

D213

衣服と皮膚の隙間内における熱および水蒸気移動に対する自然対流の影響

(高知工大) ○ (学) 石本将士・(正) 両角仁夫*・(ユニ・チャーム) 赤木健一・田辺直正

【はじめに】人が衣服を着用した際に皮膚と衣服との間に形成される隙間内の温熱環境は、隙間内における熱と水蒸気の移動に大きく左右される。本研究では、皮膚を模擬したスキン層と衣服の間の隙間部における熱および水蒸気移動に関する実験ならびに数値解析を行い、隙間部での自然対流発生の有無ならびにその影響について検討した。

【実験】 Fig. 1 に実験装置概略を示す。内寸 100mm×100mm×3.5mm の水層上面に設置した透湿フィルムをスキン層とし、スキン層と水面高さの等しい水容器から蒸留水を水層へ供給する。水槽下部にはゴムシートを介して加熱用の箔状ヒータを貼り付けている。スキン層上方にはスペーサを介して不織布（厚さ $\delta_c = 1.1\text{mm}$ ）を設置することにより、スキン層と不織布と間に任意の高さの隙間を形成する。実験はスキン層温度 T_{skin} [°C] またはヒータ出力 Q_h [W] を一定の条件で行い、水槽の重量変化からスキン層における蒸発速度を測定した。実験条件として、周囲温度 $T_a = 23^\circ\text{C}$ 、周囲湿度 $\phi_a = 55\%$ 、隙間高さ $\delta = 1 - 20\text{mm}$ とした。

【数値解析】 Fig. 2 に示す解析対象に対して、式(1)および(2)に示す基礎式を用いて熱および水蒸気移動の 1 次元解析を行った。

$$\rho_i c_{p,i} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{\text{eff},i} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$\varepsilon_i \frac{\partial c_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{\text{eff},i} \frac{\partial c_w}{\partial y} \right) \quad (2)$$

ここで ρ は密度 [kg/m^3]、 c_p は比熱 [J/kgK]、 λ_{eff} は有効熱伝導率 [W/mK]、 T は温度 [$^\circ\text{C}$]、 ε は空隙率 [-]、 c_w は水蒸気濃度 [kg/m^3]、 D_{eff} は有効拡散係数 [m^2/s] であり、添え字 i は材質を表す。解析は Fig. 2 に示す境界条件を用い、 T_{skin} 一定またはゴムシート下面での熱流束 q_h 一定の条件に対して行った。ここで $q_{\text{rad},i}$ はスキン層表面と布シート下面との間のふく射熱流束、 q_{lat} はスキン層表面における蒸発潜熱、 $q_{\text{rad},o}$ 、 q_{conv} および m_{conv} は布シート上面と周囲との間のふく射熱流束、対流熱流束および水蒸気移動流束であり、 $c_{w,\text{skin}}$ はスキン層温度における飽和蒸気圧より求めた。さらに、式(3)で与えられる Rayleigh 数から Nusselt 数を求め¹⁾、有効熱伝導率 λ_{eff} および有効拡散係数 D_{eff} を推算することにより、隙間部における自然対流の影響を考慮した。

$$Ra_s = \frac{\delta^3 g \beta \Delta T}{\nu^2} \cdot \frac{\nu}{a} \quad (3)$$

【結果と考察】 Fig. 3 にヒータ出力を $Q_h = 3\text{W}$ 一定と

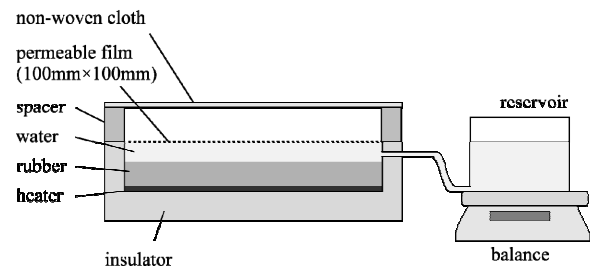


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

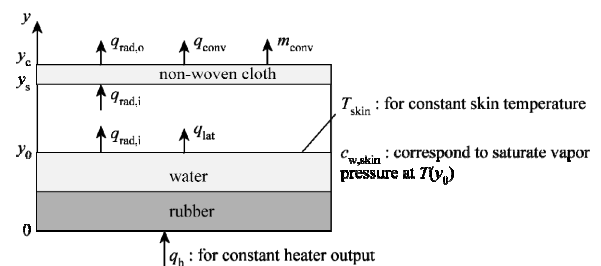
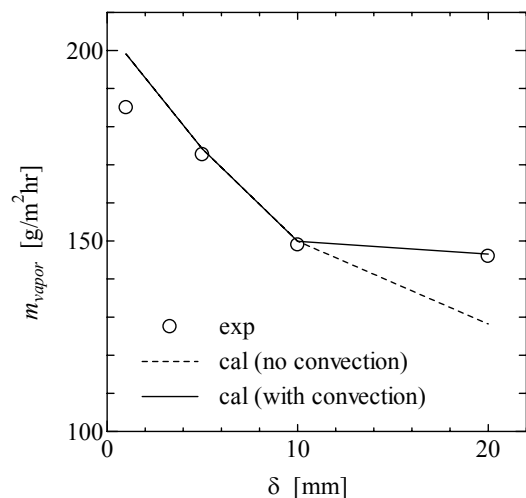


Fig. 2 Computational domain and boundary conditions

Fig. 3 Measured and calculated evaporation rate ($Q_h = 3\text{W}$)

した場合は各隙間高さにおける蒸発速度の実験値と解析結果を示す。実験および数値解析ともに、隙間高さの増加に伴い蒸発速度が低下している。また、解析結果において隙間部での自然対流を考慮した場合、隙間高さ 20mm においては蒸発速度が増加し、実験値と良好に一致する結果が得られた。これより、隙間高さが 20mm 以上の場合には隙間部において自然対流が発生し、熱および水蒸気移動に影響すると考えられる。

【参考文献】

- 1) 甲藤, 伝熱概論, p. 173, 養賢堂 (1984)

* E-mail: morozumi.yoshio@kochi-tech.ac.jp