

B-14 地球温暖化防止対策技術の総合評価に関する研究

(2) 民生分野における重点対策の普及に当たっての技術的評価

①エコハウスの構築に関する技術的評価

研究代表者

国立環境研究所

若松伸司

環境庁 国立環境研究所

地域環境研究グループ	都市大気保全研究チーム	若松伸司・上原 清
	交通公害防止研究チーム	清水 浩・近藤美則
	水改善手法研究チーム	森口祐一
(委託先)	室蘭工業大学	窪田英樹・鎌田紀彦
	東北大学	吉野 博
	東北工業大学	石川善美
	住環境計画研究所	村越千春・森田裕一

平成6-8年度合計予算額 47,217千円

(平成8年度予算額 15,067千円)

[要旨]

民生分野における温暖化防止対策技術として住宅から排出される二酸化炭素排出抑制に関する技術的検討をモデル計算を基にした評価、モデル住宅並びに実住宅の測定・調査結果の解析、住宅居住性に関する実験的研究を中心に実施した。

快適性の向上を図りつつ環境負荷の低減を実現する住まい”エコハウス”の導入評価をモデル計算により行った。具体的には住宅建設に関するトレンドの現状評価を行うとともにエコハウスの導入による二酸化炭素削減量の試算を行った。新しく建築された戸建て住宅の割合は既存の戸建て住宅総数に対して約2.9%程度であるが、これらの住宅がエコハウス化する事による二酸化炭素排出削減効果を評価した。新らしく建築する戸建て住宅のエコハウス化率を、10年間で100%、5年間で100%、新築の全数がエコハウスになると想定した三つのシナリオについての二酸化炭素発生削減量を求めた。計算結果によれば、2010年の段階では家庭部門全体の二酸化炭素総発生量の内の6-9%を削減できる効果があることがわかった。

在来木造住宅の高断熱・高气密化構法の検討、夏期の居住性評価の検討、住宅における太陽エネルギー利用技術の検討を行った。これとともに環境を意識して設計された住宅を対象としてエネルギー消費量と室内環境を調査しそのような住宅の実績を明らかにする作業を行った。また3年間にわたり継続的に進めてきたモデル実住宅におき実測データの解析を行った。3年間ともに冬は暖かい乾燥ぎみ、夏は熱気が室内にこもりぎみになり暑い状況が示された。

夏季における居住環境改善技術が必要である事がモデル住宅や実住宅調査から明らかとなったため室内通風による居住環境改善に関する実験的な研究を行った。暑い環境における不快感に関わる4つの要因「全身温感」、「空気の湿度感」、「発汗量」、「気流の強さ感」を説明変数として実験データを重回帰解析した結果、総合評価指数との間に良い相関関係が認められ環境指標として利用出来ることが分かった。また空気の湿度感は蒸散量と良い相関があることが見いださ

れた。これらの結果を踏まえて床面に沿う気流の防暑に対する有効性を検討した。

[キーワード] エコハウス、住宅エネルギー消費、高断熱・高気密住宅

## 1. 序

我が国のエネルギー消費は増加しており、中でも民生部門の伸びは、顕著である。特に家庭での需要は、生活の質の多様化、生活パターンの変化、ライフスタイルの変化等に伴って1980年から1990年の間に24%以上増大した。1994年度に於ける我が国の二酸化炭素排出量は、炭素換算で3億4千3百万トンでありこのうちの23%が民生部門でその内訳は、業務関係10.9%、家庭関係12.1%である。1990年度から1991年度にかけての我が国の二酸化炭素排出量増加率は1.9%であり、過去4年間の5.9-3.7%に比べると小さい値となったが、その内訳を見ると産業部門で0.3%の減少、民生部門、運輸部門でそれぞれ3.5%、4.3%の増加となっていた。地球環境問題対策のために政府が定めた地球温暖化防止行動計画によれば地球温暖化の主要原因物質である二酸化炭素の発生量を西暦2000年時点で1990年のレベルに安定化させるとしているが、家庭等における二酸化炭素排出抑制が大きな課題となっている。

本研究においては、今後増加が予測されている民生分野における二酸化炭素発生の防止対策を住宅関連分野を中心に検討・評価した。この研究は1991～1993（H3～H5）に実施した「家庭等における二酸化炭素排出抑制システムに関する研究」の成果を基礎としている。3年間の研究により快適性の向上をはかり、環境負荷の低減を実現するためには住宅の高気密・高断熱化が極めて有用であることがモデル計算や、実験から明らかとなった。しかしこのような住宅（エコハウス）を普及促進させるためにはエコハウス要素技術の評価や地域特性の検討が必要であり、エコハウス性能評価とエコハウスシステム評価が課題として残されている。このためモデル計算による住宅からの二酸化炭素発生量評価、モデル住宅における実測調査、室内実験による居住性評価を柱として研究を行った。

## 2. 研究結果

### 2.1 エコハウスの導入による二酸化炭素排出削減効果の検討

快適性の向上を図りつつ環境負荷の低減を実現する住まい、＜エコハウス＞の導入評価を行った。具体的には住宅建設に関するトレンドの現状評価を行うとともにエコハウスの導入による二酸化炭素削減量の試算を行った。平成5年度の住宅統計調査では一戸建て住宅数は24140900戸である。また平成7年度の一戸建て住宅の新設着工数は699875戸であり、フロー（新築住宅）はストック（既存住宅）の約2.9%程度である。これらの住宅がエコハウス化する事による二酸化炭素排出削減効果を以下の計算条件とCase1～4のエコハウス化のシナリオで評価した。

<計算条件>

①現在の住宅エネルギー調査資料並びに平成4年の新省エネルギー基準に定められている全国6地域に準拠して原単位を設定する。6地域の代表都市はⅠ.札幌、Ⅱ.盛岡、Ⅲ.仙台、Ⅳ.東京、Ⅴ.鹿児島、Ⅵ.那覇である。

②エコハウス化する事によるエネルギー消費および二酸化炭素排出削減率の設定は、1.高断熱高気密化による暖冷房エネルギー消費および二酸化炭素排出の削減、2.太陽熱温水器の導入による

給湯用エネルギー消費および二酸化炭素排出削減、3. 太陽光発電システムの導入による照明・動力用エネルギー消費および二酸化炭素排出削減、に関して計算結果を用いる。

表1 用途別省エネルギー率

		I地域	II地域	III地域	IV地域	V地域	VI地域	加重平均値
一戸建て住宅ストック数の地域構成比*		5.0	2.8	22.3	65.8	3.2	0.8	--
省エネルギー率	暖房	64.4%	65.7%	81.5%	85.6%	96.4%	0.0%	82.8%
	冷房	19.9%	19.8%	37.5%	35.9%	38.9%	39.2%	35.1%
	給湯	65.9%	65.9%	58.6%	61.4%	80.5%	80.5%	61.9%
	照明動力他	89.9%	89.9%	76.0%	75.7%	94.2%	94.2%	77.6%

