

住宅の居室を対象とした床暖房時と温風暖房時の熱収支に関するCFD解析

CFD analysis on the heat loss condition in the case of floor heating and air conditioning in living room

○ 正会員 長谷川 弘¹⁾ 同 赤林伸一²⁾ 同 坂口 淳³⁾ 同 鍛冶紘子⁴⁾
HASEGAWA Hiroshi, AKABAYASHI Shin-ichi, SAKAGUCHI Jun, KAJI Hiroko

本研究では、数値流体解析(CFD)により、放射暖房時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解析し、放射暖房および温風暖房両者の熱損失の状況を明らかにすることを目的とする。床暖房は温風暖房と比較して壁面温度が高いため熱貫流による損失熱量が多く、室温が低いため温風暖房と比較して隙間風による損失熱量は少ない。次世代エネルギー基準を満たした住宅モデルにおいて、床暖房は温風暖房と比較して損失熱量合計が約5%多く、熱効率が悪い。

Floor heating, Air Conditioning, Radiation heat, Heat loss
床暖房, 温風暖房, 輻射熱, 熱損失

1 研究目的

放射暖房は主に放射で人体との熱の授受を行うため、温風暖房に比較して相対的に室温を低く設定することが出来る。室温が低いことは、壁や窓を通じて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ので、床暖房などの放射暖房は省エネルギーであると言われてきた。しかしながら、床暖房とエアコンで暖房を行った場合の熱収支を解析し、比較を行った例は皆無である。

本研究では、数値流体解析(CFD)により、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解析し、放射暖房および温風暖房両者の熱損失の詳細を明らかにすることを目的とする。

2 解析の概要

2.1 解析対象と計算ケース

図1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階の一室である、10畳(16.562m²)の居間を解析対象とする。エアコン室内ユニットは、南壁の窓上中央に設置する。天井、東面および北面は隣室

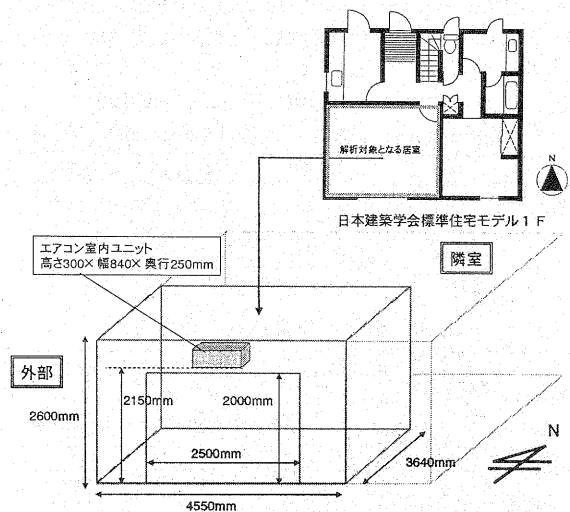


図1 解析対象の概要

表1 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
case3c	ase1の床以外の断熱材の厚さを半分にしたモデル

*1) 進展工業(株) 代表取締役 社長 博士(工学)(元新潟大学大学院生)

*2) 新潟大学大学院自然科学研究科 教授 工学博士

*3) 県立新潟女子短期大学生活科学科 助教授 博士(工学)

*4) 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生

*1) Shintenkougyou Co.Ltd President Dr.Eng.

*2) Prof., Graduate School of Niigata Univ., Dr.Eng.

*3) Assoc. Prof., Niigata Women's College, Dr.Eng.

*4) Graduate Student, Graduate School of Niigata Univ.

(20℃)に面している。床・西壁面および南壁面は外部(0℃)に面している。表1に計算ケースを、表2に次世代エネルギー基準(Ⅲ地域)のシェルター性能と各計算ケースごとの部位の熱伝導度を、表3に壁などの構成材の物性値を示す。表2のように壁・床・天井・開口部の熱伝導度を変化させ、床暖房時および温風暖房時の熱損失の比較を行う。

2.2 計算条件

表4にCFDの計算条件を示す。解析はソフトウェアークレイドルの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℃となるように調整する。

3 解析結果

表5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、換気がないCFD計算結果より、室温と外気温(0℃)から、隙間風の換気回数を0.5回/hとして計算している。損失熱量合計は、貫流熱量と隙間風による損失熱量の合計を表す。

