

# 人間のアダプティブ性を考慮したパーソナル空調システムの開発（その1） 既往のパーソナル空調システムの使用状況把握とその問題点の解明

環境工学—暖冷房・空調

パーソナル空調 被験者実験 温冷感  
快適性 制御特性

正会員○松本さやか<sup>\*1</sup> 同 須藤美音<sup>\*2</sup>  
同 村上周三<sup>\*3</sup> 同 加藤信介<sup>\*4</sup>  
同 宋斗 三<sup>\*5</sup>

## 1. 研究の背景

年齢や性別、服装、体調、作業状況などの相違による温冷感の個人差とともに、オフィス空間のOA化やパーティション増加に起因する不均一な温熱環境により、現状の室温一定制御の空調システムでは、オフィスワーカー全員を快適にさせることは困難である。欧米を中心に、個人の温冷感に対応可能なパーソナル空調がオフィスの環境調節システムとして検討され、ここ数年国内でも注目されてきた。パーソナル空調は個人の好みに応じて温熱快適性を調整することを可能にすることによる、生産効率の向上にも重点がおかれている。しかし、現状では省エネルギー性や快適性に関する検討が不十分であるため、普及には至っていない。

一方、政府はCOP3（京都会議、1997.12）に基づく地球温暖化防止対策として、夏季の室内設定温度を28°Cに推奨している。しかし現状の空調システムでは、大きな温熱感ストレスを免れ得ない。このような背景から、快適かつ省エネルギー的な空調システムとして、パーソナル空調が改めて注目されている。

本研究では人の熱的適応性を空調制御論理に生かして、従来型より快適かつ省エネルギー的なパーソナル空調システムを開発することを目的としている。本報では、パーソナル空調システムの設計者及び使用者におけるヒアリング調査や、被験者実験において従来型のパーソナル空調システムの温熱快適性及び制御特性からその問題点を抽出し、より効率的なパーソナル空調システムの制御方法を提案することを目的としている。

## 2. 従来型パーソナル空調システムに関する考察

### 2.1 ヒアリング調査による従来型パーソナル空調システムの問題点

パーソナル空調システムは個々人の温熱快適性への欲求を満足させることにより、生産効率の向上を目指す人々の要求から生まれた空調システムである。オフィスのOA化が急速に進んだ1990年代、国内にもパーソナル空調が室内環境調節システムとして導入されたが、

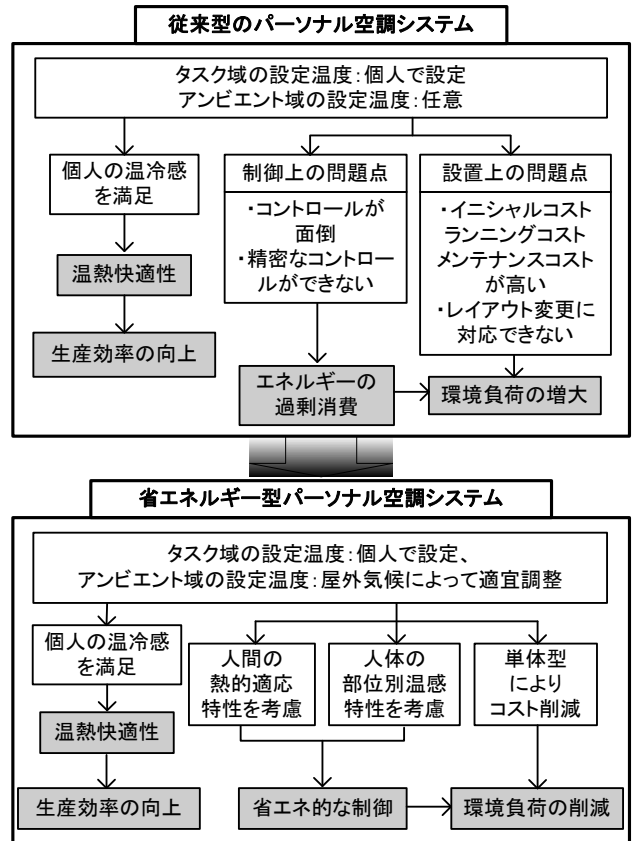


図1 省エネルギー型のパーソナル空調システム

様々な問題点が浮き彫りになり、普及には至っていない。

空調設計者及び実際の使用者に対するヒアリング調査により、従来型パーソナル空調システムの現状及び問題点に関して調査を行った。

#### (1)設備管理者側の問題点

①1人に1システム必要であるため、インシヤルコスト、ランニングコストが高い。②修理に手間がかかり、メンテナンスコストが高い。③吹出口用ダクトの配置変更が困難なため、オフィスのレイアウト変更に対応しにくい。

