

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：23102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04732

研究課題名（和文）複雑な形状である放熱器を用いた冷暖房設備の設計手法に関する研究

研究課題名（英文）Research on design methods for heating and cooling systems using radiators with complex geometry

研究代表者

坂口 淳（SAKAGUCHI, JUN）

新潟県立大学・国際経済学部・教授

研究者番号：90300079

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では単純形状及び複雑形状の放熱器周りを気流・温度分布を熱流体解析（CFD）を行い放熱器形状と自然対流場の違いについて明らかにした。既往研究を参考にCFDを用いてベクトル放射温度計の開発を行う。室内中央部にオイルヒータ相当の発熱源を設置した解析では、計算ケースごとの気流・温度分布の違いは少ないことが明らかになった。次にベクトル放射温度計のCFDでは、平行2平板内の解析は理論的に良好な結果が得られたが、実空間を対象とした解析では放熱器以外の壁や床、天井などの放射熱伝達によりベクトル放射温度計を用いて、放熱器の放射に関する簡易モデルは作ることが困難であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では複雑形状の放熱器で主に自然対流によって冷暖房を行う場合の室内気流分布と放熱器の形状について考察した。本研究では合計6ケースの放熱器周りの気流分布を解析しているが、放熱器の形状による気流・温度分布の違いは少ないことが明らかになった。本研究ではさらにベクトル放射温度計を用いて複雑形状の放熱器の放射熱伝達の簡易モデルについてCFDを用いて検討を行っている。ベクトル放射温度計は既往研究でも色々と試みられているが、屋外空間やビニールハウス、畜舎などの断熱気密性能の低い環境において行われているものであり、本研究のような住空間を対象にしていない。ベクトル放射温度計を用いたモデル化は困難であった。

研究成果の概要（英文）：In this study, airflow and temperature distributions around heat radiators of simple and complex shapes are analyzed by thermal fluid dynamics (CFD) to clarify the relations between the shape of the heat radiators and the natural convection field. A vector radiation thermometer is developed using CFD with reference to previous studies. The analysis with a heating source equivalent of a home-use oil heater installed in the center of the room revealed that the differences in airflow and temperature distribution between calculation cases were small. CFD of the vector radiation thermometer reveals that although good theoretical results were obtained for the analysis in two parallel plates, it is difficult to make a simple model for the radiation of the heat sink using the vector radiation thermometer due to radiation heat transfer from walls, floors and ceilings other than the heat sink in the real space analysis .

研究分野：建築環境学

キーワード：放熱器 対流熱伝達 放射熱伝達

## 1. 研究開始当初の背景

パリ協定やSDGsなどの社会的要請により、ゼロ・エネルギー・ビルディング (Zero Energy Building、以下 ZEB と示す)、ゼロ・エネルギー・ハウス (Zero Energy House、以下 ZEH と示す)に関する研究開発が国内外で取り組まれている。ZEB や ZEH は従来の建物のエネルギー消費量を 30 から 40%削減し、残りのエネルギーを太陽光発電や風力発電、地中熱などを活用して年間エネルギー消費量をゼロとする建物である。ZEB や ZEH の空調設備では未利用・自然エネルギーである井戸水や太陽熱及びバイオマス等を熱源に活用し、この熱源設備で作られた冷温水を室内の放熱器へ供給する空調システムが、病院や高齢者施設、オフィスビル、公共施設などの施設、さらには戸建住宅、集合住宅などで導入されて始めている。

ZEB や ZEH の建築設計では設計初期段階から、建物と設備のトータルの計画が求められ、設備設計は熱負荷計算に基づき最適な設備容量の機器選定が ZEB や ZEH の実現のために求められる。

## 2. 研究の目的

本研究では近年普及が進んでいる放熱器である天井放射パネルと床置き放熱器を対象に、実測とコンピュータシミュレーションの結果を比較し、複雑形状の放熱器の放熱特性に関する基礎データを収集する。住宅のリビングやオフィス空間を対象に、放熱器を用いて冷暖房を行う場合の設備設計法について整理する。

## 3. 研究の方法

建築設備の冷暖房端末として室内に設置されている放熱器 (空調機械内部に設置しているものを除く)を対象に、実測とコンピュータ解析によって熱・空気流動のメカニズムを明らかにする。研究の方法は以下のとおりである。

