

Product Introduction

新製品紹介

設置・組込型高精度放射温度計IT-480シリーズ

Introduction of the high precision stationary IR Thermometer IT-480 Series

瀧口 悠

Yu TAKIGUCHI

設置・組込型高精度放射温度計IT-480は、ファクトリー・オートメーション及び各種工場の温度管理が必要な現場において、対象物の温度を高精度で測定できることを目的として開発した。本製品は、熱電対や白金測温抵抗体といった従来の接触型温度計と異なり、対象物が放出する放射エネルギーを計測することで、非接触・非破壊で温度測定が可能である。Micro Electro Mechanical Systems (以後はMEMSと表記)技術を用いたサーモパイルセンサー、大気の影響を除去する光学フィルター、温度測定の校正基準となる高精度黒体炉を用いることで、高精度及び高再現性を実現した。本稿では放射温度計の測定原理や特徴を述べ、設置・組込型高精度放射温度計IT-480シリーズを紹介する。

IT-480 series is infrared radiation thermometer and developed for industrial need temperature control with high accuracy and high repeatability. IT-480 series can measure temperature non-contactly and nondestructively by measuring infrared rays from measurement target, different from conventional contact thermometer. High accuracy and high repeatability were realized by thermopile sensor using MEMS technology of silicon semiconductor process, optical interference filter eliminating influence of atmosphere, and high precision blackbody furnace as calibration standard for temperature measurement. In this paper, we describe the measurement principle and features of radiation thermometer and introduce the high-precision infrared thermometer IT-480 series.

はじめに

ファクトリー・オートメーション(FA)、食品の安全安心、物流、防災、セキュリティといった各種工業において温度計測のニーズがますます高まっている。従来から製造プロセスのアラーム用途や品質管理を目的として、温度管理は重要だったが、最近では半導体の製造プロセス等で温度制御を前提としたプロセスが開発されており、高精度で温度を計測するニーズが増えてきている。また、近年ではモノ(物)のインターネット(IoT: Intenet of Things)分野での温度情報の活用も期待される。

温度測定の方法は2種類に分類される。センサそのものが測定対象物に接触することに生じる熱起電力や素子の特性変化から温度を求める方法(代表例:熱電対式温度計,サーミスタ)と、測定対象物から放射される電磁波を検出して温度を求める方法(代表例:放射温度計)である。

非接触で測定できる放射温度計は、対象を破壊することな

く、対象物の熱を奪うことなく、さらには対象の熱で温度計自体が劣化することもなく温度を測定できるメリットがある。一方、その測定原理から起因するノイズ要因や、あるいは非接触式特有の放射率といったパラメータがあるため、接触式温度計と比べ、放射温度計の使用者には十分な測定原理への理解が求められる。当社では1984年から放射温度計を開発^[1]し続け、各時代のニーズに応えとともに、「放射温度計のすべて^[2]」の発行等、顧客サポートを通じて放射温度計の普及に努めてきた。

設置・組込型放射温度計としては前製品であるIT-450シリーズを販売していたが、近年の高精度温度測定の需要増加に対応するため、より高精度測定を可能とし、さらに各種ユーザビリティ向上を図った後継機種としてIT-480シリーズを開発した。

