

第3章 省エネルギー改修効果の推計

3.1 省エネルギー改修効果のケーススタディ

3.1.1 ケーススタディの概要

1) 既存住宅の断熱性能に関する実態調査

① 既存住宅の実態調査

我が国の住宅ストックは現在約 4,700 万戸に上ると言われていますが、その性能実態に関する系統的な情報は極めて不足しているのが実情です。そこで、本書で扱う省エネルギー改修の手掛かりとして、2002～2004 年に既存住宅の断熱性能に関する実態調査を実施しました。その結果、省エネルギー基準の地域区分による I、III、IV、V、VI 地域におけるおおよその傾向を把握することができました。ここではその成果をもとに、それぞれの地域で典型的な住宅を抽出し、その特性に応じた標準的な改修手法について検討しました。

② IV 地域における住宅の断熱性能の特徴

実態調査として、工務店および設計事務所の実務者へのアンケート調査と現地調査を行いました。その結果、図1に示すように、IV 地域では外壁の断熱性能が高く、平成4年基準相当以上の水準を達成している住宅が80%近い割合を占めていることがわかりました。一方、最下階床は、昭和55年基準以下の住宅が約60%と、最も性能が低い部位です。また、最下階床を除く部位ではいずれも昭和55年基準に満たない住宅は10%以下にすぎず、調査した地域の中では、IV 地域の断熱水準が最も寒冷な地域である I 地域に次いで高いことが確認されました。

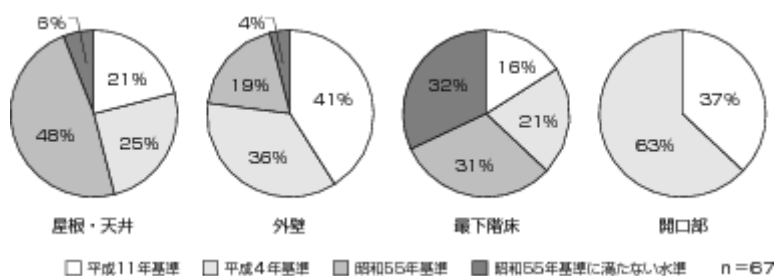


図1 各部位における断熱水準の達成状況 (IV 地域)

また、図2は住宅の建設年代区分による部位ごとの断熱水準の推移状況を示したもので、以下のような傾向が確認されました。なお、図中の年代区分については、省エネルギー基準が制定・改定された年を勘案し、①～1981年、②1982～1991年、③1992～1998年、④1999～2003年の4つの区分に設定しました。

・屋根・天井と外壁については①以降 $1.00 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ 以上の熱抵抗性能を示し、特に屋根・天井を見ると、

④は①に比べ、4倍近く性能が向上している。

・開口部については、②以前はすべて単板ガラスのアルミ製サッシで、性能の向上が見られないが、④では複層ガラスが増え、平均熱抵抗値は $0.25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ に向上した。

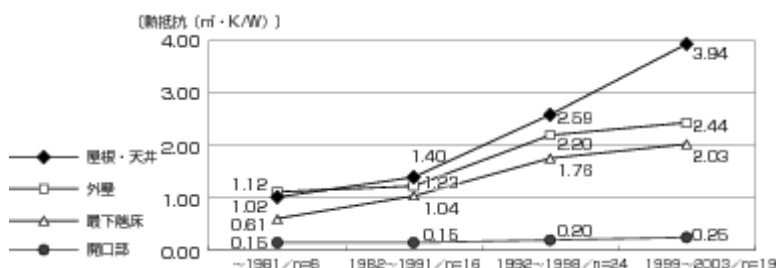


図2 年代区分別にみた各部位における断熱水準の推移 (IV地域)

2) 断熱改修による省エネルギー効果のケーススタディ

① ケーススタディの条件

実態調査の結果から各年代区分の平均的な住宅仕様を分析し、部位ごとに典型的な仕上材や断熱材の仕様を抽出しました。その中から、調査物件の多くを占めたIV地域 (関東地区) を選択し、年代ごとの仕様を表1のように設定しました。

本書の検証では、築年数と性能実態から最も省エネルギー改修のターゲットとなることが予想される、①の住宅 (築 25~30 年の住宅) 仕様をケーススタディに採用しました。

