

博士論文

伝統民家の室内温熱環境改善のための断熱改修と  
暖房方式に関する研究

( Study on Insulation and Heating for Improvement of  
Thermal Environment in Traditional Timber House )

2014年7月

吉浦 温雅

山口大学大学院理工学研究科

## 目次

論文要旨	
第1章 序論	1
1. はじめに	1
2. 伝統民家の室内温熱環境	1
3. 改修費と改修内容の現状	2
4. 改善手法の現状	4
4.1 改善手法の全般的状況	
4.2 代表的改善手法の仕様	
4.3 改修事例の室内温熱環境	
4.4 改善手法の問題点	
5. 既往研究	9
6. 研究課題	13
7. 本論文の目的と対象	15
8. 本論文の構成	18
第2章 太鼓障子と木製複層ガラスサッシによる開口部断熱改修仕様	26
1. 本章の目的	26
2. 室内実験による断熱性能の評価	26
2.1 実験概要	
2.2 実験結果	
3. 伝統民家改修事例の開口部建具と空気層の温度計測	30
3.1 計測の概要	
3.2 計測結果	
4. 理論計算による断熱性能の推計	35
4.1 計算の方法と実験・計測値との比較	
4.2 空気層の熱抵抗の推計	
4.3 開口部の仕様と熱貫流率の関係	



5. まとめ	41
第3章 縁側の緩衝空間としての温熱環境制御効果	46
1. 本章の目的	46
2. 縁側と温室における室内温熱環境の計測	46
2.1 対象施設及び計測の概要	
2.2 縁側と温室の冬季計測結果及び縁側の冬期室温計算	
2.3 縁側と温室の夏季計測結果	
3. 縁側と温室における冬期及び夏季の室内温熱環境の比較	52
4. 断熱性能をパラメータとした冬季伝統民家縁側の室温計算	53
5. まとめ	53
第4章 暖房設備と室内温熱環境の関係	55
1. 本章の目的	55
2. 使用暖房設備の異なる室内温熱環境の計測	55
2.1 計測の概要	
2.2 計測結果	
3. 数値計算によるエネルギー消費量の検討	59
3.1 数値計算の概要	
3.2 数値計算の結果	
4. まとめ	65
第5章 数値計算による室内温熱環境改善効果及び年間暖冷房負荷の検討	71
1. 本章の目的	71
2. 数値計算の概要	71
3. 断熱仕様をパラメータとした数値計算結果	75
3.1 一日の温度変動の比較	
3.2 暖房エネルギー削減効果	
4. 暖房方式をパラメータとした数値計算結果	80
4.1 暖房方式と平均放射温度の関係	

4.2 暖房方式と作用温度の関係	
5. 暖冷房負荷の比較	82
6. まとめ	83
第6章 結論 .....	88
1. 本論文の知見	88
2. 今後の課題	91
謝辞	93

## 第1章 序論

### 1. はじめに

近年、過疎化が進む地域では伝統民家は空き家となり、歴史的な価値を認識されず解体される事例が相次いでいる<sup>1)-4)</sup>。その一方で、住み続けた家を残したいという所有者の意向や、まち並みの景観の保護などの理由から、伝統民家を改修する事例が現れている<sup>5)</sup>。また、人口減少・少子高齢化などの社会的背景から福祉施設の開設が進められ、空き家の伝統民家を改修し転用する事例もみられる<sup>6)</sup>。こうした伝統民家の改修においては、改修により改善された要素として、「寒さ」が水回りを中心とした「設備」・屋内の「暗さ」に次いで多く<sup>5)</sup>、冬期の室内温熱環境の改善と暖房エネルギーの削減が重要な課題となる。一方、住宅部門のエネルギー消費量・CO<sub>2</sub>の排出量は増加し続けており、新築住宅と同様に既存住宅ストックの省エネルギー性向上の必要性は高まっている。特に、伝統民家の場合は、大断面木材による建物の長寿命化が実現できると考えられる<sup>7)</sup>ことから、伝統民家の冬期室内温熱環境の改善および省エネルギー性の向上は注目されている。

現在の伝統民家の改修事例では、新築の木造住宅に用いられる断熱技術を取り入れ、優れた快適性を有す暖房設備を設置することにより、現代住宅に匹敵する室内温熱環境を得ることが可能になっている。しかし、こうした民家全体におよぶ大規模な改修は、相当の費用を要するため一般には普及していない。伝統民家の住環境には、冬期の室内温熱環境の改善の他にも、構造的な安全性や空間構成の機能性の向上など、取り組むべき重要な課題がある<sup>8)</sup>。そのため、室内温熱環境の改善のみに高額な費用をかけることは難しく、伝統民家の室内温熱環境改善のための改修においては、施工に手間が掛からない工法や、一定の経済性の担保が求められる。

そこで本研究では、施工性やコストを考慮する新しい視点から、伝統民家の冬期室内温熱環境を改善するための改修を計画・設計する上で、有効な技術的知見を得ることを試みる。

### 2. 伝統民家の室内温熱環境

伝統民家には、厳しい自然環境に適応し生活するためにうみ出された多くの工夫を見ることが出来る。深い庇は日射の進入を防ぎ、茅葺きの屋根はしみ込んだ雨が蒸発する際に熱を外部に放出させる。また民家周辺の屋敷林・植栽も日射を遮蔽し、さらに潜熱効果に

より冷却させた空気を室内に取り入れる役割がある。夏期の伝統民家の室温は外気温と比較して 2~3℃程度低くなることが示され<sup>注1)</sup>、伝統民家のパッシブクーリングは、現代住宅においても学ぶべきものが多いといえる。また寒冷地に建つ伝統民家では、冬期においても自然環境に適応するための工夫を見ることが出来る。合掌造民家では、巨大な屋根面の勾配を急にして棟の方向をほぼ南北にすることで、屋根面の日射受熱を制御し室内温熱環境の形成に大きく寄与している。大壁造民家では、厚さ 20~30cm ある粘土の大壁に日中の日射熱が蓄熱され、夜間に室内に放射されることで室温の低下を緩和するとされる。

しかし、伝統民家の冬期の室内温熱環境自体は現代人が生活するうえで十分なレベルではなく、奈良県の集落でヒートショック等が原因となり、集中的に脳卒中患者が発生した事例が報告されている<sup>注2)</sup>。冬期の伝統民家の室内温熱環境に関しては、断熱・気密性能が低いため、(1)暖房室と非暖房室の間に大きな温度差が生じる、(2)暖房停止後急速に室温が低下し、起床時まで室温を維持することが困難、(3)石油ストーブや電気こたつによる暖房では室内に上下温度差が生じる、(4)暖房に消費されるエネルギー量が多い等の問題がある。

### 3. 改修費と改修内容の現状

表 1.1 は島根県の自治体を実施する空き家活用事業により UI ターン者の住居として改修された伝統民家の改修事例<sup>1)</sup>14 例と、大規模改修事例 3 例の改修費と改修内容を整理したものである。過疎地域の空き家となった伝統民家を UI ターン者が住居として活用することは、現在の伝統民家の改修事例の主要な用途である。特に、本事業は就業体験等の定住施策と連動した空き家活用であり、改修事例において長期間の居住が想定されるので、これらの事例から現在の伝統民家改修の改修費と改修内容の一般的な状況を把握できると考える。事業の詳細については参考文献 11)を参照されたい。

#### (1) 空き家活用事業による改修事例の改修費と改修内容

空き家活用事業の改修費と改修内容をみると、改修費の低いものから高いものへと、改修内容が充実していることが確認できる。具体的には、床・壁・天井等の内装の改修と内部建具の取替えは、全ての事例において行われ、屋根・外壁の老朽個所の改修も 12 例の事例で行われている。しかし、水回り設備・給排水の工事については、改修費が 200 万円以上の事例において実施されている。隙間風の対策となる外部建具の取替えについても同様の傾向がみられる。断熱改修については、全体のうち 3 例での実施に止まっており、改修費が 500 万円を超える事例において確認できる。断熱改修事例の特徴としては、小屋裏(天

表 1.1 改修費と改修内容のリスト

事例No.	大規模改修			空き家活用事業													
	20	18	22	1	2	3	6	4	7	12	10	11	8	13	5	9	14
所在(地域)	大阪府 (IV)	茨城県 (IV)	宮城県 (III)	島根県(IV)													
築年数(年)	70	100	不明	50	55	44	42	46	100	約50	約40	約30	100	50	100	50	70
構造・規模	2階建	平屋	2階建	2階建	2階建	2階建	平屋	平屋	平屋	2階建	2階建	2階建	平屋	2階建	平屋	平屋	2階建
延べ床面積(m <sup>2</sup> )	269	130	119	126	135	198	113	83	105	109	147	109	163	166	102	116	137
改修費 <sup>※1</sup> (万円)	4890	3400	2050	735	735	600	600	580	503	500	338	256	250	217	180	118	41
坪単価(万円/坪)	59	85	56	19	18	10	18	23	16	15	8	8	5	4	6	3	1
内装・内部建具	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
外装(屋根・外壁)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
水回り設備	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
給排水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
外部建具	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
断熱改修	●	●	●	●	●				●								
平面構成変更	○	○	○				○						○				
耐震補強	○	○	○										○				
断熱部位	小屋裏	○	○	○	○	○											
	床下	○	○	○		○											
	外壁	○	○	○					○								
	開口部	○	○	○													
暖房設備 <sup>※2</sup>	薪ストーブ	ガス温水機	薪ストーブ	石油ストーブ	電気ストーブ	石油ストーブ	電気ストーブ	電気カーペット	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明
	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット	電気カーペット

※1改修費は水回り設備を含む建築本体工事費である。解体・運搬費、外構工事費は含んでいない。

※2暖房設備の費用は大規模改修型にのみ改修費に含まれている。空き家活用事業の事例の場合は改修費に含まれておらず、使用暖房設備を示す。

井)・床下と比較的施工し易い部位に断熱材が設置されていることが挙げられ、天井・床下の両方の部位を断熱改修したものは1例(事例 No.2)のみである。また、家族構成や年齢に対応した平面構成の変更や耐震補強の実施事例についても、それぞれ2例と1例に止まっている。尚、暖房設備については、電気カーペット・電気こたつ・石油ストーブ等が多く使用されている。

以上から、伝統民家の改修においては、内装工事、屋根・外壁の老朽個所の改修、水回りの工事が優先的に行われ、断熱改修・平面構成の変更・耐震補強はほとんど行われていない状況であることが示される。断熱改修の内容については、天井・床下の両方またはどちらか一方に断熱材を設置するといった軽微なもので、断熱改修が実施された事例の平均坪単価は18万円である。

(2) 大規模改修事例の改修費と改修内容

大規模改修3例では特別な気密化は施されていないが、小屋裏・床下・外壁・開口部と民家全体に新築の木造住宅に用いられる断熱技術を取り入れ、快適性を有す暖房設備が設置されており、改修費は2000万円を超えている。改修内容をみると、内装と外装工事・水回り設備の設置などの基本的な内容は全て含まれている。大規模改修の特徴としては、外

壁の断熱化と耐力壁への改修が並行して進められ、耐震補強が行われている。改修費の坪単価をみると、事例 No.18 が 85 万円と他の 2 例と比べて 30 万円程度高くなっている。これは、外壁のほとんどを耐力壁として改修することで耐震補強し、内壁についても耐力壁として新設し大幅な平面構成の変更を行っているためである。こうしたことから、標準的な大規模改修事例の坪単価として事例 No.20, 22 の坪単価の平均を求めると、57 万円となる。高断熱高気密化技術を用いて伝統民家の改修を 20 棟以上実施した設計者が、気密シートを用いた高断熱高気密化による伝統民家の改修は坪単価 70 万円になると述べている<sup>12)</sup>。これより、標準的な大規模改修事例の坪単価を 60 万円程度と推定することは妥当と判断できる。

### (3) 施工性とコストを考慮した室内温熱環境改善の必要性

島根県の自治体を実施する空き家活用事業により改修された伝統民家の改修事例の改修費と改修内容を確認することで、伝統民家の断熱改修事例の坪単価は、18 万円程度が一般的であることが示された。一方、現代住宅と同等の室内温熱環境が得られる伝統民家の大規模改修事例の坪単価は 60～70 万円に上ることが確認できた。伝統民家改修の改修費の状況から判断すると、こうした相当の改修費を要す大規模改修を行うことは困難である。伝統民家の改修においては、断熱改修・平面構成の変更・耐震補強がほとんど実施されていないという現状を鑑みると、住環境をバランス良く底上げするために、室内温熱環境を改善するための改修は、空間構成の機能性や構造的な安全性の向上に費やされる費用を圧迫することが無いよう、施工性とコストを十分に考慮して計画・設計する必要がある。

## 4. 改善手法の現状

### 4.1 改善手法の全般的状況

表 1.2 は現状の改善手法を個々の室内温熱環境の問題に対応させて評価したものである。表中の記号の◎印は「積極的な改善策になる。」、○印は「改善策になる。」、△印は「一応の改善策になる。」の意味を示している。改善手法は大きく「断熱改修」・「自然エネルギー利用」・「暖房設備の設置」に分類される。「断熱改修」では、各部位に断熱材を施し特別な気密化を施さない「断熱化」と、断熱化および気密シートを用い気密化を施した「断熱気密化」がある。「断熱化」によって各種の問題に対して改善効果が得られ、「断熱気密化」では積極的な改善策になる。また「断熱気密化」では、外気との隙間風が防がれること、室間の温度差が縮小されることから上下温度差の改善も期待される。

表 1.2 冬季の室内温熱環境の問題とその改善手法

	断熱改修		自然エネルギーの利用		暖房設備の設置		
	断熱化	断熱気密化	空気集熱	ダイレクトゲイン	対流方式 (エアコン等)	放射方式 (床暖房等)	複合方式 (床下暖房)
室間の温度差が大きい	○	◎	△	△			◎
暖房停止後・早朝の室温維持が困難	○	◎		△		△	○
上下温度差が大きい		△	△	△	○	◎	◎
暖房エネルギーの消費が多い	○	◎	△	△	△	△	△

凡例：◎印は「積極的な改善策になる。」，○印は「改善策になる。」，△印は「一応の改善策になる。」

次に「自然エネルギー利用」では、建築的な工夫により太陽熱を建物内に取り入れる「空気集熱」と「ダイレクトゲイン」の二つのソーラーシステムがある。「空気集熱」は南面する縁側等の開口部から日射を取得し室内空気を暖めるものである。「ダイレクトゲイン」では床材に熱容量が大きな石材やコンクリートを用い、日射熱を床に蓄熱し夜間・早朝の室温を維持することを試みる。この表から示されるように「自然エネルギー利用」は積極的な改善策として用いることが難しいことから、他の改善手法に付随する手法として位置づけられる。

一方「暖房設備の設置」では、エアコン等の「対流方式」と床暖房に代表される「放射方式」の設置がある。さらに、床からの放射と床吹き出し口からの対流により室内を暖房する床下暖房も設置される。表中ではこうした方式を「複合方式」に分類した。「放射方式」の床暖房は、エアコン等の「対流方式」と比較し上下温度差の小さい室内温熱環境を形成でき、暖房の停止後も床面の余熱でしばらく暖かさを保つことも可能であり、多くの改修事例に用いられている。床下暖房は床暖房と同様に上下温度差を解消し、窓付近に床吹き出し口を設置することでコールドドラフトを防ぐことが出来る。また床下暖房の特徴として、床下空間を一体的に暖房することで建物内を均一に暖めることが出来ること、基礎のコンクリートを蓄熱体として利用することで室内の温度変動を小さく保つことが可能な点が挙げられる。このように床下暖房は積極的な改善策になるので、寒冷地の改修事例を中心に取り入れられている。

#### 4.2 代表的改善手法の仕様

表 1.3 代表的な改修事例のリスト

事例No.	37	35	1	22	2	6	
改善手法及び建物概要							
断熱改修	断熱化	断熱化	断熱化	断熱化	断熱化	断熱気密化	
断熱部位	小屋裏/床下	小屋裏/床下	小屋裏/床下/外壁	小屋裏/床下/外壁/開口部	小屋裏/床下/外壁/開口部	小屋裏/床下/外壁/開口部	
自然エネルギーの利用	無	無	空気集熱	無	ダイレクトゲイン	空気集熱	
暖房設備の設置	放射方式	放射方式+対流方式	放射方式	放射方式	複合方式	複合方式	
築年数	250年	100年以上	不明	不明	不明	100年以上	
竣工年	1995	1997	2005	2005	2007	2002	
所在	長野県(III地域)	大阪府(IV地域)	山形県(III地域)	宮城県(III地域)	山梨県(IV地域)	山形県(III地域)	
構造・規模	木造2階建	木造平屋一部2階	木造2階建	木造2階建	木造2階建	木造2階建	
延べ床面積(m <sup>2</sup> )	264	690	119	119	166	295	
各部位の仕様	屋根	長尺カラー鋼板/ルーフィング/ビルボード9/既存野地板/グラスウール50/せっこうボード9.5/クロス	和瓦葺き/ルーフィング/野地板12/グラスウール50/せっこうボード8.5/クロス	既存屋根/既存野地板/羊毛断熱材110/杉板12	ガルバリウム鋼板/ルーフィング/杉野地板12/通気層19/ポリスチレンフォーム50/化粧杉野地板30	ガルバリウム鋼板/通気層45/ルーフィング/杉野地板12/ポリスチレンフォーム30/化粧杉野地板30	長尺カラー鋼板/ルーフィング/野地板12.5/通気層35/グラスウール200/気密シート/ベニヤ
	天井	1階小屋裏：グラスウール50/ペイツガ板12	—	1階小屋裏：羊毛断熱材110/杉板12	—	—	—
	外壁	既存土壁の上塗りを落とし漆喰塗り仕上げとする。	漆喰塗り仕上げ/ラスモルタル下地/木屑12/中空層30/ラスボード下地/漆喰塗り仕上げ	杉板12/中空層24/防水シート/ポリスチレンフォーム30/既存土壁/珪藻土塗り仕上げ	杉板12/通気層24/防水シート/ポリスチレンフォーム50/中空層30/石膏ボード12.5/漆喰塗り仕上げ	杉板12/中空層24/防水シート/ポリスチレンフォーム30/土壁中塗り仕上げ	漆喰塗り30/ざら板12/通気層20/グラスウール25/構造用合板9/グラスウール90/気密シート/ラスボード/漆喰塗り仕上げ
	開口部	既存木製単板ガラス戸	既存木製単板ガラス戸	アルミサッシ単板ガラス/既存障子	アルミ断熱サッシ 複層ガラス	アルミサッシ 複層ガラス/再利用建具	木製断熱サッシ Low-E複層ガラス
	床	床暖房ナラ複合フローリング12/床暖房パネル	床暖房ナラ複合フローリング12/床暖房パネル	杉板30/ポリスチレンフォーム30	檜板15/構造用合板15	杉板30	床板15/構造用合板15
	基礎	既存礎石にべた基礎を打設する。	べた基礎と一体化になった布基礎	既存玉石基礎に防湿コンクリート30mmを打設する。	布基礎部分の内側にポリスチレンボード30mmを設け、土間コンクリート下部にポリスチレンフォーム30mmを設ける。	布基礎部分の内側とべた基礎部分の外周辺から600mmまでポリスチレンフォーム30mmを設ける。	布基礎部分の外側にポリスチレンフォーム75mmを打ち込み、土間コンクリート下部にポリスチレンフォーム30mmを設ける。
暖房設備	床暖房	床暖房+エアコン	薪ストーブ	薪ストーブ	床下暖房	床下暖房	
暖房熱源	灯油	灯油+電力	薪	薪	電力	灯油	

前節で確認した改善手法を具体的に把握するため、改修内容の条件別に改修事例6件の各部位の仕様を整理した(表1.3)。事例No.37・35は床暖房が設置され、最も多くみられる伝統民家の改修内容である。事例No.1・22は次世代省エネルギー基準の施行後に竣工した事例であり、省エネルギー化の要求の高まりから外壁・開口部の断熱化が施されている。事例No.2・6は自然エネルギーの活用に関する事例と、高断熱高気密化が施された先進的な事例である。

(1) 小屋裏の断熱改修仕様

屋根仕様は金属・葺き屋根による標準工法により断熱化される例が多く、事例No.22・6のように断熱・通気層を設け室内から屋根面への熱移動を防ぐことにより、氷柱の発生や落雪の防止に対処した仕様もみられる。事例No.6ではグラスウール200mmと気密シートを設け高断熱高気密化が図られ、1階小屋裏部分は天井板に断熱材を敷設し断熱化が行われている。なお伝統民家の改修の場合には、小屋組み表しにするため天井が撤去され屋根が断熱化される事例もみられる。

(2) 外壁の断熱改修仕様



外壁仕様は土壁を撤去し現代の木造住宅で用いられる工法を取入れる場合が多く、ラスモルタル下地の漆喰塗り仕上げや板壁通気工法が用いられボード状断熱材が充填される。高断熱高気密化工法を用いる場合も同様に、土壁を撤去し気密シートを施し断熱材を充填させることとなり、事例 No.6 では構造用合板の通気層側に断熱材が付加され結露対策が行われている。一方、外壁が断熱化された事例の内 2 例に止まるが、土壁が有す熱容量や調湿性などの特性を活用する事例もみられる。事例 No.1 では既存土壁ちり部分に断熱材 30 mm を設置し、事例 No.2 では既存土壁撤去後に土壁を新設し断熱化している。

### (3) 開口部の断熱改修仕様

改修事例の開口部の仕様は既存木製単板ガラス戸やアルミサッシ単板ガラスが多いが、障子戸を用いた二重戸も見られる。開口部断熱化仕様には、アルミサッシと複層ガラスを用いた例やアルミ断熱サッシと複層ガラスを用いた例等がみられる。このように、開口部の断熱化には工業製品の利用が一般的であるが、事例 No.6 では木製断熱サッシと Low-E 複層ガラスによる高性能な仕様が適用されている。

### (4) 床下の断熱改修仕様

事例 No.1 では、根太間に断熱材を設置する標準的方法により床断熱が行われている。事例 No.37・35 では床暖房が敷設され断熱材と一体化した床暖房パネルを根太間に設置している。一方、事例 No.22・2・6 のように基礎が新設され断熱化が施される場合には、布基礎と土間コンクリート部分が断熱対象となっている。

### (5) 自然エネルギーの利用

事例 No.1・6 では共通して南面開口部からの日射取得により室内空気を暖める。事例 No.2 では南面する土間空間の土間に大谷石(150×300×900)が使用され蓄熱体とし、金属屋根材の下に集熱通気層が設けられている。このシステムは、冬季には南側屋根面で暖められた空気を屋根勾配に沿って棟チャンバーに集め、換気ファンによりチャンバー内暖気を室内に吹き込む。夏期にはチャンバーによる集気を棟ガラリから排気する。

### (6) 暖房設備

事例 No.37・35 では、床暖房が設置されている。事例 No.35 では、床暖房とエアコンの併用を前提に、改修時にエアコンが設置されている。床暖房以外の放射方式の暖房設備としては、薪ストーブが設置されている(事例 No.1・22)。事例 No.2・6 では、床下暖房が設置されているが、床下暖房の場合には基礎断熱と床下空間と外気との気密性保持が前提となる。

表 1.4 改修事例の室内温熱環境

		A	B	C	D	E
概要	建物種類	伝統民家	改修事例	改修事例	住宅	北方型住宅 ECOモデル
	断熱仕様	断熱なし	床・壁・天井に 断熱材100mm	高断熱高気密 化工法採用	旧省エネルギー 基準相当	
	暖房設備	石油温風ヒータ	石油ストーブ	温水パネル ヒータ	床暖房	
居 間 の 温 度	室温 <sup>*1</sup>	13	18	20	23	23
	上下温度差 <sup>*2</sup>	8	6	1	0	—
	明け方の 最低温度 <sup>*3</sup>	8	10	20	16	19
	寝室の温度 <sup>*4</sup> (団らん時)	12	4	19	18	21

\*1 団らん時において外気温が0°Cのときの値を示す。Eでは12月から2月の平均値である。

\*2 室温が20°C、外気温が0°Cのときの値を示す。

\*3 外気温が0°Cのときの値を示す。Eでは12月から2月の最低値である。

\*4 団らん時において室温が20°C、外気温が0°Cのときの値を示す。Eでは12月から2月の平均値である。

#### 4.3 改修事例の室内温熱環境

既往調査結果より改修事例の室内温熱環境を整理したのが表 1.4 である。B 邸<sup>24)</sup>は築 250 年の伝統民家の床・天井・外壁に 100mm の断熱材を充填した宮城県の改修事例である。改修後も上下温度差が大きく、断熱化が施されていない伝統民家 A 邸<sup>24)</sup>と同程度の室内温熱環境である。一方、築 138 年の伝統民家を高断熱高気密化工法により改修し、温水パネルヒーターを使用して全室終日暖房した C 邸<sup>25)</sup>では、上下温度差は 1°C で寝室温度も 19°C に保たれている。これは、旧省エネルギー基準相当の断熱仕様で床暖房を使用した住宅<sup>24)</sup>の室内温熱環境を上回り、現在の北海道で建設が進められている北方型住宅 ECO モデル<sup>26)</sup>に匹敵する。また C 邸の年間積算最終エネルギー消費量は改修前と比較し 36%削減されたと報告されている。

#### 4.4 改善手法の問題点

以上から、伝統民家の改修事例は現代の木造住宅に用いられる断熱技術を取り入れることと、優れた快適性を有す暖房設備を設置することにより、現代住宅と同等の室内温熱環境と省エネルギー性を獲得可能であることが確認された。しかし、こうした民家全体に及ぶ改修は相当の改修費を要するため一般には普及していない<sup>注 3)</sup>。

伝統民家の改修費が増大する要因としては、第一に古材の柱と梁で構成される外壁の断熱・気密工事の施工手間が挙げられる。伝統民家の柱は柱頭と柱脚で断面形状が異なり、さらに芯がずれていることもあり、工業製品のボード状の断熱材を隙間なく充填させるこ

とは難しく、断熱材を外張りするには梁の幅と柱の太さの違いがあるため、平滑面を造るため新築では必要ない下地組みが行われる<sup>12)</sup>。こうした施工手間は改修費の増加に直結する。次に、伝統民家の面積が大きい開口部へ高性能なガラスやサッシを用いることも要因として指摘される。また、積雪寒冷地においては雪害・結露対策のための屋根断熱と、配管凍結防除策となる基礎断熱も比較的温暖な地域では改修費増大の要因となる。建築的工夫による自然エネルギー利用に関してもシステムが複雑になる傾向がみられ、改修費の増大に繋がる。

一方暖房設備に関しては、上下温度差が解消され優れた快適性が得られる方法として床暖房が採用される。床暖房は暖房立ち上がり時の室温上昇に時間を要するため補助暖房設備が使用される。こうした補助暖房設備を併用する上では、上下温度分布や省エネルギー性に及ぼす影響を十分に検討しておくことが重要になる。

## 5. 既往研究

前節では改善手法の問題点として、伝統民家の改修では小屋裏・床下断面部分に加え、施工手間を要す外壁の断熱改修と、木枠と単板ガラスによる建具が多用されかつ面積の広い開口部の断熱改修が必要になるため、改修費の増大に繋がることを指摘した。また、太陽エネルギーを利用するための建築的な工夫や床暖房の立ち上がり時における補助暖房設備の使用については、より合理的な手法を検討する必要性を述べた。

そこで本節では、こうした改善手法の問題点に対する既往研究を(1)外壁の断熱改修仕様、(2)開口部の断熱改修仕様、(3)小屋裏断面部分の断熱改修仕様、(4)床下断面部分の断熱改修仕様、(5)自然エネルギーの利用、(6)暖房設備に区分し整理する。

### (1) 外壁の断熱改修仕様に関する研究

伝統民家の外壁に関する研究としては、土壁の構成物となる中塗り土の断熱・調湿性能の測定を行い、熱伝導率は断熱材の7倍あり断熱性能を期待することは難しいと指摘した研究がある<sup>27)</sup>。また数値計算より、土壁住宅では暖房時の過乾燥が緩和されることを示した報告がある<sup>28)</sup>。土壁の断熱工法に関し、太田らは土壁のちり部分に木質系断熱材を充填させ通気層を設けた仕様について実験棟の屋外実験結果をもとに、乾式工法と比較して夏季・冬季を通じ室内気温の変動を小さく抑えられると指摘している<sup>29)</sup>。水沼らは、施工性や構造的な補強を考慮したリサイクル断熱材による土壁断熱工法を考案し、室内実験により断熱防露性能を検証している<sup>30)-31)</sup>。

断熱改修された伝統民家土壁の性能評価に関連する研究としては、木小舞土壁を有す木造住宅の室内温熱環境・気密性能の長期測定と地震を想定した静的繰り返し载荷実験と連動させた気密特性の確認を行った報告がある<sup>32)</sup>。長期測定から外気絶対湿度が下降すれば相当隙間面積が増加すること、静的载荷実験から層間変形角が大きいほど相当隙間面積が増加する傾向が示されている。また、温暖地の冬季でも室内側防湿層が不連続となる施工不良が原因となり、壁体内を湿潤空気が搬送され透湿防水シートの内表面で結露が発生する可能性を指摘し、施工業者への断熱工法に関するアンケートから壁体内結露の原因となる構造用合板が施工されることが多いとする報告がある<sup>33)</sup>。梅干野ら<sup>34)</sup>は「息をする壁体」と称するパッシブシステムを開発する動機として、関東以南のように冬でも比較的温暖な地域では、壁はその地域に適した断熱性能を保ちながら換気や透湿機能を持つ方がよいと述べている。こうした見地は、伝統民家外壁の断熱改修仕様を検討するうえで参考になると考えられるが、これまでに提案された土壁の断熱工法については、実在する伝統民家の土壁に施工し、その性能を評価するには至っていない。

## (2) 開口部の断熱改修仕様に関する研究

開口部の断熱性能に関する研究としては、二重窓の有効性<sup>35)–37)</sup>や木製枠の高断熱性と結露防止効果の報告<sup>38)</sup>がなされている。また、窓枠の熱橋が構造躯体間の結露に及ぼす影響についても報告されている<sup>39)</sup>。そして、開口部建具に対するニーズの多様化や性能表示の要求の高まりから、開発段階における性能確認の経済的・時間的な負荷の低減を目指した熱貫流率の計算法の提示も行われている<sup>40)</sup>。

近年では既存建築の省エネルギー化の促進に伴って開口部の断熱改修仕様の提案も見られる。津田ら<sup>41)</sup>は、施工性やコストを考慮して高性能フェノールフォームを用いた断熱内戸を住宅に設置実測し、コールドドラフトの防止効果を検討している。また、透明な樹脂板を用いた簡易着脱式の二重窓断熱改修工法を提案し、モニター住宅における施工に要す時間や断熱・防露性能の報告がある<sup>42)</sup>。伝統技術を取り入れた新たな建具の開発としては、5枚の障子紙と単板ガラスで仕切られた多重密閉空気層を有す建具の室内実験により、断熱性能を評価している<sup>43)</sup>。また、アルミフレームに強化和紙を太鼓貼りし、空気層を設けた建具と複層ガラスによる仕様を設計に採用し、冬期の室内温熱環境を実測した結果報告<sup>44)</sup>がある。こうした空気層を有す建具としては、組子両面に障子紙を張る太鼓障子が伝統的建具として知られている。しかし、太鼓障子の断熱性能は定性的には指摘されているものの、室内実験や実家屋計測によりその効果を定量的に示した報告は少ない。

### (3) 小屋裏の断熱改修仕様に関する研究

伝統民家の屋根・小屋裏断熱に関する研究としては、夏季の熱的性能に着目したものが多。土葺き瓦屋根と棧掛け瓦屋根の試験体を対象とした屋外実験より、葺き土が蓄熱体となり夜間に放熱する傾向が確認され、土葺き瓦屋根が夏季の熱環境形成に不利に作用することが指摘されている<sup>45)</sup>。また、棧掛け瓦屋根は金属屋根と比較して夜間の放熱が多く生じるとして、通気層を有す瓦屋根の熱的性能を評価したものがある<sup>46)</sup>。そして、農家のような土間が吹抜けで小屋裏と通じている場合、夜間に小屋裏の熱気が棟両端から排出され、土間及び居室部への外気流入が促進すると指摘されている<sup>47)</sup>。

これに対し冬季に関しては、養蚕型民家において主囲炉裏と蚕囲炉裏を焚いた際に、越屋根による換気により居室部の空気質の悪化が低減されることを示した報告がある<sup>48)</sup>。しかし、冬季伝統民家の小屋裏空間の熱的性能に関する報告は少なく、伝統民家の小屋裏の合理的な断熱改修手法を確立することを目的として、断熱化と熱・湿気性状との関係を検討したものは見られない。

冬季伝統民家の小屋裏の熱・湿気性状に関連する研究としては、実験住宅を用いた長期の温湿度環境の測定より、昼間の日射授熱と夜間の放射冷却により大きな温度変動が生じ、それに伴う野地板からの吸放湿により絶対湿度も大きく変動することを示した報告がある<sup>49)</sup>。そして、温暖地を対象とした小屋裏部分の断熱改修手法と省エネルギー性の関係については、数値計算により同程度の厚さの断熱材を用いた屋根断熱と天井断熱について比較した報告がある<sup>50)</sup>。天井断熱の場合は暖房負荷が屋根断熱と比較して4%程度小さくなり、断熱材の設置面積が少なく施工も容易で経済的であることから、天井断熱の優位性を指摘している。

### (4) 床下の断熱改修仕様に関する研究

近年の研究報告の特徴として、温暖地における基礎断熱工法に関するものが多く見られる。基礎断熱工法の温暖地への適用について検討するために実施された、基礎断熱住宅・床断熱住宅及び断熱していない一般床住宅の床下温湿度環境の長期測定<sup>51)-52)</sup>では、冬季の基礎断熱住宅は部分暖房により室間に温度むらが生じていても、床下空間の温度むらは小さく、相対湿度も低く保たれると報告されている。竣工初年度の夏季については、初期発湿により結露の危険性があるが、2年目以降はその危険性は少なくなると報告されている。また、床下空間と居室との連続性や暖房システムに着目した実測調査も行われている<sup>53)</sup>。

