

# Readout

HORIBA Technical Reports

特集 半導体をはかる

January 1991 ■ No.2

---

## ハンディ型赤外線放射温度計 (IT-340)

Handy-type Infrared Thermometer (IT-340)

野村俊行・大須賀直博

Toshiyuki NOMURA, Naohiro OSUGA

(Pages 57-64)

---

株式会社 堀場製作所



# ハンディ型赤外線放射温度計 (IT-340)

## Handy-type Infrared Thermometer (IT-340)

野村 俊行・大須賀 直博

Toshiyuki Nomura, Naohiro Osuga

---

### 要 旨

このほど開発したハンディ型赤外線放射温度計 (IT-340) を紹介する。本器には、汎用型と小スポット型の2機種があるが、本稿では、最小スポット径が2.5mmの小スポット型の仕様と、その特長的な機能について報告する。本器の特長は、可視光発光ダイオードの照射するマークによって、対象領域を確認しながら温度の測定ができる照準器をそなえている点にある。しかも、この照準器は、当社の先輩機種である放射温度計 (IT-330) の特長であるコンパクトさを失うことがないように、約1.2倍の外径のプロープの中に納められている。本稿では、照準器の構造と光学系を詳しく述べ、さらに本器の応用測定例をいくつか紹介し、測定対象の拡大について提案する。

### Abstract

An introduction of the recently-developed Model IT-340 "handy-type" non-contact infrared thermometer. The IT-340 comes in two types, (1) a general-use type and (2) small spot type. Here we discuss the specifications and special features of the small spot type, which can measure the temperature of spots as well as 2.5mm in diameter. The instrument features a sighting device with an optical diode that emits a visible light; this sighting device allows visual delimitation the area to be measured for temperature. The sighting device has been made as small as possible so as not to lose the compactness that was a desirable feature of our previous model, the IT-330; the diameter of the IT-340 probe (with the sighting device) is only 1.2 times that of the IT-330 probe. This paper discusses the sighting device with specific reference to (1) its configuration, and (2) the details of the optical system used. Several examples of measurement applications are given, with proposals for expanding the possible types of measurements.

## 1. はじめに

温度計測に関するニーズは、技術の進歩に比例して増加の一途をたどり、温度センサーや温度計測装置など、新しい温度の計測方法に関する発表は絶えることがない。しかし、これらの多くは実用化されるまでに相当の年月を要し、その上、実用段階においては種々の改良が必要であろう。そうした中で放射温度計は、たいへん古い歴史をもち、ユーザーとメーカーの地道な努力により、簡便な温度計として広く浸透してきている。が、今なおユーザーからの放射温度計の開発や改良の要望は多く、メーカーからも新製品の発表が続いている。これが「温度計測の問題は古くかつ常に新しい」<sup>1)</sup>と言われるゆえんである。

今回われわれは、放射温度計 (IT-330) の上位機種に当たるハンディ型赤外線放射温度計 (IT-340) を開発した。IT-330の最小スポット径が10mmであるのに対し、IT-340の最小スポット径は2.5mmに絞り、小さな対象の測定を可能にした。同時に、測定領域の可視化など、各種の機能の拡大を行った。本稿では、本器の特長的な機能と構造、応用測定例をいくつか紹介する。

## 2. 赤外線放射温度計の原理と基本構成<sup>2)</sup>

### 2.1 赤外線放射

地球上の全ての物体は、絶対零度より高い温度をもっており、また、絶対零度より高い温度にある物体は、その温度と表面の性状に応じた電磁波を放射している。絶対温度  $T$  K (T Kelvin) にある物体の分光放射輝度  $W_\lambda$  は、(1)式のプランクの式で与えられる。

$$W_\lambda = \epsilon_\lambda C_1 \lambda^{-5} [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]^{-1} \quad (1)$$

ここで、 $\lambda$  は波長、 $C_1$  は放射の第1定数 ( $3.74 \times 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^4$ )、 $C_2$  は放射の第2定数 ( $1.44 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ )、 $T$  は絶対温度であり、また分光放射率  $\epsilon_\lambda$  は各物体に固有の係数で、物体の分光放射輝度を同じ温度の黒体の分光放射輝度で割った値として定義されている。また、黒体は各温度において最大の電磁波放射を行う理想の物体で、その放射率は1として定義されている。図1は、常温から6000 Kまでの温度範囲において、黒体から放射される電磁波の分光放射輝度を示したものである。

