

T3：非接触方式による外壁調査の診断手法 及び調査基準に関する検討

一般財団法人 日本建築防災協会
(共同研究 国立研究開発法人 建築研究所)

課題の目的・背景

現状

建築基準法第 12 条の定期報告制度における外壁調査において、原則竣工後10年ごとに、落下により歩行者等に危害を加えるおそれのある部分については、全面打診等による調査が求められている。

課題

- ✓ 全面打診による調査には仮設足場等の設置が必要になるため、建築物の所有者にとって費用負担大
- ✓ 赤外線装置法による調査も行われているが、一部に適切な調査を実施していない調査会社がある 等



課題解決に向けて

非接触方式による外壁調査の診断精度に関する整理・検証を行った上で、無人航空機（UAV、以下ドローンという。）の活用を含めた、効果的かつ確実な診断手法及び調査基準の検討を行い、技術基準の提案を行う。
（平成29～30年度）

検討内容①

平成29年度

- 1) 非接触方式（赤外線装置を用いた手法等）による外壁調査の診断精度に関する整理・検証
- 2) ドローン等の活用についての検討
- 3) ドローンを活用した外壁調査に関する実験
模擬試験体を活用した非接触方式による実証実験
(予備実験)

<H29年度に得られた結果>

環境条件や撮影条件等の適用範囲を十分に考慮して調査が行われた場合、赤外線装置法による診断結果は調査員による打診調査の結果に相当することを確認した。

検討内容②

平成30年度

1) 赤外線装置法による外壁調査の実施要領（案）作成に向けた、調査方法等に関するヒアリング調査

2) 赤外線装置法の適用限界に関する追加実験

3) ドローンを活用したと調査方法の検討

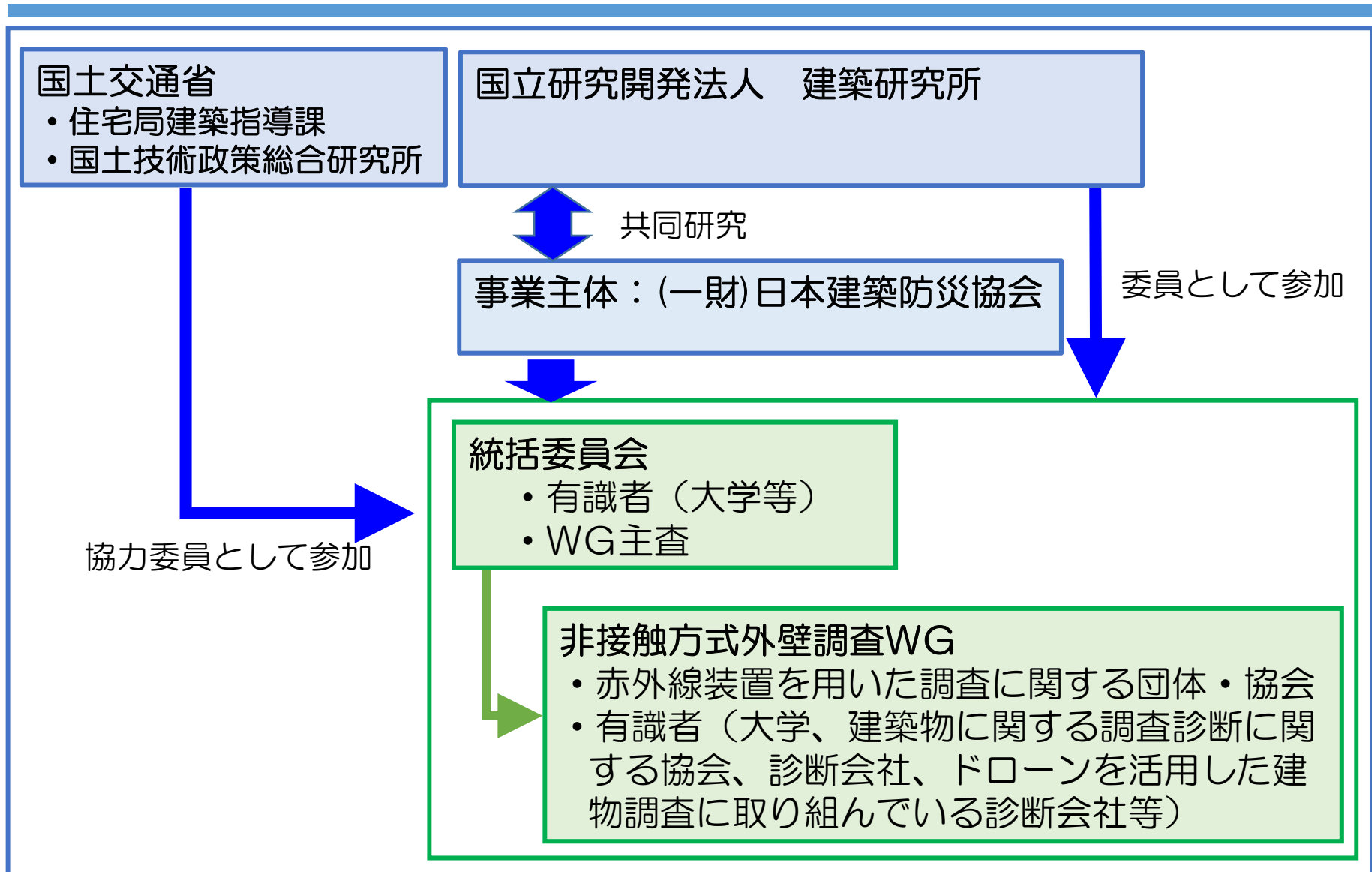
4) 実建築物を用いた実証実験

- 地上に設置した赤外線装置、ドローンに搭載した赤外線装置による実験を実施

5) 赤外線装置法やドローンを活用した外壁調査の実施要領（案）の作成

- 平成29年度及び平成30年度の検討結果を基に、「定期報告制度における赤外線装置法による外壁調査 実施要領(案)」、「ドローンを活用した建築物調査 実施要領(案)」を検討

実施体制



平成30年度 検討内容および結果

1. 現状の外壁調査に関するヒアリング調査

目的

赤外線調査法を用いた外壁調査の実施要領（案）を作成するにあたり、調査手順や判断を要する部分の考え方等について、実務者へのヒアリングを実施した。

ヒアリング項目（抜粋） *全14項目	
1	適切な外壁調査を実施するための方策について（全般）
7	打診併用の場合の実施範囲、打診の目的、打診との併用の解釈
11	温度異常箇所の浮き・はく離、もしくは健全部の判断基準について

<ヒアリング調査で得られた結果>

- 赤外線装置法は適用限界があるため、校正データとして打診調査との併用は必須である
- 熱画像の解析は、撮影時の状況（天候、日射等）の情報が不可欠であるため、撮影時の状況を把握している者が解析を行う必要がある
- 調査に際しては、赤外線装置法の適用条件の確認が重要であり、そのための事前調査が不可欠