一方、温暖地に立地する伝統民家において主流となる床断熱工法に関しては、床と壁と

の取り合いが壁勝ちとなり床下から室内へ冷気が侵入しやすいことや、断熱材受け構法の不良による断熱層内への冷気の侵入などの問題点を指摘したものがある<sup>54)</sup>。こうした断熱材受け構法の断熱材表面と床仕上げ材との間の空隙防止に関しては、実験により断熱材は余厚が大きいほど空隙防止に有利であり、少なくとも呼び厚さ以上が必要と指摘している<sup>55)</sup>。そして、戸建住宅の床下空間の温湿度環境の把握を目的とした調査では、多くの事例で夏型結露が確認されたと報告されている<sup>56)</sup>。しかし、伝統民家が有す床下の温湿度環境に関する報告は少なく、床断熱改修が床下空間の熱・湿気性状に及ぼす影響について報告したものは見られない。

#### (5) 自然エネルギーの利用に関する研究

夏季の自然エネルギー利用に関する研究としては、パッシブクーリングに着目した研究が多数ある。宮城県の民家を対象とした実測調査では、通風を確保することで Olgay の生気候図の快適範囲に収まる時間帯が増加することを示している<sup>57)</sup>。京都の町家の実測調査では、町家の涼感の要因として地面と土間床により冷却された空気が外部風や温度差から生じる庭間の圧力差を動力に室内空間を行き来することが指摘されている<sup>58)</sup>。また数値計算により、深い庇による日射遮蔽と茅の断熱性・熱容量による遮熱効果により、日中の室温上昇が緩和されるとする報告がある<sup>59)</sup>。

これに対し冬季に関しては、茅葺き民家・蔵造り民家を対象とした、方位・庇長さ・断熱材の付加・気密性の向上をパラメータとした暖房負荷削減量のシミュレーションから<sup>60)</sup>、年間を通し室内温熱環境を調節するためには、断熱性や気密性を向上させる必要があり、冬季に庇の長さを短くすることで補助暖房量が減少することを示した報告がある。また屋根面で集熱し室内に給気するシステムや縁側床材に大谷石を用いたサンルームにより、自然エネルギーを利用した室内温熱環境改善を意図した伝統民家の改修事例の実測調査により、集熱性能と床材の蓄熱効果を検討した報告がある<sup>61)</sup>。しかし、冬季の自然エネルギーの利用に関する報告は全般的に少なく、縁側の集熱効果を利用した改修事例は確認されるものの、改修前の縁側が有す温熱環境について報告したものは見られない。

冬期の自然エネルギーの利用の主流である温室に関しては、付設温室付住宅の熱環境実態と問題点を指摘した報告がある<sup>62)</sup>。寒地の木造住宅の温室で側壁や屋根までガラスにすると、熱損失が大きく夜間の温度保持が困難になるため、日射取得量の少ない屋根や側壁は断熱壁とし、熱容量を向上させ夜間の室温保持を図る必要性が指摘され、夏季は屋根面の日よけと通気排熱が重要としている。これらの問題に対し、温室付き半地下居室の夏季・

冬季実測調査から、温室により室内温熱環境を最適に保つ条件を検討した報告がある<sup>63)-64)</sup>。また北陸地方における温室付設住宅の暖冷房負荷削減の有効性を検討した報告では<sup>65)-66)</sup>、温室付設住宅は基本住宅と比較して、5・10月を含む中間期の暖冷房負荷が大きく削減され、次世代基準の断熱性をもつ温室付設住宅では26.3MJ/m<sup>2</sup>年削減すると報告されている。

#### (6) 暖房設備に関する研究

床暖房の立ち上り時の暖房性能については、ヒートポンプ式床暖房住宅の実測調査<sup>67)</sup>では、床暖房のみの場合に室温が22℃に達するには2.5時間以上要し、エアコン連動床暖房の場合に須永らの快適評価域の「快適感+」に最も早く到達すると報告されている。また床暖房は他の暖房設備と異なり床面の接触効果により全身の快適性の評価が高められることから、床面効果を生かした床座時の快適性を実現する設計法も提示されている<sup>68)</sup>。また暖房設備の省エネルギー性について床暖房などの放射暖房と温風暖房のエネルギー消費量について比較した研究が報告されている<sup>69)-70)</sup>。坂口ら<sup>71)</sup>は、次世代省エネルギー基準の半分の厚さの断熱材を天井・外壁・床に設定したケースについて数値流体解析(CFD)を行い、床暖房の損失熱量の合計が温風暖房と比較して少なくなることを示している。しかし、床暖房を用い伝統民家の室内温熱環境の改善を目指す上での指針を示す観点から、エアコン・床暖房を設置した改修事例の温熱環境について報告したものは見られない。

## 6. 研究課題

前節では、改善手法の問題点を解決する上で関連する研究を6つの枠組みに分け、各研究の既往関連研究について整理した。ここでは、改善手法の問題点を解決する上での課題を示す。

### (1) 外壁の断熱改修仕様

水沼らが提案するリサイクル断熱材による土壁断熱工法は、断熱性能のみでなく施工性・構造的な補強が考慮されており、優れた伝統民家土壁の断熱改修手法として位置づけられる。伝統民家改修の実施に向けては、伝統民家の既存土壁に断熱改修を施し長期測定を行うことで、土壁に生じる柱・梁との隙間からの熱損失や水蒸気移動を考慮した断熱防露性能の評価を行うことが課題となる。

### (2) 開口部の断熱改修仕様

太鼓障子は組子両面に障子紙を張ることで生じる空気層を有す伝統的建具であり、施工性・経済性及び和風デザインを備えていることから、伝統民家の開口部の断熱改修仕様の

設計に取り入れ易いと考えられる。したがって開口部の断熱改修仕様については、太鼓障子を用いた伝統民家の開口部断熱改修仕様を考案し、実験によりその仕様の熱的特性を検証することを課題とする。次の段階としては、実家屋での建具の隙間により生じる熱損失の影響を考慮した断熱性能の評価や、外気温変動状態における熱損失量削減効果の計測が課題となる。

### (3) 小屋裏断面部分の断熱改修仕様

雪処理の必要がない温暖地では、天井断熱が省エネルギー性のみでなく施工性・経済性が優れていることから、実用的な手法と判断される。天井断熱を実施した場合、冬季には防露のために小屋裏空間への水蒸気流入の防止、夏季には居室の温熱環境を良好に保つために小屋裏空間の排熱が求められる。したがって小屋裏断面部分の断熱改修仕様については、天井断熱を実施した伝統民家を対象にして実測を行うことにより、冬季と夏季の小屋裏空間の熱・湿気性状について把握することが課題となる。

### (4) 床下断面部分の断熱改修仕様

温暖地において構造的な補強などによる基礎の新設を行わない場合には、断熱材受け構法による床断熱が床下断面部分の標準的な断熱手法になる。断熱材受け構法による床断熱の実施においては、冬季には床下から室内へ冷気の侵入を防ぐことが望まれる。また、高温多湿な夏季においても床組の防露性能が確保される必要がある。したがって床下断面部分の断熱改修仕様については、断熱材受け構法を実施した伝統民家を対象にして実測を行い、冬季の床近傍の熱性状・冷気の侵入具合と、夏季の床下空間の熱・湿気性状を把握することが課題となる。

### (5) 自然エネルギーの利用

温室の冬季集熱効果と夏季の日射遮蔽・通気排熱の課題を考慮すると、伝統民家縁側の場合、夏季には温室のような特別な対策を講じることなく日射遮蔽・通気排熱が可能で、かつ冬季の「温室効果」を活用することで、低コストの断熱改修により優れた温熱環境制御効果を有す緩衝空間になるものと期待される。したがって自然エネルギーの利用については、伝統民家と温室付設住宅を対象に、縁側と温室の冬期の集熱効果と夏季の日射遮蔽・排熱効果について解析し、両者の温熱環境制御機能の類似性と相違性を把握するとともに、縁側の断熱改修仕様と「温室効果」との関係性を明らかにすることが課題となる。

### (6) 暖房設備

放射方式の床暖房は温風暖房と比較して、立ち上がり時に室温を上昇させる性能が劣る



ため、床暖房を敷設する上では補助暖房の併用を検討することが重要になり、補助暖房の併用スケジュールや省エネルギー性が確認されていることが望まれる。したがって暖房設備については、エアコン・床暖房を設置した伝統民家の改修事例を対象として室内温熱環境の実測調査を行い、使用暖房設備と立ち上がり時の室温変動・上下温度分布との関係について把握するとともに、異なる暖房設備の床座時の快適性やエネルギー消費量について比較検討することを課題とする。

## 7. 本論文の目的と対象

現在、伝統民家の改修事例は現代の木造住宅に用いられる断熱技術を取り入れることと、優れた快適性を有す暖房設備を設置することにより、現代住宅と同等の室内温熱環境と省エネルギー性を獲得することが可能になっている。しかし、こうした民家全体に及ぶ改修は相当の改修費を要するため一般には普及していない。伝統民家の室内温熱環境の改善手法においては、施工に手間が掛からず一定の経済性を有す断熱改修仕様の提案、低コストの断熱改修による自然エネルギー利用の実現、効果的な暖房設備の選定と使用方法の検討、などの課題について対応が望まれている状況である。こうした現状を踏まえ、本論は、施工性やコストを考慮するという視点から、伝統民家の室内温熱環境改善のための改修を計画・設計する上で、有効な技術的知見を得ることを目的とする。そのために、具体的な目的として以下の4点を設定する。

- (1) 太鼓障子と木製複層ガラスによる開口部断熱改修仕様を考案し、実験によりその仕様の熱的特性を示した上で、実家屋での計測により建具の隙間から生じる熱損失の影響を考慮した断熱性能や、外気温変動状態における熱損失量削減効果を明らかにする。
- (2) 伝統民家と温室付設住宅を対象に、縁側と温室の冬期の集熱効果と夏季の日射遮蔽・排熱効果について解析し、両者の温熱環境制御機能の類似性と相違性を示した上で、数値計算により縁側の断熱改修仕様と温室効果との関係を明らかにする。
- (3) エアコン・床暖房を設置した改修事例の実測調査により、使用暖房設備と立ち上がり時の室温変動・上下温度分布との関係を明らかにするとともに、数値計算により異なる暖房設備のエネルギー消費量について比較検討する。
- (4) 実在する伝統民家1棟を対象に、太鼓障子を用いた開口部断熱仕様、冬季縁側の温室効果を利用した暖房エネルギー削減手法、エアコンと床暖房を併用した暖房手法を用いた場合の温熱環境の数値計算を行い、室内温熱環境改善効果と年間暖冷房負荷低減効果

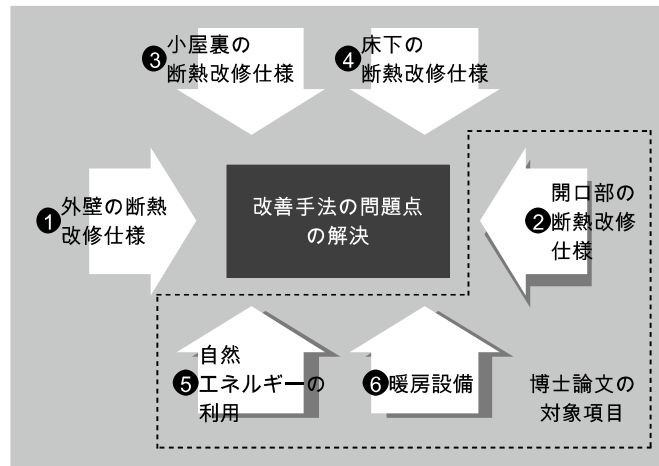


図 1.1 改善手法の問題点の解決に関連する事項と本論の対象項目

を総合的かつ定量的に明らかにする。

以上より、本論では断熱改修「断熱化」、自然エネルギー利用「空気集熱」、暖房設備の設置「放射方式」と、3種類の室内温熱環境の改善手法を研究対象とする。現在、新築の木造住宅と同等の室内温熱環境を得ている改修事例では、「断熱気密化」の手法が用いられている。この手法では、伝統民家が有すほとんどの室内温熱環境の問題点に対して改善効果を得られるが、民家全体に複雑な施工が求められるため、相当の改修費が要される。一方、研究対象の室内温熱環境の改善手法により得られる改善効果は、それぞれ異なる室内温熱環境の問題点に対応している。断熱改修「断熱化」により得られる改善効果は、夜間・早朝の室温低下の防止と暖房エネルギー削減が挙げられる。自然エネルギー利用「空気集熱」では、日射熱の取得による室温の上昇や暖房エネルギーの削減が期待できる。そして、暖房設備の設置「放射方式」の特徴としては、室内の上下温度分布が解消される。こうしたことから、これら3種類の改善手法を組み合わせることで、比較的成本を抑えながら室内温熱環境を改善することが可能になると考えられるので、本論では断熱改修「断熱化」、自然エネルギー利用「空気集熱」、暖房設備の設置「放射方式」の改善手法が有すそれぞれの課題の解消を試みる。ただし、「断熱化」の項目については、外壁・開口部・小屋裏・床下の各部位の仕様の検討が必要であるが、本論では調査・実験の時間的制約から開口部のみを研究対象とする(図 1.1)。

図 1.2 は伝統民家の暖房期熱損失量の内訳を示す。各部位の熱損失量は、天井を介した小屋裏への熱損失が 33.3%と最も多く、次に外壁において 28.8%、開口部において 21.2%

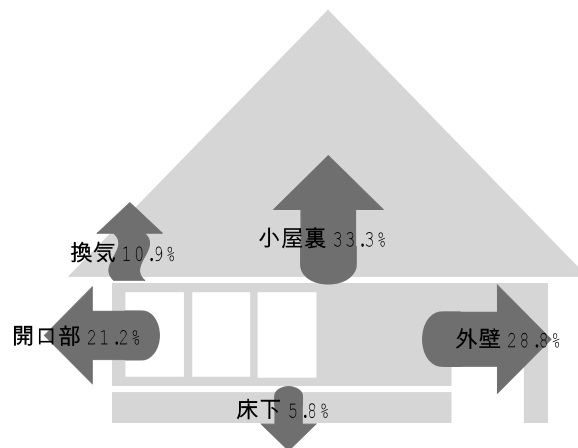


図 1.2 伝統民家の暖房期熱損失量の内訳(第 5 章参照)

と続き、床下が 5.8%と最も少なくなっている。外壁は伝統民家の暖房期熱損失量の約 3 割を占めており、伝統民家の省エネルギー性能を向上させるためには、外壁を断熱化することが重要となる。そして、伝統民家の改修費が増大する第一の要因として、外壁の断熱・気密工事の施工手間が挙げられることから、各部位の断熱改修仕様のうちで外壁が有す問題点の解決が最も重要な課題と考えられる。一方、各部位の断熱改修仕様に関する既往研究の成果をみると、小屋裏・外壁・床下については、それぞれ天井断熱・リサイクル断熱材による土壁断熱工法・断熱材受け構法による床断熱と、伝統民家改修に実施する上で適当と考えられる仕様が絞られている。これらの仕様については、仕様自体または現代の木造住宅に用いた場合の性能が確認されており、残されている課題は伝統民家改修に実施した際の性能を検証する段階である。それに対して、開口部の断熱改修仕様に関しては、太鼓障子が設計に取り入れ易いと考えられるものの、その性能はこれまで定性的に示されることが主であったため、断熱改修仕様を考案し室内実験を実施した上で、実家屋計測によりその効果を定量的に示す必要が求められている状況である。こうしたことから、各部位の断熱改修仕様のうちで開口部を本論の研究対象として選択した。

また、本論では伝統民家 1 棟を対象にして、室内温熱環境改善効果を明らかにすることを試みている。こうした検討を目的に設定した理由は、提案する開口部の断熱改修仕様、南面縁側断熱工法とエアコン・床暖房の併用を適用した民家改修を計画・設計する上では、住宅 1 棟全体の断熱性能の確認が必要であり、また伝統民家の改修に望まれる居室と非居室間の室温の差異解消や床座時の室内の快適性についても、断熱・暖房方式の違いによる

比較検討が求められると考えたからである。さらに熱環境計画の観点からは、断熱・暖冷房の省エネルギー性と年間暖冷房負荷の削減効果に関しても、定量的な検討が必要である。これらの検討をふまえその効果が確認されれば、伝統民家の断熱改修及び暖冷房設備設計の指針を示すことが可能となると同時に、その実用性を定量的に検証することが出来るものとする。尚、本研究では比較的温暖な地域に立地する伝統民家の室内温熱環境の改善を想定しており、上記の目的(1)～(4)の計測・数値計算の対象となる伝統民家の所在地は全て山口県(次世代省エネルギー基準の地域区分：IV地域)である。

## 8. 本論文の構成

本論文の構成を図 1.3 に示す。第 2 章「太鼓障子と木製複層ガラスサッシによる開口部断熱改修仕様」では、太鼓障子と木製複層ガラスサッシによる開口部断熱改修仕様の性能を評価することを目的として、室内模型実験・伝統民家改修事例の計測の結果を示す。室内模型実験では、太鼓障子空気層の厚さが異なる本仕様 2 体と複層ガラスサッシの計 3 体の試験体について実験を行い、各層の表面温度や熱流量の実験結果から算出した熱貫流率の比較を行う。実家屋計測では、建具からの熱損失を考慮して断熱性能を評価するために、室内実験と実家屋計測との熱貫流率や太鼓障子とガラスサッシ間の空気層の温度差の比較を行う。また、冬季一日の外気温変動下における損失熱量の計測結果を示す。さらに、太鼓障子空気層と中間空気層の熱抵抗を算定できれば、建具仕様全体の熱抵抗を求めることが可能であり、設計にも適用できるものと考え、室内模型実験・実家屋計測の結果から設計式の導出を試みる。ここでは、本仕様の熱貫流率の推計方法を示し、室内実験・実家屋計測の結果と計算値の比較を行いその妥当性を確認し、一般的な開口部仕様と本仕様との熱貫流率の比較を行う。

第 3 章「縁側の緩衝空間としての温熱環境制御効果」では、縁側の温熱環境制御効果を把握することを目的として、伝統民家縁側の室内温熱環境の実測及び数値計算を行う。縁側の実測では、温室効果を確認するために縁側の室温と外気温・北側居室の室温との比較を行う。そして、数値計算により縁側隣室が非暖房状態における温室効果の確認を試みる。これは、実測時の縁側隣室では暖房が使用されており、縁側の室温上昇に暖房が影響していると考えられるためである。非暖房時の温室効果を算出する手順は、実測時の室温を住宅用熱負荷計算プログラム SMASH for Windows Ver.2 を用い算出し、実測値と計算値を比較して計算モデルの妥当性を確認し、非暖房時の温室効果を計算する。こうして縁側の温

## 伝統民家の室内温熱環境改善のための断熱改修と暖房方式に関する研究

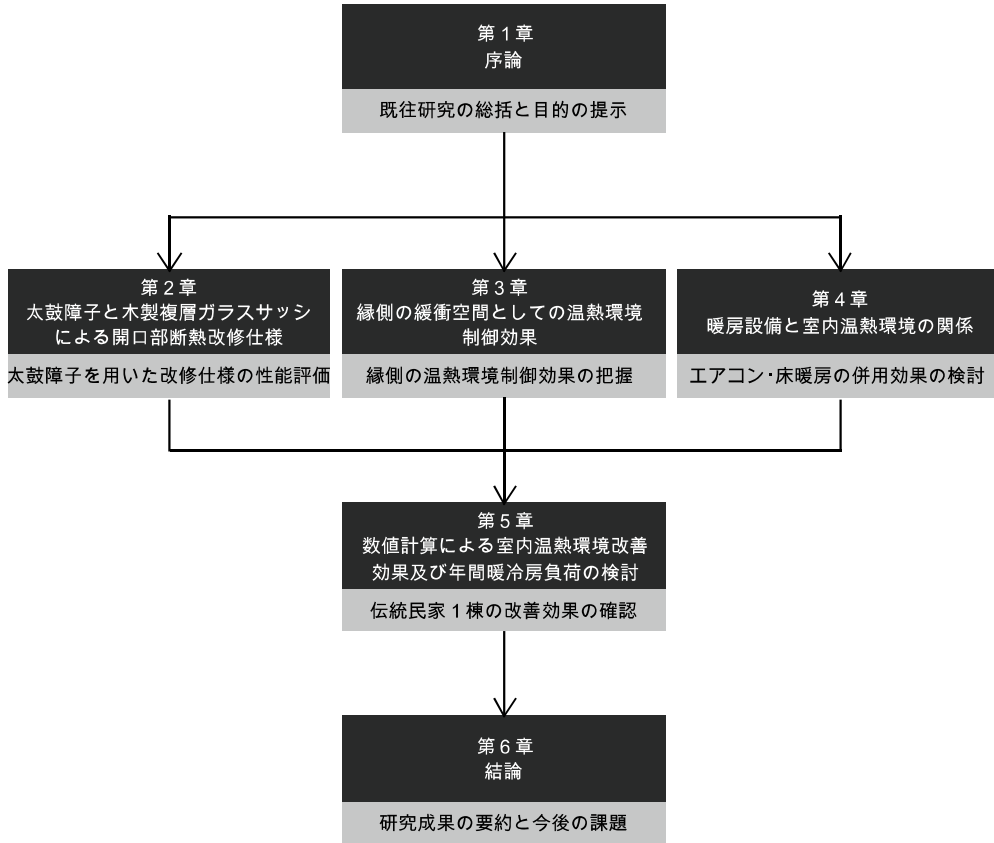


図 1.3 本論文の流れ

室効果を確認した上で、縁側と温室の冬季及び夏期の温熱環境制御効果の類似性と相違性を明らかにするために、両者の室内外温度差の比較を行う。さらに、妥当性を確認した計算モデルを用いて、断熱仕様が異なる縁側の温熱環境を計算し、縁側の断熱化と温室効果の関係を明らかにする。

第4章「暖房設備と室内温熱環境の関係」では、エアコン・床暖房の併用効果を検討することを目的として、エアコン・床暖房を設置した改修事例の計測及び数値計算を行う。改修事例の計測では、石油ファンヒータ、床暖房、エアコン・床暖房併用時の計測結果を比較することにより、各暖房設備と立ち上がり時の室温変動及び上下温度分布の関係を把握する。そして、数値計算によりエアコン・床暖房併用時の省エネルギー性を検討する。ここでは、各暖房設備の電力・灯油等の熱源の違いを考慮するために、一次エネルギー消

費量の比較検討を試みる。計算の手順は、まず各暖房設備の計測時の室温を住宅用熱負荷計算プログラム SMASH for Windows Ver.2 を用い算出し、計測値と計算値を比較して計算モデルの妥当性を確認する。そして、立位を想定した室の代表点の作用温度を統一した条件で、各暖房設備の一次エネルギー消費量を算出し比較する。床暖房の熱源は、灯油(灯油ボイラー式)と電力(ヒートポンプ式)について計算する。

第5章「数値計算による室内温熱環境改善効果及び年間暖冷房負荷の検討」では、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた開口部断熱仕様、冬季縁側の温室効果を利用した暖房エネルギー削減手法、エアコンと床暖房を併用した暖房手法を用いた場合の室内温熱環境改善効果を定量的に明らかにすることを目的として、実在する伝統民家1棟を対象にした数値計算を行う。断熱仕様のパラメータには、伝統民家を再現したケース、外壁に水沼らが提案するリサイクル断熱材による土壁断熱工法を採用したケース、高断熱高气密化を想定したケース等を含め全5ケースを設定する。暖房方式のパラメータには、エアコン、床暖房、エアコン・床暖房併用の3ケースを設定する。本章の計算に用いる太鼓障子の断熱性能は第2章で示した設計式より求め設定する。また、使用する計算モデルは、第3・4章で妥当性を確認したものと同様とする。断熱仕様をパラメータとした数値計算では、夜間・早朝の室温低下や平均放射温度に及ぼす影響を比較する。また、暖房期熱損失量の部位別の内訳を示し、住宅1棟全体の断熱性能を確認する。暖房方式をパラメータとした数値計算では、エアコン+床暖房併用による居室間の室温の差異解消及び、床座時の快適性について比較する。そして、断熱仕様・温室効果の利用・暖房方式の違いが暖冷房負荷に及ぼす影響を検討し、次世代省エネルギー基準を指標に年間暖冷房負荷の評価を行う。

第6章「結論」では、各章で得られた研究成果の要約及び今後の課題を示し、本論の結論とする。

注

- 1) 参考文献 9)p.12 を参照。
- 2) 参考文献 10)p.28 を参照。
- 3) 参考文献 12)p.27 を参照。

参考文献

- 1) 山形新聞 2013年5月18日 新庄市、空き家利活用へ制度づくり4段階に分類、良好物

件を抽出

- 2) 産経新聞 2013年6月1日 民家や空き屋再生を支援 県など地域の活力回復狙う 兵庫
- 3) 毎日新聞 2013年6月6日 空き家条例:制定へ田川市が議会提案 撤去命令や「バンク」可能に 福岡
- 4) 産経新聞 2013年6月15日 田舎暮らし 古民家人気 県北, 再利用急増 岡山
- 5) 板垣直行 他:古民家の改修・再生活用に関する考察, 日本建築学会東北支部研究報告会, pp.35-38, 2009.6
- 6) 金田綾佳 他:関東地方を中心とした1都9県における古民家の転用傾向-地域資源としての古民家の公共的利活用に関する研究-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2 分冊, pp.533-534, 2004.8
- 7) 鈴木翼 他:民家再生の LCCO<sub>2</sub> 評価に関する調査研究, 日本建築学会関東支部研究報告会, pp.605-608, 2008.6
- 8) 井上真澄 他:古民家再生の実態と住民の意識に関する研究-古民家再生の推進に向けて-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-2 分冊, pp.485-486, 2009.8
- 9) 日本民家再生リサイクル協会:民家再生の実例, 丸善, 2007.12
- 10) 花岡 利昌:民家の室内気候, 建築雑誌, No.1189, pp.28-32, 1982.02
- 11) 中園 真人 他:「ふるさと島根定住財団」の空き家活用助成制度を活用した民家改修事例-農村地域における空き家活用システムに関する研究-, 日本建築学会計画系論文集, 第620号, 111-118, 2007.10
- 12) 安井 妙子:高断熱高気密化による古民家修復, 建築雑誌, No.1535, pp.26-27, 2005.07
- 13) 日本民家再生リサイクル協会:民家再生の技術, 丸善, 2007.12
- 14) 日本民家再生リサイクル協会:民家再生の魅力, 相模書房, 2003.9
- 15) 日本民家再生リサイクル協会:民家再生の設計手法, 丸善, 2007.12
- 16) 降幡 廣信:民家再生の実践, 彰国社, 2006.12
- 17) 建築思潮研究所:住宅建築, 建築資料研究所, No.266, pp.101-103, 1997.05
- 18) 建築思潮研究所:住宅建築, 建築資料研究所, No.334, pp.134-142, 2003.01
- 19) 建築思潮研究所:住宅建築, 建築資料研究所, No.344, pp.134-139, 2003.11
- 20) 建築思潮研究所:住宅建築, 建築資料研究所, No.385, pp.84-95, 2007.05
- 21) (財)建築環境・省エネルギー機構:IBEC, No.136, pp.30-35, 2003.05
- 22) (財)建築環境・省エネルギー機構:IBEC, No.153, pp.70-75, 2006.03

- 23)(財)建築環境・省エネルギー機構:IBEC,No.160,pp.22-27,2007.05
- 24)長谷川 兼一 他:宮城県における民家を対象とした室内熱環境に関する実測調査,日本建築学会技術報告集,No.3,pp.189-192,1996.12
- 25)内田 哲晴 他:古民家における断熱改修前後の温熱環境およびエネルギー消費量の実態把握,日本建築学会東北支部研究報告会,pp.17-20,2010.06
- 26)立松 宏一 他:北海道における高断熱戸建て住宅の温熱環境とエネルギー消費の実態熱損失係数が  $1.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  レベルの住宅を主たる対象とした調査,日本建築学会環境系論文集,No.77,pp.713-720,2012.09
- 27)横林 修造 他:伝統技能によって施工される材料の熱・湿気特性に関する考察—兵庫県盛ん材料(中塗り土)の評価—,日本建築学会環境系論文報告集,第 630 号,965-969,2008.8
- 28)辻丸 達憲 他:乾式および湿式構法の住宅熱性能解析,日本建築学会九州支部研究報告集,pp.189-192,2005.3
- 29)太田 昌宏 他:屋外実験による土壁断熱手法に関する実験的研究,日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2 分冊,pp.409-410,2010.9
- 30)水沼 信 他:稲藁ともみ殻を主原料とするリサイクル断熱材の開発と基本性能評価,日本建築学会環境系論文集,No.616,pp.37-43,2007.6
- 31)水沼 信 他:温暖地における土壁住宅の外気側充填断熱工法の提案と断熱防露性能の検証,日本建築学会環境系論文集,No.624,pp.175-182,2008.2
- 32)永峰 章 他:木小舞土壁を有する梁通し型木造住宅の温熱環境特性と気密性能に関する実験的研究,日本建築学会技術報告集,No.29,pp.99-104,2009.2
- 33)石井 宏 他:隙間風の流入による充填断熱壁体内の結露可能性に関する研究—壁表面に微小開港開口を有する壁体の熱・水蒸気移動特性に関する基礎的実験—,日本建築学会環境系論文集,No.602,pp.39-46,2006.4
- 34)梅干野 晃 他:アルミ箔による多層空気層の建築部材としての再評価とその熱的特性,日本建築学会計画系論文集, No.475, pp.9-15,1995.9
- 35)羽山広文 他:窓面中空層の熱性状に関する研究(その 1),日本建築学会北海道支部研究報告集,pp.223-226,1980.3
- 36)羽山広文 他:窓面中空層の熱性状に関する研究(その 2),日本建築学会大会学術講演梗概集,計画系 56(環境工学),pp.699-700,1981.9
- 37)倉田雅史 他:窓面中空層の熱性状に関する研究(その 3),日本建築学会大会学術講演梗



- 概集, 計画系 56(環境工学),pp.699-700,1981.9
- 38)清水則夫 他:開口部の断熱性能向上に関する研究,日本建築学会関東支部研究報告集,pp.125-128,1993.3
- 39)李明香 他:窓枠熱橋による壁体温湿度への影響,日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2 分冊,pp.309-310,2008.9
- 40)伊丹清 他:窓の熱貫流率の計算法 その 1 開き窓の計算値と試験値の比較,日本建築学会計画系論文報告集,第 523 号,31-37,1999.9
- 41)津田晃宏 他:温熱環境改善を目的とした開口部に設置する断熱内戸に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2 分冊,pp.217-218,2008.9
- 42)松本慎也 他:建築開口部の簡易着脱型断熱・防露改修工法に関する研究ーモニター住宅における計測結果および結露実験についてー,日本建築学会中国支部研究報告集,pp.25-28,2008.3
- 43)吉川佳江 他:伝統技術を用いた多機能建具に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2 分冊,pp.1207-1208,2006.9
- 44)[http://homepage2.nifty.com/abee/document/eeda007/B-008\(725\).pdf](http://homepage2.nifty.com/abee/document/eeda007/B-008(725).pdf), 2011 年 12 月 26 日参照
- 45)鈴木 隼人 他:土葺き瓦屋根と桧掛け瓦屋根の熱的特性に関する実験的研究,日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2 分冊,pp.321-322,2006.9
- 46)酒井 遼子 他:通気層を有する瓦屋根の熱的性能に関する研究,日本建築学会東海支部研究報告集,pp.409-412,2009.2
- 47)浦野 良美 他:九州北部に残る伝統民家の熱環境に関する調査研究,日本建築学会計画系論文報告集,第 371 号,27-37,1987.1
- 48)王 岩 他:養蚕型建築に対応した伝統民居の温熱・空気環境の実態とそのメカニズム,日本建築学会環境系論文集, No.634,pp.1451-1455,2008.12
- 49)宮田 靖久 他:住宅の小屋裏と床下空間の熱・湿気性状,日本建築学会計画系論文集, No.457,pp.19-28,1994.3
- 50)古園 賢太 他:屋根断熱と小屋裏強制換気を前提とした天井断熱の断熱性能に関する比較研究,日本建築学会九州支部研究報告集,pp.373-376,2010.3
- 51)本間 義規 他:温暖地における冬期の基礎断熱床下空間の温湿度特性 温暖地における基礎断熱工法に関する研究 その 1,日本建築学会計画系論文集, No.525,pp.33-38,1989.11

- 52)本間 義規 他:梅雨時期を含む夏期の基礎断熱床下空間の温湿度環境 温暖地における基礎断熱工法に関する研究 その2, 日本建築学会計画系論文集, No.530, pp.25-30, 2000.4
- 53)劉 青 榮 他:温暖地における基礎断熱住宅の床下空間の形態と利用法が温熱環境に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, No.605, pp.31-38, 2006.7
- 54)鎌田 紀彦 他:寒冷地における在来木造工法の改良に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 計画系 56(環境工学), pp.1297-1298, 1984.10
- 55)中村 裕史 他:在来木構法の適正断熱工法の研究 その2 床断熱材の適正受け工法の実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 計画系 56(環境工学), pp.329-330, 1981.9
- 56)岩前 篤 他:戸建住宅の床下温湿度性状に関する研究(その1)ー全国実態調査による性状把握ー, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, pp.267-268, 1998.9
- 57)長谷川 兼一 他:宮城県の民家を対象とした夏季における室内熱環境の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, pp.153-154, 1996.9
- 58)石田 秀樹 他:開放系住居の夏の環境特性 町家の冷氣積層型の上方開放空間, 日本建築学会計画系論文報告集, No.408, 23-32, 1990.2
- 59)山口 徹 他:伝統的民家における夏季の室温上昇緩和効果に関する数値計算による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, pp.955-956, 1997.9
- 60)辻 幸伸 他:伝統的民家にみられる室内熱環境調整機能の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, pp.445-446, 1995.8
- 61)松高 健太郎 他:移築再生民家における住まい方を考慮した省エネルギー手法に関する研究(その1)中間期・冬期の省エネルギー効果の検証, 日本建築学会東北支部研究報告会, pp.369-372, 2005.6
- 62)荒谷 登 他:附設温室付住宅の熱環境実態と問題点, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学), pp.459-460, 1983.9
- 63)野瀬 光生 他:温室付き半地下居室の熱的性能に関する研究その2 夏季における日射遮蔽、窓の開放による通風が熱環境に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D 分冊, pp.21-22, 1993.9
- 64)古木 直人 他:温室付半地下居室の熱的性能に関する研究その3 冬季における断熱仕様と室内窓の開閉が熱環境に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D 分冊, pp.23-24, 1993.9
- 65)及部 訓弘 他:北陸地域における付設温室型住宅の暖冷房負荷削減効果シミュレーション

