

断熱性能の不均一性が室内温熱環境に及ぼす影響

1. 背景・目的

外皮の断熱性能の向上は室内温熱環境の改善に寄与する。しかし、吹抜など居室の空間構成によっては、躯体の断熱性が高くても上下温度分布やドラフトが生じ得る。

本研究では、断熱性能の不均一性による室内温熱環境への影響を把握し、効率的な断熱改修計画の立案や評価手法構築に寄与する知見の整理を目的とした検討を行う。

2016年度は、窓部の断熱性能が上下温度分布と室内気流に及ぼす影響について実験住宅で計測し¹⁾、これに対応した CFD 解析で室形状や窓の断熱性能をパラメトリックに変化させた解析を実施した²⁾。検討の中で課題としていた熱収支の改善は一定の成果は見られたものの、開口部の断熱性が低い場合に 1%を超える熱収支の誤差が発生し、実測との対応が取れない解析結果も見られた。

本卒業研究では、解析精度向上を図った改善を施し、2016年度の実測について、温度分布とドラフト気流に関する詳細比較を実施する。解析上の熱収支を改善すると共に実験のファンヒーター再現した解析を実施する。

2. 解析概要

既報¹⁾の実験に対応した吹き抜けを有する居室の室内気流・温度分布について、定常 CFD 解析を実施する。解析には、(株)アドバンスドナレッジ研究所製の FlowDesigner2018 を用いる。既報²⁾では熱収支の問題により一次風上を用いたが、本報では改善を施し QUICK を用いる。解析条件を表 1 に示す。解析領域と格子数を表 2 に示す。

表 1 CFD 解析条件

乱流モデル	標準 k-ε モデル	離散化	有限体積法
アルゴリズム	SIMPLEC 法	メッシュ	構造格子
移流項差分スキーム	QUICK	収束判定	10 ^{-4,5}
放射解析	放射強度輸送方程式	計算回数	2000

表 2 解析領域と格子数

	解析領域 (m ³)	格子数
3 節	5.268(X)×4.368(Y)×3.242(Z)	1,116,060
4 節	5.268(X)×4.368(Y)×5.642(Z)	1,492,920
5 節	5.268(X)×4.368(Y)×3.242(Z)	1,692,384

3. 住宅モデル(天井高 2.4m)の検討 3.1 解析概要

図 1 の解析モデルを使用し、窓の熱貫流率を変えた 6 ケースの温度分布や窓付近のドラフト気流を確認する。ヒーターの放射

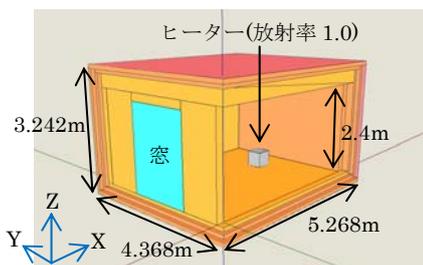


図 1 解析モデル(天井高 2.4m)

面は窓とは反対側の間仕切り側に向ける。室内寸法、窓寸法、部材の物性値、および各ケースにおける投入熱量は既報²⁾と同じ値を用いる(表 3 参照)。

表 3 窓の熱貫流率と投入熱量の関係(住宅)

熱貫流率 (W/m ² ・K)	0.94	1.53	1.88	2.15	3.49	5.59
壁厚 0.184m に換算した(等価)熱伝導率 (W/m・K)	0.202	0.369	0.488	0.593	1.390	7.570
投入熱量 (W)	309	339	357	371	439	546
※室温 20℃ から逆算	508	571	608	637	779	1002

熱収支および収束性向上の工夫として、外皮の周囲 6 面を屋外側空気の熱伝達率相当の抵抗を持つ物体で囲う。(間仕切り壁面側のみは屋内側熱伝達率を再現。)更にその周囲 6 面を高熱伝導率の物体で囲う。高熱伝導率の物体外側表面を解析領域の境界面とする。解析領域最外周における境界条件は外気温度 6℃固定(間仕切り側のみ 20℃)とする。空気層相当の熱物性体と高熱伝導率の物体の物性値を表 4、表 5 に示す。

表 4 空気層相当の物性値を持つ物体(物性値)

	天井面	床面	壁面	間仕切り面
厚み (m)	0.1	0.1	0.1	0.1
熱伝導率 (W/m・K)	2.3	2.3	2.3	0.9

表 5 高熱伝導率の物体(物性値)

