

資料

令和3年度第4回国土技術政策総合研究所研究評価委員会

分科会（第二部会） 議事次第・会議資料

令和3年度第4回国土技術政策総合研究所研究評価委員会分科会（第二部会）

議事次第

日時：令和3年10月28日（木）

場所：WEB開催

1. 開会
2. 国総研所長挨拶
3. 分科会主査挨拶
4. 評価方法・評価結果の扱いについて
5. 議事
 - ＜令和2年度終了の事項立て研究課題の終了時評価＞
 - ・ 緑地等による都市環境改善効果の定量的評価手法に関する研究
 - ・ ライフステージに即したバリアフリー効果の見える化手法の確立
 - ・ 建築物の外装・防水層の長寿命化改修に資する既存 RC 部材の評価技術の開発
 - ・ 建築物の外装材及び屋根の耐風性能向上に資する調査研究
6. 国総研副所長挨拶
7. 閉会

会議資料

	頁
資料1 国土技術政策総合研究所研究評価委員会分科会（第二部会）委員一覧	87
資料2 評価方法・評価結果の扱いについて	88
資料3 研究課題資料	
3-1 緑地等による都市環境改善効果の定量的評価手法に関する研究	89
3-2 ライフステージに即したバリアフリー効果の見える化手法の確立	98
3-3 建築物の外装・防水層の長寿命化改修に資する既存 RC 部材の評価技術の開発	108
3-4 建築物の外装材及び屋根の耐風性能向上に資する調査研究	117

注) 資料3については、研究評価委員会分科会当日時点のものである。

国土技術政策総合研究所研究評価委員会 分科会
（第二部会）委員一覧

第二部会

主査

伊香賀 俊治

慶應義塾大学工学部 教授

委員

河野 守

東京理科大学工学研究科国際火災科学専攻 教授

清野 明

（一社）住宅生産団体連合会 建築規制合理化委員会
副委員長

（一社）日本ツーバイフォー建築協会 技術部会顧問

藤井 さやか

筑波大学大学院システム情報系 准教授

松本 由香

横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院
教授

水村 容子

東洋大学ライフデザイン学部人間環境デザイン学科
教授

※五十音順、敬称略

評価方法・評価結果の扱いについて

（第二部会）

1 評価の対象

令和2年度に終了した事項立て研究課題の終了時評価

2 評価の目的

「国の研究開発評価に関する大綱的指針」、「国土交通省研究開発評価指針」に基づき、外部の専門家による客観性と正当性を確保した研究評価を行い、評価結果を今後の研究の目的、計画等へ反映することを目的とする。

3 評価の視点

必要性、効率性、有効性の観点を踏まえ、「研究の実施方法と体制の妥当性」「目標の達成度」について終了時評価を行う。

【必要性】科学的・技術的意義、社会的・経済的意義、目的の妥当性等

【効率性】計画・実施体制の妥当性等

【有効性】目標の達成度、新しい知の創出への貢献、社会・経済への貢献、人材の育成等

評価にあたっては、研究開発課題の目的や内容に応じ、研究課題毎に初期、中期、後期の段階に振り分け、それぞれの段階に応じて、以下の留意すべき点を踏まえた評価を行う。

（初期段階：先進的あるいは挑戦的な取組

中期段階：実用化に向けた取組

後期段階：普及あるいは発展に向けた取組

4 進行方法

（1）評価対象課題に参画等している委員の確認

評価対象課題に参画等している委員がいる場合、対象の委員は当該研究課題の評価には参加できない。（該当なし）

（2）研究課題の説明（10分）

（3）研究課題についての評価（15分）

① 主査及び各委員により研究課題について議論を行う。

② 審議内容、評価等をもとに、主査が総括を行う。

5 評価結果のとりまとめ及び公表

評価結果は審議内容、評価用紙等をもとに、後日、主査名で評価結果としてとりまとめ、議事録とともに公表する。

なお、議事録における発言者名については個人名を記載せず、「主査」、「委員」、「事務局」、「国総研」等として表記する。

6 評価結果の国土技術政策総合研究所研究評価委員会への報告

本日の評価結果について、今年度開催される国土技術政策総合研究所研究評価委員会に分科会から報告を行う。

緑地等による都市環境改善効果の 定量的評価手法に関する研究

研究代表者	: 都市開発研究室長 石井 儀光
課題発表者	: 都市開発研究室主任研究官 大橋 征幹
関係研究部	: 都市研究部
研究期間	: 平成30年度～令和2年度
研究費総額	: 約49百万円
技術研究開発の段階	: 中期段階



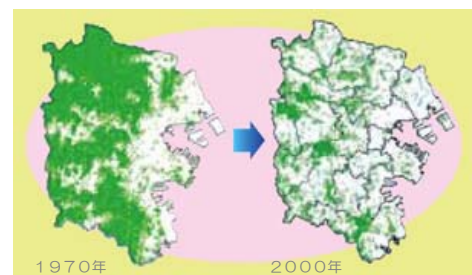
National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, JAPAN



1. 研究開発の背景・課題

背景

- 都市の緑は、良好な都市環境形成に必要な不可欠であるが、近年、都市の緑の総量は、減少し続けており、地球温暖化やヒートアイランドへの対応など都市環境の改善に資する緑の効用が大幅に失われていくことが危惧されている。
- 都市の緑が大幅に減少している中での緑化施策には、これまでの総量目標では限界があり、緑の形態や連続性など機能別の効用を評価し、緑地等の持つ多様な機能を効果的に発揮させるための計画手法が必要となっている。
- 地方の厳しい財政状況から、民活の政策や民有地の緑化が必要となっており、緑化の必要性をわかりやすく示して、住民等の理解を深め、意識を高めるとともに、緑化政策の効果を説明できる定量的な根拠データの提示が求められている。



都市環境改善に寄与する緑が減少 (出典) 横浜市



(延焼中)

(火災後)

公園の樹木による燃え止まり効果の例
(出典) 国土交通省都市局

課題

- 緑の効用(都市環境改善効果)を評価する手法が未確立。
↓
住民等に緑化の必要性をわかりやすく説明するツールがない。
- 緑の定量的な計測技術(立体的な緑量把握手法 等)が未確立。
↓
地方公共団体にとっては、緑の量を把握するための調査コストが高額。



2. 研究開発の目的・目標

目的・目標

緑地等の多面的な機能を効果的に発揮させ計画的に活用するための緑の定量的な計測・評価手法を開発することにより、地方公共団体が緑の多面的効果をわかりやすく「見える化」して緑化政策の根拠を示すこと等を可能とするとともに、民有地等の緑化の普及啓発を促し、もって良好な都市環境の形成に寄与する。



- ・緑地等の機能を数値化して分析し、その効果を客観的に評価することができるよう、デジタル技術を用いて緑の定量的な計測技術を高度化する。
- ・緑化政策の根拠等をわかりやすく示すことできるよう、緑地等の多面的効果の評価技術を開発する。
- ・開発したツールの有効性を確認し速やかに普及を図るため、ケーススタディによる事例を作成する。

必要性

緑の効果をわかりやすく示して、地方公共団体と住民等との協働による良好な都市環境の形成を図るためには、緑の定量的な計測・評価手法を開発し、緑地等の多面的な機能を効果的に発揮させ計画的に活用するための技術的知見の整備が必要

3



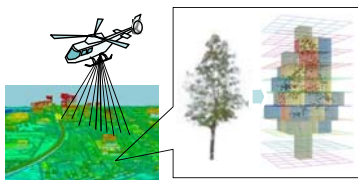
3. 研究開発の概要

研究開発の概要

都市の緑の状況調査において、従来、総量目標の指標として活用されてきた航空写真による緑被率調査を航空レーザ計測により高度化する手法や、地上からの緑量指標となる緑視率の調査をAI※の画像認識技術を用いて効率化すると同時にスマートフォンアプリ化して住民協働の調査を可能にする手法といった都市の緑を定量的・効果的に調査する技術を開発し、これらの手法により計測した緑の量を指標として、緑地等の持つ多面的な機能を都市の様々な問題解決に活用するための評価手法を開発した。

※ Artificial Intelligence:人工知能

①緑の定量的な計測技術の高度化

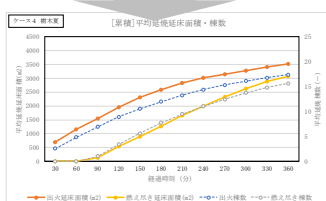


航空レーザ計測による緑の総量把握技術の開発



AIを活用した緑視率調査技術の開発

②緑地等の多面的効果の評価技術の開発



延焼遅延効果の評価技術の開発



景観向上効果の評価技術の開発

③ケーススタディによる事例の作成

4



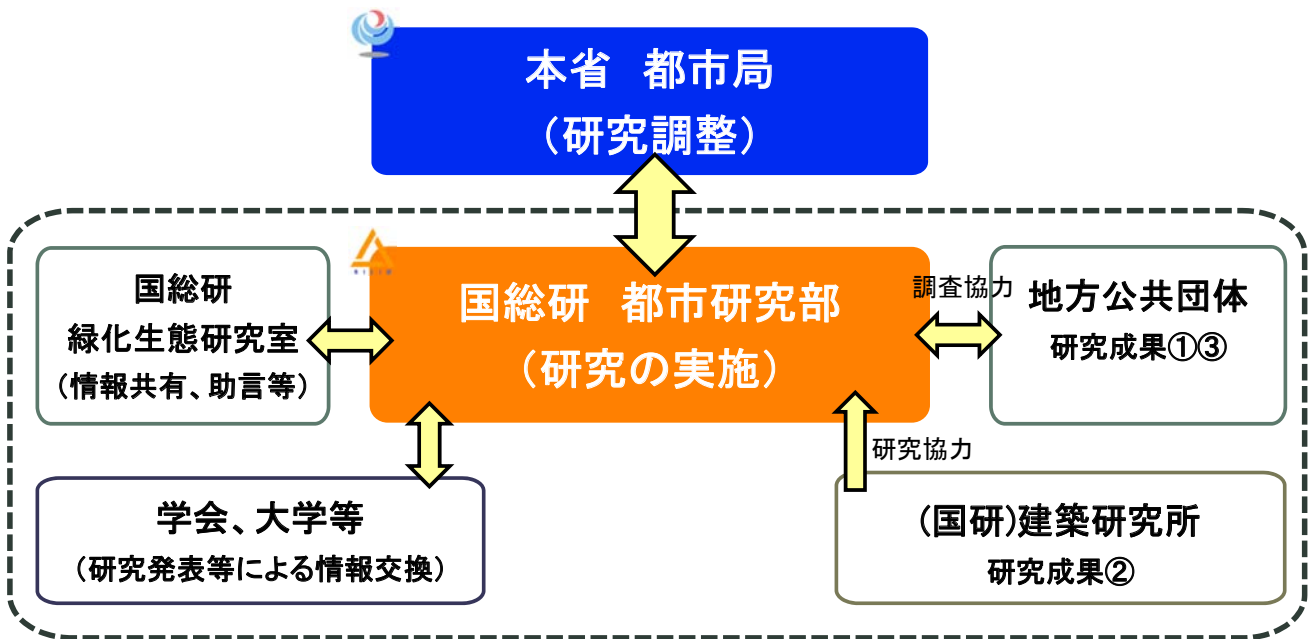
4. 研究のスケジュール

区分(目標、テーマ、分野等)		実施年度			総研究費
		H30	R1	R2	研究費配分
(研究費[百万円])		17	16	16	総額49
①	緑の定量的な計測技術の高度化 ・航空レーザ計測による緑の総量把握技術の開発 ・AIを活用した緑視率調査技術の開発	■	■		約22 [百万円]
②	緑地等の多面的効果の評価技術の開発 ・延焼遅延効果の評価技術の開発 ・景観向上効果の評価技術の開発		■	■	約17 [百万円]
③	ケーススタディによる事例の作成			■	約10 [百万円]

5



5. 研究の実施体制



効率性

実務の課題・ニーズを取り込み、開発した成果を速やかに普及できるように地方公共団体と連携した研究実施体制を構築した。

既往研究により開発された市街地火災シミュレーション技術をベースとして利用するなど、既存の成果を有効に活用して効率的に研究を進めた。

6



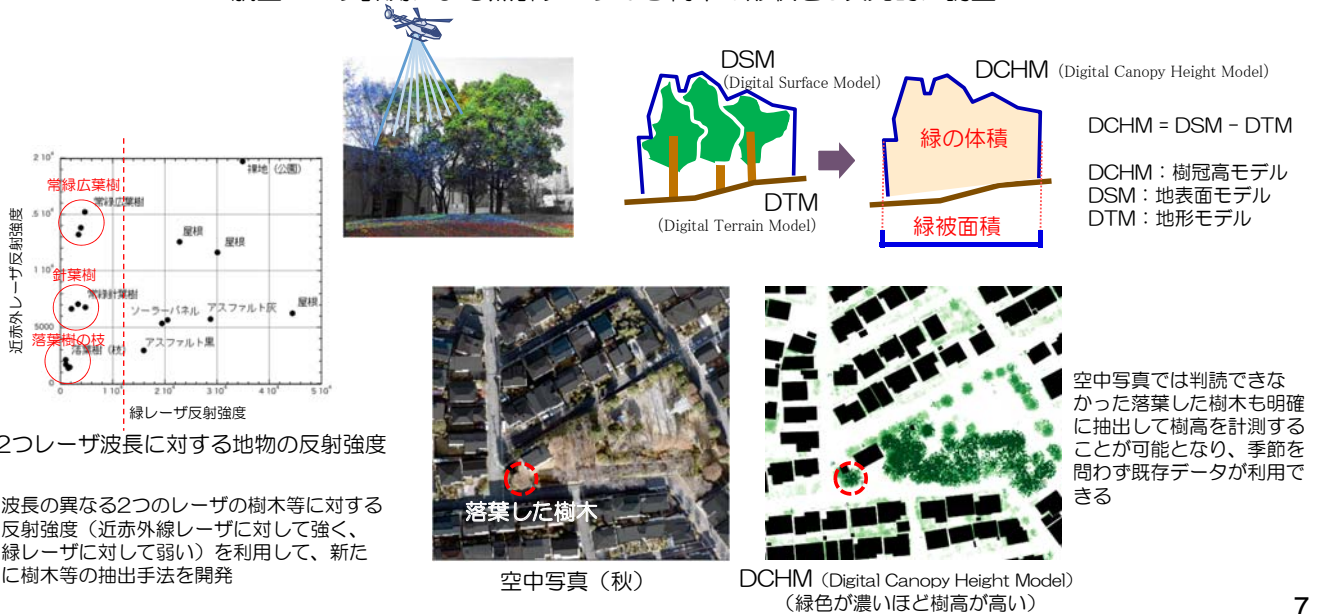
6. 研究成果:①緑の定量的な計測技術の高度化

航空レーザ計測による緑の総量把握技術の開発

ALB ※（河川や海岸の航空測深レーザ）を市街地の地物から「緑」のみを抽出して計測する調査手法を新たに開発。
 樹木の「高さ」を計測し、従来の空中写真による緑被分布に樹高の情報を付加することにより、樹木現況を立体形状で把握することが可能に。

※ Airborne LiDAR Bathymetry

航空レーザ計測による点群データから樹木の形状を3次的に調査



7



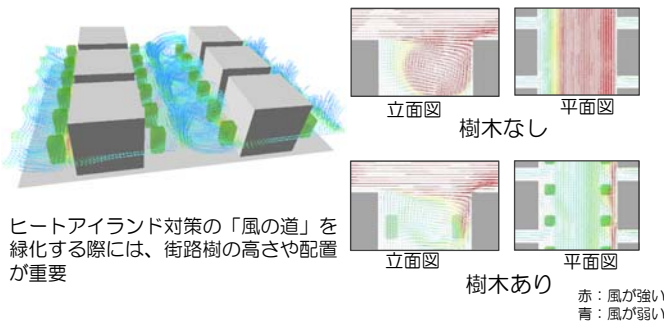
6. 研究成果:①緑の定量的な計測技術の高度化

航空レーザ計測による緑の総量把握技術の開発

樹木現況の立体形状データを使うことにより、街路の風通しや火災時の火炎の遮蔽効果を精度良く反映したより実状に近いシミュレーションをすることが可能に※

※ 従来は樹木の立体形状が把握できなかったため、樹木を仮定し又は存在しないものとして検討していた

街路樹の「風の道」への影響



高木による延焼遅延効果



航空レーザ計測の代替となる、よりコストを抑えた調査法、それぞれの特性を活かした利用法についても整理



都市を広域に調査するときに最も効率が良い

道路沿いの詳細な調査を効率的に行うことが可能

調査エリア内を管理しやすい公園・緑地等での詳細な調査に向いている

（地上付近からの調査では、航空レーザ計測では把握することが難しい横から見た樹冠下の様子が調査可能。） 8



6. 研究成果:①緑の定量的な計測技術の高度化

AIを活用した緑視率調査技術の開発

人の視界に占める緑の割合（緑視率）を、写真から瞬時に算出する「AI緑視率調査プログラム」を開発。調査のコスト削減に寄与。



調査写真



- 自動運転等で利用されるAIモデルを改良
- 地方公共団体の調査データで緑の特徴を学習
- 新宿区、江東区、武蔵野市の協力を得て開発



AIの計測結果（緑視率52.95%）

AIの画像認識によって、写真に写っている緑を瞬時に抽出することが可能

従来は、人が画像編集ソフトを使って塗り分けていた1枚あたり数時間かかる作業が自動化され、大幅なコスト削減を実現

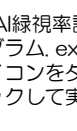
「AI緑視率調査プログラム」(パソコン版)の使い方

写真を指定のフォルダに入れて、実行するだけで緑視率が簡単に計測

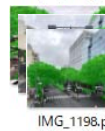
地方公共団体を中心に、広く公開・配布中



① input_photos
IMG_1198.JPG
デジカメ写真を保存



② AI緑視率調査プログラム
「AI緑視率調査プログラム.exe」のアイコンをダブルクリックして実行



③ output_images
IMG_1198.png
緑の抽出画像が作成される

③



緑視率.csv	
A	B
1	画像ファイル名 緑視率
2	IMG_1196.JPG 55.15995732
3	IMG_1197.JPG 33.56187609
4	IMG_1198.JPG 30.87158203

