

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04582

研究課題名(和文) マルチ×(スケール:レーザー:カメラ)・スマートPIVの開発

研究課題名(英文) Development of multi-scale, laser, camera and smart PIV system

研究代表者

赤林 伸一 (Akabayashi, Shin-ichi)

新潟大学・自然科学系・学系フェロー

研究者番号：70192458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず5,000[mm](幅)×2,200[mm](高さ)×3,000[mm](奥行き)の実大室内空間を模擬したチャンバーを対象に家庭用エアコンの送風運転及び暖冷房運転を対象に大規模PIV測定方法の構築を行った。更に天井カセット型エアコン2台が設置された実際の大学教室(9,130[mm](幅)×3,000[mm](高さ)×6,720[mm](奥行き))を対象に構築した測定手法を適用し、実際の室内空間への応用について検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、様々な室内空間スケールを対象に、10m規模の範囲において空気流動構造を空間的・時間的に連続かつ定量的に測定可能とするマルチ×(スケール:レーザー:カメラ)・PIVの開発を行った。本研究の成果は大規模実空間の詳細な実測データが得られることで、効率的な換気・空調計画の基礎的データとなることのみならず、室内の熱的・空気質的快適性の向上及び空調用エネルギーの新たな省エネ手法の開発及び感染症対策の基礎資料となる実空間の空気流動構造の解明に対して貢献できる点において極めて大きな学術的発展として意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we first developed a large-scale PIV measurement method for airflow and heating/cooling operation of a home air conditioner in a chamber that simulates a full-scale indoor space of 5,000[mm] (width) x 2,200[mm] (height) x 3,000[mm] (depth). Furthermore, we applied the developed measurement method to an actual university classroom (9,130 [mm](width) x 3,000[mm](height) x 6,720[mm](depth)) in which two ceiling cassette type air conditioners were installed, and investigated the applicability of the method to actual indoor spaces.

研究分野：建築環境工学

キーワード：PIV 流れの可視化 実大室内空間 マルチカメラ マルチレーザー 空調気流

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国で災害時に開設される指定避難所は全国で約 48,000 カ所(参考文献[1])となっており、多くは学校の教室や体育館、コミュニティセンターのホールなどが一時的に避難所として使用される。このような大空間では間仕切り等で区画することによりプライバシーに配慮した個別の空間が構成される場合が多い。非常時において不特定多数の人員が密集して存在する空間では、効率的な空調や感染症対策が極めて重要であり、給排気口の位置や数の検討、飛沫・空気(エアロゾル)感染のコントロールが必要である。ウィルスや細菌を含んだ飛沫や飛沫核は、数十 μ m以下の粒径の場合、空気中で気流に追従しながら長時間浮遊することが明らかとなっている。感染対策や高効率空調の検討のためには実空間における空気流動構造の把握が重要となる。しかし、このような大規模な実大空間において気流速度情報を詳細に測定し、空気流動構造を明らかとした例は皆無である。

空気流動構造の把握は温熱空気環境の改善や快適性、省エネルギー化に寄与するためのみならず、飛沫・空気感染が生じる可能性のある感染症の予防にも影響を与えられ考えられるため、実空間における気流速度分布の知見の蓄積、設計時との比較による検証は極めて重要であると考えられる。

PIV(Particle Image Velocimetry、粒子画像流速測定法)は、空気や水などの流体中に流れに追従する粒子(トレーサ: オイルミスト等)を混入させ、連続撮影した画像を対象に粒子の微小時間 dt における移動距離 dx を解析し、速度ベクトル dx/dt を特定する方法である。

2. 研究の目的

本研究では 10m 規模の範囲において空気流動構造を空間的・時間的に連続かつ定量的に測定可能とするマルチ \times (スケール: レーザ: カメラ)・PIV の開発を行う。本研究の成果は大規模実空間の詳細な実測データが得られることで、効率的な換気・空調計画の基礎的データとなることのみならず、室内の熱的・空気質的快適性の向上及び空調用エネルギーの新たな省エネ手法の開発及び感染症対策の基礎資料となる実空間の空気流動構造の解明に対して貢献できる点において極めて大きな学術的発展として意義がある。

