フォームコアパネル棟を主とする4棟の実験棟の冷暖房時における 温熱居住環境とエネルギー消費量の比較

—蒸暑地域の住宅の温熱環境に関する調査研究 その2—

COMPARISON OF INDOOR THERMAL ENVIRONMENT AND ENERGY CONSUMPTION FOR SPACE HEATING AND COOLING AMONG FOUR TEST HOUSES CONSTRUCTED MAINLY WITH FOAM CORE PANELS

—Investigation on indoor thermal environment of residential houses
in hot and humid climate in Japan Part 2—

小原 聡司*, 赤坂 裕**, 黒木 荘一郎***, 曾我 和弘****
*Satoshi OBARA, Hiroshi AKASAKA, Soichiro KUROKI
and Kazuhiro SOGA*

The purpose of this report is to examine experimentally the indoor thermal environment and energy consumption of the test houses constructed in hot and humid climate. Four test houses were constructed in the site of Kagoshima University(31° 34'N, 130° 33'E). Each of them was single story, one room detached house with 3(m) × 4(m) floor area. One was built by 2×4 and the other three were built with FCP(foam-core-panels). Outdoor meteorological parameters, indoor air temperature and electric power consumption were measured and compared. Electric power consumption was also estimated from the computed air-conditioning load. The difference between estimated and measured electric power consumptions of the 2×4 test house was larger than that of a FCP test house. The seasonal simulation of the electric power consumption for the FCP test house showed that the heating consumed 2.8 times more electricity than the cooling.

Keywords: *Insulation, Air-tightness, Foam core panel, Space cooling and heating, Electric power*
断熱, 気密, フォームコアパネル, 冷暖房, 消費電力

1. はじめに

高断熱・気密化住宅を温暖地に導入する場合, 冬季だけでなく夏季の温熱環境も問題となる。温暖地における断熱気密住宅の温熱環境について調べるために, 1990年7月に鹿児島大学工学部の敷地内にフォームコアパネル(Foam Core Panel, 芯材に発泡ポリスチレン, 両表面材に OSB を用いたサンドイッチパネル, 以下 FCP と略す) による試験棟3棟と2×4構法による試験棟1棟の計4棟を互いに隣接して建設し, 表1に示すような改修や建替えを行いながら1993年12月まで各種の実測を行った。前報¹⁾では, それらの中で, 断熱程度・窓仕様等の建物条件と夏季の日射遮蔽や通風・冬季の日射導入など, パッシブ手法の違いによる温熱環境を比較した。その結果, 夏季において FCP 棟は2×4構法に比べ夜間の室温が下がりにくいことや, 日射遮蔽・通風という一般的なパッシブ手法だけでは快適な熱環境の実現は困難であり, 冷房が必要であることが明らかとなった。本報では, 夏季・冬季の冷暖房時の室内温熱環境を確認すると同時に, 冷暖房によるエネルギー消費量を調べた。その際, 建物仕様の違いに加え日射遮蔽を行った場合の省エネルギー性についても整理した。また市販の住宅用熱負荷計算ソフトウェアを用いて数日分の冷暖房熱負荷を求めて消費電力に換算して実測値と比較し, 建

物毎の実測値とシミュレーション結果との違いを調べた。さらに実測した外界条件を用いた数ヶ月分のシミュレーションを行い, FCP 棟の年間消費電力を求めた。以上の結果について報告する。

2. 実測の目的と試験棟の仕様

2.1 試験棟による実測の目的

夏季蒸暑度の高い地域でも住宅の断熱化・気密化が進行している。既往の多くの事例が示すように, 断熱気密住宅では冬季には暖房消

表1 試験棟の改修の履歴と名称の変遷

竣工時	実験棟名称				改 装 内 容	仕様区分
1990年7月	TF	RA	RB	RC		
1991年12月			RB'		RB':他棟と同じ北窓設置	初期仕様
1992年5月				RCF	RCF:屋根をFCPフラットへ改修(結露測定用)	
1992年7月	TFR		RB''		TFR:屋根のみFCPへRB'':屋根・外装をRAと統一	改修後仕様
1993年7月				TWS	TWS:木造軸組構法で完全改修	
1993年12月						

*RB', RCF棟に関する温熱環境の実測は本報では行っていない。

* 都城工業高等専門学校 助教授・博士(工学)
** 鹿児島大学工学部建築学科 教授・工博
*** 北九州市立大学国際環境工学部環境空間デザイン学科 教授・工博
**** 鹿児島大学工学部建築学科 助教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Miyakonojo National College of Technology, Dr. Eng.
Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kagoshima Univ., Dr. Eng.
Prof., Dept. of Environmental Space Design, Faculty of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kagoshima Univ., Dr. Eng.

