床設置型個別冷暖房ユニットを用いたタスク・アンビエント空調 システムの室内温熱環境の実験解析

EXPERIMENTAL ANALYSIS IN INDOOR THERMAL ENVIRONMENT IN TASK AND AMBIENT AIR-CONDITIONING SYSTEM USING STAND-ALONE PERSONAL HEAT PUMP UNIT

李 克欣*, 伊藤尚寛**, 中原信生***

Kexin LI, Hisahiro ITO and Nobuo NAKAHARA

A task and ambient air-conditioning method was proposed with new air-conditioning concept for intelligent office space, from the viewpoints of both increasing thermal comfort and reducing energy requirement. The stand-alone heat pump unit, which is typically located under free-access floor, was applied to each occupant, and used as localized air-conditioner. Heating or cooling can be changed according to user's intention. The conventional air diffusion system, which has ceiling-mounted diffusers and floor-mounted intakes, was applied for ambient space. The indoor thermal environment was evaluated under actual work condition of occupants and actual heat load in the experimental room. The effects of ambient set-point air temperature and operating mode of the unit were mainly analyzed. Together with the task unit, the set-point air temperature of the ambient system could be decreased to approximately 20 °C in winter and increased to approximately 28 °C in summer, with maintaining moderate thermal comfort.

Keywords: personal air-conditioning, experiment, temperature distribution, thermal comfort, energy saving

パーソナル空調, 実験, 温度分布, 快適性, 省エネルギー

1. はじめに

知的生産性の向上、オフィスオートメーション（OA）作業に起因するストレス緩和などの理由から、オフィスにおける快適性の向上が強く要請されている。この要請に対する温熱環境の側面からの回答の一つが空調のパーソナル化であり、熱的快適性に対する個人差の存在とOA化に伴う発熱負荷源の遍在化とがその合理性を強調している。前者は体質、着衣量や作業状態などに起因する個人差を吸収し、全員に快適な環境を享受させるには、個人個人に対応した空調システムに依らざるを得ないということを意味し、後者は人の存在する発熱負荷の大きな場所だけを効率的に空調しようとすることを意味する。当然、かかる快適性の追求は、一方で省エネルギーという時代の要請にも応える得るものでなくてはならない。換言すれば、省エネルギーと快適性の向上の両立こそが今後の空調に架せられた課題であると言える。

一般的なオープンオフィスにおいては、作業者が通常

作業を行う領域（タスク域）とそうではない領域（アンビエント域）は空間的には当然連続する。そして、アンビエント域にも人は移動するし、照明負荷なども存在する。熱拡散の原理から考えれば、タスク域のみのパーソナルな空調システムですべての負荷を処理することは、室温分布はもちろん空気質の観点からも問題が生じるであろう。故に、アンビエント域も独立したシステムによってある環境水準を補償する“タスク・アンビエント空調”が、パーソナル空調を考えるとそれを包含する概念として考慮されねばならない。

本研究では、比較的簡易に構築できると考えられるタスク・アンビエント空調方式として、床設置型個別冷暖房ユニットをタスク域にパーソナル空調用として用い、天井吹出しの従来空調方式によってアンビエント環境の制御を行うタスク・アンビエント空調システムを想定し、快適性とエネルギーの2つの視点から実証的な実験室実験に基づいて温熱環境の解析を行った。

* 名古屋大学工学部建築学科 大学院生・工修

** 三重大学工学部建築学科 助教授・工博

*** 名古屋大学工学部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, School of Engineering Nagoya Univ., M. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, School of Engineering Mie Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, School of Engineering Nagoya Univ., Dr. Eng.

2. 解析対象システムと評価の方法

2. 1 解析対象システムと適用範囲

本研究で対象とするシステムを図-1に示す。OA化に伴い二重床（フリーアクセスフロア）が今後ますます普及するものと予想されるが、その存在を前提として、床吹出し空調をパーソナル用として用いる。吹出し口は原則的に個人個人に対応して設けられる。そして、アンビエント系は天井吹出し・床吸込みによる一般的な空調システムで対応する。

パーソナル空調装置には個人の希望への対応性のよさが要求される。図-1のシステムに限定した場合でも、吹出し口形状、大きさ、風量、温度差の設計要因と運転制御法に関して、検討すべき多くの課題がある。本研究では、システム構築が現時点で容易に行えることを前提とし、また“パーソナル”という視点から本方式の適用可能性に関する知見を得ることを目的として、図-2に示すような既製品の冷暖房ユニット（付録参照）を用いた。したがって、実現可能性を損ねない範囲で、本方式の適用性を評価することに主眼をおいた。

