

早稲田大学審査学位論文
博士（人間科学）

消費生活製品の操作性向上に寄与する
凸バーと凸点の寸法及び断面形状の評価

Evaluations of Appropriate Sizes and
Cross-Sectional Shapes
of Tactile Bar and Dot on Consumer Products

2013年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

豊田 航

TOYODA, Wataru

研究指導教員： 藤本 浩志 教授

概要

歴史上類を見ない世界人口の高齢化に伴い、視覚機能の低下や欠損が生じた高齢者や視覚障害者にとって、不自由なく利用できる消費生活製品の普及が国際的課題となっている。2001年には、国際標準化機構によって、高齢者及び障害のある人々のニーズに対応した規格作成配慮指針（ISO/IEC Guide 71）が制定され、加盟各国が高齢者・障害者配慮設計に関する国内標準を制定する際の指針が体系的に示された。ISO/IEC Guide 71では、高齢者・障害者の多様なニーズに対応可能な拡張性のある設計理念として、アクセシブルデザインが提唱され、我が国では幾つものアクセシブルデザインに関する標準が制定されている。特に、外界の情報入手に著しい制限を抱える視覚障害者への情報保障が喫緊の課題であることから、感覚代行としての触覚を活用した配慮設計に関する幾つかの標準が既に制定されている。

代表例として、凸記号が挙げられる。凸記号とは、視覚障害者をはじめとするあらゆるユーザにおける製品の操作性向上を目的として、触覚上の手がかりとして製品の操作部に付す突起物である。凸記号は、視覚障害者にとって有用な触覚サインであるだけでなく、晴眼者にとっても、視覚に頼り難い状況下での手がかりとして利用される。また、凸記号によって、視覚障害者と晴眼者が製品を共用できるようになるため、多くの企業が製品に凸記号を付すようになり、2000年には日本工業規格（JIS S 0011）、2011年にはこのJISをベースとした国際規格（ISO 24503）が制定されるに至った。これらの標準において、凸記号は凸点（凸状の丸い点；操作開始部に付す）と凸バー（凸状の横バー；操作終了部に付す）の2種類が定義され、それぞれの推奨寸法が規定された。しかしながら、凸バーと凸点の推奨寸法や断面形状に関する客観的データが必ずしも十分であるとは言えず、今後凸記号に関する標準の改訂や新規制定を想定すると、凸バーと凸点の適切な寸法及び断面形状を明らかにするための基礎研究が不可欠である。

そこで本研究では、製品の操作性向上に寄与する凸バーと凸点の寸法及び断面形状を評価することを目的とした。評価に当たっては、凸記号を製品に付す際の2つの役割に応じた基本かつ重要な課題を設定し、それぞれの役割に合う凸バーと凸点の寸法及び断面形状の条件を明らかにした。具体的には、第一の課題では、操作部の機能の識別という凸記号の役割に対して、異なる機能の操作部に付される凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的とした（第2章及び第3章）。第二の課題では、

配列された操作部の位置情報の表示という凸記号の役割に対して，その代表例であるテンキーの位置情報を示すために凸点が付される製品として，携帯電話を取り上げ，凸点の寸法及び断面形状が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした（第4章及び第5章）．

本論文は，以下の6章で構成される．

第1章では，本研究の背景，目的，構成に関して述べた．具体的には，世界的な高齢化の進展とそれに伴う視覚障害者人口の増加に対応するために，視覚機能に低下や欠損が生じた高齢者や視覚障害者が利用可能な環境，サービス，製品の普及が国際的に喫緊の課題であることを述べ，その具体的な対応策として，国内外の標準化機関によって推進される高齢者・障害者配慮設計指針の標準化に関する近年の動向を示した．また，そうした配慮設計の代表例である凸記号を取り上げ，我が国における凸記号の標準化に至る過程を概観した．さらに，標準で定められた凸記号の推奨規定を整理した上で，凸記号の推奨寸法及び断面形状に関する客観的データが必ずしも十分ではないという問題点を指摘した．以上を踏まえ，本研究では，製品の操作性向上に寄与する凸バーと凸点の寸法及び断面形状を定量的に評価することを目的とした．評価に当たっては，凸記号を製品に付す際の役割に応じた基本かつ重要な課題として，（1）凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響の評価（第2章及び第3章）．（2）凸点の寸法及び断面形状が配列された操作部の位置情報に及ぼす影響の評価（第4章及び第5章）の2つを設定した．

第2章では，操作部の機能の識別という凸記号の役割の一つに着目し，製品の基本機能の開始部に付す凸点と基本機能の終了部に付す凸バーを触覚を用いて識別する際に，支配的な影響を及ぼす寸法の因子を明らかにすることを目的とした．本章では，凸バーと凸点の寸法に関する基本的な因子として，凸バーの長辺と短辺，凸点の直径を評価した．本実験では，近年増加傾向にある中途失明者を想定した晴眼若年者と晴眼高齢者に対して，長辺と短辺が統制された凸バーと直径が統制された凸点を，触覚のみで識別させた．その結果，若年者と高齢者のいずれも，凸バーは長辺と短辺の差が大きいほど早く正確に確信をもって識別できたことから，これらの差が凸バーの識別における支配的因子であることが明らかとなった．また，凸点は，直径が小さいほど早く正確に確信をもって識別できたことから，空間分解能を下回る寸法の場合に，凸点と識別しやすいことが確認できた．

第3章では，凸バーと凸点の断面形状としてエッジの丸み（曲率半径）に

着目し，凸バーと凸点のエッジの曲率半径が識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的とした．本実験では，エッジの曲率半径を統制した凸バーと凸点の刺激を製作し，年齢及び視覚障害の有無が異なる参加者に指先で識別させた．その結果，凸バーのエッジの曲率半径と短辺の寸法に関わらず，若年晴眼者，若年視覚障害者，高齢視覚障害者は，凸バーの長辺と短辺の差が 2.0mm 以上あれば，ほぼ正確に識別できることが明らかとなった．一方，晴眼高齢者は，長辺と短辺の差が 3.0mm 以上でなければ，正確に識別できないことが分かった．また，凸点は，エッジの R が大きいほど，早く正確に確信をもって凸点と識別できることが明らかとなった．

第 4 章では，凸記号のもう一方の課題として，配列された操作部の位置情報の表示という凸記号の役割に着目し，テンキーの位置情報を示すために凸点が付される製品として，国際的に普及している携帯電話を事例として取り上げ，5 番キーに付した凸点の高さがその操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした．本章では，凸点の寸法に関する因子として，凸点の高さのみを評価した．本実験では，日常生活において製品の操作に困難を抱える中途失明者を想定した晴眼若年者及び晴眼高齢者に対して，高さが異なる凸点が付された携帯電話を操作させた．その結果，若年者と高齢者のいずれも，凸点の高さが 0.3mm の条件は，凸点がない条件や高さ 0.1mm の条件と比べて，早く正確に操作した．また，若年者と高齢者のいずれにおいても，凸点の高さが 0.3mm よりも高くなるにつれて操作時間及びエラー率が増加する傾向が認められたことから，凸点は高ければ高いほど良いというわけではなく，適切な範囲が存在することが明らかとなった．

第 5 章では，凸点の断面形状として先端部の尖り具合（曲率半径）に着目し，凸点の高さ及び先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした．まず始めに，市販の携帯電話に付された凸点の形状計測を行い，携帯電話においては，お椀形状の凸点における尖り具合が操作性に影響を及ぼす可能性がある断面形状の因子であることを確認した．さらに，中途失明者を想定した晴眼若年者及び晴眼高齢者に対して，高さと同先端部の曲率半径を統制した凸点を付した携帯電話を操作させる実験を行った．その結果，凸点の高さが同じ場合には，先端部の曲率半径が大きい条件ほど，速く正確に操作できることが明らかとなった．高さに関しては，先端部の曲率半径の寸法に関わらず，若年者と高齢者のいずれも，高さ 0.1mm は操作性向上に適さないことが明らかとなった．また，若年者では，高さ 0.3mm において相対的に早く正確に操作したが，高さ 0.3mm よりも高くなるにつれ，エラー率が増加する傾向であった．一方，高齢者では，高さ 0.55mm 以上にお

いて、操作時間が早くエラー率が低い値で収束した。以上のことから、若年者と高齢者では、操作性向上に有効な高さの条件が異なることが明らかとなった。

第6章では、本研究によって明らかとなった凸バーと凸点の寸法及び断面形状に関する知見と、意義についてまとめた。

以上より、本研究では、凸記号が製品に付される際の役割に応じた2つの課題に着目し、凸バーと凸点の適切な寸法の条件を定量的に明らかにした。第2章及び第3章では、触知覚特性の変容の一因である加齢や触知経験を考慮し、年齢や触知経験の年数が異なる幅広いユーザにとって識別しやすい凸バーと凸点の条件が詳細に明らかとなった。また、エッジの曲率半径が凸点の識別容易性に有意な影響を及ぼす因子であることが定量的に明らかとなった。また、第4章及び第5章では、製品の操作に特に困難が生じる中途失明者を想定し、若年晴眼者及び高齢晴眼者を対象とした実験によって、携帯電話の操作性向上に適した凸点の条件が詳細に明らかとなった。また、凸点の先端部の曲率半径が、携帯電話の操作性に有意な影響を及ぼす因子であることが明らかとなった。

本研究の知見は、国内外の規格作成者が凸記号の推奨寸法を検討する際の実証データとして利用されることが期待される。また、企業が製品に凸記号を付す際の参考データとしても活用できる。さらに、高齢者及び視覚障害者の触知覚特性を考慮したインターフェースの開発に寄与する知見が得られるという点で、基礎から応用に至る触覚分野の進歩を促す研究としても意義深い。

目次

概要	i
目次	v
図表目次	viii

第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 高齢化の進展と視覚障害者人口の増加	1
1.1.2 高齢者・障害者配慮設計の標準化	4
1.2 凸記号に関する基礎的知見	7
1.2.1 凸記号に関する標準の制定	7
1.2.2 凸記号に関する標準における推奨規定	8
1.2.2.1 JIS S 0011における推奨規定	8
1.2.2.2 ISO 24503における推奨規定	10
1.2.3 凸記号の推奨寸法に関する課題の設定	12
1.2.3.1 凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響の評価	13
1.2.3.2 凸点の寸法及び断面形状が配列された操作部の位置情報に及ぼす影響の評価	14
1.3 凸バーと凸点に関するヒトの指先における触知覚特性の基礎的知見	15
1.4 研究目的と構成	17
1.4.1 本研究の目的	17
1.4.2 本研究の構成	17
1.5 小括	20
第2章 凸バーと凸点の識別における支配的因子の評価	22
2.1 目的	23
2.2 方法	23
2.2.1 刺激	23
2.2.2 実験参加者	25
2.2.3 手続き	25
2.2.4 評価指標	26
2.2.5 評価方法	26
2.3 結果	27
2.3.1 凸バー条件の結果	27
2.3.1.1 凸バー条件における若年晴眼者の結果	27
2.3.1.2 凸バー条件における高齢晴眼者の結果	29
2.3.2 凸点条件の結果	31
2.3.2.1 凸点条件における若年晴眼者の結果	31
2.3.2.2 凸点条件における高齢晴眼者の結果	31
2.4 考察	33
2.4.1 凸バー条件における結果の考察	33
2.4.2 凸点条件における結果の考察	33
2.4.3 断面形状に関する課題	34
2.5 小括	35

第3章 凸バーと凸点のエッジの曲率半径が識別容易性に及ぼす影響	37
3.1 目的.....	37
3.2 方法.....	39
3.2.1 刺激.....	39
3.2.2 識別時間の計測装置.....	40
3.2.3 実験参加者.....	41
3.2.4 手続き.....	42
3.2.5 評価指標.....	43
3.2.6 評価方法.....	43
3.3 結果.....	44
3.3.1 凸バー条件の結果.....	44
3.3.1.1 凸バー条件における若年晴眼者の結果.....	44
3.3.1.2 凸バー条件における高齢晴眼者の結果.....	46
3.3.1.3 凸バー条件における若年視覚障害者の結果.....	49
3.3.1.4 凸バー条件における高齢視覚障害者の結果.....	51
3.3.1.5 凸バー条件における結果の総合評価.....	53
3.3.2 凸点条件の結果.....	54
3.3.2.1 凸点条件における若年晴眼者の結果.....	54
3.3.2.2 凸点条件における高齢晴眼者の結果.....	56
3.3.2.3 凸点条件における若年視覚障害者の結果.....	58
3.3.2.4 凸点条件における高齢視覚障害者の結果.....	60
3.3.2.5 凸点条件における結果の総合評価.....	62
3.4 考察.....	62
3.4.1 凸バー条件における結果の考察.....	62
3.4.2 凸点条件における結果の考察.....	64
3.5 小括.....	65
第4章 凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響	67
4.1 目的.....	68
4.2 方法.....	69
4.2.1 実験装置.....	69
4.2.2 凸点の高さに関する条件.....	69
4.2.3 実験参加者.....	70
4.2.4 手続き.....	70
4.2.5 評価指標.....	72
4.2.6 評価方法.....	73
4.3 結果.....	74
4.3.1 操作時間.....	74
4.3.2 エラー率.....	74
4.3.3 操作の確信度.....	74
4.3.4 5番キーの発見しやすさ.....	76
4.3.5 5番キーを押した時の痛み.....	76
4.3.6 総合評価.....	78

4.4	考察.....	79
4.5	小括.....	81
第5章	凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響	82
5.1	目的.....	83
5.2	市場の携帯電話に付された凸点の形状計測調査と実験条件の選定.....	83
5.2.1	市場の携帯電話に付された凸点の形状計測調査.....	84
5.2.1.1	断面形状の計測結果.....	84
5.2.1.2	高さと曲率半径の計測結果.....	84
5.2.1.3	計測結果のまとめ.....	84
5.2.2	凸点の実験条件の決定.....	86
5.2.2.1	断面形状の条件について.....	86
5.2.2.2	寸法の条件について.....	86
5.3	凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響の評価実験.....	88
5.3.1	方法.....	88
5.3.1.1	凸点の高さと先端部の曲率半径に関する条件.....	88
5.3.1.2	実験参加者.....	88
5.3.1.3	手続き.....	89
5.3.1.4	評価指標.....	90
5.3.1.5	評価方法.....	90
5.3.2	結果.....	90
5.3.2.1	操作時間.....	90
5.3.2.2	エラー率.....	93
5.3.2.3	操作中に親指に感じた痛み.....	94
5.3.2.4	総合評価.....	97
5.3.3	考察.....	98
5.4	小括.....	101
第6章	結言	104
6.1	本研究のまとめ.....	104
6.2	本研究の意義.....	107
6.3	今後の展望.....	109
附録		111
参考文献		122
謝辞		132
関連業績		135

図表目次

第1章 序論

Fig. 1.1	Changes in population aging rate in the world ^{[1-1][1-2]}	3
Fig. 1.2	Grobal causes of blindness as percentage of grobal blindness in 2010 ^[1-31]	3
Fig. 1.3	Instances of tactile bar and dot on the key of consumer products.....	7
Fig. 1.4	Dimensions of tactile bar and dot in JIS S 0011 ^[1-20] and ISO 24503 ^[1-33]	9
Fig. 1.5	A tactile dot on the same shaped and parallel-arrayed keys with a similar function (JIS S 0011 ^[1-20])	9
Fig. 1.6	A standard position with a tactile dot of selector switches (JIS S 0011 ^[1-20]).....	10
Fig. 1.7	Control with an indreasing/decreasing operation with a tactile dot (ISO 24503 ^[1-33]).....	11
Fig. 1.8	Configuration of this thesis.....	18
Table 1.1	Chronological table of standards for tactile accessible design.....	6
Table 1.2	Recommended sizes of tactile bar and dot in JIS S 0011 ^[1-20] and ISO 24503 ^[1-33]	12
Table 1.3	Summary of tactile-spatial threshold on the fingertip in previous studies.....	16

第2章 凸バーと凸点の識別における支配的因子の評価

Fig. 2.1	Dimensions of tactile bar and dot used in the experiment.....	23
Fig. 2.2	Experimental settings.....	25
Fig. 2.3	Results of tactile bar conditions among the sighted younger participants.....	28
Fig. 2.4	Results of tactile bar conditions among the sighted older participants.....	30
Fig. 2.5	Results of tactile dot conditions among the sighted younger participants.....	32
Fig. 2.6	Results of tactile dot conditions among the sighted older participants.....	32
Table 2.1	Size conditions of tactile bar and dot in the experiment.....	24

第3章 凸バーと凸点のエッジの曲率半径が識別容易性に及ぼす影響

Fig. 3.1	Dimensions of tactile bar and dot used in the experiment (R: Edge radius of curvature)	38
Fig. 3.2	Procedures of measuring discrimination time.....	41
Fig. 3.3	Results of tactile bar conditions among the sighted younger participants.....	45
Fig. 3.4	Results of tactile bar conditions among the sighted older participants.....	47
Fig. 3.5	Results of tactile bar conditions among the younger participants with visual impairment.....	50
Fig. 3.6	Results of tactile bar conditions among the older participants with visual impairment.....	52
Fig. 3.7	Results of tactile dot conditions among the sighted younger participants.....	55
Fig. 3.8	Results of tactile dot conditions among the sighted older participants.....	57
Fig. 3.9	Results of tactile dot conditions among the younger participants with visual impairment.....	59
Fig. 3.10	Results of tactile dot conditions among the older participants with visual impairment.....	61

Table 3.1	Size conditions of tactile bars and dots in the experiment.....	39
-----------	---	----

第 4 章 凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響

Fig. 4.1	Experimental apparatus.....	68
Fig. 4.2	An experimental picture during operating a mock-up of cellular phone.....	71
Fig. 4.3	An instance of the tasks.....	71
Fig. 4.4	Results of operation time	75
Fig. 4.5	Results of error rate	75
Fig. 4.6	Results of sureness	77
Fig. 4.7	Results of findability of key 5	77
Fig. 4.8	Results of pain when pushing key 5	78
Table 4.1	Scales of subjective assessment indexes	73

第 5 章 凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響

Fig. 5.1	An instance of a bowl-shaped tactile dot on key 5 of cellular phone.....	85
Fig. 5.2	The relationship between height and radius of curvature of tactile dots.....	85
Fig. 5.3	A dimension of tactile dots used in the experiment.....	87
Fig. 5.4	Results of operation time among the younger participants.....	91
Fig. 5.5	Results of operation time among the older participants.....	92
Fig. 5.6	Results of error rate among the younger participants.....	93
Fig. 5.7	Results of error rate among the older participants.....	95
Fig. 5.8	Results of pain in thumb during the operation among the younger participants.....	95
Fig. 5.9	Results of pain in thumb during the operation among the older participants.....	96

附録 A 人差し指による両手操作における凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響

Fig. A1.1	An experimental picture during operating a mock-up of cellular phone by two-handed forefinger method.....	114
Fig. A1.2	Results of operation time by two-handed forefinger method.....	115
Fig. A1.3	Results of error rate by two-handed forefinger method.....	116
Fig. A1.4	Results of sureness by two-handed forefinger method.....	116
Fig. A1.5	Results of findability of key 5 by two-handed forefinger method.....	118
Fig. A1.6	Results of pain when pushing key 5 by two-handed forefinger method.....	118

第1章 序論

- 1.1 研究背景
- 1.2 凸記号に関する基礎的知見
- 1.3 凸バーと凸点に関するヒトの指先における触知覚特性の基礎的知見
- 1.4 研究目的と構成
- 1.5 小括

概要

第1章では、まず世界的な高齢化の進展とそれに伴う視覚障害者人口の増加を背景として、国内外の標準化機関が推進する高齢者・障害者配慮設計指針の標準化に関する近年の動向を述べた。続いて、高齢者・障害者配慮設計の代表例である凸記号が、国内外で標準化された経緯を示した。さらに、標準で定められた凸記号の推奨規定を整理した上で、凸記号の推奨寸法及び断面形状に関する客観的データが必ずしも十分ではないという問題点を指摘した。以上の背景を受け、本研究の目的を、製品の操作性向上に寄与する凸バーと凸点の寸法及び断面形状を評価することとした。さらに、凸記号を製品に付す際の役割の観点から、凸バーと凸点の寸法及び断面形状に関する基本かつ重要な課題として、以下の2つを設定した。

- (1) 凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響の評価
- (2) 凸点の寸法及び断面形状が配列された操作部の位置情報に及ぼす影響の評価

1.1 研究背景

1.1.1 高齢化の進展と視覚障害者人口の増加

近年、目覚ましい医学・医療技術の進歩や公衆衛生の向上等によって、アジア、

欧米、開発途上地域を含む世界各国において平均寿命が伸張し、高齢化が急速に進展している。世界の高齢化率の推移をFig1.1に示す。先進国(北部アメリカ、日本、欧州、オーストラリア及びニュージーランド)では、高齢化率が2010年の15.9% (約2億5,011万人)から2050年には25.7% (約4億7,439万人)まで増加するとされる。同様に、開発途上地域(アフリカ、日本を除くアジア、中南米、メラネシア、ミクロネシア、ポリネシア)においても、高齢化率が2010年の5.8% (約3億7,951万人)から2050年の14.7% (約17億7,556万人)まで増加するとされる^[1-1]。我が国は、2007年に世界に先駆けて超高齢社会に突入しており、2012年には23.3% (約2,975万人)、2050年には38.8% (約4,031万人)に達すると推計される^[1-2]。一般に、ヒトは加齢によって身体機能の低下や欠損が生じるため、高齢化の進展は身体障害者人口の増加にも関わる問題である。

特に、視覚障害者人口に着目すると、2010年に世界保健機関(WHO)が発表した統計によれば^[1-3]、世界の視覚障害者人口は約2億8,500万人とされる。また、全盲の視覚障害者は3,900万人であり、この内約82%が50歳以上の高年齢層である。失明の原因は、伝染病が大きく減少している一方で、発展途上国を除いて世界的には加齢により発症リスクが高まる白内障、緑内障、加齢黄斑変性症、角膜混濁、糖尿病性網膜症等が占める割合が大きく、これらは2010年における全盲者の失明原因の約7割を占める(Fig1.2参照)。また、我が国の視覚障害者を取り巻く状況をみると、2008年に厚生労働省が発表した身体障害児・者実態調査結果^[1-4]によれば、2006年における我が国の視覚障害者人口は31万人であり、この内約6割が65歳以上の高齢視覚障害者である。さらに、全体の約4割は緑内障、糖尿病性網膜症、白内障等が原因となって失明した中途視覚障害者である。また、平成19年国民健康・栄養調査^[1-5]によれば、2007年には2,210万人が糖尿病予備群とされている。

以上の通り、今後高齢化の進展とともに、国内外において視覚障害者の人口増加が懸念される。人間は生活に必要な情報の多くを視覚によって入手するとされているが^[1-6]、視覚障害者は、視覚によって外界の情報を正確かつ効率よく

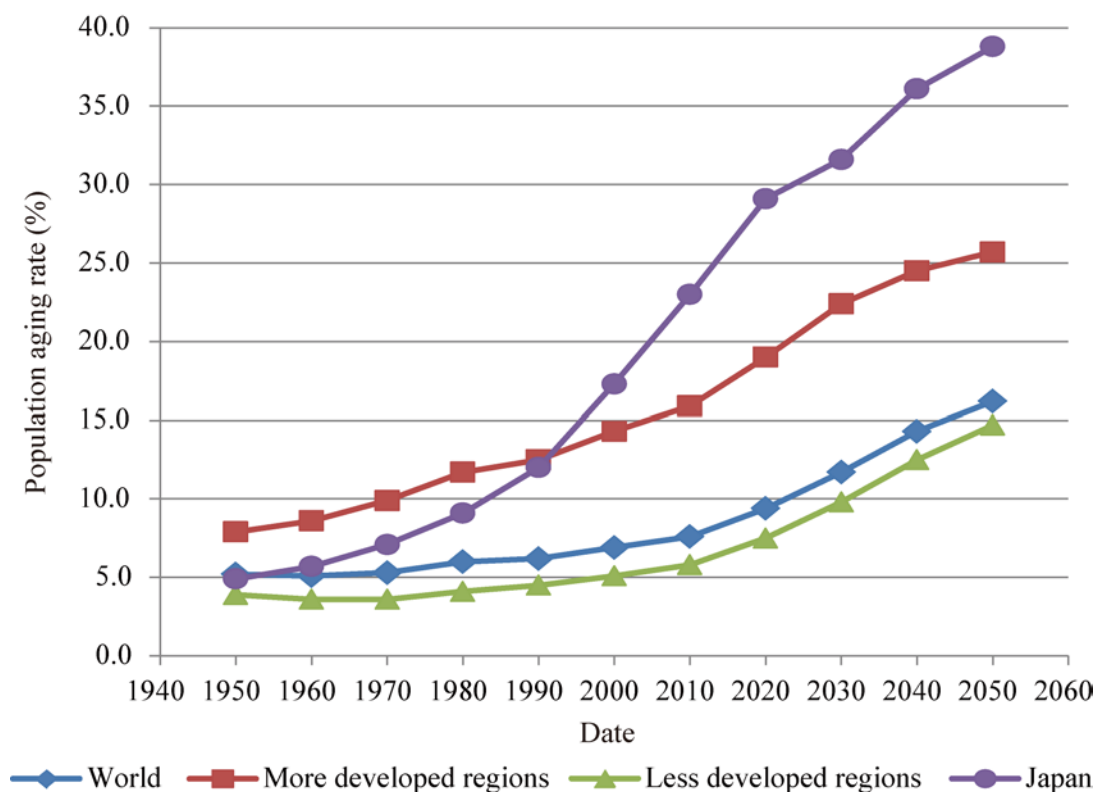


Fig. 1.1 Changes in population aging rate in the world^{[1-1][1-2]}

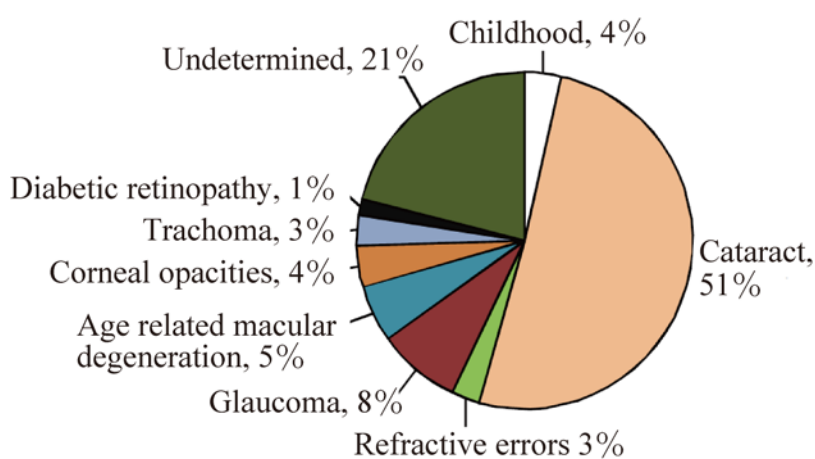


Fig. 1.2 Global causes of blindness as percentage of global blindness in 2010^[1-3]

入手することができないために、周囲へのアクセスに著しい制限が生じ、日常生活において様々な困難に直面する^[1-7]。そのため、視覚障害者が利用可能な環境、サービス、製品の整備・普及は国際社会が取り組むべき喫緊の課題である。

1.1.2 高齢者・障害者配慮設計の標準化

近年、我が国では、これまでに高齢者や視覚障害者への生活支援を目的とした法律、条令が制定されている。具体的には、『高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律』(通称ハートビル法, 1994年, 旧:建設省)^[1-8]や、『高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律』(通称交通バリアフリー法, 2000年, 旧:運輸省)^[1-9], さらにこれらを統合・拡充した『高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律』(通称バリアフリー新法, 2006年)^[1-10]の制定により、公共空間や公共交通機関の利便性や安全性が促進され、視覚障害者誘導用ブロックや音声案内設備が整備されるようになった。さらに、各地域の福祉のまちづくり条例に基づく、点字表示をはじめとする触知案内図の設置も積極的に行われている。また、視覚障害者の社会進出やアクセシビリティ向上のための研究や技術開発が求められており^{[1-11][1-12]}, 欠損した視覚機能を触覚や聴覚で代行するための支援技術の開発が盛んに行われている^{[1-13][1-14]}。以上の通り、高齢者・視覚障害者の利便性を確保するために、点字や触知案内図、各種支援技術、さらに日常利用される多様な環境や製品の整備・普及が進められており、これらの設計に対して、共通の指針に基づく高齢者・障害者配慮設計の標準化が国内外で推進されている。

2001年には、高齢者・障害者配慮設計に関する基本規格として、国際標準化機構(ISO)によりISO/IEC Guide 71が制定され^[1-15], 視覚障害者を始めとする身体障害者全般のニーズと身体機能の能力に応じた配慮すべき設計要素が体系的にまとめられた。このISO/IEC Guide 71の制定により、各国の規格作成者が高齢者・障害者配慮設計に関するグループ・個別規格を作成する際の指針が示さ

れ、我が国では2003年に邦訳版の日本工業規格(JIS Z 8071)^[1-16]が制定された。また、ISO/IEC Guide 71では、高齢者や障害者を含む多様な人々のニーズに応える設計理念として、アクセシブルデザインが提唱された。この標準では、アクセシブルデザインは「何らかの機能に制限がある人のニーズに合わせて設計を拡張することで、既存の製品、建物やサービスをそのまま利用可能とする人を最大限まで増やそうとする設計」と定義されている。この定義によって、アクセシブルデザインとは、必ずしも高齢者や障害者だけの利便性に配慮するものではなく、これまで主な対象であった成人・青年の人々にとっても有意義な設計であることを求めている。また、規格作成者にとって、高齢者・障害者への配慮設計指針を検討する上で、現実的な解決策として捉えることが可能な基本概念としても採用された^[1-16]。

我が国では、視覚障害者のニーズに配慮したアクセシブルデザインの規格が既に制定されている。聴覚を活用した情報提示の観点から、加齢の聴力変化にも対応する消費生活製品の報知音(JIS S 0013, 2002年制定; JIS S 0014, 2003年制定)^{[1-17][1-18]}等に関する標準が制定されている。また、触覚に関する主な規格としては、Table 1.1に年表を示す通り、プリペイドカード(JIS X 6310, 1996)^[1-19]、消費生活製品の操作部に触覚上の手がかりとして付す凸記号(JIS S 0011, 2000)^[1-20]、墨字と併記可能な紫外線効果樹脂インクによる無色透明な点字(JIS T 9253, 2004)^[1-21]、公共施設・設備における点字(JIS T 0921, 2006)^[1-22]、消費生活製品における点字(JIS T 0923, 2009)^[1-23]、浮き出し加工された線や図形によって地図の構成要素が表現され、触覚及び視覚のいずれによっても情報が取得する事ができる触知案内図(JIS T 0922, 2007)^[1-24]、包装容器における触覚表示(JIS S 0022-3, 2007)、数字やアルファベットの等の浮き出し文字(JIS S 0052, 2011)^[1-25]が挙げられる。以上のような規格の規定内容を検討する際には、関連するヒトの特性に関する実証データが不可欠である^[1-26]。そのため、規格に関連する基礎研究として、多様な環境・人々において聞きとりやすい報知音に関する聴覚特性を評価した研究や^{[1-27][1-28]}、触知覚特性の観点から触知しや

Table 1.1 Chronological table of standards for tactile accessible design

Year	Standard
1996	JIS X 6310, Prepaid cards
2000	JIS S 0011, Marking tactile dots on consumer products
2004	JIS T 9253, Performance and test method of ultraviolet ray hardening resinous braille
2006	JIS T 0921, Methods of displaying braille sign —Public facility
2007	JIS T 0922, Information content, shapes and display methods of tactile guide maps
2007	JIS S 0022-3, Packaging and receptacles —Tactile indication for identification
2009	JIS T 0923, Methods of displaying braille sign —Consumer products
2011	JIS S 0052, Tactile information —Basic design methods for tactile patterns
2011	JIS S 0025, Packaging and receptacles —Tactile warnings of danger
2011	ISO 24503, Tactile dots and bars on consumer products

すい点字や触知記号・文字の寸法を明らかにした研究が行われ^{[1-29][1-30]}，規格の規定内容を検討する際の参考データとして活用されている。

さらに，我が国の日本工業規格の幾つかは，国際規格化（IS）を視野においた作業が進められており^{[1-31][1-32]}，高齢者及び障害者のアクセシビリティ向上のための包括的な取組みが，国際的な規格化と連携して着実に進められている状況である。こうした一例として，凸記号に関する規格が2011年に国際規格化されており^[1-33]。本研究では，この凸記号を国内外で普及しつつあるアクセシブルデザイン規格の一つとして取り上げる。

1.2 凸記号に関する基礎的知見

1.2.1 凸記号に関する標準の制定

凸記号とは、消費生活製品の操作部に触覚上の手掛かりとして付す突起物であり、高齢者や視覚障害者を含めた全てのユーザの製品に対するアクセシビリティ向上を目的として利用される。市場においては、携帯電話、携帯型オーディオプレーヤ、各種リモートコントローラ等の小型製品から、洗濯機、炊飯器、冷蔵庫、電子レンジといった中大型の製品に至るまで、多様な製品に付されている。実際の製品に付された一例を Fig. 1.3 に示す。これまで多くの視覚障害者が、製品の購入後に、操作部に点字等の触覚上の手掛かりを自ら貼付する等することで、晴眼者と同じ製品を利用できるように工夫をしてきた。このような視覚障害者ユーザの不便さを解消する目的で、企業はあらかじめ自社製品の操作部に凸記号を付すことで、製品の操作性向上を図ってきた。凸記号の利用によって、視覚機能が低下・欠損した高齢者や視覚障害者が、晴眼者と同じ製品を共有することが可能となり、晴眼者にとっても視覚に頼り難い状況下での操作の手がかりとして有効である。



(a) A tactile bar and dot on a printer

(b) A tactile dot on the 5 key of a cellular phone

Fig. 1.3 Instances of tactile bar and dot on the key of consumer products

こうした利便性の高さから、企業は多種多様な製品に凸記号を付すようになったが、企業によって凸記号の寸法や付す場所などが異なるために、一部の使用者に混乱を引き起こしていた^[1-34]。この問題に対処するために、1998年に財団法人家電製品協会は、後の凸記号表示に関するJIS (S 0011)の骨子となる「家電製品における操作性向上のための凸記号表示に関するガイドライン（第一版）」^[1-35]をまとめ、財団法人家電製品協会による凸記号モニター調査^[1-36]を経て、2000年に消費生活製品の操作部に付す凸記号表示に関する規格（JIS S 0011）が制定された^[1-20]。さらに、2011年には日本、韓国、中国の共同提案により、国際規格（ISO 24503）^[1-33]が制定された。ISO 24503による規定は、JIS S 0011を基礎としつつも、関係各国との意見交換によって、その内容が修正された上で制定に至った。そのため、今後JIS S 0011の改訂の際には、ISO 24503に準拠するように修正が進められると考えられる。

1.2.2 凸記号に関する標準における推奨規定

凸記号に関する標準であるJIS S 0011とISO 24503では、凸記号の種類、期待される役割、付す位置、推奨寸法等が規定されている。本項では、JIS S 0011とISO 24503における推奨規定について述べる。

1.2.2.1 JIS S 0011における推奨規定

凸記号の種類に関しては、凸点（凸状の丸い点）と凸バー（凸状の横バー）の2種類のみが定義され（Fig. 1.4 参照）、凸点は製品の基本機能を開始させる操作部分に付し、凸バーは基本機能を終了させる操作部分に付す事が定められている。

また、凸点を表示する操作部分としては、同形状、同機能の多数並列操作部においては、操作キーが奇数個の場合は中央の操作キーに付し、偶数（ n ）個の場合には、左（上）から数えて、 $n/2$ 番目の操作部に付すと規定されている（Fig. 1.5 参照）。標準ポジションを持つ切り替えスイッチにおいては、標準ポジショ

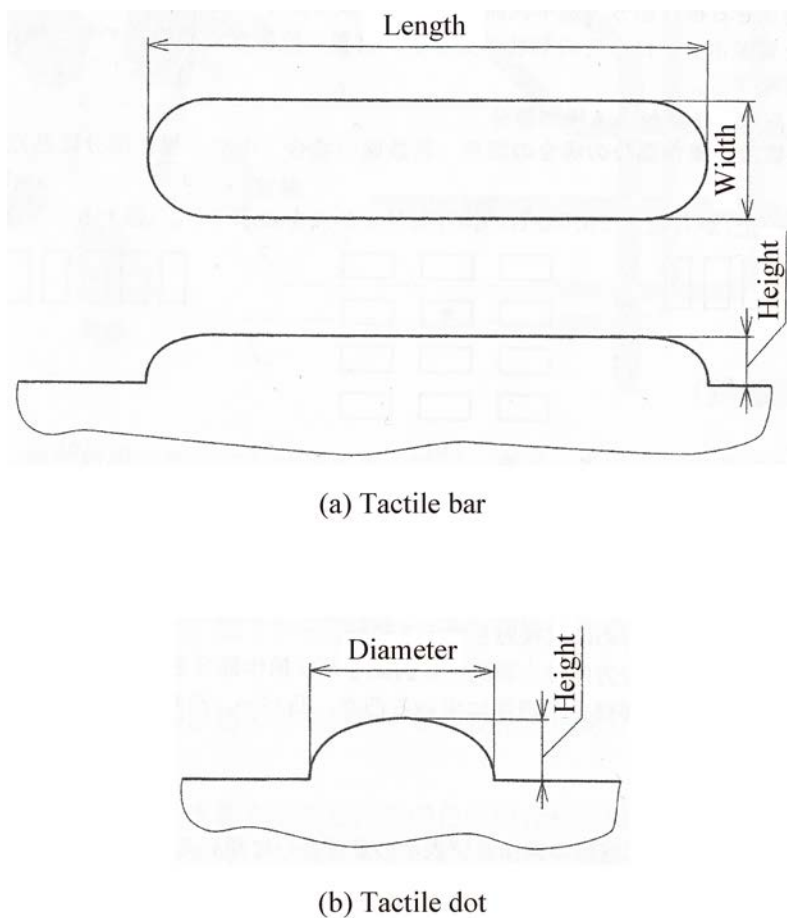


Fig. 1.4 Dimensions of tactile bar and dot in JIS S 0011 ^[1-20] and ISO 24503 ^[1-33]

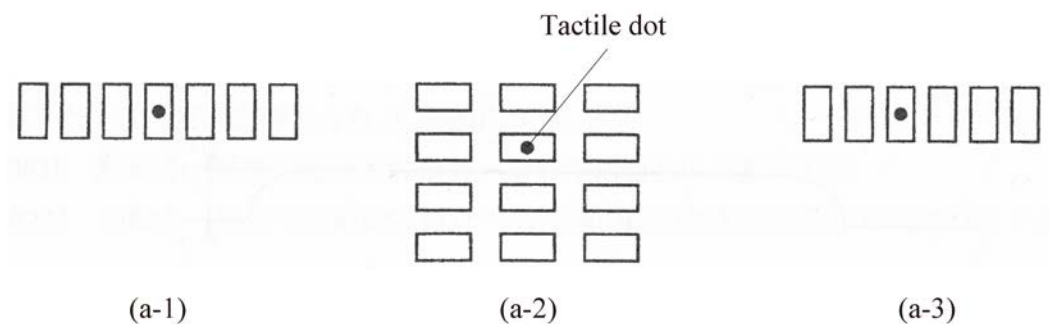


Fig. 1.5 A tactile dot on the same shaped and parallel-arrayed keys with a similar function (JIS S 0011 ^[1-20])

