

芝 浦 工 業 大 学
博 士 学 位 論 文

既存中小建築物における建築外皮の
省エネルギー改修効果に関する研究

平成 28 年 3 月

青 笹 健

既存中小建築物における建築外皮の省エネルギー改修効果に関する研究

目 次

第 1 章 序論

1.1 研究の背景	1
1.2 国等における既存建築物の省エネルギー性能向上に関する取り組み	3
1.2.1 省エネルギー基準	3
1.2.2 省エネルギー改修に関する支援制度	4
1.2.3 既存建築物に関する表彰制度	7
1.3 既存建築物の省エネルギー性能向上に関する既往研究	7
1.3.1 建築外皮の熱性能評価に関する研究	7
1.3.2 建築設備の省エネルギー改修に関する研究	8
1.3.3 ライフサイクル CO ₂ 評価に関する研究	8
1.4 研究目的	9
1.5 論文の構成	9

第 2 章 既存建築物の省エネルギー改修に関わる動向

2.1 はじめに	11
2.2 建築物のストック・着工動向	11
2.2.1 スtock建築物の概況	11
2.2.2 着工建築物の概況	13
2.3 省エネルギー改修事例の動向	23
2.3.1 住宅・建築物省 CO ₂ 先導事業における省エネルギー改修事例	23
2.3.2 住宅・建築物省エネ改修推進事業における省エネルギー改修事例	24
2.4 建築外皮の省エネルギー改修に関する評価ツールの動向	27
2.4.1 省エネルギー基準	27
2.4.2 CASBEE改修	29
2.4.3 The BEST Program	29
2.4.4 省エネ改修推進事業における簡易評価法	30
2.5 既存建築物の建築外皮の省エネルギー改修に関わる便益	31
2.6 第 2 章のまとめ	32

第3章 既存建築物の省エネルギー改修に関する実態分析

3.1 はじめに	33
3.2 分析対象事業の概要	33
3.3 事業者アンケートによる省エネルギー改修の実態と課題の分析	35
3.3.1 調査概要	35
3.3.2 対象建物の概況	36
3.3.3 回答者の属性	38
3.3.4 省エネルギー改修工事の内容と課題	40
3.3.5 関係者の関わりと省エネルギー改修の課題認識	45
3.3.6 建物用途の違いによる建築外皮改修の特徴分析	47
3.3.7 事業者アンケート結果の考察	52
3.4 事業者ヒアリングによる改修市場動と投資判断等に関する実態分析	54
3.4.1 調査概要	54
3.4.2 省エネルギー改修の市場動向に関する事業者ヒアリング	55
3.4.3 省エネルギー改修市場の広がり等に関する事業者ヒアリング	58
3.4.4 省エネルギー改修市場の投資判断等に関する事業者ヒアリング	62
3.4.5 事業者ヒアリング結果の考察	65
3.5 第3章のまとめ	66

第4章 数値計算に基づく建築外皮の省エネルギー改修効果の検証

4.1 はじめに	67
4.2 評価ツールの概要	67
4.3 モデル建物における建築外皮の省エネルギー改修効果に関する予備検討	68
4.3.1 モデル建物と計算条件	68
4.3.2 建物方位の違いが建築外皮改修効果に及ぼす影響の基礎検討	72
4.3.3 地域の違いによる建物形状別の建築外皮改修効果	76
4.3.4 予備検討結果の考察とまとめ	84
4.4 簡易モデルによる建築外皮の省エネルギー改修効果に関する体系的分析	85
4.4.1 モデル設定と計算条件	85
4.4.2 地域・建物用途別の建築外皮改修による省エネルギー効果（事務所モデル）	90
4.4.3 地域・建物用途別の建築外皮改修による省エネルギー効果（物販モデル）	96
4.4.4 地域・建物用途別の建築外皮改修による省エネルギー効果（病院モデル）	101
4.4.5 建物形状による建築外皮改修の熱負荷削減効果の考察	106
4.4.6 建物特性に応じた建築外皮改修手法の選択ガイドの提案	111
4.5 第4章のまとめ	119

第5章 既存オフィスにおける窓改修の温熱環境改善効果に関する実験実測

5.1 はじめに	120
5.2 実験実測の概要	120
5.2.1 実験対象オフィスの概要	120
5.2.2 実験実測条件	122
5.3 温熱環境評価と考察	125
5.3.1 室温変動と室内上下温度分布	125
5.3.2 窓の断熱性能の違いによる温熱環境の比較	130
5.4 第5章のまとめ	138

第6章 建築外皮改修の潜在需要と省エネルギーポテンシャルの推計

6.1 はじめに	139
6.2 建築外皮の省エネルギー改修に関する潜在需要の推計	139
6.2.1 目的	139
6.2.2 推計方法	139
6.2.3 ストック建築の床面積の動向	140
6.2.4 将来の潜在需要の推計結果	140
6.3 建築外皮の省エネルギー改修による省エネルギーポテンシャルの推計	143
6.3.1 目的	143
6.3.2 推計方法	143
6.3.3 都道府県別の建築外皮改修の対象床面積	146
6.3.4 都道府県別の年間熱負荷及び熱負荷削減係数	147
6.3.5 建築外皮改修による省エネルギーポテンシャルの推計結果	154
6.4 第6章のまとめ	169

第7章 結論

7.1 総括	173
7.2 今後の展望と課題	176

参考文献	178
------	-----

謝辞

付録A 簡易モデルにおける各ケースの熱負荷算定結果

付録B M オフィスにおける窓改修の模擬実験（測定結果）

第 1 章 序論

1. 序論

1.1 研究の背景

地球環境問題への対応として、住宅・建築分野での対応が喫緊の課題とされてから相当の期間が経過しているものの、我が国の民生部門における CO₂ 排出量は、依然として減少に向けて確実な道筋に転換されたとは言いがたい。

2005 年に発効された京都議定書において、日本は 2008 年～2012 年に温室効果ガス(うち約 95%が CO₂)を、1990 年の排出量に対する 6%削減することを目標とし、様々な対策が講じられてきた。結果として、2008 年～2012 年の第一約束期間の温室効果ガスは、5 カ年平均の総排出量が 12 億 7,800 万トンで、森林等吸収源による吸収量が 5 カ年平均で 4,870 万トン(基準年比 3.9%)となり、京都メカニズムクレジットを加味すると、5 カ年平均で基準年比 8.4%減と、京都議定書の目標(基準年比 6%減)を達成する見込みとされている¹⁾。また、国際的には、2020 年以降の新しい法的枠組みを定める交渉が続き、我が国は、2030 年度に 2013 年度比 26%減(2005 年度比 25.4%減)を目標とする日本の約束草案²⁾を示したところである。

一方、国内の CO₂ 排出量の内訳を見ると、2013 年度排出量(確報値)³⁾において、2005 年排出量に対する増加率は、民生部門の住宅が約 11.9%、建築(業務)が約 16.7%であり、依然として他部門と比較しても高い増加率である(図 1.1.1)。今後の中長期な目標達成に向けて、住宅・建築分野での取り組みが大きな課題である状況に変わりはない。

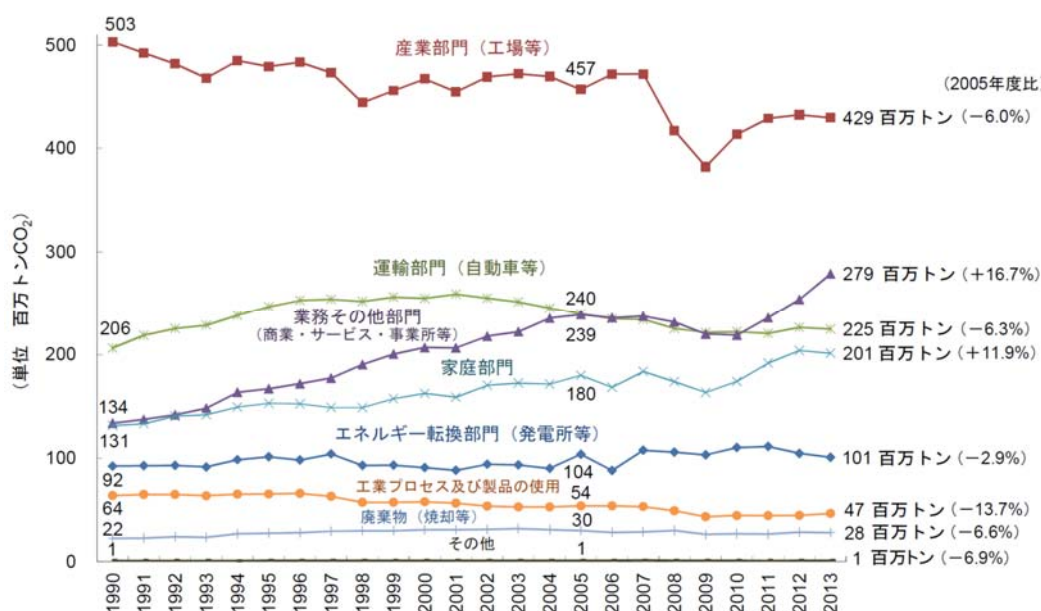


図 1.1.1 CO₂ の部門別排出量(電気・熱配分後)の推移

(カッコ内の数字は各部門の 2013 年度排出量の 2005 年排出量からの変化率)

出典:環境省ホームページ, 2013 年度(平成 25 年度)の温室効果ガス排出量(確報値)について
<http://www.env.go.jp/press/100862.html>

住宅・建築物による CO₂ 排出量の大部分は既存ストックから排出されている。そのため、新築のみならず、既存ストックにおける省エネルギーの推進は重要な課題である。2009 年 6 月に発表された「中長期的視点に立った住宅・建築物における環境対策のあり方についての中間とりまとめ」⁴⁾では、『既存ストックにおいても、改修工事等を行うことにより、残りのライフサイクルの中で CO₂ 排出量の削減を図る必要がある』、『新築建築物の省エネルギー性能の向上に加えて、エネルギー消費量の削減に大きなポテンシャルを有する既存ストックの省エネルギー性能向上を図るための効果的な取り組みが必要である』と指摘している。しかしながら、省エネルギー改修の推進に当たっては、同中間とりまとめでも『改修によるエネルギー消費の削減効果のみでは投資回収期間が長期にわたることが見込まれることから、資金面での支援をはじめ、建築物の所有者等に対して、省エネルギー改修を行うインセンティブを高める方策が必要である』との課題を指摘している。

また、2010 年 3 月に発表された「建築物ストック統計検討会報告書」⁵⁾は、建築ストックに関する施策の立案及び評価を適切に行うためには、基礎的な情報が整備されていることが重要だとしており、我が国で初めて公表されたストック建築物に関する統計情報である。しかしながら、同統計は、複数の統計に基づいた加工統計であり、非住宅では個人が所有する建築物等は除外した統計であり、全てのストック建築が把握されていないなどの課題も残る。

一方、ストック建築物の省エネルギー対策を進める契機として、建物のリフォーム・リニューアルが考えられる。建設工事施工統計調査 ⁶⁾によると、新設工事費が減少傾向にあるなか、全国の建築工事費全体に占める維持・修繕費の割合は増加傾向にある(図 1.1.2)。こうした背景から、国土交通省はリフォーム・リニューアルの市場規模の把握と、建築物ストックの有効活用を促進するための基礎資料として、2008 年度から建築物リフォーム・リニューアル調査 ⁷⁾を実施している。

しかしながら、定期的に行われるリフォーム・リニューアルに含まれる内装工事や、初期機能の回復を目的とする修繕工事では省エネルギーには大きく影響しない。今後、リフォーム・リニューアル工事でも省エネルギーに配慮し、初期機能以上の水準に改修する工事の増加も望まれるところであるが、非住宅においては、省エネルギーに貢献する工事の詳細や、ストック対策に有効な建物用途、規模などの建物概要、改修工事の潜在需要は把握できていない。

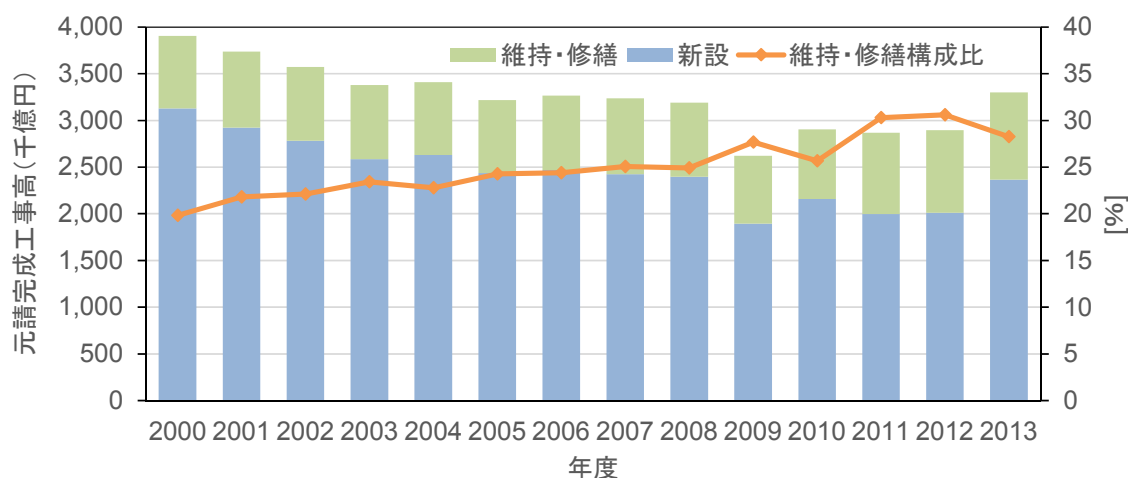


図 1.1.2 元請完成工事高における維持・修繕の構成比

出典:国土交通省 建設工事施工統計調査 ⁶⁾から作成

我が国では、2011年3月11日の東日本大震災において、原子力発電所事故に伴うエネルギー需給の逼迫が大きな課題となった。首都圏を中心に計画停電も現実のものとなり、既存ストックにおける様々な省エネルギー対策が実施された。また、エネルギーが途絶した状態での生活、業務が継続できることの重要性が広く認識され、生活や業務の継続には、エネルギーのバックアップとともに、住宅や建築物そのものが持つ熱的性能も重要であると認識されつつある。新築及び大規模建築物では、利用者等の健康性や知的生産性の向上に注目が集まり、様々な研究、大規模調査も始まっている。しかしながら、外部環境の影響を受けやすい中小規模建築物については、省エネルギー性能向上等に対する費用がかけにくく、熱的性能が劣るものも多いと予想されるが、その実態も把握されていない。また、一般に、改修工事においても、性能向上のための専門家による十分な検討を行う時間、費用を充てることも難しく、適切な改修手法を選択する目安もない。

今後、省エネルギーの観点のみならず、住宅や建築物そのものの熱的性能の向上を図るためには、我が国の建物数として相当の割合を占める中小規模の建築物も含め、既存ストックの実態や省エネルギー改修工事の実態や課題を把握するとともに、限られた予算で改修工事を実施する上でも有益な目安となる評価法などの確立も重要である。

1.2 国等における既存建築物の省エネルギー性能向上に関する取り組み

1.2.1 省エネルギー基準

エネルギー使用の合理化に関する法律(以下、「省エネルギー法」とする)は、二度にわたる石油危機を経て、1979年に制定・施行された。省エネルギー法では、住宅・建築物の省エネルギー対策として、全ての建築主に対し、外壁、窓等を通しての熱の損失の防止及び建築設備に係る効率的利用のための措置を講じることを努力義務とし、建築主等に対するエネルギー使用の合理化に関する判断の基準(以下、「省エネルギー基準」とする)を定めるものとし、1980(昭和55)年に初めての省エネルギー基準が制定された。昭和55年基準は、建築主等に対して努力義務として定められたもので、住宅以外の用途の建築物(以下、「非住宅」とする)では事務所のみが対象とされていた。その後、1985年には物販店舗、1991年にはホテル・旅館の省エネルギー基準が制定されるなど、用途が拡大している。また、省エネルギー基準も、これまでに1992(平成4)年(住宅)、1999(平成11)年(住宅・非住宅建築物)と強化されてきた⁸⁾。

一方、当初は努力義務として制定された省エネルギー基準は、2003(平成15)年に2,000㎡以上の建築物の新築時、増改築時においては、省エネルギー基準に照らした省エネルギー措置の届出が義務化された。さらに、2006(平成18)年には大規模修繕時の届出等が義務化され、2009(平成21)年には届出対象建物が300㎡以上に拡大されるなど、規制が強化されてきている。

このように、1980年に制定された省エネルギー基準は、住宅では基準値の強化、非住宅では対象となる用途や設備の拡大と基準値の強化が行われている。省エネルギー改修による省エネルギー効果には、改修前の断熱や設備の仕様が大きく影響するが、既存建築物では仕様の詳細がわからないことも多く、竣工当時の省エネルギー基準の水準がその推定の手掛かりの一つとなる。

さらに、2013(平成25)年には、省エネルギー基準の大規模改正が行われ、建物全体の省エネルギー性能をよりわかりやすく把握できる基準とするため、住宅、非住宅ともに、一次エネルギー

消費量を指標とした評価方法が採り入れられ、省エネルギー基準は外皮の熱性能に関する基準、一次エネルギー消費量に関する基準へと大きく変更されている。

また、省エネルギー基準の運用についても、届出の義務化ではなく、省エネルギー基準のへの適合義務化を段階的に図るものとして、2015年7月8日に「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」が公布された。同法では、適合義務、届出等の規制措置については公布の日から2年以内、容積率特例、表示制度等の誘導的措置については公布の日から1年以内で施行予定とされている。表 1.2.1 に省エネルギー基準の変遷をまとめる。

表 1.2.1 住宅・建築物の省エネルギー基準の変遷

	住宅	建築物（非住宅）
1980 年	昭和 55 年基準制定	[事務所] PAL,CEC/AC 制定
1985 年		[物販店舗] PAL,CEC/AC 制定
1991 年		[ホテル・旅館] PAL,CEC/AC 制定
1992 年	平成 4 年基準制定	
1993 年		[ホテル/ 病院/ 物販店舗/ 事務所/ 学校] PAL, CEC/AC,CEC/V,CEC/L,CEC/HW,CEC/EV 制定
1999 年	平成 11 年基準制定	[飲食店] PAL,CEC/AC,CEC/V,CEC/L,CEC/HW,CEC/EV 制定 [各用途] 判断基準値の強化
2003 年		[集会所/工場] PAL, CEC/AC, CEC/V, CEC/L, CEC/HW, CEC/EV 制定
2009 年	住宅事業建築主基準制定	
2013 年	平成 25 年基準制定 (大規模改正)	[全用途] PAL*, 一次エネルギー基準の制定

1.2.2 省エネルギー改修に関する支援制度

ストック建築物の省エネルギー改修では、建築的な制約のほか、多くの制約条件が考えられる。最も一般的な制約条件は経済性であり、改修工事では目的とする改修工事のための道連れ工事が多いこと、建物を使いながら改修工事を行ういわゆる「居ながら工事」による制約から工事費が押し上げられるなど、新築工事に比べても初期投資が割高となる傾向があると言われている。このような背景から、各省庁では、既存建物の省エネルギー推進のため、一定以上の省エネルギー改修を行った住宅・建築物に対する補助事業を実施し、省エネルギー改修の支援を行っている(表 1.2.2)。以下に代表的な補助事業の概要、特徴を述べる。

表 1.2.2 省エネルギー改修に関わる補助制度の動向

名称	所管	創設 年度	対象建物		対象事業		対象工事		補助率
			住宅	建築物	新築	改修	外皮	設備	
住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業	経済産業省	1999	○	○	○	○	○	○	1/3
住宅・建築物省CO ₂ 先導事業	国土交通省	2007	○	○	○	○	○	○	1/2
長期優良住宅先導事業	国土交通省	2007	○	—	○	○	○ (住宅全体)		提案内容により異なる
建築物省エネ改修推進事業	国土交通省	2007	—	○	—	○	○	○	1/3
住宅エコポイント	国土交通省 経済産業省 環境省	2009	○	—	○	○	○	○	1戸あたり30万ポイント
地域グリーンニューディール基金(省エネ改修補助事業)	環境省 (地方公共団体)	2009	—	○ (中小企業等)	—	○	○	○	1/3等

(1) 住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業〈経済産業省資源エネルギー庁〉

1999 年度に開始された本事業は、民生部門における省エネルギーの推進策として行われてきたものである。本事業では、建築物の 2030 年のネット・ゼロ・エネルギー化を目指すべく、その施策の一つとして、住宅・建築物に省エネルギー性の高い高効率エネルギーシステムを導入し、性能、費用対効果等の情報を取得しそれを公表することにより、建築物に対する省エネルギー意識を高揚させるとともに、建築物における省エネルギーを抜本的に進めることを目的とする。また、建築物の運用段階における省エネルギー対策としてBEMSを導入し、運転を最適化するとともに管理者に対する判断材料を提供することにより、民生部門におけるエネルギー原単位の管理意識を高め、適切に管理・制御することによって総合的な省エネルギーを進めることを目的としている¹⁰⁾。

(2) 住宅・建築物省 CO₂ 先導事業〈国土交通省〉

本事業は、家庭部門・業務部門の CO₂ 排出量が増加傾向にある中、住宅・建築物における省 CO₂ 対策を強力に推進し、住宅・建築物の市場価値を高めるとともに、居住・生産環境の向上を図るため、省 CO₂ の実現性に優れたリーディングプロジェクトとなる住宅・建築プロジェクトを公募によって募り、予算の範囲内において、整備費等の一部を補助し支援するものである。

2008 年度に「住宅・建築物省 CO₂ 推進モデル事業」として創設され、名称変更を経て 2014 年度までの 7 年間実施された。また、2015 年度からは同様の枠組みの事業が「サステナブル建築物等先導事業(省 CO₂ 先導型)」に引き継がれて実施されている。

本事業では、①住宅・建築物の新築、②既存の住宅・建築物の改修、③省 CO₂ のマネジメントシステムの整備、④省 CO₂ に関する技術の検証(社会実験・展示等)の 4 つの事業が対象で、学識経験者によって構成された評価委員会で先導性が評価された事業が採択される。本事業では、

2008～2014年度までの7年間で約190件のプロジェクトが採択されており、その中では非住宅の改修事業も12件が採択されている¹²⁾。

(3) 長期優良住宅先導事業、長期優良化リフォーム推進事業〈国土交通省〉

本事業は、「いいものをつくってきちんと手入れして長く大切に使う」というストック社会の住宅のあり方について、具体的内容を広く国民に提示し、技術の進展に資するとともに普及啓発を図ることを目的にしている。この観点から、先導的な材料・技術・システムが導入されるものであって、住宅の長寿命化に向けた普及啓発に寄与する事業の提案を公募によって募り、優れた提案に対して、予算の範囲内において、国が事業の実施に要する費用の一部を補助している。このなかで、新築のみならず、既存ストックの住宅を対象とした改修事業も対象としている¹³⁾。

2008年度に創設された本事業は2011年度に終了したが、2013年度からは「長期優良化リフォーム推進事業」として、改修に特化した事業として実施されている。

(4) 建築物省エネ改修推進事業〈国土交通省〉

本事業は、2008年度に創設された一定の省エネルギー効果が見込まれる住宅・建築物の省エネルギー改修に対する補助事業であり、事業要件、対象、事業名が変更されつつ、2014年度まで継続的に実施された。また、2015年度からは、「既存建築物省エネ化推進事業」として、一部事業要件が追加され、新事業に内容が引き継がれている。

本事業は、建築物等の省エネルギー改修事業を広く民間事業者等から公募によって募り、予算の範囲内において、整備費等の一部を補助するもので、省エネルギー改修の推進及び関連投資の活性化を図ることを目的としている。主な事業要件は、①建築外皮の省エネルギー改修^{注)}を行うもの、②省エネルギー改修によって建物全体で15%以上の省エネルギー効果が見込まれること、③エネルギー消費の計測を行い、継続的にエネルギー管理を行うものなどとなっており、補助率は1/3以内である。2009(平成21)年度からは、建築外皮の省エネルギー改修を実施することが事業要件の一つになっている点、補助額には5,000万円(設備については2,500万円)までとの限度額が設けられており、比較的中小規模の建築物の応募が多い点が特徴である。

注) 同事業では、屋根、外壁、開口部等の断熱性能向上によって省エネルギー効果が期待される改修工事を「躯体(外皮)改修」または「躯体改修」と表記している。

(5) 住宅エコポイント〈国土交通省,経済産業省,環境省〉

住宅エコポイントは地球温暖化対策の推進及び経済の活性化を図ることを目的に、エコ住宅の新築、エコリフォームを対象に一定のポイントを発行し、これを使って様々な商品との交換や追加工事の費用に充当することができる制度である。2010年3月から申請受付が始まり、2013年12月まで継続された。エコ住宅の新築では、省エネルギー法のトップランナー基準相当の住宅、省エネルギー基準(平成11年基準)を満たす木造住宅が条件となり、エコリフォームでは、窓の断熱改修工事、外壁、屋根・天井又は床の断熱改修工事等が対象となる。同制度は、条件に適合した製品を活用したリフォーム等であれば、先着順でエコポイントが付与されるというわかりやすい制度で、内窓設置による二重サッシ化なども対象となり、住宅用として省エネルギー改修向けの製品も積極

的に展開された。

1.2.3 既存建築物に関する表彰制度

既存建築物の性能向上を図るには、適切な維持保全や修繕、改修への意欲を高めるためのインセンティブの付与も有効であり、前述の補助金を中心とした資金面での支援はその一つの方策である。一方、建物所有者を対象とした表彰制度は、優良な建築物を表彰、広く周知することで、市場活性化を促す方策である。例えば、既存建物を長く使用するための適切な維持保存や優れた改修を行った建築物に対し、様々な団体でその建築物を表彰する制度では、優れた維持保全や改修を行った建築物が表彰され、公表されることにより、改修手法の拡充及び、改修事業の活性化が期待される。以下に表彰制度の例を示す。

(1) BELCA 賞〈公益社団法人 ロングライフビル推進協会〉

1991 年度に創設された表彰制度で、適切な維持保全の実施、または優れた改修を実施した建築物のうち、特に優良な建築物の関係者を毎年度表彰し、良好な建築ストックの形成に寄与することを目的としている。現在は、①ロングライフ部門(建築物のロングライフを考慮した適切な設計のもとに建設され、長年にわたり継続的に維持保全を実施した、特に優秀な建築物で、建築後 30 年以上を経過している建築物)、②ベストリフォーム部門(最近改修(リフォーム)された建築物で、その改修によって画期的な活性化を計った物件のうち、特に優秀な建築物で、改修後 1 年以上 5 年未満の建築物)の 2 部門が設けられている¹⁴⁾。

(2) 空気調和・衛生工学会特別賞「十年賞」・「リニューアル賞」〈社団法人 空気調和・衛生工学会〉

建築設備を長期間にわたり健全に維持する運用管理技術の発展と振興を図る目的で、特に優秀な会員の業績に対して賞を贈って表彰するものである。2001 年に創設された「十年賞」は、毎年数件が表彰され、2014 年度の第 14 回までに、25 件の建築物が表彰されている。また、2013 年度からは「リニューアル賞」も創設され、2014 年度までに 10 件の建築物が表彰されている¹⁵⁾。

1.3 既存建築物の省エネルギー性能向上に関する既往研究

1.3.1 建築外皮の熱性能評価に関する研究

前述のとおり、省エネルギー基準では、建物のペリメータ部の熱的性能の評価指標として年間熱負荷係数(PAL)が用いられてきた。この PAL の基準値を定めるにあたり、シミュレーション等で外皮性能の研究がなされてきた。また、吉澤ら¹⁶⁾は、The BEST Program を用いて、建築学会の標準問題のオフィスプランを使用し、全国各地の最大冷熱負荷をカラーマップ化するとともに、建物使用条件を変更した場合の最大熱負荷特性についての解析を行っている。

建築外皮の熱性能に関しては、これまでも多くの研究がなされているが、空調設備容量の設計に関わるものとして最大熱負荷を対象とした解析が多く、また省エネルギー改修に焦点をあてた研究は少ない。

1.3.2 建築設備の省エネルギー改修に関する研究

建築設備を中心とした省エネルギー改修では、ESCO 事業として、建築主の改修時のイニシャルコストの負担を軽減する仕組みが普及しつつある。村越ら¹⁷⁾は、我が国の ESCO 事業の導入から発展までの市場動向と、現在の ESCO 事業特性を明らかにし、一方で、ESCO 事業は、省エネルギー性と経済性を同時に実現するビジネスであるため、ESCO 事業の省エネルギー性と経済性の最適解を評価する方法について検証した。その中で、採用される技術としては、業務施設で最も一般的に採用されているのは、空調ポンプ・ファンのインバータ化で、次にインバータ照明が多い。熱源設備では、冷凍機の更新、コージェネレーションの導入が代表であり、特殊な技術や、効果が不安定な技術を採用することは敬遠されることを提示している。また、ESCO 事業を評価する指標には、様々な手法があるが、最も単純な指標が単純回収年数であり、その他には、採用する技術の経済性と省エネルギー性の両者を評価するものに省エネルギーカーブによる評価や、省エネ率と15年間の利益の関係による評価等があると示されている。

1.3.3 ライフサイクルCO₂評価に関する研究

伊香賀ら¹⁸⁾は、建築規模別工事実績統計、1990年産業連関表等の各種統計データを利用して、12種類の建物用途(事務所、ホテル、病院、店舗、小中学校、大学、複合ビル、集会施設、流通施設、工場、独身寮、集合住宅)について、電気・空調・衛生・昇降機設備のLCCO₂、LCSO_x、LCNO_x、LCC、LCE 原単位の分析を行った。建築設備の新築工事段階までの環境負荷原単位は、全規模合計値で最も小さい流通施設から最も大きい事務所まで約4倍の違いがあること、事務所及び複合ビルのCO₂排出量は、大規模になるほど大きくなっているが、その他の用途については規模による明確な傾向は読み取れないこと、建築設備の運転に伴うCO₂排出量を除く、新築工事から建て替え工事、修繕、改修工事、廃棄処分に至るライフサイクル各段階でのCO₂(LCCO₂)原単位は、建替周期と設備細目毎の更新時期の微妙なバランスが計算結果に影響しているものの、総合計としては極端な違いは見られないことなどを示している。さらに、全12建物用途・全規模・建替周期(30年、50年、100年)のデータを対象として、延床面積当たりの設備工事費(消費税別・1990年価格)とライフサイクル環境負荷原単位(ただし、設備運用段階を除く)の回帰分析を行った結果、確実度の係数 r^2 値はいずれの場合も0.93以上であり、建築設備のライフサイクル環境負荷原単位は、建物用途・建物規模・建替周期によらず、各設備工事費に比例することを示している。

また、朝吹ら¹⁹⁾は、RC建築物の躯体を再利用して再生工事を行ういわゆるリファイニング建築について、約2,800 m²の事務所ビルへのコンバージョン事例における材料製造・施工・廃棄物運搬・中間処理に伴うCO₂排出量および施工に伴う廃棄物発生量の実態調査から、積み上げ方を用いて再生した場合と新築した場合を比較した評価を行っている。本調査では、設備製造と材料・設備運搬に伴うCO₂排出量は調査対象から除かれているが、調査範囲においては、再生した場合のCO₂総排出量は新築した場合の約43%であることが示されている。

1.4 研究目的

既存建築物の省エネルギー性能の向上は、我が国全体の地球温暖化対策として重要な課題であるが、新築工事とは異なり、改修工事には経済性等がハードルとなると想定されるため、国等でも様々な支援策が講じられてきている。そのなかで、国土交通省の建築物省エネルギー改修推進事業など、中小規模の建築物でも活用しやすい制度も見られている。

既存ストックは、現状の熱的性能や省エネルギー性能に応じて、適切な改修工事を実施することが望ましいものの、竣工から長い年数を経て改修に至る段階では、途中での増設、修繕等の記録が保存されておらず、現状の建物性能や外皮・設備の仕様を確認することが難しい事例が多いことも実態である。また、既存ストックの統計情報も整備されつつあるが、統計手法に課題も含んでおり、特に、中小規模の建築物の実態は明らかになっていない。

前述の2008年に創設された国土交通省の「建築物省エネルギー改修推進事業」は、比較的に利用しやすい制度設計がなされたことから、毎年度相当数の応募がなされている。同事業は、中小規模建築物の応募が多い点、建築外皮改修を応募の条件としていることから、未だ実施例が少ない非住宅建築物の建築外皮改修について、実施例を蓄積するとの点でも意義が大きい。

本研究では、室内環境の観点でも建築外皮に高い性能が求められる中小規模の建築物に焦点をあて、建築外皮の省エネルギー改修による省エネルギー効果、温熱環境改善効果等を明らかにすることで、我が国における省エネルギー改修の促進と市場活性化に貢献することを目的とする。具体的には、まず、中小規模の非住宅建築物の応募が多い補助事業の活用事例を中心に、省エネルギー改修の実態を把握し、課題等を明らかにする。次いで、建物形状、用途、地域に応じた建築外皮の省エネルギー改修による効果を明らかにし、建物特性に応じた効果的な改修手法を選択する際の目安となるガイドの考案や省エネルギーポテンシャルの推計によって、省エネルギー改修設計や省エネルギー施策立案に役立つ資料を提供する。

1.5 論文の構成

本論文は、第1章から第7章で構成し、既存中小建築物を中心とした建築外皮等の省エネルギー改修に関する実態分析、建築外皮の省エネルギー改修に関する効果分析、我が国における建築外皮改修のポテンシャル推計に大別される。図1.5.1に本論文の構成と研究フローを示す。

なお、本研究では、建築外皮の省エネルギー改修を「屋根、外壁、窓等の熱的性能向上に関わる改修工事」と捉え、屋根の断熱改修工事、窓ガラスの複層化・高性能化工事（日射遮蔽性能向上を含む）などを対象とする。

第1章では、研究の背景とともに、我が国の省エネルギー改修に関わる諸制度の動向、既存建築物の省エネルギー性能向上に関する既往研究を概括し、研究の目的と論文の構成を示した。

第2章では、我が国における既存建築物の動向を概括するとともに、非住宅建築物の省エネルギー改修に関わる事例及び評価ツールの動向を整理し、本論文の位置づけを明らかにする。

第3章では、建築外皮の省エネルギー改修を事業要件としている補助事業を活用した採択事業者に対するアンケート調査に基づいて、省エネルギー改修への関心・意識、省エネルギー改修工事の実態を把握し、省エネルギー改修に関わる課題を抽出する。さらに、同補助事業を活用した事業者を中心としたヒアリングに基づき、省エネルギー改修工事の市場動向や課題、今後の見

通し、省エネルギー改修の実施に至るきっかけや投資判断の実態について分析する。

第4章では、数値計算によって建築外皮の省エネルギー改修効果を検証する。まず、予備検討として、大規模・小規模、縦長・横長といった建物形状の異なる建物モデルに関するシミュレーション計算に基づいて、地域、建物形状の違いによる省エネルギー改修効果を検証する。次いで、より体系的に建築外皮の省エネルギー改修効果を検証するため、簡易建物モデルを用いて、地域、階数、建物形状、建物用途といった建物特性の違いによる感度分析を実施する。これによって、省エネルギー改修効果を目安に、建物特性に応じた改修手法を選択するガイドを提案する。なお、建築外皮の省エネルギー改修は、第3章の実態と課題分析に基づき、主に屋根改修(断熱改修)、窓改修(複層化・高性能化)に焦点を当てている。また、シミュレーションツールは、The BEST Program(簡易版)を用いた。

第5章では、建築外皮の省エネルギー改修による多面的な便益評価につながる基礎研究として、既存オフィスにおける窓改修を模擬した実験実測によって、温熱環境の改善効果を検証する。

第6章では、建築外皮の省エネルギー改修の更なる促進に向けて、将来の潜在需要や省エネルギーポテンシャルを明らかにし、施策立案等に貢献する基礎資料を提供する。具体的には、既往の統計資料に基づくマクロな分析として、ストック建築の動向から、将来の床面積動向、全国及び都道府県別の建築外皮改修による省エネルギーポテンシャルを推計する。なお、省エネルギーポテンシャルの推計では、第4章のシミュレーション結果によって得られた知見を前提としている。

第7章では、本論文で得られた結果をとりまとめる。

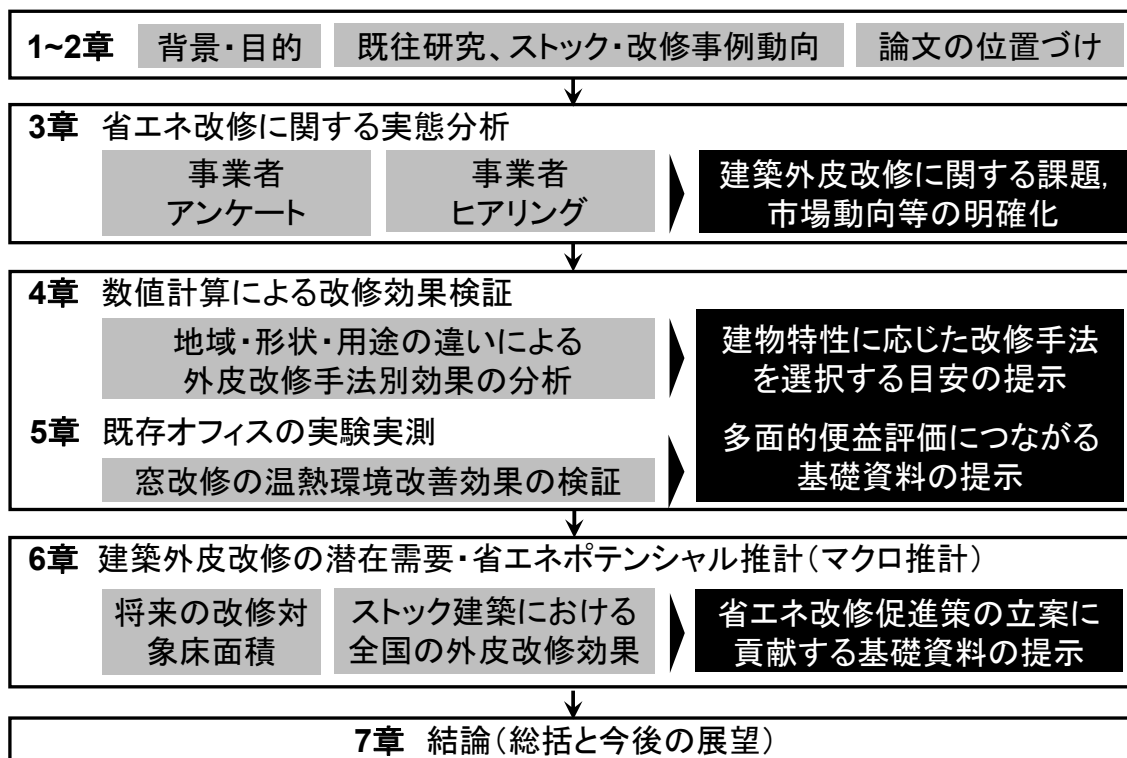


図 1.5.1 本論文の構成と研究フロー

第2章 既存建築物の 省エネルギー改修に 関わる動向

2. 既存建築物の省エネルギー改修に関わる動向

2.1 はじめに

本章では、既存建築物の省エネルギー改修に関する動向として、まず、統計資料に基づいて、我が国のストック建築物の動向を概括する。次いで、近年の省エネルギー改修事例の動向と既存建築物における建築外皮等の省エネルギー改修に関わる評価ツールの動向をレビューし、本論文の位置づけを述べる。

2.2 建築物のストック・着工動向

2.2.1 ストック建築物の概況

国の統計データに基づいて、ストック建築物の動向を概括する。非住宅用途のストック建築物に関しては、国土交通省が公表する「建築ストック統計」がほぼ唯一の統計データとなる。「建築ストック統計」は、2008 年から開始された統計調査で、毎年、公共建築と民間建築（法人等）に区分し、大まかな構造別・用途別のストック建築物の床面積が公表されている。

確報値として調査結果が公表されている最新の 2014 年現在のストック建築の概況²⁰⁾を表 2.2.1 に示す。なお、本統計では、住宅及び非住宅（法人等）は各年の 1 月 1 日時点の数値、非住宅（公共）は各年の 3 月 31 日時点の数値が公表されている。

2014 年現在におけるストック建築物の総床面積は 736,253 万㎡で、住宅が 549,587 万㎡（全体の 74.6%）、非住宅が 186,667 万㎡（全体の 25.4%）で、非住宅の大半は非住宅（法人等）である。また、非住宅（法人等）の用途別内訳では、「工場・倉庫」が 79,024 万㎡で最も大きく、非住宅の 42.3%を占める。また、事務所・店舗は 59,728 万㎡で非住宅の 32%を占める。

本統計において、非住宅（法人等）では竣工年代別の床面積も公表されている。表 2.2.2 は、非住宅（法人等）の「事務所・店舗」用途について、2014 年 1 月 1 日現在の竣工年別床面積を示したものである。

新耐震基準施行前となる 1980（昭和 55）年以前の建築物は 13,891 万㎡で全体の 23%を占める。設備等の更新時期にさしかかる築 10 年以上の建築物は全体の 81%を占め、築 15～24 年にあたる 1991 年～2000 年に竣工した建築物は 16,537 万㎡（全体の 28%）で最も多くなっている。

また、前述のとおり、省エネルギー法では、2003（平成 15）年に省エネルギー措置の届出の義務化がなされた。この届出義務化以降に竣工した建築物の床面積は全体の 22%であり、省エネルギーの推進には、既存ストック建築物の対策が重要であることがわかる。

表 2.2.1 我が国のストック建築物の概況

			床面積 (万㎡)	全体 割合(%)	非住宅 割合(%)	備考
住宅	一戸建・長屋建		393,188	53.4	—	2014(平成26).1.1現在
	共同住宅		154,956	21.0	—	
	その他		1,442	0.2	—	
	計		549,587	74.6	—	
非住宅	公共	事務所	2,499	0.3	1.3	2014(平成26).3.31現在
		医療施設	56	0.0	0.0	
		教育施設	64	0.0	0.0	
		その他	1,004	0.1	0.5	
		小計	3,623	0.5	1.9	
	法人等	事務所・店舗	59,728	8.1	32.0	2014(平成26).1.1現在
		工場・倉庫	79,024	10.7	42.3	
		その他	44,291	6.0	23.7	
		小計	183,044	24.9	98.1	
	計		186,667	25.4	100.0	
合計		736,253	100.0	—		

出典:国土交通省「建築ストック統計」(2014年確報値、2015年暫定値)から作成

表 2.2.2 事務所・店舗の竣工年別床面積(非住宅・法人等、2014年1月1日現在)

竣工年	床面積 (万㎡)	割合 (%)	備考 (2015年基準築年数)
1980(S55)年以前	13,891	23.4	築35年以上
1981(S56)年～1990(H2)年	12,153	20.4	築25-34年
1991(H3)年～2000(H12)年	16,537	27.8	築15-24年
2001(H13)年～2005(H17)年	5,891	9.9	築10-14年
2006(H18)年～2010(H22)年	6,373	10.7	築5-9年
2011(H23)年～	3,044	5.1	築5年未満
不詳	1,550	2.6	
合計	59,440	100.0	
(内数:2003(H15)年以降)	13,050	22.0	

出典:国土交通省「建築ストック統計」(2014年確報値)から作成

2.2.2 着工建築物の概況

国の「建築着工統計(年計)」²¹⁾における統計データに基づいて、着工建築物における床面積等の概況を整理する。

過去10年間の着工建築物について、建物用途別の棟数及び床面積の推移を図2.2.1に示す。なお、建物用途の区分は表2.2.3に示すように、「建築着工統計」における用途区分(大分類)を「事務所、店舗、病院、その他」の4区分に整理して集計している。

建築着工は、2006年から2009年まで大きく減少しているが、2009年以降は、横ばいからやや増加傾向にある。事務所、店舗、病院、その他の用途の合計で、近年の着工棟数は8万～9万棟、着工床面積は5千万～5.6千万㎡で推移している。また、「その他」として区分した生産系建物は概ね30%前後を占め、「事務所、店舗、病院」の用途が概ね60%前後の割合となっている。

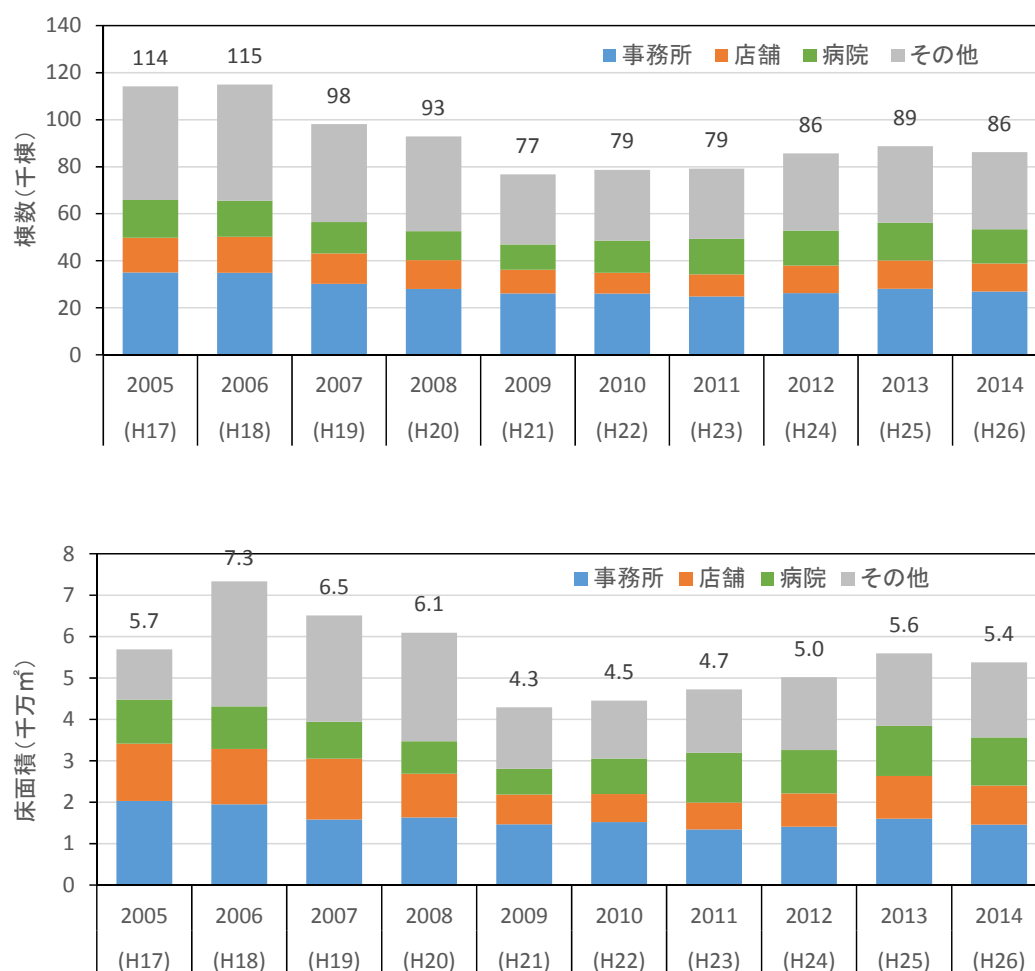


図 2.2.1 着工建築物の棟数・床面積の推移（年次別、住宅系用途を除く）

出典：国土交通省「建築着工統計」（年次計）から作成

表 2.2.3 着工建築物の用途区分

建築着工統計における用途区分(大分類)	本論文における用途区分
A. 居住専用住宅	住宅系
B. 居住専用準住宅	住宅系
C. 居住産業併用建築物	住宅系
D. 農林水産業用建築物	その他
E. 鉱業、採石業、砂利採取業、建設業用建築物	その他
F. 製造業用建築物	その他
G. 電気・ガス・熱供給・水道業用建築物	その他
H. 情報通信業用建築物	その他
I. 運輸業用建築物	その他
J. 卸売業、小売業用建築物	店舗
K. 金融業、保険業用建築物	事務所
L. 不動産業用建築物	事務所
M. 宿泊業、飲食サービス業用建築物	病院
N. 教育、学習支援業用建築物	事務所
O. 医療、福祉用建築物	病院
P. その他のサービス業用建築物	事務所
Q. 公務用建築物	事務所
R. 他に分類されない建築物	その他

「建築着工統計(年計)」に基づき、非住宅用途のうち、「事務所、店舗、病院」の3用途を対象として、地上階数別の着工棟数、着工床面積データが得られた2011～2014年の概況を図2.2.2～2.2.3に示す。1～2階建は、棟数では約90%を、床面積では約50%を占め、全体として低層建築物が多いことがわかる。

また、図2.2.4～2.2.5は、2011～2014年の4年間の平均値として、都道府県ごとに、地上階数別の着工棟数、着工床面積の分布を示したものである。着工棟数は、東京、愛知、大阪、北海道の順に多く、東京、大阪などでは、3階建以上の割合が高い。着工床面積は、東京が圧倒的に多く、大阪、愛知、神奈川、埼玉、福岡、北海道、千葉が100万㎡を超える。地上階数別の着工床面積割合では、東京のみ10階建以上の割合が高いことがわかる。埼玉、千葉、神奈川、大阪、兵庫では1～2階建の割合は、全国平均よりも低い、その他の都市では、1～2階建の割合も高く、青森、茨城など、1～2階建が全体の80%弱を占める都道府県も見られる。これらのデータから、地方都市において省エネルギー対策を考える際には、低層建物の役割が大きいと言え。また、全国での省エネルギー対策では大都市の低層建物も無視できないと言える。

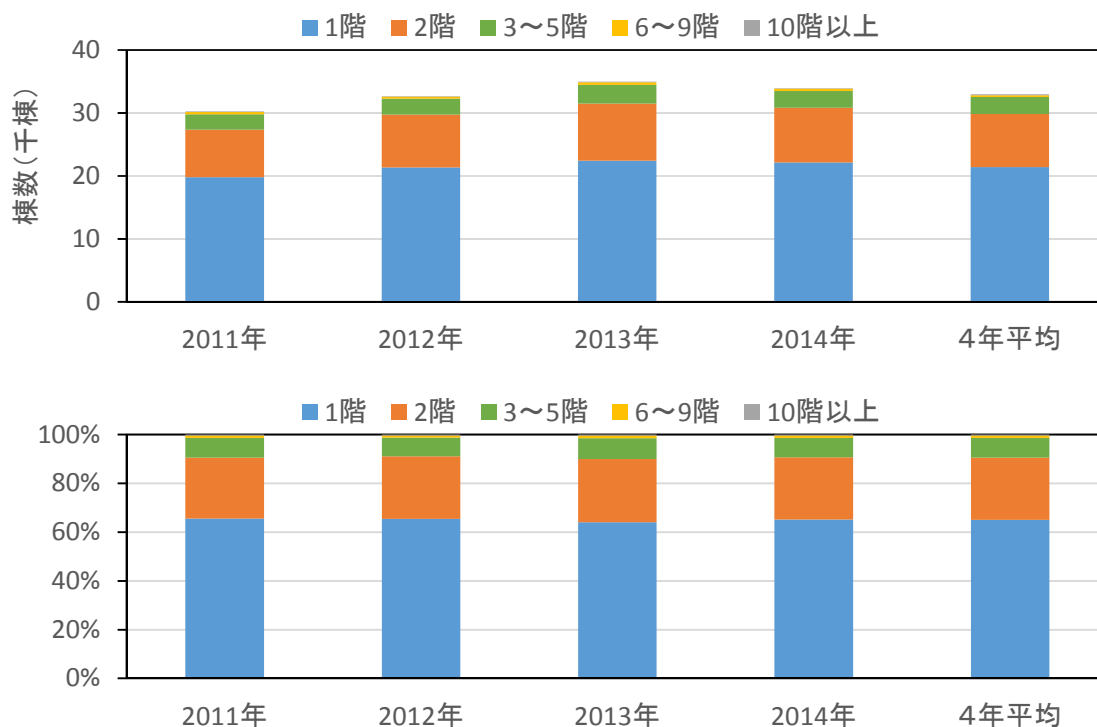


図 2.2.2 地上階数別の着工棟数と棟数割合（年計、全国、事務所・店舗・病院合計）

出典:国土交通省「建築着工統計」(年計)から作成

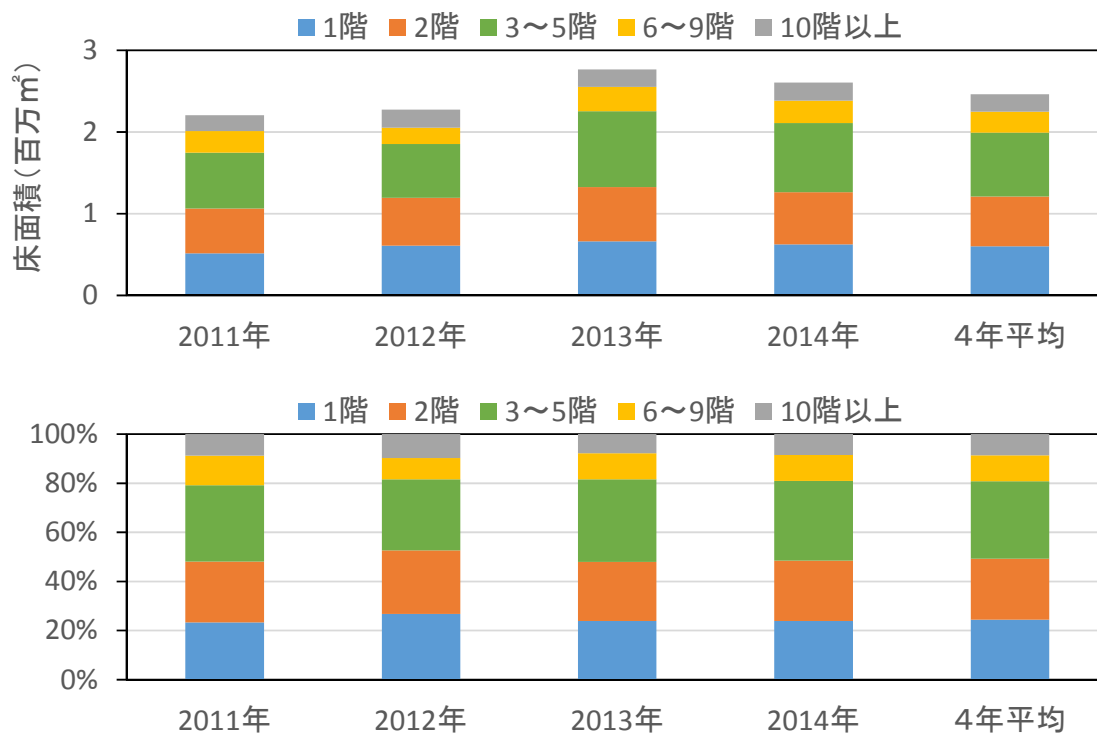


図 2.2.3 地上階数別の着工床面積と床面積割合（年計、全国、事務所・店舗・病院合計）

出典:国土交通省「建築着工統計」(年計)から作成

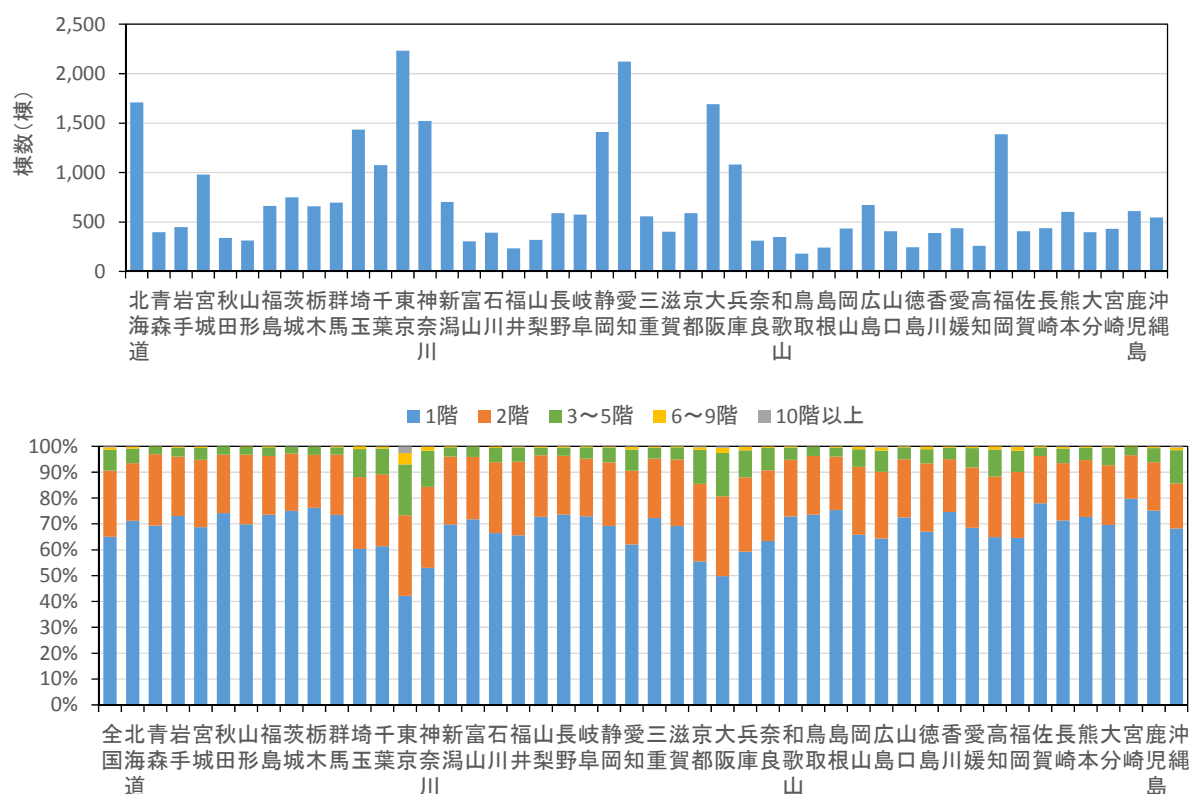


図 2.2.4 都道府県別着工棟数と地上階数別割合（4年平均、事務所・店舗・病院合計）

出典:国土交通省「建築着工統計」(年計)から作成

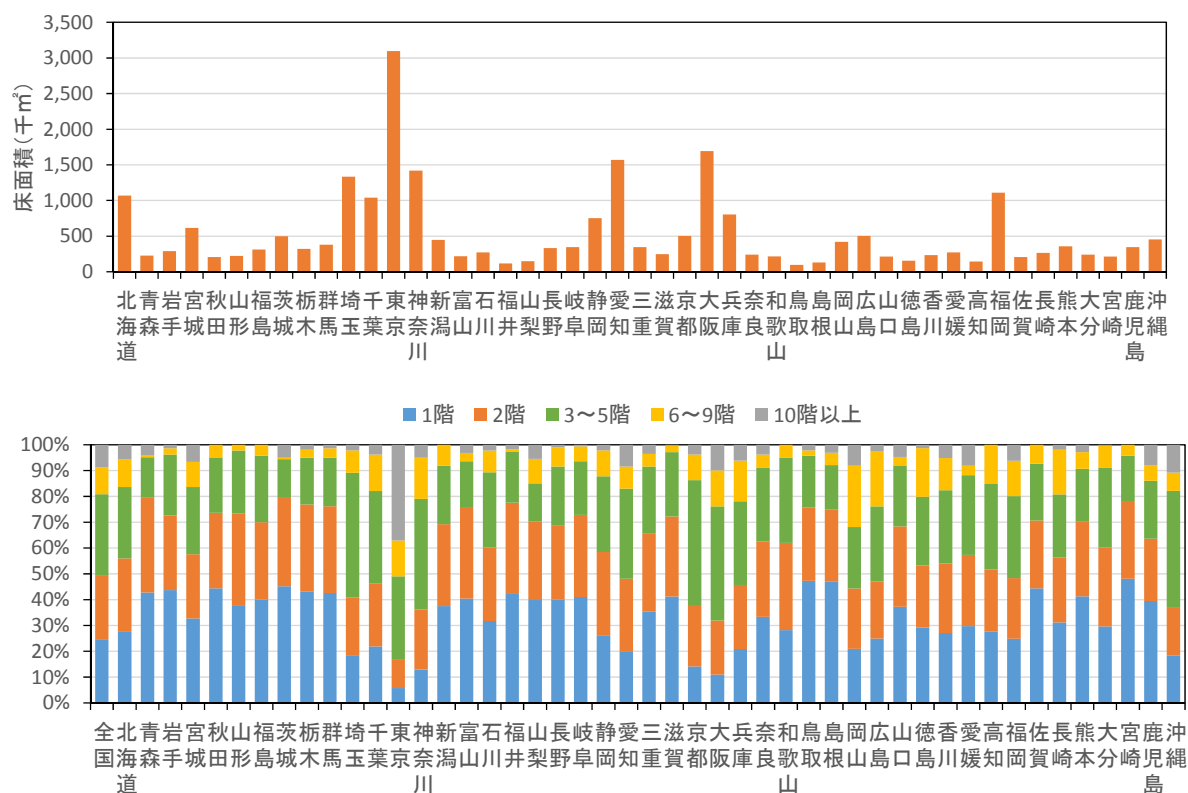


図 2.2.5 都道府県別着工床面積と地上階数別割合（4年平均、事務所・店舗・病院合計）

出典:国土交通省「建築着工統計」(年計)から作成

表 2.2.4 着工建築物の棟数・床面積の推移（建築着工統計による）

(棟)										
	2005 (H17)	2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)	2014 (H26)
事務所	34,976	34,921	30,186	27,979	26,096	26,013	24,843	26,213	28,111	26,915
店舗	14,763	15,244	12,905	12,226	10,059	8,895	9,427	11,743	11,979	11,892
病院	16,145	15,335	13,386	12,385	10,730	13,632	15,016	14,885	16,154	14,520
その他	48,290	49,462	41,599	40,283	29,858	30,132	29,883	32,859	32,452	32,860
合計	114,174	114,962	98,076	92,873	76,743	78,672	79,169	85,700	88,696	86,187

(万㎡)										
	2005 (H17)	2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)	2014 (H26)
事務所	2,035	1,955	1,587	1,637	1,466	1,524	1,342	1,410	1,606	1,460
店舗	1,384	1,332	1,466	1,051	723	679	653	805	1,030	945
病院	1,061	1,034	892	785	620	855	1,196	1,045	1,211	1,161
その他	1,210	3,014	2,566	2,623	1,485	1,394	1,534	1,759	1,748	1,816
合計	5,690	7,335	6,511	6,096	4,295	4,452	4,725	5,018	5,595	5,382

表 2.2.5 階数別着工棟数・床面積と構成割合（事務所・店舗・病院、建築着工統計による）

		1階	2階	3～5階	6～9階	10階以上	合計
棟数 (棟)	2011年	19,800	7,565	2,447	303	104	30,219
	2012年	21,375	8,380	2,527	283	110	32,675
	2013年	22,406	9,084	2,992	380	120	34,982
	2014年	22,136	8,680	2,663	345	127	33,951
	4年平均	21,429	8,427	2,657	328	115	32,956
割合 (%)	2011年	66	25	8	1	0	100
	2012年	65	26	8	1	0	100
	2013年	64	26	9	1	0	100
	2014年	65	26	8	1	0	100
	4年平均	65	26	8	1	0	100

		1階	2階	3～5階	6～9階	10階以上	合計
床面積 (万㎡)	2011年	513	548	685	264	194	2,204
	2012年	609	587	658	196	222	2,272
	2013年	661	665	929	297	213	2,765
	2014年	622	641	845	274	222	2,604
	4年平均	601	610	779	258	213	2,461
割合 (%)	2011年	23	25	31	12	9	100
	2012年	27	26	29	9	10	100
	2013年	24	24	34	11	8	100
	2014年	24	25	32	11	9	100
	4年平均	24	25	32	10	9	100

表 2.2.6 都道府県別の着工棟数（事務所・店舗・病院、4年平均、建築着工統計による）

	(棟)					
	1階	2階	3～5階	6～9階	10階以上	合計
全国	21,429	8,427	2,657	328	115	32,957
北海道	1,218	381	95	13	3	1,709
青森	276	110	12	0	0	398
岩手	328	104	15	2	1	450
宮城	673	255	45	5	1	980
秋田	253	77	11	0	0	341
山形	220	85	9	1	0	314
福島	488	151	23	2	0	663
茨城	562	167	19	1	1	750
栃木	504	135	20	1	1	660
群馬	513	162	20	2	1	698
埼玉	865	399	155	14	1	1,434
千葉	661	300	106	8	3	1,077
東京	943	695	441	97	59	2,234
神奈川	807	477	213	23	3	1,522
新潟	492	185	26	3	0	704
富山	219	74	12	1	0	305
石川	261	108	22	2	1	393
福井	154	67	13	1	1	235
山梨	233	76	9	1	1	319
長野	436	134	19	3	0	592
岐阜	420	128	25	2	0	575
静岡	978	345	81	6	1	1,411
愛知	1,316	606	174	20	6	2,122
三重	403	128	23	2	1	557
滋賀	278	103	19	1	0	401
京都	328	178	78	6	2	591
大阪	844	523	284	33	10	1,693
兵庫	642	311	112	15	3	1,082
奈良	197	85	27	2	0	311
和歌山	254	76	17	2	0	349
鳥取	134	41	6	0	0	182
島根	183	50	9	1	1	243
岡山	287	114	30	4	1	436
広島	433	173	55	9	2	672
山口	295	91	19	1	0	407
徳島	164	64	14	3	0	244
香川	290	80	17	2	1	389
愛媛	299	102	33	2	1	437
高知	169	61	27	3	0	260
福岡	897	353	115	19	4	1,388
佐賀	317	75	13	2	0	406
長崎	312	97	24	3	1	437
熊本	439	133	29	3	1	605
大分	277	92	28	2	0	398
宮崎	344	73	14	1	0	431
鹿児島	460	114	33	3	1	611
沖縄	373	95	71	6	3	547

表 2.2.7 都道府県別の着工棟数割合（事務所・店舗・病院、4年平均、建築着工統計による）

	（％）					
	1階	2階	3～5階	6～9階	10階以上	合計
全国	65	26	8	1	0	100
北海道	71	22	6	1	0	100
青森	69	28	3	0	0	100
岩手	73	23	3	0	0	100
宮城	69	26	5	1	0	100
秋田	74	23	3	0	0	100
山形	70	27	3	0	0	100
福島	74	23	3	0	0	100
茨城	75	22	3	0	0	100
栃木	76	20	3	0	0	100
群馬	74	23	3	0	0	100
埼玉	60	28	11	1	0	100
千葉	61	28	10	1	0	100
東京	42	31	20	4	3	100
神奈川	53	31	14	1	0	100
新潟	70	26	4	0	0	100
富山	72	24	4	0	0	100
石川	66	27	5	1	0	100
福井	66	28	6	0	0	100
山梨	73	24	3	0	0	100
長野	74	23	3	0	0	100
岐阜	73	22	4	0	0	100
静岡	69	24	6	0	0	100
愛知	62	29	8	1	0	100
三重	72	23	4	0	0	100
滋賀	69	26	5	0	0	100
京都	55	30	13	1	0	100
大阪	50	31	17	2	1	100
兵庫	59	29	10	1	0	100
奈良	63	27	9	1	0	100
和歌山	73	22	5	0	0	100
鳥取	74	23	3	0	0	100
島根	75	21	4	0	0	100
岡山	66	26	7	1	0	100
広島	64	26	8	1	0	100
山口	73	22	5	0	0	100
徳島	67	26	6	1	0	100
香川	75	20	4	0	0	100
愛媛	68	23	8	1	0	100
高知	65	24	10	1	0	100
福岡	65	25	8	1	0	100
佐賀	78	18	3	0	0	100
長崎	71	22	6	1	0	100
熊本	73	22	5	0	0	100
大分	70	23	7	0	0	100
宮崎	80	17	3	0	0	100
鹿児島	75	19	5	1	0	100
沖縄	68	17	13	1	1	100

表 2.2.8 都道府県別の着工床面積（事務所・店舗・病院、4年平均、建築着工統計による）

	(千㎡)					
	1階	2階	3～5階	6～9階	10階以上	合計
全国	6,012	6,101	7,794	2,578	2,129	24,614
北海道	294	303	295	114	61	1,067
青森	98	84	36	2	9	229
岩手	126	83	68	7	4	288
宮城	202	153	160	60	41	616
秋田	91	60	44	10	0	205
山形	84	79	54	5	0	222
福島	124	93	80	13	0	310
茨城	226	171	75	3	25	500
栃木	138	108	58	10	6	320
群馬	161	127	71	14	5	378
埼玉	243	301	645	116	29	1,334
千葉	228	253	373	147	39	1,040
東京	178	349	993	429	1,149	3,098
神奈川	184	330	609	226	71	1,420
新潟	167	141	101	36	0	445
富山	89	78	39	7	7	220
石川	86	77	79	23	6	271
福井	49	41	23	1	2	116
山梨	59	45	22	14	8	148
長野	133	95	76	25	3	332
岐阜	142	110	72	20	2	346
静岡	197	242	220	76	16	751
愛知	310	445	548	134	132	1,569
三重	122	104	90	17	12	345
滋賀	101	76	61	6	1	245
京都	71	118	245	50	19	503
大阪	186	355	749	237	167	1,694
兵庫	168	200	261	127	49	805
奈良	80	70	69	12	9	240
和歌山	61	73	71	11	0	216
鳥取	45	27	19	2	2	95
島根	60	36	22	6	4	128
岡山	88	98	100	100	34	420
広島	125	111	146	108	12	502
山口	79	66	50	7	10	212
徳島	45	37	41	29	2	154
香川	63	63	66	29	12	233
愛媛	81	75	84	10	22	272
高知	40	35	48	22	0	145
福岡	275	261	352	152	69	1,109
佐賀	91	54	45	15	0	205
長崎	83	67	65	46	5	266
熊本	147	103	73	23	10	356
大分	71	73	74	20	1	239
宮崎	102	63	38	9	0	212
鹿児島	136	83	77	21	27	344
沖縄	83	84	206	32	49	454

表 2.2.9 都道府県別の着工床面積割合（事務所・店舗・病院、4年平均、建築着工統計による）

	(%)					
	1階	2階	3～5階	6～9階	10階以上	合計
全国	24	25	32	10	9	100
北海道	28	28	28	11	6	100
青森	43	37	16	1	4	100
岩手	44	29	24	2	1	100
宮城	33	25	26	10	7	100
秋田	44	29	21	5	0	100
山形	38	36	24	2	0	100
福島	40	30	26	4	0	100
茨城	45	34	15	1	5	100
栃木	43	34	18	3	2	100
群馬	43	34	19	4	1	100
埼玉	18	23	48	9	2	100
千葉	22	24	36	14	4	100
東京	6	11	32	14	37	100
神奈川	13	23	43	16	5	100
新潟	38	32	23	8	0	100
富山	40	35	18	3	3	100
石川	32	28	29	8	2	100
福井	42	35	20	1	2	100
山梨	40	30	15	9	5	100
長野	40	29	23	8	1	100
岐阜	41	32	21	6	1	100
静岡	26	32	29	10	2	100
愛知	20	28	35	9	8	100
三重	35	30	26	5	3	100
滋賀	41	31	25	2	0	100
京都	14	23	49	10	4	100
大阪	11	21	44	14	10	100
兵庫	21	25	32	16	6	100
奈良	33	29	29	5	4	100
和歌山	28	34	33	5	0	100
鳥取	47	28	20	2	2	100
島根	47	28	17	5	3	100
岡山	21	23	24	24	8	100
広島	25	22	29	22	2	100
山口	37	31	24	3	5	100
徳島	29	24	27	19	1	100
香川	27	27	28	12	5	100
愛媛	30	28	31	4	8	100
高知	28	24	33	15	0	100
福岡	25	24	32	14	6	100
佐賀	44	26	22	7	0	100
長崎	31	25	24	17	2	100
熊本	41	29	21	6	3	100
大分	30	31	31	8	0	100
宮崎	48	30	18	4	0	100
鹿児島	40	24	22	6	8	100
沖縄	18	19	45	7	11	100

2.3 省エネルギー改修事例の動向

2.3.1 住宅・建築物省 CO₂ 先導事業における省エネルギー改修事例

本事業は、民間事業者の省 CO₂ の実現性に優れたリーディングプロジェクトを支援する国土交通省の補助事業で、2008 年度から 2014 年度までの 7 年間で約 190 件のプロジェクトが採択されている。本事業では、新築の他、改修プロジェクトも対象となっており、非住宅建築物では 12 件が採択されている。表 2.3.1 は、改修事例 12 件の概要をまとめたものである。

改修事例は、ESCO やエネルギーサービスを利用して設備改修を中心に行っているもの、コミッショニング技術を活用して改修診断から熱源改修までを実施するもの、建築外皮と設備を総合的に改修するものなど多様である。その中で、建築外皮改修としては、事務所ビルにおいて他ビルへの展開を目指すプロトタイプとして外壁(内断熱)改修を進めるもの、耐震補強部に増設した床面を底として活用するものなども見られるが、その他の多くは窓改修(複層ガラス交換等)である。

表 2.3.1 住宅・建築物省 CO₂ 先導事業における省エネルギー改修事例の動向

NO	用途	所在地	延べ面積	プロジェクト概要	建築外皮改修概要
1	大学	八王子市	164,062㎡	キャンパス内のエネルギーセンターの熱源改修	なし
2	物販店	横浜市	19,529㎡	物販店の熱源設備改修	なし
3	事務所	名古屋市	30,030㎡	複数建物を所有する不動産会社のテナントオフィスビルのパイロット事業	窓改修(日射調整フィルム)
4	ホテル	長岡市	10,195㎡	ホテルにおける躯体・設備の総合的な省エネ改修	窓改修(複層ガラス交換)
5	病院	大阪市	17,096㎡	病院再生とあわせたファンド利用による設備中心の省エネ改修	窓改修(複層ガラス交換、日射調整フィルム)
6	大学	名古屋市	117,843㎡	キャンパス内のエネルギーセンターの熱源改修	なし
7	福祉施設	東京都全域	(施設ごと)	中小規模福祉施設の集団的な省エネルギー改修	窓改修(複層ガラス交換、二重サッシ化等)
8	事務所	大阪市	5,989㎡	中小規模事務所の躯体・設備の総合的改修、温冷感空調制御など	窓改修(複層ガラス交換)
9	事務所	札幌市	6,311㎡	寒冷地の中小規模事務所の躯体・設備の総合的改修	窓改修(複層ガラス交換)
10	事務所	東京都港区	3,421㎡	複数建物を所有する不動産会社のテナントオフィスビルのパイロット事業	外壁改修(内断熱)、窓改修(高性能化)
11	事務所	広島市	11,585㎡	テナントオフィスビルの耐震補強とあわせた底等のファサード改修	屋根庇、壁面庇
12	複合用途	京都市	235,942㎡	大規模駅ビルのコミッショニング技術を活用した熱源・空調改修	なし

注) 国立研究開発法人建築研究所「住宅・建築物省 CO₂ 先導事業 HP」²³⁾を参考に作成

2.3.2 住宅・建築物省エネ改修推進事業における省エネルギー改修事例

本事業は、民間事業者の省エネルギー改修を支援し、省エネルギーの推進と関連投資の活性化を図ることを目的とした国土交通省の補助事業である。同事業は、事業内容や名称を一部変更しながら、2008年度から2014年度までの7年間にわたって継続的に事業が実施されてきた。

非住宅建築物については、2009年度から、建築外皮の省エネルギー改修が補助事業の必須要件となり、屋根改修(屋根面及び最上階天井裏)、外壁改修(外断熱等)、開口部改修(複層ガラス交換、日射調整フィルム等)が実施されている。本事業は、補助限度額が5,000万円とされていることから、中小規模の建築物での応募が多いことなどが特徴である²⁴⁾。また、表2.3.2に示すとおり、各年度に相当数の事業が採択され、一定数の建築物で建築外皮の改修工事が実施されている。なお、本事業は、2008～2010年度、2012～2013年度には、住宅と建築物を対象としているが、その他は建築物のみが補助対象となっている。

表 2.3.2 住宅・建築物省エネ改修推進事業における応募・採択件数(表は概数)

年度・回		非住宅		住宅	
		応募	採択	応募	採択
2008(平成20)		約1,810	約480	約180	約110
2009(平成21)	第1回	約120	約110	約210	約200
	第2回	約220	約200	約300	約280
2010(平成22)	第1回	約520	約480		
	第2回	約840	約230		
	緊急支援	約590	約370		
2011(平成23)		約460	約300		
2012(平成24)	第1回	約370	約290		
	第2回	約190	約180		
	緊急支援	約240	約220	約640	約570
2013(平成25)		約220	約190	約640	約540
2014(平成26)	第1回	約240	約190		
	第2回	約65	約60		

注)既存建築物省エネ化推進事業評価事務局「既存建築物省エネ化推進事業 HP 参考資料」²⁴⁾から作成
同ホームページは、上表に示すように、概数としての件数のみ公表されている。

本事業の2009～2011年度の応募建築物の概況を分析したものが図2.3.1～2.3.3である²⁵⁾。

図2.3.1は各年度に応募建築物について、延床面積別の割合を示したものである。1,000㎡未満の小規模建築物が最も多く応募されており、延床面積が大きくなるにつれて応募数は少なくなっている。これは、本事業では補助限度額が設けられており、実施する改修工事に対して最大限に補助金を活用しようとする改修工事費用に制約が生じ、中小規模建築物が応募の対象になっているものと考えられる。また、補助額は改修工事費用に対して一定の割合にとどまると考えられる大規模建築物の応募も継続的になされている。

図2.3.2は、応募建築物の建物用途別の割合を示したものである。事務所が最も多く、次いで病院、物販店が多い。また、この3用途以外にも幅広い用途の建築物の応募が見られ、幅広い建築物において省エネルギー改修に対するニーズがあることがうかがえる。

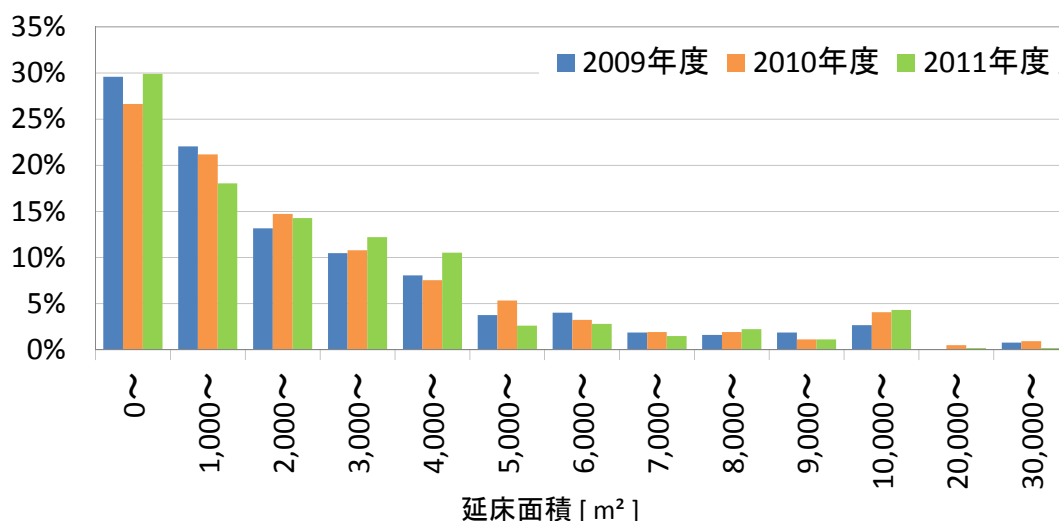


図 2.3.1 各年度の延床面積別応募建築物の割合

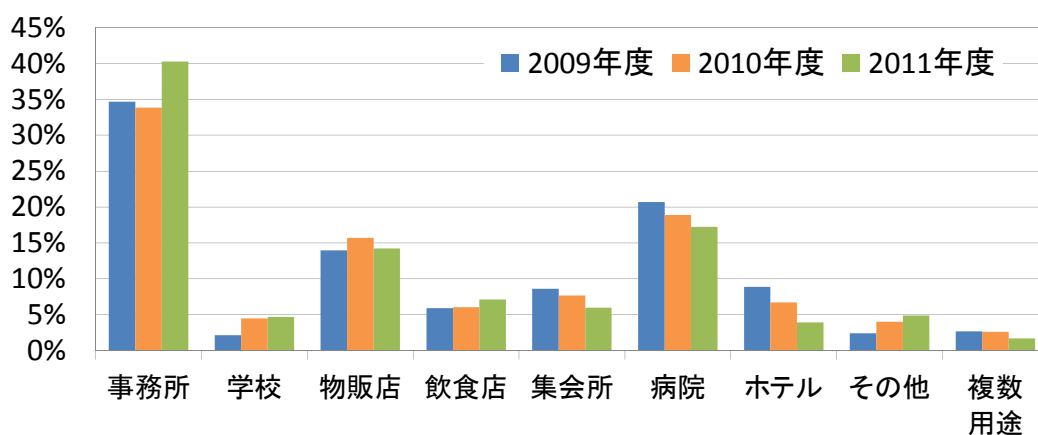


図 2.3.2 各年度の用途別応募建築物の割合

図 2.3.3 は、縦軸に階数、横軸に 1 フロア当たりの平均床面積を示したもので、応募建築物の形状について、用途別に分布を比較したものである。

応募が最も多い用途である事務所は、階数は多様であるが、他の用途に比べて、高層で 1 フロア当たりの床面積は比較的小さく、いわゆる縦長の形状である事例が多い。他の用途でも、学校（大学、各種学校を含む）、ホテル、複合用途などが同様の傾向となっている。

一方、物販店は 1 階～2 階建の低層建物が多く見られ、1 フロア当たりの床面積は小さいものから大きなものまで幅広く分布する。飲食店でも 1～2 階建の事例も多く見られる。これらには、いわゆるロードサイト型店舗にあたり、多様な業種の店舗が応募されている。

このように、建物用途によって、ある程度建物形状の違いが見られ、外部環境の影響を受けやすいより部位が異なってくる。そのため、適切な省エネルギー改修を推進するには、建物用途や建物形状に応じた適切な部位の選択も必要となってくる。

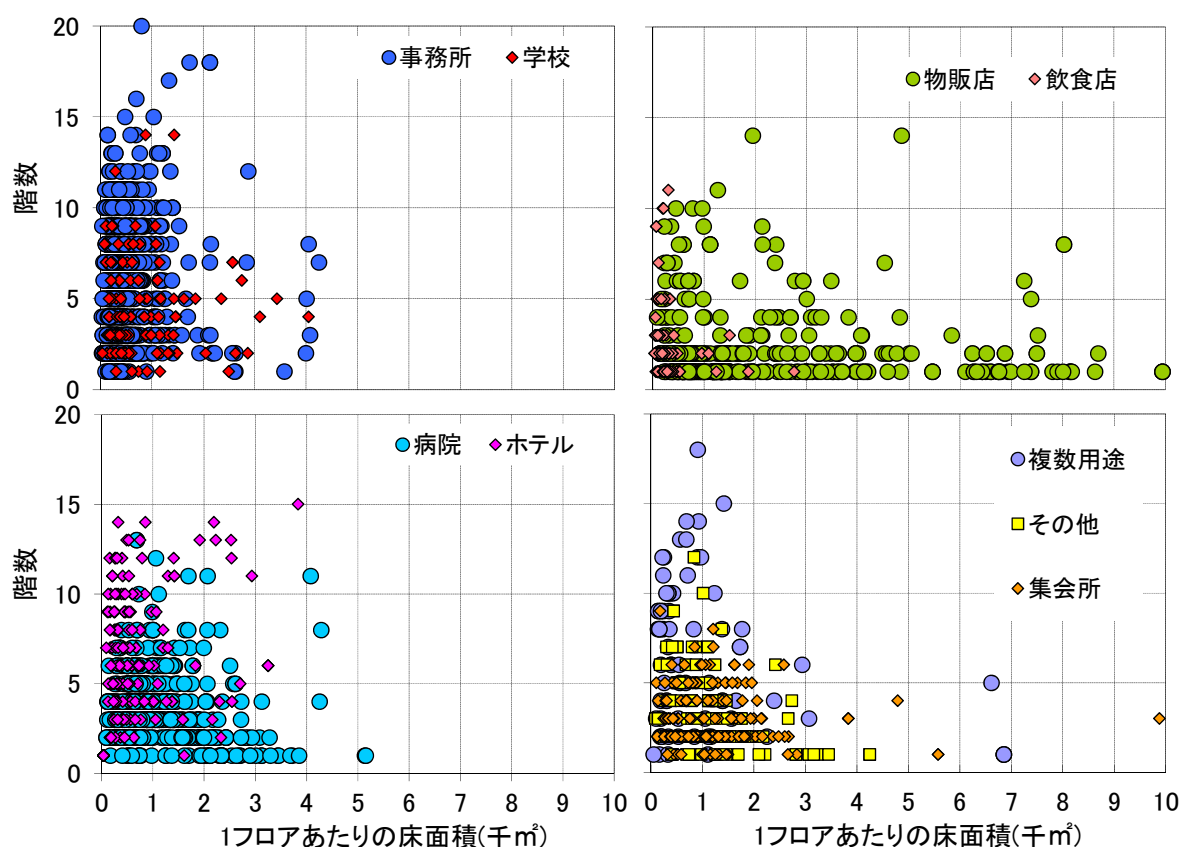


図 2.3.3 応募建築物の用途別の建物形状

2.4 建築外皮の省エネルギー改修に関わる評価ツールの動向

2.4.1 省エネルギー基準

我が国の省エネルギー基準では、長らく建築物の断熱性能を評価する指標として年間熱負荷係数(以下、「PAL」とする)が活用されてきた。PALは、建物のペリメータゾーン(壁面から5mの範囲と最上階)における年間熱負荷を示すもので、建物用途ごとに基準値が定められている。第1章で示したとおり、PALは事務所に対する努力義務の指標として制定された後、用途が拡大され、現在は省エネルギー措置の届出が義務化されている。PALは、拡張デグリデー法によって計算される。拡張デグリデー法では、相当内外温度差の概念を用いて整備された地点毎の拡張デグリデー表と外皮の断熱仕様からペリメータ部の年間熱負荷が計算できる。また、PALでは、規模補正係数として、規模及び階数が小さくなればなるほどペリメータ部分の床面積あたりの熱負荷が大きくなるとの特性を踏まえた補正方法が用意されている。

また、中小規模の建築物に対しては、簡易に外皮の熱性能を評価する方法として、ポイント法及び簡易なポイント法が用意されている。これは、性能規定であるPALに対し、仕様規定と呼ばれ、建物形状や断熱材の厚さなどに応じた得点が定められたものである。表2.4.1にポイント法における断熱性能評価に関わる部分の抜粋を示す。

これらの省エネルギー基準における評価方法は、基本的には基準値との適合状況を判断するものであるが、省エネルギー改修における一つの目標ともなり得る。ただし、いずれも建物全体の熱性能を評価する指標であるため、段階的に改修を行う場合の評価にはなじまない。そのため、省エネルギー基準のPAL及びポイント法における計算では、段階的な改修に対応するため、将来的な省エネルギー効果を推定して評価を行う方法(将来PAL、将来ポイントを求める方法)も定められている。

さらに、2013年の省エネルギー基準改正では、一次エネルギー消費量に関する計算法が提示されるとともに、用途別のモデル建物に各仕様を入力して、PAL*及び一次エネルギー消費量を計算する方法も開発されている。これらは、改修前後の仕様を入力することで、その差分として省エネルギー効果を算出することも可能である。ただし、モデル建物法と呼ばれる簡易な評価方法においても建物全体の熱損失係数の計算が必要であり、部分的な改修の評価は難しい。

なお、2015年現在、省エネルギー法に基づく届出は、新築は2013年改正後の指標で行うことが必要だが、大規模修繕(改修)については、当分の間、従前の例によることが出来るとされており、改修時の評価ではPAL等が活用できる。

表 2.4.1 省エネルギー基準（ポイント法）の評価項目と配点（一般地域）

	項目	措置状況	配点
(1) 建築物の配置計画及び平面計画	建築物の主方位	南又は北(アスペクト比が3/4未満のもの)	6
		東又は西(アスペクト比が3/4未満のもの)	0
		上記に掲げるもの以外	3
	建築物の形状	アスペクト比が3/4以上(ダブルコアのもの)	8
		アスペクト比が3/4以上(ダブルコアのものを除く。)	5
		アスペクト比が3/8以上3/4未満	4
		アスペクト比が3/8未満(ダブルコアのもの)	3
		アスペクト比が3/8未満(ダブルコアのものを除く。)	0
	コアの配置	ダブルコア	12
		建築物の1つの側面にのみコアを配置	6
		上記に掲げるもの以外	0
	建築物の平均階高	3.5m未満	4
		3.5m以上4.5m未満	2
		4.5m以上	0
(2) 外壁及び屋根の断熱性能	外壁	厚さが20mm以上の吹付け硬質ウレタンフォーム断熱材を使用	30
		厚さが15mm以上20mm未満の吹付け硬質ウレタンフォーム断熱材を使用	15
		上記に掲げるもの以外	0
	屋根	厚さが50mm以上のポリスチレンフォーム板を使用又は屋根の面積の40%以上にあたる屋上の部分に緑化施設を整備	20
		厚さが25mm以上50mm未満のポリスチレンフォーム板を使用	10
		上記に掲げるもの以外	0
(3) 窓の断熱性能	総合窓熱貫流率が0.75未満		30
	総合窓熱貫流率が0.75以上1.00未満		25
	総合窓熱貫流率が1.00以上1.25未満		20
	総合窓熱貫流率が1.25以上1.50未満		15
	総合窓熱貫流率が1.50以上2.00未満		10
	総合窓熱貫流率が2.00以上2.50未満		5
	総合窓熱貫流率が2.50以上		0
(4) 窓の日射遮蔽性能	総合窓日射侵入率が0.05未満		90
	総合窓日射侵入率が0.05以上0.10未満		75
	総合窓日射侵入率が0.10以上0.15未満		60
	総合窓日射侵入率が0.15以上0.20未満		45
	総合窓日射侵入率が0.20以上0.25未満		30
	総合窓日射侵入率が0.25以上0.30未満		15
	総合窓日射侵入率が0.30以上		0

出典：財団法人建築環境・省エネルギー機構，建築物の省エネルギー基準と計算の手引き（ポイント法），
2009年10月から作成

2.4.2 CASBEE-改修

建築物の総合的な環境評価ツールである「CASBEE(建築環境総合性能評価システム)」は、建物の環境性能を「環境品質」と「環境負荷の低減性」に区分し、その比率で表される「環境効率」によって、建築物の総合的な環境性能を格付けする手法である。CASBEEには建築物を対象としたツールだけでも、新築、既存、改修があり、その他の用途として住宅や街区、都市等の評価ツールも整備されている。

CASBEE-改修²⁸⁾は、建物の運用段階にある既存建築物の改修後の環境性能を評価するツールである。CASBEE-改修は、他の建築系のCASBEEと同様に、「Q:環境品質」と「LR:環境負荷の低減性」に関わる多様な項目にて評価を行うことになる。また、改修を行わない部分については、CASBEE-既存で評価することが定められており、部分的な改修の評価にも対応可能である。

また、省エネルギー改修に特化した部分評価を行うツールも整備されている。省エネルギー改修において断熱性能が向上すると、省エネルギーだけではなく室内温熱環境の改善にも貢献することが期待され、CASBEE-改修では、省エネルギー性の向上と室内環境改善を同時に評価できる指標による評価が可能となっている。

【省エネルギー改修の環境性能効率 BEE_{ES} と省エネルギー改修の環境性能効率向上 ΔBEE_{ES} 】

$$BEE_{ES} = Q_{ES} / L_{ES}$$

$$\Delta BEE_{ES} = BEE_{ES \text{ 改修後}} - BEE_{ES \text{ 改修前}}$$

ここで、 $Q_{ES} = 25 \times (SQ1 - 1)$ ($SQ1: Q1$ 室内環境スコア),

$$L_{ES} = 25 \times (5 - SLR1) \quad (SLR1: LR1 \text{ エネルギーのスコア})$$

なお、CASBEEにおける省エネルギー性能に関わる項目の評価は、前述の省エネルギー基準におけるPAL等の計算結果に基づいており、CASBEE-改修の評価にあたっても、PAL等の計算が行われていることが前提となる。

2.4.3 The BEST Program

The BEST Program (BEST: Building Energy Simulation Tool)^{29)~32)}は、官民学が連携し、建築・空調設備から、照明、給湯、昇降機等の設備も含む建築物の総合的なエネルギーシミュレーションプログラムとして開発されたものである。

その特徴は、第一に、空調・電気・衛生の総合エネルギー解析を目指し、建築と種々の設備間の相互干渉を重視している点にある。また、計算時間間隔は、2,3 時間のような定常間隔から 1,2 分という非定常性の強い間隔まで、時間間隔の可変も有している。BEST で扱う気象データは、拡張アメダスデータを基本としている。

使用用途や目的に応じて、簡易版、専門版等が公開されており、前述の省エネルギー基準の届出に必要な項目の計算が可能な省エネルギー基準対応ツールも用意されている。これらは基本的な計算エンジンは同一のものを利用しているが、主にユーザーインターフェイスを簡易化することで、多様な目的に活用できるようにされている。

建築計算では、事務所、住宅について多数室計算が可能であり、室内環境も評価できるよう配慮されている点が特徴である。また、空調システム計算では、蓄熱槽、コージェネレーション、パッ

ケージ方式を含む多くのシステムに対応することが想定され、最大・年間熱負荷とともに、建築物全体のエネルギー消費量を計算できる点が特徴である。

2.4.4 省エネルギー改修推進事業における簡易評価法

前述の国土交通省が実施する建築物の省エネルギー改修に対する補助事業では、建物全体で一定の省エネルギー効果が見込まれることが応募の条件の一つとなっている。同事業では、既存建物では現状の建築外皮の仕様等がわからないことも多く、補助事業のための省エネルギー計算として、極めて割り切った簡易な評価法が用意され、簡易な評価法での申請も可能となっている。表 2.4.2 に同事業の建築外皮改修に関わる省エネルギー効果の簡易計算方法の抜粋を示す。同事業では、大規模と中小規模の二区分で、予め主な改修手法ごとの省エネルギー率（一次エネルギーベース）が定められており、それに改修を実施する部位毎の改修割合を乗じることで、簡易に建物全体の省エネルギー率を求めるものである。

また、設備改修については、設備ごとのエネルギー消費割合に、想定される省エネルギー率を乗じて算出するものとされているが、エネルギー消費割合の計算は、表 2.4.3 に示す表が提示されており、予め建物用途別に設備ごとのエネルギー消費割合が提示されている。

表 2.4.2 省エネルギー改修推進事業における建築外皮改修効果の簡易評価法

建物規模	改修項目		見なし 省エネ率 (%) [a]	項目別の 改修割合 (%) [b]	建物全体 省エネ率 (%) [a×b÷100]
□ 大規模 (延床面積 5000㎡以上)	□ 開口部	断熱性能を強化(複層ガラス等)	3		
	□ 屋根・外壁	断熱性能の強化	2		
	□ 日射遮蔽	庇やルーバーの設置	1		
	□ その他	内容:			
□ 中小規模 (延床面積 5000㎡未満)	□ 開口部	断熱性能を強化(複層ガラス等)	15		
	□ 屋根・外壁	断熱性能の強化	12		
	□ 日射遮蔽	庇やルーバーの設置	4		
	□ その他	内容:			
				計	

表 2.4.3 省エネルギー改修推進事業における設備別エネルギー消費割合

大分類	中分類	事務所	学校	物販店・飲食店・集会所	病院	ホテル
空調設備	熱源設備	35	28	28	21	32
	搬送設備	5	4	4	3	5
	二次側設備	10	8	8	6	8
換気設備		5	10	10	10	5
照明設備		20	25	25	10	10
給湯設備	熱源設備	-	-	9	36	27
	搬送設備	-	-	1	4	3
昇降設備		3	-	5	5	3
その他		22	25	10	5	7
合計		100	100	100	100	100

出典：平成 26 年度建築物省エネ改修等推進事業 募集要領 提案申請様式（2014.4）から作成

2.5 既存建築物の建築外皮の省エネルギー改修に関わる便益

住宅分野においては、断熱性の向上がもたらす多面的な便益の一つとして、血圧上昇の抑制など、健康性の増進に資する効果の研究³³⁾が進められている。また、非住宅建築物分野においても、エネルギーの面的利用とそれに伴う非常時の機能維持を含めた間接的な便益の研究³⁴⁾がなされている。ここでは、これらの既往研究を参考に、非住宅建築物の建築外皮の省エネルギー改修における多面的な便益の評価に向けて、省エネルギー効果以外に期待しうる便益を抽出する。

建築外皮の断熱性能向上等に向けた改修は、省エネルギー効果のほか、ペリメータゾーンを中心とした室内温熱環境の改善、結露防止といった効果が期待できる。また、東日本大震災後のエネルギー状況では、最大負荷抑制に伴う設備容量の低減は、電気式熱源の場合、電力ピークカット対策としても期待される。今後、外皮改修の費用対効果を明確にするためには、これらの期待される便益を抽出しておくことが重要である。表 2.5.1 は、既往研究³⁵⁾を参考に、省エネルギーに伴う光熱費削減といった直接的な便益だけではなく、間接的な便益を含めて抽出し、分類したものである。

間接的な便益は、温熱環境改善など定量的データが不足しているものや貨幣価値に換算できていない項目も多く、今後、これら便益の評価方法が確立できれば、外皮改修の多面的な便益を考慮した費用対効果の検証につながると期待される。本論文ではこれらの便益評価の確立に向けて、建築外皮の改修による省エネルギー・温熱環境改善効果に着目し、シミュレーション計算や実験実測によってその効果を検証する。

表 2.5.1 非住宅の建築外皮改修に関して期待し得る便益

項目	主な便益	便益評価の方向性
省エネ	購入エネルギーの低減	◎光熱費の削減
CO ₂ 削減	CO ₂ 削減価値	○削減価値の売却 (クレジット利用時)
ピーク 負荷削減	空調・熱源設備容量の低減	○設備費の抑制 (設備の同時改修時)
	電力ピーク抑制(電気熱源の場合)	○場合により電力基本料金の低減
結露防止	耐用性向上	●結露被害による維持費の回避
室内温熱 環境改善	ペリメータ等の環境改善	●知的生産性の向上
	エネルギー途絶時の室温維持	●非常時の業務継続性の向上

◎: 貨幣価値換算可能

○: 場合により貨幣価値換算可能

●: 貨幣価値換算が難しい

2.6 第2章のまとめ

本章では、まず我が国の非住宅用途建築物について、統計データに基づいてストック床面積と着工棟数・床面積の概況を把握した。「建築ストック統計」は、統計手法に課題が残るとの指摘がなされているものの、竣工年代別の床面積など、ストック建築物の現状が把握できる唯一の統計データであり、概況をつかむには有意義な資料である。「建築ストック統計」によれば、非住宅(法人等)の「事務所・店舗」用途では、省エネルギー法による省エネルギー措置の届出が義務化された2003(平成15)年以降に竣工した建築物は床面積でストック全体の22%である。省エネルギー措置の届出以前においても、一定の省エネルギー措置は施されていると考えられるものの、省エネルギーの促進には、既存建築物の対策が重要であることがわかる。

