

特殊建築物の外壁診断における 赤外線調査ガイドライン

天野 勲・山川 和夫・伊藤 秀和

平成 20 年 4 月 1 日施行の建築基準法関連の改定により、外壁のタイル等の劣化および損傷を調査する手法として、赤外線調査法が広く知られるようになった。従来、赤外線法の調査には専門の知識や経験が必要と言われ、調査方法や調査者の技術レベルが調査精度へ影響を与えていた。当協会では、今回の定期報告に調査レベルを絞り、安定した品質の高い調査結果を迅速に提供することを目的に、画像解像度や壁面温度のモニタリングなど赤外線画像の撮影条件等を取りまとめたガイドラインを作成した。一方、調査者の技術レベルの安定化を図るためにサーモグラフィー制度の活用、調査の効率性と経済性を進めるための手引書の整備を併せて行った。

キーワード：外壁，定期報告，サーモグラフィー，赤外線調査，ガイドライン，JAIRA

1. まえがき

赤外線調査法は、従前より、外壁のタイル等の浮き・はく離調査法の一つとして、永く多くの実績が積み重ねられている。

一般の建築基準法関連の改定による国土交通省告示第 282 号（平成 20 年 4 月 1 日施行）において、外壁のタイル等の劣化および損傷を調査する方法として全面的なテストハンマーによる打診とともに赤外線調査法が広く知られるようになった¹⁾。

赤外線調査法は、タイルやモルタル部の浮き・はく離の状態を、気温変化や直射などを熱源とする外壁表面の熱変化に着目する画像診断法である。現地撮影時に、天候や気温変動などの自然条件に左右されやすく、また、浮き・はく離部を赤外線熱画像より判断するため、調査には専門の知識や経験が必要である場合が多く、調査者によって得られる成果も一定していないのが現状といえる。

日本赤外線劣化診断技術普及協会（JAIRA）では、平成 18 年 3 月の発足以来、赤外線法を使った診断技術の普及と安定について活動を続け、その一つとしてサーモグラフィー制度を創設し、技術者の育成を図っており、今回の定期報告で活用される赤外線調査法を対象を絞り、調査に必要な専門的な知識と経験を協会各社の多くの実績をもとに整理・討議し、安定した品質の高い調査結果を得るために必要となる事項について具体的な技術方針としてガイドラインを取りまとめた。

本ガイドラインにより、赤外線調査法の普及とサーモグラフィーの活躍により、赤外線調査の品質と信頼性を向上させ、利用者に安心・安全を提供するものと期待している。

2. 赤外線調査における外壁診断

(1) 浮き部と健全部の温度差発生メカニズム

赤外線画像による外壁タイルの浮きの箇所の検出は、タイル表面温度の時間変化が浮き部と健全部で異なることに着目している。

建物外壁の仕上げモルタルやタイルがはく離すると、その裏面に空気層ができるが、密閉された空気層は大きな断熱性を持つので、その部分では空気層の外壁表面側と内部躯体との間の熱伝達が小さくなる。

したがって、日射が当たる、外気温が上昇するなど外壁表面温度が高くなるときには、途中にこのような空気層が存在するとその裏側へ熱を伝えにくい

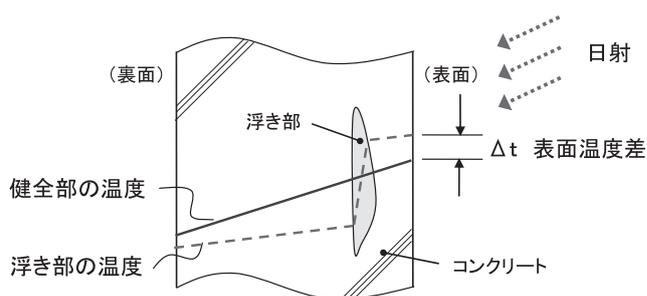


図-1 浮き部と健全部の温度差発生メカニズム

浮き部は健全部に比較して高温になる。逆に壁面に当たる日射が減少する、外気温が下降するなど外壁表面温度が低くなる時には、空気層がある部分は躯体からの放熱を遮断するので、浮き部は健全部に比較して低温になる(図-1)。

