

集合住宅の高断熱化モデル改修 効果検証

札幌市都市局市街地整備部住宅課

令和2年10月

[集合住宅の高断熱化モデル改修効果検証]

<目次>

第1章 効果検証の概要

- 1-1 効果検証の目的 . . . 1
- 1-2 検証スケジュール . . . 1
- 1-3 モデル改修住棟の選定方法 . . . 2
- 1-4 モデル改修住棟概要 . . . 3

第2章 改修工事の内容

- 2-1 断熱性能の基準 . . . 4
- 2-2 断熱仕様の検討 . . . 5
- 2-3 断熱改修を行う場合のチェック項目 . . . 6
- 2-4 改修工事仕様の決定 . . . 7
- 2-5 断熱改修前後のエネルギー消費量試算 . . . 8

第3章 断熱改修工事の実施

- 3-1 断熱改修工事手順 . . . 10
- 3-2 断熱改修工事費用 . . . 13

第4章 改修工事の効果

- 4-1 断熱改修効果に関する研究 . . . 14
- 4-2 断熱改修効果に関する入居者アンケート結果 . . . 23

第5章 まとめ

- 5-1 高断熱化モデル改修効果検証で得られた結果 . . . 27
- 5-2 集合住宅の高断熱化に向けて . . . 29

資料編

- 断熱施工範囲概略図 . . . 32
- 工事図面 . . . 34

第1章 効果検証の概要

1-1 効果検証の目的

札幌市では、地球温暖化対策に取り組むため、平成 23 年（2011 年）3 月に「札幌市地球温暖化対策推進ビジョン」を策定し、温室効果ガス排出量の削減を推進している。その中の具体的な行動のひとつとして、平成 24 年（2012 年）に「札幌版次世代住宅基準」を定め、新築戸建住宅を中心に高断熱住宅の普及を進めてきた。

温室効果ガス排出量の更なる削減には、戸建住宅のみならず、市内にある住宅の約 6 割を占める集合住宅の高断熱化を推進するための取組が必要である。

本検証では、既存集合住宅の断熱改修モデルとして、市営住宅で高断熱改修を試行することにより、集合住宅の断熱改修に係るデータを収集するとともに、改修効果を広く公表することにより、民間集合住宅の高断熱化を検討する際の参考となることを目的とする。

1-2 検証スケジュール

平成 28 年度より検討を開始し、平成 30 年度の工事実施にあわせて改修前後のデータ収集を行い、改修効果の検証を実施した。

表 1-2-1 年度ごとの実施項目

年度	項目	備考
平成 28 年度 (2016 年度)	・モデル改修住棟の選定 ・高断熱改修基本設計 ・モデル改修住棟の確定	
平成 29 年度 (2017 年度)	・高断熱改修実施設計 ・改修前のデータ収集 (室温・湿度・灯油使用量)	・住民説明会の実施 (室温等の測定協力依頼)
平成 30 年度 (2018 年度)	・高断熱改修工事 ・改修後のデータ収集 (室温・湿度・灯油使用量)	・住民説明会の実施 (工事内容の説明) ・北海道胆振東部地震の影響により現場見学会中止
令和元年度 (2019 年度)	・効果検証	
令和 2 年度 (2020 年度)	・入居者アンケートの実施 ・効果検証結果公表	

1-3 モデル改修住棟の選定方法

モデル改修住棟の選定は、市営住宅で平成 30 年度に外部改修工事を行う予定となっていた住棟の中から、敷地形状や住戸数をもとに選定を行い、費用対効果の検討を経て決定した。

【住棟選定】

階数が 4～6 階程度であり、住戸数が 40 戸程度等という条件を設定し、これにあてはまる住棟から、基本設計による追加検討を行う住棟をまず 3 棟選定した。

選定住棟: 里塚団地 13 号棟・14 号棟、屯田西団地 2 号棟

【基本設計による検討】

「市営住宅高断熱改修工事基本設計」業務により、費用対効果の最も大きい「里塚団地 14 号棟」をモデル改修住棟として決定した。

表 1-3-1 費用対効果検討表

団地名	里塚	里塚	屯田西
号棟	13	14	2
工事費(概算)	3.2 億円	2.2 億円	3.5 億円
一次エネ削減量	1,124GJ	869GJ	642GJ
費用対効果	351GJ/億	395GJ/億	183GJ/億
改修前 UA 値※	0.81W/m ² ・K	0.76W/m ² ・K	0.58W/m ² ・K
改修後 UA 値	0.35W/m ² ・K	0.35W/m ² ・K	0.33W/m ² ・K
総合評価	△	○	×

※ UA 値: 外皮平均熱貫流率。建物内部と外気の温度差を1℃としたときに、建物内部から屋外に逃げる熱量を 1 時間あたり、外皮表面積 1 m²あたりで表したもの。数値が小さいほど断熱性能が高いことを表す。

なお、基本設計時の各数値は、図面をもとに概算で算出したものであり、里塚団地 14 号棟の詳細な最終計算結果については、第 2 章に示す。

1-4 モデル改修住棟概要

里塚団地 14 号棟の概要は以下のとおり。

表 1-4-1 里塚 14 号棟概要

項目	里塚 14 号棟
住所	清田区里塚 1 条 4 丁目
建築年度	平成 3 年度(1991 年度)～平成 4 年度(1992 年度)
用途地域	第一種住居地域
構造	鉄筋コンクリート造
階数	5 階建て
戸数	30 戸(全住戸 3DK)
延べ床面積	2,285.4 ㎡



第2章 改修工事の内容

2-1 断熱性能の基準

本市では、国の省エネ基準を上回る高断熱・高気密住宅の基準である「札幌版次世代住宅基準」を定め、良質な住宅ストックの形成を図っている。

本工事の設計にあたっては、この基準のうち、断熱性能（UA 値）が「ベーシックレベル」相当となるよう、既存の仕様等を考慮しながら断熱仕様の検討を行った。

表 2-1-1 札幌版次世代住宅基準(改修住宅)

等級	UA 値 [W/m ² ・K]	一次エネルギー消費量 ^{※1}		C 値 ^{※2} [cm ² /m ²]
		全体	暖房+換気	
ハイレベル	0.22 以下	等級 5	45%以下	2.0 以下
スタンダード	0.28 以下		60%以下	
ベーシック	0.36 以下		75%以下	

※1 一次エネルギー消費量:建物全体の省エネルギー性能を表した値

※2 C 値:相当隙間面積。床面積 1 m²あたりの隙間量をcm²で表したもの。数値が小さいほど気密性が高いことを表す。

2-2 断熱仕様の検討

断熱仕様の検討にあたり、入居者の生活への影響（居住しながらの改修）を考慮するほか、施工のしやすさや極端に工期が長くなることがないように、既存の断熱材はそのまま活用し、付加断熱を加えることで断熱性能の向上を図る計画とした。

【外壁仕様】(内断熱 FP 板 40mm⇒内断熱 FP 板 40mm+外断熱 EPS100mm)

居住しながらの改修とするため、外断熱工法を基本に考え、騒音や振動により入居者等に与える影響が少なく、現状の住棟意匠を大きく変えない「湿式外断熱工法」とする。

湿式外断熱工法：躯体に断熱材を貼り付け、その上に仕上げを行う工法

十分な改修効果が期待でき、一般的な断熱材の規格厚に収まる仕様として、断熱材厚は100mm とした。

改修効果：▲0.43W/m²・K（改修後熱貫流率 0.26W/m²・K）

【屋根仕様】(内断熱 FP 板 50mm⇒内断熱 FP 板 50mm+外断熱硬質ウレタンボード 120mm)

屋根は既存の立ち上がり部分との取り合い等を考慮し、既存防水層の上から断熱材120mm を追加し、その上に防水層を新設する。屋根荷重の点から、断熱材の重量を考慮した素材と厚さとする。

