

天井形状の変化による換気性能への影響に関する研究  
—冬期における検討—



換気効率  
空気余命

空調吸込口  
数値流体力学

天井形状  
変化水準

AJ13099  
指導教員

渡辺 峻平  
西村 直也

1. 概要

本研究は教室内における人体発熱による上昇気流に着目し、天井形状の変化によって作業領域内の換気効率を向上させることを目的とする。天井形状を変化させることで数値流体力学解析によるシミュレーションを行った。解析の結果、天井形状変化後に二酸化炭素濃度と空気余命の削減ができ、換気効率の向上が見られた。

2. 研究の背景と目的

近年の研究で温熱・空気環境の向上が学習効率の向上に大きく影響することが明らかになっており<sup>1)</sup>、より質の高い知的生産性に優れた建築環境が求められるようになっている。一方で省エネルギー化が必須となり、効率的に空気環境を向上させることも求められている。

本研究では教室内における人体発熱による上昇気流に着目し、天井形状の変化によって換気性能にどのような影響を与えるか CFD (数値流体力学) 解析を行う。これにより作業領域内の換気効率を向上させることを目指す。また、改修工事を想定することにより既存の建築物にも設置可能な換気設備の構築を目的とする。

3. 手法

(1) 解析対象のモデル化

人体モデルについて、簡易なモデルを作成した。これにより人体から発生する上昇気流を利用し、吸込口まで効率よく誘導するような天井形状を作成する。また、教室を表1に示すようにモデル化し、それに伴い既存の吸込口の配置を図1のように変更した。

(2) 解析条件

教室は真ん中の席を空けた状態(80人)と仮定し、換気量は大学設計図面<sup>2)</sup>に示される 3600[m<sup>3</sup>/h・人]とし、人体から呼出される CO<sub>2</sub> の量を 0.02[m<sup>3</sup>/h]として算出した。時期については冬期での検証を行った。

(3) 天井形状

天井部に熱や汚染物質が溜まる事で、効率よく吸込口に流れるようにヴォールト状に変形させる。そのために吸込口付近に設置するユニットを考える。吸込口の変更を CASE1~3 に分け、各 CASE においてユニットの高さ、角度、誘導面形状を変化させる。

表1 参考教室の概要

|      |                                       |
|------|---------------------------------------|
| 教室名  | 芝浦工業大学 教室棟 407教室                      |
| 教室寸法 | 10.8m×11.9m×3.0m=385.56m <sup>3</sup> |
| 窓面積  | 30m <sup>2</sup>                      |
| 空調方式 | 天吊特殊型空調機+ファンコイルユニット                   |
| 換気方式 | 外調給気                                  |

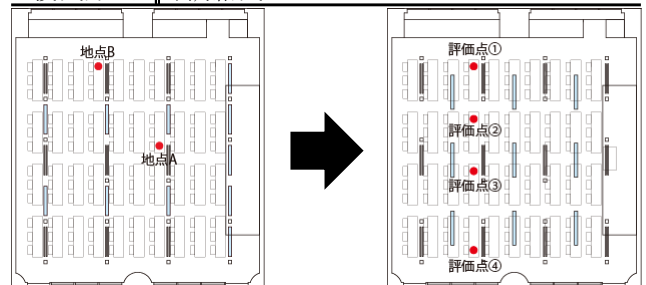


図1 天井伏図(参考教室→吸込口の配置変更後)

