仙台 022-791-0911	豊田 0565-25-3211
郡山 024-933-0911	刈谷 0566-63-5911
宇都宮 028-610-8611	名古屋 052-218-6211
高崎 027-328-1911	一宮 0586-47-7511
熊谷 048-527-0311	津 059-224-0911
浦和 048-832-1711	富山 076-444-1433
水戸 029-302-0811	金沢 076-262-0911
柏 04-7165-7011	滋賀 077-526-8122
幕張 043-296-7511	京都 075-352-0911
神田 03-5577-1055	大阪北 06-6838-0911
東京 03-5439-4955	大阪中央 06-6943-6111
立川 042-529-4911	神戸 078-322-0911
八王子 042-648-1101	岡山 086-224-1911
横浜 045-640-0955	高松 087-811-2377
海老名 046-236-0755	広島 082-261-0911
松本 0263-36-3911	北九州 093-511-3911
静岡 054-203-7100	福岡 092-452-8411
	熊本 096-278-8311

フリーダイヤル 0120-66-3000

最寄りの担当営業所につながります。
一部のIP電話からはご利用いただけません。

本社・研究所／アプリセンサ事業部
〒533-8555 大阪市東淀川区東中島1-3-14
Tel 06-6379-1711 Fax 06-6379-1710

アプリ5-1124

記載内容は、発売時点での当社調べであり、
予告なく変更する場合があります。
記載されている会社名、製品名等は、
それぞれ各社の商標または登録商標です。

Copyright© 2015 KEYENCE CORPORATION.
All rights reserved.

1115-1 117-119

NR-600 / 500 シリーズ

マルチ入力データ収集システム

クラス最小・最軽量
USB / LAN の簡単 PC リンク
MAX256ch 対応
650 倍速 Excel データ転送



7 種類の計測ユニット

高精度 温度・電圧計測
ユニット
NR-TH08



チャンネル間絶縁が
もたらす高い信頼性

端子台は熱分布均一構造
を採用し、高精度測定を
実現。また、入力チャン
ネル間を高耐圧半導体リ
レーで絶縁し、高い耐ノ
イズ性を確保。

高速アナログ計測
ユニット
NR-HA08



従来比 2.5 倍の高速
サンプリングを実現

オシロスコープに匹敵
する 1MHz サンプリン
グと、分解能 14bit の
高スベックを兼ね備え
ています。また新たに
電流 (±20mA) 入力
を装備。

高速・高電圧計測
ユニット
NR-HV04



MAX1000V 入力で完
全同期サンプリングを
実現

入力レンジは ±2V ~
±1000V まで対応。
ch 間、ユニット間を
しっかり絶縁し、フ
ィールドで使える実
効値演算回路を実装
しています。

ひずみ計測
ユニット
NR-ST04



高精度に
動ひずみ計測が可能

従来のひずみアンプ
と比較して圧倒的に
小さく、ブリッジ回
路内蔵や 1~4 ゲー
ジ法すべてに対応
するなど、上級機
を凌ぐ高性能を
実現。

加速度計測ユニット
NR-CA04



世界最小! 加速度計測
電荷型・電圧型の両方
に対応

世界最小 4ch チャー
ジアンプ内蔵。同一
ユニットで電荷出力
型、電圧出力型の
両方の加速度セン
サを接続。TEDS
センサにも対応。

パルス計測ユニット
NR-FV04



世界最小サイズ
かんたん F/V コンバ
ータ

世界最小 4ch F/V
変換ユニット登場。
回転パルス信号を
検出して、1 周期ご
とに周波数 (回転数)
を演算します。入
力レンジの設定も
不要。※特許出願中

CAN データ収集ユニット
NR-C512



CAN / アナログの
混在収集を実現

多シグナル、複数系
統バスの CAN データ
をアナログと完全
同期で収集。バス
モニター専用機な
らではのシンプル
設定で、プログラ
ム作成不要。

TR-H シリーズ

プリンタ搭載タッチ型パネルレコーダ



紙とデータの完全 2 重保存
必要とこだけ印字も可能

TR-W シリーズ

タッチ型ペーパーレスレコーダ



めくる・書く・比べるの
直感操作を実現