



技術紹介

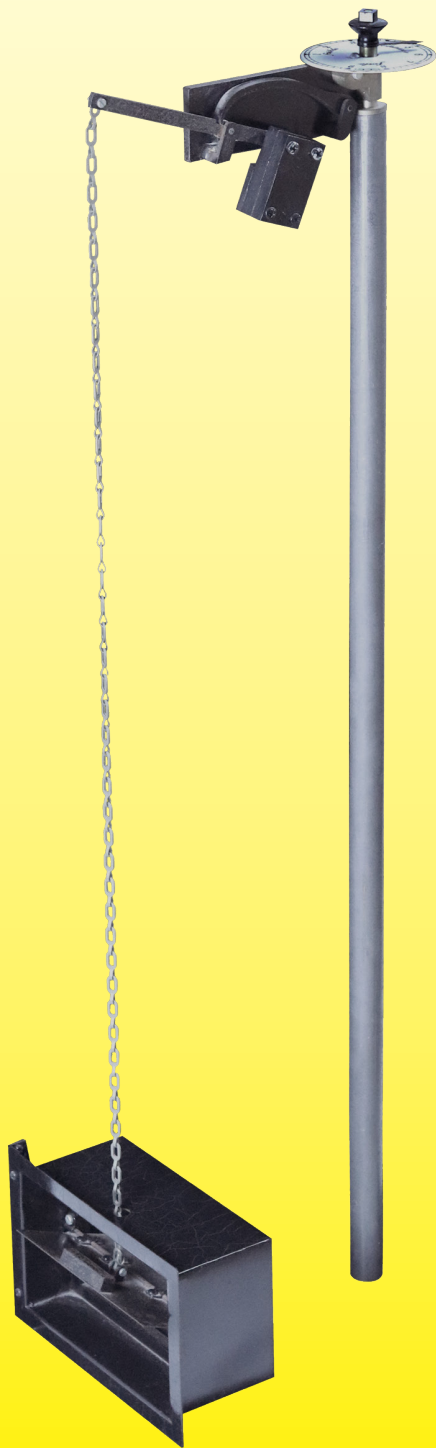


当社製品は継続的な改良を行っているため、本データシートに記載されている図面、説明および仕様・特長は参考情報として提供するものであり、予告なく変更される場合があります

温度測定の実現に先立ち、18世紀を通じて長い期間にわたり、まずは経験的な手法から始まり、その後徐々に高精度化された温度測定尺度が開発されました。また、これらの尺度を校正するための定点が発見され、さらに温度変化に関連するさまざまな物理現象も明らかにされました。その代表的なものとして、気体・液体・金属およびその他の固体の熱膨張、液化温度、沸点、磁性、熱電効果などが挙げられます。

しかし、サーモスタットが開発されるようになったのは、木炭不足による暖房燃料価格の上昇に加え、より高精度な温度制御の必要性が高まったことが背景にあります。最初のサーモスタットは、18世紀末にフランス人技術者ジャン・シモン・ボンヌマン (Jean Simon Bonnemain) によって、ふ卵器用として開発されました。1788年には、初めて高精度なバイメタルロッド式サーモスタットが製作されました。当時、この装置は「Gouverneur du feu」または「régulateur du feu」(火力調整器)と呼ばれていました。これは、彼自身が発明したサーモサイフォン方式を採用した最初のセントラルヒーティングボイラーにおいて、水温を制御するために使用されました。

19世紀の最初の四半期には、温水または低圧蒸気を利用したセントラルヒーティングが大きく発展し、さまざまな制御システムが普及しました。これらの制御システムの多くは低圧蒸気ボイラーに採用されました。さらに、19世紀後半に家庭用電力が導入されたことを契機として、20世紀前半の50年間には、現在使用されているサーモスタットシステムのほぼすべてにつながる研究開発および発見が進められました。



1788年。フランス人技術者ジャン・シモン・ボンヌマン (Jean Simon Bonnemain) は、「Régulateur du feu (火力調整器)」と名付けた最初のロッド式サーモスタットを発明・製作しました。この装置は、パリ郊外に設置されたふ卵器の温度制御を目的として使用されました。このふ卵器は、同時に彼が発明した最初のサーモサイフォン式ボイラーによって加熱されていました。

1. 温度検知の原理

1.1 バイメタル



1.1.1 バイメタルストリップ

バイメタルストリップは、2種類の金属を積層接合することによって形成されています。一方の金属は熱膨張係数が大きく、もう一方は熱膨張係数が小さい、またはほぼゼロの材料が使用されます。このストリップは加熱されると、温度変化に比例して湾曲します。これらのバイメタルブレードは、一般的に平板状で、一端を固定した構造となっています。ただし、らせん状に巻いた形状に加工することも可能であり、この構造は主に温度計の製造において使用されています。

1.1.2 ディスクおよびディスク形状のバリエーション



多くの用途において、所定の温度で形状が急激に変化するスナップ動作を備えたバイメタルが必要とされます。このため、バイメタルディスクにプレス加工を施し、ドーム状に成形します。温度変化によって内部にひずみエネルギーが蓄積され、設定温度に達すると、ディスクは凹形状から凸形状へ瞬時に反転します。正確で安定した再現性の高い作動温度を得るためには、材料組成、板厚、プレス成形深さおよび熱処理条件を厳密に管理・選定する必要があります。

元の円形形状を基に、長方形、楕円形などのさまざまな形状が開発されました。

主な課題は、作動温度における公差を小さくし、さらに温度差（ディファレンシャル）を小さくすることです。

しかし、これらのスナップ動作式ディスクは、市場に流通している多くの温度リミッターにおける温度検知素子として使用されています。

1.2 バイメタルの熱膨張

バイメタルではなく、2種類の異なる金属が積層接合されていない状態で、それぞれの熱膨張量の差を利用するものがダブルメタル熱膨張です。金属の熱膨張によって発生する力は非常に大きく、例えば鉄道レールでは、伸縮用の隙間が適切に設計されていない場合、レールを湾曲させるほどの大きな力が発生します。

1.2.1 カートリッジ

カートリッジは、通常ステンレス鋼製の外側の膨張可能なチューブと、通常インバー(Invar)製の2枚の非膨張性内部ブレードで構成されています。外管の伸び量は温度の関数となります。長さ約100mmの場合、この熱膨張量は1°Cあたり0.0020mmです。



1.2.2 平行ブレード

その動作原理はカートリッジと同様です。これらは、熱膨張する銅合金製ブレード1枚と、その両端に溶接された弓形のインバーブレードによって構成されています。銅合金製ブレードの熱膨張により、2枚のブレード間の距離は縮小する傾向があります。



1.2.3 ロッド

ロッドは、ステンレス鋼、銅または黄銅製の熱膨張する外管と、内部に配置されたインバー製ロッドで構成されています。熱膨張量はカートリッジとほぼ同等です。この方式は、現在使用されている多くの温水器用サーモスタットの基本原理となっています。構造が非常にシンプルで信頼性が高く、さらに温度を検知するのが外管そのものであるため、応答速度にも優れています。



インバーの代わりに熱膨張性金属を使用することにより、予測制御機能を備えたデバイスを実現することができます。この制御方式は、電子式コントローラーの比例制御に極めて近い特性を備えています。

外管と内部ロッドに同一の金属を使用すると、急激な温度変化のみに応答する制御機構を実現できます。この原理は、火災検知器に使用される温度検知機構として採用されています。

高温環境では、インバーロッドの代わりに石英またはアルミナを使用することができます。

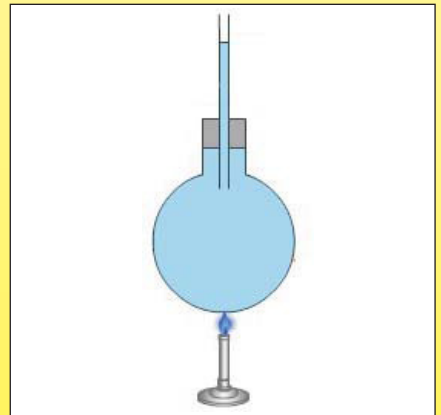
1.3 液体膨張

液体は圧縮されにくく、固体と同様に熱膨張します。液体の熱膨張によって発生する力は非常に大きく、機構部を作動させるのに十分な駆動力を生み出します。

液体の熱膨張は、「ダイアスタット (Diastat)」と呼ばれる密閉式アセンブリに利用されています。このアセンブリは、感温部、キャピラリーチューブ、およびベローズまたはダイアフラムで構成されています。

感温部内の液体が熱膨張すると、その体積変化はキャピラリーチューブを介してダイアフラムに伝達されます。これによりダイアフラムが膨張し、機械的な変位が生じます。ダイアフラムの変位量は、測定範囲全体で一般的に0.4~0.8mmです。感温部の内容積は、設定された温度範囲において所定の変位量が得られるように設計されています。使用可能な最低温度は封入液の凝固点によって決まり、最高使用温度はその沸点によって制限されます。これらの使用限界を超えると、通常はダイアスタットが損傷または破損します。

使用される液体は熱伝導率が高いため、応答時間を短くすることができます。



1.3.1 液体金属

水銀は、サーモスタットに使用された最初の液体です。

水銀が最初に使用された用途は、従来型の水銀温度計でした。

その熱膨張は、常温から500°Cまでの範囲において、ほぼ直線的な特性を示します。水銀は熱伝導性に優れているため、液体膨張式サーモスタットの作動液として最適な材料でした。

しかし、その高い毒性のため、この10年で水銀はサーモスタットへの使用がほぼ姿を消しました。



1.3.2 液状メタロイド

メタロイドは、金属とその他の材料との中間的な性質を有する材料です。サーモスタットでは、ナトリウムおよびカリウム、特に両者の共晶合金であるNaKが使用されます。NaKは、常温から900°Cを超える温度まで液体状態を維持できるという優れた特性を備えています。また、熱伝導性にも優れています。

これら2つの特性により、NaKは原子力発電所の冷却材として採用されています。

また、温度測定においては、熱膨張特性がほぼ直線的であるという利点も備えています。

サーモスタットへの採用は比較的新しく、セルフクリーニング機能付きオープン型の普及に伴って実用化されました。これは、高温環境に耐えられるサーモスタットの実現を可能にしたためです。ただし、空気や水と接触すると極めて反応性が高く、発火または爆発するおそれがあるため、密閉された保護構造内で使用する必要があります。

また、腐食性があるため、専用のステンレス鋼製ダイアスタットを使用する必要があります。



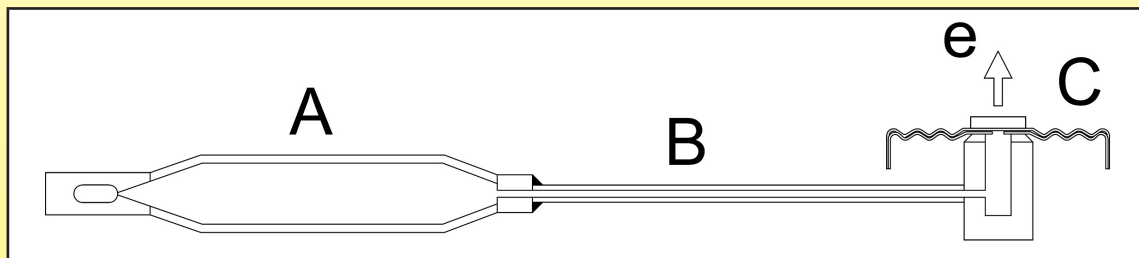
1.3.3 作動油

さまざまな種類の作動油が使用されています。作動油の選定にあたっては、小型の感温部を実現できる高い熱膨張係数、できるだけ高い沸点、できるだけ低い凝固点、広い温度範囲における良好な熱膨張の直線性、優れた熱伝導性、および低い毒性などの特性を総合的に考慮する必要があります。これらの特性は相互にトレードオフの関係にあるため、最適なバランスを持つ作動油が選択されます。代表的なものとして、キシレン類、熱媒体油、およびシリコンオイルが挙げられます。現在では、これら3種類の作動液を用いることにより、-40°Cから400°Cまでの温度範囲に対応することが可能です。



1.3.4 液体封入式感温部・キャピラリー式サーモスタットの熱ドリフト(補正係数)

(K/Kドリフト)の測定方法、フェイルセーフ機能の影響、および校正許容差に関する一般的な誤解については、1.3.5節をご参照ください。



感温部・キャピラリー式サーモスタットは、「ダイアスタット(Diastat)」と呼ばれる密閉式アセンブリを備えています。このダイアスタットは、銅またはステンレス鋼製の感温部およびキャピラリーを備え、3つの部品を溶接して一体化した構造となっています。

1. 感温部(A)は、作動液の大部分を収容するリザーバーであり、温度の変化に伴う作動液の熱膨張を利用して温度を検出します。液体を封入した後、先端の開口部は溶接によって密封されます。

2. キャピラリー(B) キャピラリーの外径は、メーカーおよびサーモスタットの種類によって異なり、一般に1~3mmの範囲です。キャピラリーは、感温部内の作動液の体積膨張を離れた位置にある作動部へ伝達する役割を果たします。

3. ベローズ(C) ベローズは、2枚の薄肉カップを周縁部で溶接して一体化した構造で、直径は一般に19~25mm(産業用機器では32mm程度まで)です。感温部内の作動液の体積膨張を機械的な変位(e)に変換する役割を果たします。

これら3つの部品は、真空状態で作動液が封入された密閉構造となっています。作動液は温度の上昇に比例して熱膨張し、その体積変化によって変位(e)が生じます。この変位は、電気接点を作動させるために利用されます。

しかし、キャピラリー(B)およびベローズ(C)内の作動液の熱膨張は、感温部(A)が検出する温度ではなく、それらが設置されている周囲温度の影響を受けます。その結果、作動液に不要な熱膨張が生じ、意図しない機械的変位を引き起こします。ダイアスタットは、この不要な変位を最小限に抑えるよう設計されています。そのため、キャピラリー(B)およびベローズ(C)内の作動液の容量を、次の2つの方法によってできる限り小さくしています。

・キャピラリーの内径を小さくする方法 キャピラリーの最小内径は、キャピラリーの製造技術上の制約、曲げ加工時に発生する応力、使用する作動液の粘度に応じて許容される圧力損失、および熱膨張によって発生する圧力を総合的に考慮して決定されます。

・ベローズにおける対策 ダイアスタットへの作動液封入時には、ベローズを構成する2枚の金属ダイヤフラムは互いに密着した状態となり、その間にはごく少量の作動液しか存在しません。しかし、感温部(A)の温度上昇に伴って作動液が熱膨張すると、その作動液はベローズ内へ流入し、ベローズ内の作動液容量は徐々に増加します。このため、熱ドリフトの大きさはベローズ内の初期作動液容量だけで決まるのではなく、感温部の温度上昇に伴ってベローズ内の作動液容量が増加するにつれて、大きくなります。

このように、ダイアスタット封入時にベローズ内の作動液量を極力少なくする設計には、一方で制約もあります。すなわち、封入時の温度を下回ると、ベローズ内には作動液が存在しないため、機械的な変位は発生しません。組み立てられたサーモスタットでは、ベローズが空の状態となるこの温度より低い範囲では、設定温度の調整を行うことはできません。この封入温度より低い温度領域は「デッドゾーン(Dead Zone)」と呼ばれ、通常、サーモスタットの調整ノブには温度目盛が表示されていない領域に相当します。

感温部・キャピラリー式サーモスタットの熱ドリフトは、データシートに記載されており、単位は °C/°C または K/K で表されます。

熱ドリフトの大きさは、感温部とキャピラリーおよびベローズの容積比によって決まります。感温部の容積が大きいほど熱ドリフトの影響は小さくなり、また、キャピラリーが短いほど熱ドリフトは低減されます。

固定温度式高温リミットサーモスタットでは、感温部の容積が小さいほど、サーモスタット本体周囲の周囲温度の影響を受けやすくなり、熱ドリフトに対する感度が高くなります。

直径19mmのベローズ式ダイヤスタットにおける熱ドリフトの比較値
(温度スパン全域における変位 (e) = 0.8mm、概略値)

温度範囲	キャピラリー長さ250mmに おける熱ドリフト (K/ K)	キャピラリー長さ900mmに おける熱ドリフト (K/ K)	キャピラリー長さ1500mm における熱ドリフト (K/ K)
4-40°C	0.1	0.12	0.14
30-90°C	0.18	0.20	0.24
50-300°C	0.25	0.45	0.58

この熱ドリフトの影響を考慮し、サーモスタットの校正温度は、サーモスタット本体周囲温度23°C±2°C (EN 60068-1で規定される標準周囲条件) において規定されています。また、通常はキャピラリーの浸漬長さ80～100mmを条件として校正が行われます。

キャピラリー長さ1.5mのサーモスタットにおける熱ドリフトの例
(校正許容差に加算されます)

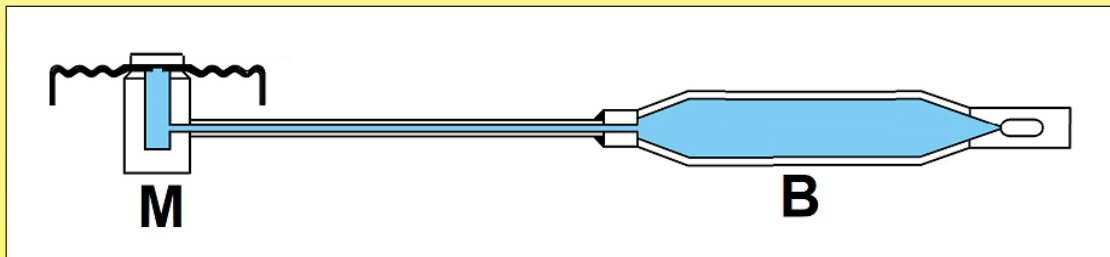
温度範囲 (°C)	設定温度 (°C)	サーモスタット本体周囲温度0°Cにおける実際の接点 開放温度	サーモスタット本体周囲温度50°Cにおける実際の接点 開放温度
4-40	40	40+3.2	40-3.8
30-90	90	90+5.5	90-6.5
50-300	300	300+13.3	300-15.7

