

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
Control of Temperature Distribution in Classroom using Ceiling Fan
Part1. Effects of Air agitation on the Thermal Environment under Heating Condition

○若松 夏加 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)
相良 和伸 (大阪大学) 甲谷 寿史 (大阪大学)
桃井 良尚 (大阪大学)

Natsuka WAKAMATSU*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Kazunobu SAGARA*¹ Hisashi KOTANI*¹ Yoshihisa MOMOI*¹

*¹ Osaka University

Recently, the number of schools which installed air-conditioners has been rapidly increasing. Also energy saving attract attention behind environmental concern. The purpose of this study is to make balance comfort with energy saving by using ceiling fan, and establish the air conditioning system which combine use of air-conditioner and ceiling fans. This paper discussed on the indoor thermal environment controlled by air-conditioning and ceiling fan operation under heating condition.

1. はじめに

近年、ヒートアイランドによる温度上昇や、生徒が自宅で冷房による環境調整に慣れていること、暑さによる学習効率の低下を防ぐことなどから、普通教室にエアコンを導入する学校が増えている¹⁾。しかし学校教室へのエアコン導入は、温熱環境の向上やそれによる学習効率の改善などの利点があるものの、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側面もある²⁾。また近年は地球環境問題への社会的関心が高まっており、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攪拌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、攪拌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もの³⁾がほとんどであり、学校教室を対象とした事例はあまり見られない。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もオフィスを対象にした事例⁴⁾はあるものの、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の設計・運転法を確立することを最終目的としている。

本研究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アンケート調査、物理量実験及び被験者実験を行った。本報では在室者アンケートの結果とシーリングファン回転数が室内温熱環境改善効果に与える影響を把握するために行った物理量実験の結果について報告する。

2. アンケート調査概要

シーリングファン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 のシーリングファン (パナソニックエコシステムズ製、F-M111W) を 4 台取り付け、実際の授業時間 (2010 年 2 月 1 日・10:30 ~ 12:00) にエア

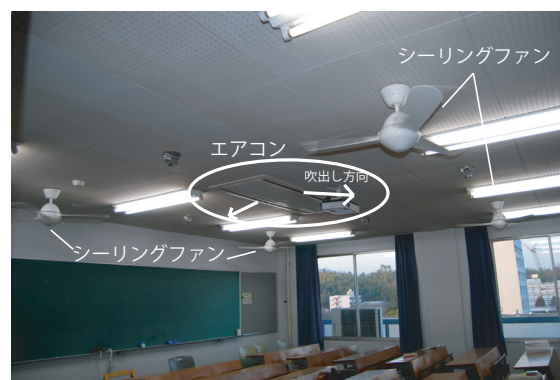


Figure1 Ceiling fans in the classroom

コンと併用して稼働させた(図1)。エアコンの設定条件は、設定温度を22℃、吹出し方向を下向き固定、風量1,000 m³/(h・台)とした。シーリングファンは回転数を4段階(ソフト、弱、中、強)に変化できるが、今回は弱(150rpm)、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。

3. 物理量実験概要

実験はアンケート調査を行った教室にて実施した。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、直径1100mmのシーリングファン(パナソニックエコシステムズ製、F-M111W)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。実験は2010年1月に行った。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)を室外部ベランダの軒下と廊下に設置した。室内の水平面温度は床上730mmの机の上に小型温湿度計(T&D社製、RTR-53・TR-72S, ESPEC製、RS-10)を設置した。鉛直温度分布はT