このユニットは熱電素子効果¹⁾を利用したもので、冷暖房能力と風量は一定であるが、居住者（被験者）が手元にあるスイッチで冷房・暖房の切替や停止を自由に行うことができることに特徴がある。表-1にユニットの仕様を示す。冷房能力は約116Wで、OA作業を対象としたとき、その発熱量を人体58W、機器166Wと想定した場合、その約半分に相当する。室内空気を吸込み、熱電素子で冷却または加熱された冷風または温風が軸流吹出し口から吹出される。環境調整面から言えば、この気流によって居住者の足元周辺の温度を他の領域（アンビエント）より若干高くしたり低くしたりすることになる。ユニットの廃熱は床下に捨てられ、アンビエントシステムによって一緒に処理される。ユニットのCOP値（定格値は約0.4である）は低いが、本研究の範囲では室内への供給熱量のレベルでエネルギーの評価を行うので、ユニットや、アンビエントシステムシステムの効率には言及しない。これは、室内空気分布設計の視点からのタスク・アンビエント空調システムの評価に主眼を置いたためであり、システム自体の最適化にはユニットの効率向上など他の多くの要素が影響するからである。

本研究では、これらの特性が環境分布形成に与える影響の把握のもと熱的快適性の評価に言及した上で、他の研究成果を踏まえて、成果の拡張性・適用範囲について考察を行うこととする。

2.2 既往研究の検討及び本研究の位置づけ

これまでパーソナル空調システムに関するいくつかの研究が行われてきた。木村ら²⁾は空調空間における快適性の個人差および、吹出し口を持つ仮想ワークステーションによるタスク・アンビエント空調システムのさまざ

図-1 解析対象システム

⇨ 床下側空気流れ ⇨ 室内側空気流れ

図-2 冷暖房ユニットの据付け断面図

表-1 冷暖房ユニット性能表

吹出し風量	0.92kg/min	暖房能力	232.5 W
冷房能力	116.3 W	吹出風速	1 m/s
消費電力	300 W	騒音	NC40
基準吹出し温度差：暖房 t_{d} 15℃、冷房 t_{d} 7.5℃			
容量制御：なし、（遠方ON-OFFのみ）			

まな部分気流が快適性に与える影響を調べるため、体感実験と省エネルギーの評価を行い、アンビエント域の適切な温度幅が2.6～2.9℃であることを求めた。小宮ら³⁾は空調機による上下温度分布を解析し、冷温風を作り出せるヒートポンプエアコンを一体化したパーティション（空調機）による一般空調空間における上下温度分布の改善効果について検討し、熱的快適性は夏冬ともに空調機により改善される傾向を求めた。今川ら⁴⁾はパーソナル空調デスクを開発し、実際の事務所建物に適用し、居住者の熱的快適性が改善されることを検討した。坊垣ら⁵⁾は気流を作業者に個別に吹き出し、夏期および冬期を対象とした被験者実験を行った。これらの研究は何れもパーティションや机などの家具を用いたパーソナル空調システムの実験および実測である。本研究ではインテリジェントオフィスには今後一般的になると予想される二重床空間を利用して、その床下に冷暖房ユニットによるタスク空調を想定し、オフィスの現実的な作業空間を実験室の中に再現し、作業（被験者）が通常の業務を行うなかで、アンケートを採り、また、環境分布を実測することによってシステムの評価を行う。このシステム

では、主に座位居住者の足元に局所的な低・高温域を形成することによって、パーソナル空調を達成することを意図しており、上述のようなシステムとは考え方そのものが異なる。

評価の視点を熱的快適性に絞った場合でも、パーソナル空調は非常に多面的な要素を含んでいる。定常的な状態として、形成される環境分布との心理反応と関係が重要になるし、非定常な状態として、タスク域の調整が個人の嗜好にどの程度追従できるかが重要になる。また、心理的評価の面からは、かかるシステムが存在すること自体の効果も無視できない。このようなパーソナル空調の熱的快適性評価に対して如何なる手法を適用するかは難しい。個人の好みに応じて調整を可能にすることにパーソナル空調の意義があるとすれば、それに如何に効率的に追従できるかどうかシステムの対応の柔軟性が重要になる。しかし、そのためにはある程度タスクとアンビエントの負荷処理の比率を求めておくことが必要であるし、要求される吹出し条件についてもある程度見当をつけておく必要がある。こうした上で、時間的にも空間的にも不均一な環境分布が生理心理反応に与える影響を定量化しなければならない。

