Sビルにおける室内温熱環境調査と執務者の受容性に関する考察

INVESTIGATION OF INDOOR THERMAL ENVIRONMENT AND CONSIDERATION ON THERMAL ENVIRONMENTAL ACCEPTABILITY AT OFFICE S

鵜飼真成*, 高橋満博**, 村上宏次**, 雨宮沙耶***, 野部達夫****

*Masanari UKAI, Mitsuhiro TAKAHASHI, Koji MURAKAMI,
Saya AMEMIYA and Tatsuo NOBE*

This study aims to evaluate the thermal comfort of an indoor environment in office from physical quantity and psychological state. Moreover, this study aims to assess the thermal conditions of an indoor environment deemed unacceptable by workers that it is impossibility to evaluate from conventional method. For this purpose, the acceptability voting device "Ostracon" was developed, which can record the physical environment when workers express a complaint. Workers can push a button on Ostracon to vote when they feel that the thermal environment is unacceptable. In this study, Ostracon was used to measure whether 25 workers felt that the thermal environment was acceptable in the office S during the summer. The results showed that the questionnaire about satisfaction with the room environment, the many of respondents said they were "comfort" overall. The result showed a very high level of satisfaction. Regarding the survey of Ostracon, subjects expressed that the environment was unacceptable even when the temperature and humidity were within an acceptable range. Therefore, the authors consider that thermal environmental acceptability is not determined simply by temperature and humidity. However, it was observed that the workers' complaints were often expressed moments after returning from tasks performed outside the office, suggesting that their complaints were influenced by factors other than the office environment, such as changes in metabolic rate and the individual's thermal history.

Keywords : Measurement investigation, Thermal comfort, Thermal acceptability, Ostracon, Workplace, Radiant air-conditioning system

実測調査, 熱的快適性, 温熱受容性, オストラコン, ワークプレイス, 放射空調

1. はじめに

1.1 研究背景

快適な環境とは何か。建築は古来より各地域で気候・風土に即した形態や機能を備えてきたが、温熱環境の制御という面では脆弱であった。しかしながら、冷凍空調技術が一般化される以前の建築では、暖かい日光や心地よい風等、自然エネルギーを積極的に取り込む知恵が溢れている。我が国の寝殿造では、夏になると襖や障子を明け放つことで涼を取り、冬は土壁で囲まれた塗籠に移動することで寒さをしのぐ工夫がされていた¹⁾。19世紀の中頃になると、欧米の諸国では大規模法人の出現によるオフィスの建設が始まり、英国リバプールのオリエル・チャムバー社(1864年)の室内には暖炉が備えられていた²⁾。オフィスビル成立時の温熱環境調整手法は、換気・通風とストーブ程度であったが、20世紀初頭には米国のラーキンビル(1906年)に代表されるように、オフィスには空調設備が導入され、窓は嵌め殺しへと変様した。

空調が建築に装備されて以来、室内温熱環境は空間的に均一かつ時間的に一定であることを目標としてきたが、技術の進歩は熱的快適性に関する問題を複雑にした。室内の熱的快適性を窓の開閉や建具により調整していた時分には、居住者は自分の環境を自分で制御することが可能であったが、空調システムの出現により、大規模オフィス等の室内温熱環境の制御は設備管理者に託される事例が多くなった。ここで問題となるのが熱的快適性の判断基準であるが、空調設備の発展とともに温熱指標も進展を続けている。

今日、ISO 7730に採用されているPMVやASHRAE 55によるSET*は、人体と周囲の環境による熱収支を理論的に追及した後に、定常状態の環境試験室を用いた被験者実験から得られた温冷感申告値と結び付けて評価しており、温熱6要素の入力により得られる結果は、性別、年齢、人種、気候、空間の用途等に関わらず適用できるとしている³⁾。PMVやSET*といった温熱指標は、空調設計の数値目標を明確化し、温熱環境制御の基準として多大な貢献をしたこ

* 工学院大学大学院工学研究科建築学専攻 博士後期課程
日本学術振興会特別研究員 DC

** 清水建設㈱

*** 清水建設㈱ 博士(工学)

**** 工学院大学建築学部建築学科 教授・工博

Grad. Stud., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kogakuin University
JSPS Research Fellow

Shimizu Corporation

Shimizu Corporation, Dr.Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Architecture, Kogakuin University, Dr.Eng.

とは紛れもない事実であろう。しかしながら、環境試験室の物理環境や被験者の着衣と行動を厳密に管理した実験室実験の結果を、一般的な温熱指標として扱うことには疑問が呈されている⁴⁾。Humphreys and Nicol⁵⁾は「人は快適な環境を獲得するための自発的な適応能力を備えている」という概念から、現実の環境では居住者が着衣の調整をはじめとする適応行動をとるため、PMVの予測結果と実際の快適温度には差が生じると述べている。中野ら⁶⁾は、非定常環境下である半屋外環境における環境適応を考慮した熱的快適性の概念図を提案している。また、Humphreys⁷⁾は環境適応を理解するための、実際の執務環境下における実測調査の必要性を指摘している。

現実の環境における実証的研究ではオフィス空間などのワークプレイスにおける知的生産性の評価や、執務者の行動特性に関する調査等多くの報告⁸⁻¹⁵⁾があるが、オフィスのような目的空間において執務者の熱的快適性に関する情報収集は容易ではない。アンケート調査では執務者の一人ひとりから直接情報を収集できるというメリットがあるが、あくまでも大まかな定性的印象評価であり、想像以上に空間を動き回りながら複雑な仕事をしているオフィスワーカーの非定常状態における瞬間的な不満は顕在化されにくい。また、アンケート調査では「問われて敢えて答えるならば」と云うバイアスが潜む恐れがあり、回答の背後にある状況の推測を難しくしている。

1.2 研究目的

工学的に快適とは「不快でない」という消極的な定義であるため、不快発生時の状況を解き明かすことは、一般的な快適を理解することと関連すると思われる。本研究の目的は、夏期オフィスにおける室内温熱環境の快適性を物理的側面や心理的側面から評価すると同時に、実際のオフィスで働く執務者が、室内の温熱環境に対して非受容と感じる瞬間を捉えることであり、従来の物理環境調査とアンケート調査からでは抽出できない室内温熱環境に対する不満を見出すことである。

2. 実測調査方法

2.1 調査建物概要

表1に実測対象オフィスの概要を示す。本建物は2012年5月に竣工し、7月から運用を開始した。空調方式は放射空調とデシカントによる潜熱・顕熱分離空調が導入されている。図1に空調システムの概要を示す。ペリメータチルドビームはフィン形状をしており、夏期は冷水を供給して自然対流を促進させ、ペリメータ冷房負荷の処理を行っている。冬期は温水を供給して放射天井パネルとして機能し、暖房負荷の処理を行っている。インテリアゾーンはタスク&アンビエント方式を採用している。インテリアは年間を通して冷房負荷があるため、アンビエント空調はインテリア放射天井パネルに冷水を供給し、人体、照明、OA機器等による内部発熱を処理する。インテリア放射天井パネルは3.2mモジュールで10枚の放射パネルと2枚の点検口パネルで構成されているため、敷設率は約70%となる。タスク空調はデシカント空調機で温湿度処理された外気が、机下に設置されたパーソナル床吹出口（表2）から供給される。パーソナル床吹出口は在席者が好みに合わせて開閉し気流を調整することができる。

表1 建物概要

所在地	東京都中央区
敷地面積	約3,000m ²
延床面積	約51,800m ²
構造	鉄筋コンクリート（一部鉄骨造） 免震構造
階数	地下3階、地上22階、塔屋1階
主用途	事務所
CASBEE	Sランク（BEE 9.7）
LEED	NC（新築）ゴールド
設計期間	2005年7月～2009年4月
施工期間	2009年4月～2012年5月

図1 空調システム概要

表2 パーソナル床吹出口

パーソナル床吹出口	
外観	
寸法	W 110 mm × D 110 mm
開口面積	0.00192 m ²
ネック風速	1.6 m/s
風量	11.1 m ³ /h

表3 室内環境測定項目

測定位置	測定項目		計測間隔
上下温度分布		10min
	相対湿度		10min
	グローブ温度		10min
気流性状		—
受容度（オストラコンを使用）	空気温度	4min
		相対湿度	4min
		パルスロガー	2min
	着席状況（着座センサーを使用）		1min

2.2 室内温熱環境の長期連続測定

温熱環境の計測は2013年7月23日から2013年8月30日にかけて、18Fの北西側にて行った。室内環境測定項目の概要を表3に、対象オフィスの平面図および室内環境測定箇所を図2に示す。ペリメータ2点、インテリア4点の計6点にて、上下温度分布(床表面、床上100mm、600mm、1100mm、1700mm、2200mm、2700mm、天井表面)、グローブ温度、相対湿度(それぞれ床上1100mm)を10分間隔で測定した。また、調査期間中の設定温湿度はペリメータが26°C/45%、インテリアが27°C/45%であった。

2.3 気流性状調査

3次元超音波風速計を用いた気流性状の詳細な測定は、2013年8月24日に実施した。測定箇所は図2に示すように、インテリアとペリメータの各1点とした。

2.4 執務者アンケート調査

対象オフィスにおける執務者の快適性、ならびに放射空調とパーソナル床吹出口についての印象評価が可能なアンケート調査を実施した。表4にアンケートに関する申告項目と尺度を示す。アンケート調査期間は、温熱環境調査実施日に合わせ、2013年7月23日から2013年8月30日とし、対象者には調査期間中の任意のタイミングで1回のみ、夏期の室内温熱環境に対する総合的な印象を回答するようにお願いした。また、アンケートの総配布数は200部であり、回収数は179部であった。

2.5 執務者の受容度調査

2.5.1 非受容申告装置オストラコン

表5に示す装置は、非受容申告の発生状況を詳細に補足するために、著者らが考案したデバイスである。本装置の呼称として用いたオストラコンとは、古代ギリシャで追放者を選出する際に投票用紙のように使われた陶片のことを指すが、制作した装置も人知れず不満を簡単に表明する手段として、陶片と類似の機能を果たす。

非受容申告装置オストラコン(以下オストラコンと記す。)は机上に置いて、執務者が暑すぎて或いは寒すぎて我慢ならない場合にボタンを押してもらうことで、不満発生時の時刻がオストラコン内部のパルスロガーに記録される仕組みとなっている。また、オストラコンには温湿度ロガーを取り付けているため、非受容申告発生時の机上における空気温度と相対湿度を確認することが可能である。その特徴として、執務者の自発的な申告を容易に記録可能であることから、アンケート調査等とは異なるデータが得られるものと期待を込めて開発した。図2にオストラコンを配布した執務者の座席位置を示す。受容度調査は2013年7月29日から2013年8月9日にかけて、執務者25名(男性19名・女性4名・不明2名)を対象に実施した。

2.5.2 着席検知装置

本調査では執務者の着席状況を把握するために、表6に示す座布団型の着席検知装置を併用した調査を行った。着席検知装置は、座布団内に仕込まれた温度ロガーの値の変化を読み取ることで、執務者の離着席状況を判断できる仕組みである。

図2 対象建物平面図および室内環境測定箇所

表4 アンケートの申告項目と尺度

時間帯毎の温熱環境の印象	上下温度差の印象	放射空調の満足感
1. 寒い 2. 涼しい 3. やや涼しい 4. どちらでもない 5. やや暖かい 6. 暖かい 7. 暑い	0. 感じない 1. やや感じる 2. 感じる 3. 非常に感じる	1. 非常に不満 2. 不満 3. やや不満 4. やや満足 5. 満足 6. 非常に満足
総合的な室内温熱環境の快適性	パーソナル床吹出口の使用頻度 0. 使用しない 1. あまり使用しない 2. 一日に数回使用 3. 頻繁に使用 4. 常に使用	パーソナル床吹出口の満足度 1. 非常に不満 2. 不満 3. やや不満 4. やや満足 5. 満足 6. 非常に満足
1. 非常に不快 2. 不快 3. やや不快 4. やや快適 5. 快適 6. 非常に快適	パーソナル床吹出口の風量の印象 1. 非常に強い 2. 強い 3. やや強い 4. やや弱い 5. 弱い 6. 非常に弱い	

表5 非受容申告装置オストラコン

非受容申告装置オストラコン	
外観
設置場所	個人用デスク
寸法	W 125 mm × D 85 mm × H 50 mm

3. 実測結果

3.1 長期連続測定

3.1.1 温熱環境の経時変化

図3に代表日8月9日（実測期間中の最高外気温日）における外気温（気象庁アメダスの観測データ）、ペリメータ2点、インテリア4点の各計測点（FL+1100）における平均空気温度および、インテリアの平均 MRT と平均相対湿度の経時変化を示す。MRT は式(1)に実測値を代入して求めたが、風速に関しては空間全体に静穏な気流環境が形成されていると仮定して 0.1m/s を使用した。朝 7 時から夕方 18 時にかけての空気温度は、インテリア、ペリメータともに概ね 27℃ に保たれ、相対湿度は 45% 付近を推移していることから、執務時間中の温湿度は設定値付近で非常に安定していることを確認した。

$$t_r = t_g + 2.37\sqrt{v}(t_g - t_a) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \dots(1)$$

ここに、

t_r : MRT $[^{\circ}\text{C}]$

t_g : グローブ温度 $[^{\circ}\text{C}]$

t_a : 空気温度 $[^{\circ}\text{C}]$

v : 風速 $[\text{m/s}]$

3.1.2 上下温度分布

図4に代表日8月9日におけるペリメータ、インテリアそれぞれの上下温度分布を時間帯ごとに示す。放射天井パネルには冷水が流れているため、表面温度は約 23℃ と室温に比べて低くなっているが、空気温度の上下分布は非常に小さいことを確認した。さらに、時間の変化に対しても、空気温度は 27℃ 付近で大きな変化はないため、放射空調の特徴である均一な温熱環境が形成されていると思われる。

3.1.3 平均放射温度

図5に通常業務日執務時間内（8:00 から 18:00）の、インテリアとペリメータの各計測点 FL+1100 における空気温度と平均放射温度の関係をバブルチャートで示す。バブルの大きさは度数を表すが、空気温度と比較して平均放射温度が低い結果となり、放射天井パネルの冷却効果を確認した。

3.2 気流性状調査

図6に3次元超音波風速計を用いた気流性状調査結果を示す。ペリメータゾーンでは天井の屈曲部付近において右廻りの下降気流を確認した。ペリメータゾーンにおける空気循環の存在には、ペリメータチルドビームが外皮負荷を処理し、放射と対流を組み合わせたハイブリッド型の空調システムが実現していると考えられる。また、インテリアゾーンにおいても平均 0.07m/s の気流が確認され、放射天井パネルにより冷却された空気の流れを確認した。

3.3 執務者アンケート調査

3.3.1 執務者基本属性

表7にアンケートの回答者に対する基本属性を示す。アンケート回答者の性別は大多数が男性であり、主な職種は技術職であった。また、着衣量に関してはアンケートに記入された体の各部位に対応する衣服の単品クロ値を合算し、式(2)もしくは式(3)の回帰式に代入して推定した¹⁷⁾。各執務者の着衣量は、男性平均で 0.56clo、女性平均で 0.48clo であった。

表6 着席検知装置

着席検知装置		
外観
	椅子座面	
設置場所	椅子座面	
寸法	W 420 mm × D 280 mm	
着席条件 ¹⁶⁾	座面温度	温度変化
	30℃未満	+0.5℃/min
	30℃以上	-0.5℃/min

図3 室内温熱環境の経時変化

図4 上下温度分布

図5 空気温度と平均放射温度の関係

男性衣服の場合

$$I_{clo} = 0.708 \sum I_{clo,i} + 0.052 \quad [\text{clo}] \quad \dots(2)$$

女性衣服の場合

$$I_{clo} = 0.828 \sum I_{clo,i} + 0.013 \quad [\text{clo}] \quad \dots(3)$$

ここに、

I_{clo} : 着衣全体のクロ値 [clo]

$I_{clo,i}$: 衣服*i*の単品クロ値 [clo]

3.3.2 室内温熱環境の快適性評価

図7と図8に室内温熱環境の印象を示す。すべての時間帯において約8割の回答が「やや暖かい」から「やや涼しい」の熱的中立側の領域の範囲であり、室内上下温度差に関する質問では、男性、女性ともに「感じない」の回答が約8割を占めた。また、図9に示す放射天井パネルの直接的な気流がないことに対する満足感と、図10に示す総合的な温熱環境の快適性は、男性、女性それぞれ満足側、快適側の回答が大多数であった。したがって、本建物では放射空調の最大の特徴である、気流感による不快が取り除かれた、均一かつ一定の環境が実現できていると思われる。

3.3.3 パーソナル床吹出口の印象評価

図11にパーソナル床吹出口の使用頻度を、図12にパーソナル床吹出口の風量に対する印象を示す。男性は7割以上で常に使用、或いは頻繁に使用している結果となり、風量に関しては弱い側の回答が多い結果となった。一方で、女性は頻繁に使用、または常に使用している執務者は4割程度であり、あまり使用しない、或いは使用しない回答が3割程度確認され、風量の印象に関しては強い側の回答が多く見られた。男性と女性で使用頻度と風量の印象が異なる要因のひとつとして、着衣量の差が考えられる。女性回答者は薄手のスカートか男性用のズボンと比較すると丈の短いスラックスを着用しており、さらに靴下類はストッキングまたは、ショートソックスやフットカバーが着用されていた。一方で、男性回答者はズボンとハイソックスを着用しており、パーソナル床吹出口からの気流を直接足元で受ける女性とは気流感の印象が異なるかと推察される。しかし、図13に示すように、使用頻度や風量の印象は男女で異なる結果であっても、7割以上の執務者がパーソナル床吹出口に満足している結果となった。

3.4 執務者の受容度調査

3.4.1 外気温と非受容申告

図14に調査日毎の非受容申告数と外気温を示す。調査期間中の非受容申告数の合計は、「暑すぎる」申告が53回、「寒すぎる」申告が10回であり、複数の執務者が一日の温熱環境に何らかの不満を抱えている事実が確認された。本調査では、「暑すぎる」非受容申告が多い結果となったが、調査期間中に最高外気温日を記録した8月9日においては「寒すぎる」申告も発生しており、外気温と非受容申告数の間に関係性は見られなかった。

3.4.2 机上の作用温度と非受容申告

図15にオストラコン全25台が記録した、調査期間中の執務時間内(8:00から18:00)における受容度調査対象者それぞれの机上の作用温度の時間平均値と、単位時間当たりの非受容申告数の関係を示す。また、オストラコンでは放射環境の測定が困難であるため、作用温度の算出に必要なMRTは各オストラコンに最も近い長期連

図6 気流性状

表7 基本属性

性別 (人)	職種 (人)	年齢 (人)	着衣量 (平均値clo, 標準偏差)
男性	158	事務職 19 技術職 159 研究職 0 その他 0	20代 36 30代 22 40代 64 50代 53 60代 4
女性	21		男性 0.56, 0.04 女性 0.48, 0.13

図7 時間帯毎の温熱環境の印象

図8 上下温度差の印象

図9 放射空調の満足感

図10 総合的な室内温熱環境の快適性

続測定（インテリアゾーン）のグローブ温度とオストラコンが記録した机上の空気温度を式（1）に代入して求めた。図16に各測定点（インテリアゾーン）における、グローブ温度の単位時間（10min）当たりの変化量を代表日（8月9日）について示す。各測定点においてグローブ温度の変動が一致していたことから、机上の作用温度の推定に長期連続測定のグローブ温度を使用可能であると判断した。また、単位時間当たりの非受容申告数は式(4)より求めた。

$$\text{単位時間当たりの申告数} \left[\frac{\text{回}}{\text{h}} \right] = \frac{\text{調査期間中の非受容申告記録数}[\text{回}]}{\text{着席時間記録数}[\text{min}]} \times 60 \quad \cdots(4)$$