改修効果：▲0.45W/m²・K（改修後熱貫流率 0.14W/m²・K）

【最下階床(床下)仕様】(床下 FP 板 40mm⇒床下 FP 板 40mm+吹付ウレタンフォーム 100mm)

既存の FP 板の上から現場吹付けウレタンフォームを施工する事で断熱を追加する。既存の通気口の位置等を考慮し、100mm を追加する事とする。また、基礎立上り部分についても 50mm の現場吹付ウレタンフォームを施工する。

改修効果：▲0.38W/m²・K（改修後熱貫流率 0.22W/m²・K）

【開口部仕様】(内窓:樹脂製単板ガラス⇒内窓:樹脂製 Low-E ペアガラス)

開口部の断熱性能向上及び室内側の結露防止を考慮し、内窓を交換する。内窓は Low-E ペアガラス+樹脂サッシのものを採用する。共用部分、外窓、玄関ドアの改修は実施しない。

改修効果：▲1.12W/m²・K（改修後熱貫流 1.79W/m²・K）

2-3 断熱改修を行う場合のチェック項目

断熱改修にあたり、チェックが必要な法令上の諸条件等について、以下のとおり検討を行った。

○建築確認の申請要否

大規模な修繕又は大規模な模様替にあたる改修の場合は、建築確認が必要である。
また、床面積や建築面積が増加となる場合も、増築の建築確認が必要となる。
本工事では、いずれにも当たらないため、建築確認の申請は不要であった。

○避難用バルコニーおよび階段幅の確保

外断熱の施工後でも、建築基準法および消防法による階段幅や避難バルコニー幅の規定を確保できるよう計画した。

○建築基準法等の規定の確認

日影規制や壁面後退等の建築基準法のほか各種関係法令の規定を遵守しているか、建物形状にあわせ建築士による確認を行った。

○建築物省エネ法の届出有無

床面積が 300 m²以上の住宅の新築、増改築をする際には建築物省エネ法に基づく届出が必要である。本改修は、増改築にあたらないため、届出は不要であった。

○景観条例の届出有無

届出対象規模に該当する建築物等の新築、増築、改築、移転、外観を変更することとなる大規模な修繕もしくは模様替又は外観の過半にわたる色彩の変更を行う場合は、景観条例に基づく届出が必要である。本建築物は、届出対象規模に該当しないため、届出は不要であった。

○北海道外断熱工法取扱運用基準の確認

北海道が外断熱工法を施す建築物の防火及び構造に関する最低限の基準として定めた「北海道外断熱工法取扱運用基準」を遵守する仕様とした。

2-4 改修工事仕様の決定

2-1 から 2-3 までの検討をもとに、実施設計によって最終的に決定した改修前後の仕様を下記に示す。

(赤字は断熱改修として実施する項目)

表 2-4-1 改修仕様

改修前	<p>屋根:内断熱 FP 板 50 mm 外壁:内断熱 FP 板 40 mm 最下階床:FP 板 40 mm 内窓:単板ガラス(フロート 3 mm)</p> <p style="text-align: right;">外皮平均熱貫流率(住戸平均):0.58W/m²・K</p>
改修後	<p>屋根:内断熱 FP 板 50 mm+外断熱硬質ウレタンフォーム保温板 120 mm付加 アルミ笠木交換 一部再利用(バルコニー面) 改質アスファルト防水絶縁断熱工法【日新工業(株)メルタン 21 防水工法】</p> <p>外壁:既存塗膜除去・躯体補修後、 内断熱 FP 板 40 mm+ 外断熱 EPS100 mm付加(バルコニー面以外)、150~50 mm付加(バルコニー面)※ 湿式外断熱工法【野原産業エンジニアリング(株)パッシブウォール】</p> <p>最下階床:FP 板 40mm+吹付ウレタンフォーム 100 mm付加、基礎立上り 50 mm新設</p> <p>内窓:既存内窓撤去後、 複層ガラス(フロート 3 mm+空気層 12 mm+Low-E 3 mm)新設</p> <p style="text-align: right;">外皮平均熱貫流率(住戸平均):0.35W/m²・K ※札幌版次世代住宅基準「ベーシックレベル」相当</p>

その他工事:**換気口延長、換気フード交換、水切り交換、FF 暖房機用給排気筒延長、
 バルコニー隔板交換、バルコニー及び階段室入口の外壁改修・防水改修**

※バルコニー面の断熱材厚さについては、消防法に基づく避難バルコニー幅の確保及び避難用ハッチの使用に支障がきたすことがないよう、一部 50mm、90mm に変更し、このことによる外皮平均熱貫流率の著しい低下を招かないよう、部分的に 150mm の断熱材を施工している。

2-5 断熱改修前後のエネルギー消費量試算

決定した改修工事仕様をもとに、エネルギー消費量等の試算を行った。

なお、試算は、「住宅の外皮平均熱貫流率及び外皮平均日射取得量計算書（一般社団法人住宅性能評価・表示協会）」及び「エネルギー消費性能計算プログラム(住宅版) Ver 2.8.1」を用いて算出している。

【計算条件】

表 2-5-1 断熱仕様

部位	基本仕様(既存)	改修による追加断熱
外壁	内断熱 FP 板 40mm	外断熱 EPS 板 100mm 付加 (バルコニー部 50~150mm)
屋根	内断熱 FP 板 50mm	外断熱 硬質ウレタンボード 120mm 付加
最下階床 (床下)	床断熱 FP 板 40mm	床断熱 吹付ウレタンフォーム 100mm 付加 基礎立上り 吹付ウレタンフォーム 50mm 新設

※基本仕様(既存)はそのままとし、追加で断熱材を付加

表 2-5-2 外部建具仕様

部位	従来仕様		改修後仕様	
	内窓	外窓	内窓	外窓
窓	単板ガラス	単板ガラス	Low-E 複層ガラス (交換)	単板ガラス (改修なし)
玄関ドア	金属製フラッシュ扉		金属製フラッシュ扉(改修なし)	

※従来仕様から内窓のみ交換を実施

表 2-5-3 設備機器計算条件(改修前後共通)

種別	条件
暖房設備	FF 暖房機 居室のみを暖房する
冷房設備	採用しない
換気設備	ダクト式第二種またはダクト式第三種換気設備 換気回数 0.5 回/h 熱交換型換気を採用しない
給湯設備	ガス従来型給湯機 ふろ給湯機(追焚なし) 先分岐方式配管 2バルブ水栓 高断熱浴槽を採用しない
照明設備	全ての機器において白熱灯以外を使用している

【計算値】

表 2-5-4、表 2-5-5 に改修前後の計算値を示す。なお、本検証では、住戸を効果検証対象としていることから、共用部分の試算は行っていない。

表 2-5-4 エネルギー消費量等計算値(住戸ごと)

凡例
UA 値 (W/m ² ・K)
設計一次エネルギー消費量 (GJ/年) ^{※1}
基準一次エネルギー消費量 (GJ/年) ^{※2}

	①角住戸		②中住戸		③中住戸		④中住戸		⑤中住戸		⑥角住戸	
	改修前	改修後										
5F	0.83	0.39	0.68	0.37	0.68	0.37	0.68	0.37	0.68	0.37	0.83	0.39
	120.5	94.0	108.8	91.4	108.8	91.4	108.8	91.4	108.8	91.4	120.5	94.0
	93.6	93.6	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.6	93.6
4F	0.59	0.34	0.48	0.32	0.48	0.32	0.48	0.32	0.48	0.32	0.59	0.34
	105.9	89.0	97.2	87.1	97.2	87.1	97.2	87.1	97.2	87.1	105.9	89.0
	92.5	92.5	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.5	92.5
3F	0.59	0.34	0.48	0.32	0.48	0.32	0.48	0.32	0.48	0.32	0.59	0.34
	105.9	89.0	97.2	87.1	97.2	87.1	97.2	87.1	97.2	87.1	105.9	89.0
	92.5	92.5	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.5	92.5
2F	0.59	0.34	0.48	0.32	0.48	0.32	0.48	0.32	0.48	0.32	0.59	0.34
	105.9	89.0	97.2	87.1	97.2	87.1	97.2	87.1	97.2	87.1	105.9	89.0
	92.5	92.5	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.5	92.5
1F	0.68	0.39	0.61	0.38	0.61	0.38	0.61	0.38	0.61	0.38	0.68	0.39
	112.5	94.2	108.0	92.7	108.0	92.7	108.0	92.7	108.0	92.7	112.5	94.2
	92.5	92.5	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1	92.5	92.5

