

# 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

## STUDY ON THE HEAT LOSS OF THE DETACHED HOUSE WHEN HEATED BY BOTH FLOOR HEATING AND AIR-CONDITIONING

坂口 淳\*, 赤林伸一\*\*, 長谷川 弘\*\*\*, 浅間英樹\*\*\*\*  
Jun SAKAGUCHI, Shin-ichi AKABAYASHI, Hiroshi HASEGAWA  
and Hideki ASAMA

This study carries out a field measurement survey and CFD calculation about the heat loss of a house when heated by the floor heating and the air conditioning were analyzed in detail. The energy consumption in the actual condition of both the floor heating and the air-conditioning is clarified. The results of the measurement are as follows: (1) In this investigation, the heat load of the floor heating is 421[MJ/day], the heat load of the air-conditioning is 405[MJ/day]. (2) CFD calculation results that SET\* is about 22[°C], heat loss of a floor heating is more than air-conditioning. (3) Wall surface temperature of the floor heating becomes relatively high, the heat losses from a wall become large. (4) Room air temperature of floor heating is lower than air-conditioning, the heat load of ventilation is smaller than floor heating.

**Keywords:** Floor heating, Radiation, Energy consumption, Computational Fluid Dynamics

床暖房, 放射, エネルギー消費量, 数値流体解析

### 1. はじめに

放射暖房は人体と加熱面との熱の授受を主に放射により行うため、温風暖房と比較して室内空気温度を均一に保つことができ、相対的に室内空気温度を低く設定することが出来る暖房方式である<sup>1)</sup>。一般的に、暖房時の室温を低くすると、壁や窓を通じて屋外へ損失する貫流熱が減少し、さらに換気による負荷が減少するため、暖房エネルギー消費量が減少するといわれているが、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研究した事例は少ない。木村ら<sup>2)</sup>は、鉄筋コンクリート造の居住空間を対象に、電気式低温ふく射パネル、電気温風暖房器、電気床カーペットを設置し、居住域のPMVを一定に保った時のエネルギー消費量について測定している。この調査研究では床カーペット下の断熱処理が施されていないため、床カーペットのエネルギー消費量が多いことが報告されている。また、大森ら<sup>3)</sup>は、4.9 × 3.78 × 2.43 mの居室モデルを対象に、対流・放射連成解析により床暖房と温風暖房の解析を行っている。大森らの解析では温風暖房と床暖房のPMVを0にした場合における、上下温度分布やエネルギー消費量について比較をしているが、エネルギー消費量の計算では床暖房パネル下側への伝熱を取り扱っていないため、温風暖房と床暖房のエネルギー消費量を単

純に比較することは困難である。

本研究では、床暖房の省エネ効果を検証するため2005年1月と2月に居住状態での住宅を対象として床暖房時と温風暖房時エネルギーの消費量に関する簡易な実測調査を行い、両者の相違を明らかとする。次に数値流体解析(CFD)により、放射暖房時(床暖房)と温風暖房時の、居室の壁・床・天井・窓を

表1 実測対象住宅の概要

建築年:2004年	建設地:新潟県新潟市
床面積:167㎡	用途別エネルギー源
容積:542.6m <sup>3</sup>	床暖房:灯油
構造:木造3階建	温風暖房:電気(エアコン)
家族人数:4名	冷房:電気
熱損失係数:2.131W/(m <sup>2</sup> ·K)	給湯(風呂・台所):ガス
気密性能:0.967cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	調理:ガス

表2 設置されたエアコンの概要

	消費電力[kW]		冷房能力 [kW]	暖房能力 [kW]	カタログCOP	
	冷房	暖房			冷房	暖房
エアコンA	0.455	0.57	2.8	3.6	6.15	6.32
エアコンB	0.34	0.435	2.2	2.8	6.47	6.44

※エアコンAはリビング、エアコンBはダイニング、寝室、ロフトに設置されている

\* 県立新潟女子短期大学生生活科学科 准教授・博士(工学)

\*\* 新潟大学大学院自然科学研究科 教授・工博

\*\*\* 進展工業(株) 代表取締役・博士(工学)

\*\*\*\* 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生

Assoc. Prof., Dept. of Human Life and Environmental Science, Niigata Women's College, Dr. Eng.

Prof., Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., Dr. Eng.

Executive President, Shinten Kougyou Co., Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ.

通過する熱の収支を詳細に解析し、放射暖房および温風暖房の両者のエネルギー消費の実態を明らかにすることを目的とする。

## 2. 実居住宅を対象とした暖房用エネルギー消費量の実測調査

### 2.1 実測調査対象

新潟市に建設された木造3階建て住宅を対象に床暖房時とエアコンによる温風暖房を行った実居住時における暖房用エネルギー消費量の実測調査を行う。図1に実測対象住宅、表1に実測対象住宅の概要、表2に対象とするエアコンの概要を示す。対象住宅は基礎部分に断熱が施された、次世代省エネルギー基準のIV地域の基準を満たす断熱性能の住宅である。対象住宅の主な暖房方式は灯油による温水床暖房が1階のリビングおよびダイニング部分(図1参照。床暖房面積45.27㎡)に設置されている。また、エアコンによって暖房を行うことも可能である。エアコンは表2に示す暖房時の定格消費電力がそれぞれ

