

令和6年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

居住者の主観評価による空気温湿度の維持管理手法の検討

分担研究者 下ノ菌 慧 国立保健医療科学院 研究員
分担研究者 西原 直枝 日本女子大学 准教授
代表研究者 本間 義規 国立保健医療科学院 統括研究官

研究要旨

【背景・目的】建物運用中の建築物内の室内環境評価としてPOE (Post-Occupant Evaluation) がある。国外のPOEでは室内熱環境の測定と満足度・温熱感調査が多く行われており、その有効性が示されてきた。本研究では中小規模建築物の衛生管理手法として居住者の主観評価に着目し、空気温湿度の維持管理手法について検討した結果を報告する。

【方法】日本各地の6件の建築物を対象として室内環境測定と主観評価調査を2025年1~2月の代表1日を選定して実施した。室内環境測定は空気温湿度、CO₂濃度、黒球温度、気流速度、上下温度分布(床面から0.1m、0.6m、1.1m、1.7m)を測定した。主観評価調査は計91名から温度環境と湿度環境の主観評価、個人特性のデータを取得し、室内環境測定結果と合わせて分析した。

【結果】空気温湿度の測定結果についてはいずれの建築物においても23~28°Cであり、建築物環境衛生管理基準値内であったが、相対湿度はいずれの建築物でも40%RHを下回っていた。また、PMVとSET*の評価では、特定建築物ではBビルのIZを除いて暖かい空間となっていたが、中小規模建築物では快適域に入る建物もあった。一方、F.L.+1100mmとF.L.+100mmの位置の空気温湿度差については中小規模建築物の方が差が大きく、特にFビルのIZでは3.3Kとなっており、温熱環境が悪化している可能性があった。主観評価調査の結果については相対湿度の主な不満理由は乾燥している環境であったが、空気温度は寒冷な環境の他、暑熱環境も挙げられていた。空気温湿度の維持管理手法については平均空気温度と寒冷側申告率、平均相対湿度と乾燥側申告率には負の相関傾向が見られたことから、この相関が利用できる可能性がある。なお、湿度感覚については30代以下の若年層は湿潤側の回答(「非常にジメジメしている」、「ジメジメしている」、「ややジメジメしている」)が有意に多く、40代~50代は乾燥側の回答(「やや乾燥している」、「乾燥している」、「非常に乾燥している」)が有意に多い結果が得られた。温度環境の満足度は窓付近では不満側の回答、室中央では中立の回答が有意に多く、湿度感覚は室中央では中立の回答が有意に多かった。

【結論】空気温湿度の維持管理手法については平均空気温度と寒冷側申告率、平均相対湿度と乾燥側申告率には負の相関傾向が見られたことから、この相関が利用できる可能性がある。しかし、現時点では6件の建築物に限定されていることから、今後もデータを蓄積することでより精度の高い維持管理手法の提案につながると考えられる。

A. 研究目的

建築物における衛生的環境の確保に関する法律(以降、建築物衛生法)では特定用途に供される部分の延床面積が3,000m²以上の建築物(以降、特定建築物)に対して、空気環境の調

整、給排水の管理、清掃、ねずみ等の防除に関して維持管理をすることが義務付けられている¹⁾。一方、延床面積が3,000m²未満の建築物(以降、中小規模建築物)についても多数の者が使用、利用するものについては努力義務が課せら

れているが、中小規模建築物では室内空気中の真菌濃度・化学物質濃度・CO₂濃度が基準を超過する事例が多いことが報告されている²⁾。

建物運用中の建築物内の室内環境評価としてPOE (Post-Occupancy Evaluation) がある。POEは「建物が建設され、一定期間使用された後に、体系的かつ厳格な方法で評価するプロセス」と定義されている³⁾。POEはエネルギーや水の消費量の分析のほか、IEQ (室内環境品質: Indoor Environment Quality) の物理測定や居住者へのアンケートも含まれており、多岐にわたる手法が提案されている。Li らの 146 件のPOEに関するレビューによると、81.51%が Occupant Survey (標準化された満足度調査や温熱感調査等) を実施し、42.47%が Thermal Conditions (空気温湿度や気流速度等) を測定しており⁴⁾、POEの重要なファクターと考えられる。例えば、米国ではカリフォルニア大学バークレー校のCBE(Center of Built Environment)はオフィスレイアウト、オフィス家具、熱環境、空気質、照明、音響、建物清掃に関して居住者の満足度をWeb上で集計し、回答者のデスクに設置されたウェザーステーション(乾球温度、気流速度、放射温度)の結果と合わせて室内環境を評価するツールを開発している。本ツールは対象とする建物の満足度を他の建築物と比較することで運用改善を促進するツールとしても機能している⁵⁾。このツールはASHRAE(米国暖房冷凍空調学会: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)のPMP (Performance Measurement Protocol) の基にもなっており、商業施設の性能測定のためのプロトコルとして3段階のレベルで性能測定(スポット測定又はデータロガー測定と居住者のアンケート調査)の方法が示されている⁶⁾。CBPD (Center for Building Performance and Diagnostics at Carnegie Melon University)もNEAT (National Environmental Assessment Toolkit)を開発しており、熱環境(3つの高さでの空気温度、放射表面温度、相対湿度、気流速度)、空気質(CO₂濃度、CO濃度、揮発性有機化合物、粒子状物質)、視覚(3つの位置での照度)、音響と主観的アンケート調査に関して

18の連邦施設におけるサイト間比較が可能となっている⁷⁾。オーストラリアでは、シドニー大学とシドニー工科大学がオフィス向けのIEQ評価システムであるBOSSA (Building Occupants Survey System Australia)を開発している⁸⁾。当該システムはNABERS (National Australian Built Environment Rating System)のIE(Indoor Environment)、GBCA (Green Building Council of Australia)、NZGBC (New Zealand Green Building Council)において使用が推奨されており、システムの一部であるBOSSA Snapshotは例えば作業エリアの暖かさについて現在の評価を建物利用者のサンプルに対して繰り返し実施する縦断的調査が行われ、熱環境測定装置であるBOSSA NOVAと建物情報のデータベースであるBOSSA Building Metricsを合わせて分析することで建物が想定通りの性能を発揮しない場合の原因を特定できる点が特徴である。

このように、物理環境の測定ならびに居住者の主観評価による建築物評価は数多く登場しており、その有効性は高いと考えられる。建築物衛生法の適用外である中小規模建築物の衛生管理手法としても居住者の主観評価を利用できる可能性があるが、居住者の主観評価は様々な要因に影響を受けることが知られており⁹⁾、衛生管理への適用に向けて更なる検討が求められている。

