

着衣の *bellows action* (ふいご作用) の着衣の放熱性能への効果 *Bellows Action Effect on Heat Transfer in Clothing System.*

9840405 伊藤幸子 Yukiko ITO

1. はじめに

人体と衣服の相対的な動きによる強制的な空気の流れが着衣の熱伝達に影響を与える現象を「ふいご作用」と言う。日常生活の中でふいご作用が放熱に有効であることは経験的に周知のことであるが、その定量的な効果について研究されたものは少ない。そこで本研究では、ふいご作用に影響を与えると思われる着衣の素材要因(通気性)及び構成要因(衣服下間隙・開口部数)について、無風でかつ水分移動を伴わない状態でのふいご作用の放熱性能への効果を定量的に検討することを目的とした。

2. 実験装置

人体の模擬皮膚モデルである発熱平板と、ふいご作用を引き起こす上下移動装置の配置図を Fig. 1 (開口部1モデル) に示す。発熱平板の表面温が、人体の皮膚温(30~36°C)になるように供給熱量を50W/m²に設定した。また局所熱通過率を算出するため、発熱平板表面に貼付したPMMA板に熱流計と熱電対を埋め込み(開口部側から No. 1~8) 各々放熱量と表面温を測定した。往復移動装置はパソコンにより制御し、素材と発熱平板の間の衣服下間隙寸法(s)、振幅(w)、移動速度を調節することができる。動作中の平均速度は約32mm/secであった。

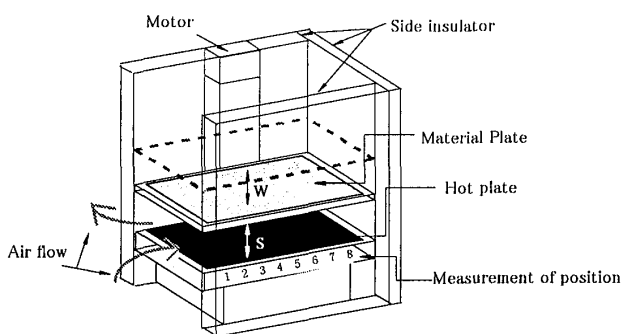


Fig. 1 Schematic diagram of apparatus.

3. 実験素材

強制対流のある場合に素材の通気性の有無が着衣の熱伝達率へ影響を与える要因の一つと考えられるため、極端な状況を含め、通気性の異なる5種類の実験素材を用いた。素材は、メッシュ>さらし>綿

ブロード>デニム>綿ブロード+ラップの順に通気性大となる (Table 1 参照)。

Table 1 Characteristics of clothing materials

	Bleached cotton	Broad cotton cloth	Denim
Composition	Cotton 100%	Cotton 100%	Cotton 100%
Textile weave	plain weave	plain weave	twill weave
Yarn density [pieces/cm]			
Ends × picks	26 × 20	56 × 30	27 × 18
Weight per area [g/cm ²]	0.66 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻²	3.1 × 10 ⁻²
Thickness [mm] (at pressure=63Pa)	0.58	0.4	1.35
Bulk density [g/cm ³]	0.13	0.32	0.23
Packing factor [%]	8.22	20.73	14.71
Air permeability [(m/s)/Pa]	10 × 10 ⁻³	1.2 × 10 ⁻³	0.9 × 10 ⁻³
Thermal conductivity [W/(m·K)]	0.06	0.05	0.08

4. 測定方法・手順

実験は平成11年6月2日から平成11年7月17日にかけて、お茶の水女子大学人間環境制御室において温度 25 ± 0.2°C、相対湿度 50 ± 5%、気流 0.1m/sec 以下で行った。実験中は外界からの放射や対流などの影響を避けるために消灯し、無人状態にした。すべての素材について開口部数が0、1、2個の3モデルを測定した (Fig. 2 参照)。

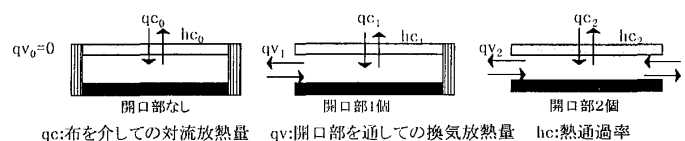


Fig. 2 Heat transfer in apparatus.

すべての素材に対して、移動装置の上下動作の振幅(w)は20mmで、発熱平板と着衣素材との間隙(s)は5mm、10mmおよび20mmの場合をそれぞれランダムに3回実験を行った。綿ブロード+ラップの場合のみ間隙の影響と移動速度の影響を検討するため s=2mm、30mm と、移動速度を約1.5倍(45mm/sec)にしたものも実験した。安静、動作及び回復の時間は各々40分とした。すべての実験で、8ヶ所の発熱平板の温度(T_w)と放熱量(q_w)、3ヶ所の環境温(T_e)を30秒ごとに測定した。

5. 結果及び考察

5.1 通気性の効果

Fig. 3 に安静時とふいご動作時の熱通過率を示す。素材の通気性の大きな違いにもかかわらず、安静時・動作時ともに熱通過率に顕著な差は認められなかった。これより衣服内で生じた熱交換の主な経路は素材を通してではなく開口部からであることが明らかになった。(h_{tot} : 発熱平板-環境間の熱通過率)

