粒体噴流化式身体洗浄・入浴介護装置の開発

- 洗浄槽内流体シミュレーション解析 -

平成 13 年 2 月 28 日

知能機械システム工学科 学籍番号1010219

水口 拓也

指導教授 横川 明

	目	次	
			頁
1.緒言			1 頁
2.装置の概要			2 頁
3.解析及び計算 3.1 解析の 3.2 数値計 3.3 解析类)順序 ├算 5晋		2頁
4.解析結果及び	、 <u>一</u> 《考察		3頁
5.結言			4頁
謝辞			

参考文献

1. 緒言

今日における社会問題になっている高齢者の介護。年々高齢化が進むにつれ、介護者の 人手が不足し、介護労力は大きなものとなっている。中でも入浴介護は大きな労力を必要 としている。

この装置は、下から送られた空気によって浴槽底部にある粒体を吹き上げ、粒体と皮膚と の摩擦により身体を洗浄するもので、これにより従来の入浴介護の労力を削減させる事が 可能で、企業との共同で装置の開発を行なっている。

これまでに、著者らは、洗浄に使用する粒体の選定や感応評価実験、洗浄評価実験などを 様々な実験を行なってきた。そして現在、老人ホームにてモニターを実施する為の試作機 を製作している。

それに伴い、著者は、現在製作中である洗浄装置の洗浄槽内における空気の流れの様子 を見る事、及びこの装置に使用する送風機の選定を行う為、3次元流体解析ソフトを用いた シミュレーション解析を行なった。

記号

U _i :時間的に変動する速度	(m/s)
Uj:時間的に変動する速度	(m/s)
 U, :時間平均の速度	(m/s)
U, :時間平均の速度	(m/s)
ui:変動分の速度	(m/s)
uj:変動分の速度	(m/s)
xi:位置座標	(m)
xj:位置座標	(m)
:空気の密度	(kg/m ³)
μ:空気の粘性係数	(kg/m • s)
P: 圧力	(N/m²)
:動粘性係数	(m²/s)
k:乱れエネルギー	(m^2/s^2)
_k :係数 (= 1.0)	
:散逸率	(m^2/s^3)
:係数 (=1.3)	
μι:乱流粘性係数	
C _µ :係数 (=0.09)	
C ₁ :係数 (=1.44)	
C ₂ :係数 (=1.92)	

C₁、C₂、C_µ、 _k の係数については、格子乱流やチャンネル乱流などの基礎実験デ ータをもとに推奨されている値を用いた。

2. 装置の概要

装置の概略図を図1に示す。この装置の空気の流れは、流入口から入り、バッファタン クから洗浄槽内に吹き上がった後、左右の排気ダクトを通って流出口から排出される。洗 浄される側の人は、車椅子に座ったまま装置後部から入るようにする。

3. 解析及び計算

3.1 解析の順序

解析を行なうには、初めに、洗浄装置外観部を除いた部分(x=1.937m,y=0.9m,z=1256m) のモデルを作成(図2参照)し、メッシュ(計算格子)を作成(図3 参照)する。そして、 解析条件を以下の様に設定した。

- ・非定常解析:時間間隔 0.5 秒で 15 秒間
- ·流入条件:流速規定(20.37m/s=必要流量60m3/min/流入口面積)
- 流出条件:自然流出

また、送風機選定の際、流入口と流出口の圧力損失を求める必要があるため、流入口と 流出口の中心の圧力を時系列ファイルに出力するよう設定した。

その後計算を行ない、ポスト処理で解析結果を確認するという順に進めた。

3.2 数値計算

流体の運動の基礎式である、連続の式、ナビエ・ストークス方程式は

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

$$\frac{\partial U_{i}}{\partial t} + U_{j} \frac{\partial U_{i}}{\partial x_{i}} = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial x_{i}} + \frac{m}{r} \frac{\partial^{2} U_{i}}{\partial x_{i} \partial x_{i}}$$
(2)

