着衣の熱水分同時移動系評価装置の試作
ーオムツの熱水分同時移動性能の評価—
Apparatus of heat and water-vapor transfer of clothing
-In case of measurement of diapers-

薩本弥生[*1]、山岸　千恵[*1]、竹内正顯[*2]
Yayoi SATSUMOTO[*1], Chie YAMAGISHI[*1] Masaaki TAKEUCHI[*2]

1. はじめに

着衣の温熱的快適性は着衣の熱水分移動性能に支配されるため着衣の快適性に関わる世界標準の評価装置として 1993 年に ISO11092 に着衣の熱水分移動性の評価方法が初めて規定された。これは Mecheels と Umbach の研究開発した装置[1)]が元になっている。この装置では着衣に用いられる布の熱水分移動系における熱抵抗と蒸発熱抵抗の定常状態における評価が規定されている。一方、発汗マネキンを用いた着衣の熱抵抗、蒸発熱抵抗の定常状態での評価に関しては McCullough ら[2)]の報告がある。しかし、布の状態での平板装置、着衣の状態でのマネキンの装置の形態に違いはあるが、いずれも蒸発熱抵抗の測定においては環境温度と模擬皮膚温度を等温条件にして測定するように規定している。熱水分同時移動系におけて湿性放熱量を精度良く評価するのが困難であるため、等温条件であれば供給熱量のすべてが湿性放熱量となるためである。しかし、等温条件では水分移動だけが生じ、熱水分同時移動系とは言えない。また、熱抵抗に関しては発汗しない条件で評価しているが、実際には同時移動系における対流熱伝達率は水蒸気濃度差による対流が原動力となり同一模擬皮膚温度においては乾性放熱の時より１割増加することが我々の既報[3)]で明らかになっている。そこで、熱水分同時移動系における熱抵抗、蒸発熱抵抗を評価できる装置を開発することが重要であるが、現状の装置は上記の点で不完全であるといえる。そこで、熱水分同時移動系において熱抵抗、蒸発熱抵抗を定常状態において同時に測定できる装置を試作したので報告する。

ここで、測定する布素材として紙おむつを測定した。紙おむつは、1940 年代にスウェーデンで開発されてから、日進月歩で進化し、高分子吸収体の登場により性能も格段に向上し、使い捨ての便利さも後押しし、布おむつよりも使用者が多いのが現状である。しかし、乳幼児用の紙おむつの場合、使用者と購入者が異なり、購入者である保護者が、どの程度子どもの使用感を把握できているかが、鍵になる。そこで、おむつの熱水分移動性を測定し、おむつの温熱的快適性を客観的に把握する判断材料を提示することを目的として測定に当たって紙おむつを選択した。

2. 実験方法

2.1 模擬皮膚装置について

人体による温熱・湿潤感覚量の評価や衣服内気候の計測などでは、再現性が低い、個人差が大きい、人体の疲労による誤差が大きい、特殊環境下での評価ができないなどの問題がある。本実験においても、乳幼児用紙おむつの使用者は年齢が低く長時間の実験には耐えられない。また、被験者実験は基本的に被験者にインフォームドコンセント（同意）を得てボランティアで協力を要請するが、同意を得るにも自身に判断能力がないため被験者の保護者に同意を得ることになるが、本質的には問題となる可能性がある。このため、被験者実験に代わる熱水分同移動型の模擬実験として模擬皮膚実験装置を試作し実験を行うことは重要である。

ヒトの体から水分が蒸発する経路は、不感蒸散と汗腺からの発汗と２種類がある。着衣の伝熱模式図を図１に示す。

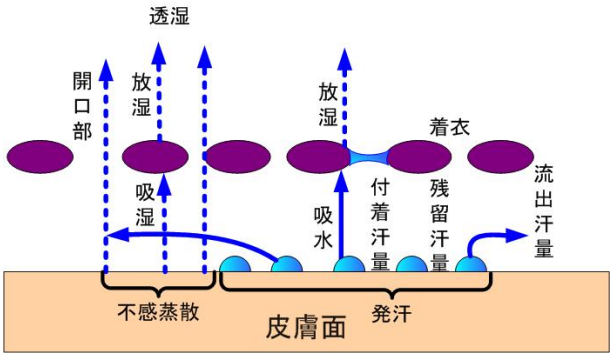

図１　着衣の伝熱模式図

図において温熱性発汗は体熱放散を目的として起こる現象であるが、放熱は汗が蒸発して初めて有効となる。体に流れ落ちる汗（流失汗）や衣服に吸収された付着汗量や皮膚面にそのままとどまっている汗（残留汗）、または拭き取られた汗は、いずれも体熱放散のうえから無効である。従来の模擬皮膚装置では、汗として見立てる水分供給が連続的なものではなく、濾紙を初期条件として水で濡らしたりするものだったが、最新の発汗サーマルマネキンでは産熱だけでなく積極的な発汗の制御機構を有するマネキンとしての特性も持っている[4)]。しかし、装置自体が大型なため、1gの分解能の

精度でしか水分の蒸発による重量変化を正確に抑えられない。したがって現状では同時移動系における水分移動量は供給水分量がすべて蒸発に用いられたという仮定をおかざるを得ないようである。しかし、上述のような無効発汗は無視できないレベルで生じる。

そこで、本研究では、熱水分同時移動系で水分を連続的に一定量供給できるポンプを用い液体水を平板上に等間隔にあけた8つの穴から供給し、天秤で同時に重量変化を量ることにより、水分移動の重量変化を把握することもできる装置を試作した。本装置は、小型な発熱平板であり、重量の測定時にはすべてのケーブルを外すことにより 10mg の分解能で重量を正確に把握することができる。

2.2 実験条件

実験は、横浜国立大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリーの人工気候室で行った。温度 26℃、湿度 60%RH に設定した。発汗条件は不感蒸散、発汗、排尿の３条件である。試料に供給された水分と蒸発した水分の差を把握するため、天秤で、45 分おきにおきに重量を測定した。このとき、センサーのケーブルやポンプのチューブが測定の誤差になることを考慮して、天秤の上に置かれた模擬皮膚に接続されているセンサーなどのケーブルおよび水分供給ポンプ用チューブをはずした。天秤測定後、速やかにセンサーやチューブをつけた。重量測定は３時間の実験中、実験の初めと終了時を合わせ、計５回測定した。排尿の場合は、これに加え、尿に見立てた水を注入直後、重量を測った。模擬皮膚ヒーターへの供給熱量を 400W／m^2とした。

３.実験結果

3.1 おむつの熱水分移動性の実態把握

a. 紙おむつの各種シミュレーション条件比較

不感蒸散条件と比較し、排尿条件では、蒸発熱伝達率が高く、同様に透湿抵抗が低くなり、蒸発放熱および水分移動しやすいことがわかった。しかし、発汗条件の場合は、不感蒸散条件よりもやや蒸発放熱および水分移動をしにくい。このことから、紙おむつはおむつ内に保持された水分を、水蒸気になった汗のみ透過し、液体の汗は透過しにくいと推測される。また、発汗によりおむつが濡れると不感蒸散条件時と比較して顕熱熱伝達率が増大する。おむつが直接皮膚と接触しているため、熱伝導率が増大し皮膚温が低下し易く不快になり易い。紙おむつ内気候は、不感蒸散時では湿度は快適域に属するが、発汗、排尿共に不快領域である水分が蒸発し、おむつ外部に移動すると同時に肌側にも蒸散しているからだろう。

b. 排尿時の紙おむつと布おむつの比較、

紙おむつは、尿の濡れ面積が最大になるのが布おむつよりも早く、吸収速度が速いことがわかった。これは、紙おむつの肌に接するトップシートが、水をあまり保持せず尿を素早く吸収体に通し、その吸収体が水を保持しているためである。その中に存在する高分子吸収体は、多少の圧力を加えても離水しない特性をもっているので、尿を保持して水分移動を起こしにくい。一方、布おむつは、肌に接する綿が尿を吸収して濡れ面積が大きいため、おむつの熱伝導率の増大により顕熱放熱を増加させ保温性を低下させ、紙おむつよりも濡れ冷えしやすい。さらに、布おむつは、最大の濡れ広がり面積は紙おむつの約 2 倍で、蒸発面積を稼ぎ蒸発速度が速いため、尿を蒸発させやすい。おむつ内がやや高湿な上、濡れ冷えの状態にあり、紙おむつよりも不快な状況であると思われるが、排尿後はどちらのおむつ内も高湿になり、そのまま履き続けることは、おむつかぶれを引き起こす原因となりえるため、排尿後はおむつ交換を早めに行うことが望ましいといえる。

4. まとめ

熱水分同時移動系における熱水分移動評価装置を試作し、定常状態での評価が可能であることを確かめた。供給水分量の一部が布に残留する紙おむつの熱水分移動性能を測定し、温熱的快適性を客観的に把握した結果、排尿前の不感蒸散状態では快適ではあるが、発汗や排尿により不快な状況になり易いことが確認できた。保護者はかぶれなど表立った症状が出なくとも、不快な状態であることを認識する必要がある。

引用文献

1)J. Mecheels, K.H. Umbach, , ”Thermo -physiological properties of clothing systems” Melliand Textilberichte,Part2 in January (1977)

2)E.A. McCullough, B.W. Jones, T. Tamura, “A data base for determining the evaporative resistance of clothing”, 3287-3299(1989)

3) 薩本弥生、竹内正顯、石川欣造、“模擬皮膚からの熱伝達－模擬皮膚湿潤時と乾燥時の比較－”、日本家政学会誌 48(2)、179-186(1997)

4)森下禄郎、“高性能発汗マネキンによる衣服評価”繊消誌 44(12)774-779(2003)

*1 横浜国立大学教育人間科学部

*2 桐蔭横浜大学工学部

≪連絡先≫薩本弥生

〒240-8501　神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-2

電話・FAX：045-339-3307

satumoto@ynu.ac.jp