次世代エネルギー基準(Ⅲ地域)の住宅性能を満たしたcase1では、床暖房は貫流熱量合計が559.0W、

隙間風による損失熱量が160.1W、損失熱量合計が719.1Wである。温風暖房ではそれぞれ506.4W、176.4W、682.8Wである。case1の断熱材の厚さを半分にしたcase2では、床暖房は貫流熱量合計が1250.5W、隙間風による損失熱量が158.9W、損失熱量合計が1409.4Wである。温風暖房ではそれぞれ1158.7W、170.3W、1328.9Wである。床暖房、温風暖房ともにcase1と比較して損失熱量合計が2倍程度増加している。case1より床以外の断熱材の厚さを半分にしたcase3では、床暖房は貫流熱量合計が802.0W、隙間風による損失熱量が154.0W、損失熱量合計が956.0Wである。温風暖房ではそれぞれ721.1W、184.5W、905.6Wである。床暖房は相互放射の影響によって壁面温度が高いため、温風暖房に比較して貫流熱量が多い。また、室温が低いため、温風暖房に比較して隙間風による損失熱量は少ない。

case1では、床面積当たりの損失熱量は、床暖房時43.5W/m²、温風暖房時41.3W/m²であり、温風暖房時が約5%少ない。case2では、床面積当たりの損失熱量は床暖房時85.2W/m²、温風暖房時80.3W/m²であり、温風暖房時が約6%少ない。case3では、床面積当たりの損失熱量は床暖房時57.8W/m²、温風暖房時54.7W/m²であり、温風暖房時が約5%少ない。全caseにおいて温風暖房は床暖房に比較して損失熱量が少なく、熱効率が良い。

図2～図7に、各caseにおける、各壁面の放熱・

表2 次世代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伝導度[W/m²K]

	天井	外壁	床	開口部
次世代エネルギー基準(Ⅲ地域)	0.24	0.53	0.48	3.49
case1	0.23	0.53	0.45	2.44
case2	0.43	0.90	0.82	6.35
case3	0.43	0.90	0.45	6.35

表3 壁などの構成材の物性値

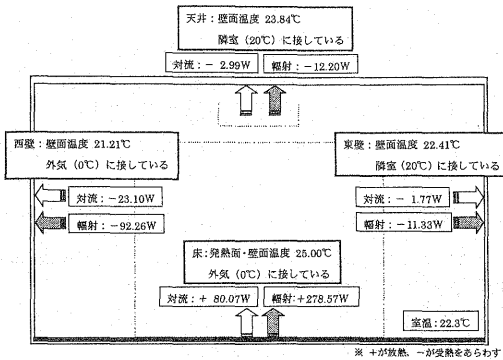
	比熱[kJ/kg・K]	密度[kg/m ³]	熱伝導率[W/m・K]
石膏ボード	854	750	0.220
合板	1300	540	0.172
断熱材(グラスウール10K)	8.4	10	0.050
断熱材(グラスウール16K)	13.4	16	0.045
ガラス	830	2200	1.000
中空層(乾き空気0℃、1気圧)	1005(定圧比熱)	0.0012	0.024

表4 計算条件

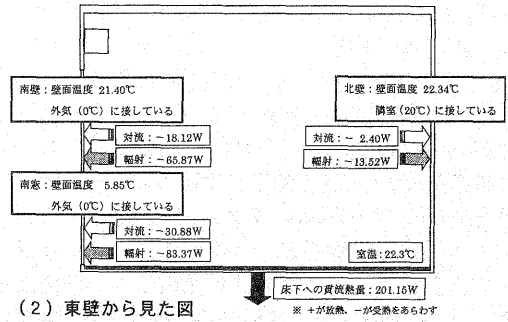
①計算コード	ソフトウェアークレイドル STREAM Ver.6
②乱流モデル	標準k-ε
③境界条件	壁面境界条件は、風速は一般化対数則、温度は温度対数則。 天井・東壁面および北壁面は隣室を想定し、20℃とする。 床・西壁面および南壁面は外部を想定し、0℃とする。
④放射条件	各壁面内側に放射率0.9を与える。
⑤暖房条件	・放射暖房 床面(合板)に任意の温度を固定する。 ・温風暖房 エアコン室内ユニットに以下の流速境界を与える。 ・エアコン吹出(6.55m ³ /min)下向き45度 吹出風速=2.17m/s、K=4.69×10 ⁻² 、ε=3.98×10 ⁻¹ 、 吹出温度は、室温に応じて任意に設定 ・エアコン吸込 吸込風速=0.722m/s