2. 赤外線装置法による外壁調査の適用限界に関する検討（追加実験）

実験概要

1) 測定時の環境条件や日射の影響に関する実験

浮き・はく離の厚さが小さい部分も、見落とすことなく検出できるようにするため、日射量との関係などについて実験を実施

2) タイルの材質、色調等が調査に及ぼす影響に関する実験

タイルの色の濃淡、ラスタータイル(パールタイル、金属光沢を有するタイル)が赤外線装置法による浮き・はく離の診断に及ぼす影響について実験を実施

2. 赤外線装置法による外壁調査の適用限界に関する検討 (追加実験)

(1) 測定時の環境条件や日射の影響に関する実験

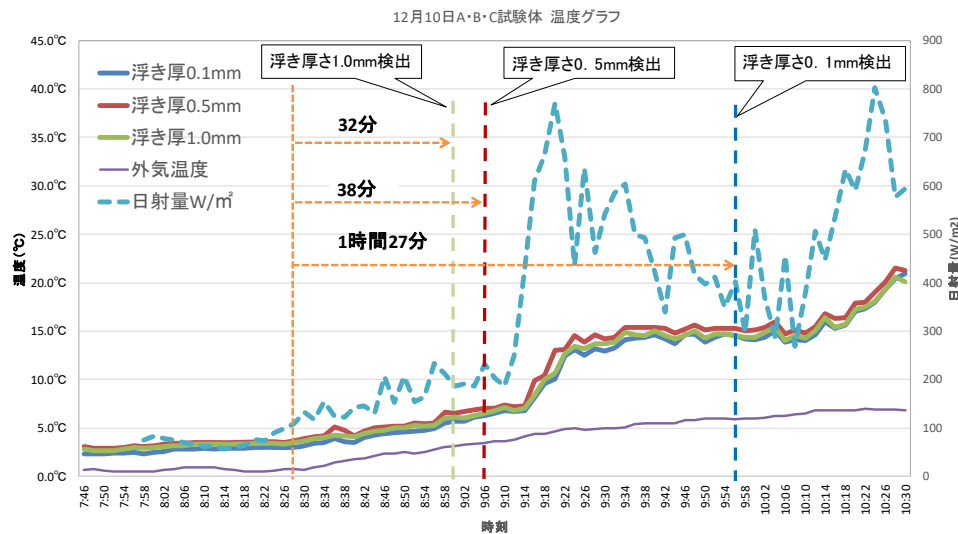


図 試験体の表面温度と日射量
(12月10日)

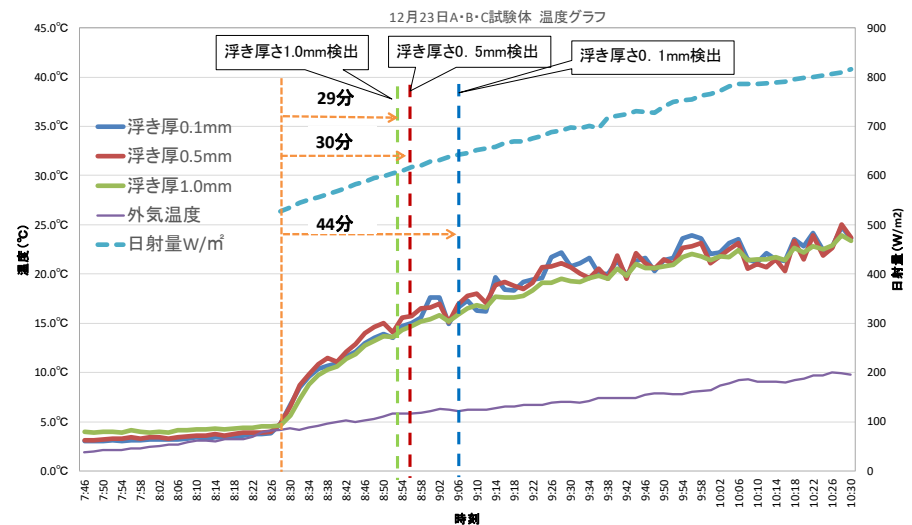
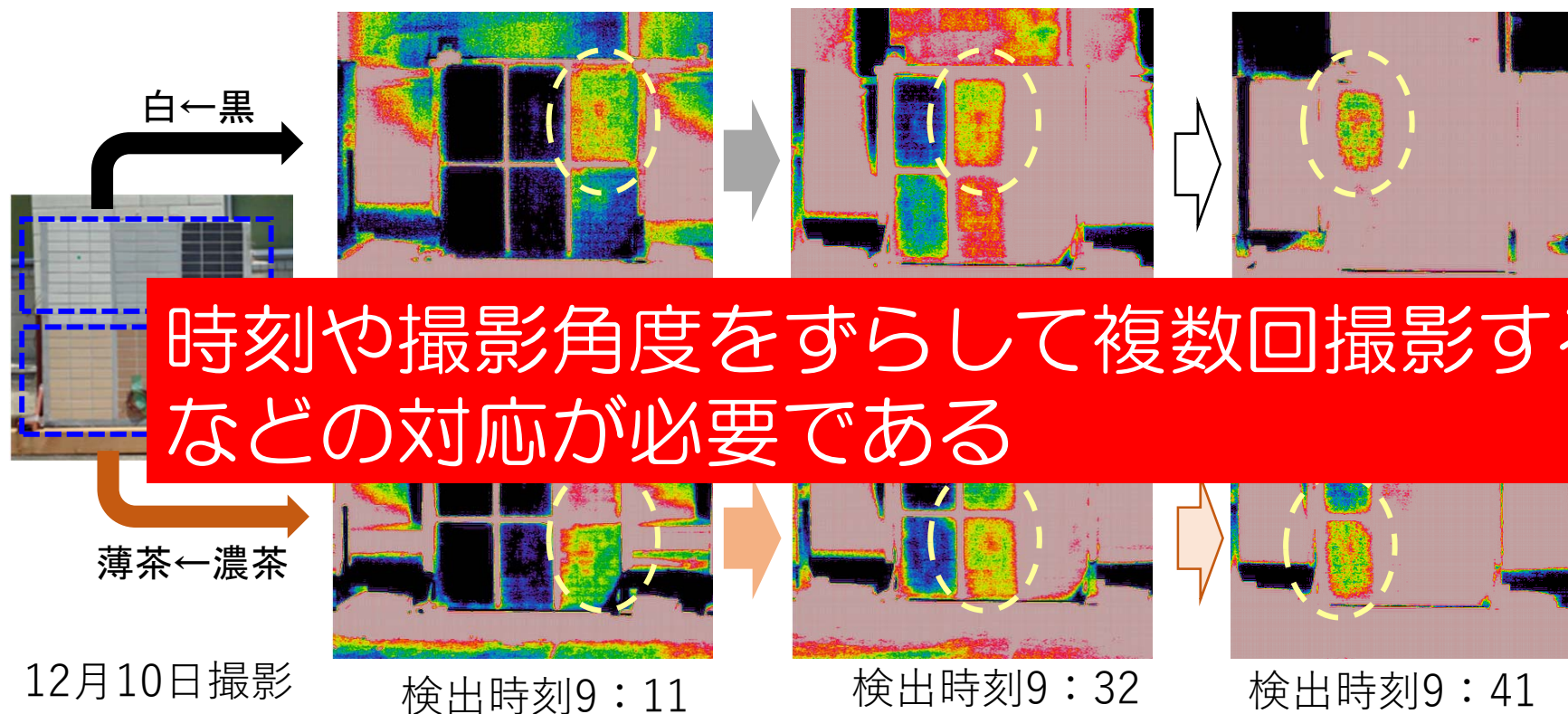