表 2-5-6 エネルギー消費量等計算値(住戸合計)

項目	改修前	改修後
①住戸の平均 UA 値	0.58 (最大 0.83、最小 0.48)	0.35 (最大 0.39、最小 0.32)
②住戸全体の設計一次エネルギー消費量合計	3,135.0 GJ/年	2,692.0 GJ/年
③住戸全体の基準一次エネルギー消費量合計	2,773.2 GJ/年	2,773.2 GJ/年
BEI(②/③) ^{※3}	1.13	0.97

※1 設計一次エネルギー消費量: 設計仕様(設計した省エネ手法を加味)で算定した建物全体の省エネルギー性能を表した値

※2 基準一次エネルギー消費量: 基本仕様(平成 11 年基準適合の外皮と平成 24 年時の標準的な設備)で算定した建物全体の省エネルギー性能を表した値

※3 BEI: 基準一次エネルギー消費量に対する設計一次エネルギー消費量の割合。1.0 は平成 25 年省エネ基準と同等の水準であり、BEI の値が小さいほど省エネルギーといえる。

第3章 断熱改修工事の実施

3-1 断熱改修工事手順

決定した仕様・工法にて、断熱改修工事を実施した。部位ごとの工事内容を下記に示す。

【屋根部分】

断熱改修内容：硬質ウレタンボード付加断熱（120mm）

【主な工事内容】

- ①アルミ笠木等撤去
- ②既存アスファルト防水層補修
- ③硬質ウレタンボード敷設
- ④改質アスファルトシート貼り
- ⑤塗装仕上げ

【工事状況(抜粋)】



図 3-1-1 断熱材敷設状況(③)

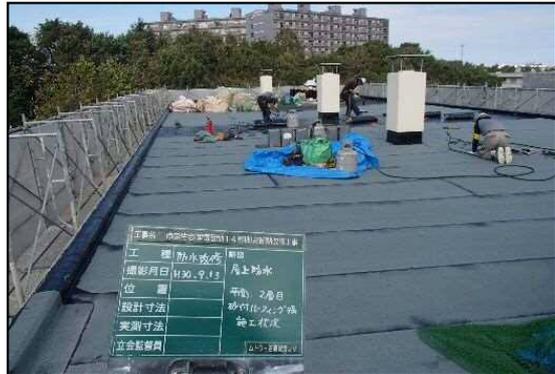


図 3-1-2 改質アスファルトシート施工状況(④)

【外壁部分】

【断熱付加による付随工事】

給排気フード等の延長、バルコニー住戸間の隔壁交換、外窓の水切り交換 など

【工事状況(抜粋)】



図 3-1-3 隔壁撤去状況



図 3-1-4 外窓水切り交換状況

【外壁部分】

断熱改修内容：EPS ボード付加断熱（50～150mm）

[主な工事内容]

- ①既存塗膜除去、下地調整
- ②メッシュ、接着モルタル塗り
- ③EPS ボード張り付け
- ④ベースコート塗り、メッシュ張り
- ⑤塗装仕上げ

※外壁全体は 100mm を基本とし、バルコニー部分は消防法に基づき 600mm 幅の確保及びピット部分との取り合いに応じて、50～150mm の施工とした。

共用階段内部は、階段幅確保のため、断熱付加は行わず、共用階段の外壁部分に断熱材を付加している。

[工事状況(抜粋)]



図 3-1-5 EPS ボード張り付け状況(③)



図 3-1-6 塗装仕上げ状況(⑤)

【最下階床部分】

断熱改修内容：吹付ウレタンフォーム付加断熱（100mm）

基礎立上り吹付ウレタンフォーム断熱（50mm）

[主な工事内容]

- ①既存 FP 板 40mm に床下よりウレタン吹付（100mm）
- ②基礎立上り部分の鉄筋コンクリート部にウレタン吹付（50mm）

[工事状況(抜粋)]



図 3-1-7 床下 100mm 付加状況(①)



図 3-1-8 立上り部分 50mm 吹付状況(②)

【開口部】

断熱改修内容：内窓を Low-E 複層ガラス樹脂サッシに交換

【主な工事内容】

- ①既存の樹脂サッシ撤去
- ②新規サッシ取り付け

【工事状況(抜粋)】



図 3-1-9 既存樹脂サッシ撤去状況(①)

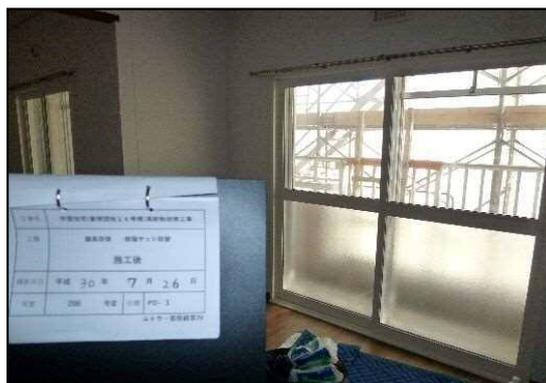


図 3-1-10 新規樹脂サッシ取り付け状況(②)

【全工事完了後】



図 3-1-11 南面外観



図 3-1-12 北面外観



図 3-1-13 南面バルコニー状況



図 3-1-14 室内状況

3-2 断熱改修工事費用

断熱改修工事の費用を表 3-2-1 に示す。

表 3-2-1 里塚 14 号棟改修費用

	工事請負額	戸当たり単価(30 戸/棟)	m ² 単価(2,285 m ²)
税込(8%)	91,220,040 円	約 3,040,000 円	約 40,000 円

工事科目：直接仮設、土工、防水改修、外壁改修、建具改修(窓交換)、塗装修修、環境配慮改修(断熱改修)、発生材処分

断熱改修の有無による工事費用比較を行うため、同年に断熱工事を伴わない外壁改修工事を実施した里塚 13 号棟の外壁改修費用を表 3-2-2 に示す。

表 3-2-2 里塚 13 号棟改修費用

	工事請負額	戸当たり単価(42 戸/棟)	m ² 単価(3,006 m ²)
税込(8%)	55,055,160 円	約 1,311,000 円	約 18,000 円

工事科目：直接仮設、防水改修、外壁改修、発生材処分

これらの結果から、最終的な工事費用比較を表 3-2-3 に示す。

表 3-2-3 工事費用比較

	工事請負額(税込)	戸当たり単価	m ² 単価
里塚 14 号棟	91,220,040 円	約 3,040,000 円	約 40,000 円
里塚 13 号棟	55,055,160 円	約 1,311,000 円	約 18,000 円
差額		1,729,000 円	22,000 円
増加割合		約 2.3 倍	約 2.2 倍

第4章 改修工事の効果

4-1 断熱改修効果に関する研究

北海道大学との共同研究により、断熱改修効果に関する調査・研究を実施した。研究概要を下記に示す。

※第93回日本建築学会北海道支部研究報告資料「公営住宅の外断熱改修の効果（北海道大学大学院工学研究院 森太郎准教授）」一部抜粋

【研究目的】

本共同研究では、札幌市が実施する市営住宅の断熱改修前後におけるエネルギー消費量及び室内環境実態等の調査を行い、断熱改修の効果を分析することで、集合住宅の断熱改修に係るデータを収集し、改修効果の普及啓発へと繋げることを目的とする。

【研究内容】

- ①断熱改修前後のエネルギー消費量の比較分析
- ②断熱改修前後の室内環境の比較分析
- ③断熱改修前後の室内表面温度の比較分析
- ④断熱改修前後のダンプネス（湿害）発生に関する比較分析