この図からわかるように、全ての物体は、X線から遠赤外線まで非常に広い波長範囲の電磁波を放射しているが、とくに、室温から数百度までの温度領域での放射は  $10^{-6} \text{ m}$  から  $10^{-5} \text{ m}$  の波長範囲の光、いわゆる赤外線を中心に放射している。赤外線放射温度計は、測定対象となる物体から放射される赤外線の放射量を測定することによって、物体温度を求めることを基本原理としている。

### 2.2 放射温度計の構成

赤外線放射温度計の構成を図2に示す。物体から放射された赤外線は、レンズなどの光学系で赤外線センサへ集光される。入射した赤外線エネルギーに比例した出力信号が赤外線センサから発生し、この赤外線センサの絶対温度を測る基準温度センサの出力信号とともに、アナログ回路に入力される。これら二つの信号はAD変換されて、マイクロコンピュータに入力される。ここで基準温度の補正や放射率の補正などをほどこされた上で温度に換算され、液晶によって温度が表示される。

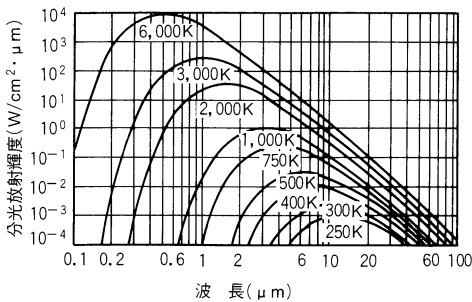


図1 黒体の温度と分光放射輝度  
Black-body temperature and spectral radiance

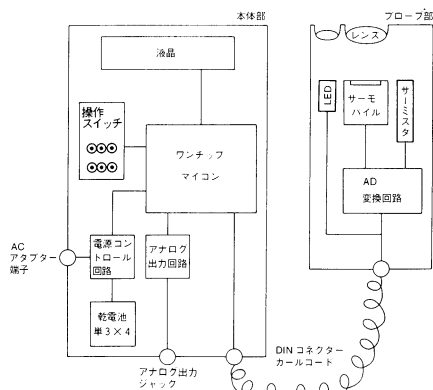


図2 赤外線放射温度計 (IT-340) の構成  
Configuration of the Model IT-340 infrared thermometer

### 3. IT-340の特長的な構造と機能

現在市販されている携帯型の放射温度計には、光学系およびセンサ部と操作表示部とが別々で、両者がケーブルなどで接続された分離型のものと、これらが一体型になったものがある。前者の分離型はごく近距離の対象物の温度測定に適しており、一方、後者の一体型は比較的離れた対象物の温度測定に適している。

IT-340は分離型で、実験機の上の対象物や保守中の装置内の部品など、手近な物体の温度測定に最も適している。図3にIT-340の外観を示す。

これまで、分離型においては近くのもので、しかも比較的測定面積の広い対象物が多く、照準器がなくても十分実用的であった。しかし最近、数mm程度の対象物の温度測定ニーズが高まっており、測定視野の小スポット化が要求されている。これにともない、分離型においても、測定領域の特定ができる照準器を装備する必要性がでてきた。一方、携帯型放射温度計は、実用面からはコンパクトさが最も重要である。IT-340は、新たに開発した照準器光学系を適用することにより、IT-330のもつコンパクトさを生かし、かつ測定領域の特定が可能な機能もっている。さらに、低温域での測定精度を一層向上させ、より使いやすい機能も付加した。