\*総務庁統計局編「平成5年住宅統計調査報告」平成6年7月をもとに集計した。

表2 エネルギー種別用途別消費原単位（現時点、2000年、2010年）  
（Mcal/世帯・年）

現時点 (1990年)	暖房用	冷房用	給湯用	厨房用	照明動力 他	計
電力	236	291	218	135	3,141	4,021
都市ガス	543	0	1,076	291	0	1,909
LPG	221	0	1,021	363	0	1,605
灯油	1,972	0	714	0	0	2,686
石炭・他	5	0	40	10	0	55
太陽熱	0	0	276	0	0	276
計	2,978	291	3,345	798	3,141	10,552
2000年	暖房用	冷房用	給湯用	厨房用	照明動力 他	計
電力	330	411	295	143	3,663	4,841
都市ガス	594	0	1,316	279	0	2,189
LPG	238	0	1,228	342	0	1,807
灯油	2,176	0	880	28	0	3,083
石炭・他	4	0	35	7	0	46
太陽熱	0	0	276	0	0	276
計	3,342	411	4,030	798	3,663	12,243
2010年	暖房用	冷房用	給湯用	厨房用	照明動力 他	計
電力	444	579	295	143	4,272	5,733
都市ガス	644	0	1,316	279	0	2,239
LPG	258	0	1,228	342	0	1,827
灯油	2,356	0	880	28	0	3,264
石炭・他	5	0	35	7	0	47
太陽熱	0	0	276	0	0	276
計	3,707	579	4,030	798	4,272	13,386

環境庁地球環境部「環境庁地球温暖化対策技術評価検討会(民生部門)報告書」平成9年3月

表3 二酸化炭素排出削減原単位

	1998年	2000年	2010年
CO <sub>2</sub> 排出削減原単位 (t-C/世帯・年)	-0.65	-0.76	-0.85
高断熱高気密化(暖房、冷房)	-0.22 34%	-0.25 33%	-0.29 34%
太陽熱温水器導入(給湯)	-0.14 22%	-0.18 23%	-0.18 21%
太陽光発電システム導入 (照明、動力他)	-0.29 44%	-0.34 44%	-0.39 46%

表4 1990年におけるエネルギー種別CO<sub>2</sub>排出原単位

	CO <sub>2</sub> 排出 原単位	単位
電 力	0.118	kg-C/kWh
都市ガス	0.597	kg-C/m <sup>3</sup>
L P G	0.854	kg-C/m <sup>3</sup>
灯 油	0.741	kg-C/リットル
石 炭	0.623	kg-C/kg

省エネルギー率の計算結果を表1に示す。一方、エネルギー種別用途別消費原単位を表2のように設定すると各年の二酸化炭素排出削減原単位は表3のように算定される。この計算にあたっては表1の加重平均値を用いた。またエネルギー種別の二酸化炭素排出原単位は表4を用いた。

<計算シナリオ>

(Case1)：一戸建て住宅のストック全数がエコハウス化する。

既存住宅が全てエコハウス化した時の削減量を計算する事により最大削減可能量を明らかにする。具体的には1995年、2000年、2010年の一戸建て住宅ストック全数に削減原単位を乗じて削減量を求める。

(Case2)：一戸建て住宅のフロー全数がエコハウス化する。

2000年の削減ポテンシャルを例にとると、1995年から1999年の住宅フロー全数の累計値に設定削減原単位を乗じて削減量を求める。

(Case3)：一戸建て住宅のフローが5年間で全数エコハウス化する。

表5 温暖化対策としてのエコハウスの導入評価表

対 策 名	エ コ ハ ウ ス の 導 入			
		現在(1998)	2000	2010
削減ポテンシャル (備考参照)	case1	- (10 <sup>9</sup> kcal) - (kt-C)	- (10 <sup>9</sup> kcal) - (kt-C)	-211,791(10 <sup>9</sup> kcal) -21,009(kt-C)
	case2	-2,966(10 <sup>9</sup> kcal) -285(kt-C)	-10,006(10 <sup>9</sup> kcal) -971(kt-C)	-49,499(10 <sup>9</sup> kcal) -4,910(kt-C)
	case3	-593(10 <sup>9</sup> kcal) -57(kt-C)	-3,953(10 <sup>9</sup> kcal) -384(kt-C)	-42,045(10 <sup>9</sup> kcal) -4,171(kt-C)
	case4	-297(10 <sup>9</sup> kcal) -29(kt-C)	-1,977(10 <sup>9</sup> kcal) -192(kt-C)	-32,088(10 <sup>9</sup> kcal) -3,168(kt-C)
現状と比べた削減率 原単位 (%/世帯・年) (t-C/世帯・年)	〈省エネルギー率〉		〈CO <sub>2</sub> 排出削減原単位〉	
	暖房	-82.8%	現在(1998)	-0.65 t-C/世帯・年
	冷房	-35.1%	2000年	-0.76 t-C/世帯・年
	給湯	-61.9%	2010年	-0.85 t-C/世帯・年
	照明動力他	-77.6%		
導入コスト	○高断熱高気密化 (延床面積 120 m <sup>2</sup> 程度)		〈現 状〉 100~200万円	
	○太陽熱温水器		20万円程度	
	○太陽光発電システム (国庫補助付き)		200万円程度	
他の環境影響 (マイナス面)	○計画的な換気システムが必要になる ○各室間の遮音遮光が難しくなる場合がある (空調システムコスト削減のために各室間の通気を行った場合)			
温暖化以外の利点	○省エネルギー ○室内熱環境の向上 ○防音効果			
導入への障害	○建設コストアップ ○情報不足 ○太陽光発電システムへの国庫補助 (少ない補助件数、補助を受けられない人はやらない)			
障害克服対策	○建設コスト削減 ○需要側供給側両者に対する普及啓発 ○基準強化 ○部材の標準化、工場における大量生産 ○安価なセントラル空調システムの開発 ○施工時の具体的なセルフヘルプ対策など			
世代間人種間等の公平性	○住宅の長寿命化を図る			
利益享受者	○居住者 ○断熱材、ガラスサッシメーカーなどの素材提供者			
経済への影響(被害者)	○エネルギー供給会社			
備考	case1)一戸建て住宅ストック全数がエコハウス化 case2)一戸建て住宅フロー全数がエコハウス化 case3)一戸建て住宅フローが5年間で全数がエコハウス化 case4)一戸建て住宅フローが10年間で全数がエコハウス化			

2000年の削減ポテンシャルを例にとると、1995年では住宅フローの20%、1996年ではその40%、1997年ではその60%、1998年ではその80%、1999年にはその全数がエコハウス化すると想定し、これらの累計値を算出し設定削減原単位を乗じて削減量を求める。

