



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	周期的変動気流に基づく空調とその快適性に関する研究 <実験オフィスにおける変動風速測定と体感実験>
Author(s)	佐藤, 信孝; 出口, 清孝; 村上, 周三 他
Description	第2回衛生工学シンポジウム (平成6年11月10日 (木) -11日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 空調・エネルギー . 4-10
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 2, 168-171
Issue Date	1994-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7605
Type	departmental bulletin paper
File Information	2-4-10_p168-171.pdf



4-10

周期的変動気流に基づく空調とその快適性に関する研究

<実験オフィスにおける変動風速測定と体感実験>

○佐藤 信孝(日本設計)
村上 周三(東京大学生研 教授・工博)
五百井隆文(空調技研工業)

出口 清孝(法政大学)
加藤 信介(東大生研 助教授・工博)
羽生 太 (トヨ理研)

1. 目的

近年、オフィスのOA化と室内環境の質の向上への要求は、空調機能の急速な高度化を促し、アンダーフロア空調やタスク空調などに見られる様に空調システムのパーソナル化を促進している。また、変動気流と人間の体感との関係をとらえた研究や気流の温熱感覚に与える効果を積極的に利用し、涼感を得ようとする試みも見られるようになった。^{1)~10)}本研究は、冷房主体のオフィスにおいて、気流変動を利用することにより快適な空調空間を創出することを目的とするものであるが、加えて、定常気流を用いた空調よりも室温を高く設定できることによる省エネ効果を得ることを狙いとするものである。実験オフィスにおいて旋回噴流型の吹出しによる気流変動場を実現し、被験者実験を行った結果、気流変動による不快を感じさせずに快適性の向上が可能であるとの知見を得たので結果を報告する。

2. 実験概要

2-1. 実験室 実験は、図1に示す鉄骨プレハブ3階建ての事務所内にある実験オフィスで行った。室の大きさは、7.2m×5.4m(約40㎡)、天井高2.7mで、一般オフィスを想定してOA機器等を配置した。室外との熱的断熱は充分である。空調は、天井に設置された4つの吹出口(300mm×300mm)によってなされる。実験では、図中に示す定常風吹出口(A)による空調ゾーンと変動風吹出口(B)による空調ゾーンをビニールシートにより仕切り、

短時間の内に両空間の比較体感実験が可能ないように設定した。
2-2. 旋回噴流型変動気流の発生原理(図2)

旋回噴流型吹出口は、吹出口チャンバー内に偏向板を取り付け、これを小型ステッピングモーターで回転させることにより旋回気流(変動気流)を発生させた。また定常風吹出口は、整流板組み込みのパンチング型を使用した。