筆者らはこれらの課題に対して実証的な実験によって温熱環境について分析することを試みた。実証的な実験とは実際のオフィスに近い空間を実験室に再現した上で、解析対象システムを構築し、被験者にもほぼオフィスの日常業務に近い形で作業を継続させ、そのうえで、アンケートと環境測定結果からシステム評価に言及する方法である。すなわち、被験者の側から見れば実際のシステムが再現されていることになり、通常の作業状態で、自然な評価を得ることができる。こうして、実際の状況下で、不均一な変化・変動やパーソナル装置の存在そのもののイメージ等も含んだ総合的な熱的快適性評価が申告値に集約されることになると思われる。

3. 実験概要

3.1 実験室の概要

実験は名古屋大学空調・環境実証実験室において行った。図-3に実証実験室の平面図（天井高さは2.35m）を示す。この実験室はインテリジェントオフィスを疑似し、ワークステーションが並べられ、パソコン・プリンターなどの機器が設置されている。また、実験室は二重床となっている。アンビエント系は天井吹出し、床吸込みにより空調される。拡散型吹出し口を用い、室内に適正に空気が拡散するように配置されている。室内の発熱量はおよそ照明器具19W/m²、機器38W/m²、人体7W/m²で実験中は定常的に与える。図中のA、B、Cは被験者および対応する床下ユニットの位置を示し、床下ユニットの位置の要因効果を見るため3種類を同時に設定した（後述）。①～⑨は温度測点の位置である。

図-3 実験室平面配置図

表-2 被験者属性の統計値

実験 No	参加 人数	延べ被 験者数		年齢 (才)	体重 (Kg)	身長 (cm)	知値
冬期	15人	42人 (女17)	平均	23.1	60.0	168.5	0.75
			SD	1.4	5.7	4.3	0.05
夏期	25人	44人 (女12)	平均	23.9	59.5	171.5	0.51
			SD	5.6	2.9	4.1	0.06

注：平均、SD(標準偏差)の計算は延人数基準とする。

3.2 実験方法

本実験では、実証的に環境性能および被験者の申告値を解析するために、以下のように実験を行った。

- 1) スケジュール 各実験日の8:30から、所定の条件に従って、必要機器を動かす(アンビエント用空調機・冷凍機、個別冷暖房ユニット、計測システム、照明等)。9:30に被験者が入室し、所定位置で作業を開始し、同時に計測も開始し、9:40から20分おきに被験者にアンケートの記入を依頼し、継続して冬期の実験は17:00、夏期実験は15:00まで行った。
- 2) 被験者及び着衣条件 被験者は全て名古屋大学建築学科の日本大学院生或いは学生であり、着衣条件は原則的に被験者の自由調整とした。ただし入室30分後までに周囲環境に応じて調整を行い、その後は固定することとした。なお、夏期に女性は殆どスカートを着用していた。また、スリッパの着用を義務づけ、冬期にはオーバー等は不可とした。被験者の属性を表-2に示す。クロ値の計算は被験者の申告に基づいて花田ら^{6) 7)}の方法によって求めたものである。
- 3) 実験中の被験者の行動 所定の位置(個別冷暖房ユニットが設置されている3ヶ所に対応)で各自自由に作業を行う。被験者は研究作業(主にパソコン使用)とし、原則的に机に対向して作業を行った。なお、用便、

食事等による入退室、室内での退席は自由である。

- 4) アンケート申告 アンケートの項目を表-3に示す。
全身寒暑感、涼暖感、快・不快感および局部寒暑感に関する項目については7段階スケールで、床吹き出しの風および音を含めて室内の環境状態に対する評価に関する項目については4段階スケールで、全16項目を設定した。なお、アンケートは昼食等による退室時は欠損となる。

- 5) 温熱環境の測定 主な測定位置を図-3の実験室平面図に示す。アンビエント空気温度については①～⑨の位置で、鉛直に11点または17点CC熱電対で測定した。グローブ温度は1点（グローブ温度計は熱電対を差し込んだもの）、湿度は3点で（ヴァイサラ製高分子膜センサー）測定し、個別冷暖房ユニットの吸込み・吹出し温度についてもそれぞれ3点で測定した。それらをデータローガーTR2731/2741（㈱アドバンテスト製）で5分間隔で自動的にフロッピーディスクに記録した。