- ンその1 拡張アメダス気象データ 28 地点の SMASH への適用条件, 日本建築学会大会  
学術講演梗概集 D-2 分冊, pp.63-64, 2001.9
- 66) 吉田 直人 他: 北陸地域における付設温室型住宅の暖冷房負荷削減効果シミュレーション  
その2 拡張アメダス気象データ 28 地点の SMASH への適用条件, 日本建築学会大会  
学術講演梗概集 D-2 分冊, pp.65-66, 2001.9
- 67) 芥川 郁雄 他: 温水床暖房パネル付エアコンによる暖房時の温熱環境調査, 日本建築学  
会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, pp.249-250, 2002.8
- 68) 中村 泰人 他: 床暖房室で熱的快適性を実現するための設計法の同定, 日本建築学会環境  
系論文集, No.594, pp.61-67, 2005.8
- 69) 木村 建一 他: 低温ふく射暖房・温風暖房・床暖房の快適性とエネルギー消費量に関す  
る研究 その1 エネルギー消費量, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.325-  
328, 1988.9
- 70) 大森 敏明 他: 対流・放射連成解析による住戸内温熱環境の快適性・エネルギー消費量  
総合評価 (その1) 異なる住宅断熱性能における床暖房・温風暖房の解析, 空気調和・衛  
生工学会学術講演論文集, pp.865-868, 2005.8
- 71) 坂口 淳 他: 住宅を対象とした床暖房時と温風暖房時の熱収支に関する研究, 日本建築学  
会環境系論文集, No.628, pp.735-742, 2008.6

## 第2章 太鼓障子と木製複層ガラスサッシによる開口部断熱改修仕様

### 1. 本章の目的

現在の改修事例では開口部の断熱改修にアルミサッシと複層ガラス等の工業製品の利用が一般的であるが、伝統民家の開口部の面積は広いため断熱・防露性能に関しては充分とはいえ、デザイン性に関しても伝統民家の設えとしては不釣り合いである。断熱性能をさらに高めるために断熱サッシと低放射複層ガラス等の高性能な仕様を適用する場合には、改修費の増大に繋がる。そのため、伝統民家の開口部の断熱改修においては、高い断熱性能に加え施工性やコストと和風の設えに適合したデザインを考慮した新たな断熱改修仕様の開発が望まれる。

本章では、施工性・コスト及びデザインを考慮して考案した、木製複層ガラスサッシと太鼓障子を組合せた開口部断熱改修仕様(図 2.2 参照)の性能を評価することを目的とし、人工気象室内で実施した模型実験及び実家屋計測の結果について述べる。本仕様の特徴は、第一に複層ガラスサッシの室内側に密閉空気層を有す太鼓障子を付加することにより、障子内部の空気層とガラスサッシと太鼓障子間に形成される空気層(以下、中間空気層と称す)の複合効果により断熱性能の向上が期待されること、第二に既存の建具枠の改修または取替えにより容易に施工が行えること、第三に太鼓障子の製作は新たな技術を必要とせず、かつコストも安価な点が挙げられる。

まず太鼓障子空気層の厚さが異なる本仕様2体と複層ガラスサッシの計3体の試験体の室内模型実験の結果から、各層の表面温度や熱貫流率の比較を行う。次に、室内実験と実家屋計測による熱貫流率や太鼓障子とガラスサッシ間の空気層の温度差の比較を行い、建具からの熱損失を考慮した断熱性能の評価を行う。また実家屋計測の結果から、冬季一日の外気温変動下における損失熱量の計測結果を示す。さらに、本仕様の熱貫流率の推計方法を示し、一般的な開口部仕様と本仕様との熱貫流率の比較を行う。なお本研究の開口部の熱貫流率測定は、改修事例と室内実験の計測条件(室内外温度)を統一して行うこととしたため、日本工業規格や(財)ベターリビングによる測定法<sup>注1)</sup>とは一部異なるが、これは比較的温暖な地域の冬期の室内外温度を前提としたものである。

### 2. 室内実験による断熱性能の評価

#### 2.1 実験概要

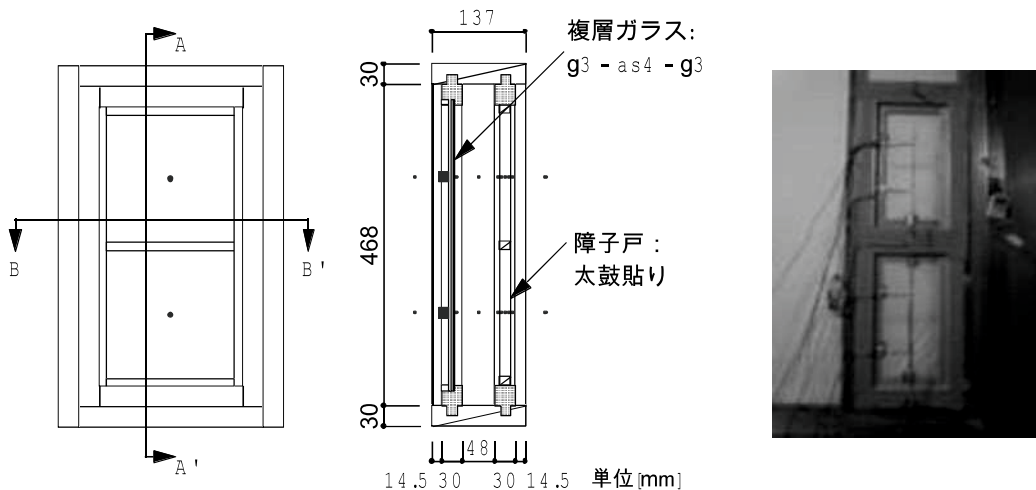
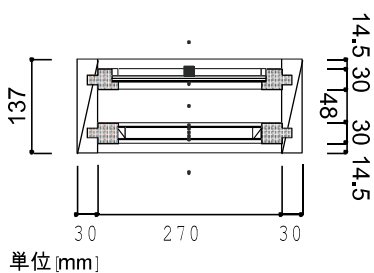


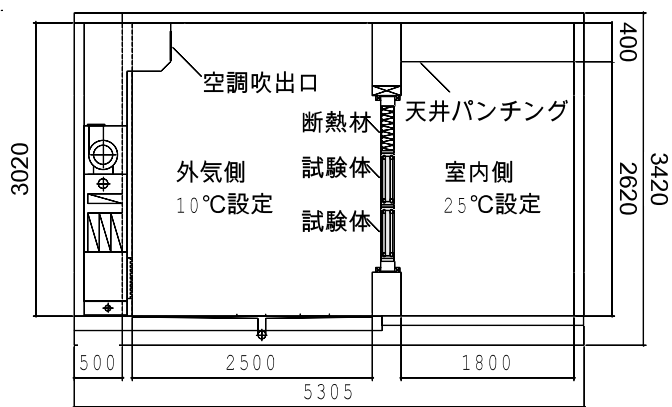
図 2.1 試験体立面図

図 2.2 A-A' 断面図

写真 2.1 試験体設置状況



計測点(図1~3中)  
 ・ T型熱電対  
 ■ T型熱電対及び熱流計



単位 [mm]

図 2.3 B-B' 断面図

図 2.4 人工気象室概要(断面)

表 2.1 試験体の概要

試験体No.	障子紙の貼り方	空気層(mm)	障子紙の厚さ(mm)
1	一重		0.1(5刃)
2	太鼓貼り	16	0.1(5刃)
3	太鼓貼り	26	0.1(5刃)

障子戸(270×468mm)と木製複層ガラスサッシ(空気層 4mm)により構成される試験体を 1 体とし、障子戸の組子幅が 16mm と 26mm の 2 体を作製した。障子戸と木製サッシ間の空気層は 48mm である。障子戸は上下に格子が 2 つ並ぶ仕様である(図 2.1～3)。試験体は表 2.1 に示す 3 種類を作製した。試験体 No.1 は障子紙を組子片面に張った一般的な障子戸を想定した仕様である。試験体 No.2 は幅 16mm の組子両面に障子紙を太鼓貼りした仕様で、試験体 No.3 は幅 26mm の組子両面に No.2 と同様に障子紙を太鼓貼りした仕様である。各試験体には、ガラス戸・障子戸の四周に同一の実加工が施されており一定の気密性が同等に確保されている。設置方法は、人工気象室内の外気側と室内側の界壁に見付寸法 30mm の試験体を取り付ける枠材を設けたうえで、試験体を上下 2 段に並べて設置し、外気側と室内側間の界壁と枠材の残余空隙部分にはポリスチレンフォーム(100mm)を充填した(図 2.4)。

室内外温度は、改修事例の計測条件と統一するため室内側温度を 25℃、外気側温度を 10℃に設定し、試験体各層の温度が定常状態に達した時点で、障子戸の上下格子各中心点において、試験体各層の表面温度と空気層の空気温度を T 型熱電対により計 10 点測定した<sup>注 2)</sup>。試験体の貫流熱量は、外気側ガラス表面において熱流計(英弘精機株式会社ヒートセンサーMD-140)を用いて測定した(図 2.1, 2)。尚、貫流熱量の測定結果を比較したところ、試験体 No.2 の下側格子の貫流熱量が試験体 No.3 の下側格子の値を若干下回ったため測定不良と判断し、分析には上側格子の計測結果を用いる。

## 2.2 実験結果

図 2.5 に各試験体の実験結果を示す。試験体 No.1,2,3 の室内側障子表面温度は各々 21.3,22.4,22.6℃で、室内外温度差 15℃の状態、一般的な障子仕様(No.1)に対し太鼓障子仕様(No.2,3)の表面温度が 1.1～1.3℃高く、仕様全体としての断熱性能の高さを示しており、試験体 No.2,3 の空気層の差も表面温度に影響していることがわかる。

次に各層の温度分布を見ると、試験体 No.1 では、室内側空気に面す障子紙両面(図 2.5 : 計測点 3-4) で 0.8℃の温度差が生じている。また、試験体 No.2(as16mm)と試験体 No.3(as26mm)では、室内側空気に面す障子紙両面(図 2.5 : 計測点 1-2)で各々 0.6℃,0.5℃の温度差、中間空気に面す障子紙両面(図 2.5 : 計測点 3-4) で各々 0.7℃,0.5℃の温度差が生じており、和紙の熱抵抗値の大きさが認められる。また太鼓障子空気層内部両面(計測点 2-3)では各々 2.5,2.7℃と大きな温度差が生じており、太鼓貼りにより形成された密閉空気層による熱抵抗値の大きさが認められるとともに、空気層の幅が熱抵抗の大きさに影響していることが確認できる。

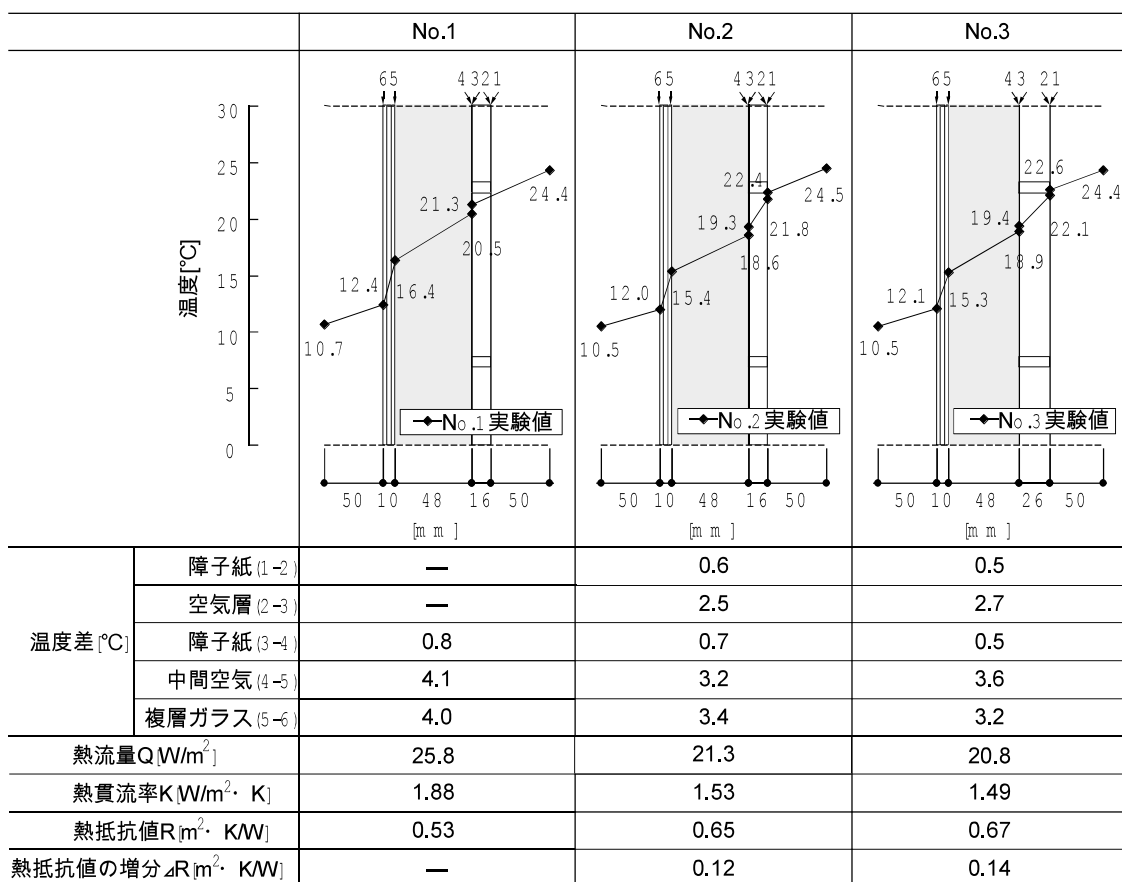


図 2.5 各試験体の実験結果

中間空気層(計測点 4-5:48mm 幅)では、試験体 No.1,2,3 の温度差は各々4.1,3.2,3.6°Cで、中間空気層が太鼓障子空気層と同等の断熱性能を有することを示しており、ガラスサッシと障子を組み合わせた建具仕様の効果といえる。なお試験体 No.1 の温度差が試験体 No.2,3 と比較して相対的に大きいのは、外気側障子紙表面(計測点 4)の温度が 20.5°Cと試験体 No.2,3 (18.6, 18.9°C)と比較して 1.6~1.9°C程度高く、太鼓障子空気層の有無が影響しているためである。

外気に面する複層ガラス層(計測点 5-6)の試験体 No.1,2,3 の温度差は各々4.0,3.4,3.2°Cで、中間空気層同様太鼓障子空気層の有無が温度差に影響している。ここで試験体 No.2,3 のガラス層の温度差 (3.4,3.2°C)と太鼓障子空気層の温度差(2.5,2.7°C)を比較すると、ガラス層の温度差が 0.5~0.9°C大きく、複層ガラスの熱抵抗値が太鼓障子空気層をやや上回る結果となっている。

次に試験体 No.1,2,3 の熱流量は各々25.8,21.3,20.8  $W/m^2$ で、室内外温度差 15°Cの状態では、

一般的な障子仕様(No.1)に対し太鼓障子仕様(No.2,3)の熱流量が  $4.5\sim 5.0\text{ W/m}^2$  低く、仕様全体としての断熱性能の高さを示している。各試験体の仕様全体の熱貫流率を比較すると、試験体 No.2,3 の熱貫流率は各々  $1.53, 1.49\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  で、試験体 No.1 の熱貫流率( $1.88\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ )に対し約 20%低下しており、障子紙を太鼓貼りにした仕様では断熱性能が向上することが確認された。また、一般的な障子仕様(No.1)に対し太鼓障子仕様(No.2,3)の表面温度が  $1.1\sim 1.3\text{ }^\circ\text{C}$  高いことから、室内の放射熱環境の改善にも一定の効果を有すものと推定される。

### 3. 伝統民家改修事例の開口部建具と空気層の温度計測

#### 3.1 計測の概要

実験住宅は山口市の中心市街地に位置する木造戸建ての伝統民家である。図 2.6 に平面図を示す。外壁は土壁、開口部は大半が単板ガラス嵌め込み木枠建具の典型的伝統民家である。計測対象の食事室各部位の仕様は、壁:漆喰 3mm-土壁 80mm-漆喰 3mm、天井:天井板 9mm、床:床板 30mm-住宅用グラスウール 24K70mm である。写真 2.2 に改修前後の食事室開口部、図 2.7、8 に改修後の開口部立面・断面・平面図を示す。開口部は  $3,000\times 1,700\text{ mm}$  の枠組みと  $940\times 1,710\text{ mm}$  の障子戸・木製複層ガラスサッシ(ガラス 3mm-空気層 4mm-ガラス 3mm)から構成される。障子戸の組子幅は 16mm で、障子戸と木製サッシ間の空気層は 90mm である。計測時の建具の開閉状態を図 2.7 及び写真 2.3 に示す。太鼓障子戸一枚を外し、この状態で太鼓障子の有無の 2 ケースの同時計測を行った。尚、太鼓障子戸と木製サッシ間の空隙部分にはポリスチレンフォーム(25mm)を充填し密閉空気層を形成している。計測点は障子戸の 5 段目格子中心位置(床上 976mm)に設定し、T 型熱電対を用いて試験体各層の表面温度と空気層の空気温度を計 7 点測定した。

表 2.2 に計測の概要を示す。計測条件 No.1 は室温と外気温が定常状態に近い条件で計測を行い、室内実験で得られた断熱性能を実験住宅において検証する条件である。具体的には、冬季 3 日間の連続計測データから温度変動が少なく(1)平均外気温  $8.2\text{ }^\circ\text{C}$ :平均室温  $25.6\text{ }^\circ\text{C}$ :平均温度差  $17.4\text{ }^\circ\text{C}$  (2)平均外気温  $8.0\text{ }^\circ\text{C}$ :平均室温  $25.9\text{ }^\circ\text{C}$ :平均温度差  $17.9\text{ }^\circ\text{C}$  (3)平均外気温  $4.1\text{ }^\circ\text{C}$ :平均室温  $26.7\text{ }^\circ\text{C}$ :平均温度差  $22.6\text{ }^\circ\text{C}$  となる時間帯のデータを抽出した。図 2.9 に開口部各層の温度変動を示す。実家屋計測のため若干の変動は見られるが、室温、建具各部の表面温度、空気層温度とも定常状態に近いデータと見做せるものとする。

計測条件 No.2 はファンヒータを使用して室温を出来るだけ定常状態( $25.0\text{ }^\circ\text{C}$ )に保ち 24 時間連続計測を行い、冬期一日における太鼓障子併用の場合と複層ガラスのみの場合の開



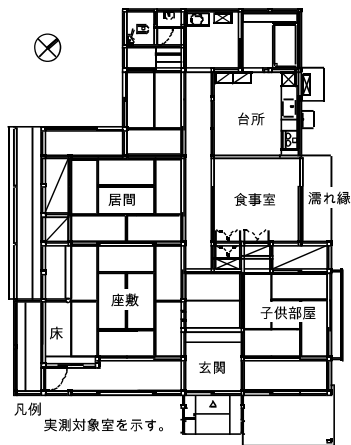


図 2.6 実験住宅の平面図

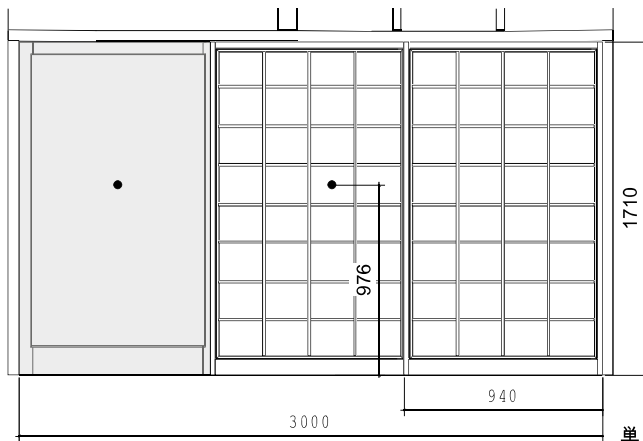


a) 改修前

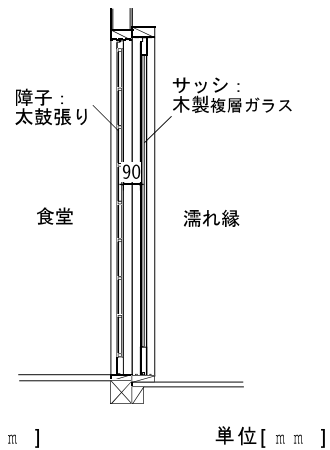


b) 改修後

写真 2.2 改修前後の開口部



a) 開口部の立面図および計測点



b) 開口部の断面図

図 2.7 開口部の立面・断面図および計測点

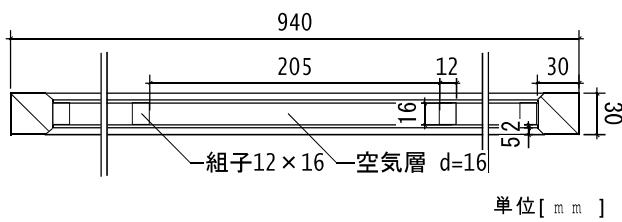


図 2.8 太鼓障子平面図



写真 2.3 計測の様子

表 2.2 計測の概要

計測条件		開口部仕様		計測日	平均室温 [°C]	平均外気温 [°C]	計測時間 [h]
NO.1	定常状態	1	G 1 T 1 複層ガラス 太鼓障子戸使用	2007年12月15日	25.6	8.2	2
		2	G 2 T 2 複層ガラス 太鼓障子戸使用	2007年12月16日	25.9	8.0	2
		3	G 3 T 3 複層ガラス 太鼓障子戸使用	2007年12月14日	26.7	4.1	4
NO.2	24時間連続	G 4 T 4 複層ガラス 太鼓障子戸使用	2007年12月17日	25.3	5.3	24	

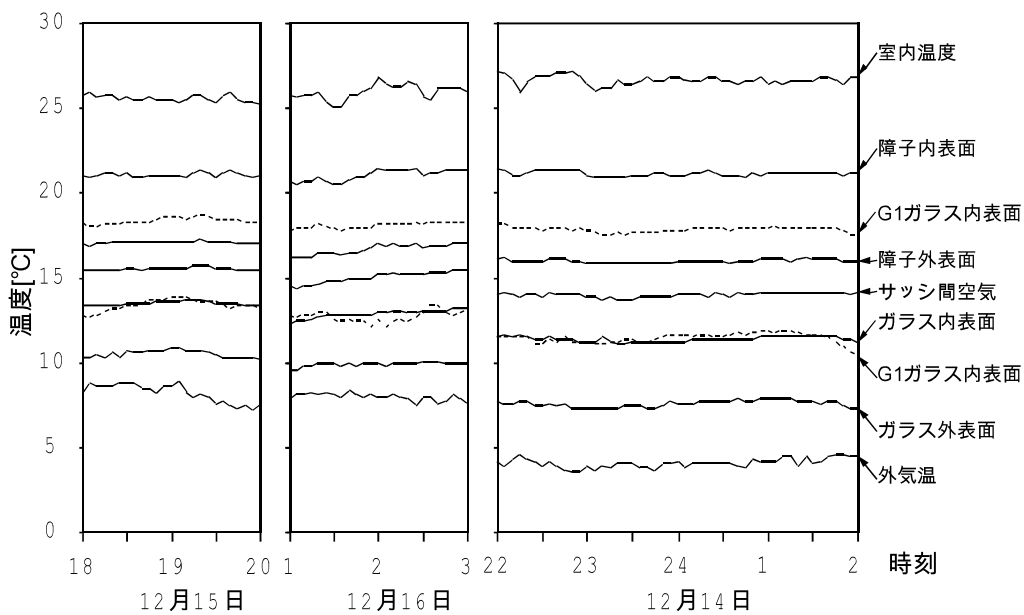


図 2.9 開口部各層の温度変動

開口部熱損失量を比較する条件である。計測日は昼間最高気温 12°C，夜間最低気温 0.8°C，平均気温 5.3°Cで，実験住宅が立地する地域の冬季晴天日の標準的データである<sup>注3)</sup>。尚，貫流熱量は未測定のため，熱貫流率は既定の複層ガラスの熱抵抗(0.106 m<sup>2</sup>・K/W)を用いて算出した<sup>注4)</sup>。

### 3.2 計測結果

#### (1)各層の温度分布と熱貫流率・熱抵抗値

図 2.10 に定常状態 1~3 の建具表面と空気層の温度分布及び熱貫流率・熱抵抗値を示す。複層ガラスの室内側表面温度(G1,2,3:測定点 3)は，定常状態 1,2 の場合各々18.4,18.1°Cで，室内外平均温度差が 22.6°Cと大きい定常状態 3 では 17.9°Cと若干低い。これは，G3 の室温

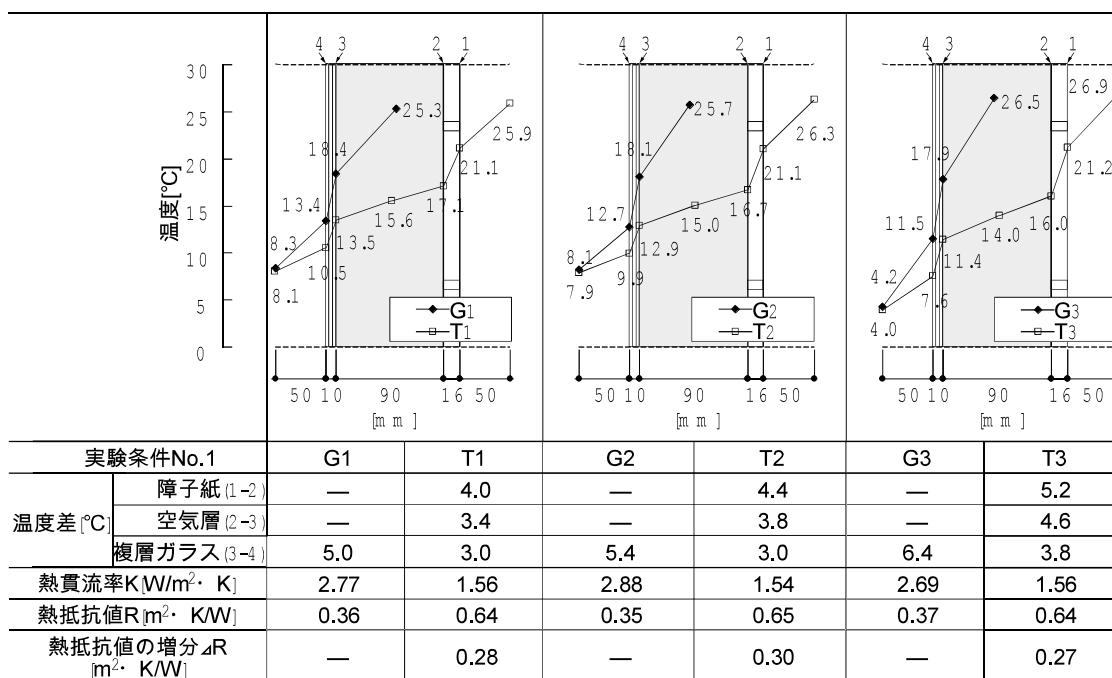


図 2.10 建具表面と空気層の温度分布

が他の条件に比べて 0.8~1.2°C 高いが、外気温が 3.9~4.1°C 低いことから、貫流熱量が増加したためと考えられる。これに対し太鼓障子+複層ガラスの室内側表面温度(T1,2,3:計測点1)は 21.1~21.2°C の範囲にあり、いずれの条件においても太鼓障子+複層ガラスが複層ガラスよりも 3°C 程度高い。これより、太鼓障子の使用による開口部の断熱性能の向上が認められるとともに、冬期暖房室内における放射熱環境の改善にも一定の効果を有すものと推定される。

次に太鼓障子+複層ガラス各部位の温度分布を見ると、太鼓障子空気層(図 2.10:計測点 1-2)の温度差は定常状態 1,2 では各々 4.0, 4.4°C で、室内外平均温度差が大きい定常状態 3 では 5.2°C と大きい値を示す。中間空気層(計測点 2-3:90mm 幅)でも同様に、定常状態 1,2 では温度差は各々 3.6, 3.8°C で、定常状態 3 では 4.6°C を示しているが、空気層の幅が試験体の倍程度広い割に温度差はさほど大きくない。複層ガラス(計測点 3-4)の温度差は、複層ガラスのみの場合(G1,2,3)は 5.0~6.4°C と大きく、太鼓障子を併用した場合(T1,2,3)は 3.0~3.8°C で、太鼓障子と中間空気層の影響が認められる。

次に複層ガラスの熱貫流率は 2.69~2.88  $W/m^2 \cdot K$  の範囲にあり、定常状態 3 の熱貫流率 (2.69  $W/m^2 \cdot K$ ) がやや低い値を示した。太鼓障子+複層ガラスの熱貫流率は 1.54~1.56  $W/m^2 \cdot K$  の範囲にあり類似した値が得られているが、空気層の幅が同一の室内実験試験体 No.2

の熱貫流率( $1.53\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )よりもやや高い結果となった。複層ガラスのみの場合に比べ太鼓障子を併用した場合には熱貫流率は 5 割近く低下している。太鼓障子+複層ガラスの熱抵抗値は平均  $0.64\text{m}^2\cdot\text{K/W}$  で、室内実験結果( $0.65\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )よりもやや低い、この差異は誤差程度の範囲であり類似した値が得られた。

(2)冬期一日の開口部熱損失量の比較

図 2.11 に計測条件 No.2 の冬期一日の各層の温度変動を示す。図中に示した水平面全天日射量は下関気象台で観測されたデータであるが、測定対象の開口部は北東に面しており冬期には日射は受けない。気温の上昇に伴い外気側ガラス表面温度が上昇し、外気温が最も高くなる 15 時前後には  $14^\circ\text{C}$  近くに達している。16 時 30 分以降は外気温の低下に伴い外気側ガラス表面温度も低下し始め、深夜 24 時以降は  $5^\circ\text{C}$  近くまで低下している。これに対し太鼓障子の室内側表面温度は、終日  $18\sim 22^\circ\text{C}$  の範囲に収まり外気温の影響は比較的少ない。

日射がある 7:30~18:30 を昼間、日射がない 18:30~7:30 を夜間とし、複層ガラスの表面温度差と熱コンダクタンスを用いて、窓一枚分の熱損失量を求めた結果を図 2.12 に示す。夜間に対し相対的に室内温度と外気温の差が小さい昼間の場合、複層ガラスと太鼓障子+複層ガラスの熱損失量は各々  $0.68, 0.41\text{kWh}$ (合計 11 h)で、熱損失量の差は  $0.27\text{kWh}$  である。一方外気温が  $7\sim 2^\circ\text{C}$  に低下する夜間には、複層ガラスと太鼓障子+複層ガラスの熱損失量は各  $1.20, 0.75\text{kWh}$ (合計 13 h)で、合計 2 時間の差があるものとともに昼間の 1.8 倍の値を

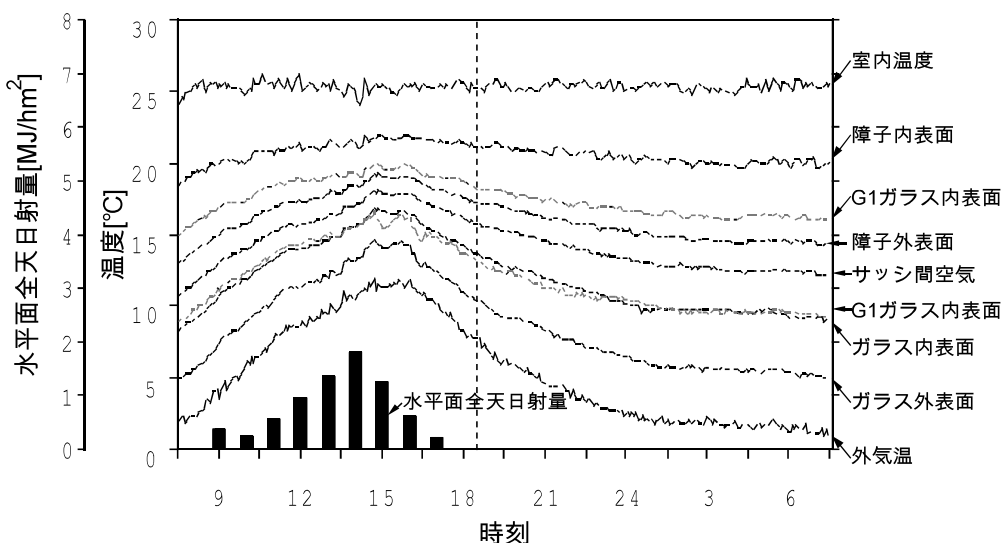
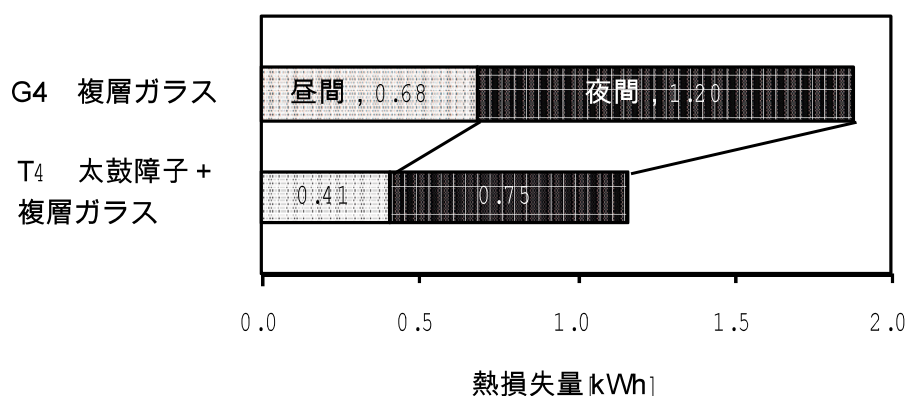


