

モデル	ThermEra-HS	ThermEra-seenU	ThermEra-NIR2	ThermEra-InGas2	ThermEra-InGas3
特長	記録画像からの温度計測	リアルタイム高温計測	波長選択・中高温度計測	高速・低～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 U174S	DensitoCam Duo2	DensitoCam InGas128	DensitoCam InGas640C/F
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	Cマウント	Fマウント	Fマウント	Cマウント(InGas640C) Fマウント(InGas640F)
露光時間	カメラ仕様に依存	40 μ s～1s	27 μ s～1s	25 μ s～480ms	16 μ s～500ms
インターフェース	カメラ仕様に依存	USB3.0	USB2.0 / ギガイーサネット×2	USB2.0	USB3.0
計測処理画素数	カメラ仕様に依存	1,920×1,200	960×600	128×128	640×480
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)	25コマ/秒(960×600時) 50コマ/秒(640×400時)	100コマ/秒	15コマ/秒
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	
温度繰返し精度	カメラ性能に依存	測定温度の±2%	測定温度の±1%	測定温度の±10°Cまたは±1%	
カメラ寸法 (レンズ含まず)	—	41(W)x55(H)x90(L)mm	110(W)x110(H)x130(L)mm	110(W)x110(H)x135(L)mm	InGas640C: 110(W)x140(H)x190(L)mm InGas640F: 110(W)x140(H)x150(L)mm
温度校正	NPL2次標準、校正済黒体炉 または 校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 Optics	
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

- “超”モノづくり部品大賞は、モノづくりに本会議と日刊工業新聞社が日本のモノづくりの競争力向上を支援するため、産業・社会の発展に貢献する部品・部材を対象に実施しています。日本力(にっぽんぶらんど)賞は、日本のモノづくりの力を象徴し、世界に影響を及ぼすような優れた部品として“独自性”、“創造性”、“革新性”のある商品に贈られます。
- 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



株式会社三井フォトニクス

大森事業所

〒143-0013 東京都大田区大森南 4-6-15

テクノ FRONT 森ヶ崎 409

TEL / FAX : 03-6423-2526

E-mail : info@mitsui-photonics.com

ホームページ : https://www.mitsui-photonics.com



日本力(にっぽんぶらんど)賞
受賞製品



2色式熱画像計測システム

2 color radiometry thermal imaging system

ThermEra サーメラ

ThermEraはThermo Cameraを基にした当社の登録商標です。

放射率補正フリーの2次元温度計測

- 熱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)



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。一般の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(サーモビューワ等)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。

