

博士（人間科学）学位論文

紫外線硬化樹脂インクによる点字の識別容易性の向上

Improvement in Transparent-Resinous-
Ultraviolet-Curing-Type Braille Reading

2007年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

土井 幸輝

Doi, Kouki

研究指導教員： 藤本 浩志 教授

摘要

無色透明な紫外線硬化樹脂インクによる点字（UV 点字）は様々な素材への適応や大量印刷が可能であり，一般印刷物上の文字や図を損なわないため晴眼者と視覚障害者が同じ印刷物の情報を共有できる．そのため，現在，医薬品のパッケージ，レストランのメニュー，名刺，階段の手摺り，電車の号車案内等に採用され，急速に普及している．UV 点字の普及は，視覚障害者への隔たりのない情報を提供することに貢献するものと期待されている．また，点字の熟達者のみならず，特に点字初心者が点字を習得し，利用する機会が増えることが期待されている．しかし，UV 点字の印刷法が既存の印刷技術であるため，視覚障害者の触知能力を考慮しない印刷メーカーが多数手がけており，多くの問題が発生している．具体的にはメーカーごとに UV 点字のサイズが大きく異なり，識別しにくいという問題である．また，点字は指を滑らせながら読むことから指の滑りの悪い素材に印刷される場合には読みにくいことが指摘されている．

そこで本研究では，点字学習者のための識別しやすい UV 点字の製法及び識別容易性を向上させる道具を提案することを目的とした．具体的には，「点字パターン（点間隔・高さ）」，「印刷素材」，「指先の滑り易さ」の 3 つの因子に着目し，それらの因子が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を定量的に評価した．

本論文の第 1 章では，序論として本研究の研究背景と目的，本研究の論文の構成について述べた．

第 2 章では，UV 点字の印刷特性について述べ，特に UV 点字の点間隔やマス間隔は版に空けられた穴の間隔で容易に調整でき，高さは重塗り印刷を試みることに より，約 0.1～0.6mm の範囲で高さを調整できることを報告した．このことから，様々な点字パターン（点間隔・高さ）の UV 点字の製作が可能となり，3 章～6 章で行う実験に必要な UV 点字を製作できるようになった．

第 3 章では，点字の 1 文字のサイズを規定する因子である点字パターン（高さ・点間隔）に着目し，点字初心者を対象としてそれが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価した．その結果，高さについては高くても 0.4mm あれば十分に確信をもって識別することが可能であること，点間隔については広いほうが識別しやすく 2.9mm がもっとも速く識別できるが，2.3mm 以上であれば十分に識別できることを示した．

第 4 章では，印刷素材が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として，指先と印刷素材間の摩擦抵抗の異なる場合の UV 点字の識別容易性を比較した．まず印刷素材と指先間の摩擦抵抗を計測する装置を製作し，滑りやすいと言われている上質紙と滑りにくいと言われているラミネートフィルムの 2 種類の印刷素材と指先の間での動摩擦係数を算出した．その結果，上質紙の動摩擦係数は，ラミネートフィルムよりも小さくおよそ 3 分の 1 であった．次に，点字学習者

を被験者とし、上述の2つの印刷素材を用いて印刷素材とUV点字の識別容易性の関係をUV点字の識別実験により調べた。その結果、印刷素材の摩擦抵抗の大きさによってUV点字の識別容易性が大きく変わることや摩擦抵抗の小さい印刷素材上のUV点字の高さは低くても高さの高い点字と同等の識別容易性が得られることが明らかになった。

第5章では、点字初心者を対象とし、指先の滑り易さがUV点字の識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的として、指先の滑り易さが異なる場合のUV点字の識別容易性の違いを比較した。ここでは、指先を滑り易くする方法として薄くて柔らかいナイロン布を指サックのような形状に縫い（以下ナイロン製指サック）、それを人差し指の指先に着用することにした。ナイロン布製指サックの着用・不着用時のUV点字の識別容易性については、ナイロン布製指サックを着用することによって速く識別できることが明らかになった。これより、指先の滑りやすさがUV点字の識別容易性に影響を及ぼすことがわかった。一方で、ナイロン布製指サックの着用効果は、ごく一部の被験者には見られず、今後の改善を必要とする結果となった。

第6章では、5章で述べたナイロン布よりも薄くて柔らかいポリエステル長繊維不織布を用いて作製した指サックの着用効果を点字学習者を対象としたUV点字の識別実験により検証した。まず、ポリエステル長繊維不織布製指サックは薄いほどUV点字の識別容易性が向上し、ナイロン布よりも軟らかく点字の刺激が伝わり易く、指サック着用により動摩擦係数が小さくなることを確認した。そして、ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用の効果については、それを着用すると印刷素材とUV点字の高さに関係なく不着用時に対して最大2倍の識別速度で識別できることが明らかになった。これらの結果より、点字学習者がポリエステル長繊維不織布製指サックを着用するとUV点字の識別容易性が向上することが明らかになり、UV点字識別補助具としての有効性を示すことができた。

以上より本論文の成果は、識別しやすい点字パターン、印刷素材の影響を受けにくいUV点字の印刷条件が明らかになったこと、すなわち識別しやすいUV点字の製法を示すことができたことである。また、指先の滑りの良し悪しがUV点字の識別容易性に影響を及ぼし、薄くて柔らかいナイロン製指サックを着用すると指先が滑り易くなりUV点字の識別容易性が向上することが明らかになったことである。さらに、ナイロン布製指サックよりも薄くて軟らかく点字の刺激が指先に伝わりやすいポリエステル長繊維不織布を用いて指サックを製作し、点字学習者用のUV点字識別補助具としてポリエステル長繊維不織布製指サックが有用であることが分かったことである。

本研究は、急増する中途視覚障害者が点字を学習する際の障壁を少しでも低くし、これから点字を学習したいという人々が学習しやすい環境を整備することすなわち読み易い点字を提供することに大きく貢献するものであると考える。

論文目次

第1章 序章

1.1	はじめに	1
1.2	本研究の背景	1
1.2.1	視覚障害者の増加と視覚障害者の為の環境整備	1
1.2.2	点字の歴史	3
1.2.3	点字の研究	5
1.2.4	点字に関する基礎的知見	7
	(1) 点字の文字サイズを定める因子	7
	(2) 各国の点字サイズの比較	8
	(3) 点字の識別容易性に関する先行研究	9
	(4) 点字の製作法	12
1.2.5	UV点字の現状	17
	(1) 共用品として普及するUV点字の問題点	17
	(2) UV点字の識別容易性評価の必要性	18
1.3	本研究の目的と意義	19
1.3.1	本研究の目的	19
1.3.2	本研究の意義	19
1.4	本研究の構成	19

第2章 スクリーン印刷方式を用いたUV点字の印刷特性の評価

2.1	目的	21
2.2	スクリーン印刷・紫外線硬化樹脂インクについて	21
2.2.1	スクリーン印刷の歴史	21
2.2.2	スクリーン印刷の原理	22
2.2.3	紫外線硬化樹脂インク	24
2.3	UV点字の形状計測装置	25
2.3.1	計測原理	25
2.3.2	データ処理法	28
2.4	UV点字の印刷特性	30
2.5	まとめ	33

第3章 点字パターンがUV点字の識別容易性に及ぼす影響に関する研究

3.1	目的	34
3.2	方法	34
3.2.1	被験者	34
3.2.2	提示刺激	34
3.2.3	実験装置	36
3.2.4	手続き	39
3.3	結果	39
3.3.1	エラー率	39
3.3.2	識別時間	40
3.3.3	確信度	40
3.4	考察	42
3.5	まとめ	44

第4章 印刷素材がUV点字の識別容易性に及ぼす影響に関する研究

4.1	目的	45
4.2	指先と印刷素材間の摩擦抵抗計測実験	45
4.2.1	摩擦抵抗計測装置	46
4.2.2	方法	47
4.2.3	結果と考察	47
4.3	UV点字の識別容易性評価実験	48
4.3.1	方法	48
(1)	被験者	48
(2)	提示刺激と実験装置	49
(3)	評価指標	50
(4)	手続き	50
4.3.2	結果	51
(1)	識別速度	51
(2)	エラー率	51
(3)	指の滑り易さ	53
4.3.3	考察	53
4.4	まとめ	55

第5章 指先の滑り易さがUV点字の識別容易性に及ぼす影響に関する研究

5.1	目的	57
5.2	方法	57
5.2.1	被験者	58
5.2.2	提示刺激	58
5.2.3	ナイロン製指サック	58
5.2.4	実験装置	59
5.2.5	手続き	59
5.3	結果	60
5.3.1	エラー率	61
5.3.2	識別時間	61
5.3.3	確信度	61
5.4	考察	63
5.5	まとめ	64

第6章 点字学習者を対象としたUV点字識別補助具の着用効果の検証

6.1	目的	66
6.2	指サックの新素材の検討	67
6.2.1	ポリエステル長繊維不織布製指サック	67
6.2.2	ポリエステル長繊維不織布の厚さとUV点字の識別容易性の関係	68
(1)	方法	68
(2)	結果と考察	68
6.2.3	ポリエステル長繊維不織布の硬さの定量化	69
(1)	ドットに対する形状追随係数の算出法	69
(2)	断面形状計測法	70
(3)	結果と考察	70
6.3	ポリエステル長繊維不織布製指サック着用・不着用時の摩擦抵抗の関係	71
6.3.1	方法	71
6.3.2	結果と考察	72
6.4	ポリエステル長繊維不織布製指サックを用いたUV点字の識別容易性の評価実験	72
6.4.1	方法	73
(1)	被験者	73
(2)	提示刺激と実験装置	73
(3)	手続き	73

6.4.2 結果	74
(1) ラミネートフィルム	74
(2) 上質紙	74
6.4.3 考察	76

6.5 まとめ	78
---------	----

第7章 結論	80
--------	----

参考文献	84
------	----

謝辞	92
----	----

研究業績	94
------	----

附録	100
----	-----

第1章 序論

1.1 はじめに

1.2 本研究の背景

1.3 本研究の目的と意義

1.4 本論文の構成

1.1 はじめに

本論文では、紫外線硬化樹脂インクによる点字（UV 点字）の識別容易性の向上に関する研究成果について論ずる。本研究は、一般印刷物上の墨字に併記が可能であることや様々な素材に印刷ができるために晴盲共用を実現するツールとしてより多くの視覚障害者の利用が期待されている UV 点字に関して、点字をこれから習う方々にとって識別しやすい UV 点字の製法や UV 点字の識別容易性を向上させる道具の提案を志向したものである。

1.2 本研究の背景

1.2.1 視覚障害者の増加と視覚障害者の為の環境整備

人間は生活に必要な情報の多くを視覚により入手していると言われている⁽¹⁾。一方、糖尿病性網膜症、網膜色素変性症、緑内障などが原因で視覚に障害を受けた視覚障害者が増加しており（図 1-1）、平成 13 年に厚生労働省が実施した身体障害

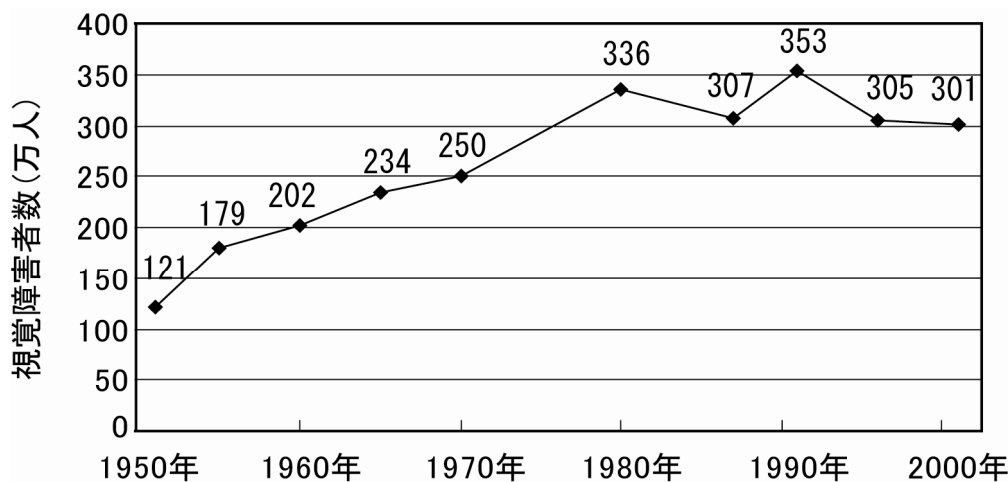


図1-1 視覚障害者数の年次推移

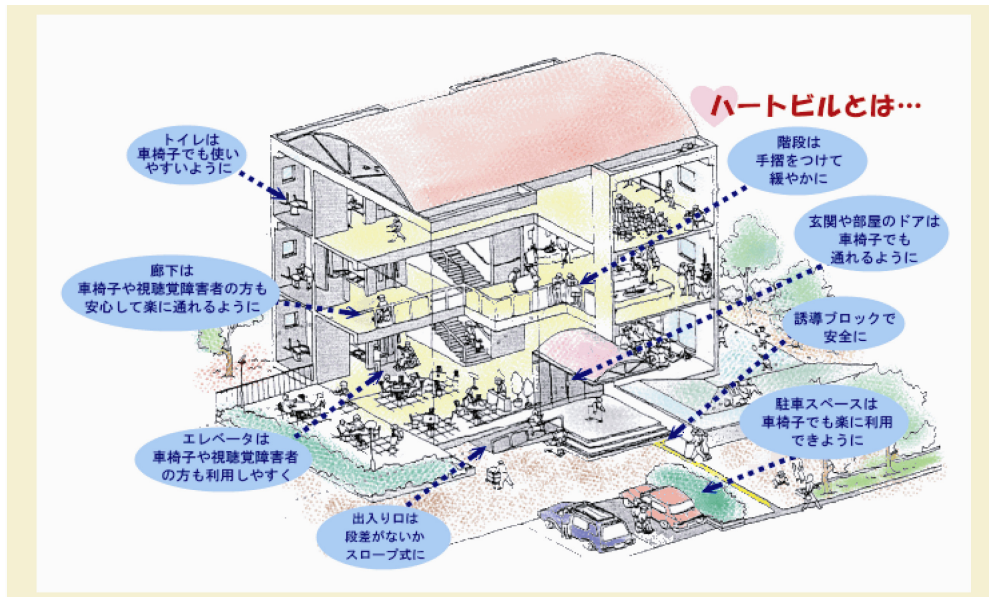


図1-2 ハートビル法の説明図⁽⁸⁾

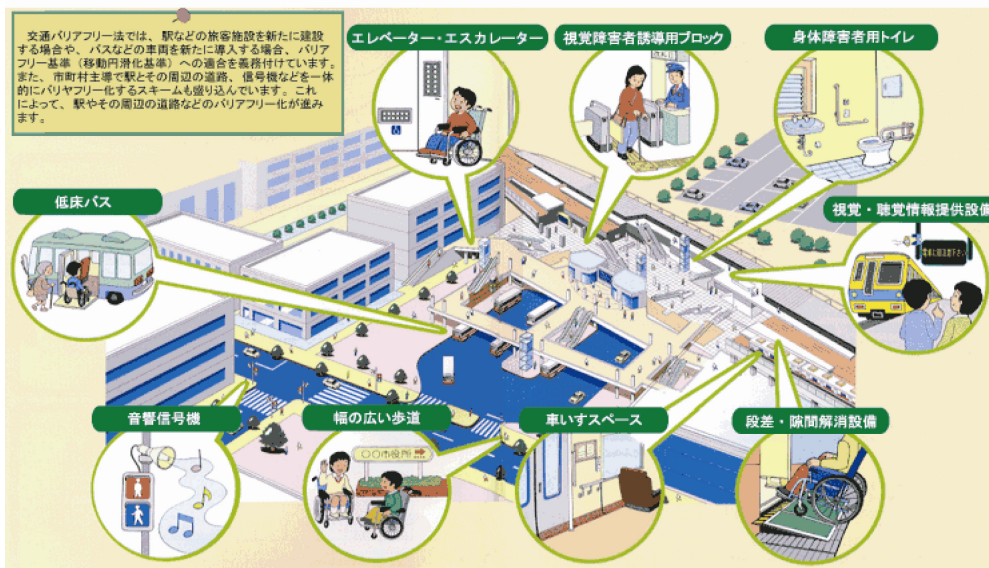


図1-3 交通バリアフリー法の説明図⁽⁹⁾

者実態調査⁽²⁾によれば、視覚障害者数は約30万人である。そのうち、60歳以上の高齢視覚障害者は全体の約7割を占めており、その多くが上述の通り、疾病による中途失明であると言われている。このような多くの視覚障害者は日常生活において必要な情報の入手が難しく多くの面で行動に制約をしいられていると言われている⁽³⁾。そこで、近年、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⁽⁴⁾⁽⁵⁾、欠損した視覚機能を触覚や聴覚で代行する支援技術の開発が盛んに行われている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。また、実際に視覚障害者を取り巻く環境も整いつつある。具体的には、1994年にハートビル法（高齢者、身体障害



図1-4 UV点字の例

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) (図1-2)⁽⁸⁾や2000年に交通バリアフリー法(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) (図1-3)⁽⁹⁾が制定され, 2006年12月にはバリアフリー新法(高齢者, 障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律)が施行された⁽¹⁰⁾. 同法は, 交通バリアフリー法とハートビル法が統合された法律であり, 道路や交通施設から, 福祉施設や商業施設にいたるまで, 連続的なバリアフリー化を促進するものである. それらの法律に基づいて, 視覚障害者誘導用ブロック, 音声案内などが整備されつつある. また, 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盤の設置も積極的に行われている. 特に, 点字表示は急速に普及している. なぜなら, 印刷技術の進歩によるところが大きい. 最近, 図1-4のような墨字の上に点字を併記可能なスクリーン印刷方式による無色透明な紫外線硬化樹脂インク点字(UV点字)が急速に普及している. ここでは, 点字に注目する.

1.2.2 点字の歴史

点字にはおよそ200年の歴史がある(表1-1). 点字の原形は1822年にフランスの軍人 Charles Barbier が軍事機密保持を目的とし, 声を出さずに命令を伝達する暗号として考案した縦6点・横2列の12点式点字(図1-5)であった⁽¹¹⁾. そして, 1829年に Louis Braille が Charles Barbier の12点式点字からヒントを得て縦3点・横2列の6点式点字(図1-6)でアルファベットや数字の体系を完成させたことにより現在の点字が生まれた⁽¹¹⁾. 日本では, 1890年に東京盲学校の石川倉次は日本の仮名文字に対応するようにブライユの点字を改良して日本式点字

表1-1 点字の歴史

1822年	Charles Barbier (仏) に12点点字を考案
1825年	Louis Braille (仏) が6点点字を考案
1854年	フランス政府, 6点点字を「Braille」として公式認定
1890年	石川倉次 (日本) は日本の仮名文字に対応するようにBrailleの点字を改良して日本式点字を考案
1967年	川上泰士は点字による8点式の漢字表記法を考案
1972年	長谷川貞夫 (日本) は6点式漢字表記法の開発を開始

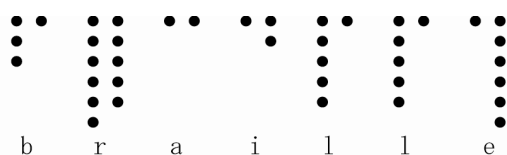


図1-5 Charles Barbierの12点式点字

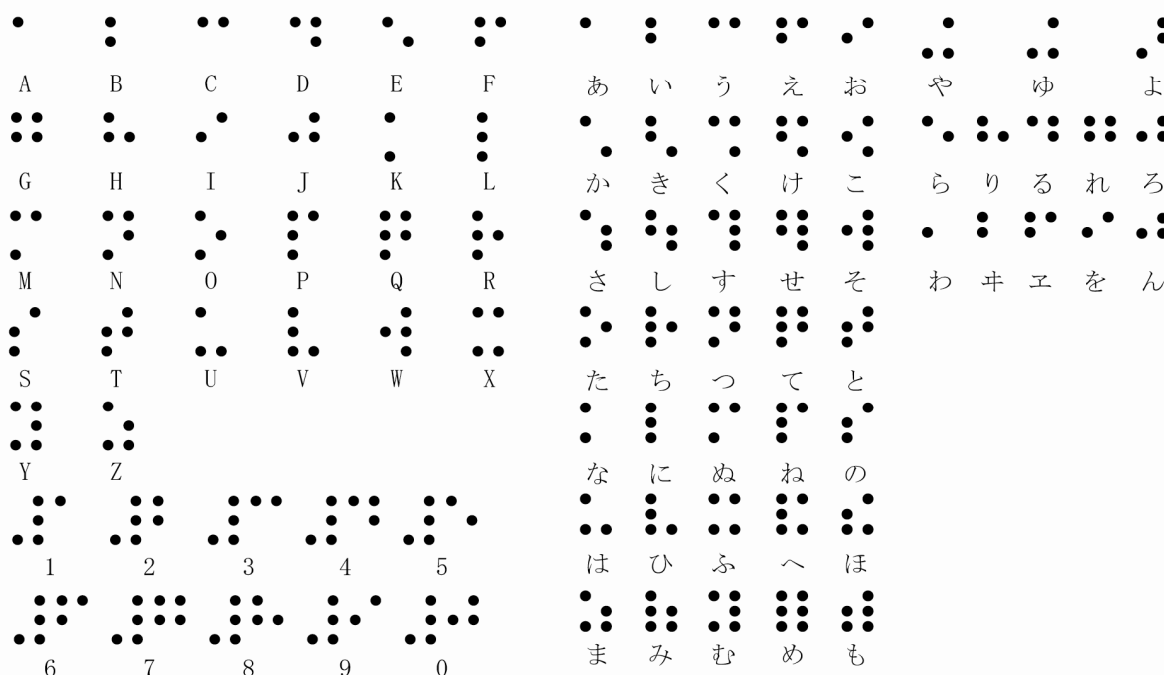


図1-6 Louis Brailleの6点式点字

図1-7 日本式点字

(図 1-7) を作り上げた⁽¹¹⁾。また、漢字の点字化について、2種類の体系が作られた。1967年には川上が8点式の漢字表記法を考案した⁽¹²⁾。1972年には長谷川が6点式の漢字表記法の前案が作られ⁽¹²⁾、現在では点字ワープロを使って6点

漢字を入力すれば、点字使用者も自分で漢字仮名交じりの墨字文書を作成できるようになっている。しかし、漢字の点字の習得は容易ではなく、漢字の点字の使用についての共通認識ができていないというのが現状である。

このような歴史をもつ点字は、視覚障害者が自らのペースで読み書きできる貴重な文字として現在まで利用されている。

1.2.3 点字の研究

点字に関して様々な研究が行われている。特に、点字をいかに速く多く読めるようにするのに重点が置かれ、点字の読速度と手の使い方に関する研究が数多くなされてきている。

佐藤⁽¹³⁾は盲学校の児童生徒 1,290 名を対象とした点字読速度に関する大規模な研究を行い、小学校 1 年生から 4 年生までの発達著しく、その後は発達速度が緩やかになることを指摘している。Bürklen⁽¹⁴⁾は被験者に点字を片手触読させ、20%の読速度の差異の有無によって右手優位と左手優位、左右の優位がない 3 つの群に分類し、左手優位の被験者が多く、読速度も速いことを指摘した。Holland & Fehr⁽¹⁵⁾と Fertsch⁽¹⁶⁾は同様の研究を行い、Bürklen⁽¹⁴⁾とは異なり右手優位が多く読速度も速いと述べている。大脳半球の機能差という観点からも点字読速度が分析され、Hermelin & O'Connor⁽¹⁷⁾は、盲児は右手よりも左手のほうが速く、盲成人では左手優位であることを報告し、空間的 point 字パターンの処理において左手優位は大脳右半球優位であると考察した。さらに、点字未習得の晴眼児に点字を刺激として提示し、左手優位を示した Rudel ら⁽¹⁸⁾、Myers⁽¹⁹⁾の研究もある。一方、Harris⁽²⁰⁾は盲児に左右いずれかの手で点字を読ませたところ、左手を好む盲児には手の優位性はないと報告している。黒川⁽²¹⁾は読速度の速い盲人には右手優位が多いことから、機能的な点字処理は大脳左半球で処理されていることを示唆している。これらの研究から大脳半球の機能差の観点から点字の読みにおける手の優位性を説明することは容易ではない。現在、盲学校では点字の読みは両手読みが基本とされており⁽²²⁾、点字指導段階から左右の手を使い、速く読めるような指導が行われており、牟田口⁽²³⁾は点字熟達者の両手読みと片手読みの分析から、

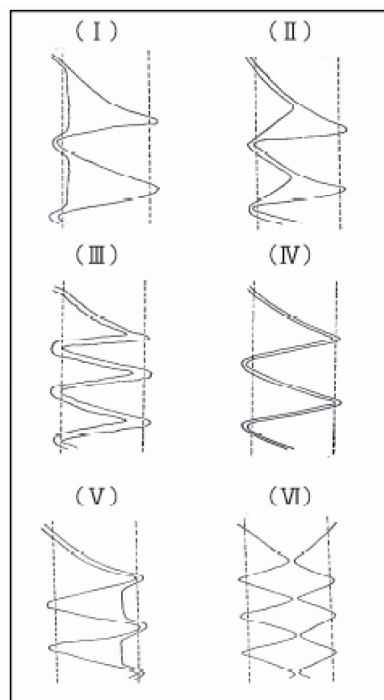


図1-8 左右の手の使い方による両手読みの型⁽²⁴⁾

両手読みを効率的に進めるためには、独立した左右の読みの差異が小さいことが必須の条件であり、点字指導の導入期での両手読みの指導が極めて大切であることを指摘している、

両手読みといっても左右の手の使い方は様々である。点字文を触読時における左右の人差し指の動き、行間での動きに着目した草島⁽²⁴⁾の分析から、図1-8に示すような6種類のタイプがあることが明らかになり、中でも(□)(□)の左右人差し指の使い方が両手を活用した効率的な読み方であると草島は主張している。

点字の触読の技能を向上させるために必要なスキルについても様々な観点から報告されているが、Lamb⁽²⁵⁾はMangold⁽²⁶⁾やOlsenら⁽²⁷⁾の研究を踏まえて次のように整理している。

- (□) 左から右に水平にトラッキングすること
- (□) 力を抜いた指で僅かにカーブを描きながらの軽いタッチで読むこと
- (□) 流暢でリズムカルに手を動かすこと
- (□) できるだけ多くの指を使用すること
- (□) 同じような動きと独立した動きの双方が含まれる両手の使い方をすること
- (□) 一つの行から次の行への効率のよい行替えをすること

上述の通り、点字の読速度や手の使い方に関する研究はさかんに行われてきた。一方で、わが国の視覚障害者全体の約7割が中途失明者であると言われており、特に、糖尿病による視覚障害の場合は指先の触覚が鈍麻・麻痺するため点字の習得が困難であり、音声や介助者といった点字以外の情報入手手段に頼ることが多い。しかし、点字そのものにも問題があり、中途視覚障害者にとって旧来の点字が小さく読みにくいため、習得は難しいと言われている⁽²⁸⁾。また、点字入門期の指導法にも問題が潜んでいると考えられる⁽²⁹⁾。さらに、点字は主に点字プリンターなどにより印刷され、健常者を想定した生活汎用品に併記されていない。このような現状が、日本における視覚障害者の点字識字率を約10%と低下させている背景にあると考えられる。しかし、点字を習いたいという視覚障害者も少なくない。点字という視覚障害者の文字を視覚障害者が豊かな生活を送るための一つのツールとして後世に継承していくことは重要である。そのためには、これから点字を学習したいという人々が学習しやすい環境を整備すること、すなわち点字学習者に対して識別しやすい点字を提供することが重要である。そこで近年、点字学習者のために点字の文字サイズに関する見直しが求められ、識別しやすい文字サイズに関する研究がさかんになりつつある⁽³⁰⁾。また、点字の識別容易性に影響を及ぼす因子として文字サイズに加えてマス間隔、断面形状に関しても識別容易性との関係が調べられている(1.2.4(3)で詳述)。

1.2.4 点字に関する基礎的知見

晴眼者の使用する文字のサイズは、文字フォントや線の太さによって決まる。ここでは、一般的に使用されている6点点字に限定し、点字のサイズを定める因子について述べ、各国の点字サイズ、点字の識別容易性に関する先行研究、点字の製法、近年普及しつつあるUV点字の現状について紹介する。

(1) 点字の文字サイズを定める因子

点字1文字は図1-9のように縦3点、横2列の6点から構成されている。これを1マス(1文字)と言う。1マスの中で左側の点の上から順に1~3の点、右側の点を上から4~6の点、点と点の間隔を点間隔と言う。1-2の点間隔と2-3の点

間隔は通常同じであるが、1-2 の点間隔と 1-4 の点間隔は必ずしも同じではない。また、文字間隔であるマスとマスの間隔（4 の点の中心と右隣の点字の 1 の点の間隔）をマス間隔と言う。そして、マスが左から右に並んでいるのが行であり、日本では通常 1 行は 32 マスである。そして、行と行の間隔を行間隔と言う。また、点間隔・マス間隔・行間隔の他に、点の直径や点の高さも点字のサイズを定める因子である。

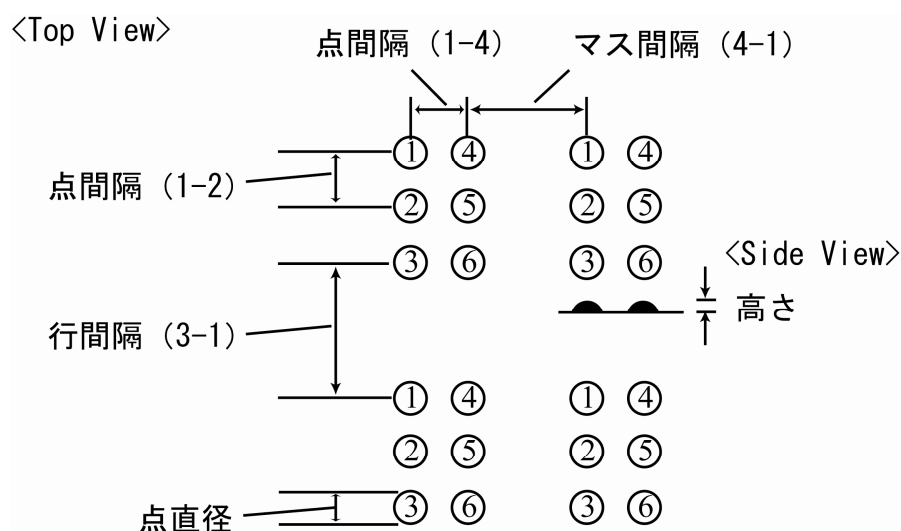


図1-9 点字の文字サイズを決める因子

(2) 各国の点字サイズの比較

具体的に点字サイズについては、各国の点字サイズを表 1-2 に示す^{(3.1)(3.2)(3.3)}。

表 1-2 より点字サイズは国によって異なることがわかる。そこで、以下の通り各国の点字サイズを因子ごとに比較した。

表1-2 各国の点字サイズ 単位(mm)

国名	点の直径	点間隔		マス間隔 (4-1)	行間隔 (3-1)
		1-4	1-2		
日本	1.4	2.13	2.37	3.27	9.17
台湾	1.4	2.27	2.17	3.13	9.30
韓国	1.4	2.17	2.30	3.17	5.83
中国	1.4	2.53	2.50	3.97	4.87
フランス	1.4	2.30	2.53	3.80	5.70
アメリカ	1.4	2.35	2.35	4.05	5.70
ブラジル	1.4	2.60	2.23	3.53	5.83
イギリス	1.4	2.35	2.35	3.75	5.70
チェコ	1.4	3.00	2.77	3.97	5.57
ロシア	1.4	3.17	3.00	3.98	5.47
アメリカ(Giantdot)	1.8	3.10	3.10	6.70	10.60

