

車椅子周りの流れの可視化に関する検討*

細川 力 ・ 白岩 寛之 ・ 坂本 勇¹

機械系工学専攻,¹大阪産業大学名誉教授

Study on Flow Visualization around Wheelchair

Tsutomu HOSOKAWA, Hiroyuki SHIRAIWA and Isamu SAKAMOTO¹

Department of Mechanical and System Engineering and

¹Emeritus Professor of Osaka Sangyo University

Abstract

Concerning with the environment and welfare, various approaches in many fields are performed. This report is an analysis of information obtained from a questionnaire survey to user or non-user of a wheelchair. In addition, the experiment on flow visualization around a wheelchair is carried out. As a result, by the investigation of welfare consciousness, it was found that the handicapped people were not enough satisfied when they used the wheelchair. Moreover, basic data for the improvements about the problems were obtained by the visualization experiment.

Key Words: Experiment, Welfare, Consciousness investigation, Wheelchair, Flow visualization

1. はじめに

近年、環境、福祉への関心は高まり、多方面からの種々の取り組みが行われている。とりわけ、高齢者や障害者に対する福祉機器の開発、改良は、介助を行う人々の負担を軽減するだけでなく、高齢者や障害者自身の日常生活、社会生活をより快適にするために必要なことである。福祉機器には、多種多様な製品があり、技術開発、改良が行われている。本研究では、福祉機器の一つであり、高齢者や障害者の移動手段として、一般によく使用される車椅子を対象とする。車椅子は、運動機能面からの技術改良が行われ、運転、操作の容易な車、床面の凸凹に対応する車、あるいは、回転半径を小さくした車、あるいは、運搬可能な折りたたみ式の車などに関心が払われている。しかし、それらの機能面からの評価だけでなく、車椅子を利用する人にとっての感性面からの評価あるいは、改良なども望まれる[1,2,3].

本研究では、まず、各年齢層、車椅子利用者・非利用者に分けた、福祉に関する意識調査を行っている。そして、その調査結果を参考にして、車椅子を対象に、その周りの流体流れについて可視化により検討する。大気中において、実際の車椅子を用いての三次元的な実験を行うことは、その流れが極めて複雑であること、あるいは、実験装置の規模の点からも容易に行うことは困難である。そこで、本実験では、水模型実験装置により、二次元的に車椅子形板周りの流れの可視化を行う。そして、車椅子上の人体表面の流れ解析を行い、さらに、車椅子の背もたれ部の傾斜角が車椅子周りの流れに及ぼす影響について検討する。

2. 福祉に関する意識調査

各年齢層、車椅子利用者・非利用者に分けた、福祉全般に関する現状の認識度について意識調査を行った。アンケートの内容を Table 1 に示す。アンケートの内容は大別して 2 種類 7

Table 1 Contents of questionnaire

Class	Article	Contents
I	(1)	Age division ----- 18~30, 31~64 and 65 years old or more
	(2)	Wheelchair ----- Use or non-use of wheelchair
II	(3)	Law ----- Knowledge, necessity, and effectiveness of law
	(4)	Life ----- Satisfaction by current state, material elbowroom, and self-actualization
	(5)	Apparatus (Wheelchair) ----- Knowledge, necessity, and functionality of wheelchair
	(6)	Facilities (Nursing facilities and hospital, etc.) ----- Knowledge, equipment, and talent in facilities
	(7)	Environment (Outdoor) ----- Difference, traffic, and weather (rain, snow, and wind, etc.)

