Japanese Society of Human-Environment System

C-2

38th Symposium on Human-Environment System
HES38 in Nagasaki, 6-7 Dec., 2014

室内気流条件が着衣内空気層の部位別熱抵抗に与える影響

木村理沙 [1)], 高田暁 [1)]
[1)]神戸大学大学院工学研究科

Influence of Airflow Condition on Thermal Resistance of Air Layer in Clothing

Risa Kimura[1)], Satoru Takada[1)]
[1)] *Graduate School of Engineering, Kobe University*

Abstract: Changes in thermal resistance of air layer in clothing for each body part due to the air velocity around the body were measured by experiments using a thermal manikin. Experiments were conducted with three air velocity conditions from ceiling under three clothing conditions. As the result, remarkable decrease in thermal resistance due to air flow was observed for pelvis and backside where the openings of the clothing exist. However, in most body parts, the changes in thermal resistance were small although air velocity for each body part was different. : In chest and upper arm which have higher air velocity than pelvis, the changes were small.
Key words: clothing, air layer, thermal resistance, airflow, thermal manikin

要旨：気流が着衣内空気層の部位別熱抵抗に与える影響を検討するため、サーマルマネキンを用いて実験を行った。実験は 3 種の着衣条件で行い、天井からの空調吹き出し風速を 3 段階に変化させた。その結果、気流により最も熱抵抗が減少した部位は、T シャツの裾やズボンウエストといった着衣開口部にあたる下腹部および臀部であった。一方、部位によって風速は異なるものの、大半の部位では気流による影響は小さく、下腹部以上に風速の大きかった胸や上腕においても気流による影響は小さかった。
キーワード：着衣，空気層，熱抵抗，気流，サーマルマネキン

1．はじめに

着衣熱抵抗を表す clo 値は、皮膚と着衣の間に生じる着衣内空気層の対流および放射熱伝達抵抗、並びに布の熱伝導抵抗を足し合わせたものに対応しており、これまでに、着衣内空気層厚さや気流が着衣熱抵抗に与える影響が検討されている。岩崎ら(1987)は全身を均一に覆う着衣を用いて、空気層厚さと着衣熱抵抗の関係を検討した。Chen ら(2004)は空気層厚さを変化させ、有風時・無風時について着衣熱湿気抵抗を測定した。渡邊ら(2007)は空気層厚さの他に、風速および風向を変化させ着衣熱抵抗の測定を行った。Das ら(2012)は、重ね着を想定した簡易な試験体を用いて、複数の空気層の厚さおよび風速を変化させ熱抵抗を測定した。

ここで、clo 値は全身に対する着衣の保温性を示す上では有効であるが、人体を多部位に分割した人体熱モデルでの解析の際には、各部位における着衣の熱水分移動特性を考慮した扱いが必要となる。Oguro ら(2002)は前方および後方からの気流を当て、気流速度に応じた人体各部位に対する着衣熱抵抗を測定し、主に立位・座位の差を検討している。また、庄司ら(1997)は着衣内空気層厚さを均一に与え、同心円筒間の密閉流体層の自然対流熱伝達率およびふく射熱伝達率を用いて着衣内空気層の熱抵抗を示している。高田ら(2001)は被験者実験のデータと解析モデルにより着衣内空気層の熱湿気抵抗の同定を行ったが、被覆部位全体に対して 1 つの値を決定するにとどまっている。一方で、着衣内空気層の熱抵抗にはその形状が影響するという視点からも検討が行われている。Psikuta ら(2012)は人体の形状データを用いて、着衣内空気層厚さおよび皮膚と着衣の接触面積を求めた。高田(2014)は人体形状データから求めた空気層厚さと、熱抵抗に関する既往の実験結果を用いて、各部位の着衣内空気層の熱湿気抵抗を推定する方法を示している。しかし、ここで示された方法は着衣内換気の影響が大きい場合には対応できない。

