

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360243

研究課題名（和文）

高効率換気・空調方式の実現を目的とした人体等の移動物体の室内気流解析手法の研究

研究課題名（英文）

Study on Numerical Simulation Method of Airflow Caused by Moving Bodies in a Room in order to Improve Ventilation and Air-conditioning Efficiency

研究代表者

近藤 靖史 (KONDO YASUSHI)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：20267339

研究成果の概要（和文）：

本研究により、建築室内の温熱・空気環境を良好な状態に維持するための換気・空調の計画において、人体などの移動物体の影響を組み込むことができるものとなった。実験と数値解析の詳細な比較から数値解析の精度を検証し、数値解析の有効性を示した。さらに、本研究で検討した解析手法を地下鉄駅構内の列車風や空間分煙されたレストラン客席に適用し、移動物体による室内の流れに関する問題が検討できることを示した。

研究成果の概要（英文）：

This research project has developed the numerical simulation method including the influence of moving bodies upon indoor airflow and temperature distributions in the designing of the ventilation and air-conditioning system. The results of the experiment and the simulation were compared to verify the effectiveness of the simulation. The numerical simulation method was applied to study the airflow in a subway platform with train wind and the diffusion of tobacco smoke in a restaurant.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
総計	6,600,000	1,980,000	8,580,000

研究分野：建築環境工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：空気環境

1. 研究開始当初の背景

建築環境・設備工学における主な課題の一つは、「快適な室内環境をより効率的に形成する方法」の検討である。特に、建築では空調・換気に費やすエネルギー量が大きく、適切な換気・空調計画を行うことが、省エネルギー・省 CO₂ を考える上で非常に重要である。このような観点から換気・空調に関して多くの研究がなされ、特に、室内気流分布や温度分布の数値シミュレーション手法は画期的に進展してきた。この数値シミュレーション

は CFD 解析 (Computational Fluid Dynamics) と呼ばれ、近年、解析精度の向上とその適応方法について多くの研究がなされてきた。しかし、建築環境・設備工学で用いられる CFD 解析では、物体の移動 (Moving body) を組み込んだ例は非常に少ない。すなわち、室内に存在する人体などは静止している状態を想定した数値シミュレーション結果から、換気・空調計画を検討しているのが現状である。しかし、現実には移動物体による擾乱の影響が換気効率や空調効率に現れ

る場合が多い。すなわち、人体が頻繁に移動する空間、例えばレストランの厨房や工場などでは、室内空気の混合・拡散が静穏な空間に比べて大きい。したがって、調理や工場での作業に伴い発生する汚染質や臭気は人体の移動(作業)によって拡散する。また、住宅で利用されるエアコンの羽根、あるいはレストラン客席の空調室内機の羽根は周期的に動き、このことにより気流の拡散促進を意図的に行っている。このような移動物体を CFD 解析で扱うことは、機械学会や海外の建築環境工学の一部(例えば、Purdue 大学教授 Qingyan Chen ら)ではなされているが、日本では検討例が非常に少ない。あるいは、一部の研究で移動物体を扱った例も見られるが、その精度の検証は充分にはなされていない。

本研究の代表者である近藤靖史の研究グループでは、オフィスの換気・空調計画の研究や、住宅厨房やレストランの厨房の研究を行ってきた。換気効率・空調効率の高いシステムを CFD 解析や実験により検討してきたが、室内の人体による擾乱の影響が大きい場合については、これを考慮する必要があると考え、実験により検討してきた。例えば、北欧の技術規格 Nordtest088 では、排気フードの捕集性状は図 - 1 に示す擾乱発生装置を用いた上で検討しており、これに倣い、実験においては人体の擾乱を模擬してきた。しかし、実験では詳細な温度分布や気流分布を得ることは難しい。

上記の問題を解決するために、移動物体を組み込んだ CFD 解析手法の検討と、それと比較できる実験結果を得ることが重要であると考えた。

2. 研究の目的

建物室内の換気・空調を効率的に行うことは省エネルギー・省 CO₂ の面で非常に重要である。このため、数値シミュレーションで室内の気流や温度分布を事前に予測し、この結果を設計に活かすことが多い。ただし、通常

