

建築空間における快適性向上技術に関する研究（その1）

——在来オフィスビルにおける POE 調査結果——

竹本 靖 小宮 英孝 渡辺 真知子
岩波 洋 武井 克丞

Study on Comfortable Indoor Environment (Part 1)

——Results of Investigative POE of Conventional Office Building——

Yasushi Takemoto Hidetaka Komiya Machiko Watanabe
Hiroshi Iwanami Yoshitsugu Takei

Abstract

A comfortable indoor environment has become one of the most important requirements as numerous smart buildings have come to be constructed. However, there are many problems regarding indoor environments in existing office buildings and no definite criteria for judging comfortable indoor conditions. Therefore, the POE method, consisting of measurements for indoor environmental factors and questionnaires, was planned and adapted to two conventional office buildings in three seasons. The results obtained were as follows: (1) There was a diurnal variation pattern in sensation of total comfort. (2) Thermal sensation and sensation of air quality were two big factors for explaining the sensation of total comfort, which was analyzed by the theory of Quantification II. (3) The relation between PMV-value and thermal sensation, and the relation between concentration of CO₂ and sensation of air quality, were relatively high. (4) The concentration of bacteria was high in case of high human activity. (5) The spatial character can be evaluated by visual area measured by an electronic distance meter.

概要

事務所ビルのインテリジェント化に伴い、執務空間の「快適化」に対する要求が、高まっている。しかし、実際の室内環境は多くの問題点を含み、快適化を実現する技術も不十分なばかりか、快適性の判断基準も明確でないのが現状である。そこで既存の、事務所ビルに対する、物理・生物と心理（アンケート）の2要素からなる POE 調査（居住時評価）を、3シーズンにわたって行ない、実情の把握とともに調査手法の検討を試みた。

実際のオフィス調査の結果、快適性には、朝→昼→夕にかけて、不快→中立→不快という日変動があり、朝方については、温熱または空気環境の物理量と心理量から説明がつくが、夕方については、さらに別の要因を考える必要があることがわかった。温熱環境では PMV 値と全身温冷感の間に、空気環境では CO₂ 濃度と空気質感の間に、光環境では机上面照度と明るさ感の間に、また視環境では人密度と広さ感の間にそれぞれ相関が見られた。加えて各々の環境要素と快適性との間にも、一応の相関関係はみられた。しかし、心理量に対する統計処理によって、執務室の快適性を説明する環境因子としては、温熱環境と空気環境が大きい要素であることが明らかとなった。さらに、微生物調査結果から、人の動きが活発な場合に細菌濃度が高いこと、光波距離計を用いて視空間面積をとらえることにより、空間特性が把握できることも確かめられた。

1. はじめに

事務所ビルのインテリジェント化に伴い執務空間の「快適化」に対する要求はますます高まっている。しかし、実際の室内環境は多くの問題点を含み、快適化を実現する技術も不十分であるばかりか、快適性の判断基準も明確でないというのが現状である。

そこで、室内環境の実状を把握する為の物理・生物調査と心理（アンケート）調査から成る POE (Post Oc-

cupancy Evaluation—居住時評価) 調査手法を立案し、在来オフィスビルに適用した。この研究の目的は、この調査手法の問題点およびオフィスビルの室内環境や快適性への主要な影響因子を明らかにしていくことである。

なお、この調査は建設省建築研究所との共同研究「室内環境の最適化システムの開発」の一環として行なったものである。

2. POE 調査手法の概要

POE 調査は、測定中心の物理・生物調査とアンケートによる心理調査とに大別される。物理・生物環境の測定概要を表一に、アンケート調査概要を表二に示す。

測定項目	測定方法又はセンサー	測定位置と時間
温熱環境		
温度*	Cu・Co 熱電対	(他に、吹出温、表面温) 高さ 0.1, 0.6, 1.1, 1.7m
湿度*	サーミスタ型絶体湿度計	高さ 1.1m
気流	無指向性風速計	高さ 0.1, 1.1m
放射	グローブ球	高さ 0.6, 1.1m 連続時: 1点、10分ごと 分布時: 1点/30m ² , 2~3時間ごと
空気環境		
粉塵*	デジタル粉塵計	高さ 1.1m
CO*	定電位電解式	連続時: 1点、10分ごと
CO ₂ *	赤外線式	分布時: 1点/30m ² , 2~3時間ごと
におい	半導体センサー	
SO ₂ *	p-ロザリニン吸収液法	高さ 1.1m、1点、56分間/1時間
NO ₂ *	トリエタノールアミン吸収液法	×12時間
浮遊微生物*	スリットサンプラー	×12時間
落下微生物	落下法	高さ 0.5m、7点、20分間/1時間
音環境		
騒音	精密騒音計(dBA)	高さ 1.1m、1点
光環境		
照度	光電池式照度計	高さ 机上面、2~3時間ごと
その他		
視線長	光波距離計	高さ 1.1(1.35)m
在室者	目視カウント	1時間ごと
たばこ本数		
室状態		