(2) 他の手法との比較、優位性

コンクリート中の空洞を調査する方法としては、赤外線法(サーモグラフィ法)、弾性波法、電磁波レーダー法がある。更に弾性波法には超音波法、衝撃弾性波法、打音法があるがこのうち装置の手軽さや対象範囲をコンクリートの表層部に限ると打音法が最も一般的であろう。また、電磁波レーダー法についてはコンクリート内部の鉄筋の位置・深さやコンクリートの厚さ及び空洞の調査に用いることができるが、表層部の浮きの調査となると判別がかなり困難である。したがって、ここでは従来からの打音法と、それに対して非接触でかつ一度に大面積を調査することができる赤外線法について、表-1にそれぞれの特徴を比較する。

表-1 赤外線法と打音法の特徴比較

項目	赤外線法	打音法
診断精度	○ ノイズ対策要	○ 経験要
コスト	○	×
仮設設備	○ 特殊な場合は 高所作業車要	×
作業効率	○	×
工期	○	×
気象条件	×	○
	雨天等天候の 影響を受ける	
安全性	○	×
		足場上作業
建物への影響	○ 非接触	×
		・浮き部が広がる危険性有り ・壁つなぎ処理
居住者への影響	○	×
		振動、騒音
記録	○	×
		手書き

(3) 赤外線調査の課題

(a) 放射率について

これは課題というよりも赤外線カメラ撮影時の留意点になるが、そもそも対象とするコンクリート構造物の場合、放射率+反射率=1(キルヒホッフの法則)が成立する。赤外線カメラは対象物から放射されてい

る赤外線放射エネルギーを温度(摂氏または華氏)に変換する装置であり、赤外線放射エネルギーは対象物の放射率に比例する。この放射率は物質や表面性状ごとに異なるが、外壁診断においては、厳密な温度を測定するのが目的ではなく、2.(1)で述べたように、健全部と浮き部の温度差、表面の温度分布を正確に計測することなので対象物の放射率を厳密に測る必要は無いといえる。一方で、放射率の指向性といって、タイルやモルタルでは、撮影角度が45度程度までであれば放射率はそれほど低下しないという特徴がある。したがって、放射率の指向性を考慮して撮影位置を決めることは重要である。

放射率はこの放射角のほか温度や波長によって変化するが、同一機種で単一对象物を撮影する上では問題とはならない。

(b) ノイズについて

赤外線カメラでは健全部と浮き部の温度差を計測することによって浮きを判断するが、浮きとは異なる原因で結果的に浮きと誤診(健全部と温度差が生じる)させるような要因をノイズと定義する。このノイズに相当するものには表-2のようなものが代表的なものである。大半のノイズは、基本的には撮影時の工夫によってクリアーすることができる。また、目視により壁面の汚れや補修跡、ひび割れなどを同時に記録しておくことも重要である。ノイズの低減、判別については、一定の経験と知識が必要となるため、サーモグラフィ制度では、この点に特に注力して育成している。

表-2 ノイズの種類と対策

ノイズの種類	対策
室内暖房	暖房開始前撮影
非連続部分	夜間撮影
壁面の凹凸	夜間撮影
光沢タイル	夜間撮影、二時刻間差分処理
色の混在	夜間撮影
壁面の汚れ	夜間撮影、二時刻間差分処理
壁面の濡れ	撮影不適
天空反射	夜間撮影
地面の照り返し	夜間撮影
対面壁の反射	夜間、曇天時撮影

(c) その他

対象物に近接して植樹や看板類がある場合は、左右から撮影するだけでは視野を全てをクリアーできないことが多く、その場合は高所作業車などを使って対象物と障害物の間に入って撮影するということの可否を現地調査時に確認しておく必要がある。

3. ガイドライン

(1) ガイドラインの重点ポイント

ガイドラインの作成に当たっては、これまでの赤外線調査法の課題等を整理し、分かりやすく使いやすい結果を提供するために、特に、次の項目に重点をおいて作成した。

(a) 調査レベルの明示

調査範囲、調査精度の明確化、調査結果の信頼性の向上を図るために、赤外線画像の撮影時における解像度、角度、温度条件など適用範囲を定めた。

(b) JAIRA サーモグラファー制度の活用

赤外線画像の撮影および画像解析・診断を行う技術者として、教育・育成を進めている JAIRA サーモグラファー制度を活用する。

(c) 調査結果のトレースが可能な調査手順の記録

赤外線画像の撮影位置（撮影距離、角度）、撮影範囲、撮影日時等を記録・報告することで、調査結果報告書より調査結果の適否をトレースできる作業フローとした。

(d) 各種様式の整備

調査の実施時に必要な情報を記録する様式や報告書様式を整備・統一することで、分かりやすい成果を提供するとともに、効率的な調査を可能とした。

(2) ガイドラインの構成

ガイドラインには、調査可能な範囲、調査精度、調査結果を分かりやすく提示するために必要な技術事項を取りまとめた「ガイドライン」と、実調査において調査結果や調査精度のトレースが可能となる様式などを取りまとめた「調査のための手引書（以下、手引書）」から構成される。この手引書には、①撮影計画書、②調査報告書、③事前チェックリスト、④現場撮影チェックシートの4つの様式および記入例を含んでいる。