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

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

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

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。

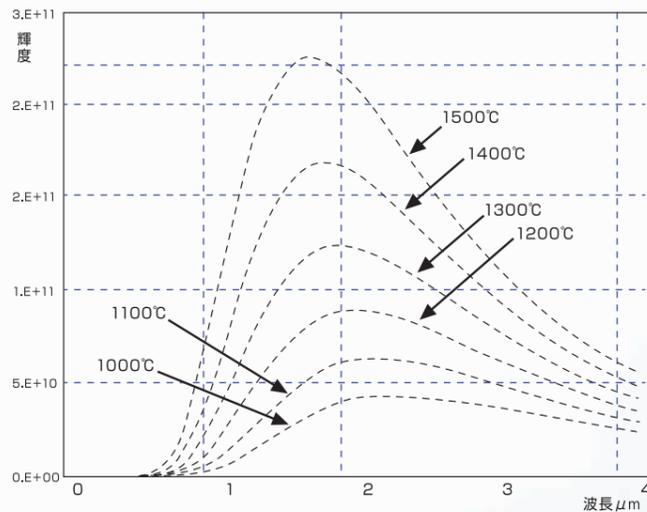


図1. 黒体の放射曲線

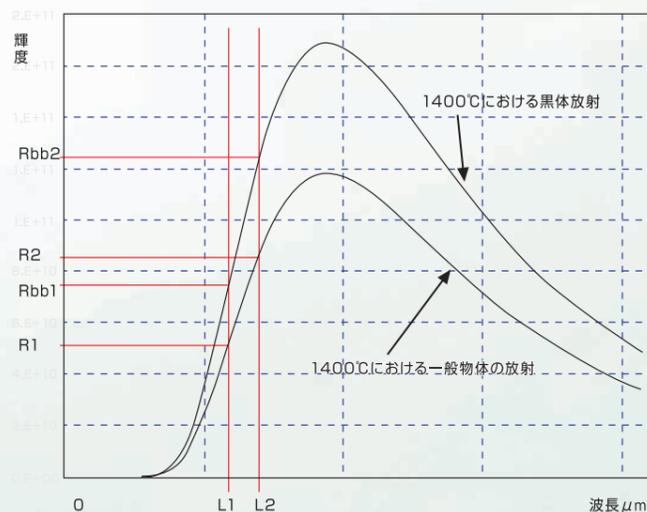


図2. 1400°Cにおける黒体と一般物体の放射曲線

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

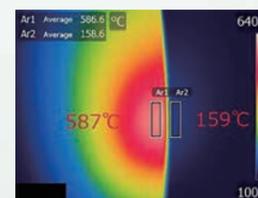
放射率の異なる物体の同時温度計測

鏡面状態のステンレス板の半分に黒体塗料を塗り、放射率が全く異なる状態の温度計測を赤外線サーモビューワと二色式温度システムThermalにて行いました。ステンレス板裏面からバーナーで鉄板中心の温度を上昇させ、金属鏡面と黒体塗料塗布面の温度を比較しました。



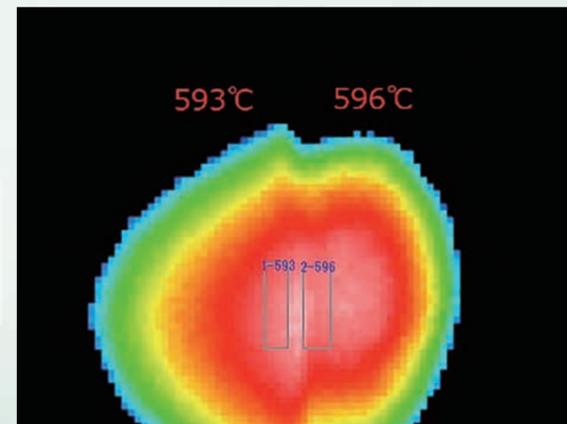
① サーモビューワの計測結果

鏡面部分と黒体塗料を塗布した部分では放射率が全く異なるため、黒体塗料を塗布した部分に放射率を合わせると、本来ほぼ同じ温度であるはずの鏡面部分の温度はかなり低く表示されます。



② 2色式熱画像カメラシステムの計測結果

放射率の影響が非常に少なく、放射率が異なるものもほぼ同じ温度として計測しています。放射率がわからないもの、放射率の異なるもの、加熱によって放射率が変化するものなどの計測が補正無しで行えます。



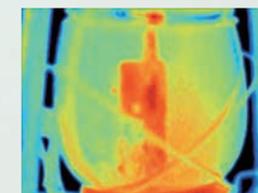
電球のフィラメントの温度計測

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(サーモビューワ)と二色温度システムThermalによって計測しました。



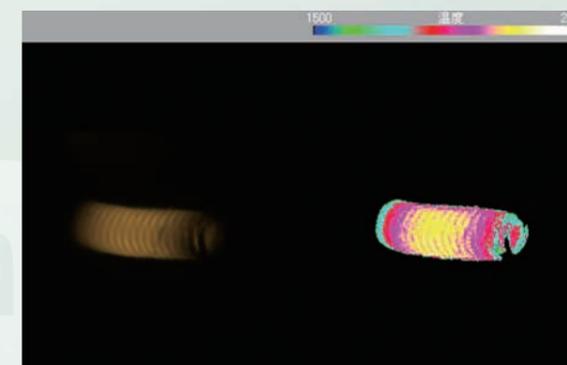
① サーモビューワの計測結果

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。



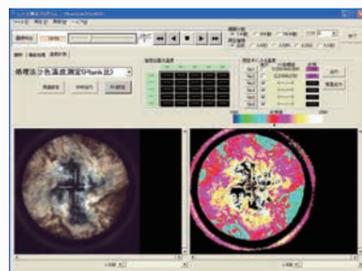
Thermeraの種類

Thermera-HS

高速 900℃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℃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、疑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。



高濃度諧調カメラ DensitoCam U174S

Thermera-NIR2

リアルタイム 500℃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、半値幅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℃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-InGas2/3

リアルタイム 300℃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℃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 InGas640F