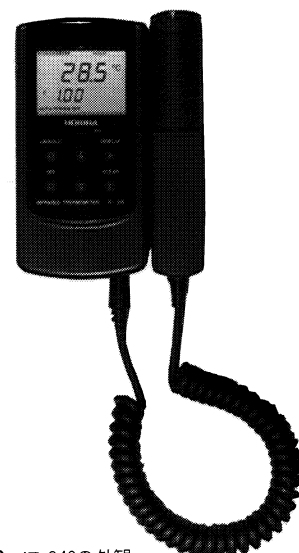


図3 IT-340の外観  
External view of the Model IT-340

#### 3.1 プローブ部の構造

図4にプローブ部の構造を示す。このプローブ部は、測定光学系、照準器光学系および電気回路で構成されている。

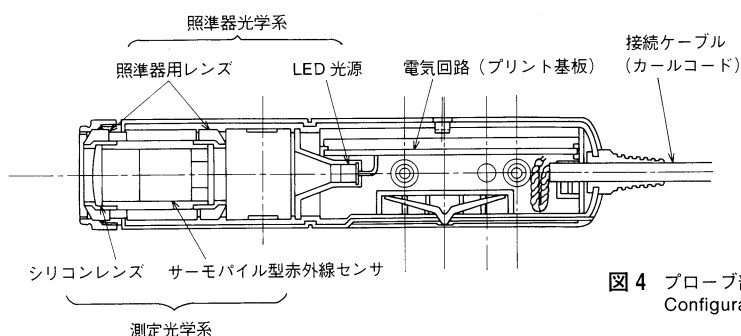


図4 プローブ部構成  
Configuration of the probe

##### (1) 測定光学系

測定光学系は、集光用のシリコンレンズと赤外線センサ部より構成されている。

一般の集光系においては、カセグレン方式などのミラーを使った反射光学系を用いることがよく行われる。カセグレン方式は、色収差がなく、光軸方向の寸法も小さくできるなどの点から、主に口径の大きな集光系に使われている。

一方、コンパクトさを必要とするIT-340では、口径の小さな集光系を実現するためにレンズ方式を採用した。また、レンズ材料としてシリコンを使った。これは、シリコンの屈折率が赤外線放射温度計でよく使われるフッ化バリウムより高く、レンズの曲率を大きくしなくても焦点距離を短くできるためである。これにより単レンズで、しかも球面収差が小さく、小スポット径の温度計測が可能となった。ただし、シリコンの場合は、レンズの表面における反射ロスが多くなるので反射防止コートをはどこしている。また、赤外線センサは、受光面が直径1mmのサーモパイルを採用した。

これらを組み合わせて、プローブの先端から30mmの位置において、直径2.5mmの最小スポット径を得た。図5に、本測定光学系の、スポット径と距離の関係を示す。

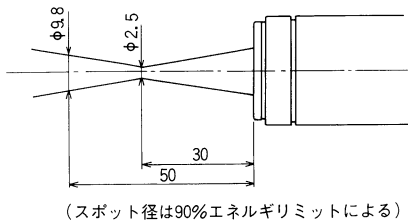


図5 小スポット型測定光学系のスポット径と距離の関係  
Relationship between spot diameter and distance in the small-spot-measurement optical system  
(スポット径は90%エネルギーリミットによる)

## (2) 照準器光学系

一体型の放射温度計の照準器光学系では、ファインダー式が広く使われている。ところが、近距離にある小さな対象物、たとえば実験机の上に置いた微小な物体の温度の測定を行うときは、ファインダーを覗きながら正確な位置合わせをしなければならないが、これは非常に煩わしい作業となっている。これは図5に示すように、小スポット温度計では測定距離が少し変わると、スポット径が大きく変化するため、さらに深度方向の位置調整も必要となるからである。

最近、近距離測定に重点をおいた分離型小スポット放射温度計で、この欠点を解決するため、LED発光素子を使って測定対象物を照射するLEDマーカ方式の照準器光学系を用いたものが実用化されている。これらは、例えば図6(A)、(B)に示すように、カセグレン光学系の副鏡の裏面に照準光学系を置いたり、測定光路中にハーフミラーを置いている。

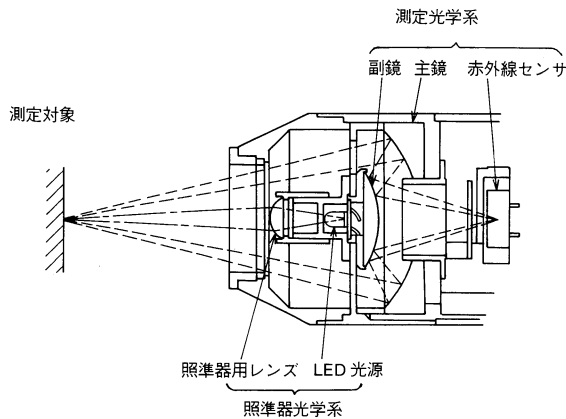


図6(A) 副鏡裏面に照準器を置いた例  
Example when the pointer is placed on the rear of the secondary mirror

