

E04

ドローンによる赤外線撮影でタイル浮きをAI判定するシステム

～建て替えではない持続可能な建築と魅力ある建設業を目指して～

株式会社竹中工務店 深沢 茂臣

- 1. 法令における外壁調査方法**
- 2. 赤外線調査の原理**
- 3. スマートタイルセイバーの説明**

**定期調査（建築基準法第12条）の建築物の外壁調査は、半年～3年に一度の頻度で手に届く範囲での打診等による調査、竣工から10年を経過した建築物について「落下により歩行者等に危害を加えるおそれのある部分」は全面打診等による調査が求められている。**

### **定期調査は法令に則り全面打診検査を実施**

建築基準法第12条第1項に基づいた、建築物の定期調査・報告業務を実施する際、国土交通省住宅局建築指導課の監修のもと、財団法人（現 一般財団法人）日本建築防災協会より発行されている【特殊建築物等定期調査業務基準】という手引書に則る。

**平成20年（2008年）の【特殊建築物等定期調査業務基準】において「足場等を設置してテストハンマーで全面打診する方法」と「赤外線調査」を併記**

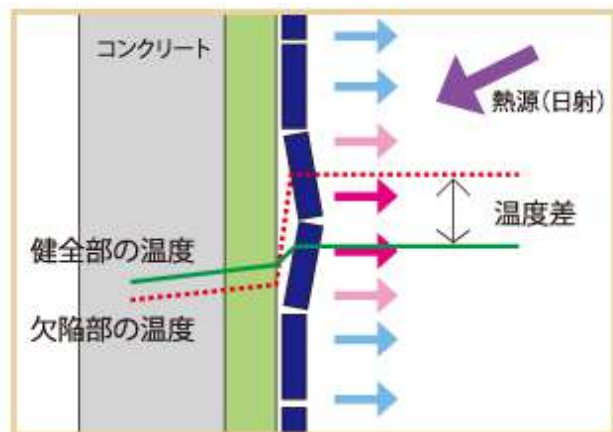
なぜ赤外線調査が記載されたのか

**全面打診の場合は全面足場による費用的な問題や時間的な制約により、調査頻度の低下による、公衆災害のリスクが高まってきた。**

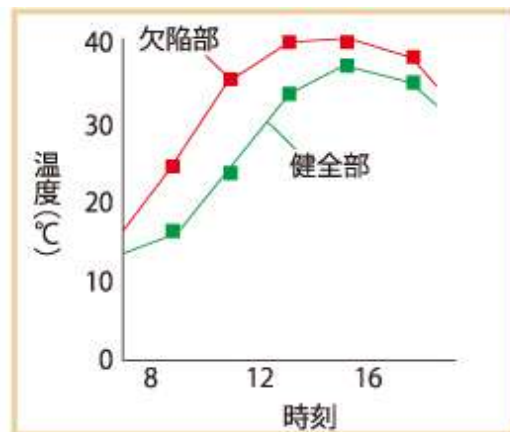
**赤外線調査は公に認められた  
外壁浮き診断調査の手法**

## 浮き部の空気層

- ▶ 健全部より浮き部の方が**表面温度の変動**が大きい
- ▶ 温度上昇時は**高温**・温度下降時は**低温**に表示される



健全部：熱エネルギーはコンクリートを伝わって移動する。  
(表面は低温になる)



欠陥部：空気層が熱移動を遮る。  
(表面は高温になる)

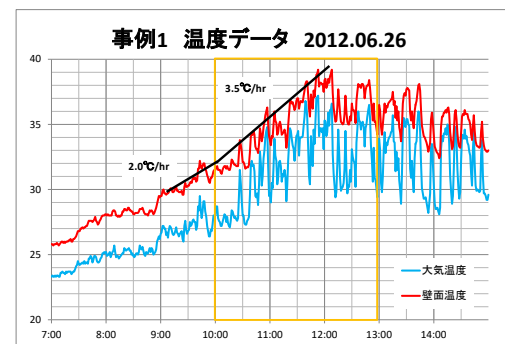
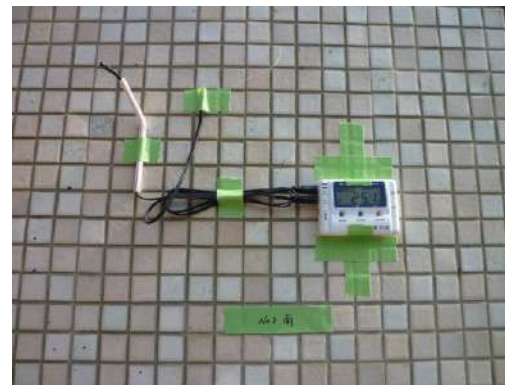
## どのように撮影のタイミングを決めるのか

### ● 浮きを検出できる温度条件

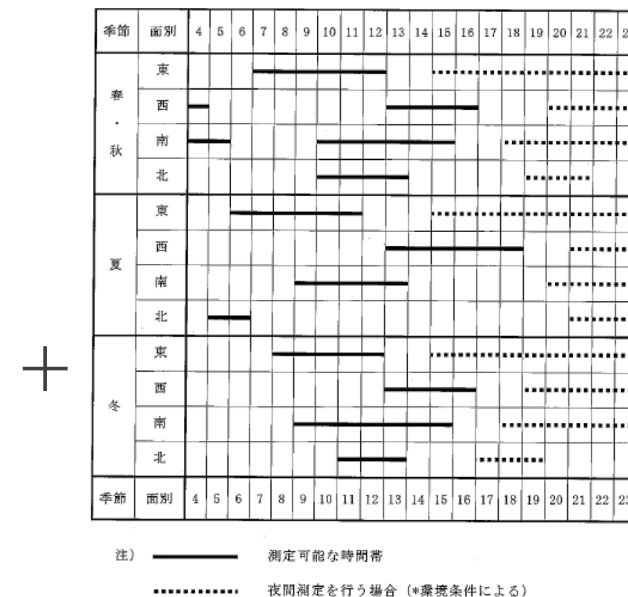
★日射が当たる面 → 2℃/hr ★日射が当たらない面 → 1℃/hr

### ● 外壁の各対象面に温度計を設置

→ 1分毎温度を記録



【壁面温度計測】



【BELCA基準】

## 赤外線調査のメリット

### 赤外線調査を行う理由

→ 赤外線を正しく理解して、うまく活用することが、重要である

**スピーディーに、顕著な浮きを判断し、次の診断（打診や応急処置）  
が必要かの判断材料とする**

### メリット

- 低コスト
- 仮設等不要（＝安全）
- 非破壊のため騒音無し
- 現場作業が1～2日

**+ スマートタイルセイバーでは**

**正確に！バラツキなく！早く！安く**

## 【技術開発の目的】

現状 定期調査（建築基準法第12条）の建築物の外壁調査は、半年～3年に一度の頻度で手に入る範囲での打診等による調査、竣工から**10年を経過した建築物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
1. 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**費用負担が大きい。**
  2. 全面打診に代わり赤外線装置を用いた調査が行われているが、建物の**高層階調査が困難**、適切な調査方法が徹底されていない問題がある（**ブランコによる危険作業**）
  3. **打診法や赤外線調査は検査者の技能や経験に依存している。**また、打診検査は調査時間が長くなると疲れにより打音によるタイルの浮き剥離の判断が不正確になりやすい。



外部足場設置例



外部足場内打診検査



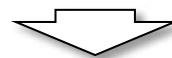
ゴンドラによる外部足場未設置の場合の打診検査

1. 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が大きい。



## ドローン撮影を行う

2. 全面打診に代わり赤外線装置を用いた調査が行われているが、建物の高層階での調査が困難、適切な調査方法が徹底されていないことなどの問題がある（ブランコによる危険作業）。