と表される。乱流解析を行なう為、これらの時間平均を考える。速度の時間平均は以下の 様にする。また、圧力についても同様にする。

$$\overline{U_{i}} = \frac{1}{t_{1} - t_{0}} \int_{t_{2}}^{t_{1}} U_{i}(t) dt$$
 (3)

$$U_i \equiv U_i + u_i \tag{4}$$

よって、(1)式と(2)式に(4)式を代入する。

$$\frac{\partial U_{i}}{\partial x_{i}} = 0 \qquad (5)$$

$$\frac{\partial \overline{U}_{i}}{\partial t} + \overline{U_{j}} \frac{\partial \overline{U}_{i}}{\partial x_{i}} = -\frac{1}{r} \frac{\partial \overline{P}}{\partial x_{i}} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x_{i}} \left(m \frac{\partial \overline{U}_{i}}{\partial x_{i}} - r \overline{u_{i}} u_{j} \right) \qquad (6)$$

ここで、ナビエ・ストークス方程式に未知数の項-r_{u,u}が生じる。これをレイノルズ応

力という。方程式を閉じる為、

$$- \mathbf{r}_{u_{j}u_{j}} = \mathbf{n}_{i} \left(\frac{\partial U_{i}}{\partial x_{j}} + \frac{\partial U_{j}}{\partial x_{i}} \right) - \frac{2}{3} \mathbf{r}_{k} \mathbf{d}_{j}$$
(7)

と仮定する。 _{ij}はクロネッカーの である。

μtは乱流粘性係数といい、乱流運動の特性長さと特性速度によって決まる値で、k-モデルを使用し求める。乱流粘性係数は

$$\boldsymbol{m}_{t} = \frac{C_{m} \boldsymbol{r} \boldsymbol{k}^{2}}{\boldsymbol{e}} \tag{8}$$

で与えられる。乱れエネルギーkは、

$$k = \frac{1}{2} \left(\overline{u_1^2} + \overline{u_2^2} + \overline{u_3^2} \right)$$
 (9)

と定義され、輸送方程式は、

$$\mathbf{r}U_{i}\frac{\partial k}{\partial x_{i}} = \frac{\partial}{\partial x_{i}}\left(\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}_{k}}\frac{\partial k}{\partial x_{i}}\right) - \mathbf{r}\overline{u_{i}u_{j}}\frac{\partial U_{i}}{\partial x_{j}} - \mathbf{r}\mathbf{e} \qquad (10)$$

となる。これは一部の項を簡略化したものの最終形で、散逸率の輸送方程式についても、 kと同様にして得る。の定義は、

$$\boldsymbol{e} = \boldsymbol{n} \frac{\overline{\partial u_i}}{\partial x_1} \frac{\overline{\partial u_i}}{\partial x_2} \tag{11}$$

で与えられる。輸送方程式の最終形は、

$$\mathbf{r}U_{i}\frac{\partial \mathbf{e}}{\partial \mathbf{x}_{i}} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}_{i}}\left(\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}_{e}}\frac{\partial \mathbf{e}}{\partial \mathbf{x}_{i}}\right) - C_{1}\mathbf{r}\frac{\mathbf{e}}{k}\overline{u_{i}u_{j}}\frac{\partial U_{i}}{\partial \mathbf{x}_{j}} - C_{2}\mathbf{r}\frac{\mathbf{e}^{2}}{k} \qquad (12)$$

となる。

解析には、(5)(6)(10)(12)の4式を連立させ、有限体積法を用いて離散化 して、数値計算より解いた。

3.3 解析装置

本解析には、ソフトウェア クレイドル社の 3 次元熱流体解析ソフト STREAM を使用した。また計算は、Pentium 550MHz、主記憶 512MB で OS が WindowsNT4.0 のマシンで行なった。尚、計算に要した時間は、約 126 時間であった。