机上の作用温度は 26.7℃ から 27.5℃ であったが、特に多い「暑すぎる」申告 0.41 回/h を行った執務者周辺の温熱環境の質は顕著に低いわけではなく、むしろ作用温度 26.9℃ は室内温熱環境の設定値に近接していた。この執務者は、30代、着衣量 0.39clo の一般的な女性であったが、時間帯毎の温熱環境の印象は昼（12時から15時）が「どちらでもない」と回答していたのに対して、朝（8時から12時）と夕方（15時から18時）は「暑い」と回答していた。また、調査期間中におけるオストラコンの「暑すぎる」申告数に関しても8時台から11時台に7回、12時台から14時台に3回、15時台から18時台に7回と、朝と夕方の時間帯に申告が集中していた。特に8時台に関しては6回の「暑すぎる」申告が発生していたが、申告時の机上の作用温度の平均値は 26.8℃ であった。当執務者が出社時に使用している鉄道駅から、本建物までは徒歩 10 分程度であるが、出社時における代謝量の変化や熱的な履歴の影響により、朝8時台の「暑すぎる」申告が多く発生したのだと思われる。

3.4.3 非受容申告時の温熱環境

図17はASHRAE Standard 55-2013 Graphic Comfort Zone Method に非受容申告時の温熱環境をプロットしたグラフである。破線で示す領域は着衣量 0.50clo の条件における SET* の基準に沿った熱的受容域であるため、受容度調査対象者の中から着衣量が 0.50clo に近かった者 7 名 (0.49clo) を対象として、非受容申告時の温熱環境をプロットした。非受容申告 14 回の内、11 回は熱的受容域の申告であることから、執務者は一般にいわれる熱的受容域においても非受容を発することが確認された。一方で、灰色で示した極小プロットはオストラコンが記録した対象執務者着席時の温熱環境であるが、熱的受容域を外れていて着席しているにもかかわらず、非受容を発しないときが存在することも確認した。

図11 パーソナル床吹出口の使用頻度

図12 パーソナル床吹出口の風量

図13 パーソナル床吹出口の満足度

図14 外気温と非受容申告

図15 机上の作用温度と非受容申告

図16 グローブ温度の単位時間（10min）当たりの変化量

図17 非受容申告発生時の温熱環境

4.1 アンケートによる印象評価と非受容申告

図 18 にアンケート調査により得られた、受容度調査対象者の総合的な室内温熱環境の快適性と単位時間当たりの非受容申告数の関係を示す。快適性の印象と非受容申告数の間には緩やかな負の相関 ($r=-0.41$) が確認され、最も多くの非受容を発生した執務者(女性)の室内温熱環境の印象は「やや不快」であった。本実測対象の建物は放射空調とデシカントによる潜熱顕熱分離方式が採用されているが、一般的な空調システムによる、吹き出し口からのドラフトやベリメータによる不均一な温熱環境、男女の着衣差による至適温度の違いなどは、非受容発生の要因となると思われる。一方で、図 17 に示したように、熱的受容域の内外を問わずに非受容申告が発生している結果は、オフィスの温熱環境を幾ら精緻にコントロールしたところで、熱的不満の根本的な解消には至らないことも示唆している。

4.2 継続着席時間と非受容申告

図 19 に非受容申告数を継続着席時間記録数で除した値を男女別に示す。1 日/1 人当たりの申告数は男性 0.17 回、女性 0.60 回と破線で示した女性の申告数が多い結果となった。申告の内訳を継続着席時間ごとに見てみると、「暑すぎる」申告は継続着席時間 5 分以下に頻発し、一方で「寒すぎる」申告は長時間着席時に発生しており、この傾向は特に女性で顕著であった。図 20 はアンケート調査で執務者に質問した「汗かきかどうか」の体質に着目した上で「暑すぎる」非受容申告数を継続着席時間記録数で除した値である。着席の直後に関しては、特に女性で「汗かき」と回答した執務者からの「暑すぎる」非受容申告が頻発していることを確認した。図 21 に非受容申告数を着席時間記録数で除した値を時刻ごとに示す。「暑すぎる」申告が集中する時刻は 8 時台と夕刻であり、朝の出社時や外回りからの帰社時のタイミングと一致していたことから、執務者は外部環境から入室して自席に着いた直後に「暑すぎる」不満を持つ機会が多いと推察される。着席直後に「暑すぎる」申告が集中している要因として、外部環境による温熱履歴の影響が考えられる。特に「汗かき」の女性に関しては、発汗による化粧崩れや汚染み、また臭気の発生等を嫌うため着席直後の「暑すぎる」申告が頻発したと思われるが、温熱履歴や発汗が原因となる不快の考察は、今後さらに深めていく必要がある。また、長時間着席時においては女性の「寒すぎる」申告が増加傾向にあることから、室内温熱環境に順応した後は、男女の着衣差より非受容申告が多く生まれるのだと考えられる。本建物ではパーソナル空調としてのパーソナル床吹出口が設置されているが、その満足度は図 13 に示すように高い傾向にあった。しかし図 22 に示すように、パーソナル床吹出口に満足している執務者においても非受容を発生している結果は、我々の想像以上に外部環境で忙しく働き回る執務者の熱的な履歴を瞬間的に取り除くためには、パーソナル空調としては不相应な程の能力が必要であると思われる。したがって、オフィス空間として適当な空調システムを用いて、執務者の温熱受容性を高めるためには、人間の非定常性を考慮した新たな設計手法の構築が必要であると思われる。

