

建築空間内の分布を考慮した空調制御手法に関する研究

創造理工学専攻 環境・都市コース 614060026-7 西村 鉄平
(指導教員 近本智行)

1. はじめに

従来の空調では室内は完全拡散であるとし、室内の壁や天井面、もしくは還気ダクト内に設置された温度センサーを頼りに空調制御を行っており、このセンサー温度が実現したい温度（設定温度）になるよう制御している。しかし、実際の室内は分布が発生しているため、本来空調すべき居住域は設定温度になっておらず、冷房時では過冷却につながる事が多い。従来の完全拡散を前提とした空調制御では快適性と省エネの両立は困難である。これらを両立させるためには、室内で発生する分布を予測した上での空調制御が重要である。そこで本研究では、室内の分布を考慮した空調制御手法の構築を目的としている。

本報ではまず標準的なオフィスモデルを設定し、各種空調方式（天井カセット型パッケージ空調方式、天井吹出天井吸込中央空調方式、床吹出天井吸込中央空調方式）を用いて、居住域を設定温度にした場合に省エネルギー効果が期待できる空調方式を CFD により検討する。

2. 検討概要

2. 1 解析対象(図1)

空調方式は天井カセット型パッケージ空調方式(以下：天カセ)、天井吹出天井吸込中央空調方式(以下：天井吹出)、床吹出天井吸込中央空調方式(以下：床吹出)の3つの空調方式を設定した。解析対象は南面に窓を有する標準的なモデルオフィスを設定。奥行き10.8mの連続したオフィスを想定し、この内の1.8m幅(1スパン3.6mの半分)を解析対象とする。また現実の空間では天井裏スペースを設けてレターンチャンバーに用いることが多い。より現実を再現するため、天井吹出、床吹出方式においては天井裏スペースを含めて解析を行う。

2. 2 解析概要(表1)

夏期の12:00を想定した空調負荷を設定。室内には人体、PC、照明による内部負荷を与える。内部負荷はCEC基準により与えた。日射は標準日射熱取得を用い、床面均一に与える。外部負荷は外壁の熱貫流率を $0.9\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ とし、設計用最大熱負荷^{文1)}より実行温度差を用いて外壁温度を計算し与えた。窓面温度は設計用外気温度より与えた。

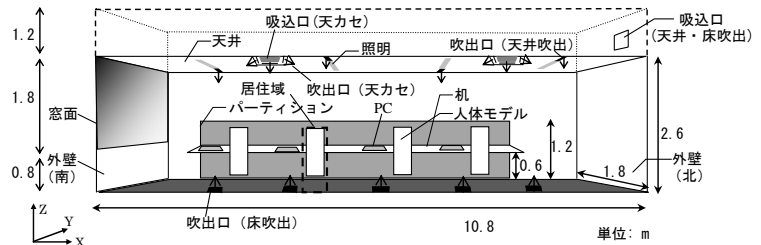


図1 解析対象

表1 空調負荷

内部負荷			
人体 (4体)	照明 (4台)	PC (4台)	日射
240W	400W	200W	583W
外部負荷			
窓面	外壁(南)	外壁(北)	
33.1°C	26.6°C	26.6°C	

表2 解析ケース

Case	空調方式	センサー位置	制御方式 ^{注3)}
1-1	天カセ	吸込口 ^{注1)}	CAV方式
1-2		居住域 ^{注2)}	
2-1	天井吹出	吸込口	
2-2		居住域	
3-1	床吹出	吸込口	
3-2		居住域	

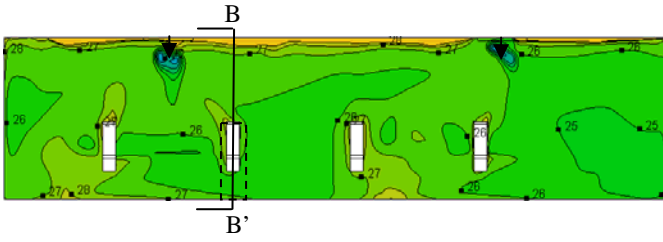
2. 3 解析ケース(表2)

空調方式、センサー位置を変化させ、計6ケースの解析を実施。空調方式は天カセ、天井吹出、床吹出の3種類。吹出風量はいずれも $10\text{m}^3/\text{min}$ (一定)とし、センサー位置は吸込口と居住域とする。制御方式はこのセンサーの平均温度が 26°C となるよう吹出温度を変化させるCAV方式とする。