緑視率のリストも

9



6. 研究成果:①緑の定量的な計測技術の高度化

AIを活用した緑視率調査技術の開発

車載360度カメラ画像との組み合わせで、より効率的に緑視率の調査範囲を、点から面に拡大することが可能に



MMS (Mobile Mapping System) 車両搭載型測量システムの車載360度カメラ画像を用いた分析の例



調査範囲のイメージ

従来は、写真の加工（緑部分の塗りつぶし）に手間がかかっていたため、調査写真の枚数を増やすことができなかったが、AI緑視率調査プログラムを利用することで調査範囲を、点から線、面へ拡大することが可能になった

10



6. 研究成果:①緑の定量的な計測技術の高度化

AIを活用した緑視率調査技術の開発

スマートフォンで誰でも簡単に周りの緑の量が計測可能に。
これにより、住民協働の調査、緑化意識の醸成が期待。



AI緑視率調査プログラムを組み込んだスマートフォンアプリの試作品（公開準備中）
スマートフォンをかざすとリアルタイムで緑視率を表示



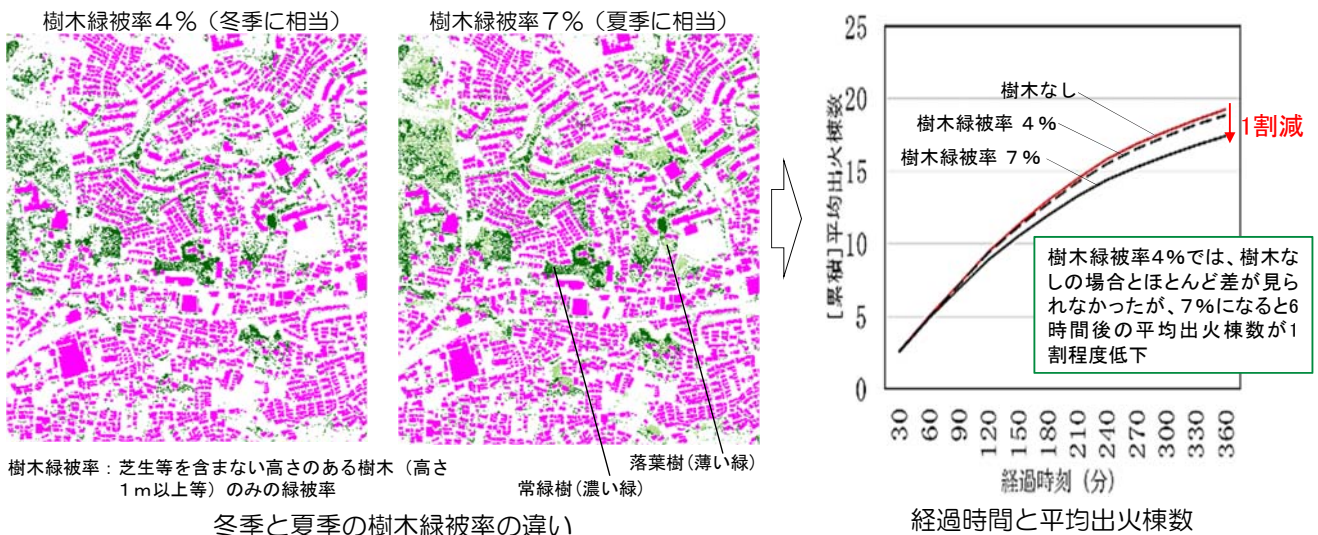
6. 研究成果:②緑地等の多面的効果の評価技術の開発

延焼遅延効果の評価技術の開発

市街地火災シミュレーション※に立体的な樹木の緑を反映する手法を開発。
都市の緑が延焼遅延効果にどの程度効果があるかを定量的に示すことが可能に。

※ 建築研究所・国総研で
共同開発済み

航空レーザ計測から作成した樹木現況の立体形状データ（DCHM）を用いた延焼遅延効果のケーススタディ



シミュレーションの条件設定

- ・計算領域の大きさ 東西 3.0km、南北 3.25 km
- ・計算対象樹木 高さ1m以上かつ水平面積1㎡以上の樹木
- ・出火点の設定 250mメッシュ分割の中心近傍の木造建物156棟
- ・風の設定 8風向×3風速 (0.5, 10 [m/s])の 17 パターン

緑が全くない場合と2種類の緑の状況設定で、出火点や風の設定を変えた2652通りの計算を行い、出火棟数や焼損延べ床面積等の平均を求めた。



6. 研究成果:②緑地等の多面的効果の評価技術の開発

景観向上効果の評価技術の開発

緑視率の増加に伴う心理的景観向上効果の評価技術（評価尺度）を開発。
「安らぎがある」「歩きたい」等と感ずるのは「緑視率25%以上」※であることを検証。

※「緑視率25%以上で『緑が多い』と感ずる。」(国土交通省記者発表「都市の緑量と心理的効果の相関関係の社会実験調査について」(H17年8月)より抜粋)



10代~60代の男女100名を対象に緑視率の異なる13枚の市街地画像を3面スクリーンに提示して15種類の形容詞対に7段階評価での回答を得て集計。

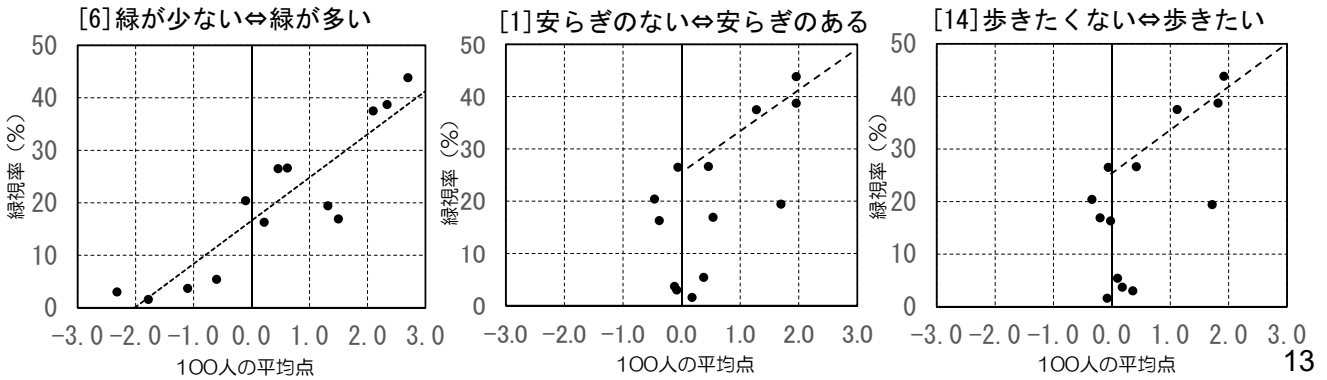
評価	安らぎがある	洗練された	活気がある	さわやかな	整然とした	緑が多い	観しやす	安らぎのない	洗練されていない	活気のない	うっとうしい	雑然とした	緑が少ない	観しにくい
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

回答の集計では、
・とてもあてはまる (3点)
・あてはまる (2点)
・ややあてはまる (1点)
・どちらともいえない (0点)

「安らぎのある」等の形容詞を(+), 「安らぎのない」等の形容詞を(-)として平均点を算出。

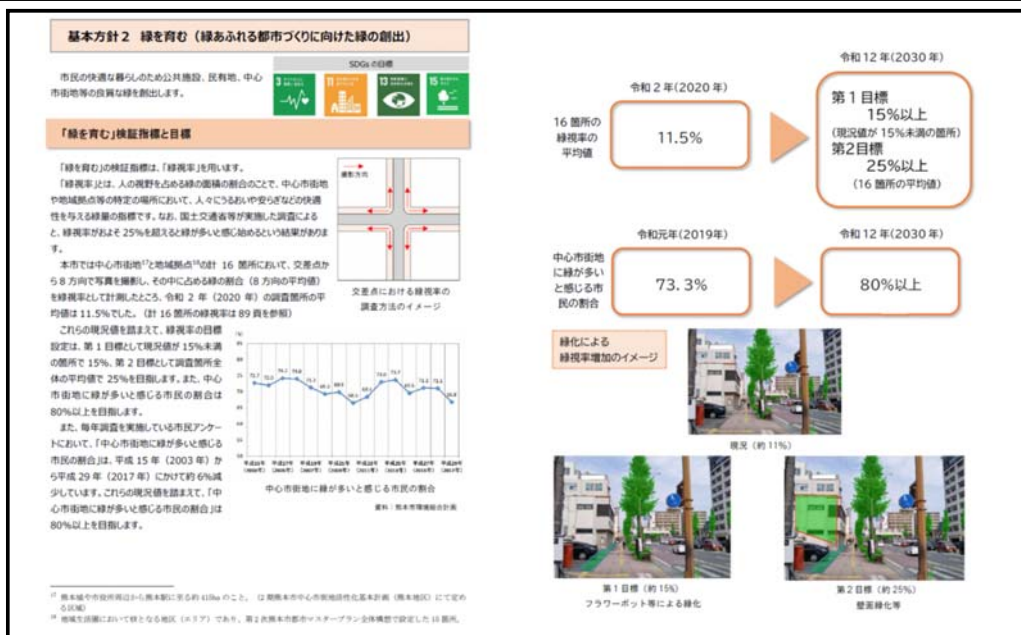
回答用紙

3面スクリーンによる市街地画像の提示



6. 研究成果:③ケーススタディによる事例の作成

熊本市の「緑の基本計画」は、「AI緑視率調査プログラム」による緑視率調査の結果を反映して策定。今後継続して調査へ協力、住民協働調査も検討中。



熊本市 緑の基本計画 2021年(令和3年)3月改定版(抜粋)

その他のケーススタディとして、実市街地を対象とした市街地火災シミュレーションで立体的な樹木状況の違いによる延焼遅延効果の比較事例を作成。



- 実施済みの取組み
 - ・ 記者発表「都市の緑視率をAIで瞬時に計測～AIを利用した緑視率調査プログラムの開発・公開について～」(令和3年5月25日)
 - ・ AI緑視率調査プログラム(パソコン版)の配布 (地方公共団体、コンサルタント、大学等の39機関。引き続き実施予定)
 - ・ AI緑視率調査プログラム(スマートフォンアプリ版)(試験運用)の配布 (地方公共団体 1団体。引き続き実施予定)
 - ・ AIを活用した緑視率調査技術や景観向上効果の評価技術の実装として、「緑の基本計画」や地区計画の策定検討等を行う地方公共団体に対して個別に技術支援 (3団体。引き続き実施予定)
- 今後の取組み
 - ・ 地方公共団体やコンサルタント、大学の研究者等が業務の実施や研究開発の参考として活用できるよう本研究成果を技術資料(国総研資料)として公表予定。
 - ・ AIを活用した緑視率調査技術や景観向上効果の評価技術は、導入した地方公共団体からの意見を反映して改良を実施するとともに、導入事例から得られた知見とともにガイドライン案としてとりまとめる予定。
 - ・ 航空レーザ計測による緑の総量把握技術や延焼遅延効果の評価技術は、事項立て研究「都市関連データのオープン化と利活用の推進に関する研究」(R3～5年度)において、国土交通省が整備を進めている3D都市モデルPLATEAUを用いて樹木の影響を考慮した市街地火災シミュレーションを可能にするための技術開発に展開。
- 発表論文等
 - ・ 大橋(2019)、「セマンティックセグメンテーションによる画像認識を用いた緑視率調査法に関する検討」
(日本建築学会2019年度大会(北陸)学術講演梗概集)
 - ・ 大橋(2020)、「AIを利用した緑視率調査のためのスマートフォン用学習済みモデルの作成に関する検討」
(日本建築学会2020年度大会(関東)学術講演梗概集)
 - ・ 大橋(2021)、「都市の緑視率と心理的効果に関する被験者実験」
(日本建築学会2021年度大会(東海)学術講演梗概集)
 - ・ 大橋(2021)、「AI緑視率調査プログラムの開発・公開について」 (日本公園緑地協会「公園緑地」第82巻2号)¹⁵



8. 事前評価時の指摘事項と対応

事前評価時の指摘事項	対応
緑の効果について、従来指摘されてきた機能をより詳細に質的側面も含めて評価されるよう進めること。	緑地等の多面的な機能(環境、防災、景観など)について、少ない緑であっても、緑のまとまりやつながりによって発揮される効果も評価できるように検討を進めました。
各々の地域が自らの緑化環境を理解・評価することに本評価手法を利用できることを期待する。	住民と地方公共団体による協働調査を可能とする「AI緑視率調査プログラム」を開発しました。さらに、個々の住民の方々が容易に周りの緑を計測できるよう本プログラムのスマホアプリ版の公開に向けて作業を進めているところです。
都市空間の再構築にあたり、空き家を緑地化することで地域環境の質を高められる可能性もあるため、そのような観点からの検討にも本評価手法を活用できることを期待する。	AI緑視率調査技術などの緑の計測手法、その景観向上効果の評価手法等は、地域環境の質を高める空き地や空き家の緑化など地方公共団体の施策検討の際に活用されることを念頭に置いて、開発を進めて参りました。引き続き、緑の基本計画策定等において当該評価手法の活用がなされるよう普及に努めて参ります。
評価の結果が、高木と低木の組み合わせ方など、効果的な植樹配置の提案につながると有意義であるため、その点も含めて検討されたい。	高木植栽による遮炎効果・市街地における延焼遅延効果の分析を可能にする立体的な緑の計測手法や、高木とその樹冠下の低木等の緑を効率的に計測し視覚的效果を評価する手法等は、高木・低木の効果的な植樹配置の検討の際にも活用されることを念頭に置いて、開発を進めて参りました。引き続き、当該評価手法が植樹配置の検討にも活用できることの周知等に努めて参ります。



9. まとめ

研究開発の目的	研究開発の目標	研究成果	研究成果の活用法 (施策への反映・効果等)	目標の達成度	備考
緑の定量的な計測・評価手法の開発により、良好な都市環境の形成に寄与する	① 緑の定量的な計測技術(緑被率、緑視率)の高度化	<ul style="list-style-type: none"> 航空レーザ計測等の点群データを用いて緑被分布に高さ情報を付加すること等による立体的な緑の調査手法を開発した。 緑視率調査のコストを削減する「AI緑視率調査プログラム」を開発した。 	<ul style="list-style-type: none"> 立体的な緑の調査法は、国土交通省が整備を進めている3D都市モデルPLATEAUの樹木データ作成に活用 AI緑視率調査プログラム(パソコン版、スマートフォンアプリ版(試験運用))の配布 AIを活用した緑視率調査技術や景観向上効果の評価技術の実装として、「緑の基本計画」や地区計画の策定検討等を行う地方公共団体に対して個別に技術支援 	○	
	② 緑地等の多面的効果(延焼遅延効果、景観向上効果)の評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 市街地火災における緑の延焼遅延効果をシミュレーションで評価する手法を開発した。 緑視率の増加に伴う心理的景観向上効果の評価技術(評価尺度)を開発した。 	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルPLATEAUを用いて樹木の影響を考慮した市街地火災シミュレーションを可能にするための技術開発に展開 AIを活用した緑視率調査技術や景観向上効果の評価技術は、導入した地方公共団体からの意見を反映して改良を実施するとともに、導入事例から得られた知見とともにガイドライン案としてとりまとめ 	○	
	③ ケーススタディによる事例の作成	<ul style="list-style-type: none"> 地方公共団体を技術支援し、延焼遅延効果及び景観向上効果に関する活用事例を作成した。 	<ul style="list-style-type: none"> 本研究で開発したツールや知見を、地方公共団体やコンサルタント、大学の研究者等が業務の実施や研究開発の参考として活用できるよう技術資料(国総研資料)として公表 	○	

<目標の達成度> ◎: 目標を達成することに加え、目標以外の成果も出すことができた。 ○: 目標を達成できた。
 △: あまり目標を達成できなかった。 ×: ほとんど目標を達成できなかった。

有効性

都市の緑の現況を立体的に計測して、緑地等による都市環境改善効果をシミュレーション等で定量的に評価することを可能にした。

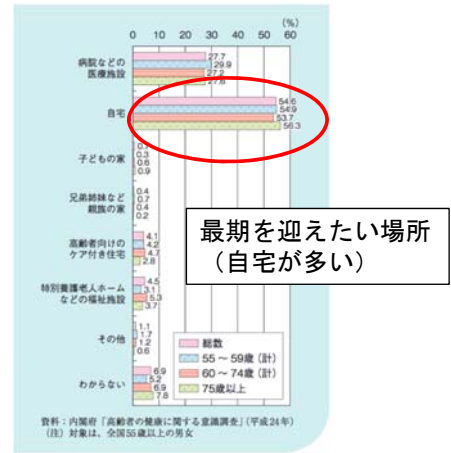
開発した「AI緑視率調査プログラム」により地方公共団体の調査コスト削減が図られ、緑視率を取り入れた「緑の基本計画」の策定など定量的な目標設定による緑化施策の普及が期待できる。