*屋外でも各1点連続測定

表一 物理・生物環境の測定概要

種類と回数	質問種と項目数
アンケート A (1回)	●フェイスシート (5) ●体調 (5) ●室内環境の好み (6) ●快適性向上に重要な技術の選択 (17)
アンケート B (9, 11, 13, 16, 18時) の5回	●室内環境に対する感じ方の申告 快適性 (1) 温熱 (10) 空気 (5) 音 (2) 光 (2) 広さ (1)

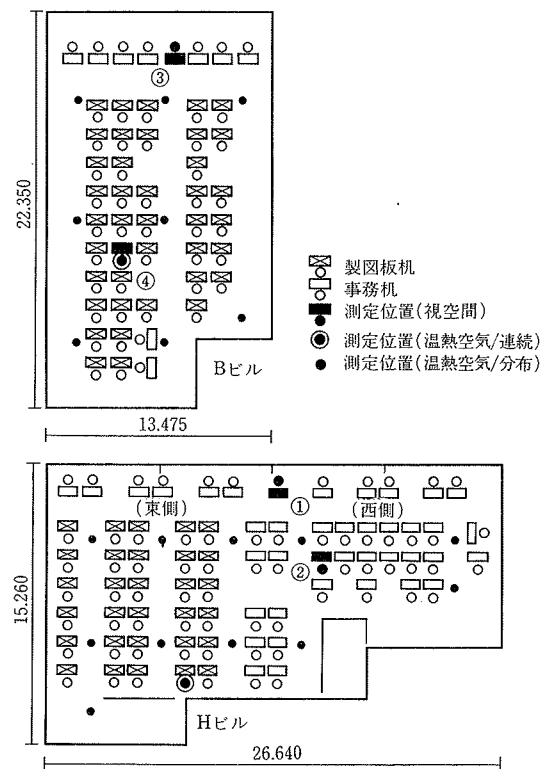
表二 アンケート概要

項目	Hビル	Bビル
建築: 竣工 対象室 床面積 天井高 職員数 人密度	昭和36年 6F事務室 333.6m ² 2.58m 60名 5.61m ² /人	昭和45年 6F事務室 263.4m ² 2.55m 43名 6.12m ² /人
設備: 空調方式 加湿方式 換気回数	中央単一ダクト (高速ダクト) 蒸気スプレー 7.1回/h	中央単一ダクト +ファンコイル・ユニット 蒸気スプレー 4.8回/h
特徴:	窓開閉可能 ペリメータ空調なし 事務+設計業務	窓はめ殺し 勤務時間中禁煙 設計業務

表三 調査対象建物・室の概要

物理・生物調査は、温熱・空気・光・視・音の各環境にわたる計測、図面による建築・設備システムの調査、目視による室内状態の調査により構成される。計測は、物理・生物環境の経時変化を求める連続測定と、アンケート調査を同時に実施し、環境の空間的分布状態を求める分布測定とに分けられる。

アンケート調査は、回答者の属性、健康状態、環境に対する好みなどを質問するアンケート A (当初1回) と、快適性、環境要素別の「感じ方」を質問するアンケート B (2~3時間ごとに計5回) により構成されている。



図一 調査対象室の配置図と測定点

項目	Hビル	Bビル
回収数/フェースシート回答数	45/42	34/28
性別: ①男 ②女	①90.5% ②9.5%	①67.9% ②32.1%
年齢: ①20代以下 ②30代	①21.4% ②35.7%	①53.6% ②25.0%
③40代 ④50代以上	③23.8% ④19.1%	③14.3% ④7.1%
喫煙: ①20本以上 ②20本以下	①33.3% ②21.5%	①17.9% ②17.9%
③喫煙せず (1日当り)	③45.2%	③64.3%
在室年数: ①1年以内 ②1~3年	①23.8% ②31.0%	①28.5% ②32.1%
③3年以上	③45.2%	③39.3%
平均C _{lo} 値(冬季/中間季/夏季)	0.99/0.8*/0.6*	0.92/0.8*/0.6*