図 試験体の表面温度と日射量
(12月18日)

- 浮き・はく離の厚さが小さいと、検出に要する時間が長くなる
- 安定して日射がある状態の方が、浮き・はく離の検出に要する時間が短い

2. 赤外線装置法による外壁調査の適用限界に関する検討 (追加実験)

(2) タイルの材質、色調等が調査に及ぼす影響に関する実験



- タイルの色調によって、検出に要する時間が異なる（濃い色は早く検出される）

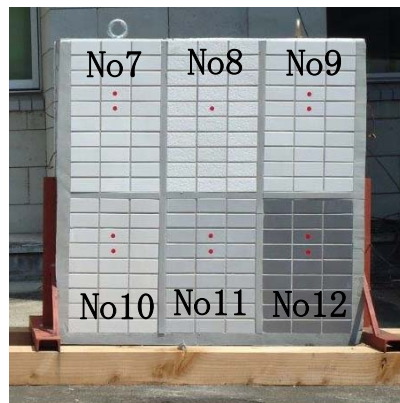
2. 赤外線装置法による外壁調査の適用限界に関する検討 (追加実験)

(2) タイルの材質、色調等が調査に及ぼす影響に関する実験

表 タイルの表面加工の違いによる計測状況

		0820	0926	1025	1116	1123	1210	1218
		曇り	曇り	晴時々曇り	晴	晴	晴	晴
No.7	ツヤ消し (8.8)	×	×	×	×	×	×	×
No.8	凹凸(8.6)	×	×	×	○	○	○	○
No.9	ツヤあり (8.7)	×	×	×	○	○	○	×
No.10	ラスター白 (8.4)	×	×	×	×	×	×	×
No.11	ラスター灰 (7.6)	×	×	×	×	×	×	×
No.12	ラスター黒 (5.4)	○	○	○	○	○	○	○

凡例 ○：計測可 ×：計測不可



試験体作製時の目地詰め後、モルタルでタイル面が汚れたので通常の清掃を行ったため、タイル表面のツヤが消されたものと判断される。

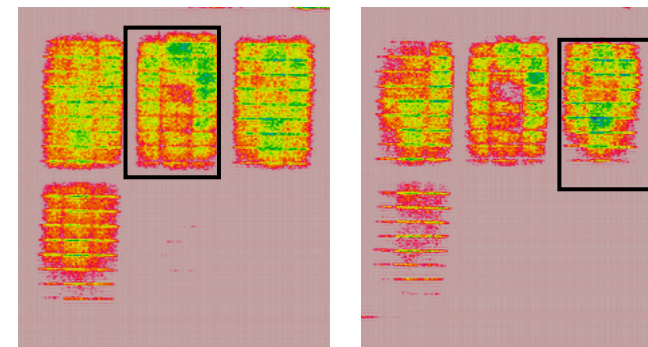


図 No.8赤外線画像

図 No.9赤外線画像

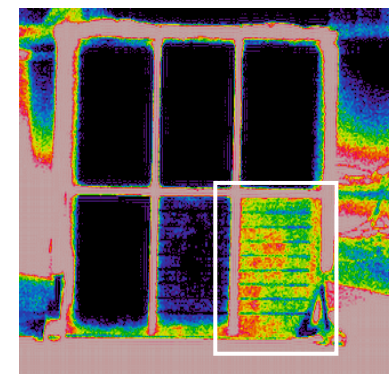


図 No.12赤外線画像

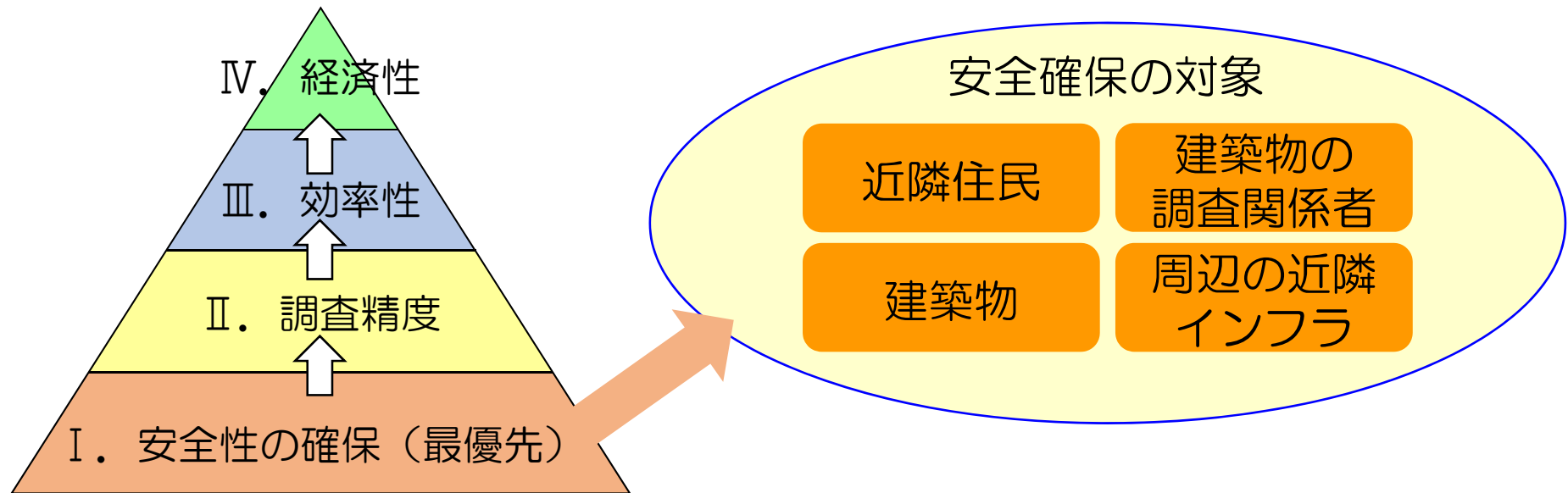
- 環境条件によっては、表面のツヤの有無、凹凸状、ラスタータイル（黒色を除く）では明確な温度差を計測することが困難であった。
- ラスタータイルを含めて光沢や表面の凹凸のあるタイルでは、赤外線装置法の適用が難しいと判断される。

