

2次元放射温度計アイスクエア(ii-1064)

2 Dimensional Infrared Thermometer i-square

中田 嘉昭, 浅野 一 朗



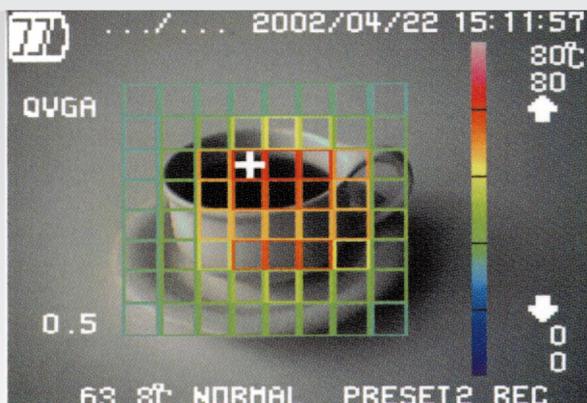
デジカメ感覚の容易な操作性。
しかも計量・コンパクトボディ。



対象物を見ながら64点の温度と画像を同時に記録。

新開発：64素子サーモパイルアレイ

主な放射温度計の心臓部に使われている素子「サーモパイル」。
この素子を多数並べたサーモパイルアレイには、サイズ面や実用性に課題がありました。ホリバでは、これらの課題点を「半導体プロセスによるマイクロマシニング」により達成。微小かつ高感度サーモパイルの開発に成功しました。0.5mmスクエアの素子を縦横それぞれ8素子の計64素子並べた「64素子サーモパイルアレイ」を世界で初めて実用化しました。



要 旨

新しく開発した2次元放射温度計アイスクエアは、放射温度計測と、デジタル画像技術とを融合した今までにない新しい概念の放射温度計であり、温度測定エリアの64点の温度を測定し、カラー液晶画面に可視画像と共に表示できる。アイスクエアは、可視画像と測定温度を同時に表示・記録することができるため、従来の熱画像装置では難しかった測定位置の特定が容易となった。本稿では2次元放射温度計アイスクエアの基本構成、64素子サーモパイルアレイ及び製品の特長について述べる。

Abstract

Recently developed 2-Dimensional Infrared Thermometer "i-square" is an infrared thermometer of a new concept, which combines the digital imaging technology and the infrared thermometry, measures 64 points temperatures in the measurement area and displays the temperatures on a color liquid crystal display combined with the visual image of the temperature measurement area. Since a visible image and temperatures are displayed and recorded simultaneously, pinpointing of the measurement position became easy. This paper describes the basic configuration, 64-element thermopile array and the feature of 2-Dimensional Infrared Thermometer "i-square".

1 はじめに

赤外線を利用した放射温度計は、簡便かつ低価格で非接触の温度測定ができるため、近年さまざまな分野で広く使用されている。一方、非接触で温度分布が測定できるマイクロボロメータなどを利用した熱画像装置は、高価格かつ取り扱いが複雑なため放射温度計ほど普及していないのが現状である。

「もっと簡便に温度分布を測定したい」、「異常温度個所を簡単に見つけたい」というお客様及び現場のニーズに応えるため、多素子サーモパイルセンサとイメージセンサを搭載した2次元放射温度計アイスクエアを開発した。

開発にあたって留意した製品コンセプトは以下のとおりである。

- ・ 非接触温度測定及び温度分布測定
- ・ 異常温度の検出と発熱個所の特定
- ・ 現場での確認・記録
- ・ ポータブル(小型・軽量)
- ・ 低価格

アイスクエアは、放射温度計測とデジタル画像技術を融合した今までにない新しい概念の放射温度計である。本稿では、2次元放射温度計アイスクエアの基本構成、64素子サーモパイルアレイ及び製品の特長について述べる。

2 装置の基本構成と特長

2次元放射温度計アイスクエアは、イメージセンサによる可視画像と、サーモパイル型赤外線アレイセンサによって測定した画像上の温度測定エリアを8×8列に分割した64点の温度とをカラー液晶画面に表示する。可視画像と測定温度を同時に表示・記録することができるため、従来の熱画像装置では難しかった測定位置の特定が容易となった。アイスクエアの基本構成を図1に示す。