#### (2)使用者側の問題点

①局所的に風速が速く温度も拡散しにくいいため、ドラフトを感じやすい。吹出口が見える・触れられる距離にあるため、人間の心理に大きな影響を及ぼす。したがって、快適性が向上するとは限らないケースも発生する。

②家庭用エアコンに比べて制御できる条件が限られているために不満感が増大する場合がある。

## 2.2 省エネルギー型パーソナル空調の概要 (図1)

2.1を踏まえ、本研究で検討している、快適かつ省エネルギー的なパーソナル空調システムの概要を述べる。

### (1)人間の熱的適応能力を空調制御論理に導入

①人間の温熱環境変化に適応する能力を空調制御論理に導入することで、アンビエント域の温度を屋外気候の変化と連動させて調整する。これにより、アンビエント域の空調負荷の軽減が可能となる。②人間は空調ゾーンにおける滞在時間の経過とともに熱的刺激が徐々に減るので、空調制御量を減らす必要がある。従来のパーソナル空調では制御を全面的に使用者に任せているため、省エネにならない場合が多かった。

### (2)人体の部位別温感特性を制御論理に導入

パーソナル空調は局所的に熱刺激を緩和させる空調システムである。したがって、人体部位別温感特性を解明すれば、より効率的に人間を快適にできると考えられる。

### (3)単体型パーソナル空調システムの開発

従来型パーソナル空調システムはレイアウトの変更に対応できず、それがコスト増加の原因となる。したがって、新たな空調システムはダクト等を削減した単体型にすることが望ましい。

## 3. 被験者実験による従来型パーソナル空調システムの温熱快適性及び制御特性の把握

従来型パーソナル空調システムの温熱快適性及び制御特性を把握し、その問題点を抽出することにより、より効率的なパーソナル空調システムを設計するための基礎データを得ることを目的として、被験者実験を行った。

### 3.1 実験の概要 (図2,3、表1,2)

図2に示す慶応義塾大学の環境実験室において、表1に示す夏のオフィスを想定した実験条件の下で被験者実験を行った。実験期間は2002年10月16日～11月2日であった。被験者は20～25歳の健康な大学生男女15名ずつ計30名を対象とし、着衣量は男性0.70clo、女性0.55cloとした。

実験手順を図3に示す。被験者は、実験室に入室後30分間28℃の環境に待機する。入室後25分で28℃環境における環境受容度、温冷感、快適感の申告を行う。入室後30分からパーソナル空調ユニットを作動させ、被験者の熱的好みに応じて自由に制御する。その様子をビデオカメラにより観察する。パーソナル空調の作動開始後20分間は2分毎、それ以後は10分毎に温冷感・快適感申告を行

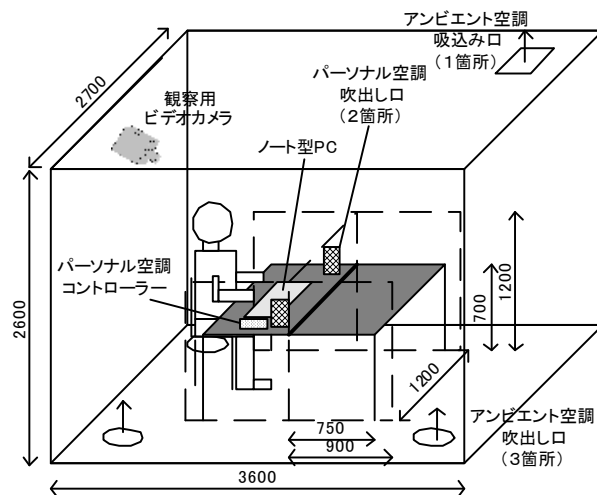
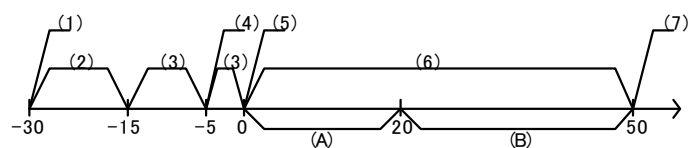


図2 実験室概要



- (1) 実験室入室
- (2) アンケート(感受性)記入、待機
- (3) タイピング作業
- (4) アンケート(28℃環境)記入
- (5) パーソナル空調ON
- (6) タイピング作業、パーソナル空調を自由に操作、ビデオカメラによる観察
- (A) 温冷感申告(2分毎)
- (B) 温冷感申告(10分毎)
- (7) アンケート(曝露後の感想等)記入

