

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

正会員○若松 夏加^{*1} 同 山中 俊夫^{*2} 同 相良 和伸^{*3}
同 甲谷 寿史^{*4} 同 桃井 良尚^{*5}

4. 環境工学-13. 空気流動応用

シーリングファン、エアコン、学校教室、暖房

1. はじめに

学校教室は生徒が一日の大半を過ごす学習空間・生活空間であり、快適性が重要である。近年はヒートアイランド現象による温熱環境の悪化や生徒が冷房による環境調整に慣れていることなどから、教室環境改善のため普通教室にエアコンを導入する学校が増えている¹⁾。しかし教室へのエアコン導入は、健康への影響の懸念やエネルギー使用量の増加といった負の側面もある²⁾。近年は地球環境問題への社会的関心も高まっており、快適な教室環境と環境負荷低減の両立が求められている。

そこで本研究では、エアコン設置が急速に普及する学校教室を対象とし、快適性と省エネルギー性の両立を実現する手法のひとつとしてシーリングファンの利用について検討を行う。具体的には、エアコンとシーリングファンを併用することにより、冷房期においてはシーリングファンの空気かくはん効果によるエアコン気流のドラフト改善といった快適性の向上や、気流感の利用によりエアコンの設定温度を高めに行けるといった省エネ効果が考えられる。中間期においても、気流感利用によりエアコンの使用期間を削減できるといった省エネ効果が考えられる。暖房期については、かくはん効果により上下温度差を解消できることから暖房設定温度を低めに設定できると考えられ、快適性と省エネ性に効果的であると考えられる。ここで冷房期、中間期、暖房期でそれぞれシーリングファンを使用する目的が異なるため、最適な設計・運転法もそれぞれの時期で異なると思われる。

またシーリングファンに関する既往研究としては、大空間を対象にした事例³⁾やシーリングファンと自然換気・機械空調を併用した空調システムについてはオフィスを対象にした事例⁴⁾があるものの、学校教室とは室形状、室内発熱量、通風性状等といった室特性が

異なるため、そのまま適用することは困難であると考えられる。

本研究は学校教室を対象として、全ての時期で快適性と省エネ性を実現できるような、シーリングファンを利用した空調システム的设计・運転法を確立することを最終目的としている。本報では第一段階として、暖房時におけるシーリングファンの温熱環境改善効果を把握することを目的に行った在室者アンケート調査と室内温熱環境測定実験の結果について報告する。

2. 概要

2.1 アンケート調査

シーリングファン(以下、CFと表記)を実際に教室で使用していく上での問題点等を把握することを目的として、学生を対象に在室者アンケートを行った。大阪大学工学部S1棟7階の教室に直径1100mmのCF(パナソニックエコシステムズ製、F-M11W)を4台取り付け、授業時間中(2010年2月1日・10:30~12:00)にエアコン(以下、ACと表記)と併用して稼働させた(図1)。図2に教室平面図を示す。室内の大きさは7000mm×8000mm×2700mm(H)であり、CFが4台と、部屋のほぼ中央に2方向吹出し、暖房能力16kWのパッケージエアコン(日立製作所製、RCID-J140K)が設置されている。ACの設定条件は、設定温度を22°C、吹出し方向を下向き固定、風量1,000 m³/(h・台)とした。CFは回転数を



図1 教室写真

Control of Temperature Distribution in Classroom using Ceiling Fan

Part1. Effects of Air Agitation on the Thermal Environment under Heating Condition

WAKAMATSU Natsuka, YAMANAKA Toshio, SAGARA Kazunobu, KOTANI Hisashi and MOMOI Yoshihisa

4段階（ソフト、弱、中、強）に変化できるが、冬期の一般的な設定条件である弱（約150rpm）として、回転方向を逆回転（上向き）に設定した。授業後に学生に対してアンケートを行った。アンケート内容は、①個人属性②音環境③光環境④気流感⑤温冷感⑥気になる点⑦自由記述の7項目である。

