

詳細な建物モデルを用いた実大実験住宅の熱環境に関する CFD 解析

その 1 放射暖房について

CFD Analysis on the Thermal Environment of the Full Size Experiment House Using a Detailed Building Model Part 1, On Thermal Environment of the Radiant Heating

研究代表者 工学部建築学科 准教授 崔 軍
Jun Cui
共同研究者 工学部建築学科 講師 市川 尚紀
Takanori Ichikawa
大学院システム工学専攻 学生 加藤 聡
Satoshi Kato
高砂熱学工業株式会社 龍 昌一良
Shoichiro Ryu

In this paper, CFD analysis of floor radiant heating and the wall radiant heating was carried out using a detailed experiment house model. The results are shown below. 1) When the outdoor air temperature is 1 degree Celsius, the comfort of the residence area cannot be kept only with a wall heating panel of 40 degrees Celsius. 2) In the residence area, a floor heating of 28 degrees Celsius may become more comfortable than wall heating of 40 degrees Celsius. 3) If a wall panel is used together with a floor panel effectively even if water supply temperature is a little lower than wall heating, indoor heat environment is improved.

1. はじめに

日本で排出される CO₂ の約 1/3 は建築関連からのもので、その約 2/3 が建物運用時の排出量とされている。環境共生型住宅は、地球環境保全や周辺環境との親和性を考慮し快適な室内空間を維持することを目標とするため、CO₂ 排出量の削減に貢献できるものとして以前から期待されている。その具体的な実施例は数多く存在している⁽¹⁾。

しかしながら、これまでは環境共生型住宅の省エネ性を定性的に評価するものが多く、実測に基づいた評価の場合でも、その殆どが特定の建物を対象とするもので結果の汎用性に問題が残る。壁体内部の熱伝導と室内の気流分布を連成して解析を行う例も沢山あるが、計算時間を短縮するため、簡略化された簡易な箱型モデルが使われ、実際の建物壁体構成と同じ様なモデルでの解析・検討例は少ない。また、近年、優れた快適性を有すると言われる放射冷暖房システムが注目されている。たとえば、床暖房システムは、室温が比較的に低く設定しても体感的な暖かさを得ることができるため、しばしば省エネルギーシステムといわれる⁽²⁾。しかし、床暖房システム

のエネルギー消費量はその設置条件や運用方法によってエアコン暖房より大きくなるケースも報告されている⁽³⁾。そのため、設計段階において図面上にある建物の環境性能を把握するには詳細なシミュレーションが不可欠である。

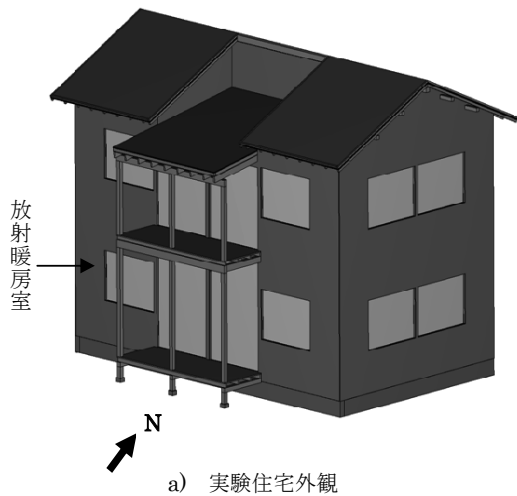
本研究では、近畿大学工学部建築学科の実験住宅を例に、構造体の細部まで設計図面通りにモデル化し、CFD 解析を用いて床・壁放射暖房の快適性について詳細なシミュレーションを試みた。その結果を報告する。

2. 解析条件

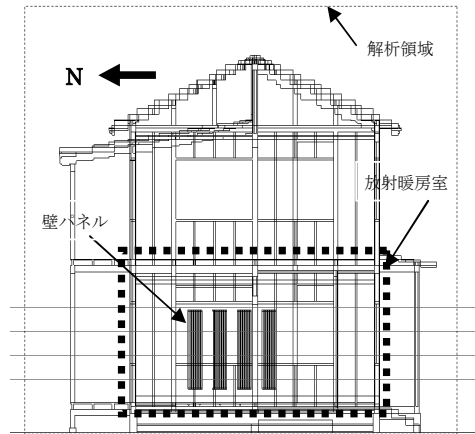
2.1 建物と放射パネルの概要

実験住宅のモデルを図 1 に示す。建物全体が解析対象となるが、放射パネルを設置したのは 1 階の西側の部屋のみである (図 2)。放射パネルは、壁面と床面にそれぞれ設置されている。