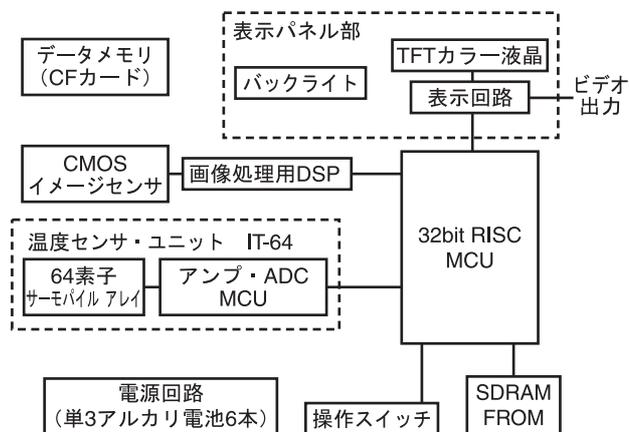


図1 基本構成

装置は温度センサユニット、イメージセンサ及び画像処理用DSP¹⁾、マイクロコントローラユニット(MCU)、表示パネル、データメモリ及び電源回路などで構成されている。

可視画像用センサには、報告書などに貼り付けた時、十分な画質が得られるようカラー30万画素CMOS²⁾イメージセンサを採用した。表示部には屋外または暗所でも十分な視認性を得るため、バックライト付き3.8型TFT³⁾カラー液晶ディスプレイを使っている。また可視画像と測定温度のデータを高速で処理するため、MCUには32 bit RISC⁴⁾タイプを採用した。

画像と測定温度を記録・保存するデータメモリーにはコンパクトフラッシュ(CF)カードが用意されている。CFカードは携帯機器用の不揮発性メモリーとして最近デジタルカメラなどに広く使われてきており、パーソナルコンピュータとのインターフェイスが容易なメモリーである。

温度測定センサとして新しく開発された64素子サーモパイルアレイを温度センサユニット内に搭載した。

3 64素子サーモパイルアレイ

赤外線放射温度計には、複数の熱電対を直列に接続したサーモパイル型赤外線センサが用いられている^[1]。ホリパでは以前からマイクロマシニング技術の開発及びその技術を応用したシリコン(Si)サーモパイルの開発を行ってきた^[2]。SiサーモパイルはSi基板上に半導体プロセスを使って熱電対列を形成するものであり、その特長を生かして多素子化及び電気回路を内蔵したワンチップ化が望まれていた。今回、64素子のSiサーモパイルアレイを開発し、初めて2次元放射温度計に搭載した。図2にサーモパイルアレイのパターンを示す。

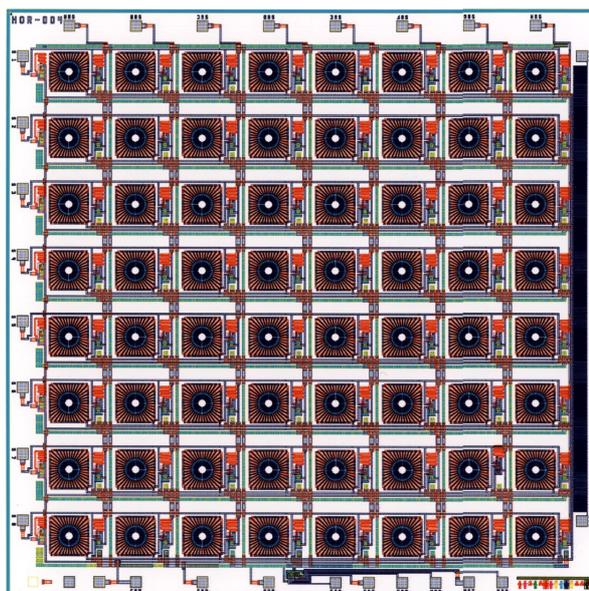


図2 64素子サーモパイルアレイ

サーモパイル64素子は、8mm×8mmのSiチップ上に8×8列で配置されている。また、64点のサーモパイルの出力信号を順次切り替えて出力するため、MOSトランジスタが同じSiチップ上に作製されている。素子の断面を図3に示す。

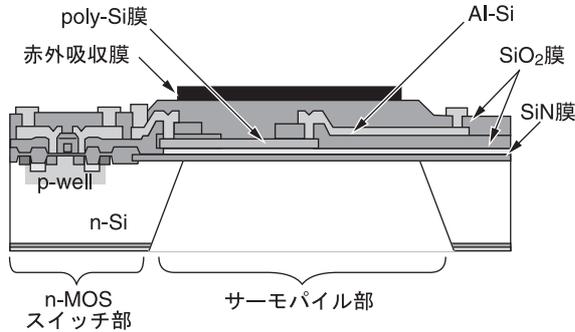


図3 Siサーモパイル断面図

Siサーモパイルを多素子化及び微小化する場合、1素子あたりの受光面積が小さくなることによる感度低下の問題がある。これに対し、マイクロマシニング技術を用いて作成したSi集光ミラーを設けることによって解決することができた。図4にSi集光ミラーとSiサーモパイルの関係を示す。