そこで本研究では、日本各地の6件の建築物を対象とした室内環境測定と主観評価調査から、空気温湿度に着目して維持管理手法について検討した結果を報告する。

B. 研究方法

B.1. 建物概要

対象建築物の概要を表1に示す。全国各地に建つ6件の建築物を対象に室内環境測定ならびに執務者に対する主観評価調査を実施した。Aビル、Bビル、Cビルは特定建築物、Dビル、Eビル、Fビルは中小規模建築物である。いずれも用途は事務所であり、AビルとCビルは中央管理空調方式、その他は個別管理空調方式であった。換気方式はAビルとCビルがAHU (Air Handling Unit)、BがOHU (Outdoor

表 1 調査建物の概要

建物	所在地	延床面積(m ²)	竣工年	階数	測定階数	空調 ^{※1}	換気 ^{※2}
A	北海道札幌市	25 289.2	1995	B1–16F	10F	AHU (CAV)	AHU
B	宮城県仙台市	6 799.6	1991	B1–8F	7F	PAC	OHU
C	東京都新宿区	93 996.5	2011	B2–35F	22F	AHU (VAV)	AHU
D	北海道札幌市	1 372.7	2018	3F	2F	PAC	HEX
E	熊本県熊本市	973.4	不明	3F	3F	PAC	第3種
F	石川県金沢市	805.5	不明	1F	1F	PAC	第3種

※1 AHU: 空気調和機, CAV: 定風量單一ダクト方式, PAC: パッケージエアコン, VAV: 変風量單一ダクト方式

※2 HEX: 第1種換気(全熱交換器), OHU: 外調機

表 2 室内環境測定の概要

- 1) CO₂濃度・温度・相対湿度: T&D TR-76Ui, 1分間隔, 室内最大5点 + 外気(Cビル除く) 1点
- 2) 上下温度分布: T&D RTR503B, F.L.+100, F.L.+600, F.L.+1 100, F.L.+1 700, 1分間隔,
ペリメータ・インテリア各1点設置
- 3) 黒球温度: 柴田科学 グローブサーモメーター75mm・T&D TR-71Ui, F.L.+1 100, 1分間隔,
ペリメータ・インテリア各1点設置
- 4) 気流速度: KANOMAX Model 6501 (プローブ: 6533-21), F.L.+1 100, 1分間隔,
ペリメータ・インテリア各1点設置

air Handling Unit)、Dビルが第1種熱交換換気、EビルとFビルが第3種換気であった。

B.2. 室内環境測定の概要と熱・空気環境評価

室内環境測定の概要を表2、各建物の平面概要図と測定機器設置位置を図1に示す。測定は2025年1月から2月の期間の内、代表1日を選定し、Aビル、Bビル、Cビルは13~16時、Dビル、Eビル、Fビルは10~16時に測定した。空気温湿度とCO₂濃度は平面分布を把握するため、複数点に機器を設置し1分間隔で測定した。上下温度分布、黒球温度、気流速度はペリメータゾーン(以降、PZ)とインテリアゾーン(以降、IZ)に各1点設置し1分間隔で測定した。

熱環境はPMV(平均温冷感申告: Predicted Mean Vote)¹⁰⁾、SET*(新標準有効温度: Standard Effective Temperature)、上下温度分布、平均放射温度により評価した。PMVとSET*はPZとIZのF.L.+1100mmの位置で測定している空気温湿度、黒玉温度、気流速度(いずれも測定時間中の算術平均値)と代謝量を1.2Met(仮定値)、着衣量はPZとIZの別に算出した着衣量の平均値を用いて算出した(着座位置を「窓の近く」と「入口近く」と申告した方をPZ、「室中央」と申告した方をIZとして平均着衣量を算出した)。PMVとSET*は快適域である-0.5~+0.5と22.2°C~25.6°Cの範囲内

であるか評価した。上下温度分布はASHRAEの規格¹¹⁾やISO(国際標準化機構: International Organization for Standardization)の規格¹²⁾で定められているよう、F.L.+1100mmとF.L.+100mmの位置の空気温度差(3K以内で快適)で評価した。また、平均放射温度(\bar{t}_r)はJIS(日本産業規格: Japanese Industrial Standards)の規格¹³⁾を基に下記式から算出した。

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1.1 * 10^8 * v_a^{0.6}}{\varepsilon_g * d^{0.4}} (t_g - t_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273$$

ここに、d: 黒球の直径

ε_g : 平均放射率

t_a : 空気温度(°C)

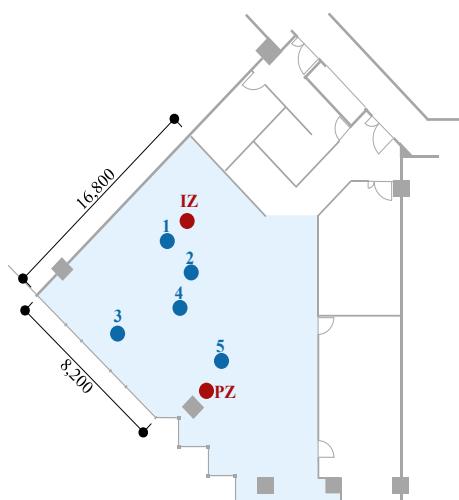
t_g : 黒球温度(°C)

v_a : 気流速度(m/s)

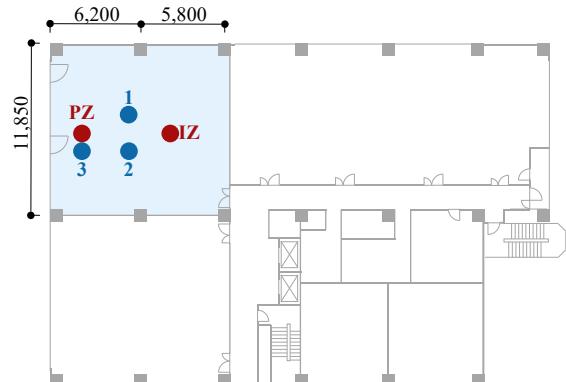
※空気温度、黒玉温度、気流速度は測定時間中の算術平均値とした。

空気環境評価には室内CO₂濃度の変動が小さい30分間の平均値で集計し、同時刻の外気CO₂濃度の平均値と1人あたりのCO₂吐出量を用いてサイデルの式により換気量(CMH/m²)を推定した。なお、1人あたりのCO₂吐出量は22L/h(極軽作業)¹⁴⁾と仮定した。