3. ドローンを活用した建築物の調査方法の検討

⇒ (一社) 日本建築ドローン協会 (JADA)
「建築物へのドローン活用のための安全マニュアル」を参考

建築物へのドローンの活用：安全確保が最優先

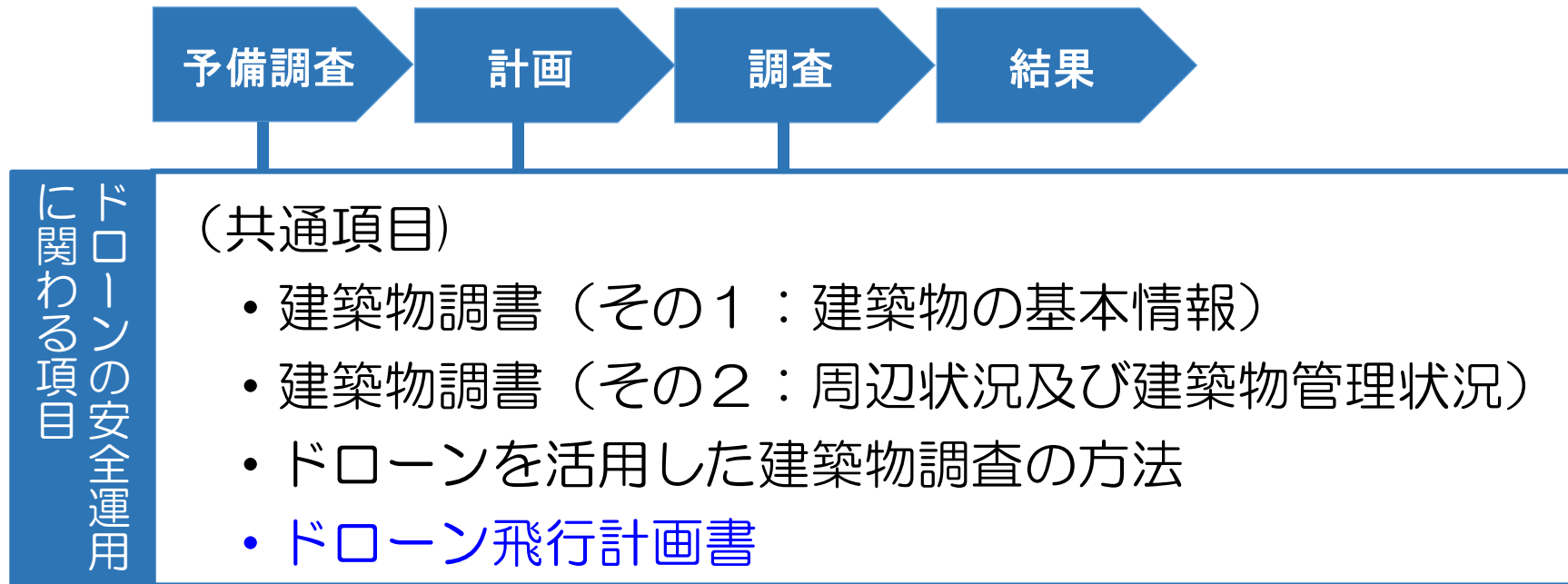
- 要求事項：Ⅰ 安全性の確保、Ⅱ 確認・点検精度、Ⅲ 効率性、Ⅳ 経済性
- 建築物の調査における安全確保の対象：
近隣住民、建築物の調査関係者、建築物、周辺の近隣インフラ等



要求事項と優先順位

3. ドローンを活用した建築物の調査方法の検討

ドローンを活用した建築物の調査を実施するための書類（例）



(記載が望ましい項目)

- 周知案内文等
- ドローンに係わる事故等の報告書（※事故が発生した場合）

3. ドローンを活用した建築物の調査方法の検討

ドローン飛行計画書作成項目（日本建築ドローン協会様式を参考）

大項目	項目	内容
概要	調査目的	
	調査対象建築物	住所・建築物名・階高等を記載
	調査内容と調査範囲	対象建築物と調査部位の情報、及びドローンを調査する上での調査水準を明記
	国土交通省許可番号 ※1	ドローン飛行に対する安全対策の確認
	JADA建築ドローン安全教育講習修了証番号 ※2	ドローンを活用した建築物の調査に対する安全対策の確認
加入保険 ※3	加入している保険（賠償保険、機体保険等）と補償額を記載	
調査方法	調査手段と撮影方法	可視カメラ、赤外線カメラの使用機材、撮影方法について記載
	調査環境条件	ドローンが安全に飛行可能な条件を事前に決め、現場におけるドローンの飛行に影響を及ぼす要因を記載
	作業区域の配置図	建築物全景及びドローンが飛行する建築物周りの情報が分かる写真、図面を記載もしくは添付
	飛行ルート図	調査面毎に飛行ルートと距離を記載
仕様・性能等	調査手段と撮影方法	可視カメラ、赤外線カメラの使用機材、撮影方法について記載
	調査環境条件	ドローンが安全に飛行可能な条件を事前に決め、現場におけるドローンの飛行に影響を及ぼす要因を記載
	作業区域の配置図	建築物全景及びドローンが飛行する建築物周りの情報が分かる写真、図面を記載もしくは添付
	飛行ルート図	調査面毎に飛行ルートと距離を記載
安全管理	安全対策	安全体制、安全区域の明示、ドローン安全装備類、緊急時の操作方法等
	緊急時連絡体制	関係部署へ連絡できる体制を整える
添付資料	※1：国土交通省「無人航空機の飛行に関する許可・承認申請書」「無人航空機の飛行に関する許可・承認書」のコピーを添付 ※2：（一社）日本建築ドローン協会 「建築ドローン安全教育講習修了証」のコピーを添付 ※3：加入している保険証のコピーを添付 その他 機体および付属品の仕様、点検票、会社経歴、打合せ議事録等	

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

(1) ドローンを活用した外壁調査

表 実証実験で用いた建築物の概要

	A学校	B共同住宅	C共同住宅
階数・用途	11階建て 校舎	14階建て 分譲マンション	14階建て 分譲マンション
実験対象 外壁面	西外壁面	北東・南東外壁面	東外壁面
構造	鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造	鉄骨鉄筋コンクリート造
仕上げ種類	50二丁磁器質タイル	50二丁磁器質タイル、 50角磁器質タイル	50二丁磁器質タイル、 50角磁器質タイル

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

(2) 実証実験での調査方法（実験の計画段階）

表 調査方法

	A学校	B共同住宅	C共同住宅
調査方法	<ul style="list-style-type: none"> 打診調査（ロープブランコ） 		
	<ul style="list-style-type: none"> 赤外線装置法（地上設置）・InfReC R500 		
	<ul style="list-style-type: none"> 赤外線装置法（ドローン搭載） <ul style="list-style-type: none"> ① FLIR A65 （ドローン；ALTA） ② Zenmuse XT（ドローン；M210（DJI）） 		
備考	—	<ul style="list-style-type: none"> 南東面は鉄道路近接のためドローン飛行不可。 北東面のみドローンを用いた実験を実施した。 	<ul style="list-style-type: none"> 繁華街近郊でのドローン飛行のため、電波調査を事前に実施した。
	補修工事故障図あり	補修工事故障図なし	補修工事故障図なし