また、「建築着工統計」に基づき、非住宅用途の着工建築物に関する地上階数別の割合を分析すると、直近4年間の平均において、全国では1~2階建が棟数では約90%、床面積では約50%を占めることが分かった。都道府県別に着工床面積の地上階数別割合を見ると、1~2階建が過半を占める都道府県が多く、1~2階建で80%弱を占める都道府県も見られる。また、東京では10階建以上が40%を占めているが、全国的には例外と言え、既存ストックの省エネルギー対策では、低層建築物や中小規模建築物の特性を考慮することが重要だと言える。

次いで、主な補助事業を活用した省エネルギー改修事例の動向をレビューした。多くの事例では、窓改修(日射フィルム貼りを含む)が実施されているほか、一部の事例ではあるが、複数建物を所有する建築主におけるモデル的な外壁改修(内断熱)、耐震補強と合わせた庇等による日射調整などの実施例も見られている。また、省エネルギー改修の促進を目的とした補助事業では、事業要件から中小規模建築物の応募が多く見られ、応募建物の階数と1フロアあたりの平均床面積の関係では建物用途によってある程度の建物形状の違いも見られ、建物用途、形状の違いに応じた適切な省エネルギー改修を誘導することが必要となってくる。

こうした状況を踏まえ、既存建築物の省エネルギー性能向上に関わる評価ツールの動向をレビューした。熱負荷や総合的な環境性能を評価するツール、シミュレーションツールまで様々なものがある。さらに、既往研究では、BESTを用いたオフィスの最大熱負荷特性の解析も実施されている。しかしながら、これらの評価ツールにおいて、改修時の効果を評価するには、改修前後の計算が求められ、省エネルギー改修手法を選択する際に、平易に利用できる内容ではない。また、既往研究においても、省エネルギー改修効果に着目したものは少ない。

中小規模の非住宅建築物では、大規模建築物に比べて、設計時に建築外皮性能のシミュレーションなど綿密な検討に時間や費用を費やすことは難しいと考えられ、建築外皮の省エネルギー改修を促進するには、建物所有者や設計者が、建物特性に応じて適切な改修手法を簡易に選択できる情報を提供することも重要だと考えられる。そのため、中小規模の非住宅建築物の省エネルギー改修に関する実態を把握するとともに、建物特性の違いが建築外皮の省エネルギー改修効果に与える影響を体系的に分析することの必要性は高い。

第3章 既存建築物の 省エネルギー改修に 関する実態分析

3. 既存建築物の省エネルギー改修に関する実態分析

3.1 はじめに

第2章で述べたとおり、我が国のストック建築に関する統計調査は歴史も浅く、概況こそ把握できるものの、建物特性に応じた実態を把握することは難しい。また、本研究で対象とする非住宅建築物における建築外皮の省エネルギー改修は実施例も少なく、改修工事の内容や課題、関係事業者が省エネルギー改修工事に関わる意識など、実態は明らかになっていない。

そのため、本章では、非住宅建築物において、一定数の建築外皮の省エネルギー改修が実施されている国の補助事業を対象として、①改修工事を実施した中小規模建築物の動向、②建築外皮の省エネルギー改修工事の内容や課題、③関係事業者の省エネルギー改修に対する意識など、建築外皮の省エネルギー改修に関する実態を分析した。

具体的には、国土交通省が2008年度から実施している建築物省エネ改修等推進事業^{注)}の活用事例を対象として、採択事業者へのアンケート調査と主な関係事業者へのヒアリング調査によって実態分析を行った。

注) 2014(平成26)年度の事業名。同事業は制度創設から数回にわたって名称が変更されている。

3.2 分析対象事業の概要

対象とする補助事業は、2008年度に「住宅・建築物省エネ改修推進事業」として創設され、事業名や事業要件が一部変更されつつ、2014年度まで実施されてきたものである。同事業は、建築物の省エネ改修事業を公募し、改修に係る工事費等の一部を補助することにより、省エネ改修の促進と関連投資の活性化等を図ることを目的としている。

対象とする事業の内容、事業要件は年度によって違いがあるが、事業要件等を表3.2.1にまとめる。非住宅建築物は、2008～2012年度の各年度で応募の対象となっているが、住宅は2008～2009年度、2012年度(第3回)～2013年度のみが応募の対象である。また、非住宅建築物については、2009年度から建築外皮の省エネルギー改修が必須の要件とされ、2011年度からはエネルギー消費量の計測と継続的なエネルギー管理の実施が要件に追加されている。そのほか、省エネルギー改修による効果として、建物全体で約10%以上(2013年度からは15%以上)が見込まれることなどが求められる。

同事業では、1事業当たりの補助金交付額は5,000万円を上限(そのうち設備に要する費用は2,500万円まで)とされ、省エネルギー改修に要する費用の1/3以内が補助される。このため、前述のとおり、応募事例は比較的規模の小さな建築物の割合が高くなっている。

表 3.2.1 対象事業の概要

【非住宅】

【別添七】

		主な事業要件				補助概要	
		建築外皮 改修	省エネ率		エネルギー 計測・管理	補助率	補助 限度額
			建物全体	改修部分			
2008	緊急促進	-	10%	20%	-	(1/4)	(1億円)
2009	第1回	必須		—		1/3	5000万円
	第2回			—			
2010	第1回	必須 (フィルム可)		—			
	第2回			—			
	緊急支援			20%			
2011				—	必須		
2012	第1回			—			
	第2回			—			
	緊急支援			—			
2013		15%	—				
2014	第1回		—				
	第2回		—				

【住宅（※1）】

		事業要件				補助概要		
		建築外皮 改修	省エネ率		エネルギー 計測・管理	補助率	補助 限度額	
			建物全体	改修部分				
2008	緊急促進	必須	—	—	—	(1/4)	(1億円)	
2009	第1回		10%(※2)			—	1/3	5000万円
	第2回							
2012	緊急支援	必須	10%(※2)	—	必須	1/3	5000万円	
2013								

※1 2010～2012年度(第2回)は、住宅の募集は実施されていない。

※2 予め設定された断熱改修、設備改修の組合せ(タイプA～D)に適合するものを選択することで応募が可能となっている(適合するものは省エネ率10%以上と見なす)。

出典 住宅・建築物省エネ改修推進事業 募集要領(各年度)から作成

3.3 事業者アンケートによる省エネルギー改修の実態と課題の分析

3.3.1 調査概要

分析対象とする補助事業は、建築外皮の省エネルギー改修を事業要件の一つとしており、未だ実施例が少ない非住宅建築物の外皮改修の実態が把握できること、補助金に限度額を設けられており、結果として中小規模建築物の応募が多く、実態が明らかにされていない中小規模建築物の動向を把握できるという特徴がある。

そのため、中小規模建物における省エネ改修工事の詳細、建物管理者の属性、事業応募に至る経緯や関係者との役割、省エネルギー改修に係る課題等を把握することを目的に、採択事業者に対するアンケートを実施した。分析対象とした補助事業は、事業名や事業要件を変更しつつ、2014年度まで継続して実施されているが、本研究では、建築外皮の省エネルギー改修が必須とされた2009年度を始め、制度創設の比較的早い時期である2011年度までの3年間の採択事業者を対象としている。

なお、本アンケートは、国土交通省の支援のもと、一般社団法人日本サステナブル建築協会に設置された「既設建物の省エネ改修に関する検討ワーキング（主査：秋元孝之）」の活動の一環として、芝浦工業大学秋元研究室と東京大学清家研究室の共同研究として実施したものである。

アンケートは採択された事業の事務連絡先に対して調査票を郵送し、調査票の郵送または電子データでの回答とした。アンケートは、採択年度に応じて、計2回に分けて実施しており、回答期間はそれぞれ約2週間である。表3.3.1にアンケートの調査の概要を示す。

アンケート項目は、表3.3.1に示す大項目にそれぞれ3～8個の問題を設け、単一回答（以下、SA）、複数回答（以下、MA）による選択方式を主とし、一部自由回答方式を用いた。

調査票の送付・返信数は、2009（平成21）年度事業が送付716通に対し、有効返信426通、2010～2011（平成22～23）年度事業が送付1,162通に対し、有効返信803通であった。有効返信数は2009年度事業が59%、2010～2011年度事業が69%である。

調査の設問は、事業内容に応じて見直しを行っており、2009年度事業と2010～2011年度事業では、一部設問内容が異なる。また、本節では、非住宅建築物における建築外皮改修を中心に調査結果をまとめるが、参考のため、適宜、設備改修の調査結果との比較や住宅の調査結果との比較も行う。

なお、分析対象とした補助事業では、募集要領において、屋根、外壁、開口部等の断熱性能向上による省エネルギーが期待できる改修工事を「躯体（外皮）改修」との総称で表記しており、本アンケートでも「躯体（外皮）改修」の表記で設問や選択肢を設けている。

表 3.3.1 アンケート送付数と回収状況

項 目	内 容
実施期間	【2009 年度】 2009 年 3 月, 7 月 (回答期間 約 2 週間) 【2010, 2011 年度】 2012 年 7 月, 9 月 (回答期間 約 2 週間)
調査方法	調査票を郵送、郵送又はメールにて回答
調査項目	①回答者属性 ②改修建物の基本情報 ③改修内容 ④改修工事中の建物の使用 ⑤今後の省エネ改修に関する要望 ⑥応募の動機 ⑦省エネ改修を実施する際の課題 等
送付/返信数	【2009 年度】送付 716 通・有効返信 426 通 (有効返信率 59%) (有効返信：非住宅 207、住宅 219) 【2010, 2011 年度】送付 1,162 / 有効返信 803 (有効返信率 69.1%)

3.3.2 対象建物の概況

(1) 建物用途と築年数 <2009～2011 年度>

改修の対象建物の用途は、非住宅では、各年度とも、事務所(自社ビル)が最も多い。次いで物販店・飲食店、福祉施設、事務所(テナントビル)の用途が多いが、順位は年度によって異なる。一方、その他の用途も一定数が見られ、幅広い用途で改修が行われている様子がうかがえる。なお、住宅(2009 年度)では、戸建住宅が多数を占めている(図 3.3.1)。

非住宅の築年数を見ると、各年度とも、築 14 年から 20 年との回答が最も多く、築 10 年から築 24 年の建物で半数以上を占める。このため、設備の設備更新の時期に合わせた改修工事が多いものと推察される(図 3.3.2)。

(2) 延床面積と階数 <2009～2011 年度>

改修対象建物の延床面積は、2,000 m²未満が 43%で、5,000 m²未満で全体の 80%を占める(図 3.3.3)。これは補助額の上限額が設定されており、中小規模の建物の応募が中心になっているものと推察されるが、前述の応募データの分析とも同様の傾向を示している。

また、階数では 10 階以下が 95%を占め、1～2 階の建物も 37%を占めている(図 3.3.3)。

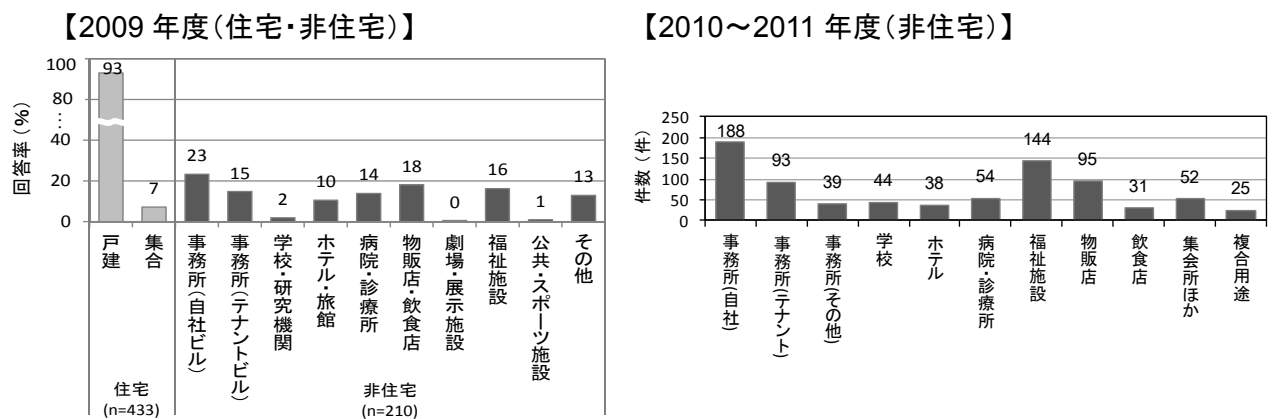


図 3.3.1 改修対象建物の用途 (MA)

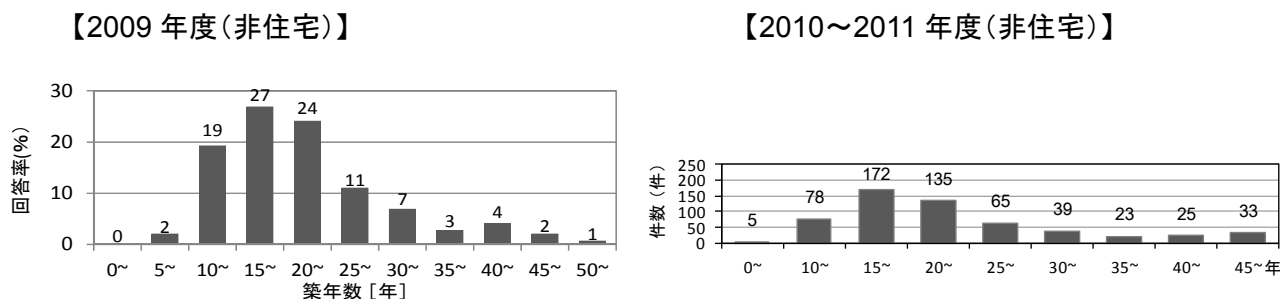


図 3.3.2 改修対象建物の築年数* (SA)

* 築年数は、アンケートを実施した時点として年数を計算している。

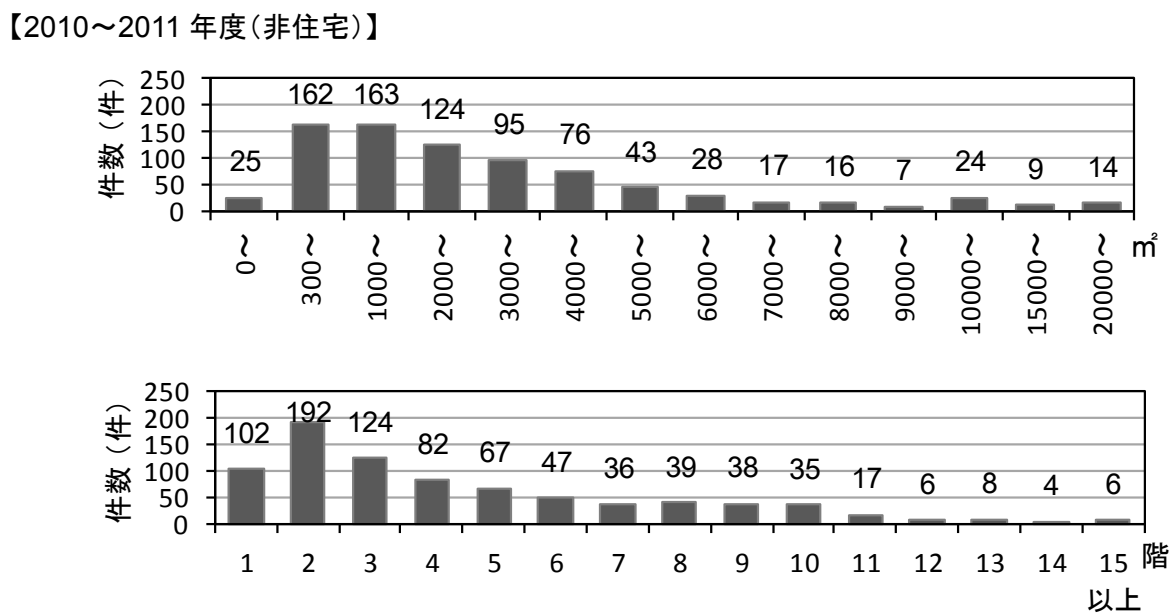


図 3.3.3 改修対象建物の延床面積と階数* (SA)

* 延床面積と階数の設問は 2009 年度アンケートでは設けていない

3.3.3 回答者の属性

(1) 補助事業での役割と業種 <2009~2011 年度>

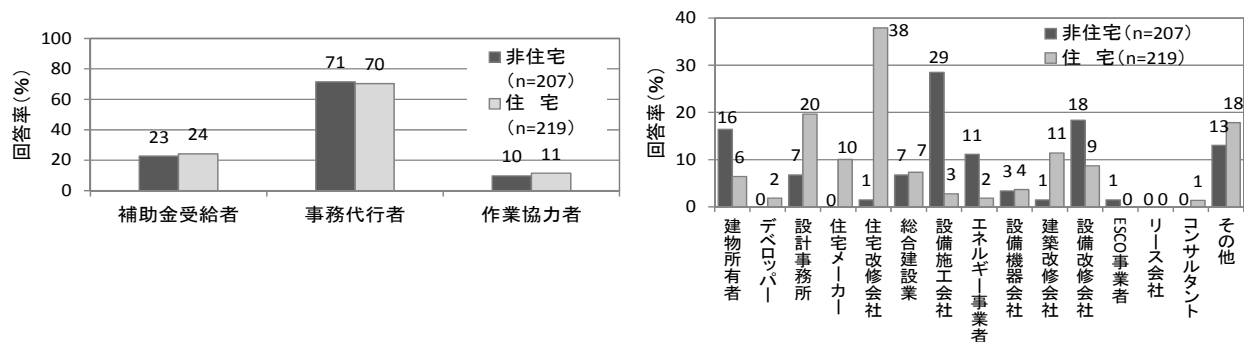
本事業では、補助事業への応募にあたって、補助金受給者(建物所有者等)の合意のもと、関連する事業者が事務代行者として応募手続き等を進めることが認められている。本アンケートの回答者も事務代行者が多い(図 3.3.4)。

回答者の業種としては、住宅では改修会社や設計事務所、非住宅では設備施工会社や設備改修会社が多く、設計事務所や総合建設会社、建築改修会社は少ない。また、少数ではあるが、デベロッパー、ESCO 事業者、リース会社などの回答もあり、幅広い業種の事業者が省エネルギー改修に関わっていることが分かる(図 3.3.4)。

(2) 建物所有件数と改修への関心・改修計画の有無 <2009~2011 年度>

図 3.3.5 は所有物件数と省エネルギー改修に対する関心、改修計画の有無に関する回答である。改修への関心は、少数物件及び多数物件の所有者ともに高い。また、中長期の改修計画をたてているとする回答は、多数物件の所有者が少数物件の所有者よりも多く、建物所有状況によって改修計画への関心に差があることがうかがえる(図 3.3.5)。

【2009 年度(住宅・非住宅)】



【2010～2011 年度(非住宅)】

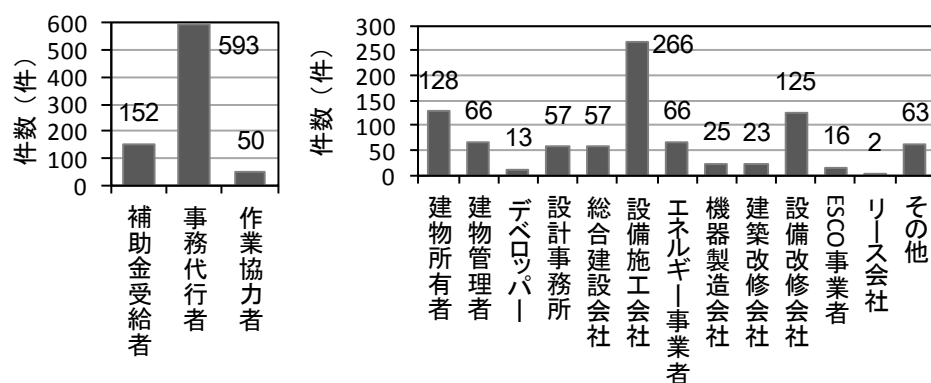
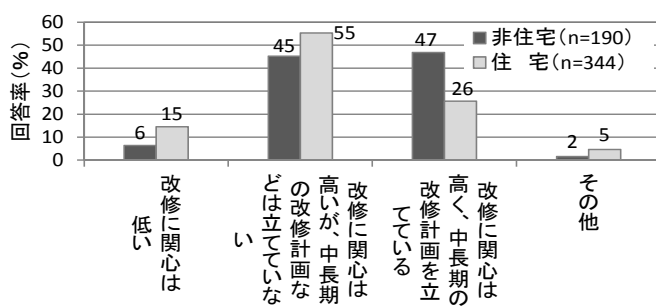
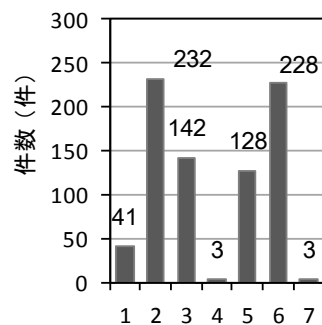


図 3.3.4 回答者の役割と業種 (MA)

【2009 年度(住宅・非住宅)】



【2010～2011 年度(非住宅)】



【選択肢】

- 少数物件の所有者(管理者)で、改修に関心はない
- 少数物件の所有者(管理者)で、改修に関心が高いが、中長期の改修計画などはたてていない
- 少数物件の所有者(管理者)で、改修に関心が高く、中長期の改修計画を立てている
- 多数物件の所有者(管理者)で、改修に関心はない
- 多数物件の所有者(管理者)で、改修に関心が高いが、中長期の改修計画などはたてていない
- 多数物件の所有者(管理者)で、改修に関心が高く、中長期の改修計画を立てている
- その他

図 3.3.5 回答者の建物所有状況と改修への関心 (SA)

3.3.4 省エネルギー改修工事の内容と課題

(1) 建築外皮改修と設備改修の概況 <2009~2011 年度>

建築外皮改修及び設備改修の実施箇所を示したものが図 3.3.6 である。建築外皮改修について、非住宅では、開口部(フィルム貼りを含む)、屋根面(屋根・屋上、最上階天井裏)に関わる改修が多く、壁面の改修は少ない。住宅では、大半が開口部の改修を実施し、壁・床・天井も一定の割合が見られる。これは、当該事業において、住宅では、開口部と壁・床・天井を組み合わせた改修メニューを選択して応募することが可能であったことも関係していると考えられる。

設備改修について、非住宅では大半が熱源及び空調設備の改修を実施している。一方、住宅では熱源設備の改修が高い割合となっているほか、自然エネルギー(太陽光発電等)の導入も見られる。なお、本事業では、家庭用ルームエアコン等の設置には本事業を適用できない点は留意が必要である。また、建築外皮改修、設備改修のいずれも単一部位や単一設備だけではなく、例えば、屋根と開口部など、複数の部位、設備を改修する事例も多くなっている。

建築外皮改修について、部位別の総表面積に対する改修面積の割合を示したものが図 3.3.7 である。非住宅では、いずれの部位も 70%以上の改修を行う事例が 30~40%と一定の割合を占めている。一方、外壁では改修割合が 30%未満も 45%を占める。また、他の部位でも半数は 50%未満の改修割合となっており、外皮改修が必須とされている補助事業を活用した省エネ改修においても、外皮改修は、部分的な改修にとどまっている様子がうかがえる。

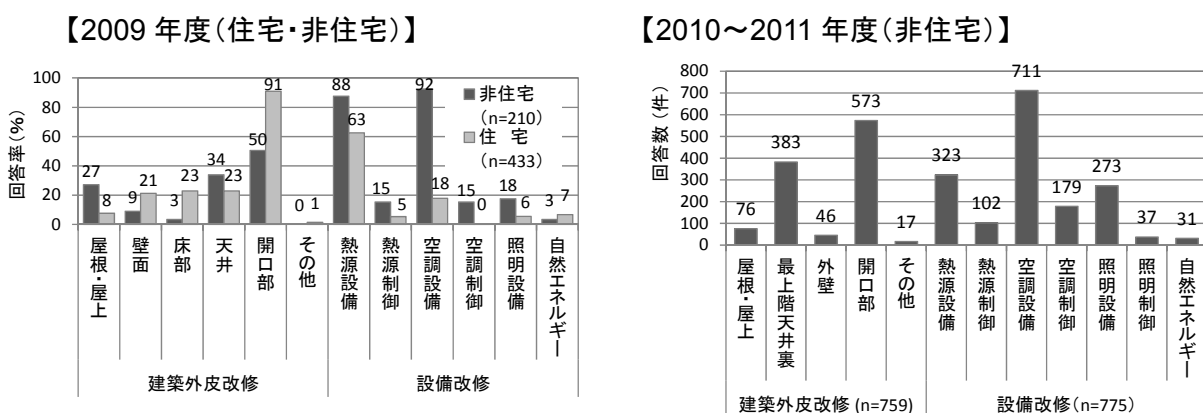


図 3.3.6 改修工事の内容 (MA)

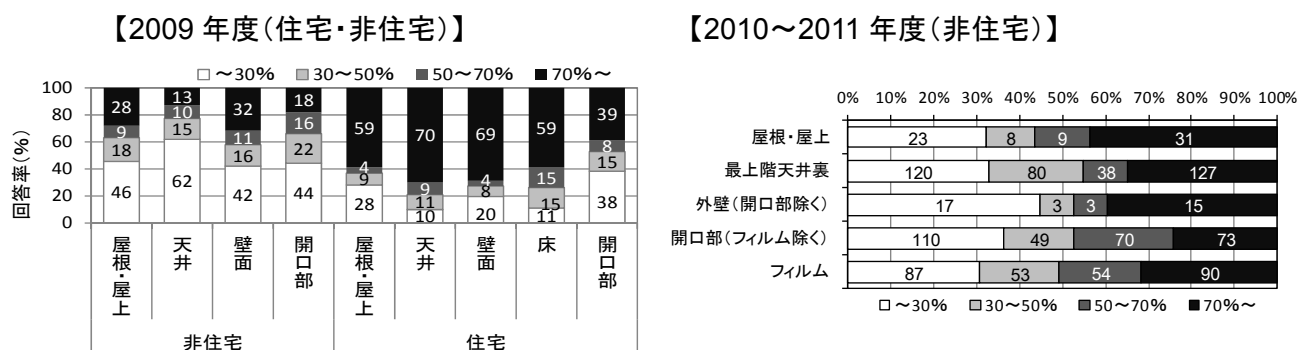


図 3.3.7 建築外皮改修の部位別改修割合 (数値は件数)

(2) 建築外皮改修の詳細 ＜2010～2011 年度＞

2010～2011 年度事業のアンケートでは、建築外皮改修工事の詳細な内容、改修前の各部位の断熱仕様についても質問している。それらの回答結果を図 3.3.8～3.3.11 に示す。

図 3.3.8 は、建築外皮改修の部位別に工事内容の詳細を集計したものである。屋根・屋上では「既存断熱材の撤去・新設」「断熱材の増設」のいずれも実施例が見られ、最上階天井裏では「グラスウール(GW)の敷き込み工事」がほとんどである。開口部では、「日射調整フィルム貼り」が 5 割を超えている。これは、後述するように、建築外皮改修では工事規模が大きく、場合によっては足場設置などの仮設工事が必要となり、高額な工事費につながるため、可能な限り簡便な改修方法が求められているとも考えられる。また、窓を交換する場合でも「ガラスのみの交換」が多くなっているが、「内窓設置」や「かぶせ工法による窓交換」を行う改修事例も見られる。

また、実施した建築外皮改修の部位別に、当該建築物の築年数の割合を集計したものが、図 3.3.9 である。外壁改修を実施する建築物では築 25 年以上の割合が高いが、その他の部位の改修は全体と比べて顕著な傾向は見られず、築 15～24 年の占める割合が高い。

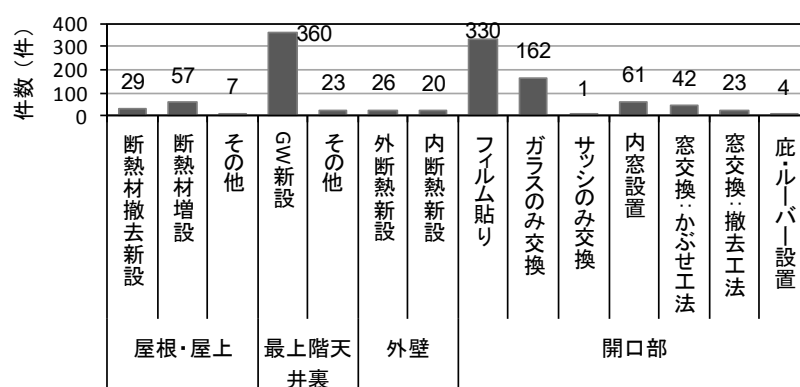


図 3.3.8 建築外皮改修工事の詳細 (MA)

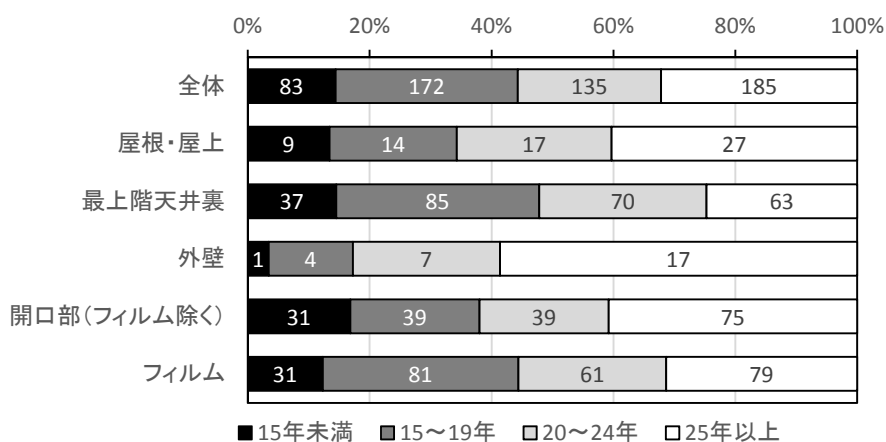


図 3.3.9 建築外皮改修工事別の築年数割合 (数値は件数)

図 3.3.10～3.3.11 は改修前の部位別仕様を集計したものである。屋根・最上階天井裏、外壁とも 40%は断熱ありとしているが、屋根・最上階天井裏では断熱なしとする回答も 28%にのぼる。窓は 80%が単層ガラスで、複層ガラスや高性能ガラス(Low-e ガラス、フィルム貼付の単層ガラス等)は 9%であった。建築外皮の省エネ改修では、改修前の外皮性能を特定することも一つの課題であり、アンケート結果でも外壁では 56%、屋根・最上階天井裏では 33%が、改修前の仕様を不明と回答している。また、窓では不明とする回答は 12%と他の部位に比べて少ない(図 3.3.10)。

改修前の仕様を竣工年別、床面積別に集計したものが図 3.3.11 である。屋根・外壁とも断熱ありとする割合は竣工年が新しくなるほど、床面積が大きくなるほど高くなる傾向が見られる。

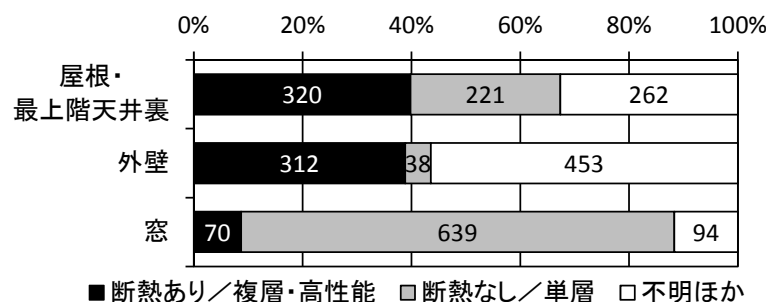


図 3.3.10 部位別の改修前の断熱仕様 (数値は件数)

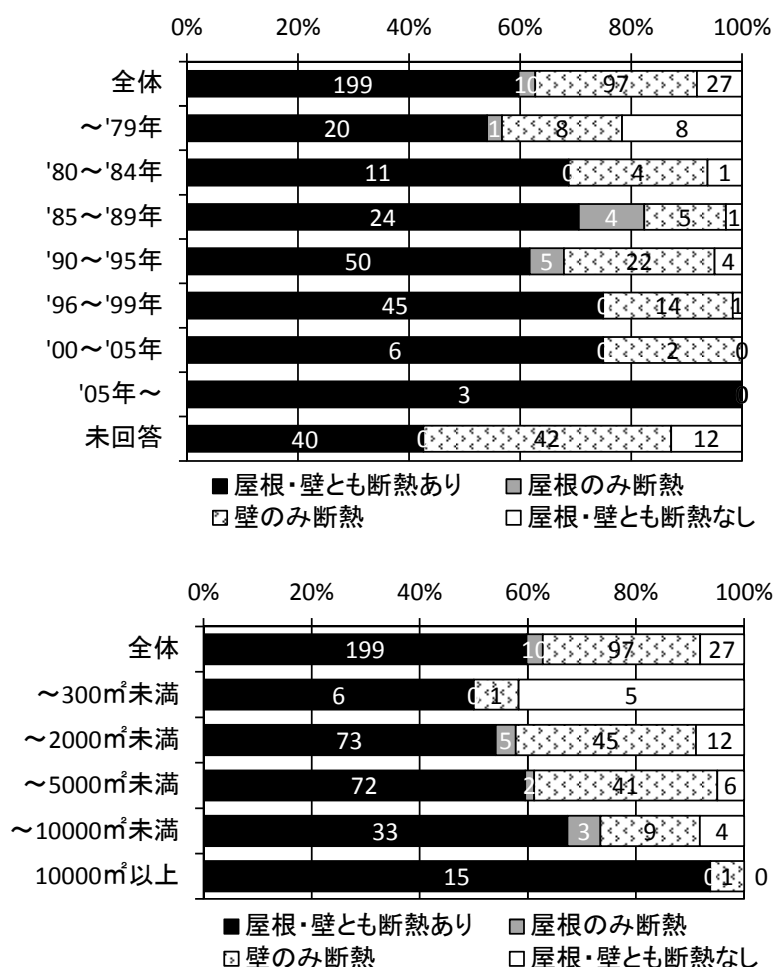


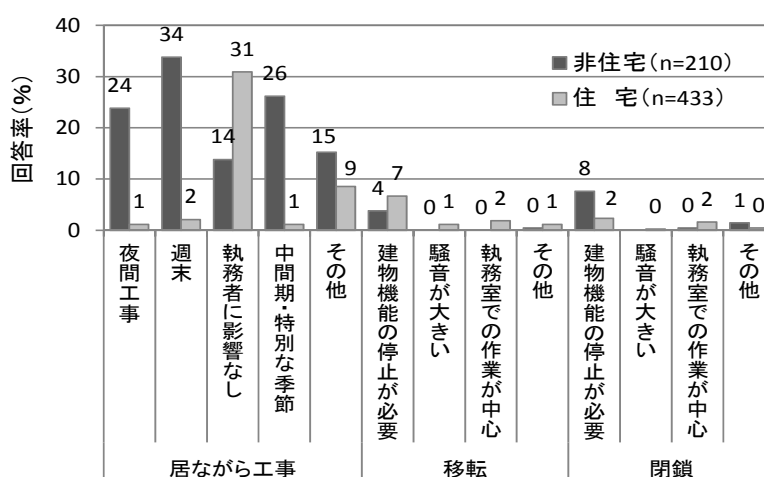
図 3.3.11 竣工年区分・床面積区分による改修前仕様の割合 (数値は件数)

(3) 改修工事中の建物の使用状況 <2009~2011 年度>

改修工事中の建物使用状況と居ながら工事時の場合の工事時期を示したものが図 3.3.12 である。非住宅では、回答のほとんどは「居ながら工事」で、改修工事中でも建物を使用しており、「移転」や「閉鎖」は極めて少ない。既に入居者が存在していることや営業を継続しながら工事をする必要があることなどが、新築工事と比べた改修工事の難しさの一つであるが、「居ながら工事」では、「週末のみ工事」、「中間期等の工事」、「夜間工事」など、建物使用への制約を最小限に抑えながら工事を進める工夫がなされている。なお、前述のとおり、全体に空調設備の改修工事の実施割合が高く、冷房及び暖房の切り替え時期で空調設備の使用頻度が低い中間期に工事を実施する事例も多い。

また、図 3.3.12 の 2009 年度に示す住宅では、居ながら工事が非常に多いものの、居ながら工事のなかでは、「執務者(居住者)に影響なし」との回答が大半となっており、住宅と非住宅での違いが見られる。

【2009 年度(住宅・非住宅)】



【2010~2011 年度(非住宅)】

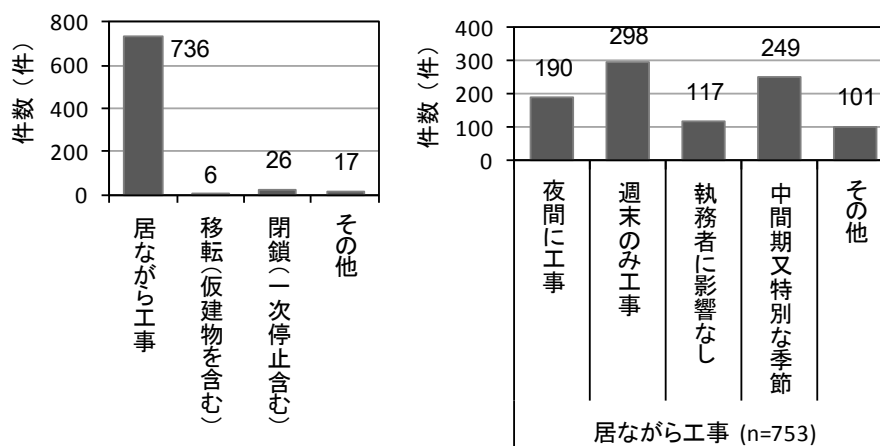


図 3.3.12 改修工事期間中の建物使用状況 (MA)

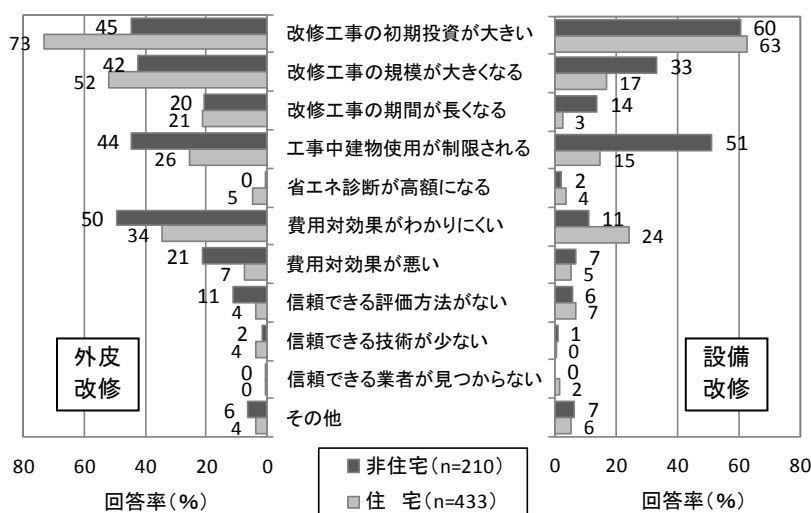
(4) 省エネルギー改修における課題 <2009~2011 年度>

建築外皮改修と設備改修のそれぞれの省エネ改修が難しい理由についての回答結果を示したものが図 3.3.13 である。

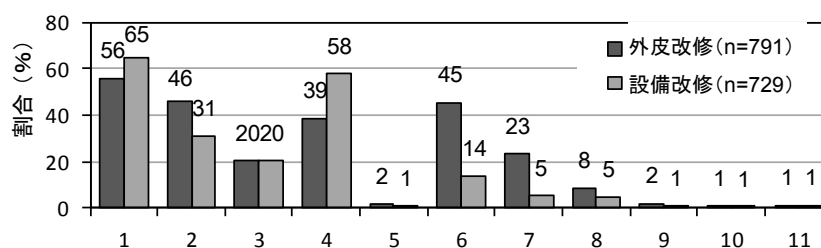
非住宅では、外皮改修と設備改修のいずれも「改修工事の初期投資や規模が大きくなること」「建物使用が制限されること」を課題とする回答が多い。また、外皮改修では、「費用対効果がわかりにくい」とする回答の割合も高い。この「費用対効果がわかりにくい」とする回答は、外皮改修が設備改修と比べて著しく回答率が高く、大きな差が生じており、非住宅の外皮改修における大きな課題の一つであると言える。

住宅では、外皮改修、設備改修とも「改修工事の初期投資の大きさ」の回答率が最も高く、外皮改修では「改修工事の規模が大きくなること」との回答も多い。また、「費用対効果がわかりにくい」との回答も多いが、外皮改修と設備改修の差は非住宅ほど大きくない。

【2009 年度(住宅・非住宅)】



【2010~2011 年度(非住宅)】



【選択肢】

- | | |
|-----------------|--------------------|
| 1 改修工事の初期投資が大きい | 2 改修工事の規模が大きくなる |
| 3 改修工事の期間が長くなる | 4 工期中、建物使用が制約される |
| 5 省エネ診断が高額になる | 6 費用対効果がわかりにくい |
| 7 費用対効果が悪い | 8 信頼できる評価方法がない |
| 9 信頼できる技術が少ない | 10 信頼できる事業者が見つからない |
| 11 その他 | |

図 3.3.13 建築外皮改修と設備改修の難しい理由 (MA、上位3つまで)

3.3.5 関係者の関わりと省エネルギー改修の課題認識

(1) 分析方針

当該事業では、改修事例が未だ少ない非住宅においても建築外皮改修が必須要件として実施されている。一方、アンケート結果では、前述のように、建築外皮改修は部分改修にとどまっていること、設備改修と比べて費用対効果が分かりにくいとの指摘が多いなどの課題が分かった。そのため、非住宅の建築外皮改修に焦点を当て、クロス集計によって、事業者別等の課題認識に関する特徴を分析する。

本分析で対象としたのは、制度創設後初めて建築外皮改修が必須の条件とされた2009年度事業の採択事業者に対するアンケートである。

(2) 補助事業に関する認識

当該事業では、工事施工者や設備機器会社等が事務代行者や作業協力者として事業に関わっている。そこで、建物所有者と事務代行者等の立場の違いに着目し、補助事業の良い点の回答を整理したものが図3.3.14である。

建物所有者は費用面での条件の良さに関する項目で特に回答率が高く、関連事業者との協力が得やすいとの回答率も高い。事務代行者等も費用面での条件の良さに関しては高い回答率であるが、加えて申請書類の容易さや発注方式、代行者の提案が可能といった応募手続きに関わる項目の回答率も高く、事業に関わる立場によって若干の違いが見られる。

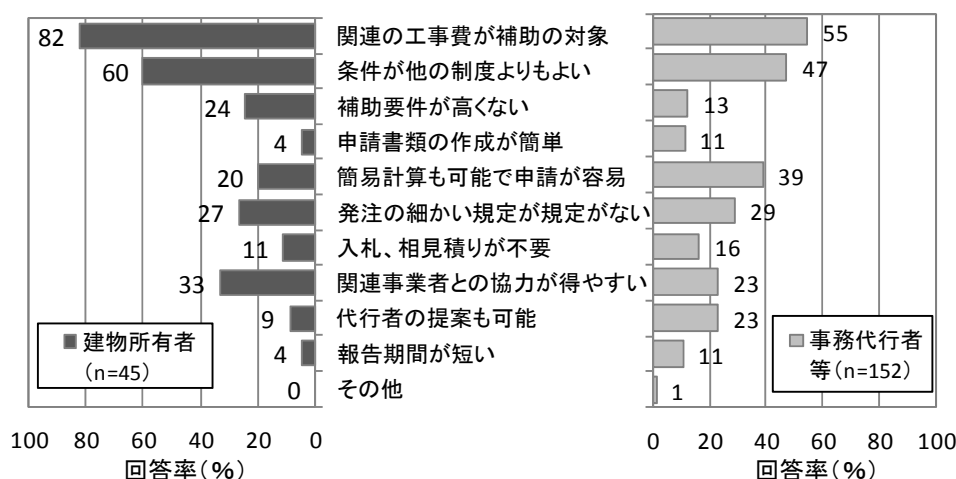


図 3.3.14 補助事業の良い点（事業者別、MA、上位三つまで）

(3) 建築外皮改修に関する課題

図3.3.15は、建物所有者、事務代行者等に区分した建築外皮改修の難しい理由に関する回答結果を示したものである。建物所有者、事務代行者等のいずれも「費用対効果がわかりにくい」との回答率が最も高く、建物所有者の回答率が事務代行者等よりも高い。また、事務代行者等では、「建物使用が制限される」と工事施工に関わる項目の回答率も高くなっている。

さらに、「費用対効果がわかりにくい」との回答に着目し、事業者別の違いを分析したものが図

3.3.16 である。回答者全体の業種別割合と、「費用対効果がわかりにくい」と回答した業種別の割合を比較すると、設計事務所、総合建設業、設備改修会社などで、「費用対効果がわかりにくい」とする回答割合がやや高いものの、全回答者と「費用対効果がわかりにくい」とする回答者の業種別の分布はほぼ同様であり、業種による偏りは見られない。

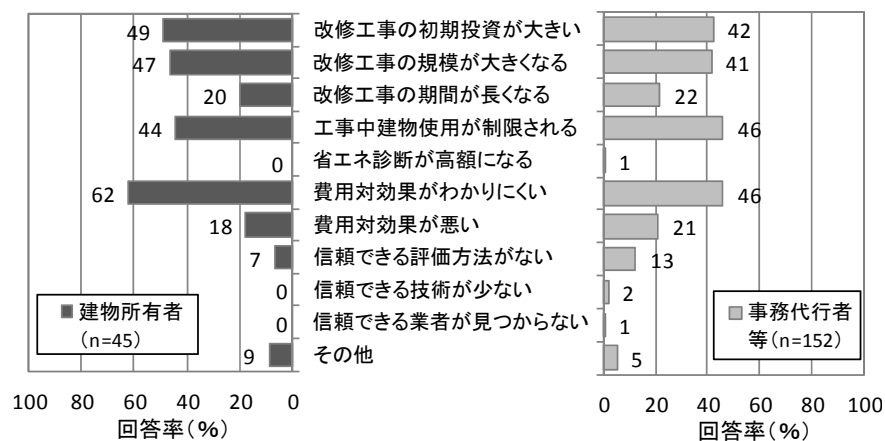


図 3.3.15 建築外皮改修が難しい理由（事業者別、MA、上位三つまで）

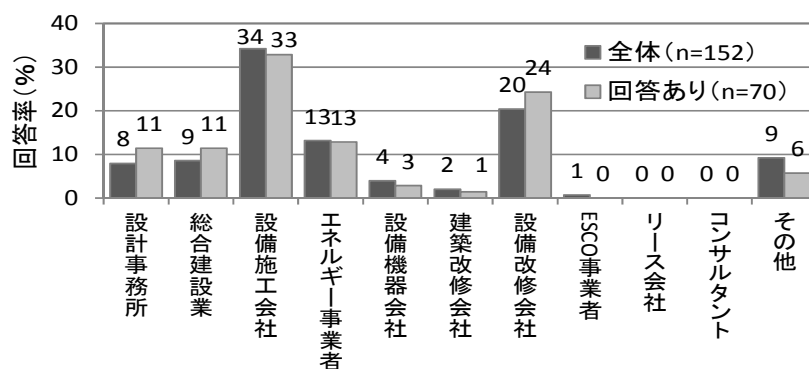


図 3.3.16 「建築外皮改修の費用対効果がわかりにくい」と回答した事務代行者の業種別割合（MA）

3.3.6 建物用途の違いによる建築外皮改修の特徴分析

(1) 分析方針

当該事業では、幅広い用途の中小規模建築物が、建築外皮を含む省エネルギー改修を実施している点も特徴である。前述のように、建物用途によって高層・低層、1フロア当たりの床面積の大小などに特徴も見られた。そのため、建物用途の違いによる建築外皮改修の取り組み状況に関する特徴の分析を行った。

なお、本分析で対象とするのは、同補助制度の創設から数年が経過し、比較的認知度も高まってきたと考えられる2010～2011年度事業の採択事業者に対するアンケート結果である。

(2) 用途別の建物形状の特徴

前述の図3.3.1に示す用途区分に対して、施設名称や規模などからより詳細に区分して建物用途別の建物特性や建築外皮改修の実態を分析した。

表3.3.2に対象とする用途区分を示す。学校は「幼稚園・保育園、小・中学校、高校(幼・小中高)」と「大学、専門学校、その他学校(大学等)」、医療施設は「病院」と「診療所、その他医療施設(診療所等)」、福祉施設は「特別養護老人ホーム、介護老人保健施設(特養・老健)」と「身障者福祉、児童福祉、デイサービス等(その他)」に区分した。物販店は「ショッピングセンター、スーパーマーケット(SC・スーパー)」と「その他」に区分し、「物販店(その他)」には郊外型の各種専門店(ホームセンター、スポーツ店、書店、自動車販売店等)が含まれる。また、飲食店ではファーストフード店やファミリーレストランなどが多く見られた。

表3.3.2は建物形状に関わる用途別の平均値を集計したもので、各項目の上位5用途の数値を網掛けとして示している。フロア平均面積は、各建物の延床面積を階数で除したものである。また、ペリメータ比率は、省エネルギー基準におけるPALの算定対象となる外壁面から5mの範囲(外周部)及び最上階の床面積(最上部)の延床面積に対する比率として示したものである。なお、表3.3.2のペリメータ比率は、外皮の表面積が最も小さくなる正方形の平面形状を仮定し、各建物のフロア平均面積から算出した結果で、数値が高いほど、外部の影響を受けやすい形状だと考えられる。用途別の平均値で見ると、最上部のペリメータ比率が高い「学校(幼・小中高)」「福祉(その他)」「物販店」「飲食店」は屋根面の影響を、外周部のペリメータ比率が高い「事務所」「大学等」「診療所等」「飲食店」は壁面・窓面の影響を受けやすい形状だと言える。

表 3.3.2 建物用途別の建物概況（詳細用途分類による）

	件数	建物形状(用途別平均値)					
		階数 (階)	延床面積 (㎡)	フロア平均 面積(㎡)	ペリメータ比率(%)		
					全体	最上部	外周部
全体	803	4.5	3,644	996	79	38	64
事務所	自社	188	4.2	2,017	473	83	75
	テナント	93	8.5	4,440	512	78	74
	その他	39	6.4	4,532	677	79	71
学校	幼・小中高	16	2.1	1,270	697	89	69
	大学等	28	5.9	4,239	822	78	69
ホテル		38	7.9	7,767	963	70	64
医療	病院	41	4.9	6,471	1,281	65	53
	診療所等	13	3.0	1,450	476	84	75
福祉	特養・老健	122	3.1	3,739	1,482	72	49
	その他	22	2.2	1,953	1,026	86	58
物販店	SC・スーパー	27	2.2	10,230	4,789	80	33
	その他	68	2.3	2,451	1,281	88	58
飲食店		31	1.5	367	278	98	85
集会所等		52	2.9	3,009	1,076	77	58
複合用途		25	7.0	5,156	920	70	61

(3) 建物所有状況と省エネ改修への関心、改修計画の有無

表 3.3.3 は、前述の図 3.3.5 に示した所有物件数と改修への関心について、用途別の集計結果を割合として示したものである。

「事務所(その他)」「学校(幼・小中高)」「病院」「診療所等」「福祉(特養・老健)」は少数物件の所有者割合が高く、「物販店」「学校(大学等)」「事務所(テナント)」「飲食店」は多数物件の所有者割合が高い。また、「飲食店」では改修への関心が低く、「物販店(SC・スーパー)」「複合用途」「学校(大学等)」「病院」「事務所(テナント)」では改修計画をたてているとの割合も高い。

表 3.3.3 建物用途別の建物所有状況と省エネ改修の関心
(詳細用途分類による)

	件数	所有数(%)		改修の関心・計画の有無(%)		
		少数	多数	関心なし	関心あり 計画なし	関心あり 計画あり
全体	774	54	46	6	47	48
事務所	自社	181	55	45	6	49
	テナント	87	46	54	1	44
	その他	38	63	37	8	39
学校	幼・小中高	16	75	25	0	56
	大学等	28	25	75	4	32
ホテル		38	58	42	5	55
医療	病院	41	66	34	2	34
	診療所等	13	85	15	15	62
福祉	特養・老健	120	70	30	3	55
	その他	22	50	50	9	50
物販店	SC・スーパー	27	30	70	0	19
	その他	59	27	73	2	56
飲食店		30	43	57	33	17
集会所等		50	56	44	10	60
複合用途		24	54	46	4	29

(4) 建物用途別の階数、延床面積、築年数の分布

用途別の階数、延床面積、築年数の分布を図 3.3.17 に示す。

図 3.3.17 (a)の階数を見ると、「学校(幼・小中高)」「福祉(その他)」「物販店」「飲食店」は1～2階、「事務所(テナント)」「ホテル」「複合用途」は6階以上の割合が高い。

図 3.3.17 (b)の延床面積を見ると、「学校(幼・小中高)」「診療所等」「飲食店」は2,000 m²未満の割合が高い。また、「飲食店」は300 m²未満の割合も高い。一方、「物販店(SC・スーパー)」「複合用途」は5,000 m²以上が過半を占める。

図 3.3.17 (c)の築年数を見ると、「福祉施設」「物販店」「飲食店」では築15年未満と築15～19年の割合が高い。また、「学校」「病院」「複合用途」では築25年以上の割合も高い。

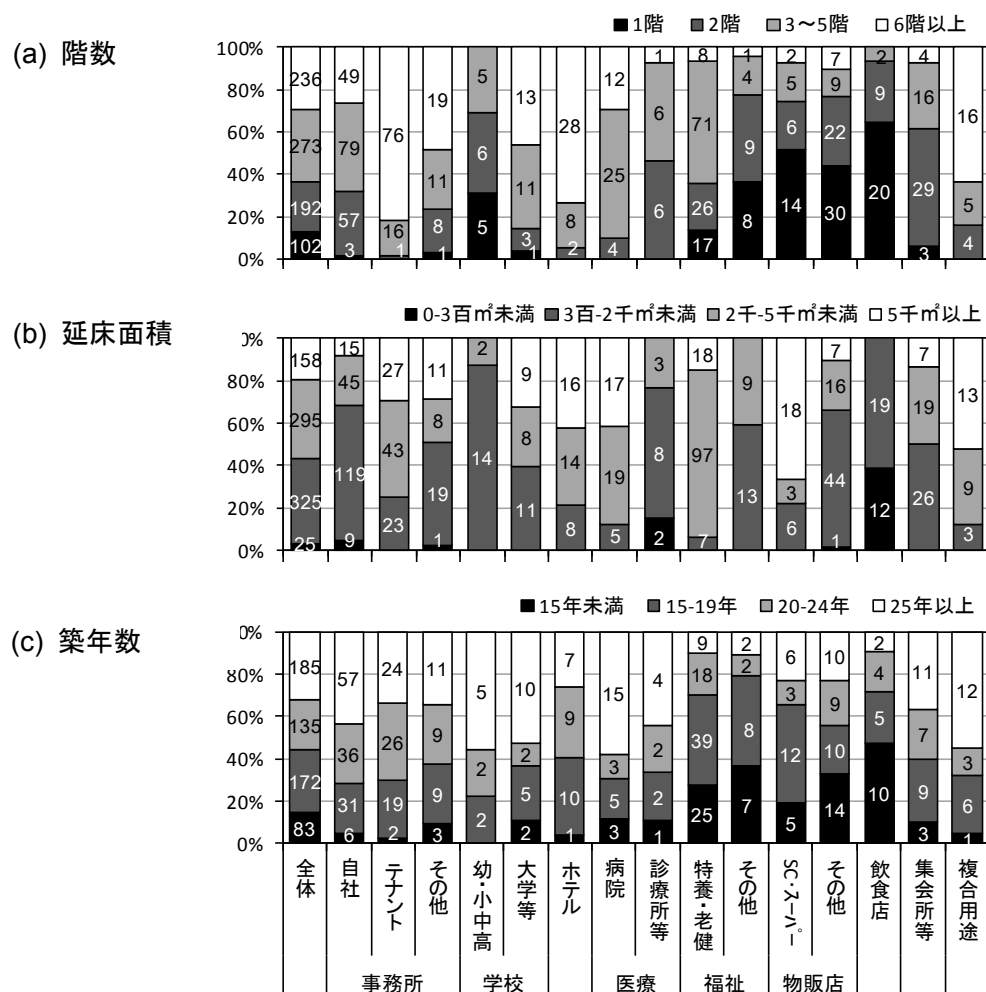


図 3.3.17 建物用途別の階数・延床面積・築年数の分布
(詳細用途分類による)

(5) 改修工事期間中の建物使用と工期

図 3.3.18 は改修期間中の建物の使用状況を用用途別に集計したものである。いずれの用途も「居ながら工事」の割合が最も高く、工事の実施時期については建物用途による特徴が見られる。

「事務所」「学校(幼・小中高)」「診療所等」「複合用途」は週末工事の割合が高い。一方、休日も

営業することが多い「物販店」「飲食店」「集会所等」では夜間工事の割合が高い。また、「学校(幼・小中高)」「学校(大学等)」「病院」「福祉(特養・老健)」では中間期等の割合が高い。なお、「ホテル」と「病院」では、居ながら工事の「その他」の割合も高い。これは、客室や病室など、居住者が滞在する室が多い用途で、部屋やベッドの空き状況に応じた工事、フロア単位での工事、宿泊客が少ない日中の集中的な工事などの回答が挙げられており、工事箇所や工事時間帯のきめ細かな調整が行われている。

図 3.3.19 に示す改修工事の工期を見ると、夜間工事の割合が高い「物販店」「飲食店」「集会所等」は比較的短い工期が多い。また、居ながら工事にて工事箇所や工事時間帯の細かな調整を行っている「ホテル」「病院」のほか、「福祉施設」では工期が長い割合が高い。

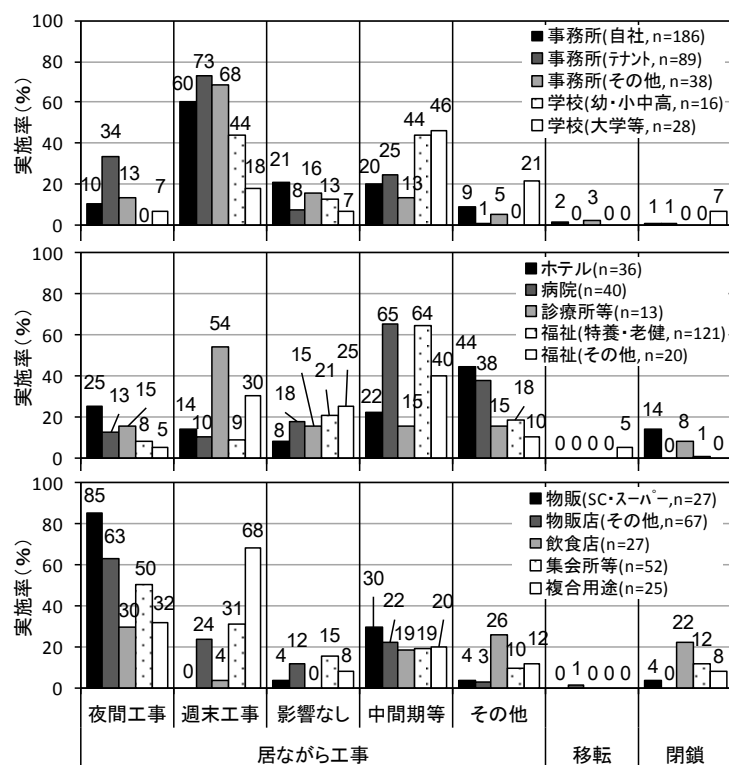


図 3.3.18 建物用途別の改修期間中の建物使用状況

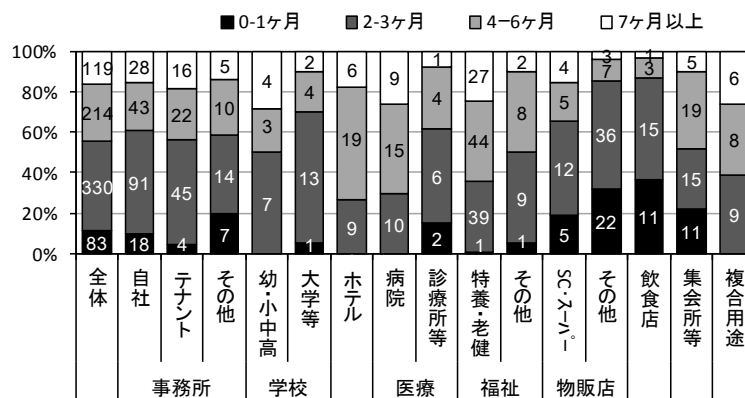


図 3.3.19 建物用途別の工期 (数値は件数)

(6) 建物用途別の建築外皮改修の実施状況

図 3.3.20 は、建物の利用条件が比較的似通った用途毎に 3 つのグループに分けて、部位別の建築外皮改修の実施率を示したものである。全体に最上部に関する改修(屋根・屋上または最上階天井裏)の実施率は高く、表 3.3.2 に示す最上部のペリメータ比率が高い「学校(幼・小中高)」 「福祉(福祉)」 「物販店」 「飲食店」が他の用途と比べて特に実施率が高い訳ではない。

一方、外周部のペリメータ比率が比較的高い「事務所」「学校(大学等)」「ホテル」「複合用途」では「日射調整フィルム貼り」、「診療所」「学校(幼・小中高)」「飲食店」では「開口部」の実施率が他の用途よりも高くなっている。

図 3.3.21 は本事業で実施した建築外皮改修箇所の選択理由を示したものである。なお、前述のとおり、建築外皮改修は複数の部位を改修している事例も多く、複数の部位を選択した理由として回答されている点に注意が必要である。

全体に「省エネ効果が大さい」「室内環境改善効果が大さい」「比較的費用がかからない」「営業等への影響が小さい」「工事内容が簡易」との回答割合が高い。そのなかで、「病院」「福祉(特養・老健)」では「環境改善効果」の割合が他の用途よりも高いこと、「学校(大学等)」では「比較的費用がかからない」が最も高い割合であること、「物販店(SC・スーパー)」では「工事内容が簡易」「営業等への影響が小さい」の割合が他項目よりも高いことが特徴的である。

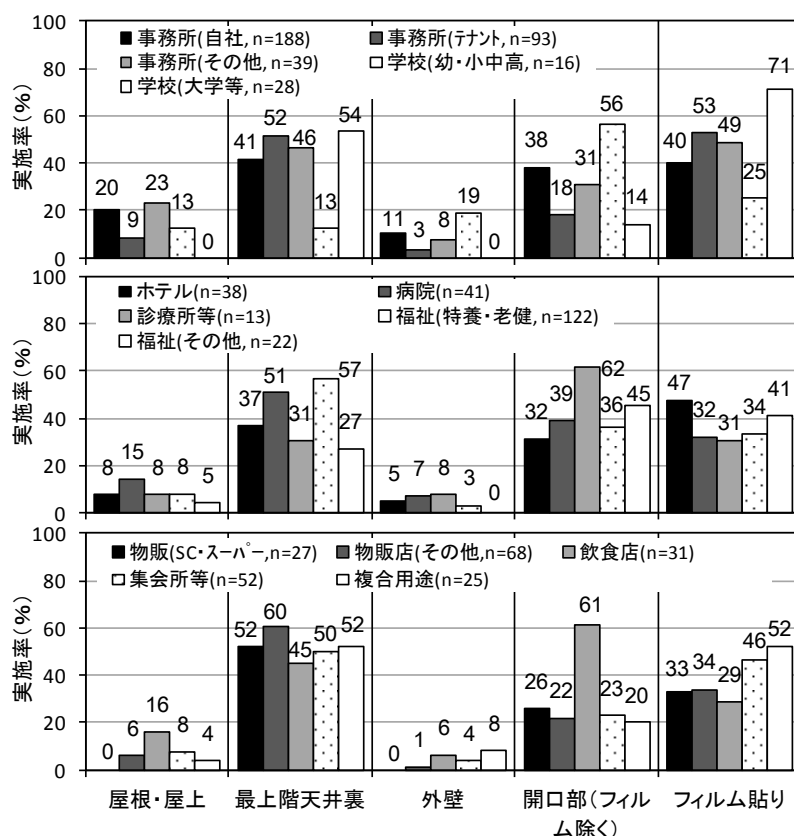


図 3.3.20 建物用途別の建築外皮改修の実施状況

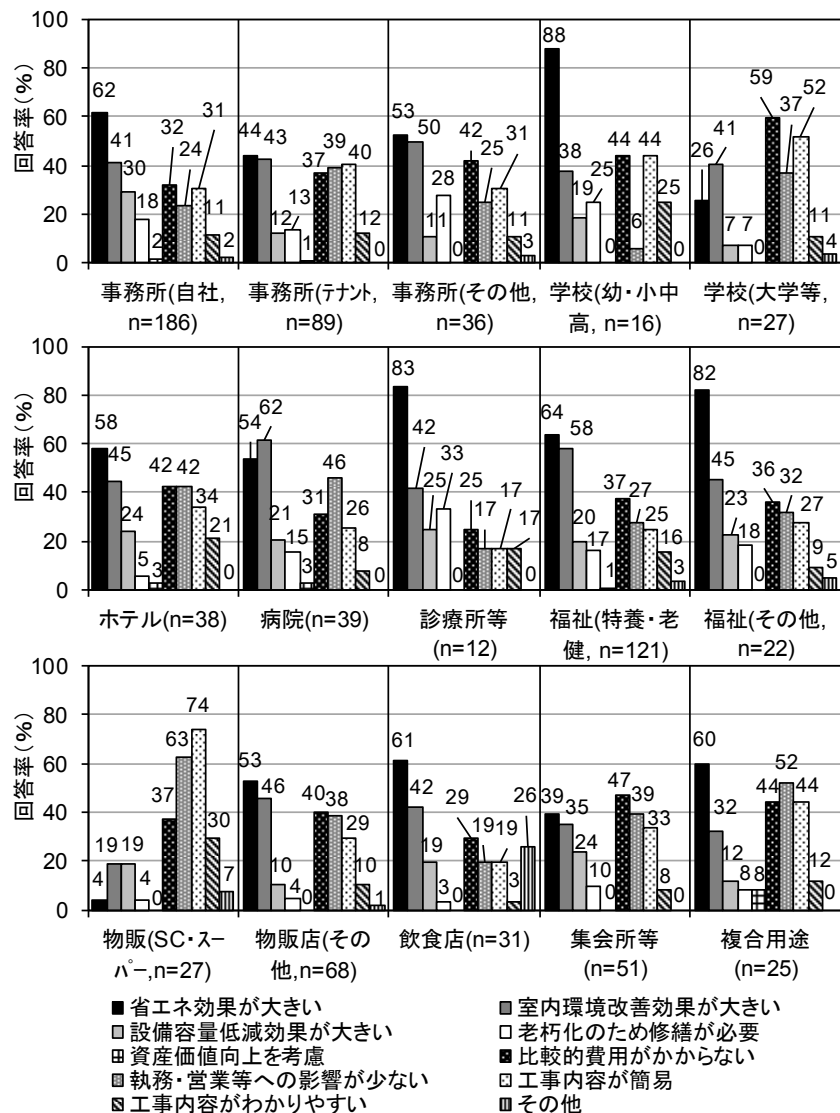


図 3.3.21 改修箇所の選択理由（MA、上位3つ）

3.3.7 事業者アンケート結果の考察

本節では、国土交通省が既存建築物の省エネルギー改修を推進するために実施する補助事業を活用した改修工事について、改修工事の実態と課題抽出を行った。分析対象とした補助事業は、建築外皮の省エネルギー改修が補助の必須要件となっており、未だ実施例の少ない非住宅建築物の建築外皮改修の実態を把握できることが特徴である。しかしながら、補助事業に採択されるために建築外皮改修を実施している事例があるなど、調査結果は、補助要件として実施された建築外皮改修としてバイアスがかかっている可能性がある点に留意する必要がある。

また、補助事業には補助限度額が設定されているために、結果として、中小規模建築物の応募が多く、実態データの蓄積が少ない中小規模建築物の実態を把握できる貴重なデータでもある。

採択事業者に対するアンケートでは、非住宅の省エネルギー改修全般と建築外皮改修の実態や課題が把握でき、アンケート結果から得られた実態として特徴的な点を以下に述べる。

- 1) 省エネ改修には幅広い業種が関わり、設備改修に関わる事業者が事務代行者、相談先として関わるが多い。
- 2) 改修事業を実施した建物所有者は改修への関心が高いが、中長期的な改修計画を立てていない建物の事業実施も多く、補助事業がこうした建物が改修を行うきっかけとなっている。特に、築10～25年の建物の応募が多く、設備更新を契機として改修工事が行われていると推測される。
- 3) 改修工事は居ながら工事が大半であり、建物用途に応じて工事期間等の工夫がなされている。特に、ホテル、福祉施設等の多数の人々が滞在する施設では工事調整に苦労している様子もうかがえる。
- 4) 建築外皮では、屋根・最上階天井裏、開口部の改修事例が多く、部位の大半を改修する事例も見られるが、補助事業を活用しながらも部分的な改修にとどまる事例も多い。また、あくまでもアンケートの回答結果ではあるが、改修前の仕様として、開口部は単層ガラスが大半で、外壁と比べて屋根は断熱なしとする割合が高い。
- 5) 改修対象の建物では、用途による建物形状の違いが見られるものの、改修部位や改修手法の選択には、省エネ効果だけではなく、建物利用条件(営業時間等)の影響も大きい。
- 6) 省エネルギー改修の課題として、初期投資や工事規模の大きさ、費用対効果の分かりにくさが挙げられている。特に非住宅では、建物所有者、工事施工者等の事務代行者のいずれからでも建築外皮改修の費用対効果の分かりにくさが指摘されている。

【注釈】

本節の分析は、国土交通省の支援を受け、一般社団法人日本サステナブル建築協会内に設置された「既設建物の省エネ改修に関する検討ワーキング(主査:秋元孝之、委員:清家剛、金容善、鷺崎桃子、蔡宜君(2010～2011年度)、太田仁子(2009年度)、佐藤拓馬(2010～2011年度)、宮澤由紀(2010～2011年度)、武藤直樹(2010～2011年度)、青笹健、事務局:生稲清久)」の成果の一部である。

3.4. 事業者ヒアリングによる改修市場動向と投資判断等に関する実態分析

3.4.1 調査概要

前節の国土交通省が実施する建築物等の省エネルギー改修に対する補助事業を活用した改修事例を対象とした事業者アンケートにおいて、建築外皮改修については、補助事業を活用しつつも部分的な改修にとどまる事例も多いこと、費用対効果がわかりにくいことが課題の一つであるといった実態が明らかになった。また、補助事業を活用する建物の用途は多岐にわたっており、また、事業の遂行には多様な業種の事業者が関わり、補助事業の継続的な実施によって、省エネルギー改修市場の広がりも見られている。

本節では、同事業を中心に非住宅建築物の建築外皮改修に関わる異なる業種の事業者に対するヒアリング結果から、省エネルギー改修の市場動向や改修に至るきっかけ、投資判断等の実態を明らかにする。同補助事業は、2008年度に創設され、2014年度まで、名称や事業内容を一部変更しながら継続的に実施されており、事業者ヒアリングは、同事業の創設、事業内容の変更とあわせて、2009年度、2012年度、2015年度の3回に分けて実施した。表3.4.1に事業者ヒアリングの概要をまとめる。

なお、2009年度及び2012年度の事業者ヒアリングは、国土交通省の支援のもと、一般社団法人日本サステナブル建築協会に設置された「既設建物の省エネ改修に関する検討会（主査：秋元孝之）」の活動の一環として実施したものである。また、2015年度の事業者ヒアリングは、国土交通省の支援のもと、一般社団法人日本サステナブル建築協会に設置された「既設建物の省エネ改修に関する検討ワーキング（主査：秋元孝之）」の活動の一環として、芝浦工業大学秋元研究室と東京大学清家研究室の共同研究として実施したものである。

表 3.4.1 省エネルギー改修に関する事業者ヒアリングの概要

	実施時期	対象事業者	ヒアリング内容
2009年度	2009年 5月～8月	2008～2009年度採択事業 関係事業者 計12社 (エネルギー、総合建設、設備 施工、機器・計装、建築主)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新設された省エネ改修補助事業における役割、施主等の反応 ・ 省エネ改修市場の動向と期待、見通し ・ 建築外皮改修推進の課題等
2012年度	2012年 11月～ 2013年2月	2008～2012年度採択事業 関係者事業者 計11社 (エネルギー、設備施工、機 器、設計事務所)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 省エネ改修補助事業に対する認知度 ・ 省エネ改修市場や採用技術の変化 ・ 今後の省エネ改修における課題と期待される建物等
2015年度	2015 8月～9月	省エネ改修に関わる事業者 計6社 (ガラス・サッシメーカー、設計 事務所、設備施工)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 省エネ改修との関わり方(体制、改修用商品、設計方法等) ・ 建築外皮・外装改修に至るきっかけ、投資判断の基準 ・ 建築外皮改修推進の課題等

2009年度ヒアリングでは、2008年度から創設された省エネ改修事業において、制度創設当初の2008年度及び2009年度の採択事業に多く関係している各業種の事業者を対象に、省エネルギー改修の市場動向と補助事業の活用にあたっての効果や感想、建築外皮改修にかかる課題等を把握した。

2012年度ヒアリングでは、制度創設から一定の年数が経過し、補助事業が広く認知され、補助事業を活用した省エネルギー改修工事もパターン化する事例も見られ、省エネルギー改修への取り組みの経緯、市場動向などの見通しを把握した。

2015年度ヒアリングでは、非住宅の建築外皮・外装改修として、同事業以外の外装改修や省エネルギー改修工事にも広く携わる各種事業者を対象に、建築外皮改修の実施に至る経緯、きっかけ、投資判断の目安などの実態を把握した。

3.4.2 省エネルギー改修の市場動向に関する事業者ヒアリング(2009年度ヒアリング)

省エネルギー改修事業の課題や市場動向を把握することを目的に、国土交通省の省エネルギー改修に関する補助事業が創設当初の2008年度及び2009年度の採択事業に関わった事業者を対象として、2009年5月～8月に実施したものである。本ヒアリングによって、制度創設時の省エネルギー改修市場の動向や今後の見通し、省エネルギー改修促進に向けたインセンティブ等を把握した。

【ヒアリング対象事業者：全12社】

エネルギー事業者(2社)、総合建設業(2社)、設備施工会社(2社)、設備機器・計測機器会社(3社)、ESCO事業者(2社)、建築主(2社)

非住宅部分野の省エネルギー改修市場の有望な分野として、竣工後10～15年経過した建物、省エネルギー法や自治体独自の省エネルギー規制を受ける建物、エネルギー多消費型建物（病院・ホテル・大型商業施設・高齢者関連施設等）、チェーン展開する施設（コンビニ・ファミレス・その他多店舗ユーザー等）、付加価値の向上を狙う賃貸ビルなどが挙げられた。

一方、建築外皮改修に対しては、設備改修に比べて費用対効果が低いこと、工事が大がかりで工期も長くなり、建物使用への制約が大きいことなどから建物所有者側の理解を得ることが困難である、改修後の効果検証が難しいなどといったアンケート結果と同様の課題が挙げられた。また、改修工事を計画的に進める観点から、支援策の継続的、定期的な実施を要望する意見が多数挙げられ、補助金以外の支援策として、税制優遇、省エネルギー改修の実績や効果に関するデータ公開、省エネルギー改修やCASBEE評価を実施した建物の資産価値を向上する仕組みづくりも求められている。その他、改修事業との関わり方等について、各事業者から挙げられた回答を例示する。また、事業者ヒアリング結果の概要を表3.4.2にまとめる。

- 1) 各業種の事業者に対して補助事業等の情報を提供し、共同で事業を進めている。建築主等に出向くことも多く、ニーズを把握しやすい（エネルギー事業者）。
- 2) 建物全体としての省エネルギー改修を主に行っており、設備改修だけではなく、建物全体の質、性能向上を目指し、比較的長期にわたる大規模改修を重視している（総合

建設業)。

- 3) 設備改修、特にセントラル熱源方式の大規模建物を中心に改修を行っており、省エネルギー制御も重視している。工事受注にあたって省エネ診断を行うことも多い（設備施工会社）。
- 4) 専門設備の改修ノウハウを持ち、居ながら改修を得意とする。専門設備以外の改修、他社との協力は特に積極的には進めていない。中小ユーザーへの改修の浸透に期待している（設備機器メーカー）。
- 5) 設備改修でも、省エネの保証や効果の検証を重視しており、特に BEMS の導入促進への期待が大きい（計測機器メーカー）。
- 6) 費用対効果を重視しており、設備改修に特化することも多い。中小規模建物の省エネルギー改修では、建築主の資金調達において与信が得にくい案件が増加しているとの課題もある（ESCO 事業者）。
- 7) 多数のロードサイド型店舗を展開しているが、建築形態はほぼ決まっている。事業者としても省エネルギーへの貢献を目標としており、順次改修を進めている。多店舗を所有する場合、プロトタイプの改修パターンが決まれば、標準型として水平展開できる。ただし、実際に改修するか否かの判断は当該店舗の採算性によるところも大きい。（建築主）

表 3.4.2 2009 年度ヒアリング結果（省エネルギー改修の市場動向や課題）

項 目	内 容
省エネ改修を 巡る動向	<ol style="list-style-type: none"> 1) 総合建設会社: 建物全体の省エネ改修がねらい。設備改修だけではなく、長期的回収を前提とした大規模改修を重視。 2) 設備施工会社: 設備改修、とりわけセントラル熱源方式の大規模建物がねらい。省エネ制御も重視。 3) 空調機器メーカー: 設備改修がねらい。個別空調機器を設置する中小ユーザーへの浸透に期待。 4) 計測機器メーカー: 設備改修がねらい。省エネの保証や効果の検証を重視。BEMS への期待が大。 5) ESCO 事業者: 費用対効果がすべてで、設備改修に特化。与信が困難視される案件が増大していることに危機感。 6) 建築主(ロードサイド型飲食店): 事業全体で省エネの貢献を目指し、標準的な改修パターンを定め、水平展開を図る。窓ガラス面積も大きく、方位によって断熱優先、遮熱優先で技術を使い分ける。
省エネ改修市場 として有望な 建築物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 竣工後 10～15 年経過した建築物 ・ 省エネ法や東京都の規制(環境確保条例等)を受ける建築物 ・ エネルギー多消費型建築: 病院、ホテル、大型商業施設、データーセンター、地域冷暖房施設、高齢者関連施設、温浴施設等 ・ 小規模でチェーン化している施設: コンビニ、ファミレス、その他多店舗ユーザー等 ・ 付加価値の向上をねらう賃貸ビル: 証券化ビル等
建築外皮の 省エネ改修の 難しさ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 費用対効果が設備改修に比べて悪く、建物側の理解が困難 ・ 工事が大がかりで工期も長いなど、建物使用への制約が大 ・ 効果の事後検証がどこまでやれるかが疑問 ・ 省エネ改修に熱心な業界は設備系の改修が主 ・ 深夜まで営業する飲食店では、営業終了後から翌朝の営業開始までに夜間工事で一気に改修工事を終了する必要あり(営業に制約が出る改修工事は実施しにくい)
省エネ改修を 推進する 支援策や インセンティブ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計画的に改修を進める観点から事業の継続性、定常化を強く要望 ・ 補助率は 1/3 程度が現実的との意見が多 ・ 省エネ効果の大小や改修の難易度に応じた配慮に期待 ・ 一事業者当たり補助額の拡大を要望 ・ 資金面で余裕の無い中小事業者への優遇策に期待 ・ 簡易的な建築外皮改修手法(フィルム、塗料等)への期待が大
省エネ改修推進 に向けた課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建築外皮の省エネ改修効果に係る評価手法 ・ 計測コストをできるだけ抑えた事後検証手法 ・ 耐久性・信頼性等に優れた簡易型建築外皮省エネ技術の開発と実証

3.4.3 省エネルギー改修市場の広がり等に関するヒアリング(2012 年度ヒアリング)

前述の国土交通省による省エネルギー改修への補助事業は、2008 年度以降、継続的に実施され、毎年相当程度の応募が見られた。2014 年度には、制度創設から一定の年数が経過し、制度もある程度定着してきたと考えられることから、同事業に関わる関係事業者に対して、省エネルギー改修市場の広がり等についてのヒアリングを行ったものである。

また、東日本大震災とその後のエネルギー需給状況から、多くの既設建物では節電対策として、様々な省エネルギー策が講じられた。本ヒアリングでは、東日本大震災以降の節電対応、エネルギー需給を踏まえた市場動向についても調査した。

2012 年度ヒアリングは、2012 年 11 月～2013 年 2 月に、2008～2012 年度の採択事業に多く関わった下記の計 11 社を対象に実施した。なお、11 社のうち 5 社は 2009 年度ヒアリングにおいても対象とした事業者である。

【ヒアリング対象事業者：計 11 社】

エネルギー事業者(4 社)、設備施工会社(2 社)、設備機器・計測機器会社(2 社)、ESCO 事業者(2 社)、設計事務所 (1 社)

国土交通省の省エネルギー改修に対する補助事業は、2008 年度の創設から 5 年間が経過し、省エネルギー改修に関わる事業者には、建築主等の間でも補助事業への認識が広がってきたと認識されている。その結果、補助事業の活用を前提に、省エネルギー改修の実施を依頼する建築主の増加、ESCO など関連事業への認識の高まりなどの変化が見られるとの点が大きな変化としてあげられた。また、すでに補助事業を活用した建築主、複数の建物を所有する建築主では、他の建物の省エネルギー改修への意欲も高いなど、改修市場の広がりも指摘されている。

一方、建築外皮の省エネルギー改修については、効果のわかりにくさ、費用対効果の不明確さやコスト増などの課題が相変わらず指摘されている。また、同事業では建築外皮改修として、日射調整フィルムへの補助も認められるようになり、日射調整フィルムを活用した改修例も増加している。建築外皮改修の推進に向けては、エネルギーコスト削減以外の温熱環境改善、外装デザイン向上などの価値を訴求してことや、外部足場を初めとする改修工事の負担を軽減できる簡易な改修手法なども望まれている。

また、東日本大震災以降、電力需給の逼迫に伴い、節電を契機に省エネルギーへの意識は強まっているが、それが省エネルギー改修に結びついているかは事業者によってとらえ方も異なる様子がうかがえる。さらに、節電や防災対策と連携した省エネルギー改修についても、関心はあるがコスト面が課題となると指摘されている。表 3.4.3～表 3.4.5 に 2012 年度ヒアリングの結果をまとめる。

表 3.4.3 2012 年度ヒアリング結果（省エネルギー改修の市場動向の変化）

項 目	内 容
省エネ改修を 巡る動向・変化	<p>1) エネルギー, ESCO 事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 補助金活用は報告・検証の手間が負担との認識があったが、本補助事業でその認識は払拭。積極的な姿勢に変わった。行政の規制強化とあわせ、補助金活用を視野に入れている。 ・ 改修計画に補助金を織り込んでいる建築主もいる。 ・ 当該補助金を契機に省エネ改修を進めた事業者が多い。 ・ 補助事業に関する認識も広がり、ESCO に対する認識も広まった。 <p>2) 設備施工会社</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 設備投資が先延ばしになっているため、補助金活用で改修を実施するという例はあるが、大きな変化は見られない。 ・ 積極的に補助金を活用する例が増加、補助金活用の可能性についての問い合わせも増加。補助事業に採択された施主から他の施設での省エネ改修の検討もするようになった。 <p>3) 空調機器会社</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 震災以前は環境保護への意識が強かったが、震災後は特に原発問題～電力不足問題から省エネに対する意識が強くなっている。 ・ 顧客側に補助金を活用して改修するという意識が強くなり、補助金活用がなければ商談が進まない場合もある。 <p>4) 設計者</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 前向きに検討したいとの発言を聞く機会が増加。一方補助金活用には、申請手間を懸念する声もある。
他の建物への省 エネ改修の普及 効果、今後 有望な建築物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 採択された事例を基に同業種へ展開、同じ業界内では口コミでも広がっている。 ・ 補助事業に採択された施主から他の施設での省エネ改修も検討したいとのケースも多い。 ・ 複数施設保有の建築主では、他の保有施設への展開を必ず打診してくる。改修後の効果が高いと、時期的に補助金申請不可でも全負担で改修する施主もある。 ・ ビル管理会社、多店舗企業、複数施設を経営する医療法人などで波及している。 ・ オフィス中心のリートでは、修繕計画の中で補助金の活用を行っている。シリーズ化はされており、修繕計画の中で行う分には採択されなくても行う。
建築外皮 省エネ改修への 取り組み状況	<p>1) エネルギー, ESCO 事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 日射調整フィルムまたは複層ガラス。 ・ 日射調整フィルムが一番多く、次に天井断熱、屋上断熱。 ・ 地場の設備事業者、フィルムメーカー、元施工のゼネコン、設計事務所等と連携。 ・ 窓ガラスの複層化は比較的ニーズが高く、実効性も高い。 <p>2) 設備施工会社</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 日射調整フィルム施工。ペアガラス等サッシ取り換えは改修工事が大きくなるため好まれない。 ・ ペアガラス（アタッチメント）が多いが、最近は日射フィルムも使用。 ・ フィルムメーカー、建材商社、外断熱メーカー、屋根メーカーと連携。 ・ 外断熱改修（外壁改修との兼用評価による経済性）も有望。

表 3.4.4 2012 年度ヒアリング結果（省エネルギー改修の市場動向の変化：続き）

項 目	内 容
建築外皮 省エネ改修への 取り組み状況 (続き)	<p>3) 空調機器会社</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 最上階天井裏断熱、日射調整フィルム。 ・ フィルムメーカー、断熱材メーカー等。建築外皮改修は自社グループ施工やゼネコン、サブコン等と連携。 <p>4) 設計者</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 日射調整フィルムの設置。 ・ 地下躯体（ピット）を使った外気導入、比較的開口部の大きなビルのダブルスキンも有望。
建築外皮 省エネ改修に おける課題と 推進策	<p>1) エネルギー, ESCO 事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 単体での効果の検証が難しい点、費用対効果がわかりにくい。工期の長期化やコストの高さ。 ・ 施主の建築外皮改修への理解、認知が進んでいない。 → 効果的な事例での理解を進める工夫、補助率の増加、エネルギーコスト評価のみならず、快適性向上も含めた訴求。 <p>2) 設備施工会社</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 改修工事が大掛かりかつ高額となる。外壁改修では足場設営の負担も大きい。 ・ 効果を評価することが難しく、説明もむずかしい。 → 足場を立てずに室内側から出来る改修工事の提案、簡易実測方法の確立、材料・施工コストの低廉化など <p>3) 空調機器会社</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 費用面と工程面。テナントビルでは間仕切り等にて施工ができない等の問題点もある。 ・ 設備だけを更新したいとの顧客ニーズも高い。 → コストの釣り合いをどう考えるかがポイント。 <p>4) 設計者</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ある水準の断熱性能があるビルでは、劇的な効果を発揮するためには大規模な外装改修となる。工事費に対するメリットが得にくい。 → 省エネだけではなく、温熱環境（窓側等）の向上、デザイン面の向上効果の訴求
テナントビルに おける省エネ改修 への課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 省エネ効果を定量評価し、管理できる運用組織がないことが一番の問題。 ・ 更新費用負担＝オーナー、実質の光熱費削減利益＝テナントとなっており、オーナーが投資しにくい、昨今は、光熱費削減効果を折半する例も見られる。 ・ テナントの空調費は面積按分や共益費への上乗せという形での課金となり、省エネのインセンティブが働かない。 ・ オーナーは改修経費や環境改善効果を賃貸料（共益費含む）に転嫁しにくい。 テナントが使った分だけ支払う課金システムを導入することが必要だが非常に高価。

表 3.4.5 2012 年度ヒアリング結果（省エネルギー改修の市場動向の変化：続き）

項 目	内 容
省エネ改修全般 の推進策	<ul style="list-style-type: none"> これまでの採択事例を整理し、費用対効果の良い改修事例を広く公開する。 省エネ診断への補助、設計費への補助。 区市町村単位または団体単位で一斉に複数物件を改修する補助事業の創設。 計測装置への補助と省エネルギー報告による優遇税制等。 建物の規模、業態、古さなどで対象を特化、計測と事後検証を重点化、補助率を段階化ないし縮減等 中小企業への手厚い補助、中小建物を対象とするESCO支援制度
震災後の 市場動向	<p>1) 省エネ改修ニーズの変化</p> <ul style="list-style-type: none"> 節電の流れが大きく、省 CO₂ や省エネとは異なるニーズが大きい。 電力需給逼迫エリアや電気料金値上げエリアを優先して改修する動きがある。 停電対応の CGS、停電対応のガス空調機器等。CGS に関する問い合わせが増加。 改修ニーズよりも、すぐに実行できる運用に関する省エネ技術／努力に対する関心も高まっている。 当初の我慢の省エネから、快適性を維持しながらの省エネへの要望が増加。 省エネに対する意識が強くなった。今後は電気料金値上げなど顧客のコストアップに直結する問題もあることから、省エネ改修のニーズもさらに高まると予測。 問い合わせは非常に増加しているが、省エネよりも節電の意識が強い。極端な例では CO₂ 排出量が増加しても節電で安くなる方を選ぶという顧客もいる。 特に電力に関して省エネ改修ニーズが高まっている。 <p>2) 節電、防災対策と省エネ改修へのニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> 基本的に BCP 対応と省エネは分けて考えており、自立電源確保と省エネ改修事業計画は別扱いとしている企業が多い。 中部地区では、計画停電や節電等の影響も少なく、関東と比べると危機意識が低いように感じる。 一体的な実施の引き合いも多いがコスト面で課題がある。 病院で、一体的な実施との動きが顕著に現れてきている。 節電と省エネ改修の組み合わせニーズは非常に多い(LED 照明、高効率空調機、ピークカットとしての蓄熱など)。 中小建物の場合、防災対策と省エネの組み合わせ(CGS など)は、費用負担が大きくて検討は少ない。地方では都市ガスの普及率が低く、プロパンガスでは採算が取れないため CGS の導入の検討は少ない 節電対策そのものが省エネ改修の大きな動機になっているように感じる。 防災対策のニーズ(特に蓄電池)はあるが、費用面で二の足を踏んでいる。 自立電源や節電の動きが大きい。また耐震や省エネのメンテナンスや診断が増加している。 企業自体の BCP についてより真剣に検討するようになっており、現在の建物を使用していかを検討する傾向があると推察する。

3.4.4 省エネルギー改修の投資判断等に関する事業者ヒアリング(2015年度ヒアリング)

非住宅建築物の建築外皮改修については、事業者アンケートや事業者ヒアリングにおいて、費用対効果が明確ではない、補助事業の要件となっていなければ建築外皮改修の実施は難しいとの指摘が多くなされてきた。一方、非住宅建築物向けの後付け窓の改修用製品も発売されるなど、一部で建築外皮の省エネ改修市場としての新たな動きも見られる。

そこで、2015年度には、前述の省エネルギー改修の補助事業だけではなく、広く省エネルギー改修に関わる事業者を対象に、これまでの改修事例に関わった経験から、建築外皮を中心とした省エネルギー改修において、改修工事に至るきっかけ、目標、投資判断基準等の実態の把握を目的として事業者ヒアリングを行った。ヒアリング対象とした事業者は、計6社（予定含む）で、2015年8月～9月に実施したものである。

【ヒアリング対象事業者：計6社】

設計者・建築主（4社）、開口部関連メーカー（2社）

今回のヒアリング対象とした事業者からは、補助事業の活用を前提とした設備を含む省エネルギーを目的とした建築外皮改修だけではなく、補助事業の活用に関わりのない外装更新を目的とした建築外皮改修に関係する事例もあると指摘があった。また、外装更新のきっかけとしては、

- ① 物理的要因：経年劣化による第三者障害の防止および保全維持（外壁表面の剥離、建具や防水材の劣化）
- ② 意匠的要因：美観の向上、イメージアップ（意匠の古さ、腐食や汚れ、補修痕）
- ③ 機能的要因：サッシ・カーテンウォールの機能的劣化状態の改善（設備や建具の旧式化、インテリジェント化）
- ④ 経済的要因：経営的判断、資産保全および価値向上（テナントの需要、付近環境との不適合、市場性の低下）
- ⑤ 行政的要因：法規の改定（容積率変化など土地利用規制や建築基準法など防災規制への適合、税制変化への対応）

が上げられ、改修を行う場合に省エネルギー性を考慮しないことは現在ほとんどないとも指摘された。

一方、建築外皮改修については、目標の設定が難しい面もあるが、単独での投資回収年数などの目標や投資判断基準はなく、設備を含む総合的な省エネルギー改修として10～15年での投資回収、あるいは外装更新であれば前述の目的の達成を目安とすることが多いと指摘されている。

2015年度ヒアリングは、事業者によって省エネルギー改修との関わりが大きく異なるが、各社からのヒアリング結果を表3.4.6～表3.4.7にまとめる。

表 3.4.6 2015 年度ヒアリング結果（省エネルギー改修との関わり、投資判断等）

事業者	内容
A 社 (ガラスメーカー)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非住宅用の後付け内窓商品(改修用)を開発・販売 ・ 非住宅はバブル期の建物でも単層ガラスが用いられ、窓性能は低く、室内環境改善と省エネルギー促進に向けて商品化 ・ 現在はまだ首都圏の大規模物件での採用事例が多い(潜在的に多くの需要が見込める)が、コンビニ・カーディーラーなどのガラス面の多い中小(低層)建物向けの外付け商品も開発・商品化 ・ 後付け、原状復帰も可能であり、テナントでも設置は可能 ・ 実施例において、ペリメータ環境の改善に対する満足度は高いようだが、温度計測などは難しく、実測例は少ない
B 社 (サッシメーカー)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特に改修用商品はないが、新築用をアレンジし、外装更新を中心に専門部署で改修工事を手がける ・ 改修事例ではカバー工法の施工実績が多く、全面改装事例もあり ・ 外装改修に至るきっかけは以下に大別され、以前は①や②が多かったが、最近では③～⑤がきっかけとなることが多い <ul style="list-style-type: none"> ①物理的要因:経年劣化による第三者障害の防止および保全維持(外壁表面の剥離、建具や防水材の劣化) ②意匠的要因:美観の向上、イメージアップ(意匠の古さ、腐食や汚れ、補修痕) ③機能的要因:サッシ・カーテンウォールの機能的劣化状態の改善(設備や建具の旧式化、インテリジェント化) ④経済的要因:経営的判断、資産保全および価値向上(テナントの需要、付近環境との不適合、市場性の低下) ⑤行政的要因:法規の改定(容積率変化など土地利用規制や建築基準法など防災規制への適合、税制変化への対応) ・ 改修対象となる建物は築 30～40 年を経過し、一回目の設備更新からしばらく経った時期が多い。また、近年は省エネルギーを目的とする要求も高まっている。 ・ 既存建物では傾きや沈みが発生するため、改修工事にあたっては事前の現場調査が必須となる
C 社 (設計事務所)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自社の住宅兼事務所の中小建物(3階建て)において省エネ改修を実施 ・ 改修の外壁は ALC のみであり、東京に立地する事務所であったが寒さ対策が課題であった(前面に建物が建ってから、低層階で特に顕著) ・ 改修にあたっては、断熱性能等の目標値を設定(住宅の省エネ基準による) ・ 建築外皮は、最上階天井裏に全面充填断熱(ほぼ天井裏空間を断熱材で埋める)、外壁の外断熱(ALC 外側に断熱材を貼付)、木製あるいは樹脂製サッシと複層ガラス ・ 居住性の向上を最優先とし、投資回収年数は重要視しなかった ・ 外断熱にあたり、通路等の間口が狭くなるといった課題も生じたほか、外断熱はコスト上の問題で構法を変更した経緯もあり

表 3.4.7 2015 年度ヒアリング結果（省エネルギー改修との関わり、投資判断等：続き）

事業者	内容
D 社 (設計事務所)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 専門部署で改修工事を提案、改修工事では必ず省エネの提案も行う ・ 大規模テナントビルでの省エネルギー改修事例でのきっかけ等 <ul style="list-style-type: none"> ・ 設備更新の時期が迫り、事前のエネルギー使用量計測を実施 ・ 同時期に国土交通省の補助事業が創設され、テナントビルのパイロット事業として応募し、採択 ・ 事前に綿密な計測をしていたため、既存配管の活用等を含めた改修工事を実施 ・ 建築外皮は開口部の改修のみ ・ テナントビルでは改修工事の施工にあたって営業停止することはできず、土日のみの作業となった箇所も多い(当該物件では、テナントフロアを施工会社が借りており、モデル施工として綿密な施工計画を立てることもできた) ・ 建築外皮に関しては、効果が見えにくく、顧客からの要求はほとんどない ・ 開口部は劣化や汚れなどの見た目の問題を切り口に施主へ提案し、より高性能なものへの更新を行うことはある ・ 改修工事の内容は、個々の投資回収年数の判断とよりも、総予算が左右した(補助金はより高性能なものへの仕様変更などに活用)
E 社 (設備施工会社)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国土交通省の省エネ改修事業でも多くの物件を手がける ・ 設備施工が専門であるが、建築外皮改修も手がけ、他社との差別化を図る ・ 補助事業でないと、建築外皮の省エネ改修工事は行いにくい ・ 改修工事では、個々の手法の投資回収年数ではなく、トータルの投資回収年数で提案(15年以内) ・ 改修に至るきっかけは、下記があげられ、特に①～③が多い <ul style="list-style-type: none"> ①温熱環境の質の低下(効きが悪い、ムラがある、応答性が悪い) ②空調設備の経年劣化(故障、騒音、修繕費増、メーカーからの報告、交換部品の供給制約) ③空調設備の機能面の陳腐化(空調時間制御、エリア、温度設定) ④エネルギーコスト負担 ⑤環境対応 ・ 民間物件では工事判断材料として目標設定されることは少ないが、公共物件では省エネ目標を設定されることもある ・ 省エネを目的とした建築外皮改修の依頼はほとんどないが、設備や外装改修にあわせて断熱改修を提案 (屋根断熱、窓断熱:真空ガラス・複層ガラス・フィルム施工など) ・ 日射調整フィルムは北関東では暖房期に寒さにつながっているとの声も上がっている ・ 断熱改修を行った事例では、利用者の声として温熱環境(寒さ)の改善効果が確実に実感されている