(3) 調査レベル

外壁の定期報告に目的を絞った赤外線調査に対応するために、調査の迅速性と結果の信頼性の向上を考慮し、次のような調査レベルを設定した。

(a) 赤外線調査適用の適否の判断

建物、周辺立地等の情報から、事前チェックリスト（手引書1）を利用し、赤外線調査の適否、適用可能な範囲・条件を迅速に判断し回答する。

(b) 赤外線画像解像度の上限設定

調査精度の安定化を図るために、撮影時の赤外線画像解像度は 25 mm / pix 以下とする。

(c) 撮影角度の制限

調査精度の安定化を図るために、対象面との角度は、外壁法線を 0 度とした時、光軸中心で撮影水平角 ± 30 度以内、撮影上下角 ± 45 度以内とする。

(d) 赤外線撮影条件の明示

調査結果の信頼性の向上を図るために、撮影時の外壁温度の連続計測など、撮影温度条件等を明示する。

(e) 有資格者による撮影と画像解析・診断

調査精度の安定化を図るために、赤外線画像の撮影、画像解析・診断は、それぞれの実務と経験を有した有資格者が行う。

具体的には、現地撮影はサーモグラファー ステップ1以上とし、さらに技術レベルが要求される画像解析・診断はサーモグラファー ステップ2としている。

(f) 定期報告に準じた図面の作成

調査結果の分かりやすい図面を作成し、定期報告資料に則した形式とする。

(g) 浮き・はく離個所全ての赤外線画像の記録

浮き・はく離の全個所の画像を記録保存することで、損傷の位置、規模などの詳細な情報を把握することが可能となり、定期報告以外の改修計画などの基礎資料に利用が可能となる。