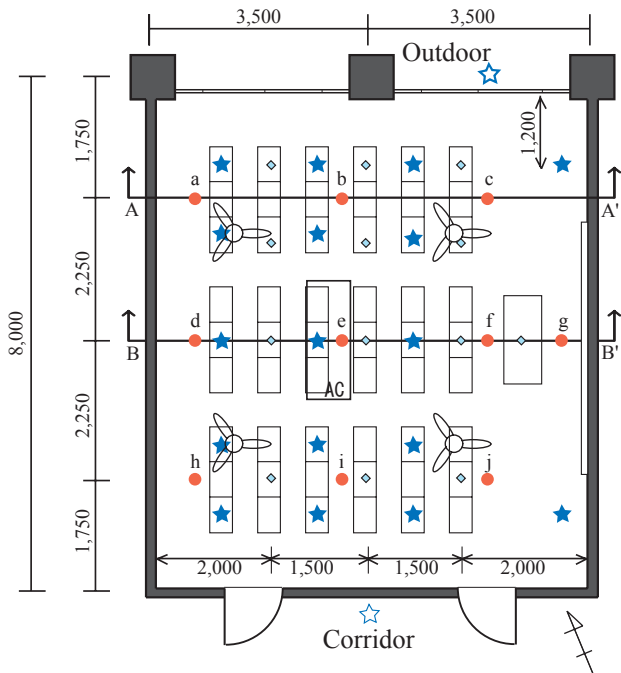


Figure2 Floor plan and measuring point [mm]

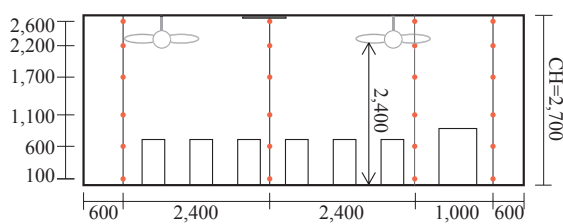


Figure3 B-B' section and measuring point [mm]

型熱電対を計10箇所(図2のa点~j点)に設置し、各位置で床上100, 600, 1100, 1700, 2200, 2600mmの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。

表2に実験条件を示す。なお、表中の“AC”はエアコンを、“CF”はシーリングファンを表す。エアコンの設定温度を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)を固定条件とし、シーリングファンは動かさずにエアコンのみ運転する条件(Case1)とシーリングファンの回転数を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。

4. 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。「ふうう」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にシーリングファンによる光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。光のちらつきについては照明器具とシーリングファン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、

Table1 Experiment item

Measurement Item	Mark	Measuring Instrument	Number
Outdoor Temperature	☆		1
Corridor Temperature	☆☆	Thermo Recorder	1
Indoor Temperature(Occupied Zone)	★		17
Indoor Temperature(Vertical Distribution)	●	Thermocouple	60
Indoor Wind Velocity	◇	Anemometer	13

Table2 Experimental condition

Case	AC	CF Rotational speed
1		-
2	24℃	ソフト(90rpm)
3		弱(150rpm)
4		中(200rpm)
5		強(300rpm)

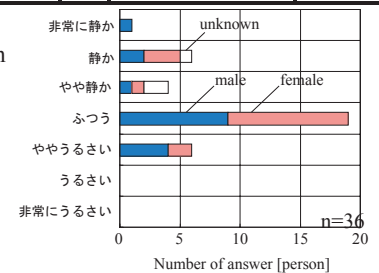


Figure4 Noisiness

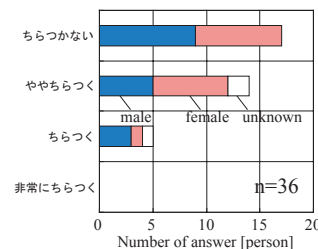


Figure5 Flicker of light

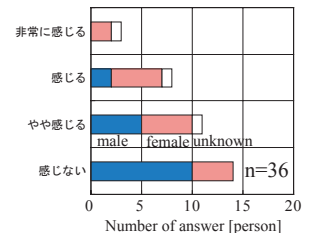


Figure6 Sense of air flow

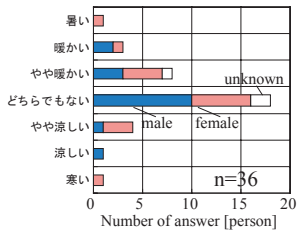


Figure7 Thermal sensation vote

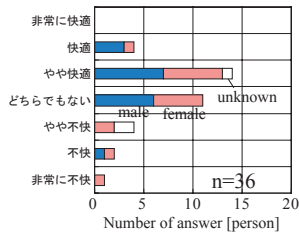


Figure8 Satisfaction

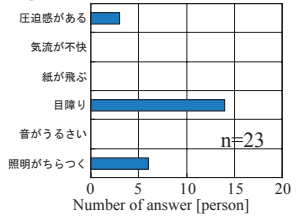


Figure9 Problem of ceiling fan

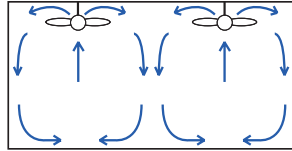


Figure10 Diagram of airflow

多くの方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ると「エアコン」が最も多く、次いで「シーリングファン」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、気流感にはエアコン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にシーリングファン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。