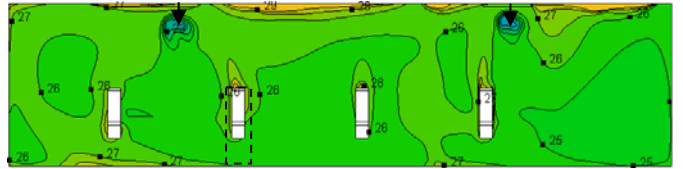
3. 解析結果(図2~4)

3. 1 Case1(天カセ)

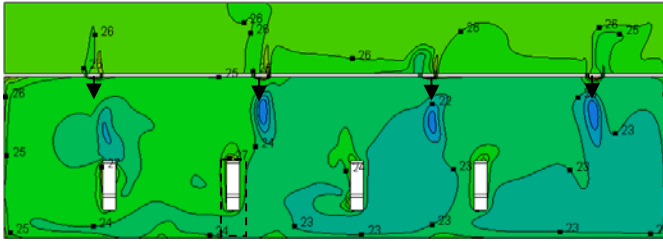
Case1-1では室内に目立った分布は発生していない。室内はほぼ均一(26°C)な温度分布である。またCase1-2と比較しても大きな差は見られない。流れ場に関しては室内、人体周辺に分布が発生しており、室内全体がよく混合されているのが分かる。



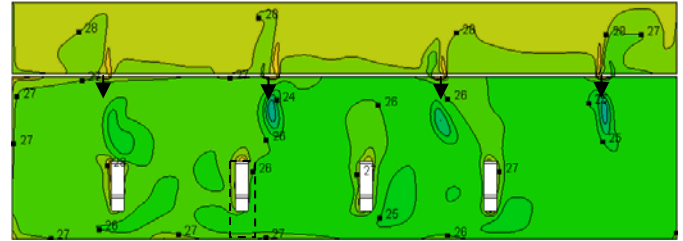
(1) Case1-1 (天カセ・吸込口・CAV・26.0°C*)



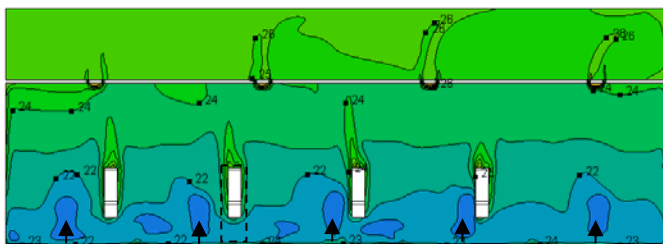
(2) Case1-2 (天カセ・居住域・CAV・26.0°C)



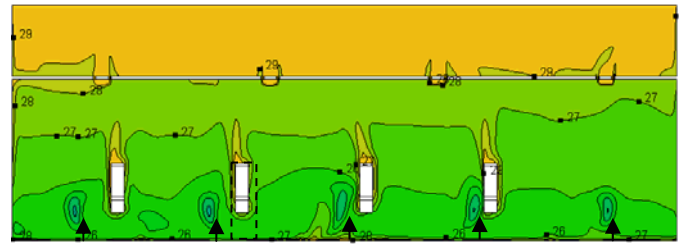
(3) Case2-1 (天井吹出・吸込口・CAV・24.0°C)



(4) Case2-2 (天井吹出・居住域・CAV・26.0°C)



(5) Case3-1 (床吹出・吸込口・CAV・22.0°C)



(6) Case3-2 (床吹出・居住域・CAV・26.0°C)

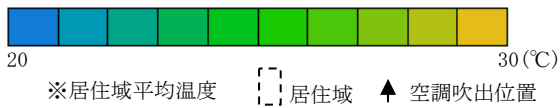
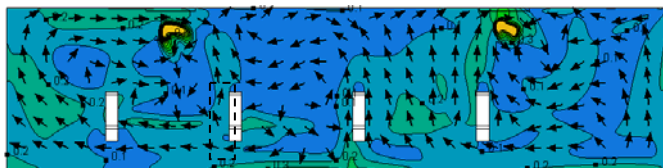
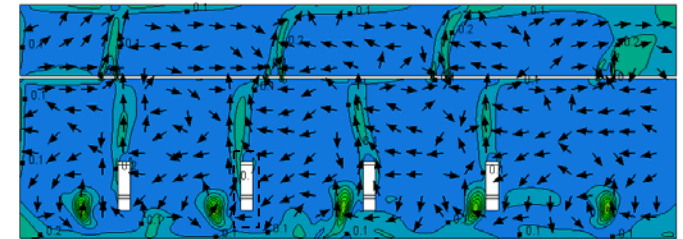


