

熱で診る保全技術 赤外線サーモグラフィ

Maintenance technology by Infrared Thermography

NEC Avio 赤外線テクノロジー (株) 山越 孝太郎
Kotaro YAMAKOSHI NEC Avio Infrared Technologies Co.,Ltd.

The use of the infrared thermography, the problem with the equipment maintenance field, and the trend and the application of the attestation system are described.

Keywords: Thermography, Infrared, Certificate

1. 緒言

絶対零度以上のすべての物体は、その表面からその物体の持つ熱エネルギーに応じた目に見えない赤外線エネルギーを放射している。物体表面から放射される赤外線エネルギーの量と物体の温度は、物体の温度が高いほどより大きなエネルギーを放射するという比例関係にある。この赤外線エネルギーを検出し、測定対象物の温度を非接触で測定する装置を赤外線放射温度計または赤外線サーモグラフィと呼ぶ。赤外線サーモグラフィの特長として、遠隔から非接触での温度測定が可能、動いている物体や急速に温度変化する対象物の温度測定が可能、計測時間が短く効率的、温度分布が二次元の温度分布パターンとして表現され異常部位の見逃しが少ない等が上げられる。機械の熱状態を赤外線サーモグラフィを用いて観測し、機器の異常や損傷を早期に発見し故障の発生を予知する目的で使用される事が多くなってきた。これはサーモグラフィ装置の小型化、低価格化が急速に進み、以前より入手性が良くなり広く普及してきた事も一因に上げられる。しかし、手軽にサーモグラフィを使用する事

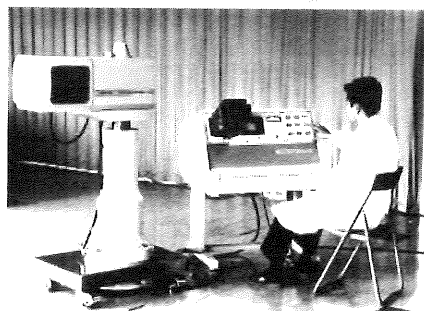
連絡先：山越 孝太郎、〒141-8535 東京都品川区西五反田 8-1-5、NEC Avio 赤外線テクノロジー株式会社 電話 03-5436-1372

e-mail:k_yamakoshi@nec-avio.co.jp

が出来るようになった反面、計測にはいくつかの注意すべき点があり、これらを知らずに測定や熱画像の判断をした場合、誤った診断をすることになる。そのため、機器の普及に伴い計測技術者の訓練や技量認証制度の制定が進められている。本文では赤外線サーモグラフィの特長、技量認証及び計測事例について紹介する。

2. 赤外線サーモグラフィの特長

前述したとおり赤外線サーモグラフィ装置は小型化、低価格化により急速に普及してきている。図1に機器小型化のあゆみを例示する。



1971年



1982年



1997年



2008年

図1 機器小型化のあゆみ

発表年度	機器形式	機器サイズ	質量
1971年	6T06	詳細不明	詳細不明 (数十kg)
1982年	TVS4000	360(W)×215(H)×425(D)mm:コントロール部 230(W)×220(H)×225(D)mm:カメラ部	19.3kg (コントロール部、カメラ部合計)
1997年	TVS600	115(W)×142(H)×220(D)mm	2kg
2008年	F30	100(W)×65(H)×45(D)mm	350g

表1 年代毎の機器サイズと質量

1971年の開発1号機である6T06は検出部、コントロール部とも巨大で可搬性に乏しく用途も限定されていた。赤外線センサの技術革新や企業の継続的な開発努力により、2008年には質量350g、ポケットに入るサイズのサーモグラフィ装置がリリースされている。機種も昔はバラエティが無く1機種で研究開発から巡回点検までを実施していたが、現在は使用目的に合わせ研究開発用高機能機から巡回点検用の普及機まで幅広いラインナップを構成している。NEC Avio赤外線テクノロジーの製品ラインナップを図2に示す。

