

# リニューアル対応外装診断・改修技術の開発 - その1 開発のねらいとシステムの概要 -

新田 泰士\* 岡田 圭司\*  
田原 良二\* 山浦 一郎\*

## 要 旨

本報は、今後急速に増大すると予測されている、既存建物のリニューアルに対応する技術開発への取り組みについて報告するものである。

開発対象は、建物のクレームの発生割合が最も多く、その改修に多くの費用がかかる外壁とし、その開発課題は、建物の建設から運用・維持管理、修繕・更新、解体までの耐用年限中の建物の適切な維持管理に必要な「外壁劣化診断システムの開発」と、改修しやすいあるいは改修に適した「乾式外装システムの開発」の2つである。外壁劣化診断システムの開発のねらいは、外壁仕上げで多用されているタイルの剥離状況を非接触で検知可能な赤外線法を用いた診断技術をシステム化し、診断精度および診断効率の向上を図ることである。一方、乾式外装システムの開発のねらいは、メンテナンス性が高く、修繕・更新が容易な外装システムを開発し、外装のライフサイクルコストを低減することである。

## 1. まえがき

建物の外殻を構成する外壁部分は、外的因子(雨、風、火、熱、音等)の遮断・調節機能や美観の確保などの重要な機能を担っている。したがって、外壁の耐久性・安全性を向上させることは、建物竣工後のライフサイクルコスト(以下、LCCと略す)を削減するための有効な手段である。また、漏水や外装材の剥離など、外壁に関する瑕疵・クレームの発生割合が、建物の瑕疵全体の50%を占めるという結果(図-1参照)が報告されており、外壁の瑕疵の発生を低減する上でも外壁を対象とする技術開発の重要性は高いといえる。

そこで、既存ストックおよび今後建設される鉄筋コンクリート造系建物の外壁面のメンテナンスという観点から、「外壁劣化診断システムの開発」と「乾式外装システムの開発」の2課題に取り組むこととした。なお、図-2に建物のライフサイクルにおける2つの開発課題の位置づけを示す。

本報では、前述した2課題について、その開発目標とシステムの概要を示すとともに、システムの実用化に向けた今後の展開について報告する。

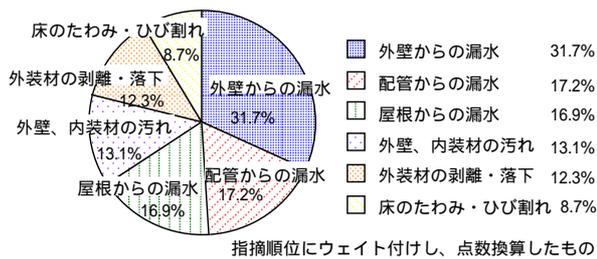


図-1 建物の瑕疵・クレーム発生状況<sup>1)</sup>

## 2. 外壁劣化診断システムの開発

### 2.1 現状の診断技術とその課題

外壁仕上げ層の剥離調査には、テストハンマーによる打診法(打音法)が一般的な手法として用いられてきた。

しかし、打診法では剥離部と健全部の音を人間の耳で聞き分けるため、経験による人為差が生じることや単純で長時間にわたる繰り返し作業となるため、判定の客観性が乏しく、診断精度のバラツキが大きいという欠点がある。また、作業用の足場が必要となるため、多額の費用や時間がかかるといった欠点もある。これらの欠点を解消するために、打診法による壁面診断ロボットが実用化されており、診断精度は高いものの壁面移動体を保持するための仮設備が必要となることや、作業効率が劣るなどの課題がある。

一方、赤外線法による仕上げ層の剥離診断技術は、10数年前から実用化されており、軽便な設備により非接触で短時間に広範囲の測定ができる上、測定結果を温度分布像(以下、熱画像)として視覚的に表現できるため、外壁のような大面積の診断には適した方法といえる。しか

