

保守・保全向 赤外線サーモグラフィ ガイドブック

産業業界における各種機器/設備の診断に赤外線サーモグラフィを活用して、業務効率の向上、ロスの削減をしましょう!



もくじ

ページ

1.	赤外線カメラとその仕組み	6
2.	赤外線技術の特長	8
3.	産業分野での赤外線技術の使用例	12
4.	赤外線サーモグラフィの選び方	24
5.	物理熱学	26
6.	最適なソリューションのを見つけ方	30
7.	赤外線サーモグラフィによる検査方法	42

本書は、赤外線トレーニングセンター (ITC) との共同製作です。
すべての画像は説明目的として使用されています。

製品の仕様は予告なく変更することがあります。

© Copyright 2011, FLIR Systems AB. その他のブランド名および製品名は各社の商標です。

はじめに

フリアーシステムズは、1965年にその前身となる企業が高圧送電線検査用赤外線カメラの販売を開始して以来、産業向 赤外線サーモグラフィ部門を重要な柱と位置付けています。

それから半世紀、赤外線技術は目覚ましい進歩を遂げました。現在市販されている赤外線カメラはデジタルビデオやデジタルカメラと変わらないほど外観はコンパクトになり、簡単な操作で高解像度の鮮明なリアルタイム映像を撮影できるようになりました。

現在、多くの産業分野で赤外線技術は最も信頼できる診断ツールとして普及しています。この技術を利用すれば、肉眼では見ることができない異常を早期発見でき、システムの故障が起きる前に未然に是正措置を講じることができるのです。

機械設備や電気機器の多くは、故障の兆候として熱を帯びる性質があります。赤外線カメラは、このホットスポットを検出するため、メンテナンスが必要な時期や場所を把握できるというユニークな特長を有しています。赤外線カメラでホットスポットを検出し、適切な予防措置を講じれば、大きな損失を伴う生産停止や火災発生を回避できるのです。

赤外線カメラは、検査対象に触れることなく、機械設備や電気機器の表面全体の温度分布を迅速かつ正確に画像化し、温度を計測します。フリアーシステムズは、赤外線技術を利用した予知・保全計画により、大幅なコスト削減という恩恵を世界中のお客さまにもたらしめています。



過去50年で赤外線カメラは大きく進歩しました。その間、フリアーシステムズは常に赤外線技術のパイオニアとして業界をリードし、最高性能の赤外線カメラを市場に送り出してきました。

現在、世界中の様々な産業分野の予知・保全計画に赤外線サーモグラフィが組み込まれており、高い評価を得ています。

本書は、赤外線サーモグラフィを利用した予知・保全点検について詳述したガイドブックです。赤外線サーモグラフィにより予知・保全点検には注意すべき細かい点がたくさんあります。さらに、赤外線カメラの動作原理や撮影方法、検査対象となる電気機器や機械の物理学的特長を理解しておくことも大切です。こうした点に十分に配慮しなければ、赤外線画像を正しく理解し、適切な解釈や判断を下すことができません。

しかし、ガイドブックだけで、赤外線カメラの動作原理や概念、産業向の赤外線検査の方法について余すところなく網羅することは不可能です。そのため、フリーシステムズでは、赤外線技術トレーニングセンター（ITC）と提携し、産業向の赤外線検査方法を学ぶための専門トレーニングコースを定期的開催しています。

本ガイドブックの主な内容:

- 産業業界における赤外線サーモグラフィの使用例
- 赤外線カメラの動作原理およびカメラ選択に当たって配慮すべきこと
- 画像撮影時の注意点



最新の赤外線サーモグラフィは小型、計量化を実現し、操作も簡単になっている

赤外線カメラとその仕組み

赤外線カメラは、電磁スペクトルの赤外線領域の放射量を記録し、画像化する機器です。



1800年に赤外線放射を発見した、ウィリアム・ハーシェル

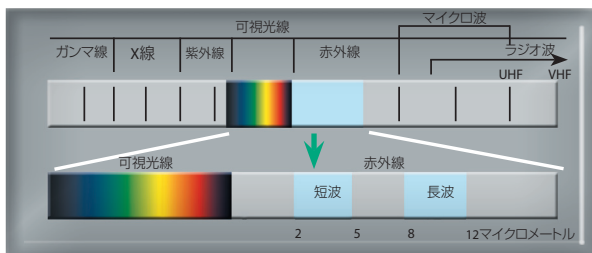
赤外線とは？

人間の眼は電磁スペクトルの可視光線領域を検出します。赤外線などの他の電磁放射は肉眼では見ることはできません。

赤外線が存在を発見したのは、天文学者のフレデリック・ウィリアム・ハーシェルです。1800年にハーシェルは光の色ごとに温度が異なることに注目し、プリズムを使って太陽光を色ごとに分光したスペクトルを作成し、色ごとに温度を測定する実験を試みました。その結果、紫から赤に移行するにつれて温度が上昇することを発見しました。

このパターンに気付いたハーシェルは、赤色の外側、つまり何も光が見えない領域の温度を測定してみました。そして、その領域の温度が最も高いことを発見したのです。

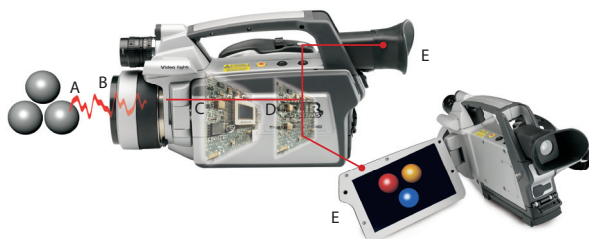
赤外線は、電磁スペクトルのマイクロ波と可視光線の間にあります。赤外線放射の発生源は主に熱（熱放射）です。絶対温度（-273.15℃）以上のあらゆる物体は赤外線領域の電磁波を必ず放出しています。温かい物体だけでなく、氷のような低温の物体からでも赤外線は放射されているのです。



私たちは日常的に赤外線放射を体験しています。太陽光やラジエーターから感じる熱は全て赤外線です。肉眼で見ることはできないだけで、皮膚の神経は赤外線を熱として感じます。物体の温度が高いほど、赤外線放射量は多くなります。

赤外線カメラ

物体から放射された赤外線エネルギー (A) は、光学レンズ (B) を介して赤外線検出器 (C) 上に集められます。検出器は情報を画像処理用のセンサ機器 (D) に送信し、機器がデータを画像に変換します。画像はビューファインダー又は標準的なビデオモニター又は液晶スクリーン上で見るができます。



赤外線サーモグラフィは、赤外線画像をラジオメトリック画像に変換することで、得られた画像から温度を計測する技術です。この技術を実装するための複雑なアルゴリズムを組み込んだ赤外線カメラは、産業分野における診断ツールとして大きな威力を発揮します。

2

赤外線技術の特長

工場では生産能力の迅速化、高品質化、低コスト化を実現するため、24時間365日稼働体制の継続が求められます。

”大きな損失を伴う生産停止や時間のロスの削減”

工場の予知・保全担当者の双肩には大きな責任がかかっています。

故障の兆候を事前に察知できれば、是正措置をいつ講じれば良いか正確に判断することが可能です。しかし、最悪の事態は眼に見えない状況で進行し、気付いた時にはすでに手遅れなのです。

赤外線カメラは、眼に見えないものを可視化することで、故障の発生を予知するツールです。赤外線画像上では、問題箇所が手に取るようにはっきりと見えます。

赤外線カメラは市販されている中で最も有用な診断ツールです。さまざまな産業分野で、工場の稼働率をあげるために赤外線検査を予知・保全点検に組み込まれています。

高圧機器、低圧キャビネット、モーター、ポンプ、高温機器の検査や断熱材はくりの点検などにおいて、眼に見えない損傷や不良箇所を視覚化できるのは赤外線カメラだけです。



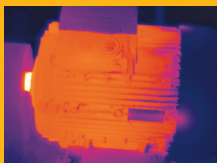
接続不良



高圧送電線の点検



不良が疑われるローラー



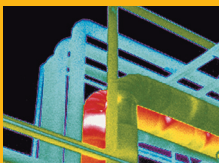
過熱したモーター



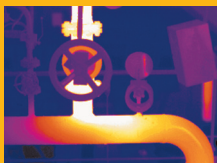
接続不良と内部損傷



内部ヒューズの損傷



断熱材の損傷



蒸気トラップ

では、赤外線カメラによる定期点検を行わなければ、どのような事態が起こりうるのでしょうか？低圧接続の不具合は、どれほどの大事故に発展しうるのでしょうか？

起こりうる結果は、生産性の損失だけではなくありません。小さな不具合を見落としには、さらに大きな危険性が潜んでいるのです。

火災

些細な電氣的不良が極めて重大な結果を引き起こすことがあります。例えば、配電網の効率が悪い箇所では、エネルギーが消費され、熱が発生します。それを放置すると、異常過熱が生じ、最終的に接続部が溶解し、時には火花が発生し火災に発展することもあるのです。

火災の影響は過小評価されがちです。しかし、製品や機器の損失だけでなく生産時間のロスや消火水による被害など、その損失は莫大です。ましてや人命の損失を考えれば、その損害は計りしれません。

