

モデル	Thermera-HS	Thermera-seenU	Thermera-NIR2	Thermera-InGas
特長	記録画像からの温度計測	リアルタイム温度計測	波長選択・中高温度計測	波長選択・低～中高温度計測
使用カメラ	高速度カメラ / 計測用カメラ	DensitoCam U174	DensitoCam Duo2	DensitoCam InGas
画像	カラー	カラー	モノクロ	モノクロ
計測波長	カメラ仕様に依存	R(中心波長概略600nm) およびG(中心波長概略550nm)	400-1000nmの中で 任意の2波長	900-1600nmの中で 任意の2波長
波長の選択	カメラ仕様に依存	不可	○	○
レンズマウント	カメラ仕様に依存	Fマウント	Fマウント	Fマウント
露光時間	カメラ仕様に依存	30μs～1s	65μs～1s	25μs～480ms
インターフェース	カメラ仕様に依存	USB3.0	USB2.0 / ギガーサネット×2	USB2.0
計測処理画素数	カメラ仕様に依存	1,920×1,200	960×600	128×128
最高撮影速度*	カメラ仕様に依存	10コマ/秒(1,920×1,200時) 30コマ/秒(1,280×960時) 100コマ/秒(640×480時)	34コマ/秒(960×600時) 50コマ/秒(640×400時)	100コマ/秒
記録画像の温度計測		○		
リアルタイム温度計測	不可	○	○	○
事前処理		サブストラクション、加算平均、中央値フィルター、シフト&補正、チャンネル変換、ファイル名変更等		
温度計測法		2色温度法(レシオ法)、2色温度法(H&B法:オプション)、輝度温度、放射温度、単純比、濃度表示、f(t)/f他		
画像フォーマット		BMP、TIFF、PNG、AVI		
画像処理階調		16ビット		
温度表示単位		摂氏(°C)または絶対温度(K)		
温度表示分解能		1°C、5°C、10°C選択		
温度計測範囲	範囲1:900°C～1800°C 範囲2:1300°C～2500°C	範囲1:500°C～1200°C 範囲2:900°C～1800°C 上記のうちいずれか	範囲1:300°C～1000°C	
温度測定精度	カメラ性能に依存	測定温度の±1%	測定温度の±2%	測定温度の±10°Cまたは±1%
温度校正		NPL2次標準、較正済黒体炉 または 較正済輝度高温計による		

*撮影速度は計測対象の温度によって制限されます。計測温度が低いほど撮影速度は遅くなります。

2分岐光学系 Twin-wave Eye	
画像分割数	2
対応波長範囲	400nm～800nm
対応フィルターサイズ	φ25、t1～6mm
レンズマウント	Fマウント(オプション:Cマウント)
ソフトウェア	画像合成ソフトウェア付

●記載されている内容・仕様等は予告なく変更される場合があります。

開発・製造

Mitsui Photonics. Ltd.

株式会社三井フォトニクス

〒108-0075 東京都港区港南 2-12-19-904
TEL / FAX : 03-3472-0710

E-mail : info@mitsui-photonics.com
ホームページ : http://mitsui-photonics.com

販売元

Nobby Tech

株式会社ノビテック

東京本社 〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 1-18-18 東急不動産恵比寿ビル 7階
TEL:03-3443-2633 FAX:03-3443-2660
大阪営業所 〒531-0072 大阪市北区豊崎 3-10-2 I&F 梅田ビル 1008
TEL:06-6292-7050 FAX:06-6292-7075
名古屋営業所 〒450-0002 名古屋市中村区名駅 4-24-16 広小路ガーデンアベニュー 4階
TEL:052-856-9582 FAX:052-856-9501
福岡出張所 〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街 8-1 JRJP 博多ビル 3階
TEL:092-686-8681 FAX:092-686-8761



放射率補正フリーの2次元温度計測

- 热電対に代わる非接触温度計測として、固体・液体または燃焼場の温度計測に最適
- 2つのセオリーによる2色温度法アルゴリズムにより放射率補正が不要
- 観察窓などのガラス越しの温度計測が可能
- 可視から近赤外域の波長を計測域とするので、一般的な光学系が使用可能
- 高速度カメラを使用することで高速現象や過渡現象の温度計測が可能
- 記録画像からの温度計測またはリアルタイムでの温度計測が可能
- 燃焼温度とkL値(存在粒子の濃度)の同時計測が可能(オプション)

Mitsui Photonics. Ltd.