- 6) アンビエント環境の制御 吹出し風量は定風量で、実験室のほぼ中央に取り付けられた制御用温度センサーにより、コイル入口冷温水温度がPIDで三方弁制御される。なお、この位置は床個別ユニットの気流の影響は受けない。また、一般的な冷房システムに合わせて、湿度は成りゆきとしたが、夏期はほぼ55%、冬季はほぼ30%になった。

- 7) タスク環境の制御 床設置型個別冷暖房ユニットの運転モードの「冷房」、「暖房」、「OFF」のケースでは被験者は自由に制御できない。「自由運転」モードでは、被験者は自由にユニットの運転モードを「冷房」←「OFF」←「暖房」ように制御できる。つまり、「自由運転」とは被験者が自由に手元にあるスイッチによってユニットの運転モードを冷房、暖房、停止できる方法を意味する。

- 8) その他 冷暖房ユニットが「自由運転」の場合は、その動作状態も経時的に記録した。

3.3 分析対象の要因と水準

分析対象の要因と水準を表-4に示す。水準はすべて直交してはいないが、これらの代表的な組み合わせで、冬期は1991年2月5日～3月5日にかけて16回、夏期冷房は1991年8月6日～8月17日にかけて12回の実験を行った。アンビエント系の送風量は温度成層が生じない⁸⁾ように、冬期実験には0.37 kg/sとし、夏期実験に0.33 kg/sに固定した。冷暖房ユニットの設置位置は形成される温度分布・気流の影響によって微妙な影響を与えると考えられたので、これについては3つの要因を設定した。位置Aは個別冷暖房ユニットの上に被験者の足を置いた状態で最も影響を受け安い。Bは被験者の側方20 cm離れた位置でユニットを設置し、足

表-3 アンケートの項目

全身	寒暑感	1「非常に寒い」～ 7「非常に暑い」	1「非常に……」
	涼暖感	1「非常に涼しい」～ 7「非常に暖かい」	2「……」
	快・不快	1「非常に不快」～ 7「非常に快適」	3「やや……」
部位別 寒暑感	頭部、首筋、胸部、 上腕、前腕、手甲、 大腿、下腿、足甲 について	1「非常に寒い」 ～ 7「非常に暑い」	4「どちらでもない」 5「やや……」 6「……」 7「非常に……」
	床吹き出しからの風による不快感を		1「感じない」 2「やや感じる」 3「感じる」 4「非常に感じる」
	注：表中に示した数字は以降に示す図表に利用している。		

表-4 実験条件

冬期実験					
要 因	水 準				
	I	II	III	IV	V
アンビエント温度	16℃	18℃	20℃	22℃	24℃
ユニット運転モード	暖房	冷房	自由運転	OFF	---
注1)					
夏期実験					
要 因	水 準			備考	
	I	II	III		
アンビエント温度	26℃	28℃	30℃		
ユニット運転モード	冷房	自由運転	OFF	注1)	

注1)：ユニット運転モード「自由運転」とは、被験者が自由に手元にあるスイッチによってユニットの運転を冷房、OFF、暖房にする方法を意味する。

注2)：被験者足元とユニット吹き出し口の距離はA(0cm)、B(20cm)、C(100cm)の3つのレベルを設定した。

図-4 冷暖房ユニットの吹出し風速分布

元だけではなく座った時は全身にも少し受け、Cは被験者の側方1 mを離れ、最も受けにくいことと推測される。

4. 室内温熱環境の分布特性

4.1 冷暖房ユニットの空気拡散性能

個別冷暖房ユニットの空気拡散性能を図-4に示す。これは周囲に障害物がない 25℃・50%のアンビエント環境下で熱線風速計（日本科学工業製MODEL 1006）によ

図-5 代表的な実験における室内温湿度とユニット吹出し温度の時間変化

図-6 代表的な実験の室内上下温度分布

り測定した結果である。暖房モードの方が高風速の領域が鉛直上方に広がっており、浮力の効果が確認できるが、表-1の標準値によれば冷房モードの吹出しアルキメデス数は約0.07であり、明らかに温度成層が発生する条件であった⁸⁾。温風の場合は上方へ拡散しやすくなるが、机の下に設置されると天板の影響で拡散が抑制され、下方に高温域を形成することになる。逆に、冷風の場合は後述する温度分布から推測されるように床面に滞留する傾向があり、天板がある場合にはその拡散がより抑制されるので、その度合いが大きくなる。しかし、能力的には小さいので顕著な温度勾配は生じさせない。このような気流・温度分布性状が果たして体感上有利に作用し、以て省エネルギーに寄与し得るか否かが、ここでの大きな課題である。