産業火災の約35%は電氣的問題から生じており、年間の損害総額は計り知れません。

赤外線カメラを使用すれば、こうした問題のほとんどを回避できるのです。赤外線カメラは肉眼では見ることができない異常を検出できるため、生産ラインの停止や火災が発生する前に問題を解決することが可能です。フリーシステムズの赤外線カメラは、問題を未然に防ぐことができることを考えれば、決して高い投資ではありません。



些細な電氣的不良が重大な結果を招くことがある

赤外線サーモグラフィの特長

ここでは、フリーシステムズの赤外線サーモグラフィの特長について説明します。非接触で温度を計測できる技術は他にもあります。代表的なものとして、放射温度計と赤外線サーモグラフィを比較します。

放射温度計 vs. 赤外線サーモグラフィ

1ヶ所の温度を計測する場合、放射温度計は精度も高く、非常に便利なツールです。しかし、広いエリアや大きな部品の点検には不向きです。重要部品に不具合の兆候があり、修理が必要であっても、放射温度計は簡単に見逃してしまいます。

フリーシステムズの赤外線サーモグラフィであれば、モーター、部品、パネル全体を一度にスキャンでき、どれだけ小さなホットスポットも見逃すことはありません。



放射温度計は単一スポットの温度を計測する



赤外線サーモグラフィFLIR i3は、一度に3,600点の温度を測定する

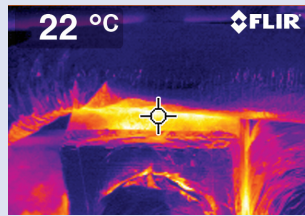
高い精度で迅速に問題を検出

スポット型の放射温度計は重大な問題を簡単に見逃してしまいます。フリーシステムズの赤外線カメラは、部品全体をスキャンして全体像を画像で示すため、問題を即座に把握することができます。

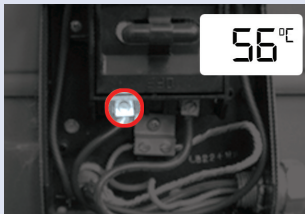
同時に数千台の放射温度計を使用するのに相当
放射温度計は単一スポットの温度を計測します。フリーシステムズの赤外線サーモグラフィは画像全体の温度を計測できます。
例えば、赤外線サーモグラフィFLIR i3の画像解像度は60 x 60ピクセル、これはすなわち同時に3,600台の放射温度計を使用することと同じです。フリーシステムズの最上位モデル赤外線サーモグラフィSC600シリーズは解像度640 x 480ピクセルですから、307,200台の放射温度計の同時使用に匹敵します。



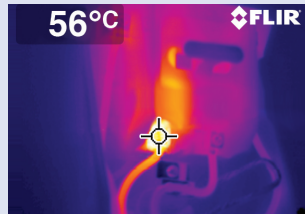
放射温度計



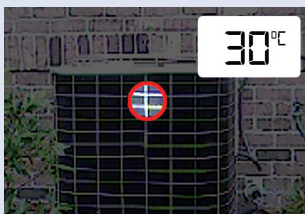
赤外線サーモグラフィ



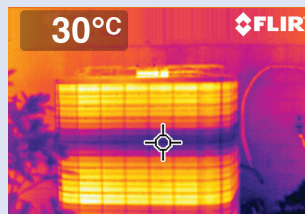
放射温度計



赤外線サーモグラフィ



放射温度計



赤外線サーモグラフィ

産業分野での赤外線技術の使用例

赤外線サーモグラフィは、電気機器や機械設備、部品等の状態監視や診断に役立つパワフルで非破壊的な検査機器です。赤外線サーモグラフィを使って問題を迅速に特定すれば、深刻な問題に発展する前に問題を報告、是正することができ、問題の深刻化と修理コストの増加を回避できます。

フリーシステムズの赤外線サーモグラフィの特長：

- デジタルビデオやカメラと同等の使い易さ
- 状況の全体像を把握できる
- 設備を稼働状態のまま検査できる
- 問題箇所を特定できる
- 温度を計測できる
- 情報を保存できる
- 修理が必要な部品を正確に特定する
- 深刻な問題が生じる前に不具合を発見する
- 無駄な時間とコストを削減

フリーシステムズは多様なニーズに応える幅広いラインナップを揃えています。大規模な設備の点検から、一般住宅のヒューズボックスの点検まで、用途にあわせて最適な赤外線サーモグラフィをお選びいただけます。

正確な温度データ付の赤外線画像は、保守点検の担当者にとっては、検査対象機器の状態を知る上で重要な手がかりを与えてくれる貴重な情報となります。赤外線サーモグラフィによる検査は、製造工程をフル稼働させたまま実施でき、さらに製造工程自体を最適化できることが多くの事例で実証されています。

このように赤外線サーモグラフィは非常に便利で多目的に利用できる万能ツールであるため、その使い道をすべて網羅することは不可能です。これまでになかった新たな用途も日々開発されています。このガイドブックでは、製造業における赤外線サーモグラフィの数ある使用方法の中から代表的な事例をいくつか取り出し、紹介します。

電気システム

赤外線サーモグラフィは、あらゆる規模、形状や電気システムや電気部品の点検に広く用いられています。

ここでは、電気システムを高圧機器と低圧機器の二つのカテゴリーに分けて、赤外線サーモグラフィの活用事例を紹介します。

高圧機器

高圧機器の点検において熱は非常に重要な評価項目です。電気の流れが抵抗体を通ると熱が発生します。抵抗が増すにつれて熱も増します。

電気接続部の緩みや腐食などにより、抵抗は経時的に増加する傾向にあります。抵抗増加に対応して温度が上昇することで不具合が起こり、予期せぬ停電や負傷を招くこともあります。さらに、熱の発生は無駄なエネルギー損失を伴います。これを放置すると、過熱は進み、接続部の溶解や熱損傷が起こり、最終的に火災の発生につながることもあるのです。

赤外線サーモグラフィで検出できる高圧機器の不具合の例:

- 高圧スイッチの酸化
- 接続部の過熱
- 接続不良
- 断熱材の損傷

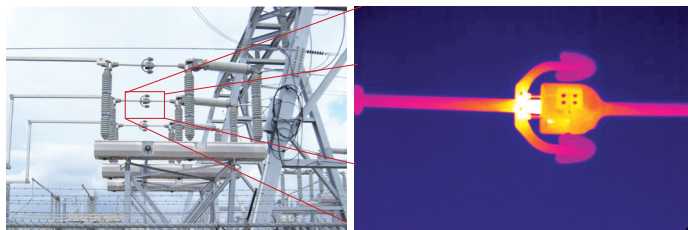
赤外線サーモグラフィによる検査では、上記の問題をはじめとして多様な問題を早期発見できます。さらに、問題箇所の正確な特定や問題の重大性が判断できるため、機器の修理スケジュール設定にも役立ちます。



変電所の広角画像により、接続部の抵抗が高くなっている場所が即座に発見できる。電気機器の保守点検において、赤外線技術の効率性の高さは群を抜いている。

赤外線技術には、電気機器を稼働したまま点検を実施できるという利点もあります。赤外線サーモグラフィは非接触型診断ツールであるため、検査対象機器が危険な場所に設置されていても、安全な距離から迅速に検査を行い、データを安全な場所に持ち帰ってデータ解析を行うことができ、検査技師に危険が及ぶことはありません。

フリーシステムズの産業業界向け 赤外線サーモグラフィは全て携帯型で電池式であるため、高圧変電所、スイッチギア、変圧器、屋外ブレーカーなどの屋外での検査を迅速かつ効果的に行うことができます。



赤外線サーモグラフィは高圧機器を安全な距離から検査できるため、作業者の安全性向上に役立つ

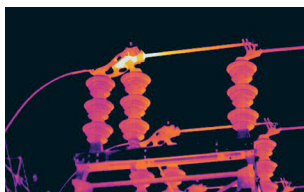
電気やガスなどの公共事業では、業務の継続性の確保が極めて重要です。そのため、世界中の公共事業で、赤外線技術が保守点検の中核的な役割を担っています。

人々の生活に欠かせない電力の安全供給確保に向けた24時間365日体制の予知・保全プログラムをサポートするため、フリーシステムズは最高性能の赤外線技術を提供しています。

可視画像



赤外線画像



フュージョン



変電所の検査で、過熱した部品が発見された

低圧機器

赤外線サーモグラフィは、あらゆる規模、形状の電気システムや電気部品に使用されており、当然ながらその用途は高圧機器だけに限定されません。

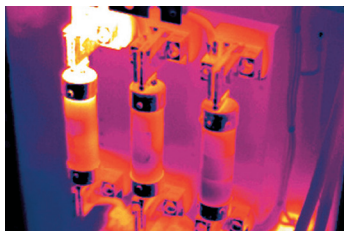
赤外線サーモグラフィによる電気キャビネットやモーター制御センターの定期検査が実施されています。こうした機器の異常を放置すると、過熱が進行し、接続部の溶解や熱損傷、ひいては火災に至る危険性もあります。

電気システムでは、接続部の緩み以外にも、負荷の不均衡や腐食、電気抵抗の増加などの問題が生じます。赤外線サーモグラフィによる点検では、ホットスポットの位置の特定や問題の重大性の判断ができるため、機器の修理スケジュールの設定にも役立ちます。