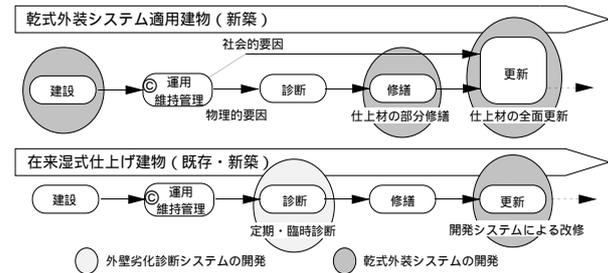
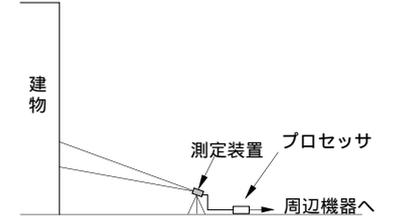
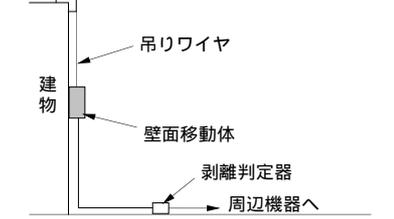


図-2 開発課題の位置づけ

\* 技術研究所

表 - 1 赤外線法と打診法（打診ロボット）の比較

手法	赤外線法（表面温度測定法）	打診法（打診ロボット）
原理	 <p>仕上げ部に剥離が存在すると剥離部空気層の断熱効果より壁面に温度差（<math>t</math>）が生じる。この温度差を赤外線カメラにより検知する。</p> <p>—— : 健全部 - - - : 剥離部</p>	 <p>タイルを打撃した際に生じる音をマイクで捉え、健全部と剥離部の打音波形の差で判定を行う。</p>
概要図	 <p>測定装置 プロセッサ 周辺機器へ</p>	 <p>吊りワイヤ 建物 壁面移動体 剥離判定器 周辺機器へ</p>
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非接触計測 遠隔測定可能、安全性高い</li> <li>・面計測 短時間に広範囲の測定可能</li> <li>・温度計測 漏水箇所、ひび割れ位置の検出可能 異常部の位置がリアルタイムで特定可能 剥離部の危険度判定可能（温度差 色）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接触計測 信頼性高い、適用性高い</li> <li>・打音計測 判定比較的容易</li> </ul>
短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・温度計測 気象条件の影響大（外乱要素多い） タイルの種類が限定される（色、形状） 北面の測定は制約大（場合により不能） 室内側の温熱環境の影響あり 剥離の特定に熟練を要する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接触計測 原位置に計測器が必要（支持設備必要）</li> <li>・吊りワイヤに沿ったある程度の範囲をタイル1枚毎に計測していくため赤外線法と比べ能率が低い</li> <li>・剥離中心付近の打撃が必要</li> </ul>
評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非接触で測定能率が高いことが赤外線法の最大の利点であり、剥離以外に漏水箇所やひび割れ位置の検出が可能な点も打診ロボットにない機能である。</li> <li>・測定条件に制約が多いこと、また外乱要素が多い場合剥離の判定に熟練を要することが赤外線法の課題である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測機器設置のための仮設備が必要なことが欠点であるが、制約条件が少なく剥離の判定が容易で、赤外線法と比べ確実な診断法であるといえる。</li> </ul>

しながら、測定作業については、標準的な測定方法が確立されておらず、解析に必要なデータ（例えば、建物の汚れや日影などの影響を知るための可視画像データや撮影距離・撮影角度データなど）が熱画像と同時に得られないこと、また、解析作業については、測定結果に現れた温度差が剥離によるものか、外乱因子（風、日影、太陽光の反射など）の影響によるものかの判断に専門的な知識と経験を要することなどの課題がある。

表 - 1 に赤外線法（表面温度測定法）と打診法（打診ロボット）との比較結果を示す。

### 2.2 開発目標

前述した診断技術の課題を踏まえ、非接触で短時間に広範囲の測定が可能な赤外線法を用いた外壁診断技術に注目し、ハード面、ソフト面からその課題の解決策を講じた。外壁劣化診断システムの主な開発目標と開発項目を下記に示す。