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

(3) 実証実験の結果

- 地上に設置した赤外線装置により撮影した熱画像については、いずれも欠陥の検出はできたが、C共同住宅では、やや検出率は低かった。
- ドローンに搭載した赤外線装置により撮影した熱画像について、A学校は欠陥を検出することができたが、B共同住宅・C共同住宅では欠陥の検出は困難であった。



A学校



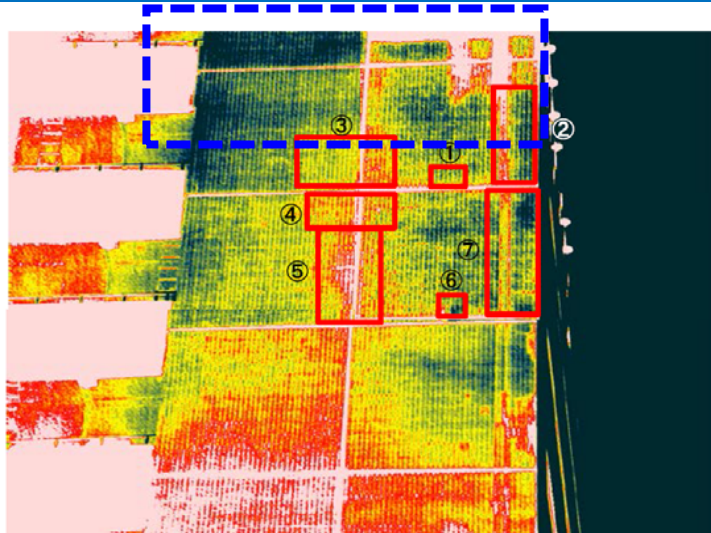
B共同住宅



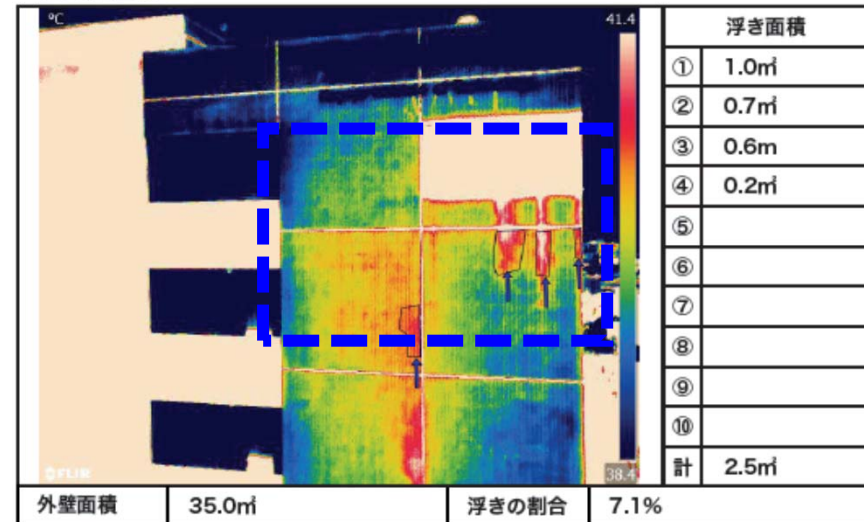
C共同住宅

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

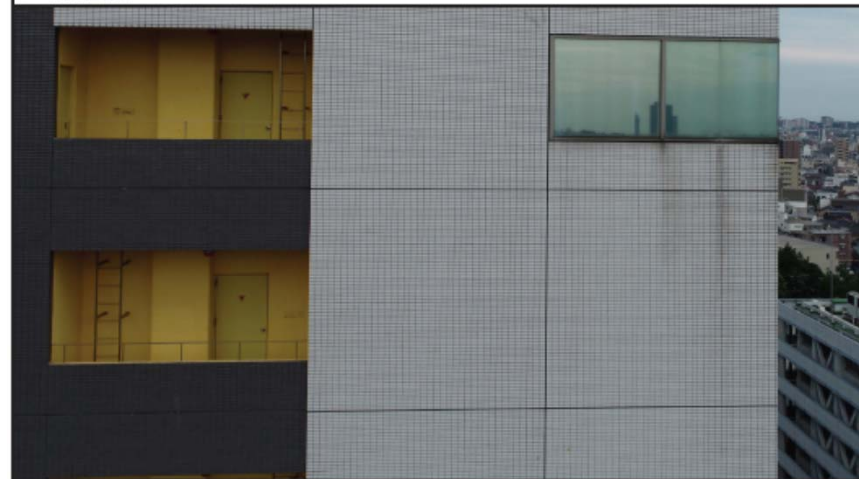
A学校 (11階建て 校舎) 西外壁面



可視画像



*可視画像



図；地上赤外線装置 (InfReC R500) の熱画像 (上) と可視画像 (下)

図；ドローン (ALTA) 搭載の赤外線装置 (FLIR A65) の熱画像 (上) と可視画像 (下)

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

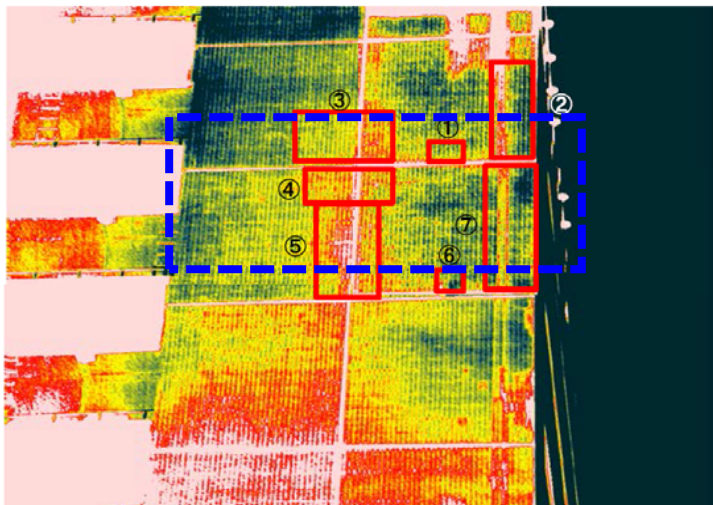
熱画像の解析方法

- ①調査対象面に対して撮影した熱画像が全て記録されているか割付を行う。
- ②現地撮影の際に浮き・はく離が確認された熱画像を参考に基準の温度設定を行う。
- ③熱画像上、**顕著な高温部は可視画像と比較し、外壁の汚れ等の影響を判断する。**
- ④温度レンジバーを調整し、浮き・はく離の判定をする。
- ⑤浮き・はく離と判定した熱画像を記録する。
- ⑥立面図に判定した浮き・はく離箇所をプロットする。