そこで本研究では、気流が着衣内空気層の部位別熱抵抗に与える影響を検討するため、サーマルマネキンを用いて実験を行った。実験は室内での状況を想定し、天井からの空調吹き出し風速を変化させ、着衣はオフィスワーカーの一般的な服装や、下着としての T シャツ 1 枚のみの場合などの 3 種とした。なお、着衣内空気層が複数生じる場合には各々に対して熱抵抗を決定

NII-Electronic Library Service

する必要があるが、本報では、その過程で得られる複数の着衣内空気層の熱抵抗の合算値について報告する。

2. 方法

2.1 実験方法

実験は人工気候室において行い、室の中央にサーマルマネキン(P.T.Teknik 社 男性形状サーマルマネキン 22 部位 TM8-22 型、以下マネキンと称する)を配置した(図 1、2)。実験条件を表 1 に示す。実験室は空調気流が天井から吹き出し、床で吸気される仕様である。風速条件は弱・中・強の 3 段階で、マネキン各部位での風速を平均すると、弱 0.29m/s、中 0.40m/s、強 0.65m/s である。風速測定は、裸体での実験後にマネキン表面から約 1cm の位置で、熱線式風速計を用いて行った。室温・壁温測定には T 型熱電対を用い、マネキンで熱流を測定した。また、不自然なしわや左右差が生じないよう配慮してマネキンに衣服を着せた。

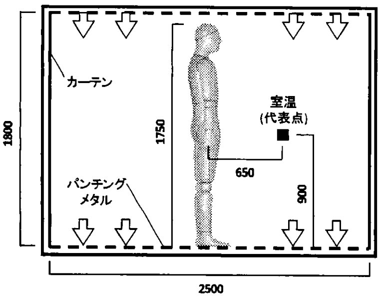

図 1. 実験室の様子(鉛直断面図)

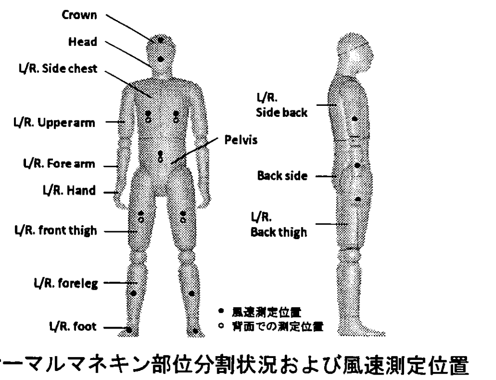

図 2. サーマルマネキン部位分割状況および風速測定位置

表 1. 実験条件

サーマルマネキン	表面温度一定制御(34℃)
室温	28℃
風速	弱、中、強
着衣	条件1:Tシャツ
	条件2:Tシャツ・ボクサーパンツ・ズボン・ベルト
	条件3:Tシャツ・ボクサーパンツ・ズボン・ベルト・カッターシャツ

*条件 2、3 では上着の裾をズボンの中に入れるものとする。
**条件 3 において、カッターシャツの前ボタン・袖ボタンはすべて閉めるものとする。

2.2 着衣内空気層の熱抵抗値の算定方法

各部位の着衣内空気層の熱抵抗値の算定は、定常状態、着衣面積比(着衣時の全表面積/体表面積)f_{cl}=1 と仮定して行う。測定は定常状態に達していることをマネキン各部位の温度・熱流データにより確認後 1 時間行い、そのうちマネキン皮膚表面熱流の変化量が小さい 15 分間を選んで、その平均値を用いた。各部位に対して、