* ヒューマンサポートサイエンス学会 2002 年度学術講演会および
(社)日本設計工学会・ヒューマンサポートサイエンス学会 2002 年度研究発表会において発表

Table 2 Results of the questionnaire

Age division	18~30	31~64	65~	18~30	31~64	65~
Wheelchair	Use			Non-use		
Number of sample	7	12	33	55	36	23
Law	9.86	10.00	8.55	9.65	11.67	8.83
Life	9.71	9.58	9.85	10.67	10.17	9.65
Apparatus	10.00	11.17	9.61	10.89	11.83	10.91
Facilities	8.57	8.75	8.85	9.20	9.19	9.30
Environment	5.43	6.50	8.30	10.49	9.53	10.52
Average	8.71	9.20	9.03	10.18	10.48	9.84

項目ある。第Ⅰ類は「カテゴリ分類」、第Ⅱ類は「福祉に関する認識度」である。

第Ⅰ類では、アンケートの回答者の年齢層、車椅子の利用・非利用によって6つのカテゴリに分類される。

第Ⅱ類では、各項目につき3つの質問が設けてあり、その設問には5つの選択肢があつて、回答者に最適な選択肢を選択してもらう。各選択肢には、1点から5点まで配点してあり、3つの質問の合計点を各項目の得点（15点満点）とする。この点数が高いほど、各項目における満足度が高いことを表している。

Table 2に、各カテゴリにおける各調査数の得点の平均点を、調査項目ごとに示す。Table 2より、概略的に、車椅子利用者の得点は非利用者の得点を下回っていることから、車椅子利用者の福祉に対する満足度は低いことを示している。

また、低年齢層ほど車椅子利用者と非利用者ととの得点差が広がる傾向にある。これは、車椅子非利用者と体力的に大きな違いがない車椅子利用者が、身体的な問題で車椅子を利用することにより移動に制約を受けることから、環境にうまく対応できずにいるのではないかと考えられる。

特に、環境の項目に関しては、全年齢層において、車椅子利用者と非利用者の間に大きな得点差があり、車椅子利用者の得点が非常に低く、満足していないことがわかる。環境の項目には天候に関して「雨、雪、風等により、行動に影響を与えるか、どうか」という質問を含んでおり、その回答を見ると、車椅子利用者の約6割が影響を受けると答えている。この点から、車椅子利用者の天候に対する満足度の向上を図ることは重要な課題であると考えられる。そこで、3、4章においては、車椅子周りの流体流れの可視化を行うことにより、車椅子利用者の天候に対する満足度の向上のための基礎的データを得ることを目的とする。