0.57kW、0.435kWの2機種のエアコンが設置されており、リビング、ダイニング、寝室、ロフトに設置されている。

### 2.2 実測条件と測定方法

1月はエアコンのみを使用して暖房を行い、2月は主に床暖房による暖房を行う。測定期間中の住まい方は、居住者に快適と感じるように自由に温度設定の調整を依頼した。床暖房が設置されていない部屋は、補助暖房としてエアコンを使用している。暖房機器の熱出力は、エアコンによって暖房を行っている場合には、消費電力にCOP(エネルギー消費効率)を掛けて暖房出力を算出する。このため、エアコンCOPの測定をCOP簡易測定手法<sup>4)</sup>を用いて行う<sup>5)</sup>。エアコンの熱出力は、エアコン吹出・吸込空気のエンタルピー差に吹出風量を掛けて算出する。吹出風量は、測定機器設置時に吹出風速とエアコンの運転設定との関係を明らかとし、吹出風速によりエアコンの運転状況を判定し、メーカー設定風量を用いて推定する。さらに、2005年1月に行ったCOP調査の結果より、COPを消費電力、風量、外気温を媒介変数として統計解析ソフトSPSSにより重回帰分析を行う。外気温は気象庁電子閲覧室<sup>6)</sup>で公開されている対象住宅の建設されている地域の値を用いる。

2月に行った床暖房時の熱出力は、実験の都合上エアコンにCOP簡易測定装置を取り付けなかったため、1月の測定結果より得た重回帰式より2月に補助的に使用したエアコン出力を推定する。床暖房の出力の算出は、(1)式より算出する<sup>2)</sup>。

$$W_F = V \times R \times \eta \quad \dots(1)$$

WF: 床暖房の出力 [MJ]

V: 灯油の消費量 [ℓ]

R: 灯油の発熱量 (36.7MJ/ℓ) [MJ/ℓ]

η: ボイラー効率 (0.839) [-]

各エアコンの発熱量、床暖房に使われている灯油ボイラーの発熱量、室内の家電機器で消費される電力消費量を室内発熱要素として足し合わせて室内総発熱量を算出する<sup>3)</sup>。

## 3. 実測調査の測定結果

### 3.1 エアコンのCOPの測定結果

表3にCOP調査結果とカタログ値を示す。カタログ値に比べ、実使用時のCOPが小さい値を示している。表4に1月、2月のエアコン出力を示す。1月はエアコン吹出風量とエアコン吹出・吸込空気のエンタルピーの差から算出したエアコン熱出力(実測値)、2月は1月の測定結果から得られた外気温とCOPの関係より、エアコンの電力消費量にCOPを掛け合わせたエアコン熱出力の推定値を示す。住戸全体のエアコン熱出力は、1月は8929MJ、2月は835MJである。

### 3.2 室内発生熱量と外気温、室内の測定結果

図2に室内発生熱量(エアコン出力、室内熱量発生機器、床暖房出力)と外気温、室内温度の変化を示す。エアコン暖房時(1月8日から1月31日)の平均外気温は1.8℃、床暖房時(2月1日から2月28日)の平均外気温は1.1℃である。エアコン暖房時の室温は18℃~23℃の範囲で変化し、平均室温は20.2

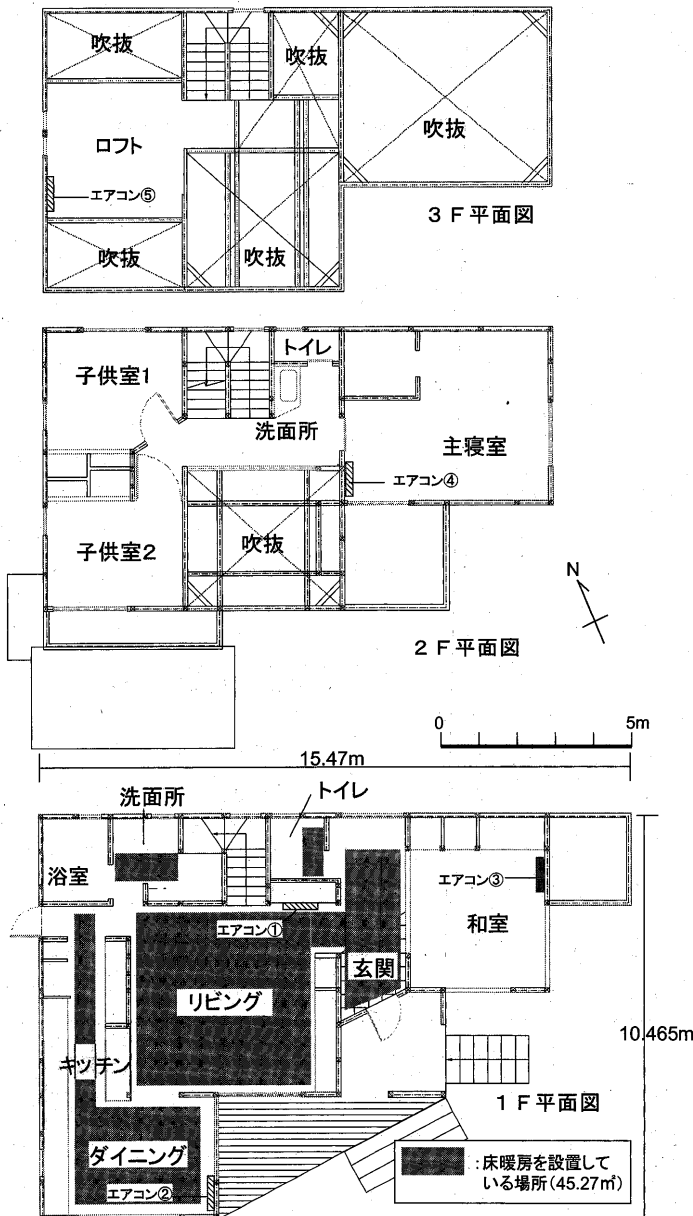


図1 実測対象住宅

℃である。床暖房時の室温は12℃～22℃の範囲で変化し、平均室温は19.8℃である。室内発生熱量は、概ね明け方6時～7時、夜間団らん時の20時～22時の熱出力量が多い。図3に1日あたりの室内総発生熱量と日平均外気温の関係を示す。室内総発生熱量とは、エアコン出力、家電機器の消費電力、床暖房の出力の合計である。日平均外気温と室内総発生熱量には相関が見られず、1月は223～536MJ/日、2月は282～557MJ/日である。