2. 研究開発の目的・目標

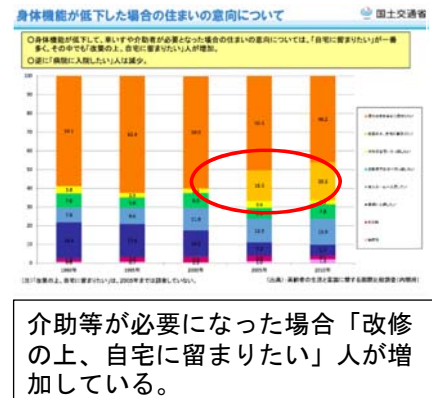
必要性

「住生活基本計画」(H28年3月)では「住宅のバリアフリー化、高齢者の身体機能の状況を考慮した部屋の配置等」の中で、身体機能に応じた高齢者向け住まいを求めている。調査の中でも、自宅を改修し最期を迎えたい希望が多く、ライフステージに応じて身体機能を維持できる改修が望まれる。また、バリアフリーの仕様と身体機能の関係については、実験等を通じて、定量的な把握に繋げることが必要と考えられる。



目的・目標

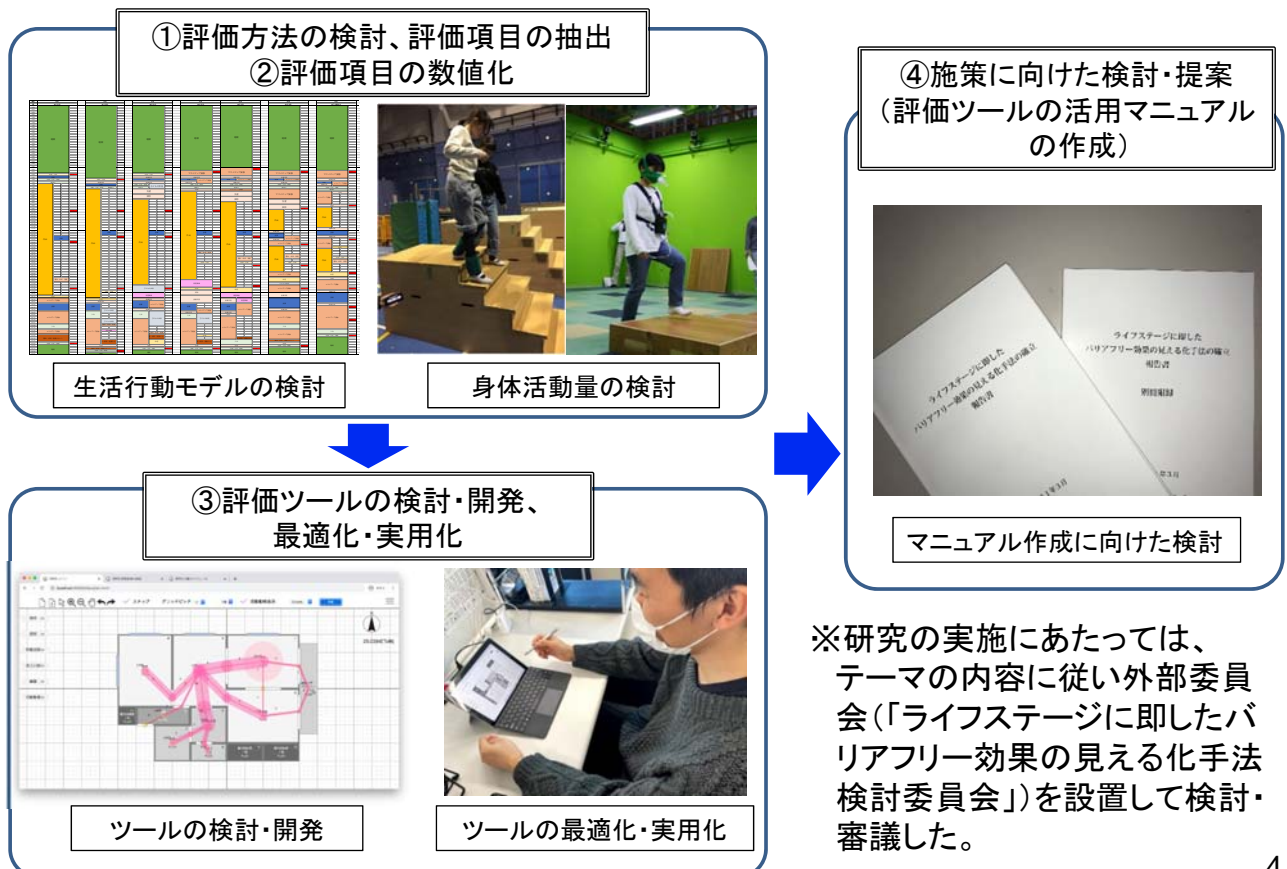
研究開発により、ライフステージに即したバリアフリー効果の見える化手法の確立、並びに、建築関連法令に向けた評価基準に資する事を目的とする。本研究のアウトプットとしては、
① バリアフリー環境評価ツール及びチェックリスト
② 見守り技術等、AI、IoT技術に向けた要素技術等が挙げられる。



3



3. 研究開発の概要



4



4. 研究のスケジュール

区分(目標、テーマ、分野等)	実施年度			研究費総額
	H30	R1	R2	研究費配分
(研究費[百万円])	14	13	11	総額38
① 評価方法の検討、評価項目の抽出	■			約6 [百万円]
② 評価項目の数値化 及び 見守りへの活用に向けたIoT技術の検討	■	■		約7 [百万円]
③ 評価ツールの検討・開発、最適化・実用化		■	■	約17 [百万円]
④ 施策に向けた検討・提案 (評価ツールの活用マニュアルの作成)		■	■	約8 [百万円]

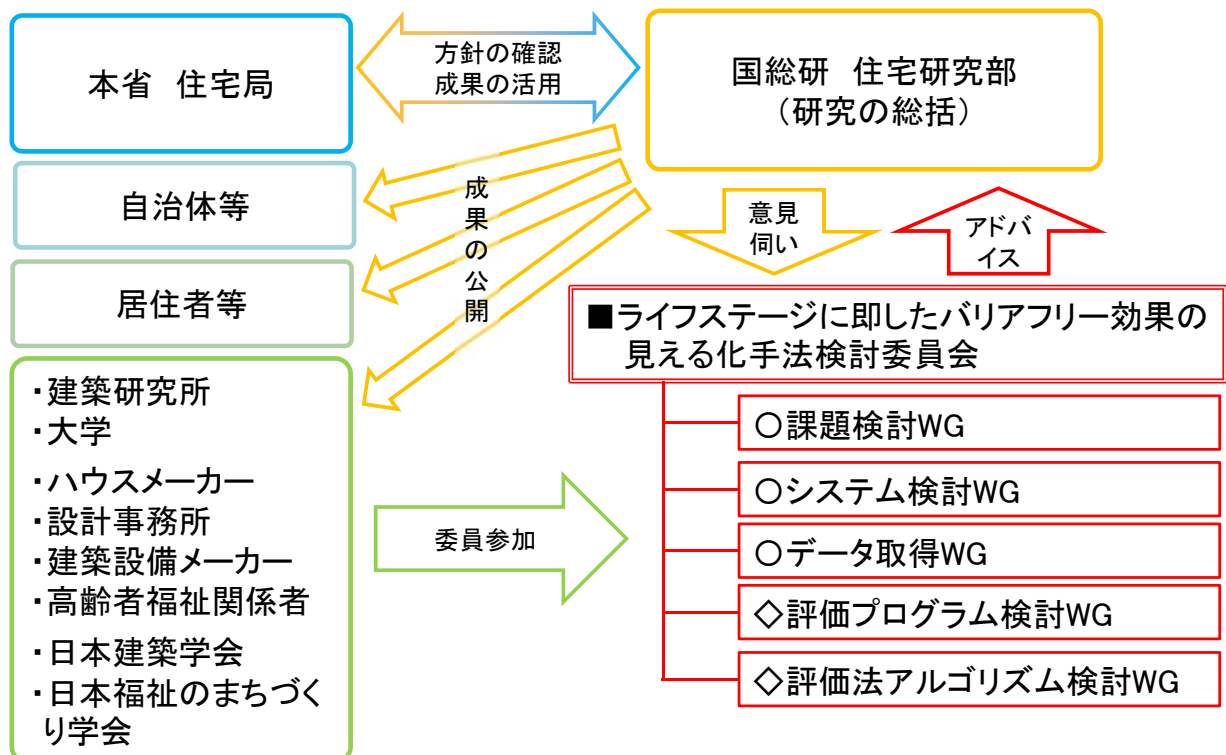
効率性

本研究で目標とした成果は、その活用をもって民間の技術開発や最適設計を促すことに繋がる。関連学会の専門研究者や住宅建設・高齢者福祉の現場に関わる専門職との連携・情報共有により研究開発項目の作り込み、データの取得等を行い、評価ツール等のシステム開発を外注することで、研究開発を効率的に進めることができた。

5



5. 研究の実施体制



6



6. 研究成果：評価ツールの検討・開発、最適化・実用化（区分③）

- ・住環境を身体活動量等によって評価する「バリアフリー環境評価ツール」を開発した。
- ・ツールによる評価において基本となる指標として、「総活動量」を定義・設定した。

「総活動量」＝「総行為活動量」＋「総移動活動量」

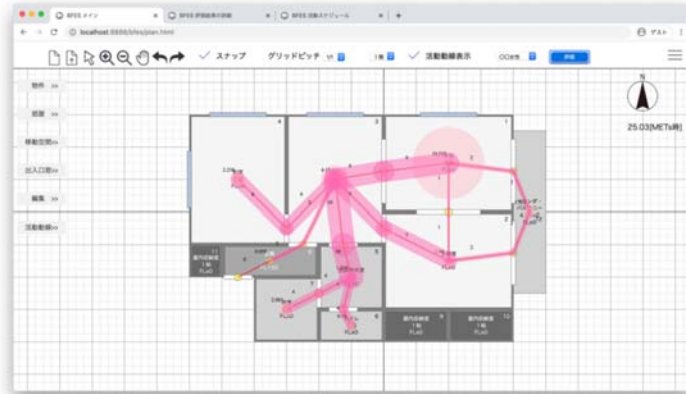
「総行為活動量」：生活行為による活動量の総和

「総移動活動量」：部屋間を移動する際の活動量の総和

※「活動量」は、「活動強度(METs) × 時間」とする。

METsは運動強度の単位であり、安静時を1として設定されている。

- ・住環境について、「総活動量」および「バリアフリーチェックリスト」により評価する。



開発した「バリアフリー環境評価ツール」

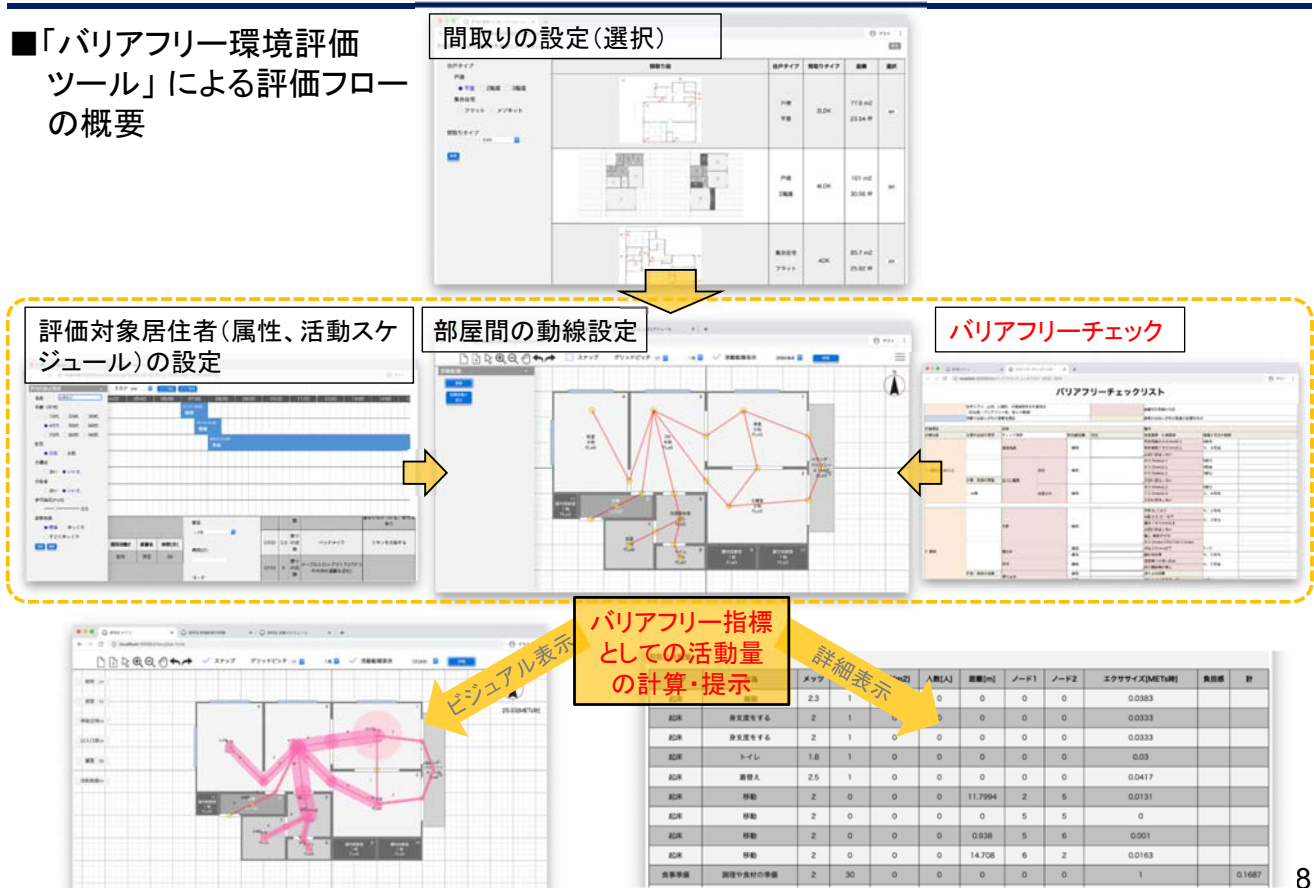
※主婦を想定した評価結果のビジュアル表示例

7



6. 研究成果：評価ツールの検討・開発、最適化・実用化（区分③）

■「バリアフリー環境評価ツール」による評価フローの概要

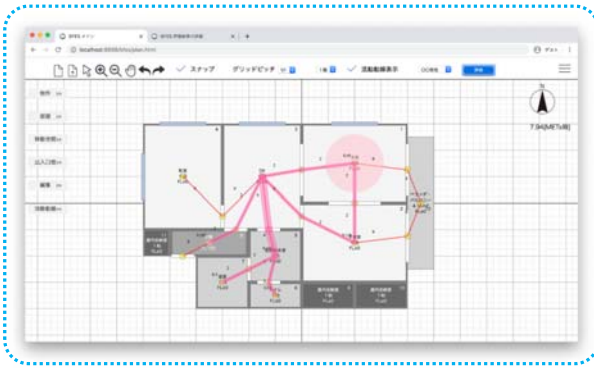


8



6. 研究成果：評価ツールの検討・開発、最適化・実用化（区分③）

■「バリアフリー環境評価ツール」の活用例



▲前頁と同じ間取りでの評価例(男性・会社員)



▲2階建ての間取りでの評価例(女性・主婦)

- ・同一の間取りに対して、異なる評価対象者毎にビジュアル及び詳細に評価を表示できる。
- ・生活行為の活動強度等のデータについては、実装されているもの以外に、実験等により取得されたデータを外挿できるようにしている。

9



6. 研究成果：評価方法の検討、評価項目の抽出（区分③）

■ライフスタイルの変化に伴う改修へのバリアフリー環境評価ツールの活用イメージ



※改修事例は
国土交通省サイトより

以下の改善による改修を検討
(20年後のライフスタイルを見据えて)

- トイレの改善
 - ・床段差・手摺設置
 - ・介護を行う者の空間を確保
- 浴室の改善
 - ・出入口段差の解消
 - ・浴槽またぎ高さの低減
 - ・手摺の設置
 - ・出入口の幅の確保
- 居室等の改善
 - ・キッチンと個室の見通し確保
 - ・洋室化によるベッド・車椅子対応
 - ・床段差の解消
 - ・通行幅の確保

70代男女の生活行動モデル



「健康づくりのための身体活動基準2013」(厚労省)
65歳以上の身体活動(生活活動・運動)の基準として、
以下が示されている。

- ・強度を問わず、身体活動を10METs・時/週、行う。
- ・身体活動を毎日40分行う(横になったままや座ったままにならなければ、どんな動きでもよい)。

身体活動の基準に
照らして評価

バリアフリーチェック



総活動量 ◎METs・時/日
※活動量の詳細な表示も可能

10



6. 研究成果：評価方法の検討、評価項目の抽出（区分①）

■評価方法の検討、評価項目の抽出

1. バリアフリー環境評価ツールのあるべき姿

- ・一般への公開を目指すことが望ましい。
- ・高齢者等のみならず、一般の居住者も対象とする。
- ・現在のライフスタイルにおける住宅間取の評価を可能とする。
- ・ライフスタイルの変化に伴う住宅間取の評価点の変化が、リフォームの時期や方法を検討する材料となる。
- ・将来は修繕費などに関連付け、住宅用バリアフリー指向長期修繕計画の立案に使えるようにする。