## 1. 赤外線撮影によるタイル浮き判定確度の向上

## 2. AIにより不具合検出を自動（定量）化

### 課題解決のステップ

1. タイル浮きサンプルによる赤外線実証実験
2. 既往検査結果の誤差検証
3. 過去の教師データによる自動判定技術の確立
4. ドローンによる赤外線外壁撮影

### 必要な技術

- ① 赤外線浮き判定
- ② 撮影画像検証技術
- ③ ドローン撮影技術



## 【目標達成のための課題と解決方策】

- 1   ➤   F L I R 熱画像の解析  
      ➤   T Z P 形式への変換  
      ➤   温度パレットの適用
- 2   ➤   タイル自動認識アルゴリズムの検証  
      ➤   タイル自動認識プログラムの開発
- 3   ➤   タイル浮き判定基準の調査  
      ➤   タイル情報の設計  
      ➤   手動入力/補正ツールの開発  
      ➤   浮き自動判断プログラムの仮実装
- 4   ➤   浮き自動判断プログラムの本実装  
      ➤   タイル浮き判断アルゴリズムの検証
- 5   ➤   後期対象現場の選定  
      ➤   ダイナミックレンジ合成システムの開発
- 6   ➤   再分割工程の実装・ダイナミックレンジ合成とFLIR熱画像の合流  
      ➤   浮き判定アルゴリズムの改善  
      ➤   DXF/CSVなどの出力機能を実装・実際のワークフローに合わせて調整



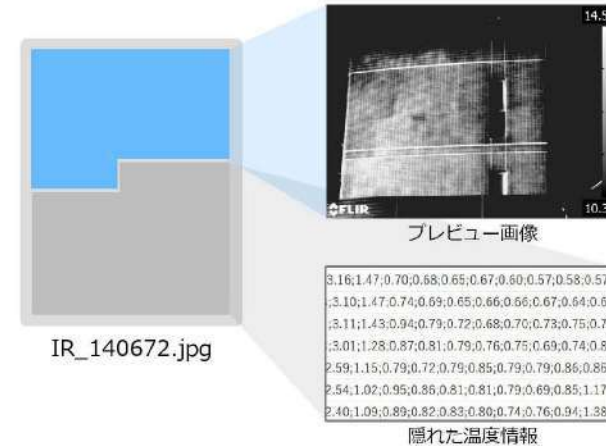
## 【目標達成のための課題と解決方策】

### 熱画像変換の概要

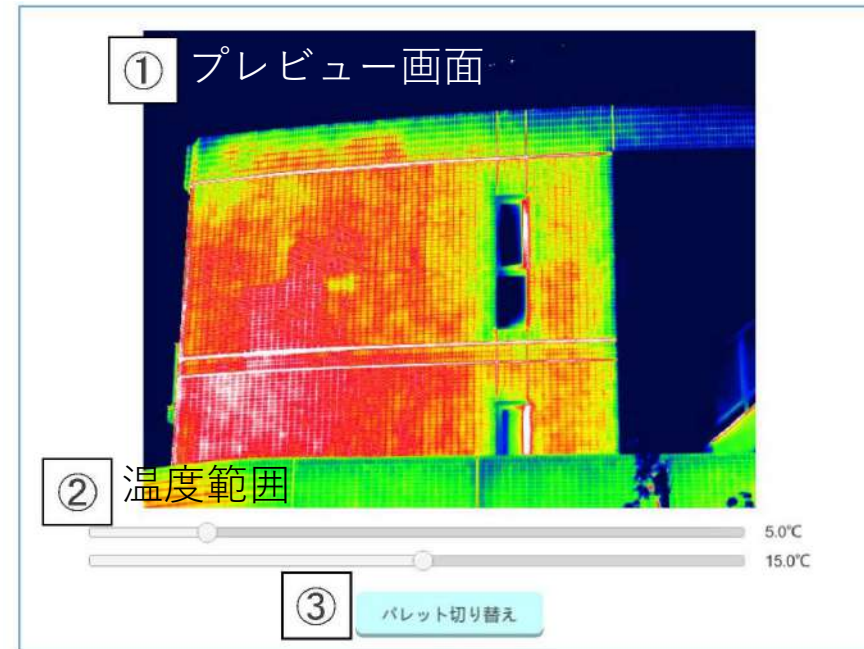
FLIR社の熱画像 jpgは、画像データとは別に、隠れた温度情報を内包している。ただし、この情報は通常のソフトではアクセスされない領域に格納されており、温度情報を利用するため解析・抽出を行った。



熱画像→温度情報変換プログラム



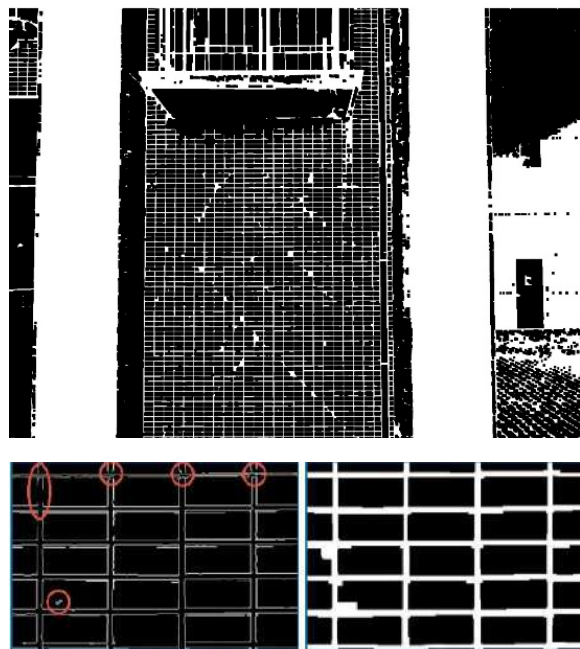
熱画像jpgファイルのイメージ図



簡易熱情報 (TZP) 閲覧プログラム

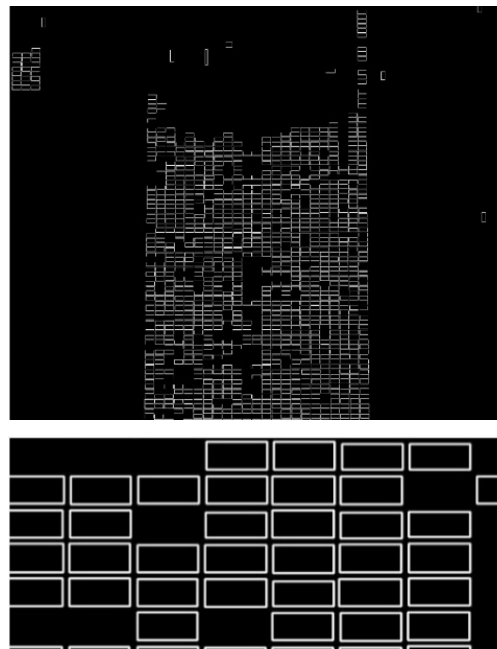
## タイル自動認識アルゴリズムの検証

エッジ検出  
(ノイズ除去とエッジ強調)



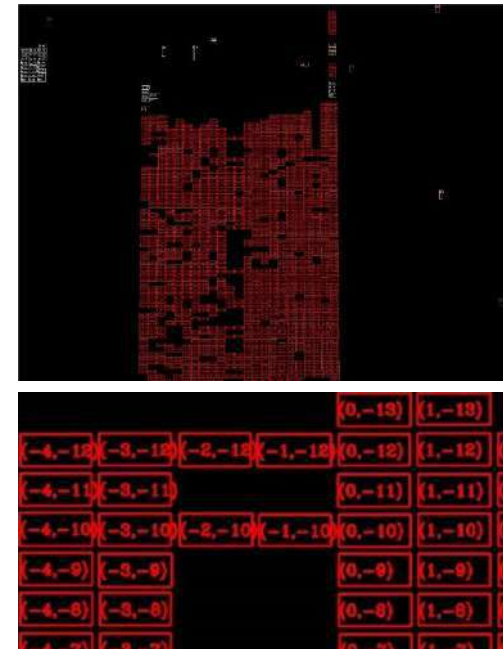
- エッジ検出によって得た輪郭線から細かいノイズを取り除き、タイル線が途切れている部分をつなげて補強する。
- エッジ強調の処理前後。ノイズが除去され、いくつかの途切れた箇所がつながっている。

