

逆解析を用いた居室内温度分布の制御に関する基礎検討

1. 背景・目的

研究室では、建築設計における逆解析の適用方法について様々な提案を行っている、逆解析で算出可能な感度の一つに位置感度がある。位置感度は、任意領域の物理量（温度・風速・濃度）の増加・減少や、標準偏差の最小化を達成するためには、周辺にある物体をどの方向に移動させると効果的であるかを示す。設計では温度むらの解消が必要とされる場合もあり、逆解析による温度分布の均一化の達成について有効性を示すことができれば、本提案手法を適用できる幅が広がるものと考えられる。

本研究では、任意領域の温度分布の解消について、逆解析により算出した位置感度に沿って物体を移動させることで解決させる方法の有効性について検証する。既報¹⁾では実住宅設計を対象とした事例について検討したが、本卒業研究では簡易形状の居室モデルを対象に系統的な基礎検討を試みる。

2. 共通解析条件

本研究では、(株)アドバンスドナレッジ研究所の CFD ソフト FlowDesigner2018 を使用。解析条件を表 1 に示す。解析は全て放射を含めた温度場を対象とする。

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
移流項差分スキーム	QUICK
メッシュ	構造格子

3. 2階床スラブの垂直移動に関する検討

3.1 解析概要 (図 1 に解析モデルを示す)

吹き抜けを有する 2 階建ての居室を想定する。放射熱源（ヒーター）を吹き抜け空間の 1 階部分に壁向き

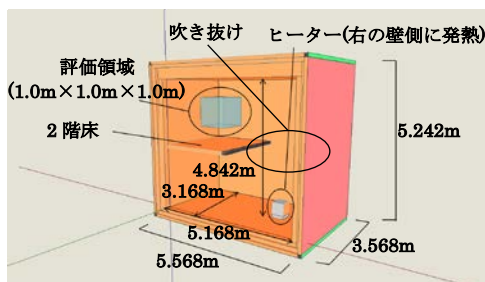


図 1 解析モデル

に配置。2 階床の上方に評価領域 (1.0m×1.0m×1.0m) を配置する。本検討では 2 階床スラブの高さ位置をパラメーターとし、評価領域内の温度分布の均一化、すなわち標準偏差の最小化を図ることを検討する。解析条件を表 2 に示す。

表 2 解析条件

解析領域	X:5.568m Y:3.568m Z:5.242m
格子数	1,717,548 (x:138 y:98 z:127)
収束判定	10 ^{-6.0}
外気温	0°C
熱源発熱量	336.3W

3.2 解析結果

2 階床高さ変更前の室温分布を図 2 に示す。ヒーターからの気流は壁面を沿って上昇し、評価領域のある空間に天井面を沿って回り込む。この際、ある程度 2 階床面高さが下がれば、評価領域内の温度分布が解消されるものと思われる。

表 3 に逆解析の結果および、評価領域内温度の標準偏差を示す。また、例として評価領域の 2 階床が基準位置状態での逆解析結果を図 3 に示す。基準位置においては下向きの感度が算出された。この結果に従い、0.1m ずつ 2 階床スラブを下げて逆解析を行うと 0.4m 下に移動するまでは常に下向きの移動となった。0.5m 下げた位置では上向きに変わった。標準偏差を見ても 0.4m の位置の場合が最も小さく、逆解析の結果の有効性が伺える。なお、逆解析とは逆に基準位置から上に 0.1m 移動させたところ、標準偏差は大きくなった。

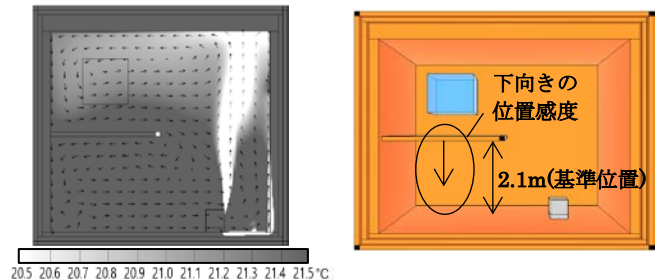


図 2 室温分布(基準位置) 図 3 逆解析結果(基準位置)

表 3 評価領域の標準偏差

2階床スラブ位置	位置感度方向	標準偏差
+0.1m	下	0.127
基準位置		0.106
-0.1m		0.102
-0.2m		0.077
-0.3m		0.052
-0.4m		0.051 [最小]
-0.5m	上	0.063

4. 間仕切り壁の水平移動に関する検討

4.1 解析概要

図 4 に解析モデルを示す。方壁面中央に放射暖房を想定した面ヒーターを室中央側に向けて設置。室の中心軸上に間仕切り壁を設置する。

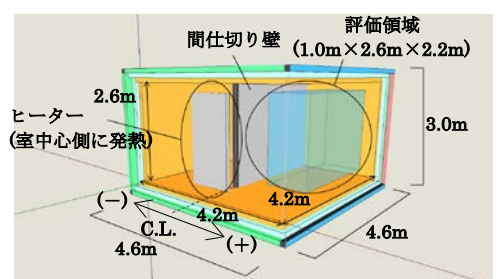


図 4 解析モデル

間仕切り壁の右側空間に評価領域（1.0m×2.6m×2.2m）を配置する。本検討では間仕切り壁の位置をパラメーターとし、逆解析で評価領域内の温度の均一化を図ることを検討する。同様に評価領域温度の向上を図ることについても検討する。解析条件を表4に示す。