* 仮定値

表四 調査対象室の執務者の概要

3. POE 調査の実施概要

調査は、東京都心部にあって隣接する二つの典型的な在来型オフィスビルで、冬季(昭和63年2月下旬)、中間季(同5月下旬~6月上旬)、夏季(同8月下旬)の3シーズンにわたり各1週間程度実施した。調査建物の概要を表-3に、室内配置図・測定点を図-1に、対象室の執務者の概要を表-4に示す。Hビルは、一般的な大部屋空間である。Bビルも大部屋ではあるが、大型の製図板により、パーティションのように間仕切られた空間が構成されている。また、Bビルでは、女性や若年層の割合が高く、執務時間中は禁煙となっている。なお、中間季、Hビルにおいては、窓を閉めた状態(H1)と勤務時間中窓を開けた状態(H2)で測定した。

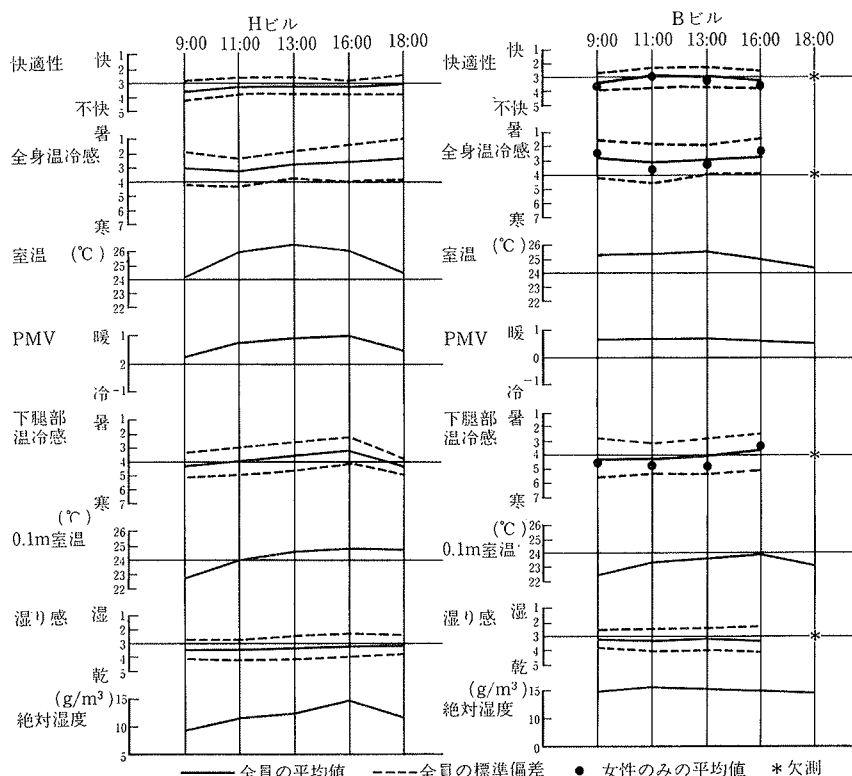


図-2 温熱環境における代表的な物理量と心理量との対応 (代表例：冬季)

4. 調査結果

4.1. 温熱環境評価結果

代表例として、冬季の温熱環境に関する物理量と心理量を快適性ととも、図-2に示す。物理量はアンケート調査時の平面分布データより、心理量は各回答カテゴリー値をそのままデータとし、平均値と標準偏差を求めている。

全身温冷感、PMV値(Predicted Mean Vote, ISO評価基準)、室温からみて、冬季としては暖かい状態にある。まず快適性についてみると朝→昼→夕にかけて、不快→中立→不快の方向へ変化している。この傾向は、いずれの季節でも見られる。温熱環境についてみると全身温冷感、やや暖→中立→暖となり、PMVなどの物理量は、中立→暖となり、朝方は一致しない。他の季節も含めてみると、両者は基本的には一致しているものの、朝・夕に不一致の場合がみられる。一方、床上0.1mの室温は、22.5~24.5°Cで、下腿部の温冷

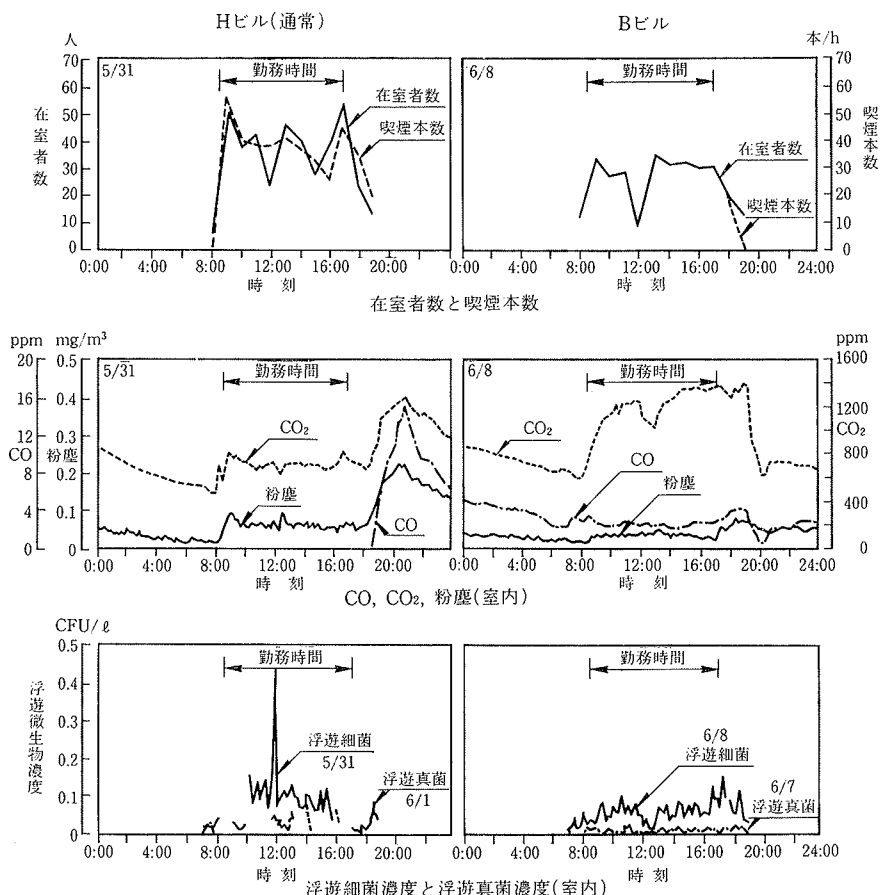


図-3 空気環境における物理量の経時変化 (代表例：中間季)

感の経時変化は、涼→暖となり、この点は、物理量（床上0.1mの室温）の動きも一致している。またこのケースでの下腿部中立温は、24°C前後である。さらに他の季節では上下温度差も少なく、申告値も特別な動きはない。全身温冷感が物理量と一致しないのは、経時変化による慣れや疲れと、下腿部などの部位別の熱環境が影響していると考えられる。Bビルの女性だけの快適性や温冷感に対する申告値の経時変化は、全体の動きがより顕著による傾向である。以上の点は、環境に対する時刻別、個人別の要求が異なることを示している。

湿気に関しては、加湿が充分で日変動の少ないBビルでは、物理量・心理量ともに変化がなく、徐々に加湿さ

れるHビルでは乾→中立へ変化している。また気流、ふく射に関しては、特筆する点は見られなかった。

4.2. 空気環境評価結果

図-3に、空気環境の日変動の代表例（中間季）を示す。粉塵および各種ガス濃度についてみると、Hビルでは、出社時刻に濃度が急上昇した後、昼休みに若干低下する以外は、定常状態となり、空調が止まった後さらに上昇する。一方、Bビルでは、執務時間中禁煙である為、出社時刻には、CO₂濃度のみ急上昇し、他は常に低い値である。なお、CO₂濃度が勤務時間中上昇を続けているのは、換気量不足が原因と考えられる。NO₂、SO₂の濃度は、0.04 ppm以下で時刻変動はない。