表2 解析条件

|             |         |   |
|-------------|---------|---|
| 解析条件        | 定常/非定常  | 定常  |
|             | 気流状態    | 乱流  |
|             | 乱流条件    | 標準k-εモデル<br>k = 0.0001, ε = 0.0001  |
|             | 要素数     | 6,000,000~7,000,000[メッシュ]   |
| 壁面条件        | 対数則条件   |   |
|             | 対数則条件   |   |
| 流入条件        | 吹出口     | V <sub>in</sub> =1.1[m/s] (Q <sub>in</sub> =3600[m <sup>3</sup> /h])<br>T <sub>in</sub> =26[°C], 外気濃度=400[ppm]  |
|             | 流出条件    | 吸込口<br>V <sub>in</sub> =0.69[m/s] (Q <sub>in</sub> =3600[m <sup>3</sup> /h])<br>V <sub>in</sub> =0.69[m/s] (Q <sub>in</sub> =3600[m <sup>3</sup> /h]) |
| 境界条件 (ドア隙間) | 大きさ     | A=1.2m×0.05m  |
|             | 条件      | 全圧(OPa)規定   |
| 外気条件        | 道路側     | 外気温度: 4[°C]   |
|             | 廊下側     | 外気温度: 10[°C]  |
| 壁面条件        | 道路側・廊下側 | 窓ガラス: 熱伝導係数=1.7[W/(m <sup>2</sup> ・K)]<br>内壁: 熱伝導係数=1.0[W/(m <sup>2</sup> ・K)]  |
|             | 発生条件    | 発熱<br>人体 100[W/人]×80人<br>照明 60[W]×11個<br>CO <sub>2</sub><br>人体 0.02[m <sup>3</sup> /h・人]×80人<br>拡散係数 2.00E-05   |

表3 解析パラメーターと変化水準

| 吸込口幅[mm] |           | 変化水準   |             |
|----------|-----------|--------|-------------|
| CASE1    | 150×1500  | 高さ[mm] | 500,600,700 |
| CASE2    | 150×10800 | 角度[°]  | 30,45,60    |
| CASE3    | 200×10800 | 誘導面    | 直線,曲線       |

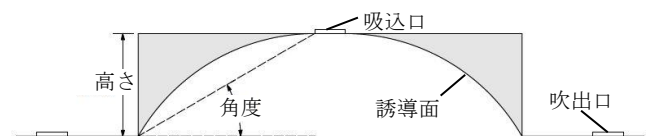


図2 吸込口周辺の天井形状

#### 4. 評価方法

換気性状の評価として、絶対的な指標に『二酸化炭素濃度』を適用した。また、局所的な換気性状を把握出来る指標として『空気余命』と適用した。空気余命の値は下側累積頻度 95%の点を算出する。具体的には

- i)室内全体 (机上から高さ 600~900[mm])
- ii)人間の呼吸域 (評価点①~④: 図1)
- iii)地点 A・B (図1) における鉛直分布

の3要素について評価した。また、気流ベクトル図、二酸化炭素濃度、空気余命コンター図を確認し考察を行った。

#### 5. 解析結果

##### 5-1. 形状変化前後の比較

高さ 700mm における参考教室と CASE1\_h500\_30 の二酸化炭素濃度分布と空気余命分布の比較を図3、図4に示す。二酸化炭素濃度分布図からは変化が乏しく見えるが、各評価点の数値的には減少傾向にあり、形状変化の効果がみられる。CASE1\_h500 の各評価点の二酸化炭素濃度の値を図5に示す。また、壁面の空気余命は悪化しているが、作業空間内では空気余命の削減の効果がみられた。CASE1\_h500 の各評価点の空気余命の値を図6に示す。

##### 5-2. 変化水準の比較

変化水準ごとの評価値を比較したところあまり規則性はなく高さ、角度、誘導面の変更による傾向を捉えることはできなかった。理由としては以下の2つが挙げられる。

##### 1) 気流の回り込み

図8に CASE3\_h700\_r30 の気流ベクトル図を示す。上昇した空気が誘導面に沿って吸込口に流れるようになっているが、吸い込みきれずに回りこむ場合があった。

##### 2) コールドドラフト

図9に地点A(インテリアゾーン)と地点B(ペリメーターゾーン)における二酸化炭素濃度の鉛直分布を示す。地点Aでは居住空間範囲の二酸化炭素濃度が減少していることがわかり形状変化の影響がみられるが、地点Bにおいてはあまり変化がみられない。これは窓面からのコールドドラフトの影響が考えられる。