図2 温度分布 (A-A' 断面)



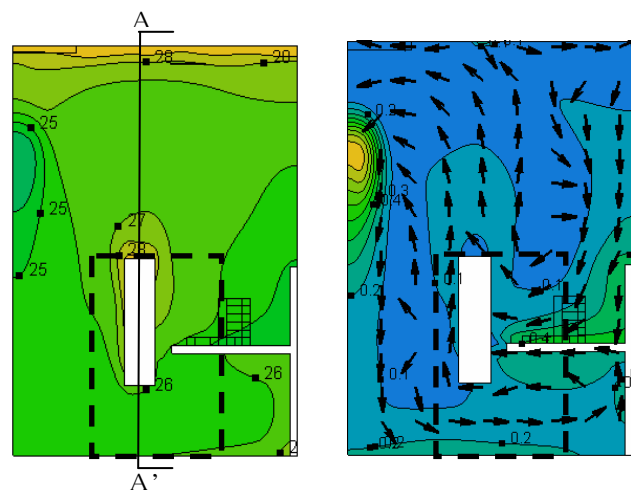
(7) Case1-2 (天カセ・居住域・CAV)



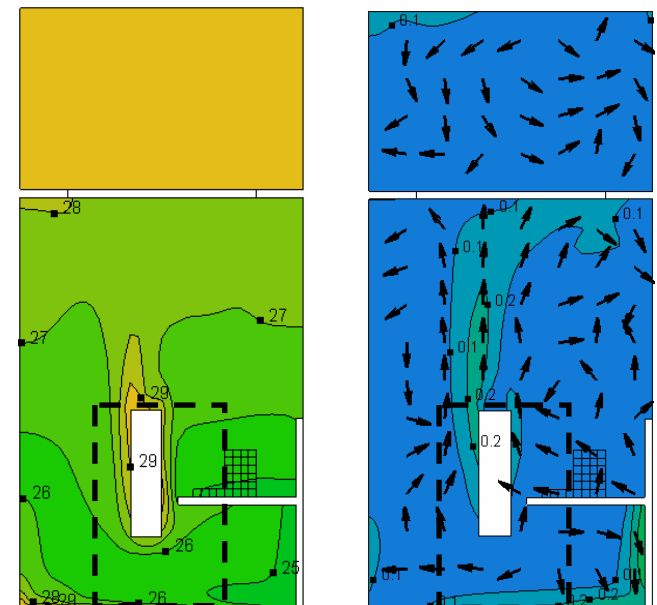
(8) Case3-2 (床吹出・居住域・CAV)



図3 風速コンター+ベクトル図 (A-A' 断面)



(9) Case1-2 (天カセ・居住域・CAV)



(10) Case3-2 (床吹出・居住域・CAV)

図4 左: 温度コンター図 右: 風速コンター+ベクトル図 (B-B' 断面)

3. 2 Case2(天井吹出)

Case2-1 は室内に上下温度分布が約 2℃発生している。そのため設定温度は 26℃にも関わらず居住域温度は約 24℃となり、やや冷やしすぎている。またペリメーター側もやや冷えている。Case2-2 では、居住域を設定温度に保ちながら天井裏に約 28℃の高温域を発生させている。これは居住域のみを効率よく冷やすことが出来ていると言える。

3. 3 Case3(床吹出)

Case3-1 は、室内に上下温度分布は約 4℃発生している。設定温度は 26℃にも関わらず居住域温度は 22℃となりかなり冷えすぎている。Case3-2 では、天井裏の温度が 29℃となっており、Case2-2 よりも高温域を形成することができている。居住域のみをさらに効率よく冷やすことができています。室内の流れ場は天カセと比較すると非常に穏やかであり、目立った分布は発生してない。室内空気をあまり混合することなく空調している。

4. 吸込口・居住域温度に影響を及ぼす熱の要因分析

居住域を設定温度に制御するためには、室内で発生する熱がどの程度居住域温度に影響を与えるかを把握することが重要である。温熱環境形成寄与率^{注4)文2)}を利用してこれらを算出し、検討を行う。

4. 1 解析結果(図5)

天カセの場合 (Case1-2)、吸込口と居住域に及ぼす熱はほぼ同じである。つまり、この空調方式は室内で発生した熱を拡散させる傾向がある。

天井吹出の場合 (Case2-2)、吸込口と居住域に対する温度上昇に差が生じている。この差を考慮せずに制御を行うと居住域を設定温度にすることができない。Case2-2 では吸込口温度は 28℃であり、この差を考慮して空調がなされている。熱の要因を見ると、照明の熱は居住域に影響を与えていない。これは照明の熱が居住域まで拡散せず、天井裏に流れ込んだことによる。しかし、居住域から離れたペリメーター付近の熱の影響も受けておりこの空調方式も天カセと同じく室内の熱を拡散させる。

床吹出の場合 (Case3-2)、吸込口と居住域に対する温度上昇の要因は大きく違う。この差を考慮せずに制御を行うと居住域温度は設定温度から大きくずれる。Case3-2 では吸込口温度は 29.3℃であり、この差を考慮して空調がなされている。居住域に及ぼす熱の要因をみると、居住域に近い場所で発生した熱のみで構成されており、他の場所で発生した熱の影響をあまり受けていない。つまり、室内で発生する居住域に影響を与える熱の要因を特定することが他の空調方式と比較して、容易にできる空調方式であるといえる。

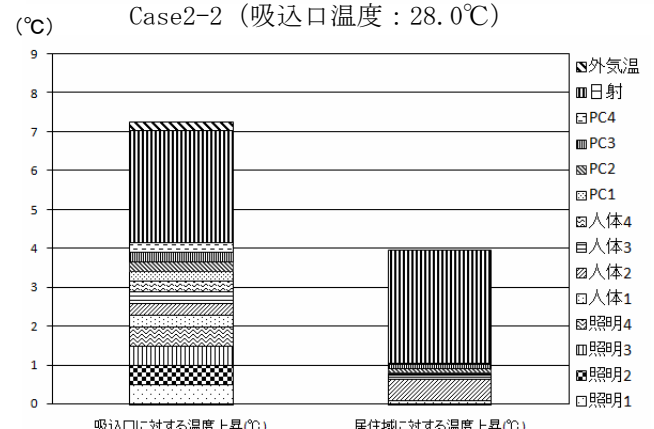
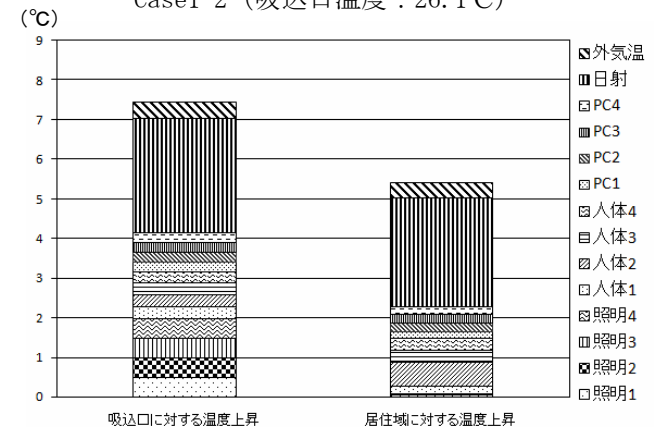
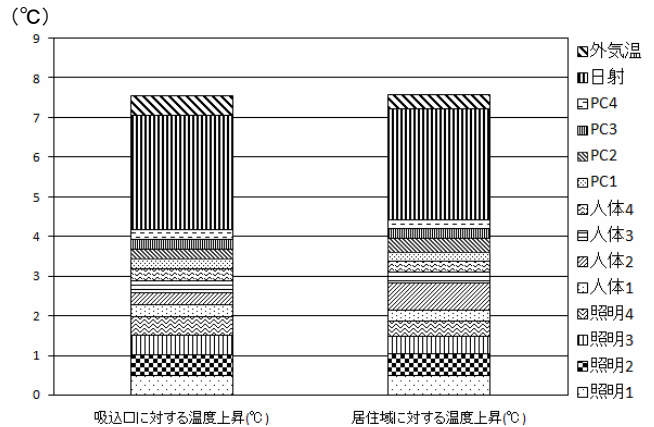


