

## 吹抜けを有する住宅における冬季の温熱環境の測定と解析

正会員 ○伊藤志穂乃\*1 同 銚井修一\*2 同 小椋大輔\*3

## 4.環境—8.熱—d.室内温熱環境

## 木造、吹抜け、階段スペース、室内気流、輻射暖房

## 1. 研究の背景と目的

地球環境が変化しつつある現在、大量のエネルギー消費の一因となっている建築における省エネルギー対策が急務である。住宅においては、暖冷房エネルギーの使用量を削減することが必須である。冬季の暖房に使用されるエネルギーの割合は全国平均で約24%と大きく、建築的手法によりできるだけ消費を抑制することが望まれる。

本研究では、京都府宇治市に建つ木造軸組2階建住宅（以下、住宅Aと呼ぶ）を対象とし、吹抜けが冬季のドラフトに及ぼす影響及びこの住宅に取り入れられた低温面輻射暖房の効果について検討する。

## 2. 室内温熱環境調査

## 2.1 測定対象住宅（住宅A）

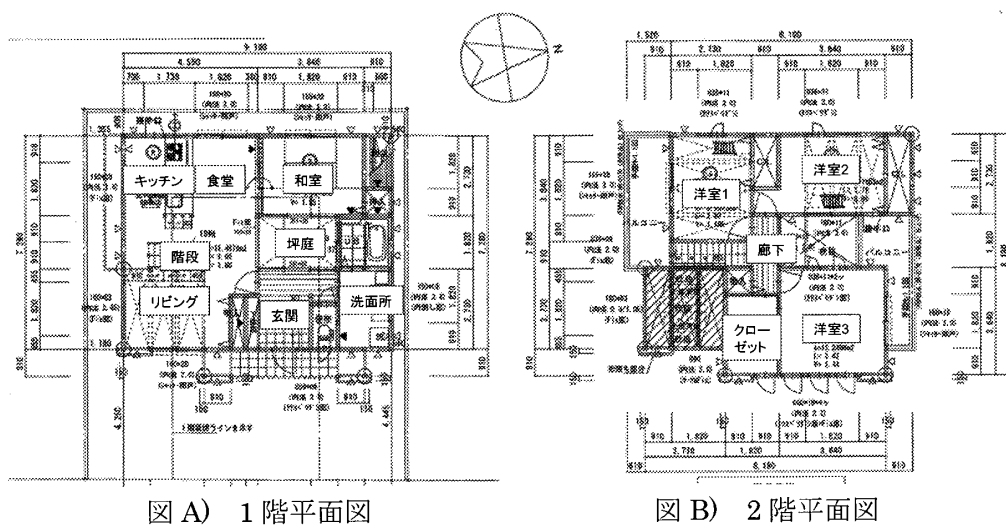
2011年1月16日に実測調査を行った。図1に住宅Aの平面図を示す。妻入りの切妻造であり、1階のリビングは吹抜けとなっており、また階段に面

している。暖房は2階床下に設置された低温面輻射暖房システム（1階天井と2階床の間に温水配管）によって暖めている。

## 2.2 測定概要

外気温湿度、室内温湿度、気流分布、壁表面温度、日射量の計測を行った。室内気流の計測には、写真1に示す吹流しを用いた。長さ65cm程度の針金を広口ビンに固定し、その先に細く裂いたビニール紐をつけたものである。この吹流しを室内の各所に置き、写真を用いて風の流れ方を調べた。温湿度は小型簡易温湿度計で測定し、表面温度計測には赤外線放射温度計を用いた。

2011年1月13日より面輻射暖房を起動し、16日午前10時に面輻射暖房の出力を上げた。温湿度の測定は10時半から開始した。放射温度、気流分布の測定は随時行った。



