

機関番号：32660

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760453

研究課題名 (和文) CFD 技術を用いた住宅暖房室内の温熱環境予測改善に関する研究

研究課題名 (英文) Study on Evaluation of thermal Environment of a Heating Room Using CFD

研究代表者

小笠原 岳 (OGASAWARA TAKESHI)

東京理科大学・工学部建築学科・助教

研究者番号：30516232

研究成果の概要 (和文) : 室内における人体の温熱環境を解明することを目的に、数値サーマルマネキンを用いた CFD 手法に関する研究が行われている。このような背景のもと、本研究では単純室を対象にメッシュ形状、メッシュ分割数、空間離散化スキームの違いが解析結果に及ぼす影響について検証した。次に床暖房時、エアコン暖房時、局所空調時において、実験結果と解析結果の比較を行い、再現精度の検討を実施した。その結果、以下の知見を得た。

- メッシュ解像度を向上させ、高次差分スキームを用いることでメッシュシステムによらない結果が得られる。
- 複雑形状となる領域に対して、トリムドメッシュを用いることで同精度の結果が得られる。

研究成果の概要 (英文) : In order to elucidate the indoor thermal environment of the human body, research is being conducted on CFD (Computational Fluid Dynamics) techniques using numerical thermal mannequins. This research first uses a simple model to examine the effects on analysis results due to differences in mesh form (hexa mesh and tetra mesh), number of partitions, and space discretization scheme. Next, it examines the reproduction precision of the tetra mesh system and trimmed mesh system by comparing experiment results and calculation results under various conditions with a mannequin in place, i.e. in states with a calm environment (floor heating), general air conditioning (air conditioning heating) and local air conditioning (task/ambient air conditioning). The following findings were obtained as a result of this research.

-It was confirmed that results not dependent on the mesh system can be obtained by improving mesh resolution, and using a high-order difference scheme.

-It was confirmed that, the tetra mesh and trimmed mesh yield results with the same precision for analysis regions with complex form.

-It was confirmed that, the tetra mesh and trimmed mesh yield results with the same precision for analysis regions with complex form.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：熱的快適性、CFD、非構造格子、着衣熱抵抗、対流熱伝達率

1. 研究開始当初の背景

建築空間における空調設備設計においては省エネルギーの実現とともに、快適な温熱環境・良好な空気環境の実現が求められる。これらの要求を計画段階において把握し、設計に反映させるためには実大実験・模型実験・数値流体解析 (Computational Fluid Dynamics, 以降 CFD と記す) などを行う必要があるが、コストや時間的な制約などから、CFD が多く用いられている。建築環境工学分野における CFD はアトリウム、体育館、工場などの大規模空間や均一な空調性状となるクリーンルームなどを対象に、構造格子系の空間差分格子を用いて行われるものと、人体や複雑形状吹出し口などの複雑形状を不規則に配列した四面体要素や六面体要素などで再現する非構造系のものに大別される。構造格子系 CFD では複雑形状を再現できないため、予測精度に限界があるが、非構造格子系 CFD に比べ計算時間が短く、計算の安定性や保存性に優れている。非構造格子系 CFD は構造格子系では扱えない複雑形状を再現可能だが、膨大なコンピュータ資源と計算時間を必要とし、また保存性や数値拡散の問題が残されていると考えられる。現状では、このように一長一短のある格子系を対象問題や所有する計算資源に合わせて適宜選択し、実施している。そこで単純室内に人体モデルを配置した CFD において、人体周りは非構造格子により複雑形状を再現し、構造格子により作成した周辺空間と結合する手法を試行し、既往研究との比較を実施した。本技術が確立されれば、膨大なコンピュータ資源や計算時間を要さずに、予測精度の高い CFD の実施が可能となる。

また予測精度の高い CFD 解析を実現するためには、上述の課題の他に、着衣表面の熱伝達率の把握や有風時における着衣抵抗の変化の把握など、多くの課題が残ると考えられる。これらに関しても本研究の研究対象と位置づけ、検討を実施する。

2. 研究の目的

(1) 非構造格子人体モデル+構造格子 CFD 手法の確立

温熱快適感を精度良く予測するためには人体形状をできるだけ詳細に再現する必要がある。よって人体周りに非構造系のメッシュシステムを採用して高い予測精度を保ちつつ、人体周辺以外は保存性や安定性に優れた構造格子を用いる計算手法の確立を行う。まずは単純室形状を想定したケースを実施し、その後、実際の居室空間を想定した CFD へ拡張し、検討を行い、任意空間に対応する解析手法の確立を試みる。同時に人体モデルの解像度に関する検討を実施し、高い予測精度を発揮するための最適な解像度について