3.4.5 事業者ヒアリング結果の考察

本節では、国土交通省の省エネルギー改修に関する補助事業を中心とした改修事例に多く関わる事業者へのヒアリングに基づいて、経年的な省エネルギー改修の市場動向、省エネルギー改修に至るきっかけや投資判断、建築外皮改修にかかる取り組み状況と課題などの実態を把握した。事業者ヒアリングによって明らかとなった改修市場の広がり、省エネルギー改修に至るきっかけ等の実態として特徴的な点を以下に述べる。

- 1) 継続的に補助事業が実施されてきたことで、省エネルギー改修市場の広がりが見られる。補助金の活用が前提となるが、建築主の省エネルギー改修への関心も高まっている。特に、一度補助事業を活用した建築主や複数の建物を所有する建築主では、他の建物での省エネルギー改修へともつながっている様子もうかがえる。
- 2) 建築外皮改修は、効果のわかりにくさ、費用対効果の不明確さやコスト高が課題とされ、多くは補助事業の要件となっていなければ実施されにくいと指摘された。一方、建築外皮改修を実施した建物では利用者の声として温熱環境(寒さ)の改善効果が実感されていることもあげられた。
- 3) 一般に省エネルギー性能にあまり関心が高くないとされている商業施設でも、積極的に窓面の改修を進める事業者も見られる。特に、改修工事は居ながら工事が大半であり、建物用途に応じて工事期間等の工夫がなされている。特に、多数の店舗を展開する事業者では、標準的な改修手法を確立し、水平展開を進めている例もある。
- 4) ガラス・サッシメーカーでも非住宅における改修市場は今後大きなマーケットであると認識しており、一部では非住宅の窓改修用を商品化し、拡販に取り組む事業者も現れている。
- 5) 建築外皮・外装の改修に取り組むきっかけとしては、結露や寒さ、窓周りの劣化といった不具合対応のケースが多いものの、近年では省エネルギーや資産価値の維持・向上を考えた例も増えている。ただし、建築外皮・外装改修に関しては、事前の現地調査が重要であると指摘された。

【注釈】

本章の分析は、国土交通省の支援を受け、一般社団法人日本サステナブル建築協会内に設置された「既設建物の省エネ改修に関する検討会(2009年度及び2012年度、主査:秋元孝之、委員:根津浩一郎、住吉大輔、太田仁子、青笹健、事務局:諏佐庄平、生稲清久)及び「既設建物の省エネ改修に関する検討ワーキング(2015年度、主査:秋元孝之、委員:清家剛、金容善、蔡宜君、豊川裕里、原田優作、藤原和典、千葉麻貴、金子郁麻、青笹健、事務局:生稲清久)」の成果の一部である。

3.5 第3章のまとめ

本章では、国土交通省が実施する建築物等の省エネルギー改修に関する補助事業の活用事例を対象に、事業者アンケートから、建築外皮改修の改修工事の内容や課題、事業者の建築外皮改修に対する意識等の実態を把握した。また、同事業を中心に多くの省エネルギー改修事例に関わる事業者ヒアリングから、建築外皮を中心とした省エネルギー改修市場動向、省エネルギー改修に至るきっかけや投資判断等の実態を把握した。

事業者アンケートでは、省エネルギー改修の推進策として補助制度への期待は大きく、補助事業を活用して幅広い用途の建築物で省エネルギー改修が実施されてきていることが明らかとなった。一方、補助事業を活用した省エネルギー改修事例は、建築設備の更新時期に実施されていることも多く、建築外皮改修では部分改修にとどまることが多い。非住宅建築物の建築外皮改修としては、屋根改修や開口部改修の実施例が多く、外壁の断熱工事は実施例が少ない。これは、改修工事がいわゆる居ながら改修として、建物を使用しながらの工事が多く、外部足場を要する大規模な工事は、経済性のみならず、建物使用上の制約も大きいことが要因として指摘されたことも関係すると考えられる。また、改修工事に関わる様々な立場の事業者のそれぞれにとって使いやすい制度設計が望まれており、建築外皮改修については、特に非住宅において、設備改修と比べても、費用対効果がわかりにくいとの指摘も多く、建築外皮改修にあたっての大きな課題の一つと言える。

事業者ヒアリングでは、継続的に省エネルギー改修に対する補助事業が実施されてきたことで、建築外皮を含む省エネルギー改修への理解も進み、改修市場の広がりがうかがえ、一部の事業者では建物の特性に応じた建築外皮改修手法のパターン化して推進する動きも見られる。さらに、バブル期の建築物であっても窓ガラスには単層ガラスを用いた事例が多く、温熱環境の改善や省エネルギーの観点から、非住宅の開口部改修製品が商品化されるなど、非住宅建築物の建築外皮改修促進に向けた新たな芽も見られた。

また、建築外皮については、築30～40年を経過した建物において、機能的劣化や資産価値低下などの経済的要因で外装更新として改修工事が実施されることも多いが、近年は外装更新においても省エネルギー性を重要視することが増えてきたとの指摘や、建築外皮改修では省エネルギー性のみならず、温熱環境の改善効果など、付加的な価値も訴求する必要があるとの指摘もなされており、建築外皮改修の促進に向けて重要な視点である。加えて、建築外皮を含めた総合的な省エネルギー改修として適切な手法がどのようなものであるか、建築外皮の省エネルギー改修効果に係る評価手法・検証手法などの確立、さらには建物使用への制約が小さい簡便な外皮改修手法の開発と普及啓発も課題である。

第4章 数値計算に基づく 建築外皮の省エネルギー改修 効果の検証

4. 数値計算に基づく建築外皮の省エネルギー改修効果の検証

4.1 はじめに

前章の事業者のアンケートやヒアリングでは、①非住宅建築物の建築外皮改修において屋根改修及び開口部（窓）改修の実施例が多いこと、②建物用途や建物形状と外皮改修手法の選択には明確な傾向が見られないこと、③費用対効果がわかりにくいことや定量的な効果が明確ではないことが建築外皮改修の一つの課題であることなどが明らかとなった。また、事業者ヒアリングでは、①窓改修を実施した建物の利用者からは温熱環境改善の効果が評価されている、②単層ガラスを用いた建築物は非常に多く、温熱環境の改善と省エネルギー性の観点から簡便な改修工事によって複層ガラス化を図る改修向け製品を商品化し、今後の市場拡大に期待しているなどの指摘もあった。

本章では、これらの実態を踏まえ、非住宅建築物の建築外皮改修のうち、実施例の多い「屋根改修」と「開口部（窓）改修」に焦点をあて、シミュレーション計算によって、省エネルギー効果を検証する。特に、建築外皮の熱性能が省エネルギー性や温熱環境に強く影響する中小規模の非住宅建築物では、建物形状による改修効果の違いも大きいと考えられ、規模及び形状の異なる建物モデルを想定し、地域特性や建物用途の違いと合わせて、体系的な建築外皮の省エネルギー改修効果の分析と建物特性に応じた適切な改修手法の選択に役立つ資料の提供を目標とする。

建築外皮の省エネルギー改修の効果には、改修前の外皮仕様や建物の使用条件など、様々な要因が関わると想定されるが、全ての要因を考慮した効果検証は難しい。そのため、本章では、まず、予備検討としてモデル建物におけるシミュレーション計算に基づいて、各種要因の改修効果に関する影響を把握した上で、地域、建物用途、建物形状、階数の違いによる感度分析を実施し、体系的な効果検証を行った。なお、実際の非住宅建築物において、建物形状や建築外皮仕様は千差万別であり、本章の検証結果は、一定の前提条件に基づくものである点に留意する必要がある。

4.2 評価ツールの概要

The BEST Program (Building Energy Simulation Tool, 以下 BEST) は、建築物・空調設備のみならず、照明設備、給湯設備、昇降機設備等をも含めた建築物の総合的なエネルギーシミュレーションプログラムとして開発されたシミュレーションツールである。建築外皮の熱性能や形状、室用途に応じた熱負荷計算が可能であり、同時に建築物全体としてのエネルギー消費量が計算できる。また、BEST はユーザーの利用目的に合わせて、簡易版・基本版・専門版で構成されており、建築・設備設計の各段階（企画・基本設計・実施設計）、運用・改修段階に応じて、各版の使い分けが可能である点も特徴である³⁷⁾。

本章の効果検証では、一定の前提条件による建物モデルを用いて、詳細なシステムの設定は行わず、建物形状や用途、地域の違いによる各種省エネルギー改修手法の効果を把握することを目的としている。そのため、建築物規模と用途、設備の概要を入力することで、暖冷

房負荷について最大負荷や年間負荷、年間エネルギー消費量が比較的容易に計算可能である The BEST Program（簡易版）を用いることとした。

4.3 モデル建物における建築外皮の省エネルギー改修効果に関する予備検討

4.3.1 モデル建物と計算条件

(1) 予備検討の概要

前章の補助事業を活用した省エネルギー改修事例では、建物用途によってある程度の建物形状の違いが見られたが、実際の非住宅建築物の建物形状、外皮仕様は多様であると想定される。また、中小規模建築は、大規模建築に比べて、建築外皮の熱性能の違いが省エネルギー性能により強く影響されることが考えられる。

本節では、屋根改修と窓改修について、シミュレーション計算から省エネルギー効果を把握し、検討条件を確認、確定するほか、中小規模建築の位置づけを把握するために実施した予備検討の結果をまとめる。

具体的には、規模と形状の異なる4つのモデル建物を設定し、事務用途を代表例として、札幌、東京、鹿児島異なる気象特性を持つ3都市において、屋根改修と窓改修の改修効果を把握する。まず、東京を例として建物方位による影響を把握した上で、方位を固定して3都市の比較を行った。

(2) モデル建物の建物形状

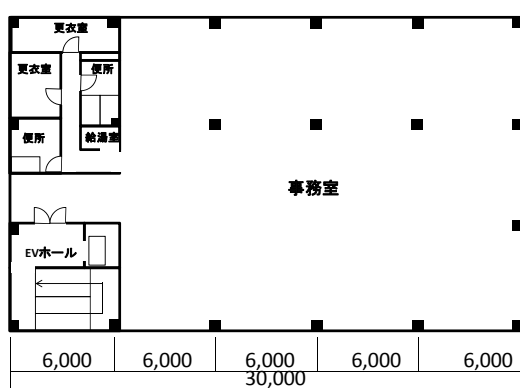
建築外皮の省エネルギー改修効果には、改修前の外皮仕様、地域とともに、外皮に占める屋根や窓の割合、ペリメータとインテリアの割合など、建物形状が影響する。そこで本節の予備検討では、地域別、形状別の省エネルギー効果を検証するとともに、中小規模建築物の特徴を把握するため、大規模・小規模といった規模の違い、ペリメータ比率の違いからモデル建物を設定した。

表4.3.1にシミュレーションモデルの建物概要をまとめる。用途はアンケート結果で最も多い事務所とし、地域は寒冷地、温暖地、蒸暑地の代表例として札幌、東京、鹿児島を想定する。規模は小規模モデルとして延床面積1,000m²、大規模モデルとして延床面積10,000m²の2ケースを設定し、それぞれに縦長と横長の異なる4つの建物形状を想定した。モデル建物の形状は、小規模モデルは一般社団法人日本サステナブル建築協会作成モデル、大規模モデルは日本建築学会のオフィスの標準問題³⁸⁾を参考に設定した。図4.3.1にモデル建物の基準階平面等を示す。

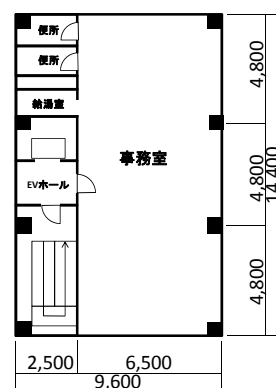
表 4.3.1 モデル建物の概要

		小規模		大規模	
		低層	高層	低層	高層
階数	地上	2階	8階	2階	15階
	地下	—	—	—	1階
床面積 (㎡)	建物全体	1,080	1,037	10,090	16,074
	基準階	540	130	5,047	1,028
ペリメータ 比率(%)	建物全体	85	100	64	56
	基準階	70	100	28	53

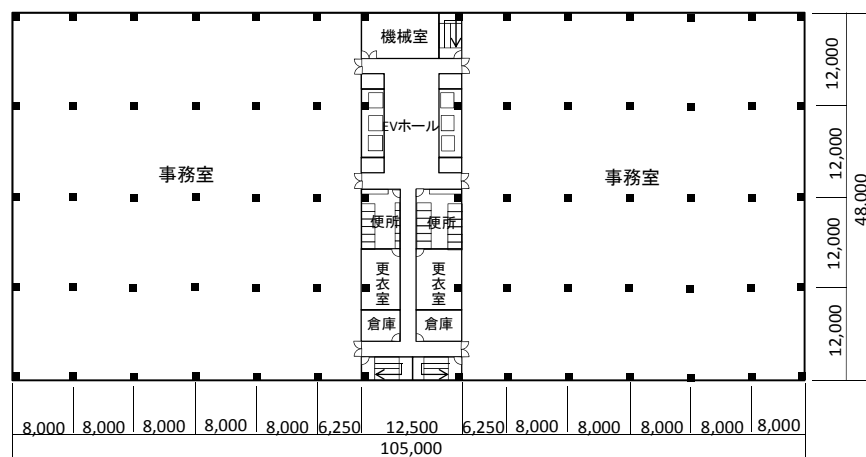
【小規模 低層】



【小規模 高層】



【大規模 低層】



【大規模 高層】

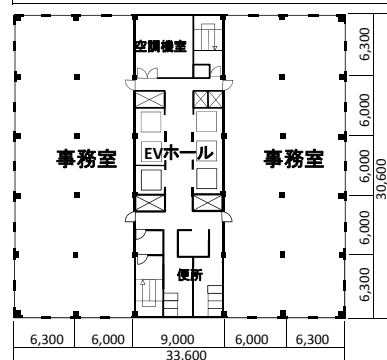
図 4.3.1 シミュレーションモデルの
基準階平面図

図 4.3.2 は、横軸に基準階床面積、縦軸にペリメータ比率をとり、屋根面及び側面が関わる建物全体、側面が関わる基準階のペリメータ比率に分け、2~15 階建の建物の場合の基準階床面積に応じたペリメータ比率を示したものである。基準階と建物全体でペリメータ比率の差が大きい形状は屋根面の影響が高いと考えられる。なお、表 4.3.1 及び図 4.3.2 に示すペリメータ比率は、省エネルギー基準における PAL の定義によるペリメータ（周囲 5m の空間及び最上階）の延床面積に対する割合を計算したものである。

建物全体ペリメータ比率では、2 階建と 3 階建以上の差が大きく、8 階建以上ではほぼ同じ水準になる。今回のモデルは、基準階でもペリメータ比率 100%となる「小規模・高層」、基準階、建物全体ともペリメータ比率が概ね 50%となる「大規模・高層」、基準階と建物全体のペリメータ比率の差が大きい「小規模・低層」「大規模・低層」に区分される。

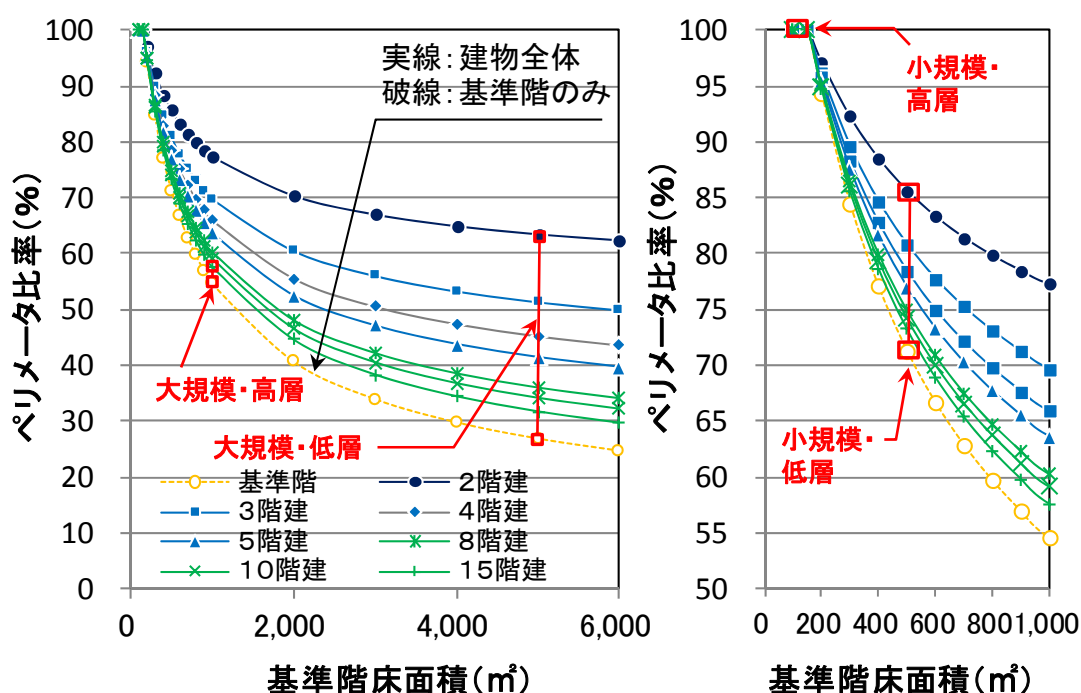


図 4.3.2 建物形状別のペリメータ比率とモデル建物の特徴

(3) その他の建物条件

4 つのモデル建物において、外壁・屋根等の外皮仕様、在室人数、室発熱量等の熱負荷等の設定は、空気調和ハンドブック³⁹⁾を参考にした。また、空調及び照明の内部発熱に関わるスケジュールは、建築物の省エネルギー基準と計算の手引き⁸⁾に基づき、省エネルギー基準の事務所の条件として設定した。表 4.3.2~4.3.3、図 4.3.3 に各種設定条件をまとめる。

なお、外壁面積に対する開口部面積の割合（以下、窓面積率とする）は、30%に固定して比較している。

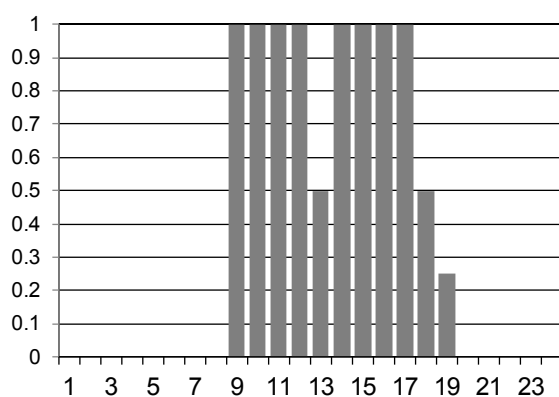
表 4.3.2 モデル建物の建築・設備条件

			小規模モデル (1,000㎡規模)	大規模モデル (10,000㎡規模)
建築 条件	屋根	種類	RC(外断熱)/天井あり	
		断熱材種類	スチレン発泡板(押出し) <熱伝導率:0.037 W/m・K>	
	外壁	種類	押出成型セメント板 (アスロック)	RC(外断熱)/天井あり
		断熱材種類	吹付け硬質ウレタンフォーム (フロン発泡) <熱伝導率:0.034 W/m・K>	スチレン発泡板 (押出し) <熱伝導率:0.037 W/m・K>
	内装仕上げ		あり	
	窓ガラス	窓タイプ	単板ガラス	
		ガラス種類	透明フロートガラス	
	ブラインド		明色	
設備 条件	底		なし	
	空調方式		パッケージ方式	
	パッケージタイプ		EHP	
	全熱交換器		なし	
	照明	下面開放器具	蛍光ランプ(90lm/W未満)	
年間照明点灯時間			3,000時間	

表 4.3.3 熱負荷設定条件

		条件等
発熱量	在室人員	0.2人/㎡
	照明	20W/㎡
	機器	20W/㎡
冷暖房 期間	冷房	06/01～09/30
	暖房	12/01～03/31
	中間期	停止
温湿度	冷房	26℃ 50%
	暖房	22℃ 40%
空調運 転時間	運転開始	8:00
	設定温度到達	9:00
	運転終了	18:00
取入外気量		5m³/(㎡・h)

【人体発熱】



【照明・機器発熱】

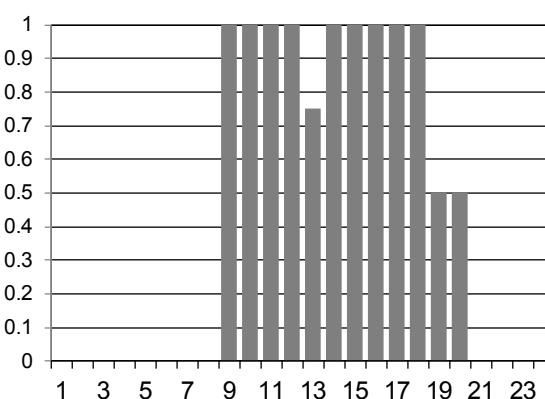


図 4.3.3 人体発熱・照明及び機器発熱スケジュール

(4) シミュレーション条件

アンケート結果において、建築外皮改修工事の事例が多い屋根、開口部の断熱改修による効果を検証するため、表 4.3.4 に示すケースを設定して、年間一次エネルギー消費量（暖冷房用）、最大・年間熱負荷を比較する。

表 4.3.4 に示すとおり、既存建物に外壁断熱が施されたケースを基準（Case-1）とし、屋根の熱性能を向上した Case-2～4、窓の熱性能を向上した Case-5～7 とした。また、参考として全断熱が無いケース（Case-0）も検討した。外壁及び屋根の断熱仕様は、省エネルギー基準の旧ポイント法⁵⁻⁵⁾において、同じ点数となる厚さを地域毎に想定している。なお、外壁の断熱仕様は、旧ポイント法の外壁の断熱性能に関して、各地域で最低点数となる断熱厚さとして設定した。

表 4.3.4 シミュレーション条件

ケース	改修部位	断熱材厚さ		ガラス仕様
		外壁	屋根	
Case-0	全断熱無	無	無	単層 (透明)
Case-1	基準 (外壁のみ断熱)	札幌		
Case-2	屋根改修	20mm	25mm	
Case-3		東京	50mm	
Case-4			100mm	
Case-5	窓改修	鹿児島 15mm	無	複層ガラス (透明－透明)
Case-6		複層ガラス:断熱型 (透明－Low-e)		
Case-7		複層ガラス:遮熱型 (Low-e－透明)		

注) 断熱材種類は、表 4.3.2 に示す

4.3.2 建物方位の違いが建築外皮改修効果に及ぼす影響の基礎検討

建物形状や地域の違いによる建築外皮の改修効果を検討するにあたり、まず、東京（温暖地）を例に、建物方位の影響を検証した。4 タイプのモデル建物において、建物方位を 4 方位に変更した 4 ケースを設定し、エネルギー消費量の違いがどの程度生じるのかを検討した。主方位（最も大きなガラス面を有する方位）及びコアの方位の違いによる検討ケースを表 4.3.5 に示す。なお、いずれのケースも平面プラン上のコアの配置は一定としている。

図 4.3.4 に屋根改修、図 4.3.5 に開口部改修における建物形状別の年間一次エネルギー消費量（暖冷房用）の計算結果を示す。図 4.3.4 及び図 4.3.5 は、各点が検討ケースの年間一

次エネルギー消費量を示し、Case-0（全断熱なし）または Case-1（外壁断熱あり）からの各ケースを結んだ線分が省エネルギー効果を表している。また、表 4.3.6 に計算結果の一覧をまとめる。

表 4.3.5 建物モデルのコアの方位及び主方位

モデル		Type-A	Type-B	Type-C	Type-D
小規模 低層	コア	西	北	東	南
	主方位	南北	東西	南北	東西
小規模 高層	コア	西	北	東	南
	主方位	東	南	西	北
大規模 低層	コア	センターコア			
	主方位	南北	東西	南北	東西
大規模 高層	コア	センターコア			
	主方位	東西	南北	東西	南北

(1) 改修前のエネルギー消費性能

全ての部位の断熱がない Case-0 について、エネルギー消費性能を比較すると、「小規模・高層」「小規模・低層」「大規模・低層」「大規模・高層」の順にエネルギー消費量が多い。これは建物全体のペリメータ比率の高い順に一致する。

「小規模・低層」では、主方位が東西の Type-B、D より南北の Type-A、C が比較的エネルギー消費量が小さい。一方、「小規模・高層」では、主方位が南の Type-B が最もエネルギー消費量が小さく、主方位が北の Type-D が最も多い。一方、大規模モデルは小規模モデルに比べると方位の差は小さい。

また、外壁断熱ありの Case-1 を比較すると、方位によるエネルギー消費量の傾向は Case-0 と同様であるが、小規模モデルでも若干 Case-0 よりも方位別の差が小さくなる。

(2) 改修後のエネルギー消費性能と省エネルギー効果

Case-1 から Case-4 の屋根改修において、建物方位による改修効果の差は小さく、それぞれ一定の効果がみられた。特に、小規模及び大規模の低層モデルでは、9～23%と省エネルギー効果が大きい。一方、小規模及び大規模の高層モデルでは、1～3%の省エネルギー効果となっている。

Case-5 から Case-7 の窓改修において、「小規模・高層」では 10%前後の省エネルギー効果が見られるが、「小規模・低層」「大規模・高層」では 5%前後、「大規模・低層」では数%の効果となっている。また、窓改修についても、方位別に比較した削減効果は 1 ポイント程度で有り、明確な方位差は見られなかった。

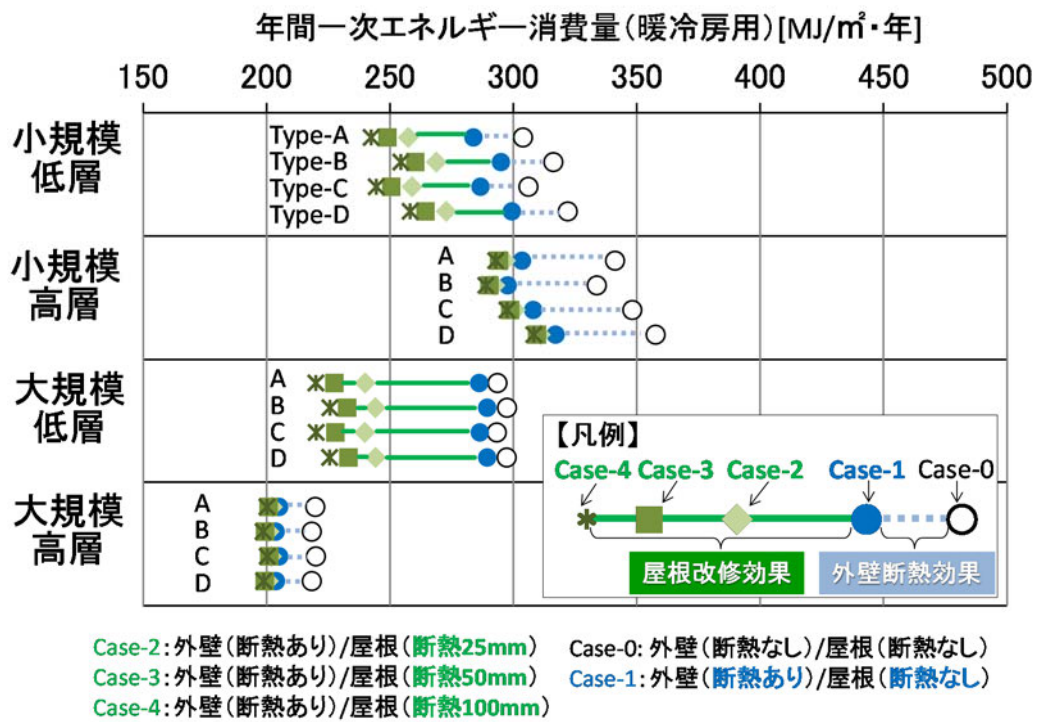


図 4.3.4 建物方位の違いによる暖冷房用エネルギー消費量比較（東京・屋根改修）

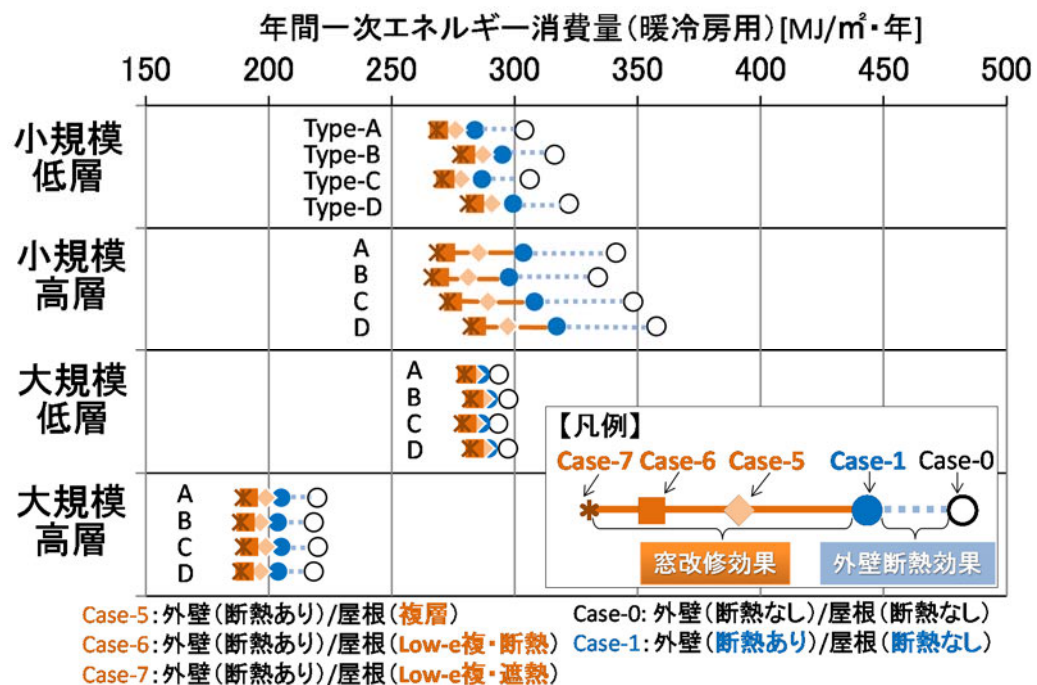


図 4.3.5 建物方位の違いによる暖冷房用エネルギー消費量比較（東京・窓改修）

表 4.3.6 建物方位別の年間一次エネルギー消費量（暖冷房用）の計算結果 ＜東京＞

建物配置	コア 主方位	小規模・低層						小規模・高層						大規模・低層						大規模・高層					
		Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D
		サイド・西 南・北	サイド・北 東・西	サイド・東 南・北	サイド・南 東・西	サイド・西 東	サイド・北 南	サイド・東 西	サイド・南 北	サイド・西 東	サイド・北 南	サイド・東 西	サイド・南 北	サイド・西 東	サイド・北 南	サイド・東 西	サイド・南 北	サイド・西 東	サイド・北 南	サイド・東 西	サイド・南 北	サイド・西 東	サイド・北 南	サイド・東 西	サイド・南 北
暖冷房用 年間一次 エネルギー 消費量 (MJ/m ² ・年)	Case-0	304	316	306	322	341	334	348	358	294	298	293	297	286	290	287	290	220	218	220	218	220	220	220	218
	Case-1	284	295	287	299	304	298	308	317	286	290	287	290	240	244	240	244	200	204	205	204	205	205	205	204
	Case-2	258	269	259	273	297	293	301	311	240	244	240	244	228	233	228	233	201	200	202	201	202	202	202	201
	Case-3	249	260	251	264	294	290	299	310	228	233	228	233	220	226	220	226	200	199	200	201	201	201	201	199
	Case-4	243	255	245	258	293	289	298	308	220	226	220	226	283	287	284	288	199	197	199	200	199	199	199	199
	Case-5	276	287	278	291	285	281	289	297	281	285	284	281	280	282	279	282	190	189	190	190	190	190	190	189
	Case-6	269	280	272	284	272	270	275	285	280	282	279	282	280	282	279	282	190	189	190	190	190	190	190	189
Case-1基準 エネルギー 消費割合 (%)	Case-1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Case-2	91	91	90	91	98	98	98	98	84	84	84	84	84	84	84	84	99	99	99	98	98	98	98	99
	Case-3	88	88	87	88	97	98	97	98	80	80	80	81	80	80	80	81	98	98	98	98	98	98	98	98
	Case-4	85	86	85	86	97	97	97	97	77	78	77	78	77	78	77	78	98	98	98	98	98	98	98	98
	Case-5	97	97	97	97	94	94	94	94	99	99	99	99	99	99	99	99	97	97	97	97	97	97	97	96
	Case-6	95	95	95	95	90	91	89	90	98	98	98	98	98	98	98	98	94	94	94	94	94	94	94	93
	Case-7	95	94	94	94	89	89	89	89	98	97	97	97	98	97	97	97	92	93	92	92	92	92	92	93
Case-1基準 エネルギー 削減率 (%)	Case-2	9	9	10	9	2	2	2	2	16	16	16	16	16	16	16	16	1	1	2	1	2	2	1	1
	Case-3	12	12	13	12	3	2	3	2	20	20	20	19	20	20	20	19	2	2	2	2	2	2	2	2
	Case-4	15	14	15	14	3	3	3	3	23	22	23	22	23	22	23	22	2	2	2	2	2	2	2	2
	Case-5	3	3	3	3	6	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	4
	Case-6	5	5	5	5	10	9	11	10	2	2	2	2	2	2	2	2	6	6	6	6	6	6	6	7
	Case-7	5	6	6	6	11	11	11	11	2	3	3	3	2	3	3	3	8	7	8	7	8	8	8	7

4.3.3 地域の違いによる建物形状別の建築外皮改修効果

(1) 年間一次エネルギー消費量(暖冷房用)に関する考察

モデル建物において、屋根改修及び窓改修の効果を方位別に検証したところ、明確な方位差は見られなかった。そのため、本節では、各建物モデルにおける方位別エネルギー消費量の平均値に近い Type-A に固定し、札幌（寒冷地）、東京（温暖地）、鹿児島（蒸暑地）における屋根改修及び窓改修の省エネルギー効果について検証した。

図 4.3.6 (a)～(c)に札幌、東京、鹿児島における検討ケース毎の年間一次エネルギー消費量（暖冷房用）及び省エネルギー効果の計算結果を示す。また、図 4.3.7 に屋根改修、図 4.3.8 に開口部改修における建物形状及び地域別の年間一次エネルギー消費量（暖冷房用）の比較を、表 4.3.7 に計算結果の一覧を示す。

①改修前のエネルギー消費性能

全断熱なしの Case-0 について比較すると、各地域とも「小規模・高層」「小規模・低層」「大規模・低層」「大規模・高層」の順にエネルギー消費量が大きく、形状による差が大きい。これは、建物全体のペリメータ比率の順と一致する。特に、札幌では、「小規模・高層」は他のモデルよりも著しくエネルギー消費量が大きい。

また、同一形状のモデルで比べると、札幌、鹿児島、東京の順にエネルギー消費量が大きい。なお、建物全体でペリメータ比率が低い「大規模・低層」は他のモデルよりも地域差が小さい。

③改修後のエネルギー消費性能と省エネルギー効果(札幌)

札幌（図 4.3.6 (a)）において、改修前（Case-0 または Case-1）は「小規模・高層」のエネルギー消費量が他よりも著しく大きく、次いで「小規模・低層」「大規模・低層」「大規模・高層」の順にエネルギー消費量が大きい。これに対し、屋根改修後（Case2～4）を比較すると、「大規模・低層」の省エネルギー効果が大きく、「大規模・高層」よりもエネルギー消費量が小さくなるのが特徴である。

屋根改修による暖冷房用エネルギー消費の削減効果は、低層モデルで 15～36%と大きく、高層モデルでは 2～4%であった。また、窓改修による削減効果は、「大規模・低層」は 3～4%であるが、他のモデルでは 7～11%となった。

④改修後のエネルギー消費性能と省エネルギー効果(東京)

東京（図 4.3.6 (b)）において、改修前（Case-0 または Case-1）は「小規模・高層」「大規模・低層」「小規模・低層」「大規模・高層」の順に大きいが、札幌と比較すると建物形状の違いによる差は小さい。屋根改修後（Case2～4）は「大規模・低層」のエネルギー消費量が他よりもやや小さくなり、窓改修後（Case5～7）は「小規模・低層」「小規模・高層」「大規模・低層」がほぼ同水準のエネルギー消費量となる。

屋根改修による暖冷房用エネルギー消費の削減効果は、低層モデルで 9～23%、高層モデルでは 1～3%であった。また、窓改修による削減効果は、高層モデルは 3～11%と低層モデルより効果が大きく、低層モデルでは「小規模・低層」が 3～5%、「大規模・低層」が 1

～2%であった。

⑤改修後のエネルギー消費性能と省エネルギー効果(鹿児島)

鹿児島(図 4.3.6 (c))の改修前においては、「大規模・高層」のエネルギー消費量がやや小さく、Case-0(全断熱なし)では「小規模・高層」、Case-1(外壁断熱あり)では「大規模・低層」のエネルギー消費量が最も大きいものの建物形状による差は小さい。屋根改修後(Case2～4)は「小規模・低層」と「大規模・低層」のエネルギー消費量が同程度で他よりもやや小さく、窓改修後(Case5～7)は「小規模・低層」「大規模・低層」が同水準で、エネルギー消費量は「大規模・高層」「小規模・高層」の順に小さくなる。

屋根改修による暖冷房用エネルギー消費の削減効果は、低層モデルで8～19%、高層モデルでは1～3%であった。また、窓改修による削減効果は、高層モデルは「小規模・高層」が3～10%、「大規模・高層」が1～6%で、低層モデルでは「小規模・低層」が2～5%、「大規模・低層」が0～2%であった。

⑥地域別の改修手法による省エネルギー効果

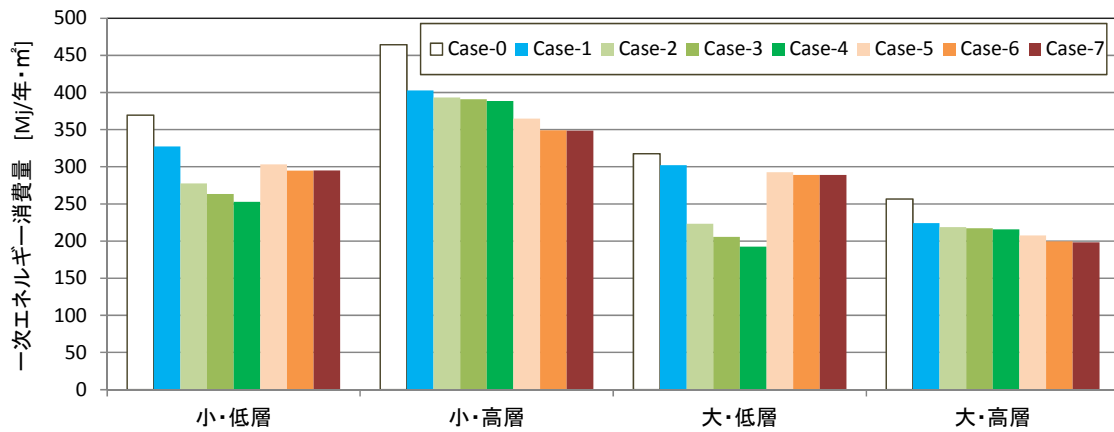
屋根改修及び窓改修の効果は、全般に札幌、東京、鹿児島の順に大きくなる。

屋根改修は低層モデルで各地域とも一定の削減効果が期待できる傾向であった。Case-4(断熱100mm)を見ると、最大は札幌の「大規模・低層」が36%減、最低でも鹿児島の「小規模・低層」の13%減となっている。

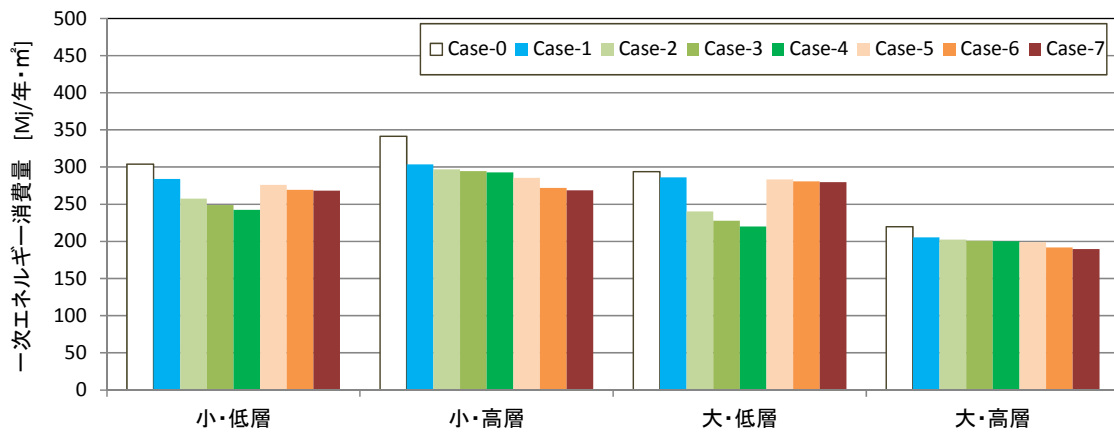
一方、窓改修は、高層モデルでの削減効果が高く、Case-6及びCase-7(Low-e複層)において、最大は札幌の「大規模・高層」の11%減、最低は鹿児島の「大規模・高層」の6%減である。また、低層モデルでは東京、鹿児島では数%の削減効果であった。

このように、地域、建物形状によって効果が期待される改修手法は異なることがわかり、適切な建築外皮改修を行うことで、エネルギー消費量の地域差、建物形状の差は比較的小さくなる傾向が見られた。

(a) 札幌(寒冷地)



(b) 東京(温暖地)



(c) 鹿児島(蒸暑地)

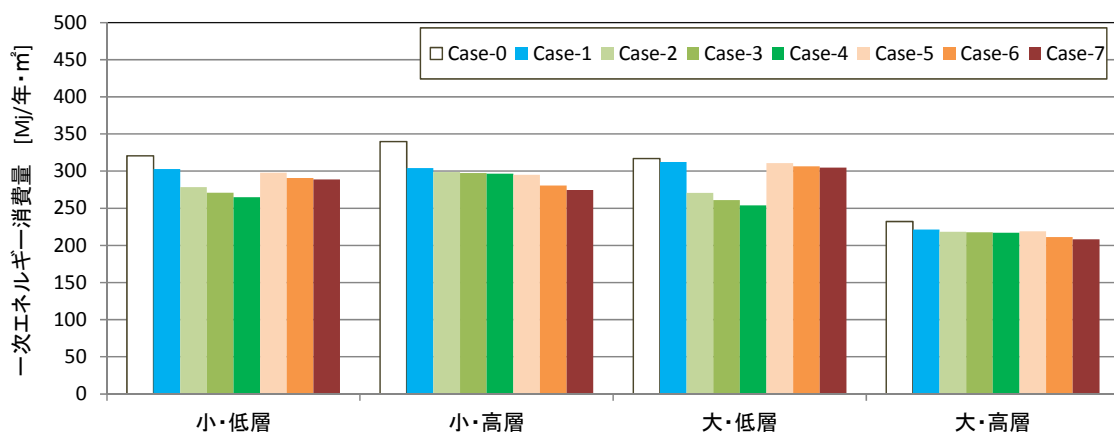


図 4.3.6 建物形状の違いによる暖冷房用一次エネルギー消費量の比較 (地域別)

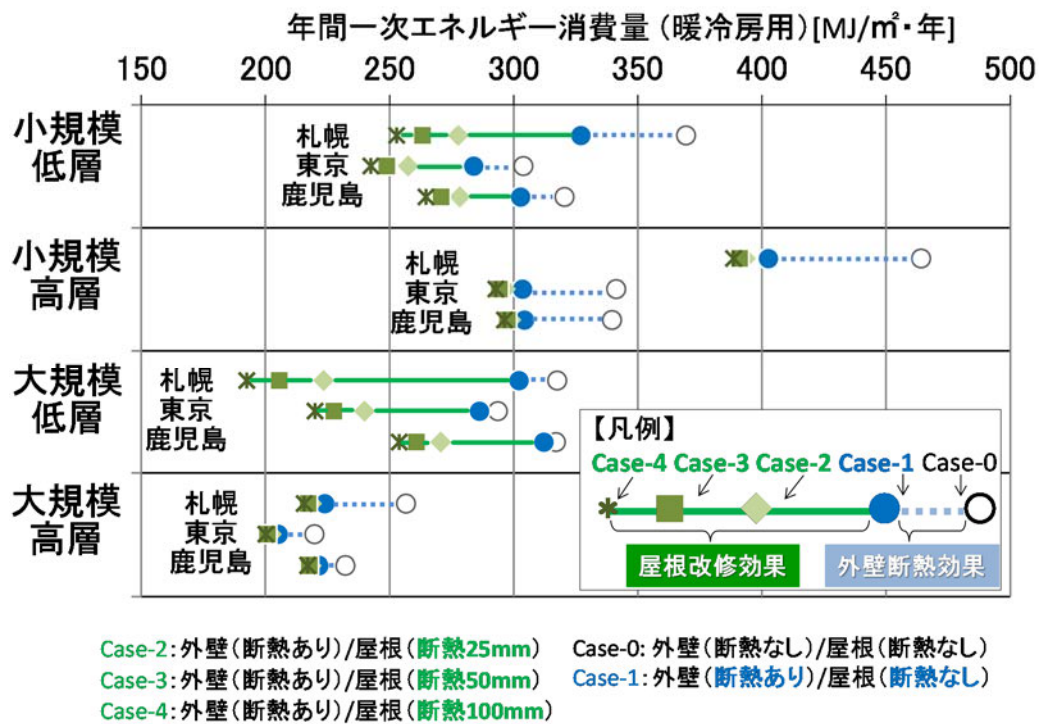


図 4.3.7 建物形状・地域の違いによる暖冷房用一次エネルギー消費量比較（屋根改修）

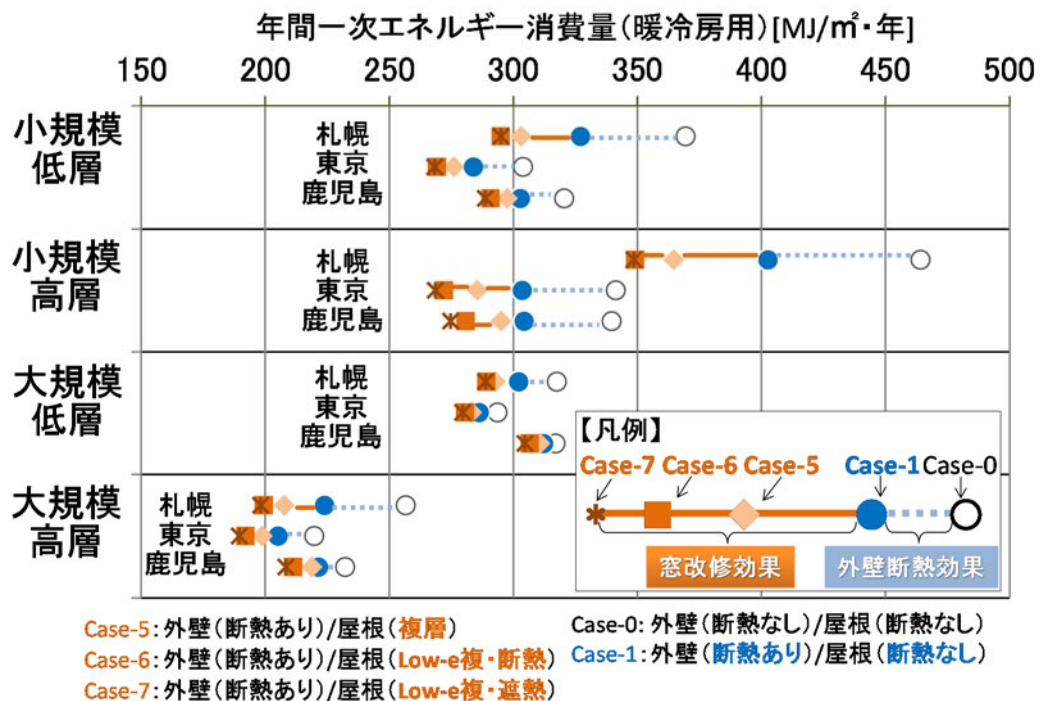


図 4.3.8 建物形状・地域の違いによる暖冷房用一次エネルギー消費量比較（窓改修）

表 4.3.7 地域別・建物形状別の暖冷房用一次エネルギー消費量の計算結果

		札幌				東京				鹿児島						
		小・低層				大・高層	小・低層			大・高層	小・低層			大・高層		
		サイド・西	南・北				サイド・西				南・北				サイド・西	南・北
建物配置	コア															
	主方位	南・北	東	南・北	東	南・北	東	南・北	東	南・北	東	南・北	東			
	Case-0	369	464	318	257	304	341	294	220	321	340	317	232			
	Case-1	327	403	302	224	284	304	286	205	303	304	312	222			
	Case-2	278	393	224	219	258	297	240	202	278	299	271	219			
	Case-3	263	391	206	217	249	294	228	201	271	298	261	218			
	Case-4	253	389	193	216	243	293	220	200	265	296	254	217			
	Case-5	303	365	293	208	276	285	283	199	298	295	311	219			
暖冷房用 年間一次 エネルギー 消費量 (MJ/m ² ・年)	Case-6	295	349	289	200	269	272	281	192	291	281	307	211			
	Case-7	295	349	289	198	268	269	280	190	289	275	305	208			
	Case-1 基準	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
	Case-2	85	98	74	98	91	98	84	99	92	98	87	99			
	Case-3	81	97	68	97	88	97	80	98	89	98	84	98			
	Case-4	77	97	64	96	85	97	77	98	87	97	81	98			
	Case-5	93	91	97	93	97	94	99	97	98	97	100	99			
	Case-6	90	87	96	89	95	90	98	94	96	92	98	95			
エネルギー 削減率 (%)	Case-7	90	87	96	89	95	89	98	92	95	90	98	94			
	Case-2	15	2	26	2	9	2	16	1	8	2	13	1			
	Case-3	19	3	32	3	12	3	20	2	11	2	16	2			
	Case-4	23	3	36	4	15	3	23	2	13	3	19	2			
	Case-5	7	9	3	7	3	6	1	3	2	3	0	1			
	Case-6	10	13	4	11	5	10	2	6	4	8	2	5			
	Case-7	10	13	4	11	5	11	2	8	5	10	2	6			

(2) 年間・最大熱負荷に関する考察

図 4.3.9～4.3.10 は、年間熱負荷及び最大熱負荷に関して、冷房負荷を横軸、暖房負荷を縦軸とし、各モデルの計算結果を示したものである。

年間熱負荷の計算結果（図 4.3.9）を見ると、全般に建築外皮の断熱性能が向上するケースでは暖房負荷が小さく、冷房負荷はそれほど変わらないかやや増加している。札幌では、暖房負荷が大きく、屋根又は窓の改修によって高い削減効果が期待される。特に、屋根改修においては低層モデル、窓改修においては、「小規模・高層」の削減効果が比較的高い。

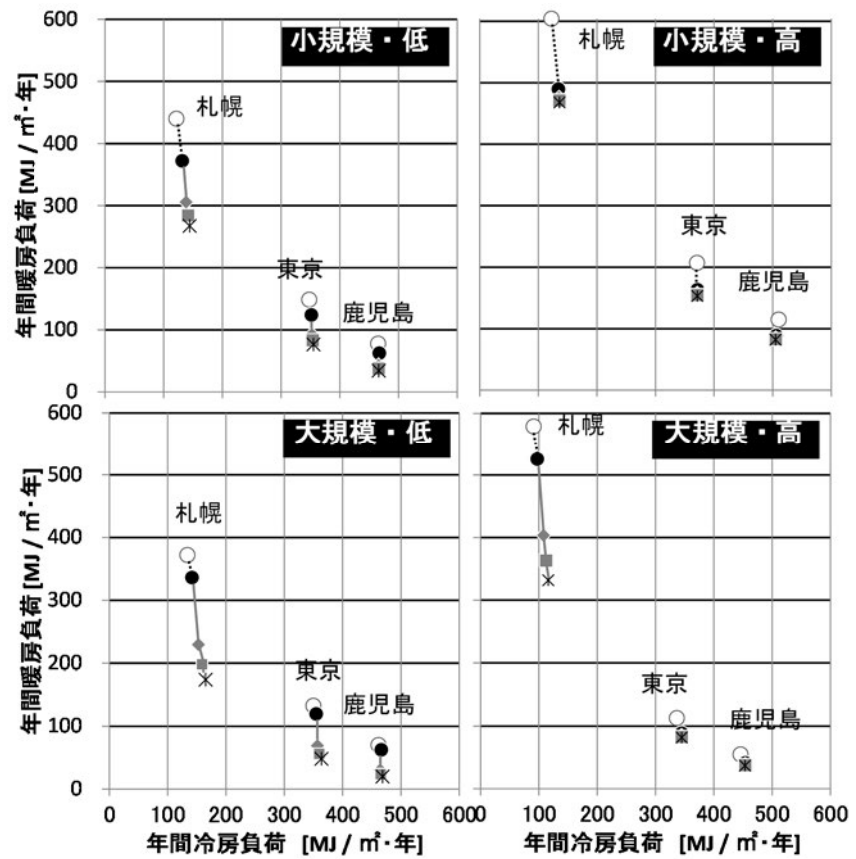
一方、東京、鹿児島は、冷房負荷が支配的であり、低層モデルの屋根改修では一定の削減効果が見られるものの、窓改修では冷房負荷が増加するケースも見られる。このため、前述のように年間一次エネルギー消費量の削減効果が相対的に低くなっていると考えられる。

最大熱負荷の計算結果（図 4.3.10）を見ると、全般に建築外皮改修による冷房負荷の変化はわずかで、暖房負荷の削減効果が大きい。一方、東京、鹿児島では、年間熱負荷と同様に、最大負荷の削減効果は小さく、屋根改修及び窓改修による暖冷房負荷の変化量は、年間熱負荷よりも小さいとの結果になった。

以上から、暖房負荷の大きい札幌では、大幅な削減効果が期待され、暖房用機器の容量が大きな建物では、建築外皮改修と熱源改修をあわせて行う場合、その設備容量を低減できる可能性もある。

(a) 屋根改修

凡例
Case4 Case3 Case2 Case1 Case0
* — ◆ — ● — ○



(b) 窓改修

凡例
Case7 Case6 Case5 Case1 Case0
* — ◆ — ● — ○

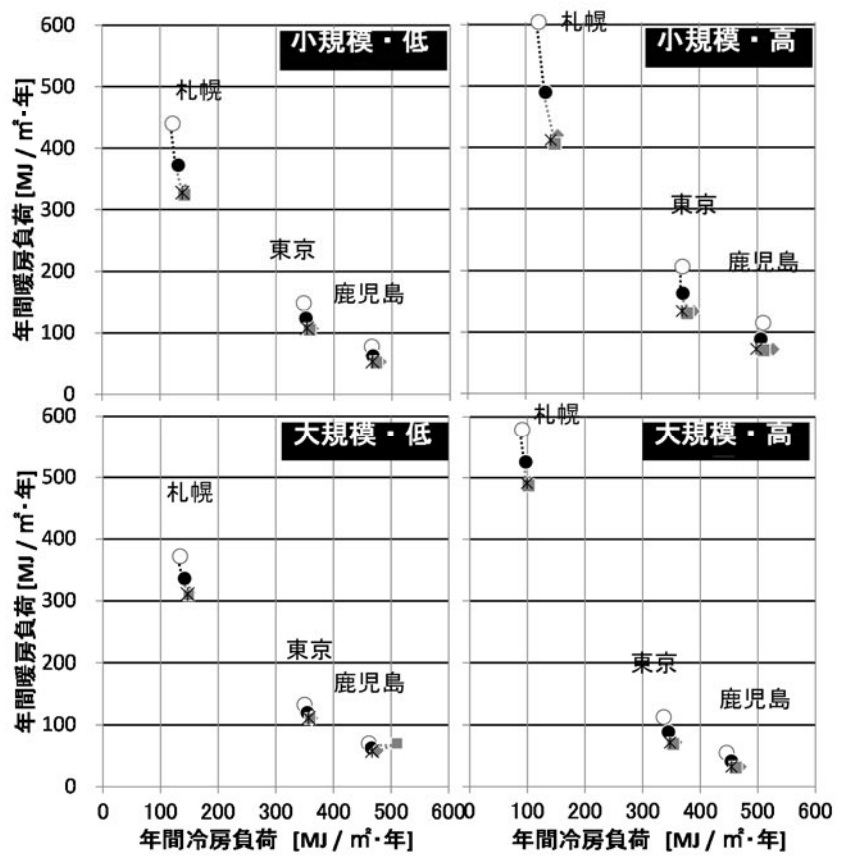


図 4.3.9 建物形状・地域の違いによる年間熱負荷比較

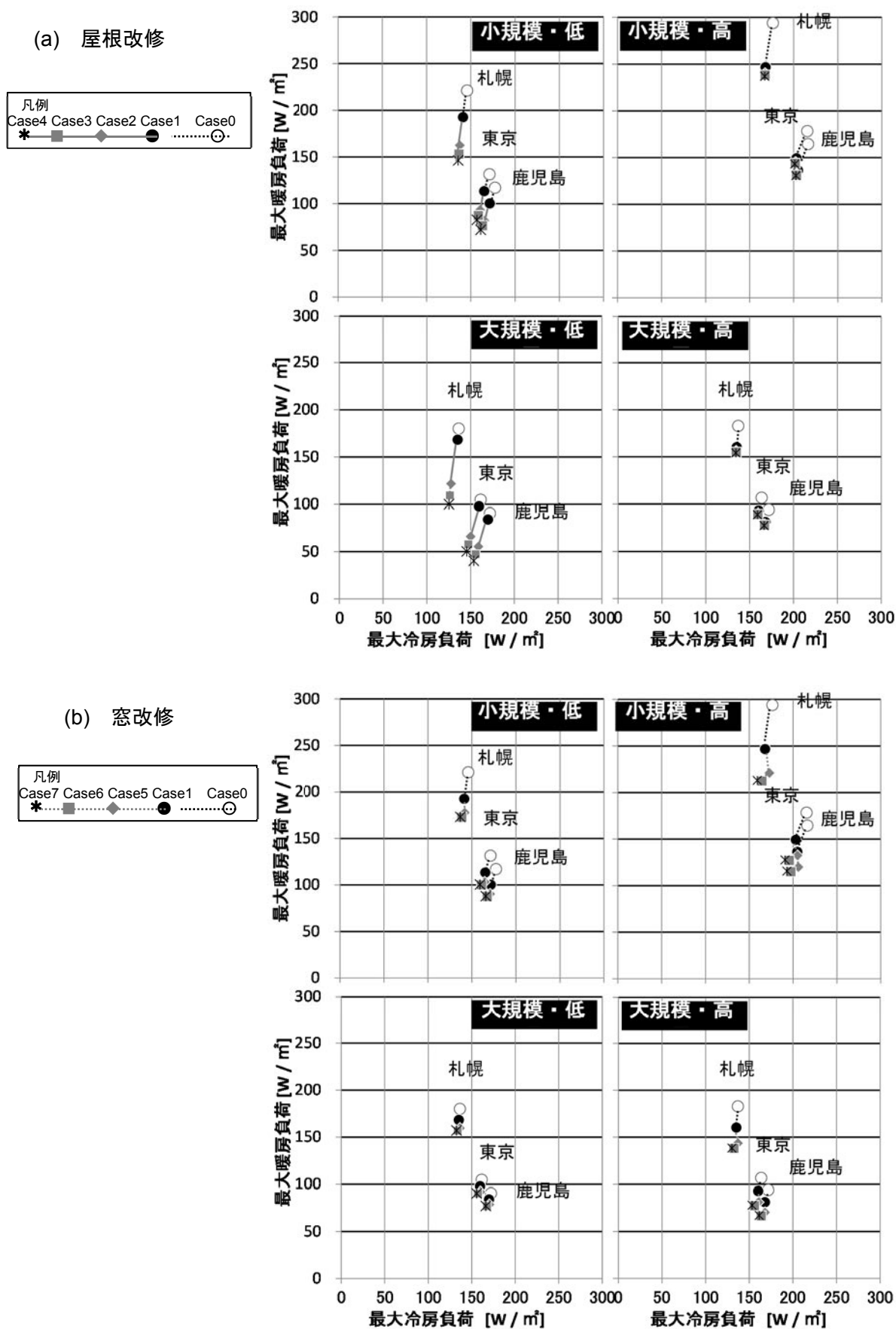


図 4.3.10 建物形状・地域の違いによる最大熱負荷比較

4.3.4 予備検討結果の考察とまとめ

本節では、建物形状の違いを考慮した建築外皮の省エネルギー改修効果を検証するための予備検討として、規模・形状の異なる4タイプのモデル建物において、シミュレーション計算から屋根改修及び窓改修の改修効果を検証した。モデル建物は、中小規模建築物の位置づけを明確にするため、1,000 m²規模の小規模モデル、10,000 m²規模の大規模モデルを想定し、それぞれに低層・高層のモデルを設定して、事務所を代表例に、気候特性の異なる3都市（札幌（寒冷地）、東京（温暖地）、鹿児島（蒸暑地））の改修効果を把握した。

まず、東京を対象に、4タイプのモデル建物について、異なる主方位を設定したケースでは、暖冷房用の年間一次エネルギー消費量の削減効果は、方位差よりも建物形状の差が大きいの結果であった。特に、屋根改修では低層モデルの効果が大きく、窓改修は窓面積がより広い高層モデルで高い傾向にあった。

次に、方位は固定（小規模サイドコア、大規模センターコア）し、札幌、東京、鹿児島で建物形状別の屋根改修、窓改修の省エネルギー改修効果を検証した。参考として計算した外壁・屋根のいずれも断熱がないケース（全断熱なし）では、建物形状によるエネルギー消費性能に大きな違いが見られた。特に、寒冷地の札幌では、「低層・高層」モデルの暖冷房用エネルギー消費量が大きい。これに対し、外壁断熱、屋根又は窓断熱を施すことで、建物形状によるエネルギー消費性能の差は小さくなる。

建築外皮の省エネルギー改修効果は、いずれの地域でも低層モデルでは屋根改修、高層モデルでは窓改修による削減効果が大きく、建物形状による改修手法の効果に差が見られることが確認できた。

地域ごとの建築外皮改修による年間暖房・冷房負荷の削減効果を見ると、主に暖房負荷削減の効果が大きくなっている。そのため、暖房負荷が支配的な札幌では総じて改修効果が高く、冷房負荷が大きい東京、鹿児島での削減効果は一定割合にとどまることが確認できた。なお、札幌においては、建物形状に応じて、屋根改修、窓改修を実施した場合、最大暖房負荷の低減効果も大きく、熱源改修をあわせて実施する場合などには、機器容量の削減効果も期待しうるとの結果であった。

4.4 簡易モデルによる建築外皮の省エネルギー改修効果に関する体系的分析

4.4.1 モデル設定と計算条件

(1) 体系的分析の概要

前節の規模と形状の異なるモデル建物における予備検討の結果、建物形状に応じて、屋根改修、窓改修の効果に違いが見られること、同じ建物条件でも暖房負荷の割合が異なる札幌、東京、鹿児島では効果に違いが見られることなどが明らかになった。また、屋根や窓の断熱性の低い改修前の状態等では、建物のペリメータ比率に応じて暖冷房用のエネルギー消費量が大きいとの傾向も見られた。

本節では、建築外皮の省エネルギー改修について、地域や建物形状に応じて適切な改修手法を選択するための目安を提示するため、建物形状のバリエーションを増やした簡易モデルを用いて、建物のペリメータ比率や階数、地域、建物用途の違いによる改修効果の感度分析を実施し、体系的に建築外皮の省エネルギー改修効果を分析する。前節と同様に、シミュレーションツールとしては BEST（簡易版）を用いて、屋根改修と窓改修による年間暖房・冷房負荷の削減効果を評価する。なお、BEST では、省エネルギー基準の PAL におけるゾーン区分（ペリメータ 4 方位・最上階、インテリア）で熱負荷が計算でき、基準階と最上階での評価が可能である。簡易モデルの分析では、ゾーン別、基準階・最上階別の年間暖房負荷・冷房負荷を計算し、建物階数を変化させた評価を行う。

(2) 簡易モデルの建物形状

建築外皮改修の省エネルギー効果は、外皮に占める屋根面積や窓面積の割合、ペリメータとインテリアの割合など、建物形状が影響する。そこで本節で設定する簡易モデルは、建物形状別の違いを体系的に分析出来るモデルとして、室用途の単純なモデルとして設定した。

表 4.4.1 に簡易モデルの建物条件をまとめる。奥行（短辺）の異なる A~C の 3 種類のタイプについて、それぞれ横幅（長辺）を増加させた 3 種類の合計 9 タイプのモデルを想定し、それぞれに建物階数を 1~10 階建として、感度分析を行う。

各タイプの平面図を図 4.4.1 に、階数と延床面積及び建物全体のペリメータ比率の関係を図 4.4.2 に示す。床面積は 1 階建で 100~800 m²、10 階建で 1,000~8,000 m²となる。

また、建物全体のペリメータ比率は、Type-A が全て 100%、Type-B が 100%~80%、Type-C が 100%~66%となる。

表 4.4.1 簡易モデルの建物形状

			Type-A			Type-B			Type-C		
			A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3
基準階平面	短辺長さ	(m)	10	10	10	15	15	15	20	20	20
	長辺長さ	(m)	10	15	20	15	22.5	30	20	30	40
アスペクト比(短辺:長辺)			1:1	2:3	1:2	1:1	2:3	1:2	1:1	2:3	1:2
基準階面積	ゾーン①	(㎡)	25	50	75	50	87.5	125	75	125	175
	ゾーン②	(㎡)	25	25	25	50	50	50	75	75	75
	ゾーン③	(㎡)	25	50	75	50	87.5	125	75	125	175
	ゾーン④	(㎡)	25	25	25	50	50	50	75	75	75
	ゾーン⑤	(㎡)	0	0	0	25	62.5	100	100	200	300
	合計	(㎡)	100	150	200	225	337.5	450	400	600	800
基準階ペリメータ比率			(%)	100	100	100	89	81	78	75	67
階高			(m)	4							
延床面積	1階建	(㎡)	100	150	200	225	338	450	400	600	800
	2階建	(㎡)	200	300	400	450	675	900	800	1,200	1,600
	3階建	(㎡)	300	450	600	675	1,013	1,350	1,200	1,800	2,400
	4階建	(㎡)	400	600	800	900	1,350	1,800	1,600	2,400	3,200
	5階建	(㎡)	500	750	1,000	1,125	1,688	2,250	2,000	3,000	4,000
	6階建	(㎡)	600	900	1,200	1,350	2,025	2,700	2,400	3,600	4,800
	7階建	(㎡)	700	1,050	1,400	1,575	2,363	3,150	2,800	4,200	5,600
	8階建	(㎡)	800	1,200	1,600	1,800	2,700	3,600	3,200	4,800	6,400
	9階建	(㎡)	900	1,350	1,800	2,025	3,038	4,050	3,600	5,400	7,200
	10階建	(㎡)	1,000	1,500	2,000	2,250	3,375	4,500	4,000	6,000	8,000
建物全体ペリメータ比率	1階建	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2階建	(%)	100	100	100	94	91	89	88	83	81
	3階建	(%)	100	100	100	93	88	85	83	78	75
	4階建	(%)	100	100	100	92	86	83	81	75	72
	5階建	(%)	100	100	100	91	85	82	80	73	70
	6階建	(%)	100	100	100	91	85	81	79	72	69
	7階建	(%)	100	100	100	90	84	81	79	71	68
	8階建	(%)	100	100	100	90	84	81	78	71	67
	9階建	(%)	100	100	100	90	84	80	78	70	67
	10階建	(%)	100	100	100	90	83	80	78	70	66
屋根面積比率	1階建	(%)	39	43	46	48	53	56	56	60	63
	2階建	(%)	24	27	29	32	36	39	39	43	46
	3階建	(%)	17	20	22	24	27	29	29	33	36
	4階建	(%)	14	16	17	19	22	24	24	27	29
	5階建	(%)	11	13	14	16	18	20	20	23	25
	6階建	(%)	9	11	12	14	16	17	17	20	22
	7階建	(%)	8	10	11	12	14	15	15	18	19
	8階建	(%)	7	9	9	11	12	14	14	16	17
	9階建	(%)	7	8	9	9	11	12	12	14	16
	10階建	(%)	6	7	8	9	10	11	11	13	14
外壁面積比率	1階建	(%)	62	57	55	52	47	44	44	40	38
	2階建	(%)	76	73	71	68	64	62	62	57	55
	3階建	(%)	83	80	78	76	73	71	71	67	64
	4階建	(%)	87	84	83	81	78	76	76	73	71
	5階建	(%)	89	87	86	84	82	80	80	77	75
	6階建	(%)	91	89	88	87	84	83	83	80	78
	7階建	(%)	92	90	89	88	86	85	85	82	81
	8階建	(%)	93	91	91	90	88	87	87	84	83
	9階建	(%)	94	92	92	91	89	88	88	86	84
	10階建	(%)	94	93	92	91	90	89	89	87	86

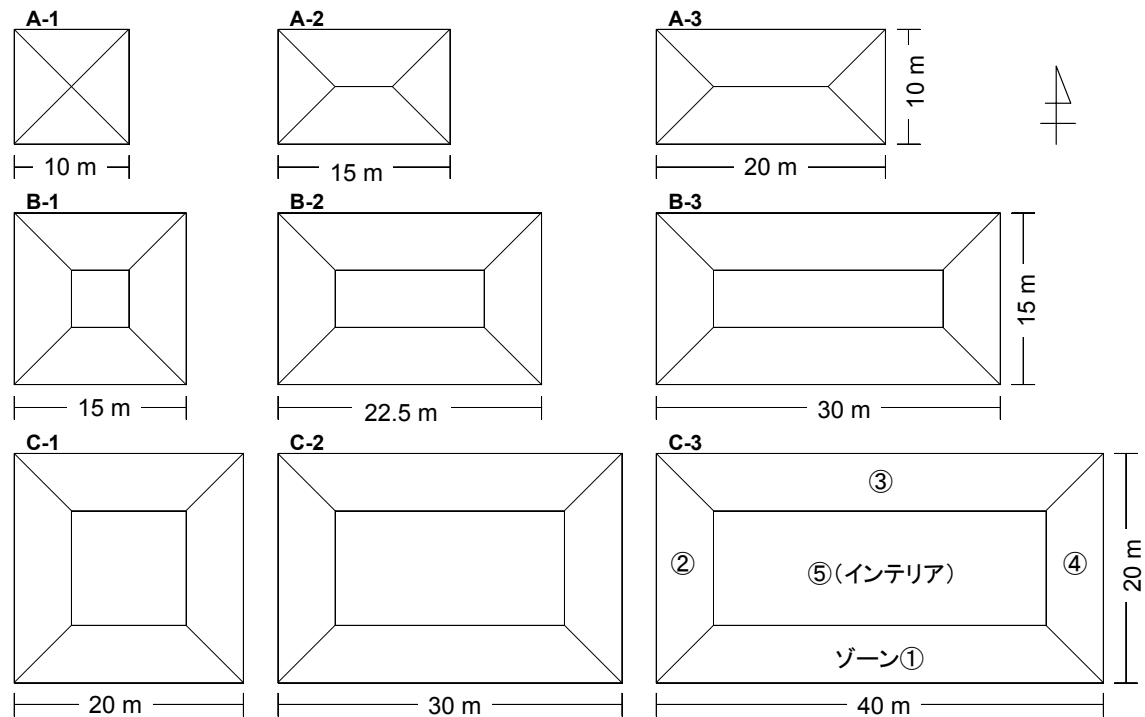


図 4.4.1 簡易モデル平面（基準階）

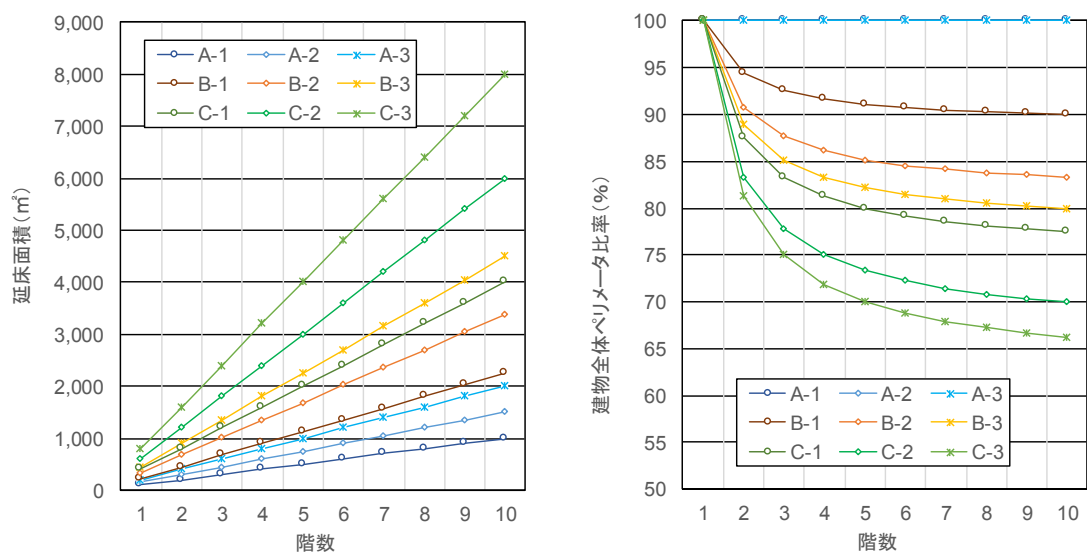


図 4.4.2 各タイプの延床面積及び建物全体ペリメータ比率

(3) 地域及び建物用途、その他の建物条件

地域は前節と同様に、寒冷地、温暖地、蒸暑地の代表例として、「札幌」「東京」「鹿児島」を対象とする。また、建物用途は内部発熱や建物使用時間が異なる「事務所」「物販」「病院」を対象とした。

各用途における外壁・屋根等の外皮仕様は前節と同様の条件とし、空調及び照明の内部発熱に関わるスケジュールは、建築物の省エネルギー基準と計算の手引き⁸⁾に基づき、省エネルギー基準の「事務所、店舗、病室」の条件として設定した。表 4.4.2～4.4.3、図 4.4.3 に各種設定条件をまとめる。

なお、窓面積率（外壁面積に対する開口部面積の割合）は、30%に固定した。

表 4.4.2 モデル建物の建築・設備条件

		内容		
屋根	種類	RC(外断熱)/天井あり		
	断熱材種類	スチレン発泡板(押出し) ＜熱伝導率: 0.037 W/m・K＞		
外壁	種類	押出成型セメント板		
	断熱材種類	吹付け硬質ウレタンフォーム ＜熱伝導率: 0.034 W/m・K＞		
内装仕上げ		あり		
窓ガラス	タイプ	単層ガラス	複層ガラス空気層6mm	
	種類	透明フロートガラス	透明＋Low-e ブルー(銀1層)	Low-e ブルー(銀1層) ＋透明フロート
ブラインド		明色		
庇		なし		

表 4.4.3 熱負荷設定条件

			事務所	物販	病院
発熱量	在室人員	人/m ²	0.2	0.5	0.1
	照明	W/m ²	20	60	12
	機器	W/m ²	20	0	3
取入外気量		m ³ /m ² ・h	5	10	4
冷暖房期間	冷房		6/1～9/30		
	暖房		12/1～3/31		
	中間期		停止		
温湿度	冷房		26℃/ 50%		
	暖房		22℃/ 40%	20℃/ 40%	22℃/ 40%

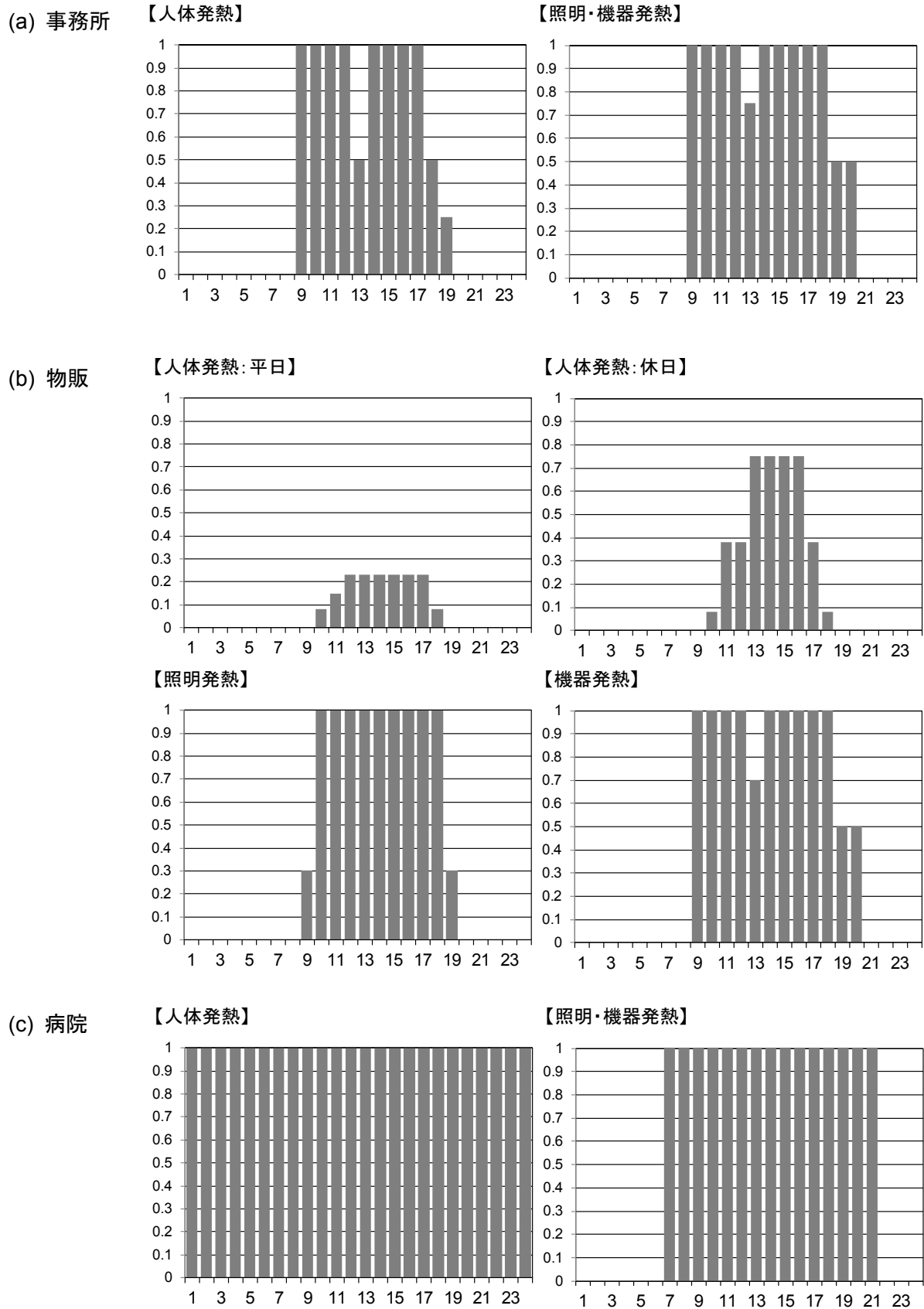


図 4.4.3 人体発熱・照明及び機器発熱スケジュール

(4) シミュレーション条件

前節と同様に、改修前の既存建物として外壁のみ断熱が施されたケースを基準とし、屋根改修、窓改修、及び屋根改修と窓改修の組合せを想定し、改修パターンとして表 4.4.4 に示す 5 パターンについて、それぞれの年間暖房負荷・冷房負荷を算定する。なお、屋根改修については、予備検討において、札幌を除くと断熱材厚さの違いによる改修効果の差は大きくなく、屋根断熱がない基準ケースに対して、旧ポイント法をクリアする最低レベルの断熱改修を施すケースとして想定している。また、窓改修は、Low-e 複層ガラスへの改修を想定し、断熱型と遮熱型の効果を検証する。なお、各改修ケースにおける断熱材等の仕様は、表 4.4.2 及び表 4.4.4 に示すとおりであり、前節の予備検討と同様の条件である。

表 4.4.4 建築外皮の改修条件

設定ケース		断熱材厚さ		ガラス
		外壁	屋根	仕様
基準		札幌 20mm	なし	単層 (透明)
改修①	屋根改修		25mm	
改修②	窓改修	東京 鹿児島 15mm	なし	複層(Low-e断熱)
改修③	窓改修			複層(Low-e遮熱)
改修④	屋根＋窓改修		25mm	複層(Low-e断熱)
改修⑤	屋根＋窓改修			複層(Low-e遮熱)

注) 断熱材種類は、表 4.4.2 に示す

4.4.2 地域・建物用途別の建築外皮改修による省エネルギー効果(事務所モデル)

(1) 改修前の年間暖房・冷房負荷

図 4.4.4 に札幌、東京、鹿児島の事務所モデルについて、基準ケースとなる改修前の年間暖房・冷房負荷の計算結果を示す。

札幌は暖房負荷が支配的で、東京、鹿児島は冷房負荷が支配的である。暖冷房合計の年間熱負荷は、札幌が約 $780 \sim 400 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ 、東京が約 $620 \sim 450 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ 、鹿児島が約 $680 \sim 510 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ に分布する。

各地域とも、ペリメータ比率の低下とともに、年間熱負荷は少なくなっている。つまり、基準階の床面積が大きくなるほど、また階数が増えるほど、年間熱負荷は少なくなる。また、1～2階建のモデルでは、他のモデルよりも年間熱負荷が大きく、特に札幌でその傾向が顕著である。

(2) 建築外皮改修による熱負荷削減効果

改修①～⑤の各ケースにおける年間暖冷房負荷の削減効果を地域毎に図 4.4.5～4.4.7 に

示す。また、各ケースの年間暖房・冷房負荷の計算結果は、巻末の付録Aにまとめる。

札幌（図 4.4.5）において、屋根改修の削減効果は、1～2 階建ては 10%以上となっているが、5 階建以上では 5%以下にとどまる。また、窓改修の削減効果は 5～12%に分布し、屋根改修に比べると階数による差は小さく、インテリア比率の高いタイプAの効果が若干高い。

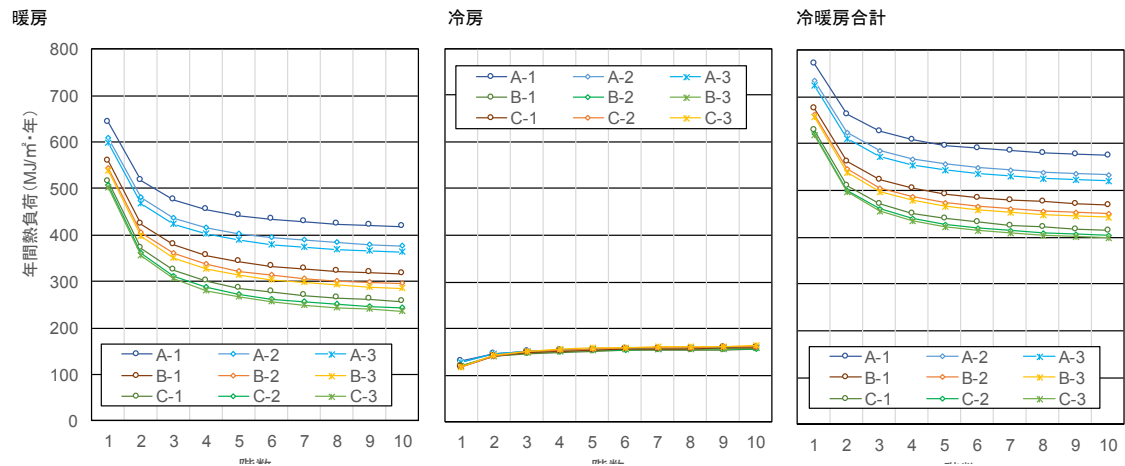
東京（図 4.4.6）において、屋根改修の削減効果は、1～2 階建ては 5～10%以上となっているが、5 階建以上では数%の効果にとどまる。また、窓改修の削減効果は 2～5%で階数による差は小さい。

鹿児島（図 4.4.7）において、屋根改修の削減効果は、1～2 階建ては 3～7%以上となっているが、5 階建以上では数%の効果にとどまる。また、窓改修の削減効果は 1～4%で階数による差は小さい。

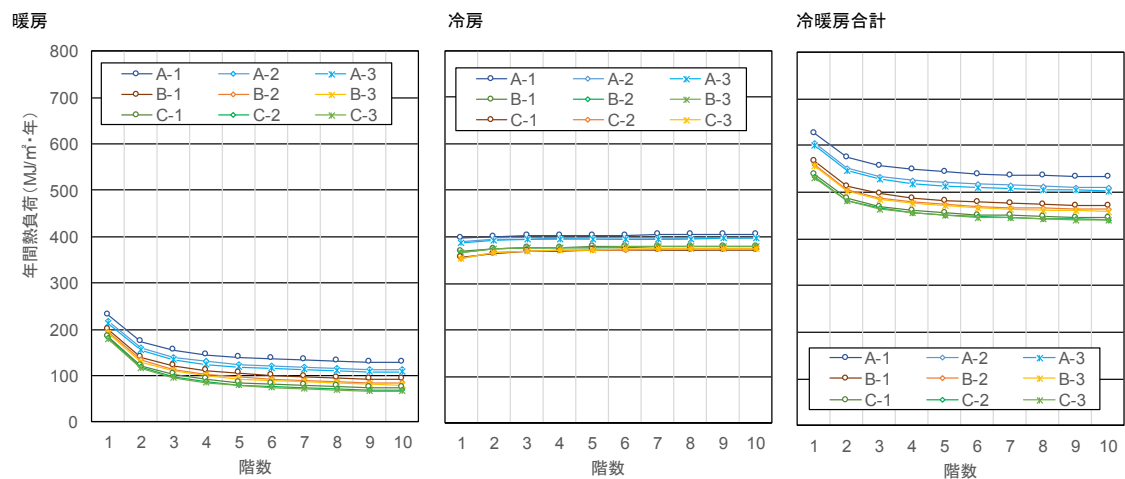
各地域とも、屋根改修は、1～2 階建ての削減効果が高く、階数の増加とともに効果は低減する。また、タイプ別の比較では、屋根面積の大きなタイプCの削減効果が若干高い。

窓改修については、屋根改修よりも削減効果は低くなり、階数による差も屋根改修と比べると小さい。札幌では階数が増加するほど削減効果は増加するが、東京や鹿児島では階数の増加に伴って削減効果は緩やかに低下しており、地域による差が見られた。また、東京と鹿児島では Low-e 複層ガラスの遮熱タイプを使用するケースが、断熱タイプを使用するケースよりも効果は若干高い。

(a) 事務所・札幌



(b) 事務所・東京



(c) 事務所・鹿児島

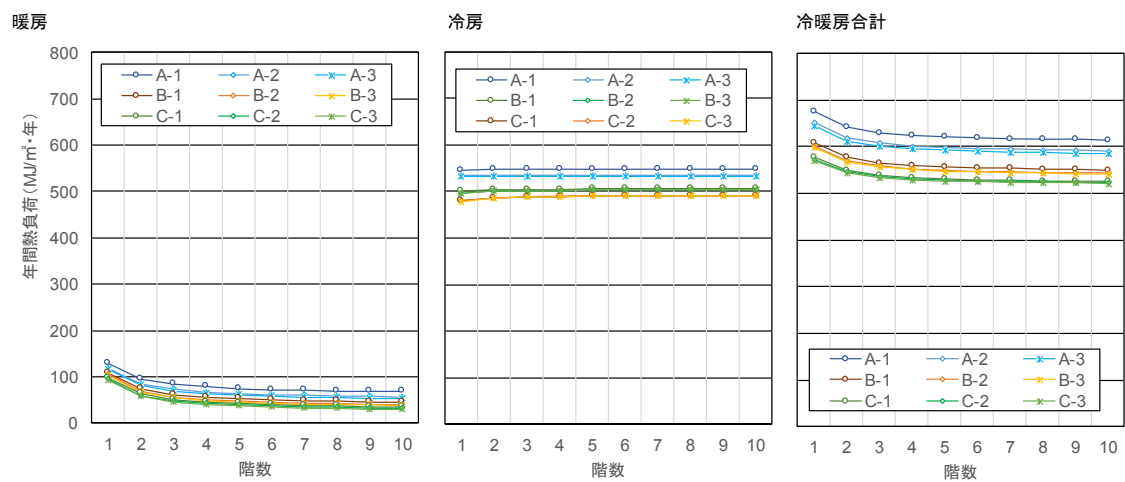
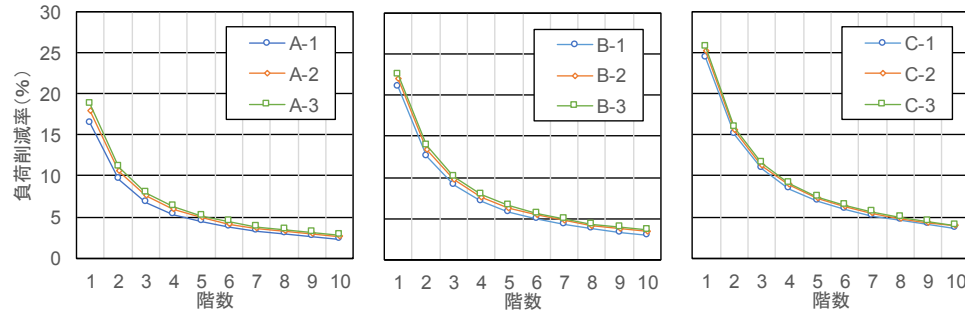
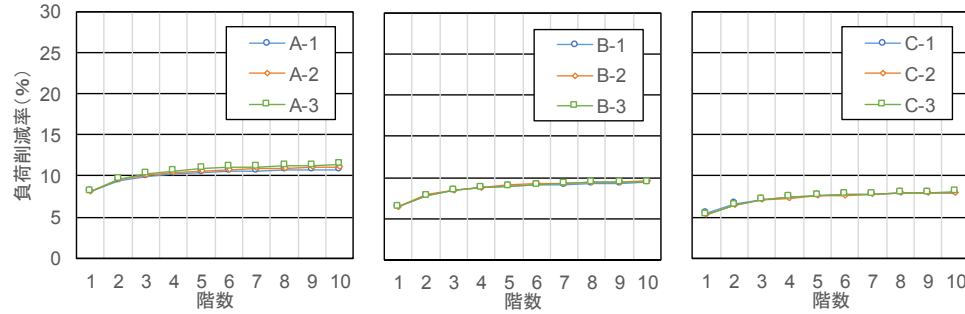


図 4.4.4 事務所モデルにおける改修前の年間熱負荷（暖冷房合計）
（基準ケース：外壁断熱あり）

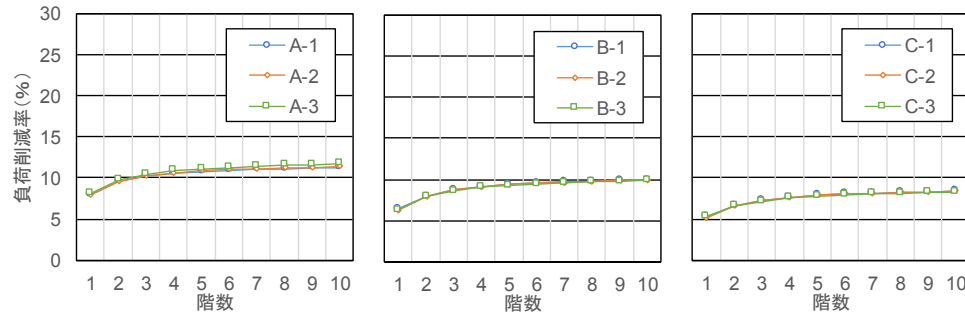
①屋根改修(断熱材厚さ25mm)



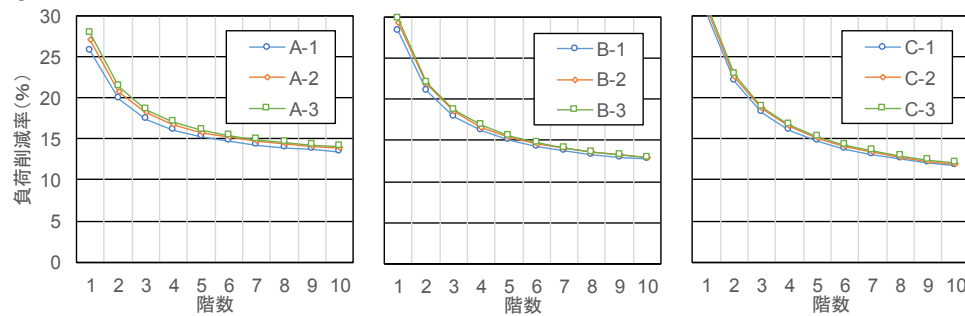
②窓改修(Low-e複層・断熱タイプ)



③窓改修(Low-e複層・遮熱タイプ)



④屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・断熱タイプ)



⑤屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・遮熱タイプ)

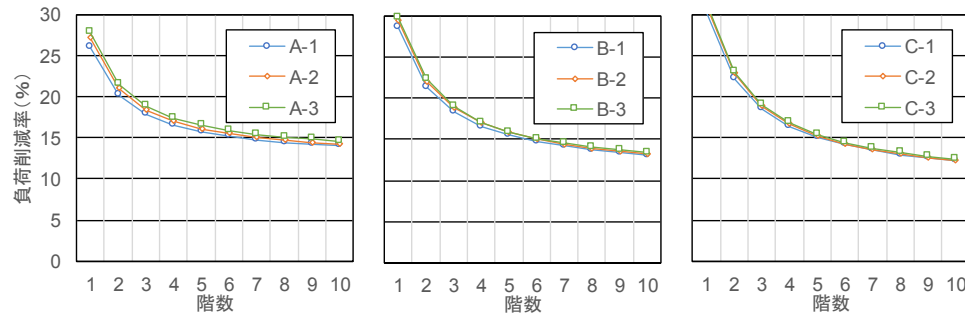
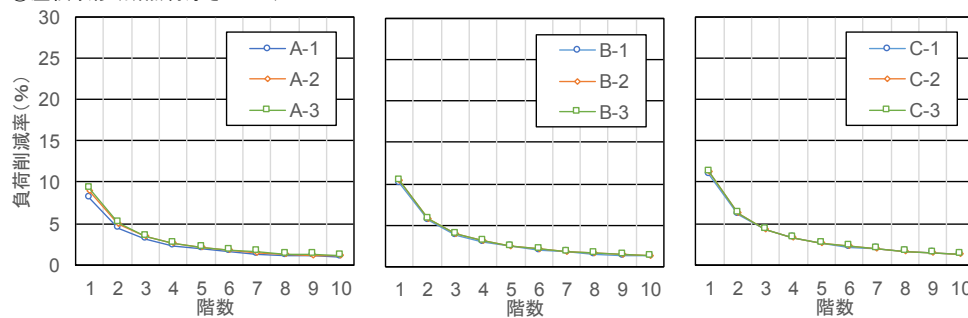
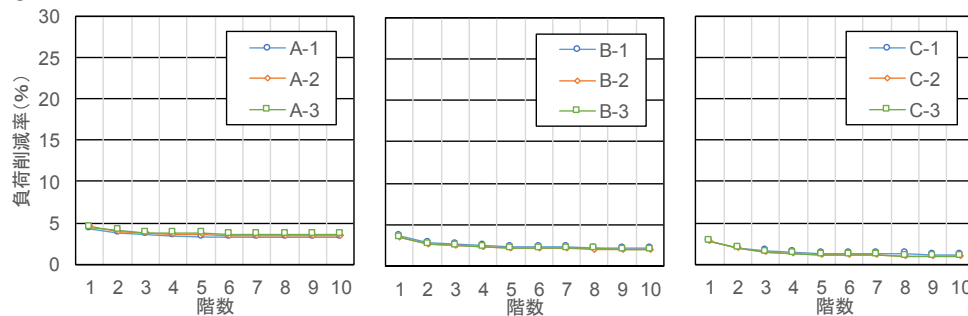


図 4.4.5 事務所モデルにおける建築外皮改修効果（年間暖冷房負荷削減率：札幌）

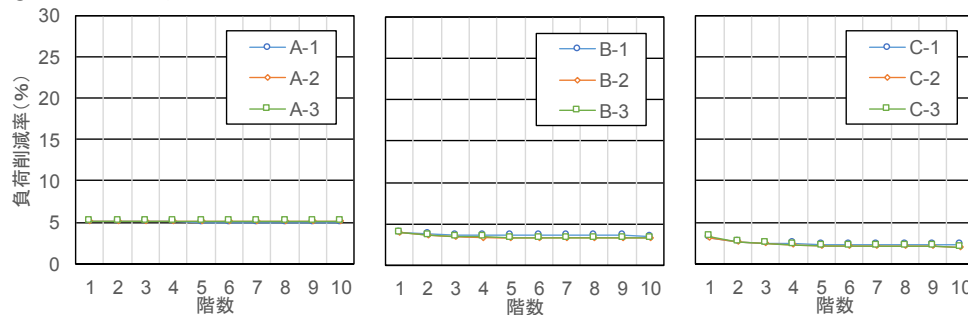
①屋根改修(断熱材厚さ25mm)



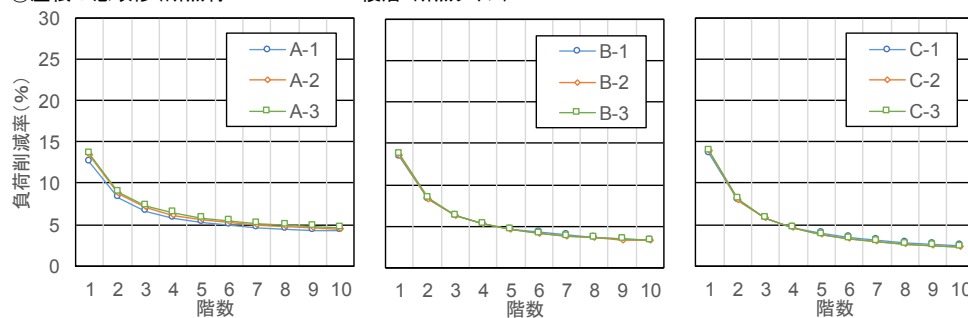
②窓改修(Low-e複層・断熱タイプ)



③窓改修(Low-e複層・遮熱タイプ)



④屋根＋窓改修(断熱材25mm＋Low-e複層・断熱タイプ)



⑤屋根＋窓改修(断熱材25mm＋Low-e複層・遮熱タイプ)