### (a) 放熱器周りの熱・気流性状に関する詳細測定

放熱器が設置された室内空間の温度分布についてコンピュータシミュレーション (数値流体解析)を行う場合、放熱器の形状が複雑であっても単純な立方体や板状の形態に置き換えて解析がされている。放熱器は自然対流を増やす目的でフィンや小ブロックに分けて表面積を増やす工夫がされている。このため、放熱器を単純な立方体等のモデルにする場合は放熱器周りの自然対流と不均一放射場についての考慮が必要である。本研究では、温湿度制御可能な実験室内に放熱器を設置し、温湿度と実験室内の壁面温度を変化させた時の放熱器周りの気流性状と熱収支について詳細に測定する。本研究では特にベクトル放射計を新たに開発するため、ベクトル放射計の形状、サーモパイルや放射センサーの配置・向きについて検討した。機械工学分野の放熱器に関する様々な学術的知見と実験結果を比較することにより、建築設備で用いられる放熱器の設計法と放熱器放熱特性について明らかにする。

### (b) 放熱器のモデル化

上記の測定で得られたデータより放熱器のモデル化を行う。コンピュータシミュレーション (熱流体解析)に関する既往研究では、複雑な形状であるアネモスタット型などの空調吹出口について BOX 法や P.V.法などの仮想ボックスによるモデル化法が開発されている。このモデル化

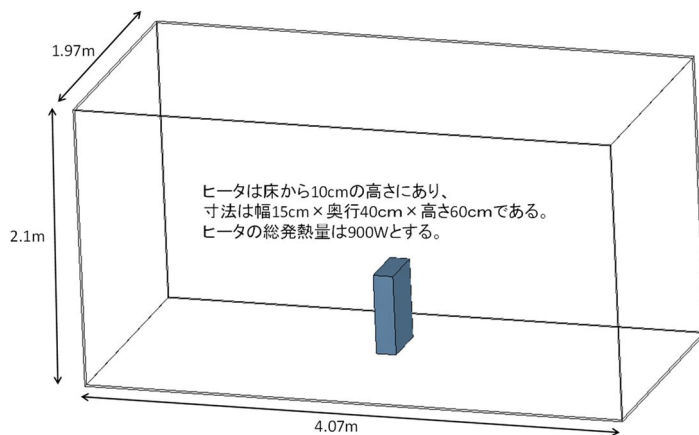
法は空調吹出口よりも大きな仮想ボックスを設定し仮想ボックス境界面に風速や運動エネルギーを与えて複雑な形状を入れることなく室内気流解析を可能にしている。本研究では仮想ボックス法を参考に、放熱器周りに適切な大きさの仮想ボックスを設定し、ボックス境界面に実験で得られた熱収支（放射・対流）と気流速を与える放熱器のモデル化について検討する。

#### 4. 研究成果

##### (a) 放熱器周りの熱・気流性状の解析

研究開始当初の計画では、実測に基づく放熱器周りの気流・温度測定を行う予定であったが、コロナ禍の影響で当初予定していた実測が困難になり、放熱器周りを気流・温度分布に関する数値流体解析を先行して実施した。ベクトル放射計を開発も数値流体解析で検討している。

図1に床置き放熱器の気流解析の対象を示す。4.07m×2.1m×1.97mの室内中央部に家庭用900W（8畳用）のオイルヒータ相当の発熱源を設置し、ヒータ形状を表1に示すように変化させて、室内の自然対流場を解析する。



気流解析は利用可能な人工気象室の寸法にしている。周辺は150mmであり、室内側に1cm厚さの板を設置した場合の対流・放射連成シミュレーション(ソフトウェアクレイドル scFlow で解析)をおこなっている。

図1 気流解析の解析対象

表1 解析ケース

計算ケース	ヒータ分割数	1ブロック寸法(cm)	総発熱量
Case1	1ブロック	15×40×60	900W
Case2	3ブロック	15×6×60	900W
Case3	5ブロック	15×4×60	900W
Case4	7ブロック	15×2.5×60	900W
Case5	10ブロック	15×2×60	900W
Case6	60ブロック	15×2×6	900W

- 3～10ブロックは板状のブロックを所定の数と並べる。全体の寸法は1ブロックと同じ。
- 60ブロックは10ブロックと同様の間隔で水平方向にブロックを並べ、6段積んだもの。全体の寸法は1ブロックと同じにしている。