2色温度法の概念

なぜ放射率補正が不要なのか？

物体からの電磁放射(光等)は物体の温度が高くなるに従って

- (a) 放射量が増大する(可視光域では輝度が高くなる)
- (b) 最大放射のピーク波長が短くなる(可視光域では赤色から青白い色になる)

ことが知られています。黒体についてこれを図示すると図1の様になります。

図1の放射曲線は、温度に対して1:1で対応しています。つまり温度によって曲線が全て異なります。これにより、ある温度の黒体の放射に関してこの曲線、即ち分光分布特性がどれであるかを計測すれば、温度を知ることができます。

2色温度(Ratio)法はこの曲線を特定する方法として、二つの波長における放射を測定し、その比を算出します。この値は各黒体温度に対して、固有で一つの数値しかありませんので、これより温度を知ることができます。一般的な物体は黒体ではありませんので、その物体が黒体と同じ温度である時の放射量は、黒体のそれより小さくなります。そしてその両者の放射量の比が放射率 ε であり、 ε は常に1以下となります。放射量から温度計測を行う場合、放射率を知ることが非常に重要ですが、放射率はその物体の物質表面の状態によって異なる他、観察する角度や温度、波長によっても異なります。従って、被検体からの放射の強さを測定する輝度温度計や全放射温度計(サーモビューア等)で正確な温度測定を行うことは極めて困難です。

これに対して2色温度(Ratio)法では、測定する物質の二波長の放射率が同じとなるような波長帯域を選べば、放射率補正が自動的にキャンセルされますので、その影響を受けません。その理由は図2で理解ができます。一般物体および黒体の分光放射のうち、波長 L_1 と L_2 の輝度に着目します。一般物体の放射分布のうち L_1 と L_2 を接近して選ぶと、両者の放射率はほぼ同じになると考えられます。その関係が成立する限り、以下の関係が成立します。

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\varepsilon R_{bb1}}{\varepsilon R_{bb2}} = \frac{R_{bb1}}{R_{bb2}}$$

つまり一般物体において、両波長の放射率が等しいという前提が成り立つ限り、その輝度の比は、黒体における両波長の輝度の比に等しいという関係が成立します。また物体と測定システムの間にガラスや煙、水等が存在してその透過率が等しく τ とした場合は

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\tau \varepsilon R_{bb1}}{\tau \varepsilon R_{bb2}} = \frac{R_{bb1}}{R_{bb2}}$$

となり透過率の影響を受けません。

実際の測定においては、測定対象の輝度の比を求め、予め測定しておいた黒体の輝度の比と比較し、値が等しくなるところの黒体の温度が一般物体の温度になります。

これにより、2色温度(Ratio)法は物体の放射率を知る必要がなく、また測定体と測定器の間にガラスや煙等両波長で透過率の等しい物質が介在しても、正確な温度測定が可能となります。

