

建築空間における快適性向上技術に関する研究（その2）

——気流、室温の変動制御に対する快適性評価——

小宮 英孝 渡辺 真知子
宮川 保之

Study on Comfortable Indoor Environment (Part 2)

——Evaluation of Comfortableness by Variable Air Velocity or Temperature Control——

Hidetaka Komiya Machiko Watanabe
Yasuyuki Miyagawa

Abstract

Usually, room air temperature and air velocity are controlled at constant levels. However, people may feel more comfortable if indoor environmental conditions have some variation. According to this point of view, a variable indoor air velocity control method for the summer season which simulates natural wind and a variable indoor temperature control method for the winter season, in accordance with outdoor variation rhythms or biological rhythms were developed and these methods were evaluated by physiological and psychological data taken from subjects of the tests. As results, it was found that simulated natural wind as variable indoor air control and "rising pattern of room air temperature" as variable indoor air temperature control method are preferred.

概要

室内環境は一定であるよりは、ある程度変動を伴う方が快適であるとの考え方に基づき、自然風を模擬した夏季用の気流変動手法と、生体や外界のリズムに合わせた冬季用の室温変動手法に対して、被験者実験から得た心理・生理データを基に評価を行なった。また、気流変動に関しては疑似窓との複合効果も評価した。一般に、このような実験からは、明瞭な結果は出にくいものであるが、気流変動に関しては自然風に近いもの、室温変動に関しては、午前午後共に「昇温型」が良い傾向にあることなどが明らかになった。

1. はじめに

室内環境に求められているのは、現在一般的には一定環境である。しかし、室内環境にも日変動を与えた方が良いのではとの考え方は昔からあった。一方、既存のビルの居住状態における調査（POE 調査）において、室内環境に大きな変化がなくても、快適性申告に日変動があることが明らかになってきた（文献1）。このことは逆に、日変動を与えることにより、快適性を高めることができる可能性があるとも言えよう。また、自然に対するあこがれは強く、室内への自然の導入が可能な場合には導入が、不可能な場合には自然の模擬が望まれている。そこで、室内環境に変化を与えたり、自然の変化を感じさせたりすることが、心理的・生理的に、快適性の観点

から見て効果的ではないかと考えた。

本報告では、自然の導入に対応する夏季用の気流変動制御と日変動に対応する冬季用の室温変動制御について被験者実験により検討を加えた。さらに気流変動については、疑似窓との複合効果について検討を加えた。

2. 実験装置概要

被験者実験は環境シミュレーションラボラトリーで行なった。環境シミュレーションラボは、本報告のような積極的な快適性並びに個別制御性等を追求する技術開発を行なうために建設されたものであり、実験研究を行なうにあたって実際に居住状態で評価できるようにしたことには意義がある。環境シミュレーションラボの詳細は、付録(A)に示す。

3. 気流変動実験

3.1 実験概要

インバーターファンの性能向上によって、一般空調の気流速を秒単位で、変化させることが可能となった。そこで、自然風模擬を含め、快適性を向上させる変動風ソフトの検討を行なった。

すなわち、空調吹出し風速に、一定値と3種類の変動を与えた場合の室内物理環境特性、並びに執務者に対する心理的、生理的効果ついて検討を加えた。実験は9月の週日に行なった。執務時間は午後2時間とし、被験者は実験室に入室する30分前に、控室に入り携帯型の体温、心拍計測装置を付けた後、待機した。実験室では、図-1(A)1に示されるようなパーティション机において、通常のオフィスワークをしながら、15分毎に温冷感等の申告をした。その際、各被験者が同一の気流を感じられるように吹出し口直下を着席位置とした。被験者は男性6名、女性6名別々とし、各2回ずつ計4回の実験を行ない、実験中は同一の服装とした。吹出し風は、定常波、1/F波(自然風模擬)、2種類のパルス波の計4通りとした。定常時、各席位置での室温は $26 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり、1.1mと0.1mとの垂直温度差は、 $0.2 \sim 0.4 \text{ deg}$ 程度であった。また湿度は50%であった。以上の実験概要を表-1に示す。なお1/Fの風は(文献2)に示される非整数微積分を用いる方法で求めた。

3.2 変動風の物理性状特性

各風種別に設定した吹出し風量の経時変化並びにダクト内で実測された風量を図-1に、室内における各風種の変動特性、風速を表-2、図-2に、同風速の周波数分析結果を図-3に示す。なお、サンプリング間隔は1秒であり、サンプリング時間は512秒である。

まずダクト内風速の設定と再現性を見ると、矩形波のなまりの傾向がみられるものの基本的には追従しているといえる。これはインバーターファンの応答をフルスケールに対し2秒としていることによる。一方室内における風速変動(図-2)となると、原型はわかるものの不鮮明となる。周波数分析結果をみると、定常波(P2)は乱れが小さくパワー分布もフラットになり、パルス波(P1, P3)は設定された周期(すなわち、1/20秒、1/60秒)においてピークが出現することが示されている。それに対して1/F波(P4)はその名のごとくパワー・スペクトルの傾きが1/Fとなることが示されている。

3.3 変動風の心理効果

以上の4種の風速を表-1に示される様な実験スケジュールで各30分ずつ計2時間にわたって行なった被験者実験結果を、図-4, 5に示す。心理量の一つである温冷感申告においては、P4(すなわち1/F波)の場合に、涼しい申告が増し熱的快適性が向上する傾向が若干見られるがあまり明瞭ではない。しかし、SD法による分析においては1/F波が、定常波やパルス波よりも良いイメージを持たれていること、さらに定常波とパルス波ではパ

表-1 変動風制御実験概要

調査日時	平成2年9月 (女9/4, 9/11: 男9/12, 9/21)		
調査項目	1) 物理量調査(1分毎) 室温(各席), グローブ球温, 湿度, 気流速(代表位置) 2) 心理量調査(15分毎)代表的項目を以下に示す。		
申告値	全身部位温冷感	快適感	仕事のしやすさ
1	暑い	快適	しやすい
2	暖かい	やや快適	ややしやすい
3	少し暖かい	どちらでもない	どちらでもない
4	ふつう	やや不快	ややにくい
5	少し涼しい	不快	しにくい
6	涼しい	-----	-----
7	寒い	-----	-----
	他にSD法による質問。		
	3) 生理量調査(1分毎) 上腕温, 胸温, 大腿温, 下腿温, 心拍		
被験者	12名 男女各6名 男 ランニングブリーフ 半袖Yシャツ スボン ソックス スリッパ 女 ブラジャー&バンティニー スリッパ 半袖ブラウス スカート パンティーストッキング スリッパ		
実験パターン	経過準備 執務 時間 -0.5h 0h 0.5h 1.0h 1.5h 2.0h 風種 P2 P3 P4 P1		

表-2 風種別座席(頭)位置における風速温度特性

項目	風速		温度差	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
パターン1	0.12	0.10	1.08	0.20
パターン2	0.25	0.06	0.33	0.05
パターン3	0.26	0.08	0.22	0.08
パターン4	0.24	0.09	0.09	0.06

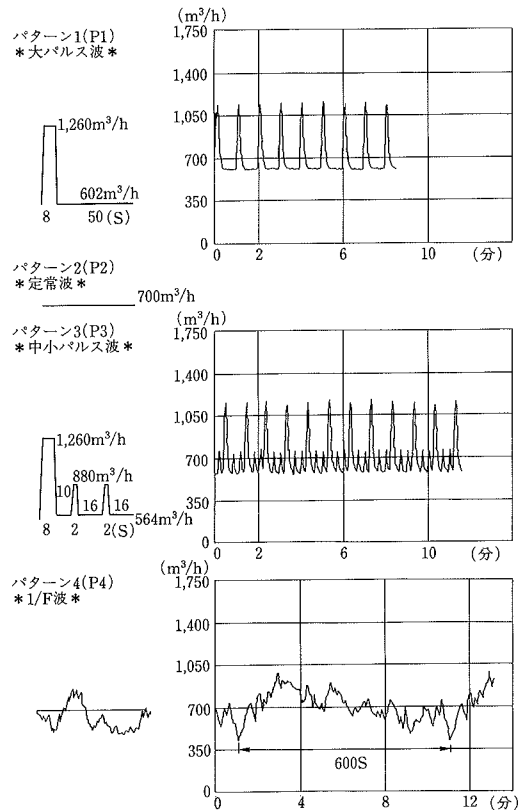


図-1 風種別ダクト内風量

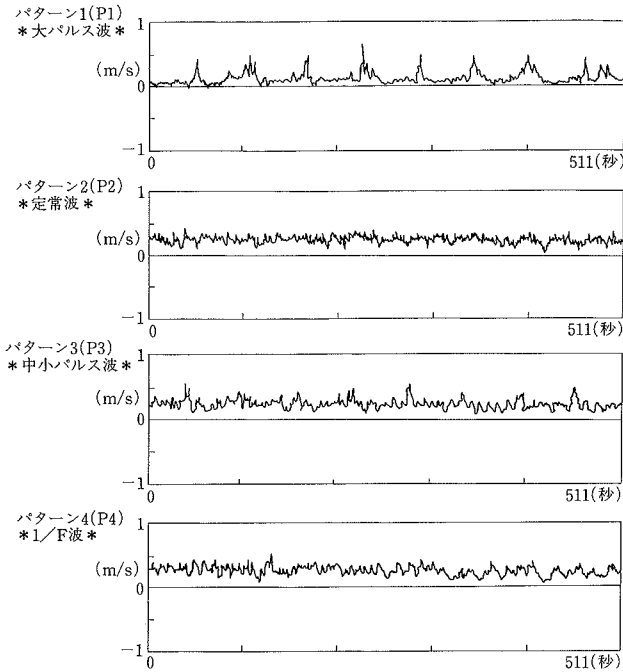


図-2 風種別座席(頭)位置における風速(上下方向)

ルス波の方が逆に悪いイメージを持たれていることが示されている。以上のように、実居住状態による評価によって、1/F波が好まれる傾向にはあることが示された。

4. 気流変動と疑似窓の複合評価

4.1 実験概要

気流変動に関する実験結果をふまえ、ここではさらに疑似窓との複合効果を検討することとした。

但し、全員が疑似窓が見える事を重視し、会議用の机を用い、コの字型の配置とした(図-6)。これにより、前章の実験ほどには気流条件が同一にはなっていない。室内には、必要に応じて疑似窓並びに観葉植物を配置した(写真-1)。疑似窓を評価する観点からは、疑似窓を設置しない場合と都市の風景、森林の風景を設置する場合の3通りについて、検討を行なった。都市の風景は、空が25.0%、建物が75.0%で、快晴時の明るいものであり、森林の風景は、空が33.2%、森林が66.8%で、緑が濃く空は白味があったものである。執務時間は、午後1.5時間とし、被験者は実験室に入室後30分間待機した。執務時間中はOA作業と休息をしながら、10分毎にアンケート調査を行なった。被験者は、女性6名で、疑似窓の条件が異なる3種類の実験を各2回ずつ合計で6回の実験を行なった。また実験中は同一の服装とした。吹出し風は、定常波、1/F波、パルス波の計3種類とし一実験内で変化させた。実験は平成3年9~10月の週日に行なったが、室内環境は前章の実験時とおおむね同様であった。実験概要を表-3に示す。

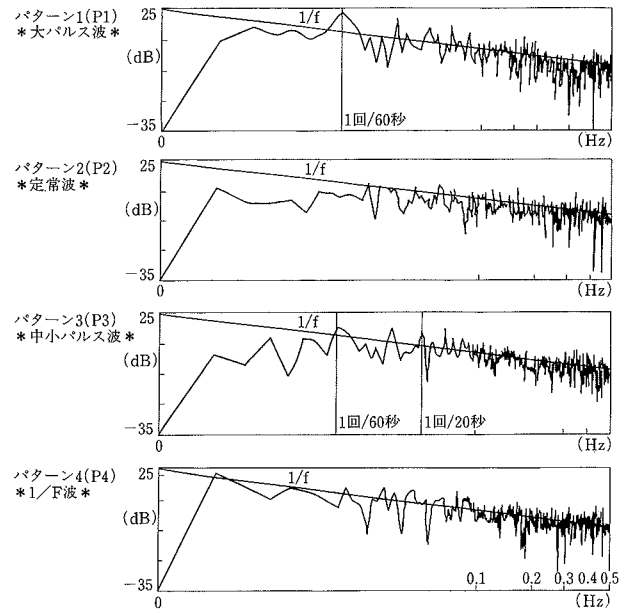


図-3 風種別座席(頭)位置における風速のパワー・スペクトル

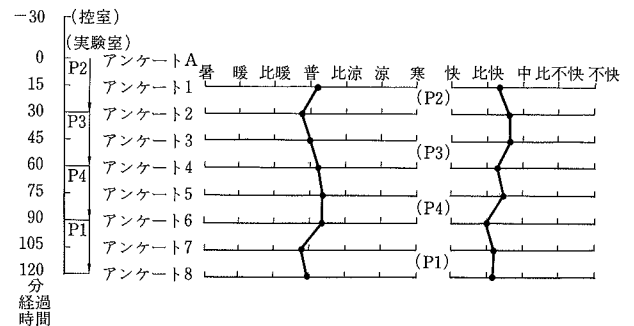


図-4 温冷感・快適感の申告結果

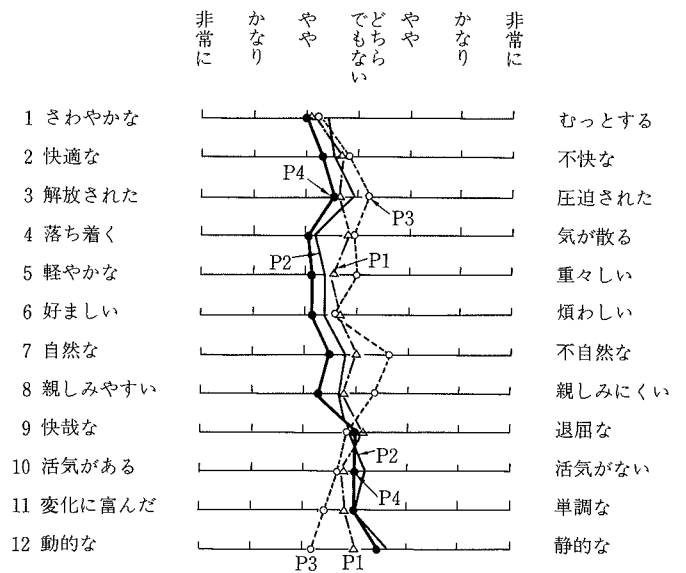
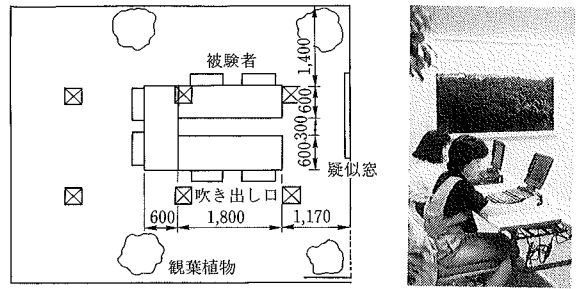


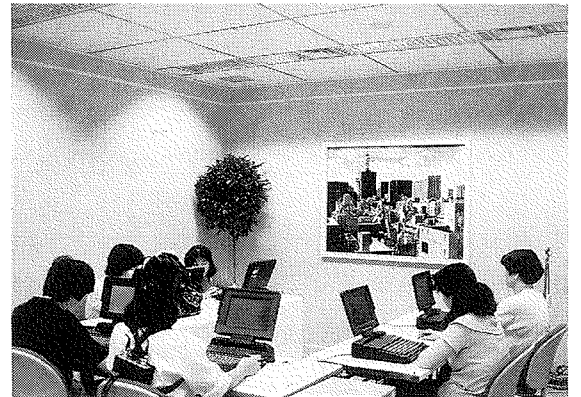
図-5 SD法による風種別イメージ

表一3 気流変動・疑似窓複合実験概要

調査日時	平成3年9月、10月中 平日 午後計6日間			
調査項目	1) 物理量調査 室温、湿度、気流速（代表位置） 2) 心理量調査（10分毎）SD法中心			
被験者	女性6名 ブラジャー&パンティー スリッパ 半袖ブラウス スカート パンティー ストッキング スリッパ			
実験の組合せ (3×3) (9通り)	疑似窓	なし	都市	森林
気流	定常 (パターン2)	パルス (パターン1)	1/f	
実験スケジュール	経過時間-10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90分 風種 P2 P4 P1 P2 P4 P1 P2 P4 P1 P2 OA作業、休息 アンケートフェイス 第1回 第2回 第8回 第9回 2分 4分 4分 2分 4分 4分 2分 2分 4分 4分 2分			



図一6 机の配置と実験風景（森林風景）



写真一1 室内の状況と実験風景（都市風景）

4.2 心理効果

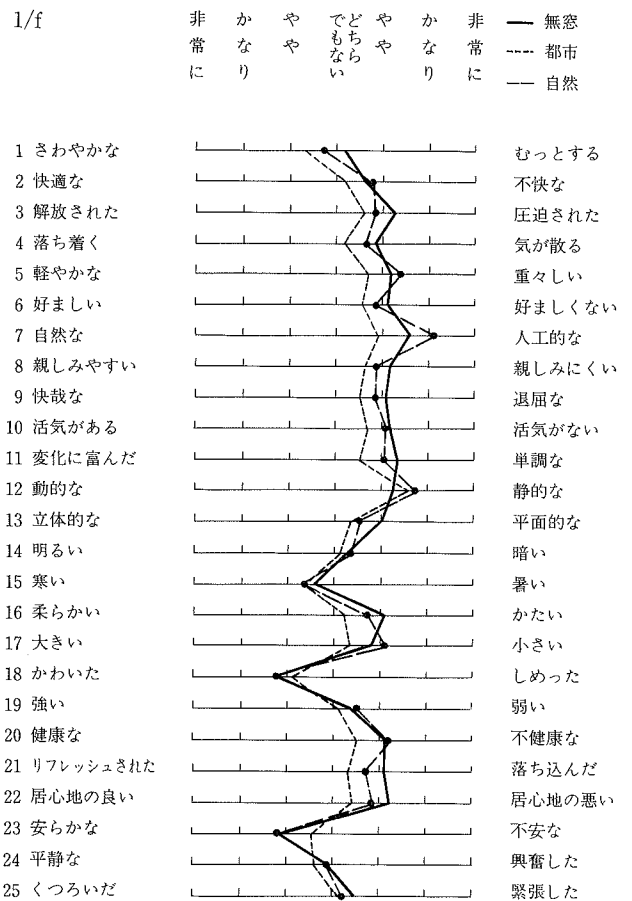
風種並びに疑似窓有無・風景別にまとめた結果、本実験に主要な役割を果たすのは、風種でなく疑似窓の有無・風景の違いであることが明らかに示された。これは、視覚的な要素のインパクトの強さを示している。

そこで、前章で適切と判断された1/F風の場合を例に取り、風景別のアンケート結果を図一7に示す。空間に対するSD法によるイメージ評価結果をみると、実験室が閉鎖空間であることからまず全般的に評価が悪いこと、さらに疑似窓の設置による改善効果があることが読み取れる。風景別では、自然の風景よりも都市の風景が好まれているが、これは実験を実施している土地柄や、森林の風景が暗い点も影響している可能性が考えられる。

5. 室温変動制御実験

5.1 実験概要

室温に日変動を与えることにより快適性を向上できるのではと考え、室温変動実験を行なった。すなわち、オフィスの定型業務を想定し、冬季室温に日変動を与えた場合の執務者に対する心理的、生理的効果を求めた。執務時間は、午前3時間、午後3時間とし、被験者は実験室に入室する30分前(午前9時頃)に、23°C一定の控室に入り携帯型の体温、心拍計測装置を付けた後、待機した。執務時間中は通常のオフィスワークをしながら、15分毎に温冷感等の申告をしてもらった。被験者は男性3名、女性3名の計6名であり、実験中は同一の服装とした。室温の変化パターンは23°C一定型、22°C~24°C間で、上昇型、下降型の3種類とし、2月中旬の週日に実験を行なった。各席頭部での室温は23±0.2°Cで、1.1mと0.1mとの垂直温度差は、前章の実験時と同程度であった。また気流は感じられない程度で、湿度は50%であった。実験概要を表一4に示す。



図一7 SD法による風景別イメージ

表-4 室温変動実験概要

調査日時	平成3年2月中旬		
調査項目	1) 物理量調査(1分毎) 室温(各席), グローブ球温, 湿度, 気流速(代表位置) 2) 心理量調査(15分毎)代表的項目を以下に示す。		
	申告値	全身部位温冷感	快感温
	申告値	1 暑い	快適
		2 暖かい	やや快適
		3 少し暖かい	どちらでもない
		4 ふつう	やや不快
		5 少し涼しい	不快
		6 涼しい	
		7 寒い	
			仕事のしやすさ
			1 ややしやすい
			2 ややしやすい
			3 どちらでもない
			4 ややにくい
			5 しにくい
3) 生理量調査(1分毎)	上腕温, 胸温, 大腿温, 下腿温, 心拍		
被験者	6名 男女各3名 男 半袖下着 プリーツ長袖Yシャツ 上着 スボン スリッパ ソックス 女 ブラジャー&パンティース リップ 長袖ブラウス 長袖セーター スカート パンティーストッキング スリッパ		
実験パターン	経過時間	午前執務	昼休み
	-0.5H	0H 1H 2H 3H 4H 5H 6H 7H	午後執務
定常型	23°C	[Bar chart showing constant temperature]	
上昇型	23°C	[Bar chart showing temperature rising from 22°C to 24°C]	
下降型	23°C	[Bar chart showing temperature falling from 24°C to 22°C]	

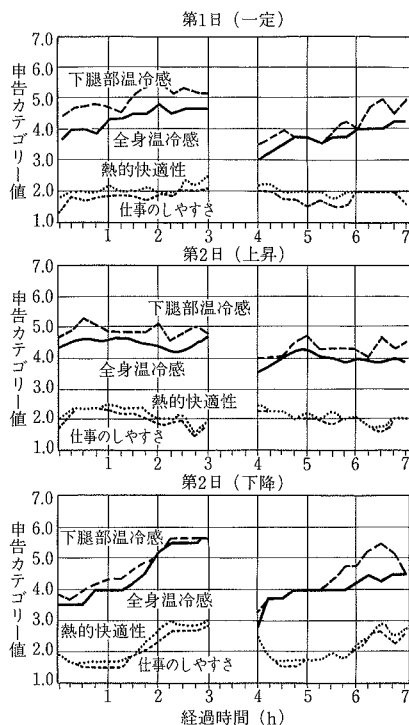


図-8 心理量の経時変化

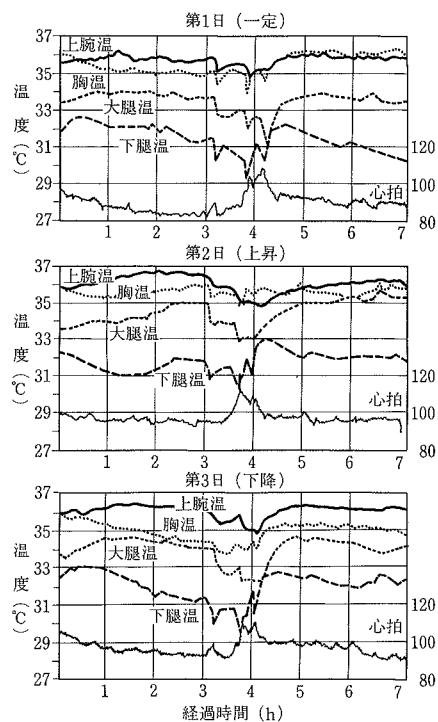


図-9 生理量の経時変化

5.2 心理・生理効果

室温の日変動3パターンに対する心理量, 生理量の経時変化を図-8, 9に示す。室温一定型は, 熱的快適性, 仕事のしやすさと共に変化が少ないが, 温冷感特に下腿部温冷感が中立から, 徐々に涼しい方に変化する。これに対し, 上昇型の場合には, 熱的快適性, 仕事のしやすさ, 温冷感のいずれも安定していることがわかった。一方, 下降型の場合には, 熱的快適性も含めて否定的な評価となっている。以上の温冷感申告は, 生理量である各部体温の変化とも対応している。さらに, 同一温度であっても午後の方が, 暖かく感じられる傾向がいずれのパターンにおいても見られた。心拍数についてみると上昇型において比較的安定的な傾向がみられる。以上の実居住状態による評価により, 午前, 午後とも下降型の室温制御が3通りのタイプの中では最も不適切であること, 残りの2通りの中では一定型よりも, やや上昇型が良いことが示された。

このことは, 朝方にやや室温を低めに設定したり, 昼休みに若干室温が低下しても空気質向上を主目的とした一斉換気を行なうことを支持した結果となっている。前者は明らかに, 後者も執務時間中の外気量を絞り空気汚染の特にひどい昼休みに集中換気することから, 省エネルギー的手法と言えよう。

6. まとめ

変動制御におけるソフト内容を検討することを目的として, 気流変動制御と室温変動制御に対して, 居住実験によって評価した。また, 気流変動制御に関しては, 疑似窓との複合効果も評価した。

この結果, 以下の点が明らかとなった。

- ① 気流変動制御に関しては, 被験者の心理評価によって1/F波が好まれる傾向にあること, 特にパルス波は逆に定常波より好まれない傾向にあることが示された。
 - ② さらに, 閉鎖空間である実験室での気流変動と疑似窓の複合効果に対する評価では, 疑似窓の効果が卓越しており気流変動の効果は明確には現れなかった。
 - ③ 室温変動制御に関しては, 被験者の心理・生理評価により, 午前, 午後とも下降型の室温制御が不適切であること, 一定型よりも上昇型が良いことが示された。
- 以上の結果をふまえ, 今後ともデータの蓄積, 手法の改良, 複合的な組み合わせを行ない, 汎用的な日変化パターンや, 生理・心理データに基づいた制御法を開発していく予定である。

参考文献

- 1) 筆者ら: 建築空間の快適性向上技術に関する研究 (その1), 大林組技術研究所報, No. 39, p. 129~137, (1989)
- 2) 高安秀樹: フラクタル, 朝倉書店, p. 111

付 録

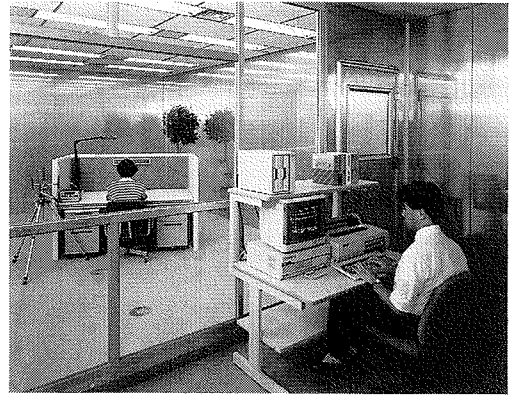
(A) 環境シミュレーションラボラトリー概要

環境シミュレーションラボは、試験室部分と空調機械室部分により構成されている。試験室部分には同一規模の実験室 A, B (各 30 m²) と計測室があり、実際に執務可能な任意のオフィス空間・環境を作り出せる。実験室の平面・断面を図一(A)1 に、内観を写真一(A)1 に示す。

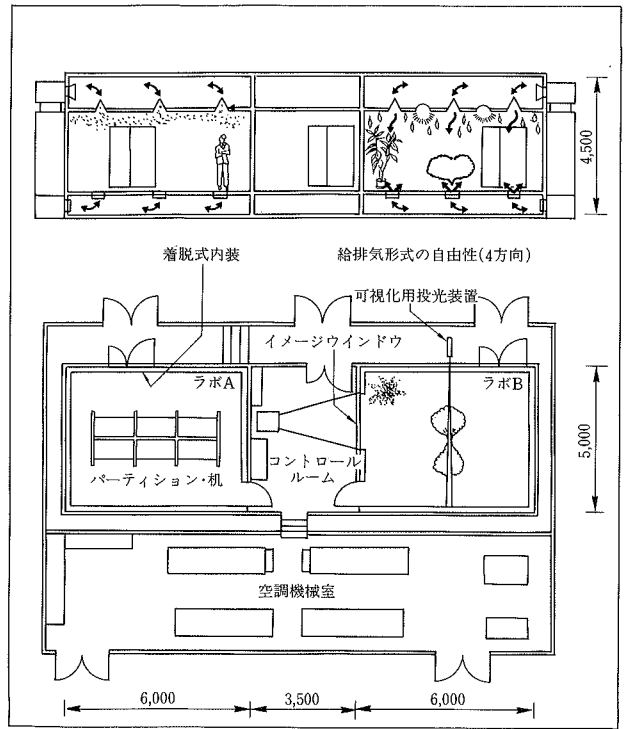
空調設備システムの2次側を図一(A)2 に示す。2次側空調システムは全空気方式で、冷熱源には空冷チリング・ユニットを用いている。なお被験者による異なる環境の比較実験ができるように、2次側空調設備は、A, B 室用に同一の機器・システムが2組設置されている。A, B 室共に、外気処理用と室処理用空調機を有し、冷却は冷水コイルで2方弁比例制御により、また加熱は電気ヒーターのサイリスター比例制御によって行ない、加湿には、電極式蒸発器を用いている。最大風量は、外気系が 1,000 m³/h (12.3回/h)、室系が 1,680 m³/h (20回/h) である。室内気流方向は、実験目的により任意に選択できる。各環境要素の制御可能範囲を、表一(A)1 に示す。

実験室では、室温湿度、給気風量、照度などを任意に設定できる。設定値はパソコンを用いて、ディジタイザー、関数入力により経時的に変化する波形が入力でき、このデータがプログラム設定器に送られ、制御が行なわれる。設定最小時間間隔は1秒で、最大369ポイントの入力が可能である。同様に外気処理用空調器に対しては給気温湿度・風量が設定できる。

疑似窓システムとしては、プロジェクター方式を採用し、実験室 B の窓ガラス部後方に、70インチ・リアスクリーンを設置した。なおスクリーン輝度は、150 ft-L 程である。映像並びに音響のソースとしては、CD, VTR, パソコン, TV カメラ, TV チューナーが利用できる。一方、比較対象の基準用疑似窓として、同スケールの静止画(写真画)を併せて、実験室 A に採用した。



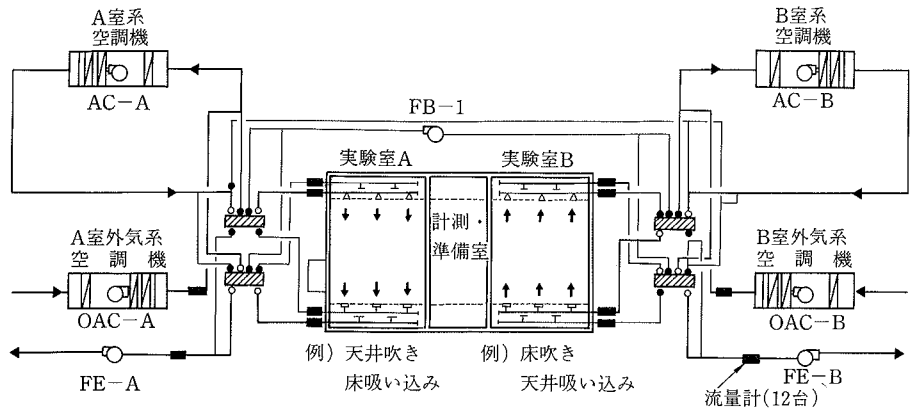
写真一(A)1 実験室内観



図一(A)1 実験室平・断面

表一(A)1 各環境要素の制御可能範囲

要素	制御範囲
温度	15~35°C
湿度	A室 30~90% B室 30~70%
換気	外気のみ 12.3回/h 総換気量 20.0回/h 可変
気圧	最大 ±10mmAq可変
照度	A室 1,000 lx B室 最大2,000 lx可変



図一(A)2 空調設備システム (2次側)