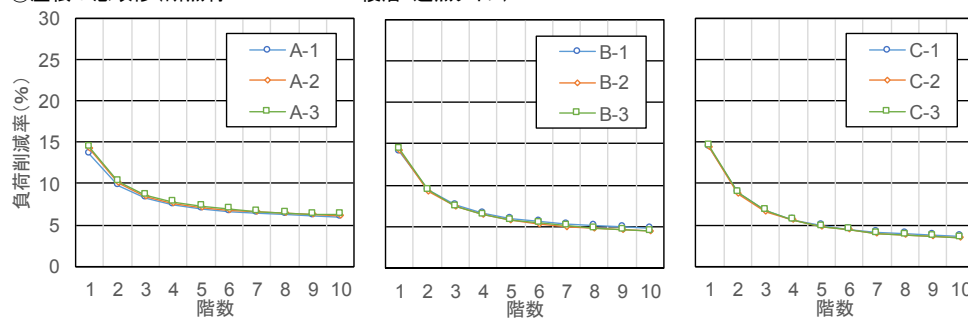
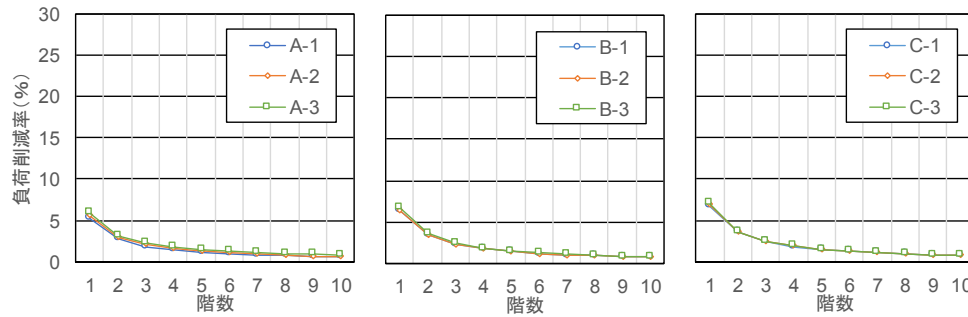
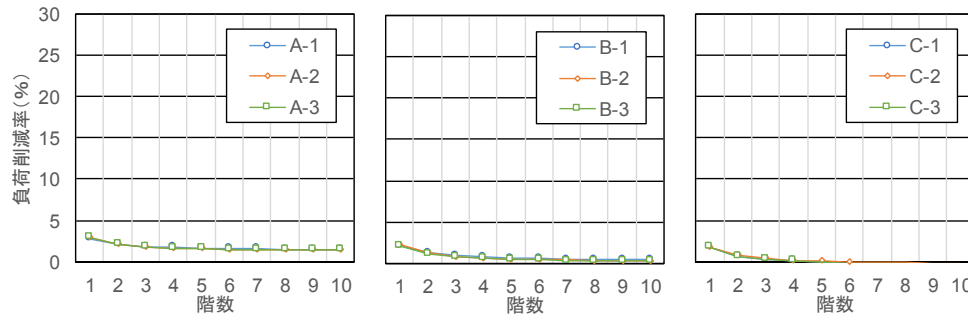


図 4.4.6 事務所モデルにおける建築外皮改修効果（年間暖冷房負荷削減率：東京）

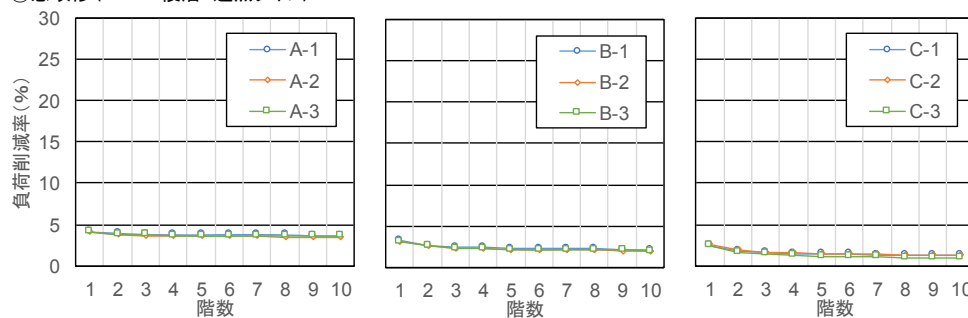
①屋根改修(断熱材厚さ25mm)



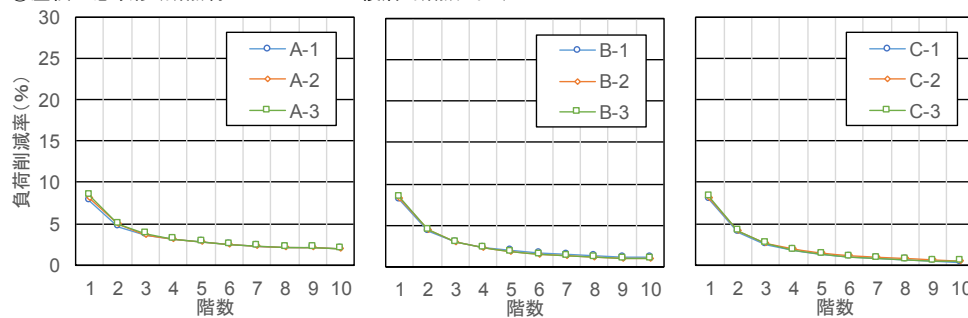
②窓改修(Low-e複層・断熱タイプ)



③窓改修(Low-e複層・遮熱タイプ)



④屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・断熱タイプ)



⑤屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・遮熱タイプ)

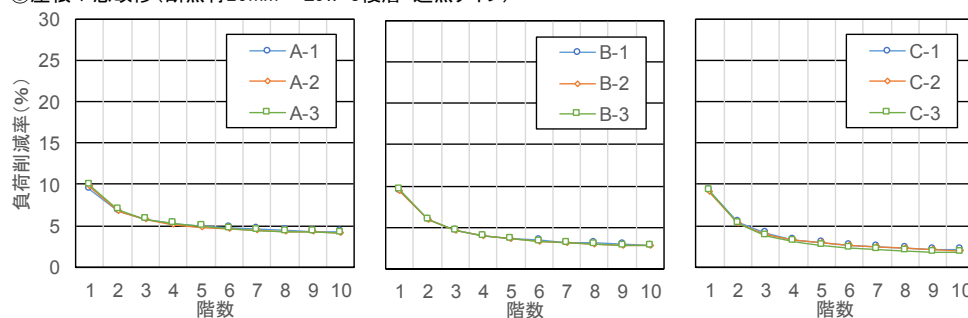


図 4.4.7 事務所モデルにおける建築外皮改修効果（年間暖冷房負荷削減率：鹿児島）

4.4.3 地域・建物用途別の建築外皮改修による省エネルギー効果(物販モデル)

(1) 改修前の年間暖房・冷房負荷

図 4.4.8 に札幌、東京、鹿児島物の販モデルについて、基準ケースとなる改修前の年間暖房・冷房負荷の計算結果を示す。

札幌は暖房負荷が支配的で、東京、鹿児島は冷房負荷が支配的であるのは、事務所モデルと同様であるが、札幌では暖房負荷、東京と鹿児島では冷房負荷が事務所モデルよりも大きく、各地域とも年間熱負荷は事務所モデルよりも大きい。

冷暖房合計の年間熱負荷は、札幌が約 $1,200 \sim 600 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ 、東京が約 $800 \sim 620 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ 、鹿児島が約 $900 \sim 790 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ に分布する。

各地域とも、ペリメータ比率の低下とともに、年間熱負荷は少なくなっているのは、事務所モデルと同様であるが、東京、鹿児島は階数による差は事務所よりも小さい。

(2) 建築外皮改修による熱負荷削減効果

改修①～⑤の各ケースにおける年間暖冷房負荷の削減効果を地域毎に図 4.4.9～4.4.11 に示す。また、各ケースの年間暖房・冷房負荷の計算結果は、巻末の付録 A にまとめる。

札幌(図 4.4.9)において、屋根改修の削減効果は、1 階建は 10%以上、2 階建は 5～10% となっているが、5 階建以上では 5%以下にとどまり、タイプ間の効果の差は事務所モデルよりも大きい。また、窓改修の削減効果は、5～12%に分布し、屋根改修に比べると階数による差は小さく、インテリア比率の高いタイプ A の効果が若干高い。

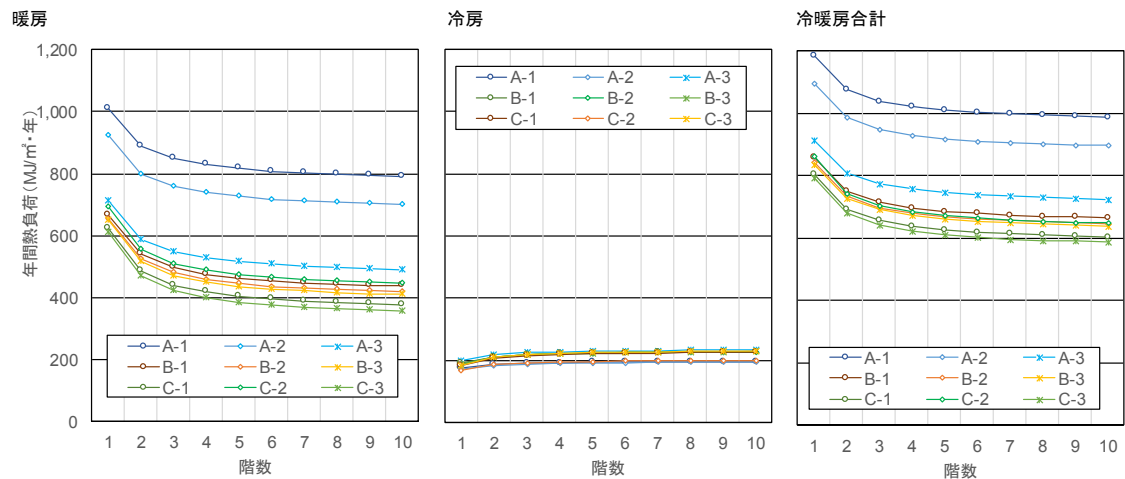
東京(図 4.4.10)において、屋根改修の削減効果は、1 階建では約 5%、2 階建では約 3% となっているが、5 階建以上では数%の効果にとどまる。また、窓改修の削減効果は 1～5% で階数による差は小さい。

鹿児島(図 4.4.11)において、屋根改修の効果は、1 階建では 5%前後の値となるが、5 階建以上での効果はごくわずかである。また、窓改修の削減効果は 1～4%で、断熱タイプを使用する場合には高層モデルにおいて熱負荷が増加する可能性がある。

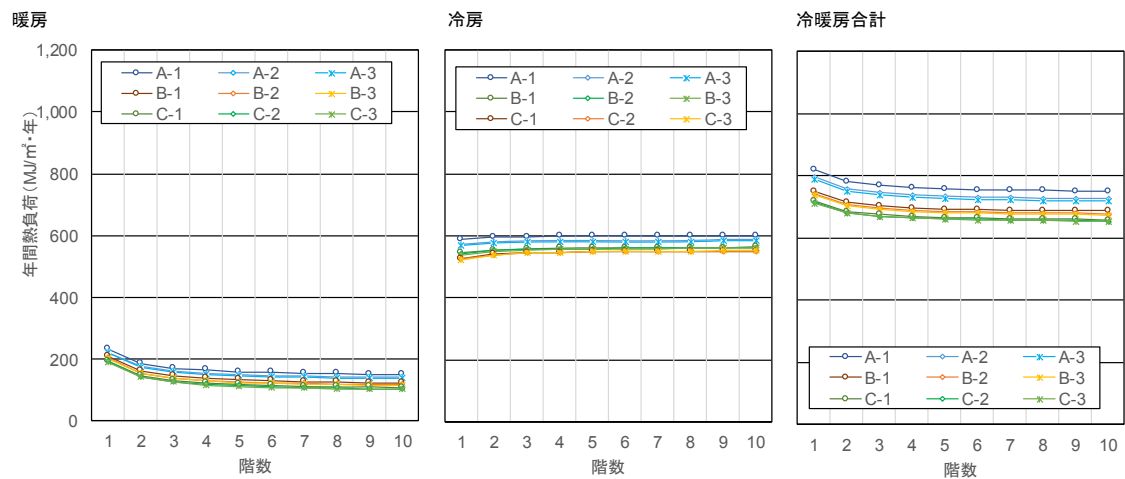
各地域とも、屋根改修は、1～2 階建の削減効果が高く、階数の増加とともに効果は低減し、タイプ別では、屋根面積の大きなタイプ C の削減効果が若干高いのは事務所と同様である。

窓改修については、屋根改修よりも削減効果は低くなり、階数による差も屋根改修と比べると小さい。また、鹿児島では、Low-e 複層ガラスの断熱タイプを使用する場合、高層モデルでは年間熱負荷の増加につながるケースが見られている。

(a) 物販・札幌



(b) 物販・東京



(c) 物販・鹿児島

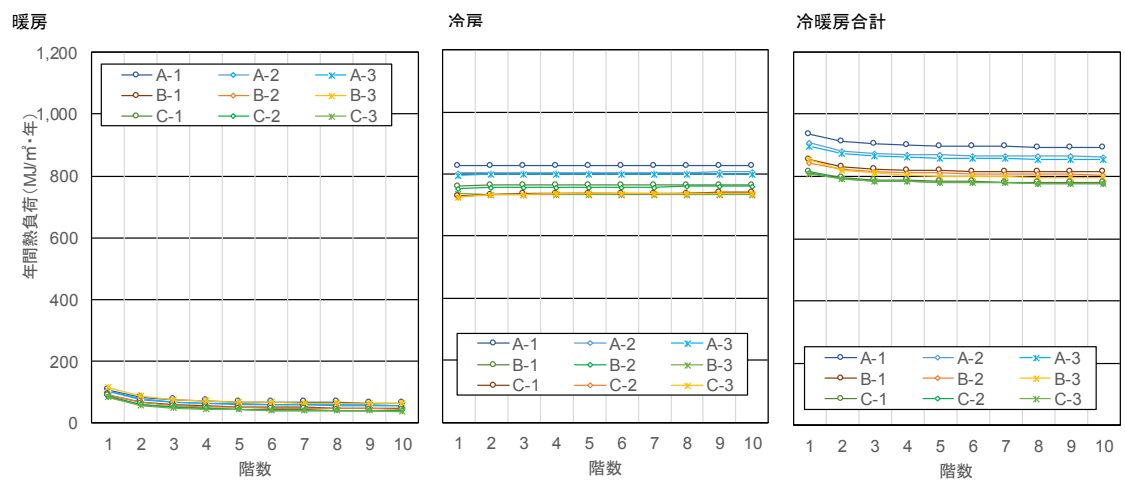
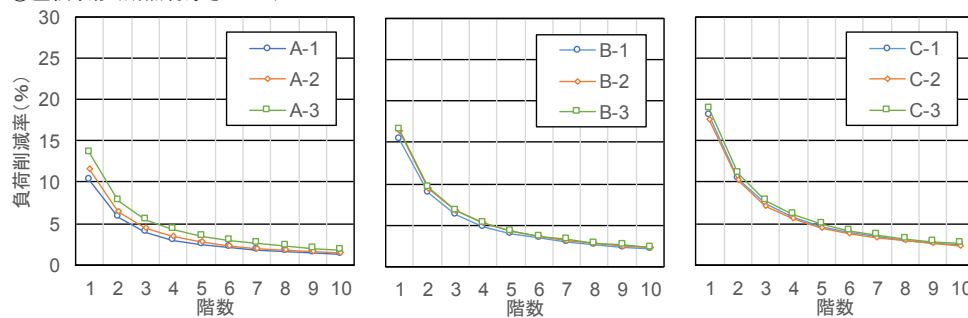
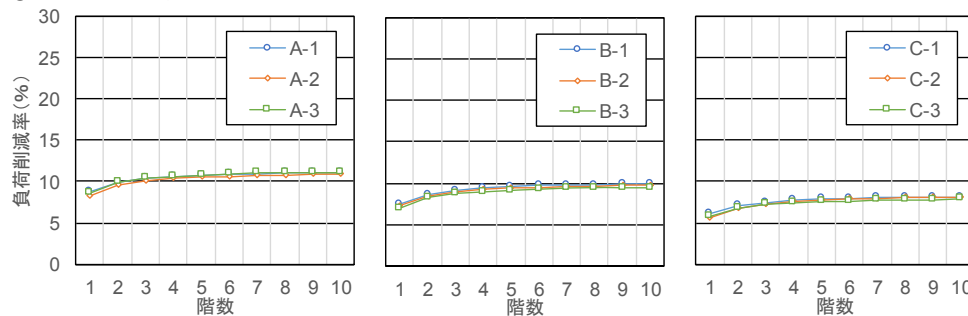


図 4.4.8 物販モデルにおける改修前の年間熱負荷（暖冷房合計）
（基準ケース：外壁断熱あり）

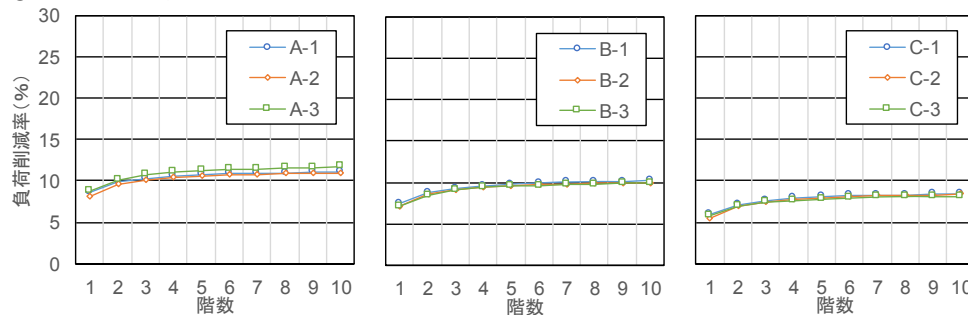
①屋根改修(断熱材厚さ25mm)



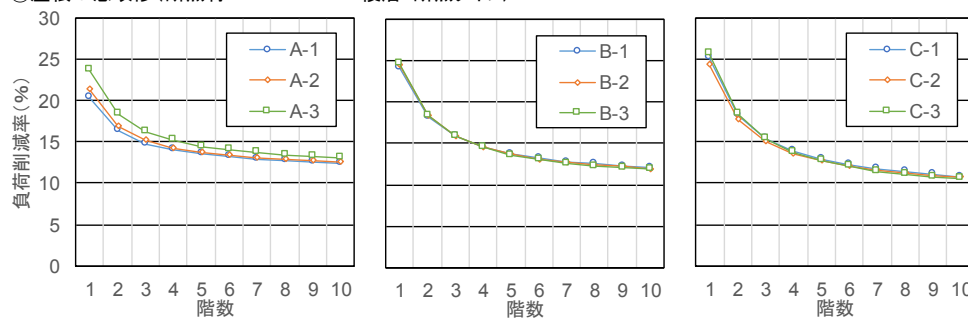
②窓改修(Low-e複層・断熱タイプ)



③窓改修(Low-e複層・遮熱タイプ)



④屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・断熱タイプ)



⑤屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・遮熱タイプ)

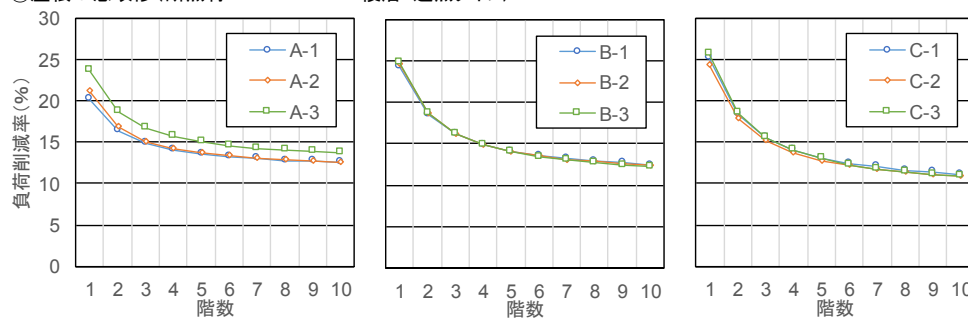
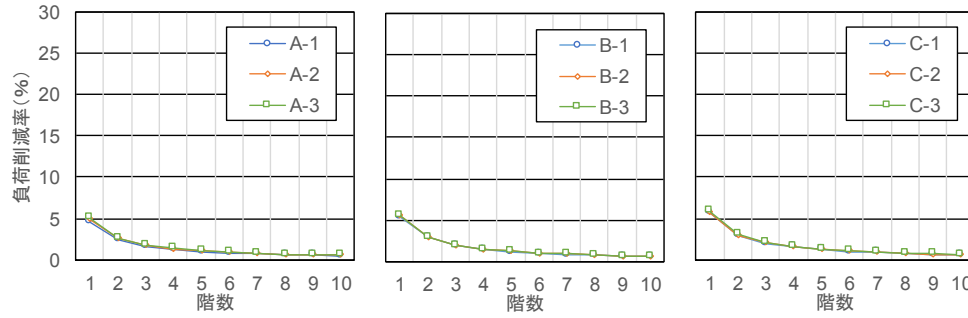
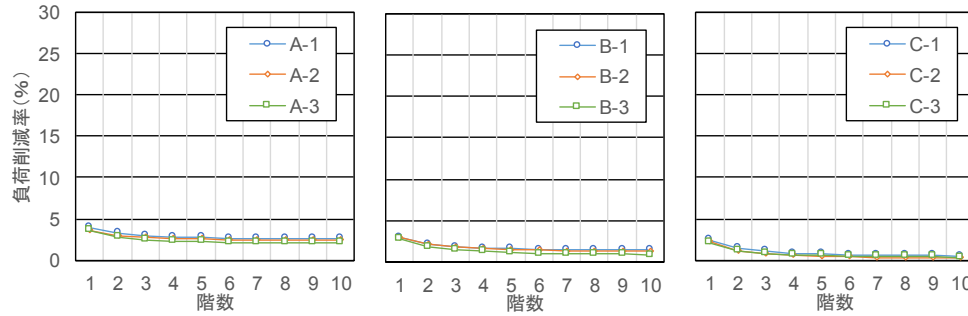


図 4.4.9 物販モデルにおける建築外皮改修効果 (年間暖冷房負荷削減率: 札幌)

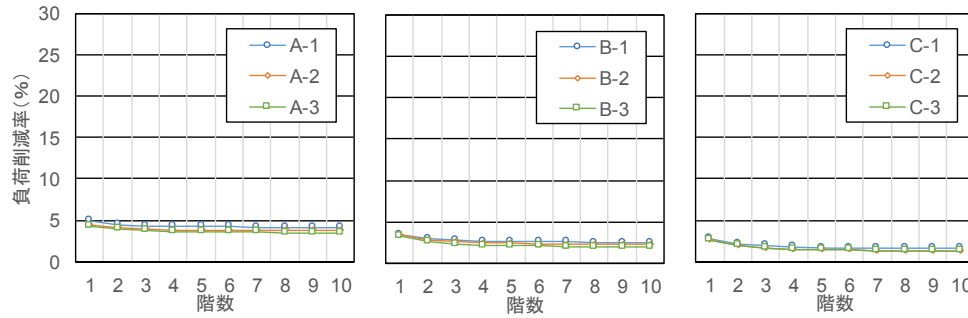
①屋根改修(断熱材厚さ25mm)



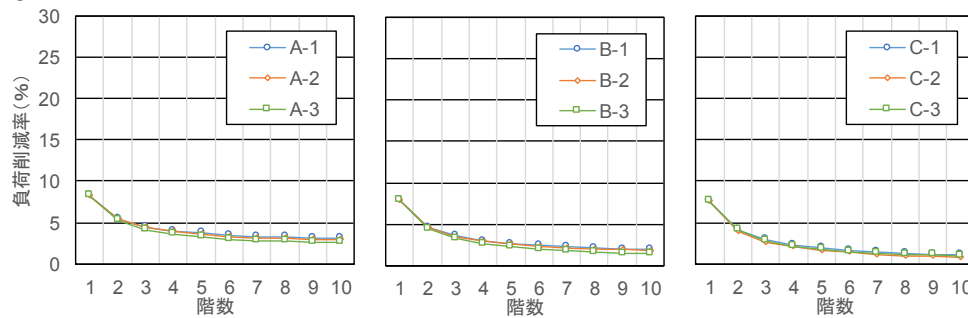
②窓改修(Low-e複層・断熱タイプ)



③窓改修(Low-e複層・遮熱タイプ)



④屋根＋窓改修(断熱材25mm＋Low-e複層・断熱タイプ)



⑤屋根＋窓改修(断熱材25mm＋Low-e複層・遮熱タイプ)

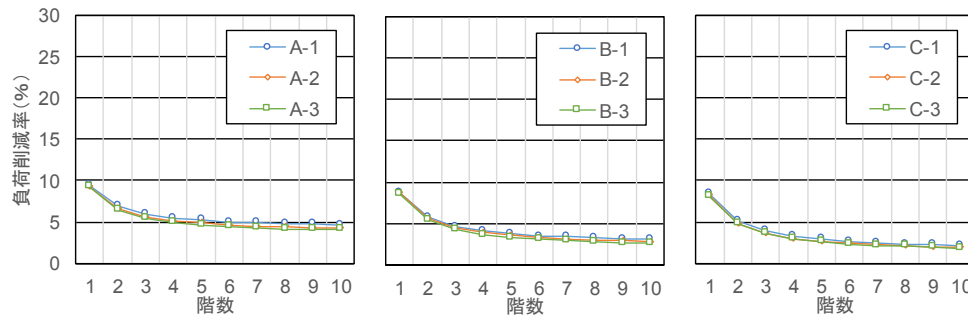
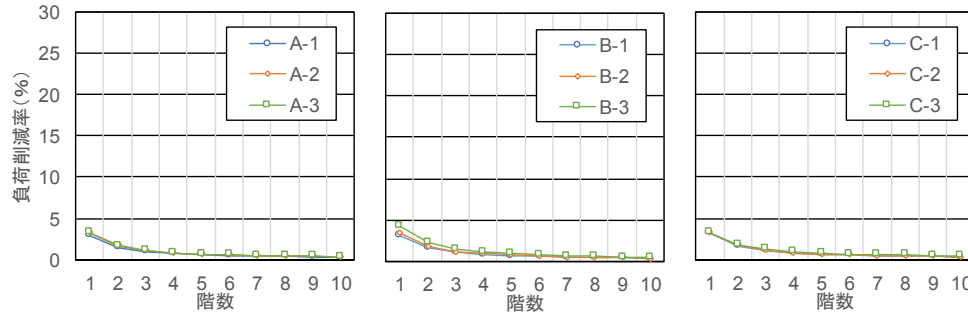
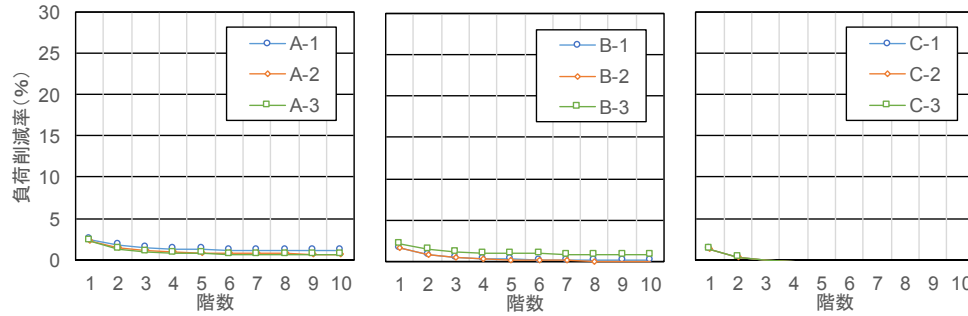


図 4.4.10 物販モデルにおける建築外皮改修効果（年間暖冷房負荷削減率：東京）

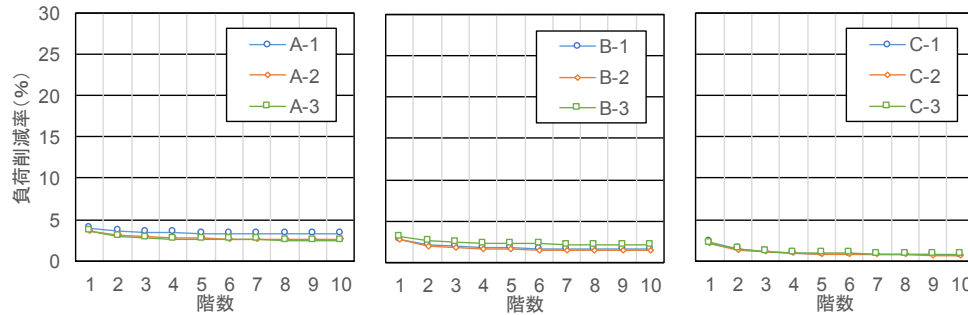
①屋根改修(断熱材厚さ25mm)



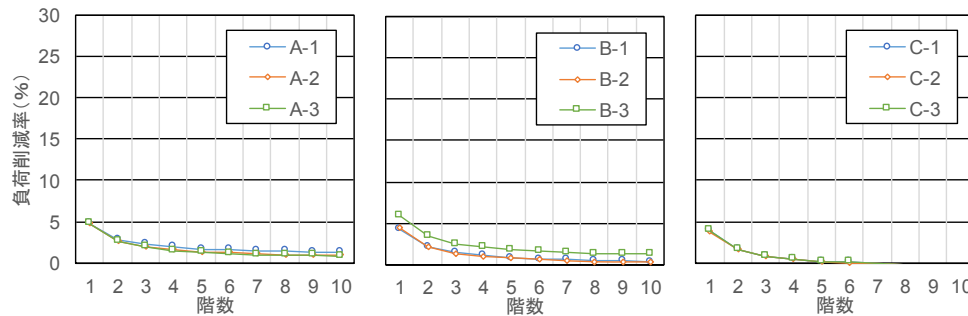
②窓改修(Low-e複層・断熱タイプ)



③窓改修(Low-e複層・遮熱タイプ)



④屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・断熱タイプ)



⑤屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・遮熱タイプ)

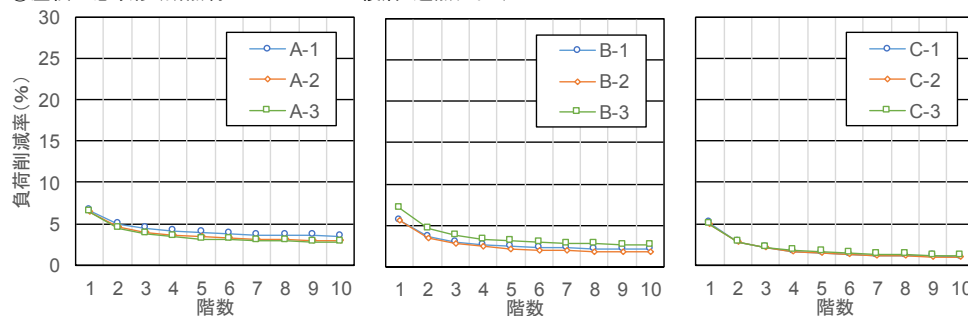


図 4.4.11 物販モデルにおける建築外皮改修効果（年間暖冷房負荷削減率：鹿児島）

4.4.4 地域・建物用途別の建築外皮改修による省エネルギー効果(病院モデル)

(1) 改修前の年間暖房・冷房負荷

図 4.4.12 に札幌、東京、鹿児島病院モデルについて、基準ケースとなる改修前の年間暖房負荷・冷房負荷の計算結果を示す。

各地域とも暖房負荷は他のモデルよりも大きい。札幌は暖房負荷、鹿児島は冷房負荷が支配的であるのは、他のモデルと同様であるが、東京では暖房負荷と冷房負荷が同程度となり、低層モデルでは暖房負荷が大きいケースも見られる。各地域とも年間熱負荷は事務所モデル、物販モデルよりも大きい。

暖冷房合計の年間熱負荷は、札幌が約 $1,500 \sim 790 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ 、東京が約 $1,100 \sim 620 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ 、鹿児島が約 $1,100 \sim 700 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ に分布する。

各地域とも、ペリメータ比率の低下とともに、年間熱負荷は少なくなっているのは、事務所モデルと同様であるが、低層モデルにおける年間熱負荷の増加が他の用途よりも大きい。

(2) 建築外皮改修による熱負荷削減効果

改修①～⑤の各ケースにおける年間暖冷房負荷の削減効果を地域毎に図 4.4.13～4.4.15 に示す。また、各ケースの年間暖房・冷房負荷の計算結果は、巻末の付録 A にまとめる。

札幌(図 4.4.13)において、屋根改修の削減効果は、1 階建は 20～25%以上、2 階建は 10～15%となっており、5 階建以上でも 5%以上の効果が期待できるケースも見られる。また、窓改修の削減効果は 10～20%に分布し、屋根改修に比べると階数による差は小さいものの、他の用途よりも高い効果となっている。

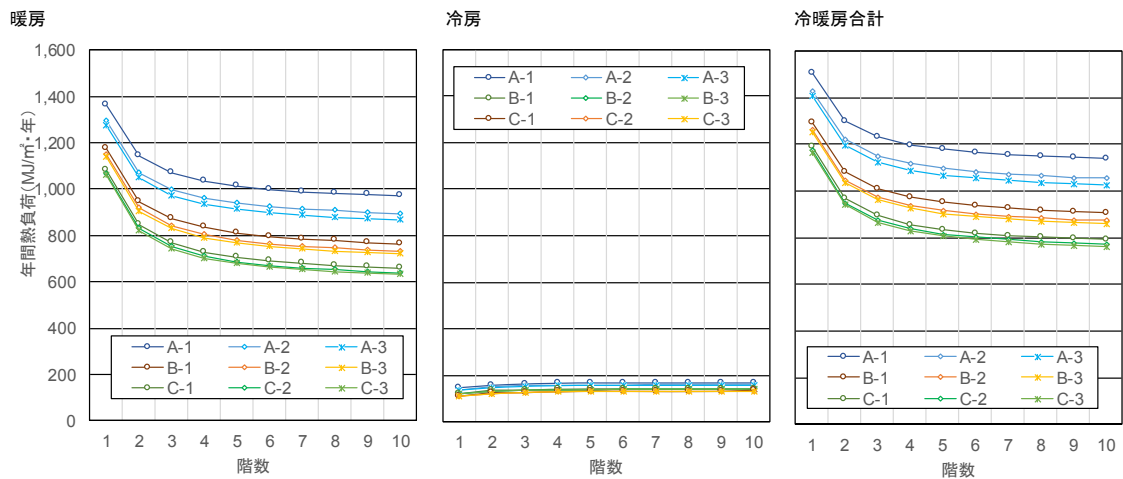
東京(図 4.4.14)において、屋根改修の削減効果は、1 階建では約 10～15%、2 階建では約 6～10%となっているが、他の用途と同様に 5 階建以上では数%の効果にとどまる。また、窓改修の削減効果は 7～12%で、他の用途と比べても効果は高い。

鹿児島(図 4.4.15)において、屋根改修の削減効果は、1 階建では 10～13%となるが、5 階建以上では数%の効果にとどまる。また、窓改修の削減効果は 5～10%で、断熱タイプよりも遮熱タイプが総じて効果は高い。

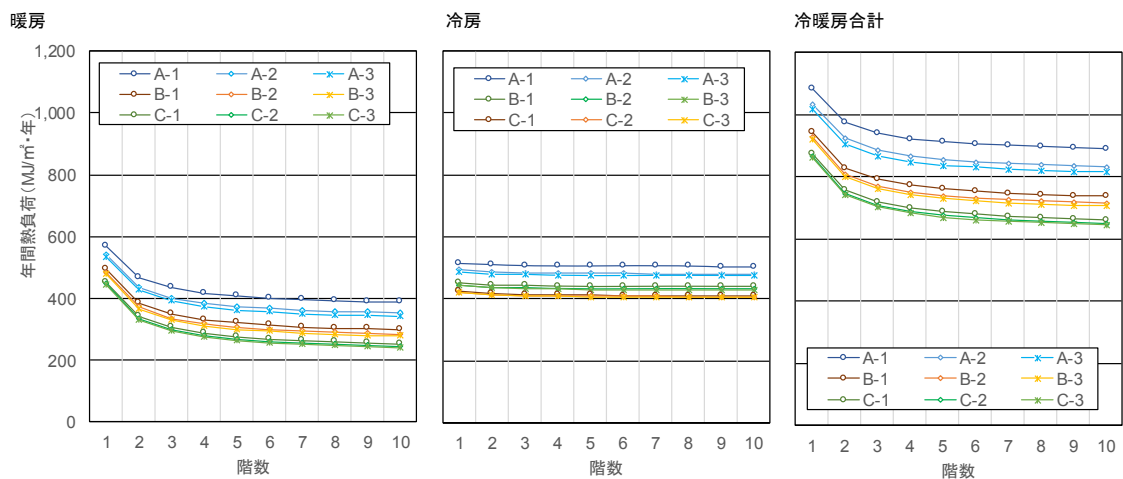
各地域とも、熱負荷の削減効果は、屋根改修、窓改修ともに他の用途よりも高い効果となっている。特に、屋根改修は、1～2 階建の削減効果が高く、東京でも一定の効果が期待できる。窓改修についてもいずれの地域でも 5%以上の削減効果が期待できる。

低層モデルでは屋根改修の削減効果が高く、高層モデルでは窓改修の削減効果が高いのは他の用途と同様であるが、窓改修の削減効果が他の用途よりも高く、低層モデルの差は小さく、高層モデルでは差はやや広がっている。

(a) 病院・札幌



(b) 病院・東京



(c) 病院・鹿児島

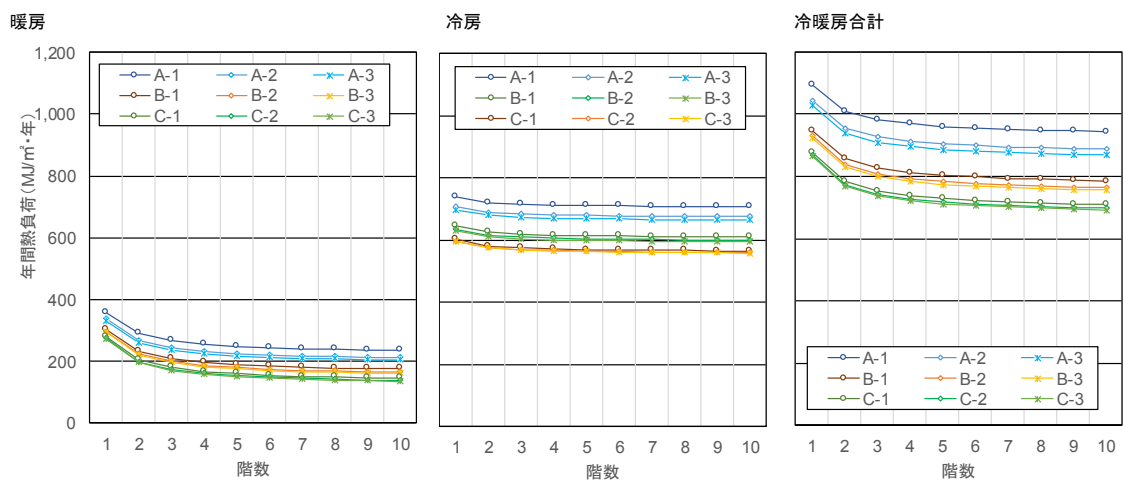
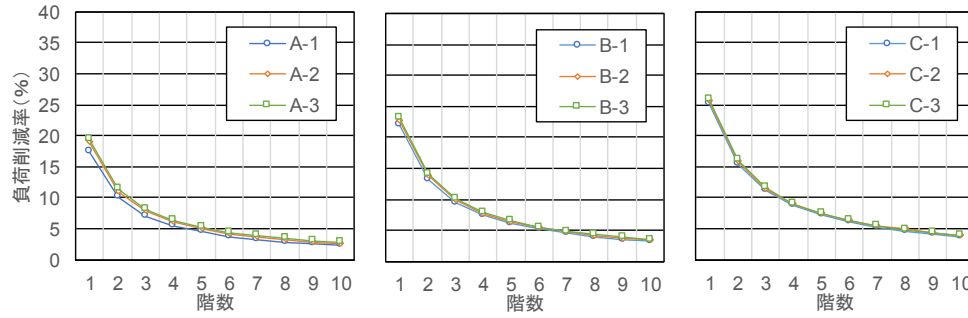
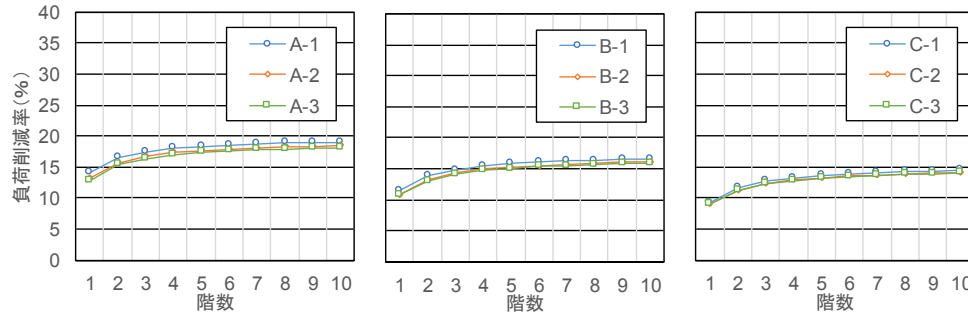


図 4.4.12 病院モデルにおける改修前の年間熱負荷（暖冷房合計）
（基準ケース：外壁断熱あり）

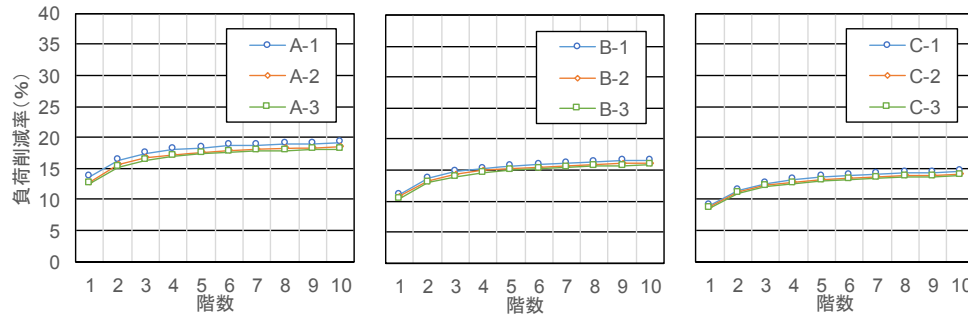
①屋根改修(断熱材厚さ25mm)



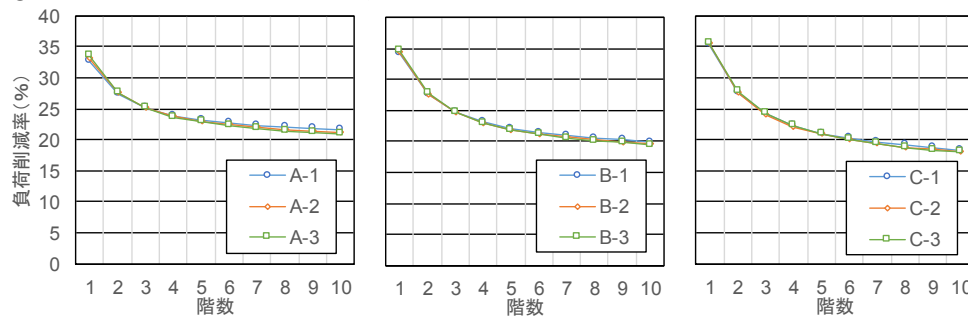
②窓改修(Low-e複層・断熱タイプ)



③窓改修(Low-e複層・遮熱タイプ)



④屋根＋窓改修(断熱材25mm＋Low-e複層・断熱タイプ)



⑤屋根＋窓改修(断熱材25mm＋Low-e複層・遮熱タイプ)

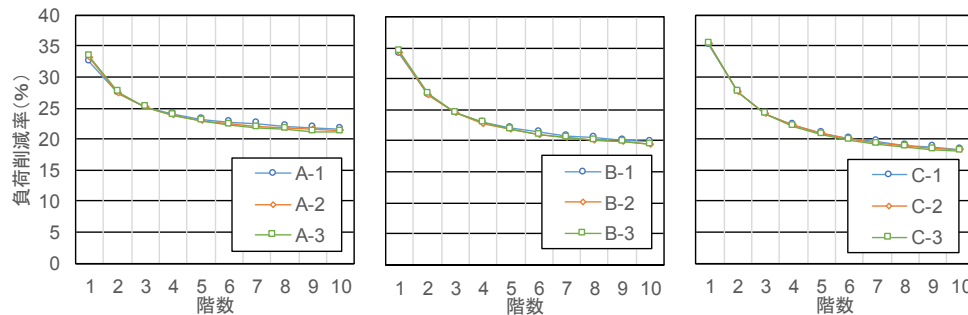
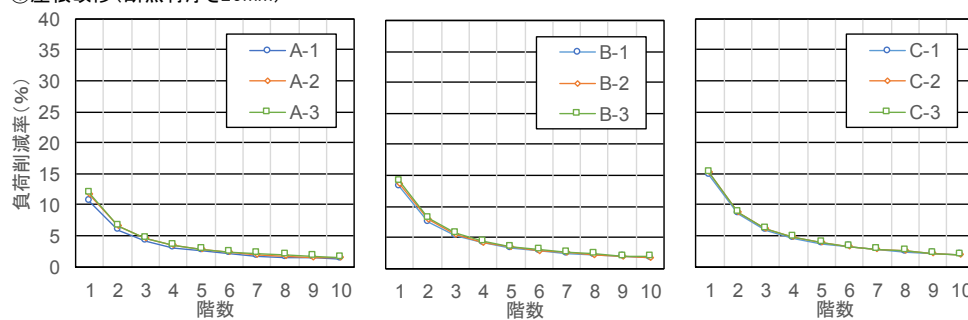
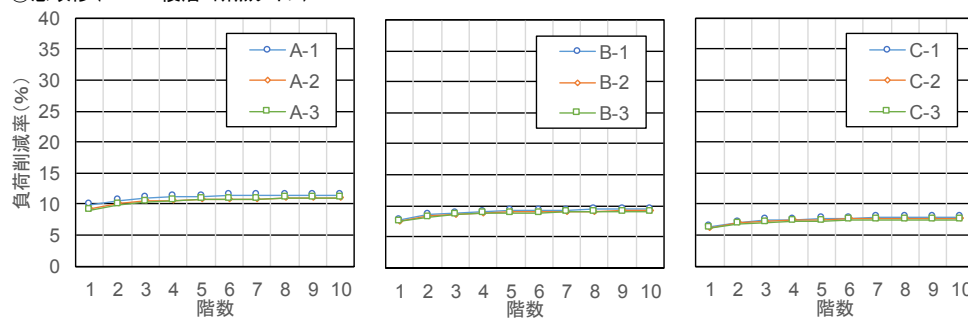


図 4.4.13 病院モデルにおける建築外皮改修効果（年間暖冷房負荷削減率：札幌）

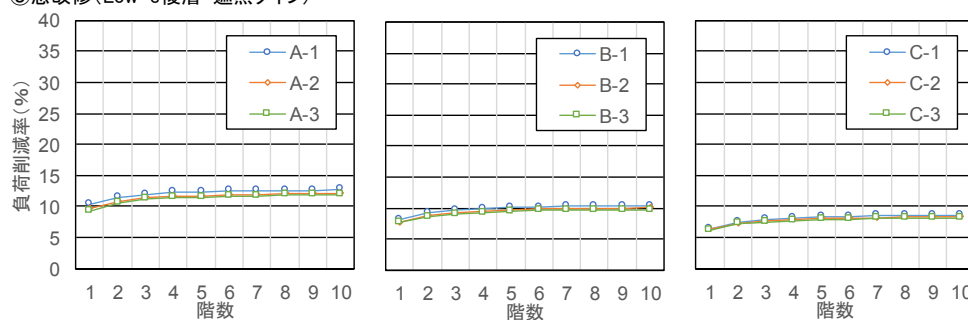
①屋根改修(断熱材厚さ25mm)



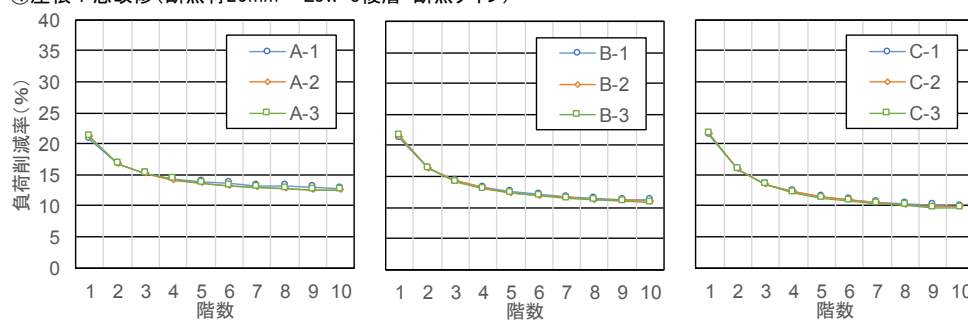
②窓改修(Low-e複層・断熱タイプ)



③窓改修(Low-e複層・遮熱タイプ)



④屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・断熱タイプ)



⑤屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・遮熱タイプ)

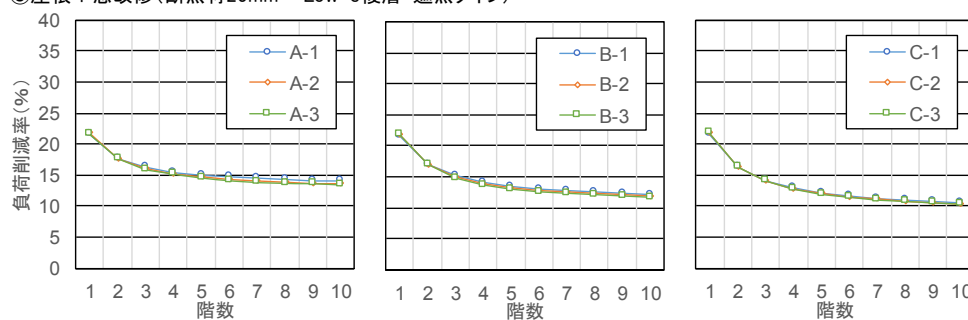
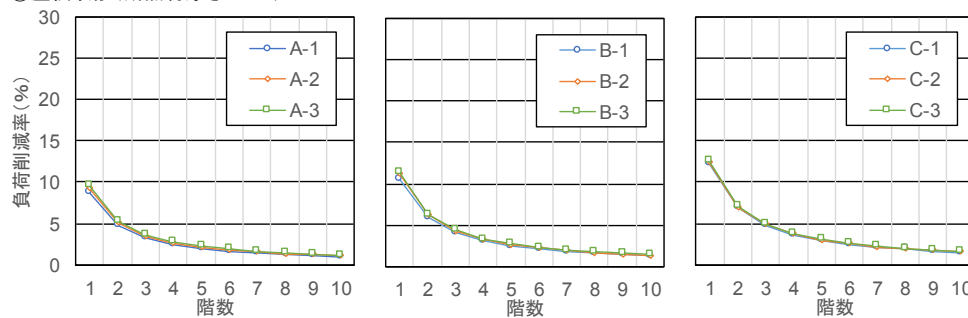
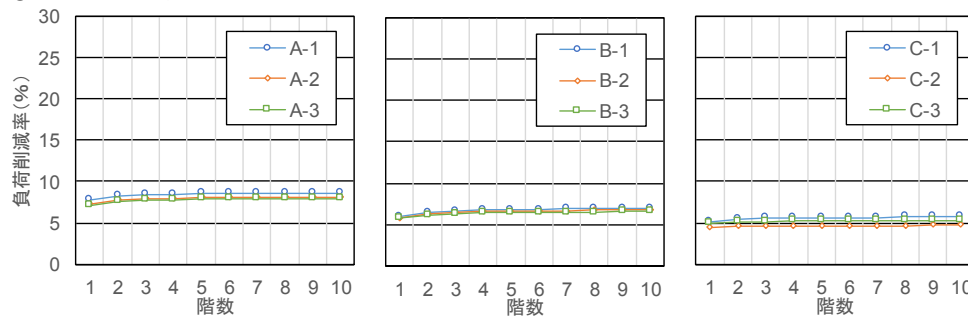


図 4.4.14 病院モデルにおける建築外皮改修効果 (年間暖冷房負荷削減率：東京)

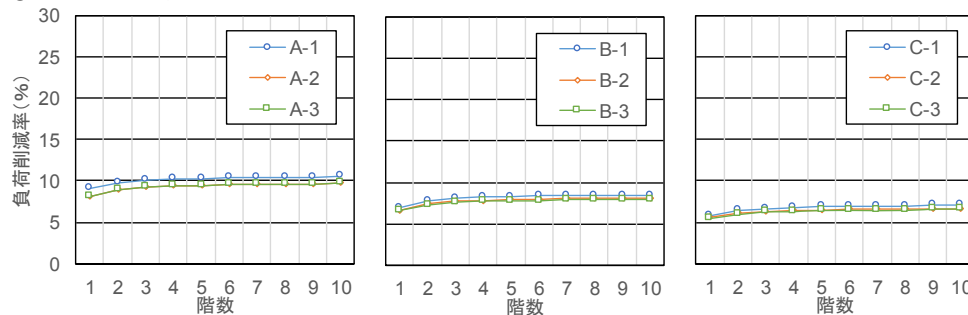
①屋根改修(断熱材厚さ25mm)



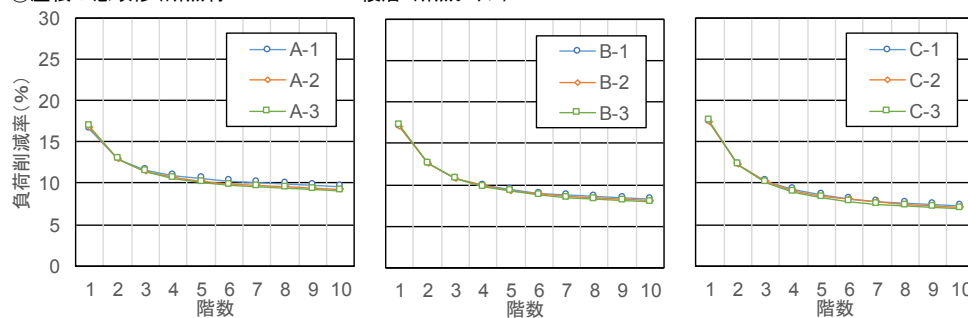
②窓改修(Low-e複層・断熱タイプ)



③窓改修(Low-e複層・遮熱タイプ)



④屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・断熱タイプ)



⑤屋根+窓改修(断熱材25mm + Low-e複層・遮熱タイプ)

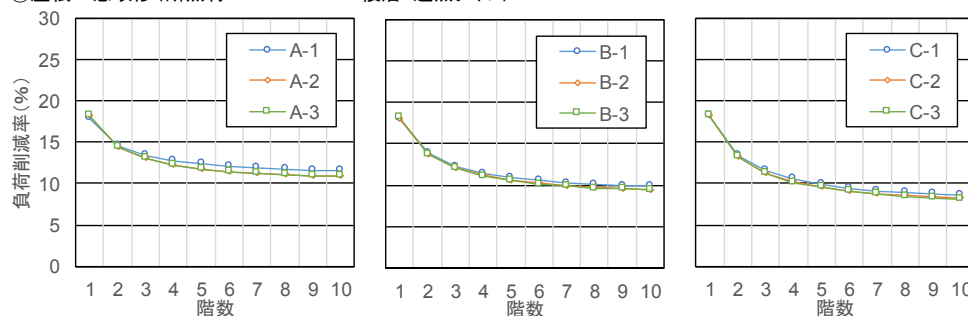


図 4.4.15 病院モデルにおける建築外皮改修効果（年間暖冷房負荷削減率：鹿児島）

4.4.5 建物形状による建築外皮改修の熱負荷削減効果の考察

地域別・用途別の外皮改修に関するシミュレーション結果に基づいて、建物形状と外皮改修効果の関係を考察する。

図 4.4.16 は、年間暖房負荷と熱負荷削減率（暖冷房合計）に着目し、病院モデルの屋根改修と窓改修（Low-e 複層ガラス：断熱タイプ）を例として、改修効果を示したものである。同様に、各用途・各地域の改修効果を図 4.4.17 に示す。

3都市を比較すると、いずれの用途、改修手法においても、暖房負荷の多い札幌で効果が高く、暖房負荷に応じて、東京、鹿児島順に効果が低下することがわかる。また、用途毎の比較では、暖房負荷の割合が高い病院モデルの効果が全般に高く、建物形状の違いによって改修効果にも大きな違いが見られている。

図 4.4.16 に示す病院モデルを例に、建物形状の違いと改修効果の関係を整理する。屋根改修では、同じ平面タイプの階数の違い（例：A-1：1階建、A-1：10階建）を比較すると、階数の増加に伴って暖房負荷は減少し、負荷削減率（暖冷房合計）も大きく減少する。一方、同一階数で異なる平面タイプ（例：A-1とC-3）を比較すると、1フロアあたりの床面積の大きなタイプの効果が高く、特に低層階のモデルで顕著である。これは、外皮に占める屋根面積の割合が高くなることによるものと考えられる。

窓改修では、屋根改修に比べると建物形状による効果の差は小さい。同じ平面タイプの階数の違い（例：A-1：1階建、A-1：10階建）を比較すると、階数の増加に伴って暖房負荷は減少するが、窓面積が外皮全体に占める割合が高くなることで、負荷削減率（暖冷房合計）は増加する。また、同一階数で異なる平面タイプ（例：A-1とC-3）を比較すると、1フロアあたりの床面積の大きなタイプの効果で効果が低下しており、これはペリメータ比率が低くなることによるものと想定される。

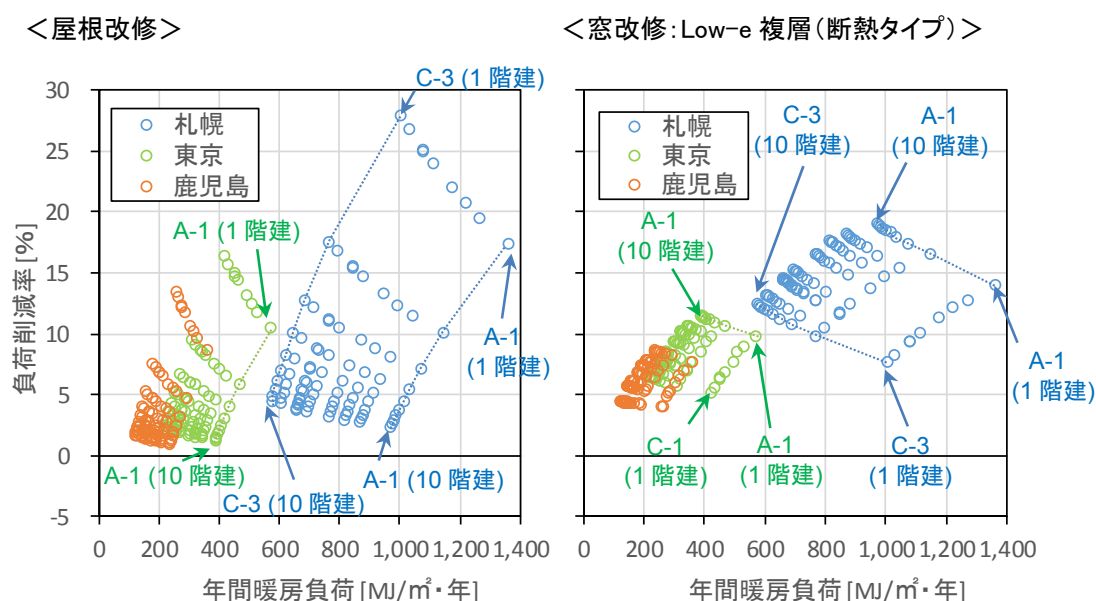


図 4.4.16 年間暖房負荷と負荷削減率（暖冷房合計）の関係＜病院モデルの例＞

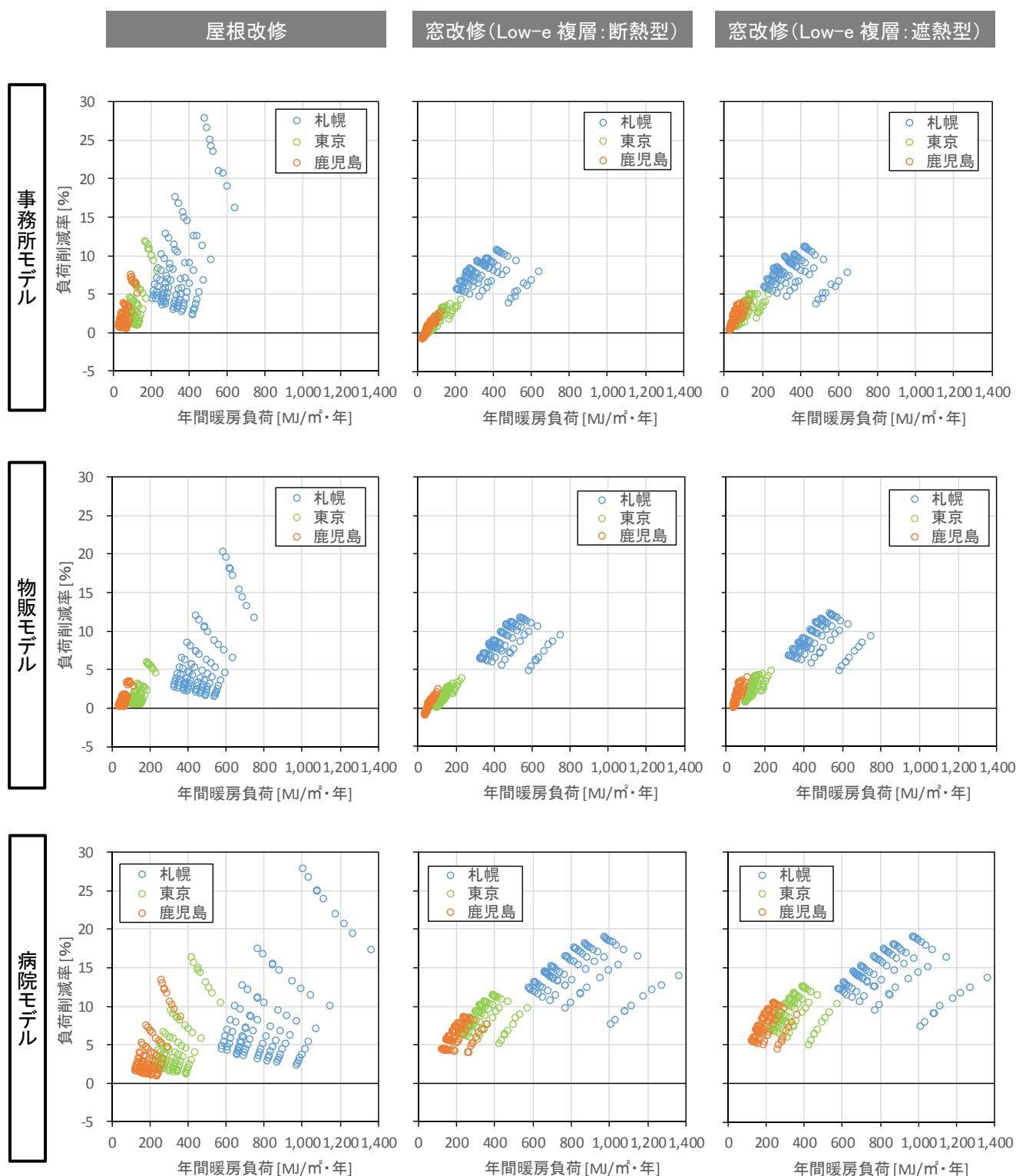


図 4.4.17 年間暖房負荷と外皮改修効果（暖冷房負荷削減率）の関係

前述のとおり、シミュレーション結果を俯瞰することで、建築外皮の改修効果は、屋根面積及び窓面積が外皮全体に占める割合や平面プランにおけるペリメータ割合によって違いがあるものと想定された。

そこで、建築外皮の改修効果に関わる建物特性を明確にするため、以下に示す指標を建物形状に関わる指標として定義し、熱負荷削減率（暖冷房合計）との関係を考察した。

- 1) 屋根面積比率：外皮面積（外壁、屋根の外表面合計面積）に対する屋根面積の割合
- 2) 外壁面積比率：外皮面積（外壁、屋根の外表面合計面積）に対する外壁面積の割合
- 3) 形状係数：外壁面積比率と基準階ペリメータ比率の積

なお、形状係数は本論文において独自に提案する指標であり、窓改修では、前述のとおり、外壁面積比率と平面プランにおけるペリメータ比率が改修効果に影響することがうかがえたため、二つの指標の積として定義した。また、本節の検討では、窓面積比率（外壁表面積に対する窓表面積の割合）は 30% で固定しており、窓改修では、外壁面積比率を指標として考察した。

図 4.4.18 に屋根改修における屋根面積比率と負荷削減率（暖冷房合計）との関係、図 4.4.19 及び図 4.4.20 に窓改修における外壁面積比率と負荷削減率（暖冷房合計）、形状係数と負荷削減率（暖冷房合計）の関係を示す。

屋根改修（図 4.4.18）では、各用途、各地域とも、負荷削減率は屋根面積比率との線形近似によって、高い相関が見られる結果となった。また、地域を比較すると、暖房負荷が大きい地域ほど、屋根面積比率の違いが負荷削減率の差に大きく影響することがわかる。

窓改修（図 4.4.19 及び図 4.4.20）では、外壁面積比率と負荷削減率にはある程度 of 関係がみられるものの、一部のケースではばらつきも大きい。これに対して、外壁面積比率と基準階ペリメータ比率の積として定義した「形状係数」では、札幌の各用途、東京・鹿児島 of 病院など、暖房負荷が比較的大きいケースでは負荷削減率との関係性が見られる傾向となり、線形近似によって高い相関が見られる結果となった。なお、冷房負荷の占める割合が高い事務所及び物販の東京、鹿児島では、窓の断熱性能の向上が冷房負荷の増加^{注)}につながっており、建物形状と負荷削減率の関係は、単純には整理できないものと考えられる。

表 4.4.5 に屋根改修、窓改修について、屋根面積比率と負荷削減率、外壁面積比率と負荷削減率、形状係数と負荷削減率のそれぞれについて、地域別・用途別の平均値と線形近似による相関係数をまとめる。

注) 巻末の付録 A に示すケース別の年間暖房・冷房負荷の計算結果参照

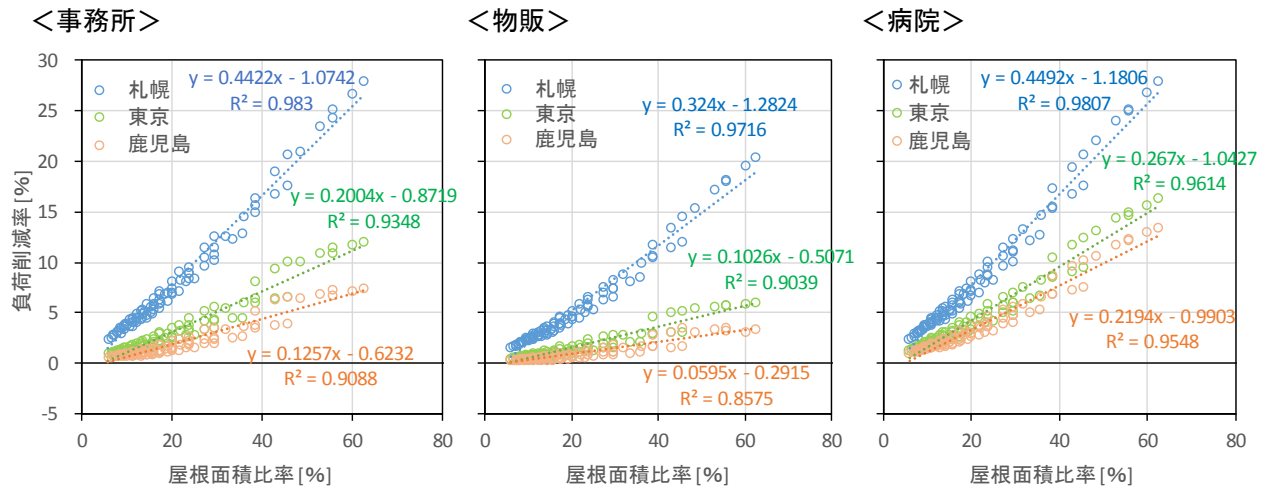


図 4.4.18 屋根改修における屋根面積比率と負荷削減率（暖冷房合計）の関係

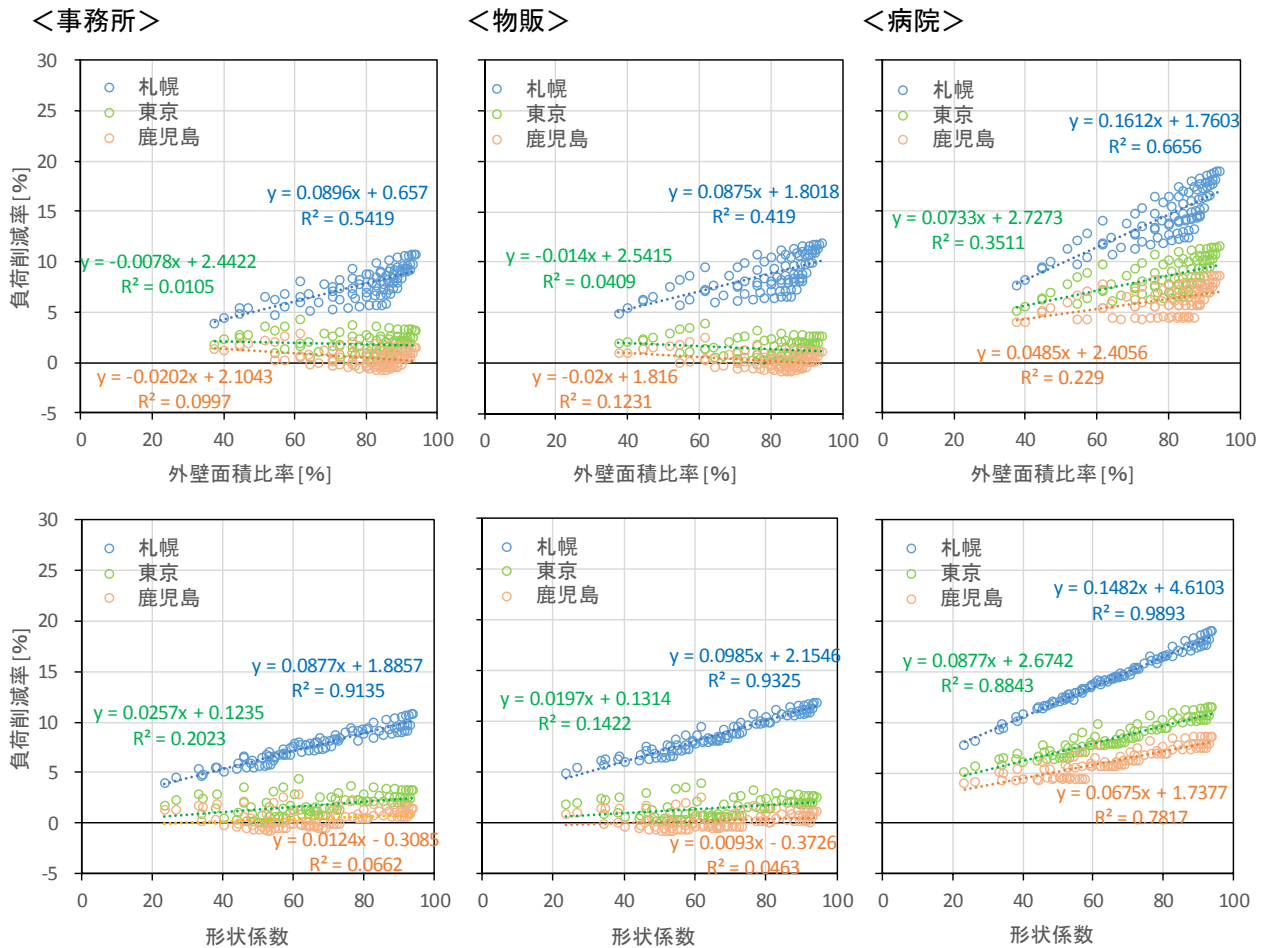


図 4.4.19 窓改修における外壁面積比率・形状係数と負荷削減率（暖冷房合計）の関係
(Low-e 複層ガラス：断熱型)

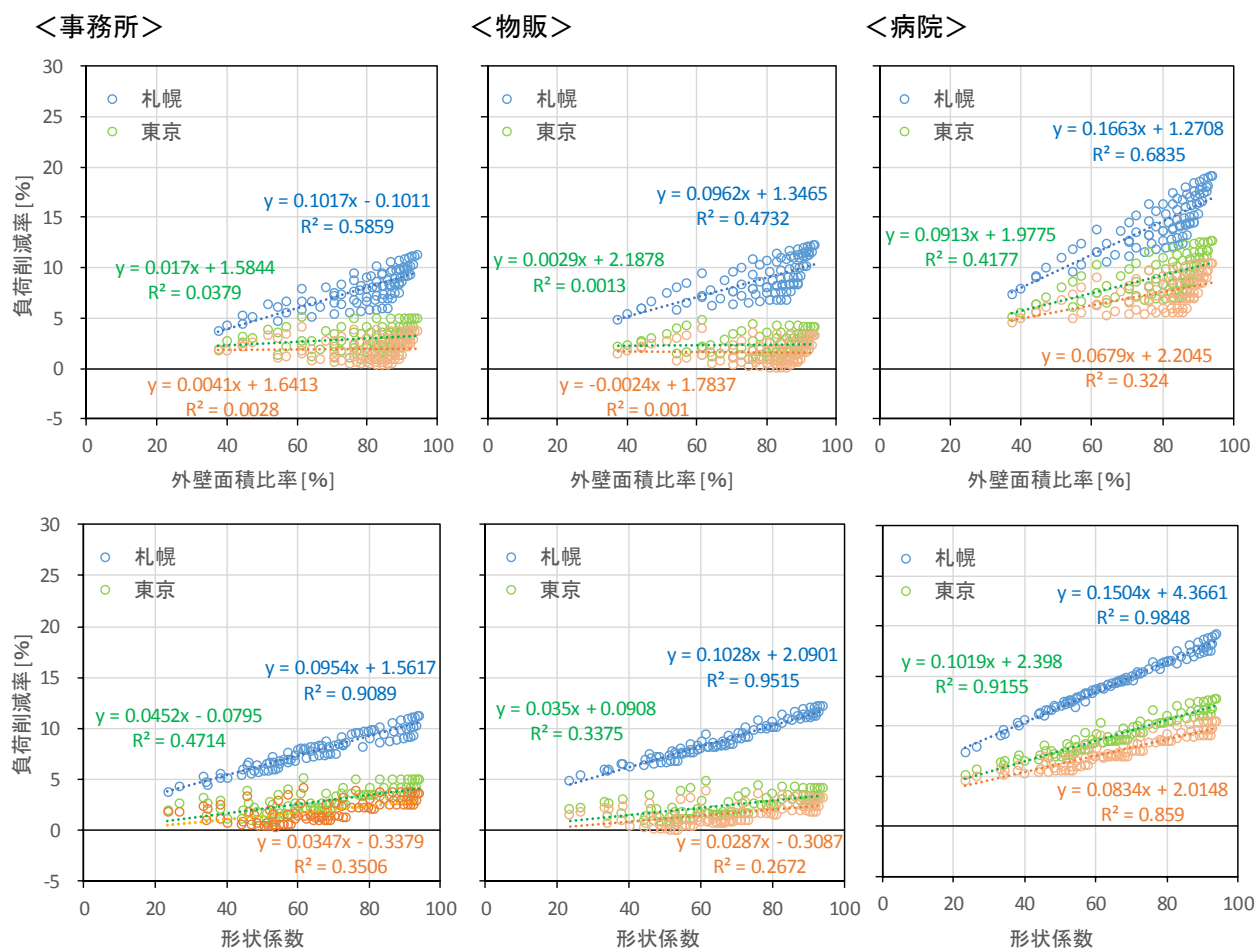


図 4.4.20 窓改修における外壁面積比率・形状係数と負荷削減率（暖冷房合計）の関係
(Low-e 複層ガラス：遮熱型)

表 4.4.5 建物形状と負荷削減率（暖冷房合計）の関係

		札幌			東京			鹿児島		
		事務所	物販	病院	事務所	物販	病院	事務所	物販	病院
屋根改修	負荷削減率(平均) (%)	8.4	3.4	2.1	5.6	1.7	1.0	8.4	4.7	3.7
	屋根面積比率(平均) (%)	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3
	相関係数	—	0.99	0.99	0.97	0.95	0.98	0.95	0.93	0.98
	負荷削減率(平均) (%)	7.7	1.8	0.5	8.7	1.4	0.2	14.4	8.5	6.2
窓改修 (断熱型)	外壁面積比率(平均) (%)	78.7	78.7	78.7	78.7	78.7	78.7	78.7	78.7	78.7
	相関係数	—	0.74	0.65	0.10	0.20	0.35	0.32	0.59	0.48
	形状係数(平均)	—	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4
	相関係数	—	0.96	0.97	0.45	0.38	0.94	0.26	0.22	0.88
窓改修 (遮熱型)	負荷削減率(平均) (%)	7.9	2.9	2.0	8.9	2.4	1.6	14.4	9.2	7.5
	外壁面積比率(平均) (%)	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6
	相関係数	—	0.77	0.69	0.19	0.04	0.65	0.05	0.03	0.57
	形状係数(平均)	—	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6
	相関係数	—	0.95	0.98	0.69	0.58	0.96	0.59	0.52	0.93

4.4.6 建物特性に応じた建築外皮改修手法の選択ガイドの提案

本節では、平面プランにおけるペリメータ比率、地上階数が異なる簡易モデルを用いて、札幌、東京、鹿児島における事務所、店舗、病院のそれぞれについて、屋根改修、窓改修（Low-e 複層ガラス：断熱タイプ・遮熱タイプ）の年間暖冷房負荷の削減率を検証した。検証結果から、同一地域、同一用途の建築物であっても、建物形状によって改修効果には違いが見られることが明らかになり、建築外皮の省エネルギー改修では、建物特性に応じた適切な手法を選択することが重要だと言える。

ここでは、これまでの検証結果を俯瞰できるようにとりまとめ、それぞれの地域における建物特性に応じた建築外皮の省エネルギー改修手法を選択する際のガイドとして活用できる資料を提示する。

図 4.4.21 は、地域別・用途別に、建物形状の違いによる外皮改修手法別の暖冷房負荷削減率をとりまとめたものである。図中の各折れ線グラフは、平面形状タイプ（A-1～C-3）を示し、横軸は地上階数を示す。また、表 4.4.6～表 4.4.11 に各検討ケースの建物形状に関わる各種情報と改修効果を取りまとめる。

表 4.4.6～表 4.4.11 において、当該地域の類似用途の建物条件から、該当する簡易モデルの平面タイプを決定することで、建築外皮の省エネルギー改修効果を容易に把握することができる。また、同一地域、同一用途の建築物であっても、地上階数によって、屋根改修と窓改修の効果が逆転する場合もあり、図 4.4.21 は建物形状に応じた改修効果の高い改修手法を選択する際の手助けともなる。

なお、本節の検証結果は、一定の前提条件に基づくシミュレーション計算の結果であり、図 4.4.21 及び表 4.4.6～表 4.4.11 を活用する際には、以下の点に留意する必要がある。

- 1) 改修前は、屋根：断熱なし、外壁：断熱あり、窓：単層ガラスとの条件による結果である。特に、屋根改修は予備検討の結果、札幌を除くと、断熱材あり・なしによる効果の差が大きく、断熱材厚さによる違いはあまり見られなかったことから、屋根改修は断熱ありとなしの極端な条件の検討結果である。
- 2) 外壁面積に対する窓面積の割合（窓面積率）は 30%に固定した条件の検討結果であり、窓面積率が異なる場合は改修効果も異なる。簡易モデルの検討結果でも、外皮全体に対する外壁面積の割合や暖房負荷の割合によって改修効果は異なり、冷房負荷が支配的なケースでは増エネルギーとなることもあるため、窓面積率が高い建物では注意を要する。
- 3) 簡易モデルは単一の室用途、全方位の外皮が同一仕様と仮定した結果であり、建物コアなどの非空調エリア、窓のない外皮などは考慮できていない。そのため、建物コアや窓がない外皮の仕様や配置によっては、提示した改修効果を割り引いて考える必要がある。

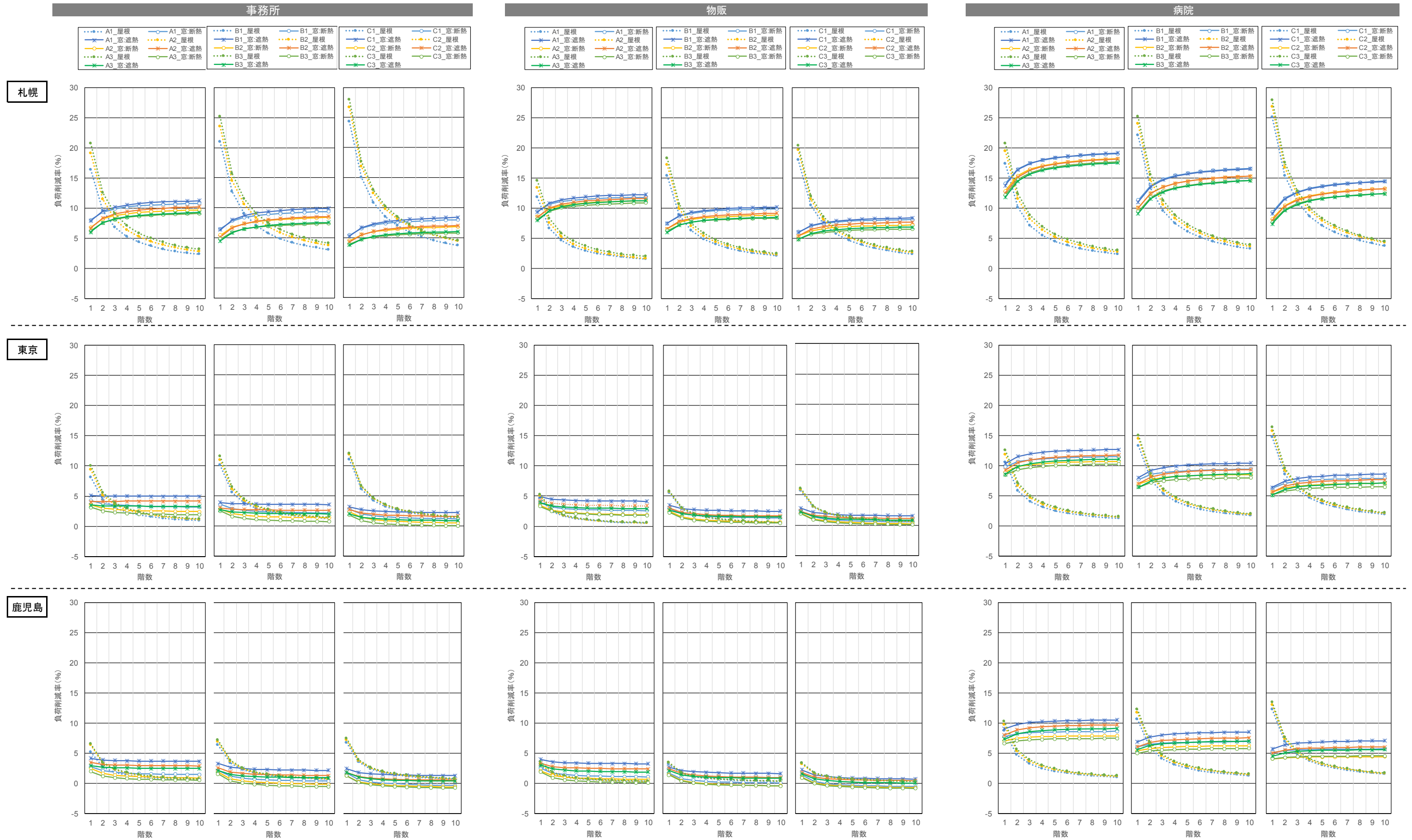


表 4.4.6 札幌における建物特性に応じた建築外皮改修の省エネ効果（その１）

	タイプ	階数	基準階平面				延べ 面積 (㎡)	ペリメータ比率		外皮割合		形状 係数	改修前年間熱負荷(MJ/㎡・年)									外皮改修効果(熱負荷削減率) (%)								
			短辺 (m)	長辺 (m)	床面積 (㎡)	アスペ クト比		全体 (%)	基準階 (%)	屋根 (%)	外壁 (%)		事務所			物販			病院			事務所			物販			病院		
													暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)
1	A1	1	10	10	100.0	1:1	100	100.0	100.0	38.5	61.5	61.5	642	130	772	748	748	1,496	1,361	1,361	2,722	16.3	8.0	7.9	11.8	9.5	9.4	17.3	14.1	13.7
2	A1	2	10	10	100.0	1:1	200	100.0	100.0	23.8	76.2	76.2	517	146	663	632	632	1,264	1,143	1,143	2,286	9.6	9.4	9.5	6.6	10.7	10.8	10.1	16.5	16.4
3	A1	3	10	10	100.0	1:1	300	100.0	100.0	17.2	82.8	82.8	475	151	626	593	593	1,186	1,070	1,070	2,140	6.8	9.9	10.2	4.7	11.1	11.4	7.1	17.5	17.4
4	A1	4	10	10	100.0	1:1	400	100.0	100.0	13.5	86.5	86.5	455	153	608	573	573	1,146	1,034	1,034	2,068	5.3	10.2	10.5	3.6	11.4	11.7	5.5	18.0	18.0
5	A1	5	10	10	100.0	1:1	500	100.0	100.0	11.1	88.9	88.9	442	155	597	562	562	1,124	1,012	1,012	2,024	4.4	10.4	10.8	2.9	11.5	11.9	4.5	18.3	18.4
6	A1	6	10	10	100.0	1:1	600	100.0	100.0	9.4	90.6	90.6	434	156	590	554	554	1,108	998	998	1,996	3.7	10.5	10.9	2.5	11.6	12.0	3.8	18.6	18.6
7	A1	7	10	10	100.0	1:1	700	100.0	100.0	8.2	91.8	91.8	428	157	585	548	548	1,096	987	987	1,974	3.2	10.6	11.0	2.2	11.7	12.1	3.3	18.7	18.8
8	A1	8	10	10	100.0	1:1	800	100.0	100.0	7.2	92.8	92.8	423	157	580	544	544	1,088	980	980	1,960	2.9	10.7	11.1	1.9	11.7	12.2	2.9	18.8	18.9
9	A1	9	10	10	100.0	1:1	900	100.0	100.0	6.5	93.5	93.5	420	158	578	541	541	1,082	973	973	1,946	2.6	10.7	11.2	1.7	11.8	12.2	2.6	18.9	19.1
10	A1	10	10	10	100.0	1:1	1,000	100.0	100.0	5.9	94.1	94.1	417	158	575	538	538	1,076	969	969	1,938	2.3	10.8	11.2	1.6	11.8	12.3	2.4	19.0	19.1
11	A2	1	10	15	150.0	2:3	150	100.0	100.0	42.9	57.1	57.1	599	120	719	706	706	1,412	1,267	1,267	2,534	19.1	6.8	6.7	13.4	8.6	8.5	19.5	12.8	12.5
12	A2	2	10	15	150.0	2:3	300	100.0	100.0	27.3	72.7	72.7	468	137	605	586	586	1,172	1,045	1,045	2,090	11.4	8.2	8.4	7.6	9.9	10.1	11.5	15.4	15.2
13	A2	3	10	15	150.0	2:3	450	100.0	100.0	20.0	80.0	80.0	424	142	566	545	545	1,090	970	970	1,940	8.2	8.8	9.1	5.3	10.4	10.7	8.2	16.5	16.3
14	A2	4	10	15	150.0	2:3	600	100.0	100.0	15.8	84.2	84.2	403	145	548	525	525	1,050	933	933	1,866	6.4	9.1	9.5	4.0	10.7	11.0	6.4	17.0	16.9
15	A2	5	10	15	150.0	2:3	750	100.0	100.0	13.0	87.0	87.0	389	146	535	513	513	1,026	911	911	1,822	5.3	9.3	9.7	3.3	10.9	11.2	5.2	17.4	17.3
16	A2	6	10	15	150.0	2:3	900	100.0	100.0	11.1	88.9	88.9	381	148	529	505	505	1,010	896	896	1,792	4.5	9.4	9.9	2.8	11.0	11.3	4.4	17.7	17.6
17	A2	7	10	15	150.0	2:3	1,050	100.0	100.0	9.7	90.3	90.3	374	148	522	499	499	998	886	886	1,772	3.9	9.5	10.0	2.4	11.1	11.4	3.8	17.9	17.8
18	A2	8	10	15	150.0	2:3	1,200	100.0	100.0	8.6	91.4	91.4	370	149	519	495	495	990	878	878	1,756	3.5	9.6	10.1	2.1	11.2	11.5	3.4	18.0	17.9
19	A2	9	10	15	150.0	2:3	1,350	100.0	100.0	7.7	92.3	92.3	366	149	515	492	492	984	871	871	1,742	3.1	9.7	10.2	1.9	11.2	11.6	3.0	18.1	18.1
20	A2	10	10	15	150.0	2:3	1,500	100.0	100.0	7.0	93.0	93.0	363	150	513	489	489	978	867	867	1,734	2.8	9.7	10.2	1.7	11.2	11.6	2.8	18.2	18.2
21	A3	1	10	20	200.0	1:2	200	100.0	100.0	45.5	54.5	54.5	578	116	694	685	685	1,370	1,219	1,219	2,438	20.7	6.2	6.1	14.5	8.2	8.0	20.7	12.2	11.8
22	A3	2	10	20	200.0	1:2	400	100.0	100.0	29.4	70.6	70.6	444	133	577	562	562	1,124	994	994	1,988	12.6	7.6	7.6	8.3	9.5	9.6	12.4	14.8	14.5
23	A3	3	10	20	200.0	1:2	600	100.0	100.0	21.7	78.3	78.3	399	138	537	521	521	1,042	919	919	1,838	9.1	8.1	8.2	5.8	10.1	10.2	8.8	15.9	15.6
24	A3	4	10	20	200.0	1:2	800	100.0	100.0	17.2	82.8	82.8	376	141	517	501	501	1,002	882	882	1,764	7.1	8.5	8.6	4.5	10.3	10.6	6.9	16.5	16.3
25	A3	5	10	20	200.0	1:2	1,000	100.0	100.0	14.3	85.7	85.7	363	142	505	488	488	976	859	859	1,718	5.9	8.7	8.8	3.7	10.5	10.8	5.6	16.9	16.7
26	A3	6	10	20	200.0	1:2	1,200	100.0	100.0	12.2	87.8	87.8	354	144	498	480	480	960	844	844	1,688	5.0	8.8	8.9	3.1	10.6	10.9	4.8	17.1	17.0
27	A3	7	10	20	200.0	1:2	1,400	100.0	100.0	10.6	89.4	89.4	347	144	491	474	474	948	833	833	1,666	4.4	8.9	9.1	2.7	10.7	11.0	4.2	17.3	17.2
28	A3	8	10	20	200.0	1:2	1,600	100.0	100.0	9.4	90.6	90.6	343	145	488	470	470	940	825	825	1,650	3.9	9.0	9.2	2.4	10.8	11.1	3.7	17.5	17.3
29	A3	9	10	20	200.0	1:2	1,800	100.0	100.0	8.5	91.5	91.5	339	145	484	466	466	932	819	819	1,638	3.5	9.1	9.2	2.2	10.8	11.2	3.3	17.6	17.4
30	A3	10	10	20	200.0	1:2	2,000	100.0	100.0	7.7	92.3	92.3	336	146	482	464	464	928	814	814	1,628	3.2	9.1	9.3	2.0	10.9	11.2	3.0	17.7	17.5
31	B1	1	15	15	225.0	1:1	225	100.0	88.9	48.4	51.6	45.9	557	120	677	666	666	1,332	1,175	1,175	2,350	21.0	6.5	6.4	15.4	7.5	7.5	22.1	11.3	11.0
32	B1	2	15	15	225.0	1:1	450	94.4	88.9	31.9	68.1	60.5	423	140	563	539	539	1,078	947	947	1,894	12.6	7.8	8.0	8.9	8.7	8.8	13.3	13.8	13.6
33	B1	3	15	15	225.0	1:1	675	92.6	88.9	23.																				