図1 試験棟の立面・平面・断面(RA棟, 単位[mm])

表2 試験棟^{*1}の仕様

実験 棟名	構 法		仕 上 げ		基礎	床面積 [㎡]	延床面積 [㎡]		空間容積 [㎡]		小屋裏換 気口 [mm]	
	壁	屋根 ^{*)}	床	屋根			外壁	南 ^{*)}	北 ^{*)}	居室		小屋裏 ^{*)}
TF	2×4	2×4	2×4	スレート	947'イン'	布基礎 ^{*)}	2.35	0.7	28.8	7.65	7.38	140φ ^{*)}
RA	FCP	FCP	2×4	スレート	947'イン'		2.35	0.7	27.6	4.78	5.70	
RB	FCP	FCP	2×4	スレート	947'イン'		2.35	-	27.6	4.78	5.70	
RC	FCP	FCP	2×4	瓦	モルタル		1.18	0.7	27.6	4.78	5.70	
TFR	2×4	FCP	2×4	スレート	947'イン'		2.35	0.7	28.8	4.78	7.38	
RB [*]	FCP	FCP	2×4	スレート	947'イン'		2.35	0.7	27.6	4.78	5.70	無
TWS	軸組	軸組	軸組	スレート	947'イン'		2.35	0.7	28.1	6.86	4.20	200×350

*1 各試験棟とも南向き上部壁面にヒートポンプ^{*4}外付けブラインド(1993年5月以降は壁)、遮光ブラインド(暖房能力4.2kW、冷房能力2.8kW)を設置。
 *2 屋根勾配は3/10。
 *3 南北方位各2ヶ所、計4ヶ所。
 *4 外付けブラインド(1993年5月以降は壁)、遮光ブラインド有り。
 *5 遮光ブラインド有り。
 *6 妻壁(東西)に各1カ所有り。
 *7 妻壁(東西)に各1カ所。通常はガラスで密封。

表4 試験棟の熱損失係数(計算値)と相当隙間面積(減圧法)

棟名	TF	RA	RB	RC	RB [*]	TFR	TWS
熱損失係数(計算値) ^{*1,*2} [W/(m ² ·K)]	5.23	3.14	2.79	2.79	3.14	5.00	4.77
測定年月	1991年12月						
窓や点検口等の目張りなし	6.5 (1.5)	4.4 (1.5)	3.7 (1.5)	3.6 (1.6)	-	-	-
測定年月	1993年11月						
窓や点検口等の目張りなし	-	9.0 (1.8)	-	-	7.3 (1.5)	8.9 (1.7)	7.6 (1.5)
北側窓及び天井・床下点検口目張り有 ^{*3}	-	3.0 (1.3)	-	-	2.8 (1.2)	2.3 (1.1)	4.1 (1.5)
上2欄の差	-	6.0	-	-	4.5	6.6	3.5

*1 換気回数は、TF、TFR、TWS棟は0.6回/h、その他の棟は0.3回/hとした。
 *2 窓の熱貫流率は3.02W/(m²·K)とした。
 *3 TWS棟は小屋裏換気口も閉鎖。

表3 試験棟の部位別の断面構成

表3 試験体の部位別の断面構成														
棟名 部位	TF		RA		RB		RC		TFR		RB'		TWS	
	材名	厚さ [mm]	材名	厚さ [mm]	材名	厚さ [mm]	材名	厚さ [mm]	材名	厚さ [mm]	材名	厚さ [mm]	材名	厚さ [mm]
屋根	スレート	10	スレート	10	スチール	1	瓦	15	スレート	10	スレート	10	スレート	10
	アスファルト・フィン	2	アスファルト・フィン	2	アスファルト・フィン	2	2 空気層	50	アスファルト・フィン	2	アスファルト・フィン	2	アスファルト・フィン	2
	合板	25	OSB	12	OSB	12	アスファルト・フィン	12	OSB	12	OSB	12	合板	12
妻面	発泡スチレン	190	発泡スチレン	190	発泡スチレン	190	合板	15	発泡スチレン	140	発泡スチレン	190	発泡スチレン	190
	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12
	OSB	12	OSB	12	OSB	12	発泡スチレン	190	OSB	12	OSB	12	OSB	12
天井	サイディング(スレート)	20	サイディング(スレート)	20	スチール	1	モルタル	30	サイディング(スレート)	20	サイディング(スレート)	20	サイディング(スレート)	12
	合板	10	OSB	12	OSB	12	OSB	12	合板	10	OSB	12	アスファルト・フィン	2
	発泡スチレン	90	発泡スチレン	90	発泡スチレン	90	発泡スチレン	90	グラスウール(10K)	50	発泡スチレン	90	OSB	12
外壁	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12
	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12
	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12	OSB	12
床	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9
	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9
	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9
窓	サイディング(スレート)	20	サイディング(スレート)	20	スチール	1	モルタル	30	サイディング(スレート)	20	サイディング(スレート)	20	サイディング(スレート)	12
	合板	10	OSB	12	OSB	12	OSB	12	合板	10	OSB	12	アスファルト・フィン	2
	グラスウール(10K)	50	発泡スチレン	90	発泡スチレン	90	発泡スチレン	90	グラスウール(10K)	50	発泡スチレン	90	グラスウール(10K)	50
窓枠	空気層	50	OSB	12	OSB	12	OSB	12	空気層	50	OSB	12	空気層	50
	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9
	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9	石膏ボード	9
窓	合板	10	合板	10	合板	10	合板	10	合板	10	合板	10	合板	15
	発泡スチレン	25	発泡スチレン	75	発泡スチレン	75	発泡スチレン	75	発泡スチレン	25	発泡スチレン	75	発泡スチレン	50
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	空気層	12	空気層	12	空気層	12	空気層	12	空気層	12	空気層	12	空気層	12
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3
窓枠	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3	普通ガラス	3						