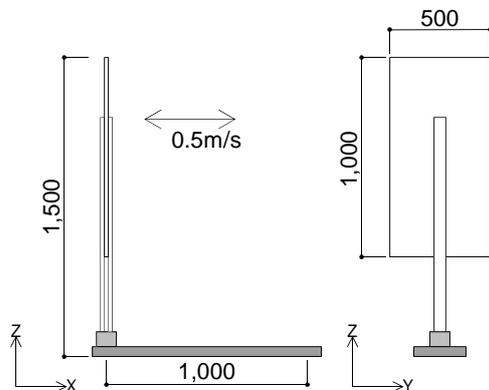


図 - 1 擾乱発生装置

(Nordtest088 に準拠。1m×0.5m のパネルを 0.5m/s で 1m 幅の距離を移動させる。)

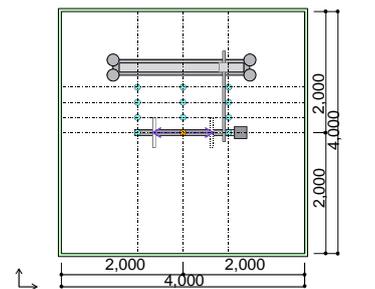
の数値シミュレーションでは、人体などの移動物体による気流の擾乱を無視している。しかし、一般に室内には人体などの移動物体が存在し、これにより換気効率・空調効率が変化する。特に、レストランの厨房や工場などでは、作業による擾乱が排気フードなどの局所排気装置の捕集性状に大きく影響することが知られている。本研究の目的は数値シミュレーションに移動物体の影響を組み込む方法を確立することである。

3. 研究の方法

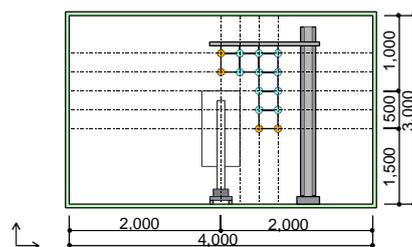
CFD 解析における移動物体のモデルは種々提案されているが、代表的なものは FAVOR 法と Combined Dynamic and Static Mesh Scheme(以降、CDSM 法と記す)である。これらについては、機械学会や Purdue 大学教授 Qingyan Chen の研究グループで検討されているが、実験との対応関係についての検討はやや不十分であった。また、これらの解析手法には適切な差分時間間隔の設定や境界条件の設定が必要であり、これらについて理論的な検討を行う。

次に、移動物体周辺の気流分布に着目した実験を行い、CFD 解析の検証用のデータを得る。図 - 1 の擾乱発生装置を図 - 2 に示す 4m×4m×3m の実験室に設置し、以下の 3 条件で気流場を測定する。

- ①換気は行わない状態で、移動パネル近傍の気流を測定する(平成 22 年度)。
- ②換気を行った状態で、移動パネル近傍の気流を測定する(平成 23 年度)。
- ③換気・空調を行った状態で、IH レンジを実験室中央に置き、湯を沸かし、その熱上昇流を測定する(平成 24 年度)。



(a) 平面図



(b) 鉛直断面図

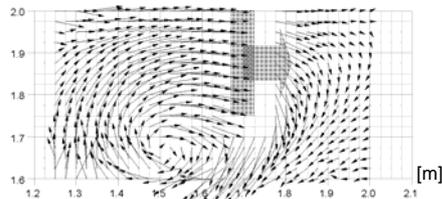
図 - 2 実験室・擾乱発生装置・測定位置

①では実験結果と CFD 解析結果との比較を容易にするため単純な気流場を対象とする。②ではより現実的な状態で移動物体周辺の気流分布の詳細を測定し、CFD 解析の精度の検証を行う。③では移動パネルの影響で IH レンジ上の熱上昇流が揺れる状況を測定し、CFD 解析と比較する。

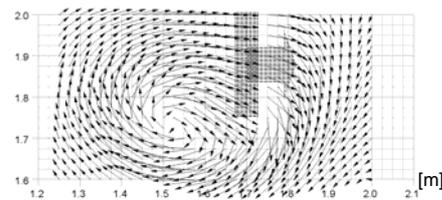
本研究で検証された CFD 解析方法の応用として、地下鉄駅構内の列車風や空間分煙されたレストランにおける従業員の移動によるたばこ煙の拡散を検討する。