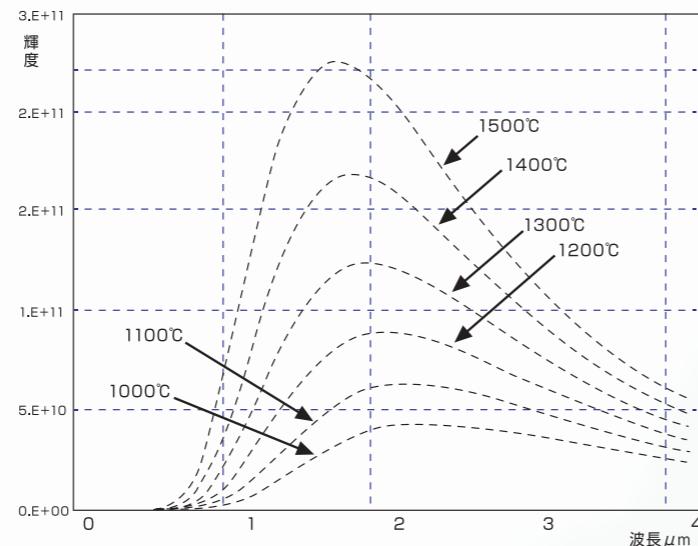


図1. 黒体の放射曲線

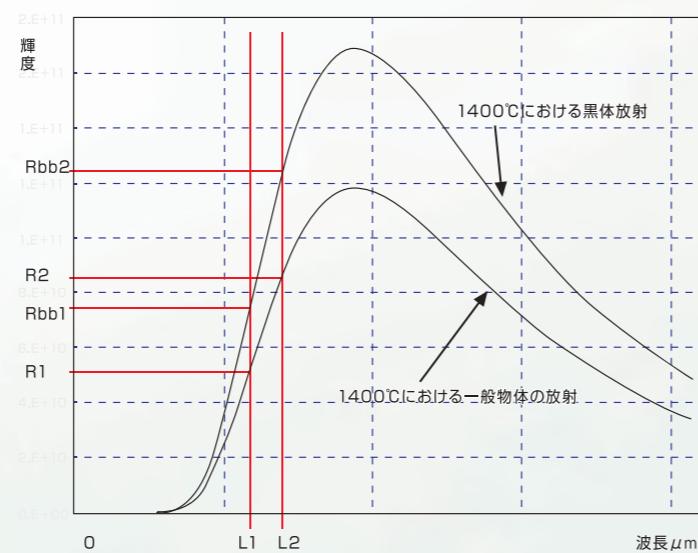


図2. 1400°Cにおける黒体と一般物体の放射曲線



放射率に起因する問題を解決します。

- ・材質による補正が不要
- ・表面状態による補正が不要
- ・被検体までの距離・角度による補正が不要



2色式熱画像カメラシステムの特徴

放射率の異なる物質の同時計測・ガラス越しの計測

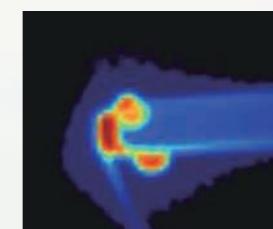
■ 加熱した半田ごての温度計測例

ここで先部分を切断した電気配線用半田ごての先端部に、熱電対を取り付けて、放射温度計(サーモビューア)と二色温度システムThermalによって計測しました。半田ごてのヒーターカバーと切断された先端部は、それぞれ異なる材質でできています。



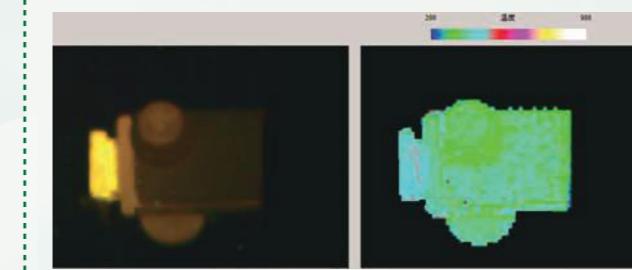
① サーモビューアの計測結果

材質によって放射率が異なるため、半田ごて先端部はほぼ同じ温度になっているにもかかわらず放射率の高い部分の温度は高く、放射率の低い部分の温度は低く算出されています。計測したい部分ごとに放射率の補正を行なう必要があります。



② 2色式熱画像カメラシステムの計測結果

下の図の左が2つの波長の画像を合成したもの、右が温度分布の疑似カラー表示です。合成画像は放射率の高い部分が明るく表示されていますが、2色温度法で温度分布を得ると先端部の温度が少し高く、他の部分はほぼ等しい温度になっていることがわかります。