表 4.4.7 札幌における建物特性に応じた建築外皮改修の省エネ効果（その2）

	タイプ	階数	基準階平面				延べ 面積 (㎡)	ペリメータ比率		外皮割合		形状 係数	改修前年間熱負荷(MJ/㎡・年)									外皮改修効果(熱負荷削減率) (%)								
			短辺 (m)	長辺 (m)	床面積 (㎡)	アスペ クト比		全体 (%)	基準階 (%)	屋根 (%)	外壁 (%)		事務所			物販			病院			事務所			物販			病院		
													暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)
51	B3	1	15	30	450.0	1:2	450	100.0	77.8	55.6	44.4	34.5	512	113	625	619	619	1,238	1,077	1,077	2,154	25.1	4.8	4.5	18.3	6.3	6.0	25.1	9.5	9.1
52	B3	2	15	30	450.0	1:2	900	88.9	77.8	38.5	61.5	47.8	368	136	504	484	484	968	843	843	1,686	15.7	6.0	5.9	10.6	7.3	7.2	15.5	11.8	11.6
53	B3	3	15	30	450.0	1:2	1,350	85.2	77.8	29.4	70.6	54.9	320	143	463	438	438	876	765	765	1,530	11.4	6.5	6.5	7.5	7.7	7.7	11.2	12.8	12.7
54	B3	4	15	30	450.0	1:2	1,800	83.3	77.8	23.8	76.2	59.3	296	147	443	416	416	832	726	726	1,452	9.0	6.8	6.8	5.8	7.9	8.0	8.8	13.4	13.3
55	B3	5	15	30	450.0	1:2	2,250	82.2	77.8	20.0	80.0	62.2	282	149	431	402	402	804	703	703	1,406	7.5	7.0	7.1	4.7	8.1	8.1	7.3	13.8	13.7
56	B3	6	15	30	450.0	1:2	2,700	81.5	77.8	17.2	82.8	64.4	272	151	423	393	393	786	687	687	1,374	6.4	7.1	7.2	4.0	8.2	8.2	6.2	14.0	14.0
57	B3	7	15	30	450.0	1:2	3,150	81.0	77.8	15.2	84.8	66.0	265	152	417	387	387	774	676	676	1,352	5.6	7.2	7.3	3.4	8.2	8.3	5.4	14.2	14.2
58	B3	8	15	30	450.0	1:2	3,600	80.6	77.8	13.5	86.5	67.3	260	152	412	382	382	764	668	668	1,336	5.0	7.3	7.4	3.0	8.3	8.4	4.8	14.4	14.3
59	B3	9	15	30	450.0	1:2	4,050	80.2	77.8	12.2	87.8	68.3	256	153	409	378	378	756	661	661	1,322	4.5	7.3	7.5	2.7	8.3	8.4	4.3	14.5	14.5
60	B3	10	15	30	450.0	1:2	4,500	80.0	77.8	11.1	88.9	69.1	253	154	407	375	375	750	656	656	1,312	4.1	7.4	7.6	2.4	8.4	8.5	3.9	14.6	14.6
61	C1	1	20	20	400.0	1:1	400	100.0	75.0	55.6	44.4	33.3	513	117	630	621	621	1,242	1,079	1,079	2,158	24.3	5.4	5.2	18.0	6.1	6.0	25.0	9.3	9.1
62	C1	2	20	20	400.0	1:1	800	87.5	75.0	38.5	61.5	46.1	371	140	511	486	486	972	845	845	1,690	15.0	6.6	6.7	10.5	7.1	7.1	15.4	11.7	11.5
63	C1	3	20	20	400.0	1:1	1,200	83.3	75.0	29.4	70.6	53.0	324	148	472	440	440	880	767	767	1,534	10.8	7.1	7.3	7.4	7.5	7.6	11.1	12.7	12.6
64	C1	4	20	20	400.0	1:1	1,600	81.3	75.0	23.8	76.2	57.2	300	152	452	418	418	836	728	728	1,456	8.5	7.4	7.6	5.7	7.7	7.9	8.7	13.3	13.2
65	C1	5	20	20	400.0	1:1	2,000	80.0	75.0	20.0	80.0	60.0	286	154	440	404	404	808	705	705	1,410	7.0	7.6	7.9	4.6	7.8	8.1	7.1	13.7	13.6
66	C1	6	20	20	400.0	1:1	2,400	79.2	75.0	17.2	82.8	62.1	276	155	431	395	395	790	689	689	1,378	5.9	7.7	8.0	3.9	7.9	8.2	6.1	13.9	13.9
67	C1	7	20	20	400.0	1:1	2,800	78.6	75.0	15.2	84.8	63.6	270	156	426	389	389	778	678	678	1,356	5.1	7.8	8.1	3.4	8.0	8.3	5.3	14.1	14.1
68	C1	8	20	20	400.0	1:1	3,200	78.1	75.0	13.5	86.5	64.9	265	157	422	384	384	768	670	670	1,340	4.5	7.9	8.2	3.0	8.0	8.3	4.6	14.3	14.2
69	C1	9	20	20	400.0	1:1	3,600	77.8	75.0	12.2	87.8	65.9	261	158	419	380	380	760	663	663	1,326	4.1	7.9	8.3	2.7	8.1	8.4	4.2	14.4	14.3
70	C1	10	20	20	400.0	1:1	4,000	77.5	75.0	11.1	88.9	66.7	257	158	415	377	377	754	658	658	1,316	3.7	8.0	8.4	2.4	8.1	8.4	3.8	14.5	14.4
71	C2	1	20	30	600.0	2:3	600	100.0	66.7	60.0	40.0	26.7	490	114	604	597	597	1,194	1,029	1,029	2,058	26.7	4.5	4.3	19.6	5.4	5.4	26.8	8.2	7.9
72	C2	2	20	30	600.0	2:3	1,200	83.3	66.7	42.9	57.1	38.1	343	140	483	456	456	912	792	792	1,584	16.8	5.5	5.5	11.5	6.3	6.5	16.8	10.4	10.3
73	C2	3	20	30	600.0	2:3	1,800	77.8	66.7	33.3	66.7	44.5	293	148	441	409	409	818	713	713	1,426	12.3	6.0	6.0	8.1	6.6	7.0	12.2	11.5	11.3
74	C2	4	20	30	600.0	2:3	2,400	75.0	66.7	27.3	72.7	48.5	269	152	421	386	386	772	674	674	1,348	9.7	6.2	6.4	6.3	6.8	7.2	9.6	12.0	11.9
75	C2	5	20	30	600.0	2:3	3,000	73.3	66.7	23.1	76.9	51.3	254	155	409	371	371	742	650	650	1,300	8.1	6.4	6.6	5.1	7.0	7.4	8.0	12.4	12.3
76	C2	6	20	30	600.0	2:3	3,600	72.2	66.7	20.0	80.0	53.3	244	157	401	362	362	724	634	634	1,268	6.9	6.5	6.7	4.3	7.0	7.5	6.8	12.7	12.6
77	C2	7	20	30	600.0	2:3	4,200	71.4	66.7	17.6	82.4	54.9	237	158	395	355	355	710	623	623	1,246	6.0	6.6	6.8	3.7	7.1	7.5	5.9	12.9	12.8
78	C2	8	20	30	600.0	2:3	4,800	70.8	66.7	15.8	84.2	56.1	232	159	391	350	350	700	614	614	1,228	5.4	6.7	6.9	3.3	7.1	7.6	5.2	13.0	13.0
79	C2	9	20	30	600.0	2:3	5,400	70.4	66.7	14.3	85.7	57.1	228	159	387	346	346	692	608	608	1,216	4.9	6.7	6.9	3.0	7.2	7.6	4.7	13.1	13.1
80	C2	10	20	30	600.0	2:3	6,000	70.0	66.7	13.0	87.0	58.0	225	160	385	343	343	686	602	602	1,204	4.4	6.8	7.0	2.7	7.2	7.7	4.3	13.2	13.2
81	C3	1	20	40	800.0	1:2	800	100.0	62.5	62.5	37.5	23.4	478	112	590	584	584	1,168	1,005	1,005	2,010	28.0	3.9	3.7	20.4	4.9	4.9	27.9	7.7	7.4
82	C3	2	20	40	800.0	1:2	1,600	81.3	62.5	45.5	54.5	34.1	328	139	467	441	441	882	766	766	1,532	17.7	4.7	4.7	12.0	5.7	5.8	17.6	9.8	9.6
83	C3	3	20	40	800.0	1:2	2,400	75.0	62.5	35.7	64.3	40.2	277	148	425	393	393	786	686	686	1,372	12.9	5.1	5.2	8.5	6.0	6.2	12.8	10.7	

表 4.4.8 東京における建物特性に応じた建築外皮改修の省エネ効果（その１）

	タイプ	階数	基準階平面				延べ 面積 (㎡)	ペリメータ比率		外皮割合		形状 係数	改修前年間熱負荷(MJ/㎡・年)									外皮改修効果(熱負荷削減率) (%)								
			短辺 (m)	長辺 (m)	床面積 (㎡)	アスペ クト比		全体 (%)	基準階 (%)	屋根 (%)	外壁 (%)		事務所			物販			病院			事務所			物販			病院		
													暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)
1	A1	1	10	10	100.0	1:1	100	100.0	100.0	38.5	61.5	61.5	230	397	627	231	588	819	569	515	1,084	8.1	4.3	5.1	4.6	3.9	4.9	10.5	9.8	10.3
2	A1	2	10	10	100.0	1:1	200	100.0	100.0	23.8	76.2	76.2	174	401	575	186	595	781	468	509	977	4.4	3.7	5.0	2.4	3.2	4.5	5.8	10.7	11.5
3	A1	3	10	10	100.0	1:1	300	100.0	100.0	17.2	82.8	82.8	155	402	557	171	597	768	434	507	941	3.1	3.5	5.0	1.6	3.0	4.3	4.0	11.0	12.0
4	A1	4	10	10	100.0	1:1	400	100.0	100.0	13.5	86.5	86.5	145	403	548	164	599	763	417	506	923	2.3	3.4	5.0	1.2	2.8	4.3	3.1	11.2	12.2
5	A1	5	10	10	100.0	1:1	500	100.0	100.0	11.1	88.9	88.9	140	403	543	159	599	758	407	505	912	1.9	3.4	5.0	1.0	2.7	4.2	2.5	11.3	12.4
6	A1	6	10	10	100.0	1:1	600	100.0	100.0	9.4	90.6	90.6	136	404	540	156	600	756	400	505	905	1.6	3.3	5.0	0.8	2.7	4.2	2.1	11.3	12.5
7	A1	7	10	10	100.0	1:1	700	100.0	100.0	8.2	91.8	91.8	133	404	537	154	600	754	395	505	900	1.4	3.3	5.0	0.7	2.7	4.2	1.8	11.4	12.5
8	A1	8	10	10	100.0	1:1	800	100.0	100.0	7.2	92.8	92.8	131	404	535	152	600	752	391	505	896	1.2	3.2	5.0	0.6	2.6	4.2	1.6	11.4	12.6
9	A1	9	10	10	100.0	1:1	900	100.0	100.0	6.5	93.5	93.5	130	404	534	151	600	751	389	504	893	1.1	3.2	5.0	0.6	2.6	4.1	1.4	11.5	12.6
10	A1	10	10	10	100.0	1:1	1,000	100.0	100.0	5.9	94.1	94.1	128	404	532	150	601	751	386	504	890	1.0	3.2	5.0	0.5	2.6	4.1	1.3	11.5	12.7
11	A2	1	10	15	150.0	2:3	150	100.0	100.0	42.9	57.1	57.1	212	375	587	217	562	779	527	479	1,006	9.4	3.6	4.1	5.0	3.5	4.2	11.8	8.9	9.2
12	A2	2	10	15	150.0	2:3	300	100.0	100.0	27.3	72.7	72.7	154	379	533	172	570	742	424	472	896	5.2	3.0	4.1	2.6	2.6	3.8	6.6	9.8	10.5
13	A2	3	10	15	150.0	2:3	450	100.0	100.0	20.0	80.0	80.0	135	380	515	157	572	729	389	469	858	3.6	2.8	4.1	1.8	2.3	3.6	4.6	10.2	11.0
14	A2	4	10	15	150.0	2:3	600	100.0	100.0	15.8	84.2	84.2	125	381	506	150	573	723	372	468	840	2.7	2.7	4.2	1.3	2.2	3.5	3.5	10.4	11.3
15	A2	5	10	15	150.0	2:3	750	100.0	100.0	13.0	87.0	87.0	119	381	500	145	574	719	361	467	828	2.2	2.6	4.2	1.1	2.1	3.5	2.9	10.5	11.4
16	A2	6	10	15	150.0	2:3	900	100.0	100.0	11.1	88.9	88.9	115	382	497	142	575	717	355	467	822	1.8	2.5	4.2	0.9	2.0	3.4	2.4	10.6	11.5
17	A2	7	10	15	150.0	2:3	1,050	100.0	100.0	9.7	90.3	90.3	113	382	495	140	575	715	350	466	816	1.6	2.5	4.2	0.8	2.0	3.4	2.1	10.6	11.6
18	A2	8	10	15	150.0	2:3	1,200	100.0	100.0	8.6	91.4	91.4	111	382	493	138	575	713	346	466	812	1.4	2.5	4.2	0.7	1.9	3.4	1.8	10.7	11.7
19	A2	9	10	15	150.0	2:3	1,350	100.0	100.0	7.7	92.3	92.3	109	382	491	137	575	712	343	466	809	1.2	2.5	4.2	0.6	1.9	3.4	1.6	10.7	11.7
20	A2	10	10	15	150.0	2:3	1,500	100.0	100.0	7.0	93.0	93.0	108	382	490	136	576	712	341	466	807	1.1	2.4	4.2	0.5	1.9	3.4	1.5	10.7	11.8
21	A3	1	10	20	200.0	1:2	200	100.0	100.0	45.5	54.5	54.5	203	364	567	210	550	760	506	461	967	10.1	3.2	3.5	5.3	3.3	3.9	12.5	8.5	8.6
22	A3	2	10	20	200.0	1:2	400	100.0	100.0	29.4	70.6	70.6	144	369	513	165	558	723	402	453	855	5.6	2.5	3.4	2.8	2.5	3.4	7.1	9.4	9.8
23	A3	3	10	20	200.0	1:2	600	100.0	100.0	21.7	78.3	78.3	124	370	494	150	561	711	367	450	817	3.8	2.3	3.4	1.9	2.2	3.2	4.9	9.7	10.3
24	A3	4	10	20	200.0	1:2	800	100.0	100.0	17.2	82.8	82.8	115	371	486	143	562	705	349	449	798	2.9	2.2	3.3	1.4	2.1	3.1	3.8	9.9	10.6
25	A3	5	10	20	200.0	1:2	1,000	100.0	100.0	14.3	85.7	85.7	109	371	480	138	563	701	339	448	787	2.4	2.1	3.3	1.1	2.0	3.0	3.1	10.0	10.7
26	A3	6	10	20	200.0	1:2	1,200	100.0	100.0	12.2	87.8	87.8	105	372	477	135	563	698	332	448	780	2.0	2.0	3.3	1.0	1.9	3.0	2.6	10.1	10.9
27	A3	7	10	20	200.0	1:2	1,400	100.0	100.0	10.6	89.4	89.4	102	372	474	133	564	697	327	447	774	1.7	2.0	3.3	0.8	1.9	3.0	2.2	10.1	10.9
28	A3	8	10	20	200.0	1:2	1,600	100.0	100.0	9.4	90.6	90.6	100	372	472	131	564	695	323	447	770	1.5	2.0	3.3	0.7	1.8	2.9	2.0	10.2	11.0
29	A3	9	10	20	200.0	1:2	1,800	100.0	100.0	8.5	91.5	91.5	98	372	470	130	564	694	320	447	767	1.3	1.9	3.3	0.6	1.8	2.9	1.8	10.2	11.1
30	A3	10	10	20	200.0	1:2	2,000	100.0	100.0	7.7	92.3	92.3	97	372	469	129	564	693	318	447	765	1.2	1.9	3.3	0.6	1.8	2.9	1.6	10.3	11.1
31	B1	1	15	15	225.0	1:1	225	100.0	88.9	48.4	51.6	45.9	199	368	567	207	545	752	492	453	945	10.1	3.5	3.9	5.5	2.9	3.5	13.2	7.7	8.0
32	B1	2	15	15	225.0	1:1	450	94.4	88.9	31.9	68.1	60.5	140	375	515	161	555	716	385	445	830	5.5	2.8	3.7	2.9	2.1	2.9	7.5	8.6	9.2
33	B1	3	15	15	225.0	1:1	675	92.6	88.9	23.8	76.2	67.7	120	377	497	145	558	703	349	442	791	3.8	2.6	3.6	1.9	1.8	2.7	5.3	8.9	9.7
34	B1	4	15	15	225.0	1:1	900	91.7	88																					

表 4.4.9 東京における建物特性に応じた建築外皮改修の省エネ効果（その2）

	タイプ	階数	基準階平面				延べ 面積 (㎡)	ペリメータ比率		外皮割合		形状 係数	改修前年間熱負荷(MJ/㎡・年)									外皮改修効果(熱負荷削減率) (%)								
			短辺 (m)	長辺 (m)	床面積 (㎡)	アスペ クト比		全体 (%)	基準階 (%)	屋根 (%)	外壁 (%)		事務所			物販			病院			事務所			物販			病院		
													暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)
51	B3	1	15	30	450.0	1:2	450	100.0	77.8	55.6	44.4	34.5	181	348	529	192	522	714	449	420	869	11.5	2.5	2.6	5.7	2.2	2.7	15.0	6.4	6.4
52	B3	2	15	30	450.0	1:2	900	88.9	77.8	38.5	61.5	47.8	120	358	478	145	536	681	339	412	751	6.4	1.6	2.3	3.0	1.3	2.1	8.7	7.2	7.5
53	B3	3	15	30	450.0	1:2	1,350	85.2	77.8	29.4	70.6	54.9	99	361	460	129	540	669	302	409	711	4.4	1.2	2.2	2.0	1.0	1.8	6.1	7.5	8.0
54	B3	4	15	30	450.0	1:2	1,800	83.3	77.8	23.8	76.2	59.3	89	362	451	122	542	664	284	408	692	3.4	1.1	2.1	1.5	0.8	1.7	4.7	7.7	8.2
55	B3	5	15	30	450.0	1:2	2,250	82.2	77.8	20.0	80.0	62.2	83	363	446	117	544	661	273	407	680	2.7	0.9	2.1	1.2	0.7	1.7	3.8	7.8	8.4
56	B3	6	15	30	450.0	1:2	2,700	81.5	77.8	17.2	82.8	64.4	79	364	443	114	545	659	266	407	673	2.3	0.9	2.0	1.0	0.7	1.6	3.2	7.8	8.5
57	B3	7	15	30	450.0	1:2	3,150	81.0	77.8	15.2	84.8	66.0	76	364	440	111	545	656	260	406	666	2.0	0.8	2.0	0.9	0.6	1.6	2.8	7.9	8.5
58	B3	8	15	30	450.0	1:2	3,600	80.6	77.8	13.5	86.5	67.3	73	365	438	110	546	656	257	406	663	1.7	0.8	2.0	0.8	0.6	1.6	2.5	7.9	8.6
59	B3	9	15	30	450.0	1:2	4,050	80.2	77.8	12.2	87.8	68.3	72	365	437	108	546	654	253	406	659	1.6	0.7	2.0	0.7	0.5	1.5	2.2	8.0	8.6
60	B3	10	15	30	450.0	1:2	4,500	80.0	77.8	11.1	88.9	69.1	70	365	435	107	546	653	251	406	657	1.4	0.7	2.0	0.6	0.5	1.5	2.0	8.0	8.7
61	C1	1	20	20	400.0	1:1	400	100.0	75.0	55.6	44.4	33.3	183	355	538	194	526	720	452	424	876	11.0	2.8	3.2	5.7	2.4	2.8	14.7	6.3	6.4
62	C1	2	20	20	400.0	1:1	800	87.5	75.0	38.5	61.5	46.1	122	365	487	147	540	687	342	416	758	6.1	2.0	2.7	3.0	1.4	2.1	8.5	7.1	7.5
63	C1	3	20	20	400.0	1:1	1,200	83.3	75.0	29.4	70.6	53.0	102	368	470	131	544	675	305	413	718	4.2	1.6	2.5	2.0	1.0	1.9	6.0	7.4	7.9
64	C1	4	20	20	400.0	1:1	1,600	81.3	75.0	23.8	76.2	57.2	92	369	461	123	546	669	286	412	698	3.2	1.5	2.4	1.5	0.9	1.8	4.6	7.6	8.1
65	C1	5	20	20	400.0	1:1	2,000	80.0	75.0	20.0	80.0	60.0	85</																	

表 4.4.10 鹿児島における建物特性に応じた建築外皮改修の省エネ効果（その1）

	タイプ	階数	基準階平面				延べ 面積 (㎡)	ペリメータ比率		外皮割合		形状 係数	改修前年間熱負荷(MJ/㎡・年)									外皮改修効果(熱負荷削減率) (%)								
			短辺 (m)	長辺 (m)	床面積 (㎡)	アスペ クト比		全体 (%)	基準階 (%)	屋根 (%)	外壁 (%)		事務所			物販			病院			事務所			物販			病院		
													暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)
1	A1	1	10	10	100.0	1:1	100	100.0	100.0	38.5	61.5	61.5	129	546	675	108	826	934	358	737	1,095	5.2	2.8	4.1	2.9	2.5	4.0	8.7	7.8	9.0
2	A1	2	10	10	100.0	1:1	200	100.0	100.0	23.8	76.2	76.2	95	547	642	84	828	912	290	721	1,011	2.7	2.1	3.9	1.5	1.7	3.6	4.7	8.2	9.8
3	A1	3	10	10	100.0	1:1	300	100.0	100.0	17.2	82.8	82.8	84	547	631	76	828	904	267	716	983	1.9	1.9	3.8	1.0	1.4	3.4	3.2	8.4	10.1
4	A1	4	10	10	100.0	1:1	400	100.0	100.0	13.5	86.5	86.5	78	547	625	72	828	900	256	713	969	1.4	1.7	3.8	0.7	1.3	3.4	2.5	8.5	10.2
5	A1	5	10	10	100.0	1:1	500	100.0	100.0	11.1	88.9	88.9	75	547	622	70	828	898	249	711	960	1.1	1.6	3.7	0.6	1.2	3.3	2.0	8.5	10.3
6	A1	6	10	10	100.0	1:1	600	100.0	100.0	9.4	90.6	90.6	72	547	619	68	829	897	245	710	955	0.9	1.6	3.7	0.5	1.2	3.3	1.7	8.6	10.4
7	A1	7	10	10	100.0	1:1	700	100.0	100.0	8.2	91.8	91.8	71	547	618	67	829	896	241	710	951	0.8	1.5	3.7	0.4	1.1	3.3	1.4	8.6	10.4
8	A1	8	10	10	100.0	1:1	800	100.0	100.0	7.2	92.8	92.8	70	547	617	66	829	895	239	709	948	0.7	1.5	3.7	0.4	1.1	3.3	1.3	8.6	10.4
9	A1	9	10	10	100.0	1:1	900	100.0	100.0	6.5	93.5	93.5	69	547	616	65	829	894	237	709	946	0.6	1.5	3.7	0.3	1.1	3.2	1.1	8.6	10.5
10	A1	10	10	10	100.0	1:1	1,000	100.0	100.0	5.9	94.1	94.1	68	547	615	65	829	894	236	708	944	0.6	1.5	3.7	0.3	1.1	3.2	1.0	8.6	10.5
11	A2	1	10	15	150.0	2:3	150	100.0	100.0	42.9	57.1	57.1	118	513	631	100	785	885	329	681	1,010	6.3	2.5	3.5	3.2	2.0	3.3	9.7	7.0	8.0
12	A2	2	10	15	150.0	2:3	300	100.0	100.0	27.3	72.7	72.7	83	514	597	76	787	863	260	664	924	3.4	1.7	3.2	1.6	1.3	2.8	5.3	7.5	8.9
13	A2	3	10	15	150.0	2:3	450	100.0	100.0	20.0	80.0	80.0	71	514	585	68	787	855	237	658	895	2.3	1.4	3.1	1.1	1.0	2.6	3.6	7.6	9.2
14	A2	4	10	15	150.0	2:3	600	100.0	100.0	15.8	84.2	84.2	66	514	580	64	787	851	226	656	882	1.7	1.2	3.0	0.8	0.9	2.5	2.8	7.7	9.4
15	A2	5	10	15	150.0	2:3	750	100.0	100.0	13.0	87.0	87.0	62	514	576	62	787	849	219	654	873	1.4	1.1	3.0	0.7	0.8	2.5	2.2	7.8	9.5
16	A2	6	10	15	150.0	2:3	900	100.0	100.0	11.1	88.9	88.9	60	514	574	60	788	848	214	653	867	1.2	1.0	3.0	0.6	0.7	2.4	1.9	7.8	9.5
17	A2	7	10	15	150.0	2:3	1,050	100.0	100.0	9.7	90.3	90.3	58	514	572	59	788	847	211	652	863	1.0	1.0	2.9	0.5	0.7	2.4	1.6	7.8	9.6
18	A2	8	10	15	150.0	2:3	1,200	100.0	100.0	8.6	91.4	91.4	57	514	571	58	788	846	208	651	859	0.9	1.0	2.9	0.4	0.7	2.4	1.4	7.9	9.6
19	A2	9	10	15	150.0	2:3	1,350	100.0	100.0	7.7	92.3	92.3	56	514	570	57	788	845	206	651	857	0.8	0.9	2.9	0.4	0.7	2.4	1.3	7.9	9.7
20	A2	10	10	15	150.0	2:3	1,500	100.0	100.0	7.0	93.0	93.0	55	514	569	57	788	845	205	650	855	0.7	0.9	2.9	0.3	0.6	2.4	1.1	7.9	9.7
21	A3	1	10	20	200.0	1:2	200	100.0	100.0	45.5	54.5	54.5	112	496	608	96	766	862	315	653	968	6.6	2.0	3.0	3.5	1.9	3.0	10.2	6.6	7.3
22	A3	2	10	20	200.0	1:2	400	100.0	100.0	29.4	70.6	70.6	77	497	574	72	767	839	245	636	881	3.5	1.2	2.7	1.8	0.9	2.4	5.6	7.0	8.2
23	A3	3	10	20	200.0	1:2	600	100.0	100.0	21.7	78.3	78.3	65	497	562	63	767	830	222	630	852	2.4	0.9	2.6	1.2	0.6	2.2	3.9	7.2	8.6
24	A3	4	10	20	200.0	1:2	800	100.0	100.0	17.2	82.8	82.8	60	498	558	59	768	827	210	627	837	1.8	0.8	2.6	0.9	0.4	2.1	3.0	7.3	8.8
25	A3	5	10	20	200.0	1:2	1,000	100.0	100.0	14.3	85.7	85.7	56	498	554	57	768	825	203	625	828	1.4	0.7	2.5	0.7	0.3	2.0	2.4	7.3	8.9
26	A3	6	10	20	200.0	1:2	1,200	100.0	100.0	12.2	87.8	87.8	54	498	552	55	768	823	198	624	822	1.2	0.7	2.5	0.6	0.2	1.9	2.0	7.4	8.9
27	A3	7	10	20	200.0	1:2	1,400	100.0	100.0	10.6	89.4	89.4	52	498	550	54	768	822	195	623	818	1.0	0.6	2.5	0.5	0.2	1.9	1.7	7.4	9.0
28	A3	8	10	20	200.0	1:2	1,600	100.0	100.0	9.4	90.6	90.6	51	498	549	53	768	821	193	622	815	0.9	0.6	2.5	0.5	0.1	1.9	1.5	7.4	9.0
29	A3	9	10	20	200.0	1:2	1,800	100.0	100.0	8.5	91.5	91.5	50	498	548	52	768	820	191	622	813	0.8	0.6	2.5	0.4	0.1	1.9	1.4	7.4	9.1
30	A3	10	10	20	200.0	1:2	2,000	100.0	100.0	7.7	92.3	92.3	49	498	547	52	768	820	189	622	811	0.7	0.5	2.5	0.4	0.1	1.9	1.2	7.5	9.1
31	B1	1	15	15	225.0	1:1	225	100.0	88.9	48.4	51.6	45.9	108	501	609	93	760	853	304	644	948	6.4	2.1	3.3	3.2	1.6	2.7	10.7	6.0	6.9
32	B1	2	15	15	225.0	1:1	450	94.4	88.9	31.9	68.1	60.5	73	504	577	69	763	832	233	626	859	3.4	1.2	2.7	1.6	0.8	2.1	5.9	6.5	7.7
33	B1	3	15	15	225.0	1:1	675	92.6	88.9	23.8	76.2	67.7	61	504	565	60	764	824	209	619	828	2.3	0.9	2.5	1.1	0.5	1.9	4.1	6.6	8.0
34	B1	4	15	15	225.0	1:1	900	91.7	88.9	19.0	81.0	72.0	56	505	561	56	765	821	197	616	81									

表 4.4.11 鹿児島における建物特性に応じた建築外皮改修の省エネ効果（その 2）

	タイプ	階数	基準階平面				延べ 面積 (㎡)	ペリメータ比率		外皮割合		形状 係数	改修前年間熱負荷(MJ/㎡・年)									外皮改修効果(熱負荷削減率) (%)								
			短辺 (m)	長辺 (m)	床面積 (㎡)	アスペ クト比		全体 (%)	基準階 (%)	屋根 (%)	外壁 (%)		事務所			物販			病院			事務所			物販			病院		
													暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)	屋根	窓(断)	窓(遮)
51	B3	1	15	30	450.0	1:2	450	100.0	77.8	55.6	44.4	34.5	97	470	567	85	723	808	276	592	868	7.2	1.6	2.1	3.5	1.4	2.1	12.2	5.0	5.5
52	B3	2	15	30	450.0	1:2	900	88.9	77.8	38.5	61.5	47.8	62	476	538	61	729	790	203	573	776	3.8	0.5	1.5	1.8	0.4	1.4	6.8	5.4	6.3
53	B3	3	15	30	450.0	1:2	1,350	85.2	77.8	29.4	70.6	54.9	50	477	527	52	730	782	178	566	744	2.6	0.1	1.3	1.2	0.0	1.1	4.7	5.5	6.5
54	B3	4	15	30	450.0	1:2	1,800	83.3	77.8	23.8	76.2	59.3	44	478	522	48	731	779	166	563	729	2.0	-0.1	1.1	0.9	-0.1	1.0	3.6	5.6	6.7
55	B3	5	15	30	450.0	1:2	2,250	82.2	77.8	20.0	80.0	62.2	40	479	519	46	732	778	158	561	719	1.6	-0.3	1.1	0.7	-0.2	1.0	2.9	5.6	6.8
56	B3	6	15	30	450.0	1:2	2,700	81.5	77.8	17.2	82.8	64.4	38	479	517	44	732	776	154	560	714	1.3	-0.4	1.0	0.6	-0.3	0.9	2.5	5.7	6.8
57	B3	7	15	30	450.0	1:2	3,150	81.0	77.8	15.2	84.8	66.0	36	479	515	43	732	775	150	559	709	1.1	-0.4	1.0	0.5	-0.4	0.9	2.1	5.7	6.9
58	B3	8	15	30	450.0	1:2	3,600	80.6	77.8	13.5	86.5	67.3	35	480	515	42	733	775	147	558	705	1.0	-0.5	1.0	0.5	-0.4	0.8	1.9	5.7	6.9
59	B3	9	15	30	450.0	1:2	4,050	80.2	77.8	12.2	87.8	68.3	34	480	514	41	733	774	145	557	702	0.9	-0.5	1.0	0.4	-0.4	0.8	1.7	5.7	7.0
60	B3	10	15	30	450.0	1:2	4,500	80.0	77.8	11.1	88.9	69.1	33	480	513	41	733	774	144	557	701	0.8	-0.5	0.9	0.4	-0.4	0.8	1.5	5.8	7.0
61	C1	1	20	20	400.0	1:1	400	100.0	75.0	55.6	44.4	33.3	97	480	577	86	729	815	278	601	879	6.8	1.7	2.4	3.3	1.3	2.2	12.3	5.1	5.7
62	C1	2	20	20	400.0	1:1	800	87.5	75.0	38.5	61.5	46.1	63	486	549	61	735	796	204	581	785	3.6	0.6	1.8	1.7	0.3	1.4	6.9	5.4	6.4
63	C1	3	20	20	400.0	1:1	1,200	83.3	75.0	29.4	70.6	53.0	51	488	539	53	737	790	179	574	753	2.4	0.2	1.6	1.1	0.0	1.1	4.8	5.5	6.6
64	C1	4	20	20	400.0	1:1	1,600	81.3	75.0	23.8	76.2	57.2	45	489	534	49	738	787	167	571	738	1.8	0.0	1.5	0.9	-0.2	1.0	3.7	5.6	6.8
65	C1	5	20	20	400.0	1:1	2,000	80.0	75.0	20.0	80.0	60.0	42	490	532	46	739	785	160	569	729	1.5	-0.1	1.4	0.7	-0.3	0.9	3.0	5.6	6.9
66	C1	6	20	20	400.0	1:1	2,400	79.2	75.0	17.2	82.8	62.1	40	490	530	44	739	783	155	568	723	1.2	-0.2	1.4	0.6	-0.4	0.8	2.5	5.7	6.9
67	C1	7	20	20	400.0	1:1	2,800	78.6	75.0	15.2	84.8	63.6	38	490	528	43	739	782	151	567	718	1.1	-0.2	1.4	0.5	-0.5	0.8	2.1	5.7	7.0
68	C1	8	20	20	400.0	1:1	3,200	78.1	75.0	13.5	86.5	64.9	37	491	528	42	740	782	149	566	715	0.9	-0.3	1.3	0.4	-0.5	0.7	1.9	5.7	7.0
69	C1	9	20	20	400.0	1:1	3,600	77.8	75.0	12.2	87.8	65.9	36	491	527	42	740	782	146	565	711	0.8	-0.3	1.3	0.4	-0.5	0.7	1.7	5.7	7.0
70	C1	10	20	20	400.0	1:1	4,000	77.5	75.0	11.1	88.9	66.7	35	491	526	41	740	781	145	565	710	0.7	-0.3	1.3	0.3	-0.6	0.7	1.5	5.7	7.0
71	C2	1	20	30	600.0	2:3	600	100.0	66.7	60.0	40.0	26.7	91	465	556	81	711	792	264	575	839	7.2	1.3	1.8	3.2	1.0	1.8	13.0	4.1	5.0
72	C2	2	20	30	600.0	2:3	1,200	83.3	66.7	42.9	57.1	38.1	57	474	531	57	720	777	189	555	744	3.8	0.3	1.1	1.6	0.1	1.0	7.3	4.2	5.5
73	C2	3	20	30	600.0	2:3	1,800	77.8	66.7	33.3	66.7	44.5	45	476	521	48	722	770	164	548	712	2.6	-0.1	0.9	1.1	-0.3	0.8	5.1	4.3	5.7
74	C2	4	20	30	600.0	2:3	2,400	75.0	66.7	27.3	72.7	48.5	39	478	517	44	724	768	152	545	697	1.9	-0.2	0.8	0.8	-0.4	0.7	3.9	4.3	5.8
75	C2	5	20	30	600.0	2:3	3,000	73.3	66.7	23.1	76.9	51.3	36	479	515	42	725	767	144	543	687	1.6	-0.3	0.7	0.7	-0.5	0.6	3.2	4.4	5.9
76	C2	6	20	30	600.0	2:3	3,600	72.2	66.7	20.0	80.0	53.3	34	479	513	40	725	765	139	542	681	1.3	-0.4	0.7	0.5	-0.6	0.5	2.7	4.4	5.9
77	C2	7	20	30	600.0	2:3	4,200	71.4	66.7	17.6	82.4	54.9	32	480	512	39	726	765	135	541	676	1.1	-0.5	0.6	0.5	-0.6	0.5	2.3	4.4	6.0
78	C2	8	20	30	600.0	2:3	4,800	70.8	66.7	15.8	84.2	56.1	31	480	511	38	726	764	133	540	673	1.0	-0.5	0.6	0.4	-0.7	0.5	2.0	4.4	6.0
79	C2	9	20	30	600.0	2:3	5,400	70.4	66.7	14.3	85.7	57.1	30	480	510	37	726	763	131	539	670	0.9	-0.5	0.6	0.4	-0.7	0.4	1.8	4.4	6.0
80	C2	10	20	30	600.0	2:3	6,000	70.0	66.7	13.0	87.0	58.0	29	480	509	37	726	763	129	539	668	0.8	-0.6	0.5	0.3	-0.7	0.4	1.6	4.4	6.0
81	C3	1	20	40	800.0	1:2	800	100.0	62.5	62.5	37.5	23.4	89	458	547	79	702	781	256	563	819	7.5	1.3	1.8	3.3	0.9	1.5	13.4	4.0	4.5
82	C3	2	20	40	800.0	1:2	1,600	81.3	62.5	45.5	54.5	34.1	55	468	523	55	712	767	181	543	724	3.9	0.2	1.1	1.7	-0.1	0.7	7.6	4.3	5.0
83	C3	3	20	40	800.0	1:2	2,400	75.0	62.5	35.7	64.3	40.2	43	471	514	46	715	761	156	536	692	2.7	-0.2	0.8	1.1	-0.4	0.4	5.3	4.4	5.3
84	C3	4	20	40	800.0	1:2	3,200	71.9	62.5	29.4	70.6	44.1	37	472	509	42	716	758	144	532	676	2.0	-0.4	0.6	0.9	-0.6	0.3	4.1	4.4	5.4

4.5 第4章のまとめ

本章では、補助事業を活用した非住宅建築物の建築外皮改修事例において実施例が多い「屋根改修」と「開口部（窓）改修」に焦点をあて、シミュレーション計算によって、省エネルギー効果を検証した。特に、建築外皮の熱性能が省エネルギー性や温熱環境に強く影響する中小規模の非住宅建築物では、建物形状による改修効果の違いも大きいと考えられることから、平面プランにおいてペリメータ比率の異なる建物モデルを設定し、地域特性や建物用途、地上階数の違いによる建築外皮の省エネルギー改修効果を体系的に検証し、建物特性に応じた適切な改修手法の選択に役立つ資料の提供を目標としたものである。

規模と平面形状の異なるモデル建物による予備検討にて、屋根改修と窓改修の効果は建物形状によって異なることが確認できたため、体系的な分析では、基準階床面積と短辺・長辺の比率（アスペクト比）及びペリメータ比率が異なる9種類の平面タイプの建物モデルを想定した。そして、それぞれに地上階数（1～10階）を変化させ、気象特性の異なる3都市（札幌（寒冷地）、東京（温暖地）、鹿児島（蒸暑地））において、内部発熱条件と使用時間が異なる事務所、物販、病院を3種類の建物用途を対象に、屋根改修及び窓改修（Low-e 複層ガラス：断熱タイプ、遮熱タイプ）による年間暖冷房負荷の削減効果を評価した。

屋根改修では、1～2階建は一定の改修効果が得られるが、階数の増加とともに改修効果は低下し、高層モデルでは、窓改修の改修効果が上回るケースが見られるようになる。窓改修では屋根改修に比べると基準階床面積や階数による改修効果の差は小さい。用途別に見ると、病院モデルは屋根改修、窓改修とも総じて高い効果が期待できることが分かった。物販モデルでは鹿児島の窓改修で、Low-e ガラスの断熱タイプを用いる場合、年間熱負荷が増加するケースも見られ、条件によって適切な改修手法を選択する必要がある。

また、全ケースの検討結果を俯瞰すると、同一地域、同一用途の建築物であっても階数や平面プランによって外皮改修効果は異なる。さらに、屋根改修では外皮面積に対する屋根面積の割合（屋根面積比率）、窓改修では外皮面積に対する外壁面積割合（外壁面積比率）と基準階ペリメータ比率の積として定義した形状係数が負荷削減率との関係が高く、線形近似によって高い相関が見られることが明らかになった。

本章でのシミュレーションによる体系的分析は、一定の前提条件に基づく結果であるが、地域、用途、建物形状及び階数の違いによる屋根改修、窓改修の暖冷房負荷の削減効果について目安を提示することができ、中小建築物において、建物特性の応じた建築外皮の省エネルギー改修手法の選択に関する一助となることが期待される。

なお、建築外皮の省エネルギー改修では、改修前の既存建築物の外皮仕様や建物の使用条件など、様々な要因が関わると想定されるが、実際の非住宅建築物において、建物形状や建築外皮仕様は千差万別であり、中小建築物に多い窓を持たない外壁面や日の当たらない外壁面を有する建築物での改修効果などは検証しきれておらず、今後の課題である。また、窓改修において、冷房負荷が支配的な条件では、窓ガラスの熱性能向上が冷房負荷の増加につながっており、年間暖冷房負荷としても増加するケースが見られる。そのため、

建築外皮改修にあたっては、日射遮蔽や換気などへの配慮も必要であり、冷房主体の建築物における外皮改修手法の検討も今後の重要な課題である。

第 5 章 既存オフィスにおける 窓改修の温熱環境改善効果に 関する実験実測

5. 既存オフィスにおける窓改修の温熱環境改善効果に関する実験実測

5.1 はじめに

本研究では、既存中小建築物における建築外皮の省エネルギー改修に焦点をあて、地域、建物形状に応じた改修効果を検証するとともに、事業者アンケートや事業者ヒアリングから建築外皮改修に関する改修工事の実態や市場動向などの実態を分析してきた。

事業者ヒアリングにおいて、建築外皮改修では、省エネルギーに伴うエネルギーコスト削減のみならず、温熱環境の改善、外装デザインの更新による建築物の付加価値向上を訴求することが必要であるとの指摘もなされている。また、非住宅建築物の省エネルギー改修は、当該建物を使用しながら実施するいわゆる「居ながら工事」が大半であり、改修工事によって執務や営業に支障が出る手法は採用されにくい、既存の非住宅建築物ではまだまだ単層ガラスが用いられている建物が多いとの指摘もあった。さらに、窓改修については、前章のシミュレーション結果でも窓面積が占める割合が高い建物では省エネルギー効果が確認でき、窓改修の実施事例では利用者の声として温熱環境（寒さ）の改善効果を体感しているとの指摘もなされている。

こうした窓改修による温熱環境の改善効果は、温熱環境実測による実態データの蓄積が望まれるところであるが、居ながら工事が多い非住宅建築物では、改修前後の計測が難しく定量的な評価例はほとんどないのが実情である。

そのため、本章では、東京都に所在する事務所ビルの一角を使用し、窓改修を模擬した実験として、簡易な方法で開口部の断熱性能を向上させた状態での実験実測を実施し、温熱環境の改善効果に関する検証を行った。これによって、建築外皮改修の付加価値の増進につながる基礎資料を提供し、建築外皮改修の普及促進に貢献することを目的としている。

5.2 実験実測の概要

5.2.1 実験対象オフィスの概要

実験実測は、東京都新宿区に位置する既存のテナントオフィスビルの事務室を使用して実施した。実験実測の対象室は、鉄骨鉄筋コンクリート造、地上7階地下1建のテナントオフィスビルの5階事務室で、北面及び東面に連窓が設けられている。本実験は、当該事務所が休業となる期間を中心に、現状の状態（改修前に相当）と、開口部に断熱材を設置し断熱性能を向上させたケース（改修後に相当）にて、温熱環境の実測を行った。

図5.2.1に対象建物の概要（外観及び諸元）を示す。また、実験実測を実施した事務室の全体平面図と実測対象室は図5.2.2に示すとおりである。



所在地：東京都新宿区
用 途：事務所（テナントビル）
構 造：鉄骨鉄筋コンクリート造
規 模：地下1階、地上7階
竣工年：1989 年

図 5.2.1 実験実測の対象建物概要

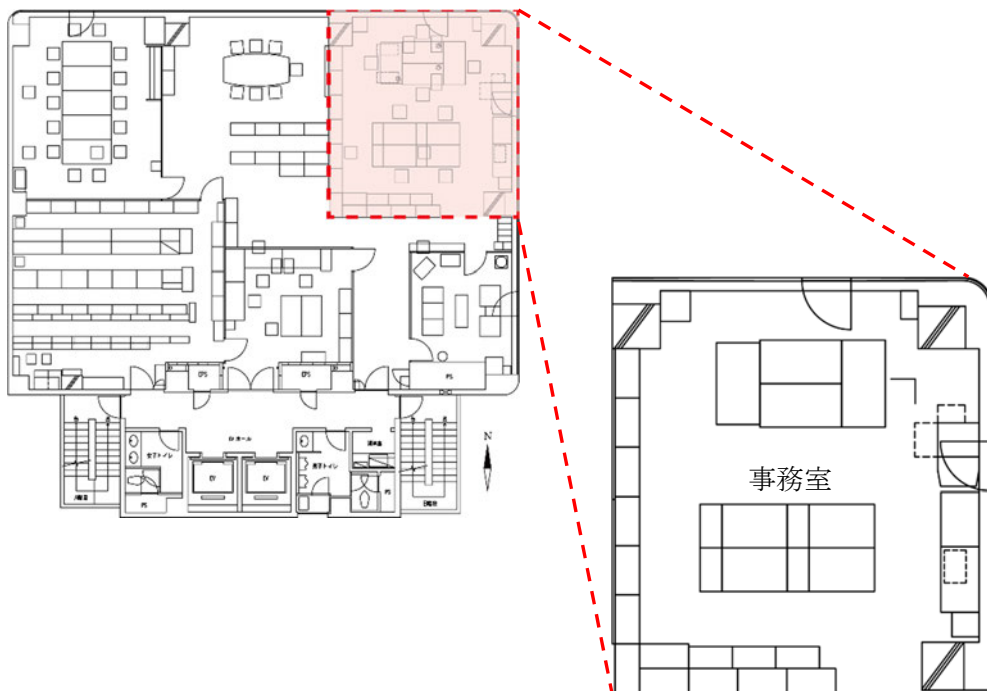


図 5.2.2 実験対象室の概要

5.2.2 実験実測条件

表 5.2.1 に実験条件を、図 5.2.3 に実験状況の写真を示す。

実測は、2012 年 12 月 27 日から 2013 年 1 月 7 日の 12 日間（CASE 1）と、2013 年 1 月 8 日から 1 月 14 日の 7 日間（CASE 2）の 2 期間に分けて行った。

窓の断熱性能の向上による室内温熱環境の変化を把握するため、CASE 1 では通常の窓（単板ガラス）とし、CASE 2 では北面の窓の内側に断熱材（スタイロフォーム 20mm）を設置して実測を行った。なお、北面の窓の中央部は非常用侵入口窓となっているため、CASE 2 においても断熱材は設置していない。なお、断熱材は単板ガラスに付加した状態で、複層ガラスと同等の熱性能を持つ厚さを設定し、単板ガラスから複層ガラスに交換する省エネルギー改修を模擬するものとした（図 5.2.3）。

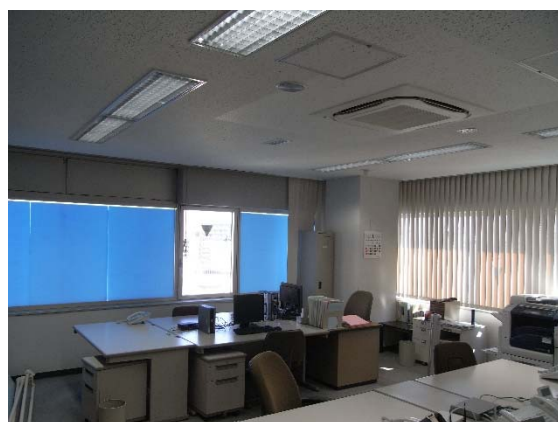
空調の使用方法は指定せずに執務者の自由とし、窓は常に閉じた状態に設定とした。また、ブラインドは、東面（断熱材設置なし）のみを閉じ、北面は常に開けた状態で実測を行った。また、測定期間中は休業日も多いが、就業日の在室者は 1～2 名であった。

表 5.2.1 実験条件

条件項目		条件設定
空調		指定せず
窓開閉状況		全日CLOSE
ブラインド	北面	全日OPEN
	東面	全日CLOSE
窓	CASE 1	単板ガラス
	CASE 2	単板ガラス+スタイロフォーム(20mm)
測定期間	CASE 1	2012年12月27～2013年1月7日
	CASE 2	2013年1月8～2013年1月14日



CASE 1



CASE 2

図 5.2.3 実験条件写真

実験実測では、対象室内にて連続的に室内空気温湿度、グローブ温度を計測した。表 5.2.2 に測定項目及び測定機器を、図 5.2.4 に測定高さ詳細を示す。

室内空気温湿度及び室内放射温度は、測定機器を設置したポールを室内の 3 点に配置して計測した。ポールの設置箇所は、北面の窓から 1m 離れた場所に 2 点(A 点、B 点)、A 点と垂直な室中央に 1 点(C 点)であり、窓面からの距離による温熱環境の変化を計測した。なお、B 点は、緊急避難窓の前に位置しており、CASE 1 と CASE 2 とともに断熱材の設置はなく、条件に違いはない。図 5.2.5 に対象室平面図・断面図及び測定点の詳細を示す

表 5.2.2 測定項目及び測定使用機器

測定項目	測定機器及び測定高さ (mm)	測定数 (点)	測定間隔 (分)
室内温湿度	サーモレコーダー 【FL+100,1100,2400】	9	5
グローブ温度	グローブ温度計 【FL+1100】	3	5

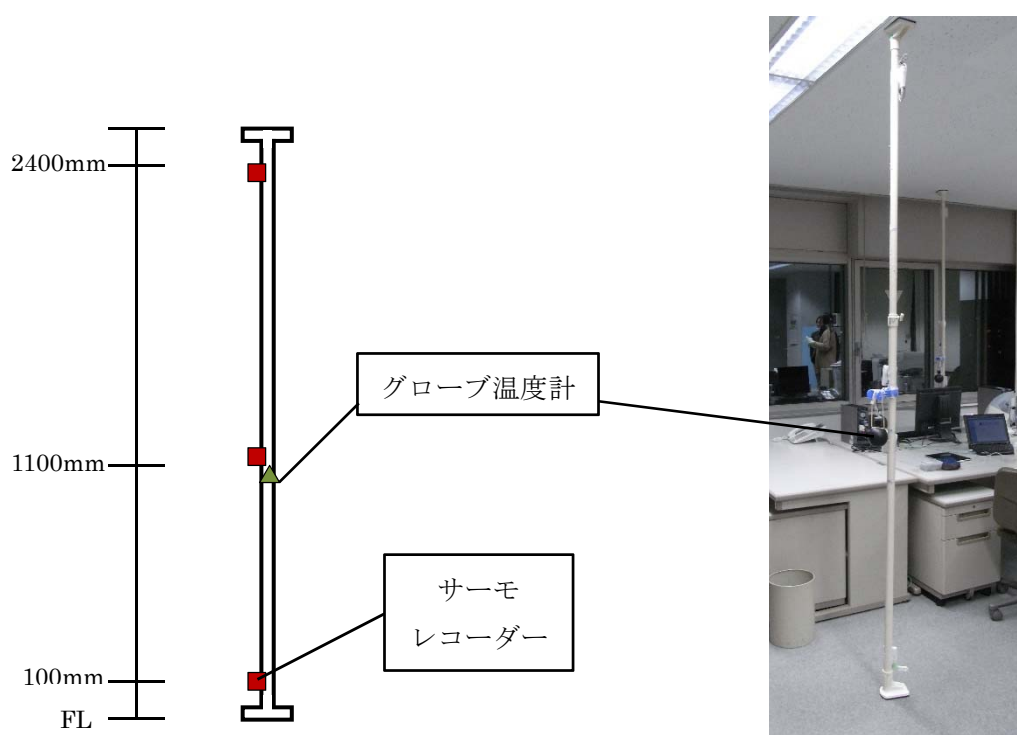


図 5.2.4 測定高さ詳細

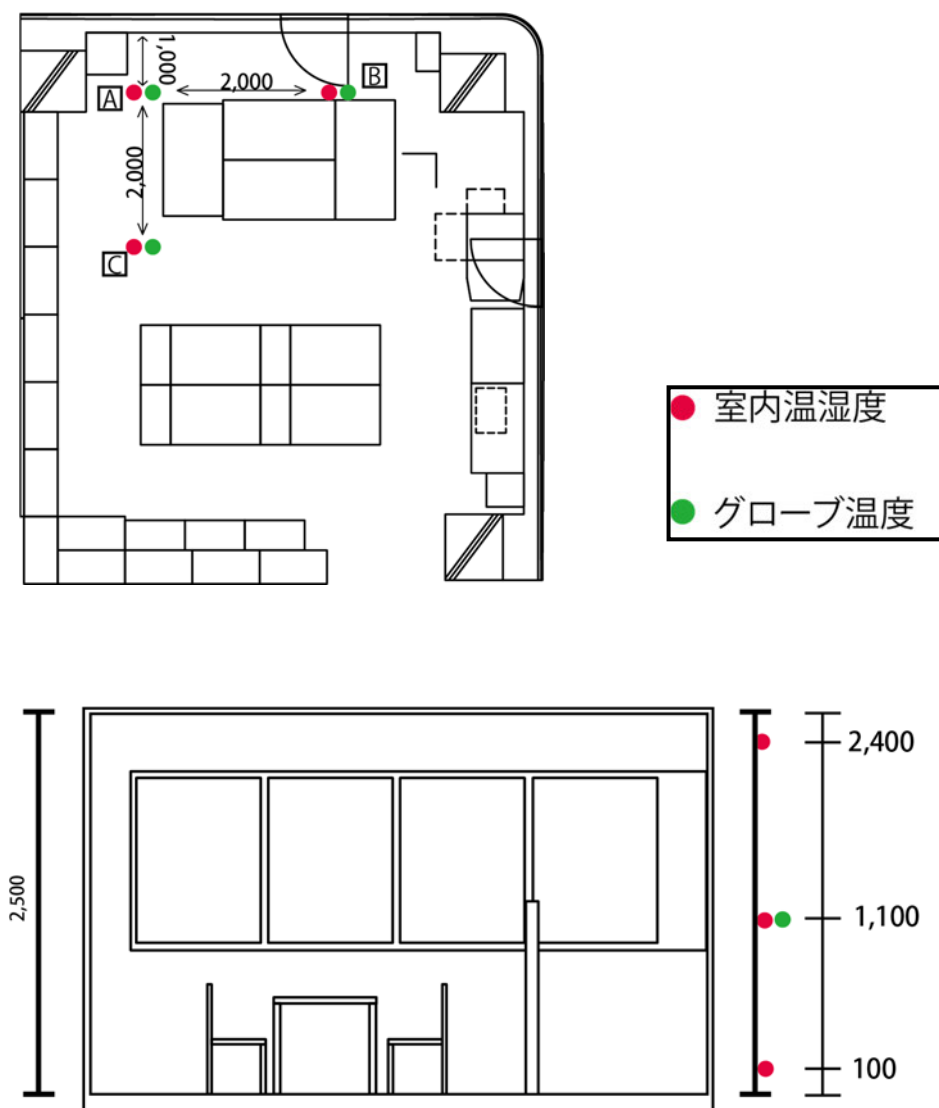


図 5.2.5 対象室平面・断面及び測定点の詳細

5.3 温熱環境評価と考察

5.3.1 室温変動と室内上下温度分布

窓の断熱性能を変更した場合の室内空気温度の変動、室内上下温度分布の特徴をまとめる。測定期間中の非空調日、空調日について外気条件の変動が類似する代表日を選定し、代表日における室温変動の比較を図 5.3.1～図 5.3.2 に示す。また、同じ日の室内上下温度分布を図 5.3.3～図 5.3.4 に示す。なお、測定期間中の外気温湿度の変動及び室温変動は、巻末の付録 B にまとめる。

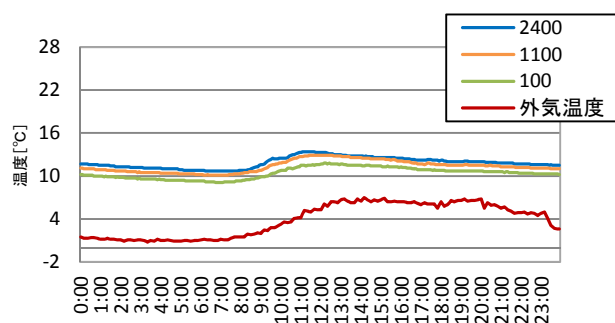
CASE-1（通常窓）における代表日の室温変動を見ると、空調日（図 5.3.2, 12 月 28 日）は、10 時頃から空調が使用され、空調時間帯は、A、B、C 点の FL+1100 の室温は一定の温度を保っている。同じ日の非空調の時間帯は、空調の立ち上がり時や停止時の大きな温度変化を除くと、外気温の変化に伴って推移している。また、非空調日（図 5.3.1, 12 月 27 日）は、夜間は 10℃強の室温で、日中は外気温の変化に伴って緩やかに推移している。

次に、各点の室内上下温度分布を見ると、非空調日（図 5.3.3, 12 月 27 日）は各時間帯とも最大 2K 前後の上下温度差が見られる。FL+1100 は非空調日でも 11～13℃を推移するが、FL+100 は 9.5～11.5℃と、FL+1100 に比べて 1.5 K 程度の温度低下が見られる。また、空調日（図 5.3.4, 12 月 28 日）には、空調の使用開始とともに上下温度差が拡大し、空調の立ち上がりから 2 時間後では、最大で 9 K の温度差となっている。空調使用時に FL+1100 では 18～19℃となっているが、FL+100 では 14～16℃であり、FL+1100 よりも約 3～4K の温度低下が見られる。

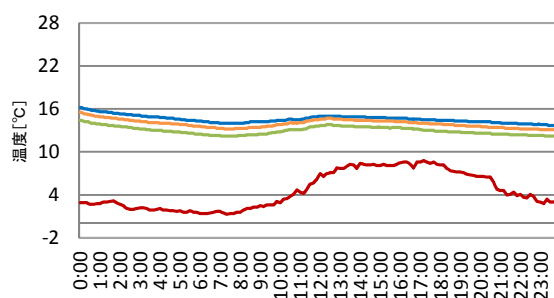
CASE-2（断熱性向上）における代表日の室温変動を見ると、空調日（図 5.3.2, 1 月 10 日）は、11 時頃から空調が使用され、空調時間帯は CASE-1 と同様に、室温は一定の温度を保っている。一方、空調を使用していない夜間は、各点とも 13℃前後で推移しており、CASE-1 よりも空調停止時の室温低下が緩やかな傾向が見られる。また、非空調日（図 5.3.1, 1 月 12 日）も朝方の温度低下は 13℃前後となっており、CASE-1 よりも室温低下が緩やかとなっている。

次に、各点の室内上下温度分布を見ると、非空調日（図 5.3.3, 1 月 12 日）は CASE-1 と同様に各時間帯とも最大 2K 前後の上下温度差が見られる。FL+1100 は非空調日でも 13～14.5℃を推移するが、FL+100 は 12.5～14℃と、FL+1100 に比べて 0.5～1 K 程度の温度低下が見られる。また、空調日（図 5.3.4, 1 月 10 日）には、空調の使用開始とともに上下温度差が拡大し、空調の立ち上がりから 2 時間後では、最大で 7 K の温度差となっている。空調使用時に FL+1100 では 18～21℃となっているが、FL+100 では 16～18℃であり、FL+1100 よりも約 2～3K の温度低下が見られる。

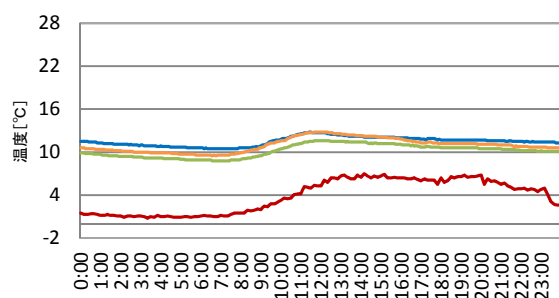
Case-1(断熱なし):A 点空気温度(窓際)



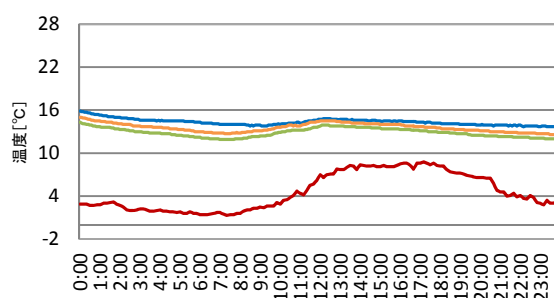
Case-2(断熱あり):A 点空気温度(窓際)



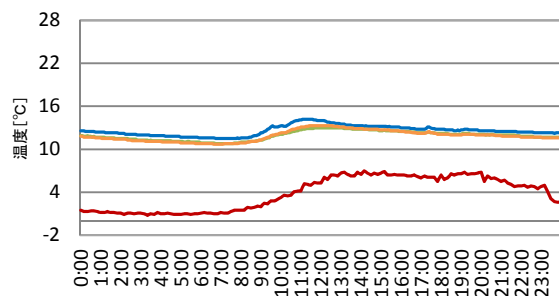
Case-1(断熱なし):B 点空気温度(窓際)



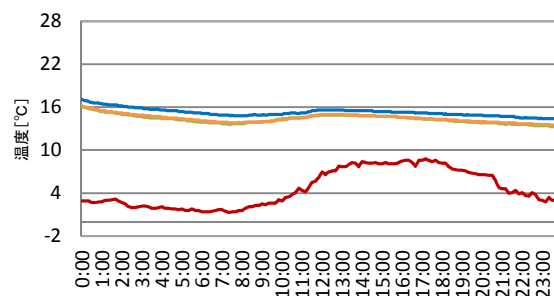
Case-2(断熱あり):B 点空気温度(窓際)



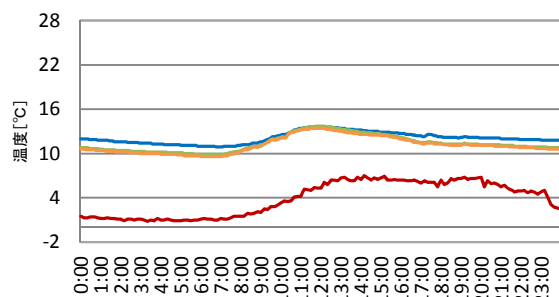
Case-1(断熱なし):C 点空気温度(室中央)



Case-2(断熱あり):C 点空気温度(室中央)



Case-1(断熱なし):グローブ温度



Case-2(断熱あり):グローブ温度

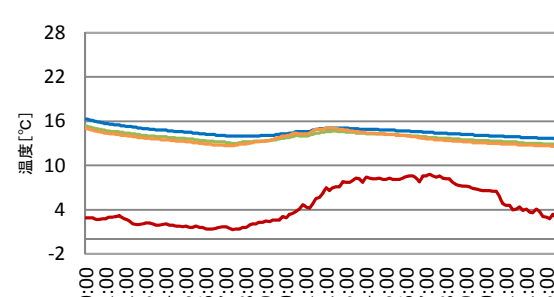
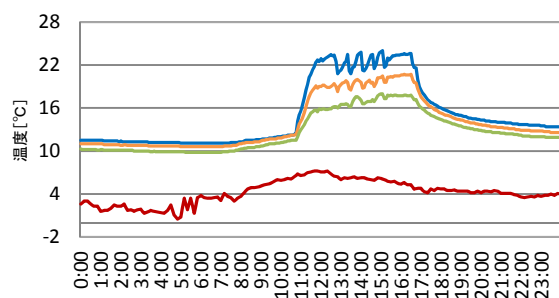


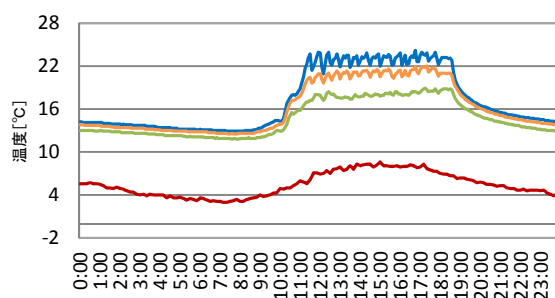
図 5.3.1 非空調日の室温変動

(Case-1 : 12 月 27 日、Case-2 : 1 月 12 日)

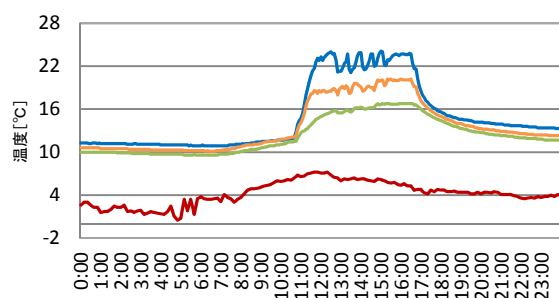
Case-1(断熱なし):A 点空気温度(窓際)



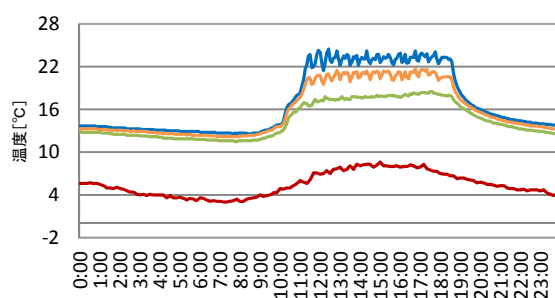
Case-2(断熱あり):A 点空気温度(窓際)



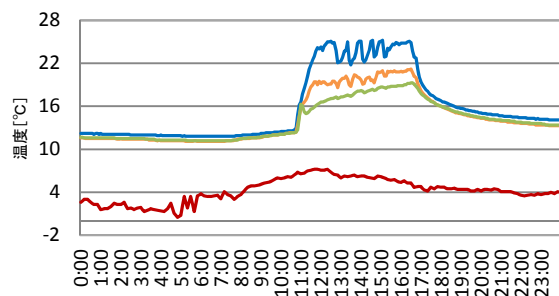
Case-1(断熱なし):B 点空気温度(窓際)



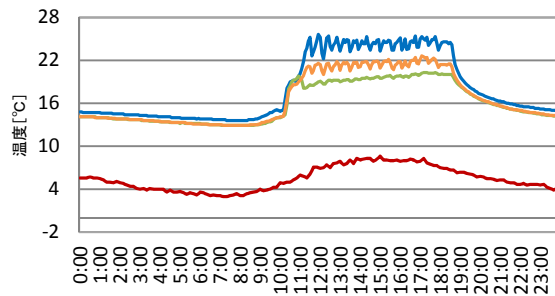
Case-2(断熱あり):B 点空気温度(窓際)



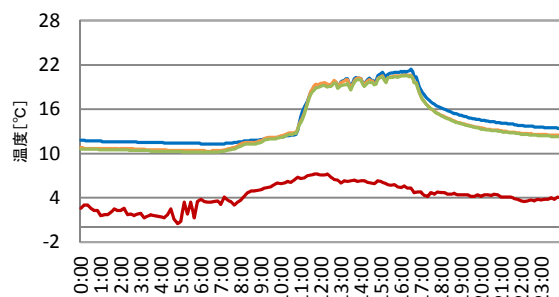
Case-1(断熱なし):C 点空気温度(室中央)



Case-2(断熱あり):C 点空気温度(室中央)



Case-1(断熱なし):グローブ温度



Case-2(断熱あり):グローブ温度

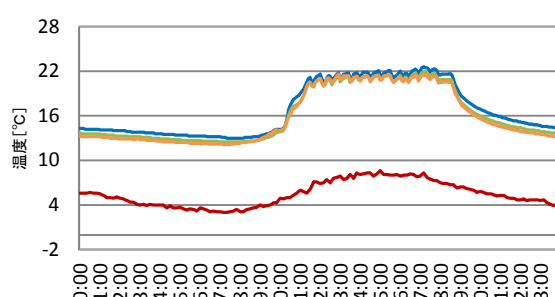


図 5.3.2 空調日の室温変動

(Case-1 : 12 月 28 日、Case-2 : 1 月 10 日)

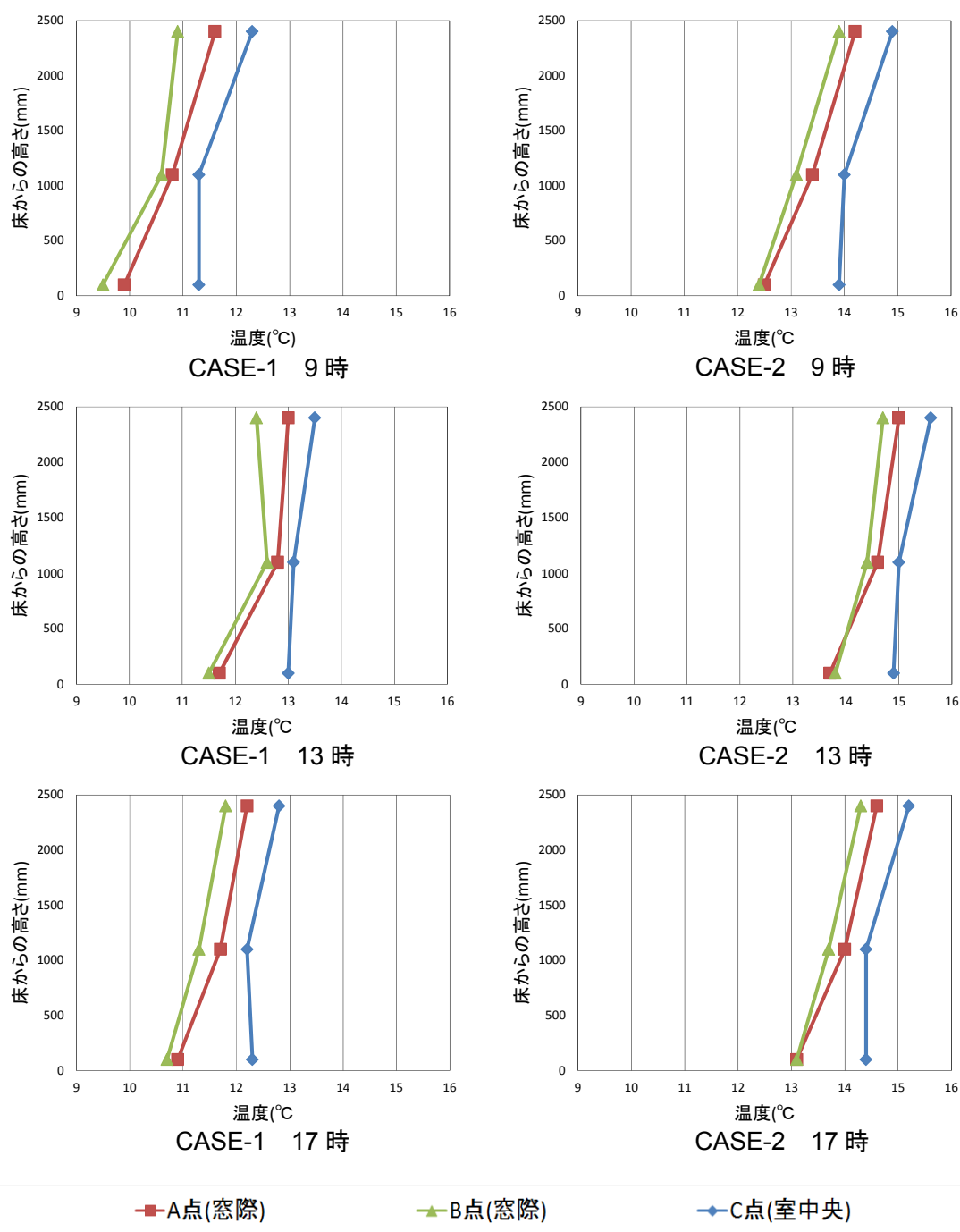


図 5.3.3 非空調日の室内上下温度分布
(Case-1 : 12 月 27 日、Case-1 : 1 月 12 日)

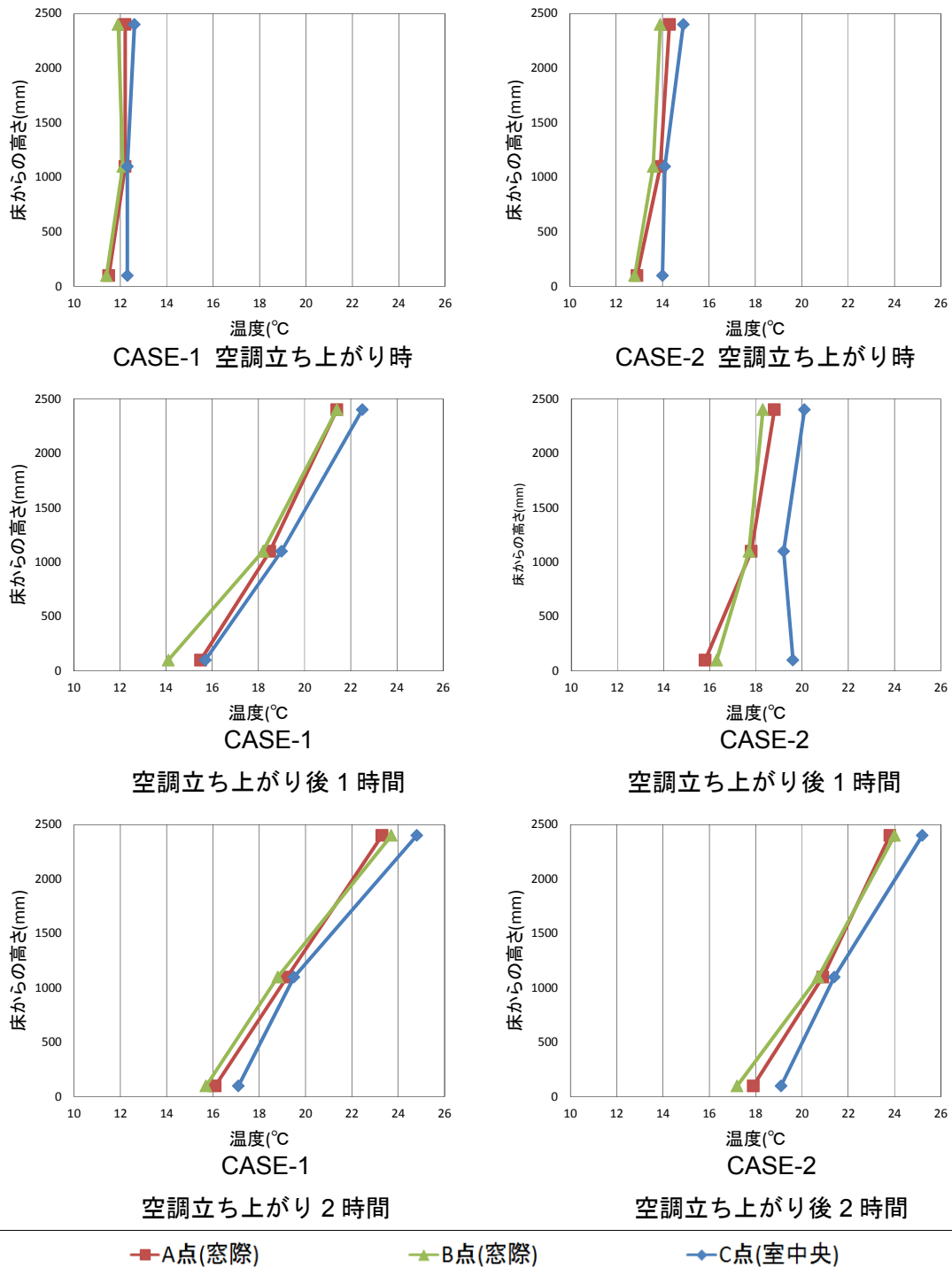


図 5.3.4 空調日の室温変動
(Case-1 : 12 月 28 日、Case-2 : 1 月 10 日)

5.3.2 窓の断熱性能の違いによる温熱環境の比較

非空調日と空調使用日の代表日における室内上下温度分布とグローブ温度について、窓の断熱性能の違いを比較する。

代表日における窓の断熱性能の違いによる室内上下温度分布の比較を図 5.3.5～図 5.3.6 に、グローブ温度の比較を図 5.3.7～図 5.3.8 に示す。

非空調日の室内上下温度分布（図 5.3.5）について CASE-1（通常窓）と CASE-2（断熱性向上）を比較すると、全ての時間帯で FL+100、FL+1100、FL+2400 の 3 点ともに CASE-2 の温度が高く、9 時では各点で約 3K の差が生じている。また、FL+1100 と FL+100 の温度差を比較すると、CASE-1、CASE-2 とともに窓際の測定点である A 点、B 点は、室中央の測定点である C 点よりも温度差が大きい。また、全ての時間帯で CASE-1 よりも CASE-2 の上下温度差はわずかながら小さい。これらから、窓の断熱性向上による室内温度の改善効果が確認でき、また、窓際の測定点では上下温度差（特に FL+100）の抑制にもつながっており、窓面のコールドドラフトの抑制にも寄与しているものと考えられる。

空調日の室内上下温度分布（図 5.3.6）について CASE-1 と CASE-2 を比較すると、空調の立ち上がり時は FL+100、FL+1100、FL+2400 の 3 点ともに CASE-2 の温度が高い。空調の立ち上がりから 1 時間後では、窓際の A 点、B 点ともに FL+100 では約 2～3K の温度差が見られ、室中央の C 点は FL+100 で約 4K の差が見られた。さらに、空調の立ち上がりから 2 時間後では、FL+100、FL+1100 においては A 点、B 点、C 点とも CASE-2 の方が約 1～2K 高い。空調日には、非空調日に比べると上下温度差の違いは明確ではないが、FL+1100 及び FL+100 は、CASE-2 で温度が上昇しており、僅かに FL+100 における温度低下の幅も CASE-2 が小さく、窓の断熱性向上による室内温度の改善効果が確認できた。

各点のグローブ温度を比較すると、非空調日では、CASE-1 よりも CASE-2 のグローブ温度が約 2K 高くなっている（図 5.3.7）。空調日では、時間帯によっては CASE-1 と CASE-2 の差は見られないが、空調立ち上がり時や空調立ち上がり 2 時間後では、CASE-2 のグローブ温度が約 1.5～2K 高くなっている（図 5.3.8）。

参考として、1 月 30 日に窓面へのスタイロフォームの設置の有無の状態撮影した熱画像を図 5.3.9 に示す。熱画像は、サーモカメラを用いて、実験室北側に位置する窓表面に、空調の立ち上がり時に通常の状態（CASE-1）を撮影後、直後にスタイロフォームを設置した状態（CASE-2）とスタイロフォームを設置して一時間経過後（CASE-2）の状態を撮影した。空調の立ち上がり時の窓表面温度は、CASE-1 が 9～11℃、CASE-2 が 15～17℃であり、約 6K の温度差が確認できる。また、空調の立ち上がりから 1 時間後（CASE-2）を見ると、断熱を施した窓付近の表面温度は約 19℃、侵入窓のためスタイロフォームを設置してない窓面付近は 13～15℃であり、スタイロフォームの有無で、4～6K の温度差が確認でき、窓の断熱性向上による窓表面温度の改善効果が確認できる。

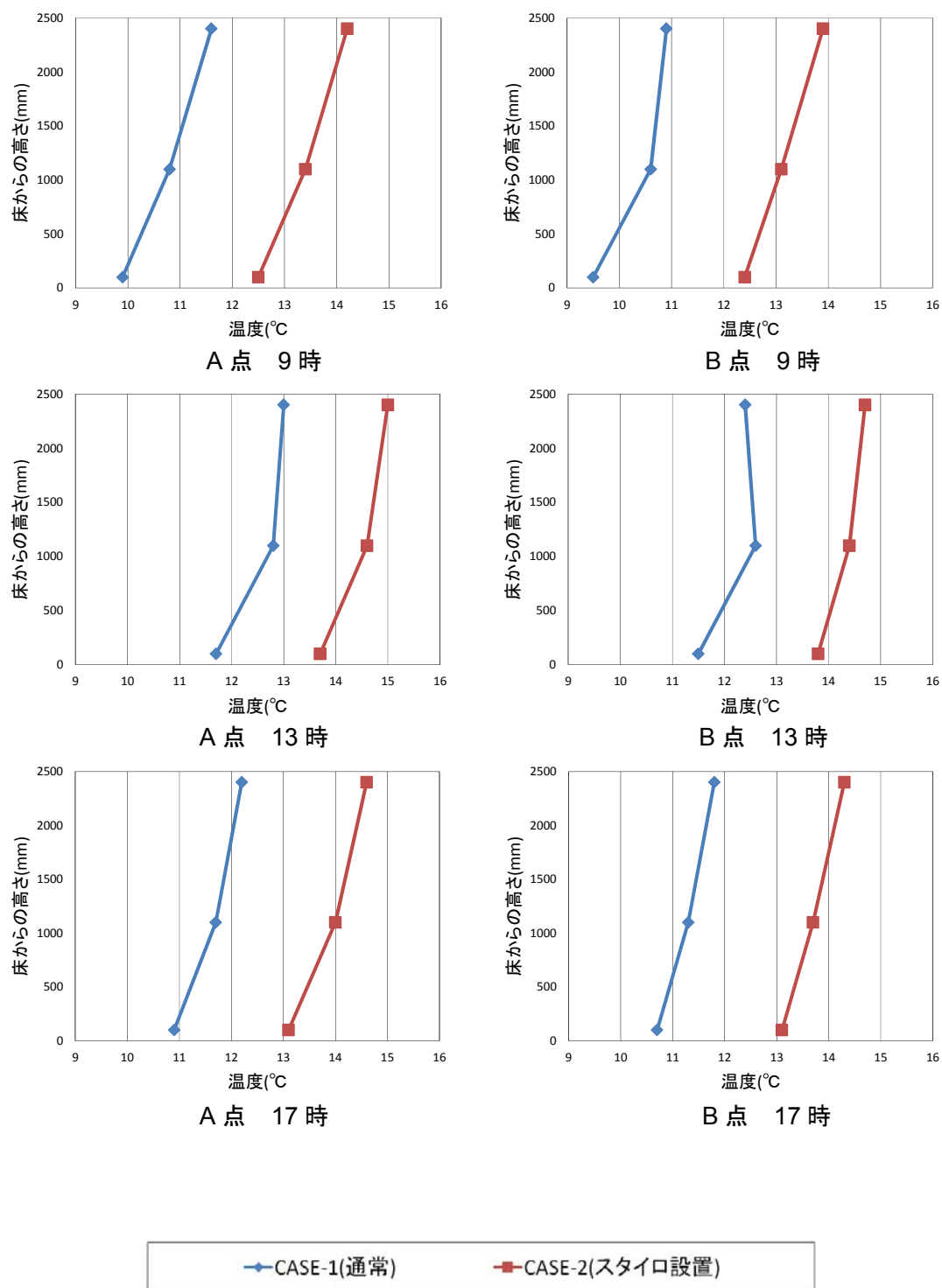


図 5.3.5-(1) 非空調時の地点別室内上下温度分布(A、B 点)
(Case-1 : 12 月 27 日、Case-2 : 1 月 12 日)

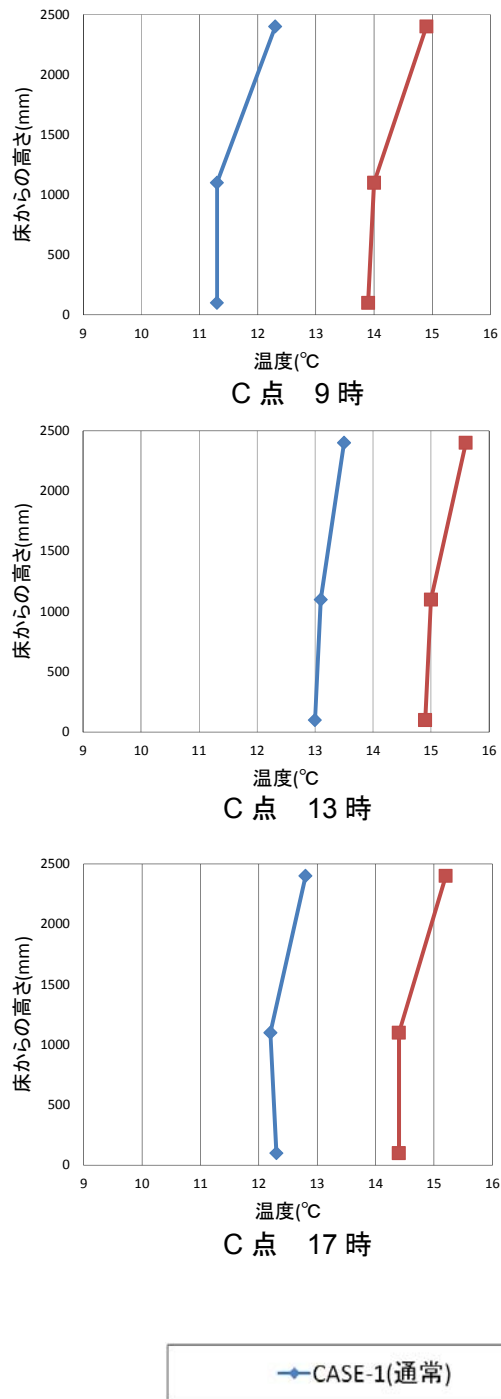


図 5.3.5-(2) 非空調時の地点別室内上下温度分布(C 点)
(Case-1 : 12 月 27 日、Case-2 : 1 月 12 日)

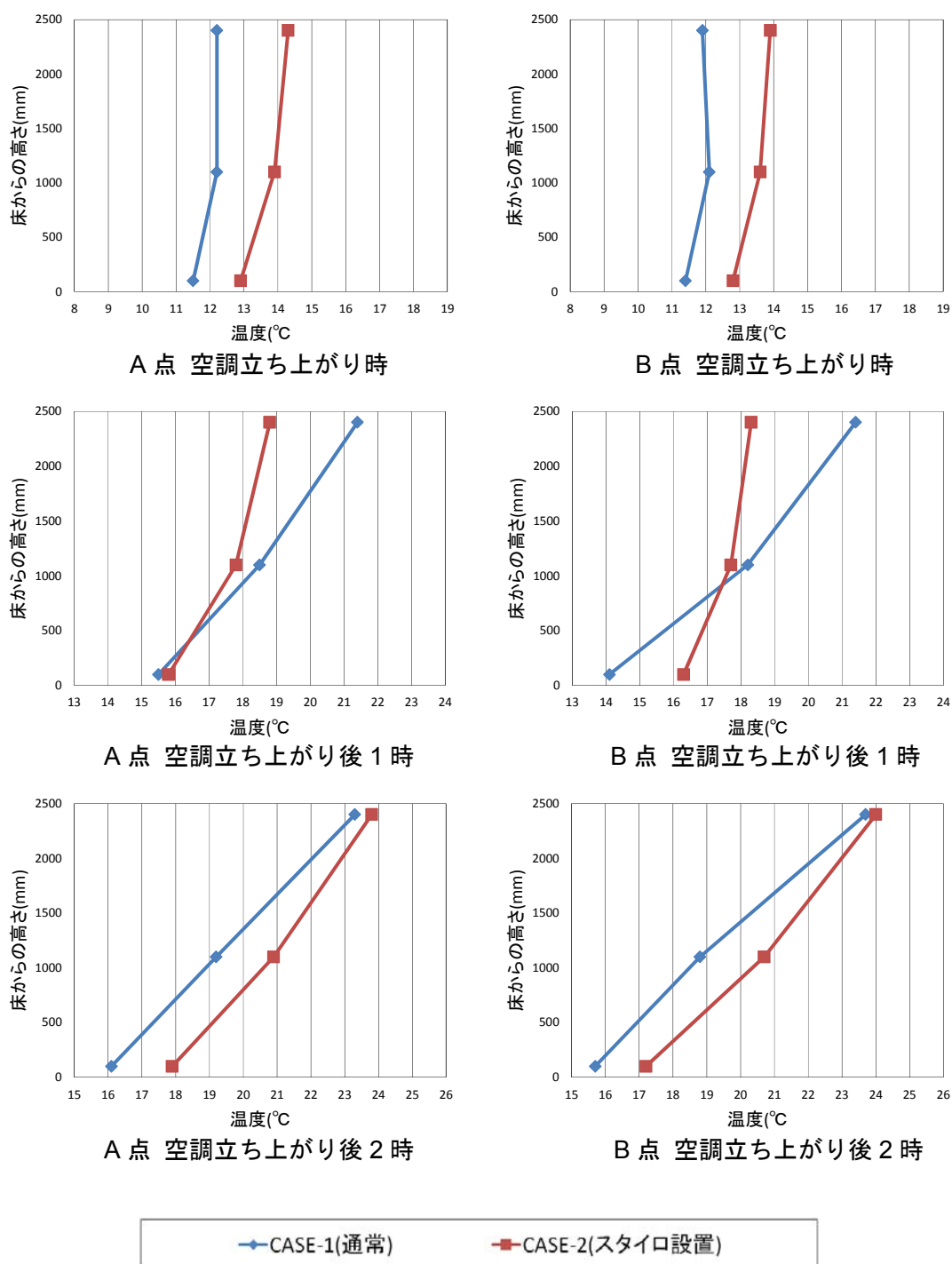
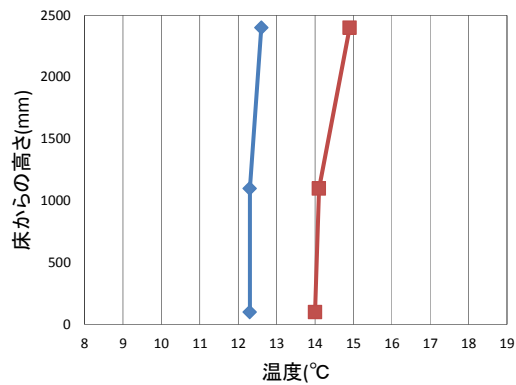
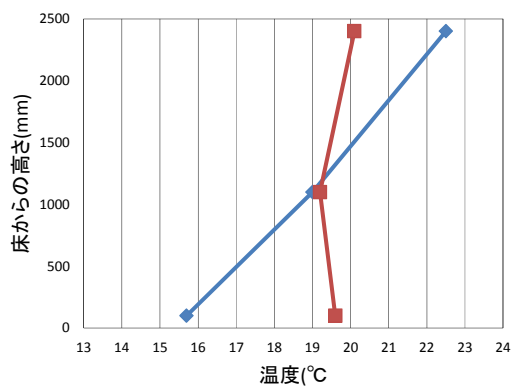


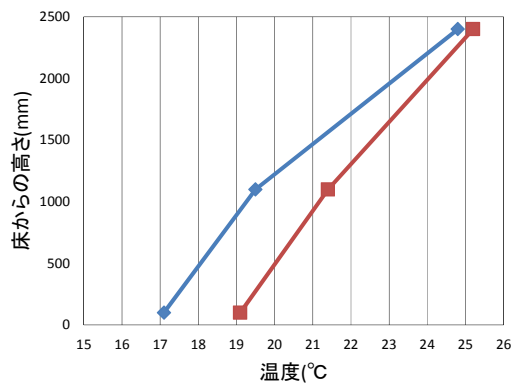
図 5.3.6-(1) 空調時の地点別室内上下温度分布(A、B 点)
(Case-1 : 12 月 28 日、Case-2 : 1 月 10 日)



C 点 空調立ち上がり時



C 点 空調立ち上がり後 1 時



C 点 空調立ち上がり後 2 時



図 5.3.6-(2) 空調時の地点別室内上下温度分布(C 点)
(Case-1 : 12 月 28 日、Case-2 : 1 月 10 日)

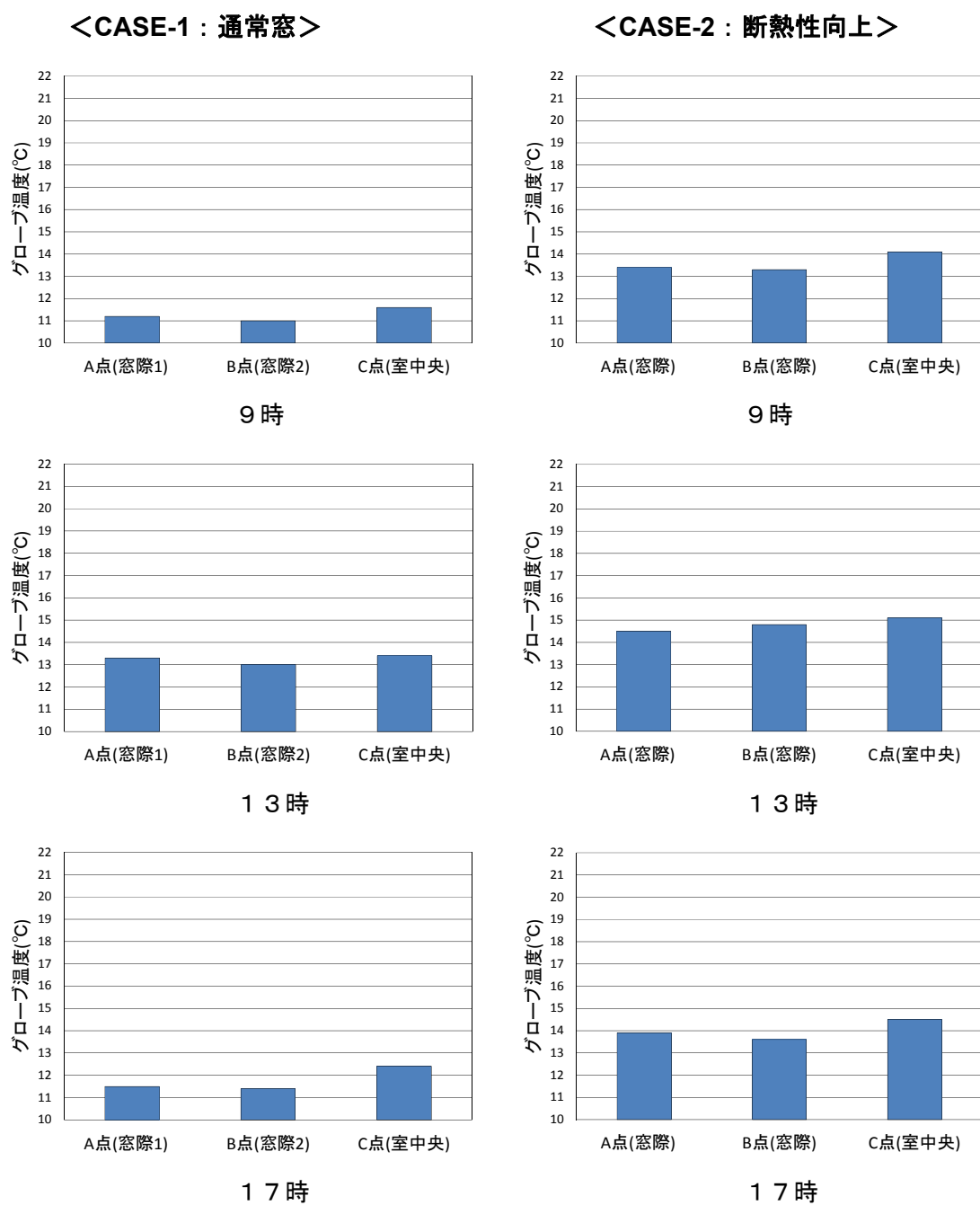


図 5.3.7 非空調時における室内グローブ温度
(Case-1 : 12月27日、Case-2 : 1月12日)

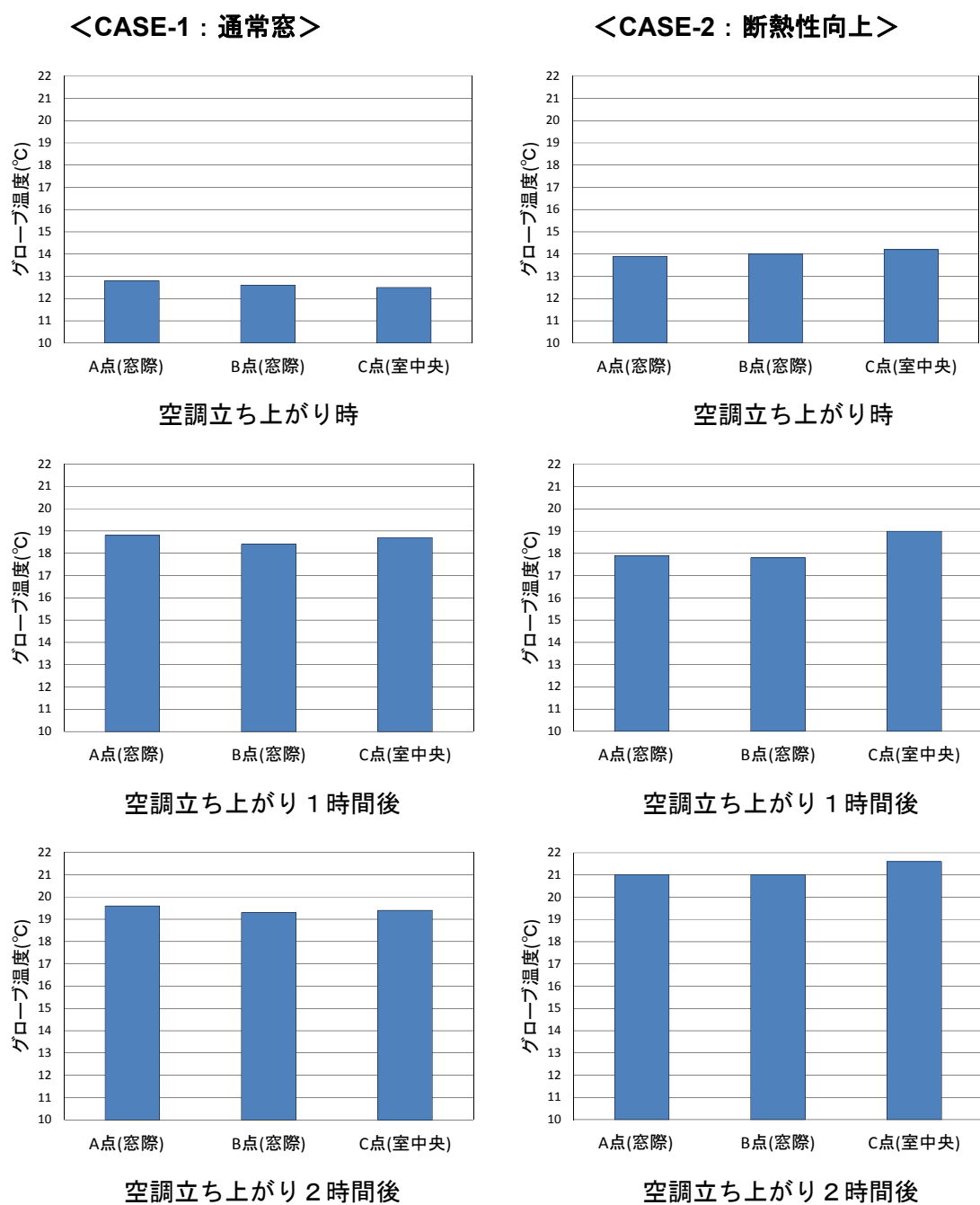


図 5.3.8 空調時における室内グローブ温度
(Case-1 : 12 月 28 日、Case-2 : 1 月 10 日)

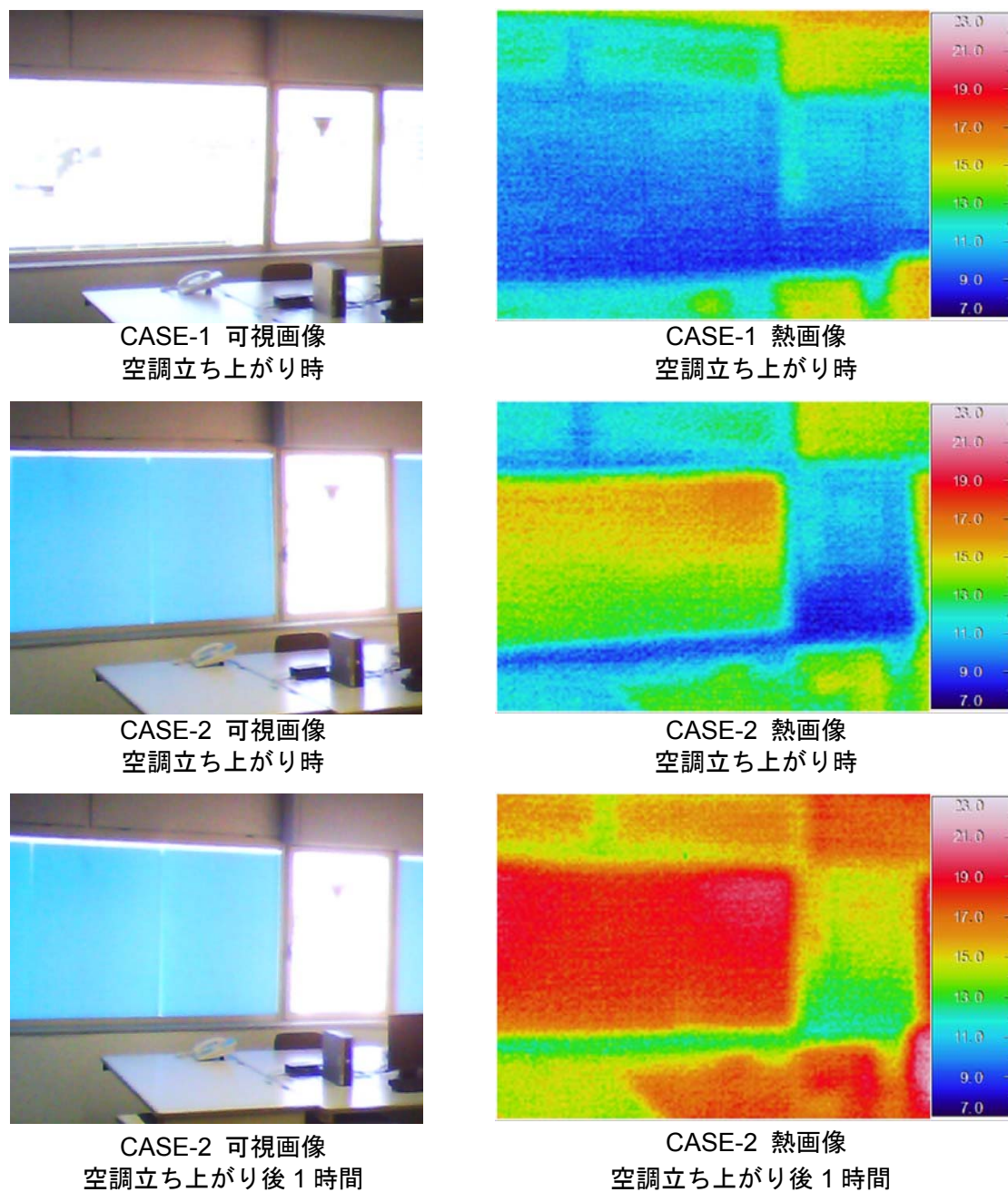


図 5.3.9 窓表面の可視画像・熱画像
(1 月 30 日)

5.4 第5章のまとめ

本章では、窓改修の温熱環境改善効果を検証すべく、既存オフィスを利用して模擬実験実測を行った。

具体的には、東京都に立地するオフィスビルの一角を利用し、既設の窓ガラスに断熱材を設置することで窓改修を模擬し、断熱材の有無による室内空気環境などの違いを実測した。実験対象室は、北面に連続窓を有する事務室で、北面の窓の断熱性能の違いによって、窓際空間では空気温度、グループ温度とも $2\sim 3\text{K}$ 程度の改善効果が見られ、足下付近の温度低下も緩和することが確認できた。非住宅建築物の省エネルギー改修では、執務や営業への制約が避けることが優先され、改修前後の温熱環境改善の計測は難しい面もあるが、今後、実使用下にある改修建物でのさらなる定量的データの蓄積も望まれる。

(Blank)

第 6 章 建築外皮改修の 潜在需要と省エネルギー ポテンシャルの推計

6. 建築外皮改修の潜在需要と省エネルギーポテンシャルの推計

6.1 はじめに

本研究では、既存中小建築物における建築外皮の省エネルギー改修に焦点をあて、地域、建物形状に応じた外皮改修手法別の省エネルギー効果を検証してきた。第 2 章で示したように、我が国のストック建築では、地方都市を中心に 1～2 階建といった低層建物が占める割合も高く、屋根の断熱改修を初めとする建築外皮の省エネルギー改修は既存ストックの省エネルギー対策としても重要である。

事業者ヒアリングでは、建築外皮改修は、省エネルギーに伴うエネルギーコスト削減のみならず、温熱環境の改善、外装デザインの更新による建築物の付加価値向上を訴求することが必要であるとの指摘もなされ、建物特性に応じた建築外皮改修をパターン化して標準的な仕様として外皮改修を促進する例や簡便な工事によって窓の複層化を図る改修用製品の商品化など、新たな動きも見られた。

本章では、これまでの研究成果に基づいて、建築外皮の省エネルギー改修に関する将来的な潜在需要を推計するとともに、全国及び都道府県別の外皮改修による省エネルギーポテンシャルを推計し、今後の普及策の検討に資する基礎資料としてとりまとめる。

6.2 建築外皮の省エネルギー改修に関する潜在需要の推計

6.2.1 目的

省エネルギー改修の関係者による取り組みを促進するには、マーケット規模も重要な要素になる。近年、新築の物件数は、かつての着工数に比べると減少してきており、バブル期に建設された建築物もすでに改修時期にさしかかっている。これらの動向を踏まえ、国の既存ストック建築に関する統計データを用いた簡易推計によって、将来の省エネルギー改修の対象となり得る非住宅建築物の床面積を潜在需要として提示する。