以上の手順により使用する赤外線サーモグラフィ機器の専用ソフトを使用して解析する。

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

A学校 (11階建て 校舎) 西外壁面



可視画像

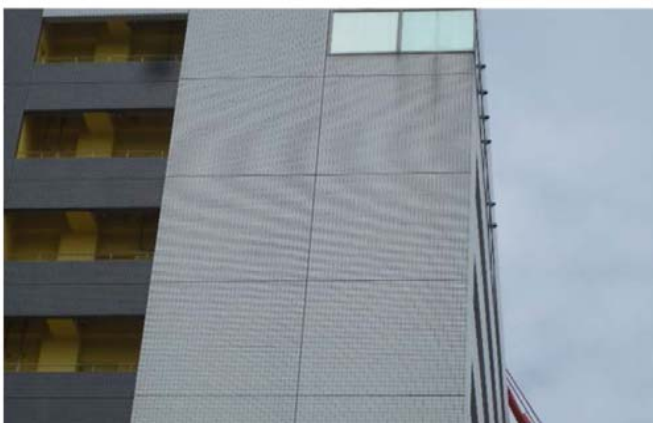
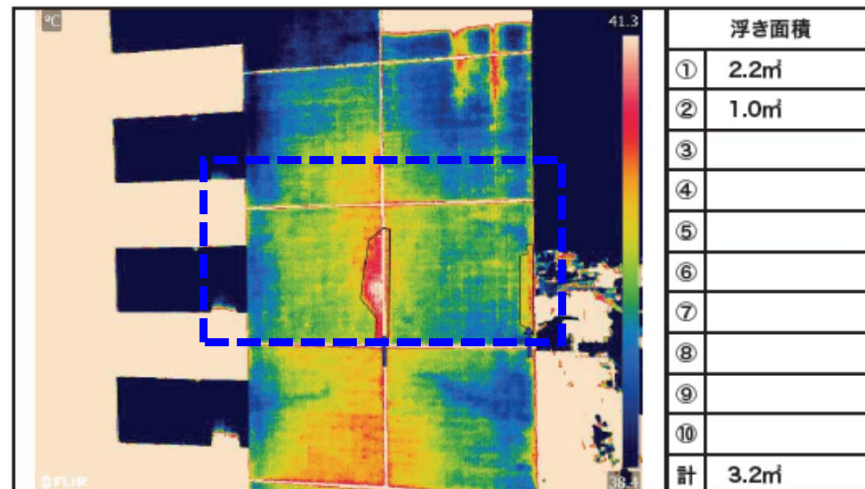


図 ；地上赤外線装置(InfReC R500)の熱画像(上)と可視画像(下)



外壁面積	35.0㎡	浮きの割合	9.1%
------	-------	-------	------

*可視画像

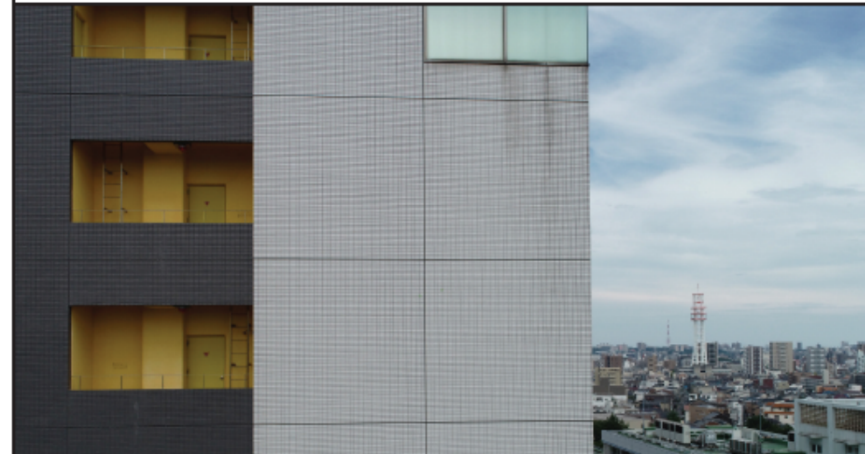
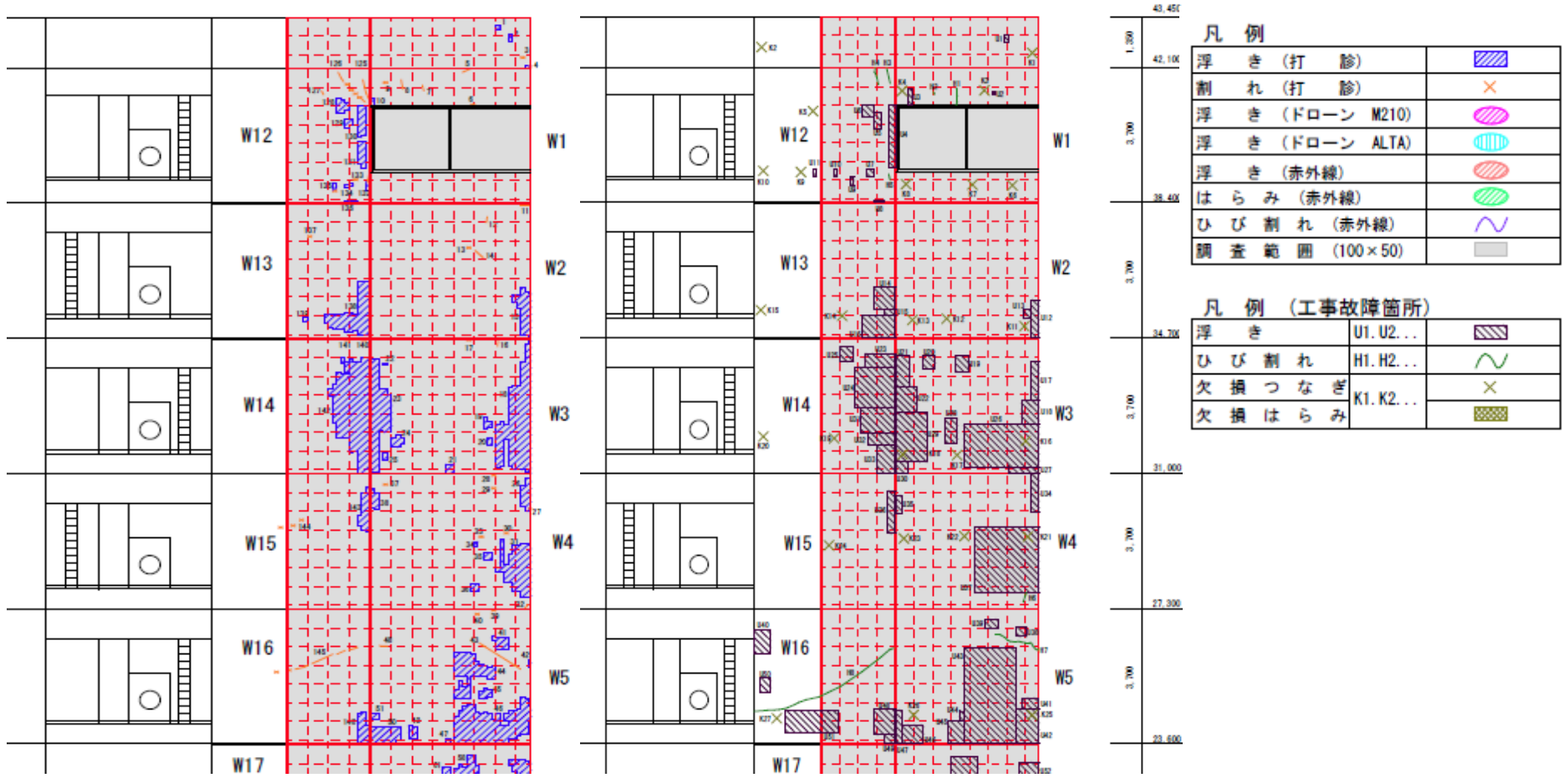