(Case4)：一戸建て住宅のフローが10年間で全数エコハウス化する。

Case3と同様に算出するがエコハウス化する割合が異なる。10年間で100%になるように毎年10%の割合でエコハウス化すると想定し、これらの累計値を算出し設定削減原単位を乗じて削減量を求める。

以上のシナリオで求めた二酸化炭素削減ポテンシャルをまとめて表5に示す。表5にはエコハウス導入にあたっての導入コスト、他の住環境面への影響、導入にあたっての障害と対策等の項目に関する現在の知見もまとめて示した。

2000年、2010年の各ケースにおける二酸化炭素排出削減量と全国における排出予測値に対する割合を示す。

表6 エコハウスの導入によるCO<sub>2</sub>排出削減効果  
削減効果はCO<sub>2</sub>排出量予測値に対する排出削減量の割合である。

		現状	2000年	2010年
家庭部門全体のCO <sub>2</sub> 排出排出量予測値(kt-C) <環境庁AIMモデル標準ケース>*		37,351	46,056	55,399
Case1	排出削減量 (kt-C) 削減効果 (%)	— —	— —	▲21,099 37.9%
Case2	排出削減量 (kt-C) 削減効果 (%)	▲ 285 0.8%	▲ 971 2.1%	▲ 4,910 8.9%
Case3	排出削減量 (kt-C) 削減効果 (%)	▲ 57 0.2%	▲ 384 0.8%	▲ 4,171 7.5%
Case4	排出削減量 (kt-C) 削減効果 (%)	▲ 29 0.1%	▲ 192 0.4%	▲ 3,168 5.7%

\*)環境庁地球環境部「環境庁地球温暖化対策技術評価検討会（民生部門）報告書」平成9年3月

この予測値では現状（1990年）の二酸化炭素排出量が37,351kt-C、2000年が46,056kt-C、2010年が55,399kt-Cとなっている。最大の削減ポテンシャルをみるために一戸建て住宅ストックが全数エコハウスに代替すると想定したCase1では、2010年に21,009kt-Cの削減量となり、同年の家庭部門全体の二酸化炭素排出量の37.9%を削減する量となっている。一戸建て住宅フロー全数がエコハウス化すると仮定したCase2では「現時点」と示した単年分の削減量で285kt-C、2000年で971kt-C、2010年で4910kt-Cとなり、同年の家庭部門全体の二酸化炭素排出量に対し、現時点で0.8%、2000年で2.1%、2010年で8.9%の削減となる。Case3とCase4は一戸建て住宅フローがエコハウス化する割合を低くした場合で、Case2より排出削減量は当然小さくなる。2010年で見るとCase3の削減量は4171kt-C、Case4は3168kt-Cとなり、同年の家庭部門全体の二酸化炭素排出量に対し、Case3では7.5%、Case4では5.7%の削減となる。

このようにエコハウスの普及スピードの違いにより、二酸化炭素排出量については家庭部門トータルの二酸化炭素排出量は大きく異なってくるのがわかる。地球温暖化対策としてエコハウスを導入することは一つの有効な手段であることがわかった。

## 2.2 木造住宅の高断熱高気密化構法の検討

一戸建て住宅の半分以上を占める在来木造構法は従来多量の断熱材を施行しても、その構法的な欠陥から熱性能の向上は、はかばかしくなかった、オイルショック以来の約10数年間に欧米諸国では住宅の省エネ化が進んだのに対して日本は逆に住宅のエネルギー消費は増大している。在来木造構法を高断熱高気密な住宅に造り上げるための工法上の改良を日本の大工の技術システムの中で行いマニュアルとしてまとめ、普及啓蒙の資料とした。また、大工の不足等による省力化、省技能化の要請に応じて柱梁の軸組と床、壁、屋根のパネル化システムを開発しオープンな供給体制のもとに建設可能な工法システムを開発提案した。

このような高断熱住宅は北海道等の寒冷地では一戸当たりの暖房エネルギーを半分に、暖房面積あたりでは1/5～1/6に減じ全室暖房の快適な住環境を創ることを可能とし、断熱レベルが低く、暖房エネルギー消費のともとも少なかった温暖地においても暖房エネルギーを増やさずに全室暖房を可能とした。このような在来木造の改良工法は温暖地においては工務店、大工の技術習得に多大な苦勞をしいることではあったが、着実な普及がみられる。またパネル工法の開発によってこうした高断熱化工法の住宅を容易に施工可能としてその普及を促進した。この結果、北海道～東北ではこうした住宅が急速に普及し始めており、信越～北関東でも建設が始まっている。

本研究成果であるパネル工法は平成8年に600戸建設された、平成8年にはこのパネル工法を改良したPFP Mark II工法をマニュアル化し、より小規模な生産者でローカルな地域で部品、部材の供給を可能とし、更にこれまでより20～30%ローコスト化したシステムを開発提案を行い、誰でも自由に生産供給できるように公開発表を行った。

## 2.3 温暖地における夏期の高断熱化の効果及び住宅の居住性評価

高断熱化によって外気温の影響や日射によって高温になった屋根材、外壁材の影響を室内に及ぼしにくくすることができるが、実際の住宅の温度調査によって平成6年には伝統的な日本の住宅に比べ、現代の日本の住宅では日射の遮閉や換気通風が悪く、このため高断熱住宅でも室内が非常に暑くなることとが測定された。同時に日射の遮閉や換気通風が十分ならば一般の住宅に比べはるかに涼しい住宅となることもわかった。平成7年にはこのことを実証するために平成6年調査で暑かった住宅に改善を行い実測し、その効果を実証した。

高断熱住宅では日射遮閉を窓の外側で十分に行い特に夜間の換気通風によって、家の排熱を行い家中を夜間にの冷気で冷やし、朝から日中は逆に窓を閉め切ることによって、外気より家の中を低温に保つことができることがわかった。更に、基礎断熱によって床下地盤の冷たさを利用することにより、東北～信越では夏をクーラーなしで十分涼しくすごせることがわかり関東でも、1～2台/戸のクーラーで運転時間を極めて限定的に使用して涼しく過ごせることがわかった。こうした住宅のための部品開発と設計、デザインの普及により、夏期のクーラーによる電力を画期的に少なくすることが可能であることが実証された。

## 2.4 太陽エネルギー利用システムのシミュレーションによる検討

世界中の北方圏諸国に比べ、日本の寒冷地は極めて低緯度にある、このため、暖房エネルギー消費は太陽エネルギーをうまく利用することで大幅に削減可能である。特に高断熱住宅に対しては開口部の設計をうまく行うことにより、パッシブソーラーシステムにより大幅な暖房エネルギーを削減することができる。