#### 6. まとめ

- 1) 天井形状を変化させることで二酸化炭素濃度が最大で 356[ppm]削減され、換気効率の向上が示された。
- 2) 気流の回り込み対策として吸込口付近にバッフル板の設置の検討を行う。
- 3) コールドドラフト対策として夏期条件の検討と冬期条件において窓面にコンベクターの設置を検討する。

#### 参考文献

- 1)村上周三,伊藤一秀,ポールワルゴッキ 教室の環境と学習効率 建築資料研究社
- 2)日研設計 芝浦工業大学豊洲キャンパス建設工事(空調)Ⅲ工区 2005年9月
- 3)村上周三 CFDによる建築・都市の環境設計工学 東京大学出版

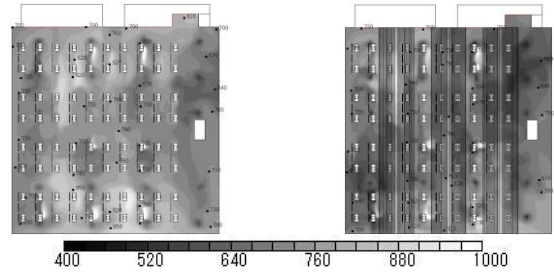


図3 二酸化炭素濃度分布

(左:参考教室 右:CASE1\_h500\_30)



図4 空気余命分布

(左:参考教室 右:CASE1\_h500\_30)

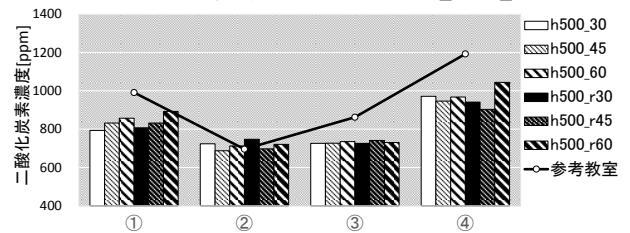


図5 各評価点の評価値 二酸化炭素濃度

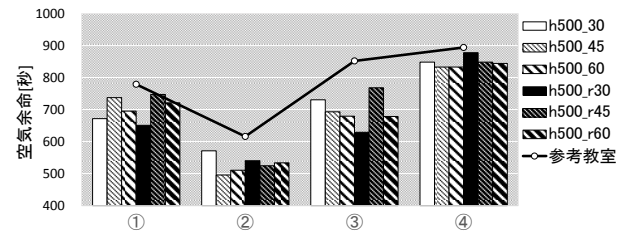


図6 各評価点の評価値 空気余命

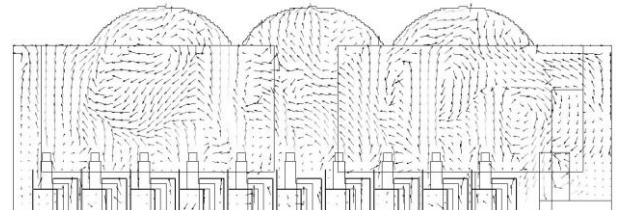


図7 気流性状 h700\_r30

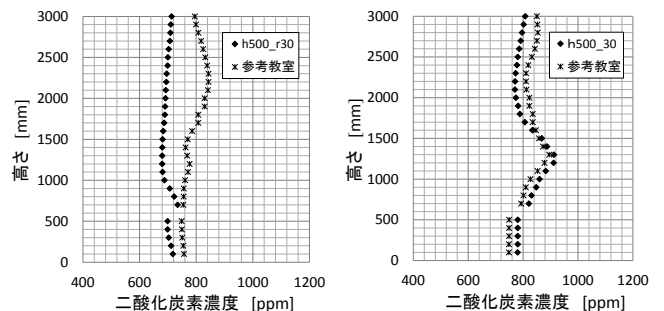


図8 二酸化炭素濃度鉛直分布(左:地点A 右:地点B)