6.2.2 推計方法

国土交通省が公表している「建築ストック統計」に基づいて、2020 年、2030 年時点における築年数別の床面積を将来の省エネルギー改修の潜在需要として推計する。

推計対象は、「建築ストック統計」において、竣工年別に床面積が公表されている「法人等の非住宅建築物」の大半を占める「非木造の事務所・店舗」とする。統計データに基づいて、竣工年代別の床面積から単純回帰式を求めて床面積を算出する。また、新たなストック建築の増分は、過去 5 年のトレンドから求め、単純な増加と想定する。なお、2020 年、2030 年において、築 5 年以上が経過したストック建物の面積は、2015 年時点で築 5 年以上を経過している竣工年代区分のトレンドから推計するものとした。

6.2.3 ストック建築の床面積の動向

国土交通省が公表している「建築ストック統計」のうち、竣工年別の床面積が公表されている非住宅（法人等）を対象に、2009年～2015年の各年におけるストック建築の床面積の動向を整理する。

非住宅（法人等）は、各年の1月1日時点の数値として、構造別・用途別にストック床面積が公表されており、図6.2.1において、「事務所・店舗」は構造別に床面積を示している。非住宅（法人等）のストック面積は、近年でもわずかに増加しており、2015年時点で、183,594万㎡である。2015年における用途別の床面積を比較すると、「工場・倉庫」が78,671万㎡で最も大きく、非住宅（法人等）の43%を占める。また、「事務所・店舗」は各構造の合計で60,231万㎡となっており、非住宅の32%を占める。うち、大半が非木造（56,918万㎡）である。

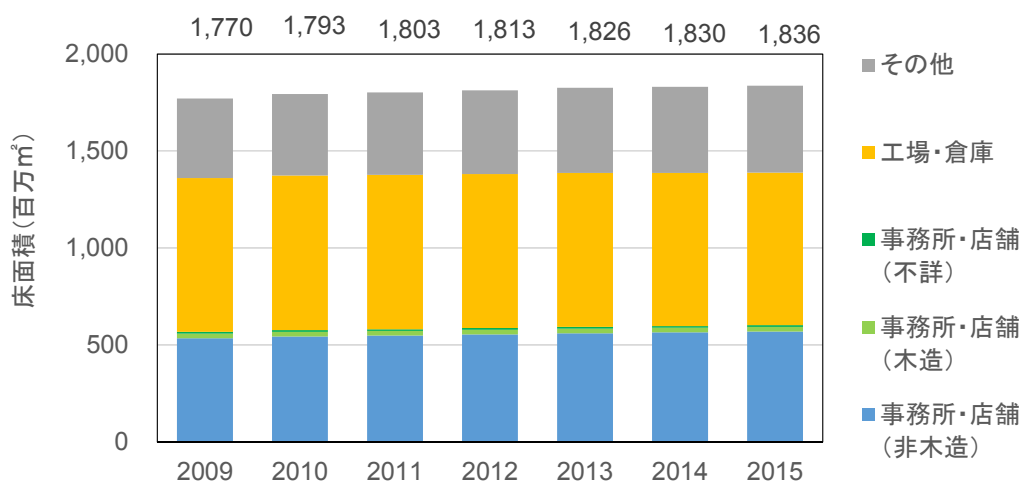


図6.2.1 ストック建築の床面積の推移（非住宅、法人等）

6.2.4 将来の潜在需要の推計結果

「建築ストック統計」の非住宅（法人等）における「事務所・店舗」の「非木造」を対象に、2020年と2030年について床面積を推計する。

推計は、竣工年代別の床面積の推移から単純回帰式を求め、新たなストック建築の増分は、過去5年のトレンドから単純な増加と想定した。

法人等の非住宅建築物（非木造）の竣工年代別のストック床面積の推移と将来推計結果を図6.2.2に示す。また、2015年、2020年、2030年について、竣工年代別のストック面積を整理したものが図6.2.3及び表6.2.1である。なお、推計ではストック統計における竣工年代不詳の面積は除いて集計している。

2015年において、竣工年代不詳を除くストック面積は55,860万㎡で、ストック面積が増加しているトレンドで推計した2020年は58,715万㎡、2030年は62,485万㎡となる。

2015年において、昭和55年以前に竣工した新耐震基準施行前の建物は13,131万㎡で全体の24%を占め、2020年、2030年では竣工年代の古い建物ほど、床面積は減少する。

国土交通省の省エネルギー改修事業で応募数が多い築年数 10～24 年の設備更新のタイミングにあたる面積を省エネルギー改修の潜在需要と捉えると、該当する床面積は、2015 年が約 21,300 万㎡、2020 年が約 19,200 万㎡、2030 年が約 15,600 万㎡となる。また、外装等の大規模改修の潜在需要を築 25 年以上と想定すると、対象床面積は、2015 年が約 24,500 万㎡、2020 年が約 29,900 万㎡、2030 年が約 37,400 万㎡となり、設備更新のタイミングにあたる面積よりも大きく、将来にかけても対象面積が拡大し、外装を含む改修市場は拡大傾向が続くことが想定される。そのため、設備更新のみならず、外装を含めたタイミングで建築外皮の改修を適切に誘導することの重要性はさらに増すものと考えられる。

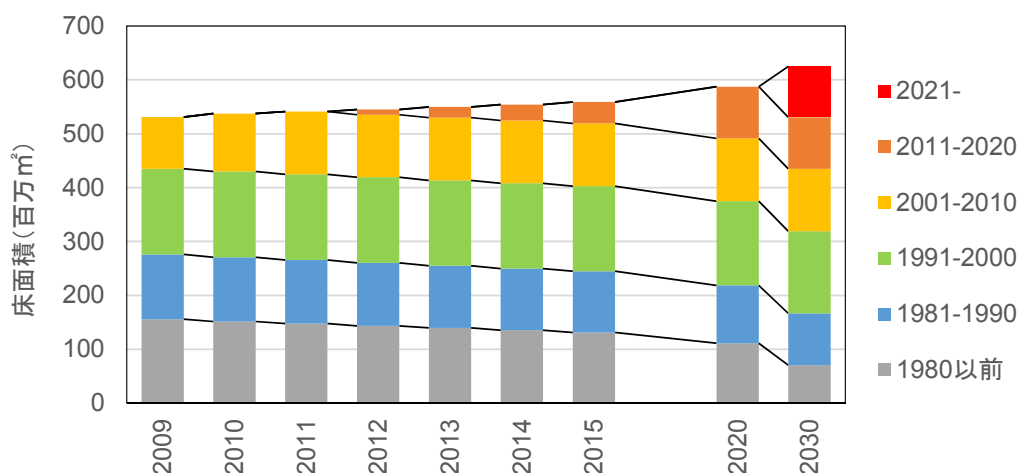


図 6.2.2 ストック面積の将来推計（非住宅、法人等「事務所・店舗：非木造」）

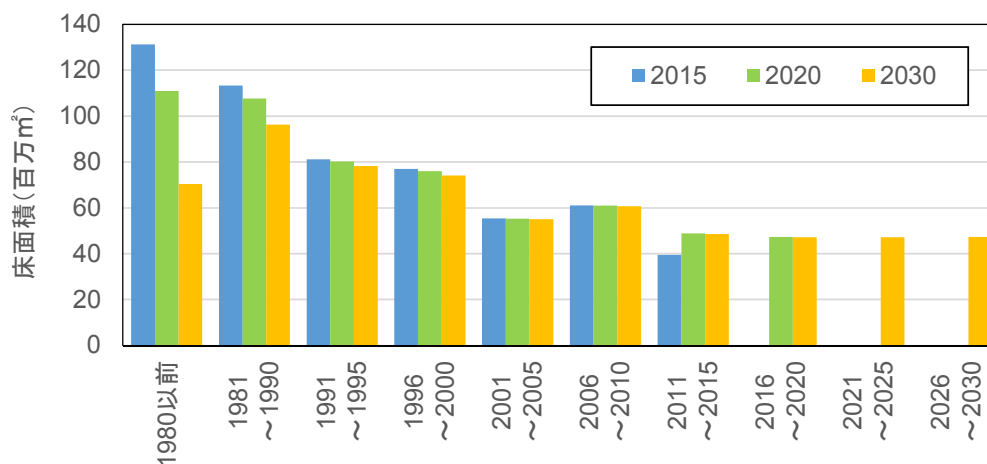


図 6.2.3 竣工年代別ストック面積（非住宅、法人等「事務所・店舗：非木造」）

表 6.2.1 竣工年代別ストック面積の内訳（非住宅、法人等「事務所・店舗：非木造」）

（単位：万㎡）

	1980以前	1981 ～1990	1991 ～1995	1996 ～2000	2001 ～2005	2006 ～2010	2011 ～2015	2016 ～2020	2021 ～2025	2026 ～2030
2015	13,131	11,336	8,114	7,699	5,534	6,102	3,944	0	0	0
2020	11,099	10,766	8,017	7,602	5,522	6,091	4,880	4,737	0	0
2030	7,037	9,624	7,825	7,410	5,499	6,068	4,857	4,714	4,714	4,737

	築25年以上	築10年～24年	築10年未満	合計
2015	24,467	21,346	10,047	55,860
2020	29,882	19,215	9,617	58,715
2030	37,395	15,640	9,451	62,485

6.3 建築外皮の省エネルギー改修による省エネルギーポテンシャルの推計

6.3.1 目的

第2章で整理したように、ストック建築物では、東京を除くと低層建物の割合も高く、屋根改修等による省エネルギーの推進も期待される。また、第4章の簡易モデルによる検証では、札幌など、暖房負荷の多い地域でより高い改修効果が期待される結果であった。このように、今後、建築外皮の省エネルギー改修を促進するには、地域の建物特性や気象条件に応じた効果を把握することも重要である。

本節では、前章までに得られた知見に基づき、統計データを用いたマクロな推計として、建築外皮改修による省エネルギーポテンシャルを提示する。

6.3.2 推計方法

国土交通省の「建築ストック統計」では、2008年1月1日時点についてのみ、都道府県別ストック床面積のデータが公開されている。本節では、この2008年の都道府県別ストック床面積に基づいたマクロな推計から、都道府県別の建築外皮改修による省エネルギーポテンシャルを求める。推計方法を図6.3.1に示す。

(1) 外皮改修の対象床面積の算定

「建築ストック統計」における「非住宅（法人等）、事務所・店舗」の都道府県別ストック面積に基づいて、①「建築着工統計」における地上階数別床面積割合（第2章・図2.2.5参照）、②事業者アンケートにおける改修前の部位別仕様（第3章・図3.3.10）から想定した屋根改修及び窓改修の実施率を用いて、屋根改修及び窓改修の対象となりうる地上階数別のストック床面積を算定する。

なお、建築ストック統計のうち、新耐震基準施行前（1980（昭和55）年以前、2015年基準で築35年以上）及び近年の竣工建物（2015年基準で築10年未満）は改修の対象外だと考え、2015年基準で築10～34年の床面積を改修対象とした。また、本推計では、中小規模建築物における外皮改修の省エネルギーポテンシャルを算定するため、地上階数は1～9階建を改修対象とし、10階建以上の高層建築物は改修の対象外と想定した。

(2) スtock建築における年間熱負荷の算定（改修前）

第4章のシミュレーション計算における簡易モデル（第4章・図4.4.1）を用いて、都道府県庁所在地（全国47都市）の気象データから都道府県別に改修前の年間熱負荷原単位を設定し、改修対象ストック面積に乗じることで、都道府県別の年間熱負荷を算定する。

床面積1㎡あたりの年間熱負荷である年間熱負荷原単位は、簡易モデルのタイプA1～C3のそれぞれについて、1階建～9階建の年間暖房負荷、年間冷房負荷をシミュレーション計算にて求め、階数別平均値（1階建、2階建、3～9階建）として算定する。

(3) 建築外皮改修効果(年間熱負荷削減量・削減率)の算定

第4章の簡易モデルによる体系的分析の結果に基づいて、外皮改修手法ごとに、都道府県別熱負荷削減係数を設定し、都道府県別の年間熱負荷に乗じることで、年間熱負荷の削減量及び削減率を省エネルギーポテンシャルとして算定する。

熱負荷削減係数は、①簡易モデルによるシミュレーション結果の階数別平均値(表4.4.6～4.4.11)から年間暖房負荷原単位と熱負荷削減率(暖冷房合計)の関係を示す回帰式を設定し、②回帰式に基づいて、都道府県別の年間暖房負荷原単位に応じて求めた熱負荷削減率(暖冷房合計)として設定した。

なお、本推計におけるシミュレーション計算等の前提条件は表6.3.1のとおりである。

表 6.3.1 建築外皮改修による省エネルギーポテンシャル推計の前提条件

①ストック床面積の合計	: 建築ストック統計における「非住宅(法人等)、事務所・店舗」
②改修対象とする建築物	: 築年数 10～34 年、地上階数 1～9 階
③年間熱負荷の算定	: 事務所モデルとして計算
④改修前の断熱仕様 ^{注)}	: 屋根(断熱なし)、外壁(断熱あり、旧ポイント法最低レベル) 窓(単板ガラス)
⑤対象とする外皮改修 ^{注)}	: 屋根改修、窓改修(Low-e 複層ガラス:断熱型・遮熱型)

注) 第4章の簡易モデルにおけるシミュレーション条件による(表4.4.2～4.4.3、図4.4.3参照)

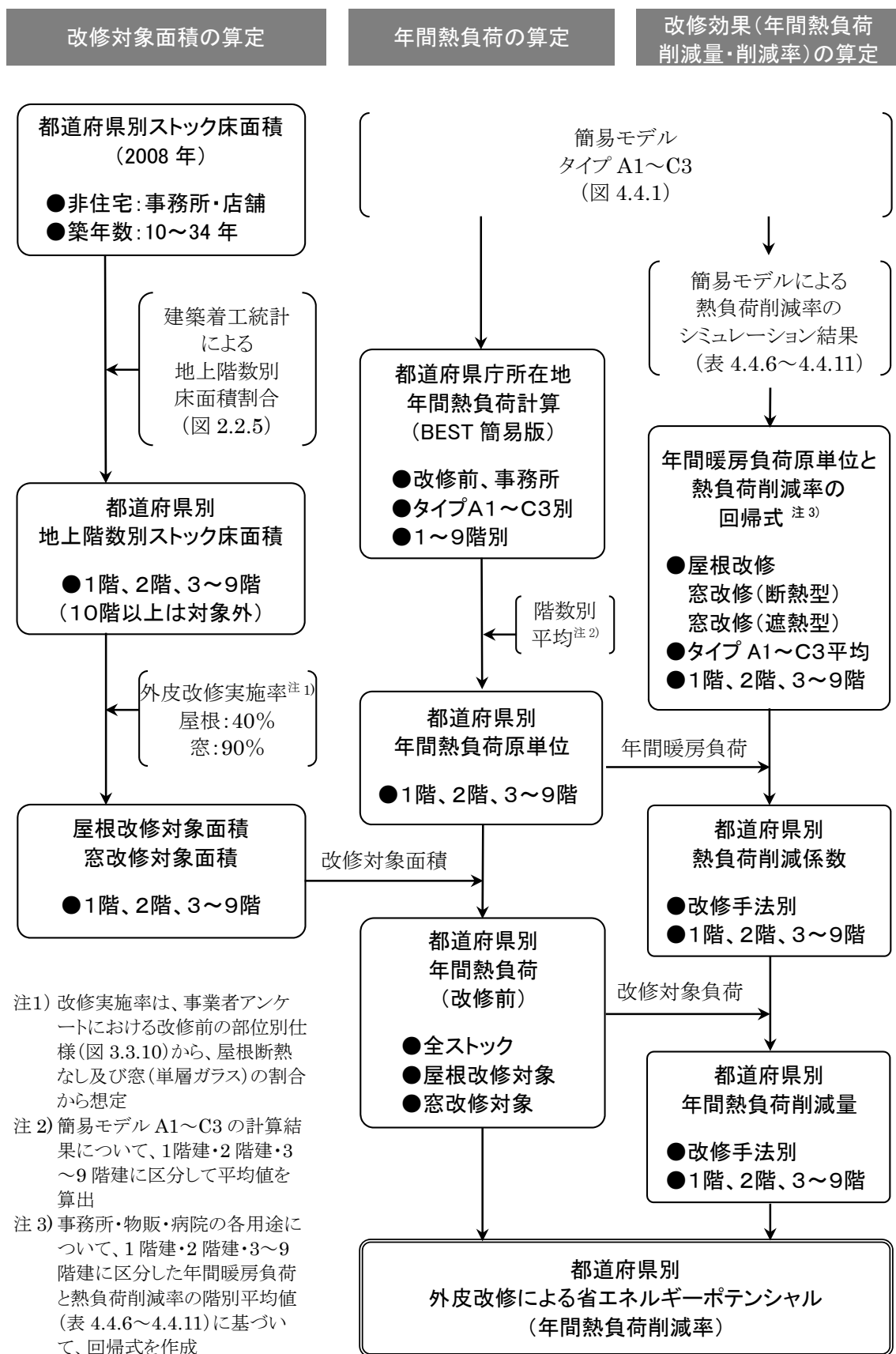


図 6.3.1 都道府県別の建築外皮改修による省エネルギーポテンシャルの推計フロー

6.3.3 都道府県別の建築外皮改修の対象床面積

国の「建築ストック統計」では、非住宅（法人等）のストック床面積について、2008年1月1日時点のみ、都道府県ごとの竣工年別床面積データが公開されている（その後は全国の竣工年別床面積データのみを公表）。また、第2章（2.2.2）で整理したように、国の「建築着工統計」では着工建築物について、都道府県ごとの地上階数別棟数及び床面積が公表されている。

本節の省エネルギーポテンシャルの推計では、2008年の「建築ストック統計」における統計データを基本に、「建築着工統計」における着工建築物の地上階数別床面積割合を用いて、地上階数別のストック床面積を算定する。

図6.3.2に「建築ストック統計」における都道府県別のストック床面積を示す。前述のとおり、本推計では、2015年を基準として築10～34年の床面積を改修対象と考え、築35年以上（新耐震基準施行前）、築10年未満は改修の対象外とした。

図6.3.3は、築10～34年のストック床面積に、第2章の図2.2.5に示す着工建築物の地上階数別床面積割合を乗じて、階数別のストック床面積を算定したものである。なお、本推計では、中小規模建築物として、1～9階建を改修対象^{注)}と考え、10階建以上は改修対象外とした。

また、第3章の事業者アンケートでは、改修前の部位別仕様の回答割合は、屋根は断熱あり（約40%）、断熱なし（約30%）、不明（約30%）となっており、窓は複層・高性能ガラス（約10%）、単層ガラス（約80%）、不明（約10%）となっている（図3.3.10）。このアンケート結果に基づいて、「屋根断熱なし」、「窓：単層ガラス」を屋根改修及び窓改修の潜在的な需要と考え、不明の割合も考慮して、屋根改修の実施率を40%、窓改修の実施率を90%と想定し、地上階数別のストック床面積に乘じることで、改修対象の床面積を算定する。図6.3.4に、改修対象のストック床面積に、屋根改修及び窓改修の実施率を乗じて求めた都道府県別の屋根改修及び窓改修の対象床面積を示す。

注) 建築着工統計では、地上階数別床面積は、1階、2階、3階、4～5階、6～9階、10～15階、16～30階、31階以上の区分で公表されており、第4章でシミュレーション検討を行った範囲として1～9階建を対象とする。

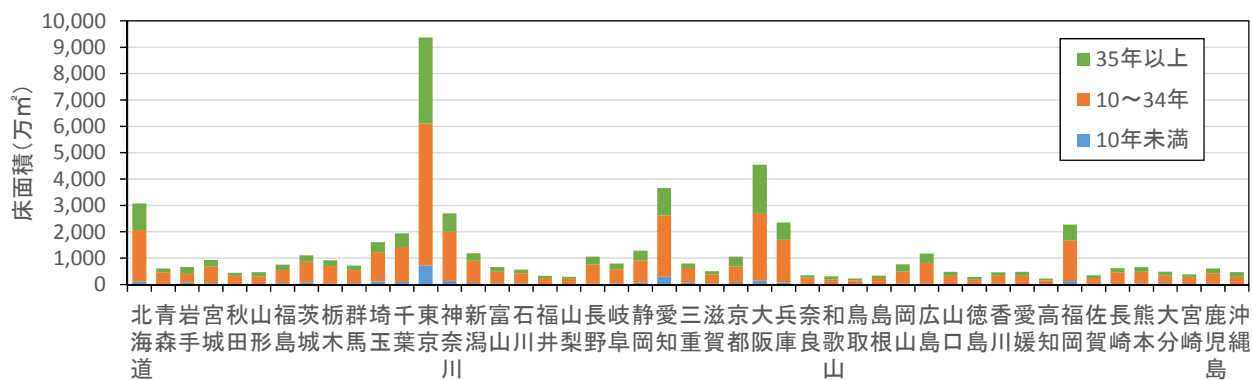


図 6.3.2 都道府県別の築年数別ストック床面積（非住宅・法人等、事務所・店舗）

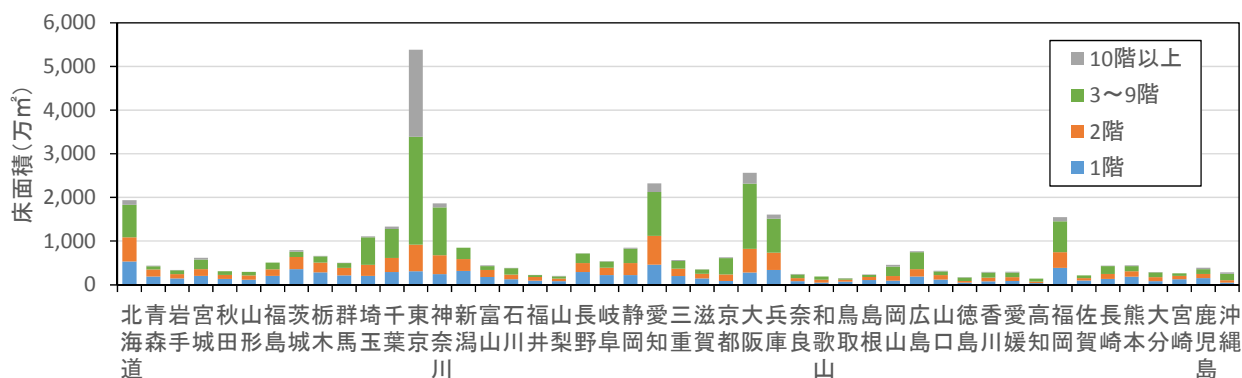


図 6.3.3 都道府県別の地上階数別ストック床面積（築 10～34 年）

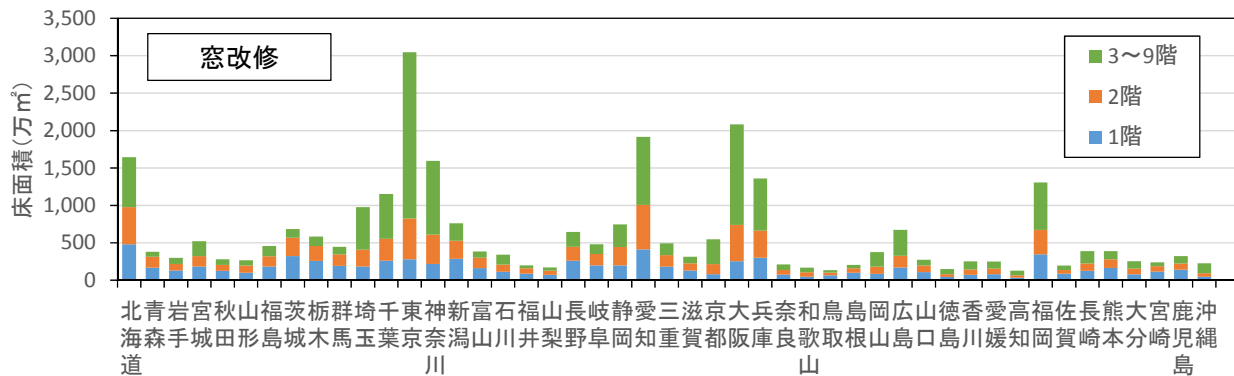
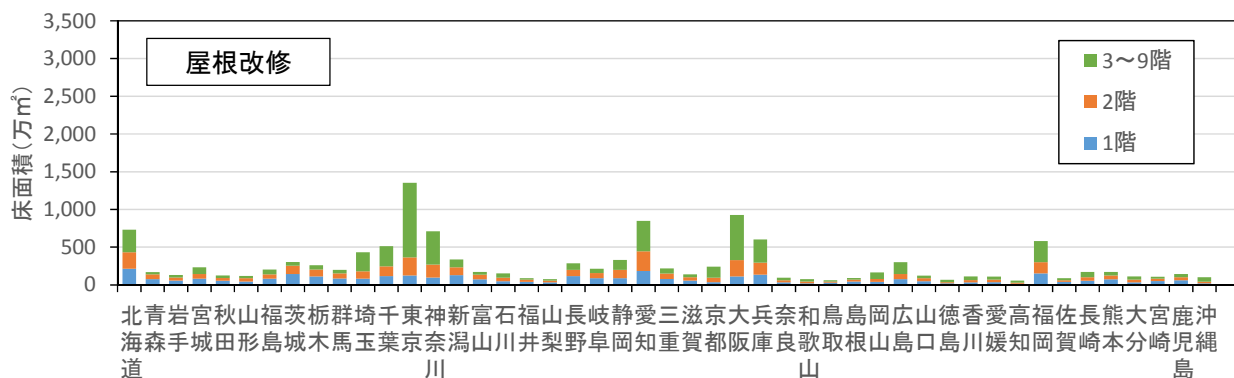


図 6.3.4 都道府県別の屋根改修及び窓改修の対象ストック床面積

6.3.4 都道府県別の年間熱負荷及び熱負荷削減係数

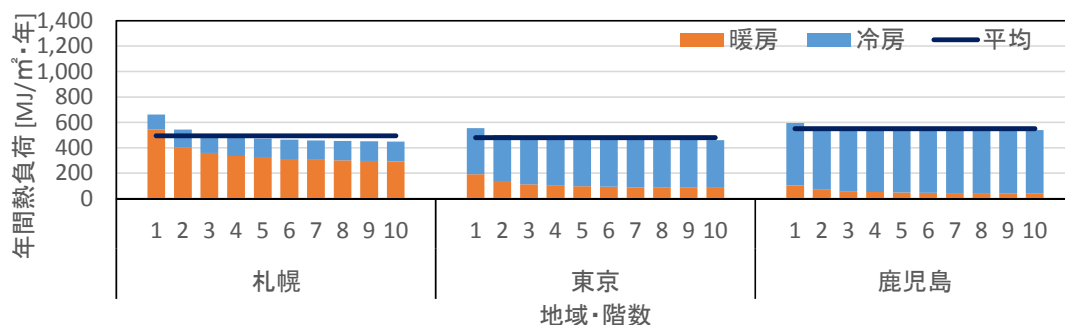
(1) 年間熱負荷原単位

第4章の簡易モデルによるシミュレーション結果では、地域や建物用途のほか、平面形状、階数も外皮改修効果に影響を及ぼしている。しかしながら、統計データに基づくマクロな推計では建物形状の違いを考慮することは難しく、本推計では、地域と階数に着目して外皮改修効果を算定する。

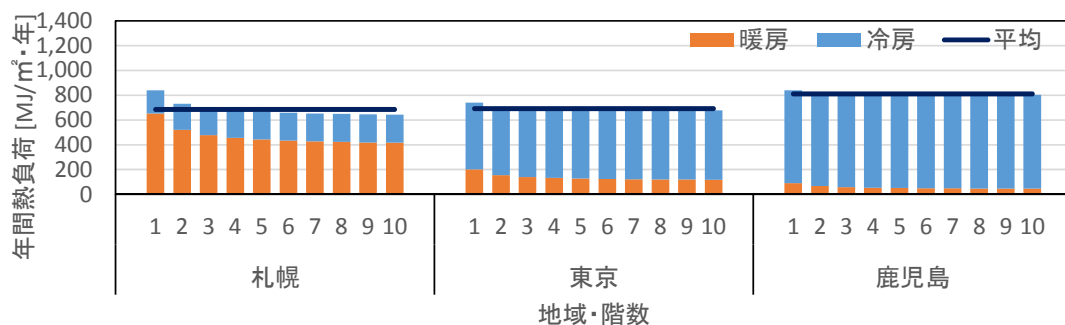
図6.3.5は、第4章の簡易モデルにおけるシミュレーション結果から、改修前の年間暖冷房負荷について、タイプA1～C3の算定結果を階数別平均値として集計したものである。事務所、店舗、病院のいずれの用途においても、階数の増加に伴って、暖房負荷は小さくなるものの、1階建、2階建と比べると、3階建以上では暖房負荷の違いは小さい。

そこで、本推計では、1階建、2階建、3階建以上に区分して、都道府県別の年間暖冷房負荷と負荷削減効果を算定する。

(a) 事務所



(b) 物販



(c) 病院

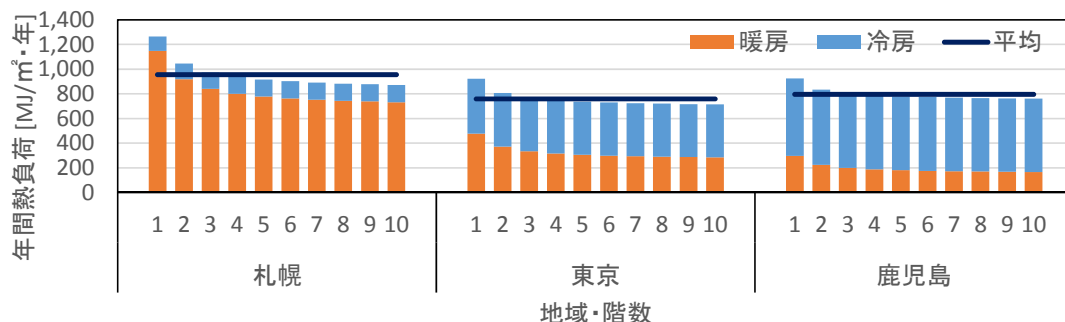


図 6.3.5 簡易モデルにおける改修前の階数別年間熱負荷(暖冷房)原単位

ストック建築物における年間暖冷房負荷を算定するため、まず都道府県庁所在地（全国 47 都市）の気象データを用いたシミュレーション計算から、床面積 1 m²あたりの年間暖房負荷・冷房負荷原単位を設定する。

都道府県別の年間暖冷房負荷原単位の具体的な手順は次のとおりである。

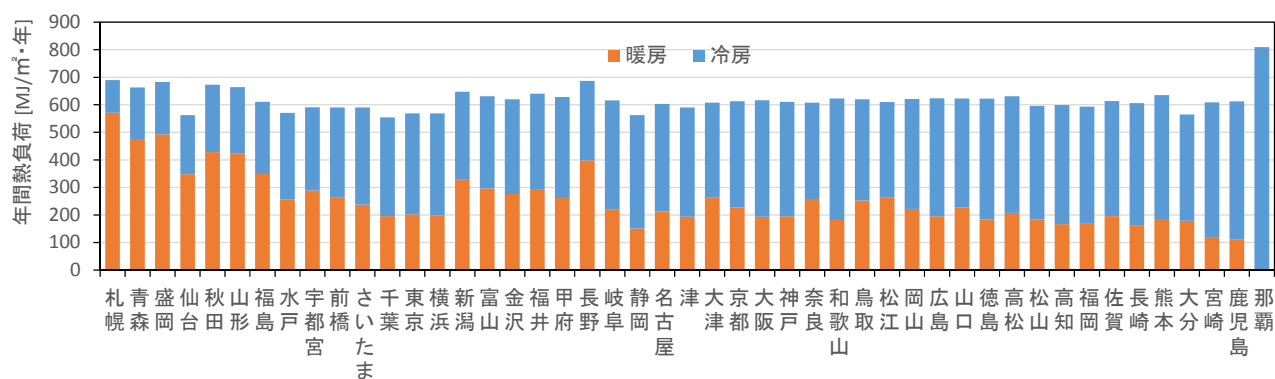
- ①第 4 章の簡易モデルにおけるタイプ A 1～C 3 のそれぞれについて、1 階建～9 階建における改修前仕様（外壁断熱あり、屋根断熱なし、窓・単層ガラス）の年間暖冷房負荷をシミュレーション計算によって算定（都道府県庁所在地）
- ②都市別に、1 階建、2 階建、3～9 階建に区分して、全タイプの平均値として年間暖冷房負荷原単位を設定

図 6.3.6 に全国 47 都市の年間暖冷房負荷原単位の算定結果を示す。暖冷房負荷は階数の増加に伴って小さくなる。また、1 階建では、那覇を除くと北から南の都市にかけて熱負荷が緩やかに減少するが、3～9 階建では、北から南の都市にかけて緩やかに熱負荷は増加している。

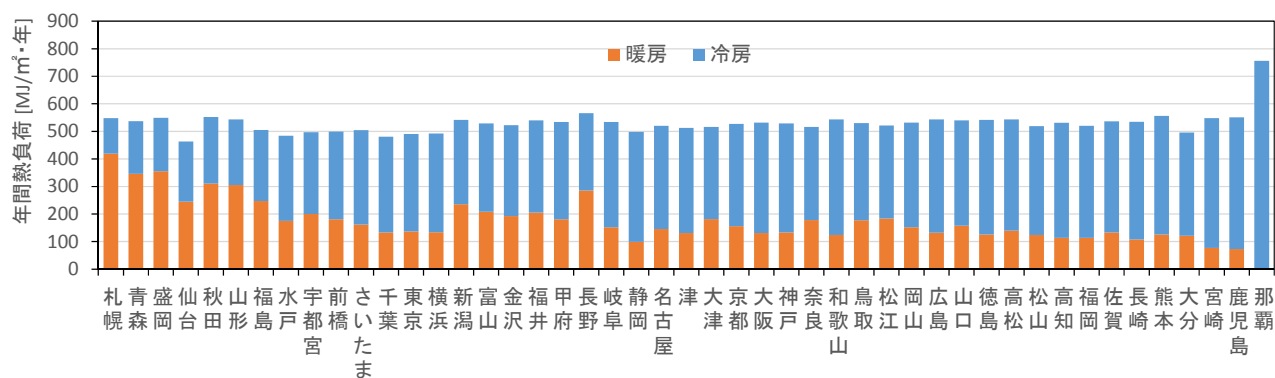
図 6.3.7 は、1 階建モデルを例として、都市間の暖冷房負荷を比較したものである。暖房負荷は、札幌が最も大きく、東北・北陸・甲信越地方の都市が暖房負荷の上位に並ぶ。一方、冷房負荷は、那覇、鹿児島順に多く、九州、四国など南に位置する都市が大きい。また、暖冷房の合計負荷では、那覇に次いで、札幌、青森等の暖房負荷の大きな都市が大きく、東京は最も合計負荷が小さい都市のグループに位置する。

なお、第 4 章のシミュレーション対象とした 3 都市は、暖房負荷の大きな札幌、冷房負荷の大きな鹿児島、合計負荷が比較的小さな東京との位置づけとなる。

(a) 1 階建



(b) 2 階建



(c) 3～9 階建

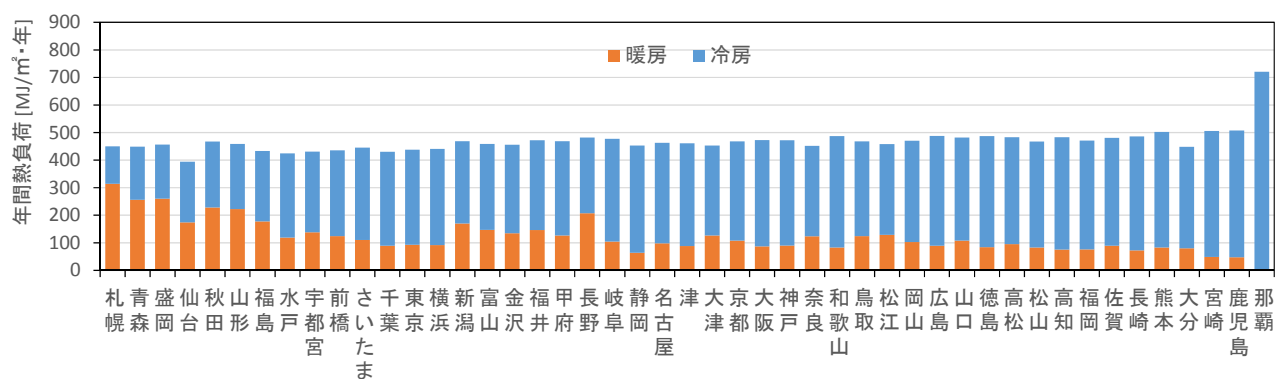
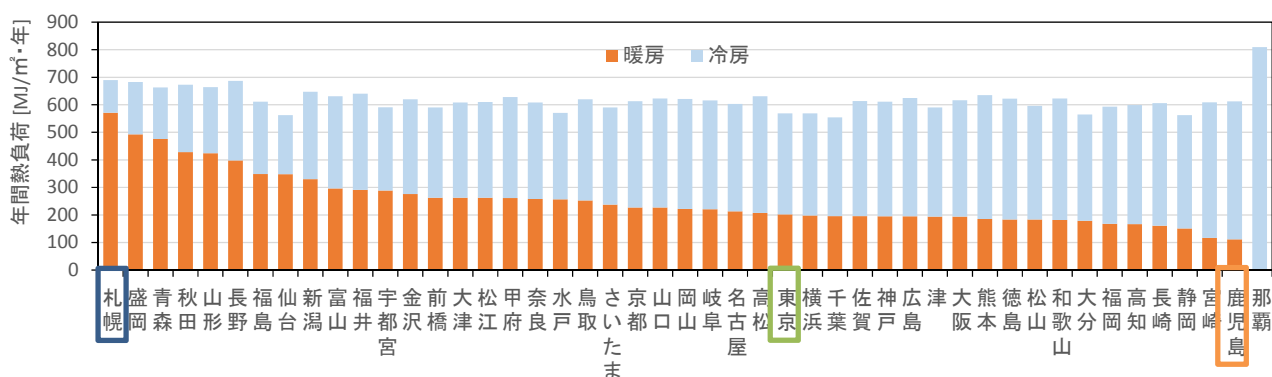
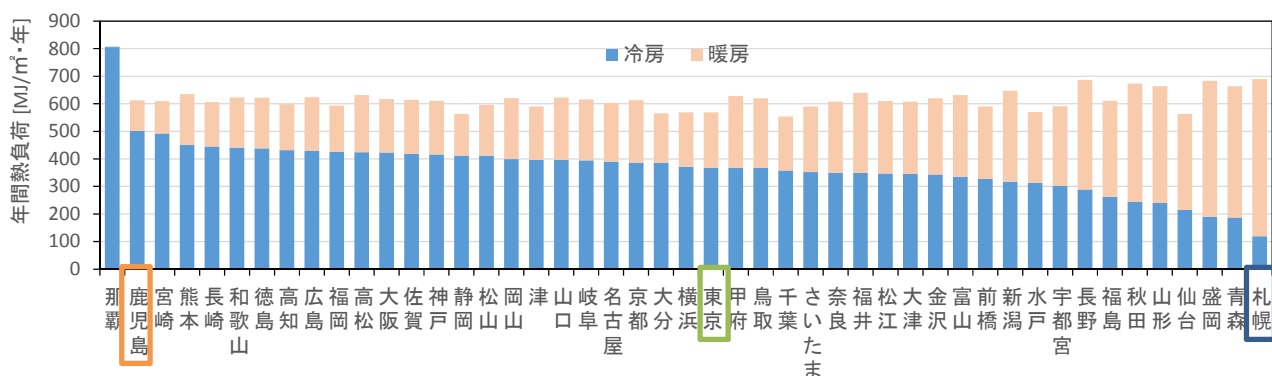


図 6.3.6 改修前・年間熱負荷(暖冷房)原単位(階数別、都道府県庁所在地)

(a) 暖房負荷の大きい順



(b) 冷房負荷の大きい順



(c) 暖冷房負荷合計の大きい順

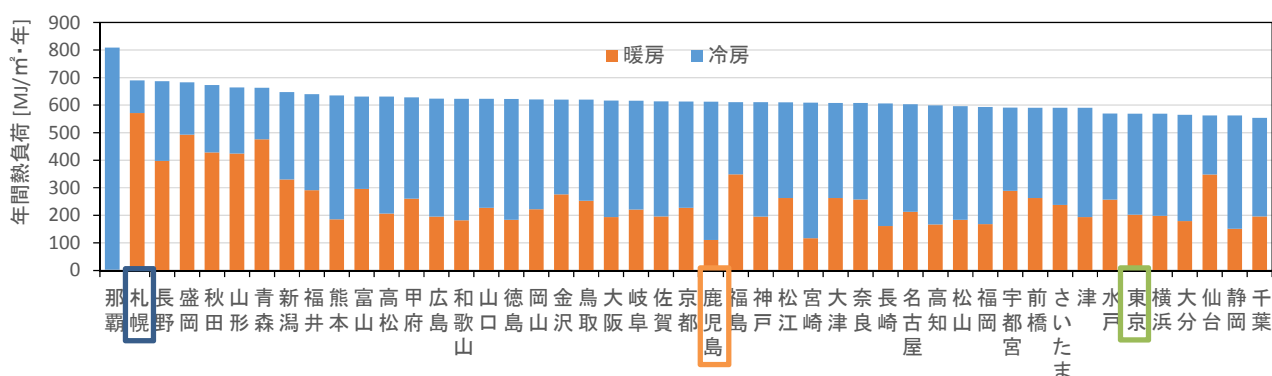


図 6.3.7 改修前・年間熱負荷原単位の都市間比較(1階建モデル、都道府県庁所在地)

(2) 熱負荷削減係数

第4章の簡易モデルによるシミュレーション結果から、改修前の年間暖房負荷と改修による負荷削減率（暖冷房合計）の関係を示したものが図6.3.8である。図6.3.8のそれぞれのプロットは、事務所、店舗、病院の各用途について、簡易モデルA1～C3の計算結果から求めた階数別平均値（表4.4.6～表4.4.11）を示している。事務所、店舗、病院の用途の違いは年間暖房負荷の違いと考え、階数別に年間暖房負荷と負荷削減率との線形近似による回帰式を求めると、いずれも高い相関が見られる結果となった。

本推計では、図6.3.8で求めた回帰式を用いて、都道府県別の熱負荷削減効果を算出する。階数別の回帰式を表6.3.2にまとめる。階数別の回帰式に、図6.3.6で求めた都道府県別の年間暖房負荷原単位を当てはめて、都道府県別に外皮改修による階数別の年間暖冷房負荷の削減率を求めたものが図6.3.9である。図6.3.9の削減率を本論文では「熱負荷削減係数」と称する。階数別の熱負荷削減係数を階数別の改修対象年間熱負荷に乘じることで、都道府県別の年間暖冷房負荷の削減量が求まる。

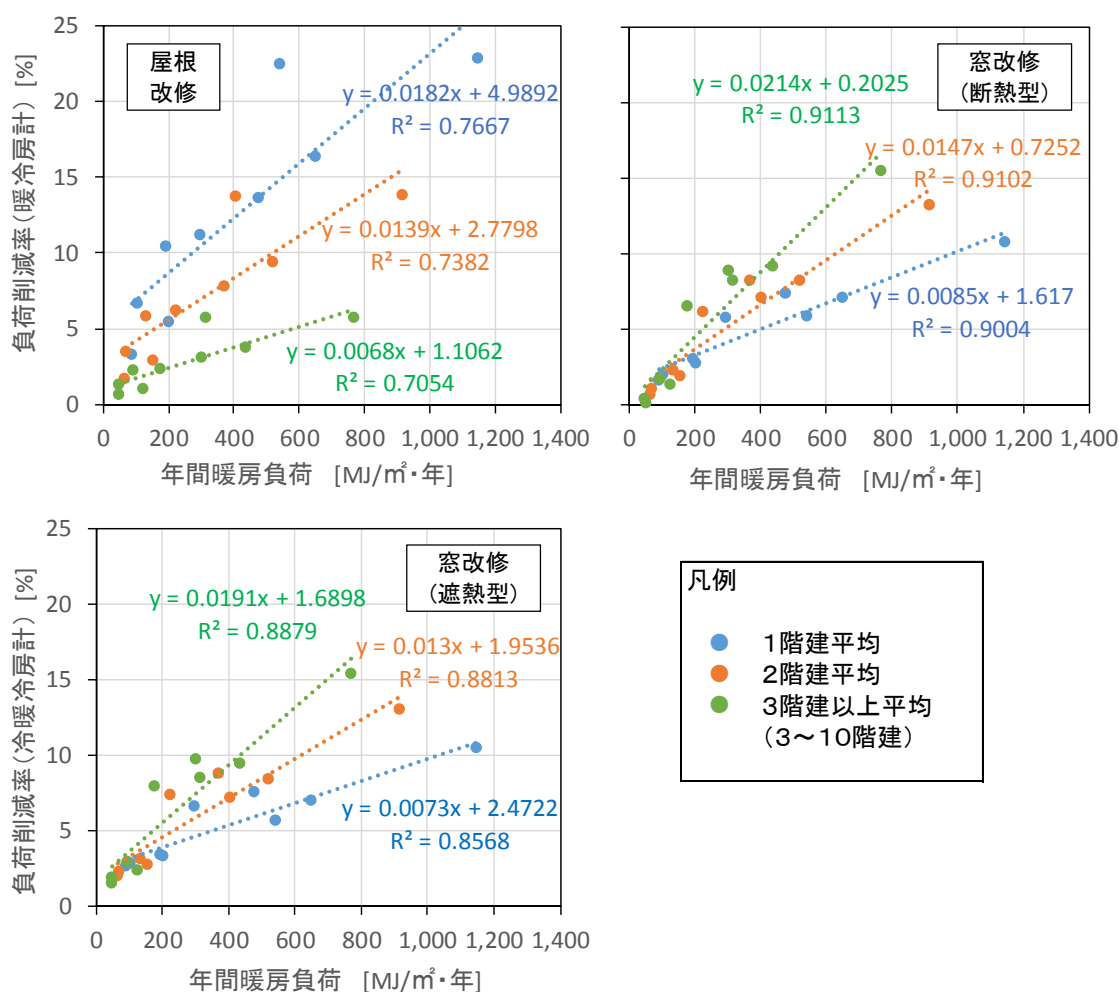
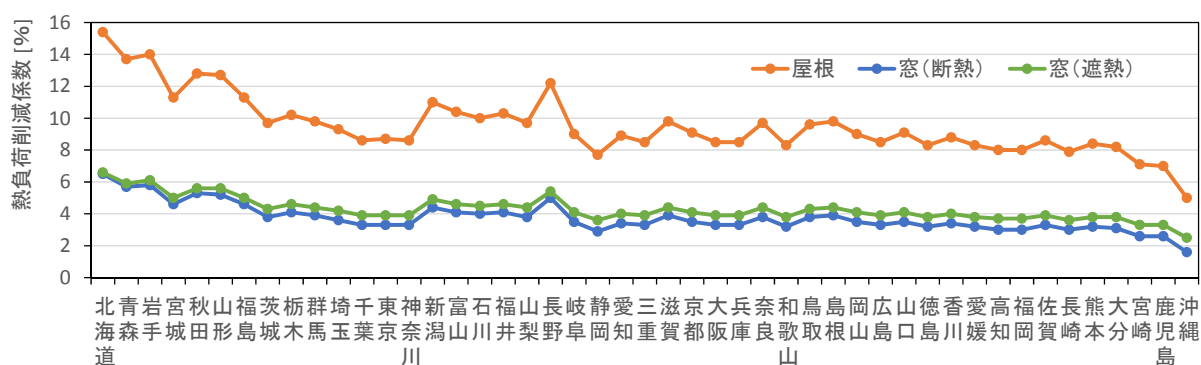


図 6.3.8 簡易モデルのシミュレーション結果による年間暖房負荷と熱負荷削減率の関係

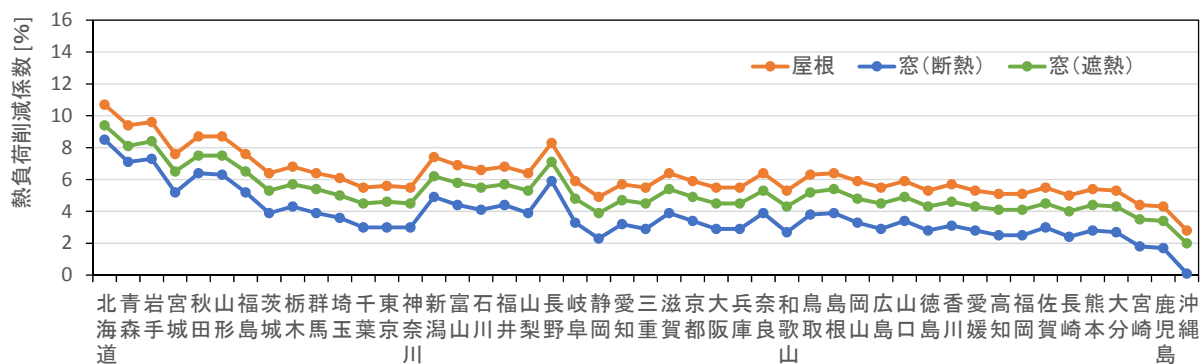
表 6.3.2 外皮改修手法別の負荷削減率の回帰式

	1階建			2階建			3階建以上		
	屋根改修	窓改修 (断熱型)	窓改修 (遮熱型)	屋根改修	窓改修 (断熱型)	窓改修 (遮熱型)	屋根改修	窓改修 (断熱型)	窓改修 (遮熱型)
傾き	0.0182	0.0085	0.0073	0.0139	0.0147	0.013	0.0068	0.0214	0.0191
切片	4.9892	1.617	2.4722	2.7798	0.07252	1.9536	1.1062	0.2025	1.6898
相関係数	0.88	0.95	0.93	0.86	0.95	0.94	0.84	0.95	0.94

(a) 1 階建



(b) 2 階建



(c) 3 階建

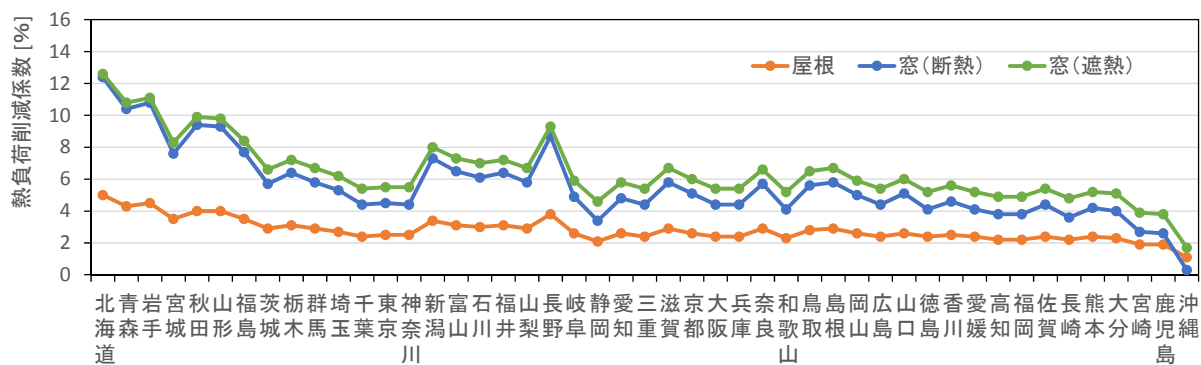


図 6.3.9 都道府県別の熱負荷削減係数

6.3.5 建築外皮改修による省エネルギーポテンシャルの推計結果

(1) 屋根改修及び窓改修の都道府県別熱負荷効果

屋根改修及び窓改修（Low-e 複層ガラス：断熱型、遮熱型）における改修対象の都道府県別年間暖冷房負荷と、年間暖冷房負荷削減量をまとめたものが図 6.3.10、図 6.3.11 である。

屋根改修によって期待される暖冷房負荷削減量は、北海道、東京、愛知、大阪の順に多く、特に北海道の1階建における削減量が多い。また、東北から北関東の各県でも一定の削減量が見込まれるとの結果であった（図 6.3.10）。

窓改修によって期待される暖房負荷削減量は、北海道、東京、大阪、愛知の順に多く、いずれも3～9階建の削減量が多い。また、窓改修において、Low-e 複層ガラスの断熱型と遮熱型を比較すると、全体に遮熱型のケースが削減量は多く、関東以西では断熱型との差も大きくなる（図 6.3.11）。

屋根改修、窓改修のそれぞれの改修対象建物における年間冷暖房負荷を基準として、外皮改修による年間熱負荷の削減率を示したものが図 6.3.12 である。全体に屋根改修の削減率が窓改修の削減率よりも高く、全国平均では、屋根改修の削減率は6%、窓改修の削減率は4～5%削減となる。都道府県別では、北海道、東北、北関東、北陸、山陰で屋根改修の効果が高く、北海道、青森、岩手では10%を超える削減効果が期待される。また、東京、千葉、神奈川、大阪では、屋根改修よりも窓改修（遮熱型）の削減率が高く、これは地上階数の高い建築物が多い都道府県において窓改修の効果が高いものと考えられる。

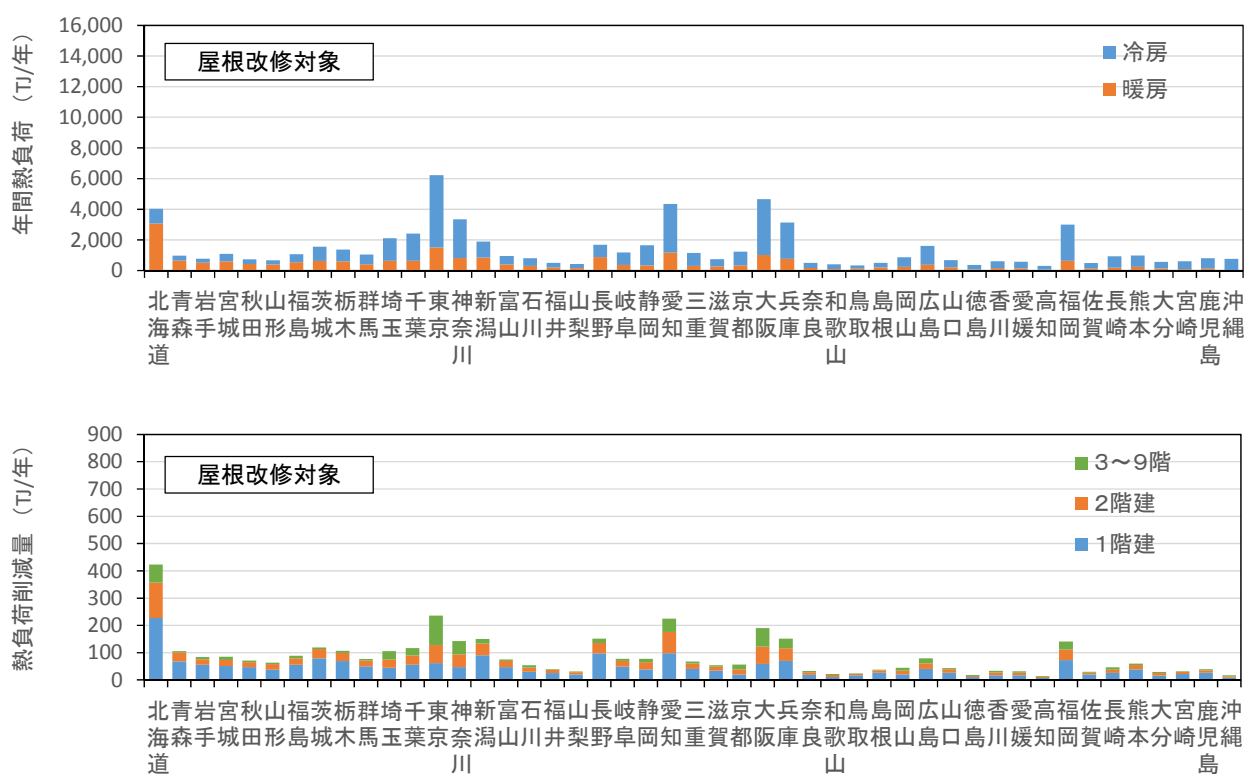


図 6.3.10 屋根改修対象建築物における都道府県別の年間熱負荷と熱負荷削減量

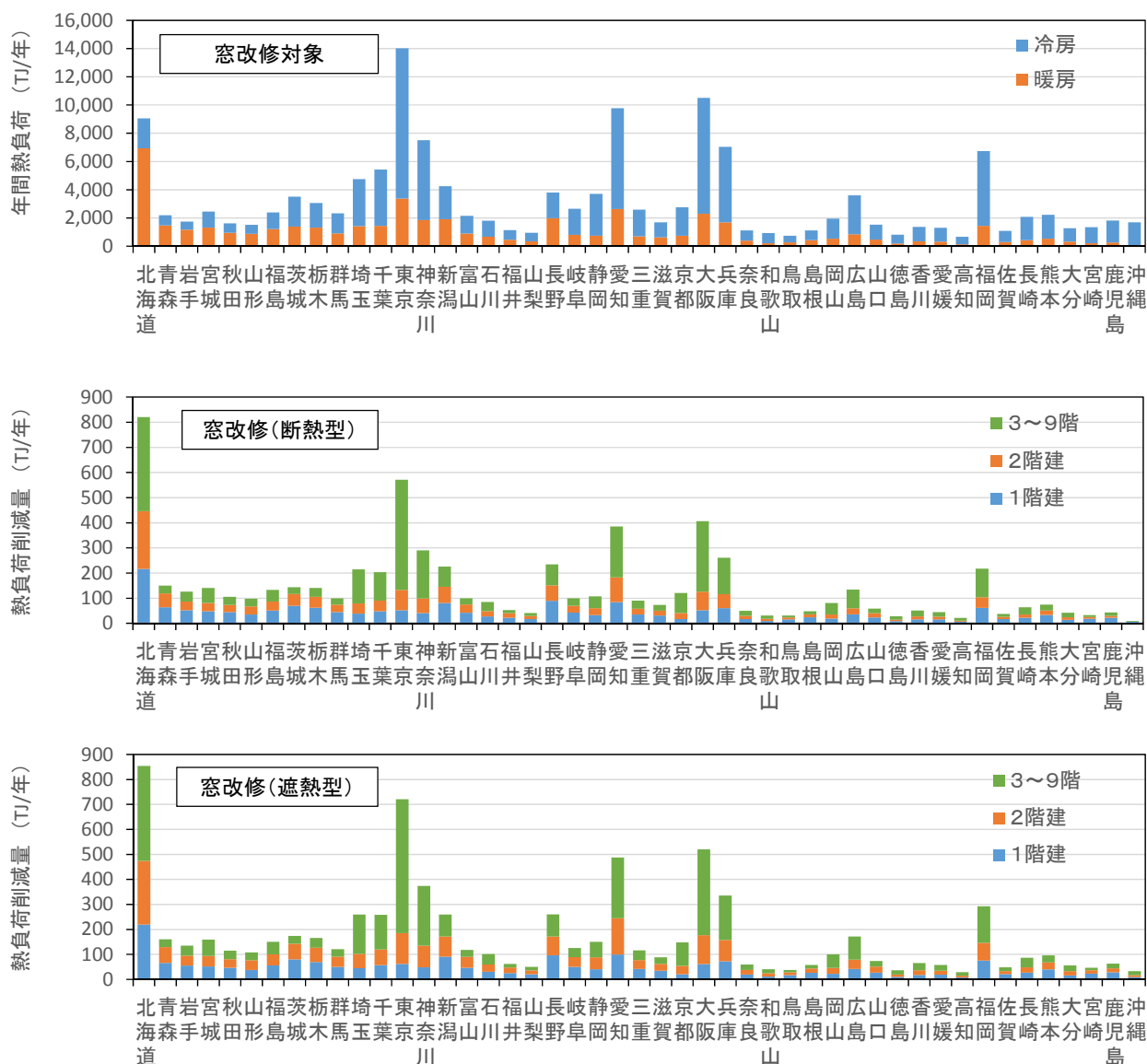


図 6.3.11 窓改修対象建築物における都道府県別の年間熱負荷と熱負荷削減量(暖冷房)

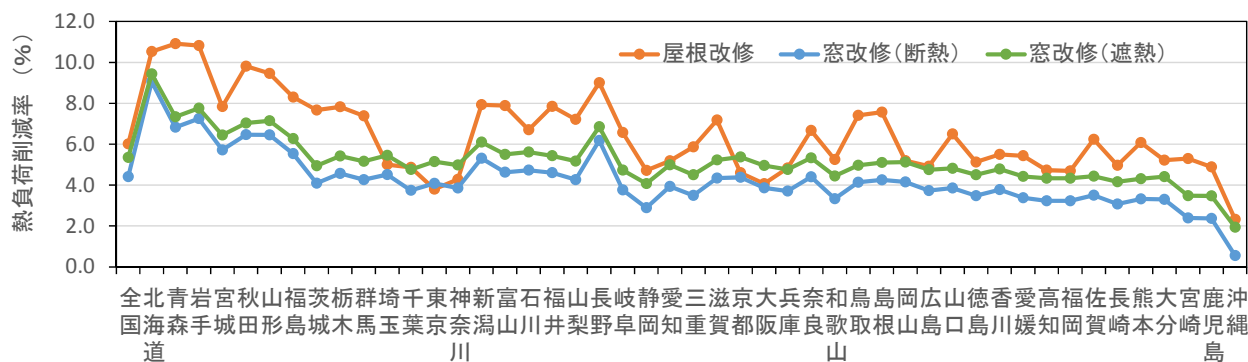


図 6.3.12 屋根改修・窓改修の改修対象建物における都道府県別の熱負荷削減率(暖冷房合計)

(2) ストック全体における屋根改修及び窓改修の省エネルギーポテンシャル

本推計で対象とする「建築ストック統計」における「非住宅（法人等）、事務所・店舗」のストック床面積全体での都道府県別の年間暖冷房負荷と屋根改修及び窓改修による熱負荷削減率を図 6.3.13 に示す。全国平均で見たストック全体に対する負荷削減率は、屋根改修が 1.4%、窓改修（断熱型）が 2.3%で、屋根改修に比べて、窓改修の改修対象面積が多いため、窓改修の削減効果が大きい。都道府県別に見ると、屋根改修と窓改修をあわせた削減率は、北海道、青森、秋田が 7%前後で最も高く、東京が 2%、沖縄が約 1%で最も低いとの結果であった。

全国の外皮改修に関する省エネルギーポテンシャルの推計結果を図 6.3.14、図 6.3.15 にまとめる。図 6.3.14 は全国合計の計算結果について、本推計の流れに沿って年間暖冷房負荷と削減量をまとめたものである。屋根改修の対象として想定した年間暖冷房負荷はストック全体の 24%で、期待される負荷削減量はストック全体の 1.4%に相当する。窓改修の対象として想定した年間暖冷房負荷はストック全体の 53%で、窓改修（断熱型）で期待される負荷削減量はストック全体の 4.4%に相当する。また、図 6.3.15 は屋根改修、窓改修の改修対象について、階数別に改修前後の年間暖冷房負荷を比較したものである。負荷削減量の絶対値としては、窓改修（遮熱型）の 3～9 階建、2 階建、1 階建、屋根改修の 2 階建の順に多く、改修対象に対する削減率では、屋根改修の 2 階建、1 階建、窓改修（遮熱型）の 3 階建の順に高い。屋根改修では 1、2 階建と 3～9 階建で削減率の差が大きい、窓改修では階数による差は小さいことも特徴である。

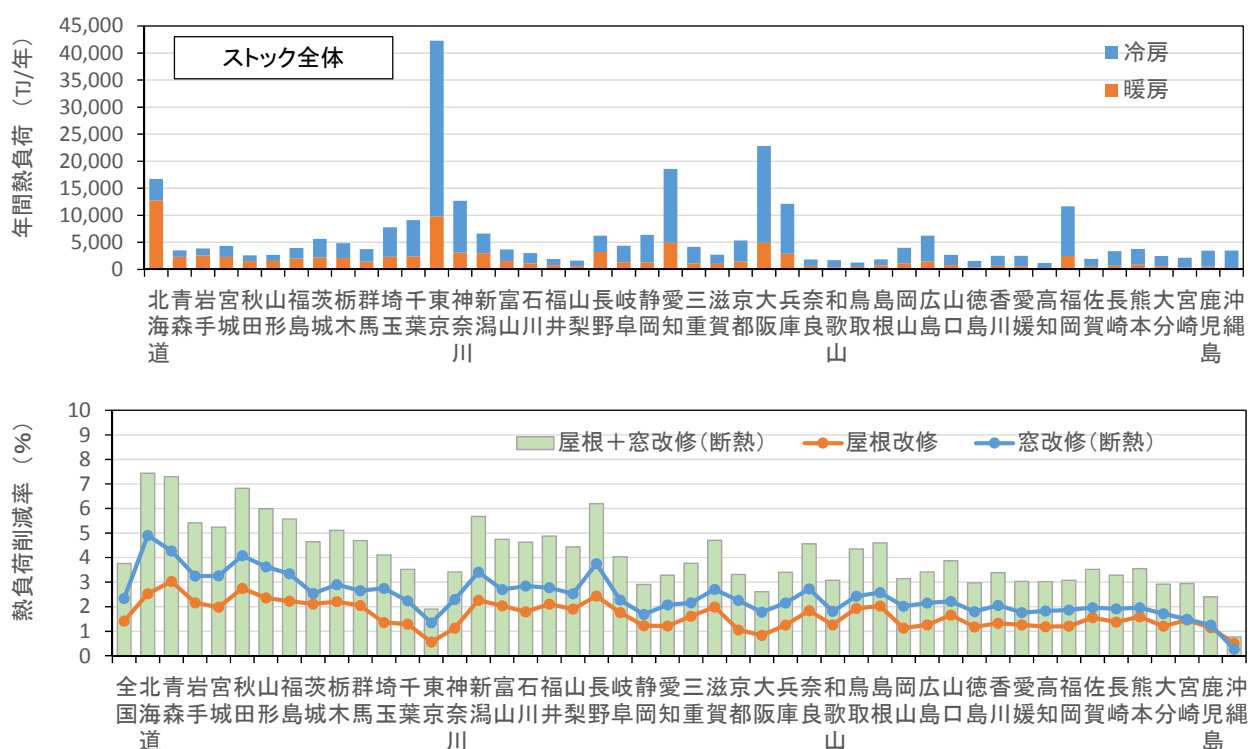


図 6.3.13 ストック全体(非住宅・法人、事務所・店舗)における
年間熱負荷と屋根改修・窓改修の熱負荷削減率(暖冷房)

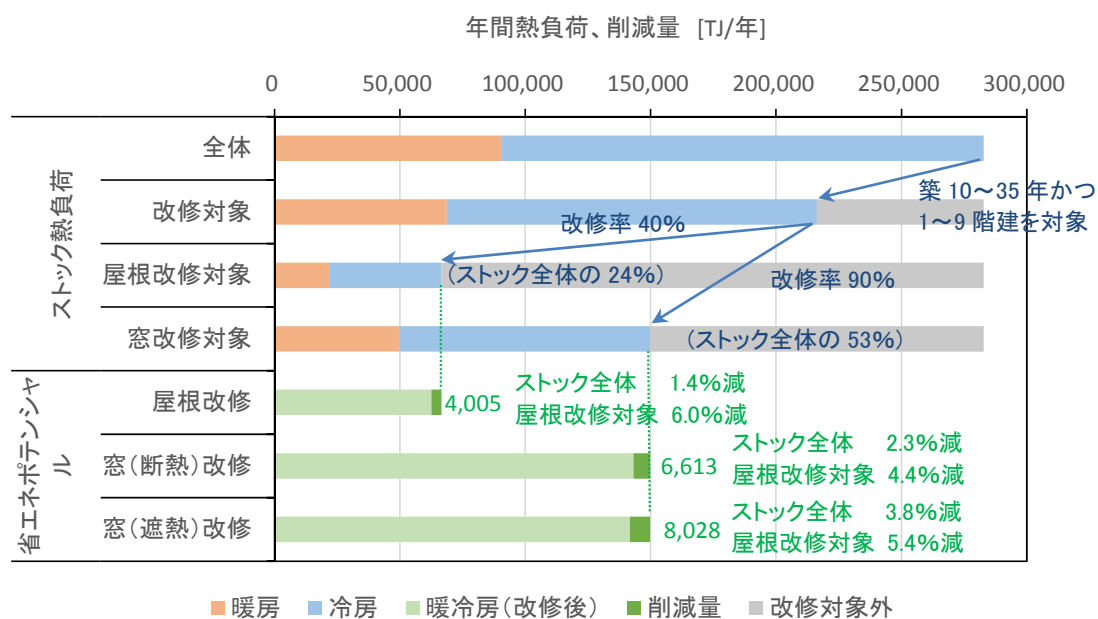


図 6.3.14 屋根改修・窓改修の省エネルギーポテンシャルのまとめ(全国合計)

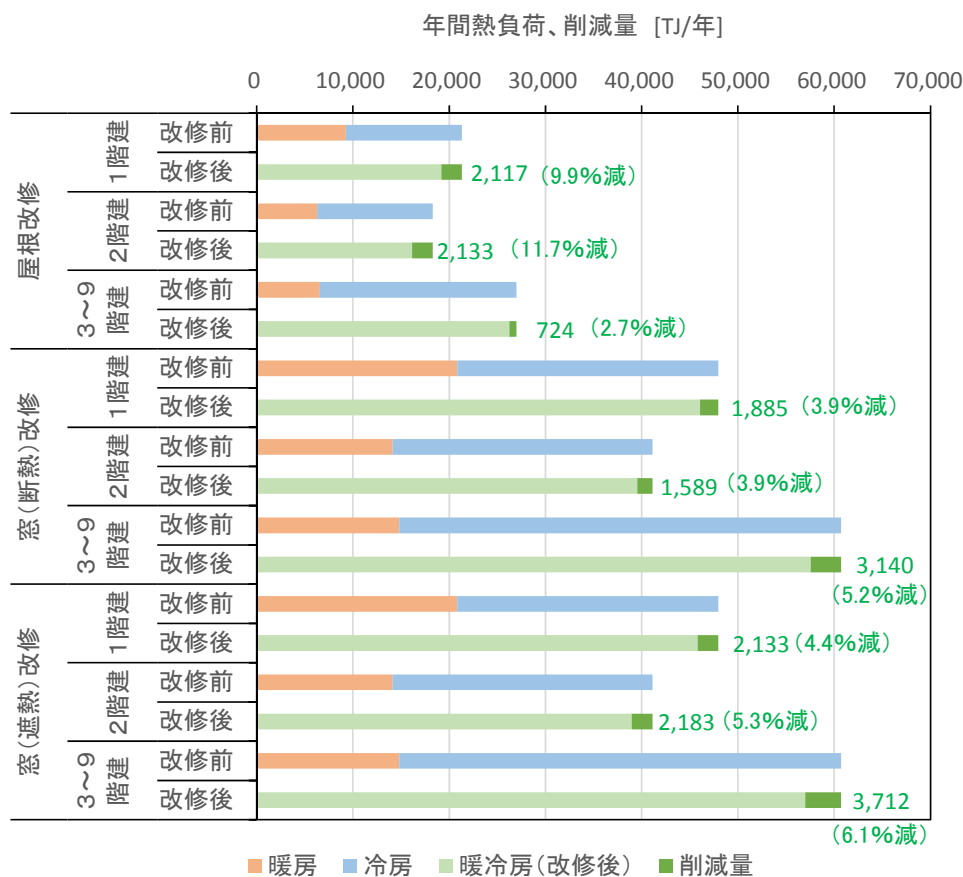


図 6.3.15 屋根改修・窓改修の熱負荷削減効果の内訳(全国合計)

表 6.3.3 都道府県別ストック床面積（非住宅・法人等、事務所・店舗）

		築年数別床面積（万㎡）			階数別 床面積割合				地上階数別床面積（万㎡） （築10～34年）			
		35年 以上	10～ 34年	10年 未満	1階	2階	3-9階	10階～	1階	2階	3-9階	10階
0	全国	16,767	35,491	3,152	24	25	42	9	9	8,669	8,797	14,955
1	北海道	1,010	1,940	124	28	28	38	6	6	534	551	744
2	青森	148	438	25	43	37	17	4	4	188	161	73
3	岩手	264	335	65	44	29	26	1	1	146	96	87
4	宮城	253	620	52	33	25	36	7	7	203	154	222
5	秋田	113	310	20	44	29	26	0	0	138	91	82
6	山形	160	297	18	38	36	27	0	0	112	106	79
7	福島	201	506	47	40	30	30	0	0	202	152	152
8	茨城	242	797	71	45	34	16	5	5	360	273	124
9	栃木	226	662	36	43	34	21	2	2	285	223	141
10	群馬	167	503	49	43	34	22	1	1	214	169	113
11	埼玉	376	1,110	120	18	23	57	2	2	202	250	633
12	千葉	513	1,330	94	22	24	50	4	4	292	324	665
13	東京	3,256	5,384	730	6	11	46	37	37	309	607	2,471
14	神奈川	691	1,866	139	13	23	59	5	5	242	434	1,097
15	新潟	284	846	54	38	32	31	0	0	317	268	260
16	富山	186	442	37	40	35	21	3	3	179	157	92
17	石川	143	387	39	32	28	38	2	2	123	110	146
18	福井	92	226	15	42	35	21	2	2	96	80	47
19	山梨	79	203	11	40	30	24	5	5	81	62	49
20	長野	303	723	35	40	29	30	1	1	290	207	220
21	岐阜	216	537	42	41	32	27	1	1	221	171	143
22	静岡	363	846	71	26	32	39	2	2	222	273	334
23	愛知	1,045	2,321	299	20	28	43	8	8	459	658	1,009
24	三重	168	567	65	35	30	31	3	3	200	171	176
25	滋賀	125	351	29	41	31	27	0	0	145	109	96
26	京都	372	632	61	14	23	59	4	4	89	148	370
27	大阪	1,833	2,566	150	11	21	58	10	10	282	538	1,494
28	兵庫	654	1,608	89	21	25	48	6	6	335	399	775
29	奈良	85	245	15	33	29	34	4	4	82	71	83
30	和歌山	112	188	12	28	34	38	0	0	53	63	71
31	鳥取	69	151	8	47	28	22	2	2	72	43	33
32	島根	97	235	9	47	28	22	3	3	110	66	52
33	岡山	282	453	40	21	23	48	8	8	95	106	216
34	広島	359	768	44	25	22	51	2	2	191	170	389
35	山口	147	320	15	37	31	27	5	5	119	100	86
36	徳島	108	169	13	29	24	45	1	1	49	41	77
37	香川	138	295	32	27	27	41	5	5	80	80	120
38	愛媛	154	302	26	30	28	35	8	8	90	83	104
39	高知	72	142	12	28	24	48	0	0	39	34	69
40	福岡	590	1,548	133	25	24	45	6	6	384	364	704
41	佐賀	105	217	26	44	26	29	0	0	96	57	64
42	長崎	163	439	23	31	25	42	2	2	137	111	183
43	熊本	183	443	35	41	29	27	3	3	183	128	119
44	大分	157	286	50	30	31	39	0	0	85	87	112
45	宮崎	99	265	20	48	30	22	0	0	127	79	59
46	鹿児島	190	390	35	40	24	28	8	8	154	94	111
47	沖縄	171	284	16	18	19	52	11	11	52	52	149

出典）築年数別ストック面積：「建築ストック統計（2008年）」から、2015年基準の築年数として算定
 地上階数別割合：「建築着工統計（2011～2014年計）」から4年平均として算定

表 6.3.4 都道府県別の外皮対象面積(非住宅・法人等、事務所・店舗)

	ストック 合計 (万㎡)	屋根改修						窓改修					
		改修対象面積 (万㎡)				割合 (%)		改修対象面積 (万㎡)				割合 (%)	
		1階	2階	3-9階	計			1階	2階	3-9階	計		
0 全国	55,410	3,468	3,519	5,982	12,969	23		7,802	7,917	13,460	29,179	53	
1 北海道	3,074	214	220	297	732	24		481	496	669	1,646	54	
2 青森	612	75	64	29	168	28		169	145	65	379	62	
3 岩手	664	59	39	35	132	20		132	87	78	297	45	
4 宮城	925	81	62	89	232	25		183	139	199	521	56	
5 秋田	442	55	36	33	124	28		124	82	74	279	63	
6 山形	475	45	42	32	119	25		101	95	71	267	56	
7 福島	754	81	61	61	203	27		182	137	137	456	60	
8 茨城	1,109	144	109	50	303	27		324	245	112	681	61	
9 栃木	924	114	89	56	260	28		257	201	127	585	63	
10 群馬	719	86	68	45	198	28		193	152	102	446	62	
11 埼玉	1,605	81	100	253	434	27		182	225	570	977	61	
12 千葉	1,937	117	129	266	512	26		262	291	599	1,152	59	
13 東京	9,370	124	243	989	1,355	14		278	546	2,224	3,048	33	
14 神奈川	2,695	97	173	439	709	26		218	390	987	1,595	59	
15 新潟	1,184	127	107	104	338	29		286	241	234	761	64	
16 富山	665	72	63	37	171	26		161	141	83	386	58	
17 石川	569	49	44	58	152	27		111	99	131	341	60	
18 福井	334	38	32	19	89	27		86	72	42	200	60	
19 山梨	293	32	25	20	77	26		73	55	44	173	59	
20 長野	1,061	116	83	88	287	27		261	186	198	645	61	
21 岐阜	796	88	68	57	214	27		199	154	129	481	60	
22 静岡	1,280	89	109	134	331	26		200	245	300	745	58	
23 愛知	3,666	183	263	404	850	23		413	593	908	1,913	52	
24 三重	800	80	68	70	219	27		180	154	158	492	62	
25 滋賀	504	58	44	38	140	28		130	98	86	315	62	
26 京都	1,065	36	59	148	243	23		80	133	333	547	51	
27 大阪	4,549	113	215	597	925	20		254	484	1,344	2,082	46	
28 兵庫	2,350	134	160	310	604	26		302	360	697	1,359	58	
29 奈良	345	33	29	33	94	27		74	64	74	212	62	
30 和歌山	311	21	25	29	75	24		48	57	64	169	54	
31 鳥取	228	29	17	13	59	26		65	39	30	133	58	
32 島根	341	44	27	21	91	27		99	60	46	205	60	
33 岡山	774	38	42	86	166	21		85	95	194	375	48	
34 広島	1,172	77	68	155	300	26		172	153	350	675	58	
35 山口	482	48	40	34	122	25		108	90	78	275	57	
36 徳島	291	20	16	31	67	23		45	37	69	150	52	
37 香川	465	32	32	48	112	24		72	72	108	252	54	
38 愛媛	482	36	33	42	111	23		81	75	94	249	52	
39 高知	226	16	14	27	57	25		35	31	62	128	57	
40 福岡	2,272	154	146	282	581	26		346	328	633	1,307	58	
41 佐賀	349	39	23	26	87	25		87	52	57	196	56	
42 長崎	625	55	44	73	172	28		123	100	165	388	62	
43 熊本	661	73	51	48	172	26		165	115	108	387	59	
44 大分	493	34	35	45	114	23		76	79	101	256	52	
45 宮崎	383	51	32	24	106	28		115	71	53	238	62	
46 鹿児島	615	62	38	44	144	23		139	85	100	323	53	
47 沖縄	471	21	21	60	101	22		47	47	134	228	48	

注) 改修実施率は事業者アンケート(第3章)に基づいて、屋根改修 40%、窓改修 90%と想定

表 6.3.5 都道府県庁所在地における年間熱負荷原単位(暖房)の算定結果

		地上階数別年間熱負荷原単位:暖房 (MJ/m ² ・年)										
		1階	2階	3階	4階	5階	6階	7階	8階	9階	10階	3階～平均
1	札幌	571	419	368	343	328	318	310	305	301	297	314
2	青森	476	346	303	281	268	259	253	248	245	242	256
3	盛岡	493	355	309	287	273	264	257	252	248	245	260
4	仙台	348	245	211	194	184	177	172	168	166	163	174
5	秋田	428	310	271	251	239	231	226	221	218	216	228
6	山形	424	305	265	245	233	225	220	215	212	210	222
7	福島	349	247	213	196	186	179	174	171	168	166	177
8	水戸	257	175	148	135	127	121	117	114	112	110	119
9	宇都宮	289	200	170	155	146	140	136	132	130	128	138
10	前橋	263	181	153	140	131	126	122	119	117	115	124
11	さいたま	238	162	137	125	117	112	108	106	104	102	110
12	千葉	196	133	111	101	94	90	87	85	83	82	89
13	東京	202	137	116	105	99	94	91	89	87	86	93
14	横浜	198	134	113	103	96	92	89	87	85	84	91
15	新潟	330	236	204	188	179	173	168	165	162	160	170
16	富山	296	208	178	164	155	149	145	142	139	137	147
17	石川	276	192	165	151	143	137	133	130	128	126	135
18	福井	291	205	177	163	154	148	144	141	139	137	146
19	甲府	261	181	155	142	134	128	125	122	119	118	126
20	長野	398	285	248	229	218	210	205	201	198	195	207
21	岐阜	221	152	129	118	111	106	103	101	99	97	104
22	静岡	151	99	82	74	69	65	63	61	59	58	64
23	名古屋	213	145	122	111	104	99	96	94	92	90	98
24	津	194	131	110	100	93	89	86	84	82	81	88
25	大津	263	182	155	142	133	128	124	121	119	117	126
26	京都	227	156	133	121	114	110	106	104	102	100	108
27	大阪	194	131	110	99	93	89	86	84	82	80	87
28	神戸	195	133	112	102	95	91	88	86	84	83	90
29	奈良	258	178	152	138	130	125	121	118	116	114	123
30	和歌山	182	124	104	95	89	85	82	80	78	77	83
31	鳥取	253	177	151	138	131	126	122	119	117	115	124
32	松江	263	184	157	144	136	131	127	125	122	121	129
33	岡山	222	152	128	117	110	105	102	99	97	96	103
34	広島	195	132	111	101	94	90	87	85	83	82	89
35	山口	227	157	133	121	114	109	106	104	102	100	108
36	徳島	184	125	106	96	90	86	83	81	79	78	84
37	高松	207	140	118	107	101	96	93	91	89	87	95
38	松山	184	124	104	94	88	84	81	79	78	76	83
39	高知	167	113	94	85	80	76	74	72	70	69	75
40	福岡	168	113	95	86	81	77	74	72	71	70	76
41	佐賀	196	133	112	101	95	91	87	85	83	82	89
42	長崎	161	108	91	82	77	73	71	69	67	66	72
43	熊本	185	125	105	95	89	85	82	80	78	77	83
44	大分	179	121	101	92	86	82	79	77	75	74	80
45	宮崎	117	77	63	57	53	50	48	46	45	44	49
46	鹿児島	111	73	60	54	50	48	46	45	43	43	47
47	那覇	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

注) 簡易モデル A1~C3 のシミュレーション結果による地上階数別の平均値

表 6.3.6 都道府県庁所在地における年間熱負荷原単位(冷房)の算定結果

		地上階数別年間熱負荷原単位: 冷房 (MJ/m ² ・年)										
		1階	2階	3階	4階	5階	6階	7階	8階	9階	10階	3階～平均
1	札幌	119	129	132	134	135	136	136	137	137	137	136
2	青森	187	191	192	192	193	193	193	193	194	194	193
3	盛岡	190	194	196	196	197	197	197	197	198	198	197
4	仙台	215	218	219	220	220	220	220	220	221	221	220
5	秋田	245	242	241	240	240	240	239	239	239	239	239
6	山形	240	238	238	237	237	237	237	237	237	237	237
7	福島	262	258	257	257	256	256	256	256	256	256	256
8	水戸	313	309	308	307	306	306	306	306	306	306	306
9	宇都宮	302	297	295	294	294	293	293	293	293	292	293
10	前橋	327	318	315	313	312	311	311	311	310	310	311
11	さいたま	352	342	338	337	336	335	334	334	334	333	335
12	千葉	358	348	344	343	342	341	340	340	340	340	341
13	東京	367	354	350	348	346	346	345	344	344	344	345
14	横浜	371	358	354	352	351	350	349	349	349	348	350
15	新潟	317	306	302	301	300	299	298	298	298	297	299
16	富山	335	321	317	315	314	313	312	312	311	311	312
17	石川	344	331	326	324	323	322	321	321	320	320	321
18	福井	349	335	331	329	327	326	326	325	325	325	326
19	甲府	367	353	348	346	345	344	343	343	342	342	343
20	長野	289	281	278	277	276	276	275	275	275	274	275
21	岐阜	395	382	378	376	374	373	373	372	372	372	373
22	静岡	412	399	394	392	391	390	389	388	388	388	389
23	名古屋	390	375	371	368	367	366	365	364	364	364	365
24	津	396	382	377	375	374	373	372	372	371	371	373
25	大津	345	334	331	329	328	327	327	327	326	326	327
26	京都	386	371	365	363	361	360	359	359	358	358	360
27	大阪	423	401	394	390	388	386	385	385	384	383	386
28	神戸	416	396	389	386	384	383	382	381	381	380	382
29	奈良	350	338	334	332	330	330	329	329	328	328	329
30	和歌山	441	419	412	408	406	405	404	403	402	402	404
31	鳥取	367	353	349	346	345	344	343	343	342	342	344
32	松江	347	337	333	331	330	329	329	329	328	328	329
33	岡山	399	380	374	371	369	368	367	366	365	365	367
34	広島	429	411	405	402	401	399	399	398	398	397	399
35	山口	396	383	379	376	375	374	374	373	373	373	374
36	徳島	438	417	411	407	405	404	403	402	402	401	403
37	高松	424	403	396	392	390	388	387	387	386	385	388
38	松山	412	395	390	387	386	385	384	383	383	382	384
39	高知	432	418	413	411	409	408	408	407	407	406	408
40	福岡	425	407	401	398	396	395	394	394	393	393	395
41	佐賀	418	403	398	395	394	393	392	392	391	391	392
42	長崎	445	427	421	418	416	414	414	413	412	412	414
43	熊本	450	431	425	422	421	419	418	418	417	417	419
44	大分	386	375	372	370	369	368	368	367	367	367	368
45	宮崎	492	471	465	461	459	458	457	456	455	455	457
46	鹿児島	501	478	470	466	464	462	461	460	459	459	461
47	那覇	806	754	737	728	723	720	717	716	714	713	719

注) 簡易モデル A1~C3 のシミュレーション結果による地上階数別の平均値

表 6.3.7 都道府県別の熱負荷削減係数

		熱負荷削減係数 (%)								
		屋根改修			窓改修 (Low-e複層 : 断熱)			窓改修 (Low-e複層 : 遮熱)		
		1階	2階	3-9階	1階	2階	3-9階	1階	2階	3-9階
1	北海道	15.4	10.7	5.0	6.5	8.5	12.4	6.6	9.4	12.6
2	青森	13.7	9.4	4.3	5.7	7.1	10.4	5.9	8.1	10.8
3	岩手	14.0	9.6	4.5	5.8	7.3	10.8	6.1	8.4	11.1
4	宮城	11.3	7.6	3.5	4.6	5.2	7.6	5.0	6.5	8.3
5	秋田	12.8	8.7	4.0	5.3	6.4	9.4	5.6	7.5	9.9
6	山形	12.7	8.7	4.0	5.2	6.3	9.3	5.6	7.5	9.8
7	福島	11.3	7.6	3.5	4.6	5.2	7.7	5.0	6.5	8.4
8	茨城	9.7	6.4	2.9	3.8	3.9	5.7	4.3	5.3	6.6
9	栃木	10.2	6.8	3.1	4.1	4.3	6.4	4.6	5.7	7.2
10	群馬	9.8	6.4	2.9	3.9	3.9	5.8	4.4	5.4	6.7
11	埼玉	9.3	6.1	2.7	3.6	3.6	5.3	4.2	5.0	6.2
12	千葉	8.6	5.5	2.4	3.3	3.0	4.4	3.9	4.5	5.4
13	東京	8.7	5.6	2.5	3.3	3.0	4.5	3.9	4.6	5.5
14	神奈川	8.6	5.5	2.5	3.3	3.0	4.4	3.9	4.5	5.5
15	新潟	11.0	7.4	3.4	4.4	4.9	7.3	4.9	6.2	8.0
16	富山	10.4	6.9	3.1	4.1	4.4	6.5	4.6	5.8	7.3
17	石川	10.0	6.6	3.0	4.0	4.1	6.1	4.5	5.5	7.0
18	福井	10.3	6.8	3.1	4.1	4.4	6.4	4.6	5.7	7.2
19	山梨	9.7	6.4	2.9	3.8	3.9	5.8	4.4	5.3	6.7
20	長野	12.2	8.3	3.8	5.0	5.9	8.7	5.4	7.1	9.3
21	岐阜	9.0	5.9	2.6	3.5	3.3	4.9	4.1	4.8	5.9
22	静岡	7.7	4.9	2.1	2.9	2.3	3.4	3.6	3.9	4.6
23	愛知	8.9	5.7	2.6	3.4	3.2	4.8	4.0	4.7	5.8
24	三重	8.5	5.5	2.4	3.3	2.9	4.4	3.9	4.5	5.4
25	滋賀	9.8	6.4	2.9	3.9	3.9	5.8	4.4	5.4	6.7
26	京都	9.1	5.9	2.6	3.5	3.4	5.1	4.1	4.9	6.0
27	大阪	8.5	5.5	2.4	3.3	2.9	4.4	3.9	4.5	5.4
28	兵庫	8.5	5.5	2.4	3.3	2.9	4.4	3.9	4.5	5.4
29	奈良	9.7	6.4	2.9	3.8	3.9	5.7	4.4	5.3	6.6
30	和歌山	8.3	5.3	2.3	3.2	2.7	4.1	3.8	4.3	5.2
31	鳥取	9.6	6.3	2.8	3.8	3.8	5.6	4.3	5.2	6.5
32	島根	9.8	6.4	2.9	3.9	3.9	5.8	4.4	5.4	6.7
33	岡山	9.0	5.9	2.6	3.5	3.3	5.0	4.1	4.8	5.9
34	広島	8.5	5.5	2.4	3.3	2.9	4.4	3.9	4.5	5.4
35	山口	9.1	5.9	2.6	3.5	3.4	5.1	4.1	4.9	6.0
36	徳島	8.3	5.3	2.4	3.2	2.8	4.1	3.8	4.3	5.2
37	香川	8.8	5.7	2.5	3.4	3.1	4.6	4.0	4.6	5.6
38	愛媛	8.3	5.3	2.4	3.2	2.8	4.1	3.8	4.3	5.2
39	高知	8.0	5.1	2.2	3.0	2.5	3.8	3.7	4.1	4.9
40	福岡	8.0	5.1	2.2	3.0	2.5	3.8	3.7	4.1	4.9
41	佐賀	8.6	5.5	2.4	3.3	3.0	4.4	3.9	4.5	5.4
42	長崎	7.9	5.0	2.2	3.0	2.4	3.6	3.6	4.0	4.8
43	熊本	8.4	5.4	2.4	3.2	2.8	4.2	3.8	4.4	5.2
44	大分	8.2	5.3	2.3	3.1	2.7	4.0	3.8	4.3	5.1
45	宮崎	7.1	4.4	1.9	2.6	1.8	2.7	3.3	3.5	3.9
46	鹿児島	7.0	4.3	1.9	2.6	1.7	2.6	3.3	3.4	3.8
47	沖縄	5.0	2.8	1.1	1.6	0.1	0.3	2.5	2.0	1.7

注) 都道府県別の年間暖房負荷と表 6.3.2 に示す回帰式から年間暖冷房負荷の削減割合として算定

表 6.3.8 都道府県別の年間熱負荷(暖冷房)の算定結果(ストック全体)

		ストック全体・年間熱負荷 (TJ/年)											
		1 階建			2 階建			3 階建以上			合計		
		暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計
0	全国	35,173	45,790	80,963	24,106	46,192	70,297	31,519	100,083	131,602	90,797	192,064	282,862
1	北海道	4,836	1,008	5,844	3,657	1,126	4,783	4,252	1,841	6,093	12,745	3,975	16,721
2	青森	1,246	490	1,736	777	429	1,205	322	242	564	2,345	1,161	3,505
3	岩手	1,432	552	1,983	679	371	1,050	473	359	832	2,584	1,282	3,866
4	宮城	1,056	652	1,708	563	501	1,064	682	863	1,545	2,301	2,016	4,317
5	秋田	841	481	1,322	401	313	715	266	279	544	1,508	1,073	2,581
6	山形	762	431	1,194	516	402	918	280	299	580	1,558	1,133	2,692
7	福島	1,053	790	1,843	559	584	1,142	400	579	980	2,012	1,953	3,965
8	茨城	1,289	1,570	2,858	664	1,172	1,836	272	699	971	2,225	3,441	5,666
9	栃木	1,152	1,204	2,356	624	927	1,551	295	626	921	2,071	2,757	4,828
10	群馬	806	1,002	1,807	437	768	1,206	212	533	745	1,455	2,303	3,758
11	埼玉	696	1,029	1,725	587	1,239	1,826	1,046	3,185	4,231	2,329	5,453	7,782
12	千葉	833	1,521	2,353	627	1,640	2,267	927	3,551	4,478	2,386	6,712	9,098
13	東京	1,088	1,976	3,063	1,446	3,737	5,183	7,232	26,828	34,060	9,766	32,541	42,307
14	神奈川	692	1,296	1,987	839	2,242	3,082	1,565	6,019	7,584	3,096	9,557	12,653
15	新潟	1,466	1,408	2,874	885	1,148	2,033	620	1,090	1,709	2,971	3,646	6,617
16	富山	797	902	1,698	491	757	1,248	236	500	736	1,523	2,159	3,682
17	石川	498	621	1,119	310	535	845	306	728	1,034	1,115	1,884	2,999
18	福井	410	492	902	242	395	637	109	244	353	761	1,131	1,892
19	山梨	305	428	733	161	314	475	110	299	408	576	1,041	1,617
20	長野	1,691	1,228	2,919	865	853	1,718	688	914	1,601	3,244	2,994	6,238
21	岐阜	722	1,290	2,012	385	967	1,351	225	807	1,031	1,331	3,064	4,395
22	静岡	507	1,384	1,891	408	1,646	2,055	340	2,069	2,410	1,256	5,099	6,355
23	愛知	1,543	2,825	4,367	1,507	3,899	5,406	1,864	6,941	8,805	4,914	13,665	18,578
24	三重	549	1,120	1,668	316	921	1,237	243	1,029	1,272	1,107	3,069	4,176
25	滋賀	547	717	1,264	285	523	807	176	458	634	1,008	1,698	2,705
26	京都	341	580	922	390	927	1,317	718	2,394	3,112	1,449	3,901	5,350
27	大阪	969	2,113	3,082	1,249	3,822	5,071	2,694	11,951	14,644	4,911	17,886	22,797
28	兵庫	957	2,041	2,997	777	2,313	3,089	1,148	4,874	6,023	2,882	9,227	12,109
29	奈良	297	402	699	179	340	519	159	425	584	635	1,168	1,802
30	和歌山	160	388	548	130	441	571	98	478	576	389	1,306	1,695
31	鳥取	274	397	671	115	229	344	69	190	259	457	816	1,273
32	島根	421	555	976	177	323	500	110	281	391	707	1,159	1,867
33	岡山	360	647	1,008	275	687	961	444	1,583	2,028	1,079	2,917	3,996
34	広島	569	1,252	1,821	342	1,065	1,407	553	2,477	3,030	1,463	4,794	6,257
35	山口	408	712	1,120	236	575	811	165	570	735	808	1,857	2,665
36	徳島	157	373	529	87	292	379	114	548	663	358	1,213	1,571
37	香川	260	533	794	176	507	683	203	829	1,032	640	1,870	2,509
38	愛媛	264	591	855	165	525	689	171	789	960	599	1,905	2,504
39	高知	104	269	374	62	228	290	82	445	527	248	943	1,190
40	福岡	946	2,394	3,341	604	2,176	2,780	892	4,636	5,529	2,443	9,207	11,649
41	佐賀	303	647	950	122	370	492	91	400	491	516	1,417	1,934
42	長崎	314	867	1,181	170	672	842	196	1,128	1,324	680	2,667	3,346
43	熊本	505	1,228	1,733	239	824	1,063	163	825	988	907	2,877	3,784
44	大分	262	566	828	182	565	747	157	722	878	602	1,852	2,454
45	宮崎	216	908	1,124	88	537	624	42	388	430	345	1,833	2,178
46	鹿児島	270	1,217	1,487	108	709	817	105	1,029	1,134	483	2,955	3,438
47	沖縄	3	694	696	2	657	658	6	2,139	2,145	10	3,489	3,500

表 6.3.9 都道府県別の年間熱負荷(暖冷房)の算定結果(屋根改修対象)

		屋根改修対象・年間熱負荷 (TJ/年)											
		1 階建			2 階建			3 階建以上			合計		
		暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計
0	全国	9,254	12,062	21,316	6,280	12,001	18,281	6,583	20,400	26,983	22,117	44,463	66,580
1	北海道	1,221	254	1,475	923	284	1,207	934	404	1,338	3,078	943	4,021
2	青森	357	140	497	222	123	345	74	56	131	654	319	973
3	岩手	289	111	400	137	75	212	91	69	159	517	255	772
4	宮城	283	175	458	151	134	285	154	195	349	588	504	1,093
5	秋田	235	135	370	113	88	200	74	78	152	422	301	723
6	山形	190	108	298	129	100	229	70	75	145	389	283	672
7	福島	283	212	495	150	157	307	108	156	263	540	524	1,065
8	茨城	370	451	821	191	337	528	59	152	211	620	940	1,560
9	栃木	330	345	675	179	265	444	78	165	243	586	775	1,361
10	群馬	225	280	505	122	215	337	56	141	197	403	635	1,038
11	埼玉	193	285	477	162	343	505	279	849	1,127	633	1,476	2,110
12	千葉	229	417	646	172	450	622	237	907	1,144	637	1,775	2,412
13	東京	250	454	704	332	859	1,191	919	3,410	4,330	1,502	4,723	6,225
14	神奈川	191	359	550	232	621	853	399	1,536	1,935	823	2,515	3,338
15	新潟	419	403	822	253	328	581	177	312	489	849	1,042	1,891
16	富山	212	240	452	130	201	332	54	115	170	397	557	953
17	石川	136	169	305	84	146	230	79	187	266	299	502	801
18	福井	111	134	245	66	107	173	27	61	89	205	302	507
19	山梨	84	119	203	45	87	131	25	68	92	154	273	427
20	長野	461	335	796	236	232	468	182	242	424	879	809	1,688
21	岐阜	195	348	543	104	261	365	59	213	272	358	822	1,180
22	静岡	134	366	500	108	435	543	85	519	605	328	1,320	1,648
23	愛知	391	715	1,106	382	987	1,369	396	1,473	1,869	1,168	3,176	4,344
24	三重	156	318	473	90	261	351	62	263	325	307	841	1,149
25	滋賀	152	200	352	79	146	225	48	126	174	280	471	751
26	京都	81	138	219	93	220	313	160	534	694	334	891	1,225
27	大阪	219	477	695	282	863	1,144	520	2,306	2,826	1,020	3,645	4,665
28	兵庫	262	558	820	213	633	845	279	1,184	1,463	753	2,375	3,128
29	奈良	84	114	199	51	97	148	41	109	150	176	320	496
30	和歌山	39	93	132	31	106	138	24	115	139	94	315	409
31	鳥取	73	105	178	30	61	91	17	46	63	120	212	332
32	島根	116	153	269	49	89	138	27	68	94	191	310	501
33	岡山	84	151	235	64	160	225	89	316	405	237	628	865
34	広島	149	328	477	90	279	369	138	620	758	377	1,227	1,604
35	山口	109	189	298	63	153	215	37	129	166	208	471	679
36	徳島	36	87	123	20	68	88	26	124	150	83	278	361
37	香川	66	135	201	45	129	173	46	187	232	156	450	607
38	愛媛	66	148	214	41	132	173	35	160	195	142	440	582
39	高知	26	68	94	15	57	73	21	112	132	62	237	299
40	福岡	258	653	911	165	593	758	214	1,112	1,326	637	2,358	2,995
41	佐賀	76	161	237	30	92	123	23	100	123	129	354	482
42	長崎	88	244	332	48	189	236	53	303	356	189	736	925
43	熊本	135	329	465	64	221	285	40	200	239	239	750	990
44	大分	61	131	192	42	131	173	36	166	202	139	428	567
45	宮崎	60	251	311	24	148	173	12	107	119	95	507	602
46	鹿児島	68	309	377	27	180	207	21	205	226	117	693	810
47	沖縄	1	167	167	0	158	159	1	428	429	2	753	755

