



DZ18113 稲葉さくら

CFDを用いた建築室内の快適性に関する研究

- PMVの3次元計算とそれに基づいた空間の分析 -

Keywords

PMV 室内環境 快適性 パラメータ
温度 湿度 気流

1. 研究の背景と目的

建築室内の快適性を評価する指標の1つとしてPMV (Predicted Mean Vote)がある。このPMVは大多数の人が感じる温冷感を数値として表現したものである。具体的には表1のように7段階評価であらわされ、PMV値が0である状態を温冷感のない熱的中立とし、 -0.5 から $+0.5$ が快適推奨範囲として定義されている。また、PMVは熱環境の6要素(温度、湿度、輻射、気流、代謝量、着衣量)の値から求まり、このうちの温度、湿度、気流は建築の空調設備側で決定する要素である。よって、建築空間がこの指標を満たしていることは人々にとって快適な室内環境を実現する空調設備であるという一種の判断材料となる。しかし、現在の空調設備は、経験則に基づいて設計されている場合が多く、実証的なプロセスを踏んで設計されているわけではない場合が多いため、快適な室内環境ではない建築物が多い可能性もある。

本研究は、CFD(数値流体力学)解析を行い、建築物のPMV値の空間分布を算出する。その結果に対し、空調パラメータ因子の影響度合いを評価する。また更に、快適指標範囲であるかの検証や、その特徴について検討するとともに、快適ではないと判断した場合、快適指標範囲に収まるような改善点を考察することを目的とする。

2. 手法

(1)概要

CFD解析はMSC社のSTREAMv2021.1を使用した。

まず、現状のPMVの空間分布に関して設計条件を忠実に再現した形でPMVの算出を行う。次に、改善点を考察する際、空調設備の温度、湿度、気流のどのパラメータを動かすのが1番効果的か判明させる必要がある。一般にPMV値算出式より温度が一番最も影響を与える因子では温度であるが、実空間上では温熱環境因子のばらつきにより、他の要素の影響も強く受ける。

よって建築空間に点を複数配置し、空調機で変化させることのできる気流、湿度、温度の3つのパラメータを変化させたときの空間中のPMV値の分布を求め、各因子の変化による影響について考察する。

(2)解析対象の3Dモデル選定

既往の研究の際に用いられた、空調設計時の詳細が把握可能な解析のデータを用いて、CFD解析を行う。具

表1 PMV値と温冷感

| PMV値 | 温冷感 |
|------|---------|
| 3 | 非常に暑い |
| 2 | 暑い |
| 1 | やや暑い |
| 0 | どちらでもない |
| -1 | やや寒い |
| -2 | 寒い |
| -3 | 非常に寒い |

表2 各建築物の概要

| | 床面積 | 天井高 | 空調方式 |
|-------|----------|--------|---------|
| 神商ホール | 約565.2㎡ | 約7m | AHU |
| 上郡ホール | 約696.6㎡ | 約10.4m | AHU+FE |
| 鈴鹿PA | 約1424.5㎡ | 約3.5m | PAC+HEX |
| 岡崎PA | 約4273.2㎡ | 約4.6m | PAC+HEX |

体的には神商ホール、上郡ホール、鈴鹿PA、岡崎PAの4つの建築物を対象にCFD解析を行う。概要を表2に示す。

(3)パラメータの指標作成

空調機で変化させることのできる温度、湿度、気流の3つのパラメータ(岡崎PAと鈴鹿PAは温度と気流)に対し、それぞれ第1水準、第2水準、第3水準の3つの水準を作成する。その際、実際の設計値を第2水準とする。

(4)CFD解析

解析では冬季のモデルを使用する。まず各建築物の3Dモデルに人間モデルを作成し、配置する。人間の数は建築基準法に基づき20㎡当たり1人と設定する。次にパラメータ分析を行う際に必要な点を各建築物に9個ずつ配置する。以上のように修正した建築の3Dモデルに対し、それぞれ解析をかける。その際、PMVを算出するため温度、湿度、輻射解析を同時に行う。

条件設定は、空調設備の温度、湿度、吹き出し風量・流速のすべてを第2水準値で設定した解析データを用意し、その解析データから3要素のうち一つを第1水準値、または、第3水準値にしたものをそれぞれ条件設定し、合計7種類作成する。各建築物ごとに7種類であるため、作成モデルは計28種類となる。最後に、各解析結果から、着衣量1.2、代謝量1.2に設定し、PMV値を算出する。