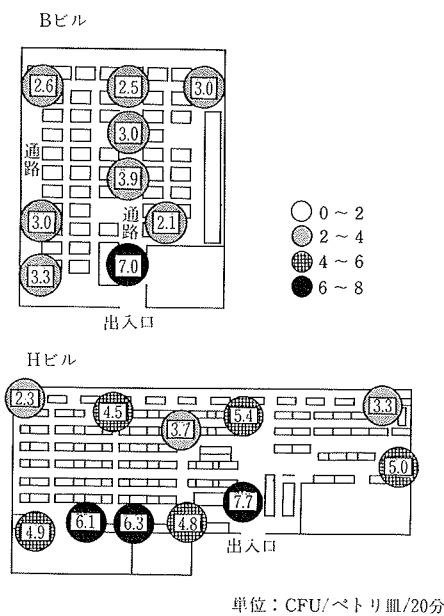


図-4 落下細菌の分布（代表例：中間季）

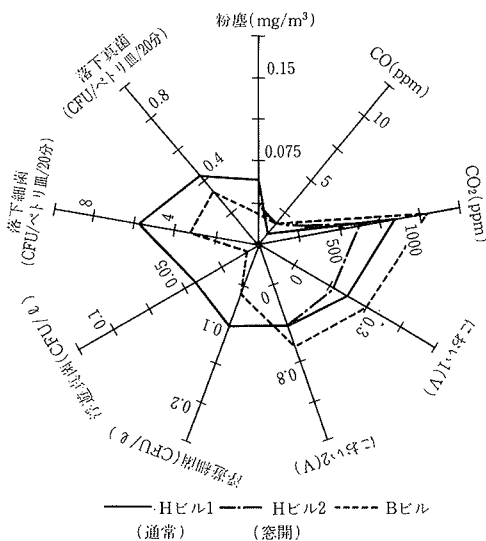


図-5 物理量の平均値（代表例：中間季）

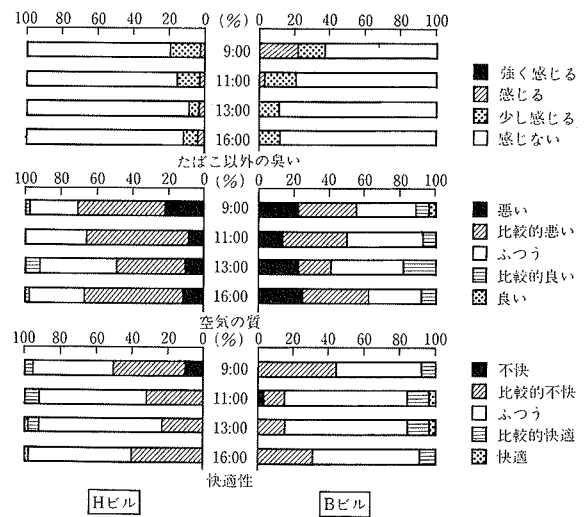


図-6 アンケート結果（代表例：冬季）

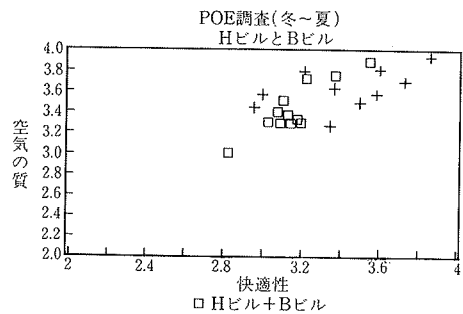


図-7 空気質とCO₂濃度

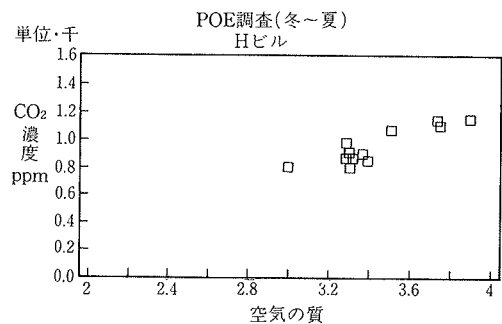


図-8 快適性と空気質

図-3の浮遊細菌濃度の時刻変動や図-4の落下細菌分布が示すように、細菌は人の活動量が多い出勤時や昼休みと出入口でその数が多い。これは、細菌の発生源が主に人である為であり、真菌ではこの様な傾向は見られない。

図-5に、アンケート調査時の各種平均値のレーダーチャート（中間季）を示す。Bビルは、換気量が少なく禁煙であることからガス体の濃度が高く、粒子状の濃度が低い点、H2では窓を開け自然通風を計っている為、CO以外の濃度がH1より低い点などの特色が示されている。

アンケート結果の経時変化の代表例を図-6に示す。空気の質および快適性についての申告は、両ビルとも朝→昼→夕にかけて、悪→中立→悪の変化を示すが、物理量の変化とは必ずしも一致しない。これは今回測定対象としなかった物質の影響か、他の環境要素や物理環境以外による居住者への心理的・精神的影響かを明らかにしていく必要がある。またタバコ以外のおおいを感じる申告した人の割合は禁煙のBビルの方が多くしかも9時をピークにその後減少する点は、おおいに対する慣れなどの特殊性を示している。

今回の調査結果では、空気の質の申告に対して高い相関が見られるのは、図-7に示すHビルにおけるCO₂濃度だけである。CO濃度や粉塵濃度との相関は見られなかった。図-8に示すように空気の質の申告と快適性の申告の相関は、両ビルとも比較的高く、この点からも、空気の質は快適性の重要な要因であることがわかる。

項目	測定場所		Bビル
	Hビル	Bビル	
床面積 (m ²)	336.33	263.37	
天井高 (m)	2.58	2.55	
窓面積 (m ²)	81.44	52.18	
家具占有面積 (m ²)	100.35	92.77	
OA機器占有面積 (m ²)	12.10	1.55	
職員数 人	30	30	43
	一人当たりの面積 (m ²)	6.34	
代表的な位置での視空間面積 (m ²)	管理職	141.99	75.16
	一般職	163.72	51.37
※面積比	管理職	16.13	12.28
	一般職	5.49	8.39
代表的な位置での外部視空間面積 (m ²)	管理職	1466.90	1942.10
	一般職	5681.75	1141.50

※代表的な位置での視空間面積 / 1人当たりの面積

表-5 視空間の測定結果

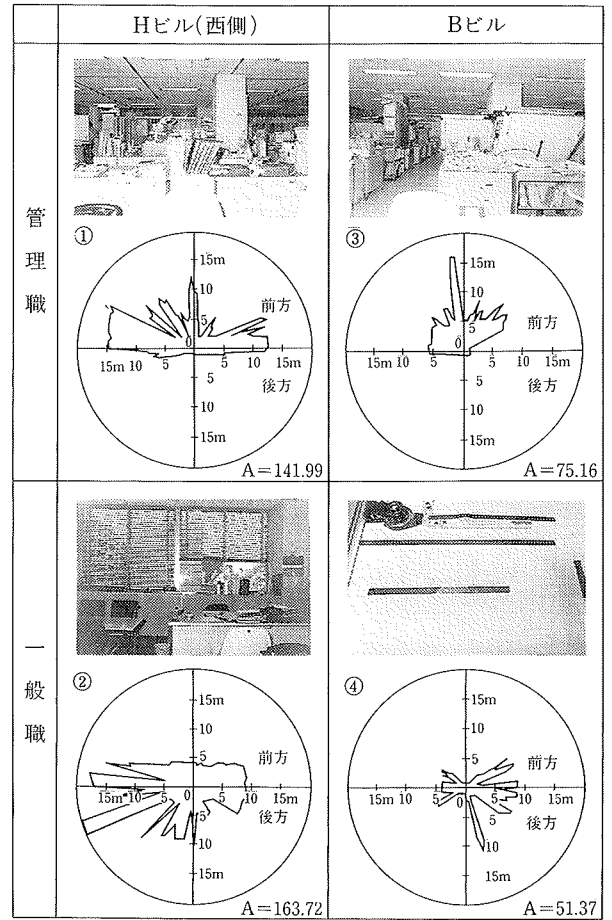


図-9 光波距離計による視空間面積の測定結果

4.3. 光・視環境評価結果

ノンプリズム型の光波距離計を用いて室内水平面視空間面積の測定を行なった。測定位置を図-1に、Hビル西側（一般事務）とBビル（設計業務）における管理職と一般職の視空間測定結果の代表例を図-9と表-5に示す。図中の原点が執務者の目の位置にあたり、そこから前方を撮った写真も併せて示している。Hビル西側の一般職では通常の事務機のため、広い視空間が得られるのに対し、Bビルでは製図板がパーティション的な効果をもたらすため、間仕切られた狭い空間しか得られない。設計業務が主であるHビル東側やBビルでの視空間面積は管理職の方が一般職より1.5～3倍程度広い。表-5に代表的な位置での視空間面積と、一人当たりの面積の比が示してある。この指標は、個室あるいはパーティションなどでは1に近い値となり、大部屋では大きな値となるなど空間の特性を示す指標となる。今後は、前後などの方向性や人の頭の動きを考慮した視空間面積および外部空間や質を考慮した評価法を検討する必要がある。

図-10に、机上面照度と明るさ感・快適性との関係の代表例を示す。机上面照度と明るさ感との間には相関関係が見られるが、快適性との関係はやや弱い状態である。

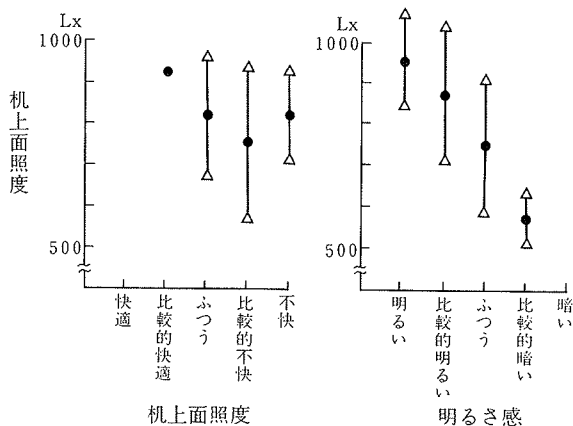


図-10 机上面照度と明るさ感, 快適性 (Bビル)

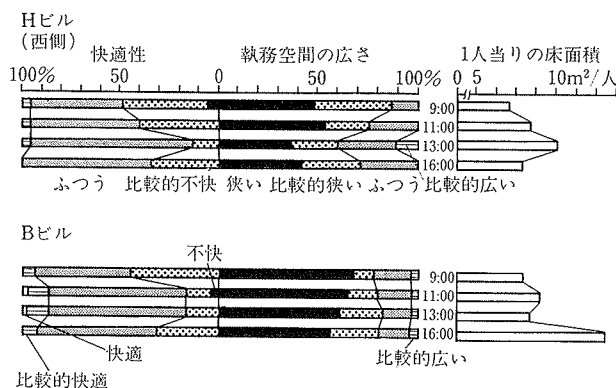


図-11 アンケート調査結果 (快適性と広さ感)

項目	冬				春						夏				
	Hビル		Bビル		H ₁ ビル		H ₂ ビル		Bビル		Hビル		Bビル		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
温熱	室温(°C)	25.8	0.98	25.4	0.47	24.5	0.48	24.7	0.47	27.9	0.49	26.5	0.73	27.6	0.44
	PMV(-)	0.70	0.34	0.64	0.23	0.13	0.11	0.29	0.12	1.04	0.09	0.56	0.19	0.91	0.14
空気	CO ₂ (ppm)	1117	73	935	14	836	54	604	58	1034	111	934	65	1304	153
	CO(ppm)	3.79	1.06	2.03	0.20	0.85	0.31	1.58	0.21	1.80	0.35	3.66	0.31	3.07	1.50
	粉塵(mg/m ³)	0.148	0.028	0.035	0.016	0.054	0.014	0.033	0.011	0.032	0.010	0.178	0.072	0.094	0.029
音	騒音(dBA)	49.5		43.8		50.7	3.3	52.2	2.1	45.8	3.5	50.6	3.6	45.8	3.8
	机上面照度(lx)	450		686		484	79	502	67	786	158	460	67	708	175
広さ	人密度(m ² /人)	8.66	1.07	8.69	1.63	8.11	1.48	9.14	2.22	9.46	4.14	8.57	1.88	8.83	1.71

(注) H₁ビルは通常状態、H₂ビルは窓を開

表-6 物理量の測定結果

項目	冬				春						夏				*1 全身温冷感 (暑-寒/1-7) *2 空気の質 (良-悪/1-5) *3 騒音 (気にならない-非常に気になる/1-4) *4 室内の明るさ感 (明-暗/1-5) *5 広さ感 (広-狭/1-5) *6 快適性 (快-不快/1-5)
	H		B		H ₁		H ₂		B		H		B		
	カテゴリ レンジ	偏相関 係数	カテゴリ レンジ	偏相関 係数	カテゴリ レンジ	偏相関 係数	カテゴリ レンジ	偏相関 係数	カテゴリ レンジ	偏相関 係数	カテゴリ レンジ	偏相関 係数	カテゴリ レンジ	偏相関 係数	
温熱	1.79	0.38*	2.30	0.74*	6.18	0.56*	2.40	0.45*	4.50	0.82*	1.49	0.41*	3.86	0.60*	
空気	1.71	0.41*	0.72	0.31*	5.70	0.68*	1.35	0.40*	1.41	0.48*	0.33	0.10	1.82	0.39*	
音	0.35	0.08	1.13	0.43*	0.39	0.16	0.89	0.16	0.14	0.10	0.66	0.18	1.84	0.26	
光	0.83	0.22	1.12	0.24	0.61	0.15	1.18	0.18	0.18	0.16	7.61	0.68*	0.76	0.31*	
広さ	0.42	0.12	0.37	0.22	0.64	0.24	0.57	0.18	0.08	0.07	0.55	0.27	0.17	0.07	
快適性への 相関比		0.42		0.67*		0.63*		0.41		0.83*		0.59*		0.50*	

(注) H₁ビルは通常状態、H₂ビルは窓を開

表-7 快適性と各環境因子申告との関係

執務室内の広さ感および快適性に対する申告並びに一人当たりの床面積の経時変化を図-11に示す。Hビル西側では空間の広さ感と一人当たりの床面積の経時変化に相関関係がみられる。さらに、快適性とも同様の傾向がみられる。これは視空間面積が広いため、人の増減が広さ感や快適性に直接結び付きやすいためと思われる。またBビルでは、照度が高いにもかかわらず、体調(目が疲れる、頭が重いなど)に対し異常を感じた人は半数近くで、Hビルの3倍の割合である。これは設計という仕

事や照明方式も挙げられるが、視空間の狭さといったことも問題点として考えられる。

4.4. 総合評価

各季節ごとに各環境要素の代表的な物理量測定結果を表-6に示す。同表の値は、アンケート調査時の平面分布データより求めた。Bビルは、はめ殺し窓など気密性が高く、換気量が少ない等のため、特に夏季・中間季に室温・PMV値などが高くなるとともに、均一性が高い。また同様の理由で、CO₂濃度などは高くなるが、禁煙であ

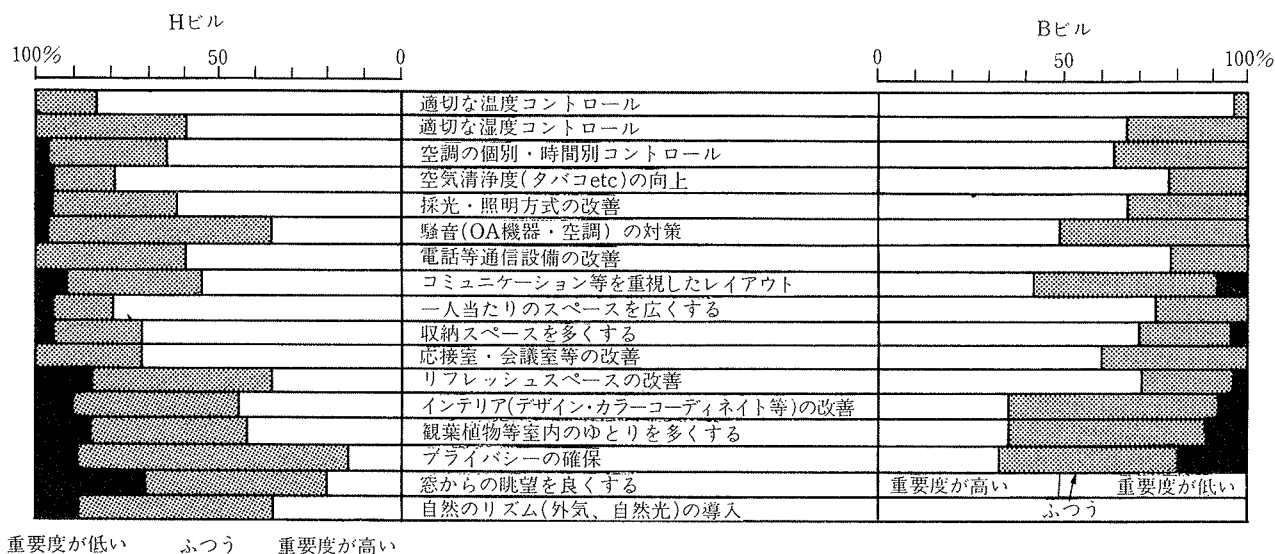


図-12 快適なオフィス環境に対する要望

ることから、粉塵濃度は低い値となる。

次に、各季ごとに各環境要素の代表申告値と快適性の申告値との関係を数量化II類で求めた結果を表-7に示す。3季にわたる分析結果より、快適性を説明する因子としては、温熱・空気環境が強いことがわかる。特にBビルでは、温熱環境の要因が強い。

図-12に、今後の快適なオフィス環境への要望についてのアンケート調査結果を示す。この結果から、最も基本的な温熱・空気環境そしてスペースに対する要望が高く、これに続くものとしては、該当ビル特有の問題点(Bビルの場合、電話設備やリフレッシュ・スペース)の改善であることがわかる。

5. まとめと今後の研究課題

在来型のオフィスでPOE調査を実施した結果、快適性には、朝→昼→夕にかけて、不快→中立→不快という日変動があり、朝方については、温熱・空気環境の物理量や心理量から説明がつくが、夕方については、さらに別の要因を考える必要があることがわかった。温熱環境では、PMV値と全身温冷感に、空気環境では、CO₂濃度と空気質感に、光環境では、机上面照度と明るさ感に、視環境では、人密度と広さ感に、各々相関がみられた。また各環境要素とも快適性との関連性がみられるが、特に温熱と空気環境が強いことが明らかとなった。さらに、微生物調査結果から、人の動きが活発な場合に細菌濃度

が高いこと、光波距離計を用いて視空間面積を捉えることにより、空間特性が把握できることも確められた。

以上の研究結果を踏まえて、今後は以下の研究課題を推進する予定である。

- (1) POE調査手法の改良
- (2) ニューオフィス（インテリジェントビルなど）でのPOE調査の実施
- (3) 環境シミュレーションラボ（室内環境実験室）での快適性要因の明確化と快適性達成技術の評価
- (4) 在来オフィスビルでの調査結果に基づくアメニティリフォームの実施

参考文献

- 1) 竹本, 小宮, 渡辺, 岩波, 武井: 建築空間における快適性向上技術に関する研究(その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), (昭63.9), pp. 89~94
- 2) 中山昭雄編: 温熱生理学, 理工学社, 1987. 6. 10
- 3) 吉池, 他: 空調建物内の微生物汚染—各種ビルにおける測定結果—, 空気清浄, Vol. 23, No. 3, (昭61.1), pp. 17~26
- 4) 乾 正雄: 窓の官能検査, 品質管理, Vol. 28, No. 8, (昭52.8), pp. 12~15
- 5) 林 知己夫監修: 数量化理論とデータ処理, 朝倉書店, (1982. 6. 20)