表1 典型的な在来木造住宅モデルの仕様 (IV地域) n=65

部位	① ~1981	② 1982~1991	③ 1992~1998	④ 1999~2003
屋根	和瓦	和瓦	彩色スレート	洋瓦
天井	繊維板 GW10K t=25	クロス GW10K t=50	クロス GW10K t=100	クロス GW16K t=160
外壁	ラスモルタル・リシン GW10K t=50	ラスモルタル・リシン GW10K t=50	サイディング GW10K t=100	サイディング GW16K t=100
内壁	化粧合板	クロス	クロス	クロス
開口部	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ ペアガラス
床	フローリング 無断熱	フローリング XPS(1B)t=20	フローリング XPS(1B)t=50	フローリング XPS(3B)t=45

GW: グラスウール、XPS(1B/3B): 押出法ポリスチレンフォーム(1種/3種)

図3、4は改修効果を検証した住宅モデルで、2章で紹介したモデルと同じです。この住宅モデルに表1の①の仕様をあてはめると、改修前の住宅モデルの熱損失係数は、 $4.95 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (昭和 55 年基準相当) となります。

次に、表2はこのモデルに適用する建物外皮の断熱改修工法の一覧です。部位ごとの省エネルギー改修効果をより明確にするために、対象住宅の構造的な問題点や住み手の改修ニーズ等は改修条件として特に勘案せず、各部位の仕様が平成 11 年基準相当以上の断熱水準を満たすことを目標レベルに設定しました。なお、改修範囲は、部位ごとに建物全体としました。

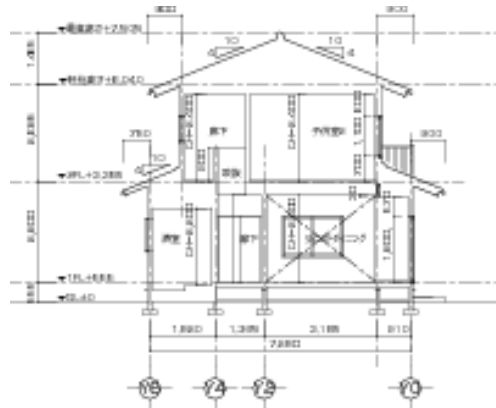


図3 住宅モデルの概要:断面図

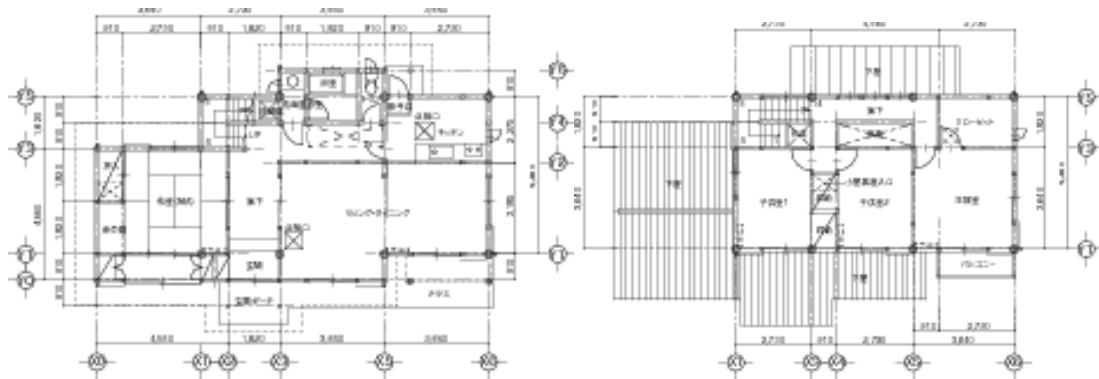


図4 住宅モデルの概要 平面図

表2 建物外皮の改修内容

改修部位	改修内容・断熱材
①:天井(手法4)	小屋裏から断熱材を吹き込む:ブローイング GW-2 t=200mm
②:外壁(手法7)	外壁に断熱材を付加(既存の断熱材を活用):XPS(3B)t=50mm
③:開口部(手法14)	全ての開口部の二重サッシ化:既存アルミ・シングル+樹脂サッシ・シングル
④:最下階床(手法9)	床下から断熱材を設置:GW 32K t=80mm