4. 調査の方法

調査全体のフローを、図-2 に示す。

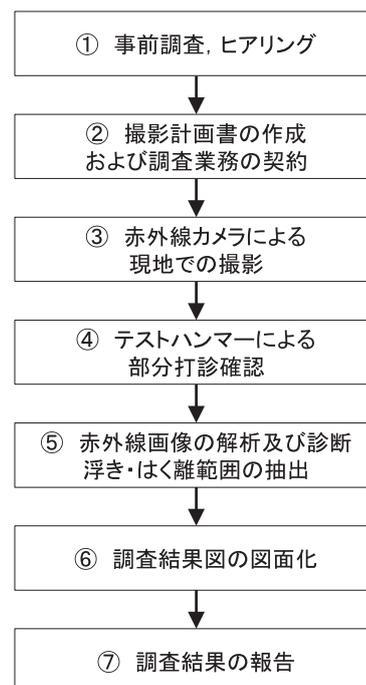


図-2 調査のフロー

(1) 事前調査

(a) 調査条件の把握

事前チェックリスト（手引書1）に基づき、調査に着手する前に、建物の図面、周辺状況などより、次の項目の調査条件を整理・検討し、赤外線調査の適用の適否を判断する。

①赤外線調査の適用可否、②調査可能な範囲、③現地撮影地点および敷地立入等の確認、④撮影時期、対象面の撮影時刻

(2) 撮影計画書および調査見積書の作成

(a) 撮影計画書の作成

調査可能な範囲について、撮影計画書（手引書2）を作成する。撮影計画書には、次の項目を記載する。

①建物概要、②調査対象面の撮影場所・撮影時刻、③現地調査時期・調査工程、④調査方法・使用する赤外線カメラの仕様、⑤撮影技術者氏名、画像解析・診断技術者氏名

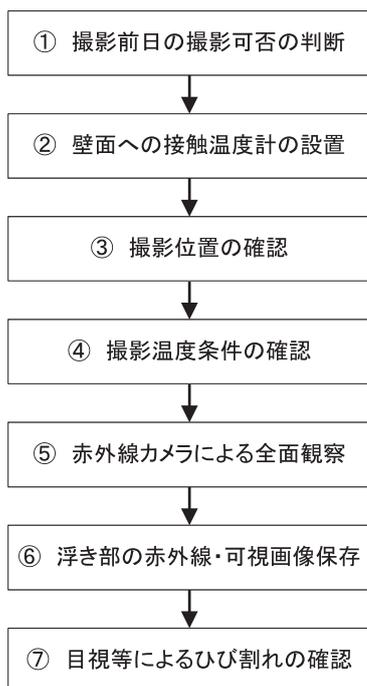
なお、撮影条件等が複雑な場合は、必要に応じて現地踏査による確認を行う。

(b) 調査見積書の作成

撮影計画書に基づき、撮影場所、撮影日数、画像処理理想枚数、報告書作成日数などから、調査費用の見積書を作成する。

(3) 赤外線カメラによる現地撮影

現地撮影時の作業フローを、図—3に示す。



図—3 現地撮影のフロー

(a) 事前準備

現地撮影チェックシート（手引書3）に基づき、以下の事項を確認する。

①撮影前日の撮影可否の判断

適した赤外線画像の撮影を行うために、撮影日の前日に、撮影技術者が天気予報等より、次の項目の情報を収集し、撮影の実施を判断する。

・予想天気：降雨、降雪時以外の晴、薄曇

・予想日較差：7℃以上

（日較差：最低・最高気温の温度差）

・予想風速：5 m / 秒以下

②接触温度計の設置

撮影時の対象となる各面の壁面温度の変化を把握するために、各壁面に接触型温度計を設置し、温度変化をモニタリングする。

③撮影位置の確認

撮影計画書で記載した撮影位置における対象面までの撮影距離・角度を確認する。また、立ち入りの条件、足元等の周辺危険状況の把握を行う。

(b) 撮影時の温度条件の確認

壁面に設置した接触温度計の測定結果より、北面およびそれ以外の面について、時間当たりの壁面温度の変化を確認し、撮影の開始と終了を判断する。

また、雨天翌日などで表面が十分に乾いていない状態では、その湿潤部が赤外線画像に変温部として映ることがあるため、撮影時に対象面が乾いているかどうかを目視にて確認する。

(c) 撮影方法

①撮影解像度が25 mm / pix 以下となるように、撮影距離、赤外線カメラの視野角（対物レンズ）を選定する。ただし、やむを得ず解像度が25 mm / pix 以上となる場合は、その旨を報告書に記載する。

②①の解像度で対象面を全面観察し、赤外線画像中に変温部を確認した場合に、赤外線画像および可視画像を保存する。

③保存した画像の面、位置、階数などを野帳またはボイスメモに記録する。

④赤外線画像中に確認した変温部にひび割れがあるかどうかを、肉眼または双眼鏡を使って目視で確認するとともに、野帳またはボイスメモに記録する。

(d) 赤外線カメラの性能

現地撮影に用いる赤外線カメラは次の性能を保有する装置を使用することとする。

①温度分解能が0.1℃以下（@30℃，30 Hz）

②対象壁面で25 mm / pix の解像度を有する。

カメラ画素数、撮影距離、レンズによって決まるが、

画素数は 320 × 240 画素程度以上が望ましい。

- ③画像解析時に温度表示が調整可能なフォーマットで画像保存機能を有するもの。
- ④撮影記録した画像の温度表示などを調整する機能を有するソフトがあるもの。

(4) 部分打診による現地での検証

赤外線調査結果の検証のために、現地撮影時において、赤外線画像より浮きと判断される部分について、手の届く範囲においてテストハンマーにより打診し、外壁の浮き状況を確認する。

(5) 画像解析・診断の方法

現地で記録した赤外線画像から、浮き部の判断は、サーモグラファー ステップ2の資格を有する画像解析・診断技術者が、次の手順によって判断する。

- ①赤外線画像の温度表示の最適化と変温部抽出
赤外線画像の温度表示を最小で5℃程度以下にして、周囲と温度の異なる領域（変温部）を抽出する。
- ②変温部の要因の判断
変温部と同位置の可視画像を比較し、変温の原因が、遊離石灰、汚れ、仕上げ材の材質や色調の差、周辺物からの熱反射、部位の特徴、室内の冷暖房の影響等のノイズ要因でないことを確認する。
- ③浮き・はく離個所の特定と明示
②で除外される範囲などを考慮し、変温部を浮き・はく離個所を特定し、赤外線画像の該当部分を○枠にて囲む。