本研究ではまず 5,000[mm](幅) \times 2,200[mm](高さ) \times 3,000[mm](奥行き)の実大室内空間を模擬したチャンバーを対象に家庭用エアコンの送風運転及び暖冷房運転を対象に大規模 PIV 測定方法の構築を行う(実験)。次に天井カセット型エアコン 2 台が設置された実際の大学教室(9,000[mm](幅) \times 3,000[mm](高さ) \times 6,700[mm](奥行き))を対象に構築した方法を用いて測定を行う(実験)。

3. 研究の方法

3.1 実大室内空間チャンバーにおいて家庭用エアコン運転時を対象とした検討(実験)

(a) 実験条件

図 1 に測定対象空間と機器の概要を示す。測定対象は 5,000[mm](幅) \times 2,200[mm](高さ) \times 3,000[mm](奥行き)の実大室内空間を模擬したチャンバーとする。1つの壁面は撮影の為に透明なアクリル板で作成されている。チャンバー右壁面上部に家庭用エアコンが設置されている。実験条件は、case1 では家庭用エアコンによる送風、case2 では暖房、case3 では冷房運転を行う。

(b) 実験概要

表 1 に測定機器の仕様を示す。PIV 測定対象断面は y 方向の室中央とし、レーザ 10 台(3 [W] \times 2、2 [W] \times 7、1 [W] \times 1)とスモークジェネレータを用いる。カメラは 9 台使用し、5 台のカメラ A は測定対象断面を 5 分割するように配置、カメラ B はエアコン吹出部分、室の隅角部を詳細に撮影するため接近して配置する。PIV 解析には Flowexpert ver.1.2.13 を使用する。

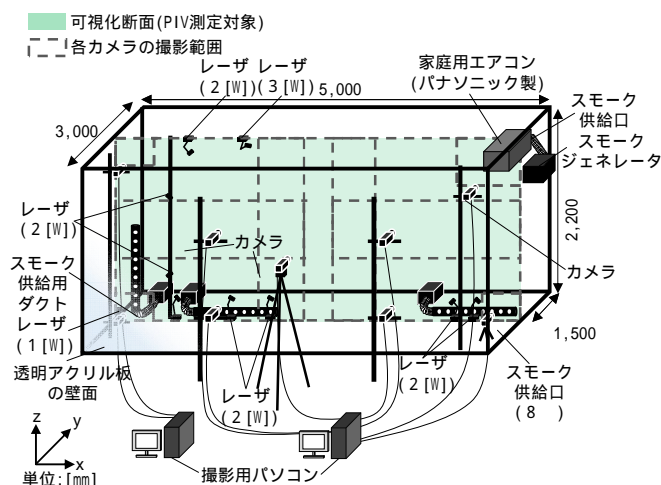


図 1 測定対象空間と機器の概要(実験)

図2に可視化断面に対するカメラ配置とPIV解析結果の合成方法を示す。各カメラの撮影範囲には重複する領域が存在する。PIV解析により算出された風速成分を重複する領域では、まずカメラAの各測定点で平均して合成を行う。カメラBの撮影範囲ではカメラBのPIV解析結果を使用する。

PIV測定と同時に温度分布の測定を行う。温度測定にはT型熱電対とデータロガーを用いる。熱電対は測定対象断面全体に計51箇所設置する。また、エアコン吹出口、吸込口にもそれぞれ1箇所設置する。

3.2 教室を対象とした暖房時の空調気流性状の実測(実験)

(a) 実験条件

図3に測定対象空間と機器の概要を示す。測定対象は9,130[mm](幅)×3,000[mm](高さ)×6,720[mm](奥行)の新潟大学工学部棟の教室とする。実測時の外気温は5~9[]程度である。教室には天井カセット型エアコンが2台設置されており、暖房運転(設定温度30[]、风量:弱)とし、caseAは風向0、caseBは風向2、caseCは風向4、caseDはスイング運転(風向0~4)とする。天井カセット型エアコンのスイング運転は風向0~4の風向角(水平面から下向き19[]~53[])を約10秒で一往復する。

(b) 実験概要

表2に測定機器の仕様を示す。PIV測定対象断面はy=3,520[mm]とする。気流の可視化では連続光レーザ10台(3[W]×2、2[W]×7、1[W]×1)、スモークジェネレータをエアコン吸込口に1台ずつ、スモークジェネレータを床面に4台設置する。スモークジェネレータにはスモーク供給用ダクトを接続し、シーディングを行う。カメラは計10台を使用し、カメラA(125[fps])は測定対象断面を6分割するように6台配置、カメラB(375[fps])はエアコン吹出気流を詳細に撮影するため接近して各吹出口に1台ずつ計4台配置する。撮影時間は10秒間とする。PIV測定と同時に室内空気温度の測定を行う。温度測定にはT型熱電対とデータロガーを用いる。熱電対は各エアコンの吹出口と吸込口に2箇所ずつ、測定対象空間左側、中央、右側において鉛直方向に5箇所ずつ設置し、床面からの高さはそれぞれz=500、1,000、1,500、2,000、2,500[mm]とする(図3)。

