技術資料

走査型放射温度計の高機能化

水野正志*, 八木富一*, 宇津野光朗*, 矢野泰三*

A New Radiation Thermometer of Linear Scanning Type with High Functions

Masashi Mizuno, Tomikazu Yagi, Mitsuo Utsuno and Taizou Yano

Synopsis

A new radiation thermometer of linear scanning type which is convenient and has various functions is introduced in this report. These functions are realized by microcomputers.

The new major functions are following.

- (1) Temperature distribution measurement.
- (2) Selection of output type of measurement temperatures.
- (3) Digital signal communication to external facilities. (ex. a personal computer)
- (4) Proportion setting of usual output positions in a temperature distribution.

1. はじめに

鉄鋼の製造をはじめ温度を取り扱う各種業界において、非接触测温手段としての放射温度計の需要は年々増加してきている。また使用量の増加とともに、微小物体や振動物体あるいは幅広物体の多点测温とバラエティに富んだ测温が要求されるようになってきている。大同特殊鋼㈱（以下当社という）ではこれらの要求に答えるべく、1次元イメージセンサを検出素子とした走査型放射温度計を開発してきた。

しかし従来の走査型温度計では、マイコン処理速度が遅いため、1次元的な放射エネルギー分布を検出しながらも温度としての出力は4点（最高温度1点＋任意指定位置3点）だけであった。また温度出力もノイズなどを含んだ測定値をそのまま

出力するなど機能の低いものであった。

走査型放射温度計は、放射エネルギーを検出して電圧に変換する検出器と検出器からの電圧信号を温度に変換して表示などをおこなう変換器とで構成されるが、今回、変換器に分散型マイコンシステムを採用することによって、温度分布の測定や温度出力のモード化など機能向上させることができたので、ここにその内容を報告する。

2. イメージセンサによる温度測定

イメージセンサを用いた温度測定の概要を第1図に示す。測定視野内にある測定物体からの放射エネルギー（赤外線）は、温度計前面のレンズにより集光されイメージセンサ上に結像する。イメージセンサは放射エネルギー検出単位であるシリコンセル（受光面 $28\mu\text{m} \times 28\mu\text{m}$ ）が多数直線上に並んだ形状をしており、個々のセルは結像面上の放射エネルギーに比例した出力電圧を発生する。したがってセル出力電圧を順次走査し取り出すことによ

昭和63年5月16日 受付

*大同特殊鋼㈱研究開発本部

り、直線上の放射エネルギー分布が検出できる。この放射エネルギー（セル出力電圧）と温度とは式(1)に示す関係がある。したがって第1図の方法により直線上の温度分布が測定できる。

$$V = C \cdot \exp \left(-\frac{C_2}{AT+B} \right) \quad \dots\dots(1)$$

ただし、 V ：セル出力電圧

T ：測定物体温度（絶対温度）

C_2 ：放射の第2定数（ $C_2=0.014388$ ）

A, B, C ：検出波長などによって決まる温度計固有の定数

(1)式によってセル出力電圧から測定物体の温度を求めることを温度換算と呼び、これは精度向上および換算時間短縮のため、マイコンを用いたテーブル方式でおこなっている。

実際にイメージセンサを使用する場合には、セルごとに感度が異なっているため、セル感度補正をおこなう必要がある。セル感度のバラツキを測定すると最大15%のバラツキがあった。したがっ

第1図 イメージセンサによる温度測定

てあらかじめセル感度バラツキを測定しておき、オンライン測定時には500個のセルに対して次式でセル感度補正をおこなっている。

$$V'_i = K_i \cdot V_i \quad (i=1 \sim 500) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし、 V'_i ：補正後セル出力電圧、 V_i ：セル出力電圧、 K_i ：感度比補正係数（ $K_i \geq 1$ ）である。 K_i はバラツキ測定時の最小セル感度を基準とする。

以上述べてきたセル感度補正および温度換算を全セルに対して実施すると処理時間が長くなり、オンライン測定に適さなくなる。したがって従来は、最高温度と使用者が任意に指定した3点の位置の計4点だけを温度出力していた。

3. 分散型システム

今回の改良にあたり、1) オンラインでの温度分布、測定を可能とする。2) 精度を向上させるためマイコンで温度換算する。3) 新機能を追加して使い易くする。の3点に重点を置き変換器の構成を検討した。その結果、第2図に示すようなマルチCPUシステムを採用し、並列処理によって全体の処理速度を向上させ前記の3課題を満足するよう設計した。電子回路ではセル感度補正、CPU 1では温度換算を主体とし最高温度検出・測定物体幅検出など測定を分担、CPU 2では温度分布測定結果を基にして各種入出力制御を分担というように処理を3つに分散させた。各処理間はデュアルポートRAMによるバッファ（電圧バッファおよび温度バッファ）を介してデータを伝達する。デュアルポートRAMは両側のバスが独立して