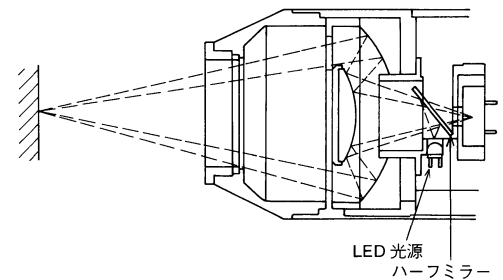


図6(B) 光路中にハーフミラーを置いた例  
Example when the half-mirror is placed in the optical path

ところで、コンパクト性を追求するIT-340は、先に述べた理由から測定光学系としてシリコンレンズを採用している。シリコンレンズは、可視光線を透過しないため、上記のような照準器光学系は使うことができない。そこで、われわれは、測定光学系の外側にドーナツ状のレンズを2枚配置し、センサの後方に設置したLED光源からの可視光を、測定光学系と共軸で測定対象に導くことができる新しい照準器光学系を開発した。図7にその構造を示す。

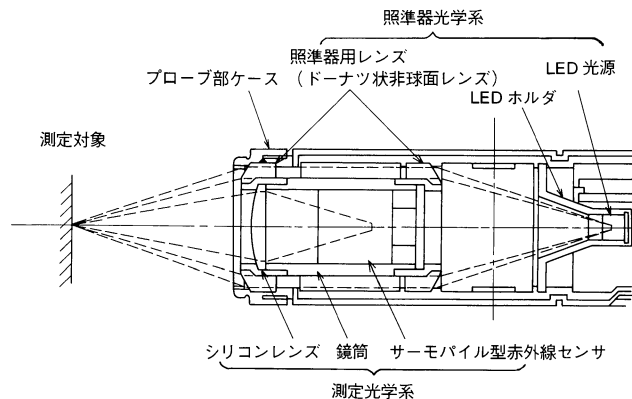


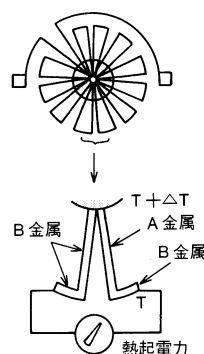
図7 新方式LEDマーカの構造  
Configuration of new-type LED marker

### (3) 赤外線センサ

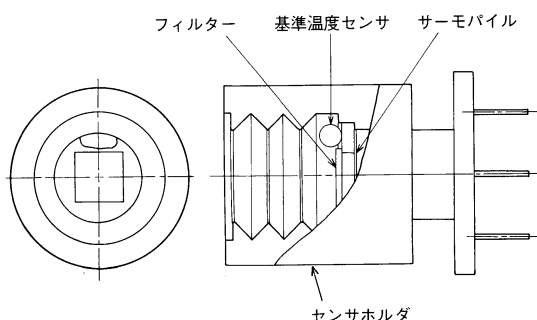
IT-340に使用しているサーモパイル型赤外線センサは、**図8**に示すように、複数の熱電対を直列に接続し、熱電対列の温接点側を受光部としたものである。熱電対列は、絶縁膜上に真空蒸着法により形成される。さらに受光部には、赤外線を吸収しやすいように金ブラックなどの増感処理がほどこされる。一方、冷接点側は、熱が逃げやすいようにヒートシンク上に置かれる。

ところで、サーモパイル型赤外線センサは、受光面へ赤外線が入射すると温接点と冷接点との間に温度差が生じ、熱起電力を発生するが、熱電対と同様に、絶対温度を知るためには冷接点側の基準温度補償が必要となる。

放射温度計では、測定対象物に計器を近づけて測定を行うと、100℃以下の対象物でも指示温度にドリフトを生じることがある。これは主に、測定対象物からの輻射熱によって、サーモパイル型赤外線センサの冷接点の温度と、基準温度補償用温度センサの検知温度とのずれが生じることに起因する。そこで、IT-340には**図9**に示すように、特殊な構造の赤外線センサを開発し、採用している。この結果、 $\pm 0.05\% \text{FS}/^\circ\text{C}$ と非常に小さい温度ドリフトの計器を実現した。