図 2.11 冬期一日の開口部各層の温度変動



注 昼間：7時30分～18時30分，夜間：18時30分～7時30分

図 2.12 冬期一日の開口部熱損失量の比較

示している。ただし両仕様の夜間の熱損失量の差は 0.45kWh となり、昼間に比べその差は拡大しており、また一日の合計では複層ガラスに対し太鼓障子+複層ガラスでは約 4 割熱損失量が低減されていることから、太鼓障子併用による顕著な熱損失量削減効果が認められる。

#### 4. 理論計算による断熱性能の推計

室内実験と改修事例の実測により本仕様の断熱性能を確認できたが、任意の格子形状と幅を有す太鼓障子空気層と中間空気層の熱抵抗を算定出来れば、建具仕様全体の熱抵抗を求めることが可能であり、設計にも適用できるものと考えられる。そこで本節では、太鼓障子と複層ガラスにより構成される建具仕様の計算法を示し、室内実験・実家屋計測と計算の結果の比較を行いその妥当性を検討し、一般的な開口部断熱仕様と本仕様の熱貫流率の比較を行う。

##### 4.1 計算の方法と実験・計測値との比較

密閉空気層の熱抵抗に関しては、建築分野において空気層の幅との関係を検討した研究蓄積があり、齊藤はいくつかの条件下での両者の関係を図に整理しているが<sup>1)</sup>、本論で対象とする垂直方向密閉空気層の場合、100 mm以上ではほぼ一定の値を取るものの、太鼓障子の標準幅である 10~25 mmの範囲では熱抵抗の変動幅が大きく、かつ障子組子により決定される空気層の形状との関係は示されていない。そこで本論では文献<sup>2)</sup>と梅干野論文<sup>3)</sup>に準拠し、以下の手順により空気層の熱抵抗と太鼓障子+複層ガラス仕様の全熱抵抗を求め

る。

空気層の伝導対流熱コンダクタンス  $c_c$  [W/m<sup>2</sup>·K] は、表 2.3 の空気層の伝導対流熱コンダクタンス計算式に示した式(2,4,6)により求められるため、空気層の伝熱量  $Q$  [W/m<sup>2</sup>] は次式により表せる。

表 2.3 空気層の伝導対流熱コンダクタンスの計算式

■密閉鉛直平行平板間の流体層における自然対流熱伝達について

(a)  $1 \leq b/l \leq 100$ かつ  $Gr_l \leq 1400(b/l)^{0.389}$  (熱伝導支配域)

$$Nu_l = 1 + 0.00166(l/b)Gr_l^{0.9} \dots\dots\dots(1)$$

$$C_c = Nu_l \times \lambda/l \dots\dots\dots(2)$$

(b)  $500 \leq Ra_l(l/b) \leq 10^7$  (層流境界層支配域)

$$Nu_b = 0.364[Ra_b \cdot f(P_r)]^{1/4}/\phi(Ra_b, b/l) \dots\dots\dots(3)$$

$$C_c = Nu_b \times \lambda/b \dots\dots\dots(4)$$

$$f(P_r) = [1 + (0.5/P_r)^{9/16}]^{-16/9}$$

$$\phi(Ra_b, b/l) = [1 + 0.231\{Ra_b(b/l)^4\}^{-1/4}]^2$$

(c)  $10^7 \leq Ra_l(l/b) \leq 10^{11}$  (乱流域)

$$Nu_b = 0.05[Ra_b \cdot f(P_r)]^{1/3} \dots\dots\dots(5)$$

$$C_c = Nu_b \times \lambda/b \dots\dots\dots(6)$$

$C_c$  : 伝導対流熱コンダクタンス [W/m<sup>2</sup>·°C]

$Nu$  : ヌセルト数,  $G_r$  : グラスホフ数  $G_{rl} = g\beta(\theta_h - \theta_c)l^3 / \nu^2$

$P_r$  : プラントル数  $P_r = \mu C_p / \lambda$

$Ra$  : レイリー数  $Ra_l = P_r \cdot g\beta(\theta_h - \theta_c)l^3 / \nu^2$   $Ra_b = Ra_l(b/l)^3$

$\nu$  : 動粘性係数  $\nu = \mu / \rho$  [m<sup>2</sup>/s]

$\mu$ : 空気の粘性係数  $\mu = 18.2 \times 10^{-6} \frac{293.15+117}{T_m+273.15+117} \left(\frac{T_m+273.15}{293.15}\right)^{3/2}$  [Pa·s]

$\rho$  : 空気の密度  $\rho = 1.293 / (1 + 0.00367T_m)$  [kg/m<sup>3</sup>]

$\lambda$  : 空気の熱伝導率  $\lambda = 0.000076T_m + 0.0241$  [W/m·K]

$C_p$  : 空気の定圧比熱  $C_p = 0.0625T_m + 1006$  [J/kg·K]

$\beta$  : 空気の体積膨張係数  $\beta = 1 / (T_m + 273.15)$  [1/K]

$T_m$  : 平均温度  $T_m = (\theta_h + \theta_c) / 2$

$$Q = C_c(\theta_1 - \theta_2) + \varepsilon_{12}\sigma(T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots(7)$$

$c_c$  : 空気層の伝導対流熱コンダクタンス[W/m<sup>2</sup>・K]

$\varepsilon_{12}$  : 平行 2 平面間有効放射率[-]

$\sigma$  : シュテファン・ボルツマン常数[5.67×10<sup>-8</sup>W / m<sup>2</sup>・K<sup>4</sup>]

$\theta_1, \theta_2$  : 層を挟む面 1,2 の表面温度[°C]

$T_1, T_2$  :  $\theta_1, \theta_2$ の絶対温度表現[K]

従って、太鼓障子空気層の熱抵抗 $r_a$ [m<sup>2</sup>・K/W]は、

$$c_a = Q/(\theta_a - \theta_b) \dots\dots\dots(8)$$

$$r_a = 1/c_a \dots\dots\dots(9)$$

$c_a$  : 太鼓障子空気層の熱コンダクタンス[m<sup>2</sup>・K/W]

$\theta_a - \theta_b$  : 太鼓障子空気層の表面温度差[°C]

として算出される。同様に中間空気層の熱抵抗 $r_b$ [m<sup>2</sup>・K/W]は、

$$c_b = Q/(\theta_c - \theta_d) \dots\dots\dots(10)$$

$$r_b = 1/c_b \dots\dots\dots(11)$$

$c_b$  : 中間空気層の熱コンダクタンス[W/m<sup>2</sup>・K]

$\theta_c - \theta_d$  : 中間空気層の表面温度差[°C]

として算出される。これより本仕様の室内から外気への全熱抵抗は次式で表せる。

$$R = r_i + (2r_1 + r_a) + r_b + r_2 + r_o \dots\dots\dots(12)$$

$R$  : 室内から外気への全熱抵抗[m<sup>2</sup>・K/W]

$r_i$  : 室内側熱伝達抵抗

$r_1$  : 障子紙の熱抵抗

$r_a$  : 太鼓障子空気層の熱抵抗

$r_b$  : ガラスサッシと太鼓障子の中間空気層の熱抵抗

$r_2$  : 複層ガラスの熱抵抗

$r_o$  : 外気側熱伝達抵抗

ここで、式(12)中の室内側熱伝達抵抗( $r_i$ )は既往の実験結果をもとにした設計値<sup>注5)</sup>を採用する。障子紙の熱抵抗( $r_1$ )は本実験に用いた和紙の計測値を用いる<sup>注6)</sup>。太鼓障子空気層の熱抵抗( $r_a$ )は式(9)、密閉状態を前提とした中間空気層の熱抵抗( $r_b$ )は式(11)により算定する。ただし、中間空気層の場合には建具の密閉度が熱抵抗に影響するため、設計用熱負荷計算では密閉・半密閉・有隙の 3 種類の設計値があり<sup>注7)</sup>、半密閉・有隙の場合には低減係数<sup>注8)</sup>

を乗じて求める。ガラスサッシの熱抵抗( $r_2$ )は採用する製品の設計値を用いる<sup>注9)</sup>。外気側熱伝達抵抗( $r_o$ )は外気の風速に影響されるため、気候条件に応じた風速を定め、強制対流熱伝達率を算出し、放射熱伝達率との合計値の逆数を求める<sup>注10)</sup>。

以上の方法により、室内実験試験体と実験住宅(測定条件 No.1)の  $r_i$  から  $r_o$  までの値を求め(表 2.4)<sup>注11)</sup>、仕様全体の熱抵抗値を算定した。室内実験値、実験住宅計測値と計算値を図 2.13 に示す。室内実験試験体 No.1 では、密閉状態の中間空気層を仮定した計算値(密閉:  $0.50\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )は実験値( $0.53\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ )を若干下回るものの、太鼓障子試験体の No.2,3 では計算値と実験値はほぼ一致している。また実験住宅の場合、半密閉状態の計算値( $0.67\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ )は計測値( $0.64\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ )をやや上回るが誤差は 5%程度で、建具の隙間から生ずる換気による熱損失のため、中間空気層の熱抵抗が低下している状況をほぼ再現できている。以上より、理論計算により密閉・半密閉状態における本仕様の熱抵抗値は推計可能と判断される。しかし設計段階では事前の実験が行なわれ空気層を挟む面の表面温度が得られている場合は稀なため、太鼓障子空気層と中間空気層の熱抵抗を推計する必要がある。

表 2.4 数値計算に用いた熱抵抗と熱伝達抵抗

	記号	熱抵抗 $r$ [ $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ ]	熱コンダクタンス $c$ [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]
障子紙	$r_1$	0.001	1100.00
太鼓障子空気層(室内実験as16)	$r_a$	0.155	6.47
太鼓障子空気層(室内実験as26)		0.163	6.12
太鼓障子空気層(実験住宅as16)		0.154	6.49
室内実験No.1中間空気層(密閉)	$r_b$	0.171	5.85
室内実験No.2中間空気層(密閉)		0.175	5.71
室内実験No.3中間空気層(密閉)		0.174	5.74
実験住宅中間空気層(密閉)		0.188	5.32
実験住宅中間空気層(半密閉)		0.144	6.96
複層ガラス(g3 + as4 + g3)	$r_3$	0.106	9.41
	記号	熱伝達抵抗 $r$ [ $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ ]	熱伝達率 $\alpha$ [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]
室内側(室内実験)	$r_i$	0.111	9.00
室内側(実験住宅)		0.174	6.00
外気側(実験住宅)：計測値	$r_o$	0.087	17.8

注 gはガラスの厚さ，asは空気層の厚さを示す。



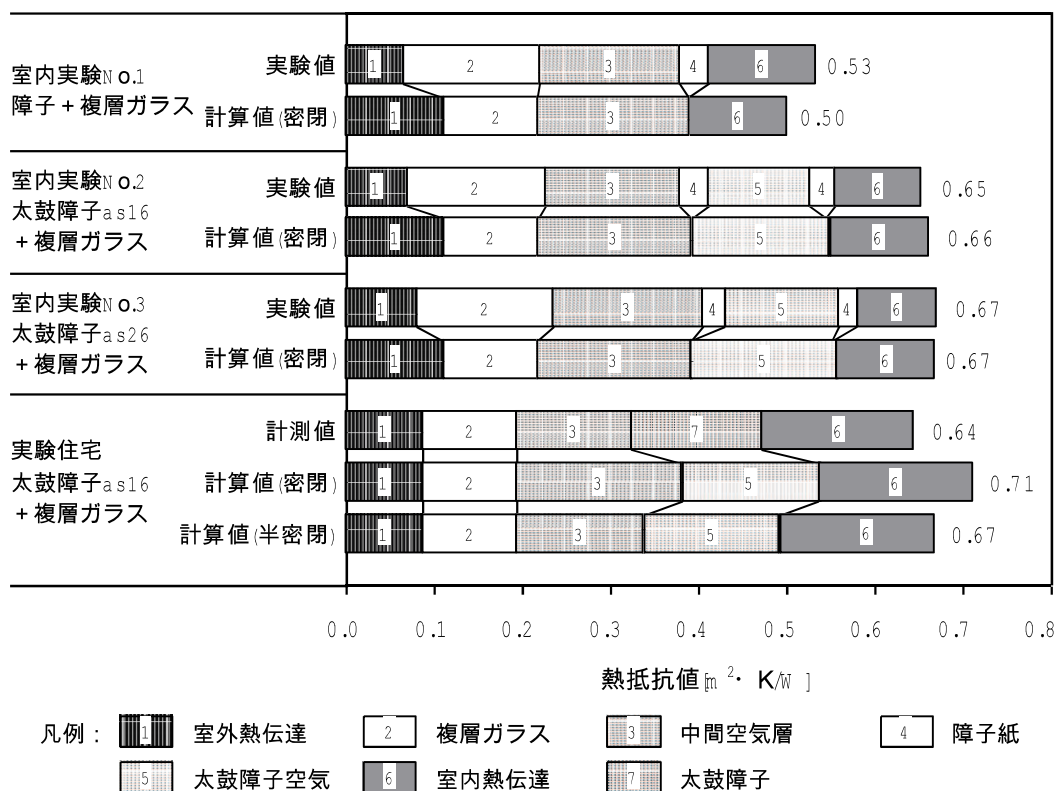


図 2.13 熱抵抗値の実験・計測値と計算値の比較

#### 4.2 空気層の熱抵抗の推計

空気層を挟む面の表面温度と表面温度の平均値の変化に対する空気層の熱抵抗の依存度が一定以下であることが確認できれば、室内実験で得られた空気層を挟む面の表面温度を用いて、任意の温度状態の空気層の熱抵抗を推計することが可能となる。そこで、4.1で示した計算方法により温度条件と熱抵抗との関係を検討する。組子の縦方向間隔を 0.2m に設定し、内外表面温度差を 5°C とし、それらの平均値を 9.5~25.5°C に変化させた場合の結果を図 2.14 に示す。内外表面温度の平均値が変化した場合でも熱抵抗値の低下は 0.02m<sup>2</sup>·K/W に留まる。また、内外表面温度の平均値を 17.5°C に固定し、内外の表面温度差のみを変化させた場合の結果を図 2.15 に示す。組子幅が厚い方が内外表面温度差による熱抵抗値の変化が大きいが、組子幅が 25 mm でもその温度差が 3°C、7°C の場合の値の差は 0.009m<sup>2</sup>·K/W である。これより、太鼓障子内空气の熱抵抗値は温度条件への依存度が限られるので、室内実験で得られた実験値を用いても、任意の温度条件の空気層の熱抵抗値は概ね推計可能と考えられる。

次に空気層の形状と熱抵抗値との関係については、表 2.3 の計算式の通り組子の横方向

の間隔は流れの支配域に影響しないことが前提とされている。そこで標準的な太鼓障子空気層の形状である試験体 No.2 について、空気層を挟む面の表面温度を 21.8℃及び 19.3℃とし、組子の幅と組子の縦方向間隔を変化させた場合の検討例を図 2.16 に示す。組子の縦方向間隔が広い程、熱抵抗値は大きくなるものの、例えば組子幅 25 mm では、組子の縦方向間隔が 0.1m から 0.5m に変化した場合の熱抵抗の変化量は  $0.01\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  と少ない。このように、障子組子の形状(横・縦方向寸法)による熱抵抗値の差は小さいため、室内実験の形状を援用しても任意形状の空気層の熱抵抗値は概ね推計可能と考えられる。

障子組子と中間空気層の幅に関しては、空気層の幅により流れの支配域と熱抵抗は変動するため、推定パラメータとして導入する必要があるが、温度条件と形状への依存度が限定的である点を考慮すれば、本実験で得られた空気層を挟む面の表面温度を用いて、表 2.3

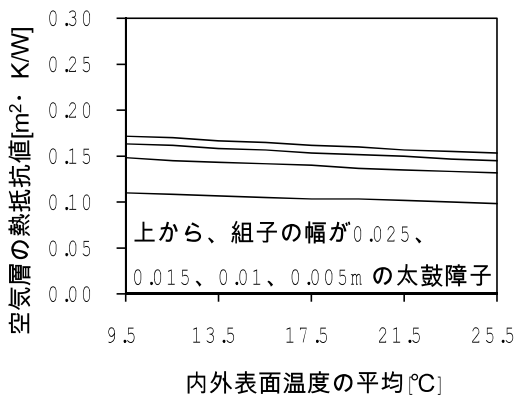


図 2.14 内外表面温度の平均と熱抵抗値の関係

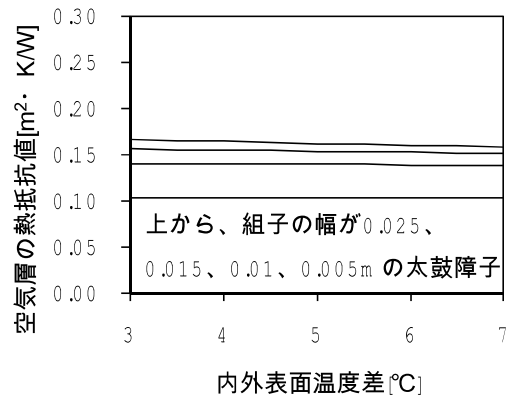


図 2.15 内外表面温度差と熱抵抗値の関係

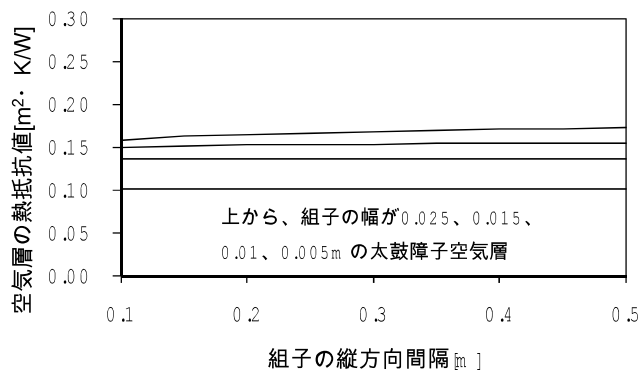


図 2.16 組子の縦方向間隔と熱抵抗値の関係

に示す方法により式(2,4,6)より伝導対流熱コンダクタンスを求め、式(9)より太鼓障子空気層の熱抵抗を算定することが可能である。同様に式(11)より空気層の幅を考慮した中間空気層の熱抵抗を求めることができる。簡略設計法の場合には、以上の手順により空気層の熱抵抗値の算定を行い式(12)に代入すれば、本仕様の全熱抵抗を求めることが出来る。

#### 4.3 開口部の仕様と熱貫流率の関係

表 2.4 中に示した室内実験や実験住宅の計測条件における室内外側の熱伝達抵抗(室内実験室内側:0.111 m<sup>2</sup>・K/W, 外気側:0.111 m<sup>2</sup>・K/W, 実験住宅室内側:0.174 m<sup>2</sup>・K/W, 外気側:0.087 m<sup>2</sup>・K/W)を用いて本仕様の全熱抵抗を求めると、日本工業規格(室内側: 0.112 m<sup>2</sup>・K/W, 外気側: 0.052 m<sup>2</sup>・K/W)や(財)ベターリビング(室内側: 0.112 m<sup>2</sup>・K/W, 外気側: 0.043 m<sup>2</sup>・K/W)の規定と異なるため、これらの規定による結果と比較して断熱性能を高く見積もることが予測され、既存の製品との比較が出来ないため、次の算定方法を検討する。日本工業規格 JIS A 4710<sup>6)</sup>の室内側・外気側熱伝達抵抗値を用いて、式(12)を変形して整理すると次式となる。

$$R = (2r_1 + r_a) + r_b + 1/K_w \quad \dots\dots\dots(13)$$

$K_w$  : 窓の熱貫流率[W/m<sup>2</sup>・K]

従って、本仕様の熱貫流率K [W/m<sup>2</sup>・K]は、次式で求められる。

$$K = 1/(2r_1 + r_a + r_b + 1/K_w) \quad \dots\dots\dots(14)$$

仕様の異なる開口部の断熱性能の比較を行うため、表 2.5 に示す建具付属物の熱抵抗値<sup>注 12)</sup>を用いて式(14)により熱貫流率を算定した。

図 2.17 に結果を示すが、障子・カーテンを使用した場合と比べ、太鼓障子+複層ガラスの熱貫流率は最も低く、単板ガラスと比較すると 27%に低下しており、単板ガラスが多い伝統民家の開口部を断熱改修する場合には、本仕様が有効であることが分かる。以上から、開口部建具の仕様を選択し熱貫流率の設計値を与え、4.2 で示した方法により空気層の熱抵抗値を算定すれば、式(14)を用いて仕様全体の熱貫流率の算出や仕様の異なる開口部との断熱性能の比較が容易に行えることから、設計段階での検討手法としても有用と考える。

#### 5. まとめ

これまで太鼓障子の断熱性能は定性的には指摘されているものの、その効果を定量的に示されることは少なかった。しかし、本章の室内実験や実家屋計測及び理論計算による断熱性能の推計により、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを組み合わせた仕様は、障子・カー

テンを用いた場合に比べ高い断熱性能が得られることが定量的に示された。

表 2.5 開口部の熱貫流率算出に用いた熱抵抗と熱伝達抵抗

	記号	窓の熱貫流率 $[W/m^2 \cdot K]$	
単板ガラス	$K_w$	6.51	
複層ガラス(g3 + as4 + g3)		3.70	
窓に取り付けられる付属品の熱抵抗 $[m^2 \cdot K/W]$			
太鼓障子(as16)		0.30	
太鼓障子(as26)		0.31	
障子		0.14	
カーテン		0.10	
中間空気層の熱抵抗 $[m^2 \cdot K/W]$			
中間空気層(as90)	$K_b$	0.14	
	記号	熱伝達抵抗 $r [m^2 \cdot K/W]$	熱伝達率 $\alpha [W/m^2 \cdot K]$
室内側	$r_i$	0.112	8.93
外気側	$r_o$	0.052	19.2

注 gはガラスの厚さ，asは空気層の厚さを示す。

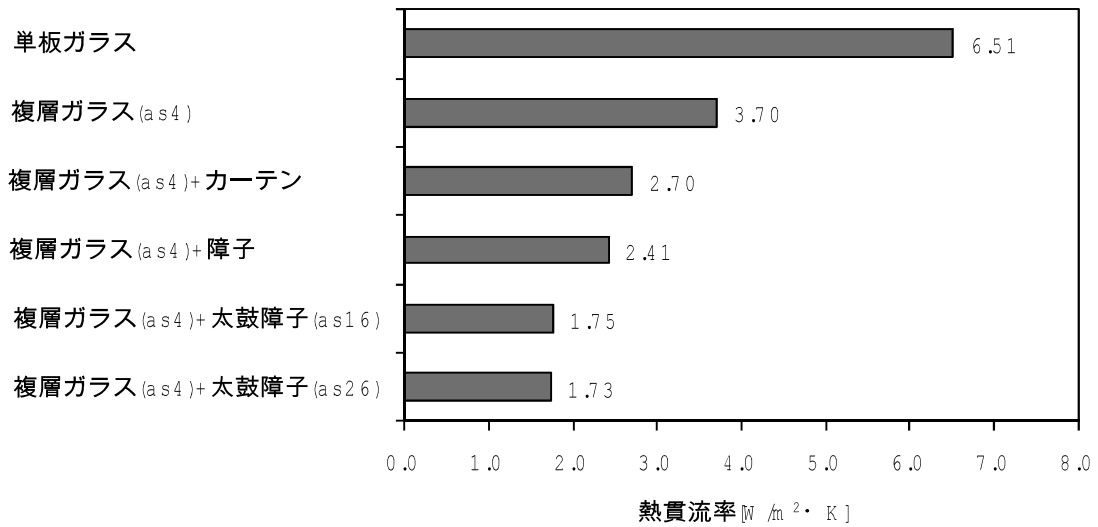


図 2.17 開口部の仕様と熱貫流率の関係

注

注 1) 日本工業規格や(財)ベターリビングによる熱貫流率測定法は、①温度条件を室内側 20℃、室外側 0℃とする、②表面熱伝達抵抗の設定条件を日本工業規格では室内側 0.112 m<sup>2</sup>·K/W、室外側 0.052 m<sup>2</sup>·K/W とする、(財)ベターリビングでは室内側 0.112 m<sup>2</sup>·K/W、室外側 0.043 m<sup>2</sup>·K/W とする、と規定されている。

注 2) 試験体各層の温度が定常状態に達するまでに、試験体 No.1 で 2 時間 15 分、試験体 No.2 で 2 時間 15 分、試験体 No.3 では 2 時間 25 分程度を要した。

注 3) 山口測候所の 30 年間 (1971~2000 年) の各月の平年気温と、下関气象台 (山口測候所では観測されていないため) の日積算水平面全天日射量を利用し、12 月~2 月の各平均値を算出した結果、平均気温は 5.0℃、日積算水平面全天日射量は 7.7MJ/m<sup>2</sup> となり、これを本事例が立地する冬季の標準的データとして、計測日の気候条件を標準的と判断した。

注 4) 熱貫流率の算出過程は、まず複層ガラスの熱抵抗 r<sub>2</sub> と複層ガラスの内外表面温度計測値を用いて、開口部の貫流熱量 Q<sub>w</sub> [W/m<sup>2</sup>·K] を下式より求める。

$$Q_w = c_2(\theta_{g1} - \theta_{g2}) \dots\dots\dots (15)$$

$$c_2 = 1/r_2 \dots\dots\dots (16)$$

c<sub>2</sub>: 複層ガラスの熱コンダクタンス [W/m<sup>2</sup>·K], θ<sub>g1</sub>: 複層ガラスの内表面温度 [°C],  
θ<sub>g2</sub>: 複層ガラスの外表面温度 [°C]

熱貫流率 K [W/m<sup>2</sup>·K] は室内外温度の計測値を用いて次式より求める。

$$K = Q_w / (\theta_i - \theta_o) \dots\dots\dots (17)$$

θ<sub>i</sub>: 室内温度 [°C], θ<sub>o</sub>: 外気温 [°C]

注 5) 設計用熱負荷計算等では、室内側の熱伝達抵抗を 0.111m<sup>2</sup>·K/W とする実用値が一般に用いられる<sup>4)</sup>。

注 6) 障子紙の熱抵抗は、熱線式熱伝導率測定装置 (京都電子工業 (株) QTM-500) を使用し、室内実験で用いた和紙の熱伝導率を計測した結果、0.001m<sup>2</sup>·K/W の値を得たため、この計測値を用いる。

注 7) 文献 4) の中空層熱抵抗一覧表において、密閉 (工場生産二重ガラス) 0.17m<sup>2</sup>·K/W、半密閉 (現場施工二重サッシ) 0.13m<sup>2</sup>·K/W、有隙 (ガラスとカーテン・雨戸間の中空層) 0.06m<sup>2</sup>·K/W の実用値が示されている。

注 8) 低減係数は文献 4) をもとに、密閉の場合を 1.0 とし、半密閉の場合を 0.13/0.17=0.76、

有隙の場合を  $0.06/0.17=0.35$  とする。

注 9) JIS では室内・室外側の熱伝達抵抗が規定されており，JIS に基づき算出された複層ガラスの熱貫流率が得られれば，複層ガラスの熱抵抗は算定できる。室内実験の実験値との比較に用いた値は，試験体に使用した複層ガラスメーカーにより<sup>5)</sup>JIS に基づいて算出された値から算定した。

注 10) 実験住宅の外気側熱伝達抵抗に関しては，建具近傍の外気の風速は未測定のため，気象庁の風速データ(山口市)を使用し，表 2.2 に示す計測条件 No.1(定常状態)の T1, T2 の計測時間帯の平均風速(2.34m/s)を求め，強制対流熱伝達率( $14.9\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )を算出し，放射熱伝達率( $5.1\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )との合計値から熱伝達抵抗を算定したが，計測値( $0.087\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )と計算値( $0.050\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )の誤差が大きい結果となった。この原因として，実験住宅は中心市街地に立地し，周辺には戸建て住宅や集合住宅が密集しているため，気象庁データよりも風速が遅かったものと考えられる。そこで外気側熱伝達抵抗値には実風速を反映した実測値を代用することとした。

注 11) 室内実験の場合には外気側も空調室内であるから，室内実験の実験値との比較には外気側の熱伝達抵抗として  $0.111\text{m}^2\cdot\text{K/W}$  を用いる。

実験住宅の室内側熱伝達抵抗の計測値は  $0.172\text{m}^2\cdot\text{K/W}$  で，自然対流の作用は小さいと推測されたので，文献 4)を参照して自然対流熱伝達率を  $1.15\text{W/m}^2\cdot\text{K}$  として室内側の熱伝達抵抗を算出した。実験住宅の熱抵抗( $r_a$ )は，太鼓障子内側の表面温度が未測定のため，表 2.2 に示す計測条件 NO.1(定常状態)の開口部仕様 T1, T2 の障子紙表面平均温度を用いて算定した。

注 12) 窓に取り付けられる付属物の熱抵抗値のうち，太鼓障子の値は表 2.4 中の障子紙(2枚分)，太鼓障子内空気，ガラスサッシと太鼓障子間の空気の半密閉状態の熱抵抗( $0.144\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )を加算した値である。カーテンについては文献 7)を参照した。

#### 参考文献

- 1) 斎藤平蔵:建築気候,共立出版,pp.7,1974
- 2) 日本機械学会編:伝熱工学資料,改訂第4版,丸善,1986
- 3) 梅干野 晃 他:アルミ箔による多層空気層の建築部材としての再評価とその熱的特性,日本建築学会計画系論文集,pp.9-15,1995.9
- 4) 田中俊六 他:最新 建築環境工学,改訂2版,株式会社井上書院,2004

5) <http://catalog.ykkap.co.jp/webcatalog/index.aspx>

6) JIS A 4710(建具の断熱性能測定方法)

7) (財)住宅・建築 省エネルギー機構:次世代省エネルギー基準セミナーテキスト,1999.4

## 第3章 縁側の緩衝空間としての温熱環境制御効果

### 1. 本章の目的

現在の改修事例の建築的工夫による自然エネルギー利用に関しては、システムが複雑になる傾向がみられ、改修費の増大に繋がっている。そのため、伝統民家の室内温熱環境改善のための改修においては、低コストの断熱改修による自然エネルギー利用の実現が望まれる。

本章では、伝統民家縁側を夏季には温室のような特別な対策を講じることなく日射遮蔽・通気排熱が可能で、かつ冬季の「温室効果」を活用することで、低コストの断熱改修により優れた温熱環境制御効果を有す緩衝空間になるものと考え、その効果を把握することを目的とし、伝統民家縁側を対象に実施した実測及び数値計算の結果について述べる。

まず縁側の実測と数値計算の結果から、縁側の室温と外気温・北側居室の室温との比較を行い冬季の温室効果の確認を行う。次いで縁側と温室の冬季及び夏期の温熱環境制御効果の類似性と相違性を明らかにするため、両者の室内外温度差の比較を行う。さらに、断熱仕様が異なる縁側の温熱環境を計算し、縁側の断熱化と温室効果の関係を明らかにする。

### 2. 縁側と温室における室内温熱環境の計測

#### 2.1 対象施設及び計測の概要

温度計測を行った伝統民家と温室付設住宅の平面・断面図と計測点を図 3.1・2 に示す。伝統民家は山口県下関市に立地する明治初期建設の木造平屋建てで、下関地域における典型的な農家住宅の平面構成と架構を有す。母屋縁側は単板ガラス戸で広い南庭に面するが(写真 3.1・2)，南西に 10 畳和室・12.5 畳和室が配されており、午後には一部日射が遮蔽される。縁側室温は日射遮蔽をした無線型温度記録端末(HIOKI 製, 3632)を使用し床上 1.0m の位置で 60 分間隔計測を行った。温室付設住宅は山口県宇部市の戸建住宅団地内に立地する鉄筋コンクリート造 2 階建てで、温室は近傍に日射遮蔽物のない日照条件の良い敷地南庭に面し(写真 3.3)，屋根・側壁共に単板ガラスで構成されている。温室室温は日射遮蔽をした熱電対(T 型 0.3mm $\phi$ )とデータロガー(YOKOGAWA 製, DA100)を使用し床上 1.2m と 4.0m の位置で計測した。

表 3.1 に縁側と温室の計測期間、計測条件及び分析対象日の天候と日積算水平面全天日射量を示す。分析対象日は計測期間の中から平年通りの日積算水平面全天日射量を示した



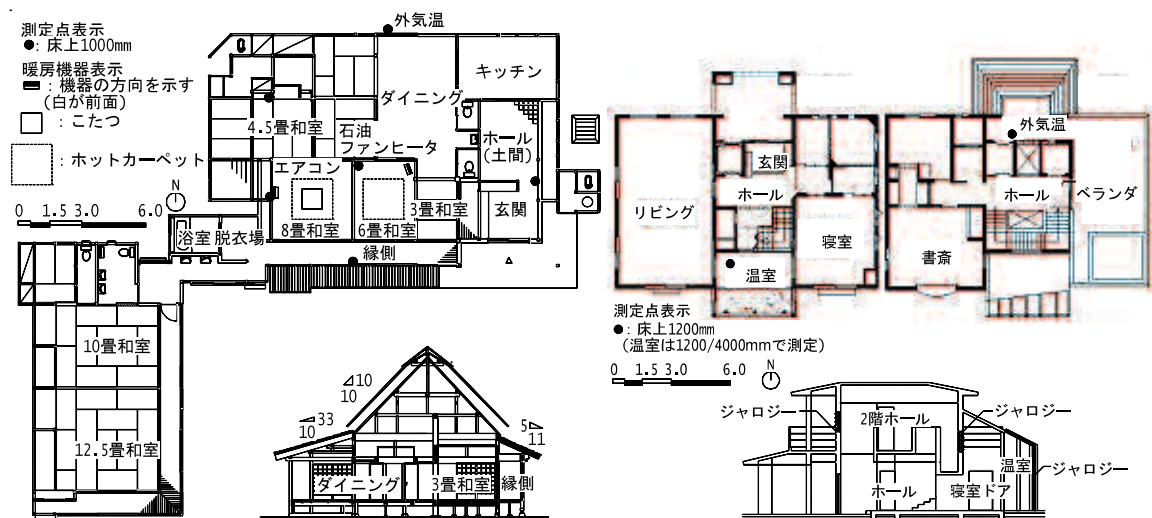


図 3.1 伝統民家の平面・断面図と計測点 図 3.2 温室付設住宅の平面・断面図と計測点



写真 3.1 伝統民家の南面外観



写真 3.2 縁側と南庭



写真 3.3 温室付設住宅の南面外観



写真 3.4 温室のジャロジーとブラインド

表 3.1 計測概要

対象家屋	計測期間		計測条件	日付	天候	日積算水平面全天日射量(MJ/m <sup>2</sup> )
下関市 伝統民家	冬	2006年2月6日～2月18日	ガラス戸閉鎖	2月17日	晴	13.5
	夏	2006年7月24日～8月6日	ガラス戸開放	7月30日	曇後晴	24.77
宇部市 温室付設住宅	冬	1998年3月5日～3月19日	ジャロジー閉鎖/ブラインドなし	3月14日	晴時々曇	15.4
	夏	1998年7月29日～8月18日	case1:ジャロジー閉鎖/ブラインドなし	8月4日	晴一時薄曇	25.3
			case2:ジャロジー開放/ブラインドなし	7月31日	晴後曇一時雨	18.5
			case3:ジャロジー閉鎖/ブラインド使用	8月10日	曇一時雨後晴	23.26
			case4:ジャロジー開放/ブラインド使用+アサガオ植生	8月12日	晴後薄曇	21.77