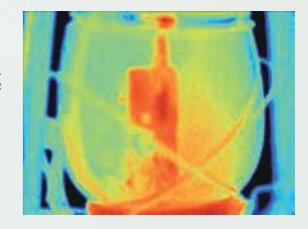
■ 電球のフィラメントの温度計測

ランタン型の電球を点灯し、そのフィラメントの温度をガラス越しに放射温度計(サーモビューア)と二色温度システムThermalによって計測しました。



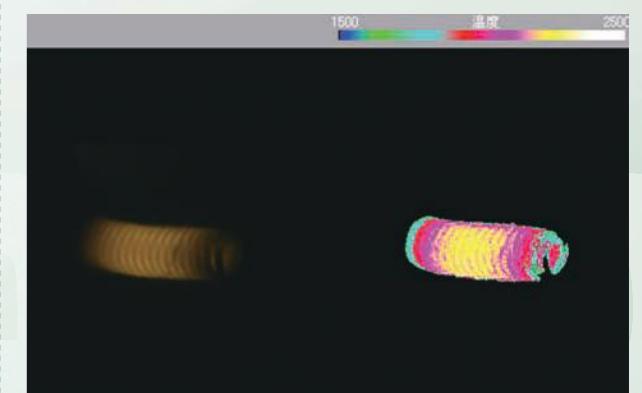
① サーモビューアの計測結果

ガラスを透過せずに、ガラス自体やガラスに映る反射に影響を受けてしまいます。観察窓越しに計測をする場合は、専用の窓材を使用する必要があります。



② 2色式熱画像カメラシステムの計測結果

ガラスに映る反射などの影響を受けずに、内部のフィラメントの温度のみを計測することができます。観察窓越しの計測でも、一般的な窓材をそのまま使用することができます。





火炎の温度計測とkL値

Hottel & Broughton法

Thermalには主に金属やガラスなどの固体・液体の温度計測に適したレシオ法と燃焼の温度計測の手法として特に内燃機関の燃焼温度計測に使用されるHottel & Broughton法の2種類のアルゴリズムを採用しています。Hottel & Broughton法では、火炎の温度計測と同時に発生する煤濃度(kL値)の計測が可能です。Hottel & Broughton法の基礎となるものは、燃焼場に存在する煤(Soot)の2波長における輝度温度を計測し、それからの演算処理の結果として真温度とkL値を求めるものです。kL値は、kL因子、kL-factorと称せられ、煤の濃度と燃焼場の厚さの積で、煤の分布を知ることができます。

波長 λ の単波長(Monochrome)における物体の放射エネルギーと真温度の関係は、プランクの放射則で得られます。3000K以下の温度計測域ではWienの近似方程式が使用でき次式で表されます。

$$M_\lambda = \varepsilon_\lambda \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

黒体においては真温度と輝度温度は同一値を示しますが、非黒体については、輝度温度は真温度と異なり、波長 λ における輝度温度 T_b の物体からの放射の強さは次式で表現されます。

$$M_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T_b}}$$

当式を展開して、ある波長の放射の強さを測定することにより、その波長の輝度温度を得ることができます。

真温度と輝度温度の関係は次式のように表されます。

$$M_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T_b}} = \varepsilon_\lambda \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

炎の放射率は数値的に吸収率と等値ですので、透熱物体についての吸収率は $A = 1 - e^{-kL}$ となります。

$k\lambda$: 波長 λ における吸収係数 L: 燃焼場の厚さ

吸収係数は放射の波長依存性があり、特定波長域では近似的に $k = \frac{k}{\lambda^\alpha}$ となり、波長 λ における放射率は $\varepsilon_\lambda = \frac{k}{\lambda^\alpha} 1 - e^{-\frac{kL}{\lambda^\alpha}}$ となります。指数 α は、煤粒子の径や、煤の屈折率等の関数であり、その値は火炎の構造や燃料の種類によって異なるとされています。

以上から真温度 T は次式で表されます。

$$T = \frac{1}{\frac{1}{T_b} + \frac{\lambda}{C_2} \ln(1 - e^{-\frac{kL}{\lambda^\alpha}})}$$

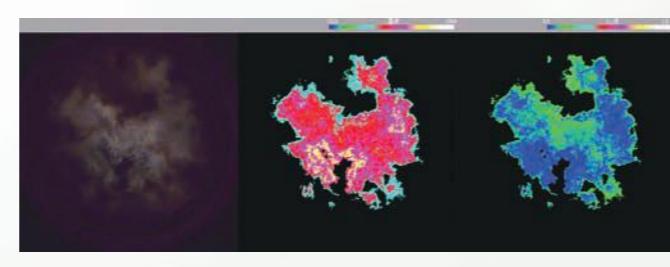
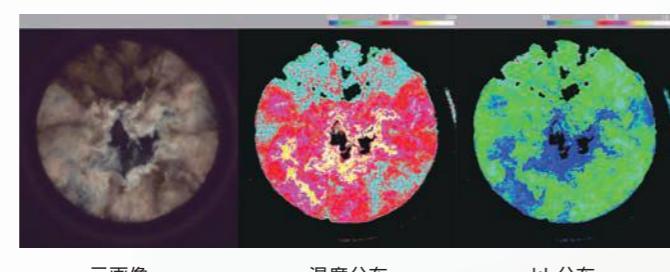
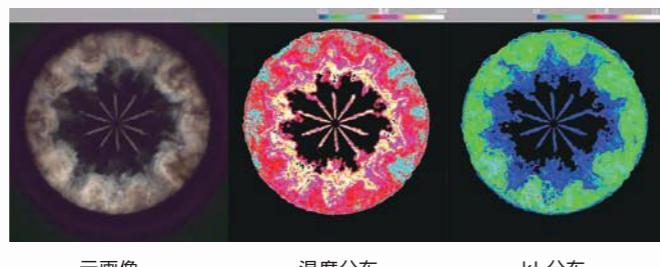
計測に使用している2つの波長において、それぞれ輝度温度と真温度の関係が上式で表されるため、2つの未知数であるkL値と真温度 T を求めることができます。詳細をご入用の場合は、別冊の技術説明書をご請求ください。