1.3.5 詳細解析: 感温部・キャピラリー式サーモスタットにおけるK/Kドリフト

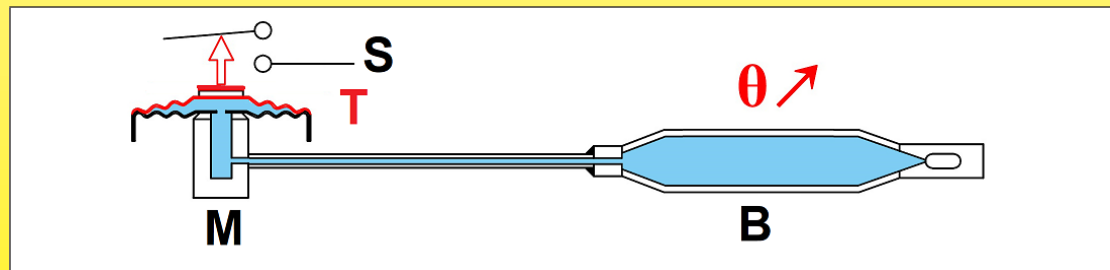
ハウジング部の周囲温度に対する設定値のK/Kドリフトは、感温部・キャピラリー式サーモスタットの特性の一つです。最大許容ドリフト値については、規格EN 60730-2-9の第15項および情報附属書AAに規定されています。ただし、この規格では、ダイヤフラム部における周囲温度の変化に対するドリフトについては、明確には規定されていません。段落「e」では、設定値が60°C以上の家庭用機器向けサーモスタットについて、ドリフトの確認は60°Cまたは最大設定値で実施すると説明されています。また、15.5.3.101 項では、使用者による設定を目的とした制御機器については、製造者が別途指定しない限り、最高動作温度に設定して試験を行うことが規定されています。

概要説明

ダイヤフラム、キャピラリーおよび感温部を組み合わせたアセンブリは、「ダイヤスタット」と呼ばれます



ダイヤスタットの真空封入工程では、ダイヤフラム内部には作動液が完全に存在しない状態になります。そのため、感温部 (B) の温度が低下しても、ダイヤフラムの高さをさらに低下させることはできません。このダイヤフラムの最小位置は「封入温度」と呼ばれます。この温度以下では、温度設定の調整を行うことはできません。



封入温度ではゼロであるダイヤフラム内部の作動液量は、感温部 (B) 内の作動液温度 θ が上昇すると増加します。これは作動液の熱膨張によってダイヤフラムが変位するためです。この膨張による変位は、温度を制御する電気接点機構 (S) によって検出されます。熱ドリフトは、本来であれば感温部 (B) 内の作動液の膨張のみが引き起こすべきダイヤフラム (M) の変位に対して、周囲温度 T の影響によりダイヤフラム内部の作動液が膨張することで発生する寄生的な変位によって生じます。

この周囲温度によるドリフトは、ハウジング部の周囲温度1Kあたりの設定値からの負方向の変化量として、K単位で表されます。

測定方法

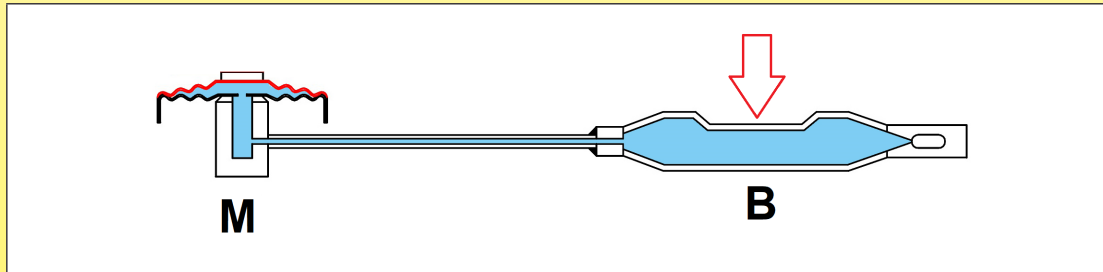


このドリフトは、ダイアフラムを含む部品を温度制御された恒温槽E1内に配置し、サーモスタットまたはリミッタの感温部を高精度校正チャンバーE2内に配置して測定します。恒温槽E1の温度は、23℃からサーモスタットが認証された温度T（この温度はサーモスタット本体に表示されています）まで、徐々に変化させます。E2の温度は、サーモスタットの設定可能な最大温度範囲、または調整不可タイプの場合は固定設定温度に設定します。これらの条件は、K/Kドリフトが最も不利となる条件です。これは、この状態においてダイアフラム内部の作動液量が最も多くなるためです。設定値の変化量は測定・記録され、機器のデータシートに記載されます。

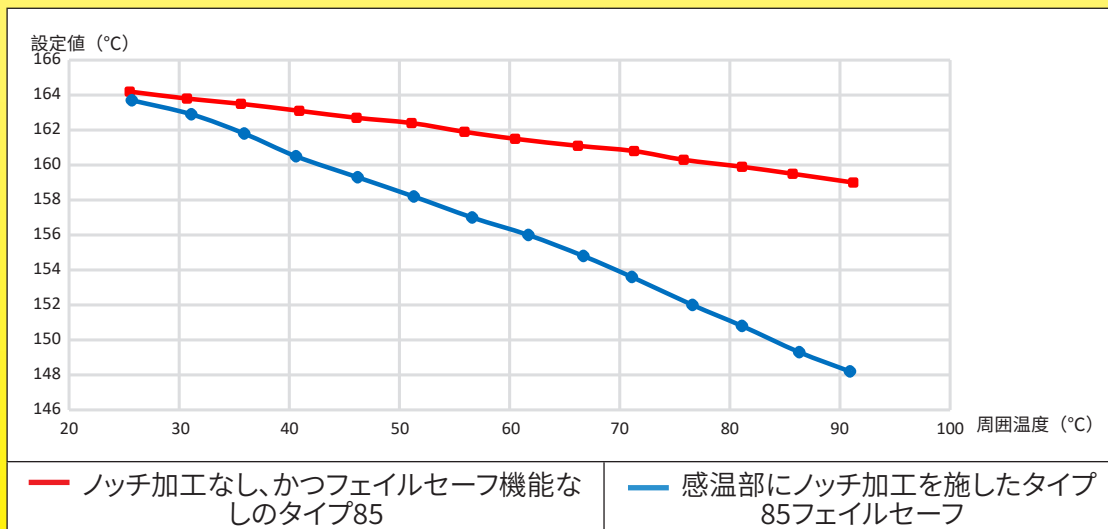
フェイルセーフ機器および調整範囲が周囲温度以下から開始する機器の特殊ケース

特定の用途では、サーモスタットをダイアスタットの封入温度以下で動作させる必要があります。室温下で封入作業を行った後、感温部（B）の容積を減少させるためにノッチ加工を施し、その結果、一部の作動液をダイアフラム（M）側へ移動させます。このノッチの深さを適切に設定することで、ダイアスタット内の封入液が凍結点に達しないこと、またはキャピラリー内での移動に支障をきたすような粘度にならないことを条件として、-35℃までダイアフラムを作動させることが可能になります。

この加圧状態により、キャピラリーの破損や漏れの検出も可能になります。これは、ダイアフラムの弾性力、または機構内部のスプリングによって、ダイアフラムが元の空の位置に復帰するためです。フェイルセーフ動作を正しく機能させるためには、-10～-25℃までダイアフラムを変位させることが必要です。そのため、内部容積を大幅に増加させる必要があります。結果としてK/K値が大きくなります。（フェイルセーフサーモスタットの動作説明を参照してください）



周囲温度を25℃から90℃まで変化させた場合における、165℃に校正されたタイプ85フェイルセーフリミッタのK/Kドリフト測定試験結果例、および同一リミッタについて、フェイルセーフ機能なし、かつ感温部にノッチ加工を施していない状態での試験結果例

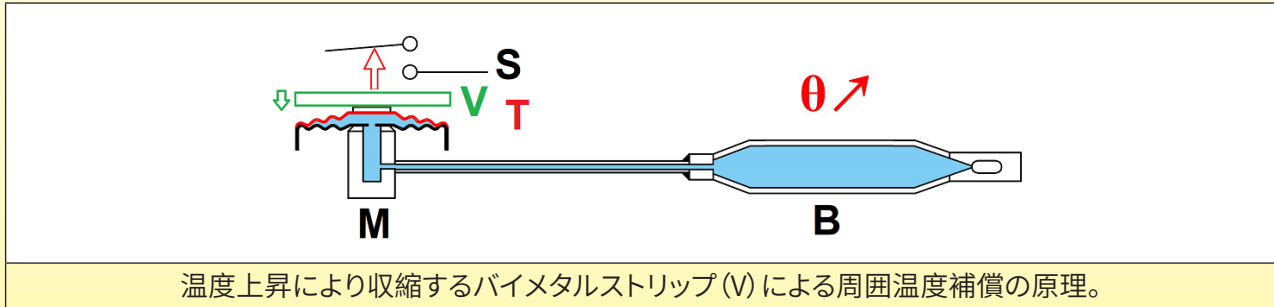


周囲温度補償

近代的なダイヤスタットが開発され始めた初期の時代、すなわち1950～1960年頃には、キャピラリーの製造技術はまだ現在の水準には達しておらず、外径は2mmを超え、内径も1mm以上であることが多くありました。そのため、キャピラリー内部に含まれる作動液の容積は、感温部の容積の約10分の1に達することが一般的でした。

キャピラリー内部の作動液量に対する周囲温度の影響により、K/Kドリフトが増加しました。この寄生的な膨張を補償するためのシステム開発が必要となりました。

最も一般的に使用されたシステムは、ダイヤフラムと電気接点の間に配置されたバイメタルストリップ(V)で構成されていました。この高価なシステムは、それぞれのK/Kドリフト値に応じて個別に調整する必要がありましたが、外径1mm、さらには0.9mmのキャピラリーが開発されたことで、次第に使用されなくなりました。現在のキャピラリーは、内径が約0.25mmまで小型化されており、内部に使用される作動液量は無視できるほど小さくなっています。その結果、周囲温度補償は不要となりました。



周囲温度T、校正点許容差、およびK/Kドリフトの混同と一般的な誤解

- 1- サーモスタット本体に表示される温度Tは、電気端子の最大温度上昇、接点機構の耐熱温度、およびハウジング絶縁部の最大規定耐熱温度によって決定されます。**この温度Tは、ダイヤスタットが動作可能な最高温度を示すものではありません。**
- 2- 規格EN 60730-2の15.1項では、「別の方法として、許容差およびドリフトに関する製造時の規定値は、校正点に対する許容差として個別に表すことができる」と規定されています。これは、すでにEN 60730-1の15.4項において、「機器への組込みを目的とした制御装置については、製造ばらつきおよびドリフトはそれぞれ個別に宣言しなければならない」と規定されていた内容です。**この規定により、校正許容差とドリフトの違いが明確に区別されています。**
- 3- 校正値およびその許容差(「製造ばらつき」)は、常にダイヤスタットのダイヤフラムが配置されているハウジング部の標準周囲温度 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ の条件下で規定されます。

これら3つの点から、サーモスタットの設定値に対する許容差は、周囲温度 23°C の条件下でのみ有効であることを理解する必要があります。また、この許容差にはK/Kドリフトは含まれておらず、感温部およびダイヤフラムに許容される最高温度は、ケースに表示されている温度Tより低い場合があることにも注意が必要です。

例: 上昇時接点開放温度の校正値が $4^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ である固定温度サーモスタットについて考えます。このサーモスタットは、表示温度T(CE)が 120°C 、感温部の最高許容温度が 60°C 、またK/K係数が0.12です。このK/K係数は、封入温度を低下させるために感温部へノッチ加工を施したことによって発生します。

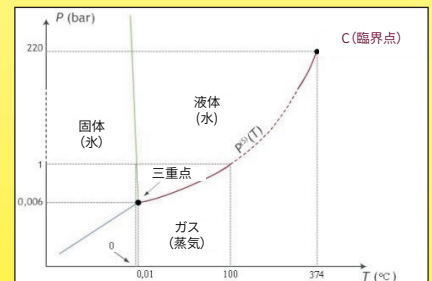
周囲温度が 60°C の場合、許容される最大ドリフトは次のようになります。 $(60 - 25) \times (-0.12) = -4.2^{\circ}\text{C}$ 最悪条件を考慮すると、感温部がこの温度にさらされた場合にサーモスタットが作動する温度は、以下のように計算されます。 $4^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}$ (校正許容差) $- 4.2^{\circ}\text{C}$ (K/Kドリフト) $= -3.2^{\circ}\text{C}$ **この結果、このサーモスタットの作動温度は -3.2°C となり、凍結防止用途としての機能範囲外となります。**

1.4 蒸気圧

この方式では、ダイヤスタット内部に液体とその飽和蒸気の混合物を封入します。これは、気体と液体が共存しているブタンボンベ内の状態と同じです。

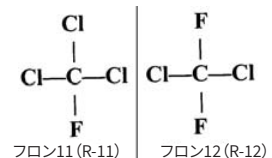
この密閉環境では、温度が上昇すると圧力が上昇し、同時に大きな容積変化が発生します。

残念ながら、気体は圧縮性を有しているため、大きな変位を得ることは可能であっても、利用可能な力は小さくなります。また、変位は非線形であり、これらの方式は大気圧の変化に影響を受けやすいという欠点があります。主な封入媒体として使用されるものには、以下のものがあります。



1.4.1 フロン類

これらは、入手性の良さ、および冷媒回路で既に使用されている真空封入システムを利用できることから使用されています。また、低温領域でも動作可能です。



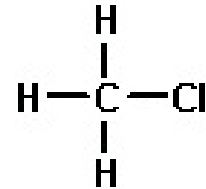
1.4.2 ブタンおよびプロパン

これらは前述と同じ理由で使用されますが、可燃性であるという欠点があります。



1.4.3 その他:塩化メチル類

これらは、キャピラリー式サーモスタットおよびダイアフラム式ルームサーモスタットに使用されます。



1.5 状態変化

状態変化を利用した装置では、温度に対する直線的な変位は利用しません。代わりに、各種物質の融点、凝固点、および沸点において発生する瞬間的な体積変化を利用します。

例えば、水は0°Cで凝固すると体積が増加し、0°Cで融解すると体積が減少します。これは、固体から液体への状態変化によるものです。また、水が100°Cで沸騰すると蒸気となり、体積は大幅に増加します。したがって、状態変化方式では、さまざまな元素および化合物が有するこれらの特性を利用します。

1.5.1 ワックス

サーモスタット用ワックスは、多数の成分から構成される複合混合物であり、その組成によって融点および凝固点が異なります。この温度では大きな体積変化が生じます。ワックスは融解すると体積が増加するという特性を有しています。

この方式は、大きな変位が得られることから、自動車用サーモスタットにおいて冷却水の流路を開閉するために使用されています。また、セントラルヒーティング用ラジエーターのサーモスタットや、オーブン、洗濯機、その他の家電製品のドアを施錠するための小型アクチュエータにも広く使用されています。



1.5.2 低融点合金

これらの低融点合金は、19世紀初頭にDarceyによって発見された合金を起源としています。スズ、アンチモン、鉛、ビスマスなどの金属を所定の割合で配合した合金は、各成分の配合比に応じて、約25~200°Cの融点を有します。

これらの低融点合金が最初に実用化された用途の一つは、蒸気機関車の蒸気圧ブローダウン弁の作動でした。所定の温度で合金が溶融する特性を利用して、機械式機構を解除する可溶リンク(防火用フューズリンク)や、電気回路を直接遮断する温度ヒューズ(サーマルカットオフ)に使用されています。



1.5.3 沸騰

液体が密閉回路内で沸騰すると、圧力は急激に上昇します。この圧力上昇は、キャピラリー式サーモスタットのダイアスタット内部で発生する局所的な沸騰によって生じる場合があります。この原理により、キャピラリーのいずれの位置で発生した局所的な高温部(ホットスポット)でも検知できるため、長距離にわたって温度を検出できるサーモスタットを実現することができ

ます。沸騰現象は、ガラス感温部にも利用されています。ガラス感温部内部の液体が沸騰すると内圧が上昇し、ガラス感温部が破損して、機械式または電気式の作動機構を動作させます。最もよく知られている用途は、建物の火災検知・消火設備で広く使用されているスプリンクラーシステムです。



1.6 その他の方式

1.6.1 キュリー点

キュリー温度とは、磁石が磁性を失う温度のことです。この温度は、磁性合金の組成を変えることによって調整することができます。磁性が失われると、その変化を利用して機械式または電気式の作動機構を動作させることができます。

この方式の用途は限られており、炊飯器などの特定の機器にのみ使用されています。



1.6.2 形状記憶

一部の合金や化合物は、一定の温度に達すると、機械加工を施す前の元の形状に戻る性質を有しています。この形状回復温度は、熱処理条件および合金の組成によって決まります。

1.6.3 気体の膨張

この方式は、発生する力が小さく、電気接点を直接動作させることが困難であるため、主に温度計に使用されています。一方、気体の膨張は温度に対してほぼ直線的であるため、広い温度範囲にわたって直線的な目盛りを実現することができます。

使用される気体は主にヘリウムおよびアルゴンです。

これらの方式は大気圧の変化の影響を受けやすいため、大気圧補償機構が必要となります。

2. 電気接点



電気接点にはさまざまな機構がありますが、本書では構造方式による分類ではなく、最も重要な要素である動作速度に基づいて分類します。

2.1 電気接点方式

2.1.1 緩動接点

緩動接点では、接点の両側は約0.1 mm/秒の低速でゆっくりと移動します。

通常の大气中では、接点同士が接近すると電気アークが発生します。

このアークの継続時間は印加電圧に依存します。

24V DCまたは110V AC以下では、アークの継続時間は0.1秒未満と短くなります。

一方、それより高い電圧では、アークの継続時間が長くなり、接点の早期溶着や著しい電波障害（ノイズ）の原因となります。

このため、緩動接点（または緩動投入接点）は、機械的には構造が簡単で、低コストかつ高精度という利点があるものの、頻繁な開閉を行う230V電気回路には使用しないことが推奨されます。



2.1.2 速動接点

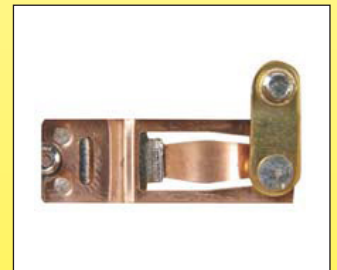
速動接点では、接点の開離は約1 m/秒という非常に高速で行われます。これは、緩動接点の約100,000倍の速度に相当します。電気アークを消弧するために必要な接点間隔は、1/1000秒未満で確保されます。そのため、電波障害（ノイズ）はほとんど発生せず、接点の劣化も極めて少なくなります。

このタイプの接点は、機械構造がはるかに複雑で、コストも高く、微小な動作差（ディファレンシャル）の設定には適していません。一方で、240Vまたは400Vの制御機器には特に適しています。速動動作を実現するためには、いくつかの方式が用いられます。

- ・最も古い方式は、接点ばねに磁石を用いる方法です。磁界の強さは距離の4乗に反比例して急激に減少するため、2枚の接点ばね間の磁気吸引力は、ごく短い距離で急激に変化します。この特性により、速動動作を実現することができます。この方式は信頼性が非常に高いものの、構成部品数が多いため、現在ではほとんど使用されていません。