2.2 室内温熱環境測定実験

実験はアンケート調査を行った教室にて実施した。実験は2010年1月23日に行った。表1に測定項目を示す。外部環境把握のため、小型温湿度計（T&D社製、RTR-53・TR-72S）を室外部バルコニーの軒下と廊下に1台ずつ設置した。室内の水平面温度は床上730mmの机上に小型温湿度計（T&D製、RTR-53・TR-72S、ESPEC製、RS-10）を設置した。鉛直温度分布はφ0.32mmI型熱電対を計10箇所（図2のa点～j点）に設置し、各位置の床上100, 600, 1100, 1700, 2200, 2600mmで6点の温度を測定した（図3）。室内気流の風速測定については、定温度型熱式風速計（日本KANOMAX製、クリモマスターMODEL-6533）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。

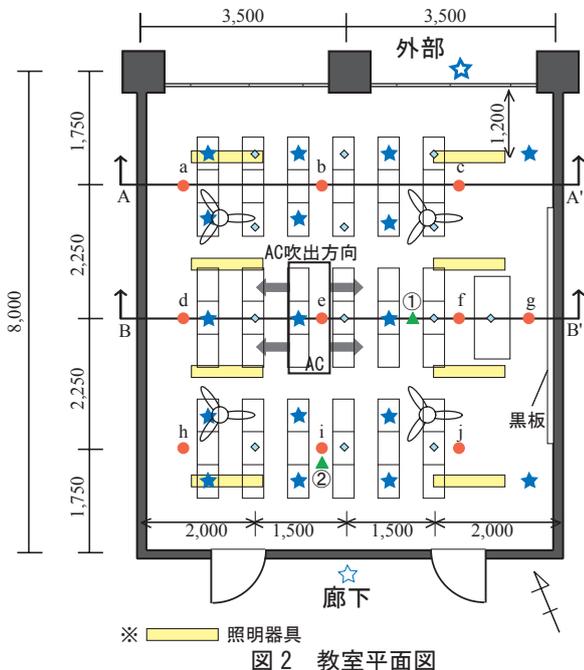


図2 教室平面図

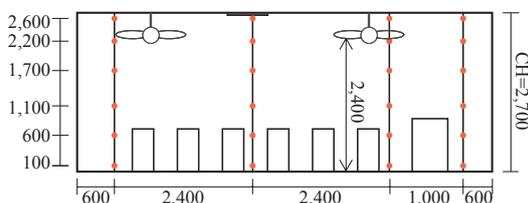


図3 教室断面図

表2に実験条件を示す。ACの設定温度を24°C、吹出し方向は下向き、風量1,000 m³/h・台)、CFの回転方向を逆回転（上向き）を固定条件とし、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4段階に設定する条件（回転数が少ない順にCase2～5）の計5条件を行った。

3. 結果と考察

3.1 アンケート結果

アンケートには20～22歳の男性17名、女性16名、不明3名の計36名からの回答を得た。

図4に騒音の程度についての申告結果を示す。「ふつう」が最も多く、半数以上を占めている。また「うるさい」「非常にうるさい」と回答した人はおらず、回転数150rpmでは騒音はそれほど問題にはならないと思われる。

図5にCFによる照明のちらつきについての申告結果を示す。「ちらつかない」と回答した人が最も多いが、「ややちらつく」「ちらつく」を合わせると半数以上となる。照明のちらつきについては照明器具とCFとの位置関係などの配慮が必要である。

図6に気流感についての申告結果を示す。「感じる」もしくは「非常に感じる」と回答した人は約6割であり、多くの人は気流を感じている。気流を感じる場合のみ、主にどこからの気流であるかを回答させたところ「エアコン」が最も多く、次いで「シーリングファン」

表1 測定項目

測定項目	記号	測定機器	測定数
外気温度	☆		1
廊下温度	☆	小型温湿度計 RTR-53, STR-72S (T&D)	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 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

表2 実験条件

Case	AC	CF 回転数
1		-
2		ソフト(90rpm)
3	24°C	弱(150rpm)
4		中(200rpm)
5		強(300rpm)

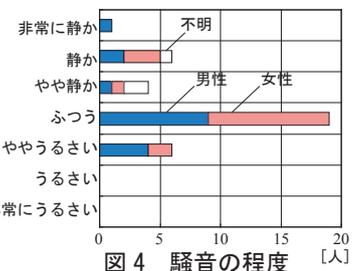


図4 騒音の程度 [人]

