

Osaka University 日本建築学会近畿支部 公開シンポジウム 「学びの環境を考える ～学校建物の快適性を目指したやさしい環境制御～」

福井大学 UNIVERSITY OF FUKUI

## 様々な“やさしい”環境制御手法

### ③シーリングファン

①

福井大学 学術研究院工学系部門  
建築建設工学分野

桃井 良尚

日本建築学会近畿支部 公開シンポジウム（大阪） 2017.10.27

福井大学 UNIVERSITY OF FUKUI

## シーリングファン

②

室内温熱環境改善効果や省エネルギー効果を目的として、シーリングファン（CF）が設置される事例が多く見られる。

明確な設計基準が存在しない。

➡ 既存空調とシーリングファンを併用した気流空調の簡易設計手法の確立



日本建築学会近畿支部 公開シンポジウム（大阪） 2017.10.27

福井大学 UNIVERSITY OF FUKUI

## シーリングファン利用空調

③

●冷房期  
気流感利用  
→エアコン設定温度を高め  
攪拌効果でエアコンのドラフト解消

●中間期  
気流感利用  
→エアコン使用期間短縮  
自然換気

●暖房期  
攪拌効果で上下温度差解消  
エアコン設定温度を低めにできる

①気流・温度分布

②体感温度 (SET\*)

③気流感・快適感

④消費エネルギー

気流感空調の4要素

日本建築学会近畿支部 公開シンポジウム（大阪） 2017.10.27

福井大学 UNIVERSITY OF FUKUI

④

①気流に関する室内環境基準

日本建築学会近畿支部 公開シンポジウム（大阪） 2017.10.27



# 気流に関する室内環境基準

5

## (1) 国内基準

- ① 建築基準法施行令：0.5m/s以下  
\* 中央管理方式の空調設備

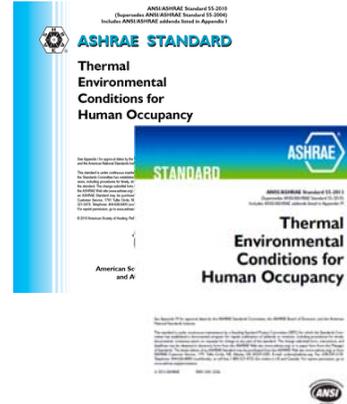
- ② 建築物環境衛生管理基準：0.5m/s以下  
\* 空気を調和した設備または機械換気設備を設けている場合。延べ面積が3,000m<sup>2</sup>以上（学校は8,000m<sup>2</sup>以上）の建築物が対象。

- ③ 学校環境衛生基準：0.5m/s以下であることが望ましい。  
\* 特に、教室の居住域（床から人の呼吸域の高さの範囲）では0.2~0.3m/秒前後が最も望ましい。

日本建築学会 環境工学委員会 学校空気環境改善WG委員「学校における温熱・空気環境に関する現状の問題点と対策—子供たちが健康で快適に学習できる環境づくりのために—」（2015.3）

## (2) 海外基準

- ・ASHRAE STANDARD 55-2010



# 気流感を考慮した快適域

6

When applying this Graphic per Section 5.3.1, use Operative Temperature determined in accordance with Appendix A. Graph cannot be applied based on dry bulb temperature alone. Also required are Section 5.3.4 Local Thermal Discomfort and 5.3.5 Temperature Variations with Time.  
If the following requirements are not met, use Section 5.3.2, the Analytical Method or Section 5.4 for Naturally Conditioned Spaces:  
- 1.0 < clo < 1.3  
- 0.5 < clo < 1.0  
For design compliance requirements, see Section 6 and for evaluating occupied spaces, see Section 7.

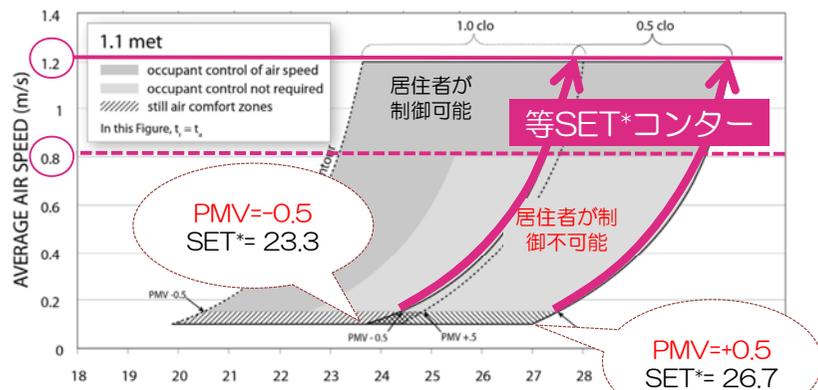


作用温度 [°C] ASHRAE Standard 55-2014



# 気流感を考慮した快適域

7

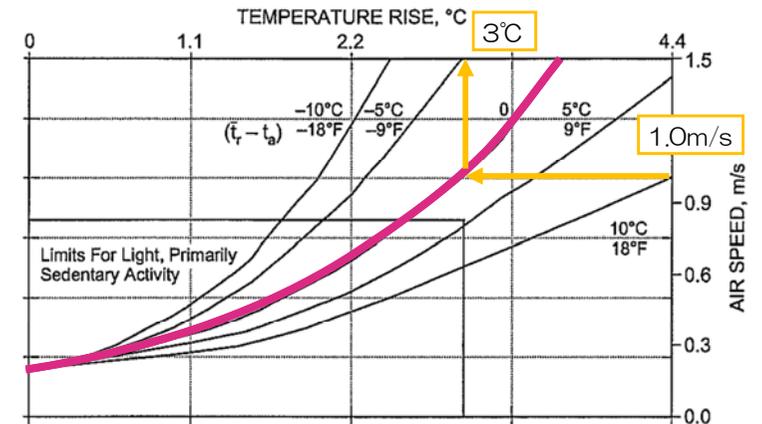


ASHRAE Standard 55-2014 OPERATIVE TEMPERATURE (°C)