3. 解析結果

(1) 神商ホールでの解析結果

図1に、解析対象空間の内、居住域に相当する部分(高さ1.8m)のPMVの体積分布を示す。PMVの空間分布より、空間のPMV値は-1.3~-0.4の間に収まっていると考えられ、値にばらつきがあるものの空間全体的に見てもやや寒いという結果が得られる。

図3に、床から1.5m平面におけるPMVの分布を示す。この図より、PMV値の分布の特徴は床から1.5mの平面では均一にPMV値が分布していることが分かり、-0.6と快適推奨範囲-0.5~+0.5に近く、どの地点でもわずかに肌寒いと感じる状況である。また、図4に示す断面図より、床面から約0.3mまでは-1.2となっており、足元のほうが寒く感じやすいと考えられる。

パラメータを変化させた際の各点のPMV値の変位のグラフを図5に示す。グラフより、傾きが大きいパラメータは気流であるので今回のパラメータ分析では空調機の吹き出し流速が最も空間のPMV値に影響を与える要素であるとわかる。

(2) 上郡ホールでの解析結果

図2に、神商ホール同様のPMV空間分布(居住域に相当する部分の高さ4.2m)を示す。空間中のPMV値にはばらつきがあるものの空間全体的に快適推奨範囲に近く、-0.4~+0.6の間に収まっている。また、図6よりPMV値の分布の特徴は床面から1.5mの平面でみたときは均一にPMVが分布しているといえる。いずれの箇所でも0.3程度と快適推奨範囲-0.5~+0.5の間に入っており、どの地点でも人々は快適だと体感できる状況である。但し、図7に示す断面でみたときは値にばらつきがあり、天井付近の方がPMV値が大きいとわかる。

パラメータを変化させた際の各点のPMV値の変位のグラフを図8に示す。グラフより、傾きが大きいパラメータは気流であるので今回のパラメータ分析では空調機の吹き出し流量が最も空間のPMV値に影響を与える要素であるとわかる。