3.1.2 ケーススタディの結果

1) イニシャルコスト

表3は、断熱改修工事に要したA改修部位、B概算費用、C改修後の熱損失係数(Q値)、D改修前後の改善値(ΔQ 値)の一覧です。

IV地域を想定した住宅モデルの場合、最も高額な部位は仕上材の更新をともなう外壁工事で、また最も安価な部位は、床の改修工事でした。床や天井の工事は、仕上材は残して裏側(小屋裏や床下)から行うため、作業空間を確保できれば安価に行うことが可能です。また、床については改修前後の熱損失係数の改善値も他の単独改修に比べて大きくなっています。一方、全ての部位の改修を行った場合は、概算工事費は約 637 万円になりました。この場合は、大掛かりな修繕工事を想定していますが、熱損失係数は

2.34W/m² K、改善値は 2.61 で平成 11 年基準が達成されました。

表3 断熱改修に要した概算費用、及び改修後のQ値とその改善値(ΔQ値)

A. 改修部位	B. 概算費用(千円)	C. Q値(W/m ² K)	D. ΔQ値(W/m ² K)
① 天井(手法4)	345	4.21	0.74
② 外壁(手法7)	3,161	4.53	0.42
③ 開口部(手法14)	1,956	4.14	0.81
④ 最下階床(手法9)	906	4.16	0.79
⑤ ③+④	2,862	3.53	1.60
⑥ ①+③+④	3,208	2.87	2.08
⑦ ①+②+③+④	6,369	2.34	2.61

2) 暖冷房負荷

建物外皮の断熱改修による暖冷房負荷の削減率をもとに、年間の暖冷房エネルギー消費削減量の試算を行いました。その結果は概ね以下の通りです(図5参照)。

IV地域では、断熱改修による暖冷房負荷の軽減効果が最も高い改修部位は開口部、次いで天井で、年間の暖冷房エネルギー消費削減割合はそれぞれ約 15%、7%でした。いずれも顕著な効果が期待できません。

また、開口部の改修は省エネルギー効果が高いと同時に、居住しながら工事が行えるため、改修の重要な要素である施工性の観点からも優れています。従って、省エネルギー改修において比較的选择順位の高い部位であると言えます。

一方、最下階床の改修は、熱損失係数で比較した場合に比べてエネルギー削減量が少なく、大きな改修効果を得にくい部位です。しかしながら、工事費が 20 万円程度と他の部位に比べて安価で、費用対効果で見るとその順位は高くなりますから、優先すべき選択肢の一つとして考慮すべきです。