点間隔・マス間隔

点間隔については、アジアとその他で大きく分かれている。アジアの日本・韓国・台湾はその他の国々より小さく、韓国・台湾が日本の影響を受けているからである。一方、ロシア・チェコは他の国に比べて大きいことがわかる。また、マス間隔については、点間隔同様に日本・韓国・台湾は他国に比べて小さいことがわかる。日本の点字の点間隔・マス間隔が小さいのは、B5判縦長の点字用紙にできるだけ多くの点字を入れようとしたからである。B5判用紙を採用したのは図書館の書架の寸法や持ち運ぶためのかばんの大きさを考慮したためである。また、製本する際の糊しる部分を確保すると、1行163〔mm〕程度しか点字を打ち入れる部分を取れないため、1・4点間やマス間隔を小さくせざるを得なかったのである。そして、点字の普及初期は紙が高価な時代であったため、触読の困難性は我慢せざるを得なかったからである。一方、欧米は大きな紙を使用しているので、マス数も多く取れるのでマス間隔が大きくなっている。

行間隔

行間隔（3・1点間）については、日本と台湾だけが9〔mm〕と非常に大きい。これは印刷方式の違いによるものである。日本や台湾ではインターライン（表の行間に裏の行を印刷する方式）であり、他の国が5〔mm〕前後なのは、インターポイント（表の点と点の間に裏の点を印刷する方式）を採用しているからである。

直径・高さ

直径については、各国1.4〔mm〕で同じである。高さについては、網羅的に計測したという報告は見られないが、木塚⁽³⁴⁾によれば日本に普及している点字の高さは0.3～0.5〔mm〕であると報告している。

以上のように、各国の比較をしてみると、直径以外は各国によって異なる。特に日本・韓国・台湾は点字サイズが小さいことがわかる。次は、点字サイズと点字の識別容易性の関係について述べる。

(3) 点字の識別容易性に関する先行研究

日本で多くの視覚障害者が古くから愛用してきたのは、仲村点字器製作所⁽³⁵⁾

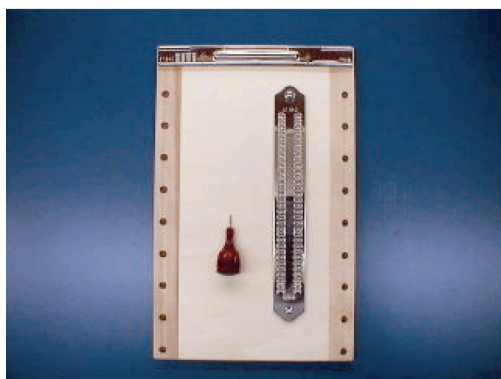


図1-10 仲村点字器製作所の点字器

表1-3 各国のマス間比

国名	マス間比
日本	1.46
台湾	1.38
韓国	1.46
中国	1.57
フランス	1.65
アメリカ	1.72
ブラジル	1.36
イギリス	1.60
チェコ	1.32
ロシア	1.24
アメリカ(Giantdot)	2.16

の点字器(図1-10)である。これは1-4点間隔が2.3[mm]、1-2点間隔が2.1[mm]、4-1点間(マス間隔)は3.0[mm]となっている。Weinstein⁽³⁶⁾の静的な触2点弁別閾値に関する研究によれば、ヒトの人指し指の指先の触2点弁別の閾値は約2[mm]であり、仲村点字器の点間隔は弁別可能なギリギリに近いレベルであると言える。このようなサイズになった理由は、1.2.4(2)で述べたが、点字用紙にできるだけ多くの点字を入れようとしたからである。

マス数に関しては、B5判縦長の点字用紙に1行32マス、行数に関しては1ページに18行書けるタイプが最も多く使用されている。しかし、昔はマス数が37～45マスというように、同じ大きさの点字用紙にできるだけ多くの点字を入れようとしたため、点字のサイズが小さくなったと考えられる。また、このサイズの点字に慣れ親しんでいる視覚障害者が多いためか改良は行われてこなかった。しかし、近年、日本では中途視覚障害者の増加により、これまでの視覚障害者が慣れ親しんできた小さな点字サイズを見直し、これから点字を学習する人にとって識別しやすい点字のサイズに関する研究が求められるようになってきた。ここでは、点字の識別容易性に関する先行研究について述べる。

木塚⁽³⁵⁾はアメリカの標準サイズと同じアメリカ製点字器のパーキンスブレーラーで書かれた点字と仲村製の点字器で書かれた点字を比較し、両社の点間隔はほとんど同じ(1文字のサイズは同じ)であるが、マス間隔はパーキンスブレーラーのほうが1[mm]広いので点字そのものが大きいと確認した。また、表1-2のデータを元にマス間比を算出し(表1-3)、点字初心者(中途視覚障害者を含む)はマス間比が大きいほうが読みやすいと考察した。具体的には、マス間隔

を点間隔で割った値（以下マス間比と記す）と識別容易性の関係について、マス間比は 1.5～1.8 が多くの点字触読者に受け入れられ、点字初心者にはマス間比が大きいと読みやすいという経験則を報告している^(3 5)。また、文部省（現文部科学省）の点字学習の手引きにおいても同様にマス間隔が広いと読みやすいことが報告されている^(2 2)。

行間隔については、中途視覚障害者や初心者は行間隔が広いほうが読みやすいが、点字熟達者には行間隔が識別容易性に影響を与えないと言われている^(3 4)。

高さについては、一般的に普及しているのは前述の通り 0.3～0.5 [mm] であるが、木塚^(3 4)によれば 0.5 [mm] より高い場合、初心者や糖尿病性網膜症などによる中途視覚障害者にとっては点字の刺激が強く読みやすいが、一般的には刺激が強すぎると言われている。一方、疲労度の観点から点字の高さを評価するために大竹らが行った点字読み取り中の指先挙動解析を取り入れた研究^(3 7)によれば、高さ 0.5～0.6 [mm] が最適であり、0.4 [mm] 以下になると急激に読みにくくなることを報告している。

また、林ら^(3 8)は点字初心者を対象として点字の高さや点間隔に点字の断面形状を加えた各因子の識別容易性に与える影響を定量的に評価した。その結果、点字の形状によって高さや点間隔が識別容易性に与える影響が異なることが明らかになった。

上述のように、点字サイズと識別容易性の研究が進められ、近年、中途視覚障害者に配慮した大きなサイズの点字であるジャイアンツドットが普及しつつある。ジャイアンツドットは、点間隔・マス間隔・行間隔・直径が大きく読みやすいと言われている。ジャイアンツドットについて、表 1-2 を基に標準的な点字と比較すると図 1-11 から点字サイズの違いは明らかである。そして、日本においてもジャイアンツドットを参考にして点字サイズの大きい L サイズ点字が普及し始めている。

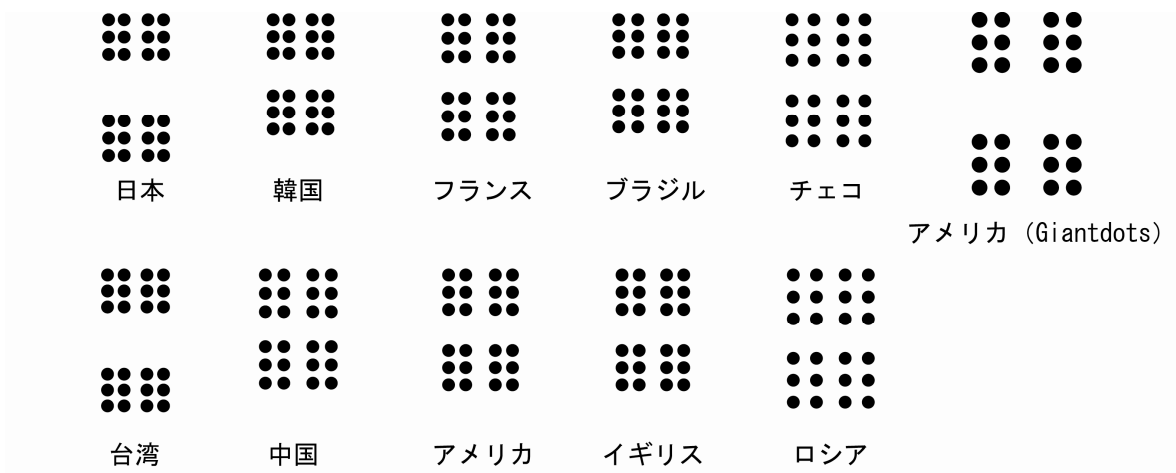


図1-11 実際の点字サイズ

(4) 点字の製作法

点字の製作には、数多くの印刷法がある。ここでは、一般的な3つの方法と近年点字の製作法として注目されているスクリーン印刷法について簡単に紹介する。

エンボス印刷法

エンボス印刷法は、薄い亜鉛板を2枚重ねたものに点字製版機などで凹凸を付けたものを原版とし、その間に点字用紙をはさんでローラーでプレスして原版と同じ点字を印刷する方法である⁽³⁹⁾。具体的な印刷プロセスを図1-12に示す。また、エンボス印刷法により印刷された点字を図1-13に示す。

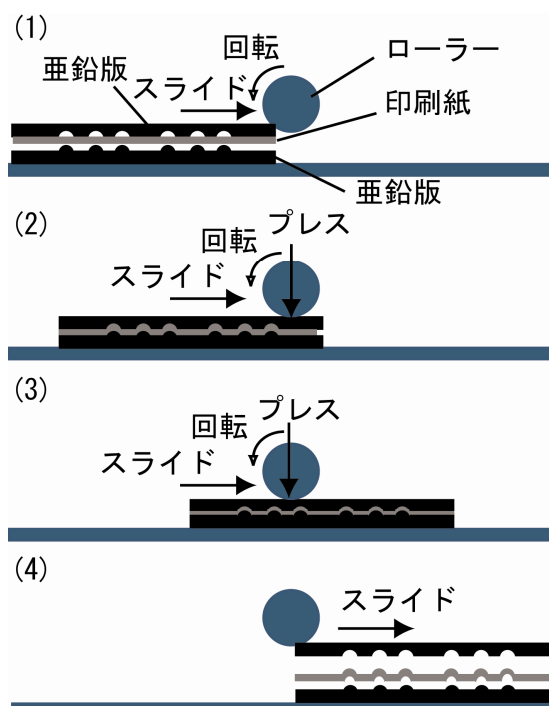


図1-12 エンボス印刷法のプロセス



図1-13 エンボス印刷法による点字

- (1)点字の凹凸を付けた2枚の原版（薄い亜鉛板）の間に印刷紙を重ねて点字製版機に通す（図1-12（1））。
- (2)点字製版機のローラーで原版をプレスしながらスライドさせる（図1-12（2））。
- (3)点字の凹凸が紙に転写されるようにしっかりとプレスしながら順次スライドさせる（図1-12（3））。
- (4)プレスされた原版から紙を取り出すと紙上に点字が印刷される（図1-12（4））。

エンボス印刷法は、製版が容易で何枚でも複製でき、比較的安価であるが、紙などの柔らかい素材に印刷された場合、点が潰れてしまうことがあるため耐久性が低くなるという問題も生じる。この製法による点字は、指先が滑らかに滑り識別しやすいと言われている。

真空成型法

真空成型法は、点字板などで紙に点字を浮き上がらせたものを版として使用し、熱可塑性の合成樹脂フィルムに点字を真空熱成型する方法である⁽⁴⁰⁾。具体的な印刷プロセスを図1-14に示す。また、真空成型法により印刷された点字を図1-15に示す。

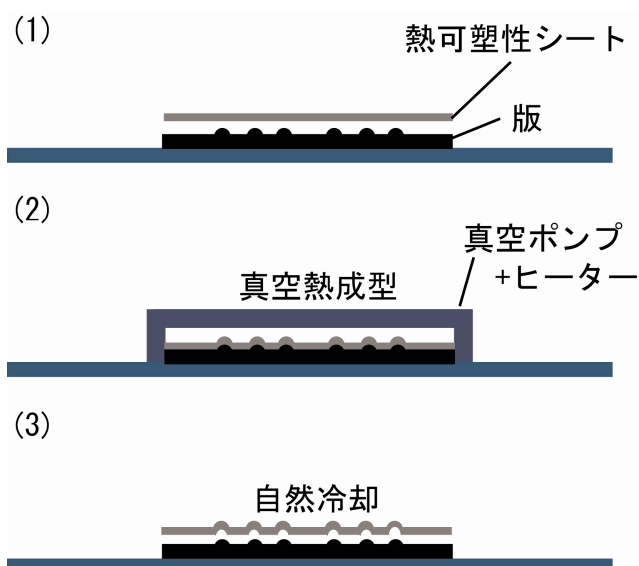


図1-14 真空成型法のプロセス

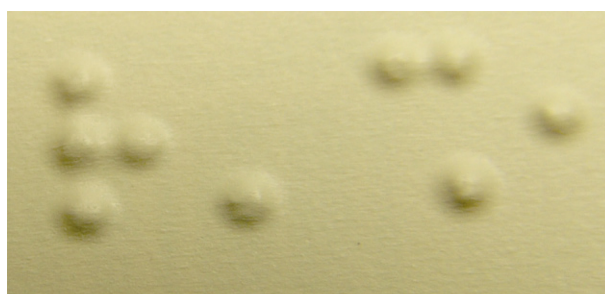


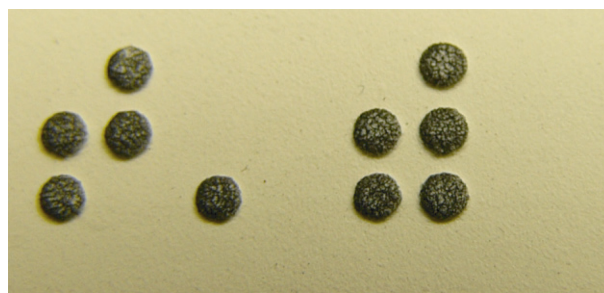
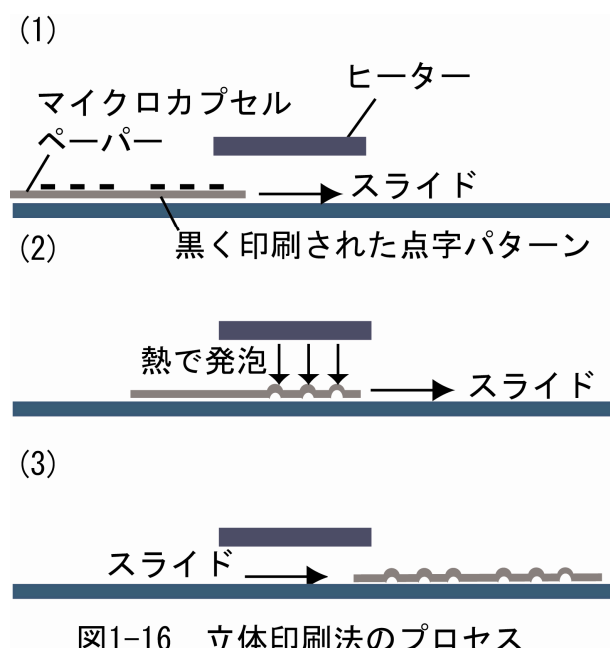
図1-15 真空成型法による点字

- (1)点字が印刷された版の上に熱可塑性シートを載せる (図 1-14(1)).
- (2)真空ポンプとヒーターで真空熱成型する (図 1-14(2)).
- (3)熱可塑性シートを自然冷却するとシートが版に印刷された点字の突起形状に変形した状態で固まる (図 1-14(3)).

この印刷法は、製版は面倒だが、かなり細密な表現や段を重ねることができるため、点字のみならず触知図の印刷にも多く用いられている。また、ベース素材が合成樹脂であるため耐久性は優れている。しかし、長時間触読して指に汗をかいた場合、滑りにくく読みにくいことがあると言われている。

立体印刷法

立体印刷法は、発泡印刷と言われる印刷法として知られていた。発泡印刷は、使用するインクに特徴があり、熱を加えると発泡するインクを用いて点字を形成する印刷方法である⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾。この印刷法は、乾燥ムラによる異常発泡が表面形状の荒れや皮膜強度の劣化を引き起こし、点字としての特性を失ってしまうこともあるため使用されなくなったが、近年、ベース素材（紙）に工夫がなされ、熱が加えられると発泡するマイクロカプセルが散りばめられた紙が開発され⁽⁴³⁾、立体印刷として普及しつつある。立体印刷は、まず普通のコピー機で、盛り上げたい点字パターンを描いた原紙から、発泡する紙上にコピーし、この用紙に熱を加えると、黒くなった部分だけが熱を吸収して浮き上がるしくみである。具体的な印刷プロセスを図1-16に示す。また、立体印刷法により印刷された点字を図1-17に示す。



-
- (1)コピー機で盛り上げたい点字パターンが黒く印刷されたマイクロカプセルペーパーをヒーターの中にスライドさせて入れる (図 1-16(1)).
 - (2)ヒーターの中に入れられたマイクロカプセルペーパーは、黒く印刷された部分がヒーターの熱によって発泡する (図 1-16(2)).
 - (3)ヒーターの中からマイクロカプセルペーパーを取り出すと発泡して立体になった点字パターンが得られる (図 1-16(3)).

立体印刷の特徴は、ベースが特殊な紙であるため手触りが悪く読みにくいと感じる点字読者も少なくないと言われている。

スクリーン印刷

最近、紫外線硬化樹脂インクを用いたスクリーン印刷方式による点字印刷が注目されている (2 章で詳述)。この印刷方法は点形状にインクを厚く盛って印刷する方法であるが、インクに特徴がある。発泡インクなどの従来のインクとは異なり多くの乾燥時間を必要とせず、紫外線によって瞬時に硬化するインク⁽⁴⁴⁾を用いる。また、このインクは透明なため、墨字の上に点字を印刷することが可能である。そのため、その他の印刷法により作られた点字と違って健常者と視覚障害者が同一印刷物から同一の情報を得ることができるため、ユニバーサルデザインの観点から現在注目されている印刷法である。この印刷法を用いた紫外線硬化樹脂インクによる点字を一般に UV 点字 (図 1-4) と言う。UV 点字は、点が押しつぶれることがないため耐久性は高いが、印刷面から点が剥離して取れてしまうことがあるため、引っかかり強度は強くないと言われている。

以上、4つの点字製作法を紹介した。各製作法による点字の特徴について、耐久性・識別容易性・普遍性に絞ってまとめたのが表 1-4 である。耐久性・識別容易性がともに高い印刷法がないが、UV 点字は様々な素材に印刷可能であり、墨字に併

記しながらも墨字を損なわないため、唯一普遍性が高いと言える。そのため、今後 UV 点字が共用品として普及していくことが予想される。そこで次は、UV 点字の現状について述べる。

表1-4 点字の製作法の比較

点字の製作法	耐久性	識別容易性	普遍性
エンボス印刷法	×	○	×
真空成型法	○	△	×
立体印刷法	×	△	×
スクリーン印刷法	○	△	○

○ 良い △ どちらとも言えない × 良くない

1.2.5 UV 点字の現状

(1) 共用品として普及する UV 点字の問題点

視覚障害者が従来から利用しているエンボス印刷方式や点字プリンターにより製作される点字とは異なり、現在、スクリーン印刷方式を用いた UV 点字が注目されている⁽⁴⁵⁾。その理由は、UV 点字は様々な素材への適応や大量印刷が可能であり、一般印刷物上の文字や図を損なわないため晴眼者と視覚障害者が同じ印刷物の情報を共有できるという特長をもつからである。そのため現在、医薬品のパッケージ、レストランのメニュー、名刺、階段の手摺り、電車の号車案内等に UV 点字が採用されるようになった⁽⁴⁶⁾。また、触る絵本やカレンダー等も出版されるようになった。UV 点字の普及は、視覚障害者への隔たりのない情報を提供することに貢献するものと期待されている。また、点字触読の熟達者のみならず、特に点字初心者が点字を習得し、利用する機会が増えることが期待されている⁽⁴⁷⁾。

このような UV 点字の普及には理由がある。社会的に共用品の市場が拡大し、UV 点字に関しても上述の通り一般印刷物上に墨字と併記可能であり晴盲両用の共用品として注目されたためである。また、製法であるスクリーン印刷が既存の印刷技術であることから印刷業者が特別な設備投資をする必要がなく製作が容易であったからである。そして、1994年にハートビル法、2000年に交通バリアフリー法が制定され、それらが2006年に統合されてハートビル新法となり、近年各地域で福祉のまちづくり条例が制定され、これらの法律・条例に基づいて公共建築物や

公共交通機関への点字表示が積極的に行われるようになった。しかし、利用する視覚障害者の触知能力を考慮しない多くの印刷メーカーが手がけており多くの問題が発生している。具体的にはメーカーごとに UV 点字の高さや点間隔（以下点字パターン）が大きく異なり、識別しにくいという問題が発生した。また、UV 点字が印刷される素材（印刷素材）によっては識別容易性が異なり識別しにくいことや、指の滑りが悪い場合には識別しにくいというクレームが発生した。このような問題の発生には、いくつかの原因がある。主な理由として、UV 点字の識別容易性に関する研究が行われていなかったことや印刷メーカーが参考とすべき UV 点字の識別容易性の指針がなかったことが考えられる。

(2) UV 点字の識別容易性評価の必要性

点字の識別容易性に関して、1.2.4 (3)で述べた通り従来の紙製の点字に特化した研究はさかんに行われてきた。しかし、UV 点字は従来の紙製の点字とは特徴が異なるところが多いことから、UV 点字特徴由来の問題が発生している。そこで、UV 点字の識別容易性評価の研究が急務となった。UV 点字と従来の紙製点字の違いについて、まず点の材質が異なることに加え、点字の高さや点間隔（以下点字パターン）が容易に変更できることや、印刷される素材（以下、印刷素材）のバリエーションも異なることから、UV 点字の識別容易性に及ぼす因子は紙製の点字とは異なる。そのため、各因子が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を定量的に評価する研究が必要となる。

また、UV 点字の品質に関する標準化がユーザーとメーカーの双方から望まれるようになった。UV 点字の品質の標準化つまり UV 点字の識別容易性の指針を作成するためには、UV 点字は紙点字と同じ点字でも特徴が異なることを理解した上で、UV 点字の識別容易性を定量的に評価したデータが必要である。

そして、上述の UV 点字の識別容易性の評価研究や UV 点字の品質に関する標準化を通じて、これから点字を学習する方々にとって識別しやすい UV 点字を提供することが最も重要である。

1.3 本研究の目的と意義

1.3.1 本研究の目的

本研究では、点字学習者のための識別しやすいUV点字の製作法及び識別容易性を向上させる道具の提案することを目的として、UV点字の識別容易性に影響を及ぼす各因子とUV点字の識別容易性の関係について人間工学的アプローチにより明らかにすることにした。具体的には、「点字パターン（点間隔・高さ）」、「UV点字の印刷素材」、「指先の滑り易さ」の3つの因子に着目し、それらの因子がUV点字の識別容易性に及ぼす影響を定量的に評価した。

1.3.2 本研究の意義

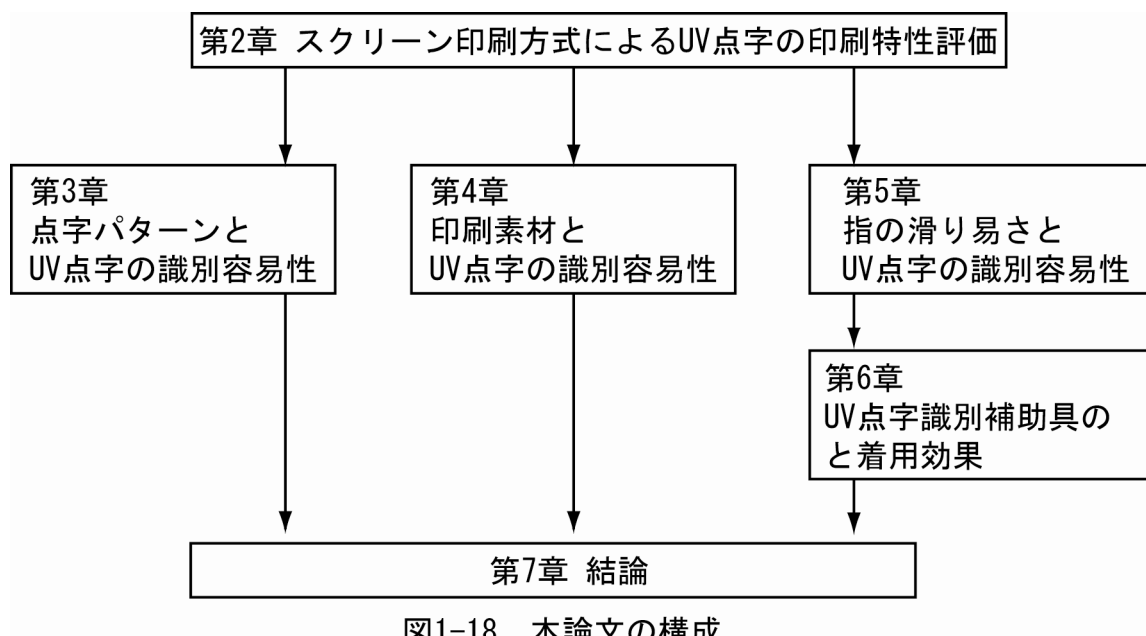
本研究は、晴盲共用を実現する文字ツールとしてより多くの視覚障害者の利用が期待されているUV点字に関して、点字学習者にとって識別しやすいUV点字の製作法やUV点字の識別容易性を向上させる道具を提案するためのものである。

本研究を通じて、急増する中途視覚障害者が点字を学習する際の障壁を少しでも低くし、これから点字を学習したいという人々が学習しやすい環境を整備すること、すなわち読みやすい点字を提供することに大きく貢献したい。

1.4 本論文の構成

本論文の構成を図1-18に示す通り7章構成とする。まず第1章では、序論として本研究の研究背景、目的、意義、論文構成について述べた。2章では、前述の各因子がUV点字の識別容易性に及ぼす影響を評価する為には、実験で用いるテストピースを再現よく印刷できる技術を確立する必要があることから、UV点字の印刷特性について述べる。3章では、UV点字の識別容易性に影響を与える因子としてまず点字パターン（点間隔・高さ）に着目し、UV点字パターンが識別容易性に及ぼす影響を定量的に評価した研究成果を報告する。4章では、UV点字の印刷素材と識別容易性の関係を明らかにすることを目的として、印刷素材がUV点字の識別容易性に及ぼす影響を評価した研究成果について述べる。5章では、指先の滑り易さがUV点字の識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的として、指先の滑り易さが異なる場合の識別容易性の違いをUV点字の識別実験により比較した研究

成果について述べる。6章では、著者が提案するUV点字の識別補助具の着用効果を検証した研究成果と補助具の実用化の可能性について述べる。7章では、2章～6章までの研究成果を総括し、本研究によって得られた知見をまとめとる。



第 2 章 スクリーン印刷方式による UV 点字の印刷特性の評価

2.1 目的

2.2 スクリーン印刷・紫外線硬化樹脂インクについて

2.3 UV 点字の形状計測装置

2.4 UV 点字の印刷特性

2.5 まとめ

2.1 目的

本研究では、スクリーン印刷方式による紫外線硬化樹脂インクを用いた UV 点字に関して、「点字パターン（点間隔と高さ）」、「印刷素材」、「指先の滑りやすさ」の各因子が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とした。そのためには、実験で必要な UV 点字を提示刺激として用意しなければならない。上述の 3 つの因子の中でも最も重要な因子である点字 1 文字の文字サイズを決定する「点字パターン」を調整する印刷技術を確立し、UV 点字の印刷特性を調べる必要がある。ここでは、UV 点字の製作法であるスクリーン印刷、紫外線硬化樹脂インク、UV 点字の形状計測装置について述べ、UV 点字の印刷特性について述べる。

2.2 スクリーン印刷・紫外線硬化樹脂インクについて

2.2.1 スクリーン印刷の歴史

スクリーン印刷のルーツは、明治時代末期、日本の友禅の型染めであると言われている⁽⁴⁸⁾。現在のようなスクリーン印刷技術は、サムエル・シモン（イギリス）が日本の友禅型染めにヒントを得て 1905 年にアメリカで特許を取得したことによりアメリカ全土に普及しはじめた。日本では、大正時代に万石和喜政がアメリカから同技術法を持ち帰り、第 2 次世界大戦後アメリカから持ち込まれた製版材料・印刷機械により国産品が登場した。その後、昭和 20 年代後半から製版技術が急速に

進歩し、精密な画像のスクリーン印刷を可能となった。更に昭和 50 年代には水性インク・UV インクなどのインク技術の進歩によりアクリル・塩化ビニル・各種金属などの素材の生活汎用品に印刷され、現在では UV インクが点字や触知案内図等の用途に利用されている。

2.2.2 スクリーン印刷の原理

スクリーン印刷法とは、ポリエステルやナイロンの繊維（スクリーン）でできている版面に開けられた微小な孔（あな）よりインクを通す印刷方式である。UV 印刷では、インクは前述の通り、紫外線硬化樹脂インク（2.2.3 で述べる）を用いる。

図 2-1 にスクリーン印刷のプロセス⁽⁴⁹⁾を示す。

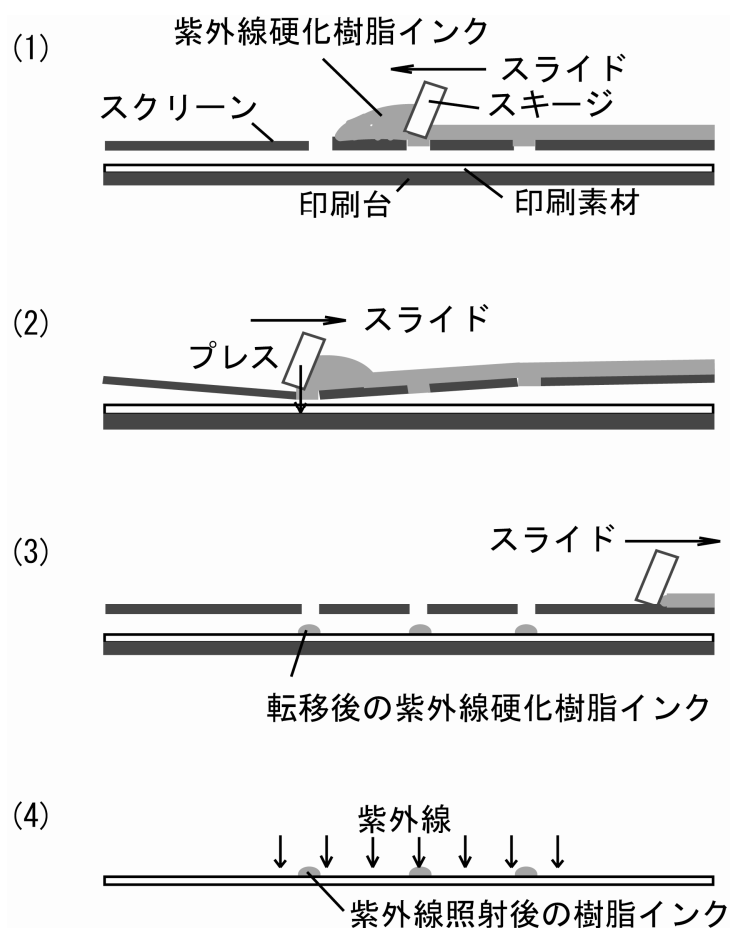


図2-1 スクリーン印刷のプロセス

- (1) 版の上に紫外線硬化樹脂インクを塗布し、スキージを摺動し、インクを版の穴に詰める (図 2-1(1)).
- (2) スキージで版をプレスした状態で、スキージを摺動する (図 2-1(2)).
- (3) スキージを摺動することにより版の穴に詰めたインクを印刷素材に転移させる (図 2-1(3)).
- (4) 紫外線光を照射して、インクを硬化させる (図 2-1(4)).