平成7年には、パッシブソーラーシステムの基礎的な検討を行い平成8年に本格的シミュレーションを行った。その結果によると、いわゆるこれ迄のソーラーハウスのように建物の南側はガラスだらけというデザインにしなくても、日本の伝統的なスタイルにおいても窓まわりの工夫によっては太陽熱の受熱量が非常に大きくなり、太平洋側の地域では日本中で暖房エネルギーはこれまでの高断熱住宅を半分で済ますことがわかった。更に、省電力型の熱回収システムの導入や室温安定のための高熱容量内装工法の導入により1/3で済ますことが出来る見込みが得られた。太陽熱温水器は比較的安価に使用することができるので給湯を含め、住宅の総エネルギー（暖冷房・給湯）を今後の生活水準向上を見込んで半減することが出来る。

これを実証するために平成8年度は室蘭で実験住宅を建設した。平成9年にはこの住宅のデータを収集し、シミュレーション結果を実証する予定である。又、この技術を一般の高断熱住宅に取り込むためのマニュアル化、及びそのマニュアルに沿った実証住宅を東北～関東で建設し、データを収集して行く必要がある。これらの住宅を普及していくためには窓部品等の部材、機器開発も必要となる。

## 2.5 モデル住宅における長期的実測データの解析

仙台市に建設された、蓄熱床とクールチューブという2つの自然エネルギー利用の工夫が施された全電化断熱気密住宅を対象として、室内熱環境とエネルギー性能等に関する実測を3年間にわたって行った。実測対象住宅は、断熱材外貼りの在来工法による木造2階建ての断熱気密住宅であり、1993年10月に建設された。図1に1階平面図を示す。延べ床面積は188m<sup>2</sup>である。室内は集中換気システムによって各室とも24時間換気されている。また本住宅には2つのパッシブシステムが設置されている。その一つは、居間南側のペリメータ部のコンクリート床で、ダイレクトゲインの効果をねらったものである。もう一つは、家屋周囲の地中に埋設したクールチューブと換気システムファンの動力源として小規模太陽光発電システムも設置されている。家族構成は、夫婦に子供3人と祖母の計6人である。

### ①室内熱環境の実測結果

図2に、1994年1月～1996年12月の3年間にわたる主な室の日平均温湿度の長期変動を示す。冬期の居間温度は、外気が0℃前後にもかかわらず、3年間とも20℃前後の変動を示している。暖房は居間のみで、初年度は電気暖房機、2年目は暖炉（FF式薪ストーブ）を使用している。そのため、暖房していない2階の温度が2年目以降1階居間温度とほとんど同様な変動を示している。1台の暖房設備によるこのような冬期の温度環境の達成は、高い断熱気密性とダイレクトゲインシステムとしての蓄熱床の効果などによるものと思われる。なお、居間温度と外気温に囲まれる面積（デグリー・デイ）に着目してみると、1995年から1996年にかけての面積の方が前年度のものよりも大きいことが見てとれる。これは、1996年の3月から4月にかけて、なかなか外気温が上昇せず、そのため暖房期間が長引いたことによるものと思われる。一方、夏は、いずれの年