4.2 室内温湿度の応答

な検討課題である。

代表的な冬期暖房と夏期冷房実験の室内温湿度、冷暖房ユニットの吹出し温度の時間変化を図-5に示す。図中の室温は制御点（センサー位置）のものであるが、比較的安定した応答を示している。湿度については冬期暖房全実験にわたり30%RH程度となり、夏期冷房実験にほぼ50～60%の間になった。(C)は個別ユニットが自由運転モードで、被験者Cがある時刻に暖房から冷房に切り換えたときの例である。冷暖房ユニットについては、冷暖房の切替に行った応答の遅れは小さく、システム的にはパーソナルな空調への対応性がよいことが判る。

4.3 暖房期の温度分布特性

代表的な実験の室内上下温度分布を図-6に示す。各図中の番号①～⑨は、図-3の実験室平面図の中のそれ

らに対応し、それぞれの位置での測定温度を表している。タスク域温度とアンビエント域温度の差の平均値を表-5に示す。タスク域温度とは床下ユニットの直上、床上1.2m以下(ユニットの吹出し風速の到達距離に対応)の測定温度の全実験の平均値であり、アンビエント温度は上記のタスク域を除いた全測定値を平均したものである。

図-6から判るように、室全体には鉛直、水平方向ともほぼ均一な温度分布が形成されるが、床下に置いた冷暖房ユニットによって冬期暖房状態に局所的な高温域(タスク域)が形成されていることが確認できる。また、⑨の位置は机の天板(床上60cm)を挟んでおり、冷暖房ユニットから温風が吹出されるときは天板直下部分に温風層が形成されるためかなり高くなる。机の下部(足元)に冷暖房ユニットが設置された場合には天板による遮蔽効果も手伝うため、暖房運転によって「頭寒足熱」状態が効率的に形成されている。これが温熱感上プラスに作用すれば、アンビエント設定温度を低くすることが可能になる。一方、表-5に示すように、タスク域とアンビエント域の温度差は平均的に見れば、約3.2℃である。つまりアンビエント温度20℃時に、床下冷暖房ユニットの併用によって、ユニットの周りに23℃~24℃のタスク域が形成され、その付近の居住者の熱的快適性を維持できると予想される。

4.4 冷房期の温度分布特性

図-6、表-5によれば、夏期冷房実験ではアンビエント空調によって室全体にはほぼ均一な温度分布が形成され、暖房ほど顕著ではないが、冷暖房ユニットによって局所的な低温域(測点位置①、⑦、⑨)が形成されている。測点⑦に注目すれば、高さ1.2mまで室温より1~2℃低くなり、それが前述の冷暖房ユニットの吹出し風速の到達距離に対応している。すなわち、居住者の周りに室温より低いタスク域を形成することができ、定量的に考察すれば、表-5に示すようにタスク域がアンビエント域より1℃低くなっている。表-1から判るように冷房能力は暖房能力の約半分であり、また冷風の到達距離が温風に比して小さいので暖房時に比して温度差、最大温度差を示す位置が異なっている。これは冷房時に足元が冷たくなり過ぎないという意味でも効果的である。従って、夏期冷房期にやや高いアンビエント温度に設定しても、タスク空調効果によって居住者の快適性を維持できるものと期待できる。

5. タスク空調の効果と各種要因の影響

5.1 タスク空調の効果

体感に基づく環境評価指標としてPMVがよく利用される。ここにアンビエント域の温湿度、風速などの測定平均値から計算したPMVをアンビエントPMVと定義する。測定値によるアンビエントPMVと被験者申告値

表-5 冷暖房ユニットによって
タスク域とアンビエント域の温度差

実験	アンビエント温度	ユニットモード	タスク域温度差(℃毎)*			平均
			A	B	C	
冬期	16℃	暖房	3.5	3.3	3.0	3.3
	18℃	暖房	3.4	3.7	3.1	3.3
	20℃	暖房	3.4	2.4	4.3	3.4
	22℃	暖房	2.5	1.5	3.4	2.5
	24℃	暖房	3.2	1.9	1.4	2.1
夏期	28℃	冷房	-1.0	-1.1	-0.3	-0.8
	30℃	冷房	-0.5	-1.8	-1.1	-1.1

