

電気式天井パネルヒーティングの実験研究

田中 辰明
宮川 保之

概要

パネルヒーティングはふく射熱による暖房であるので、室温が低くても快感度の高い暖房方式である。しかし従来のパネルヒーティングは床コンクリート板に配管を埋め込んで温水を流す方法であるので、施工に手間がかかり、また故障の場合の修理の困難さなどの欠点がある。今回の天井パネルヒーティングに用いた発熱体は電気は通すが抵抗が大きいため発熱する布で、カーボンブラックをグラスファイバーの布に塗布したものである。材料自身が非常に薄く、軽量であるなどの長所をもつものである。今回は技術研究所内空調小実験室の天井の野縁にこの発熱体をとめ、発熱体上部には断熱材をのせて、上部への放熱を防いだ。この暖房方式でどのような室内環境が得られているか、発熱体に加える電圧を変化させ、また床、壁がコンクリートそのままのとき、およびじゅうたん、カーテンに相当するものをつけたときの各場合について実験を行った。

1. はじめに

天井を発熱面としてふく射暖房を行なうと感覚的に「この方法は頭寒足熱に反するから不快であろう」という意見をよく聞く。事実天井ふく射暖房は日本では施工例は少ない。しかしドイツ、イギリスなど欧州では多くの施工例が見られる。これは日本人と欧州人では頭髪の色が違い、黒髪がふく射をよく吸収するので、日本では受け入れられにくいのではないかなどとも考えてみた。幸い良質の電導抵抗布による発熱体が入手できたので、とりあえず実験を行なってみた。実験室にはいってみると、どこに発熱面があるかわからないが、きわめて快適な環境で、あたかも小春日和の日向ぼっこのような感じが得られた。以下実験の経過を報告する。

2. 電導抵抗布の発熱について

実験に用いた電導抵抗布は任意の大きさの正方形に切って相対する2辺を電極として抵抗を測ると200Ωあるものである。したがってこの布の細長比を変えれば、抵抗も変わる。この布に通電すれば発熱するのであるが、暖房を行なう部屋の熱負荷計算をあらかじめ行ない、熱損失を相殺できるように電導抵抗布が発熱するように細長比を工夫すればよい。電導抵抗布は仕上材と断熱材の間に入れて使われるが、布に給電して仕上材の表面温度が上昇しても仕上材の上向きや下向きなどの方向によって自然対流の影響により、同じワット密度 (Watt/cm²) でも表面温度は異なる。図-1に示すとおり試験体の向きについて、種々ワット