費エネルギーが削減され温熱環境が改善されるが、冬季以外の季節でも温熱環境面の向上、冷房消費エネルギーの低減、環境負荷の軽減効果等が期待される。この研究では3棟のFCP棟と1棟の2×4棟及びこれらを改修した延べ7棟を用いて冷暖房条件下における温熱環境を実測し、得られたデータを整理・比較することにした。またシミュレーション結果から冷暖房用エネルギー量を導出し、実測した消費エネルギーに対し、各構法(FCP、2×4、在来軸組)のモデル

でどの程度再現できるかを調べることにした。

2.2 試験棟の仕様

この研究で使用した試験棟の平・立断面例を図1に、また各棟の仕様詳細を表2、表3に示す。試験棟は当初TF・RA・RB・RCの4棟を建設した。そのうちTF棟が2×4構法、RA～RC棟の3棟がFCP構法である。平面形はいずれも3×4mであり、窓の大きさを除き各棟ともほぼ同じ形状である。RA棟は2×4構法のTF棟と構

表5 冷暖房時における比較観点・設定内容・室内温熱環境と外界気象等

(1) 夏季・冷房時

主な比較観点	日射遮蔽が温熱環境・冷房用消費エネルギーに与える影響 その1 (初期仕様)												日射遮蔽が温熱環境・冷房用消費エネルギーに与える影響 その2 (改修後仕様)											
	1991/8/14(図2 (1))						1991/8/18(図2 (2))						1993/8/23(図2 (3))						1993/8/25(図2 (4))					
	冷房 ¹⁾ 日射遮蔽なし						冷房 ¹⁾ 日射遮蔽8~19時						冷房 ¹⁾ 日射遮蔽なし						冷房 ¹⁾ 日射遮蔽8~19時					
実測月日 (図番号)																								
主な設定内容																								
棟名	TF	RA	RB	RC	TF	RA	RB	RC	TF	RA	RB	TWS	TF	RA	RB	TWS	TF	RA	RB	TWS	TF	RA	RB	TWS
①日平均室温[℃]	26.2	26.3	26.1	26.4	25.8	25.8	25.7	26.2	26.0	26.2	26.2	26.5	25.8	26.0	25.9	26.2	25.8	26.0	25.9	26.2	25.8	26.0	25.9	26.2
②最高室温[℃] (発生時刻)	28.8 (12:40)	28.0 (13:00)	27.6 (12:40)	27.4 (10:30)	27.4 (14:30)	26.4 (09:30)	26.2 (14:30)	26.9 (12:10)	27.8 (14:10)	27.3 (13:10)	27.6 (12:10)	28.1 (14:10)	27.4 (16:20)	26.7 (10:20)	26.7 (11:40)	27.9 (15:40)	27.4 (16:20)	26.7 (10:20)	26.7 (11:40)	27.9 (15:40)	27.4 (16:20)	26.7 (10:20)	26.7 (11:40)	27.9 (15:40)
③最低室温[℃] (発生時刻)	24.5 (02:20)	25.0 (02:30)	24.8 (01:30)	25.3 (01:10)	24.7 (00:20)	25.1 (04:00)	24.9 (00:40)	25.4 (01:10)	24.6 (00:20)	25.4 (21:40)	25.1 (21:50)	25.1 (05:50)	24.3 (06:00)	25.3 (05:40)	24.9 (23:30)	24.2 (05:50)	24.3 (06:00)	25.3 (05:40)	24.9 (23:30)	24.2 (05:50)	24.3 (06:00)	25.3 (05:40)	24.9 (23:30)	24.2 (05:50)
④室温日較差[℃]	4.3	3.0	2.8	2.1	2.7	1.3	1.3	1.5	3.2	1.9	2.5	3.0	3.1	1.4	1.8	3.7	3.1	1.4	1.8	3.7	3.1	1.4	1.8	3.7
⑤(室温-外気温)の日平均[℃]	-1.9	-1.9	-2.1	-1.7	-3.1	-3.1	-3.2	-2.7	0.1	0.3	0.2	0.6	-0.4	-0.1	-0.2	0.1	-0.4	-0.1	-0.2	0.1	-0.4	-0.1	-0.2	0.1
⑥日平均相対湿度[%]	62.6	69.2	66.5	66.1	68.6	74.1	71.8	70.8	72.8	68.8	72.0	72.2	72.8	69.4	72.5	71.2	72.8	69.4	72.5	71.2	72.8	69.4	72.5	71.2
⑦冷房消費電力[Wh/㎡]	302.3	251.9	234.1	199.4	286.8	243.8	227.9	191.4	177.0	177.4	207.6	161.5	173.7	179.5	241.7	161.5	173.7	179.5	241.7	161.5	173.7	179.5	241.7	161.5
⑧各棟消費電力/RA棟消費電力	120.0	100.0	92.9	72.1	117.6	100.0	93.5	78.5	99.7	100.0	117.0	91.0	96.8	100.0	134.7	90.0	96.8	100.0	134.7	90.0	96.8	100.0	134.7	90.0
⑨日最高外気温[℃] (発生時刻)	33.3 (13:10)						33.1 (13:50)						31.3 (14:00)						32.0 (14:00)					
⑩日最低外気温[℃] (発生時刻)	24.5 (04:40)						26.5 (02:00)						22.2 (05:00)						20.8 (05:50)					
⑪外気温日較差[℃]	8.8						6.6						9.1						11.2					
⑫日平均外気温[℃]	28.1						28.9						25.9						26.1					
⑬日平均外気相対湿度[%]	73.5						69.4						76.4						72.3					
⑭水平面全日射量[MJ/㎡・日]	18.6						18.6						21.7						24.5					
⑮主風向(16位, 上位2位)(頻度)[%]	NNE(14.6) N(13.9)						NE(38.2) ENE(37.5)						W(22.2) WNW(20.1)						NE(16.7) NNE(12.5)					
⑯日平均風速[m/s]	1.5						3.6						1.4						1.0					