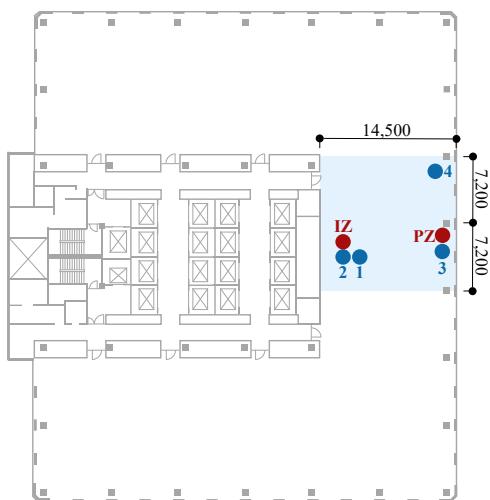
■測定対象エリア ●CO₂濃度・空気温湿度 ●上下温度分布、黒玉温度、気流速度



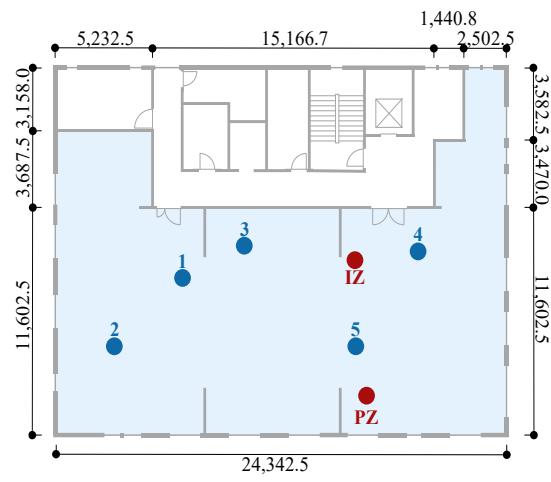
(1) Aビル



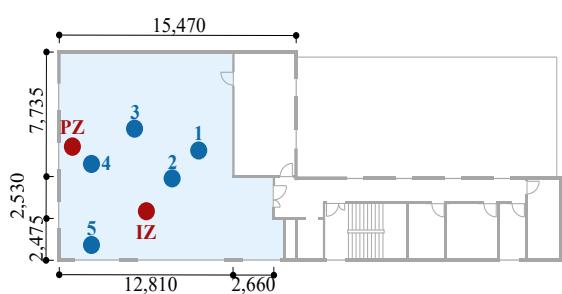
(2) Bビル



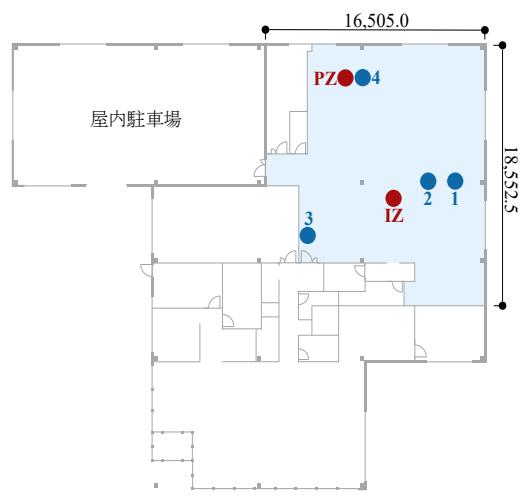
(3) Cビル



(4) Dビル



(5) Eビル



(6) Fビル

図1 平面概要図と測定機器設置位置

B.3. 主観評価調査の概要

主観評価調査の概要を表3に示す。温度環境については回答時の空気温度を予想いただくほか、温度感覚、気流感の有無、満足度を調査した。湿度環境については回答時の相対湿度を予想いただくほか、発汗の有無、空間の湿り程度、満足度を調査した。また、温度環境・湿度環境の主観評価に影響を及ぼす可能性がある年齢層、性別、着座位置、直上の吹出口の有無を調査した。調査日に出勤していた執務者に対してWeb上で回答いただき、計91名から回答を得た。

B.4. 空気温湿度の維持管理手法の検討

室内環境測定と主観評価調査の結果から空気温湿度の維持管理手法を検討する。分析は1)寒冷側申告率、2)温度に対する不満側申告率、3)乾燥側申告率、4)湿度に対する不満側申告率に着目した。各定義は下記のとおりである。

- 1)寒冷側申告率: Q1-2に回答した全回答者のうち、「寒い」、「涼しい」、「やや涼しい」の申告であった回答者数の比
- 2)温度に対する不満側申告率: Q1-4に回答した全回答者のうち、「非常に不満」、「不満」、「やや不満」の申告であった回答者数の比
- 3)乾燥側申告率: Q2-3に回答した全回答者のうち、「やや乾燥している」、「乾燥している」、「非常に乾燥している」の申告であった回答者数の比
- 4)湿度に対する不満側申告率: Q2-4に回答した全回答者のうち、「非常に不満」、「不満」、「やや不満」の申告であった回答者数の比

や不満」の申告であった回答者数の比

上記の1)~4)と前述の室内環境の測定結果の相関から空気温湿度の維持管理手法について検討した。また、1)~4)に影響を及ぼす個人特性については χ^2 検定(独立性の検定)と残差分析により考察した。

C. 研究結果

C.1. 室内環境の測定結果と熱環境評価

CO₂濃度と空気温湿度のトレンドグラフを図2に示す。AビルではCO₂濃度に経時変化は見られなかったが、空気温度は15:30頃まで上昇傾向、15:30以降に下降傾向があった。相対湿度は空気温度の変動に合わせて変化している。BビルではCO₂濃度は経時的に増加する傾向が見られ、16:00には1200ppm程度まで上昇していた。空気温度は14:00~15:00に上昇する傾向が見られたが、相対湿度に大きな変動はなかった。Cビルではすべての項目で大きな変動は見られなかったが、CO₂濃度は1000ppm程度であった。DビルではCO₂濃度は多くの時間帯で1000ppmを超過していた。空気温度は10:00には23°C程度であったものの15:00には24~26°Cまで上昇していた。Eビルでは空気温度は10:00には22°C程度であったものの16:00には24~26°Cまで上昇していた。Fビルでは設置位置4は空調吹出し空気が測定に影響を及ぼしていると考えられるが、大きな変動はないと考えられる。

表3 主観評価調査の概要

[Q-1: 温度環境]

