

室形状・開口部の断熱性能を系統的に変えた居室のCFD解析

213-088 中尾 翼

1. 背景・目的

既往の検討において、外皮の断熱・気密性能と上下温度分布の関係については、断熱性能の指標である平均熱貫流率や熱損失係数により評価が行われることが多い。本来、温度分布の要因となるドラフト気流は、漏気を見れば外皮低温部が生成しており、外皮の平均的な断熱性能を示す平均熱貫流率とは異なる指標が影響すると予想される。

本研究では、標準的な室の仕様を設定し、断熱性能の偏りや室のアスペクト比等を考慮した上で、外皮性能と温熱環境を関連付ける指標について検討を試みる。この為現在、大型実験棟（静岡県富士市）内の実験住宅で室温性状などを実測している（旭化成工業(株)および日本大学が実施）。

本卒業研究では、実験に対応した住宅等を対象にCFD解析を実施し、室形状および窓の断熱性能などを変化させた多様な条件下での温度分布形成について把握する。また室内の放射連成解析時の適切な解析手法を探る。

2. 解析概要

通常の住宅の居室、吹き抜けを有する居室、および非住宅の室内気流・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のCFD解析ソフトFlowDesigner2017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。解析は1ケースを除き熱収支を±2.5%以内に収めている(表5に例を示す)。

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	一次風上	収束判定	10 ^{-4.0}
放射解析	放射強度輸送方程式		

表2 解析領域と格子数

	解析領域 (m ³)	格子数
3.1 節	4.868(X) × 3.968(Y) × 2.842(Z)	2,025,856(約200万)
4.1 節	4.868(X) × 3.968(Y) × 5.242(Z)	1,805,112(約180万)
5.1 節1	10.2(X) × 5.2(Y) × 3.2(Z)	1,063,140(約100万)
5.1 節2	10.23(X) × 5.23(Y) × 3.23(Z)	1,268,400(約120万)

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場合(5ケース)の温度分布や窓付近のドラフト気流を確認する。外皮外側表面を解析領域の境界面とする。室は内寸法で4.5m×3.6m×2.4m。窓の大きさは2.2m(高さ)×1.65m(幅)。窓の厚みは本来の壁厚と等しくし、熱貫流率と厚みから逆算した熱伝導率を用いる。天井・床・壁および窓の仕様を表3、表4に示す。暖房方法はストーブ

(0.4m角の立方体)を使用。ストーブは0.4m角の発熱する熱物性体の周囲5面を断熱とし、残りの1面を図1右側奥の壁に向けての形で設置する。実験で用いたストーブのサイズは0.2m×0.105m×0.193mを再現すると、発熱体の一部のセルに熱量が集中し発散する問題が生じた為、このサイズとした。

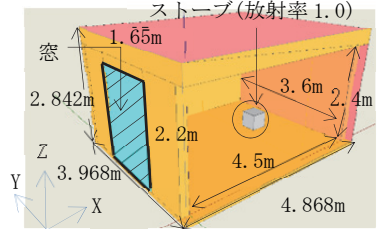


図1 解析モデル(住宅、天井高2.4m)

表3 天井・床・壁の条件(住宅)

	天井	床	壁	間仕切り
厚み(m)	0.352	0.09	0.184	0.184
熱伝導率(W/m ² ・K)	0.085	0.027	0.078	0.078
室内側熱伝達率(W/m ² ・K)	4	1	3	3
室外側熱伝達率(W/m ² ・K)	23	23	23	9

表4 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	
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	
投入熱量(W)	3.1 節	309	339	357	371	439
	4.1 節	508	571	608	637	779

境界条件は外気温度 6°C(外皮表面に熱伝達率相当の抵抗有り)、投入熱量(表4)は全ケースとも室温が20°Cとなるよう各外皮の[熱貫流率×面積]を足し合わせた値¹⁾に室内外温度差14°Cを乗じて算出する。壁の格子分割について数十パターンでの事前検討を行った結果、放射解析時における熱収支をゼロに近づけるには、壁体内の格子分割が極めて重要であることが判明し、結果壁体内は約