冬・夏季の典型日を選択した。表中の天候と日積算水平面全天日射量は下関気象台のデータを用いており、実測結果図中の水平面全天日射量も同様である。尚、温室付設住宅で夏季に設定した4条件（ジャロジーの開閉とブラインドの有無）により、日射遮蔽と通気排熱効果について検討した（表1,写真4）。case1は通気排熱と日射遮蔽を行わない場合(ジャ

ロジー閉鎖/ブラインドなし), case2 は通気排熱を行い日射遮蔽は行わない場合, case3 は通気排熱と日射遮蔽を行う場合, case4 は case3 に加えアサガオ植生(植木鉢)により屋外日射遮蔽を行う場合である。

## 2.2 縁側と温室の冬期計測結果及び縁側の冬期室温計算

### (1)縁側の冬期計測結果

図 3.3 に冬季縁側の温度計測結果と計測日の全天日射量を示す。8 時以降から外気温と全天日射量が上昇し始め、同時に縁側温度も上昇し日中は 18℃程度に達している。12~15 時の外気温は 7℃程度で、非暖房室(4.5 畳和室)の室温はこの間外気温とほぼ同程度であることから、縁側は日射による熱取得により「温室効果」を發揮していると考えられる。ただし、隣接する 6・8 畳和室は 8~20 時まで暖房されており、建具が障子でかつ浴室への人の移動等があるため、縁側温度の上昇は暖房室から縁側空間への熱移動の影響を受けている。16 時以降は外気温の低下に伴い縁側温度も低下している。夜間 23 時頃には外気温は 0℃まで低下し、縁側温度も 5℃まで低下しているが、6・8 畳和室の室温は暖房を使用していなくても 10℃程度で、外気に面する縁側は居室の室温低下を防ぐ緩衝空間として機能しており、縁側の断熱性能の向上により夜間の隣接居室の温度低下をさらに軽減できる。

### (2)冬期縁側の室温計算

縁側の冬季計測は隣接居室を暖房した場合であったため、数値計算により縁側の自然室温を予測する。手順は、単純化した建築モデルを作成したうえで、SMASH for Windows Ver.2 を使用し実測条件を基に縁側温度を求め予測精度を検討する<sup>注 1)</sup>。次に縁側の自然室温を計

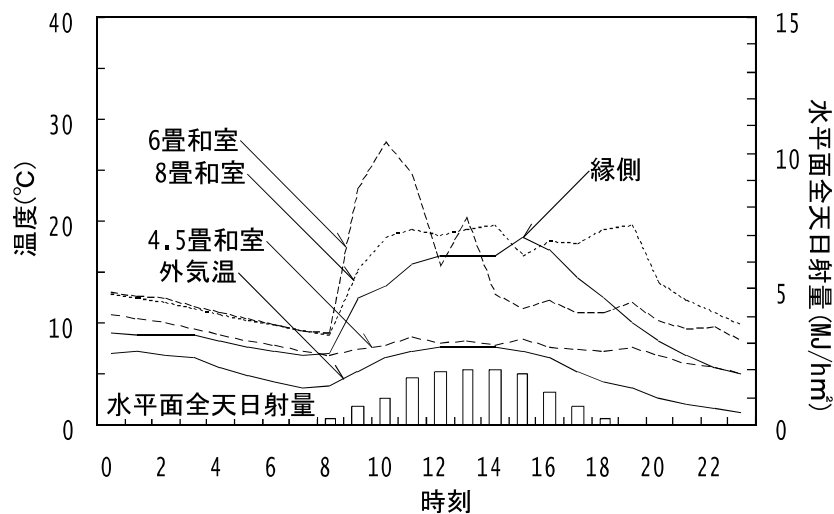


図 3.3 縁側の冬季計測結果

算し、日射熱取得のみの場合の縁側の温室効果を示す。

図 3.4 に対象民家を単純化した計算モデル、表 3.2 に計算モデルの物性値を示す。計算モデルの室と外気間の換気は、文献 1 を参考に換気回数を 5 回/時とし、障子等が閉鎖されている場合の室間の空気の移動は考慮していない。

気温と日射量は計測時の温度変動を計算するため図 3.3 に示したデータを使用した<sup>注2)</sup>。暖房条件は 6・8 畳和室の計測結果を参考に図 3.5 に示す条件を設定した。また浴室への移動を想定した 9～12 時と、建物内の掃除が行われる時間帯を想定した 15～16 時の間、和室と縁側間に図 3.6 に示す障子開放による換気量を設定した<sup>注3)</sup>。計算期間は 1 年間(1 月 1 日～12 月 31 日)で、助走計算は 12 月 15 日から開始した。図 3.7 に 6・8 畳和室が暖房・非暖房の条件で縁側の温度変動を求めた結果を示す。暖房時の縁側の計算温度と図 3.3 の計測結果を比較すると、暖房が行われる 8 時から 20 時の間では全体的に計算温度が高く、8～14 時の間は 2℃程度の差があるものの、16～20 時の間はほぼ近似しており、隣接居室暖房時における日中の縁側温度の把握は一定程度可能と考えられる。非暖房時の縁側温度は 8 時から緩やかに上昇し、15 時に最も高くなり 17.1℃に達している。暖房時と比較すると 8 時以降の温度上昇に差異があり、隣接居室暖房時には縁側の温度変動に影響があることが分かる。12～15 時の間の温度は暖房時と比較すると 2℃程度低くなるが、15 時の 4.5 畳和室の室温は 10.1℃で縁側の温度が 7℃程度高い。

### (3) 温室の冬期計測結果

図 3.8 に冬季の温室室温と外気温を示す。温室隣接居室は非暖房の状態である。12～15 時の間の外気温と床上 1.2m の位置の温室室温を比較すると、14 時の外気温が 17.7℃、温室室温が 33.3℃で、15.6℃の内外温度差があり、温室は日射熱取得により十分に温度上昇している。また 20～23 時及び早朝の温室室温は 13～18℃に維持され、日射蓄熱により夜間の室温低下も抑制され、冬季の室内温熱環境を制御する十分な機能を有していることがわかる。

## 2.3 縁側と温室の夏季計測結果

### (1) 縁側の夏季計測結果

図 3.9 に縁側の夏季計測結果を示す。計測日は縁側のガラス戸を開放し自然通風を確保(夜間は閉鎖)している。縁側の温度は 8 時頃からの外気温・水平面全天日射量の上昇に伴い上昇している。日中に外気温・水平面全天日射量が最大に達すると、外気温は 30.4℃であるが縁側の温度は 29.8℃で、わずかではあるが縁側の温度が外気温より低く保たれている。

表 3.2 建築モデルの物性値

構成材料	熱伝導率 [W/m・K]	容積比熱 [kJ/m <sup>3</sup> ・K]	日射透過率	日射吸収率	長波放射率
杉板	0.120	519.070	—	—	—
瓦	1.500	1599.071	—	0.8	0.9
土壁	0.690	1126.047	—	—	—
漆喰	0.700	1092.559	—	0.8	0.9
グラスウール10K	0.045	8.370	—	—	—
窓	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]	日射遮蔽係数	放射遮蔽係数	対流遮蔽係数	
単板ガラス	6.51	1.000	0.986	0.014	
複層ガラス(as12)	3.01	0.898	0.867	0.03	
建具	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]	日射透過率	日射吸収率	長波放射率	
障子	4.45	—	—	—	

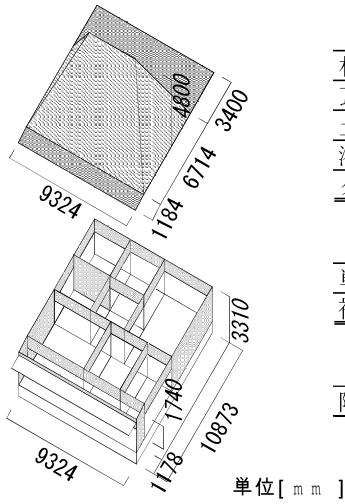


図 3.4 建築モデル

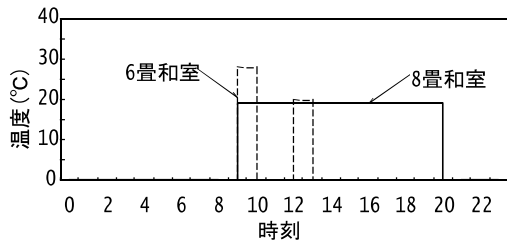


図 3.5 暖房条件

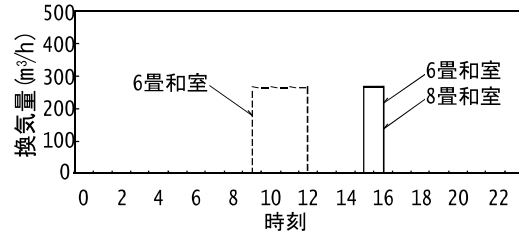


図 3.6 障子開放による換気量の条件

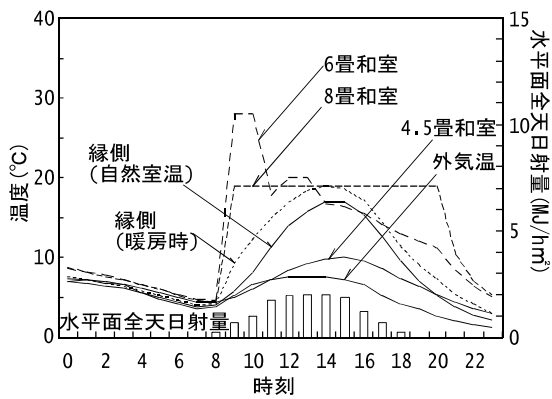


図 3.7 暖房時及び暖房を停止した条件下における冬季縁側の室温計算結果

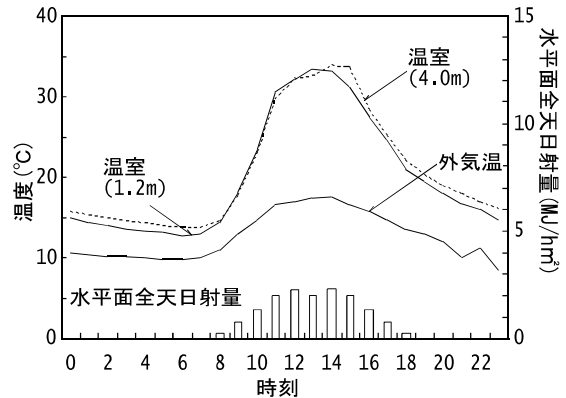


図 3.8 温室の冬季計測結果

隣接居室 6・8 畳和室の室温も 29.6℃・29.5℃で、縁側は日射取得のない居室と同程度の温度に保たれている。これは、熱容量が大きいため 27～28℃の範囲で推移している土間との間に空気の移動が生じていることが影響していると推測される、また前面の植栽の潜熱効果も原因と考えられる。

(2) 温室の夏季計測結果

図 3.10 に温室夏季実験結果を示す。ジャロジーを閉鎖した場合、日平均温度差は 6.2℃で、10～15 時の室内外温度差は 10℃以上に拡大し、特に 13 時を中心に温室の気温は 45℃を上回る。一方温室・玄関吹き抜けのジャロジーを開放した場合には、日平均温度差は 3.0℃に縮小しているが、内外温度差は 10～15 時の間は 5℃以上に拡大している。外気温は一日を通して 30℃以下であるが、日中の温室室温は 34～36℃と高温である。18 時以降は外気温の低下と共に温室室温も低下し、室内外温度差は 2℃程度である。ジャロジーを閉鎖した場合に比べ、昼間の室内外温度差は 5℃程度低下しており、温室ジャロジーを開放して通風を確保し換気を行うことで温室内の温度上昇が抑制されている。

次にジャロジー開放に加え温室をブラインド遮蔽した場合、日平均温度差は 0.9℃に縮小し、内外温度差は終日 2℃以下に抑えられ、翌日 0 時以降の温度差も 1℃以下となり外気温と同程度まで低下する。さらに温室外面にアサガオを植生した場合、日平均温度差は -0.2℃と外気温よりも低い。10～11 時の間に外気温度より若干高くなるが、12 時以降は外気温を下回り、17 時以降はほぼ 0～-1℃の範囲で外気温を下回る状態が継続している。

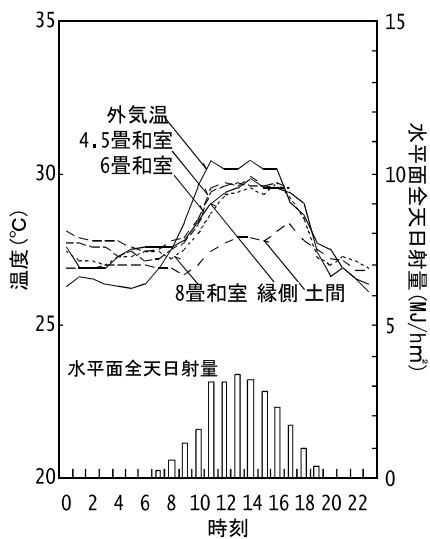


図 3.9 縁側の夏季計測結果

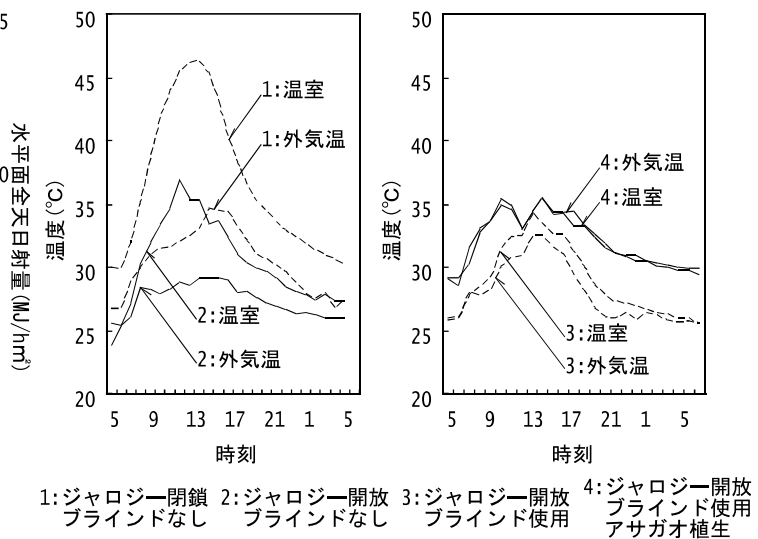


図 3.10 温室の夏季計測結果

### 3. 縁側と温室における冬期及び夏季の室内温熱環境の比較

表 3.3 に縁側と温室の内外温度差の比較結果を示す。ただし、太陽高度の違いにより入射日射量に違いがあるため参考程度の比較である。縁側の最大値は 9.8℃、温室が 16.0℃で、温室の最大値が 6.2℃高くなっている。これは温室ガラス面の面積率が縁側より高く、瓦庇の縁側に対し日射取得に有利なためである。しかし縁側の日中室温は 17.0℃で、冬季に 10℃以下の室温になる伝統民家の中で、縁側空間は良好な室内温熱環境を形成している。縁側と温室の室内外温度差の最大値を比較すると、縁側は温室の約 61%の室温の上昇効果が得られている。室内外温度差の範囲を比較すると、冬季において縁側の最小値が-0.4℃で、温室 3.0℃と比較して低下しており、縁側の気密性能、蓄熱性能が温室よりも劣る点が影響している。

次に夏季の内外温度差の最大値は縁側が-1.4℃と最も大きく、次いでアサガオ植生の場合が-1.3℃と低い。また縁側と、縁側と条件の類似した温室(case3)の室内外温度差の最大値を比較すると縁側の方が 1.1℃低い、この主要因は縁側の庇による日射遮蔽性能の高さであると考えられる。

以上から、ガラス戸が設置された縁側の冬季室温上昇効果の拡大を図るためには、ガラス面の比率を高くしより多くの日射取得を得ることが最も効果的であるが、夏季に高い日射遮蔽性能を発揮する庇を屋根面に有す縁側では、開口部建具と床・天井面の断熱性能の向上を図ることが現実的な手段と考えられる。

表 3.3 縁側と温室の内外温度差の比較

		外気温 [°C]	日中室温 [°C]	内外温度差(Tin-Tout) [°C]			
				範囲	平均値	-5 0 5 10 15 20 25 30 35	
冬季	縁側	5.3	17.0	-0.4~ 9.8	3.0		
	温室	12.7	33.3	3.0~16.0	7.5		
夏季	縁側窓開放	30.4	29.8	-1.4~ 1.3	0.0		
	温室	case1	30.6	46.4	3.0~13.7	6.4	
		case2	27.4	35.3	0.0~ 8.1	3.1	
		case3	28.1	33.5	-0.3~ 1.9	1.0	
		case4	29.1	35.5	-1.3~ 0.6	-0.2	

凡例  
■ 最小値・最大値  
○ 平均値

表 3.4 断熱改修モデルの概要

モデル	内容
1	基準モデル 実測時と同等の断熱性能
2	縁側床下・天井の断熱 床下断熱と縁側天井へグラスウール10K100mm, 杉板15mmの設置
3	縁側床下・天井・開口部の断熱 モデル2の縁側開口部をペアガラスas=12mmへ変更

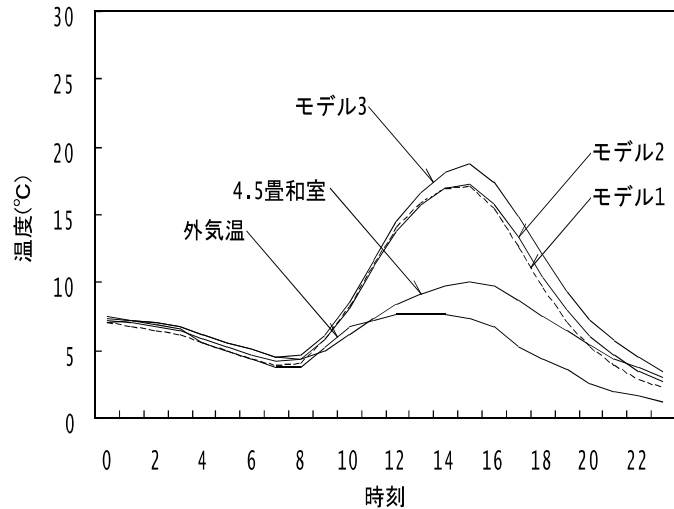


図 3.11 断熱改修モデルの計算結果

#### 4. 断熱性能をパラメータとした冬期伝統民家縁側の室温計算

縁側の断熱性能を改善した場合の温熱環境を、先述した建築モデルを適用して算定し、縁側の断熱改修効果を検討する。表 3.4 に断熱改修モデルの概要を示す。モデル 1(基準モデル)は計測時の性能、モデル 2 は床下と天井に断熱材を付加した仕様、モデル 3 は床下・天井の断熱に加え開口部の引き戸を複層ガラスとした仕様である。気象条件はモデル 1 の計測時のデータを使用した。

計算結果を図 3.11 に示すが、モデル 2 ではモデル 1 より日中の温度が僅かに低いが、これは天井断熱により屋根面からの流入熱量が低減したためと考えられる。夜間の温度はモデル 1 より高く断熱効果が確認できる。モデル 3 では 15 時の温度は 19°C 程度まで上昇し、室内外温度差の最大値はモデル 1 の 9.8°C に対しモデル 3 は 11.4°C で、温室の室内外温度差の最大値 16.0°C と比較すると、約 7 割の室温上昇効果が得られるものと考えられる。早朝夜間の温度もモデル 1 より高く、一定の断熱効果が認められる。

#### 5. まとめ

これまで夏季伝統民家のパッシブクーリングの有効性を示す報告は多数あるものの、冬季伝統民家の自然エネルギーの利用に関する報告は全般的に少なく、縁側の集熱効果を利用した改修事例は確認されるものの、改修前の縁側が有す温熱環境について報告したもの

は見られない。しかし、本章の伝統民家縁側を対象にした実測及び数値計算により、縁側の冬季晴天日の温度は日中の非暖房室の室温と比較すると相当高く、温室には及ばないものの一定の「温室効果」が存在することが示された。また断熱改修により縁側の温度上昇が可能で、夜間早朝の温度低下も一定程度防げることが確認された。従って縁側にガラス戸を設置し適切な断熱改修を行えば、夏季冬季を通じて優れた室内温熱環境制御効果を有す緩衝空間になるものと期待される。

#### 注

注 1) SMASH は壁体伝熱の簡易計算法で、重量構造に適用した場合の精度の問題や、室内壁面への入射日射量は窓からの透過日射を一定割合で分配計算するため、幅が広く奥行きが短い形状の場合誤差が大きくなること、窓からの透過日射熱を壁・床・天井に一定割合で分配吸収させる計算では、縁側と隣室間の障子は入射日射の多くを反射するため、日射吸収量が過大に見積もられる可能性があるが、本論では入射日射量が同一条件で、隣接居室の暖房条件が異なる場合の相対比較を目的とするため、汎用ソフトを援用した。

注 2) 下関市の気象データに基づき宇田川 2)を参考にして作成した。ただし、実測日の外気温については実測値を使用した。

注 3) SMASH for Windows Ver.2 のユーザーマニュアル 3)には、異なる室を壁・床などを介さずに繋ぎ合わせる場合に、互いに同量の換気が行われるものとし、その換気量を室の容量の小さい方の 10 倍と設定するとされており、本計算の場合には縁側の容量の 10 倍の換気量を設定した。

#### 参考文献

- 1)小玉 祐一郎 他：伝統的民家に見られる室内環境調整機能の評価,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊,pp.445-446,1995.8
- 2)宇田川 光弘：パソコンによる空気調和計算法,オーム社,1986.12
- 3)財団法人 建築環境・省エネルギー機構：SMASH for Windows Ver.2—住宅用熱負荷計算プログラム—ユーザーマニュアル,財団法人 建築環境・省エネルギー機構,2000.9



## 第4章 暖房設備と室内温熱環境の関係

### 1. 本章の目的

天井が高く床座の起居様式が基本の伝統民家の改修においては、室内温度分布を均一に保ち、床面接触効果により温風暖房と比較して床座時に高い快適性が得られることから、床暖房設備が多く採用されている。但し、立ち上がり時の室温を上昇させる性能は、床暖房は温風暖房と比較して劣るため補助暖房設備が使用される。こうした補助暖房設備の併用においては、上下温度分布や消費エネルギーに及ぼす影響を十分検討しておくことが重要となる。そのため、室内温熱環境改善のために床暖房を使用する上では、補助暖房設備の選定と使用方法の検討が望まれる。

本章では、エアコンを補助暖房設備として床暖房の立ち上がり時に使用した場合の併用効果を検討することを目的とし、エアコンと床暖房が設置された改修事例を対象に実施した計測及び数値計算の結果について述べる。第一に石油ファンヒータ、床暖房、エアコン・床暖房併用時の改修事例の計測結果を比較し、各暖房設備と立ち上がり時の室温変動及び上下温度分布の関係を把握する。第二に数値計算によりエアコン・床暖房併用時の省エネルギー性について検討する。各暖房設備の電力・灯油等の熱源の違いを考慮するため、一次エネルギー消費量の比較検討を試みる。床暖房の熱源は灯油(灯油ボイラー式)と電力(ヒートポンプ式)について計算する。

### 2. 使用暖房設備の異なる室内温熱環境の計測

#### 2.1 計測の概要

改修事例は山口市中心市街地の商店街に隣接する位置にあり、延床面積 228 m<sup>2</sup>の木造平屋建ての別荘建築である(図 4.1, 表 4.1, 写真 4.1)。2007年1~3月に改修工事を行い3月中旬に竣工し、4月より高齢者デイサービス施設として供用開始されている。床・天井にそれぞれ住宅用グラスウール断熱材(16K)100mm と 200mm を充填している。床下・天井の断熱材の熱抵抗値は、それぞれ 2.2m<sup>2</sup>・K/W と 4.0m<sup>2</sup>・K/W で次世代省エネルギー基準を満たしている。食堂は日照条件が悪く冬季の寒さが予想されたため、大引き・根太を交換し断熱材を充填した上で、標準的な暖房性能を満たす温水式床暖房<sup>注1)</sup>を敷設しエアコンを設置した(表 4.2, 図 4.2, 図 4.3)。

計測期間・暖房設備及び分析対象日の天候、日積算水平面全天日射量を表 4.1 に示す。

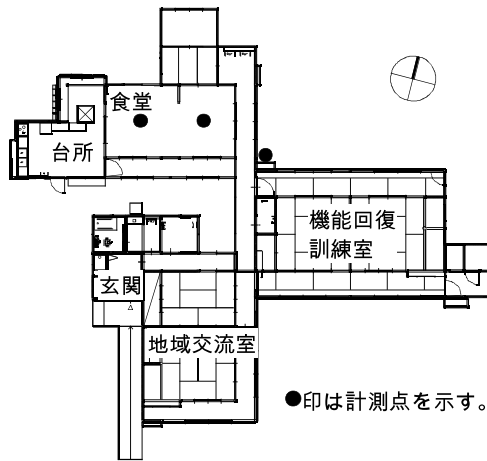


図 4.1 対象民家の平面図



写真 4.1 対象民家の外観

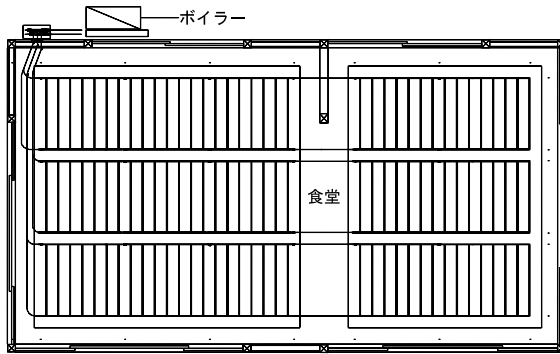


図 4.2 床暖房配管図

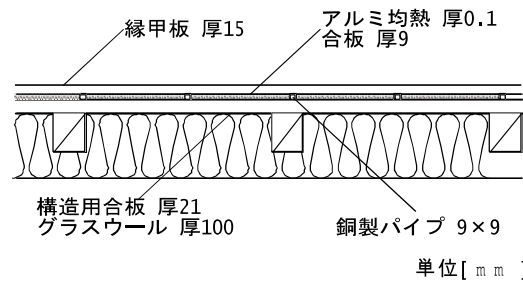


図 4.3 床暖房断面図

表 4.1 対象民家及び計測の概要

所在	建設時期	構造・規模	床面積 [m <sup>2</sup> ]	断熱仕様	計測期間	暖房設備	分析対象日の概要		
							日付	平均気温 [°C]	日積算水平面全天日射量 [MJ/m <sup>2</sup> ]
山口県 山口市	昭和初期	木造一階	228	外壁:断熱なし 天井:GW200mm 床:GW100mm 開口部:単板ガラス	2008年1月13日～ 3月2日の施設休日 (日曜)の8日間	石油温風ヒータ	2月3日	3.9	3.8
						床暖房	2月17日	2.2	9.7
						エアコン・ 床暖房併用	3月2日	6.2	13.6

表注) 表中の断熱仕様のGWはグラスウールを示す。

表 4.2 暖房設備の概要

	暖房能力[kW]	燃料消費量[l/h]	燃焼効率	熱源
石油温風ヒータ	3.20	0.334	0.94	灯油
	暖房能力[kW]	消費電力[kW]	CCP	熱源
エアコン	2.60	0.448	5.80	電気

計測期間は2008年1月13日～3月2日の内施設休日(日曜)の8日間である。食堂において、熱電対とデータロガーを使用し、石油温風ヒータ運転時・床暖房単独運転及びエアコン・床暖房併用時(6:00～22:00)の室内温熱環境を、垂直方向9点(床表面、床上5cm,10cm,50cm,100cm,150cm,200cm,253cm,天井表面)において10分間隔で24時間計測した。

改修事例が立地する地域の冬季の平年値として、平均気温を $5.0^{\circ}\text{C}$ 、日積算水平面全天日射量を $7.7\text{MJ}/\text{m}^2$ とすると<sup>注2)</sup>、床暖房とエアコン併用時(2008年3月2日)については、それぞれ日射量が $13.6\text{MJ}/\text{m}^2$ と平年値より $5.9\text{MJ}/\text{m}^2$ 高いが、計測対象の居間と食堂は日射取得条件が不良のため、日射量が居室内の温熱環境へ与える影響は少ないと考えられる。その他の分析対象日は、計測期間の中から概ね平年の平均気温と日積算水平面全天日射量を示した日を選択した。

## 2.2 計測結果

### (1)各暖房設備と立ち上がり時の室温変動の関係

石油温風ヒータ運転時(運転時間:6:00～22:00,設定温度: $23^{\circ}\text{C}$ )の計測結果を図4.4に示す。図中の温度は食堂西側(図4.1)の計測点における計測値である。室温(床上100cm)と足元付近を想定した床上5cmの温度は運転開始5時間後に定常状態に達している。室温は運転開始30分後に $20.7^{\circ}\text{C}$ となり、石油温風ヒータの立ち上がり時の室温を上昇させる一定の性能が認められる。ただし、床上5cmの温度が $20^{\circ}\text{C}$ に達するには運転開始後から約5時間程度を要す。

次に床暖房単独運転時(運転時間:6:00～22:00,設定温度:石油熱源機 $60^{\circ}\text{C}$ ,パイプ $50^{\circ}\text{C}$ )の計測結果をみる(図4.4)。床表面温度と室温は運転開始8時間後に定常状態に達しており<sup>注3)</sup>、石油温風ヒータ使用時よりも約3時間遅い。定常時の床表面温度は約 $30^{\circ}\text{C}$ 、室温は $18^{\circ}\text{C}$ 程度で、室温は快適推奨範囲の最低値( $18^{\circ}\text{C}$ )<sup>注4)</sup>は満たしているものの、床表面温度との差は $12^{\circ}\text{C}$ 程度と大きい。計測日の外気温が $-1.1\sim 7.1^{\circ}\text{C}$ と低く、かつ障子の間仕切りのため、廊下への熱損失の大きさが室温の低さに影響しているものと推定される。

次に床暖房(運転時間:6:00～22:00,設定温度:石油熱源機 $60^{\circ}\text{C}$ ,パイプ $45^{\circ}\text{C}$ )とエアコン(運転時間:6:00～10:00,設定温度 $22^{\circ}\text{C}$ )によるエアコン連動床暖房時の計測結果をみる(図4.4)。6:00の外気温は $-0.6^{\circ}\text{C}$ と低いものの、暖房開始直後から床表面温度と室温は上昇し始め、1時間後には室温は約 $24^{\circ}\text{C}$ に達し、7:00～10:00の間 $25^{\circ}\text{C}$ 程度の定常状態に保たれている。

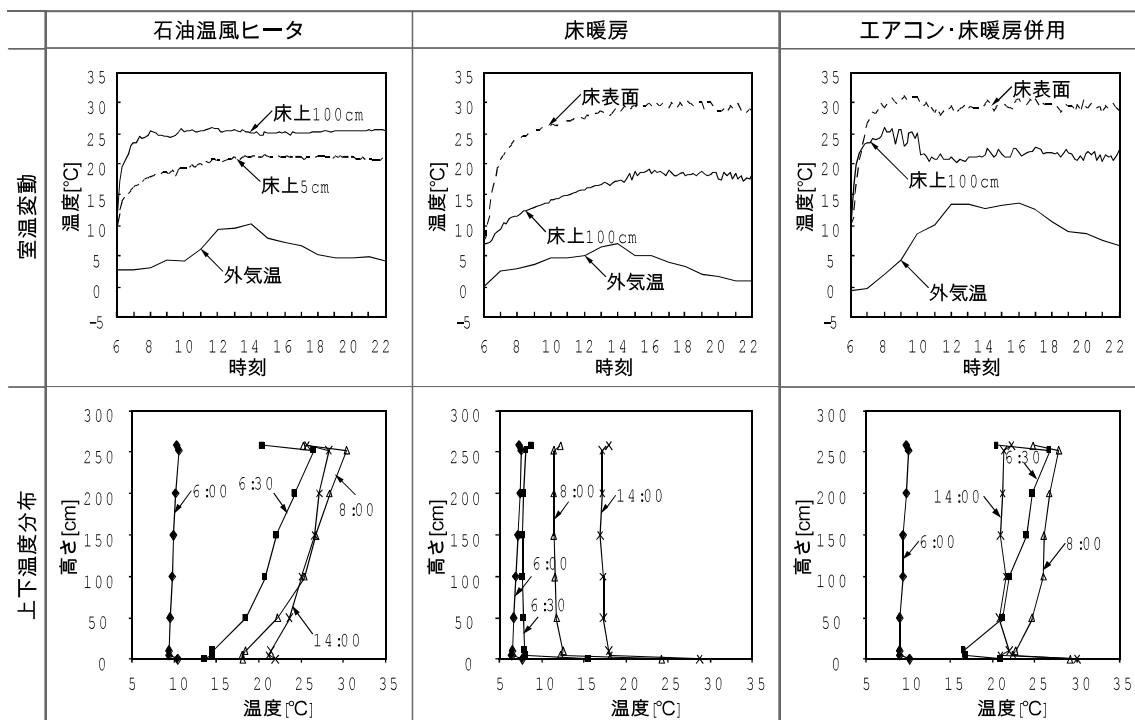


図 4.4 各暖房設備の使用時の計測結果

エアコン停止後室温は低下するものの、床暖房停止時まで 20°C程度の定常状態に保たれ、エアコン連動床暖房による立ち上がり時の室温上昇効果が認められる。

## (2) 各暖房設備と上下温度分布の関係

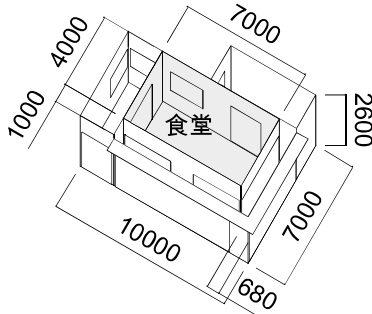
石油温風ヒータ運転時は、運転開始 30 分後の床上 100cm の温度が 20.7°C と床上 5cm の温度よりも約 6°C 高く、天井付近まで温度上昇が継続している。定常状態の 14:00 では、立ち上がり時と比較して上下温度は小さくなっているが、依然として室温と床上 5cm の温度には約 4°C の差が認められる。このように石油温風ヒータ運転時の室内の上下方向には大きな温度差が生じることが特徴である。