赤外線サーモグラフィ製品ラインナップ

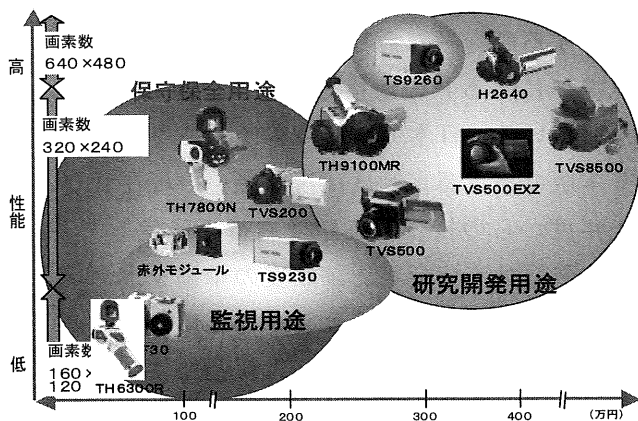


図2 サーモグラフィ製品ラインナップ

機器の多様化に従い低価格化もすすみ、現在最も低価格の機種は50万円前後で販売されている。これにより、いままで赤外線サーモグラフィは高価で有効性は理解しても導入するに至らなかったユーザーの裾野が拡大し、一般

的な計測器として広く使用されるようになった。図3にサーモグラフィ装置の価格の変遷を示す。

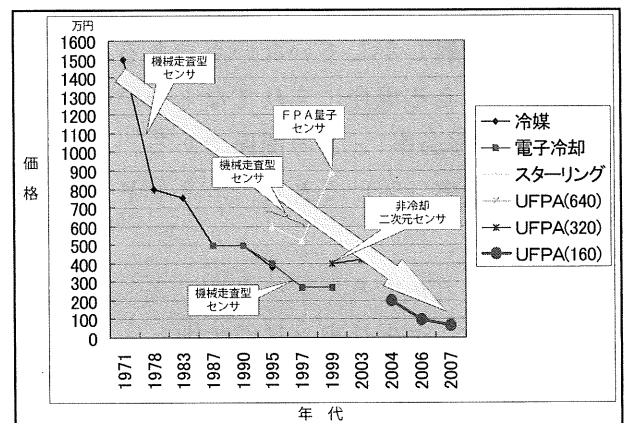


図3 当社製品価格の変遷

赤外線サーモグラフィ装置は、このように使いやすく、購入しやすくなったが、赤外線サーモグラフィ装置による計測には幾つかの留意しなければならない注意事項があり、その知識なしに計測を行うと誤診となる可能性がある。次項でその注意点と計測者の技量向上のための取り組みについて述べる。

3. 赤外線を利用した温度測定 of 注意点及び計測者の技量教育

赤外線サーモグラフィによる温度測定法は接触方式の温度測定法と比べて、被測定対象物に影響を与えず、広い領域の温度分布を短時間に測定できる利点がある反面、種々の誤差要因が入りやすく温度の絶対値を必要とする測定には特に注意が必要である。低温領域での赤外

放温度計測で問題となる点として図4のA～Eにしめす問題があり、測定の信頼性を上げるためには、各項目に対しできるだけ正確な補正を行う必要がある。測定対象物を計測したとき、赤外線サーモグラフィに入ってくる赤外線エネルギーは、測定対象物が放射するエネルギー a、測定対象物表面で環境温度が反射して入ってくるエネルギー b、背景からの放射が測定対象物を透過して入ってくるエネルギー c となる。一般に放射温度計を使用する場合、常に問題となるのは被測定物からの放射エネルギーが完全黒体放射ではなく、放射率; ε ($\varepsilon < 1$) を乗じた放射しかしていない点である。そして放射率を考える場合に忘れてならないのは 反射率; ρ 、透過率; τ との関係である。通常これらは百分率 (%) で表し、エネルギー保存則から

$$\rho + \varepsilon + \tau = 1$$

(1) 式 ; キルヒホッフの法則

という式がなりたつ。放射率は物体固有の定数だが、その物体の表面状態や形状、波長や温度によっても変動する。(1) 式の意味することは赤外線サーモグラフィの計測に於いては常に放射率が1では無い測定対象物からの赤外線放射エネルギーには被測定対象物自体の放射の他に反射成分が含まれている訳で環境温度や背景温度の影響を受ける事である。