図4に可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法を示す。各カメラの撮影範囲には重複する領域が存在する。まずカメラAの重複する領域ではPIV解析結果を各測定点で平均して合成を行う。その後、カメラBの撮影範囲ではカメラBのPIV解析結果を使用する。

4. 研究成果

4.1 実大室内空間チャンバーにおいて家庭用エアコン運転時を対象とした検討(実験)

図5に冷暖房時における平均風速ベクトル分布及び温度分布を示す。

(a) case2(冷房、吸込温度:27.3[]、吹出温度:14.0[])

エアコン吹出部分の中心で風速約1.5[m/s]、約14[]の吹出気流はチャンバー中央付近で下

表1 測定機器の仕様(実験)

カメラ	カメラA	工業用カメラ (1,920[pixel]×1,200[pixel]、125[fps])
	カメラB	工業用カメラ (720[pixel]×540[pixel]、375[fps])
レーザ	LD励起:	出力: 3[W] DPGL-3W×2台
	YAG/YVO ₄ レーザ	出力: 2[W] DPGL-2W×7台
	波長: 532[nm]	出力: 1[W] G1000×1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 Officek 400W FOG MACHINE	
解析ツール	FlowExpert ver1.2.13	

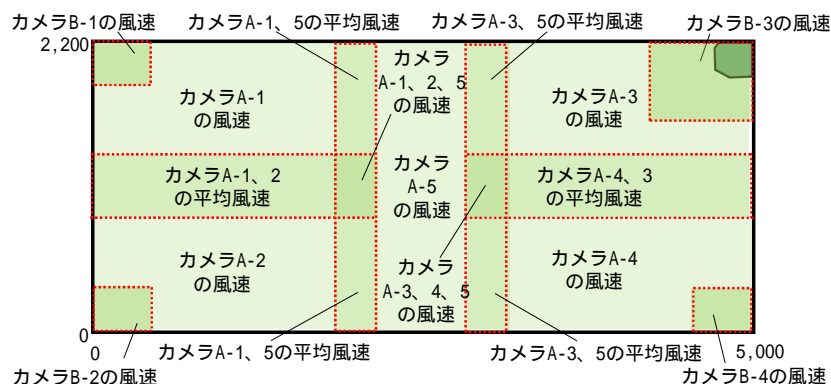


図2 可視化断面に対するカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験)

降気流となり、風速約 0.5[m/s]、約 22[]で床面に到達する。到達した気流は床面で左右に分かれ、それぞれ吹出気流に引き込まれるような循環流を形成する。

(b) case3(暖房、吸込温度:31.9[]、吹出温度:49.7[])

エアコン吹出部分の中心で風速約 2.0[m/s]、約 50[]の吹出気流はチャンバー中央付近で上昇する傾向があり、風速約 0.3[m/s]、約 32[]でチャンバー左上隅角部に到達する。到達した気流は壁面を沿い、床面に向かう循環流を形成する。

4.2 教室を対象とした暖房時の空調気流性状の実測(実験)

図6に代表的な case における平均風速ベクトル分布と室中央の鉛直方向温度分布を示す。温度分布は代表として室中央の測定結果を示す。

(a)caseB(風向2)、吹出温度 45.4[]、吸込温度 29.4[]

エアコン吹出部分の中心で風速 1.2~2.0[m/s]となる。測定対象空間中央付近において2つのエアコンの吹出気流が衝突することによって、風速約 0.4[m/s]で天井に向かう気流と風速約 0.7[m/s]で左下に流れる気流が生じる。左右の壁面に向かうエアコン吹出気流は約 0.9[m/s]で壁面に衝突し、測定対象空間上部の隅角部で渦が形成される。エアコンの吹出気流は床面付近にほとんど到達しない。鉛直方向温度分布では、室上部と室下部では約 8[]の温度差が生じる。

(b)caseC(風向4)、吹出温度 44.2[]、吸込温度 26.0[]

