

温度測定 (I)

—工業用計器を中心として—

三井清人*

1. はしがき

計測に関する科学・技術は、本来いろいろな専門分野にまたがる横断的なものである。測定量の種類によってその問題点の所在は大きく異なり、また、応用の場における困難の種類もまちまちである。ところで、温度計測という分野は、中でもとくに問題の種類が多い分野であり、いわば、雑多な技術の巧みな組み合わせが成果をあげるような世界である。さらにいえば、オールマイティの切札やホームランバッターがいなくて、しぶいヒットで少しづつ点数をかせぐことが重視されるような世界である。

温度の測定法について講義をするに当たって、まず、話の柱の立て方に大いに迷わされる。何が最も有効かという点が聞き手の一人一人で違っているからである。筆者がここで試みようとする方針は、実は極めて便宜的なものであるが、ねらいは実用性にある。しかし、その実用性は必ずしも一般的なものではなく、読者によっては余り役に立たないかも知れない。

温度標準の確立、維持、供給を業務とする筆者の研究室には、温度測定に関するいろいろな種類の相談がもち込まれる。この相談を通して、温度計測の現場における諸問題をかいま見たり一緒に考えたりして、大いに啓発されることが多い。その場合に、当方の助言が効果を上げ得るとすれば、それは先方のおかれている境界条件を当方がよく理解した時であって、一般的な注意事項を並べるだけでは問題が解決しないのが通例である。つまり、万能薬的な一般論は特定の病気に對しての有効さを欠くようだが、一方、病状がよほどはっきりしない限り、速効性のある対策はとり難い。

こうしてみると、実用性の高い情報は適用先を誤ると無価値であったり、有害であったりする危険があり、一方、一般的注意は毒にも薬にもならない、という事情がある程度ご理解いただけると思う。読者諸氏の賢明な判断で、情報の取捨選択をして下さるよう予じめお願いしておきたい。

2. 温度測定の手法の選択

測定の目的や対象物の種類に応じて手法や道具を選ぶ際の指針のいくつかを次に述べる。

温度という量はもともと平均的な指標であって、ある大きさをもった系をある程度の時間観測して初めて決定できる量である。しかも理論的には、熱平衡状態に対してのみ正確な値がきまる量である。しかし、実際の測定の場においては、熱平衡状態が実現されていることは極めてまれであり、また、対象物と背景の区別もはっきりしていないことが多い。このような状況で意味のある情報を得ようとするれば、まず測定の目的、換言すれば重視される情報の種類を明らかにしておくなければならない。また、対象物の種類や状態、対象物と温度計との関係の制約などに即した手法を選ぶことが大切である。そのため、の主な検討事項を表1に示す。

表1 測定対象に関する基本的検討事項

検討事項	検討内容の分類別
測定対象の状態はどうか	(1)固体、液体、気体のいずれの状態にあるか (2)温度の概略の範囲 (3)静止しているか、運動しているか (4)温度の変化速度 (5)発熱および吸熱の有無 (6)熱流の有無
得ようとする情報は何か	(1)局部の温度か、全体を代表する温度か (2)物体の表面の温度か内部の温度か (3)瞬時の温度か時間的平均温度か
重要視する測定値は何か	(1)温度の絶対値か相対値か (2)温度値か温度差か温度差は空間、時間その他、何についてであるか (3)温度値か温度変化か、温度変化の大きさ、その傾き又は速さのいずれであるか
測定対象と温度計との関係	(1)測定対象の形状と温度計の設置方法との関係 (2)測定対象の温度と温度計検出素子の温度(放射を利用する温度計については、測定対象が発する放射と温度計に入射する放射)との一致の度合 (3)温度測定が測定対象に与える影響の度合 (4)ふん囲気、振動、周囲温度、雑音などの環境因子が測定対象及び温度計に与える影響の度合

温度計の器種選択という段階に入る前に、対象物に対するアプローチの仕方について、いわば戦略的な検討を行う必要があろう。対象物と温度計の関係は、接触方式と非接触方式に大別されるが、それらの主な特徴を表2に示す。なお、特殊な状況下で用いられる手法の中には、