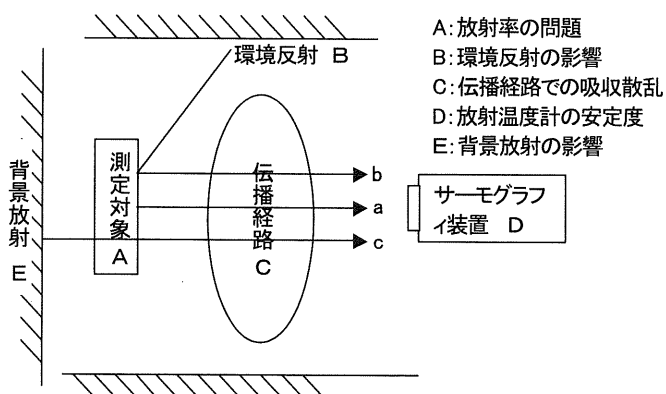


図4. 測定上の問題点

また伝搬経路に於いても大気による赤外線の吸収や塵による散乱がおこる。これらを考慮せず単純に計測を行うと誤診を生みやすくなる。正しい計測を実施するためには、赤外線サーモグラフィ計測における問題点を熟知し、得られた熱画像を正しく解析できる能力を計測員が持つことが重要である。米国では米国非破壊検査協会が赤外線サーモグラフィを使用する検査員の技量認証制度を実施しており、技量に合わせてレベル1からレベル3までの3段階がある。レベル3が最高である。海外では赤外線サーモグラフィによる検査を実施するにあたり、本資格を取得していない検査員による計測を許可しないユーザーもいる。日本でも社団法人 日本電気協会と原子力企画委員会が「原子力発電所の設備診断に関する技術指針—サーモグラフィ—診断技術— (JEAG 4223-2008)」を制定し、その中で測定者の力量要件として、米国非破壊検査協会の SNT-TC-1A に基づいて訓練された熱赤外線試験に関する NDT (非破壊検査) 要員資格レベル1以上を有する者と定めている。外国では技量向上のためのトレーニングを実施する訓練教育会社もあり、赤外線サーモグラフィによる非破壊検査は広く社会に認知、浸透している。日本では赤外線サーモグラフィの日本版の技量認定制度は現状無い。現在2011年度からの技量認証制度施行を予定して、日本非破壊検査協会が認証制度の準備を進めている状況である。当社は2003年より、カナダの赤外線サーモグラフィ教育会社による米国非破壊検査協会規格に基づいたサーモグラフィレベル1、レベル2認証コースを日本国内で開催している。すでに100名を越える参加者が当コースを受講し、多くのレベル1、レベル2サーモグラフィが誕生している。また、昨年4月よりお客様のトレーニングとコンサルティングを行う機関として、TCC (Training and Consulting Center) を設立し

た。現在、赤外無料セミナーの毎月開催、サーモグラフィレベル1、レベル2セミナーの開催などお客様へのサポートサービスの充実をはかっている。図5に当社が開催しているセミナーの様子を示す。今後、赤外機器メーカーは単にハードウェア、ソフトウェアの製造販売するだけでなく、機器が適切に正しく使用戴けるようトレーニングとコンサルティングサービスに注力する必要がある。それが結果的に赤外線サーモグラフィの有益性を認識いただき、更に機器が普及する力になると考えている。

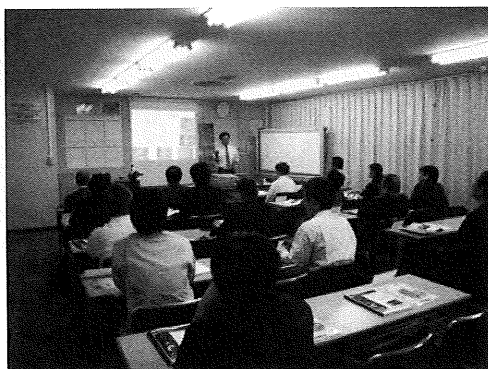


図5 セミナの講習風景

4. 測定事例

赤外線サーモグラフィの応用には、回転機器や電気設備の検査等がある。表2に赤外線サーモグラフィの保全への適用を一覧にまとめた。

アプリケーション	検出した状態
モーター	巻き線やベアリングの過熱、冷却水の通り道の詰り、摩擦、減衰、原材料の変形、ブラシ接触問題、ロータ
駆動装置／コンベヤ、軸受け、カップリング、ギア、パワートランスミッション・ベルト、プーリ、シャフト	ベアリングあるいはローラーの過熱、シャフト、プーリあるいはカップリングの芯ずれ、作動油に関連する不具合、圧力の不均一