### 3.3 室内総発生熱量と室内外温度の関係

表5に住宅内で発生した月積算総発生熱量を示す。月積算総発生熱量は、一ヶ月あたりの室内消費電力とエアコン出力、床暖房で使用する灯油の燃焼熱量を加えたものである。1月(温風暖房時)と2月(床暖房時)の実測日数が異なるため、表5に示す月積算総発生熱量は、一ヶ月を30日として換算する。一日あたりの総発生熱量はエアコン暖房では421MJ/日、床暖房で

表3 COP調査結果とカタログ値

	測定期間	COP	
		カタログ値	実使用時
エアコン①	2005年1月1日～31日	6.32	3.24
エアコン②	2005年1月1日～31日	6.44	3.55

表4 1月・2月のエアコン熱出力

	リビング	ダイニング	寝室	和室	ロフト	出力:計
1月(8日～31日)	5347.87	3353.47	227.24*	-	-	8928.57
2月(1日～28日)	227.39*	139.03*	385.21*	-	83.29*	834.92

単位: MJ  
\*: 推定値

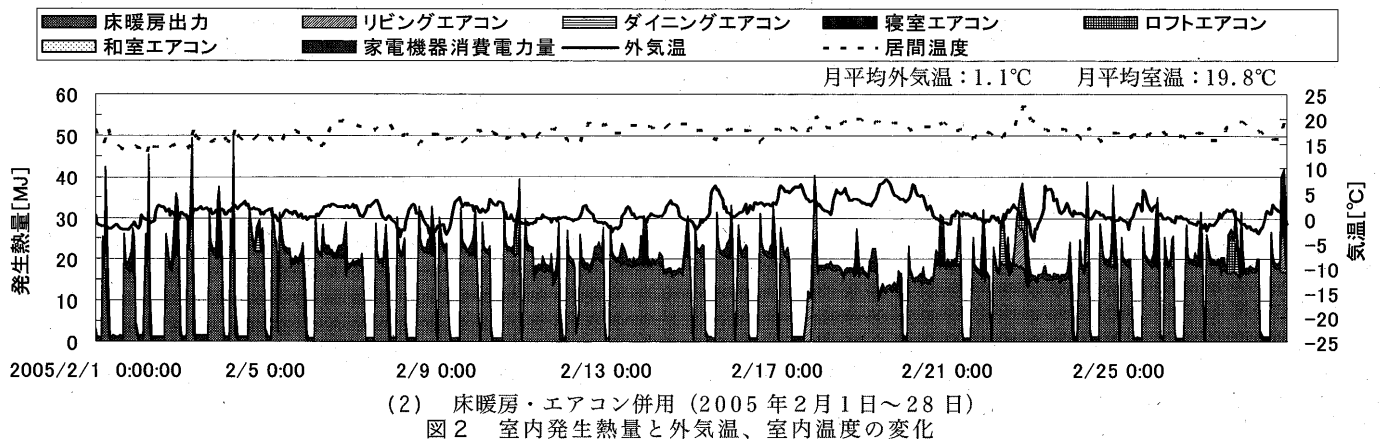
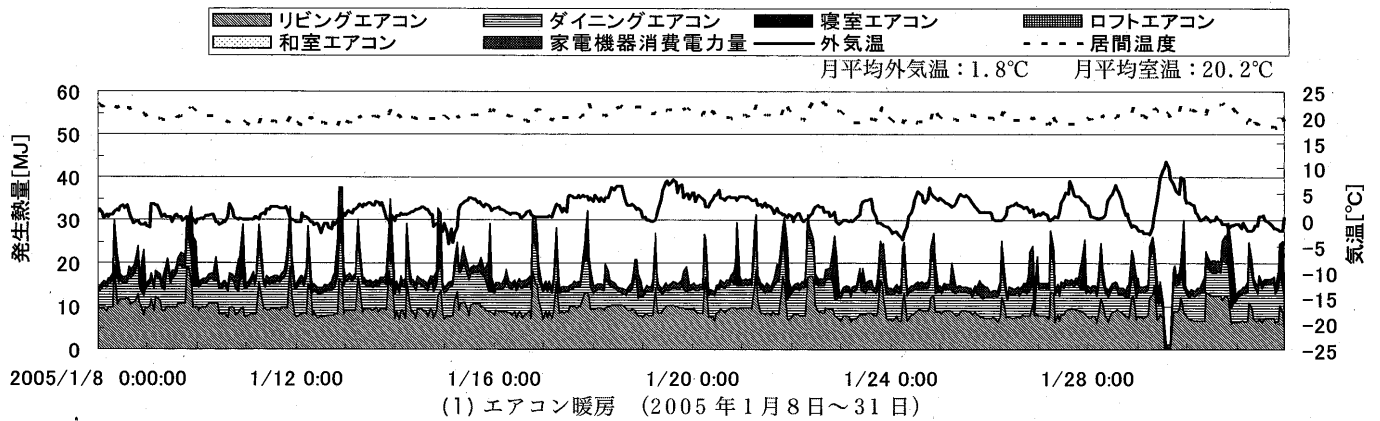
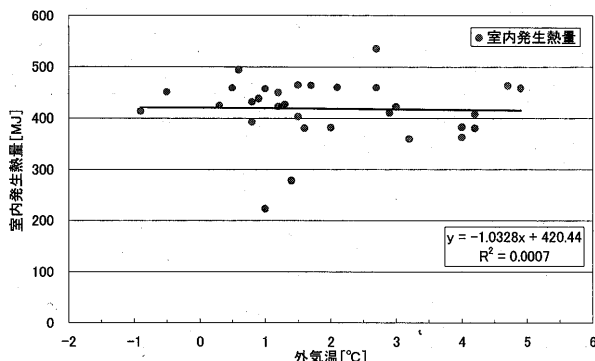
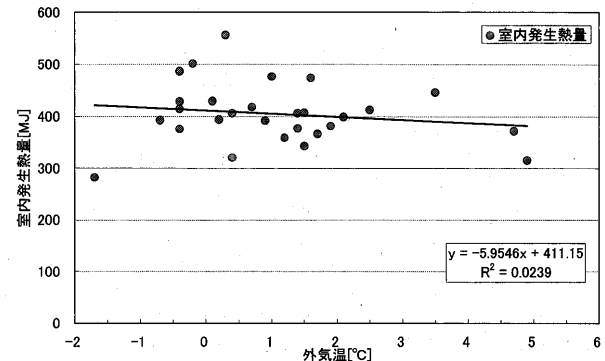