Twin-wave Optics

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。



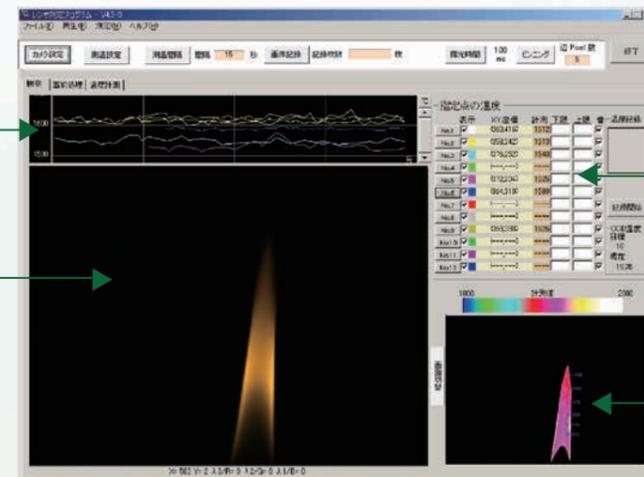
2分岐光学系 Twin-wave Optics

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。

カメラ画像表示
カメラの画像をリアルタイムで表示します。記録間隔、記録時間を指定して画像を記録可能です。



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、計測時間を指定してCSVファイルで保存も可能です。

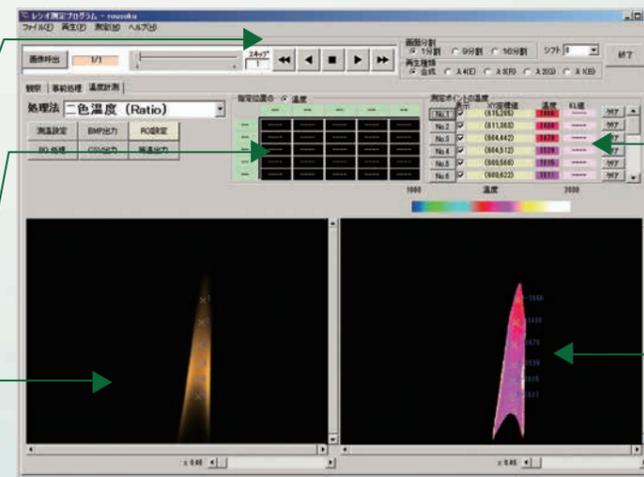
温度の疑似カラー表示
被検体の温度を設定したカラーマップで疑似カラー表示します。カラーマップの色は自由に設定できます。

■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。



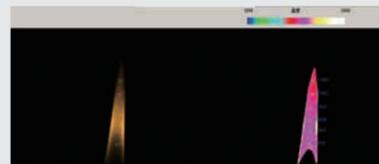
温度計測点指定
最大18点の温度計測点を指定し、その温度を表示します。温度は疑似カラー表示画面上での表示のON/OFFが行えます。温度履歴をCSVファイルで保存も可能です。

温度の疑似カラー表示
被検体の温度を設定したカラーマップで疑似カラー表示します。カラーマップの色は自由に設定できます。拡大縮小表示も可能です。

■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

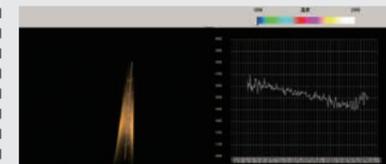
疑似カラーのカラーマップはユーザーが自由に変わります。指定点/範囲の温度表示のON/OFFも可能です。



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

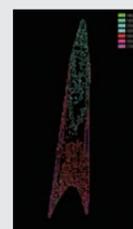
画面上に任意の直線を引き、その温度分布をグラフ表示します。



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

オプション Option

外部トリガーボックス

外部信号を使用して画像を記録するための装置です。人間が介在せずに信号を入力している間だけ自動で画像の記録を行います。また、設定したエリアの温度が上限もしくは下限温度の範囲外になると警告端子が導通します。



アナログ出力オプション

リアルタイムに、計測した指定範囲の最大、平均、最小から選択した温度を電流または電圧としてデータロガーやPLC、シーケンサなどに出力します。また、外部トリガー装置と組み合わせて、トリガー入力時のみアナログ信号を出力することも可能です。



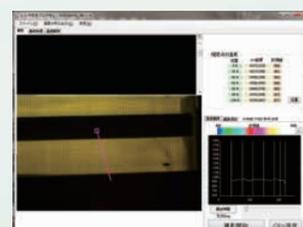
リアルタイム全画素温度データ出力オプション

通常のThermeraでは、リアルタイムに保存可能なのは画像だけで、温度解析は記録した画像を読み込んでから行う必要があります。このオプションでは、最高秒1回の頻度で全画素の温度データをCSVファイルとして保存します。外部トリガー装置と組み合わせて、トリガー入力時のみ温度データを保存することも可能です。



リアルタイム2点間温度データ出力オプション

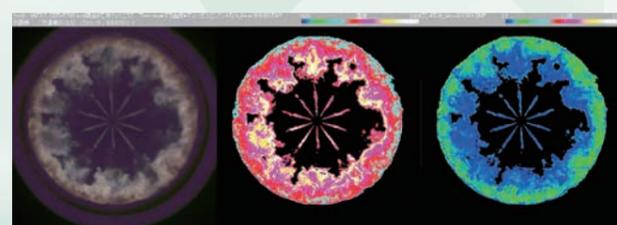
リアルタイムに2点間の温度データを保存します。エリアではなくラインを画像中に描画するとその温度プロファイルをグラフ表示し、画素毎の温度データをCSVファイルとして保存していきます。外部トリガー装置と組み合わせて、トリガー入力時のみ温度データを保存することも可能です。



H&B計測オプション

固体や液体の温度計測に適したレシオ法他に、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法のアルゴリズムを追加できます。Hottel & Broughton法では、燃焼場に存在する煤(SootSoot)の2波長における輝度温度を計測し、演算処理の結果として真温度とkL値を求めます。kL値は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。

ディーゼルエンジンの燃焼



元画像

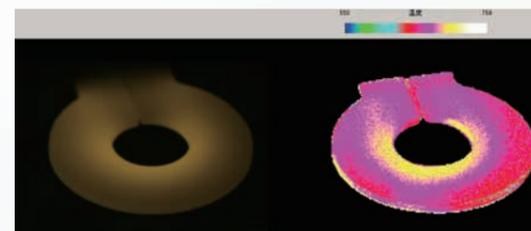
温度分布

kL分布

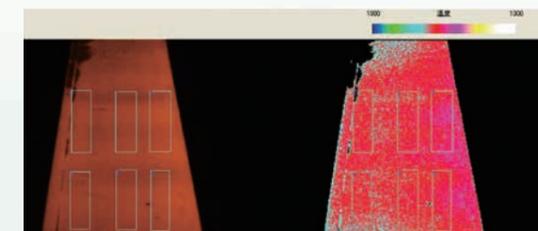
主な用途

各画像の左が元画像、右が温度分布の擬似カラー表示

■ 加熱された金属、ガラス、セラミックなど



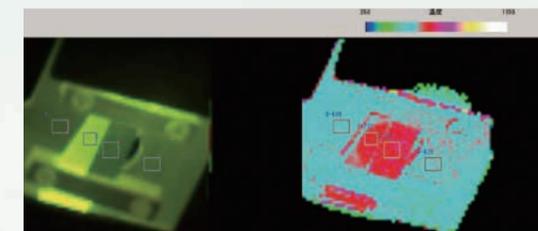
金属ヒーター



鉄鋼の熱間圧延



レーザー加工

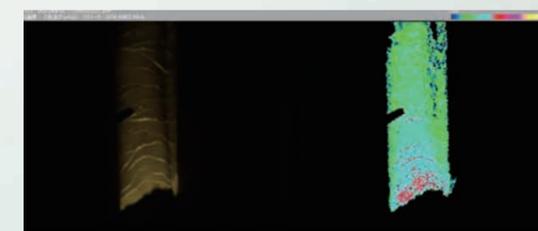


材質の異なる2種類の金属

■ ディーゼルエンジン、ボイラーなどの燃焼

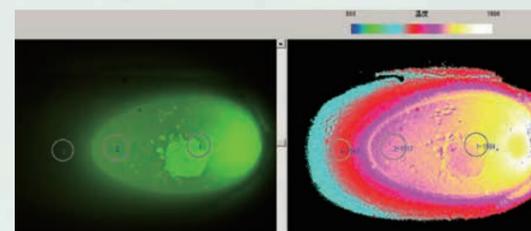


ボイラーのバーナー



ロケットの固体燃料

■ 溶接

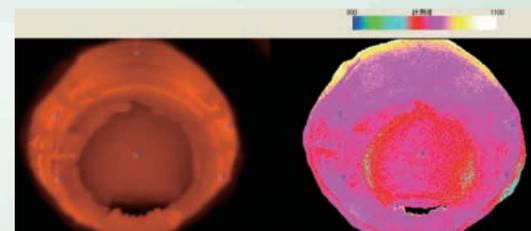


レーザー溶接



金属3Dプリンタ

■ 各種炉内監視(窓越しの観察)



電気炉の炉内温度



燃焼炉の火炎