**図8** サーモパイル型赤外線センサの素子部  
The element portion of the thermopile infrared sensor



**図9** サーモパイル型赤外線センサの構造  
Configuration of the thermopile infrared sensor

## 3.2 特長的な機能

IT-340には、ハンディ型赤外線放射温度計として高精度で、しかも誰もが手軽に使うことができるような各種の機能がある。**図10**は、IT-340の本体部の操作表示部である。

### (1) 最大値・最小値演算機能

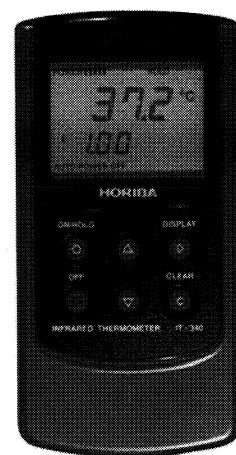
測定中に常に最大値・最小値の演算を行っており、現時点の温度の表示をするほかに、副表示部に最大値または最小値のいずれかを表示させることが可能となっている。また、CLEAR キーを押すことにより、その時点までの最大値・最小値が消去され、その時点から新たに最大値・最小値の演算が再開される。

### (2) 放射率設定機能

測定対象物に合わせた放射率の設定が必要であるが、本器では1.00から0.10までの範囲を、0.01ステップで設定が可能である。また、放射率の値は副表示部に表示させることができる。

### (3) デイレー演算機能

温度変化の激しい対象物を測定する場合は、適当な時定数 ( $\tau$  値) に設定することができる。この機能により、平滑化された温度測定 (スムージング) を



**図10** 本体部の操作部・表示パネル外観  
External view of the main control unit/display panel

項目	汎用型	小スポット型
測定温度範囲	-50℃~500℃	
測定波長	8~12μm	8~16μm
検出素子	サーモパイル	
精度	±2℃ or ±1% Reading (0~500℃)	
再現性	±0.5℃	
表示分解能	0.1℃	
応答速度	1.5秒以下 (95%応答にて)	
視野/距離	φ20/100mm	φ2.5/30mm
使用温湿度範囲	0~50℃, 35~85% Rh 以下	
寸法	本体部 72×140×33.5mm	プローブ部 29×140×33.5mm
重量	本体部 240g	プローブ部 160g
照準器	なし	LED マーカ方式
その他機能	最大・最小値演算 放射率設定 0.10~1.00 ディレイ演算 τ値設定 0~100 ホールド アナログ出力 1mV/℃ バッテリー残量表示 摂氏・華氏表示切換 ACアダプタ端子	

表1 IT-340の仕様と機能  
Specifications and functions of the Model IT-340

行うことができる。なお、τ値は0から最大100まで0.5ステップで設定することができる。

#### (4) ホールド機能

測定中にキーを押すと、その時点での温度をホールド表示する。

#### (5) アナログ出力機能

測定中の温度を、1mV/℃のアナログ電圧で取り出すことができる

表1に、IT-340の仕様と機能をまとめて示す。

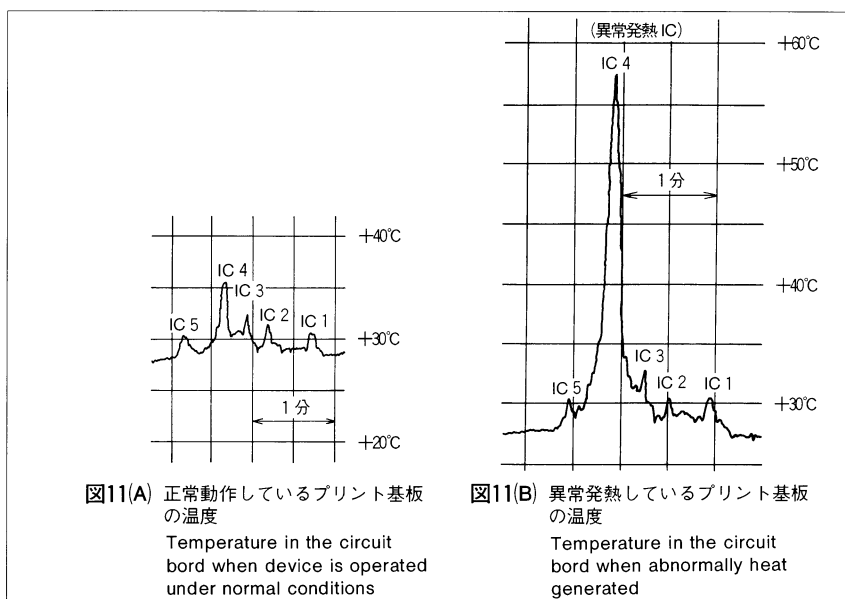
## 4. IT-340の温度測定応用例

IT-340は、接触式温度計と同様の感覚で使える手軽さに加え、測定径が2.5mmと小さく、しかもアナログ電圧出力をそなえた事により、用途が大幅に増えるものと思われる。以下にいくつかの測定例を紹介する。