(6) 調査結果（浮き部）の図面への図示等

- (a) 調査結果図の作成
画像解析・診断で特定した浮き・はく離部を定期報

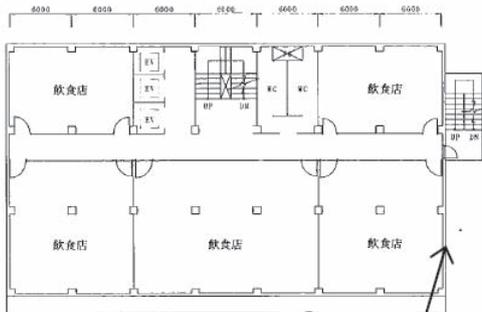


写真1 (赤外線調査)
2階下部に浮き有り
はく落の危険低い。ひび割れなし。

告図面集（各階平面図）に図示する。

図面には、階毎に浮き・はく離が発生している位置や部位などを記入する（図—4）。

(b) 浮き・はく離部の画像台帳の作成

結果図で図示した浮き・はく離の全個所について、可視画像、赤外線画像の順で整理した画像台帳を作成する。画像台帳には、「浮き・はく離が発生している位置や部位」、「ひび割れの有無」、「はく落の危険性の程度」について記載する（図—5）。

(7) 調査結果の報告

調査結果は、調査報告書（手引書5）を作成し提出する。調査報告書には、次の項目を記載する。

- (a) 一般事項
 - ①対象建物の概要
 - ②調査対象の外壁面の範囲
 - ③赤外線画像撮影の方法
 - ④使用赤外線カメラの仕様（画像積分の有無、回数など）
- (b) 調査結果
 - ①赤外線画像の撮影位置
 - ②撮影日時、天候および温度条件
 - ③調査結果図（階毎平面図）
 - ④画像台帳
- (c) その他
 - ①実施会社名
 - ②撮影技術者氏名（サーモグラファー ステップ1 修了番号）
 - ③画像解析・診断技術者氏名（サーモグラファー ステップ2 修了番号）

部位	番号	調査項目	調査結果
	①	外装タイル・モルタルの劣化（赤外線法による）	
		 	特記事項 南東面2階 2階下部に高温部が見られ、浮きと判断される。 はく落の危険性は低い。ひび割れは確認されず。

図—4 調査結果図例（各階平面図）

図—5 画像台帳例

5. 赤外線サーモグラフィーによる画像例

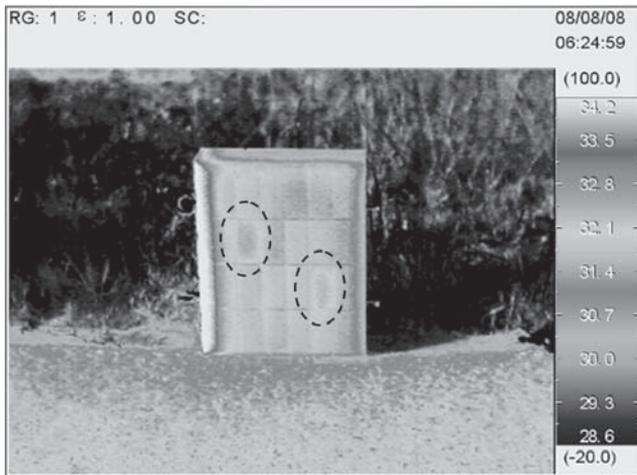
実際の建物外壁や試験体における画像例および判断例を示す。

(1) タイル試験体の画像例

写真一1、写真一2は、タイルの裏側に人工的に空洞を作った試験体の可視写真と赤外線画像である。写真一1でわかるように全体には同色タイルであるが、写真一2では空洞を作成した(可視写真中の丸印部分)部分は、他の健全部に比べ、表面温度が高温を示す。



写真一1 可視写真 (試験体)