この方式は、気圧計、圧力計、および円形ダイヤル式温度計の指針接点に広く採用されていました。また、サーモスタットに採用された最初の速動機構でもあります。

- ・現在、最も広く使用されているのは、エネルギー蓄積ばねです。その構造設計は、ベリリウム銅合金の性能向上と新しい設計思想の導入により、近年大幅に簡素化されています。





2.2 構造

2.2.1 接点材料

銀接点が開発される以前、初期の電気式サーモスタットでは、水銀が接点材料として使用されていました。2本の電極を備えたガラス感温部内に封入された液体水銀は、感温部を傾けることによって両電極間を導通させます。また、より簡単な方式では、金属製の針が移動して水銀の表面に接触することにより、電氣的接続が確立されます。

現在、電気接点には、純銀製の接点リベット、またはカドミウム、ニッケル、スズなどの金属や酸化物を少量添加した銀合金製の接点リベットが使用されています。

銀が採用された理由は、熱伝導率および電気伝導率が最も優れた金属として知られているためです。接点は、開閉動作のたびに生じる微小な蒸発によって徐々に摩耗します。この蒸発量は、電気アークの強さおよび継続時間に比例します。銀は熱伝導率が高いため、接点が開離する際に発生する瞬間的な高温を速やかに放散することができます。

また、銀は電気伝導率にも優れているため、一般に接触抵抗が $3\text{m}\Omega$ 以下という非常に低い接点を実現することができます。しかし、銀は耐食性を有する材料ではなく、時間の経過とともに表面が薄い酸化銀膜で覆われます。この酸化銀膜は電気伝導性を有していません。

この酸化銀膜は、家庭用電源電圧(120V、230V)で使用される場合には、接点の開離時に発生する電気アークによって容易に蒸発・除去されます。しかし、低電圧(12V未満)かつ極めて小さい電流(数mA程度)の用途では、接点の開離時に発生する電気アークのエネルギーが不足するため、この酸化銀膜を蒸発・除去することができません。

このため、低電力回路用の接点には、酸化を防止する目的で薄い金めっきが施されています。

2.2.2 接点間隔

接点が開離すると、両接点の間には一定の接点間隔が形成されます。この接点間隔は機器の種類によって異なり、0.1mm程度から3mm以上までさまざまです。サーモスタットでは、一般に0.3~0.4mmが標準的な値であり、これは電気規格で規定されているマイクロディスコネクション(微小開離)の要求を満たしています。

一方、動作差を小さくするために必要な小さい接点間隔は、高電圧回路には適用できません(動作差の定義については後述)。これは、2つの接点が機械的には接触していなくても、380V以上の高電圧では電気アークが自然に発生する可能性があるためです。特に、相対湿度が高いなどの悪条件下では、このような現象が生じることがあります。

サーモスタットに大きな動作ストロークを要求することなく接点間隔を拡大する方法の一つとして、ダブルブレイク方式があります。この方式は、一部の手動復帰式サーモスタットに採用されており、接点間隔を大きくできるだけでなく、接点溶着の危険性を低減する効果もあります。

2.3 使用条件および電氣的寿命

電気機械式サーモスタットの仕様では、期待寿命は機械的寿命および電氣的寿命に分けて規定されています。

電氣的寿命:

これは、接点の開閉動作(1サイクル)を規定回数以上行った場合において、規定された負荷を通電・遮断でき、かつ接点の固着や溶着が発生せず、さらに機器の電氣的仕様を超えないことを満たす最小サイクル数として規定されます。

機械的寿命:

これは、サーモスタットが機械的な完全性を維持した状態で実行できると期待される動作回数を示します。機械的寿命は通常、電源接点に負荷または電圧を印加しない状態で試験され、本書の対象範囲には含まれません。

スイッチの性能は、次のようなさまざまな要因の影響を受けます:動作頻度、負荷の種類、温度、湿度、高度です。電氣的定格については、UL 1054、CSA22.55、またはIEC 61058-1(機器用スイッチ)において、暫定的に標準化されています。IEC 60730シリーズ規格では、電気制御装置および安全スイッチに対する試験方法、ならびに推奨される電氣的寿命クラスが規定されています。これらの寿命クラス(サイクル数)は以下の通りです。300 000、200 000、100 000、30 000、20 000、10 000、6 000、3 000 (1)、1 000 (1)、300 (2)、30 (2)(4)、1 (3)。

1) サーモスタットまたはその他の高速サイクル動作には適用されません。

2) 手動復帰式にのみ適用されます。

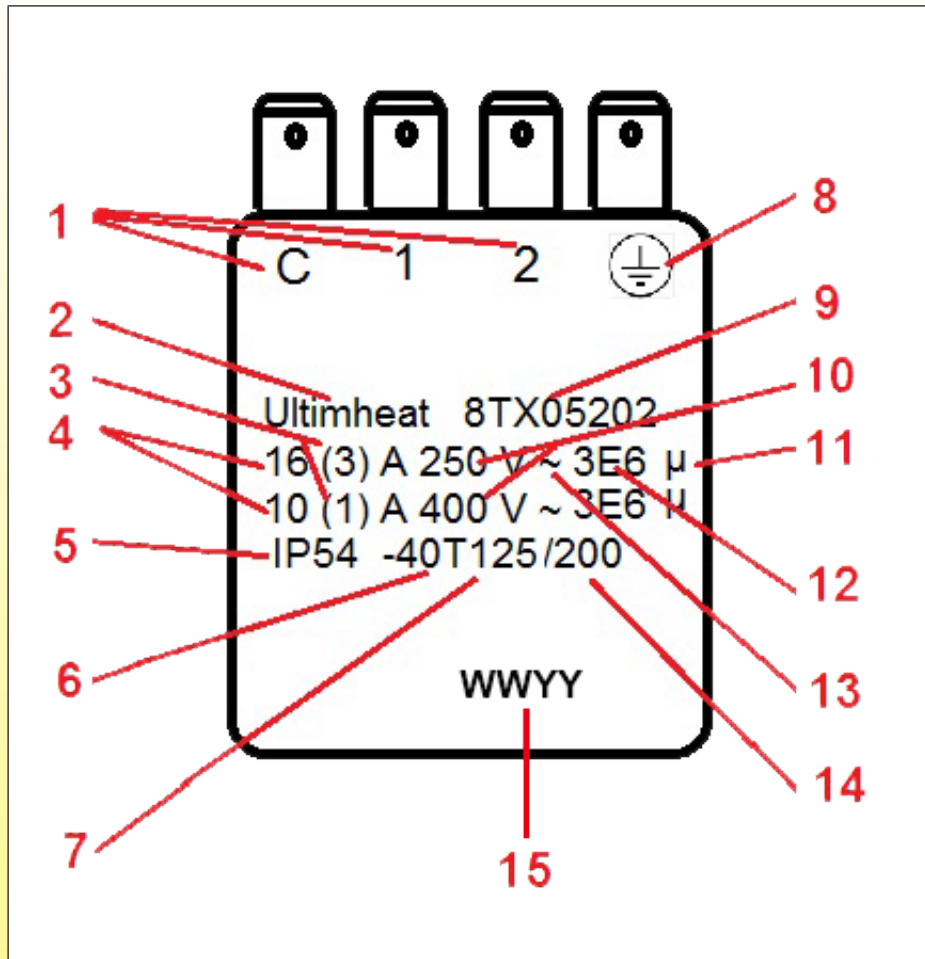
3) 各動作後に部品交換を必要とする動作にのみ適用されます。

4) メーカーによるサービス作業時にのみリセット可能です。

定格表に示される値は、多くの用途において実用上の最大値として考慮する必要があります。以下に、異なる負荷および電圧条件で使用する場合に適用される制限事項を示します。

サーモスタットスイッチの電流定格は、技術データシートにおいて、250Vまたは(および)400V ACの抵抗負荷条件、および規定された動作回数に基づいて示されています。スペースに余裕がある場合には、これらの値は製品本体にも表示されます。しかし、多くの場合、表示されるのは規格で要求される最小限の必須情報のみです。サイクル数が製品上に表示されることは例外的ですが、この値はサーモスタットの期待寿命を評価する上で最も重要なパラメータの一つです。

2.3.1 IEC 60730-1 § 7-2に基づくサーモスタット本体への表示値の説明



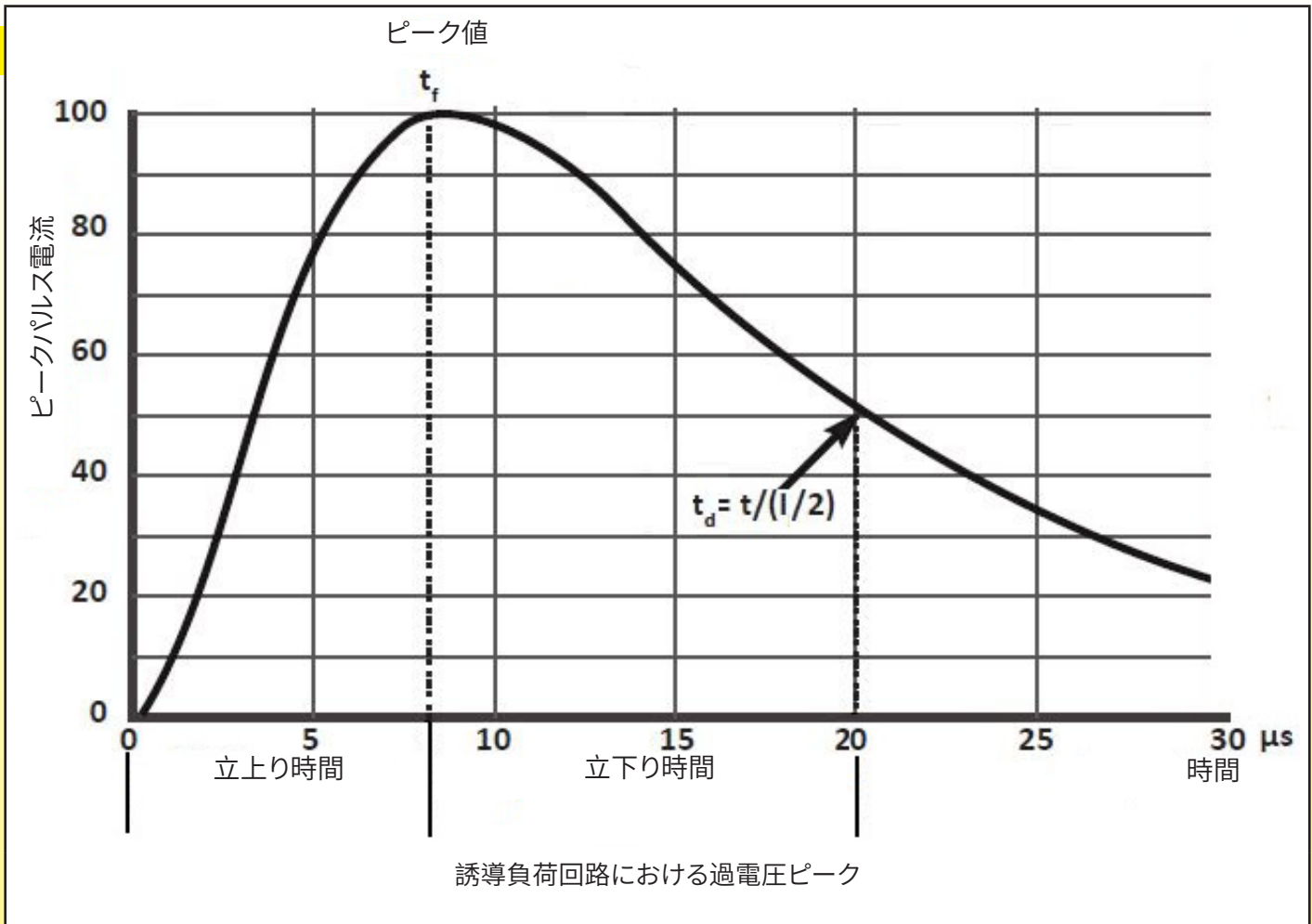
- 1: 外部導体の接続に適した端子の識別、およびそれらの端子が電源線(ライン)用、中性線(ニュートラル)用、またはその両方に適しているかどうかを示します。
L = 英国ではライン(電源線)用端子として使用しなければなりません。その他の国では特に制限はありません。N = 中性線用端子として使用する必要がある場合は、すべての国で表示しなければなりません。
- 2: 製造者名または商標。
- 3: 力率($\cos\phi$)=0.6における誘導負荷定格(誘導負荷値が表示されていない場合、力率が0.8以上であり、かつ誘導負荷電流が抵抗負荷用として規定された定格電流の60%を超えない条件であれば、これらの接点を誘導負荷に使用することができます)。
- 4: 力率($\cos\phi$)=0.95±0.05における抵抗負荷定格
- 5: IP00、IP10、IP20、IP30、およびIP40に分類される制御装置またはその構成部品には適用されません。
- 6: スイッチヘッド部の高温限界値(T_{max}) (55°C以外の場合に表示します。)
- 7: スイッチヘッド部の低温限界値(0°C未満の場合に表示します。)
- 8: 接地端子の識別(存在する場合)。
- 9: 固有型式識別番号。
- 10: 定格電圧または定格電圧範囲(V) (周波数が50Hz~60Hzの範囲以外の場合は、周波数表示が必須です)。
- 11: マイクロディスコネクション(縮小接点間隔) (表示は必須ではありません)。
- 12: 各手動操作における動作サイクル数(手動復帰式サーモスタットの場合)。
- 13: 各自動動作における自動サイクル数(制御用サーモスタットの場合) (表示は必須ではありません)。
- 14: 交流回路で使用する場合は、50Hz~60Hzの範囲内で使用します。
- 15: 取付面温度限界値(T_s) (T_{max} より20Kを超えて高い場合に表示します)。
- 15: 製造年月日またはロット番号。

2.3.2 電圧、抵抗負荷または誘導負荷回路、位相角($\cos\phi$)

ヨーロッパでは、最も一般的な電源電圧は交流230V、周波数50Hzです。一般的に、すべての機器はこれらの条件を基準として設計されています。

400Vで使用する場合は、規定された接点間隔に適合している必要があります。ただし、制御する負荷の種類については特に注意が必要です。電気的定格は、常に抵抗負荷($\cos\phi=1$)を基準として規定されています。モーター、変圧器、コイル、バラストなどの誘導負荷、または単速・2速モーターに使用されるコンデンサなどの容量負荷を制御する用途では、接点間に発生する電気アークが大幅に増加します。これらの誘導負荷および容量負荷は、接点の定格能力を大きく制限します。

誘導負荷における電気接点定格の低減



誘導負荷を遮断する際、スイッチの接点回路には比較的大きな逆起電力（逆EMF）が発生します。逆起電力が大きいくほど、接点への損傷も大きくなります。

接点を流れる電流量は、接点の寿命に直接影響します。インパルス電圧（Impulse voltage）は、誘導負荷のスイッチングによって電圧が一時的に上昇した際に、スイッチが耐えなければならない重要な値です。この現象では、電流サージ波形が発生し、その波形は一般的に20～50 μs のパルス幅を持ちます。サージパルス定格は、パルスの電流値（強度）とパルス幅によって規定されます。パルス幅とは、パルスが開始してから、最大電流値の50%まで低下するまでの時間を指します。図は、定格8/20 μs のサージパルス波形を示しています。

モーター負荷におけるインパルス電圧：

モーターは始動時、通常運転時の電流の600%以上を流すことがあります。そのため、定格運転電流が3Aのモーターであっても、始動時には実際に18A以上の電流が流れる場合があります。さらに、モーターが遮断された後、停止するまで減速している間、モーターは発電機として作用します。モーターの種類によっては、定格電源電圧を大幅に超える電圧が回路へ逆流することがあります。このような電圧が開離中の接点間に発生すると、接点間に破壊的なアーク放電が発生する可能性があります。その結果、接点の早期故障につながる場合があります。

ランプ負荷におけるインパルス電圧：

タングステンフィラメントランプは、フィラメントが冷えている状態では、初期突入電流が定格電流の10～15倍に達します。

変圧器誘導負荷におけるインパルス電圧：

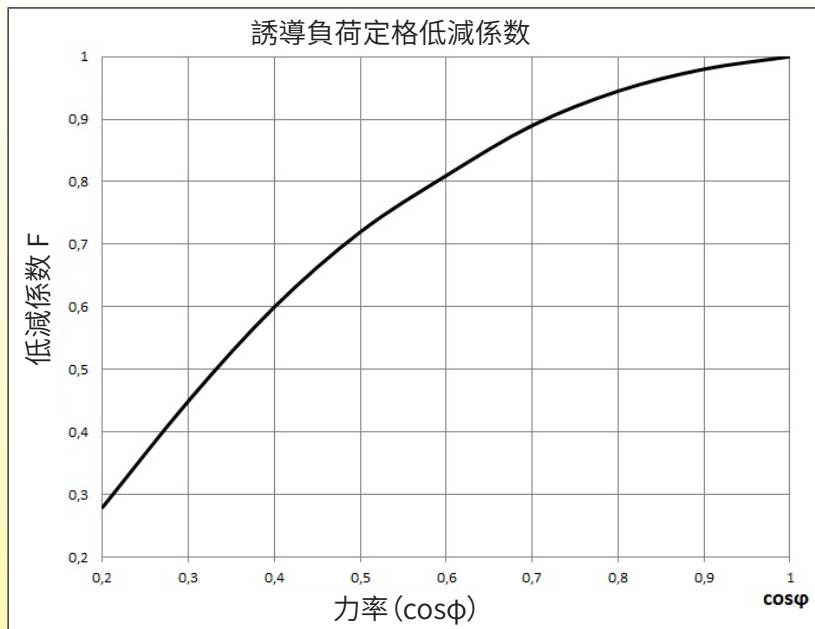
変圧器の電源を遮断した場合、その鉄心には残留磁気が残ることがあります。その後、再び電源を投入した際に、印加される電圧の極性が残留磁気の極性と同一である場合、再投入後の最初の半周期で鉄心が磁気飽和状態になる可能性があります。その結果、インダクタンスが最小となり、鉄心が飽和状態から抜け出すまでの数サイクル間、突入電流が定格電流の約1000%に達することがあります。また、モーター負荷の場合と同様に、変圧器の電源を遮断すると、変圧器は逆起電圧を発生します。この逆起電圧により、開離中の接点間に破壊的なアーク放電が発生する可能性があります。

分布線路容量負荷におけるインパルス電流：

これは、スイッチが制御する負荷からかなり離れた位置に設置されている場合に発生します。接点が閉じた瞬間、負荷電流が流れる前に、分布線路容量が充電されます。この容量成分は、接点から見ると一時的な短絡状態として作用する可能性があります。その結果、負荷電流を大幅に超える電流が接点に流れることがあります。