$$R = \frac{T_{sk} - T_a}{q} - R_s - \sum_{i=1}^{n} R_{cl,i} \quad (1)$$

$$R = \sum_{j=1}^{n} R_{a,j} \quad (2)$$

ここで、R:各着衣内空気層の熱抵抗の合算値 [(m²・K)/W] 、R_a:各着衣内空気層の熱抵抗[(m²・K)/W]、R_{cl}:布の熱伝導抵抗[(m・K)/W]、R_s:着衣外表面から環境までの熱抵抗[(m²・K)/W]、T_{sk}:マネキン表面温度[℃]、T_a:室温[℃]、q:皮膚表面熱流[W/m²]、n:着衣枚数である。式(2)のように、本研究における各部位での着衣内空気層の熱抵抗は、重ね着によって生じる複数の空気層の熱抵抗の合算値 R とする。なお、着衣外表面から環境までの熱抵抗 R_sは、同一環境下での裸体時におけるマネキン表面から環境までの抵抗に等しいと仮定し、別途実験により求めた。布の熱伝導抵抗 R_{cl}は、表 2 に示す布の熱伝導率(松平, 1997)および布の厚さ(ノギスにより測定)から求める。使用した着衣のデータを表 3 に示す。着衣が複数の材料から成る場合は、その割合で重み付けして、熱伝導抵抗を算出した。各着衣による被覆部位は表 4 に示す通りである。

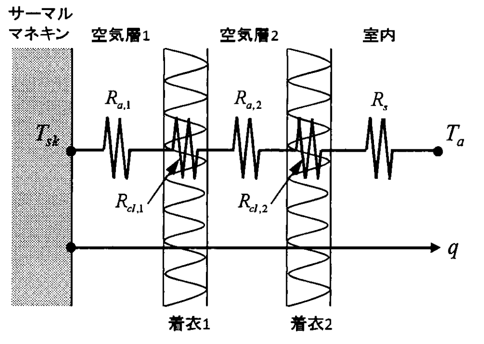

図 3. 着衣内および表面の熱抵抗模式図(着衣 2 枚)

表 2. 布の熱伝導率[W/(m²・K)] (松平, 1997)

布	熱伝導率
綿	0.048
毛	0.042
ポリエステル	0.035
ナイロン	0.045

NII-Electronic Library Service

表 3. 着衣の熱伝導抵抗

着衣	材料	厚さ[mm]	熱伝導抵抗[(m²・K)/W]
Tシャツ	綿	0.5	0.0104
ズボン	ポリエステル50% 毛50%	0.4	0.0105
パンツ	ポリエステル*	0.4	0.0114
カッターシャツ	ポリエステル65% 綿35%	0.25	0.0065

*構成が複雑であったため、最も構成割合の大きいポリエステルを代表とした。

表 4. 各着衣による被覆部位

部位	Tシャツ	ズボン	パンツ	カッターシャツ
L/R. foot				
L/R. foreleg		↕		
L/R. front thigh		↕		
L/R. Back thigh		↕		
Pelvis	↕	↕	↕	↕
Back side	↕	↕	↕	↕
Head				
Crown				
L/R. Hand				
L/R. Fore arm				↕
L/R. Upper arm	↕			↕
L/R. Side chest	↕			↕
L/R. Side back	↕			↕

3．結果および考察

3.1 風速

各風速条件におけるマネキン周囲風速を図 4 に示す。風速弱の場合、Back side では 0.14m/s、L/R Side back では 0.2m/s であるのに対し、Pelvis では 0.41m/s、L/R Side chest や L/R Upper arm では 0.4～0.5m/s となり、上半身前面において約 0.3m/s 風速が大きくなった。同様に、中の場合には約 0.3m/s、強の場合には約 0.5m/s、上半身前面の風速が大きくなった。実験室の特性上、斜め上前方からの吹き出しとなっていると考えられる。

3.2 着衣内空気層の熱抵抗

着衣条件 1～3 における着衣内空気層の部位別熱抵抗および clo 値を図 5～7 に示す。

T シャツ 1 枚のみ着用した条件 1 では、Pelvis での風速が弱 0.41m/s から中 0.53m/s となった際に、Pelvis の熱抵抗が約 0.03(m²・K)/W 減少し、強 0.87m/s の場合にも、風速が中の場合と同程度の熱抵抗となった。一方、他の部位での減少は 0.01(m²・K)/W 未満と小さかった。Pelvis は T シャツの裾にあたる部位であり大きな開口部を持つため、他の部位よりも風速の影響を大きく受けたと考えられる。clo 値は 0.12～0.14clo であり、風速による差は小さかった。

