

断熱性能が戸建住宅の温度分布・気流分布に及ぼす影響に関する基礎的検討 Basic Study of U-Value on Temperature Distribution and Air Velocity Distribution in Detached House

学生会員 ○徳田 健二 (北海道大学) 正会員 森 太郎 (北海道大学)
正会員 羽山 広文 (北海道大学)

Kenji TOKUDA*¹ Taro MORI*¹ Hirofumi HAYAMA*¹

*¹ Hokkaido University

The number of highly insulated houses is increasing for energy and cost savings. However, it is vague how the difference of heat insulation performance and heating load affects temperature distribution and air velocity distribution in highly insulated houses. In this study, by using CFD, we tried to analyze room temperature difference and air velocity difference in a highly insulated detached house introduced whole-room heating while changing the thickness of heat insulating materials and window insulation performance.

1. はじめに

北海道をはじめとする寒冷地では、省エネルギーや省コストを目的に高断熱住宅が普及してきたが、高断熱住宅は通常の住宅に比べ初期費用が高くそれを暖房費等の費用差で回収することが難しい場合もあるため、必要以上の断熱性能はかえって非実用的ではないかと疑問視する声もある。しかし、断熱の効果はエネルギー消費やコストだけでなく室内環境にも影響を与えるため、その影響の定量化が高断熱住宅の評価には不可欠である。本研究では、全室暖房を行う高断熱住宅において、断熱性能とそれに対応する暖房性能を与えた場合の断熱効果が生じさせる室内環境の違いに着目し、空間内の上下温度差、水平方向の室温のばらつき、気流の流速と発生量の観点からの温度分布・気流分布の把握を、CFDによる数値解析を用いて試みた。

2. 解析概要

2.1 解析モデル概要

解析に使用したモデルの平面図を図1に示す。2階建ての戸建住宅で、標準モデルと吹き抜けモデルの2種類を作成した。1階平面は共通で、2階に吹き抜けの有無の違いがある。各階の天井高は2,400mmとし、深さ1,000mmの基礎空間を設けた。モデルは、日本建築学会標準問題の戸建住宅モデル¹⁾を参考に作成した。

今回の解析では、温水パネルヒーターによる全室暖房を想定した。分析対象は、標準モデルでは1階LD、K、和室、洗面と2階個室1、個室2、個室3、予備室の8箇所、吹き抜けモデルは個室3を除く7箇所に設定し、各室にパネルと給気口を配置した。また、居住空間全体でも分析した。給気口は床面からの高さ1,600mmの位置に、面積は約56.9cm²、流速は1.0m/sで配置した。排気口は浴



図-1 解析モデル平面図

室、各階 WC、吹き抜け（階段）上部の 4 箇所に設置した。1 階南面の窓はすべて高さ 2,000mm のテラス戸とし、1 階 K 西面の窓は高さ 400mm、その他の窓は高さ 1,200mm とした。

2.2 計算条件

断熱材および窓の熱貫流率の検討条件を表 1 に示す。断熱材は外壁と 2 階天井に設定し、熱伝導率は 0.035 W/mK とした。また、パネルヒーターの表面温度はすべて同一温度とした。外気温と給気口の給気温度は、北海道の冬季夜間を想定して -10℃ とし、日射はなしとした。

解析ソフトウェアは、直交系有限体積法を用いる FlowDesigner 2020 を使用した。乱流モデルは低レイノルズ数型 Launder-Sharma モデル、放射計算法は輸送方程式とした。メッシュ数は約 200 万メッシュとし、定常解析を行った。

2.3 解析手法

モデルごとに断熱性能に適する暖房性能に設定するために、パネルの表面温度を 50℃ に設定したときの平均室温が 20℃ となるように各パネルの必要面積を算定した。あらかじめ部屋の室容積に基づく大きさのパネルを作成した上で各モデルのパネル表面温度を変化させながら解析し、各条件において各室の平均室温と各パネルの発熱量を算出した。得られた数値から各パネルの熱通過率および必要発熱量を算定し、必要パネル面積を計算した。パネルの熱通過率および必要パネル面積はそれぞれ(1)、(2)式より得た。ただし(2)式における $\Delta\theta$ はパネルの表面温度と平均室温の目標温度差を表し、今回の算定では 30℃ とした。必要パネル面積を用いて、各モデルで定常解