床暖房単独運転の場合、暖房開始 30 分後に垂直方向に温度差がない温度分布が形成され、定常状態の 8 時間後には床上 50cm と 100cm とともに 17.3°C で安定している。石油温風ヒータ使用時と比較すると、外気温が -1.1~7.1°C と低いいため定常状態の室温は 8°C 程度低いが、室内の上下温度差は改善されている。

次にエアコン併用時の上下温度分布は、暖房開始 30 分後に床表面温度は 20.9°C まで上昇し、床上 5cm の温度は 16.7°C、床上 100cm では 22°C に上昇している。天井付近の温度は 27°C 程度で垂直方向の温度差が認められる。しかし 2 時間後の安定した時間帯では、床

表 4.3 建築モデルの物性値

構成材料	熱伝導率 [W/m・K]	容積比熱 [kJ/m <sup>3</sup> ・K]	日射透過 率	日射吸収 率	長波放射 率
天然木材	0.120	519.070	—	—	—
合板	0.160	715.815	—	—	—
土壁	0.690	1126.047	—	—	—
漆喰	0.700	1092.559	—	0.8	0.9
グラスウール16K	0.045	13.395	—	—	—
窓	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]		日射遮蔽 係数	放射遮蔽 係数	対流遮蔽 係数
単板ガラス	6.51		1.000	0.986	0.014
建具	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]		日射透過 率	日射吸収 率	長波放射 率
障子	4.45		—	—	—
襖	3.23		—	—	—



単位[mm]

図 4.5 建築モデル

上 5cm の温度は 22.4℃，床上 100cm では 26℃で，床上 100cm と天井付近の温度差も 30 分後と比べ縮小している。以上から，エアコン併用により暖房開始 30 分後には快適推奨温度を確保しつつ，ファンヒータ使用時よりも室内上下温度差を小さく保てることが示された。

### 3. 数値計算によるエネルギー消費量の検討

前節の計測結果から，床暖房の運転開始時にエアコンを併用すれば，室内の上下温度差を解消しつつ円滑に室温を上昇させることができることを確認できた。本節では数値計算によりエアコン・床暖房併用時の省エネルギー性を検討する。まず，SMASH for Windows Ver.2 を使用して，各暖房設備の計測時を再現した計算を行い，計測値と計算値を比較することにより，計算モデルの妥当性を検証する。そして，各暖房設備の電力・灯油等の熱源の違いを考慮するために，一次エネルギー消費量の比較検討を試みる。

#### 3.1 数値計算の概要

図 4.5 に計測対象民家を単純化した建築モデル，表 4.3 に建築モデルの物性値を示す。建築モデルの南面には，実在する隣棟を想定して 2.0m 離れた距離に高さ 4.5m の日射遮蔽物のデータを入力している。計算モデルの室と外気間の換気回数は 1.0 回/時とし，室間の空気移動は考慮しない。SMASH for Windows Ver.2 では，暖房機器の暖房能力を最大供給熱量として設定することができる<sup>2)</sup>。設定室温とするための暖房負荷が暖房能力を上回る場合に暖房能力を負荷とし，その時の室温を出力するものである。計算結果の室温は毎時

1つ出力され、室内を代表する温度として位置づけられる。

計測時を再現するために、各暖房設備の暖房能力と設定室温を以下のように設定した、石油温風ヒータの暖房能力は3200W(表4.2)とし、設定室温は23.0℃とした。床暖房の暖房能力は、パイプ表面温度の実測値49.0℃と暖房開始時の室温の実測値6.8℃を用いて、139.5W/m<sup>2</sup>と算出したものを入力した<sup>注5)</sup>。設定室温は定常時の実測値18.1℃とした。エアコン・床暖房併用時の暖房能力は、床暖房ではパイプ表面温度の実測値44.5℃と暖房開始時の室温の実測値9.1℃を用いて、床暖房時と同様に算出し116.9W/m<sup>2</sup>と入力した。設定室温は定常時の実測値22.3℃とした。そして、エアコンの暖房能力は2600Wとし(表4.2)、設定室温は22.0℃とした。尚、外気温と日射量は計測時の温度変動を計算するため図4.4に示したデータを使用した。

### 3.2 数値計算の結果

#### (1) 計測値と計算値の比較

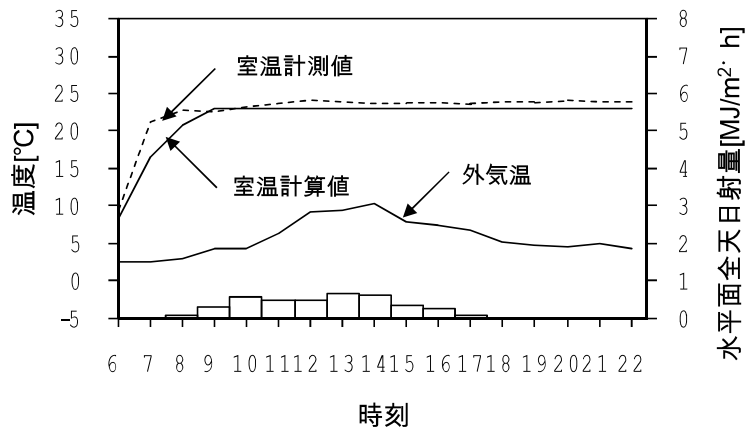
図4.6に計測値と計算値の比較を示す。図中の室温計測値は、室内の水平・上下方向の温度分布を考慮して室内を代表する温度を得るために、計測を行った食堂の東西2か所(図4.1)の床上5~200cm(6点)の計12点の平均値を算出したものである。また床表面温計測値は、食堂の東西2か所の計測点の平均値を算出したものである。

石油温風ヒータの立ち上がり時の室温の計算値は、計測値と比較して低温になる傾向が認められる。これは、計測を行った東西2か所が室内中央に位置しており、立ち上がり時に暖房設備からの温風の影響を受け易いため、計測値が室を代表する温度より高温となっているものと推測される。同様の傾向はエアコン・床暖房併用の立ち上がり時の室温にもみられる。しかし、運転開始3時間後以降の石油温風ヒータの計測値と計算値との差異は1℃以下となり、エアコン・床暖房併用についてもエアコン運転停止後以降では計測値とほぼ近似している。また、エアコン・床暖房併用の床表面温の計算値は、立ち上がり時から計測値の温度変動を概ね再現している。

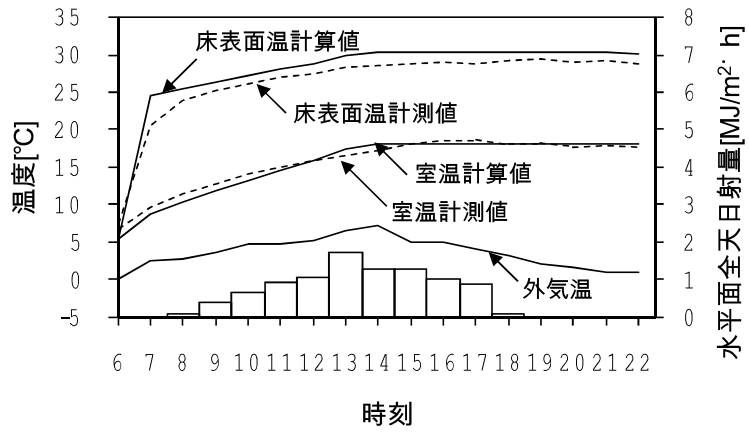
次に、床暖房の床表面温度の計算値をみると、立ち上がり時に計測値と比較して高温になる傾向が認められる。しかし、暖房開始3時間後以降では実測値との差異は1℃程度となり、室温の立ち上がり時の変動はほぼ近似している。以上から、本計算モデルにより実用上必要な精度の計算結果を得られると判断する。

#### (2) 各暖房設備と暖房負荷の関係

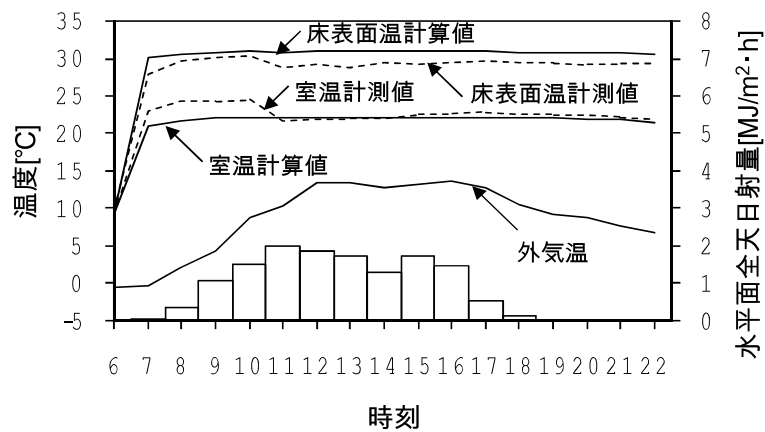
ここでは、実用性を確認した計算モデルを用いて各暖房設備と暖房負荷の関係について



a)石油温風ヒータ



b)床暖房



c)エアコン・床暖房併用

図 4.6 計測値と計算値の比較

検討する<sup>注6)</sup>。対象とする暖房設備は、石油温風ヒータ、エアコン、床暖房、エアコン・床暖房併用の4種類である。各暖房設備の運転スケジュールと暖房能力は前節と同様とし、設定温度は作用温度が概ね19.2℃となるように調整して計算を行う<sup>注7)</sup>。気象データは次世代省エネルギー基準の地域区分が山口県と同じ福岡のデータ(SMASH 付属)を使用する。図4.7に概ね平年の平均気温と日積算水平面全天日射量を示す1日の作用温度の計算結果を示す。エアコン・床暖房併用の場合が最も作用温度の上昇が大きく、運転開始2時間に19.2℃に達している。エアコンの設定温度は17.9℃であり、床暖房との併用により比較的低温な設定で良好な室内温熱環境が得られることが示される。次いで石油温風ヒータが作用温度の上昇が大きく、そしてエアコン、床暖房の順となる。

こうした作用温度の変動を示した各暖房設備の運転時の暖房負荷を暖房時間前(6~14時)・後半(15~22時)に分け表4.4に整理した。1日の合計暖房負荷は床暖房が130.4MJと最も低く、エアコン・床暖房併用が131.6MJと続き、石油温風ヒータとエアコンを下回る。暖房時間前半の暖房負荷をみると、石油温風ヒータとエアコンの暖房性能は床暖房と比べて大きいため、それぞれ96.8MJと94.1MJとなり床暖房を20MJ程度上回っている。エアコン・床暖房併用では77.8MJとエアコンを下回り、エアコンと床暖房を併用する効果が確認できる。次に、暖房時間後半の室温をみると、石油温風ヒータとエアコンでは作用温度19.2℃を保つために20.1℃に保たれることに対し、床暖房時とエアコン・床暖房併用では床表面温度が30.2℃となり平均放射温度が20.4℃と高くなるため、室温が18.0℃と低く抑えられている。その結果、床暖房とエアコン・床暖房併用の暖房時間後半の暖房負荷は、石油

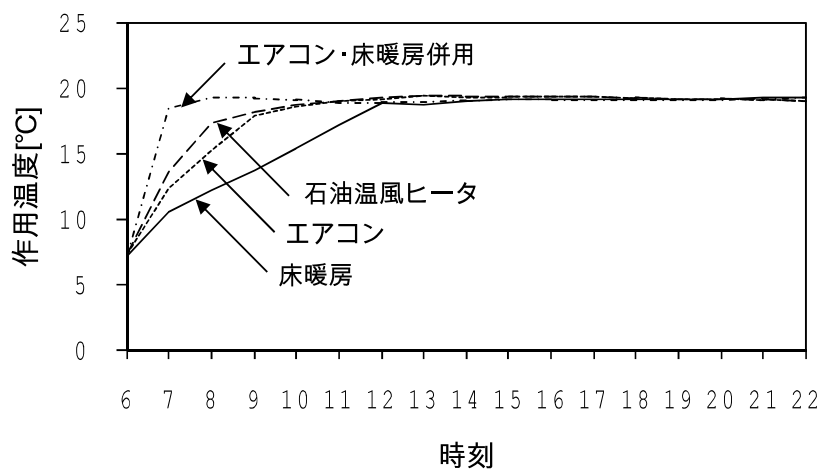


図 4.7 作用温度の計算結果



表 4.4 作用温度を指標とした各暖房設備と暖房負荷の関係

	平均 外気温 [°C]	合計 暖房負荷 [MJ]	暖房時間前 半暖房負荷 [MJ]	暖房時間後半				
				暖房負荷 [MJ]	室温 [°C]	床表面 温度[°C]	平均放射 温度[°C]	作用 温度 [°C]
石油温風 ヒータ	6.5	157.6	96.8	60.7	20.1	19.5	18.4	19.2
エアコン	6.5	155.1	94.1	61.0	20.1	19.5	18.4	19.2
床暖房	6.5	130.4	73.9	56.4	18.0	30.2	20.4	19.2
エアコン・ 床暖房併用	6.5	131.6	77.8	53.8	18.0	30.2	20.4	19.2

注) 暖房時間前半は6~14時であり, 後半は15~22時を示す。

表 4.5 計算条件

石油温風ヒータ	燃焼効率:0.94 [-], 消費電力:27 [W]
床暖房石油熱源機	燃焼効率:0.82 [-], 消費電力:130 [W]
床暖房ヒートポンプ式熱源機	COP:4.50 [-] (カタログ値)
エアコン	COP:4.64 [-] (カタログ値:5.80 [-])
電力の二次エネルギー換算係数	3.60 [MJ/kWh]
電力の一次エネルギー換算係数	9.97 [MJ/kWh]
灯油の二次エネルギー換算係数	36.7 [MJ/l]
灯油の一次エネルギー換算係数	

温風ヒータとエアコンと比較して低い。エアコン・床暖房併用の暖房時間後半の暖房負荷は床暖房と比較して 2.6MJ 低く, 立ち上がり時にエアコンを併用する効果が認められる。

### (3) 一次エネルギー消費量の比較

表 4.4 に示した各暖房設備の暖房負荷(図 4.8)から, 表 4.5 の計算条件を用いて算出した, 二次エネルギー消費量・一次エネルギー消費量<sup>注 8)</sup>の結果を図 4.9・4.10 に示す。エアコンの COP は, カタログ値に暖房時の風量に関する COP 補正係数 0.8 を乗じたものを計算に用いる<sup>注 9)</sup>。尚, 本計算ではエアコンの除霜運転による COP の低下を考慮しておらず, 計算結果は冬季の比較的温暖な地域の概ね平年の気候を示した, 除霜運転が発生しない一日を前提としたものである<sup>注 10)</sup>。

まず二次エネルギー消費量をみると, 石油温風ヒータと床暖房の暖房負荷には約 30MJ の差があるが(図 4.8), 石油温風ヒータと石油熱源機を用いた床暖房の二次エネルギー消費量では 4MJ と差が縮まっている。これは, 床暖房の石油熱源機の燃焼効率が石油温風ヒ

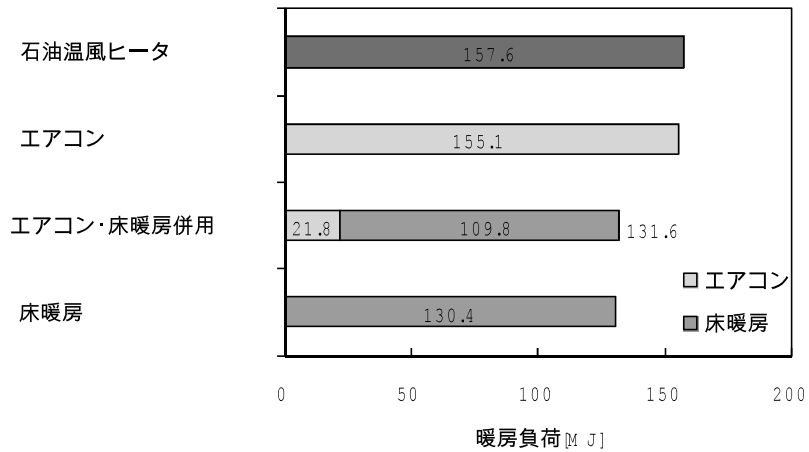


図 4.8 合計暖房負荷(表 4.4)の比較

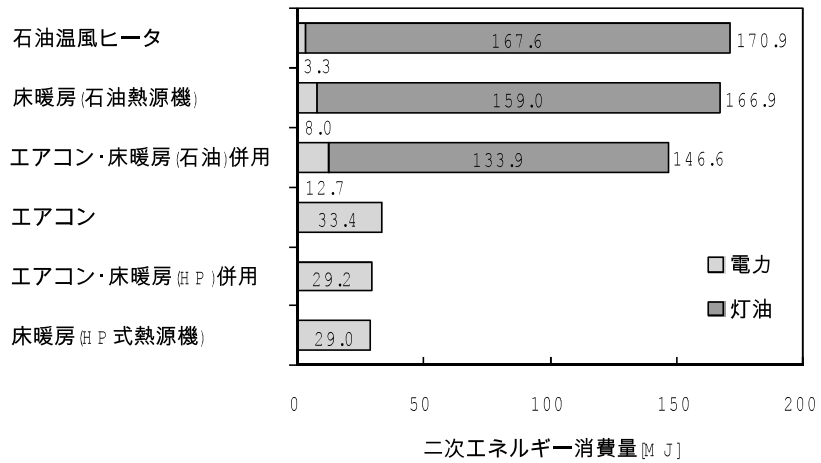


図 4.9 二次エネルギー消費量の比較

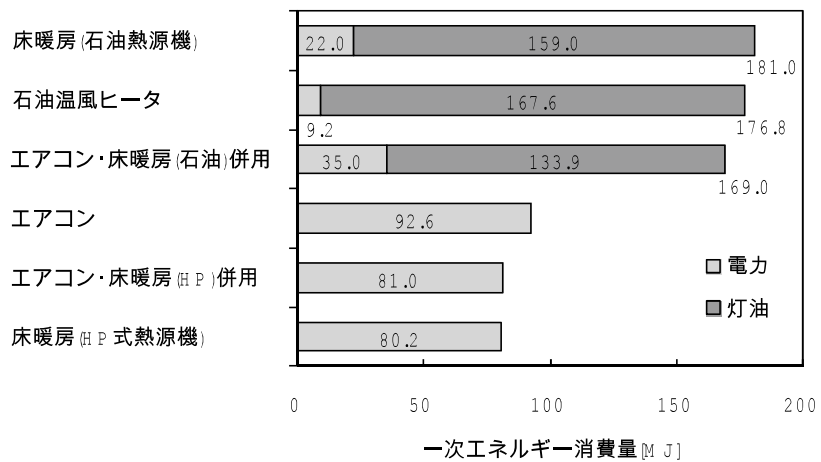


図 4.10 一次エネルギー消費量の比較

ータと比較して低く、消費電力が大きいためである(表 4.5)。エアコン・床暖房併用の暖房負荷は、床暖房と比較して 1.2MJ 高いが、二次エネルギー消費量ではエアコン・床暖房(石油)併用が床暖房を約 20MJ 下回る。これは、エアコンの併用により、床暖房の暖房負荷が単独運転の場合と比較して低減することで(図 4.8)、灯油の二次エネルギー消費量が抑えられるためである。エアコン、エアコン・床暖房(HP)併用、ヒートポンプ式熱源機を用いた床暖房の二次エネルギー消費量は、それぞれ 33.4、29.2、29.0MJ となる。これらヒートポンプの特徴としては、暖房負荷に対して電力の二次エネルギー消費量が小さく抑えられていることが挙げられる。

次に一次エネルギー消費量をみると、石油熱源機を用いた場合の床暖房は 181.0MJ である。二次エネルギー消費量では、床暖房(石油)は石油温風ヒータを下回るが、電力の一次エネルギー換算に伴い石油温風ヒータの消費量を上回る。エアコン・床暖房(石油)併用では 169.0MJ となり、二次エネルギー消費量と比較して床暖房(石油)と石油温風ヒータとの差は縮まるが、エアコンを併用する効果が確認できる。床暖房の熱源機がヒートポンプ式の場合では 80.2 MJ となり、石油熱源機と比較して大きなエネルギー消費量の削減となる。これより、床暖房を省エネルギーに使用するためには、ヒートポンプ式熱源機を使用することが有効といえる。そして、エアコン・床暖房(HP)併用では 81.0MJ となり、エアコン(92.6MJ)と比較して 13%程度低減しており、エアコン・床暖房併用が一定の省エネルギー性を有することが認められる。

#### 4. まとめ

これまで床暖房を用い伝統民家の室内温熱環境の改善を目指す上での指針を示す観点から、エアコン・床暖房を設置した改修事例の温熱環境について報告したものは見られなかった。しかし、本章の改修事例を対象にした計測及び数値計算により、床暖房の運転開始時にエアコンを短時間併用すれば、省エネルギーかつ室内の上下温度差を解消しつつ円滑に室温を上昇させることができることが示された。

#### 注

注 1)温水循環パイプ間に熱伝導率が約 370~400 W/m·K と高い銅製パイプを配置した床暖房システムである。室内実験により従来方式との性能比較を行った結果、床表面平均温度は定常状態で 21~22℃、床表面平均放熱量についても、定常状態で 95W/m<sup>2</sup>程度に達

し、市販の標準タイプと同等の性能を有すことを確認している。詳細は参考文献 1)を参照。

注 2)平均気温は山口測候所による 1971 年～2000 年の 30 年間の各月の平年値を用い、日積算水平面全天日射量は山口測候所では観測されていないため、下関気象台で求められた値を利用し 12 月～2 月の平均値を算出した。

注 3)付図 4.1 に示すように、運転開始 8 時間後の 14:00～22:00 までの床表面温度が、28.4～30.3℃の 1.9℃以内の範囲に収まっていることが確認できたので、運転開始 8 時間後に定常状態に達したと判断した。

注 4)日本床暖房工業会が編集した、「改訂 3 版温水床暖房システム設計・施工ハンドブック」p7 において、高気密・高断熱性住宅のように気密性が高く、断熱性が高い住宅においても床表面温度は 25℃～31℃が快適であり、このときの室温は 18℃～23℃が快適推奨範囲とされている。

注 5)床暖房能力は、Kollmar-Lises の床暖房略算法<sup>3)</sup>を適用して求める。これは、床内に配管径と等しい厚さのフィンを設定し、フィン効率の理論式を床暖房の場合に応用して、床から上側への放熱量を求めるものである。略算法として、アルミ箔をフィンと仮定し、仮想フィンの熱伝導率と厚さを本システムで使用したアルミ箔の値を用いて、フィン効率 $\eta_f$ を次式より求める。

$$\eta_f = \tanh(Z)/Z \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$Z = 0.5(W - D) \cdot \{C_f/(\lambda_f \cdot D_f)\}^{0.5} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$C_f = C_{fu} + C_{fd} \quad \dots\dots\dots(3)$$

床暖房放熱効率 $\eta$ は次式により表され、

$$\eta = D/W + \eta_f \cdot (W - D)/W \quad \dots\dots\dots(4)$$

床暖房時の床上側放熱量 $Q_U$ ・下側放熱量 $Q_D$ [W/m<sup>2</sup>]は次式より求める。

$$Q_U = \eta \cdot C_{fu}(t_h - t_{au}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$Q_D = \eta \cdot C_{fd}(t_h - t_{ad}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$C_f$ ：仮想フィン上端から上部空気及び仮想フィン下端から下部空気までの熱コンダクタンスの和[W/m<sup>2</sup>K]

$C_{fu}$ ：仮想フィン上端から上部空気までの熱コンダクタンス[W/m<sup>2</sup>K]

$C_{fd}$ ：仮想フィン下端から下部空気までの熱コンダクタンス[W/m<sup>2</sup>K]

$\lambda_f$ ：仮想フィン熱伝導率[W/m<sup>2</sup>K]       $D_f$ ：仮想フィン厚[m]

$t_h$  : パイプ表面温度[°C]       $t_{au}$  : 上部空気温度[°C]

$t_{ad}$  : 下部空気温度[°C]       $W$  : パイプピッチ[m]       $D$  : パイプ径[m]

各室に設定する床暖房の暖房能力は、床上側放熱量 $Q_U$ [W/m<sup>2</sup>]に床パネル面積 $A_p$ [m<sup>2</sup>]を乗じて求める。ここで、床パネル面積 $A_p$ [m<sup>2</sup>]は各室の床面積に床暖房の敷設率 0.7 を乗じて求めたものであり、床暖房の敷設率は改修事例から判断した。

注 6) SMASH for Windows Ver.2 の暖房負荷の計算結果には伝導・対流・放射を連成した熱移動の解析は含まれていない。しかし、本研究では改修を実施する上で想定されるエネルギー消費量を把握することが目的であり、実用上必要な精度を求めるため汎用ソフトを援用した。上述したような、より床暖房時の実態に近い暖房負荷を詳細に求めるためには、数値流体解析を用いる必要があり、今後の課題としたい。

注 7) 平均放射温度 $t_r$ [°C]は全周壁平均温として以下の手順で求める。

$$t_r = \sum t_i A_i / A \quad \dots\dots\dots (7)$$

$t_i$  : 各壁面の温度[°C]       $A_i$  : 温度 $t_i$ の面積[m<sup>2</sup>]       $A$  : 全周壁面積[m<sup>2</sup>]

床暖房の平均放射温度 $t_r$ [°C]は次式により求める。

$$t_r = (A_p t_p + A_w t_w) / A \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、全周壁面積 $A$ [m<sup>2</sup>]は

$$A = A_p + A_w \quad \dots\dots\dots (9)$$

であり、床暖房時の床パネルを除く周壁平均表面温度 $t_w$ [°C]は参考文献 4)より式(4)を用いる。

$$t_w = [A t_a - A_p t_p + n C_p \rho V (t_a - t_0) / \alpha_c] / (A - A_p) \quad \dots\dots\dots (10)$$

各暖房設備の室内代表点の作用温度 $t_0$ [°C]は、平均放射温度 $t_r$ と室内気温 $t_a$ との相加平均とし、次式により求める。

$$t_0 = (t_r + t_a) / 2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

$t_a$  : 室内気温[°C]     $t_p$  : 床パネル温[°C]     $t_0$  : 外気温[°C]

$t_w$  : 床パネルを除く周壁平均表面温度[°C]     $A_p$  : 床パネル面積[m<sup>2</sup>]

$A_w$  : 床パネルを除く周壁の面積[m<sup>2</sup>]     $n$  : 換気回数[回/時]

$V$  : 室の容積[m<sup>3</sup>]     $C_p$  : 空気の定圧比熱 = 1.007[kJ/kgK]

$\alpha_c$  : 対流熱伝達率 = 3.8[W/m<sup>2</sup>K]     $\rho$  : 空気の密度 = 1.206[kg/m<sup>3</sup>]

注 8) 各暖房設備の一次エネルギー消費量 $E_h$ [MJ]は以下の手順により求める。

石油温風ヒータについては下式を用いる。

$$E_h = (Q_h/e_1) + (P_1/1000) \times n \times ECEL \times m \quad \dots\dots\dots(12)$$

(1000は単位換算(W→kW)するための係数である。)

エアコンについては下式を用いる。

$$E_h = (Q_h/3.6/e_2) \times ECEL \quad \dots\dots\dots(13)$$

(3.6は単位換算(MJ→kWh)するための係数である。)

床暖房については以下の手順により求める。

i)石油熱源機の場合には,

$$E_h = (Q_h/e_3) + (P_2/1000) \times n \times ECEL \quad \dots\dots\dots(14)$$

ii)ヒートポンプ式熱源機の場合には,

$$E_h = (Q_h/3.6/e_4) \times ECEL \quad \dots\dots\dots(15)$$

エアコン・床暖房併用については以下の手順により求める。

i)エアコンと石油熱源機の床暖房の場合には、式(13)と式(14)より得られる各暖房設備の一次エネルギー消費量の和として算出する。

ii)エアコンとヒートポンプ式熱源機の床暖房の場合には、式(15)を用いてエアコン付温水床暖房として一次エネルギー消費量を算出する。

$Q_h$  : 暖房負荷[MJ]     $n$  : 暖房する時間[h]     $m$  : 暖房設備の数[個]

$e_1$  : 石油温風ヒータの燃焼効率[-]     $e_2$  : エアコンの COP[-]

$e_3$  : 石油熱源機の燃焼効率[-]     $e_4$  : ヒートポンプ式熱源機の COP[-]

$P_1$  : 石油温風ヒータの消費電力[W]     $P_2$  : 石油熱源機の消費電力[W]

ECEL : 電気の一次エネルギー換算係数<sup>5)</sup> = 9.97 [MJ/kWh]

ここで、石油温風ヒータの燃焼効率 $e_1[-]$ とエアコンの  $COPe_2[-]$ は表 4.5 に示した値と同様に、それぞれ0.94[-]と4.64[-]とし、石油温風ヒータの消費電力 $P_1[W]$ は27[W]とする。

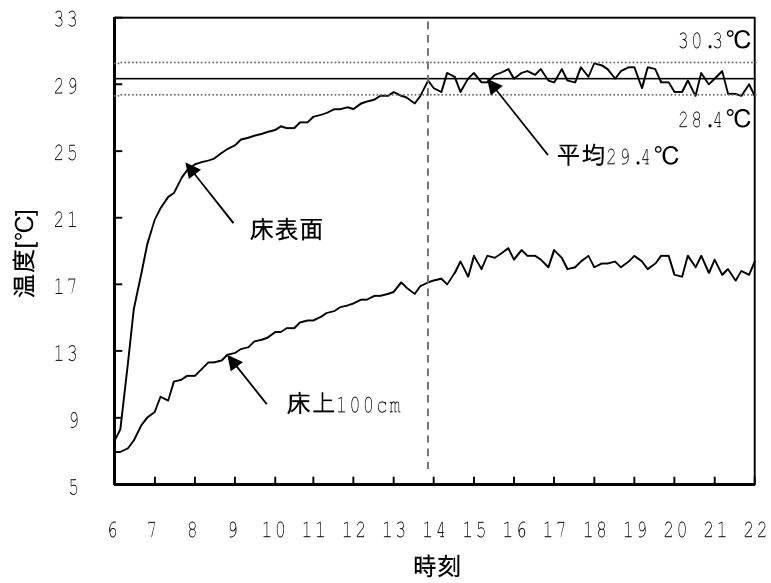
そして、石油熱源機の燃焼効率 $e_3[-]$ と消費電力 $P_2[W]$ は、それぞれ0.82[-]と130[W]とし<sup>6)</sup>、ヒートポンプ式熱源機の  $COPe_4[-]$ は4.50[-]とする<sup>7)</sup>。

注 9)実使用状態のエアコンの COP がカタログ値を下回る要因として、実使用条件と試験条件との風量の違いが指摘される。JIS の測定における風量条件は、ほぼ機種最大の風量に相当するため、実使用時の COP がカタログ値を下回る結果となる。財団法人 建築環境・省エネルギー機構が編集した「住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説」<sup>8)</sup>では、暖房時の風量に関する COP 補正係数として 0.8 を採用しており、本計算においても用いることとした。

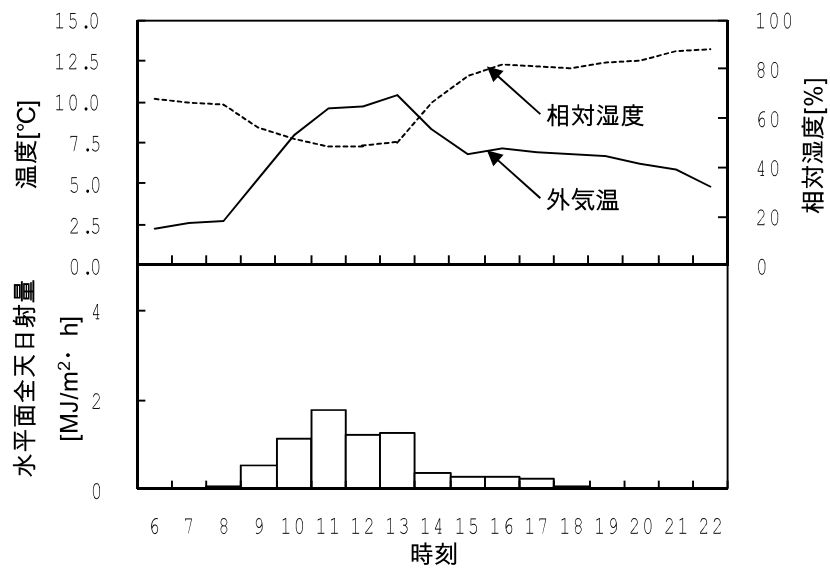
注 10) エアコンの除霜運転は、外気温 5℃未満かつ相対湿度 80%以上の場合に発生しやすいとされる<sup>9)</sup>。計算に用いた気象データを付図 4.2 に示す。一日の平均気温は 5.4℃、平均相対湿度は 70.5%である。本計算対象が立地する山口市の冬季の平均気温は 5.0℃、平均相対湿度は 75.0%であり(山口測候所公表による各月の平年値 12 月～2 月の平均)、本気象データは冬季の山口市の概ね平年の気候を示したものと見做せる。14 時以降からやや曇り 22 時の外気温は 4.8℃、相対湿度は 88.3%となり、除霜運転が発生しやすい条件を若干ふくむ。しかし、22 時以外のエアコンを運転する時間帯では条件にふれていない。以上から、本気象データを冬季の比較的温暖な地域の概ね平年の気候を示した、除霜運転が発生しない一日のデータと判断する。本計算では、床暖房の暖房立ち上がり時にエアコンを併用運転した一日のエネルギー消費量を確認することが目的であり、典型的な条件を設定した。しかし、年間の暖房期を通じたエネルギー消費量を検討するためには、除霜運転による COP の低下を考慮する必要がある。こうした暖房期間を通じたエアコン・床暖房併用運転のエネルギー消費量の確認は、今後の課題としたい。