本研究では、版の厚さは、一般的な UV 点字印刷に用いられている 400 [μm] (サンイチ工芸社製) を採用し、インクは、UV 点字の印刷に用いられている紫外線硬化樹脂インク (セイコーアドバンス社製 UV TOUCH PRINT S5) を使用した。インクを硬化させるために、紫外線強度が十分な UV ランプ (セン特殊光源社製 HLR1000F-29) を用い、硬化不良を起こさないように十分な露光量を確保した。

以上のような印刷装置 (図 2-2a, 図 2-2b) を用いて様々な UV 点字の印刷を試みることにした。

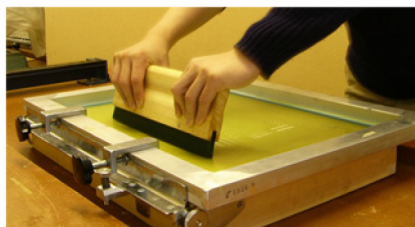


図2-2a スクリーン印刷装置

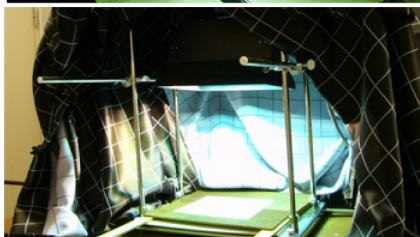
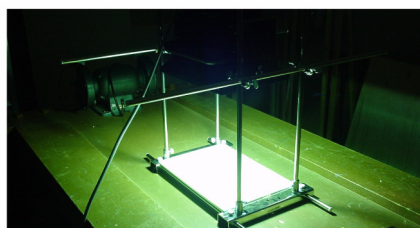


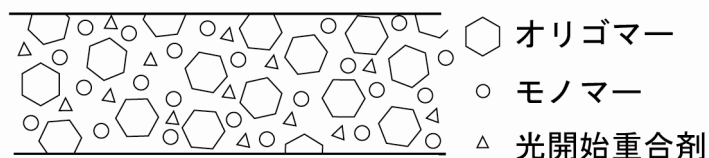
図2-2b 紫外線光照射装置

2.2.3 紫外線硬化樹脂インク

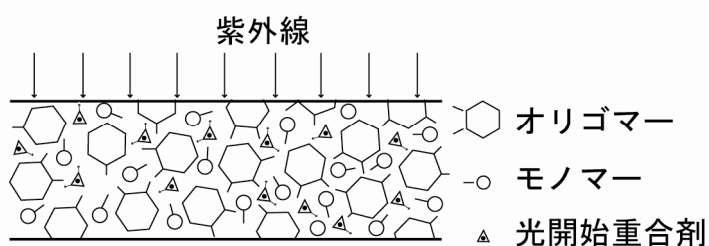
UV 点字の印刷には、通常の墨字用インクの代わりに紫外線硬化樹脂インクを用いる。紫外線硬化樹脂インクは紫外線によって硬化するインクである。紫外線硬化樹脂インクは、義肢ソケット製作⁽⁵⁰⁾にも使用され、様々な用途で利用されようとしている。通常の樹脂インクと紫外線硬化樹脂インクの違いは、ベース樹脂の中に光開始重合剤が添加されているところにある。

紫外線硬化樹脂インクの反応機構は、図 2-3 の通りである。紫外線硬化樹脂インクの成分は、樹脂の基本成分であるオリゴマー・モノマーと光開始重合剤から構成されており（図 2-3 (1)）、紫外線のエネルギーを吸収して遊離基（フリーラジカル）を生成して、これがオリゴマーやモノマーの反応基に作用して重合が開始する（図 2-3 (2)）。その後、成長反応や連鎖移動反応を連鎖的に繰り返し三次元網目構造の硬化皮膜を形成して反応を終える（図 2-3 (3)）。

(1) 紫外線硬化樹脂インク塗布直後



(2) 紫外線照射



(3) 紫外線硬化後

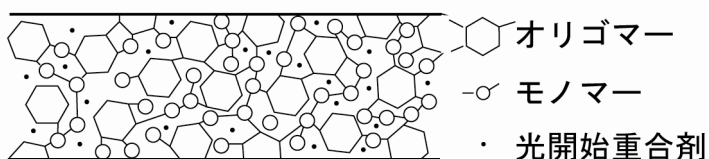


図2-3 紫外線硬化メカニズム

上記の反応機構からも明らかであるが、紫外線硬化樹脂インクは通常の蒸発乾燥型インクと異なり蒸発させる乾燥時間を必要とせず短時間で硬化乾燥し、有機溶剤ガスを含まないことから環境衛生面で優れているところに特長がある。

2.3 UV 点字の形状計測装置

ここでは、UV 点字の形状計測装置を紹介する。具体的には、本装置を UV 点字の断面形状・高さ・直径・点間隔の計測に用いた (2.4 で詳述)。

2.3.1 計測原理

なお、本装置は先行研究⁽⁵¹⁾で紙点字の形状を計測するために製作した装置(以下、紙点字形状計測装置)を引用して製作したものである。まず、紙点字形状計測装置の計測原理について述べる。

紙点字形状計測装置は光学的に非接触で距離を計測できるレーザ変位計を用いた計測装置である。レーザ変位計とは図 2-4 に示す通り、レーザ光を対象物に照射して、同時に被測定物表面の輝点スポットの方向 θ を計測し、三角計量の原理から対象物の表面までの距離を計測する機器である。

計測装置には水平面方向で直交する 2 本のリニアガイドを用いて XY テーブルを構成し、Z 軸方向にレーザ変位計(キーエンス社 LK-030)が搭載されている。このレーザ変位計で対象物の高さ方向(鉛直方向; Z 軸)の距離が計測可能となる。また別の 2 個のレーザ変位計(キーエンス社 LB-080)を用いて、この高さデータの水平面上での X, Y 座標を計測する。レーザ変位計を用いた点字形状計測装置の概念図は図 2-4 の通りである。レーザ変位計はレーザ光束が照射されたスポット(レーザが当たる領域全体)までの距離が距離データとして出力されるため、微小な点字の凸面形状を計測するためにはレーザ光束は十分に細かい必要がある。そこで 30 μ m の高精度レーザ変位計(キーエンス社 LK-030)が採用された。

データとしては、点字自体の断面形状だけでなく、点間隔・文字間隔(マス間距離)・行間距離も計測可能にするために、図 2-5 に示すように X 軸・Y 軸の位置制御モータを駆動し、計測領域内を X 軸方向に往復運動させながら、折り返し点で Y

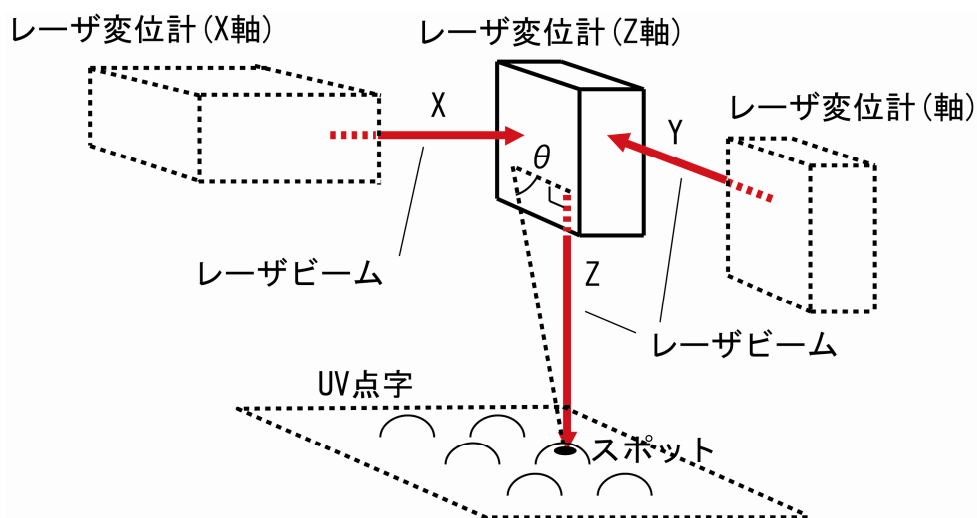


図2-4 レーザ変位計を搭載したUV点字の形状計測装置

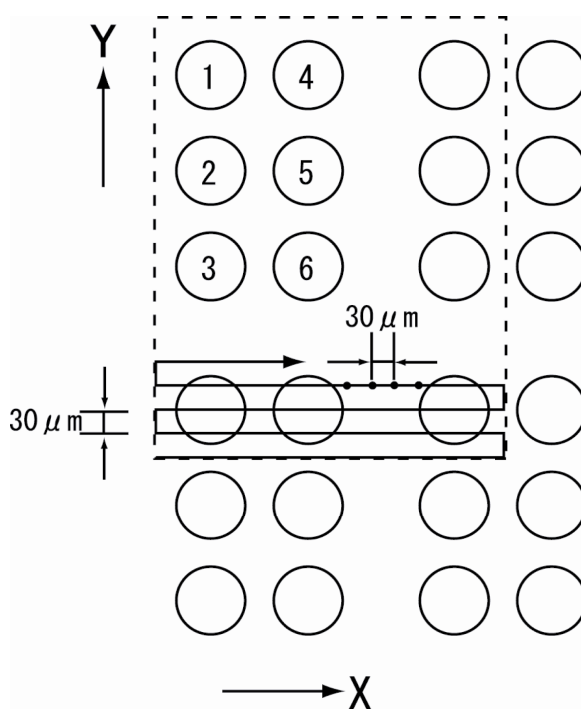


図2-5 レーザ変位計の駆動方向

軸方向にレーザ変位計のスポット直径（30 [μm]）分をずらしてスキャンさせる。この動作中、3軸のレーザ変位計のデータをパーソナルコンピュータによってリアルタイムでA/D変換し（データレコーダー SONY PC216AX）、3次元（X, Y, Z）座標の時系列データで構成されるデータファイルを作成する。なお、各データの間隔が同様に 30 [μm] となるようにX軸のテーブルを 6 [mm/s] で位置制御モー

タを駆動して移動させた（サンプリング周波数 200Hz）。以上が紙点字形状計測装置の原理である。

UV 点字の形状計測の場合には、UV 点字の表面は紙点字の表面と異なり無色透明の艶々した樹脂であるため、紙点字形状計測装置の Z 軸方向に搭載された従来の三角計量原理のレーザ変位計(キーエンス社製 LK-030)ではレーザ光が UV 点字の表面から裏面に貫通したり乱反射したりするために精度の良く安定して Z 座標の取得することが困難であった。当初は、レーザ光の貫通や乱反射を防ぐために微小なグラファイトを含むスプレーの使用も検討したが、測定対象物を汚す恐れや、スプレーの塗布ムラの恐れがあったために使用を避け、対象物が透明体の場合でも計測可能な共焦点方式（図 2-6 参照）のレーザ変位計（キーエンス社製 LT9010M）⁽⁵²⁾ をリニアガイドの XY テーブルの Z 軸方向に新たに搭載することにした（図 2-7）。以上より、UV 点字の形状評価に必要な 3 次元 (X, Y, Z) 座標の時系列データを取得することが可能となった。

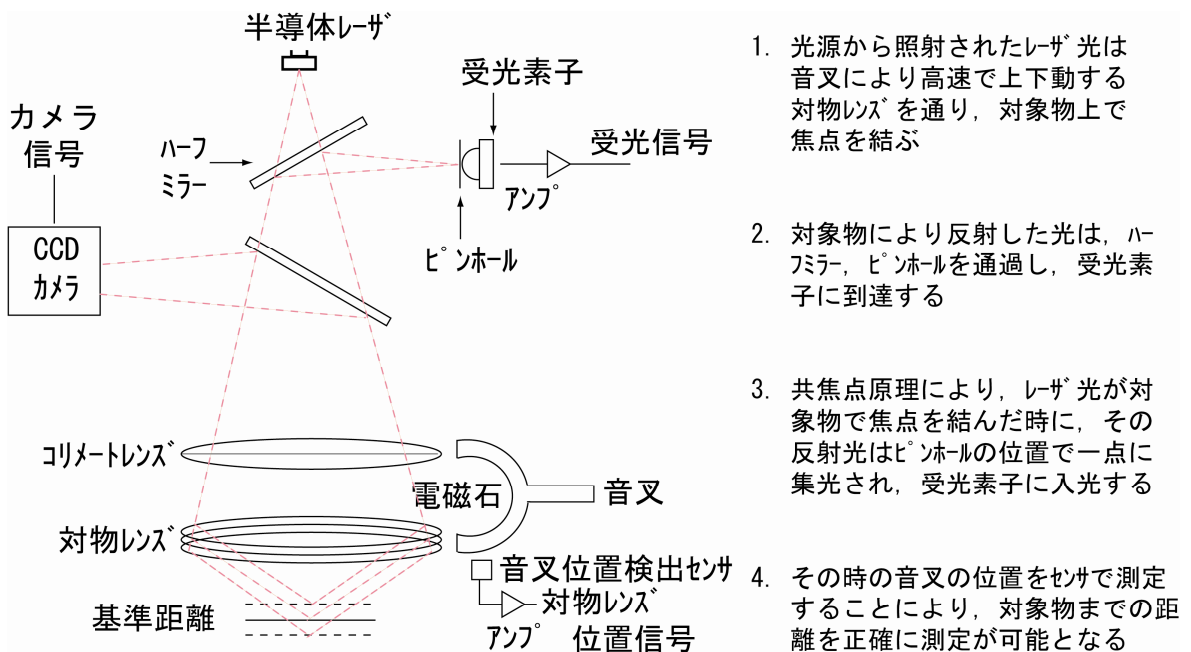


図2-6 共焦点方式のレーザ変位計測原理⁽⁵²⁾



(a) 全体図 (b) 共焦点式レーザ変位計
 図2-7 共焦点式レーザ変位計を備えたUV点字形状計測装置

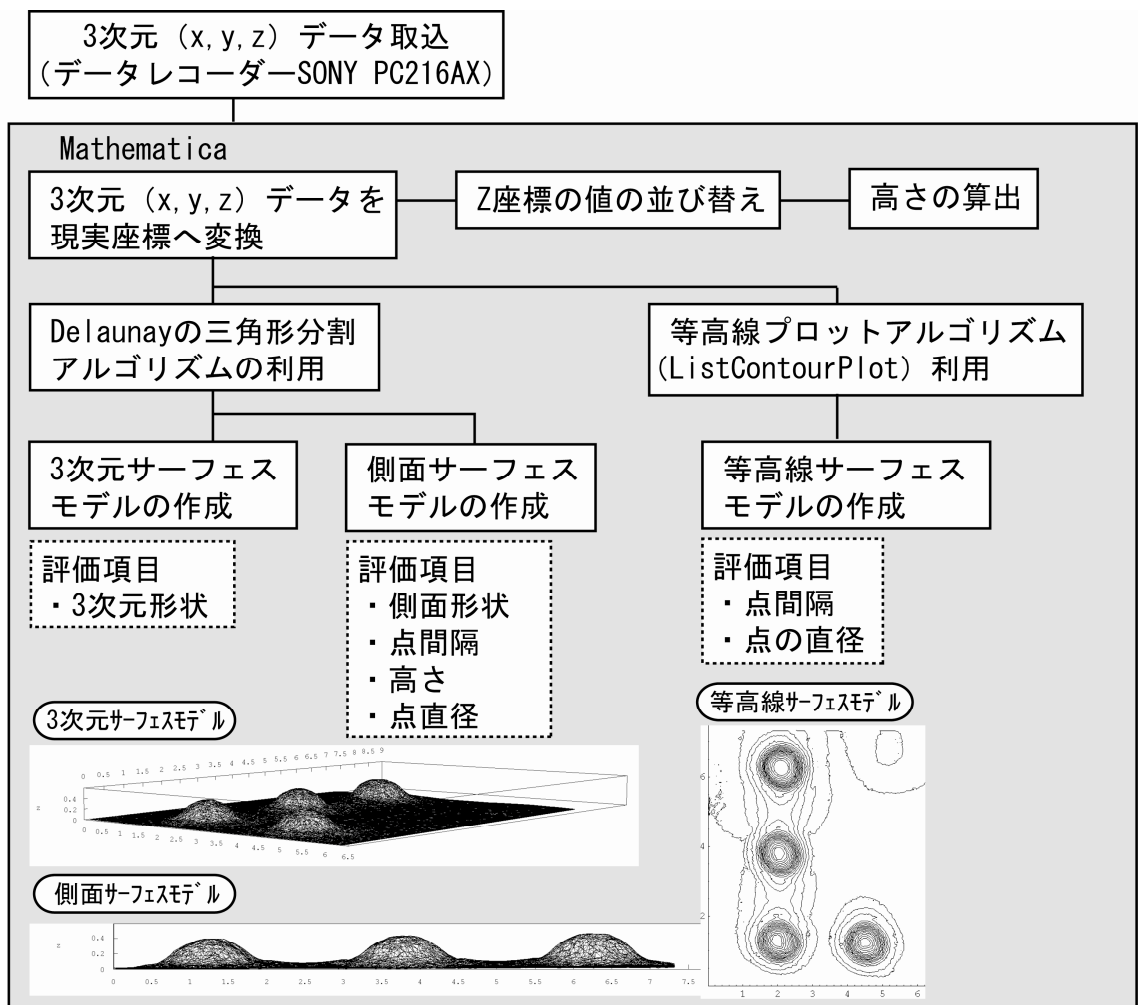


図2-8 3次元サーフェスモデル, 側面サーフェスモデル, 等高線サーフェスモデルの構築手順

2.3.2 データ処理法

得られた点字表面各点の膨大な 3 次元位置座標データ群で構成されるファイルを元に、数式処理ソフトウェア (Mathematica) を用いて、3 次元サーフェスモデル、側面サーフェスモデル、等高線サーフェスモデルを構築する (図 2-8)。

3次元サーフェスモデルの構築は、計測したデータは単に3次元座標データの集合であるため、相互にデータ点を関連づけられないとできない。そこで、Delaunayの三角形分割のアルゴリズム⁽⁵³⁾を用いた関数により、近傍の3点をまとめて三角形の集合を求める。Delaunayの三角形分割は、散在したデータ点に対して三角グリッドを作成するために有効な手段であり、各三角形の最小の角を最大にするアルゴリズムである。側面サーフェスモデルは、3次元サーフェスモデルのビューポイントを変更することにより構築する。等高線サーフェスモデルは、Mathematicaの等高線プロットアルゴリズム(ListContourPlot)を利用して構築する。図2-8に点字形状計測の計測結果の例を示す通り、3次元サーフェスモデル・側面サーフェスモデル・等高線サーフェスモデルにより点の形状、高さ、直径、点間隔を計測することが可能となった。また、計測範囲を広くすることにより、マス間隔や行間隔も計測も可能となった。また、1つのドットに特化して形状を評価することも可能である(図2-9)。以上のような点字形状計測装置を用いて、製作したUV点字の形状計測を実施することにした。

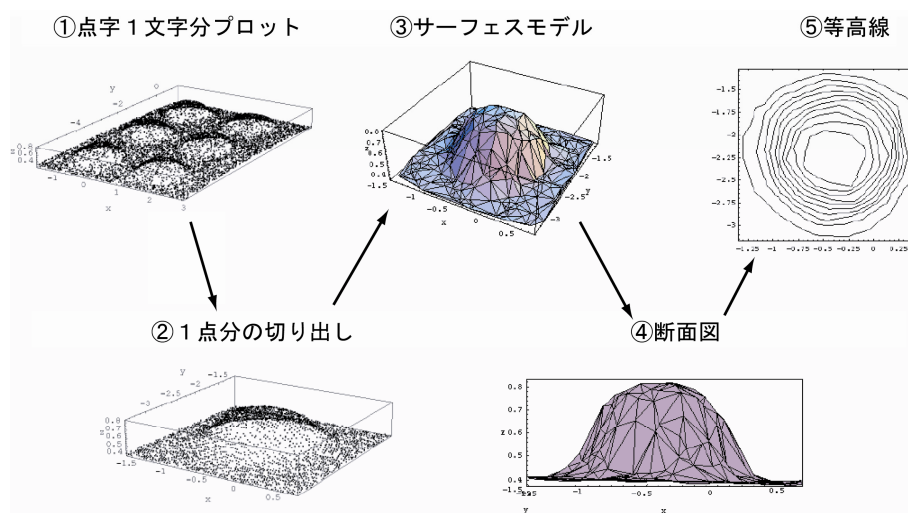


図2-9 1点分切り取りの形状計測結果の例

2.4 UV 点字の印刷特性

図 2-2a のスクリーン印刷装置と図 2-2b の紫外線照射装置を用いて、実験に必要な点字パターン（点間隔・高さ）を備えた点字を随意に製作するためには、UV 点字の印刷特性を明らかにする必要がある。ここでは、UV 点字の印刷特性について述べる。

点字パターンを図 2-10 に示す。点間隔は点と点の中心間距離、高さは点の印刷面から頂点までの高さである。

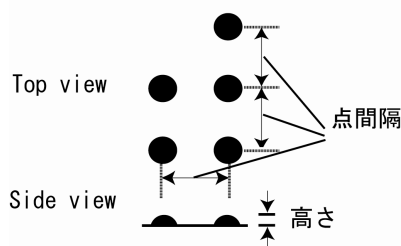


図2-10 点字パターン

印刷したい点字パターンがレイアウトされた版を用いて UV 点字を印刷してもそのままのサイズが再現される訳ではない。点間隔については、版に開けられた穴の間隔によって印刷素材に転移されるインクの位置が決まる。そのため点間隔を容易に調整することができる。すなわち、版に開けられた穴の間隔がそのまま点間隔になる。一方、高さについては図 2-1(3)からも分かるように版に開けられた穴に溜まった容量分が印刷素材に転移するため、版厚が一定（400 μm ）の場合には高さはスクリーンの点パターンの直径に依存することになる。そこで、版の穴の直径と印刷後の点の高さの関係を明らかにするために、直径 0.8~2.0 [mm] (0.1 [mm] 間隔) の穴が開けられた版を製作し、UV 点字を印刷した。印刷後の点の高さの計測については、2.3 で述べた UV 点字形状計測装置にて行った。版に開けられた穴の直径と印刷後の点の高さの関係を図 2-11 に示す。これより版に開けられた穴の直径が大きくなると印刷後の点の高さが高くなっていることがわかる。しかし、版に開けられた穴の直径を大きくしても高さは約 0.3 [mm] が限界であったため、高さをさらに高くするために重塗り（2~3 回）印刷を試みた。重塗り印刷とは、インクを硬化させた後に再び同じ版の穴からインクを重ねる印刷方法である。図 2-13 に重ね塗り印刷の印刷プロセスを示す。

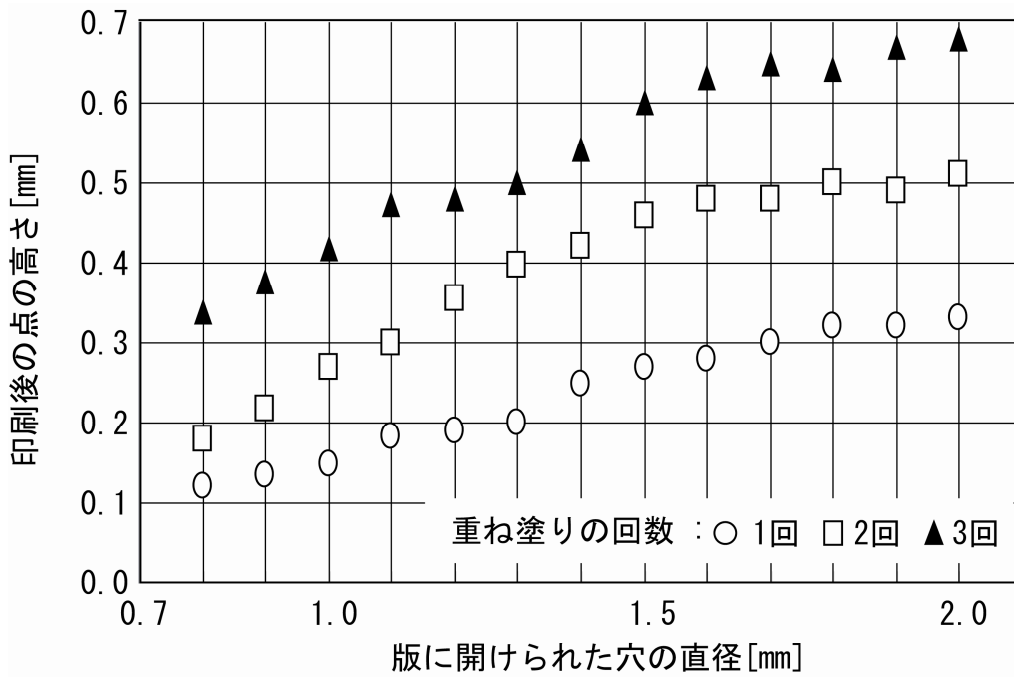


図2-11 版に開けられた穴の直径／印刷後の点の高さ

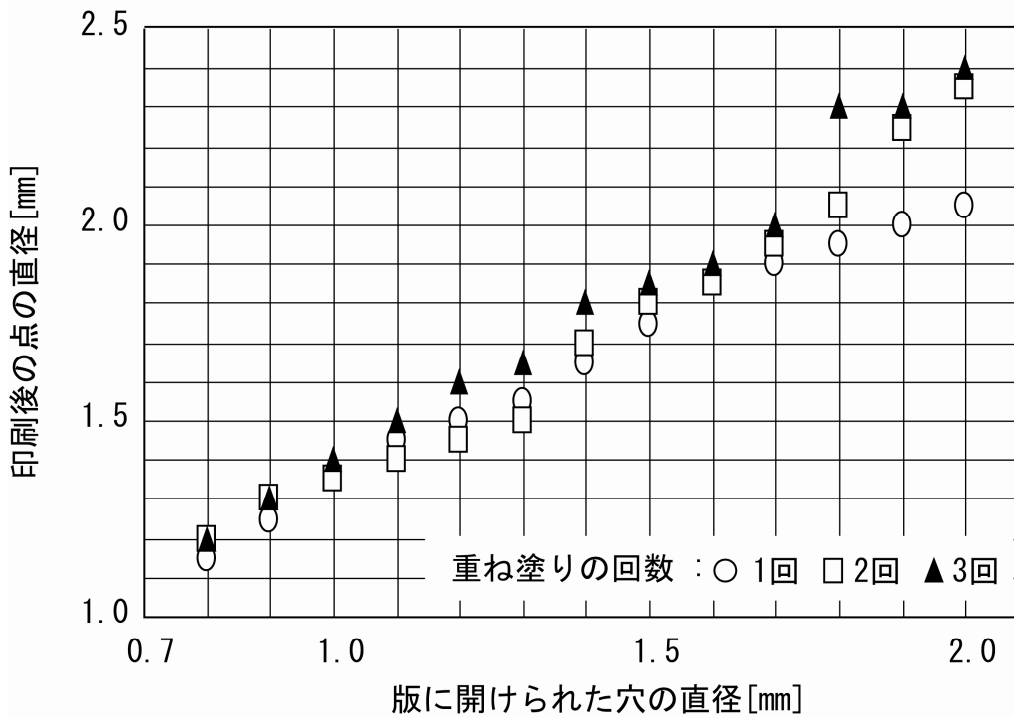


図2-12 版に開けられた穴の直径／印刷後の点の直径

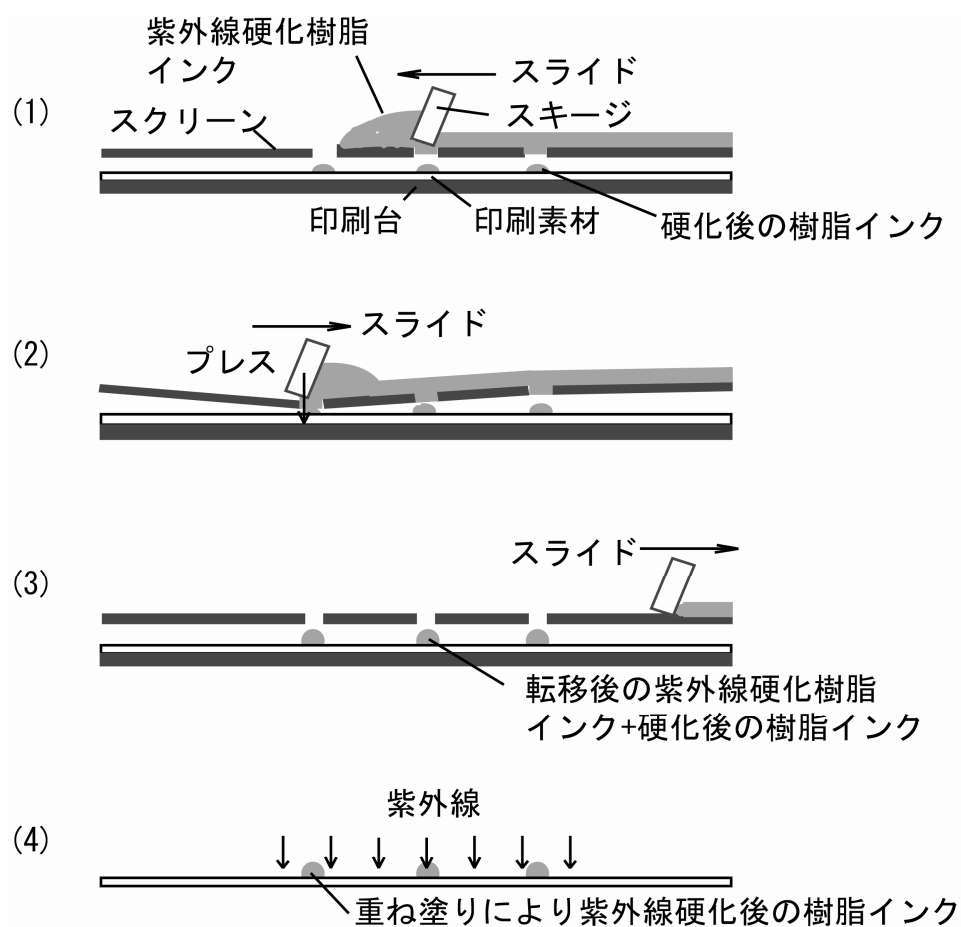


図2-13 重ね塗りによるスクリーン印刷のプロセス

- (1) 硬化後の樹脂インクに再び同じ版の上に紫外線硬化樹脂インクを塗布し、スキージを摺動し、インクを版の穴に詰める。
- (2) スキージで版をプレスした状態で、スキージを摺動する。
- (3) スキージを摺動することにより版の穴に詰めたインクを硬化後の樹脂インク上に重ねるように転移させる。
- (4) 紫外線を照射して、インクを硬化させる。

この印刷方法により，図 2-11 に示す通りさらに高い 0.6 [mm] 程度までの点が印刷できるようになった．また，図 2-12 に版に開けられた穴の直径と印刷後の点直径の関係を示す．点の直径は，高さと同様に UV 点字形状計測装置で測定した．測定結果より，印刷後の点直径については，版に開けられた穴の直径より大きくなる傾向があるが，版の点直径が 1.8 [mm] より小さければ，重塗り印刷をしても 1 回目の点直径に対して印刷後の点直径は大きく変化しないことがわかる．これは高さだけ高くすることができたことを意味する．

以上より，点間隔は版に開けられた穴の間隔によって随意に調整でき，重塗り印刷により約 0.1～0.6 [mm] の範囲で様々な点の高さを印刷できることが確認できた．

2.5 まとめ

本章では，UV 点字の製法であるスクリーン印刷，紫外線硬化樹脂インク，UV 点字形状計測装置について述べた．3 章以降で述べる各因子が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価するためには様々な点字パターン（点間隔，高さ）を備えたテストピースを作製する必要があった．そこで，自前で製作したスクリーン印刷機を用いて UV 点字の印刷特性について調べ，その結果についても述べた．UV 点字の印刷において点間隔は版に開ける穴の間隔で容易に調整可能であるが，高さのコントロールは簡単ではないことがわかった．また，重ね塗り印刷により一般的に製作が容易ではないと言われている 0.4 [mm] 以上の高さの UV 点字を製作可能であることがわかった．この UV 点字の印刷技術の確立により，UV 点字の識別容易性に影響を及ぼす各因子を評価するために必要な UV 点字のテストピースを作製することが可能となった．次章以降では，各因子が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を定量的に評価した研究成果について報告する．