アーク抑制装置を使用しない場合の平均誘導負荷補正係数



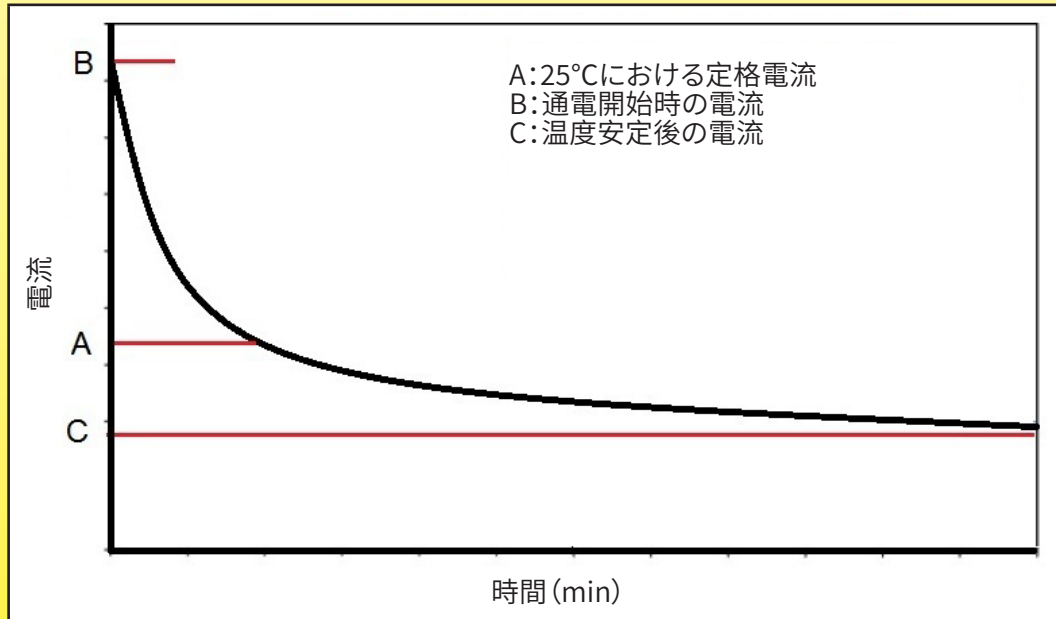
自己制御ケーブルにおける突入電流サージ

これは、接点の開閉動作によって負荷との間で発生する短時間の過渡電流とは、まったく異なる現象です。この電流サージは、自己制御ケーブルに採用されているPTC（正温度係数）特性によるものであり、消滅するまでに数分間を要します。

初期通電時、ヒーティングケーブルは比較的低温状態（したがって低抵抗状態）になっていることがよくあります。この低抵抗により、大きな始動電流が流れます。この始動電流は周囲温度に反比例して増加し、メーカーが25℃条件で規定している定格電流値の最大2倍に達する場合があります。

ケーブルメーカーの技術資料（記録）を参照し、突入電流値を確認してください。

自己制御式ヒーティングケーブルの突入電流推移



代表的な平均電流定格低減係数（交流）

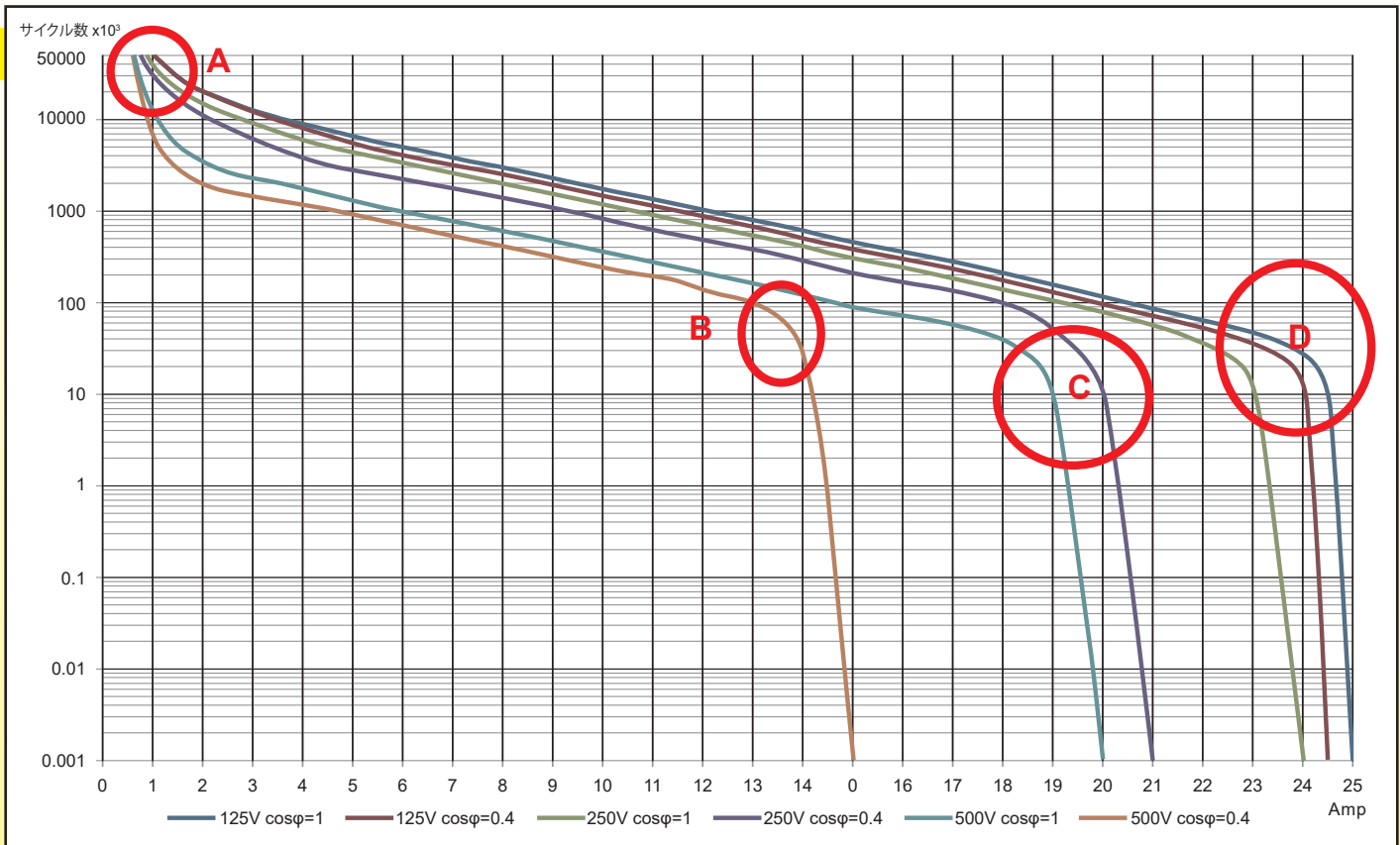
抵抗負荷	フィラメントランプ**	電磁コイル	変圧器	単相モーター	三相モーター	自己制御式ヒーティングケーブル*
1	0.8	0.5	0.5	0.12/ 0.24	0.18/ 0.33	0.6

* 平均値は、起動時のケーブル周囲温度によって異なります。詳細については、ケーブルメーカーの取扱説明書および規格 CEI 60898 を参照してください。

** 高温状態のフィラメントの場合。



定格15A 250V、300,000サイクルのサーモスタットスイッチの平均電気寿命



銀接点を使用したスナップアクション機構の平均的な参考値。

特性ポイント:

A: 金属疲労による接点ブレードの機械的破損領域。

B: 誘導電流、高電圧、および大電流の組み合わせによる接点急速溶着領域。

C: 大きなアーク放電による接点急速劣化領域。

D: ジュール効果による接点ブレードの発熱、およびそれに伴う弾性特性の低下と電気アークの影響による接点損傷領域。

2.3.3 AC 及び DC

交流回路では、電圧が各サイクルごとにゼロ点を通過するため、アーク放電が消弧します。

一方、直流回路では、接点間の電圧がゼロになる瞬間がありません。

そのため、アークは接点間隔が十分に広がり、アークを遮断できる状態になった場合にのみ消滅します。(この現象はアーク溶接装置にも利用されています)。

サーモスタットでは、接点間隔は一般的に0.3~0.5mmと小さく設定されています。

48VDCを超える電圧では、この接点間隔ではアークを消滅させることができません。その結果、電流の通過によって発生したイオン化空気の電気伝導性により、アーク放電が継続します。

この場合、接点の摩耗は非常に速く進行し、数サイクル以内に接点が溶融または溶着する可能性があります。これは、直流電流の一方向への流れによって、接点間で金属移動(マイグレーション)が発生するためです。

48VDCを超える直流回路でサーモスタットを使用する必要があるアプリケーションについては、十分な検討を行う必要があります。信頼性の高い技術的解決策(接点間隔の拡大、磁気によるアーク消弧、その他の接点保護対策など)を実施できるよう、サーモスタットメーカーまたはサプライヤーと協力して設計・評価を行う必要があります。

直流回路におけるスナップアクション式銀接点の遮断容量低減目安(同一寿命条件、抵抗負荷回路の場合)

電流	接点間隔 0.2mm	接点間隔 0.25mm	接点間隔 0.5mm
AC, 250V	15	15	15
DC, 8V	15	15	15
DC, 30V	2	2	6
DC, 120V	0.4	0.4	0.5
DC, 230V	0.2	0.2	0.25

高周波

高周波用途での使用は避ける必要があります。高周波動作では、接点ブレード内に過熱ループが発生し、金属の焼鈍（アニーリング）が進行することで、接点ブレードの柔軟性が変化します。その結果、接点ブレードはスナップアクション機能を失い、接点の溶着や早期摩耗が発生する可能性があります。

2.3.4 サイクル速度およびサイクル数

電気接点の寿命は、これまで説明したように、多くの要因によって決まります。重要なのは、接点が電気アークによって発生した熱を十分に放散できる時間を確保することです。動作サイクルが速すぎる場合（0.5回/秒を超える場合）、接点は温度上昇による熱を十分に放出できないため、早期摩耗の原因となります。一般的なサーモスタットは、以下のサイクル数に耐えられるよう設計されています：

- ・制御用機器：100,000サイクル。
- ・安全保護用機器：10,000サイクル。

ただし、用途によっては必要なサイクル数が大幅に少なくなる場合があります。例えば、1A負荷で100,000サイクルの耐久性を持つ装置は、25Aでは数百サイクル、また100Aまたは150Aでは1サイクル程度の動作に耐えることができます。想定寿命および動作サイクル数は、サーモスタットを選定する際に非常に重要なパラメータです。

2.3.5 接点保護（コンデンサ、フィルタ、バリスタ、磁気アークブロー）

接点に外付けアクセサリを使用することで、接点寿命を延ばしたり、性能を向上させたりすることが可能です。

これらのシステムはすべて、アーク放電の継続時間を短縮することを目的として設計されています。

・最も古い方式は、接点と並列に接続されたコンデンサ（容量）を使用する方法です。この方式により、直流回路（DC）での使用が可能になります。数十年前、家庭用直流電源がまだ使用されていた時代には、この解決方法が広く採用されていました。この方式は、効果が高く、かつ低コストで実現できるという特徴があります。

・フィルタ（インダクタンスおよびコンデンサの組み合わせ）フィルタ（インダクタンスとコンデンサで構成された回路）は、主にスローブレイク接点において、無線ノイズ（ラジオ干渉）を防止するために使用されます。この方式は、電気的寿命を大幅に向上させます。

・バリスタ（Varistor）比較的新しく開発されたバリスタは、接点開離時に発生するサージ電圧を吸収し、アーク放電の継続時間と強度を低減します。特に誘導回路において、この方式を使用することで接点寿命を2倍または3倍に延ばすことができます。

・磁気アークブロー（Magnetic blow）磁気アークブローは、使用例は少ないものの、直流電流（DC）専用の方式です。接点周辺に配置された強力な磁石によって、イオン化したアークを偏向させ、アークの経路を長くすることで消弧します。この方式は、120Vおよび230V DCの高電力負荷における接点保護ソリューションとして使用されます。

・インダクタンス（Inductance）この方式は、スイッチと直列に接続され、接点のすぐ近くに取り付けられます。適切に設計された場合、電圧ピークを平滑化する効果があります。

2.3.6 接点汚染

大気中に存在するさまざまな化学物質は、接点の動作および寿命に悪影響を及ぼす可能性があります。

特に以下の要因に注意が必要です：

- ・高い相対湿度：空気の絶縁性能が低下するため、より強いアーク放電が発生します。
- ・アンモニアの存在：銅合金で作られた接点ブレードの酸化を引き起こします。
- ・シリコンオイルまたはシリコン蒸気：シリコンが接点表面に付着すると、電流の通過を妨げます。これは、シリコンが電気アークによって燃焼すると、シリカ（酸化アルミニウム）となり、高温に耐える絶縁体を形成するためです。

2.3.7 電流が流れる接点システム

一部の小型機器（温度リミッターなど）では、接点に取り付けられたバイメタルストリップ自体が温度検出素子として機能します。

これらのストリップは、その材料構成上、電気伝導性があまり高くありません。そのため、ストリップ内を電流が流れると、ジュール効果によって発熱します。この発生した熱が温度測定値に加算されるため、測定温度に影響を与えます。この現象は、校正において「電流感度（Current sensitivity）」および「熱ドリフト（Thermal drift）」と呼ばれます。

2.3.8 接点の酸化

前述の通り、接点抵抗は非常に低く、数ミリオーム程度です。そのため、接点を流れる電流がどれほど大きくても、通常の状態では抵抗による発熱は無視できる程度です。しかし、何らかの理由（汚染、酸化、接点圧力不足、機械的変形など）によって接点抵抗が増加すると、高い電流が流れた際に、この抵抗によって接点が発熱します。その結果、接点が過熱し、溶融したり、近くにある可燃性材料を発火させるほどの高温になる可能性があります。

2.4 制御動作

2.4.1 温度制御

これはサーモスタットの基本的な機能です。温度制御動作を行う接点とは、電気回路を開閉することによって、周期的にON/OFF動作を繰り返す接点を指します。これは安全保護装置ではありません。そのため、接点には多数回の動作サイクルに耐えられる高い耐久性が求められます。

2.4.2 自動復帰

自動復帰は、温度リミッター機能の一種であり、作動（トリップ）した場合でも、オペレーターによる手動操作を必要としません。このタイプの接点は、異常状態を警告し、制御装置が正常に動作していない場合や故障した場合に、製品の破損を防止することを目的としています。温度が許容範囲内に戻ると、自動的に復帰します。

このタイプの動作における現在の動作サイクル数は、300～10,000サイクルの範囲です。

2.4.3 手動復帰

手動復帰とは、温度リミッター機能の一種であり、作動（トリップ）した場合には、オペレーターが操作して装置を復帰させる必要があります。このタイプの接点は、異常状態を警告するとともに、電源を遮断することによって製品を保護することを目的としています。温度が許容範囲内に戻った後、リセット操作を行うことができます。手動復帰機構には、外部から操作可能なタイプと、隠蔽されたタイプがあります。一般的に、工具を使用しないとリセットできない構造、またはカバーやキャップを取り外さなければリセットできない構造となっています。このタイプの動作における現在の動作サイクル数は、300～10,000サイクルの範囲です。

2.4.4 電氣的復帰

これは上記の手動復帰と同じ機能ですが、リセットボタンはありません。電源を遮断すると、自動的に復帰します。

2.4.5 温度低下による復帰

温度低下による復帰とは、大幅な温度低下後に自動的に復帰する方式です。通常、周囲温度付近まで温度が低下した時点で復帰します。この方式は、現在ではほとんど使用されていません。

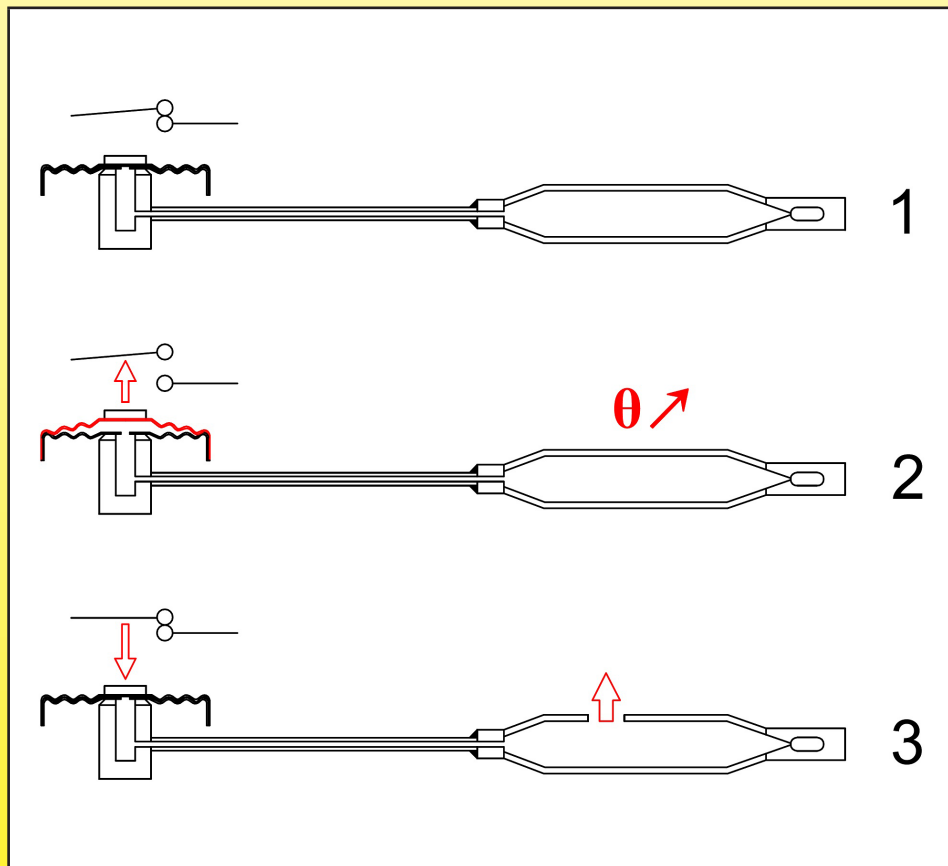
2.4.6 ワンショット

「ワンショット」とは、一度だけ開放動作を行うことができるタイプの接点です。このタイプは、最終安全保護装置として使用され、電源を確実に遮断することを目的としています。装置を再起動するためには、部品全体を交換する必要があります。その動作サイクル数は1回です。この機能は、以下のような方法によって実現されます。・金属合金の溶融・プラスチックペレットの溶融・ガラスビーズの破損・バイメタルディスクの作動（最も低い周囲温度条件でも元の位置へ復帰できない構造）。

2.4.7 フェイルセーフ

フェイルセーフとは、装置の安全性を確保するための積極的な自動制御機能です。温度検出部に漏れや破損が発生した場合、電源を遮断することで安全を確保します。この機能は、バイメタル式サーモスタット（ディスク型、ロッド型、バイメタル素子など）では定義することが困難です。一方、感温部とキャピラリーチューブで構成されたサーモスタットでは、温度検出システムに漏れが発生した場合の動作モードを示す重要な安全機能として定義されます。

感温部・キャピラリー式サーモスタットにおけるフェイルセーフ機構



ダイヤスタット標準動作:

位置1: 標準的なダイヤスタットが、室温状態で初期位置にある状態を示します。

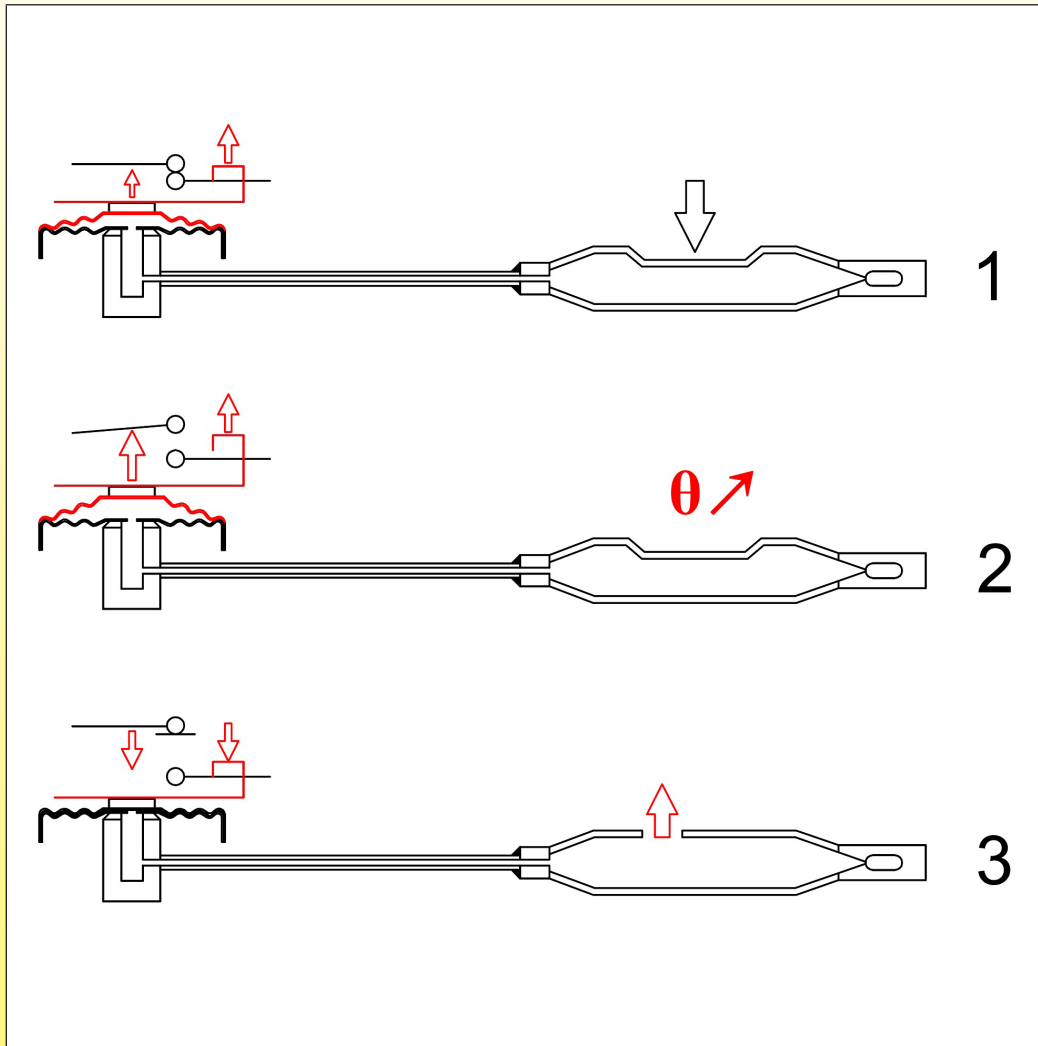
位置2: センサー温度が設定温度に達すると、ベローズが膨張します。このベローズの膨張によって接点が開き、加熱回路が停止します。

位置3: 感温部（またはキャピラリーチューブ）に漏れが発生すると、ベローズ内の圧力が低下して収縮します。その結果、電気接点が開き、再び加熱が開始されます。

しかし、それ以上の膨張はベローズへ伝達されず、加熱を停止または制御することができません。これは、フェイルセーフシステムが防止しなければならぬ危険な状態です。
 ポジティブセーフティ (Positive safety) は、主に標準的な温度制御装置の後段に取り付けられる手動復帰式サーモスタットで使用されます。

動作方式が異なる2種類のフェイルセーフシステムがあります。それぞれのシステムには、固有の長所と短所があります。

液体膨張式フェイルセーフシステム



これらのシステムでは、液体膨張式フェイルセーフ方式において、ダイヤスタットを周囲温度で封止した後、感温部に小さな変形(突起)を加えることで、ベローズを人工的に膨張させます(1)。また、ダイヤスタットを低温(-20℃、-30℃)条件で封止することによっても、同じ機能を実現することができます。これらの方法により、室温以下の温度領域においても、ベローズは引き続き収縮する動作を行うことができます。

感温部温度上昇時および漏れ発生時の動作感温部の温度が上昇すると(2)、ベローズの動作によって電気接点の可動側が作動します。感温部またはキャピラリーチューブに漏れが発生した場合(3)、ベローズ内部の圧力が低下し、周囲温度時のベローズ厚さよりもさらに収縮した状態になります。このとき、補助機構(図中赤色部分)が電気接点の固定側を移動させ、可動接点が届かない位置へ退避させます。その結果、接点が開放され、電源が遮断されます。

ポジティブセーフティシステム (Positive safety system) このポジティブセーフティシステムは、サーモスタットの作動温度を容易に調整できるという利点があります。これは、その機構が調整式サーモスタットと類似しているためです。そのため、校正(キャリブレーション)は、これらの調整式サーモスタットが対応する温度範囲全体をカバーすることが可能です。

ただし、この方式には2つの問題点があります。

- ・ベローズを人工的に膨張させることにより、ベローズ内部の液体量が大幅に増加します。その結果、サーモスタットヘッド部の周囲温度変化に対する感度が高まり、設定温度の変動が大きくなります。

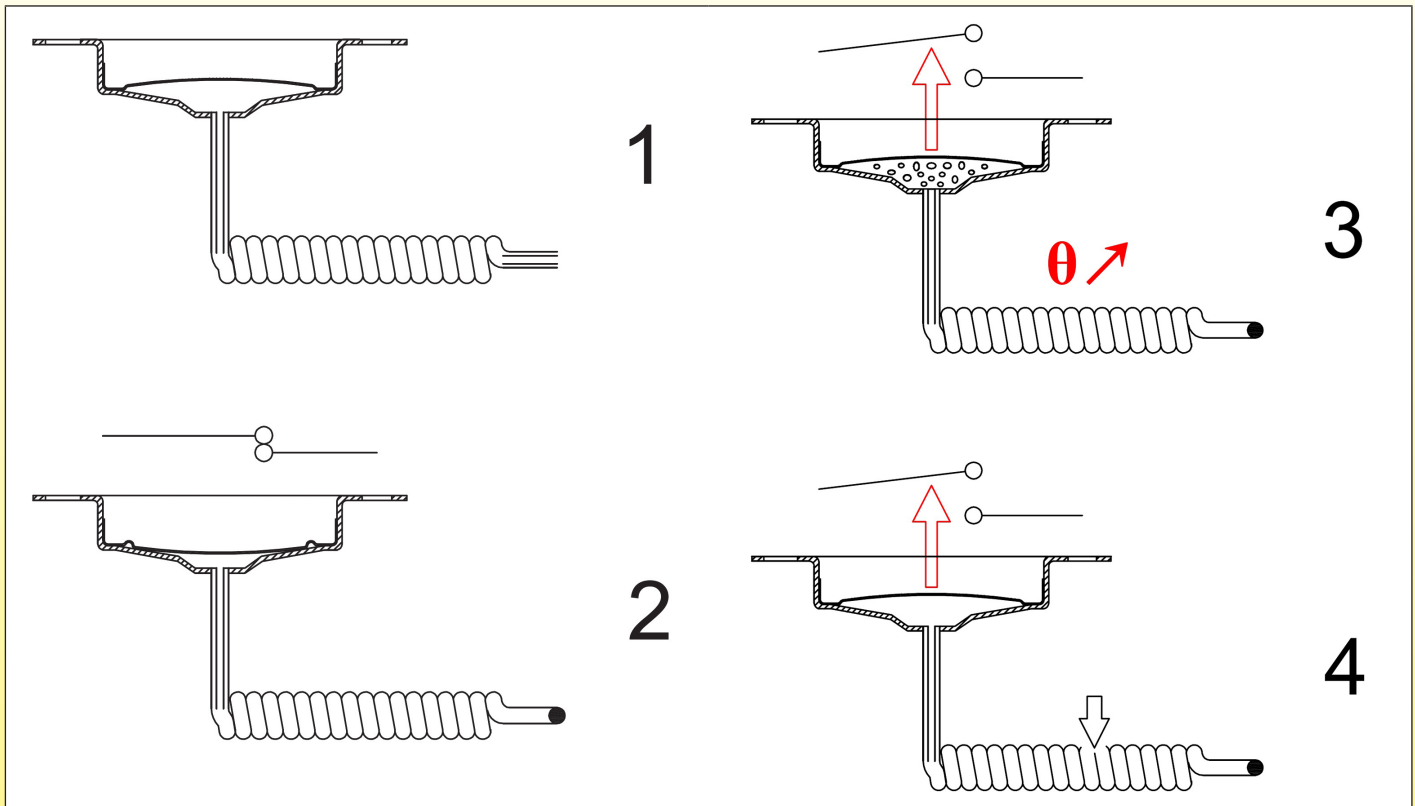
1.5mキャピラリー付き手動復帰式サーモスタットにおける校正点ドリフト例(90℃で校正)

機構タイプ	ヘッド温度 0℃での設定点ドリフト	ヘッド温度 50℃での設定点ドリフト
フェイルセーフ付き	90+8.1	90-9.5
フェイルセーフなし	90+5.5	90-6.5

・周囲温度が氷点下になると、ベローズは収縮を続け、安全機構が予期せず作動する可能性があります。このような誤作動（誤トリップ）は、EN60730規格によって管理されており、最低周囲温度 -15°C において作動しないことが要求されています。

ただし、この制限温度以下の環境でこれらのサーモスタットを使用する場合、安全機構が作動した後に復帰させるためには、サーモスタットの感温部を約 20°C まで温める必要があります。

沸騰式フェイルセーフシステム



沸騰式フェイルセーフシステムでは、ダイアスタットのベローズは2枚の皿状部品で構成されており、そのうち1枚にはあらかじめ変形加工（バンパ加工）が施されています。

このバンパ加工部は、バイメタルディスクのような凸形状をしており、力が加わると凸形状から凹形状へスナップ動作します。充填前のダイアスタット（1）は、カップ部が応力を受けていない状態で外側へ膨らんだ形状になるように構成されています。

その後、ダイアスタット内部を真空状態にしてサーモスタット液を充填し、カップ部を内側へ押し込んだ状態（2）で封止します。この状態では、電気接点は閉じています。

温度が上昇すると、サーモスタット液はその組成によって決定される温度で沸騰します。沸騰による体積の大幅な増加によってカップ部の形状が変化し、カップは外側へスナップ動作して接点を開放します（3）。液体が冷却されると、ダイアスタットが発生する力だけでは、カップ部を内側へ押し戻して元の形状に復帰させるために必要な力が不足します。そのため、リセットボタンを押して、カップ部を内側の形状へ戻す必要があります。

ダイアスタットに穴あきや漏れが発生した場合、内部の液体圧力は大気圧に解放され、カップ部は外側へスナップ動作します。

このシステムは、構造が非常にシンプルで信頼性が高く、複雑な機構を必要としません。また、キャピラリーチューブやサーモスタットヘッド部の周囲温度の影響を受けにくく、周囲温度が極端に低い場合でも予期せず作動することはありません。

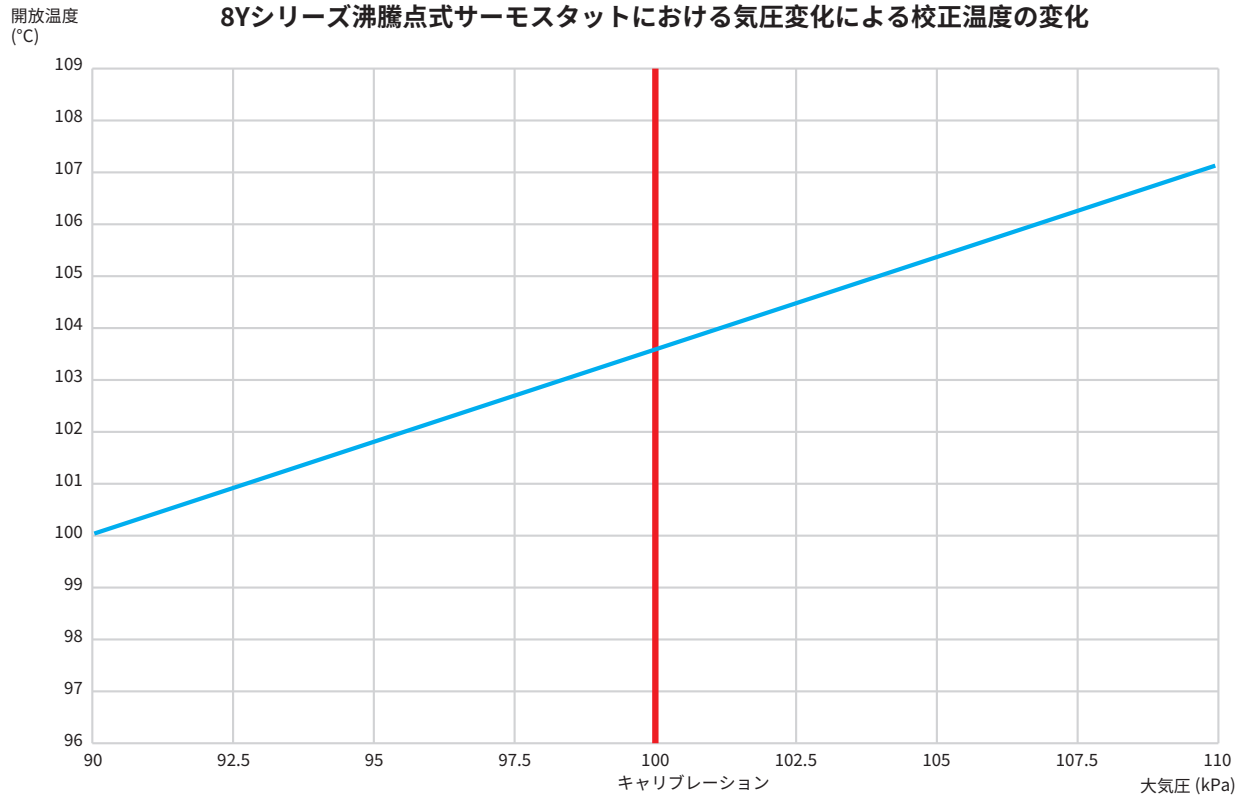
ただし、この方式にも前述の方式と同様に2つの欠点があります。

- ・作動温度が使用する沸騰液の種類に依存すること：（一般的には水、グリコール、アルコールの混合液が使用されます。）そのため、設定可能な温度範囲は実質的に $60 \sim 170^{\circ}\text{C}$ 程度に制限されます。
- ・大気圧の影響を受けること：大気圧の変化に敏感であり、設置高度によって設定温度（設定点）がわずかに変化します。

シリーズ81、82、83、8H、8X、8Y、8Zの沸騰点式サーモスタットにおける大気圧が設定点へ与える影響

沸騰点式サーモスタットにおける大気圧の設定点への影響これらのサーモスタットに使用されるダイアスタットの充填および封止は、部分真空状態で行われます。ダイアスタットのメンブレン（隔膜）の外側部分には、大気圧が作用しています。そのため、大気圧の変化はサーモスタットの設定点（作動温度）にわずかな影響を与えます。これらのサーモスタットは、1013 mbar (hPa)、すなわち海面における平均的な大気圧を基準として校正されています。気象条件によって大気圧は数十mbar (hPa) 程度変化し、また設置高度によっても変動します。

海面高度で103.5℃に校正されたサーモスタットの設定点変動例 (Ultimheat研究所の加圧式気圧チャンバー内で測定)



高度による気圧変化

高度 (m)	大気圧 (ミリバールまたはヘクトパスカル)
0	1013
500	954.6
1000	898.8
1500	845.6
2000	795

Ultimheat試験設備





2.5 複数接点

2.5.1 切替接点 (SPDT: Single Pole Double Throw — 単極双投接点)

切替接点とは、3つの端子を持つ接点構造です。端子は次の3種類で構成されています: 共通端子 (Common)、常閉接点 (Normally Closed: NC)、常開接点 (Normally Open: NO) です。作動時には、接点が一方の状態からもう一方の状態へ切り替わります。例えば、加熱回路をOFFにすると同時に、換気回路をONにするなど、2つの異なる動作を同時に切り替えることができます。

2.5.2 同時動作接点

同時動作接点とは、独立した複数の接点が同期して動作する構造の接点です。この機能は、特に三相回路を遮断する機器において非常に重要です。三相回路では、3つの相すべての遮断を同時に行う必要があるため、各接点が同じタイミングで開閉動作することが求められます。

2.5.3 段階動作接点

段階動作接点とは、複数の接点が互いに異なるタイミングで順番に動作する構造の接点です。

2.5.4 ニュートラルゾーン接点

ニュートラルゾーン接点とは、段階動作接点 (Staggered contacts) の一種ですが、それぞれの設定点の間では電氣的な動作を行わない接点です。主な用途は、空調機器や冷凍・冷蔵機器などです。例えば、次のような動作になります: 接点 #1: 100°C でヒーターの電源をOFFにする; 接点 #2: 120°C で換気ファンをONにする。この場合、100°C ~ 120°C の温度範囲では、どちらの接点も動作しません。この動作を行わない温度範囲が「ニュートラルゾーン (Neutral zone)」です。

2.5.5 調整可能差動接点

差動 (Differential) とは、装置が作動して接点を開放した時点と、接点開放による温度低下の結果として装置が復帰する時点との間の温度差を意味します。接点の種類によって、この差動値の範囲は大きく異なります。調整可能差動機構 (Adjustable differential) とは、使用者がこの差動温度を変更できるシステムです。技術的な理由およびコスト面から、調整可能差動機構は主にガス膨張式を使用した産業用サーモスタットシステムに採用されています。