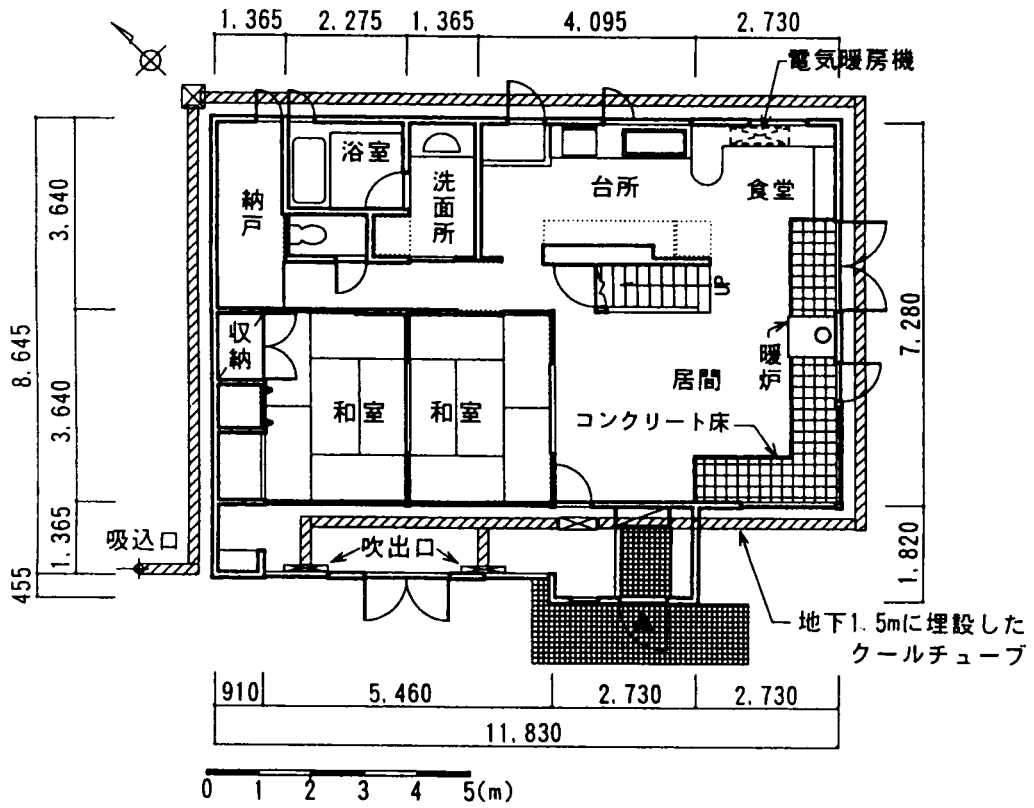


図1 モデル住宅の1階平面図

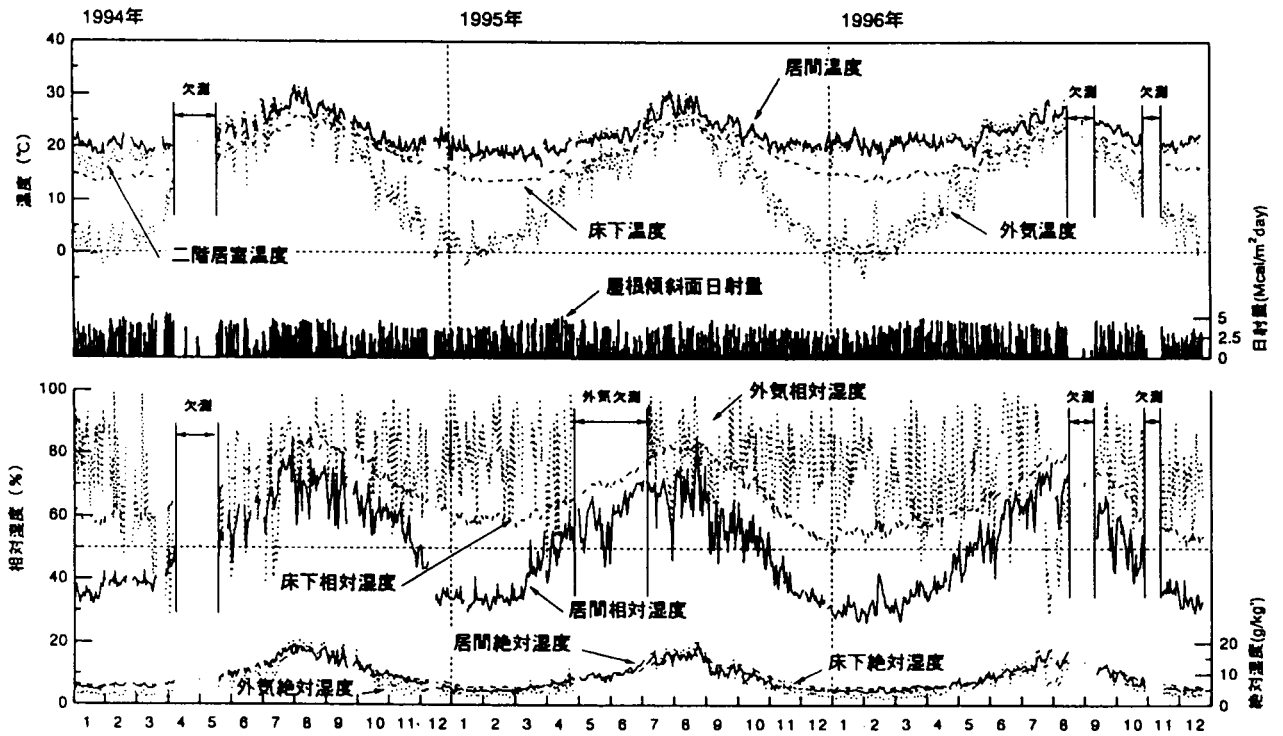


図2 日平均温湿度の長期変動

も室内温度は日平均値で外気温とほぼ同じになる。この原因は、夜間に外気温が下がっても室温が低下しないことにある。とくに2階居室にその傾向が著しい。相対湿度については、冬期、居間は30%前後で変化している。居住者は乾燥感を持っており、断熱気密住宅で指摘される冬の低湿度の問題がここでも現れている。

## ②クールチューブの熱的性能

クールチューブは、直径20cmの硬質塩化ビニール製で、埋設深さは1.5m、水平長さは32mである。これは、床下に設置したファンによりチューブから導いた空気を換気システムにおける新鮮空気として終日室内（1階南側廊下）に供給するものである。ファンの動力源の一部には、屋根に設置された太陽電池パネルからの発電電力が用いられる。ファンはほとんど弱運転で動かされ、その時の流量は140m<sup>3</sup>/h、流速は1.2m/sである。クールチューブにより、夏は外気より低く、冬は外気より高い温度の空気が得られており、その差は日平均最大で夏冬とも8℃に達している。地中土壌との顕熱交換量は、欠測の少ない1995年でみれば、年間の取得熱量が730Mcal、除去熱量が600Mcalと見積もられ、長期的にみると、顕熱量では、地中からの採熱量の方が地中への排熱量より20%以上大きな値となった。ただし、1年のかなりの期間にわたり管内では結露が発生するから、熱量的な評価は、その熱分も含めて行う必要がある。今回の実測では、管内に設置した湿度計の特性が一部不安定で、潜熱分について長期的な分析をするまでには至っていない。図3には3年目の1996年における吸い込み温度と吹き出し温度の日平均値についての回帰分析結果を示した。両者の間には相関関係が0.9と高い相関関係が得られ、回帰式も、1年目、2年目のものとほとんど変わらないことが別途確認されている。すなわち、クールチューブは、年間にわたって連続運転してもその性能は低下せず維持されていたと言える。また、この回帰式と、直線  $y=x$  との交点より、本システムの年間の熱交換温度は15℃と推定される。この温度は、チューブ周り地中温度の年平均値に近い温度であった。

3年間の実測の結果、対象住宅の室内熱環境とエネルギー消費量の年間変動は年ごとの違いが小さく、特に冬期の温度環境の水準の高さと全電化住宅としてのエネルギー消費量の少なさが顕著であった。ただし、冬期の低湿度と夏期の暑さ対策には課題が残った。また、蓄熱床、クールチューブとも、長期的にみて、自然エネルギー利用システムとしての性能の低下はみられなかった。

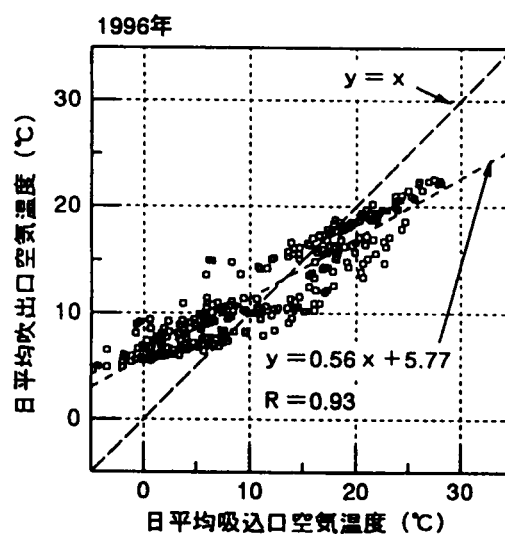


図3 クールチューブ吸込温度と吹出温度の関係（1996年）

## 2.6 エコハウスにおける居住性評価

自然環境と共生をめざすエコハウス概念が提起された目的の一つは、住まいに関わる自然環境への負荷を低減することであるが、生活者に対しても暗黙のうちに、ある程度の「がまん」を要請しており、その許容限度を知る必要がある。そのためには、居住性を的確に評価することが不可欠である。既に広く使用されている環境評価指標にPMVとSETがある。前者(PMV)は「暑さ感」を、後者のSETは「体の濡れ感」に重点をおいた指標である。しかし残念ながらこれらの指標には、日常的に体験される高い湿度に伴う不快感(湿度感「≠体の濡れ感」)や、気流の快不快感(気流感)が考慮されていない。従って、高い湿度が特徴の日本の夏の暑熱環境を評価するのにこれらの指標はいずれも不十分である。そこで暑熱環境における「許容範囲」を実験的に特定する作業を実施し、暑熱環境下における居住性の許容限界に関する検討を行った。同時に、これらの結果を基礎にして「湿度感」や「気流感」を包含した総合的な評価指標を構築した。