図3 実験手順

表1 実験条件

室内設定温湿度	28℃、50%RH	
アンビエント気流方式	床吹出し、天井吸込み	
アンビエント気流速度	0.5m/s	
パーソナル空調調節可能範囲	風速	5パターン (1.18m/s、1.51m/s、2.47m/s、2.93m/s、3.15m/s)
	温度	3パターン (24℃、25℃、26℃)
	風向	3パターン (上向き、直進、下向き)
	電源	ON/OFF
被験者の着衣	男性	半袖Yシャツ、長ズボン、ネクタイ、靴下
	女性	半袖ブラウス、スカート、ストッキング

表2 申告スケール

感受性	6スケール (1:とても鈍感 2:鈍感 3:やや鈍感 4:やや敏感 5:敏感 6:とても敏感)
環境受容度	4スケール (-2:受け入れられない -1:どちらかという受け入れられない 1:受け入れられる 2:どちらかという受け入れられる)
温冷感	7スケール (-3:寒い -2:涼しい -1:やや涼しい 0:中立 +1:やや暖かい +2:暖かい +3:暑い)
快適感	6スケール (1:とても不快 2:ある程度不快 3:やや不快 4:やや快適 5:ある程度快適 6:とても快適)

う(表2)。

## 3.2 実験の結果と考察

### 3.2.1 温熱快適性の検討

#### (1)28℃環境における受容度 (図4)

28℃環境における環境受容度を図4に示す。男性の約

30%、女性の約60%が28℃環境に満足する結果となった。これは、実験中の仕事率が低く、実際のオフィスより放射熱が少ないためと考えられる。

### (2)温冷感 (図 5,6)

温冷感申告結果を図 5,6 に示す。28℃環境とパーソナル空調使用後と比較すると、男女とも「暑い」寄りに回答していた割合が減り、「中立」申告者が女性は使用前の約 1.5 倍、男性は約 2 倍になっている(図 5)。人体の部位別平均温冷感ではほぼ男女差は見られないが、着衣の差により下半身が女性は男性より寒く感じる傾向を示した(図 6)。前腕は、吹出し気流に直接曝露されるため、男女とも最も寒く感じる部位である。

### (3)快適性 (図 7,8)

快適感申告結果を図 7,8 に示した。28℃環境とパーソナル空調使用後の「快適」側の回答率を比較すると、男性は使用前の約 1.5 倍程度快適性が向上している(図 7)。しかし、女性はパーソナル空調使用により多少不快になる可能性を示す結果となった。この原因は、女性は顔面に直接受ける気流に非常に敏感であり(図 8)、顔面の不快感が全身の快適感に大きな影響を及ぼすためと推測できる。男性も顔面に不快感が集中しており、男女とも気流を顔面に直接受けることは不快になる可能性が高い。

### (4)パーソナル空調の使用上の生理・心理的問題点

①温冷感に関する問題点 被験者の 1/3 が「腹部と背部の温冷感の差が不快」と回答したことから、局所的に風

を当てると部位別の温感差によって不快になる可能性がある。これは、上半身の前面にのみ気流を供給する卓上パーソナル空調における課題である。さらに被験者の半分が「もっと弱い風が望ましい」と回答しており、パーソナル空調を長時間使用する場合には、本実験の最低吹出し風速 0.5m/s より遅い気流が必要である。②快適性に関する問題点(図 9) 生理的には「目が乾く」ことがもっとも大きな問題点である。ドライアイの原因の一つとなるパソコン作業に加え、前面から被験者に向けて風を吹かせたことで、一層目に負担をかけてしまった。また、「風が当たるだけで不快」、「前面から風が吹いてくることが不快」といった点は、吹出し口が前面にあるために顔面が不快になる上、見える・触れられることが気流への嫌悪感をさらに掻き立てたと考えられる。この解決策として、吹出し口を前方以外に設けることが挙げられる。「机上の