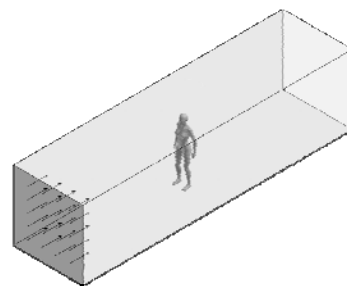
考察する。

(2) CFD 技術を用いた有風時の着衣抵抗変化予測

暖房室内に暴露された人体の温熱快適性を精度良く予測するためには、複雑な人体形状を模擬するとともに、人体からの熱損失を精度良く予測する必要がある。このためには着衣表面の対流熱伝達率や着衣の熱抵抗値について正確に把握する必要がある。着衣の熱抵抗値に関しては静穏環境下に暴露されたサーマルマネキンを用いて測定可能であるが、同一の着衣について常に同じ熱抵抗値をとるとは限らず、特に有風時などには変化するものと考えられる。そこで温熱快適性予測の際に必要な対流熱伝達率や着衣抵抗について、CFD 技術を用いた検討を実施し、予測精度向上を目的としたケーススタディを実施する。

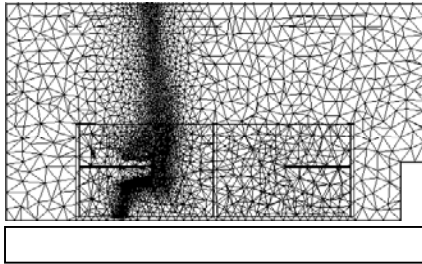
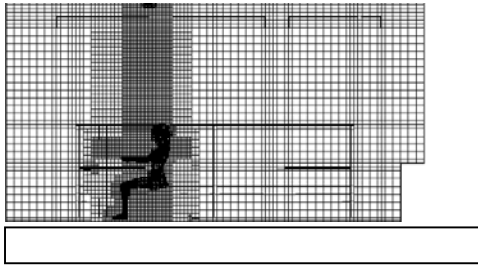
3. 研究の方法

(1) 単純室形状を対象とした検討として、既往研究との比較により、精度検証を行う。風洞を模擬した解析対象中央にマネキンを配置し、表面温度を快適状態の皮膚温度である 33.7°C に固定した解析を実施する。このとき、使用した乱流モデルは低 Re 数型 $k-\epsilon$ モデル (2 次)、低 Re 数型 $k-\epsilon$ モデル (3 次)、低 Re 数型 $k-\epsilon$ モデル (2 次) + Durbin モデル、低 Re 数型 $k-\epsilon$ モデル (3 次) + Durbin モデル、低 Re 数型 $k-\epsilon$ モデル (2 次) + Launder-Kato モデル、低 Re 数型 $k-\epsilon$ モデル (3 次) + Launder-Kato モデルの 6 種類とし、既往研究結果との比較により精度確認を実施する。

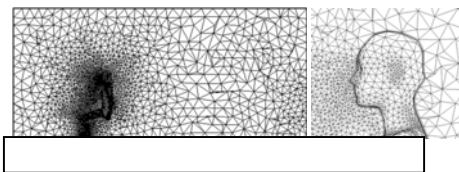
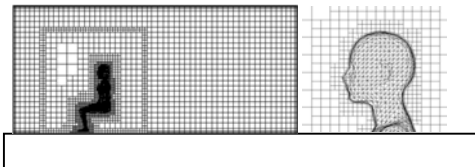


上記の検証を完了したのち、実空間を模擬した実験室実験を行い、精度検証を実施する。本研究では、実空間として、事務室空間と住宅居室を想定する。

事務室空間では、エネルギー消費量を抑えつつ快適性の実現を図ることを目的としたタスク・アンビエント空調を導入した場合について検証する。この時、総メッシュ数を 50 万程度とし、非構造格子モデルに構造格子モデルを組み込んだ解析とすべてをテトラメッシュとし、非構造格子モデルとした解析の 2 種類について検証する。



また住宅居室では、エアコン暖房された居室および床暖房使用時について検証する。事務室空間を対象とした検証と同様に、非構造+構造格子モデルと非構造格子モデルの比較検証を実施する。