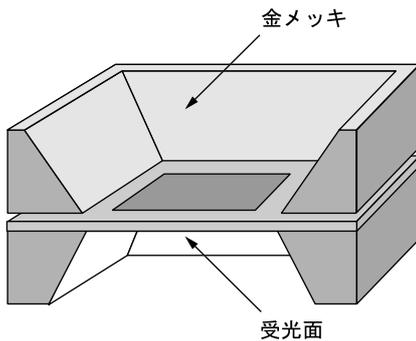


図4 Si集光ミラー

その他の問題として、アレイ型素子特有の歩留りの問題がある。1素子あたりの歩留りが95%でも64素子すべてが残る確率は4%ほどになってしまう。これに対しては半導体プロセス中でのウエハ裏面保護による構造欠陥の軽減、アセンブリ工程における熱履歴の軽減、ワイヤボンディング工程での最適化などによって歩留りを改善することができた。

大気中の水蒸気などの赤外線吸収による測定誤差を少なくするため、サーモパイルアレイのパッケージには8-14μmの赤外線だけを透過させる多層膜干渉フィルタを窓材料としている。このため周囲の湿度の影響が少ない精度の高い温度計測が可能である。

4 信号処理と主な機能

4.1 温度センサユニット

サーモパイルアレイの出力信号は非常に微弱であるため、取り扱いには細心の注意が必要である。64点のセンサの電圧出力は専用の低ドリフト回路で増幅されAD変換された後、温度センサユニットのMCUで温度データに変換され、200msごとにシリアルインターフェイスを通して32bit RISC MCUに送られる。RISC MCUでは、高速モードでは200msごとの瞬時値を、また標準モードでは10回の移動平均値を演算している。

赤外線センサと電子回路を組み合わせた温度センサユニットの放射温度計としての性能を表1に示す。

測定温度範囲	- 50 ~ 1000 °C
測定ポイント数	64点 (水平8列×垂直8列)
測定ポイント・ピッチ	55mm / 距離1m
測定精度	± 2 以内 (0 ~ 200 °C)
再現性	標準モード 2 64ポイントの平均0.5 以下 (0 ~ 1000 °C)

表1 温度センサユニットの主な仕様

温度測定範囲は、- 50°C から 1000°C までの任意の範囲を設定することができ、精度及び再現性などの温度測定性能は、1素子あたりの視野角が小さいにもかかわらず従来の高精度放射温度計と同程度である。また、温度分布を測定するとき問題となる素子間の温度測定値のばらつき、つまり相対精度は、図5に示すように23°Cにおいて2標準偏差(2σ)で0.5°C以下であった。

これは、熱画像装置で使われる雑音等価温度差 (NETD) に換算すると0.25°C以下となり、高価な熱画像装置と同等の温度差検知能力を持っていることがわかる。

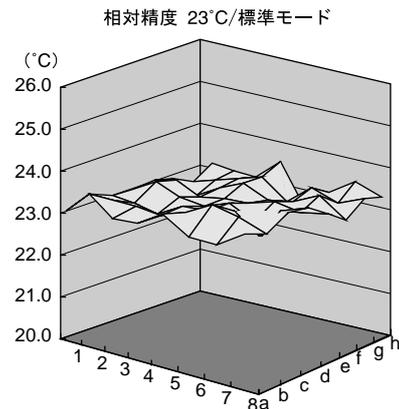


図5 相対精度

4.2 可視画像と測定温度

一方, CMOS イメージセンサによる可視画像信号は DSP で処理された後, 32 bit RISC MCU に送られる。MCU では 64 点の温度データと可視画像を重ね合わせて液晶画面上に表示する。表示例を図 6 に示す。ここでは, 自動車のボンネットを開けエンジンの温度を測定している。

測定エリアを 64 分割した測定点の温度は, 可視画像と共に枠の色変化として表示される。また, 画面内のカーソルを移動させることによって, 任意に選択した枠内の温度を 0.1 単位の数値で表示することも可能である。表示画面はモニタ用にビデオ信号としても出力される。なお, ビデオ信号は NTSC 形式と PAL 形式が使用地域に応じて用意されている。