ンに凸点を付すとされる。Fig. 1.6には、速度切り替えスイッチの標準ポジションを表す凸点の一例を示す。さらに、操作の方向性を示す必要のある操作部分においては、音量、チャンネル等の増加方向を示す部分に凸点を付すとされる。なお、凸バーと凸点は、操作部分の中央部に付し、それができない場合には、操作部分上或いは操作部分の近くの触知しやすい位置に付すとされている。

JIS S 0011では、凸バーと凸点の寸法に関する因子が整理されている。即ち、凸バーは長辺と短辺、凸点は直径、さらにそれぞれの高さである。これらの具体的な推奨寸法は、財団法人家電製品協会による凸記号モニター調査¹⁻²⁷⁾等の結果が参考にされて定められた (Table 1.2(a)参照)。具体的には、凸バーに関しては、短辺は1.5mmから2.0mm、長辺は短辺の5倍以上、凸点に関しては、直径は1.5mmから2.0mmとされている。また、それぞれの高さは0.5mmから0.8mmとされている。特に、小型機器に付す場合においては、凸バーの短辺と凸点の直径を0.8mm、高さを0.3mmとしても良いとされている。

一方、凸バーと凸点のエッジの丸みや尖り具合といった、断面形状に関する規定は存在しない。

1.2.2.2 ISO 24503における推奨規定

凸記号の種類は、JIS S 0011と同様に、凸点（凸状の丸い点）と凸バー（凸状

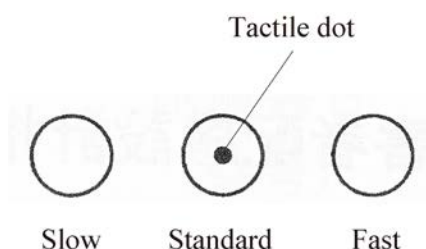


Fig. 1.6 A standard position with a tactile dot of selector switches (JIS S 0011 ^[1-20])

の横バー)の2種類とされる。

一方、ISO 24503では、凸バーと凸点の付し方についての整理がJIS 24503と異なる。具体的には、ISO 24503では、凸バーと凸点を製品に付す際の役割を、(1)操作部の機能の識別と、(2)配列された操作部の位置情報の表示の2つに定めている。さらに、これらの役割に応じた具体的な付し方を、以下のように規定している。

まず、操作の機能の識別という役割に対しては、JIS S 0011と同様に、凸点は製品の基本機能を開始させる操作部分に付し、凸バーは基本機能を終了させる操作部分に付す事が定められている。また、触覚により認識できない独立した電源ボタンに凸点を付すとし、さらに、増減の機能を持つ操作部の増加方向を示す部分に、凸点を付すとされる (Fig. 1.7 参照)。

一方、配列された操作部の位置情報の表示という役割に対しては、操作部の位置情報の把握を容易にするための特定の操作部に、凸バーあるいは凸点を付すとされる。具体例として、テンキーにおける5番キーや、キーボードにおけるFとJキーが挙げられている。

ISO 24503による凸バーと凸点の推奨寸法をTable 1.2(b)に示す。JIS S 0011と比べて広範囲であり、凸バーの短辺は0.8mmから2.0mm、長辺は短辺の5倍から10倍、凸点の直径は0.8mmから2.0mmと定められており、それぞれの高さは0.4mmから0.8mmが推奨されている。

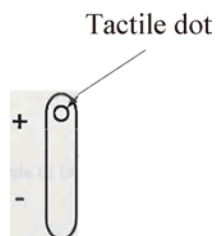


Fig. 1.7 Control with an indreasing/decreasing operation with a tactile dot (ISO 24503 ^[1-33])

Table 1.2 Recommended sizes of tactile bar and dot in JIS S 0011 ^[1-20] and ISO 24503 ^[1-33]

(a) Tactile bar

Standard	Width (mm)	Length (mm)	Height (mm)
JIS S 0011	from 1.5 to 2.0	more than 5w *	0.3, from 0.5 to 0.8
ISO 24503	from 0.8 to 2.0	from 5w to 10w	from 0.4 to 0.8

* w: width

(b) Tactile dot

Standard	Diameter (mm)	Height (mm)
JIS S 0011	from 1.5 to 2.0	0.3, from 0.5 to 0.8
ISO 24503	from 0.8 to 2.0	from 0.4 to 0.8

1.2.3 凸記号の推奨寸法に関する課題の設定

1.2.2 項で述べた通り，JIS S 0011 と ISO 24503 において，凸バーと凸点の推奨寸法が詳細に規定されている．今後は，ISO 24503 の規定に準拠するように，JIS S0011 等の各国における規格の改訂及び新規制定が進められると考えられる．

しかしながら，これまでに凸バーと凸点が実際の製品の操作性の関係を定量的に調べた先行研究がない．特に，規格が推奨する寸法の根拠となる客観的データが必ずしも十分であるとは言えない．

ユーザからの意見としては，凸バーと凸点が非常に小さいためにその存在が指先で知覚できないといった指摘や，凸バーと凸点が紛らわしい寸法で付されるために両者が触っても区別できないといった不便さを指摘する声がある．また，企業にとっても，操作部の大きさや材質等で製品に付すことができる凸バ

一と凸点の設計が制約される場合があり、製品の機能を損なうことなく製品の操作性向上が実現可能な、凸バーと凸点の設計指針が望まれるであろう。規格では、ユーザと企業からのニーズに応える推奨寸法が定められる必要があり、その規定を裏付けとなる実証データが不可欠である。また、触知覚特性の観点から、触対象物のエッジ部分の明瞭性（角の丸み）が異なると、知覚のされ方も異なるといった知見があり^[1-37]、凸バーと凸点の断面形状は無視できない因子である。しかし、既存の規格では断面形状に関する規定が存在せず、規定を検討する上で参考となるデータも十分ではない。以上の通り、今後凸記号に関する標準の改訂や新規制定を考慮すると、凸バーと凸点の適切な寸法及び断面形状を明らかにするための基礎的研究が必要である。

そこで本研究では、凸バーと凸点の寸法及び断面形状に関する評価を行うにあたり、ISO 24503 で規定された凸記号の2つの役割に着目し、各役割に対応する基本かつ重要な課題を設定することとした。

1.2.3.1 凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響の評価

凸記号の役割の一つは、操作部の機能の識別である。そのために、凸点は製品の基本機能の開始部に付し、凸バーは基本機能の終了部に付す事が規定されており、製品の同じ操作部上で併用する機会が非常に多い。しかしながら、凸バーと凸点が指先で識別できない寸法及び断面形状で付されてしまうと、操作の開始部と終了部が混同されてしまい、却って誤操作を引き起こす原因となる。以上のことから、凸バーと凸点は、ヒトの触知覚特性上、識別可能な寸法・断面形状で操作部に付される必要があり、その具体的な条件を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響を評価することを、1つ目の課題とした（第2章及び第3章）。

1.2.3.2 凸点の寸法及び断面形状が配列された操作部の位置情報に及ぼす影響の評価

1.2.3.1 で設定した課題の達成によって、凸バーと凸点の識別しやすい寸法及び断面形状の条件が明らかとなるが、依然として、凸記号の寸法及び断面形状が製品の操作性に及ぼす影響が明らかではないため、実際の製品を用いた事例研究が不可欠である。

凸記号を付すもう一つの役割は、配列された操作部の位置情報の表示である。こうした役割で凸点が付される操作部の例として、ISO 24503 ではテンキーが挙げられている。テンキーの配列は、国際標準化機構及び国際電気通信連合 (ITU) によって標準化されており^{[1-38][1-39]}、市販されている固定・携帯電話、電卓、印刷機、PCキーボード、電子金庫等から、マンションエントランス等のテンキー錠や公共の現金自動預け払い機 (ATM) に至るまで、多種多様な製品の数字の入力端末として搭載されている。即ち、テンキーは、あらゆるユーザが日常的に接する機会が多い操作部である。テンキーが付される製品の中でも、特に携帯電話は、高齢者や視覚障害者を含めたあらゆる人々の身近な生活必需品として国際的に普及しており、凸点が付される代表的な製品である。2008 年における我が国の携帯電話の保有率は 95.6% であり^[1-40]、視覚障害者の 92% が利用しているという報告もある^[1-41]。一方、視覚障害者からは、携帯電話は誤操作が多い製品であるという声があり^[1-36]、より一層の操作性向上が期待されている。また、携帯電話は、メールやインターネット等の使用により、頻繁なキーの操作を伴うため、操作中の手がかりとして凸点を触知する頻度が高く、凸点による操作性への影響も大きいと推察される。以上の通り、携帯電話はテンキーが搭載された一般的な製品であること、広く国際的に普及していること、操作性向上に対するニーズがあること、頻繁な操作が伴うために凸点による操作性への影響が大きいと推察されること等といった点から、凸点の寸法及び断面形状が製品の操作性に及ぼす影響を評価するための事例として適している。

そこで本研究では、機械式スイッチを持つ携帯電話に着目し、5 番キーに付き

れた凸点の寸法及び断面形状が操作性に及ぼす影響を評価することを、2つ目の課題とした（第4章及び第5章）。

1.3 凸バーと凸点に関するヒトの指先における触知覚特性の基礎的知見

1.2.3 で設定した凸バーと凸点の寸法及び断面形状の評価にあたって、本節では、凸バーと凸点に関連するヒトの指先における触知覚特性の基礎的知見について整理する。

触覚の基本感覚の一つとして、機械的な圧刺激に対する感度である触圧が挙げられる。触圧は、座屈力が既知のフォン・フライフィラメント（von Frey Filament）を皮膚に押し当てた際の検出閾を測定する方法が多用されているが、高齢者は若年者よりも圧覚閾が高いことが報告されている^[1-42]。このような触圧に対する感度は、凸バーと凸点に触れた際の検出にも関係すると考えられ、ユーザの年齢によって凸バーと凸点の適切な寸法が異なる可能性を示唆するものである。

また、対象物の形状識別に関する触覚の基礎特性として、空間分解能が挙げられる。触覚における空間分解能を指すものとしては、古くから心理物理学的手法による触2点弁別閾が用いられ、皮膚表面に提示された2個の触刺激が2個として知覚される最小の幅として表現される。近年では、その他の方法として、溝の検出（Gap detection）や、より精度が高いとされる矩形状格子の方向弁別（Grating orientation）が多用される。Manningらは、矩形状格子の刺激を用いた空間分解能の測定値が、浮き出し加工されたアルファベットの識別率と相関があることを報告しており^[1-43]、指腹に収まる程度の大きさの粗い凹凸の対象物を指先で識別する場合には、指先の空間分解能が高いほど、正確に形状を知覚できると考えられる。

先行研究における指先の空間分解能の測定結果をTable 1.3 にまとめる。若年者と高齢者を比較すると、高齢者は加齢の影響によって空間分解能が低い^[1-43]

Table 1.3 Summary of tactile-spatial threshold on the fingertip in previous studies

Study	Method	Participant	Threshold (mm)
Dinse, Kleibel, Kalisch, Ragert, Wilimzig, & Tegenthoff (2006) ^[1-44]	Two-point discrimination	Younger sighted	1.58
		Older sighted	3.42
Stevens, Foulke, & Patterson (1996, Experiment 2) ^[1-45]	Two-point discrimination	Younger sighted	1.59
		Older sighted	2.81
		Younger blind	1.18
		Older blind	2.48
Legge, Madison, Vaughn, Cheong, & Miller (2008, Experiment 2) ^[1-48]	Dot chart (Active touch)	Younger sighted	1.36
		Older sighted	2.56
		Younger blind	1.26
		Older blind	1.35
Manning & Tremblay (2006) ^[1-43]	Grating orientation	Younger sighted	1.2
		Older sighted	2.5
Van Boven, Hamilton, Kauffman, Keenan, & Pascual-Leone (2000) ^[1-47]	Grating orientation	Sighted	1.46
		Blind	1.04
Vega-Bermudez & Johnson (2004) ^[1-46]	Grating orientation	Younger sighted	1.21
		Older sighted	1.97

^{[1-44][1-45][1-46]}. また、年齢が同じであれば、視覚障害者は晴眼者よりも、指先の空間分解能が高い^{[1-45][1-47]}. 一方、触知年数が豊富な視覚障害者は、固定した指に対して刺激が受動的に提示される場合は、年齢とともに指先の空間分解能が低下するが^[1-45]、刺激を能動的に触知する場合には、例え高齢であっても、指先の空間感度が低下せずに、高い状態のまま保持されるという報告もある^[1-48]. 以上の通り、対象物の空間的な情報を得るために重要な指先の空間分解能は、年齢や触知経験の違いによって異なることから、凸バーと凸点の寸法を評価する上では、属性が異なるユーザを対象とした豊富な実証データの収集が必要である.

1.4 研究目的と構成

1.4.1 本研究の目的

これまで述べてきたように、高齢者及び視覚障害者における消費生活製品の操作性向上のために、凸記号は有用な触知サインとして国際的に普及しており、国内外で標準が制定されている。しかしながら、凸バーと凸点の寸法や断面形状に関する客観的データが必ずしも十分であるとは言えず、適切な条件を明らかにするための基礎的研究が必要である。そこで本研究の目的を、製品の操作性向上に寄与する凸バーと凸点の寸法及び断面形状を評価することとした。具体的には、凸記号を製品に付す際の2つの役割に応じた課題を設定し、それぞれの課題における凸バーと凸点の寸法及び断面形状の条件を明らかにする実験を行うこととした。

第一の課題では、操作部の機能の識別を示すという役割に対して、異なる機能の操作部に付される凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的とした（第2章及び第3章）。

第二の課題では、凸記号が配列された操作部の位置情報を示すという役割に対して、凸点の寸法及び断面形状が配列された操作部の位置情報に及ぼす影響の評価することとした。具体的には、代表例であるテンキーの位置情報を示すために凸点が付される製品として、国際的にも普及している携帯電話を事例に取り上げ、凸点の寸法及び断面形状が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした（第4章及び第5章）。

1.4.2 本研究の構成

本論文は6章によって構成される。具体的な流れを以下に示す（Fig. 1.6 参照）。

第1章では、本研究の背景、目的、構成に関して述べた。具体的には、世界的な高齢化の進展とそれに伴う視覚障害者人口の増加に対応するために、視覚機能に低下や欠損が生じた高齢者や視覚障害者が利用可能な環境、サービス、製品の普及が国際的に喫緊の課題であることを述べ、その具体的な対応策とし

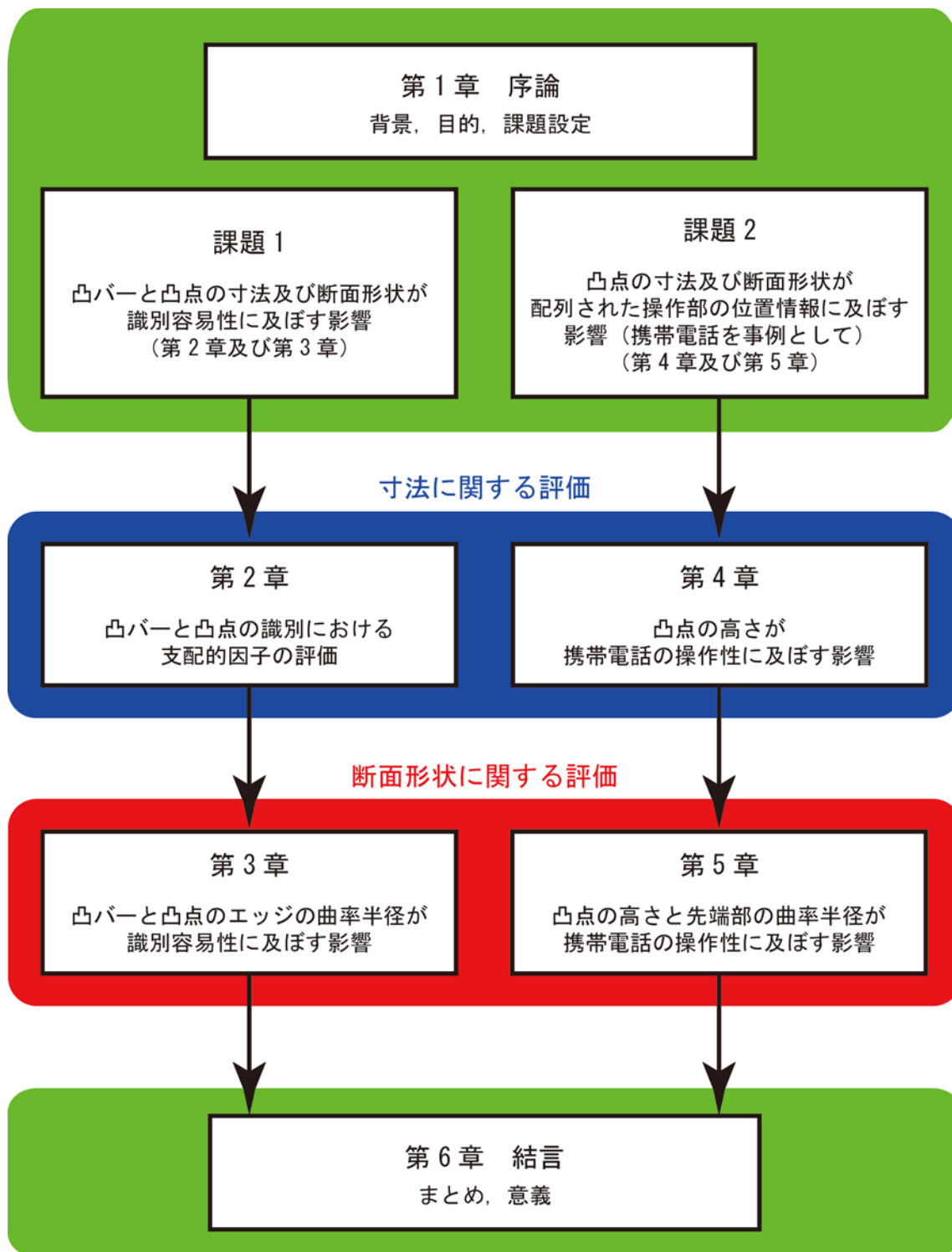


Fig. 1.8 Configuration of this thesis

て、国内外の標準化機関によって推進される高齢者・障害者配慮設計指針の標準化に関する近年の動向を示した。また、そうした配慮設計の代表例である凸記号を取り上げ、我が国における凸記号の標準化に至る過程を概観した。さらに、標準で定められた凸記号の推奨規定を整理した上で、凸記号の推奨寸法及び断面形状に関する客観的データが必ずしも十分ではないという問題点を指摘した。以上を踏まえ、本研究では、製品の操作性向上に寄与する凸バーと凸点の寸法及び断面形状を定量的に評価することを目的とした。

評価に当たっては、凸記号を製品に付す際の役割に応じた基本かつ重要な課題として、以下の2つを設定した。(1) 凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響の評価(第2章及び第3章)。(2) 凸点の寸法及び断面形状が配列された操作部の位置情報に及ぼす影響の評価(第4章及び第5章)。

第2章では、操作部の機能の識別という凸記号の役割の一つに着目し、製品の基本機能の開始部に付す凸点と基本機能の終了部に付す凸バーを、触覚によって識別する際に、支配的な影響を及ぼす寸法の因子を明らかにすることを目的とする。本実験では、凸バーと凸点の寸法に関する因子として、凸バーの長辺と短辺、凸点の直径を評価する。具体的には、凸バーの長辺と短辺、凸点の直径の各寸法を厳密に統制した刺激を、実験参加者に指先で識別させることによって、凸バーと凸点を識別する際の支配的因子を明らかにする。

第3章では、凸バーと凸点の断面形状としてエッジの丸み(曲率半径)に着目し、凸バーと凸点のエッジの曲率半径が識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的とする。本実験では、エッジの曲率半径が厳密に統制された凸バーと凸点の刺激を実験参加者に指先で識別させることによって、エッジの曲率半径による影響を明らかにする。さらに、ヒトの触知覚特性の観点から、加齢や触知経験が異なる参加者を対象とすることによって、年齢や触知経験の年数に関わらず、識別しやすい凸バーと凸点の寸法及び断面形状を網羅的に明らかにする。

第4章では、もう一方の課題として、配列された操作部の位置情報の表示と

いう凸記号の役割に着目し、代表例であるテンキーの位置情報を示すために凸点が付される製品として、国際的に普及している携帯電話を事例に取り上げ、5番キーに付した凸点の高さがその操作性に及ぼす影響を評価することを目的とする。本実験では、凸点の寸法に関する因子として、凸点の高さを評価する。具体的には、高さを厳密に統制した凸点を付した携帯電話の実験装置を用いて、操作性評価実験を行い、凸点の高さと携帯電話の操作性の関係を明らかにする。

第5章では、凸点の断面形状として先端部の尖り具合（曲率半径）に着目し、凸点の高さ及び先端部の曲率半径が操作性に及ぼす影響を評価することを目的とする。具体的には、市販の携帯電話に付された凸点の形状計測調査の結果から、携帯電話においては、お椀形状の凸点における尖り具合が、操作性に影響を及ぼす断面形状の因子であることを示す。さらに、高さと先端部の曲率半径を統制した凸点を付した携帯電話を用いて操作性評価実験を行い、凸点の先端部の曲率半径が操作性へ及ぼす影響を明らかにする。また、実験結果を触知覚特性の観点から詳細に考察することで、類似する操作部に凸点を付す場合にも、参考となる一般的知見を得ることを目指す。

第6章では、本研究によって得られた知見と意義についてまとめる。

1.5 小括

- (1) 世界的な高齢化の進展と近年における視覚障害者人口を示し、外界の情報入手に著しい制限を抱える、視覚機能が低下した高齢者や視覚障害者のニーズに対応した環境、サービス、製品の普及が喫緊の課題であることを述べた。
- (2) 具体的な対応策として、我が国における高齢者・障害者配慮の環境整備に関する法令、研究技術開発の取り組みを簡潔に述べ、国内外の標準化機関による高齢者・障害者配慮設計指針の標準化の動向を示した。
- (3) 高齢者・障害者配慮設計の代表例である凸記号に関して、我が国における標準化に至る過程と、標準で定められた推奨規定を整理した。さらに、

凸記号の寸法及び断面形状に関する客観的データが必ずしも十分であるとは言えず、これらの具体的な設計条件を明らかにするための基礎研究の重要性に関して述べた。

- (4) 本研究は、製品の操作性向上に適う凸バーと凸点の寸法及び断面形状を評価することを目的とした。さらに、凸記号の役割に応じた2つの基本かつ重要な課題を設定した。第一の課題では、凸記号が操作部の機能の識別を示す役割として付されることに着目し、異なる機能の操作キーに付される凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的とした(第2章及び第3章)。第二の課題では、凸記号が配列された操作部の位置情報を示す役割として付されることに着目し、凸点の寸法及び断面形状が配列された操作部の位置情報に及ぼす影響の評価であった。特に、代表例であるテンキーの位置情報を示すために凸点が付される製品として、国際的に普及している携帯電話を事例に取り上げ、凸点の寸法及び断面形状が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした(第4章及び第5章)。

第2章 凸バーと凸点の識別における支配的因子の評価

2.1 目的

2.2 方法

2.3 結果

2.4 考察

2.5 小括

概要

第2章、第3章では、凸記号の2つの役割のうち、「操作部の機能の識別」に適した凸バーと凸点の寸法及び断面形状の条件を評価した実験に関して述べる。

まず、第2章では、凸バーと凸点が指先の触覚により識別される際に、支配的な影響を及ぼす寸法の因子を明らかにすることを目的とした。具体的には、凸バーと凸点の寸法に関する基本的な因子として、凸バーの長辺と短辺、凸点の直径による影響を評価した。本実験では、近年増加傾向にある中途失明者を想定し、手元を遮蔽した晴眼若年者と晴眼高齢者から参加協力を得た。刺激として、長辺と短辺が統制された凸バーと直径を統制した凸点を製作し、実験参加者に指先の触覚のみで識別させる実験を行った。

実験の結果、若年者と高齢者のいずれも、凸バーは長辺と短辺の差が大きいほど容易に識別できたことから、これらの差が凸バーの識別における支配的因子であることが示唆された。また、凸点は、直径が小さいほど正確に識別できたことから、空間分解能を下回る寸法の場合に、凸点と知覚することが確認できた。

2.1 目的

凸記号の役割の一つは、操作部の機能の識別である。本章では、製品の基本機能の開始部に付す凸点と基本機能の終了部に付す凸バーを、触覚により識別する際に支配的な影響を及ぼす寸法の因子を明らかにすることを目的とした。本実験では、凸バーと凸点の寸法に関する基本的な因子として、特に凸バーの長辺と短辺、凸点の直径の寸法の影響を評価することとした。

2.2 方法

本章では、凸バーと凸点の識別実験の方法について、詳細を述べる。

2.2.1 刺激

本実験で使用する刺激の基本設計を Fig. 2.1 に示す。凸記号に関する標準では、凸バーは長辺と短辺、凸点は直径が規定されていることから、まずはこれらの因子による影響を検討することにした。特に、凸バーの長辺は、長軸方向への空間的な広がりを示す点において、凸点との外形の違いを示す重要な因子であると推察された。以上を踏まえ、本実験で用いる刺激として、凸バーは長辺及び短辺を統制し、凸点は直径を統制することとした。

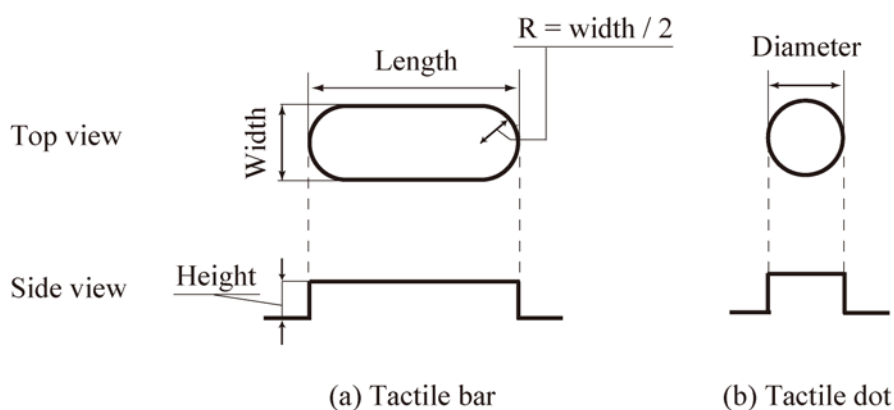


Fig. 2.1 Dimensions of tactile bar and dot used in the experiment

Table 2.1 に示す通り，具体的な寸法の条件は，凸バーの短辺は 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0mm の 5 条件とし，長辺は短辺の各条件に加算する方式で，+0.5, +1.0, +2.0, +3.0, +4.0mm の 5 条件とした．これらの条件の組み合わせで計 25 条件とした．また，凸点の直径は，凸バーの短辺と同様の 5 条件（0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0mm）とした．

以上の凸バーの短辺と，凸点の直径に関しては，JIS S 0011^[2-1]及びISO 24503^[2-2]の推奨寸法である 0.8mmから 2.0mmの範囲を包含し，さらに市場で流通する小型機器に付された微小な凸バーと凸点を参考に，0.5mmを加えた．また，凸バーの長辺は，短辺とほとんど差がない+0.5mmから，凸バーを識別する上で十分な長さであると考えられる+4.0mmまでの範囲とした．以上の寸法は，凸記号に関する標準において推奨された寸法を包含するように設定した．

また，高さに関しては，凸記号に関する標準において推奨されている範囲の寸法であり，触覚により十分に知覚可能な 0.5mm に統一した．なお，エッジの丸みは直角とした．全ての刺激は，50mm×50mm，厚み 10mm のアクリル板の中心に位置するように，エンドミルによる切削加工によって製作した．

Table 2.1 Size conditions of tactile bar and dot in the experiment

Factor	Size
Tactile bar	
Width (mm)	0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0
Length (mm) *	+0.5, +1.0, +2.0, +3.0, +4.0
Tactile dot	
Diameter (mm)	0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0

* The actual length is the size that adds each width to each length condition.

2.2.2 実験参加者

近年増加傾向にある中途失明者を想定し、触知に慣れていない若年晴眼者 20 名（平均 20.8 ± 1.8 歳）と高齢晴眼者 20 名（平均 63.9 ± 3.0 歳）から協力を得た（本章では、以下、若年者、高齢者と記す）。全ての参加者は皮膚に外傷や関連既往歴がなく、右利きであった。

2.2.3 手続き

本実験では、参加者に利き手の手元をカーテンで遮蔽した状態で、利き手の人差し指の腹を用いて、実験者が提示する刺激を自由に触察させた（Fig. 2.2）。参加者には、刺激の形状が識別できたら指を離し、凸点であるか凸バーであるかを 2 肢強制選択で口答させ、その直後には識別に対する主観的な自信の程度として、確信度を 5 段階の等間隔尺度（1：確信なし～5：確信あり）で評価させた。これらの手続きを 1 試行とした。試行数は、凸バー条件の 25 条件は 3 試

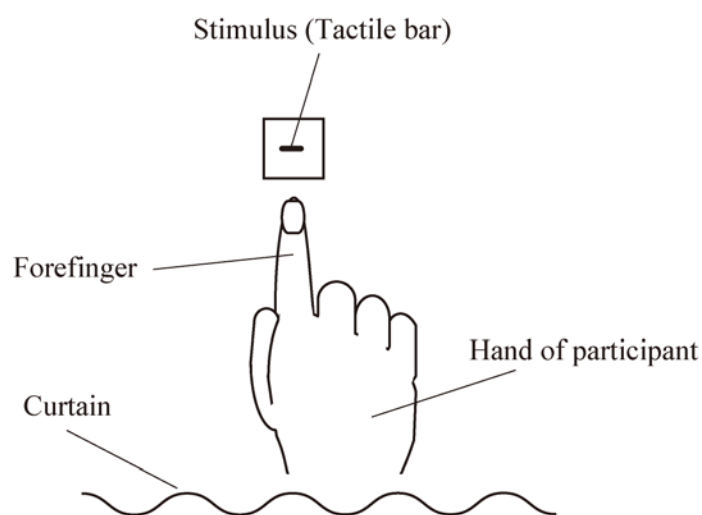


Fig. 2.2 Experimental settings

行ずつ、凸点条件の5条件は15試行ずつ提示することとし、凸バーと凸点を提示する試行数が同数（75回ずつ）になるように調整した。これは、全試行の中で凸バーが提示される割合が多いことによって、参加者が推測に基づいて凸バーと回答しやすくなる傾向を排除するためである。

刺激は全てランダム順に提示し、全ての凸バーは、長辺と参加者の人差し指の長軸方向が、水平面上で垂直に直交するように提示した (Fig. 2.2 参照)。また、触察の際には、人差し指以外の指や上肢は動かさないように教示した。

実験前には、参加者が実験者の教示に従って実験に参加できるように、凸バーと凸点の形状や実験方法に関して説明し、十分な練習試行を行った。実験は、参加者の体調に配慮して休憩をとりながら行い、およそ2時間で終了した。

本研究は、早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得た。また、本実験の前には、参加者に対して研究の詳細を説明し、参加の同意を得た。

2.2.4 評価指標

本実験では、識別時間、正答率、確信度の3つを評価指標とした。識別時間は、参加者が刺激に触れてから指を離すまでの時間とし、デジタルストップウォッチで計測された。また、確信度は、識別時間や正答率では観測できない参加者の主観的な識別しやすさを明らかにするために採用した。

2.2.5 評価方法

若年者と高齢者における各評価指標の結果に関して、凸バーでは長辺と短辺を要因とする2元配置分散分析及び Bonferroni 補正法による多重検定を行い、長辺の条件間の有意差を調べた。同様に、凸点では、直径を要因とする1元配置分散分析を行い、さらに直径の条件間の有意差を調べた。

2.3 結果

2.3.1 凸バー条件の結果

凸バーにおける若年者の各結果を Fig. 2.3 に、高齢者の各結果を Fig. 2.4 に示す。各評価指標の結果では、折れ線グラフと等高線図の 2 種類で示した。等高線図は、凸バーの長辺と短辺の差が大きくなるほど、凸バーの識別容易性が高まる傾向があることを、2次元平面上で容易に確認できるように採用した。

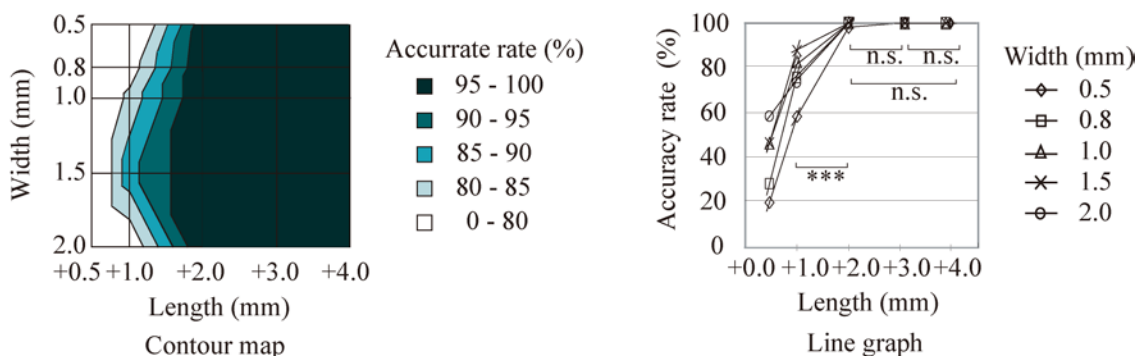
2.3.1.1 凸バー条件における若年晴眼者の結果

分散分析の結果、凸バーの長辺の主効果は、正答率 ($F(4, 76) = 78.4, p < 0.001$)、識別時間 ($F(4, 76) = 35.1, p < 0.001$)、確信度 ($F(4, 76) = 133.6, p < 0.001$) において、それぞれ有意であった。

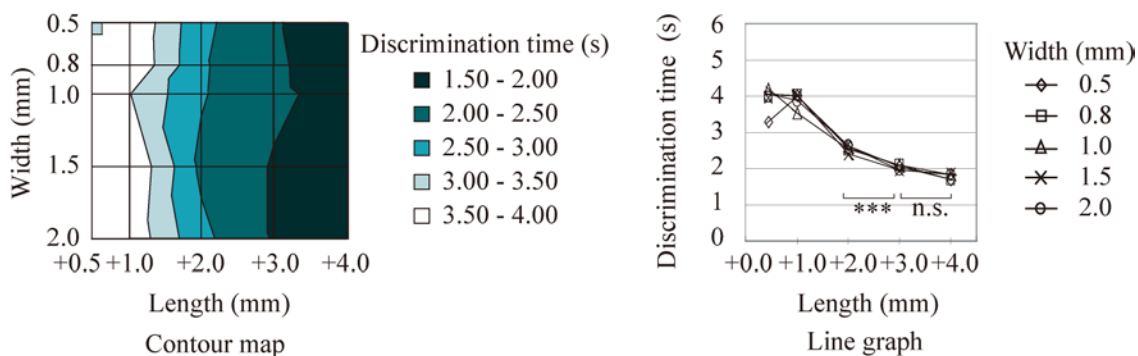
正答率に関して、Fig. 2.3(a)より、凸バーの長辺と短辺の差が大きいほど、正答率が高くなる傾向があることがわかった。短辺の違いによる正答率の顕著な差は見られなかった。また、長辺+1.0mm に対して長辺+2.0mm は有意に正答率が高かった ($p < 0.001$)。さらに、長辺+2.0mm から長辺+4.0mm までの条件間には有意な差は認められず、長辺+2.0mm のときに正答率は高い状態に収束した。+3.0mm 以上の条件では、凸バーをほぼ確実に識別できた。

識別時間に関して、Fig. 2.3(b)より、凸バーの長辺と短辺の差が大きいほど、識別時間が短くなる傾向があることがわかった。短辺の違いによる識別時間の顕著な差は見られなかった。また、長辺+2.0mm に対して長辺+3.0mm は有意に識別時間が短かった ($p < 0.001$)。さらに、長辺+3.0mm と長辺+4.0mm の間には有意な差は認められず、長辺+3.0mm のときに識別時間は短い状態に収束した。

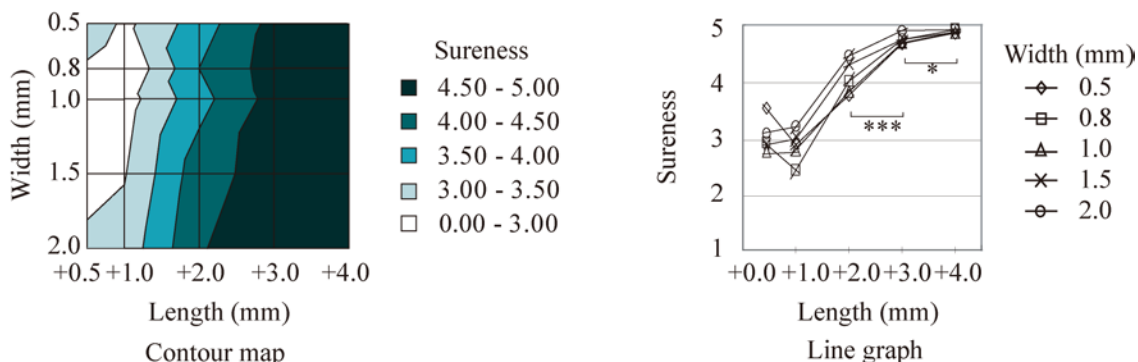
確信度に関して、Fig. 2.3(c)より、凸バーの長辺と短辺の差が大きいほど確信度が高くなる傾向があることがわかった。短辺の違いによる確信度の顕著な差は見られなかった。また、長辺+3.0mm に対して長辺+4.0mm は有意に確信度が高く ($p < 0.05$)、長辺+2.0mm に対して長辺+3.0mm も有意に確信度が高かった ($p < 0.001$)。長辺+3.0mm 以上の条件では、短辺に関わらず、ほぼ確信をもつ



(a) Accuracy rate



(b) Discrimination time



(c) Sureness

*: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$, n.s.: no significant

Fig. 2.3 Results of tactile bar conditions among the sighted younger participants

て識別できた。

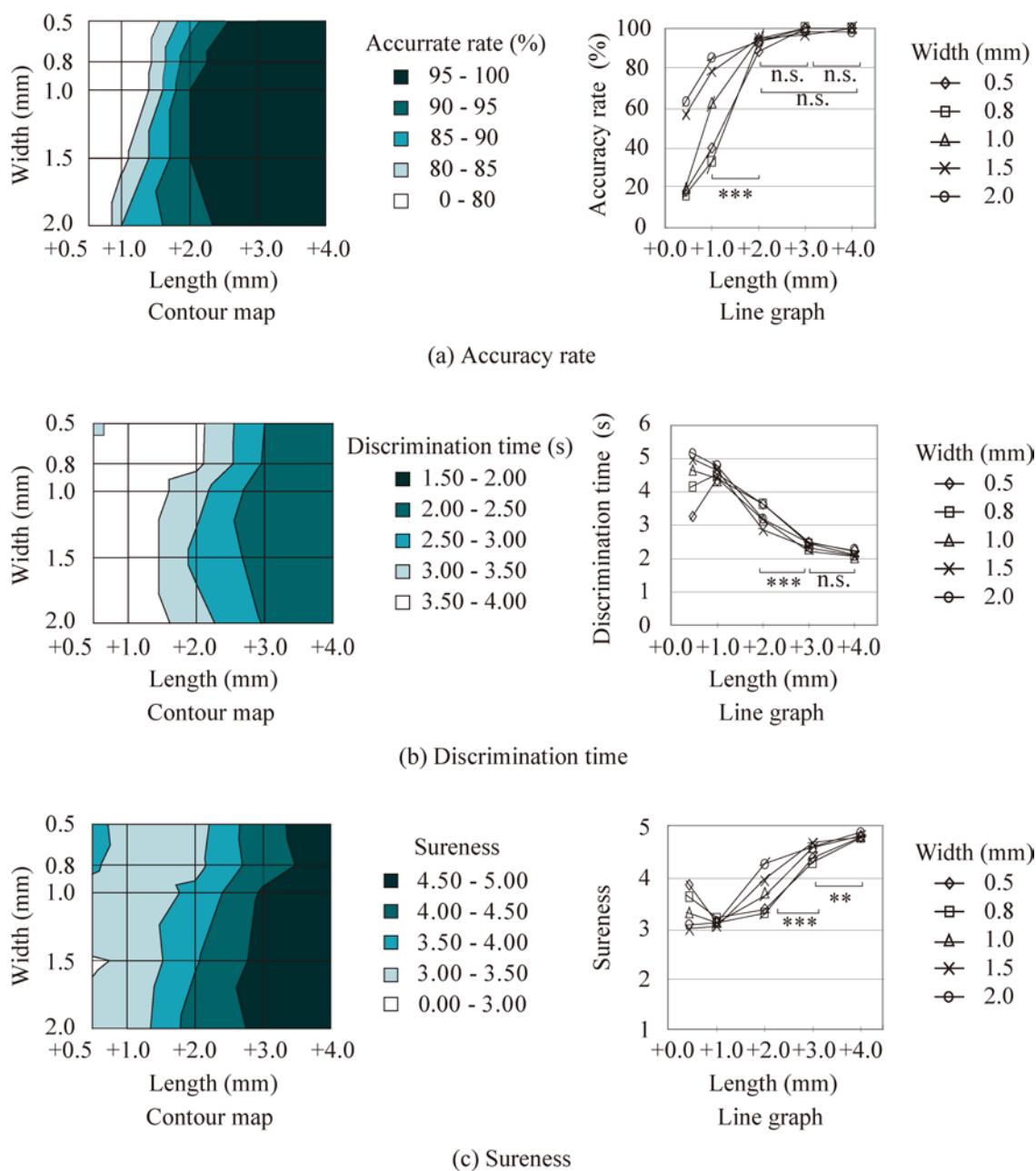
2.3.1.2 凸バー条件における高齢晴眼者の結果

分散分析の結果、長辺の主効果に関して、正答率 ($F(4, 76) = 77.1, p < 0.001$)、識別時間 ($F(4, 76) = 39.4, p < 0.001$)、確信度 ($F(4, 76) = 73.3, p < 0.001$) のいずれも有意であった。

正答率に関して、Fig.2.4(a)より、凸バーの長辺と短辺の差が大きいほど正答率が高くなる傾向があることがわかった。短辺による正答率の顕著な差は見られなかった。また、長辺+1.0mm に対して長辺+2.0mm は有意に正答率が高かった ($p < 0.001$)。さらに、長辺+2.0mm から長辺+4.0mm までの条件間には有意な差は認められず、長辺+2.0mm のときに正答率は高い状態に収束した。長辺+3.0mm 以上の条件では、凸バーをほぼ確実に識別できた。

識別時間に関して、Fig.2.4(b)より、凸バーの長辺と短辺の差が大きいほど識別時間が短くなる傾向があることがわかった。短辺による識別時間の顕著な差は見られなかった。また、長辺+2.0mm に対して長辺+3.0mm は有意に識別時間が短かった ($p < 0.001$)。さらに、長辺+3.0mm と長辺+4.0mm の間には有意な差は認められず、長辺+3.0mm のときに識別時間は短い状態に収束することがわかった。

確信度に関して、Fig.2.4(c)より、凸バーの長辺と短辺の差が大きいほど確信度が高くなる傾向があることがわかった。短辺による確信度の顕著な差は見られなかった。また、長辺+3.0mm に対して長辺+4.0mm は有意に確信度が高く ($p < 0.01$)、長辺+2.0mm に対して長辺+3.0mm も有意に確信度が高かった ($p < 0.001$)。長辺+3.0mm 以上の条件では、短辺に関わらず、ほぼ確信をもって識別できた。



** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$, n.s. : no significant

Fig. 2.4 Results of tactile bar conditions among the sighted older participants

2.3.2 凸点条件の結果

2.3.2.1 凸点条件における若年晴眼者の結果

凸点における若年者の各結果を、Fig.2.5 に示す。分散分析の結果、凸点の直径の主効果は、若年者における正答率 ($F(4, 76) = 7.3, p < 0.001$)、識別時間 ($F(4, 76) = 15.3, p < 0.001$)、確信度 ($F(4, 76) = 28.0, p < 0.001$) において、それぞれ有意であった。

正答率に関して、凸点の直径が大きくなるほど凸点の正答率が低下する傾向があることがわかった。具体的には、Fig.2.5(a)より、直径 2.0mm に対して、直径 0.5mm は有意に正答率が高かった ($p < 0.05$)。

識別時間に関して、凸点の直径が大きくなるほど凸点の識別時間が長くなる傾向があることがわかった。具体的には、Fig.2.5(b)より、直径 0.8mm 及び直径 2.0mm に対して、直径 0.5mm は有意に識別時間が短かった ($p < 0.01$)。

確信度に関して、凸点の直径が大きくなるほど凸点の確信度が低下する傾向があることがわかった。具体的には、Fig.2.5(c)より、直径 0.8mm 及び直径 2.0mm に対して、直径 0.5mm は有意に確信度が高かった ($p < 0.01$)。

2.3.2.2 凸点条件における高齢晴眼者の結果

凸点における高齢者の各結果を、Fig.2.6(a)~(c)に示す。凸点の直径の主効果は、正答率 ($F(4, 76) = 21.3, p < 0.001$)、識別時間 ($F(4, 76) = 18.4, p < 0.001$)、確信度 ($F(4, 76) = 15.4, p < 0.001$) のいずれも有意であった。

正答率に関して、凸点の直径が大きくなるほど正答率が低下する傾向があることがわかった。具体的には、Fig.2.6(a)より、直径 1.5mm 及び直径 2.0mm に対して、直径 0.5mm は有意に正答率が高かった ($p < 0.01$)。

識別時間に関して、凸点の直径が大きくなるほど識別時間が長くなる傾向があることがわかった。具体的には、Fig.2.6(b)より、直径 1.0mm 及び直径 2.0mm に対して、直径 0.5mm は有意に識別時間が短かった ($p < 0.05$)。

確信度に関して、凸点の直径が大きくなるほど確信度が低下する傾向がある

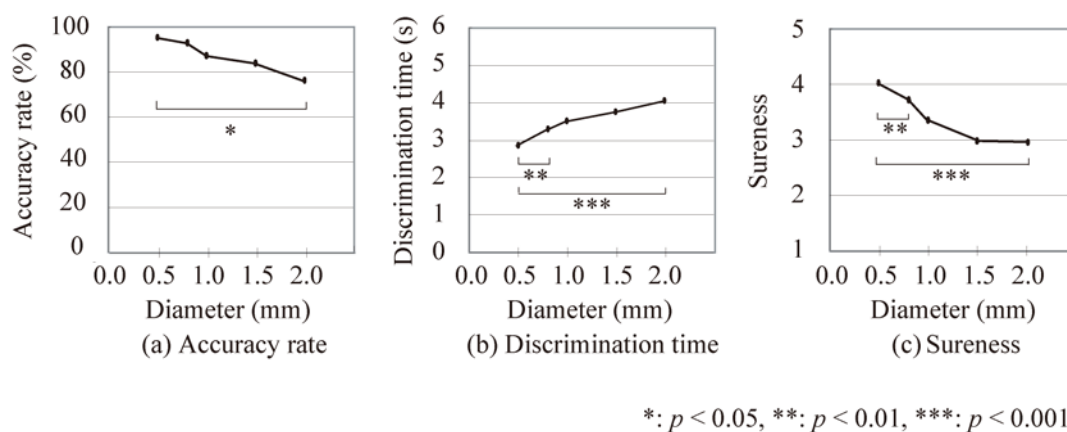


Fig. 2.5 Results of tactile dot conditions among the sighted younger participants

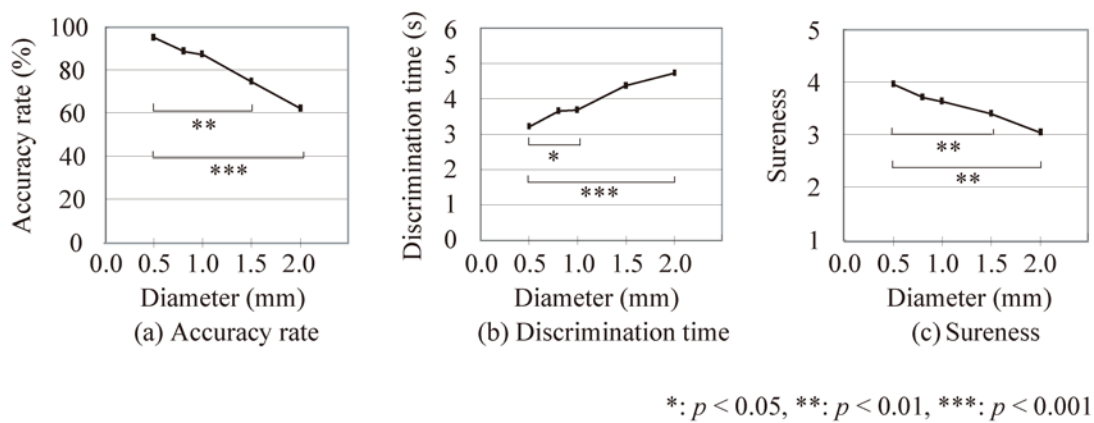


Fig. 2.6 Results of tactile dot conditions among the sighted older participants

ことがわかった。具体的には、Fig.2.6(c)より、直径 1.5mm 及び直径 2.0mm に対して、直径 0.5mm は有意に確信度が高かった ($p < 0.01$)。

2.4 考察

2.4.1 凸バー条件における結果の考察

結果より、若年者と高齢者のいずれにおいても、凸バーの長辺と短辺の差が大きいくほど、凸バーの識別容易性が向上する傾向があることが明らかとなった。筆者が実験中に刺激を識別する参加者の指の動きを観察したところ、まず初めに刺激の長辺を長軸方向に沿って重点的に触察し、その後に短辺を触察するという傾向が、全ての参加者において顕著に見られた。特に、短辺と比べて長辺が+3.0mm 以上の凸バーを提示した試行の多くでは、参加者は短辺にほとんど触れず、長辺のみを触察して回答するという戦略を用いた。以上の結果から、凸バーを識別する上では、長辺と短辺の差が支配的な因子であると考えられる。

また、現行の標準である JIS S 0011 では、長辺は短辺の 5 倍以上と規定されているが、本実験の結果により、凸バーの短辺の長さによって、識別しやすい短辺と長辺の比率が異なることが明らかとなった。例えば、識別時間が短く正答率が高い状態に収束する長辺+3.0mm の条件では、短辺が 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0mm の時、長辺の実寸はそれぞれ 3.5, 3.8, 4.0, 4.5, 5.0mm である。この時、短辺と長辺の各比率は 7 倍、4.75 倍、4 倍、3 倍、2.5 倍であり、凸バーを識別しやすい凸バーの寸法は、必ずしも短辺の 5 倍ではない。即ち、識別しやすい凸バーの長辺の寸法は、長辺と短辺の比では定めることができない。また、長辺の実寸自体も識別に重要でないことも明らかである。以上のことから、凸バーの長辺を短辺の 5 倍と定める現行の規定に対して、長辺を短辺との差によって定めることも、今後規格の改訂の際に十分検討に値すると考えられる。

2.4.2 凸点条件における結果の考察

結果より、若年者と高齢者のいずれにおいても、凸点の直径が大きくなるほ

ど、凸点の識別容易性が低下する傾向であった。実験終了後に、筆者は参加者に対して、刺激の識別しやすさに関する内観報告を求めたところ、以下の2つの回答が得られた。

第一に、一部の参加者から、小さい寸法の刺激は触っても形状のある物体として感じられず、単なる一点の刺激としか感じられないので、凸点と回答したという報告が得られた。ここで、ヒト側の身体特性として、指先における空間分解能に着目すると、Johnsonらは、受動触による、溝のギャップ検出、矩形形状の縞パターンの方角弁別、アルファベットの識別の各実験結果から、人差し指の指腹部による空間分解能は0.9mmに相当すると報告している^[2-3]。空間分解能は測定方法や対象となる実験参加者によっても異なるが、本実験で使用した直径1.0mm以下の凸点は、人差し指の指腹部における空間分解能を下回るほど小さな寸法であるために、形状を知覚すること自体が困難であり、凸点としか知覚できなかつたと考えられる。

第二に、全ての参加者は、直径が大きいと思われる凸点が提示された際には、長辺が非常に短い凸バーではないかと疑ってしまい、判断に迷いが生じたと回答した。これは、直径が大きい凸点ほど、形状を持った幾何学的物体として知覚されるために、凸バーと混同しやすくなつてしまつたと考えられる。広い操作部を持つ製品等においては、直径が大きい凸点の方が、指先で知覚しやすくなるために発見しやすく、適している場合もあると考えられるが、この時凸バーの長辺と短辺が短くならないように配慮することが重要である。即ち、以上のように、凸バーの長辺を短辺に対して十分に長くすることは、凸バーの識別容易性を向上させるだけでなく、凸点の識別容易性の低下を防止する上でも重要であることが示唆された。

2.4.3 断面形状に関する課題

本実験により、凸バーの識別においては、長辺と短辺の差が支配的因子であることが明らかとなつた。また、凸点においては、直径が小さいほど識別しや

すいことが明らかとなった。さらに、凸バーと凸点の識別に関わるヒトの触覚特性として、指先の空間分解能が重要であることが示唆された。

一方、こうした凸バーの長辺と短辺の差や、凸点の直径の大きさの知覚のされ方に対しては、長辺、短辺、直径といった因子以外にも、外形そのものが影響を及ぼすと推察された。具体的には、本実験では、凸バーのエッジは直角であったため、長辺や短辺の幅をエッジに沿って触れることで知覚することができたと考えられるが、エッジの丸みが大きくなると、指先で追従して触知できるエッジ自体が消失してしまうために、長辺と短辺の差が知覚しにくくなってしまう可能性があると考えられた。こうしたエッジの丸みといった断面形状に関する因子の影響については、これまでに詳細に検討されておらず、また既存の凸記号に関する標準では規定自体が存在しないために、実証データとして意義がある。

そこで、次章では、凸バーと凸点の因子としてエッジの丸み（曲率半径）に着目し、エッジの曲率半径が凸バーと凸点の識別容易性に及ぼす影響を明らかにすることにした。

2.5 小括

本章では、凸記号が操作部の機能の識別のために付されるという役割に着目し、凸バーと凸点が触覚により識別される際に支配的な影響を及ぼす寸法の因子を明らかにすることを目的とした。実験の結果、以下の4点が明らかとなった。

- (1) 凸バーの識別においては、長辺と短辺の差が支配的な因子であることが明らかとなった。
- (2) 凸点の識別においては、直径が小さいほど識別しやすいことが明らかとなった。一方、直径が大きい場合でも、凸バーの長辺と短辺の差を大きく設計することで、凸点の識別容易性の低下が防止できることもわかつ

た.

- (3) 凸バーと凸点の識別に関わるヒトの触知覚特性として、指先の空間分解能が重要であることが明らかとなった.
- (4) 本実験では、刺激のエッジを直角としたが、エッジが丸みを帯びると、指先で追従して触知できるエッジ自体が消失してしまい、長辺と短辺の差が知覚しにくくなる等といった可能性があるかと推察された。また、凸バーと凸点の識別に関して、新たにエッジの寸法の変化による影響を評価することによって、これまでに標準では検討されていなかった凸バーと凸点の断面形状に関する実証データが得られる点においても意義深い。

以上のことから、次章では、凸バーや凸点のエッジの丸み（曲率半径）が識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的とする。実験結果を分析することによって、エッジの寸法によって、凸バーが識別しやすい長辺と短辺の差の条件や、凸点の識別しやすい直径の条件が異なるかどうかを、定量的に調べることにした。また、指先における空間分解能が異なる参加者を対象とした評価を行うことで、年齢や触知経験といったユーザの属性に応じた、識別しやすい凸バーと凸点の寸法を網羅的に明らかにすることにした。

第3章 凸バーと凸点のエッジの曲率半径が識別容易性に及ぼす影響

3.1 目的

3.2 方法

3.3 結果

3.4 考察

3.5 小括

概要

第3章では、凸バーと凸点の断面形状としてエッジの丸み（曲率半径）に着目し、凸バーと凸点のエッジの曲率半径が識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的とした。具体的には、長辺、短辺、直径に加え、エッジの曲率半径を統制した凸バーと凸点の刺激を製作し、若年晴眼者・高齢晴眼者及び若年視覚障害者・高齢視覚障害者に、指先で識別させる実験を行った。

その結果、凸バーの短辺とエッジの曲率半径がいずれの寸法であっても、晴眼若年者、若年視覚障害者、高齢視覚障害者では、長辺と短辺の差が2.0mm以上であれば、ほぼ正確に識別できることが明らかとなった。一方、晴眼高齢者では、長辺と短辺の差が3.0mm以上でなければ、正確に識別できないことが分かった。また、凸点は、エッジの曲率半径が大きいほど、正確に識別できることが明らかとなった。

3.1 目的

第2章では、凸バーと凸点の識別における支配的な寸法の因子を評価した。実験の結果、凸バーの識別においては長辺と短辺の差が支配的因子であり、凸

点の識別においては直径が小さいほど識別しやすいことが明らかとなった。また、これらの凸バーと凸点の識別に関わるヒトの触知覚特性として、指先の空間分解能が重要であることが明らかとなった。

一方、凸バーと凸点の因子としては、これまで凸記号に関する標準^{[3-1][3-2]}では規定がなかった凸バーと凸点の断面形状による影響が残されている。例えば、エッジの丸みが大きくなるほど、指で追従することが可能なエッジが消失してしまうために、凸バーの長辺及び短辺の長さや、凸点の直径の大きさを指先で知覚することが、より困難になる可能性があると考えられる。

そこで、本研究では、断面形状としてエッジの丸み（曲率半径、以下： R ）に着目し、凸バーと凸点のエッジの R が識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的とした。また、ヒトの指先における空間分解能は、加齢や触知経験に影響を受けることから、晴眼の若年者及び高齢者と、視覚障害を持つ若年者及び高齢者を対象とした実験を行うことで、指先の特性が異なるユーザにとって識別しやすい寸法を網羅的に明らかにすることとした。

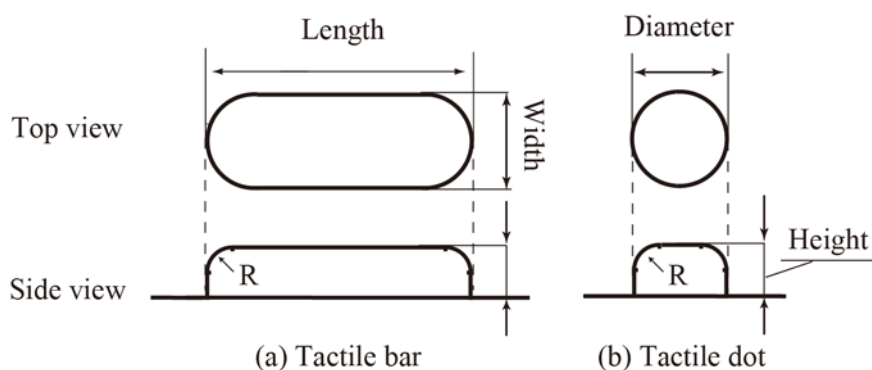


Fig. 3.1 Dimensions of tactile bar and dot used in the experiment (R : Edge radius of curvature)

3.2 方法

3.2.1 刺激

基本設計を Fig. 3.1 に示す。本実験のために、新たにエッジの R を統制した凸バーと凸点の刺激を製作した。エッジの R 以外の因子に関しては、第2章を踏襲し、凸バーは長辺と短辺、凸点は直径を統制することで、これらの因子とエッジの R との組み合わせによる影響も検討した。

具体的な寸法の条件を Table 3.1 に示す。エッジの R の条件は、R0.0mm(直角)、R0.25mm、R0.5mm の3条件とした。

まず、凸バーの条件に関して述べる。凸バーの R0.0mm と R0.25mm の2条件では、短辺は 0.5mm、0.8mm、1.0mm、1.5mm、2.0mm の5条件とし、さらに長辺はこれらの短辺に加算する方式で+0.5mm、+1.0mm、+2.0mm、+3.0mm、+4.0mm の5条件とした。エッジの R2条件×短辺5条件×長辺5条件により小計50条件

Table 3.1 Size conditions of tactile bars and dots in the experiment

(a) Tactile bar conditions		
R (mm)	Length (mm) *	Width (mm)
0.0, 0.25	+0.5, +1.0, +2.0, +3.0, +4.0	0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0
0.5	+0.5, +1.0, +2.0, +3.0, +4.0	1.0, 1.5, 2.0

* The actual length is the size that adds each width to each length condition.

(b) Tactile dot conditions	
R (mm)	Diameter (mm)
0.0, 0.25	0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0
0.5	1.0, 1.5, 2.0

とした。また、R0.5mmでは、短辺を1.0mm, 1.5mm, 2.0mmの3条件とし、長辺は同様の+0.5mmから+4.0mmまでの5条件とした。エッジのR1条件×短辺3条件×長辺5条件により、小計15条件であった。以上の合計で、凸バーは全65条件であった (Table 3.1(a)参照)。

次に、凸点の条件に関して述べる。R0.0mmとR0.25mmの2条件では、直径は0.5mm, 0.8mm, 1.0mm, 1.5mm, 2.0mmの5条件とし、これらの組み合わせで小計10条件であった。また、R0.5mmでは、直径を1.0mm, 1.5mm, 2.0mmの3条件とした。以上の合計により、凸点は全13条件であった (Table 3.1(b)参照)。

なお、Rの条件の設定に関しては、エッジが最も明瞭なR0.0mm (直角)に加えて、短辺及び高さの寸法との兼ね合いを考慮し、設計上のエッジの丸みが保たれる寸法としてR0.25mm及びR0.5mmとした。特に、短辺或いは直径が0.5mmと0.8mmの場合、R0.5mmはエッジの丸み等の外形を設計通りに保つことができないため、条件には含めなかった。なお、R0.25mmは、R0.0mmとR0.5mmの中間にあたる条件であり、Rの条件による結果の変化を調べる上でも参考となる。

刺激は、50mm×50mm、厚さ10mmの亚克力板の中央に位置するように、エンドミルで切削して製作した。なお、全ての刺激は、万能投影機 (株式会社ニコンインストルメンツカンパニー、V-12) を用いて、100倍に拡大投影して寸法を測定し、設計寸法から±0.01mmの誤差で製作できたものを本実験で使用した。

3.2.2 識別時間の計測装置

本実験では、実験参加者が凸バー及び凸点の刺激を識別に要した時間を、高精度 (1/1000 秒) で計測するために、赤外線レーザー変位センサ (キーエンス社製、LJ-808) の信号を用いて、計測の開始と終了をコントロール可能なデジタルストップを作製した (Fig. 3.2)。計測プロセスは、以下の通りである。

計測装置から刺激の表面のすぐ上を通るように、赤外線レーザーを照射し、レ

レーザーがアルミ板に結像されている間、計測待機の状態とする (Fig. 3.2(a)参照). 参加者が人差し指を下ろして刺激に触れると、レーザー光が指に結像するため、これをスタート信号として識別時間の計測を始める (Fig. 3.2(b)). 参加者が識別している間、指にレーザーが結像し続け、識別時間の計測が継続される (Fig. 3.2(c)). その後、参加者が識別を終えて刺激から指を離すと、アルミ板にレーザーが結像し、これをストップ信号として計測を終了する (Fig. 3.2(d)).

3.2.3 実験参加者

第2章で明らかになった通り、凸バーと凸点の識別には、ヒトの触知覚特性として、指先における空間分解能が重要な因子である。指先の空間分解能に対

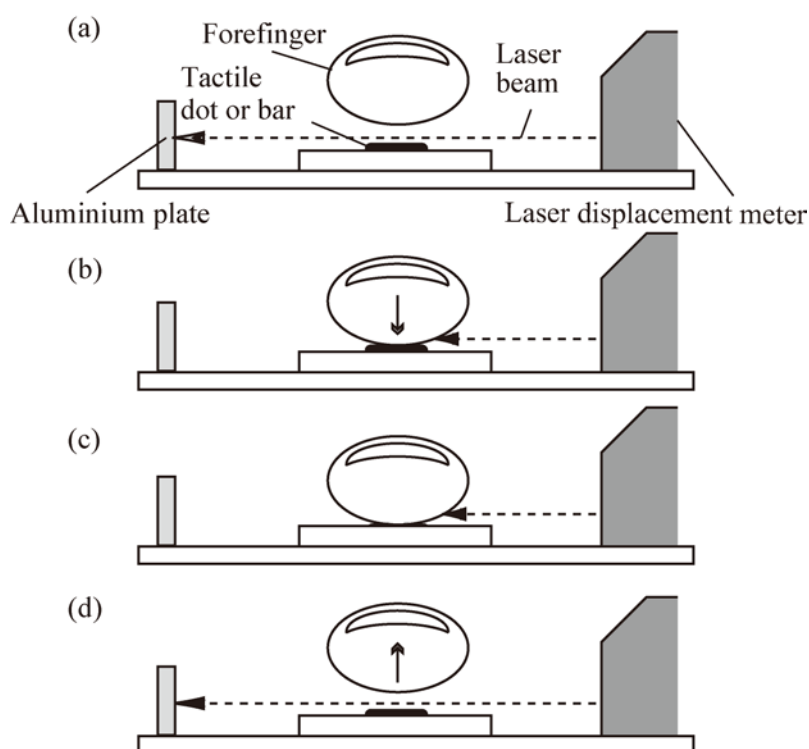


Fig. 3.2 Procedures of measuring discrimination time

しては、多くの先行研究において、加齢による影響と触知経験による影響が指摘されている。具体的には、視覚の有無に関わらず、高齢者は若年者よりも指先の空間分解能が低い^{[3-3][3-4]}。また、晴眼者は視覚障害者よりも、指先の空間分解能が低く^{[3-3][3-4][3-5][3-6]}、この視覚障害者の高い触知覚能力は、日常の豊富な触知経験による可能性がある^{[3-7][3-8]}。

以上の知見を踏まえ、実験参加者として、若年晴眼者 10 名（年齢 20.3 ± 1.8 歳）と高齢晴眼者 10 名（年齢 63.9 ± 2.6 歳）、さらに、若年視覚障害者 10 名（年齢 26.1 ± 4.6 歳、触知経験年数 23.1 ± 7.3 年）と高齢視覚障害者 10 名（年齢 65.3 ± 4.0 歳、触知経験年数 58.1 ± 14.6 年）の協力を得た。以上のうち、晴眼者は、視覚を遮断した条件で刺激を触知させることで、触知経験に乏しい中途失明者を想定した実験を行った。また、全ての参加者は、手指の皮膚や上肢に外傷や関連既往歴がなかった。

3.2.4 手続き

基本的な手続きは、第 2 章の方法を踏襲することにした。以下、簡潔に手続きを示す。参加者に対して、凸バーと凸点の刺激をランダムに提示し、触知しやすい方の手の人差し指のみで識別させた。参加者が晴眼者の場合は、手元をカーテンで遮断した状態で触察させた。参加者には、刺激の形状が識別できたら指を離し、凸点であるか凸バーであるかを、2 肢強制選択で回答させた。その直後に、識別に対する確信度（1：確信なし—5：確信あり）を 5 段階等間隔尺度で評価させた。ここまですべてを 1 試行とし、凸バーの 65 条件は 3 試行ずつ、凸点の 13 条件は 15 試行ずつとすることで、凸バーと凸点の提示回数を同数（195 回）とした。

なお、触察の際には、人差し指以外の指や上肢は動かさないように教示した。また、全ての凸バーは、長辺と参加者の人差し指の長軸方向が、水平面上で垂直に直交するように提示した。

実験前には、手続きに関する説明をするとともに、本項で述べた方法で練習

試行を行い、参加者が実験者の教示する手続きに従って実験に参加できることを確認した。実験は、参加者の体調に配慮し、休憩をとりながら2日に渡って実施した。実験時間は、一人当たり計3時間程度であった。

本研究は、早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得た。また、本実験の前には、参加者に対して研究の詳細を説明し、参加の同意を得た。

3.2.5 評価指標

評価指標として、刺激を識別した際の正答率、識別時間、確信度の3つを採用した。

なお、本実験は、刺激が凸バーであるか凸点であるかを回答させる2肢強制選択の手続きであるため、識別が困難な条件では、正答率が偶然の確率であるチャンスレベルの50%に近似する。また、凸バー条件の正答率が0%に近似するほど、誤って凸点と識別されたことを表し、同様に、凸点の正答率が0%に近似するほど、誤って凸バーと識別されたことを表す。

3.2.6 評価方法

第2章より、凸バーの識別には、長辺と短辺の差が支配的因子であることが明らかとなっている。そこで本研究では、あくまでエッジのRの条件ごとに、識別しやすい長辺と短辺の差が異なるかどうかを詳しく分析した。具体的には、各評価指標の結果において、長辺を要因とした一元配置分散分析とBonferroni補正法による多重比較を行った。

また、第2章において、凸点の識別に関しては、直径が小さいほど早く正確に識別できることが明らかとなっており、とりわけ直径1.0mm以下においてはヒトの指先における空間分解能を下回るために凸点と知覚しやすいと考えられた。一方、直径が大きい凸点は凸バーと誤知覚する傾向にあり、こうした条件においては、エッジのRと直径の交互作用を詳細に分析することによって、識

別しやすい直径とエッジの R の条件の組み合わせを明らかにすることができる
と推察された。そこで凸点に関しては、触知覚特性上、凸バーと識別する可能性
が高まる直径 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm の各条件において、R と直径を要因とする
2 元配置分散分析及び Bonferroni 補正法による多重検定を実施した。

3.3 結果

3.3.1 凸バー条件の結果

凸バー条件に関して、参加者の属性ごとに結果を示す。

3.3.1.1 凸バー条件における若年晴眼者の結果

凸バー条件における若年晴眼者の結果を、Fig. 3.3 に示す。

まず、正答率の結果に関して述べる。分散分析より、全ての R の条件において、
長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4, 36) = 99.5, p < 0.001$, $F(4, 36) = 80.7, p < 0.001$, $F(4, 36) = 79.2, p < 0.001$ ）。多重比較より、R がいずれの条件
であっても、長辺+0.5mm から長辺+2.0mm までの隣り合う条件間において、長
辺が長い条件ほど、正答率が有意に高かった ($p < 0.05$)。全体としては、長辺
+2.0mm 以上では、全ての条件において、正答率が約 95%以上の高い値であった。
一方、長辺+0.5mm では、正答率がチャンスレベルである 50%を下回り、凸点と
知覚する傾向であった。

次に、識別時間の結果に関して述べる。分散分析より、全ての R の条件にお
いて、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4, 36) = 42.8, p < 0.001$, $F(4, 36) = 42.0, p < 0.001$, $F(4, 36) = 44.2, p < 0.001$ ）。多重比較より、R がいずれ
の条件であっても、長辺+1.0mm から長辺+3.0mm までの隣り合う条件間におい
て、長辺が長い条件ほど、識別時間が有意に短かった ($p < 0.05$)。さらに、R0.5mm
においては、長辺+4.0mm は長辺+3.0mm と比べて、識別時間が有意に短かった
($p < 0.001$)。全体としては、長辺と短辺の差が大きいほど早く識別できる傾向
であった。一方、長辺と短辺の差が小さくなるにつれて識別時間が増加したが、

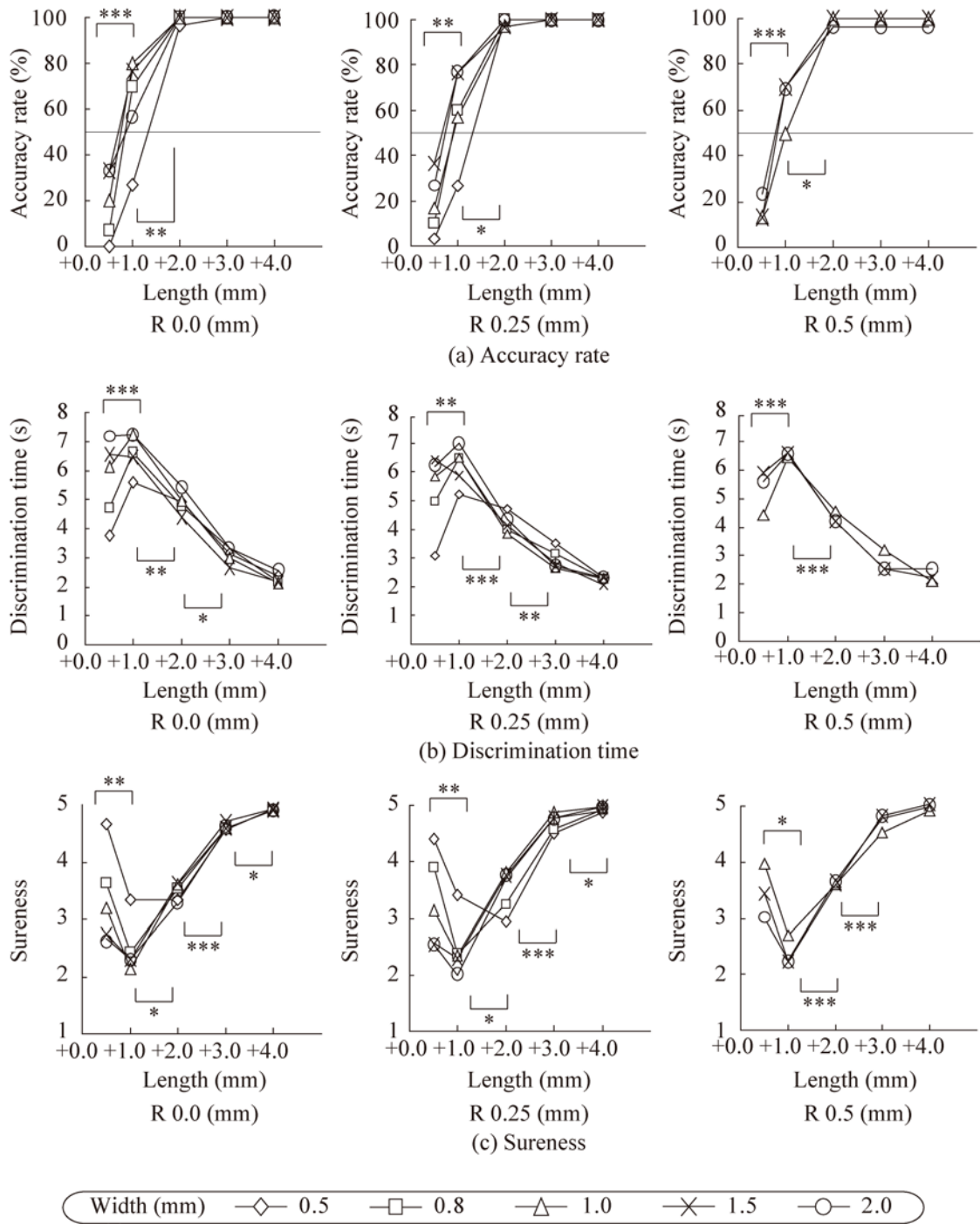


Fig. 3.3 Results of tactile bar conditions among the sighted younger participants

長辺+0.5mm ではこうした増加傾向が逆転し、識別時間が短くなる傾向が見られた。

最後に、確信度の結果に関して述べる。分散分析より、全ての R の条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ、 $F(4, 36) = 49.6, p < 0.001$, $F(4, 36) = 45.2, p < 0.001$, $F(4, 36) = 46.9, p < 0.001$ ）。多重比較の結果より、R がいずれの条件であっても、長辺+0.5mm は長辺+1.0mm と比べて、有意に確信度が高かった ($p < 0.05$)。また、全ての R の条件において、長辺+1.0mm 以上の条件では、長辺が長い条件ほど、有意に確信度が高かった ($p < 0.05$)。全体としては、長辺と短辺の差が大きいほど確信をもって識別できる傾向であった。一方、長辺と短辺の差が小さくなるにつれて確信度が低下したが、長辺+0.5mm では傾向が逆転し、確信度が増加する傾向が見られた。

以上の結果をまとめると、若年晴眼者では、エッジの R の条件に関わらず、長辺と短辺の差が大きいほど、早く正確に確信をもって識別できた。特に、全ての R の条件において、長辺+2.0mm 以上では正答率が高い状態で収束し、ほぼ確実に識別できた。一方、長辺+0.5mm は、正答率が 50%を下回っており、長辺+1.0mm に比べて早く確信をもって誤識別したことから、積極的に凸点と知覚する条件であることが明らかとなった。

3.3.1.2 凸バー条件における高齢晴眼者の結果

凸バー条件における高齢晴眼者の結果を、Fig. 3.4 に示す。

まず、正答率の結果に関して述べる。分散分析より、全ての R の条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4, 36) = 49.1, p < 0.001$, $F(4, 36) = 160.8, p < 0.001$, $F(4, 36) = 83.4, p < 0.01$ ）。また、多重比較より、R がいずれの条件であっても、長辺+0.5mm から長辺+2.0mm までの隣り合う条件間において、長辺が長い条件ほど、正答率が有意に高かった ($p < 0.05$)。また、R0.0mm においては、長辺+3.0mm は長辺+2.0mm と比べて、有意に正答率が高かった ($p < 0.05$)。定性的には、長辺+2.0mm では、短辺や R の条件によっては、正答率が

