

ふく射冷房パネルの流動可視化と熱交換量に関する研究

村田 顕彦*1 山本 圭一朗*1 大内 崇史*1 岩寄 亨*2

Study on flow visualization and heat exchange rate of radiant cooling panels

Akihiko Murata, Keiichiro Yamamoto, Takafumi Ouchi and Toru Iwasaki

体育館など大型施設の室内空間を、ふく射と自然対流により温調する冷房パネルの設置が進んでいる。従来の冷房パネルよりも熱交換性能を向上させるために、CAEを活用した最適形状探索のニーズがあるが、CAEによる性能予測の妥当性を検証するためには、パネル周りの複雑な流れを可視化し、流動現象を把握する必要がある。そこで、当所に導入されている熱流体可視化システムを用いて、パネル周りに形成される流れを対象に粒子画像流速測定を実施し、CAEを用いた解析結果が、可視化実験の結果とおおよそ一致していることを確認した。また、CAEを用いてふく射冷房パネルを簡略化した鉛直平板を用いて、平板の全長を変化させた際の熱交換量の変化を調査した。

1 はじめに

体育館など大型施設向けに、ふく射冷房パネルの設置が進んでいる。通常のエアコンは、ファンによって強制的な対流を起こし、温度を調整する方式である。一方、ふく射冷房パネルは、ファンを使わず、ふく射と自然対流で温調する方式である。このため、ふく射冷房パネルには、ホコリ、ウイルスなどの飛散が生じにくい、バドミントンなどの風が問題になる競技に影響を与えないなどのメリットがある。

従来のふく射冷房パネルよりも熱交換性能を向上させるために、CAEを活用した最適形状探索のニーズがあるが、解析結果の妥当性を確認するためには計測を行う必要がある。当所では、これまで、機械装置の周囲又は内部に形成される流れ場を、レーザー光源及びカメラを用いた粒子画像流速測定（PIV：Particle Image Velocimetry）により、可視化する熱流体可視化システムを用いた研究を実施してきた¹⁾。

本研究では、上記システムを用いて、パネル周りに形成される流れにPIVを実施し、可視化実験結果とCAEを用いた解析結果を比較評価した。また、ふく射冷房パネルを実際に設置する際の、効果的な配置を検討するために、ふく射冷房パネルを簡略化した鉛直平板を用いて、平板の全長を変化させた際の熱交換量の変化を調査した。

2 実験、解析方法

2-1 ふく射冷房パネルの可視化実験と解析による検証

本研究で測定対象としたふく射冷房パネルを図1に、可視化実験の模式図を図2に示す。

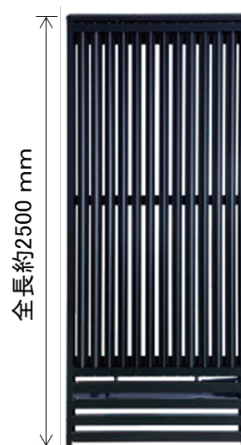


図1 ふく射冷房パネル（測定対象）

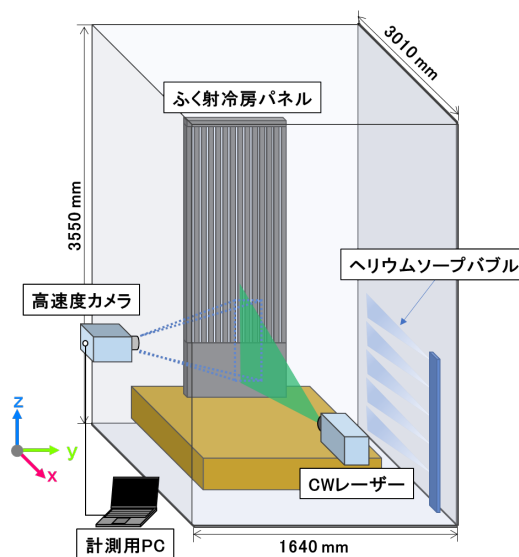


図2 可視化実験の模式図

*1 機械電子研究所

*2 株式会社エース・ウォーター

まず、暗幕で覆った可視化用の実験室内（幅：1640 mm，奥行き：3010 mm，高さ：3550 mm）にトレーサーを流量8 mL/hでおおよそ5分間充填した。その後、ふく射冷房パネル前面から、CWレーザー（DPSS532-3W-CW）によってレーザーシートをパネルに対して垂直に照射し、可視化した気流を、パネルの側面から高速度カメラ（フォトロン社製：FASTCAM Nova S6）を用いて、撮影速度1000 Hzで1000枚（1秒間）撮影した。本測定では、トレーサーとしてヘリウムソーブバブル発生装置（LaVision社製）を用いて、複数のノズルから約300 μmのシャボン玉²⁾を発生させた。可視化ソフトウェアとしてはDaVis10（LaVision社）を使用した。なお、実験時の室温は21℃，冷却水温度は9℃であった。