ポンプ／コンプレッサ／ファン／送風機	ベアリングの過熱、コンプレッサからの高温の排気、高温のオイル、バルブの破壊または不良
内燃エンジン	バルブあるいは噴射機の誤動作、ラジエータや油冷却器の目詰まり熱分布、ラジエータのインレットあるいはアウトレット部の高温
高荷重に耐える装置—タイヤ、ベアリング、ブレーキ、油圧機器、キルン、ボールミル、ペーパーミル	ブレーキ、タイヤ、ベアリング、プーリ、ギアの過熱、ギアあるいはプーリの芯ずれ、油圧機器の詰り
機械部品、タービン発電機器、ガスタービン、排気ダクト	高温の潤滑油／ベアリング、止め弁／制御弁の不完全な働き、不均一な金属温度、シャフト・シールからの漏れ、点火室／クロス・ファイアリング・チューブの劣化を含むガスタービンの点火状態

表2 赤外線サーモグラフィの適用

事例紹介

4. 1 モーター

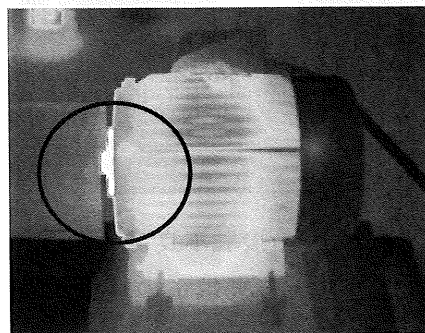


図6：モーターベアリングの異常
モーター故障が最も多い箇所はベアリングと言われる。左図はベアリングの不良により、高温を示している。

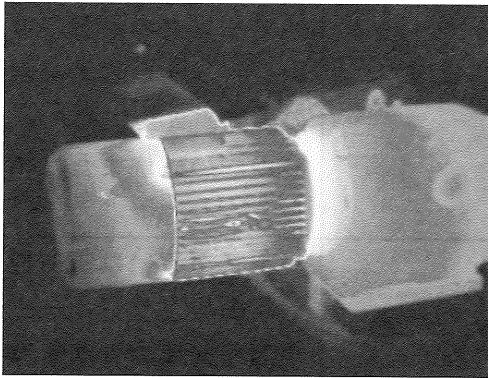


図 7：高負荷電流による発熱
 モーターに流れる電流負荷が大きく、発熱している事例。ベアリングによる故障と異なり、モーター全体に高温部が広がっている。

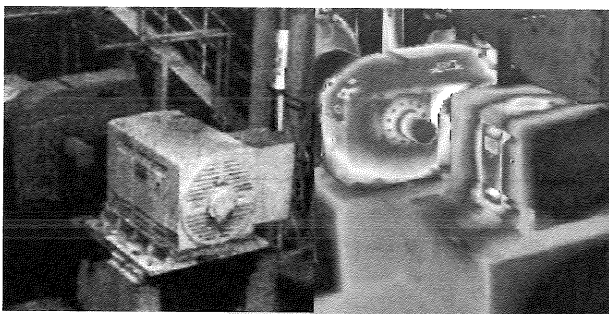


図 8：ミスアライメントによるメカニカルギアの発熱
 分解点検した結果、ギアは完全に摩耗し、ひび割れていて故障寸前であった。

4. 2. 電気設備

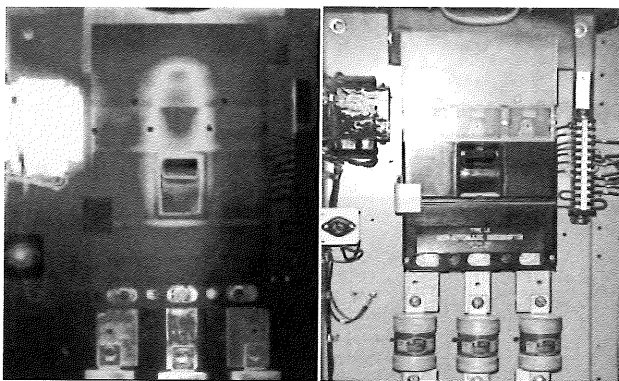


図 9：配電盤ブレーカーの接触不良
 原因はブレーカー中央端子の接触不良によるものであった。

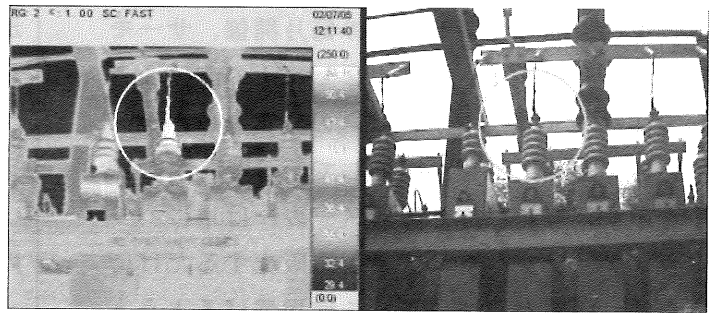


図 10：変圧器端子
 変圧器碍子の端子に高温部があり、異常の疑いがある

4. 3. ボイラー

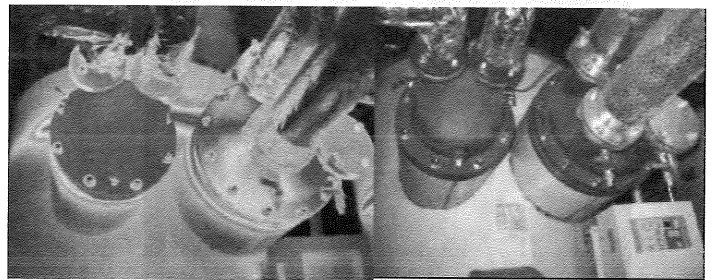


図 11：ボイラー配管
 ボイラーの断熱不良や配管リークの検査に使用する。本熱画像は正常

5. 赤外線サーモグラフィ検査の有効性

前項の事例を見ておわかりの通り、熱エネルギーと機械の状態には密接な関係がある。そのため赤外線サーモグラフィによって機器の熱状態を計測することにより、機械の動作状態の評価を行うことができる。赤外線サーモグラフィによるメンテナンスを実施するには、まず通常運転における温度分布の計測が必要である。このデータを基準とするベースラインデータとして、計測時の熱画像データから正常か異常かの判断基準とする。検査員は評価対象機器について熟知していることが前提であり、機器の構造が温度分布にどのような影響を及ぼすかを推測し真に異常なのか、単に内部構造に起因する温度分布なのかを適切に判断しなければならない。また、電気設備では発熱が電気負荷に依存するため、検査時にどのくらいの負荷が