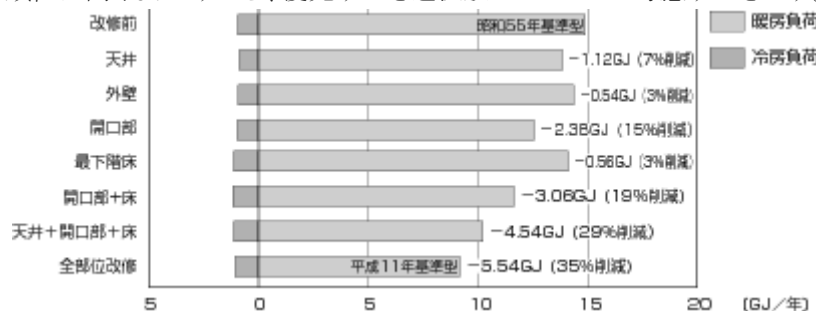


図5 年間の戸当たり暖冷房エネルギー消費量と削減率

3) IV地域で有効な省エネルギー改修のポイント

実態調査およびケーススタディの結果から、省エネルギー改修技術の有効性と今後の課題を、以下のようにとまとめることができます。

- ・IV地域(主として関東地区)における在来木造住宅の場合、建物外皮の断熱改修による暖冷房エネルギー

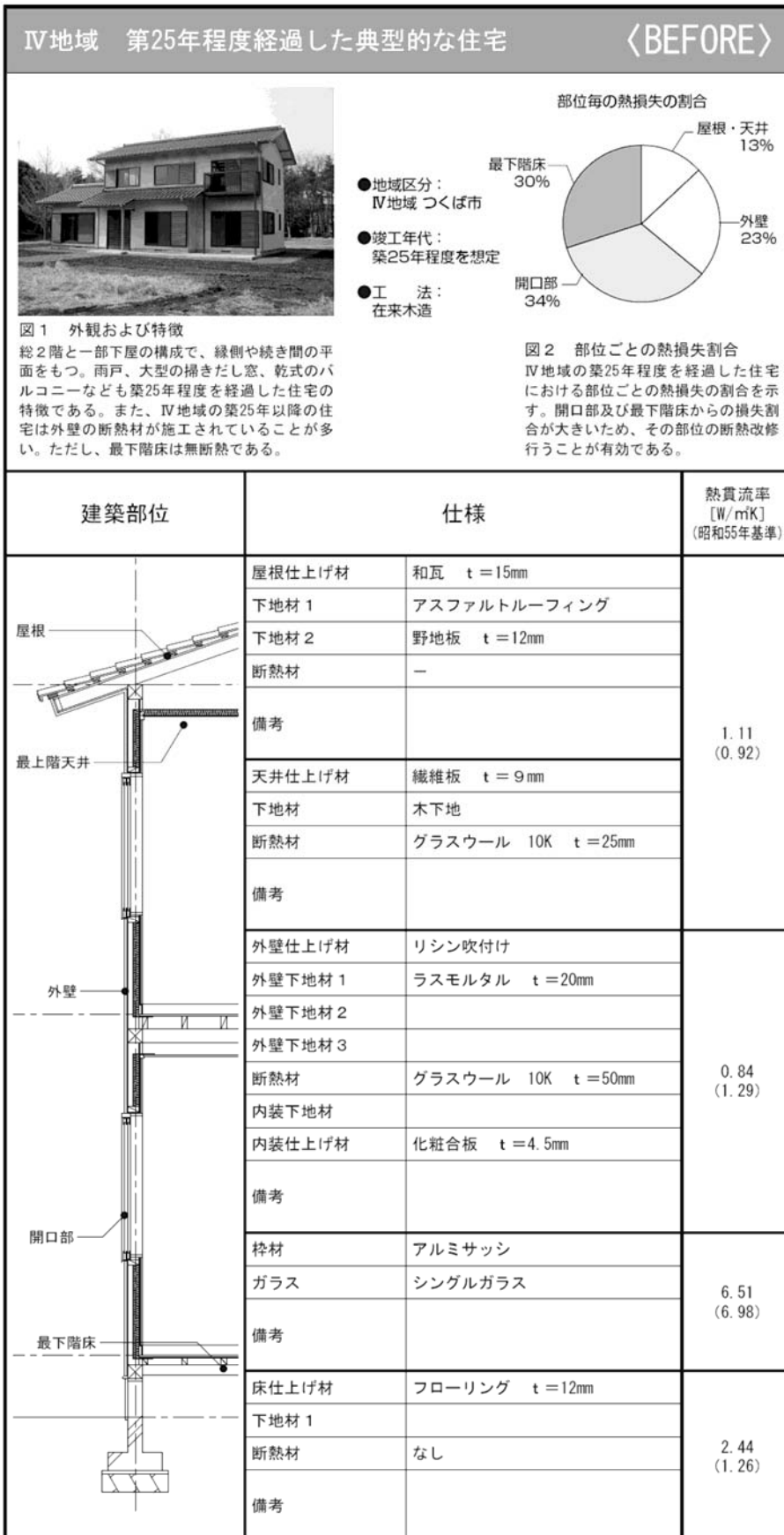
ギー削減効果が最も大きい部位は開口部である。

- ・全ての部位の断熱改修を行った場合、修繕を目的とした一般的な改修費用よりも高コストとなるが、最大約 35%の暖冷房エネルギー削減効果が得られる。

- ・天井および最下階床の改修は、省エネルギー効果は顕著ではない。しかし、比較的安価に実施でき、夏季に天井からの放射熱を遮断する効果や、冬季に床面に近い足元の温度分布を改善する効果がある。従って、住まいの快適性や質を向上する上で、重要な改修部位であると言える。

- ・暖冷房機器に係わる設備更新は、一連の研究結果からエネルギー削減効果が明らかにされており、建物外皮の断熱改修と同時に実施することにより、さらに省エネルギー効果を高めることが期待できる。

●既存住宅断熱改修シート1(改修前)



