

1. 緒言

衣服装着時の皮膚と衣服との隙間における環境は、人体からの発熱量、周囲温度や湿度、皮膚温度、発汗量、衣服の通気性や透湿性により影響される。しかしながら、衣服内の環境に対するこれらの要因の影響は十分に検討されていない。そこで本研究では、皮膚表面からの発汗を考慮した衣服との隙間部における熱および水蒸気移動を数値解析し、隙間部における温度および湿度に及ぼす各種要因の影響を検討する。

2. 解析モデル

Fig. 1 に解析対象を示す。厚み δ_{cloth} の綿製の布シートに皮膚が覆われているものとし、皮膚と布シートとの隙間高さを δ とする。隙間部および布シートにおける熱および水蒸気移動に関する基礎式は式(1)および(2)で表される。

$$\rho_j c_{p,j} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_j \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$\varepsilon_j \frac{\partial c_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D_j \frac{\partial c_w}{\partial y} \right) \quad (2)$$

ここで ρ は密度[kg/m³]、 c_p は比熱[J/kgK]、 λ は熱伝導率[W/mK]、 T は温度[K]、 ε は空隙率[-]、 c_w は水蒸気濃度[kg/m³]、 D は拡散係数[m²/s]であり、添え字 j は隙間部($j=1$)あるいは布シート($j=2$)を表す。境界条件として、皮膚温度 T_{skin} を一定とし、式(3)に示す皮膚表面での熱収支式より求めた皮膚表面における蒸発速度 \dot{m} [kg/m²s]を与えた

$$q_{heat} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} + \dot{m} L_{vapor} \quad (3)$$

ここで、 q_{heat} は人体からの単位面積あたりの発熱量[W/m²]、 L_{vapor} は水の蒸発潜熱[J/kg]である。さらに、シート上面における境界条件として、熱移動に関しては第3種境界条件を、水蒸気移動に関しては熱移動とのアナロジーから求めた物質伝達率および周囲空気中の水蒸気濃度を与えた。

解析条件として、布シート厚さ $\delta_{cloth} = 1$ mm、隙間高さ $\delta = 5$ mm、皮膚温度 $T_{skin} = 32^\circ\text{C}$ 、周囲空気温度 $T_{bulk} = 20^\circ\text{C}$ 、周囲空気湿度 $\phi_{bulk} = 60\%$ とし、人体からの発熱量 q_{heat} を50、100および200W/m²と変化させて解析を行った。

3. 結果と考察

Fig. 2 に $q_{heat} = 50, 100, 200\text{W/m}^2$ における蒸発速度の経時変化を示す。発熱量が高いほど蒸発速度が大きく、各発熱量ともに $t = 500\text{s}$ ほどで定常に達しているのがわかる。

Fig. 3 に $q_{heat} = 100\text{W/m}^2$ における湿度分布を示す。時間の経過とともに湿度が高くなり $t = 500\text{s}$ でほぼ定常に達している。また、 ϕ は1より大きくならなかった。

Fig. 4 に $q_{heat} = 200\text{W/m}^2$ における湿度分布を示す。Fig. 3と同様に時間の経過とともに湿度が高くなっている。さらに、 $t = 2.0\text{s}$ の時に $y = 5\text{mm}$ における ϕ が1を超えた。これより、 $q_{heat} = 200\text{W/m}^2$ の場合、蒸発速度が大きいため $t = 2.0\text{s}$ 以降において布シート内で結露することが予想される。

以上より、衣服内における温度、湿度に及ぼす発熱量の影響を明らかにしたが、今後、衣服内環境に及ぼす他の要因についても数値解析により検討していく。

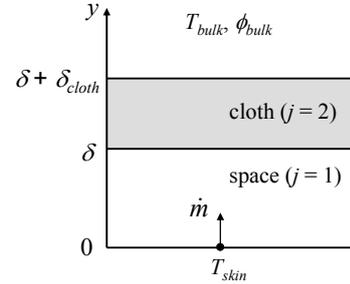


Fig. 1 Physical problem and computational domain

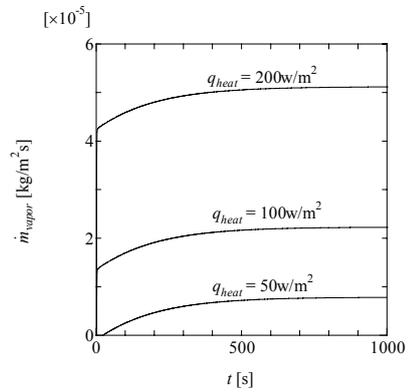


Fig. 2 Time variation of evaporation rate

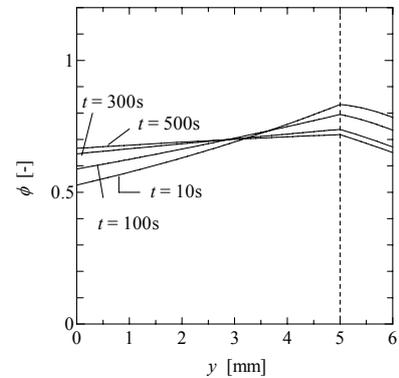


Fig. 3 Distribution of relative humidity ($q_{heat}=100\text{W/m}^2$)

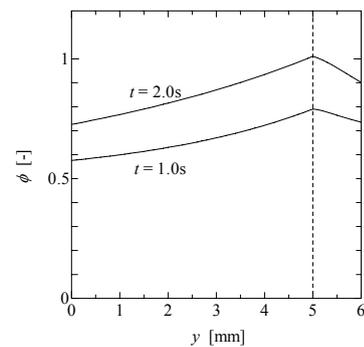


Fig. 4 Distribution of relative humidity ($q_{heat}=200\text{W/m}^2$)