(2) 冬季・暖房時

主な比較観点	日射遮蔽が温熱環境・暖房用消費エネルギーに与える影響 その1 (改修前仕様) 及び 2×4棟の屋根断熱化の影響												夜間カーテン使用が温熱環境・暖房用消費エネルギーに与える影響 その2 (改修後仕様) (RB棟は床にレゾナンス敷)											
	1991/2/23(図3 (1))						1993/1/21(図3 (2))						1993/11/24(図3 (4))						1993/12/6(図3 (3))					
	暖房 ²⁾ 日射制御なし(初期仕様)						暖房 ²⁾ 屋根断熱, 2×4棟の日射制御なし(改修後仕様)						暖房 ²⁾ 日射制御なし(改修後仕様), 夜間カーテン使用						暖房 ²⁾ 日射制御なし(改修後仕様), 夜間カーテン非使用					
実測月日 (図番号)																								
主な設定内容																								
棟名	TF	RA	RB	RC	TF	RA	RB	RC	TF	RA	RB	TWS	TF	RA	RB	TWS	TF	RA	RB	TWS	TF	RA	RB	TWS
①日平均室温[℃]	23.9	25.4	24.8	24.9	23.8	25.1	25.4	25.0	23.0	24.8	24.3	23.5	23.8	24.9	24.4	25.3	23.8	24.9	24.4	25.3	23.8	24.9	24.4	25.3
②最高室温[℃] (発生時刻)	27.0 (12:40)	30.9 (13:50)	28.8 (13:30)	26.8 (12:40)	27.7 (15:10)	30.0 (14:50)	30.8 (14:40)	27.1 (13:30)	28.0 (14:40)	30.1 (14:40)	29.6 (13:40)	27.5 (13:30)	27.5 (11:40)	29.3 (14:30)	29.2 (14:10)	27.8 (13:30)	27.5 (11:40)	29.3 (14:30)	29.2 (14:10)	27.8 (13:30)	27.5 (11:40)	29.3 (14:30)	29.2 (14:10)	27.8 (13:30)
③最低室温[℃] (発生時刻)	22.2 (22:20)	22.9 (07:50)	23.1 (04:50)	23.5 (06:50)	21.7 (07:20)	22.6 (05:00)	23.1 (05:10)	23.5 (04:40)	14.1 (23:50)	18.4 (23:50)	19.5 (23:50)	12.3 (23:50)	22.4 (03:30)	23.3 (21:10)	22.7 (05:00)	24.1 (00:40)	22.4 (03:30)	23.3 (21:10)	22.7 (05:00)	24.1 (00:40)	22.4 (03:30)	23.3 (21:10)	22.7 (05:00)	24.1 (00:40)
④室温日較差[℃]	4.8	8.0	5.7	3.3	6.0	7.4	7.7	3.6	13.9	11.7	10.1	15.5	5.1	6.0	6.5	3.7	5.1	6.0	6.5	3.7	5.1	6.0	6.5	3.7
⑤(室温-外気温)の日平均[℃]	21.6	23.1	22.5	22.6	19.1	20.4	20.7	20.3	16.4	18.2	17.8	17.0	16.4	17.4	17.0	17.9	16.4	17.4	17.0	17.9	16.4	17.4	17.0	17.9
⑥日平均相対湿度[%]	31.6	24.9	24.2	26.8	35.3	39.4	39.9	48.4	37.6	35.8	43.5	32.2	35.4	34.1	41.5	29.5	35.4	34.1	41.5	29.5	35.4	34.1	41.5	29.5
⑦暖房消費電力[Wh/㎡]	711.4	543.9	468.9	548.7	522.8	413.8	404.5	494.0	320.4	246.9	252.1	350.8	476.8	359.2	340.4	485.2	476.8	359.2	340.4	485.2	476.8	359.2	340.4	485.2
⑧各棟消費電力/RA棟消費電力	130.8	100.0	86.2	100.9	126.3	100.0	97.8	119.4	129.7	100.0	102.1	142.0	132.7	100.0	94.8	135.1	132.7	100.0	94.8	135.1	132.7	100.0	94.8	135.1
⑨日最高外気温[℃] (発生時刻)	6.1 (14:00)						10.9 (14:00)						10.7 (14:10)						12.5 (12:20)					
⑩日最低外気温[℃] (発生時刻)	-0.5 (7:20)						0.1 (07:10)						2.8 (23:50)						4.3 (07:20)					
⑪外気温日較差[℃]	6.6						11.2						7.9						8.2					
⑫日平均外気温[℃]	2.3						4.7						6.5						7.4					
⑬日平均外気相対湿度[%]	63.7						53.3						58.5						64.0					
⑭水平面全日射量[MJ/㎡・日]	15.5						12.9						11.4						11.5					
⑮主風向(16位, 上位2位)(頻度)[%]	N(39.6) NNE(33.3)						NNE(37.5) NW(13.9)						NNE(47.2) N(19.4)						N(31.9) NNE(25.0)					
⑯日平均風速[m/s]	2.6						1.6						1.9						1.6					