第3章 点字パターンが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響に関する研究

3.1 目的

3.2 方法

3.3 結果

3.4 考察

3.5 まとめ

3.1 目的

本章では、高さと点間隔（以下点字パターン）に着目し、UV 点字パターンに関する識別容易性の指針を示すことを目的として、それが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価した結果について述べる。本実験では、様々な点字パターンを備えた点字のテストピースを一文字ずつ点字初心者に提示し、提示された文字を同定する課題を行った。

3.2 方法

3.2.1 被験者

本実験では点字使用経験のない晴眼者の大学生 10 名（平均年齢 22.8 歳）が点字初心者の被験者として参加した。なお被験者全員、指先の触覚に異常はなく右利きであった。

3.2.2 提示刺激

点字を識別する同定課題を行うために、刺激として 1 文字を構成する 6 点から 1 点だけが欠けている 6 文字を提示した。これは点字において点の数が識別容易性に大きく影響し、5 点文字が最も識別しにくいという知見⁽⁵⁴⁾に基づき実験条件として定めた。提示刺激用テストピースの製作は、前章で詳述したスクリーン印刷装置を用いて様々なパターンを備えた UV 点字を製作した。これらは一般的に UV 点

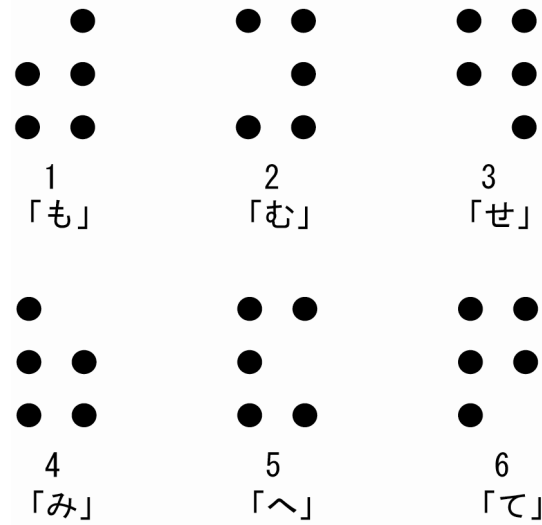


図3-1 識別実験に用いた点字6文字

表3-1 印刷条件

高さ (mm)	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50
版の点直径 (mm)	1.00	1.30	1.10	1.30	1.30
重ね塗りの回数	1回	1回	2回	2回	3回
硬化後の点直径 (mm)	1.35	1.55	1.40	1.50	1.65

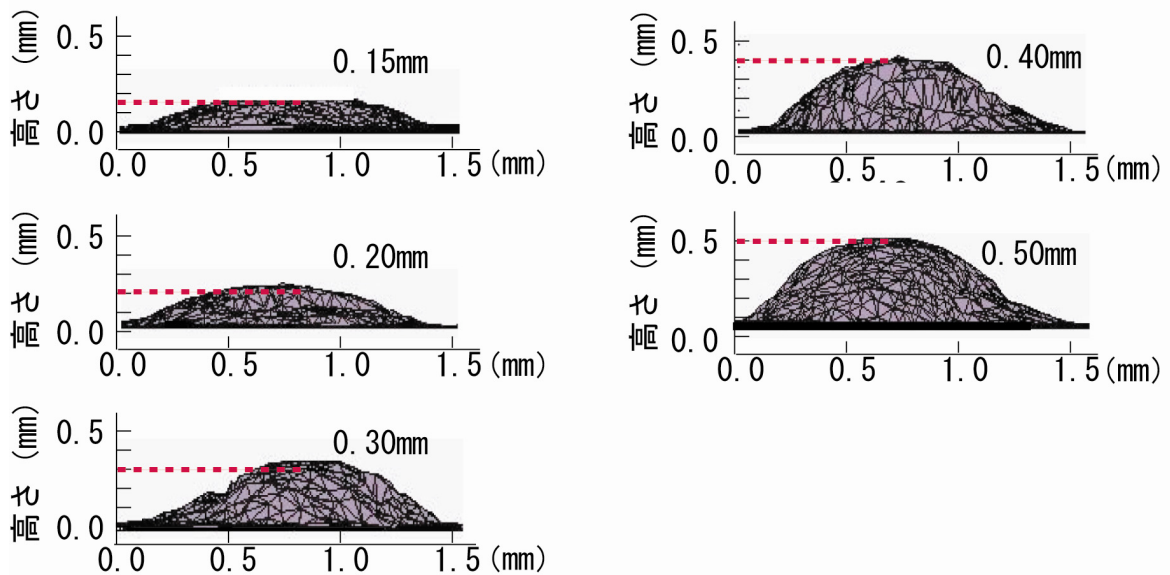


図3-2 高さ条件別の高さ計測結果

字印刷に用いられているアート紙に印刷した。図3-1に実験で用いた6文字を示す。各文字の下に、欠けた点の番号と平仮名識別を表す。

点字パターンの条件として点間隔と高さの2変数を設定し、さらに実験用テストピースとしては6種類の文字を用いているため、実験試行数が膨大となる。そこで本実験に先立ちパターン条件の範囲を絞り込むために予備実験を行い、その結果を基に本実験用のパターン条件を設定した。

予備実験において、パターン条件は日本で多くの視覚障害者がこれまで使用している点字器のパターン（点間隔約2.3 [mm]，高さ0.3~0.5 [mm]）^(3.5)を参考にし、それを含む十分な範囲を条件とする点間隔7条件（1.7, 2.0, 2.3, 2.6, 2.9, 3.2, 3.5 [mm]）×高さ5条件（0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 [mm]）の合計35条件についてそれぞれ前述のような6文字ずつのテストピースを製作した。高さ5条件については、前章の図2-11, 図2-12の印刷結果を元に印刷条件を選定した。印刷条件を選定するに当たり、一般的な紙点字の点直径1.4~1.5 [mm]^(5.5)と極端に変わらないような条件で高さを調整するようにした。

印刷条件は表3-1の通りである。テストピース製作後、高さ条件ごとに高さ計測を行い、図3-2の通り再現良く製作できていることを確認した。

上述の点間隔7条件（1.7~3.5 [mm]）×高さ5条件（0.15~0.50 [mm]）の35条件について、3.3で詳述する手続きに従って3名の被験者で予備実験を行い、全員が点間隔2.9~3.5 [mm]において識別時間に有意差が見られず低いエラー率が得られたので、本実験では、点間隔を1.7~2.9 [mm]の範囲で行うことにした。これより本実験では、パターンの条件を、点間隔5条件（1.7, 2.0, 2.3, 2.6, 2.9 [mm]）×高さ5条件（0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 [mm]）の合計25条件に設定した。

3.2.3 実験装置

実験装置として図3-3のような手首をのせるための台、刺激として提示する提示刺激を並べるアクリルプレートを用意した。また、欠けている点の位置を識別する時間（以下、識別時間）を自動で計測するために、1/1000秒まで計測可能なデジ

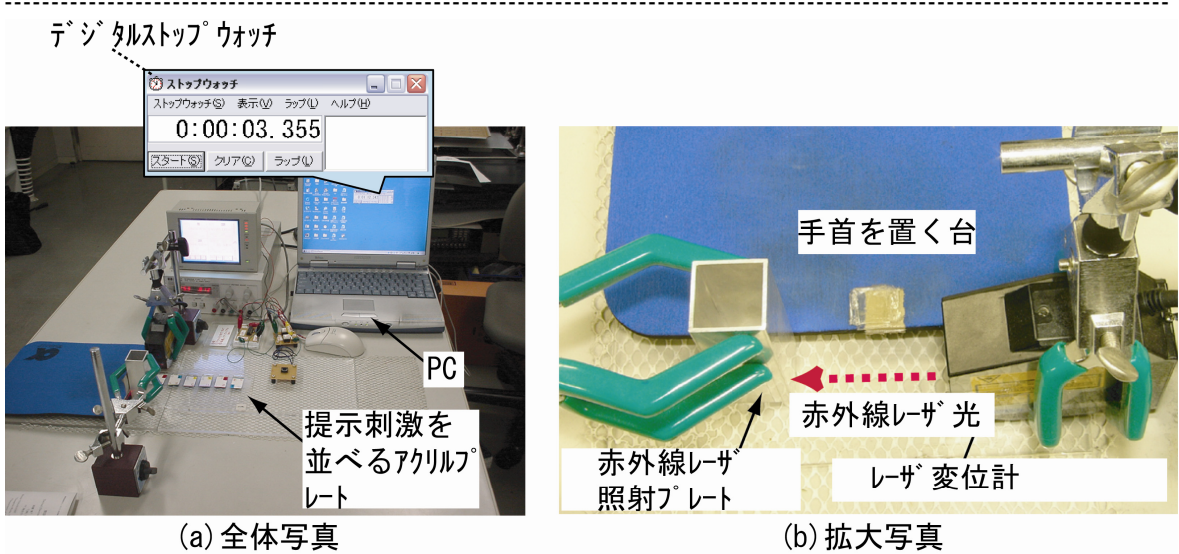


図3-3 識別実験で用いた装置の写真

タルストップウォッチを用い、スタートとストップのトリガには赤外線レーザー変位センサ（キーエンス社製 LJ-080）の信号を用いた識別時間計測装置を製作した（図 3-3，図 3-4）。識別時間計測のフローチャート図は図 3-5 に示す。また、具体的な 4 段階の計測プロセスは図 3-6 に示す。4 段階の計測プロセスは、次の通りである。

- (1) 赤外線レーザーがテストピース表面のすぐ上に照射されている状態が計測準備完了の状態（図 3-6(1)）。
- (2) テストピースに対して人差し指を下ろしてテストピースに触れる。この瞬間にレーザー光はすぐ側の指に結像する。これをスタート信号とする（図 3-6(2)）。
- (3) テストピースに触れている、すなわち指に結像している間は、時間計測が継続される（図 3-6(3)）。
- (4) テストピースを識別できた段階で人差し指をテストピースから引き離すと再びレーザー光が反対側のアルミ板に結像する。これをストップ信号とする（図 3-6(4)）。

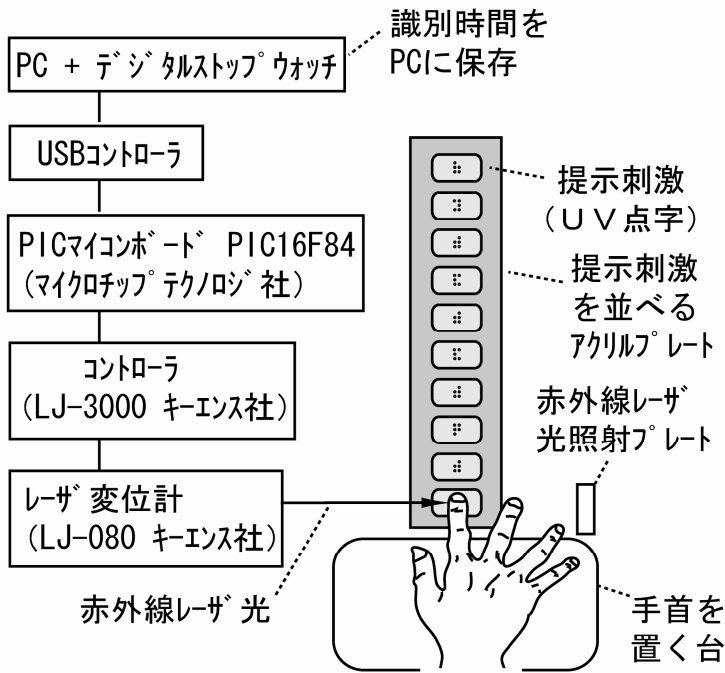


図3-4 識別実験で用いた装置の概念図

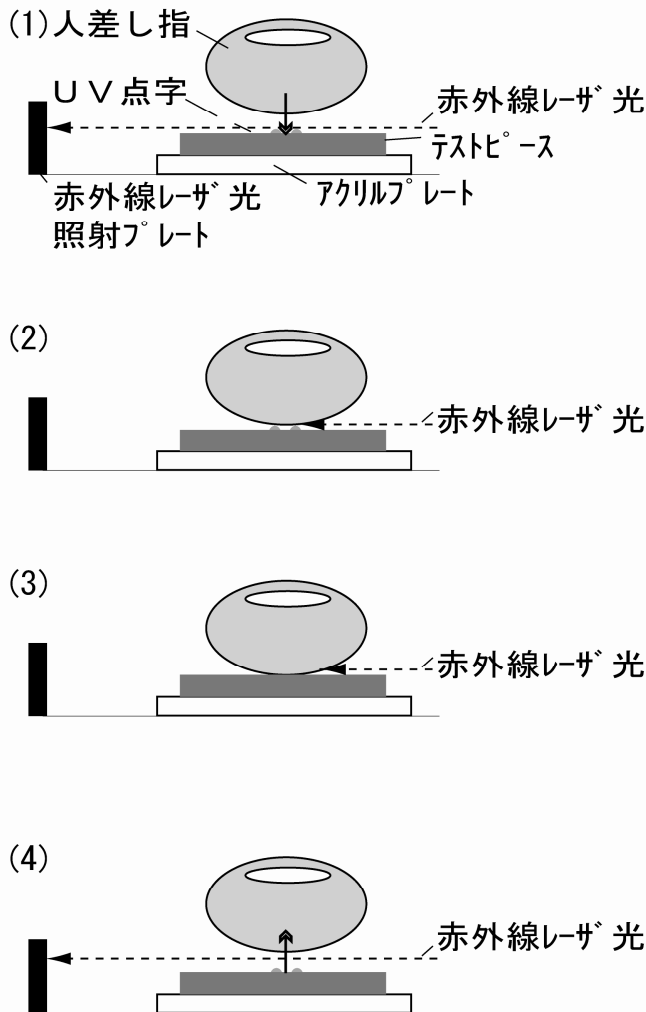


図3-6 識別時間の計測プロセス

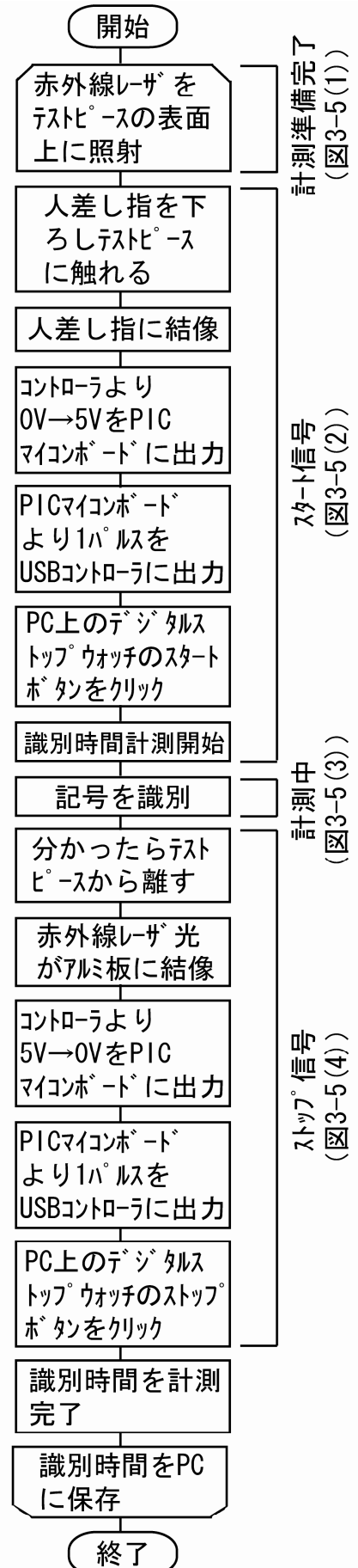


図3-5 識別時間計測のフローチャート図

3.2.4 手続き

被験者は、アイマスクを着用し、点字1文字の刺激に触れて点が欠けている位置が識別できた時点で指を点字から離し、その番号(1~6)を口頭で答えた。同時に3.2.3で述べた装置を用いて識別時間を計測した。その後に、主観評価のために答えに対する確信度を等間隔の5段階(1:確信なし~5:確信あり)で答えてさせた。触り方は爪を立てずに右手の人差し指の腹で触れるように指示し、また、わかるまで触ってもらうように教示した。試行数は、同一条件につき30試行ずつ、合計750試行をランダム順に提示した。実験時間は3.5~5時間と時間がかかるため、実験は3日間に分けて行った。本試行に入る前に、各日、30回の練習試行を行った。

3.3 結果

被験者10名分の各点間隔・高さに対するエラー率、識別時間、確信度の結果を図3-7(左:点間隔, 右:高さ)に示す。

3.3.1 エラー率

エラー率について点間隔×高さの2要因分散分析を行った。その結果、点間隔、高さの主効果が見られた[それぞれ, $F(4, 250)=28.03, p<.001$, $F(4, 250)=6.17, p<.001$]が、交互作用は見られなかった。下位検定の結果は図3-7a, 図3-7bに示す。

点間隔については、図3-7aより、2.3 [mm] 以上では有意差は見られなかったが、2.3 [mm] より狭くなると有意にエラー率が高くなった ($p<.05$)。また、高さについては、図3-7bより、0.15~0.5 [mm] の隣り合う条件間では有意差は見られなかったが、0.15 [mm] に対して 0.3 [mm] は有意にエラー率が低くなった ($p<.05$)。これらの結果より、点間隔は 2.3 [mm] より広くなるとエラー率に差がないことがわかった。また、高さは 0.3 [mm] あれば十分低いエラー率で識別できることがわかった。

3.3.2 識別時間

識別時間について点間隔×高さの2要因分散分析を行った。その結果、点間隔、高さの主効果が見られた[それぞれ、 $F(4, 250)=63.92, p<.001$, $F(4, 250)=12.31, p<.001$]が、交互作用は見られなかった。下位検定の結果は図3-7c、図3-7dに示してある通りである。

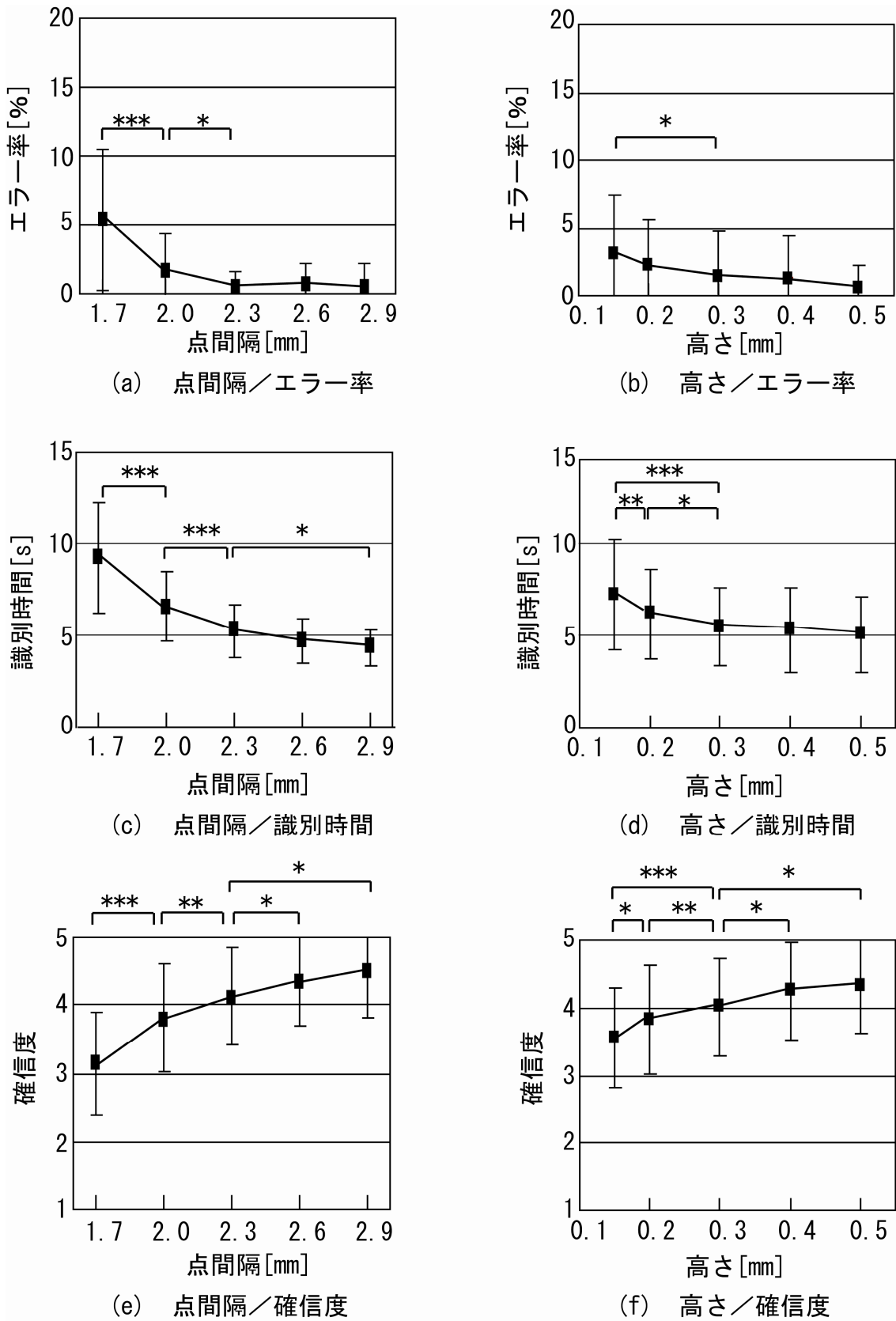
点間隔については、図3-7cより、1.7~2.3 [mm]の隣り合う条件間では有意差が見られ ($p<.001$)、点間隔が広くなると識別時間が速くなることがわかった。また、2.3~2.9 [mm]の隣り合う条件間では有意差は見られなかったが、2.3 [mm]に対して2.9 [mm]は有意に識別時間が速くなることがわかった ($p<.05$)。また、高さについては、図3-7dより、0.15~0.3 [mm]の隣り合う条件間では高くなるに有意に識別時間が速くなることがわかった。また、0.3~0.5 [mm]の条件間では有意差は見られなかった。これらの結果より、点間隔2.9 [mm]の識別時間が有意に速く、高さは0.3 [mm]あれば十分速く識別できることがわかった。

3.3.3 確信度

主観評価である確信度についても同様に点間隔×高さの2要因分散分析を行った。その結果、点間隔、高さの主効果が見られた[それぞれ、 $F(4, 250)=46.63, p<.001$, $F(4, 250)=16.30, p<.001$]が、交互作用は見られなかった。下位検定の結果は図3-7e、図3-7fに示してある通りである。

点間隔については、図3-7eより、1.7~2.6 [mm]の隣り合う条件間では有意差が見られ ($p<.05$)、点間隔が広くなるにつれて確信度が高くなることがわかった。また、2.6 [mm]と2.9 [mm]の条件間には有意差は見られなかった。一方、高さについては、図3-7fより、0.15~0.4 [mm]の隣り合う条件間では有意差が見られ ($p<.05$)、高さが高くなるにつれて確信度が高くなることがわかった。

また、0.4 [mm]と0.5 [mm]の条件間には有意差は見られなかった。これらの結果より、点間隔2.6 [mm]であれば十分に確信度を高く識別でき、高さは0.4 [mm]あれば十分に確信をもって識別できることがわかった。



*: p < .05 **: p < .01 ***: p < .001
n.s. : no significant

図3-7 UV点字の識別実験の結果 (n=10)

以上まとめると、識別しやすい点字パターンについて、エラー率・識別時間・確信度より総合評価すると、点間隔は 2.3 [mm] より広くなると、エラー率に差はないが、識別時間が有意に速くなり、確信度も有意に高くなるため、2.9 [mm] が最も識別しやすくなることがわかった。また、高さは 0.3 [mm] より高くしてもエラー率、識別時間に差はないが、確信度の結果から、0.4 [mm] の高さであれば十分に確信をもって識別することができることがわかった。

一方、識別しにくい点字パターンについて同様に評価すると、点間隔は 2.3 [mm] より狭くなるとエラー率は有意に高くなり、識別時間は有意に遅くなり、確信度は有意に低くなるため、2.3 [mm] より狭いと識別しにくいと考えられる。また、高さは 0.3 [mm] より低い条件ではエラー率、識別時間、確信度に有意差が見られ、識別しにくくなることがわかった。

これらの結果から、点字パターン（点間隔・高さ）の違いが識別容易性に影響を及ぼすことがわかった。

3.4 考察

点間隔による識別容易性の違いについて、点間隔が広くなると識別しやすくなることがわかった。特に 2.9 [mm] が最も識別しやすく、紙点字の一般的な点間隔 2.3 [mm] と 2.9 [mm] の条件間を比較すると、エラー率に差はないが、識別時間が速く、確信度が高くなることから、点間隔を標準サイズより 0.6 [mm] 広くするだけで識別容易性が向上することが確認された。また、点間隔が狭くなるとエラー率が高く、識別時間が長くなり、確信度が低くなるため識別しにくくなることがわかった。このことは、各点が隣接して刺激が1点に集中しやすくなり、識別に時間を要するためであると考えられる。

高さの違いが識別容易性に与える影響について、紙点字の一般的な高さ 0.3~0.5 [mm] に注目してみると、高さが高くなるにつれてエラー率・識別時間に差はないが確信度は高くなるため、高さが高いほうが識別しやすくなることがわかった。しかし、0.4 [mm] と 0.5 [mm] の条件間に確信度に差がないため、0.4 [mm]

あれば十分に確信をもって識別することができると考えられる。また、高さが低くなると識別しにくくなることは、0.15 [mm] と 0.3 [mm] の条件間においてエラー率・識別時間・確信度に差があることからわかる。このような高さによる識別容易性の違いについては、点字を触読する際の指先の皮膚の変形量と素材の摩擦に関係すると考えられる。それは、高さが低いと指先の皮膚の変形量が少なく、刺激が小さくて識別しにくくなるのではないかと考えられる。また、高さが高くなると、印刷素材の摩擦の影響を受けずに点字の突起のみの刺激が指先に伝わるため識別しやすくなると考えられる。

識別しやすいUV点字パターンについてまとめると、高さについては、高くても0.4 [mm] あれば十分に確信をもって識別することが可能であることがわかった。点間隔については広いほうが識別しやすく、2.9 [mm] がもっとも速く識別できるが、2.3 [mm] 以上であれば十分に識別できることがわかった。これらの結果と従来の紙点字の高さと点間隔(表3-2)⁽⁵¹⁾と比較してみると、高さについては、

表3-2 従来の紙点字の高さと点間隔

点字プリンター名	高さ (mm)	1-2点間隔 (mm)	1-4点間隔 (mm)
ライトブレーダー	0.48	2.13	2.11
パーキンス	0.46	2.18	2.22
TP-32	0.31	2.00	2.02
ESA300	0.44	2.11	1.94
ESA721	0.45	2.10	1.85
ティール	0.26	2.49	2.40
平均値	0.40	2.17	2.09
σ	0.09	0.17	0.20

従来の紙点字の高さ（平均値 0.40 [mm]）と同程度であり，点間隔については，従来の紙点字の点間隔（1-2 点間隔平均値 2.2 [mm]，1-4 点間隔平均値 2.1 [mm]）よりも大きいほうが読みやすいことがわかった。

3.5 まとめ

本章では，点字の 1 文字のサイズを規定する因子である点字パターン（高さ・点間隔）に着目して，それが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的として行った識別実験結果について述べた。その結果，以下のことが明らかとなった。

高さについては，高くても 0.4 [mm] あれば十分に確信をもって識別することが可能であることがわかった。点間隔については広いほうが識別しやすく，2.9 [mm] がもっとも速く識別できるが，2.3 [mm] 以上であれば十分に識別できることがわかった。

これらの結果は，UV 点字の品質に関する JIS 化の議論の際に有用なデータとなった。また，これから点字を学習する点字初心者によって識別しやすい UV 点字の文字サイズが明らかになったと言える。

UV 点字は紙点字と違ってスクリーン印刷方式により様々な素材に印刷可能であることが特長の一つである。次章では印刷素材と UV 点字識別容易性の関係について述べる。

第4章 印刷素材が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響に関する研究

4.1 目的

4.2 指先と印刷素材間の摩擦抵抗計測実験

4.3 UV 点字の識別容易性評価実験

4.4 まとめ

4.1 目的

UV 点字は様々な素材に印刷可能であることは前述の通りである。具体的な UV 点字の印刷素材は、触る絵本⁽⁵⁶⁾ やレストランのメニューなどの印刷物の防水対策として採用されているラミネートフィルム、社会福祉法人日本点字図書館発行の UV 点字の中途視覚障害者の点字入門テキスト⁽⁴⁷⁾ や紙点字などにも利用されている上質紙、公共の駅の手摺りなどに採用されているアルミ板・アクリル板などである。しかし、指先の滑りの悪い素材に UV 点字が印刷される場合には指先が引っかかるため識別にくいというクレームが 2002 年の日本盲人福祉施設協議会の利用者調査⁽⁵⁷⁾ で明らかになった。このことから、UV 点字を識別する指と印刷素材の間の摩擦抵抗が UV 点字の識別容易性に関係すると考えられるが、印刷素材が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響は明らかになっていない。このような問題は指先の滑りの良いと言われる上質紙上の紙点字には見られず、UV 点字特有の問題であると言える。

そこで本章では、UV 点字の印刷素材と識別容易性の関係を明らかにすることを目的として、印刷素材が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価した結果について述べる。本実験では、指先と印刷素材間の摩擦抵抗の異なる場合の UV 点字の識別容易性を識別実験により比較した。

4.2 指先と印刷素材間の摩擦抵抗計測実験

指先と印刷素材間の摩擦抵抗の異なる場合の UV 点字の識別容易性を比較する

ためには、まず指先と印刷素材間の摩擦抵抗を定量的に計測する必要がある。そのために、本研究では摩擦抵抗計測装置を製作した。ここでは摩擦抵抗計測装置の原理と指先と印刷素材の間の摩擦抵抗を計測した結果について述べる。

4.2.1 摩擦抵抗計測装置

一般的に物体間の摩擦抵抗は Coulomb の法則（以下の式）により、摩擦係数 μ によって評価することができる。

$$F [N] = \mu \cdot N [N]$$

(F ; 摩擦力 μ ; 摩擦係数 N ; 垂直抗力)

点字は指を滑らせながら識別することから、本実験では指と印刷素材の間の摩擦抵抗を動摩擦係数により評価することにした。動摩擦係数を算出するためには、摩擦力と垂直抗力を計測する必要がある。点字識別時には能動的に指を動かすが、印刷素材による指先の引っかかり（摩擦抵抗）と点字による指先の引っかかりが混在している。ここでは、印刷素材によってどの程度異なるのかを評価するために、点字が印刷素材上に無い条件で印刷素材と指先のみ摩擦抵抗を計測することが妥当であると判断し、印刷素材を点字識別速度で引っ張ることで、摩擦抵抗を計測することにした。そこで、図4-1のような摩擦抵抗計測装置を製作した。この装置では、指を印刷素材の上に乗せた状態で小型荷重変換器（共和電業製 LM-500GA）を用いて垂直荷重（垂直抗力） $N [N]$ を計測した。引張力（摩擦力） $F [N]$ は、微小荷重ロードセル（共和電業製 LTS-2KA）を搭載したリニアガイドテーブルを一定速度でステッピングモーターにより水平方向に引っ張ることにより計測した。また、印刷素材を載せた板と荷重がかかる支柱の間の摩擦抵抗を無くするために微小な球状の樹脂製ビーズを用いた。