本稿ではIT-480シリーズの特徴を紹介するほか、改めて放射温度計の測定原理についても説明する。

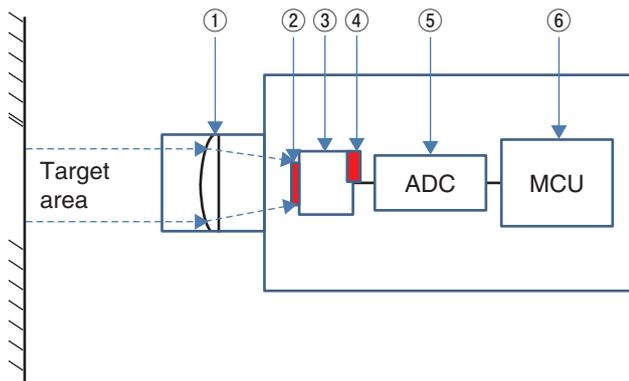


Figure 1 放射温度計の基本構成図

放射温度計の測定原理

基本原理と装置構成

すべての物体はプランクの放射則に基づき、その物体が持つ温度に応じた電磁波を放射している。常温付近の測定の場合、放射される電磁波は赤外線領域となる。物体が持つ温度が高くなればなるほど、放射される赤外線の量も増えるため、それを赤外線検出器で測定して演算することで温度計測が可能となる。ただし、放射される赤外線量は温度だけではなく、物体ごとに異なる放射率というパラメータで変動するため、放射温度計は対象物に合わせて放射率設定を最適化する必要がある。ここで、放射温度計の構成をFigure 1に示す。対象物から放射された赤外線はレンズ①で集光され、光学フィルタ②によって測定したい波長に絞った後に、赤外線検出器③に到達する。赤外線検出器では、入射した赤外線量に応じた電気信号が発生する。また、この赤外線検出器自体の基準温度を測る基準温度補償用温度センサ④の信号とともに、アナログ信号をデジタル信号に変換する回路⑤を通して、マイクロコンピュータ⑥に入力される。マイクロコンピュータでは、基準温度の補正や放射率の補正が施された後、温度に換算される^[3]。

赤外線検出器

本稿で紹介する放射温度計では赤外線検出器としてサーモパイルセンサを用いている。サーモパイルセンサは、微小な熱電対を多重に配列したセンサである。すなわち熱電対の原理と同様にゼーベック効果(温接点、冷接点として配列された異なる金属の接点に温度差を与えると電圧が発生すること)を用いて赤外線を電気信号に変換し、出力している。また、これも熱電対と同様、出力された電気信号は温接点と冷接点の温度差に比例した信号であるため、実際の温度測定には基準温度となる冷接点の温度測定が必要となる。通常、サーミスタ等の素子をセンサに組み込むことで同時計測している場合が多い。

光学フィルタ

対象物が放射した赤外線は大気中を通過して赤外線検出器に

到達するが、大気中の水蒸気や二酸化炭素等の気体が特定の波長の赤外線を吸収するという問題がある。大気中を通過する距離が長くなればなるほど大気による赤外線の吸収量も増えるため、あたかも対象物の温度が下がったように測定される。対象物と放射温度計の距離が変わっても、対象物の温度が変わらなければ当然測定値も一定であることが望ましいため、当社の放射温度計では、「大気の窓」と呼ばれる大気による赤外吸収が少ない領域を選択的に透過させる光学フィルタを用いて8~14 μmの赤外線のみを検出している。これにより、放射温度計と対象物の距離に依存することなく、放射温度計に入射する赤外線の総量が安定するため、高精度な測定が可能となる。

放射率

物体が放射する赤外線量は温度によって比例するが、それだけではなく、物体が持つ固有のパラメータである放射率によっても変動する。そのため、温度を測定する際には、あらかじめこの値を調べて、放射温度計に放射率補正值を設定しておく必要がある。皮膚、水、ゴム、プラスチック等、代表的な物体の放射率は既知であるため文献で調べることが可能である。

高精度温度測定を実現する技術

IT-480シリーズでは、高精度の温度測定のため、長年培ってきた赤外線計測技術を始めとして、放射温度計の重要な技術は自社で保有している。これらの技術により、業界最高水準の高精度温度測定および測定再現性を実現できた。

サーモパイルセンサ(赤外線検出器)

サーモパイルの基本については前述した通りだが、当社ではさらに、放射温度計の周囲温度変化の影響を抑えるダブルパッケージ構造を採用することで、高精度で再現性に優れたセンサ(Figure 2)を開発した(特許5658059)。また、セ