* 工業技術院計量研究所：東京都板橋区加賀 1-10 4
Kiyoto Mitsui; National Research Laboratory of Metrology

表2 接触方式と非接触方式

	接 触 方 式	非 接 触 方 式
必要条件	(1)測定対象と検出素子とをよく接触させること (2)測定対象に検出素子を接触させたとき、前者の温度(測定量)が事実上変わらないこと	(1)測定対象からの放射が十分に検出素子に達すること (2)測定対象の実効放射率が明確に知られているか又は再現可能であること
特 徴	(1)熱容量の小さい測定対象では、検出素子の接触による測定量の変化が生じやすい (2)運動している物体の温度は測りにくい (3)測定箇所を任意に指定できる	(1)検出素子の接触を必要としないので、測定の際に測定量が変わることは一般にはない (2)運動している物体の温度も測定できる (3)一般には表面温度を測る
温度範囲	1000℃以下の温度の測定は容易である	一般には高温の測定に適する
精 度	一般に目盛スパンの1%程度である	一般には10℃程度である
遅 れ	一般には大きい	一般には小さい

単純に表2のいずれかの欄に入れたいものがある。それらは、温度計測上の困難を克服する実例として興味深いので、次にいくつかの例をあげておく。

- 1) 熱流補償 接触温度計を取付けることによって対象物を熱的に乱すことを避けるため、温度計に沿う熱流を検出して、これがゼロとなるよう補償する(熱源のパワーを調節する)。
- 2) 瞬間接触 温度計をつねに接触させておくことが困難または不都合な場合に、温度計を対象物に瞬間的に接触させて、その時の応答の様子から温度を推定する。
- 3) 気体流による接触 対象物の周辺気体を吸引し、その温度を測ることによって対象物の温度を知る。
- 4) テレメトリー型検出器 接触温度計の保護管や導線が障害となる条件下では、対象物のそばで温度を他の量に変換して送信する型の検出器を用いる、示温塗料などもその一種
- 5) 対象物の物性利用 対象物の成分がはっきりしている時は、その諸物性の温度依存性を利用して温度を知る。

3. 温度計の機能とその表示法

現在実用されている温度計の原理には極めて多くの種類があるが、大別すれば次の6種類となる。

- a) 膨張式温度計
- b) 圧力式(充満式)温度計
- c) 熱電対温度計
- d) 抵抗温度計

e) 放射温度計

f) その他の物性型温度検出器

これらのそれぞれについてコメントする前に、温度計一般の構成要素とその機能の概要を述べておきたい。温度計の機能は、いうまでもなく温度という測定量(入力量)に対応する指示量(出力量)を与え、これによって正しい温度値を知らせることであるが、これはふつう検出、伝送、指示の3つの段階に分けて考えられる。多くの温度計、特に工業用のものである、構造的にもこの3段階に対応してユニット化されていて、それぞれ検出器、伝送器、表示計器と呼ばれている。このようなユニット化と同時に規格化・標準化がなされて、各ユニットやその素子が互換性をもっているものが多い。最近この種の工業用計器が実験室においても広く用いられているので、これらを精密計測に正しく適用することを中心に、また、器種としては抵抗温度計と熱電対に重点をおいて選択上の参考事項を述べることにする。

目的に適した温度計(検出器)を選ぶには、各器種の公称仕様が重要な参考情報となる。仕様表に書き込まれる主な項目は次のようなものである。

- 1) 使用温度範囲 ふつうは、空気中で使用する場合の耐用限度をいう。また、感度の低下によって限度がおさえられている場合もある。いずれについても、使用環境や表示計器の性能に対して相対的なものであり、また、要求精度によっても変り得る数字である。
- 2) 主な用途・使用例 実際にどのような目的に使用され、実績をあげているかという事実は非常に重要な情報源である。対象物の種類・大きさ、測定環境、測定条件、信頼性などを総合した実用性がよくわかる。
- 3) 出力 出力量の種類、大きさの範囲、アナログ・デジタルの別、組合わせるべき表示計器などが示されている。検出器だけを購入する場合には特に注意が必要。
- 4) 入出力特性(静特性) 入力量である温度と出力量、例えば電圧との関数関係。線形に近い場合は直線性からのずれとして表示されることもある。
- 5) 感度 感度係数(=出力の増分)/(入力増分)、即ち入出力特性の微係数で表示されるのがふつうであるが、感じ限界(分解能)で表示されることもある。
- 6) 使用環境 制限される、あるいは許容される使用環境及び条件について定量的記述があることが望まれる。例えば、熱衝撃、過熱・過冷、機械的衝撃、電磁場、雰囲気など。
- 7) 精度 ふつうは総合精度(総合誤差の限界)を指し、温度値またはスパンの%などで表示される。同一条件で短期間に行った測定のばらつきは繰返し