4.解析結果及び考察

図4にx=1.595m 断面の速度ベクトル図を示す。この断面は排気ダクトの開口部の半分 の長さの位置にあたるものである。吹き始めの流れは左側に偏っていたのが、時間が経過 するにつれ、右側に傾いていく様子が見られる。そして、6.0 秒後、10.5 秒後、14.5 秒後 あたりから、左側へ流れが傾いている様子が見られる。これは、浴槽内部に発生した渦が 不安定な為、その大きさの変化により流れが変わるものと考えられる。

また、図5に時間毎の流入口と流出口の圧力損失のグラフを示す。縦軸に圧力、横軸に 時間を示す。グラフより、3秒以降の圧力損失は、1.21~1.24kPa あたりで安定していると 考えられる。よって、流入口と流出口の圧力損失は約1.2kPa であるといえる。

5.結論

解析結果から、洗浄槽内の空気の流れは、左右にスイングしているといえる。スイング することについては、洗浄効果の点で良いということは確認されている為、特に問題はな いとするが、スイングすることについてのはっきりとした原因は解っていないので、今後 の課題とし、検討していく。

この装置に使用する送風機については、流量 60m³/min、圧力 6.4kPa のものを使用する。

謝辞

この研究を進めるにあたり、高知工科大学 知能機械システム工学科教授 横川明氏に 終始ご指導、ご協力いただいた。また、兼松エンジニアリング㈱の方々には、洗浄装置の 提供、研究のご指導、ご協力いただきいた。ソフトウェア クレイドル社の方々には、流 体解析ソフトを使用するにあたり、ご助言を頂いた。同研究室 園山司君、中西良太君に は、研究に協力を得た。光森琢磨君、山崎敬一君、高知県工業技術センタ - の本川高男氏 には、基本実験で噴流のスイングによる洗浄効果を確認して頂いた。本大学 2 回生 坂本 顕史君には、解析を行うにあたりご助力頂いた。本研究の終わりにのぞみ上記の諸氏に心 から感謝の意を表する。

参考文献

荒川忠一,数值流体力学,東京大学出版会,(1997),95-100



- 5 -



図 2 洗浄槽モデル



図 3 洗浄槽モデル(メッシュ作成) (要素数 2328000)



図4-1 速度ベクトル図 (0.5 秒後)



図4-2 速度ベクトル図 (1.0 秒後)



図4-3 速度ペクトル図 (1.5 秒後)



図4-4 速度ペクトル図 (2.0 秒後)



図4-5 速度ペクトル図 (2.5 秒後)



図4-6 速度ペクトル図 (3.0 秒後)



図4-7 速度ベクトル図 (3.5 秒後)



図4-8 速度ベクトル図 (4.0 秒後)



図4-9 速度ベクトル図 (4.5 秒後)







図4-12 速度ベクトル図 (6.0秒後)



図4-13 速度ベクトル図 (6.5 秒後)



図4-14 速度ベクトル図 (7.0秒後)



図4-15 速度ベクトル図 (7.5秒後)



図4-16 速度ベクトル図 (8.0 秒後)



図4-17 速度ベクトル図 (8.5 秒後)





図4-19 速度ベクトル図 (9.5 秒後)



図4-20 速度ベクトル図 (10.0 秒後)



図4-21 速度ベクトル図 (10.5 秒後)



図4-22 速度ベクトル図 (11.0 秒後)



図4-23 速度ベクトル図 (11.5 秒後)



図4-24 速度ベクトル図 (12.0 秒後)



図4-25 速度ベクトル図 (12.5秒後)



図4-26 速度ベクトル図 (13.0 秒後)



図4-27 速度ベクトル図 (13.5 秒後)



図4-28 速度ベクトル図 (14.0秒後)



図4-29 速度ベクトル図 (14.5 秒後)



図4-30 速度ベクトル図 (15.0秒後)

時間の経過による圧力損失の変化



図5 流入口と流出口の圧力損失