* タスク域平均温度をアンビエント平均温度から引いた値

a) 冬期暖房モード

b) 夏期冷房モード

図-7 アンビエントPMVと被験者の申告値

(実験毎の平均)の対応を図-7に示す。実線はPMV値と温冷感との一般的な対応を示す(今回の寒暑感スケールがPMVスケールに数値的に対応すると仮定)。図から判るように、タスク域の形成によって、被験者の申告値がアンビエントPMVより、冬期暖房時には「寒い」から「やや寒い」へと寒暑感は緩和され、夏期冷房時には「暑い」から「やや暑い」側に移動する結果を表している。従って、アンビエント環境に被験者が存在したときにPMVと同じ温冷感を生じると仮定したとき、被験者はタスクユニットの影響を度合に応じて温冷感を変化させるということになる。そこで、図-7を見ると、A、B、C各被験者は何れもアンビエントPMVより快適側にシフトし、その度合いはほぼA、B、Cの順になっている。すなわち、上述の仮定が妥当であるとすれば、タスク空調効果により、暖房時は0.7~1.0、冷房時は0.2~0.6快適側にシフトしている。

図-8 ユニット位置による申告値の比較

5.2 冷暖房ユニット位置の影響

代表的な冬期実験および夏期実験におけるユニット位置ごとの被験者の申告値の比較を図-8に示して、前節の記述を補足する。

冬期実験において、アンビエント温度 18°C の場合には、位置A、B、Cの被験者の全身寒暑感と快適感は図-8(a)のようにほぼ並行して、A、B、Cの順に不快感が増えてゆく。すなわち、タスクユニットの影響が少なくなっていくことを示している。アンビエント温度が 20°C 以上になると、被験者Bの快・不快感が快適側に寄り申告をしているほかは、快・不快感、全身感暑感とも中立を申告している。

夏期実験では、アンビエント温度が 28°C および 30°C のときには、いずれもユニット影響の小さいC位置で

図-9 アンビエント温度による申告値の比較

は最も暑く不快感を与えている。一方、被験者A、Bの全身寒暑感の申告はほぼ同じであるが、快・不快感については被験者Bは被験者Aよりやや快適であり、これは図-6の温度分布から理解できる。

以上の結果と図-3および風速分布(図-4)の結果を合わせて考察すると、以下の知見が得られる。

- 1) 基本的に被験者A、Bはユニットの気流の影響を受けやすく、被験者Cは受けにくい。とくにユニット位置Aでは被験者の足元に強く影響し、位置Bではほぼ全身(座った状態)に影響している。
- 2) 冬季のアンビエント環境が不快である室温 18°C のケースでは、ユニットの影響が強く出て、位置A→B→Cの順に寒側、不快側に移行している。アンビエント室温が 20°C 、 24°C と快適になるにつれて、タスクの冷暖房ユニットからの影響が比較的弱くなり、とくに全身に影響を受けやすい被験者Bが最も快適を申告している。
- 3) 夏期実験で室温が暑すぎる 30°C のケースでは、ユニットが影響する被験者A、Bに対して、影響しにくい被験者Cが非常に不快である。しかし、室温 28°C のケースでは、全体的に被験者の快・不快感の申告値は中立に近づき、とくにユニットの影響の大きいA、Bは中立まで示している。また、実現している温度分布の関係でBはAよりやや快適側にある。

5.3 アンビエント温度の影響

各アンビエント温度に対する被験者Bの平均申告値を図-9に示す。冬期アンビエント温度が 16°C または 18°C の場合には、被験者の全身寒暑感と快・不快感とも「寒

い」、「不快」側になるが、アンビエント温度が20℃のケースでは、全身感暑感「やや寒い」と申告しているが、快・不快感は「やや快適」側になっている。これは局部的に高温のタスク域を形成することによる「頭寒足熱」の効果であると言えよう。一方、夏期には、アンビエント温度が28℃のケースでは個別冷暖房ユニットを冷房モードで運転すれば、全身寒暑感、快・不快感とも「どちらでもない」状態が達成される。アンビエント温度30℃となると、ユニットを併用しても「不快」と申告されている。