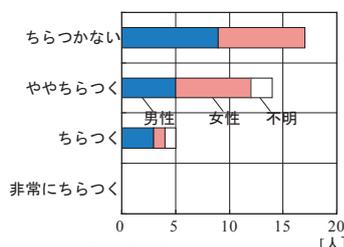


図5 照明のちらつき [人]

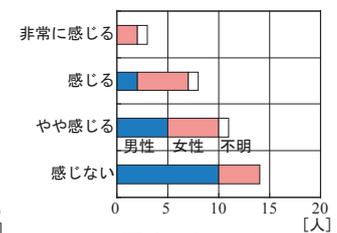


図6 気流感 [人]

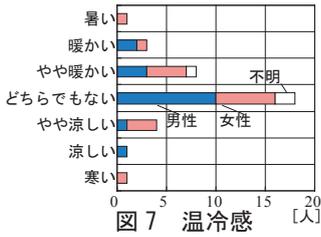


図7 温冷感

という回答が多かった。また、自由記述でも「エアコンの直風が非常に気持ち悪い」という回答があり、気流感にはACからの風が大きく影響している。

図7に温冷感についての申告結果を示す。「どちらでもない」が最も多く、また涼しい側の回答よりも暖かい側の回答の方が多くなっている。図8に温熱環境の快適感の結果を示す。「やや快適」が最も多く、次いで「どちらでもない」となっている。アンケート実施日はほぼ快適な温熱環境であったと考えられる。

図9にCFに関して気になる点についての申告結果を示す。「目障り」という回答が最も多く、次いで「照明がちらつく」、「圧迫感がある」となっている。「音がうるさい」「紙が飛ぶ」「気流が不快」という回答は無かった。このことから、視覚的影響が気になりやすいと考えられる。

3.2 室内温熱環境測定実験結果

3.2.1 風速分布

図10に水平面の風速分布の結果を示す。CFの回転数が増すほど平面内の風速も上がるが、回転数90rpmの場合(Case2)はACのみ運転していたCase1とほぼ変わらない。またCase3~Case5で、風速分布は部屋の中央付近で高くなっている。これは、CFにより吸い上げられた気流は天井に沿って広がり、隣接するCFからの気流と衝突し下降する(図11)ため、室中央ではCF4台分の気流が合流・下降し、風速が大きくなることが考えられる。またCFの気流の影響によるACの吹出し気流が原因とも考えられる。

3.2.2 鉛直温度分布

図12に外気温度・廊下温度のグラフを示す。実験時の外気温度は5~8℃、廊下温度は約14℃で、各条件でほぼ同じ外界条件であった。

図13に窓側、中央、廊下側の鉛直温度分布の結果を、図14にA-A'断面及びB-B'断面(図2参照)でのCase1, 3, 5

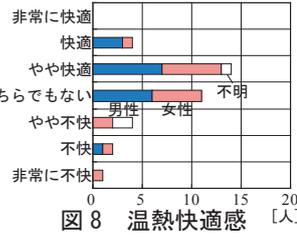


図8 温熱快適感

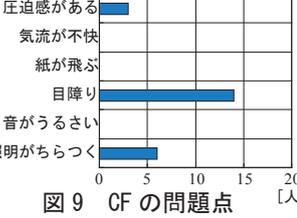
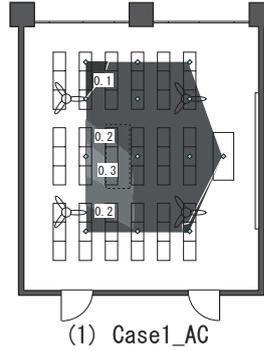
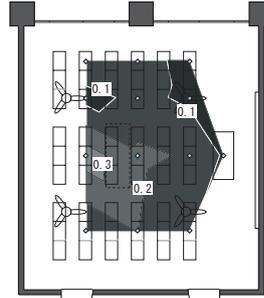