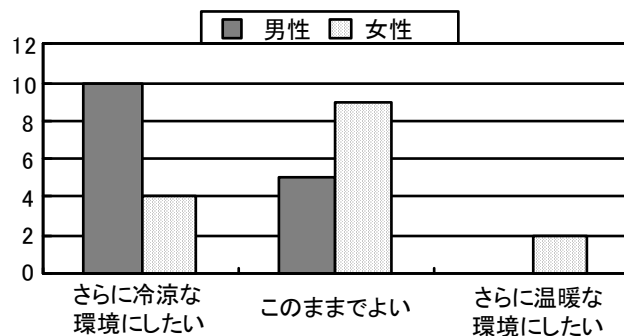


図 4 28℃環境における熱的好み

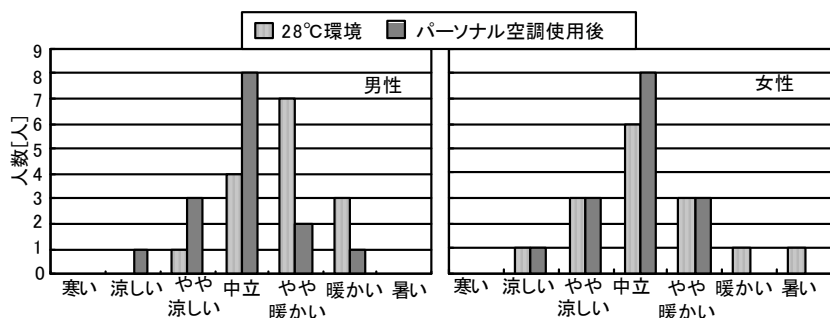


図 5 全身温冷感の申告結果

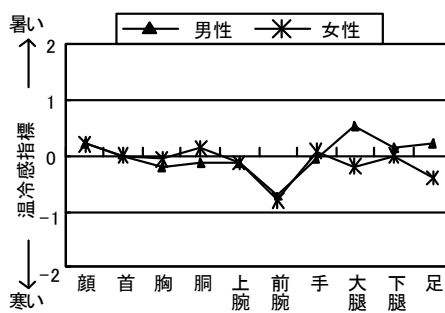


図 6 部位別平均温冷感

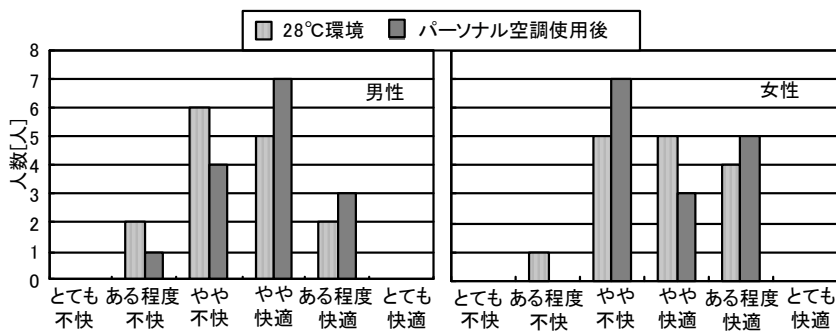


図 7 全身快適感の申告結果

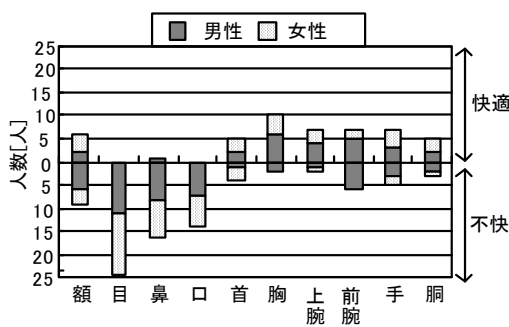


図 8 部位別快適感の申告結果

書類が飛ぶ」不快感は女性による申告が目立った。

「コントロールが面倒」の回答者はほぼ男性であった。これより、作業に集中した場合コントロールを忘れて、無意識に寒さや暑さを我慢し、空調エネルギーを無駄に消費する可能性を指摘することができる。パーソナル空調の省エネルギー性を追求するためには、全面的な個人制御ではなく、自動である程度制御可能なシステムを開発する必要がある。

### 3.2.2 制御特性の検討

ビデオカメラによる実験の観察記録の結果を示す。

#### (1) パーソナル空調ユニットの平均使用時間 (図 10)

風向の使用時間の傾向は、男性は直進が多く、女性は直進と下向きが同程度だった。女性は顔に気流が当たらないように気を遣っていることが推測できる。温度は、男女とも 24°C を使用する時間が長かった。女性は寒さ・気流に敏感であるため、OFF にする傾向や 2 種ほどの風速レベルを比較的長時間ずつ利用している傾向が見られた。男性は吹出し風速が約 2m/s 前後の気流を好む。

#### (2) パーソナル空調ユニットの平均調節回数 (図 11)

パーソナル空調ユニットの全使用時間 (50 分間) を通して、男女とも風速の調節回数が多く、この傾向は特に男性に顕著である。また、最初の 20 分間に調節回数が偏っていた。このことから、初めに風向・温度・風速に関して個人の好みを模索し、その後は主に風速の微調整を行う傾向がうかがえる。

