

CFD と実物大実験による置換空調の簡易予測ツール開発に向けた研究

建築都市デザイン学科 2280070012-8 大石 真里奈
(指導教員 小林知広)

1. 背景・目的

従来、空調設計は室内での完全拡散を前提として行われるが、大空間設計時に完全拡散を前提とすると居住域以外も空調を行ってしまい、エネルギーの大きな浪費につながる可能性がある。そこで、大空間では居住域を対象とした部分空調が有効と考えられる。その代表として室内で鉛直温度分布を形成する置換空調が挙げられる。

しかし、置換空調の設計手法、評価手法は十分には確立されておらず、性能を発揮できるかわからないため、広く普及には至っていないのが実情である。現在、快適性と生産性の向上と共に、より厳密な省エネルギー性が求められるようになり、予測手法、設計ツールの確立が重要と考えられる。そこで本研究では置換空調時の温度分布の予測ツールを確立するために、CFD（コンピュータを用いた流体解析）を行うことを目的としているが、その際、解析精度が重要となる。

既往の研究^{文1)}では、実験と CFD との比較を行い、実験と解析の誤差要因を把握した。本論文では、CFD の精度向上を図るため、まず実験及び測定精度向上を図り、その結果をもとに CFD モデルを作成し、より信頼性の高い解析手法の確立を目的とする。

2. 実験概要

図 1 に示す半円筒形の吹出口を有する実験室（図 2）で実際に置換空調を行い、吹出口付近の流れ場及び室全体の温度場がどのように形成されるかを測定する。実験では吹出温度を 20℃（一部 22℃と 18℃も行う）に設定し、吹出流量を 600m³/h、900m³/h、1200m³/h と変化させ、更に各ケースで発熱体の熱量を 1000W、2000W、3000W と変化させた合計 11 ケースを行う（表 1）。空調を開始後、定常状態となったところで各測定点の温度と吹出口周りの風速を測定する。なお測定センサーの配置は図 3 に示す。この結果は、CFD の結果と比較し、精度検証に使用する。

また、CFD でより適切な境界条件を与えるために、詳細な測定を行う（表 2）。スモークを用いて可視化した予備実験により、吹出気流に鉛直方向の速度分布と斜め下方への吹出傾向がみられたため、図 4 に示すような吹出口周りの風速の詳細測定及びタフトによる吹出角度測定を行う。また、熱貫流による壁面からの熱の漏れを再現するため、サーモカメラで壁面放射温度の測定を行う。

表 1 実験ケース

Case	流量 (m³/h)	発熱体 (W)	吹出温度 (℃)
①-1	600	1000	20
①-2		2000	
①-3		3000	
②-1	900	1000	20
②-2		2000	
②-3		3000	
②-4	900	3000	18
②-5			22
③-1	1200	1000	20
③-2		2000	
③-3		3000	

表 2 実験実施項目

実施項目	目的
吹出流量の詳細測定	CFD 境界条件 設定
タフト実験	
壁面放射温度の測定	CFD 精度検証
実験室内温熱環境実測	



図 1 置換空調吹出部分
吹出口（立面）

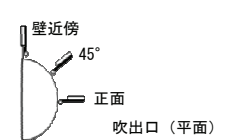
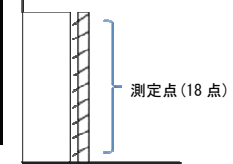


図 4 吹出詳細測定図

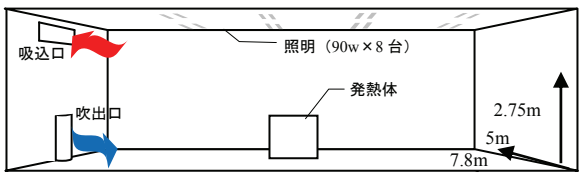
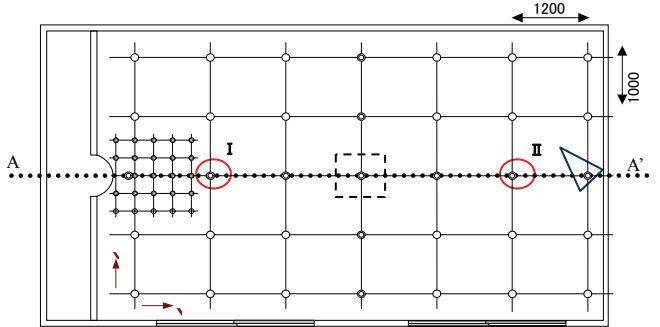


図 2 実験室



○ 温度測定点 ● 温度及び風速測定点（鉛直：床上 0mm から 250mm ごとに 11 点）
○ 鉛直温度分布プロファイル点 ▲ サーモカメラ撮影位置

図 3 センサー配置

3. 解析概要

CFD では、前述の実験室を再現する。境界条件のうち壁面温度としてサーモカメラにより測定した値を与え、吹出口は半円筒形の表面を鉛直方向に 18 等分し、ゾーンごとに吹出流量と角度を変化させ吹出気流を詳細に再現するケースと、均等に空気が吹出すと仮定するケースとを解

析する。室内には照明器具（８台）、発熱体（１台）の２種類の負荷を与える。実験と同様に、吹出流量を 600m³/h、900 m³/h、1200 m³/h、発熱体温度を 1000W、2000W、3000Wと変化させ、移流項の差分は QUICK、乱流モデルは標準 k-ε モデルを使用し、計 22 ケースの解析を行う（表 3）。