図 ；ドローン(ALTA)搭載の赤外線装置(FLIR A65)の熱画像(上)と可視画像(下)

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

A学校 (11階建て 校舎) 西外壁面



図；打診調査結果

図；補修工事故障図
 (改修工事に際して実際に確認された、
 浮き・はく離箇所を記載した図)

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

A学校 (11階建て 校舎) 西外壁面

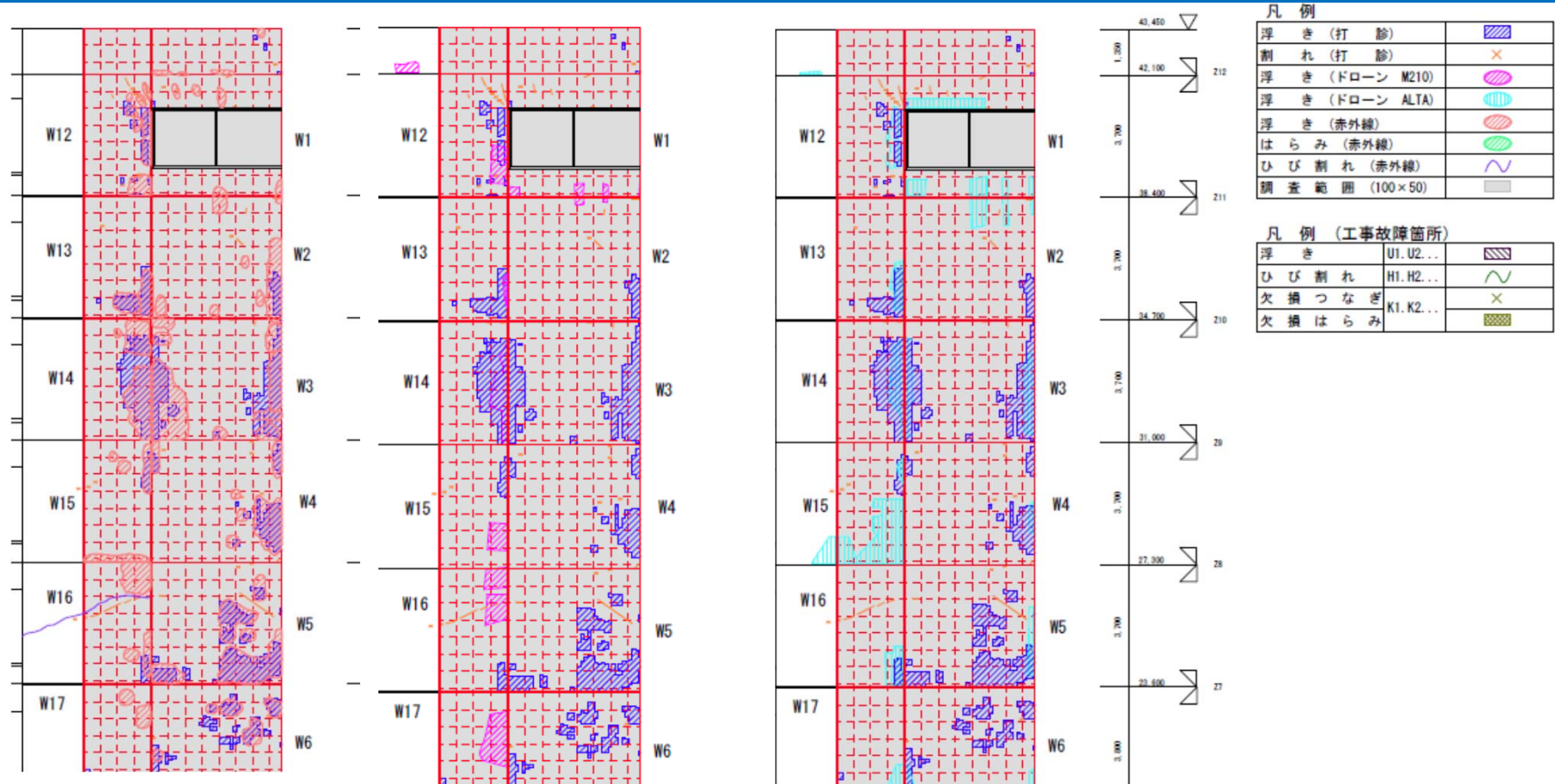


図 ；打診と地上赤外線結果の重ね合わせ図

図 ；打診とドローン (M210) 搭載の赤外線装置 (ZemuseXT) の重ね合わせ図

図 ；打診とドローン (ALTA) 搭載の赤外線装置 (FLIR A65) の重ね合わせ図

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

診断結果 打診と赤外線装置法の比較

A学校 (11階建て 校舎) 西外壁面

対象面	西面				打診を基準とした場合の一致数		工事故障箇所を基準とした場合の一致数	
グリッド総数	1016 個				一致グリッド数		一致グリッド数	
打診結果グリッド数	382	箇所	37.6	%	-	-	346	箇所 73.62 %
地上設置 赤外線結果グリッド数	461	箇所	45.37	%	335	箇所 87.7 %	349	箇所 74.26 %
ドローン ALTA結果グリッド数	247	箇所	24.31	%	175	箇所 45.81 %	177	箇所 37.66 %
ドローン M210結果グリッド数	207	箇所	20.37	%	136	箇所 35.6 %	131	箇所 27.87 %
工事故障箇所グリッド数	470	箇所	46.26	%	-	-	-	-

表中の%は、グリッド総数に対する浮きのグリッド数の割合、箇所はグリッド数を表す

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

診断結果 打診と赤外線装置法の比較

B共同住宅 (14階建て 北東面 南東面)