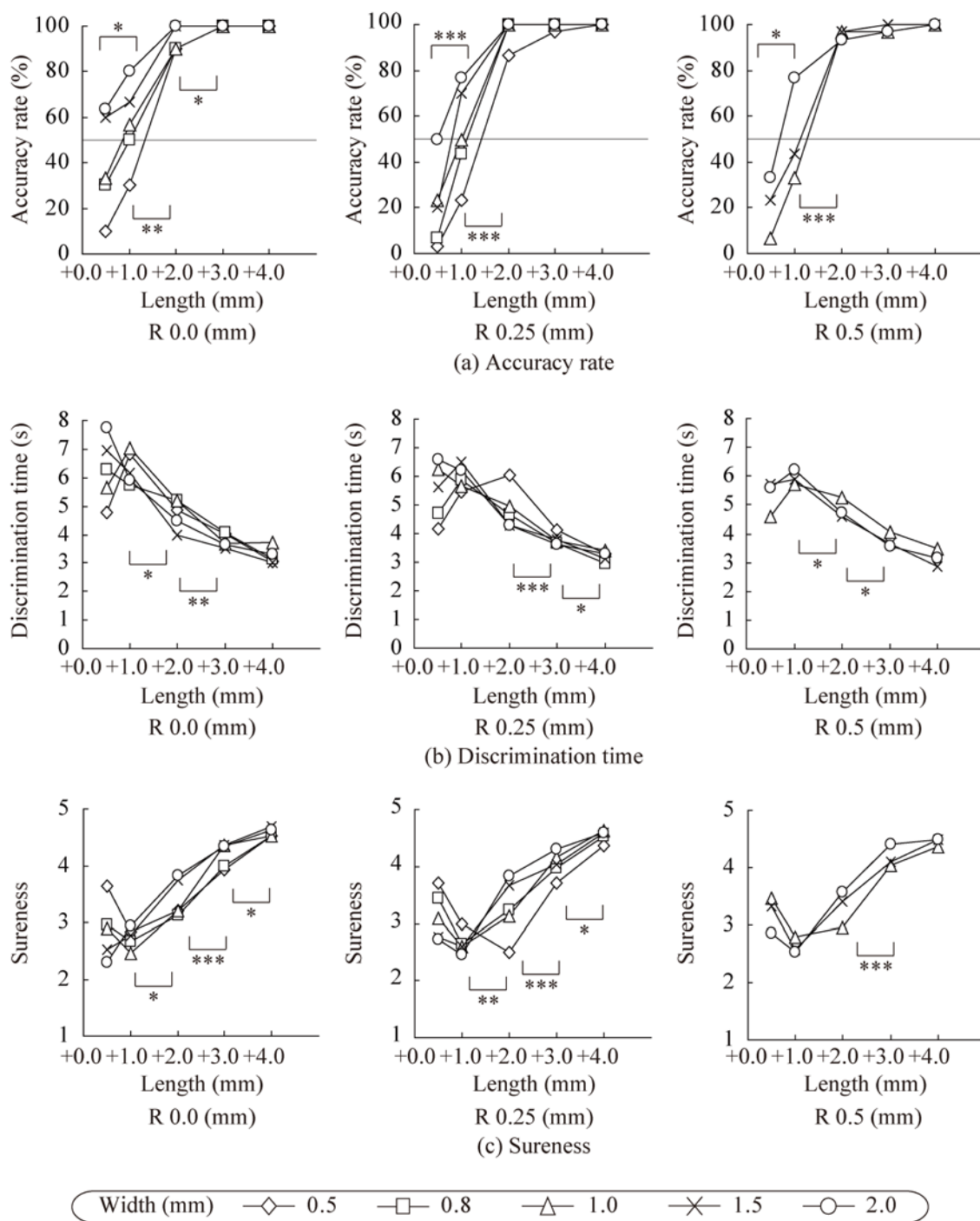


Fig. 3.4 Results of tactile bar conditions among the sighted older participants

約 90%を下回っていたが、長辺+3.0mm 以上では、正答率は約 95%を超える高い値を示した。一方、長辺+0.5mm では、全体として正答率が約 60%以下であり、ほとんど条件はチャンスレベルである 50%を下回った。即ち、長辺+0.5mm は、凸点と知覚する傾向であった。

次に、識別時間の結果に関して述べる。分散分析より、全ての R の条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4, 36) = 39.3, p < 0.001$, $F(4, 36) = 34.7, p < 0.001$, $F(4, 36) = 31.0, p < 0.001$ ）。多重比較より、R0.0mm 及び R0.5mm では、長辺+1.0mm から長辺+3.0mm までの隣り合う条件間において、長辺が長い条件ほど識別時間が有意に短かった ($p < 0.05$)。また、R0.25mm においては、長辺+2.0mm から長辺+4.0mm までの隣り合う条件間において、長辺が長い条件ほど識別時間が有意に短かった ($p < 0.05$)。全体としては、長辺と短辺の差が大きいほど早く識別できる傾向であった。一方、長辺と短辺の差が小さくなるにつれて識別時間が増加したが、多くの R と短辺の条件において、長辺+0.5mm では識別時間の増加傾向が逆転し、識別時間が短くなる傾向であった。

最後に、確信度の結果に関して述べる。分散分析より、全ての R の条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4, 36) = 94.2, p < 0.001$, $F(4, 36) = 60.9, p < 0.001$, $F(4, 36) = 41.2, p < 0.001$ ）。多重比較より、R0.0mm 及び R0.25mm において、長辺+1.0mm 以上の条件において、長辺が長い条件ほど、確信度が有意に高かった ($p < 0.05$)。また、R0.5mm では、長辺+3.0mm は長辺+2.0mm と比べて、有意に確信度が高かった ($p < 0.001$)。全体としては、長辺と短辺の差が大きいほど確信をもって識別できる傾向であった。一方、長辺と短辺の差が小さくなるにつれて確信度が低下し、多くの R と短辺の条件において、長辺+0.5mm では傾向が逆転し、確信度が増加する傾向が見られた。

以上の結果をまとめると、高齢晴眼者では、エッジの R の条件に関わらず、長辺と短辺の差が大きいほど、早く正確に確信をもって識別できた。特に、全ての R の条件において、長辺+3.0mm 以上では正答率が高い状態で収束し、ほぼ確実に識別できた。一方、長辺+0.5mm は、多くの短辺と R の条件において正答

率が50%を下回る傾向であり、さらに長辺+1.0mmに比べて早く確信をもって誤識別した。このことから、長辺+0.5mmは、積極的に凸点と知覚する条件であった。

3.3.1.3 凸バー条件における若年視覚障害者の結果

凸バー条件における若年視覚障害者の結果を、Fig. 3.5に示す。

まず、正答率の結果に関して述べる。分散分析より、全てのRの条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4,36) = 114.7, p < 0.001$, $F(4,36) = 75.4, p < 0.001$, $F(4,36) = 54.9, p < 0.001$ ）。また、多重比較より、全てのRの条件において、長辺+1.0mmは長辺+0.5mmと比べて、正答率が有意に高かった（ $p < 0.001$ ）。また、R0.0mmにおいては、長辺+2.0mmは長辺+1.0mmと比べて、正答率が有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。全体としては、長辺+2.0mm以上では、全ての条件において、正答率が約95%以上の高い値であった。一方、長辺+0.5mmでは、正答率がチャンスレベルである50%を下回り、凸点と知覚する傾向であった。

次に、識別時間の結果に関して述べる。分散分析より、全てのRの条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4,36) = 6.5, p < 0.05$, $F(4,36) = 7.2, p < 0.05$, $F(4,36) = 4.7, p < 0.05$ ）。一方、多重比較では、条件間の有意差は認められなかった。全体としては、長辺と短辺の差が大きいほど早く識別できる傾向であった。一方、長辺と短辺の差が小さくなるにつれて識別時間が増加したが、長辺+0.5mmでは識別時間が短くなる傾向が見られた。

最後に、確信度の結果に関して述べる。分散分析より、全てのRの条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4,36) = 19.3, p < 0.001$, $F(4,36) = 17.2, p < 0.001$, $F(4,36) = 17.6, p < 0.001$ ）。多重比較の結果、全てのRの条件において、長辺+2.0mmは長辺+1.0mmと比べて、確信度が有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。全体としては、長辺と短辺の差が大きいほど確信をもって識別できる傾向であった。一方、長辺と短辺の差が小さくなるにつれて確信度が低下

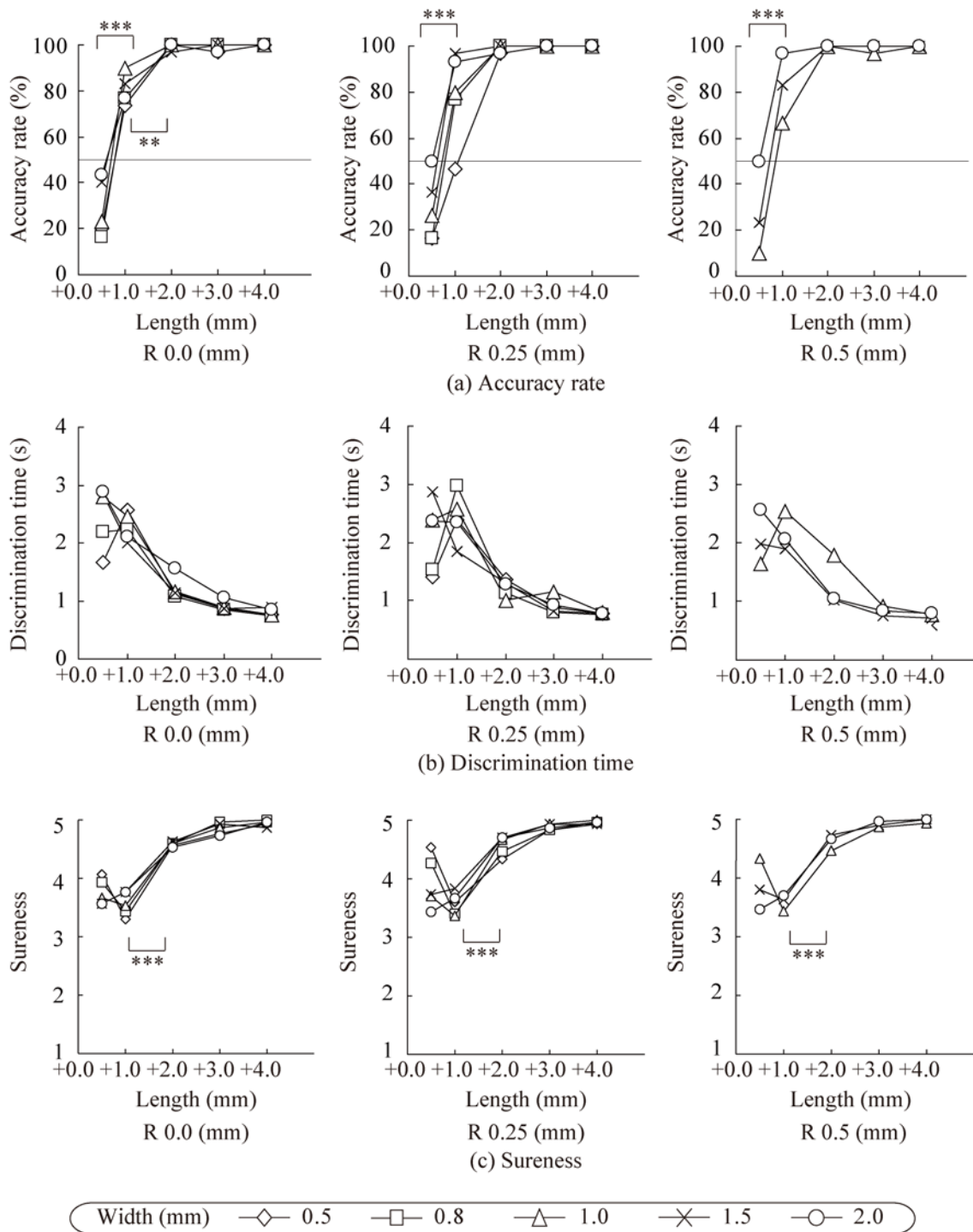


Fig. 3.5 Results of tactile bar conditions among the younger participants with visual impairment

したが、長辺+0.5mm ではその傾向が逆転し、多くの条件において確信度が増加した。

以上の結果をまとめると、若年視覚障害者では、エッジの R の条件に関わらず、長辺と短辺の差が大きいほど、早く正確に確信をもって識別できた。特に、全ての R の条件において、長辺+2.0mm 以上では正答率が高い状態で収束し、ほぼ確実に識別できた。一方、長辺+0.5mm は、正答率が 50%を下回り、凸点と知覚する傾向であった。また、長辺+1.0mm に比べて早く確信をもって誤識別したことから、長辺+0.5mm は積極的に凸点と知覚する条件であった。

3.3.1.4 凸バー条件における高齢視覚障害者の結果

凸バー条件における高齢視覚障害者の結果を、Fig. 3.6 に示す。

まず、正答率の結果に関して述べる。分散分析より、全ての R の条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4, 36) = 22.7, p < 0.001$, $F(4, 36) = 35.2, p < 0.001$, $F(4, 36) = 40.0, p < 0.001$ ）。また、多重比較より、全ての R の条件において、長辺+1.0mm は長辺+0.5mm と比べて、正答率が有意に高かった ($p < 0.01$)。定性的には、長辺+1.0mm では、各 R の条件において短辺が短いほど正答率が低く、70%程度の低い条件も確認できた。一方、全体としては、長辺+2.0mm 以上では、全ての条件において正答率は約 95%以上であった。一方、長辺+0.5mm は全体的に正答率が低く、10%から 80%の範囲であった。特に、多くの条件は、正答率が約 30%から 70%の範囲であり、チャンスレベルである 50%に近い値を示した。即ち、全体として識別自体が容易ではなかった。

次に、識別時間の結果に関して述べる。分散分析より、全ての R の条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4, 36) = 25.9, p < 0.001$, $F(4, 36) = 26.0, p < 0.001$, $F(4, 36) = 19.3, p < 0.001$ ）。多重比較の結果、R0.0mm と R0.25mm において、長辺+2.0mm は長辺+1.0mm と比べて、識別時間が有意に短かった ($p < 0.05$)。また、R0.25mm と R0.5mm において、長辺+3.0mm は長辺+2.0mm と比べて、識別時間が有意に短かった ($p < 0.05$)。全体としては、長辺

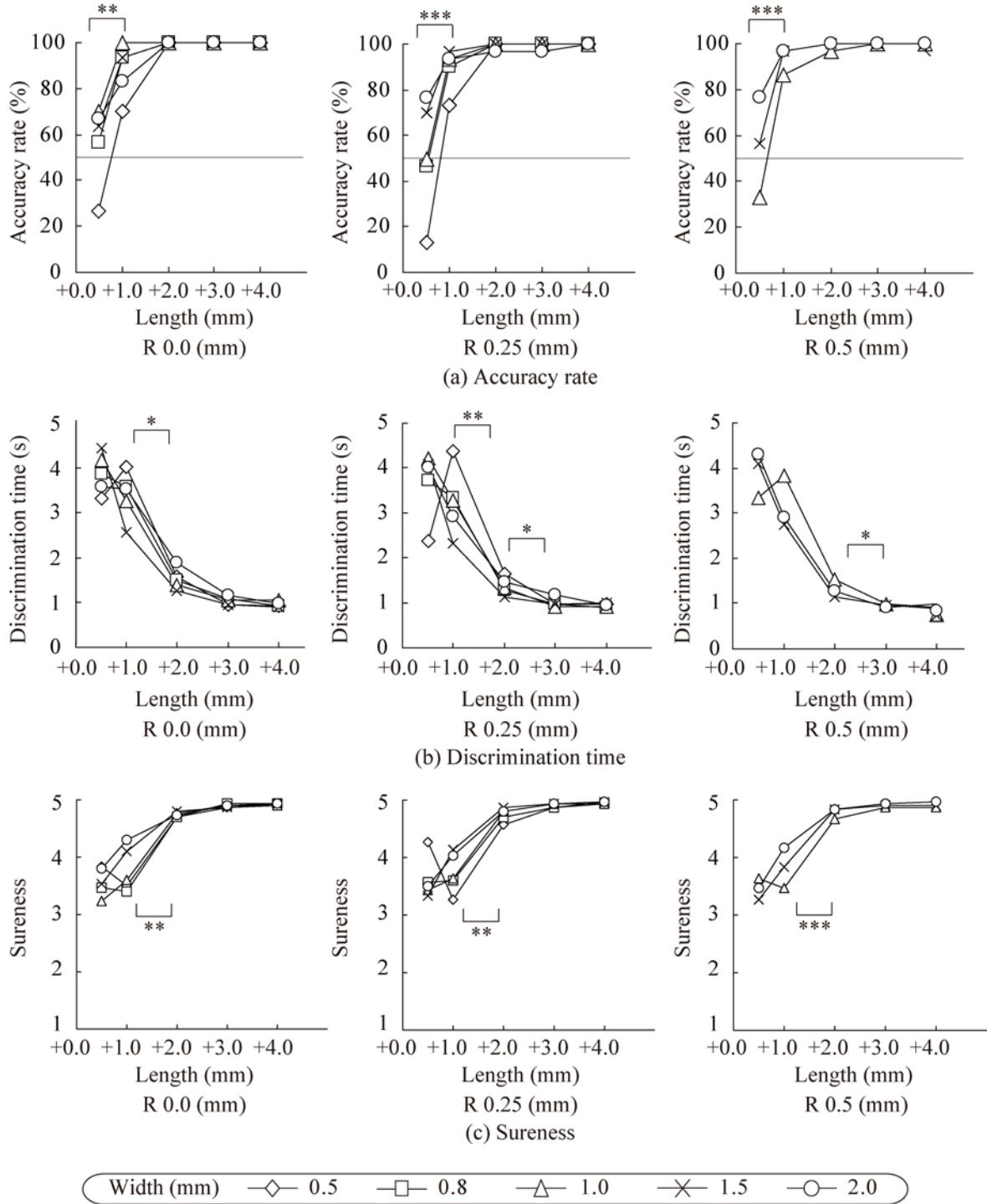


Fig. 3.6 Results of tactile bar conditions among the older participants with visual impairment

と短辺の差が大きいほど早く識別できる傾向であった。

最後に、確信度の結果に関して述べる。分散分析より、全ての R の条件において、長辺の主効果が有意であった（それぞれ $F(4, 36) = 27.8, p < 0.001$, $F(4, 36) = 24.0, p < 0.001$, $F(4, 36) = 39.6, p < 0.001$ ）。多重比較の結果、全ての R の条件において、長辺+2.0mm は長辺+1.0mm と比べて、確信度が有意に高かった ($p < 0.01$)。全体としては、長辺と短辺の差が大きいほど確信をもって識別できる傾向であった。

以上の結果をまとめると、高齢視覚障害者では、エッジの R の条件に関わらず、長辺と短辺の差が大きいほど、早く正確に確信をもって識別できた。特に、全ての R の条件において、長辺+2.0mm 以上では正答率が高い状態で収束し、ほぼ確実に識別できた。一方、長辺+0.5mm では、多くの R と短辺の条件において、正答率が 30% から 70% の範囲であった。また、長辺+0.5mm は、長辺+1.0mm と比べて識別時間が長く、確信度が低い傾向であったことから、高齢視覚障害者にとっては、長辺+0.5mm は、識別自体が困難な条件であった。

3.3.1.5 凸バー条件における結果の総合評価

分散分析の結果、全ての参加者属性及び評価指標において、長辺の主効果が有意であった。全体の傾向としては、全ての参加者属性において、エッジの R の条件に関わらず、長辺と短辺の差が大きいほど、早く正確に確信をもって識別できる傾向であった。特に、R や短辺の条件に関わらず、正答率が 95% を超える長辺の条件は、若年晴眼者では長辺+2.0mm、高齢晴眼者では長辺+3.0mm、若年視覚障害者では長辺+2.0mm、高齢視覚障害者では長辺+2.0mm であり、高齢晴眼者のみ、長辺と短辺の差がより大きくなければ正確に識別することができなかった。

一方、長辺と短辺の差が小さいほど、正答率及び確信度が低下し、識別時間が増加する傾向であった。しかし、若年晴眼者、高齢晴眼者、若年視覚障害者では、長辺+0.5mm において識別時間が短く、確信度が増加する傾向であり、さ

らに多くの短辺と R の条件において正答率が 50%を下回る傾向であった。以上のことから、長辺+0.5mm の凸バーは、積極的に凸点と知覚する条件であることが明らかとなった。なお、高齢視覚障害者をみると、長辺+0.5mm は、多くの R と短辺の条件において、正答率が 30%から 70%の範囲であり、さらに識別時間が長く、確信度が低い傾向であった。即ち、高齢視覚障害者にとっては、長辺+0.5mm は識別自体が困難な条件であった。

3.3.2 凸点条件の結果

3.3.2.1 凸点条件における若年晴眼者の結果

凸点条件における若年晴眼者の結果を、Fig. 3.7 に示す。

まず、正答率の結果に関して述べる。分散分析の結果からは、交互作用、R 及び直径の各主効果は、全て認められなかった。一方、全体の傾向としては、直径が小さい条件ほど、総じて正答率が高かった。また、直径 2.0mm では、R が大きいほど、正答率が高い傾向であり、R0.25mm と R0.5mm は、R0.0mm と比べて、正答率の平均値は 10%ほど高かった。

次に、識別時間の結果に関して述べる。分散分析の結果、エッジの R ($F(2, 18) = 28.9, p < 0.001$) と直径 ($F(2, 18) = 26.6, p < 0.001$) の主効果が有意であった。多重比較の結果、R0.5mm は、R0.0mm 及び R0.25mm と比べて、識別時間が有意に短く (それぞれ $p < 0.001, p < 0.01$)、さらに、R0.25mm は、R0.0mm と比べて識別時間が有意に短かった ($p < 0.05$)。また、直径 1.0mm は、直径 2.0mm 及び直径 1.5mm と比べて識別時間が短く (それぞれ $p < 0.001, p < 0.01$)、さらに直径 1.5mm は、直径 2.0mm と比べて識別時間が短かった ($p < 0.05$)。

最後に、確信度の結果に関して述べる。分散分析の結果、交互作用 ($F(4, 36) = 3.2, p < 0.05$)、エッジの R ($F(2, 18) = 25.43, p < 0.001$)、直径 ($F(2, 18) = 27.3, p < 0.001$) の主効果が、いずれも有意であった。多重比較の結果、直径 1.0mm においては、R0.5mm は R0.0mm と比べて確信度が有意に高かった ($p < 0.05$)。また、直径 1.5mm においては、R0.25mm 及び R0.5mm は、R0.0mm と比べて有

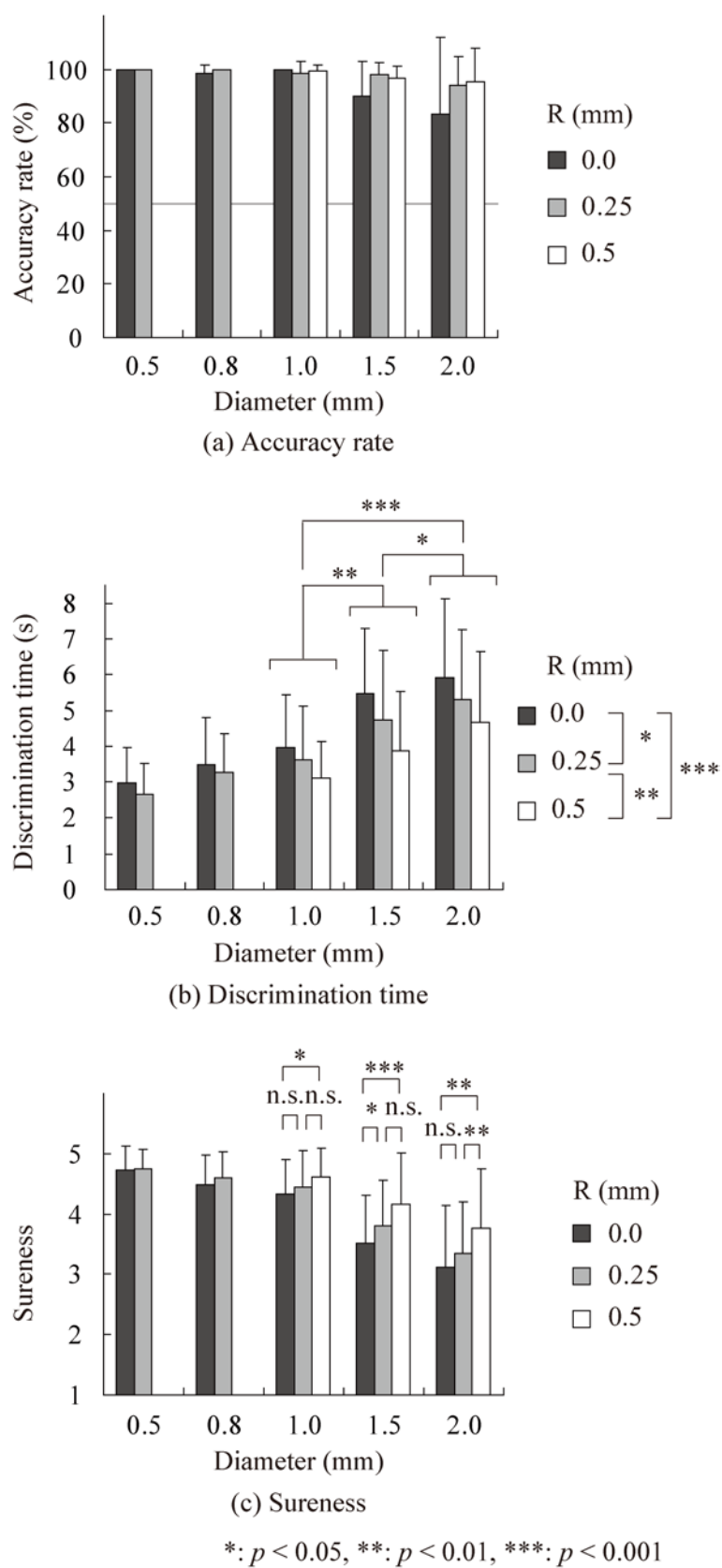


Fig. 3.7 Results of tactile dot conditions among the sighted younger participants

意に確信度が高かった（それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.001$ ）。さらに、直径 2.0mm においては、R0.5mm は、R0.0mm 及び R0.25mm と比べて有意に確信度が高かった（ $p < 0.01$ ）。一方、R0.0mm においては、直径 1.0mm は、直径 1.5mm 及び直径 2.0mm と比べて、有意に確信度が高かった（それぞれ $p < 0.001$, $p < 0.01$ ）。また、R0.25mm においては、直径 1.0mm は、直径 1.5mm 及び直径 2.0mm と比べて、有意に確信度が高かった（それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.001$ ）。さらに、直径 1.5mm は直径 2.0mm と比べて、有意に確信度が高く（ $p < 0.01$ ）、R0.5mm においては、直径 1.0mm は、直径 1.5mm 及び直径 2.0mm と比べて、有意に確信度が高かった（それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$ ）。さらに、直径 1.5mm は直径 2.0mm と比べて、有意に確信度が高かった（ $p < 0.01$ ）。

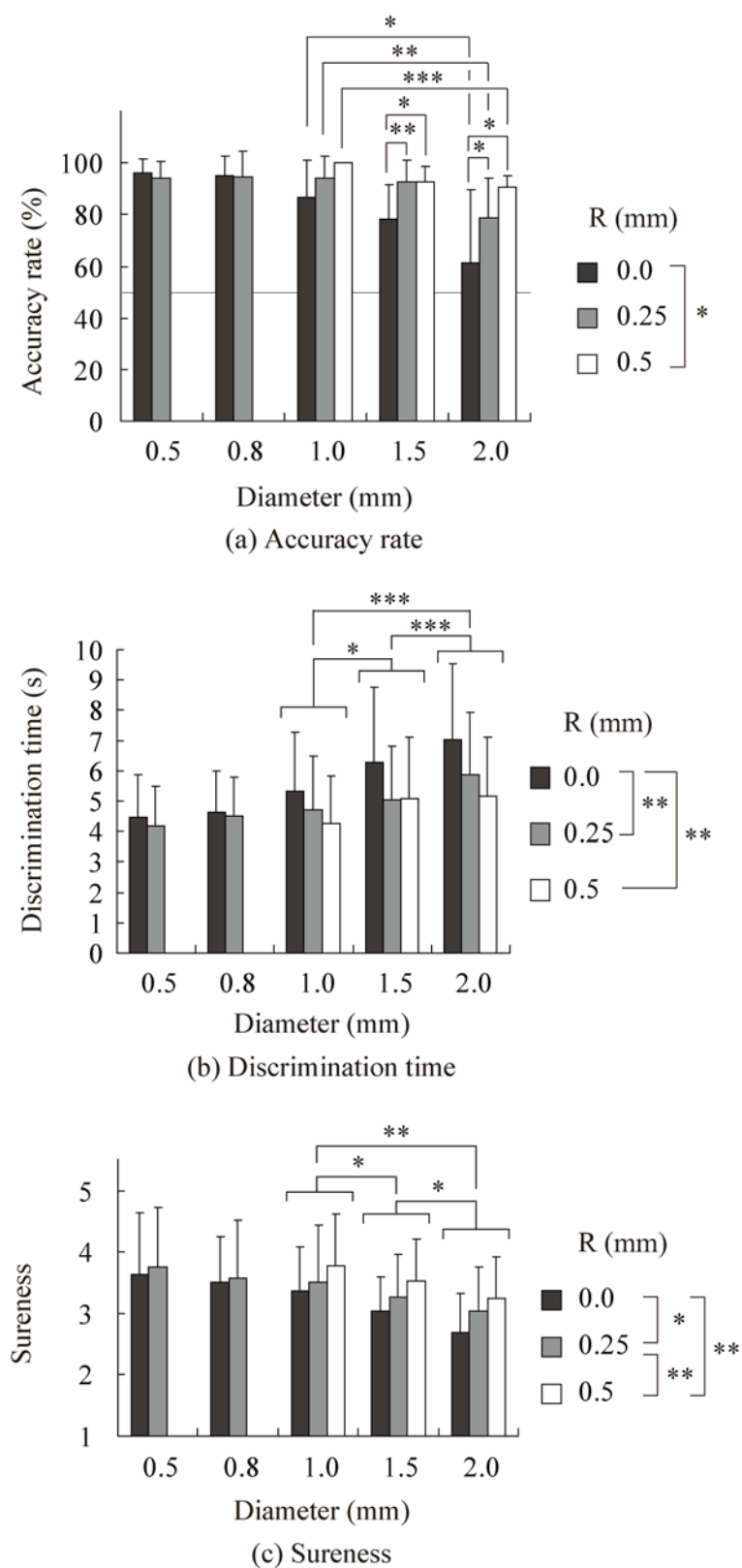
以上の結果をまとめると、若年晴眼者では、凸点のエッジの R が大きく、直径が小さい条件ほど、早く正確に確信をもって識別する傾向であった。

3.3.2.2 凸点条件における高齢晴眼者の結果

凸点条件における高齢晴眼者の結果を、Fig. 3.8 に示す。

まず、正答率の結果に関して述べる。分散分析の結果、交互作用 ($F(4, 36) = 3.9$, $p < 0.01$)、エッジの R ($F(2, 18) = 12.8$, $p < 0.01$) 及び直径 ($F(2, 18) = 19.8$, $p < 0.001$) の主効果が有意であった。多重比較の結果、直径 1.5mm では、R0.25mm 及び R0.5mm は、R0.0mm と比べて正答率が高かった（それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$ ）。同様に直径 2.0mm においても、R0.25mm 及び R0.5mm は、R0.0mm と比べて正答率が高かった（ともに $p < 0.05$ ）。さらに、全ての R の条件において、直径 1.0mm は直径 2.0mm と比べて、正答率が有意に高かった（それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ ）。定性的には、直径が大きい条件ほど、R の条件間の正答率の差が大きかった。具体的には、直径 1.0mm では、R0.0mm と R0.5mm の正答率の差はおよそ 13%であったが、直径 2.0mm では、これらの差はおよそ 29%であった。

次に、識別時間の結果に関して述べる。分散分析の結果、エッジの R ($F(2, 18) = 20.0$, $p < 0.001$) と直径 ($F(2, 18) = 25.7$, $p < 0.001$) の主効果が有意であった。



*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

Fig. 3.8 Results of tactile dot conditions among the sighted older participants

多重比較の結果、R0.25mm と R0.5mm は、R0.0mm と比べて、識別時間が有意に短かった（ともに $p < 0.01$ ）。また、直径 1.0mm は直径 1.5mm と比べて、識別時間が有意に短く（ $p < 0.05$ ）、直径 1.5mm 及び直径 1.0mm は、直径 2.0mm と比べて識別時間が有意に短かった（ともに $p < 0.001$ ）。

最後に、確信度の結果に関して述べる。分散分析の結果、エッジの R ($F(2, 18) = 17.5, p < 0.001$)、直径 ($F(2, 18) = 13.4, p < 0.001$) の主効果が有意であった。また、多重比較の結果、R0.25mm 及び R0.5mm は、R0.0mm と比べて、確信度が有意に高かった（それぞれ $p < 0.05, p < 0.01$ ）。同様に、R0.5mm は、R0.25mm と比べて有意に確信度が高かった（ $p < 0.01$ ）。また、直径 1.0mm は、直径 1.5mm と比べて確信度が有意に高く（ $p < 0.05$ ）、直径 1.5mm 及び直径 1.0mm は、直径 2.0mm と比べて確信度が有意に高かった（それぞれ $p < 0.05, p < 0.01$ ）。

以上の全ての結果をまとめると、高齢晴眼者では、全体として、R が大きく、直径が小さい条件ほど、早く正確に確信をもって識別する傾向であった。

3.3.2.3 凸点条件における若年視覚障害者の結果

凸点条件における若年視覚障害者の結果を、Fig. 3.9 に示す。

まず、正答率の結果に関して述べる。分散分析の結果からは、交互作用、R 及び直径の各主効果は、全て認められなかった。一方、全体の傾向としては、直径が大きい条件は、総じて正答率が低かった。また、直径 1.5mm 及び 2.0mm では、R が小さいほど、正答率が低い傾向であった。特に、R0.0mm は、R0.5mm と比べて、正答率の平均値が 10%ほど低かった。

次に、識別時間の結果に関して述べる。分散分析の結果、エッジの R ($F(2, 18) = 11.1, p < 0.001$) の主効果が有意であった。多重比較の結果、R0.5mm は、R0.0mm 及び R0.25mm と比べて、有意に識別時間が短かった（ $p < 0.05$ ）。

最後に、確信度の結果に関して述べる。分散分析の結果、エッジの R ($F(2, 18) = 9.5, p < 0.001$) と直径 ($F(2, 18) = 25.2, p < 0.001$) の主効果が有意であった。多重比較の結果、R0.25mm と R0.5mm は、R0.0mm と比べて、確信度が有意に高

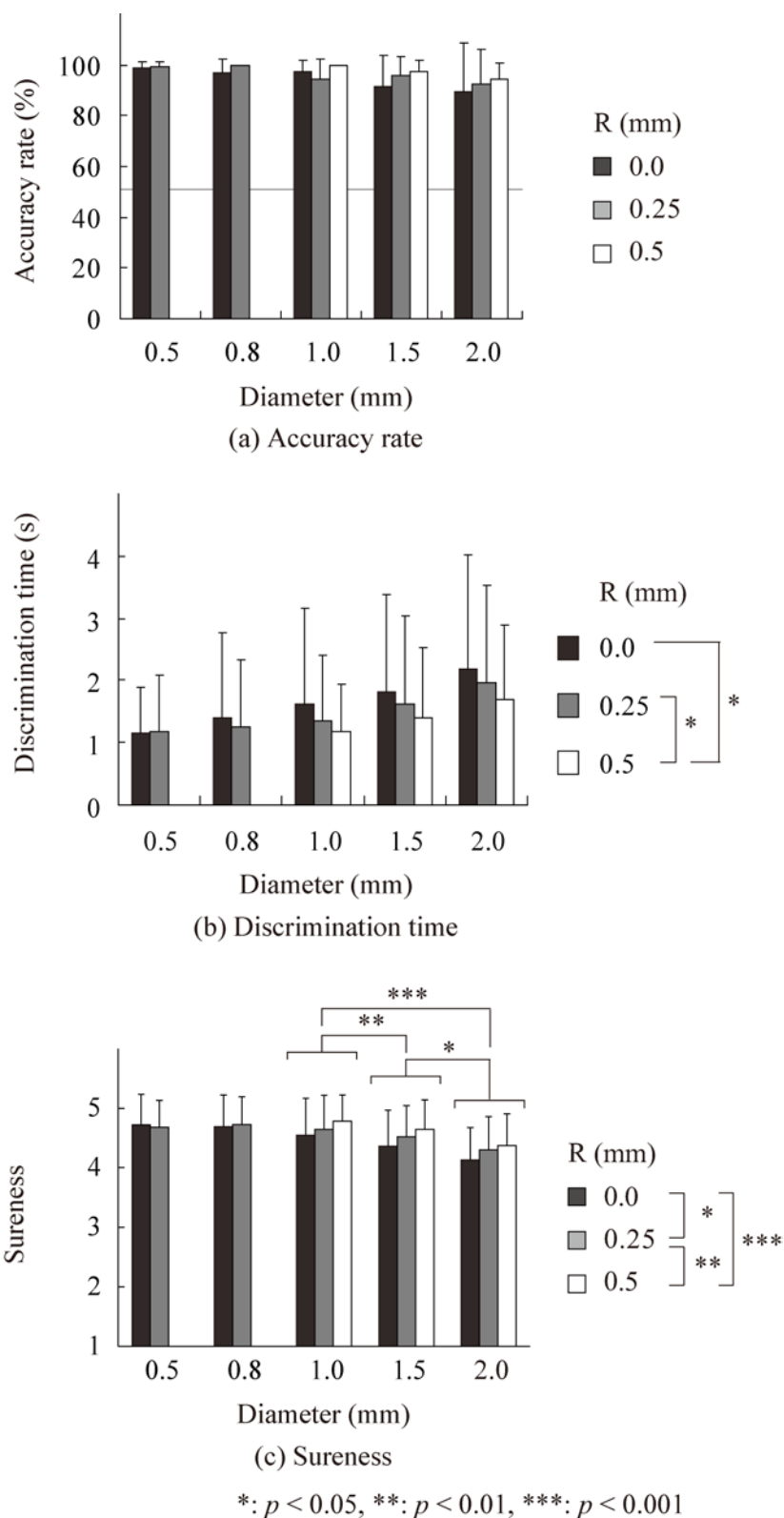


Fig. 3.9 Results of tactile dot conditions among the younger participants with visual impairment

かった ($p < 0.05$). また, 直径 1.0mm は, 直径 1.5mm 及び直径 2.0mm と比べて, 有意に確信度が高かった (それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.001$). また, 直径 1.5mm は, 直径 2.0mm と比べても, 有意に確信度が高かった ($p < 0.01$).

以上の全ての結果をまとめると, 若年視覚障害者では, 全体として, R が大きく, 直径が小さい条件ほど, 早く正確に確信をもって識別する傾向であった.

3.3.2.4 凸点条件における高齢視覚障害者の結果

凸点条件における高齢視覚障害者の結果を, Fig. 3.10 に示す.

まず, 正答率の結果に関して述べる. 分散分析の結果, エッジの R ($F(2, 18) = 6.8$, $p < 0.05$), 直径 ($F(2, 18) = 10.0$, $p < 0.01$) の主効果が有意であった. 多重比較の結果, 直径 1.5mm 及び直径 1.0mm は, 直径 2.0mm と比べて, 有意に正答率が高かった ($p < 0.05$). 一方, R の条件間において, 有意差は認められなかった.

次に, 識別時間の結果に関して述べる. 分散分析の結果, 交互作用 ($F(4, 36) = 3.4$, $p < 0.05$), エッジの R ($F(2, 18) = 13.9$, $p < 0.001$), 直径 ($F(2, 18) = 20.5$, $p < 0.001$) の各主効果が有意であった. 多重比較の結果, 直径 1.0mm 及び直径 1.5mm においては, $R0.5mm$ は $R0.0mm$ と比べて, 識別時間が有意に短かった ($p < 0.01$). また, 全ての R の条件において, 直径 1.0mm は直径 2.0mm と比べて, 識別時間が有意に短かった ($p < 0.05$).

最後に, 確信度の結果に関して述べる. 分散分析の結果, 確信度は, エッジの R ($F(2, 18) = 11.6$, $p < 0.001$) と直径 ($F(2, 18) = 30.2$, $p < 0.001$) の主効果が有意であった. 多重比較の結果より, $R0.5mm$ は, $R0.0mm$ 及び $R0.25mm$ と比べて, 有意に確信度が高かった ($p < 0.05$). また, 直径 1.5mm 及び直径 2.0mm は, 直径 1.0mm と比べて, 有意に確信度が高かった (それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.001$). 以上の全ての結果をまとめると, 高齢視覚障害者では, 全体として, R が大きく, 直径が小さい条件ほど, 早く正確に確信をもって識別する傾向であった.