●既存住宅断熱改修シート2(改修後)

IV地域 断熱改修モデル 昭和55年基準型⇒平成11年基準型 <AFTER>

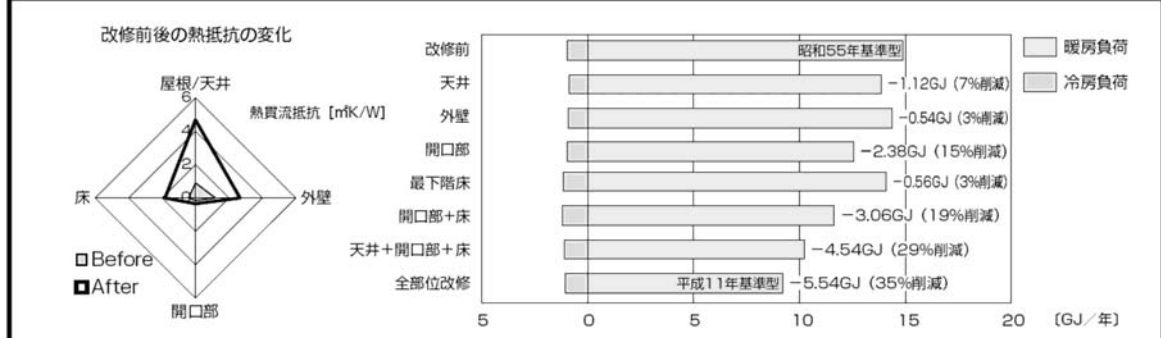


図3 改修前後の熱貫流抵抗の変更
改修後は、下表の通り、すべての部位を平成11年基準仕様に変更した場合である。

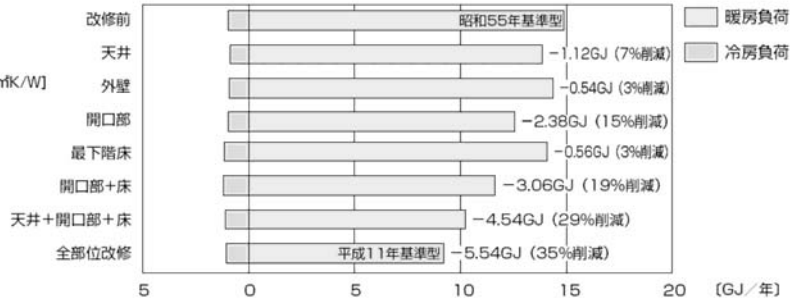


図4 断熱改修による年間の暖冷房エネルギー消費量の試算結果(1戸当たり)
改修前の1年間の暖冷房エネルギー消費量と、改修後の暖冷房エネルギー消費量及び消費量削減率を示した。全部位改修を行った場合には、35%の削減効果が見込まれる。
(図4はAE-CADを用いて、年間の暖冷房エネルギー消費量をシミュレーションした結果)

建築部位	仕様	熱貫流率 [W/mK]	改修費用 [円/㎡]	年間光熱費削減量[円]	
屋根	屋根仕上げ材	和瓦 t=15mm	4,300	4,000	
	下地材1	アスファルトルーフィング			
	下地材2	野地板 t=12mm			
	断熱材	—			
	備考	既存屋根は現状のまま			
	天井	天井仕上げ材			繊維板 t=9mm
	下地材	木下地			
	断熱材	吹込み用グラスウール 20K t=200mm			
	備考	・小屋裏吹込断熱工法(手法4) ・既存断熱材の上に増し吹き ・気流止めを設置(手法6)			
	外壁	新規外壁仕上げ材			サイディング t=12mm
外壁下地材1		通気用胴縁 t=18mm			
新規断熱材		押出法ポリスチレンフォーム3種 50mm			
外壁下地材3		モルタル下地リシン吹きつけ t=20mm			
既存断熱材		グラスウール 10K 50mm			
内装下地材		なし			
内装仕上げ材		化粧合板 t=4.5mm			
備考	・外壁外張断熱工法(手法7) ・既存壁の外側に断熱材を追加				
開口部	枠材	既存アルミサッシ+新規樹脂サッシ	64,000~	6,000	
	ガラス	シングルガラス			
	備考	・2重化工法(手法14) ・既存サッシを残し、室内側にサッシを追加			
最下階床	床仕上げ材	フローリング t=12mm	12,000	1,700	
	下地材1				
	断熱材	グラスウール 32K t=80mm			
	備考	・床下充填断熱工法(手法9) ・断熱材を床下から充填 ・気流止めを設置(手法11)			