- 1) 現在居る空間の予想温度: 単一回答 (20°C以下、20°C、21°C、···、28°C、28°C以上)
- 2) 温度環境: 7件法 ('寒い'、'涼しい'、'やや涼しい'、'暑くも寒くもない'、'やや暖かい'、'暖かい'、'暑い') · 単一回答
- 3) 気流の有無: 4件法 ('非常に感じる'、'感じる'、'やや感じる'、'感じない') · 単一回答
- 4) 温度環境の満足度: 7件法 ('非常に不満'、'不満'、'やや不満'、'どちらでもない'、'やや満足'、'満足'、'非常に満足') · 単一回答 → 「不満側」の場合、理由: 4件法 · 単一回答

[Q-2: 湿度環境]

- 1) 現在居る空間の予想湿度: 単一回答 (10%、15%、···、60%、60%以上、わからない)
- 2) 発汗の有無: 2件法 ('かいでいる'、'かいでいない') → 「かいでいる」の場合、発汗部位: 9件法 · 複数回答
- 3) 空間の湿り程度: 7件法 ('非常にジメジメしている'、'ジメジメしている'、'ややジメジメしている'、'どちらともいえない'、'やや乾燥している'、'乾燥している'、'非常に乾燥している') · 単一回答
- 4) 湿度環境の満足度: 7件法 ('非常に不満'、'不満'、'やや不満'、'どちらでもない'、'やや満足'、'満足'、'非常に満足') · 単一回答 → 「不満側」の場合、理由: 4件法 · 単一回答

[Q-3: 個人特性]

- 1) 年齢層 2) 性別 3) 着座位置 4) 直上の吹出口の有無

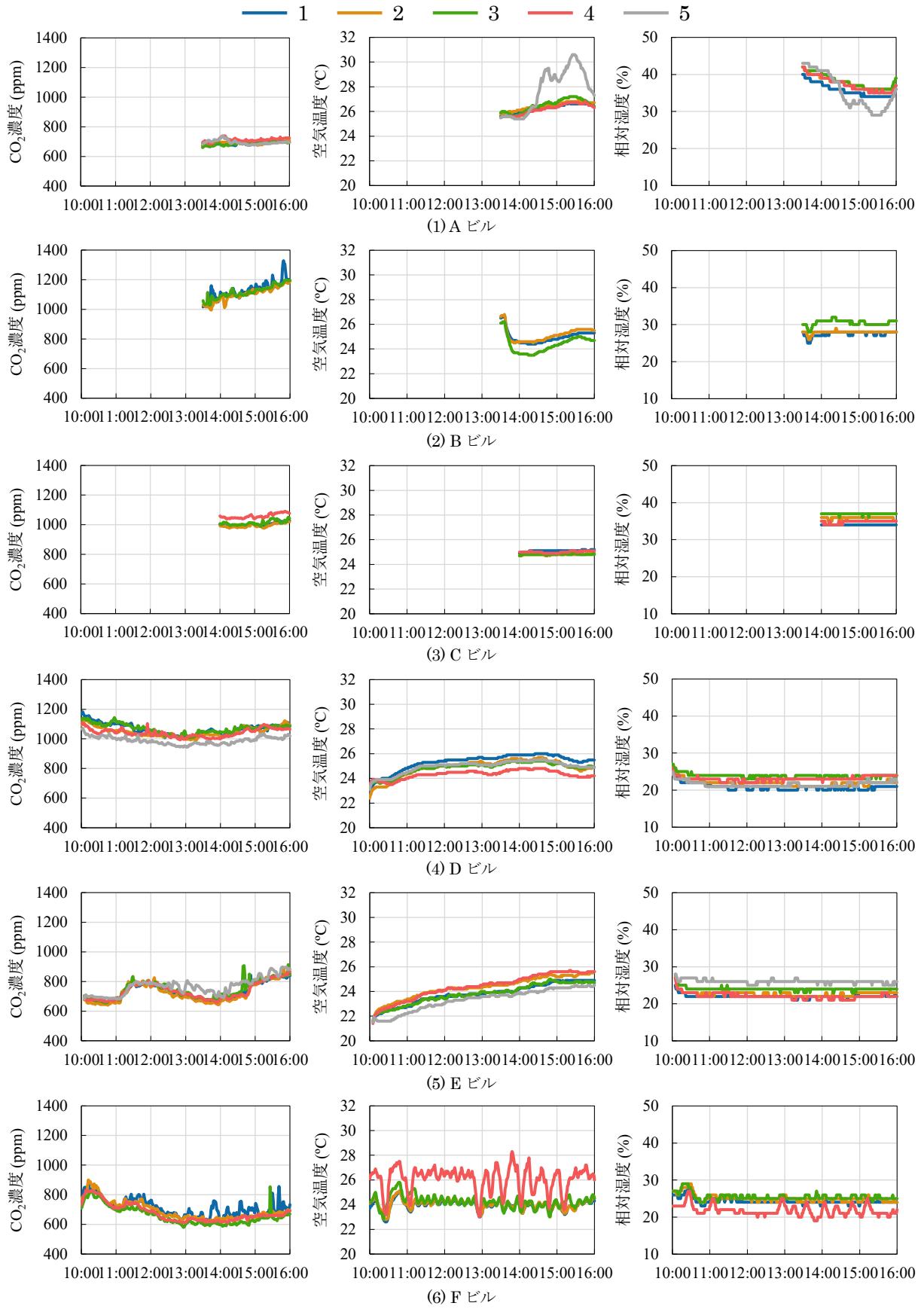


図2 CO₂濃度と空気温湿度のトレンドグラフ

PMV と SET* の算出結果を表 4 に示す。PMVにおいて最も中立に近いのは E ビルの IZ で +0.21、最も中立から離れているのは A ビルの PZ で +1.01 であった。SET* が最も高いのは A ビルの PZ で 30.0°C、最も低いのは E ビルの IZ で 26.3°C であった。PMV による評価では B ビルの IZ、D ビル、E ビルの IZ、F ビルの IZ が快適域であり、SET* による評価ではいずれの建物も快適範囲外であった。上下温度分布を図 3 に示す。F.L.+1100mm と F.L.+100mm の位置の空気温度差が最も大きいのは F ビルの IZ で 3.3K であり、ASHRAE や ISO の快適域から逸脱する結果となった。その他の建築物では 3K を超える空気温度差は生じていなかったが、B ビルの PZ で 1.5K、B ビルの IZ で 1.6K、E ビルの IZ で 1.4K と比較的大きな差が生じていた。平均放射温度を図 4 に示す。冬期の測定で

あったが、平均放射温度は A ビル、D ビル、E ビル、F ビルでは PZ の方が高い結果であった。A ビル、D ビル、E ビルでは PZ を南方位に設置していたことから日射の影響により、PZ の方が高くなつた可能性がある。

換気量の推定結果を表 5 に示す。床面積あたりの推定換気量では B ビルが最も低く 1.6CMH/m²、F ビルが最も高く 7.5CMH/m² であった。F ビルでは廊下に通ずるドアが常時開放されており、廊下はエントランスにも通じていたことから、推定換気量が大きくなつたと考えられる。

C.2. 主観評価調査の結果

主観評価の回答者属性を図 5～図 8 に示す。年齢層（図 5）は A ビルでは 90% 以上が 50 代以上であったが、その他の建築物では概ね 20 代～60 代以上まで幅広く回答があつた。性別（図

表 4 PMV と SET* の算出結果

	A ビル		B ビル		C ビル		D ビル		E ビル		F ビル	
	PZ	IZ										
空気温度(°C)	26.0	25.8	24.1	24.4	25.0	24.8	24.4	24.4	24.2	23.8	25.1	23.9
相対湿度(%RH)	35.7	37.3	27.4	27.7	32.9	35.0	18.9	22.0	20.8	22.9	21.1	23.8
黒玉温度(°C)	26.0	25.7	24.1	24.7	24.7	24.7	24.6	24.5	24.5	23.8	24.9	24.0
気流速度(m/s)	0.03	0.05	0.05*	0.05*	0.06†	0.06	0.31	0.09	0.04	0.05	0.17	0.09
代謝量(Met)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
着衣量(clo)	1.11	0.94	1.47	0.81	0.87	1.15	1.24	1.00	1.48	0.88	1.27	0.89
PMV(−)	+1.01	+0.82	+0.84	+0.33	+0.51	+0.78	+0.47	+0.46	+0.85	+0.21	+0.71	+0.24
SET*(°C)	30.0	28.8	30.3	26.6	27.4	29.2	27.7	27.6	30.2	26.3	29.2	26.6

* 欠測のため、仮定値である。† 欠測のため、IZ と同値とした。

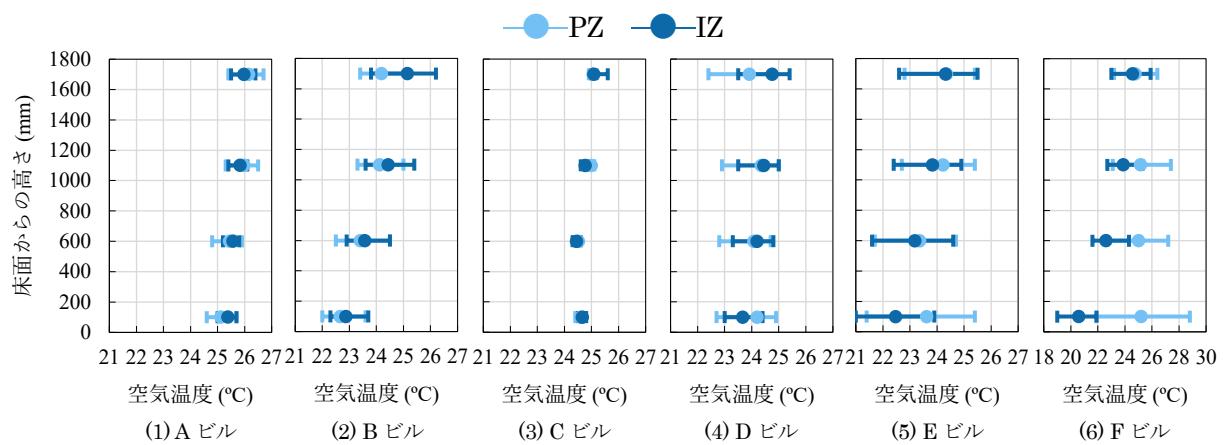


図 3 上下温度分布

6) は約 60%が男性であった。着座位置（図 7）は建物によって多少の差があるものの、全建築物の集計では 47%が室中央、33%が窓の近く（窓から 5m 以内）であった。直上の吹出口の有無（図 8）は A ビルが 58%、B ビルが 17%と差が大きいが、全建築物の集計では 44%が「ある」と回答していた。

空気温湿度に対する主観評価結果を図 9～図 16 に示す。温度感覚の申告（図 9）は F ビルの寒冷側申告率が 50%と最も高く、28%が「寒い」という申告であった。その他の建築物では寒冷側申告率がおよそ 20%以下であり、全建築物の寒冷側申告率は 25%であった。気流感の有無（図 10）は B ビルにおいて「非常に感じる」と 1 人が申告していた。F ビルでは 67%が「感じる」と「やや感じる」と申告しているが、廊下に通ずるドアが常時開放されており、廊下はエントランスにも通じていたことから、外気が居室に流入した可能性がある。温度環境の満足度（図 11）の結果によると、温度に対する不満側申告

率が高いのは B ビル（67%）と F ビル（56%）であるが、温度環境の不満理由（図 12）によると B ビルは「今よりやや涼しくしたい」という理由が多数、F ビルは「今よりやや暖かくしたい」、「今より暖かくしたい」という理由が多数となっており、不満理由が異なる結果であった。発汗の有無（図 13）は D ビルと F ビルで各 1 人が「かいている」と申告していた。湿度感覚の申告（図 14）は F ビルで 1 人が「ジメジメしている」と申告しているものの、乾燥側申告率はすべての建築物で約 80%であった。湿度環境の満足度（図 15）は A ビル、B ビル、C ビル、D ビルにおいて湿度に対する不満側申告率が約 40～50%であり、湿度環境の不満理由（図 16）によると、そのほとんどが「加湿したい」、「やや加湿したい」という理由であった。

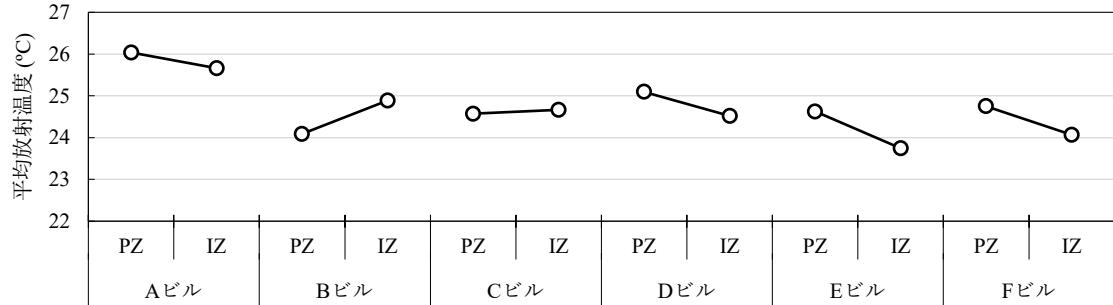


図 4 平均放射温度

表 5 換気量の推定結果

	Aビル	Bビル	Cビル	Dビル	Eビル	Fビル
推定対象時刻	14:30-15:00	15:30-16:00	14:10-14:40	13:30-14:00	11:30-12:00	11:00-11:30
推定対象時刻の在室人数	11	8	12	21	10	21
平均室内 CO ₂ 濃度(ppm)	688.8	1184.4	1004.2	1019.0	785.8	730.6
平均外気 CO ₂ 濃度(ppm)	437.8	433.0	420.0*	437.5	444.2	469.3
1人あたりの 推定換気量(CMH/人)	87.6	29.2	37.7	37.8	64.4	84.2
床面積あたりの 推定換気量(CMH/m ²)	3.9	1.6	2.2	2.4	4.1	7.5

* 欠測のため、仮定値である。

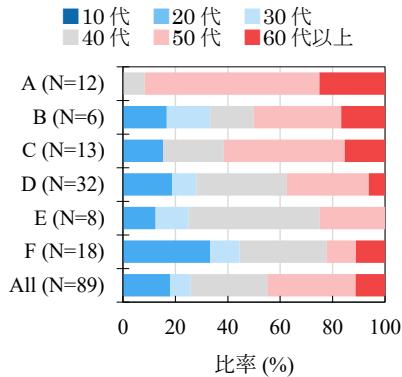


図 5 回答者の年齢層 (Q3-1)

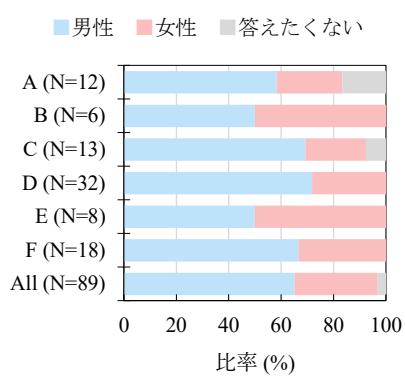


図 6 回答者の性別 (Q3-2)

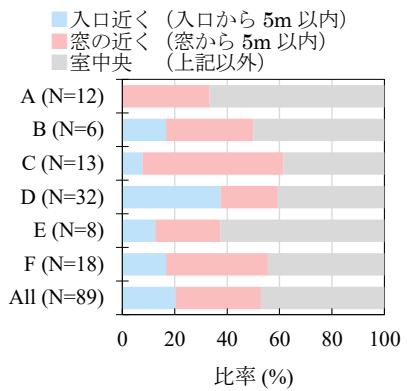


図 7 回答者の着座位置 (Q3-3)

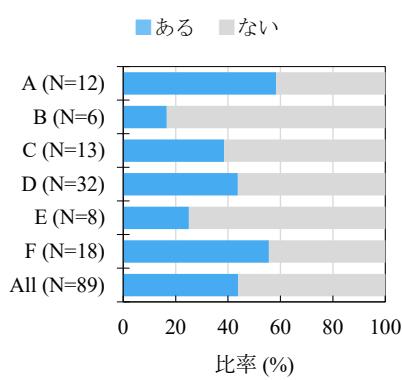


図 8 直上吹出口の有無 (Q3-4)

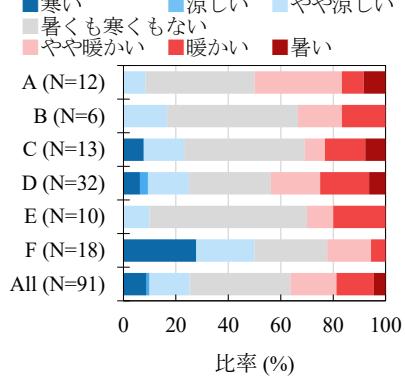


図 9 溫度感覚の申告 (Q1-2)

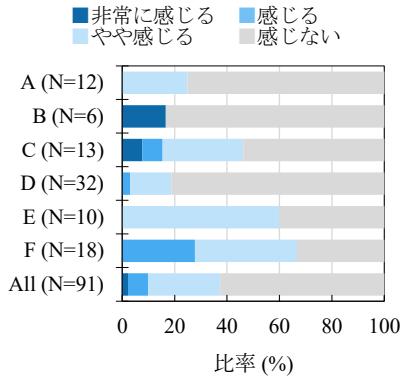


図 10 気流感の有無 (Q1-3)

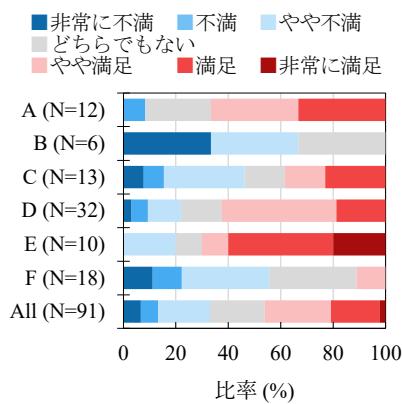


図 11 溫度環境の満足度 (Q1-4)

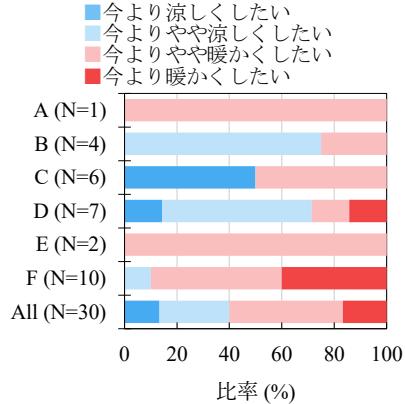


図 12 溫度環境の不満理由

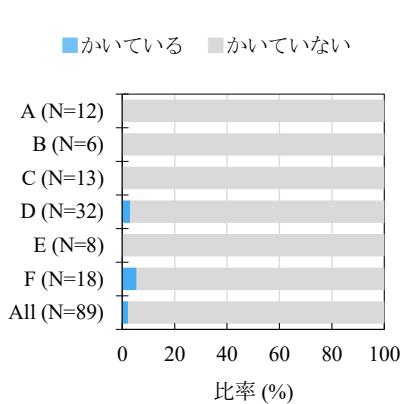


図 13 発汗の有無 (Q2-2)