表 6.3.10 都道府県別の年間熱負荷(暖冷房)の算定結果(窓改修対象)

		窓改修対象・年間熱負荷 (TJ/年)											
		1 階建			2 階建			3 階建以上			合計		
		暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計	暖房	冷房	合計
0	全国	20,819	27,138	47,957	14,131	27,003	41,133	14,812	45,899	60,710	49,761	100,040	149,801
1	北海道	2,747	572	3,319	2,077	639	2,716	2,101	910	3,011	6,925	2,122	9,047
2	青森	803	316	1,119	501	276	777	167	126	294	1,472	718	2,190
3	岩手	650	250	900	308	168	477	204	154	358	1,162	573	1,735
4	宮城	637	394	1,031	340	302	642	347	439	786	1,324	1,135	2,459
5	秋田	530	303	833	253	197	450	168	176	343	950	676	1,627
6	山形	428	242	671	290	226	516	157	168	325	875	637	1,512
7	福島	636	477	1,113	338	353	690	242	350	592	1,215	1,180	2,395
8	茨城	833	1,015	1,848	429	758	1,187	133	342	476	1,396	2,115	3,511
9	栃木	742	776	1,518	402	597	999	175	371	546	1,319	1,744	3,063
10	群馬	507	630	1,136	275	483	758	126	317	443	908	1,430	2,338
11	埼玉	433	641	1,074	365	771	1,136	627	1,909	2,536	1,425	3,321	4,746
12	千葉	514	939	1,454	387	1,013	1,401	533	2,041	2,574	1,434	3,994	5,428
13	東京	562	1,022	1,584	748	1,932	2,680	2,068	7,673	9,742	3,379	10,627	14,006
14	神奈川	431	807	1,238	523	1,397	1,920	898	3,456	4,354	1,852	5,660	7,512
15	新潟	943	906	1,848	569	738	1,307	398	701	1,099	1,911	2,345	4,255
16	富山	477	540	1,017	294	453	747	122	260	382	893	1,253	2,146
17	石川	305	380	686	190	328	518	177	421	598	672	1,129	1,802
18	福井	251	300	551	148	241	389	62	138	199	460	679	1,139
19	山梨	190	267	457	100	196	296	56	152	208	346	615	961
20	長野	1,037	753	1,790	531	523	1,054	410	544	954	1,978	1,821	3,798
21	岐阜	439	784	1,223	234	587	821	134	480	613	806	1,851	2,657
22	静岡	302	823	1,125	243	979	1,222	192	1,168	1,360	737	2,970	3,707
23	愛知	879	1,610	2,489	859	2,222	3,081	890	3,314	4,204	2,628	7,146	9,774
24	三重	350	714	1,064	201	588	789	139	590	729	691	1,892	2,583
25	滋賀	343	450	792	178	327	506	109	283	391	630	1,059	1,689
26	京都	182	310	492	208	495	703	360	1,200	1,560	750	2,005	2,755
27	大阪	492	1,073	1,565	634	1,941	2,575	1,169	5,189	6,358	2,295	8,202	10,498
28	兵庫	589	1,256	1,845	478	1,424	1,902	628	2,664	3,292	1,695	5,344	7,038
29	奈良	190	257	447	114	217	332	92	245	336	396	719	1,115
30	和歌山	87	210	297	71	239	310	53	259	312	211	709	919
31	鳥取	163	237	400	68	137	205	37	104	141	269	477	746
32	島根	261	345	606	110	201	311	60	152	212	431	698	1,128
33	岡山	190	341	530	145	361	506	200	712	912	534	1,414	1,948
34	広島	336	738	1,074	202	628	830	311	1,395	1,707	849	2,762	3,610
35	山口	244	426	670	141	344	485	84	290	374	469	1,059	1,528
36	徳島	82	195	277	46	153	198	58	279	337	186	626	812
37	香川	149	304	453	101	289	390	103	421	524	352	1,014	1,367
38	愛媛	149	333	482	93	295	388	78	360	438	319	989	1,308
39	高知	59	152	211	35	129	164	46	252	298	140	534	674
40	福岡	581	1,469	2,049	371	1,335	1,706	481	2,502	2,983	1,433	5,305	6,738
41	佐賀	170	363	533	68	208	276	51	224	275	290	795	1,084
42	長崎	198	548	747	107	425	532	119	682	801	424	1,655	2,080
43	熊本	305	741	1,045	144	497	641	89	450	540	538	1,688	2,226
44	大分	137	295	432	95	295	390	81	372	453	313	962	1,275
45	宮崎	134	564	698	55	333	388	26	241	267	214	1,139	1,353
46	鹿児島	154	694	848	62	404	466	47	461	507	263	1,559	1,822
47	沖縄	1	376	378	1	356	357	3	962	965	5	1,694	1,699

表 6.3.11 屋根改修の都道府県別・熱負荷削減効果

		年間熱負荷削減量(暖冷房) (TJ/年)				年間熱負荷削減率(%)							
						屋根改修対象基準				ストック全体基準			
		1階	2階	3-9階	合計	1階	2階	3-9階	合計	1階	2階	3-9階	合計
0	全国	2,117	1,164	724	4,005	9.9	6.4	2.7	6.0	2.6	1.7	0.6	1.4
1	北海道	227	129	67	423	15.4	10.7	5.0	10.5	3.9	2.7	1.1	2.5
2	青森	68	32	6	106	13.7	9.4	4.3	10.9	3.9	2.7	1.0	3.0
3	岩手	56	20	7	84	14.0	9.6	4.5	10.8	2.8	1.9	0.9	2.2
4	宮城	52	22	12	86	11.3	7.6	3.5	7.8	3.0	2.0	0.8	2.0
5	秋田	47	17	6	71	12.8	8.7	4.0	9.8	3.6	2.4	1.1	2.7
6	山形	38	20	6	64	12.7	8.7	4.0	9.5	3.2	2.2	1.0	2.4
7	福島	56	23	9	88	11.3	7.6	3.5	8.3	3.0	2.0	0.9	2.2
8	茨城	80	34	6	120	9.7	6.4	2.9	7.7	2.8	1.8	0.6	2.1
9	栃木	69	30	8	107	10.2	6.8	3.1	7.8	2.9	1.9	0.8	2.2
10	群馬	49	22	6	77	9.8	6.4	2.9	7.4	2.7	1.8	0.8	2.0
11	埼玉	44	31	30	106	9.3	6.1	2.7	5.0	2.6	1.7	0.7	1.4
12	千葉	56	34	27	117	8.6	5.5	2.4	4.9	2.4	1.5	0.6	1.3
13	東京	61	67	108	236	8.7	5.6	2.5	3.8	2.0	1.3	0.3	0.6
14	神奈川	47	47	48	143	8.6	5.5	2.5	4.3	2.4	1.5	0.6	1.1
15	新潟	90	43	17	150	11.0	7.4	3.4	7.9	3.1	2.1	1.0	2.3
16	富山	47	23	5	75	10.4	6.9	3.1	7.9	2.8	1.8	0.7	2.0
17	石川	31	15	8	54	10.0	6.6	3.0	6.7	2.7	1.8	0.8	1.8
18	福井	25	12	3	40	10.3	6.8	3.1	7.8	2.8	1.8	0.8	2.1
19	山梨	20	8	3	31	9.7	6.4	2.9	7.2	2.7	1.8	0.7	1.9
20	長野	97	39	16	152	12.2	8.3	3.8	9.0	3.3	2.3	1.0	2.4
21	岐阜	49	22	7	77	9.0	5.9	2.6	6.6	2.4	1.6	0.7	1.8
22	静岡	38	27	13	78	7.7	4.9	2.1	4.7	2.0	1.3	0.5	1.2
23	愛知	98	78	49	225	8.9	5.7	2.6	5.2	2.3	1.4	0.6	1.2
24	三重	40	19	8	67	8.5	5.5	2.4	5.9	2.4	1.6	0.6	1.6
25	滋賀	34	14	5	54	9.8	6.4	2.9	7.2	2.7	1.8	0.8	2.0
26	京都	20	18	18	56	9.1	5.9	2.6	4.6	2.2	1.4	0.6	1.1
27	大阪	59	63	68	190	8.5	5.5	2.4	4.1	1.9	1.2	0.5	0.8
28	兵庫	70	46	35	151	8.5	5.5	2.4	4.8	2.3	1.5	0.6	1.2
29	奈良	19	9	4	33	9.7	6.4	2.9	6.7	2.8	1.8	0.7	1.8
30	和歌山	11	7	3	21	8.3	5.3	2.3	5.3	2.0	1.3	0.6	1.3
31	鳥取	17	6	2	25	9.6	6.3	2.8	7.4	2.5	1.7	0.7	1.9
32	島根	26	9	3	38	9.8	6.4	2.9	7.6	2.7	1.8	0.7	2.0
33	岡山	21	13	11	45	9.0	5.9	2.6	5.2	2.1	1.4	0.5	1.1
34	広島	41	20	18	79	8.5	5.5	2.4	4.9	2.2	1.4	0.6	1.3
35	山口	27	13	4	44	9.1	5.9	2.6	6.5	2.4	1.6	0.6	1.7
36	徳島	10	5	4	18	8.3	5.3	2.4	5.1	1.9	1.2	0.5	1.2
37	香川	18	10	6	33	8.8	5.7	2.5	5.5	2.2	1.4	0.6	1.3
38	愛媛	18	9	5	32	8.3	5.3	2.4	5.4	2.1	1.3	0.5	1.3
39	高知	8	4	3	14	8.0	5.1	2.2	4.7	2.0	1.3	0.6	1.2
40	福岡	73	39	29	141	8.0	5.1	2.2	4.7	2.2	1.4	0.5	1.2
41	佐賀	20	7	3	30	8.6	5.5	2.4	6.2	2.1	1.4	0.6	1.6
42	長崎	26	12	8	46	7.9	5.0	2.2	5.0	2.2	1.4	0.6	1.4
43	熊本	39	15	6	60	8.4	5.4	2.4	6.1	2.3	1.4	0.6	1.6
44	大分	16	9	5	30	8.2	5.3	2.3	5.2	1.9	1.2	0.5	1.2
45	宮崎	22	8	2	32	7.1	4.4	1.9	5.3	2.0	1.2	0.5	1.5
46	鹿児島	26	9	4	40	7.0	4.3	1.9	4.9	1.8	1.1	0.4	1.2
47	沖縄	8	4	5	18	5.0	2.8	1.1	2.3	1.2	0.7	0.2	0.5

表 6.3.12 窓改修(Low-e 複層ガラス:断熱型)の都道府県別・熱負荷削減効果

		年間熱負荷削減量(暖冷房) (TJ/年)				年間熱負荷削減率(%)							
						窓改修対象基準				ストック全体基準			
		1階	2階	3-9階	合計	1階	2階	3-9階	合計	1階	2階	3-9階	合計
0	全国	1,885	1,589	3,140	6,613	3.9	3.9	5.2	4.4	2.3	2.3	2.4	2.3
1	北海道	216	231	373	820	6.5	8.5	12.4	9.1	3.7	4.8	6.1	4.9
2	青森	64	55	31	150	5.7	7.1	10.4	6.8	3.7	4.6	5.4	4.3
3	岩手	52	35	39	126	5.8	7.3	10.8	7.2	2.6	3.3	4.7	3.3
4	宮城	47	33	60	141	4.6	5.2	7.6	5.7	2.8	3.1	3.9	3.3
5	秋田	44	29	32	105	5.3	6.4	9.4	6.5	3.3	4.0	5.9	4.1
6	山形	35	32	30	98	5.2	6.3	9.3	6.5	2.9	3.5	5.2	3.6
7	福島	51	36	46	133	4.6	5.2	7.7	5.5	2.8	3.1	4.7	3.3
8	茨城	70	46	27	144	3.8	3.9	5.7	4.1	2.5	2.5	2.8	2.5
9	栃木	62	43	35	140	4.1	4.3	6.4	4.6	2.6	2.8	3.8	2.9
10	群馬	44	30	26	100	3.9	3.9	5.8	4.3	2.5	2.5	3.4	2.6
11	埼玉	39	41	134	214	3.6	3.6	5.3	4.5	2.2	2.2	3.2	2.7
12	千葉	48	42	113	203	3.3	3.0	4.4	3.7	2.0	1.9	2.5	2.2
13	東京	52	80	438	571	3.3	3.0	4.5	4.1	1.7	1.6	1.3	1.3
14	神奈川	41	58	192	290	3.3	3.0	4.4	3.9	2.1	1.9	2.5	2.3
15	新潟	81	64	80	226	4.4	4.9	7.3	5.3	2.8	3.2	4.7	3.4
16	富山	42	33	25	99	4.1	4.4	6.5	4.6	2.5	2.6	3.4	2.7
17	石川	27	21	36	85	4.0	4.1	6.1	4.7	2.5	2.5	3.5	2.8
18	福井	23	17	13	52	4.1	4.4	6.4	4.6	2.5	2.7	3.6	2.8
19	山梨	17	12	12	41	3.8	3.9	5.8	4.3	2.4	2.4	3.0	2.5
20	長野	90	62	83	235	5.0	5.9	8.7	6.2	3.1	3.6	5.2	3.8
21	岐阜	43	27	30	100	3.5	3.3	4.9	3.8	2.1	2.0	2.9	2.3
22	静岡	33	28	46	107	2.9	2.3	3.4	2.9	1.7	1.4	1.9	1.7
23	愛知	85	99	202	385	3.4	3.2	4.8	3.9	1.9	1.8	2.3	2.1
24	三重	35	23	32	90	3.3	2.9	4.4	3.5	2.1	1.9	2.5	2.2
25	滋賀	31	20	23	73	3.9	3.9	5.8	4.3	2.4	2.4	3.6	2.7
26	京都	17	24	80	121	3.5	3.4	5.1	4.4	1.9	1.8	2.6	2.3
27	大阪	52	75	280	406	3.3	2.9	4.4	3.9	1.7	1.5	1.9	1.8
28	兵庫	61	55	145	261	3.3	2.9	4.4	3.7	2.0	1.8	2.4	2.2
29	奈良	17	13	19	49	3.8	3.9	5.7	4.4	2.4	2.5	3.3	2.7
30	和歌山	10	8	13	31	3.2	2.7	4.1	3.3	1.7	1.5	2.2	1.8
31	鳥取	15	8	8	31	3.8	3.8	5.6	4.1	2.3	2.3	3.0	2.4
32	島根	24	12	12	48	3.9	3.9	5.8	4.3	2.4	2.4	3.1	2.6
33	岡山	19	17	46	81	3.5	3.3	5.0	4.2	1.8	1.7	2.2	2.0
34	広島	35	24	75	135	3.3	2.9	4.4	3.7	1.9	1.7	2.5	2.2
35	山口	23	16	19	59	3.5	3.4	5.1	3.9	2.1	2.0	2.6	2.2
36	徳島	9	6	14	28	3.2	2.8	4.1	3.5	1.7	1.5	2.1	1.8
37	香川	15	12	24	52	3.4	3.1	4.6	3.8	1.9	1.8	2.3	2.1
38	愛媛	15	11	18	44	3.2	2.8	4.1	3.4	1.8	1.6	1.9	1.8
39	高知	6	4	11	22	3.0	2.5	3.8	3.2	1.7	1.4	2.2	1.8
40	福岡	61	43	113	217	3.0	2.5	3.8	3.2	1.8	1.5	2.1	1.9
41	佐賀	18	8	12	38	3.3	3.0	4.4	3.5	1.9	1.7	2.5	2.0
42	長崎	22	13	29	64	3.0	2.4	3.6	3.1	1.9	1.5	2.2	1.9
43	熊本	33	18	23	74	3.2	2.8	4.2	3.3	1.9	1.7	2.3	2.0
44	大分	13	11	18	42	3.1	2.7	4.0	3.3	1.6	1.4	2.1	1.7
45	宮崎	18	7	7	32	2.6	1.8	2.7	2.4	1.6	1.1	1.7	1.5
46	鹿児島	22	8	13	43	2.6	1.7	2.6	2.4	1.5	1.0	1.2	1.3
47	沖縄	6	0	3	9	1.6	0.1	0.3	0.5	0.9	0.1	0.1	0.3

表 6.3.13 窓改修(Low-e 複層ガラス:遮熱型)の都道府県別・熱負荷削減効果

		年間熱負荷削減量(暖冷房) (TJ/年)				年間熱負荷削減率(%)							
						窓改修対象基準				ストック全体基準			
		1階	2階	3-9階	合計	1階	2階	3-9階	合計	1階	2階	3-9階	合計
0	全国	2,133	2,183	3,712	8,028	4.4	5.3	6.1	5.4	2.6	3.1	2.8	2.8
1	北海道	219	255	379	854	6.6	9.4	12.6	9.4	3.7	5.3	6.2	5.1
2	青森	66	63	32	161	5.9	8.1	10.8	7.3	3.8	5.2	5.6	4.6
3	岩手	55	40	40	135	6.1	8.4	11.1	7.8	2.8	3.8	4.8	3.5
4	宮城	52	42	65	158	5.0	6.5	8.3	6.4	3.0	3.9	4.2	3.7
5	秋田	47	34	34	114	5.6	7.5	9.9	7.0	3.5	4.7	6.2	4.4
6	山形	38	39	32	108	5.6	7.5	9.8	7.2	3.1	4.2	5.5	4.0
7	福島	56	45	50	150	5.0	6.5	8.4	6.3	3.0	3.9	5.1	3.8
8	茨城	79	63	31	174	4.3	5.3	6.6	4.9	2.8	3.4	3.2	3.1
9	栃木	70	57	39	166	4.6	5.7	7.2	5.4	3.0	3.7	4.3	3.4
10	群馬	50	41	30	121	4.4	5.4	6.7	5.2	2.8	3.4	4.0	3.2
11	埼玉	45	57	157	259	4.2	5.0	6.2	5.5	2.6	3.1	3.7	3.3
12	千葉	57	63	139	259	3.9	4.5	5.4	4.8	2.4	2.8	3.1	2.8
13	東京	62	123	536	721	3.9	4.6	5.5	5.1	2.0	2.4	1.6	1.7
14	神奈川	48	86	239	374	3.9	4.5	5.5	5.0	2.4	2.8	3.2	3.0
15	新潟	91	81	88	260	4.9	6.2	8.0	6.1	3.2	4.0	5.1	3.9
16	富山	47	43	28	118	4.6	5.8	7.3	5.5	2.8	3.5	3.8	3.2
17	石川	31	28	42	101	4.5	5.5	7.0	5.6	2.8	3.4	4.1	3.4
18	福井	25	22	14	62	4.6	5.7	7.2	5.4	2.8	3.5	4.1	3.3
19	山梨	20	16	14	50	4.4	5.3	6.7	5.2	2.7	3.3	3.4	3.1
20	長野	97	75	89	260	5.4	7.1	9.3	6.9	3.3	4.4	5.5	4.2
21	岐阜	50	39	36	126	4.1	4.8	5.9	4.7	2.5	2.9	3.5	2.9
22	静岡	40	48	63	151	3.6	3.9	4.6	4.1	2.1	2.3	2.6	2.4
23	愛知	100	145	244	488	4.0	4.7	5.8	5.0	2.3	2.7	2.8	2.6
24	三重	42	36	39	116	3.9	4.5	5.4	4.5	2.5	2.9	3.1	2.8
25	滋賀	35	27	26	88	4.4	5.4	6.7	5.2	2.8	3.4	4.1	3.3
26	京都	20	34	94	148	4.1	4.9	6.0	5.4	2.2	2.6	3.0	2.8
27	大阪	61	116	343	520	3.9	4.5	5.4	5.0	2.0	2.3	2.3	2.3
28	兵庫	72	86	178	335	3.9	4.5	5.4	4.8	2.4	2.8	3.0	2.8
29	奈良	20	18	22	59	4.4	5.3	6.6	5.3	2.8	3.4	3.8	3.3
30	和歌山	11	13	16	41	3.8	4.3	5.2	4.4	2.1	2.3	2.8	2.4
31	鳥取	17	11	9	37	4.3	5.2	6.5	5.0	2.6	3.1	3.5	2.9
32	島根	27	17	14	58	4.4	5.4	6.7	5.1	2.7	3.4	3.6	3.1
33	岡山	22	24	54	100	4.1	4.8	5.9	5.1	2.2	2.5	2.7	2.5
34	広島	42	37	92	171	3.9	4.5	5.4	4.7	2.3	2.7	3.0	2.7
35	山口	27	24	22	74	4.1	4.9	6.0	4.8	2.5	2.9	3.1	2.8
36	徳島	11	9	18	37	3.8	4.3	5.2	4.5	2.0	2.3	2.6	2.3
37	香川	18	18	29	65	4.0	4.6	5.6	4.8	2.3	2.6	2.8	2.6
38	愛媛	18	17	23	58	3.8	4.3	5.2	4.4	2.1	2.4	2.4	2.3
39	高知	8	7	15	29	3.7	4.1	4.9	4.3	2.1	2.3	2.8	2.5
40	福岡	76	70	146	292	3.7	4.1	4.9	4.3	2.3	2.5	2.6	2.5
41	佐賀	21	12	15	48	3.9	4.5	5.4	4.4	2.2	2.5	3.0	2.5
42	長崎	27	21	38	87	3.6	4.0	4.8	4.2	2.3	2.5	2.9	2.6
43	熊本	40	28	28	96	3.8	4.4	5.2	4.3	2.3	2.7	2.8	2.5
44	大分	16	17	23	56	3.8	4.3	5.1	4.4	2.0	2.2	2.6	2.3
45	宮崎	23	14	10	47	3.3	3.5	3.9	3.5	2.0	2.2	2.4	2.2
46	鹿児島	28	16	19	63	3.3	3.4	3.8	3.5	1.9	1.9	1.7	1.8
47	沖縄	9	7	16	33	2.5	2.0	1.7	1.9	1.4	1.1	0.8	0.9

6.4 第6章のまとめ

本章では、建築外皮改修に関する将来的な潜在需要や全国の省エネルギーポテンシャルを推計し、普及策の立案に貢献する基礎資料として提示した。

建築外皮を含む省エネルギー改修に関わる事業者の取り組みを促進するには、マーケット規模も重要な要素であり、まず、既往の統計資料におけるストック建築の床面積の推移から、将来の省エネルギー改修の対象となり得る床面積を推計した。ストック建築において、非住宅（法人等）の事務所・店舗では、大半を非木造建築が占めており、築25年以上となる床面積は2020年、2030年にかけて拡大するものと想定される。そのため、設備更新のみならず、外装改修を含めて、修繕等のタイミングを契機に、建築外皮改修を適切に誘導する事の重要性はさらに増すものと考えられる。

さらに、第2章で整理した都道府県別のストック建築物及び着工建築物の動向、第4章の簡易モデルによる建築外皮改修効果の検証結果で得られた知見に基づき、統計データを基本とするマクロな分析によって、建築外皮改修の省エネルギーポテンシャルとして、都道府県別の年間暖冷房負荷の削減効果を提示した。建築外皮の省エネルギー改修効果は、平面プランや階数などの建物形状が影響するが、統計データに基づく推計では、平面形状を考慮することは難しく、本章では統計データが得られる地上階数別のストック床面積を対象に、屋根改修、窓改修（Low-e 複層ガラス：断熱タイプ、遮熱タイプ）の改修効果を試算した。ストック床面積は、非住宅（法人等）の「事務所・店舗」を対象とし、築年数（2015年を基準に築10～34年）、地上階数（1～9階）から改修対象となる床面積を絞り込み、第3章の事業者アンケート結果から外皮改修の実施率を屋根改修40%、窓改修90%と設定すると、ストック床面積に対する外皮改修の対象面積は、屋根改修が23%、窓改修が40%に相当する。次いで、簡易モデルを用いた改修前の年間暖冷房負荷を基準として、屋根改修及び窓改修による年間暖冷房負荷の削減率を試算した。全国平均で見ると、屋根改修として期待される負荷削減量はストック全体の1.4%に、窓改修（断熱型）として期待される負荷削減量はストック全体の4.4%に相当し、屋根改修に比べて、窓改修の改修対象面積が大きいことから、暖冷房負荷の削減効果も窓改修が大きい。都道府県別に見ると、屋根改修と窓改修（断熱型）をあわせた削減率は、北海道、青森、秋田が7%前後で最も高く、東京が2%、沖縄が約1%で最も低いとの結果であった。ストック全体に対する省エネルギーポテンシャルは、改修対象面積の想定によって異なるが、一定の条件で改修対象面積を絞り込んだ本検討では、屋根改修、窓改修ともに一定の効果が見込まれるものと評価できる。また、都道府県別で見ると、暖房負荷の割合が高い地域で負荷削減率は高いとの結果であったが、東京、愛知、大阪といった大都市を有する都道府県においても一定の削減量が期待されることが明らかとなった。

(Blank)

第 7 章 結論

7. 結論

7.1 総括

本論文は、非住宅建築物の建築外皮に関する省エネルギー改修に焦点をあて、改修工事の実態や課題を明らかにするとともに、建物特性に応じた建築外皮の省エネルギー改修効果、温熱環境改善効果等を明らかにすることで、我が国における既存建築物の省エネルギー改修の普及促進と市場活性化に貢献することが目的である。特に、中小規模の建築物は、建物数が多く、外部環境の影響を受けやすい形状でありながら、綿密なシミュレーション検討などを行う余地が少ない。そのため、建物形状の違いを考慮して、地域や建物用途ごとに、屋根及び窓の省エネルギー改修の効果をわかりやすく提示することで、建物特性に応じた適切な省エネルギー改修手法を選択する際のガイドとして活用することが期待される。

本論文では、まず、国土交通省の省エネルギー改修に関する補助事業における採択事業を中心に、事業者アンケートとヒアリングから、建築外皮改修の実態と課題を明らかにした。同事業は建築外皮改修を補助事業の必須要件としていること、中小規模建築物の応募が多いことが特徴であり、これまで実態が明らかになっていない中小規模の非住宅建築物における建築外皮改修に関する実態と課題が把握できたことは、有益な知見である。

次いで、同事業でも多く実施されている屋根改修と窓改修に焦点をあて、平面プランと階数の異なる複数の簡易モデルにおけるシミュレーション計算から、地域、用途、建物形状の違いによる建築外皮の省エネルギー改修効果を検証した。これらは、今後の改修手法を選択する際の目安となるものである。また、窓改修を模擬した既存オフィスによる実験実測において、窓の断熱性能向上による室内環境の改善効果を検証した。

最後に、我が国のストック建築の動向を踏まえ、統計データによるマクロな分析として、将来的な省エネルギー改修市場の推計、都道府県別の建築外皮改修による省エネルギーポテンシャルの推計を行い、今後の省エネルギー改修の施策立案に貢献する基礎資料としてとりまとめた。

以下に、各章を総括する。

第1章では、地球温暖化対策、東日本大震災後のエネルギー需給状況などから、既存建築物の省エネルギー対策の重要性について述べ、各省庁等で実施されている既存建築物の省エネルギー改修に関する補助制度や表彰制度の動向及び既存建築物の省エネルギー性能向上に関する研究動向を示した。

また、既存建築物の省エネルギー対策でもなかなか取り組みが進まない中小規模の非住宅建築における建築外皮改修に焦点をあて、適切な改修を誘導するにはわかりやすく改修効果を提示することが必要であるとの観点から、中小規模建築物を中心とした建築外皮の省エネルギー改修の実態解明と効果検証によって省エネルギー設計や省エネルギー施策立案に貢献する資料の提示を本論文の目的とすることを示した。

第2章では、まず、統計データに基づいて、我が国の建築物のストック及び着工動向を

概括した。非住宅（法人等）の事務所・店舗のストック床面積において、省エネルギー法による省エネルギー措置の届出が義務化された 2003（平成 15）年以降に竣工した建築物は 22%に過ぎず、既存建築物の省エネルギー対策の重要性を示した。また、都道府県別の着工建築物を地上階数別に見ると、直近 4 年間の平均において、全国では 1~2 階建が棟数では約 90%、床面積では約 50%を占めることが分かった。都道府県別では、1~2 階建が床面積の 80%弱を占める都道府県も見られ、10 階建以上が 40%を占める東京は全国的に見ると例外とも言え、既存ストックの省エネルギー対策では、低層建築物や中小規模建築物の特性を考慮することが重要であることを示した。

次いで、国が実施する補助事業を活用した省エネルギー改修事例の動向を整理した。多くの事例では窓改修（日射調整フィルム貼りを含む）が実施されており、一部の例ではあるが、外壁改修（内断熱）、耐震改修と合わせた庇等による日射調整なども見られた。さらに、既存建築物の省エネルギー性能に関する評価ツールの動向をレビューした。各種評価ツールを利用して改修効果を評価するには、改修前後の細かな条件を入力が必要とされ、平易に利用できるものではなく、本論文が目的とする中小規模の既存建築物の省エネルギー改修の促進には、建物特性に応じて、建物所有者や設計者が適切な改修手法を容易に選択できる情報提供が重要であることを述べた。

第 3 章では、国土交通省が実施する建築物等の省エネルギー改修に関する補助事業の活用事例を対象とした事業者アンケートによって、建築外皮改修の改修工事の内容や課題、事業者の建築外皮改修に対する意識等の実態を把握した。また、同事業を中心に多くの省エネルギー改修事例に関わる事業者ヒアリングから、建築外皮を中心とした省エネルギー改修市場動向、省エネルギー改修に至るきっかけや投資判断等の実態を把握した。分析の対象とした補助事業は、建築外皮の省エネルギー改修を補助の必須要件とし、中小規模建築物の応募が多いため、実態データの少ない中小規模建築物における建築外皮改修の実態が把握できた点が特徴である。

事業者アンケート結果では、幅広い事業者が省エネルギー改修に関わっていること、建築外皮改修としては屋根・最上階天井及び窓改修の事例が多く、補助事業を活用しても部分的な改修にとどまっている実態が明らかとなった。また、多くの改修工事はいわゆる「居ながら工事」として実施され、建築外皮改修の推進にあたっては、執務や営業への制約を回避することとともに、費用対効果がわかりにくいことが大きな課題の一つであると指摘された。

事業者のヒアリング結果では、補助事業が一定期間継続的に実施されたことで、建築外皮を含む省エネルギー改修への理解が進み、改修市場の広がりがうかがえた。建築外皮改修をパターン化して推進する事業者や、非住宅用に比較的簡便な施工が可能な窓改修用製品を商品化するなど、建築外皮改修に関する新たな動きも見られる。また、建築外皮改修は補助事業がなければ実施されにくいとの指摘がある一方、結露や寒さ、窓周りの劣化といった不具合対応をきっかけに改修工事に至るケースもあること、実際に窓改修を実施すると利用者に効果が実感されていること、近年は省エネルギーや資産価値の維持・向上を考えて外皮や外装の改修に取り組む例も増えているとの指摘があり、省エネルギー性のみならず、温熱環境の改善効果など、建築外皮の省エネルギー改修における付加的な価値を訴求することの重要性を述べた。

第4章では、補助事業を活用した非住宅建築物の建築外皮改修事例において実施例が多い「屋根改修」と「窓改修」に焦点をあて、シミュレーション計算によって、省エネルギー効果を検証した。特に、建築外皮の熱性能が省エネルギー性や温熱環境に強く影響する中小規模の非住宅建築物では、建物形状による改修効果の違いも大きいと考えられることから、平面プランにおいてペリメータ比率の異なる建物モデルを設定し、地域、建物用途、地上階数の違いによる建築外皮の省エネルギー改修効果を体系的に分析した点が特徴である。

大規模・小規模、低層・高層といったモデル建物における予備検討にて、建物形状による建築外皮効果に違いが見られる点を確認した上で、体系的分析としては、基準階床面積と短辺・長辺の比率（アスペクト比）及びペリメータ比率が異なる9種類の平面形状を単純な簡易モデルを設定した。この簡易モデルについて、気象条件の異なる札幌、東京、鹿児島 の3都市、内部発熱条件を使用時間が異なる事務所、物販、病院の3用途を対象とし、地上階数を1～10階建に変化させた感度分析をBEST（簡易版）にて実施し、改修手法別の年間暖冷房負荷の削減効果を評価した。屋根改修では、1～2階建では一定の効果が得られるが、階数の増加とともに効果は低下し、高層階モデルでは、窓改修の効果が上回るケースが見られるようになるなど、同一地域、同一用途の建築物であっても階数や平面プランによって外皮改修効果は異なることが明らかになった。さらに、屋根改修では外皮面積に対する屋根面積の割合（屋根面積比率）、窓改修では外皮面積に対する外壁面積割合（外壁面積比率）と基準階ペリメータ比率の積として定義した形状係数が負荷削減率との関係が高く、線形近似によって高い相関が見られることなどを明らかにした。

本章でのシミュレーションによる体系的分析は、一定の前提条件に基づく結果であるが、地域、用途、建物形状及び階数の違いによる屋根改修、窓改修の暖冷房負荷の削減効果について目安を提示することができ、中小建築物において、建物特性に応じた建築外皮の省エネルギー改修手法の選択に関する一助となることが期待される。

第5章では、窓改修の温熱環境改善効果の検証を目的とした既存オフィスにおける模擬実験実測結果をとりまとめた。

東京都に立地するオフィスの一角を利用し、既設の窓ガラスに断熱材を設置することで窓改修を模擬し、断熱材の有無による室内空気温度、グローブ温度などの違いを実測した。実験対象室は、北面に連続窓を有する事務室で、北面の窓の断熱性能の違いによって、窓際空間では空気温度、グローブ温度とも2～3K程度の改善効果が見られ、足下付近の温度低下も緩和することが確認できた。非住宅建築物の省エネルギー改修では、執務や営業への制約が避けることが優先され、改修前後の温熱環境改善の計測は難しい面もあるが、今後、実使用下にある改修建物での定量的データの蓄積も望まれる。

第6章では、建築外皮改修に関する既往の統計資料に基づくマクロな分析として、将来的な潜在需要や全国の省エネルギーポテンシャルを推計し、普及策の立案に貢献する基礎資料としてとりまとめた。

まず、全国のストック建築の床面積の推移から、将来の省エネルギー改修の対象となり得る床面積を推計した。非住宅（法人等）の事務所・店舗では、大半を非木造建築が占めてお

り、築25年以上となる床面積は2020年、2030年にかけて拡大するものと想定される。そのため、設備更新のみならず、外装改修を含めて、修繕等のタイミングを契機に、建築外皮の改修を適切に誘導する事の重要性はさらに増すものと考えられる。

さらに、都道府県別のストック建築物及び着工建築物の動向、簡易モデルによる建築外皮改修効果の分析で得られた知見に基づき、建築外皮改修の省エネルギーポテンシャルとして、都道府県別の年間暖冷房負荷の削減効果を推計した。非住宅（法人等）の「事務所・店舗」を対象とし、築年数（2015年を基準に築10～34年）、地上階数（1～9階）から改修対象となる床面積を絞り込み、外皮改修の実施率を屋根改修40%、窓改修90%と設定すると、ストック床面積に対する外皮改修の対象面積は、屋根改修が23%、窓改修が40%に相当する。また、全国平均で見ると、屋根改修として期待される年間暖冷房負荷削減量はストック全体の1.4%に、窓改修（断熱型）として期待される年間暖冷房負荷削減量はストック全体の4.4%に相当すること、屋根改修と屋根改修と窓改修（断熱型）をあわせた暖冷房負荷削減率は、北海道、青森、秋田が7%前後で最も高く、東京が2%、沖縄が約1%で最も低いことを明らかにした。ストック全体に対する省エネルギーポテンシャルは、改修対象面積の想定によって異なるが、一定の条件で改修対象面積を絞り込んだ本検討では、屋根改修、窓改修ともに一定の効果が見込まれるものと評価でき、東京、愛知、大阪といった大都市を有する都道府県においても一定の削減量が期待されることが明らかとなった。

7.2 今後の展望と課題

非住宅建築物における建築外皮の省エネルギー改修促進には、1) 効果をわかりやすく明示し、建築主等に訴求できること、2) 改修工事が執務や営業に制約を及ぼさないこと、3) 費用対効果のよい改修手法が開発されることなども重要な要素になる。特に、建築外皮改修では、効果のわかりにくさや費用対効果の不透明さも大きな課題である。

本論文では、効果のわかりにくさの解消に貢献すべく、簡易モデルによるシミュレーション結果によって、地域、用途、建物形状の異なる条件での省エネルギー改修効果を分析し、改修手法の選択の目安となる数値を提示した。また、窓改修を実施した建物においては、利用者から温熱環境の改善効果を実感しているとの意見もあり、窓改修を模擬した実験実測において、温熱環境の改善効果の検証を試みた。これらの結果は、建築外皮改修の効果を定量的に把握する上で有益な知見であると考えられる。

非住宅建築物には、様々な用途が存在し、また、建物形状や既存の外皮仕様も様々である。本論文のシミュレーション計算は、既存建物の形状や外皮仕様として、一定の条件を仮定している。これによって目安となる数値は提示できたものの、実際の投資判断を行う際には、前提となる既存建物の状況を正確に把握することも重要である。既存建物では現状の建築外皮の仕様を確認することが難しい場合も多く、建築外皮改修時の事前の現地調査などを活用して、築年数の古い建物の断熱性能等に関するデータの蓄積も求められる。

また、照明や各種機器の省エネルギーが進み、非住宅建築物における内部発熱は減少傾向にある。シミュレーション結果では、屋根改修や窓改修は主に暖房負荷の削減に寄与しているが、内部発熱の低下は暖房負荷の増加にもつながり、今後、建築外皮改修の効果が発揮さ

れる建物は拡大するとも考えられる。さらに、東日本大震災後は、非常時の機能維持が重要視され、中間期や夏期の執務環境の改善、ゼロエネルギー建築の実現に向けて、自然換気的重要性があらためて認識されている。非住宅建築物用の自然換気機能も備えた開口部の商品化もなされており、これらが建築外皮改修時に採用されると、冷房負荷の軽減にもつながるものと期待される。加えて、冷房負荷が支配的な地域、建物では、窓の断熱性能向上が冷房負荷の増大につながっていることも確認でき、既存建築物にも適用できる日射遮蔽手法の開発も必要だと言える。

近年、非住宅分野においてもウェルネスオフィスなどの健康性に注目が高まっており、比較的熱性能が脆弱な中小規模の建築物においても、温熱環境の改善は重要なテーマである。建築外皮改修による温熱環境の改善効果は、改修前後の実測等による比較が難しいこともあり、まだまだデータの蓄積が不足しており、様々な改修事例において、今後、さらなる実態データ等の知見の蓄積も期待されるところである。実態データが蓄積されることによって、温熱環境の改善効果を定量的に示すことができるようになるとともに、貨幣価値換算等による多面的な便益の評価法の検討にもつながるものと期待される。

参考文献

- 1) 環境省：報道発表資料「2012（平成 24 年度）の温室効果ガス排出量（確報値）について, 2014.4.15
- 2) 地球温暖化対策本部：日本の約束草案, 2015.7.17
- 3) 環境省：報道発表資料「2013（平成 25 年度）の温室効果ガス排出量（確報値）について, 2015.4.15
- 4) 国土交通省社会資本整備審議会建築分科会建築環境部会：中長期的視点に立った住宅・建築物における環境対策のあり方についての中間とりまとめ, 2009.8.21
- 5) 国土交通省：建築物ストック統計検討会 報告書, 2010.3
- 6) 国土交通省 HP：建築工事統計調査報告（平成 24 年度実績）ほか
http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000441.html
- 7) 国土交通省 HP：建築物リフォーム・リニューアル調査
http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/gaiyo_b4t9.html （2015.9.24 時点）
- 8) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構，平成 21 年基準対応 建築物の省エネルギー基準と計算の手引，2009.9
- 9) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所監修：平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説，2013.5
- 10) 平成 22 年度 住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業(建築に係るもの) 募集要領
- 11) 一般財団法人省エネルギーセンターHP：<http://www.eccj.or.jp/>
- 12) 住宅・建築物省 CO2 先導事業 HP：<http://www.kenken.go.jp/shouco2/index.html>
- 13) 長期優良住宅先導事業 HP：<http://www.kenken.go.jp/chouki/>
- 14) 公益社団法人 ロングライフビル推進協会 HP：<http://www.belca.or.jp/>
- 15) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 HP：<http://www.shasej.org/>
- 16) 吉澤修平，郡公子，石野久彌：シミュレーション BEST によるオフィスの熱負荷・熱環境解析 第 10 報 全国の最大熱負荷分布と影響要因に関する基本解析；日本建築学会学術講演梗概集，（関東），pp.1,169-1,170, 2011.8
- 17) 村越千春，渡辺俊行，赤司泰義，中上英俊：我が国における ESCO 事業の特性に関する研究,日本建築学会環境系論文集 第 73 巻 第 624 号, pp.245-252, 2008.2
- 18) 伊香賀俊治，外岡豊：建築設備の建物用途別ライフサイクル環境負荷原単位,日本建築学会計画系論文集 第 533 号, pp.51-58, 2000.7
- 19) 朝吹香菜子，清家 剛，櫻野 涼太：躯体を再使用した建築物の再生に伴う環境負荷に関する研究-積み上げ方式による評価-，日本建築学会技術報告集，第 20 巻 第 44 号, pp. 429-434, 2014.2
- 20) 国土交通省 HP：建築ストック統計（平成 26 年 1 月 1 日現在）について
http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000440.html

-
-
- 21) 国土交通省 HP：建築着工統計報告（平成 26 年計分）ほか
http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000506.html
 - 22) 国立研究開発法人建築研究所/一般社団法人サステナブル建築協会編集，全国で展開される省 CO₂ の取り組み～住宅・建築物省 CO₂ 先導事業事例集～，2015.8
 - 23) 国立研究開発法人建築研究所：住宅・建築物 CO₂ 先導事業 HP「採択プロジェクトの一覧と総評」，<http://www.kenken.go.jp/shouco2/past/past.html>
 - 24) 既存建築物省エネ化推進事業評価事務局：既存建築物省エネ化推進事業 HP「参考資料」，<http://hyoka-jimu.jp/kaishu/past.html>
 - 25) 秋元孝之、青笹健：省エネ改修事業に関する分析，第 7 回住宅・建築物の省 CO₂ シンポジウム補助資料，pp.65～75，2011.10
 - 26) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構，建築物の省エネルギー基準と計算の手引き（ポイント法），2009 年 10 月
 - 27) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構，建築物の省エネルギー基準と計算の手引き（大規模修繕等），2009 年 10 月
 - 28) 財団法人建築環境・省エネルギー機構，CASBEE - 改修 評価マニュアル（2010 年版），2010.9
 - 29) 石野久彌，村上周三，赤坂裕，坂本雄三，郡公子，長井達夫，大塚雅之，牧村功，野原文男，滝澤総：建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発 第 1 報 BEST のマクロデザインとその特徴，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.1027-1028，2008.9
 - 30) 郡公子，村上周三，石野久彌，長井達夫：建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発 第 3 報 建築熱計算法と設備との連成法，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.1031-1032，2008.9
 - 31) 二宮博史，村上周三，石野久彌，野原文男，長井達夫，菅原正光，菰田英晴，松村一誠：建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発 第 7 報 空調シミュレーションの概要，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.1039-1040，2008.9
 - 32) 小林信裕，郡公子，石野久彌：シミュレーションツール BEST によるオフィス熱負荷・熱環境解析 第 1 報 大阪の標準オフィスの熱特性，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.1043-1044，2008.9
 - 33) 伊香賀俊治，江口里佳，村上周三，岩前篤，星旦二，水石仁，川久保俊，奥村公美：健康維持がもたらす間接的便益(NEB)を考慮した住宅断熱の投資評価，日本建築学会環境系論文集 第 76 巻 第 666 号，pp.735-740，2011.8
 - 34) 工月良太，伊香賀俊治，村上周三：エネルギーの面的利用がもたらす間接的便益 (NEB) に関する研究～ステークホルダーの多面的便益の抽出とその配分に関する研究～，日本建築学会環境系論文集 第 75 巻 第 653 号，pp.645-652，2010.7
-

-
- 35) 青笹健, 秋元孝之, 清家剛, 鷺崎 桃子, 太田 仁子; 既存建物の補助事業を活用した省エネルギー改修の実態に関する調査研究, 日本建築学会技術報告集, 第 39 号, pp.627-632, 2012.6
 - 36) 青笹健, 秋元孝之, 清家剛, 金容善, 蔡宣君, 宮澤由紀, 武藤直樹; 補助事業を活用した非住宅建築物の省エネルギー改修に関する実態調査, 日本建築学会技術報告集 第 21 巻 第 49 号, pp.1183-1188, 2015.10
 - 37) 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構 The BEST Program HP :
<http://www.ibec.or.jp/best/about/index.html>
 - 38) 滝沢博: 標準問題の提案 (オフィス用標準問題), 日本建築学会環境工学委員会, 熟分科会第 15 回熟シンポジウム, 1985.9
 - 39) 井上宇市, 空気調和ハンドブック 改訂 5 版, 丸善, 2008.2
 - 40) Ken Aozasa, Takashi Akimoto, Takuma Sato; Current Status of Energy Conservation Refurbishment and Potential for the Refurbishment of Non-residence Buildings, CLIMA 2013 - 11th REHVA World Congress and 8th International Conference on IAQVEC, 2013.6
 - 41) 青笹健, 秋元孝之, 佐藤拓馬, 清家剛, 鷺崎桃子, 太田仁子; 非住宅建築物の省エネルギー改修に関する研究 (第 1 報) 省エネルギー改修事業のアンケート結果と躯体改修による PAL 低減効果のシミュレーション検証概要, 2012 年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1971-1974, 2012.9
 - 42) 佐藤拓馬, 秋元孝之, 青笹健, 太田仁子, 清家剛, 鷺崎桃子; 非住宅建築物の省エネルギー改修に関する研究 (第 2 報) 躯体改修による PAL 低減効果のシミュレーション検証結果, 2012 年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1975-1978, 2012.9
 - 43) 青笹健, 秋元孝之, 清家剛, 宮澤由紀, 武藤直樹, 金容善; 非住宅建築物の省エネルギー改修に関する研究 (第 3 報) アンケート結果による省エネルギー改修事業の実態と躯体改修による省エネ改修効果の評価に向けた検討概要, 2013 年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.197-200, 2013.9
 - 44) 宮澤由紀, 秋元孝之, 清家剛, 青笹健, 武藤直樹, 佐藤拓馬; 非住宅建築物の省エネルギー改修に関する研究 (第 4 報) 躯体改修による省エネルギー効果の検証, 2013 年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.201-204, 2013.9
 - 45) 武藤直樹, 秋元孝之, 清家剛, 青笹健, 宮澤由紀, 佐藤拓馬; 非住宅建築物の省エネルギー改修に関する研究 (第 5 報) 事務所ビルを事例とした省エネ改修前後の室内温熱環境に関するシミュレーション及び実測, 2013 年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.205-208, 2013.9
-

謝 辞

本稿を終えるに当たり、終始丁寧にご指導ご鞭撻を賜りました、芝浦工業大学工学部建築工学科 教授 秋元孝之先生に甚大なる感謝の意を表します。博士課程(社会人特別コース)として秋元研究室に在籍した3年間には、本稿で取り上げた建築物の省エネルギー改修に関する研究のほか、研究室の様々な研究にも関わらせて頂きました。研究室の学生の皆様とともに、貴重な経験をすることで、本研究にあたっても視野を広げることができました。誠にありがとうございました。

論文のとりまとめに当たり、貴重なご意見とご示唆を頂戴しました芝浦工業大学工学部建築工学科 赤堀忍教授、本橋健司教授、村上公哉教授、早稲田大学創造理工学部建築学科 高口洋人教授に深く感謝の意を表します。先生方から頂戴したご示唆によってより考察を深めることができました。誠にありがとうございました。

研究を進めるにあたり、共同研究を始めとして多大なるご指導、ご協力を頂いた 東京大学 新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻 清家 剛准教授、並びに東京大学 清家研究室 金容善氏、鷺崎桃子氏(当時)、蔡宣君氏、豊川裕里氏、藤原和典氏、原田優作氏、国土交通省住宅局(当時) 伊藤明子氏、一般社団法人日本サステナブル建築協会 生稲清久氏に心よりお礼申し上げます。誠にありがとうございました。

芝浦工業大学秋元研究室にて、ともに建築物の省エネルギー改修の研究に取り組んだ太田仁子、佐藤拓馬氏、武藤直樹氏、宮澤由紀氏、金子郁麻氏には、多大なるサポートをして頂きました。その結果、よりよい研究成果を出すことが出来ました。また、2011 年度～2015 年度に、芝浦工業大学秋元研究室に在籍した大学院生、学部 4 年生の皆様には、研究室に暖かく迎え入れていただき、様々な研究や研究室での活動とともにすることで、貴重な経験をすることができました。皆様に深く感謝の意を表します。

芝浦工業大学大学院社会人博士課程への進学と研究を進めるに当たり、ミューテック株式会社並びに株式会社アルテップの皆様には、多大なるご理解とご支援を賜りました。特に、ミューテック株式会社 故根津浩一郎氏、下田學氏、大澤章一氏には日々叱咤激励いただき、皆様のご理解なしには本論文をとりまとめることは出来ませんでした。この場を借りて、心よりお礼申し上げます。