タイル矩形検出



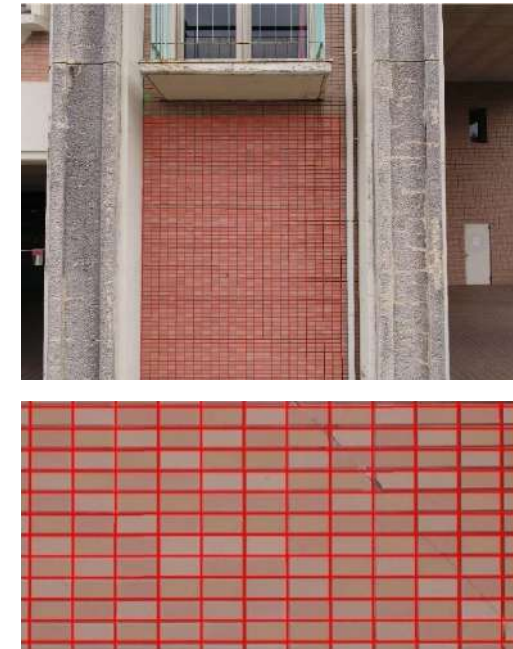
- エッジ線に囲まれた領域を検出し、その中からタイルである可能性の高い矩形（タイル矩形）を見つける。

グルーピング  
/ アドレッシング



- 隣り合ったタイル矩形を辿り、連続したグループに色分けし（グルーピング）、そのグループ内でのタイル1枚1枚の相対座標を計算する。（アドレッシング）

タイル格子予測  
(結果出力)

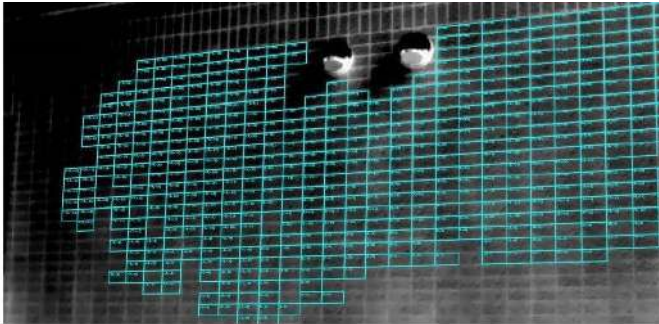


- タイル矩形のグループから、タイル格子の形状を予測する。
- タイル格子は、四角形で、できるだけ多くのタイルを含むように予測される。



### タイル自動認識プログラムの開発

タイルメッシュ方式



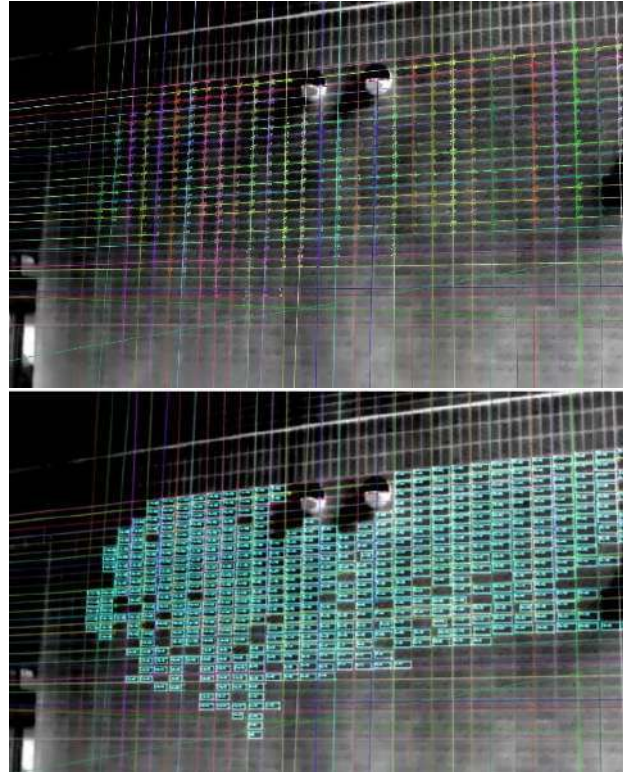
- 全てのタイルの四隅座標を情報として保存する。

- 実際のタイル分布により近い。
- 穴が表現できる。



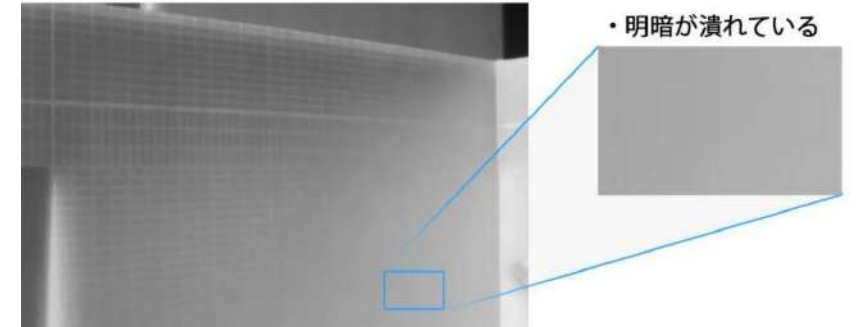
1. 一部グリッド線がガタガタで、タイルの形ではない箇所がある
2. タイルがところどころ抜けて穴の空いている箇所がある

消失点推定・補正



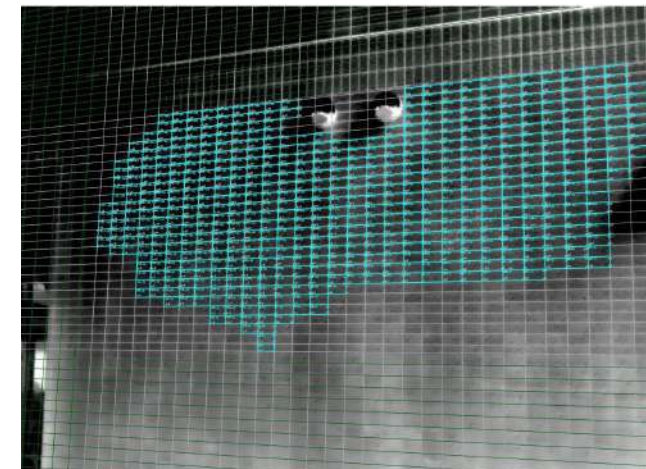
- X 軸、Y 軸のグリッド線交点を無作為に1 万通り求め、垂直方向・水平方向の消失点を推定する。各グリッド線を、推定した消失点を通るように補正し、グリッド線のバラつきを抑える。