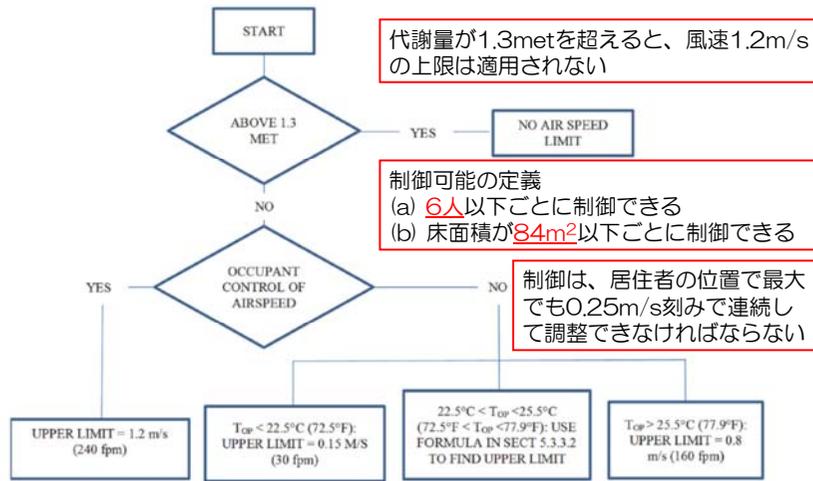


# 気流速度と等価な気温上昇

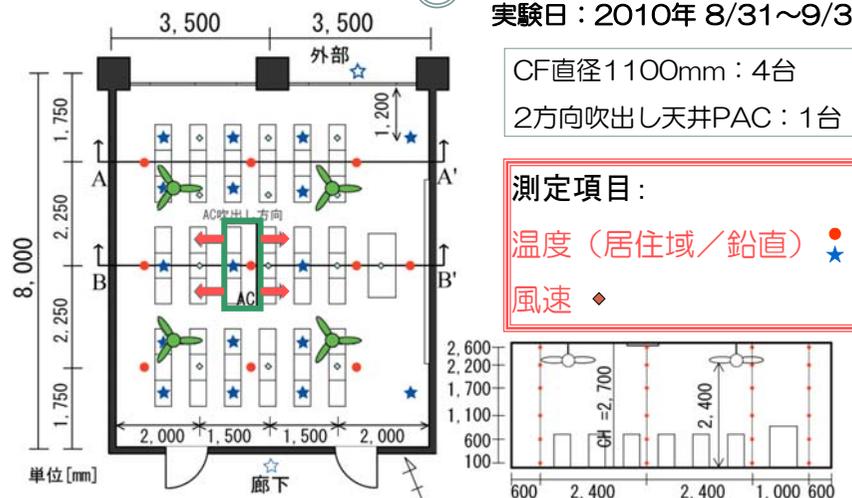
8



ASHRAE Standard 55-2014



②教室における熱環境実測及び主観評価実験



実験室：大阪大学工学部S1棟712教室

被験者：

- ・20代の学生
- ・計7名 (男性2名、女性5名)
- ・着衣：一般的な夏期の服装・・・約0.4clo
- ・読書等の軽作業・・・約1.0met



評価項目：

- ・気流感、気流快適感
- ・温冷感 (体全体/上半身/下半身)、熱的快適感 など

スケール例





# 夏期／実験条件

13

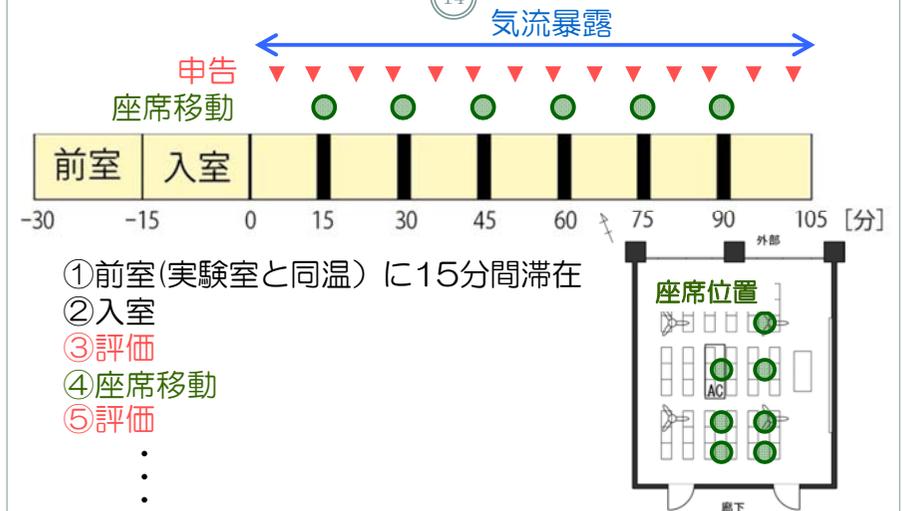
エアコン設定温度：2条件  
シーリングファン回転数：4条件 } 計8条件

Case	シーリングファン	
	回転方向	回転数[rpm]
1	下	-
2		80 (ソフト)
3		130 (弱)
4		170(中)
5		-
6		80 (ソフト)
7		130 (弱)
8		170(中)



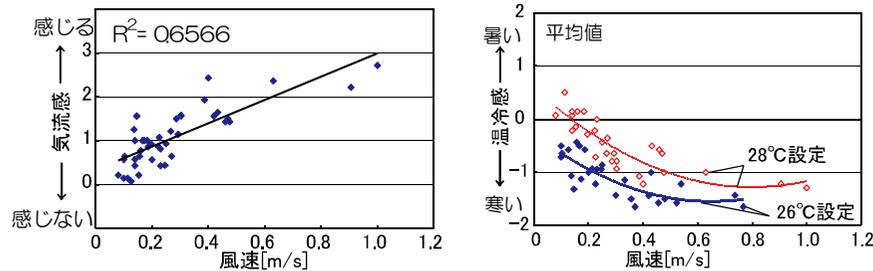
# 夏期／実験手順

14



# 風速と気流感・温冷感との関係

15

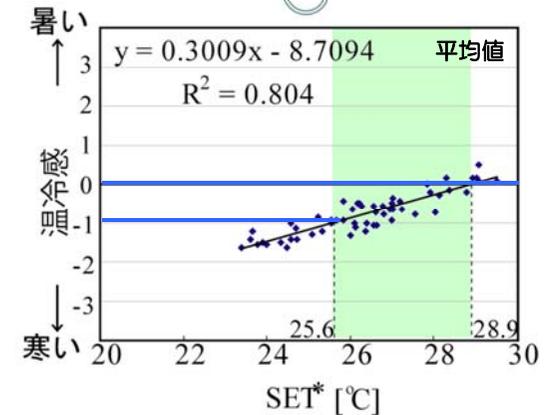


- 風速と気流感の相関は高い
- 風速が高くなるほど温冷感が下がる傾向が見られた

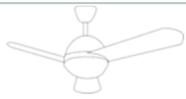


# SET\*と温冷感の関係

16



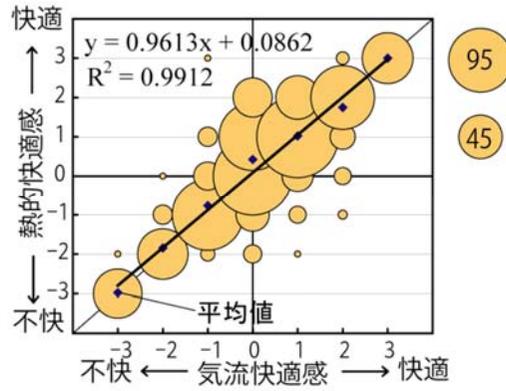
中立温度範囲のSET\*=25.6~28.9  
(日本人の中立温度範囲：SET\*=22~26°Cより高い)



# 気流快適感×熱的快適感

17

非常に強い相関

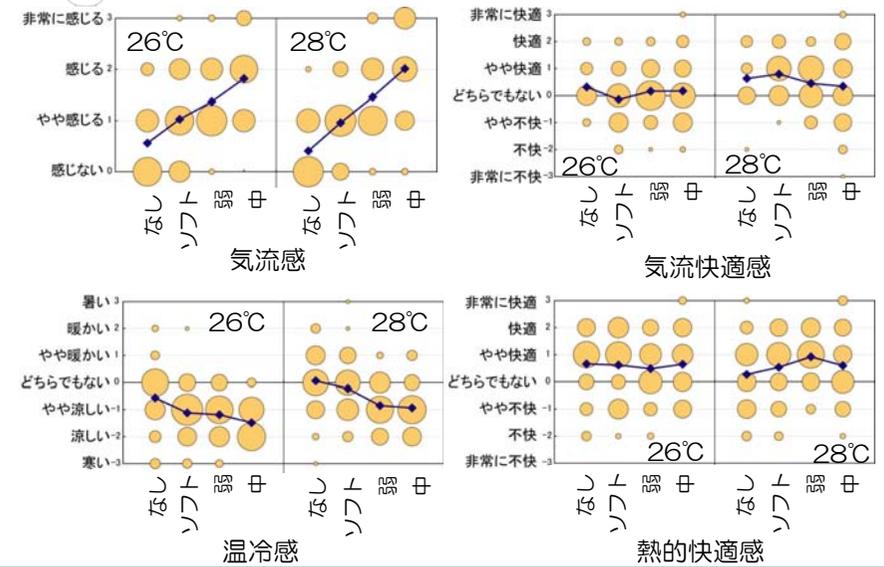


熱的快適感には気流の快適性が大きく影響



# 主観評価結果

平均値 (Legend: 100, 50, 10)

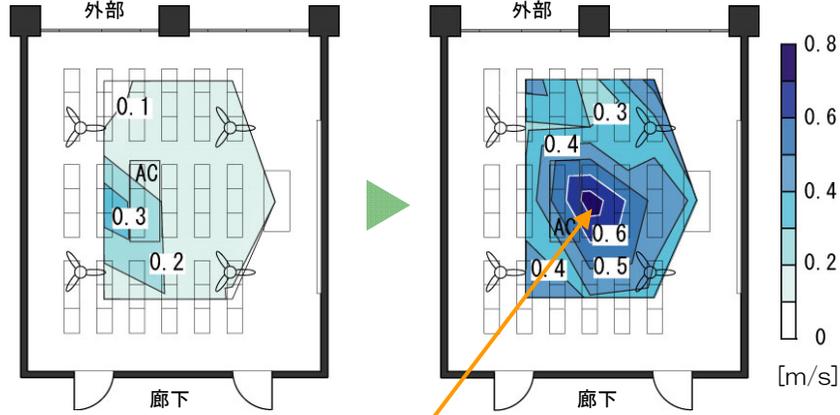


# 水平面風速分布

19

Case1 ACのみ運転

Case5 AC+CF 強 (約300rpm)



床上1100mm

部屋の中央付近で風速が大きくなる

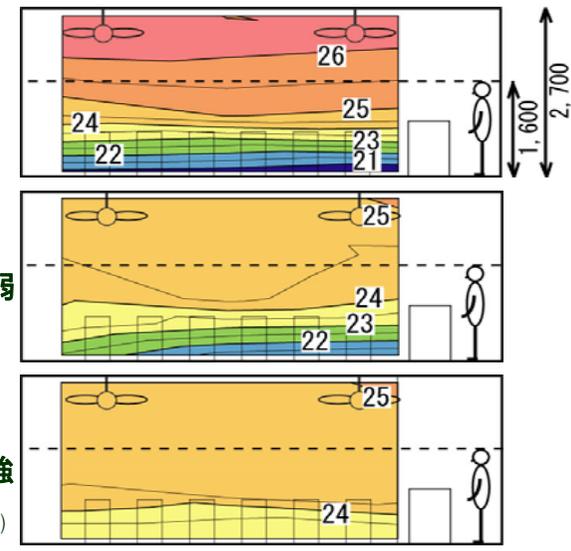
# 鉛直温度分布

A-A' 断面

Case1 ACのみ

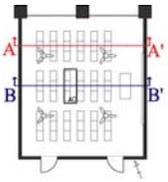
Case3 AC+CF弱 (約150rpm)

Case5 AC+CF強 (約300rpm)

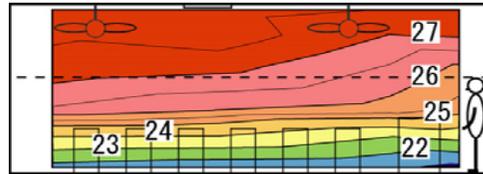


## 鉛直温度分布

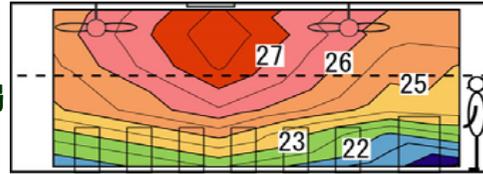
B-B' 断面



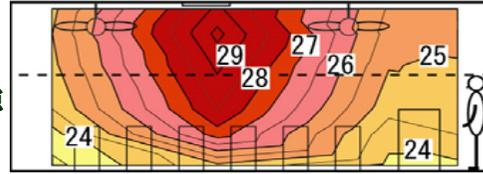
Case1  
ACのみ



Case3  
AC+CF弱  
(約150rpm)



Case5  
AC+CF強  
(約300rpm)



22

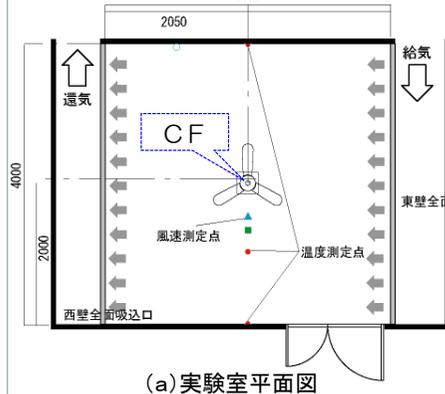
## ③人工気候室における皮膚温測定及び主観評価実験

## 実験方法

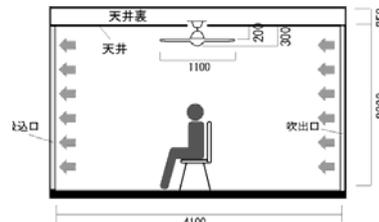
23

実験日 2011年9月12日～9月25日  
実験室 大阪大学工学部S1棟人工環境実験室

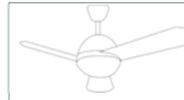
- 室温28°C、湿度50%
- 隣接する前室も同じ温度設定で空調



(a) 実験室平面図



(b) 実験室断面図



## 実験条件

24

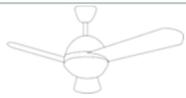
- 無風、微風、強風、ゆらぎの4条件  
(電圧調整器を用いてCF回転数を調整)