2. バリアフリー環境評価ツールに具備すべき機能

1) 装備すべき機能

- ・間取りデータ関連（間取りデータの属性入力、配置、変更、保存・呼出）
- ・表示一般（全体表示・縮小表示、拡大・縮小、部屋属性表示、活動量表示、階の切替）
- ・居住者データ関連（居住者属性の選択、居住者固有データの入力、保存・呼出）
- ・評価実行関連（評価関数の実行、評価値の表示）
- ・結果表示関連（身体活動量、間取ネットワーク図）

2) 検討すべき要件

- ・非機能的要件
- ・その他の要件（Webでの実行・閲覧、入力者属性、データベース化、METs値との関連付け、ライフステージによる提案出力、部屋の識別の統一）

11



6. 研究成果：評価項目の数値化（区分②）

■「生活行動モデル」の作成

- ・開発する評価ツールで活用するために、標準的な1日の生活の流れを示す「生活行動モデル」を、各年代（10～60代の各年代と70歳以上の各区分）、性別、平日・休日の別について作成。
※右図は、平日についての、40代女性（左）、70代女性（右）
- ・生活行動調査についてWebアンケート（回答者は15～89歳について各年代を均等に500人）を実施。
- ・日常生活行動調査（後述）と「NHK国民生活時間調査（2015年版）」を踏まえて、生活行動モデルを作成。

平日	データ数	最小値	1/4値	中央値	3/4値	最大値	標準偏差
睡眠	480	0.50	6.00	7.00	8.00	18.00	1.528
食事	478	0.20	1.00	1.25	2.00	15.00	1.301
入浴	425	0.02	0.33	0.42	0.50	1.67	0.234
洗面化粧	459	0.02	0.17	0.25	0.33	1.25	0.190
着替え	421	0.02	0.08	0.17	0.25	0.83	0.126
食事支度	297	0.02	0.25	0.50	1.00	3.50	0.671
洗濯物干し	158	0.02	0.17	0.33	0.50	2.00	0.327
洗濯片付け	106	0.02	0.17	0.33	1.00	1.48	0.148
布団干し	28	0.05	0.08	0.17	0.33	4.00	0.793
掃除	138	0.02	0.17	0.33	0.50	1.65	0.320
育児	27	0.50	1.00	3.00	10.50	24.00	6.703
介護	6	1.00	1.25	2.00	2.38	6.00	1.855
メディア視聴	348	0.20	2.00	3.00	4.63	24.00	2.709
メディア接触	183	0.25	1.00	1.50	3.00	20.00	2.388
オンライン	107	0.02	0.17	0.50	1.00	6.00	1.077
学習仕事	146	0.02	0.50	1.33	3.00	6.00	2.053
座くつろぎ	230	0.02	0.50	1.00	1.46	6.00	1.191
床くつろぎ	133	0.02	0.50	0.83	1.50	6.00	1.190
横臥くつろぎ	149	0.03	0.50	0.50	1.00	6.00	1.101
弱エクササイズ	106	0.02	0.17	0.25	0.50	1.67	0.295
強エクササイズ	12	0.17	0.25	0.50	0.75	2.00	0.574
ペット	52	0.05	0.25	0.50	1.00	2.00	0.539
その他	18	1.00	1.00	2.00	3.00	6.00	1.728
合計				27.50			
トイレ回数	478	1	4	5	7	30	2.720
階段回数	254	2	6	10	12	80	10.553

生活行動調査のWebアンケート結果の例



12



6. 研究成果：評価項目の数値化（区分②）

■「身体活動量」の実験による検討

- ・活動強度を示すMETs表に記載のない行為（右表）を踏まえて、対象とする各行為の要素にバリエーションを与えて、計44のMETs値データを取得した。
- ・活動量計と呼気代謝計でデータを取得することにより、行為毎に望ましい取得方法を検討できた。
- ・同じ階高であれば、より緩勾配の階段の方が活動量が多くなる結果が見られた。



車椅子で廊下を曲がる



車椅子で段差を乗り越える

取得したMETs値の例

行為種別			活動量 (METs)	呼気代謝 (METs)	METs 表の値	住居内の 想定場所
行為者	段差	程度				
健常者	0cm	ゆっくり	2.63	2.60	2.0	バリアフリー
健常者	0cm	速歩	3.19	3.23	~4.3	
健常者	5cm	—	2.79	3.13	—	畳⇄板の間
健常者	10cm	—	2.85	3.24	—	トイレ・風呂⇄廊下
健常者	20cm	—	2.90	3.67	—	玄関⇄廊下

METs表に記載のない行為（赤下線が実験対象）

和式生活を想定して	
1	床座
	正座
	あぐら
2	ドアの開閉
	引き戸
	開き戸
3	布団の上げ下ろし
4	入浴
	洗体
	浴槽への出入り
5	コンセントの着脱（立位・座位）
6	電気のスイッチのオン・オフ（立位・座位）
介護・介助を想定して	
7	寝返りの介助（中等度の介助・ベッド・床に布団）
8	起き上がり介助（中等度・全介助・ベッド・床に布団）
9	立ち上がり介助（中等度・全介助・いす・床）
10	歩行の介助（中等度の介助）
11	移乗の介助（中等度・全介助）トイレ・車いす・ベッド
12	車いすの介助（車いすを押し・ブレーキをする）
	有効幅員が十分な場合の直進・曲がり
	有効幅員が狭い場合の直進・曲がり
13	車いすに乗った人の姿勢を正す介助
14	入浴介助（中等度の介助）
15	着替えの介助
16	食事の介助（皿にある食べ物を対象者の口に運ぶ）
17	整容の介助
18	清拭の介助
19	車いすの自走
	有効幅員が十分な場合の曲がり
	有効幅員が狭い場合の曲がり
20	階段歩行の介助（中等度）
その他・現代生活を想定して	
21	PC操作（椅子に座って机に向かって）
22	スマートフォン操作（椅子に座って）
23	電話をする。（立って・座って）
24	ファクシミリを操作する。
25	会話（対話）する。（立って・座って）
26	隣の部屋、別の階の人を大声で呼ぶ
27	読書、新聞を読むなど

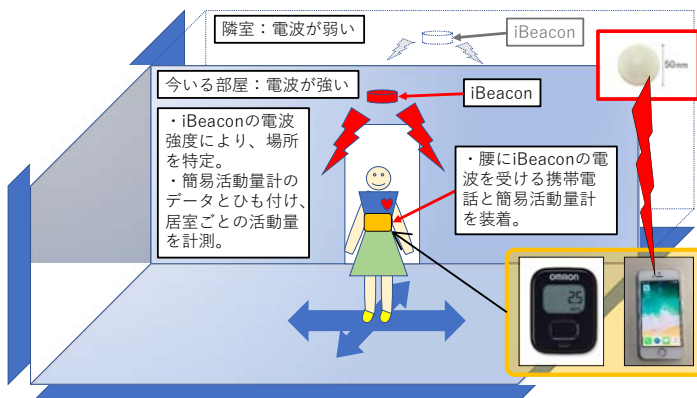
13



6. 研究成果：評価項目の数値化（区分②）

■「身体活動量」の検討

- ・住宅内での日常生活行動と身体活動状況について、居住者の属性（性別、子育て、高齢、要介護等）の多様性を考慮しながら、11家族20人を対象にモニタリング調査を実施。
- ・日常生活行動調査は、バリアフリー環境評価ツールの標準的な行動モデルの作成に活用。
- ・身体活動状況の調査では、活動状況（加速度）を簡易活動量計で計測し、対象者の位置を、各部屋に設置したBeaconが発する電波の携帯電話での受信感度の強弱から把握した（作成したプログラムは、IoT技術を活用した見守り技術への応用を想定できる。）
- ・活動状況の計測より、評価ツールにMETs表の値を利用することは妥当との結果を得た。



モニタリング調査方法の概要図

時刻	活動強度	活動種別	average	time	1	4	3	4	5	6	7	8	9	10
時刻	活動強度	活動種別	name		リビング	ダイニング	キッチン	廊下1	廊下2	廊下3	廊下4	トイレ1	トイレ2	風呂/洗面所
11:34:10	1.3	生活活動		11:34:10										
11:34:20	1.1	生活活動		11:34:20										
11:34:30	1.2	生活活動		11:34:30										
11:34:40	2.5	生活活動		11:34:40										
11:34:50	2.8	生活活動		11:34:50										
11:35:00	1.2	生活活動		11:35:00										
11:35:10	4.3	生活活動		11:35:10	6.4			6.6667				14		16
11:35:20	2.7	歩行		11:35:20	8.8				16					16
11:35:30	2.6	歩行		11:35:30	10									
11:35:40	2.1	歩行		11:35:40	4					10				
11:35:50	2.6	歩行		11:35:50	13.6					8				13
11:36:00	1.8	生活活動		11:36:00	8.8					16				16
11:36:10	2.9	歩行		11:36:10	5.2			5.7143		12.4				
11:36:20	3.8	生活活動		11:36:20	5.2			7.6		16				
11:36:30	2.3	生活活動		11:36:30	4			14.8		16				
11:36:40	1	生活活動		11:36:40	4					16				
11:36:50	5	計測なし		11:36:50	4									
11:37:00	5	計測なし		11:37:00	4									
11:37:10	5	計測なし		11:37:10	4									
15:42:00	2	生活活動		15:42:00	4				16	4				
15:42:10	1.7	生活活動		15:42:10	6.4			14.8		16				
15:42:20	1.9	生活活動		15:42:20	7.6					12				
15:42:30	2	歩行		15:42:30	4					16	13.6			
15:42:40	1.4	生活活動		15:42:40	4					16	16			
15:42:50	2	生活活動		15:42:50	4					16	16			
23:59:00	5	計測なし		23:59:00						1				
23:59:10	5	計測なし		23:59:10						1				
23:59:20	5	計測なし		23:59:20						1				
23:59:30	5	計測なし		23:59:30						1				
23:59:40	5	計測なし		23:59:40						1				
23:59:50	5	計測なし		23:59:50						1				

居住者の行動計測結果の集計例

14



「バリアフリー環境評価ツールの活用マニュアル」目次(案)

1. はじめに	3. バリアフリー環境評価ツールの活用方法
1.1 バリアフリー環境評価ツール開発の背景	3.1 新築時の利用
1.2 バリアフリー環境評価ツールの概念整理	3.1.1 新築時の間取りの評価
	3.1.2 ライフステージに伴う間取り変更時の評価
2. バリアフリー環境評価ツール利用マニュアル	3.2 改修時の利用
2.1 運用環境	
2.2 評価ツールの概要	4. おわりに
2.3 評価ツールの基本操作方法	附録
2.3.1 基本設定	A. バリアフリー環境評価ツール開発概要
2.3.2 間取りの設定	B. バリアフリー環境評価ツールに実装するデータの取得
2.3.3 住宅基本情報の設定	C. 関連研究及び論文
2.3.4 部屋・移動空間・出入口等の入力・編集	
2.3.5 活動動線の設定	
2.3.6 活動スケジュールの設定	
2.3.7 バリアフリーチェック	
2.3.8 環境評価結果	
2.4 評価ツールの拡張	
2.4.1 身体活動量	
2.4.2 活動スケジュール	



- ・「バリアフリー環境評価ツール」の開発は、評価対象者、評価項目、等の抽出整理から、評価のアルゴリズムの定義、各データを用いたプログラム開発まで実施し、当初の目標を達成した。
- ・今後は、本評価ツールに必要なデータの蓄積や機能の発展充実を図り、「バリアフリー環境評価プログラム」の構築に繋げるための、具体的な評価基準の整備に繋げることが想定される。
- ・居住者データの取得について精度をより高くするために、「負担感」を評価するために主観的な疲労度(きつさ)を測定するBorg(ボルグ)スケールの併用などによる拡充が想定される。
- ・社会実装にあたっては、バリアフリー改修に関わる「ケアマネジャー」、「住宅改修業者」、「自治体窓口」への認知が必要であり、特に、中小企業、個人事業主の工務店・施工者等が想定される。



8. 事前評価時の指摘事項と対応

事前評価時の指摘事項	対応
モニタリングする住宅について、住人の数や主要家具の配置といった住まい方も含めて調査、評価する方法に留意されたい。	住宅は、戸建、集合、2世帯等、多様な対象を選択し、住人についても年齢なども考慮した。また今回作成した評価ツールは、家具等の配置と身体活動量の関係も反映できるようにした。
高齢者は個人差が大きいため個人差の観点も検討し、多様化した高齢者の生活シーンごとに対してきめ細やかに対応可能な評価手法の開発を期待する。	研究の初年度において高齢者の多様性についても検討し、実際の住居におけるモニタリング調査の対象者の選定に反映させた。
バリアフリー効果は必ずしもハード面のみによるものだけではないため、熱的環境等の他の要因を含めた概念整理をふまえた上で本研究を実施されたい。	バリアフリー環境評価の評価軸として、ハード面から把握する運動強度(METs)の他に、活動の促進・抑制に繋がる「心理的バリア」も重要なことを認識し、評価ツールの開発は運動強度を中心に進める一方で、心理的バリアとしての「負担感」を合わせた評価について検討した。
実証実験等における簡易活動量計の有効活用に期待する。	実際の住宅内でのモニタリング調査では、簡易活動量計とBeaconを組み合わせ、部屋と活動量を紐付けて記録した。また、そのアプリも開発した。
評価結果が、改修時期のみきわめや今後どこを改修すればよいのかの判断材料となっていくよう研究を進められたい。	年齢、性別等を反映した「生活行動モデル」を作成し、将来の住宅内での行動を予測することで、改修時期の見極めが可能となるようにした。
本研究の成果が、将来的に戸外を含めたバリアフリー効果の評価にも発展することを期待する。	身体活動量と負担感の関係をBorg(ボルグ)スケールで関連付ける今回の評価手法は、将来的に戸外のバリアフリー効果の評価が可能である。

17



9. まとめ

研究開発の目的	研究開発の目標	研究成果	研究成果の活用方法(施策への反映・効果等)	目標の達成度
ライフステージに即したバリアフリー効果の見える化手法の確立、並びに、建築関連法令に向けた評価基準に資する	①バリアフリー環境評価ツール及びチェックリスト	①-1 バリアフリー環境評価ツールの作成 住宅間取りのバリアフリー度の評価方法及びバリアフリーチェックリストについて検討し、評価ツールとして作成した ①-2 生活行為における身体活動量の取得 既往でMETs値が設定されていない生活行為について実験による取得方法を検討するとともに実測値を取得し、評価ツールに実装した。 ①-3 生活行動モデルの作成 評価ツールに外挿するために、年代・性別区分による一日の生活モデルを作成した。	・「バリアフリー環境評価ツールの活用マニュアル」を公開予定。 ・身体活動量の実測はバリアフリー関連基準の水準を検討する上で活用することに繋がられる。	○
	②見守り技術等、AI、IoT技術に向けた要素技術	② 所在及び活動記録のためのシステムの作成 居住者の住宅内位置情報(Beaconとスマートフォンで取得)と活動計記録を連携して居住者の屋内活動を把握するシステムを作成した。	・「バリアフリー環境評価ツールの活用マニュアル」の中で公開予定。	○

<目標の達成度> ◎: 目標を達成することに加え、目標以外の成果も出すことができた。 ○: 目標を達成できた。
△: あまり目標を達成できなかった。 ×: ほとんど目標を達成できなかった。

有効性

総合的なバリアフリーの評価手法として、間取りを「総活動量」(=「総行為活動量」+「総移動活動量」)を指標として評価する評価ツールを新たに開発するとともに、評価に際して必要となる身体活動強度データを実測により新たに取得して評価ツールに実装した。評価ツールを改修時の設計案の作成過程に適用することで改修によるバリアフリー効果を案相互で評価することができ、効果的かつ合理的なバリアフリー改修に繋げることが可能となる。

18

■日本インテリア学会大会梗概発表

「バリアフリー効果の見える化手法に関する研究」(その1~その8)

- その1 ライフステージに即したバリアフリー環境評価法の考え方 2019.10
- その2 評価法確立に向けたモニタリング調査の方法 2019.10
- その3 評価法確立に向けたモニタリング調査の結果 2019.10
- その4 評価法確立に向けた階段歩行実験 2019.10
- その5 評価法確立に向けた廊下および段差歩行実験 2019.10
- その6 評価ツールで用いる生活行動モデルの作成 2021.10
- その7 評価ツールで用いる身体活動量と負担感の関係 2021.10
- その8 居住者の生活行動に対するWEBアンケート調査結果から捉えた身体活動量の分析 2021.10

■日本リハビリテーション工学協会カンファレンス梗概発表

「車いす推進の身体活動負荷 アクティブタイプと標準型の比較」 2019.8

■東京都理学療法士協会区西北部ブロック部学術集会梗概発表

「身体活動量計測方法の比較検討」 2019.2

 参考資料：METs表について

METs(=metabolic equivalents)

- ・運動強度の単位であり、安静時を1とした時と比較して何倍のエネルギーを消費するかで活動の強度を示したもの。
- ・国内では、国立研究開発法人国立健康・栄養研究所 栄養・代謝研究部のサイトで、身体活動量やエネルギー消費量を算出する根拠となる様々な身体活動強度としてのメッツ値の一覧が、改訂版「身体活動のメッツ(METs)表」(2012年4月11日改訂)により示されている。
- ・同METs表の作成では以下の海外論文が参照されている。

2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values.
Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS.
Med Sci Sports Exerc. 2011, 43(8):1575-1581.