5. 物理量実験結果

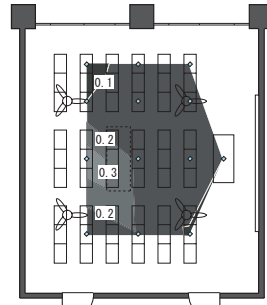
5.1 風速分布

図11に水平面の風速分布の結果を示す。シーリングファン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)はエアコンのみ運転していた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、シーリングファンにより吸い上げられた気流は天井に沿って広がり、隣接するシーリングファンからの気流と衝突し下降する(図10)ため、室中央ではシーリングファン4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。またシーリングファンの気流の影響によるエアコンの吹出し気流が原因とも考えられる。

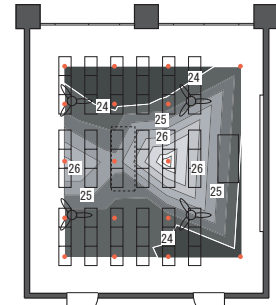
5.2 温度分布

グラフは割愛するが、実験時の外気温度は5~8℃、廊下温度は約14℃であった。

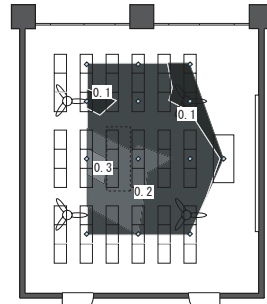
水平面の温度分布の結果を図12に示す。なお、用いた温度は各条件とも10秒毎の測定データを30分間平均



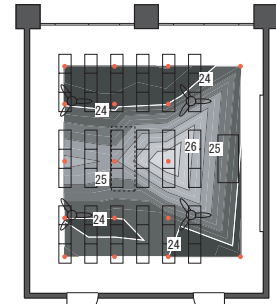
(1) Case 1_AC



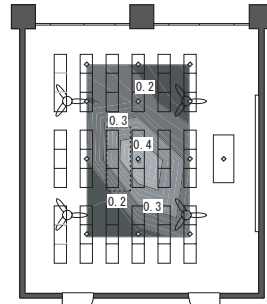
(1) Case 1_AC



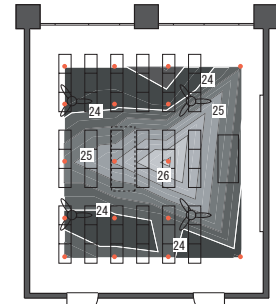
(2) Case 2_AC + CF(90rpm)



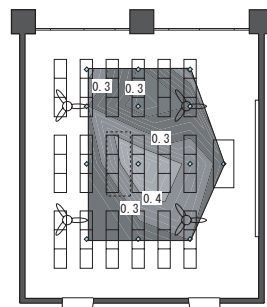
(2) Case 2_AC + CF(90rpm)



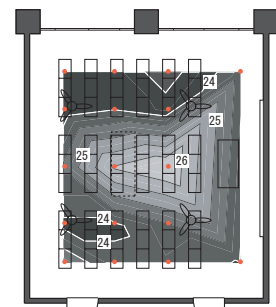
(3) Case 3_AC + CF(150rpm)



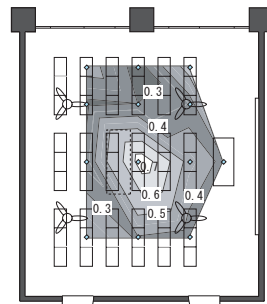
(3) Case 3_AC + CF(150rpm)