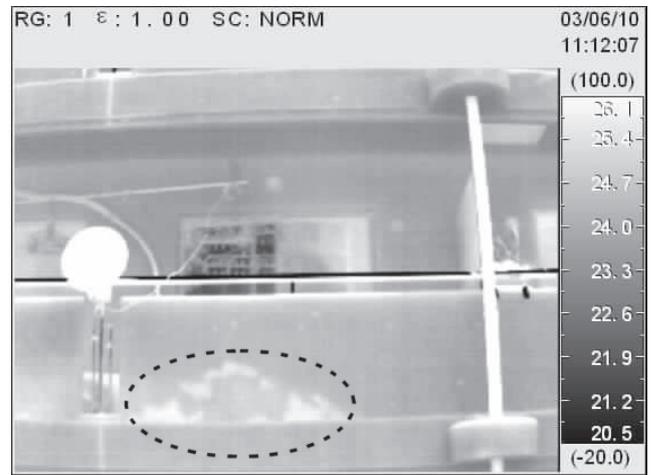
写真一2 赤外線画像 (試験体)

(2) 吹付けタイル

写真一3、写真一4は吹付けタイル仕上げの壁面である。赤外線画像では、丸印部分が他とタイルと比べ温度が高温を示す。昼間の撮影であり、下地モルタルの浮き、または下地の材質が異なると判断される。



写真一3 可視写真 (吹付けタイル)



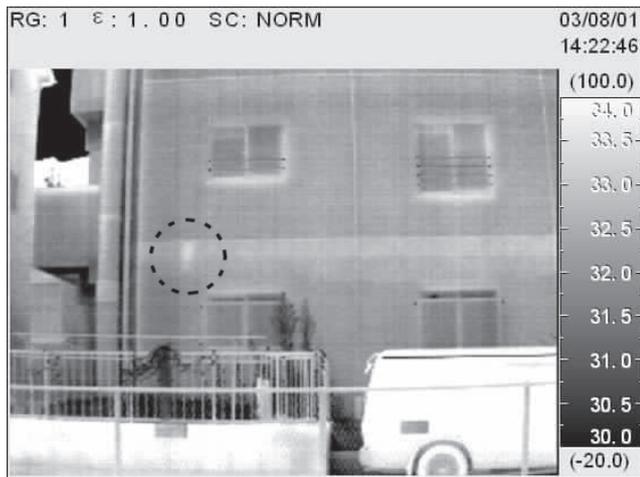
写真一4 赤外線画像 (吹付けタイル)

(3) タイル

写真一5、写真一6はタイル仕上げの壁面である。赤外線画像の丸印部分は、周囲の他部分と比べ高温を示す。昼間の撮影であり、タイルが浮いていると判断される。



写真一5 可視写真 (タイル張り)



写真—6 赤外線画像（タイル張り）

6. おわりに

JAIRA では、外壁の定期報告において、赤外線調査法を適用するに当たり、調査のフロー、撮影解像度、壁面温度等の撮影条件を示したガイドラインを作成しました。

ガイドラインには、これまで当協会での実績や各方面のご意見より、分かりやすく調査精度が見える項目を取りまとめました。ガイドラインでは重要な項目を細かく定めていますが、実作業に則した調査のための手引書も同時にとりまとめ、作業が複雑化することが無いように配慮しています。

また、調査員の技術レベルは、サーモグラファー制度の普及と推進により育成されたサーモグラファーの活躍で、安定した調査精度を維持し、信頼性の高い調査結果を提供できるものと考えています。

ガイドラインと調査のための手引書により、赤外線法は、皆様に信頼を頂けるようになったと考えており、広く普及することを期待しています。

今後も、協会としては、このガイドライン、手引書の普及を着実に取り組むとともに、より分かりやすく使いやすい赤外線調査結果を提供できるよう努めます。

日本赤外線劣化診断技術普及協会のホームページ
<http://www.jaira.jp>

JICMA

《参考文献》

- 1) 財団法人日本建築防災協会：特殊建築物等定期調査業務基準（2008年改訂版）pp.109-110（2008.5）

【筆者紹介】



天野 勲（あまの いさお）
 JAIRA 日本赤外線劣化診断技術普及協会
 特殊建築物等定期調査における
 外壁の劣化損傷状況赤外線調査
 ガイドライン作成委員会 リーダー



山川 和夫（やまかわ かずお）
 JAIRA 日本赤外線劣化診断技術普及協会
 特殊建築物等定期調査における
 外壁の劣化損傷状況赤外線調査
 ガイドライン作成委員会 サブリーダー



伊藤 秀和（いとう ひでかず）
 JAIRA 日本赤外線劣化診断技術普及協会
 特殊建築物等定期調査における
 外壁の劣化損傷状況赤外線調査
 ガイドライン作成委員会 委員