【調査対象】

里塚14号棟に入居していた27世帯のうち5世帯
(A：最下階中住戸、B：最下階角住戸、C：中間階角住戸、D：中間階中住戸、E：最上階中住戸)

【研究期間】

平成29年（2017年）7月3日～令和2年（2020年）2月28日

【研究分担】

所属部局・職名	本研究における役割
北海道大学大学院工学研究院 森 太郎 准教授	温度測定 データ分析
札幌市都市局市街地整備部住宅課	入居者との調整 アンケート調査結果とりまとめ

①断熱改修前後のエネルギー消費量の比較分析

[実測内容]

暖房エネルギーの計測を実施し、断熱改修が暖房エネルギー使用量に与える影響を把握することを目的に、改修前と改修後の1年間の灯油量について比較分析を行う。

[調査方法]

5世帯（A、B、C、D、E）より、2017年9月～2019年4月の間に購入した灯油量データの提供を受け、同時期での灯油消費量の比較を実施した。

[調査結果]

ア 灯油量

調査協力を得た5世帯の改修前後の灯油使用量の変化を図4-1-1に示す。また、実測値の灯油削減量、計算値により算出した灯油削減量を表4-1-1～表4-1-3に示す。

住戸ごとに灯油消費量に差があるが、全住戸とも使用量は減少した結果が得られた。

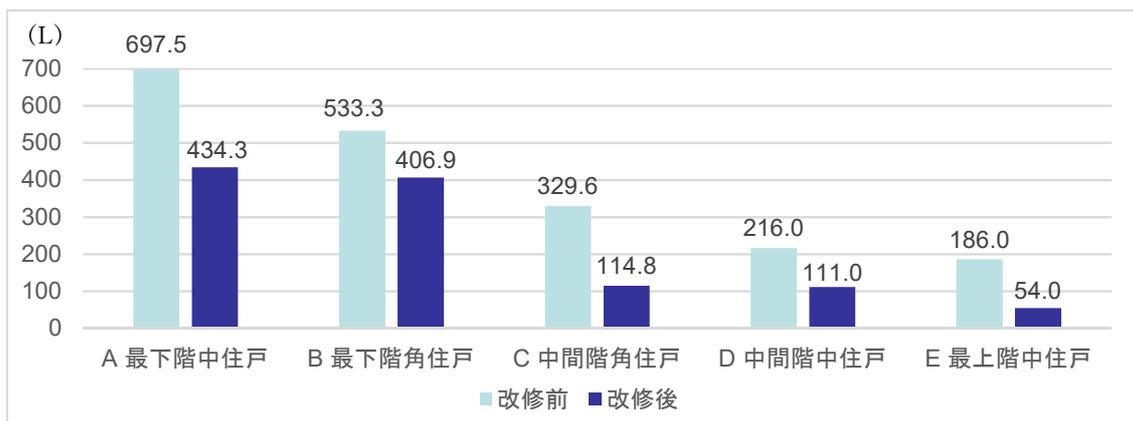


図 4-1-1 改修前後における灯油使用量の変化

表 4-1-1 住戸ごとの灯油削減量(実測値)

実測値		A (最下階中住戸)	B (最下階角住戸)	C (中間階角住戸)	D (中間階中住戸)	E (最上階中住戸)	平均
灯油 量 (L)	改修前	697.5	533.3	329.6	216.0	186.0	392.5
	改修後	434.3	406.9	114.8	111.0	54.0	224.2
差(L)		263.2	126.4	214.8	105.0	132.0	168.3
削減率(%)		37.7%	23.7%	65.2%	48.6%	71.0%	42.9%

表 4-1-2 住戸ごとの灯油削減量(計算値)

計算値		A (最下階中住戸)	B (最下階角住戸)	C (中間階角住戸)	D (中間階中住戸)	E (最上階中住戸)	平均
灯油 量 (L)	改修前	1,814	1,905	1,762	1,567	1,826	1,774.8
	改修後	1,479	1,510	1,380	1,338	1,439	1,429.2
差(L)		335	395	382	229	387	345.6
削減率(%)		18.4%	20.7%	21.6%	14.6%	21.1%	19.4%

表 4-1-3 削減量比較

戸当り		実測値平均 (5世帯)	計算値平均 (実測5世帯比較)	住戸全体 計算値平均
灯 油 量 (L)	改修前	392.5	1,774.8	1,727.8
	改修後	224.2	1,429.2	1,400.8
差(L)		168.3	345.6	327.0
削減率(%)		42.9%	19.4%	18.9%

灯油削減量は、計算値で 327L（住戸全体計算値平均）の削減が想定されていたところ、実測値では 168.3L の削減となった。一方、削減率については、計算値で 18.9% だったのに対し実測値では 42.9% と、計算値を大きく上回る削減率となっており、外断熱改修が灯油使用量削減に非常に効果があった結果となっている。

しかしながら、第3章で示した一般的改修費と断熱改修費の差額 173 万円を灯油削減額（100 円/L と仮定）で回収しようと考えた場合は、計算値では 53 年、実測値では 103 年かかる結果となり、ランニングコスト低減の利点のみで断熱改修を推進することは難しいと言える。

イ CO₂削減量

灯油削減量の結果をもとに、CO₂排出量の削減量試算を表 4-1-4 に示す。

表 4-1-4 灯油使用量による CO₂ 排出量

		灯油使用量 (戸/年)	CO ₂ 排出量 ^{※1} (戸/年)	CO ₂ 排出量 (棟/年)	削減量 (棟/年)	トドマツ 相当本数 ^{※2}
実測値	改修前	392.5L	0.98t	29.4t	12t	760 本
	改修後	224.2L	0.56t	16.8t		
計算値 (住棟平均)	改修前	1,727.8L	4.30t	129.0t	24t	1,518 本
	改修後	1,400.8L	3.49t	104.7t		

※1: 灯油 2.49t-CO₂/kl で換算（「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度における排出係数一覧」より）

