

大林組回転式空調実験室の熱負荷特性 (第3報)

田中辰明

概要

大林組回転式空調実験室を使用して昭和42年に行なった実験より冬期、中間期、夏期の熱負荷特性についてご報告する。たて型、横型のブラインドを取りつけ日射熱しゃへの性能テストも行なったので中間期、夏期の結果をあわせ報告する。

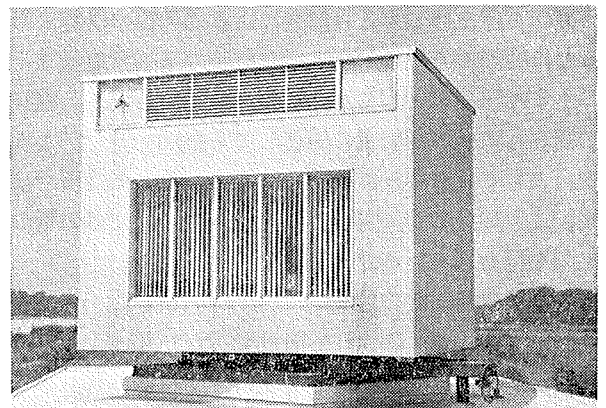
1. はじめに

最近多く建つようになった高層建築では軽量構造で熱容量が小さいため外部の負荷変動が敏感に室温に影響を及ぼす。このため高層建築のペリメーターゾーンの空気調和に対する要求はシビアなものになり個別制御方式の完備が要求されるようになってきた。また高層建築においては年間空調を必要とし設計者は少くとも夏、冬および中間期における負荷特性を求め設計の根拠を示す必要がある。しかるに現行の負荷計算法はピークロードのみを求めるに止り年間空調の計算を行なう資料はまことに不十分である。この不足する資料を補いより緻密な負荷計算が行なえるよう大林組技術研究所では各方位に向けて建物の暖冷房負荷を実測できる回転式空調実験室(図一)を使用し実験研究を行なっている。前報に引続き、今回は昭和42年の実験結果をご報告する。1月から3月迄は装置を南に向け、5月から10月は東、西、北東に向けて実験を行なった。その間5月~8月の一時期はたて型、横型のブラインドを取りつけ中間期東側、夏期西側におけるブラインドの日射熱しゃへの性能テストも行なった。

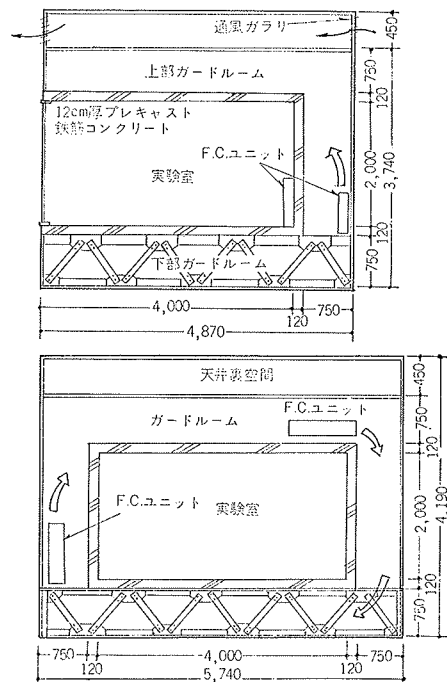
2. 試験装置

実験室の大きさは内法で4 m × 4 m × 2 m (天井高)あり構造は12 cm厚プレキャストの鉄筋コンクリート版からなる。実験室の前面を除く5面は、それぞれ巾75 cmのガードルームによって囲まれている。前面のみに普通透明ガラスがはめこんであり、この窓面がどの方位にでも自由に向けられるように、劇場の回り舞台のような機構で全体を自由に回転させることができるという特長をもたせてある。実験室内には床置きファンコイルユニット2台が設置されており、このファンコイルユニットで取得熱量を除いたり、損失熱量を補っている。またその熱量は階下の測定室内で刻々と

記録されている。実験室は電子空気式PID動作により二方弁で機械室下の蓄熱槽より温冷水を適当な割合で汲み任意の一定温度に保たれる。コンクリートの床や天井、壁の表面および内部には多くの熱電対が埋め



図一 大林組回転式空調実験室



図二 大林組回転式空調実験室寸法図

込まれ各所の温度が測定室で自記されている。ガードルームには3台のファンコイルユニットが置かれ、その室温は電子管比例動作により実験室の室温を微小温度差で追いかけていく追従制御がなされている。ガードルームの室温が実験室温に追従するという事は多層建築の場合にあてはめて考えると実験室の上下の部屋も両隣の部屋もこの実験室とほぼ同じ条件に空調されていると想定できるのである。ガードルームの外壁はスタイロフォームによって断熱され、その上はアルミニウム角波板により仕上げられている。天井面は夏期に日射の影響を強く受けるのでガードルームの上に更に屋根裏空間を設けガラリをきり外気を通すことにより屋根に当る日射の影響を除いている。実験室の寸法図を図-2に示す。

3. 日射量の測定

ガラス窓を透過する日射熱による熱取得の計算に当っては窓面の方位に対するピーク時の透過日射量をそのまま冷房負荷として求めるのが通例であった。現在公表されている日射量の値としても年間空調を行なう資料としてはまことに不十分である。そこで当所では回転式空調実験室に関する研究の一環として日射量の実測を行なっている。