図A) 1階平面図

図B) 2階平面図

図1 測定住宅の平面図

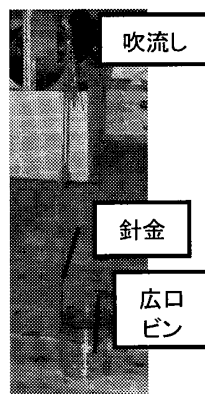


写真1 吹流し

Measurement and analysis of indoor thermal environment in residential building with atrium in winter

ITO Shihono, HOKOI Shuichi and OGURA Daisuke

## 2.3 測定結果と考察

### 1)室内温度

測定を開始した 10:30 から終了時 15:30 までの温湿度を図 2、3 に示す。

1 階 (図 2) : 出力を上げた後、緩やかに温度が上昇し、居住域 (和室、キッチン、リビング) における平均値は 15.7℃ (10:30) から 20.1℃ (15:00) に上昇した。玄関、廊下、洗面所等で、しばしば温度が急下降するときがあるが、これは来客時に玄関扉を開閉したためと思われる。また、階段下、リビングの窓における温度変動も、これが原因と考えられる。

和室では、12 時半頃に温度降下が見られるが、扉の開閉によるものと考えられる。障子裏では非常に低温となっているが、和室は適温に保たれており (障子裏は 11 時半頃から測定を開始した)、障子による断熱効果がわかる。

2 階 (図 3) : 出力を上げた後、緩やかに温度が上昇し、居住域 (洋室 1、洋室 2、洋室 3、クローゼット、廊下) における平均値は 13.6℃ (10:30) から 18.5℃ (15:00) に上昇した。北側の洋室 2、3 よりも、南側の洋室 1 でやや温度が高い。階段横の窓 (高さ約 4300mm) でも温度が高く、かつ一定である。

住戸内の環境としては、1 階、2 階どちらにおいても 20℃前後という良好な温度環境が得られていると言える。

次に、温度の垂直分布を図 4、5 に示す。

1 階リビングにおける垂直分布 (図 4) : 温度は緩やかに上昇し、平均値は 14.0℃ (10:00) から 20.0℃ (15:30) に上昇している。どの地点でもドアの開閉の影響を受けているが、下部が最も影響を受けやすい。垂直方向に非一様な温度分布が形成されているが、下部でも最終的には 19℃近くまで上がっており、温度環境として悪くはない。

2 階洋室 1 における垂直分布 (図 5) : 温度は緩やかに上昇し、平均値は 12.2℃ (10:00) から 19.6℃ (15:30) に上昇している。11 時 10 分頃、12 時 20 分頃に下部で温度が急激に下降しているが、これは窓を開け

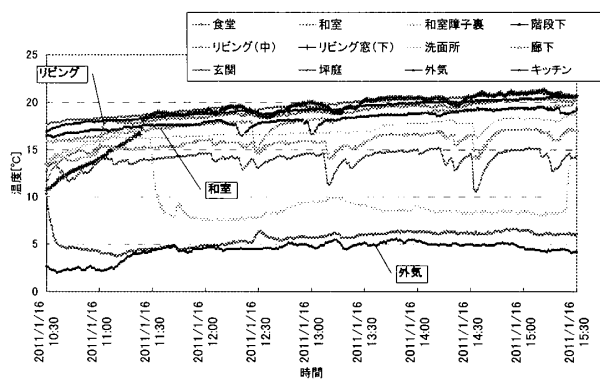


図 2 1 階における温度分布

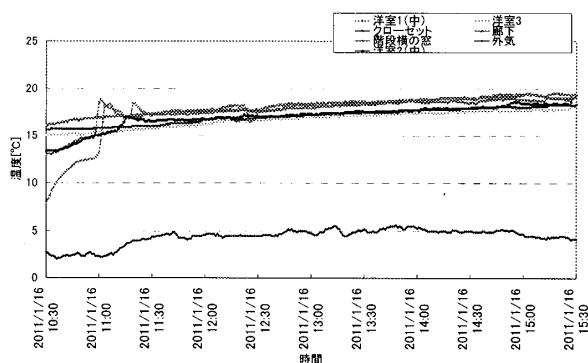


図 3 2 階における温度分布

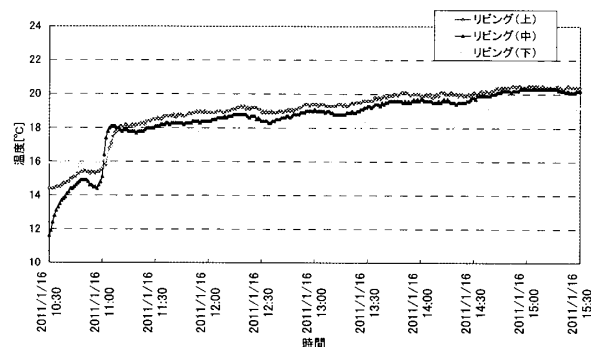


図 4 1 階リビングにおける垂直分布

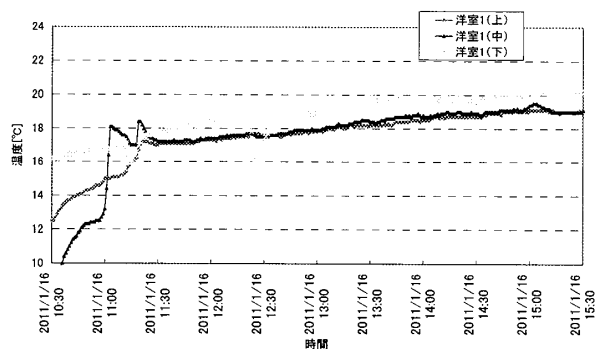


図 5 2 階洋室 1 における垂直分布

たためと考えられる。13時から13時半頃の温度の急激な上昇は、日射の影響と思われる。また、下部から上部に向かって温度が低下するが、上部と中央の温度差は小さい。

1階では上部ほど、2階では下部ほど温度が高くなっているが、これは面輻射暖房が1階天井と2階床に設置されているためである。

## 2) 気流分布

2階の各部屋の扉を閉じたときの風速測定結果を図6に示す。吹抜け、階段の周りで気流が発生している。特に階段では、2階から1階へ向かって強い気流が発生していた。

次に、2階の扉を開けたときの風速測定結果を図7に示す。扉を閉じていた場合よりも気流が強くなっており、特に階段で強い。2階廊下の階段に面する断面では、下部(1000mmくらいまで)

では2階から1階へ、上部(1000mm以上)では1階から2階への流れとなっていた(図8)。また、階段とリビングの間にある梁の上部では、リビングから2階へ向かう流れが発生していた。梁近く(2階床高さ)では、2階からリビングへ向かっていると思われる流れも見られた。

このような流れが起きる原因として、吹抜け及びそれに接する階段が考えられる。測定結果では、1階の方が2階より温度が高く、1階の暖かい空気が吹抜けを上昇し、一方2階から冷たい空気が下降したと考えられる。

## 3. CFD解析

本章では、CFD解析により実測結果の気流及び空気温度の再現を試みる。更に、解析結果より、室内気流、温度性状の詳細について検討する。

### 3.1 CFD解析の概要

STAR-CD4.10を用いて解析した。非圧縮性を仮定し、乱流モデルには $k-\epsilon$ 型2方程式モデルを用いた。住宅Aを、図9に示す簡略化されたモデルにより近似した。メッシュ数は $40 \times 40 \times 40$ とした。なお、今回は風速を測定した1階リビング、キッチン、和室、2階廊下、洋室1～3、クローゼットのみを対象とする。境界条件は、実測結果を壁面境界に与えた(表1)。

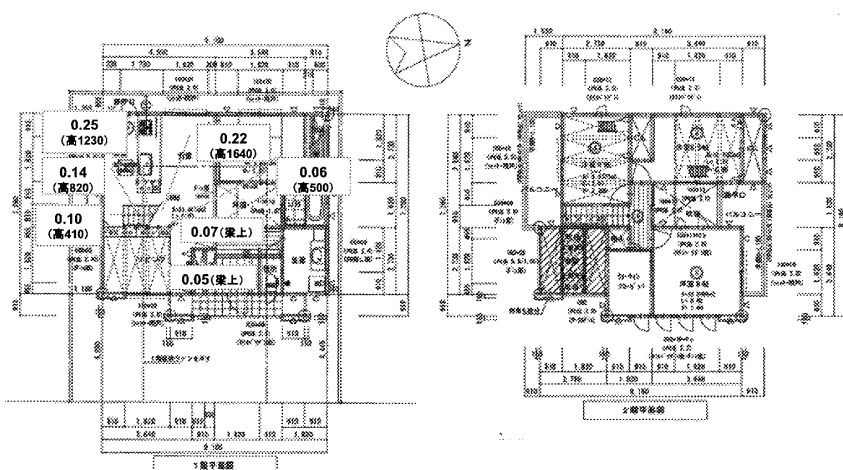


図6 風速測定結果(14:30、2階扉閉)

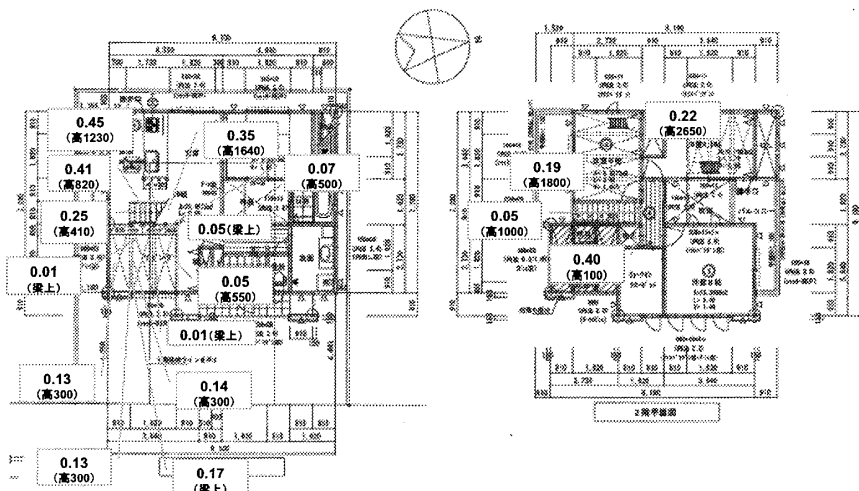


図7 風速測定結果(14:30、2階扉開)

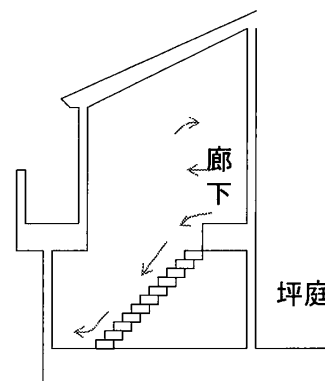


図8 気流分布(階段部垂直断面)

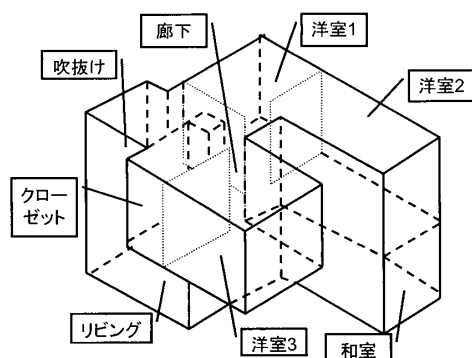


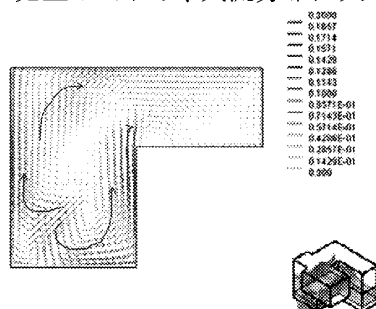
図9 解析対象モデル

表1 壁面に与えた温度

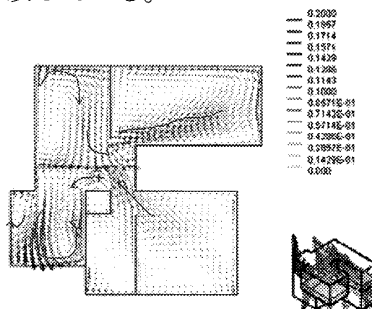
| 1階床 | 1階壁  | 1階天井 | 2階床 | 2階外壁 | 2階間仕切 | 2階天井 |
|-----|------|------|-----|------|-------|------|
| 22  | 21.5 | 25.5 | 22  | 18.5 | 20    | 19   |

### 3.2 解析結果と実測結果の比較

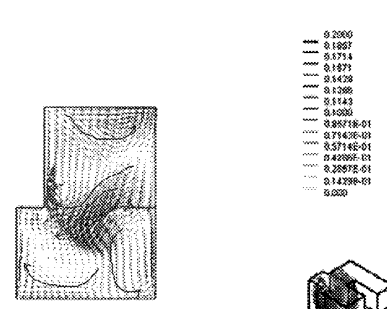
1) 気流 風速分布の解析結果を図10に示す。測定結果(図7)と比べると、1階ではリビングで風速が大きく、2階では廊下から階段に向かって気流が発生しており、気流分布は大略一致している。



図A) 1階平面図

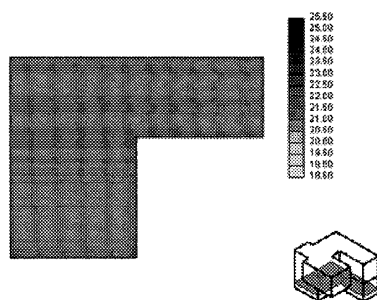


図B) 2階平面図

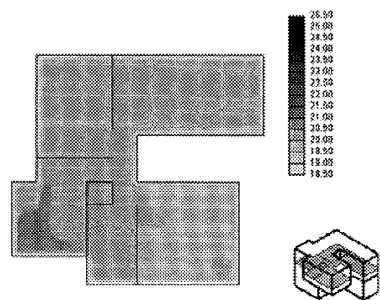


図C) 垂直断面(階段部)

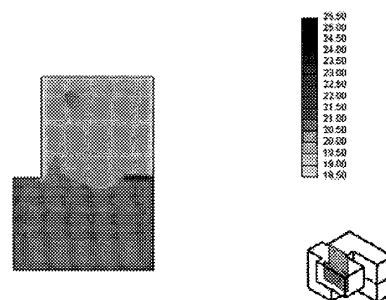
図10 解析結果(風速分布)



図A) 1階平面図



図B) 2階平面図



図C) 垂直断面(階段部)

図11 解析結果(温度分布)

また図10の図Aからはリビングで強い気流が発生していることが、図Bからは2階から1階へ向かって強い気流が発生していることがわかる。

2) 温度 1階は全体的に20.5~21°C、2階では19.5~20.5°Cとなっており、実測と概ね一致している。

### 4. まとめ

吹抜け及び低温面輻射暖房を有する住宅における温熱環境の把握を目的として、実住宅内の温湿度、気流性状の実測を行った。また、CFD解析により、気流及び室内温度分布の検討を行った。

その結果、放射暖房により比較的上下方向の温度差が小さい住宅においても、1階の方が2階よりも高温になることにより階段・吹抜け部分に強い気流が発生することがわかった。

#### 謝辞

本研究においては、平和住宅建設、大阪ガスの協力を得た。謝意を表します。

\*1 京都大学大学院工学研究科 修士課程  
\*2 京都大学大学院工学研究科 教授・工博  
\*3 京都大学大学院工学研究科 准教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto University  
Prof, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr. Eng  
Assoc. Prof, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr. Eng