赤外線サーモグラフィによる点検で検出できる低圧機器の不具合の例：

- 接続部の電気抵抗の増加
- 接続部の腐食
- 内部ヒューズの損傷
- 内部ブレーカーの不具合
- 接続不良と内部損傷

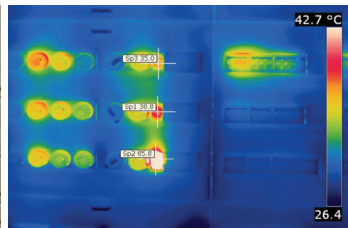
赤外線サーモグラフィによる検査では、上記の問題をはじめとして多様な問題を早期発見できます。問題の早期発見は、コストにかかる故障の危険な状況の回避に役立ちます。



接続部の過熱

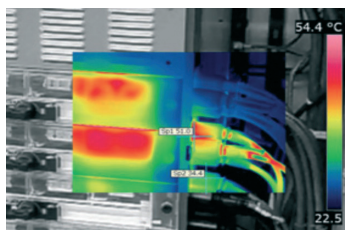


接続部の過熱

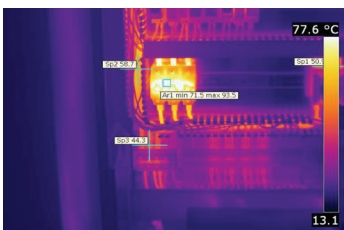


各ヒューズへの分配電圧の不均衡を示す赤外線画像

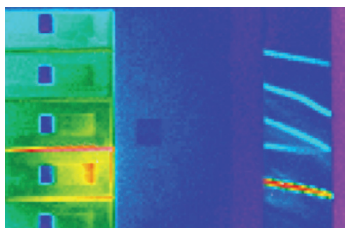
フリーシステムズは、生産工場だけでなく、企業、病院、ホテル、自宅の低圧機器の点検に最適な赤外線サーモグラフィを提供しています。



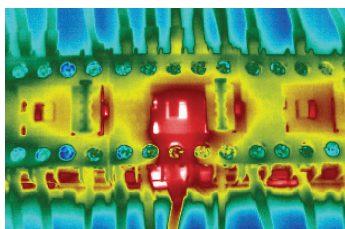
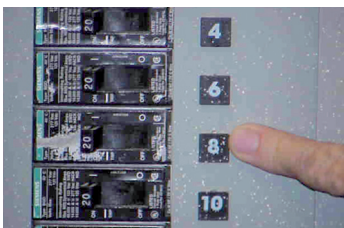
接続部の過熱を示すフュージョン



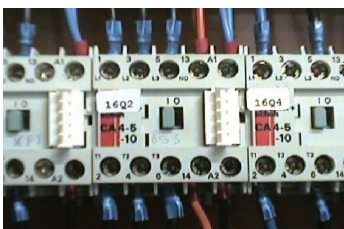
ヒューズに過熱がみられ、修理が必要であることを示す赤外線画像



短絡により過熱しているため、火災発生の危険がある



短絡により過熱しているため、火災発生の危険がある



機械装置

各種機械システム/設備は、多くの製造業の基幹を支えています。

赤外線サーモグラフィで集められた温度データは、機械設備のモニタリングにおける振動試験の補足情報をして極めて重要です。

機械システムの一部で位置のずれが生じると、そこは熱を帯びます。

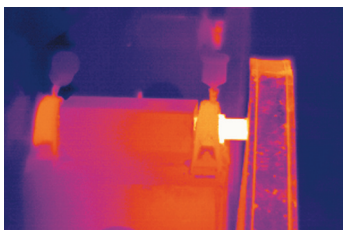
コンベヤーベルトが良い例です。ローラーの一枚が摩耗すると、赤外線画像にホットスポットとして表示されるため、交換することが可能です。

通常、摩耗や効率低下が生じた機械部品は熱を放散します。その結果、故障の兆候として、不具合のある機器やシステムの温度は急激に上昇するのです。

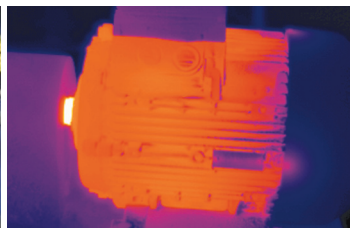
赤外線サーモグラフィで定期点検を実施し、正常運転時の温度と測定値を比較すれば、以下のような様々な不具合を発見できます。



不具合が疑われるローラー



過熱したベアリング



この赤外線画像は正常運転時の電気エンジンを示す

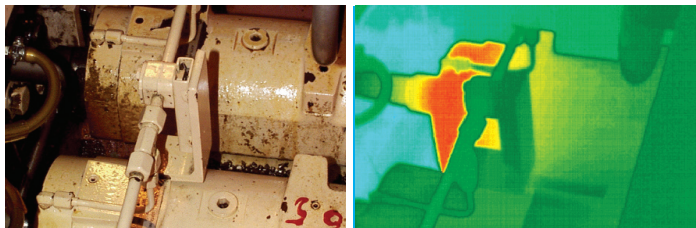
赤外線サーモグラフィはモーターの検査にも有効です。モーターの異常(接続摩擦や電機子短絡)がある場合、そこが熱を帯びます。しかし、ホットスポットは振動をほとんど伴わないため、振動解析では検知されないことが多いのです。全体を撮影した赤外線画像により解析では、他のモーターとの温度差で異常を検知することが可能です。

その他にも赤外線サーモグラフィで検査できる機械設備には、連結部、ギアボックス、ベアリング、ポンプ、コンプレッサー、ベルト、送風機、コンベアなどがあります。

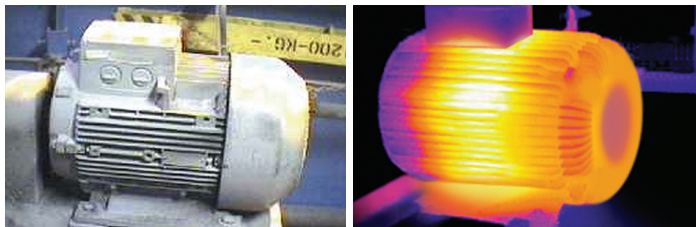
赤外線サーモグラフィで検出可能な機器の不具合の例:

- 潤滑問題
- 位置のずれ
- 過熱したモーター
- 異常が疑われるローラー
- 過負荷状態のポンプ
- 過熱したモーター軸
- 過熱したベアリング

赤外線サーモグラフィによる検査では、上記の問題だけでなく多様な問題を早期発見できます。早期発見により多大なコストのかかる故障を回避し、生産継続性を確保できます。



モーター:ベアリングの不良



モーター:内部ワインディングの不良

パイプライン

赤外線画像は、パイプ、配管、バルブの断熱材の状態について重要な情報を提供します。

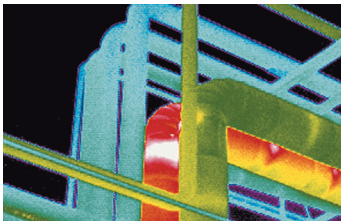
配管周囲の断熱材の状態を検査することは非常に重要です。断熱材の剥離による熱の損失は、赤外線画像にはっきりと示されるため、断熱材の欠損箇所を直ちに修理でき、大きなエネルギー損失や問題の深刻化を防ぐことができます。

プロセスバルブの検査にも赤外線サーモグラフィが有効です。赤外線カメラを使えば、漏れの検出はもちろんですが、バルブの開閉状態を離れた場所からでも確認できます。

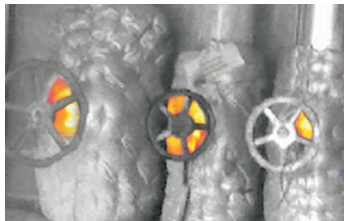
赤外線画像で検出できる配管の不具合の例:

- ポンプ、パイプ、バルブの漏れ
- 断熱材の破損
- パイプの詰まり

パイプの漏れや詰まり、断熱材の破損は、赤外線画像にはっきりと映し出されます。さらに、赤外線サーモグラフィは設備全体の画像を撮影できるため、パイプを1本1本検査する手間は不要です。



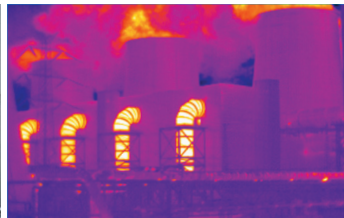
断熱材の損傷



断熱材の欠損により蒸気配管設備で熱漏れが生じている



断熱材検査



耐火材および石油化学設備

加熱炉とボイラーは、様々な産業分野での製造工程で使用されています。しかし、加熱炉、ボイラー、キルン、焼却炉、クラッカー、反応炉などの内張りに使用される耐火材は変性しやすく、性能劣化が問題となります。赤外線サーモグラフィを使えば、赤外線画像に熱の伝播状況がはっきりと映し出されるため、耐火材の損傷やそれに伴う熱損傷の位置を簡単に特定できます。

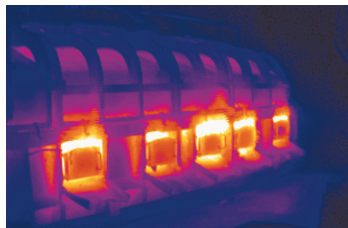
フリーシステムズの赤外線サーモグラフィは、耐火材検査などあらゆる種類の設備メンテナンスに使用でき、正確かつ迅速な診断結果を提供します。