エリア拡張

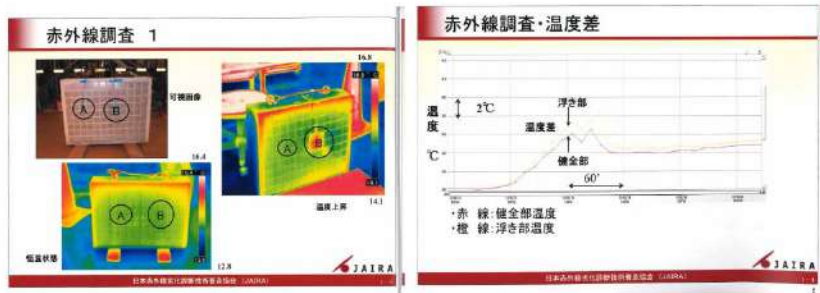


- 検出したタイルのグリッドを外挿的に適用することで、存在しないグリッド線を推測・補完する手法（エリア拡張）を実装・検証する。

実行結果



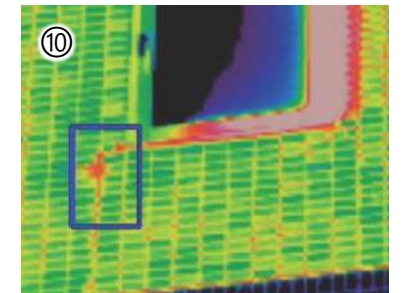
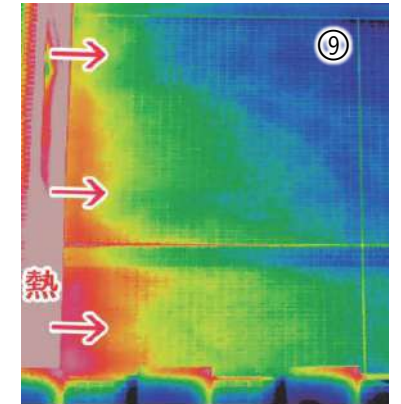
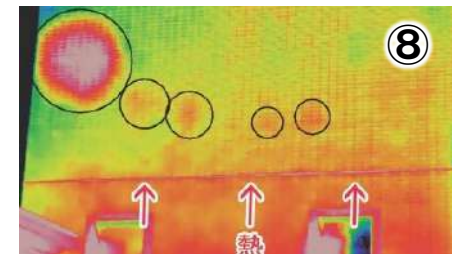
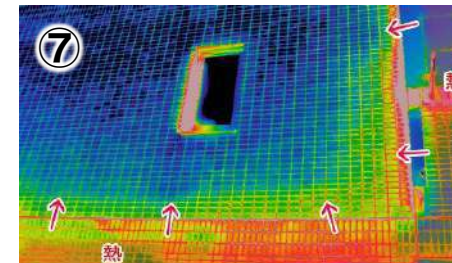
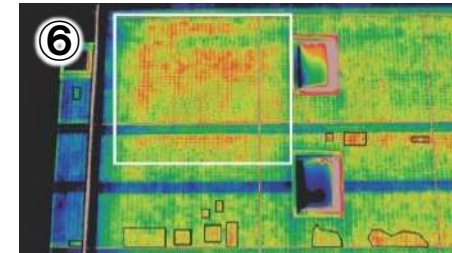
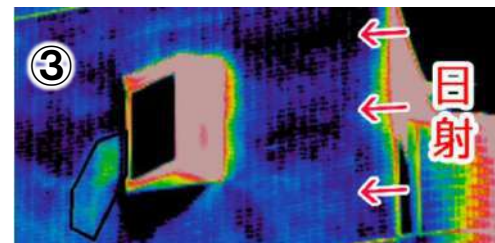
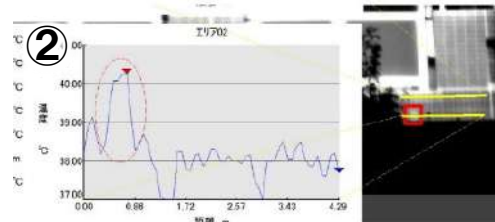
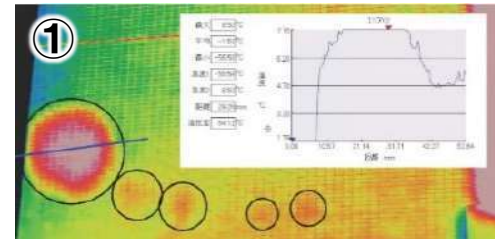
## タイル浮き判断基準



JAIRA 発行のテキスト

- ① タイル浮きの典型例（下地浮き）
- ② 陶片浮き
- ③ 日射方向とタイル浮きの関係
- ④ タイルの模様
- ⑤ “まばら”な温度分布
- ⑥ 浮き面積と強度の関係
- ⑦ 縁部分の高温部
- ⑧ 地面からの反射熱
- ⑨ 壁からの熱反射
- ⑩ 温度が高くなる別の要因

現場での使用に耐えるソフトウェアを開発するにあたっては、  
室外機・窓枠・車などの障害物、地面からの照り返しなど、現  
実に存在する様々な要素を考慮する必要がある。





## 【目標達成のための課題と解決方策】

### 浮き自動判断プログラムの仮実装

「**タイル浮き判断基準**」の中心となる以下を実装・検証した。

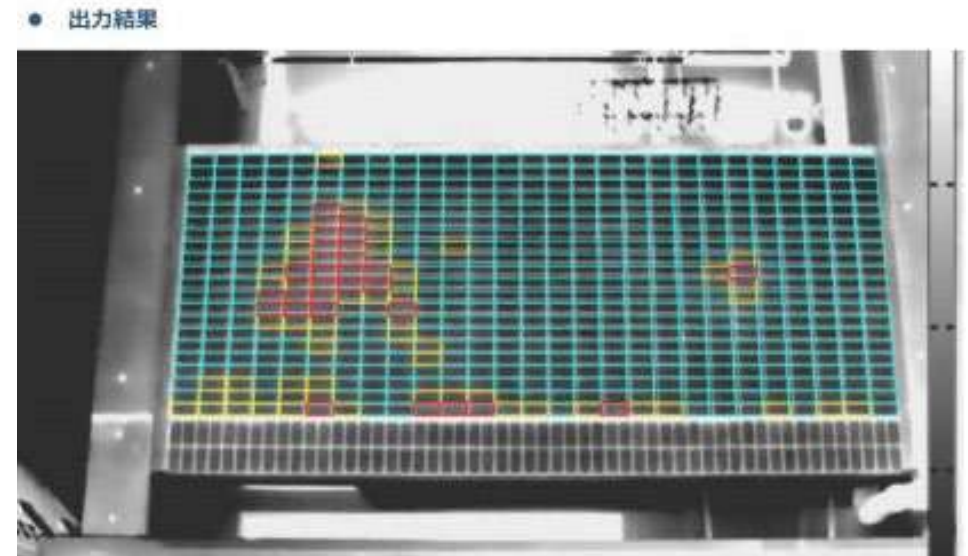
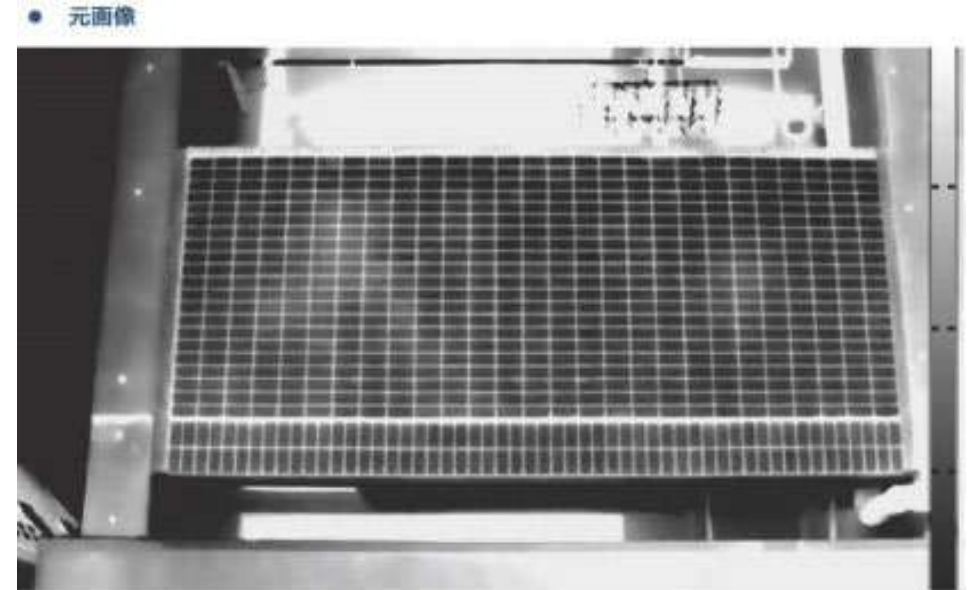
- 下地浮きの温度分布をつかった基本ルール
- 反射熱の影響を除外
- 縁からの熱伝導の影響を除外
- まばらな温度分布の影響を考慮

### 実行結果の見方

タイル中の画素の輝度平均値を「浮きスコア」とし、スコアの高さに応じて「**疑いが強い**」、「**疑いあり**」、「**正常**」の3段階で評価しました。（スコア：タイルの検出枚数）

### 事前検証プログラムでの判定との比較

事前検証にて、「タイル中の輝度平均値を取得し、そのまま浮きスコアとする」という単純な浮き検出アルゴリズムを実装している。新たにより高度な検出アルゴリズムを実装するにあたり、前回の検出アルゴリズムと比較して、効果を検証する。



## 【目標達成のための課題と解決方策】

### タイル浮き判断アルゴリズムの検証

#### Step 1

##### タイルの代表輝度値の取得

熱画像からタイル1枚1枚を代表する輝度値を求める。

#### Step 2

##### 代表輝度値からスコアの計算（正規化）

Step1 で取得した代表輝度値から[0-1]の実数である「スコア（タイルの検出枚数）」を計算する。

#### Step 3

##### 広範囲高温部のキャンセリング

浮きの温度上昇を取得のため、広範囲高温部の影響をスコアから差し引く。

#### Step 4

##### 端部熱源の推定

#### Step 5

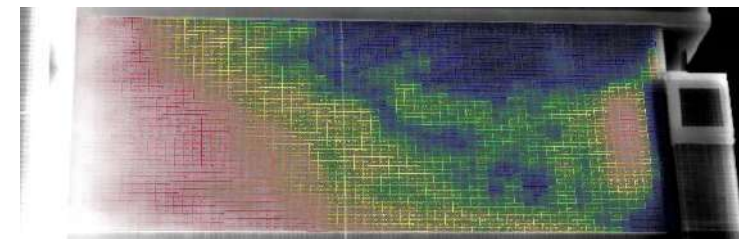
##### ノイズキャンセル

孤立している高スコアタイルは、ノイズの可能性が高いことから除外する。

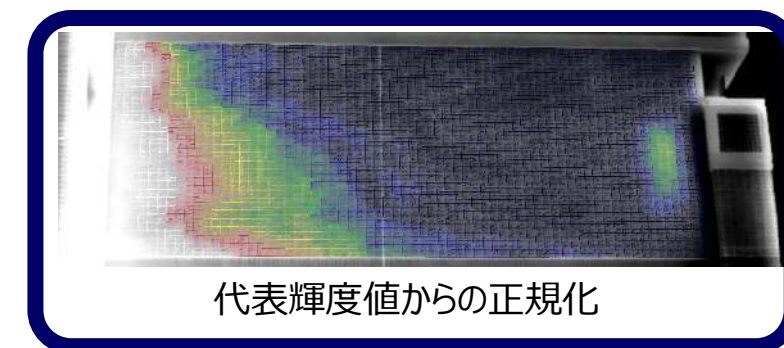
#### Step 6

##### 結果出力

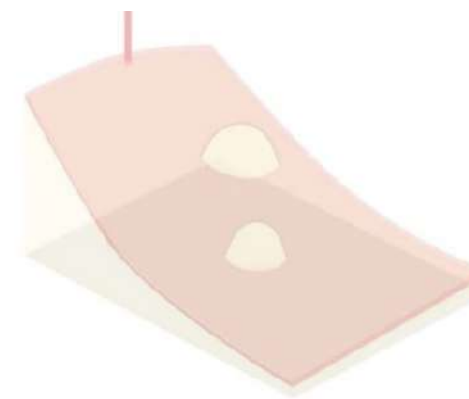
計算でスコアから得た閾値を超えたタイルを浮きとして画像に出力する。



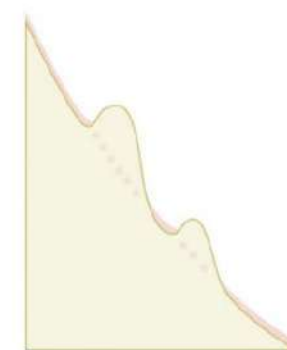
輝度順位での正規化



代表輝度値からの正規化



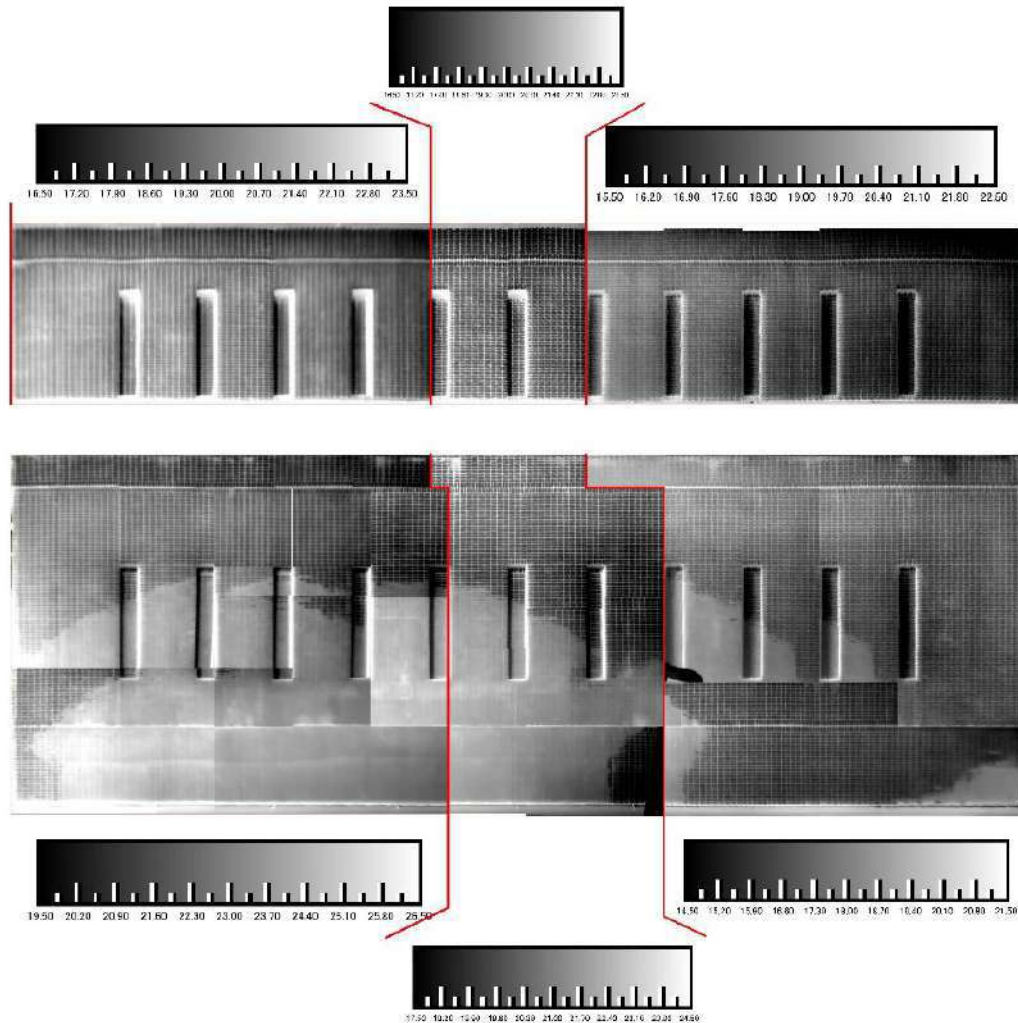
立体図



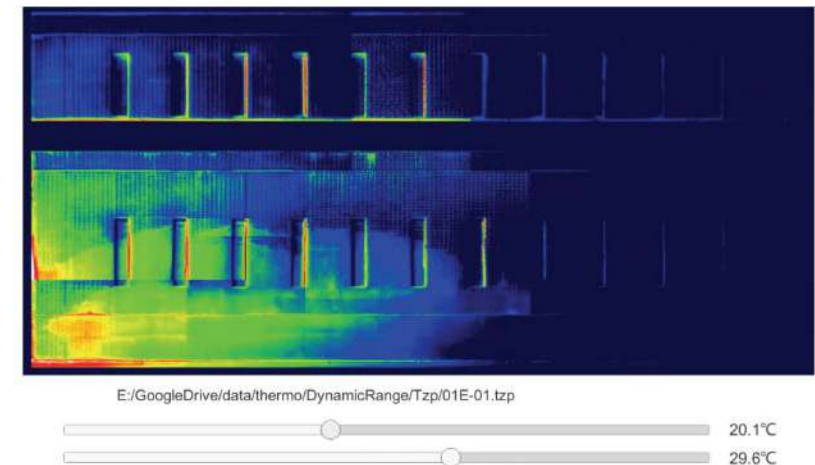
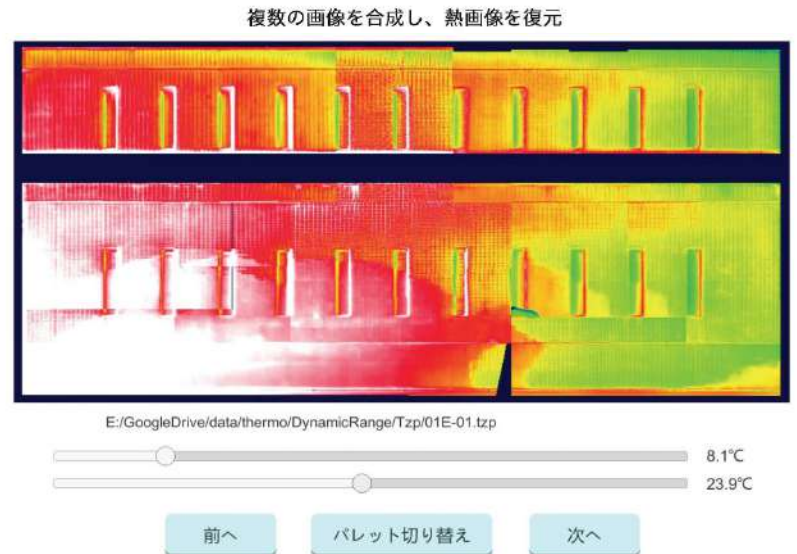
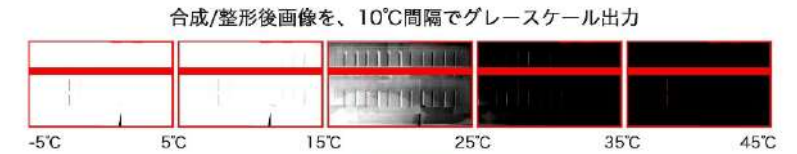
横から見た図

## 【目標達成のための課題と解決方策】

### ダイナミックレンジ合成システムの開発



図面上の位置に対応させた「合成/整形後画像」に加工して熱画像を使用する。複数の温度レンジでグレースケール画像を出力し、それらをプログラムで熱画像に再構築する「ダイナミックレンジ合成」を実装した。





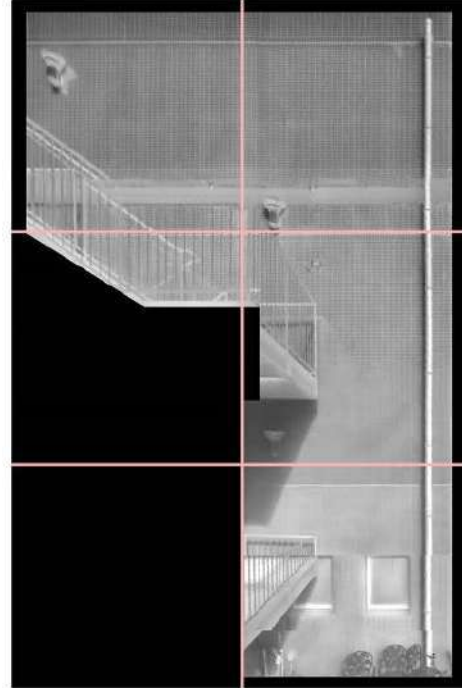
## 【目標達成のための課題と解決方策】

### 再分割工程の実装・ダイナミックレンジ合成とFLIR熱画像の合流

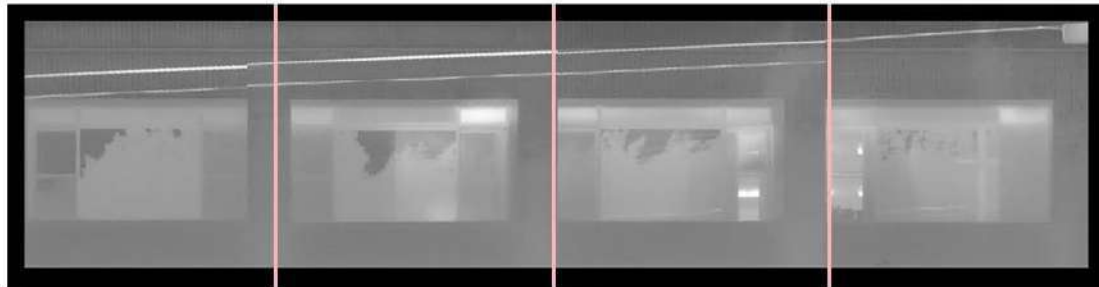
手作業で1枚に整形した画像を、再び画像処理のしやすいサイズに自動分割する。



最大サイズ  
(1024 x 1024)



縦長の画像



横長の画像

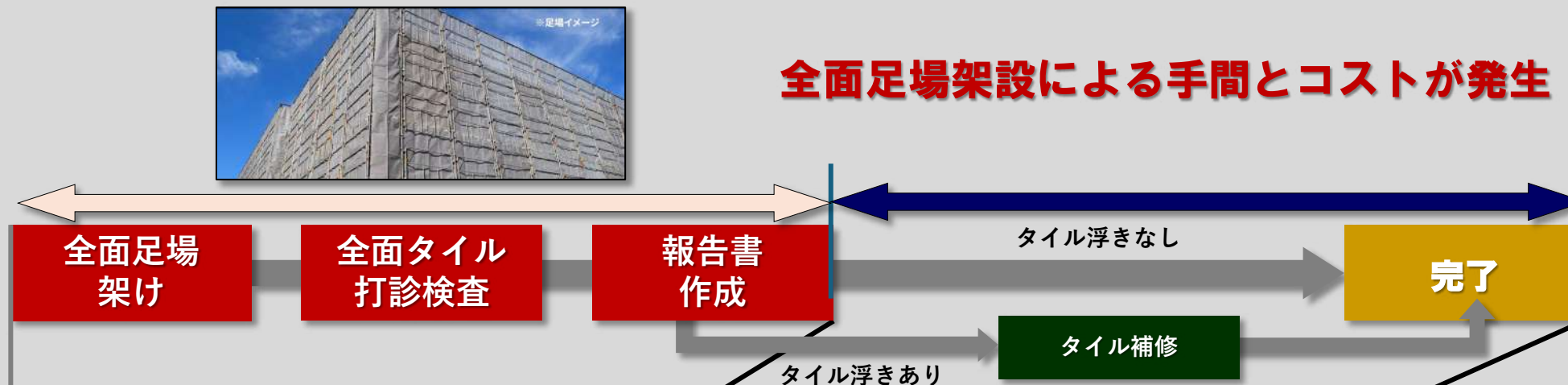
再分割処理の概念図。1枚が最大サイズを超えない範囲の最小の分割数で自動分割する。

#### 再分割工程によるメリット

1. どのような大きさ・縦横比の画像に対しても、均一な処理結果を得ることが期待できる。
2. 面積の増大により予測される急激な計算時間の増加を大きく軽減させることができる。

**本格的な足場を架設した、  
外壁タイル調査を行う前に、  
一次調査を行う場合に最適**

## 従来の外壁診断フロー（打診検査）



## スマートタイルセイバーによる外壁診断フロー

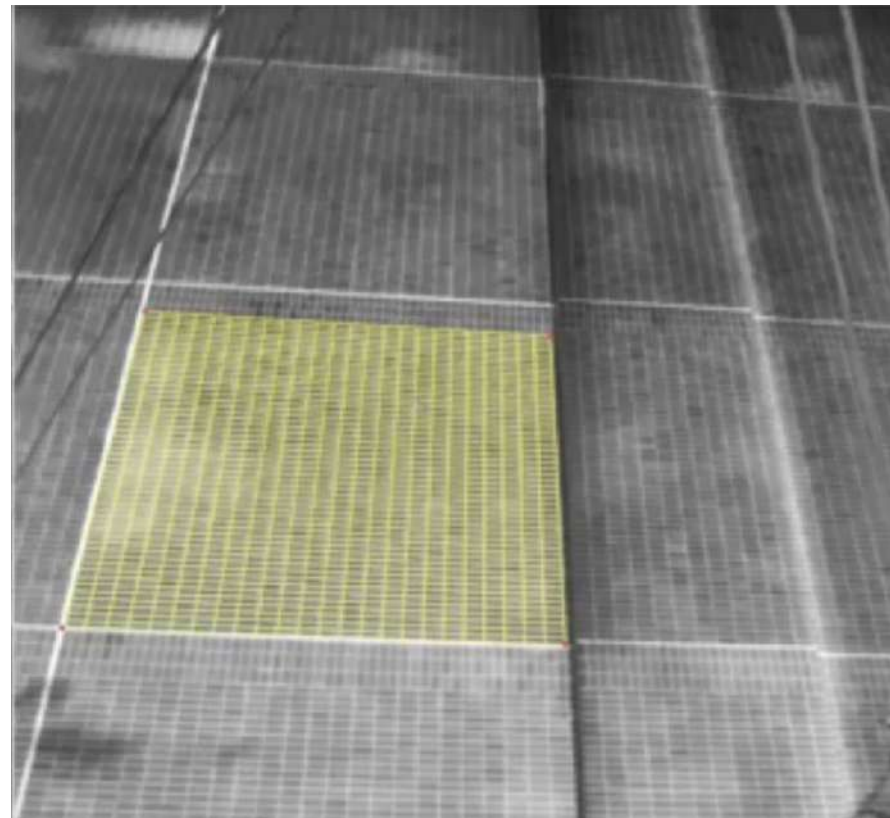
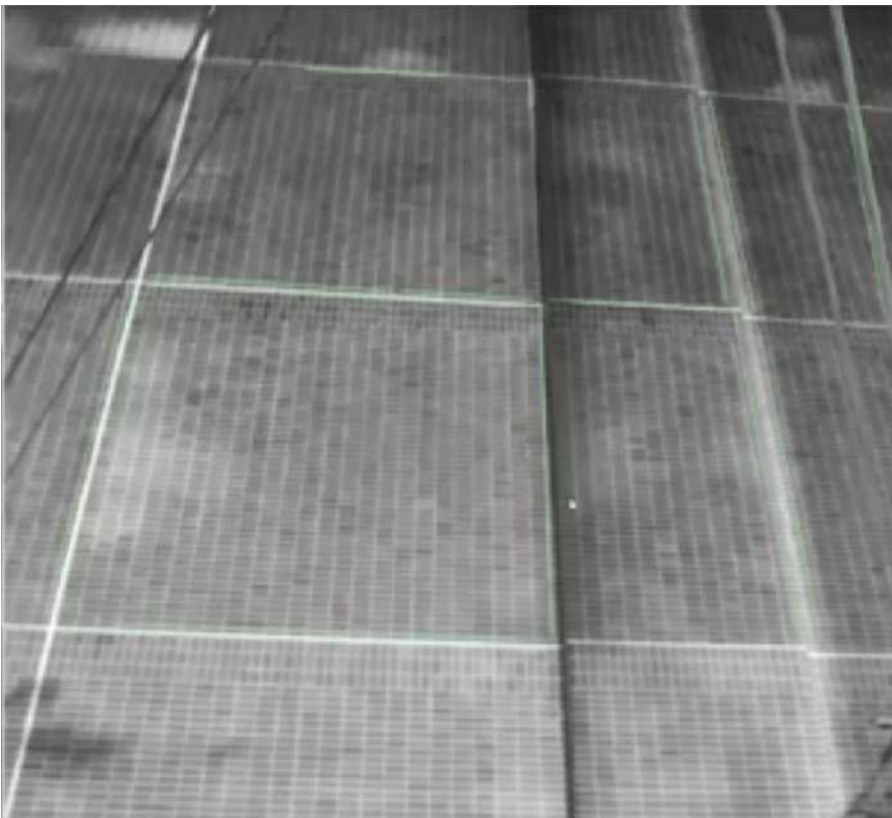


足場数量の削減  
工事期間の短縮

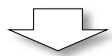
運搬にかかる  
GHG大幅削減

1. **タイル割を写真から検出**
2. **タイル1枚毎に浮き判定**
3. **DXFデータで出力**
4. **浮き率の明確化**
5. **人の感覚に頼らない**

## 1. タイル割を写真から検出



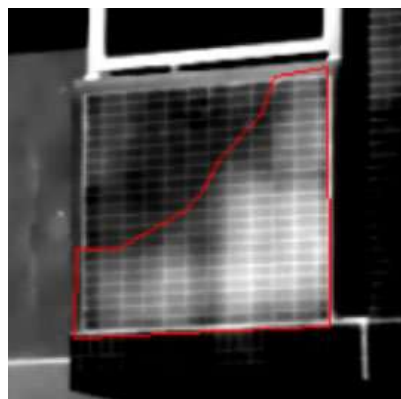
目地とタイル面の温度勾配よりタイル割を決定しているため、実際に即したタイル割が可能である。



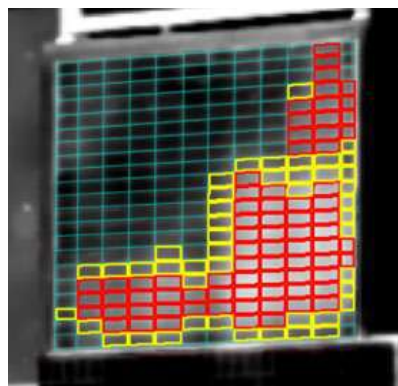
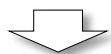
**写真をつなぎ合わせることで建物全体のタイル割図面を作成が可能**



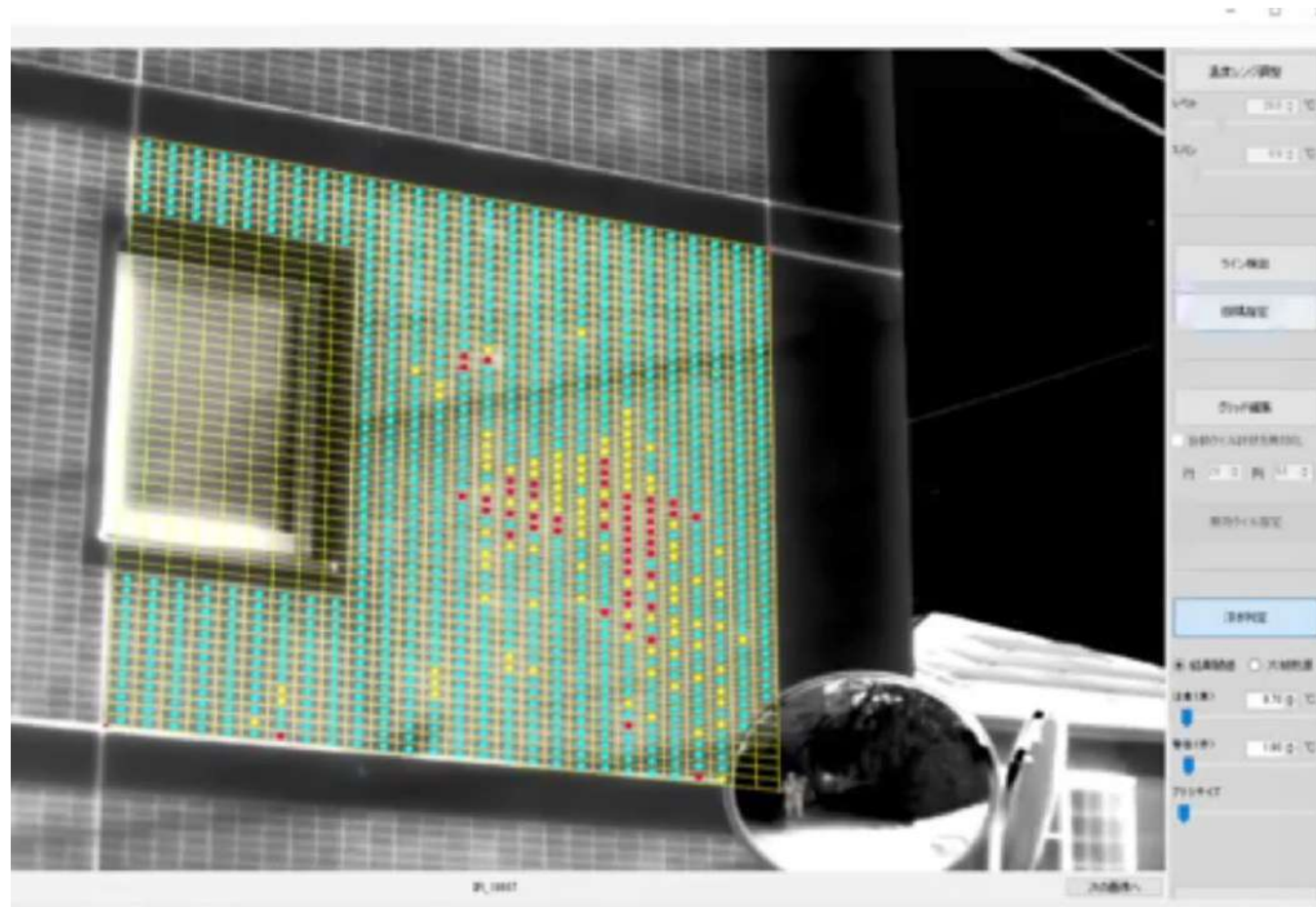
## 2. タイル1枚毎に浮き判定



従来の赤外線写真

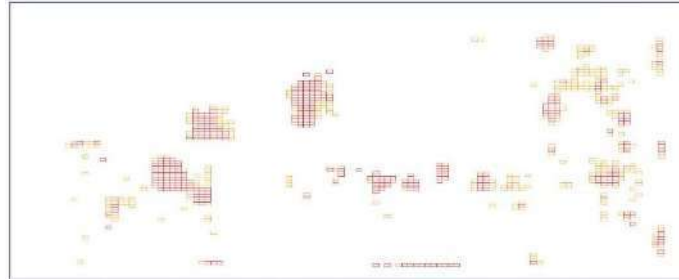


スマートタイルセイバー

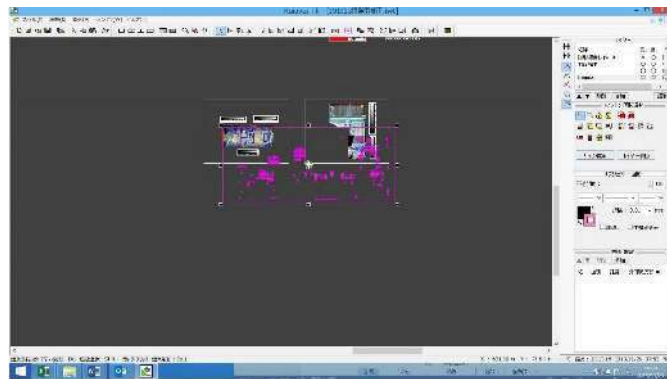


**浮いているタイルを1枚ごとに確認が可能**

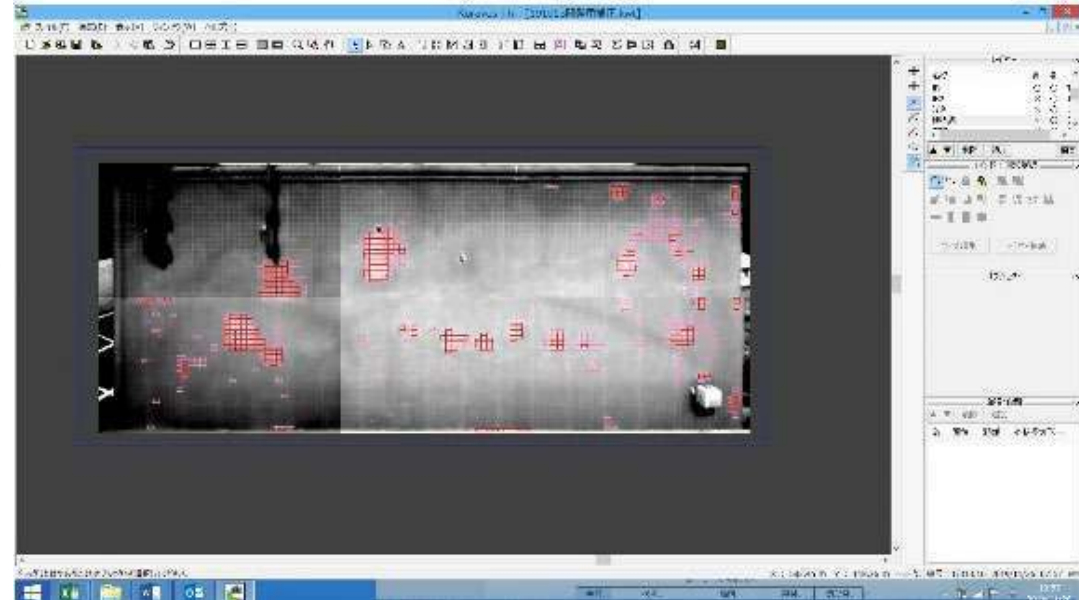
### 3. DXFデータで出力



DXFデータ



「Kuraves」との重ね合わせ



補正後

**浮いている状況が写真とタイル割を合わせて表示が可能**



## 4. 浮き率の明確化

CSVデータによる出力

名称	総数量	閾値 (警告)	数量 (警告)	含有率 (警告)	閾値 (注意)	数量 (注意)	含有率 (注意)
03S-01_0×0	1003枚	2.50℃	50枚	5.00%	2.00℃	28枚	2.80%
03S-01_0×1	1350枚	1.00℃	96枚	7.10%	0.75℃	63枚	4.70%
03S-01_0×0	1428枚	1.00℃	132枚	9.20%	0.70℃	37枚	2.60%
03S-01_1×1	1710枚	1.00℃	69枚	4.00%	0.90℃	27枚	1.60%
03S-01_2×0	1292枚	1.20℃	54枚	4.20%	0.80℃	112枚	8.70%
03S-01_2×1	1484枚	0.75℃	57枚	3.80%	0.45℃	101枚	6.80%
03S-01	8267枚		458枚	5.50%		368枚	4.50%

タイル総数

浮き枚数

浮き率

**タイル総数がわかるので浮いているタイルの率が明確になる**

## 5. 人の感覚に頼らない

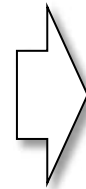


赤外線判定→(判定者の経験)



打診検査→(実施者の経験)

**その道のプロが必要**



SmartTileSaver



**自動処理による省人化**

**誰が判定しても同じ結果がでる(定型化された判断基準)**

# 単価

セットバックが少ない、**40m未満、**  
**外壁面積2000㎡程度、地上撮影**

## 従来赤外線

## ゴンドラ

## 打診(足場)

# 1.0



# 1.3

# 3.2

# 11.0

金額◎ 時間◎ 安全◎ 環境◎



## 実効性



40件を超える建物  
に適用済

## BELCAより【経済性】の評価取得

## 現状

1. 赤外線目視判定と同等以上の精度
2. 低コスト
3. 調査期間短縮（1次スクリーニングで活用）

**赤外線目視判断 < スマートタイルセイバー**





日経アーキテクチャー 2020年10月8日

2021年10月14日

日刊工業新聞

2021年6月9日  
～11日  
業界新聞



電気新聞



## 「AIを使った建築の社会貢献」 外壁タイル簡易判定技術の普及拡大



## 自動認識 システム 大賞受賞



2025年9月9日

タイル浮き自動判定システムが注目



竹中工務店 コスト削減、安全性、環境配慮

AI ~~X~~ 建築  
Fin..

ご清聴ありがとうございました