表4 解析条件

解析領域	X:4.6m Y:4.6m Z:3.0m
格子数	1,896,368 (x:134 y:116 z:122)
収束判定	10 ^{-6.0}
外気温	0℃
熱源発熱量	860.0W

4.2 温度分布の均一化を目的とする逆解析の結果

間仕切り壁が真ん中（基準位置）に位置するときの室温分布を図5に、逆解析結果を図6に示す。表5に逆解析の結果と、評価領域内温度の標準偏差を示す。位置感度は基準位置、および右側+0.25m、+0.50m位置で右向きを示し、これに従って移動させると標準偏差は小さくなった。逆解析とは逆に、左側（-0.25m）に移動させると予測通り標準偏差は増加した。3.2節同様に逆解析の有効性が伺える。

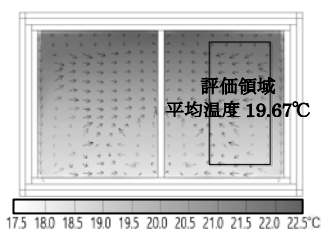


図5 室温分布(基準位置)

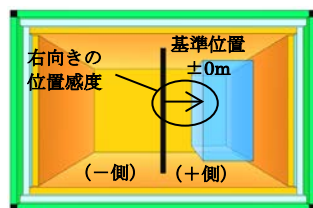


図6 逆解析結果(基準位置)

表5 評価領域の標準偏差

間仕切り壁位置	位置感度方向	標準偏差
+0.75m (右)	右	1.07 [最小]
+0.50m (右)		1.08
+0.25m (右)		1.13
基準位置		1.16
-0.25m (左)		1.17

4.3 温度上昇を目的とした逆解析の結果

4.2節のモデルについて、逆解析より算出した位置感度に従って間仕切り壁を移動させた際に、評価領域内温度が上昇するか確認する。逆解析結果と評価領域の平均値温度を表6に示す。

位置感度に従って間仕切り壁を動かすことにより、微差ではあるが平均値温度は上昇しており（図7）、逆に移動させると低下し（図8）逆解析の有効性が伺える。

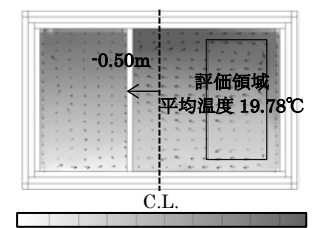


図7 室温分布(0.5m左)

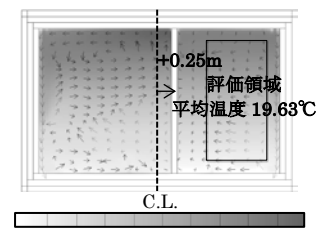


図8 室温分布(0.25m右)

表6 評価領域の平均値温度

間仕切り壁位置	位置感度方向	平均値温度
+0.25m (右)	左	19.63
基準位置		19.67
-0.25m (左)		19.74
-0.50m (左)		19.78

5 住宅における逆解析の適用

5.1 解析概要

図9に解析モデルを示す。既報¹⁾の問題点であった放射解析時の熱収支をほぼゼロとするよう改善し、再度、2

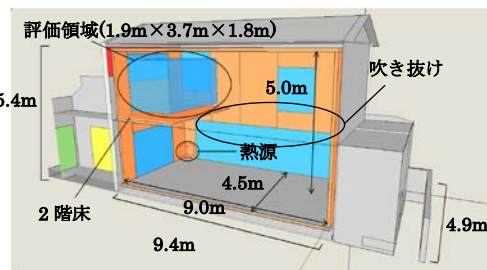


図9 解析モデル（設計:中川純）

階床を上下移動させた場合における温度分布の最小化を目的とした逆解析を実施した。解析条件を表7に示す。

表7 解析条件

解析領域	X:9.4m Y:4.9m Z:5.4m
格子数	1,443,046 (x:134 y:89 z:121)
収束判定	10 ^{-6.0}
外気温	0℃
熱源発熱量	7711.9W

5.2 解析結果

表8に逆解析の結果および評価領域内温度の標準偏差を示す。3節、4節の基礎検討同様に、逆解析が示す方向に移動させると常に温度分布（標準偏差）も小さくすることができ、逆解析の有効性が確認できた。

表8 評価領域の標準偏差

2階床スラブ位置	位置感度方向	標準偏差
+0.2m	下	0.88
+0.1m		0.68
基準位置		0.60
-0.1m		0.53
-0.2m		0.50
-0.3m		0.44
-0.4m		0.39
-0.5m		0.34 [最小]

6. まとめ

今回示したケースにおいては、逆解析による位置感度に沿った移動により居室内温度の制御を可能とした。今後はコールドドラフトの解消等本手法の活用先について検討を進める次第である。

参考文献

- 1) 福本拓人,河野良坪,中川純,長谷川翔也「逆解析を用いた通風用開口位置の決定および居室内温度分布の均一化」日本建築学会大会, P.1085~1086, 2017年7月

(河野研究室)