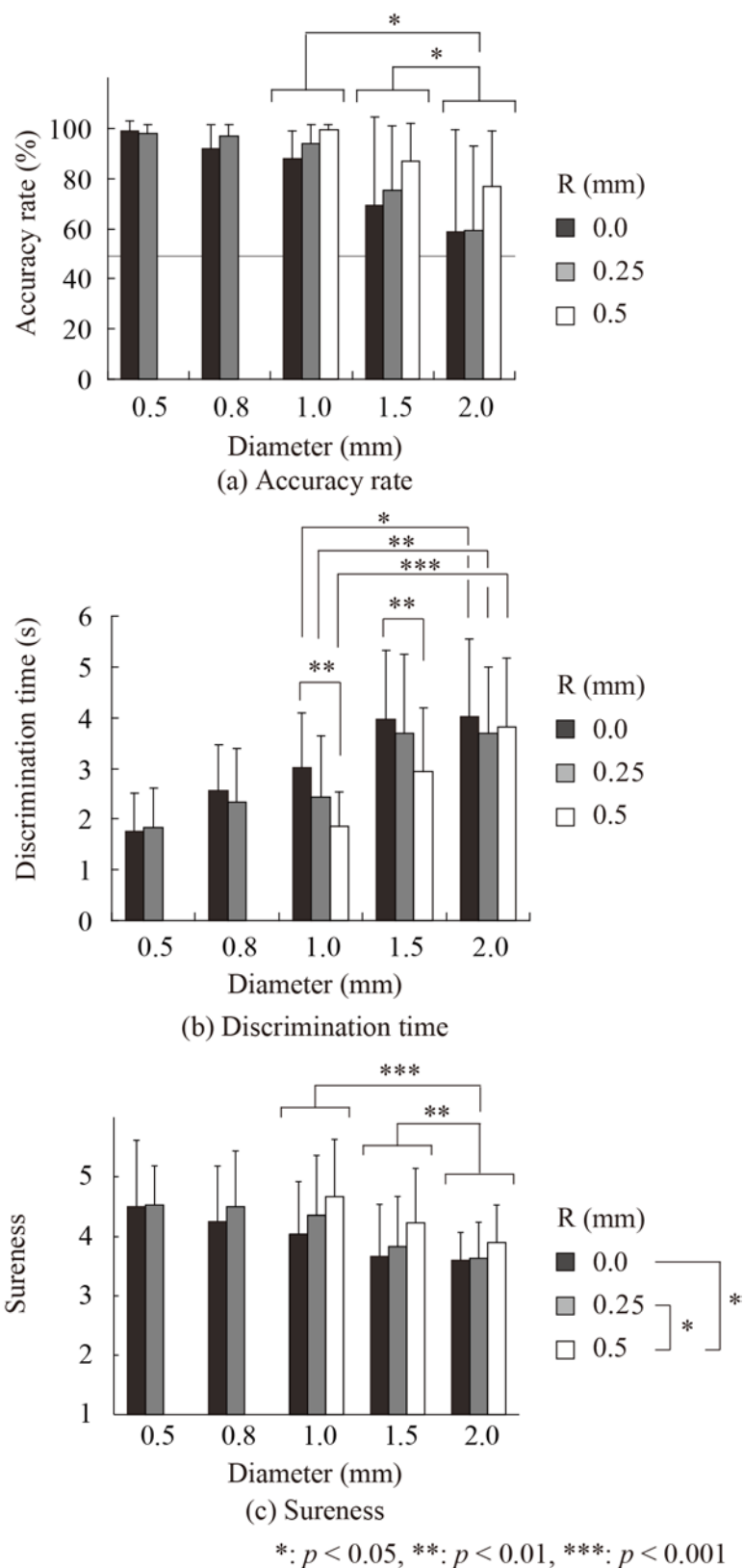


Fig. 3.10 Results of tactile dot conditions among the older participants with visual impairment

3.3.2.5 凸点条件における結果の総合評価

正答率の結果より、若年晴眼者と若年視覚障害者の年齢が若い属性の群において、交互作用とエッジの R の主効果が認められなかった。一方、高齢の属性に分類される高齢晴眼者では、交互作用とエッジの R の主効果が認められ、高齢視覚障害者ではエッジの R の主効果が認められた。また、識別時間と確信度では、全ての参加者の属性において、エッジの R の主効果が有意であった。以上より、エッジの R が凸点の識別容易性に有意な影響を及ぼすことが確認できた。

全体の共通の傾向としては、全ての参加者において、エッジの R が大きく、直径が小さい条件ほど、早く正確に確信をもって識別する傾向であった。

3.4 考察

3.4.1 凸バー条件における結果の考察

結果より、全ての参加者の属性において、凸バーのエッジの R と短辺の寸法に関わらず、長辺と短辺の差が大きいほど、より確信を持って早く正確に凸バーを識別できることが明らかとなった。このことから、凸バーを製品に付す際の製法や材質の特性等によってエッジの R を厳密に統制して製作できない場合においても、長辺と短辺の差を大きくするように設計しさえすれば、識別しやすい凸バーを製品に付すことができると考えられる。

一方、長辺+0.5mm は、特に若年晴眼者、高齢晴眼者、若年視覚障害者において、正答率が 50%を下回り、凸点と知覚しやすい傾向であった。さらに、長辺+0.5mm は長辺+1.0 と比べて、識別時間が低く、確信度が高い傾向であること考慮すると、長辺+0.5mm は、主観的にも凸点と誤って識別する条件であり、特に実用には避けるべき寸法である。

次に、識別しやすい凸バーの寸法に関して考察する。凸バーが正確に識別できる寸法は、若年晴眼者、若年視覚障害者、高齢視覚障害者では、凸バーの長辺と短辺の差が 2.0mm以上であった。しかし、晴眼高齢者では、さらに長辺と

短辺の差が 3.0mm以上の差がなければ、正確に識別できなかった。先行研究における受動触の空間分解能の測定値をまとめると、計測に用いた手法は様々であるが、若年晴眼者（18-35 歳）では 1.2mmから 1.7mm、高齢晴眼者（55-88 歳）では 2.5mmから 2.8mmとされており、一般に若年晴眼者と高齢晴眼者の間には 1.0mm程度の差がある^{[3-3][3-4][3-9]}。一方、能動触による測定によると、Leggeらは、点字に類似した 4 点の凸点からなる刺激を実験参加者に触察させ、4 点のうちどの点が欠けているかを回答させる実験を行った。その結果、20 歳の若年晴眼者では 1.5mm、若年視覚障害者では 1.2mm、80 歳の高齢晴眼者では 2.5mm、同じく高齢視覚障害者では 1.2mmであったと報告した。特に、高齢晴眼者は他の属性と比べて、空間分解能に 1.0mm以上の差がある^[3-7]。また、このように高齢視覚障害者において、高い空間分解能が保持された理由は、日常的な触知経験によるものと考えられる^{[3-8][3-9]}。以上の受動触及び能動触における各結果は、本実験において得られた識別しやすい長辺と短辺の寸法差に関する結果と矛盾しない。即ち、本研究において高齢晴眼者のみ、正確に識別するために必要な長辺と短辺の差が 1.0mm大きかった理由は、加齢に伴う指先の空間分解能の低下によるものと考えられる。以上のことから、実際の設計を想定すると、高齢になってから失明したユーザへの配慮のためには、凸バーの長辺と短辺の差が十分に大きくなるように設計する必要がある。さらに、長辺+4.0mmは長辺+3.0mmよりも、早く確信をもって識別できる傾向があることを考慮すると、長辺と短辺の差 3.0mmはあくまで正確に凸バーを識別できるための下限であり、それよりもさらに長く設計することが重要である。

なお、加齢による影響に関して、さらに深く考察する。Manningらは、心理物理学の実験により、高齢者は若年者と比べて指先の空間分解能が低く、さらに浮き出したアルファベット 26 文字（高さ 1.0mm、線幅 0.5mm、下端から上端までのサイズ 6.0mm）の触覚による識別率も低いことを報告した。また、こうした空間分解能の測定値とアルファベットの識別率に有意な相関が認められたことから、高齢者は加齢に伴う認知特性の変化による影響よりも、まず指先にお

いて対象物の空間的情報を詳細に知覚できないことが主な要因となり、アルファベットを識別することができなかつた可能性があるとしている^[3-9]。生理学的知見によると、浮き出したアルファベットや凸点のような寸法の触対象物の形状知覚の神経基盤は同様である。具体的には、触覚受容器の一つであるメルケル細胞とこれを終末とする求心性神経繊維からなる機械受容ユニットのSA I (Slowly Adaptation) とされる^{[3-10][3-11]}。即ち、本実験に参加した高齢晴眼者が、若年晴眼者よりも凸バーの識別が困難であった原因は、加齢に伴う認知特性の変化による影響よりも、指先の空間分解能の低下による影響がより大きかつたのではないかと考えられる。

3.4.2 凸点条件における結果の考察

結果より、参加者の全ての属性において、エッジの R が大きい条件ほど、凸点と識別する傾向であった。この理由としては、エッジの R が大きい条件ほど、上面部の平坦な広がりやエッジの幅といった形状を識別するための手がかりが無くなるため、単純な点刺激として知覚しやすくなるからではないかと考えられる。以上のことから、断面形状としてのエッジの R が、凸点の識別上、重要な因子であることが定量的に明らかとなった。実用の観点からは、直径が大きい凸点を製品に付す際には、エッジの R を大きく設計することによって、識別容易性が向上することが明らかとなった。

さらに、高齢晴眼者では、エッジが明瞭な R 0.0mm では、凸点の直径が大きくなるにつれて正答率がチャンスレベルである 50%に近い値まで低下し、ほとんど識別することができなかつた。市場に流通する製品（とりわけ洗濯機や炊飯器、複写機等）には直径が大きい凸点が付される傾向があるが、高齢になつてから失明したユーザにとって識別しやすい凸点を付すためには、可能な限り凸点のエッジの R を大きく設計することや、凸バーを凸点と誤って知覚しないように凸バーの長辺と短辺の差を大きく設計することが有効である。

3.5 小括

本章では、凸バーと凸点の断面形状としてエッジの丸み（曲率半径 R ）に着目し、凸バーと凸点のエッジの曲率半径が識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的とした。また、本実験では、加齢及び触知経験が異なる参加者を対象とすることで、ユーザの属性に応じた識別しやすい凸バーと凸点の寸法の条件を網羅的に調べた。実験の結果、以下の2点が明らかとなった。

- (1) 凸バーの識別に関しては、エッジの R がいずれの寸法であっても、若年晴眼者、若年視覚障害者、高齢視覚障害者では、凸バーの長辺と短辺の差が 2.0mm 以上あれば、ほぼ正確に識別できることがわかった。しかし、晴眼高齢者はその差が 3.0mm 以上でなければ正確に識別できなかった。以上のことから、高齢になってから失明したユーザに対しては、凸バーの長辺と短辺の差が大きく設計するといった配慮が必要であることがわかった。また、製法や材質等によって凸バーのエッジの R を厳密に統制できない場合においても、長辺と短辺の差をなるべく大きく設計することによって、識別しやすい凸バーを製品に付すことができることが明らかとなった。
- (2) 凸点の識別に関しては、エッジの曲率半径 R が大きく直径が小さいほど、早く正確に識別できる傾向であることが明らかとなった。また、高齢になってから失明したユーザにとって識別しやすい凸点を付すためには、可能な限り凸点のエッジの R を大きく設計することや、凸バーを凸点と誤って知覚しないように、凸バーの長辺と短辺の差を大きく設計することが有効であることがわかった。

以上の通り、本章では、これまでに標準では検討されていなかった凸バーと凸点の断面形状としてエッジの曲率半径に着目し、識別容易性に及ぼす有意な影響を及ぼす因子であることが明らかとなった。また、触知覚特性の観点から、年齢や触知経験が異なるユーザに応じた識別しやすい凸バーと凸点の寸法の条

件が網羅的に明らかとなった。

第2章及び第3章より、操作部の機能の識別という凸記号の役割に対して、有効な凸バーと凸点の寸法・断面形状の条件が明らかとなった。

また、以下の4点において、社会的・学術的意義がある。第一に、ユーザの年齢や触知経験を考慮した識別しやすい凸バーと凸点の寸法・断面形状の条件が明らかになり、企業が製品に凸記号を付す際の客観的知見として利用できる点である。第二に、標準の改訂や新規制定を検討する際の実証データとして活用できる点である。第三に、指先の空間分解能と凸記号の識別容易性の関係を示す基礎データが得られたことにより、凸記号以外の触知記号（例えば浮き出し加工された矢印や、アルファベット・数字等を構成する線分の長さ等）の設計を検討する場合にも参考となる点である。第四に、高齢者及び視覚障害者の触知覚特性を考慮したインターフェースの開発に関する知見が得られ、基礎から応用に至る触覚分野の進歩を促す点である。

第4章 凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響

4.1 目的

4.2 方法

4.3 結果

4.4 考察

4.5 小括

概要

第2章、第3章では、凸記号の2つの役割のうち、「操作部の機能の識別」に適した凸バーと凸点の寸法及び断面形状の条件を明らかにした。第4章と第5章では、もう一方の役割である「配列された操作部の位置情報の表示」に適した凸点の条件を評価した実験に関して述べる。

まず、第4章では、凸記号が配列された操作部の位置情報を示す役割として付されることに着目し、代表例であるテンキーの位置情報を示すために凸点が付される製品として携帯電話を取り上げ、凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした。本章では、凸点の寸法に関する因子として、特に高さを評価した。実験では、製品の操作に特に困難が生じる中途失明者を想定し、若年晴眼者と高齢晴眼者に参加協力を得た。

実験の結果、若年者と高齢者のいずれも、凸点の高さが0.3mmの条件は、凸点がない条件と高さ0.1mmの条件と比べて、早く正確に操作した。一方、若年者では、凸点の高さが0.3mmよりも高くなるにつれて有意に操作性が低下したことから、凸点は高ければ高いほど良いというわけではなく、適切な範囲が存在することが示唆された。

4.1 目的

第1章で述べた通り、凸記号のもう一つの役割は、「配列された操作部の位置情報の表示」である。そうした役割で凸点を付す操作部の代表例として、ISO 24503でも推奨されているテンキーが挙げられる。また、凸点が付されたテンキーを持つ製品としては、携帯電話は国際的に普及しており、操作性向上に対する期待が高い。また、メールやインターネット等の使用により、頻繁な操作が必要であるために、凸点による操作性への影響が大きいと考えられる。以上のことから、本研究では、凸点の寸法及び断面形状が配列された操作部の位置情報に及ぼす影響として、携帯電話を評価に適した事例として着目した。

一方、標準^{[4-1][4-2]}においては、凸点の因子として高さの推奨寸法が規定されているが、高さの寸法と製品の操作性との関係は客観的に明らかではない。しかし、凸点が高すぎる場合には却って操作の邪魔になることがあるといったユーザからの意見がある他^[4-3]、凸点の高さが低すぎる場合には触知することができずに、触覚上の手がかりとして機能しない可能性があると考えられる。そのため、凸点の適切な高さの条件を定量的に明らかにする必要がある。

そこで、本章では、凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした。

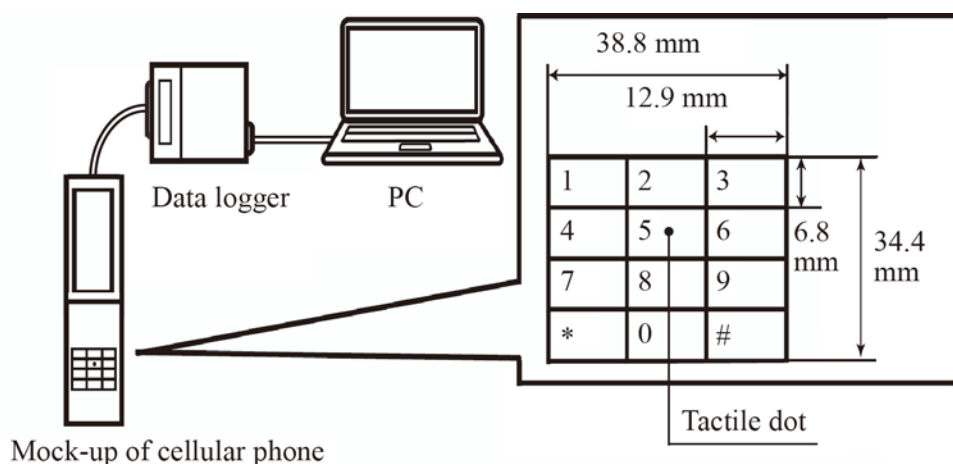


Fig. 4.1 Experimental apparatus

4.2 方法

4.2.1 実験装置

Fig. 4.1 に示す通り、携帯電話の操作を時系列データとして正確に記録することが可能な実験装置を製作した。実験装置は、参加者が操作する携帯電話モックアップ、データロガー（株式会社キーエンス NR-500）、PC によって構成される。携帯電話モックアップのテンキーの下には、フレキシブルプリント基板で製作した電極パターンを挿入し、各キーの on-off 状態を電圧信号として計測できるようにした。これにより、携帯電話モックアップのテンキーの操作が、データロガーを介して、PC 上で時系列データとして正確に記録することができる。

続いて、実験参加者が実際に操作する携帯電話モックアップに関して詳しく述べる。携帯電話の操作性を精度良く評価するためには、市場に流通する製品と遜色のない操作感を有する携帯電話を、実験装置に組み込む必要がある。そのため、市販されている製品と全く同じ外形を持ち、クリック感等の使い心地が再現されているモックアップを利用した。

なお、市場で流通する携帯電話の操作部の設計は多様であり、キー自体に凹凸がある機種や、各キーが離れている機種等が存在する。こうした操作キーの形状に関する設計要素は、携帯電話の操作中に触覚上の手がかりとなり^[44]、実験結果に影響を及ぼすと考えられる。しかし、本研究はあくまで凸点の寸法が操作性へ及ぼす影響を評価することが目的であることから、携帯電話のテンキーの形状に関して以下の条件を設けた。(1) テンキーの全てのキーが平坦であること、(2) 隣り合ったキー同士が近接していること。以上を満たす携帯電話の機種を調べたところ、シャープ株式会社 Softbank 912SH が適していたことから、この機種のモックアップを実験装置の一部として用いることにした。

4.2.2 凸点の高さに関する条件

実験参加者に操作させる携帯電話の 5 番キーに、高さを統制した凸点を付した。凸点の高さは、0.1, 0.3, 0.5, 0.7mm とし、さらに 0.0mm (凸点なし) も加

えて計5条件とした。携帯電話のテンキーは同型のものを5つ用意し、各5番キーの中央には、スクリーン印刷によって紫外線硬化樹脂インクを重ねて塗布し、目的の高さの条件の凸点を付した。凸点の塗布後には、インクの硬化不良を起こさないように、紫外線ランプを用いて十分に露光した。

また、実験で使用する凸点の設計誤差を確認するために、非接触三次元測定装置（三鷹光器株式会社 NH-3N, 高さ分解能 $0.01\mu\text{m}$, XY 分解能 $0.1\mu\text{m}$ ）を用いて計測した。その結果、設計誤差は 0.1mm 以下であり、高い精度で製作されたことを確認した。

凸点の付し方に関しては、凸記号に関する標準^{[4-1][4-2]}に準拠しており、携帯電話における一般的な凸点の付され方である、5番キーの中央に凸点を付す方法を採用した。

4.2.3 実験参加者

本実験では、日常生活において製品の操作に特に困難を抱える中途失明者を想定し、晴眼若年者20名（平均 21.6 ± 1.5 歳）および晴眼高齢者20名（平均 67.5 ± 4.0 歳）が参加した（本章では、以下、若年者、高齢者と記す）。

全ての参加者は、携帯電話の操作経験があり、テンキーの配列を把握していた。また、少なくとも週に一回以上はメールや通話、インターネットなどで携帯電話のテンキーを操作する機会があり、一年以上に渡る携帯電話の使用歴があることを選定条件とした。さらに、携帯電話の使用経験が全くない者や、携帯電話を毎日一日中操作している者等、携帯電話の使用頻度が突出して異なる参加者は除外した。なお、皮膚に外傷や関連する既往歴がなく、手指の機能に異常が認められない参加者から協力を得た。

4.2.4 手続き

参加者が携帯電話のテンキーを目視できないように、カーテンで手元を遮蔽した状態で、携帯電話を操作しやすいほうの手の親指で操作させた（Fig. 4.2 参

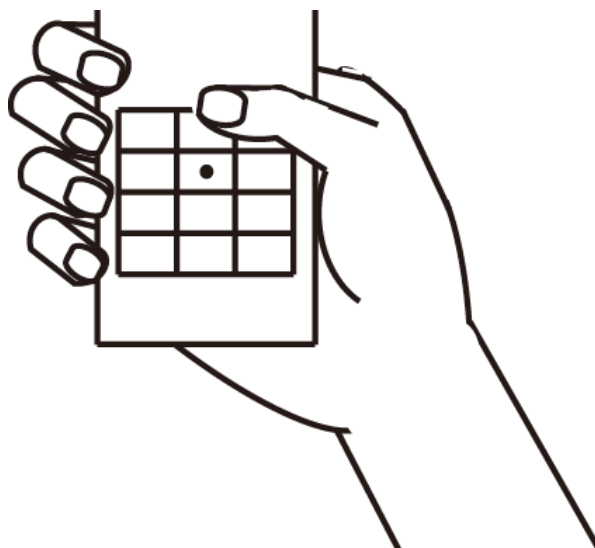


Fig. 4.2 An experimental picture during operating a mock-up of cellular phone

1653970428
4982631750
7953016482
4508921367
3105487629

Fig. 4.3 An instance of the tasks

照). 入力課題は, 1 試行あたり, 0 から 9 までのランダム順列のアラビア数字 50 個とし, A4 サイズの用紙に印刷し, 参加者の目の前に視認しやすいように提示した (Fig. 4.3 参照). 入力課題の操作後には, 4.3.4 で述べる 3 つの主観評価を口答させた. ここまでの手続きを 1 試行として, 凸点 5 条件×4 試行の計 20 試行を行った. 提示する凸点の高さの条件は, ランダム順とした.

また, 凸点の寸法の影響を観測しやすくするために, 参加者に対して, (1) 一つの文字を入力するごとに, 5 番キー上に指を戻してから次のキーを入力すること, (2) 操作時間よりも正確さに配慮して操作することを教示した. また, 事前の視覚情報が操作に及ぼす影響を排除するために, 実験者が入力課題を提示した直後に, 課題の入力を開始するよう教示した. なお, 操作に用いる左右の手は, 参加者が操作しやすいように自由に選定させた. 実験前には, 以上の教示に従って実験に参加できるようにするために, 練習試行を実施した. 実験は, 参加者の体調に注意して適宜休憩を取りながら行い, 一人あたり, 約 2 時間で終了した.

本研究は, 早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得た. また, 本実験の前には, 参加者に対して研究の詳細を説明し, 参加の同意を得た.

4.2.5 評価指標

定量的指標として, 操作時間及びエラー率を採用した. 操作時間は入力課題であるアラビア数字 50 個の操作に要した時間とした. エラー率は, アラビア数字 50 個あたりに発生したエラーの個数を, パーセンタイルで算出した.

副次的な評価指標として, 携帯電話の操作感に関する 3 つの主観評価を採用した (Table 4.1). 具体的には, 操作の確信度 (1: 確信なし—5: 確信あり), 5 番キーの発見しやすさ (1: 全く発見できない—5: 確実に発見できる), 5 番キーを押した際に指に感じた痛み (1: 全く痛みを感じない—5: 非常に強い痛みを感じる) とし, それぞれ 5 段階の等間隔尺度で評価させた.

Table 4.1 Scales of subjective assessment indexes

Subjective assessment indexes	Scale
Sureness of input operation	1: Not sure – 5: Very sure
Findability of key 5	1: Not findable – 5: Very findable
Pain when pushing key 5	1: Not painful – 5: Very painful

これらの主観評価は、操作時間とエラー率の結果に差が認められない場合や、操作時間とエラー率では観測できない主観的な操作しやすさを評価するために採用した。なお、操作の確信度は、入力課題を操作した際の自信の程度と定義し、参加者に対しては「どれくらい自信をもって早く正確に携帯電話を操作できたのかを、入力課題を操作した際の主観的な印象から、総合的に判断して回答して下さい。」と教示した。

4.2.6 評価方法

本研究では、4.3.4 項で述べた評価指標の各結果に対して、凸点の高さを要因とする一元配置分散分析を実施し、さらに主効果が認められる場合には、Bonferroni 補正法による多重検定によって、高さの条件間における有意差を分析した。ここでは、加齢効果の評価は目的ではないために、これらを要因とする分析は行わないこととした。

以上の分析によって、凸点の高さに伴い、各評価指標の結果が有意に変化することが観測できた場合に、凸点の高さによる影響を定量的に評価できたことになる。

4.3 結果

本項では、各評価指標の結果を詳細に述べた後、4.3.6 項において結果をまと

めて示す.

4.3.1 操作時間

Fig. 4.4 に結果を示す. 若年者と高齢者のいずれにおいても, 高さの主効果が有意であった (それぞれ $F(4, 76) = 10.8, p < 0.001$, $F(4, 76) = 11.1, p < 0.001$).

多重比較の結果, 若年者では, 0.3mm に対して 0.0mm と 0.7mm は有意に操作に時間がかかった ($p < 0.001$). 高齢者では, 0.3mm に対して 0.0mm と 0.1mm は有意に操作に時間がかかった ($p < 0.01$).

若年者と高齢者ともに, 0.0mm のときに最も操作に時間がかかり, 0.3mm のときに, 最も早く操作した. また, 0.3mm よりも高くなるにつれ, 操作時間が増加する傾向であった.

4.3.2 エラー率

Fig. 4.5 に結果を示す. 若年者と高齢者のいずれにおいても, 高さの主効果が有意であった (それぞれ $F(4, 76) = 17.2, p < 0.001$, $F(4, 76) = 25.4, p < 0.001$).

多重比較の結果, 若年者では, 0.3mm に対して, その他の条件は有意にエラー率が高かった ($p < 0.05$). 高齢者では, 0.3mm に対して 0.0mm と 0.1mm のときに有意にエラー率が高かった ($p < 0.001$).

若年者と高齢者ともに, 0.0mm のときに最もエラー率が高く, 0.3mm のときに最もエラー率が低かった. また, 0.3mm よりも高くなるにつれ, エラー率が増加する傾向であった.

4.3.3 操作の確信度

Fig. 4.6 に結果を示す. 若年者と高齢者のいずれにおいても, 高さの主効果が有意であった (それぞれ $F(4, 76) = 34.5, p < 0.001$, $F(4, 76) = 52.4, p < 0.001$).

多重比較の結果, 若年者では, 0.3mm に対して 0.0mm と 0.1mm は有意に操作の確信度が低かった ($p < 0.001$). 高齢者では, 0.3mm に対して 0.0mm, 0.1mm,

第4章 凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響

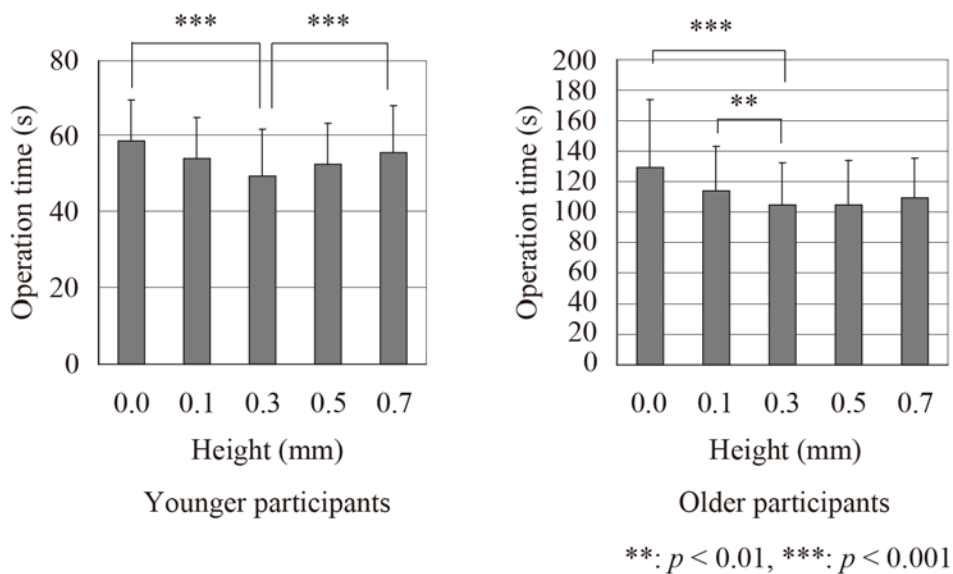


Fig. 4.4 Results of operation time

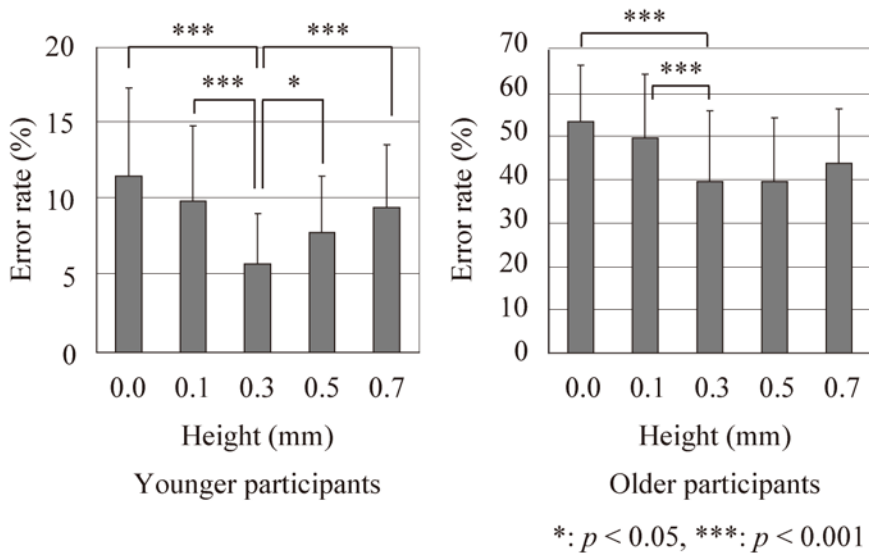


Fig. 4.5 Results of error rate

および 0.7mm は有意に操作の確信度が低かった ($p < 0.001$).

若年者と高齢者ともに、0.0mm のときに最も確信度が低く、0.3 mm は最も確信度が高かった。

4.3.4 5番キーの発見しやすさ

Fig. 4.7 に結果を示す。若年者と高齢者のいずれにおいても、高さの主効果が有意であった (それぞれ $F(4, 76) = 120.0, p < 0.001$, $F(4, 76) = 140.0, p < 0.001$).

多重比較の結果、若年者では、0.3mm に対して 0.0mm と 0.1mm は有意に5番キーが発見しにくく ($p < 0.001$), 0.5mm に対して 0.3mm は有意に発見しにくかった ($p < 0.05$). 高齢者では、0.3mm に対して 0.0mm と 0.1mm は有意に5番キーが発見しにくく ($p < 0.01$), 0.5mm および 0.7mm に対して 0.3mm は有意に発見しにくかった ($p < 0.05$).

若年者と高齢者ともに、0.0mm のときに最も5番キーを発見しにくく、凸点が高くなるほど5番キーを発見しやすくなった。特に、0.3mm 以上では、平均スコアが4を超え、ほぼ確実に発見することができた。

4.3.5 5番キーを押した時の痛み

Fig. 4.8 に結果を示す。若年者と高齢者のいずれにおいても、高さの主効果が有意であった (それぞれ $F(4, 76) = 122.8, p < 0.001$, $F(4, 76) = 109.0, p < 0.001$).

多重比較の結果、若年者では、0.5mm および 0.7mm に対して 0.3mm は5番キーを押した時に有意に痛みを感じにくかった ($p < 0.001$). 高齢者では、0.5mm および 0.7mm に対して 0.3mm は5番キーを押した時に有意に痛みを感じにくかった ($p < 0.05$).

若年者と高齢者ともに、0.0mm のときに最も5番キーを押した時に痛みを感じにくく、0.7 mm のときに最も痛みを感じやすかった。

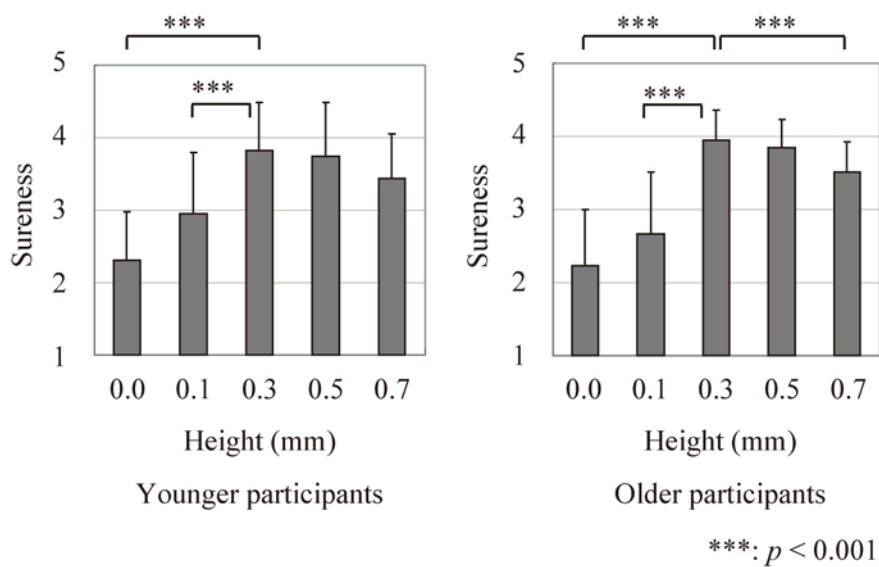


Fig. 4.6 Results of sureness

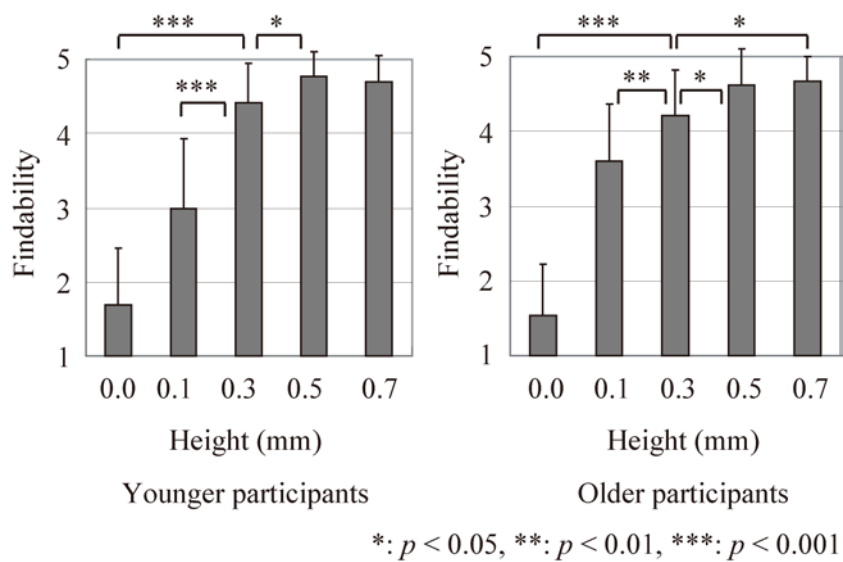


Fig. 4.7 Results of findability of key 5

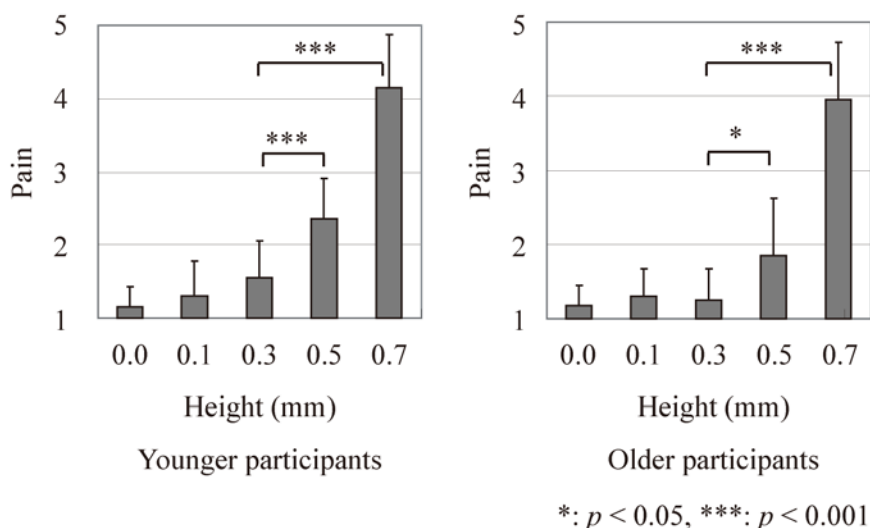


Fig. 4.8 Results of pain when pushing key 5

4.3.6 総合評価

全ての評価指標の結果をまとめると、若年者においては、0.3mm に対して、0.0mm は有意に操作時間がかかりエラー率が高かった上に、操作の確信度が低く、5番キーが発見しにくかった。また、0.3mm に対して0.7mm は有意に操作に時間がかかりエラー率が高かった上に、5番キーを押したときに痛みを感じやすかった。

高齢者においては、0.3mm に対して0.0mm は有意に操作時間が長く、エラー率も高かった。さらに、操作の確信度が低く、5番キーが発見しにくかった。また、0.3mm に対して0.7mm は、操作時間とエラー率が増加する傾向が見られた。また、操作の確信度が有意に低く、5番キーを押した時により大きな痛みを感じた。

以上のように、若年者と高齢者のいずれにおいても、携帯電話の5番キーに

凸点が付されていると、付されていない場合に比べて操作性が向上し、主観的にも操作しやすかった。特に、0.3mm のときに最も操作性が良かった。一方、0.7mm のときには、5 番キーを押したときにより痛みを感じやすく、凸点が付されている条件の中では、最も操作性が悪かった。

4.4 考察

結果より、若年者と高齢者は、携帯電話の 5 番キーに凸点が付されている場合に、操作性が向上し、主観的にも操作しやすいことが明らかとなった。これは、凸点が 5 番キーを示すホームポジションとして機能することで、実験参加者がテンキー全体の相対的な位置関係を把握できたためだと考えられる。このように携帯電話の 5 番キーに付された凸点は、携帯電話の操作性を向上させる有効な触覚サインであることが、定量的に明らかとなった。さらに、結果を深く考察することで、携帯電話の操作性向上に寄与する凸点の適切な高さに関して、参考となる知見を抽出する。

第一に、高さ 0.1mm は 0.3mm 以上の条件と比べて、若年者と高齢者ともに、総じて操作時間が長く、エラー率が高い傾向であった。また、筆者が実験中に参加者の指の動きを目視で観察したところ、高さ 0.1mm の凸点が付されている場合に、全ての参加者において、凸点に触れているのにも関わらず、凸点を何度も指先で触れて探すような指の挙動が確認できた。こうした指の挙動は、高さ 0.3mm 以上の凸点が付されている場合には確認できなかった。以上のことから、高さ 0.1mm の凸点は、携帯電話の操作中には容易に触知することができないと考えられる。