気流解析結果の一例を示す。図2はヒータ上部30cm高さ（床上1m高さ）のスカラ風速を示す。計算ケースによって若干のスカラ風速の値が異なるが、ヒータ中心からの距離0のスカラ風速は最小が0.366m/s、最大が0.396m/s、平均0.383m/s、標準偏差0.0113m/sであり、計算ケースの違いは少ない。図3はヒータ上部中央部からの鉛直方向のスカラ風速分布

を示す。ヒータ上部の自然対流による気流は  $0.3 \sim 0.4 \text{ m/s}$  の範囲に入り、天井面（図では  $1.4 \text{ m}$  が天井面になる）付近は天井の影響により風速が低下する。計算ケースによる違いは少なく、ブロック分割の系統的な違いは見られない。図4はヒータ側面から  $70 \text{ cm}$  離れた位置の鉛直方向の温度分布を示す。天井付近は計算ケースにより温度に違いがある。10ブロック、60ブロック、7ブロック、3ブロック、5ブロック、1ブロックの順に天井付近の温度が高い。ブロック分割数が多いと天井付近の温度が高い理由は、本研究では各計算ケースの合計発熱量は  $900 \text{ W}$  としているため、分割数が多いと表面温度が高くなる傾向があり、放射熱伝達による影響が生じているものと推察される。

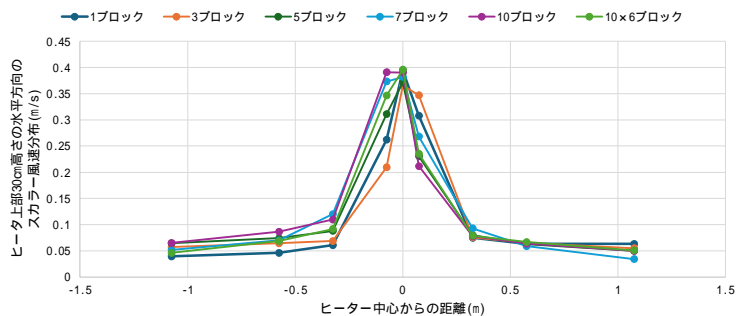


図2 ヒータ上部 30cm 高さの水平方向のスカラ風速分布

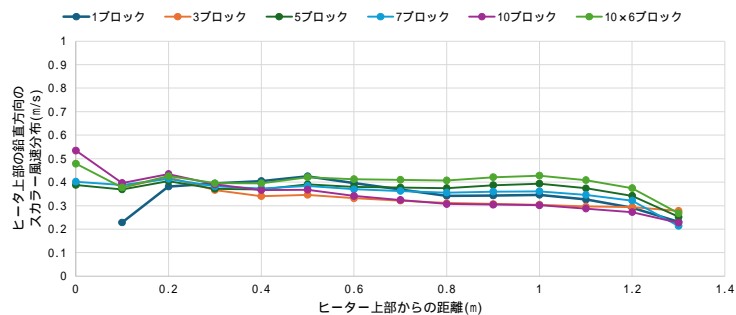


図3 ヒータ上部の鉛直方向のスカラ風速分布

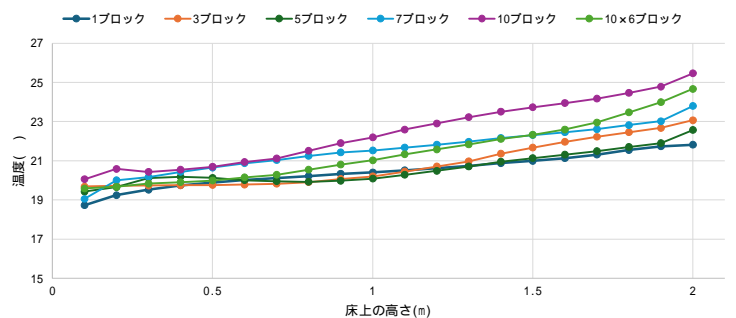
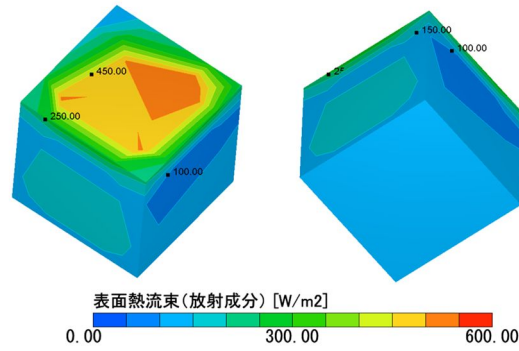