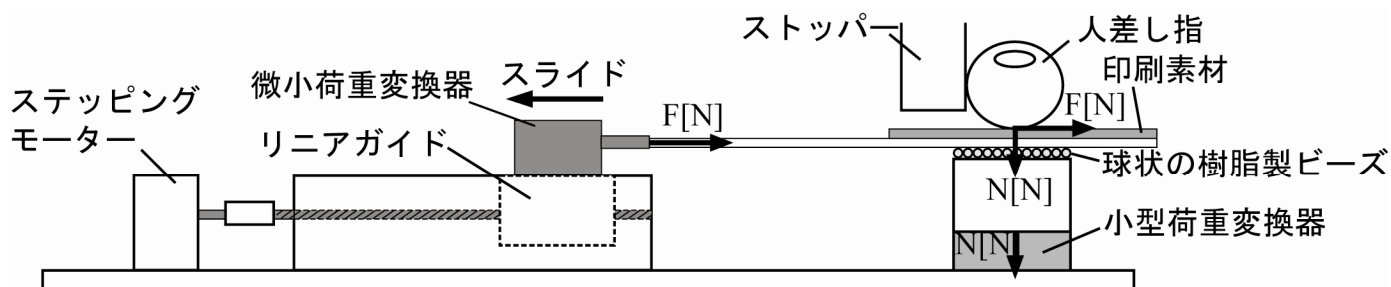


図4-1 摩擦抵抗計測装置の概念図

以上のような摩擦抵抗計測装置を用いて指先と印刷素材間の摩擦抵抗を計測することにした。

4.2.2 方法

本実験では、指先が滑りにくく識別にくいと言われているラミネートフィルム（パナック社製 ルミラー100TAC(X））と滑りやすく識別やすいと言われている上質紙を印刷素材として用いた。そして、前述の摩擦抵抗測定装置を用いて指先とそれぞれの印刷素材間の摩擦抵抗を測定した。

晴眼者の大学生・大学院生（男性1名・女性1名）2名に被験者として実験に参加してもらった。被験者には印刷素材の上に人指し指の指腹を置いてもらった。また、点字識別状態⁽³⁷⁾⁽⁵⁸⁾を想定して垂直荷重は0.39 [N] (40 [gf])とし、印刷素材を6.0 [mm/s]で一定の速さで引っ張った。そして、その間の垂直荷重と引張力を測定した。このとき指は印刷素材と一緒に動かないようストッパーで押さえ、また押し込み力である垂直荷重はリアルタイムで被験者に提示することで調節した。実験前には、被験者が速やかに0.39 [N] (40 [gf])に合わせられるように十分練習してもらった。試行数は各印刷素材3試行ずつ、合計6試行行った。また、発汗や皮脂の実験条件を統制するために、各試行前には指をエタノールに浸した脱脂綿でよく拭き、エタノールを揮発させてから実験を行った。

4.2.3 結果と考察

実験データ中、押し込み力である垂直抗力がほぼ0.39 [N]で安定した範囲の引張力 F を用いて動摩擦係数を算出した。図4-2に被験者2名分の動摩擦係数を算出した結果を示す。その結果、上質紙の動摩擦係数はラミネートフィルムよりも明らかに小さく、およそ3分の1であることがわかった。

指の摩擦抵抗については、対象物である印刷素材の表面粗さが関係していると考えられる。なぜなら、指先には指紋に沿って無数の汗口があるが、対象物の表面粗さが小さいと僅かな汗でも汗口が対象物との間でタコの吸盤のような作用⁽⁵⁹⁾を引き起こしやすく、その結果として指が滑りにくくなるためである。つまり、ラミ

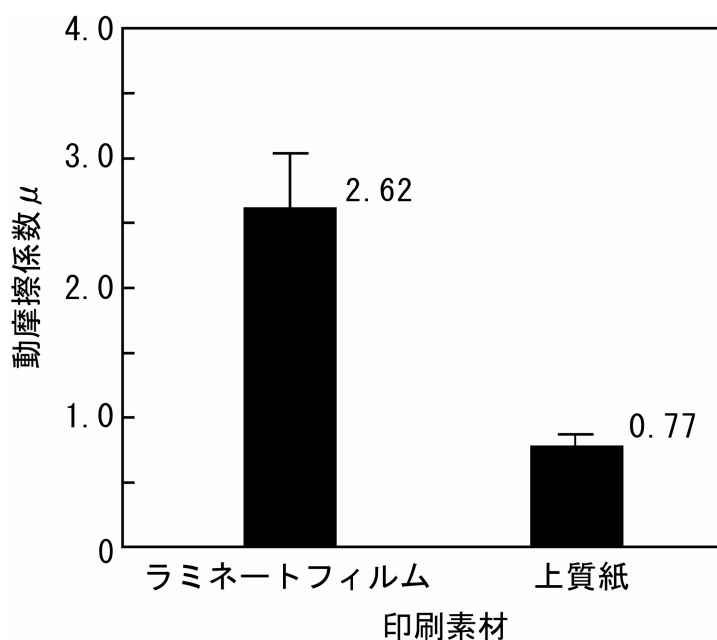


図4-2 動摩擦係数計測結果 (n=2)

ネートフィルムは表面粗さが小さく、上質紙は表面粗さが大きいため上質紙の動摩擦係数がラミネートフィルムよりも小さくなったと考えられる。

以上のことから、上質紙・ラミネートフィルムと指先の摩擦抵抗を定量的に評価することが可能となり、上質紙はラミネートフィルムよりも動摩擦係数が小さく滑りやすい印刷素材であることがわかった。

4.3 UV 点字の識別容易性評価実験

ここでは、日常生活で点字を使用している中途視覚障害者を被験者として、印刷素材が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価するために行った実験について述べる。本実験では、指先の滑り易さの異なる上質紙とラミネートフィルムの 2 種類の印刷素材を用いて、指先と印刷素材間の摩擦抵抗の異なる場合の UV 点字の識別容易性を比較した。

4.3.1 方法

(1) 被験者

被験者には、日本点字図書館で行っている点字講習を受けて、日常的に点字を使

用している中途視覚障害者12名に参加してもらった。年齢は平均53.5歳、点字使用年数は平均5.0年であった。

(2) 提示刺激と実験装置

提示刺激である点字については、1マスのみでも認識できるように1・3行と各縦列に点が存在する31字形に限定した(図4-3)。点字パターン(図4-4)については、先行研究⁽⁴⁹⁾から高さは印刷素材と指先との接触面積が大きく指先が印刷素材に引っかかり識別しにくい0.15[mm]と点の高さが高く識別しやすい0.4[mm]の2条件とした。点間隔については識別しやすい2.3[mm]とした。マス間隔・行間隔(図4-5)については日本工業規格⁽⁶⁰⁾に準拠してそれぞれ3.8[mm]・6.9[mm]で識別課題文を作製した。識別課題文は先読みを防ぐために無意味綴り文とし、各条件6種類ずつ用意した。

識別課題文の提示方法は、指先での点字の識別動作に対して十分広いA5サイズの各印刷素材上にUV点字を印刷し⁽⁴⁹⁾、点字識別中に識別課題文が動かないようにマグネットシートの上に各印刷素材を接着し、識別課題文をアルミ板に貼り付けて固定した(図4-6)。また、各試行の識別時間は1分間としたが、デジタルスト

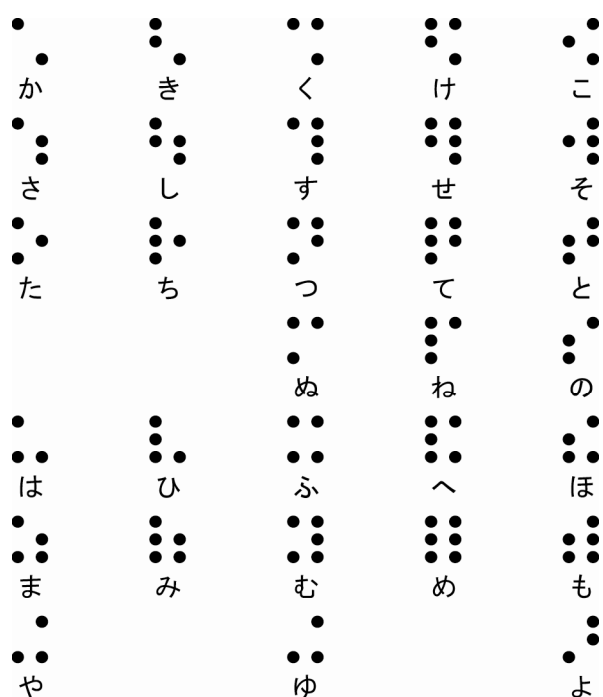


図4-3 UV点字の識別実験で用いた文字

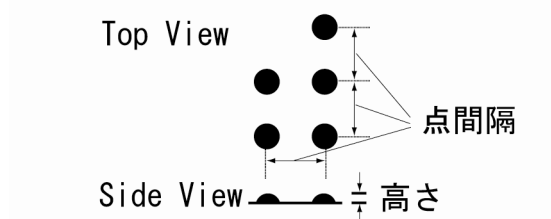


図4-4 点字パターン(点間隔と高さ)

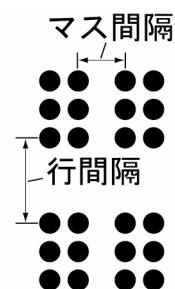


図4-5 点字のマス間隔と行間隔

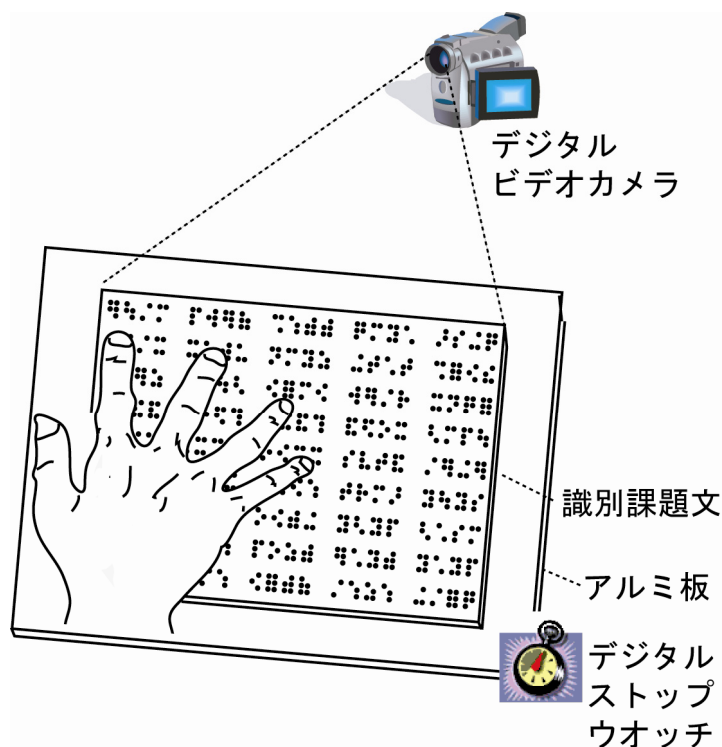


図4-6 実験装置図

ップウォッチのブザー音を識別終了の合図とした。そして、すべての試行をデジタルビデオカメラで撮影した。

(3) 評価指標

印刷素材によって識別の速さと正確性がどの程度異なるのかを明らかにするために、識別容易性の評価指標として“識別速度”と“エラー率”を用いた。また、主観評価の一指標として点字の識別中の“指の滑り易さ”を5段階（1：滑りにくい～5：滑りやすい）で答えてもらうことにした。

(4) 手続き

被験者には最初に人差し指を識別課題文の最初の文字の左側に置かせ、実験者の「はじめ」の合図で音読を開始させた。識別時間は1分間とした。識別を終了したら、識別時の指の滑り易さを5段階で回答させた。また、被験者には、普段と同じようにして識別課題文を音読させた。試行数は、印刷素材2条件（上質紙、ラミネートフィルム）×高さ2条件（0.15 [mm], 0.4 [mm]）の合計4条件で各条件に

つき3試行ずつ、合計12試行行った。また、識別課題文はランダム順に提示した。そして、本試行に入る前に3回の練習試行を行い、実験は適宜休憩を取りながら行った。実験時間は約1時間であった。

4.3.2 結果

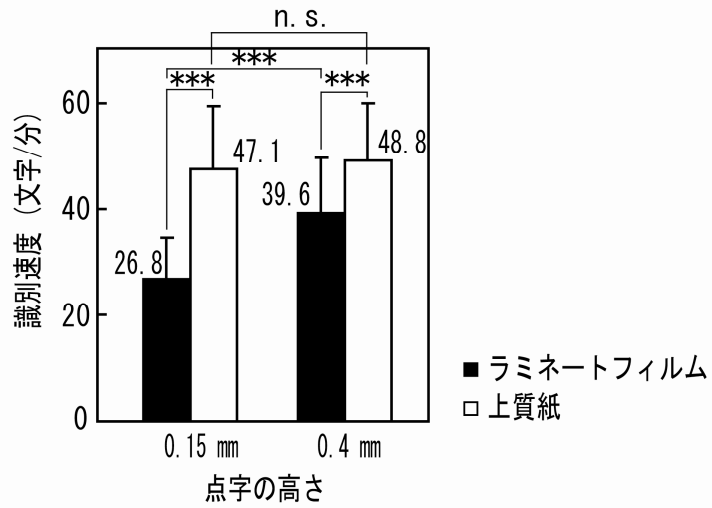
被験者12名分の各印刷素材・高さに対する識別速度、エラー率、滑り易さの結果を図4-7(a), (b), (c)に示す。なお、撮影した映像から総読文字数からエラー文字数を引いた正読文字数を識別速度として算出した。また、総読文字数とエラー文字数からエラー率を算出した。そして、各指標に関して印刷素材×高さの2要因分散分析を行った。

(1) 識別速度

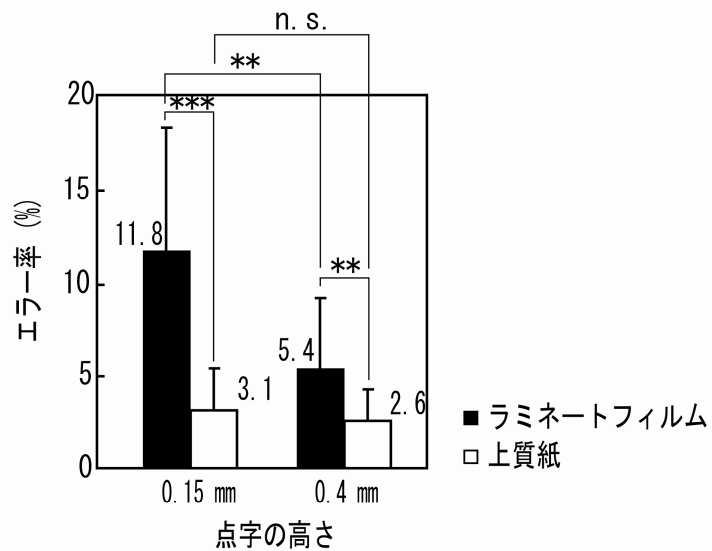
交互作用が有意であった [$F(1,11)=25.83, p<.001$]. Bonferroni法による下位検定の結果、印刷素材については、高さ0.15 [mm] と0.4 [mm] の両条件ともに有意差が見られ (それぞれ $p<.001, p<.001$), ラミネートフィルムに対して上質紙の識別速度は0.15 [mm] の場合には1.8倍、0.4 [mm] の場合には1.2倍速かった。また、高さについては、ラミネートフィルムでは有意差は見られ ($p<.001$), 0.15 [mm] に対して0.4 [mm] の識別速度は1.5倍速かった。一方、上質紙では高さによる有意差は見られなかった。これらの結果より、点字の高さに関係なく上質紙のほうが速く識別できることがわかった。また、上質紙は高さの高低によって識別速度に差がないことがわかった。

(2) エラー率

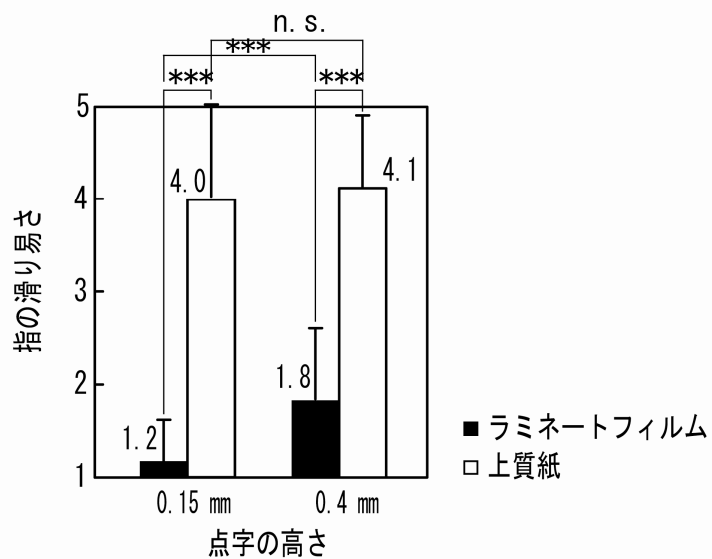
交互作用が有意であった [$F(1,11)=19.31, p<.001$]. Bonferroni法による下位検定の結果、印刷素材については、高さ0.15 [mm] と0.4 [mm] の両条件ともに有意差が見られ (それぞれ $p<.001, p<.01$), ラミネートフィルムに対して上質紙のエラー率は0.15 [mm] の場合には4分の1、0.4 [mm] の場合には2分の1であった。高さについては、ラミネートフィルムでは有意差は見られ ($p<.01$),



(a) 点字の高さ／識別速度



(b) 点字の高さ／エラー率



(c) 点字の高さ／指の滑り易さ

図4-7 摩擦抵抗の異なる印刷素材を用いたUV点字の識別実験の結果 (n=12)

0.15 [mm] に対して 0.4 [mm] のエラー率は 2 分の 1 であった。一方、上質紙では有意差は見られなかった。これらの結果より、点字の高さに関係なく上質紙のほうが正確に識別できることがわかった。また、上質紙は点字の高さの高低によってエラー率に差がないことがわかった。

(3) 指の滑り易さ

交互作用が有意であった [$F(1,11)=7.88, p<.05$]. Bonferroni 法による下位検定の結果、印刷素材については、高さ 0.15 [mm] と 0.4 [mm] の両条件ともに上質紙のほうが有意に滑りやすく感じることをわかった (それぞれ $p<.001, p<.001$). 高さについては、ラミネートフィルムでは有意差は見られ ($p<.001$), 同じ印刷素材でも 0.15 [mm] に対して 0.4 [mm] のほうが滑りやすく感じることをわかった。一方、上質紙では有意差は見られなかった。これらの結果より、点字の高さに関係なく上質紙のほうが滑りやすく感じることをわかった。また、ラミネートフィルムは高さによって滑り易さに差が見られ、上質紙は高さの高低によって滑り易さに差がないことがわかった。

図 4-7(a), (b), (c)の結果をまとめると、高さの高低に関係なく上質紙のほうがラミネートフィルムよりも速く正確に識別でき、滑りやすく感じることをわかった。また、高さについては、ラミネートフィルムでは 0.4 [mm] のほうが 0.15 [mm] よりも識別速度が速く、正確に識別でき、滑りやすく感じることをわかった。また、上質紙では高さによって識別速度・エラー率・滑り易さに差がないことがわかった。

これらの結果から、印刷素材は UV 点字の識別容易性に影響を及ぼすことが確認できた。

4.3.3 考察

印刷素材による識別容易性の違いについては、点字の高さの高低に関係なくラミネートフィルムよりも上質紙のほうが速く正確に識別しやすいことがわかった。特に、高さが 0.15 [mm] の時に、ラミネートフィルムに対して上質紙の識別速度は

約 2 倍速く、エラー率は 4 分の 1 であった。指先の滑り易さについても同様の結果が得られ、上質紙のほうが有意に滑りやすく感じる事がわかり、2 章で述べた指に対するラミネートフィルムと上質紙の動摩擦抵抗を比較した結果に対応することがわかった。これらの結果から、印刷素材によって指先の滑り易さが異なり、印刷素材が UV 点字の識別容易性に影響を及ぼすことが明らかになった。これは、摩擦抵抗の大きい印刷素材上の UV 点字を識別する際には、指先が印刷素材に引っかかりやすくなり、その摩擦が点字の突起による押し込み方向の刺激に対するノイズとなって識別しにくくなると考えられる。逆に、摩擦抵抗の小さい印刷素材上の UV 点字を識別する際には、印刷素材との間の摩擦による機械的刺激が減少し、点字の突起による刺激が指先に伝わりやすくなったため、識別しやすくなったと考えられる。

ヒトの指先の触覚情報処理については、生理学の分野でも様々な研究が進められている。その中でも指先の触覚に關与する皮膚機械受容野の特性については、いくつかの研究報告がなされており、指先に加えられた機械的刺激に対する皮膚機械受容器は 4 種類（マイスナー小体・パチニ小体・メルケル細胞・ルフィニ終末）⁽⁶¹⁾⁽⁶²⁾ があることが明らかになっている。Phillips らは、微小神経電図法により、ヒトとサルの手の手皮膚の各受容野に点字パターンを呈示し、皮膚機械受容単位活動を記録した結果、メルケル細胞が点字パターンの刺激を受容する役割を担っていることを確認した⁽⁶³⁾⁽⁶⁴⁾。これより、摩擦抵抗の大きい印刷素材上の UV 点字を識別する際には、水平方向（接線方向）の刺激がノイズとなってメルケル細胞が受容すべき刺激を埋没させていると考えられる。

高さによる識別容易性の違いについては、ラミネートフィルムは高さによって識別速度・エラー率に有意差が見られ、0.15 [mm] に対して 0.4 [mm] の識別速度は 1.5 倍であり、エラー率は約半分であることがわかった。また、指の滑り易さについては同じ印刷素材でも高さが高いほうが滑りやすいと感じることがわかった。これより、ラミネートフィルムは高さによって識別容易性に差があることが明らかになった。このような結果については、“アート紙”で実施した先行研究でも同様な結果が得られており、点字の高さが低いと印刷素材の摩擦の影響を受けやすく

なり、点字の刺激が指先に伝わりにくくなり、識別しにくくなると考えられる。一方、上質紙は高さによって識別速度・エラー率に有意差は見られなかった。また、指の滑り易さについても同様に有意差は見られなかった。この結果、上質紙は高さによって識別容易性に差はないことがわかった。このことは、上質紙が滑りやすく、高さが低くても点字の突起のみの刺激が指先に伝わるために識別しやすくなると考えられる。

以上のことより、印刷素材が UV 点字の識別容易性に影響を及ぼすことが明らかになった。

4.4 まとめ

本章では、印刷素材が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、指先と印刷素材間の摩擦抵抗の異なる場合の UV 点字の識別容易性を比較した結果について述べた。まずそのために、印刷素材と指先との間の摩擦抵抗を計測する装置を製作し、その装置を用いて実験に用いる印刷素材（上質紙・ラミネートフィルム）の摩擦抵抗を定量化した。そして、日常的に点字を使用する中途視覚障害者を被験者として UV 点字の識別実験を行い、印刷素材と UV 点字の識別容易性との関係を調べた。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 上質紙の動摩擦係数は、ラミネートフィルムよりも小さく、およそ3分の1である。
- (2) 印刷素材については、高さの高低によらず上質紙のほうがラミネートフィルムよりも速く正確に識別できる。
- (3) 高さについては、ラミネートフィルムは高さが高い方が速く正確に識別しやすいが、上質紙は高さによって識別容易性に差は見られなかった。
- (4) 点字識別中の指先の滑り易さについては、ラミネートは高さによって差が見

られたが、上質紙は高さにより差は見られなかった。

- (5) 点字を学習して間もない中途視覚障害者に対しては、印刷素材が UV 点字の識別容易性に影響を及ぼす。

これらの結果は、印刷業者が印刷素材を選定する際に参考データとなると考えられる。つまり、印刷素材の摩擦抵抗の大小によって識別容易性が大きく変わることや摩擦抵抗の小さい印刷素材上の UV 点字の高さは低くても高さの高い点字と同等の識別容易性が得られることが明らかになった。次章では、指先の滑り易さと UV 点字の識別容易性との関係について述べる。

第 5 章 指先の滑り易さが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響に関する研究

5.1 目的

5.2 方法

5.3 結果

5.4 考察

5.5 まとめ

5.1 目的

前章では、印刷素材と UV 点字の識別容易性に関して、印刷素材の摩擦抵抗の大小によって識別容易性が大きく変わり、印刷素材の摩擦抵抗が小さい場合には UV 点字の高さが低くても識別しやすいということを示した。このことは指先の滑り易さが UV 点字の識別容易性に影響を及ぼしているとも言い換えられる。そこで著者は、指先を直接的に滑りやすくすることが UV 点字を識別しやすくするのではと考えた。従来の紙点字や真空成型で熱可塑性樹脂を用いて製作される樹脂製の点字では、指先を滑りやすくするために、指先にシッカロールをつけると識別しやすくなることが経験則として現場では一般に知られている。しかし、近年急速に普及しつつある UV 点字に関する指先の滑り易さと UV 点字の識別容易性の関係を定量的に調べた研究は行われていない。そこで本章では、指先の滑り易さが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的として、指先の滑り易さが異なる場合の UV 点字の識別容易性の違いを識別実験により比較した結果について述べる。

5.2 方法

指先を滑りやすくする方法として、まずシッカロールなどのパウダーを塗布することを検討したが、印刷物を汚す恐れがあり、同時に UV 点字の併記された墨字は識別しにくくなるという問題があった。そこで本研究では、薄くて柔らかいナイロン布を指サック（以下ナイロン製指サック）のような形状に縫い、それを人差し指

の指先に着用することにした。そして、このナイロン製指サックを用いて、指先の滑り易さがUV点字の識別容易性に及ぼす影響を実験により定量的に評価した。

5.2.1 被験者

本実験では点字使用経験のない晴眼者の大学生16名（平均年齢23.1歳）が点字初心者の被験者として参加した。なお被験者全員、指先の触覚に異常はなく右利きであった。

5.2.2 提示刺激

点字において点の数が識別容易性に大きく影響し、5点文字が最も識別しにくいという知見⁽⁵⁴⁾に基づき、1文字を構成する6点から1点だけが抜けている図5-1のような6文字を提示刺激として用い、1文字ずつ識別する同定課題を行った。提示刺激6文字の点字パターンについては、先行研究⁽⁴⁹⁾から高さは印刷素材と指先との接触面積が大きく指先が印刷素材に引っかかり識別しにくい0.15 [mm]と点の高さが高く識別やすい0.4 [mm]の2条件とした。点間隔については、日本工業規格⁽⁶⁰⁾に準拠して2.3 [mm]とした。すなわち12種類(高さ2種類×6文字)の点字を用意した。また、これらの点字を指先での識別動作に対して十分広い台紙(30 [mm]×20 [mm])に印刷してテストピースとした(図5-2)⁽⁴⁹⁾。印刷素材は一般的にUV点字の印刷に用いられているアート紙を用いた。これらのテストピースを被験者に順次提示するためアクリルプレートを用意し、予めランダムな順番にテストピースを貼り付けておいた(図5-2)。

5.2.3 ナイロン製指サック

本実験では指先を滑りやすくするために、人差し指に薄くて柔らかいナイロン布をカバーすることにした。素材としてナイロン布を選定した理由は、耐久性が高く、柔らかくて吸湿性が優れているからである。ナイロン布は、点字に触れる指の腹の部分に皺がよらないように注意して指サックのような形状に縫い、指から外れないように医療用テープで固定した(図5-3)。

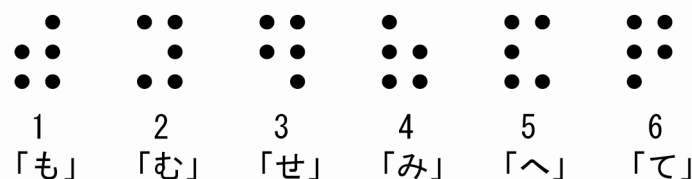
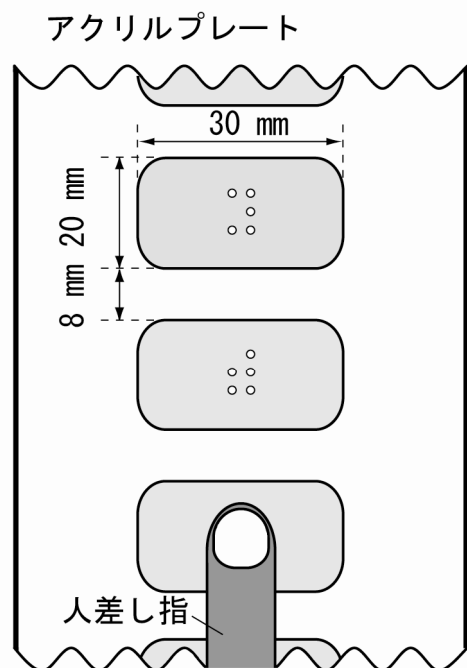
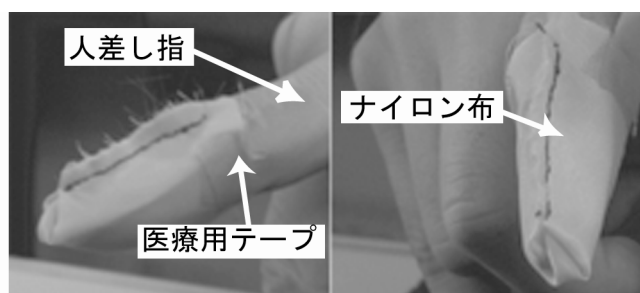


図5-1 識別実験に使用した1点抜けの6文字



(a) 側面 (b) 正面

図5-2 識別実験で用いられたテストピース 図5-3 ナイロン布の付け方(ナイロン製指サック)

5.2.4 実験装置

実験装置として、前述のアクリルプレートを順次移動させることができるように手首をのせるための実験台を用意した。また、欠けている点の位置を識別する時間を自動で計測するために、電気信号でスタートとストップをコントロールできるデジタルストップを用い、そのトリガには赤外線レーザー変位センサ（キーエンス社製LJ-080）の信号を用いた（図3-3）。具体的な識別時間の計測のプロセスは第3章3.2.3に示した。

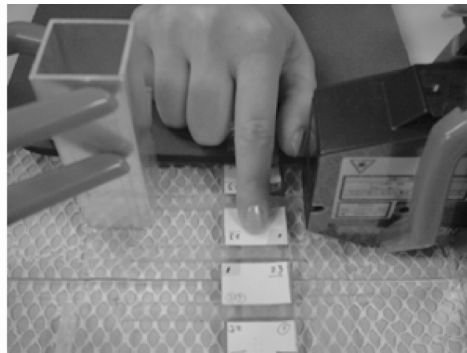
5.2.5 手続き

被験者は、アイマスクを着用し、点字1文字の刺激に対して指を滑らせ、識別できた時点で指を点字から離させ、その後欠けている点の位置番号（1～6）と、主観評価としてその識別結果がどの程度確からしいかを口頭で答えさせた。同時に欠けている点の位置を識別する時間を識別時間として計測した。また、主観評価の1指標として答えに対する確信度を、等間隔の5段階（1：確信なし～5：確信あり）

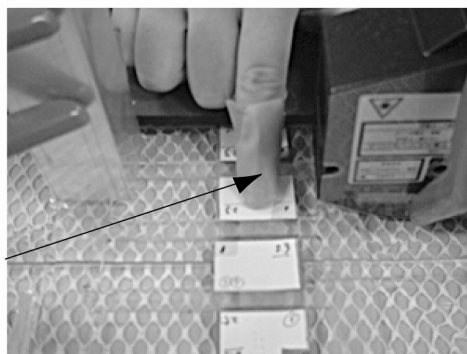
で答えさせた。識別する際には、爪を立てずに右手の人差し指の腹でわかるまで指を滑らせながら識別してもらうように指示し、人差し指にナイロン布製指サックを着用しない場合（図5-4(a)）と着用する場合（図5-4(b)）の2条件を設定した。ナイロン布製指サックを着用しない場合と着用する場合の順序効果の影響を排除するために、被験者間でカウンターバランスをとった。試行数は、高さ2条件×指サックの有無2条件の合計4条件の各条件につき48試行ずつ、合計192試行で、刺激はランダム順に提示した。本試行に入る前に30回の練習試行を行い、実験時間は1.5～2時間であった。

5.3 結果

被験者16名分のナイロン布製指サックの着用・不着用と高さに対するエラー率、識別時間、確信度の結果をそれぞれ図5-5(a), (b), (c)に示す。



(a) ナイロン製指サック不着用



(b) ナイロン製指サック着用

図5-4 ナイロン製指サック不着用・着用によるUV点字識別実験の様子

5.3.1 エラー率

図 5-5(a)のエラー率について、ナイロン布製指サックの着用・不着用×高さの 2 要因分散分析を行った。その結果、ナイロン布製指サックの着用・不着用の主効果は見られなかったが、高さの主効果は見られた [$F(1,15)=4.71$, $p<.05$]。また、交互作用は見られなかった。これより、ナイロン布製指サックの着用・不着用によってエラー率に差は見られず、高さが高くなるとエラー率が有意に低くなることがわかった。