性、または精密さという言葉で表わされる。時期や条件が異なる場合の変動の程度は再現性といわれる。これを表わす数字の中に、環境因子(例えば検出端以外の部分への温度の影響)や、長期にわたって徐々に起る校正値の変動(ドリフト)などが見込まれている場合には、これらの原因による“測定値のかたより”の程度を使用者が管理することによって、表示の数字よりもよい精度で計器を使いこなすことも可能である。まず、どのような意味の数字が仕様表に記入されているかを知ることが重要である。場合によっては、公称精度を確保することも容易でない。

なお、温度計の精度を論じるには、検出器の精度だけでなく伝送器や表示計器の精度を含めて考慮しなければならない。検出器以外の要素が精度の制限因子になっている事例は意外に多い。

- 8) 動特性 接触温度計の応答速度は対象物との熱接触の良否で大きく異なる。従って、水中、対流する空気中などの条件を指定した上で時定数(指示値の変化が最終値の63%に達する時間)で表わされる例が多い。
- 9) 検出端 接触温度計の検出端の材質、形状・寸法、取付方法などは、実際の使用状態での性能を支配する重要な因子であり、詳細な情報が必要である。
- 10) 信頼性 寿命の推定値あるいは平均無故障期間などが調べられていることが望ましいが、実際には未知であることが多い。

以上のほかに、入手の便宜(価格、ストック)、品質の均一性、周辺機器の整備状況などが問題となる。

4. 実用温度計の種類と特徴

実験室における温度計測には、製品化された温度計を購入して使用する場合のほかに、温度計(特に検出器)を自作する場合や、他の目的のために作られた製品を温度計測に応用する(例えばトランジスタを温度計として用いる)場合などがある。目的に合わせて計器を自作・改造・転用することは大変妙味のあることではあるが、この場合には計器の性能について使用者が全責任を負わなければならない。念入りの試験や校正が必要である。一方、工業規格に準拠した製品や、諸特性が広範囲に調べられている器種を用いる場合には、簡単な試験で性能をチェックできるし、また、校正値の信頼性、即ち、現場での測定値と国家標準との結びつきの度合い(トレーサビリティ)を知る上でも有利である。このような、いわば開発の進んだ温度計のうち、実験室で有用と思われるものの種類と特徴を次に述べる。

- 1) 水銀封入ガラス温度計 使用温度範囲-50~650℃、精度±0.3~1.0目盛。 2重管式の精密級のもの

(0.1℃目盛、1本の温度計の目盛スパン50℃)は校正値の安定性がよく、実験室の標準温度計として好適である。国家標準へのトレーサビリティ(計量法に基づく基準器検査)が容易に得られる。

主な関連工業規格: JIS B 7412(ガラス製2重管温度計)、JIS Z 8705(液体封入ガラス温度計による温度測定方法)など。

- 2) 蒸気圧温度計 Filled-system温度計として製品化されているものもあるが、実験室では装置を自作する機会が多い。温度計測に有用な種々の物質の蒸気圧と温度の関係は、国際実用温度目盛(IPTS)のテキスト¹⁾に収録されている。これを利用すれば、その物質の沸点近傍の温度領域では精度±0.001℃の測定を行うことも可能であるが、それには試料物質の純度と圧力測定の精度が必要であることはいうまでもない。特に、測定部がツェネに全系統中で最低の温度になっているという条件を満たすことが不可欠であり、このことから主として常温以下の温度測定に応用される。すべての温度領域をカバーできないのがこの方法の欠点である。
- 3) 熱電対 熱電対そのものは検出器であり、これと電位差計などを組合わせて温度計となるが、素子互換性を有する計器の代表格である。工業計測に最も多く利用される温度計であり、工業規格に準拠した製品が実験室で用いられる例も多い。

主な関連工業規格: JIS C 1602(熱電対^註)、JIS Z 8704(温度の電気的測定方法)など。

註) この規格は1974年に改訂されて、各熱電対の規準熱起電力表はIPTS-68に適合するものとなった。また、PR 13熱電対を除いて、国際的なIEC規格と一致するものとなった。

- a) PR熱電対 白金・ロジウム合金は、純度、均質性、安定性が優れており、最も精度のよい熱電対として0~1600℃の測温に広く用いられる。JIS規格があるのはPR 13(白金ロジウム(ロジウム13%) /白金)だけであるが、ほかにPR 10、PR 20/5、PR 30/6などが用いられる。各国で古くから一般的に用いられていたPR 13とPR 10について、材質や起電力表の国際統一を図る10年来の努力が払われた結果、現在ではIEC規格による新材料が広く行き渡っている。しかし残念ながら国では、全面的に新材料に切替える段階に未だ達しておらず、起電力表もわが国独自のものを用いている。新材料と旧材料では、1000℃において約3.5℃に相当する起電力差があるので、購入に際しては、どの起電力表に適合する材料であるかを確かめることが大切

である。

PR熱電対の特徴としてはさきあげた安定性(比較的短期間で±0.04%)が最大の利点であるが、欠点として、熱電能が比較的小さいこと(約10μV/°C)、高温で金属蒸気・還元性雰囲気・真空に弱いことがあげられる。使用に先だって、最高使用温度以上の温度でアニュアルする必要がある。

新JISの規準起電力表を多項式表現する場合の係数を表3にかかげる。個々の熱電対の特性がこの表からずれている程度の許容量は、600°Cで±1.5°C(JIS規格品、精度階級0.25級の場合)であり、ずれの量を定點校正などで確かめて表3の1次の係数を修正すれば、さらによい近似式が得られるであろう(推定最高精度は1000°Cで±0.3°C)。

表3 PR13熱電対(JIS規格)の規準特性式
(温度t(°C)に対応する規準起電力(μV)を与える多項式)

温度範囲	次数	係数	項
0~1770°C	7	5.279309199	t
		1.359439032 × 10 ⁻²	t ₂
		-2.076439990 × 10 ⁻⁵	t ₃
		2.163933728 × 10 ⁻⁸	t ₄
		-1.263802721 × 10 ⁻¹¹	t ₅
		3.837076458 × 10 ⁻¹⁵	t ₆
		-4.892625741 × 10 ⁻¹⁹	t ₇

b) CRC熱電対 クロメルとコンスタンタンを組合わせたもので、-200~700°Cの測温に広く利用される。熱電能が大きいこと(約70μV/°C)が大きな特徴であり、安定性も比較的良好(短期間で約±0.15%, すなわち700°Cで±1°C)。特に低温で熱電能が比較的大きいことから、低温領域の計測に活用される。

新JIS起電力表の多項式表現の係数を表4にかかげる。特性のばらつきの許容差は、0.75級の場合400°Cで±3°Cである。

c) CA熱電対 クロメルとアルメルを組合わせたもので、-200~1100°Cの領域の工業計測に最も多用される器種である。熱電能はCRCより小さいが(約40μV/°C)、起電力と温度の関係が直線に近い。その他はCRCとほぼ同様。

新JIS表の多項式表現の係数を表5にかかげる。

d) CC熱電対 銅とコンスタンタンを組合わせたもので、均質性、安定性が比較的良好(約±0.1%)ことから、実験室などで多く用いられる。熱電能はCAとほぼ同じで、使用範囲は-200~300°Cである。

新JIS表の多項式表現の係数を表6にかかげる。

e) 特殊な熱電対 実用されている熱電対の種類は

表4 CRC熱電対(JIS規格)の規準特性式
(温度t(°C)に対応する規準起電力(μV)を与える多項式)