床面の放射パネルは、図 3 に示すように 455mm の等間隔の根太 45mm×45mm の間に設置されている。パネルの下に 44.8mm のグラスウールが施工されており、暖房時には直径 15mm の銅管に温水を



a) 実験住宅外観



b) 実験住宅南北断面図

図1 実験住宅モデル

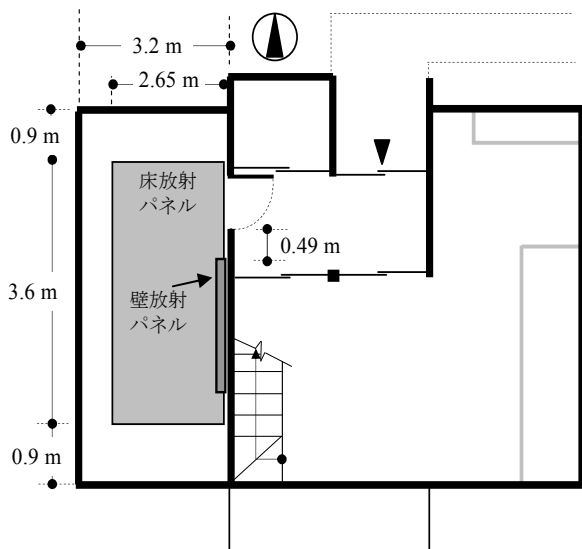


図2 放射パネルの設置位置

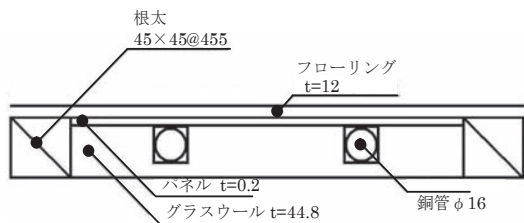


図3 床放射パネル構成

流す。パネル（厚さ0.2mm）の材質はアルミニウムで、解析時にはアルミニウム放熱パネルの表面温度

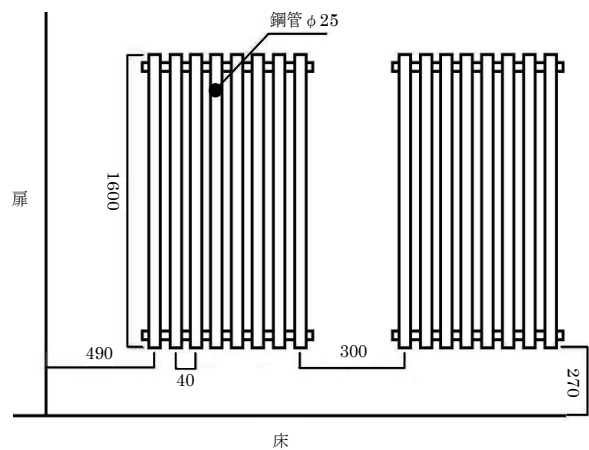


図4 壁放射パネル構成

を一定としている。アルミニウム放熱パネルの上に床面の仕上げ材としてフローリングを設置している。

壁放射パネルの詳細を図4に示す。実際に実験住宅に設置されている壁放射パネルの寸法を測りモデル作成を行った。直径25mm、長さ1600mmの鋼管の8本を1セットとし、300mm間隔で4セットを設置している。パネルと壁の間隔は約50mmである。解析時、鋼管の表面温度を一定とした。

2.2 解析ケース

今回は、表1に示すように三つのケースについて解析を行った。床放射暖房時の床表面温度は通常25~30℃とされているが、ここではフローリング下の放熱パネル（図3）の温度を28℃一定とした。壁放

射暖房と床放射暖房の併用ケースでは、同一の送水系統を有することを想定しているため、いずれの放熱パネル表面温度も 28℃とした。

表 1 解析ケース

解析ケース	暖房方式	パネル表面温度
CASE-1	壁放射暖房	40℃
CASE-2	床放射暖房	28℃
CASE-3	壁・床の併用	28℃

2.3 解析ソフトと条件設定

今回の解析では、汎用熱流体解析ソフト「STREAM for Windows Version8」を用いた。条件設定の概要を表 2 に示す。

表 2 条件設定の概要

乱流モデル	線形低レイノルズ数方程式モデル
解析領域	13,060×10,855×8,925.125 ^H mm
領域外気温	1℃
建物初期温度	20℃
日射量	東京、快晴時を想定
メッシュ数	164×155×112=2,847,040
計算時間間隔	0.5 秒
非定常解析	36,000 サイクル(解析時間 5 時間)
解析期間	10:00~15:00
着衣量	1.0 clo
代謝量	1.0 met

実験住宅モデルは空調の吹き出し・吸い込みがなく、流れは自然対流のみであるため、流速はそれほど大きくなり、領域内で層流の部分と乱流の部分が混在すると思われるので、線形低レイノルズ数方程式モデルを使用した。解析領域は建物よりも広くとり、建物外の解析も行った。冬期を想定しているので外気温度を 1℃とした。日射の計算はデータが揃っている東京の快晴時のデータを用いて行った。

流れ境界条件として、今回は側面 4 面を全圧境界、上面 (Zmax 面) を自然流出境界に指定した。室内の放射解析に VF 法を用い、各面の放射率を 0.9 とした。

3. 解析結果

近畿大学工学部建築学科の実験住宅を対象に、

CASE-1~3 について解析を行った。それぞれの解析結果から、室温、MRT (平均放射温度)、PMV (予想平均温冷感申告)、流速などの性状を確かめ、放射暖房室内の温熱環境を評価する。ただし、今回は室温と PMV のみを用いて考察を行う。また、以下に示す温度分布図、PMV 分布図は放射暖房室の東西の中心にカット面を配置したものである。

3.1 CASE-1 (壁放射パネル 40℃)

ここでは、壁パネル (鋼管) の表面温度を 40℃一定とした。壁放射パネルを使用した場合の室内温度分布を図 5 に示す。床上 1000mm 以下で壁パネルから 200mm 以上離れたところでは温度変化が激しい。また、壁パネルの向側の壁の天井付近では等温線が左下がりになっている。これらのことから、パネルで暖められた空気は上に上がっていき、天井を伝って反対の壁の天井付近に流れていくことがわかる。居住域の温度は概ね 20℃を下回っている。

床上 1100mm と床上 100mm の温度差は約 2℃で、ISO の推奨範囲⁽⁴⁾内 (3℃以内) に納まっている。

図 6 は PMV の空間分布を示したものである。壁パネルに暖められた空気が天井付近に上昇しやすいため、天井付近の PMV はおおよそ -0.5~0.5 の範囲内に入っている。しかし、居住域 (床上 1.5m 以下) では PMV が -0.5 を大きく下回り、やや寒い環境となっている。

図 5 と図 6 から、温度分布は床上 1000mm 付近から層状に温度が上がっているのに対し、PMV 分布では壁パネルから遠くなり、床面に近づくにつれて PMV 値が下がる傾向になっている。これは、温度が同じ場所でも、放射パネルからの放射熱が十分に届かないことや、外気によって冷やされた壁、窓からの冷放射を受けた結果だと考えられる。

今回の計算結果より、外気温度 1℃の場合、40℃の壁パネルだけでは居住域の快適性を保つことが難しいことがわかった。

3.2 CASE-2 (床放射パネル 28℃)

ここではフローリング下の放熱パネル (図 3) の温度を 28℃一定とした。室温分布を図 7 に示す。床上 100mm 以下では温度変化が激しく、温度分布が層状になっている。それ以外の場所では窓面付近の温度は低く、下方に広がっているのに対し、向側の内壁面には床パネルで暖められた空気が壁を伝って上方に広がっていることがわかる。このことから、床で暖められた空気は壁を伝って天井まで上昇し、

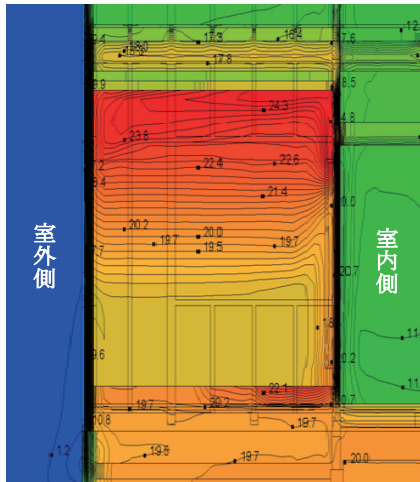


図 5 CASE-1 の温度分布

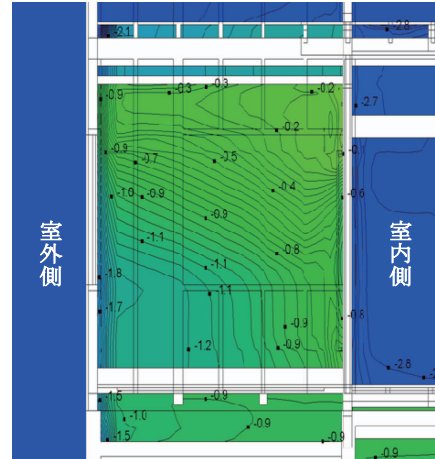


図 6 CASE-1 の PMV 分布

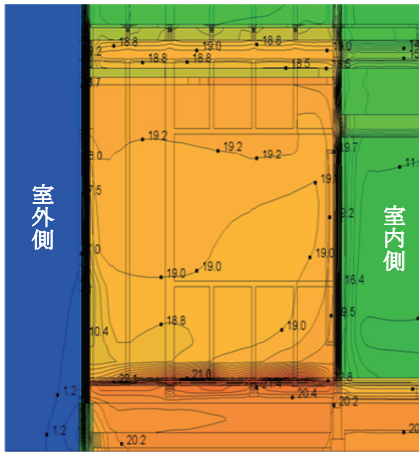


図 7 CASE-2 の温度分布

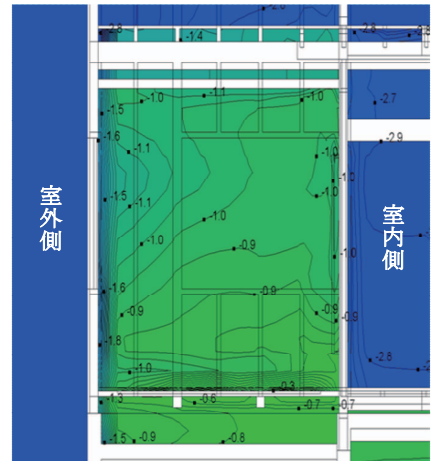


図 8 CASE-2 の PMV 分布

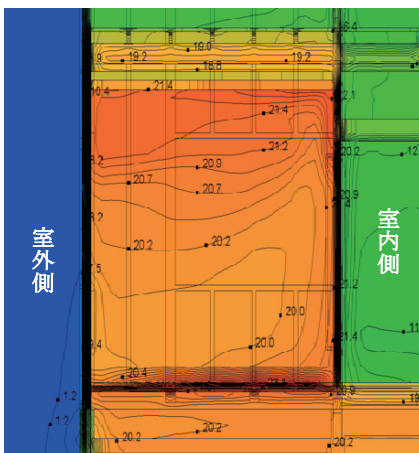


図 9 CASE-3 の温度分布

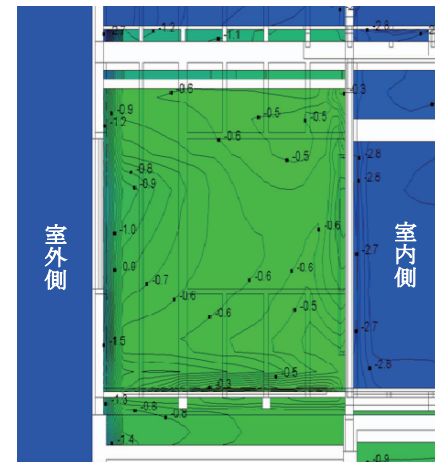


図 10 CASE-3 の PMV 分布

外壁や窓面に冷やされて床まで下降するような空気の流れが考えられる。その結果、部屋中央部の温度分布は窓面に近いほど下にのび、内壁面に近いほど上にのびている。

CASE-1 (図 5) に比べ、CASE-2 (図 7) の室温分布は比較的均一で、床上 1100mm と床上 100mm の上下温度差は約 1℃とかなり小さい。これは ISO の推奨範囲の 3℃以内に収まっており、壁放射暖房の場合 (CASE-1) と比べると 1℃程度小さくなっている。ただし、全体的に室温は CASE-1 より低い。これは CASE-1 のパネル表面温度が高いからである。

図 8 は PMV 分布を示したものである。部屋全体として PMV の値は低く、平均で -1.0 程度となっており、快適な空間とは言い難い。窓面付近に関しては、CASE-1 同様に窓面から冷放射を受けて PMV が下がる結果となっており、快適性が損なわれている。窓面付近以外では、PMV の値を CASE-1 と比較すると、部屋中央部で約 -0.9 の値を示している点は一緒であるが、CASE-2 の方は全体として PMV が小さい。しかし、居住域に限ってみると、壁放射暖房時 (図 6) より多少ではあるが床暖房時の PMV (図 8) が増加している。これは、居住域では表面温度 40℃の壁放射暖房よりも、表面温度 28℃程度の床暖房の方が快適になることを示唆している。

3.3 CASE-3 (壁・床放射パネル 28℃)

CASE-3 は、床パネルと壁パネルを併用させた場合の結果である。室温分布を図 9 に示す。CASE-1、CASE-2 に比べて部屋中央部の温度は高くなっている。これは、壁パネルと床パネルを併用することにより、壁パネルのみの場合では低かった床上 1000mm 以下の場所の温度を床パネルが補っている形になったといえる。

室内の気流に関しては、CASE-1 と同様にパネルで暖められた空気が上昇し、天井を伝って向側の外壁の天井付近に流れている。また、床上 100mm と床上 1100mm の上下温度差は約 1℃と ISO の推奨範囲内に収まっている。

図 10 は PMV 分布を示したものである。PMV 分布についても温度分布と同様に、壁パネルのみの場合約 -0.9 ~ -1.2 だった部屋下部の PMV が CASE-3 では約 -0.5 ~ -0.7 と上昇し、床暖房の影響で ISO の推奨範囲 (PMV = -0.5 ~ 0.5) に近づいている。また、部屋全体をみても、CASE-1、CASE-2 に比べて快

適な空間になったといえる。しかし、窓面付近の PMV は CASE-1、CASE-2 と同様に快適性が損なわれている結果となった。

この結果から、送水温度が多少低くても床パネルと壁パネルをうまく併用すれば、室内の熱環境を改善できることがわかる。

4. おわりに

本研究では、近畿大学工学部建築学科の実験住宅を忠実にモデル化し、汎用流体解析ソフト STREAM を用いて解析を行い、以下の知見を得た。

- 1) 今回の計算において、外気温度 1℃の場合、40℃の壁パネルだけでは居住域の快適性を保つことが難しいことがわかる。
- 2) 居住域に限って言えば、表面温度が多少低い床暖房の方が表面温度の高い壁放射暖房よりも、快適になることもある。
- 3) 壁パネルのみの場合に比べ、送水温度が多少低くても床パネルと壁パネルをうまく併用すれば、室内の熱環境が改善される可能性がある。
- 4) 床放射暖房の上下温度差の方が壁放射暖房の上下温度差より小さい。
- 5) 床放射暖房と壁放射暖房を併用することによって、居住域の空気温度を上昇させる効果がある。
- 6) 今回の計算では、いずれのケースにおいても、窓面付近の快適性は低かった。窓付近の快適性を向上させるには更なる工夫が必要である。

参考文献

- (1) 中村美和子、岩村和夫：ポスト・デザインによる環境共生住宅の実態と課題の検証—日本における近年の環境共生型集合住宅の事例解析—、日本建築学会計画系論文集、No.610、pp.1-8、2006.12
- (2) 蛭田厚大、他 13 名：異なる暖房方式を採用した居室の温熱環境評価に関する研究 (その 12) CFD を用いた室内温熱環境と投入熱量、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 II、pp.181-182、2009.8
- (3) 赤林伸一、坂口淳、長谷川弘：床暖房時と温風暖房時の熱収支に関する研究 その 1 実住居住宅を対象とした実測調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 II、pp.21-22、2006.9
- (4) 社団法人空気調和・衛生工学会：新版 快適な温熱環境のメカニズム、p.153、丸善、2006.3