図2 室内発生熱量と外気温、室内温度の変化



(1) 1月(エアコン暖房)



(2) 2月(床暖房)

図3 1日あたりの室内発生熱と日平均外気温の関係

は405MJ/日となり、床暖房に大きな省エネ効果は無いことが明らかとなった。

#### 4. 床暖房時と温風暖房時の熱収支に関するCFD解析

##### 4.1 解析対象と計算ケース

実測調査では、温風暖房時、床暖房時共、ほぼ同様なエネルギー消費量であることが明らかとなった。本章では実測調査では明らかにすることが困難な居室の壁・床・天井・窓を通過する熱の収支を詳細に解析するため、CFD解析により、室内の熱収支を明らかとする。図4に解析対象の概要を示す。日本建築学会標準住宅モデル1階の居間を対象に解析を行う。解析対象の床面積は、10畳(16.562㎡)である。エアコン室内ユニットは、南壁の窓上中央に設置する。部屋の天井、東壁および北壁は、隣室(室温20℃)に面し、西壁面、南壁面および床面は、屋外(外気温0℃)に面している<sup>註4)</sup>。表6に計算ケースを示す。計算ケースは、床暖房と温風暖房の負荷と断熱性能の関係を明らかにする目的で、対象住宅の断熱性能を変化させた3種類の解析を行い、床暖房時および温風暖房時の熱損失の比較を行う。表7に壁・床・天井・窓の仕様を示す。表8に次世代省エネルギー基準(Ⅲ地域)のシェルター性能と計算ケースごとの部位の熱貫流率<sup>註5)</sup>を示す。

##### 4.2 計算手法

表9にCFDの計算条件を示す。解析にはソフトウェアクレイドルのSTREAMを用い、標準k-εモデルを用いた数値流体解析により、室内の気流計算、温度分布、平均放射温度、SET\*を計算する。放射は、内装材の放射率を0.90と設定し、モンテカルロ法により形態係数を求め、各面間の反射吸収を考慮した解析を行う。放射暖房における床面(合板)の温度および温風暖房におけるエアコン吹出温度は、SET\*が概ね22℃となるように調整して計算を行う<sup>註6)</sup>。

#### 5. CFD解析結果

##### 5.1 貫流熱量と隙間風による損失熱量

表10に壁・床・天井・窓からの貫流熱量と隙間風による損失熱量の計算結果を示す。隙間風による損失熱量は、CFD計算結果より、室温<sup>註6)</sup>と外気温(0℃)から、隙間風の換気回数を0.5回/hとして算出した。損失熱量合計は、貫流熱量と隙間風による損失熱量の合算値である<sup>註7)</sup>。

次世代エネルギー基準(Ⅲ地域)の断熱性能であるcase1の解析結果では、壁・床・天井・窓からの貫流熱量合計は、床暖房は691.1W、温風暖房では600.3Wであり、床暖房の貫流熱量が多い。外気に面する南壁の室内表面温度は、床暖房では

表5 住宅の室内総発生熱量

	実測結果			集計結果		平均外気温 [°C]	平均室温 [°C]
	室内消費電力 [MJ]	エアコン出力 [MJ]	灯油 [MJ]	月積算総発生熱量 [MJ/月]	1日当たりの総暖房出力 [MJ/日]		
1月(8日~31日) 温風暖房	1183	8929		12639	421	1.8	20.2
2月(1日~28日) 床暖房	1139	835	9362	12145	405	1.1	19.8

※月積算総発生熱量は一月を30日として換算した

20.2℃、温風暖房では19.0℃であり、床暖房の方が高い。このため、床面からの放射により壁面や窓面の温度が温風暖房時よりも上昇し、壁や窓からの貫流熱量が増加する。case1の隙間風による損失熱量は、床暖房が156.7W、温風暖房は176.2Wであり、床暖房の方が約20W少ない。壁等の貫流熱量に、隙間風による損失熱量を加えた損失熱量の合計は、床暖房が847.8W、温風暖房が776.5Wであり、床暖房の方が約70W多い結果となっている。

床暖房などの放射暖房は、放射によって人体に熱を供給するため、一般に断熱性能の低い住宅において省エネルギーで快適な暖房であると考えられている。このため断熱性能が低い住宅における損失熱量を把握することを目的として、case1の断熱材の厚さを半分にした解析(case2)を行う。case2では、貫流熱量合計は、床暖房は1331.4W、温風暖房では1599.6Wであ

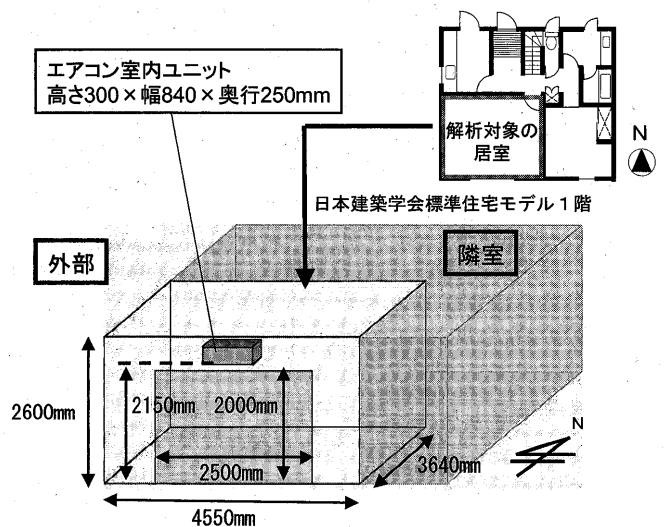


図4 解析対象の概要

表6 計算ケース

	断熱性能の条件
case1	次世代省エネルギー基準(Ⅲ地域)を満たしたモデル
case2	case1の断熱材の厚さを半分にしたモデル
case3	case1の床以外の断熱材の厚さを半分にしたモデル