Case	気流方向	室温[°C]	回転数[rpm]	ゆらぎ
1	無風	28	0	なし
2	微風		80	
3	強風		170	
4	ゆらぎ		—	あり

- 被験者は本学学生4名 (20代男女2名ずつ)

着衣量: 0.4clo (夏期の服装を想定)

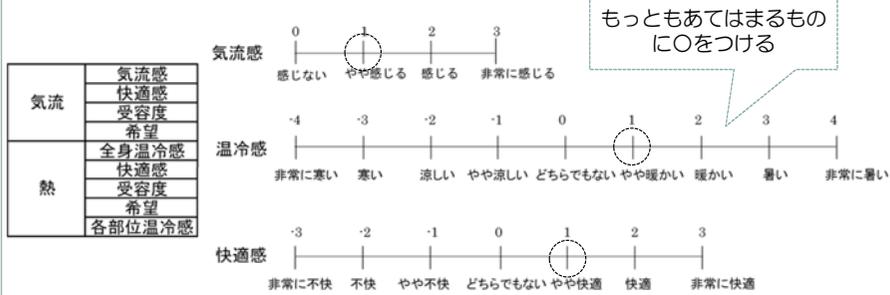
実験中は読書等の軽作業



## 評価尺度

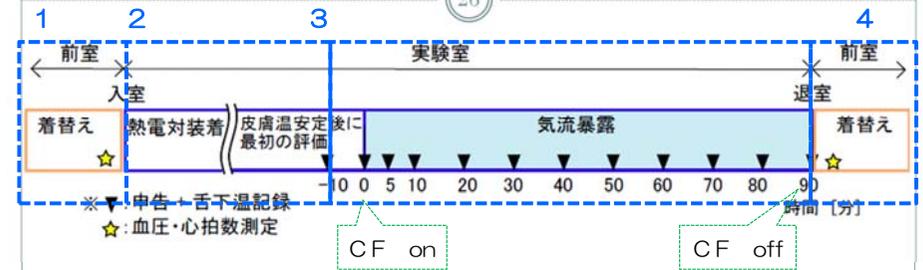
25

申告 { 気流感, 温冷感, 快適感 (気流・熱),  
受容度 (気流・熱), 変化希望 (気流・温度)

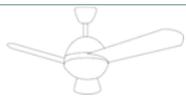


## 実験手順

26



1. 前室で血圧・心拍数を測定、実験室に入室
2. 椅子に着席し、熱電対を装着  
皮膚温安定後に実験開始
3. ▼に示す時刻に評価申告、舌下温測定 (全12回)
4. 実験終了後、前室で血圧・心拍数を再度測定

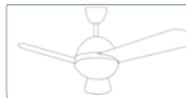
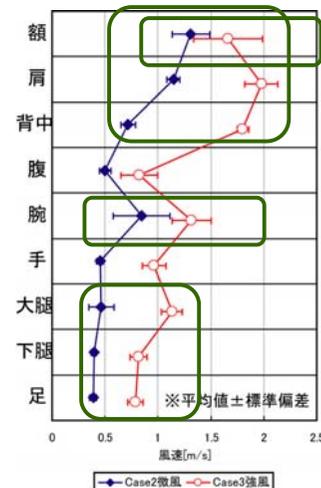


## 人体近傍の風速測定

27

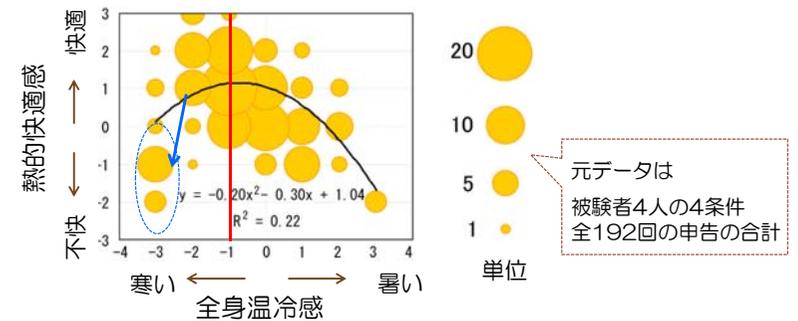


- 上半身ほど大きい風速
- 下半身の風速は1m/s以下
- 額と腕で変動が大きい



## 主観評価間の関係

28



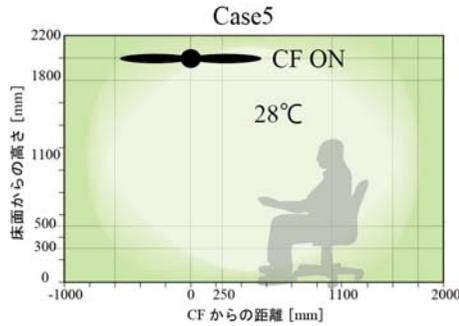
- 全身温冷感が-1 (やや涼しい) のときに熱的快適感が高い
- 全身温冷感が-3 (寒い) のときは熱的快適感大幅に下がる



