

放射暖房における快適性と省エネルギー評価

小林 昌弘
(技術研究所)
中村 卓司
(技術研究所)
岩崎 晃
(技術研究所)

§1. はじめに

空調方式や断熱方式、窓仕様などの違いによる快適効果と省エネルギーの問題は、解析や実測比較など多くの研究が行われている。この問題に対しては、室温を一定に維持する熱量の多少をもってその優劣を判断する場合もあるが、室温が同じ条件であっても形成される室内環境は異なるため、正確なエネルギー評価とはいえない。温熱環境とエネルギー消費の評価には空気温度だけでなく人体と周囲環境、特に放射環境を含め、形成される温熱環境が同一の条件のもとでエネルギー比較をする必要がある。

本研究はこの観点に立ち、事務所ビル執務スペースの天井吹き出し空調と放射環境調整用として窓際に設置したパネルヒータを併用する暖房システムにおいて、その快適効果とエネルギー消費についてコンピュータシミュレーションにより検討を行った。

まず、放射環境設計や快適性制御に不可欠な人体熱収支モデルについて定義し、人間・建物・空調システム全体の回路モデルを作成した。このモデルにより、室温を一定とする制御や快適性を一定とする制御がエネルギー消費と室内環境に及ぼす影響について検討した。次に、快適環境形成に影響の大きいシングルガラス窓と二重サッシ窓についてエネルギー消費の問題を空調制御条件から考察し、室内温熱環境を同一とする条件のもとで在室者の着衣量とエネルギー消費の関係を定量的に評価した。

§2. シミュレーションツールと温感指標について

室内温熱環境の設計では、設備要素機器の諸元や性能のほか、建築面での周囲壁体の熱的性能や機器設置位置、放射影響の大きい窓と人体との位置関係、

快適環境を形成するための制御問題など複雑な影響要因を検討する必要がある。このため、簡単な設計チャートの手計算で行うことは不可能であり、人体の熱収支と放射演算が可能なコンピュータシミュレーションが不可欠な設計ツールとなる。本研究ではこれらの計算が可能なSAPLO¹⁾ (Simulation-aided Architectural Planning Language based on Object-oriented concept) プログラムを用いた。

温熱環境評価指標の研究は様々なものがあり、定着した指標としては、ET*²⁾、PMV³⁾を挙げることができる。その考え方の基本は、人体と周囲環境の熱収支式(快適方程式)である。評価指標PMVは、その研究が北欧で始まったこともあり、暖房環境向きの評価指標といえる。

コンピュータシミュレーションによる建物・快適環境を設計支援する立場からは、快適(PMV=0)や予想不満足者率(PPD)を低減するために建物構成要素の検討や設備機器を制御することになり、PMV指標の考え方が取扱い易い。ここでは、室内温感評価指標としてFangerの快適方程式³⁾を基本に、松浦が提案⁴⁾した”日本での湿度効果の評価の重要性を加味した皮膚蒸発境界層における飽和度演算に基づくヌレ率表示による温熱環境評価のための人体演算回路モデル(以下、PMV_sモデル)”を使用した。

本研究で用いた人体演算回路モデルの形状は、直交平面十字(幅0.3m、高さ1.5m)とし、平板相互の放射影響はないものとした。一般に快適方程式を解く場合は、平均放射温度を用いて放射熱交換の計算を行うことが多いが、それは室内の人体モデル設置位置に関係なく放射熱計算を行うことになり、室内温感分布を評価するためには正確な方法ではない。本研究では、周囲壁表面やPMV_sモデルでの放射熱交換に対しては、形態係数を正確に計算し、射度と外来照射量概念を導入して完全相互放射計算を行

うことにより放射熱交換量を求める⁵⁾。

衣服表面での対流熱伝達率は、文献⁶⁾、⁷⁾などの実験結果や過去の提案式を参考にした。これらの研究によれば人体の対流熱伝達率は、気流速が0.15 m/sでは、2.3~4.9W/(m²·K)、また、気流速0.1 m/sでは、1.9~4.4である。シミュレーションの実行にあたり対流熱伝達率の決定には疑問が残るが、ここでは大胆な仮定により3.5一定とした。

§3. 事務所モデルと空調方式について

建物の窓、断熱方法、パネルヒータの設置位置・その大きさなどの仕様は、温熱環境設計を考慮し決定するものではあるが、ここでは外壁(コンクリート120mm、内断熱50mm、石膏ボード12mm)、シングルガラス窓(大きさ:1.8m×2.1m、窓2枚、ガラス厚15mm、二重サッシ窓の場合は、外部ガラス厚15mm、空気層30mm、内部ガラス12mm)、内装(コンクリートブロック120mm)、石膏ボード(12mm)仕上げなど建築面での諸元は与条件とし、空調設計での諸元を検討した。モデルとする事務所スペース(図-1)は、建物の中間階、上下隣室は同一の間欠空調などの仮定をする。また夜間は空調を停止する。

室内の空調は天井吹き出しを主空調とし、窓際に放射環境調整のためパネルヒータ(床土0.36m、幅1.8m、高さ0.47m、2枚)を設置する。換気は直接外気から空調機へ在室者に見合った換気量とし、顕熱交換器による省エネルギー効果を考える。空調