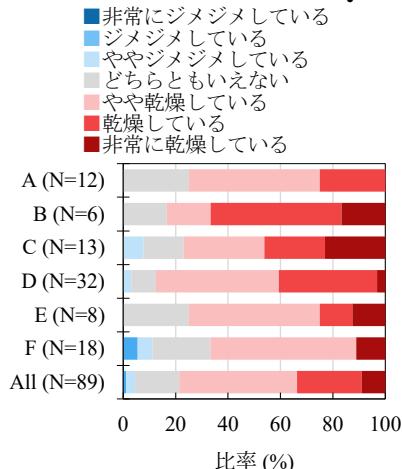


図 14 濕度感覚の申告 (Q2-3)

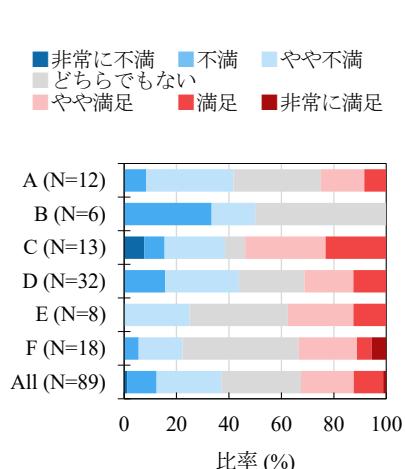


図 15 濕度環境の満足度 (Q2-4)

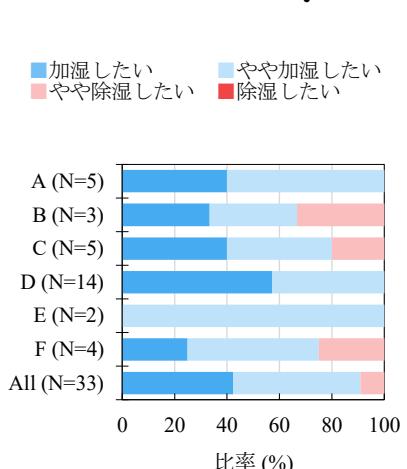


図 16 濕度環境の不満理由

C.3. 空気温湿度の維持管理手法の検討

平均空気温度と寒冷側申告率の関係を図17、平均空気温度と温度に対する不満側申告率の関係を図18に示す。寒冷側申告率との相関係数(R)は0.43であったが、Eビルを除くと相関係数は0.86となった。Eビルの寒冷側申告率が低くなった要因までは言及できないが、平均空気温度と寒冷側申告率には負の相関があった。温度に対する不満側申告率との相関係数は0.36であった。最も温度に対する不満側申告率が高いBビルでは、前述のように「今よりもやや涼しくしたい」という申告もあったことから、温度に対する不満側申告率を空気温度の維持管理に利用することは困難である可能性がある。平均相対湿度と乾燥側申告率の関係を図19、平均相対湿度と湿度に対する不満側申告率の関係を図20に示す。乾燥側申告率との相関係数は全建築物では0.16と小さいが、平均相対湿度と乾燥側申告率には負の相関傾向がみられる。湿度に対する不満側申告率との相関係数は0.35であり、正の相関となっていることから湿度に対

する不満側申告率を相対湿度の維持管理に利用することは困難である可能性がある。

空気温湿度の感覚や満足度に影響を及ぼす因子を明らかにするために、 χ^2 検定(独立性の検定)と残差分析の結果を表6～表20に示す。有意な結果($p < 0.05$)が得られたのは「温度環境の満足度と温度感覚(表6)」、「湿度環境の満足度と湿度感覚(表8)」、「湿度感覚と年齢層(表11)」であった。温度に対する主な不満要因は寒冷な環境、湿度に対する主な不満要因は乾燥している環境であることは冬期の室内熱環境が低温低湿環境であることがうかがえる。湿度感覚については30代以下の若年層は湿潤側の回答(「非常にジメジメしている」、「ジメジメしている」、「ややジメジメしている」)が有意に多く、40代～50代は乾燥側の回答が有意に多い結果が得られた。また、着座位置は温度環境の満足度と湿度感覚に影響を及ぼしている可能性がある。温度環境の満足度(表18)は窓付近では不満側の回答、室中央では中立の回答が有意に多く、湿度感覚(表19)は室中央では中立の回答

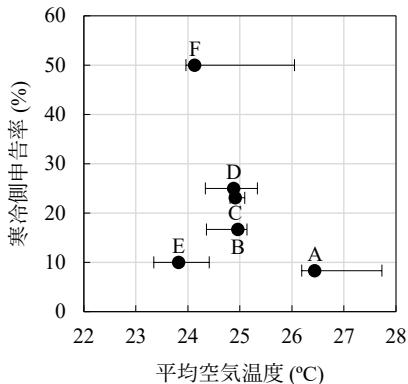


図17 平均空気温度と寒冷側申告率

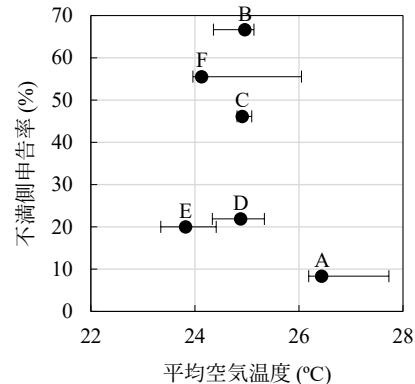


図18 平均空気温度と不満側申告率

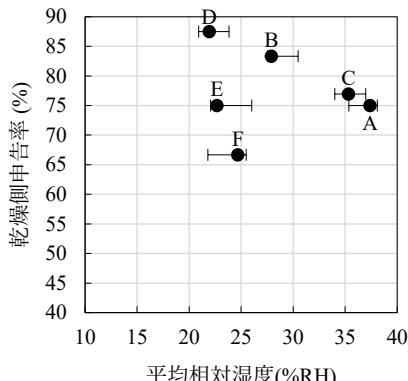


図19 平均相対湿度と乾燥側申告率

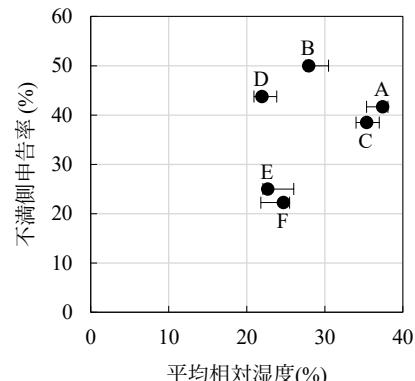


図20 平均相対湿度と不満側申告率

【図17～図20注記】

1)最大5点設置した温湿度計の測定値に対してAビル、Bビル、Cビルは10～13時、Dビル、Eビル、Fビルは10～16時の平均値で集計し、●は中央値、エラーバーは最高値と最低値を示す。