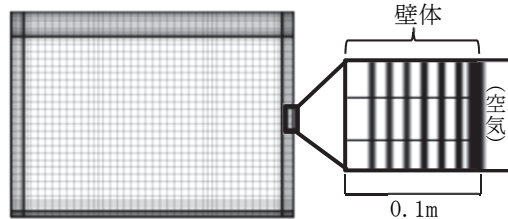


図2 格子条件

40分割とした。特に表面温度を決定づける室内側および外側(境界側)近傍の格子を細分化

する必要がある。そこで本研究では壁体内側第一セル格子幅を0.1~0.01mmとしている。格子条件を図2に示す。

3.2 解析結果

表5 標準偏差と上下温度差(0.1m高と2.3m高の差)

窓の熱貫流率(W/m ² ・K)	0.94	1.53	1.88	2.15	3.49
標準偏差(°C)	0.56	0.61	0.65	0.67	0.78
平均温度(°C)	20.9	21.0	21.1	21.2	21.7
標準偏差/平均温度×100(%)	2.69	2.91	3.06	3.16	3.61
上下温度差(°C)	2.1	2.3	2.4	2.5	2.8
熱収支(%)	-1.6	-1.4	-1.1	-1.3	-1.1

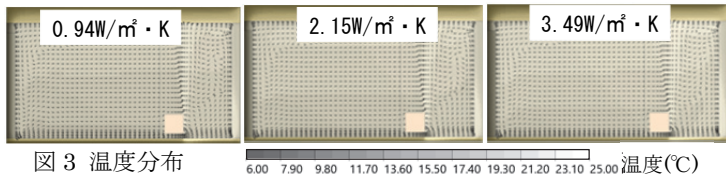


図3 温度分布

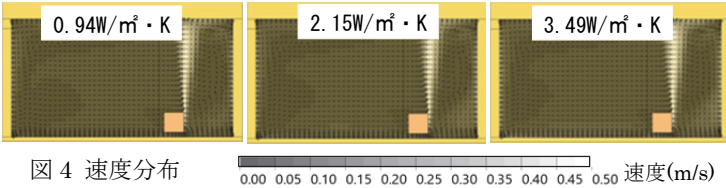


図4 速度分布

窓の熱貫流率が0.94~1.88(W/m²・K)の場合、床上10cmではドラフト気流が生じていないが、2.15(W/m²・K)、3.49(W/m²・K)では0.03m/s、0.1m/sのドラフト気流が見られる。熱貫流率が高くなると標準偏差(ストーブより窓側の平均温度で基準化)や上下温度差は増加する。

4. 住宅モデル(天井高4.8m)の検討 4.1 解析概要

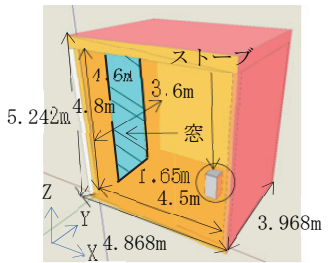


図5 解析モデル(住宅・天井高4.8m)

吹き抜けを想定した仕様(図5)。窓の大きさは4.6m(高さ)×1.65m(幅)。ストーブのサイズは0.4m×0.4m×0.8m(高さは3節の2倍)。室は内寸法で4.5m×3.6m×4.8m。その他は3節に準ずる。

4.2 解析結果(上下温度差を表6、温度を図6に示す。)

熱貫流率0.94、2.15W/m²・Kでは窓面付近の下降気流は見られるが、気流はさほど大きくない。上下温度差は、3.2節に比べて0.3℃程広がり、窓が高くなることでコールドドラフトが生じると見られる。窓の熱貫流率が3.49W/m²・Kの場合、標準偏差との上下温度分布が低下した。解析上の問題であることは否めず、今後、熱伝導率が高い場合の窓の厚み方向の更なる格子分割を試みる。

表6 標準偏差と上下温度差(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
標準偏差/平均温度×100(%)	2.22	2.41	2.51	2.58	1.04
上下温度分布(℃)	2.4	2.6	2.7	2.8	0.71