※2: 50 年生のトドマツ 1 本が 1 年間に吸収する CO₂ 量を 15.8kg-CO₂ として計算

実測値と計算値に大きな開きがあるものの、実測値で試算しても、断熱改修を実施したことで年間 1 棟あたり 12 t の CO₂ 削減となる。

これは、25m プールに換算すれば 12 杯分の CO₂ に相当し、トドマツ 760 本の植樹効果に寄与しているものと考えられる。

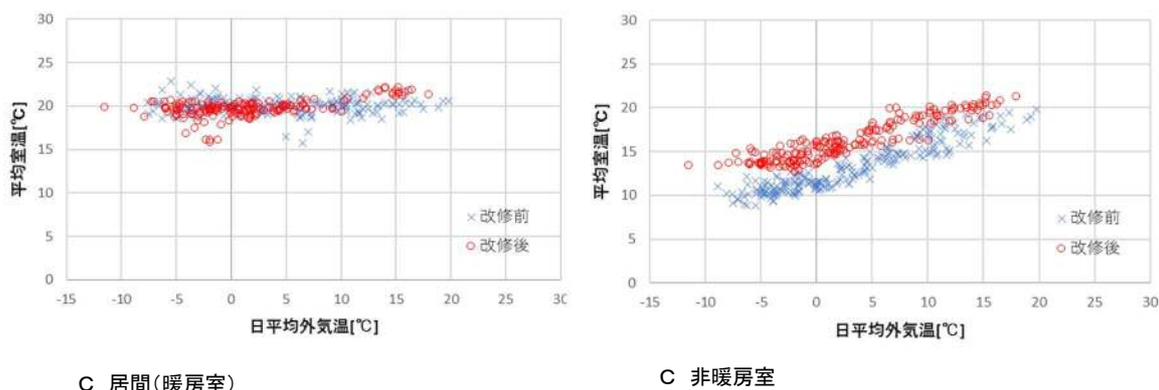


図 4-1-4 住戸C(中間階角住戸)温度分布

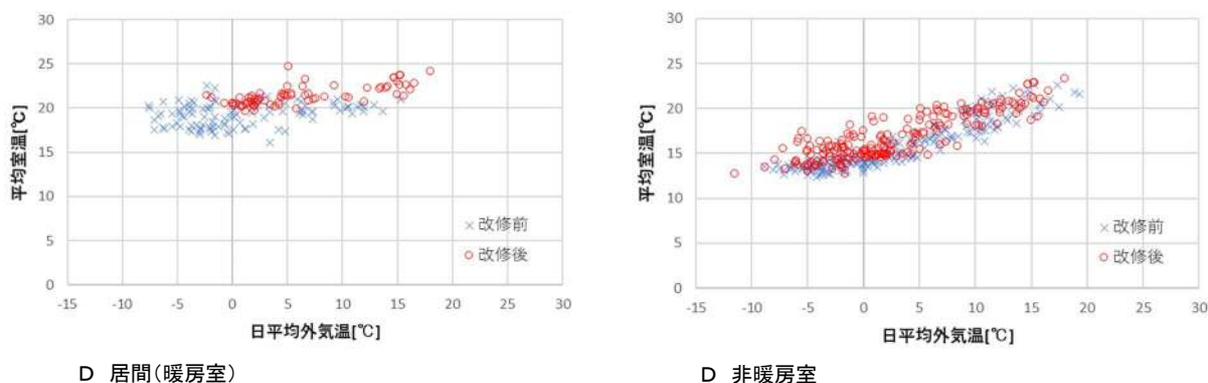


図 4-1-5 住戸D(中間階中住戸)温度分布

改修前後で居間の温度変化は少なかったものの、比較的室温が低かった住戸では、改修前は 18°C (WHO の冬季最低室温推奨値^{※1}) を下回る日もあったのに比べ、改修後は概ね 20°C を超える室温が保たれていた。

非暖房室については、改修前は壁面や窓から外部に逃げていた居間の熱が、断熱改修によって住戸内に留まるようになり、温度を上昇させたと考えられる。

居間と非暖房室との室温温度差については、改修前は 10°C程度あったものが 5°C程度まで改善されており、室温差によって懸念される「ヒートショック^{※2}」のリスクも低くなったと考えられる。

灯油消費量が削減されているにも関わらず、このような室温の上昇がみられることは、断熱改修の効果が十分得られたためと言える。

※1 WHO「住宅と健康のガイドライン:Housing and Health Guidelines」-2019年11月発表

※2 住環境における急激な温度変化によって血圧の乱高下や脈拍が変動する現象

③断熱改修前後の室内表面温度の比較分析

[実測内容]

断熱改修が室内表面温度に与える影響について、サーモカメラを用いて計測を行う。

[調査方法]

サーモカメラを用いて改修前後の住戸内と外壁面の表面温度測定を行い、熱橋の状況について比較を行った。

[調査結果]

ア 住戸内(B:最下階角住戸)

改修前後の居間、台所のサーモカメラ結果を図 4-1-6 に示す。

計測日の外気温条件が異なるため、単純な比較はできないが、居間については、暖房器具が設置されており、室温が維持されていることから、天井面、窓上部の熱橋ともに大きな変化は現れなかった(ア→ア'、イ→イ'、ウ→ウ'、エ→エ')。

台所については、壁の温度の顕著な上昇が確認できる(カ→カ')。床の温度は1℃程度の上昇となった(キ→キ')。

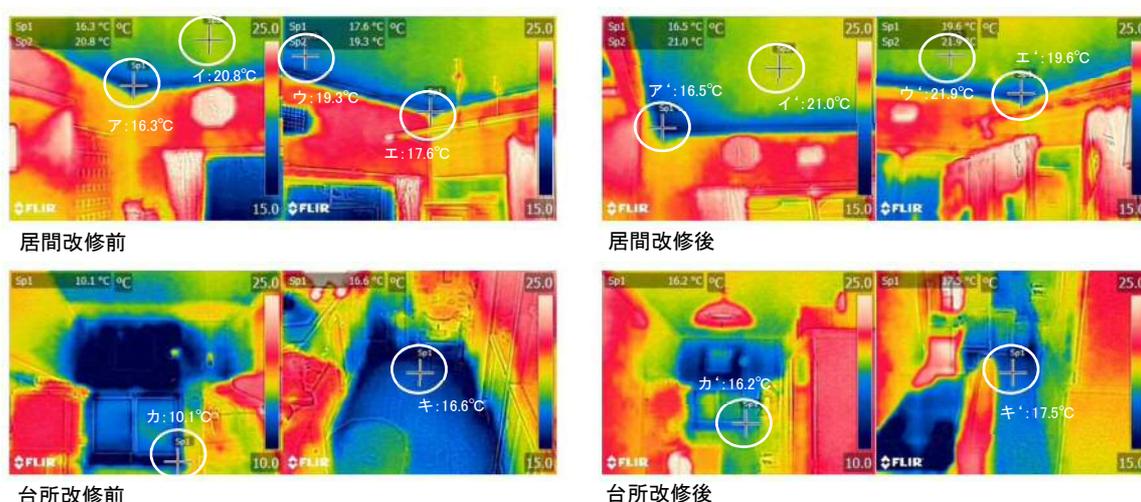


図 4-1-6 B 住戸(最下階角住戸)内表面温度

台所側の温度上昇の理由としては、断熱改修により、外に熱が逃げにくくなったことが想定される。②でも述べたように、居間の熱が住戸内に行きわたるようになったことによる室温上昇もあったと考えられる。表面温度と室温が近くなることで、壁表面から得られる輻射熱も上昇することから、室内の快適性も上がったと推測される。床面についても、温度上昇が確認できており、改修前に比べて全体的に均一に温度が保たれている傾向がみられた。

イ 外壁面(妻面)

改修を行わなかった棟と行った棟の外壁表面温度の測定を行った。

温度分布で比較すると、断熱改修を行わなかった棟は熱橋（梁とスラブ）の形が判るのに対し、断熱改修を行った棟は均一になっている。

※外壁の温度は、総合的な放射環境の影響を受けることから、離れた建物同士の温度を比較することができないため、比較対象外としている。

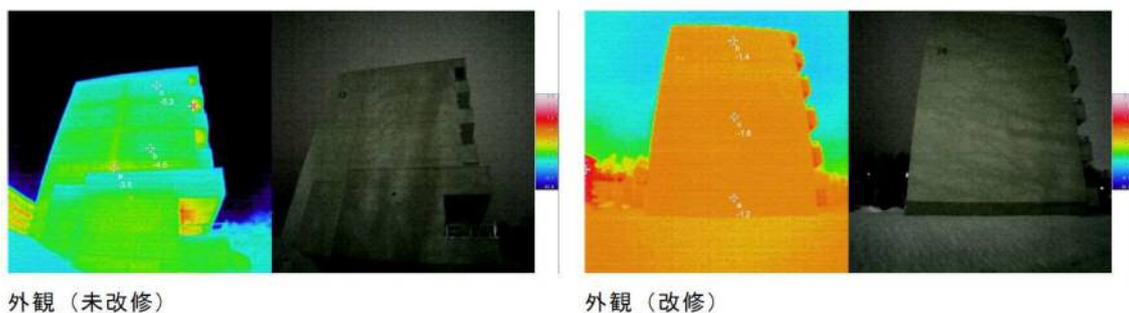


図 4-1-7 外壁妻面温度比較

外壁面については、外断熱工法の採用により、壁面が断熱材で覆われることから、建物全体の熱橋部分が減少し、熱損失を大きく抑える効果につながっていることがわかる。また、この結果は、断熱改修がエネルギー消費量の削減だけではなく、妻面の結露防止に効果があったと考えられる。

④断熱改修前後のダンプネス(湿害)発生に関する比較分析

[調査方法]