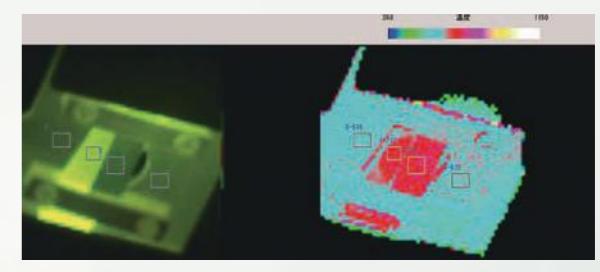
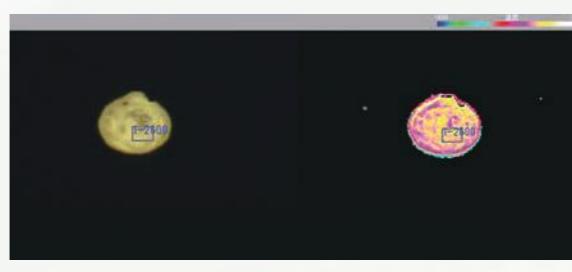
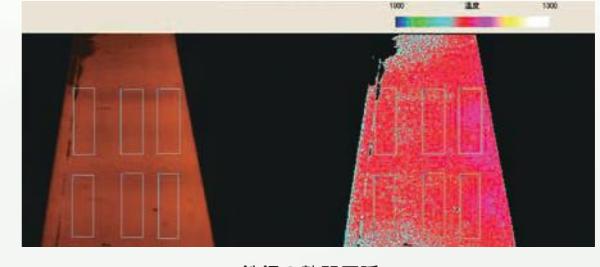
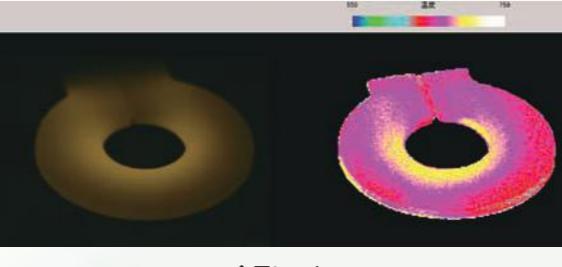
主な用途