赤外線サーモグラフィは石油化学部門でも広く利用されています。加熱炉のメンテナンスや耐火材剥離やコンデンサーフィンの検査において、迅速かつ正確な診断結果が得られます。熱交換器を検査し、パイプの詰まりを検査することも可能です。

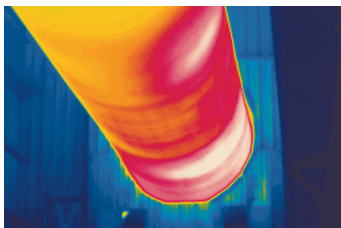
フリーシステムズの赤外線サーモグラフィは、クラッカー設備の検査にも活躍します。クラッカー設備内の配管の多くは、断熱材となる耐火性の石で裏打ちされています。赤外線技術を使えばこうした断熱材の検査を簡単に実施できます。



石油化学反応炉の断熱材検査



断熱材の不具合



セメント回転窯の耐火材の剥離



加熱炉の煙突の耐火材検査

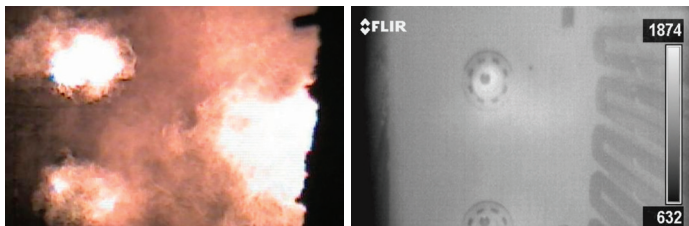
加熱炉やボイラーのトラブルは、様々な原因で起こります。例を挙げると、コークス生成による配管の詰まり、配管壁でのスラグ生成、温度の異常な低下および上昇、バーナーの位置のずれによる火炎の衝突、ガスや液体の漏れなどがあり、いずれも火災や機器の重大な損傷を引き起こす可能性があります。

炎を見通す

外側からの検査だけでは、加熱炉やボイラーの耐火材の状態を正確に診断することはできません。加熱炉やボイラー内部の耐火材検査も必要です。従来のはやり方は、内部の検査をするには設備を停止しなければならず、生産稼働率の低下により極めて多額なコストを要しました。しかし、フリーシステムズの赤外線サーモグラフィを使えば、稼働したままにの状態設備の内部検査ができるため、こうした損失を回避することが可能です。

フリーシステムズは炎越し検査を行えるように専用の赤外線サーモグラフィに炎フィルタを内蔵しました。炎は波長によって放射する赤外線の強度が異なり、一定波長ではほとんど赤外線放射がみられません。この特性を利用した炎フィルタにより、赤外線サーモグラフィで「炎を見通す」ことを可能になりました。

炎を見通すことができるフリーシステムズの赤外線サーモグラフィを使えば、ボイラーや加熱炉をフル稼働させながら検査することができます。その結果、検査時のダウンタイムをなくすることができるだけでなく、安全性を確保しながら生産レベルをどだけ上げることができるかを判断するための極めて重要な情報が得られるため、生産両を劇的に工場させることが可能です。



炎越しの温度計測ができるフリーシステムズの赤外線サーモグラフィ

その他の活用事例

上述の事例以外にも、赤外線技術は様々な用途で使用されています。

ガスフレアの検出

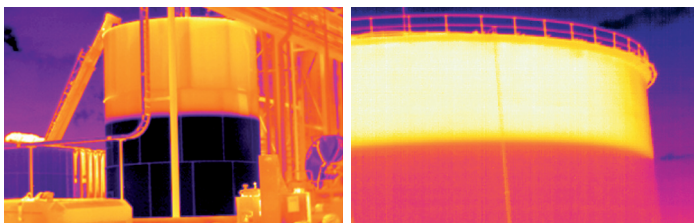
生産工程中に発生したガスを焼却処分する際に発生する炎をフレアと呼びます。フレアは人間の目には見えません。しかし、フレアリングが不十分だと大気中に有毒ガスが放散される危険があるため、確実にフレアリングする必要があります。赤外線サーモグラフィを使えば、フレアが燃えているかどうかを簡単に確認できます。



可視画像ではフレアは見えないが、赤外線サーモグラフィの画像ではフレアを確認できる

タンクレベルの検出

赤外線技術を使えば、タンク内の液体レベルを簡単に検出できます。タンク内の液体がある側とない側には温度差があり、赤外線の放射強度が異なるため、赤外線画像には液体レベルがはっきりと表示されるのです。



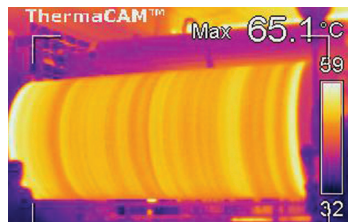
赤外線画像に貯蔵タンク内の液体レベルがはっきり映っている

その他の活用事例:

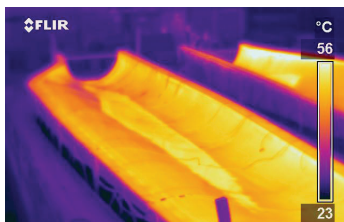
- 溶接ロボットのホットスポット検出
- 航空機材の検査
- 金型検査
- アスファルト舗装の温度分布のチェック
- 製紙機械の検査



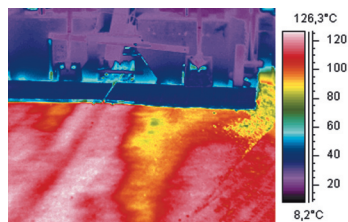
溶接ロボットのホットスポット



製紙工場の赤外線画像



金型の赤外線画像



アスファルト舗装

電機・機械機器、タンク内の液体レベル、耐火材をつけた機器、配管、フレアバーナー、そのほかの様々な産業用設備の検査に赤外線サーモグラフィは最適なツールです。

フリーシステムズは産業分野の高度に専門的なニーズにも対応する最適ソリューションをお届けします。手頃な価格帯のモデルからプロフェッショナルモデルまで、フリーシステムズの赤外線サーモグラフィはきめ細かいラインナップでお客様のニーズに応えます。

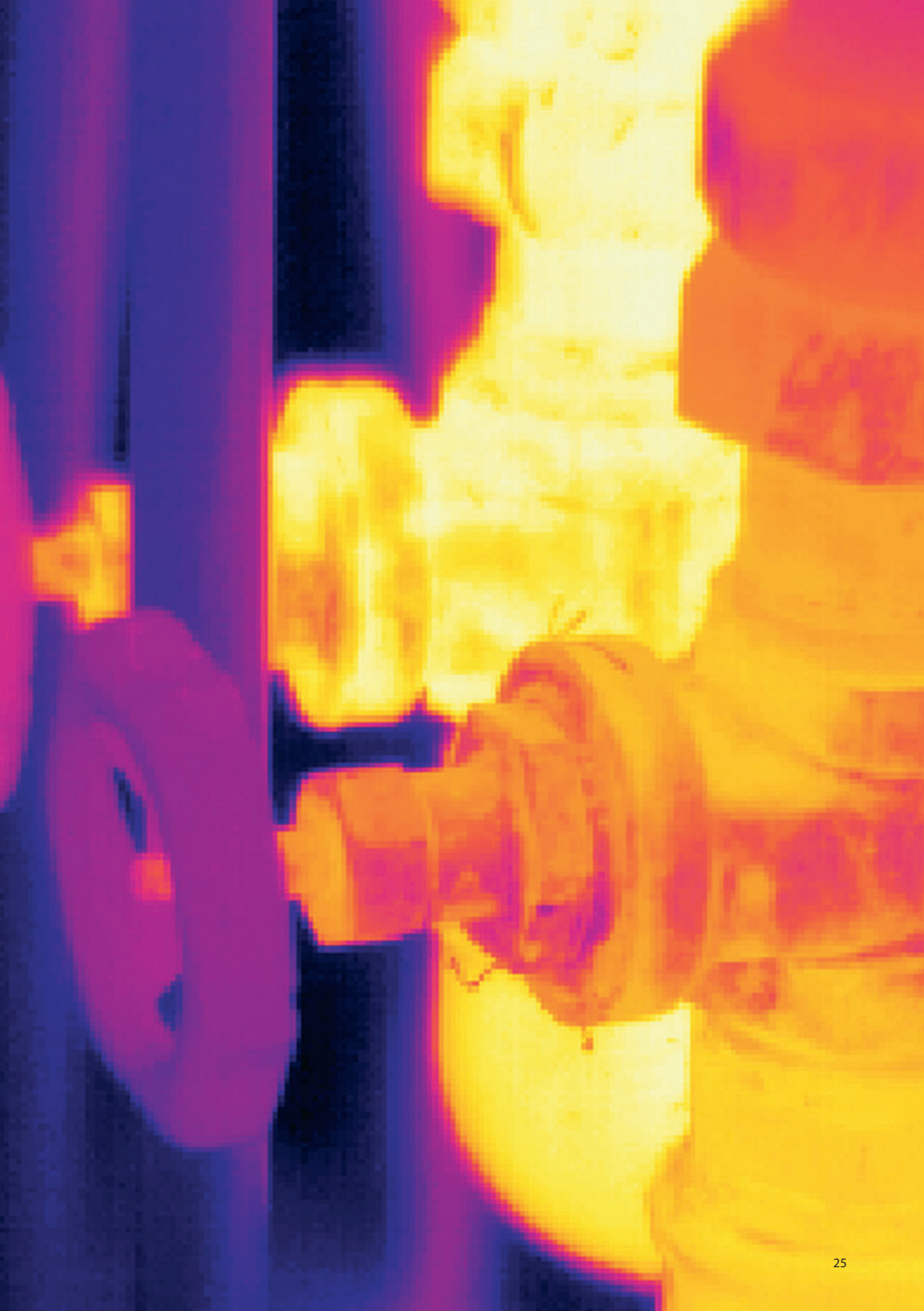
4

赤外線サーモグラフィの選び方

赤外線サーモグラフィは、長期的な投資です。一度、赤外線サーモグラフィを使い始めると、設備と従業員の安全を赤外線サーモグラフィが一手に担うようになるためです。そのため、ニーズに合った機種を選ぶだけでなく、長期的なサポートを得ることができる信頼性の高いメーカーを選ぶことも重要になります。