### 4.1 電子部品の温度測定例(1)

電気技術者は、よくプリント基板上の部品に指を触れて、その熱さから部品が正常に動作しているかどうかを判断することがある。また、部品の定格付近での使用における上昇温度を知っておきたいこともある。このような場合、接触式温度計では表示が安定するまでに時間がかかったり、センサ部で回路をショートさせてしまう恐れさえある。このようなとき、非接触式の放射温度計は便利である。

図11(A)は、通電状態にあるプリント基板(表面実装)上を、約1mm/sの速さでIT-340を移動させたときの温度指示値の変化を示している。ICの上を通る時には指示の上昇が見られ、ICが発熱していることがわかる。また、図11(B)は、IC4の出力が電源ラインとショートしていた基板の測定結果である。この例のように、電子部品の正常動作時の上昇温度をあらかじめ知っておけば、異常発熱のチェックも可能である。





## 4.2 電子部品の温度測定例(2)

物体の表面温度を接触式の温度計で測定するとき、われわれは細手の熱電対を、張り付けたり埋め込んだりすることがある。しかし、この手法は取り扱いが面倒で、取り付けにもある程度の熟練が必要となる。特にゴム・プラスチックや紙など、熱伝導の悪い物体の場合には、熱電対の出力が物体の温度を正確にとらえているとはいえないことも多い。

図12は、プラスチックモールドされた温度センサ(素子抵抗 $1\text{ k}\Omega$ ( $0^\circ\text{C}$ ))の表面温度が、センサに流す電流を変えたときに変化する様子を示す。この例などは、放射温度計が測定対象物に影響を与えず、熱容量の小さな物体の温度測定に適している典型的な測定例である。

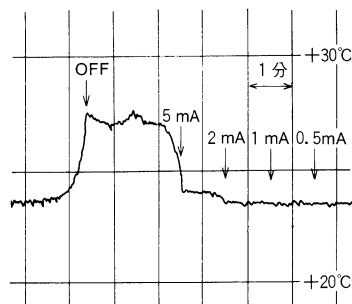


図12 印加電圧の違いによる温度センサの表面温度の変化  
Surface temperature change of the temperature sensor as the result of voltage applied

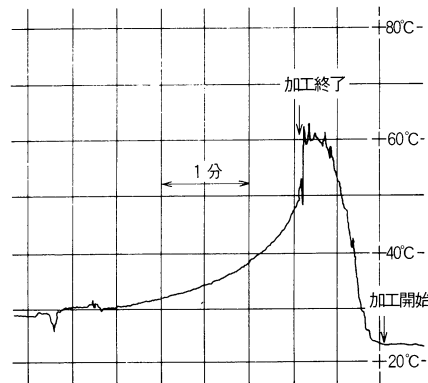


図13 ドリルによる穴あけ加工時のプラスチック板の温度変化  
Temperature change of plastic plate when drilling a hole