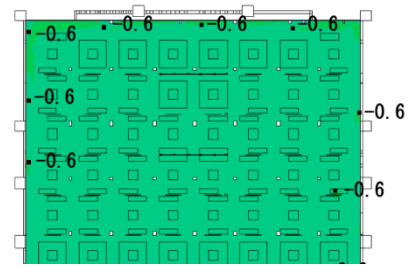


図3 神商ホールにおけるPMV値の平面空間分布

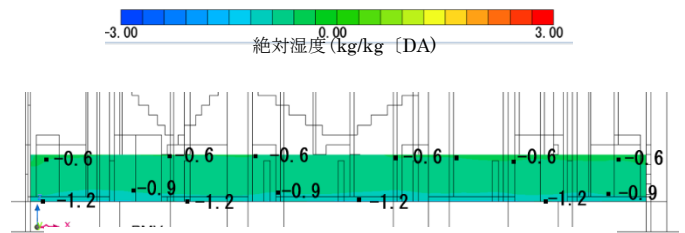


図4 神商ホールにおけるPMV値の断面空間分布

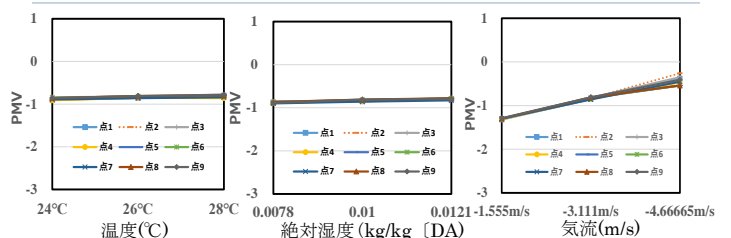


図5 神商ホールにおける各パラメータ分析結果

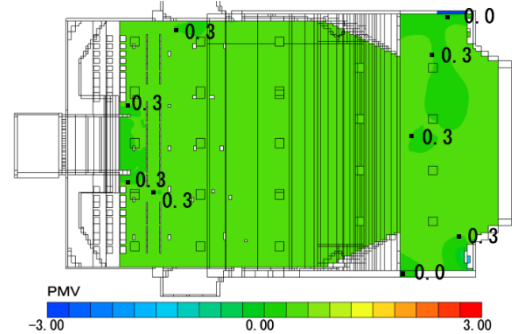


図6 上郡ホールにおけるPMV値の平面空間分布

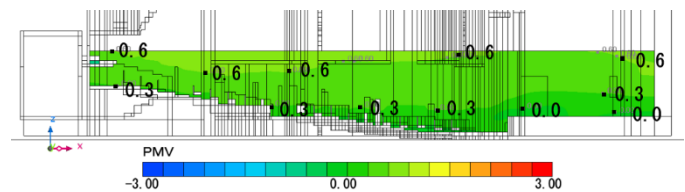


図7 上郡ホールにおけるPMV値の断面空間分布

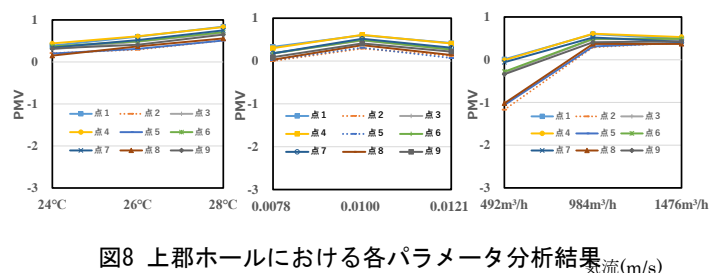


図8 上郡ホールにおける各パラメータ分析結果

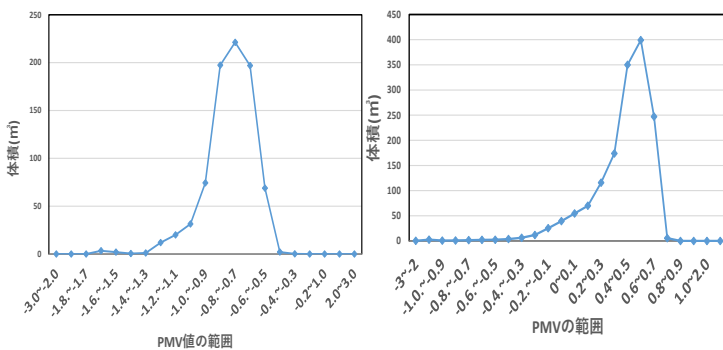


図1 神商ホールにおけるPMV値の空間分布

図2 上郡ホールにおけるPMV値の空間分布

(3) 鈴鹿PAにおける解析結果

図9に示すPMV値の空間分布をみると、-2.3~-1.5の間に収まっており、値にばらつきがあるものの空間を全体に見ても寒いという結果が得られている。

図11より、現状の空調設備でのPMV値の分布の特徴は床から1.5mの平面のコンター図をみたときはPMV値にばらつきがあることが分かる。具体的には天井に空調機がある付近ではPMV値は-0.9であるがそれ以外の場所では-1.5~-1.2となっており、空調機付近のPMV値が高い特徴がある。逆に換気吸気口下では低い値となっている。よって、感じる程度は地点によって異なるものの、平面的な寒暖の差が大きいと言える。同様に図12より、断面におけるPMV分布としては空間の中心付近は均等なPMV値になっているが、外側に近づくにつれ、PMV値が高さごとに層になり、温度成層が形成されている事が分かる。また、ペリメータ付近もPMV値は低くなっている。よって足元のほうが寒く感じやすく、またペリメータ付近も寒く感じやすい傾向があるとわかる。

図13のグラフより、傾きが大きいパラメータは気流であるので今回のパラメータ分析では空調機の吹き出し流速が最も空間のPMV値に影響を与える要素であるとわかる。

(4) 岡崎SAの解析結果

図10より、PMV値の空間分布については-1.2~0の間に収まっていると考えられ、値にばらつきがあるものの空間全体的に見ても寒いという体感が得られる。図14に示すPMV値の平面分布の特徴としては、床から1.5mの平面でみたときはPMV値に少しばらつきがあるように見える。具体的には天井に空調機がある付近ではPMV値は-0.9であるがそれ以外の場所では-1.2~-1.5となっており、空調機付近より低い値となる。よって、空間全体はやや寒いと分類されるが、感じる寒さは地点によって少し異なることがわかる。また、図15に示す断面より、鈴鹿PA同様、温度成層が形成されている事が分かる。その結果足元のほうが寒く感じやすい。