エアコン吹出部分の中心で風速 1.0~2.0[m/s]となる。測定対象空間中央で衝突した2つの吹出気流は、風速約 0.7[m/s]で左側に流れて床面付近に到達する。エアコンから左右の壁面に向かう吹出気流は、風速 0.4~0.8[m/s]で壁面に衝突し室下部の隅角部で吹出気流に引き込まれる循環流を形成する。エアコン下部では、床面付近からエアコン吸込口に向かって引き込まれる気流が生じる。鉛直方向温度分布では、室全体で温度は約 26~28[]とほぼ均一となる。

本研究で構築したマルチレーザー・カメラ・PIV手法により10m程度の実大室内空間の空気流動構造の把握が可能となったと考えられる。

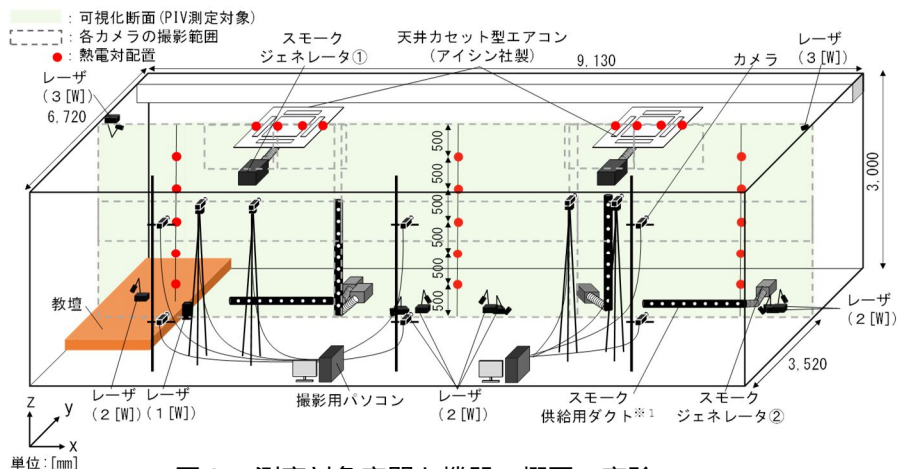


図3 測定対象空間と機器の概要(実験)

表2 測定機器の仕様(実験)

カメラ	カメラA	工業用カメラ×6台 (1,920[pixel]×1,200[pixel], 125[fps])
	カメラB	工業用カメラ×4台 (720[pixel]×540[pixel], 375[fps])
レーザー	LD励起: YAG/YVO ₄ レーザー 波長: 532[nm]	出力: 3[W] DPGL-3W×2台 出力: 2[W] DPGL-2W×7台 出力: 1[W] G1000×1台
	スモークジェネレータ	スモークジェネレータ Antari FOG MACHINE Z-1200 ×2台
		スモークジェネレータ Officek 400W FOG MACHINE×4台
解析ツール	FlowExpert ver.1.2.13	

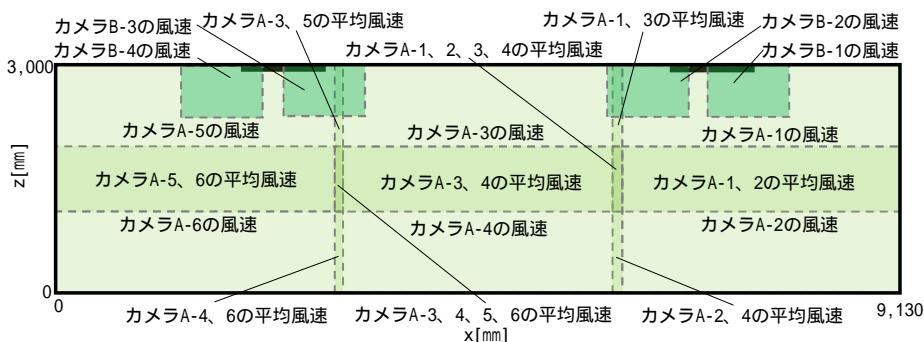
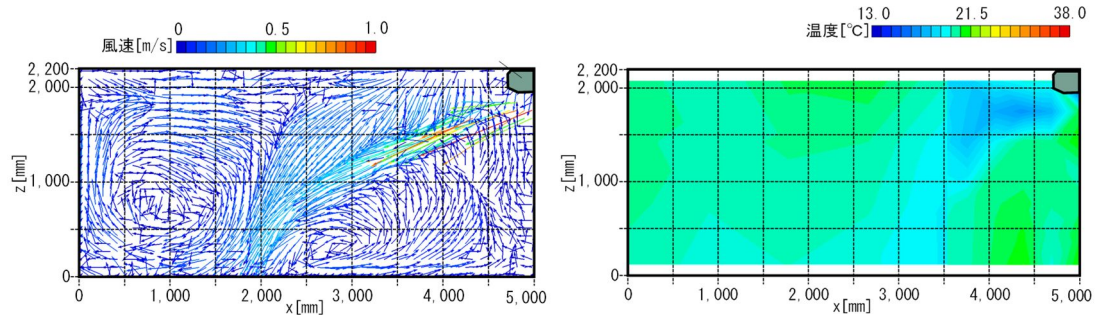