図5 吸込口・居住域温度に対する熱の要因分析

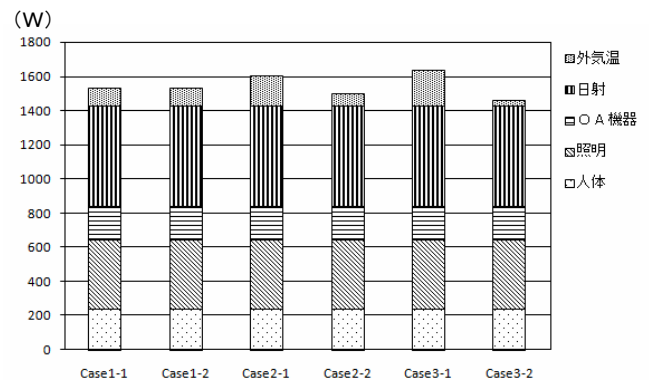


図6 投入熱量結果

5. 空調機投入熱量結果 (図 6)

天カセの場合 (Case1)、大きな変化は見られない。室内を均一にしようとする為、外気温による熱負荷を抑えることができず、居住域を設定温度にしても省エネは困難である。天井吹出の場合 (Case2)、居住域を設定温度にすると約 8%の投入熱量が削減される。これは室内に上下温度分布が生じたことで外気温による負荷が抑えられたためである。床吹出の場合 (Case3)、約 11%の投入熱量が削減されており、外気温による負荷のみに着目すると約 83%削減された。上下温度分布を顕著に発達させることで外気温による負荷が極端に抑えることが可能となる。

6. 更なる省エネ可能性の検討 (表 1、表 3)

床吹出を用いて居住域が設定温度にすることで省エネになることを明らかにした。そこで更なる省エネ効果を期待し、天井裏スペースに機械換気を設置し、また快適感向上を目指し居住域に近い吹出口の気流を人体モデルに当たるよう設定した。室内負荷は表 1 と同一^{注 5)}。ただし機械換気を導入しているため外気温は 28°Cとする。解析ケースは表 3 に示す。

6. 1 解析結果 (図 7 ~ 9)

Case3-3 では換気の影響で室奥の温度は高くなる。また人体付近は冷えすぎである。Case3-4 は人体に気流が当たり、効率よく冷却されている。換気による影響はみられない。また 28°Cの外気を導入しているにも関わらず投入熱量は約 20%削減された。これは分布を考慮することで実現できたことである。

7. まとめ

室内で発生する分布を考慮した空調制御を行うことで省エネ効果があることを示した。省エネを達成するためには上下温度分布が重要であり、中でも床吹出は最も省エネ効果が期待できる空調方式である。また機械換気を天井裏スペースに設置することで更なる省エネ可能性も示した。今後様々なパラメーターを設定した解析、空調制御方式の検討を行う。

注 1) ビルマルの場合、1 台につき 1 つの吸込口を設置している (解析領域中 2 台)。

注 2) 居住域は人体モデルを囲むように 400mm×900mm×1250mm とし (図-1)、図 2、7 に示す温度はこのエリアの平均温度である。

注 3) 天カセ方式の場合、1 台につき 1 つの吸込口温度を用いて、単独に制御を行った。天井吹出、床吹出においては還気ダクト内に温度センサーがあると仮定し、吸込口の平均温度が 26°Cとなるように制御を行った。

注 4) 温熱環境形成寄与率は室内に発生した熱的要因が室内各点の温度形成にどのように関与しているかを知ることができる指標である。本指標は温度場に関して重ね合わせの原理が成り立つと仮定するので個別の熱源による温度上昇 (下降) を足し合わせたものは全熱源による温度場と一致する。