図16のグラフより、傾きが大きいパラメータは気流であるので今回のパラメータ分析では空調機の吹き出し流速が最も空間のPMV値に影響を与える要素であるとわかる。

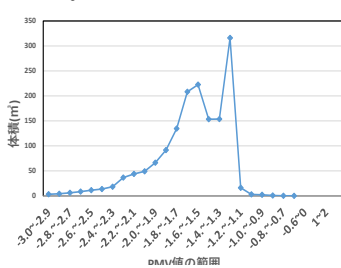


図9 鈴鹿PAにおけるPMV値の空間分布

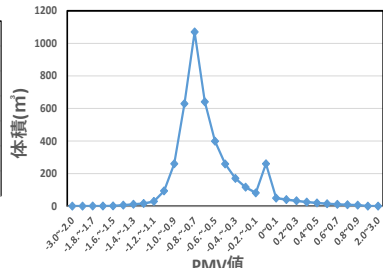


図10 岡崎SAにおけるPMV値の空間分布

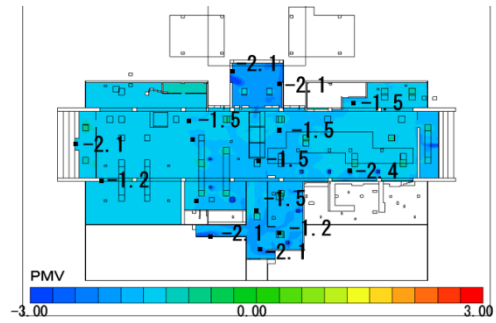


図11 鈴鹿PAにおけるPMV値の平面空間分布

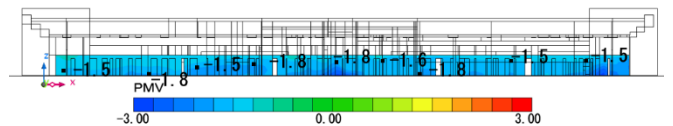


図12 鈴鹿PAにおけるPMV値の断面空間分布

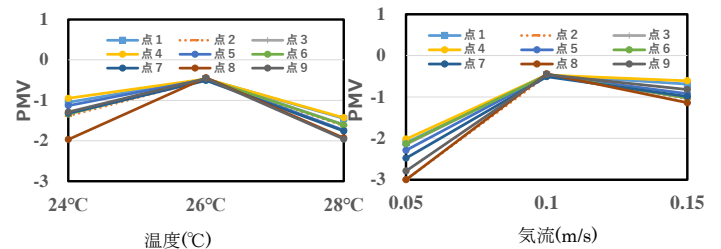


図13 鈴鹿PAにおける各パラメータ分析結果

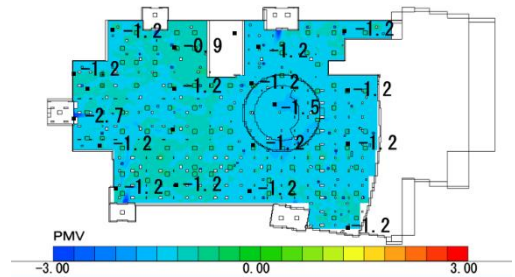


図14 岡崎SAにおけるPMV値の平面空間分布

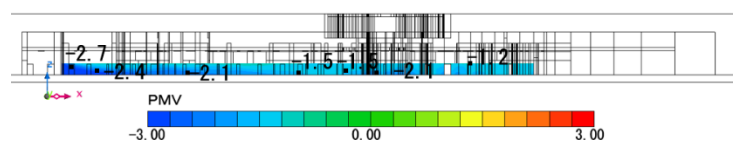


図15 岡崎SAにおけるPMV値の断面空間分布

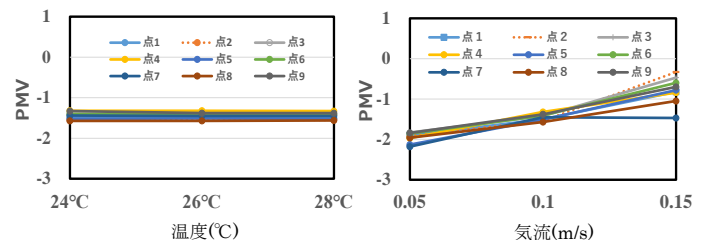


図16 岡崎SAにおける各パラメータ分析結果

4. 結論・考察

以上の結果から、PMV値の空間分布のばらつきをなくし、快適指標範囲に収まるような空調設備にするため、以下に示す4つの改善点があると考察できる。

1) 空調設備の気流の吹き出し条件の見直しをすることが考えられる。図4、7、12、15に示すPMV値の断面コンターから、どの建築物も温度成層が形成されていることがわかる。具体的には、足元付近はPMV値が低く、天井付近は高くなる分布をしている。これは、パラメータ分析の結果からPMV値に一番影響を与える要素は気流であり、暖かい空気は上に滞留しやすいため、吹き出した気流が下まで届かなく、均一にPMV値が分布しないためであると推測できる。よって、均一なPMV分布にするために、もともとの空調設備の設定よりも気流の吹き出し流量や流速を上げ、床付近まで気流を届ける必要があると考えられる。また、空調設備に床吹き出し方式を用い、足元を温めることも検討できる。