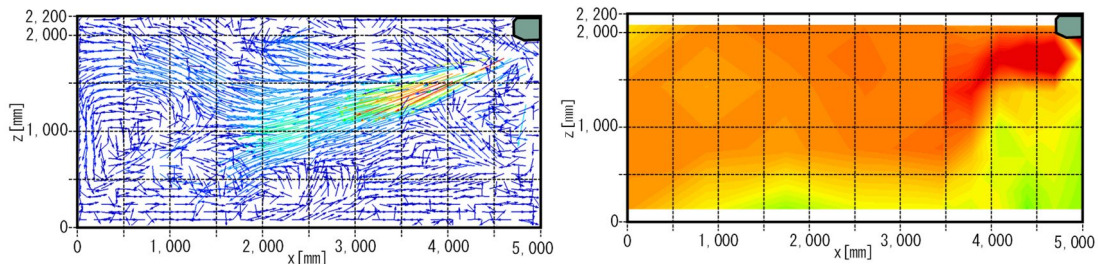
図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験)

参考文献

[1] 内閣府(防災担当):「避難所の運営等に関する実態調査(市区町村アンケート調査)調査報告書」、平成27年3月

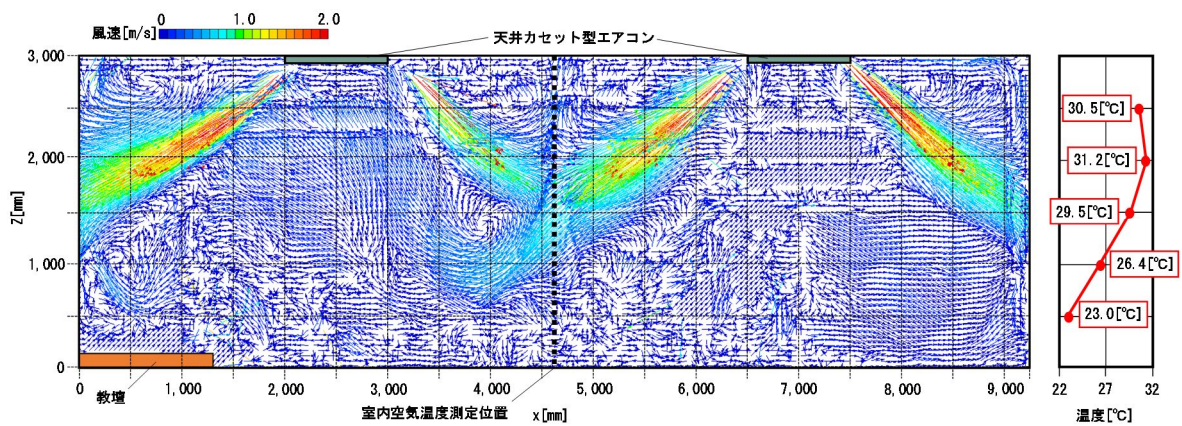


(a) case2(冷房、吸込温度:27.3[]、吹出温度:14.0[])