#### 参考文献

- 1) 志賀 均 他 5 名, 銅の熱伝導特性を利用した中空パイプ床暖房システムの放熱性能実験, 日本建築学会技術報告集, 第 21 号, pp.189-194, 2005.06
- 2) 建築環境・省エネルギー機構: SMASH for Windows Ver.2—住宅用熱負荷計算プログラム—ユーザーマニュアル, 2000.9
- 3) 井上宇市: 空気調和ハンドブック, 改訂 5 版, 丸善株式会社, pp.68—69, 2008
- 4) 中村泰人 他 3 名: 床暖房室で熱的快適性を実現するための設計法の同定, 日本建築学会環境系論文集, No.594, pp.61—67, 2005.8
- 5) 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第 3 条
- 6) <http://noritz.mediapress-net.com/iportal/CatalogDownload.do>, 2013.2.17 参照
- 7) <http://www.daikinaircon.com/catalog/hotcool/products/initial/>, 2013.2.17 参照
- 8) 建築環境・省エネルギー機構: 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, 建築環境・省エネルギー機構, p.82, 2009
- 9) オーム社: 小型エアコンの取扱いと修理, オーム社, p.145, 2005



付図 4.1 床暖房時計測結果の定常状態の確認



付図 4.2 計算に用いた気象データ



## 第5章 数値計算による室内温熱環境改善効果と年間暖冷房負荷の検討

### 1. 本章の目的

第2章では室内実験と実家屋計測により、太鼓障子と木製複層ガラスサッシによる開口部断熱改修仕様の性能を確認した。第3章では伝統民家縁側の実測と数値計算により、縁側の冬季温室効果を確認した。第4章ではエアコンと床暖房設置改修事例の計測と数値計算によりエアコン・床暖房の併用効果を示した。しかし、これらの断熱方法に関する技術的検討は民家の部位別に個別に取り組んだもので、暖房に関しても1室のみを対象としたものである。したがって、提案する開口部の断熱改修仕様、南面縁側断熱工法とエアコン・床暖房の併用を適用した民家改修を計画・設計する上では、住宅1棟全体を対象にした室内温熱環境改善効果の確認が必要である。

そこで本章では、実在伝統民家1棟を対象に数値計算を行い、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた開口部断熱仕様、冬季縁側の温室効果を利用した暖房エネルギー削減手法、エアコンと床暖房を併用した暖房手法を用いた場合の室内温熱環境改善効果を定量的に明らかにすることを目的とする。

第一に断熱仕様をパラメータとした数値計算を行い、夜間・早朝の室温低下や平均放射温度に及ぼす影響を比較すると共に、暖房期熱損失量の部位別の内訳を示し、住宅1棟全体の断熱性能を確認する。第二に暖房方式をパラメータとした数値計算を行い、エアコン・床暖房併用による居室間の室温差の解消及び床座時の快適性について比較する。第三に断熱仕様・温室効果の利用・暖房方式の違いが暖冷房負荷に及ぼす影響を検討し、次世代省エネルギー基準を指標に年間暖冷房負荷の評価を行う。

### 2. 数値計算の概要

#### (1) 計算対象

対象住宅は山口市中心市街地に位置する延床面積 113.3 m<sup>2</sup>の木造戸建ての伝統民家で、昭和初期に建設された典型的な中廊下型住宅である。平面・立面・断面図と外観写真を図 5.1 に示す。

#### (2) 断熱仕様と暖房条件

計算に用いた物性値を表 5.1、断熱仕様と暖房方式を表 5.2 に示す(各部位の断熱仕様と暖房機器設定条件は付図 5.1 に示す)。CASE1 は標準的な伝統民家、CASE2 は天井・床・開

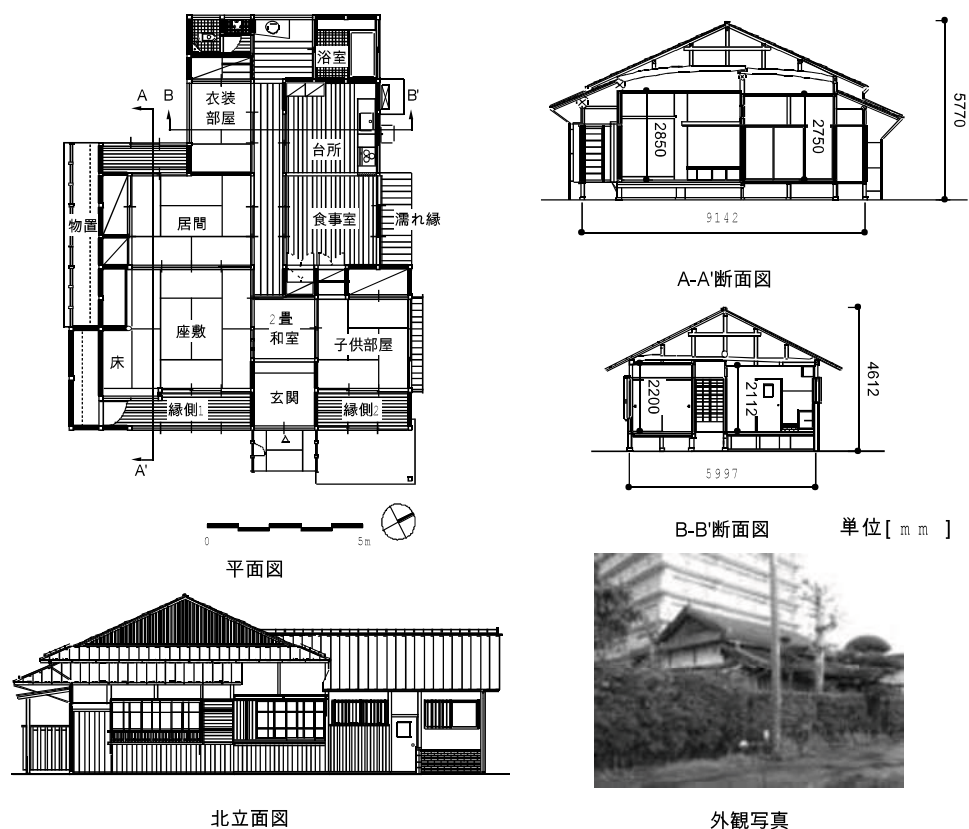


図 5.1 計算対象の平面・立面・断面図及び外観写真

表 5.1 計算に用いた物性値

材料	熱伝導率 [W/m・K]	容積比熱 [kJ/m <sup>3</sup> ・K]	出典		
天然木材 (杉, 桧など)	0.120	519.070	7)		
合板	0.160	715.815	7)		
土壁	0.690	1126.047	7)		
漆喰	0.700	1092.559	7)		
畳床	0.110	527.442	7)		
透湿防水シート	0.330	808.374	8)		
気密シート	0.093	808.374	8)		
住宅用グラスウール断熱材 24K	0.038	20.093	7)		
稲藁もみ殻断熱材 (リサイクル断熱材)	0.051	318.632	2)		
中空層	0.000	1.298	7)		
窓	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]	日射遮蔽 係数SC	放射遮蔽 係数SCR	対流遮蔽 係数SCC	出典
単板ガラス	6.51	1.000	0.986	0.014	7)
複層ガラス ( as6 )	3.49	0.898	0.867	0.030	7)
太鼓障子 ( as16 ) + 複層ガラス ( as6 )	1.71	0.246	0.170	0.077	1), 10)

表注) 表中のasは空気層の厚さを示す。

表 5.2 シミュレーションの概要

CASE	内容	断熱部位	換気回数	暖房機器	仕様				
					天井	外壁	床(畳床・板床)	開口部	
1	伝統家を再現したケース	なし	1 回 / 時	エアコン	CE1	WA1	FT1	FW1	WI
2	一般的な断熱改修したケース	天井・床 開口部			天井板7	漆喰3/土壁60/漆喰3	畳60/床板15	床板15	単層ガラス3
3	CASE-2 にリサイクル断熱材による 土壁の断熱化を加えたケース	天井・床 開口部・ 外壁			CE2	WA1	FT2	FW2	WI
4	CASE-3 に大鼓障子による開口部の 断熱化を加えたケース				GW24K160/天井	杉羽目板15/透気層 18/構造用合板9/透 湿防水シート0.1/リ サイクル断熱材30/ 土壁60/漆喰3	畳60/床板15/GW24	床板15/GW24K70	複層ガラスas6
5	CASE-4 で温度上昇した縁側空気を建具 開放により隣接居室へ流入させるケース				CE2	WA2	FT2	FW2	WI
6	高断熱・高気密化したケース				GW24K160/気密 シート0.1/天井板 7	杉羽目板15/透気層 18/透湿防水シート 0.1/GW24K90/気密 シート0.1/構造用合 板9/中空層30/土壁 60/漆喰3	畳60/床板15/気密 シート0.1/GW24K 70	床板15/気密シート 0.1/GW24K70	複層ガラスas6/中 間空気層90/大鼓障
7	CASE-4 で床暖房を使用したケース				CE2	WA2	FT4	FW4	WI
8	CASE-4 でエアコン・床暖房を併用 したケース	CE2			WA2	FT4	FW4	WI	



図 5.2 一日の生活スケジュール

口部(複層ガラス)の断熱改修を行う一般的な場合である。CASE3はCASE2に土壁と外装材間の30mmの空隙(ちり)に炭化もみ殻をボード状に加工したリサイクル断熱材を充填した土壁断熱を行う場合である。表5.1中のリサイクル断熱材の熱伝導率は既報2)の実験結果に基づいており、採用した断熱工法は既報3)において断熱防露性能を検証したものである。CASE4はさらに太鼓障子と木製複層ガラスサッシによる開口部断熱を行う場合で、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた断熱仕様の熱貫流率は、第2章において実験結果より導出した設計式より求めた。日射遮蔽係数は、文献10)に従い理論計算により求めた。CASE5は縁側と居室間の建具開放による縁側暖気の居室流入を設定した場合である。CASE4・5では縁側1と座敷間・縁側2と子供室間の建具を太鼓障子とし、縁側の日射取得を遮らず温室効果の拡大を意図している。CASE6は高断熱・高气密化の場合で、外気によるすきま風の換気回数を0.2回/時に設定した<sup>注1)</sup>。全熱交換器設置により0.5回/時の換気を行い、外気導入による負荷はないものと仮定した。

CASE1～6の暖房機器の種類と設置場所は、居間・座敷・台所+食事室・子供部屋はエアコン、廊下・2畳和室・洗面・トイレはカーボンヒーター、浴室は浴室暖房専用機(カーボンヒーター)とした。一方CASE7はCASE4の断熱仕様のもとで床暖房を敷設した場合で、CASE8はさらにエアコンと床暖房を併用する場合である。床暖房敷設箇所は、居間・座敷・台所+食事室・子供部屋・洗面・トイレとし、居間・座敷・台所+食事室・子供部屋でエアコンを併用する。床暖房敷設時の子供部屋の床は板張り、居間・座敷は床暖房用量(13mm)とする。

### (3)計算方法

学会標準問題<sup>12)</sup>の一日の生活スケジュールに準拠した方法(計算法1)と、省エネルギー基準<sup>13)</sup>による年間暖冷房負荷計算法(計算法2)を適用する。

計算法1の一日の生活スケジュールを図5.2に示す。平面構成より家族構成を標準問題の4人(夫婦+子供2人)から3人(夫婦+子供1人)へ変更し、座敷をリビングに設定する。座敷(リビング)・食事室・台所の在室人数はLDK在室人数スケジュールに準拠し、2畳和室・廊下・洗面・トイレ・浴室の暖房機器は独自に設定する。暖冷房期間は暖房期を日平均気温が15.0℃以下の期間、冷房期を日平均気温が23.0℃以上の期間、中間期を暖房期・冷房期以外の期間とする。暖冷房温湿度は省エネルギーセンターの推奨設定温度より、暖房温度22.0℃湿度なりゆき、冷房温度26.0℃湿度50%に設定する。ここでCASE5の縁側の温熱環境制御は、縁側の室温が20.0℃以上になった時点で縁側と居室間の換気<sup>注2)</sup>を始め、日没する17時に建具を閉鎖する。夏期排熱換気は、全天日射量がない時間帯は太鼓障子を閉鎖し、

日射量がある時間帯は開放する。縁側の室温が 30.0℃以上かつ外気温 35.0℃以下の場合には 13 回/時<sup>注3)</sup>の換気を行う。

計算法 2 は、暖冷房対象空間を小屋裏・床下空間を除く全室とし、暖冷房期間は暖房期間を日平均外気温が 15.0℃以下となる全期間、冷房期間は暖房期間以外の全期間とする。暖冷房温湿度は、暖房温度 18.0℃ 湿度なりゆき、冷房温度 27.0℃ 湿度 60%とする。内部発熱は省エネルギー基準に準拠し、全床から一様に常時一定量発熱するものと仮定し、顕熱を 16.7kJ/m<sup>2</sup> h , 潜熱を 4.2 kJ/m<sup>2</sup> h に設定する。

#### (4) 計算プログラムと気象データ

計算プログラムは SMASH for Windows Ver.2 を使用する。計算モデルの室と外気間の換気は表 5.2 に示す換気回数とし、建具閉鎖の場合の室間空気移動は考慮しない<sup>注4)</sup>。計算法 1 に用いたエアコンの暖房能力は、室の面積に応じ 2500・2800・3600W とし(付図 5.1), 床暖房能力は畳床の場合に 131.1W/m<sup>2</sup>, 板床の場合に 127.6W/m<sup>2</sup>と設定した。気象データは次世代省エネルギー基準の地域区分が山口県と同じ福岡のデータ(SMASH 付属)を使用する。尚、計算モデルの妥当性は、第 4 章において伝統民家改修事例の実測値と計算値の比較により確認している。

### 3. 断熱仕様をパラメータとした数値計算結果

#### 3.1 一日の温度変動の比較

図 5.3 に CASE1~6 の供給熱量と室温の数値計算結果を示す。1 日の結果は、対象住宅が立地する地域の冬期の標準的<sup>注5)</sup>気象と判断される 12 月 25 日で、4 節においても同様に用いる。

##### (1) 伝統民家を再現した CASE1 の温度変動

暖房開始時の早朝 6 時(外気温 4.3℃)の各室の室温は座敷と廊下が 7.2, 7.6℃である。洗面・食事室+台所は窓ガラスからの熱損失により、夫々 6.6, 6.7℃と低い。居室の食事室+台所・座敷も外気温と比較し 2.4~2.9℃高い程度で、早朝に快適な室温を維持することは難しい。暖房開始 2 時間後の室温は、食事室+台所が 19.2℃, 座敷・廊下が夫々 16.0, 15.3℃と室間で温度差がある。暖房開始 3 時間後もいずれの室温も設定温度の 20.0℃に達しておらず、暖房立ち上がり時には十分な室温確保が難しいことが分かる。暖房停止後の 10 時には座敷・洗面・廊下の室温は 14.0~14.7℃と大幅に低下している。食事室+台所の室温が 16.4℃と比較的高く、暖房が再開される 12 時まで温度上昇しているが、これは食事室+台

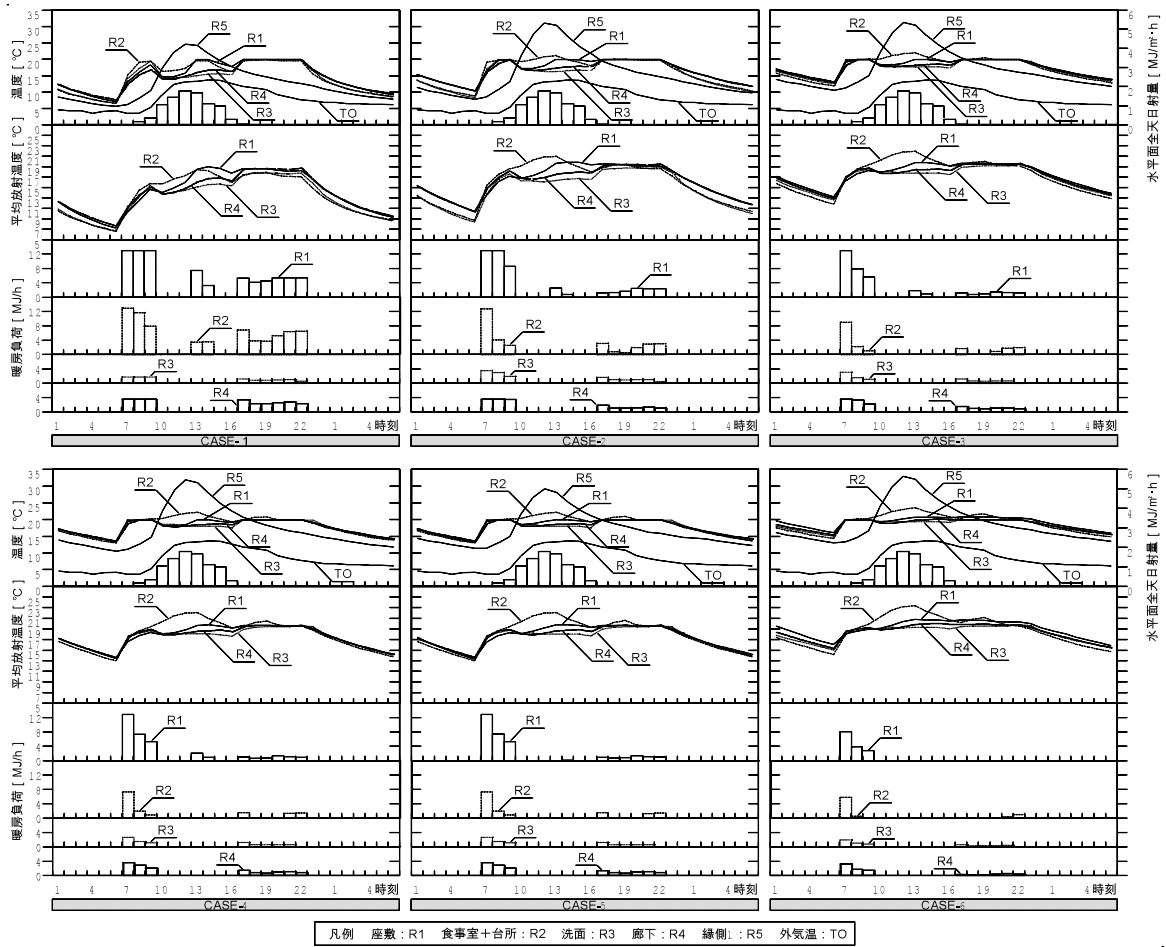


図 5.3 暖房負荷と室温の数値計算結果

表 5.3 室温と平均放射温度(MRT)の数値計算結果

		CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6			CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	
6時	座敷	室温[°C]	7.2	10.4	13.1	13.4	13.1	16.1	13時	室温[°C]	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.7
		MRT[°C]	7.3	10.5	13.2	13.4	13.3	16.1		MRT[°C]	18.5	19.6	19.7	19.6	19.7	20.8
	食事室+台所	室温[°C]	6.7	8.8	11.9	13.0	13.0	14.3	食事室+台所	室温[°C]	19.7	21.2	22.1	22.2	22.2	23.6
		MRT[°C]	6.7	8.8	11.9	13.0	13.0	14.2		MRT[°C]	18.3	21.1	21.9	22.1	22.1	23.4
	洗面	室温[°C]	6.6	8.4	12.6	13.6	13.5	15.1	洗面	室温[°C]	15.0	16.3	17.8	18.0	18.0	19.3
		MRT[°C]	6.6	8.4	12.7	13.7	13.6	15.1		MRT[°C]	15.1	16.4	17.8	18.0	18.0	19.3
廊下	室温[°C]	7.6	10.4	12.9	13.5	13.5	15.3	廊下	室温[°C]	16.0	17.5	18.3	18.5	18.6	19.8	
	MRT[°C]	7.7	10.4	12.9	13.6	13.6	15.3		MRT[°C]	16.1	17.6	18.5	18.6	18.7	19.9	
20時	座敷	室温[°C]	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.6	13時	室温[°C]	14.9	17.0	18.0	18.1	18.0	19.3
		MRT[°C]	18.3	19.2	19.6	19.6	19.6	20.4		MRT[°C]	14.7	16.9	18.0	18.1	18.1	19.3
	食事室+台所	室温[°C]	19.7	19.9	20.0	20.1	20.1	20.8	食事室+台所	室温[°C]	13.5	15.8	17.2	17.8	17.8	18.3
		MRT[°C]	17.4	18.9	19.4	19.8	19.8	20.3		MRT[°C]	13.1	15.6	17.1	17.7	17.7	18.1
	洗面	室温[°C]	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	洗面	室温[°C]	13.8	16.0	17.7	18.2	18.2	18.7
		MRT[°C]	17.7	18.7	19.2	19.4	19.4	19.5		MRT[°C]	13.6	15.8	17.7	18.2	18.2	18.6
廊下	室温[°C]	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	廊下	室温[°C]	14.8	16.9	17.7	17.9	17.9	18.6	
	MRT[°C]	18.6	19.4	19.5	19.5	19.5	19.8		MRT[°C]	14.6	16.9	17.7	17.9	17.9	18.6	

所の窓ガラスから外気温と日射取得の影響を受けるためである。

暖房再開の13時の座敷・食事室＋台所の室温は、夫々20.0、19.7℃となるが、廊下・洗面の室温は16.0、15.0℃で、暖房居室と非居室間に最大5.0℃の差が生じており、非居室の断熱性能の不足がうかがえる。17～22時の各室の室温は、食事室＋台所では窓ガラスからの熱損失により20時から暖房停止まで0.3℃の室温低下が確認されるが、概ね設定温度の20.0℃に保たれている。暖房停止2時間後の室温は座敷・廊下が約15℃で、洗面・食事室＋台所では夫々13.8、13.5℃となり、暖房時から5.1～6.1℃低下している。

## (2)断熱仕様が早朝・夜間の室温低下抑制に及ぼす効果

一般的な断熱改修のCASE2では、6時の洗面と食事室＋台所で夫々8.4、8.8℃で、CASE1より1.8～1.9℃上昇しており、座敷と廊下も10.4℃と約3℃上昇し、早朝の室温低下が抑制されている。CASE2に土壁充填断熱工法を付加したCASE3では、6時の座敷・廊下・洗面の室温は夫々13.1、12.9、12.6℃で、洗面の室温はCASE2より4.2℃上昇しており、座敷・廊下との温度差が縮小している。また食事室＋台所も11.9℃とCASE2に比べ3.1℃高く、土壁充填断熱による室温低下抑制効果の大きさが認められる。CASE3に太鼓障子による開口部断熱を加えたCASE4では、6時の座敷・廊下・洗面の室温は13.4、13.5、13.6℃で室間の温度差は認められないが、食事室＋台所は13.0℃とCASE3より1.1℃高く、4室の温度差は1℃以下で太鼓障子を用いた断熱効果が確認できる。高気密・高断熱化したCASE6では、6時の座敷・廊下・洗面・食事室＋台所の室温は16.1、15.3、15.1、14.3℃で、各室とも全ケース中最も高く、グラスウールによる外壁の断熱化と気密化の効果が確認される。しかし開口部断熱仕様が複層ガラスのため、座敷と大きな開口部を有す食事室＋台所の間には1.8℃の温度差が生じている。

次に暖房停止後の室温変動に関しては、各ケースの暖房時と暖房停止2時間後の4室の温度差は、CASE1は5.1～6.1℃なのに対し、CASE2は3.0～4.0℃、CASE3は2.0～2.7℃、CASE4は1.8～2.2℃、CASE6は1.2～1.7℃と縮小しており、太鼓障子による開口部の断熱化と土壁の充填断熱による室温低下抑制効果が確認できる。また、早朝の室温低下の変動と同様、太鼓障子を用いた開口部の断熱化により室間の温度差の縮小が認められ、高断熱・高気密仕様のCASE6が最も暖房停止後の室温低下が小さいが、CASE4とCASE6の座敷と食事室＋台所の温度差は夫々0.3、1.0℃で、太鼓障子を用いた断熱効果が確認できる。

## (3)断熱仕様が居室と非居室間の室温の差異解消に及ぼす効果

一般的断熱改修のCASE2では、13時の廊下・洗面の室温は17.5、16.3℃で、設定温度

(20.0℃)に保たれた座敷との温度差は 2.5～3.7℃となり、伝統民家を再現した CASE1 の場合(温度差 4.0～5.0℃)からほぼ半減している。充填断熱工法の CASE3 では、13 時の廊下・洗面の室温は、18.3, 17.8℃で座敷との温度差は 1.7～2.2℃とさらに小さくなり、土壁断熱による居室と非居室間の室温差解消効果が認められる。開口部断熱を加えた CASE4 では、13 時の廊下・洗面の室温は、18.5, 18.0℃で座敷との温度差は 1.5～2.0℃となり断熱効果が認められる。高断熱・高气密仕様の CASE6 では、廊下・洗面の室温は 19.8, 19.3℃で、座敷との温度差は 1℃以下に縮小している。

#### (4)断熱仕様と平均放射温度の関係

表 5.3 に室温と平均放射温度(MRT)の数値計算結果を示す<sup>注6)</sup>。一日で比較的室温が安定し、団欒の時間帯が想定される 20 時の平均放射温度を見ると、CASE1～4 の順に上昇しており、高断熱・高气密仕様の CASE6 が最も高い。外壁断熱の CASE3 では、座敷・食事室＋台所・洗面の放射温度が 19.6, 19.4, 19.2℃と CASE2 より 0.4～0.5℃高く、外壁断熱が放射温度に及ぼす影響が認められる。開口部断熱を加えた CASE4 では、大きな開口部を有す食事室＋台所で 19.8℃となり、CASE3 より 0.4℃高く、太鼓障子を用いた開口部断熱化による放射熱環境改善効果が認められる。

早朝 6 時の平均放射温度は全仕様において室温と同程度で、CASE1～4 の順に室温の上昇に伴い上昇している。暖房停止 2 時間後の 24 時では、伝統民家の CASE1 と一般的断熱改修の CASE2 は平均放射温度が室温より低く、室内が冷放射環境となっているが、外壁断熱と太鼓障子による開口部断熱の CASE3,4 では、平均放射温度が室温と同程度まで上昇しており、放射熱環境改善効果が認められる。特に洗面では土壁断熱により 1.9℃、開口部断熱により 0.5℃と他室と比較し大きな上昇が確認できる。また居室と非居室間の温度差が広がる 13 時の洗面では、土壁断熱により 1.4℃、開口部断熱により 0.2℃上昇しており、非居室の室温上昇に伴い放射熱環境の差も解消されている。

#### 3.2 暖房エネルギー削減効果

図 5.3 に示した暖房負荷のうち 17～22 時の時間帯を見ると、団欒の時間帯が想定される 20 時の暖房負荷は CASE1～4 の順に低減しており、高断熱・高气密仕様の CASE6 が最も低い。CASE3 では、CASE2 と比較し 20～22 時の座敷の暖房負荷が低減しており、特に 22 時の時点で CASE2 では 2.3MJ/h であったものが、CASE3 では 1.1MJ/h に低減し、外壁断熱の効果が認められる。CASE4 では、CASE3 と比較し開口部が断熱された食事室＋台所と洗面で暖房負荷が低減している。CASE3 の食事室＋台所では、21～22 時に向け外気温の



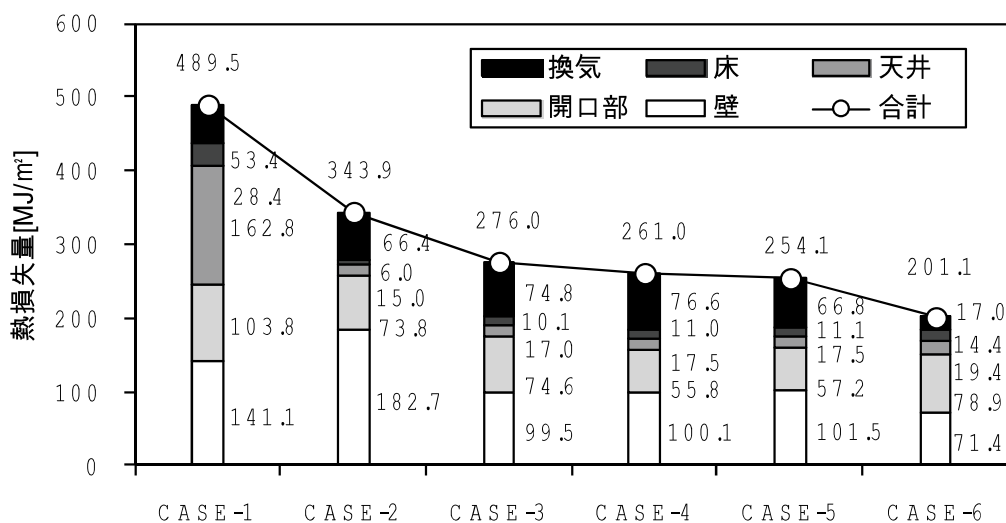


図 5.4 暖房期(11月3日～4月20日)熱損失量の内訳

低下に伴い暖房負荷は増え、22時の時点で2.0MJ/hであったものが、CASE4では1.4MJ/hに低減しており、開口部断熱効果が認められる。CASE4と高断熱・高気密仕様のCASE6を比較すると、17～22時の時間帯では各室とも1.0MJ/h以下と、高断熱・高気密化の効果が認められる。

7～9時の時間帯の暖房負荷を見ると、暖房立ち上がり時の7時の暖房負荷は、全ケースにおいて1日のうちで最も高く、食事室+台所ではCASE1～4の順に低減している。CASE3では、CASE2と比較すると7時の食事室+台所で3.4MJ/h、洗面も0.5MJ/hの低減が確認できる。座敷では暖房されていない居間や縁側への熱移動のため暖房負荷の低減は見られないが、8～9時の時間帯では低減しており、外壁断熱の効果が認められる。CASE4では、CASE3と比較すると開口部が断熱された食事室+台所と洗面で暖房負荷の低減が認められ、7時の食事室+台所では1.7MJ/h、洗面も0.5MJ/h低減している。CASE4と高断熱・高気密仕様のCASE6を比較すると、7時の座敷において13.1MJ/hから8.1MJ/hへ低減(38%削減)しており、高断熱・高気密化の効果が認められる。また13～14時の暖房負荷を見ると、縁側の温室効果を活用したCASE5では、CASE4と比較すると13～14時の座敷の2時間の暖房負荷合計が3.1MJ/hから0.2MJ/hへ低減している。

次に暖房期熱損失量の内訳を図5.4に示す。CASE2の熱損失量をCASE1と比較すると、床・天井・開口部において熱損失量の低減が確認され、特に天井では147.8MJ/m<sup>2</sup>と大きく低減している。またCASE2では換気と壁からの熱損失量が上昇しているが、これは床・天井・

開口部の断熱性能向上により暖房時間帯以外の室温が高くなり、換気と壁からの損失が増加したためと考えられる。CASE3では、CASE2と比較すると壁からの熱損失量が83.2MJ/m<sup>2</sup>低減し、外壁断熱効果が認められる。CASE4では、CASE3と比較すると開口部からの熱損失量が18.8MJ/m<sup>2</sup>低減しており、窓に太鼓障子を取り付けた効果が認められる。CASE1とCASE4を比較すると、開口部の熱損失量は太鼓障子と複層ガラスを用いた断熱化により46%削減され、壁では土壁の断熱化により29%削減されている。CASE4の熱損失量の合計は261.0MJ/m<sup>2</sup>で、伝統民家を再現したCASE1(489.5MJ/m<sup>2</sup>)に対し大きく低減している。またCASE4,6を比較すると、CASE4の熱損失量合計がCASE6を59.9MJ/m<sup>2</sup>上回るが、これは主に換気の熱損失量の差によるもので、充填断熱工法及び開口部断熱工法を組合せた効果が認められる。

#### 4. 暖房方式をパラメータとした数値計算結果

座敷と洗面を居室と非居室の典型として抽出し、CASE4・7・8の暖房負荷と室温・作用温度の数値計算を行った結果を図5.5に示す。

##### 4.1 暖房方式と平均放射温度の関係

一日の間で室温が安定した時間帯の20時のCASE4の座敷の室温と床表面温度は20.0℃と20.5℃で、平均放射温度は19.6℃と室温を下回る。一方、同時刻のCASE7の場合室温20.0℃、床表面温度が31.6℃で、平均放射温度は22.1℃と室温を上回る。作用温度はCASE4で19.8℃、CASE7では21.1℃となり、床暖房では床面の加熱により良好な放射熱環境が形成されている。次に床座時の平均放射温度<sup>注7)</sup>(20時)を比較すると、CASE4は19.9℃、CASE7は24.9℃となり、床暖房の床面接触効果が確認できる。CASE7の床座時の作用温度は22.5℃で、床暖房による床座時の快適性が認められる。CASE8の暖房開始1時間後の室内代表点と床座時の作用温度は21.6・22.8℃で、和室での床座が一般的な伝統民家を改修する場合には、エアコンと床暖房の併用が有効と考えられる。

##### 4.2 暖房方式と作用温度の関係

エアコンのみ使用したCASE4の座敷室温は、暖房開始6時(13.4℃)から1時間後には19.5℃となり、2時間後には設定温度の20.0℃に達している。CASE7の床暖房を敷設した座敷の室温は、暖房開始の6時(13.1℃)から1時間後には16.3℃に上昇しているものの、設定温度とは3.7℃の差がある。CASE4とCASE7の暖房開始1時間後の作用温度は18.1℃、17.6℃で、室温差(2.3℃)と比較して作用温度差は0.5℃と小さく、床暖房による放射熱環境