# 皮膚温測定実験

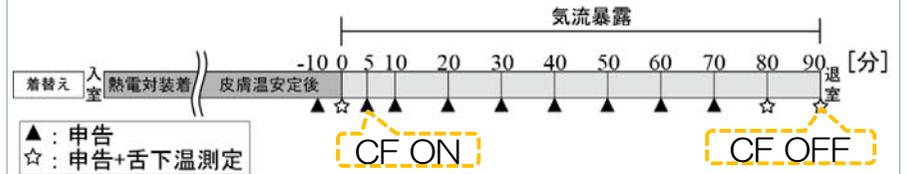
29

実験実施期間：2012年10月23日～11月1日  
 被験者：本学男子学生5名  
 着衣量：0.6clo程度（夏季のクールビズの服装）  
 代謝量：1.0met程度（読書等の軽作業）



# 実験手順

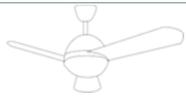
30



前室で設定着衣に着替え、実験室入室

椅子に着席し、熱電対を装着  
皮膚温安定後に実験開始

▲ ☆に示す時刻に評価申告、舌下温測定（全12回）

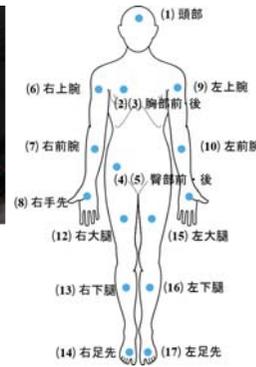


# 測定項目

31

物理量 風速（頭部・大腿部・下腿部を想定し測定）  
 鉛直温度分布（高さ：床上100,600,1100,1700,2100mm）  
 壁面温度（高さ：床上1100mm）、床面温度、天井面温度

生理量 皮膚温  
舌下温

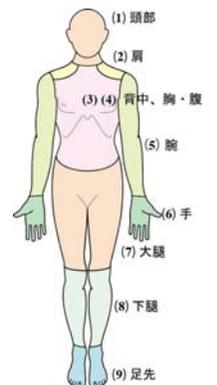
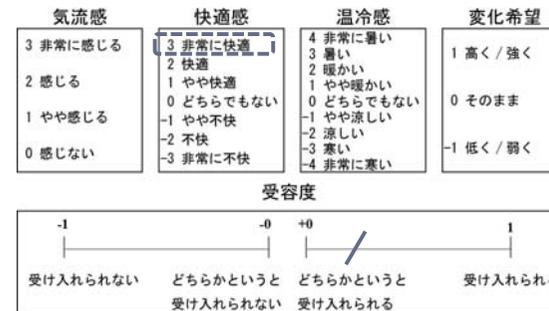


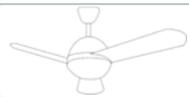
# 主観評価項目

32

申告 気流感、**気流快適感**、気流受容度  
**温冷感**、**温冷快適感**、温冷受容度  
 気流+温冷快適感、気流+温冷受容度  
 気流変化希望、温度変化希望

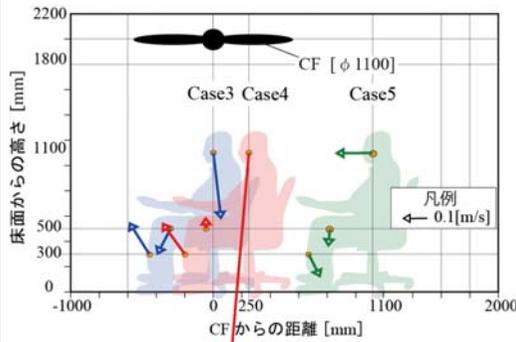
各部位について評価





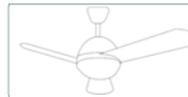
# 人体位置での風速

33



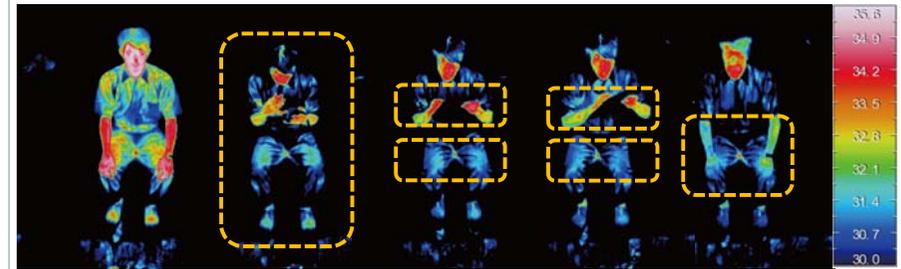
風速 [m/s]	Case3	Case4	Case5
頭	0.58	1.67	0.25
大腿	0.25	0.13	0.19
下腿	0.30	0.31	0.22

風向風速が座席位置・人体部位で異なる



# 皮膚表面温度の経時変化

34



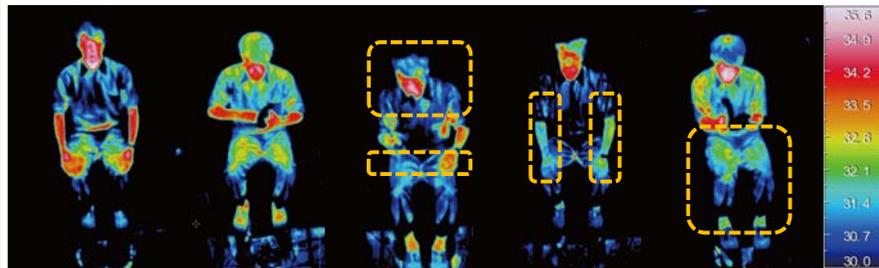
CF運転開始(0分) 5分 30分 60分 90分

- 全体的に急激に温度低下
- 腕・大腿部は徐々に温度が低下

Case	運転モード	距離 [mm]
1	26°C off	0
2	28°C off	0
3	28°C on	0
4	28°C on	250
5	28°C on	1100