3.1. 日射量測定方法

測定は3台のエプリー日射計で行なわれ、1台は周囲に何ら障害のない無響室屋上に水平に置かれ(図-3) 1台は回転式空調実験室向って左上に垂直に(図-1), 残りの1台はガラスを透過した日射量を測るべく回転実験室内に垂直に置き実測を行なった。エプリー日射計は平面状の熱電対を水平において日射による受熱部の温度上昇を測定するものである。日射を受ける受熱体は熱伝導のよい薄い金属板で、この形状は受熱の対称性を保つために内外二つの等面積リングである。外側のリングには反射率のよい白色塗料を塗り、

内側のものには吸収率の高い黒色塗料を塗布してある。これらが日射を受けると両者の間に温度差が生じるからこれをリングの下面に接着した熱電対により測定する。熱電対により生ずる電位差は測定室内の電子式指示記録計で記録されている。電位差の中は10mVで、日射計の感度は120kcal/m²h/mVになるように較正されている。

3.2. 日射量測定記録

測定記録の例を図-4~図-6に示す。記録紙左側の数字は時刻を示し日本標準時に合わせてある。①の線は水平面日射量、②の線は垂直面日射量、③はガラス透過垂直面日射量を示す。④の線はベックマンふく射計を用いブラインド透過の日射量を測定したもので感度も55.8kcal/m²h/mVでエプリー日射計とは異なる。図-4は東京附近で水平面日射量が一番大きくなるころの日射量記録で正午附近で700kcal/m²hを記録している。②の線は東側の垂直面全日射量である。図-5は冬の南側の日射量(2月17日)と夏の西側の

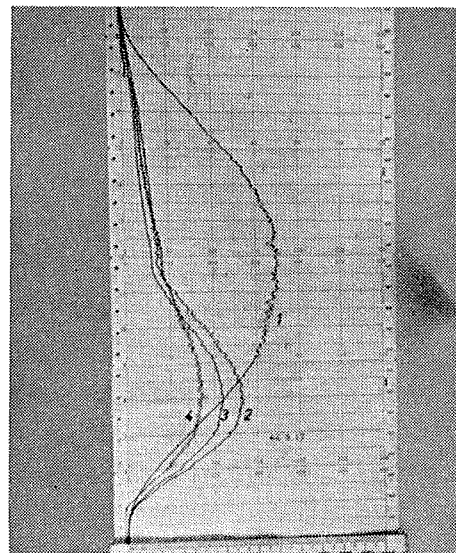


図-4 昭和42年5月17日の日照記録

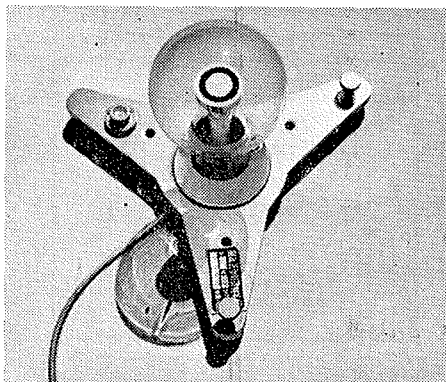


図-3 エプリー日射計

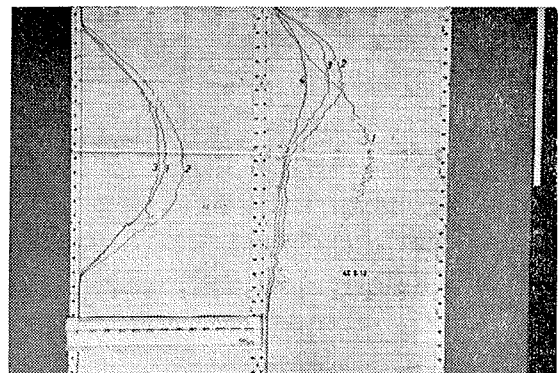


図-5 昭和42年2月17日と8月18日の日照記録

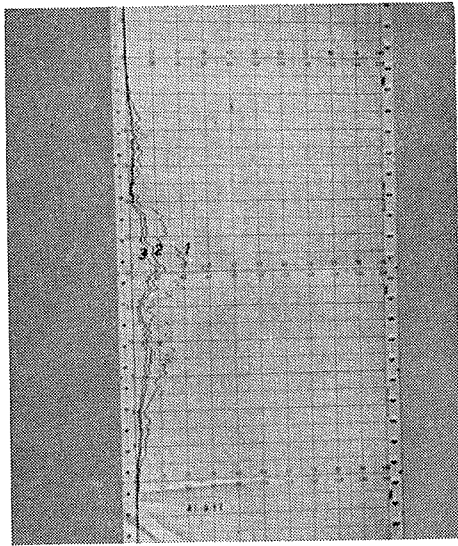


図-6 昭和41年9月17日曇天時の日照記録

日射量(8月18日)の比較を行なったものである。①の水平面日射量は夏期の方が大きい②の垂直面日射量では一般に日射しが強いとされている夏の西日よりも冬の南側の日射量の方が大きいことを示している。この記録ではピークの日射量が夏の西側が 500 kcal/m²h であるのに対し冬の南側は 750 kcal/m²h である。最近の高層建築ではガラス窓面積が大きく開閉もできないものが多くなっている。このようなビルの南側のペリメーターゾーンでは冬期でも冷房の必要が生ずる場合があり設備関係者をあわせてさせているが、日射量がこのように大きいことを考えれば当然ありうることと納得がいくものである。図-4, 5には極めて快晴の日の日射量を示したが図-6に昭和41年9月17日に記録した曇天日の日射量を示す。直達日射のないこのような日には垂直面日射量②と水平面日射量①の割合が常におよそ1:2になっている。この図は垂直面の天空ふく射量が水平面の 1/2 になるということを実証しているものである。