析を行った。

$$a_{PH} = \frac{H_{PH}}{A_0(\theta_{PH} - \theta_i)} \quad (1)$$

$$A = \frac{H/\Delta\theta}{a_{PH}} \quad (2)$$

定常解析より得られた各メッシュの温度および流速については、同一高さにおける平均値および標準偏差を計算し、その高さでの代表値として条件間の比較を行った。

3. 解析結果

3.1 パネル発熱量

定常解析により算出した各パネルの発熱量について、標準モデルと吹き抜けモデルにおける各パネルの発熱量をそれぞれ図 2、図 3 に示す。標準モデルでは、LD、和室、個室 3 で条件間の差が大きくなった。窓面の外壁に占める割合が大きく、窓の断熱性能の違いによる影響が表れたと考えられる。その他の室では、断熱性能が高いほど発熱量が小さくなる傾向にあるが、No.2~4 で発熱量は同程度であった。

吹き抜けモデルにおいても標準モデルと同様の傾向にあり、特に吹き抜け空間を持つ LD では高断熱化によってパネル発熱量が大きく減少した。吹き抜け等の大空間を持つ住宅において、高断熱化による省エネルギー効果は大きいと考えられる。LD 以外では、各パネルの発熱量は標準モデルと同程度であり、吹き抜け空間が他の空間のパネル発熱量に与える影響は小さいと考えられる。

3.2 温度分布の分析

標準モデルと吹き抜けモデルにおける居住空間全体の

表-1 窓および断熱材の検討条件

No.	1	2	3	4	5	6
窓面の熱貫流率 [W/m ² K]	3.4			1.0		
断熱材の厚さ [mm]	100	200	300	100	200	300
熱損失係数 [W/m ² K]	2.1	1.9	1.8	1.5	1.3	1.2

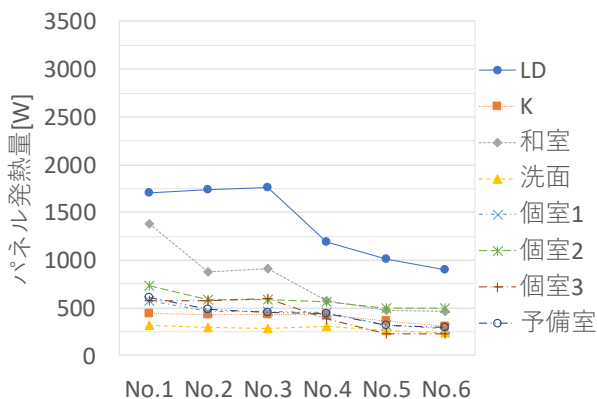


図-2 条件別のパネル発熱量の比較（標準モデル）

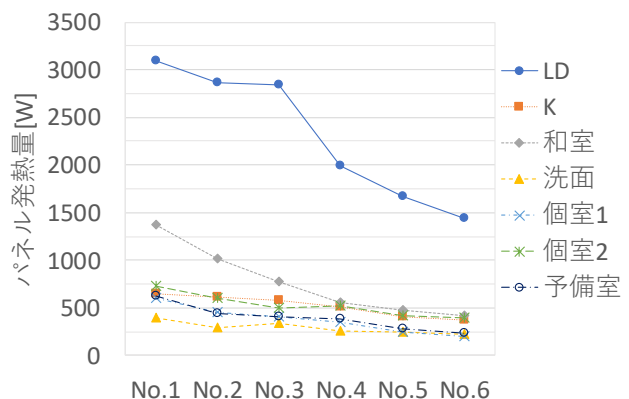


図-3 条件別のパネル発熱量の比較（吹き抜けモデル）

高さ別平均室温分布を図4に示す。両モデルで1階の上下温度差が大きくなった。1階床面付近においてNo.1~3とNo.4~6の間で1.0~1.5°C程度の差が生じており、窓の断熱性能の違いが影響を与えていると考えられる。2階部分では、条件間で1.5°C程度のばらつきが見られたが、上下温度差は全条件で2.0~2.5°Cであり、断熱性能との関連は見られなかった。

吹き抜けモデルでは、標準モデルとは異なり断熱性能の低い条件で上下温度差が低くなった。今回の解析では、パネルの設定温度を一律で50°Cとしパネル面積を変化させたため、高断熱の条件においてパネルから床面への熱放射量が減少し、上下間での強い温度成層が生じたと推察できる。また、吹き抜けモデル2階床面(高さ2,400mm位置)における条件間の室温差が標準モデルに比べて縮小した。吹き抜け空間で温められた空気が他の室の床面付近に流れ込むことで、断熱性能の低い条件において床面付近の温度が上昇したためと考えられる。

各モデル内での高さ方向ごとの水平方向の温度分布のばらつきを検証するために、居住空間全体における室温の標準偏差を高さ別に算出した。標準モデルと吹き抜けモデルの結果をそれぞれ図6、7に示す。両モデルで、高断熱化で水平方向の温度のばらつきが小さくなった。また、標準モデルに比べて、吹き抜けモデルにおける条件間

の差が大きく、開放的な空間構成の住宅では断熱性能が居住空間全体の温度のばらつきに大きく影響すると考えられる。両モデルにおいて、断熱材の厚さが200mm以上であるNo.2、3およびNo.5、6で温度のばらつきが同程度となった。

3.3 流速分布の分析

標準モデルと吹き抜けモデルにおける居住空間全体の高さ別平均流速分布を図8、9に示す。標準モデルでは条件間で気流分布に差がほとんど見られないのに対し、吹き抜けモデルでの条件間の差が大きくなっており、断熱性能が気流分布に大きく影響すると考えられる。断熱性能が同じ場合、標準モデルと吹き抜けモデルで比較すると、断熱性能が低い条件では吹き抜けモデルにおける気流の発生量が大きいのに対し、断熱性能の高いNo.5、6では平均流速が両モデルとも0.05m/s程度となったことから、断熱性能が高いほど吹き抜け空間の有無の違いが気流の発生に与える影響は小さくなると考えられる。

吹き抜け空間での気流の発生量について、吹き抜けモデルLDにおける上昇気流の高さ別総風量を図10に、下降気流の高さ別総風量を図11に示す。上昇気流の総風量は高断熱化で減少する傾向にあり、パネル面積の違いによる上昇気流の発生量の差が影響を与えていると考えられる。下降気流の総風量についても高断熱化で減少する

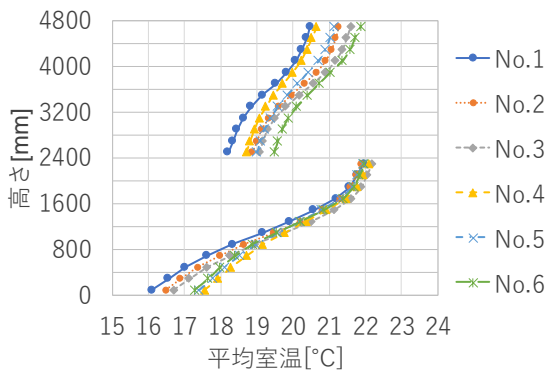


図-4 居住空間全体の平均室温分布 (標準モデル)

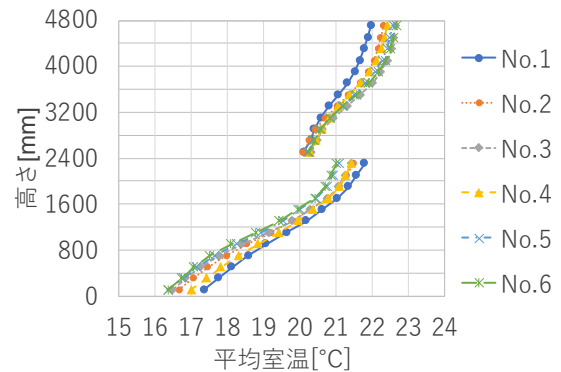


図-5 居住空間全体の平均室温分布 (吹き抜けモデル)

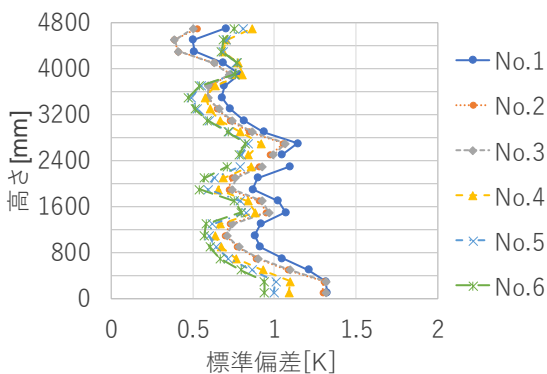


図-6 居住空間全体における室温の高さ別標準偏差 (標準モデル)

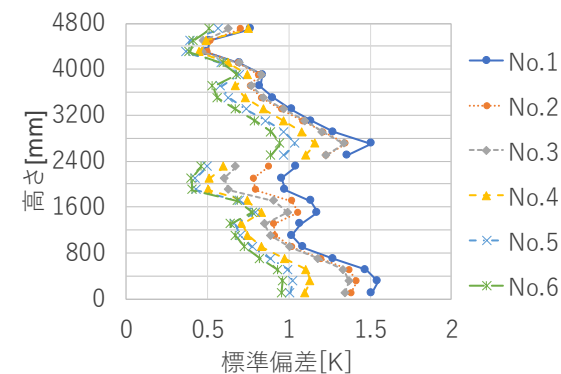


図-7 居住空間全体における室温の高さ別標準偏差 (吹き抜けモデル)

傾向にあったが、条件間で顕著な違いが見られなかったことからコールドドラフトによる影響は小さかったと推察できる。解析モデルの作成上、コールドドラフトの影響が正確に反映されなかった可能性もあるため、追加の検証が必要であると考えられる。

4. 総括と今後の課題

本研究では、建物の断熱性能とそれに対応する暖房性能を与えた場合の温度分布と気流分布の違いについて把握するため、パネルヒーターによる全館暖房を想定した戸建住宅モデルの室内環境についてCFDを用いて検証を進め、次の知見を得た。

- 1) パネル発熱量について、窓面の多い室や吹き抜け空間では建物の高断熱化によって発熱量は大きく減少した。また、吹き抜け空間の有無の違いは他の居室のパネル発熱量に影響しなかった。
- 2) 居住空間全体の上下温度差について、標準モデルでは高断熱化で上下温度差は縮小したが、吹き抜け空間を持つ場合、暖房の設定によっては上下温度差が拡大する場合がある。
- 3) 居住空間全体の水平方向の温度のばらつきについて、高断熱化によって温度のばらつきが縮小することが確認でき、特に、吹き抜け空間を持つモデルで縮小が顕著になった。また、断熱材の厚さが200mm以上の場合で水平方向の温度のばらつきは同程度となった。

4) 気流分布について、標準モデルでは断熱性能の違いによる差がほとんど見られなかったのに対し、吹き抜けモデルでは断熱性能の違いによる差が生じ、特に断熱性能の低い条件で気流の増加が顕著であった。

今回の解析から、建物の断熱性能を向上させたときの温度分布および気流分布の大まかな傾向を定量的に把握することができた。ただし、今回得られた断熱性能と室内環境の関係は2.1章で設定したモデル条件下での結果であるため、今後の課題として、種々の住宅モデル、断熱性能、暖房方式で解析し、より汎用的な傾向の定量的な把握を進めるとともに、温度分布・気流分布の観点から確保することが望ましい断熱性能について検証する必要がある。

参考文献

- 1) 宇田川光弘：標準問題の提案住宅用標準問題，日本建築学会熱分科会第15回シンポジウム，pp23-33，1985

記号表

α_{PH} : パネル熱通過率 [W/m ² K]	H_{PH} : パネル発熱量 [W]
A_0 : 設定パネル面積 [m ²]	θ_{PH} : 設定パネル表面温度 [°C]
θ_i : 平均室温 [°C]	A : 必要パネル面積 [m ²]
H : 必要パネル発熱量 [W]	$\Delta\theta$: パネル表面温度 - 平均室温の目標温度差 [°C]

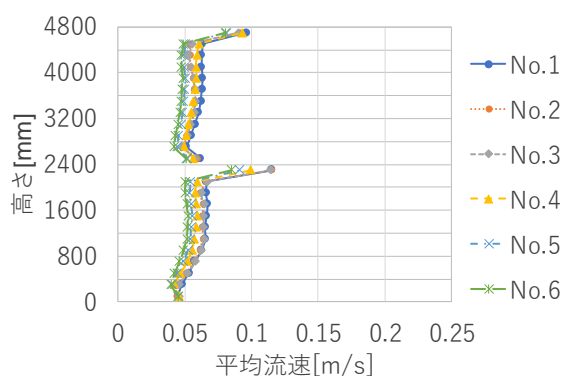


図-8 居住空間全体の平均流速分布（標準モデル）

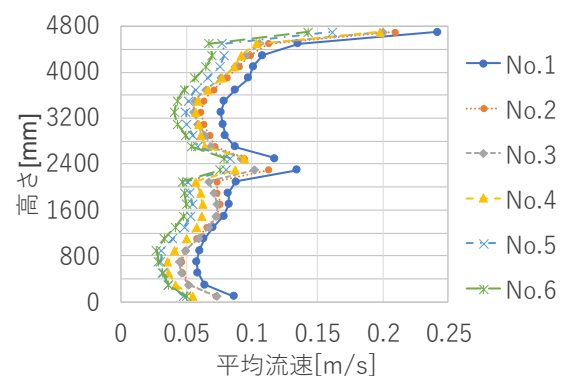


図-9 居住空間全体の平均流速分布（吹き抜けモデル）

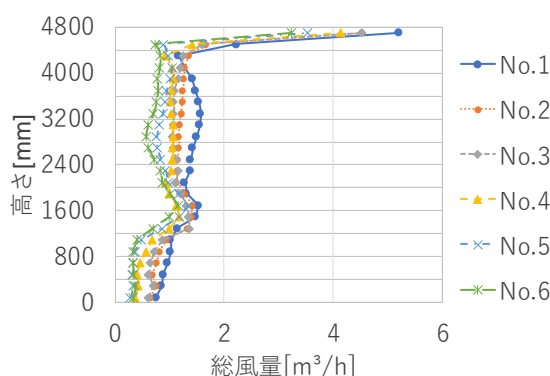


図-10 吹き抜けモデルLDにおける上昇気流の総風量

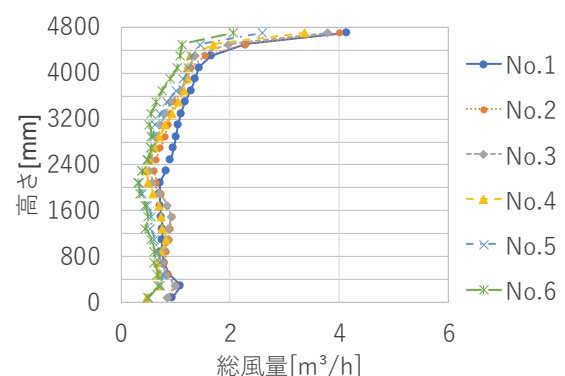


図-11 吹き抜けモデルLDにおける下降気流の総風量