*1 室温26℃, 風量自動で連続運転。 *2 室温22℃, 風量自動で連続運転。

法の違いによる影響を見るための基準棟で、外装仕上げはTF棟と同じサイディングである。RB棟はRA棟に対して北側窓がない影響を調べることを主目的とするが、外表面仕上げがFCPに与える影響も調べるため屋根及び外壁がスチールで仕上げられている。RC棟はRA棟に対して南側窓面積を半分とし、その影響を調べることを主目的とするが、やはり外表面仕上げの影響を調べるため瓦・モルタル仕上げである。このような竣工直後の4棟の仕様を「初期仕様」と呼ぶ。その後、実測目的に応じて表1に示すような数回の改修

図2 夏季冷房運転時の外界気象と室温、消費電力等

棟等の構法の違いが消費電力と室温に与える影響を比較・考察した。各設定条件下で測定した期間から、夏季については晴天で暑い日、冬季については晴天で寒い日を選択し、外界条件と室温、消費電力量を図2、図3に示した。また表5には室内温熱環境と消費電力及び外界条件の統計データを整理した。電力量は積算電力計を用いているが、10分毎の消費電力は電力用トランスデューサで計測している。

3. 1 夏季・冷房時

(1) 初期仕様におけるFCP棟間及び構法間の比較

図2(1)～(2)は初期仕様における外界気象と各棟の温熱環境、消費電力で、図2(1)は日射遮蔽無で図2(2)は日射遮蔽有の場合である。冷房設定温度は26℃(エアコン吸込口温度)であるが、(d)段の室温は室中央のグローブ温度で表している。そのため、例えば8/14のTF棟の最高室温は設定温度より約2℃高い28℃を示している。

図2(1)(d)段の各棟の室温日較差を表5(1)④で読むと、FCP棟が2.1～3.0℃であるのに対してTF棟は4.3℃で最も大きい。FCP棟の中でRC棟の室温日較差が最も小さいのは南側窓面積が半分であることによる。図2(1)の消費電力(c)段では日射のある時間帯でTF棟の消費電力はFCP棟より約10W/㎡大きい。積算電力(b)段はTF棟約300Wh/㎡に対し、RA棟とRB棟が230～250Wh/㎡、RC棟は約200Wh/㎡で、構法及び各棟の開口部仕様の差が現れている。図2(2)は外付けブラインドによる日射遮蔽を8～19時に行った場合

である。日射遮蔽無の場合(図2(1))に比べて積算電力が3～5%しか減少していないのは、図2(2)の方が夜間の外気温が高く、夜間の消費電力が多かったことによると考えられる。表5(1)⑤のように、RA棟を基準(100)とした各棟の積算電力の比率は、日射遮蔽無と日射遮蔽有の場合でそれ程変わらない。日射遮蔽無と日射遮蔽有の明確な相違は、図2(1)と(2)の(d)段に見られるように室温変動に現れている。すなわち日射遮蔽有の図2(2)の方が、最高室温が最大で約1.6℃低く、室温の日振幅も小さくなっている。

(2) 改修後仕様における構法間の比較

改修後仕様における消費電力を日射遮蔽無の図2(3)と日射遮蔽有の図2(4)で比較する。図のように、天井断熱の2×4棟(TF棟)は屋根断熱化(TFR棟)により、日射遮蔽の有無にかかわらず冷房消費電力が低下してRA棟と同程度になっている。表5(1)⑥からRA棟を基準(100)とした消費電力の相対値を確認すると、TFR棟は日射遮蔽無99.7、遮蔽有96.8で、RA棟を0.3～3.2%下回っている。ただしTFR棟とTF棟では断熱量が異なるから、この結果から単純に屋根断熱の方が天井断熱より冷房消費電力が少ないとはいえない。木造のTWS棟では冷房消費電力が更に少なく、RA棟(100)に対して、遮蔽無の時91.0、遮蔽有の時90.0で約10%下回る結果となった。

以上のように、RA棟より熱損失係数の大きい木造2棟の消費電力がRA棟と同等以下となった理由として、図2(1),(2)に比べ、図

図3 冬季暖房運転時の外界気象と室温、消費電力等

2(3),(4)では午前6時頃の外気温が室温より4~5℃低くなっており、夜間の外気温の低下による放熱が木造2棟に、より有利に作用したことが考えられる。その他、木造とFCP棟の熱容量の違いや実漏気量の相違等も考えられるが、詳細は不明である。

3. 2 冬季・暖房時

(1) 初期仕様におけるFCP棟間及び構法間の比較

図3(1)は冬季・日射導入日の初期仕様棟間の比較を示す。暖房設定温度は23℃(エアコン吸込口温度)であるが、(d)段の室温は室中央のグローブ温度で表している。図3(d)段の室温が日中23℃をかなり上回っているのは、窓からの侵入日射の影響でグローブ温度が上昇したことによる。各棟の室温は、日中のTF棟の室温がRA棟・RB棟より低く、RC棟とほぼ同じである。(c)段の暖房消費電力をみると、夜間においてTF棟がFCP棟より常に5~13W/m²大である。表5(2)⑦でRA棟に対するTF棟の消費電力を比較するとRA棟543.9Wh/m²(100)に対し、TF棟711.4Wh/m²(130.8)で約31%大きい。