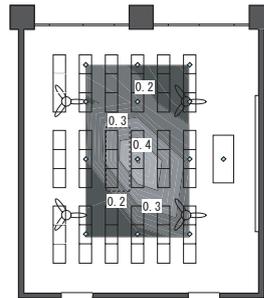
図9 CFの問題点



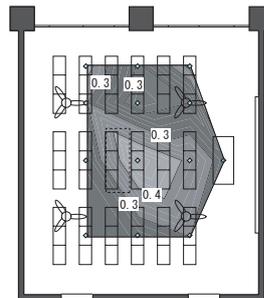
(1) Case1_AC



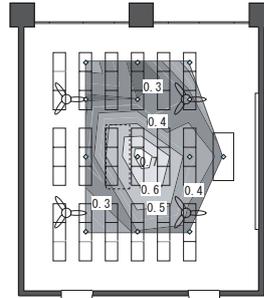
(2) Case2_AC + CF (ソフト)



(3) Case3_AC + CF (弱)



(4) Case4_AC + CF (中)



(5) Case5_AC + CF (強)

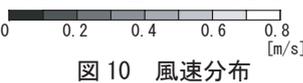


図10 風速分布

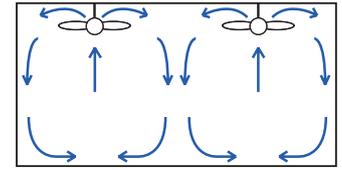


図11 気流の流れ

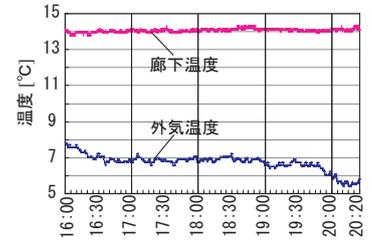
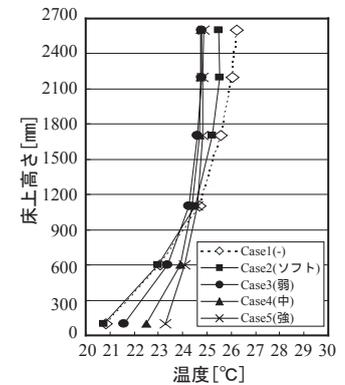
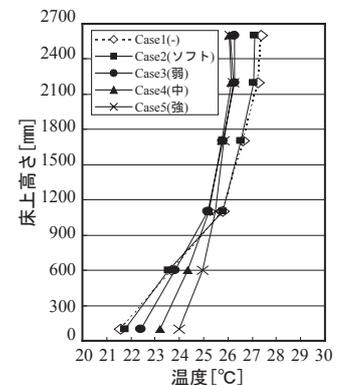