4. 研究成果

平成 22 年度の成果は、実験室内に人体の移動を模擬した擾乱発生装置を設置し、移動物体周辺の気流分布を測定した。さらに CFD 解析を行い、実験結果と比較することにより、移動する物体の影響を評価する手段としての CFD 解析の妥当性を検討した。実験は、超音波風速計による測定と室内気流の可視化結果の画像処理による測定(PIV, Particle Image Velocimetry)の 2 種類を行った。数値シミュレーションは、FAVOR 法と CDSM 法による CFD 解析の 2 種類を実施した。これらの数値シミュレーションの結果は実験と概ね対応していた。結果の一部を図 - 3 に示す。



(1) 実験結果



(2) CFD 解析結果(FAVOR 法)

図 - 3 移動パネル周辺の流れ場(一部)

平成 23 年度は、換気を行っている実験室内に人体の移動を模擬した移動パネルを設置し、移動パネル周辺の気流分布の詳細を PIV を用いて測定した。PIV は気流の可視化結果の画像処理による測定であり、良好な可視化画像が得られない領域などでは誤差(誤ベクトル)が生じることが知られており、本研究では誤ベクトル削除の方法を検討した上で、研究を進めた。一方、CFD 解析については、平成 22 年度に、CDSM 法による方法と FAVOR 法による方法を比較したが、前者は非常に大きな計算機負荷がかかり、一方、後

者は計算機負荷が小さく前者とほぼ同等の結果が得られた。そこで、FAVOR 法を用いた CFD 解析に着目し、メッシュ分割数、移流項の差分スキーム、乱流モデルの 3 項目について検討を進めた。

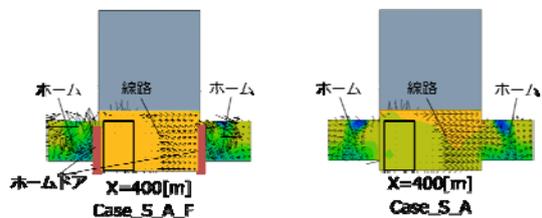
PIV の測定結果では、移動パネルによる擾乱の影響はパネルが動き出す際、パネル前方の気流はパネル側面へ押し出され、周辺空気はパネル後方へ誘引される状況が確認できた。また、全ての測定時点においてパネル前方よりもパネル後方の風速が大きい。この状況は CFD 解析ではほぼ再現できており、特に十分なメッシュ分割数で、適切な乱流モデルを用いた場合の結果が良好であった。また、地下鉄駅構内の列車風の影響を CFD 解析による検討などに応用する方法についても検討を始めた。

平成 24 年度には実験室中央に IH レンジを設置し、湯を沸かし、熱上昇流を発生させ、移動パネルによる擾乱により熱上昇流がどのように変動するかを測定した。測定結果では、移動パネルによる擾乱により IH レンジ上の熱上昇流は左右に揺れ、排気フードによる捕集性状が変化することを確認した。すなわち、排気フードに代表される局所排気装置の効率は人体などの動きにより低下し、室内の温熱・空気環境を検討する上で、人体などの移動物体を考慮する必要性が高いと考えられる。また、この状況は CFD 解析ではほぼ再現できた。

本研究で検討した CFD 解析を以下の 2 つの事例に適用した。まず、地下鉄駅構内の温熱・空気環境を検討するために列車を移動物体として扱い、検討した。結果の一部を図 - 4 に示す。この研究では、列車風を利用した自然換気の効果や、ホームドアによる冷房空気の線路部への漏出の防止効果を示した。