歩行に関連するMETs値(改訂版『身体活動のメッツ(METs)表』より抜粋)

CODE	METs	大項目	個別活動
5165	3.5	家での活動(home activities)	歩行：ほとんどの労力の仕事、掃除以外(例：外出の準備、戸締り、窓の施錠)(walking, moderate effort tasks, non-cleaning (readying to leave, shut/lock doors, close windows, etc.))
11805	3.5	職業(occupation)	歩行：車いすを押して歩く(walking, pushing a wheelchair)
17150	2.0	歩行(walking)	歩行：家の中(walking, household)
17250	3.5	歩行(walking)	歩行：散歩、仕事の合間に歩く(walking, for pleasure, work break)
20036	2.0	宗教的な活動 (religious activities)	歩行：3.2km/時(53m/分)未満、とてもゆっくり(walking, less than 2.0 mph, very slow)
20037	3.5	宗教的な活動 (religious activities)	歩行：4.8km/時(80m/分)、ほとんどの速さ、何も持たずに(walking, 3.0 mph, moderate speed, not carrying anything)
20038	4.3	宗教的な活動 (religious activities)	歩行：5.6km/時(93m/分)、速い、何も持たずに(walking, 3.5 mph, brisk speed, not carrying anything)
21040	2.0	ボランティア活動 (volunteer activities)	歩行：3.2km/時(53m/分)未満、とてもゆっくり(walking, less than 2.0 mph, very slow)
21045	3.5	ボランティア活動 (volunteer activities)	歩行：4.8km/時(80m/分)、ほとんどの速さ、何も持たずに(walking, 3.0 mph, moderate speed, not carrying anything)
21050	4.3	ボランティア活動 (volunteer activities)	歩行：5.6km/時(93m/分)、速い、何も持たずに(walking, 3.5 mph, brisk speed, not carrying anything)
20035	2.0	宗教的な活動 (religious activities)	教会を歩く(walking in church)
17160	3.5	歩行(walking)	散歩(walking for pleasure (Taylor Code 010))
17165	3.0	歩行(walking)	犬の散歩(walking the dog)
17250	3.5	歩行(walking)	歩行：散歩、仕事の合間に歩く(walking, for pleasure, work break)

建築物の外装・防水層の長寿命化改修に資する 既存RC部材の評価技術の開発

研究代表者	: 建築研究部材料・部材基準研究室長 三島直生
課題発表者	: 材料・部材基準研究室主任研究官 根本かおり
関係研究部	: 建築研究部、住宅研究部
研究期間	: 平成30年度～令和2年度
研究費総額	: 約31百万円
技術研究開発の段階	: 中期段階



National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, JAPAN



1. 研究開発の背景・課題

背景

- 建築物ストックの長寿命化には供用期間中の維持保全・改修が不可欠であり、経済性への配慮も重要。
- 長寿命化の実現には建築物の耐久性向上が有効であり、(RC構造躯体よりも耐久性が低い)外装・防水層の適切な補修・改修の実施によりRC構造躯体の保護効果を維持することが重要。

屋根防水の劣化



外装材の劣化

仕上塗材(塗膜、モルタル)
タイル張り仕上げが対象

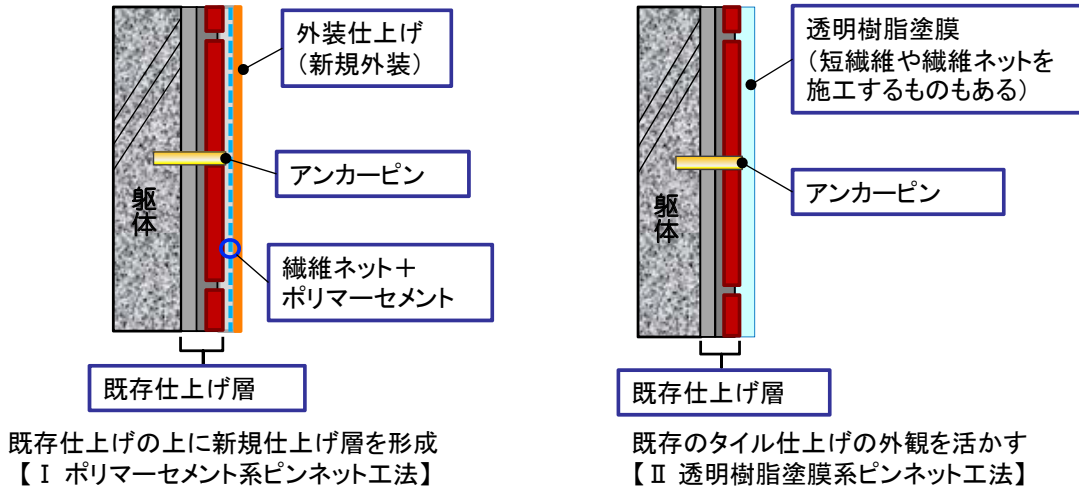
課題

- ① **【外装・防水層】: 改修工事における既存部材の評価方法が未確立**
 - 大規模改修工事が2回以上となる建築物が増加し既存部材の劣化調査・診断が複雑化。
 - 外装・防水層の下地となる既存部材(旧防水材・旧仕上材)の状態が新規の改修層の耐久性に及ぼす影響が十分に明らかになっていない。
- ② **【外装】: 改修工事仕様の決定に必要な劣化調査手法が未確立**
 - 改修工事仕様の決定に必要な外装の劣化調査技術が個々の知識・知見に依存。
 - タイル張り仕上げ外壁等の改修工法として「ピンネット工法(外壁複合改修構工法)」の施工実績が拡大しつつあるが(普及から20年経過)、劣化調査技術が未確立。

※ 既存RC部材: RC構造躯体、外装仕上げ及び防水層の全てが対象となるが、本研究では主に既存の外装・防水層を対象としている。 2

- タイル等の外装材の剥落を防止するため、劣化した箇所をアンカーピンで躯体に固定し、その上に新たな外装仕上げを施す改修手法。既存仕上げのカバー方法は、主に2タイプ(下図Ⅰ及びⅡ)に分類される。
- ピンネット工法は、建設技術評価規定の技術開発目標※に則って民間で開発が進められ、多数の工法が存在し、標準仕様がない。
- アンカーピン、繊維ネット層、既存仕上げ層の経年等により生じる変状を調査する技術が未整備。

【ピンネット工法による改修外壁の主な断面構成】



※ 平成8年度建設技術評価規定(平成7年 建設省告示1860号)第9条1項の技術開発目標による。

2. 研究開発の目的・目標

目的・目標

建築物の外装・防水層の改修工事において、改修後の品質を確保し、耐久性向上を図るための技術的知見を提供することを目的とする。

① 外装・防水層の改修工事における既存部材の評価方法・基準の整備

- 外装・防水層の改修工事による機能回復及び品質確保を実現するための下地となる既存部材の評価項目・評価基準を整備する。

② 外装の改修工事仕様の決定に必要な調査技術の整備

- 外装塗り仕上げの改修後の品質確保に対する劣化調査技術の精度向上。
- ピンネット工法により改修された外装・外壁の劣化調査技術を提案する。

必要性

① インフラ長寿命化等に向けた技術的対応が必要

- 「インフラ長寿命化基本計画(平成25年)」等において、新たな技術的知見を踏まえた、点検・診断に係る基準類やマニュアルの整備などの技術的対応が求められている。

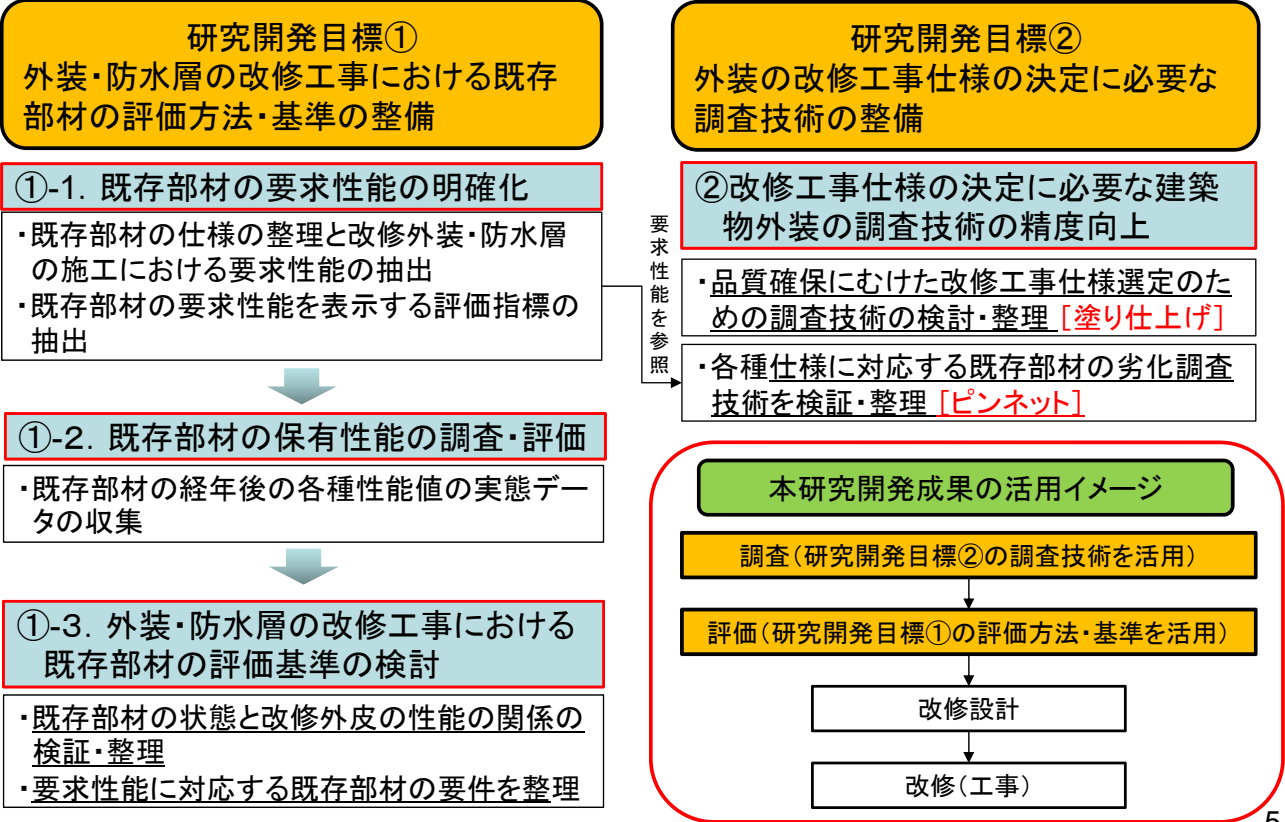
② 建築物の改修工事に係る技術者不足等への対応が必要

- 補修・改修工事は小規模の会社が請け負うことが多く、建築物の劣化状態等の診断や補修・改修工法選定への対応が個々の技術に依存している。
- 今後、技術者の不足が顕在化し、調査診断における技術の蓄積や継承が困難になることが予想される。



3. 研究開発の概要

研究開発の概要



5

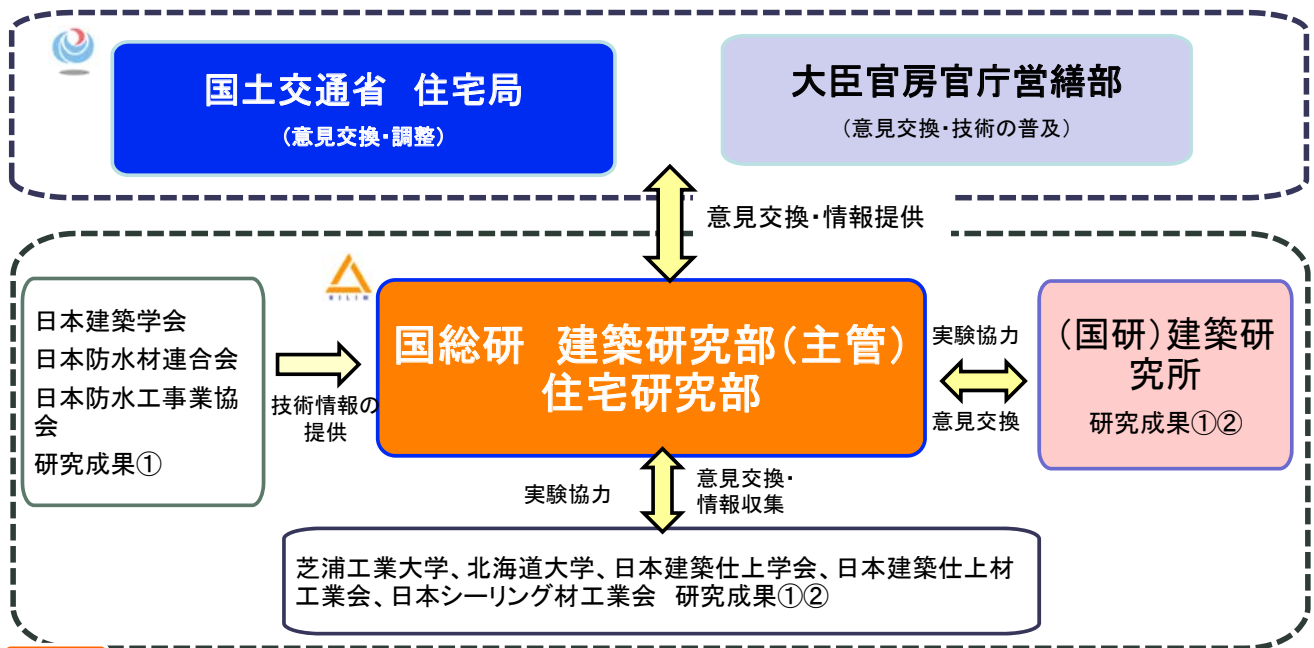


4. 研究のスケジュール

区分(目標、テーマ、分野等)		実施年度			総研究費 研究費 配分	
		H30	H31/R1	R2		
		(研究費[百万円])	11	11	9	総額31 [百万円]
① 外装・防水層の改修工事における既存部材の評価方法・基準の整備	①-1. 既存部材の要求性能の明確化	・既存部材の仕様・要求性能の抽出 ・既存部材の評価指標の抽出				約2 [百万円]
	①-2. 経年後の既存部材の保有性能の調査・評価	・経年後の既存部材の保有性能に関する実態調査	・経年後の補修工法の性能評価			約9 [百万円]
	①-3. 改修工事における既存部材の評価基準の検討	既存部材の状態による外装・防水層の性能への影響の検証		既存部材の評価基準の整備		約9 [百万円]
② 外装の改修工事仕様の決定に必要な調査技術の整備	②改修工事仕様の決定に必要な調査技術の精度向上	・改修工事仕様の決定に必要な調査技術の検討・提示 ・品質確保にむけた改修工事仕様選定のための調査技術の検討・提示				約11 [百万円]

6

5. 研究の実施体制



効率性

上記実施体制を構築したことにより、実建物の材料・工法に詳しい専門技術者の協会及び団体等と調査協力することで、ヒアリング調査などでは実情に即した情報の収集が可能となった。また、得られたデータ等は大学等の有識者との意見交換により、分析・整理する際の参考意見を伺うことができ、かつ、これに即した実験を実施することができた。

7

6. 研究成果：①-1既存部材の要求性能の明確化〔外装(塗り仕上げ・ピンネット工法)〕

- ・塗り仕上げの改修後の美観の確保、躯体保護機能の保持等の要求性能に対して、既存部材の劣化状況、材料種類・材質・工法、改修履歴、ならびに複数回改修としては仕上げ材層間の付着性及び塗り重ねによる仕上げ層の厚さを評価項目に設定した。
- ・ピンネット工法について、情報収集により仕様の抽出及びアンカーピンや表面をカバーする部材性能の情報を整理した。

【塗り仕上げの劣化調査に用いている項目】

劣化状況 後期	要求性能	
	美観の確保	躯体保護機能の保持
白亜化	○	—
摩耗	○	○
ふくれ・浮き	○	○
割れ	○	○
剥がれ	○	○
付着性	—	○

○: 関係性が強い、—: 関係性が弱い

ピンネット工法の仕様として、新規仕上げ材の種類、使用材料(ネット種類、アンカーピン種類)について整理

使用する材料や施工の性能判定に用いる基準(付着性、ネットの引張強度、アンカーピンの引抜強度)について整理

【ピンネット工法の仕様及び性能判定の参考値の整理】

項目	樹脂系ネット層	
	ポリマーセメント系ネット層	樹脂系ネット層
新規仕上げ材種類	・塗装仕上げ ・タイル張り仕上げ ・石調こて塗り ・シート建材仕上げ	透明樹脂塗装仕上げ/アクリルウレタン樹脂、ウレアウレタン樹脂、アクリルシリコン樹脂等 (既存仕上げはタイル張り仕上げが主)
ネット種類	・ネット形状: 2軸、3軸、2軸+立体繊維 ・材質: ビニロン繊維、アラミド繊維、ポリプロピレン繊維、ガラス繊維	・短繊維/材質: ナイロン、ポリエチレン透明繊維 ・ネット形状: 2軸 ・材質: ポリエチレン透明繊維、ビニロン繊維、ポリプロピレン繊維
アンカーピン種類	形式: 打込み式ピン(ワッシャーあり)、注入口付アンカーピン(ワッシャーあり)、タッピンネジ、T字型ピン ・ピン材質: SUS304	形式: 打込み式ピン(ワッシャーあり)、注入口付アンカーピン、タッピンネジ、全ネジピン+キャップ ・ピン材質: SUS304が主流、 ・その他: SUSXm7、SUS410(防錆加工)、ピン材SUS431-ピンキャップ真鍮
付着性試験判定採用値	・0.4N/mm ² 以上 ・0.7N/mm ² 以上	・0.4N/mm ² 以上 ・0.7N/mm ² 以上
アンカーピン引抜試験採用値	・1.470N/本 (UR規定値) ・1.800N/本 ・2.75kN/本	・1.50kN/本 ・2.55kN/本 ・1.470N/本 (UR規定値) ・3.425N/本 ・1.800N/本