2.5.6 複合接点

複合接点とは、前述した異なる接点システムを組み合わせることで構成された接点です。最も一般的な組み合わせは、制御接点 (Control contact) とリセット接点 (Reset contact) の組み合わせ、または制御接点 (Control contact) とワンショット接点 (One shot contact) の組み合わせです。

2.5.7 防爆接点

防爆接点とは、接点動作時に発生する電気アークが、筐体 (エンクロージャ) 外部の爆発性雰囲気中に引火することを防止する構造の接点です。電気アークそのものが消去されるわけではありません。防爆構造には、次のような違いがあります: 電気接点部分のみを保護している装置 ; 及び接点だけでなく、機構全体を保護している装置それぞれ保護範囲や構造が異なります。

2.5.8 防爆筐体接点

これらの装置では、電気接点の機構部分のみが防爆筐体によって保護されています。電気接続は、接点部の筐体に固定されたケーブルの端部で行われ、危険区域 (Hazardous area) の外部、または適切な接続ボックス内で実施する必要があります。この方式は、小型化が可能であり、低コストで実現できるという利点があります。

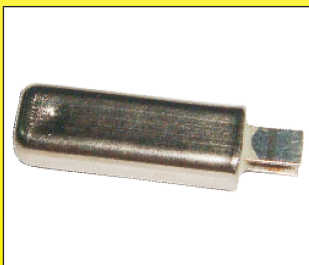
2.5.9 防爆筐体

防爆筐体とは、装置全体を内部に収める頑丈な保護ケース (エンクロージャ) です。この構造では、機器全体が防爆筐体によって覆われています。電気接続は、筐体内部で行うことが可能です。

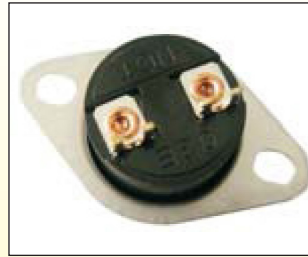
3. サーモスタットの種類

3.1 バイメタルサーモスタット

現在、バイメタルサーモスタットは、数量面で最も多く使用されているサーモスタットファミリーです。多種多様な構成・形状が存在し、現在の技術動向としては、構造の簡素化および設置スペース (フットプリント) の小型化が進んでいます。



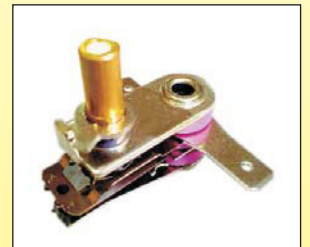
3.1.1 固定温度式バイメタルサーモスタット



固定温度式バイメタルサーモスタットとは、作動温度が工場出荷時に固定されており、ユーザーが設定点（セットポイント）へアクセスできない装置です。モデルによって、制御装置または安全装置として使用されます。接点には、スローメイクまたはスローブレイク、スナップアクション、制御接点またはリセット接点、常開接点、常閉接点、またはSPDT（単極双投接点）があります。上記で説明したほぼすべての接点オプションに対応することが可能です。これらの装置は、大きく2つのグループに分類されます。電流感応型（小型タイプ）と、電流非感應型です。最も一般的な設定温度範囲は、20～180℃です。ただし、セラミックケースを使用したモデルでは最高450℃まで対応可能であり、防水モデルでは最低-30℃まで使用可能です。

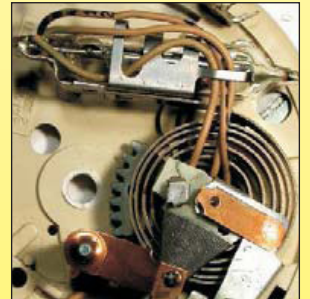
3.1.2 調整式バイメタルサーモスタット

これらのサーモスタットは、ドライバーまたはシャフトによって温度設定を調整できます。主な用途は、小型家電製品（フライヤー、アイロンなど）です。これらは常に制御用デバイスとして使用され、バイメタルストリップを使用しています。一般的な温度設定範囲は、20～300℃です。モデルによって、電流感応型または電流非感應型があります。電流感応型バイメタル、または抵抗加熱によって加熱されるバイメタルを使用したモデルは、エネルギーレギュレーター（電力調整器）に使用されます。



3.1.3 ラセンバイメタルサーモスタット

バイメタルラセンは、サーモスタット製造のために広く使用されてきました。しかし、この方式は水銀感温部接点（Mercury bulb contact）、またはスローブレイク接点（Slow break contact）を使用する必要があったため、現在では欧州メーカーでは廃止されています。現在でも、米国では110V用途向けとして、少数のメーカーが製造しています。これらのバイメタルラセン（ヘリコイル方式）は、現在でも一部のエアダクト用サーモスタット（エアスタット：Airstats）で使用されています。



3.2 バイメタル膨張式サーモスタット

3.2.1 カートリッジサーモスタット

これらの制御用デバイスは、調整式、スローブレイク方式であり、非常に高い精度を持ち、機械式サーモスタットとして可能な限り最小の差動値を実現しています。差動値は一般的に1/10℃未満です。通常、直径15.8mmの取付穴に取り付けられます。しかし、スローブレイク方式では230V使用時に無線干渉（電波障害）が発生するため、欧州での使用は限定的です。主に一部の実験室用ホットプレートなどに使用されています。一般的な温度設定範囲は20～300℃です。



3.2.2 接触式サーモスタット

これらの制御用デバイスは、調整式、スローブレイク方式であり、非常に高い精度と低い差動値を備えています。差動値は1℃未満です。平面壁面に取り付けられ、2本のねじで固定されます。しかし、スローブレイク方式では230V使用時に無線干渉（電波障害）が発生するため、欧州での使用は限定的です。主に、一部の実験室用ホットプレート、または低い差動値が要求される用途に限定して使用されています。一般的な温度設定範囲は20～250℃です。



3.2.3 バイメタルロッドサーモスタット



現在、これはバイメタルシステムの主要な用途となっています。バイメタルロッドが接点機構を作動させます。設定方式は、固定式または目盛り付きノブによる調整式があります。接点タイプは、制御接点、手動リセット接点、または複合タイプがあります。

主な用途は以下の通りです。

- ・家庭用貯湯式給湯器 (Household storage water heaters) ドライバー調整による温度設定方式で使用されます。温度制御には、単極切替式サーモスタットが使用され、温度検知はロッドによって行われます。手動リセット機能には、2極遮断式が使用され、温度検知は通常、タンク底部に配置されたバイメタルディスクによって行われます。これらは、給湯器下部に取り付けられたカバーによって保護されています。

- ・給湯器および産業用タンク (Water heaters and industrial tanks) 温度制御装置は分離構成となります。制御用と安全保護用に、それぞれ別々の装置が使用されます。これらはIP65防水筐体内に取り付けられます。

- ・油圧システム (Hydraulic systems) オイル温度制御用途として使用されます。異なる警告レベルおよび安全保護レベルを提供するため、1個、2個、または3個の段階動作接点 (Staggered contacts) を備えています。

現在の温度設定範囲は、 $-50\sim 400^{\circ}\text{C}$ です。ただし、一部の特殊モデルでは 800°C まで対応可能です。

3.3 液体膨張式サーモスタット

3.3.1 ガラス管内水銀膨張式

これは、水銀温度計の発明後に開発された、最初期のサーモスタット方式の一つです。毛細ガラス管 (キャピラリーガラスチューブ) の内部にワイヤーが挿入されています。水銀がワイヤーに接触すると、電気接点が形成されます。このタイプの温度計は、長期間にわたり高精度な温度制御用の基準測定器として使用されてきました。現在では、量産用途での使用はなくなっています。



3.3.2 感温部・キャピラリー式サーモスタット



これは、最も一般的に使用されている遠隔温度測定および温度制御方式です。キャピラリーの長さは最大3mまで対応可能ですが、キャピラリー内部に含まれる液体量の影響により、大きな温度ドリフトが発生する可能性があります。

このシリーズでは、フェイルセーフ機能付きの装置を製造することが可能です。現在の温度設定範囲は $-50^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ で、特殊仕様では最大 760°C まで対応可能です。

3.3.3 液体充填式ロッドサーモスタット

このシリーズは、バイメタル膨張式ロッドサーモスタット (Bimetal expansion rod thermostat) の派生型です。バイメタルロッド式と比較して、振動に対する耐性が高いという特徴があります。一方で、応答時間はより長くなります。用途はバイメタルロッドサーモスタットと同一です。現在の温度設定範囲は -50°C ～ 400°C で、特殊仕様では最大 760°C まで対応可能です。



3.3.4 パイプサーモスタット

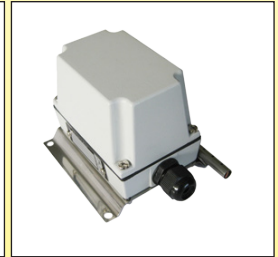
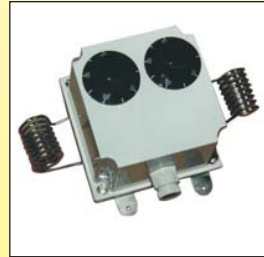
これらのサーモスタットは、感温部・キャピラリー機構 (Bulb and capillary mechanism) を使用していますが、キャピラリーは非常に短く、感温部は配管の外径に合わせて成形されたプレートの下側に配置されています。筐体には、このプレートを配管に固定するための固定機構が備えられています。

これらの制御用デバイスの一般的な設定温度範囲は、 0°C ～ 120°C です。



3.3.5 室内用サーモスタット

これらのサーモスタットは、感温部・キャピラリー機構を使用していますが、キャピラリーは非常に短く、感温部は筐体の側面または背面に配置されています。この方式は、特に業務用および産業用機器に適しています。現在の温度設定範囲は、 -40°C ～ 120°C です。



3.4. ガス膨張式および蒸気圧式サーモスタット

3.4.1 感温部・キャピラリー式室内サーモスタット

これらの蒸気圧式デバイスは、差動値が小さく、熱慣性が低いため、主に電気コンベクター用サーモスタットに使用されています。

現在の温度設定範囲： 4°C ～ 40°C 。



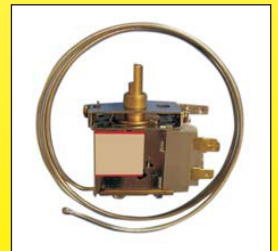
3.4.2 「ウェハー」型室内サーモスタット

これは、50年以上前から家禽用孵卵器 (インキュベーター) に使用されてきた孵卵器用サーモスタットを基に発展したものです。感温部には、低沸点液体が充填された気圧式カプセル (「ヴィディー・カプセル (Capsule de Vidie)」と呼ばれる) が使用されています。これらは、家庭用室内サーモスタットとして広く使用されています。現在の温度設定範囲： 4°C ～ 40°C 。



3.4.3 キャピラリー式サーモスタット

これらのサーモスタットは、冷却システムの温度制御に使用されます。キャピラリーシステムの低い熱慣性、および大きな差動値を設定できることが、これら蒸気圧式デバイスの主な特徴です。



3.4.4. 感温部・キャピラリー式サーモスタット

これらは主に産業用途で使用されています。これは、蒸気圧方式によって差動値を容易に調整可能なサーモスタットを実現できるためです。



3.4.5 空気膨張式サーモスタット

これらの装置は、空気を一部充填したガラス感温部内に、フィラメント式加熱システムと水銀を組み込んだ構造を使用していました。膨張する空気によって押し出された水銀は、チューブを通して電極を備えた区画へ移動し、そこで電気接点を形成しました。このシステムは、スローブレイク式バイメタルサーモスタット接点と組み合わせることで、接点のチャタリング(接点の不要な繰り返し動作)を防止し、非常に小さい差動値と高い電気定格を実現しました。この方式は、高精度かつ高信頼性を備えていましたが、現在では完全に姿を消しています。

3.4.6 温度計

ガス膨張式温度計 (Gas expansion thermometers) は、産業用途で使用されています。これらは熱慣性が小さく、高温領域で使用することが可能です。



3.5 物理状態変化式サーモスタット

3.5.1 「カロスタット」

ワックスの融解温度による膨張を利用しています。電気接点を作動させるシステムでの使用は少ないですが、機械的な動きを発生させる用途では広く使用されています。主な用途には、自動車エンジン用サーモスタット、ラジエーター用サーモスタット、ドアロック、感温部制御などがあります。

このシステムは、温度変化に応じて電気接点を作動させたり、感温部を動作させて水の流量を制御したりすることができます。

現在の温度設定範囲:30~150°C



3.5.2 温度ヒューズ

これは、温度カットアウト (Thermal cut out) に使用される主要なシステムです。現在、世界中で数百万個のこれらのデバイスが生産されています。非常に高い信頼性を持つシステムであり、安全な動作が保証されています。電気接点の遮断方式には、以下の2種類があります。・導体が溶断することによって遮断する方式 (一般的に定格は4Aまでに制限されます) ・ペレット (溶融体) が溶解し、スプリング接点を解放することによって遮断する方式 (定格は最大25Aまで対応可能です)

現在の温度設定範囲:60~300°C。

溶断部品には、金属またはプラスチック材料が使用されます。

このシステムは、TCO (Thermal Cut-Off: 温度過昇防止装置) として知られており、最終的な安全保護システムです。低コストで実現できるという特徴があります。

これらのシステムの派生型は、非電気機器においても機構を作動・解除するために使用されています。特に、火災検知装置などで使用されています。



3.5.3 沸騰式サーモスタット

このタイプで最も一般的なサーモスタットは、手動リセット機能付きのフェイルセーフ・キャピラリー式リミッターです。

このシステムは、キャピラリーまたはキャピラリー先端の感温部内部に封入された液体の沸騰現象を検知します。接点を作動させるためには、約±300mmのキャピラリー部分で温度を検知する必要があります。このため、多くのモデルでは、感温部と同等の寸法になるように、キャピラリーの先端部分をコイル状に巻いた構造になっています。これらのデバイスは常に固定温度式であり、ほとんどの場合、50~170°Cの範囲内で校正されています。また、沸騰によって発生する過剰圧力、またはキャピラリー破損時に発生する負圧を伝達する必要があります。そのため、キャピラリー長さは約900mm以下に制限されています。





4. アプリケーション

4.1 サーモスタット用途

原理	ファミリー	サブファミリー	アプリケーション
積層バイメタル	固定設定	電流感応型	コイル保護装置、小型家電、自動車、充電式バッテリー
	固定設定	電流非感応型	小型家電、HVAC、冷凍・冷蔵機器
	調整設定		アイロン、グリル、クレープメーカー
	らせん型		温度計、エアスタット
バイメタル	カートリッジ表面温度検知		加熱プレート、フラットヒーター、医療機器
	ロッド	組込み用	家庭用給湯器
		分野	HVAC
		産業用途	タンク、油圧パワーユニット、ヒーター
		防爆用途	化学産業
液体膨張	ガラス式	研究用途	各種用途
	組込み用感温部・キャピラリー式	家電 OEM	オーブン、コンロ、洗濯機、食器洗浄機、ボイラー
	保護ケース付き感温部・キャピラリー式	セミプロ用途	電気機器 OEM、窯、オーブン、エアヒーター
	金属保護ケース付き感温部・キャピラリー式	産業用／危険区域	工場、メンテナンス、ヒートトレース
スクレーパ圧力	感温部・キャピラリー式		電気ヒーター、冷蔵庫用サーモスタット
	膜式		家庭用室内サーモスタット
	空気膨張式		現在は使用されていない
物理状態変化式	ワックス		自動車、温水セントラルヒーティング
	化合物溶融	導体溶融	小型家電、コイル、バッテリー、電子機器
		ペレット溶融	家庭用電化製品、電気暖房、モーター
	沸騰式	キャピラリー式	ヒーター、電気エアヒーター、ヒートポンプ
		ガラス感温部式	空調設備、火災検知装置



5. 用語および専門用語

5.1 用語

規格EN60730およびEN60335では、使用すべき用語について定義されていますが、場合によっては両規格間で異なる定義があります。しかし、実際の現場で使用されている用語とは異なる場合があります。

一般的な用語:

設定点: 温度制御装置に設定された値であり、到達すべき温度に対応する値。

差動: 接点が開く温度と閉じる温度との間の温度差。

スナップアクション: 接点が瞬時に開閉する動作。

手動リセット: 温度上昇によって接点が開いた状態になり、温度が低下しても自動的に閉じた位置へ戻らない場合に、手動操作によって加熱位置(接点閉状態)へ復帰させる動作。

自動リセット: 温度低下時に接点が自動的に閉じる機能。

感温制御: 作動温度を検知する感温素子によって起動される自動制御。

EN60335-1における各種温度制御システムの定義

§ 3.7.1 サーモスタット: 作動温度が固定式または調整式の感温システムであり、通常運転中に回路を自動的に開閉することによって、制御対象部の温度を一定の範囲内に維持する装置。

§ 3.7.2 温度リミッター: 作動温度が固定式または調整式の感温装置であり、通常運転中に制御対象部の温度があらかじめ設定された値に達すると、回路を開閉して作動する装置。

注記: 温度リミッターは、機器の通常運転サイクルにおいて逆方向の動作(復帰動作)は行いません。また、手動リセットが必要な場合と不要な場合があります。

温度リミッター: 通常の運転条件下において、制御対象の温度を特定の値以下または以上に維持することを目的とした感温制御装置であり、ユーザーによる設定機能を備えている場合があります。

温度リミッターは、自動リセット式または手動リセット式のいずれかのタイプとすることができます。また、機器の通常運転サイクルにおいては、逆方向の動作(復帰動作)は行いません。

§ 3.7.3 温度遮断装置: 異常運転時に、回路を自動的に開放することによって制御対象部の温度を制限する装置であり、...その設定値は、ユーザーが変更できない構造となっています。

温度遮断装置: 異常運転条件下において、制御対象部の温度を特定の値以下または以上に維持することを目的とした感温制御装置であり、ユーザーが設定を変更できる機能は備えていません。

温度遮断装置は、自動リセット式、手動リセット式、または非復帰式(リセット不可)のいずれかのタイプとすることができます。

§ 3.7.4 自動復帰式温度遮断装置: 機器の対象部分が十分に冷却された後、自動的に通電状態へ復帰する温度遮断装置。

§ 3.7.5 非自動復帰式温度遮断装置: 通電状態を回復させるために、手動によるリセット操作、または部品の交換を必要とする温度遮断装置。

注記: 手動操作には、機器を電源(商用電源)から切り離す操作も含まれます。

§ 3.7.6 保護装置: 異常運転条件下において、危険な状態の発生を防止するために作動する装置。

§ 3.7.7 温度ヒューズ: 一度だけ作動する温度遮断装置であり、作動後は装置の一部または全体を交換する必要があります。

フェイルセーフ温度リミッター: サーモスタットにおけるフェイルセーフは、EN60730-2-9規格 § 6.4.3.101において、「封入液の漏れが発生しても設定温度が上昇しない温度制御装置」と定義されています。より一般的には、流体(電気を含む)の喪失が発生した場合に、装置が安定した安全状態へ移行するシステムを「フェイルセーフ」といいます。また、その安全状態は継続的に維持されなければなりません。