温度範囲	次数	係数	項
-270~0°C	13	5.8695857799 × 10 ¹	t
		5.1667517705 × 10 ⁻²	t ²
		-4.4652683347 × 10 ⁻⁴	t ³
		-1.7346270905 × 10 ⁻⁶	t ⁴
		-4.8719368427 × 10 ⁻⁷	t ⁵
		-8.8896550447 × 10 ⁻⁹	t ⁶
		-1.0930767375 × 10 ⁻¹⁰	t ⁷
		-9.1784535039 × 10 ⁻¹³	t ⁸
		-5.2575158521 × 10 ⁻¹⁵	t ⁹
		-2.0169601996 × 10 ⁻¹⁷	t ¹⁰
		-4.9502138782 × 10 ⁻²⁰	t ¹¹
		-7.0177980633 × 10 ⁻²³	t ¹²
		-4.3671808488 × 10 ⁻²⁶	t ¹³
0~1000°C	9	5.8695857799 × 10 ¹	t
		4.3110945462 × 10 ⁻²	t ²
		5.7220358202 × 10 ⁻⁶	t ³
		-5.4020668085 × 10 ⁻⁷	t ⁴
		1.5425922111 × 10 ⁻⁹	t ⁵
		-2.4850089136 × 10 ⁻¹²	t ⁶
		2.3389721459 × 10 ⁻¹⁶	t ⁷
		-1.1946296815 × 10 ⁻¹⁸	t ⁸
		2.5561127497 × 10 ⁻²²	t ⁹

表5 CA熱電対(JIS規格)の規準特性式
(温度t(°C)に対応する規準起電力(μV)を与える多項式)

温度範囲	次数	係数	項
-270~0°C	10	3.9475433139 × 10 ¹	t
		2.7465251138 × 10 ⁻²	t ²
		-1.6565406716 × 10 ⁻⁴	t ³
		-1.5190912392 × 10 ⁻⁶	t ⁴
		-2.4581670924 × 10 ⁻⁸	t ⁵
		-2.4757917816 × 10 ⁻¹⁰	t ⁶
		-1.5585276173 × 10 ⁻¹²	t ⁷
		-5.9729921255 × 10 ⁻¹⁵	t ⁸
		-1.2688801216 × 10 ⁻¹⁷	t ⁹
		-1.1382797374 × 10 ⁻²⁰	t ¹⁰
0~1372°C	8+exp	-1.8533063273 × 10 ¹	定数
		3.8918344612 × 10 ¹	t
		1.6645154356 × 10 ⁻²	t ²
		-7.8702374448 × 10 ⁻⁵	t ³
		2.2835785557 × 10 ⁻⁷	t ⁴
		-3.5700231258 × 10 ⁻¹⁰	t ⁵
		2.9932909136 × 10 ⁻¹³	t ⁶
		-1.2849848798 × 10 ⁻¹⁶	t ⁷
2.2239974336 × 10 ⁻²⁰	t ⁸		
		+125 exp[- $\frac{1}{2}(\frac{t-127}{65})^2$]	

表6 CC熱電対(JIS規格)の規準特性式
(温度 t ($^{\circ}\text{C}$) に対応する規準起電力
(μV) を与える多項式)

温度範囲	次数	係数	項
-270~0 $^{\circ}\text{C}$	14	3.8740773840×10^1	t
		$4.4123932482 \times 10^{-2}$	t^2
		$1.1405238498 \times 10^{-4}$	t^3
		$1.9974406568 \times 10^{-5}$	t^4
		$9.0445401187 \times 10^{-7}$	t^5
		$2.2766018504 \times 10^{-8}$	t^6
		$3.6247409380 \times 10^{-10}$	t^7
		$3.8648924201 \times 10^{-12}$	t^8
		$2.8298678519 \times 10^{-14}$	t^9
		$1.4281383349 \times 10^{-16}$	t^{10}
		$4.8833254364 \times 10^{-19}$	t^{11}
		$1.0803474683 \times 10^{-21}$	t^{12}
		$1.3949291026 \times 10^{-24}$	t^{13}
		$7.9795893156 \times 10^{-28}$	t^{14}
0~400 $^{\circ}\text{C}$	8	3.8740773840×10^1	t
		$3.3190198092 \times 10^{-2}$	t^2
		$2.0714183645 \times 10^{-4}$	t^3
		$-2.1945834823 \times 10^{-6}$	t^4
		$1.1031900550 \times 10^{-8}$	t^5
		$-3.0927581898 \times 10^{-11}$	t^6
		$4.5653337165 \times 10^{-14}$	t^7
		$-2.7616878040 \times 10^{-17}$	t^8