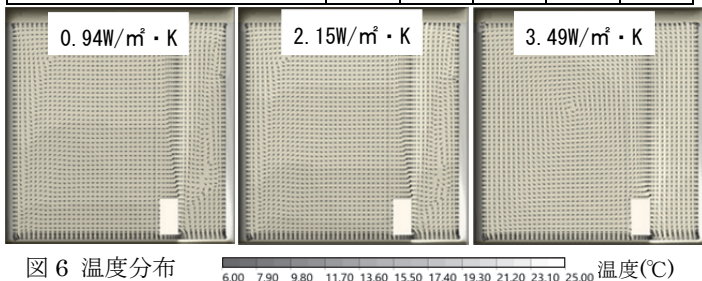


図6 温度分布

5. 非住宅モデル(オフィス)の検討 5.1 解析概要

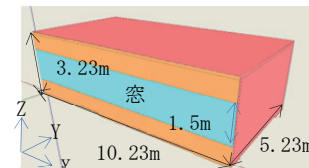


図7 解析モデル(非住宅)

窓の熱貫流率、壁の性能を可変させ(表6 パターン1:[RCのみ]・パターン2:[RC+ウレタン])

温度分布、窓付近のドラフト気流を確認する。解析モデルを図7に示す。室は内

寸法で10m×5m×3m。窓の大きさは1.5m(高さ)×10m(幅)。暖房方法は奥・側壁および床から1m離し、空間発熱(8m×1m×1m)を使用する。格子分割、熱伝導率、外気温度、投入熱量の設定は3.1節と同じ条件とする。

表7 解析条件

解析ケース	パターン1		パターン2	
窓の種類(名称)	フロート	low-e	フロート	low-e
熱貫流率(W/m ² ・K)	5.95	2.46	5.95	2.46
熱伝導率(W/m・K)	7.42	0.397	7.42	0.397
投入熱量(W)	2216	1483	1604	871

5.2 解析結果(上下温度差を表8、温度分布を図8に示す)

本報ではパターン2のみ示す。low-eとフロートガラスを比べるとlow-eの方が、上下温度差が小さくなる。標準偏差から考えると、投入熱量はlow-eの約2倍あるにも関わらず、フロートガラスの場合足元は1℃程低い。

表8 標準偏差(2.0m)と上下温度差(0.1m高と2.9m高の差)

	パターン1		パターン2	
熱貫流率(W/m ² ・K)	5.95	2.49	5.95	2.49
標準偏差/平均温度×100(%)	2.0	1.1	4.3	3.2
上下温度差(℃)	0.9	0.3	3.2	2.2

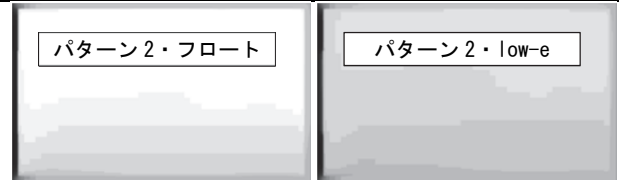


図8 温度分布

6. 換気を考慮に入れた解析(換気以外の概要は3.1節)

住宅解析において換気の影響は考慮すべき課題であるが、CFD解析において流入個所は明確に分からず、仮に微細な隙間についてCFD解析で再現することは難しい。ここでは、0.5回/h換気相当の熱量を室内全体から引くことで、換気負荷を考慮した解析を試みる。本解析では、計算ステップ毎に常に最新の室内外温度差を元にExcel(VBA)で算出した換気負荷をCFD解析に与えて計算する。

3.1節の住宅モデルのうち窓の熱貫流率0.94、2.15W/m²・Kについて実施する。投入熱量はそれぞれ401W・462W。その他の解析条件は3.1節と同じとする。

いずれのケースも換気を考慮すると標準偏差が3割程度高くなり上下温度差も0.3~0.4℃広がった(表9参照)。

表9 解析結果

熱貫流率(W/m ² ・K)	0.94		2.15	
換気の有無	換気有	換気無	換気有	換気無
標準偏差/平均温度×100(%)	3.49	2.69	4.10	3.16
上下温度差(℃)	2.4	2.1	2.8	2.5

7. まとめ

室形状や窓の性能を系統別に変えたケースによるドラフト気流、上下温度分布の生じ方をCFD解析で確認した。今後は、1)実験サイズの放射熱源を用いた解析の検討、2)熱伝導率が高い部材を用いた場合に収束させ易い方法の検討、3)実験値との比較、を予定する。

参考文献 1)改正省エネ基準の係る照会事例の解説、住宅金融支援機構平成27年7月(基礎の熱貫流率について温度差係数0.7を引用した。)

(河野研究室)