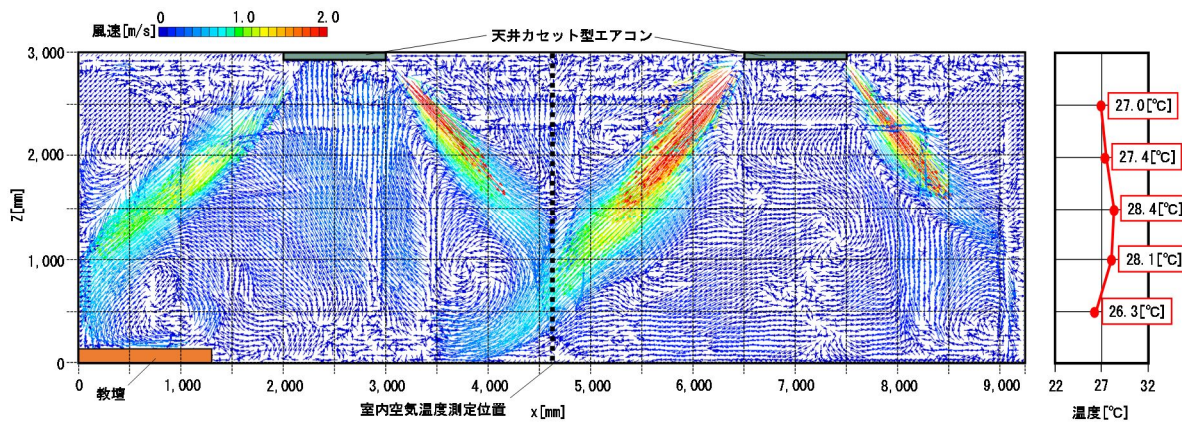


(b) case3(暖房、吸込温度:31.9[]、吹出温度:49.7[])

図5 冷暖房時における平均風速ベクトル及び温度分布(実験)



(a) caseB(風向2)、吹出温度45.4[]、吸込温度29.4[]



(b)caseC(風向4)、吹出温度44.2[]、吸込温度26.0[]

図6 代表的な case における平均風速ベクトル分布と室中央の鉛直方向温度分布(実験)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 実大室内空間を対象としたPIV測定法に関する研究 その8 教室を対象としたPIVによる暖房時の空調気流性状の実測
2. 発表標題 落合駆、赤林伸一、有波裕貴、伊藤瑞己、HU JIAMING
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 実大室内空間を対象としたPIV測定法に関する研究 その9 開口上部に設置されたエアカーテン稼働時の気流性状のPIV測定
2. 発表標題 伊藤瑞己、赤林伸一、有波裕貴、落合駆、HU JIAMING
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 実大室内空間を対象としたPIV解析に関する研究 その10 家庭用エアコンを対象とした等温時の室内気流性状のPIV測定とCFD解析
2. 発表標題 有波裕貴、赤林伸一、落合駆、伊藤瑞己、HU JIAMING
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 赤林伸一、有波裕貴、HU JIAMING
2. 発表標題 マルチカメラ・レーザーを用いたPIV測定・解析に関する研究 その3 大学の教室及び実大チャンバー空間における気流性状のPIV測定
3. 学会等名 2023年度空気調和衛生工学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 井上翔太、赤林伸一、有波裕貴、張欽、王函、HU JIAMING
2. 発表標題 室内実大空間を対象としたPIV解析に関する研究 その5 家庭用エアコンを対象とした冷暖房の空調気流性状のPIV測定
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 張欽、赤林伸一、有波裕貴、井上翔太、王函、HU JIAMING
2. 発表標題 実大室内空間を対象としたPIV解析に関する研究 その6 等温時における人体周辺気流のマルチスケールPIV測定
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 有波裕貴、赤林伸一、井上翔太、張欽、王函、HU JIAMING
2. 発表標題 室内実大空間を対象としたPIV解析に関する研究 その7 教室を対象としたPIVによる等温時の空調気流性状の実測
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 赤林伸一、有波裕貴
2. 発表標題 マルチカメラ・レーザーを用いたPIV測定・解析に関する研究 その2 実大室内空間を対象とした冷暖房時及び在室者周辺気流の解析
3. 学会等名 2023年度空気調和衛生工学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本多丈逸、赤林伸一、有波裕貴、王函
2. 発表標題 実大室内空間を対象としたPIV解析に関する研究 その4 マルチレーザ・マルチカメラによるPIV解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤林伸一、有波裕貴
2. 発表標題 マルチカメラ・レーザーを用いたPIV測定・解析に関する研究 その1 実大室内空間を対象としたPIV測定法に関する基礎的検討
3. 学会等名 空気調和衛生工学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>実大室内空間を対象としたPIV測定に関する基礎的研究 その4 可視化動画・PIV解析動画集 https://www.youtube.com/watch?v=VHJmEQ7zEMQ</p>

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
研究分担者	有波 裕貴 (ARINAMI Yuki) (30768867)	新潟大学・自然科学系・助教 (13101)	

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
---------	---------