非常に多く、素線の種類も約300種ある。これらのうちから、特殊な目的に対して効果をあげる器種(工業規格はない)をいくつか紹介しておく。

- 金・鉄 金に0.07モル%の鉄を合金した材料は20K以下の極低温域での熱電能が他の材料に比べて大きく、クロメル、銅、銀と組合わせた熱電対が極低温計測に使用される。金・鉄/クロメルの場合常温から約10Kまでほぼ一定の熱電能(約20 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)をもち、1K付近でもその半分近くの熱電能をもっている²⁾。この材料は現在国産されている。かつて、金にコバルトを合金した材料が極低温計測によく用いられたが、合金状態が不安定なため今はあまり用いられない。
- イリジウム・ロジウム ロジウム40~50%を含むイリジウムと純イリジウムを組合わせた熱電対は、2000 $^{\circ}\text{C}$ 程度の高温まで使用できる。
- タングステン・レニウム レニウム5%のもの、レニウム26%のものを組合わせた熱電対は、3000 $^{\circ}\text{C}$ 近くの高温まで使用できる。
- シース熱電対 これは素材の種類による分類ではなく構造上の分類であるが、実用上重要であるのでここで述べておく。ステンレスやインコネルなどのシース(保護管)中に熱電対を絶縁物の粉末とともに圧入したものが製品化されている。シースの先端

は封じられており、シースと熱電対とは電気的に絶縁されている。シースの直径が0.5mmの細いものもあって、対象物への取付け、ヒートアンカー、フィードスルー、気密シールなどが容易である。

- 4) 抵抗温度計 熱電対に比べて高精度の計測に用いられる。検出素子(測温抵抗体)の材料は、金属(純金属、合金)と半導体(単結晶、焼結体)に大別され、構造的には、巻線(ストレインフリー型、固定型)、薄膜、ソリッドなどがある。

関連工業規格: JIS C 1604(測温抵抗体), JIS C 1600(サーミスタ測温体), JIS Z 8704(温度の電気的測定方法)など。

- a) 白金測温抵抗体 実用温度計の中で最も安定性が優れており、-260~1100 $^{\circ}\text{C}$ の範囲で多用されている。検出素子の構造、大きさ、材質、また、それらによってきまる性能の程度はいろいろであるが、大きく分けて、実験室用の精密型と工業規格に基づく汎用型とがある。

精密型のもは、よく焼鈍された高純度の白金線をストレインフリー巻きにして作られており、ほぼ $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ の再現性を有している。-260~+250 $^{\circ}\text{C}$ の範囲ではカプセル型(大きさはふつう $5\phi \times 50\text{mm}$ 、小型では $3\phi \times 10\text{mm}$ 程度)、-200~900 $^{\circ}\text{C}$ では石英ガラスのシース(大きさ $8\phi \times 700\text{mm}$ 程度)に入ったステム型を用いる。材質や構造の工夫によって、1100 $^{\circ}\text{C}$ まで使用できるようにしたステム型もある。

白金線の純度の指標として用いられる $R(100^{\circ}\text{C})/R(0^{\circ}\text{C})$ の値が1.3925より大きいものは、IPTS-68を実現するための標準温度計として用いることができる。つまり、IPTS-68の定義定定点で校正すれば、-260~630 $^{\circ}\text{C}$ の範囲で精度 $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ の測定ができる(ただし、相対精度が $\pm 10^{-6}$ 程度の抵抗測定器が必要)。

工業用の白金測温抵抗体は、抵抗線が固定または半固定状態になっており、ストレインフリー型に比べて再現性は劣るが丈夫であり、素子そのものは一般に小型である(例えば $2\phi \times 20\text{mm}$)。JISに定められた標準抵抗値表(表7)を用いて-200~630 $^{\circ}\text{C}$ の範囲で精度 $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ (精度階級0.15級の場合)の測定ができるが、素子を個々に校正して用いれば $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 程度の精度も得られる。