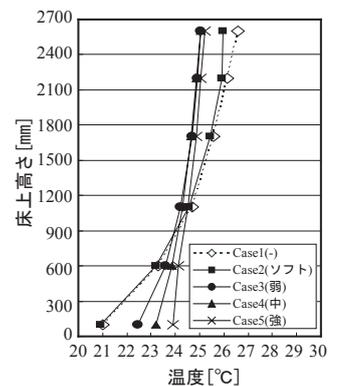
図12 外気・廊下温度



(1) 窓側



(2) 中央



(3) 廊下側

図13 鉛直温度分布

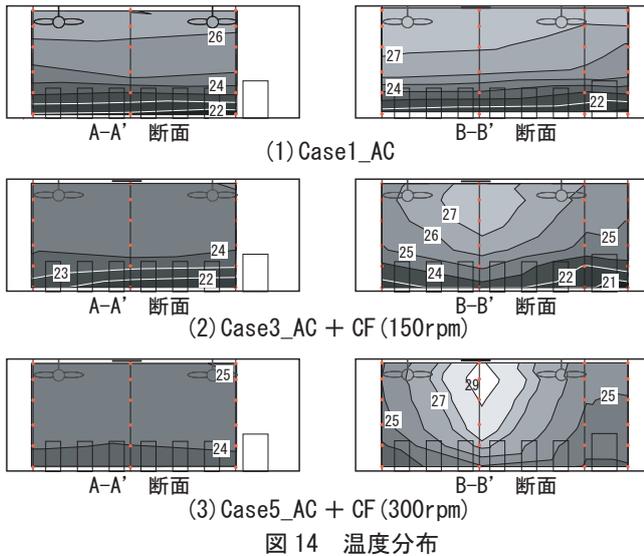


図 14 温度分布

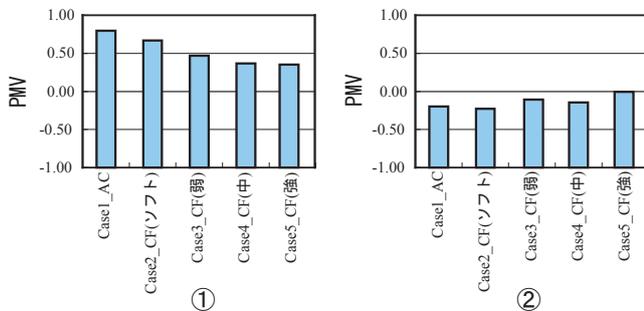


図 15 PMV

の温度分布の結果を示す。なお、用いた温度は水平温度と同様、各条件とも 10 秒毎の測定データを 30 分間平均した値であり、図 13 の窓側は図 2 の a～c 点、中央は d～g 点、廊下側は h～j 点の値を平均している。AC のみ運転した Case1 では、床上高さ 100mm と 1100mm で 3～5℃程度の温度差がある。図 14(1) から、室内に上下温度分布が出来ていることが分かる。特に中央の列で温度差が大きい。これは、AC からの温風により中央の列の上層部の温度が高くなるためと思われる。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。ただし図 14(B-B' 断面) に示すように、中央の列では CF の気流により AC の吹出し気流が横に広がらずにそのまま下降するという現象が起きる。また、CF の回転数 90rpm では床上 100mm と 1100mm との温度差が 4℃程度、150rpm で 2～3℃、200rpm で 1～2℃、300rpm で 0.5～1.5℃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り、上下温度差の解消効果が高くなる。水平位置による CF の効果の差異を

* 1 大阪大学大学院工学研究科 博士前期課程
 * 2 大阪大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)
 * 3 大阪大学大学院工学研究科 教授・工学博士
 * 4 大阪大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)
 * 5 大阪大学大学院工学研究科 助教・博士(工学)

比較すると、窓側と廊下側では廊下側の方が上下温度差の解消効果大きい。これは窓側ほど外気の影響を受けて足下の温度が低くなるためと考えられる。

3.2.3 PMV

図 15 に図 2 教室平面図内①、②の位置での PMV のグラフを示す。PMV の値は、着衣量 1.0clo、代謝量 1.0met とし、各条件における測定時間内の平均値を用いた。

①では AC のみの条件で PMV=0.8 のところ、CF を回すと温度は変わらないが風速が大きくなるため PMV の値が減少し、Case5 では PMV=0.35 となる。②では AC のみの条件で PMV=-0.2 であるが、CF を回すと温度が上昇することにより PMV の値が増加し、Case5 で PMV=0 となる。

6. まとめ

本報では在室者アンケートの結果と、CF の回転数が室内環境に及ぼす影響を把握することを目的として行った実験の結果を報告した。

- ・シーリングファンの回転数 150rpm では、騒音や気流感はあまり問題にならず、照明のちらつきや圧迫感など視覚的影響に対して配慮が必要であると思われる。
- ・シーリングファンの回転数が大きいほど上下温度差の解消効果も大きい。

今後は、被験者実験を行うことでより詳細な居住者の温冷感評価を把握すると共に、今回の実験では行わなかった条件についても実験やシミュレーションを行うことで、エアコンの設定温度や風向、シーリングファンの配置や台数の影響等についても検討していく予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、パナソニックエコシステムズ株式会社より多大なるご協力を頂きました。ここに記して誠意を表します。本研究の一部は文部科学省平成 21 年度科学研究費補助金(若手研究 (B)21760449 研究代表者: 桃井良尚) による。

参考文献

- 1) 吉野他: 公立小学校における暖冷房・換気設備の地域別整備状況および使用実態, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻, pp. 643-650, 2009
- 2) 藤浪他: 公立小学校の冷房化に関するエネルギー予測と環境対策シナリオ(その 1～5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2008-2009
- 3) 桃井他: 天井扇を用いた室内気流の制御手法に関する研究(その 1～4), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 環境系, 2002-2003
- 4) 水出他: ハイブリット空調を行う環境共生建築の性能解析 第 1～4 報, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2005

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Osaka University
 Prof., Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.
 Prof., Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.
 Associate Prof., Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.
 Assistant Prof., Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.