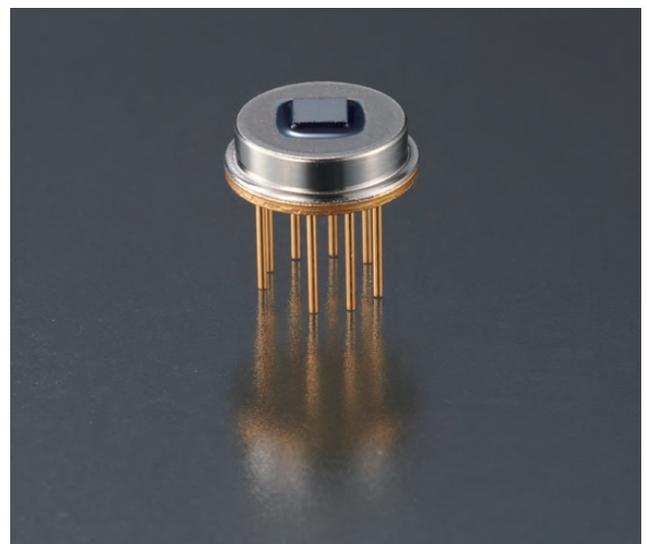


Figure 2 サーモパイルセンサ



Figure 3 光学フィルタ

ンサチップはMEMS技術を用いており、信頼性に優れたセンサを実現できた^[4,5]。

信号補正回路

センサの出力信号は非常に小さいため、センサと信号処理回路部との間に発生する熱起電力や、信号処理回路によるオフセット電圧の影響を無視できない。これを抑制するため、リアルタイムで補正する機能をセンサ及び信号処理回路に搭載した。

光学フィルタ

IT-480シリーズには堀場製作所が長年培ってきた、内製光



Figure 4 高精度黒体炉

学干渉フィルタ(**Figure 3**)の赤外計測技術を採用した。当社温度計の長期信頼性に貢献している。

高精度黒体炉

高精度の温度測定を保証するには高精度の温度標準が必要となる。高精度黒体炉は放射温度計に欠かせない非常に重要な技術である。当社の放射温度計の製造時の調整・検査および定期校正には、工業技術院計量研究所(現産業技術総合研究所)と共同開発した高精度黒体炉(**Figure 4**)を使用している。-50~1000℃の広範囲にわたり、温度均一性に優れており、国家標準に沿ったトレーサビリティを保有している。