第2図 ハードウェア構成

アクセスできるため、バス制御が簡単となると同時にウェイト状態が生じず高速でアクセスできる利点がある。

4. 新 機 能

分散型マイコンシステムを採用し、入出力制御専用となったCPU 2（第2図参照）は、上・下限警報出力のような従来からの機能の他に、空き時間を利用して種々の機能を追加させることができた。以下に主な新機能を示す。

4.1 温度分布出力機能

今回の開発により温度分布が出力可能となったため、温度分布測定の精度実験をおこなった。実験方法は第3図に示すように、完全拡散面とみなせる石コウボードに光を照射して測定面とし、これを走査型放射温度計で測定した。測定面は温度差が生じるように不均一な光強度分布とした。また走査型温度計のファインダ内目盛位置（測定視野が10等分に目盛付けされている。）と同一部位をスポット型放射温度計で測定し基準温度とした。スポット型温度計は、検出波長が走査型温度計と同じ $0.9\mu\text{m}$ 単波長であり、測定面との距離・角度を変えないように移動させて直線上の温度を11点測定した。

実験結果は温度差 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内と良好な測定精度が得られた（第4図）。なお第4図で実線は走査型温度計の測定値を示し、丸印はスポット型温度計で測定した温度基準値を示す。

4.2 温度出力の多モード化

測定した温度分布中の最高温度や指定した任意位置（最大3点）の温度は、温度分布出力とは別

端子から出力している。従来の走査型温度計はこの温度出力を用いて記録計での記録や、制御装置へ入力して温度管理をおこなっていた。しかし記録結果の読み易さや制御装置側の制約などから、時間平均やピークホールドなど、測定値を加工した出力がほしいという要求が強かった。そこで第1表に示す各種モードを用意し、使用者が自由に選択できるようにした。

また、温度出力（アナログ出力）にスケールリング機能を追加した。従来の温度出力では、測定温度範囲を出力フルスパンに固定して対応させていた。例えばLS-06型（旧型）の場合、測定温度範囲は $600\sim 1100^\circ\text{C}$ であり、電圧出力フルスパンは $0\sim 10\text{V}$ であった。したがって温度出力値が 600°C 、 850°C 、 1100°C の場合、電圧出力は各々

実線は走査型温度計で測定した温度分布を示す。
丸印はスポット型温度計で測定した基準温度を示す。

第4図 温度分布測定結果

第3図 温度分布測定の精度実験方法

第1表 温度出力モードの種類

モード種類	出力値イメージ（注）	内 容
Real	—	○ 測定値をそのまま加工せずに出力する
Delay		○ 測定値の移動平均値を出力する ○ 平均時間は 通常1.0sec であるが定数指定スイッチにより変更できる (変更可能範囲 0~9.9sec)
Peak		○ 高温度の測定値に追従して出力する ○ 測定値が出力値より低温の場合 一定の温度勾配で減衰する ○ 減衰の傾き ($T^{\circ}\text{C}/\text{sec}$) は通常 $100^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ であるが定数指定スイッチにより変更できる (変更可能範囲 0 ~ $500^{\circ}\text{C}/\text{sec}$)
Valley		○ 低温度の測定値に追従して出力する ○ 測定値が出力値より高温の場合 一定の温度勾配で上昇する ○ 上昇の傾きに ($T^{\circ}\text{C}/\text{sec}$) は Peak モードの減衰の傾きと同一仕様である
Peak hold 1		○ 高温度の測定値に追従して出力する ○ 測定値が出力値より低温の場合はそのままの出力値を維持する（減衰はしない） ○ 測定物が視野から外れた後 次の測定物が視野内に入るまで 最大出力値を保持する
Peak hold 2		○ 測定物が視野内に入ってから視野から外れるまでに測定した最高温度を出力する ○ 出力は測定物が視野から外れた瞬間から次の測定物が視野から外れるまでの間保持する

〔注〕 出力イメージ図中 縦軸：温 度 横軸：経 過 時 間 を示す
出力イメージ図中 点線：測定値 実線：温度出力値 を示す

0 V, 5 V, 10 Vであった。しかし使用者が他の温度計を走査型温度計に置き換える場合や、測定したい温度範囲が狭い場合など、従来の記録計用紙を継続して使用できない、記録結果読取精度が落ちる、などの問題があったため、出力フルスバ

ン相当の温度出力下限値および上限値を使用者が任意に設定できるようにした。これにより記録計がより有効に利用できるようになった。なお出力電圧値は(3)式で計算している。

$$\text{出力電圧値} = \frac{\text{温度出力値} - \text{温度出力下限値}}{\text{温度出力上限値} - \text{温度出力下限値}} \times 10 \text{ [V]} \dots\dots\dots(3)$$