(2) 改修後仕様における構法間の比較

図3(2),(3),(4)は改修後仕様における日射導入日の測定結果であり、(2)は連続暖房とした場合、(3)は連続暖房で夜間に断熱カーテンを使用した場合、(4)は断熱カーテンを使用し18時以降の暖房を停止した場合である。(2),(3),(4)とも、暖房設定は初期仕様の図3(1)の場合と同じく23℃とした。図3(2)の(d)段の室温は、TFR棟の室温

がRA棟、RB棟に比べやや低めであり、日中の最高室温も27.7℃にとどまっている。消費電力は午前9時から12時までを除き、TFR棟の消費電力がFCP棟の2棟を常に5~10W/m²上回っている。積算電力はRA棟が414Wh/m²(100)でTFR棟は522.89Wh/m²(126.3)である。TF棟を屋根断熱化したTFR棟の暖房消費電力をRA棟との比で比較すると130.8から126.3へ約5%低下した。

図3(3)で在来軸組のTWS棟の室温は、日中12~16時においてRA棟よりやや低い。日積算電力量はRA棟360Wh/m²(100)に対し、TFR棟480Wh/m²(132.7)、TWS棟486.4Wh/m²(135.1)であり、TWS棟とTFR棟間の消費電力は同程度である。図3(2)と比較すると、RA棟と木造2棟の消費電力の差は、夜間に断熱カーテンを使用することにより5%程度拡大したことがわかる。図3(4)は暖房を18時で停止した場合の各棟の室温変化を示す。停止後、RA棟、RB棟に比べ木造のTFR棟、TWS棟の2棟は室温低下が大であり、24時にはFCP2棟より5~6℃低くなっていて、FCP棟の保温力の良さが表れている。

4. 実験棟の熱負荷計算

次に各建物の冷暖房用消費電力のシミュレーション結果が実測データとどの程度一致するかを調べる。

4. 1 熱負荷計算と消費電力への換算方法

実験棟の熱負荷計算には住宅用熱負荷計算ソフトウェアSMASH

図4 冷房時の消費電力、室温・小屋裏空気温度(実測値)

2)を使用した。SMASHで求めた冷暖房熱負荷は、室内外乾球・湿球温度に影響を受けるエアコンの能力変化率 $P^{(2)}$ を考慮した成績係数COPを求め冷暖房消費エネルギーに換算した。暖房時の P は実験棟で使用したエアコンの仕様書を基にして次式を作成した。

$$P = 0.029(Y - 0.248X) + 0.985 \quad \dots \dots (1)$$

ここに、

X : 暖房時の室内空気乾球温度 [°C]

Y : 暖房時の室外空気湿球温度 [°C]

SMASHで求めた暖房能力(暖房負荷)を H [kW]とすると、能力変化率 P を考慮した修正暖房能力 H' [kW]は式(2)で表せる。これに式(1)を代入すると式(3)となる。

$$H' = H / P \quad \dots \dots (2)$$

$$= H / \{0.029(Y - 0.248X) + 0.985\} \quad \dots \dots (3)$$

X, Y の2つが既知であれば、式(3)により H' を求めることができる。エアコンの仕様書より、 H' [kW]とCOPの関係を次式で表した。

$$\left. \begin{aligned} COP &= 1.0 & (H' < 0.2) \\ COP &= 0.88H' + 1.81 & (0.2 \leq H' < 2.1) \\ COP &= -0.18H' + 4.03 & (2.1 \leq H' < 4.2) \\ COP &= 0.079H' + 2.938 & (4.2 \leq H') \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots (4)$$

式(4)から H' に応じて適当なCOPを得た。最終的な消費電力 E [kW]は式(5)で得られる。

$$E = H' / COP \quad \dots \dots (5)$$

冷房時も同様の手順で求めると、

$$P = -0.01(Y' - 2.34X') + 0.899 \quad \dots \dots (6)$$

図5 冷房時の消費電力、室温・小屋裏空気温度(計算値)

表6 実測及び計算条件(短期)

季節 (運転モード)	夏季 (冷房時)	冬季 (暖房時)
冷暖房期間	1994/8/21~8/23	1994/11/22~11/24(18:00)
エアコン の設定	実測 温度26°C, 風量自動, 連続運転	温度23°C, 風量自動, 夜間遮光カーテン使用18:00~翌8:00
	計算 温度26°C, 相対湿度60%, 連続運転	温度23°C, 相対湿度なりゆき, 連続運転, 夜間遮光カーテン使用18:00~翌8:00
冷暖房最大能力	3.5kW	6.1kW

$$\left. \begin{aligned} COP &= 5.0H' + 1.0 & (H' < 0.2) \\ COP &= 1.36H' + 1.70 & (0.2 \leq H' < 1.4) \\ COP &= -0.429H' + 4.19 & (1.4 \leq H') \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots (7)$$

となった。式(6)では X' が室内空気湿球温度[°C], Y' が室外空気乾球温度[°C]であることに注意すれば暖房時と同様に E を求めることができる。

4. 2 短期冷暖房シミュレーション

夏季・冬季における実測と同じ期間について、TFR棟、RA棟、TWS棟の3棟の冷暖房シミュレーションを行った。夏季は1993年8月21日~23日、冬季は1993年11月22日~24日(18時まで)である。外界の気象データは1993年の実測値を用い、実測した日射量は法線面直達日射量と水平面天空日射量に分離した。試験棟の空間構成は小屋裏・居室・床下の3室とした。壁体構成は実測を行った各試験棟と同じとし、表3に示した部材及び部材厚を用いた。実測及び計算条件を表6に示す。