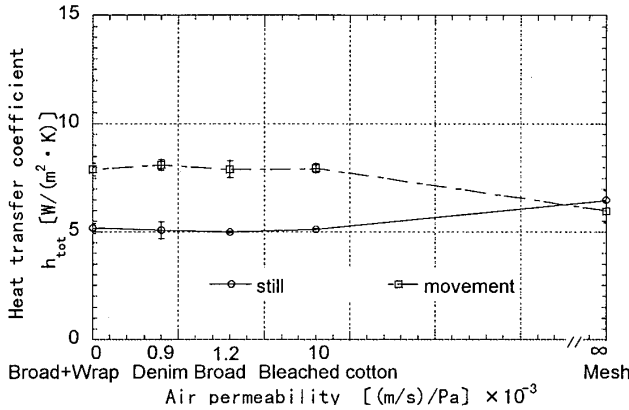


Fig. 3 Effect of air permeability on h_{tot} at No.4 in case of 1 Opening side (s=5mm).

5.2 衣服下間隙の寸法の効果

Fig. 4 に相対変化量を示す。ふいご動作時は間隙内の空気に同ストロークで強制対流を起こしているため、間隙が小さくなると必然的にふいご作用の効果が大きくなった(s=10~30mm)。しかし間隙が狭すぎると空気の粘性によりふいご作用による強制対流が起きにくくなった(s≤5mm)。ゆえに、s=5~10mmにふいご作用の効果が最大となる間隙が存在するということが明らかになった。この傾向はいずれの素材にも認められた。

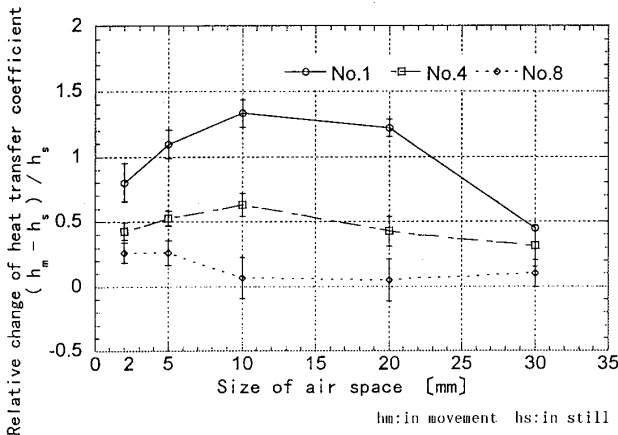


Fig. 4 Effect of air space on relative exchange of h_{tot} in case of 1 Opening side (Broad+Wrap).

5.3 開口部の数の効果

Fig. 5 にふいご動作時の熱通過率を示す。No.1~No.4における熱通過率は、開口部からの距離が等しいにもかかわらず開口部1個が開口部2個よりも高い値を示した。開口部2個においては空気は発熱平板の両端から同時に入り出すことになり、暖められた空気のよどむ位置は発熱平板の中央付近の広い範囲であると考えられる。一方開口部1個においては、閉鎖側のNo.8付近で暖められた空気がよどむと考えられる。ゆえに開口部付近から発熱平板の中央までは開口部1個の方が外環境の冷たい空気と間隙内の暖かい空気が効率よく交換されたと考えられる。理論解析によると開口部付近の流速は開口部1個のとき開口部2個の2倍あり、開口部の数の違いによる差には流速の影響が関係していると推測される。

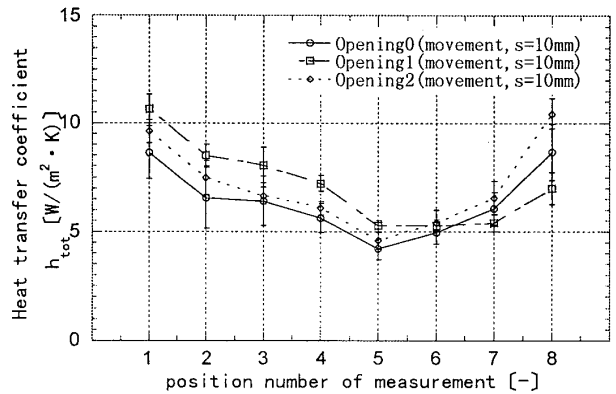


Fig. 5 Effect of number of opening side on h_{tot} in movement (s=10mm, Broad+Wrap).

6.まとめ

ふいご作用による放熱性能への効果を定量的に検討した。ふいご作用により熱通過率は大きく上昇し、特にs=5~10mmにふいご作用の効果が最大となる間隙が存在した。本モデルで通気性の差による熱通過率への影響は認められなかったため、実際の着衣系では開口部や縫い目の隙間などから熱交換が行われ、ふいご作用の効果は衣服素材以上に着衣の構成によって大きく影響を受けると考えられる。開口部については、安静時は両側開放の方が片側開放よりも煙突効果により放熱の促進が大きくなるが、ふいご動作が加わると片側開放の場合でも両側開放と同じくらいの放熱効果、部分的にはそれ以上の効果を期待できることが明らかとなった。

<<参考文献>>

1. 薩本弥生, 着衣の bellows action (ふいご作用) の着衣の放熱性能への効果 デザントスポーツ科学, Vol. 20 (1999)
2. 薩本、竹内、石川、長谷部, 衣服下間隙と衣服素材の熱伝導率が熱伝達に及ぼす効果, 繊維学会誌, 47, 6 (1991) (指導教官 長谷部ヤエ 薩本弥生)