- b) サーミスタ測温体 金属酸化物からなるサーミスタ測温体は負の抵抗温度係数をもち、その値、すなわち感度は金属測温体に比べて10倍以上大きい。従って、比較的狭い温度範囲(例えば -50~+100 $^{\circ}\text{C}$)

表7 JIS 標準白金抵抗素子の R_t/R_0 の値

$T/^\circ\text{C}$	-100	-0	$T/^\circ\text{C}$	0	100	200	300	400	500	600	$T/^\circ\text{C}$
-0	0.5957 413	1.0000 398	0	1.0000 397	1.3916 385	1.7713 373	2.1393 361	2.4956 350	2.8402 338	3.1728 326	0
-10	0.5544 415	0.9602 400	10	1.0397 396	1.4301 384	1.8086 372	2.1754 361	2.5306 349	2.8740 337	3.2054 324	10
-20	0.5129 418	0.9202 401	20	1.0793 395	1.4685 382	1.8458 371	2.2115 359	2.5655 347	2.9077 335	3.2378 324	20
-30	0.4711 420	0.8801 402	30	1.1188 393	1.5067 382	1.8829 370	2.2474 358	2.6002 347	2.9412 335	3.2702	30
-40	0.4291 423	0.8399 403	40	1.1581 392	1.5449 380	1.9199 368	2.2832 357	2.6349 345	2.9747 333	—	40
-50	0.3868 426	0.7996 405	50	1.1973 391	1.5829 379	1.9567 368	2.3189 356	2.6694 344	3.0080 332	—	50
-60	0.3442 430	0.7591 406	60	1.2364 390	1.6208 378	1.9935 366	2.3545 354	2.7038 342	3.0412 331	—	60
-70	0.3012 432	0.7185 408	70	1.2754 388	1.6586 377	2.0301 365	2.3899 354	2.7380 342	3.0743 329	—	70
-80	0.2580 434	0.6777 409	80	1.3142 388	1.6963 375	2.0666 364	2.4253 352	2.7722 341	3.1072 329	—	80
-90	0.2146 432	0.6368 411	90	1.3530 386	1.7338 375	2.1030 363	2.4605 351	2.8063 339	3.1401 327	—	90
-100	0.1714	0.5957	100	1.3916	1.7713	2.1393	2.4956	2.8402	3.1728	—	100

において、その高感度と応答の速さ(30秒以内)を生かして用いられる。サーミスタ測温体のJIS規格が1975年に制定されて、最高の精度階級では $\pm 0.3^\circ\text{C}$ の素子互換性が得られるようになった。比較的短期間では $\pm 0.05^\circ\text{C}$ の安定性が得られる。抵抗 R と温度 T (ケルビン)の関係は次式によって近似される。

$$\frac{R}{R_0} = \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

ここで

R は温度 T (K)における抵抗

R_0 は温度 T_0 (K)における抵抗

B はサーミスタ定数(使用温度範囲の両端で定める)

c) その他の測温抵抗体 実験室の温度計測において重要なその他の測温抵抗体として、極低温用のゲルマニウム測温体とカーボン測温体をあげておく。これらはサーミスタと同様に指数関数的な負の温度特性をもち、主に -250°C 以下の極低温域で用いられる。特性の個体差が大きく、工業規格は設けられていない。温度値を求めるには、個別にくわしい校正を行わなければならない³⁾。

5) 放射を利用する温度計 物体表面からの熱放射を観測してその温度を求める温度計は、その原理或使用波長帯などによって多くの種類に分類されるが、大別して光高温計とその他の放射温度計に分けて扱う。い

ずれにおいても、真の温度値を得るには対象物の放射率(表面状態や形状を加味した実効放射率)を知ることが必要である。

光高温計は、特定の単波長(ふつうは $0.65\mu\text{m}$)における放射強度を肉眼または光電検出器を用いて比較するもので、この器種については使用法の工業規格が設けられている(JIS Z 8706. 光高温計による温度測定方法)。測定範囲はおよそ $900\sim 2000^\circ\text{C}$ であり、比較的高精度の測定ができる(条件がよい場合、 1000°C 付近で約 $\pm 2^\circ\text{C}$ 、 1800°C 付近で約 $\pm 3^\circ\text{C}$)。2つの波長を用いるものは2色高温計と呼ばれ、対象物が灰色体の場合には放射率誤差が除かれる。