(1) 冷房時消費電力、温熱環境の実測値と計算値の比較

冷房時の消費電力と室内・小屋裏空気温度の実測結果を図4に、計算結果を図5に示す。計算値の室内空気温度は冷房中、3棟とも26°C一定である。実測では各棟とも26°C±1°Cで変化している。小屋裏空気温度の計算値と実測値の差は2°C以内であり、温度変化の

図6 暖房時の消費電力、室温・小屋裏空気温度(実測値)

傾向もよく似ている。また屋根断熱のRA棟・TFR棟と天井断熱のTWS棟の違いがよく表れている。日中の消費電力は、実測では3棟の差はわずかであるが、計算では日中に各棟の差が見られ、8月21日にはRA棟とTWS棟では終日5W/m²ほどRA棟が低い。期間中の積算電力量の実測値は、RA棟0.608kWh/m²、TFR棟0.608kWh/m²、TWS棟0.531kWh/m²、計算値はRA棟0.600kWh/m²、TFR棟0.697kWh/m²、TWS棟0.635kWh/m²であった。実測値に対する計算値の差はRA棟-0.008kWh/m²(-1.3%)、TFR棟+0.089kWh/m²(+12.8%)、TWS棟0.195kWh/m²(+19.6%)となった。RA棟に比べて木造のTFR棟やTWS棟では計算値と実測値の差が大きくなった理由として、木造の両棟は現場施工の比率が高いため、設計図面と施工による仕上がりにずれが生じやすかったことが挙げられる。一方、RA棟はパネル構法であって現場施工が容易であり、シミュレーションの入力データと実在建物との条件が比較的良好に一致していたと推測される。

(2) 暖房時消費電力・温熱環境の実測値と計算値の比較

暖房時の消費電力と室内・小屋裏の空気温度の実測結果を図6に、計算結果を図7に示す。図7(d)段の室温をみると、暖房時の計算値は11月24日午前中まで24℃で一定であるが、11月24日午後は日射の影響を受け26.5℃まで上昇している。この傾向は図6の実測値にも現れている。小屋裏空気温度の計算値と実測値との差は2℃以内で、屋根断熱のRA・TFR棟は室温に近い変化をしている。

暖房消費電力は特にTFR・TWS棟が夜間から明け方にかけて5~8W/m²程度計算値の方が高いが、全棟とも消費傾向は類似しており、日射がある時間帯は低下している。期間中(11月22日0時から24

図7 暖房時の消費電力、室温・小屋裏空気温度(計算値)

日18時まで)の積算電力量の実測値はRA棟1.090kWh/m²、TFR棟1.250kWh/m²、TWS棟1.290kWh/m²である。一方計算値はRA棟1.025kWh/m²、TFR棟1.408kWh/m²、TWS棟1.450kWh/m²である。実測値に対する計算値の差はRA棟-0.065kWh/m²(-6.0%)、TFR棟+0.158kWh/m²(+12.6%)、TWS棟+0.160kWh/m²(+11.2%)である。このように、暖房熱負荷計算結果を暖房消費電力に変換した場合、FCPのRA棟では木造2棟の半分程度の誤差に収まっており、冷房時・暖房時共にシミュレーションによる再現性は高いことがわかった。RA棟ではシミュレーションによる電力消費量が実測値よりやや小さくなったのに対し、木造2棟では逆にシミュレーションによる電力消費量の方が実測値より大きくなった。この点は(1)の冷房時、(2)の暖房時で共通している。また、シミュレーションによる電力消費量は冷房時、暖房時共にRA棟が最も小さかったが、冷房時の実測値は木造棟の方がRA棟よりやや小さい等の違いも見られた。

4. 3 実測とシミュレーションによる年間消費電力の比較

4. 2で比較的良好に冷暖房消費電力を再現できたRA棟について年間冷暖房の負荷シミュレーションを行い、長期間の冷暖房時の消費電力最大値や冷房時と暖房時の消費電力の違いを調べた。気象データは実測した日射量、温湿度データを利用した。計算期間は1993年6月1日から9月30日、暖房期間は11月1日~3月31日である。夏季の設定条件は冷房間欠運転(6時~18時)、設定温度は26℃、設定相対湿度50%とした。室温が27℃以上で外気温が25℃以下の場合には通風による換気を行い、その際の換気回数は10回/hとした。冬季は暖房連続運転、設定温度23℃、相対湿度はなりゆきとした。室温が27℃以上で外気温が25℃以下であるときは通風による換気を行い、その際の換気回数は10回/hとした。なお、夏季・冬季とも、照明や計測機器等による内部発熱は考慮していない。

図8(1)に1993年6月から9月における冷房消費電力量を示す。

図8 RA棟の季節冷暖房用消費電力(計算値)

日積算電力量の最大値は 255Wh/m^2 であり、梅雨明けの7月上旬にピーク状態が約1週間続いた後、8月下旬まで徐々に日積算電力量が増大する傾向が見られた。4ヶ月間の積算電力量は約 18kWh/m^2 となった。図8(2)は11月～3月における暖房消費電力を示す。RA棟の日積算電力量は最大で 600W であるが、期間中ほとんど 400W を下回り、5ヶ月間の積算電力量累計は約 50kWh/m^2 となった。

鹿児島市(緯度 $31^\circ 34'$ 、経度 $130^\circ 33'$)に建つFCPの高断熱試験棟の暖房による季節電力消費量は、冷房による季節電力消費量の約2.8倍となった。これは冬季が連続暖房運転であるのに対し夏季は間欠冷房運転とした場合の結果ではあるが、図2、図3、図4、図6等の実測でも暖房消費電力が冷房消費電力より2～3倍程度大きくなっている。試験棟は床面積が 12m^2 で小さく、内部発熱源は測定計器類だけ(実測時約 10W 、シミュレーション時は非考慮)で照明や人体発熱はないため、熱負荷的には外壁・屋根・窓等からの外皮負荷が支配的である。したがって、本試験棟の結果をそのまま通常の居住状態にある実住宅には適用できないが、この結果は実住宅でも内部発熱の処理如何によっては冷房消費電力を相当低減できる可能性を示している。

5. まとめ

鹿児島大学構内に建設したFCP棟、 2×4 棟、およびそれらを一部改修した延べ7棟について、構法の違いが温熱環境と冷暖房消費エネルギーに与える影響を、盛夏季及び厳冬季の晴天日に同時測定した室温および電力消費量に基づいて考察した。試験棟間の相互比較には各棟の建築条件が強く影響するので、できるだけ詳細な仕様を示すようにした。異なる日の測定結果の相互比較を通して、外界条件の違いが温熱環境と消費エネルギーに与える影響の程度は構法や仕様によって異なる場合があるという結果が得られた。次に市販の住宅熱負荷計算ソフトで試験棟の冷暖房用熱負荷を求め、消費エネルギーに換算して実測値と比較した。シミュレーションによりFCP棟の季節冷暖房消費エネルギーを推定し、冷房季と暖房季の消費エネルギーを比較した。得られた主要な知見は以下の通りである。

(1) 2×4 によるTF棟の冷房消費電力の実測値をRA棟と比較すると、TF棟はRA棟より約20%多かった。またFCP相互の冷房消費電力を比較すると、RA棟の冷房消費電力実測値を100とした相対値は、北側窓が無いRB棟では日射遮蔽の有無にかかわらず92、南側窓面積が半分のRC棟では遮蔽無で72、遮蔽有で78であった。このように南側窓面積が冷房消費電力に与える影響が大きく現れた。

(2) TF棟の暖房消費電力の実測値をRA棟と比較すると、TF棟はRA棟より約30%多かった。また、TF棟をFCPで屋根断熱化したTFR棟及び木造軸組構法のTWS棟の暖房消費電力は、RA棟より約25%多かった。RA棟の北側窓を無くしたRB棟の暖房消費電力はRA棟より約14%少なく、北側窓の有無が暖房消費電力に与える影響が明確に現れた。

(3) シミュレーションによる消費電力は木造2棟では実測値より大きくなり、RA棟では逆にやや小さくなった。すなわち、木造とFCP棟の消費電力の差は、シミュレーションの方が大きくなった。また、木造2棟では-10～+20%の差が生じたが、RA棟では冷暖房時共に数%程度の違いに収まった。これはRA棟の方が、実施工と計算条件の食い違いが木造より少なかったことによると考えられる。

(4) RA棟(床面積が 12m^2)について季節冷暖房消費電力のシミュレーションを行った結果、季節暖房消費電力は季節冷房消費電力の約2.8倍になった。類似した結果は数日程度の実測でも得られた。このように、鹿児島のような温暖地に建つ断熱性の高い建物でも、内部発熱がほとんどなく外皮負荷が支配的な場合は、暖房負荷が年間冷暖房用熱負荷の約3/4を占めるという結果が得られた。

謝辞：本研究の一部は平成3年度文部省科学研究費(一般研究(B)、課題番号 03452229、代表者：赤坂裕)により行われた。試験棟の建設には三井ホーム(株)Rコントロールパネル推進センター(当時)に協力して頂いた。また家庭用エアコンの性能に関しては(株)東芝の協力を頂いた。実測とデータ整理には数年にわたり卒業生と大学院生の協力を得た。記して感謝の意を示します。

参考文献

- 赤坂裕、黒木荘一郎、小原聡司、曾我和弘：フォームコアパネル棟を主とする4棟の試験棟のバツシブ下における温熱居住環境の実測—蒸暑地域の住宅の温熱環境に関する調査研究 その1—、日本建築学会計画系論文集、第497号、pp.15～22、1997.7
- (財)住宅・建築省エネルギー機構：住宅用熱負荷計算プログラム SMASH 操作マニュアル、1989.12

注) 能力変化率Pについて

空気熱源のエアコンは室内外の乾湿球温度の組み合わせで発生能力が変化する。そのため本実測で使用したエアコンの発生能力は、仕様書に基づいて、暖房運転時には室内空気乾球温度 20°C 、室外空気湿球温度 6°C 、冷房時には室内空気湿球温度 19°C 、室外空気乾球温度 35°C のときをそれぞれ基準1とし、これ以外の乾球・湿球温度の組み合わせでは1から変化させた。これを能力変化率Pと呼んだ。

(2003年6月26日原稿受理、2003年10月28日採用決定)