5. まとめ

放射空調とデシカントによる潜熱顕熱分離方式が採用されているオフィスにおける室内温熱環境の快適性を、物理的側面と心理的側

図 18 総合的な室内温熱環境の快適性と非受容申告

図 19 継続着席時間ごとの非受容発生率

図 20 汗かき体質と「暑すぎる」申告

図 21 時刻ごとの非受容発生率

図 22 パーソナル床吹出口の満足度と非受容申告

面から検討したのと同時に、オストラコンによる執務者の非受容発生時の詳細な状況を捉えた結果を以下に示す。

- 1) 本建物の平均放射温度は空気温度と比べて低い値を示した。また、上下温度分布が非常に小さい室内環境であり時間的な変動も少なく、放射空調の特徴である室内全体にムラのない環境が実現できていることを確認した。
- 2) 放射空調下の気流環境は非常に静穏であるが、インテリアゾーンで平均 0.07m/s の自然対流の存在を確認した。
- 3) 執務者の室内温熱環境に対する印象は、約 8 割の回答が「やや暖かい」から「やや涼しい」の範囲であり、気流感と総合的な室内温熱環境の印象も非常に良好であることから、気流感による不快が少ない均一な環境が実現できていると判断できる。
- 4) 室内温熱環境の快適性の印象とオストラコンによる非受容申告数には負の相関が見られた一方で、執務者は一般的に受容される温熱環境であっても非受容申告を行うことを確認した。また、「暑すぎる」申告は着席直後に頻発し、また「寒すぎる」申告は長時間の着席時に発生していたことから、熱的不満の背景には室内温熱環境の快適性の問題と、執務者の熱的な履歴の 2 種類のファクターが考えられる。

参考文献

- 1) 小沢朝江, 水沼淑子: 日本居住史, 吉川弘文館, 2006
- 2) 黒川正流監訳: 仕事の場の心理学—オフィスと工場の環境デザインと行動科学, 西村書店, 1992
- 3) Fanger, P.O: Thermal Comfort, Danish Technical Press, 1970
- 4) Nicol, J. F. and, Humphreys, M. A.: Thermal comfort as part of a self-regulating system, Building Research and Practice (J. CIB), 6(3), pp.191-197, 1973
- 5) Humphreys, M. A. and Nicol, J. F.: Understanding the adaptive approach to thermal comfort, ASHRAE Transactions, 104(1b), pp.991-1004, 1998
- 6) 中野淳太, 田辺新一: 半屋外環境の熱的快適性に関する考察—温熱環境適応研究の日本における温熱環境計画への応用とその課題—, 日本建築学会環境系論文集, 701, pp.597-606, 2014.7
- 7) Humphreys, M. A.: Thermal comfort temperature and the habits of hobbits, Standards for thermal comfort: Indoor air temperatures for the 21st century, E&FN Spon, London, pp.3-13, 1995
- 8) 村上周三: 知的生産性生活の展望, 特集ワークプレイスプロダクティビティ, 空気調和・衛生工学, Vol. 81(1), pp.3-8, 2007.1
- 9) 田辺新一, 西原直枝: 室内温熱環境における知的生産性評価, 特集ワークプレイスプロダクティビティ, 空気調和・衛生工学, Vol. 81(1), pp.9-14, 2007.1
- 10) 興水ヒカル, 栃原裕, 東賢一, 池田耕一: 夏期における「クールビズ」実施オフィスの温熱環境およびその勤務者評価に関する調査, 第 30 回人間—生活環境系シンポジウム報告書, pp.283-286, 2006.12
- 11) 大熊涼子, 石野久彌, 中山哲士: 夏期のオフィスにおける 28℃空調の熱的快適性に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 618, pp.31-36, 2007.8
- 12) 羽田正沖, 西原直枝, 中村俊輔, 内田智志, 田辺新一: 夏季室温緩和設定オフィスにおける温熱環境実測および執務者アンケート調査による知的生産性に関する評価, 日本建築学会環境系論文集, 637, pp.389-396, 2009.3
- 13) 村上昌史, 原田昌幸, 久野寛, 寺野真明: 居住者の温熱要望申告を利用した空調制御方式に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 626, pp.535-542, 2008.4
- 14) 荻野司, 酒井浩介, 志田智, 須永修通: 在室者の調整行動を利用した省エネ空調制御システムに関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 704, pp.871-881, 2014.10
- 15) 金子弘幸, 大佛俊泰: レーザーセンサによる行動モニタリングデータを用いた時空間活動パターンの抽出, 日本建築学会環境系論文集, 712, pp.559-566, 2015.6
- 16) T. Nobe, S. Tanabe, S. Lee, Y. Tomioka: Investigation of Seat Occupancy Rate in Office, ROOMVENT 2002 Proceedings, September 2002, pp.289-292, Copenhagen, Denmark
- 17) 花田嘉代子: 着衣量, 温冷感シンポジウム「温熱環境測定法」, 空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会・温冷感小委員会, 空気調和・衛生工学会, 1992