### ①気流・気温と不快感

平成6年度においては室内気流の影響を把握に重点を置いた実験を実施した。実験の結果以下の点が明らかとなった。

- 微弱な気流が「不快感」を緩和する。
- 流速を増すと「暑さ」は減少するが、流速が1.2m/sを越えると、刺激が強すぎて逆に不快が増加する。
- 「暑さ」と「気流の強さ」を考慮した不快感を図4に示す。
- これとともに人体の平均皮膚表面温度を予測する理論を開発した。これはGaggeらによる指標SETを導く基礎となっている人体モデルの部分解であることも明らかにした。

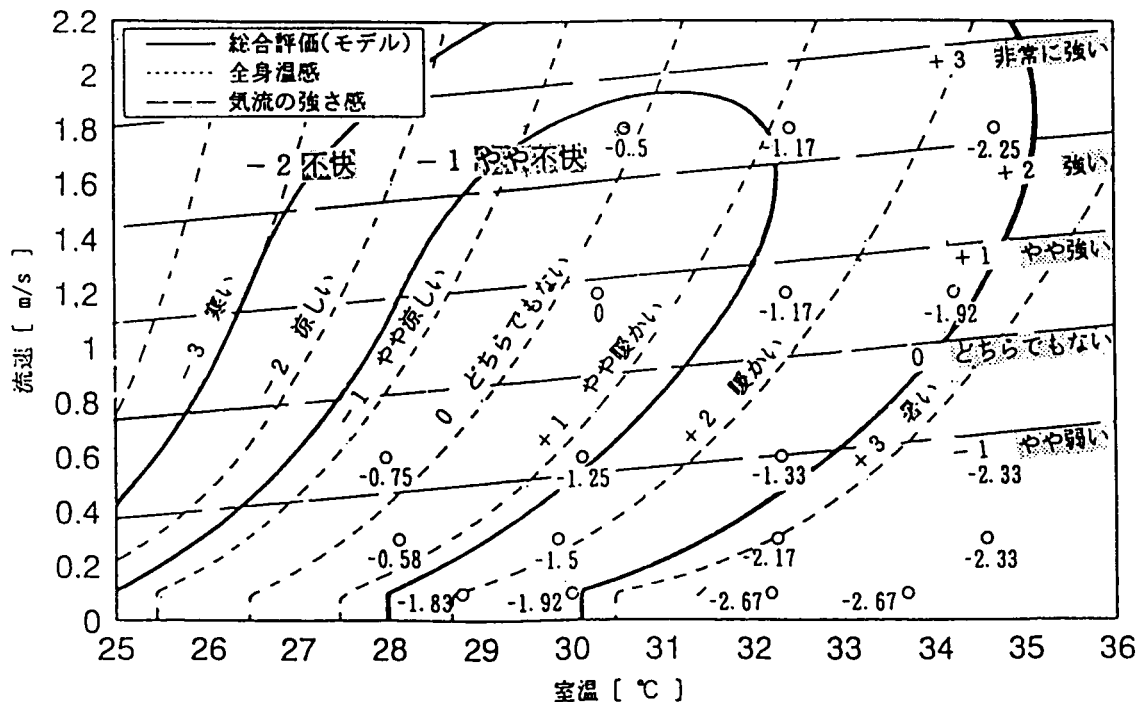


図4 全身温感の不快感と気流刺激の不快感を総合した不快感

## ② 温度の男女差の比較

平成7年度においては女性の被験者を対象として実験を実施し、温感の男女差を検証し以下の結果が得られた。

- 男女間に、発汗に関わる感覚に明確な差異が存在する。
- 同じ「暑さ感」でも女の方が男より不快感は小さい。
- 図5に許容域を提示した。

男女間の感受性の違いに対して、どのように対応するかが課題として残った。たとえば、「やや不快」と感じる気温は、1.2m/s、80%において、女性が33.5℃であるのに対して男性は32℃と1.5℃も低いことである。

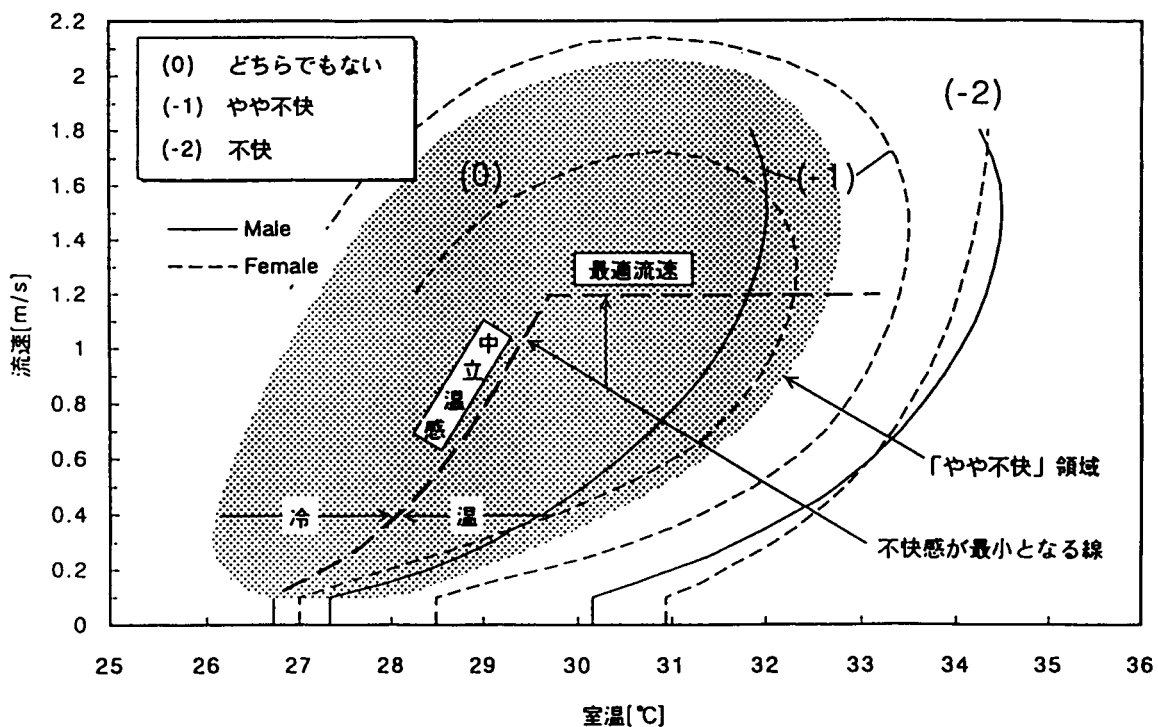


図5 等総合評価曲線の男性と女性の比較

## ③ 快不快感に関する新しい指標の構築

平成8年度については温感の新しい総合指標に関する検討と床面気流の効果を検討した。

気流は、暑さに伴う不快感を低減させるのに有効であるが、ある流速を越えるとが逆に気流の過大な刺激が不快をもたらす。その点、床に沿う気流は、全身の流速をあるレベルに保持しつつ、気流に敏感な顔面の流速を遅くすることができる。この流れは自然風の感じを、居住者に与える可能性もある。この床に沿う流れの有効性を調べるのが一つの目的である。一方、本研究を開始した当初から、温熱環境を総合的に評価する指標を構築することが大切な課題であった。そのために、湿度の影響を知る目的で相対湿度50%については平成7年度と同様の実験も実施した。その結果、不快感に関する4つの要因「全身温感」「体の濡れ感」「湿度感」「気流感」を勘案した新指標を構築した。4つの要因による重回帰式を用いた予測値と実験による総合評価との関