表5 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case	測定条件	貫流熱量合計[W]	室温[℃]	外気温[℃]	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 ²]	平均放射温度[℃]	相対気流速度[m/s]	SET*[℃]
case1	床暖房25℃	559.0	22.3	0.0	160.1	719.1	43.5	21.9	0.0	22.0
	温風暖房28.5℃	506.4	24.5	0.0	176.4	682.8	41.3	20.4	0.2	21.7
case2	床暖房29℃ 断熱材の厚さ半分	1250.5	22.1	0.0	158.9	1409.4	85.2	22.0	0.0	22.0
	温風暖房39℃ 断熱材の厚さ半分	1158.7	23.7	0.0	170.3	1328.9	80.3	21.1	0.2	21.8
case3	床暖房27.5℃ 床以外断熱材の厚さ半分	802.0	21.4	0.0	154.0	956.0	57.8	21.6	0.0	21.5
	温風暖房27℃ 床以外断熱材の厚さ半分	721.1	25.7	0.0	184.5	905.6	54.7	19.6	0.2	21.9

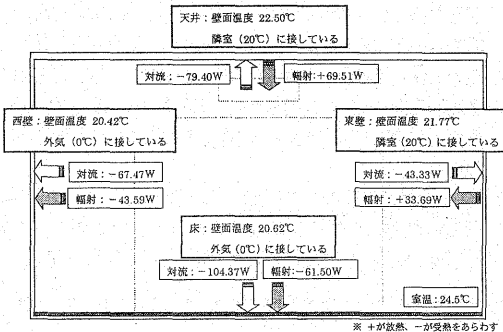


(1) 南壁から見た図

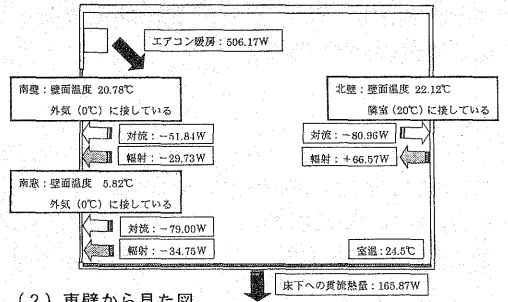


(2) 東壁から見た図

図2 各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 1 床暖房 25℃)

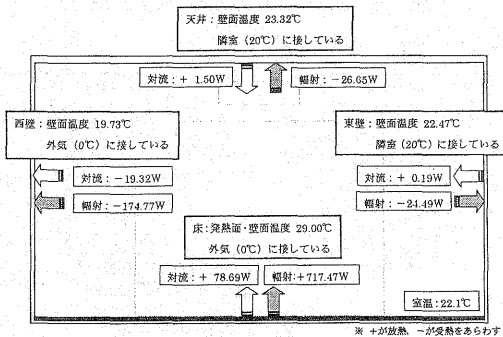


(1) 南壁から見た図

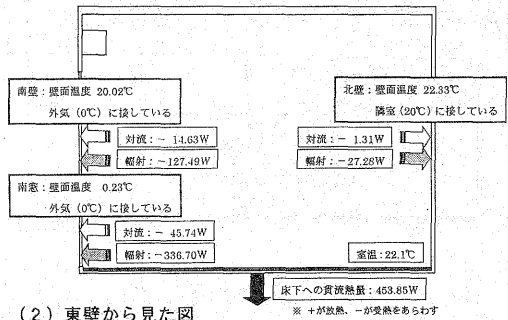


(2) 東壁から見た図

図3 各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 1 エアコン暖房 29.5℃)

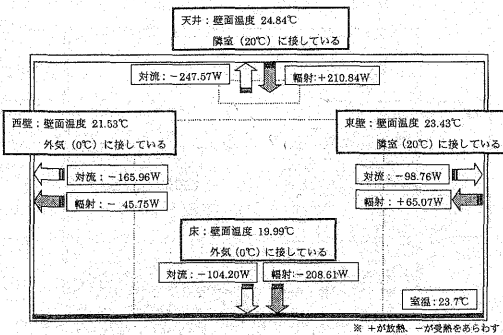


(1) 南壁から見た図

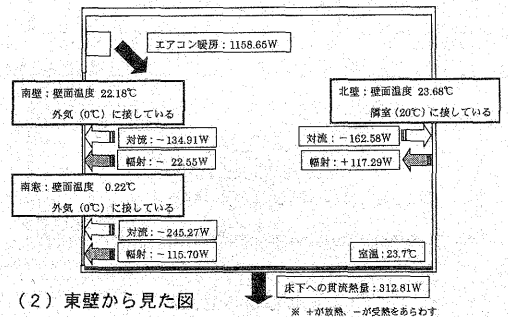


(2) 東壁から見た図

図4 各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 2 床暖房 29℃)



(1) 南壁から見た図



(2) 東壁から見た図

図5 各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 2 エアコン暖房 39℃)

受熱量および壁面温度を示す。

全 case において、床暖房時の床面を除く各壁面は、温風暖房時に比較して、相互放射による影響により、 $0.3 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 程度高い。

case 2 の床暖房時では、貫流熱量合計に対する床下への貫流熱量の割合は 36.7% であり、温風暖房時では 27.0% である。case 3 では、床暖房時が 27.6% 、温風暖房時が 22.9% である。床面の断熱材の厚さが case 3 の半分である case 2 は、貫流熱量合計に対する床下への貫流熱量が多く、特に床面の温度が高くなる床暖房時は、温風暖房時と比較してその増加率が大きい。床暖房では、床材の熱伝導度が損失熱量に大きく影響を及ぼしている。

全ての case において、床暖房時は対流よりも輻射による熱移動が相対的に多い。逆に、温風暖房時は輻射よりも対流による熱移動が相対的に多い。

4 まとめ

(1) 快適性の評価となる SET* を概ね 22°C とした CFD の計算結果では、床暖房は温風暖房と比較して壁面温度が高いため熱貫流による損失熱量が多く、室温が低い場合温風暖房と比較して隙間風による損失

熱量は少ない。

(2) 次世代エネルギー基準(Ⅲ地域)を満たした case 1 において、温風暖房は床暖房に比較して損失熱量合計が約 5% 少なく、熱効率が良い。

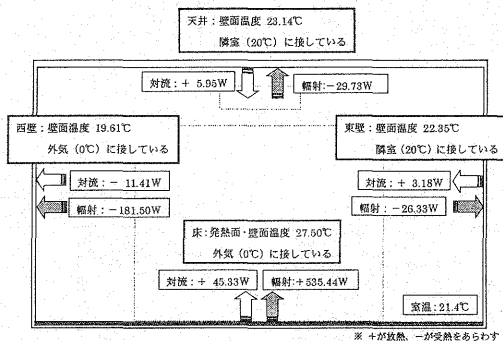
(3) 床暖房では、床材の熱伝導度が損失熱量に大きく影響を及ぼす。

(4) 床暖房時は対流よりも輻射による熱移動が相対的に多い。逆に、温風暖房時は輻射よりも対流による熱移動が相対的に多い。

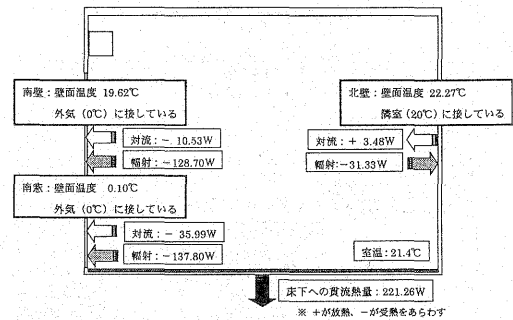
本研究を行うに際し、佐藤久遠君(東北電力:当時新潟大学大学院生)の多大なるご協力を得ました。

【参考文献】

- 1) 宇田川光弘:「標準問題の提案 住宅用標準問題」、日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回熱シンポジウム
- 2) 長谷川弘・赤林伸一・坂口淳・大竹秀雄:「放射制御型環境試験室に関する開発研究 その2 放射冷暖房の問題点の把握と解決法の提案」、日本建築学会北陸支部研究報告集、2005年
- 3) 大竹秀雄・赤林伸一・坂口淳・長谷川弘:「放射制御型環境試験室に関する開発研究 その1 環境試験室の概要と基本性能」、日本建築学会北陸支部研究報告集、2004年

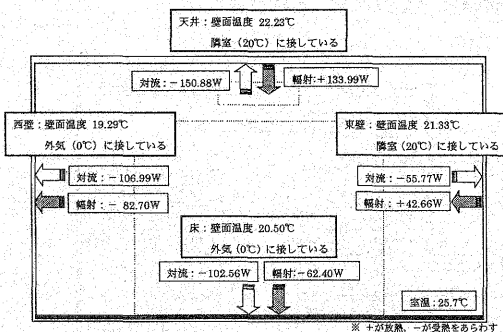


(1) 南壁から見た図

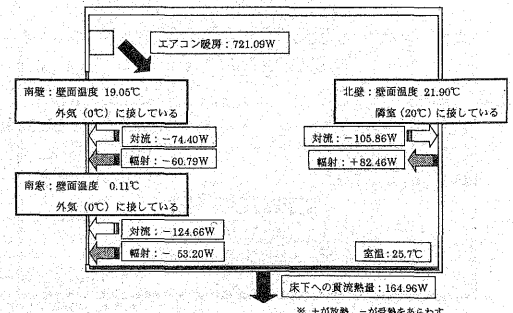


(2) 東壁から見た図

図6 各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 3 床暖房 27.5°C)



(1) 南壁から見た図



(2) 東壁から見た図

図7 各壁面の放熱・受熱量および壁面温度 (case 3 エアコン暖房 32°C)