## 4.3 可動部の温度測定

放射温度計は、摩擦熱による誤差やセンサ部の摩耗の心配がないので、動いている物体の温度測定にも適している。

図13は、プラスチック板にドリルで直径5 mmの穴をあけている箇所をななめ上から測定した結果を示したものである。

## 4.4 化学反応による発熱の観察

化学反応で生じる熱の実測例を示す。図14は、10分室温硬化タイプのエポキシ系接着剤の二液を混合した後の温度変化を測定したものである。

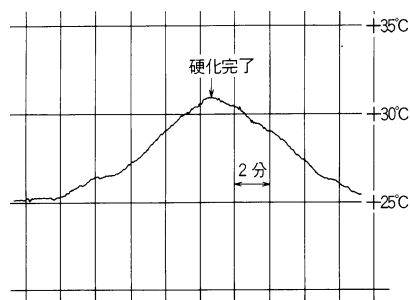


図14 接着剤の硬化過程の温度変化  
Temperature change of adhesive agent when hardening

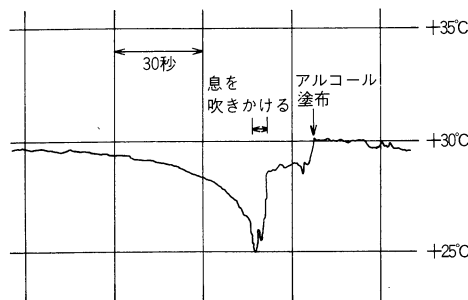


図15 アルコールの気化熱による手の甲の温度変化  
Temperature change of the back of the human hand from the evaporation heat of alcohol

## 4.5 人体表面の温度測定

人体の表面は、常に大気にさらされており、周囲の環境条件により変化する。

図15に、手の甲にアルコールを塗布したとき、気化熱によって手の表面温度が下がっていく様子を示す。

#### 4.6 光沢金属面の温度測定

一般に光沢金属面は放射率が低いので、放射温度計での測定はそのままでは困難である。そのため、対象物に黒体塗料を塗るなりテープを貼るなりして放射率を上げてやり、その上から測定する方法がある。しかし、この方法は測定後、それらをはがしてやる必要がある。そこで、このような場合には図16(A)のように、放射温度計のフードに薄いゴムでできたアダプターを取付け、それを対象物に押しあててこのゴムの表面温度を測定することで、間接的に対象物の温度を知る方法が提案されている。図16(B)は、クロームめっきがほどこされた銅製のブロックの表面温度を、この方法で測定した例を示したものである。この方法は、インジェクション成型の製品面の温度測定のように、接触式の表面温度計で対象物に傷をつけることを極度に嫌う場合に利用される。

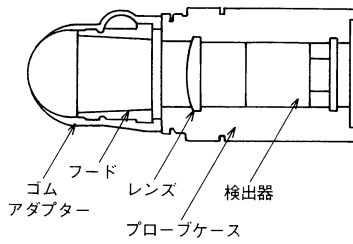


図16(A) ゴムアダプタを装着したプローブ  
Probe attached with rubber adaptor

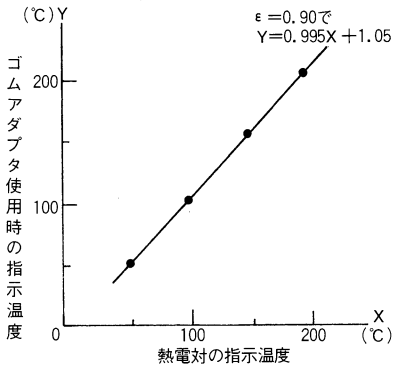


図16(B) クロームめっきされた銅ブロックの表面温度の熱電対と IT-340 の指示温度の比較  
Temperature readings given by the Model IT-340 of surface temperature on a Cr-plated copper block compared with thermocouple results

#### 5. まとめ

当社がハンディ型放射温度計 IT-330を製品化してから、1989年5月で丸3年になる。従来にない低価格、かつ高精度な放射温度計として反響を呼び、放射温度計測の拡大に貢献できたのではないかと判断している。

温度測定に関するニーズは、高い計測精度の確保はもちろん、より安価で簡便な測定器への期待が高い。放射温度計を用いた温度測定は、測定対象それぞれに適合した測定技術<sup>3)</sup>もまた重要となる。応用測定例の最後に紹介した光沢金属の表面温度測定はその典型的な例であろう。

今回開発したハンディ型赤外線放射温度計 (IT-340) が、多くの人々に利用され、「赤外線放射温度計は価格が高く、重くて使いにくく、その上精度が悪い」といったマイナスイメージをぬぐい去ることを願っている。

#### 引用文献

- 1) 『温度計測の実務』 編纂委員会 “温度計測の実務” p9, 日本工業出版(1976)
- 2) 石田雅治, 野村俊行 “ハンディ型放射温度計” センサ技術, Vol. 7 No.10 p74-79(1987)
- 3) (社)日本電気計測器工業会 “温度計の正しい使い方” 日本工業出版(1990)



野村 俊行

開発4部 係長  
1951年4月2日生  
舞鶴工業高等専門学校  
機械工学科



大須賀 直博

開発4部 主任  
1957年10月12日生  
立命館大学理工学部  
数学物理工学科