表7 壁・床・天井・窓の仕様

	天井	外壁	床	窓
case1	合板20mm GW 10K 200mm 石膏ボード15mm	合板20mm GW 16K 70mm 石膏ボード15mm	合板10mm GW 10K 100mm	ガラス 3mm 密閉空気層 6mm ガラス 3mm
case2	合板20mm GW 10K 100mm 石膏ボード15mm	合板20mm GW 16K 35mm 石膏ボード15mm	合板10mm GW 10K 50mm	ガラス 3mm
case3	合板20mm GW 10K 100mm 石膏ボード15mm	合板20mm GW 16K 35mm 石膏ボード15mm	合板10mm GW 10K 100mm	ガラス 3mm

\* 天井は上から、外壁は外側から、床は上から順に構成部材を表す (略)GW: グラスウール

表8 次世代省エネルギー基準のシェルター性能と各計算ケースにおける部位別の熱貫流率[W/m²K]

	天井	外壁	床	窓
次世代省エネルギー基準(Ⅲ地域)	0.24	0.53	0.48	3.49
case1	0.23	0.53	0.43	2.44
case2	0.42	0.90	0.76	6.35
case3	0.42	0.90	0.43	6.35

り、温風暖房の方が約270W多い。温風暖房時は室内のSET\*を22℃とするため、吹出温度を45℃(吹出風量6.55m<sup>3</sup>/min)と高く設定する必要があるため、このため、室内の上下温度分布が、床暖房よりも大きくなる。このため、温風暖房では、部屋上部の温度の高い部分(天井や壁面上部)からの貫流熱が増加する傾向がある。隙間風による損失熱量を加えた損失熱量合計は、床暖房では1486.9W、温風暖房では1778.2Wであり、温風暖房の方が約290W多い。断熱性能の高いcase1の損失熱量合計と比較して、床暖房は639.1W、温風暖房は1001.7W増加しており、増加の傾向は温風暖房の方が大きい。

次に、既存の住宅へ床暖房設備を施工する場合、床暖房放熱部から床下への貫流熱を減らす目的で設備施工時に床下へ断熱材が施工されることがある。このため、case2の床下部分の断熱材の厚さを次世代省エネルギー基準の熱貫流率にした解析(case3)を行う。case2の床暖房における床の貫流熱は、424.6Wであるが、case3の床暖房では、床放熱部の下部に断熱材が設置されたため、床の貫流熱は246.4Wと床下への貫流熱量が減少する。しかし、床の断熱材の厚さを増やしたことにより、床表面部の温度の分布が均一となり、case2では29.3℃であったが、case3では31.6℃と上昇するため、床表面温度の上昇に伴い、壁や天井の貫流熱がcase2と比べて増加する。case3の損失熱量合計は、床暖房は1505.7W、温風暖房では

1233.6Wであり、床暖房は温風暖房よりも約270W損失熱量の合計が多い。従って、床暖房では床の断熱施工に合わせて、壁や窓の断熱強化も必要であると考えられる。

## 5.2 各壁面の放熱・受熱量および壁面温度

壁面の放熱・受熱量の詳細を図5～図10に示す。全caseにおいて、床暖房時の床面を除く各壁面温度は、温風暖房時に比較して相互放射による影響により0.4～5.9℃程度高い。外気に

表9 計算条件

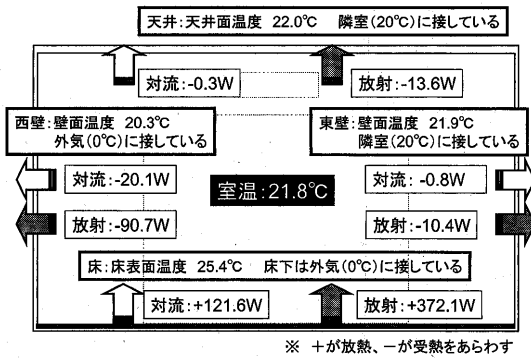
①計算コード	ソフトウェアクレイドル STREAM Ver.6
②乱流モデル	標準k-εモデル
③境界条件	壁面境界条件は、風速は一般化対数則、温度は温度対数則により壁面の対流熱伝達を算出する。 天井・東壁面および北壁面は隣室を想定し、CFD解析領域外の温度を20℃とする <sup>注5)</sup> 。床・西側壁面および南壁面は外部を想定し、CFD解析領域外の温度を0℃とする <sup>注5)</sup> 。
④放射条件	各壁面内側の輻射率を0.9と設定し、モンテカルロ法による輻射形態係数を計算し、放射熱伝達を計算する。
⑤暖房条件	○放射暖房 床面(合板)に任意の温度を与える。 ○温風暖房 エアコン室内ユニットに以下の流速境界を与える。 ・エアコン吹出口:下向き45度で吹出(吹出風量6.55m <sup>3</sup> /min) 吹出風速 = 2.17(m/s), k = 4.69 × 10 <sup>-2</sup> (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ), ε = 3.98 × 10 <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> /s) 吹出温度は、室温に応じて任意に調整 ・エアコン吸込:吸込口に対して垂直に吸込風速を設定。 吸込風速 = 0.722(m/s)