5.3.2 識別時間

図 5-5(b)の識別時間について、ナイロン布製指サックの着用・不着用×高さの 2 要因分散分析を行った。その結果、ナイロン布製指サックの着用・不着用、高さの主効果は有意であった[それぞれ $F(1, 15)=9.68$, $p<.01$; $F(1,15)=39.62$, $p<.001$]。また、交互作用は見られなかった。これより、ナイロン布製指サックを着用することによって識別時間が有意に速くなることがわかった。また、高さが高くなると識別時間が有意に速くなることがわかった。

5.3.3 確信度

図 5-5(c)の確信度について、ナイロン布製指サックの着用・不着用×高さの 2 要因分散分析を行った。その結果、ナイロン布製指サックの着用・不着用の主効果は見られなかったが、高さの主効果は見られた [$F(1,15)=63.01$, $p<.001$]。また、交互作用は見られなかった。これより、ナイロン布製指サックの着用・不着用によって確信度に差がないことがわかった。また、高さが高くなると確信度が有意に高くなることがわかった。

以上まとめると、図 5-5(a)と(c)より、ナイロン布製指サックの着用・不着用について、エラー率と確信度においては有意な差は見られなかったが、これは実験に先立ち「わかるまで指を滑らせながら識別してもらおう」よう指示した教示に被験者が

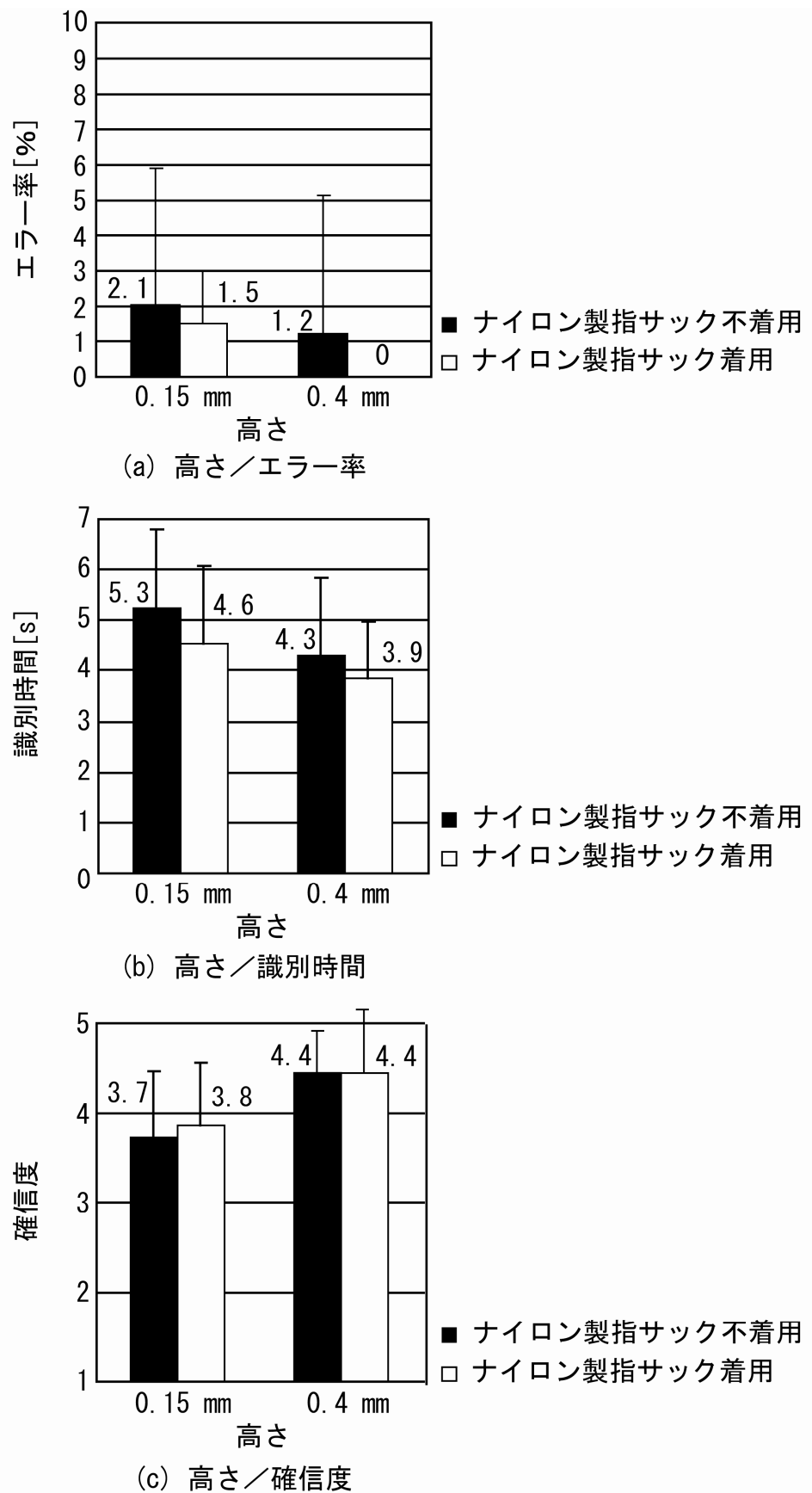


図5-5 ナイロン製指サックの着用・不着用による識別実験の結果 (n=16)

従っていた様子を表している。他方、図5-5(b)の識別時間においては着用したほうが有意に速くなることがわかった。高さについては、エラー率・識別時間・確信度の全てにおいて有意な差が見られ、先行研究⁽⁴⁹⁾と同様な結果が得られており、0.15 [mm] に対して 0.4 [mm] は低いエラー率で、確信をもって速く識別できることが明らかになった。

5.4 考察

ナイロン布製指サックの着用・不着用によるUV点字の識別容易性の違いについては、識別時間に有意な差が見られた。この結果から、ナイロン布製指サックを着用したほうが速く識別できることがわかった。これは、ナイロン布製指サックを着用することによって指先が滑りやすくなり、その結果、素材との間の摩擦による機械的刺激が減少し、点字の突起による刺激が指先に伝わりやすくなったため、識別しやすくなったと考えられる。逆に、ナイロン布製指サックを着用せずにUV点字を識別する場合には、指が印刷素材に引っかかりやすくなり、その摩擦が点字の突起による刺激に対するノイズとなって識別しにくくなると考えられる。

指と素材との間の摩擦抵抗については、いくつか報告されているが、指先の乾湿の影響によって粘着力が高くなると、摩擦抵抗も大きくなると言われている⁽⁶⁵⁾。また、指先は汗腺密度が非常に高く、発汗により指先が滑りにくくなることが明らかになっている⁽⁶⁶⁾。本研究では、指先にナイロン布製指サックを着用してUV点字を識別させ、ナイロン布製指サックを着用した場合のほうが有意に速く識別できるという結果が得られた。このことより、ナイロン布が指先の乾湿や粘着力の影響とその摩擦抵抗を小さくする効果を発揮し、UV点字の識別容易性が向上したと考えられる。

しかし、被験者ごとに識別時間の結果を見てみると、ナイロン布製指サックを着用することによって識別時間が遅くなる被験者が16名中2名いた。その原因として、ナイロン布に限らず指先と点字（刺激）との間に何かを挟むと刺激が弱められて逆に識別しにくくなると推測できるが、やはり、ナイロン布製指サックを着用す

ると違和感があったり、識別しにくくなったりするという内感報告を得た。Cunningham^(6,7)らによれば、ゴム製手袋を用いた点字の識別実験において、ゴム製手袋を着用するよりも素手での識別が最も識別容易性が高く、ゴム製手袋は厚さが薄いほど識別しやすいことが報告されている。本研究においてもナイロン布製指サックを着用して識別しにくくなった被験者にとっては、ナイロン布が十分に薄いとは言えず、ナイロン布よりも薄い素材を着用することで、この悪影響を低減できると考えられる。

高さによる UV 点字の識別容易性の違いについては、エラー率、識別時間、確信度の全てにおいて有意な差が見られるという結果が得られた。これより、先行研究^(4,9)と同様の結果が得られ、高さ 0.15 [mm] に対して 0.4 [mm] のほうが速く、確信をもって、低いエラー率で識別できることがわかった。これは、刺激に対する皮膚の変形量が関係していると考えられ、高さが高い 0.4 [mm] のほうは点字の突起の刺激が強くて皮膚の変形量が大きくなり、識別しやすいと言える。逆に、高さの低い 0.15 [mm] のほうは点字の突起の刺激が弱くて皮膚の変形量は小さく、さらには印刷素材と指先との接触面積が大きくなり、摩擦抵抗の影響を大きく受けるため、点字の刺激が伝わりにくくなり、識別しにくくなったと考えられる。

ナイロン布製指サックの着用・不着用と高さにおいて、エラー率、識別時間、確信度の全てについて交互作用は見られなかった。これより、高さに関係なくナイロン布製指サックを着用すると、UV 点字の識別容易性が向上すると考えられる。また、指先を滑りやすくすることは、UV 点字を識別しやすくする効果があることが明らかになった。

5.5 まとめ

本研究では、指先の滑り易さが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的として、指先の滑り易さが異なる場合の識別容易性の違いを実験により比較した。まずそのために、薄くて柔らかいナイロン布を指サックのような形状に縫い、それを人差し指の指先に着用することにした。また、点字識別経験のない晴眼

者を対象として識別実験を行った。その結果、ナイロン布製指サックの着用・不着用については、ナイロン布製指サックを着用することによって速く識別できることがわかった。これより、指先の滑り易さが UV 点字の識別容易性に影響を及ぼすことがわかった。ナイロン布製指サックの着用効果については、ごく一部の被験者には見られなかったことから、今後の改善を必要とする結果となった。

次章では、ナイロン布よりも薄くて柔らかく滑りやすい新たな素材を用いて同様な指サックを作製し、その着用効果を検証した研究成果について報告する。

第6章 点字学習者を対象とした UV 点字識別補助具の着用効果の検証

6.1 目的

6.2 指先サックの素材の検討

6.3 ポリエステル長繊維不織布製指サック

着用・不着用時の摩擦抵抗の関係

6.4 ポリエステル長繊維不織布製指サック

を用いた UV 点字識別性の評価実験

6.5 まとめ

6.1 目的

前章では、指先が印刷素材から受ける摩擦抵抗を小さくするために薄いナイロン布を指サック（以下ナイロン製指サック）のような形状に縫い、それを人差し指の指先に着用すると UV 点字の識別容易性が向上することを示した。UV 点字と指先との間に物を挟むことは UV 点字の形状の刺激を減少させてしまうことになるが、筆者はそれ以上に摩擦軽減による識別容易性向上の効果が見込まれると考え、ナイロン製指サックを UV 点字識別補助具^(6,8)として考案した。しかし、ナイロン布製指サックの着用効果は、一部の被験者には見られなかった。このようなことは、指サックの素材が十分に柔らかくなくかつ薄くないため点字の突起の刺激が指先に伝わりにくい場合に見られると考えられる。つまり、点字の突起の刺激をより指に伝えやすくする柔らかく薄い新素材の検討が課題であったと言える。また、指サックの着用により指先の滑り易さがどの程度向上するのかを定量的に評価することも必要と考えられる。そして、点字学習者である中途視覚障害者を対象として着用効果を検証していなかった。

そこで本研究では、上述の課題を踏まえ、ナイロン布よりも柔らかく薄い柔らかい新素材を用いて作製した UV 点字の識別補助具の着用効果を検証することを目的とした。まずそのために、ナイロン布に変わる柔らかく薄い素材を選定し、新素

材指サックの着用・不着用時の摩擦抵抗の違いを評価した。そして、点字学習者を対象とした識別実験により新素材指サックの着用効果を確認した。

6.2 指先サックの素材の検討

指サックの素材として点字の刺激が伝わりやすい薄くて柔らかい新素材を選定するためには、素材の「厚さ」と「硬さ」に着目して指サックとしての素材の適合性を評価する必要がある。そこで、著者は薄くて柔らかいと言われているポリエステル長繊維不織布を新素材の候補として、次の二つの評価実験を行った。まず一つ目の実験では、新素材の厚さと UV 点字の識別容易性の関係を調べた。そして二つ目の実験では、最適な厚さを明らかにした上で点字の刺激が伝わりやすい素材であるのかを確認するために、新素材の硬さと先行研究で用いた素材と比較した。

6.2.1 ポリエステル長繊維不織布による指サック

指サックの素材を選定するに当たり、視覚障害者で点字技能師である点字識別者にヒヤリングした際に、ティッシュペーパーを指先にカバーすると滑りやすくなり、低い点字が高く感じられて識別しやすいとの意見をもらった。そこで筆者は、ナイロン布よりも薄くて柔らかく、ティッシュペーパーに似た触感であるポリエステル長繊維の不織布（株帝人 ユニセル B7202W）を使用し、指サックを作製することにした（以下ポリエステル長繊維不織布製指サック）（図 6-1）。

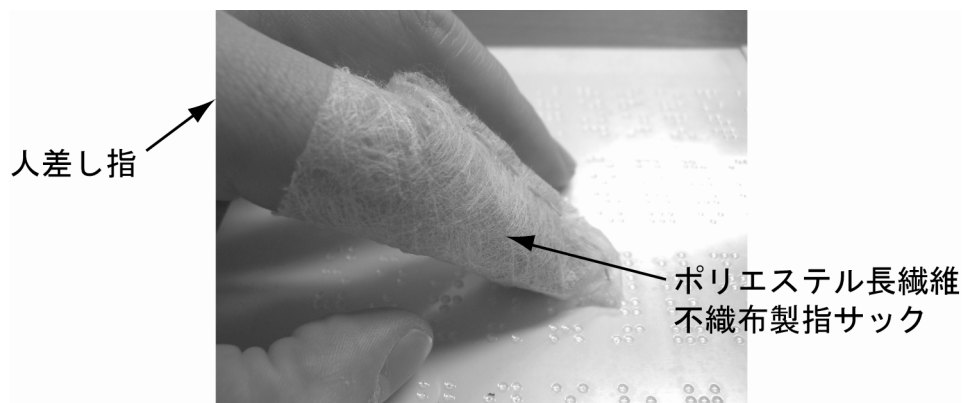


図6-1 ポリエステル長繊維不織布製指サック

6.2.2 ポリエステル長繊維不織布製指サックの厚さと UV 点字の識別容易性の関係

ここでは、ポリエステル長繊維不織布製指サックの厚さと UV 点字の識別容易性の関係に関して、3章で採用した評価方法と同じ方法で評価した。

(1) 方法

提示刺激は1文字を構成する6点から1点だけが抜けている点字6文字を提示刺激として用い、1文字ずつ識別する同定課題を行った。実験の方法は、第3章の3.2と5章の5.2で述べた実験方法と同様の方法でUV点字の識別容易性を評価した。点字パターン（高さ・点間隔）の条件については、高さは印刷素材の摩擦抵抗の影響を受けやすく識別しにくい0.15 [mm]とし、点間隔については識別しやすい2.3 [mm]とした⁽⁴⁹⁾。印刷素材は指先が滑らず識別にくいと言われているラミネートフィルムを用いた。本実験で使用したポリエステル長繊維不織布の厚さは、0.06, 0.08, 0.11, 0.15, 0.16, 0.17 [mm]の6種類とし、それら6種類の指サックを着用した場合、ナイロン布製指サック（5章）を着用した場合と指サックを着用しない場合でのUV点字の識別容易性を比較した。被験者は、点字初心者2名（晴眼者）の協力を得た。被験者には分かるまで識別させ、実験者は分かるまでの時間を識別時間として計測した。試行数は、提示刺激6条件、触り方8条件（指サック7条件+素手）、各条件につき3試行の合計144試行であった。実験時間は1人当たり1時間程度であった。

(2) 結果と考察

UV点字の識別時間の結果を図6-2示す。ポリエステル長繊維不織布の厚さは薄くなればなるほど速く識別できることがわかった。また、素手での識別時間はポリエステル長繊維不織布の厚さ0.15 [mm]と0.16 [mm]の間であることがわかった。そして、ポリエステル長繊維不織布の厚さ0.11 [mm]以下であればナイロン布を用いる場合よりも識別時間が短くなることが明らかになった。以上の結果から、本研究では入手可能な範囲で最も薄い厚さ0.06 [mm]のポリエステル長繊維不織

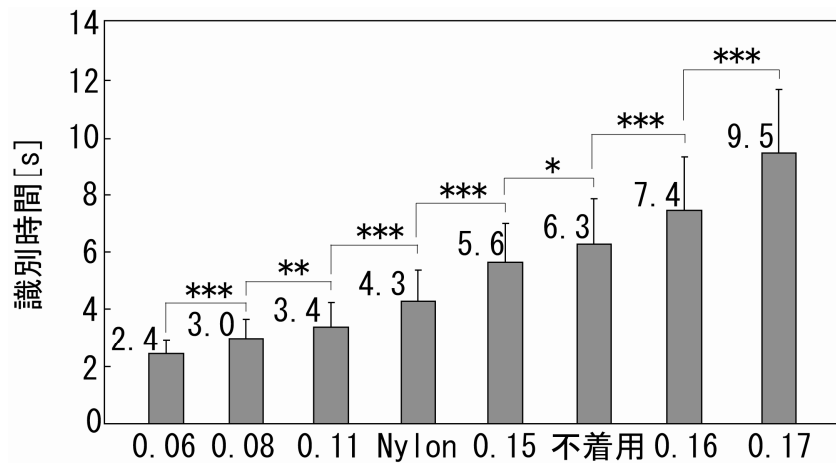


図6-2 ポリエステル長繊維不織布の厚さ別の識別時間 (n=2)

布製指サックを用いることにした。

6.2.3 ポリエステル長繊維不織布の硬さの定量化

ポリエステル長繊維不織布の硬さを定量的に評価する方法として、当初は一般に硬さ試験で用いられている圧縮試験機も検討した。しかし、測定対象物が極めて薄く柔らかい為に従来の試験機は使うことができなかった。そこで、筆者は UV 点字のドットに対する素材の形状追随性を「形状追随係数」として算出し、素材に対する「形状追随係数」を基に素材の硬さを定量的に評価することにした。ここでは、形状追随係数とその算出法、硬さ評価結果について述べる。

(1) ドットに対する形状追随係数の算出法

UV 点字の1つのドット上に素材を被せた場合のドットに対する形状追随係数を

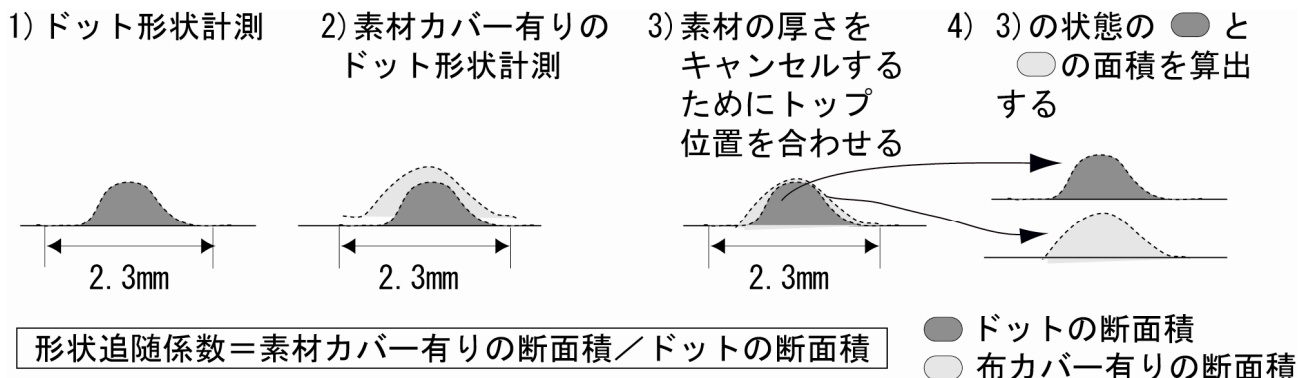


図6-3 形状追随係数算出法

図 6-3 のような手順で算出することにした。この形状追随性の値は最小値が 1 であり、大きくなる程形状追随性が悪いと言える。

(2) 断面形状計測方法

本実験では、表 1 のような 4 種類の素材（不織布・織物）を用い、接触物としてはラミネートフィルムに印刷された高さ 0.15 [mm] のドットを使用した。計測方法は、ドットにスプレー糊をふきかけ、4 種類の素材でドットをカバーした。接着する際の荷重は、点字識別時の最大押込力の 40 [gf] の力で 60 秒間、指で押さ付けた⁽³⁷⁾⁽⁵⁷⁾。そして、即座にそれらの断面形状は 2 章で述べた UV 点字形状計測装置を用いて計測した。また、素材をカバーしない場合のドットの形状も合わせて計測した。

(3) 結果と考察

素材別の形状追随係数の算出結果を表 6-1 に示す。NO.1 と NO.2 の形状追随係数を比較するとほとんど差はなく、厚さ 0.06 [mm] のポリエステル長繊維不織布はテッシュと同程度の形状追随係数であることがわかった。また、NO.2 と NO.3 の形状追随係数を比較すると、同じ素材でも厚さが厚くなると形状追随性が悪くなることがわかった。そして、NO.2・NO.3 と NO.4 の形状追随係数を比較すると明らかにナイロン布（5 章で採用）よりもポリエステル長繊維不織布のほうが形状追随性が良いことがわかった。

以上の結果から、筆者は素材の耐久性を考慮してテッシュを用いずに、テッシュに触感の近く薄くて形状追随係数の小さい NO.2 の素材を用いて UV 点字識別補助具（ポリエステル長繊維不織布製指サック：図 6-1）を作製した。

表6-1 素材別の形状追随係数算出結果

NO	種類	名称	厚さ (mm)	形状追随係数
1	紙	テッシュ	0.03	1.38
2	不織布	ポリエステルA	0.06	1.47
3	不織布	ポリエステルA	0.08	1.80
4	織物	ナイロンA	0.08	2.05

6.3 ポリエステル長繊維不織布製指サック着用・不着用時の摩擦抵抗の関係

ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用により指先が滑りやすくなり、その結果として UV 点字の識別容易性が向上することは 6.2.2 で示した。確かにポリエステル長繊維不織布製指サックを着用すると、指先が滑りやすくなるのかは感覚的には実感できる。しかし、ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用によりどの程度摩擦抵抗が小さくなったのかは定量的に評価されていない。ここでは、ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用・不着用時の摩擦抵抗の違いを定量的に評価した実験について述べる。

6.3.1 方法

被験者は、晴眼者の大学生・大学院生（男性 1 名・女性 1 名）2 名に協力を得た。本実験では、指先が滑りにくく識別にくいと言われているラミネートフィルム（パナック社製 ルミラー100TAC(X)）と滑りやすく識別やすいと言われている上質紙を印刷素材として用いた。ラミネートフィルムはファミリーレストランのメニュー等で印刷面を保護する為に一般的に用いられており、UV 点字が印刷されている。摩擦抵抗の計測に用いた装置は、4.2.1 の図 4-1 の通りである。実験手順は、被験者には印刷素材の上に人指し指の指腹を置かせた。また、点字識別状態⁽³⁷⁾⁽⁵⁸⁾を想定して垂直荷重は 0.39 [N] (40 [gf]) とし、印刷素材を 6.0 [mm/s] で一定の速さで引っ張った。そして、その間の垂直荷重と引張力を測定・記録した。このとき、指は印刷素材と一緒に動かないようストッパーで押さえ、また押し込み力である垂直抗力はリアルタイムで被験者に提示することで調節した。試行数は、ポリエステル長繊維不織布製指サックを着用する場合としない場合の 2 条件、印刷素材としてラミネートフィルムと上質紙の 2 条件、同一条件につき 3 試行ずつ、合計 12 試行を行った。

6.3.2 結果と考察

実験データ中、押し込み力である垂直抗力がほぼ 0.39 [N] で安定した範囲の引張力 F を用いて動摩擦係数を算出した。図 6-4 に被験者 2 名分のポリエステル長繊維不織布製指サックを着用した場合としない場合の動摩擦係数を算出した結果を示す。その結果、ポリエステル長繊維不織布製指サックの不着用条件に対して着用条件の動摩擦係数は、滑りにくいと言われているラミネートフィルムでは約 5 分の 1 であり、滑りやすいと言われている上質紙でも約 3 分の 1 であった。これより、ポリエステル長繊維不織布製指サックを着用すると印刷素材に関係なく指先が滑りやすくなることがわかった。また、不着用条件では、ラミネートフィルムに対して上質紙の動摩擦係数は約 3 分の 1 であり、着用条件では 2 分の 1 であった。

以上のことから、ポリエステル長繊維不織布製指サックを着用した場合には印刷素材に関係なく指先と印刷素材間の摩擦抵抗が小さくなり、指先が滑りやすくなることが明らかになった。

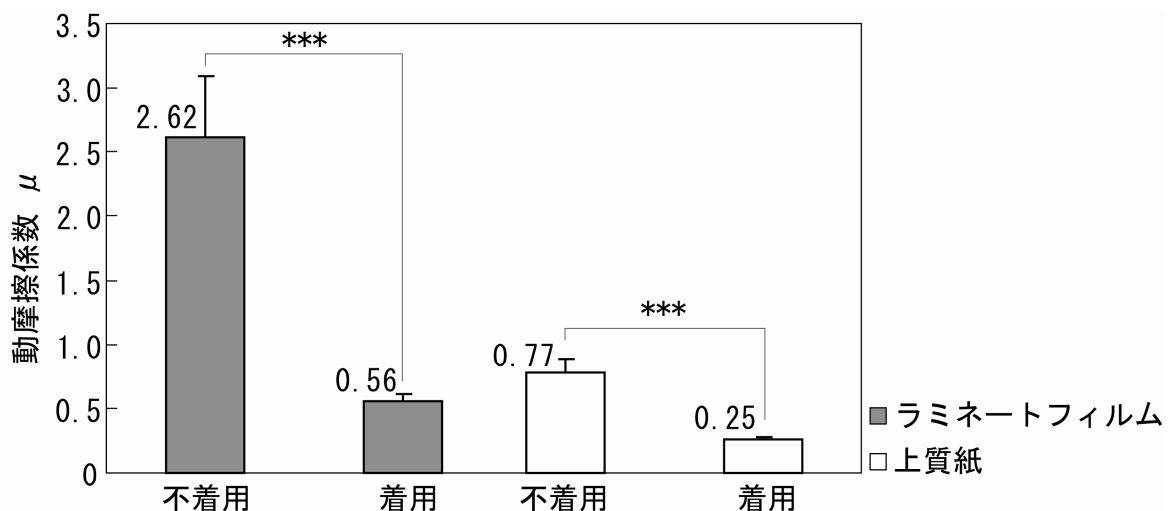


図6-4 ラミネートフィルムと上質紙それぞれに対するポリエステル長繊維不織布製指サックを着用・不着時の動摩擦係数 (n=2)

6.4 ポリエステル長繊維不織布製指サックを用いた UV 点字識別容易性の評価実験

ここでは、日常生活で点字を使用している視覚障害者を被験者として、ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用・不着用時の UV 点字の識別容易性を評価するために行った実験について述べる。

6.4.1 方法

(1) 被験者

被験者には日本点字図書館で行っている点字講習を受講中で中途の視覚障害者（点字学習者）12名の協力を得た。年齢は平均 56.4 歳であった。

(2) 提示刺激と実験装置

識別課題文は先読みを防ぐために無意味綴り文とした。文字は 1 マスのみでも認識できるように 1・3 行と各縦列に点がある 31 字形に限定した。点字の高さと点間隔については、先行研究⁽⁴⁹⁾から高さは印刷素材と指先との接触面積が大きく指先が印刷素材に引っかかり識別しにくい 0.15 [mm] と点の高さが高く識別しやすい 0.4 [mm] の 2 条件とした。点間隔については識別しやすい 2.3 [mm] とした。マス間隔（文字間隔）・行間隔については日本工業規格⁽⁶⁰⁾に準拠してそれぞれ 3.8 [mm]・6.9 [mm] で識別課題文を作製した。識別課題文は、各条件 6 種類ずつ用意した。印刷素材は 3 章で述べた通り、指先の滑り易さの異なるラミネートフィルムと上質紙の 2 種類を用いた。また、指先での点字の識別動作に対して十分広い A5 サイズの各印刷素材上に UV 点字を印刷し⁽⁴⁹⁾、点字識別中に識別課題文が動かないようにマグネットシートの上に各印刷素材を接着し、識別課題文をアルミ板に貼り付けて固定した。

本実験では、“識別速度”と“エラー率”を UV 点字の識別容易性の評価指標として使い、いかに速く正確に識別できるのかを調べることにした。

(3) 手続き

被験者には、普段と同じようにして識別課題文を音読させた。そして、識別課題文の始めの文字に指を置かせ、実験者の「はじめ」の合図で音読させた。識別時間は 1 分とした。識別する際には、人差し指にポリエステル長繊維不織布製指サックを着用する場合としない場合の 2 条件を設定した。ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用・不着用については、順序効果の影響を排除するために、被験者間でカウンターバランスをとった。試行数は、高さ 2 条件（0.15 [mm]・0.4 [mm]）

×指サックの着用・不着用 2 条件×印刷素材 2 条件（ラミネートフィルム・上質紙）の合計 8 条件で各条件につき 3 試行ずつ、合計 24 試行実施した。また、識別課題文はランダム順に提示した。実験は印刷素材別に 2 日間に分けて実験し、両日とも本試行に入る前に 3 回の練習試行を行い、実験は適宜休憩を取りながら行った。実験時間は 2 時間であった。

6.4.2 結果

印刷素材別に各被験者の総読文字数からエラー文字数を引いて正読文字数を求め、識別速度・エラー率を算出した。それらの結果を図 6-5、図 6-6 に示す。

(1) ラミネートフィルム

印刷素材を指先の滑りの悪いラミネートフィルムとした場合の識別速度とエラー率の結果を図 6-5(a)・(b)に示す。それぞれ、指サック着用・不着用×高さの 2 要因分散分析を行った。

図 6-5(a)の識別速度について、分散分析の結果、交互作用が有意であった ($F(1,11) = 16.27, p < .01$) が、Bonferroni 法による下位検定を行った結果、点字の高さの高低によらず着用条件のほうが有意に識別速度が速かった ($p < .001$)。また、ポリエステル長繊維不織布製指サックを着用している場合には点字の高低による識別速度に有意差は見られず、着用していない場合には点字の高さが高いほうが有意に識別速度が速かった ($p < .001$)。

図 6-5(b)のエラー率について、分散分析の結果、交互作用が有意であった ($F(1,11) = 12.89, p < .01$) が、Bonferroni 法による下位検定の結果、点字の高さの高低に関わらず着用の方がエラー率が有意に低く ($p < .01$)、着用・不着用それぞれの条件で高さの高いほうが低いエラー率で識別できるという結果が得られた(それぞれ $p < .05, p < .01$)。

(2) 上質紙

印刷素材を指先の滑りの良い上質紙とした場合の識別速度とエラー率の結果を図 6-6(a)・(b)に示す。それぞれ、指サック着用・不着用×高さの 2 要因分散分析を行った。