対象面	北東面		南東面		打診を基準とした場合の 一致数 北東面		打診を基準とした場合の 一致数 南東面	
	グリッド総数		グリッド総数		一致グリッド数	%	一致グリッド数	%
グリッド総数	2097 個		1942 個					
打診結果グリッド数	128 箇所	6.1 %	433 箇所	22.3 %	-	-	-	-
地上設置 赤外線結果グリッド数	540 箇所	25.75 %	703 箇所	36.2 %	90 箇所	70.31 %	304 箇所	70.21 %
ドローン ドローンM210グリッド数								
ドローン ドローンALTAグリッド数								

表中の%は、グリッド総数に対する浮きのグリッド数の割合、箇所はグリッド数を表す

C共同住宅 (14階建て 東面 R階塔屋階段腰壁)

対象面	東面		R階塔屋階段腰壁		打診を基準とした場合の 一致数 東面		打診を基準とした場合の 一致数 R階塔屋階段腰壁	
	グリッド総数		グリッド総数		一致グリッド数	%	一致グリッド数	%
グリッド総数	2519 個		35 個					
打診結果グリッド数	406 箇所	16.12 %	21 箇所	60 %	-	-	-	-
地上設置 赤外線結果グリッド数	673 箇所	26.72 %	25 箇所	71.43 %	204 箇所	50.25 %	18 箇所	85.71 %
ドローン ドローンM210グリッド数								
ドローン ドローンALTAグリッド数								

主に凹部や建築物の他の部分の熱の影響を受けやすい部分で違いがあった。

表中の%は、グリッド総数に対する浮きのグリッド数の割合、箇所はグリッド数を表す

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

(4) ドローンに搭載した赤外線装置で検出率が低かった原因

a. 赤外線装置の性能によるもの

- ドローンに搭載した赤外線装置による熱画像において、欠陥を判別できてない熱画像を観察するとシェーディングのような現象が発生し検査結果に影響（検出率の低下）したと判断
 - ✓ レンズおよび鏡筒からの輻射を検出し、それがノイズとなって熱画像に影響が出てしまったと考えられる。
 - ✓ ハンディタイプの赤外線カメラでも多少発生するが、補正機能により除去され検査結果への影響が小さい。
 - ✓ 赤外線装置のサイズが小さいと、外部からの熱の影響を受けやすいこともあり、**相対温度差によって欠陥を検出しなければならない建築物の外壁調査においては、性能は十分ではなかったと考えられる**

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

b. 赤外線の原理的な要因とドローンの特性の要因

■ 赤外線放射量の違い

→ A学校 7月末、8月上旬撮影

→ B共同住宅 10月上旬撮影

→ C共同住宅 11月上旬撮影

* A学校は、真夏で日射量大

* BC共同住宅の検出ができなかったのは、A学校の撮影時期に比べて日射量が少ないことが影響していると推測

■ 検査開始時刻と日射との関係（B、C共同住宅）

→ 実験対象とした外壁は日の出のタイミングで撮影する必要があった。しかし、騒音や住民の出入り行動で朝のドローンの飛行ができなかったため、検出のタイミングを逃したと考えられる

壁面の方位、検査開始時刻など、今回の対象建築物の立地や形状等により、ドローンに搭載した赤外線装置では欠陥の検出が困難であった。

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

赤外線装置法による診断結果の信頼性を確保するための要件

- 赤外線装置法を用いる場合、打診法との併用が重要
- 建築物の事前調査と実施計画の策定は不可欠
- 赤外線画像を撮影した者が、熱画像解析を行う
- 浮き・はく離の厚さによって検出されるタイミングが異なり、また、日射量の状態によって検出のタイミングが異なるため、時間や撮影角度をずらして複数回撮影するなどの対応が必要
- ラスタータイルを含めて光沢や表面の凹凸のあるタイルでは、赤外線装置法の適用が難しい
- 庇や窓枠等凹凸のある部分の浮き・はく離を検出することは困難

4. 実建築物によるドローンを活用した外壁調査の実証実験

■ 実証実験におけるドローン活用の課題

- 搭載できる大きさの赤外線装置の性能が不十分
- 建築物近隣の障害物
- 近隣住民への十分な周知と配慮（騒音・プライバシー等）

■ 一般的なドローン活用の課題

- 法的・技術的・人的な観点から安全性対策が未成熟
- ドローンを活用した建築物調査のルールが未整備

ドローン活用の優位性と期待

- 手の届かない・見えない場所への高いアクセシビリティ
- 地上と同じ目線での画像取得が可能
- 変状・損傷を迅速に把握可能なスクリーニング効果

⇒ドローンを活用した建築物調査 実施要領（案）作成

5. 「定期報告制度における赤外線装置法による外壁調査 実施要領（案）」
および「ドローンを活用した建築物調査 実施要領（案）」

- 2カ年にわたる実験、アンケート調査およびヒアリング調査を基に、以下の2つを作成した。

「定期報告制度における赤外線装置法による外壁調査 実施要領（案）」

「ドローンを活用した建築物調査 実施要領（案）」

- ✓ いずれも、建築物の調査者が使用することを想定
- ✓ 外壁等の調査が、適切に実施されていることを建築物の所有者や管理者が確認する際に利用することも。

5. 「定期報告制度における赤外線装置法による外壁調査 実施要領（案）」 および「ドローンを活用した建築物調査 実施要領（案）」

■ 定期報告制度における赤外線装置法による外壁調査 実施要領（案）

1. 総則
 1. 1 目的
 1. 2 適用範囲
 1. 3 用語の定義
2. 実施者
3. 赤外線装置法による外壁調査
 3. 1 赤外線装置法による外壁調査の概要
 3. 2 事前調査
 3. 3 調査計画の作成
 3. 4 赤外線装置法の適用条件の確認
 3. 5 打診法との併用による確認
 3. 6 調査の実施
 3. 7 熱画像による浮き・はく離の判定
 3. 8 報告書の作成

■ ドローンを活用した建築物調査 実施要領（案）

1. 総則
 1. 1 目的
 1. 2 適用範囲
 1. 3 用語の定義
2. ドローンによる建築物調査の実施体制
3. ドローンによる建築物調査の手順
4. ドローンの飛行における安全確保
5. 建築物調査におけるドローンの適用限界の把握
6. 建築物調査におけるドローンの調査精度と適用範囲の確認
7. ドローンによる建築物調査の方法
8. ドローンによる建築物調査の報告

6. まとめ

- 赤外線装置法による外壁調査における「適用限界」に関するバックデータを整備した
- 実建築物での実証実験により、信頼性のある診断結果を得るための赤外線装置法による外壁調査の手順、撮影条件等を明らかにした
- 実建築物での実証実験により、ドローンを活用した建築物調査での安全性確保のための手順や実施条件を明らかにした
- 「定期報告制度における赤外線装置法による外壁調査 実施要領（案）」および「ドローンを活用した建築物調査 実施要領（案）」を作成した

これらの成果が、外壁調査の実施率と信頼性の向上につながることを期待したい