各画像の左が元画像、右が温度分布の擬似カラー表示

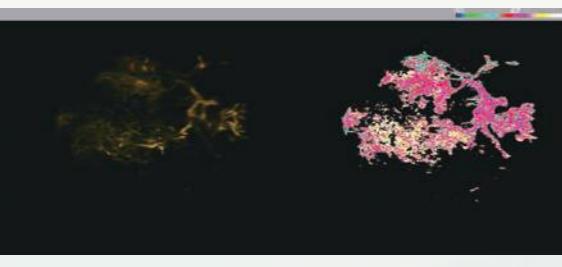
■ ディーゼルエンジンの燃焼



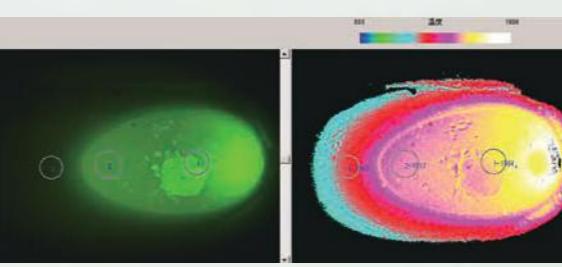
■ 加熱された金属、ガラス、セラミックなど



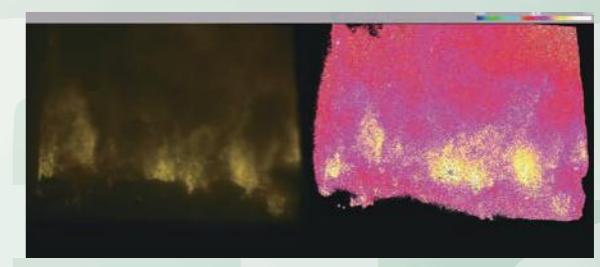
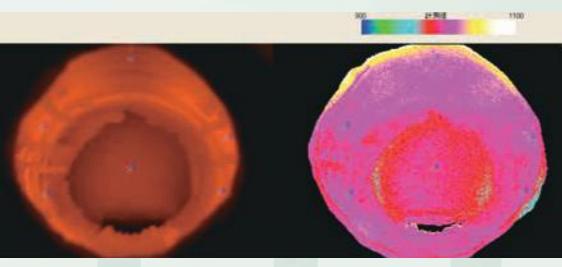
■ ディーゼルエンジン、ボイラーなどの燃焼



■ 溶接



■ 各種炉内監視(窓越しの観察)



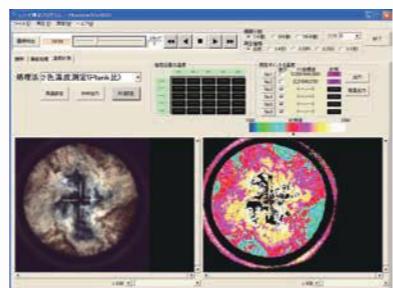
Thermeraの種類

Thermera-HS

高 速
900°C
以上

▶計測用カメラ／高速度カメラで記録した画像からの温度計測

計測用カラーカメラまたはカラー高速度カメラで撮影された画像を読み込み、温度計測を行います。高速度カメラを使用することで、燃焼や爆発のような高速現象を可視化することができ、1つのデータから高速現象解析と熱画像解析の両方が可能です。カメラはご用途に応じてご提案させていただきます。



計測例：ディーゼルエンジンの燃焼

Thermera-seenU

リアル
タイム
900°C
以上

▶高解像度・リアルタイムの温度計測

230万画素の高解像度計測用カメラDensitoCam(カラータイプ)により被検体を撮影し、リアルタイムに解析用PCへ画像を転送、擬似カラーによる温度分布を表示し、指定点／範囲の温度履歴のグラフ表示・CSV出力が可能です。画像を記録しておき、後刻Thermera-HSのように記録画像の温度計測も可能です。



高濃度譜調カメラ DensitoCam U174

Thermera-NIR2

リアル
タイム
500°C
以上

▶波長選択・中高温度計測

2センサーカメラDensitoCam Duo2に任意の波長、半幅値のバンドパスフィルター2枚を取り付け温度計測を行います。カラーカメラを使用する方法と比較し、当システムは1μmまでの波長感度を有していますので、500°Cからの温度計測が可能です。リアルタイムでの温度監視及び記録画像の温度解析が可能です。



2センサーカメラ DensitoCam Duo2

Thermera-InGas

リアル
タイム
300°C
以上

▶波長選択・低～中高温度計測

2センサーカメラDensitoCam InGasを使用します。従来のシリコンCCDに代え、波長感度が1.7μmまであるInGaAs_CCDセンサーを採用することにより、Thermeraシリーズの中で最も低温の300°Cからの温度計測が可能です。リアルタイムでの温度監視及び記録画像の温度解析が可能です。



近赤外2センサーカメラ DensitoCam InGas

Twin-wave Eye

波長
選択

▶1台のカメラで2波長画像の同時撮影

モノクロカメラを接続し、任意の波長の2画像を同時に撮影ができます。付属のソフトウェアで2波長の画像を合成し、Thermeraにて温度計測を行うことが出来ます。波長を選択することで、熱計測において邪魔な化学発光などの影響を避けることが出来ます。

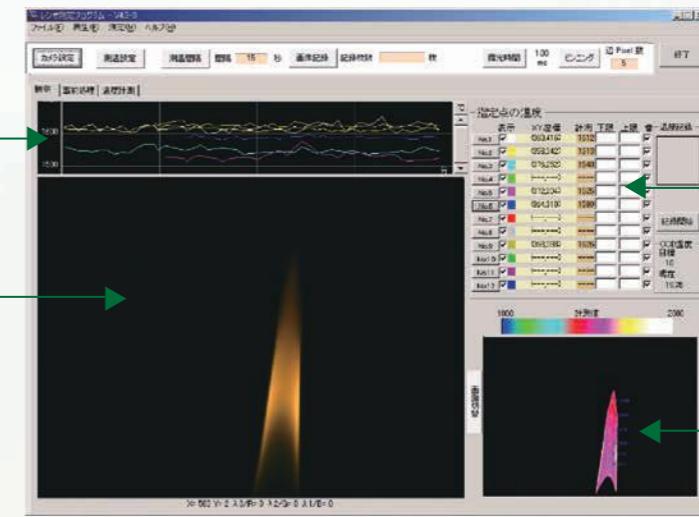


2分岐光学系 Twin-wave Eye

Thermeraソフトウェアの機能

■ リアルタイム計測

温度履歴グラフ表示
指定点・エリアの温度履歴をグラフで表示します。



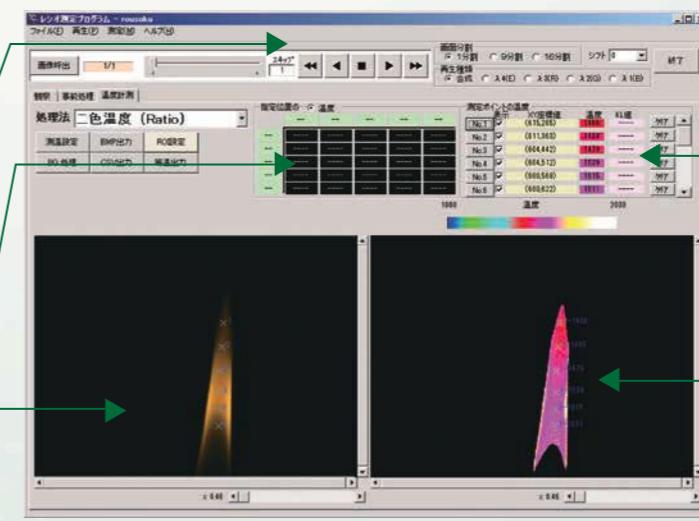
温度計測点指定
最大12点の温度計測点を指定し、その温度を表示します。下限・上限温度を設定し、警告を発することもできます。計測間隔、計測時間などを指定してCSVファイルで保存も可能です。

■ 記録画像の計測

画像再生コントロール
記録画像を読み出し、連続または1コマずつ正逆に再生することができます。指定したコマ数ごとに再生することもできます。

カーソル指定位置の温度
記録画像または疑似カラー表示画像の任意の位置をクリックしたときに、その周囲5x5ピクセルの温度が表示されます。

記録画像表示
記録画像を表示します。拡大縮小表示も可能です。

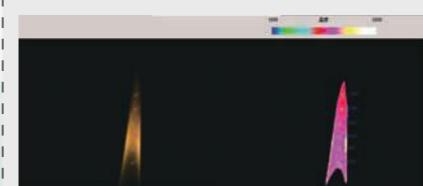


温度計測点指定
最大18点の温度計測点を指定し、その温度を表示します。温度は疑似カラー表示画面上での表示のON/OFFが行えます。温度履歴をCSVファイルで保存も可能です。

■ 結果の出力

記録画像と温度分布の疑似カラー画像の並列画像

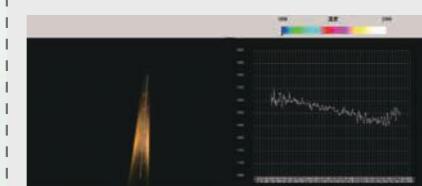
擬似カラーのカラーマップはユーザーが自由に変えられます。
指定点／範囲の温度表示のON/OFFも可能です。



各種静止画・動画ファイルで保存

2点間の温度分布グラフ

画面上に任意の直線を引き、その温度分布をグラフ表示します。



グラフを画像またはCSVファイルで保存

等温線

指定温度範囲、温度間隔毎に等温線を表示します。



BMPファイルで保存