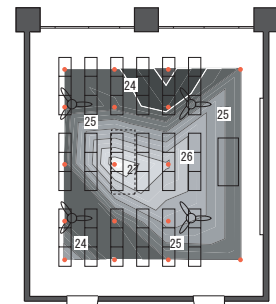
(4) Case 4_AC + CF(200rpm)



(4) Case 4_AC + CF(200rpm)



(5) Case 5_AC + CF(300rpm)



(5) Case 5_AC + CF(300rpm)

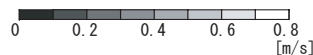


Figure11 Velocity distribution



Figure12 Temperature distribution

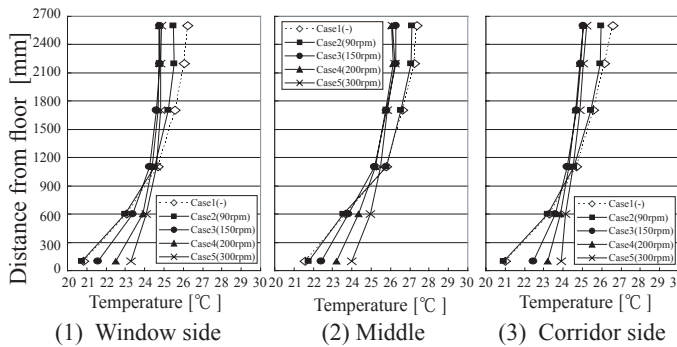


Figure13 Vertical distribution of temperature

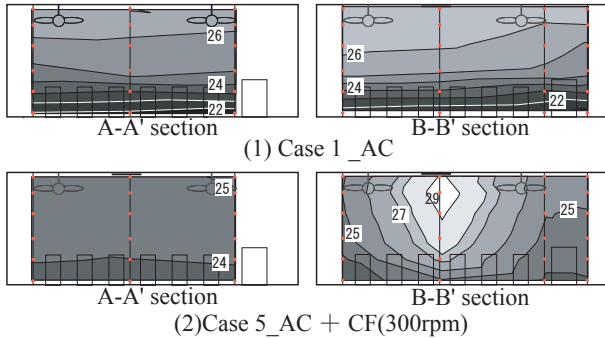


Figure14 Temperature distribution

した値である。エアコンのみを運転している条件(Case1)では、エアコンの設置されている中央の列の温度が高く、25～27℃であるのに対し、窓際と廊下側は23～24℃程度となっており、平面内での温度差は最大で4℃近くある。次にCase1とシーリングファンを回したCase2～Case5とを比較する。回転数90rpmのCase2の温度分布の傾向はCase1とほとんど同じであるが、シーリングファンの回転数が増すと、室後方の温度が下がり、室前方の温度が上がる傾向にある。回転数を最大にしたCase5では廊下側や窓側の温度も上昇している。また平面内の温度差はCase2で3.6℃、Case3で3.4℃、Case4で3.2℃と、シーリングファンにより温度の分布が解消されている。

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'断面でのCase1とCase5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。エアコンのみ運転した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)からも、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、エアコン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。シーリングファン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、中央の列ではシーリング

ファンの気流によりエアコンの吹き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、シーリングファンの回転数90rpmでは床上100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、シーリングファンの回転数が増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。水平位置によるシーリングファンの効果の差異を比較すると、窓側と廊下側では廊下側の方が上下温度差の解消効果が大い。これは窓側ほど外気の影響を受けて足元の温度が低くなるためと考えられる。

6. まとめ

本報では在室者アンケートの結果と、シーリングファン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、騒音や気流はあまり問題にならず、照明のちらつきや圧迫感などの視覚的影響に対して配慮が必要であると思われる。
 - ・平面の風速分布は、回転数が増すほど風速も上がる。また室中央の風速が最も高くなる。
 - ・シーリングファンの回転数が増るほど温度分布が均一になる傾向にある。
 - ・鉛直温度分布はエアコンのみ運転する場合には床上高さ100mmと1100mmで3～5℃程度の温度差があるが、シーリングファンを回すことで0.5～4℃程度にまで差が小さくなる。また回転数が高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)によった。

参考文献

- 1) 吉野他: 公立小学校における冷暖房・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, 2009
- 2) 藤良他: 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