3. 車椅子周りの流れの可視化

3.1 実験装置および実験方法

実験装置の構成をFig.1に示す。Fig.1において、給水ホース①から上流側オーバーフロータンク②に水を満たし、ビニルホースより上流側

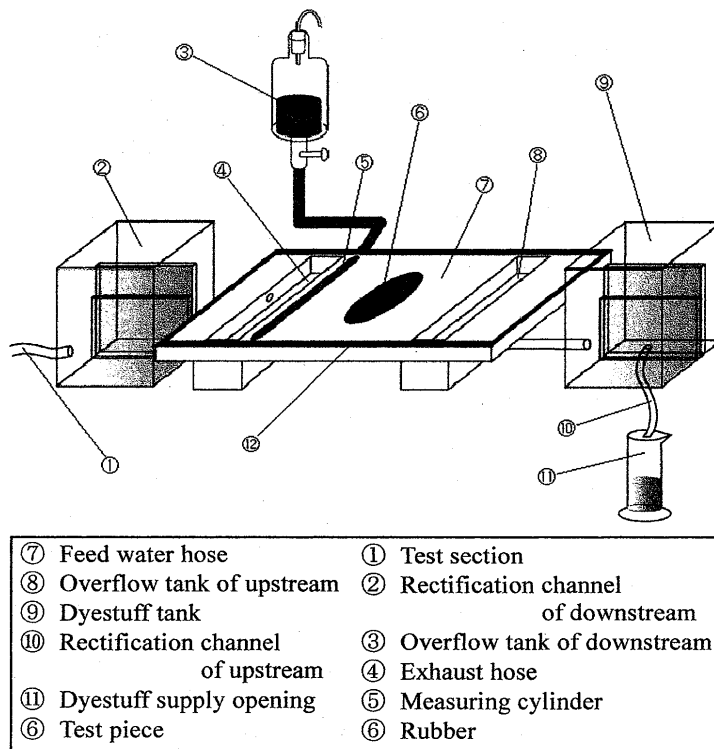


Fig.1 Experimental apparatus

整流溝④に水を導き満たす。上流側整流溝をあふれた水がテストセクション ($W \times D \times H = 540 \times 320 \times 1$ mm) ⑦, 下流側整流溝⑧, 下流側オーバーフロータンク⑨を満たすようにする。そして, 厚さ 1 mm の天然ゴム製の試験片⑩を, テストセクション⑦におき, 装置本体の上に空気が入らないようにガラス板を慎重にのせ, クランプ (10 個) で固定する。そして, 染料③を流出させる。下流側オーバーフロータンク⑨から排水ホース⑩を経て排出される水をメスシリンダ⑪に受け, 100 ml 排水されるのに要する時間を測定し, 単位時間あたりの流量 Q を求める。また, 安定した流れが得られた後, 可視化された流れの様子を撮影する。なお, 円柱断面 (直径 80 mm) を模擬した試験片を用い, その周りの流れの可視化を行った結果は, 円柱周りを流れる理想流体の速度分布を示す既存の計算値とよく一致した[4,5]。

3.2 速度ベクトルの求め方

試験片周りの流れを解析するために, 速度ベクトルを求める。Fig.2 に流線の模式図を示す。Fig.2 に示すように, 各試験片に対して原点 0 を決め, x 軸, y 軸を決定する。そして, 第 1 象限から θ の角度に原点から放射状の直線を引く。本実験では θ を 22.5° ごとに直線を引く。この直線と試験片に最も近い流線との交点を始点とする。次に, その始点における流線の接線 (速度ベクトルの方向) を引き, 始点より接線に対する垂線を引く。その垂線と始点から m 本目の流線との交点を終点とする。そして, このようにして決定した始点と終点の座標を求め, 始終点間の距離 l を測定する。その他の流線に対しても同様の作業を行うことにより l を測定する。

次に, 速度ベクトルの大きさ V の求め方について考える。本実験装置のテストセクションは 63 本の流線によって $N=64$ の領域に分けられている。よって, m 個の領域を流れる流量 q は次式となる。

$$q = m \times \frac{Q}{64} \quad \dots\dots(1)$$

このようにして求めた q と l より, 流線間の m 個の領域における平均流速 (速度ベクトルの大きさ) V は連続の式より次式となる。

$$V = \frac{q}{l \times H} \quad \dots\dots(2)$$

さらに, 速度ベクトルの x , y 方向の各成分 u , v を求める。

なお, 可視化した流れは定常的なポテンシャル流れであり, 流線は等ポテンシャル線と直交する。したが

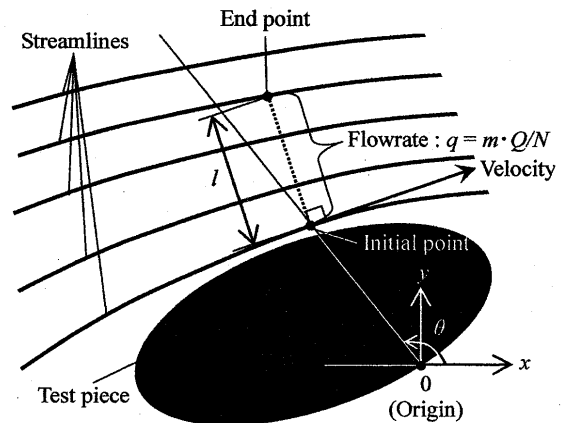


Fig.2 Scheme of streamline

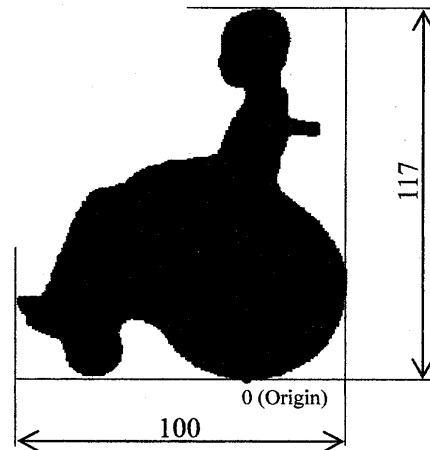


Fig.3 Shape of test piece (Wheelchair)

Table 3 Experimental conditions (Wheelchair)

No.	Flow rate Q [mm^3/s]	Re
1	1664	10.3
2	2464	15.3



Fig.4 Streamline around wheelchair (No.2)

って、Fig.2において終点を新たな始点とし、同様の作業を繰り返すことにより得られた垂線を連ねることにより、等ポテンシャル線が得られる。ただし、試験片に最も近い流れを起点として求めた等ポテンシャル線を各 θ での等ポテンシャル線とする。

3.3 人体を模擬した車椅子周りの流れ

3.3.1 試験片の形状および実験条件

Fig.3に、車椅子周りの流れの可視化を行う際に用いた試験片の形状を示す。車椅子利用者の人体周りの流れの解析を行うため、車椅子上に人体の形状を併せて模擬している。なお、本可視化実験では、Fig.2において、車椅子の後輪の接地点を原点0と決め、式(1)の $m=3$ として速度ベクトルを求めている。また、Table 3に実験条件を示す。Table 3中の Re はテストセクション内の流体のレイノルズ数（代表長さを試験片長さ117 mmとする）である。

3.3.2 実験結果および考察

Fig.4に、実験結果の一例として、Table 3のNo.2の実験条件で得られた流れを示す。Fig.4より、流れは試験片の形状に沿った流れを表しており、流れの間隔は車椅子前部の膝、および頭部で密に、試験片の背後で疎になっていることがわかる。また、背後では流れが拡散している。なお、Table 3のNo.1の実験条件においても同様の傾向が得られた。

Fig.5に、No.2の実験条件で得られた、等ポテンシャル線上の速度ベクトルを示す。Fig.5より、頭頂部近傍で速度が極端に大きくなっていることがわかる。また、膝付近で垂直方向の大きな速度分布が見られる。これらの速度ベクトルの傾向は、No.1の実験条件においても見られた。

次に、Fig.6(a)に、No.2の実験条件で得られた、試験片表面からの距離 L と等ポテンシャル線上の平均流速 V （速度ベクトルの大きさ）の関係を示す。Fig.6(a)より、 90° の頭頂部付近（ $L=0$ mm）において、 V は著しく大きな値を示し、その極大値はテストセクション全体の平均流速の約10倍の値を示している。また、いずれの角度においても、 $L=100$ mmを超えると、全体の平均流速に漸近する。さらに、Fig.6(b)に、速度ベクトルの x 軸方向の速度成分 u の分布を示す。Fig.6(b)より、 90° における u は著しく大きな値を示している。また、Fig.6(a)と(b)を比較すると、 135° の試験片近傍（膝付近）に関して、 $L=10$ mmにおいて、 y 軸方向の速度成分には最大値が見られる。

さらに、実験条件No.1とNo.2の比較において、原点付近の u の分布に違いが見られた。そこで、Fig.7に、原点付近の u の速度勾配 du/dL とレイノルズ数 Re の関

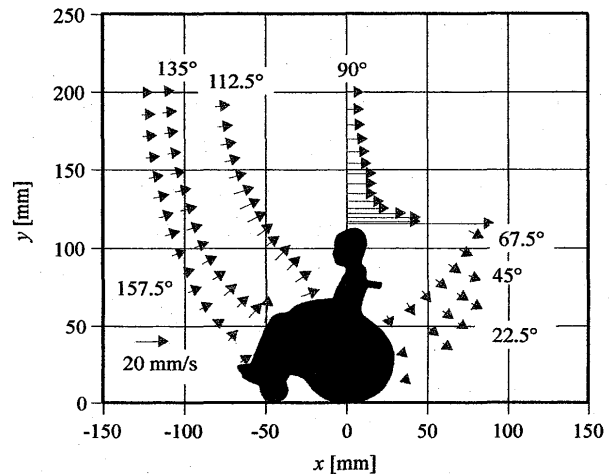


Fig.5 Velocity on equipotential lines (No.2)

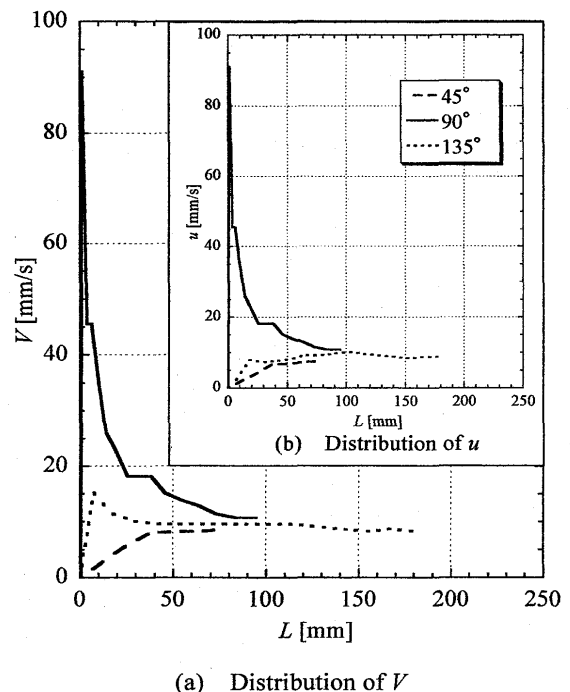


Fig.6 Velocity on equipotential line (No.2)

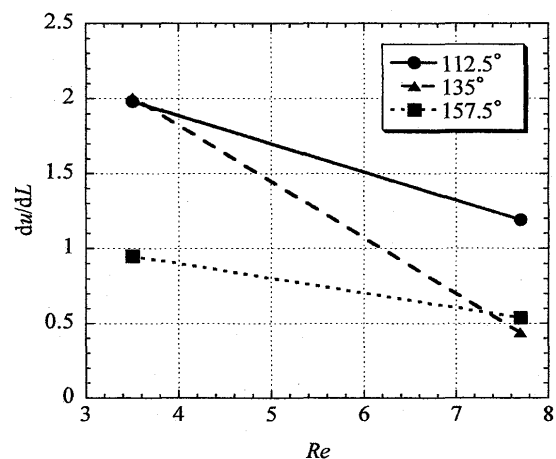


Fig.7 Relation between Re and du/dL

係を示す。Fig.7より、試験片近傍では、 Re が大きくなると du/dL は小さくなることがわかる。特に、膝付近の 135° においては、 Re が大きくなると du/dL は急減している。

3.4 車椅子の背もたれ角度の影響

3.4.1 試験片の形状および実験条件

Fig.8に、背もたれ角度の車椅子周りの流れに及ぼす影響を検討する際に用いた試験片の形状を示す。車いすをヒンジ形の矩形形状に近似し、背もたれ角度を(a) 45° 、(b) 90° 、(c) 135° とした。なお、本可視化実験では、Fig.2において、試験片の節を原点0と決め、式(1)の $m=2$ として速度ベクトルを求めている。また、Table 4に実験条件を示す。各背もたれ角度に対して、3種類(低、中、高)の流量で実験を行う。

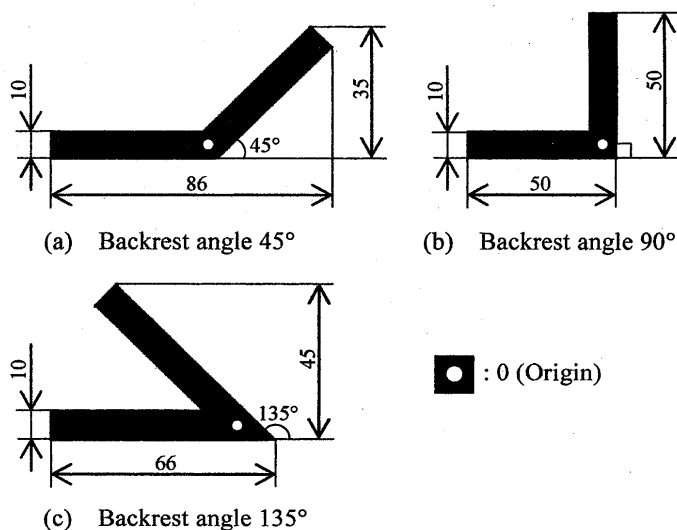


Fig.8 Shape of test piece (Backrest)

Table 4 Experimental conditions (Backrest)

Backrest angle		Low	Medium	High
45°	Q [mm^3/s]	3150	3930	5210
	Re	15.8	19.8	26.2
90°	Q [mm^3/s]	3130	3940	5290
	Re	15.7	19.8	26.6
135°	Q [mm^3/s]	3130	3910	5240
	Re	15.7	19.7	26.3

3.4.2 実験結果および考察

本実験において、流量 Q の変化に対して実験結果(流線の形状、速度ベクトルの方向)に変化は見られなかった。そのため、以下、Table 4の低(Low)の流量における実験結果を中心として考察を行う。

(1) 背位点

Fig.9に、それぞれの背もたれ角度における流線を示す。Fig.9より、試験片より下部に流れる流線と、上部に流れる流線が試験片通過後合流している。この合流地点は人体の背中に相当する。このため、本論文では、この合流地点を「背位点」と呼ぶ。背位点の求め方は、Fig.9(b)に示すように、試験片の上下それぞれ最も近い流線が、試験片通過後、平行になった地点からそれらの流線の接線を引く。その平行する接線の間線と試験片との交点が背位点となる。

Fig.10に、原点から背位点までの距離と背もたれ角度の関係を示す。Fig.10により、背もたれ角度が大きくなるにしたがって、背位点は原点(車椅子の後輪に相当)に近づくことがわかる。このことから、背位点の位置によって、頭部および脚部への流れの影響の大きさが予測できる。また、Fig.10においても、流量の変化による背位点の位置の顕著な変化は見られなかった。

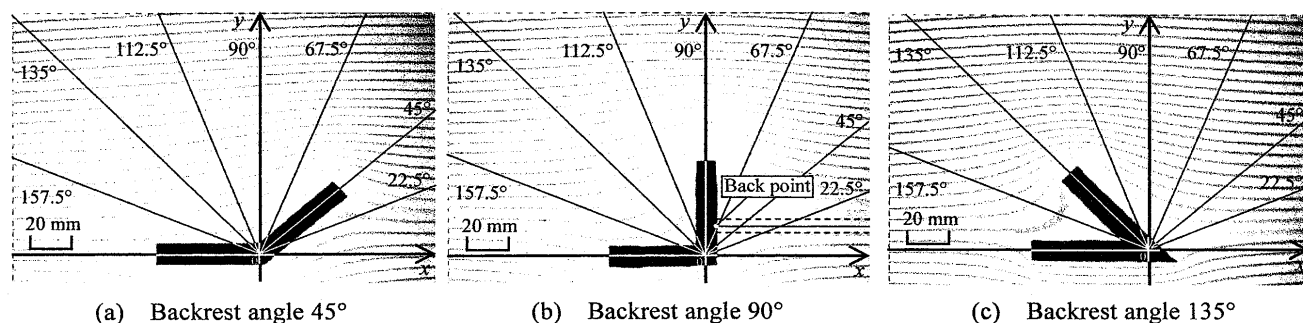


Fig.9 Streamline in backrest angles (Low)

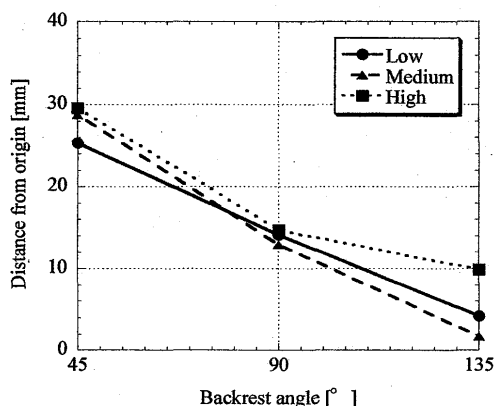


Fig.10 Position of back point

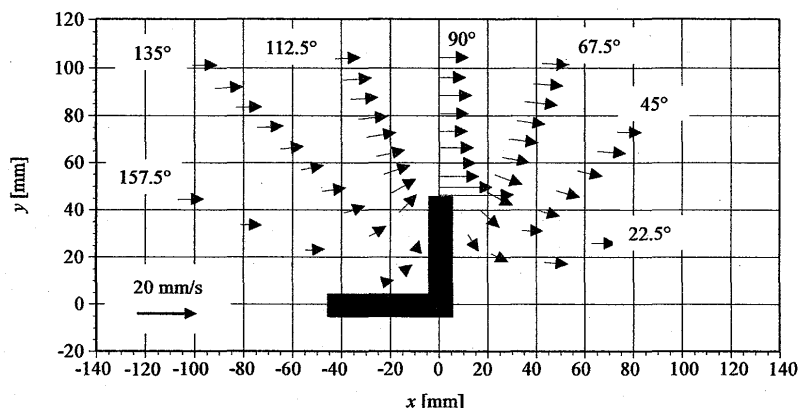


Fig.11 Velocity on radiation lines (Backrest angle 90°, Low)

(2) 速度ベクトル

Fig.11 に、背もたれ角度 90°における各放射線上の速度ベクトルを示す。Fig.11 より、 x 軸方向の最大速度は、頭頂部に相当する部位に見られ、その速度は膝部に相当する部位の約 5 倍になる。また、頭頂部を境に y 軸方向の速度の正負は反転している。なお、他の背もたれ角度の試験片においても、ほぼ同様の結果が得られた。

4. おわりに

福祉に関する意識調査および、車椅子周りの流体流れの可視化を行うことにより、本研究範囲において以下の結論を得た。

4.1 意識調査

- (1) 車椅子利用者は非利用者 비해、現状に対しての満足度が小さいことがわかった。
- (2) 車椅子利用者の環境に対する満足度は、非利用者に比べ著しく小さく、その傾向は、若年層で顕著であった。

4.2 人体を模擬した車椅子周りの流れ

- (1) 頭頂部付近に最大流速が見られ、その値は、全体の平均流速の約 10 倍であった。
- (2) 試験片近傍において、レイノルズ数が大きくなると、等ポテンシャル線上における x 軸方向速度の速度勾配は小さくなった。そのとき、レイノルズ数の影響は、膝付近で大きく表れた。

4.3 車椅子の背もたれ角度の影響

- (1) 背もたれ角度が大きくなるにしたがって、背位点は背中から車椅子後輪に相当する部分へ近づくことがわかった。
- (2) 背もたれ角度によらず、 x 軸方向速度は頭頂部で最大となった。
- (3) 背もたれ角度によらず、 y 軸方向速度は頭頂部を境に正負が逆転した。

謝辞

本調査および実験を行うにあたり、元姫路工業大学生の鳥取久敏君、中野直樹君、田中洋平君に御協力を得ましたことを記し、感謝の意を表す。

文献

- [1] 斎藤正男：日本機械学会誌，96-898，pp. 762-765 (1993).
- [2] 小笹頭司，細川力，浅野強：ヒューマンサポートサイエンス学会学術講演論文集，pp. 17-18 (2000).
- [3] Bengt Engström：からだにやさしい車椅子のすすめ，三輪書店，(1985).
- [4] 浅沼強：流れの可視化ハンドブック，朝倉書店，(1977).
- [5] 松尾一泰：やさしい流体の力学，森北出版，p. 47 (1985).