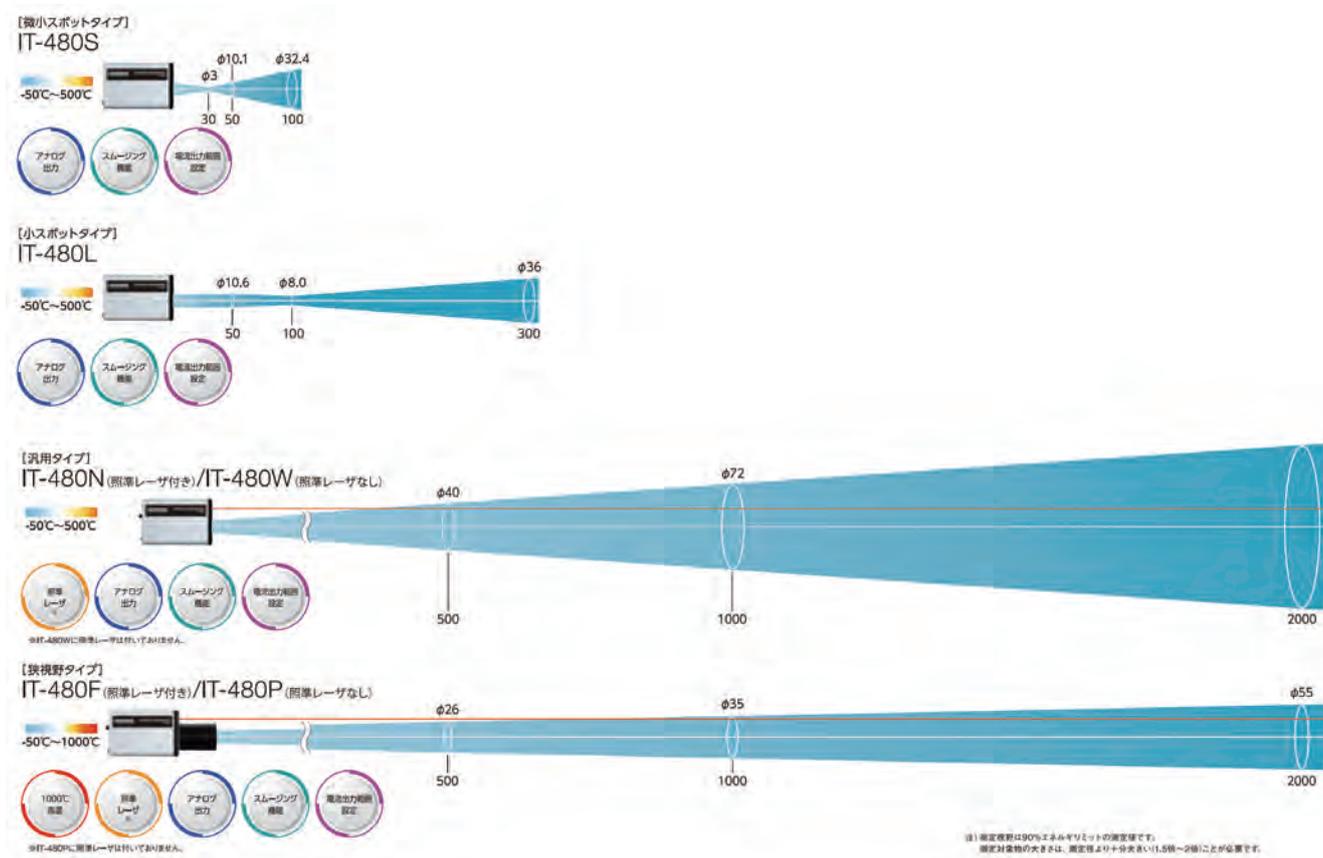


Figure 5 IT-480シリーズラインアップ

Table 1 IT-480シリーズ仕様

ラインナップ	微小スポットタイプ	小スポットタイプ	汎用タイプ	狭視野タイプ
	IT-480S 	IT-480L 	IT-480N/IT-480W 	IT-480F/IT-480P 
測定波長	8~14 μm			
測定温度範囲	-50~500℃			-50~1000℃
出力	USB出力(分解能0.1℃) 電流出力(4~20 mA, 分解能0.24 μA)			
電流出力範囲	-50~500℃ (出荷時0~500℃)			-50~1000℃ (出荷時0~500℃)
測定精度	[USB出力] ±(-8%rdg+1)℃以内[-50~0℃] ±1℃以内[0~200℃] ±0.5%rdg℃以内[200~500℃] [電流出力] USB出力との差が ±(0.1%出力レンジ)℃以内			[USB出力] ±(-8%rdg+1)℃以内[-50~0℃] ±1℃以内[0~200℃] ±0.5%rdg℃以内[200~1000℃] [電流出力] USB出力との差が ±(0.1%出力レンジ)℃以内
繰返し性(再現性)	0.5℃以内			1℃以内[-50~0℃] 0.5℃以内[0~500℃] 1℃以内[500~1000℃]
応答時間	[電流出力]0.14 s以内(95%, 移動平均データ数1のとき)			
測定視野	φ3 mm以下 (距離30 mm)	φ8 mm以下 (距離100 mm)	φ72 mm以下 (距離1000 mm)	φ35 mm以下 (距離1000 mm)
温度ドリフト	±0.5℃/℃以内[-50~0℃] ±0.25℃/℃以内[0~500℃]			±0.5℃/℃以内[-50~0℃] ±0.25℃/℃以内[0~500℃] ±0.5℃/℃以内[500~1000℃]
放射率	出荷時設定 0.95(PC用アプリケーションソフトにて0.100~1.999で変更可能) ^{※2}			
使用温湿度範囲	温度0~55℃, 相対湿度35~85%, 結露なきこと			
電源	DC12~24 V/USBバスパワー			
消費電流	30 mA以下(DC24 V時)		30 mA以下(DC24 V, レーザオフ時) 40 mA以下(DC24 V, レーザオン時)	
ケース材質	アルミニウム			
質量	約95 g (ケーブルおよび取り付け治具類除く)			約115 g (ケーブルおよび取り付け治具類除く)
照準	設置ゲージ		レーザー(Class1)	
付属品	取扱説明書, 取付金具, 電源/出力ケーブル(2 m), 設置ゲージ		取扱説明書, 取付金具, 電源/出力ケーブル(2 m)	

IT-480シリーズの仕様・特徴

IT-480シリーズは近距離の微小領域の温度測定が可能なIT-480Sや2 m離れた対象物上のφ55の領域の温度測定が可能なIT-480F等, 測定対象物の大きさや放射温度計設置場所からの距離に応じて, 4種類の視野特性を持つラインナップを有し, 最適なものを選択することができる。Figure 5に視野特性図, Table 1にラインナップ構成と代表的な仕様を示す。

前製品のIT-450シリーズと比較して, USB接続機能, USBバスパワー動作, 電源・電流出力ケーブル着脱可能化, 長距離タイプにレーザー照準の機能が追加されている。また, 新たに準備したWindows専用アプリケーションソフトを使用することで, データ収集や各種測定条件の変更が簡単にでき, ユーザビリティが大幅に向上した。温度測定性能に関しては, 例えば200℃測定の場合, 従来は±2.2℃の測定精度に対して, IT-480では±1.0℃にまで高精度化してい