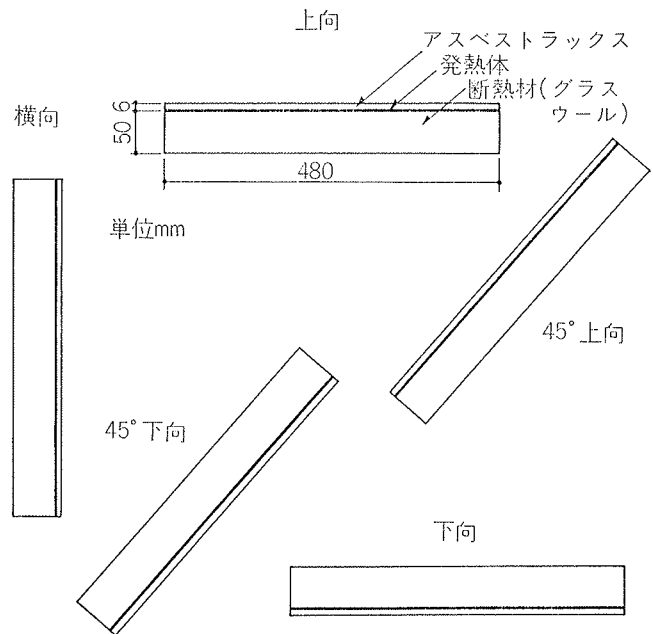


図-1

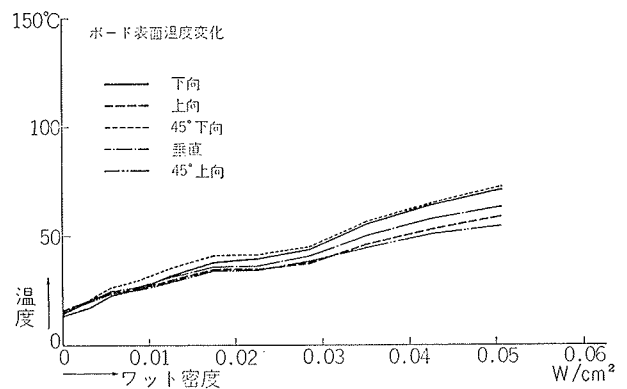


図-2

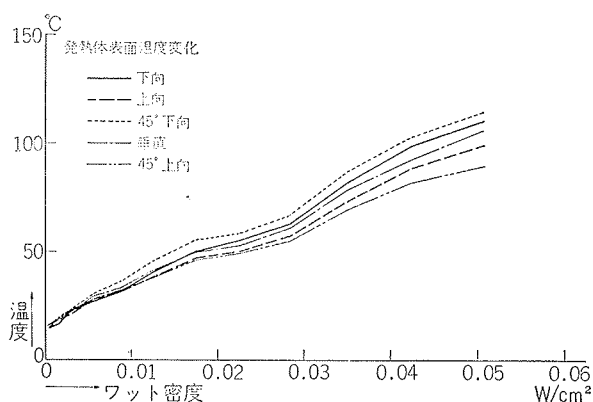


図-3

密度を変化させて表面温度が定常になるのを待って、仕上材表面温度、電導抵抗布の表面温度を測定した。この間室温はほぼ15°Cに保たれた。測定結果を図-2、図-3に示す。試験体の向きに従い対流熱伝達率が異なってくる。本来なら下向きが同じワット密度に対して最も高い温度でバランスするはずであるが、結果は必ずしもそうでなかった。これは実験を行なった部屋が完全な恒温室でない、実験室の他の壁面からふく射熱の影響を受けるなどの理由によるものと考えられる。

3. 天井ふく射面の施工について

実験は技術研究所内空調小実験室 (7.2m × 4.8m × 2.9m 天井高) で行なわれた。天井ふく射面の施工は次の順序で行なわれ、きわめて簡単で早い。

- (1) 電導抵抗布の電極間距離に合わせて野縁を組み、その上に断熱材として50mm厚のグラスウールをのせ屋根面への放熱を防止する。
- (2) 電導抵抗布を包む絶縁ビニールの余白部分をホッチキスで野縁にとめる。
- (3) 天井仕上材を釘で野縁に打ちつけて塗装をし仕上がる。図-4に野縁を組み50mmグラスウールの断熱材をあげた状態を示す。また図-5には電導抵抗布を打ちつけ、天井仕上材を半分まで張った状態を示す。

4. 実験経過

実験室の床面積は 33m² でこれは住宅公団の3DKの住宅の居住部分3部屋分とダイニングキッチンにほぼ相当する。実験室の平面図を図-6に示す。実験室の天井仕上材は全体の1/3が8mm厚のアスベストラックス、さらに1/3が6mm厚のアスベストラックス、残りの1/3が10mm厚のプラスターボードとしてふく射効果に変化があるか調べた。またこの実験は平屋で床も土間コンクリートが打たれたままであり、奥壁の扉も実験のための引き込みケーブルのため十分

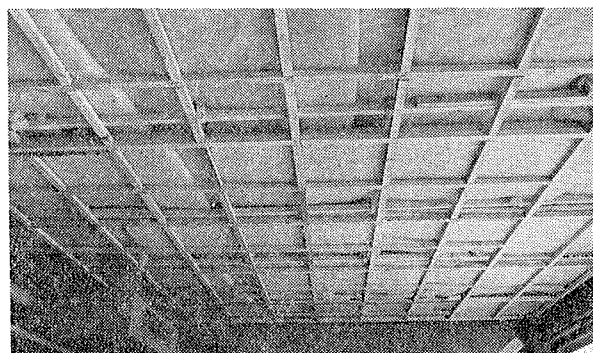


図-4 天井に野縁を組み50mm厚グラスウールの断熱材をあげた状態

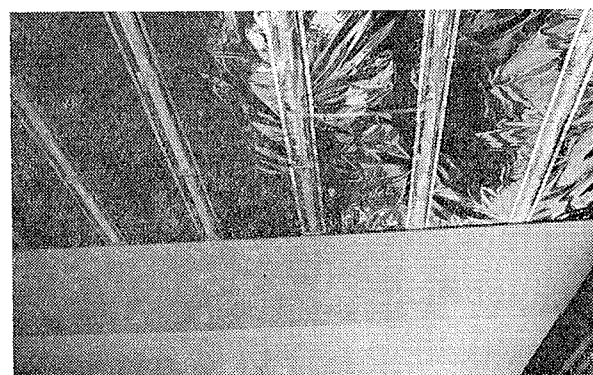


図-5 電導抵抗布を野縁に打ちつけ天井仕上材を半分まで張った状態

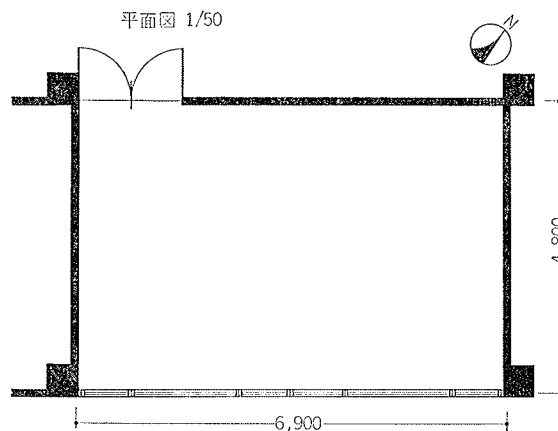


図-6

に閉めることはできず熱損失は一般のRC構造住宅に比べてかなり大きい。

電導抵抗布は電極間距離35cmのものが入手できたので、実験室の熱損失を計算し、それに見合う発熱をするよう、電導抵抗布を長さ6.8mに切り10列天井内に並べた。電源は電極に図-7に示すように接続し、厳寒期の1月下旬から2月上旬にかけて実験を行なった。この電導抵抗布に加える電圧としては、200V電圧をスライダックによって、100V、130V、150Vに調整したが、これをもとに計算した使用電力量、ワット密度、さらに実験中も指示記録形電力計によって測定した使用電力量、ワット密度を表-1に示す。この表

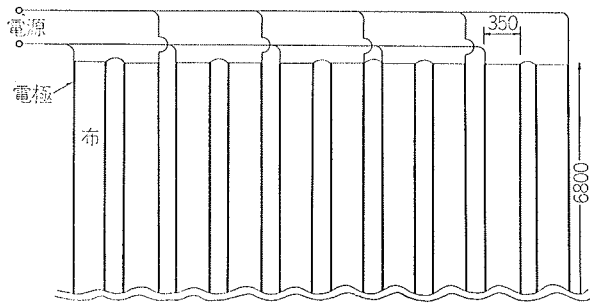


図-7

において同じ電力に対して、計算値と実測値が合致していないが、これはスライダックによる電圧の正確な調整が困難であるため、このような差異が生じていると考えられる。

部屋の中においては銅コンスタンタンの熱電対を用いて、各点の温度や、グローブ温度計を用いて平均ふく射温度を測定した。今回1つの試みとして人体がふく射熱をうけるとしたらどのような感じか、グローブ温度計に代えて皮製の黒手袋をふくらませ、中に熱電対を入れ連続測定を行なった。気温、ふく射、気流の3つの要素の組み合わせと温感との関係を示す指標としてグローブ温度が使われるが、中空銅球のグローブ温度計より、皮手袋のほうがより実際に近い指標として使えるのではないかと考え使用してみた。実験は床、壁ともコンクリート打ち放しであるので、これを実際の住宅にできるだけ近づけるため、壁には白色系統の壁紙をはり、床にはシートを敷いた。また実験室東南側には約10m²のガラス窓の開口があり、このガラス窓を通して、昼間は日射熱の影響を受け、夜間には大気ふく射の影響を強く受けるので、実際の住宅より、外界条件の影響を強く受けている。

	電圧 (V)	電力使用量 (KW)	ワット密度 (W/cm ²)
計	100	2.40	0.010
算	130	4.10	0.017
値	150	5.50	0.023
実	100	2.80	0.0117
測	130	4.20	0.0176
値	150	5.20	0.0218

表-1

5. 実験結果

1月26日18時から27日17時にかけて、天井パネルに130Vの電圧をかけて行なった実験結果を図-8から図-12に示す。

この両日も快晴であり、外気温も27日午前6時にはマイナス4℃にもなっていることから、ほぼ厳寒時の気象条件を満たしている。どの図においても8時以降各部の温度が急激にあがっているが、これはガラスを透過する日射量の増大に伴い室内熱取得が大きくなり、また外気温も急激に上がっていることから、屋外への熱損失も減少しているためである。さてこのパネルにかけた電圧130Vよりも問題は発熱体でのワット密度である。

計算によれば使用電力量は毎時4.1kWでワット密度は0.0170W/cm²となるが実際は4.2kW使用されている。したがってワット密度も0.0176W/cm²となる。図-1を参照すれば天井表面温度は37℃になるはずである。さて図-10において天井表面温度は3か所示してあるが、期待した値よりやや低目にでている。これは、天井表面温度の検出が野縁の直下近くで行なわれ、温度の低い場所を検出してしまったことによる。この3か所の天井表面温のうち6mm厚アスベストラックスでいちばん高く、10mm厚プラスターボード、8mm厚アスベストラックスではほぼ同じような温度変化を示している。

天井面からのふく射熱は、天井面と床面での相互のふく射量の差し引きの値を示すネットタイプの大気ふく射計で測定した。このふく射熱量は床にシートがある場合には、100Vすなわち電力使用量2.8kW、ワット密度0.0117W/cm²のときは約90kcal/m²・h、130Vすなわち電力使用量4.2kW、ワット密度0.0176W/cm²のときは120kcal/m²・h、150V、すなわち電力使用量5.2kW、ワット密度0.0218W/cm²のときは175kcal/m²・hである。しかし床のシートをとってコンクリート打ち放しのままであるときには、このふく射熱量は100Vのときは70kcal/m²・h、130Vのときは110kcal/m²・h、150Vのときは140kcal/m²・hと減少している。これは熱容量の小さいシート類があれば、床に当たったふく射熱がすぐに対流に置き換わるのに対し、シート類がなければ床の熱容量が大きいのでふく射熱が吸収されてしまうためである。

次に平均ふく射温度をはかるためグローブ温度計を床1.1m、1.8mの高さに3か所ずつ合計6か所に置いた。この結果は図-12に示した。高さ1.8mの場所における平均ふく射温度のほうが、天井発熱体に近い

ため、当然のことながら平均およそ 2°C程度高くなっている。また室の中央部のグローブ温度がいちばん高くなっているが、これも比較的冷えた周壁より最も遠い位置にあるためであろう。

図-11に室内中央の垂直空気温度分布を示す。天井面からの対流熱により、天井付近と床付近でやや温度

差が生じているが、しかし一般の温風暖房に比較すればこの温度差は小さい。図-13で人間の起立したとき頭の位置はおよそ0点またはP点であり、P点では足下のS点と比べ、日射等の外乱のないとき、温度差はおよそ 2.5°C程度である。また図-12に見るように、床上 1mと 1.8mのグローブ温度による測定結果の差

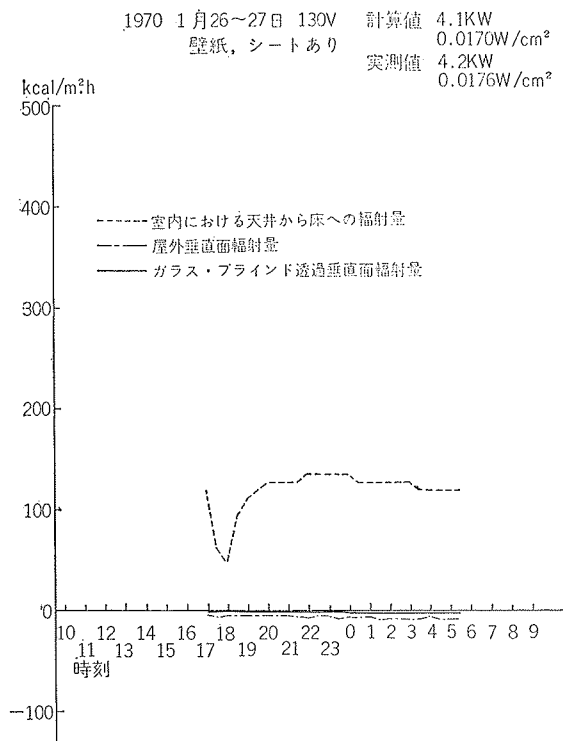


図-8

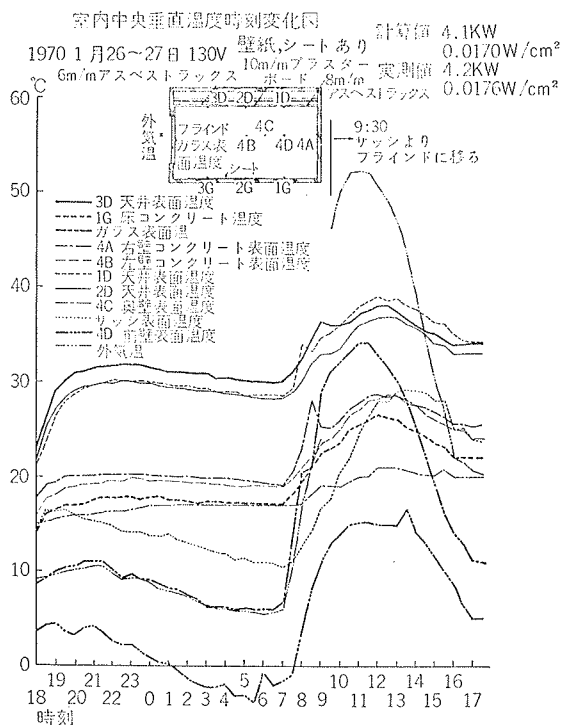


図-10

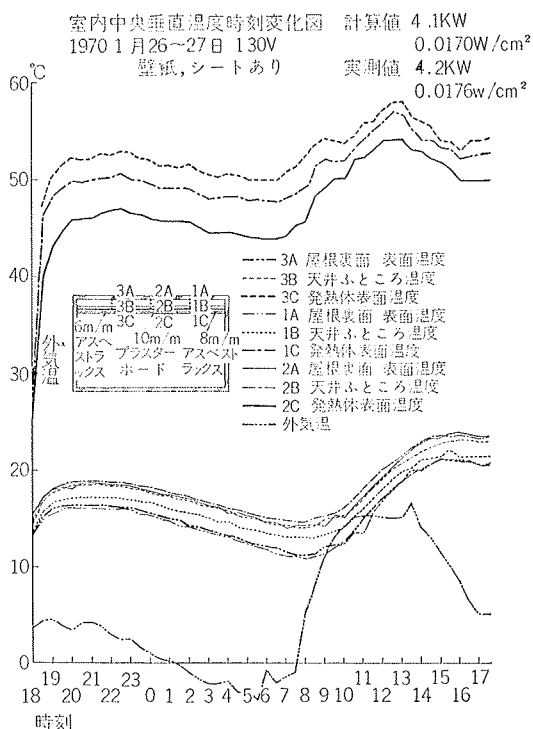


図-9

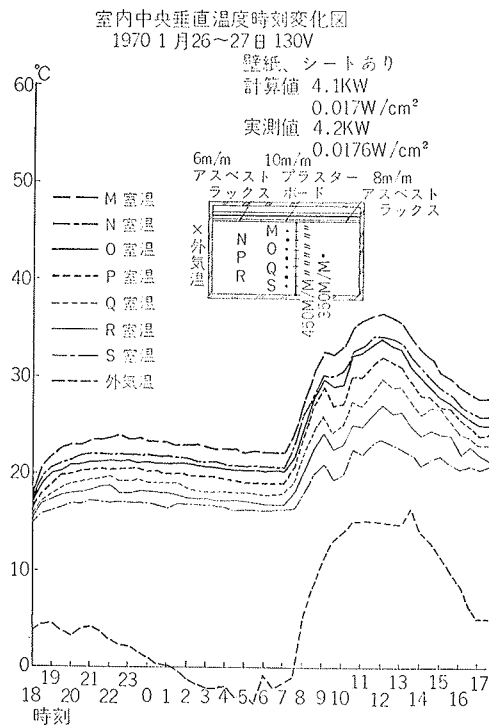


図-11

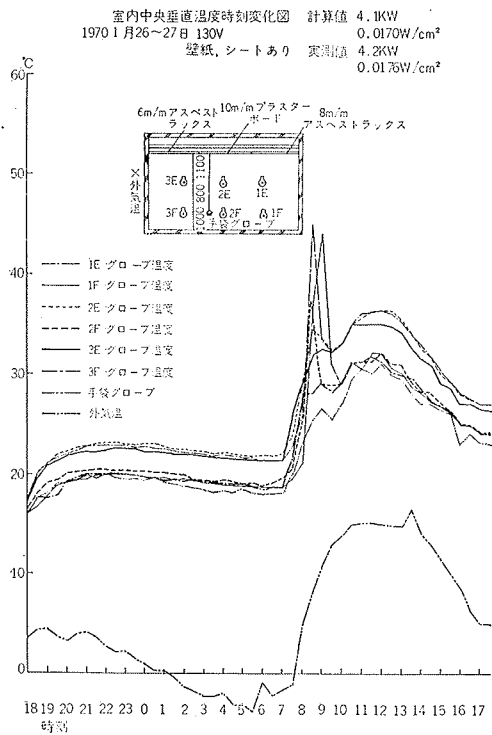


図-12

も 2.5℃ 程度であった。床上 1m の点では外気温がマイナス 4℃ の午前 5 時 30 分にも 19℃ が保たれ、快適な状態である。床上 1.8m でも 22℃ でそれほど高いことはない。日射が部屋にはいつてきて、特に冬季に日射量が多い南にこの部屋はおよそ 10m² のガラスがあるので、あたかも温室のように室温、グローブ温度とも上昇してしまった。本来日射がはいり室温が上昇してしまったようなときは電源を切り、暖房を中止すべきであるが、今回は実験であるのでこれを無視し、暖房を続けた。したがって 8 時以後温度が上昇したときのデータは、実験としてたいして意味をもたない。この実験を行なって、実際に著者らが実験室に居住してみて、足下の寒さを感じずとも全くなく、頭のふく射受熱による暑さを感じずともなかった。しかしながらこの表現では実験に参加しなかった第三者を納得させるには十分でない。足の冷えを感じないという点では、たとえばドイツで足の温感実験に使用している人工足等を使ってある指標で実験結果を表示すべきであったが、今回はその準備も十分でなく、快感に関する実験研究が不十分であった。この点については今後の研究に待たれようが、今回実験を行なった実験室は実際の RC 構造の住宅としては種々の点で異なっている。やはり実際の住宅に天井ふく射パネルを設置し実験を行なうべきである。さてこれまでの結果はパネルに 130V をかけ、すなわち 4.2kW、ワット密度

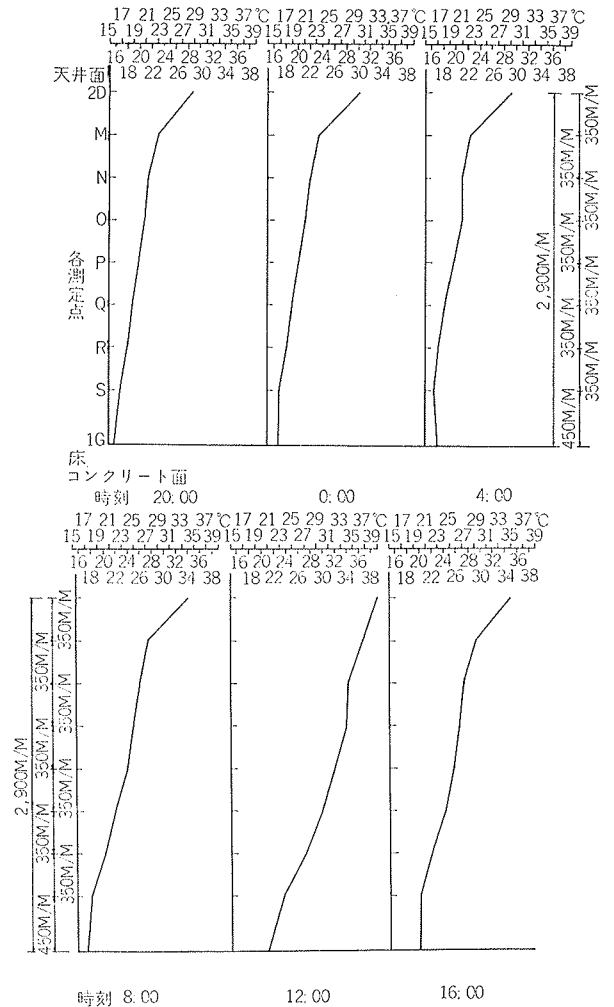


図-13

0.017W/cm² としたときの実験結果である。およそ住宅公団 3DK 住宅の居室部分が毎時 4.2kW の電力使用量で十分厳寒時にも暖房できたとすれば、暖房燃料費としてもそう高くない。4kW の電気ストーブを点熱源として室内に置いたらせいぜい 2~3 名の人間が暖をとれる程度であろうが、この天井パネルヒーティングのように、それほど高くない天井温度にして全面発熱にすればこれだけ大きな面積の部屋を暖房できるという点ですぐれた暖房方法といえよう。

6. おわりに

今回の報告は床面積 33m² の部屋に対し 4.2kW の電力を供給し、0.0176W/cm² のワット密度とした場合の実験結果についてである。供給電力量を変えて数多く実験を行なったが、この場合がいちばん快適であった。快適さについての指標が十分でないのでその他の

供給熱量で行なった実験結果についてはここでは省略した。今後は快適さに関する指標をはっきり表わせるよう研究を重ねつつ、この種の実験研究を行なわなければ、天井パネルヒーティングは頭寒足熱に反し快適

な暖房方法ではないと固定観念をもっている人々を納得させるには十分でないであろう。

この実験に使用した電導抵抗布はイギリスのICI社より提供を受けた。