条件 2 は、T シャツの裾をズボンの中に入れることで、T シャツ裾の開口を塞いだ条件と言える。しかし、Pelvis での風速が中から強になると、Pelvis の熱抵抗は約 0.02(m²・K)/W 減少した。また、Backside での

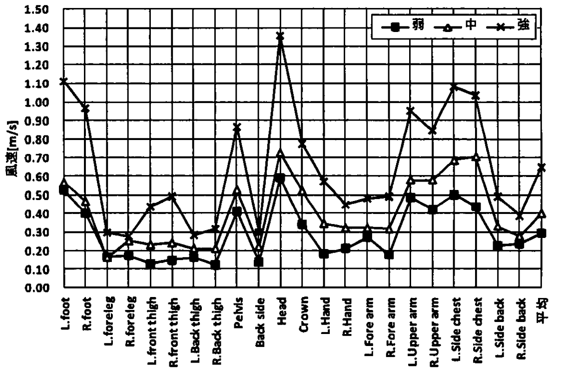

図 4. サーマルマネキン周囲風速（裸体時に測定）

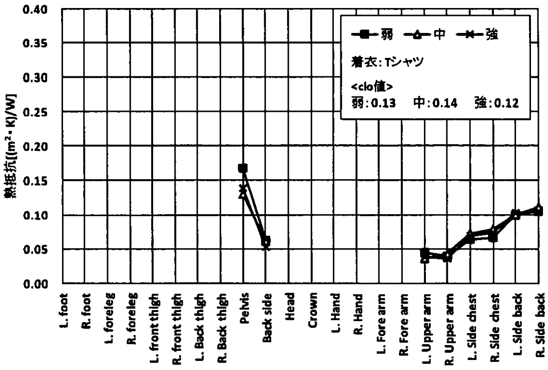

図 5. 着衣内空気層の熱抵抗（条件 1）

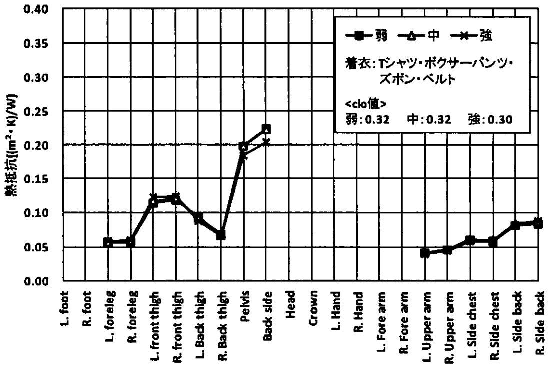

図 6. 着衣内空気層の熱抵抗（条件 2）

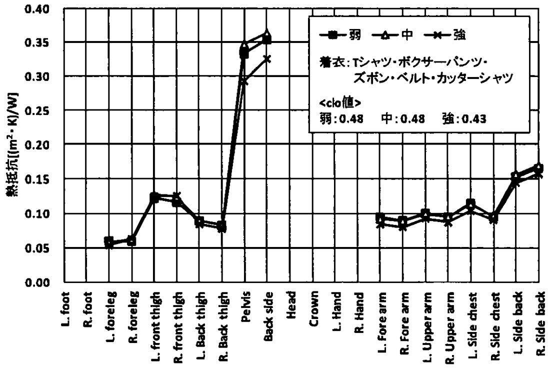

図 7. 着衣内空気層の熱抵抗（条件 3）

NII-Electronic Library Service

風速が中 0.22m/s から強 0.30m/s になると、Backside での熱抵抗は約 0.014(m²・K)/W 減少した。ズボンウエストの上向きの開口部の隙間から布面やズボンの裾への換気が生じている可能性がある。しかし、その他の部位では風速が強の場合であっても、熱抵抗の変化は 0.005 (m²・K)/W 程度と小さかった。clo 値は風速が強になると減少したが、その差は 0.02clo と小さく、風速による影響は小さいと言える。