上記の可視化実験との比較用解析モデルと解析範囲を図3に示す。ふく射冷房パネルは図1のように垂直な吸熱管とフィン等を等間隔で並べた構造であるため、隣り合う吸熱管の中央で対称になると仮定して、本解析では、図3の右側に示すとおり、吸熱部1枚の半分を解析対象とした。解析範囲の横幅は、隣り合う吸熱管の中心間距離の半分である40 mmとし、高さは3550 mm，奥行きは3010 mmとした。乱流モデルにはAKN線形低レイノルズ数k-εモデルを使用した。境界条件は床面と背面を断熱面，解析領域の上面と前面は流体の出入りは無しの等温面（21℃），側面は対称面，ドレン部と台座は計算領域外とし，その表面は断熱面，ふく射境界条件はふく射率0.9とし，パネルの配管内部には温度9℃，管内熱伝達係数5000 W/(m²・K)を与えた。解析ソフトウェアにはscFLOW（ソフトウェアクレイドル社）を使用した。

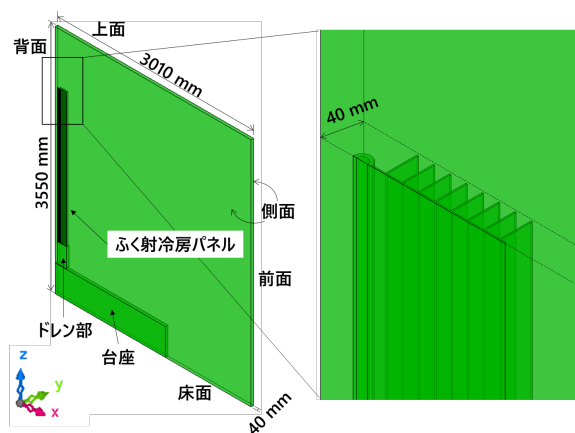


図3 ふく射冷房パネルの解析モデルと解析範囲

2-2 鉛直平板の全長と熱交換量の関係

本解析では、全長の影響を単純化して評価するために、ふく射冷房パネルの代わりに薄く長い鉛直平板を用いた。解析モデルと解析範囲を図4に示す。境界条件は床面と背面を断熱面，解析領域の上面と前面は、体育館のような広い空間に設置した場合を想定するために、空気（21℃）の出入りがある状態とし，平板表面は温度9℃で固定した。平板底面と床面の距離を400 mmに固定した状態で，全長を200 mm～2000 mmの間で200 mmずつ変化させ，2次元解析を実施した。その他の条件は，2-1の条件と同様である。

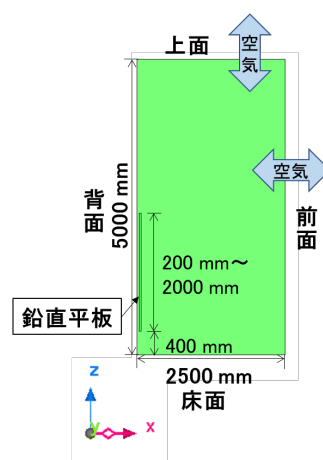


図4 鉛直平板の解析モデルと解析範囲

3 結果と考察

3-1 ふく射冷房パネルの可視化実験と解析による検証

ふく射冷房パネル前方周りの空気の流れのPIV結果を図5に，scFLOWの解析結果を図6に示す。それぞれ速度コンターとベクトルを示している。

PIVと解析ともに，パネルによって冷却された空気は，パネル上方から下方前面に流れており，流速もおおよそ一致していることを確認できた。

3-2 鉛直平板の全長と熱交換量の関係

鉛直平板の全長を変化させて解析した熱交換量の結果を図7に，単位長さ当たりの熱交換量を図8に示す。全長を長くするほど，熱交換量は増加するが，単位長さ当たりの熱交換量は減少していた。上部と比較し，下部では流速が速いため，局所熱伝達率は大きくなるが，それ以上に，平板と空気の温度差が縮小していることの影響が大きく，結果として局所熱流束が低下する。そのため，全長を長くしても熱交換量がそれほど増えず，単位長さ当たりの熱交換量が減少していると

考えられる。

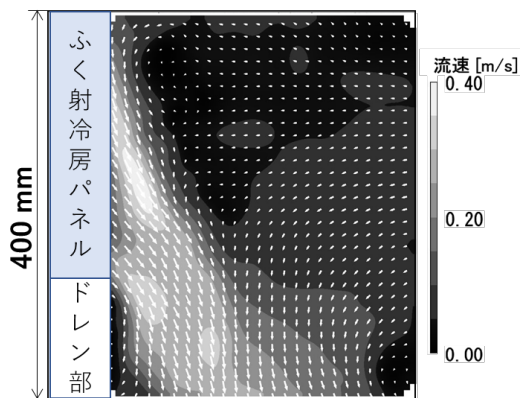


図5 PIV結果（速度コンターとベクトル，1秒間平均）

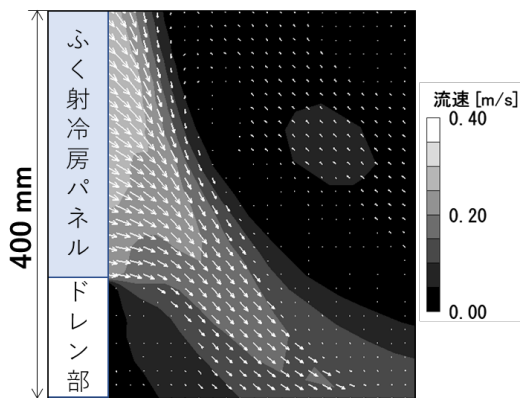


図6 scFLOW解析結果（速度コンターとベクトル，定常解析）

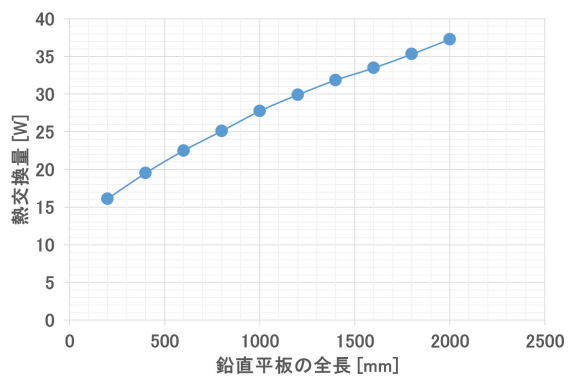


図7 鉛直平板の全長と熱交換量の関係

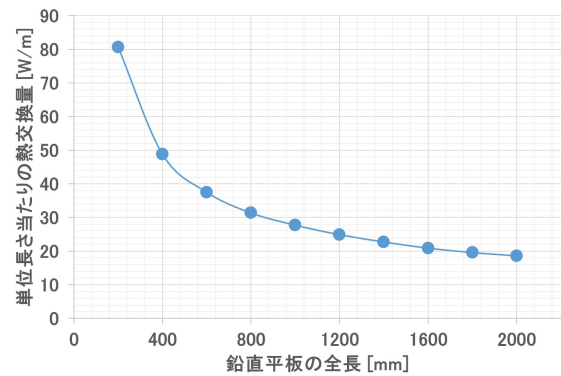


図8 単位長さ当たりの熱交換量の変化

4 まとめ

ふく射冷房パネル周りの流れについて、熱流体可視化システムを用いて可視化し、PIVによって速度の空間分布を得ることができた。また、CAEを用いた解析結果が可視化実験結果とおおよそ一致していることを確認した。さらに、CAEを用いてふく射冷房パネルを簡略化した鉛直平板を用いて、平板の全長を変化させた際の熱交換量の変化を調査した。これらの結果は、ふく射冷房パネルを体育館などに設置する際の、効果的な配置の検討に活用していく。

5 謝辞

本研究は、R1年度(公財)JKA補助物品熱流体可視化システムを用いて行った。

6 参考文献

- 1) 村田顕彦：福岡県工業技術センター研究報告，No. 32，pp. 49-50(2022)
- 2) 一般社団法人可視化情報学会：PIVハンドブック（第2版），pp. 451（2018）