3.3. 日射量測定結果の解析

エプリー日射計は図-3にみるように水平面への日射量を測定するには都合よく水準儀があり受感部を水平に置くことができるが、垂直の取りつけは基準の合わせようがなく、東の垂直面に向けて取りつけたつもりでも何度か南北へまたは上下にふれているかもしれないし、そのチェックも困難である。一方垂直面の日射は大地などからの照り返しを含み純粋な日射量としては掴みにくい。そこで測定結果は全て水平面を信用し垂直面の日射量は単にチェックに使った。全日射量を太陽から直接地上へ届く直達日射と、途中雲等によ

り乱反射されて地上へ届く天空ふく射に分けて考えると計算式は次式で表わされる。

記号を図-7のごとくとると太陽高度と方位角は

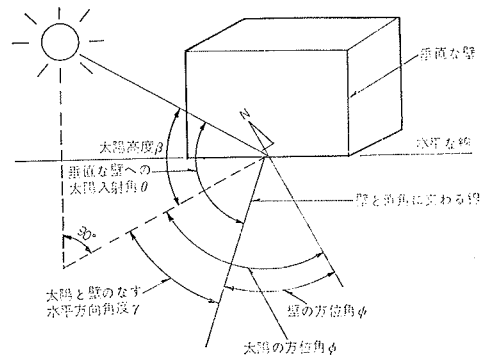


図-7

$$\sin \beta = \sin l \cdot \sin \delta + \cos l \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

$$\sin \phi \cdot \cos \beta = \sin t \cdot \cos \delta$$

β ; 太陽高度, ϕ ; 太陽方位角, l ; その地の緯度
 δ ; 日赤緯, t ; 時角

直達日射量の式

$$\text{法線面日射量} \quad J_n = J_0 \cdot P \cdot \cos \theta$$

$$\text{水平面日射量} \quad J_H = J_0 \cdot P \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma$$

$$\text{鉛直面日射量} \quad J_v = J_0 \cdot P \cdot \cos \beta \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma$$

天空ふく射の式 (Berlage の修正式)

水平面天空ふく射量

$$J_{H \cdot s} = 1.2 J_0 \sin^3 \beta \frac{1 - P \cos \beta}{1 - 1.4 \log_e P} (1 - P)$$

垂直面天空ふく射量

$$J_{v \cdot d} = 1/2 J_{H \cdot s}$$

この式に従って大気透過率を 0.05 づつ変化させ日射量の計算を行なった。2月1日の計算例を表-1に示す。この表をもとにして大気透過率を逆算する解析を行なった。記録された水平面日射量を毎月2~3枚の紙に纏めて書き、その最高値をその月の水平面全日射量とした。最高値を示す水平面全日射量より大気透過率Pを求め毎月の各方位の日射量の逆算を行なった。日射量の記録は日本標準時に従って行なわれ、計算は太陽時で行なわれている。両者の差は毎日変化し図-8に示すようである。したがって記録された日射量より大気透過率Pを求め各方位の日射量を逆算する際は毎月15日にその日射が記録されたものとして太陽時と標準時の較正を行なった。このようにして逆算した日射量提案値のうち2月と8月を図-9, 10に示す。この図に垂直面全日射量の実測値も併示したが、垂直面の日射計は回転式空調実験室の前面に取り付けられており、その面する方向しか測定されていない。したがって各方位についてのチェックはできない。また前

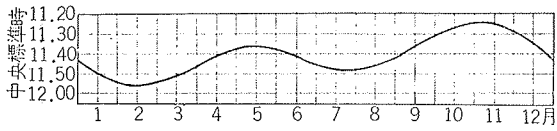


図-8 各月の東京の太陽南中時刻

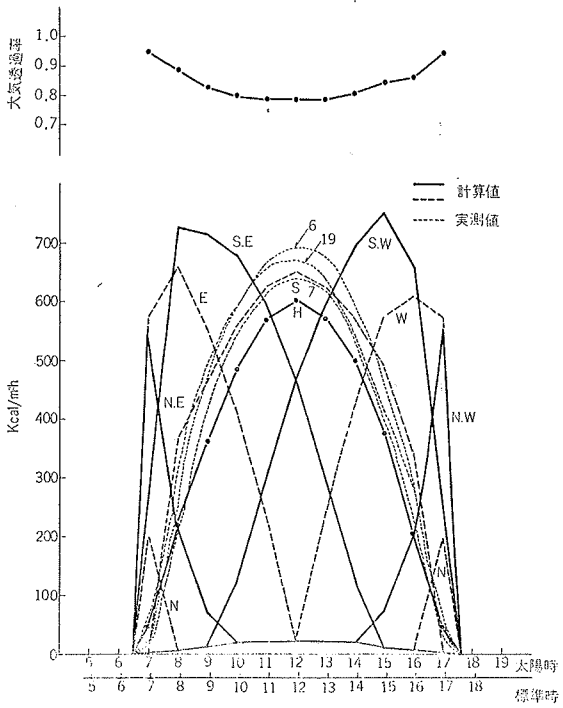


図-9 2月の全日射量

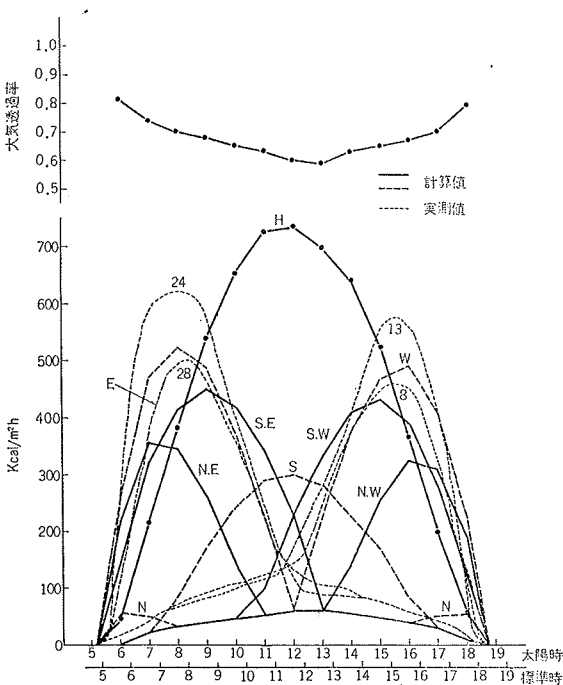


図-10 8月の全日射量

述のように垂直面日射量の実測値はそれ程信頼のおけるものでないで提案値と実測値の相違をもってどちらをどうともいえない。提案値の欠点としては Berlage の修正式(天空ふく射の式)の不確かさが考えられる。Berlage の修正式では表-1 にみるように晴れて大気透過率が大きくなったとき天空ふく射量がきわめて少なくなってしまう。しかし実際には図-4, 5 にみるように晴れた日の天空ふく射量は計算値の倍はあ

太陽時 午前→	太陽 高度 β	大気 透過率 P	法線面 直達 日射量 J_N	水平面 直達 日射量 J_H	水平面 天空ふ く射量 J_{VD}	垂直面 天空ふ く射量 J_{VD}	垂直面直達日射量 J_v					
							N	NE	E	SE	S	SW
7 5	1.61	P=0.45	0.000	0.000	10.525	5.263	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		P=0.50	0.000	0.000	10.285	5.142	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		P=0.55	0.000	0.000	9.929	4.964	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		P=0.60	0.000	0.000	9.452	4.726	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		P=0.65	0.000	0.000	8.849	4.424	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		P=0.70	0.004	0.000	8.110	4.055	0.001	0.003	0.003	0.001	0.000	0.000
		P=0.75	0.044	0.001	7.223	3.612	0.017	0.040	0.040	0.017	0.000	0.000
		P=0.80	0.433	0.012	6.174	3.087	0.166	0.400	0.399	0.165	0.000	0.000
		P=0.85	3.728	0.105	4.937	2.469	1.434	3.446	3.440	1.418	0.000	0.000
		P=0.90	28.409	0.800	3.448	1.724	10.927	26.281	26.211	10.868	0.000	0.000
8 4	12.43	P=0.45	29.390	6.327	78.527	39.264	0.000	6.405	24.312	27.977	15.253	0.000
		P=0.50	47.947	10.321	75.516	37.758	0.000	10.450	39.663	45.642	24.885	0.000
		P=0.55	74.653	16.270	71.211	35.605	0.000	16.270	61.755	71.064	38.745	0.000
		P=0.60	111.839	24.075	65.584	32.777	0.000	24.374	92.515	106.462	56.045	0.000
		P=0.65	162.210	34.918	58.529	29.264	0.000	35.352	134.184	154.412	84.188	0.000
		P=0.70	228.871	49.268	50.194	25.097	0.000	49.880	189.327	217.868	118.786	0.000
		P=0.75	315.343	67.882	40.727	20.364	0.000	68.726	260.859	300.184	163.665	0.000
		P=0.80	425.589	91.614	30.485	15.243	0.000	92.753	352.056	405.129	220.883	0.000
		P=0.85	564.027	121.415	20.075	10.037	0.000	122.925	466.575	535.912	292.734	0.000
		P=0.90	735.558	158.339	10.455	5.228	0.000	160.308	608.469	700.197	381.759	0.000
9 3	22.08	P=0.40	143.464	53.935	123.779	61.889	0.000	4.161	96.899	132.874	91.014	0.000
		P=0.50	189.869	71.381	115.638	57.819	0.000	5.507	128.242	175.855	120.454	0.000
		P=0.55	244.657	91.978	105.579	52.789	0.000	7.096	165.247	226.598	155.211	0.000
		P=0.60	308.371	115.931	93.810	46.905	0.000	8.944	208.281	285.609	195.632	0.000
		P=0.65	381.539	143.438	80.615	40.307	0.000	11.067	257.700	353.377	242.050	0.000
		P=0.70	464.675	174.693	66.375	33.188	0.000	13.478	313.852	430.376	294.792	0.000
		P=0.75	558.277	209.882	51.596	25.798	0.000	16.193	377.073	517.069	354.173	0.000
		P=0.80	662.834	249.190	36.930	18.465	0.000	19.225	447.693	613.909	420.505	0.000
		P=0.85	778.823	292.796	23.218	11.609	0.000	22.590	526.035	721.336	494.089	0.000
		P=0.90	906.710	340.874	11.531	5.765	0.000	26.299	612.413	839.783	575.221	0.000
10 2	29.85	P=0.45	242.411	121.022	148.979	74.490	0.000	0.000	115.775	205.787	175.252	42.057
		P=0.50	299.369	149.458	136.916	68.458	0.000	0.000	142.978	254.139	216.430	51.939
		P=0.55	362.341	180.896	122.933	61.467	0.000	0.000	173.053	307.597	261.956	62.864
		P=0.60	431.330	215.338	107.396	53.693	0.000	0.000	206.002	365.163	311.831	74.833
		P=0.65	506.337	252.785	90.730	45.355	0.000	0.000	241.825	429.637	366.057	87.816
		P=0.70	587.363	293.236	73.437	36.718	0.000	0.000	280.522	498.622	424.636	101.904
		P=0.75	674.410	336.694	56.117	28.039	0.000	0.000	322.056	572.518	487.566	117.656
		P=0.80	767.480	383.158	39.488	19.744	0.000	0.000	366.545	651.523	554.851	133.151
		P=0.85	866.572	432.629	24.409	12.205	0.000	0.000	413.871	735.647	626.490	150.344
		P=0.90	971.689	485.108	11.920	5.960	0.000	0.000	464.075	824.882	702.485	168.581
11 1	35.22	P=0.45	300.539	173.336	161.661	80.830	0.000	0.000	74.300	218.004	234.095	112.928
		P=0.50	360.776	208.077	147.387	73.694	0.000	0.000	89.192	261.699	289.906	135.563
		P=0.55	425.096	245.467	131.293	65.646	0.000	0.000	105.213	308.724	331.283	159.922
		P=0.60	494.911	285.439	113.807	56.903	0.000	0.000	122.353	358.997	355.346	185.904
		P=0.65	568.591	327.934	95.409	47.704	0.000	0.000	140.568	412.442	442.714	213.649
		P=0.70	646.552	372.898	76.642	38.321	0.000	0.000	159.842	468.994	503.415	242.943
		P=0.75	728.711	420.283	58.132	29.066	0.000	0.000	180.153	528.590	567.386	273.815
		P=0.80	814.992	470.045	40.607	20.304	0.000	0.000	201.484	591.176	634.563	306.235
		P=0.85	905.323	522.144	24.921	12.461	0.000	0.000	223.816	656.709	704.899	340.177
		P=0.90	999.642	576.542	12.084	6.042	0.000	0.000	247.133	725.117	778.336	375.618
12	37.10	P=0.45	319.340	192.621	165.537	82.768	0.000	0.000	180.105	254.706	270.105	180.105
		P=0.50	380.289	229.385	150.559	75.280	0.000	0.000	214.479	303.319	319.214	214.479
		P=0.55	445.387	268.651	133.803	66.902	0.000	0.000	251.193	355.241	351.251	251.193
		P=0.60	514.500	310.339	115.717	57.858	0.000	0.000	290.172	410.366	390.173	290.173
		P=0.65	587.512	354.378	96.792	48.356	0.000	0.000	331.350	468.600	431.351	331.351
		P=0.70	664.316	400.705	77.582	38.791	0.000	0.000	374.667	529.838	474.657	374.657
		P=0.75	744.817	449.262	58.719	29.359	0.000	0.000	420.069	594.067	520.069	420.069
		P=0.80	828.929	499.998	40.931	20.565	0.000	0.000	467.507	661.155	467.507	467.507
		P=0.85	916.573	552.863	25.069	12.534	0.000	0.000	516.938	731.060	516.938	516.938
		P=0.90	1007.677	607.816	12.131	6.066	0.000	0.000	568.319	803.225	568.319	568.319
午後→							N	NW	W	SW	S	SE

表-1 東京2月1日のPの値を変えたときの日射量 (単位 kcal/m²h)

りそうである。この際天空ふく射と呼んでいるのはたとえば東側の測定を行なっている際の午後の日射量、西側の測定を行なっている際の午前の日射量をいっている。したがってこの量は当然大地からの照り返しなどを含んでいるものである。

4. 回転式空調実験室の熱負荷特性

4.1. 冬期、夏期の熱負荷特性

この装置を南側に向けて昭和42年1月14日～19日の快晴の続いた厳寒期に行なった実験結果を示す。この日はいずれもきわめて快晴の日で南側を向いている窓ガラスを透過する日射量は最大時 580 kcal/m²h を記録した。これは昭和42年8月18日に装置を西側に向けて記録した最大透過日射量 405 kcal/m²h よりも多いことに注意しなければいけない。1月14日～16日は9時より17時まで室温を20℃に保つ間欠運転17日9時より18日18時までは連続運転、19日は再び9時より17時までの間欠運転を行ない室温を20℃に保った。その結果14日～16日の間欠運転の期間は装置運転時間が短かったこと、構造体が十分暖たまらないうちに運転停止時を迎え、夜間に再び冷やされてしまうので透過日射量が多いにもかかわらず室温を20℃に保つためには暖房が必要であった。しかし17日より18日まで連続運転を行ない夜間も20℃に保ったところ18日に日射量が

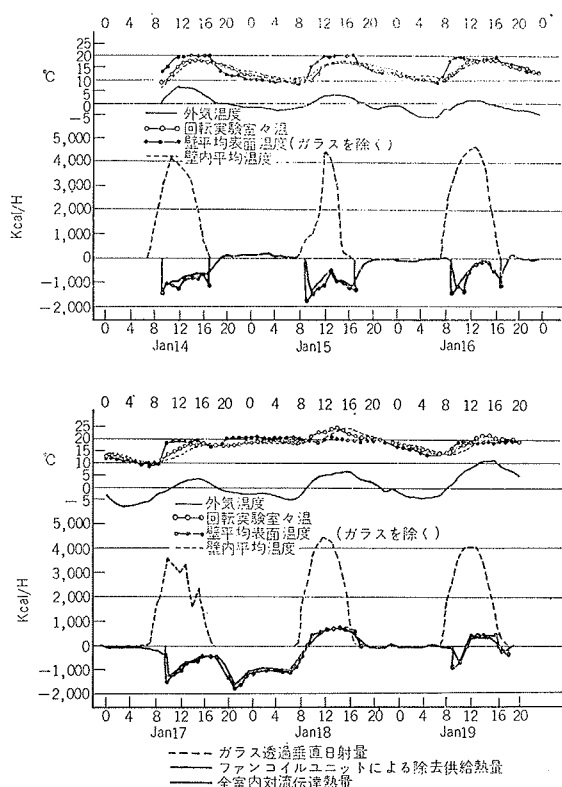


図-11

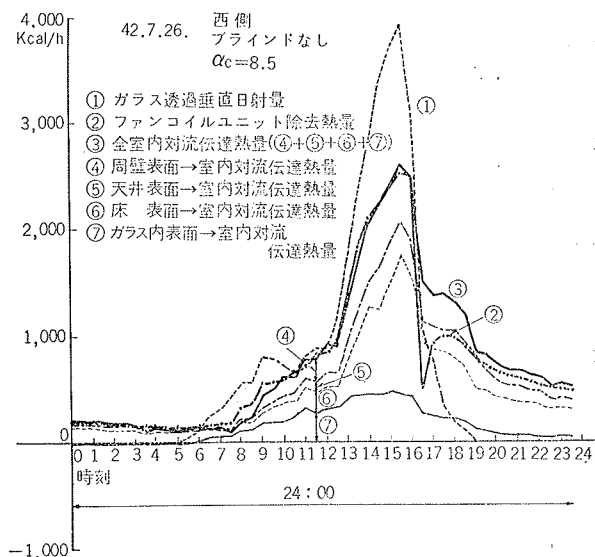


図-12 7月26日の負荷変動曲線

増してくると同時に冷房の必要が生じた。17時に日没となったが冷房負荷の方は17時20分に0となりその時の外気温度は4.8℃であった。18日は18時に運転を中止し翌19日再び9時より17時まで間欠運転を行なったが前日の連続運転のため構造体が暖まっており19日11時30分に暖房から冷房に切り換える必要が生じた。冬期の熱負荷特性を図-11に示す。比較のため夏期の熱負荷特性、7月26日(装置は西側を向いている)の例を図-12に示す。夏期は装置運転中室温は26℃に保たれた。図中①ガラス透過垂直日射量とあるのは実験室内に受感部を垂直にして設けられたエプリー日射計が記録した日射量を実験室の前面ガラスが8m²あるので8倍したものであり、従来の負荷計算法ではこれをその時刻の日射による熱取得としていたものである。②ファンコイルユニットによる除去熱量というのは室温を一定に保つためにファンコイルユニットが実験室から除去した熱量でこれが実験室に対する実際の冷房負荷と考えられる。周壁表面、天井表面、床表面、ガラス内表面→室内対流伝達熱量とあるのはサーモカップルシートによって測られたおのおのの平均表面温度と室温の差に室内側対流熱伝達率8 kcal/m²h℃とおのおのの表面積を乗じたもので、その合計③の曲線は②ファンコイルユニットの除去熱量とほぼ一致するものである。室内側対流熱伝達率の値を決定するには問題があり、夏期には対流熱伝達率を常識より大ききめな値、8と仮定した時②と③の曲線がきわめてよく一致したのである。図-11に示した冬期の負荷曲線も解析方法は夏期と同じである。ただし冬期は対流熱伝達率を暖房の際は4、冷房の際は6とすると全室内対流熱伝達量とファンコイルユニットによる除去または供給熱量

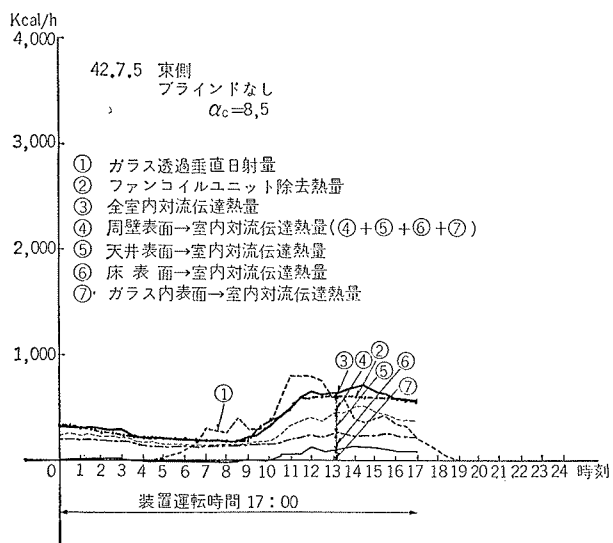


図-13 7月5日の負荷変動曲線

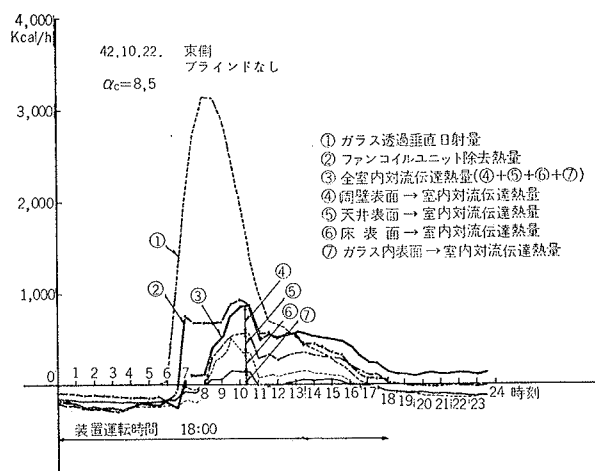


図-15 10月22日の負荷変動曲線

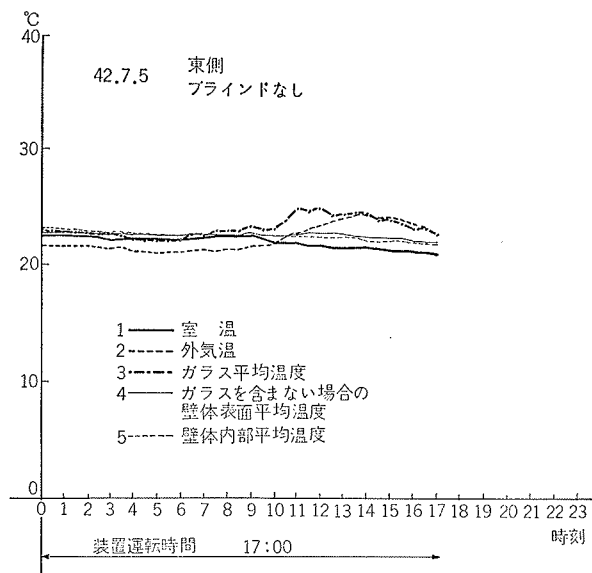


図-14 7月5日の各部温度変動曲線

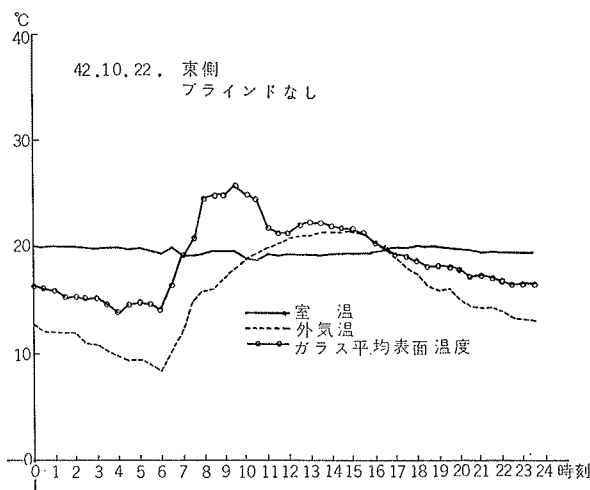


図-16 10月22日の各部温度変動曲線

がよく一致した。暖房時と冷房時で値が異なるのは室内空間と壁表面間で熱流の向きが変わりそれにしたがって熱伝達率の値も変化するものと考えられる。同じ冷房時でも夏期と冬期で値が異なるのは室温が夏期26℃冬期20℃と異なることや、ガラスや壁の各表面の熱伝達率をどれも同じと仮定していることの誤りとも考えられる。

曇天時の全熱負荷変動と各部温度変動を7月5日を例に図-13, 14に示す。曇天時は対流熱伝達率を8とすると、いづれの日もきわめてよく全室内対流伝達熱量とファンコイルユニット除去熱量が一致した。

晴天時の解析結果においては曇天時のようには合いくいのは、日射が直接内壁に当たっている場合の熱伝達率が大きく、その変動も激しいためと考えられる。

4.2. 中間期の熱負荷特性と構造体への蓄熱

中間期の負荷変動の解析方法は夏期の場合と同じで10月22日の全熱負荷変動と各部温度変動を図-15, 16に示す。解析結果からわかるようにガラス透過の日射量は夏期と比べ減少していないがファンコイルユニットによる除去熱量は大巾に減少している。この減少分の大部分が間仕切壁であるコンクリートに蓄熱されたのである。コンクリートの蓄熱量は比熱 $C=0.21\text{kcal/kg}\cdot\text{C}$ 、比重 $\gamma=2300\text{kg/m}^3$ であるからコンクリートの初期の温度差 $\Delta\theta$ との積 $\Delta\theta \cdot C\gamma$ で表わされる。蓄熱量を30分ずつ計算してグラフにしたものが、図-17(夏期)と図-18(中間期)である。この図では計算で求めた蓄熱量をファンコイルユニット除去熱量に加えた値とガラス透過垂直日射量にガラス貫流熱量を加えた値(補正日射量)との比較を行なった。理論的に

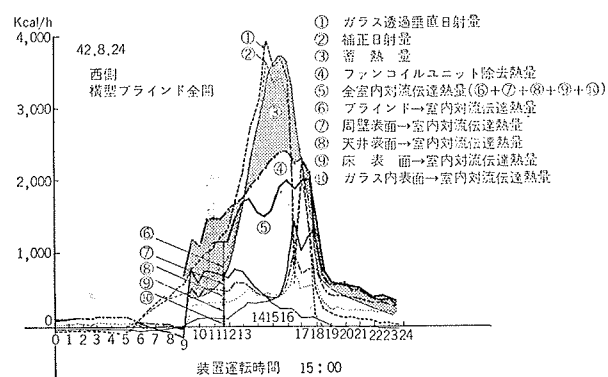
は二つの曲線は一致するはずである。グラフからあきらかなように中間期の蓄熱量の方が大きくなっている。これは室温の設定が夏期は26℃、中間期は21℃である事と、中間期は運転停止中の夜間に冷え込みコンクリートの温度が下り許容蓄熱量が増大したものと考えられる。

4.3. ブラインドがある場合の熱負荷特性

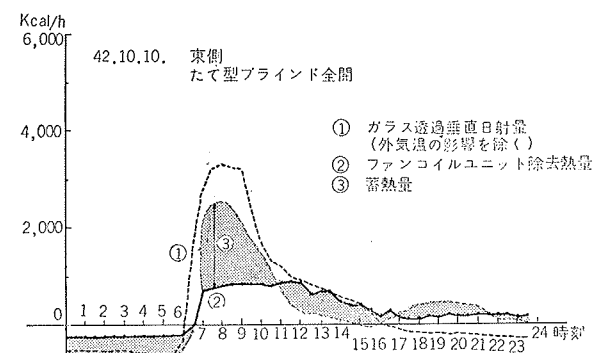
装置を西側に向けて、横型ブラインドをスラット角45°にして取り付け昭和42年8月18日に行なった実験の負荷特性を図一19に示す。解析方法は図一12の場合と同じである。ブラインドを付けた結果は、他の同じように晴れてブラインドの無い日と比べ、ファンコイル

射、ふく射によりブラインドが無い場合に比べ高めの温度を示している。いずれにせよそれら各表面の対流熱伝達率を8とした場合全対流伝達量③の曲線はブラインド無しの場合に比べ大巾に下ってしまい②ファンコイルユニットによる除去熱量との間に大きな差ができる。この差がブラインドから室内への対流伝達熱量と考えられ、ガラス窓を透過した日射熱により温められたブラインドの表面、裏面より室内へ放熱していると考えられる。現段階ではブラインドを内側につけている限り熱負荷を軽減するという役目はしていないといえるにすぎないがあえて5月中旬に装置を東側に向け横型ブラインドのスラット角度を変えた場合のファンコイルユニット除去熱量比較を図一20に示す。

この実験研究は始めて日が浅くデータ解析などで未消化の点が多くこの試験結果をそのまま結論とするのは早計であるがあえて結果を公表し、ご批判を仰ぐしだいである。引き続きご指導下さった早稲田大学建築学科井上市教授、木村建一助教授に謝意を表すると同時に常時励ましご指導下さった当所田辺四郎次長に厚く謝意を表します。

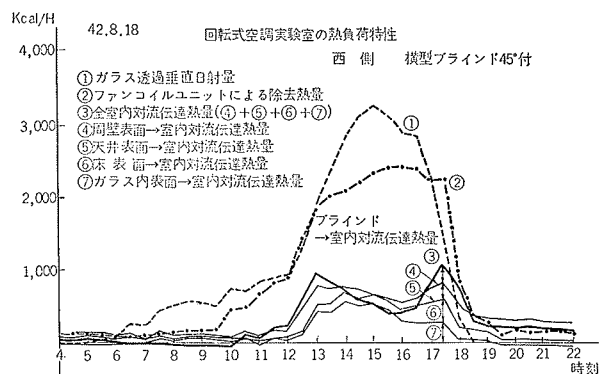


図一17 8月24日コンクリートへの蓄熱量

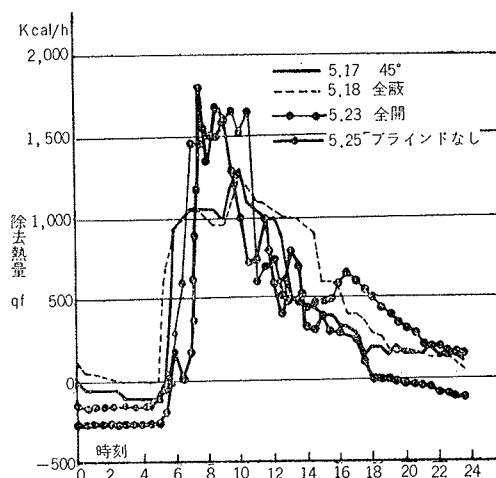


図一18 10月10日コンクリートへの蓄熱量

イルユニットの除去熱量に変化はなかった。ただしブラインドがあった場合周壁表面、天井表面、床表面の温度上昇度合はブラインドが無い場合に比べて低く、したがってそれら表面からの対流熱伝達量も少くなっている。一方ガラス内表面温度はブラインドからの再反



図一19 横型ブラインド45°付の熱負荷特性



図一20 ファンコイルユニット除去熱量の比較