3.2 部分断熱改修による効果の検討

3.2.1 断熱改修手法の検討

茨城県つくば市に、概ね 25 年ほど前の建物仕様による実験用の木造住宅(在来木造軸組工法、延床面積:134.98 m²)があります。この住宅で部分断熱改修による効果の検証を行いました。検証した断熱改修手法を図6と表4に示しますが、天井や床、気流止めといった工事中も居住者の退去を必要としない手法を採用しています。この一連の断熱改修によって、在室時間が長いと考えられるLDKの空間に断熱区画が形成されます。温暖地におけるこのような住宅では局所間欠暖房が一般的で、費用対効果の観点から小規模改修が現実的です。そこで、ここでは小規模な部分断熱改修による冬期の温熱環境の向上と暖房エネルギー削減効果について検証しました。

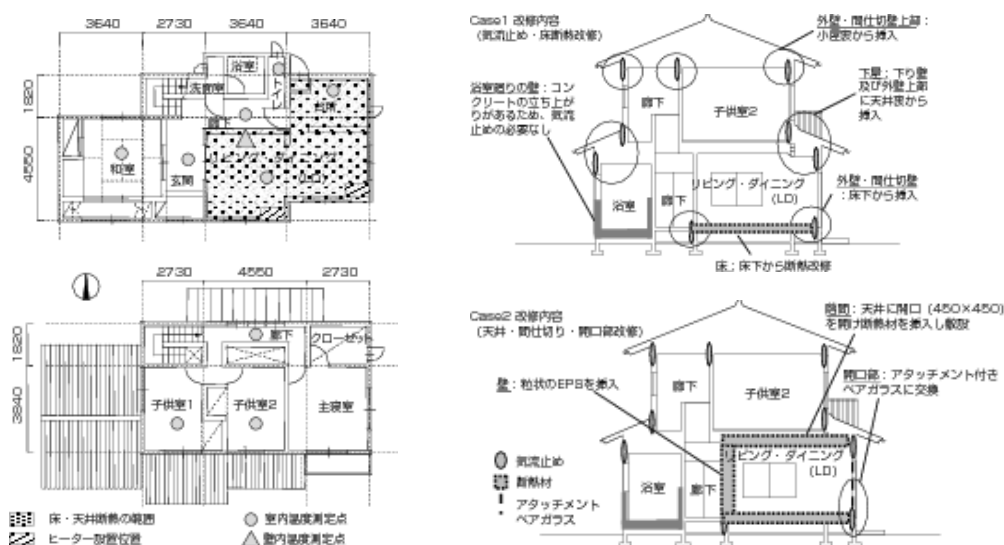


図6 建物概要と断熱改修手法

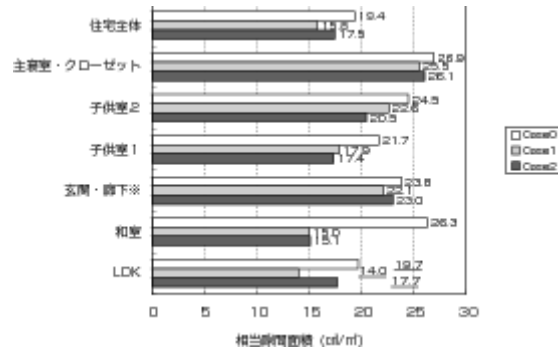
表4 断熱改修手法の概要と工事費用

記号	部位	施工範囲	改修方法(Case0は竣工時の仕様)	熱損失係数 (W/m ² K)	工事費用
Case0 *1	床・天井	建物全体	無断熱	3.49	-
	外壁	建物全体	グラスウール 10k t=50mm		
	サッシ	建物全体	アルミサッシ・単板ガラス(パッキン加工)		
Case1	壁の上下 端部	建物全体	床下から気流止めを設置(手法2)*2	3.30	約 45 万円
		建物全体	小屋裏から気流止めを設置(手法1)*2		
	床	LDKのみ	床下からグラスウールボード 32K 80mmを充填(手法10)*2		
Case2	階間	LDKのみ	天井に開口を開けグラスウール 16K 100mmを敷設(手法5)*2	3.12	約 90 万円
	間仕切 壁	LDK 廻り	天井の開口を経由し、発泡ポリスチレンビーズを挿入		
	開口部	LDKのみ	既存ガラスをアタッチメント付きペアガラスに交換(手法13)*2		

3.2.2 部分断熱改修の効果

1) 気密性能との関係

気密性能の測定結果を図7に示します。気密化されていない在来木造工法は壁内の隙間が床下から小屋裏まで繋がっているため、Case1の気流止め施工によって相当隙間面積が減少していることがわかります。特に和室では気流止め施工により相当隙間面積が10(c㎡/㎡)以上減少しており、効果の大きいことが読み取れます。



※1階の洗面室・浴室、トイレのドアは開放し、「玄関・廊下」に含まれる。

図7 気密性能の測定結果

2) 体感温度への効果

一般に、断熱性能が向上すれば壁の表面温度が上昇し、同じ空気温度でも体感的に暖かく感じます。図8は体感温度に相当するグローブ温度という指標と空気温度(乾球温度)の差と、室内外温度差の関係を比較したグラフです。これから断熱改修によって体感温度が1℃程度向上したことが読み取れます。これは、断熱改修によって暖房温度の設定を1℃下げても、同様の暖かさが感じられることを意味しており、表面温度が改善されたことが推測できます。

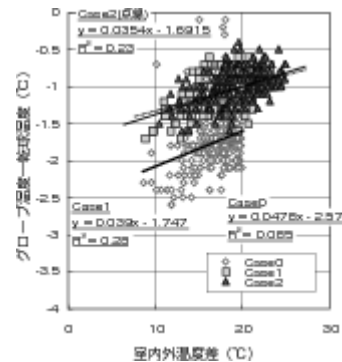


図8 グローブ温度と乾球温度の差

3) 足元温度の改善

足元の寒さは非常に不快ですが、断熱性能の向上は足元温度の改善にも貢献します。図9は、暖房運転時における上下温度差(床上50mmと900mm)と室内外温度差の関係を示したものです。改修前のCase0では上下温度差は7℃に達しており、足元がとても寒い状態になっています。これは、断熱が貧弱な住宅で発生するコールドドラフトという冷気流と、気密性の悪さに起因する隙間風が主な原因と考えられます。Case1、Case2では断熱改修によって足元温度は3℃程度改善されたことが読み取れます。

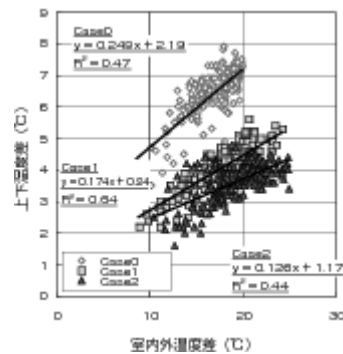


図9 上下温度差

4) 暖房運転前の明け方最低室温

間欠暖房の生活では、一般に暖房開始前の明け方に室温が最も下がります。図 10 はこの点に着目し、明け方の最低室温と最低外気温の関係を示したものです。

改修前の Case0 では明け方の温度は常に10℃を下回りますが、断熱改修後は10℃以上の日もみられ、明け方の温度低下が改善されていることがわかります。

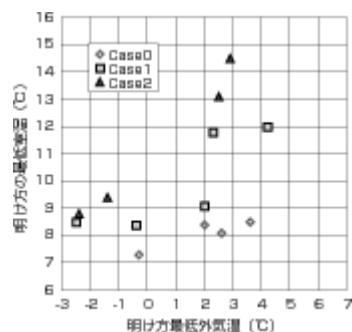


図 10 明け方の最低室温

5) 気流止めの重要性

一般に、断熱気密に配慮されていない在来木造住宅は、間仕切り壁において床下から低温の空気が侵入し、室内の温熱環境の悪化と暖房負荷の増大を招きます。図 11 は廊下に接する間仕切壁からの熱損失と室内外温度差の関係を示したものです。この部位からの熱損失は、Case1 のように通気止めを施工するだけでも改修前の6割程度に削減することができます。また、間仕切壁に断熱を施せば約4割程度までの削減が見込めます。局所暖房では非暖房室に接する間仕切壁からの熱損失は無視し得ないので、間仕切壁の改修は重要です。

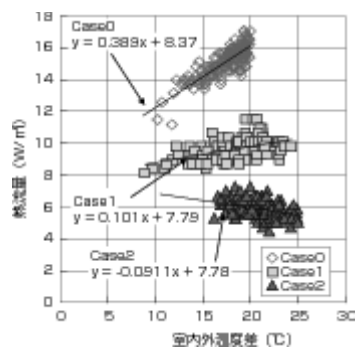


図 11 間仕切壁からの損失熱量

6) 非暖房室の温熱環境

部分断熱改修では、改修を行っていない非暖房室の温度低下が懸念されます。図 12 は暖房時における暖房室(LD)と、非暖房室であるトイレとの室内外温度差の関係を示したものです。図中の r は原点からの傾きであり、データ群が x 軸に近づくほど(図中の r が小さいほど)、トイレの温度が外気温度に近いことを意味します。住戸全体に気流止めを施工した Case1 では、トイレの温度が改善されていますが、間仕切壁に断熱材を施工した Case2 では、Case1 に比べ若干温度が低下していることが読み取れます。

このように住戸全体を断熱改修する場合は非暖房室の温熱環境も改善されますが、部分断熱改修では逆に温度低下が生じることがあるので注意が必要です。

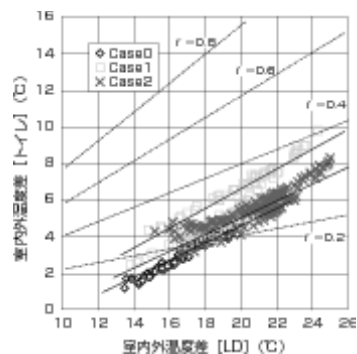


図 12 暖房室と非暖房室の室内外温度差

7) 暖房コストの削減効果

本実験では、LDK のみを暖房した際の断熱性能(保温性能)を実測によって求めています。この保温性能と気象データを用いて、冬季の暖房コストを推定してみました。図 13 の[]内の暖房費は、暖房設備に比

ートポンプエアコンを想定し、COP を3、電力料金を 22 円/kWh として算出した年間の暖房コストです。図 13 の試算結果によれば、Case2 の改修工事を行った場合、間欠暖房では約 12,000 円/年、連続暖房では 24,000 円/年程度の暖房費の削減が見込めます。その結果、改修工事後の住宅の償却期間を 15 年と仮定すれば、前者は工事費用の 20%、後者は 38%回収できる可能性があることが読み取れます。

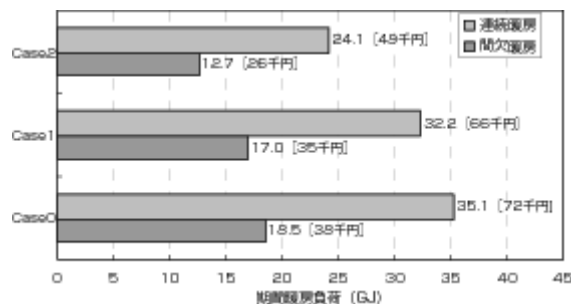


図 13 LDK の期間暖房負荷及び暖房費の推定値([]内は暖房費用)

表5に示した「LDK の保温性能」は、15 ページのコラムで解説した住宅の熱損失係数の測定方法を LDK に適用し求めたものです(LDK のみ加熱)。したがって、数値は熱損失係数と同じ意味合いを持ちますが、同等の断熱材が施工されていても床面積が小さいことや非暖房室への熱損失があるため、住宅全体の値に比べ大きめの値になります。

表5 LDK の保温性能の同定結果

	Case0	Case1	Case2
LDK の保温性能 (W/m ² K)	6.75	5.92	4.60

現在のエネルギーコストを前提に計算すると、部分改修による暖房費の削減分だけでは 15 年の償却期間中に工事費用を回収するのは難しいという結果となりました。しかしながら、単なる暖房機器の買い替えだけでは達成できない、体感温度や足元の寒さ、朝方の冷え込みなどの改善効果によって、温熱環境の快適性が確実に向上することが実証されました。