# 各条件における定常時の皮膚表面温度

35

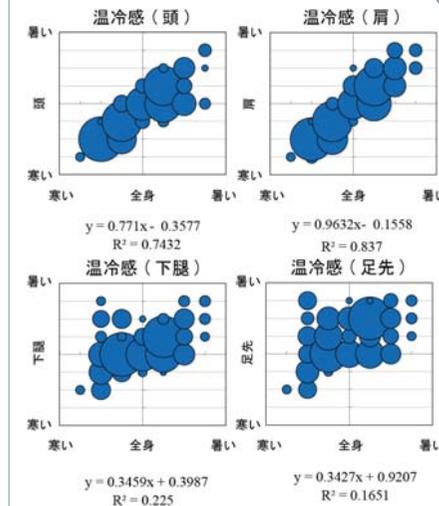


Case1 26°C CF OFF Case2 28°C CF OFF Case3 28°C CF ON 0m Case4 28°C CF ON 0.25m Case5 28°C CF ON 1.1m

- Case3は上半身、大腿で温度低下
- Case4は全身で温度低下、低下幅最大
- Case5は大腿、下腿で温度低下

# 全身と部位の温冷感の相関関係

36



- 上半身は相関が強い

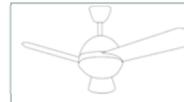
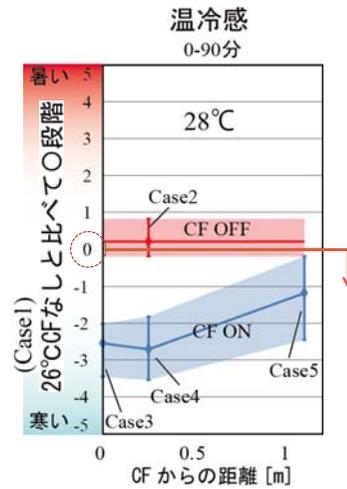
- 下半身は相関が弱い

被験者全員の0-90分の値

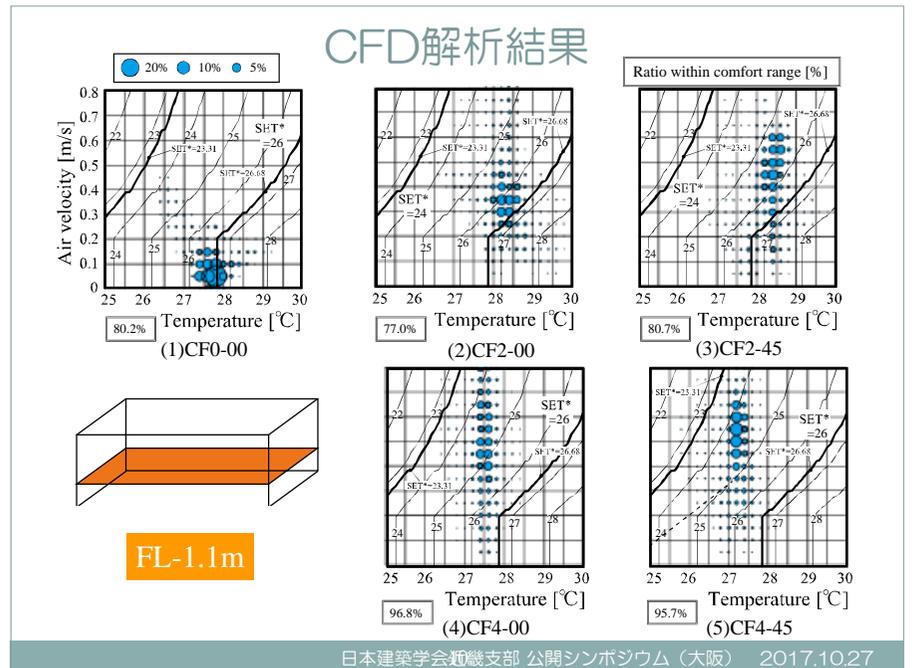
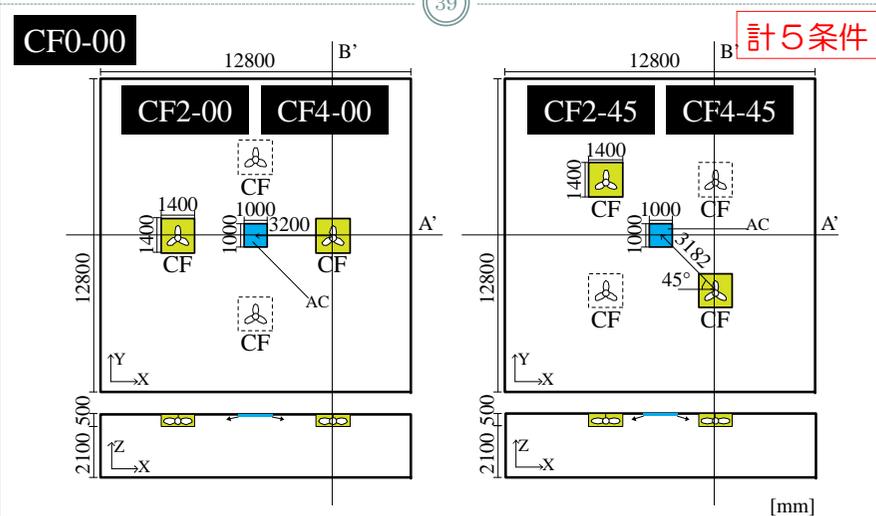
26℃CFなし (Case1) との差  
がCFによる温熱環境改善効果