条件 3 は、条件 2 にカッターシャツを重ね着した条件である。条件 3 においても、風速が中から強になると、Pelvis では約 0.04(m²・K)/W、Backside では約 0.03(m²・K)/W 熱抵抗が減少した。また、風速が強の場合には、0.01(m²・K)/W 程度ではあるが上半身全体で熱抵抗が減少した。条件 3 では、カッターシャツのボタンをすべて閉めることで首および袖を塞いでいるため、これらの開口部での換気の影響は小さいと考えられる。渡邊ら(2007)は、気流が強くなるにしたがって着衣内空気層が押し縮められ熱抵抗が小さくなることから、より多くの空気を捉える重ね着では、風速による着衣熱抵抗の低下幅が大きくなると指摘している。本研究においても、カッターシャツが気流により押し縮められるなど、重ね着により風速の影響を受けやすくなった可能性がある。一方で、カッターシャツの通気性が影響した可能性もあり検討が必要である。しかし、風速による clo 値の減少は 0.05clo 程度であり、全身に対する風速の影響は大きくない。

4. まとめ

本研究では、気流が着衣内空気層の部位別熱抵抗に与える影響を検討するため、サーマルマネキンを用いて、天井からの吹き出し風速を空調として想定される範囲で変化させ、3 種の着衣条件に対して実験を行った。その結果、気流により最も熱抵抗が減少した部位は、T シャツの裾やズボンウエストといった着衣開口部にあたる、下腹部および臀部であった。一方、部位によって風速は異なるものの、大半の部位では気流による影響は小さく、下腹部以上に風速の大きかった胸や上腕においても気流による影響は小さかった。

謝辞　本研究の一部は、日本学術振興会 科学研究費 挑戦的萌芽研究(課題番号 25630239, 研究代表者：高田暁)の助成を受けた。また、サーマルマネキンを関西電力株式会社研究開発室エネルギー利用技術研究所よりお借りした。記して謝意を表する。

5. 文献

岩崎房子，丸山康子，笠原さつき，田村照子，1987，サーマルマネキンによる被服の熱抵抗に関する研究(第 3 報)—被服下空気層と熱抵抗との関係—，文化女子大学紀要，18: 22/33.

Chen, Y. S., Fan, J. and Qian, X. 2004. Effect of garment fit on thermal insulation and evaporative resistance. Textile Research Journal. 74(8): 742/748.

渡邊慎一，堀越哲美，兼子朋也，宇野勇治，石井仁，冨田明美，2007，サーマルマネキンを用いた風速と風向が着衣熱抵抗に及ぼす影響に関する研究，日本建築学会環境系論文集，621: 23/28.

Das, A., Alagirusamy, R., Shabaridharan, K. and Kumar, P. 2012. Study on heat transmission through multilayer clothing assemblies under different convective mode. The Journal of The Textile Institute. 103(7): 777/786.

Oguro, M., Arens, E., de Dear, R., Zhang, H., Katayama, T. 2002. Convective heat transfer coefficients and clothing insulations for parts of the clothed human body under airflow conditions. 日本建築学会計画系論文集, 561: 21/29.

庄司祐子，竹森利和，中島健，1997，人体着衣熱モデルによる考察—衣服下空気層厚さの影響—，人間と生活環境，5(1): 35/41.

高田暁，鉾井修一，川上直紀，工藤正則，2001，着衣における熱・水分の移動と蓄積を考慮した人体の非定常温熱生理応答—被験者実験と Two-node model を用いた解析—，日本建築学会計画系論文集，549: 23/30.

Psikuta, A., Frackiewicz-Kaczmarek, J., Frydrych, I. and Rossi, R. 2012. Quantitative evaluation of air gap thickness and contact area between body and garment. Textile Research Journal. 82(14):1405/1413.

高田暁，2014，表面形状データに基づく着衣内空気層厚さの測定，人間と生活環境，21(1): 1/7.

松平光男，1997，布の見かけの熱伝導率に及ぼす吸湿の影響及び布内熱伝導モデル，金沢大学教育学部紀要自然科学編，46: 9/17.

<連絡先>
木村理沙
神戸市灘区六甲台町 1-1
神戸大学大学院工学研究科
141t020t@stu.kobe-u.ac.jp

NII-Electronic Library Service