表10 壁・床・天井・窓からの貫流熱量と隙間風による損失熱量の計算結果

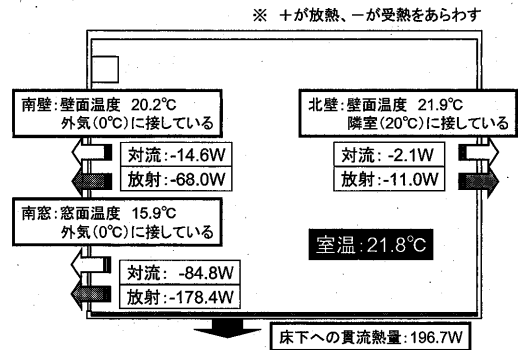
解析ケース	室温 [°C]	外気温 [°C]	壁・床・天井・窓の貫流熱量 [W]	貫流熱量合計 [W]	隙間風による損失熱量 [W]	損失熱量合計 [W]	床面積当たりの損失熱量 [W/m <sup>2</sup> ]	平均放射温度 [°C]	平均風速 [m/s]	SET* [°C]
case1	21.8	0	西壁 110.7	691.1	156.7	847.8	51.2	21.9	0.03	21.8
			南壁 82.6							
case2	24.5	0	西壁 104.1	600.3	176.2	776.5	46.9	20.4	0.19	21.8
			南壁 79.3							
case2	21.6	0	西壁 183.5	1331.4	155.5	1486.9	89.8	21.8	0.03	21.7
			南壁 140.5							
case2	24.8	0	西壁 213.2	1599.6	178.7	1778.2	107.4	19.6	0.17	21.7
			南壁 156.2							
case3	19.7	0	西壁 194.0	1364.4	141.4	1505.7	90.9	23.2	0.02	21.5
			南壁 143.2							
case3	25.7	0	西壁 159.1	1048.9	184.7	1233.6	74.5	18.5	0.19	21.5
			南壁 116.9							

面する南壁面の放熱・受熱量をみると、case1の床暖房(図5(2))は、対流が14.6W、放射が68.0W受熱しているが、case1の温風暖房(図6(2))は、対流が55.7W、放射が23.6W受熱しており、床暖房の場合は放射による熱移動が多く、温風暖房で

は相対的に対流による熱移動が多い。この傾向はcase2も同様である。case3の床暖房(図9(2))では、南壁面は放射により144.3W受熱しているが、1.1W対流によって放熱している。これは、南壁面の平均温度が23.2℃で、室温が19.7℃が壁面温度

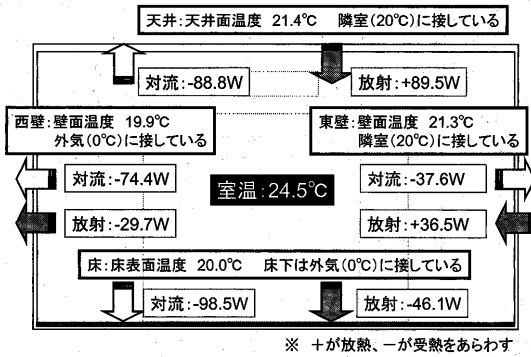


(1) 南壁から見た図

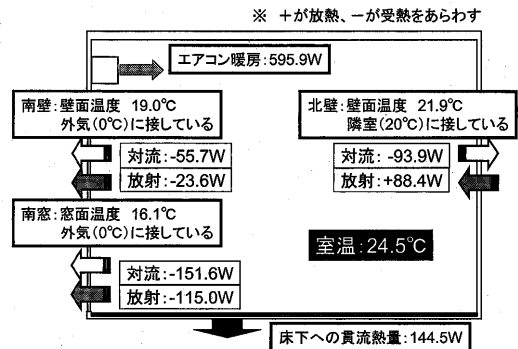


(2) 東壁から見た図

図5 床暖房時の各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 1 床表面温度25.4℃)

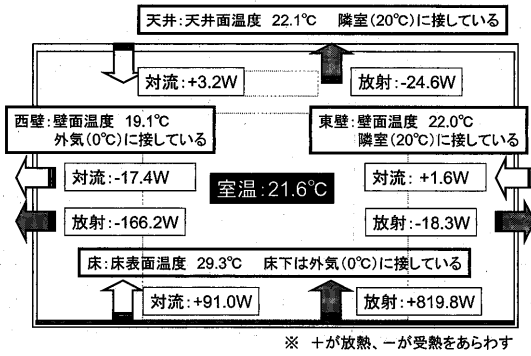


(1) 南壁から見た図

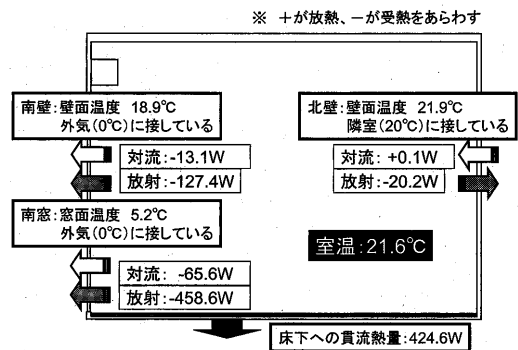


(2) 東壁から見た図

図6 温風暖房時の各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 1 エアコン吹出温度30℃)

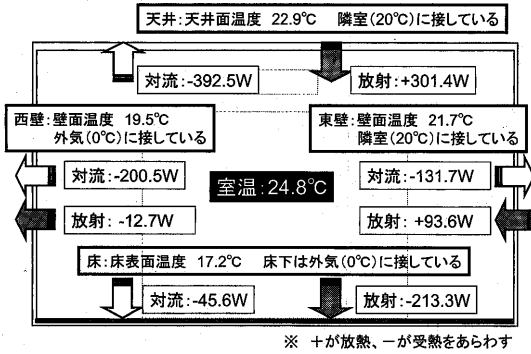


(1) 南壁から見た図

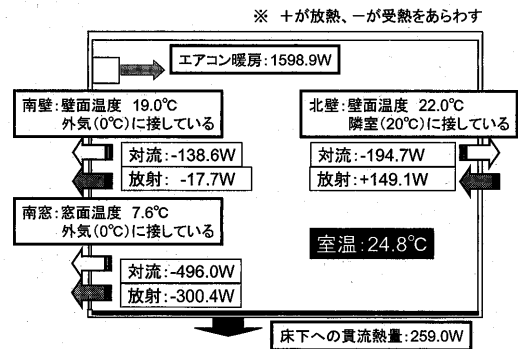


(2) 東壁から見た図

図7 床暖房時の各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 2 床表面温度29.3℃)