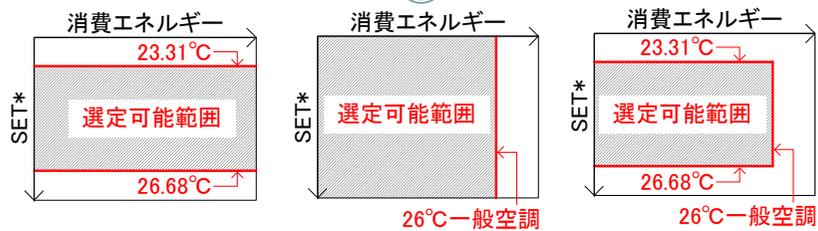
CF直下から1.1mでは  
約2℃の室温上昇を補う効果



④CFD解析結果に基づくシーリングファン選定図



41

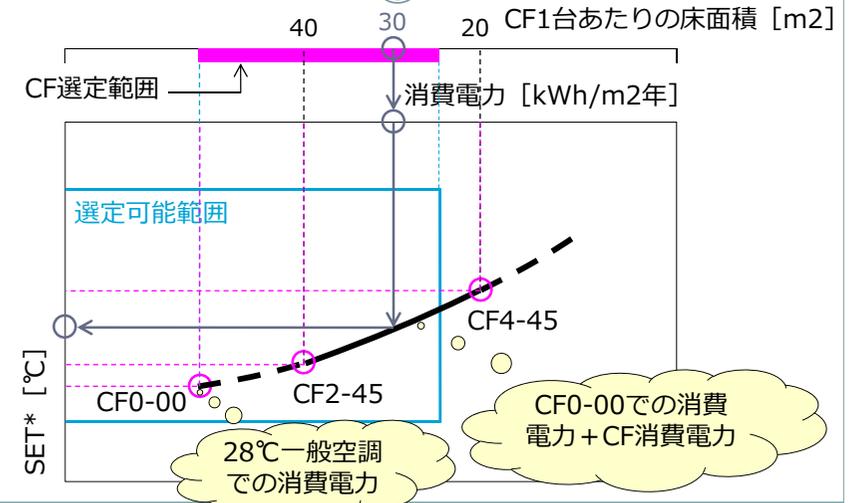


①温熱環境 + ②消費エネルギー → 選定可能範囲

- ①温熱環境による選定可能範囲  
ANSI/ASHRAEによる快適域であるPMV = -0.5~+0.5 (不快者率10%以内) に相当する2nodeSET\* = 23.31~26.68°C
- ②消費エネルギーによる選定可能範囲  
26°C一般空調以下

笠原, 高山, 古賀, 一谷, 桃井, 相良, 山中, 甲谷, 森井「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7) 気流感による空調設計及び評価」, 空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2013.9

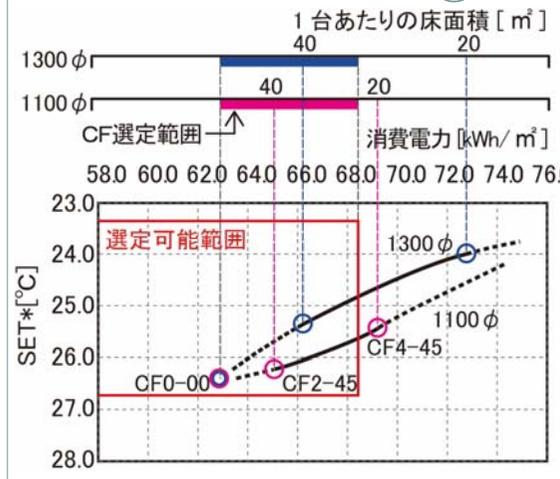
42



28°C一般空調での消費電力

CF0-00での消費電力 + CF消費電力

43



選定範囲内で最もSET\*が小さくなるようにした場合

- 1100φ : 13台 (SET\* = 25.7°C)
- 1300φ : 9台 (SET\* = 24.8°C)

44

- シーリングファンの気流速度の上限については議論が必要
- 熱的快適感には気流の快適性が大きく影響する
- シーリングファンは冬の上下温度分布解消に効果的である
- シーリングファンの中間地点で気流が衝突し、上昇または下降気流が生じる危険性があるため、シーリングファンの設置間隔には注意が必要
- シーリングファン直下から1.1mでは約2°Cの室温上昇を補う効果がある
- シーリングファン選定資料の充実が必要
- 好みの気流については個人差が大きい
- 気流の快適性・満足度には、居住者が制御できることが重要