従って、今回用いた個別冷暖房ユニットを併用するタスク・アンビエント空調システムには「中立」の寒暑感を得るアンビエント温度は冬期は20℃、夏期は28℃であろう。これらに前述したタスク域とアンビエント域温度差の定量的な解析を合わせて考察すると、暖房期にはアンビエント温度20℃の場合にタスク域の温度がほぼ23～24℃に、冷房期にはアンビエント温度28℃の場合では、タスク域の温度がほぼ26℃～27℃にすることができ、居住者の全身寒暑感、快・不快感を適切に維持できることが判った。

6. 実験システムの供給熱量についての解析

夏期実験における床面積当たりの全顕熱供給量および床下ユニットの顕熱供給量を図-10に示す。冬期実験では、実験室の状況によってアンビエント空調システムは殆ど冷房状態になったので、ここでは夏期実験のみにについて解析する。図から判るように、設定温度が低くなるとともにアンビエントの顕熱供給量が多くなるが、タスク側のユニットの特徴によって顕熱供給量が各実験条件でもほぼ同じ値であるので、システムの全顕熱供給量は設定温度が低くなるとともに多くなることが判る。

それと対応する被験者の快・不快感の申告値(図-9)と合わせて検討すれば、アンビエント温度26℃、28℃の場合に、被験者の申告値はほぼ同じであるが、システムの顕熱供給量は、28℃のケースでは26℃より約25%低減している。実験期間の外気温度を34℃、実験室の外壁の平均総合熱貫流率を1.8 W/㎡・℃と仮定すると、実験室の設定温度が1℃低くなると、負荷は8.1 W/㎡小さく計算される。この値は図-10の結果とほぼ対応しており、実験結果の妥当性を示している。

図-10 システム顕熱供給量

なお、室の奥行きが長くなった場合や外壁の断熱性が大きくなった場合には、この効果は減じられると思われるが、熱源の効率が上がることを勘案すれば、確実に省エネルギー効果を有すると言える。

7. 考察

- 1) 今回の空調システムでは、室全体的にほぼ均一な温度分布を形成した上で、人体の周りに局所的な高・低温域を形成できた。定量的に言えば、今回用いたユニットによって居住者の周りのタスク域の温度はアンビエント域より夏期は約1.0℃低く、冬期は約2～3℃高くすることができた。この差はユニットの冷房と暖房能力の比率が1:2であることによる。
- 2) 室内湿度を適切な範囲に設定すれば、冬期のアンビエント温度の下限値は20℃となる。この種のタスク・アンビエント空調システムをインテリジェントオフィスに利用すると、熱的快適性をインテリアゾーンとペリメータゾーンで一定に維持した上で、ペリメータゾーンの設定温度をインテリアゾーンより低くすることを可能とする一つの方法を与える。それによって、室内混合損失を防止して効率の高い空調を実現するであろう^{9) 10)}。一方、夏期冷房期においても、アンビエント温度の上限値は28℃であり、4)で述べるように熱源を含めて考えると省エネルギー性はより大きくなる。
- 3) 被験者の足元から20cmの側方に冷暖房ユニットを設置すれば、アンビエント温度を冷暖房それぞれの通常の設定温度よりやや高く或いはやや低く設定しても、被験者の全身寒暑感を中立に維持した上で、少なくとも不快を与えない状態をつくることができる。しかし、ユニット吹出し口を机の下にこもるように足元に配置する場合(被験者Aの位置)では、暖房時に快適性がほぼ中立であるが、冷房時にドラフトによる不快感を与える危険性が高い。
- 4) 熱源システム全体から検討すると、アンビエント空調システム空調機の出口冷水をタスク側の冷熱源に再利用すれば、この冷暖房ユニットの低熱電交換効率の欠点が克服でき、実用化されるタスク・アンビエント空調方式として十分適切であると思われる。
- 5) 今回の実験は特殊な形の床下冷暖房ユニットについて行ったが、得られた結果はユニットの型式と無関係に、床下冷温風吹出し型タスク・アンビエント空調方式に適用できると考えられる。

8. まとめ

- 1) 床下冷暖房ユニットを併用したタスク・アンビエント空調システムでは、室全体的にほぼ均一な温度分布を形成した上で、人体周りに局所的な高・低温域を形成できることを確認した。これによって、居住者の申告値が快適側にシフトした。
- 2) 室内湿度を適切な範囲に設定すれば、冬期のアンビエ