①～③のデータから総合的に判断し、断熱改修がダンプネス(湿害)に与える影響について検討する。

[調査結果]

改修後の隅角部表面温度の頻度分布と露点温度の関係を図 4-1-8 に示す。

グラフの縦軸は温度計により温度が測定されたカウント数を示しており、22°C前後が最も多く測定されていることがわかる。22°C(湿度60%と仮定)の露点温度は約14°Cであることから、改修後の表面温度はいずれも露点温度以上となっていることが確認できた。

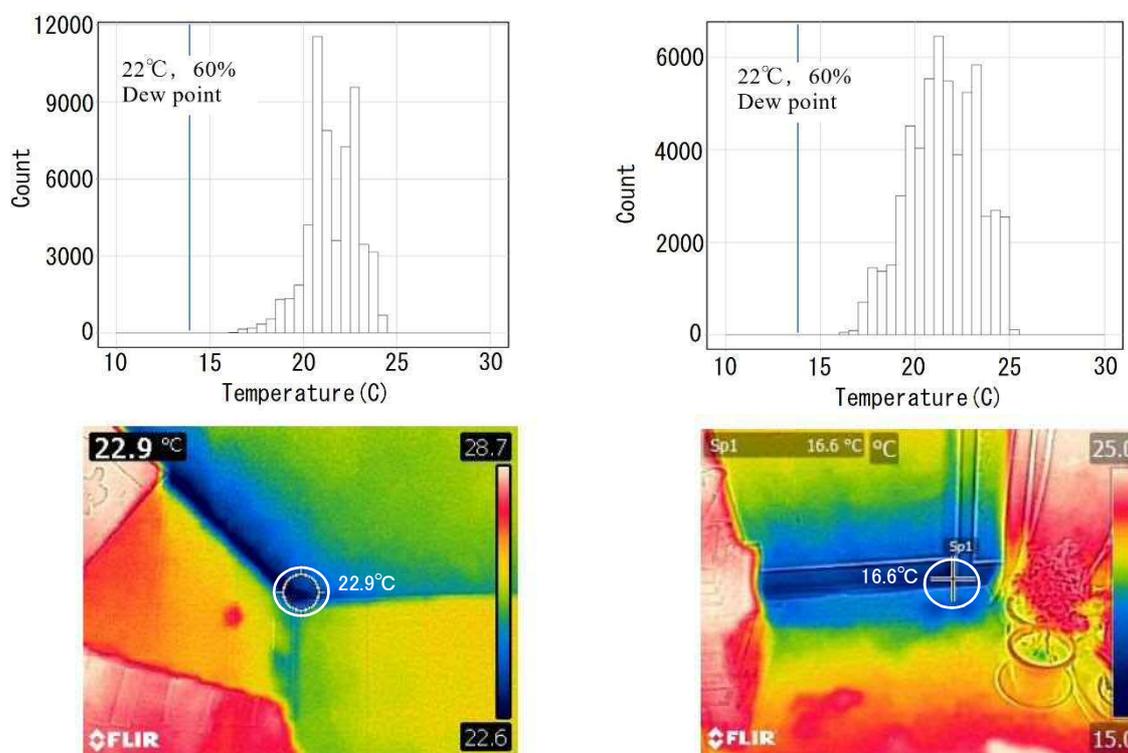


図 4-1-8 改修後の室内表面温度分布(居間南面熱橋部分)

熱橋となっている隅角部については、露点温度を上回る温度となっていることから、湿害につながる日常的な結露の発生は抑えられていると考えられる。しかしながら、本改修手法の場合、バルコニー床・天井部分に断熱材を設置できていないため、上下ともに熱橋が発生しており、露点温度まで5°C程度の温度差である。このことから、外気がさらに低くなった場合には、壁体表面に結露が発生する可能性があり、特に夜間はストーブが消火されると壁への放射による熱供給が少なくなり表面温度が低下することから、注意が必要である。

【研究結果による考察】

今回の改修によって、エネルギー消費量（灯油使用量）の削減とあわせて、室内の温度上昇も確認でき、室内環境についても、断熱改修の効果が得られた結果となった。

特に、最下階の住戸では、住戸全体の室温上昇がみられ、その他の住戸については、非暖房室の室温が主に上昇した。

壁の表面温度については、温度上昇が確認でき、結露の可能性は低くなったものの、一方で、バルコニー部分などの断熱仕様について課題があり、熱橋対策としては不十分な場所もある結果となった。

4-2 断熱改修効果に関する入居者アンケート結果

今回の改修前後における居住性の変化について、入居者に対してアンケート調査を実施した。

- 調査対象：改修前後で継続して入居している 26 世帯
 - 調査対象期間：改修前＝平成 29 年度（2017 年度）以前
改修後＝令和元年度（2019 年度）
 - 主な調査内容：改修前後の暖房使用量の変化について
改修前後の室内環境（湿度、温度等）の変化について
 - 回収結果：回答数 8 世帯（回収率 30.7%）
- ※いずれの問も改修前と比べた改修後の変化について

①改修前後の灯油使用量の増減

灯油使用量は、「減った」と「少し減った」の割合が全体の 62.5%にのぼった。

「増えた」「少し増えた」がないことから、「変わらない」と回答した世帯では、灯油量は減っていないものの家全体の温度が高くなった効果が想定される。

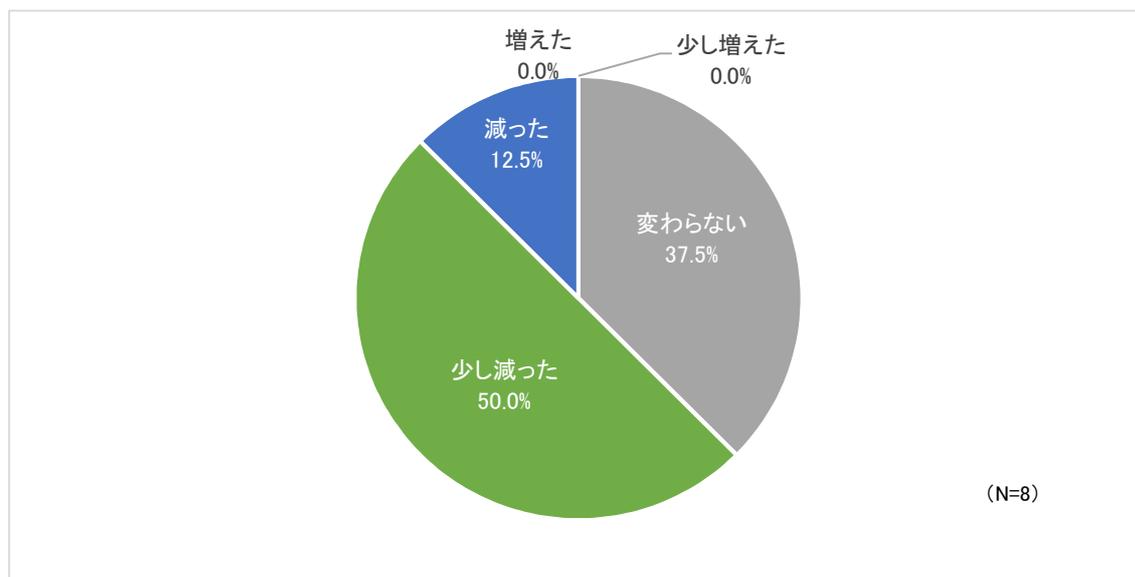


図 4-2-1 灯油使用量の変化

②改修前後の冬季の結露等発生状況

今回の改修では、換気設備の改修は実施していないにも関わらず、カビや結露について、「減った」という声が聞かれ、断熱改修により、室温と壁・窓面との温度差が少なくなった効果が確認できたと言える。

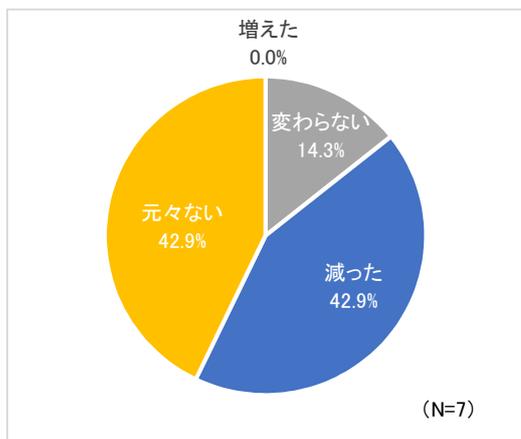


図 4-2-2 壁の結露

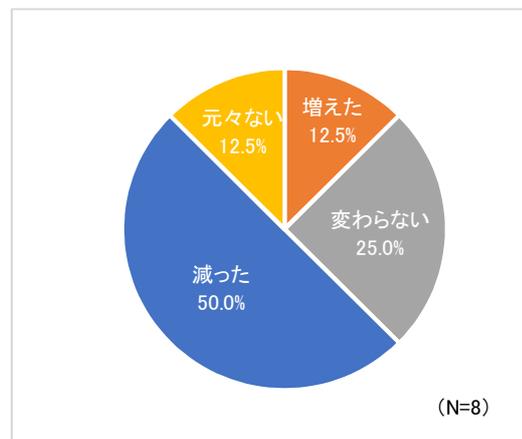


図 4-2-3 窓の結露

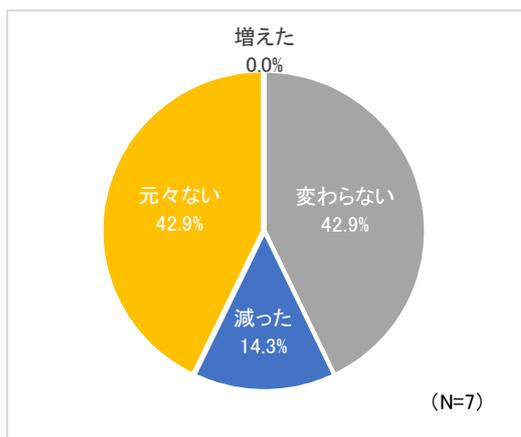


図 4-2-4 壁のカビ

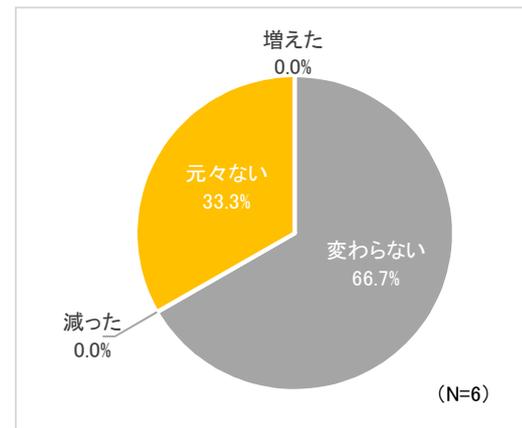


図 4-2-5 窓枠周辺のカビ

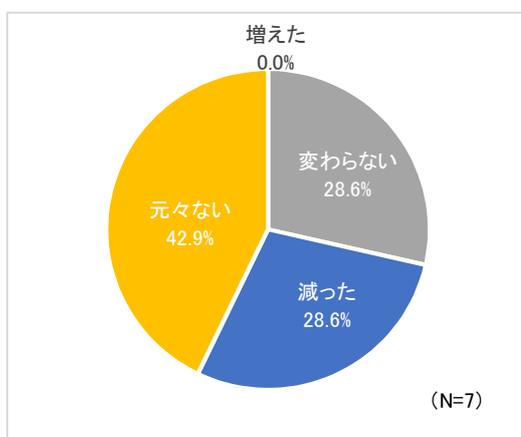


図 4-2-6 カビのにおい

③改修前後の冬季の居間と各部屋の温度差

温度差については、「小さくなった」の声が多く、今まで外壁から屋外に伝わっていた熱が住戸内に行きわたるようになったことが想定される。

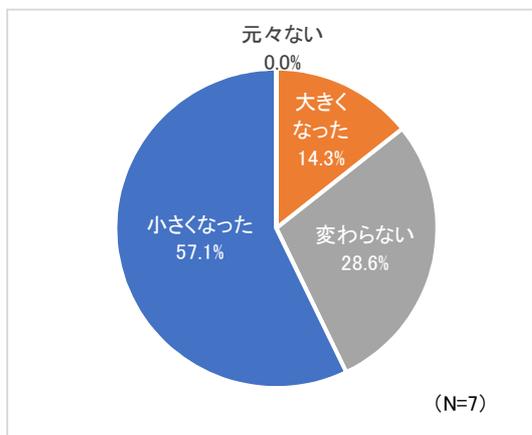


図 4-2-7 居間と玄関の温度差

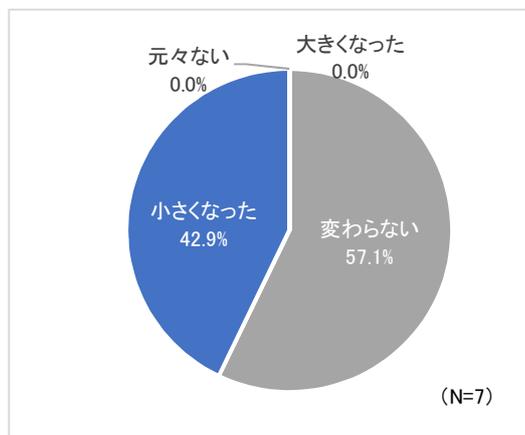


図 4-2-8 居間と寝室の温度差

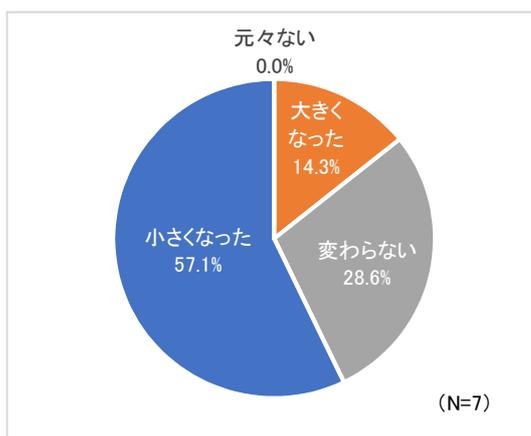


図 4-2-9 居間と脱衣室の温度差

④改修後の冬季の生活スタイルの変化

回答があった世帯では、ほとんどの世帯が断熱改修により、何らかの居住性向上を実感している結果となった。

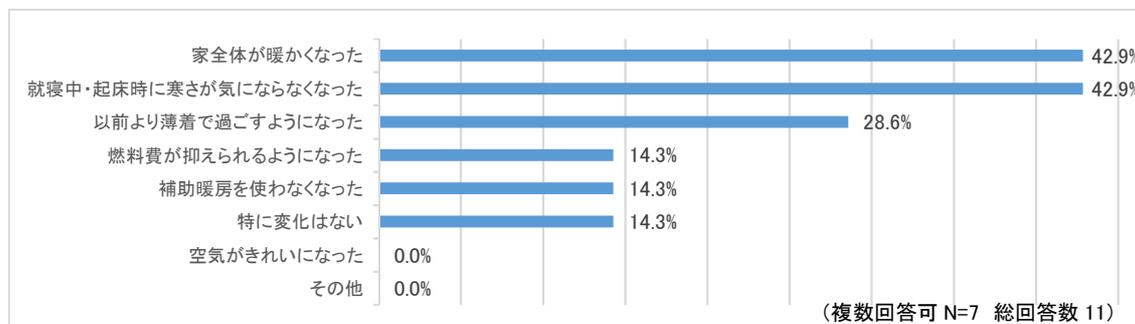


図 4-2-10 冬季の生活スタイルの変化

③改修前後の夏季の住戸内の温度

夏季日射の遮蔽にかかわる改修は実施していないが、以前より暑さが気にならなくなったという声が確認でき、断熱改修により外壁を伝う熱の量が減り、体感温度が低くなったことが想定される。