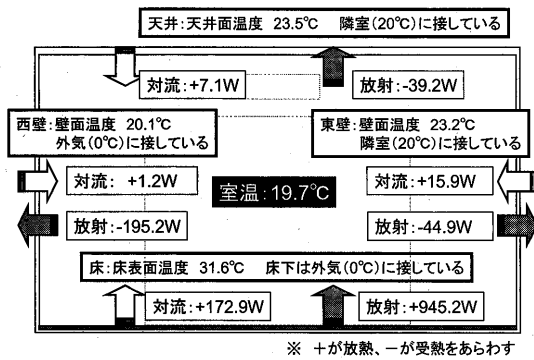


(1) 南壁から見た図



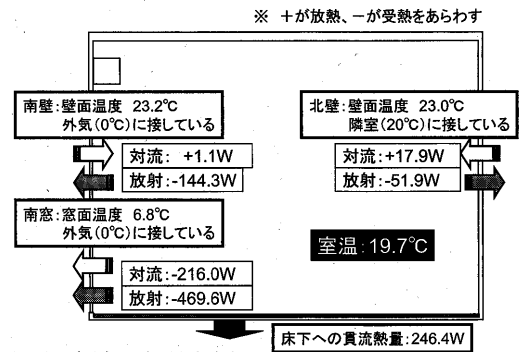
(2) 東壁から見た図

図8 温風暖房時の各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 2 エアコン吹出温度45℃)



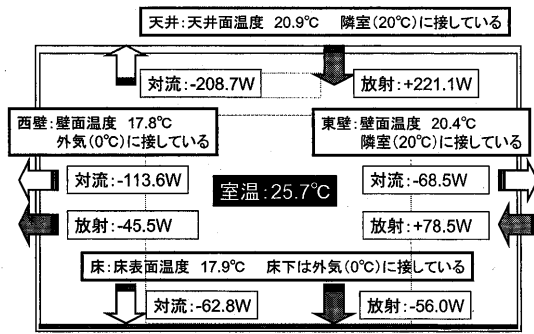
※ +が放熱、-が受熱をあらわす

(1) 南壁から見た図  
図9 床暖房時の各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 3 床表面温度 31.6℃)



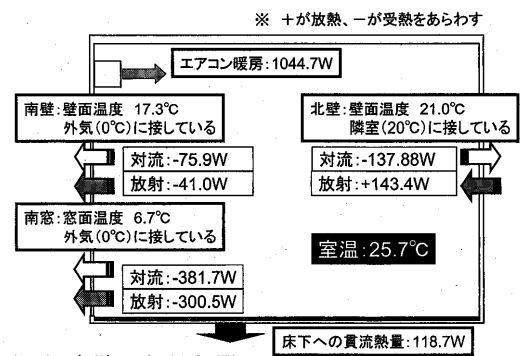
※ +が放熱、-が受熱をあらわす

(2) 東壁から見た図  
図9 床暖房時の各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 3 床表面温度 31.6℃)



※ +が放熱、-が受熱をあらわす

(1) 南壁から見た図  
図10 温風暖房時の各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 3 エアコン吹出温度 35℃)



※ +が放熱、-が受熱をあらわす

(2) 東壁から見た図  
図10 温風暖房時の各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 3 エアコン吹出温度 35℃)

よりもやや低いためである。

貫流熱量合計に対する床下への貫流熱量の割合は、断熱性能の低い case 2 の床暖房は 31.9%、温風暖房は 16.2% であり、床暖房の方が床下への貫流熱量の割合が多い。また、case 2 の床下の断熱材の厚さを増やした case 3 では床暖房は 18.1%、温風暖房は 11.3% であり、床下の断熱強化により、それぞれの貫流熱量の合計に対する床下への貫流熱量の割合は減少する。

## 6. 結論

本研究は、床暖房とエアコンによる温風暖房の両方の暖房を行うことのできる住宅を対象に居住状態での床暖房時と温風暖房時エネルギー消費量に関する実測調査と数値流体解析 (CFD) を行い、放射暖房時 (床暖房) および温風暖房時の、居室の壁・床・天井・窓を通過する熱の収支を詳細に解析した。結論は以下の通りである。

- ① 実測を行った住宅では、一日あたりの室内総発生熱量 (暖房出力と家電機器の熱量の総和) は床暖房が 405MJ/日、温風暖房時が 421MJ/日である。
- ② 快適性の評価となる SET\* を概ね 22℃ とした CFD の計算結果では、床暖房は温風暖房と比較して床面からの放射により壁面温度が高くなるため熱貫流による損失熱量が増加する。また、室温は、床暖房の方が温風暖房と比較して低くなるため、隙間風による損失熱量は低下する。
- ③ 次世代エネルギー基準 (Ⅲ地域) を満たした case 1 の結果によると、床暖房は温風暖房と比較して損失熱量合計が約 8% 多い。床暖房では床面の放射により温風暖房と比較して壁