4. 実験結果

図 6 に壁面温度分布を示す。発熱量により温度の変化はあるが、流量が同じならば温度成層の高さはほぼ同じであることが確認された。なお、この結果を CFD の壁面温度境界条件として与える。

5. 解析結果と実験結果の比較

解析と実験の温度分布を図 7 に示す。18 分割吹出しと均一吹出しとでは、室全体の温度成層のでき方にはあまり差は見られなかったが、発熱体上部のブルームの形状や、吹出し口周りの温度成層の状態に違いがみられた。また、実験での温度分布に比べ、18 分割吹出し・均一吹出し共に全体的に 1℃程度高い温度分布となっていた。

図 8 に示す鉛直温度分布プロファイルでは、18 分割吹出しと均一吹出しとでは、鉛直温度分布形状にあまり差はみられなかったが、プロファイル点 I よりもブルファイル点 II でより結果が合いにくい傾向がみられた。実験結果との比較では、解析と実験とで同様の傾向を示しているケースもあるが、全体的に解析結果の方が 1℃程度高い値であることに加え、解析結果ではより床に近い位置で高い温度となっていた。

6. まとめ

上記の結果から、実験結果と若干の誤差はあるものの、温度成層の発生状況や、吹出口周辺の熱環境など定性的にはよく一致し、既往の研究と比較し精度が向上した。今回解析精度を向上させるにあたり、吹出風速状況の再現と壁面温度分布の再現を行ったが、吹出气流が均一の場合と 18 分割で再現した場合での解析結果に大きな違いは見られなかったことから、今回解析の精度向上については壁面温度分布が大きな要因と考えられる。

しかしながら実験と解析では同一高さの温度成層における温度が約 1℃程度ずれている。今後、この誤差を解消するため、壁面温度境界条件に関して適切な対流熱伝達率を設定する等の対策をとっていく必要がある。

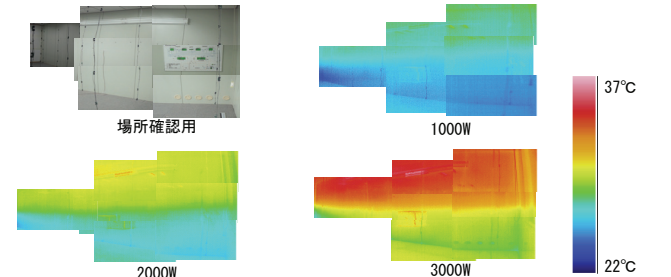
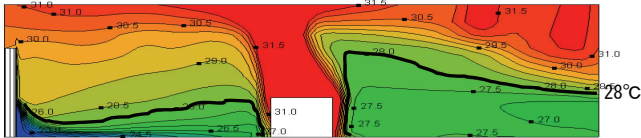


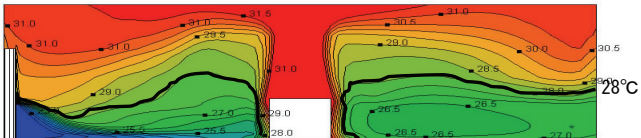
図 6 サーモ画像による壁面温度（600 m³/h）

表 3 解析ケース表

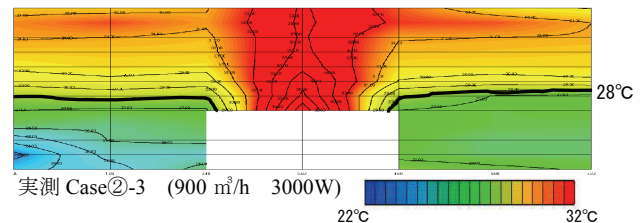
吹出し方	Case	流量 (m ³ /h)	発熱体 (W)	吹出温度 (°C)
a) 18 分割吹出し	①-1	600	1000	20
	①-2		2000	
	①-3		3000	
	②-1	900	1000	
	②-2		2000	
	②-3		3000	
	②-4	1200	3000	18
	②-5			22
	③-1		1000	20
	③-2		2000	
	③-3		3000	
b) 均一吹出し	①-1	600	1000	20
	①-2		2000	
	①-3		3000	
	②-1	900	1000	
	②-2		2000	
	②-3		3000	
	②-4	1200	3000	18
	②-5			22
	③-1		1000	20
	③-2		2000	
	③-3		3000	



解析 a) Case②-3（900 m³/h 3000W 18 分割吹出し）



解析 b) Case②-3（900 m³/h 3000W 均一吹出し）



実測 Case②-3（900 m³/h 3000W）

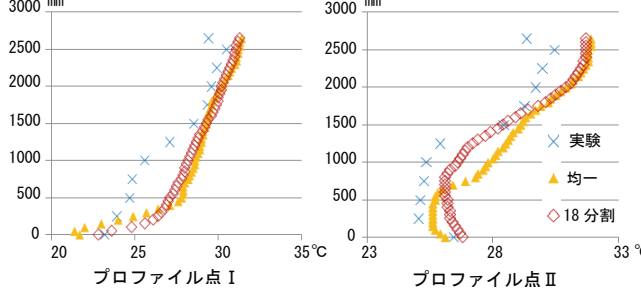


図 8 鉛直温度分布（Case②-3 900 m³/h 3000W）

参考文献

- 1) 岸本孝志、近本智行、石黒亮：置換空調の予測・評価精度向上に関する研究（その 1）、日本建築学会大会学術講演梗概集pp.1179-1180、2010年9月