メーカー選びの基準:

- **ハードウェア**
赤外線サーモグラフィに求めるニーズは用途によって千差万別です。ニーズに最適な製品が選べるよう、手頃な入門モデルから高性能のハイエンドモデルまで幅広いラインナップを揃えたメーカーを選ぶことが重要です。
- **ソフトウェア**
どのような用途で使用するにしても、画像解析や検査結果のレポート作成や管理などにソフトウェアが必要になります。用途に合った適切なソフトウェアと組み合わせて使うことができる赤外線サーモグラフィを提供するメーカーを選びましょう。
- **アクセサリ**
赤外線サーモグラフィを使っていくうちに、その利点を活かせる用途を発見するなどして、使う側のニーズも変化します。ですから、ニーズに合わせてシステムを拡張できるようにしておきましょう。多種多様なレンズやディスプレイのオプションを提供しているメーカーを選ぶことも大切です。
- **サービス**
産業向 赤外線サーモグラフィの多くはメンテナンスフリーの堅牢な構造をしています。万が一カメラに異常があったときに備え、サービスセンターは近くにあって欲しいものです。さらに、赤外線サーモグラフィには再校正が必要になることがあります。その場合も、カメラを地球の裏側に送るよりは、同じ国や地域のサービスセンターに送り、返却までの時間が短縮されることが望ましいでしょう。
- **トレーニング**
カメラの操作だけでなく、赤外線技術の奥深い世界を理解するためにも、質の高いトレーニングと用途に合わせたサポートを提供してくれるメーカーを選択すべきです。



5

物理熱学

赤外線画像を正確に解釈するために、対象となる物質や状況が赤外線サーモグラフィの測定値にどのような影響を及ぼすのか理解しておく必要があります。以下の要因は、温度測定値に影響を及ぼす代表的なものです。

1. 熱伝導率

熱伝導率は物質によって異なります。例えば、断熱材は温まるのに時間がかかります。金属はすぐに温まります。2つの物質の熱伝導性の違いが、状況によっては大きな温度差を生みます。

2. 放射率

正確な温度を測定するために考慮にいれるべき重要な要因が放射率です。放射率とは、ある物体の赤外線放射の効率のことで、物質の特性によって大きく異なります。



赤外線画像では、金色の絵が描かれた部分がマグカップ表面よりも温度が低いように見えるが、実際の温度はどちらも同じである。放射率が違うため赤外線放射量に相違が見られる。

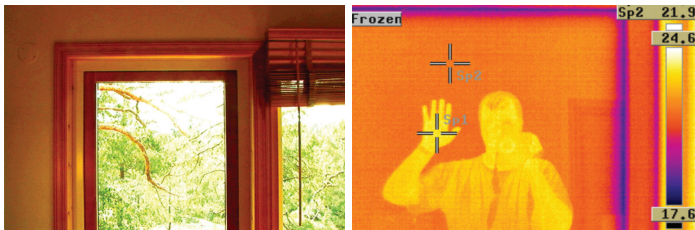
カメラの放射率の設定が正しくなければ、測定誤差が大きくなります。フリーシステムズの赤外線サーモグラフィは様々な物質の放射率データを内蔵しており、データにない物質も放射率表から調べることができます。



左の赤外線画像は人間の皮膚の放射率 [0.97] を正しく設定しており、正確な測定値 [36.7 °C] が得られている。右の赤外線画像は誤った放射率 [0.15] を入力したため、測定値 [98.3 °C] に大きな誤差が生じている。

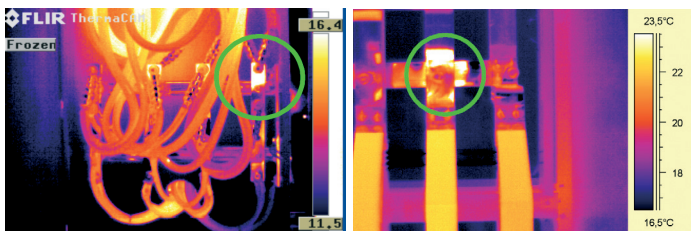
3. 反射率

鏡が可視光線を反射するように、赤外線放射を反射する物質があります。例えば、酸化していない金属(表面に光沢のあるもの)などは反射量が多いため、赤外線画像の解釈が難しくなります。また、例えば、赤外線サーモグラフィのオペレーターが発する熱放射の反射が、ホットスポットと誤認されるケースなどがあります。このような場合、オペレーターは反射を避けるため、赤外線サーモグラフィを対象に向ける角度を慎重に決めなければなりません。

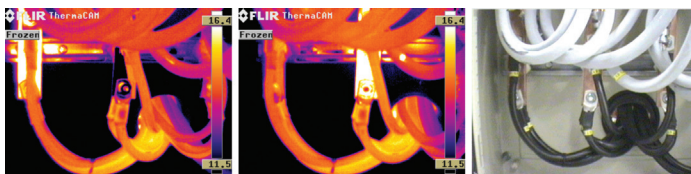


窓が熱放射を反射するため、赤外線画像では窓が鏡のように見える。

測定対象物の表面が、酸化していない金属のような放射率の低い材質である場合、周辺と対象物の温度差が大きいほど、周辺温度の反射による測定誤差は大きくなります。この問題に対処するため、フリーシステムズの赤外線サーモグラフィでは、周辺温度の設定オプションを追加して、反射温度による補正が可能です。



ホットスポットとみなされるところが2ヶ所あるが、これは酸化されていない金属表面の反射による誤認である。実際のホットスポットは色が均一であることが多いが、反射では色むらがあるため、誤認であるかどうかを見分けられる。

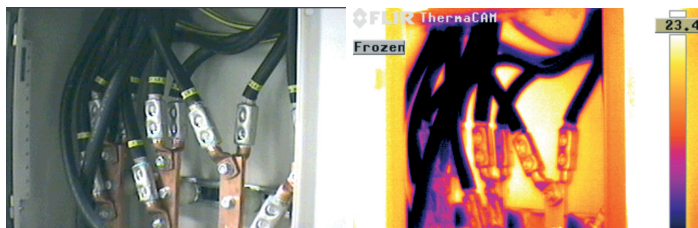


赤外線サーモグラフィの位置をわずかに変えると、中央の画像のホットスポットが消える。このことから、このホットスポットは反射によるものと分かる。

正確な放射率と反射率を設定するには、キャリブレーション(校正)テープと呼ばれる規定放射率(通常は1に近い値)を有するテープを使用する方法もあります。キャリブレーション(校正)テープを測定対象物の表面に張り付け、テープと表面材の温度が同じになるまで数分間待ちます。規定放射率を用いて、テープの正確な温度を算出します。テープと表面材の温度は同じであるため、キャリブレーション(校正)テープの測定値と表面材の測定値が同じになるように、材質の放射率(必要に応じて反射率も)の設定を変更します。

4. 天候条件

周辺の気温も測定温度に多少影響します。周辺温度が高いと、測定物全体が温まるためホットスポットが分かりにくくなり、反対に周辺温度が低いとホットスポットの温度が事前に設定した基準値よりも低くなるためです。



この赤外線画像は、撮影状況を知らない人がみると、非常に不可解である。このケーブルは、電流は流れていないが、部屋の温度が高いため、周辺温度が酸化していない金属表面に反射している。

直射日光の影響が大きいことは言うまでもありません。直射日光と影の影響は、日光に照射されて数時間後の温度分布にも影響することがあります。こうした日光の影響と熱伝導により生じた温度分布とを混同することがあるので注意が必要です。その他に考慮すべき天候条件は風です。空気の流れにより表面材の温度が低下すると、高温部と低温部の温度差が小さくなります。

その他に、赤外線画像検査は雨によって無効となります。雨は表面材の温度を下げるためです。雨がやんだ後も蒸気によって表面材の温度が低下することがあります。こうした条件により測定温度分布に誤差が生じます。

5. 暖房及び換気装置

屋内でも表面温度に対して影響を及ぼす外部要因はあります。周辺温度もそうですが、温度調節器も測定対象物の表面温度に影響することがあります。暖房装置によって生じた温度差は、温度分布の測定誤差の原因となります。換気システムや冷房からの冷たい風には逆の作用があり、部品内部の温度が高くても、表面の温度を下げってしまうため、不具合の兆候があっても見逃してしまう恐れがあります。

6

最適なソリューションの見つけ方

カメラ、ソフトウェア、トレーニングの最適な組み合わせを見つけるには、基本的に下記6点の評価が必要です：

1. カメラの解像度 / 画質
2. 温度分解能
3. 精度
4. カメラの機能
5. ソフトウェア
6. トレーニングの必要性

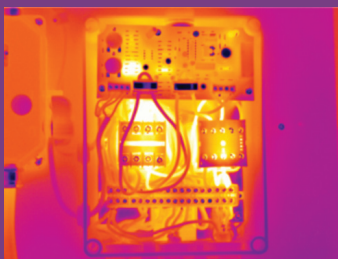
1. カメラの解像度

画質、すなわちカメラの解像度は重要な要素です。最も手軽な価格の入門モデルの解像度は 60 x 60 ピクセル、最高性能のモデルの解像度は 640 x 480 ピクセルです。

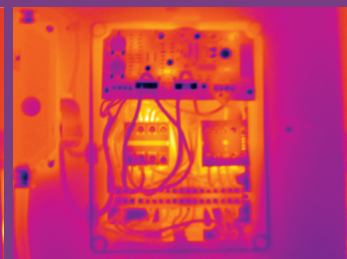
320 x 240 ピクセル、または 640 x 480 ピクセルといった高解像度の赤外線サーモグラフィでは、高画質な画像が得られます。専門的な検査を行うサーモグラファーの間では、640 x 480 ピクセルが標準になりつつあります。

320 x 240 ピクセルのカメラ1画面における測定点が 76,800 点であるのに対して、640 x 480 ピクセルのカメラは 307,200 点です。解像度が高いと正確な測定ができるだけでなく、画質も大きく違ってきます。

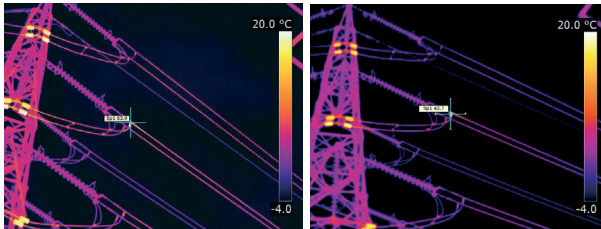
解像度が高いほど、画像がクリアになり、正確な温度測定や画像理解が可能になります。



赤外線画像: 640 x 480 ピクセル

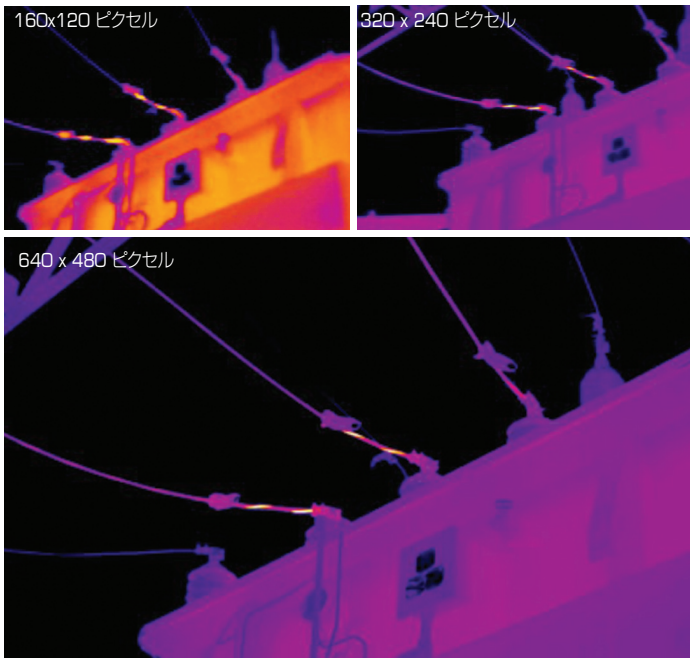


赤外線画像: 320 x 240 ピクセル



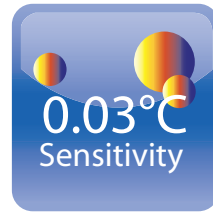
解像度が高いほど、正確な温度計測が可能である。左の 640 x 480 ピクセルの赤外線画像の温度測定値は 63.9°C、右の 320 x 240 ピクセルの温度測定値は 42.7°C である。

解像度の高いカメラを使うと1枚の画像で撮れる対象物のサイズが大きくなります。解像度が低いと、同等の画質で同じエリアをカバーするのに何枚かの画像が必要になってきます。640 x 480 ピクセルで 45° レンズがついたカメラを使うと、5メートルの距離から約 4 m x 3 m の対象を1枚の画像で検査できます。320 x 240 ピクセル、45° レンズのカメラでは同じ対象を同等の画質で撮影するには、2.5メートル離れた場所から4枚の画像を撮影する必要があります。高解像度のカメラを使うと、撮影枚数が減るだけでなく、レポート作成する際に時間の節約にもなります。



2. 温度分解能

温度分解能とは、カメラが検出できる最小温度差です。温度分解能が高いほど、赤外線サーモグラフィが検出し、画像化できる温度差は小さくなります。温度分解能の単位は普通 $^{\circ}\text{C}$ 又はmkです。フリーシステムズの産業向けの最先端モデルでは、温度分解能 0.03°C (30mk)を実現しています。



赤外線技術を利用する現場の多くでは、どれだけ小さな温度差を検知できるかが重視されます。特に、製造業における赤外線サーモグラフィの適用事例の多くでは温度差がそれほど大きくないため、サーモグラフィの温度分解能が極めて重要なのです。正確な診断を下し、適切な対策を講じるためには、温度分解能の高い赤外線サーモグラフィによるわずかな温度差に関する情報が必要になります。

3. 精度

測定は、程度の差はあれ、誤差を伴うものです。赤外線サーモグラフィによる温度測定も例外ではありません。そのため、赤外線画像の精度が問題になるのです。

赤外線サーモグラフィの表示では、赤外線画像精度は%および $^{\circ}\text{C}$ で示されます。これは、カメラの誤差の範囲を示します。つまり、測定値と実際の温度との差が表示された%または絶対温度(いずれかの大きい方)の範囲内であることを意味します。

今日の業界標準は $\pm 2\%$ / $\pm 2^{\circ}\text{C}$ です。フリーシステムズの最先端モデルなかには $\pm 1\%$ / $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の精度を有する製品もあります。

4. カメラの機能

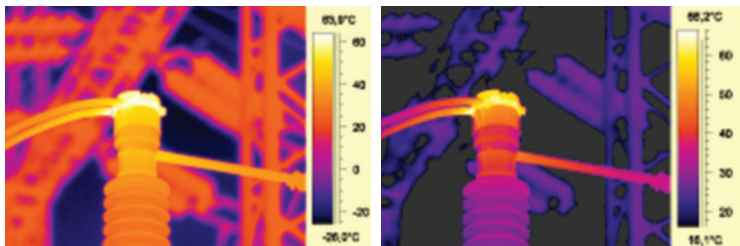
放射率と反射率

前項で説明した通り、赤外線サーモグラフィの撮影において物体の放射率は、必ず考慮しなければならない重要項目です。フリアーシステムの産業向 赤外線サーモグラフィはすべての放射率と反射率の設定が可能です。放射率と反射率が設定できることのメリットは多大です。赤外線サーモグラフィを購入する際には、この機能が搭載されているかどうかを確認することをお勧めします。

温度範囲(スパン)とレベルのマニュアル調整機能

表示された赤外線画像の温度範囲とレベルをマニュアルで調整できるオプション機能は極めて重要です。この機能が付属していないサーモグラフィでは、画像内の最高温度と最低温度を自動的に検出し、その範囲内の温度を全て表示します。しかし、温度範囲を手動調整することでメリットが得られる例も少なくありません。例えば、気温が低い日に送電鉄塔の配線を検査するケースなどが考えられます。

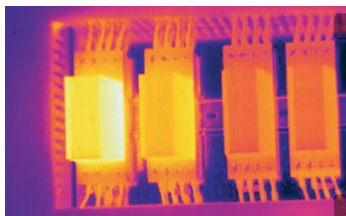
自動モード設定では、サーモグラフィは外気温(8℃)から送電線の最高温度(51℃)までを全て表示します。この画像では、鉄塔全体が単色の高温エリアとして表示されてしまいます。しかし、最低温度の設定を8℃から24℃に変えることができれば、各機器の温度差をはっきりと示す画像が得られ、接続部の過熱が一目瞭然で分かります。



同じ画像の2つのバージョン:左は自動モードの画像、右は温度範囲を狭めた画像

デジタルカメラ

多数の部品が1枚の画像に移っているような複雑な画像や接写画像では、部品を特定しづらいケースが多々あります。こうした場合、同じ対象をデジタルカメラで撮影した可視画像とともに表示することで、赤外線画像が何を捉えているのかが分かりやすくなります。そのため、フリーシステムの産業向 赤外線サーモグラフィのほとんどにデジタルカメラが内蔵されています。赤外線サーモグラフィによる予知・保全点検では、多くの場合、撮影対象を確認するための可視画像も同時に撮影していることが報告されています。