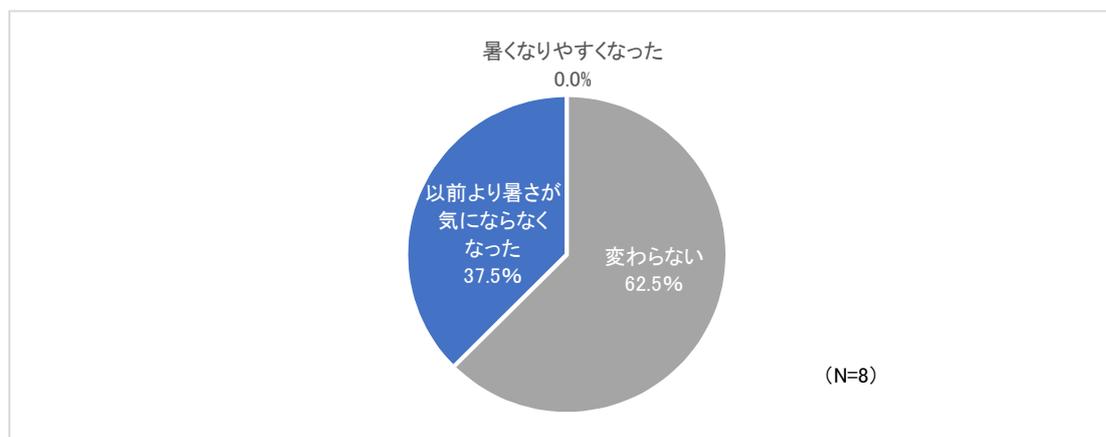


図 4-2-11 夏季の住戸内の温度

【アンケート結果による考察】

灯油量については、本アンケートで「変わらない」と答えた世帯が約4割に上り、目に見えるランニングコストの減少にまでは繋がっていない世帯もあるが、一方で住戸内の温度差が緩和された世帯も多く、改修による効果は出ているものと考えられる。

また、冬季の生活スタイルに何らかの効果がでている世帯が多く、居住快適性が向上している状況が見られる。

第5章 まとめ

5-1 高断熱化モデル改修効果検証で得られた結果

第2章から第4章による整理内容から、本検証で得られた結果を改めてまとめる。

【メリット】

○ランニングコスト・CO₂の削減(エネルギー使用量の削減)

実測による削減量は試算よりも少ないものの、削減率は試算を超えた結果がでており、エネルギー使用量の削減に明らかな効果が見受けられた。

○入居者の体感温度の上昇(冬季)

実測結果では、特に非暖房室の室温が上昇しており、アンケートからも家全体が暖かくなったという声が聞かれるなど、体感温度の上昇が確認できた。

○室間の温度差の減少

実測結果では、室間温度差が10°C程度から5°C程度まで減少しており、アンケートからも温度差が小さくなったことが確認できるなど、室間の温度差改善が確認できた。

○室内結露の減少

サーモ測定により、室内壁面の温度上昇が確認できたほか、アンケートから結露の減少が確認できるなど、断熱効果による改善が見受けられた。

○生活環境の向上

冬季の生活スタイルについて、アンケートから起床時の体感温度や着衣量の変化等の効果が確認できている世帯が多く、断熱改修による生活環境の向上*が確認できた。

【課題】

○工事費用が高い

本改修仕様では、一般的な外壁改修と断熱改修とで2倍を超える工事費の開きがあり、ランニングコストの低減分で増加した工事費を賄うことは難しい。

○改修仕様の検討について、専門的知見が必要

建築基準法等の規定を遵守した仕様とすることはもちろん、建物の形状や従前の仕様などの条件に応じて最適な断熱仕様を検討する必要がある、建築士等の専門家の介入が必要不可欠である。

※生活環境の向上が健康面に与える影響

近年、断熱改修について、省エネルギーの観点のみならず、居住者の健康に与える影響についても研究が進められている。「断熱改修等による居住者の健康への影響調査中間報告(第3回)」※(主催：一般社団法人日本サステナブル建築協会)によると、住宅の室内環境が血圧など健康関連事象に与える影響について、以下の得られつつある知見が確認された。

※出典：国土交通省ホームページ https://www.mlit.go.jp/report/press/house07_hh_000198.html

1. 室温が年間を通じて安定している住宅では、居住者の血圧の季節差が顕著に小さい。
2. 居住者の血圧は、部屋間の温度差が大きく、床近傍の室温が低い住宅で有意に高い。
3. 断熱改修後に、居住者の起床時の最高血圧が有意に低下。
4. 室温が低い家では、コレステロール値が基準範囲を超える人、心電図の異常所見がある人が有意に多い。
5. 就寝前の室温が低い住宅ほど、過活動膀胱症状を有する人が有意に多い。
断熱改修後に就寝前居間室温が上昇した住宅では、過活動膀胱症状が有意に緩和。
6. 床近傍の室温が低い住宅では、様々な疾病・症状を有する人が有意に多い。
7. 断熱改修に伴う室温上昇によって暖房習慣が変化した住宅では、住宅内身体活動時間が有意に増加。

5-2 集合住宅の高断熱化に向けて

高断熱改修により、エネルギー使用量の削減による CO₂ の減少、室温の改善による住民の居住性向上が認められた。これらに加え、本工事で採用した外断熱工法は、コンクリート躯体の保護にも繋がり、建物自体の長寿命化、ひいてはその後の修繕費用の軽減にも寄与する効果が期待される。

費用面での課題はあるが、居住性の向上や健康面でのメリット、CO₂ 削減による地球環境への貢献度など、費用面を超えた価値が多々あることも事実であることから、建物の用途（所有関係）、将来的な使用年数（費用対効果）、建設時の仕様（改修方法）など、個々の建物の特徴に応じた対応が求められる。

また、このような効果を長く享受するためには、より早い段階での改修が有効であり、築年数の浅い建物ほどより有効である。

高断熱改修は、住宅ストックの「質」を高めることに繋がり、持続可能な安全・安心に住み続けることができる住まいづくりであると言える。暖房費の節約など経済的なメリットだけで判断するのではなく、総合的な住まいの価値向上を目指して、一般に広がることが望まれる。

最後に、本効果検証の結果を踏まえ、分譲住宅、賃貸住宅の高断熱化に向けた要点を、下記に示す。

■分譲住宅

ランニングコスト削減効果や居住性向上のメリットが区分所有者に直接還元されることとなるが、その一方で追加の工事費を負担するのも区分所有者となる。しかし、長期の視点で考えれば、追加工事費は一時的に発生するものの、その後の外壁改修等の維持管理費の軽減や建物の長寿命化などが期待できる。また、終の住処となることも考慮すれば、高断熱改修による健康面でのメリットは、大きな効果であると言える。

このようなメリットが大きいことから、断熱改修を検討することが望ましいが、そのためには、長期修繕計画、資金計画の見直しや、適切な資金調達方法の検討が重要である。

また、改修工事の実施には、区分所有者の合意形成が欠かせないことから、管理組合が積極的に関わって検討を進めることが求められる。

■賃貸住宅

工事費の負担は所有者となるが、暖房費が安くなり、居住性が高まることから、幅広い年代に訴求でき、入居者が長く快適に住み続けてくれることが期待できる。また、地球環境保全に対する市民の意識の高まりに応えられる住宅であることも訴求できる点である。さらには、分譲住宅と同様に、改修後の維持管理費の軽減、建物の長寿命化により、収益性が上がる効果が期待できる。

改修工事により入居者が得られる利益（居住性向上、光熱費削減等）に応じて、賃貸料の値上げも検討できる事項であるが、賃貸料値上げが入居率低下を招くことのないよう、賃貸住宅を選ぶ条件の一つとして、住宅性能の情報が入居希望者に適切に提供される仕組みが求められる。

資料編