2) AHU方式の場合、吹き出し口の種類も考慮することが考えられる。神商ホールと上郡ホールを比較すると、どちらも平面や断面のPMVの分布の仕方は似通っているが、上郡ホールはPMV値が快適推奨範囲に近い-0.4～+0.6内であるのに対し、神商ホールのほうは-1.3～-0.4と低い。このような違いが生じるのは、どちらも同じAHU方式ではあるが、吹出口の種類が異なる事が要因だと推測される。ちなみにどちらも流量バランスが0になるように設定されているので、流量の違いは考慮されない。上郡ホールはアネモスタッドであるのに対し、神商ホールはブリーズライン吹出口である。一般的にアネモスタッドの方が放射線状に気流が広がるため、空間全体にいきわたりやすいという特徴がある。よって、PMV値が快適となる空間にするためには、吹き出し口のかたちにも配慮して設計する必要がある。

3) ペリメータ付近では外気の影響を考慮し、空調設備の設定を調節することが挙げられる。岡崎PAと鈴鹿PAは同じPAC方式が採用されている。どちらも平面では空調機付近の方がPMVの値が高くなる点やPMVの分布も-1.2～-1.5となっており、分布の特徴が類似している。一方、断面のコンター図を比較すると、鈴鹿PAは外壁の多くがガラスであり、ペリメータ部分の方がPMV値が小さい傾向があり、岡崎はその傾向が見られない点に違いがある。これは鈴鹿PAの外壁の材質の多くがガラスであり、厚みが12mmとコンクリートなどに比べ薄く、外気の冷たさが伝わりやすいためであると推測できる。パラメータ分析の結果、気流がPMV値に一番影響を与えている要素であることから、外壁付近の空調機の吹き出し流速だけ大きくする等、ペリメータ処理の必要性が示されている。

4) 空調設備にPAC方式を用いる場合、気流や湿度を他の機材も用いて調節することが挙げられる。平面のPMVのコンター図を比較すると神商ホールと上郡ホールは均一にPMV値が分布しているのに対し、鈴鹿PAと岡崎PAは空調機付近の方がPMV値が高く、地点ごとにばらついている。更に、外気給気口下部ではPMV値が低い。また、断面のPMV値のコンター図を比較すると、鈴鹿PAと岡崎PAに関しては縦方向に温度成層ができていたことがわかる。このように空調設備のPAC方式はAHU方式に比べて平面的にも断面的にもPMVの分布がばらついていることがわかる。これは、PAC方式はAHU方式に比べて空調設備としての制御範囲が狭い事が要因と推測できる。AHU方式は中央式であるため、湿度、温度を最適に調整するが、PAC式の場合、その負荷計算時に潜熱・顕熱を分離せず、全熱を処理出来るだけの熱量を全て顕熱で供給する、つまりはより高い温度での吹出となるため、PMVにばらつきが発生すると考えられる。それに加えて、換気給気口から冷気が吹き出されるために、同じ空間内での温度差が更に増加する事となり、よりPMVに大きなばらつきを与える事となる。

なお、いずれの空調方式でも縦方向の温度成層は空調設備では改善しにくいと、サーキュレータ等の補助的な設備が有効であると考えられる。

5. 今後の課題

各建築物に対し、考察からわかる改善点を反映させた修正モデルを作成し、どの程度改善するか検証していきたい。

また、パーキングエリアはホールに比べ、PMV値が低いという結果となった。しかし、今回、パラメータ分析を行う際、比較検討を行うためにPMVを算出する際の着衣量を1.2で統一したが、実際はパーキングエリアは上着を羽織ったまま過ごす人も多く、ホールに比べ着衣量が大きいと、着衣量を1.2より高く解析した場合のほうが実際の状況を再現した結果と推測できる。よって着衣量を設定し直した解析を行い、PMV値の分布の結果を検証していきたい。

<引用・参考文献>

- 1) 小林茂雄・中島祐輔・西村初めの直也・古谷浩・吉永美香:はじめの建築環境工学,彰国社,2018
- 2) 空気調和・衛生工学会:空気調和設備の実務の知識,株式会社オーム社,1991
- 3) 矢野宏:おはなし品質工学 増補版,日本規格協会,1990
- 4) 絶対湿度の求め方

<https://www.2x6satoru.com/article/ab-humidity.html>