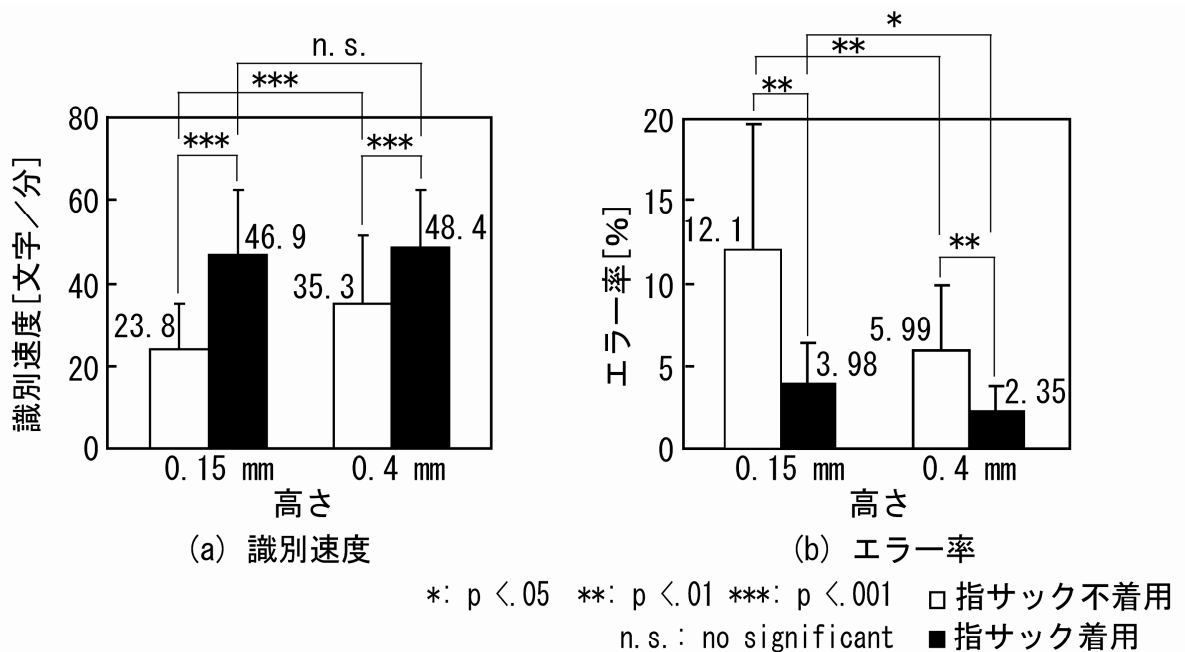


図6-5 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字についてポリエステル長繊維不織布製指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果 (n=12) : (a) 識別速度, (b) エラー率

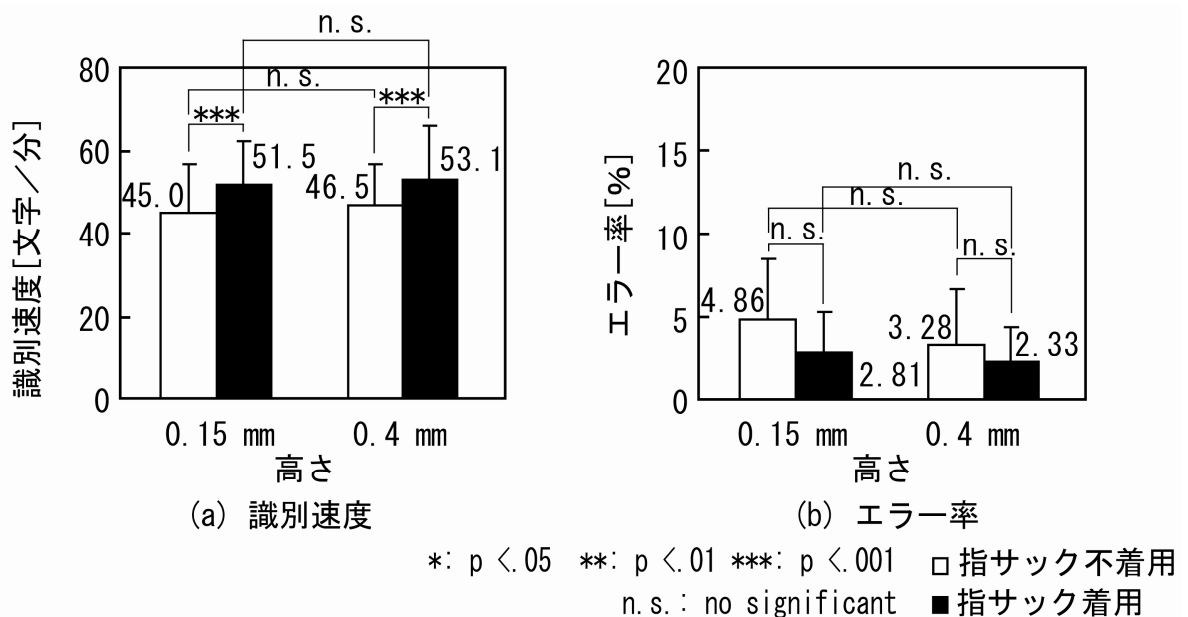


図6-6 上質紙の上に印刷されたUV点字についてポリエステル長繊維不織布製指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果 (n=12) : (a) 識別速度, (b) エラー率

図6-6(a)の識別速度について、分散分析の結果、指サック着用・不着用の主効果が見られた ($F(1,11) = 74.60, p < .001$)。また、高さの主効果および交互作用は見られなかった。これより、点字の高さによらず着用条件の方が有意に識別速度が速いことがわかった ($p < .001$)。

図 6-6(b)のエラー率について、分散分析の結果、指サック着用・不着用と高さの主効果は見られず、交互作用も見られなかった。これより、指サックの着用・不着用や点字の高さによらずエラー率に差がないことがわかった。

以上まとめると、図 6-5、図 6-6 より、ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用・不着用について、滑りにくいラミネートフィルムではポリエステル長繊維不織布製指サックを着用すると点字の高さに関係なく速く正確に識別できることがわかった。また、滑りやすい上質紙ではポリエステル長繊維不織布製指サックを着用すると点字の高さに関係なく速く識別でき、不着用時と同程度の低いエラー率で読めることが明らかになった。これより、ポリエステル長繊維不織布製指サックを着用すると点字の高さや印刷素材の滑り易さに関係なく、識別容易性が向上することがわかった。

高さについて、ポリエステル長繊維不織布製指サックの不着用時では、滑りにくいラミネートフィルムの場合は高さによって識別速度とエラー率に有意差が見られ、高さが低いと識別にくいことがわかった。また、滑りやすい上質紙の場合は高さによって識別速度とエラー率に有意差が見られなかった。これより、不着用時には、印刷素材の摩擦抵抗の大小によって UV 点字の高さが識別容易性に及ぼす影響が異なり、摩擦抵抗の大きい印刷素材では点字の高さが低いと識別しにくく、摩擦抵抗の小さい印刷素材では点字の高さは識別容易性に影響を及ぼさないことがわかった。着用時では、ラミネートフィルムでは高さによってエラー率には有意差が見られたが、識別速度に有意差が見られなかった。また、上質紙では高さによって識別速度とエラー率に有意差が見られなかった。これより、ポリエステル長繊維不織布製指サックを着用すると、印刷素材や点字の高さによらず速く識別できることが明らかになった。

6.4.3 考察

ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用・不着用による UV 点字の識別容易性の違いについて、着用時には、点字の高さや印刷素材の摩擦抵抗の大小に関係な

く識別容易性が向上することがわかった。これは、着用することによって指が印刷素材から受ける摩擦抵抗が小さくなり、点字の突起のみの刺激が指先に伝わるために正確に識別しやすくなると考えられる。一方、不着用時では、印刷素材の摩擦抵抗の大小によって UV 点字の高さが識別容易性に及ぼす影響が異なることが明らかになった。摩擦抵抗の大きい印刷素材の場合には、指が印刷素材との間の摩擦抵抗の影響を受け、摩擦により水平方向に皮膚が引っ張られることによる点字の突起以外の刺激がノイズとなり、識別しにくくなると考えられる。

高さによる UV 点字の識別容易性の違いについて、指サックの不着用時には、摩擦抵抗の大きい印刷素材では識別容易性に差が見られ、高さが低いと識別しにくいことがわかった。これは、摩擦抵抗の大きい素材で高さが低い場合は、指先が印刷素材から受ける摩擦によるノイズに加えて高さが低いために点字自体の刺激が指先に伝わりにくくなることが識別容易性を下げる原因であると考えられる。一方、指サックを着用すると摩擦の影響がほぼ無くなり、点字の高さが低くても点字自体の刺激が指先に伝わりやすくなり、高さによって識別容易性に違いが見られなくなると考えられる。

顕著な着用効果が見られたラミネートフィルムに関して、被験者別にデータを見てみると（詳細附録参照）、高さ 0.15 [mm] においてポリエステル長繊維不織布製指サック不着用条件では 12 名中 4 名が 15% を超えるエラー率であった。その結果を反映しているのが図 6-5(b) であり、エラー率が高くエラーバーも大きくなった。また、識別速度については、高さ 0.15 [mm] の場合には被験者全員が着用時のほうが不着用時に対して有意に識別速度が速かった。また、高さ 0.4 [mm] の場合には 12 名中 9 名が着用時のほうが有意に識別速度が速かった。残りの 3 名については、統計的に有意差はないものの着用時のほうが識別速度が速くなる傾向が見られた。このことからエラー率、識別速度は個人差はあるものの個々の被験者においてポリエステル長繊維不織布製指サックを着用することにより速く識別できるようになることがわかった。

以上より、点字学習者がポリエステル長繊維不織布製指サックを着用すると、印刷素材や UV 点字の高さによらず識別容易性が向上することが明らかになった。現

在、このポリエステル長繊維不織布製指サックは現在無料で配布している。是非とも UV 点字識別補助具としてより多くの方々に利用していただきたい。本補助具の素材の耐久性は決して高くはないため、一つの補助具を長期間使用することは難しい。もちろん、使用頻度にも依存する。しかし、素材が安価な為、使い捨て方式を採用し、数個単位のパッケージで利用者に配布する形式がもっとも実用的である。また、現在、耐久性の高い素材で同様な効果が得られる補助具の開発と指サック型に拘らず手袋型等の他の形態の補助具についても検討している。今後は、より多くの利用者の要望を聞きながら多様なニーズに応えていきたい。

6.5 まとめ

本研究では、先行研究のナイロン布よりも柔らかく薄い新素材を用いて作製した UV 点字の識別補助具の着用効果を検証することを目的とした。まず、ナイロン布に変わる素材として薄くて柔らかいポリエステル長繊維不織布を用いることにした。そして、その厚さと UV 点字の識別容易性の関係を調べた。その結果、ポリエステル長繊維不織布の厚さが薄くなればなるほど速く識別できることがわかった。また、ポリエステル長繊維不織布が点字の刺激が伝わりやすい素材であるのかを確認するために、その硬さとナイロン布の硬さを比較した。その方法は、UV 点字のドットに対する素材の形状追随性を「形状追随係数」として算出し、素材に対する「形状追随係数」を基に素材の硬さを定量的に評価した。その結果、ナイロン布よりもポリエステル長繊維不織布のほうが形状追随性が良いことがわかった。更に、ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用・不着用時の摩擦抵抗の違いを評価した。その結果、ポリエステル長繊維不織布製指サックの不着用条件に対して着用条件の動摩擦係数は、滑りにくいと言われているラミネートフィルムでは約 5 分の 1 であり、滑りやすいと言われている上質紙でも約 3 分の 1 であった。最後に、点字学習者を対象とした識別実験によりポリエステル長繊維不織布製指サックの着用効果を検証した。その結果、ポリエステル長繊維不織布製指サックを着用すると、印刷素材の摩擦抵抗と UV 点字の高さに関係なく速く識別できることが明らかになった。これらの結果より、点字学習者がポリエステル長繊維不織布製指サックを

着用すると識別容易性が向上することがわかった。現在、このポリエステル長繊維不織布製指サックは現在無料で配布している。是非とも UV 点字識別補助具としてより多くの方々に利用していただきたい。

第7章 結論

本研究では、無色透明な紫外線硬化樹脂インク製点字（UV 点字）について、点字学習者の為の識別しやすい UV 点字の製作法及び識別容易性を向上させる道具を提案することを目的とした。具体的には、「点字パターン（点間隔・高さ）」、「印刷素材」、「指先の滑り易さ」の3つの因子に着目し、それらの因子が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を定量的に評価した。

本論文の第1章では、序論として本研究の研究背景と目的、本研究の論文の構成について述べた。

第2章では、UV 点字の製作法であるスクリーン印刷、紫外線硬化樹脂インク、UV 点字形状計測装置、そして UV 点字の印刷特性について述べた。上述の通り「点字パターン（点間隔・高さ）」、「印刷素材」、「指先の滑り易さ」の各因子が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を定量的に評価するためには、UV 点字識別実験に必要な UV 点字を提示刺激として用意しなければならなかった。そこでスクリーン印刷装置を作製し、印刷した UV 点字の形状を計測する装置を開発し、その形状計測装置を用いて UV 点字の印刷特性を調べた。UV 点字の印刷特性について、UV 点字の点間隔やマス間隔は版に空けられた穴の間隔で容易に調整できるが、高さは版に空けられた穴の大きさに依存し、一度塗りでは高さの限界があり、その限界が 0.3 [mm] 程度であることが明らかになった。そこで、より高い高さの UV 点字を製作する方法として重塗り印刷を試みることにより、約 0.1~0.6 [mm] の範囲で高さを調整できることを確認した。このことから、様々な点字パターン（点間隔・高さ）の UV 点字の製作が可能となり、3章~6章で行う実験に必要な UV 点字を製作できるようになった。

第3章では、点字の1文字のサイズを規定する因子である点字パターン（高さ・点間隔）に着目して、それが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価した実験と考察を述べた。本実験では、様々な点字パターンを備えた点字のテストピースを一文ずつ点字初心者に提示し、提示された文字を同定する課題を行った。評価指標にはエラー率・確信度・識別時間を用い、識別時間は自動で正確に計測するために、

1/1000 秒まで計測可能なデジタルストップウォッチを使用し、スタートとストップのトリガには赤外線レーザー変位センサの信号を用いた識別時間計測装置を製作した。識別実験の結果、高さについては、高くても 0.4 [mm] あれば十分に確信をもって識別することが可能であることがわかった。点間隔については広いほうが識別しやすく、2.9 [mm] がもっとも速く識別できるが、2.3 [mm] 以上であれば十分に識別できることがわかった。これより、これから点字を学習する点字初心者にとって識別しやすい UV 点字の文字サイズが明らかになった。また、これらの結果は、UV 点字の品質に関する JIS 化の議論の際に有用なデータとなった。

第4章では、印刷素材が UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、指先と印刷素材間の摩擦抵抗の異なる場合の UV 点字の識別容易性を比較した実験結果と考察を述べた。スクリーン印刷による UV 点字は様々な印刷素材上に製作できるという特長をもつが、印刷素材が違くと識別容易性が異なることが指摘されている。点字は指を滑らせながら識別することから、印刷素材が異なると指先と印刷素材間の摩擦抵抗が異なると筆者は考えた。そこで、まず印刷素材と指先との摩擦抵抗を計測する装置を製作し、その装置を用いて滑りやすいと言われている上質紙と滑りにくいと言われているラミネートフィルムの2種類の印刷素材と指先との動摩擦係数を算出した。その結果、上質紙の動摩擦係数は、ラミネートフィルムよりも小さくおよそ3分の1であり、上質紙はラミネートフィルムよりも有意に滑りやすい印刷素材であることがわかった。次に、本実験では、日常的に点字を使用する中途視覚障害者を被験者として UV 点字の識別実験を行い、印刷素材と UV 点字の識別容易性の関係を UV 点字の識別実験により調べた。評価指標は、エラー率と識別速度とした。その結果、高さの高低によらず動摩擦係数の小さい上質紙のほうが動摩擦係数の大きいラミネートフィルムよりも速く正確に識別できることがわかった。また、ラミネートフィルムは UV 点字の高さが高い方が速く正確に識別しやすいが、上質紙は高さによって識別容易性に差は見られなかった。そして、点字識別中の指先の滑り易さについては、ラミネートフィルムは高さによって差が見られたが、上質紙は高さにより差は見られなかった。これらの結果より、点字を学習して間もない中途視覚障害者に対しては、印刷素材が UV 点字

の識別容易性に影響を及ぼすことが明らかになった。これらのデータは、印刷業者が印刷素材を選定する際に参考データとなった。4章の研究成果をまとめると、印刷素材の摩擦抵抗の大小によって UV 点字の識別容易性が大きく変わることや摩擦抵抗の小さい印刷素材上の UV 点字の高さは低くても高さの高い点字と同等の識別容易性が得られることが明らかになった。

第5章では、指先の滑り易さが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を評価することを目的として、指先の滑り易さが異なる場合の UV 点字の識別容易性の違いを比較した実験と考察について述べた。まず指先に滑りやすくする方法として、まずシッカロールなどのパウダーを塗布することを検討したが、印刷物を汚す恐れがあり、同時に UV 点字の併記された墨字は識別しにくくなるという問題があった。そこで本章では、薄くて柔らかいナイロン布を指サック（ナイロン製指サック）のような形状に縫い、それを人差し指の指先に着用することにした。そして、このナイロン製指サックを用いて、指先の滑り易さが UV 点字の識別容易性に及ぼす影響を実験により定量的に評価した。また、点字識別経験のない晴眼者を対象としてその着用効果を検証するための UV 点字識別実験を行った。被験者には、ナイロン製指サックの着用不着用時の2条件で UV 点字のテストピースを一文字ずつ点字初心者に提示し、提示された文字を同定する課題を行った。その結果、ナイロン布製指サックの着用・不着用については、ナイロン布製指サックを着用することによって速く識別できることが明らかになった。これより、指先の滑り易さが UV 点字の識別容易性に影響を及ぼすことがわかった。ナイロン布製指サックの着用効果については、ごく一部の被験者には見られなかったことから、より一層識別容易性が向上する素材の選定が課題となった。

第6章では、5章で述べたナイロン布よりも薄くて柔らかいポリエステル長繊維不織布を用いて作製した指サックの点字学習者用 UV 点字識別補助具としての着用効果を検証することを目的とした。まず、その厚さと UV 点字の識別容易性の関係を調べた。その結果、ポリエステル長繊維不織布の厚さが薄くなればなるほど速く識別できることがわかった。また、点字の刺激が伝わりやすい素材であるのかを確認する為に、ポリエステル長繊維不織布の硬さとナイロン布の硬さを比較した。

その方法は、UV点字のドットに対する素材の形状追随性を「形状追随係数」として算出し、「形状追随係数」を基に素材の硬さを定量的に評価した。その結果、ナイロン布よりもポリエステル長繊維不織布のほうが形状追随性が良いことがわかった。更に、ポリエステル長繊維不織布製指サックの着用・不着用時の摩擦抵抗の違いを評価した。その結果、ポリエステル長繊維不織布製指サックの不着用条件に対して着用条件の動摩擦係数は、滑りやすいと言われている上質紙で約3分の1、滑りにくいと言われているラミネートフィルムでは約5分の1であった。最後に、点字学習者を対象とした識別実験によりポリエステル長繊維不織布製指サックの着用効果を検証した。その結果、ポリエステル長繊維不織布製指サックを着用すると、印刷素材の摩擦抵抗とUV点字の高さに関係なく不着用時に対して最大2倍の識別速度で識別できることが明らかになった。これらの結果より、点字学習者が不織布製指サックを着用すると識別容易性が向上し、UV点字識別補助具としての有効性を示すことができた。

以上本論文では、「点字パターン（点間隔・高さ）」、「UV点字の印刷素材」、「指先の滑り易さ」の3つの因子とUV点字の識別容易性に及ぼす影響を定量的に評価した研究の成果として、点字学習者にとって識別しやすい点字パターンを示し、印刷素材の影響を受けにくいUV点字の印刷条件を示すことができた。また、指先の滑りの良し悪しがUV点字の識別容易性に影響を及ぼし、指先を滑りやすくするとUV点字の識別容易性が向上することを報告した。さらに、指先を滑りやすくする素材としてポリエステル長繊維不織布製の指サックを作製し、点字学習者用のUV点字識別補助具としての着用効果が高いことを示した。

このように近年、急速に普及するUV点字の識別容易性を評価した本研究は、急増する中途視覚障害者が点字を学習する際の障壁を少しでも低くし、これから点字を学習したいという人々が学習しやすい環境を整備することすなわち識別しやすい点字を提供することに大きく貢献するものであると考える。

参考文献

- (1) 木塚泰弘：視覚障害者の自立と援助，一橋出版，7-29，1998
- (2) 厚生労働省：身体障害者実態調査，2001
- (3) 河辺豊子：朝子さんの点字ノート，小学館，1995
- (4) 楠敏雄：視覚障害者の暮らし，19-23，1997
- (5) 中山順,西村陸夫：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，2003
- (6) 市川宏：視覚障害とその代行技術，名古屋大学出版会，1984
- (7) 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
- (8) 国土交通省：ハートビル法のホームページ，
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/barrier-free.html>
- (9) 国土交通省：交通バリアフリー法のホームページ，
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrier/mokuji_.html
- (10) 国土交通省：バリアフリー新法のホームページ，
http://www.mlit.go.jp/barrierfree/barrierfree_.html
- (11) 黒崎恵津子：点字のれきし，汐文社，25-39，1998

- (1 2) 谷合侑, 黒崎恵津子 : 点字技能ハンドブックー視覚障害に関わる基礎的知識, 社会福祉法人視覚障害者支援総合センター, 183-185, 2002
- (1 3) 佐藤泰正 : 視覚障害児の読書速度に関する発達的研究, 学芸図書, 89-93, 1984
- (1 4) Bürklen, K. : Touch reading of the blind, American Foundation for the Blind, 1917
- (1 5) Holland, B.F., Fehr, C.A. : The reading of Braille music, Outlook for the Blind, 36, 25-29, 1942
- (1 6) Fertsch, P. : Hand dominance in reading braille, American Journal of Psychology, 60, 335-349, 1947
- (1 7) Hermelin, B., O'Connor, N. : Functional asymmetry in the reading of braille, Neuropsychologia, 9, 431-435, 1942
- (1 8) Rudel, R.G., Denckla, M.B., Spaltan, E. : The functional asymmetry of braille letter learning in normal, sighted children, Neurology, 24, 733-738, 1974
- (1 9) Myers, D.H : Right-and left-handed counting of braille dots in subjects unaccustomed to braille, British Journal of Psychology, 67, 407-412, 1976

- (20) Harris, L.J.1 : Which hand is the “eye” of the blind ? A new look at an old question, *Neuropsychology of Left-handedness*, Academic Press (New York), 303-329, 1980
- (21) 黒川哲字 : 点字触読時における手の機能分担について, *視覚障害教育・心理研究*, 5(1・2), 1-6, 1987
- (22) 文部省, 点字学習指導の手引き (改訂版), *慶應通信*, 11-49, 1995
- (23) 牟田口辰巳, 中田英雄, 盲児の点字読速度の発達, *特殊教育学研究*, 35(2), 11-18, 1997
- (24) 草島時介 : 点字読書と普通読書, 秀英出版, 1983
- (25) Lamb, G : Beginning Braille –A Whole Language-based Strategy, *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 90, 184-189, 1996
- (26) Mangold, S: The Mangold Developmental Program for tactile perception and barille letter recognition, Castro Valley, CA, *Exceptional Teaching Aids*, 1977
- (27) Olsen, M.R: Faster braille reading-Preparation at the reading readiness level, *New Outlook*, 70, 81, 1976
- (28) 木塚泰弘 : 糖尿病性網膜症の触弁別(2), *感覚代行シンポジウム発表論文集*, 157-160, 1997
-

- (29) 木塚泰弘：点字研究の奇跡-点字科学散歩-，木塚泰弘退官記念論文集，143-160，1999
- (30) 木塚泰弘：中途視覚障害者の触読効率を向上させるための総合的點字学習システムの開発，平成7～10年度科学研究費補助金（NO.07401007）研究成果報告書，国立特殊教育総合研究所，1999
- (31) 木塚泰弘：点字研究の奇跡-点字科学散歩-，木塚泰弘退官記念論文集，161-164，1999
- (32) R.Bradbear, P.de Beno, P.Laurie：The Computer Book(An Introduction to Computers and omputing), British Broadcasting Corporation, 1982
- (33) 川満良子，楠佳奈子，渡部亜矢子，佐藤浩史，大武信之，原俊介：自由サイズ点字印刷システムの開発，電気通信学会信学技報，135-142，1999
- (34) 木塚泰弘：点字のサイズと手触り，日本の点字第23号，19-23，1998
- (35) 木塚泰弘：点字科学散歩，国立特殊教育総合研究所，1-25，1982
- (36) Weinstein, S：Intensive and extensive aspects of tactile sensitivity as a function of body part, sex and laterality, In D.R. Kenshalo (Ed), The skin senses, 195-222, 1968
- (37) 大竹勉：点字読み取り中の指先挙動解析，電子情報通信学会学会誌 A74, 10, 1576-1585, 1991
-

- (38) 林美恵子, 鴨田真理沙, 藤本浩志: 識別しやすい点字の形状に関する研究, 人間工学, 39, 117-122, 2003
- (39) 小林秀樹: 点字印刷法(2), 印刷界, 117-121, 1982
- (40) 運輸省大臣省: 視覚障害者のための公共交通機関利用ガイドブック作成マニュアル, 1-59, 1984
- (41) 小林秀樹: 点字印刷法(3), 印刷界, 77-82, 1982
- (42) 笠置一彦: 特殊印刷あれこれ, 印刷雑誌, 72, 37-41, 1989
- (43) 関川八郎: 直接発泡式点字プリンタ DIPPO, レーザー協会誌, 26, 45-53, 2001
- (44) 浅野義憲: 機能性スクリーン印刷の現状と将来展望-表面加飾インキとその応用-, 日本印刷学会誌, 40, 17-23, 2003
- (45) 浅野義憲: UVインキの機能性への応用, Polyfile, 33-35, 1997
- (46) 井林秀雄: バリアフリーを取り入れた医薬品包装-点字を取り入れた製品について, 包装技術, 486-496, 2000
- (47) 立花明彦, 松谷詩子: 点字入門 2002年版中途視覚障害者の点字学習のために, 日本点字図書館, 2002

-
- (48) 能登廣道：スクリーンと精度，セリグラフ社，1975
- (49) 土井幸輝，小田原利江，林美恵子，藤本浩志：UV点字パターンの識別容易性評価に関する研究，日本機械学会論文集C編，70(699)，300-305，2004
- (50) 清水誠司，阿部正人，平川寛之，河野裕，樋泉光紀，鈴木芳夫：義肢製作支援システムの開発-光造形装置の大型化・高速化に関する研究-，山梨県工業技術センター研究報告，110-111，1997
- (51) 鴨田真理沙，藤本浩志：点字パターンが読みやすさに与える影響に関する研究，第27回感覚代行シンポジウム発表論文集，59-62，2001
- (52) 株式会社キーエンス：レーザフォーカス方式の測定原理のホームページ，<http://www.sensor.co.jp/henni/jiten/laser07.html>
- (53) Tom Wickham-Jones：Mathematica Graphics，Springer-Verlag，1994
- (54) 佐藤将朗，河内晴彦：能動的触察条件における点字レシビリティーの検討，特殊教育学研究，38(2)，53-61，2000
- (55) 木塚泰弘：点字科学散歩，国立特殊教育研究所，113-126，1982
- (56) 赤塚不二夫：赤塚不二夫のさわる絵本-よーいどん，株式会社小学館，2000
- (57) 日本盲人社会福祉施設協議会，視覚障害者の安全で円滑な行動を支援するための点字表示等に関するガイドライン，日本盲人社会福祉施設協議会点字出版部会，2002
-

-
- (58) 黒田浩之, 佐々木忠之, 中野泰志, 木塚泰弘, 堀籠義明: 点字サイズが触読効率に及ぼす影響, 第21回感覚代行シンポジウム発表論文集, 55-58, 1995
- (59) 笹田直, 栗原剛: ヒトの皮膚の摩擦特性 (第2報), 千葉工業大学研究報告, 45, 21-25, 1998
- (60) JIS T 9253, 紫外線硬化樹脂インキ点字 品質及び試験方法, 日本規格協会, 2004
- (61) VALLBO, Å. B., JOHANSSON, R. S.: Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation, *Hum. Neurobiol*, 33-14, 1984
- (62) Moss-Salentijn, L.: The Human Tactile System, *Advanced Tactile Sensing for Robotics*, 123-145, 1992
- (63) Phillips, J.R., Johansson, R.S., Johnson, K.O., : Representation of Braille characters in human nerve fibers, *Exp. Brain Res*, 81, 589-592, 1990
- (64) Phillips, J.R., Johnson, K.O., : "Tactile spatial resolution. II. Neural representation of bars, edges, and gratings in monkey primary afferents.", *J Neurophysiol*, 46, 1192-1203, 1981
- (65) 大月伸男, 村上輝夫: 指の摩擦特性 (意思による摩擦力の制御), 日本機械学会第73期全国大会講演論文集, 72-73, 1995
-

- (66) 笹田直：生体の運動とトライボロジー，トライボロジスト，1-7，1998
- (67) J.L.Cunningham, BSc, Dip.Ed., S.M. Delargy, C.M. Warnock : Glove wearing in Northern Ireland and an Assessment of the loss of Tactile Perception, Journal of the Irish Dental Association, 39, 12-14, 1992
- (68) 土井幸輝，小田原利江，林美恵子，藤本浩志：ナイロン布を用いた UV 点字の識別容易性評価に関する研究，人間工学，41(5)，282-288，2005

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大な御指導と御教示を賜りました早稲田大学人間科学学術院 藤本浩志教授に深く感謝し、心より御礼申し上げます。また、修士課程から現在に至る5年間の間、研究活動だけでなく、あらゆる面において、温かく熱心な御指導、御鞭撻を賜りましたこと、重ねて深く感謝し、御礼申し上げます。また、本論文をまとめるにあたり、修士課程の頃から適切な御指導、ご検討を賜りました早稲田大学人間科学学術院 野嶋栄一郎教授、戸川達男教授に深く感謝致します。そして、修士課程の2年間、懇切丁寧に御指導頂きました林美恵子先生（2001～2003年度藤本研助手）に感謝の意を表します。

本研究は、筆者の修士課程および博士後期課程における研究成果をまとめたものであります。博士後期課程からは、早稲田大学理工学術院 21世紀COEプログラム「超高齢社会における人とロボット技術の共生」（研究拠点代表：藤江正克教授）に客員研究助手として参加させて頂きました。本プログラムを通じて、藤江正克教授、梅津光生教授、高西淳夫教授、菅野重樹教授をはじめとする諸先生方には機械工学的観点から御指導、御鞭撻を賜りましたこと心から感謝の意を表します。また、日本点字図書館 田中徹二理事長、和田勉氏、松谷詩子氏をはじめとする職員の皆様、共用品推進機構 星川安之専務理事、国立特殊教育総合研究所 大内進先生、筑波技術大学 長岡英司先生、小林真先生、日本ライトハウス 加藤俊和先生、福井哲也先生には熱心に御指導下さいました。記して感謝の意を表します。

そして、UV点字の印刷の技術指導や製版で多大なるご協力を頂きました(株)サンイチ工芸社の吉川健一社長、横山豊部長、(株)ブレイルコム of 吉川紀子様、青木こずえ様、山口由希様に深く感謝申し上げます。

本研究や触覚関連の研究を共に遂行した小田原利江氏（2003年度学部卒）、吉田愛氏（2003年度学部卒）、篠原聡子氏（2004年度学部卒）、岩崎重紀氏（2004年度学部卒）、千葉亮氏（2004年度修士卒）、高林知代氏（2005年度学部卒）、小玉千明氏（2005年度学部卒）、天野真衣氏（2005年度学部卒）、萱島裕幸氏（現学部4年在学）、荻野愛実氏（現学部4年在学）、横田曹氏（現学部4年在学）、高瀬翔

氏 (現学部 4 年在学), 豊田航氏 (現学部 4 年在学), 中川健氏 (現学部 4 年在学), 數藤貴氏 (現修士 1 年在学), 水野真由美氏 (現修士 1 年在学) に心より感謝致します.

また, 本研究の一部は, 日本学術振興会 21 世紀 COE プログラム「超高齢社会における人とロボット技術の共生」, 早稲田大学人間総合研究センター「生活・生命支援機器との共生」, 日本学術振興会科研費補助金 (基盤 B NO.16300187) (若手 B NO.18700478), 早稲田大学特定課題研究助成費の援助を受けております. 記して感謝の意を表します.