ただし温度出力下限値・上限値は測定温度範囲外には設定できない。

4.3 位置指定の比率設定機能

位置指定方法には、測定視野内での位置を指定する絶対位置指定方法と、測定物体端からの位置を指定する相対位置指定方法とがある。相対位置指定方法は測定視野に対して測定物体位置が大きく変動する場合に用いると便利である。従来は位置指定をおこなう時、イメージセンサのセル数を入力していた。しかしこの方法では、例えば測定物体の中心を指定したい場合には、相対位置指定方法で測定物体の端から中心までのセル数を入力しなければならない。そこで測定視野幅と測定物体幅との比率からセル数を計算していたが、直観的に理解しにくかった。

今回、使用者が%比率値を入力すると、それをセル数に換算する機能を付加し、使い易くした。なお%比率値は、絶対位置指定方法の時は全測定視野を100%とし、相対位置指定方法の時は測定物体幅を100%としている。測定物体幅は第2図に示

すCPU 1が温度分布から常時測定している。前述例の場合中心を指定したいから50%と入力すればよい。なお位置指定点数は従来と同様に最大3点までである。

4.4 デジタル入出力機能

パソコンと接続して簡単にデータ収集ができるように、標準的通信方法であるRS-232Cによるデジタル入出力機能を追加した。

出力機能では、最高温度および指定位置温度(3点)は常時出力し、前面パネルの「パターン」鈕を押すかデジタル入力で「パターン出力」コマンドが入力された時に、温度分布(セル数分の温度値、500データ)を出力する。これは温度分布出力は情報量が多過ぎ、通信時間が長くなるため、常時出力させられないことによる。

入力機能では、温度分布出力指示や放射率など各種定数の設定などのコマンド(指令)を設け、マイコンなど外部機器から自由に制御できるようにした。

5. お わ り に

分散型マイコンシステムを採用したことにより種々の機能を追加し使い易い温度計ができた。同

第2表 走査型温度計(検出器)の主仕様

型 式	LS-06	LS-08
測定温度範囲	600~1100℃	800~1600℃
精度(Ta=23℃)	指示値の±1.0%±1デジット(*1)	指示値の±0.7%±1デジット(*1)
温度ドリフト	指示値の±0.03%/℃(*1)	
走査速度	180msec	
検出素子	一次元MOSイメージセンサ(500画素)	
検出波長	0.9μm	
測定距離	1m~∞(クローズアップレンズ装着 0.25m~)	
測定視野	11.4°(200mm/m)	
位置分解能	0.4mm/m(クローズアップレンズ装着 0.1mm)	
最小測定幅	2.0mm/m	
ファインダ視野	13.7°	
使用温度範囲	0~50℃	
接続ケーブル	専用ケーブル使用で最大100m	
重 量	2.5kg	

(*1) 放射率=1.0

第3表 走査型温度計（変換器）の主仕様

型 式	LSP-06	LSP-08
温 度 表 示	デジタル4桁表示（360msec 間隔）	
放 射 率 補 正	1.00～0.10（0.01間隔）	
リニアライザ	ROM テーブル方式	
位 置 指 定 方 法	絶対位置指定または相対位置指定	
出 力 信 号	アナログ：電流 4～20mA または電圧 0～10V （アイソレート出力） 精度 ±0.2%/F.S ピーク温度 1点 位置指定温度 3点 同時出力 パターン出力（0～10V） ピーク温度位置出力（0～10V） デジタル：RS-232C ピーク温度 1点 位置指定温度 3点 同時出力 またはパターン出力	
出 力 間 隔	360msec ただしパターン出力時間（デジタル）は7sec 以上	
警 報	上下限設定：ピーク温度 1点または 位置指定温度 3点の内 1点のみ選択設定可能 出力：上下限外れの接点信号 材料有無の接点信号	
使 用 電 源	AC100～220V±10%（50/60Hz）	
重 量	3.5kg	

時に従来電子回路で実現していた機能もマイコン化したことにより、変換器の形状寸法が $\varnothing 430 \times \varnothing 250 \times \varnothing 450$ から $\varnothing 144 \times \varnothing 144 \times \varnothing 333$ と非常に小型でコンパクトなものとなった。なお走査型放射温度

計の主仕様を第2表、第3表に示す。

今後は、測定視野角の広角化・狭角化など使い易さをさらに追求していきたい。