その他の放射温度計の特性は、主として光電検出器または赤外線検出器の性能によってきまる。すなわち、検出器の波長領域ごとの感度、応答速度などによって、測定温度範囲(とくに下限)、温度分解能、空間分解能などがきまる。光高温計に比べて一般に広い波長帯域を用いるものが多く、赤外域まで利用するものは常温以下の温度測定も可能である。これらの放射温度計は、温度の分布や変化を観測するのに便利である。正しい温度値を求めようとするれば、黒体炉などを用いて目盛校正を行うと同時に、放射率補正係数を正しく求めることが必要である。種々の原理・型式のものが盛んに開発されている段階であるので、仕様をよく調べて目的に対する有効性を判定することがとくに重要である。

各種温度計の使用上の注意、校正法、表示計器を含めた精度管理法などについて、続編「温度測定(II)」において述べる予定である。

文 献

1) 計量研究所, “1968年国際実用温度日盛” コロナ社 (1971)

- 2) L. L. Sparks, R. L. Powell, *J. Res. NBS*, 76A (1972)
- 3) 三井清人, 低温工学 10巻3号 p. 104 (1975)
- 4) 産業計測標準委員会温度部会, “トレーサブルな温度計測”, 日本産業技術振興協会 (1975)
- 5) 温度計測の実務編纂委員会, “温度計測の実務”, 日本工業出版 (1976)

発売中!!

JANAF 熱化学データ表 完結編(上・下)

JANAF Thermochemical Tables (Second Edition)

本データ表は、NBSによる初版発行後、ルーズリーフによる補正・追補を重ね、今回最後の作業として6年間にわたる大改正を行ない、最終完結編として再版されたもので、約1100の表から成っております。

各種物質について、熱容量, Cal·deg·mol 単位によるエントロピー, 標準状態における自由エネルギー関数, エンタルピー, 生成熱, 使用定数, 記号および

述語, 熱力学データの評価, 計算方法および化学記号による索引, 物質名による索引が収録されています。

発行所 煥爛越研究所 A4版 上・下セット
1157頁 定価 60,000円

お問合せ・お申込みは下記へ

(株)科学技術社 〒113 東京都文京区湯島1-5-31
第一金森ビル内(03-815-8163)

AN INTRODUCTION TO THERMOGRAVIMETRY

2nd Edition - Trebled in Size.

C.J. Keatch and D. Dollimore.

- * The only definitive textbook on Thermogravimetry
- * Well illustrated and tabulated sections on practical applications.
- * Comprehensive guide to methods of interpreting data

The importance of Thermogravimetry, not only in pure and applied research but also in routine control laboratories, is rapidly increasing. This is amply evidenced by the fact that the second, revised edition of this book has not only trebled in size, but also acquired a second author.

An Introduction to Thermogravimetry assumes no prior knowledge of thermal methods. Starting with detailed chapters on the origins of the technique and development of balances, the authors go on to present a comprehensive guide to the presentation of data and methods of interpretation. This section is used to show the value of the technique as an interpretive method in its own right.

The three chapters on the operation of the thermobalance and its associated equipment emphasize the versatility of the technique.

The remainder of the book is devoted to practical applications in inorganic, organic and polymer chemistry, minerals and applied sciences. These chapters are well-illustrated and tabulated; they cover the wide variety of uses for the thermobalance and provide a valuable reference source for all workers in this field.

Each chapter is completed by extensive references, and there are author and subject indexes. It will be particularly useful for chemistry and chemical engineering students, as well as technical workers in industrial and academic applications.

ISBN 0 85501 096 7 176pp May 1975 £3.60 \$9.90 DM 30.00

HEYDEN

Heyden & Son Ltd., Spectrum House, Alderton Crescent, London NW4 3XX
Heyden & Son GmbH, 4440 Rheine/Westf., Münsterstrasse 22, Germany.