図4 ヒータ上部の鉛直方向の温度分布

### (b)ベクトル放射温度計

ベクトル放射温度計の開発を行うため、基本性能を確認するためにコンピュータ熱・気流解析を行う。ベクトル放射計は  $2 \text{ cm}$  角の立方体とし、押出発砲ポリスチレンフォームの表面に輻射計を張り付け、6面の放射熱伝達量を測定する。熱・気流解析では上記で行った床置ヒータ周りの放射環境を対象に、 $2 \text{ cm}$ の押出発砲ポリスチレンフォームの表面温度、放射熱流束の解析を行う。対象空間の計算に先立ち、平行2平板内の様子を確認するため、解析を行った。解析結果を図5に示す。ベクトル放射温度計の表面の放射率を変化させると、放射率  $= 1.0$  では上部は上部の平板の表面温度が  $100$  であるため  $450 \sim 500 \text{ W/m}^2$  の放射熱流束になり、温度が高い面に向いている表面の放射熱流束が高くなる。

平行2平板中のベクトル放射計の表面熱流束  
 (平板の表面及びベクトル放射計の表面の放射率  $\epsilon=1.0$ )



(2) 平板の放射率  $\epsilon = 0.9$  とし、ベクトル放射温度計の放射率  $\epsilon = 1.0$  とした場合

図5 平行2平板内のベクトル放射温度計の解析結果

同じ解析方法を用いて、1節で行ったヒータが設置されている空間の放射環境を分析する。図6はCase5のヒータ10分割の場合のベクトル放射温度計表面の放射熱流束を示す。図中の小さな点はベクトル放射温度計(2cmの立方体)である。図からは詳細を確認できないが、ベクトル放射温度計の位置による違いはみられるが、各ベクトル放射温度計の6面の放射熱流束をみるとヒータに向かっている面とそれ以外の面の違いが少ない。ヒータ以外の室内空間の壁・床・天井面からの放射も計算しているため、壁・床・天井からの影響により6面間の違いが少なくなったためと考えられる。このため、ベクトル放射温度計を用いた複雑形状の放射パネルのモデル化は困難であることが確認できた。

ヒータからの熱伝導は放射と対流に分かれる。近年の熱数値流体解析ソフトでは複雑な形状の放射熱伝達を解析することが容易になってきている。複雑形状の放熱器は対流場は従来のPV法、BOX法による手法でモデル化は可能であるが、放射場はヒータのみならず、室内の壁・床・天井からの放射計算も必要であり、ヒータ表面温度は壁面等の影響により決定されるものであるため、安易なモデル化は計算精度に与える影響が生じる。このため、研究の当初の予定とは異なる結果になるが、建築設備の設計では放熱器のモデル化は行わずに、CAD等で形状を再現して放射計算を行った方が無難であることが明らかになった。

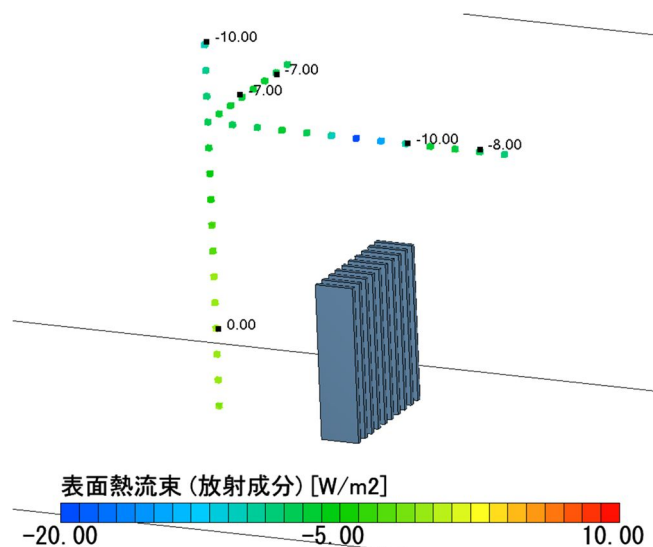


図6 放熱器周りにベクトル放射温度計の上下・水平方向の分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------