

# 水分感覚に関する感性工学的研究

## 第1報 衣内微空間の数値解析モデルの検討

佐藤 豊、中島 利誠

Research of the Kansei Engineering regarding the moisture sense  
: Estimation using by numerical of the micro climate inside clothes next to skin

Yutaka Sato, Toshinari Nakajima

Clothing comfort is related to heat, moisture and air flow inside clothes. We estimated conditions inside clothes using by numerical model

物質文明の進歩・発展の結果、人間を中心とした科学技術に大きな関心が寄せられているが、刺激と感覚の生理反応に関する研究は充分には行われておらず、不快感の重要な因子である蒸れ感・濡れ感については明確な定義すらない現状である。人体と環境との間の熱および水分の移動は着衣を通して行われており、着衣に伴う温熱的快適感覚は環境に応じた衣服内微空間での熱および水分の移動に深く関わっている。本報では衣服内微空間の空気の流れ、および熱移動の数値計算用モデルについて検討した。

まず、衣服の開口部の影響について検討した。計算に用いたモデルは

- 1) 流体として、空気を用い、非圧縮性ニュートン流体とした。
- 2) 流体の出入りは開口部のみを通してだけとし、布地は流体を通さないものとした。
- 3) 解析モデルは対称性を有する3次元モデルとした。

上着の袖部および胴部の空気層を想定したものであり、胴の上部の開口部を仮定することにより、頸部の開口による衣服内微空間への熱移動の影響を検討できるようにした。また、衣服

内に流入する流体は袖部のみからとした。

図1にモデルの概略を示した。

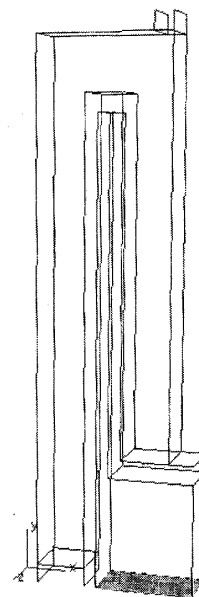


Fig. 1. Simulation structure diagram

数値解析にあたっては、流体質量の保存を表す質量の保存式、流体運動量の保存を表す運動量の保存式、流体と固体の関係を表すエネ

ルギーの保存式、乱流エネルギー・乱流消失率の移流拡散・生成消滅を示す式 (k-ε方程式)、拡散物質の保存を表す拡散方程式、状態方程式を用いた。

**質量の保存式**

非圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1a}$$

圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \rho u_i = 0 \tag{1b}$$

**運動量の保存式**

非圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho g_i \beta (T - T_0) \tag{2a}$$

圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho u_i}{\partial x_j} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \tag{2b}$$

**エネルギー保存式**

非圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial \rho C_p T}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho C_p T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} K \frac{\partial T}{\partial x_j} + \dot{q} \tag{3a}$$

圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho H}{\partial x_j} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u_j p}{\partial x_j} + \sigma_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} K \frac{\partial T}{\partial x_j} + \dot{q} \tag{3b}$$

**k - ε 方程式**

非圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_i}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_S + G_T - \rho \epsilon \tag{4a}$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_i}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_S + G_T) (1 + C_3 R_f) - C_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k} \tag{4b}$$

圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_i}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_S + G_T - \rho \epsilon \tag{4c}$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_i}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} (G_s + G_T) (1 + C_3 R_f) - C_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k} \quad (4b)$$

拡散方程式

非圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u_j C}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} D_m \frac{\partial C}{\partial x_j} + \dot{d} \quad (6a)$$

圧縮性流体の場合

$$\frac{\partial \rho C}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho C}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \rho D_m \frac{\partial C}{\partial x_j} + \rho \dot{d} \quad (6b)$$

状態方程式

非圧縮性流体の場合

$$\rho = \text{一定} \quad (7a)$$

圧縮性流体の場合

$$p = \rho RT \quad (7b)$$

解析計算は株式会社ソフトウェアクレイドルの熱流体解析ソフトSTREAM UNIX版およびWindows版を用いた。

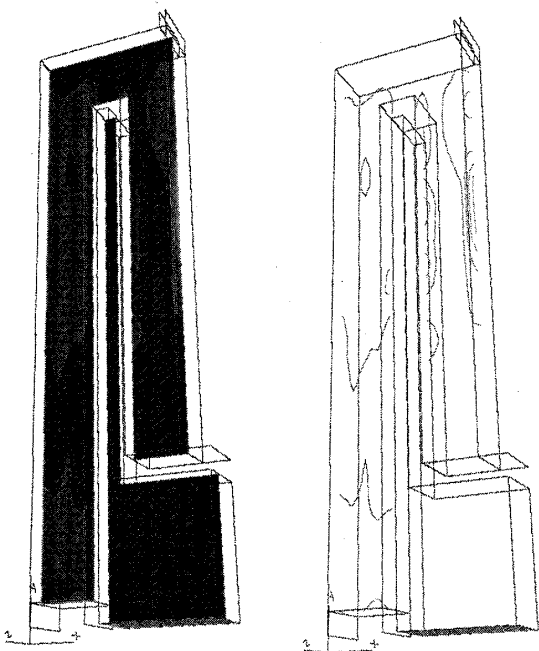


Fig. 2. Three dimension chats (a) Air speed distribution chart (b) Equal speed distribution chart of air