は間欠空調(8時から18時)とし、相対湿度は50%一定に保たれているものとする。換気量(在室者4人、必要換気量OA=100m³/h)は、顕熱交換器を通過し、空調機に入り、レターン空気(RA=570m³/h、仮定)と混合、加熱されて吹き出し口から室内への供給空気(SA=670m³/h)となり、瞬時拡散するものと仮定する。室内への供給空気は、風量の違いによる室供給熱量を検討するため、SA=335m³/hについても検討する。

吹き出し口温度は在室者に不快感を感じさせないため室温プラス10℃、最高34℃まで許容する。パネルヒータの表面温度はヒートポンプなどを使用することを想定した40℃、温水ボイラなどの場合の60℃について検討する。

空調機とパネルヒータの暖房能力は、定常計算などによる既知入力とするが、室内温熱環境が快適条件(PMV_s=0)となった場合には供給熱量はその温熱環境に応じた出力となる。

§4. モデル設定とブロック回路表示

パネルヒータによる室内温熱評価を正確に行うため、外壁、ガラス面と室内床面への日射の影響やブラインドの影響は省略した。

室内熱容量については室空気と家具を明確に区別した。家具の熱容量は、文献⁸⁾による実体調査結果として単位室容積あたり事務室15.16kJ/(m³·K)、会議室2.63kJ/(m³·K)などの研究があるが、こ

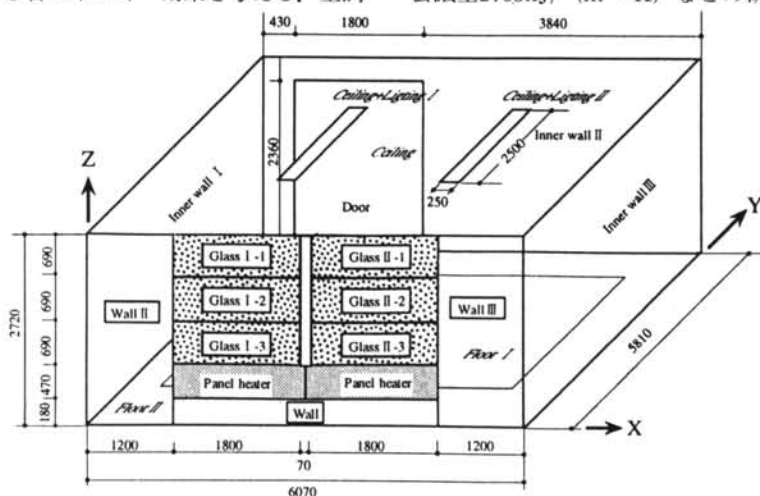


図-1 モデル事務室の壁体の分割

ここでは住宅用標準問題の提案⁹⁾で使用された18.83 kJ/(m³・K)の値を使用した。また、家具の表面積や対流熱伝達率を正確に規定することは困難であるため、その放熱時定数(熱容量×熱コンダクタンス)を1時間とした。

計算対象事務室は、周囲壁体を図-1のように熱授受の違いによって3次元に分割し、放射熱収支の計算をする。なお、窓面は将来の実験によりガラス表面温度分布が快適効果に及ぼす影響を検討するため片面を3分割した。PMVsセンサーは、図-1に示す室の中央(設置座標位置X=3.3m, Y=3.05m, Z=0.75m)と窓際(X=3.3m, Y=1.05m, Z=0.75m)の2箇所に設置し、室中央のセンサーで天井空調を窓際のセンサーでパネルヒータを制御した。

モデル事務室での熱収支状態を示すブロック回路表示は、図-2(1)のように回路エレメント(熱抵抗、熱容量など)を用いて作成した単位機能部品(壁、床、パネルヒータなど)により、図-2(2)のようになる。例えば、外壁の分割は、容量素子数が5であり、パネルヒータ付き外壁部品の容量素子数は7である。また、シミュレーション演算では完全な相互反射回路として取り扱われているが図-2(2)では、PMVsセンサーと周囲環境の放射回路の図面表示は図面が煩雑となるため省略している。

本モデルは3室(対象室、天井裏、外気)の多数室モデルであり、隣室の温度変動は、対象室と同様

に理想的な制御設定が行われるものと考え、その室温変動は対象室と同じであると仮定した。

§5. シミュレーション評価

計算は定常計算結果を初期値とし外気温度の変動を与条件で与え周期定常状態で評価した。本モデルでは26日以上で周期定常状態となるが、評価には30日後のデータを使用した。計算時間間隔は5分である。

5.1 快適性と省エネルギー効果の比較

快適効果の評価において室温を一定とする制御と快適性を一定とする制御のエネルギー消費がしばしば問題となる。この検討では形成される室内温熱環境を同一条件としてエネルギー消費量を比較する必要がある。従来の研究ではこの点が曖昧である。

先ず本論では、従来の研究と同様に、着衣量の違いはあっても、室中央での温熱環境がほぼ快適であろうと設定室温を24℃に推定した室温(24℃)一定制御と快適性一定(PMV_s=0)制御の違いがエネルギー消費に及ぼす影響について検討した。