サーモスタットの推奨用途:

IEC (EN) 60730-1「家庭用およびこれに類する用途の自動電気制御装置」および、特にIEC (EN) 60730-2-9 (2008)「温度検知制御装置に関する個別要求事項」は、サーモスタットの機能特性を規定する規格です。この規格の最新版における附属書EE (Appendix EE) には、これらの装置の推奨用途がすべて記載されています。

5.2 サーモスタットを表す一般的な用語

サーモスタットを表す名称として、ユーザーや顧客によって数十種類もの呼び方が使用されています。

aquastat (アクアスタット)、airstat (エアスタット)、bimetal sensor (バイメタルセンサー)、temperature sensor (温度センサー)、temperature switch (温度スイッチ)、temperature detector (温度検知器)、thermal sensor (サーマルセンサー)、thermal switch (サーマルスイッチ)、temperature limiter (温度リミッター)、thermal pellet (サーマルペレット)、pellet thermostat (ペレットサーモスタット)、thermal protector (サーマルプロテクター)、temperature controller (温度コントローラー)、sensor (センサー)、temperature probe (温度プローブ)、temperature sensor (温度センサー)、thermostat (サーモスタット)。

一部のブランド名は一般名称として使用されています。

Klixon: Texas Instruments社の登録商標で、バイメタルディスク式サーモスタットを意味します。

Combistat: Stork社の登録商標で、接点式温度計を指します。

Vigitherme: Heito社の登録商標で、バイメタルディスク式サーモスタットを指します。

Ipsotherm: Comepa社の登録商標で、バイメタルディスク式サーモスタットを指します。

Calorstat: Vernet Thermostat社のブランド名で、自動車用冷却水回路感温部を指します。



6. 制御回路および安全回路に関する規格の重要な抜粋

電気遮断: (IEC 60335-1)

§ 3.8.1 全極遮断: 単相回路では、2本の導体を一度の操作で遮断すること、また三相回路では、3本の導体を一度の操作で同時に遮断することをいいます。注記: 三相回路では、中性線 (Neutral) は電力導体とはみなされません。

§ 22.2: 相線遮断: クラス01機器の単相回路および常時電源に接続されるクラス01機器において、発熱体を単極で保護するシステムは、相線 (Phase conductor) に接続しなければなりません。

電線の色別表示: (IEC 60446)

§ 3.1 ... 電線識別に使用できる色は、次のとおりです。黒、茶、赤、橙、黄、緑、青、紫、灰、白、桃色、ターコイズ。

§ 3.2.2 中性線または中点導体: 回路に中性線または色で識別された中性線が含まれる場合、その識別色には青色を使用するものとします。

注記2: アメリカ合衆国、カナダ、および日本では、中性線または中点導体の識別色として、白色または自然灰色が、淡青色の代替として使用されています。

§ 3.2.3 交流相導体: 交流回路の相導体には、黒色および茶色が推奨される識別色です。

§ 3.3.2 保護導体: 保護導体の識別には、緑／黄の2色組み合わせを使用しなければならず、他の用途に使用してはなりません。緑／黄の2色表示は、保護導体を識別するために認められた唯一の配色です。

注記2: アメリカ合衆国、カナダ、および日本では、保護導体の識別色として、緑色が、緑／黄2色表示の代替として使用されています。

フェイルセーフ、機能安全、安全レベル:

これらは、熱発生装置、圧力機器およびボイラーを対象とする欧州指令97/23/ECにおいて、次のように規定されています。「適合性評価手順および本指令の基本安全要求事項は、安全チェーン全体に適用される。センサー単体に対する要求事項は、安全設計の原則 (例えば、冗長化 (Redundancy) またはフェイルセーフ (Fail-safe)) に応じて異なる場合がある。」また、IEC (EN) 60335-xxxシリーズの多くの製品規格では、この種の安全機能が要求されています。

機能安全に関する定義: この概念は、IEC 61508:1998「電気・電子・プログラマブル電子 (E/E/PES) システムの機能安全 (Functional Safety for Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/PES) Systems)」において導入されました。この規格は、電子機器およびプログラマブル電子システムならびにそれらの複雑なシステムおよびサブシステムを設計するための要求事項および規定を定めています。また、本規格は、あらゆる産業分野で適用可能な一般規格です。工業用加熱機器の保護カテゴリーは、旧EN 954-1規格において3つの安全レベルに分類されています。

レベル1は、主としてプロセス制御用計装機器で構成されます。これには、温度センサー、サーモスタット、コントローラー、プログラマーなどが含まれます。このレベルでは、常時制御、またはオペレーターが開始するプログラム指令に基づくシーケンス制御を行います。(例: 制御用ディスクサーモスタット、バイメタルサーモスタット、感温部・キャピラリー式サーモスタット、電子式温度制御装置)

レベル2は、主としてレベル1と類似した計装機器で構成されていますが、機能的にはレベル1から完全に独立しています。

このレベル2は、プロセスの重要なパラメータが設定しきい値を超えたことを検知した場合に、オペレーターによる指令ではなく、自律的かつ非連続的な保護機能によってプロセスを保護します。

(例: ディスクサーモスタット+ディスクリミッター、感温部・キャピラリー式温度リミッター+感温部・キャピラリー式サーモスタット、二重電子式コントローラー)。

レベル3は、プロセスに対する最終保護を担うレベルです。このレベルでは、レベル1およびレベル2と同一の計装機器は使用せず、補助エネルギーを必要とせず動作する装置が使用されます。(例: 電子式コントローラーで制御される回路に使用される固定設定温度リミッター〔手動リセット式または自動リセット式〕、ディスクサーモスタット、感温部・キャピラリー式サーモスタット、または電子式コントローラーで制御されるシステムに使用される温度ヒューズ (Thermal Fuse))。



7. 取付け

サーモスタットの正常な動作は、適切な機種を選定だけでなく、取付条件にも大きく左右されます。工場において温度制御機器および調節機器を校正する際の条件は、測定精度および再現性を確保するための理想的な実験室環境です。しかし、サーモスタットを実際に設置する現場では、そのような条件が得られることはほとんどありません。それでも、いくつかの基本的な条件を守ること、取付け状態を最適化することが可能です。常に、次の2つの基本原則を念頭に置く必要があります。

- ・サーモスタットは、感温部（センシングエレメント）が設置されている位置の温度を測定します。したがって、その位置は、制御対象となる温度を適切に代表する場所でなければなりません。
- ・熱慣性は、温度制御性能を低下させる最も一般的な原因です。サーモスタットは、温度変化に対して瞬時には応答しません。

7.1 一般原則

・熱伝導率

媒体（液体、空気、金属）の温度は、熱源から離れるにつれて徐々に低下します。この温度低下は温度勾配と呼ばれ、その大きさは媒体の熱伝導率に反比例します。良好な温度制御を実現するための第一の条件は、この温度低下をできるだけ小さくすることです。そのためには、液体を攪拌する、空気を循環させる、あるいは熱伝導性の高い金属を使用するといった方法が有効です。

攪拌されていない液槽では、測定位置によって数十℃もの温度差が生じることは珍しくありません。空気中においても同様です。

・応答時間

実際には、装置が温度変化に応答するまでの時間は、その質量に比例し、熱伝導率に反比例します。

同じ温度変化を受けた場合でも、大きな銅塊は小さな銅塊よりも温まるまでに長い時間を要します。一方、同じ重量の純銀の塊であれば、より高い熱伝導率を有するため、はるかに速く応答します。

一つの部屋では、日射を受けると、周囲の空気は質量が小さいため急速に温度が上昇します。一方、壁は熱伝導率がより高くても質量が大きいため、温度変化への応答ははるかに遅くなります。したがって、エアコンを適切に制御するためには、サーモスタットが壁の温度ではなく、空気の温度を測定するように設置することが重要です。

各種材料の熱伝導率

材料	20℃における熱伝導率 (W・m-1・K-1)	材料	20℃における熱伝導率 (W・m-1・K-1)
PUフォーム	0.025	チタン	20
空気(大気圧)	0.026	SUS304ステンレス鋼	26
EPS	0.036	軟鋼	46
グラスウール	0.043	白金	72
コルク	0.043	鉄	80
木材(平均)	0.16	鋳鉄	100
アスベスト	0.17	シリコン	149
エポキシ樹脂	0.25	アルミニウム合金(SiC含有)	150-200
ナイロン	0.25	純アルミニウム(99.9%)	237
PPS(Ryton)	0.3	炭化ケイ素(焼結体)	250
加硫ゴム(EPDM)	0.4	金	317
水	0.63	銅	390
コンクリート	0.92	銀	429
ガラス式	1.23	黒鉛(グラファイト)	500-2000
ベークライト	1.42	ダイヤモンド	1000-2600
石英	10	グラフェン	4000-5300

熱勾配の伝達時間を銀では1秒とすると、銅では1.1秒、アルミニウム合金では2.5秒、鉄では4.3秒、軟鋼では6.3秒、ステンレス鋼では16.5秒、攪拌されていない水では680秒(11分以上)、静止空気では16,500秒(4時間以上)を要することが容易に理解できます。

・加熱に必要な時間

製品を加熱するのに要する時間は、サーモスタットに関係するものと考えられがちですが、実際にはそうではありません。一定の加熱出力であれば、製品を加熱するために必要な熱量(エネルギー)は、製品の質量と比熱容量によって決まり、サーモスタットには依存しません。

比熱容量(Specific Heat Capacity、または Specific Thermal Capacity)とは、質量1kgの物体の温度を1ケルビン(K)上昇させるために必要なエネルギーをいいます。その単位は、ジュール毎ケルビン毎キログラム(J/kg・K)で表されます。この概念は、「カロリー(calorie)」に由来しており、カロリーは1gの水の温度を15℃から16℃へ1℃上昇させるために必要な熱量として定義されていました。

下表に、代表的な比熱容量の値を示します。



材料	比熱容量 (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	材料	比熱容量 (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)
金	129	Granite	800
銀	240	Concrete	880
黄銅	377	Aluminum	897
銅	385	Dry Air	1005
鉄	444	Wood	1760
ダイヤモンド	502	Olive oil	2000
SUS304ステンレス鋼	510	Alcohol	2450
黒鉛(グラファイト)	720	Liquid water	4180

同じ加熱出力であれば、1kgの水を加熱するのに600秒必要とすると、油では290秒、空気では145秒、ステンレス鋼では73秒、銅では55秒、金では18秒しかかかりません。比熱容量は、熱システムを設計・定義する上で極めて重要なパラメータです。

・過熱と蓄熱

多くの加熱システムでは、熱を周囲へ伝達する前に、一時的に熱を蓄積します。

これは、特にシースヒーターにおいて顕著です。シースヒーターでは、発熱線は酸化マグネシウム(マグネシア)で被覆され、その外側をステンレス鋼管で覆っています。そのため、ステンレス製シースが加熱され始める前に、ヒーター内部全体がすでに加熱された状態になります。

その後、電源を遮断しても、内部に蓄積された熱は放出され続けるため、シース外表面の温度はさらに上昇し続けます。このため、シース外表面の温度を測定して温度制御を行う方式では、正確な温度制御はできません。

7.2 壁面取付形および配管取付形サーモスタット

これらのサーモスタットは、壁面への取付けを目的としたものです。これには、ブラケット付きまたはブラケットなしのバイメタルディスク式サーモスタットおよび配管取付形サーモスタットが含まれます。

以下の要求事項を遵守する必要があります。

- ・平面状の感温部を備えたサーモスタットを使用する場合、取付面は平坦でなければなりません。特に、小径配管の温度を測定する必要がある場合は、銅または黄銅製の熱伝導部材を配管表面にはんだ付けまたはろう付けし、サーモスタットと接触する側を平坦な面に加工することが必須です。

- ・感温部が壁面(タンク・配管など)の形状に合わせて湾曲しているサーモスタットを使用する場合は、以下の事項を遵守してください。サーモスタットの感温部と壁面との間には、熱伝導グリースを塗布すること。周囲温度の影響を低減するため、サーモスタット本体を断熱すること。サーモスタット全体が、壁面の最高温度または最低温度に耐えられることを確認すること。これらの温度条件が、サーモスタットの使用可能温度範囲と適合していることを確認すること。

7.3 空調ダクト用サーモスタット

サーモスタットは、空気の流れが良好な場所に設置しなければなりません。隅やコーナーなど、空気の滞留しやすい場所への設置は避けてください。サーモスタットは、温度変化を速やかに検知できるよう、加熱装置(または冷却装置)の近くに設置する必要があります。延長ブラケット付きディスクサーモスタットは、空気流以外の熱の影響を受けない壁面に取り付けなければなりません。

注意:空調ダクト内でバイメタルロッド式サーモスタットを使用する場合これらの装置は一般に温度変化に対する応答速度が非常に速いため、一部の機種では動作が早すぎることから、安全装置としての用途には適していません。

7.4 ロッド式サーモスタット

ロッド式サーモスタットは、専用に設けられた取付金具に取り付けてください。ロッドを曲げたり、溶接・はんだ付けしたりすることはできません。また、ロッドの膨張動作を妨げる外部部品を取り付けてはいけません。

ロッドの感温部全体を、制御対象となる空気または液体中に完全に浸漬してください。

サーモスタットを複数の取付金具を重ねた状態で取り付けしないでください。また、ロッドはタンク内の温度を適切に代表する位置に設置してください。自然対流が発生しない場所や、攪拌されない場所への設置は避けてください。

どのような取付条件であっても、サーモスタットヘッド部が許容最高温度を超えないようにしてください。特に、高温設備へ取り付ける場合は、ヘッド部を高温の壁面から十分離してください。

ロッド径に適合した保護管(ポケット)を使用し、ロッドの膨張動作を妨げないようにしてください。正確な設定温度および小さなデファレンシャル(温度差)を得るためには、保護管とロッドの間に熱伝導グリースを塗布してください。

7.5 感温部・キャピラリー式サーモスタット

感温部・キャピラリー式サーモスタットは、感温部を制御対象となる媒体内に配置することで温度を測定するように設計されています。しかし、キャピラリーおよびその他のダイアスタット部は、周囲温度の影響をある程度受けます。そのため、これらの部分を過度な高温環境にさらさないことが重要です。特に、サーモスタットヘッド部の許容最高温度を絶対に超えないようにしてください。キャピラリー、特に感温部とキャピラリーの接続部分は非常に繊細です。そのため、以下の点に注意してください。キャピラリーを曲げ半径5mm未満で曲げないこと。感温部付近でキャピラリーを曲げないこと。

急激な曲げによるキャピラリーの破損や漏れが発生した場合、装置の保証は無効となります。液体膨張式モデルにおい



て、感温部またはキャピラリーが過熱されると、内部液体が不要に沸騰し、サーモスタットが破損する原因となります。キャピラリーまたは感温部を切断したり、穴を開けたりすると、機構が破壊され、温度上昇時にサーモスタットが加熱を停止できなくなります。このようなリスクがアプリケーション上重要である場合は、必ずフェイルセーフ式サーモスタットを使用してください。

7.6 巻線用サーモスタット

巻線保護用サーモスタットは、巻線温度の上昇をできるだけ早く検知できる位置に取り付ける必要があります。コイル内部へ取り付けの際は、サーモスタットを曲げたり、変形させたりしないでください。また、後工程で樹脂またはワニスによる含浸処理を行う巻線へ組み込む場合は、事前にこれらの処理に対してサーモスタットが適合していることを確認してください。技術的なアドバイスが必要な場合は、弊社窓口までお問い合わせください。

校正温度に関する注意事項: サーマルプロテクターは、無通電状態（電流ゼロ）で校正されていますが、その動作温度は通電電流の影響を受けます。実際のアプリケーションでは、使用する機器の定格電流によって、設定温度が低下する場合があります。そのため、サーモスタットのドリフト特性曲線を使用して、実際の熱ドリフト温度を決定してください。多くのサーマルプロテクターは、電気的に活電状態となる金属ケースを備えています。必ず安全な方法で取り付け、適切な電気絶縁を行い、接地部品または人が触れる可能性のある部分と接触しないようにしてください。これらの装置については、ご希望に応じてクラス1およびクラス2電気絶縁スリーブを提供することができます。

7.7 サーマルカットアウト

温度ヒューズは、誤った取付けの影響を最も受けやすい部品です。

温度ヒューズの端子は熱伝導体となるため、端子を溶接またははんだ付けすると、熱伝導によってヒューズが作動（溶断）する可能性があります。

本体ケースから15mm未満の位置では、はんだ付けを行わないでください。はんだ付け時間は3秒を超えないようにしてください。また、端子線は引張力やねじり力にも弱いので、大きな力を加えないよう注意してください。（許容最大荷重：1.3N）

端子線を曲げる場合は、ワイヤー曲げ専用機を使用することを推奨します。本体から5mm未満の位置で曲げたり、圧着したりしないでください。また、本体を押しつぶしたり変形させたりしないでください。

温度に対する感度: 温度ヒューズは、溶断温度に近い温度環境へ連続的にさらされないようにしてください。技術資料に記載されている最大許容連続使用温度を必ず守ってください。

また、温度ヒューズは電流の影響も受けやすく、定格電流が過大な場合には、ジュール熱によって作動（溶断）する可能性があります。

7.8 蒸気圧式感温部・キャピラリーサーモスタット

これらのサーモスタットは、サーモスタットヘッド部に対するキャピラリーまたは感温部の位置関係に非常に敏感です。各装置のデータシートに記載されている指定取付位置を必ず遵守してください。

7.9 防爆形サーモスタット

防爆形装置は、組立時に特別な注意が必要です。各ユニットには、専用の取付けおよび組立手順書が付属しています。

- ・ 防爆容器（エンクロージャ）: これらの筐体は、筐体内部で発生した爆発に耐えるよう設計されています。そのため、以下の点について特に注意する必要があります。カバー固定用のねじについては、指定されたものを必ず使用してください。（これらのねじは、異なる機械的強度を持つ他のねじへ交換することはできません。）シール面（接合面）の清浄状態を確保してください。筐体に穴を開けないでください。純正のケーブルグランドを他の種類のものに交換しないでください。ケーブルグランドを適切な締付トルクで確実に締め付けてください。使用するケーブル径に適合したガスケット（パッキン）が取り付けられていることを確認してください。