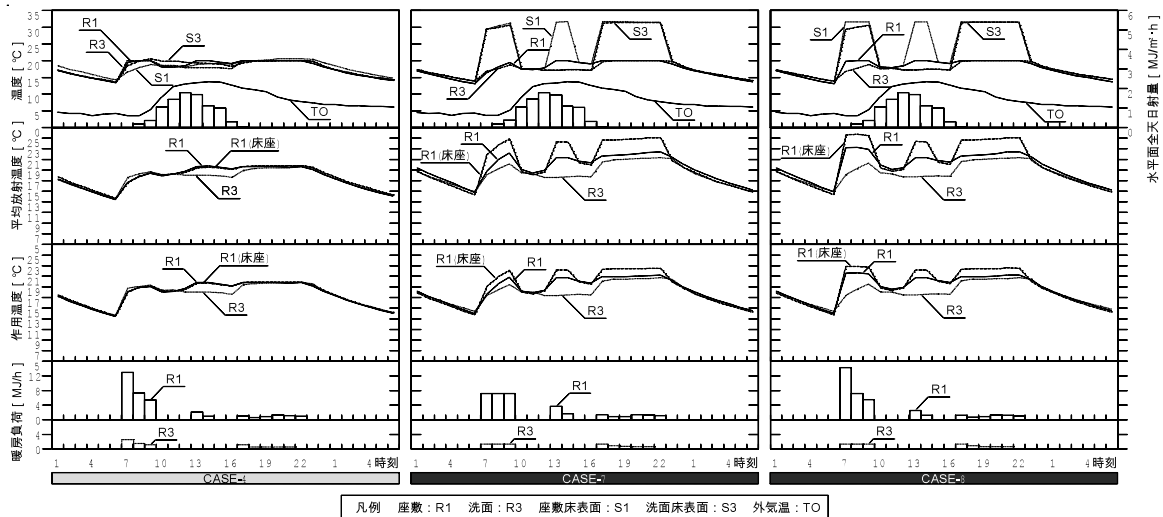


図 5.5 暖房負荷と室温・作用温度の数値計算結果

表 5.4 作用温度の数値計算結果

		CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	CASE-7	CASE-8
座敷	暖房開始 1時間後	11.6	15.0	17.8	18.1	18.0	19.0	17.6	21.6
	団欒時 平均	19.1 (19.4)	19.6 (19.8)	19.8 (19.9)	19.8 (19.9)	19.8 (19.9)	20.4 (20.5)	21.1 (22.5)	21.2 (22.5)
	洗面開始 1時間後	12.5	16.9	18.6	18.8	18.8	19.0	17.4	17.4
洗面	入浴時	18.9	19.5	19.7	19.8	19.8	19.9	20.7	20.7

表注) 表中の暖房開始1時間後とは7時であり、入浴時は22時である。団欒時は20時~22時までを示し、団欒時平均の作用温度の( )内の値は床座時における作用温度を示す。

の改善が認められるが、CASE7の室温と作用温度はCASE4を下回る。これは、CASE4とCASE7の7時の暖房負荷に示されるように、エアコンが室内に熱を13.0MJ/h供給するのに対し、床暖房では6.4MJ/hと少ないためである。一方、CASE8のエアコンと床暖房を併用した座敷の室温は、暖房開始6時(13.2°C)から1時間後には20.0°Cに達し、作用温度も21.6°Cとエアコン併用効果が認められる。またCASE8の7時時点の暖房負荷は14.2MJ/hで、エアコンのみ使用時と比べ9%程度の増加に止まり、省エネルギー効果が認められる。床暖房開始1時間後の洗面室温は16.7°Cで、一定の室温が確保できている。次に各ケースの作用温度の数値計算結果を表5.4に示す。CASE8の座敷では、高断熱・高气密仕様のCASE6の暖房開始1時間後、団欒時(平均値)、床座時の作用温度を上回る熱環境が得られ

表 5.5 暖冷房負荷の内訳

	暖房負荷 [MJ/m <sup>2</sup> ・年]		冷房負荷 [MJ/m <sup>2</sup> ・年]		暖冷房負荷 [MJ/m <sup>2</sup> ・年]		単位暖冷房時間当たりの負荷			
	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	暖冷房時間 [h]		負荷 [MJ/m <sup>2</sup> ・h]	
							条件1	条件2	条件1	条件2
CASE-1	395.4	1073.6	94.5	323.7	489.9	1397.3	10,049	61,736	0.049	0.023
CASE-2	247.8	612.5	97.1	276.5	344.9	889.0	9,223	54,504	0.037	0.016
CASE-3	180.4	350.1	98.1	247.1	278.5	597.2	8,744	49,233	0.032	0.012
CASE-4	165.5	342.1	99.4	191.7	264.9	533.8	8,555	54,735	0.031	0.010
CASE-5	164.4	-	95.7	-	260.1	-	8,478	-	0.031	-
CASE-6	106.1	235.7	92.9	203.1	199.0	438.8	7,304	41,616	0.027	0.011
CASE-7	162.4	-	96.7	-	259.1	-	8,645	-	0.030	-
CASE-8	170.1	-	96.7	-	266.8	-	8,249	-	0.032	-

注) 表中CASE-6の( )内の各値は、省エネルギー基準の換気回数の計算条件0.5回/時による計算結果である。

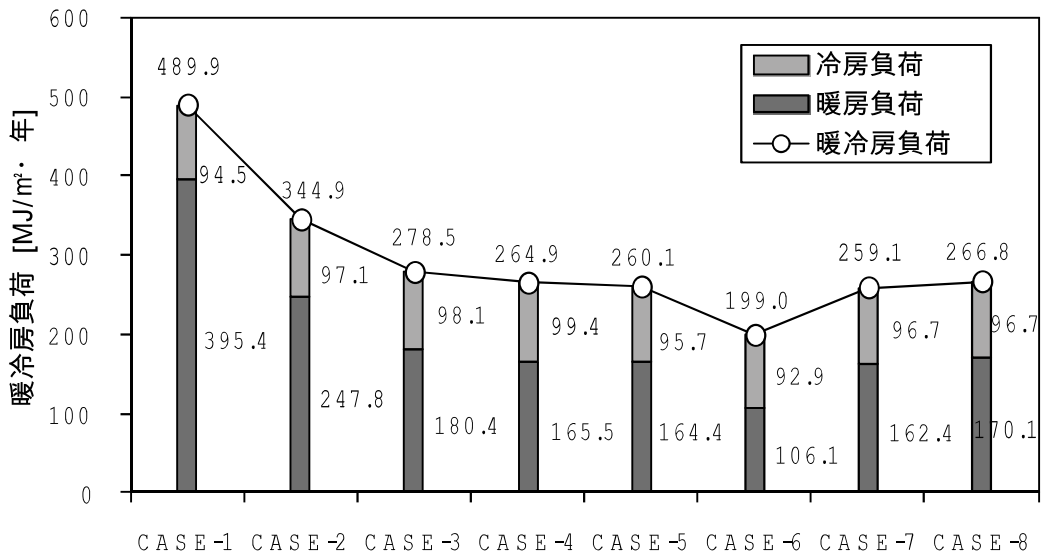


図 5.6 計算法 1 の暖冷房負荷

ている。また CASE8 の洗面では暖房開始 1 時間後の作用温度は CASE6 を下回るが、入浴時には 0.8℃程度高く、床暖房による室間の温熱環境の差異解消が認められる。

## 5. 暖冷房負荷の比較

計算法 1, 2 による暖冷房負荷内訳を表 5.5, 計算法 1 による各ケースの暖冷房負荷を図

5.6に示す。計算法1の算定結果をみると、冷房負荷はどのケースも93~99MJ/m<sup>2</sup>・年と大差ないが、暖房負荷はCASE1の395.4MJ/m<sup>2</sup>・年からCASE6の106.1MJ/m<sup>2</sup>・年まで3.7倍の差があり、かつ冷房負荷に比べ負荷量が大きく、断熱仕様が冬季の暖房負荷に及ぼす影響の大きさが指摘される。具体的には、暖冷房負荷は、CASE1からCASE4の順に低減し、CASE2とCASE3では66.4MJ/m<sup>2</sup>・年低減していることから外壁断熱工法の省エネルギー性が認められる。またCASE3とCASE4では13.6MJ/m<sup>2</sup>・年低減しており、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた開口部断熱仕様の省エネルギー効果が認められる。CASE4と高気密・高断熱仕様のCASE6を比較すると、暖房負荷量の差が約59.4MJ/m<sup>2</sup>・年あるため、暖冷房負荷の差は65.9MJ/m<sup>2</sup>・年となるものの、CASE6に対するCASE4の暖冷房負荷は、一般的改修仕様であるCASE2の約1.7倍から約1.3倍程度に低減しており効果が認められる。また床暖房とエアコン併用のCASE8では、エアコンのみのCASE4と比較して暖房負荷は4.6MJ/m<sup>2</sup>・年程度の増加に止まり、床暖房による室内の均一な温度分布と床面接触効果を考慮するとその効果は大きい。CASE5の冬季縁側の温室効果と夏季排熱換気効果も、若干ではあるがCASE4と比較すると1.1MJ/m<sup>2</sup>・年と3.7MJ/m<sup>2</sup>・年の低減が確認できる。

次に計算法2による暖冷房負荷をみると、最も暖冷房負荷が低いのは高断熱・高気密化したCASE6で、438.8MJ/m<sup>2</sup>・年と次世代省エネルギー基準(460MJ/m<sup>2</sup>・年)をクリアしている。しかし伝統民家を再現したCASE1(1397.3MJ/m<sup>2</sup>・年)に対し、CASE3で597.2MJ/m<sup>2</sup>・年(57%削減)、CASE4で533.8MJ/m<sup>2</sup>・年(62%削減)に負荷が低減されており、相当の省エネルギー効果を有す結果が得られた。これより、天井・床の断熱と土壁の「ちり」部分を利用した充填断熱工法及び太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた開口部断熱工法を組合せることにより、省エネルギー性向上の複合効果が期待される。

尚、年間暖冷房時間を比較すると計算法1はいずれのケースも全室連続運転の計算法2の1/6程度であるが、計算法1では隣室への熱損失、立ち上がり時の負荷の大きさや設定温度の差が影響し、計算法2と比較すると単位暖冷房時間当たり負荷は2~3倍程度となる。

## 6. まとめ

本章では、山口県に実在する伝統民家1棟を対象に、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた開口部断熱仕様、土壁の「ちり」部分充填断熱工法による断熱仕様及びエアコンと床暖房の併用を含めた暖房機器の設定法をパラメータとした温熱環境と暖冷房負荷の数値計算を行った。一般的な断熱改修に加え、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた開口

部断熱工法，土壁の「ちり」部分を利用した充填断熱工法を採用した場合，次世代省エネルギー基準の年間暖冷房負荷には及ばないものの，一定の省エネルギー性が確保され，加えてエアコンと床暖房を併用した暖房方式を採用すると，床座時に良好な室内温熱環境が得られることが示された。

注

注 1) 参考文献 11) に建築構造和風木造のすきま風による換気回数が 0.2～1.0 回/時と記載されていることから，最小値の 0.2 回/時を設定した。

注 2) SMASH for Windows Ver.2 のユーザーマニュアル<sup>7)</sup>には，異なる室を壁・床などを介さずに繋ぎ合わせる場合に，互いに同量の換気が行われるものとし，その換気量を室の容量の小さい方の 10 倍と設定するとされており，本計算の場合には縁側の容量の 10 倍の換気量を設定した。縁側 1 と座敷間では 142m<sup>3</sup>/h，縁側 2 と子供室間では 88m<sup>3</sup>/h と設定した。

注 3) 夏期の養蚕型建築における開口部開放時の換気回数が 12.7 回/時と報告<sup>10)</sup>されていることを参考に，夏期排熱換気の換気回数を 13 回/時と設定した。

注 4) SMASH for Windows Ver.2 では，室間相互の換気量はユーザーが判断して入力することとなるので，計算モデルには外部風向・風速や室間の温度差などを考慮した室間の空気の移動は含まれない。しかし，本数値計算は改修を実施する上で想定される改善効果を把握することが目的であり，実用上に必要な精度を求めるとして汎用ソフトを援用した。上述したような複雑な要因を考慮した評価は，換気回路網計算や数値流体計算を用いる必要があり，改修事例の実測と併せて今後の課題である。

注 5) 山口測候所の 30 年間(1971～2000 年)の各月の平均気温と，下関気象台(山口測候所では観測されていないため)の日積算水平面全天日射量を利用し，12 月～2 月の各平均値を算出した結果，平均気温は 5.0℃，日積算水平面全天日射量は 7.7MJ/m<sup>2</sup>となり，これを本事例が立地する冬季の標準的データとして，計算日の気候条件を標準的と判断した。

注 6) 平均放射温度  $t_r$ [℃] は全周壁平均温として以下の手順で求める。

$$t_r = \sum t_i A_i / A \quad \dots\dots\dots (7)$$

$t_i$  : 各壁面の温度[℃]       $A_i$  : 温度  $t_i$  の面積[m<sup>2</sup>]       $A$  : 全周壁面積[m<sup>2</sup>]

注 7) 床暖房の平均放射温度  $t_r$ [℃] は次式により求める。

$$t_r = (A_p t_p + A_w t_w) / A \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、全周壁面積 $A[m^2]$ は

$$A = A_p + A_w \quad \dots\dots\dots(9)$$

であり、床暖房時の床パネルを除く周壁平均表面温度 $t_w[^\circ C]$ は参考文献 5)より式(4)を用いる。

$$t_w = [At_a - A_p t_p + nC_p \rho V(t_a - t_0)/\alpha_c]/(A - A_p) \quad \dots\dots\dots(10)$$

床暖房の床座時の平均放射温度 $t_r[^\circ C]$ は参考文献 5)に従い次式により求める。

$$t_r = F_{b-p} t_p + (1 - F_{b-p}) [At_a - A_p t_p + nC_p \rho V(t_a - t_0)/\alpha_c]/(A - A_p) \quad \dots\dots(11)$$

次に、エアコンの平均放射温度 $t_r[^\circ C]$ は式(7)より求め、床座時の平均放射温度 $t_r[^\circ C]$ は、式(11)と同様次式により算出する。

$$t_r = F_{b-p} t_p + (1 - F_{b-p}) t_w \quad \dots\dots\dots(12)$$

床暖房とエアコンの室内代表点及び床座時の作用温度 $t_o[^\circ C]$ は、平均放射温度 $t_r$ と室内気温 $t_a$ との相加平均とし、次式により求める。

$$t_o = (t_r + t_a)/2 \quad \dots\dots\dots(13)$$

$F_{b-p}$  : 人体から床暖房パネルを見る形態係数 = 0.4[ND]

$t_a$  : 室内気温 $[^\circ C]$     $t_p$  : 床パネル温 $[^\circ C]$     $t_0$  : 外気温 $[^\circ C]$

$t_w$  : 床パネルを除く周壁平均表面温度 $[^\circ C]$     $A_p$  : 床パネル面積 $[m^2]$

$A_w$  : 床パネルを除く周壁の面積 $[m^2]$     $n$  : 換気回数[回/時]

$V$  : 室の容積 $[m^3]$     $C_p$  : 空気の定圧比熱 = 1.007[kj/kgK]

$\alpha_c$  : 対流熱伝達率 = 3.8[W/m<sup>2</sup>K]    $\rho$  : 空気の密度 = 1.206[kg/m<sup>3</sup>]

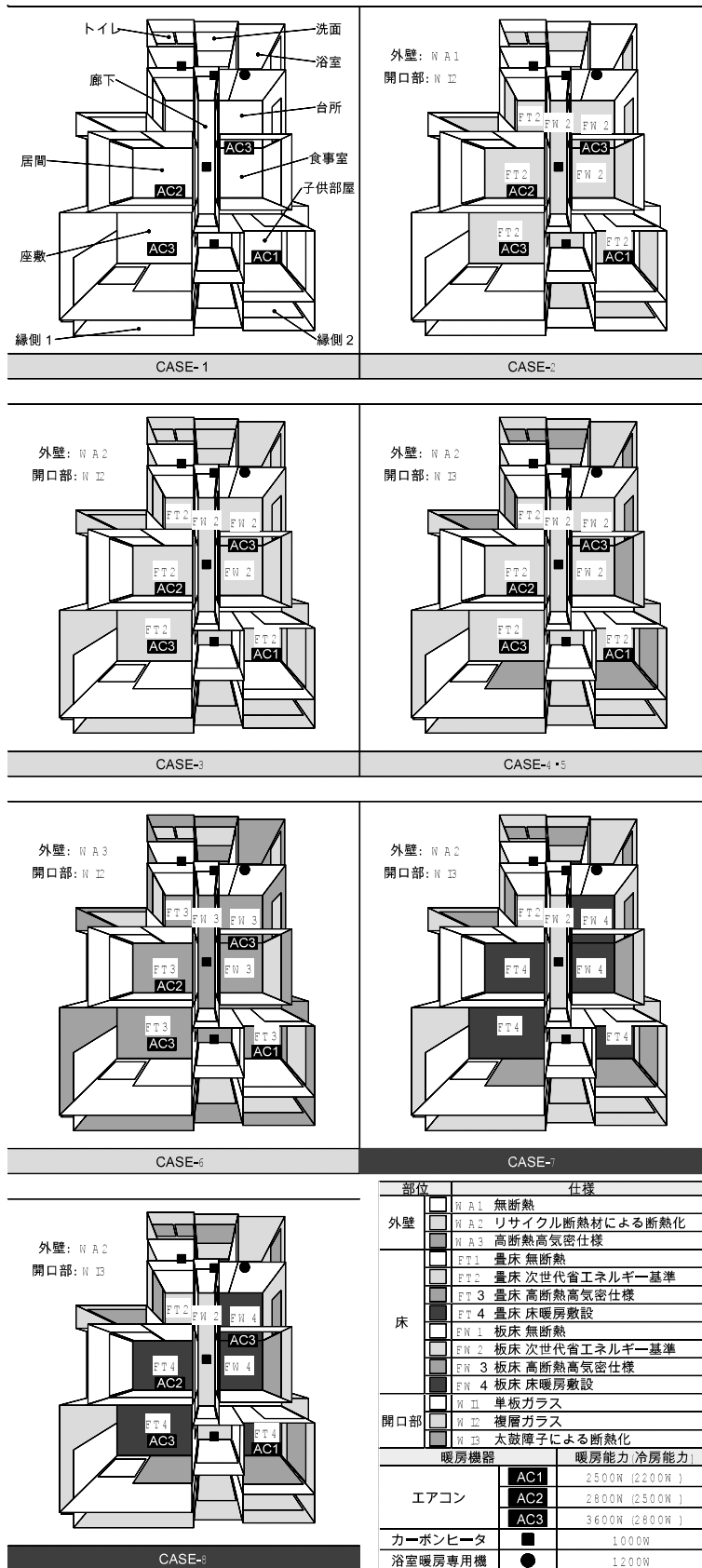
## 参考文献

- 1) 中園真人 他 3 名:太鼓障子と木製複層ガラスサッシによる伝統民家の開口部断熱改修仕様の性能評価,日本建築学会環境系論文集, No.674, pp.241-249, 2012.4
- 2) 水沼 信 他 2 名:稲藁ともみ殻を主原料とするリサイクル断熱材の開発と基本性能評価,日本建築学会環境系論文集, No.616, pp.37-43, 2007.6
- 3) 水沼 信 他 7 名:温暖地における土壁住宅の外気側充填断熱工法の提案と断熱防露性能の検証,日本建築学会環境系論文集, No.624, pp.175-182, 2008.2
- 4) 中園真人 他 4 名:伝統民家縁側の緩衝空間としての温熱環境制御効果,日本建築学会技術報告集, 第 36 号, pp.573-576, 2011.6
- 5) 中村泰人 他 3 名:床暖房室で熱的快適性を実現するための設計法の同定,日本建築学会

環境系論文集, No.594, pp.61-67, 2005.8

- 6) 中園真人 他 5 名:断熱改修とエアコン・床暖房を組合せた伝統民家の温熱環境改善効果, 日本建築学会技術報告集, 第 36 号, pp.563-568, 2011.6
- 7) 建築環境・省エネルギー機構:SMASH for Windows Ver.2-住宅用熱負荷計算プログラム-ユーザーマニュアル, 2000.9
- 8) Kumaran, M.K 著 日本建築学会訳:建築材料の熱・空気・湿気物性値, 2001 年
- 9) (財)住宅・建築省エネルギー機構:次世代省エネルギー基準セミナーテキスト, 1999.4
- 10) 田中俊六他:最新建築環境工学, 改訂 2 版, 井上書院, pp.202-211, 2004
- 11) 井上宇市:空気調和ハンドブック, 改訂 5 版, 丸善株式会社, pp.68-69, 2008
- 12) 宇田川光弘:標準問題の提案 住宅用標準問題:熱分科会第 15 回熱シンポジウムテキスト, 日本建築学会環境工学委員会, pp.23-33, 1985.9
- 13) <http://www.mlit.go.jp/common/000038489.pdf>, 2012.11.12 参照
- 14) 王 岩他 4 名:養蚕型建築に対応した伝統民家の温熱・空気環境の実態とそのメカニズム, 日本建築学会環境系論文集, No.634, pp.1451-1455, 2008.12
- 15) 井上宇市:改訂 3 版建築設備ポケットブック, 相模書房, 1985
- 16) 日本設備設計事務所協会:床暖房設計マニュアル, 第 1 版, 日本設備設計事務所協会, pp.62-63, 2003





付図 5.1 各部位の断熱仕様と暖房機器の設定条件

## 第6章 結論

### 1. 本論文の知見

本論文では、伝統民家を対象に施工性やコストを考慮した室内温熱環境を改善する改修を計画・設計する上で有効となる技術的知見を得ることを目的として、(1) 太鼓障子と木製複層ガラスサッシの組合せによる開口部断熱改修仕様の性能評価、(2) 縁側の温熱環境制御効果の把握、(3) エアコン・床暖房の併用効果の検討を行うとともに、(4) 実在する伝統民家を対象に、数値計算により、開口部断熱改修仕様、冬季縁側の温室効果を利用した暖房エネルギー削減手法、エアコン・床暖房併用時の室内温熱環境改善効果と省エネルギー性能について検討した。以下に本論文で得られた知見を示す。

#### 1.1 第2章の知見

太鼓障子と木製複層ガラスサッシによる伝統民家の開口部断熱改修仕様の性能評価を目的として、室内実験と実家屋改修事例の計測を行い、以下の知見を得た。

- 1)室内実験の結果から、室内側障子表面の温度を比較すると、空気層 26mm の太鼓障子(試験体 No.3)は 22.3℃、空気層 16mm の太鼓障子(試験体 No.2)は 21.7℃、普通障子(試験体 No.1)は 20.5℃で、試験体 No.3> No.2> No.1 の順に断熱性能が高いことが確認された。熱貫流率と熱抵抗値を指標に断熱性能を比較すると、試験体 No.2 と 3 の熱抵抗値は試験体 No.1 の 1.2~1.3 倍となり、熱貫流率は約 20%低下した。
- 2)実家屋の改修事例の計測結果より、太鼓障子+複層ガラスの熱抵抗値は平均  $0.64\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ 、太鼓張りされた障子紙の室内側と中間空気層側の表面の温度差は 4.0~5.2℃、複層ガラスでは 3.0~3.8℃となり、室内実験同様太鼓障子が断熱性能向上に寄与していることが確認された。また太鼓障子仕様の場合、複層ガラスのみの場合よりも冬期一日の開口部熱損失量が約 4 割削減されることが確認された。
- 3)太鼓障子+複層ガラス仕様の熱抵抗及び熱貫流率の簡易推計方法を示し、室内実験・実家屋計測結果と比較した結果、比較的良好な推計結果を得た。また太鼓障子+複層ガラスの熱貫流率は障子・カーテンを使用した場合と比べて低く、単板ガラスと比較すると 27%まで低下しており、単板ガラスが多い伝統民家の開口部を断熱改修する場合、断熱性能の高い本仕様の有効性が示された。

以上から、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを組み合わせた仕様は、障子・カーテンを用いた場合に比べ高い断熱性能が得られ、単板ガラスが多い伝統民家の開口部を断熱改修す

る場合の有効な手法と考えられる。本章で示した熱抵抗及び熱貫流率の簡易推計方法は、任意の格子形状と幅を有す太鼓障子空気層と中間空気層の熱抵抗を算定でき、かつ建具仕様全体の熱抵抗の算定が可能のため、断熱改修設計の計算手法として有用と考える。

## 1.2 第3章の知見

縁側の温熱環境制御効果の把握を目的として、伝統民家縁側の室内温熱環境の実測及び数値計算を行い、以下の知見を得た。

- 1) 冬季縁側空間の温熱環境実測調査の結果から、縁側隣接和室が暖房された状態で、縁側空間の室温は18℃程度まで上昇していることが確認された。計算により縁側隣接和室が非暖房状態での縁側の室温を求めると、17℃程度になる。冬季の温室の室温は12～15時の間30℃以上に保たれており、内外温度差の最大値を比較すると縁側は9.8℃、温室が16.0℃で、温室の最大値が6.2℃高い。しかし、日中の縁側の室温は非暖房の4.5畳和室と比較すると7℃程度高く、温室の室内外温度差の最大値の比較より約61%の室温の上昇効果が確認できる。
- 2) 夏季の縁側空間の温度は、縁側のガラス戸が開放された状態で外気温と同等に保たれていた。一方温室の室内外温度差は大きく、夏季には縁側が優れた温熱環境制御機能を有すことが再確認された。
- 3) 断熱性能をパラメータとして縁側の室温を計算した結果、縁側空間の床・天井・開口部を断熱することにより、晴天日15時の室温は19℃程度まで上昇することが確認された。縁側の室内外温度差の最大値は11.4℃で、温室の室内外温度差の最大値と比較すると、約7割の室温上昇効果が得られており、早朝夜間の室温低下についても改善されることが示された。

以上から、伝統民家縁側の冬季晴天日の温度は日中の非暖房室の室温と比較すると相当高く、温室には及ばないものの一定の「温室効果」が認められた。また断熱改修により縁側の温度上昇が可能で、夜間早朝の温度低下も一定程度防げることが確認された。従って縁側にガラス戸を設置し適切な断熱改修を行えば、夏季冬季を通じて室内温熱環境を改善する有効な手段になることを指摘した。

## 1.3 第4章の知見

エアコン・床暖房の併用効果の検討を目的として、山口県に立地するエアコン・床暖房を設置した改修事例を対象に、室内温熱環境の計測及び数値計算を行い、以下の知見を得た。

- 1)床暖房単独運転の場合、定常状態で室温は 18℃に保たれ床暖房時の快適推奨範囲を満たしているものの、床表面温度と室温が定常状態に達するのに開始後約 8 時間を要すが、暖房開始時にエアコンを併用した場合には、暖房開始直後から十分な室温が得られた。
- 2)床暖房単独運転の場合には、運転開始 30 分後から上下温度差が解消された室内温熱環境が得られるものの、室温自体は低い。エアコン・床暖房併用時の場合には、運転開始 30 分後の室温(床上 100cm)と足元付近の間に差異を認められるが、ファンヒータ使用時よりも室内の上下温度差を小さく保てることが示された。
- 3)数値計算により、一次エネルギー消費量を算出した結果、石油熱源機を使用した場合の床暖房のエネルギー消費量はエアコンの 2.0 倍程度であり、石油温風ヒータを上回る。ヒートポンプ式熱源機を使用した場合の床暖房では、エアコンの 0.9 倍程度となり、エアコンを併用した場合でも床暖房時の 1%未満の増加に抑えられることが示され、エアコン・床暖房併用の省エネルギー性を確認できた。

以上から、床暖房の運転開始時にエアコンを短時間併用することにより、省エネルギーかつ室内の上下温度差を解消しつつ円滑に室温を上昇させることができることから、エアコン・床暖房の併用は比較的温暖な地域の場合には、温熱環境を改善する有効な手法であることを指摘した。また、本章で用いた計算モデルの計算値は、エアコン・床暖房併用時の室温変動の計測値と比較した結果、実用上十分な精度が得られたことから、民家改修の計画・設計段階において、補助暖房の併用スケジュールや省エネルギー性の検討手法として有用と考える。

#### 1.4 第 5 章の知見

(1)太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた開口部断熱仕様、(2)冬季縁側の温室効果を利用した暖房エネルギー削減手法、(3)エアコンと床暖房を併用した暖房手法を適用した民家改修を実施した場合の室内温熱環境改善効果を明らかにすることを目的として、山口県に実在する伝統民家一棟を対象に、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた開口部断熱仕様、土壁の「ちり」部分充填断熱工法による断熱仕様及びエアコンと床暖房の併用を含めた暖房機器の設定法をパラメータとした温熱環境と暖冷房負荷の数値計算を行い、以下の知見を得た。

- 1)一般的断熱改修に外壁断熱工法を付加した場合、早朝 6 時の食事室＋台所室温は 3.1℃上昇した。太鼓障子による開口部断熱の場合、大開口部を有す食事室＋台所の室温が 1.1℃上昇し、早朝時の平均放射温度も室温上昇と同程度の改善が認められた。暖房停止 2 時

- 間後の平均放射温度は、標準的伝統民家と一般的断熱改修の場合室温より低いが、外壁断熱と太鼓障子による開口部断熱の場合、平均放射温度は室温と同程度まで上昇する。
- 2)室温差解消に関しては、外壁断熱では13時の廊下・洗面と座敷(20.0℃)との温度差は1.7～2.2℃で0.8～1.5℃、開口部断熱では、廊下・洗面と座敷との温度差は1.5～2.0℃で0.2℃程度解消された。平均放射温度も温度差の解消と同程度の改善が認められた。
  - 3)暖房エネルギーは、外壁断熱では暖房立ち上がり時(7時)の食事室＋台所で3.4MJ/h低減し、開口部断熱では21～22時にかけて外気温の低下に伴い増加する食事室＋台所の暖房負荷が22時において0.6MJ/h低減した。
  - 4)エアコンと床暖房を併用した場合の座敷の室温は、暖房開始1時間後には設定温度20.0℃に達し、エアコン併用効果が示された。また室内代表点と床座時の作用温度は21.6℃・22.5℃で、ともに良好な室内温熱環境が得られることが確認された。
  - 5)外壁充填断熱工法を用いると標準的伝統民家に対し66.4MJ/m<sup>2</sup>・年、開口部断熱工法では13.6MJ/m<sup>2</sup>・年の負荷低減が可能となる。外壁充填断熱と開口部断熱を組合せた場合、暖冷房負荷は533.8MJ/m<sup>2</sup>・年となり、標準的伝統民家の1/2以上の削減が可能で、次世代省エネルギー基準は満たさないものの相当の省エネルギー性が確認された。
  - 6)エアコン・床暖房併用の場合、エアコンのみの場合と比較して5MJ/m<sup>2</sup>・年程度の負荷増加で、冬季縁側の温室効果の活用と夏季排熱換気効果についても1.1MJ/m<sup>2</sup>・年と3.7MJ/m<sup>2</sup>・年の低減が確認された。

以上から、一般的な断熱改修に加え、太鼓障子と木製複層ガラスサッシを用いた開口部断熱工法、土壁の「ちり」部分を利用した充填断熱工法を採用した場合、次世代省エネルギー基準の年間暖冷房負荷には及ばないものの、相当の省エネルギー性が確保され、加えてエアコンと床暖房を併用した暖房方式を採用すると、床座時に良好な室内温熱環境が得られることから、本改修手法は比較的温暖な地域では、温熱環境を改善する有効な手法として位置付けられる。

## 2. 今後の課題

第3章と第5章において、それぞれ冬期縁側の温室効果と、その利用による縁側隣接居室の暖房エネルギーの削減効果を確認することができた。しかし、温室効果の確認は温暖地域の1事例の計測によるものであり、暖房エネルギーの削減効果についても数値計算による把握に止まっている。今後は対象地域を広げるとともに、縁側の改修事例を含め計測

事例数を増やし、縁側隣接居室への効果を含め検証を行うことが課題である。

第4章の数値計算の結果、実用上必要な精度で床暖房の暖房立ち上がり時にエアコンを併用運転した場合の省エネルギー性を明らかにすることができた。しかし、本計算は冬季の平年の気候を示した、除霜運転が発生しない一日を対象に汎用ソフトを用いて行ったものである。今後は数値流体計算を用いた伝導・対流・放射を連成した熱移動の解析、除霜運転による COP の低下を考慮した暖房期間を通じたエネルギー消費量の確認を行うことが課題である。

第5章の数値計算は、改修を実施する上で想定される改善効果を把握することを目的に、汎用ソフトを用いた数値計算により、室間の温度差の解消や次世代省エネルギー基準を指標とした年間暖冷房負荷の低減効果を確認した。この結果、実用上必要な精度で改善効果を明らかにすることができた。しかし、外部風向・風速や室間の温度差などを考慮した室間の空気の移動を含めた詳細な計算による改善効果は明らかにできていない。こうした複雑な要因を考慮した評価は、換気回路網計算や数値流体計算を用いる必要があり、改修事例の実測と併せて今後の課題である。また、改修コスト低減効果についても未検討である。この問題に対しては、各改修手法の改修費の見積もりを比較検討することにより解決できることから、改修コスト低減効果の具体的把握が課題である。

また、本論文では取り上げていない(1)外壁の断熱改修仕様、(2)小屋裏断面部分の断熱改修仕様、(3)床下断面部分の断熱改修仕様についても今後の課題としたい。

## 謝辞

本論文をまとめるに当たっては、山口大学理工学研究科の中園真人教授の貴重なご指導を仰いだ。また、研究の多くは、山口大学理工学研究科の小金井真准教授の具体的にご指導に負うところが大きい。

本論文第2章では、当時山口大学理工学研究科の後藤伴延講師と山口県産業技術センターの水沼信グループリーダーの貴重なご指導とご援助を頂戴した。

なお、実測調査を実施するに当っては、福祉施設の「中村さん家」・「さんコープ河村邸」の関係者の各位に、多大なご協力を頂いた。

本論文を取りまとめることが出来たのは、以上のような多くの方々のご指導とご協力に負うところが大きく、末筆ながら記して深く感謝を申し上げます。