第二に、若年者では、凸点が 0.3mm よりも高くなるにつれて、操作時間とエラー率が増加する傾向であった。筆者が実験中に参加者の指の挙動を目視で観察したところ、高さ 0.3mm の凸点が付されている場合は、親指が凸点の上を通過する際においても、親指をテンキーに接触させたまま滑らせるように操作する様子が確認された。しかし、高さ 0.5mm 以上では、親指が凸点の上を通過す

際に、凸点を押ししてしまうことによる誤動作を回避するために親指をテンキーから浮かせる様子が見られ、特に高さ 0.7mm では顕著であった。親指による片手操作では、携帯電話の把持と親指による操作を同時に行う必要があるが、凸点が高い場合には、凸点を指先で回避した際に親指の支持を失うために、携帯電話の把持が不安定になり、それに伴い早く正確なキーの操作が困難になる可能性があると考えられる。

この仮説を検証するために、携帯電話を片手で把持し、もう一方の手の人差し指で操作を行う両手操作に着目し、本実験と同様の手続きによる追実験を行った（附録 A 参照）。こうした人差し指による両手操作では、携帯電話の把持と操作を左右の手で分担するために、凸点が高い場合でも携帯電話の把持と早く正確な操作に支障が生じず、親指による片手操作で見られたような操作性の低下が生じないと考えられたためである。追実験の結果、人差し指による両手操作では、晴眼者と高齢者のいずれも高さ 0.3mm において操作時間とエラー率が低い値で有意に収束し、凸点が高い場合でも操作時間とエラー率の増加が認められなかった。この結果は、高い凸点における片手操作と両手操作の結果の違いが操作の仕方の違いに起因するものであり、既に述べた仮説の妥当性を示唆するものである。一方、高齢者では、凸点の高さがどのような条件であっても、キーを押下する度にテンキーから指を離してから、次のキーを押下するといった様子が顕著に確認された。こうした操作では、高い凸点が付されている場合でも、手指の動作が阻害されないために操作性が低下しにくいと考えられる。

以上をまとめると、若年者と高齢者のいずれも、高さ 0.3mm の場合において、他の高さと比べて相対的に早く正確に操作できた。しかし、高さ 0.3mm 以上において操作性が低下する傾向であり、特に若年者では有意な差が認められた。これらのことから、凸点は高ければ高いほど良いというわけではなく、適切な範囲が存在すると考えられる。

以上の通り、本研究では、凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響を明らかとなった。一方、本実験の参加者からは、凸点の先端部に触れた際の尖り

具合の印象によっても、操作のしやすさが変わったという内観報告を得た。これは、実際の製品の操作においても、断面形状が重要な影響を及ぼす因子であることを示唆するものである。即ち、凸点の断面形状が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価し、高さとの適切な組み合わせを明らかにすることは、製品の操作性向上を実現する凸点を付すために、重要な知見となると考えられる。そこで次章では、凸点の高さと断面形状が操作性に及ぼす影響を明らかにするための実験を検討することとした。

4.5 小括

第4章では、凸記号が配列された操作部の位置情報を示す役割で付されることに着目し、テンキーの位置情報を示すために凸点が付される製品として携帯電話を事例として取り上げ、携帯電話の5番キーに付された凸点の高さが操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした。実験の結果より、以下の3点が明らかとなった。

- (1) 若年者と高齢者のいずれも、凸点の高さが0.3mmの条件は、凸点がない条件と高さ0.1mmの条件と比べて、早く正確に操作した。凸点が操作性向上に有効な触知サインであることが定量的に明らかとなった。
- (2) 若年者と高齢者のいずれも、高さ0.3mm以上において操作時間とエラー率が増加する傾向が認められた。このことから、凸点は高ければ高いほど良いというわけではなく、適切な範囲が存在することが示唆された。
- (3) 本実験の参加者からは、凸点の高さばかりでなく、先端部の尖り具合によっても操作中の触知しやすさが異なるという内観報告が得られ、先端部の尖り具合も操作性に影響を及ぼす因子である可能性が示唆された。そこで次章では、凸点の高さに加え断面形状が操作性に及ぼす影響を評価することを目的とし、操作性向上により適した寸法の条件を網羅的に明らかにすることにした。

第5章 凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響

5.1 目的

5.2 市場の携帯電話に付された凸点の形状計測調査と実験条件の選定

5.3 凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響の評価 実験

5.4 小括

概要

第5章では、凸点の断面形状として先端部の尖り具合（曲率半径）に着目し、凸点の高さ及び先端部の曲率半径が操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした。はじめに、市販の携帯電話に付された凸点の形状計測調査の結果から、携帯電話においては、お椀形状の凸点における尖り具合が、操作性に影響を及ぼす断面形状に関する因子であることを確認した。続いて、高さで先端部の尖り具合（曲率半径 R ）を厳密に統制した凸点を付した携帯電話を用いて、凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価する目的の実験を行った。本実験では、製品の操作に特に困難が生じる中途失明者を想定し、晴眼若年者と晴眼高齢者を対象とした。

実験の結果、凸点の高さが同じ条件の場合に、先端部の曲率半径が大きい条件ほど、早く正確に操作できることが明らかとなった。一方、高さに関しては、先端部の曲率半径の寸法に関わらず、若年者と高齢者のいずれも、高さ 0.1mm は操作性向上に適さないことが明らかとなった。また、若年者では、高さ 0.3mm において相対的に早く正確に操作したが、高さ 0.3mm よりも高くなるにつれ、エラー率が増加する傾向であった。一方、高齢者では、高さ 0.55mm 以上において、操作時間が早くエラー率がともに低い値で収束した。以上のことから、若年者と高齢者では、操作性向上に適した凸点の高さの条件が異なることが明らか

かとなった。

5.1 目的

第 4 章では、凸記号が配列された操作部の位置情報を示す役割として付されることに着目し、代表例であるテンキーの位置情報を示すために凸点が付される製品として携帯電話を事例に取り上げ、凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価した。そこでは、凸点の因子として高さのみに着目し、携帯電話の操作性に及ぼす影響を調べたが、市販されている携帯電話には多様な断面形状の凸点が付されており、例え高さが同じ寸法であっても、凸点の断面形状が異なると触れた際の印象は大きく異なる。即ち、断面形状は、携帯電話の操作性に影響を及ぼす因子の一つであると推察されるが、第 3 章で述べた通り、凸記号に関する標準^{[5-1][5-2]}では、断面形状に関しては規定が存在せず、実際の製品の操作性に及ぼす影響も明らかではない。

そこで本研究では、まず始めに、市場で流通する携帯電話の 5 番キーに付された凸点の形状を計測し、実験で評価対象とする凸点の断面形状をお椀形状に定めた。さらに、お椀形状における凸点の高さと先端部の尖り具合（曲率半径、以下：R）が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした実験を行った。

5.2 市場の携帯電話に付された凸点の形状計測調査と実験条件の選定

携帯電話に付される凸点の形状は多様である。そのため、実験で使用する凸点の因子と、その具体的な寸法の条件を決定するために、2007 年以降に市販された携帯電話 35 機種 of 5 番キーに付された凸点の形状を計測した。計測にあたっては、非接触三次元測定装置（三鷹光器株式会社 NH-3N, 高さ分解能 0.01 μm , XY 分解能 0.1 μm ）を用いた。計測する因子は、断面形状、高さ、曲率半径とし

た。以下に、計測結果の概要をまとめる。

5.2.1 市場の携帯電話に付された凸点の形状計測調査

5.2.1.1 断面形状の計測結果

全ての凸点は、上面部が凸状に盛り上がっているか、あるいは平坦であるかによって、お椀形状と円錐台の2つに分類することができた。特に、お椀形状における凸点の断面形状を Fig. 5.1 に示す。それぞれの割合を算出した結果、お椀形状は全体の54%（全35個中19個）であり、円錐台は全体の46%（全35個中16個）であった。

5.2.1.2 高さ と 曲率半径の計測結果

Fig. 5.2 に示す通り、計測したお椀形状と円錐台の各凸点に関して、高さ と 曲率半径の関係を示す。ここで曲率半径とは、お椀形状の凸点では高さ上位25%までの先端部の尖り具合を算出し、円錐台の凸点ではエッジの丸みを算出した。

お椀形状の凸点では、高さが約0.1mmから約0.5mm、先端部のRが約0.3mmから約0.7mmの範囲に分布していた。一方、円錐台の凸点は、高さ と エッジのRが、ともに0.1mmから0.3mmの範囲で分布していた。なお、お椀形状の一部の条件では、先端部の曲率半径が非常に大きく平らに近い形状のものがあり、円錐台の一部の条件では、エッジが直角に近い形状のものがあつた。Fig. 5.2 では、こうした曲率半径の値が突出して異なる条件は省略した。

以上の通り、お椀形状の凸点は、高さ と 先端部のRの寸法が幅広い範囲で設計されていることが明らかとなった。

5.2.1.3 計測結果のまとめ

市販されている携帯電話における凸点を計測した結果から、以下の3点が明らかとなった。

- (1) 携帯電話の5番キーに付された凸点の断面形状は、お椀形状と円錐台に2

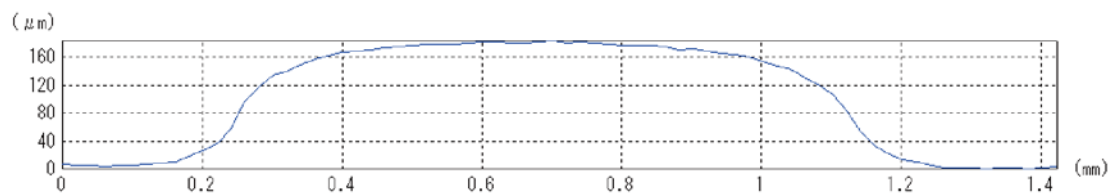


Fig. 5.1 An instance of a bowl-shaped tactile dot on key 5 of cellular phone

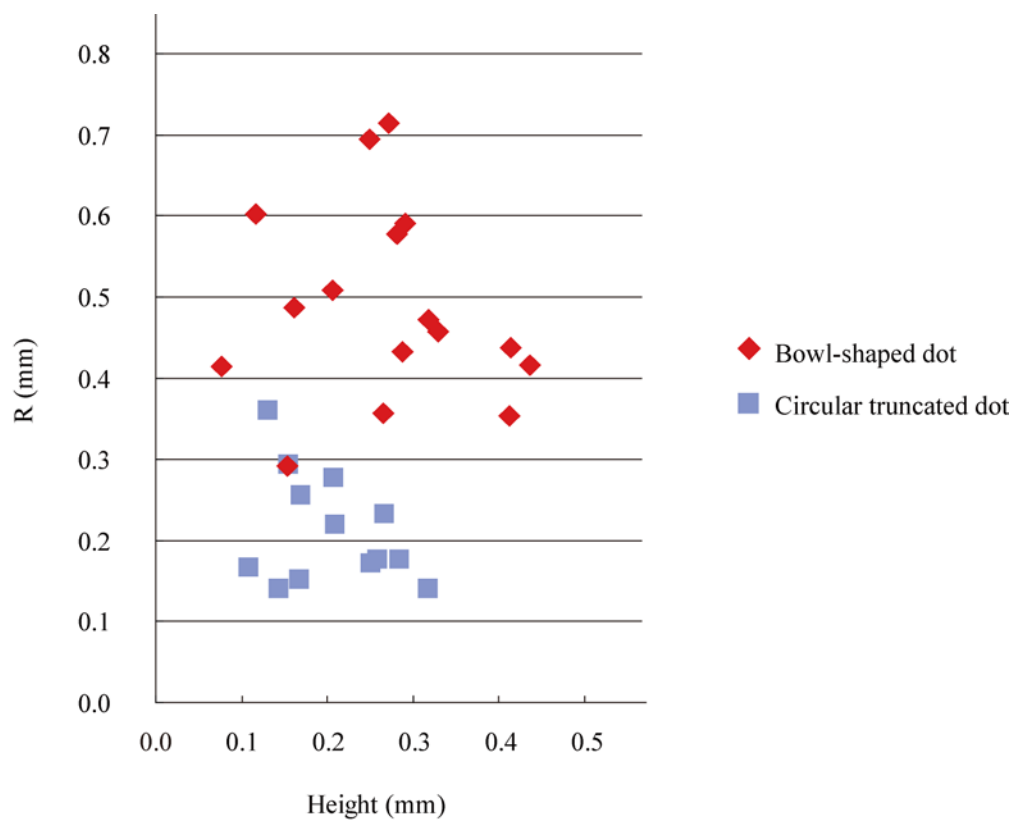


Fig. 5.2 The relationship between height and radius of curvature of tactile dots

種類に分類でき、お椀形状は全体の 54%（全 35 個中 19 個）であり、円錐台は全体の 46%（全 35 中 16 個）であった。

(2) お椀形状の凸点は、高さが約 0.1mm から約 0.45mm、先端部の R が約 0.3mm から約 0.7mm の範囲に分布していた。一方、円錐台の凸点は、高さとおエッジの R が、ともに約 0.1mm から約 0.3mm の比較的狭い範囲に分布していた。

(3) お椀形状の凸点では、高さとお先端部の R の寸法が、機種によって大きく異なることが明らかとなった。

5.2.2 凸点の実験条件の決定

5.2.2.1 断面形状の条件について

5.2.1 における形状計測では、お椀形状の凸点では、高さとお先端部の R の寸法が比較的幅広い範囲に分布していることから、企業や機種によって設計指針が異なると推察される。また、先端部の R の寸法によって、触れた際の指先に対する印象の違いが大きく変化させることから、触知覚特性の観点から、操作性へ及ぼす影響が大きい因子と考えられた。以上より、本実験で使用する凸点の断面形状として、お椀形状に着目することにした。

5.2.2.2 寸法の条件について

基本設計を Fig. 5.3 に示す。お椀形状における凸点の因子として、高さとお先端部の R に着目した。具体的には、高さは 0.1, 0.3, 0.55, 0.75mm の 4 条件、R は 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9mm の 5 条件とし、これらの組み合わせで計 20 条件とした。これらの条件のうち、高さが先端部の R よりも大きい寸法の条件では裾野が生じる。そこで、裾野が生じた場合の角度を、5 番キーの表面に対して 45 度となるように設計することで、できる限り指が凸点の裾野と接触しないようにした。

なお、高さの条件に関しては、第 4 章で用いた凸点の条件を踏襲しつつ、形

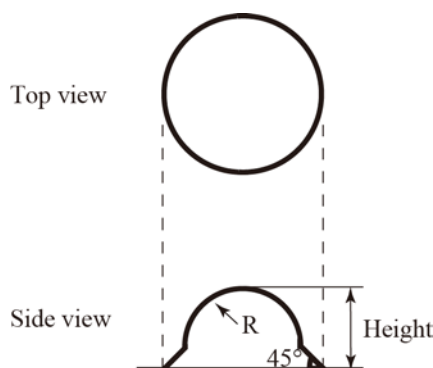


Fig. 5.3 A dimension of tactile dots used in the experiment

状計測調査の結果を包含する 0.75mm までの幅広い高さを設定することで、高さの増加に伴う操作性の変化を詳しく分析することにした。また、先端部の R の条件に関しては、明瞭に尖っているように感じられる 0.1mm から、市販の凸点で計測された最大 0.7mm の寸法を超える、0.9mm までの幅広い範囲を設定した。

全ての凸点は、5 番キーごとアクリル材をエンドミルで切削することで製作し、携帯電話モックアップの 5 番キーと入れ替えることで、寸法を統制した凸点を実験装置に組み込んだ。

また、製作した凸点が、設計した寸法の通りに製作できていることを確認するために、非接触三次元測定装置（三鷹光器株式会社 NH-3N, 高さ分解能 0.01 μ m, XY 分解能 0.1 μ m）を用いて、高さと R を計測した。その結果、高さ 0.55mm と高さ 0.75mm における設計寸法と実測値の誤差は、 ± 0.01 mm 以内であった。また、その他の高さと R の条件では、誤差は ± 0.03 mm 以内であり、高い精度で製作できていることを確認した。これらの誤差は指の寸法に対して極めて微細な差であり、凸点を触知する際に重要な影響を及ぼすものではないと考えられる。さらに、全ての凸点に関して、計測結果から 3D 画像を生成し、外形に破損や歪みがないかどうかを、目視によっても定性的に確認した。

5.3 凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響の評価実験

本節では、凸点の高さと先端部の R が操作性に及ぼす影響を評価した実験に関して述べる。

5.3.1 方法

5.3.1.1 凸点の高さと先端部の曲率半径に関する条件

5.2.2.1 で述べた通り、凸点の高さを 4 条件 (0.1, 0.3, 0.55, 0.75mm)、R を 5 条件 (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9mm) とし、これらの組み合わせで 20 条件とした。さらに凸点が付されていない条件を加えて、計 21 条件とした。

5.3.1.2 実験参加者

本実験では、第 4 章と同様に、近年増加傾向にあり、製品の操作に大きな困難を抱える中途失明者における寸法を検討するために、日常的に触知には慣れていない晴眼若年者 16 名 (平均 20.0 ± 1.2 歳) と、晴眼高齢者 18 名 (平均 64.9 ± 2.9 歳) から参加協力を得た (本章では、以下、若年者、高齢者と記す)。全ての参加者は、手指や上肢に外傷や関連既往歴がなかった。

なお、3.2.3 項でも述べた通り、晴眼者は視覚障害者よりも空間分解能が低く、また加齢による影響によって、高齢者は若年者よりも空間分解能が低い^{[5-3][5-4][5-5][5-6]}。こうした触知覚特性の観点から、晴眼の若年者・高齢者を対象とした評価によって、特に凸点を触知する能力が乏しいユーザにおける、凸点の適切な寸法が明らかとなる。

全ての参加者は、機械的スイッチによるテンキーが搭載された携帯電話を操作した経験があり、テンキーの数字の配列を把握していた。具体的な選定条件としては、少なくとも週に一回以上はメールや通話、インターネットなどの使用により携帯電話のテンキーを操作する機会があり、一年以上に渡る携帯電話の使用歴があることとした。さらに、携帯電話の使用経験が全くない場合や、

携帯電話を毎日一日中操作している場合等、一般ユーザよりも携帯電話の使用頻度が突出して異なると考えられる参加者は除外することとした。

5.3.1.3 手続き

基本的な手続きは、第4章で確立した方法を踏襲することにした。以下、簡潔に述べる。

本実験では、参加者に手元が目視できない状態で携帯電話を操作させた。入力課題は、ランダム順列の0から9までのアラビア数字50個を数十パターン作成し、実験者は参加者に対して入力課題を提示した直後に操作を開始させた。参加者には、入力課題の操作が終了する度に、操作中に親指に感じた痛みを、口頭で主観評価させた。ここまでの手続きを1試行として、凸点21条件×4試行の合計84試行を行った。操作させる凸点の条件はランダム順とした。参加者には、片手で携帯電話を把持させ、その手の操作で操作させた。操作する左右の手は、参加者が操作しやすい方の手を自由に選定させた。

第4章と同様に、携帯電話の操作にあたっては、凸点の寸法の影響を観測しやすくするために、(1)一つの文字を入力するごとに、5番キー上に指を戻してから次のキーを入力すること、(2)操作時間よりも正確さに配慮して操作することを、参加者に教示した。

本試行の前には、参加者が実験者に教示される以上の全ての手続きに従って実験に参加できるように、練習試行を行った。実験は2日に渡って実施し、1日あたり約3時間、合計6時間程度であった。実験は、参加者の体調に配慮して、適宜休憩を取りながら行った。

本研究は、早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得た。また、本実験の前には、参加者に対して研究の詳細を説明し、参加の同意を得た。

5.3.1.4 評価指標

携帯電話の操作性の客観的な評価指標として、後述する入力課題に要した操作時間と、操作がどれだけ正確に行われたかを表すエラー率を採用した。

さらに、副次的な指標として、操作中に親指に感じた痛み（1：全く痛みを感じない—5：非常に痛みを感じる）を、5段階の等間隔尺度で主観評価させた。評価にあたっては、5番キーを押す際や凸点の上を親指が通過する際に、凸点と接触した親指に感じた痛みを回答させた。

本実験では、高さとともに先端部の尖り具合を幅広く統制しているため、凸点の寸法の条件によって、触れた指に対する刺激の強さが顕著に異なると考えられる。このことから、本実験では特に指先に感じる痛みに着目し、その主観的印象を詳細に調べることにした。

5.3.1.5 評価方法

各評価指標の結果に対して、凸点の高さ及び先端部の R を要因とする 2 元配置分散分析を行うこととした。交互作用や主効果が認められる場合には、必要に応じて Bonferroni 補正法による多重比較を行い、高さ及び先端部の R における条件間の有意差を検定した。

また、若年者と高齢者における傾向の違いを比較することで、参加者の属性に応じた、凸点の適切な高さや先端部の R の条件を明らかにすることにした。

5.3.2 結果

5.3.2.1 操作時間

まず、若年者の結果を述べる (Fig. 5.4 参照)。分散分析の結果、高さや R の交互作用 ($F(12, 180) = 3.3, p < 0.05$)、高さの主効果 ($F(3, 45) = 18.2, p < 0.001$)、R の主効果 ($F(4, 60) = 6.5, p < 0.01$) が、全て有意であった。

高さの条件間を分析した結果、全ての R の条件において、高さ 0.1mm は高さ 0.3mm よりも操作時間が長かった ($p < 0.05$)。また、R0.7mm の条件においては、

高さ0.75mmは高さ0.3mmよりも操作時間が長かった ($p < 0.05$). さらに, R0.9mmの条件においては, 高さ0.75mmは, 高さ0.3mm及び高さ0.55mmよりも操作時間が長かった ($p < 0.01$). 一方, Rの条件間を分析した結果, 高さ0.1mmと高さ0.55mmの各条件においては, R0.3mmはR0.9mmよりも操作時間が長かった ($p < 0.05$). また, 高さ0.3mmの条件においては, R0.1mmはR0.9mmよりも操作時間が長かった ($p < 0.05$).

全体の定性的な傾向としては, 高さ0.1mmは高さ0.3mmと比べて操作時間が長かった. 一方, 高さ0.3mmと高さ0.55mmの間には有意差が認められなかった. しかし, R0.7mm及びR0.9mmにおいては, 高さ0.75mmは高さ0.3mmと高さ0.55mmよりも操作時間が有意に長く, 高さの増加に伴い操作時間も増加する傾向であった. また, 同じ高さの条件では, Rが小さいほど操作時間が長い傾向

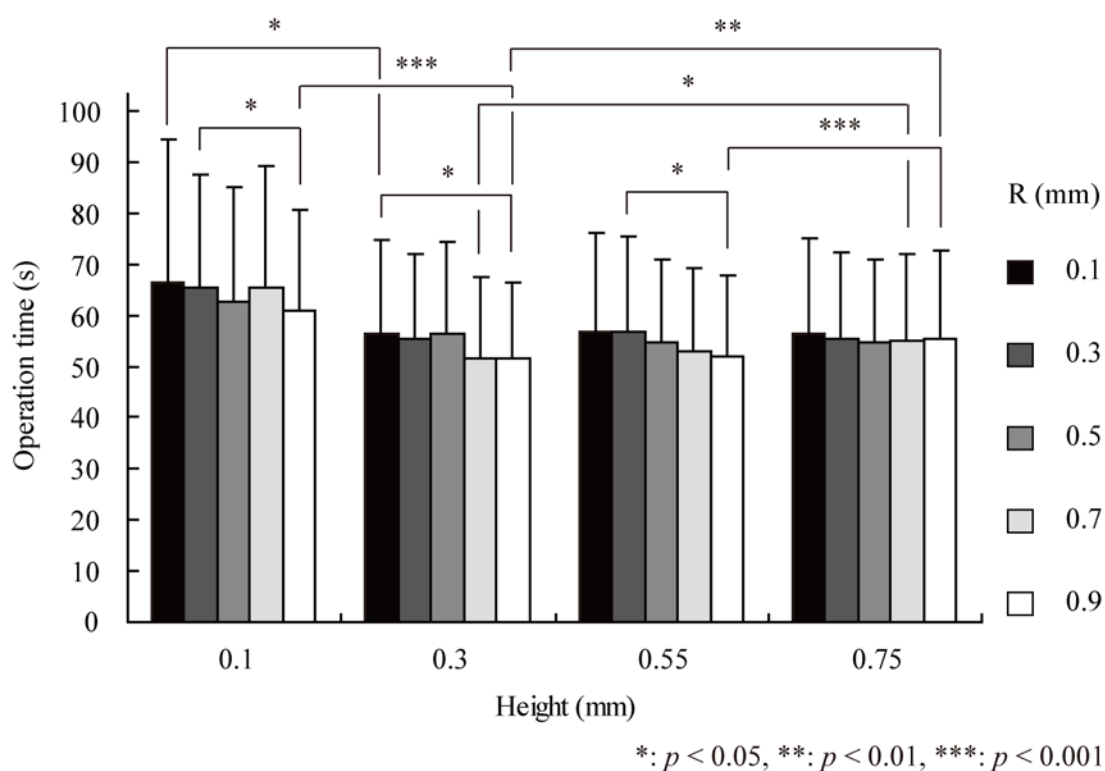


Fig. 5.4 Results of operation time among the younger participants

であった。なお、凸点が付されていない条件の操作時間は平均 74.9 秒であり、凸点が付された条件よりも操作時間が長かった。

次に、高齢者の結果を述べる (Fig. 5.5 参照)。分散分析の結果、高さ と R の交互作用 ($F(12, 204) = 2.4, p < 0.05$)、高さの主効果 ($F(3, 51) = 28.1, p < 0.001$)、R の主効果 ($F(4, 68) = 4.5, p < 0.01$) が有意であった。

高さの条件間を分析した結果、R0.1mm を除く R の条件において、高さ 0.1mm は高さ 0.3mm と比べて、操作時間が長かった ($p < 0.05$)。また、R0.3mm を除く R の条件において、高さ 0.3mm は高さ 0.55mm と比べて、操作時間が長かった ($p < 0.05$)。一方、R の条件間を分析した結果、高さ 0.55mm において、R0.1mm は R0.3mm と比べて、操作時間が長かった ($p < 0.05$)。

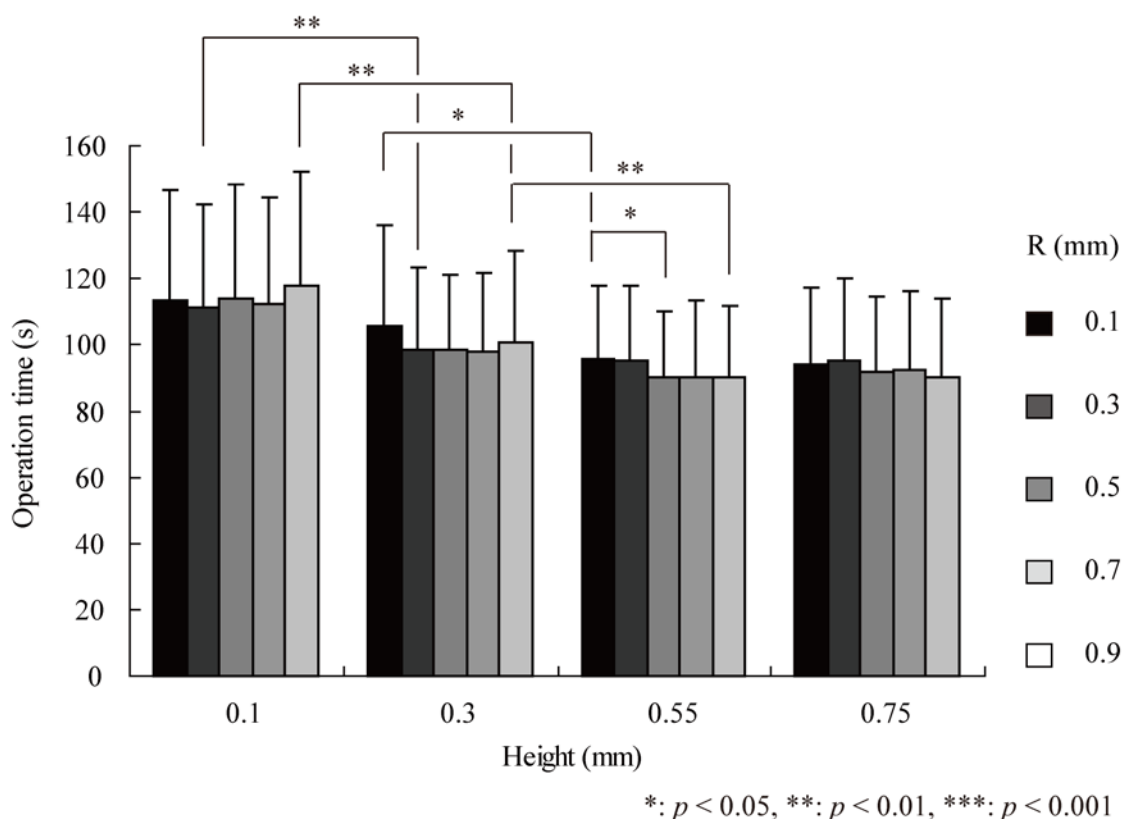


Fig. 5.5 Results of operation time among the older participants

全体の定性的な傾向としては、高さ 0.1mm は他の高さの条件よりも操作時間が長く、高さ 0.55mm 以上で、操作時間が短い値で収束した。また、高さ 0.55mm 以上では、R が小さいほど操作時間が長い傾向であった。なお、凸点が付されていない条件の操作時間は平均 119.8 秒であり、凸点が付された条件よりも操作時間が長かった。

5.3.2.2 エラー率

まず、若年者の結果を述べる (Fig. 5.6 参照)。分散分析の結果、高さ と R の交互作用 ($F(12, 180) = 4.3, p < 0.01$)、高さの主効果 ($F(3, 45) = 19.6, p < 0.001$)、R の主効果 ($F(4, 60) = 24.2, p < 0.001$) が、全て有意であった。

高さの条件間を分析した結果、R0.5mm を除く R の条件において、高さ 0.1mm

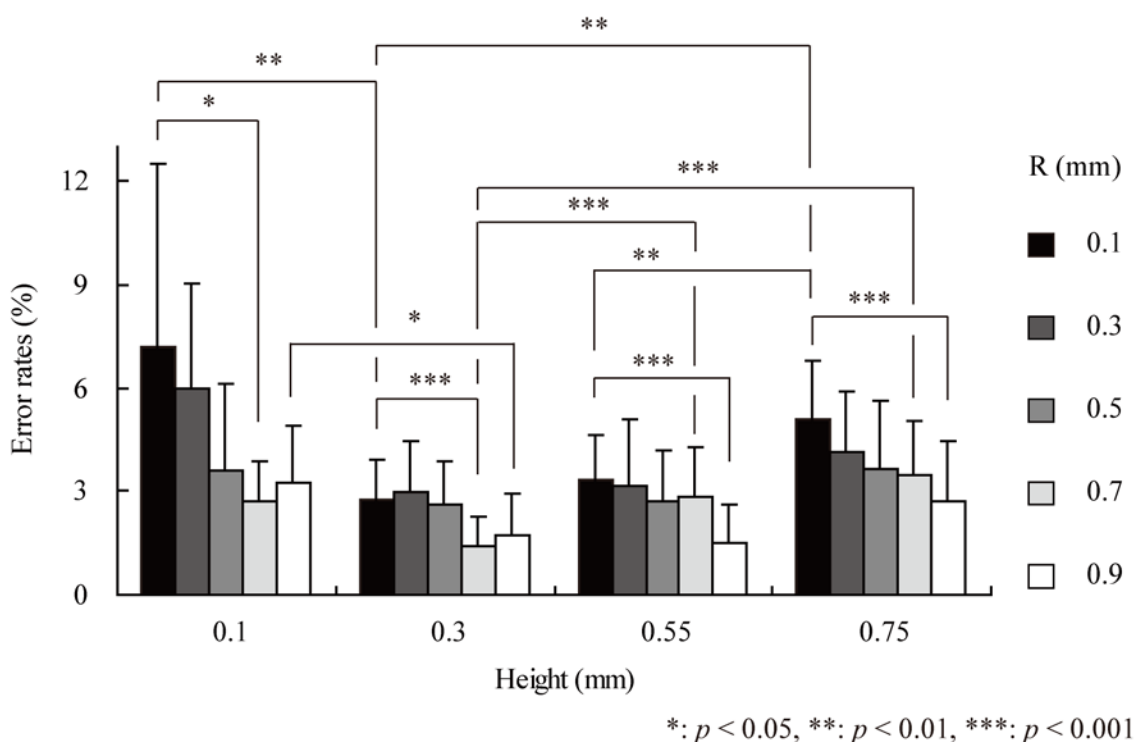


Fig. 5.6 Results of error rate among the younger participants

は高さ 0.3mm よりもエラー率が高かった ($p < 0.05$). また, R0.1mm の条件においては, 高さ 0.75mm は, 高さ 0.55mm 及び高さ 0.3mm よりもエラー率が高かった ($p < 0.01$). 同様に, R0.7mm の条件においては, 高さ 0.75mm 及び高さ 0.55mm は, 高さ 0.3mm よりもエラー率が高かった ($p < 0.001$). 一方, R の条件間を分析した結果, 高さ 0.1mm 及び高さ 0.3mm の条件においては, R0.1mm は R0.7mm よりもエラー率が高かった ($p < 0.05$). また, 高さ 0.55mm 及び高さ 0.75mm の条件においては, R0.1mm は R0.9mm よりもエラー率が高かった ($p < 0.001$).

全体の定性的な傾向としては, 高さ 0.1mm は高さ 0.3mm よりもエラー率が高く, 凸点が 0.3mm より高くなるにつれて, エラー率が増加する傾向であった. また, 同じ高さの条件では, R が小さいほどエラー率が高い傾向であった. なお, 凸点が付されていない条件におけるエラー率は平均 8.4% であり, 凸点が付された他の全ての条件よりもエラー率が高かった.

次に, 高齢者の結果を述べる (Fig. 5.7 参照). 分散分析の結果, 高さ と R の交互作用 ($F(12, 204) = 2.9, p < 0.01$), 高さの主効果 ($F(3, 51) = 42.5, p < 0.001$), R の主効果 ($F(4, 68) = 8.4, p < 0.001$) が有意であった.

高さの条件間を分析した結果, 全ての R の条件において, 高さ 0.1mm は高さ 0.3mm と比べて, エラー率が高かった ($p < 0.01$). 一方, R の条件間を分析した結果, 高さ 0.3mm と高さ 0.75mm においては, R0.1mm は R0.9mm と比べて, エラー率が高かった ($p < 0.05$).

全体の定性的な傾向としては, 高さ 0.1mm は高さ 0.3mm よりもエラー率が高かったが, 高さ 0.3mm 以上では, エラー率が低い値で収束した. また, 高さ 0.3mm 以上では, R が小さいほどエラー率が高かった. なお, 凸点が付されていない条件のエラー率は平均 58.2% であり, 凸点が付された条件よりもエラー率が高かった.

5.3.2.3 操作中に親指に感じた痛み

まず, 若年者の結果を述べる (Fig. 5.8 参照). 分散分析の結果, 高さ と R の

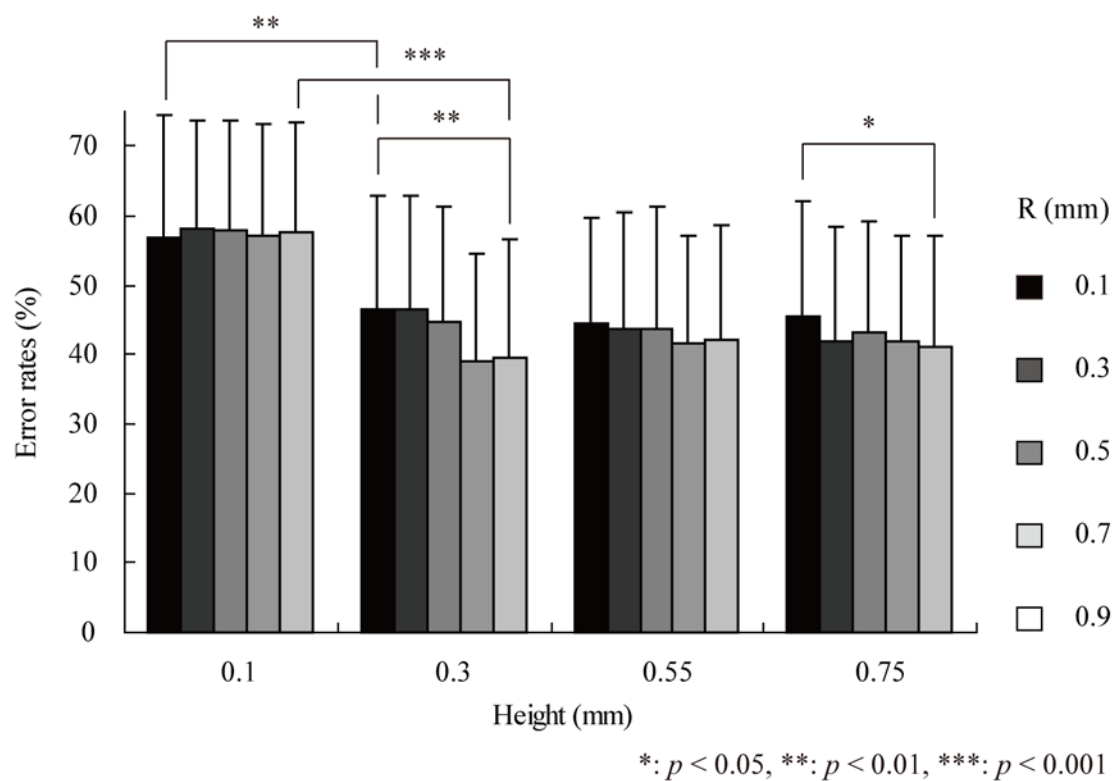


Fig. 5.7 Results of error rate among the older participants

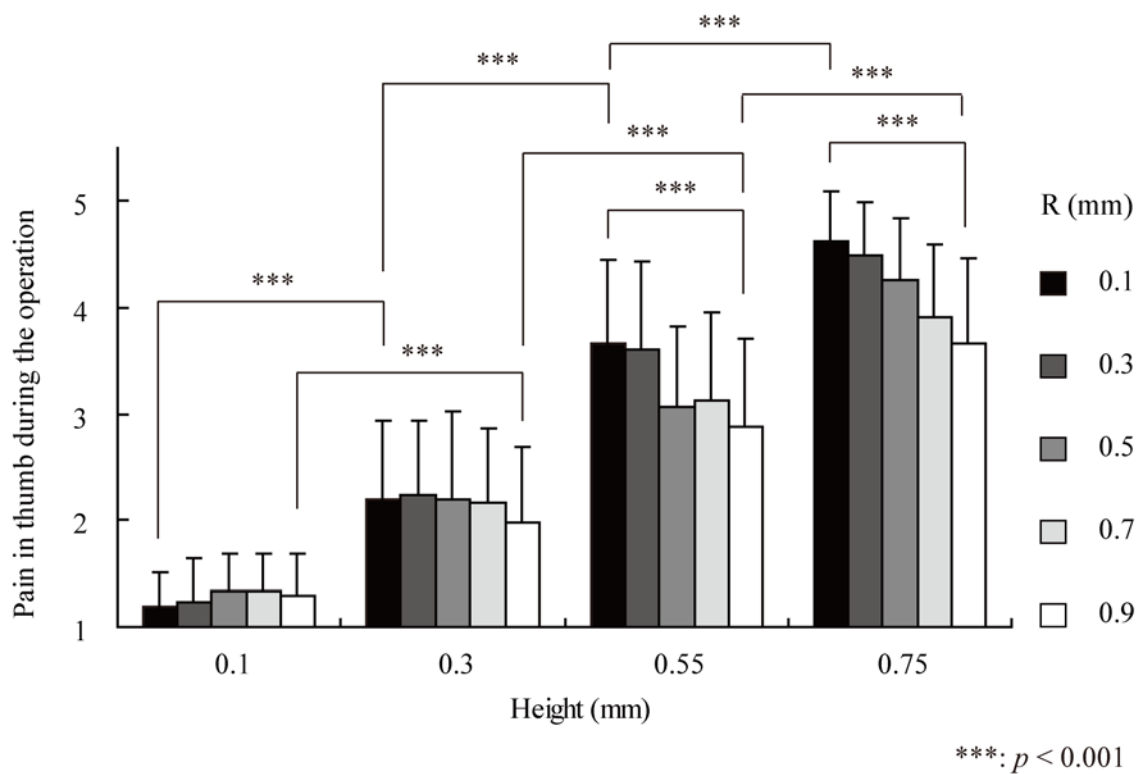


Fig. 5.8 Results of pain in thumb during the operation among the younger participants

交互作用 ($F(12, 180) = 8.0, p < 0.001$), 高さの主効果 ($F(3, 45) = 299.3, p < 0.001$), Rの主効果 ($F(4, 60) = 16.1, p < 0.001$) が, 全て有意であった.

高さの条件間を分析した結果, 全ての R の条件において, 隣り合う高さの条件間では, 凸点が高い条件の方が, より強い痛みを感じた ($p < 0.01$). 一方, R の条件間を分析した結果, 高さ 0.55mm 及び高さ 0.75mm の条件において, R0.1mm は, R0.9mm よりも強い痛みを感じた ($p < 0.001$).

全体の定性的な傾向としては, R の条件に関わらず, 凸点が高いほど痛みが強かった. 特に, 高さ 0.75mm では, いずれの R の条件においても, 平均的に強い痛みを感じる傾向であった. また, 高さ 0.55mm 及び高さ 0.75mm においては, R が小さいほど強い痛みを感じた.

次に, 高齢者の結果を述べる (Fig. 5.9 参照). 分散分析の結果, 高さ と R の

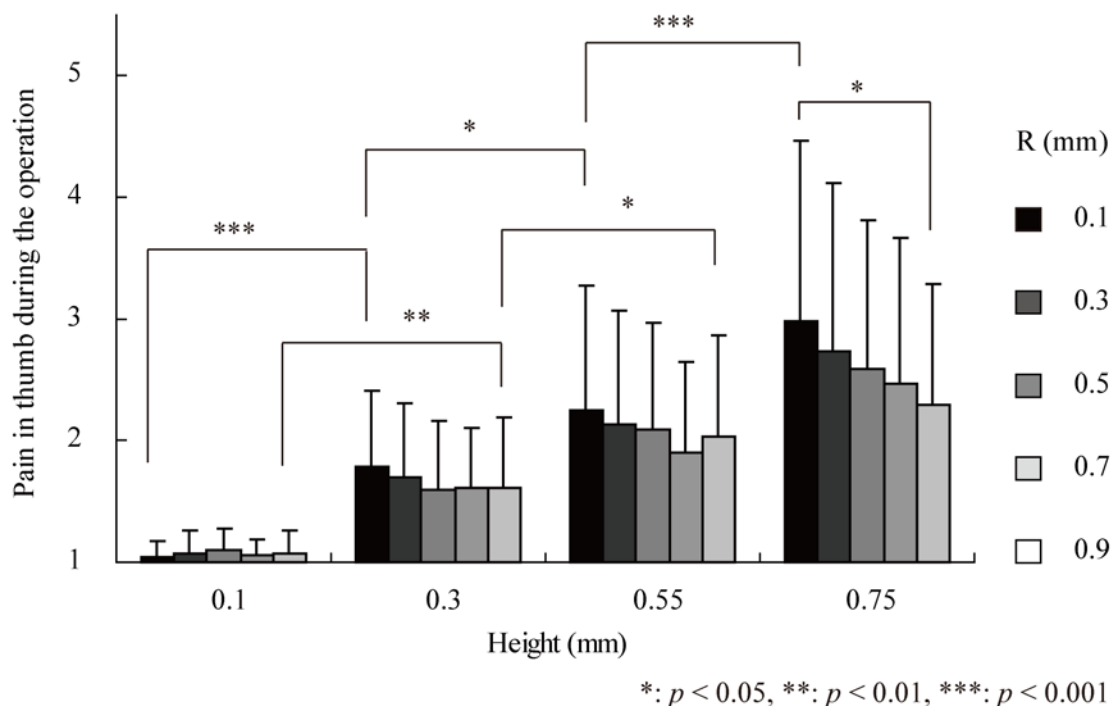


Fig. 5.9 Results of pain in thumb during the operation among the older participants

交互作用 ($F(12, 204) = 3.5, p < 0.01$), 高さの主効果 ($F(3, 51) = 28.3, p < 0.001$), Rの主効果 ($F(4, 68) = 6.2, p < 0.01$) が有意であった。

高さの条件間を分析した結果, 全ての R の条件において, 高さの隣り合う条件間では, 凸点が高い条件が, より強い痛みを感じた ($p < 0.05$). 一方, R の条件間を分析した結果より, 高さ 0.75mm において, R0.1mm は R0.9mm と比べて, より強い痛みを感じた ($p < 0.05$).

全体の定性的な傾向としては, R の条件に関わらず, 凸点が高いほど痛みが強かった。また, 高さ 0.75mm においては, R が小さいほど強い痛みを感じた。しかし, 最も痛みを感じた高さ 0.75mm, R0.1mm の条件でもスコアは 3 を超えず, あまり強い痛みを感じなかった。

5.3.2.4 総合評価

全ての評価指標の結果をまとめ, 凸点の高さと先端部の R が操作性に及ぼす影響を総合的に評価する。また, 若年者と高齢者における傾向の違いについても言及する。

まず, 高さに関して述べる。若年者と高齢者のいずれも, 全ての R の条件において, 高さ 0.1mm は高さ 0.3mm よりも操作時間が長く, エラー率が高い傾向であった。また, 若年者は, R が同じ条件では, 高さ 0.3mm において相対的に最も正確に操作できた。しかし, 高さが 0.3mm よりも高くなるにつれて, エラー率と操作中に親指に感じる痛みが増加し, さらに R が大きい R0.7mm 及び R0.9mm の各条件においては操作時間も増加する傾向であった。一方, 高齢者では, 高さ 0.55mm と高さ 0.75mm において, 操作時間とエラー率がともに相対的に最も低い値で収束する傾向であった。即ち, 若年者と高齢者では, 操作性向上に適した寸法が異なることが示された。

次に, R に関して述べる。全体として, 若年者と高齢者のいずれも, 高さが同じ条件においては, R が大きいほど早く正確に操作する傾向であり, 操作中に指に感じた痛みが小さかった。

5.3.3 考察

まず、先端部のRに関して考察する。結果より、若年者と高齢者のいずれも、凸点の先端部のRに関しては、凸点の高さが同じである場合には、先端部のRが大きいほど早く正確に操作できる傾向であった。Phillipsらは、微小神経電図法を用いて、ヒトの皮膚感覚受容野に対して凸点と同様な形状である点字のパターンを提示し、機械受容単位活動を記録した結果、触覚受容器の一つであるメルケル細胞とマイスナー小体はその刺激を受容する役割を担っていることを確認した^[5-7]。このメルケル細胞とこれを終末とする求心性神経繊維からなる機械受容ユニットはSAI (Slowly adapting type I unit, 遅順応I型単位) であり、マイスナー小体はFAI (Fast adapting type I unit, 速順応I型単位) であるが、先端部のRが大きい凸点は、触れた際の指腹部の変形が大きく、SAI及びFAIにおける神経インパルスの発火頻度が高くなるために、携帯電話の操作中に触知することが容易であった可能性があると考えられる。

次に、高さに関して考察する。若年者と高齢者のいずれも、Rの条件に関わらず、高さ 0.1mmは高さ 0.3mmよりも操作時間が長く、エラー率が高い傾向であった。実験後には、第4章で得られた内観報告と同様に、全ての参加者から、凸点の高さが低い場合には凸点の位置がわからない、注意深く触って確かめる必要があるのでわかりづらい、といった回答が得られた。小林らによると、凸点の検出に関わるメルケル細胞は、皮膚組織内における配置により、皮膚への押し込みに対する触覚受容感度が高いという特性を持つ^[5-8]。また、Mountcatsleらによると、直径 2.0mmのプローブを皮膚に対して押し込む深さとSAIの発火頻度は線形関係であり、押し込みが浅いほど発火頻度が低い^[5-9]。これらの知見より、高さ 0.1mmの凸点は、携帯電話の操作中に触れても皮膚への押し込みが小さいためにメルケル細胞に力学情報が伝わらず、SAIの発火頻度が相対的に低いために、検出が容易ではなかった可能性があると考えられる。また、高齢者は、加齢によってSAIと関連が深い空間分解能の低下や、触圧感度の低下が生じることからも^{[5-10][5-11][5-12][5-13]}、こうした基本特性の低下が一因となり、高さ 0.1mmで

は、凸点を検出することが非常に困難であったと考えられる。

一方、若年者は、高さ 0.1mmにおいて、Rが大きい条件ほど、有意に操作時間が早く、エラー率が低い傾向であった。Johanssonらによると、ヒトは指先で高さ 0.001mmの微小な凸点が検出できるが、この時凸点の直径が大きいほど検出可能な高さの閾値が低い^[5-14]。この理由は、直径の増大に伴い、指紋稜線の水平方向の変形が増すためであると述べている。また、前野らによると、指紋稜線凸部の形状は、触覚受容器の一つであるマイスナー小体の触覚受容感度の向上に重要であり^[5-15]、小林らは、マイスナー小体が指に対して接線方向への移動状態の検出感度が大きいことを明らかにしている^[5-8]。実際に、LaMotteらによると、高さが極微小な凸点が指紋稜線に沿って提示される場合よりも、交差して提示されて水平方向の変形がより大きく生じる場合に、マイスナー小体に対応する機械受容ユニットであるFAI (Fast adapting type I unit, 速順応I型単位)における神経インパルスの発生頻度が高かった^[5-16]。以上の通り、高さが微小な凸点の検出においては、指紋稜線の水平方向の変形によるマイスナー小体への刺激と、対応する神経基盤であるFAIにおけるインパルスの発生頻度の増加が重要である。ここで、本実験で用いた高さ 0.1mmの凸点の直径を確認すると、R0.1mmの条件では約 0.2mm、R0.9mmの条件では約 0.8mmであり、Rが大きい条件ほど直径が大きかった。以上の知見を総合的に考察すると、若年者は、高さ 0.1mmのように非常に低い凸点においては、Rが大きい条件ほど触察した際の指紋稜線の水平方向への変形が大きく、FAIにおける発火頻度が相対的に高いために、検出しやすかった可能性がある。なお、高齢者は、加齢に伴いマイスナー小体等の触覚受容器の密度低下や形態の変化^{[5-17][5-18]}が生じるために、高さ 0.1mmのRが大きい条件においても、指先で検出できなかつたと考えられる。一方、操作性向上に寄与する寸法の条件という観点から考察すると、若年者と高齢者のいずれも、高さ 0.1mmの凸点は触知が困難であることは変わりなく、実用的な寸法であるとは言えない。

また、若年者では、凸点の高さが 0.3mm よりも高くなるにつれてエラー率が

増加し、 R が大きい $R0.7\text{mm}$ や $R0.9\text{mm}$ では操作時間が増加する傾向であった。しかし、高齢者では、高さ 0.55mm 以上において、操作時間とエラー率が低い値で収束するという異なる結果が得られた。この理由に関して、第一に、第4章で述べた通り、携帯電話を操作する際の指の挙動の違いが一因であると考えられる。即ち、筆者が、携帯電話を操作する参加者の手指の様子を実験中に観察したところ、若年者では、高さ 0.3mm 以下の凸点が付されている場合は、親指が凸点の上を通過する際に親指をテンキーに接触させたまま滑らせるように操作したが、高さ 0.55mm 以上の条件では、親指が凸点の上を通過する際に凸点を押しってしまうことによる誤動作を回避するために、親指をテンキーから浮かせる様子が見られた。特に、高さ 0.75mm ではその傾向が顕著であった。以上のことから、若年者では、凸点の高さが適切な場合は、常に親指がテンキーと接触しているために携帯電話を安定して把持することができるが、凸点が高すぎると、親指が凸点を回避する度に携帯電話の把持が不安定になり、早く正確な操作との両立が困難になると考えられる。これに対して、高齢者では、凸点の高さがどのような条件であっても、キーを押下する度にテンキーから指を離してから、次のキーを押下するといった様子が顕著に確認された。こうした操作では、高さがある凸点が付されている場合でも、手指の動作が阻害されないために操作性が低下しない。

第二に、触知覚特性の観点から、若年者と高齢者における、適切な高さの違いについて考察する。既に述べた通り、高齢者は加齢の影響により、指先における空間分解能の低下といった触知覚特性の変容や、触覚受容器の密度低下・形態の変化が生じるために、刺激に対する応答が鈍化する。そのため、高齢者が凸点を明瞭に知覚するためには、指を深くかつ広い範囲で変形させ、メルケル細胞やマイスナー小体といった触覚受容器に対して、強い刺激を加える必要がある。従って、高齢者は若年者が必要とするよりも、より高い凸点が付されている場合に触知しやすく、携帯電話の操作性が向上すると考えられる。

さらに、Tremblayらは、60歳以上の高年齢者を対象に、矩形状格子の方向弁

別による空間分解能の測定と、挿入可能な角度が定められた穴に規定の釘を差し込む試験（Grooved Pegboard Test）によって、手指の巧緻性の測定を行ったところ、指先の空間分解能の低下と手指の巧緻性の低下には強い相関があった。このことから、高齢者が、微細な手指の動作が求められる課題の遂行が非常に困難である理由は、指先の空間分解能の低下が関係している可能性があるとして報告した^[5-19]。携帯電話のような小型端末の操作部を、視覚情報に頼らず手指からの情報だけで操作するためには、手指の高い巧緻性が求められる。しかし、高齢者は、加齢による指先の空間分解能の低下により、指先からフィードバックされる情報が不足する。そのため、テンキーの位置関係を正確に把握して素早く操作することが困難であると考えられる。以上のことから、高齢者に対する支援のためには、指先で明瞭に知覚できる高さの凸点を付すことが重要であると考えられる。

なお、第4章の結果では、高齢者では、高さ 0.7mm と比べて高さ 0.3mm は、定性的により早く正確に操作できていた。そこで、第4章の凸点の先端部の R を測定したところ、高さ 0.3mm では先端部の R は約 0.7mm、高さ 0.7mm では先端部の R は約 0.3mm であった。第5章においてこれらの寸法を近似する条件は、高さ 0.3mm、先端部の R0.7mm の条件と、高さ 0.75mm、先端部の R0.3mm の条件であるが、これらの結果を比べると、第4章と同様に後者よりも前者の条件の方がやや操作時間が早くエラー率が低かった。以上のことから、第4章では、凸点の先端部の R が統制されていなかったために、高さ 0.3mm が最も操作性向上に適しているという結果が得られたものと考えられる。

5.4 小括

本章では、凸点の断面形状として先端部の尖り具合（曲率半径）に着目し、凸点の高さ及び先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした。まず、市場の携帯電話の凸点の形状を形状計測し、その結果から本章で評価する凸点の断面形状を、お椀形状とした。その後、お椀形状

における凸点の高さと先端部の R が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価するための実験を行った。その結果、以下の2点が明らかとなった。

- (1) 凸点の高さが同じ場合には、先端部の R が大きい条件ほど、早く正確に操作できることが明らかとなった。これは、指先を広範囲に大きく変形させるために、指先で触知しやすいからだと考えられる。
- (2) 高さに関しては、若年者と高齢者のいずれも、 R の寸法に関わらず、高さ 0.1mm は触知が困難であり、操作性向上に適さないことがわかった。また、高さ 0.3mm において相対的に最も正確に操作できたが、高さ 0.3mm よりも高くなるにつれて、操作時間とエラー率が増加する傾向であったことから、凸点の高さには適切な範囲があることが示された。一方、高齢者では、高さ 0.55mm 以上において、操作時間が短くエラー率が低い値で収束したことから、若年者よりも高い凸点が適していることが示唆された。これは加齢に伴う指先の空間分解能の低下が一因であると考えられる。このことから、高齢者にとっては、凸点に触れた際に明瞭な刺激として知覚されるように、高さがあり先端部の R が大きい条件が携帯電話の操作性向上に適していることが示唆された。

以上の通り、本研究によって、凸点の高さと先端部の R が携帯電話の操作性に及ぼす影響が明らかとなった。具体的には、これまでに標準では検討されていなかった凸点の断面形状として先端部の R に着目し、携帯電話のテンキーの操作において有意な影響を及ぼす因子であることが明らかとなった。また、触知覚特性の観点から、触知経験に乏しいユーザの年齢に応じた適切な寸法の条件も明らかとなった。

第4章及び第5章より、配列された操作部の位置情報の表示という凸記号の役割に対して、有効な凸点の寸法・断面形状の条件が明らかとなった。

また、以下の3点において社会的意義がある。第一に、3.5節でも述べた通り、凸点の寸法と断面形状に関する実証データが得られ、標準における推奨規定を検討する際や、企業が製品に凸点を付す際の客観的知見として、活用できる点である。第二に、触知覚特性の観点から、操作中における凸点の検出に関する考察を深めたことで、携帯電話のみならず類似する操作部に凸点を付す場合でも、参考となる知見を示した点である。第三に、若年者と高齢者では、凸点の適切な寸法が異なることが明らかとなり、ユーザーの特性に応じた設計の重要性を示唆した点である。

第6章 結言

6.1 本研究のまとめ

6.2 本研究の意義

6.3 今後の展望

概要

第6章では、本研究によって得られた知見と意義についてまとめる。

6.1 本研究のまとめ

高齢者・視覚障害者における消費生活製品の操作性向上のために製品の操作部に触覚上の手掛かりとして付される凸バーと凸点に関して、寸法と断面形状に関する客観的データが必ずしも十分であるとは言えない。そこで本研究では、製品の操作性向上に適う凸バーと凸点の寸法及び断面形状を定量的に評価することを目的とした。評価に当たっては、凸記号を製品に付す際の2つの役割に応じた基本かつ重要な課題を設定し、それぞれの役割に適う凸バーと凸点の寸法及び断面形状の条件を明らかにすることとした。具体的には、第一の課題では、操作部の機能の識別を示す役割に対して、異なる機能の操作部に付される凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響を評価した。第二の課題では、配列された操作部の位置情報を示す役割に対して、凸点が付される製品として国際的に広く普及している携帯電話を事例として取り上げ、凸点の寸法及び断面形状が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価した。

まず、本研究の内容を、章ごとにまとめる。

第1章では、本研究の背景、目的、構成に関して述べた。具体的には、世界的な高齢化の進展とそれに伴う視覚障害者人口の増加に対応するために、視覚

機能に低下や欠損が生じた高齢者や視覚障害者が利用可能な環境，サービス，製品の普及が国際的に喫緊の課題であることを述べ，その具体的な対応策として，国内外の標準化機関によって推進される高齢者・障害者配慮設計指針の標準化に関する近年の動向を示した．また，そうした配慮設計の代表例である凸記号を取り上げ，我が国における凸記号の標準化に至る過程を概観した．さらに，標準で定められた凸記号の推奨規定を整理した上で，凸記号の推奨寸法及び断面形状に関する客観的データが必ずしも十分ではないという問題点を指摘した．以上を踏まえ，本研究では，製品の操作性向上に寄与する凸バーと凸点の寸法及び断面形状を定量的に評価することを目的とした．評価に当たっては，凸記号を製品に付す際の役割に応じた基本かつ重要な課題として，（１）凸バーと凸点の寸法及び断面形状が識別容易性に及ぼす影響の評価（第２章及び第３章）．（２）凸点の寸法及び断面形状が配列された操作部の位置情報に及ぼす影響の評価（第４章及び第５章）の２つを設定した．

第２章では，操作部の機能の識別という凸記号の役割の一つに着目し，製品の基本機能の開始部に付す凸点と基本機能の終了部に付す凸バーを，触覚を用いて識別する際に支配的な影響を及ぼす寸法の因子を明らかにすることを目的とした．本章では，凸バーと凸点の寸法に関する基本的な因子として，凸バーの長辺と短辺，凸点の直径を評価した．本実験では，近年増加傾向にある中途失明者を想定した晴眼若年者と晴眼高齢者に対して，長辺と短辺が統制された凸バーと直径が統制された凸点を，触覚のみで識別させた．その結果，若年者と高齢者のいずれも，凸バーは長辺と短辺の差が大きいほど早く正確に確信をもって識別できたことから，これらの差が凸バーの識別における支配的因子であることが明らかとなった．また，凸点は，直径が小さいほど早く正確に確信をもって識別できたことから，空間分解能を下回る寸法の場合に，凸点と知覚することが確認できた．

第３章では，凸バーと凸点の断面形状としてエッジの丸み（曲率半径）に着目し，凸バーと凸点のエッジの曲率半径が識別容易性に及ぼす影響を評価する

ことを目的とした。本実験では、エッジの曲率半径を統制した凸バーと凸点の刺激を製作し、年齢及び視覚障害の有無が異なる参加者に指先で識別させた。その結果、凸バーのエッジの曲率半径と短辺の寸法に関わらず、若年晴眼者、若年視覚障害者、高齢視覚障害者は、凸バーの長辺と短辺の差が 2.0mm 以上あれば、ほぼ正確に識別できることが明らかとなった。一方、晴眼高齢者は、長辺と短辺の差が 3.0mm 以上でなければ、正確に識別できないことが分かった。また、凸点は、エッジの R が大きいほど、早く正確に確信をもって凸点と識別できることが明らかとなった。

第4章では、もう一方の課題として、配列された操作部の位置情報の表示という凸記号の役割に着目し、テンキーの位置情報を示すために凸点が付される製品として、国際的に普及している携帯電話を事例として取り上げ、5番キーに付した凸点の高さがその操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした。本章では、凸点の寸法に関する因子として、凸点の高さのみを評価した。本実験では、日常生活において製品の操作に困難を抱える中途失明者を想定した晴眼若年者及び晴眼高齢者に対して、高さが異なる凸点が付された携帯電話を操作させた。その結果、若年者と高齢者のいずれも、凸点の高さが 0.3mm の条件は、凸点がない条件や高さ 0.1mm の条件と比べて、早く正確に操作した。また、若年者と高齢者のいずれにおいても、凸点の高さが 0.3mm よりも高くなるにつれて操作時間及びエラー率が増加する傾向が認められたことから、凸点は高ければ高いほど良いというわけではなく、適切な範囲が存在することが明らかとなった。

第5章では、凸点の断面形状として先端部の尖り具合（曲率半径）に着目し、凸点の高さ及び先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした。まず始めに、市販の携帯電話に付された凸点の形状計測を行い、携帯電話においては、お椀形状の凸点における尖り具合が操作性に影響を及ぼす可能性がある断面形状の因子であることを確認した。さらに、中途失明者を想定した晴眼若年者及び晴眼高齢者に対して、高さと先端部の曲率半径

を統制した凸点を付した携帯電話を操作させる実験を行った。その結果、凸点の高さが同じ場合には、先端部の曲率半径が大きい条件ほど、速く正確に操作できることが明らかとなった。一方、高さに関しては、先端部の曲率半径の寸法に関わらず、若年者と高齢者のいずれも、高さ 0.1mm は操作性向上に適さないことが明らかとなった。また、若年者では、高さ 0.3mm において相対的に早く正確に操作したが、高さ 0.3mm よりも高くなるにつれ、エラー率が増加する傾向であった。一方、高齢者では、高さ 0.55mm 以上において、操作時間が早くエラー率が低い値で収束した。以上のことから、若年者と高齢者では、操作性向上に有効な高さの条件が異なることが明らかとなった。

第6章では、本研究によって明らかとなった凸バーと凸点の寸法及び断面形状に関する知見と、意義についてまとめた。

以上の通り、本研究の目的であった製品の操作性向上に寄与する凸バーと凸点の寸法及び断面形状の条件に関する知見を得ることができた。

6.2 本研究の意義

まず、凸記号の規格に対する本研究の意義について総括するとともに、製品に付す際に配慮すべき事項を、以下にまとめる。

第一に、凸記号の役割の一つである「操作部の機能の識別」の観点から述べる。凸バーの識別に関しては、凸バーの長辺と短辺の寸法の差が支配的因子であることが明らかとなった。凸バーのエッジの曲率半径を厳密に統制できない場合でも、長辺と短辺の差を大きく設計しさえすれば、識別しやすい凸バーを製品に付すことが可能であることが示された。また、現行の凸記号に関する規格では、凸バーの長辺は短辺の 5 倍を推奨しているが、長辺の寸法を短辺との比ではなく、短辺との差によって規定することも検討に値する。具体的には、若年晴眼者、若年視覚障害者、高齢視覚障害者では、凸バーの長辺と短辺の差が 2mm 以上あればほぼ正確に識別できたが、晴眼高齢者は 3mm 以上の長辺と短辺の差が必要であった。即ち、高齢になってから失明したユーザを考慮する

と、凸バーの長辺と短辺の差は、少なくとも 3mm 以上あることが望ましい。

次に、凸点の識別に関しては、直径が小さくエッジが丸いほど、凸点と知覚されることが明らかとなった。このような性質を活用して凸点を設計することで、製品の操作部に識別しやすい凸点を付すことができると考えられる。

第二に、凸記号のもう一つの役割である「配列された操作部の位置情報の表示」の観点から述べる。まず、凸点の寸法に関しては、高さ 0.1mm はテンキーの操作中には触知自体が困難であるために、実用には適さない。また、若年者は、高さ 0.3mm は相対的に最も正確に操作できたが、高さ 0.3mm よりも凸点が高くなるにつれて、操作時間とエラー率が増加する傾向であった。これらのことから、若年の中途失明ユーザにとっては、凸点の高さは低すぎず高すぎない適切な範囲があることが明らかとなった。一方、高齢になってから失明したユーザにとっては、高さ 0.55mm 以上において、操作時間が短くエラー率が低い値で収束したことから、若年者が必要とするよりも凸点を相対的に高めに設計する配慮が必要である。凸点の断面形状に関しては、高さが同じ寸法であれば、先端部が尖っているよりも尖っていない方が、操作性の向上に有効であることが明らかとなった。

以上の通り、本研究の知見は、国内外の規格作成者が凸記号の推奨寸法の改訂を検討する際や、断面形状に関する新たな規定を検討する際の実証データとして利用されることが期待される。さらに、企業が製品に凸バーと凸点を付す際の参考データとしても活用できると考えられる。

さらに、本研究の社会的意義について言及する。今後、国際的に高齢化が進展していく中で、凸記号以外の触覚サインに対する社会的ニーズが高まると考えられる。第 1 章で述べた通り、我が国では既に点字や触覚記号といった触覚サインの標準化が進められており、新たな国際規格の制定への貢献も期待されるが、本研究で整理された凸記号に対する触知覚特性に関する知見は、類似する触覚サイン（例えば、浮き出した矢印やアルファベットの線分の長さ等）の設計を検討する場合にも参考になると考えられる。

最後に、本研究の学術的意義について述べる。本研究では、テンキーの操作時における凸点の検出に関して、触知覚特性の観点から考察を深めることで、テンキーに類似する操作部に凸点を付す場合でも参考となる知見を示すことができた。こうした成果は、高齢者や視覚障害者の触知覚特性を考慮したインターフェースの設計に役立つばかりでなく、従来、触覚に関する基礎研究の分野で明らかとなっていた触知覚特性に関する知見が、応用場面である製品の操作においても適用できることを示した。以上の通り、本研究は、基礎から応用に至る触覚分野の進歩を促す研究としても、学術的に意義深い。

6.3 今後の展望

ヒト側の触知覚や筋・関節知覚の基本特性に基づく、凸バーと凸点の設計の更なる検討が課題である。例えば、ヒトの指先における空間分解能には異方性があるという報告がある^[6-1]。また、筆者らが日本点字図書館を利用する視覚障害者を対象に行ったヒアリングによると、凸バーを触察する際に、凸バーの長辺の向きと指の長軸方向が一致するかどうかによって、長辺の長さの感じ方が主観的に異なるといった意見が得られた。こうした観点から、筆者らは凸バーを触察する際の方向が識別容易性に及ぼす影響を予備的に評価したところ、凸バーの長辺と指の長軸方向が一致する場合には、より早く識別することができる^[6-2]。

また、この結果から、凸バーの触察においては、指先の触知覚のみならず、筋・関節知覚に基づく求心性・遠心性情報が関与すると考えられ、能動触における指先の空間感度特性の評価が必要である。先行研究によると、能動触と受動触では指先による空間分解能が異なることが示されており、特に、触知経験が豊富な視覚障害者は、高齢であっても能動触における指先の空間感度が高いという報告がある^[6-3]。今後、触覚サインに対するヒト側の基本特性として、能動触における空間分解能を簡便かつ精度良く評価可能な計測手法・装置の確立が重要である。このような基礎的知見は、凸記号を含む触知サイン全般の設計

や、点字ディスプレイ等の触覚情報提示機器の仕様を検討する際の基本データとしても有用である。

また、応用への展開として、高齢者や視覚障害者の情報受容特性や認知特性を考慮し、ユーザがインターフェース上に位置づけやすい触覚情報の在り方を明らかにすることも、重要な検討課題である。

以上の課題を通じて、実用的な凸バーと凸点が付された、高い操作性とアクセシビリティを有する製品の普及に貢献し、視覚障害者を始めとする全ての人々が共生可能な社会の実現に寄与していく。

附録

附録 A 人差し指による両手操作における凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響

附録 A 人差し指による両手操作における凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響

- A1 目的
- A2 方法
- A3 結果
- A4 考察
- A5 まとめ

A1 目的

第 2 章では、親指による片手操作時における凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価した。実験の結果より、凸点が高い条件においては、操作時間及びエラー率の増加が認められた。この理由として、親指による片手操作では、凸点を指先で回避する際に親指による支持がなくなるため、携帯電話の把持が不安定になり、早く正確な操作が困難になるという仮説を立てた。一方、携帯電話を両手で操作する場合には、携帯電話の把持とテンキーの操作を左右の手で分担するために、凸点が高い場合でも容易に回避することができ、操作性の低下が生じないと考えられる。以上の仮説を検証するために、本実験では、第 2 章と全く同様の方法により、人差し指による両手操作における凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした。

A2 方法

本実験は、第 2 章における実験方法を踏襲した。以下に、第 2 章とは異なる点と、実験手続きの要点を簡潔に述べる。

A2.1 実験参加者

人差し指による両手操作を行った本実験では、日常生活において製品の操作に特に困難を抱える中途失明者を想定し、晴眼若年者 18 名（平均 21.1 ± 1.2 歳）及び晴眼高齢者 20 名（平均 64.2 ± 2.5 歳）が参加した（本附録において、それぞれ若年者、高齢者と記す）。

全ての参加者は、携帯電話の操作経験があり、テンキーの配列を把握していた。また、少なくとも週に一回以上はメールや通話、インターネットなどで携帯電話のテンキーを操作する機会があり、一年以上に渡る携帯電話の使用暦があることを選定条件とした。さらに、携帯電話の使用経験が全くない者や、携帯電話を毎日一日中操作している者等、携帯電話の使用頻度が突出して異なる参加者は除外した。また、全ての参加者は、皮膚に外傷や関連する既往歴がなく、手指の機能に異常が認められなかった。

A2.2 手続き

参加者が携帯電話のテンキーを目視できないように、カーテンで手元を遮蔽した状態で携帯電話を片手で持たせ、もう片方の手の人差し指のみを用いて操作させた（Fig. A1.1 参照）。この時、操作に用いる左右の手は、参加者が操作しやすいように自由に選定させた。本実験では、第 2 章で詳述した携帯電話の操作性評価装置を用いて、0 から 9 までのランダム順列のアラビア数字 50 個からなる入力課題を、参加者に操作させた。

携帯電話の 5 番キーに付す凸点の高さは、0.0mm（凸点なし）0.1, 0.3, 0.5, 0.7mm の計 5 条件とした。評価指標は、操作時間とエラー率に加えて、主観評価として、操作の確信度（1：確信なし—5：確信あり）、5 番キーの発見しやすさ（1：全く発見できない—5：確実に発見できる）、5 番キーを押した際に指に感じた痛み（1：全く痛みを感じない—5：非常に強い痛みを感じる）を 5 段階の等間隔尺度で評価させた。各結果に対して、凸点の高さを要因とする一元配置分散分析を実施し、主効果が認められる場合には Bonferroni 補正法による多重

検定によって、高さの条件間における有意差を分析した。

実験は、参加者の体調に注意しながら休憩を取りながら行い、練習試行を含めて約 2 時間で終了した。参加者に対しては、実験前に口頭で研究の詳細及び実験手続きを説明し、参加の同意を得た。なお、本実験と第 2 章における教示内容の違いが、実験結果に影響を及ぼすことがないように、全く同じ内容が書かれた書面に従って口頭で教示を行った。具体的には、凸点の高さによる影響を観測しやすくするために、(1) 一つの文字を入力するごとに 5 番キー上に指を戻してから次のキーを入力すること、(2) 操作時間よりも正確さに配慮して操作することを教示した。本実験の全ての手続きは、早稲田大学研究倫理審査委員会の承認を得た。

A3 結果

A3.1 操作時間

Fig. A1.2 に結果を示す。若年者と高齢者のいずれにおいても、高さの主効果

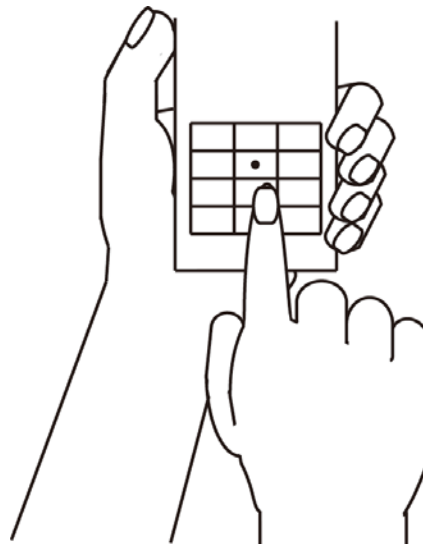


Fig. A1.1 An experimental picture during operating a mock-up of cellular phone by two-handed forefinger method

が有意であった (それぞれ $F(4, 68) = 32.7, p < 0.001, F(4, 76) = 12.4, p < 0.001$).

多重比較の結果, 若年者では 0.1mm に対して 0.0mm, 0.3mm に対して 0.1mm は, 操作時間が有意に長かった ($p < 0.05$). 高齢者では, 0.3mm に対して 0.1mm は操作時間が有意に長かった ($p < 0.05$).

若年者と高齢者ともに, 0.3mm 以上の条件間では有意差が認められなかった.

A3.2 エラー率

Fig. A1.3 に結果を示す. 若年者と高齢者のいずれにおいても, 高さの主効果が有意であった (それぞれ $F(4, 68) = 16.0, p < 0.001, F(4, 76) = 13.3, p < 0.001$).

多重比較の結果, 若年者では, 0.1mm に対して 0.0mm はエラー率が有意に高く ($p < 0.05$), 0.1mm 以上の条件間では有意差が認められなかった. 高齢者では, 0.3mm に対して 0.0mm はエラー率が有意に高く ($p < 0.05$), 0.3mm 以上の条件間では有意差が認められなかった. 若年者と高齢者ともに, 0.0mm の時に最もエラー率が高かった.

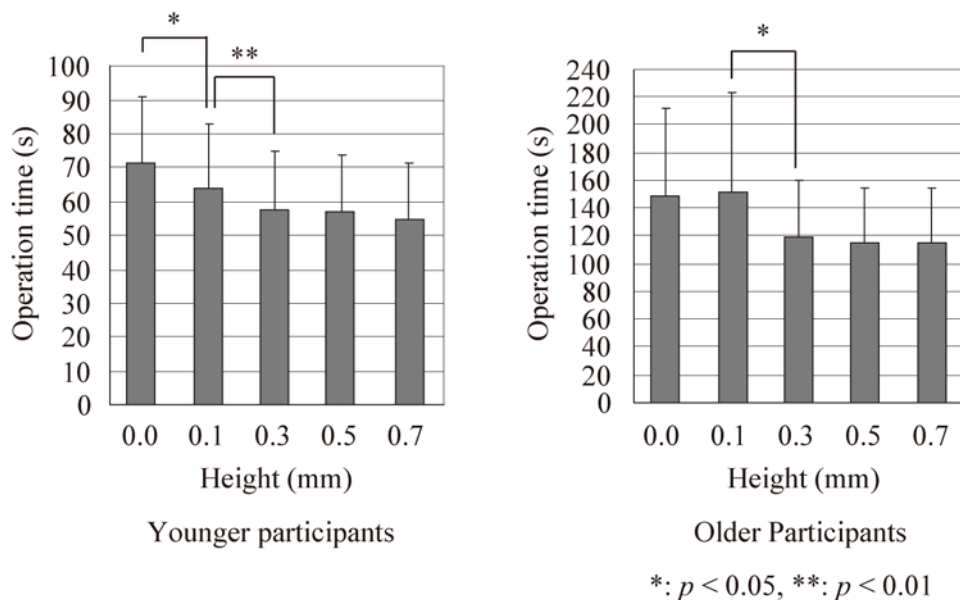


Fig. A1.2 Results of operation time by two-handed forefinger method

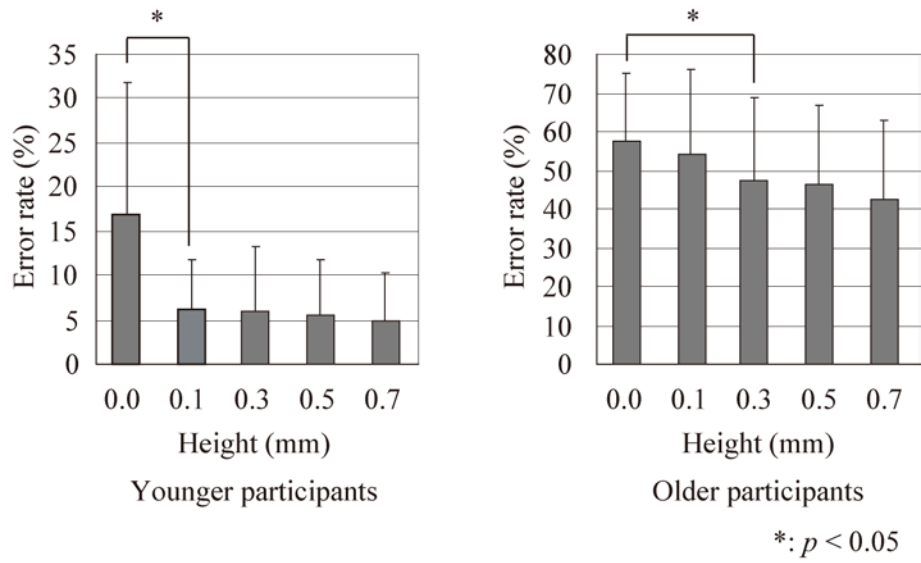


Fig. A1.3 Results of error rate by two-handed forefinger method

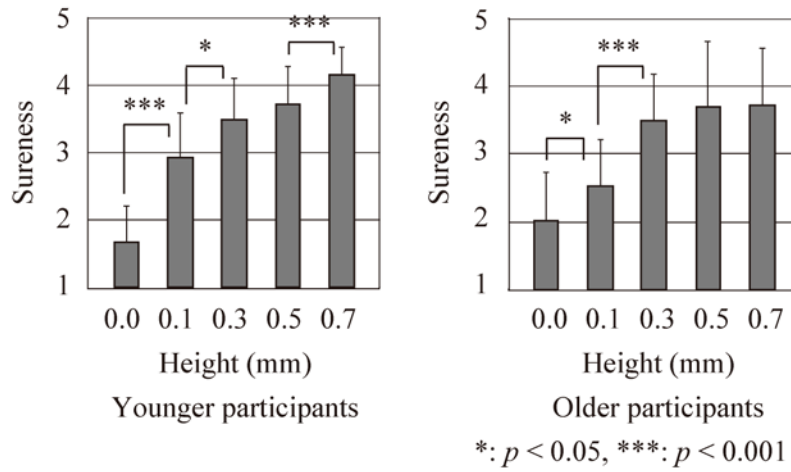


Fig. A1.4 Results of sureness by two-handed forefinger method

A3.3 操作の確信度

Fig. A1.4 に結果を示す. 若年者と高齢者のいずれにおいても, 高さの主効果が有意であった (それぞれ $F(4, 68) = 81.3, p < 0.001$, $F(4, 76) = 29.8, p < 0.001$).

多重比較の結果, 若年者では, 0.0mm 及び 0.1mm, 0.1mm と 0.3mm, 0.5mm と 0.7mm の各条件間を比較すると, それぞれ高さが低い条件は, 操作の確信度が有意に低かった ($p < 0.05$). 高齢者では, 0.1mm に対して 0.0mm, 0.3mm に対して 0.1mm は, 確信度が有意に低かった ($p < 0.05$).

若年者と高齢者ともに, 凸点が高いほど操作の確信度が高かった.

A3.4 5番キーの発見しやすさ

Fig. A1.5 に結果を示す. 若年者と高齢者のいずれにおいても, 高さの主効果が有意であった (それぞれ $F(4, 68) = 106.9, p < 0.001$, $F(4, 76) = 64.3, p < 0.001$).

多重比較の結果, 若年者では, 0.0mm と 0.1mm, 0.1mm と 0.3mm, 0.3mm と 0.5mm の各条件間を比較すると, それぞれ高さが低い条件では, 5番キーが有意に発見しにくかった ($p < 0.05$). 高齢者では, 0.1mm は 0.3mm と比較して, 5番キーが有意に発見しにくかった ($p < 0.001$).

若年者と高齢者のいずれも, 凸点が高いほど 5番キーの位置が発見しやすかった.

A3.5 5番キーを押した時の痛み

Fig. A1.6 に結果を示す. 若年者と高齢者のいずれにおいても, 高さの主効果が有意であった (それぞれ $F(4, 68) = 34.3, p < 0.001$, $F(4, 76) = 6.0, p < 0.001$).

多重比較の結果, 若年者では, 0.3mm に対して 0.5mm, さらに 0.5mm に対して 0.7mm は, 人差し指に感じる痛みが有意に大きかった ($p < 0.001$). 高齢者では, 条件間で有意な差は認められなかった.

一方, 若年者と高齢者ともに, 凸点が高いほど強い痛みを感じた. しかし, 最も強く痛みを感じた 0.7mm の高さにおいても, 若年者及び高齢者の痛みのス

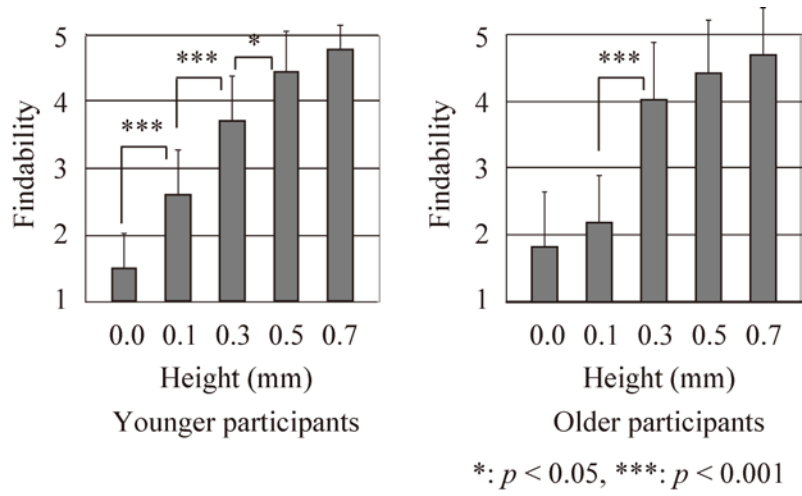


Fig. A1.5 Results of findability of key 5 by two-handed forefinger method

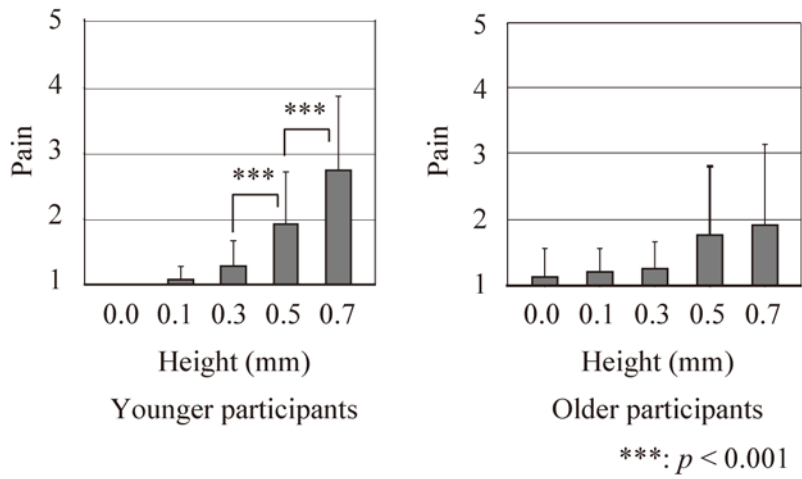


Fig. A1.6 Results of pain when pushing key 5 by two-handed forefinger method

コアは3に満たず、強い痛みを感じなかった。

A3.6 人差し指による両手操作の総合評価

若年者では、0.0mm から 0.3mm までの条件間において、凸点が低い条件ほど操作時間が有意に長かった。0.3mm 以上の条件間では、操作時間に有意な差は認められなかった。また、0.1mm と比べて 0.0mm はエラー率が有意に高かった。0.1mm 以上の条件間では、エラー率に有意差は認められなかった。主観評価では、凸点が高いほど、操作の確信度が高く、5番キーの位置が発見しやすかった。更に、5番キーを押した時の痛みも増加したが、最も痛みを感じた条件においても、強い痛みは感じなかった。

高齢者では、0.1mm は 0.3mm と比べて操作時間が有意に長く、0.0mm は 0.3mm と比べてエラー率が高かった。0.3mm 以上の条件では、操作時間及びエラー率に有意な差は認められなかった。主観評価では、凸点が高いほど、操作の確信度が高く、5番キーの位置が発見しやすかった。更に、5番キーを押した時の痛みも増加したが、最も痛みを感じた条件においても、痛みはあまり感じなかった。

以上の通り、人差し指による両手操作では、若年者と高齢者のいずれにおいても、凸点が 0.3mm 以上の高さは、高さ 0.1mm と比べて操作時間が短く、エラー率が低かった。また、若年者と高齢者ともに、高さ 0.3mm 以上の条件間では、操作時間とエラー率に有意差が認められなかった。また、主観的には、凸点が高いほど操作しやすかった。

A3.7 親指による片手操作と人差し指による両手操作の結果の比較

本節では、人差し指による両手操作の結果と、第2章で述べた親指による片手操作の結果を比較し、それらの傾向の違いに関して述べる。

親指における片手操作では、若年者では 0.3mm に対して 0.7mm は、有意に操作時間が長くエラー率が高かった ($p < 0.001$)。また、高齢者においても同様に、

0.3mm よりも凸点が高くなるにつれて、操作時間とエラー率がわずかながら増加する傾向が見られる。一方、人差し指による両手操作では、若年者及び高齢者のいずれにおいても、高さ 0.3mm よりも高い条件で、操作時間とエラー率の有意な増加が確認できなかった。

以上の通り、親指による片手操作と人差し指による両手操作では、高さ 0.3mm よりも高い条件において、操作性に及ぼす影響が異なることが明らかとなった。

A4 考察

A3.7 で述べた通り、親指による片手操作では、凸点が高さ 0.3mm よりも高くなるにつれて操作時間及びエラー率が増加し、操作性が低下した。しかし、人差し指による両手操作では、高さの増加に伴う操作性の低下が認められなかった。親指による片手操作と人差し指による両手操作の各実験では、操作を行う際の手指以外は、実験条件が全て同様であった。即ち、凸点が高い条件における結果の違いは、手指における動作の違いに起因すると考えられる。

こうした観点から、高さのある凸点が操作性に及ぼす影響の違いを考察する。筆者が実験中に参加者の指の挙動を目視で観察したところ、0.3mm よりも高い凸点が付されていると、親指と人差し指のいずれの操作においても、操作を行う指が凸点の上を通過する際に、指と凸点が衝突しないようにテンキーから指を離す様子が確認できた。とりわけ、高さ 0.7mm の凸点において顕著であった。このように、高い凸点が付されている場合には、指と凸点が接触しないように、指先で回避動作が必要となる。この時、親指による片手操作では、第 2 章で述べた通り、高い凸点を避けるためにテンキーから指を離すたびに親指による支持がなくなり、携帯電話の把持が不安定になり、早く正確な操作に支障が生じると考えられる。一方、人差し指による両手操作では、携帯電話を把持する手と操作する手が左右で異なるために、凸点を回避する際に手指の動きを適切に調節して、容易に回避することができると考えられる。そのため、凸点が高い場合でも、操作に支障が生じない。

以上の通り、高い凸点における片手操作と両手操作の結果の違いは、手指の動作の違いに起因するものであり、同時に、親指による片手操作では高い凸点を回避する度に携帯電話の安定した把持と操作が困難になり操作性が低下するという仮説の妥当性を、示唆するものであると考えられる。

A5 まとめ

第2章より、親指による片手操作時では、高さ0.3mmよりも高い凸点が付されていると、凸点を指先で回避するたびに親指による支持がなくなるために携帯電話の把持が不安定になり、早く正確なキーの操作も困難になるという仮説を立てた。

この仮説を検証するために、本実験では、第2章と全く同様の方法により、人差し指による両手操作における凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響を評価することを目的とした。実験の結果、人差し指による両手操作では、高さ0.3mm以上に操作時間が短くエラー率が低い値で収束した、即ち、人差し指による両手操作では、親指による片手操作で確認されたような、高さ0.3mmよりも高い条件における操作性の低下が認められなかった。こうした高い凸点における片手操作と両手操作の結果の違いは、手指の動作の違いに起因するものであり、仮説の妥当性を示唆するものであると考えられる。

参考文献

第 1 章

- [1-1] Population Division of the United Nations Department of Economic and Social Affairs of the United Nations, The 2010 Revision of the World Population Prospects, Population Division of the United Nations Department of Economic and Social Affairs of the United Nations, Retrieve from <http://esa.un.org/wpp/index.html>, 2011. (2012 年 10 月 1 日閲覧)
- [1-2] 国立社会保障・人口問題研究所, 日本の将来推計人口 (平成 24 年 1 月推計), 国立社会保障・人口問題研究所, Retrieve from <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/sh2401.asp>, 2012. (2012 年 10 月 1 日閲覧)
- [1-3] World Health Organization, Global data on visual impairment 2010, World Health Organization, Retrieve From <http://www.who.int/entity/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf>, 2011. (2012 年 10 月 1 日閲覧)
- [1-4] 厚生労働省, 平成 18 年身体障害児・者実態調査結果, 厚生労働省, Retrieve from <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/index.html>, 2008, (2012 年 10 月 1 日閲覧)
- [1-5] 厚生労働省, 平成 19 年国民健康・栄養調査報告, 厚生労働省, Retrieve from <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2008/12/h1225-5.html>, 2007. (2012 年 10 月 1 日閲覧)
- [1-6] 木塚泰弘, 視覚障害者の自立と援助, 一橋出版, pp. 7-29, 1998
- [1-7] 河辺豊子, 朝子さんの点字ノート, 小学館, 1995
- [1-8] 国土交通省, 高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律, 国土交通省, Retrieve from <http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/barrier-free.html>, 1994, (2012 年 10 月 1 日閲覧)
- [1-9] 国土交通省, 高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円

- 滑化の促進に関する法律, 国土交通省, Retrieve from http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrier/mokuji_.html, 2000, (2012年10月1日閲覧)
- [1-10] 国土交通省, 高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律, 国土交通省, Retrieve from <http://www.mlit.go.jp/common/000207186.pdf>, 2006. (2012年10月1日閲覧)
- [1-11] 楠敏雄, 視覚障害者の暮らし, pp.19-23, 1997
- [1-12] 中山順, 西村陸夫, 自立支援機器のデザイン開発研究—高齢者・障害者の自立を支援するモノづくりの方法—, 大阪府産業デザインセンター, Retrieve from http://www.oidc.jp/kenkyu/ken04_1.pdf, 2003. (2012年10月1日閲覧)
- [1-13] 市川宏, 視覚障害とその代行技術, 名古屋大学出版会, 1984.
- [1-14] 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 福祉用具の実用化にむけて, 健康福祉技術開発室, 2003.
- [1-15] International Organization for Standardization, Guidelines for standards developers to address the needs of older persons and persons with disabilities (ISO/IEC Guide 71), International Organization for Standardization, 2001.
- [1-16] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者及び障害のある人々のニーズに対応した規格作成配慮指針 (JIS Z 8071), 一般財団法人日本規格協会, 2009.
- [1-17] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活製品の報知音 (JIS S 0013), 一般財団法人日本規格協会, 2011.
- [1-18] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活製品の報知音—妨害音及び聴覚の加齢変化を考慮した音圧レベル (JIS S 0014), 一般財団法人日本規格協会, 2009.
- [1-19] 一般財団法人日本規格協会, プリペイドカード—一般通則 (JIS X 6310), 一般財団法人日本規格協会, 1996.
- [1-20] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活製品の凸記号表示 (JIS S 0011), 一般財団法人日本規格協会, 2000.

- [1-21] 一般財団法人日本規格協会, 紫外線硬化樹脂インキ点字—品質及び試験方法 (JIS T 9253), 一般財団法人日本規格協会, 2004.
- [1-22] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—点字の表示原則及び点字表示方法—公共施設・設備 (JIS T 0921), 一般財団法人日本規格協会, 2006.
- [1-23] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—点字の表示原則及び点字表示方法—消費生活製品の操作部 (JIS T 0923), 一般財団法人日本規格協会, 2009.
- [1-24] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—触知案内図の情報内容及び形状並びにその表示方法 (JIS T 0922), 一般財団法人日本規格協会, 2007.
- [1-25] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—触覚情報—触知図形の基本設計方法 (JIS S 0052), 一般財団法人日本規格協会, 2011.
- [1-26] 星川 安之, 佐川 賢, より多くの人を使いやすいアクセシブルデザイン入門, pp. 56-59, 一般財団法人日本規格協会, 2007.
- [1-27] 倉片憲治, 佐川賢, 高齢者に配慮したアクセシブルデザイン技術の開発と標準化—聴覚特性と生活環境音の測定に基づく製品設計手法の提供—, Synthesiology 2007, 2007, Vol.1, No.1, pp. 15-23, 2008.
- [1-28] 水浪田鶴, 倉片憲治, アクセシビリティを考慮した消費生活製品等の音声ガイドの設計, 人間工学, Vol. 45, No. 6, pp. 323-328, 2009.
- [1-29] 土井幸輝, 藤本浩志, 紫外線硬化樹脂インクによる点字の識別容易性の向上, バイオメカニズム, Vol. 19, pp. 221-232, 2008.
- [1-30] 土井幸輝, 藤本浩志, 和田勉, 佐川賢, 伊藤納奈, 触知記号・浮き出し文字の識別特性, バイオメカニズム 21, Vol.21, pp.81-92, 2012.
- [1-31] 星川安之, ISO/TC173に発足した新SCアクセシブルデザインへの経緯, 日本生活支援工学会誌, Vol. 10, No. 1, pp. 3-8, 2010.
- [1-32] 星川安之, 佐川賢, 高齢社会とアクセシブルデザイン—より多くの人を

- 快適な生活へ導くデザインを考える一，日本人間工学会誌第 50 回記念大会講演集，Vol. 45，No. S6-1，pp. 74-75，2009.
- [1-33] International Organization for Standardization, Ergonomics — Accessible design — Tactile dots and bars on consumer products (ISO 24503), International Organization for Standardization, 2011.
- [1-34] 森田春良，人間工学とユニバーサルデザイン—ユーザビリティ・アクセシビリティ中心・ものづくりマニュアル，ユニバーサルデザイン研究会（編），日本工業出版，2008.
- [1-35] 一般財団法人家電製品協会，家電製品における操作性向上のための凸記号表示に関するガイドライン（第一版），一般財団法人家電製品協会，1998.
- [1-36] 一般財団法人家電製品協会，凸記号モニター調査報告書（平成 11 年度），一般財団法人家電製品協会，2000.
- [1-37] 土井幸輝，和田勉，藤本浩志，触知記号のエッジの明瞭性が識別容易性に及ぼす影響，日本機械学会論文集 C 編，Vol. 77，No. 782，pp. 228-237，2011.
- [1-38] International Organization for Standardization, Information technology — Keyboard layouts for text and office systems (ISO/IEC 9995-4) — Part 4: Numeric section, International Organization for Standardization, 2009.
- [1-39] International Telecommunication Union, Arrangement of digits, letters and symbols on telephones and other devices that can be used for gaining access to a telephone network (E.161), International Telecommunication Union, http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.161-200102-I!!PDF-E&type=items, 2001. (2012 年 10 月 1 日閲覧)
- [1-40] 総務省，平成 20 年通信利用動向調査の結果（概要），pp.7，総務省，Retrieve from http://www.soumu.go.jp/main_content/000016027.pdf, 2009. (2012 年 10 月 1 日閲覧)

- [1-41] 渡辺哲也, 南谷和範, 宮城愛美, 長岡英司, 視覚障害者の携帯電話利用状況調査, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 9, No. 5, pp. 125-130, 東京, 2007.
- [1-42] J.M. Thornbury, C.M. Mistretta, Tactile Sensitivity as a Function of Age, *Journal of Gerontology*, Vol. 36, No. 1, pp. 34-39, 1981.
- [1-43] Manning H., Tremblay F., Age differences in tactile pattern recognition at the fingertip, *Somatosensory and Motor Research*, Vol. 23, No. 3, pp. 147-155, 2006.
- [1-44] Dinse H.R., Kleibel N., Kalisch T., Ragert P., Wilimzig C., & Tegenthoff M., Tactile coactivation resets age-related decline of human tactile discrimination. *Annals of Neurology*, Vol. 60, pp. 88-94, 2006.
- [1-45] Stevens J.C., Foulke E., Patterson M.Q., Tactile acuity, aging, and Braille reading in long-term blindness, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 2, pp. 91-106, 1996.
- [1-46] Vega-Bermudez F., & Johnson K. O., Fingertip skin conformance accounts, in part, for differences in tactile spatial acuity in young subjects, but not for the decline in spatial acuity with aging, *Perception & Psychophysics*, Vol. 66, pp. 60-67, 2004
- [1-47] Van Boven R.W., Hamilton R.H., Kauffman T., Keenan J.P., & Pascual-Leone A., Tactile spatial resolution in blind Braille readers, *Neurology*, Vol. 54, pp. 2230-2236, 2000.
- [1-48] G.E. Legge, C. Madison, B.N. Vaughn, A.M. Cheon, J.C. Miller, Retention of high tactile acuity throughout the life span in blindness, *Perception & Psychophysics*, Vol. 70, No. 8, pp. 1471-1488, 2008.

第2章

- [2-1] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活製

品の凸記号表示 (JIS S 0011), 一般財団法人日本規格協会, 2000.

- [2-2] International Organization for Standardization, Ergonomics — Accessible design— Tactile dots and bars on consumer products (ISO/DIS 24503), International Organization for Standardization, 2011.
- [2-3] K.O. Johnson and J.R. Phillips, Tactile Spatial Resolution. I. Two-Point Discrimination, Gap Detection, Grating Resolution, and Letter Recognition, *Journal of Neurophysiology*, Vol. 46, No. 6, pp. 1177-1191, 1981.

第3章

- [3-1] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活製品の凸記号表示 (JIS S 0011), 一般財団法人日本規格協会, 2000.
- [3-2] International Organization for Standardization, Ergonomics — Accessible design— Tactile dots and bars on consumer products (ISO/DIS 24503), International Organization for Standardization, 2011.
- [3-3] Goldreich D., Kanics I.M., Tactile acuity is enhanced in blindness, *Journal of Neuroscience*, Vol. 23, pp. 3439-3445, 2003.
- [3-4] Stevens J.C., Foulke E., Patterson M.Q., Tactile acuity, aging, and Braille reading in long-term blindness, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 2, pp. 91-106, 1996.
- [3-5] Grant A. C., Thiagarajah M. C., & Sathian K., Tactile perception in blind Braille readers: A psychophysical study of acuity and hyperacuity using gratings and dot patterns. *Perception & Psychophysics*, Vol. 62, pp. 301-312, 2000.
- [3-6] Van Boven R. W., Hamilton R. H., Kauffman T., Keenan J. P., & Pascual-Leone A., Tactile spatial resolution in blind Braille readers, *Neurology*, Vol. 54, pp. 2230-2236, 2000.
- [3-7] G.E. Legge, C. Madison, B.N. Vaughn, A.M. Cheon, J.C. Miller, Retention of

- high tactile acuity throughout the life span in blindness, *Perception & Psychophysics*, Vol. 70, No. 8, pp. 1471-1488, 2008.
- [3-8] Wong M., Gnanakumaran V., and Goldreich D., Tactile Spatial Acuity Enhancement in Blindness: Evidence for Experience-Dependent Mechanisms, *The Journal of Neuroscience*, Vol. 31, No. 19, pp. 7028-7037, 2011.
- [3-9] Manning H., Tremblay F., Age differences in tactile pattern recognition at the fingertip, *Somatosensory and Motor Research*, Vol. 23, No. 3, pp. 147-155, 2006.
- [3-10] Phillips J.R., Johnson K.O., Hsino S.S., Spatial pattern representation and transformation in monkey somatosensory cortex, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 85, No. 4, pp. 1317-1321, 1988.
- [3-11] Phillips J.R., Johansson R.S., Johnson K.O., Representation of Braille characters in human nerve fibers, *Experimental Brain Research*, Vol. 81, pp. 589-592, 1990.

第 4 章

- [4-1] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活製品の凸記号表示 (JIS S 0011), 一般財団法人日本規格協会, 2000.
- [4-2] International Organization for Standardization, Ergonomics — Accessible design— Tactile dots and bars on consumer products (ISO/DIS 24503), International Organization for Standardization, 2011.
- [4-3] 一般財団法人家電製品協会, 凸記号モニター調査報告書 (平成 11 年度), 一般財団法人家電製品協会, 2000.
- [4-4] 大河内直之, 前田晃秀, 布川清彦, 中野泰志, 松丸久美子, 荻田知則, 中野聡子, 福島智, 松岡政治, 大成直子, 竹中和正, 豊田興太郎: 携帯電話・PHSの利用実態に関するアンケート調査—全盲と大学生・専門学生の比較—, 第 13 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会論文

集, Vol. 13, pp. 86-89, 2004.

第5章

- [5-1] 一般財団法人日本規格協会, 高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活製品の凸記号表示 (JIS S 0011), 一般財団法人日本規格協会, 2000.
- [5-2] International Organization for Standardization, Ergonomics — Accessible design— Tactile dots and bars on consumer products (ISO/DIS 24503), International Organization for Standardization, 2011.
- [5-3] Goldreich D., Kanics I.M., Tactile acuity is enhanced in blindness, *Journal of Neuroscience*, Vol. 23, pp. 3439-3445, 2003.
- [5-4] Stevens J.C., Foulke E., Patterson M.Q., Tactile acuity, aging, and Braille reading in long-term blindness, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 2, pp. 91-106, 1996.
- [5-5] Grant, A. C., Thiagarajah, M. C., & Sathian, K., Tactile perception in blind Braille readers: A psychophysical study of acuity and hyperacuity using gratings and dot patterns, *Perception & Psychophysics*, Vol. 62, pp. 301-312, 2000.
- [5-6] Van Boven, R. W., Hamilton, R. H., Kauffman, T., Keenan, J. P., & Pascual-Leone, A., Tactile spatial resolution in blind Braille readers. *Neurology*, Vol. 54, pp. 2230-2236, 2000.
- [5-7] J.R. Phillips, R.S. Johansson, K.O. Johnson, Representation of Braille characters in human nerve fibers, *Experimental Brain Research*, Vol. 81, pp. 589-592, 1990.
- [5-8] 小林一三, 前野隆司, ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係 (第2報, 動的接触解析手法および移動する平面と指の接触解析結果), 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 64, No. 628, pp. 4798-4805, 1998.
- [5-9] Mountcastle V.B., Talbot W.H., Kornhuber H.H., The neural transformation of

- mechanical stimuli delivered to the monkey's hand, Touch, Heat and Pain, pp. 325-345, Harcourt Brace., 1966.
- [5-10] D. Goldreich, I.M. Kanics, Tactile acuity is enhanced in blindness, *Journal of Neuroscience*, Vol. 23, pp. 3439-3445, 2003.
- [5-11] J.M. Thornbury, C.M. Mistretta, Tactile Sensitivity as a Function of Age, *Journal of Gerontology*, Vol. 36, No. 1, pp. 34-39, 1981.
- [5-12] H. Manning, F. Tremblay, Age differences in tactile pattern recognition at the fingertip, *Somatosensory and Motor Research*, Vol. 23, No. 3, pp.147-155, 2006.
- [5-13] J.C. Stevens, K.K. Choo, Spatial acuity of the body surface over the life span, *Somatosensory and Motor Research*, Vol. 13, pp. 153-166, 1996.
- [5-14] Johansson R.S., LaMotte R.H., Tactile detection thresholds for a single asperity on an otherwise smooth surface, *Somatosensory Research*, Vol. 1, No. 1, pp.21-31, 1983.
- [5-15] 前野隆司, 小林一三, 山崎信寿, ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 63, No. 607, pp. 881-888, 1997.
- [5-16] LaMotte R.H., Whitehouse J., Tactile detection of a dot on a smooth surface: peripheral neural events, *Journal of Neurophysiology*, Vol. 56, No. 4, pp. 1109-1128, 1986.
- [5-17] C.F. Bolton, R.K. Winkelmann, P.J. Dyck, A quantitative study of Meissner's corpuscles in man, *Neurology*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-9, 1966.
- [5-18] M.F. Bruce, The relation of tactile thresholds to histology in the fingers of elderly people, *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, Vol. 43, No. 8, pp. 730-734, 1980.
- [5-19] F. Tremblay, K. Wong, R. Sanderson, L. Coté, Tactile spatial acuity in elderly persons: assessment with grating domes and relationship with manual dexterity, *Somatosensory & Motor Research*, Vol. 20, No. 2, pp. 127-132, 2003.

第6章

- [6-1] Gibson G.O., Craig J.C., Tactile spatial sensitivity and anisotropy, *Perception & Psychophysics*, Vol. 67, No. 6, pp. 1061-1079, 2005.
- [6-2] 豊田航, 齋藤健太郎, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸バーに対する触知方向と識別容易性の関係—加齢及び触知経験を考慮した識別しやすい寸法の評価—, 第38回感覚代行シンポジウム講演論文集, Vol. 38, pp.35-38, 2012.
- [6-3] G.E. Legge, C. Madison, B.N. Vaughn, A.M. Cheon, J.C. Miller, Retention of high tactile acuity throughout the life span in blindness, *Perception & Psychophysics*, Vol. 70, No. 8, pp. 1471-1488, 2008.

謝辞

本研究を推進するにあたり、多大なご指導を賜りました早稲田大学人間科学学術院藤本浩志先生に、心より感謝申し上げます。藤本先生には、私が人間科学部3年以来、実に8年間に渡って、素晴らしい研究環境を用意して頂いただけでなく、研究者としての基本的な哲学や生き方を教えて頂きました。本研究の一部は、凸記号に関する新規国際規格（ISO 24503）を制定する際の唯一の参考データとして利用されました。院生として、このような実社会に貢献する成果をあげることが出来たのは、藤本先生からの厚いご指導があったからに他なりません。ここに厚く御礼申し上げます。

また、同時期から、常に良き先達として、時間や手間を惜しまず的確なご助言を頂きました国立特別支援教育総合研究所教育情報部の土井幸輝様に心より感謝申し上げます。情熱溢れるご指導は、私の人生のかけがえのない財産となりました。ありがとうございました。

さらに、本論文をまとめるにあたり、御忙しい中貴重なお時間を割き、適切な御指導賜りました早稲田大学人間科学学術院野嶋 栄一郎先生、早稲田大学人間科学学術院市川熹先生、早稲田大学人間科学学術院山内繁先生、日本女子大学佐川賢先生、産業技術総合研究所篠原正美先生には、厚く御礼申し上げます。

本研究は、筆者が修士課程から博士後期課程までの成果をまとめたものであり、大学の先生方を始め、関連組織・団体、企業等の方々から多大なるご指導を頂きました。特に、アクセシブルデザイン推進事業に携わる専門家の立場として、研究の有用性や実験計画等に対して、多くの貴重なご指導を頂きました社会福祉法人日本点字図書館和田勉様、財団法人共用品推進機構 専務理事兼事務局長星川安之様、サウンドケープデザイン武者圭様、タカラトミー株式会社高橋玲子様に、深く感謝申し上げます。

また、理工学術院工作実験室の上法様、渡部様、小倉様には、多大なご支援

謝辞

を頂きました。本研究のデータの信頼性を確保するために、実験で用いる刺激を極めて高精度で製作して頂きました。皆様のご支援なしには、本研究を推進することができませんでした。

研究室内では、諸先輩、同輩・後輩の皆様から、多大なるご支援を頂きました。特に、凸記号に関する研究を共に行った数藤貴氏（2007年度修士課程卒）、上妻祐一朗氏（2007年度学士卒）、大江裕文氏（2008年度学士卒）、末永佳祐氏（2010年度学士卒）、指崎祐季氏（2011年度修士課程卒）には、心より感謝申し上げます。特に、齋藤健太郎氏（2012年度修士課程卒）とは、3年間に渡り多くの時間を共有し議論を深めることができ、研究を大きく前進させることができました。共に研究生活を過ごした日々は、決して忘れられない思い出となりました。本研究の成果の多くは、以上の皆様と共に築きあげたものです。心より感謝申し上げます。

学部時代より、有益な議論と共に、厚くご指導を頂きましたOBの小林吉之様（独立行政法人産業技術総合研究所）、高嶋孝倫様（国立障害者リハビリテーションセンター）、河合恒様（東京都健康長寿医療センター研究所）には、深く感謝申し上げます。良き同期として共に切磋琢磨した高瀬翔氏（2008年度修士課程卒）、横田曹氏（2008年度修士課程卒）にも感謝申し上げます。先輩、後輩の關係にこだわらず有意義な議論をさせて頂いた片桐麻優氏（2009年度修士課程卒）、犬塚智哉氏（2010年度修士課程卒）、赤平仁奈氏（2010年度修士課程卒）、相馬健作氏（2011年度修士課程卒）、長尾裕太氏（2011年度修士課程卒）に感謝申し上げます。日常的に多くの時間を共有し、苦楽を共にした研究室の全ての皆様に、深く感謝申し上げます。

また、本研究では、非常に多くの方々に実験のご協力を頂きました。実験参加者の皆様、参加者の公募にあたり多大なご支援を頂きました社会福祉法人日本点字図書館職員の皆様、高齢者の公募を担当して頂きました所沢シルバー人材センター福田清志様に、厚く御礼申し上げます。また、研究補助員の皆様のご協力により、研究を効率よく推進することができました。誠にありがとうございます。

謝辞

ございました。

博士後期課程での研究活動とともに、理工学術院研究助手（GCOE グローバルロボットアカデミア所属）としても、助手会議長職等の様々な貴重な経験をさせて頂きました。このようなかけがえのない機会を賜りました理工学術院藤江正克先生、理工学術院菅野重樹先生、理工学術院高西淳夫先生をはじめとする運営委員会の先生方に、心より感謝申し上げます。また、共に業務を行った同僚の皆様、事務局小松様に御礼申し上げます。

上記以外にも、学会等でお会いした折にご意見、ご助言を賜りました研究者の皆様、関係者の皆様、研究活動を応援して下さい励まして頂いた友人に感謝致します。

本研究は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム、文部科学省グローバル COE プログラム、文部科学省科研費基盤研究(B)等、多くの直接的・間接的支援を受けました。生活面では、独立行政法人日本学生支援機構奨学金、本学奨学金、本学学生研究支援制度等の多大なる支援を受け、研究活動に専念することができました。ここに感謝の意を示します。

最後に、博士課程進学にあたって支えとなってくれた父、母、兄、叔母に感謝致します。ありがとうございました。

2012 年 10 月 25 日

豊田 航

関連業績

2012年10月25日現在

本論文の一部は、以下の学術雑誌に掲載された。

原著論文

1. 豊田航, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響に関する研究, 日本機械学会論文集C編, vol. 76, no. 763, pp. 690-695, 2010.
2. 豊田航, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸バーと凸点の識別容易性に関する研究, 電子情報通信学会論文誌D, Vol. J94-D, No. 4, pp. 694-701, 2011.
3. 豊田航, 土井幸輝, 藤本浩志, エッジの曲率半径が凸バーと凸点の識別容易性に及ぼす影響, 人間工学, Vol. 47, No. 6, pp. 252-260, 2011.
4. 豊田航, 土井幸輝, 藤本浩志, 操作の仕方と凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響の関係, バイオメカニズム 21, Vol. 21, pp. 103-112, 2012.
5. 豊田航, 土井幸輝, 藤本浩志, 高齢者を対象とした凸バーと凸点のエッジの曲率半径がそれらの識別容易性に及ぼす影響の評価, 日本生活支援工学会誌, Vol. 12, No.2, pp. 33-41, 2012.
6. 豊田航, 齋藤健太郎, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響, 日本機械学会論文集C編, Vol. 78, No. 794, pp. 3495-3503, 2012.

国際学会発表（査読あり）

1. Wataru Toyoda, Tsutomu Wada, Kouki Doi, Hiroshi Fujimoto, Research on the Perceptual Size of Tactile Dots and Bars, Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2009, pp.243-246, 2009.
2. Wataru Toyoda, Kouki Doi, Hiroshi Fujimoto, Influences of tactile-dot height and

tip radius of curvature on the operational performance of cellular phones, Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation, Vol. 41, Supplement 1, pp.5375-5377, 2012.

3. **Wataru Toyoda**, Kouki Doi, Hiroshi Fujimoto, Influences of the edge radius of curvature of tactile dots and bars on their Discriminability, Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation, Vol. 41, Supplement 1, pp. 5378-5380, 2012.

国内学会発表

1. **豊田航**, 大江裕文, 上妻祐一朗, 土井幸輝, 和田勉, 藤本浩志, 携帯電話における凸記号が操作性に及ぼす影響, 第 34 回感覚代行シンポジウム発表論文集, Vol. 34, pp.39-42, 2008.
2. **豊田航**, 土井幸輝, 藤本浩志, 和田勉, 凸バーの識別容易性に関する研究, 日本人間工学会第 50 回記念大会講演集, Vol. 45, Supplement, pp.360-361, 2009.
3. **豊田航**, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響, 第 24 回リハ工学カンファレンス講演論文集, Vol. 24, pp. 91-92, 2009.
4. **豊田航**, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸バー及び凸点の識別容易性に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告. WIT, 福祉情報工学, Vol. 109, No.3 58, pp. 13-18, 2010.
5. **豊田航**, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響, 日本人間工学会第 51 回大会講演集, Vol. 46, Supplement, pp.278-279, 2010.
6. **豊田航**, 指崎祐季, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸点の高さが携帯電話の親指及び人差し指による操作性に及ぼす影響, 第 31 回バイオメカニズム学術講演会予稿集, pp. 207-210, 2010.
7. **豊田航**, 齋藤健太郎, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響, 第 36 回感覚代行シンポジウム講演論文

- 集, Vol. 36, pp. 39-42, 2010.
8. 豊田航, 末永佳祐, 土井幸輝, 藤本浩志, エッジの曲率半径が凸バー及び凸点の識別容易性に及ぼす影響, 日本人間工学会第 52 回記念大会講演集, Vol. 47, Supplement, pp. 172-173, 2011.
 9. 豊田航, 齋藤健太郎, 土井幸輝, 藤本浩志, 若年者と高齢者を対象とした凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響, 日本人間工学会第 52 回記念大会講演集, Vol. 47 supplement, pp. 170-171, 2011.
 10. 豊田航, 土井幸輝, 藤本浩志, 操作の仕方と凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響の関係, 第 22 回バイオメカニズムシンポジウム予稿集前刷, pp. 261-270, 2011.
 11. 豊田航, 齋藤健太郎, 土井幸輝, 藤本浩志, 加齢に着目した凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響の評価, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会論文集 (ABML2011), CD-ROM, 2011.
 12. 豊田航, 末永佳祐, 土井幸輝, 藤本浩志, エッジの曲率半径が凸バーと凸点の識別容易性に及ぼす影響-高齢者を対象とした加齢特性データの収集, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会論文集 (ABML2011), CD-ROM, 2011.
 13. 豊田航, 土井幸輝, 藤本浩志, 視覚障害者におけるエッジの曲率半径が凸バーと凸点の識別容易性に及ぼす影響の評価, 第 37 回感覚代行シンポジウム講演論文集, Vol. 37, pp. 41-44, 2011.
 14. 豊田航, 土井幸輝, 藤本浩志, 加齢及び触知経験を考慮した識別しやすい凸バーと凸点の寸法, 第 21 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会抄録集, pp. 78, 2012.
 15. 豊田航, 齋藤健太郎, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸バーを長軸方向に触知する際の識別容易性, 日本心理学会第 76 回大会, 2012.
 16. 豊田航, 齋藤健太郎, 土井幸輝, 藤本浩志, 触知方向を考慮した識別しやすい凸バーの寸法—水平条件と垂直条件における評価—, 生活生命支援医療福

関連業績

祉工学系学会連合大会論文集 (LIFE2012), CD-ROM, 2012.

17. 齋藤健太郎, 豊田航, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響—触知覚特性を考慮した適切な寸法の考察—, 日本人間工学会関東支部第42回大会, pp. 136-137, 2012.
18. 豊田航, 齋藤健太郎, 土井幸輝, 藤本浩志, 凸バーに対する触知方向と識別容易性の関係—加齢及び触知経験を考慮した識別しやすい寸法の評価—, 第38回感覚代行シンポジウム講演論文集, Vol. 38, pp. 35-38, 2012.

受賞

1. 豊田航, 最優秀研究発表奨励賞, 日本人間工学会, 2010