る。また, 再現性は従来の1.0℃に対し, IT-480シリーズでは0.5℃に性能向上している。さらに, 従来同様, 国家標準に沿ったトレーサビリティ証明書の発行が可能となっている。

IT-480シリーズの新たな機能について

レーザーマーカ

放射温度計は, 対象物が放射している不可視の赤外線を計測しているため, 実際の測定箇所を判別しにくいという問題がある。そこでIT-480シリーズでは, 近距離測定タイプには装置前面に取り付け可能な測定エリアを模した設置ゲージを付属し, 長距離測定タイプにはレーザー照準を搭載した。これにより, 測定エリアを視覚的に確認することができる。

USBバスパワー駆動

前製品のIT-450シリーズは, 工業用途としての利用を想定



Figure 6 パソコンとの連携

したため、12~24 Vの外部電源を使用し、4-20 mA電流出力によって温度計測できる仕様としていた。IT-480シリーズは上記仕様は踏襲した上で、USBバスパワー駆動を可能とした。USBバスパワー駆動機能及びIT-480専用アプリケーションソフトを使用すれば、外部電源および4-20 mA検出装置を使用することなく、コンパクトに温度計測が可能となった(Figure 6)。ノートPCやタブレットPCでも上記構成は可能であるため、場所を選ぶことなく、研究開発を始め様々なシーンで高精度温度測定が可能となった。

Windows専用アプリケーション

IT-480シリーズではUSB機能を追加した。この機能を最大限活用するため、温度計測に役立つWindows専用アプリケーションソフトを無償で公開している。このアプリケーションソフトでは、放射率や4-20 mAの電流出力範囲の設定といった測定条件を変更できる他、最大8台の同時温度測定およびグラフ表示が可能となっている。工業用途に限定せず、研究開発など様々なシーンでの活躍が期待できる。また、放射率自動設定機能を保有しており、放射温度計を扱う上で必須のパラメータである放射率を簡単に最適化することが可能である。

放射率設定機能

放射率を既知として放射温度計に設定しないと高精度温度測定は不可能である。放射温度計を使用する上でよくあるトラブルとして挙げられる事例は、熱電対等の接触式温度測定器と温度整合が取れない、仕様通りに高精度測定ができない、というものである。これは、放射温度計を使用する際に放射率設定の最適化を行わずに使用する場合があるためである。IT-480の放射率設定を適切に行えば、高精度に熱電対との整合性を確保することができる。測定原理で説明した通り、代表的な物体であれば放射率は文献で調べることができる。不明である場合は、IT-480シリーズ専用のWindowsアプリケーションソフトによって簡易的に調べることが可能である。使用方法を以下に記述する。熱電対等で対象物の既知の温度を測定し、同様にIT-480でも温度測定を行う。次に、IT-480シリーズ専用アプリケーションソフトにそれぞれの温度値を入力することで、放射温度計による測定値が既知の温度に合うように自動的に最適な

放射率に設定する。この機能を活用すれば、いつでも簡単にIT-480シリーズの高精度、測定再現性を活かした温度測定を行うことができるようになった。

おわりに

設置・組込型高精度放射温度計IT-480シリーズは、当社の長年の放射温度計製品開発で培った独自技術の一つの集大成である。今後も継続して精度向上に取り組むほか、さらなる小型化や波長8~14 μm以外の赤外を検出する温度計を開発する等、顧客ニーズに耳を傾け、様々なアプリケーションに対応できるような製品を多種開発していきたい。

参考文献

- [1] 日本工業出版「計測技術」第46巻2号「設置・組込型高精度放射温度計=IT-480シリーズ=」日工 No.2018. 01. 08. 50
- [2] 放射温度計のすべて 株式会社堀場製作所 2008年12月
- [3] 野村俊行ら、ハンディ放射温度計 IT-540 シリーズ、*Readout* 17, pp.65-68(1998)
- [4] 中田嘉昭ら、最速のサーモパイルを搭載した放射温度計 IT-460、*Readout* 33, pp.80-83(2007)
- [5] 大須賀直博ら、半導体製造装置向け放射温度計 IT-470F-H、*Readout* 43, pp.70-74(2014)



瀧口 悠

Yu TAKIGUCHI

株式会社 堀場製作所
科学・半導体開発部
Scientific & Semiconductor Instruments R&D Dept.
HORIBA, Ltd.