	天井面	床面	壁面	間仕切り面
厚み (m)	0.1	0.1	0.1	0.1
熱伝導率 (W/m・K)	9999999	9999999	9999999	9999999

格子の分割については室内空間は約 0.1m での分割とし、壁体内部分を 8 分割、床を 4 分割、天井を 11 分割、空気層相当の物性値を持つ物体と高熱伝導率の物体内部を 4 分割とした。ヒーター周囲は細かく分割した。格子条件を図 2 に示す。

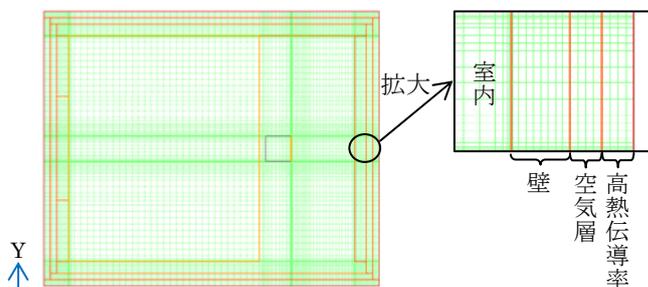


図 2 格子条件

3.2 解析結果

結果を表 6、温度、速度分布を図 3、図 4 に示す。

表6 平均温度と上下温度差(0.1m高と2.1m高の差)

窓の熱貫流率(W/m ² ・K)	0.94	1.53	1.88	2.15	3.49	5.59
平均温度(°C)	19.8	19.6	19.7	19.7	19.8	19.5
上下温度差(°C)	2.36	2.55	2.68	2.76	3.22	3.94
熱収支(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
実測上下温度差(°C)	1.71	1.81	1.98	2.25	2.72	3.66

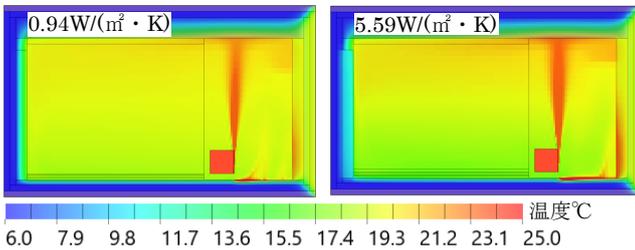


図3 鉛直温度分布

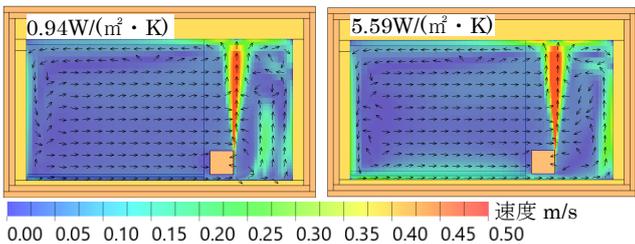


図4 鉛直速度分布

課題としていた熱収支の誤差は本報全ての解析で±0.01%以内に抑えた。窓の熱貫流率が高くなるにつれて解析も実測も上下温度差が高くなるが、解析の方が0.6°C程高い。ドラフト気流は実測も解析も距離が遠くなる程遅くなるが、解析の方が4割ほど遅い結果となった。

4. 住宅モデル(天井高4.8m)の検討 4.1 解析概要

3節のモデルを元に天井高2.4mの吹き抜けを想定した仕様とする(図5)。その他の概要は3節に準ずる。

4.2 解析結果

結果を表7、温度、速度分布を図6、図7に示す。

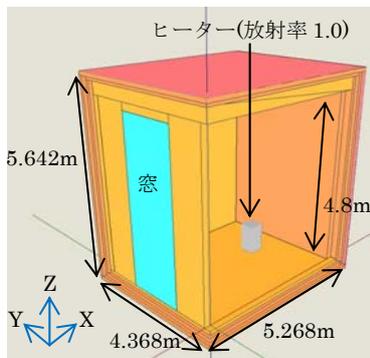


図5 解析モデル(天井高4.8m)

表7 平均温度と上下温度差(0.1m高と4.7m高の差)

窓の熱貫流率(W/m ² ・K)	0.94	1.53	1.88	2.15	3.49	5.59
平均温度(°C)	20.3	19.5	19.9	19.7	18.8	19.0
上下温度差(°C)	3.04	2.53	2.70	2.82	3.15	3.88
熱収支(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