係を図6に示す。相対湿度50%と80%のグループに別れているが、相対湿度ごとには、いずれも比較的よい対応関係がみられる。重回帰分析においては、「総合評価  $Y_{so}$ 」を目的変数、「全身温感  $X_1$ 」「空気の湿度感  $X_2$ 」「発汗感  $X_3$ 」「気流の強さ感  $X_4$ 」を説明変数としている。気流の強さが0.5m/s以下の場合は(1)式、これ以上の時は(2)式が成立することがわかった。

$$Y_{so} = -0.35X_1 - 0.47X_2 - 0.42X_3 + 0.51 \quad X_4 \leq 0.5 \quad (1)$$

$$Y_{so} = -0.44X_1 - 0.24X_2 - 0.32X_3 - 0.57X_4 + 0.91 \quad X_4 > 0.5 \quad (2)$$

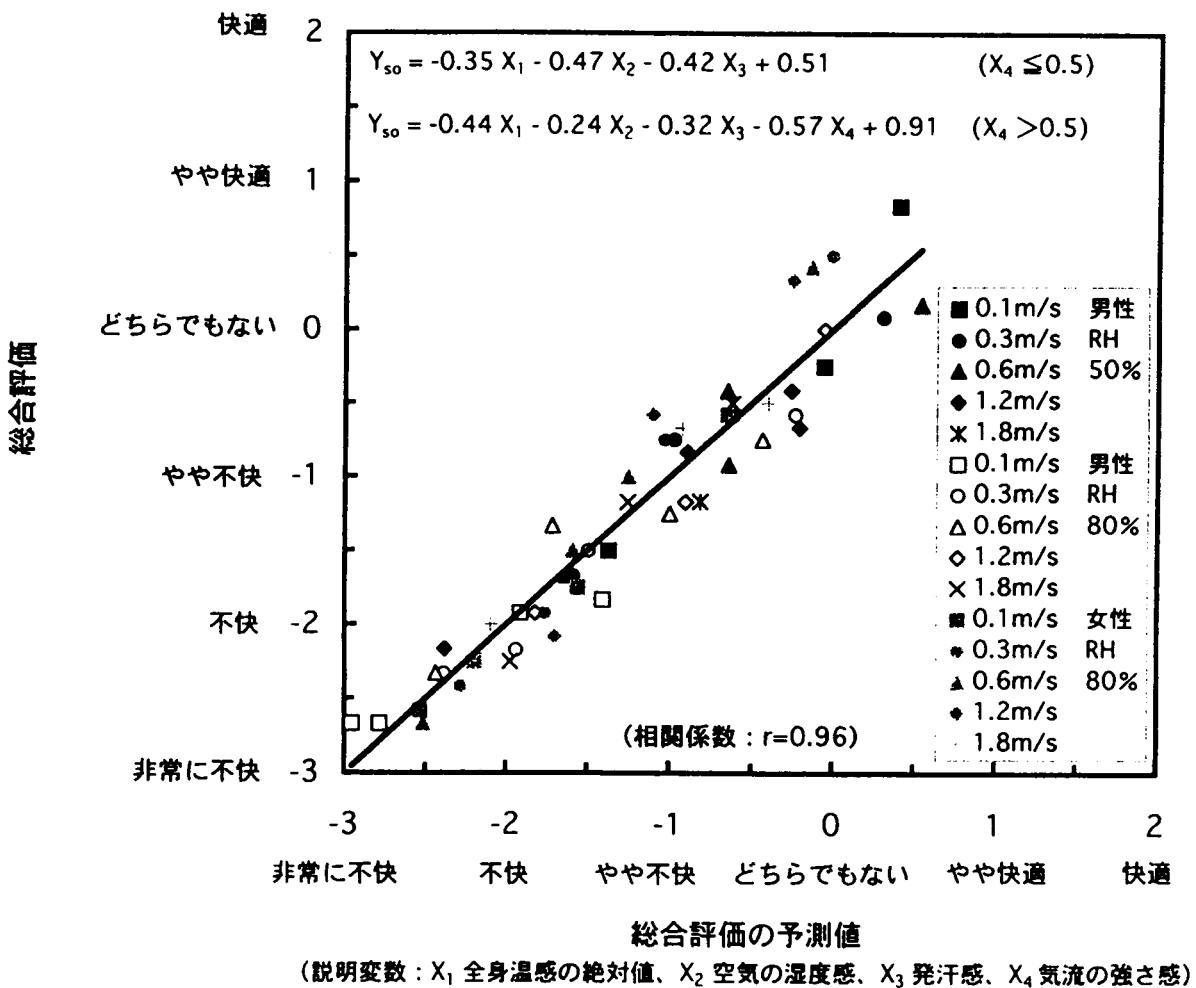


図6 総合評価（データ）と重回帰式による予測値との関係（男性50%+80rh、女性80rh）

#### ④床面気流の効果に関する実験的検討

夏季における居住性改善のための工夫の一つとして床に沿う気流の効果の検討を行った。被験者は、座椅子に座っている状態で実験を行った。床上8cmの高さの最大流速が2m/s前後で、顔面位置の流速は微弱で、わずかに気流を感じる程度である。実験結果を図7に示す。全身流と比較