表-1にパネルヒータ表面温度が40℃一定、風量670m³/h条件でのPMVs制御(以下、快適性一定制御)の出力結果例を示す。ただし、照明の放射効果

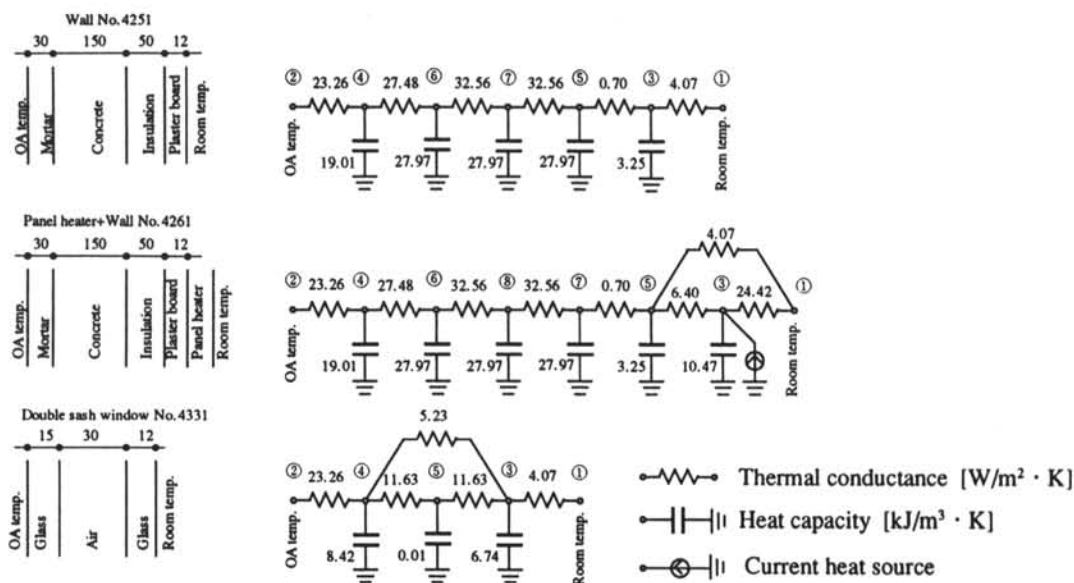


図-2(1) 壁体構造と回路表示(1m²当たり)

は考慮せず、吹き出し口温度は34℃以下で制御している。これによれば、空調開始直前の室温は、16.6℃であり、室中央は $PMV_s = -1.15$ となっており、やや涼しい状態ということが分かる。中立温感(快適域： $-0.5 \leq PMV_s \leq +0.5$)となるのは、8時40分からで、窓際は完全に $PMV_s = 0$ ではないが、

空調停止の18時までは快適域に納まり、パネルヒータ表面温度は40℃で制御されている。吹き出し口温度は、10時55分までは34℃で制御されるが、以後は漸次低下し、空調停止直前では23.4℃となり、室内が快適状態に保たれる。室温は、空調開始直後の20.1℃から11時の24.3℃まで上昇し、空調停止直前

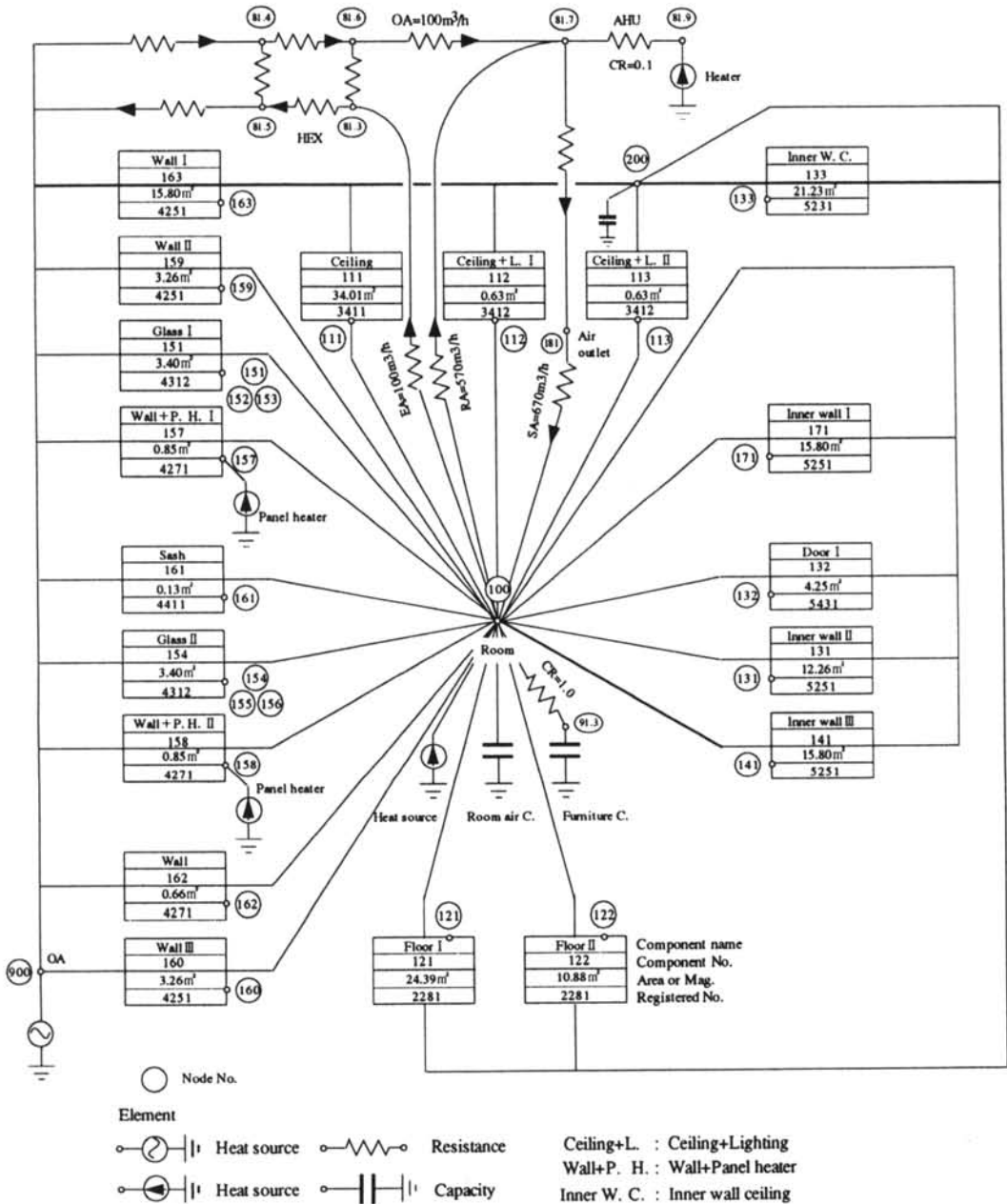


図-2(2) モデル事務室のブロック回路図(ただし、放射回路の図面表示は図面が複雑になるため省略)

には、22.7℃となる。また、窓際では空調停止後の20時まで、室中央は21時35分まで快適域であり、このときの室温は、20.4℃である。

室内への供給エネルギー量は、空調開始時が最大であり天井吹き出し空調で、3.68kW、一日合計は14.65kWh/d、パネルヒータでは0.71kWとなる。

顕熱交換器では空調開始直後の外気温度は0.4℃であるが、熱交換され13.1℃になる。また、熱交換器では、11時5分に最大16.5℃まで温度上昇しており、この時の熱回収量はおよそ0.24kWである。

次にシミュレーション結果をまとめて表-2に示す。当然のことながら送風量が少ない方が一日の供

TIME D:H:M	OA Temp. T [℃]	Room Temp. T [℃]	PMVs (C) PMVS [-]	PMVs (W) PMVS [-]	Glass Temp. T [℃]	Panel Temp. T [℃]	Outlet Temp. T [℃]
	30:7:50	-2.0	16.6	-1.14	-1.26	3.5	16.5
30:7:55	-2.0	16.6	-1.15	-1.26	3.5	16.5	15.6
30:8:0	-2.0	16.6	-1.15	-1.26	3.5	16.5	15.6
30:8:5	0.4	20.1	-0.76	-0.78	4.4	40.0	34.0
30:8:10	0.4	20.7	-0.68	-0.70	4.9	40.0	34.0
30:8:15	0.4	21.0	-0.64	-0.65	5.3	40.0	34.0
30:8:20	0.4	21.2	-0.60	-0.62	5.6	40.0	34.0
30:8:25	0.4	21.3	-0.57	-0.59	5.8	40.0	34.0
30:8:30	0.4	21.5	-0.54	-0.56	5.9	40.0	34.0
30:8:35	0.4	21.6	-0.52	-0.53	6.0	40.0	34.0
30:8:40	0.4	21.8	-0.49	-0.51	6.1	40.0	34.0
30:8:45	0.4	21.9	-0.47	-0.49	6.1	40.0	34.0
30:8:50	0.4	22.1	-0.44	-0.46	6.2	40.0	34.0
30:8:55	0.4	22.2	-0.42	-0.44	6.2	40.0	34.0
30:9:0	0.4	22.3	-0.40	-0.42	6.3	40.0	34.0
30:10:30	2.1	24.0	0.08	0.10	7.9	40.0	34.0
30:10:35	2.1	24.0	-0.06	-0.09	7.9	40.0	34.0
30:10:40	2.1	24.1	-0.05	-0.07	8.0	40.0	34.0
30:10:45	2.1	24.2	-0.03	-0.06	8.0	40.0	34.0
30:10:50	2.1	24.2	-0.02	-0.05	8.0	40.0	34.0
30:10:55	2.1	24.3	-0.01	-0.03	8.0	40.0	34.0
30:11:0	2.1	24.3	0.00	-0.03	8.0	40.0	33.5
30:11:5	2.5	24.2	0.00	-0.03	8.2	40.0	32.7
30:17:30	1.5	22.7	0.00	-0.04	7.6	40.0	23.6
30:17:35	1.5	22.7	0.00	-0.04	7.6	40.0	23.6
30:17:40	1.5	22.7	0.00	-0.04	7.6	40.0	23.5
30:17:45	1.5	22.7	0.00	-0.05	7.6	40.0	23.5
30:17:50	1.5	22.7	0.00	-0.05	7.6	40.0	23.5
30:17:55	1.5	22.7	0.00	-0.05	7.6	40.0	23.5
30:18:0	1.5	22.7	0.00	-0.05	7.6	40.0	23.4
30:18:5	0.9	21.8	-0.11	-0.19	7.4	29.4	20.8
30:18:10	0.9	21.7	-0.14	-0.25	7.2	24.9	20.6
30:18:15	0.9	21.5	-0.17	-0.28	7.1	22.8	20.5
30:23:45	-1.2	19.0	-0.66	-0.79	4.8	18.7	17.9
30:23:50	-1.2	18.9	-0.67	-0.79	4.8	18.7	17.9
30:23:55	-1.2	18.9	-0.67	-0.80	4.8	18.7	17.8
31:0:0	-1.2	18.9	-0.68	-0.80	4.8	18.7	17.8
T.L.A.T	-0.1	20.5	-0.46	-0.55	5.9	27.5	21.9

表-1 シミュレーション結果出力 (PMV_s制御, パネルヒータ40℃, 風量670m³/h, 着衣量1.0clo)
(ただし、結果の表示は紙面の都合で空調開始前後と空調停止後のみ)

		40℃		60℃		
Room temp. control	Panel heater temp.					
	Supply air volume	m ³ /h	670	335	670	335
	Max supply energy	kW	P=0.69,Q= 3.55	P=0.71,Q= 1.93	P=1.30,Q= 3.49	P=1.31,Q= 1.89
	Daily supply energy	kWh/d	P=3.21,Q=15.84	P=3.34,Q=13.58	P=6.62,Q=12.89	P=6.71,Q=10.93
	Total energy	kWh/d	19.05	16.92	19.51	17.64
	Optimum time		8:40~23:50	9:20~22:55	8:10~00:30	8:35~23:55
Total optimum time	min	930	815	980	920	
PMVs control	Max supply energy	kW	P=0.71,Q= 3.68	P=0.72,Q= 1.99	P=1.33,Q= 3.69	P=1.33,Q= 1.99
	Daily supply energy	kWh/d	P=3.32,Q=14.55	P=3.42,Q=12.68	P=6.80,Q=11.01	P=6.88,Q= 9.28
	Total energy	kWh/d	17.87	16.1	17.82	16.16
	Optimum time		8:40~21:35	9:50~21:15	8:30~21:05	9:20~20:55
	Total optimum time	min	775	685	755	695

Q : Air Handling Unit

P : Panel heater

表-2 シミュレーション条件と計算結果

給熱量が少なくなる。また、パネル表面温度が低い方がエネルギー消費量が少ない。一日供給熱量が最小の空調方式は、PMV_s一定制御でパネルヒータ表面温度が40℃、送風量335m³/hであり、合計供給熱量は16.10kWh/dとなった。以下、PMV_s一定制御でパネルヒータ表面温度60℃（16.16kWh/d）、次いで室温一定制御のパネル表面温度40℃（16.92kWh/d）である。

図-3に空調時間帯の予想不満足者率（PPD）の平均値を示す。これによれば、最も予想不満足者率が小さい空調方式は、室温一定制御でパネルヒータ表面温度を60℃に制御した方式である。

5.2 着衣量と窓種類が供給エネルギー量に及ぼす影響

冬季、事務所ビルの執務環境ではYシャツ姿での勤務も稀ではなく、設定室温は上昇気味であるといえよう。省エネルギーの観点からは設定室温の上昇は好ましいことではなく、周囲環境や作業量・着衣量にあった設定室温の設計が重要である。周囲環境と人の暑さ寒さの対応は、着衣量を調節することによって可能であり、それはシミュレーションにより消費エネルギー量との関係で定量的評価が可能である。また、消費エネルギー削減の点では二重サッシ窓も有効であり、シングルガラス窓との違いによるエネルギー消費の差を定量的に示し実施設計に反映する必要がある。そこで、着衣量の変化に加え窓種類の違いが消費エネルギー量に及ぼす影響について検討を行った。

二重サッシ窓の構造は、外部ガラス15mm、内部ガラス12mmで図-1に示した対象室の窓を置き換えたモデルを用意した。着衣量は1.2, 1.1, 1.0, 0.8 cloの4ケース検討した。

事前の検討では図-4に示すように二重サッシ窓ではパネルヒータ表面温度40℃、送風量700m³/hであれば、着衣量にかかわらず空調時間帯の室内環境は、ほぼPMV_s=0一定に維持することができる。しかし、シングルガラス窓の場合には着衣量が1.2 cloであっても室内が快適条件となるのは13時以後からである。このような条件では形成される室内環境に大きな差がありエネルギー比較の意味をなさない。

ここではエネルギー消費比較の問題を同一の快適環境下で行うものとし、空調時間帯には常に室中央がPMV_s=0に維持されるものとした。そのため、

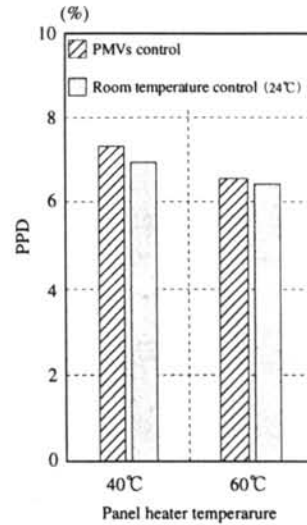


図-3 シングルガラス窓における空調時間帯の予想不満足者(PPD)割合（風量=335m³/hのとき）

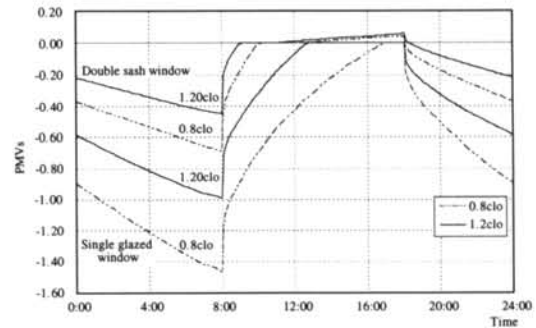


図-4 快適一定制御によるPMV_s変化

空調時間内は室中央・窓際ともPMV_s=0の環境となるように制御に修正を加えた。ただし、この場合も、いくつかの問題点がある。これらについて事前のシミュレーションで検討を行った。

1) 空調立ち上がりについて

空調立ち上がり時からPMV_s=0とするためには、システムの設定値を越えた80℃以上の高温の供給空気温度が必要となり、実際上ありえないシステムとなる。このため、8時から9時までの1時間を予熱時間帯と考え、9時にPMV_s=0となるような予熱量を予熱時間に与えた。その後、9時からの室内への供給空気の吹き出し口は34℃で制御した。

2) パネルヒータ表面温度について

シングルガラス窓と、二重サッシ窓では放射環境に大きな差があるため同一の制御条件でともに同じ

TIME	OA Temp.	Room Temp.	Room Temp. C	Room Temp. W	Glass Temp.	AHU	Panel Temp.		Panel Heater	Wall surface Temp.	Inner surface Temp.	Outlet Temp.
TIME	900.00	100.00	-282.04	-284.04	151.00	-81.90	157.00	158.00	-190.00	160.00	141.00	181.00
D:H:M	T[°C]	T[°C]	PMVS[-]	PMVS[-]	T[°C]	H[kW]	T[°C]	T[°C]	H[kW]	T[°C]	T[°C]	T[°C]
30:0:0	-1.6	20.2	-0.35	-0.41	13.7	0.0	19.8	19.8	0.0	19.0	20.4	16.9
30:1:0	-2.0	20.0	-0.38	-0.45	13.5	0.0	19.6	19.6	0.0	18.8	20.2	16.7
30:2:0	-2.6	19.8	-0.42	-0.48	13.2	0.0	19.4	19.5	0.0	18.6	20.1	16.5
30:3:0	-2.9	19.7	-0.45	-0.52	12.9	0.0	19.3	19.3	0.0	18.4	19.9	16.3
30:4:0	-3.2	19.5	-0.49	-0.55	12.7	0.0	19.1	19.1	0.0	18.3	19.7	16.1
30:5:0	-3.4	19.4	-0.52	-0.59	12.5	0.0	19.0	19.0	0.0	18.1	19.6	16.0
30:6:0	-3.5	19.2	-0.56	-0.62	12.3	0.0	18.8	18.8	0.0	17.9	19.4	15.8
30:7:0	-2.0	19.0	-0.59	-0.65	12.2	0.0	18.7	18.7	0.0	17.8	19.3	15.9
30:8:0	0.4	22.0	-0.33	-0.39	12.7	3.5	19.1	19.1	0.0	19.0	19.5	18.7
30:9:0	1.6	23.7	0.00	0.00	14.8	3.0	33.7	33.7	0.4	20.4	20.4	32.8
30:10:0	2.1	22.9	0.00	0.00	15.5	1.3	33.5	33.5	0.2	20.3	20.8	25.1
30:11:0	2.5	22.5	0.00	0.00	15.7	0.8	33.8	33.7	0.2	20.3	21.0	22.7
30:12:0	2.7	22.3	0.00	0.00	15.8	0.5	33.9	33.9	0.2	20.4	21.2	21.6
30:13:0	2.8	22.1	0.00	0.00	15.9	0.4	34.1	34.1	0.2	20.4	21.3	21.0
30:14:0	2.9	22.0	0.00	0.00	15.9	0.3	34.3	34.3	0.2	20.4	21.4	20.6
30:15:0	2.3	22.0	0.00	0.00	15.9	0.3	34.4	34.4	0.2	20.4	21.4	20.4
30:16:0	2.1	21.9	0.00	0.00	15.8	0.3	34.8	34.8	0.2	20.4	21.5	20.2
30:17:0	1.5	21.9	0.00	0.00	15.7	0.3	35.1	35.1	0.2	20.4	21.5	20.0
30:18:0	0.9	21.6	-0.05	-0.08	15.5	0.0	27.4	27.4	0.0	20.3	21.5	18.5
30:19:0	0.4	21.2	-0.14	-0.20	15.1	0.0	20.7	20.7	0.0	20.0	21.2	18.1
30:20:0	0.0	21.0	-0.19	-0.25	14.7	0.0	20.5	20.5	0.0	19.7	21.1	17.8
30:21:0	-0.4	20.7	-0.23	-0.29	14.4	0.0	20.3	20.3	0.0	19.5	20.9	17.6
30:22:0	-0.9	20.5	-0.27	-0.33	14.2	0.0	20.1	20.1	0.0	19.3	20.7	17.3
30:23:0	-1.2	20.4	-0.31	-0.37	13.9	0.0	19.9	19.9	0.0	19.1	20.6	17.1
T.L.A.T	-0.1	21.0	-0.22	-0.26	14.4	5.7	25.2	25.2	2.1	19.5	20.6	18.9

表-3 計算結果(二重サッシ窓, 着衣量1.0clo) (計算時間間隔は $\Delta T=5$ 分であるが, 紙面の都合で定時刻のみ記載)

快適環境とすることは困難である。窓からの冷放射を考えた場合, 室中央と同時に窓際も快適とするためにはパネルヒータにより室内環境を調節する。窓際を $PMV_s=0$ に保つためには, 二重サッシ窓の場合はパネル表面温度 40°C で十分であったが, シングルガラス窓の場合はより強い冷放射を受けるため, 55°C の温度が必要である。このためシングルガラス窓の場合はパネルヒータ表面温度を最大 55°C で制御した。

3) 室内への必要供給空気量について

室内への吹き出し空気温度を 34°C で制御させた場合, 供給空気量により暖房能力が制限される。二重サッシ窓では供給空気量 $670\text{m}^3/\text{h}$ で暖房能力は十分であった。これに対し, シングルガラス窓の場合, 予熱暖房により空調開始9時において $PMV_s=0$ とした後, 空調時間帯の全てに $PMV_s=0$ とするためにはおよそ3倍の $2000\text{m}^3/\text{h}$ の供給空気が必要である。

以上の検討の後, 同一室内温熱環境が形成される条件により新たに計算を行った。

着衣量1.0cloにおける結果出力例を表-3に示す。ただし, 計算時間間隔は5分であるが, 紙面の都合で定時刻の計算結果のみを記載した。また, 図-5に室中央での PMV_s 時刻変化を, 図-6, 7に室内

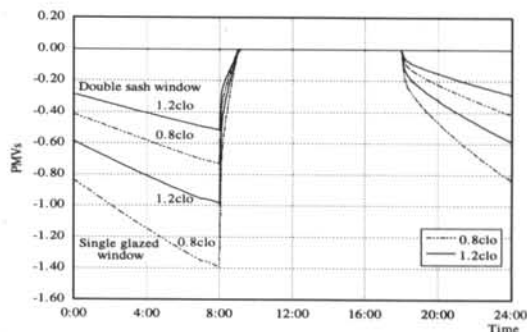


図-5 室中央の PMV_s 変化(モデル修正後)

温度の変化と供給熱量の時間変化を示す。これらの結果より予熱時間帯を除き9時から18時までの空調時間帯で $PMV_s=0$ の環境を維持し, それに応じて室温が変化していることが分かる。

図-8は予熱量を含めた一日の供給エネルギー量の比較である。二重サッシ窓で着衣量1.2cloの場合には, 最も少ない $9.9\text{kWh}/\text{d}$ の供給エネルギー量で快適環境が形成できるが, 最も条件の悪いシングルガラス窓で着衣量0.8cloの場合には約4倍の $39.9\text{kWh}/\text{d}$ のエネルギー量が必要である。また, シングルガラス窓の着衣量1.2cloでの供給エネルギー量 $33.73\text{kWh}/\text{d}$ は, 同じclo値での二重サッシ窓の値の3.4倍であることが分かる。これらのことから本

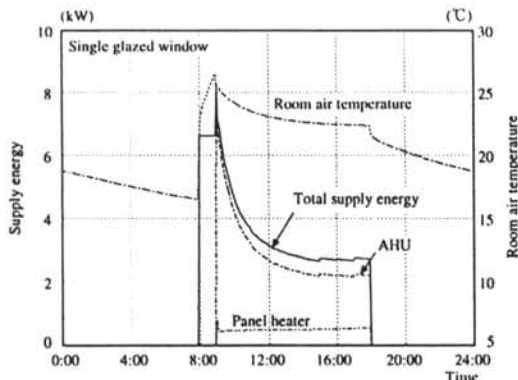


図-6 着衣量1.0cloにおける室温変動と供給熱量の時間変化 (シングルガラス窓)

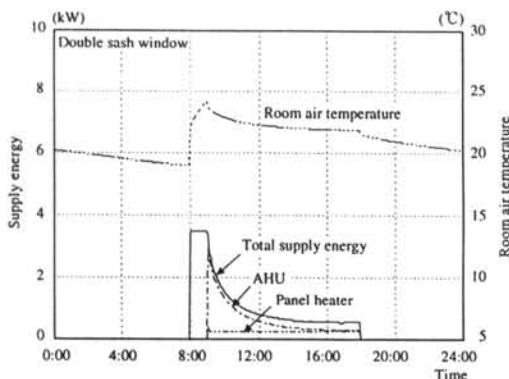


図-7 着衣量1.0cloにおける室温変動と供給熱量の時間変化 (二重サッシ窓)

モデルの二重サッシ窓においては、着衣量0.1cloの増加は、0.7kWh/d、シングルガラス窓の場合には1.5kWh/dの供給エネルギー量削減効果があることが分かる。

§6. まとめ

事務所ビルでの天井吹き出しを主空調とし、放射環境調整用として窓際に設置したパネルヒータによる暖房システムについて、シミュレーションを行った。その結果、以下の知見が得られた。

＜参考文献＞

- 1) 松浦茂：パーソナルコンピューティング時代におけるシミュレーションパッケージの基本設計概念とアルゴリズム、北海道大学工学部研究報告、第113号、1983.2
- 2) A.P. Gagge, R.G. Nevins, Y. Nishi: An Effective Temperature Scale Model of Human Physiological Regulatory

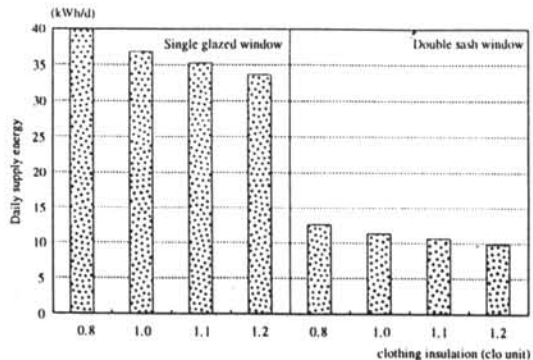


図-8 着衣量の違いによるエネルギー消費比較

- 1) 人体熱収支モデルPMV_sを用いることにより、快適室内環境の形成効果とエネルギー消費量が定量的に評価可能であることを示した。
 - 2) 室温一定制御と快適一定制御など制御方法の違いに対してもエネルギー消費量が正確に計算できることを示した。本試算例では快適性一定制御が室温一定制御より省エネルギーであることが分かった。
 - 3) 快適性とエネルギー消費の比較においては、同一室内環境が形成される条件での評価が重要であることを示した。
 - 4) 在室者の着衣量と窓種類が快適環境に及ぼす影響を定量的に評価した。試算例によれば、二重サッシ窓においては着衣量0.1cloの増加は0.7kWh/d、シングルガラス窓の場合には、1.5kWh/dの供給エネルギー削減効果がある。また、着衣量1.2cloでは、シングルガラス窓における供給エネルギー量は二重サッシ窓の場合の3.4倍である。
- 謝辞 SAPLOプログラム利用に関して、居住環境システム研究室の松浦茂氏に便宜をいただきました。深く感謝致します。

(注) 本報は、空気調和・衛生工学会学術講演会に発表^{10,11)}した内容、および北海道大学衛生工学会に発表した内容¹²⁾を修正・加筆したものである。以上

- Response, ASHRAE Transactions, 1971
- 3) P.O. Fanger: Thermal Comfort, McGraw-Hill Book Company, 1972
 - 4) 松浦茂, 井齋千佳子, 山田篤志, 小林昌弘, 神村一幸: 人間・建物・設備システムシミュレーションによる居住環境の設計制御法の確立のための研究(1)設計のためのシミュレーション用回路表示型温感モデルの検討, 第13回人間-熱環境系シンポジウム報告集, 1989.11
 - 5) 松浦茂: 人間・建物・設備システムシミュレーションにおけるふく射演算と温感モデル, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1989.10
 - 6) 持田徹, 竹原浩一: 人体の等価径と平均対流熱伝達率, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1984.10
 - 7) 持田徹: 着衣状態における対流熱伝達率の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1985.10
 - 8) 石野久弥, 郡公子: 事務所建築における家具類の熱的影響に関する実測・実験研究, 日本建築学会計画系論文報告集 第372号 1987..2
 - 9) 宇田川光弘: 標準問題の提案 住宅用標準問題, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回熱シンポジウム, 1985.9
 - 10) 小林昌弘, 益子智久, 岩崎晃: シミュレーションによる放射環境計画と快適性, 省エネルギー評価, その1. シミュレーションモデルとPMV_d制御による省エネルギー比較, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1994.10
 - 11) 小林昌弘, 益子智久, 岩崎晃: シミュレーションによる放射環境計画と快適性, 省エネルギー評価, その2. 快適効果と省エネルギー比較 (照明と放射環境, 二重サッシ窓の影響, 着衣量の影響), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1994.10
 - 12) 中村卓司, 小林昌弘: ふく射暖房における快適性と省エネルギー評価, 北海道大学衛生工学会, 第2回衛生工学シンポジウム論文集, 1994.11