- ・ 防爆スイッチ: この方式を使用するサーモスタットでは、スイッチ機構の電気部分のみが耐圧防爆構造の筐体内に収められています。この構造により、サーモスタットの外部ケース自体は防爆保護機能を備えておらず、少なくともIP65相当の防塵・防水保護のみが要求されます。電気接続は、装置から引き出されたケーブル上で行う必要があり、危険場所の外部、または適切な接続箱内で実施してください。

液体充填式ダイアスタットの比較寿命試験



ダイアスタット機械寿命試験用自動装置一式各試験装置には、試験パラメータおよび作動サイクル数を記録するデータレコーダーが装備されています。(Ultimheat 試験所)。

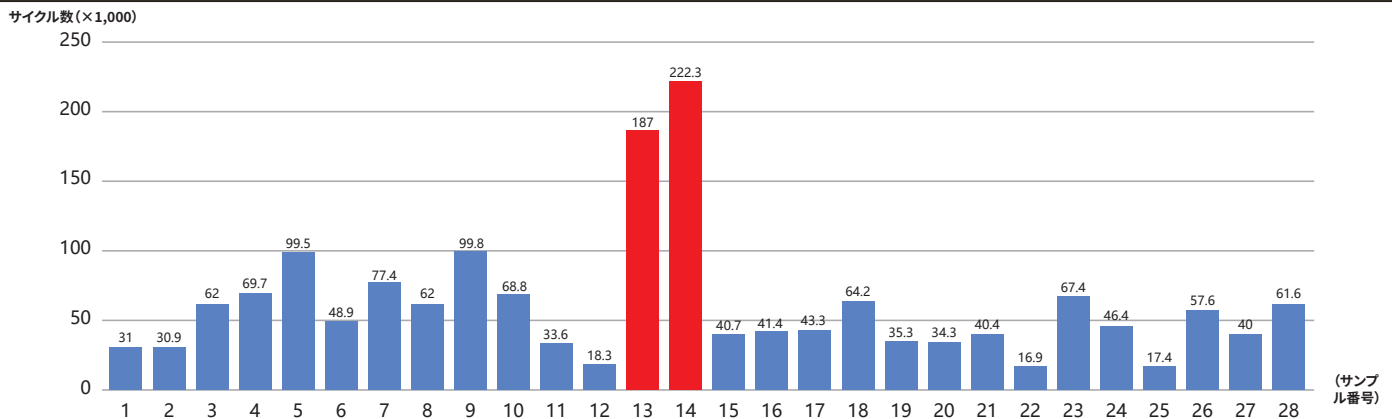
感温部・キャピラリー式サーモスタットの感温部は、サーモスタットアセンブリであり、一般に「ダイアスタット」とも呼ばれます。この名称は、アメリカ・セントルイスのDiatemp社が使用したオリジナルブランド名に由来します。同社は、これらのサブアセンブリの初期メーカーの一つでした。

ダイアスタットは、液体の膨張による変位を機械的な移動量へ変換し、それを利用して電気接点または感温部を作動させます。

多くの温度制御用サーモスタットでは、規格で要求される電気接点の寿命は10万サイクル以上でなければなりません。したがって、ダイアスタットも同様に、この10万回以上の作動サイクルに耐える必要があります。

当社のULおよびEN (TUV) 認証取得試験所では、複数の国およびメーカーから供給された、同一径のダイアフラムを使用した類似ダイアスタットについて、比較寿命試験を実施しました。これらの試験では、全く同一の条件下で温度サイクルを再現し、同一の負荷を印加するとともに、ダイアフラムに同じ機械的変位を発生させました。また、試験は極限動作条件および過熱条件を含む厳しい使用環境を想定して実施されました。

これらの試験結果により、JPCIがダイアフラムの設計、材料選定、および熱処理において十分な配慮を行うことが、サーモスタットアセンブリの耐用寿命に大きな影響を与える重要な要素であることが確認されました。下表では、サーモスタットアセンブリが疲労破損に至るまでに到達したサイクル数を比較しています。各供給元について、2つのサンプルを試験しました。



1 および 2: イタリア供給元「C1」。
9 および 10: フランス供給元「C2」。
17 および 18: 中国供給元「Z」。
25 および 26: 中国供給元「J」。

3 および 4: イタリア供給元「I」。
11 および 12: 米国供給元「R」。
19 および 20: 中国供給元「L」。
27 および 28: 中国供給元「H2」。

5 および 6: スペイン供給元「T」。
13 および 14: Ultimheat JPCI。
21 および 22: 中国供給元「H1」。

7 および 8: ドイツ供給元「E」。
15 および 16: 中国供給元「F」。
23 および 24: 中国供給元「T2」。





本カタログで使用される温度制御装置および温度制御システムの説明



当社製品は継続的な改良を行っているため、本データシートに記載されている図面、説明および仕様・特長は参考情報として提供するものであり、予告なく変更される場合があります



温度ヒューズ (TCO: Thermal Cut Off と呼ばれる)

温度ヒューズ式カットアウトは、金属または樹脂製ペレットの溶融によって作動する接点機構で構成されています。設定された温度に達すると、電気接点を不可逆的に開放します。作動温度 (トリガーポイント) は、通常の使用温度に基づいて選定し、誤作動を防止するために、通常運転温度から十分離れた値に設定する必要があります。これらの装置は、取付け作業が難しいという特徴があります。JPCI では、16A・250V 対応の温度カットアウトシリーズを開発しており、配線済みでシリコン絶縁処理されています。これにより、保護管 (ポケット) への容易な取付けが可能になります。

ディスク式サーモスタット

ディスク式サーモスタット: これらのサーモスタットは、制御用サーモスタットまたは手動リセット式安全サーモスタットとして使用されます。温度検知部には、異なる 2 種類の金属を積層接合したバイメタルディスクが使用されています。これら 2 種類の金属は、それぞれ異なる熱膨張係数を持っています。そのため、ドーム状に成形されたディスクは、温度上昇に伴って徐々に形状が変化し、ある温度に達すると突然、凹形から凸形へスナップ動作します。また、温度が低下すると、同様にスナップ動作によって元の形状へ戻ります。この急激な形状変化によって、接点ブレードが作動します。これらのサーモスタットには、1 極、2 極、または 3 極接点タイプがあります。高精度な動作温度および小さなディファレンシャル (温度差) を実現する技術は非常に複雑であり、正確な温度設定値と低ディファレンシャルを提供できるメーカーは限られています。JPCI は、3 極モデルを提供できる数少ないメーカーの一つです。

感温部・キャピラリー式制御サーモスタット

感温部・キャピラリー式サーモスタットの感温部は、一般に「ダイアスタット」と呼ばれ、感温部、キャピラリー、および 2 枚のダイアフラムで構成されたベローズからなる密閉チャンバーです。内部は真空状態で液体が封入されています。感温部周囲の温度が上昇すると、内部液体の体積が膨張し、ダイアフラムを膨らませます。この変位を利用して、スナップアクション式スイッチ機構を作動させます。ねじ付きシャフトによりベローズ位置を変更することで、温度設定の調整が可能です。標準タイプ (フェイルセーフ仕様ではないタイプ) では、ダイアスタットに漏れが発生した場合、ベローズ内部の圧力が低下して収縮し、温度上昇時でも電気接点は閉じた状態のままになります。一般的な温度範囲は、 $-35 \sim +320^{\circ}\text{C}$ です。さらに高い設定温度として、最大 750°C まで対応可能なモデルもありますが、その場合は、この温度範囲でも沸騰しない耐熱性の高い封入液を使用する必要があります。JPCI はこれらのモデルを製造できる数少ないメーカーの一つです。 400°C を超える高温仕様では、封入液として通常、液体金属が使用され、一般的にはナトリウム・カリウム共晶合金が用いられます。ただし、ダイアスタットが破損または漏洩した場合、この液体金属は水または大気中の水分と接触すると可燃性を示す可能性があります。そのため、これらの高温仕様モデルを使用する場合は、この点を十分に考慮してアプリケーション設計を行う必要があります。

キャピラリー式サーモスタットは、キャピラリーおよびベローズ部の温度変化によるドリフト (設定温度のずれ) が発生する場合があります。感温部・キャピラリー式サーモスタットのディファレンシャル (動作温度差) は、通常調整できず、一般的には温度設定範囲の約 5% です。これらのサーモスタットには、単極タイプおよび 3 極タイプがあります。

インバー (Invar) ロッド式温度制御サーモスタット

インバー (Invar) ロッド式温度制御サーモスタット: これらのサーモスタットは、最も古い温度制御システムの一つです。最初のシステムは、フランス人技術者ジャン・シモン・ボンヌマンによって 1783 年に発明されました。これらは、2 種類の金属の熱膨張差 (差動膨張) を利用して機構を作動させます。主な用途は貯湯式給湯器およびボイラーです。液体膨張式感温部・キャピラリーサーモスタットのように、周囲温度の変化による設定温度のドリフトの影響を受けにくいという特徴があります。これらのサーモスタットには、制御動作タイプおよび手動リセット動作タイプがあります。また、これらの装置の特徴は、測定ロッドが調整ヘッド部および電気接点部に固定されていることです。

現在のモデルでは、真鍮またはステンレス鋼チューブとインバー (Invar) ロッドを使用しており、測定温度範囲は $-50 \sim +400^{\circ}\text{C}$ です。

防爆電気接点付き感温部・キャピラリー式サーモスタット

防爆電気接点付き感温部・キャピラリー式サーモスタット: これらのサーモスタットは、標準タイプのサーモスタットと同じ機械構造を基本としており、同一の温度範囲で製造することが可能です。これらのモデルでは、JPCI が 25 年以上前に開発した独自設計の防爆マイクロスイッチを使用しています。このシステムの利点は、以下の通りです。重量があり高価な IIB または IIC 等級の金属防爆ボックスを使用する必要がないこと。電源を遮断することなく、温度設定値の調整が可能であること。

最新モデルには、端子台付きの各種安全増防爆 (Increased Safety) エンクロージャが採用されており、詳細についてはカタログ No.4 をご参照ください

電気定格: 25A, 250V, SPDT (単極双投)



固定温度設定式 液体膨張型感温部・キャピラリー式カットアウト

これらの装置は、液体膨張式感温部・キャピラリーサーモスタットと同様の原理で作動し、温度設定の調整はできません。温度上昇によって電気接点が開放された後、接点を再び閉じるためのリセットボタンが装備されています。

これらのカットアウトには、フェイルセーフ機構付きのタイプもあります。このタイプでは、キャピラリーまたは感温部に漏れや破損が発生した場合、自動的に接点を開放します。

ダイヤスタットのダイヤフラム（膜）は、人工的に膨張させた状態で使用されます。漏れが発生すると、室温時における公称厚さ以下の状態でダイヤフラムが破裂し、特殊な機構がその異常な変位を検出します。この動作は、非常に低い周囲温度を検知した場合と同様の状態として検出されます。このシステムの欠点は、フェイルセーフ式リミッターの場合、周囲温度が一定値以下に低下した際にもスイッチが OFF になることです。通常、その作動温度は $-10 \sim -20^{\circ}\text{C}$ 程度です。ダイヤフラムの人工的な膨張により、内部に封入される液体量も大幅に増加します。その結果、これらの装置は温度変化に対して非常に高い感度を持つようになり、温度ドリフトは最大で 0.3 K/K に達する場合があります。

これらの製品には、単極、2 極、または 3 極タイプがあります。通常、接点構成は温度上昇時に開放する接点のみを備えています。ただし、モデル 86 は、3 極切替接点を採用しています。

設定温度調整可能な液体膨張式感温部・キャピラリーカットアウト

設定温度調整可能な液体膨張式感温部・キャピラリーカットアウト：これらの装置は、制御用サーモスタットと同じ原理で作動しますが、温度上昇によって電気接点が開放された後、接点を再び閉じるためのリセットボタンを備えています。これらは、機械式サーモスタットまたは電子式コントローラーの後段に配置する過熱防止用安全システムとして使用することができます。JPCI は、この種のサーモスタットを提供できる数少ないメーカーの一つです。JPCI の製品は、以下の特徴を備えています。制御用サーモスタットと同等の温度調整範囲を実現。切替接点を採用し、リレーを使用せずに故障信号を出力可能。最大 750°C まで対応可能な温度範囲を提供。

固定温度設定式・蒸気圧式（沸騰式）感温部・キャピラリーリミッター

固定温度設定式・蒸気圧式（沸騰式）感温部・キャピラリーリミッター：これらの装置は、液体膨張式サーモスタットとは異なる原理で作動します。これらは、50 年以上前に発明されたシンプルな機構を採用しており、密閉チャンバー内の液体が沸騰することによって発生する大きな圧力上昇を利用して作動する、ドーム状バイメタルディスクのスナップ動作機構を組み合わせた構造となっています。この設計コンセプトにより、非常にシンプルな機構を実現しています。この技術の重要なポイントは、異なる沸点を持つ液体の選定にあります。動作温度範囲は、使用する液体の種類およびその沸騰温度によって決まります。また、沸騰時に発生する圧力損失によって作動が妨げられるため、キャピラリーの長さには制限があります。

固定温度設定式・蒸気圧式（沸騰式）感温部・キャピラリーリミッター：ダイヤフラムを作動させるためには、比較的大きな量の液体が沸騰する必要があります。このため、温度を検知するキャピラリー先端部はらせん状スパイラル形状に加工されています。キャピラリーがらせん状になっていない場合は、制御対象の液体中に少なくとも 30 cm 以上の長さを浸漬する必要があります。

固定温度設定式・蒸気圧式（沸騰式）感温部・キャピラリーリミッター：これらの装置は、温度設定の調整はできず温度上昇によって電気接点が開放された後に接点を再び閉じるためのリセットボタンを備えています。封入作業は真空状態で行われるため、ダイヤスタットに漏れが発生すると、作動機構が作動します。温度変化に敏感な液体封入式システムとは異なり、温度が一定値以下に低下した場合でも作動することはありません。ただし、これらの装置は大気圧の変化に対してわずかに影響を受けるため、高地での使用には制限があります。これらの製品には、以下の接点構成があります。単極接点 2 極接点 3 極接点通常、接点構成は温度上昇時開放型です。

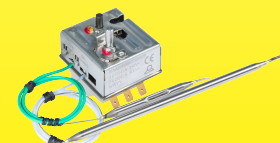
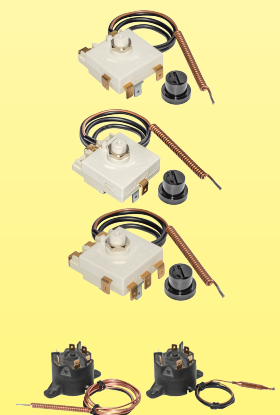
複合制御装置：液体膨張式の単極・温度調整可能サーモスタットと、固定温度設定およびフェイルセーフ機能を備えた 2 極キャピラリー式リミッターを組み合わせた複合制御装置です。

これらの装置は、温度制御用サーモスタットと同じ原理で作動しますが、2 つの測温システムを備えています。1 つは、液体膨張式システムで、温度制御用として使用されます。もう 1 つは、液体の沸騰による作動方式で、手動リセット式リミッターを作動させる安全用システムです。これらの装置には、制御温度設定値を調整するための調整シャフトが備えられています。また、安全装置が温度上昇によって作動し、電気接点が開放された場合には、ボタン操作により安全接点をリセットすることができます。安全リミッターの作動温度設定値は固定されています。接点は、温度上昇時のみ開放する構造です。

液体膨張式・設定温度調整可能サーモスタットおよび固定設定フェイルセーフカットアウト付き 3 極感温部・キャピラリー式複合制御装置

これらの装置は、制御用サーモスタットと同じ原理で作動しますが、2 つの感温部（ダブル感温部）を備えています。1 つは温度制御用として使用され、もう 1 つは手動リセット式安全装置用として使用されます。制御温度を調整するための調整シャフトを備えており、温度上昇によって安全接点が開放された場合には、手動リセットボタンにより安全用電気接点を再投入することができます。安全装置の作動温度設定値は、工場出荷時に固定設定されています。接点は、温度上昇時のみ開放する構造です。

これらのモデルは、サーモスタットヘッド周囲温度の変化による大きなドリフト（設定温度のずれ）が発生する場合があります。そのドリフト量は最大で 0.3 K/K に達します。例えば、サーモスタットヘッド周辺の環境温度が 10°C 変化した場合設定温度は最大で 3°C ずれる可能性があります。





電子式温度制御

「ユニバーサル」ブラインド型電子サーモスタット

JPCI が開発したこれらの製品は、電気機械式サーモスタットとデジタル表示付き電子式調節器の中間的なソリューションを提供します。これらは、電気機械式サーモスタットの以下の特性を維持しています。温度調整範囲 28mm ピッチの 2 本ねじによる固定方式 定格 16A・250VON/OFF（入・切）制御動作一般的に既存の電気機械式サーモスタットと互換交換が可能同時に、デジタル表示付き電子式温度調節器に近い電子制御の利点を備えています。

一般的に使用されるすべての温度範囲は、DIP スイッチによって設定可能です。温度調整軸はスナップオン式（着脱式）で、標準仕様として複数の長さが用意されています。

これらの製品は、低コストでありながら、感温部・キャピラリー式サーモスタットよりも離れた位置での温度測定が可能です。また、以下の特長を備えています。高い測定精度制御デファレンシャル（温度差）の調整機能さらに、DIP スイッチを簡単に操作することで、手動リセット式リミッターとして使用することも可能です。

1つのモデルで、多くの単極サーモスタットを置き換えることが可能です

デジタル表示付き電子式サーモスタット

JPCI が開発したこれらの製品は、デジタル表示を備えた使いやすい電子式温度制御ソリューションを提供します。

電気機械式サーモスタットから、次の特長を継承しています：電気定格、ON/OFF 制御動作、優れた操作です。

これらの製品は低価格であり、測定温度を表示できるだけでなく、感温部・キャピラリー式サーモスタットよりもより長距離での測定、高い精度、およびデファレンシャル温度（制御温度差）の調整機能を提供します。

直流 (DC) 用途に関する注意事項

直流用途に関する注意事項特殊な DC 加熱用途、主に鉄道システム向けに、JPCI は磁気吹消し接点装置を開発しました。これらは、以下のいくつかのサーモスタットモデルに適用することができます（例：ディスクサーモスタット、表面サーモスタット、感温部・キャピラリー式サーモスタット、ロードサーモスタット）。電気定格は最大 230V DC および 16A まで対応し、10 万サイクルを超える長い電気寿命を提供します。これらの開発品は、個別案件ごとの特別検討の対象となります。

本カタログ No.1 では、基本サーモスタットおよびリミッターについて説明しています。これらのサーモスタットは、カタログ No.2 および No.3 に掲載されている、さまざまなハウジングに組み込まれた製品シリーズとして確認することができます。

爆発性ガスまたは粉じん環境で使用するためのサーモスタットおよびリミッターの完全な製品シリーズも開発されており、カタログ No.4 に掲載されています。