

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 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21760449
 研究課題名（和文）
 学校教室における児童の健康・快適性に配慮したシーリングファン利用空調の設計
 研究課題名（英文）
 Design of Air-conditioning System using Ceiling Fan in Consideration of Children's Health and Comfortable in Classroom
 研究代表者
 桃井 良尚 (MOMOI YOSHIHISA)
 大阪大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：40506870

研究成果の概要（和文）：

本研究では、実際にシーリングファンを設置した教室において実測および被験者実験を行い、シーリングファンの効果について実証的な検討を行った。また、人工気候室において長時間暴露時の主観評価及び皮膚温評価の経時変化についての測定を行い、シーリングファンのような上方気流暴露時の温冷感、快適感の評価についての知見を得た。さらに CFD 解析によりシーリングファンの台数と位置をパラメータとしたケーススタディを行い、シーリングファンが室内気流・温度分布に及ぼす影響について検討を行い、設計に寄与するデータを得た。

研究成果の概要（英文）：

In this study, survey and a subject experiment were conducted in the classroom in which the ceiling fan was installed, and examination for effect of a ceiling fan on indoor air velocity and temperature distribution was performed. Then, in the climate chamber, the measurement for the time variation of the subjectivity evaluation and skin temperature was performed at the long time exposure of downward airflow like a ceiling fan. The evaluation of thermal sensation and thermal comfort was acquired. Furthermore, CFD analysis as a parameter of the unit number and the position of the ceiling fan was conducted. The influence of the ceiling fan on indoor airflow and temperature distribution was investigated, and gained the data contributed to a design of air-conditioning system using ceiling fans.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

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：学校，シーリングファン，エアコン，省エネルギー，気流感

1. 研究開始当初の背景

東京や大阪の学校では、暑さによる学習効率の低下を防ぐためにエアコンの導入が進

みつつある。換気・冷暖房設備は、室内の空気・温熱環境と密接に関連しており、児童や教師の健康・温冷感・快適感に大きく影響し

ているとともに、全国の学校の床面積は膨大であることからエネルギー使用量の増加が懸念される。日本では、平成9年度から文部科学省の「環境を考慮した学校施設（エコスクール）の整備推進に関するパイロットモデル事業」が推進され、また平成17年度から環境省の学校エコ改修と環境教育事業」が実施されている。既往研究では、水出・石野らによる自然換気・シーリングファンを併用した空調換気システムの制御手法があるが、学校教室とは通風性状や室内発熱量、空調及び窓配置が異なり、そのまま適用することが困難であることや、在室者が大人であることから温冷感・快適感評価が異なると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、学校教室を対象として、児童の温冷感・快適感・学習効果へ及ぼす影響を考慮したシーリングファン（以降、CFと記す）と自然通風とエアコン（以降、ACと記す）の併用制御技術の開発を最終的に目指すものであり、CFD解析により実設計を想定したシステムの最適化を行うものである。本研究の具体的な目的と明らかにする内容は、下記の通りである。