(2) 環境試験用風洞実験室において、高速気流環境下での実験を行う。実験では暴露風速を 0.5、1.0、2.0m/s の 3 段階を想定する。マネキンの皮膚表面温度を 31℃に固定し、裸体状態とした場合と、マネキン頭熱損失量 q_t と皮膚表面温度 θ_s が以下の(1)式を満たす制御方法で制御し、着衣状態とした場合について検討する。

$$\theta_s = 36.4 - 0.054q_t \dots(1)$$

実験室を模擬した空間内部に数値サーマル

マネキンを設置してCFD解析を実施する。解析では対流熱伝達を精度良く再現するために、壁面第一セルの厚みを 0.2mm とし、等比分割した 5 層(計 5mm)のレイヤーマッシュを用いる。乱流モデルは 3 次非線形低レイノルズ数型 $k-\epsilon$ モデルを用い、乱流エネルギーの過剰生産を抑制することができる Launder-Kato モデルを組み込んだ。

これらの検討により、暴露風速をパラメータとした場合の対流熱伝達率および着衣熱抵抗について検討する。

4. 研究成果

(1) メッシュ形状・メッシュ解像度・空間離散化スキームの違いが解析結果に与える影響について検討した結果、メッシュ解像度を向上させ、高次差分スキームを用いることで、メッシュシステムによらない結果を得られることが確認された。

次に実空間としてタスクアンビエント空調を行うオフィス空間を対象に、サーマルマネキンを設置した場合の頭熱損失量・表面温度実測を行い、非構造+構造格子モデルと非構造格子モデルによるCFD解析結果と比較することで計算精度の確認を試みた結果、ともに概ね実測を再現できることを確認したが、生成メッシュ密度の違いによると見られる吹出し気流の拡散性状の違いを確認した。

さらに暖房居室について取り上げ、エアコン暖房時・床暖房時について、サーマルマネキンを設置した条件での実験結果と計算結果の比較を実施したところ、ともに同精度の結果を得られることを確認した。

(2) サーマルマネキンを用いて、暴露風速をパラメータとした熱抵抗実験を行い、対流熱伝達率および熱抵抗値の算出を試みた結果、対流熱伝達率は一般的に用いられている対流熱伝達率の予測式に比べ、小さい値を示した。また通気性の高い着衣の場合、有風時に着衣手熱抵抗が小さくなることが確認された。これらの結果を踏まえ、実施した実験をCFD解析で再現し、主に高速気流環境に暴露された人体の対流熱伝達率の再現性と、着衣量が予測精度に及ぼす影響について検討を行った結果、3 次非線形低 Re 数型 $k-\epsilon$ モデルに改良 Launder-kato モデルを組み込むことで、着衣なしの人体の対流熱伝達率を正確に予測できること、高速気流環境下において適切な着衣熱抵抗の設定が予測精度に大きく影響することを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計6件)

- ① 細野和則、倉淵隆、小笠原岳、武政祐一、加藤正宏、サーマルマネキンを用いたタスク・アンビエント空調時の室内環境評価に関する研究(その2) トリムドメッシュ・テトラメッシュを用いた数値サーマルマネキンによるCFD予測、日本建築学会学術講演梗概集 D-2 2009 pp. 936
- ② Takaeshi Ogasawara, Takashi Kurabuchi, A Study on Evaluation of Thermal Environment of a Heating Room Using Computational Thermal Mannequin, Ventilation 2009 pp. 1111 2009
- ③ T. Ogasawara, T. Kurabuchi and H. Shimizu, Evaluation of convective heat transfer coefficient for a human body exposed to airflow, CLIMA 2010 2010
- ④ 佐藤桂子、倉淵隆、小笠原岳、大場正昭、岩本静男、池原星吾、佐橋薫実、通風環境下における対流熱伝達率及び着衣量に関する研究 その1 対流熱伝達率と着衣量に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演会、D-2 pp. 303 2010
- ⑤ 池原星吾、倉淵隆、小笠原岳、大場正昭、岩本静男、佐藤桂子、佐橋薫実、通風環境下における対流熱伝達率及び着衣量に関する研究 その2 高速気流下に暴露された人体の対流熱伝達率及び着衣量に関する数値シミュレーション、日本建築学会大会学術講演会、D-2 pp. 305 2010
- ⑥ 佐橋薫実、倉淵隆、小笠原岳、岩本静男、加治屋亮一、酒井孝司、遠藤智行、小野浩己、佐藤桂子、接触熱伝導が温冷感に及ぼす影響に関する被験者実験、日本建築学会大会学術講演会、D-2 pp. 523 2010

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計◇件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小笠原 岳 (OGASAWARA
TAKESHI)

東京理科大学・工学部建築学科・助教
研究者番号：30516232

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：