赤外線画像

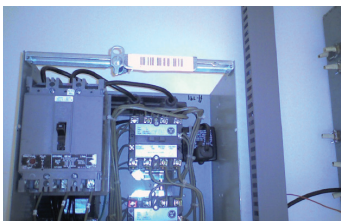
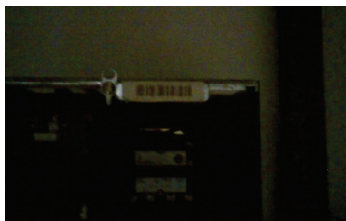


可視画像

LEDライト

赤外線サーモグラフィは光が全くない状況でも鮮明な赤外線画像を撮影できます。しかし、ライトが付属したカメラを選択することをお勧めします。

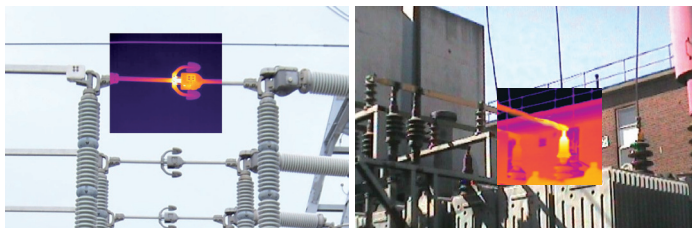
カメラに照明が付いていれば、光の条件に左右されず、内蔵のデジタルカメラで撮影ができ、ピクチャー・イン・ピクチャーやフュージョン機能を最大限に利用することができます。



2枚の画像はいずれもフリーシステムの赤外線サーモグラフィに内蔵されたデジタルカメラで撮影されたもの。右は付属のライトをつけて撮影したものです。

ピクチャー・イン・ピクチャー

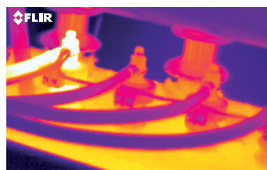
ピクチャー・イン・ピクチャーを使えば、可視画像と赤外線画像の統合が可能で、統合した画像では、可視画像の上に赤外線画像のフレームが表示されます。赤外線画像のフレームは移動やサイズの変更もできます。この機能により、問題箇所の位置を分かりやすく表示することが可能です。



ピクチャー・イン・ピクチャーで、高圧送電線の全体像をはっきり表示できる

フュージョン

フュージョンも、可視画像と赤外線画像を統合する機能ですが、指定した温度帯の温度データのみを可視画像に表示します。この機能により、修理の必要な部品の識別や報告が容易になるとともに、効率よく修理を行うことができます。



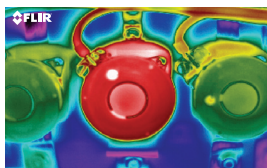
赤外線画像



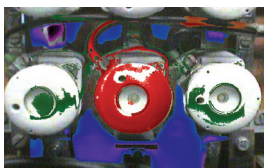
フュージョン画像



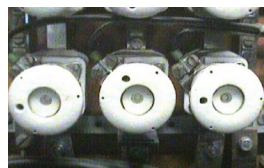
可視画像



赤外線画像



フュージョン画像



可視画像

レーザーポインター

赤外線サーモグラフィのなかには、レーザーポインターが内蔵されている機種があります。レーザーポインターは次のような理由で重要です。

まず、レーザーポインターを使うことで、赤外線サーモグラフィのレンズが何をとらえているかを正確に把握することができます。ボタンを押すだけで、赤外線サーモグラフィが撮影している場所をレーザーが示すため、迷うことなく測定対象物を識別できるのです。

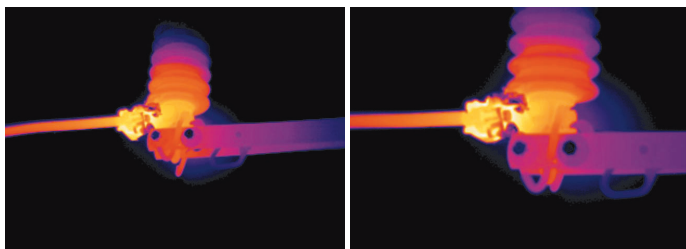
別の理由として安全性があります。レーザーポインターを使うことで、対象を指差す必要がなくなります。工場などで指差しをおこなうことは時に危険を伴うのです。



オプションレンズ

赤外線サーモグラフィを使い始めて、その潜在能力を知ることで、使う側のニーズが変化していくことがあります。しかし、ニーズに応じてオプションレンズを使用すれば、あらゆる状況に対応できます。ほとんどの事例では標準レンズが最も適していますが、視野角の異なるレンズがどうしても必要となる場合があります。

例えば、全体像を撮るために後ろに下がることができない場合でも、広角レンズを使えば問題は解決します。電気パネルや製紙用の機器など幅や高さのある対象物を検査する際にも広角レンズが役立ちます。対象が少し離れた場所にあるときは、望遠レンズが便利でしょう。望遠レンズは、高所の送電線など離れた場所にある小さな対象物の検査に最適です。



望遠レンズを使えば、詳細な画像と正確な温度計測が可能

人間工学に基づくデザインと操作性

頻繁に使うツールは軽量かつコンパクトで操作性の高いものでなければなりません。保守点検では赤外線サーモグラフィを頻繁かつ長時間使用するため、人間工学に基づいたデザインが重視されます。また、カメラを効率的に利用するため、メニューのデザインやボタンは直感的で分かりやすく、使いやすいものでなければなりません。

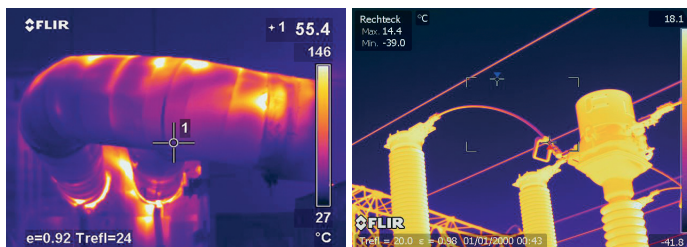
フリーシステムズは、製造する全ての赤外線サーモグラフィの軽量性、機能性、操作性をバランスよく実現しようと努めています。弊社のこの姿勢は、いくつかのデザイン関連賞の受賞につながりました。



画像フォーマット

迅速な報告書作成に必要な要因のひとつに、赤外線サーモグラフィの画像保存形式があります。赤外線サーモグラフィの中には温度データと画像を独自仕様のフォーマットで保存するものがあります。このような場合、画像を標準JPEG画像に変換するために追加のソフトウェアが必要となります。

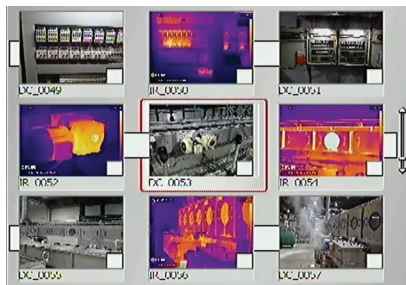
フリーシステムズのカメラはフルラジOMETリックのJPEG画像で保存するため、画像を含めた全ての温度データを標準ソフトウェアで簡単に統合できます。



フリーシステムズの全ての赤外線サーモグラフィはJPEG形式で画像を保存する

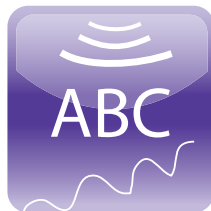
サムネイル画像ギャラリー

赤外線画像の撮影中に、カメラのメモリに入っている撮影済みの画像と照合することがあります。そのため、フリーシステムズの全てに赤外線サーモグラフィには、検索しやすいサムネイル画像ギャラリー機能が搭載されており、保存した赤外線画像から必要な1枚を素早く探すことができるため、非常に便利で時間の節約になります。



音声およびテキストコメント

検査と報告書作成の迅速化を図るため、内蔵スクリーンキーパットによるコメント入力機能がついた赤外線サーモグラフィがあります。この機能を使えば、報告書作成の効率が大きく向上します。さらに、高度な機種では、検査中に音声コメントを記録できます。この機能があれば、検査中のコメントの入力の時間を削減できます。



GPS機能

赤外線画像を撮影した場所を忘れてしまったことはありませんか？ 撮影場所を書いたメモをなくしてしまったことはありませんか？ フリーシステムズの最先端モデルにはGPS機能が付いており、赤外線画像にGPS位置情報を付加できます。この機能は、角画像の撮影場所情報を記録する際に非常に便利です。



外部検査・測定ツールとの互換性

機器に関する情報として温度だけでは不十分な場合があります。このような場合、機器の全体像を把握するため、予知・保守点検ではクランプメーターなどのセンサーを使用して検査を行います。クランプメーターの測定値はその場で記録され、後に報告書に記載されます。しかし、この方法は非効率であり、人的エラーが発生しやすいという問題があります。