8



6. 研究成果:①-1 既存部材の要求性能の明確化 [防水層(屋根防水)]

既存屋根防水の要求性能は、「改修後の耐久性予測式」の考え方にに基づき、「改修工事制約」及び「改修防水工法種別」を対象とし、これに対する評価項目・評価基準について、既存防水層の種類[保護防水、アスファルト防水(露出)、シート防水(塩化ビニル系)、シート防水(加硫ゴム系)、ウレタン塗膜防水、FRP防水]別に整理した。

【既存屋根防水の要求性能の評価項目および基準と対象】

【整理した既存屋根防水の評価基準】

評価項目			評価基準と対象			評価基準	解説
大分類	中分類	小分類	i)	ii)	iii)		
下地状態	防水層の経年による劣化		防水工法ごと	防水工法ごと		i) 改修施工に特に問題の無い状況	・補修や撤去などがほとんど必要ない状態。
納まり具合	躯体形状等	立ち上がり高さ				ii) 既設防水層として問題はあるが改修施工に大きな問題は無い状況	・補修や撤去が必要だが、軽微な躯体補修、防水業者だけで対応が可能な状態。
		立ち上がり水切り納まり					
		勾配不良				iii) 改修施工に際して大きな問題があり、撤去又は防水下地としての大規模な改修が必要となる状況	1) 防水施工業者だけでは対応できない状態。 2) 設計上問題があり、防水保証ができない状態。 3) 設備などの撤去・再設置などの対応が必要な状態。
		排水ドレンまわり					
		パラペット、ドレンの位置					
		ドレン形状					
		点検口位置					
	貫通部等	貫通配管等					
	積載物等	屋上設置物(架台、設備)					
		躯体の劣化					

※ 本評価基準は、同種の工法で改修することを想定。

評価項目ごとに、詳細な評価の視点を抽出・整理

改修にあたっての、既存防水層の状態を評価する基準を設定 (具体の基準は、①-3で説明)



6. 研究成果:①-2 経年後の既存部材の保有性能の調査・評価 [外装]

(塗り仕上げ)

暴露20年目の改修塗り仕上げ試験体(38体)および各種塗り仕上げ試験体(約120体)を用いて長期暴露データを収集し、次の結果を得た。

- ①表面塗料、外装薄塗材、複層塗材、防水形薄塗材、防水形複層塗材の劣化は、赤枠の美観保持に關係する仕上塗材劣化が目立ち、改修の有無で白亜化の程度に違いが見られた。
- ②躯体保護機能に影響する割れや剥がれは、塗材の硬軟性及び耐候性機能により差が生じた。

【暴露20年目の各種外装塗り仕上げ試験体の劣化事例】

【改修後20年暴露外装塗り仕上げ試験体の劣化事例】

外装塗り仕上げの種類	劣化現象と劣化程度											
	汚れ		白亜化		摩耗		ふくれ・浮き		割れ		剥がれ	
	南	北	南	北	南	北	南	北	南	北	南	北
外装薄塗材E	4	4	3	2	0	1	0	0	4	4	0	0
防水形薄塗材E	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0
耐候形3種複層塗材E(水系)	0	0	5	4	0	0	0	0	5	5	0	2
耐候形2種複層塗材E(水系)	0	1	5	4	0	0	0	0	0	2	0	0
耐候形2種複層塗材E(溶剤系)	0	3	5	4	0	0	0	0	5	5	0	0
耐候形1種複層塗材E(水系)	0	1	5	5	0	0	0	0	0	5	0	4
防水形複層塗材(溶剤系アクリルウレタン仕上げ)	0	2	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
常温硬化無機質コーティング材	4	3	1	1	0	0	0	0	5	4	4	4
水系アクリルシリコン	0	2	5	4	0	0	0	0	0	0	0	1
弱溶剤系アクリルシリコン	2	4	5	5	0	0	0	0	0	1	1	3
水系反応硬化形アクリルシリコン	1	1	5	5	0	0	0	0	3	4	0	0
水系ふっ素	1	3	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
低汚染弱溶剤ウレタン	1	4	5	1	0	0	0	0	0	4	0	0
低汚染弱溶剤ふっ素	0	2	5	5	0	0	0	0	0	3	0	0
低汚染弱溶剤シリコン	0	3	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0

※数値は劣化デグリー:(軽度)1 ↔ 5(重度)

「0」:劣化なし

「3」:はっきり認められる

「1」:ほとんど認められない

「4」:かなり認められる

「2」:わずかに認められる

「5」:顕著に認められる

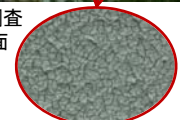
既存仕上げ	改修後仕上げ種類 1998年改修	劣化現象と劣化程度										
		白亜化		摩耗		ふくれ・浮き		割れ		剥がれ		
		南	北	南	北	南	北	南	北	南	北	
アクリルリシン (砂壁状) 1975年施工	外装薄塗材E(RP塗替え)	3	1	0	0	0	0	0	1	3	0	0
	外装薄塗材E	3	1	5	3	0	0	0	5	1	0	0
	防水形外装薄塗材E	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	複層塗材E	3	1	0	0	0	0	0	5	5	1	0
	防水形複層塗材E	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0



暴露20年目劣化調査 [複層塗材E]南面



白亜化-劣化程度5



割れ-劣化程度5

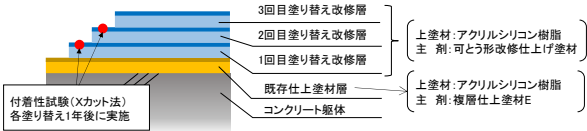


6. 研究成果:①-3 外装・防水層の改修工事における既存部材の評価基準の検討 [外装(塗り仕上げ)]

①複数回改修後の品質を対象とした既往研究がないことに対応し、3回の塗り替え改修(1回/年を3年間)を実施した。改修には塗材の厚みに変化をもたせ、塗り替え後1年間暴露した後の付着測定を行った。改修塗材に主材(可とう形改修塗材)を施工しない場合に著しい付着低下が生じており、既存部材の評価項目・基準を抽出し、整理した。

②塗り重ね改修の評価として、各種外装仕上塗材の既存塗材と改修塗材の組合せ適合性に関する屋外暴露による実験を行った。ふっ素樹脂塗料の改修後の付着性は低いなどの結果を得ることができ、それらを表に整理した。

①塗り替え改修検討(2回目改修の結果まで)



[仕上塗材の改修断面イメージ図(上塗材+主材の施工例)]

改修前 改修後 各改修1年後の付着測定結果

複層塗材E				1回目改修
・高圧水洗→シーラー→上塗材(アクリルシリコン)のみ塗り替え				2回目改修
複層塗材E				1回目改修
・高圧水洗→主材(可とう形改修塗材800g/m ²) + 上塗材(アクリルシリコン)の塗り替え				2回目改修



改修前



塗り替え後

②既存塗材と改修塗材の適合性実験(南面)

既存仕上塗材の種類	改修仕上塗材の種類※1	劣化現象と劣化程度※2						付着性※3 (Xカット法)	
		汚れ		剥れ		割れ		1年	2年
		1年	2年	1年	2年	1年	2年	1年	2年
外装薄塗材E	可とう形改修塗材	0	1	0	0	0	0	8	4
耐候形3種複層塗材E(水系)	可とう形改修塗材	0	1	0	0	0	0	4	2
耐候形2種複層塗材E(水系)	水系ふっ素	0	1	0	0	0	0	6	2
耐候形2種複層塗材E(溶剤系)	水系ふっ素	0	1	0	3	0	0	6	2
耐候形1種複層塗材E(水系)	防水形薄塗材E	0	2	0	0	0	0	10	10
防水形複層塗材(溶剤系アクリルウレタン仕上げ)	防水形上塗材(弱溶剤ウレタン)	0	1	0	1	0	0	10	6
防水形複層塗材(溶剤系アクリルウレタン仕上げ)	溶剤系ウレタン	0	1	0	0	0	0	8	4
下地調整材+水系アクリルシリコン	可とう形改修塗材・(300g仕様水系アクリルシリコン)	0	0	0	0	0	0	10	6
下地調整材+水系ウレタン	可とう形改修塗材(800g仕様水系アクリルシリコン)	0	0	0	0	0	0	10	10
下地調整材+低汚染溶剤系アクリルシリコン	可とう形改修塗材(800g仕様水系アクリルシリコン)	0	0	0	0	0	0	10	10
水系ふっ素	水系アクリル	0	0	0	0	0	0	0	0
水系アクリル	水系アクリル	1	0	0	0	0	0	8	4
水系アクリルシリコン	水系アクリルシリコン	0	0	0	0	0	0	8	8
弱溶剤系アクリルシリコン	可とう形改修塗材(水系アクリルシリコン仕上げ)	0	0	0	0	0	0	8	6

※1 色分け: ■ 主材 ■ 上塗材 ■ 主材+上塗材

※2 劣化デグリーの数値:(軽度)1 ↔ (重度)5、0:劣化なし

※3 付着性Xカット法の数値:(低い)0 ↔ (高い)10

11



6. 研究成果:①-3 外装・防水層の改修工事における既存部材の評価基準の検討 [防水層]

・エキスパートの知見を集約し、既存屋根防水の要求性能を確保する評価項目及び基準を抽出し、各種屋根防水ごとの状況により既存部材(下地)の処理にかかるレベルを可視化できるように画像と合わせて分類・整理し、実務者が使える資料を作成した。

評価項目	下地状態			納まり具合	
	アスファルト(露出)	シート防水(加硫ゴム)	ウレタン塗膜防水	ドレン	屋根勾配
i)改修施工に特に問題の無い状況				-	-
	アスファルトのひび割れ	異常のみられない(平場)	水溜まり部で経年の耐久劣化により発生した白亜化・変退色		
ii)既設防水層として問題はあるが改修施工に大きな問題は無い状況					
	ジョイントの剥がれ	防水層のしわ	長期間の下地ひび割れの繰り返し疲労による破断	ドレンまわりの勾配不良	一部に生じる水溜まり
iii)改修施工に際して大きな問題があり、撤去又は防水下地としての大規模な改修が必要となる状況	防水工事業のみでの機能回復が難しいレベルの劣化事象				
				パラペットとドレンの近接	全体的な水溜まり

12



6. 研究成果:② 外装の改修工事仕様の決定に必要な調査技術の精度向上 [塗り仕上げ]

エキスパートの知見を可視化し、外装塗り仕上げの現地劣化調査に技術者が携行し、用いることのできる技術解説書を作成した。

セメント系外壁塗り仕上げの長寿命化改修設計に資する劣化調査のポイント

目次

第1章 概要および目的 7

1.1 本書の目的および構成 7

1.2 劣化調査の目的 7

1.3 適用範囲 8

1.4 劣化調査の構成 8

1.5 用語 8

1.6 劣化調査の方法 8

第2章 外装用仕上塗材の劣化調査のポイント 14

2.1 基本調査 14

2.1.1 基本調査の概要 14

2.1.2 調査項目ごとの基本調査のポイント 15

2.2 詳細調査 19

2.2.1 詳細調査の概要 19

2.2.2 仕上塗材の劣化現象ごとの詳細調査のポイント 20

第3章 仕上塗材の基本事項 31

3.1 仕上塗材の性能および機能 31

3.2 仕上塗材の種類および形状の特徴 31

3.4 仕上塗材の劣化の進行モデル 36

3.5 仕上塗材の劣化原因 38

第4章 おわりに 39

付録 39

付録1 既存仕上塗材の種類と判定 (その1) 39

付録2 仕上塗材の調査表の例 40

付録3 劣化調査結果の改修設計への応用例 42

付録4 仕上塗材の劣化程度 (劣化デグリー) 46

付録5 劣化調査に活用できる画像集 56

参考文献 78

調査の目的、調査の要点と調査方法、調査上の留意点を解説

調査時見落としによる改修工法選定不適により生じる可能性のある早期劣化事例と、改修設計に有用なポイントを解説

〈例〉

・既存仕上材と改修仕上材の付着性が確保できていない場合、剥がれ、浮きにつながるおそれあり
・柔軟性のある既存仕上塗材に柔軟性のない仕上塗材を塗り重ねると、経年で改修仕上塗材に割れが生じるおそれがある

基本調査	No.	1)	既存仕上塗材の種類と判定
------	-----	----	--------------

調査の目的

調査の目的	調査目的
1.	既存仕上塗材と塗り重ね適性のある改修仕上塗材の選定のため。
2.	改修仕上塗材の仕上り性の確保のため。

調査時に確認すべき点および調査方法

調査の要点	調査方法
① 既存仕上塗材の上塗材の結合材種類の特定	過去の設計図書の確認 (製品名・JIS名称等)。
② 既存仕上塗材の主材層の柔軟性の特定	目視・指触による確認。
③ 既存仕上塗材の模様	目視確認。

調査上の留意点

既存仕上塗材と付着性の劣る改修仕様選定を回避するため、事前情報として既存仕上塗材の上塗材の結合材種類の情報を入手しておく。情報が無い場合は現地調査詳細にて調査し推定する。

調査時見落としによる改修工法選定不適により生じる可能性のある早期劣化事例

早期劣化の事例	不具合発生の原因
剥がれ、 影れ・浮き	既存仕上塗材と改修仕上塗材との付着性が確保できていない場合、剥がれ、浮きや影れにつながる可能性がある。
割れ	柔軟性のある既存仕上塗材に柔軟性のない改修仕上塗材を塗り重ねると、経年で改修仕上塗材に割れを生じることがある。

改修設計に有用なポイント

- ・既存仕上塗材が高強度 (柔軟性のある材料) の場合、改修仕上塗材として硬質の材料を選定すると、下地となる既存仕上塗材の挙動に追従できず割れが生じることがあるため注意する。
- ・既存仕上塗材の上塗材と改修仕上塗材の組み合わせによっては、付着適性の悪いものがある。既存仕上塗材の製品名などの情報はあった方が良いが (取替施工を省略できることがある)、情報が無い場合は詳細調査の際に既存仕上塗材の種類または改修仕上塗材との付着適性を確認する。

⇒ 「セメント系外壁の塗り仕上げの長寿命化改修設計に資する劣化調査のポイント」を国総研資料として令和3年中に出版予定

13



6. 研究成果:② 外装の改修工事仕様の決定に必要な調査技術の精度向上 [ピンネット工法]

・ほとんど既往研究がないことに対応し、ピンネット工法により改修された外壁試験体を用いて、各種調査技術を適用した検証実験を行った。外装内の浮きやアンカーピンの位置確認に、目視・打診と合わせ赤外線サーモグラフィ法の併用が効果的であることを確認した。

【打診と赤外線サーモグラフィ法による調査結果について】

壁 No.	調査者A打診※1	調査者B打診※2	赤外線画像※3
1			
2 (二重タイル)			
3			



・打診調査は、調査者による検出精度に違いがある。
・赤外線サーモグラフィ法は、アンカーピンの施工位置、浮き箇所及び樹脂注入の有無の確認が可能。一方、温度差を生じる空気層が不十分な浮きは検出できないものもあった。
➢ 打診は調査者の技能による差異があり、打診調査と赤外線サーモグラフィ法を併用することで見落としなく詳細調査の要否判定が可能となる。

- ※1 調査者A打診画像: 赤枠→浮き
- ※2 調査者B打診記録図: 黄色→浮き、緑色→表面タイル仕上げ浮き
- ※3 赤外線画像: 赤色→浮き、緑色の丸形→樹脂注入箇所、黒丸→アンカーピンの施工位置
- ※4 赤枠: 浮き検出箇所
- ※5 その他点線四角枠は模擬剥離設置箇所

14

成果の普及

- 建築物の施設管理者や劣化調査を行う技術者向けの技術資料(国土技術政策総合研究所資料)として「セメント系外壁の塗り仕上げの長寿命化改修設計に資する劣化調査のポイント」を令和3年12月までに公表し、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修 建築改修工事監理指針の技術資料等にするなどして普及に努める。


今後の課題の展開

- 外装塗り仕上げの既存塗材と改修塗材の適合性は、3年間分の暴露データは得ることができたが、正確性を期するため実験を継続しデータの収集に務める。
- ピンネット工法による改修外壁の劣化調査技術は、運用にむけた評価指標の整備に務める。
- 今後の展開として、専門技術者が実施している劣化調査・診断に関して、安定した劣化調査と診断精度の向上をめざし、AIを活用した点検や劣化調査・診断の開発を検討する。

【発表論文】

- ・根本他；複合改修構工法で改修されたRC造建築物外壁の再改修工事仕様選定のための劣化調査・診断手法に関する研究(その1)ヒアリングによる課題抽出、日本建築学会大会学術講演梗概集、2020年9月
- ・根本他；根本他；複合改修構工法で改修されたRC造建築物外壁の再改修工事仕様選定のための劣化調査・診断手法に関する研究(その2)試験体を用いた調査手法の検証実験(非破壊調査)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2021年9月
- ・根本他；AIを活用した外装仕上塗材仕上げの劣化ひび割れに関する画像診断の検討、日本建築工上学会大会、2020年10月
- ・根本他；AIを活用した外装仕上塗材仕上げの劣化ひび割れに関する画像診断の検討 その2 精度向上のための検討、日本建築工上学会大会、2021年10月
- ・古賀他；改修後の防水層の品質確保のための既存防水層の状態評価手法、日本建築学会大会学術講演梗概集、2020年9月
- ・古賀他；仕上塗材改修条件の改修後の性能への影響に関する研究 その1 改修後1年目の性能確認、日本建築工上学会大会、2020年10月
- ・千歩他；モデル建物の30年屋外暴露試験に基づく各種仕上材の躯体保護効果 その1 試験概要と仕上材の劣化状況、日本建築工上学会大会、2019年10月
- ・米谷他；モデル建物の30年屋外暴露試験に基づく各種仕上材の躯体保護効果 その2 中性化抑制効果および鉄筋腐食抑制効果、日本建築工上学会大会、2019年10月

15



8. 事前評価時の指摘事項と対応

事前評価時の指摘事項	対応
対象とする建築物の選定条件を明確にし、年代、特質を把握・整理した上で研究を進められたい。	RC造建築物で竣工後20年以上経過し、かつ大規模改修工事を実施したことがある建築物を対象としている。
実際の建築物を対象とした実態調査やケーススタディの実施を検討されたい。	実建物の現地調査を行い実態把握を行った。ケーススタディは屋外暴露している壁体試験体を用いて実施した。
本研究において開発する評価手法と既存の評価手法との関係性を明確にすべき。	既存の評価手法は1回目の改修について提示されていた。開発する評価手法は、複数回改修を考慮した評価手法としている。
開発しようとする技術の有効性が分かりやすくなるよう、成果をまとめてほしい。	外装仕上げの調査・診断技術者が現場に携行して用いる解説書を作成する。

16



9. まとめ

研究開発の目的	研究開発の目標	研究成果	研究成果の活用方法 (施策への反映・効果等)	目標の達成度	備考
建築物の外装・防水層の長寿命化改修に資する既存RC部材の評価技術の開発	①外装・防水層の改修工事における既存部材の評価方法・基準の整備	・各種屋根防水の改修による回復・品質確保に制約を及ぼす既存部材の状態を評価項目として抽出し、その判断基準と合わせて整理した。	・改修された屋根防水の耐久性予測を見直しする際に、改修工事制約係数及び仕様選定の参考として活用されることが考えられる。	○	
		・複数回改修の3回塗り替えの検証実験を行い知見を得た。 ・外装塗り仕上げの塗り替え改修のための塗材の適合性に関するデータの蓄積を行った。	・国土交通省大臣官房官庁営繕部監修 建築改修工事監理指針等の外装塗り仕上げの改修材の適合表等の充実に寄与することができる。		
	②外装の改修工事仕様の決定に必要な建築物の調査技術の整備	・ピンネット工法による改修外壁の劣化調査に適用できる技術を検証し知見を得た。	・ピンネット改修外壁の劣化調査方法を整備することで、改修工事の品質確保が期待できる。	○	
		・「セメント系外壁の塗り仕上げの長寿命化改修設計に資する劣化調査のポイント」という解説書を作成した。	・国土交通省大臣官房官庁営繕部監修 建築改修工事監理指針等の参考資料として活用予定。		

<目標の達成度> ◎:目標を達成することに加え、目標以外の成果も出すことができた。 ○:目標を達成できた。
△:あまり目標を達成できなかった。 ×:ほとんど目標を達成できなかった。

有効性

外装・防水層の改修工事は小規模の事業者が実施している場合が多く、また、建設工事全般で危惧されている今後の担い手不足により専門技術者の減少が予想される。改修工事における既存部材の評価基準が整備されれば技術の確保を支援することができ、改修工事における品質確保が実現できる。また、本研究により補修・改修工事の耐久性が向上することにより、改修部分の長寿命化による改修サイクルの長期化、建築物のライフサイクルコストの低減が図られる。

建築物の外装材及び屋根の耐風性能向上に資する調査研究

研究代表者	: 建築研究部長 長谷川 洋
課題発表者	: 構造基準研究室長 喜々津 仁密
関係研究部	: 住宅研究部
研究期間	: 令和元年度～令和2年度
研究費総額	: 約50百万円
技術研究開発の段階	: 中期～後期段階



National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, JAPAN



1. 研究開発の背景

背景

- 平成30年台風第21号や令和元年房総半島台風では、建築物の外装材（屋根瓦、低層店舗のフロントサッシ等）と木造小屋組の強風に対するぜい弱性が顕在化。
 - 令和元年房総半島台風での被害屋根のうち8割が瓦屋根。また、沿岸部での木造住宅の小屋組に複数の被害を確認。
 - 低層店舗のフロントサッシの脱落・転倒被害が発生。
- 外装材や屋根の損壊で強風・雨水が浸入し、被災直後からの居住・業務継続や原状回復の著しい阻害状況も顕在化。
- 近年の異常気象傾向を踏まえると、ぜい弱な部位の耐風性能向上は喫緊の課題。
 - IPCC第6次評価報告書WG1報告書[※]では、将来予測される変化として「非常に強い熱帯低気圧の発生割合と強度最大規模の熱帯低気圧のピーク時の風速は、地球規模では、地球温暖化の進行と共に上昇」と評価。

※) http://www.jma.go.jp/jma/press/2108/09a/ipcc_ar6_wg1_a2.pdf

フロントサッシの脱落・転倒
(平成30年台風第21号)



屋根瓦の脱落・飛散(令和元年房総半島台風)



木造小屋組の飛散(令和元年房総半島台風)





2. 研究開発の課題・目的・目標・必要性

課題

- **屋根瓦**: 沿岸部での風圧力に対応した緊結方法等の仕様、許容耐力の評価法が未整備。
- **木造小屋組**: 風圧力の実況に応じた適切な緊結方法が不明確。
- **フロントサッシ**: 躯体との接合部の許容耐力の評価法が未整備。

目的と3つの目標

- 外装材のうち屋根瓦とフロントサッシ、木造小屋組の耐風性能の確保に資する緊結方法や耐力評価法等の整備と明確化。
- ① **屋根瓦**の仕様検証及び耐力試験・評価法等の整備
- ② **木造小屋組**の耐風性に配慮した仕様の整備
- ③ **フロントサッシ**接合部の耐力試験・評価法の整備

必要性

- 近年の台風により、建築物の外装材（屋根瓦、低層店舗のフロントサッシ等）や木造小屋組の強風に対するぜい弱性が顕在化。これらは、風圧力に応じた構造方法等が建築基準法令に詳細に規定されておらず、法令を補完する技術資料の整備が必要。
- 令和2年7月に社会資本整備審議会の部会がとりまとめた「令和元年房総半島台風を踏まえた建築物の強風対策」を踏まえ、瓦屋根及び木造小屋組の沿岸部仕様の検討が必要。

3



3. 研究開発の概要

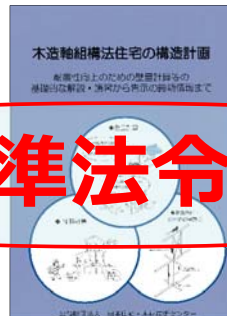
研究開発の概要

- 近年の台風によって強風に対するぜい弱性が顕在化した屋根瓦、木造小屋組、フロントサッシを対象に、耐風性能向上に資する仕様と試験評価法を検討する。
- 主な被害実態を踏まえて、以下の課題を設定。
 - ① **屋根瓦**の仕様検証及び耐力試験・評価法等の整備
 - ② **木造小屋組**の耐風性に配慮した仕様の整備
 - ③ **フロントサッシ**接合部の耐力試験・評価法の整備

⇒ 法令に適合する仕様や試験方法を示したガイドライン等（関係団体発行）へ、研究成果を反映するための原案をとりまとめ



瓦屋根標準設計・施工ガイドライン
(全日本瓦工事業連盟ほか)



木造軸組構法住宅の構造計画
(日本住宅・木材技術センター)



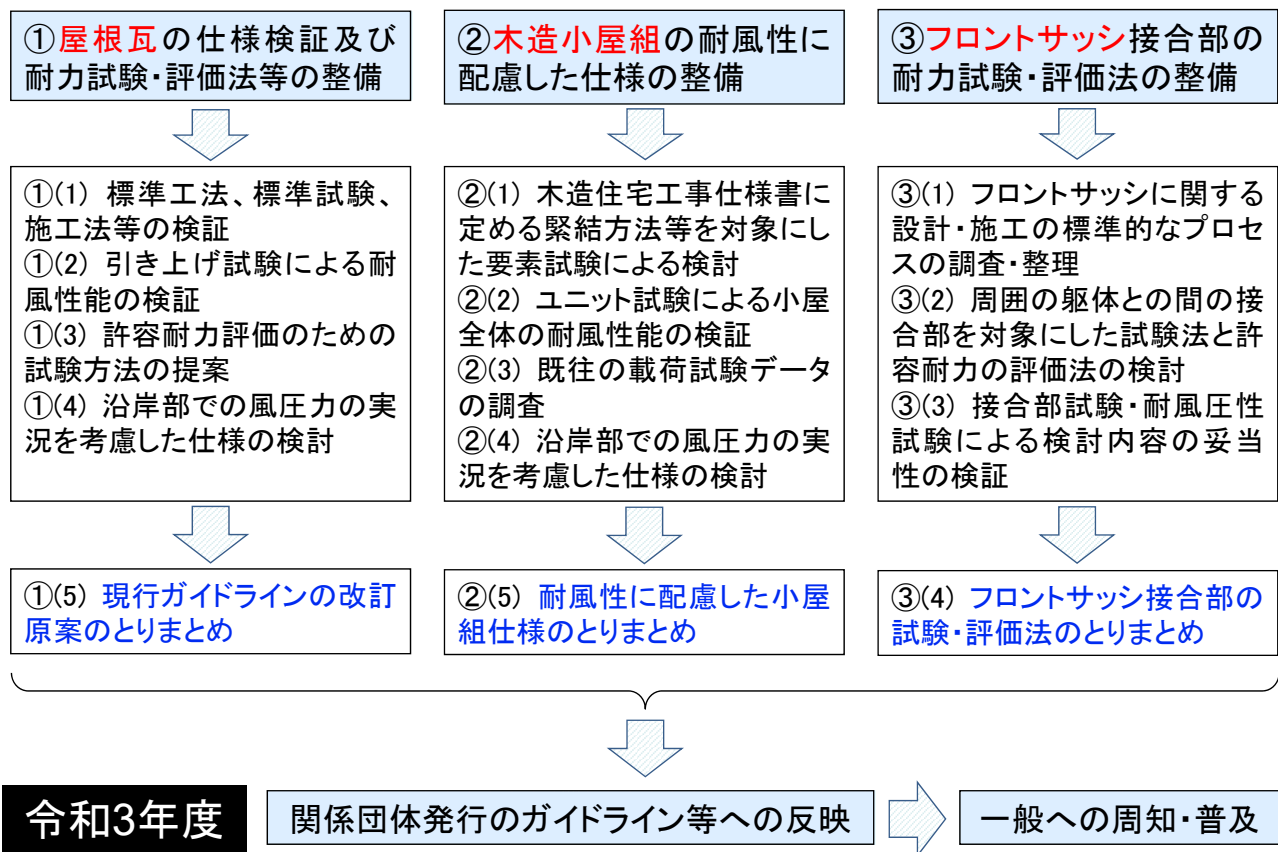
アルミフロント品質基準
(日本サッシ協会)

建築基準法令を補完

研究成果の反映先

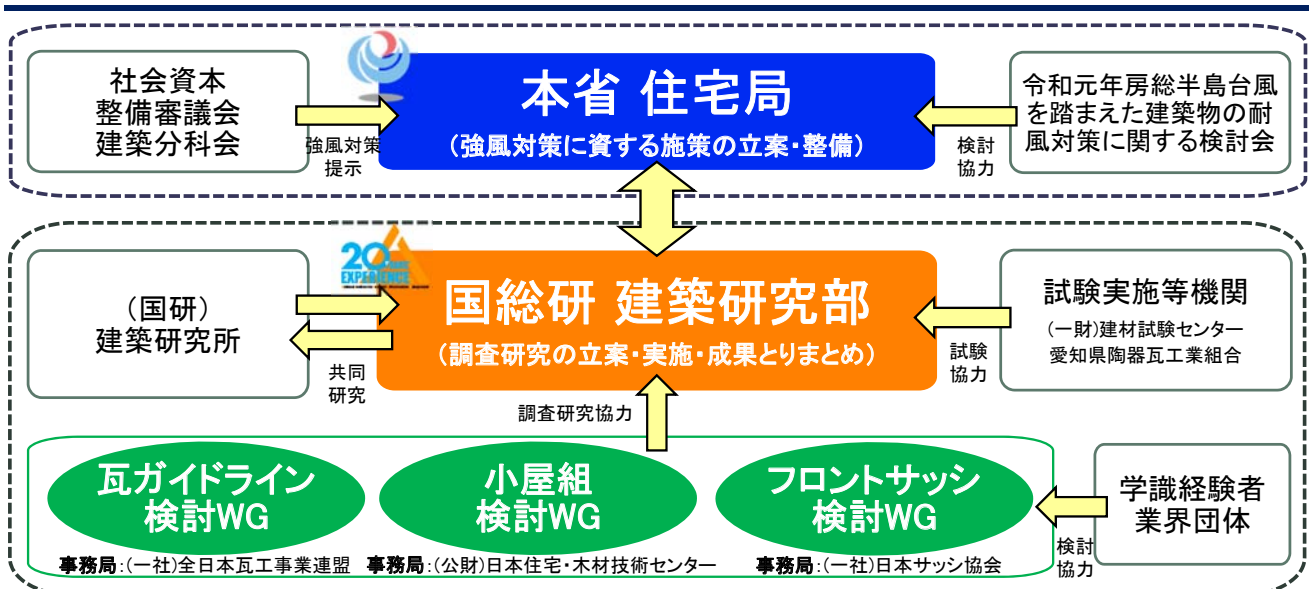
4

4. 研究フロー図



5

5. 研究の実施体制



効率性

- 各検討WGのもとで学識経験者や業界団体と連携し、効率よく研究開発を実施。
- 現行のガイドライン等での一般的な仕様や被害が確認された仕様から試験体仕様を設定し、効率よく系統的な試験を実施。
- 研究成果を関係団体発行のガイドライン等に反映して改訂・増補することで、効率よく研究成果のとりまとめと一般への普及を実施。

6

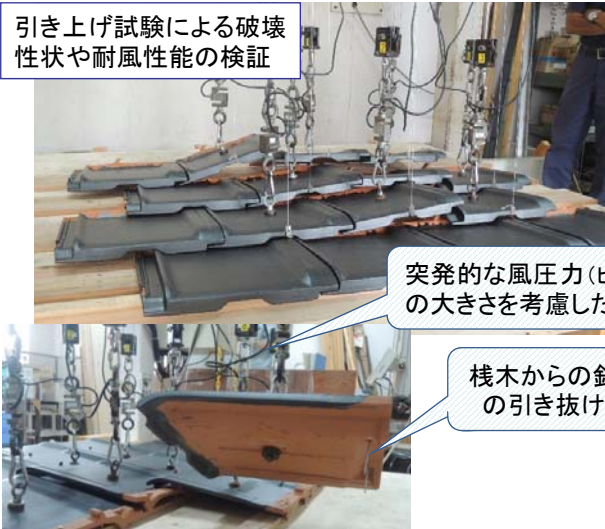


6. 研究成果: ①屋根瓦の仕様検証及び耐力試験・評価法等の整備

- 既往の調査では現行ガイドラインの一定の効果が確認されたが、沿岸部で局所的な強風による被害も確認。同ガイドラインの内容をアップデートするための以下の項目を実施。
 - ✓ 棧瓦の許容耐力算出のための単調引き上げ試験・評価法を提案。
 - ✓ 瓦屋根に関する改正告示に従った工法・仕様として、試験結果に基づき、基準風速ごとに採用できる「標準仕様」を明確化。
 - ✓ 沿岸部(海岸線からの距離が200m以内を目安)等での採用を推奨するための、より高い耐風性能を有する仕様も整備。

⇒ 現行ガイドラインの改訂原案のとりまとめ【令※第39条・関連告示を補完】

引き上げ試験による破壊性状や耐風性能の検証



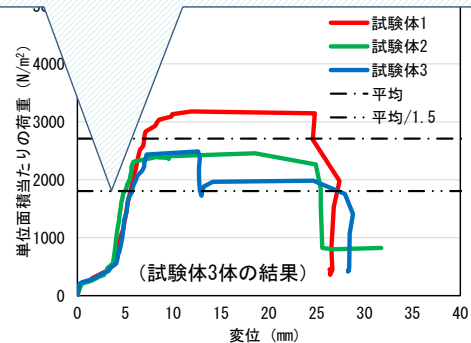
突発的な風圧力(ピーク風力)の大きさを考慮した载荷

棧木からの釘の引き抜け

※) 建築基準法施行令

➡ 目標を達成

単調引き上げ試験での最大荷重の平均値を1.5で除した数値を、棧瓦の許容耐力として評価する方法を整備



粘土瓦の単調引き上げ試験結果の例



6. 研究成果: ①屋根瓦の仕様検証及び耐力試験・評価法等の整備

標準仕様の例

※) J形の粘土瓦の場合

瓦の種類	緊結材の種類	緊結材の仕様	緊結数	基準風速 (m/s)		
				30	32~36	38~46
				引き上げ試験の荷重 (N/m ²)		
J形	くぎ	径2.7mm×長さ65mm	1本	○	○	○
		径4.2mm×長さ57mm	1本	○	○	○
		径3.8mm×長さ51mm	1本	○	○	○
J形 防災瓦	くぎ	径2.4mm×長さ55mm	1本	○	○	○
		径2.4mm×長さ65mm	1本	○	○	○
	ねじ	径3.8mm×長さ45mm	1本	○	○	○
		径3.8mm×長さ51mm	1本	○	○	○

より高い耐風性能を有する仕様の例
(沿岸部等での採用を推奨)

瓦の種類	緊結材の種類	緊結材の仕様	緊結数	基準風速 (m/s)			
				30	32~36	38~40	42~46
				引き上げ試験の荷重 (N/m ²)			
J形 防災瓦	くぎ	径2.4mm×長さ55mm	1本	○	○	○	○
		径2.4mm×長さ65mm	1本	○	○	○	○
	ねじ	径3.8mm×長さ45mm	1本	○	○	○	○
		径3.8mm×長さ51mm	1本	○	○	○	○

「標準仕様」よりも想定する風圧力の大きさを割り増し

- 沿岸部等の強風の実況に配慮し、より高い耐風性能を有する仕様として整備
- 採用できる仕様の範囲が、「標準仕様」よりも制限



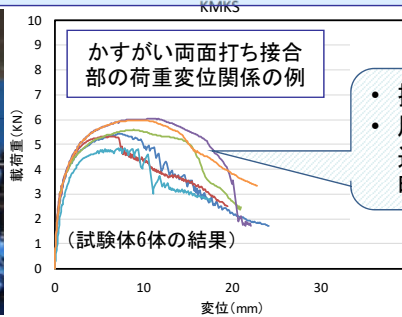
J形防災瓦での組み合わせ部分
(突起があることで、隣接する瓦と一体となって浮き上がりや脱落等を抑制)



6. 研究成果: ②木造小屋組の耐風性に配慮した仕様の整備

- 木造住宅工事仕様書に定める接合方法等を対象に、接合部試験と既往データの調査を実施し、各接合ごとの耐力特性を確認。ユニット試験により、小屋組全体の損傷進展過程等を把握。
- 風圧力と耐力との比較により、基準風速ごとに採用できる接合方法を明確化。
- 沿岸部(海岸線からの距離が200m以内を目安)等での採用を推奨するための、より高い耐風性能を有する仕様も整備。

⇒ 耐風性に配慮した小屋組仕様のとりまとめ【令第47条を補完】



目標を達成

- 接合部ごとに引張り耐力特性を把握
- 風圧力との比較結果に基づき、基準風速ごとの耐風性に配慮した接合方法を明確化

小屋組全体の損傷進展過程を把握



小屋組各部の損傷状況



6. 研究成果: ②木造小屋組の耐風性に配慮した仕様の整備

接合方法の仕様の例(基準風速30、38、46m/sの場合)

基準風速 (m/s)			30			38			46		
標準仕様/強風の実況に配慮した仕様			標準仕様	強風の実況に配慮した仕様		標準仕様	強風の実況に配慮した仕様		標準仕様	強風の実況に配慮した仕様	
				吹込みあり			吹込みあり			吹込みあり	
接合部位	接合の種類	許容耐力 (kN)	適用の可否			適用の可否			適用の可否		
たるき-軒げた接合 (軒の出0.6m以下の場合)	ひねり金物ST-9, ST-12	1.1	○	○	×	○	×	×	×	×	×
	ひねり金物ST-15	2.2	○	○	○	○	○	○	○	×	×
	四角穴付きタッピンねじ STS6.5F脳天打ち	2.5	○	○	○	○	○	○	○	×	×
	くら金物SS	4.4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
小屋束-小屋ばり接合 小屋束-もや(むなぎ)接合	かすがいC両面打ち	2.2	○	×	×	×	×	×	×	×	×
	ひら金物SM-12	2.1	○	×	×	×	×	×	×	×	×
	長ほぞ割くさび	3.5	○	○	○	○	×	×	×	×	×
	長ほぞくさぎN90-2本 平打ち	3.5	○	○	○	○	×	×	×	×	×
	長ほぞ込み栓	3.7	○	○	○	○	×	×	○	×	×
	ひら金物SM-15S	4.5	○	○	○	○	○	×	○	×	×
	かど金物CP-T	5.6	○	○	○	○	○	○	○	×	×
コーナー金物CP・ZS	10.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

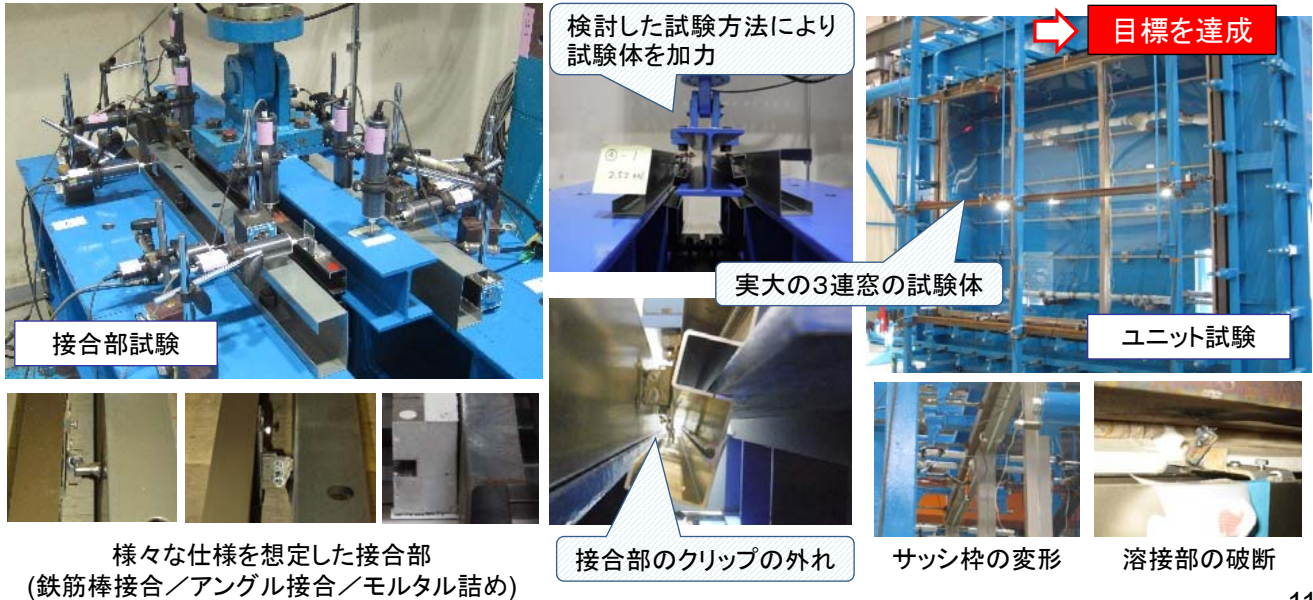
- 基準風速が大きいほど、適用可能な接合方法が制限
- 沿岸部等での吹込みを想定した場合の仕様も整備

※) 許容耐力はスギ等の樹種の場合の数値。



6. 研究成果：③フロントサッシ接合部の耐力試験・評価法の整備

- 周囲の躯体との接合部の許容耐力評価のための試験・評価法を検討・整備。許容耐力と業界基準での風圧力との比較による安全性の確認方法を提示。
 - ユニット試験(耐風圧性試験)により、既往の被害例でみられた脱落・転倒の起因となりうる接合部の損傷を確認。
 - 標準的な設計・施工プロセスを把握し、強風被害の検証のための技術資料を整備。
- ⇒ **フロントサッシ接合部の試験・評価法のとりまとめ【令第82条の4・関連告示を補完】**



11



7. 成果の普及等(令和3年度以降の取組み)

① 瓦屋根

- 令和3年7月: 成果を反映した「2021年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」の発行。
- 令和3年8～9月: 講習会での成果の周知・普及(主催: 日本建築防災協会、約1,600名受講)。
- 令和4年1月～: 瓦屋根に関する改正告示の施行。改正告示に準拠した方法として、成果の実効的な普及が期待。

「2021年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」(監修: 国土技術政策総合研究所・建築研究所、発行: 全日本瓦工事業連盟ほか) ⇒

② 木造小屋組

- 令和3年11月: 成果を反映した解説書「木造軸組構法住宅の構造計画」増補版の発行。
- 令和3年11月～: 講習会での成果の周知・普及(主催: 日本住宅・木材技術センター)。



③ フロントサッシ

- 令和3年7月: 成果をとりまとめた「アンカー部強度試験及び許容耐力評価方法」等を、日本サッシ協会からフロントサッシメーカーに周知。
- 令和4年4月～: 成果を反映した業界基準「アルミフロント品質基準」改訂版の発行。※発行までは、各メーカーでの商品確認、体制整備等に要する準備期間

令和3年度からの研究課題

- 既存の屋根ふき材を対象に、「既存建築物における屋根ふき材の耐風診断・補強技術評価に関する研究(令和3～5年度)」において、耐風性向上に資する研究を継続。

成果に関する公表論文等

- 喜々津、山崎: 木造小屋組の風圧力に対する引張耐力特性の検証のためのユニット試験, 2021年度日本建築学会大会梗概集, 2021.8.
- 脇山、喜々津、馬立、阿部、小野、倉田、高嶋: フロントサッシと躯体との間の接合部を対象とした耐風性評価に資する実験的検討, 2021年度日本建築学会大会梗概集, 2021.8.
- 喜々津: 屋根ふき材と木造小屋組の耐風性能向上に資する研究の概要, 住宅と木材, 2021.9.

12

研究開発の目的	研究開発の目標	研究成果	研究成果の活用方法 (施策への反映・効果等)	目標の達成度	備考
建築物の外装材（屋根瓦、フロントサッシ）と木造小屋組の耐風性の確保に資する構造方法等を明確化	屋根瓦の仕様検証及び耐力試験・評価法の整備	<p>既往の調査では現行ガイドラインの一定の効果が確認されたが、沿岸部で局所的な強風による被害も確認されたことから、同ガイドラインの内容をアップデートするための以下の検討を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 瓦屋根の「標準工法」を検証した。 • 引き上げ試験結果をもとに、基準風速ごとに採用できる仕様を「標準仕様」として明確化した。さらに「標準仕様」とは別に、沿岸部等での採用を推奨するための、より高い耐風性能を有する仕様も整備した。 • 棧瓦の許容耐力算出のための単調引き上げ試験・評価法を提案した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 「2021年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」に成果を反映した。これは2021年7月に発行済み。 • 成果を改正後の告示基準に従った工法・仕様、社整備「強風対策」の受け皿として位置づけた。 	○	
	木造小屋組の耐風性に配慮した仕様の整備	<ul style="list-style-type: none"> • 木造住宅工事仕様書に定める垂木・小屋東上下端の接合方法等を対象に、接合部試験と既往データの調査・収集を実施し、各方法ごとの耐力特性を確認した。 • 風圧力と各接合方法の耐力との比較により、基準風速に応じて採用できる接合方法を明確化した。さらに、沿岸部等での採用を推奨するための、より高い耐風性能を有する仕様も整備した。 • ユニット試験により、小屋組全体の損傷進展過程等を把握した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 解説書「木造軸組構法住宅の構造計画」増補版に成果を反映する。 • 成果を社整備「強風対策」の受け皿として位置づける。 	○	
	フロントサッシ接合部の耐力試験・評価法の整備	<ul style="list-style-type: none"> • 周囲の躯体と間の接合部の許容耐力の評価に資する試験方法を検討した。検討した方法は安定的に加力できることを確認し、許容耐力の評価法を整備した。 • 実大の三連窓の試験体でユニット試験（耐風圧性試験）を実施し、被害が確認された接合方法ではサッシの脱落・転倒の起因となりうる接合部の損傷を確認した。 • 強風被害につながる損傷の再現やフロントサッシの標準的なプロセスの把握を含め、サッシの強風被害の発生を検証するための基礎的な技術資料を整備した。 	<ul style="list-style-type: none"> • 「アルミフロント品質基準」改訂版に成果を反映する。 	○	

<目標の達成度> ◎:目標を達成することに加え、目標以外の成果も出すことができた。○:目標を達成できた。△:あまり目標を達成できなかった。
×:ほとんど目標を達成できなかった。

有効性

- 屋根瓦、木造小屋組、フロントサッシの耐風性の確保に資する構造方法等を明確化し、関係団体発行のガイドライン等へ反映することにより、法令の構造関係規定を補完。
- 新築建築物における屋根瓦、木造小屋組、フロントサッシの耐風性能が確保され、気象災害時の被災リスクの低減に貢献。

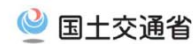
13



社会資本整備審議会 建築分科会 建築物等事故・災害対策部会「建築物の強風対策」と本研究との関係

参考①

令和元年房総半島台風を踏まえた建築物の強風対策(案)



1. 屋根ふき材に対する強風対策
 - ①建築基準法の告示基準の改正
 - 瓦屋根のガイドライン工法を建築基準法の告示基準に位置付け、新築時等に義務付ける。
 - 平成17年国交省告示第566号の枠組みを活用し、既存不適格建築物の増改築時に、増改築部分以外の既存部分へは、新基準を基本的に遡及適用しない扱いとする。
 - ②沿岸部仕様の検討
 - 沿岸部向けの対策については、十分な知見の蓄積がないため、**国総研等において試験等を実施し、**望ましい緊結方法のあり方について検討を進める。
 - ③既存建築物の屋根ふき材の改修の促進
 - 強化される告示基準に適合させるための屋根ふき材の改修等に対する支援制度の活用について周知を図るとともに、さらなる支援策の必要性について検討
 - 屋根ふき材の補強技術（部分改修を含む）の評価方法等について、国総研等において開発を進める。
 - ④屋根ふき材の耐風性能の見える化の推進
 - 上記の対策を踏まえて、住宅性能表示制度における耐風等級の見直し（屋根ふき材の耐風等級の追加）を検討

本研究の項目

①屋根瓦の仕様検証及び耐力試験・評価法等の整備

2. 小屋組に対する強風対策
 - 沿岸部仕様の検討
 - 沿岸部向けの対策については、十分な知見の蓄積がないため、**国総研等において試験等を実施し、**望ましい緊結方法のあり方について検討を進める。

②木造小屋組の耐風性に配慮した仕様の整備

3. 基準風速の検証
 - 現行の建築基準法の基準風速の妥当性の検証(全国)
 - 最新の気象データの分析により、現行の基準風速の妥当性を検証(全国)



瓦の緊結方法に関する基準の強化(昭和46年建設省告示第109号)(住宅局作成)

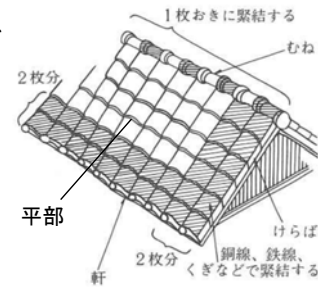
参考②

改正の概要

建築物の瓦屋根に係る現行の仕様基準(S31年に政令に規定、S46年に告示に移行)を改正し、業界団体※1作成の「瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」の仕様を義務化する。

<主な改正事項>

(緊結箇所)	軒、けらば(端部から2枚までの瓦) むね(1枚おきの瓦)	⇒	軒、けらば、むね、平部の全ての瓦
(緊結方法)	銅線、鉄線、くぎ等で緊結	⇒	瓦の種類、部位、基準風速に応じた緊結方法を規定



改正告示概要

瓦屋根は、以下の緊結方法又はこれと同等以上に耐力を有する方法でふくこと。ただし、平成12年建設省告示第1458号に従った構造計算によって構造耐力上安全であることが確かめられた場合はこの限りではない。

緊結箇所	全ての瓦	
緊結方法 (※2)	軒、けらば	3本のくぎ等(くぎ*又はねじ)で緊結
	むね	ねじで緊結
	平部	くぎ等で緊結(詳細は下表参照)
耐久性	屋根ふき材・緊結金物にさび止め・防腐措置をすること	

棧瓦の種類

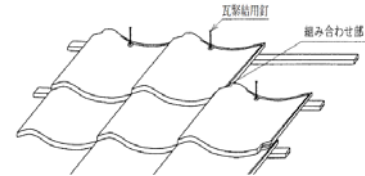


<平部の瓦の緊結方法>

*容易に抜け出ないように加工したものに限る。

瓦の種類	基準風速 V_0 ※3		
	30m/s	32~36m/s	38~46m/s
F形	くぎ等2本で緊結	くぎ等2本で緊結	使用不可
J形、S形			
防災瓦 (J形、S形、F形)	くぎ等1本で緊結		

防災瓦(J形・組み合わせぎ**)



**フックその他これに類する部分によって構造耐力上有効に組み合わせる方法

※1 (社)全日本瓦工事業連盟、全国陶器瓦工業組合連合会、全国厚形スレート組合連合会

※2 緊結強度は銅線、鉄線、くぎ、ねじ

※3 平成12年建設省告示第1454号に規定