INVESTIGATION OF INDOOR THERMAL ENVIRONMENT AND CONSIDERATION ON THERMAL ENVIRONMENTAL ACCEPTABILITY AT OFFICE S

*Masanari UKAI**, *Mitsuhiro TAKAHASHI***, *Koji MURAKAMI***,
*Saya AMEMIYA**** and *Tatsuo NOBE*****

* Grad. Stud., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kogakuin University
JSPS Research Fellow

** Shimizu Corporation

*** Shimizu Corporation, Dr.Eng.

**** Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Architecture, Kogakuin University, Dr.Eng.

This paper reports the summertime measurement results of the indoor thermal environment at the head office of S Company. On the subject of air conditioning system, the perimeter zone supplies cold water to a perimeter chilled beam and it processes the perimeter cooling load. The interior zone adopts a task and ambient air conditioning system. Ambient air conditioning supplies cold water to an interior radiation ceiling panel and processes the internal heat generated by human bodies, lighting, OA equipment, and so on. In addition, the air carried out during latent heat processing with the desiccant air conditioning system is supplied from the personal floor outlet installed under the desk. The current from a personal floor air outlet provides air conditioning and it can be adjusted to an individual's preference.

This study aims to evaluate the thermal comfort of an indoor environment in office from physical quantity and psychological state. Moreover, this study aims to assess the thermal conditions of an indoor environment deemed unacceptable by workers that it is impossibility to evaluate from conventional method. For this purpose, the acceptability voting device "Ostracon" was developed, which can record the physical environment when workers express a complaint. Workers can push a button on Ostracon to vote when they feel that the thermal environment is unacceptable. In this study, Ostracon was used to measure whether 25 workers felt that the thermal environment was acceptable in the office S during the summer.

The results showed that the mean radiant temperature was lower than room temperature. Moreover, up-and-down temperature distribution was very small. In addition, the temperature difference to every time is smaller during the up-and-down temperature distribution. Distribution stability throughout the day should be confirmed. For this reason, it was determined that the radiation ceiling panel was effective. Regarding questionnaire about satisfaction with the room environment, the many of respondents said they were "comfort" overall. The result showed a very high level of satisfaction. Regarding the survey of Ostracon, subjects expressed that the environment was unacceptable even when the temperature and humidity were within an acceptable range. Therefore, the authors consider that thermal environmental acceptability is not determined simply by temperature and humidity. However, it was observed that the workers' complaints were often expressed moments after returning from tasks performed outside the office, suggesting that their complaints were influenced by factors other than the office environment, such as changes in metabolic rate and the individual's thermal history.

(2015年9月7日原稿受理, 2016年3月3日採用決定)