(1) 地下鉄駅ホーム・トンネルのモデル



(2) ホームドア有

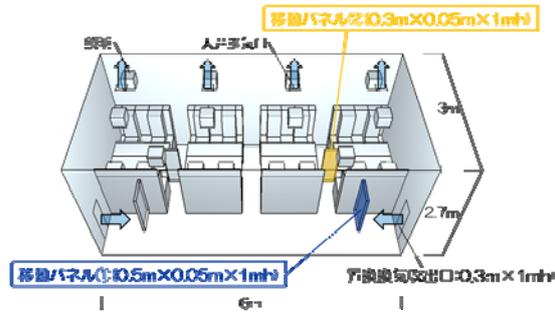
(3) ホームドア無

図 - 4 CFD 解析による列車風の検討

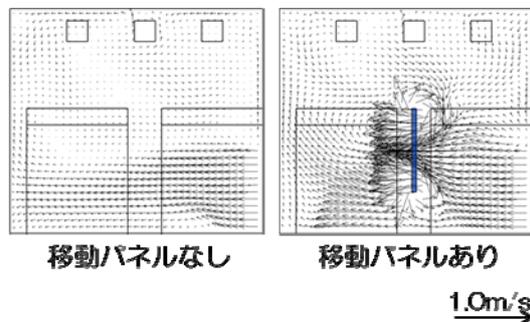
次に、空間分煙がなされているレストランの客席では従業員などの動きによりタバ

コ煙が拡散・移流されることが問題となるが、これについても CFD 解析により検討した。結果の一部を図 - 5 に示す。

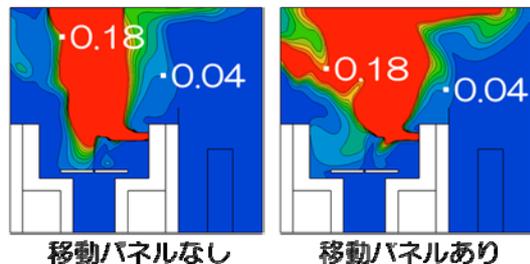
以上のように、本研究の成果により、移動物体が問題となる室内気流場を CFD 解析により検討できるものとなった。



(1) レストラン客席の解析モデル
(移動パネル①と②)



(2) 移動パネル①の近くの流れ場



(3) 移動パネル①の近くのタバコ煙濃度

図 - 5 レストラン客席の CFD 解析

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 3 件)

①近藤靖史、植村信也：飲食店の喫煙区域における空気環境改善に関する研究 第 2 報—実験および移動物体 CFD 解析による局所-置換併用換気システムの検討第 195 巻、空気調和・衛生工学会論文集、査読有、第 195 巻、2013、6 月号掲載決定

②近藤靖史、中島裕史：移動物体による室内

気流場への影響に関する実験と CFD 解析、日本建築学会環境系論文集、査読有、第 77 巻、第 681 号、2012、863-871、doi:10.3130/aije.77.863

③近藤靖史、遠藤俊：地下鉄駅構内におけるチャフトを利用した自然換気とホームドアの有効性に関する検討、空気調和・衛生工学会論文集、査読有、第 187 巻、2012、57-64

〔学会発表〕(計 7 件)

①中島裕史、茨城行史、近藤靖史：PIV による吹出口周辺の気流分布測定とその精度の検証(その 3) PIV による測定とその精度の検討、空気調和・衛生工学会年次大会(札幌)、2012 年 9 月 5 日

②中島裕史、近藤靖史：PIV による空調用吹出口近傍の風速測定と解析方法の検討、日本建築学会年次大会(名古屋)、2012 年 9 月 12 日

③茨城行史、中島裕史、近藤靖史：室内における移動物体周辺の気流性状に関する実験と CFD 解析、日本建築学会年次大会(東京)、2011 年 8 月 23 日

④中島裕史、茨城行史、近藤靖史：PIV による吹出口周辺の気流分布測定とその精度の検証、日本建築学会年次大会(東京)、2011 年 8 月 23 日

⑤中島裕史、鈴木陽介、近藤靖史：室内における移動物体周辺の気流性状に関する実験と CFD 解析(その 1) 実験および CDSM 法と流体占有率を用いた CFD 解析、日本建築学会年次大会(富山)、2010 年 9 月 9 日

⑥鈴木陽介、中島裕史、近藤靖史：室内における移動物体周辺の気流性状に関する実験と CFD 解析(その 2) 解析方法の違いによる精度の検証、日本建築学会年次大会(富山)、2010 年 9 月 9 日

⑦中島裕史、鈴木陽介、近藤靖史：室内における移動物体周辺の気流性状に関する実験と CFD 解析、空気調和・衛生工学会年次大会(山口)、2010 年 9 月 1 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近藤 靖史 (KONDO YASUSHI)

東京都市大学・工学部建築学科・教授

研究者番号：

20267339

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし