

店 網 太 一 (日立栃木) 正会員 原 利 次 (日立栃木)
 正会員 小 暮 博 志 (日立栃木) 正会員 松 尾 一 也 (日立機研)
 池 田 和 雄 (日立栃木) 高 橋 邦 弘 (日立機研)

1. 結 言

ヒートポンプルームエアコンは、省スペース、安全でクリーンな暖房機として評価され、全ルームエアコンに対する台数構成比が年々増加している。このような中で、暖房時の快適性を定量的に評価しようとする検討が行われているが、これらは主に空調室が定常状態を対象としている。本研究では非定常なルームエアコン暖房起動時の快適性に着目し、部屋の温度変化、風速分布、湿度分布などを計算により求め、P.O.FangerのPMV値³⁾を用いて快適空間を算出し、その大きさを快適性の評価を行う手法を提案するとともに、本手法により暖房能力や送風制御が暖房起動時の快適性に及ぼす効果を求めたので報告する。

2. 快適性の評価方法

2.1 快適性評価指数の定義

快適性に影響を与える因子として、温度、湿度、輻射、風速、着衣量、作業量などがあるが、これらを考慮し、暖房起動時のように部屋の温度が変化する場合の快適性を示す評価法は今のところ見当たらない。

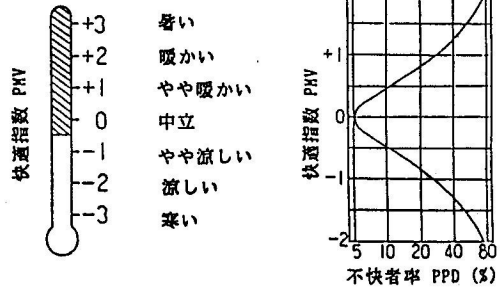


図1 快適指数PMV(Predicted Mean Vote)の尺度

ここでは、急激な温度、風速の変化に対してモデル皮膚温度が1分以内で応答

するという測定結果や、起動時には相当高温でも不快にならないという筆者らの体験から、定常時の評価指数ではあるが、快適性の因子を全て考慮できるFangerのPMV値を用いるとともに、PMV値が-0.5(中立領域)以上を快適域として定義することで非定常時に対応させることにした。

2.2 部屋(空気及び壁)の温度変化計算

快適空間を算出するには先ず、ルームエアコン起動後の部屋全体の空気及び壁の温度変化を求める必要がある。

計算法を図2に示す。室温 T_{i1} は、ルームエアコン起動時の能力から壁に伝達される熱量 Q_{w1} を差し引いた熱量で上昇し、壁は、起動時を考慮して分割し、各分割壁の間で熱移動及び温度上昇するものとして壁の表面温度 T_{w1} を求め、運転時間に対する部屋の温度変化を計算した。

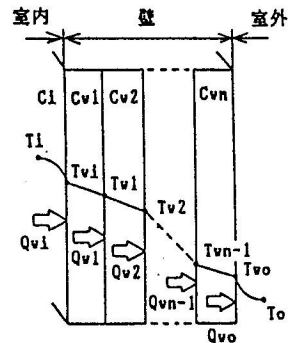


図2 部屋の温度変化計算法

2.3 温度分布及び風速分布の計算

次に、各時間毎にその時の室温を用いて部屋の温度分布を求める必要がある。ここでは、自由噴流の計算法³⁾を用いて、中心気流の軌跡を、周囲空気の巻き込みによる体積の増加、速度の減速、温度差による浮力から求め、この中心気流に伴う速度分布から、室温、吹出温度、風量、吹出角度、吹出口寸法が変化した時の温度分布を算出した。

(1) 温度分布と噴流巾

噴流の進行距離に対する速度分布、噴流巾は多項式モデルにより(1)~(4)式から求められる。図3に2次元噴流モデルを示す。尚、温度分布の計算においては、ルームエアコン吹出口の巾方向も同様な考慮を行い、3次元噴流として扱った。

$$\frac{U_y}{U_s} = 1 - 3 \left(\frac{y_0}{y_{0 \max}} \right)^2 + 2 \left(\frac{y_0}{y_{0 \max}} \right)^3 \quad \text{---(1)}$$

$$\frac{U_y}{U_{\max}} = 1 - 3 \left(\frac{y}{y_{\max}} \right)^2 + 2 \left(\frac{y}{y_{\max}} \right)^3 \quad \text{---(2)}$$

$$y_{0 \max} = y_{\max} = 1.35 \frac{b_s}{y_0} Z \quad \text{---(3)}$$

$$U_{\max} = \frac{1}{K} U_s \sqrt{\frac{Z_0}{Z}} \quad \text{---(4)}$$

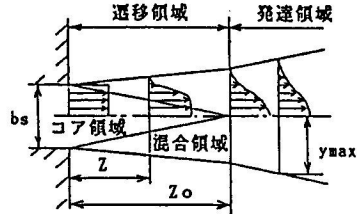


図3 2次元噴流モデル

ここで、
 U_s : 初速 (m/s)
 b_s : 吹出口高さ (m)
 Z : 進行距離 (m)
 Z_0 : 遷移領域長さ $5.2 * b_s$ (m)
 K : X-Y-Z方向を考慮する定数

(2) 温度分布

吹出口の噴流が持つ熱量と、ある離れた位置の周囲空気を含んだ噴流の熱量とを等しく置いて平均温度を求め、温度分布は、図4に示す温度分布モデルを用いて速度分布に相似として(5)式から求められる。

$$t_z = \frac{y}{\bar{y}_z} (\bar{t}_z - t_i) + t_i \quad \text{---(5)}$$

ここで、 t_z : y点の温度(°C) \bar{t}_z : Z点の平均温度(°C)
 \bar{y}_z : \bar{t}_z 点のy方向位置(m) t_i : 室温(°C)

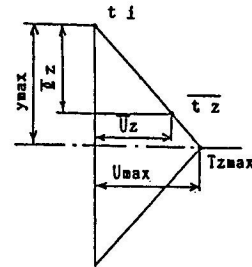


図4 温度分布モデル

(3) 中心気流の軌跡

吹出気流が周囲空気を巻き込んで減速し、更に浮力によって垂直方向に(6)式に示す速度変化を受ける。これらを考慮した中心気流の軌跡は(7)式により求められる。

$$\Delta V_z = g \cdot \beta_z (t_z \max - t_i) \cdot T_z \quad \text{---(6)}$$

ここで、 ΔV_z : 垂直速度 (m/s)
 g : 重力の加速度 (m/s²)
 β_z : 体膨張係数 (1/°C)
 T_z : 作用時間 (s)

$$y_z = y_{z-1} - \left(\frac{U_{z-1} \sin \theta_{z-1} + U_z \sin \theta_z}{2} \right) \cdot T_z \quad \text{---(7)}$$

ここで、 y_z : 中心気流の垂直位置 (m)
 U_z : 中心気流の速度 (m/s)
 θ_z : 気流の角度 (°)

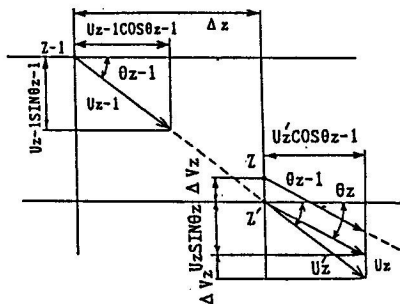


図5 中心気流の軌跡

(4) 実測値との比較

温度分布計算結果を実測値と比較した。実験は周囲空気よりも40℃高温の空気を、風量5.2m³/min, 吹出角度60°で吹出させて行った。実測と計算による比較を図6に示す。図中(a)は吹出速度2.8m/s, (b)は4.3m/sである。

吹出速度が遅いと浮力の影響が大きく、等温線は上方に移動する。速度を早めると等温線は吹出角度に近づくが高温域は小さくなる。これらの傾向は計算と実測が良く一致している。

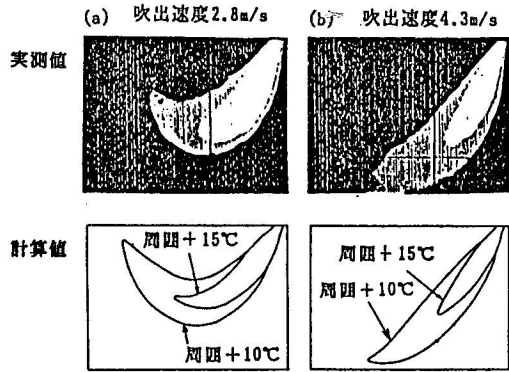


図6 温度分布比較

2.4 快適空間の算出

以上述べた検討により、ルームエアコン起動後の各経過時間における壁温, 温度分布, 風速分布を求めることができた。快適空間の算出はこれらの結果を用いて, 図7及び(8)式に示すようにPMV値が-0.5となる等快適線の水平分布を微小高さ毎に計算し, その総和として求めた。

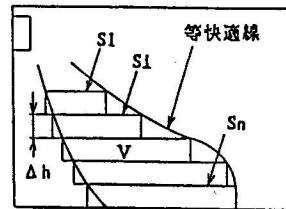


図7 快適空間の算出法

$$V = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \Delta h \quad \text{--- (8)}$$

3. 暖房起動時の快適性向上方法の検討

3.1 能力増加による快適性向上

定常時の暖房能力を2500kcal/hから, 3000, 3600と20%づつ大きくした時の快適空間の比較を図8に示す。

快適空間の発生は能力の増加に伴い短縮され, 3600kcal/hで10分となる。また, 空間の大きさを20分後で比較すると, 暖房能力をそれぞれ20%増加させたのに対し, 空間は2.0倍, 2.5倍に大きくなる。

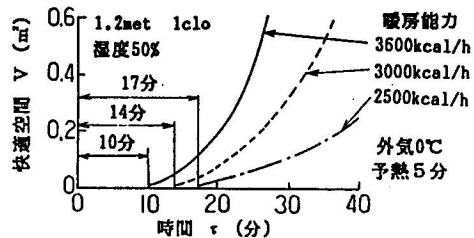


図8 能力変化による快適空間比較

3.2 風量, 吹出角度変化による快適性向上

能力3600kcal/hにおいて室内風量を5, 6, 7 m³/minに変化させた時の快適空間の比較を図9に示す。快適空間の発生は風量5 m³/minが吹出温度の上昇が早いために6分に短縮できる。しかし, 空間の大きさは時間が17分を過ぎると6 m³/minが大きく, 29分を過ぎると7 m³/minが最大となる。

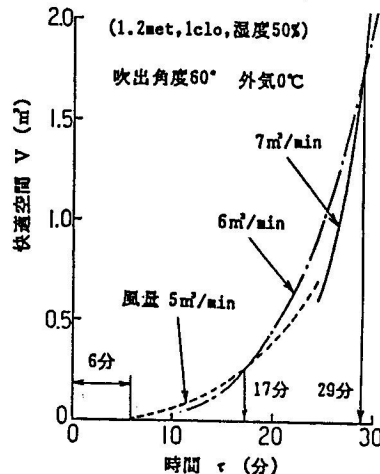


図9 風量変化による快適空間比較

これより、快適空間の早期発生と大きさに効果的なのは、運転当初微風から徐々に風量を増す制御であると言える。

次に足元の快適化を図るための吹出角度の検討を行った。図10は部屋にルームエアコンを取付けた時の垂直断面であり、吹出角度を変えた時の運転後15分、25分の快適空間の分布を示したものである。風量が少なく快適域が小さな運転初期は吹出角度が大きい程、快適域が床面に近づき、風量が6 m³/minとなった中間域では、床の快適面積が75°付近で最大となる。吹出角度の制御は足元暖房に効果的である。

4. 試作機による暖房実験及び計算値との比較

上記結果を確認するため、試作機を用いて暖房実験を行った。快適空間の測定結果を図11に示す。

風量及び吹出角度の制御を行ったNo.2は快適域の巾が広く、熱量を吹出口下方の局所域に集中させているのが分かる。

また、No.2と同一条件における計算結果を、No.3に示す。本研究で使用したPMV-0.5の等快適線は、実測値と分布形態、大きさが一致し、暖房起動時の快適性評価を計算で行えることが確認できた。

5. 結言

ヒートポンプルームエアコン暖房起動時の室内温度変化計算、温度・風速分布計算及びFangerのPMV値を用いて、快適空間の大きさを快適性を評価する手法を導いた。

また、本手法により、暖房起動時の快適性を向上させるためには、能力増加に加えて、風量制御及び吹出角度制御が有効であることが分かった。

6. 参考文献

- (1) P.O.Fanger; Thermal Comfort; (1970)
- (2) 原田; 流子工学; 養賢堂; (昭46-11)

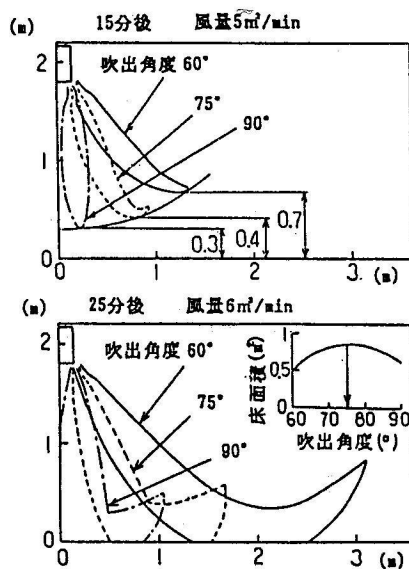


図10 吹出角度変化による快適空間比較

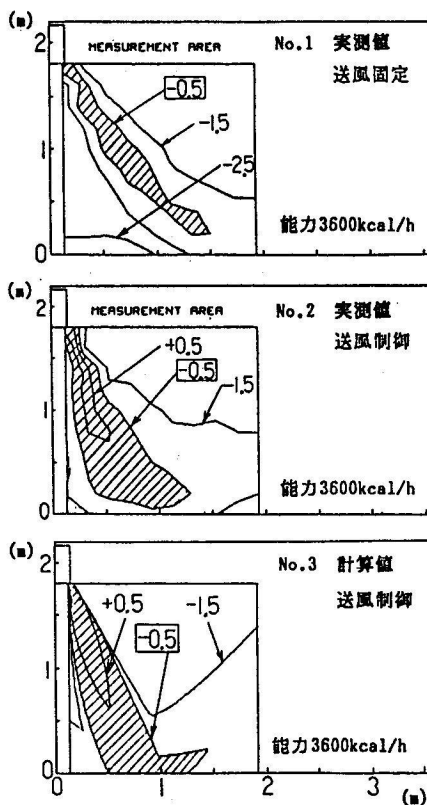


図11 快適度分布の比較 (20分後)