上下温度差は天井高2.4mとほぼ同じであるがヒーターの背が高く正面の壁を温めている比率が高いためと考えられる。

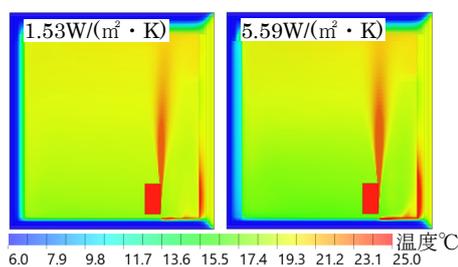


図6 鉛直温度分布

また、天井高2.4mに比べ、ドラフト気流が大きくなる傾向が見られた。

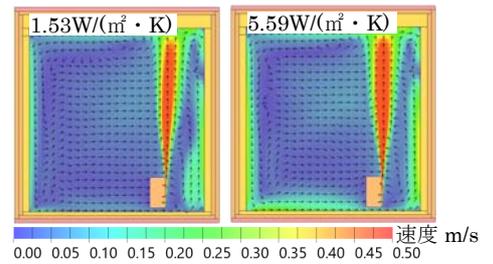


図7 鉛直速度分布

5. ファンヒーターの再現(図8参照) 5.1 解析概要

3節のヒーターのサイズを実測で使用した大きさ(約0.2m×0.1m×0.2m)に近づけ、0.4m角から0.25m角に縮小した。ファンヒーターを再現すべく、5カ所に穴を貫通させ前面にファンを固定。ヒーターからの

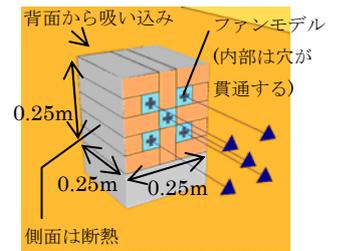


図8 ヒーターモデル

熱は貫通孔側面およびヒーター正面から放出される。風量の値は平均風速を測定して求めた0.78 m³/minとする。

5.2 解析結果 温度、速度分布を図9、図10に示す。

窓の熱貫流率を0.94 W/(m²・K)とした実測とCFD解析との比較を表8に示す。3.1節の解析と比較すると同程度の平均温度であっても上下温度差が低くなった。ファンの影響で天井ではなく直接正面の壁側に伝わる熱量が増えたことが理由と考えられる。ドラフト気流はファンヒーターを取り入れることで実験の風速とおおむね同じ値となった。

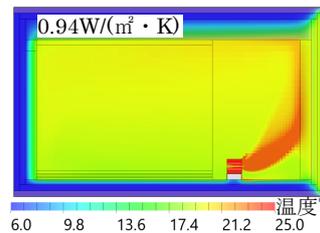


図9 鉛直温度分布

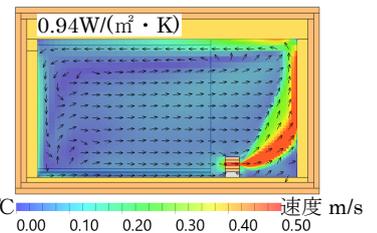


図10 鉛直速度分布

表8 実測とCFD解析との比較

0.94 W/(m ² ・K)	実測	CFD(3節)	CFD(5節)
上下温度差(°C)*1)	1.71	2.36	1.85
気流速度(m/s)*2)	0.064	0.035	0.058

※1) Z=2.1mと0.1mの差

※2) 床上5cm、窓から160~2,400mmの平均

6. まとめ

既報²⁾の解析での熱収支の問題点を改善した。ファンヒーターを再現したところ実測値との対応が改善された。

参考文献

- 1) 中谷剛、千葉陽輔等:断熱性能の不均一性が室内温熱環境に及ぼす影響-その1 窓低温部に起因した上下温度分布に関する実証実験, 日本建築学会大会, No.41243, P.519~520, 広島, 2017年8月
- 2) 杉浦麟太郎、河野良坪等:断熱性能の不均一性が室内温熱環境に及ぼす影響-その2 室形状および窓の断熱性能に着目した居室のCFD解析, 日本建築学会大会, No.41244, P.521~522, 広島, 2017年8月

(河野研究室)