測定作業の効率化・標準化

- ・熱・可視画像の同時記録のための専用装置の開発
- ・自動測定システムの開発
- 診断精度の向上
- ・異常部判定のための診断支援ソフトの開発
- ・専門知識・経験則のデータベース化

### 2.3 システムの構成

外壁劣化診断システムは、図 - 3 に示すように、測定専用装置、診断支援ソフトおよび診断図作成ソフトにより構成される。診断支援ソフトは、本システムの基幹部分であり、測定専用装置から得られるデータを解析し、外壁の異常部の抽出を支援する機能と測定専用装置を制御する機能を有する。

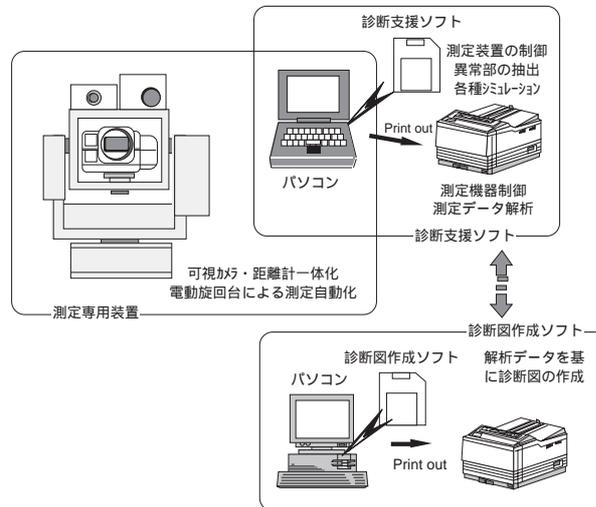


図 - 3 外壁劣化診断システム全体構成

2.4 システムの概要

(1) 測定専用装置

測定専用装置は、表 - 2 に示す機器により構成される。本装置は、赤外線カメラをベースに、可視像の同時記録を行うための可視カメラおよび撮影距離を計測するためのレーザ式距離計を一体化し、これらを電動旋回台に搭載した構成である。本装置により、撮影位置の移動、温度測定・記録という一連の測定作業の自動化が可能となり、測定作業の効率化、測定条件の均一化を図ることが可能となる(図 - 4、写真 - 1 参照)。

(2) 診断支援ソフト

診断支援ソフトは、表 - 3 に示すように、測定作業と測定データの解析作業を支援する機能により構成される。

測定作業時には、対象壁面の分割計算機能により、適正な画像分割数や測定位置のシミュレーションを行い、測定の効率化を図ることができる。

また、解析作業時には、異常部を抽出するためのノイズ除去機能や異常部強調機能などの各種解析支援機能を用いることにより、診断精度の向上を図ることが可能となる(図 - 5 参照)。

なお、異常部の抽出方法には、診断者の判断で領域を指定する方法、異常部の判定温度を入力する方法と測定温度の頻度分布により異常部を自動的に判断する方法がある。また、各画像の歪みを補正し、異常部の面積計算を行う機能を持たせている。

図 - 6 に試作した本システムによる測定結果と解析結果の一例を示す。

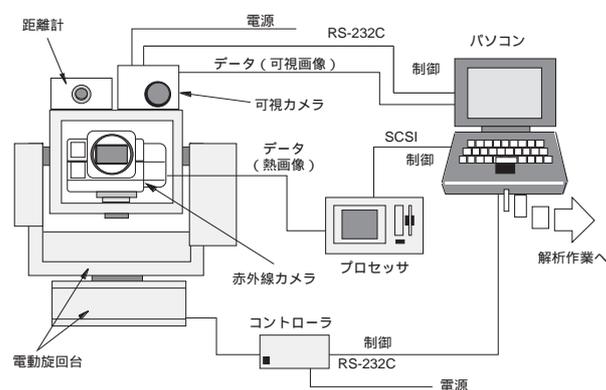


図 - 4 測定専用装置の構成



[正面]

[側面]