(1) 実空間での暖房時の室内温熱環境測定（関連学会発表⑦⑨⑩⑪⑫）

冬期暖房使用時の室内上下温度分布の解消を目的として学校教室においてACとCF併用時の温度分布を実測により把握し、シーリングファンの利用方法を検討する。

(2) 実空間での暖房時の被験者評価（関連学会発表⑦⑧⑩）

学校教室において被験者を用いたアンケート調査を行い各座席位置での冬期暖房時における温冷感、快適感の調査等を行う。また、CFの利用方法について提案を行う。

(3) 実空間での冷房時の室内温熱環境測定（関連学会発表③④⑥）

夏期冷房使用時において、気流により体感温度を下げることを目的としてACとCF併用時の温度分布を実測により把握し、シーリングファンの利用方法を検討する。

(4) 実空間での冷房時の被験者評価（関連学会発表③④⑥）

各座席位置での夏期冷房時における温冷感、快適感の調査等を行う。ACとCF併用時には、夏期の場合には気流が直接当たり不快感を生じないことを確認する必要がある。

(5) 人工気候室での被験者評価（関連学会発表①⑤）

実空間では周辺物理環境が制御できない

ため、人工気候室において、CF気流暴露時の主観評価実験及び皮膚温測定等を行った。

(6) CFD解析による室内空気の攪拌効果の基礎的検討（関連学会発表②）

CFの設置位置や設置台数をパラメータとしたCFD解析によるケーススタディを行いCFの最適設計指針を構築する。

3. 研究の方法

(1) 実空間での暖房時の室内温熱環境測定

7m×8m×2.7m(H)の教室（図1）に、直径1.1mのシーリングファンを4台と、部屋のほぼ中央に2方向吹出しのACを設置し、室内の床上730mmの水平面温湿度と計10箇所での床上100, 600, 1100, 1700, 2200, 2600mmの鉛直温度分布を測定した。室内気流風速については、風速計を用いて移動測定を行い、各測定位置（床上1100mm）において、測定間隔1秒で10秒間測定し、その平均値を用いて平面の風速分布を得た。実験条件は、ACの設定温度を24℃、吹出し方向は下向き、風量1,000 m³/(h・台)、シーリングファンの回転方向を逆回転（上向き）固定とし、シーリングファンは動かさずにACのみ運転する条件（Case1）とCFの回転数を90, 150, 200, 300rpmの4段階に設定する条件（それぞれCase2～5）の計5条件を行った。測定項目を表1に示す。

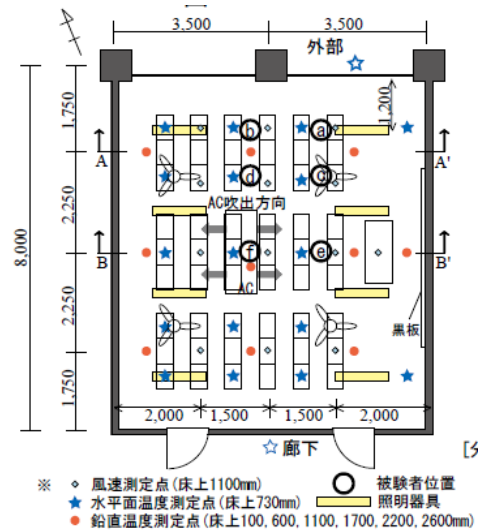


図1 実験対象教室の概要

表1 測定項目

測定項目	記号	測定機器	測定数
外気温度	☆	RTR-53, TR-72S (T&D)	1
廊下温度	☆	小型温湿度計	1
室内温度(居住域)	★	RS-10 (ESPEC)	17
室内温度(鉛直分布)	●	T型熱電対+データロガー MX100 (YOKOGAWA)	60
室内風速	◇	風速計 MODEL-6533 (KANOMAX)	13
グローブ温度	▲	グローブ球+小型温湿度計 RTR-53	2

(2) 実空間での暖房時の被験者評価

実験では、(1)と同様に行い、CFの回転数を弱・中・強（それぞれ約150・200・300rpmに相当）の3条件を設定し、CF回転数の差異

が及ぼす影響に着目して考察を行った。被験者は20代の大学生12名(男性8名, 女性4名)とし, 各条件につき6名の被験者を用いた。実験中は図1のa~fの位置に着座させ, 5分毎に移動(3分間暴露+評価2分)させながら, 表2に示す各座席位置で光のちらつきや騒音の程度, 温熱環境に関する項目として温冷感(体全体/上半身/下半身)や気流感等の評価をさせた。

表2 評価項目

光環境	ちらつきの程度	
音環境	騒音の程度	
温熱環境	気流	気流感
		気流の原因
		快適感
		受容度
		気流要求
熱	温冷感(全身/上半身/下半身)	
	放射感	
	快適感	
	受容度	
	熱的要求	

気流感	温冷感	快適感	受容度	要求
3 非常に感じる	3 暑い	3 非常に快適	1 受け入れられる	1 強く/高く
2 感じる	2 やや暖かい	2 快適	0 どちらかという	0 そのまま
1 やや感じる	1 やや暖かい	1 やや快適	0 どちらかという	
0 感じない	-1 やや涼しい	-1 やや不快	-0 どちらかという	
	-2 涼しい	-2 不快	-1 受け入れられない	
	-3 寒い	-3 非常に不快		

スケール例: 寒い ← 涼しい ← やや涼しい ← どちらでもない ← やや暖かい ← 暖かい ← 暑い

(3) 実空間での冷房時の室内温熱環境測定

測定は(1)同様に行った。ACの吹出し方向を水平, CFの回転方向を正回転(下向き)に固定し, AC設定温度を26・28℃の2条件, CFの回転数をなし, ソフト, 弱, 中(それぞれ80,130,170rpmに相当)の4条件, 計8条件を設定した。さらに人体発熱を想定して, 被験者の着座席以外の席に60Wのブラックランプを23個設置した。また, 実験終了後に被験者がいない状態で, 各座席位置での風速も同様に測定した。

(4) 実空間での冷房時の被験者評価

(2)と同じ室空間において, 被験者は20代の本学学生7名(男性2名, 女性5名)とした。実験手順は15分間着席させ, その間に各2回評価(7.5分間隔)させた。評価は, 気流感, 気流快適感, 気流の受容度, 気流の変化希望, 温冷感(体全体/上半身/下半身), 熱的快適感, 熱的受容度, 温度希望について申告させた。

(5) 人工気候室での被験者評価

実験は, 図2に示す人工環境室の室中央に直径1.1mのCFを1台設置し, CFの直下に, 座面高さ400mmの椅子を据え, 被験者を着座させた。気温28℃, 湿度50%に設定し, CFの風速は電圧調整器を用いてCFの回転数を調整し, 無風・微風・強風(順に0, 80, 170rpm)とゆらぎ(強風の回転数に調整した後ゆらぎモードに設定)の4条件を設定した。被験者は20代の本学学生4名(男女2名ずつ)とし, 全条件に参加させた。実験手順は, 被験

者を前室で設定着衣に着替えさせ, 実験室へ入室させた。入室後, 熱電対を装着し, 皮膚温が安定してから実験を開始した。被験者はCF直下の椅子に着席し, 所定の時刻に評価を行った。物理量として風速を無指向性風速計で, 鉛直温度分布, 壁面温度・床面温度熱電対で測定した。生理量は皮膚温, 体温, 血圧・心拍数を測定した。皮膚温はHardy&Duboisの7点法における各部位(額・腹・腕・手・大腿・下腿・足)と肩・背中計9点にT型熱電対をサージカルテープで直接貼り付けて測定した。体温は舌下温を婦人体温計にて測定し, 被験者自身が記録した。被験者には気流感, 温冷感, 快適感, 受容度, 変化希望を申告させた。

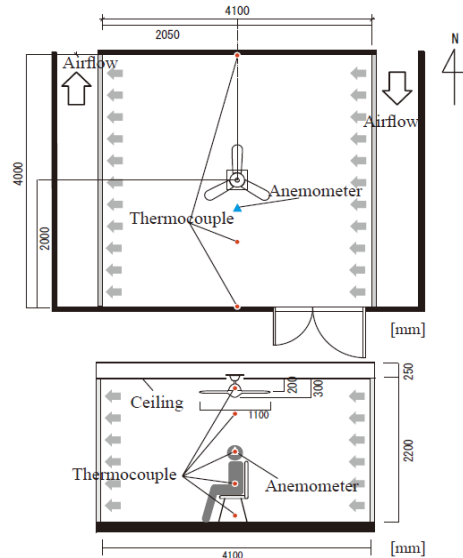


図2 人工環境気候室の実験室概要

(6) CFD解析による室内空気の攪拌効果の基礎的検討

12.8×12.8×2.6m(H)の空間(図3)を想定し, 天井面中央に4方向天井カセット形ACの吹出口を設け, ACから3200mmの距離に2台のCFを設置した条件で, CFD解析を行い, 室内の気流分布と温度分布の検討を行った。設置位置はAC吹出口に対して90°または45°とし, CFの台数はなし, 2台, 4台の3条件を設定した。CF気流は, 既往研究のCF気流モデルを用いた。

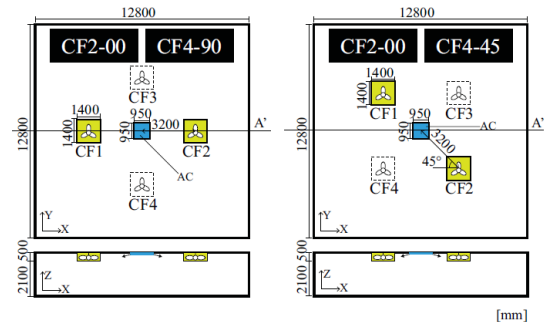


図3 解析空間

乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ モデル、壁面は一般化対数則で断熱とした。解析空間は 10cm メッシュとし、AC 近傍のみ細かくした。総メッシュ数は約 48 万である。床面と天井面に合計 4.8 kW の発熱を与え、AC 吹き出しは俯角 25° で風速 3.2m/s、吸い込み温度が 28°C となるよう吹き出し温度は 14.5°C とした。

4. 研究成果

(1) 実空間での暖房時の室内温熱環境測定

図 4 に窓側、室中央、廊下側の鉛直温度分布の結果を示す。AC のみ運転した Case1 では、床上高さ 100mm と 1100mm で 3~5°C 程度の温度差がある。CF を運転させると床上 100, 600mm の温度が上がり、1100mm はほぼ変わらず、1700, 2200, 2600mm の温度が下がることで温度差が解消される。また、床上 100mm と 1100mm との温度差は、AC のみ運転する条件では 4°C 程度、CF の回転数が弱(約 150rpm) で 2~3°C、中(約 200rpm) で 1~2°C、強(約 300rpm) で 0.5~1.5°C と、CF の回転数が上がるほど鉛直面の温度分布が小さくなる。

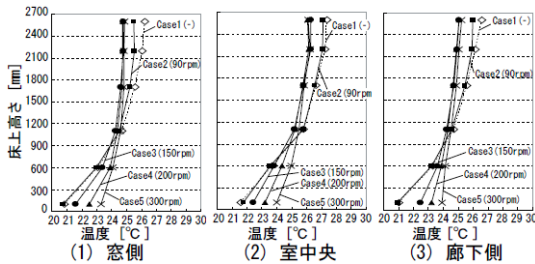


図 4 室内上下温度分布

(2) 実空間での暖房時の被験者評価

図 5 に気流感の評価結果を示す。CF 直下に位置する c の座席での気流感はそれほど大きくなく、風速が大きくなる中央列 e, f で気流を感じやすい結果となった。

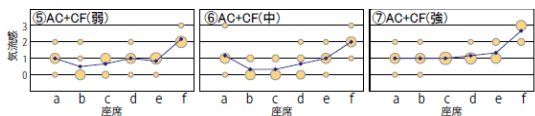


図 5 各座席位置での気流感

図 6 に体全体の温冷感の評価結果を示す。CF 回転数が「弱」, 「中」の条件では座席による差はあまりみられないが、「強」の条件では中央の列に近いほど温冷感の評価も暖かい側の評価となる。また、体全体の温冷感には下半身の温冷感よりも上半身の温冷感の影響が強いという結果も得られた。

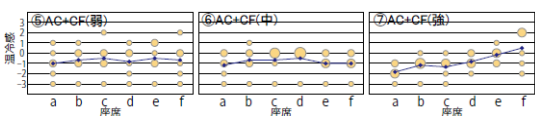


図 6 各座席位置での温冷感

図 7 に温熱環境の快適性の評価結果を示す。a と f の位置での快適性が不快側に評価される傾向にある。また CF 回転数が「強」の条件での快適性が最も低い。f の位置では CF 気流の影響で AC の吹き出し気流が下降するため風速が大きくなり、快適性が低くなったと考えられる。

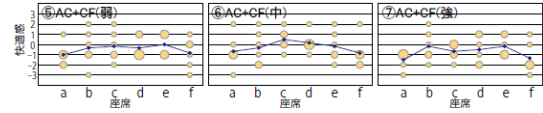


図 7 各座席位置での熱的快適性

(3) 実空間での冷房時の室内温熱環境測定

図 8 に、机上面高さ (FL+730mm) での水平面温度分布と、A-A'断面及び B-B'断面 (図 1 参照) での鉛直温度分布の結果を示す。なお、温度は 105 分間の平均値で表す。夏期冷房条件であるため室内の上下温度分布はほとんど見られないが、AC のみ運転した Case1 では、床上高さ 100mm と 2600mm で 1°C 程度の温度差がある。また、平面内では約 1.8°C 程度の温度差があり、CF 回転数が大きいほど温度分布が均一になる傾向が伺える。

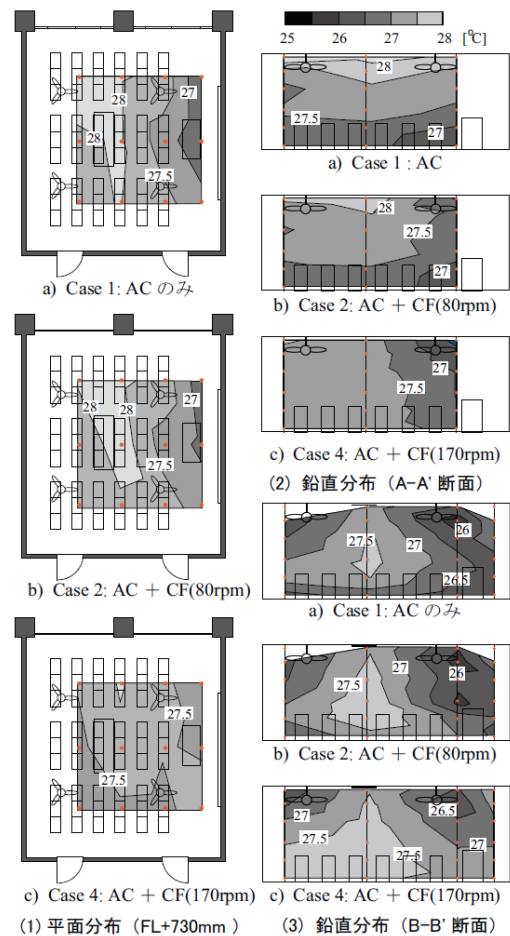


図 8 夏期冷房時の室内温度分布

(4) 実空間での冷房時の被験者評価

図9にSET*と温冷感との関係を示す。値は、条件及び座席ごとに平均した。両者には決定係数R2=0.80と強い相関関係が見られる。温冷感が「どちらでもない」「やや涼しい」となる範囲を便宜上中立範囲とすると、回帰直線から、SET*=25.6°C~28.9°Cとなった。図10に気流快適感と熱的快適感との関係を示す。両者は、決定係数R2=0.99と非常に強い正の相関が見られる。図11に風速と気流感の関係を示す。ここで風速は、各座席位置での測定値を用いた。被験者は風速に応じて気流を感じていることがわかる。図12に風速と温冷感の関係を示す。風速が高くなるにつれて、冷感側の評価となっている。また26°C設定は28°C設定よりも冷感側の評価が得られ、CF気流によって冷房時の設定温度を高くできる可能性が示唆される。

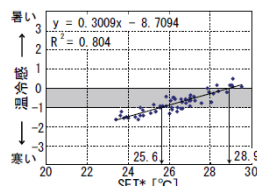


図9 SET*と温冷感

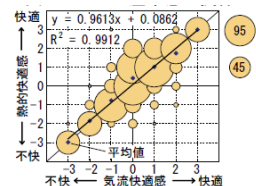


図10 気流感と熱的快適性

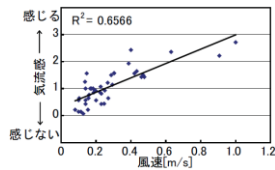


図11 風速と気流感

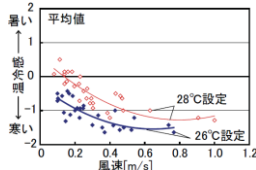


図12 風速と温冷感

(5) 人工気候室での上方気流暴露時の皮膚温と主観評価の経時変化

手の皮膚温は全被験者に共通して気流暴露による経時的な低下傾向が見られ、強風、ゆらぎ、微風、無風の条件の順に低下幅が大きかった。主観評価では、図13より、個人差のばらつきが大きいものの、冬期実験では「0(どちらでもない)」のに対し、夏期実験では全身温冷感が「-1(やや涼しい)」ときに熱的快適感が高く評価された。これは季節馴化の影響と評価尺度の問題が考えられる。また、図14より気流快適感と熱的快適感には線形の相関関係が見られた。

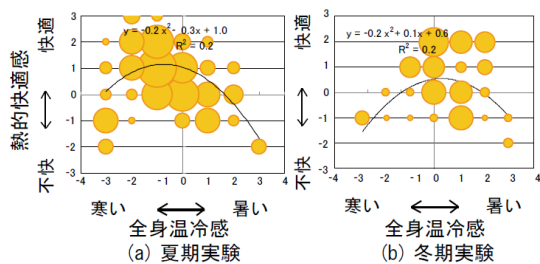


図13 温冷感と熱的快適感の関係

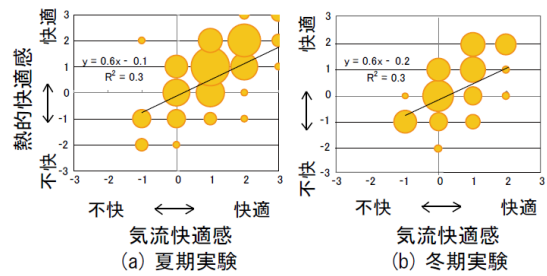


図14 気流快適感と熱的快適感の関係

(6) CFD解析による室内空気の攪拌効果の基礎的検討

図15に横軸に温度、縦軸に風速をとり、等SET*及び等EDT線とそれぞれの快適範囲を示す。CF2台条件では、温度が高くなり、風速域も高くなるため、温熱環境評価指標であるSET*が快適域内にある割合がCF0台条件に比べ若干少なくなる。CF4台条件では、CF2台条件に比べ風速のばらつきが大きくなるものの温度が低下し、SET*が快適域内の割合が増加する。ドラフト評価指標であるEDTが快適範囲にある割合は、CF2台、4台と増加するにつれ低下する。しかし、EDTが空調気流のドラフト感を評価するものであり、CF気流に対し適用することは議論の余地がある。

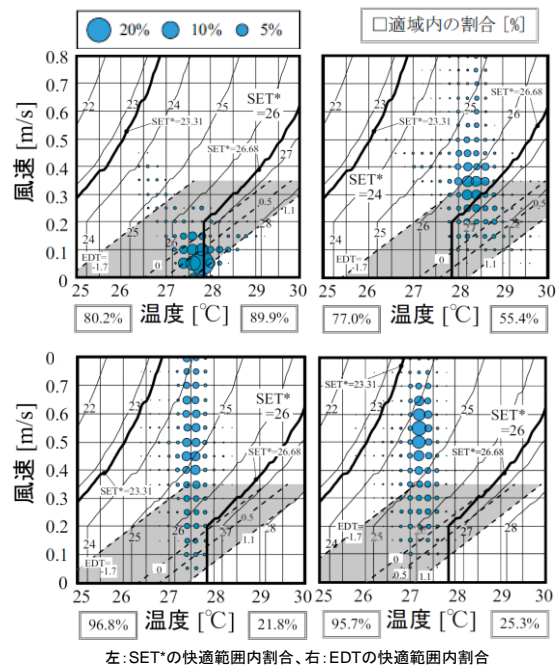


図15 温度・風速結果と快適域割合 (FL+1.1m)

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 12 件)

- ① 天野成美, 桃井良尚, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, 山口麻有, 学校教室におけるシーリングファンを用いた熱環境調整に関する研究(その5)夏期における上方気流暴露時の主観評価と皮膚温変化, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 51-54, 2012. 3. 13, 大阪
- ② 山口麻有, 桃井良尚, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, 天野成美, 古賀修, 一谷匡陸, 高山眞, 笠原万起子, シーリングファンを用いたオフィス空間内の熱環境調整に関する研究(その1)CFD解析による室内空気の攪拌効果の基礎的検討, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 71-74, 2012. 3. 13, 大阪
- ③ 桃井良尚, 山中俊夫, 相良和伸, 甲谷寿史, 学校教室におけるシーリングファンを用いた熱環境調整手法に関する研究(その4)冷房時の室内熱環境測定及び被験者による温熱環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 775-776, 2011. 8. 23, 東京
- ④ Yoshihisa Momoi, Toshio Yamanaka, Kazunobu Sagara, Hisashi Kotani, Natsuka Wakamatsu, CONTROL OF AIR VELOCITY AND TEMPERATURE DISTRIBUTION IN CLASSROOM USING CEILING FAN, ROOMVENT 2011, In USB frash drive, 2011. 6. 23
- ⑤ 野村瑞貴, 桃井良尚, 山中俊夫, 相良和伸, 甲谷寿史, 若松夏加, 学校教室におけるシーリングファンを用いた熱環境調整に関する研究(その4)気流暴露時における被験者の主観評価と皮膚温野経時変化, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 189-192, 2011. 3. 17, 大阪
- ⑥ 若松夏加, 桃井良尚, 山中俊夫, 相良和伸, 甲谷寿史, 野村瑞貴, 学校教室におけるシーリングファンを用いた熱環境調整に関する研究(その3)冷房時の室内温熱環境測定及び被験者評価, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 185-188, 2011. 3. 17, 大阪
- ⑦ Natsuka WAKAMATSU, Yoshihisa MOMOI, Toshio YAMANAKA, Kazunobu SAGARA and Hisashi KOTANI, Improvement of Temperatures Stratification caused by Air-conditioner by means of Ceiling Fan in Classroom, AIVC International Conference 2010, In USB frash drive, A-2, 2010. 10. 26
- ⑧ 若松夏加, 山中俊夫, 相良和伸, 甲谷寿史, 桃井良尚, 学校教室におけるシーリングファンを用いた熱環境調整手法に関する研究(その3)被験者による暖房時の温熱環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 741-742, 2010. 9. 11, 富山
- ⑨ 桃井良尚, 山中俊夫, 相良和伸, 甲谷寿史, 若松夏加 学校教室におけるシーリングファンを用いた熱環境調整手法に関する研究(その2)暖房時の室内温熱環境測定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 739-740, 2010. 9. 11, 富山
- ⑩ 桃井良尚, 山中俊夫, 相良和伸, 甲谷寿史, 若松夏加 学校教室におけるシーリングファンを用いた熱環境調整に関する研究(その2)暖房時の室内温熱環境測定及び被験者評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 2051-2054, 2010. 9. 3, 山口
- ⑪ 若松夏加, 山中俊夫, 相良和伸, 甲谷寿史, 桃井良尚, 学校教室におけるシーリングファンを用いた熱環境調整手法に関する研究(その1)暖房時の室内温熱環境の把握, 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 50 号 環境系, pp. 141-144, 2010. 6. 19, 大阪
- ⑫ 若松夏加, 山中俊夫, 相良和伸, 甲谷寿史, 桃井良尚, 学校教室におけるシーリングファンを用いた熱環境調整に関する研究(その1)空気攪拌が暖房時の室内温熱環境に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 41-44, 2010. 3. 17, 大阪

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桃井 良尚 (MOMOI YOSHIHISA)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 40506870

(2) 連携研究者

山中 俊夫 (YAMANAKA TOSHIO)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 80182575
相良 和伸 (KAZUNOBU SAGARA)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 30109285
甲谷 寿史 (HISASHI KOTANI)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 20243173