最後に、温かく見守り、励まし、支え続けてくれた家族に心から感謝の意を表します。

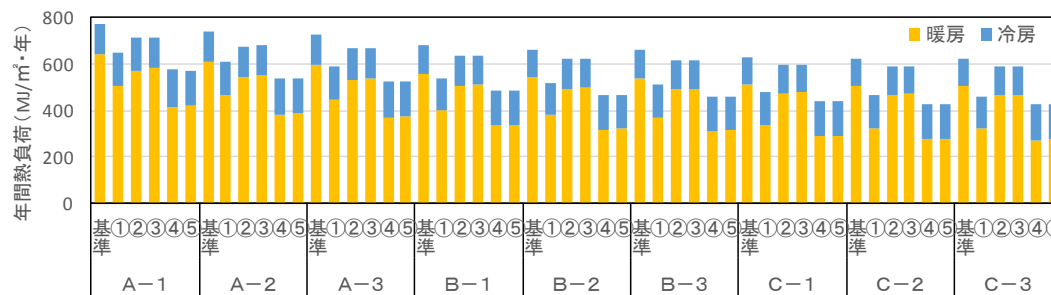
2016 年 3 月

青笹 健

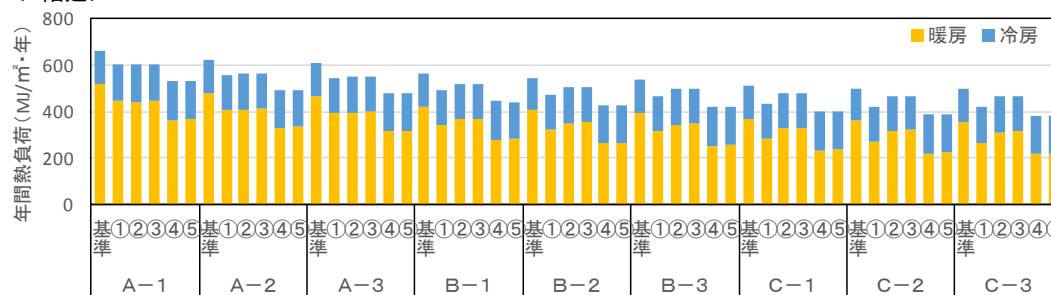
付録 A

1.1 事務所（札幌）

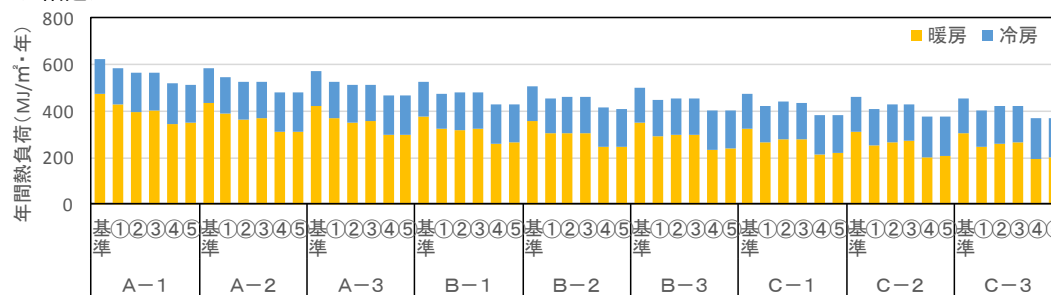
<1階建>



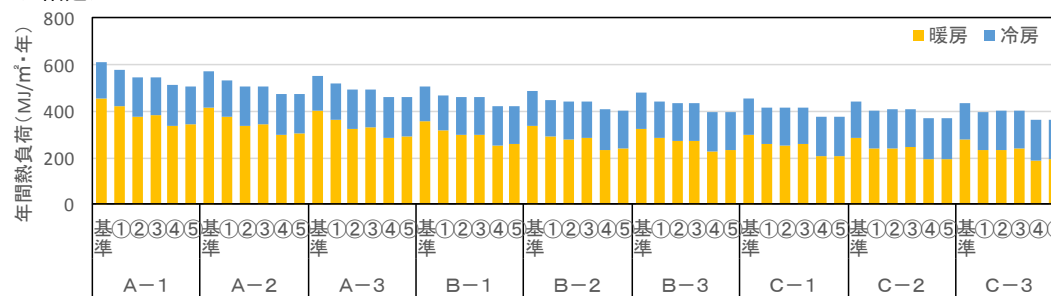
<2階建>



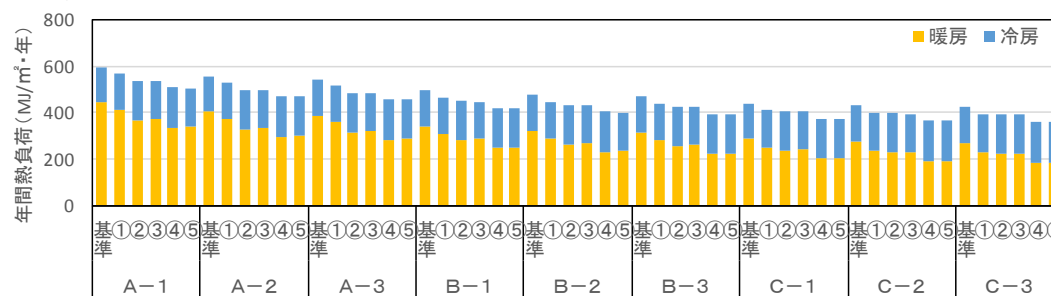
<3階建>



<4階建>

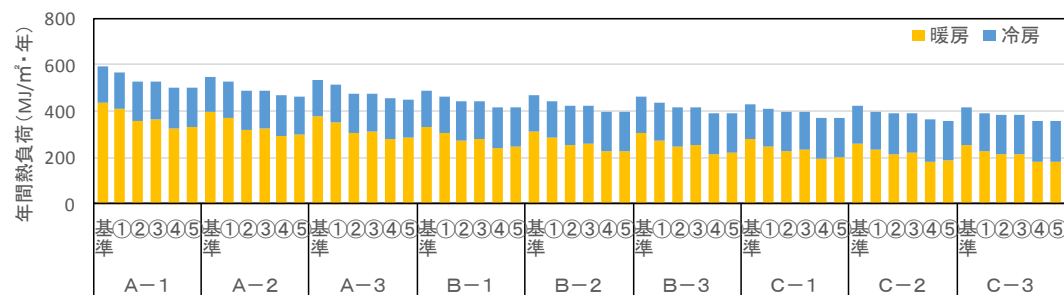


<5階建>

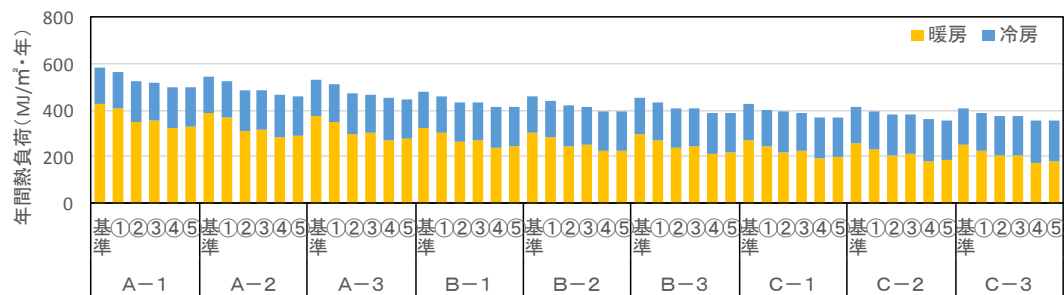


1.1 事務所（札幌）

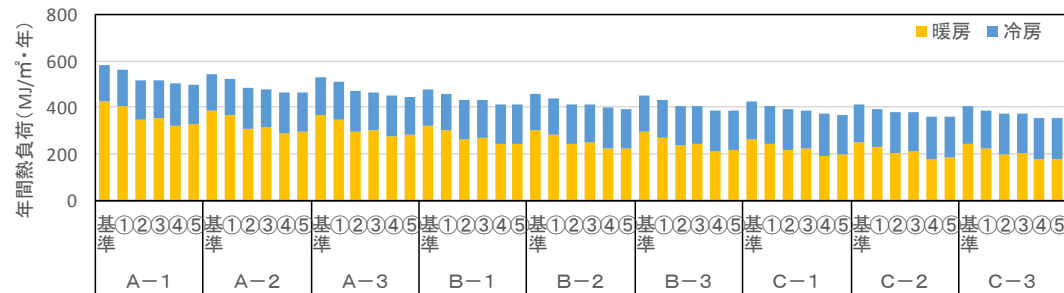
<6階建>



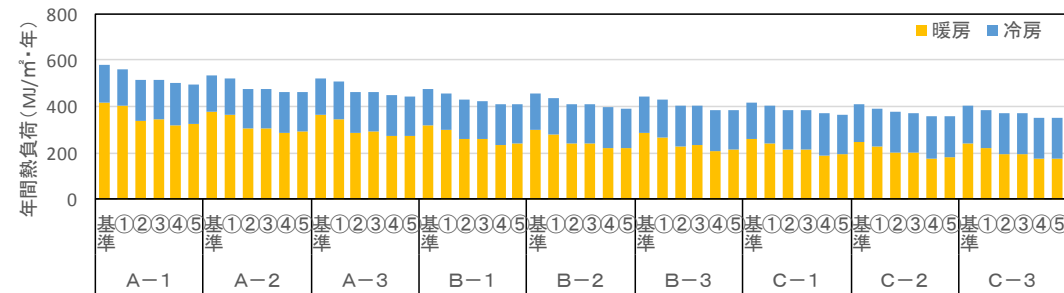
<7階建>



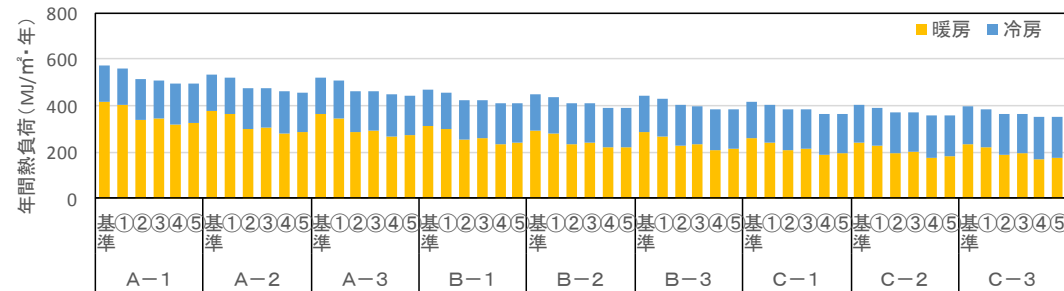
<8階建>



<9階建>

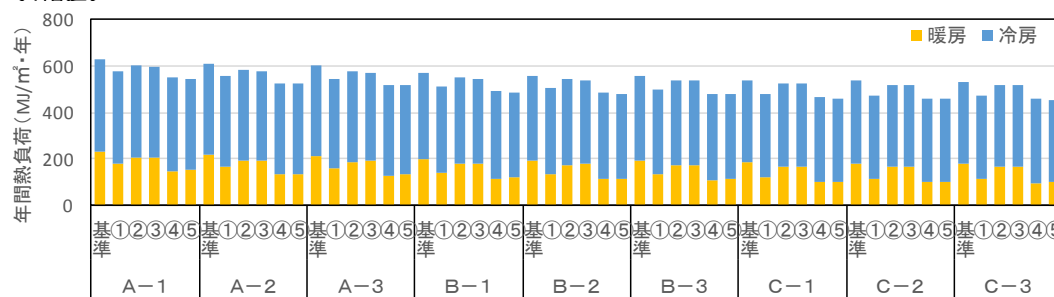


<10階建>

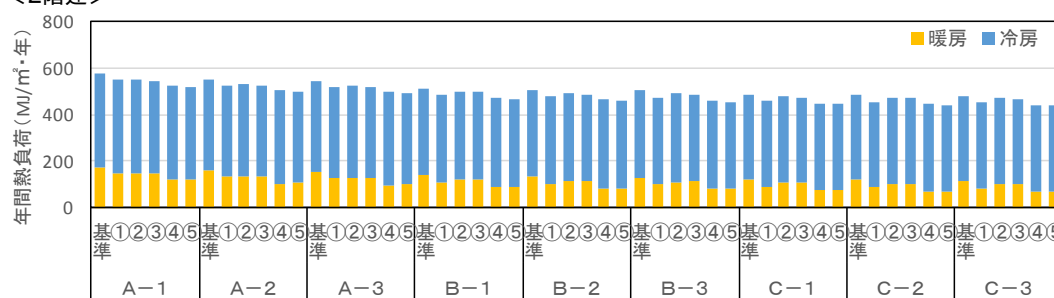


1.2. 事務所（東京）

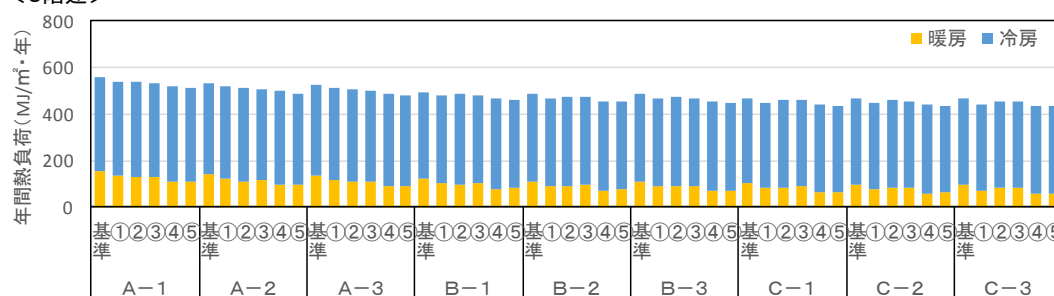
<1階建>



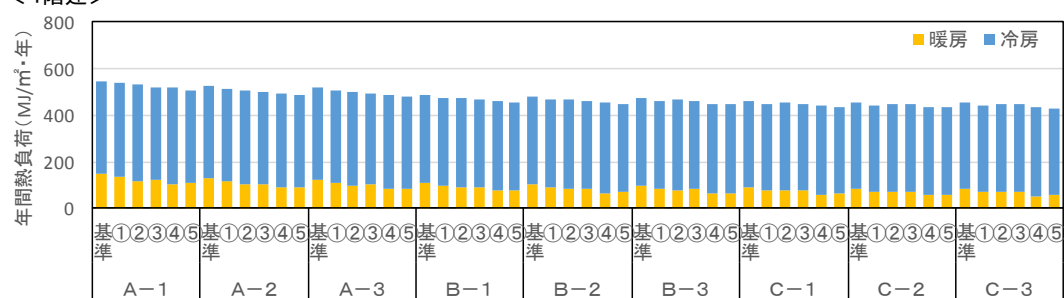
<2階建>



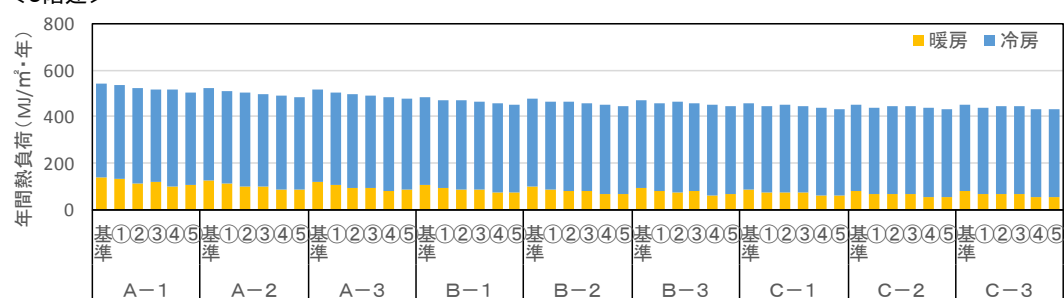
<3階建>



<4階建>

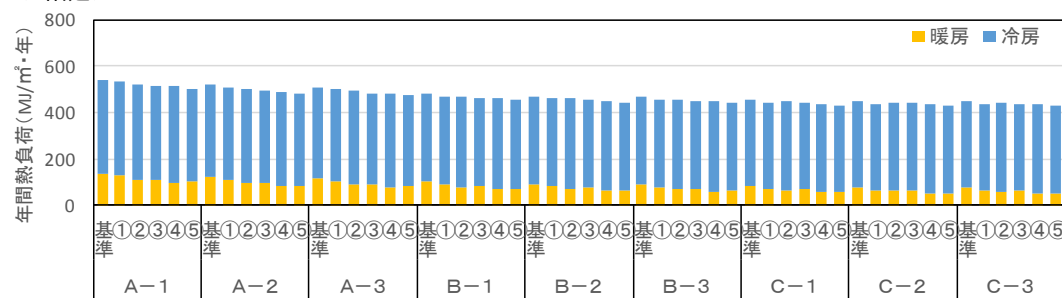


<5階建>

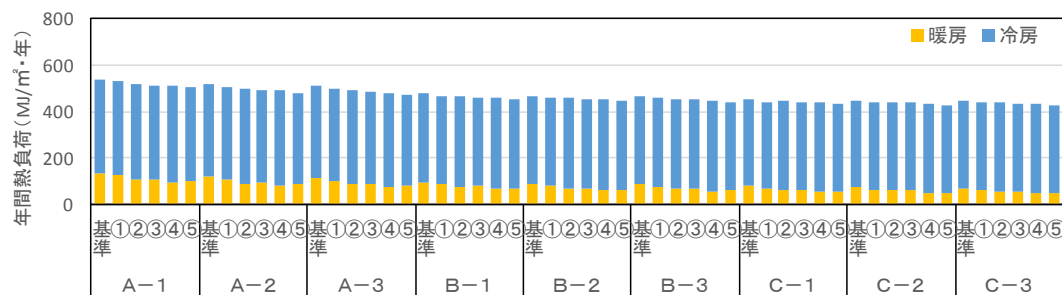


1.2. 事務所（東京）

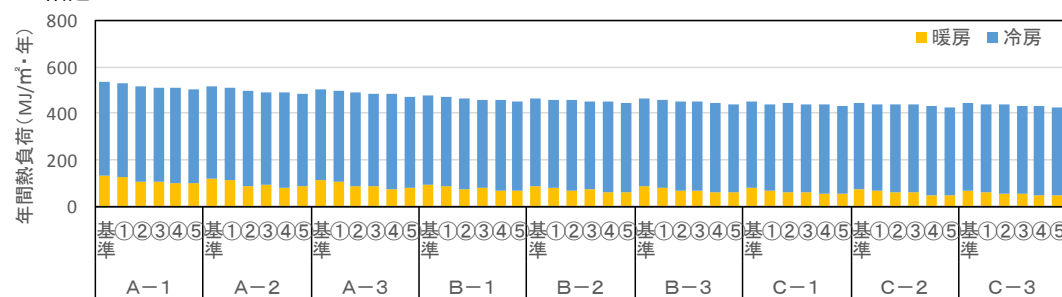
<6階建>



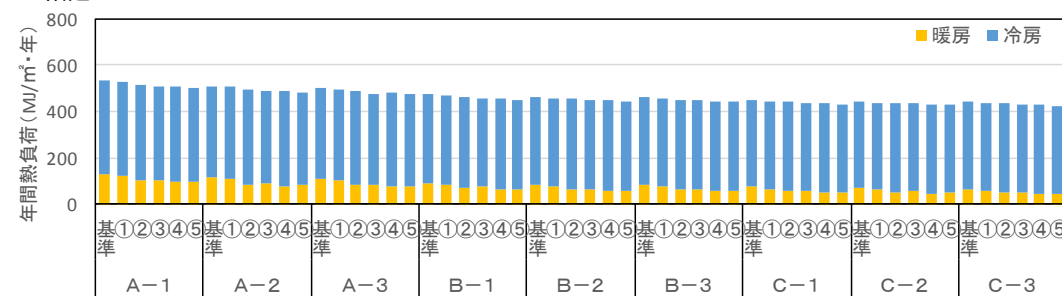
<7階建>



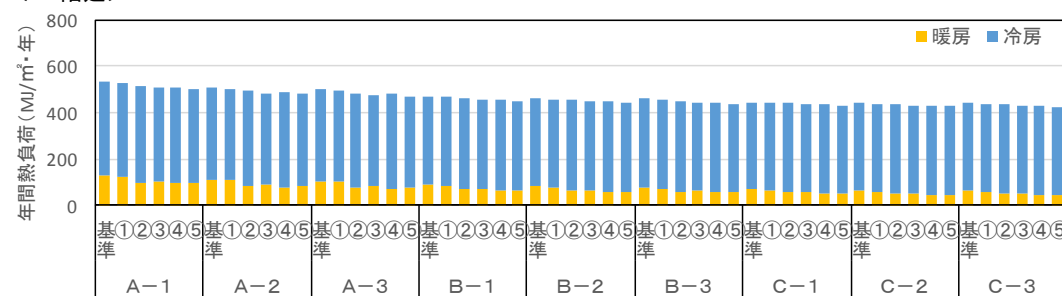
<8階建>



<9階建>

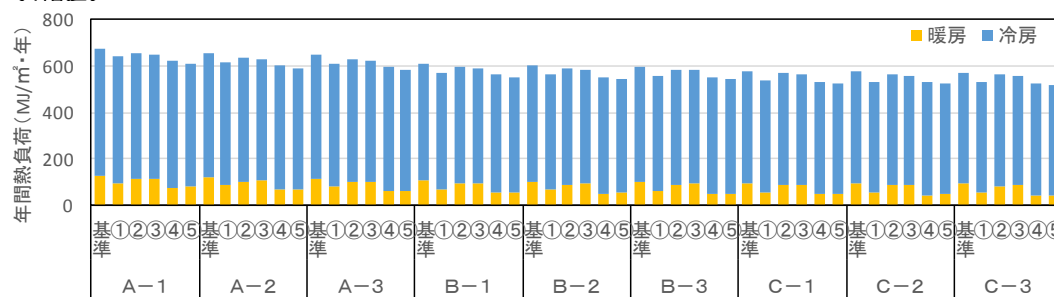


<10階建>

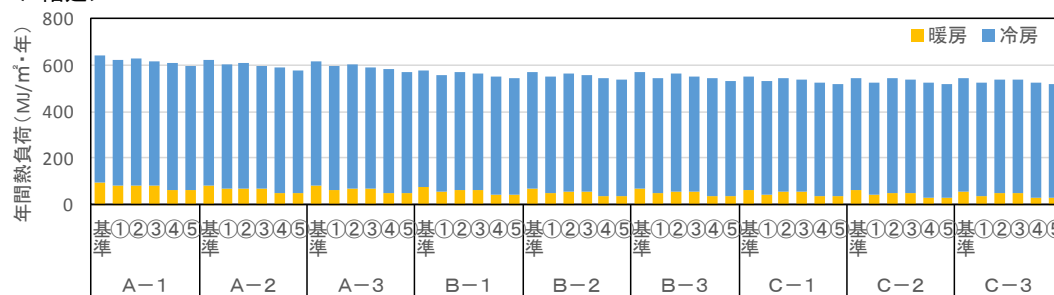


1.3 事務所（鹿児島）

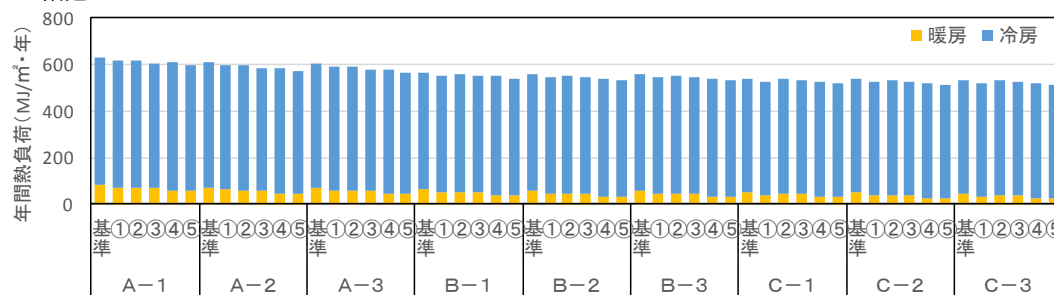
<1階建>



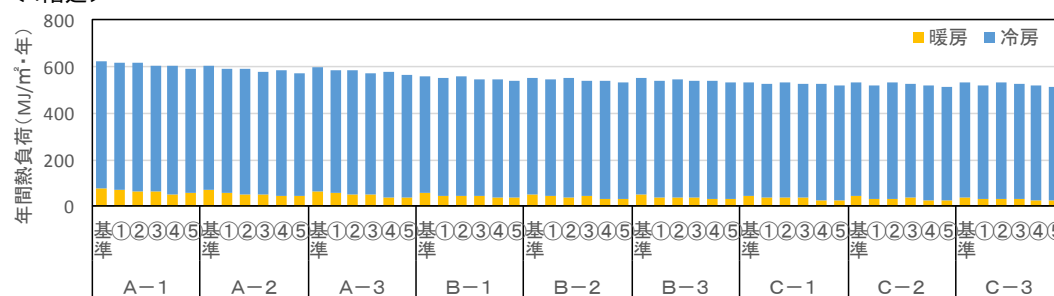
<2階建>



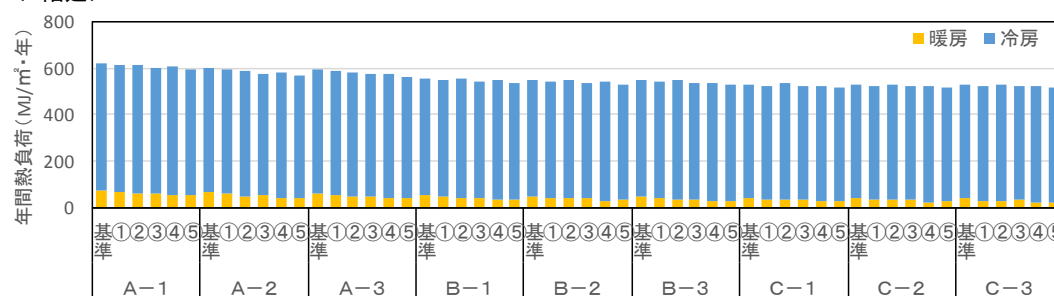
<3階建>



<4階建>

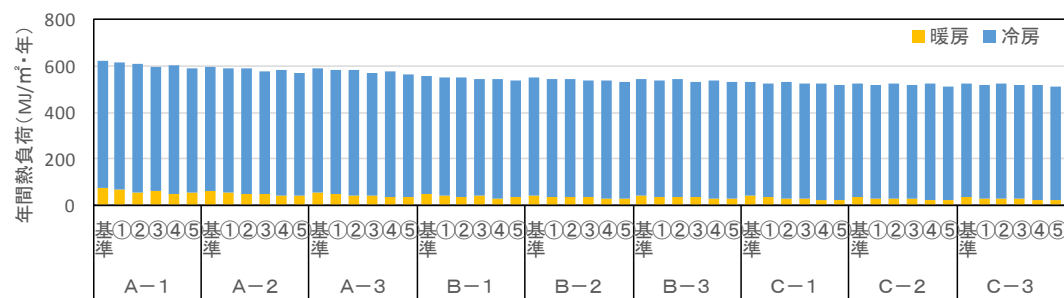


<5階建>

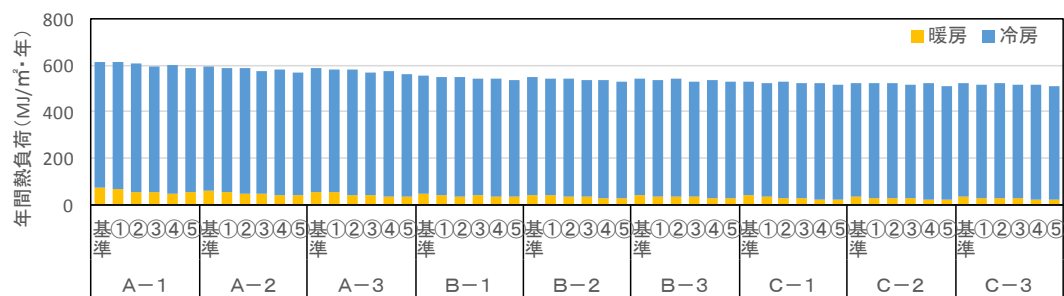


1.3 事務所（鹿児島）

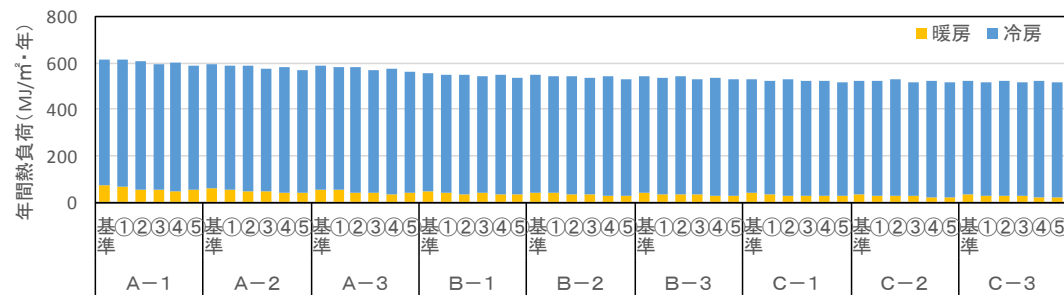
<6階建>



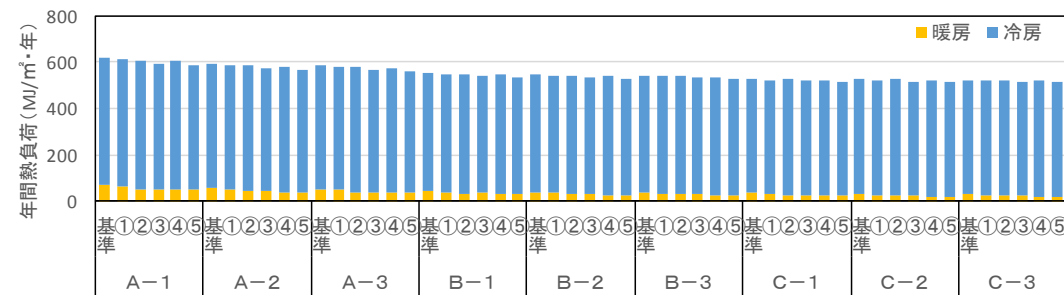
<7階建>



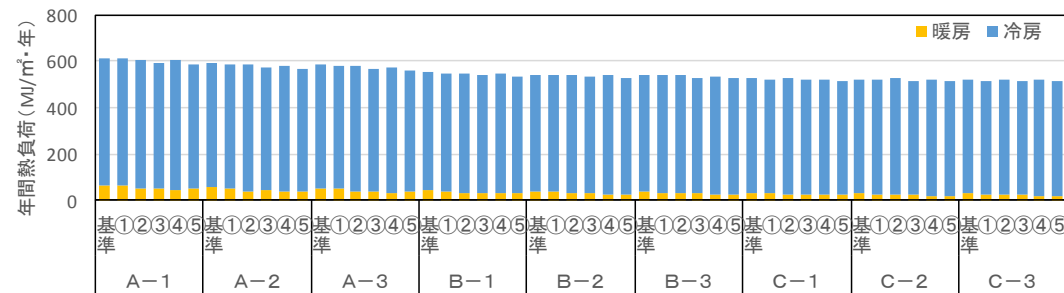
<8階建>



<9階建>

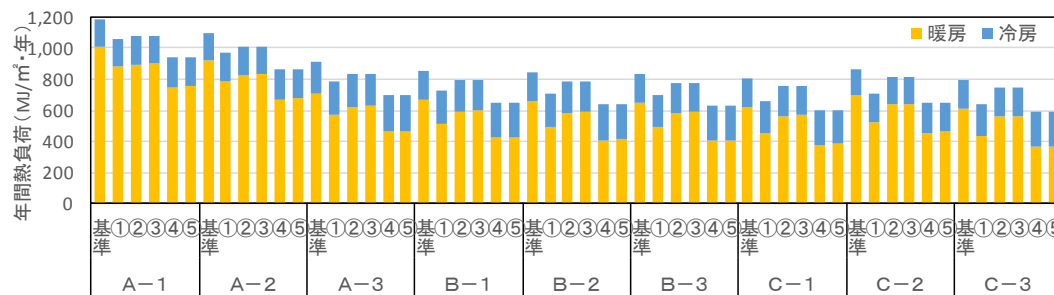


<10階建>

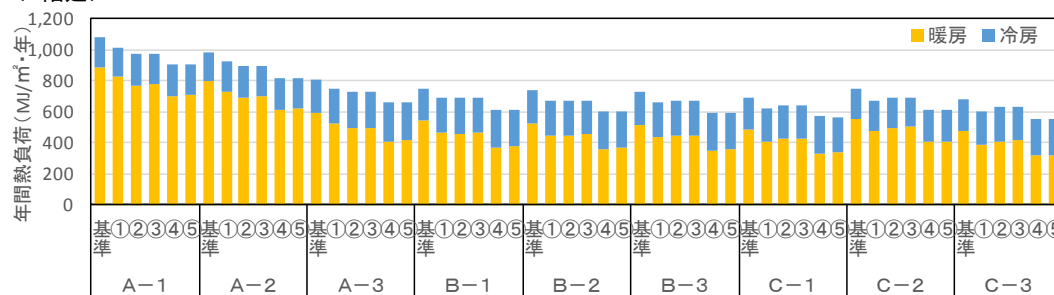


2.1 物販（札幌）

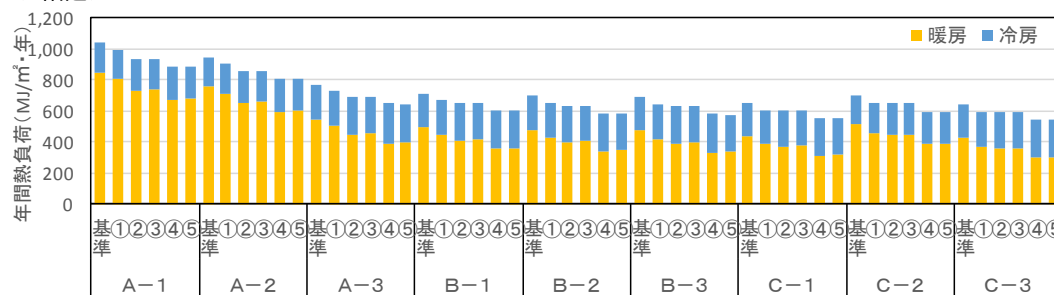
<1階建>



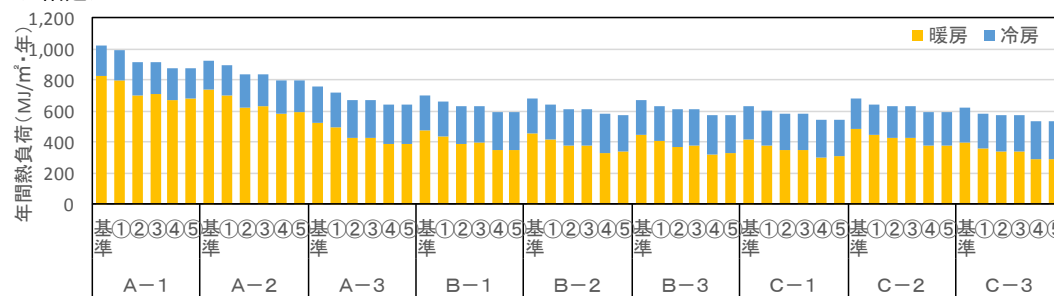
<2階建>



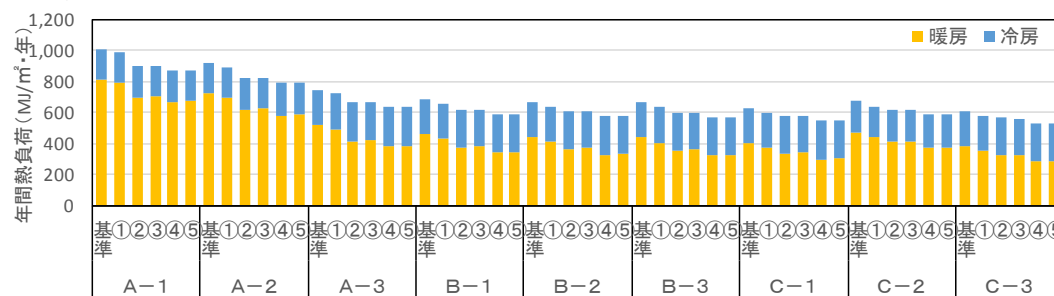
<3階建>



<4階建>

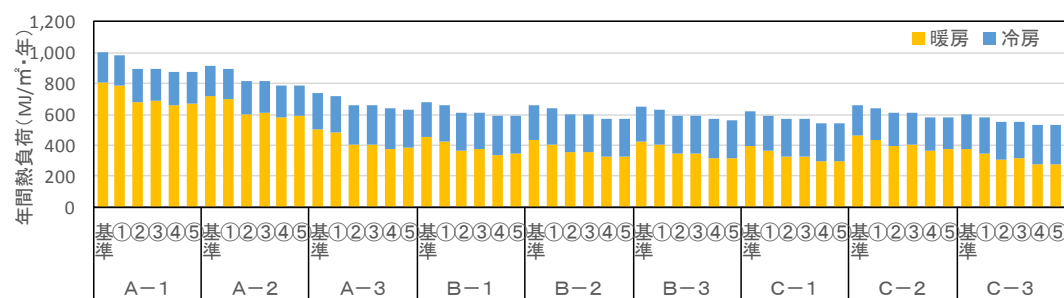


<5階建>

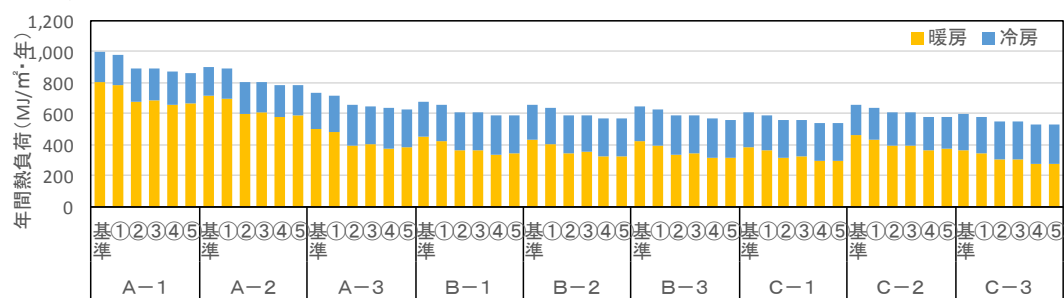


2.1 物販（札幌）

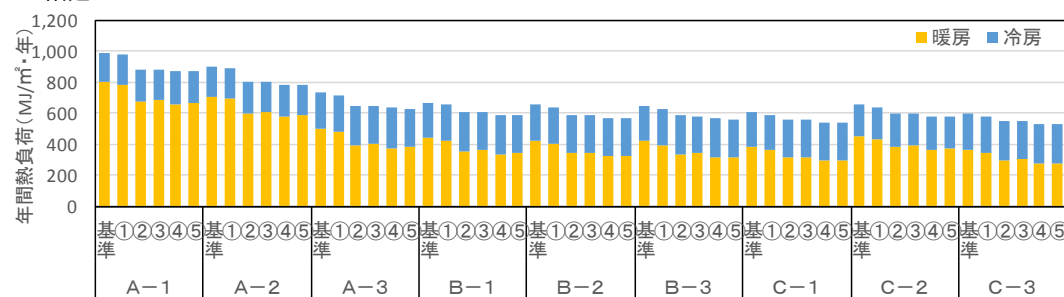
<6階建>



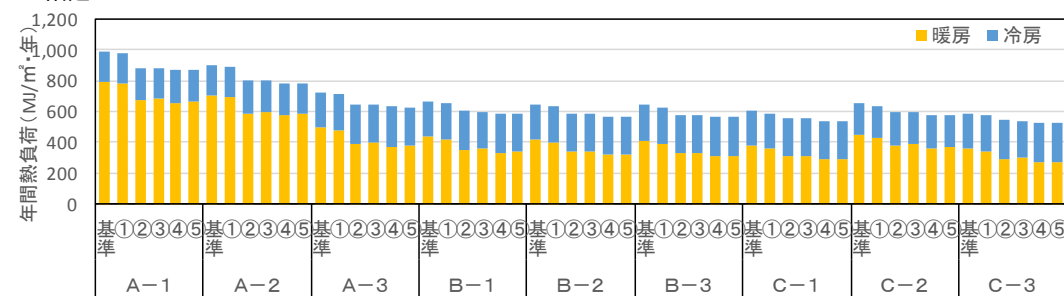
<7階建>



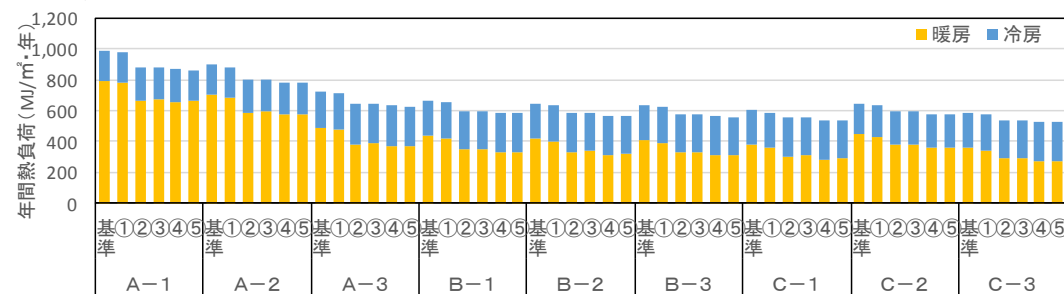
<8階建>



<9階建>

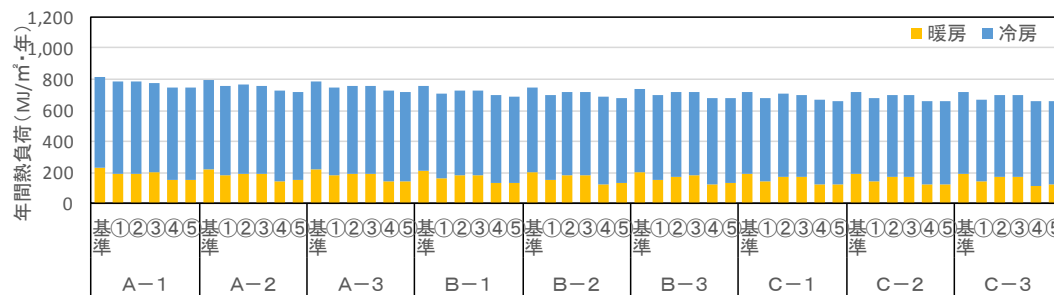


<10階建>

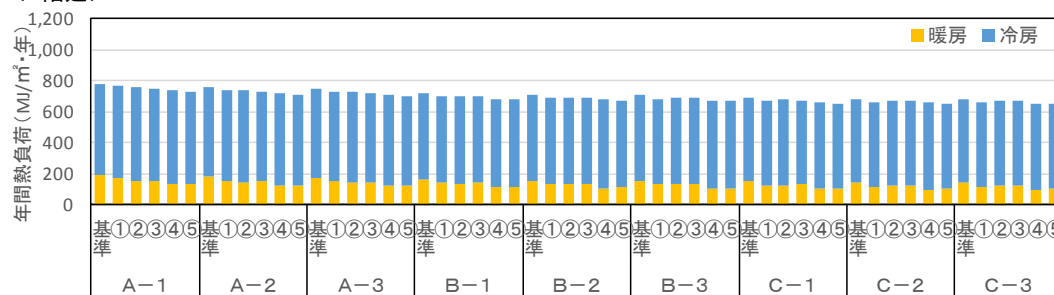


2.2 物販（東京）

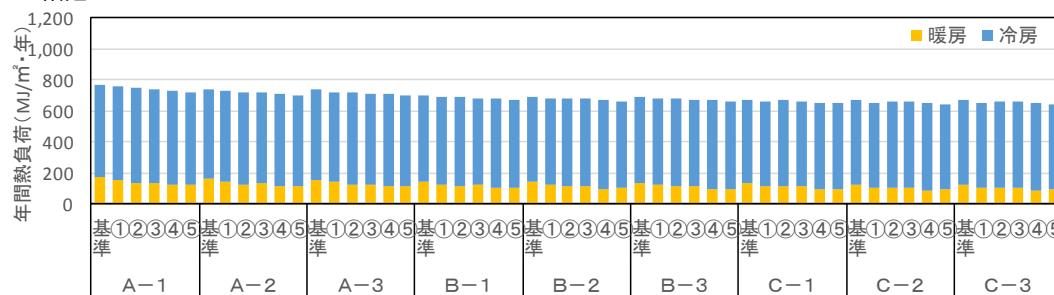
<1階建>



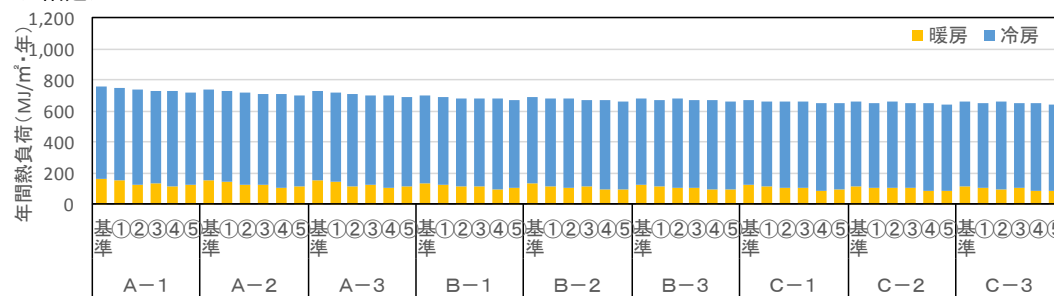
<2階建>



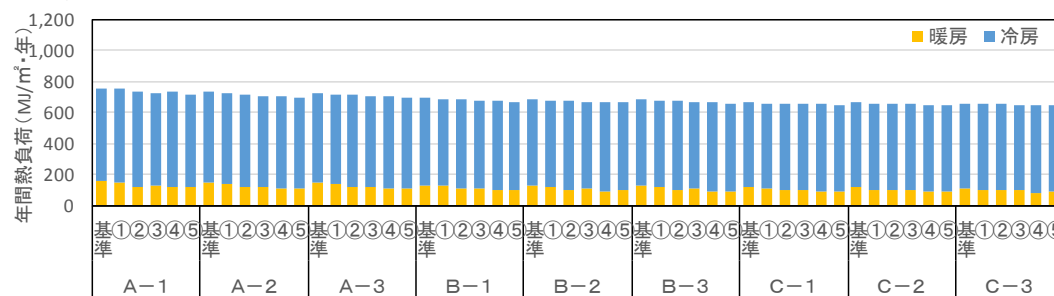
<3階建>



<4階建>

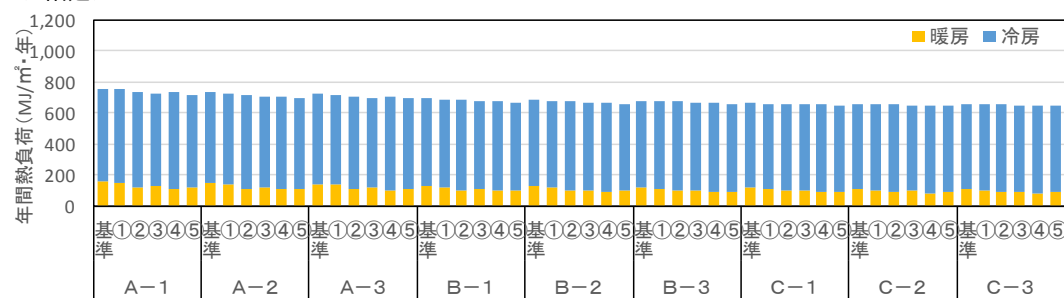


<5階建>

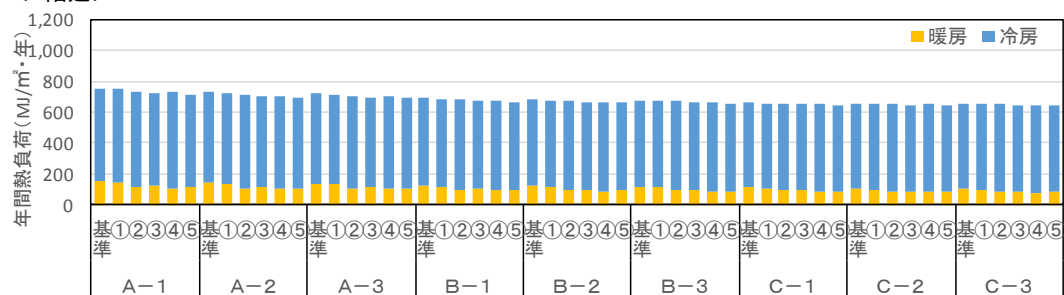


2.2 物販（東京）

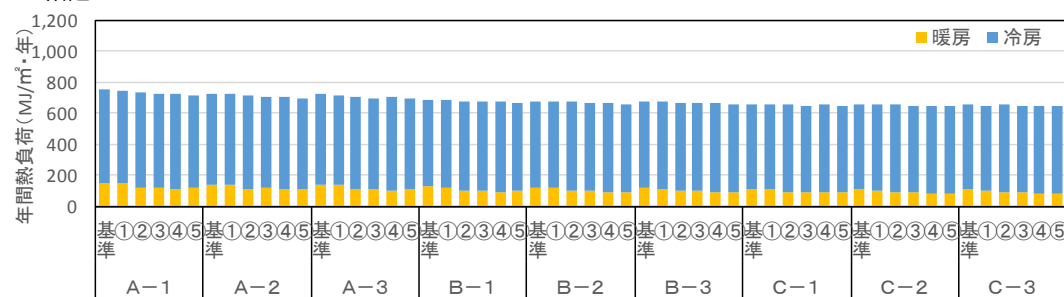
<6階建>



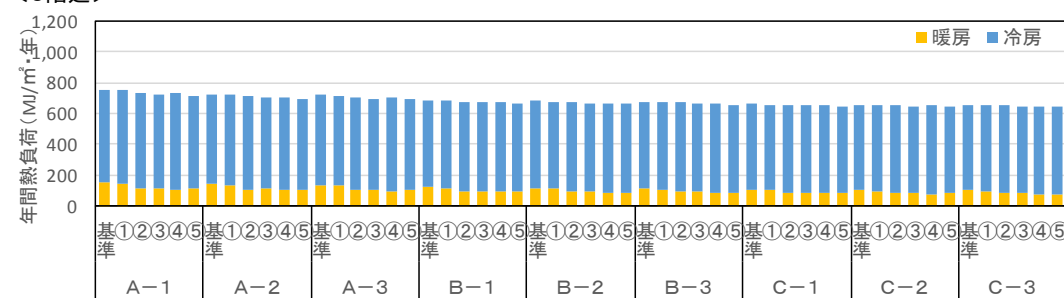
<7階建>



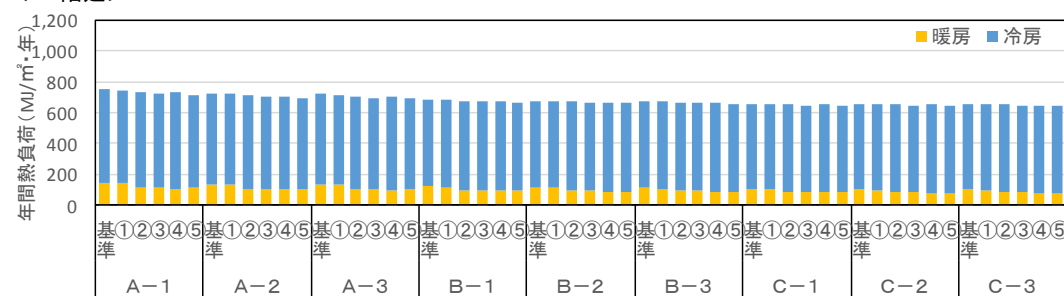
<8階建>



<9階建>

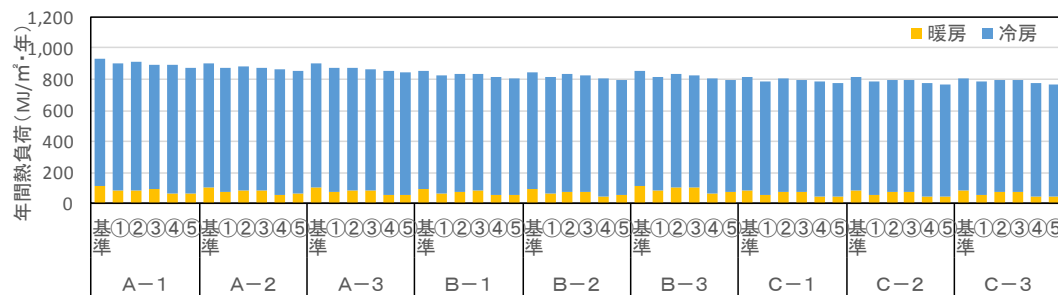


<10階建>

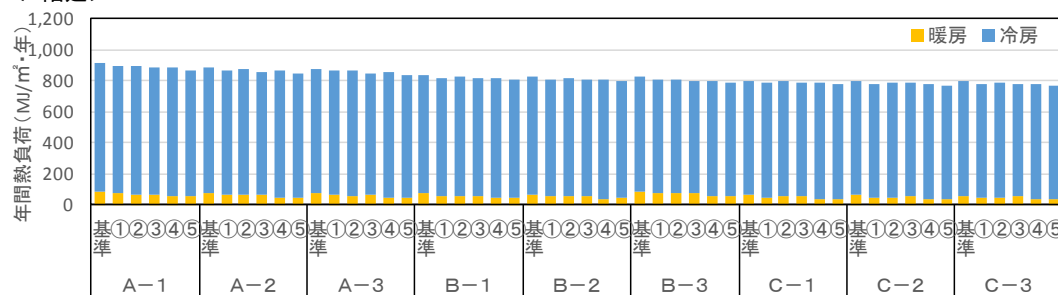


2.3 物販（鹿児島）

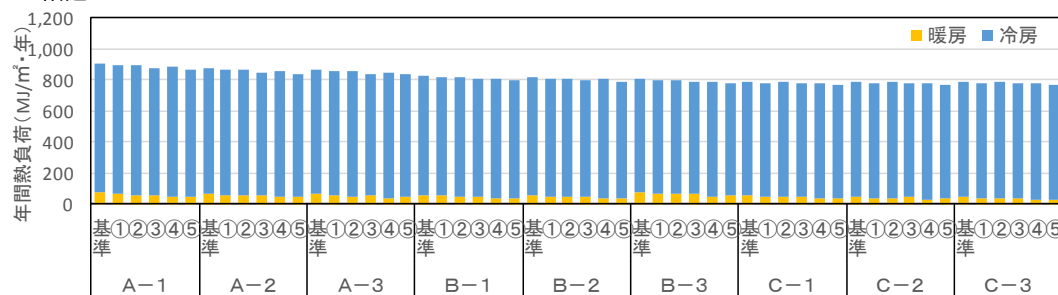
<1階建>



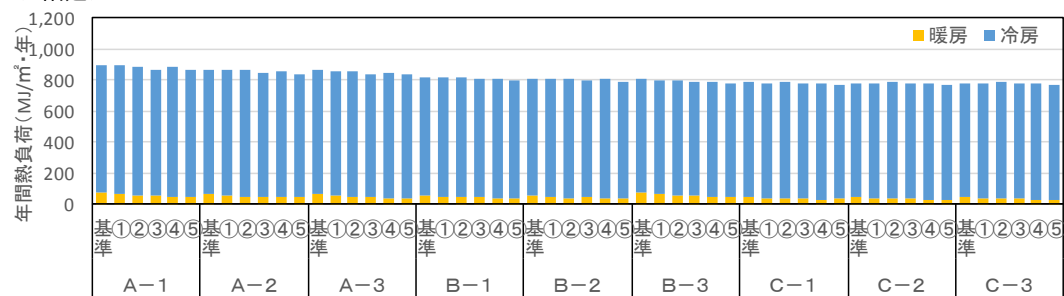
<2階建>



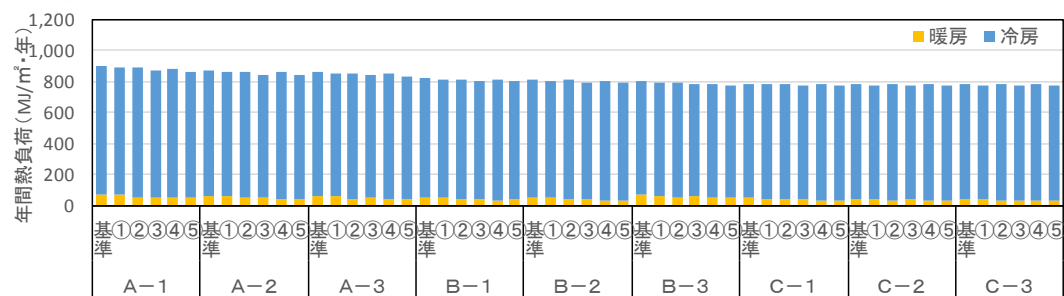
<3階建>



<4階建>

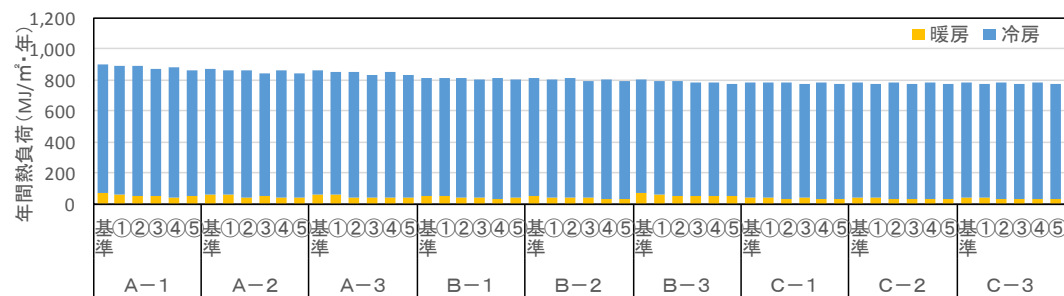


<5階建>

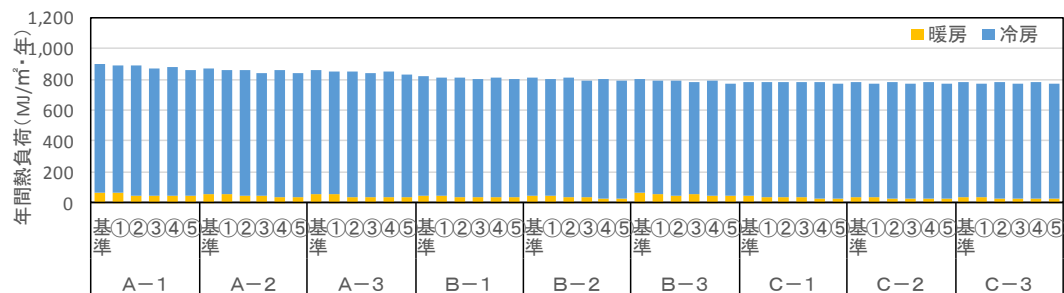


2.3 物販（鹿児島）

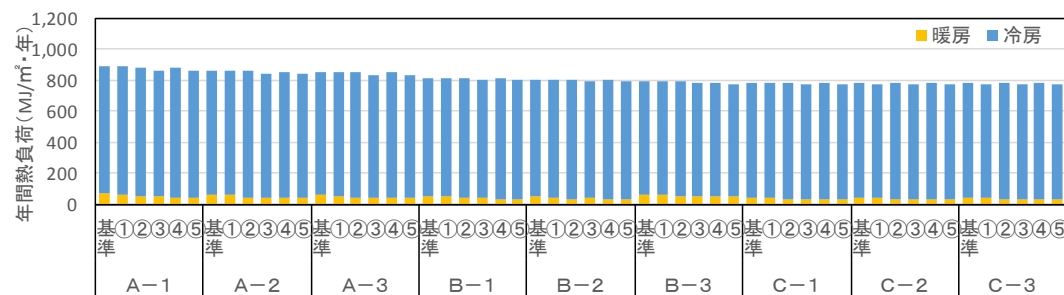
<6階建>



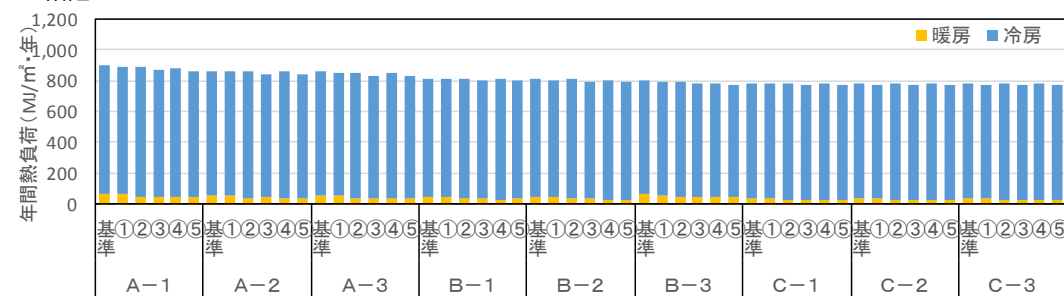
<7階建>



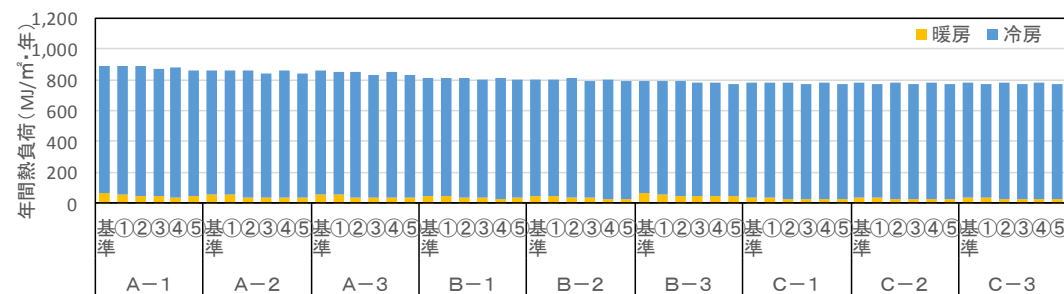
<8階建>



<9階建>

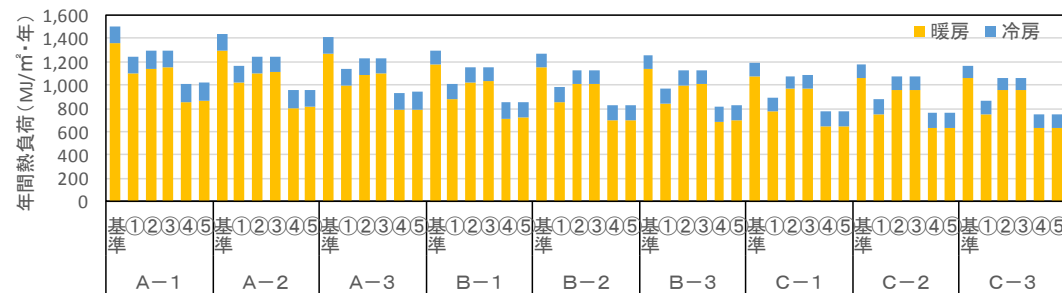


<10階建>

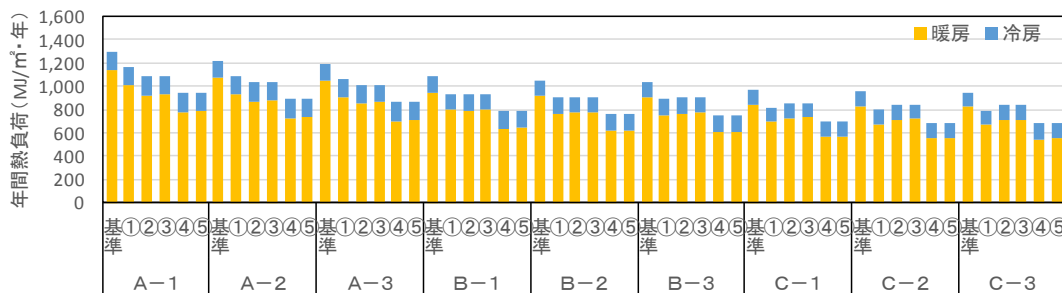


3.1 病院（札幌）

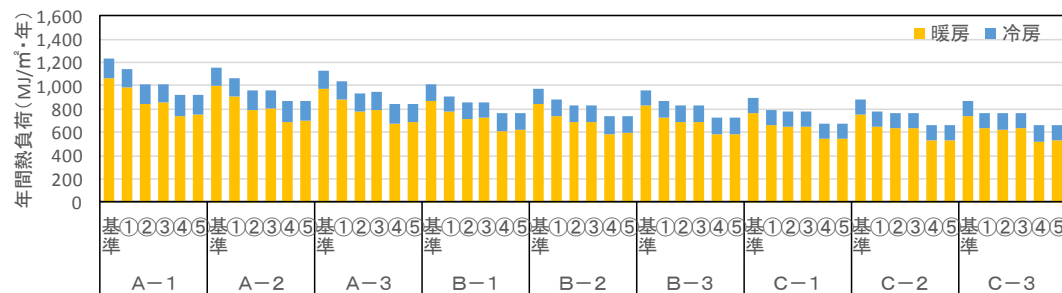
<1階建>



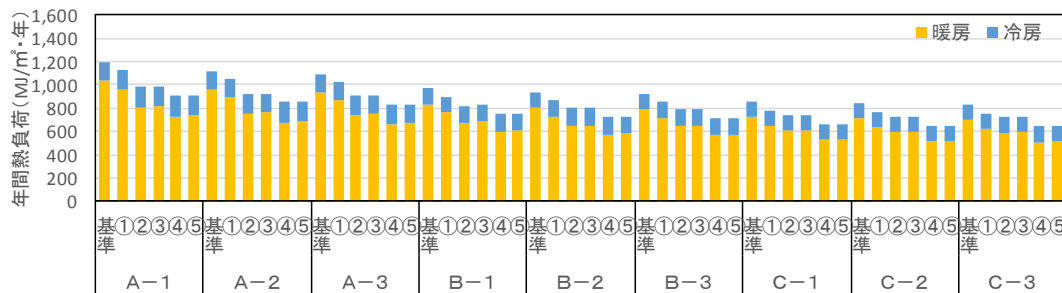
<2階建>



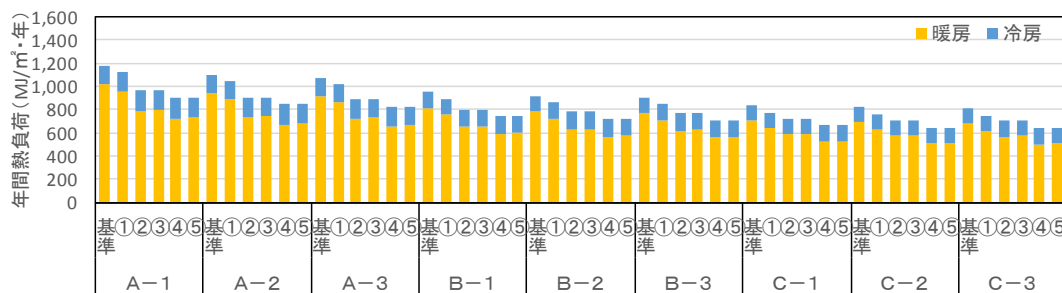
<3階建>



<4階建>

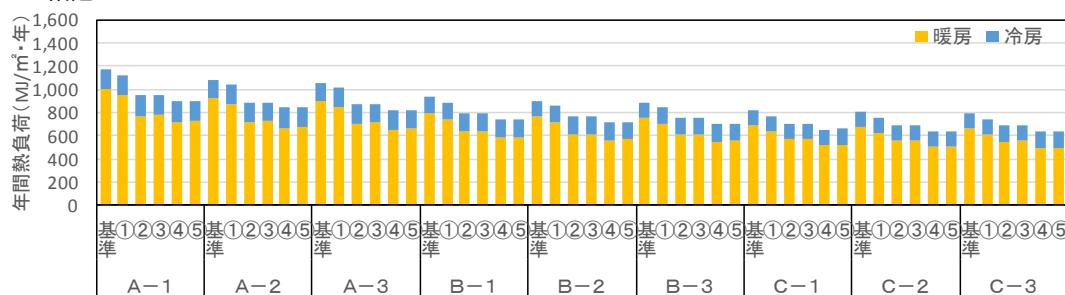


<5階建>

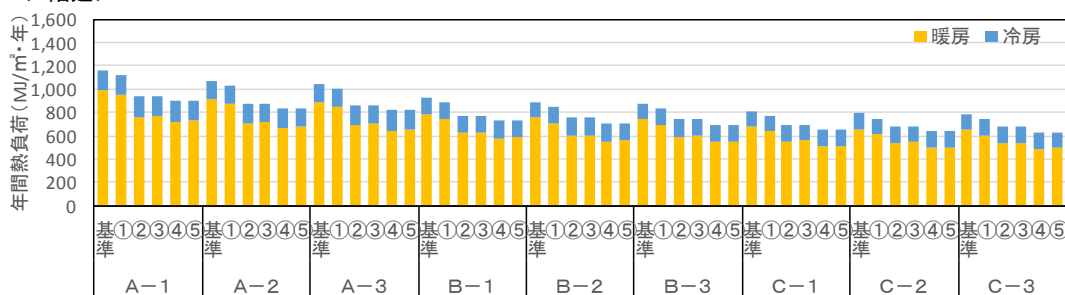


3.1 病院（札幌）

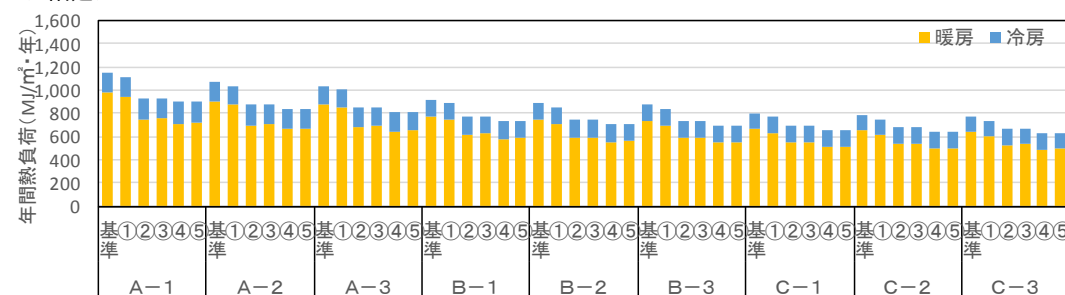
<6階建>



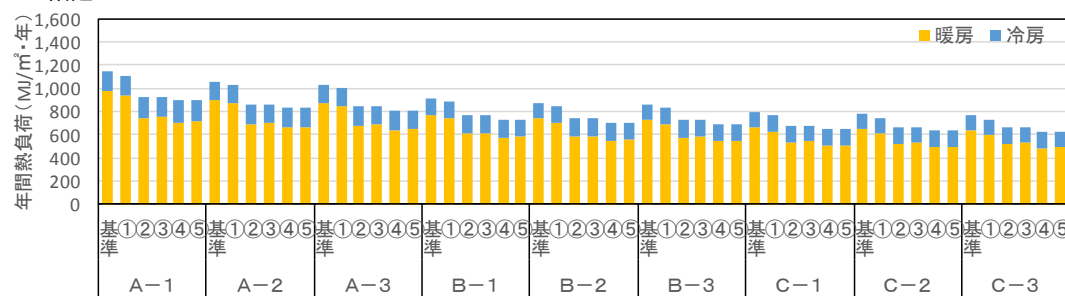
<7階建>



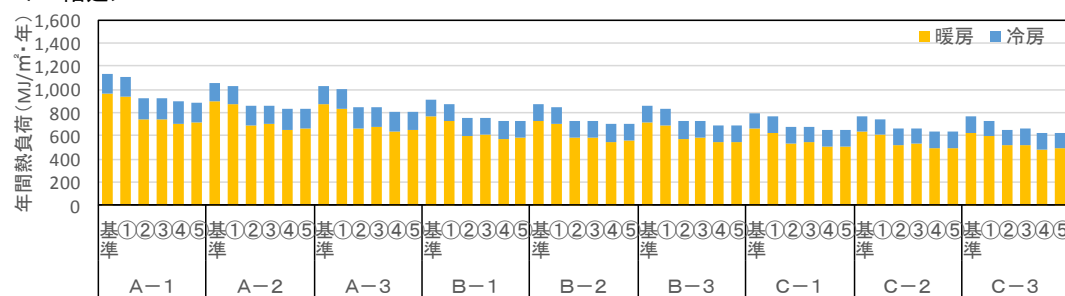
<8階建>



<9階建>

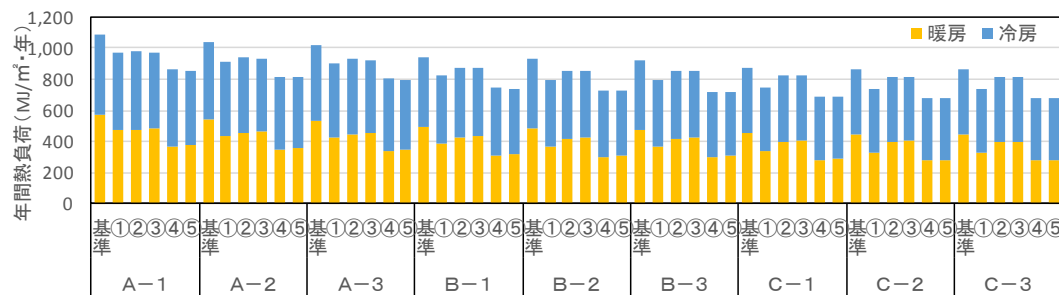


<10階建>

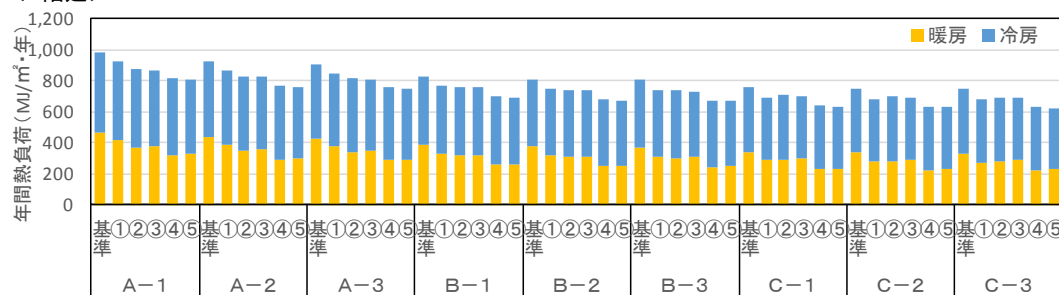


3.2 病院（東京）

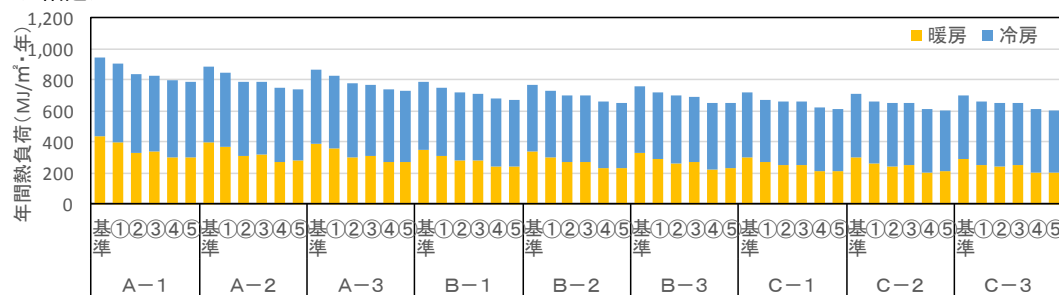
<1階建>



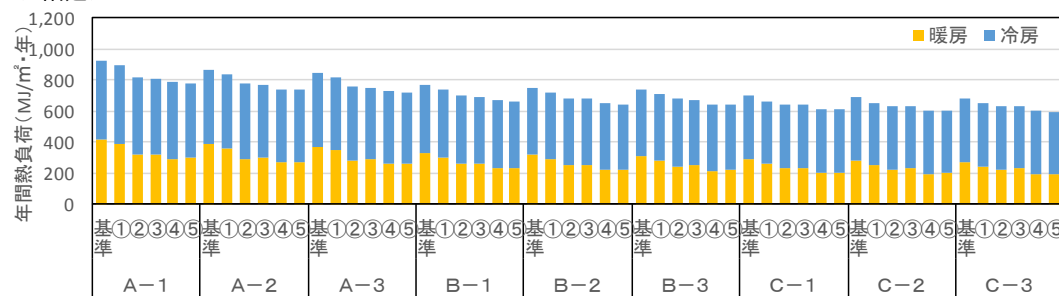
<2階建>



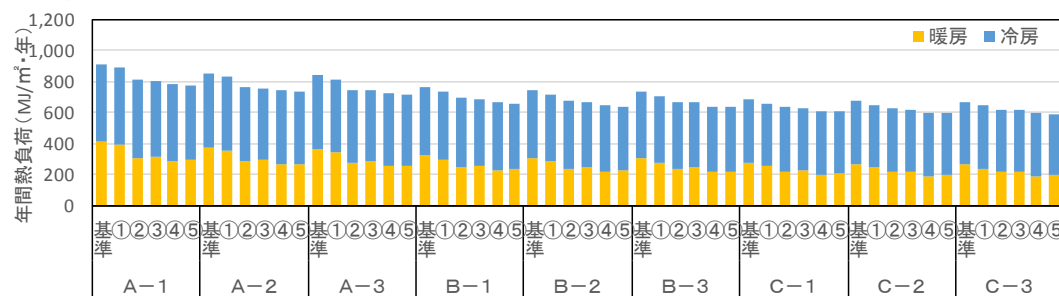
<3階建>



<4階建>

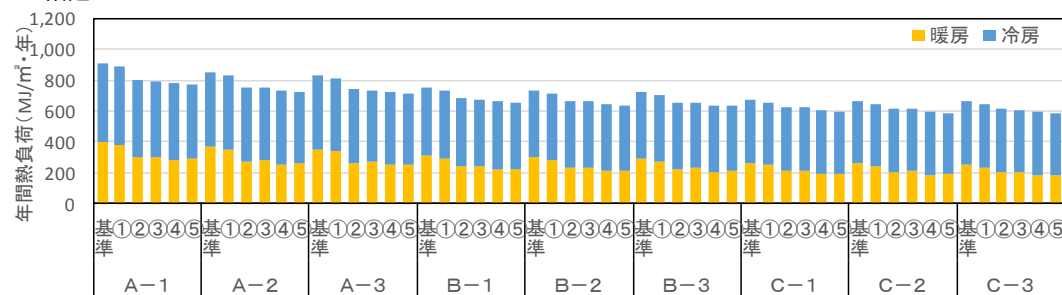


<5階建>

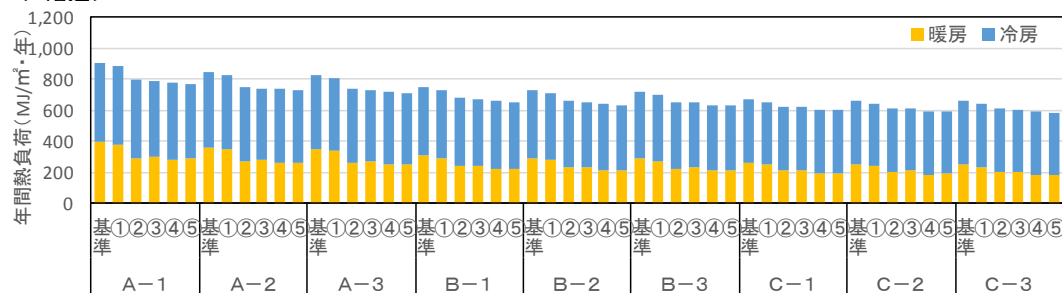


3.2 病院（東京）

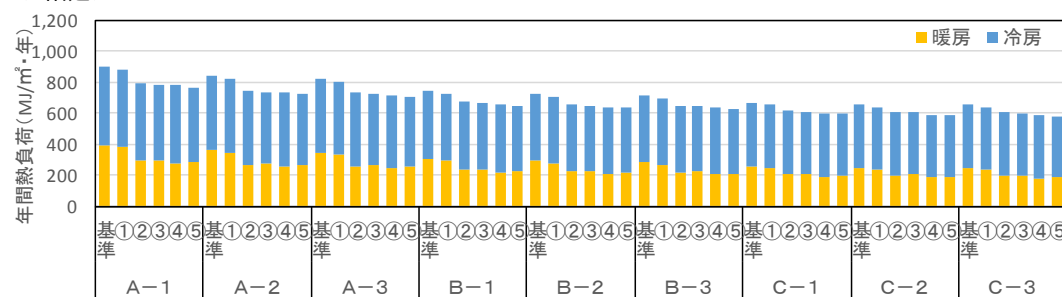
<6階建>



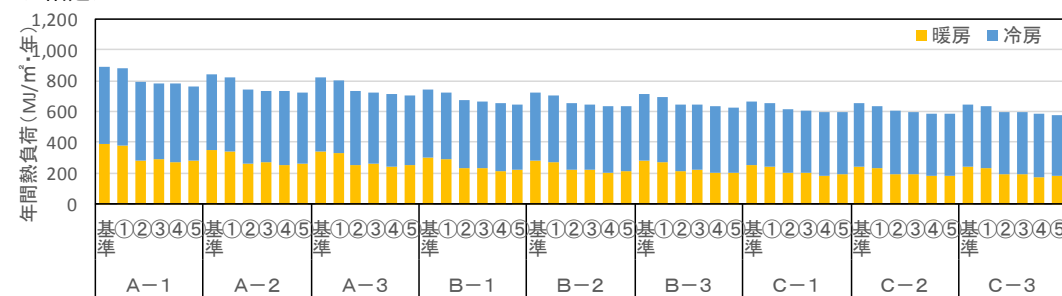
<7階建>



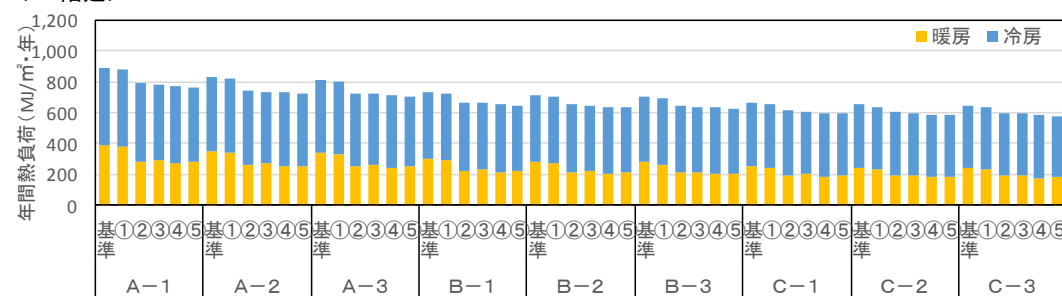
<8階建>



<9階建>

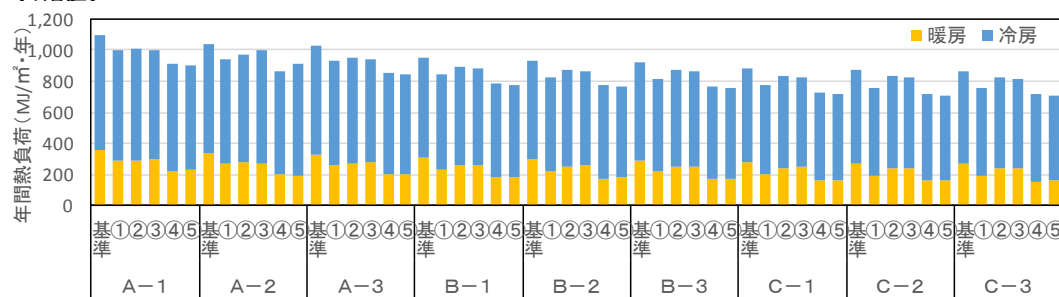


<10階建>

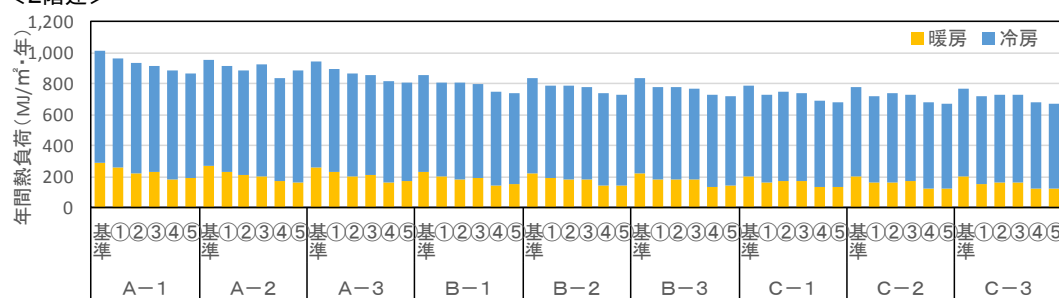


3.3 病院（鹿児島）

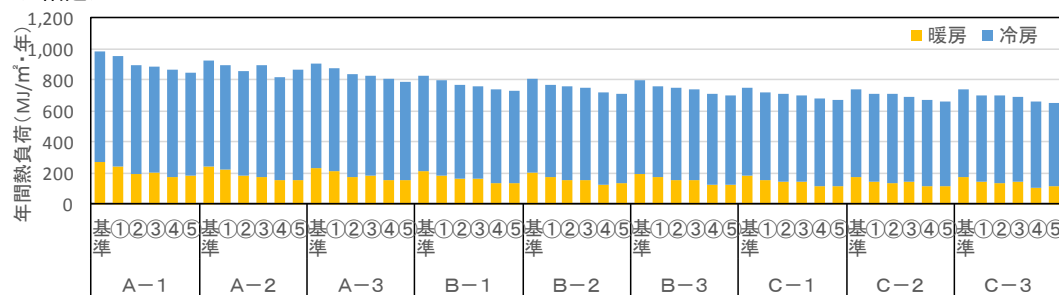
<1階建>



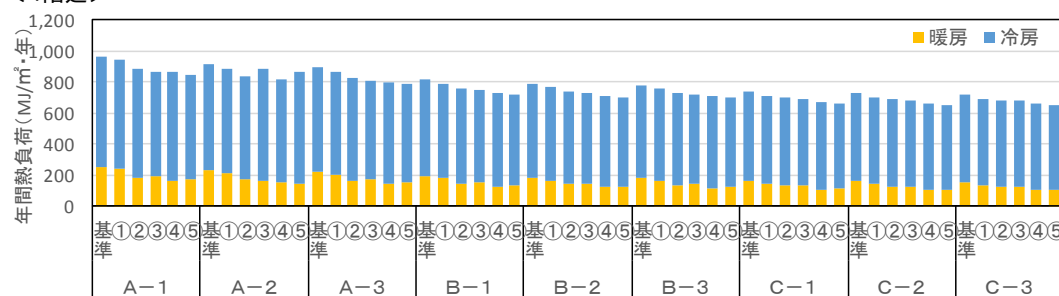
<2階建>



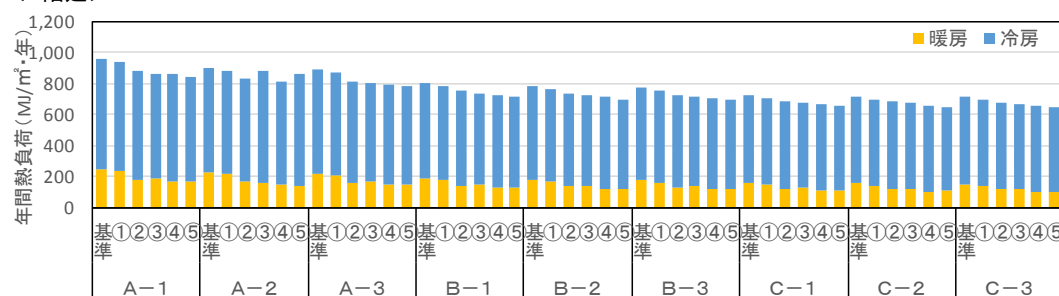
<3階建>



<4階建>

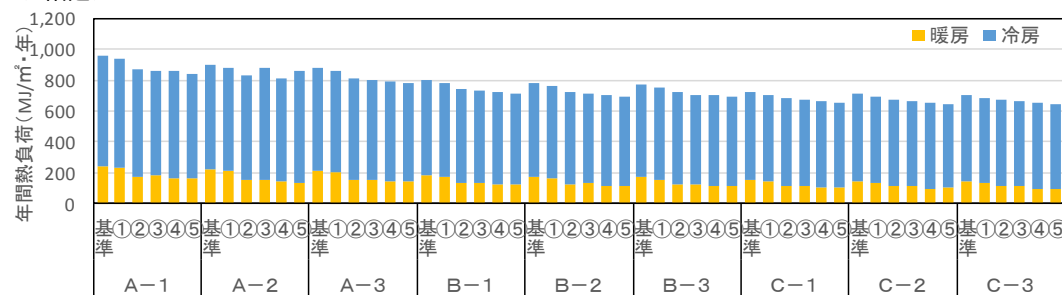


<5階建>

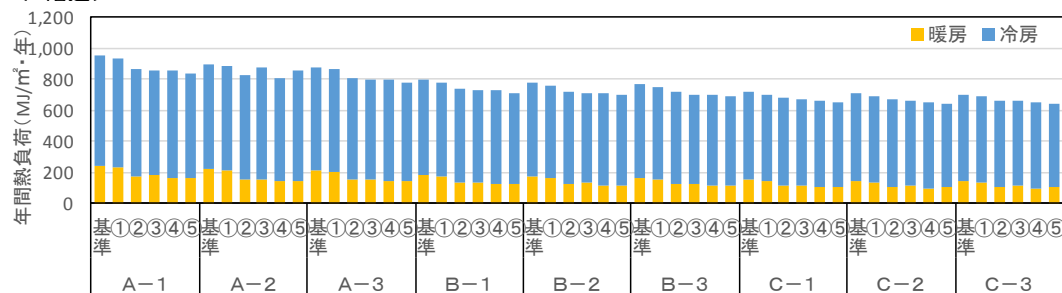


3.3 病院（鹿児島）

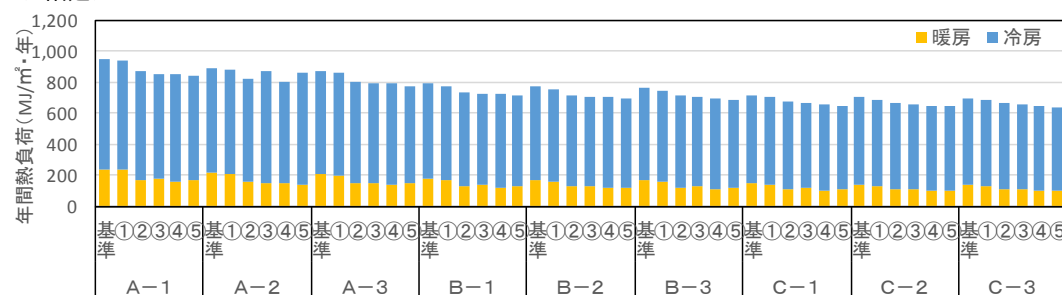
<6階建>



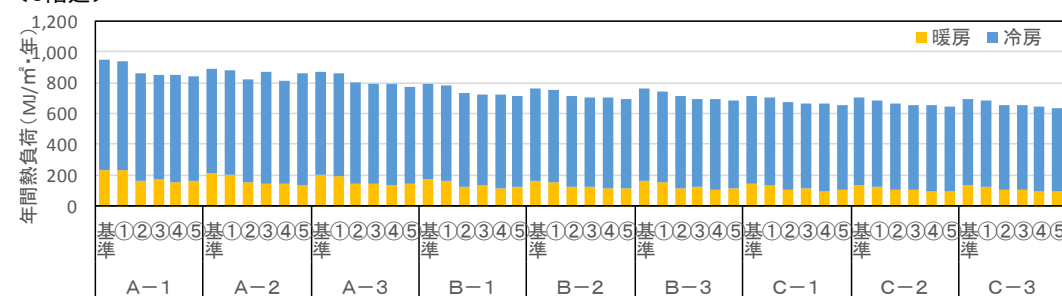
<7階建>



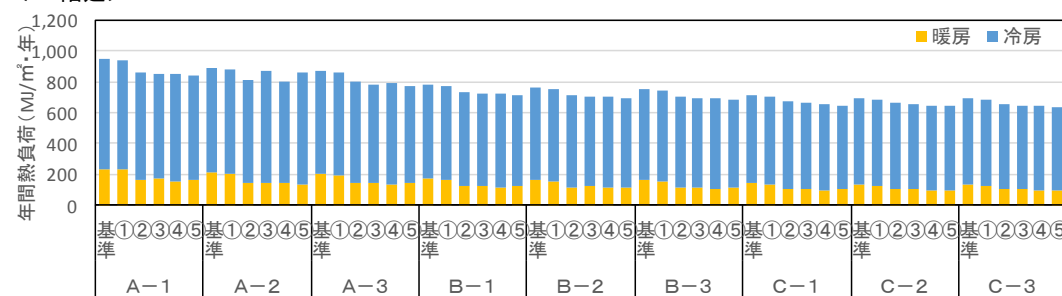
<8階建>



<9階建>



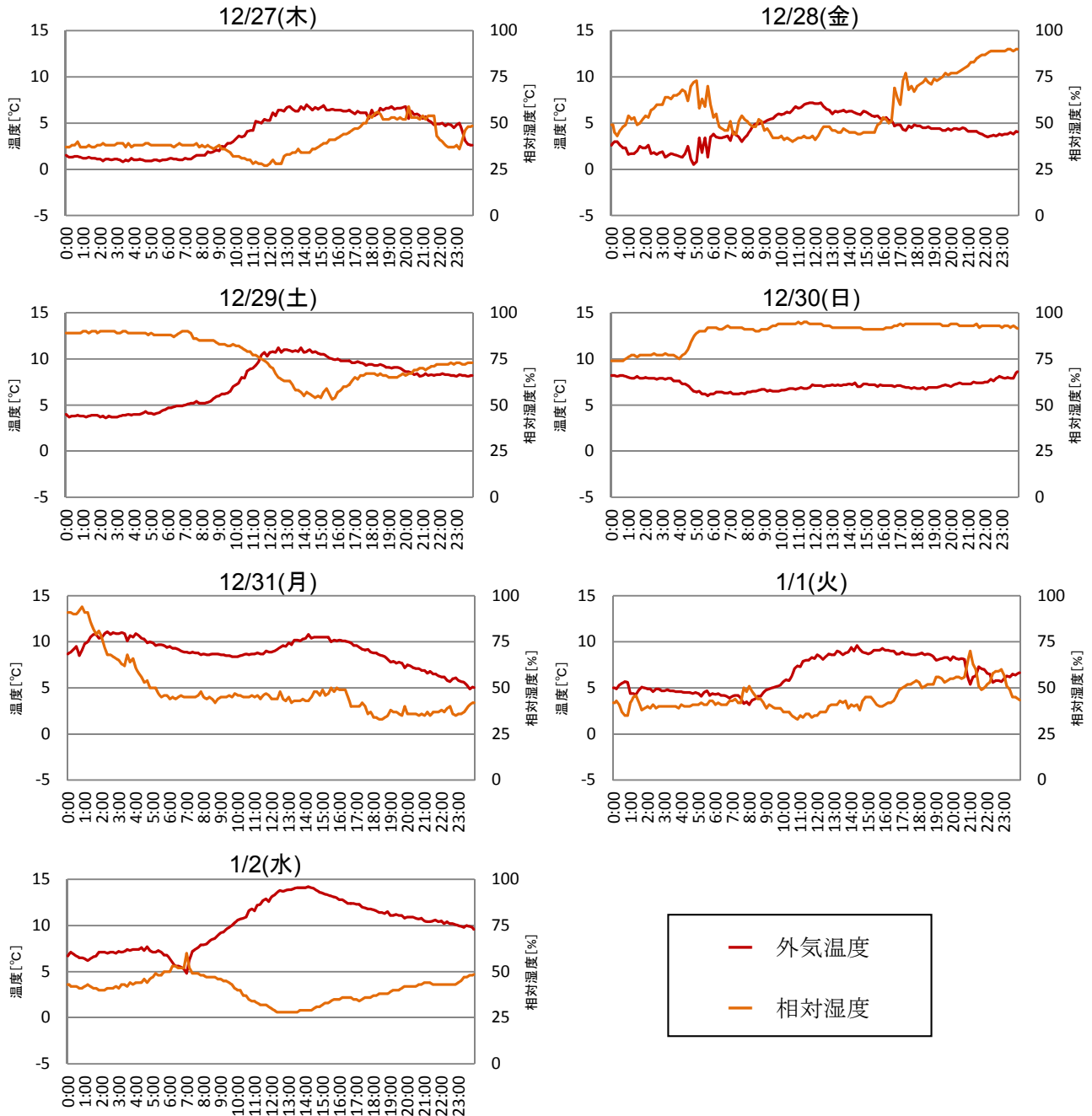
<10階建>



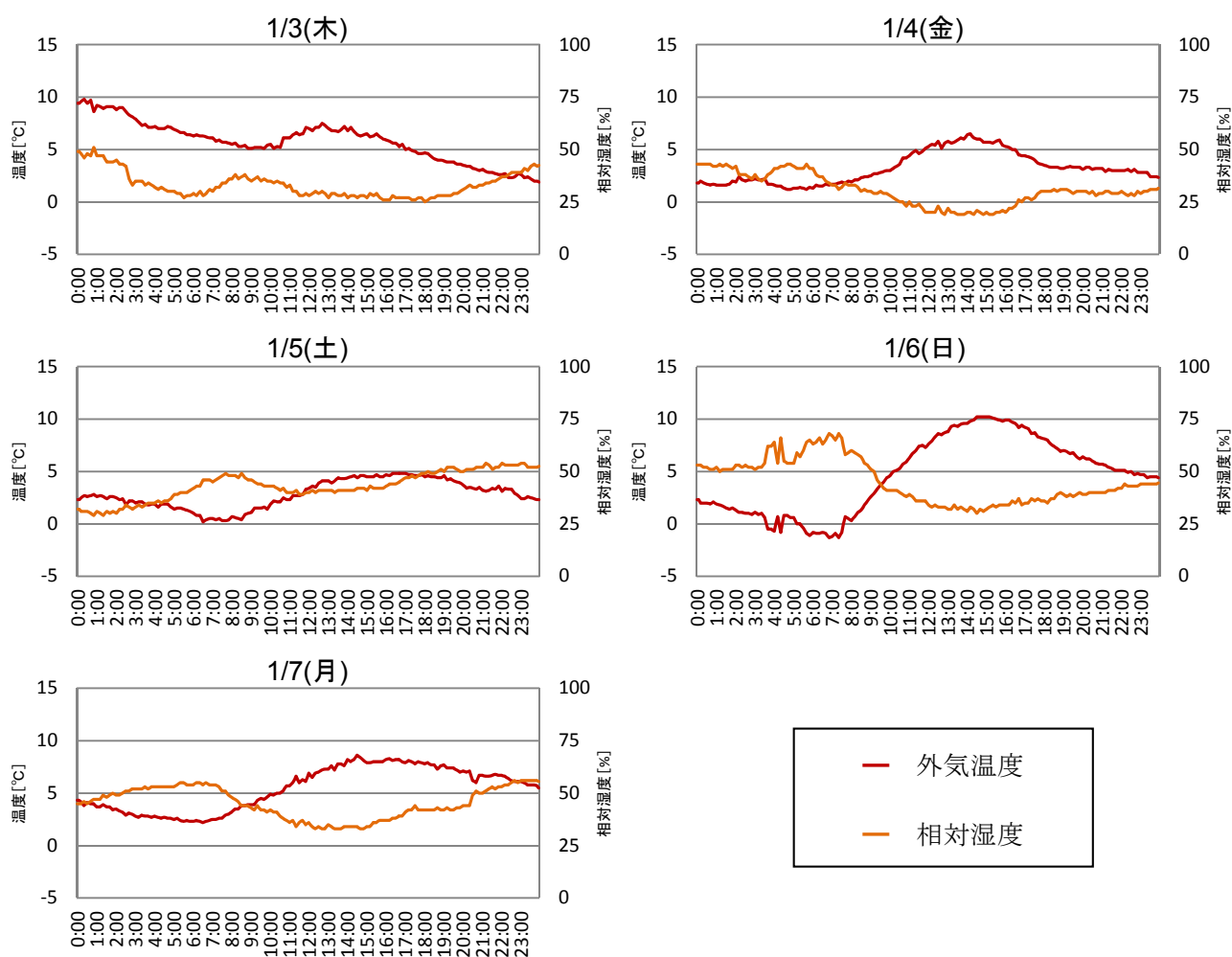
付録 B M オフィスにおける窓改修の模擬実験（測定結果）

1. 外界気象条件

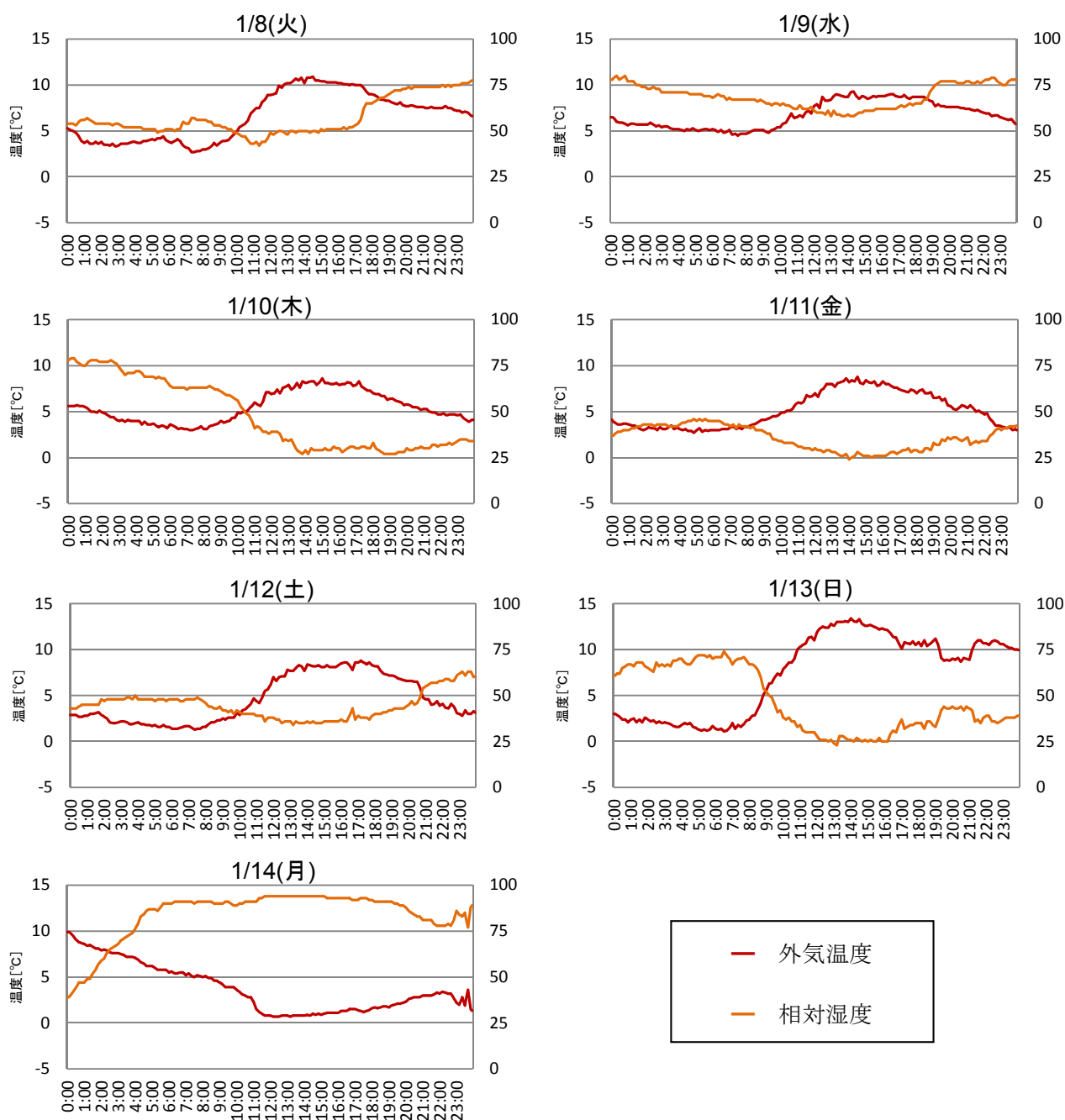
CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日



CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日:続き



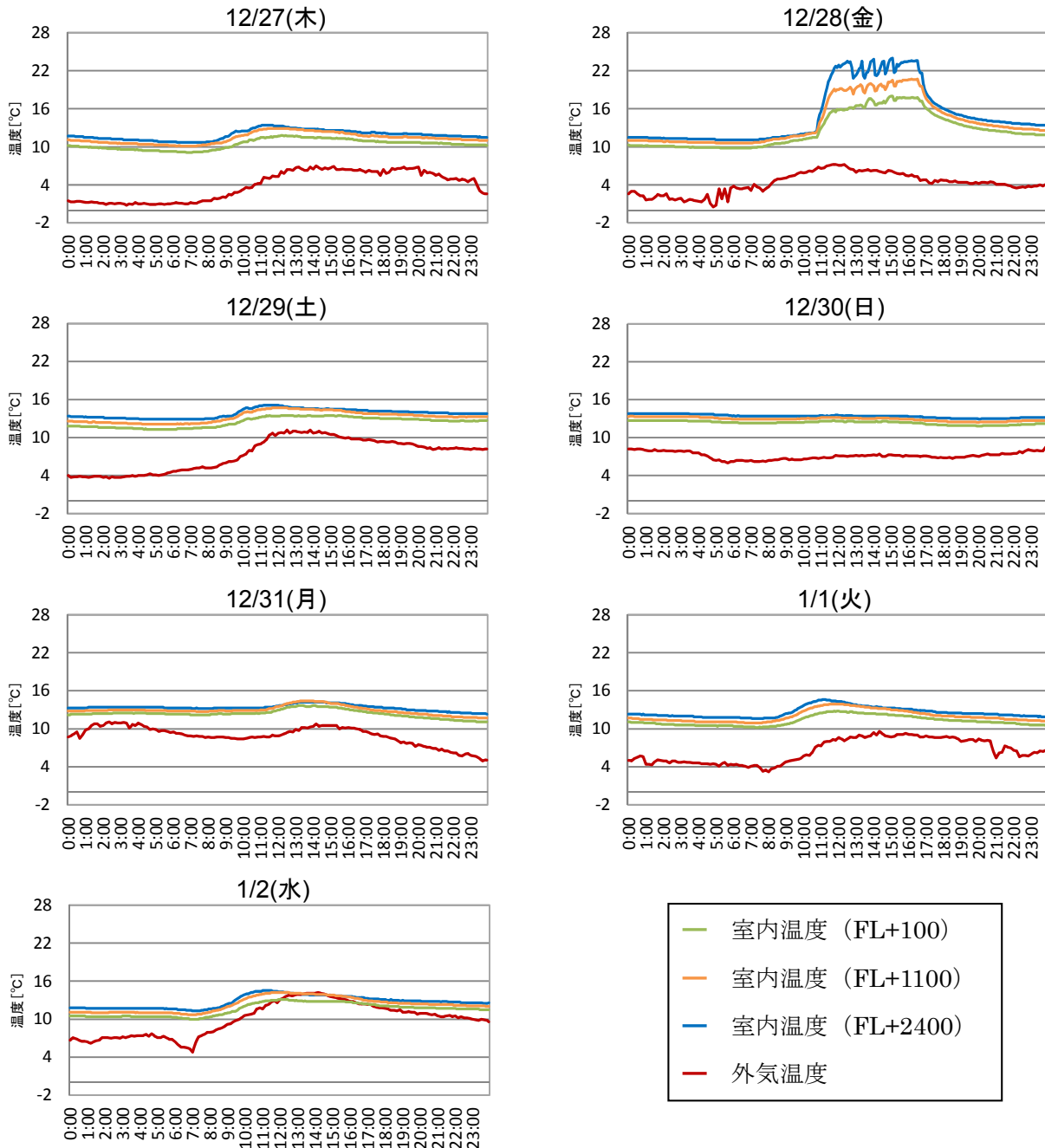
CASE-2（断熱あり）：2013 年 1 月 8 日～2013 年 1 月 14 日



2. 外気温及び室内空気温度

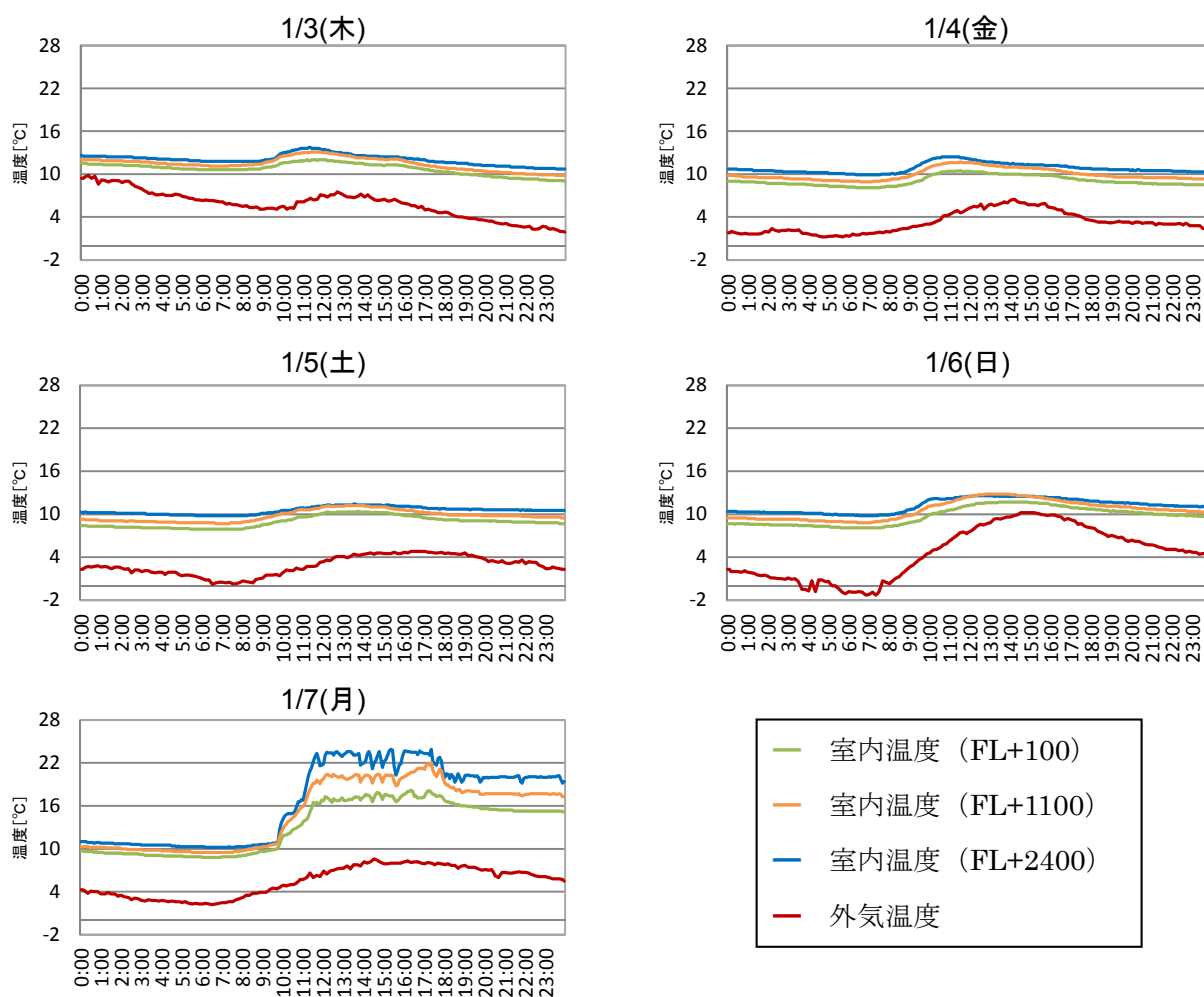
CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日

「A 点(窓際)」の温度変動



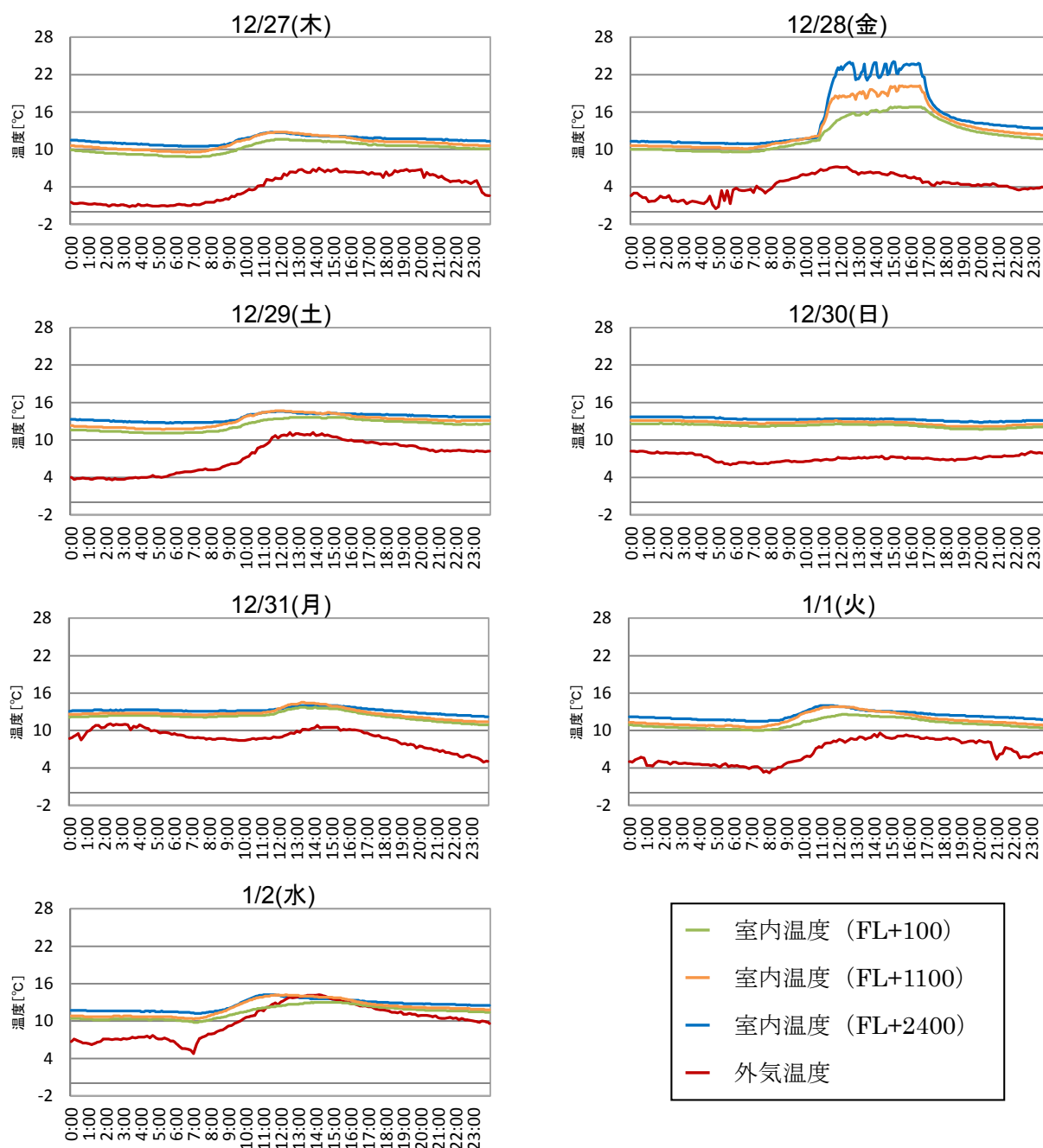
CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日

「A 点(窓際)」の温度変動：続き



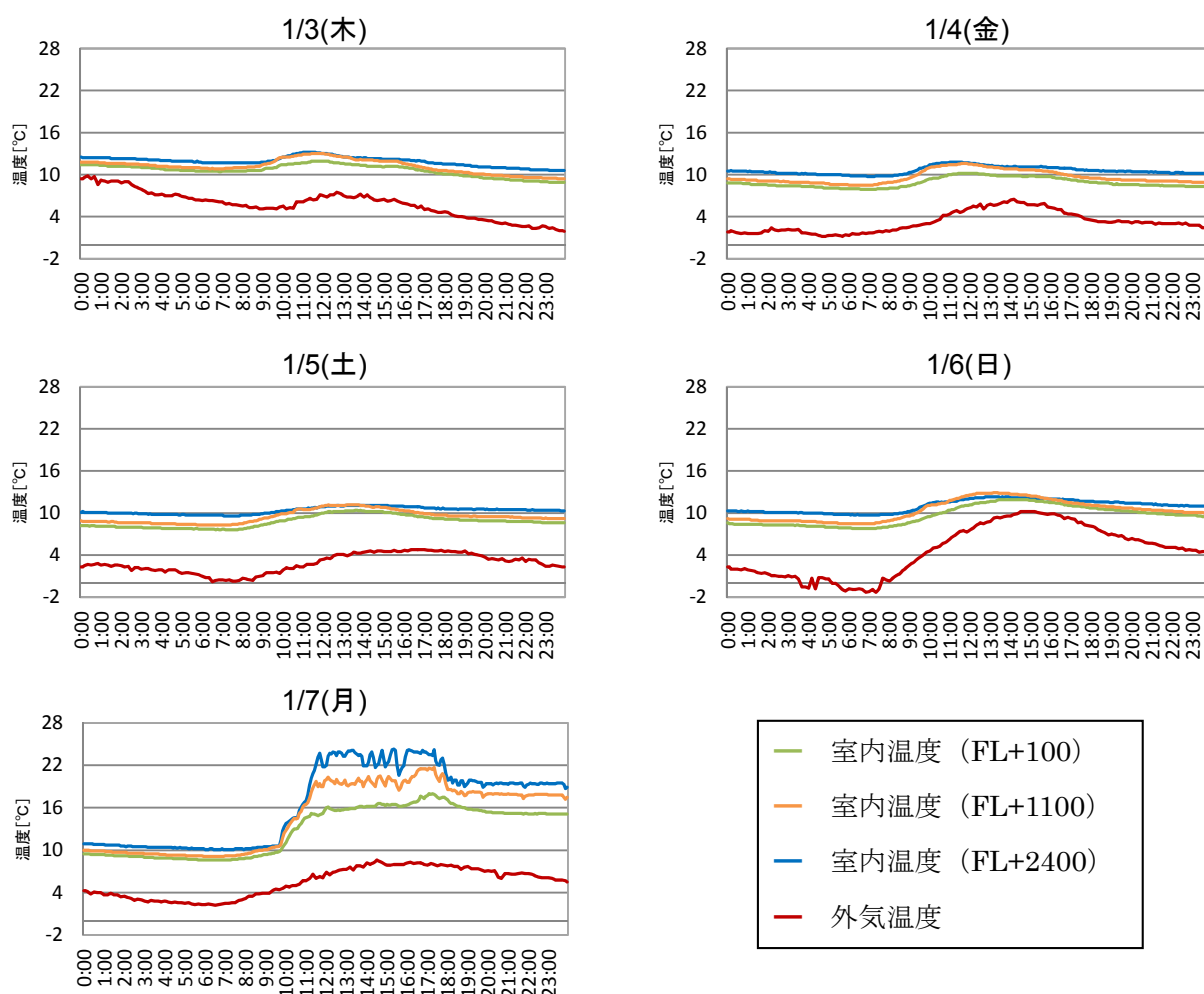
CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日

「B 点(窓際)」の温度変動



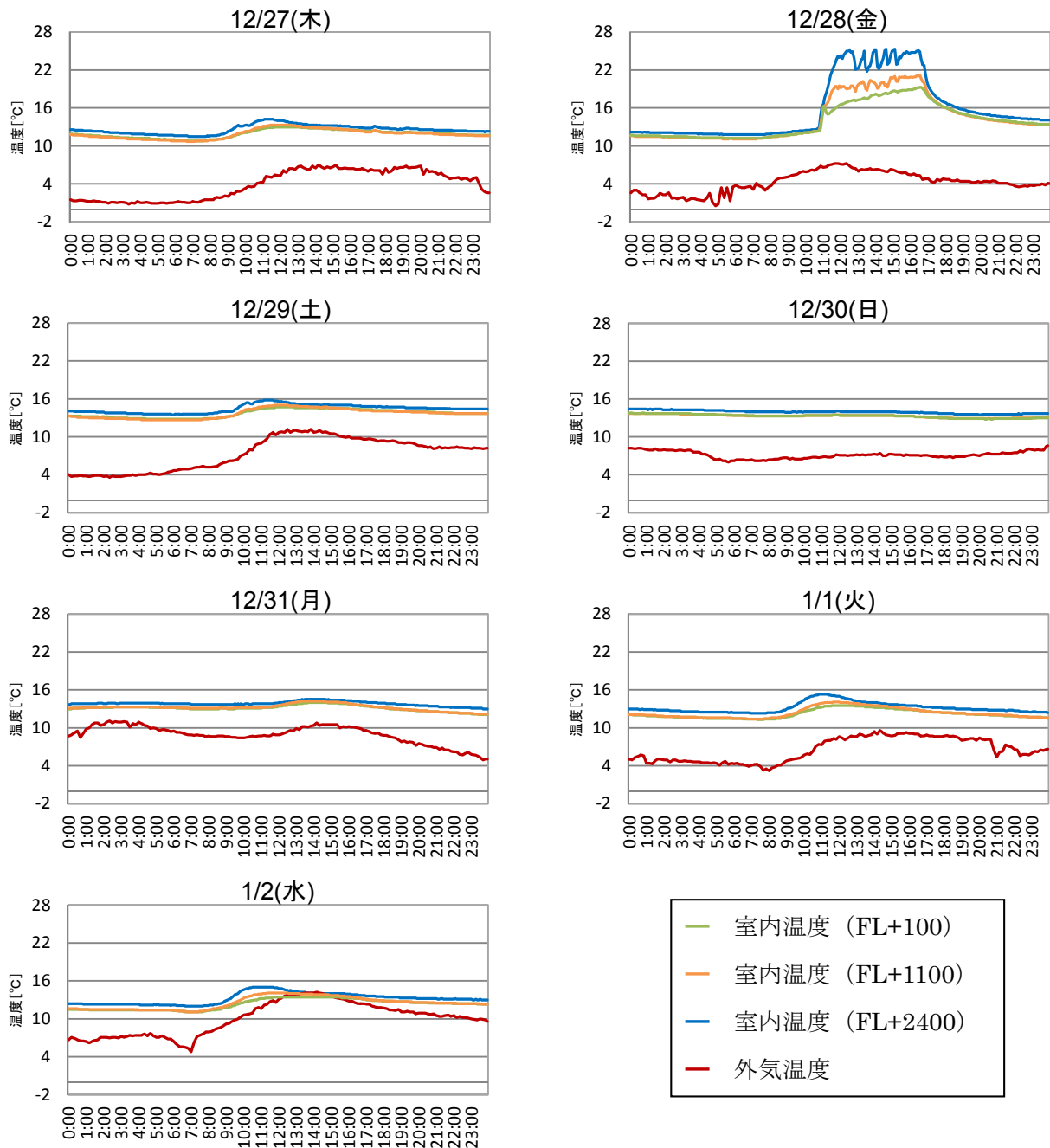
CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日

「B 点(窓際)」の温度変動：続き



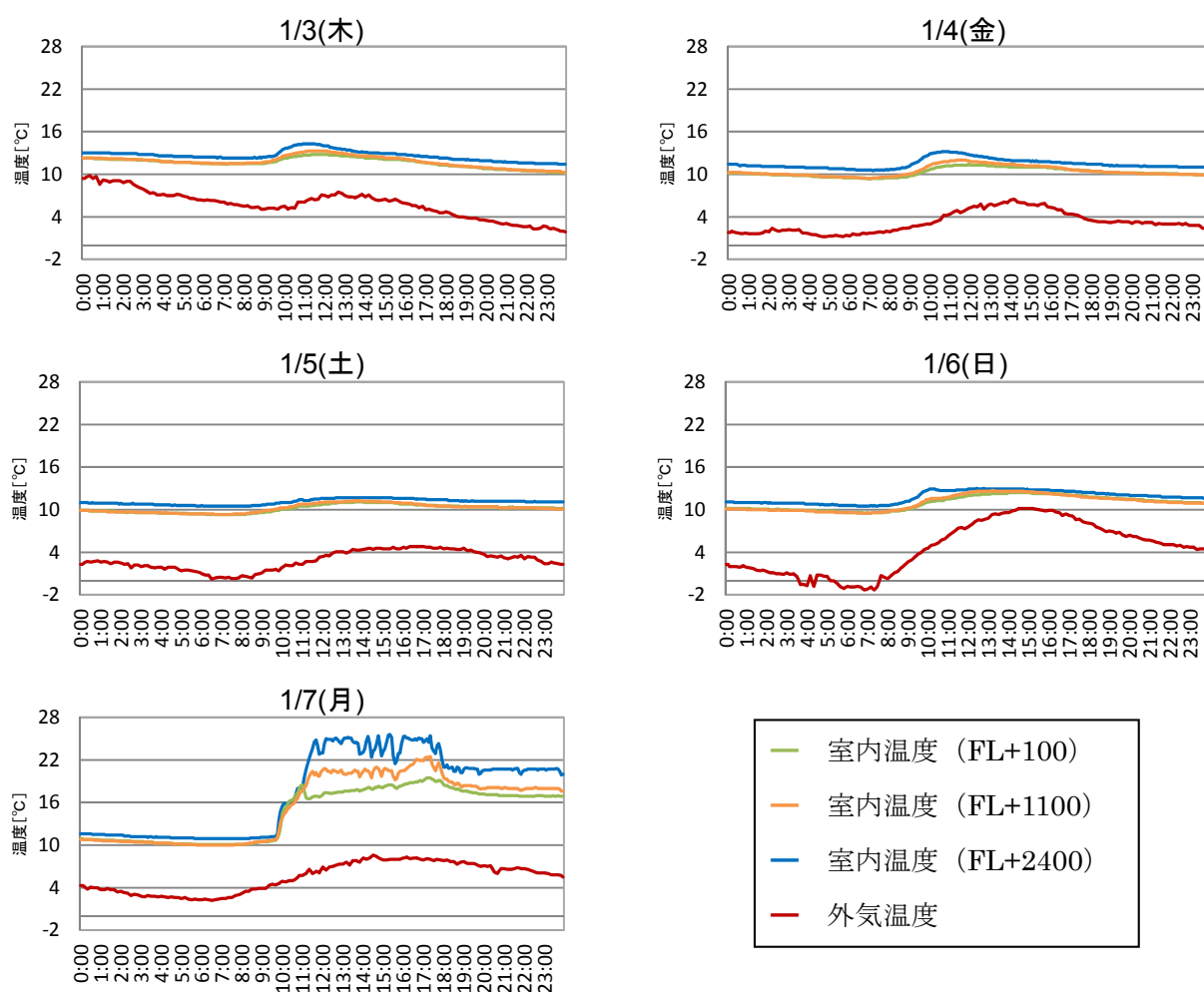
CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日

「C 点(室中央)」の温度変動



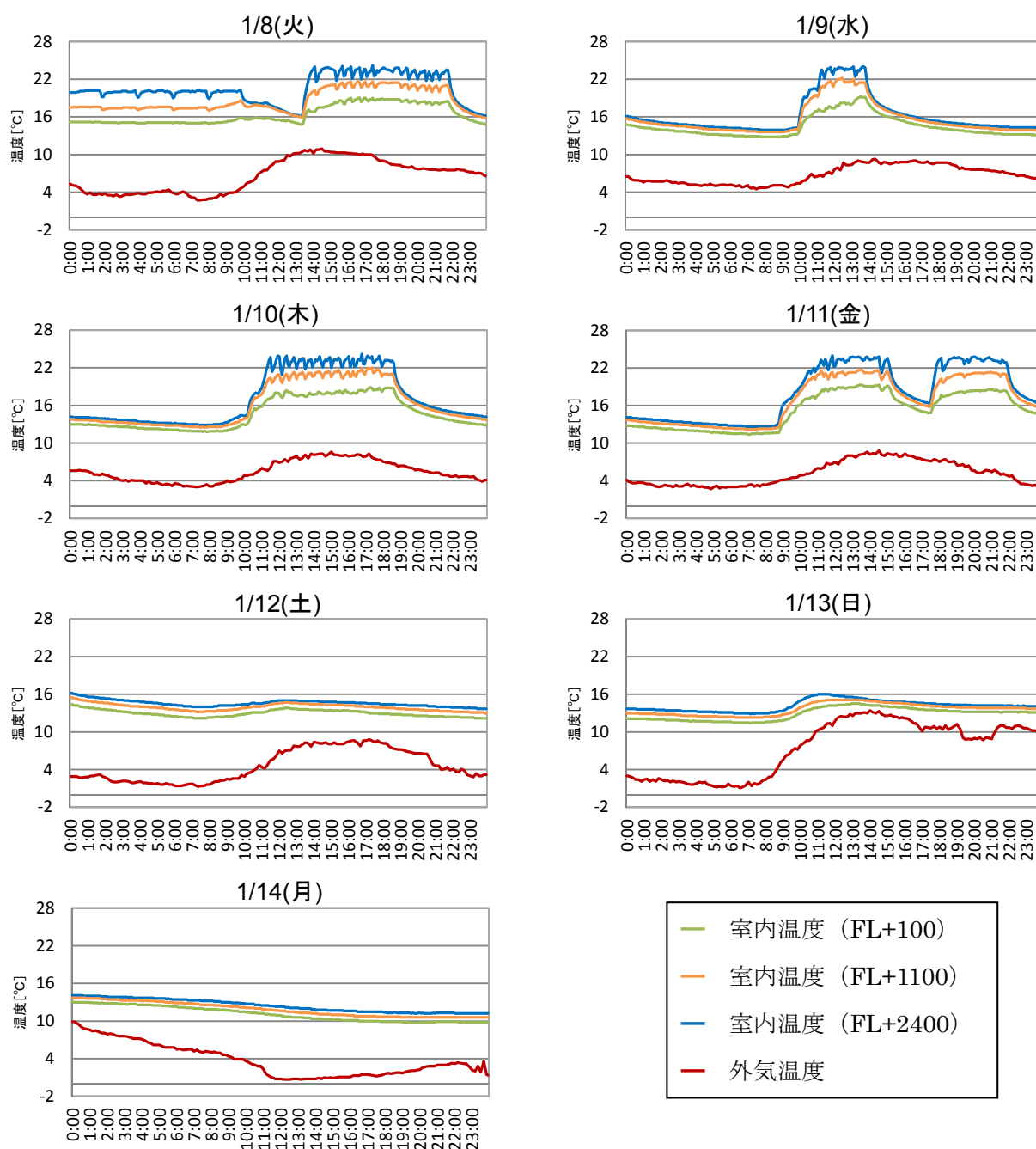
CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日

「C 点(室中央)」の温度変動：続き



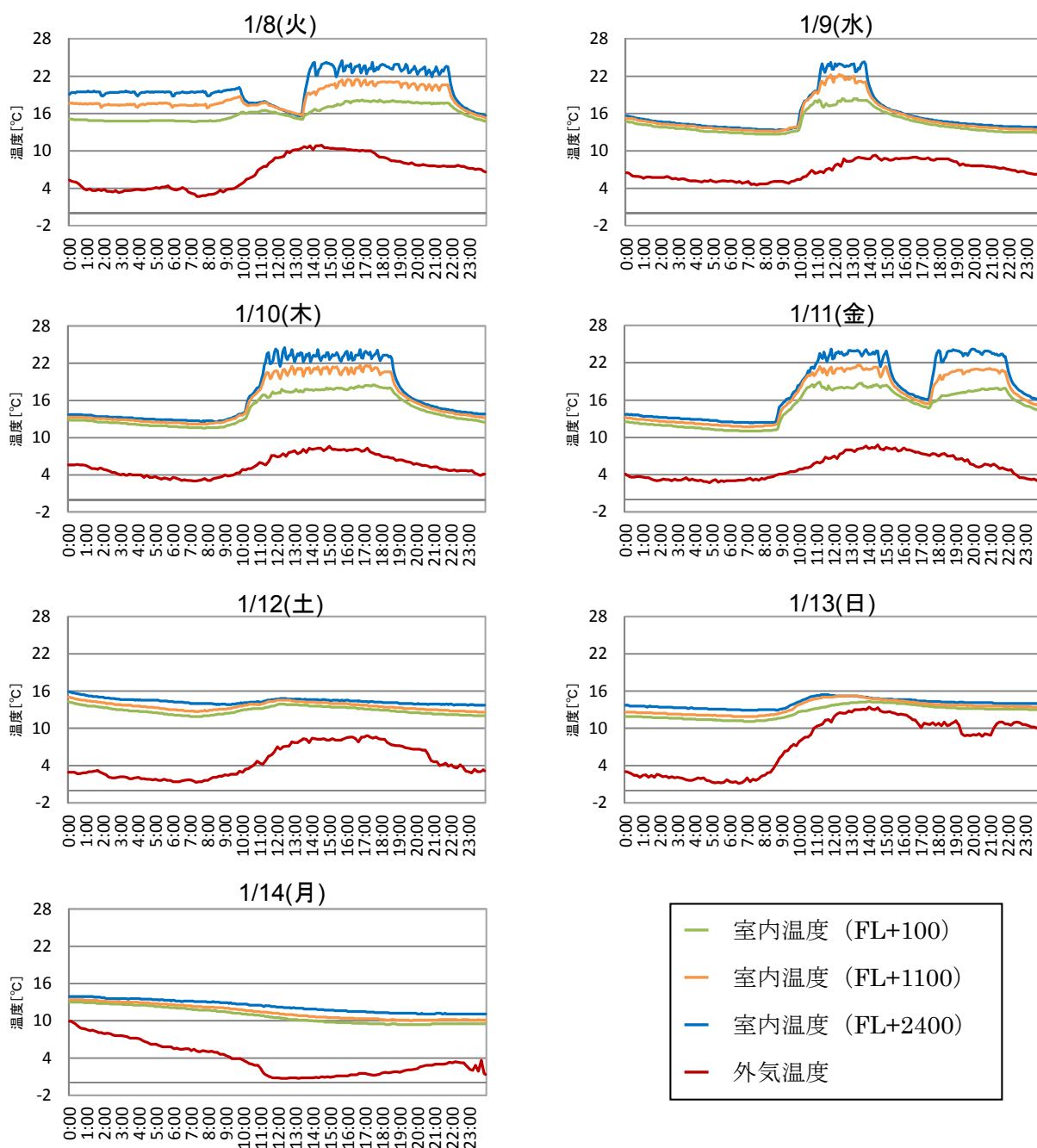
CASE-2（断熱あり）：2013年1月8日～2013年1月14日

「A点(窓際)」の温度変動



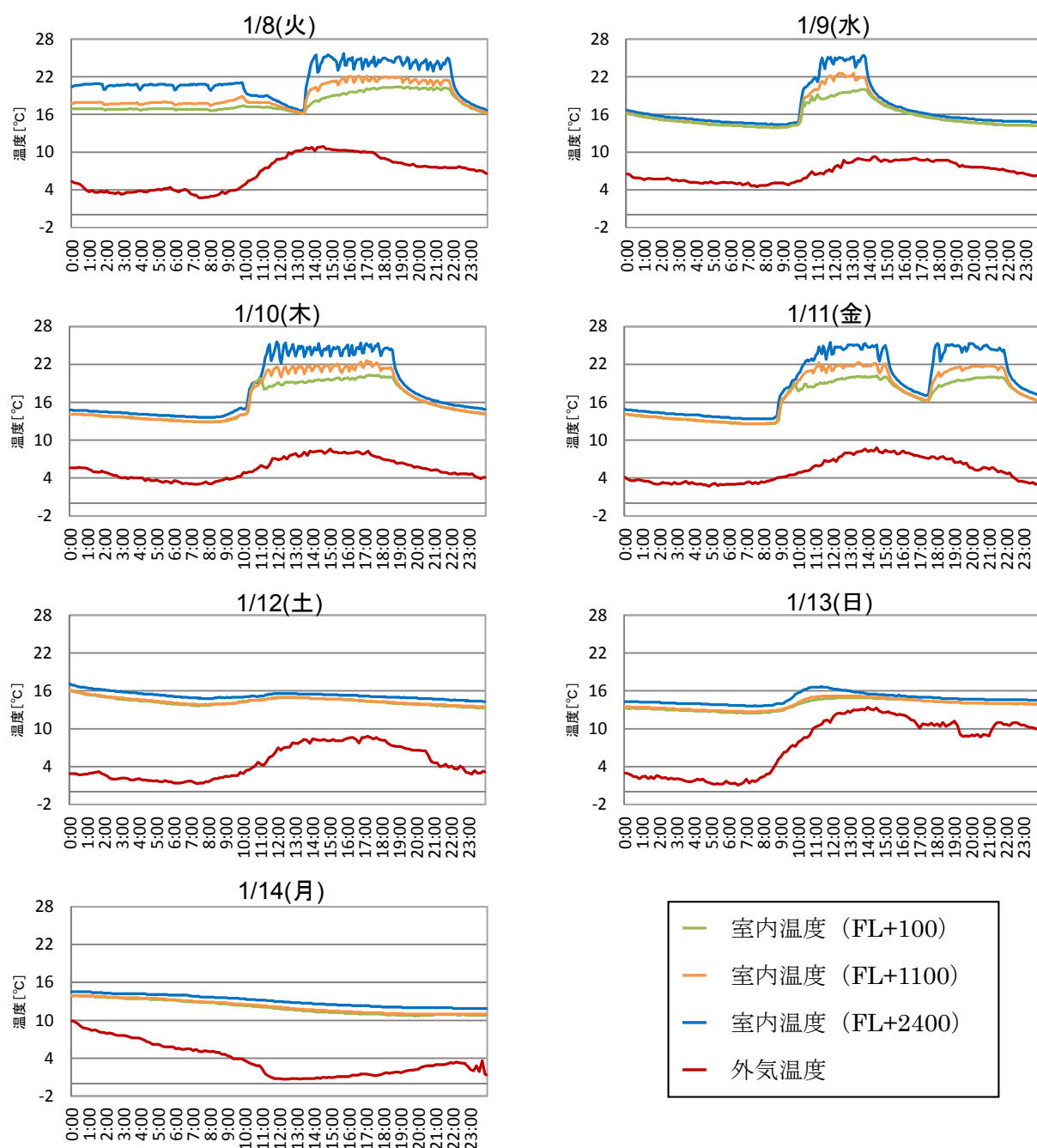
CASE-2（断熱あり）：2013年1月8日～2013年1月14日

「B点(窓際)」の温度変動



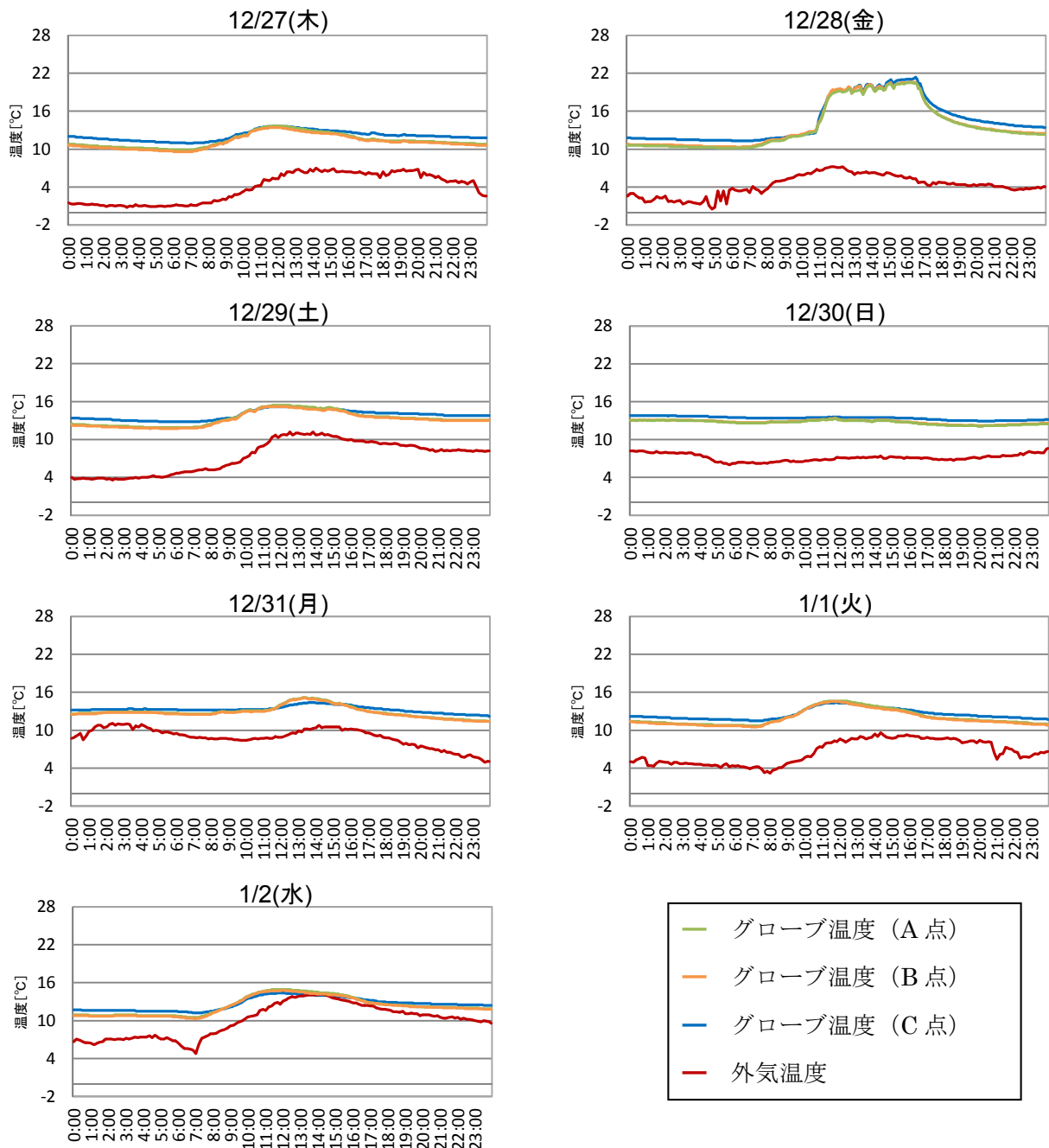
CASE-2（断熱あり）：2013年1月8日～2013年1月14日

「C点(窓際)」の温度変動

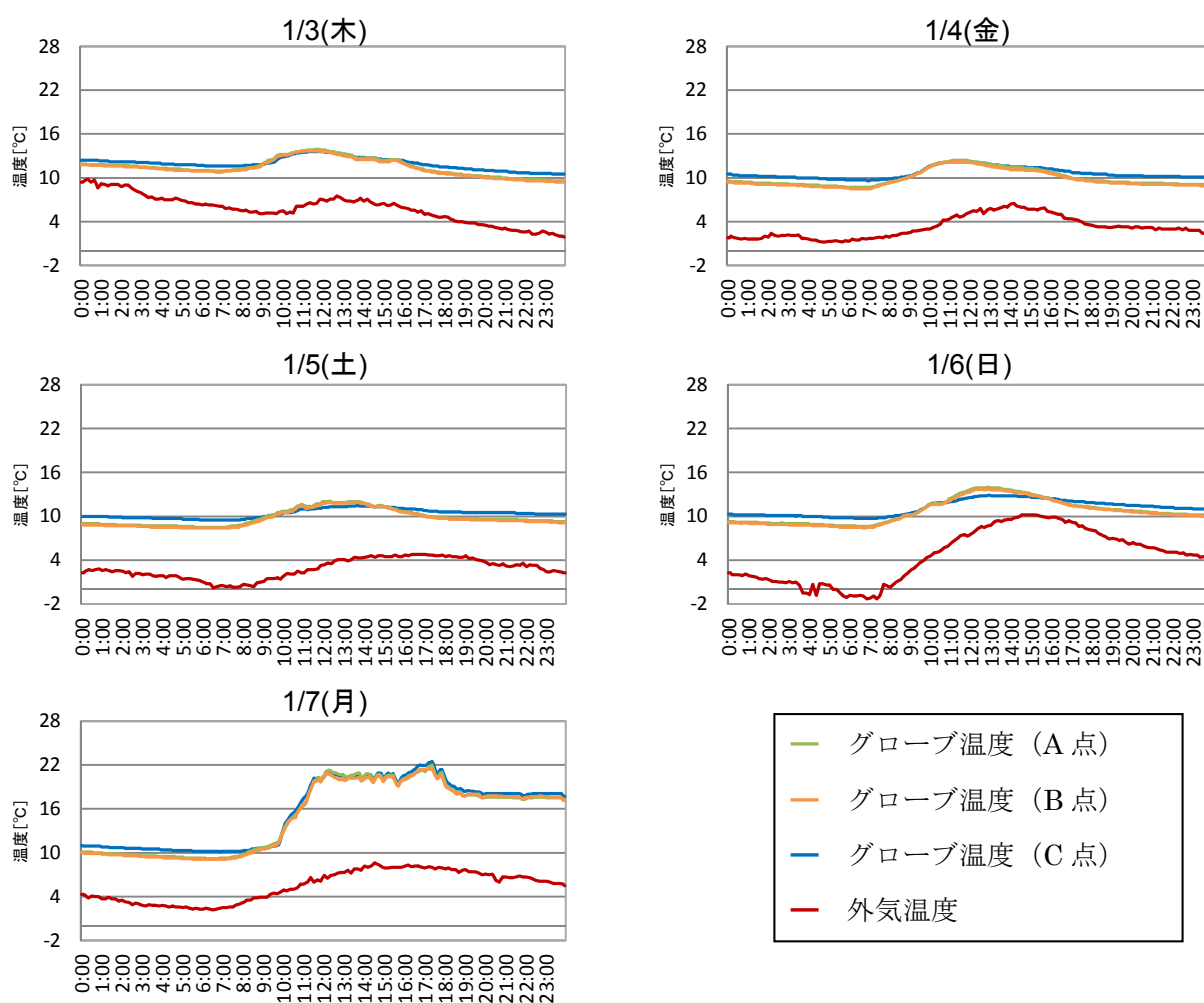


3. グローブ温度・外気温度

CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日



CASE-1（通常：窓単板ガラス）： 2012 年 12 月 27 日～2013 年 1 月 7 日（続き）



CASE-2（断熱あり）： 2013 年 1 月 8 日～2013 年 1 月 14 日