本報のモデルでは胴体下部でベルトを締め、腰部、脚部からの熱流体の移動が抑えられている状態を想定している。袖口からの空気の流入速度は10cm/secとした。図2に本報で用いた3次元モデルの計算結果を示した。(a)、(b)は同じ結果を表しているが、(a)は空気の3次元流速分布であり、(b)は(a)の等速度面の境界線を表している。本報では(b)の形式で結果を示す。図3に頸部開口部を1cmから5cmまで変化させた時の衣内微空間での流体速度の分布を示した。ただし、衣服内微空間から頸部への空気の流出は肩の前後を經由した空気が頸部へ抜けることを意味しており、開口部の1cmが実際の頸部の開口の大きさを表す訳ではないので、等価開口部と定義する。これにより、衣内での空気の流れが判る。図4は等価開口部1cmの場合のz方向断面での速度分布を示した。皮膚面近傍の速度は袖口からの等価長さが20cm付近でと頸部開口部からの等価長さが5cm付近で極大の速度分布を示している。袖口付近では流入した空気の乱流エネルギーが発生した直後であり、

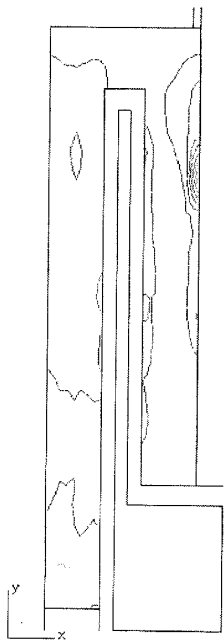


Fig.31

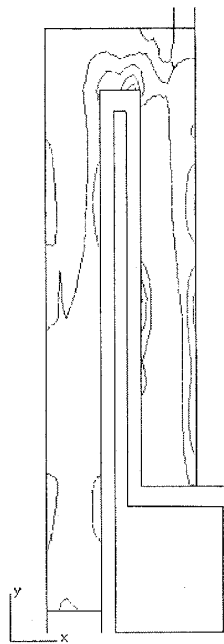


Fig.32

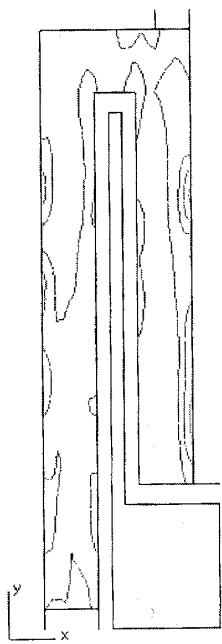


Fig.33

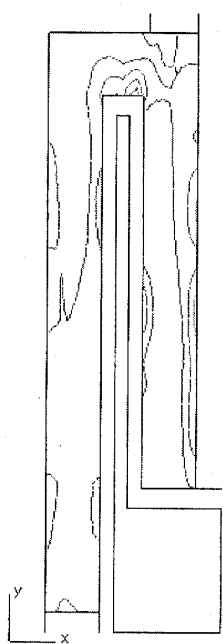


Fig.34

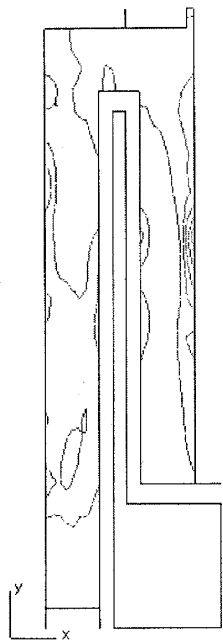


Fig.35

Fig. 3. Speed distribution that depends to on the open space change of the neck

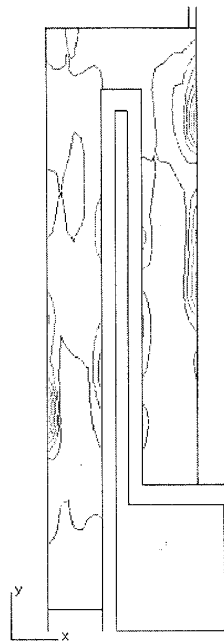


Fig.41

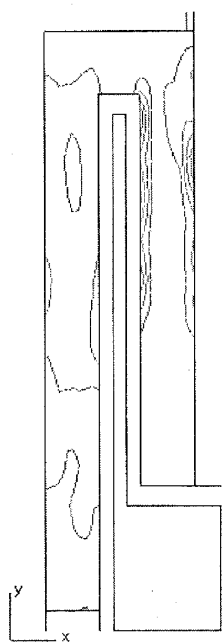


Fig.42