面温度が上昇するため、屋外に面する壁面・窓面の貫流熱が増加する。

- ④ 床暖房は、対流よりも放射による熱移動が相対的に多い。逆に、温風暖房は放射よりも対流による熱移動が相対的に多い傾向がある。
- ⑤ 全ての部位の断熱材厚さを半分とした case 2 は、床暖房は温風暖房と比較して損失熱量合計は少ない。床以外の部位の断熱材厚さを半分とした case 3 は、case 2 と比較して、温風暖房の損失熱量は約 31% 減少するが、床暖房では損失熱量合計はあまり変わらない。
- ⑥ 床暖房では、発熱源である床暖房パネルの温度が高いため、床暖房パネルが設置されている部分の断熱強化が必要である。また、温風暖房と比較して、床面からの放射により室内の壁面温度が高くなるため、外壁部分の断熱強化についても注意が必要である。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、実測調査では居住者の方々に多大なるご協力を得ました。解析結果の集計では、佐藤久遠君 (当時、新潟大学大学院生)、鍛冶紘子君の協力を得た。ここに記して深く感謝の意を示します。

## 注

注 1) エアコンの熱出力を測定するために用いる COP 簡易測定手法の測定精度は、日本工業規格 JIS B 8615<sup>5)</sup> で規定されているカロリーメータを用いた測定結果と比較し、概ね同程度の精度であることを確認してい

る<sup>4)</sup>。

注2) 実測調査では、床暖房の行き還りの温度差と温水流量より暖房出力を算出する方が、精度の高い暖房出力が得られるが、実居住住宅の測定の制約から、温水配管部に測定器具を取り付けることが困難であり、ボイラーの灯油消費量を5分毎に記録し、床暖房の暖房出力を算出する。実測調査をした住宅は、基礎部分を断熱した住宅であるため、灯油の燃焼熱量にボイラー効率(83.9%:定格値)を掛けた値を床暖房の熱出力とする。ボイラーから室内に入る部分の配管は短く、配管の断熱処理があるため、この部分の熱損失は無視する。

注3) 本研究では家電機器ごとに電力計を設置し、消費電力量より室内で発生する総発生熱量を算出する。屋外に設置されている給湯ボイラーは、屋外へ直接排熱が放出されることや給湯使用時(台所および浴室)は換気扇が動作していること等を考慮し、室内総発生熱量に含めない。また、調理器具のエネルギー消費量は、給湯機器同様に、調理時は換気扇が動作していること等を考慮し、室内総発生量に含めずに解析する。

注4) 解析対象モデルの床は、床部分に断熱材が施され、床下空間は床下換気口によって外気に通じている床断熱の住宅である。床暖房は、床暖房パネルの温度が高くなるため、床下空間の温度によって放熱量が変化すると考えられる。床下空間の温度は、床下空間の自然換気量や地中温度によって変化するため、本研究では床下空間は外気温と同じ温度として計算を行う。床下換気口を閉鎖し、基礎部分の断熱を強化した住宅では、床暖房パネルから床下へ流れる熱量が減少する。

注5) 以下に示す熱伝達率を用いて、熱貫流率を計算した。

表11 熱貫流率計算のために用いた熱伝達率

	熱伝達率 [W/m <sup>2</sup> K]	
	屋外側 $\alpha_o$	室内側 $\alpha_i$
外壁	23	9
天井	9	9
床	7	7
窓	23	9

(2006年10月10日原稿受理, 2008年2月22日採用決定)

注6) 床暖房時の熱的快適性について、中村ら<sup>9)</sup>はPMVやSET\*の適応性について注意している。床暖房時の熱的快適性の指標には、SET\*以外に、作用温度OT<sup>9)</sup>やPMV<sup>2) 3)</sup>、2-nodeモデル<sup>10)</sup>などが用いられている。本研究では床面の接触による熱的快適性の影響を無視し、一様な温熱環境の全身温冷感を評価するSET\*を用いて解析を行う。なお、本文中のSET\*、室温、平均風速は、上下温度分布およびエアコン吹出部の温度を考慮し、床上0.5mから1.8mまでの平均値を用いて解析をする。

注7) 実験により求められた床暖房時の床面の対流熱伝達率<sup>7)</sup>は、床表面温度と室温の温度差が3℃のとき、約3 W/m<sup>2</sup>Kである。本研究で求められた床暖房時の対流放熱量は、case1では121.6W(床表面温度25.4℃、室温21.8℃)であり、対流熱伝達率は2.05 W/m<sup>2</sup>Kとなる。実験結果とCFD解析の対象や室温の定義が異なるため、単純に比較することは困難であるが、CFD解析では床近傍の風速が極めて低風速であり、対流熱伝達率が小さくなったと考えられる。

### 参考文献

- 1) 田中辰明:「防寒構造と暖房」, 理工図書, 1993.7
- 2) 木村建一, 井上宇市, 田辺新一, 秋元孝之, 藤野健治, 岩下剛, 田宮建司:「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

術講演会講演論文集, pp.325~328, 1988.9

- 3) 大森敏明, 田辺新一:「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・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.865~868, 2005.8
- 4) 赤林伸一, 坂口 淳, 佐藤久遠, 浅間英樹:「家庭用エアコンCOP簡易測定法の開発研究」, 日本建築学会技術報告集, 第22号, pp.315~318, 2005.12
- 5) 日本規格協会:「エアコンディショナ 第1部 直吹き形エアコンディショナとヒートポンプ 定格性能及び運転性能試験法 JIS B 8615-1:1999, 1999年
- 6) 気象庁電子閲覧室: <http://www.data.kishou.go.jp/> (参照 2006-03-31).
- 7) 長谷川弘, 赤林伸一, 坂口 淳:「放射環境における対流・放射・総合熱伝達率の測定結果と床冷房時の結露防止手法に関する研究」, 日本建築学会環境系論文集, 第601号 pp.21~28, 2006.3
- 8) 「床暖房設計施工マニュアル」編集委員会:「床暖房設計・施工マニュアル」, オーム社, 2005.3
- 9) 中村泰人, 岡本孝美, 百家裕季, 天川章史:「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, 第594号, pp.61~67, 2005.8
- 10) 山下遊, 石野久彌, 大熊涼子:「接触による伝導を考慮した人体Two-nodeモデルに関する研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.369~370, 2002.8