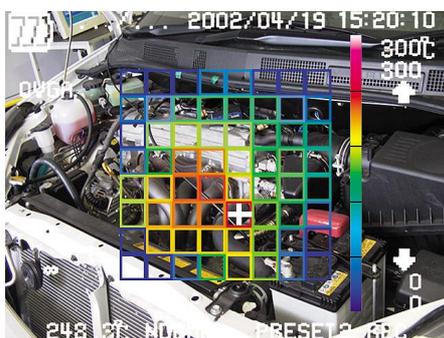


図 6 表示画面の例

可視画像の水平角は 50°, 温度測定視野角は約 24° である。装置と測定対象の距離及び測定エリアと測定間隔との関係を図 7 に示す。

温度測定用センサと可視画像用センサとの間隔があるため, 水平方向に 26mm の視差 (parallax) が生じる。視差は, 測定対象との距離を入力することによって MCU が処理を行い, 可視画像と温度測定エリアの表示を自動的に補正する。

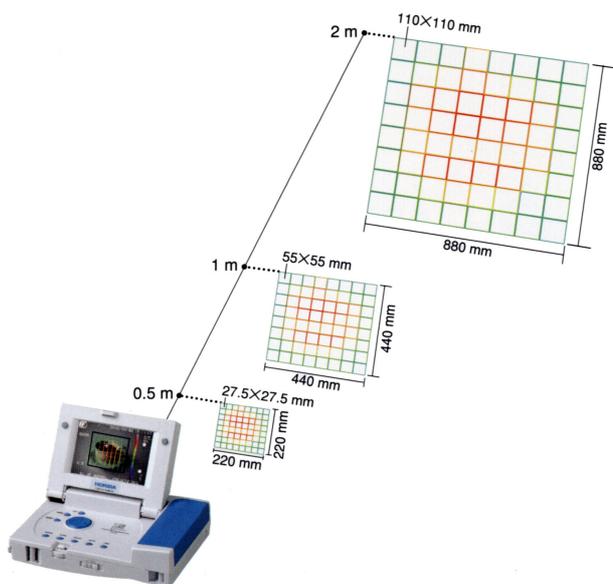


図 7 測定距離と温度測定エリア

4.3 データの記録

表示画像と測定温度は CF カードに記録することができる。測定/ホールドボタンを押すと画像が静止し, 記録ボタンを押すと, 表示画像と 64 点の測定温度が CF カードに保存される。画像データは JPEG 形式で, また温度データは CSV 形式で保存されるため, 専用ソフトがなくてもパーソナルコンピュータなどでデータを簡単に編集することができる。

更に自動測定モードでは, 設定した時間間隔で画像と温度のデータが自動的に記録されるので, 定点での連続自動監視が可能である。

4.4 製品仕様

アイスクエアの主な仕様を表 2 に示す。外形寸法及び重さは小型・軽量であり, 液晶表示部を折りたたむことができ, 持ち運びがしやすい構造になっている。

名称・型式	2次元放射温度計 ii-1064
測定温度範囲	- 50 ~ 1000°C
検出素子	64 素子サーモパイルアレイセンサ
測定ポイント数	64 点 (水平 8 列 × 垂直 8 列)
測定ポイント・ピッチ	55mm / 距離 1m
測定波長	8 ~ 16µm
放射率補正	0.1 ~ 1.00 / 0.01 ステップ
表示分解能	0.1°C 標準モード
測定精度	± 2 以内 (0 ~ 200°C)
再現性	標準モード 2 64 ポイントの平均 0.5 以下 (0 ~ 1000°C)
記録媒体	CF カード (8 ~ 128 MB)
保存形式	可視画像: JPEG, 温度データ: CSV
電源	アルカリ単 3 電池 × 6 本 AC アダプタ
外形寸法	55mmH × 123mmL × 167mmW
重さ	約 700g (電池・CF カードを除く)

表 2 アイスクエアの主な仕様

5 おわりに

以上, 2次元放射温度計アイスクエアについて紹介した。アイスクエアは, デジタルカメラと放射温度計が融合した新しい概念の製品であり, 変電設備の異常発熱個所の特定や冷蔵庫内の温度分布の測定・監視などさまざまな分野での活躍が期待されている。

脚注

- 1) Digital Signal Processor
- 2) Complimentary Metal Oxide Semiconductor
- 3) Thin Film Transistor
- 4) Reduced Instruction Set Computer

参考文献

- [1] 野村ほか, ハンディ放射温度計 IT-540 シリーズ,
Readout No.17 September 1998
- [2] 中田ほか, 薄膜技術を用いた赤外線センサ, Readout
No.21 September 2000



浅野 一郎
Ichiro Asano
エンジン計測開発部
新事業統括センター開発部 兼任
シニアマネージャー



中田 嘉昭
Yoshiaki Nakata
新事業統括センター 開発部