設備にかかっているのかも考慮せねばならない重要な点である。負荷が小さいときに計測しても低い温度にしか現れず正常と判断した設備が、最も負荷が重くなったときに破壊してしまう可能性がある。また赤外線サーモグラフィ以外の検査方法を併用し、検査精度を向上させる事も大事である。

赤外線サーモグラフィは、不良が発生する前に、正常な運転が妨げられている状態を確認する手法として有効であり、常時状態監視を行えば、多くの機器について不良特性の基準を作成でき、その結果、保守担当部門が設備やプロセスの予防保全を実施することができる。現在、電力業界に於いては、原子力発電所の設備保全を従来の時間計画保全 TBM(Time Based Maintenance)から、機器の状態を監視して適切な保守を行う状態監視保全 CBM(Condition Based Maintenance)への移行を進めている。赤外線サーモグラフィも状態監視の一手法として採用され運用されることが決まっている。温度変化を監視し異常を発見したら重大な故障になる前に予防措置を実行する。

赤外線サーモグラフィは非接触で遠隔計測可能であり、検査を実施するために運転を停止する必要がなく、計測結果が熱画像で表示されるパターン計測であるため、異常部位の見逃しが少なく、一回の検査スピードが速く安全で効率的な手法である。今後、機器の更なる高性能化、低価格化が進み普及が拡大していくと考えられ、それに伴い機器を取り扱う人間の技量向上が重要になる。赤外機器メーカーはハードウェア、ソフトウェアの開発販売同様、顧客に対するトレーニング、コンサルティングのサービスを充実させていく責務があると言える。

謝辞

最後に本稿を執筆するに当たり、Institute of Infrared Thermography 社の Ronald Newport

氏に計測事例のご提供とアドバイスを戴いた。紙面をお借りして謝辞をのべたい。

参考文献

- [1] ISO/FDIS 184734-1 Condition monitoring and diagnostics of machines - Thermography
- [2] サーモグラフィの原理と応用、NEC 三栄レポート No.106
- [3]赤外線サーモグラフィによる非破壊試験の標準用語、日本非破壊検査協会
- [4] 原子力発電所の設備診断に関する技術指針-赤外線サーモグラフィ-診断技術、原子力規格委員会

