着衣の bellows action（ふいご作用）が放熱性能へ及ぼす影響

指導教官　薩本弥生
研究生　　清藤美沙

１．研究目的

衣服の機能には社会的、美的、温熱的な要因等があるが、人体に快適な環境を提供するという機能も重要な意味があると思われる。衣服は人体を覆って人体表面からの放熱量を調節し、人体と環境の熱バランスを制御する役割を果たす。しかし、運動によって代謝量が増加するとヒトは筋肉の仕事効率が低いため、産出したエネルギーの大部分が熱に変換されると、安静時の熱平衡を維持している快適な着衣の熱抵抗は、このときは断熱要素となり、放熱を妨げ、衣服内にうつ熱状態を起こし、不快感を生じる。そこでヒトは行動性体温調節を行う。エアコンによる空気調節、衣服の着脱、あるいはうちわ等の使用である。しかし、エアコンの使用は場所を限定されることがあり、うちわや手で扇ぐ方法の方が活用でき、個人の状態にあわせることができる。よって私たちは自然に衣服の襟元あたりを手でパタパタと扇いでいるのではないだろうか。このパタパタとする動きや、普段私たちが歩くときに四肢部の動きとともに生じる衣服のリズミカルな動きは、人体と衣服との間に強制的な空気の流れを生み、着衣系の熱伝達に影響を与える。これらの現象はふいご作用（bellows action）と呼ばれる。

このような着衣のふいご作用（bellows action）が放熱に効果的であることは経験上周知のことである。しかし、着衣の熱伝達に及ぼすふいご作用の影響に関する研究は数少なく、はっきりとした定量的な効果については、未だ研究の余地がある。

本研究では, ふいご作用に関する実験を行うために、無風の環境状態において、発汗していない皮膚を模擬する発熱平板および着衣のふいご作用を模擬する往復移動装置を用い、モデル実験を行う。さらに、先行の研究により素材の通気性の影響は少ないということが分かったため、本研究では衣服の素材要因は取り上げず、衣服下間隙の寸法や開口部数などの着衣の構成要因を取り上げ、着衣の放熱性能への影響を検討することを目的とする。

２．実験

Ⅰ．実験方法

実験は Fig.1 に示す手順で行った。

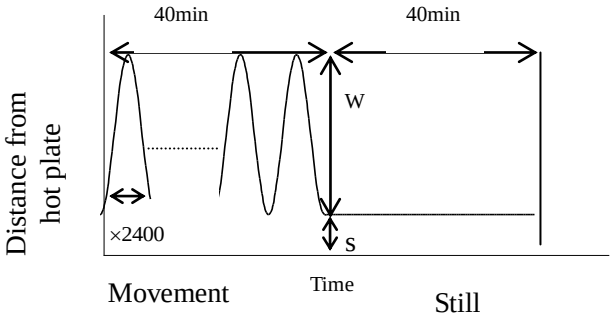

Fig.1 Time table.

発汗していない皮膚を模擬する発熱平板のうえで、着衣のふいご作用を模擬する往復移動装置を上下させる。

実験素材に対して、移動装置の振幅（w）は 20mm で、移動速度は、１秒に１往復（平均 40mm/s）発熱平板と着衣素材との衣服下間隙(s)は 5mm,10mm,20mm の３種類とした。開口部は、Fig.2 に示す４種類である。各条件でランダムに３回ずつ実験を行った。

すべての実験は動作･安静各々４０分間のから構成され、各条件下の最後の５分間のデータを解析に用いた。

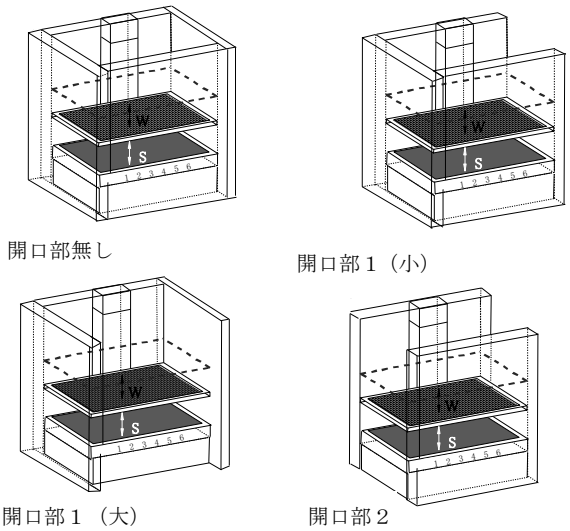

Fig.2 Variation of opening condition.

Ⅱ．実験条件

実験は横浜国立大学の実験室において、気流 0.1m/s 以下の状態で行った。実験中継続して、環境温、発熱平板表面の温度・放熱量、開口部付近の気流速度（開口部なし以外）を測定した。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、実験室の電気を消し、無人状態とした。

３．実験結果及び考察

１）間隙の影響

（安静時）どのモデルにおいても、ほぼ s=05mm の値が低く、s=20mm が高い値を示している。s=05mm くらいまでは間隙内の伝熱は熱伝導が主であり、空気は熱伝導率が小さいため衣服下間隙が増加することによって断熱層が増すことになり、間隙部分の温度が上昇すると熱通過率は低下する。s=10mm を越えると、空気が流動し始め対流の影響が出てくる。対流の流速は衣服下間隙の２乗に比例するため、流速が大きくなると衣服下間隙内の温度差が小さくなり、衣服下間隙の増加による環境との温度差をうち消すように働くため、熱通過率が上昇する。

（ふいご作用時）　どのモデルにおいても間隙 s=05mm の時に換気効率の値は最大を示した。間隙内の空気の容量は、本研究のモデルでは間隙寸法に比例する。同一ストロークでふいご動作を繰り返しているので相対的に少ない容量を強制的に換気することになる狭い間隙の方の効果が大きくなったと思われる。

２）開口部数の違いの影響

（安静時）測定位置により多少の差はあるが、熱通過率は、開口部１（大）、開口部２，開口部１(小)、開口部なしの順に低くなった。この理由としては、開口部１（大）は全体的に大きな開口部であり、開口部２においては空気の出入り口が２つあり、効率のよい熱放散が起きていたと考えられる。

（ふいご動作時）開口部１（小）、開口部２モデルにおける開口部側の測定位置 No.6 では、開口部１（小）が一番大きくなり、平板中央部においては、開口部１（大）が一番大きい。ただし間隙 s=05mm の時は開口部１（小）の値が大きくなっている。この理由を以下の Fig.3 の図で説明する。

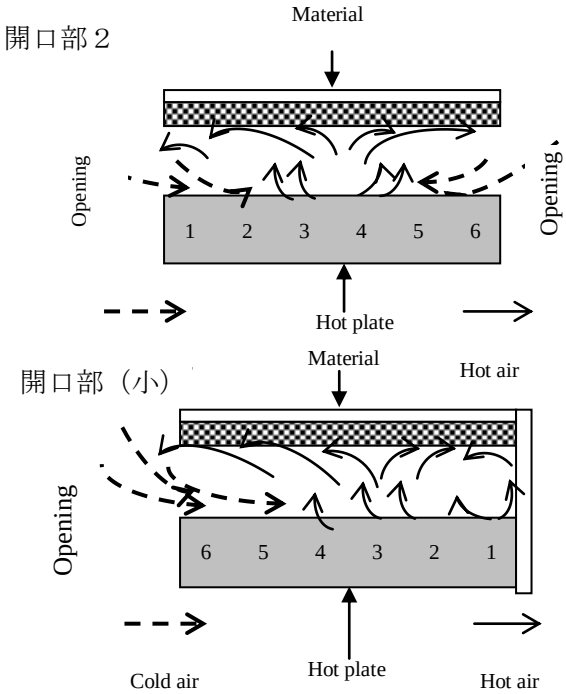

Fig.3 Schematic diagram of air movement between hot plate and material.

開口部２においては、空気の出入り口が発熱平板の両端に１つずつ、合計２つあるため、ふいご動作によって空気は２方向（発熱平板両端）から同時に出入りすることになる。開口部付近は換気されやすいが、間隙内は両側からの空気の出入りによって空気の流れが乱れ発熱平板の中央付近では広く空気がよどみ効率のよい換気が行われなかった。また開口部１（小）では、空気の出入り口が１つのため、空気のよどむ位置は、開口部から離れた場所である。ゆえに、開口部付近ではよどみのない空気の流れが存在するため、外環境の冷たい空気と衣服下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。

４．まとめ

間隙については、ふいご作用時は、相対的に少ない容量を強制的に換気できる s=05mm の時の熱通過率の値が大きかった。

開口部が大きい、または２つあるほうが熱通過率が高いと思われがちだが、ふいご作用時は、開口部１つで小さく奥行きが長い方が開口部付近においては、大きい効果が期待できる。