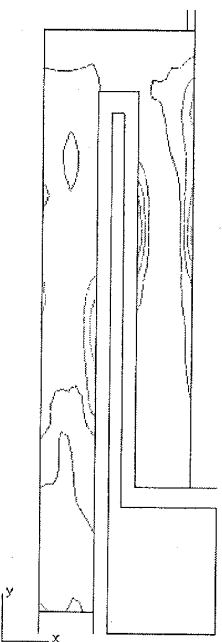


Fig.43

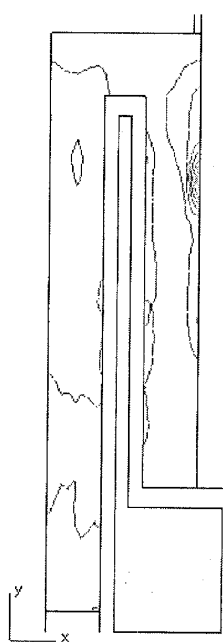


Fig.44

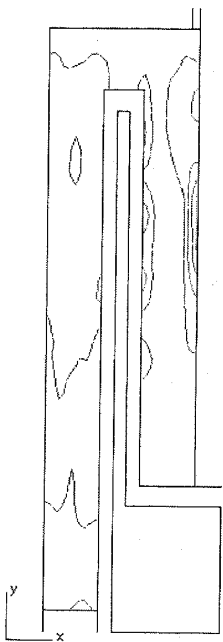


Fig.45

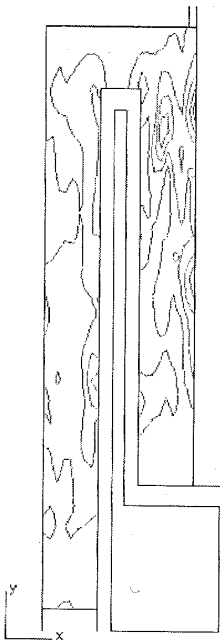


Fig.46

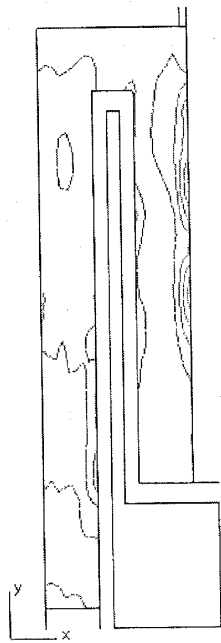


Fig.47

Fig. 4. Z direction speed distribution by the time change of the equivalence of open space of 1 cm

頸部開口部付近の場合は胴部と腕部からの空気流れの合流点に相当している。図5にはx、y、z方向の速度分布が示してある。z方向成分が乱流発生の原因であり、図6の乱流エネルギーの分布と対応している。図7は乱流消失率を示したものである。図6での乱流エネルギーの大きな地点で乱流消失率も大きくなっている。

本報では流入空気の流れと等価開口部の関係を明らかにしたが、今後は、湿度成分も加味して、衣服内微気候について感性工学の観点から総合的に検討する。

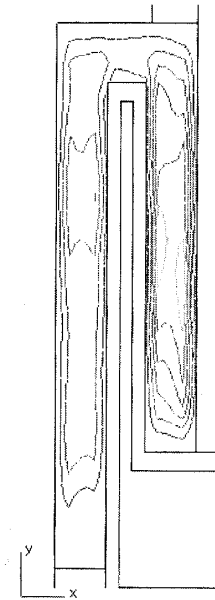


Fig. 6. turbulence energy distribution

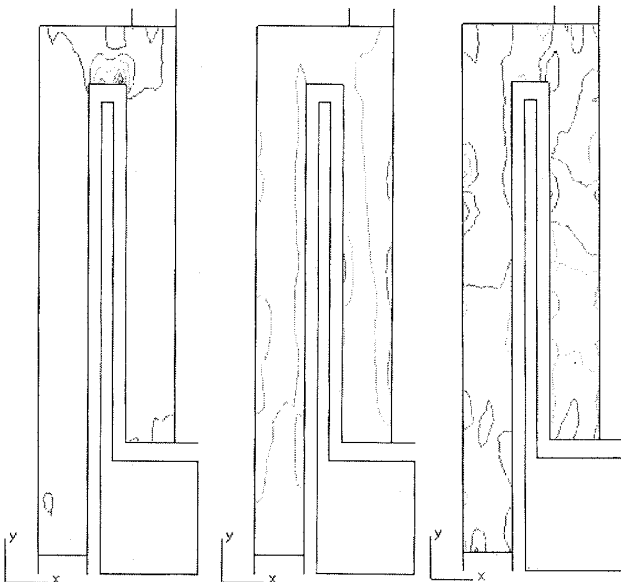


Fig.51

Fig.52

Fig.53

Fig. 5. x, y, z direction speed distribution (a) x direction (b) y direction (c) z direction

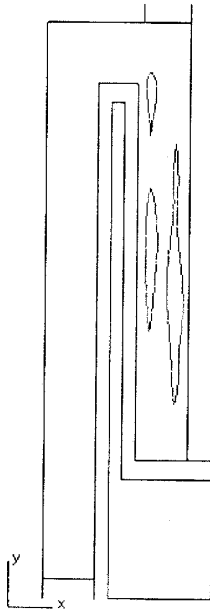


Fig. 7. turbulence disapparrance distribution