ント温度の下限値は20℃となり、夏期冷房期においては、アンビエント温度の上限値は28℃となることが実験によって判った。

- 3) 床下冷暖房ユニットの位置はこの種のタスク空調方式に対して重要な要因である。位置を固定しなければならないとすれば、被験者の足元から20cmの側方に設置することが望ましい。その場合はドラフトによる不快感が発生せず、全身寒暑感および快・不快感の申告は快適側になる。
- 4) 夏期実験では顕熱供給熱量は室温が高いほど減少するが、快・不快感の申告値と合わせて検討すると、この種のタスク・アンビエント空調システムでは、冷暖房ユニットを居住者の足元20cm側方に設定すれば、アンビエント温度は28℃で、居住者の快適性を中立に維持することができ、システムの顕熱供給量を低減することができる。

9. おわりに

比較的実現容易と思われるタスク・アンビエント空調システムを想定して実証的オフィス環境の場において詳細な温熱環境の解析を行った結果、本方式は十分適用可能であるとの結論と、設計運転法に関する有用な知見を得ることができた。しかし、タスク空調の風量や吹出し温度に関しては、より最適な条件が存在する可能性があるため、これらを変化させた実験を継続し、また、他の種々の方式との比較検討も行っていく必要であろう。

なお、実験で用いたユニット（付録参照）を貸与されたメーカーに謝意を表します。さらに、被験者として協力して頂いた名古屋大学建築学科の大学院生と学生の諸兄にも厚く謝意を表する次第である。

本研究に関連する既発表論文

- a) 李克欣, 伊藤尚寛, 中原信生: タスク・アンビエント空調の環境性能に関する実証的研究, その1. 実証実験の概要と冬期温熱環境の基礎解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1117~1118, 1991. 9
- b) 伊藤尚寛, 李克欣, 中原信生: タスク・アンビエント空調の環境性能に関する実証的研究, その2. 居住者の評価に基づく考察 同上, pp. 1119~1120, 1991. 9
- c) 李克欣, 伊藤尚寛, 中原信生: タスク・アンビエント空調の環境性能に関する実証的研究, その3. 夏期温熱環境の基礎解析, 日本建築学会東海支部研究報告集, pp. 305~308, 1992. 2
- d) 李克欣, 伊藤尚寛, 中原信生: タスク・アンビエント空調の環境性能に関する実証的研究, その4. 夏期における評価と中国人と日本人の差異 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1553~1554, 1992. 10
- e) 伊藤尚寛, 李克欣, 中原信生: タスク・アンビエント空調システムの性能評価に関する研究, その1. 実証実験の概要と冬期温熱環境の基礎解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 249~252, 1991. 10
- f) 李克欣, 伊藤尚寛, 中原信生: タスク・アンビエント空調システムの性能評価に関する研究, その2. 夏期温熱環境の基礎解析と設計方法についての提案, 同上, pp. 505~508, 1992. 10

参考文献

- 1) 上村一平: 熱電デバイスとその応用(1) 熱冷却デバイス, 電子技術1985. 12
- 2) 木村健一, 田辺新一ほか: パーソナル空調の体感実験と省エネルギーの評価(その1, その2) 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 pp. 1049~1056 1990. 10
- 3) 小宮英孝, 竹本靖ほか: 空調機による垂直温度分布の改善効果 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp. 1213~1214 1990. 10
- 4) 今川望, 大森正幸ほか: 事務所ビルの局所空調システムについて(その6) 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 pp. 1061 ~1065, 1991. 10
- 5) 坊垣和明, 川口淳二ほか: パーソナル空調の研究開発(その3) 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 pp. 1057~1061. 1990. 10
- 6) 花田嘉代子ほか: 婦人用下着類の熱抵抗の計測に関する研究, 繊維誌22-10, pp. 430~437
- 7) 花田嘉代子ほか: 男子用下着類の熱抵抗の計測に関する研究, 繊維誌24-8, pp. 363~369
- 8) 伊藤尚寛, 横井睦己, 中原信生: 温風暖房空調の上下温度分布の簡易計算モデル, 日本建築学会計画系論文報告集, 第398号, pp. 59~68, 1989. 4
- 9) 中原信生, 梶原豊久, 伊藤尚寛: 空気調和における室内混合損失の防止に関する研究 第1, 2報 空気調和・衛生工学会論文集, NO. 33, pp. 1~19, 1987. 2
- 10) 伊藤尚寛, 中原信生: 空気調和における室内混合損失の防止に関する研究 第3報 空気調和・衛生工学会論文集 NO. 41, pp. 51~61, 1989. 10

付録: S社の冷暖房ユニットの詳細図

(1993年12月8日原稿受理, 1994年6月30日採用決定)