## 4. まとめ

本研究では、従来型のパーソナル空調の管理者及び使用者におけるヒアリング調査と、被験者実験における温熱快適性及び制御特性を把握し、その問題点を検討した。

- (1) パーソナル空調を普及させるためには、システムの単体化、人間の熱的適応性、人体部位別温感特性を生かした制御面での工夫が必要である。
- (2) パーソナル空調を導入することにより、アンビエント域の設定温度を高くしても居住者の熱的快適性の維持が可能である。
- (3) パーソナル空調使用後の温冷感・快適性に男女差が見られた。
- (4) パーソナル空調を長時間使用する場合には、吹出し風速をより低速にする必要がある。
- (5) 顔面に直接気流を浴びることは、気流感や目の乾燥により全身の不快感に多大な影響を及ぼす。
- (6) コントロールが面倒という問題点から、エネルギーの浪費が懸念される。

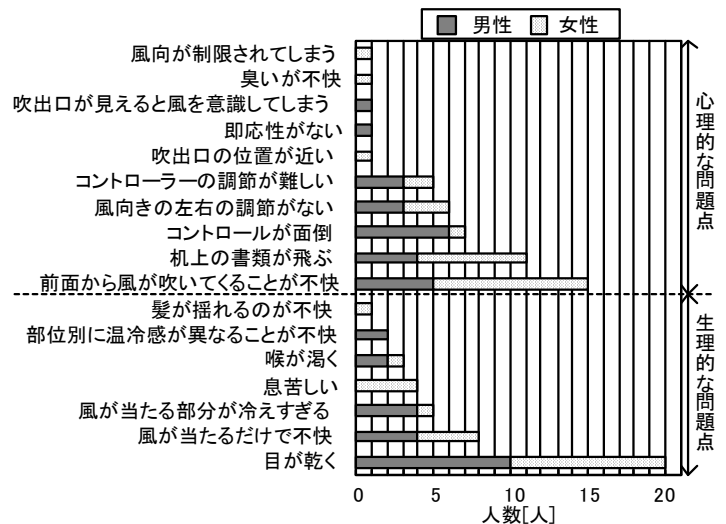


図 9 パーソナル空調使用上の問題点

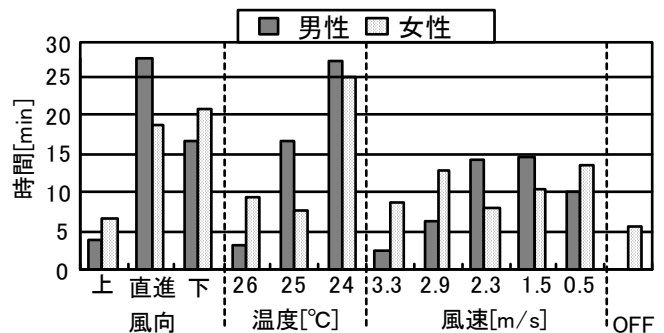


図 10 平均使用時間

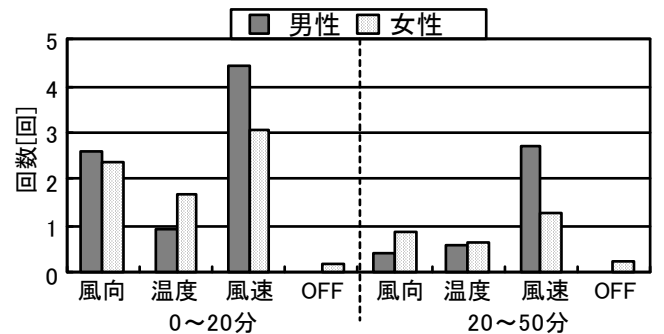


図 11 平均調節回数

(7) 女性は OFF にする傾向や各風速を比較的長時間ずつ利用している傾向があり、男性は温度と風向の調節回数が多いう傾向があった。

【謝辞】 研究の遂行にあたり日建設計の伊香賀俊治氏及び近本智行氏、東京ガスの大森敏明氏から多大なご助言を頂き、ここに謝意を表します。また実験装置作成にあたり高砂熱学工業の清水保夫氏及び三河直人氏、川本英治氏にご協力頂き、心より感謝致しております。【参考文献】 (1) Bauman, F.S, H.Zang, E.Arens, and C.Benton: Localized comfort control with a desktop task conditioning system: laboratory and field measurements, ASHRAE Transactions, Vol.99, Pt.2, 1993

\*1 慶應義塾大学システムデザイン工学科 4 年 \*2 慶應義塾大学大学院  
\*3 慶應義塾大学システムデザイン工学科教授、工博 \*4 東京大学生産技術研究所教授、工博 \*5 東京大学生産技術研究所助手、工博