フリーシステムズは、検査の信頼性を高めるため、Bluetooth MeterLinkを使い、クランプメーターの測定値を自動保存できる赤外線サーモグラフィを提供しています。測定値を手書きで記録する方法はもはや過去のものです。Bluetooth MeterLinkを使えば、クランプメーターの測定値を自動的にカメラにワイヤレス送信し、対応する赤外線画像に保存できます。

(日本国内未発表)

METERLINK
Bluetooth



ワイヤレス接続

WiFi技術を使えば、ワイヤレス通信が可能です。画像をカメラから直接スマートフォンやタブレットPCCにワイヤレスで送ることもできます。



*2011年11月現在、iPad/iPhoneだけでなくアンドロイドOSの機種にも対応したソフトウェアがあります。詳細については、弊社までお問い合わせください。

5. ソフトウェア

検査を実施した後は、上司やお客さまへ検査結果の報告を行うことがあります。赤外線画像の分析と検査結果のレポート作成は重要な作業です。赤外線サーモグラフィを購入する際は、画像分析や報告書作成ができる基本ソフトウェアパッケージの付属した製品を選ぶことをお勧めします。



一般的に、赤外線サーモグラフィに付属するソフトウェアは、基本的な報告書作成機能と解析機能を備えています。さらに、単一点での温度計測機能やその他の基本的な測定ツールも付属しています。

フリーシステムズの赤外線サーモグラフィは、さらに高度な解析及び報告書作成オプションを求める声に応えて、以下のような機能を備えた包括的なソフトウェアパッケージを提供しています。

- 報告書のページデザインやレイアウトを柔軟に変更できるカスタマイズ機能
- 強力な温度解析ツール:複数点・エリアの測定、温度差測定
- トリプルフェュージョン・ピクチャー・イン・ピクチャー(移動、サイズ変更、拡大縮小が可能)
- トレンド解析機能
- 赤外線画像の測定値を使った計算式の作成
- ラジオメトリックシーケンスを直接レポートで再生可能
- レポート作成に必要な画像を素早く探せる検査機能
- 数枚の画像を1枚につなぎ合わせるパノラマツール

問題箇所がどこにあるかを明確に示し、予防措置をとる必要があることを上司やお客さまに納得してもらうには、信頼性の高い解析情報を提示した説得力のあるレポートが必要です。

6. トレーニングの必要性

フリーシステムズは、世界的な赤外線トレーニング基幹である赤外線技術トレーニングセンター(ITC)(ISO取得)と提携しています。日本では、ITC レベル1・2コースを日本語で開催し、多くの赤外線サーモグラフィユーザーの方にご参加いただいています。詳しくは弊社ウェブサイトにてご確認ください。

7 赤外線サーモグラフィによる検査方法

赤外線サーモグラフィを選んだら、次は検査を開始しなければなりません。この章では、赤外線画像検査の進め方について説明していきます。

1. 検査リストの作成

まず、検査が必要な機器/設備をすべてリストアップしてください。企業では、既存のリストが利用できる場合も多いでしょう。その場合は、赤外線画像検査にそぐわない機器/設備があれば、リストから外してください。

次に、リストに挙げられた機器/設備に優先順位を付けます。保守点検記録や製造記録を見直し、故障が起きやすい機器があれば、精密検査の対象とします。また、機器/設備に故障があった場合の直接的な影響の大きさも勘案します。重要機器の検査は頻繁に必要ですが、一時的に不具合が生じても全体工程に影響を及ぼさない機器の検査はそれほど頻繁に行う必要はありません。

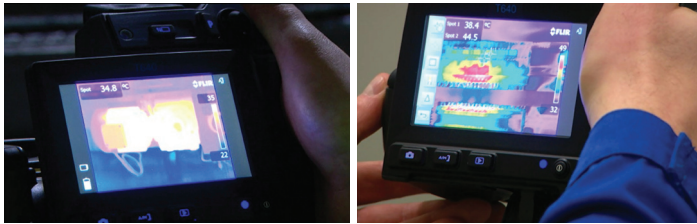
こうした情報に基づき、赤外線検査のスケジュールを立てます。しかし、まだ準備は整っていません。検査を開始する前に、もう一つ重要な作業があります。

2. ベースライン検査

機器の問題を診断する検査を開始する前に、基準となる資料が必要です。そのため、検査対象となる全ての機器の赤外線画像を撮影することをお勧めします。この作業は、通常の稼働状態で実施します。故障しやすい主要部品やシステムを有する機器については、1台につき複数枚の赤外線画像を撮影すべきでしょう。



撮影した画像は検査基準として使用するため、このベースライン検査は極めて重要です。本書の3章に記載した項目に注意を払い、正確な温度測定をしてください。ベースライン検査のレポートには、各機器の放射率や反射率の設定値など撮影に使用した方法、並びに各画像の撮影場所の説明を記載します。



ベースライン画像のデータベースが揃ったら、各機器/設備の許容可能な温度帯とアラーム作動温度を決定します。アラーム設定を行うことで、赤外線画像内に閾値を超えるホットスポットがあればアラームが作動するため、検査の迅速化を図ることができます。このアラーム作動温度を将来の使用のために記録します。

このベースライン検査データはすべて、今後の検査で機器の異常を診断する際に役立つ重要な情報です。

3. 検査の開始

ベースライン検査を全て実施し、報告書作成が完了したら、機器/設備の検査を開始する準備が整いました。機器の故障しやすさ、並びに全体工程への故障の影響を勘案した検査対象機器/設備リストと検査スケジュールが揃います。

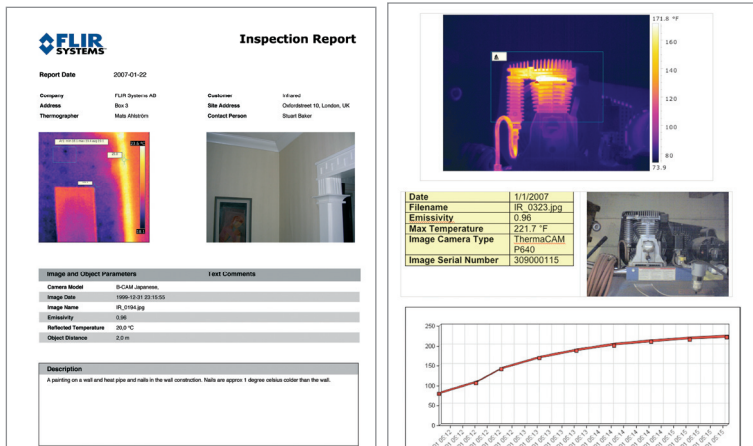
機器/設備を検査する際には、アラーム作動温度を正確に設定した上で、検査を開始します。アラームが作動すれば、精査の必要があることを意味します。

ただし、アラーム設定があるからといって、赤外線画像のきめ細かいチェックが必要なわけではありません。赤外線サーモグラフィのオペレーターは赤外線技術の物理特性と検査対象機器の特性の両方について精通している必要があります。例えば、破断したヒューズや冷却材の流れが悪くなった冷却システムを検査する場合、ホットスポットではなく、コールドスポットが異常の兆候を示します。ですから、赤外線サーモグラフィのオペレーターは、機器のあらゆる不具合にどのような温度変化が伴うかを理解しておくべきなのです。



4. 解析と報告書作成

機器/設備の検査が全て完了したら、事務所に戻り、画像の解析と結果をレポートにまとめる作業が待っています。ただし、解析と報告書作成で全てが終了するわけではありません。プロフェッショナル向け報告書作成ソフトウェアFLIR Reporter (レポーター) を使えば、機器の経時的な温度データを理解しやすい表やグラフに正確に記録できます。こうしたデータにより、メンテナンスが必要な時期の予測ができるようになり、計画的な保守管理が可能になります。



(日本語対応)



FLIR i3/i5/i7



FLIR Eシリーズ



FLIR Tシリーズ



FLIR T600シリーズ



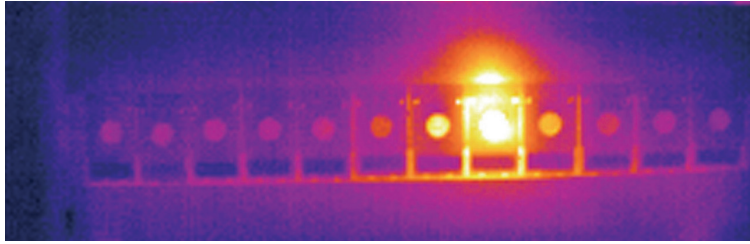
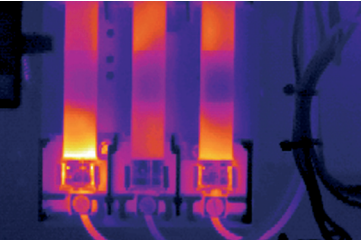
FLIR SCシリーズ



*ご購入から30日以内に、オンラインないしFAXにて製品登録いただくと保証期間が延長されます。

NOTES

A series of horizontal dotted lines for writing notes.



赤外線サーモグラフィによる貴社設備/機器診断に関するご相談は
弊社もしくはお近くの弊社代理店までお気軽にどうぞ。

フリアーシステムズジャパン株式会社
〒141-0031
東京都品川区西五反田3-6-20
西五反田アクセス8F
☎: 03-6277-5681
FAX: 03-6277-5682
Eメール: info@flir.jp

www.flir.com/thg