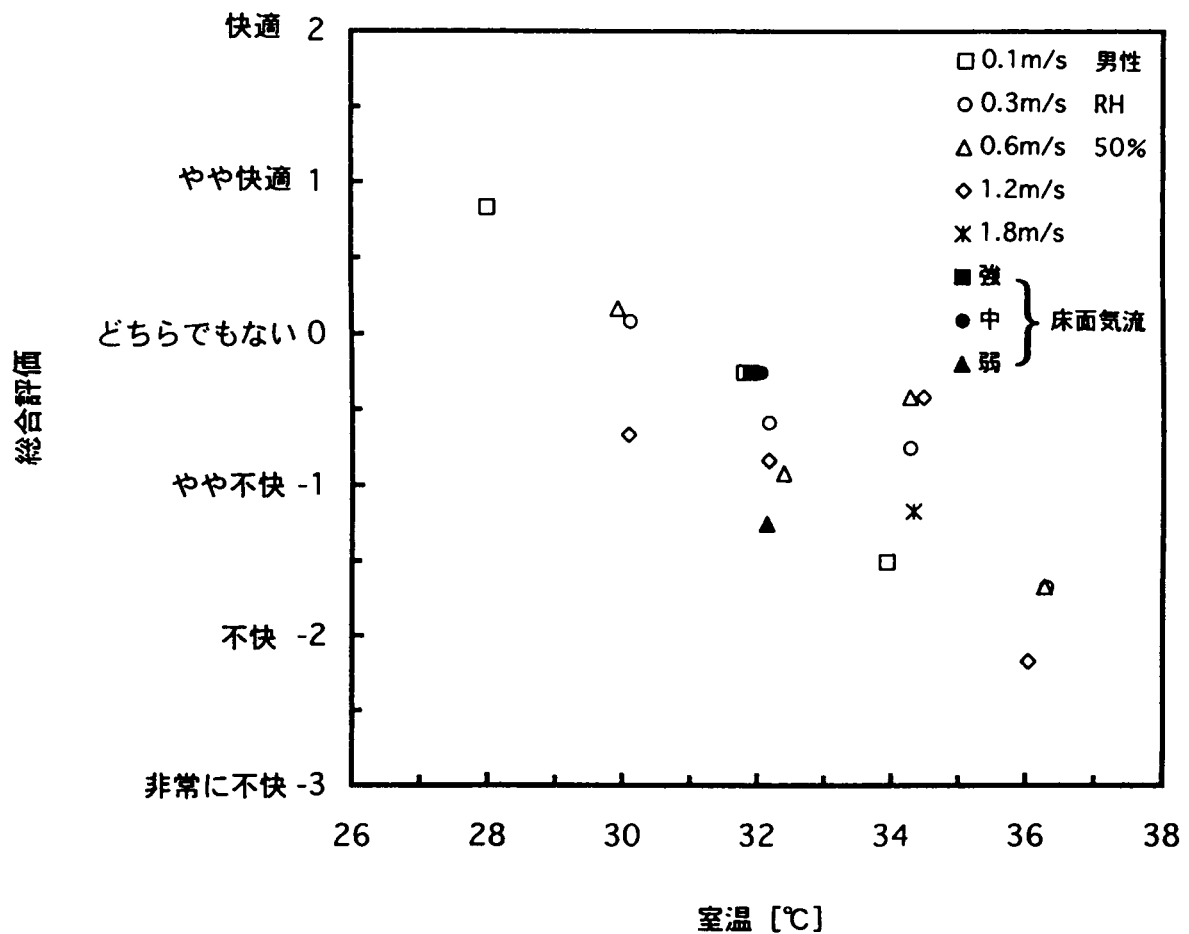


図7 室温と総合評価の関係（男性50%）－全身流と床気流の対比－

して、わずかだが効果が認められるといえる。しかし、これに加えて、例えば居住域の局所冷房を兼ねて、床下の冷気やクーラーからの気流を床面に沿わせて吹き出す等の工夫を行うことにより一層その効果を生かすことができよう。今後の検討課題である。

### 3. 成果発表

- 若松伸司：家庭における二酸化炭素排出抑制. 大気環境学会年会にて講演、1995.
- 若松伸司：家庭における二酸化炭素排出抑制. 資源環境対策、31、230-235、1995.
- 佐々木睦史・石川善美・吉野博：仙台市に建設された自然エネルギー利用住宅における室内熱環境とエネルギー性能の実測、その1、入居初年度における室内熱環境とクールチューブの熱的性能に関する長期実測結果、日本建築学会東北支部研究報告集、第58号、1995.
- 石川善美・佐々木睦史・吉野博：仙台市に建設された自然エネルギー利用住宅における室内熱環境とエネルギー性能の実測、その2、入居初年度の太陽光発電システムの運転状況とエネルギー消費量の実態、日本建築学会東北支部研究報告集、第58号、1995.
- 石川善美・佐々木睦史・吉野博：自然エネルギー利用を考慮した断熱気密住宅における室内熱環境とエネルギー性能の実測、その3、室内熱環境とエネルギー消費量に関する長期実測結

- 果、日本建築学会大会学術講演梗概集、1995.
- 佐々木睦史・石川善美・吉野博：自然エネルギー利用を考慮した断熱気密住宅における室内熱環境とエネルギー性能の実測、その4、自然エネルギー利用システムのエネルギー性能に関する長期実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、1995.
- 伊地知健・窪田英樹・小笠原一隆・山田則行・堀井崇司・松尾朋浩：雰囲気温感に関する基礎的研究、日本建築学会大会梗概集、1995.
- 窪田英樹・伊地知健・松尾朋浩・堀井崇司：暑熱環境の評価、平成7年度日本人間工学会北海道支部大会、1995.
- 窪田英樹・伊地知健・堀井崇司・松尾朋浩：平均皮膚温に着目した温感評価、平成7年度日本人間工学会北海道支部大会、1995.
- 窪田英樹・鎌田紀彦 他：雰囲気感と身体温感に関する研究（通風温域における実験）、日本建築学会北海道支部研究報告集、1995.
- 窪田英樹・他：雰囲気感と身体温感に関する研究（低温域における実験）、日本建築学会北海道支部研究報告集、1995.
- 窪田英樹・鎌田紀彦 他：暑熱温域における気流の環境改善効果、日本建築学術講演会梗概集、1995.
- 窪田英樹：平均皮膚温に着目した体温調節モデル、日本建築学会大会学術講演会梗概集、1995.
- 石川善美・吉野博・佐々木睦史：自然エネルギー利用住宅の室内熱環境とエネルギー性能等に関する長期実測、東北工業大学紀要Ⅰ：理工学編、第16号、167-177、1996.
- 窪田英樹：人体平均皮膚表面温度に着目した温熱環境評価、空気調和衛生工学会北海道支部研究発表梗概集、1996.
- Kubota, H., Ijichi, T., Kamata, N., Mean skin Temperature as an Index of Human Response to the Thermal Environment, Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 1996. 7, Nagoya, JAPAN, pp. 221-226
- 松尾朋浩、窪田英樹、堀井崇司、竹内崇：夏期室内暑熱環境の評価、日本建築学会北海道支部研究報告集、No. 70、1997. 3, pp. 380-384
- 竹内崇、窪田英樹、堀井崇司、松尾朋浩：運動時における平均皮膚表面温度の予測、日本建築学会北海道支部研究報告集、No. 70、1997. 3, pp. 385-388
- Kubota, H., Hori, T., Matuo, T., Kamata, N., Evaluation of Winter Indoor Climate, Proceedings of the 14th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 1997. 1, Kushiro, JAPAN, pp. 279-284
- Kubota, H., Matuo, T., Hori, T., Kamata, N., Evaluation of Summer Indoor Climate with Air Movement, Proceedings of the 14th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 1997. 1, Kushiro, JAPAN, pp. 3-8