図3 吹出口周辺の熱画像と風速値

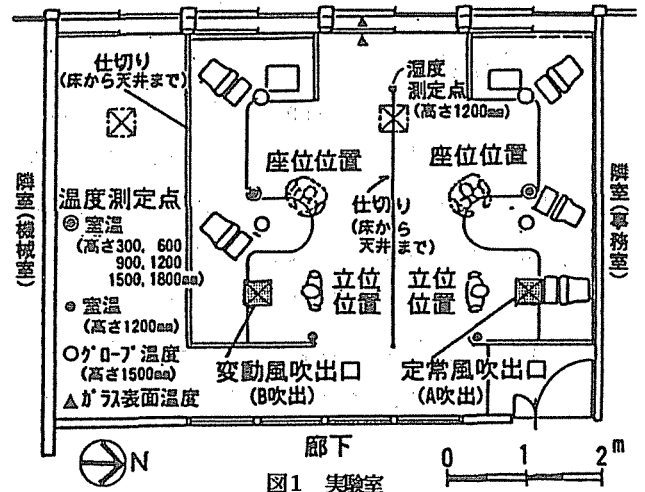
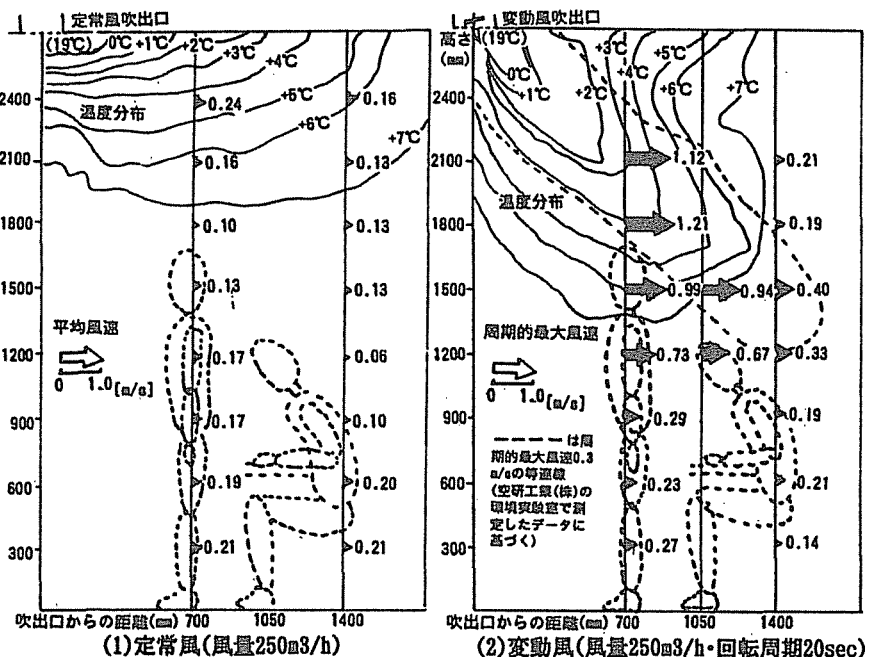


図1 実験室

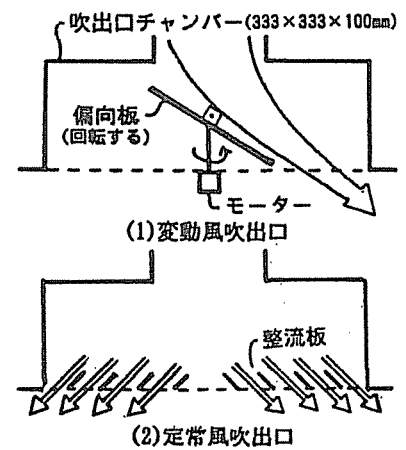


図2 変動気流発生原理

3. 変動風速の特性に関する実験概要

3-1. 実験条件 実験は、吹出口一個当たりの風量を200m³/h、250m³/h、300m³/h、330m³/h、偏向板の回転周期を10秒、20秒とし、この条件の組み合わせで行なった。変動風と定常風の風量の差異は、2.5%以下である。

3-2. 実験方法

(1) 熱画像による気流の可視化 オフィスの居住空間に対する吹出気流による温度分布状況を把握するため、サーモビューを用いて可視化をおこなった。サーモビューは気流温度を直接測定できないため、吹出口周辺に薄い布製スクリーンを設置して実験を行った。サーモビューの応答性を考慮して偏向板停止時について測定し、また参考までに回転時の測定も行った。

(2) 風速測定 風速測定では高応答性のサーミスタ風速計¹⁾を用い移動測定を行った。

4. 変動風速の測定実験結果

4-1. 吹出口周辺の熱画像 吹出口周辺の熱画像結果を図3中の温度分布に示す。図中の点線は被験者実験での暴露予定位置を表す。定常風では温度コンターは水平となる。これは気流が天井に沿って広がることを示している。変動風では斜め下方向に温度コンターが伸びており、下45度方向へ気流が伸びることがわかる。変動風吹出による気流は立位姿勢の頭部位置まで十分に届き、被験者は変動気流を感じると推測できる。

4-2. 風速測定 風量250m³/h・被験者実験時の暴露予定位置立位の頭部相当高さ(吹出口より水平距離700mm、床面からの高さ1500mm)における風速波形を図4に示す。風速波形は鋭い波形を描いており、変動風が居住域で十分に実現されていることがわかる。変動気流による風速値の評価にあたり、変動波形の8サイクル以上を対象に、最大・最小(×印)を除く6つ以上(○印)の平均値を「周期的最大風速」と定義する。同風量・測定位置では周期的最大風速は偏向板の回転周期10secで0.83m/s、20secで0.99m/sと、20secのピークの方がより明確である。表1に全条件における変動風の周期的最大風速、定常風の前平均風速結果を示す。変動風の座位頭部では周期的最大風速0.33~0.81m/sと、回転周期10sec、20secとも風量大きいほど風速が大きくなる。一方定常風は平均風速0.06m/s~0.13m/sと、風量の増加に関係なく非常に小さい値を示す。

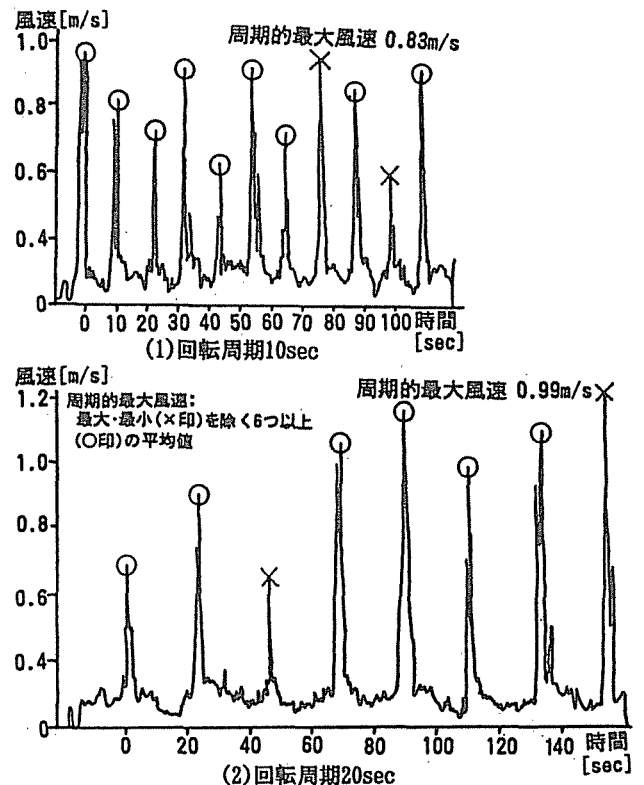


図4 立位位置頭部相当高さでの変動風の風速波形
(風量250m³/h・吹出口から水平距離700mm・高さ1500mm)

表1 風速測定結果

設定風量 回転周期	200m ³ /h		250m ³ /h		300m ³ /h		
	距離	高さ	20sec	10sec	20sec	10sec	20sec
変動風	mm	mm	(周期的変動気流)				
座位頭部 ^{#1}	1050	1200	0.33	0.19	0.67	0.49	0.81
座位頭部 ^{#2}	1400	1200	0.28	0.12	0.33	0.16	0.57
立位頭部	700	1500	0.82	0.83	0.99	0.80	0.74
定常風			(平均風速)				
座位頭部	1050	1200	-	-	-	-	-
座位頭部	1400	1200	-	0.06	-	0.07	-
立位頭部	700	1500	-	0.13	-	0.13	-

*1は事務作業等の座位姿勢で机上に身をのりだしている場合の頭部位置であり、*2は作業のない座位姿勢での頭部位置である。

表2 被験者実験時の温湿度条件

設定風量 回転周期	200m ³ /h		250m ³ /h		300m ³ /h	
	20sec	10sec	20sec	10sec	20sec	20sec
29℃	平均室温	-	-	-	-	28.9℃
	吹出し温	-	-	-	-	27.2
	グループ温	-	-	-	-	29.3
	平均湿度	-	-	-	-	58.3%
27℃	平均室温	26.9℃	27.1℃	27.1℃	26.8℃	27.1℃
	吹出し温	22.7	23.3	24.4	24.1	23.4
	グループ温	27.4	27.4	27.2	27.1	27.5
	平均湿度	48.4%	53.9%	61.8%	61.4%	54.4%
25℃	平均室温	25.2℃	25.0℃	25.0℃	-	24.9℃
	吹出し温	19.2	19.2	19.5	-	19.1
	グループ温	25.8	25.6	25.9	-	26.0
	平均湿度	40.3%	36.7%	38.4%	-	42.4%
23℃	平均室温	23.7℃	23.1℃	23.1℃	22.3℃	22.6℃
	吹出し温	18.7	17.8	17.8	17.2	17.9
	グループ温	24.1	24.3	24.4	23.1	23.9
	平均湿度	42.7%	39.4%	44.4%	43.1%	41.1%

5. 体感実験概要

変動風と定常風の空調下における被験者の心理的評価に関する実験を行った。

5-1. 実験条件 被験者は年齢18~34歳の男女各6名の合計12名とした。服装は夏期の標準的な着衣で、男性は長袖シャツ・ズボン（着衣量約0.6cloまたは0.67clo）、女性はブラウス・スカート（着衣量約0.46cloまたは0.48clo）とした。実験条件は室温設定が23℃・25℃・27℃・29℃、吹出風量が200m³/h・250m³/h・300m³/h、偏向板の回転周期が10秒・20秒の組み合わせとした。実験は1993年8月に実施した。

5-2. 実験方法 被験者は実験室と等温湿度設定の控え室で30分間安静の後、実験室に入室する。入室後、被験者はまず定常風室（A）で4分の暴露の後に表3に示す心理的評価項目

（温冷感・快適感・気流感）に回答する。同様に被験者は変動風室（B）に入り、同様の暴露・心理的評価の回答を行い、加えてAとBの比較である比較評価について回答する。暴露時の姿勢は座位姿勢で事務作業（約1.2met）とし、立位姿勢（約1.4met）については吹出口に対して前向き・後ろ向きの2種の暴露とした。

6. 被験者実験結果

6-1. 比較評価 図5は風量250m³/h・回転周期20秒・暴露位置立位（前向き）における比較評価の結果である。室温23℃では0（どちらでもない）の回答はなく、A（定常風）側・B（変動風）側に二分している。これは風を好む被験者と嫌う被験者という個人差によるものと考えられる。25℃では0が多く、気流の好みに片寄りはなく、27℃ではB1（どちらかというに変動風の方が快適）が多く、被験者は変動風を好む。表4は全条件の比較評価の実験結果である。室温設定23℃では定常風側が快適とする回答が多く、25℃・27℃・29℃では変動風側の申告が多くなる。結果的に全室

表3 心理的評価段階

<温冷感>	<快適感>	<気流感>	<比較評価>
+3 非常に暑い	+3 非常に快適	+3 強く感じる	A2 Aの方が快適
+2 暑い	+2 快適	+2 感じる	A1 どちらかという
+1 やや暑い	+1 やや快適	+1 わずかに感じる	とAの方が快適
0 どちらでもない	0 どちらでもない	0 感じない	0 どちらでもない
-1 やや寒い	-1 やや不快		B1 どちらかという
-2 寒い	-2 不快		とBの方が快適
-3 非常に寒い	-3 非常に不快		B2 Bの方が快適

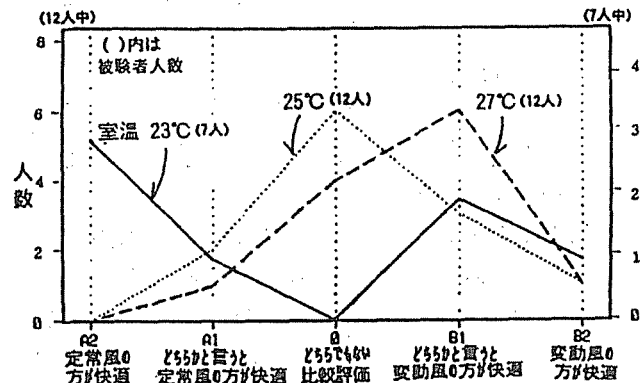


図5 被験者による比較評価

（風量250m³/h・回転周期20sec・立位（前））

表4 被験者による比較評価結果一覧

風量 回転周期	暴露位置	室温設定			
		23℃	25℃	27℃	29℃
300m ³ /h 20sec	座位	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
	立位（前）	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
	立位（後）	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
250m ³ /h 20sec	座位	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
	立位（前）	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
	立位（後）	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
250m ³ /h 10sec	座位	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
	立位（前）	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
	立位（後）	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
200m ³ /h 20sec	座位	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
	立位（前）	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]
	立位（後）	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]

比較評価の段階 A2 A1 0 B1 B2 A2 A1 0 B1 B2 A2 A1 0 B1 B2

表5 比較評価に対する快適感・温冷感・気流感の相関係数

風量 回転周期		室温設定			
		23℃	25℃	27℃	29℃
300m ³ /h 20sec	定常風		温冷感 -0.72座位	温冷感 -0.61立位・後	
	変動風		快適感 0.80座位	温冷感 -0.71立位	快適感 0.63立位・前
250m ³ /h 20sec	定常風		0.85立位・前	0.90立位・後	
	変動風		0.90立位・後	0.70座位	
250m ³ /h 10sec	定常風				
	変動風	温冷感 -0.82立位・前	快適感 0.65座位	0.71立位・前	
200m ³ /h 20sec	定常風	温冷感 0.77座位	快適感 0.85立位・前	0.85立位・後	
	変動風	気流感 -0.80座位	快適感 0.91座位	0.94立位・前	0.91立位・後

表の見方
(例) 快適感 0.80座位
とあるのは、暴露位置座位で快適感との相関係数が0.80であることを意味する。

比較評価の段階A2・A1・0・B1・B2は順に-2・-1・0・+1・+2と置き換えて相関分析を行った。正の相関は定常風または変動風暴露時に申告した心理的評価（快適感・温冷感・気流感）が上がるほど変動風が好まれていることを示し、一方、負の相関は心理的評価が下がるほど変動風が好まれていることを示す。

温において、風量・回転周期・暴露位置の変化による一定の傾向が認められず、室温が比較評価を決定づける大きな要因であるとわかる。

6-2. 心理的評価の相関分析 定常風・変動風での暴露時に回答した心理的評価(快適感・温冷感・気流感)と、暴露終了時に回答した比較評価との相関分析結果の中で信頼性95%以上となる項目を表5に表す。比較評価については回答を数値化(表5参照)したものを用いた。快適感との相関係数は定常風暴露時の25℃・200m³/hで0.85となり、変動風暴露時の室温25℃と27・29℃の風量300m³/hで0.62~0.94となる。比較評価は温冷感・気流感との相関に比べ、快適感との強い相関がある。これは快適感が比較評価の大きな決定要因であり、特に変動風暴露時の快適感が上がるとより変動風が好まれることを示す。

6-3. 心理的評価の分散分析 心理的評価の風量と室温に関する分散分析の結果を表6・図6に示す。室温に有意差(99%)が見られ、比較評価の母平均の信頼区間の幅を考慮にいれても室温23℃では定常風側(A)、27℃では変動風側(B)になっている。

7. PMVの試算

PMV (Predicated Mean Vote)

の試算結果を表7に示す。試算に必要なパラメータには測定値を代入した。風速値については定常風の場合は平均風速、変動風の場合は周期的最大風速を用いた。変動風におけるPMV値には風速の要因を過大に評価する懸念があり、今後更に検討を要する。表中の■は快適とされるPMV値-0.5~+0.5の範囲に該当することを表す。定常風で快適なPMVとなる室温は23℃及び25℃であるのに対し、変動風では25℃、27℃となる。即ち今回の条件による試算では快適となる室温には両者に約2℃の違いがある。

8. 結論

1) 変動風と定常風による空調室の快適性に関する心理的評価に及ぼす有為な要因は室温であった。2) 今回の条件では室温が23℃では多くの被験者が定常風を好み、25℃ではどちらともいえず、27℃になると変動風の方が快適とする被験者が多い。3) 通常の場合より室温を約2℃高く設定し、意識的に熱ストレスを与える状況で変動気流を適用すれば、気流変動による不快さを感じることなく相対的に快適な状況を創り出すことは可能であると示唆された。

表6 比較評価に関する分散分析

(風量と室温・回転周期20sec・座位)

変動要因	自由度	平方和	不偏分散	F値	有意差
全体変動	53	69.928			
風量	2	5.481	2.741	2.891	
室温	2	14.704	7.352	7.754	** (99%)
交互作用	4	7.074	1.769	1.865	
誤差変動	45	42.687	0.948		

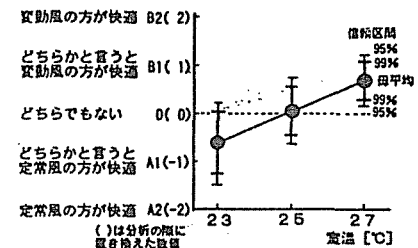


図6 母平均(比較評価)の信頼区間の推定

(回転周期20sec・座位)

表7 PMV算出結果

(1)定常風

室温設定[℃]	23			25			27			29
	風量[m ³ /h]	250	300	250	300	250	300	300	300	
回転周期[sec]	10	20	20	10	20	20	10	20	20	
座位 男性	0.19	0.15	0.24	0.28	0.34	0.33	0.97	0.94	0.97	
女性	0.4	0.36	0.46	0.1	0.17	0.16	0.84	0.8	0.84	
立位 男性	0.07	0.11	0.03	0.46	0.52	0.51	1.06	1.4	1.06	
女性	0.11	0.06	0.15	0.32	0.38	0.37	0.94	0.92	0.94	

(2)変動風

室温設定[℃]	23			25			27			29
	風量[m ³ /h]	250	300	250	300	250	300	300	300	
回転周期[sec]	10	20	20	10	20	20	10	20	20	
座位 男性	0.39	-1.05	-1.32	0.03	0.41	0.49	0.76	0.44	0.34	
女性	-0.62	-1.41	-1.72	0.17	-0.71	-0.81	0.6	0.2	0.1	
立位 男性	-0.55	-0.70	-0.71	0.11	0.13	0.02	0.63	0.63	0.67	
女性	-0.87	-1.04	-1.03	0.37	0.41	0.27	0.43	0.42	0.48	

参考文献

- 1) 磯田憲生他, 変動気流の人体影響について—気流速度が変動する場合—, 建築学会大会 D環境工学, (1984)pp. 917~918
- 2) 木村・田辺他, 夏の通風・室内気流が体感に及ぼす影響に関する研究 その1~その5, 建築学会大会 D環境工学, (1987)pp. 335~344
- 3) 木村・田辺他, 冷房空間の室内気流が体感に及ぼす影響に関する研究 その1~その2, 建築学会大会 D環境工学, (1987)pp. 319~322
- 4) 出口他, 室内外の気流を対象とした体感に関する研究 その1~その2, 建築学会大会 D環境工学, (1986)pp. 973~976
- 5) 菅原・鈴木, 環境変動時における人体感覚(1)~(4), 空調和・衛生工学会 学術論文集, (1998. 10. 4~10. 6)pp. 305~312
- 6) 斎藤他, 室内熱環境の変動性に関する研究 その1~その2, 建築学会大会 D環境工学, (1988)pp. 715~716, (1989)pp. 889~890
- 7) 鎌田・今福・森川他, 変動風の快適性に及ぼす影響に関する研究 その1~その6, 建築学会大会 D環境工学, (1990)pp. 829~832, (1991)pp. 713~718, (1992)pp. 837~838
- 8) 斎藤・桑沢・鎌田他, 風速の変動を伴う温冷環境の評価方法に関する研究 その1~その2, 建築学会大会 D環境工学, (1993)pp. 1367~1370
- 9) 中原他・久野他, 変動風を利用した空調システムに関する研究 その1~その4, 建築学会大会 D環境工学, (1993)pp. 1573~1580
- 10) 岩佐・茅野, 風洞実験における風速変動量の測定に関する研究—高応答性を有するサーミスタ風速計を用いた場合—, 日本建築学会論文報告集, 第280号(1979. 6)