写真 - 1 測定専用装置

表 - 2 測定専用装置構成機器一覧

機器名	仕様	機能
赤外線映像装置 (赤外線カメラ + プロセッサ)	検知波長領域 8~12μm 温度分解能 0.1 (測定範囲 -20~300) 視野角 鉛直10° x 水平15° 表示画素数 鉛直200 x 水平256画素 カメラ重量 約3.8kg、プロセッサ重量 約9kg	測定対象物の表面温度を非接触で測定、プロセッサを介してパソコンモニタに熱画像として表示。カメラ制御もパソコンにより実施する。
可視カメラ (機器電源と一体化)	センサー 1/3"IT CCD 画角 水平約48.8°~4.3°、鉛直約37.6°~3.3° 有効画素数 鉛直494 x 水平768画素、重量 約600g	赤外線映像装置と同位置の可視画像を撮影。表示はVIDEOカードを介してパソコンにて行う。カメラ制御はパソコンにより実施する。
距離計	レーザ式 距離精度 ±3mm、重量 780g 測定範囲 0.2~30m (ターゲット未使用時) 20~100m (ターゲット使用時)	測定対象物に対する測定専用装置の相対位置を測定。測定した距離データは、壁面分割計算に利用する。
電動旋回装置 (電動旋回台 + コントローラ)	2軸バリエーションコントロール + 電動旋回台 回転範囲 水平±90°、鉛直-20°~+45° 位置決め精度 鉛直・水平0.05° コントローラ重量 5kg、電動旋回台重量 35kg	診断支援ソフトにて実施した壁面分割計算結果(上下・左右角)を基に、電動旋回台を制御し、測定専用装置を自動旋回させる。
パソコン (測定機器制御、測定データ解析)	ノート型 OS Microsoft Windows 95 メモリ 32MB、HDD 2.1GB	各種測定機器を制御し、測定データ(熱画像、可視画像および画像情報)の測定・記録、HDへの保存を行う。保存したデータは解析作業および診断図の作成に使用する。

表 - 3 診断支援ソフトの機能

項目	機能の概要
測定作業	<ul style="list-style-type: none"> <li>赤外線カメラ、可視カメラの制御機能</li> <li>測定対象壁面のブロック割り (各ブロックの上下、左右角の算出)</li> <li>測定データ(画像データおよび各種情報)の取り込み、保存</li> </ul>
解析作業	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定データに対する各種解析機能 (異常部の抽出・強調、面積計算、歪み補正等)</li> <li>上記解析時の解析支援機能の利用 (伝熱シミュレーション、日影シミュレーション、知識・経験則DB)</li> </ul>

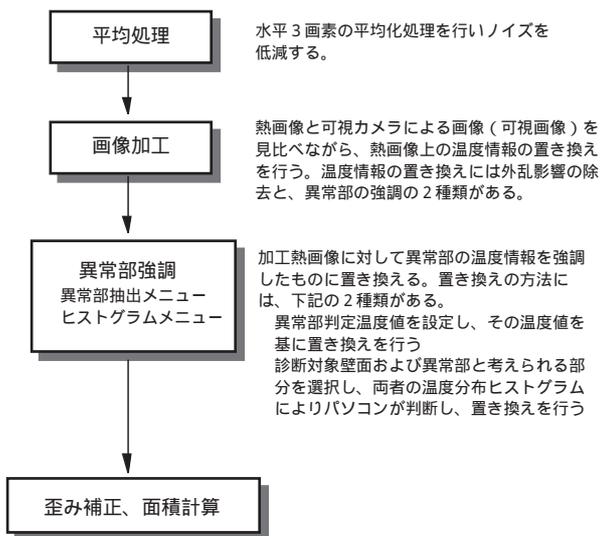


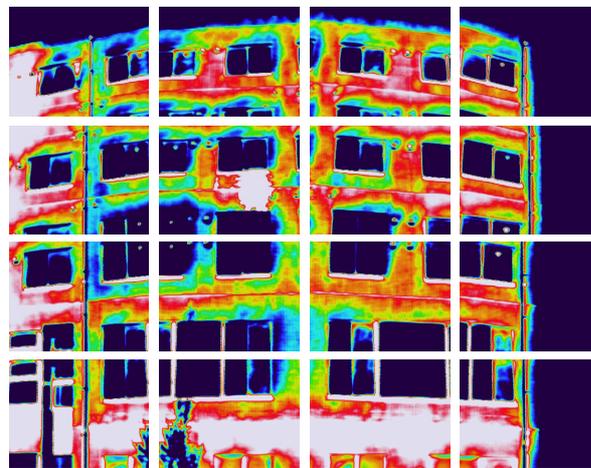
図 - 5 解析フロー

(3) 診断図作成ソフト

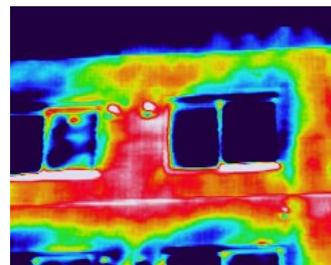
診断図作成ソフトは、診断支援ソフトで解析した各部位ごとの異常部を、壁面全体の分布図として出力するものである。その機能は、熱・可視画像の配置、異常部のトレース、立面図や測定位置図の作成および異常部の面積集計などである。

2.5 今後の展開

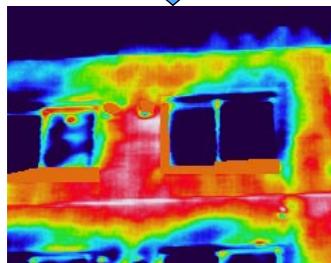
本システムは、現在試作が終了した段階であり、今後、実際の建物の外壁調査を通して、本システムの検証・評価を行う予定である。システムの検証に際しては、測定する季節、天候、壁面の方位、仕上げの種類・色、建物高さ、測定距離、隣接建物の有無など、さまざまな条件下で調査を行い、そこで得られる解析データや経験データをシステムへフィードバックすることにより、測定作業の効率化、測定方法の標準化および診断精度の向上を図っていく予定である。また、本システムと打診法との診断精度や経済性などの比較を行い、より実用的なシステムとしていく予定である。



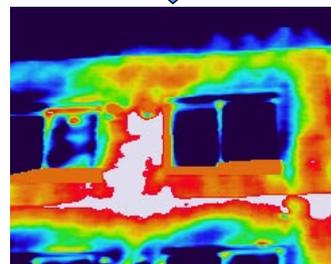
[測定結果の例]



マスク熱画像  
(測定作業時取得データ)



画像加工  
(換気口、サッシ廻り等の太陽光による高温部の外乱影響の除去)



異常部強調  
(異常部の温度情報を強調したものに置き換え)

[解析結果の例]

図 - 6 測定・解析結果の例

### 3. 乾式外装システムの開発

#### 3.1 現状の課題

鉄筋コンクリート造系の外壁仕上げ工法は、躯体(下地)と仕上げ材との接着を基本とするタイル張り等の湿式仕上げ工法が主流である。しかし、新築時には、気象条件や施工者の技量、下地コンクリートの状態などの変動要因により、仕上げの品質にばらつきが生じる。また、躯体コンクリートに直接接着する工法であるため、地震や温度変化による躯体の挙動に対する追従性が小さく、ひびわれ等の下地コンクリートの不具合が仕上げ層に連鎖する。これらのことから、湿式工法は、仕上げ層の剥離・剥落という問題の発生は避けられないのが現状である。そのほか、湿式工法では、仕上げの種類が限定されることや仕上げ層に断熱性を持たせることが困難である。また、改修時には、仕上げ層の撤去に多くの労力と費用が発生することや多量の廃材が発生すること、仕上げ層以外の部分の連鎖解体が生じるという課題がある。

一方、乾式工法については、乾式タイル工法や各種のサイディング材を用いたパネル工法などが市販されているものの、コスト的に湿式工法に対抗できないという課題がある。

#### 3.2 開発目標

前述した課題を踏まえ、設定した外装システムの開発目標を表-4に示す。主な開発目標は、市販の外装材を二重壁の表面材として用い、躯体との間にインターフェイスとしての下地基板を設け、建物の耐用期間中のライフサイクルコストを低減するために、更新・交換への対応性を高めることにある。

表-4 開発目標

性能項目	開発目標
耐久性	構成部材の耐用年数、メンテナンス時期が明確であること
安全性	地震、風、火に対して剥落に関わる定着性能があること
メンテナンス性	補修・交換が容易であること(連鎖解体が生じないこと) 汚れにくい納まりであること
居住性	雨水の浸入に対して適切な排水処理がなされていること 断熱効果があり、熱負荷を小さくできること
生産性	現場での工数が少ないこと
意匠性	仕上げの選択肢が多いこと
経済性	ライフサイクルコストの低減が可能なこと

#### 3.3 システムの概要

本システムの構成要素と要求機能を図-7に示す。構成要素は、仕上げ面となる表面材、表面材を支持する下地基板と各部材のインターフェイスとなる接合部材からなる。なお、各インターフェイス部には、雨水処理のための仕組みと断熱材が組み込まれる。

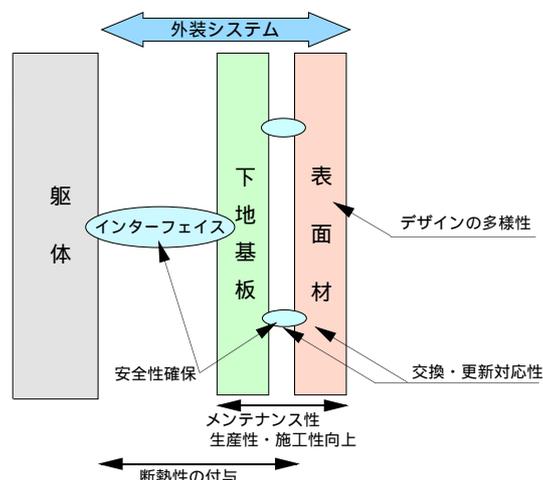


図-7 構成要素と要求機能

#### 3.4 システムの設計概要

本システムの各構成要素の設計概要は、下記に示すとおりである。

##### 表面材

表面材は、さまざまな形状・寸法の市販外装材のうち、タイル等の小さなもの、細・中幅のサイディング、幅広の金属系やセメント系パネルを対象とする。

##### 下地基板

下地基板は、複数種の表面材の取付けが可能となる形状・寸法とし、表面材あるいは下地基板の交換・更新性を高めるための仕組みを組み込むとともに、各構成要素のパネル化・ユニット化を図る。

##### 雨水処理機構

雨水処理機構は、外壁のLCC削減とメンテナンス性向上のため、パネル相互の目地にシーリング材を用いないで躯体側への雨水の浸入を防ぐ仕組みであり、一時的なレインバリアと浸入水の排水機能を組み込む。

##### 断熱材

断熱材は、設置位置(躯体側、下地基板内、表面材側)の違いについて、断熱材を用いない場合も含めて、システムとしての性能、効果を検討する。

##### ファスナー

ファスナーは、安全性の確保を基本とし、躯体誤差の吸収およびサイトでの下地基板の取り付けが容易な機構とする。

上記のほか、システム全体の仕組みとして、各構成要素の交換ルールやパネル化・ユニット化の範囲、工場生産の範囲、工種の集約などについても検討する。

### 3.5 システムの検討タイプ

本システムを具体化するにあたっては、図-8に示すような構成要素の組み合わせにより、2種類の検討タイプについて比較・検討を行った。

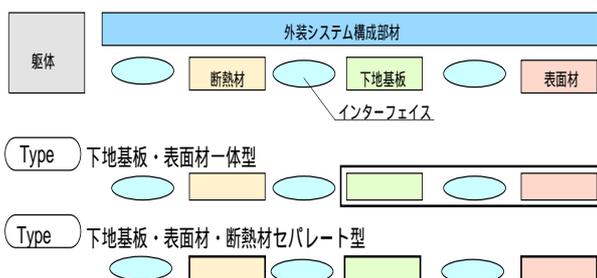


図-8 システムの検討タイプ

### 3.6 検討タイプの例

本システムの検討タイプの例を下記に示す。

#### (1) Type (れんがパネル工法)

本タイプは、図-9に示すような構成で、表面材に有孔れんがを、下地基板とのインターフェースに連結ボルトを、下地基板としてアングルフレームを用い、それらを一体としてパネル化したものである。雨水処理は、れんが目地およびパネル背面で行う考えである。

#### (2) Type (フレーム工法)

本タイプは、図-10に示すような構成で、各構成要素を分離して考え、複数種の板状の表面材の取り付けが可能なフレーム状の下地基板に、雨水処理機構(水返しおよび浸入水の排水機能)を組み込んだものである。

### 3.7 今後の展開

本システムは、上記検討2タイプの一次試作が終了した段階であり、今後、システムの実用化に向けて、下記に示す作業を予定している。

#### (1) システムの改良

- ・各構成部材の詳細設計
- ・各構成部材の製作、試行、改良

#### (2) 建物全体へのシステムの適用検討

- ・開口部廻り、出入り隅等の役モノの検討
- ・意匠性も含めたパネル寸法の総合的な検討

#### (3) システムの性能検証・評価

- ・外装二次部材としての構造安全性能
- ・パネル背面側の雨水処理性能
- ・断熱性能
- ・経済性(LCC手法)

#### (4) 実建物での施工性検証・評価

- ・施工性および工事上の問題点
- ・イニシャルコスト、歩掛り

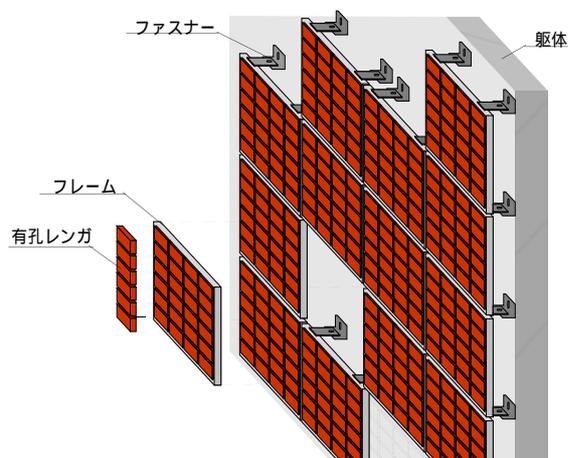


図-9 Type の構成

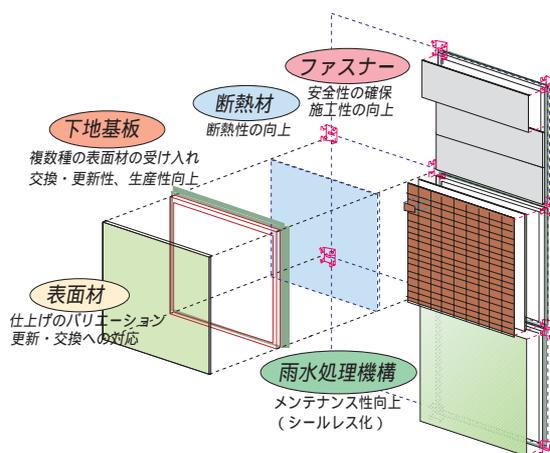


図-10 Type の構成

### 4. おわりに

本報では、リニューアルに対応する技術開発への取り組みとして、「外壁劣化診断システム」と「乾式外装システム」の2つのシステムの開発のねらいと開発概要について報告した。

今後、両システムの検証・評価を行い、建物の診断から改修までの一連のシステムの実用化を図っていく予定である。

なお、本研究は、通商産業省「生活価値創造住宅開発プロジェクト」の「耐久性・安全性向上技術の開発」平成9年度研究成果の一部である。

#### 参考文献

- 1) 建築業協会：建築工事 瑕疵・クレーム防止技術マニュアル、pp.11～14、1995.7