2)図中のアルファベットは建物記号を示す。

表6 温度環境の満足度と温度感觉				
	温度環境の満足度(Q1-4)			
	不満側	中立	満足側	
温度感觉 (Q1-2)	寒冷側	13(+)	4	6(-)
	中立	6(-)	10	19
	暑熱側	11	5	17

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.028$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表7 温度感觉と気流感			
	温度感觉(Q1-2)		
	寒冷側	中立	暑熱側
氣流感 (Q1-3)	有	7	14
	無	16	21

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.728$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表8 湿度環境の満足度と湿度感觉			
	湿度環境の満足度(Q2-5)		
	不満側	中立	満足側
湿度感觉 (Q2-4)	湿潤側	2	1
	中立	1(-)	6

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.111$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表9 温度感觉と年齢層

温度感觉(Q1-2)			
	寒冷側	中立	暑熱側
年齢層 (Q3-1)	-30代	7	6
	40-50代	14	23
	60代-	2	4

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.777$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表10 温度環境の満足度と年齢層

温度環境の満足度(Q1-4)			
	不満側	中立	満足側
年齢層 (Q3-1)	-30代	10	6
	40-50代	18	9
	60代-	2	4

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.234$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表11 湿度感觉と年齢層

湿度感觉(Q2-4)			
	湿潤側	中立	乾燥側
年齢層 (Q3-1)	40-50代	4(+)	5
	60代-	0(-)	8
	70代-	0	2

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.010$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表12 湿度環境の満足度と年齢層

湿度環境の満足度(Q2-5)			
	不満側	中立	満足側
年齢層 (Q3-1)	-30代	9	8
	40-50代	21	15
	60代-	3	4

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.854$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表13 温度感觉と性別

温度感觉(Q1-2)			
	寒冷側	中立	暑熱側
性別 (Q3-2)	男性	15	21
	女性	7	12

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.983$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表14 温度環境の満足度と性別

温度環境の満足度(Q1-4)			
	不満側	中立	満足側
性別 (Q3-2)	男性	15	14
	女性	13	10

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.457$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表15 湿度感觉と性別

湿度感觉(Q2-4)			
	湿潤側	中立	乾燥側
性別 (Q3-2)	男性	3	12
	女性	1	24

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.826$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表16 温度環境の満足度と性別

湿度環境の満足度(Q2-5)			
	不満側	中立	満足側
性別 (Q3-2)	男性	18	20
	女性	12	9

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.857$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表17 温度感觉と着座位置

温度感觉(Q1-2)			
	寒冷側	中立	暑熱側
着座位置 (Q3-3)	入口付近	7	5
	窓付近	9	8
	室中央	7	20

χ^2 検定(独立性の検定) : $p = 0.242$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

が有意に多かった。

D. まとめ

本研究では、日本各地の6件の建築物を対象とした室内環境測定と主観評価調査から、空気温湿度の維持管理手法について検討した。

空気温湿度の測定結果についてはいずれの建築物においても23~28°Cであり、建築物環境衛生管理基準値内であったが、相対湿度はいずれの建築物でも40%RHを下回っていた。PMVとSET*の評価では、特定建築物ではBビルのIZを除いて暖かい空間となっていたが、中小規模建築物では快適域に入る建物もあった。

一方、F.L.+1100mmとF.L.+100mmの位置の空気温度差については中小規模建築物の差の方が大きく、特にFビルのIZでは3.3Kとなっており、温熱環境が悪化している可能性があった。

主観評価調査の結果については相対湿度の主な不満理由は乾燥している環境であったが、空気温度は寒冷環境の他、暑熱環境もあった。

空気温湿度の維持管理手法については平均空気温度と寒冷側申告率、平均相対湿度と乾燥側申告率には負の相関傾向が見られたことから、この相関が利用できる可能性がある。しかし、現時点では6件の建築物に限定されていることから、今後もデータを蓄積することでより精度

の高い維持管理手法の提案につながると考えられる。

E. 参考文献

- 1) 厚生労働省. 建築物衛生のページ.
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000132645.html> (アクセス日 2025-4-22)
- 2) 小林健一ほか. 中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の運用に関する研究. 厚生労働科学研究成果データベース. 201927004A. 2020.
- 3) Preiser W. F. E. 2 The Evolution of Post-Occupancy Evaluation: Toward Building Performance and Universal Design Evaluation. In: FEDERAL FACILITIES COUNCIL. A State-of-the-Practice Summary of Post-Occupancy Evaluation; 2001. p. 9.
- 4) Li P., Froese T. M., and Brager G. Post-occupancy evaluation: State-of-the-art analysis and state-of-the-practice review. *Building and Environment*. 2018;133:187–202. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.02.024
- 5) Zagreus L., Huizenga C., Arens E., and Lehrer D. Listening to the occupants: a Web-based indoor environmental quality survey. *Indoor Air*. 2004;14(8):65–74. doi: 10.1111/j.1600-0668.2004.00301.x
- 6) Haberl J. S., Davies H., Owens B., and Hunn B. ASHRAE's New Performance Measurement Protocols for Commercial Buildings. Proceedings of the Eighth International Conference for Enhanced Building Operations. 2008.10.20–22; Berlin. p. 1–8.
- 7) Aziz A., Srivastava V., and Loftness V. Post Occupancy Evaluation Indoor Environment Quality Toolkit: EnviroBot: Conference on Sustainable Building South East Asia. 2007.11.5–7; Malaysia. p. 182–190.
- 8) Candido C., de Dear R., Thomas L., Kim J., and Parkinson T. Introducing BOSSA: The Building Occupants Survey System Australia. ECOLIBRIUM. p. 42–46. 2013.
- 9) Frontczak M., Schiavon S., Goins J., Arens E., Zhang H., and Wargocki P. Quantitative relationships between occupant satisfaction and satisfaction aspects of indoor environmental quality and building design. *Indoor Air*. 2012;22(2):119–131. doi: 10.1111/j.1600-0668.2011.00745.x
- 10) ISO. Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. ISO 7730:2005. 2005
- 11) ANSI/ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ANSI/ASHRAE Standard 55-2023. 2023.
- 12) ISO. Energy performance of buildings — Indoor environmental quality — Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings. ISO 17721:2017. 2017.
- 13) JIS. 熱環境の人間工学—WBGT（湿球黒玉温度）指数を用いた熱ストレス環境. JIS Z8504:2021. 2021.
- 14) 空気調和・衛生工学会: 空気調和・衛生工学便覧, 第13版, 第5編. p. 256.

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし