

SD 法による車椅子操作と乗車者の乗り心地に関する主成分分析

澤田知之*・中村充美**・小島洋一郎***・近藤 崇****

Main-Ingredients Analysis for Operativity and Riding Comfort of a Wheelchair
by Semantic Differential Method

Tomoyuki SAWADA, Mitsumi NAKAMURA, Yoichiro KOJIMA and Takashi KONDO

要旨

本報告は、車椅子乗車実験を行い乗車者および介助者が移動する際の「乗り心地」や「操作性」の基礎的評価を感性工学的に行った結果を報告するものである。

Abstract

In this report, basic sensual evaluation about ride and operation of a wheelchair for the riding-test is described.

1. はじめに

近年、住環境および公共施設のバリアフリー化が促進され充実されてきている。しかし、住環境や既存の施設においては物理的および構造的な制約は多く、緩傾斜スロープの新設、段差の解消や片流れ路面の解消等による十分なバリアフリー化が実現されていない事例もかなり散見される現況である。現在、一般に使用されている車椅子は、主に乗車者を介助者が移送する目的で開発されたものであり、乗車者にとって必ずしも快適なものになっているとは限らない¹⁾。例えば、「平地に比した坂道に対する恐怖」「乗車者の機能障害に対応していない」「乗り心地の悪さ」などの問題点がある。

特に、現状の車椅子では坂道において座面が路面の傾斜に合わせて傾くため、乗車者が車椅子からず

れ落ちそうになり、その時、乗車者が感じる不安定感・不快感および恐怖感は大きい²⁾。

車椅子利用者にとって、段差・傾斜（スロープ）は乗り心地の良さを左右する大きな問題であり、また介助者にとっても押し易さの点（操作面）で大きな問題と考えられる。

そのため本研究では、車椅子で平坦での移送、スロープを前向きで下りる、後ろ向きで下りる場合に、乗車者と介助者がどのような感覚を得ているのか、乗車走行実験後SD法による官能評価を行った^{3)~9)}。

さらに、その結果について多変量解析手法¹⁰⁾のうち主成分分析を用いて、乗車走行実験で得られた官能評価値に対する計測物理量の評価因子を抽出し、車椅子の乗り心地・押しやすさに対する検討および考察を行い、感性工学上の基礎的実験研究を行った。

また、新たな検討事項として乗車者が自ら操作を行う自走実験を行い、高齢期疑似体験システムを用いて、乗車走行実験同様の分析を行い、「乗り心地・操作性」の評価を行った。

* 教授 環境都市工学科
** 専攻科 環境システム工学専攻
*** 助教授 機械工学科
**** 助手 環境都市工学科

2. 実験概要

本実験概要を図-1に示す。なお、本研究で用いた車椅子（KAWAMURAスチール製車椅子 KA-202S）は一般的に使用されている車椅子である。

2.1 乗車走行実験

介助者を付けた乗車走行実験における実験場所、被験者および実験方法を以下に示す。

<実験場所>

- ・苫小牧高専環境都市工学科棟 1 階廊下：平坦 20m
- ・苫小牧高専環境都市工学科棟玄関：傾斜 5.7 度のスロープ 3m
- ・苫小牧市立総合病院 1 階廊下：平坦 20m，傾斜 6.2 度のスロープ 10m

<被験者>

- ・苫小牧高専本科生 16 名
- ・苫小牧市立総合病院附属看護学院生 20 名

<実験方法>

車椅子のフットレストに空車走行実験と同様に加速度計を設置し，座席に耐圧シートを敷いて，平坦面，スロープ前向き，スロープ後向き下り走行（以下，スロープ後向きと記す）の 3 パターン行った。移送速度は空車走行実験と同様に，平坦面では約 90 歩/分，スロープでは介助者の任意速度とした。走行実験終了直後に乗車者と介助者を対象として，官能検査の SD 法によるアンケート調査を行った（以下，実験場所の表記は苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科棟：学校，苫小牧市立総合病院：病院と記す）。学校の平坦面での実験風景を写真-1，スロープ前向きでの実験風景を写真-2 に示す。さらに病院の平坦面での実験風景を写真-3，スロープ後向きでの実験風景を写真-4 に示す。

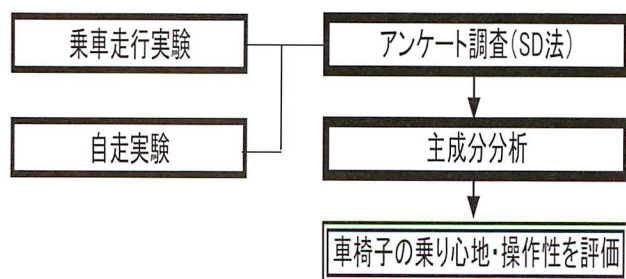


図-1 実験概要



写真-1 乗車実験（平坦面）



写真-2 乗車実験（スロープ前向き）



写真-3 乗車実験（平坦面）



写真-4 乗車実験（スロープ後向き）

2.2 自走実験

乗車者が自ら車椅子を操作する走行実験の実験場所、被験者、実験方法を以下に示す。

<実験場所>

苫小牧高専環境都市工学科棟 3 階廊下：平坦 20m

<被験者>

苫小牧高専本科生：7 名，教員：5 名

<実験方法>

加速度計（進行方向・鉛直方向・横方向の加速度を同時測定可能：本校教員開発，以下，3 軸加速度計と記す）を車椅子の座席の側面に設置し，平坦面において，高齢期疑似体験システムを用いた場合（以下，疑似有り」と記す）と用いなかった場合（以下，疑似無し」と記す）の自走実験を行った。高齢期疑似体験システムとは，手足の拘束および視覚・聴覚も制限可能であり，高齢期の状態を作り出すことのできる専用器具である。高齢期疑似体験システムを写真-5，写真-6 に示す。

走行速度は空車，乗車実験と同様に約 90 歩/分とし，走行実験終了直後，SD 法によるアンケート調査を行った。疑似有り，疑似無しの実験風景をそれぞれ写真-7，写真-8 に示す。

3. 分析方法

本研究では，乗車実験および自走実験において，官能評価の SD 法によるアンケート調査を行い，その調査結果を主成分分析することにより，乗り心地および操作性の評価を行った。官能評価，SD 法，主成分分析について以下に述べる。

3.1 官能評価

官能評価とは，人間を一種の計測機器と考え，この人間の感覚（五感：視覚，聴覚，味覚，臭覚，触覚）を使って，物や人間のさまざまな特性を一定の手法にのっとり評価，測定あるいは検査する方法をいう。

本実験では官能評価の手法のうち，SD 法（semantic differential method）を用いてアンケート調査を行い，乗り心地や操作性の評価をした。



写真-5 高齢期疑似体験システム



写真-6 高齢期疑似体験システム



写真-7 自走実験（疑似有り）



写真-8 自走実験（疑似無し）

3.2 SD 法

SD法とはもともと心理学における手法であり、刺激の質的变化に対応する「快-不快」などの心理的評価の構造を探るために用いられる。

ある刺激に対する印象を評価する際、反対語になった形容詞を対に位置付けた評価尺度を用いて、尺度上の該当する箇所に評定させ、得られたデータは主成分分析などの多変量解析を行い、変数をできるだけ少数の因子にまとめて刺激の特徴を代表させる方法である。

本研究では、乗車実験と自走実験において、SD 法によるアンケート調査を行った。

乗車実験で用いた乗車者、介助者のアンケート用紙をそれぞれ図-2、図-3 に示す。アンケートの得点は従来と同様に、非常に「危険」・「不安定」・「不快」・「困難」・「不安」を①点とし、非常に「安全」・「安定」・「快」・「容易」・「安心」を⑦点とする7段階で行った。

また、自走実験に用いたアンケート用紙を図-4 に示す。カテゴリーの単純化が、さらに明瞭な分析結果を示すという観点から、得点は5段階とし、非常に「不安」・「危険」・「不快」・「揺れが強い」を①点とし、非常に「安心」・「安全」・「快」・「揺れが弱い」を⑤点とてアンケートを実施した。

3.3 主成分分析

主成分分析とは、互いに相関のある多種類の変数の情報を、互いに無相関な少数個の総合特性値に要約する方法である。主成分分析では、求められた相関行列から各変数の相関関係の強さを見ることができ、固有値ベクトルから各主成分中で最も重要な変数を知ることができる。さらに、主成分得点から各個人がどこに位置しているのかを見ることができる。相関係数の重要度を図-5 に示す。

本研究では、アンケート結果をそれぞれ得点化し、主成分分析を行った。

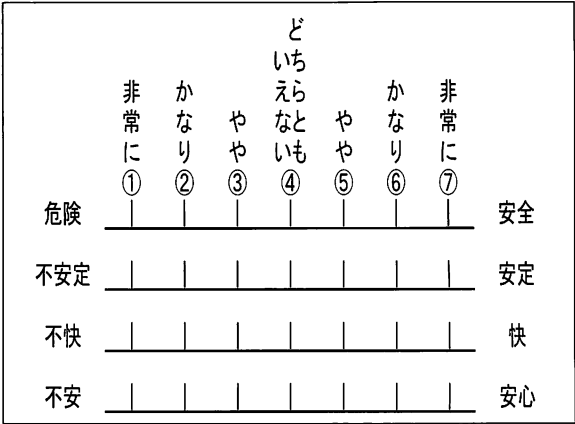


図-2 SD 法によるアンケート（乗車者）

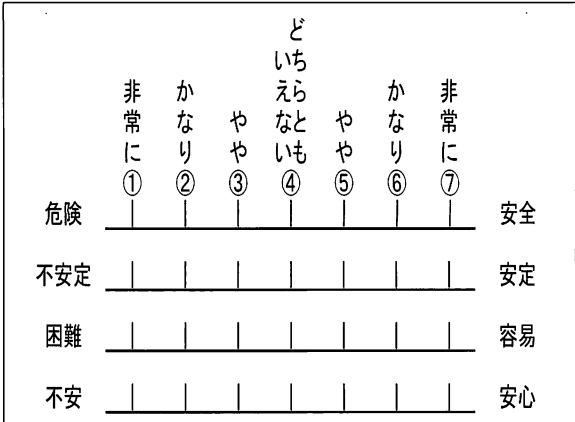


図-3 SD 法によるアンケート（介助者）

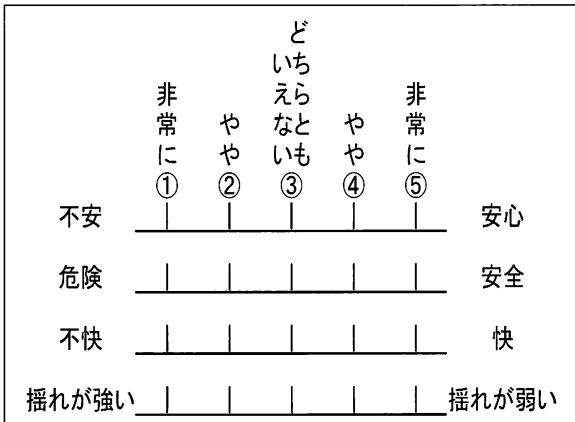


図-4 SD 法による改訂版アンケート（自走者）

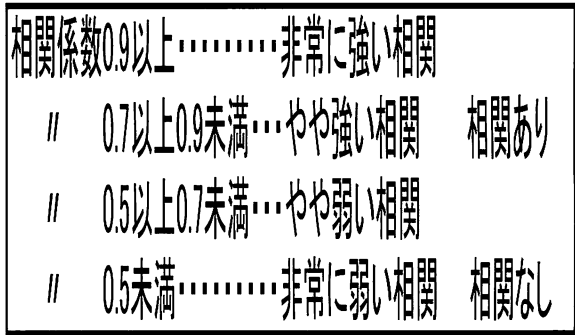


図-5 相関係数の重要度

4. 分析結果

4.1 乗車走行実験

1) アンケート調査結果

SD 法によるアンケート調査の得点は、平坦面、スロープ前向き、スロープ後向きにおけるそれぞれの乗り心地および操作性の比較を分かり易くするために、実験場所ごとの平均値で示した。乗車者、介助者のアンケート結果をそれぞれ表-1、表-2 に示す。

なお、表中の A は平坦面、B はスロープ前向き、C はスロープ後向きを表す。

2) 主成分分析結果

表-1、表-2 の主成分分析結果を以下に示す。

まず、相関行列を求めたものを表-3、表-4 に示す。

表-3 の相関行列より、乗車者は「安心と安定」、「安心と快」で強い相関が見られ、「安心」という項目に対する寄与率が高かった。また、表-4 より、介助者は「安心と安定」、「安定と安全」、「安心と安全」、「容易と安定」で強い相関が見られ、介助者は「安定」という項目に対する寄与率が高かった。

次に、表-1、表-2 の固有ベクトルを算定したものを表-5、表-6 に示す。

表-5 より、主成分 1 は符号が全てプラスになっているので総合力の判定が可能となる¹⁴⁾。ここで、乗車者の総合力を「乗り心地」と称する。主成分 2 は絶対値の大小で判定する¹⁴⁾。よって、プラスで「安全」、マイナスでは「安定」という項目の値が大きく、この固有ベクトルの解釈を、図-6 に示す主成分得点図の X 軸、Y 軸の決定に用いる。

また、表-6 も同様の解釈方法を取ると、主成分 1 は総合力で、ここでは介助者の「操作性」とする。主成分 2 は、プラスで「容易」、マイナスでは「安心」という項目の値が大きく、前述と同様に、この固有ベクトルの解釈を、図-7 に示す主成分得点図に用いる。

表-1、表-2 の主成分得点図をそれぞれ図-6、図-7 に示す。

主成分得点図は、先に解釈した、表-5、表-6 の固有ベクトルを適用し、Y 軸は主成分 1、X 軸は主成分 2 とする。

表-1 アンケート調査結果（乗車者）

	安全	安定	快	安心
病院A	4.8	5.5	5.2	5.1
病院B	4.6	4.6	4.5	4.6
病院C	4.1	4.2	4.4	4.0
学校A	4.8	5.0	5.6	5.1
学校B	5.2	4.2	4.3	4.2

表-2 アンケート調査結果（介助者）

	安全	安定	容易	安心
病院A	4.6	4.5	4.2	4.1
病院B	3.6	3.2	3.2	3.4
病院C	4.3	4.3	3.4	4.1
学校A	4.8	5.5	5.0	4.9
学校B	4.3	4.2	3.2	4.3

(A: 平坦面, B: スロープ前向き, C: スロープ後向き)

表-3 相関行列（乗車者）

	安全	安定	快	安心
安全	1	0.1942	0.1965	0.3228
安定	0.1942	1	0.8176	0.9356
快	0.1965	0.8176	1	0.9047
安心	0.3228	0.9356	0.9047	1

表-4 相関行列（介助者）

	安全	安定	容易	安心
安全	1	0.9503	0.7753	0.9064
安定	0.9503	1	0.8680	0.9524
容易	0.7753	0.8680	1	0.7212
安心	0.9064	0.9524	0.7212	1

表-5 固有ベクトル（乗車者）

	主成分 1	主成分 2
安全	0.2170	0.9703
安定	0.5566	-0.1707
快	0.5500	-0.1660
安心	0.5836	-0.0415

表-6 固有ベクトル（介助者）

	主成分 1	主成分 2
安全	0.5067	-0.2610
安定	0.5254	-0.0434
容易	0.4664	0.8400
安心	0.4998	-0.4737

図-6において、Y軸は主成分1なので「乗り心地」である。Y軸はプラス方向へ向かうほど「乗り心地の良さ」を感じ、マイナス方向へ向かうほど「乗り心地の悪さ」を感じる。一方、X軸は主成分2なので、プラス方向へ向かうほど「安全」、マイナス方向へ向かうほど「安定」という解釈¹⁴⁾をするが、本研究では総合力である「乗り心地」の評価を行うため、Y軸を重視する。

図-6より、乗車者においては「乗り心地の良さ」を、平坦面、スロープ前向き、スロープ後向きの順で感じている。また、図-7も同様の解釈をすると、介助者は「操作性の良さ」を、平坦面、スロープ後向き、スロープ前向きの順で感じている。

4.2 自走実験

1) アンケート調査結果

アンケート調査結果を表-7に示す。なお、表中のJは擬似無し、Gは擬似有りを表す。

2) 主成分分析結果

表-7の主成分分析結果を以下に示す。まず、相関行列を表-8に示す。自走者は「安全と安心」で強い相関が見られた。

次に、表-7から求めた固有ベクトルを表-9に示す。これより、主成分1は符号が全てプラスになっているので総合力の判定が可能となる。この自走者の総合力を「乗り心地・操作性」とする。主成分2はプラスで値の大きい項目、マイナスで値の大きい項目を見て判定する。ここでは、プラスで「揺れが弱い」、マイナスでは「安心」という項目の値が大きく、この固有ベクトルの判定を図-8に示す主成分得点図のX軸、Y軸の決定に用いる¹⁴⁾。

表-8 相関行列（自走者）

	安心	安全	快	揺れが弱い
安心	1	0.8916	0.4281	0.1421
安全	0.8916	1	0.4953	0.1434
快	0.4281	0.4953	1	0.5563
揺れが弱い	0.1421	0.1434	0.5563	1

表-9 固有ベクトル（自走者）

	主成分1	主成分2
安心	0.5586	-0.3983
安全	0.5737	-0.3719
快	0.5063	0.3925
揺れが弱い	0.3200	0.7409

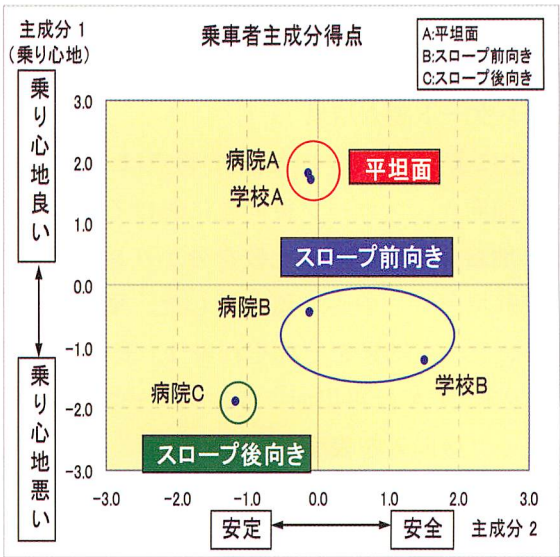


図-6 主成分得点図（乗車者）

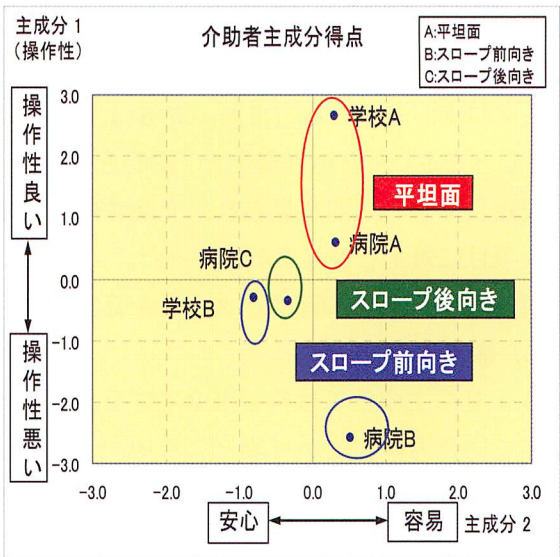


図-7 主成分得点図（介助者）

表-7 アンケート調査結果（自走者）

	安心	安全	快	揺れが弱い
J1	5	5	4	5
J2	5	5	5	5
J3	3	3	4	4
J4	3	4	5	4
J5	3	4	3	4
J6	2	3	3	2
J7	5	5	5	4
J8	5	5	5	5
J9	5	5	2	1
J10	5	5	2	1
G1	1	2	3	2
G2	2	2	3	2
G3	3	2	3	2
G4	2	3	3	2
G5	2	3	3	3
G6	3	3	4	4
G7	3	2	2	4
G8	2	2	2	2
G9	1	2	2	5
G10	2	2	3	5

(J: 擬似無し, G: 擬似有り)

表-7 の主成分得点図を図-8 に示す。この図では、先に解釈した、表-9 の固有ベクトルを適用し、Y 軸は主成分 1、X 軸は主成分 2 とする。

図-8 において、Y 軸は主成分 1 なので「乗り心地・操作性」とし、プラス方向へ向かうほど「乗り心地・操作性の良さ」を感じ、マイナス方向へ向かうほど「乗り心地・操作性の悪さ」を感じるということになる。対して、X 軸は主成分 2 なので、プラス方向へ向かうほど「揺れが弱い」、マイナス方向へ向かうほど「安心」という解釈¹⁰⁾となるが、本研究では総合力である「乗り心地・操作性」の評価を行うため、Y 軸を重視する。

図-8 より、自走者は「乗り心地・操作性の良さ」を、擬似無し、擬似有りの順で感じていた。

5. 考察

主成分分析結果より、乗車実験では、乗車者は「乗り心地の良さ」を、平坦面、スロープ前向き、スロープ後向きの順で感じており、介助者は「操作性の良さ」を、平坦面、スロープ後向き、スロープ前向きの順で感じていた。この結果から、両者ともスロープでは平坦面より「乗り心地の悪さ」、「操作性の悪さ」を感じていたことがわかった。

また、両者を比較すると、スロープにおいての「乗り心地」・「操作性」の感じ方に違いが見られた。スロープ後向きでは、介助者は乗車者を支えやすいため、「操作性の良さ」を感じたものと考えられるが、乗車者は後方が見えない不安や傾斜が加味され、「乗り心地の悪さ」を感じたものと考えられる。これに対してスロープ前向きでは、乗車者は前方の視界が良好であるため、スロープ後向きよりも「乗り心地の良さ」を感じたものと考えられるが、介助者は傾斜により乗車者の重心が前方に移動し、加速して落ちないように慎重に操作するため、「操作性の悪さ」を感じたものと考えられる。しかし、平坦面においては、乗車者、介助者ともに「乗り心地の良さ」、「操作性の良さ」を感じていたことから凹凸の少ない路面および 90 歩/分程度の走行速度は、乗車者に不快感を与えていないと考えられる。

自走実験において、擬似有りと擬似無しを比較す

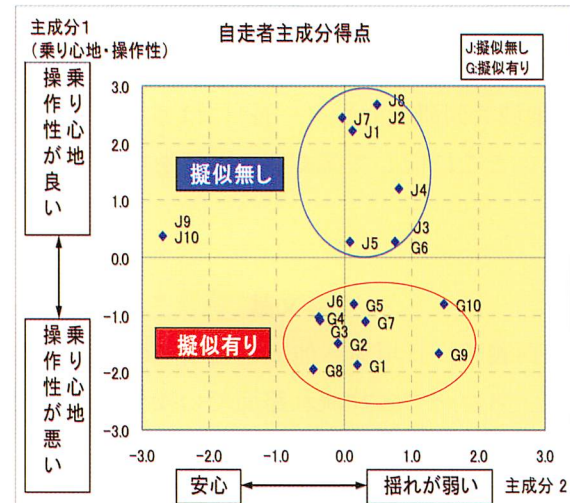


図-8 主成分得点図（自走者）

ると、自走者は擬似有りで「乗り心地・操作性の悪さ」を感じていた。

擬似無し（健常者を想定した場合）は体に自由が利くため、車輪に対し左右均等に力を加えることができるので、「乗り心地・操作性の良さ」を感じたものと考えられる。これに対して、擬似有り（高齢者等、車椅子使用者を想定した場合）では、視界不良や手足の自由が利かないことから、車輪に対し左右均等な力を加えることが困難になり、操作のし辛さや疲れが生じて、「乗り心地・操作性の悪さ」を感じたものと考えられる。

6. まとめ

既発表の実験結果¹¹⁾と合わせて、振動と感性の関連性を以下にまとめる。

- 1) 本実験で用いた車椅子は、周波数が 10Hz 程度で卓越する振動特性を有する。
- 2) 乗車者は、介助者を付けた乗車走行において、臀部のピーク荷重値が大きく変化し、振動が複雑な低い周波数であった場合、「乗り心地の悪さ」を感じる。
- 3) 介助者は、加速度を小さく保つような操作をするほど、走行が不安定で複雑な振動となり、「操作性の悪さ」を感じる。
- 4) 高齢者等の自走では、振動量が多く、50Hz 以上の高い周波数の振動が生じた場合、車椅子の操作が困難になり、「乗り心地・操作性の悪さ」を感じる。

謝辞：

本研究の実験データ採取において、古崎 毅教授（本校地域共同研究センター長）には多大なご協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 中西義孝, 日垣秀彦他：車椅子の改良による段差・スロープ・片流れ路面での操作性の変化, ライフサポート学会, ライフサポート Vol.14, No.1, pp.8-13, 2002.
- 2) 山田功, 松島伸明他：車椅子使用時に感じる不安に関する一考察, 日本機械学会論文集 70 巻 693 号, pp.108-115, 2004.
- 3) 武井一剛, 石黒陸雄：乗員の官能評価にもとづく乗り心地評価, 豊田中央研究所 R&D レビュー Vol.30, No.3, pp.47-56, 1995.
- 4) 澤田知之, 岩口純子, 小島洋一郎, 近藤崇, 中村充美：SD 法と主成分分析による車椅子の乗り心地と操作方法の評価及びその振動特性について, 日本感性工学会, 第 6 回日本感性工学会大会予稿集 2004, p.370, 2004.
- 5) 澤田知之, 小島洋一郎, 近藤崇, 岩口純子, 中村充美：車椅子操作と乗り心地に関する多変量解析について, 苫小牧工業高等専門学校紀要第 40 号, 2005.
- 5) 澤田知之, 近藤崇, 小島洋一郎, 岩口純子, 中村充美：車椅子における構造上の振動特性と操作や乗り心地に関する実験的研究, 土木学会北海道支部, 平成 16 年度論文報告集第 61 号, I-2, 2005.
- 7) 中村充美：車椅子の振動特性および乗り心地や操作性に関する工学的研究, 平成 17 年度道内国立高専専攻科研究発表・交流会, プログラム・要旨集, p.41, 2005.
- 8) 澤田知之, 近藤崇, 中村充美, 小島洋一郎：車椅子の振動特性と乗り心地・操作性に関する研究, 土木学会, 第 60 回年次学術講演会講演概要集, I-577, 2005.
- 9) 中村充美, 澤田知之, 近藤崇, 小島洋一郎, 岩口純子：車椅子の乗り心地と操作性及びその振動特性の工学的評価, 第 7 回日本感性工学会大会予稿集 2005, S-12-3A-1, 2005.
- 10) 菅民郎 著：Excel で学ぶ多変量解析入門, オーム社, pp.18-26, 97-107, 175-202, 2002.
- 11) 澤田知之, 中村充美, 近藤崇, 小島洋一郎, 村本充, 木村太, 古崎毅：車椅子の振動特性に関する実験的研究, 苫小牧高専紀要第 41 号, pp.17-22, 2006.

(平成17年12月15日受理)