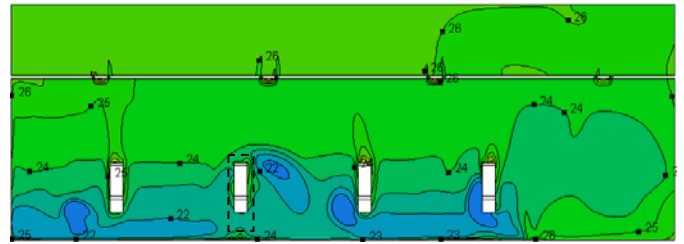
注 5) 外部負荷は窓面温度を外気温の 28°Cとした。また外壁は断熱がよくなされているとし、同じ温度を用いている。

参考文献

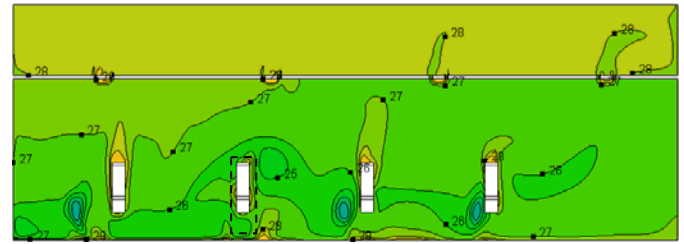
文 1) 空調調和衛生・工学会：設計用最大熱負荷計算法、1989 年
 文 2) 加藤信介、小林光、村上周三：不完全混合室内における換気効率・温熱環境形成評価に関する研究、第 2 報—CFD に基づく局所領域の温熱環境形成寄与率評価指標の開発、空調調和・衛生工学会論文集、No. 69、1998、pp39~47

表 3 追加解析ケース

Case	空調方式	センサー位置	機械換気	制御方式
3-3	床吹出	吸込口	5m ³ /min (換気回数 6 回/h) 流入温度 28°C	CAV 方式
3-4		居住域		

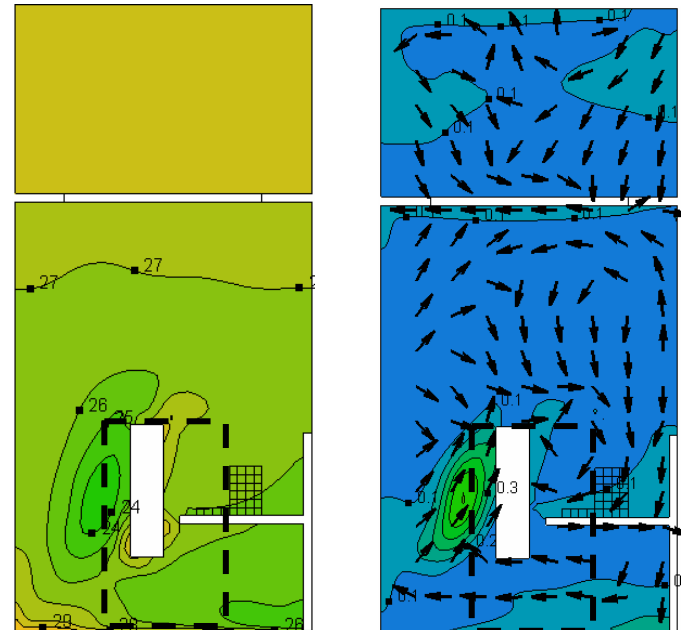


(12) Case3-3 (床吹出・吸込口・CAV・22.8°C)



(13) Case3-4 (床吹出・居住域・CAV・26.0°C)

図 7 温度分布 (A-A' 断面)



(10) Case3-4 (床吹出・居住域・CAV)

図 8 左：温度コンター図 右：風速コンター+ベクトル図 (B-B' 断面)

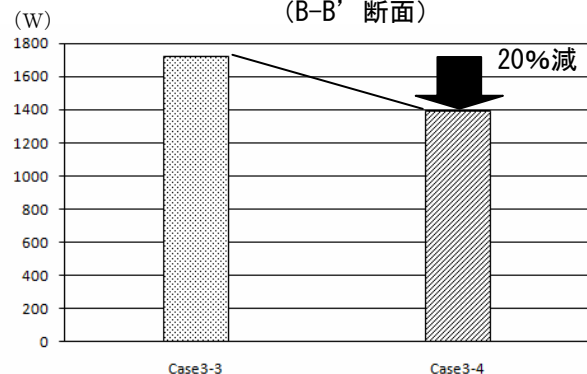


図 9 投入熱量結果 (追加ケース)