さらに, 3 年間様々な助言とサポートを頂き, 同時に博士論文を提出することになった嶺也守寛氏, 共に研究生活を送った戸川研究室の今泉一哉氏, 岩本雅也氏, 東京都老人総合研究所の河合恒氏, 藤本研究室・戸川研究室の皆様, 本研究に関わった全ての方に感謝致します. そして, 同じ時期に博士論文を提出する小林吉之氏, 植松美幸氏, 他 COE 助手の皆様にも深く感謝致します.

最後に, 筆者の研究活動を常に応援し, 支えてくれた, 両親, 祖父, 祖母, 姉, 弟, そして妻英子と娘虹歩に心より感謝致します.

2007 年 1 月

土井幸輝

研究業績

本研究の内容の一部は、以下の学術雑誌に掲載されている。

学術論文

1. 土井幸輝, 小田原利江, 林美恵子, 藤本浩志 : 2004 UV点字パターンの識別容易性評価に関する研究, 日本機械学会論文集C編, 70 巻 699 号, 300-305 頁.
2. 土井幸輝, 小田原利江, 林美恵子, 藤本浩志 : 2005 ナイロン布を用いたUV点字の識別容易性に関する研究, 人間工学, 41 巻 5 号, 282-288 頁.
3. 土井幸輝, 岩崎亜紀, 藤本浩志 : 2006 印刷素材がUV点字の触読性に及ぼす影響に関する研究, 日本機械学会論文集C編, 72 巻 716 号, 216-222 頁.
4. 土井幸輝, 篠原聡子, 藤本浩志 : 2006 不織布製指サックを用いたUV点字の触読性評価に関する研究, 人間工学, 42 巻 2 号, 70-76 頁.
5. 千葉亮, 土井幸輝, 藤本浩志 : 2006 弾性物体を対象物としたヒトの指先の硬さ弁別特性, ヒューマンインターフェース学会論文誌, 8 巻 4 号, 93-98 頁.

国際学会発表

1. Kouki Doi, Satoko Shinohara, Hiroshi Fujimoto : 2005 Improvement in Braille reading using a finger cover, Proceedings of the international federation for Medical & Biological Engineering 13th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering & Medical Physics, pp.75-76.

-
2. Kouki Doi, Hiroshi Fujimoto : 2005 Improvement in TRUCT Braille Reading by Using Polyester Nonwoven Fabric Finger Cover, Proceedings of the 2nd COE-CIR Joint Workshop on "Future Technologies of Mechatronics for its Growing Role in Symbiotic Society with Human", pp.93.
 3. Kouki Doi, Hiroshi Fujimoto : 2005 Improvement in TRUCT Braille signs reading by use of polyester non-woven fabric finger cover, Proceedings of international conference of tactile graphics 2005, pp.75.
 4. Kouki Doi, Mai Amano, Chiaki Kodama, Hiroshi Fujimoto, Tsutomu Wada : 2006 A study of method of tactile guide maps -Influence of tactile-symbol size on discriminability and dot distance on perception of dot-pattern texture for tactile guide maps-, Proceedings of 9th Joint Symposium Ergonomics Society of Korea and Japan Ergonomics Society, pp.548-551.
 5. Kouki Doi, Hiroshi Fujimoto : 2006 Influence of Base Material on Transparent-Resinous-Ultraviolet-Curing-Type Braille Reading, Proceedings of 12th International council for educational people with visual impairment world conference, EA027, pp.1-7, (CD-ROM) .
 6. Kouki Doi, Hiroshi Fujimoto : 2006 Polyester non-woven fabric finger cover as improvement in Braille reading, Proceedings of 12th International council for educational people with visual impairment world conference, EA026, pp.1-8, (CD-ROM) .
-

-
7. Masaya Iwamoto, Kouki Doi, Tatsuo Togawa : 2006 The effect of body temperature on the determination of pitch by an absolute pitch possessor, Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006, pp.114-116.
 8. Kouki Doi, Hiroshi Fujimoto : 2006 Polyester Non-woven Fabric Finger Cover as a TRUCT Braille Reading Assistance Tool for Braille Learners, Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006, pp.2800-2803.

国内学会発表

1. 土井幸輝,小田原利江,林美恵子,藤本浩志 : 2003 識別し易いUV点字パターンに関する研究, 第3回福祉工学シンポジウム講演論文集, 3巻, 201-205頁.
2. 土井幸輝,小田原利江,林美恵子,藤本浩志 : 2003 ナイロン布を用いたUV点字の識別容易性に関する研究, 第29回感覚代行シンポジウム発表論文集, 29巻, 47-50頁.
3. 土井幸輝,篠原聡子,藤本浩志 : 2004 不織布を用いたUV点字の触読性評価に関する研究, 第30回感覚代行シンポジウム発表論文集, 30巻, 19-21頁.
4. 土井幸輝,岩崎亜紀,藤本浩志 : 2005 印刷素材がUV点字の触読性に及ぼす影響に関する研究, 第46回日本人間工学学会大会講演集, 41巻, 276-277頁.
5. 土井幸輝,篠原聡子,藤本浩志 : 2005 UV点字触読時の不織布製指サックの着用効果の検証,第26回バイオメカニズム学術講演会 SOBIM2005 予稿集, 26巻, 207-210頁.

-
6. 土井幸輝,小玉千明,藤本浩志,和田勉 : 2005 触知記号のサイズが識別容易性に及ぼす影響に関する研究, 第 31 回感覚代行シンポジウム発表論文集, 31 巻, 107-110 頁.
 7. 土井幸輝,天野真衣,藤本浩志,和田勉 : 2005 触知案内図に用いられるドットパターンの粗密感覚特性に関する研究, 第 31 回感覚代行シンポジウム発表論文集, 31 巻, 111-114 頁.
 8. 土井幸輝 : 2005 ヒトの指先の触知覚機能評価に関する研究, 第 3 回 COE 若手研究者 workshop 講演論文集, 3 巻, 12-13 頁.
 9. 土井幸輝,千葉亮,藤本浩志 : 2006 人差し指で硬さの異なる物体を押し込んだ際の硬さ感覚,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 講演論文集, 1-4 頁(2p2-B35).
 10. 岩本雅也,土井幸輝,戸川達男 : 2006 体温が絶対音感保持者の周波数弁別特性に与える影響に関する研究, 電子情報通信学会技術報告 (ME とバイオサイバネティックス研究会) , 21-24 頁.
 11. 土井幸輝,高林知代,篠原聡子,藤本浩志,和田勉 : 2006 UV 点字触読補助具に関する研究—UV 点字触読補助具の素材の硬さの評価と着用効果の検証—, 第 47 回日本人間工学学会大会講演集, 47 巻, 338-339 頁.
 12. 大内進,土井幸輝,藤本浩志,金子健,白石幸雄 : 2006 触覚ディスプレイを用いたUD電子案内盤の開発と利用, 第 47 回日本人間工学学会大会講演集, 47 巻, 340-341 頁.
-

-
- 1 3. 和田勉,土井幸輝 : 2006 触知案内図標準化に関する標準触知記号調査の概要, 日本福祉のまちづくり学会第 9 回全国大会講演論文集, 245-248 頁.
 - 1 4. 大内進,土井幸輝,佐藤知洋,増岡直子 2006 真空成型による触覚教材の作製と活用 1, 日本特殊教育学会第 44 回大会講演集, 44 巻, 117 頁.
 - 1 5. 土井幸輝,大内進,佐藤知洋,増岡直子 : 2006 真空成型による触覚教材の作製と活用 2, 日本特殊教育学会第 44 回大会講演集, 44 巻, 118 頁.
 - 1 6. 増岡直子,佐藤知洋,土井幸輝,大内進 : 2006 真空成型による触覚教材の作製と活用 3, 日本特殊教育学会第 44 回大会講演集, 44 巻, 318 頁.
 - 1 7. 高瀬翔・土井幸輝・数藤貴・藤本浩志 : 2006 指腹自体の変形が物体の硬さ感覚に及ぼす影響に関する研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 講演論文集, 44 巻,135-138 頁.
 - 1 8. 土井幸輝, 荻野愛実, 水野真由美, 藤本浩志, 和田勉 : 2006 加齢がヒトの指先の触知覚特性に及ぼす影響に関する研究, 第 32 回感覚代行シンポジウム発表論文集, 73-76 頁.

著 書

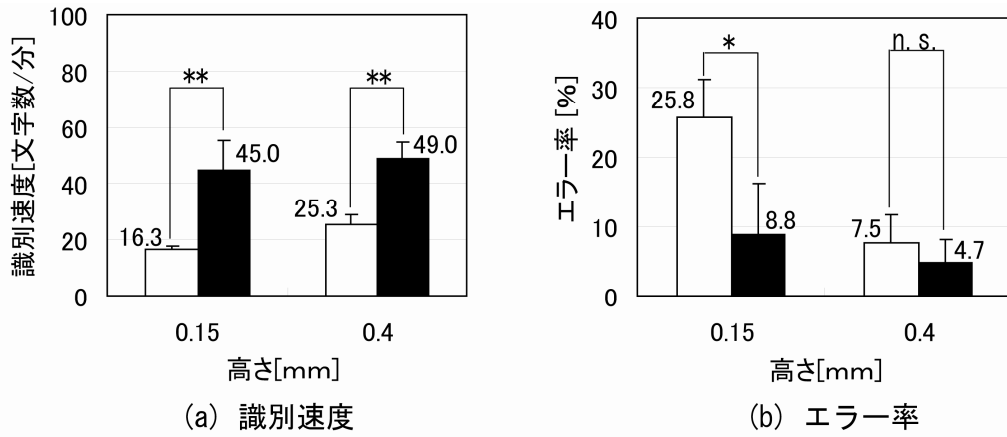
1. 土井幸輝 : 2006 紫外線硬化樹脂インクを用いたスクリーン印刷方式による UV 点字の触読用指サック, 堀照夫(編), 「Future Textiles—進化するテクニカル・テキスタイル—」, 繊維社, 270-274 頁(堀照夫他 97 名と分担執筆).

商業誌

1. 土井幸輝・藤本浩志： 2005 早稲田大学藤本研究室における点字の読みやすさの研究, 日本点字図書館 (編), ブックウェブ, 日本点字図書館, CD-ROM.
2. 土井幸輝： 2006 KGS アクセシビリティ・フォーラム最終回に参加してーサイトワールド・アクセシビリティ・フォーラムに向けてー, 障害者団体定期刊行物協会 (編), 視覚障害, 障害者団体定期刊行物協会, 1-9 頁.
3. 土井幸輝： 2006 紫外線硬化インクを用いたスクリーン印刷方式による点字について, 繊維社 (編), 加工技術, 繊維社, 11-16 頁.
4. 土井幸輝： 2006 紫外線硬化インクを用いたスクリーン印刷方式による点字の触読補助具, 繊維社 (編), 加工技術, 繊維社, 52-57 頁.
5. 土井幸輝： 2006 空間情報を面的に情報提供可能な触知案内図について, 繊維社 (編), 加工技術, 繊維社, 54-56 頁.

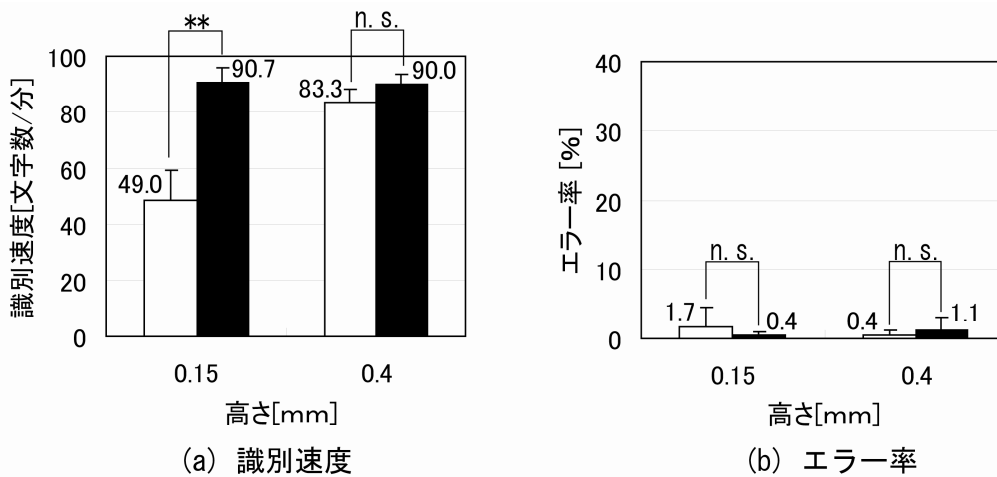
附録

第 6 章 被験者別の UV 点字識別実験の結果 （ラミネートフィルム）



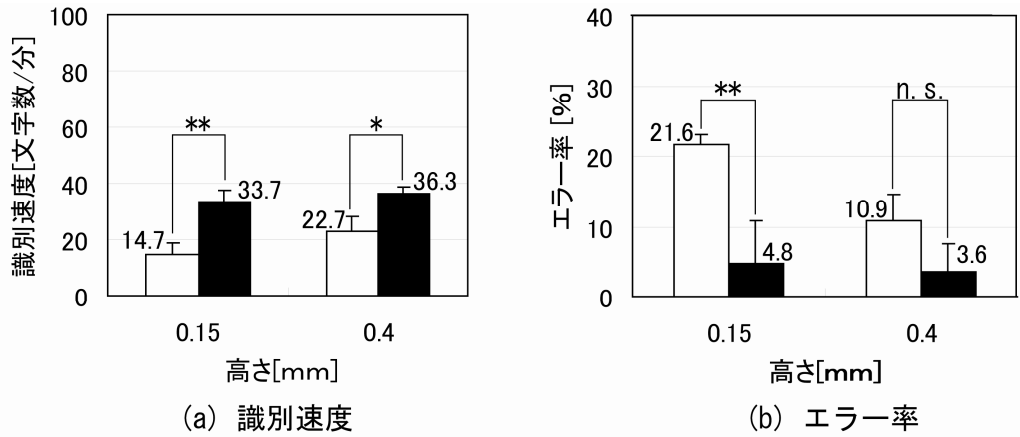
*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図1 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者A): (a)識別速度, (b)エラー率



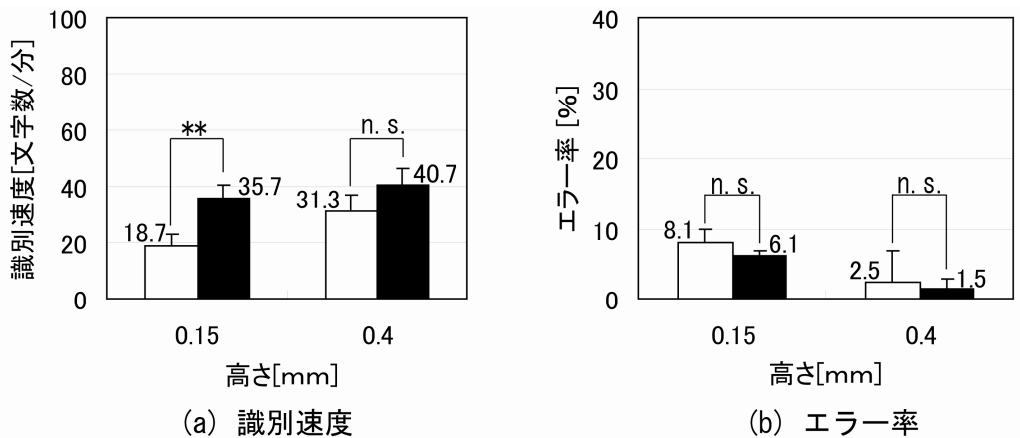
*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図2 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者B): (a)識別速度, (b)エラー率



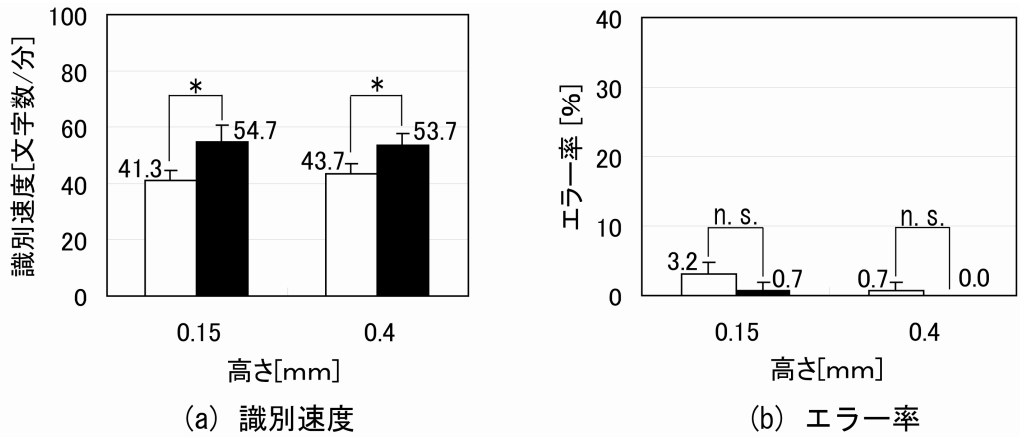
*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図3 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者C) : (a) 識別速度, (b) エラー率



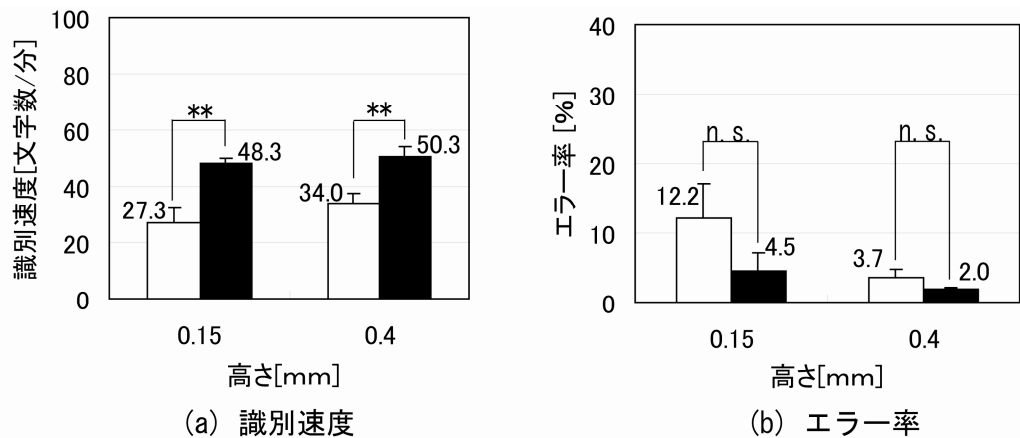
*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図4 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者D) : (a) 識別速度, (b) エラー率



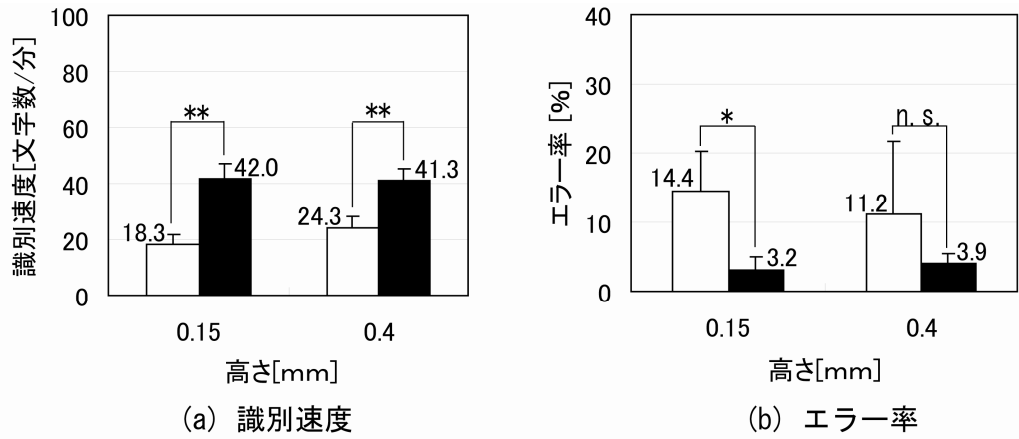
*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図5 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果（被験者E）：(a)識別速度，(b)エラー率



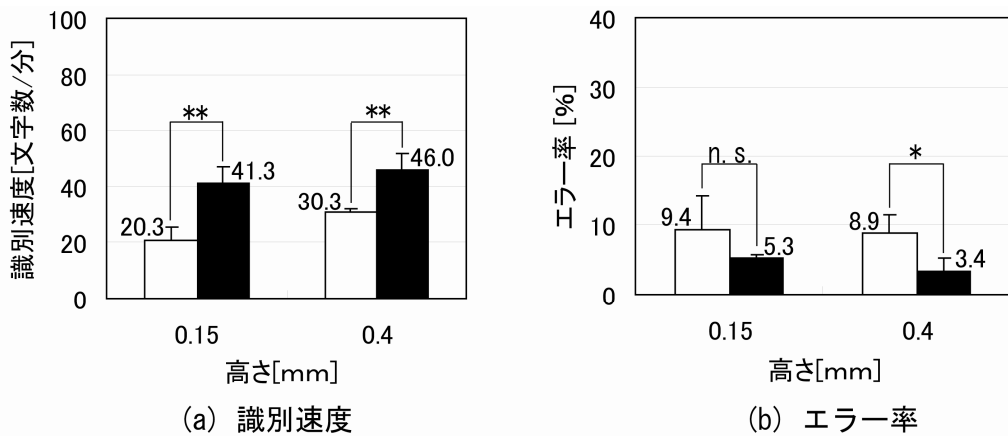
*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図6 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果（被験者F）：(a)識別速度，(b)エラー率



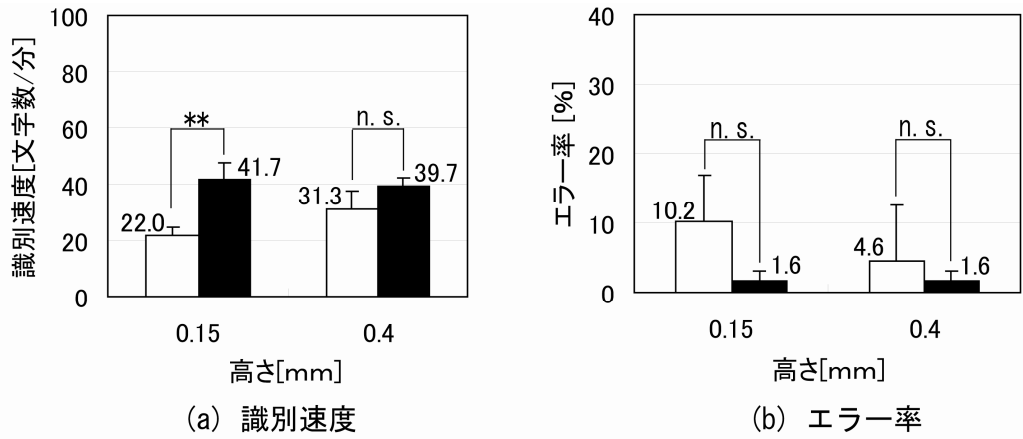
*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図7 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果（被験者G）：(a)識別速度，(b)エラー率



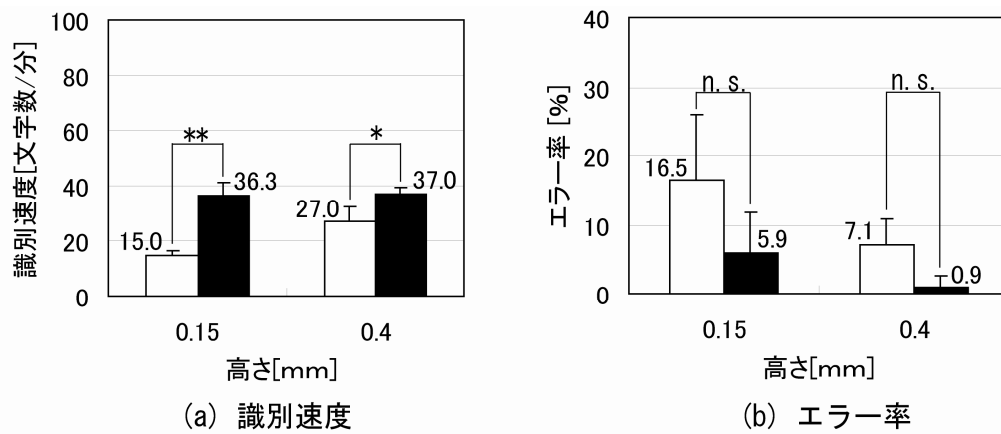
*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図8 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果（被験者H）：(a)識別速度，(b)エラー率



*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図9 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果（被験者I）：(a)識別速度，(b)エラー率



*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n. s.: no significant ■ 指サック着用

図10 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果（被験者J）：(a)識別速度，(b)エラー率

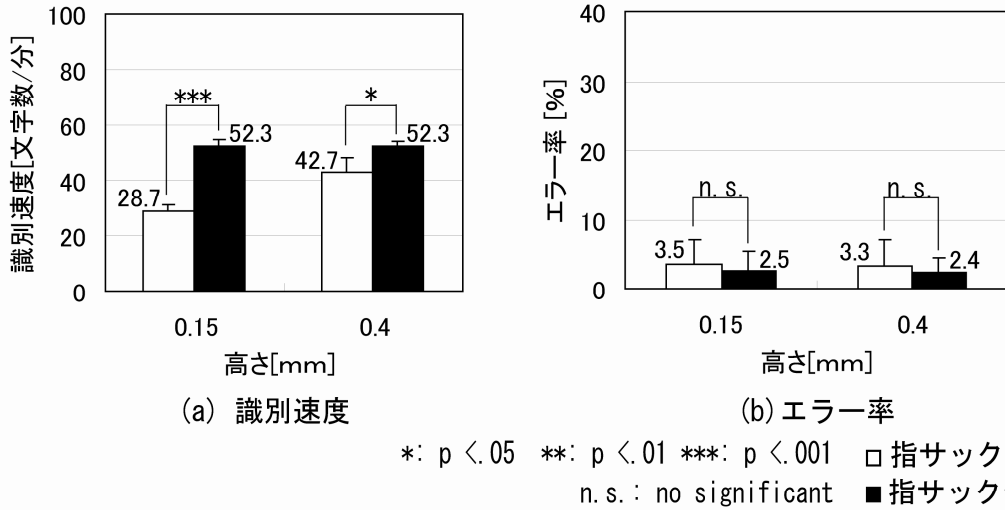


図11 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者K) : (a) 識別速度, (b) エラー率

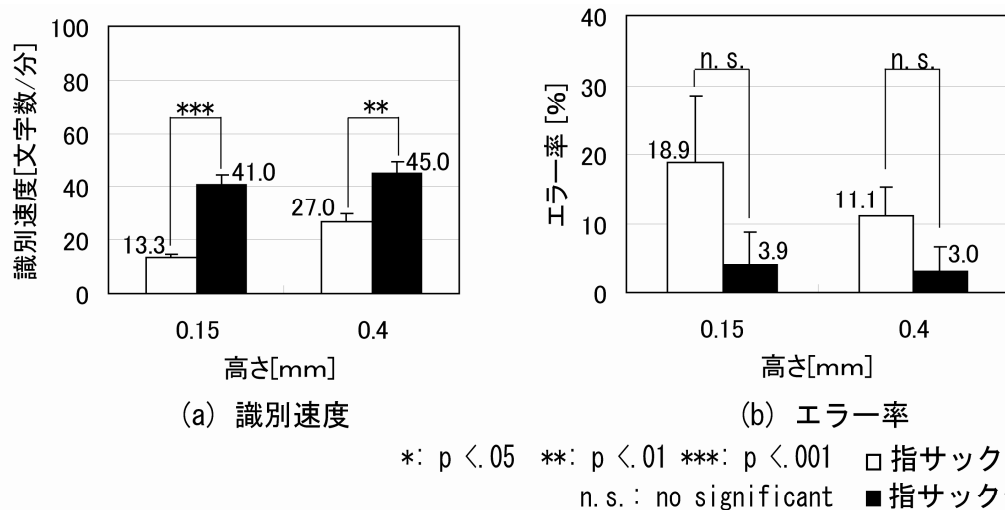


図12 ラミネートフィルムの上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者L) : (a) 識別速度, (b) エラー率

附録

第 6 章 被験者別の UV 点字識別実験の結果 (上質紙)

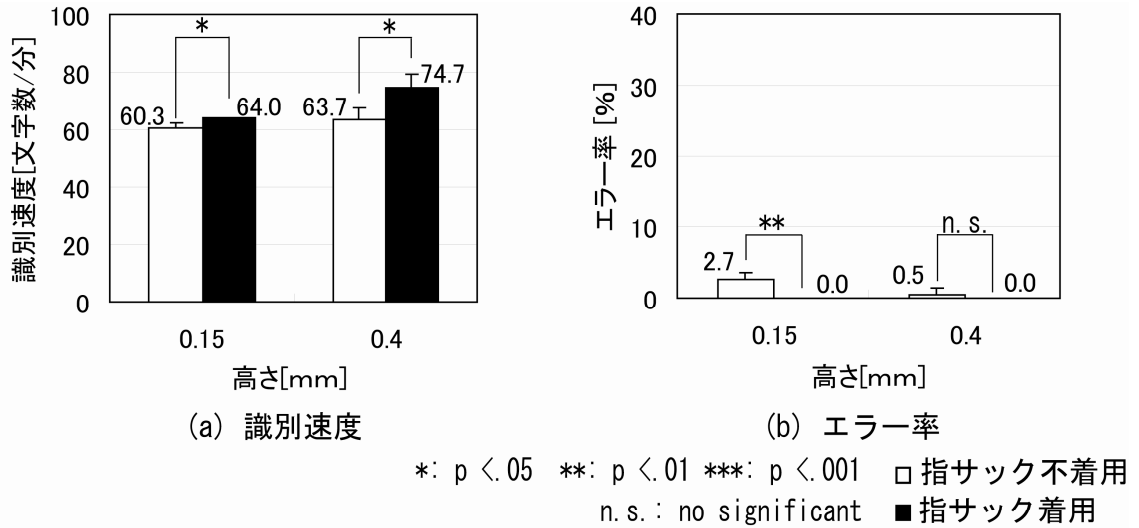


図1 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者A) : (a)識別速度, (b)エラー率

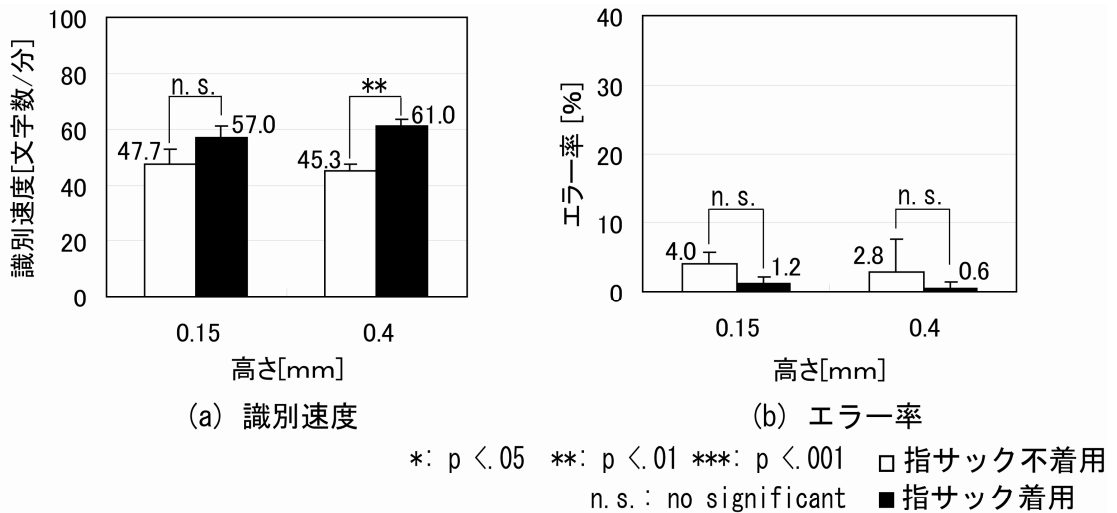


図2 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者B) : (a)識別速度, (b)エラー率

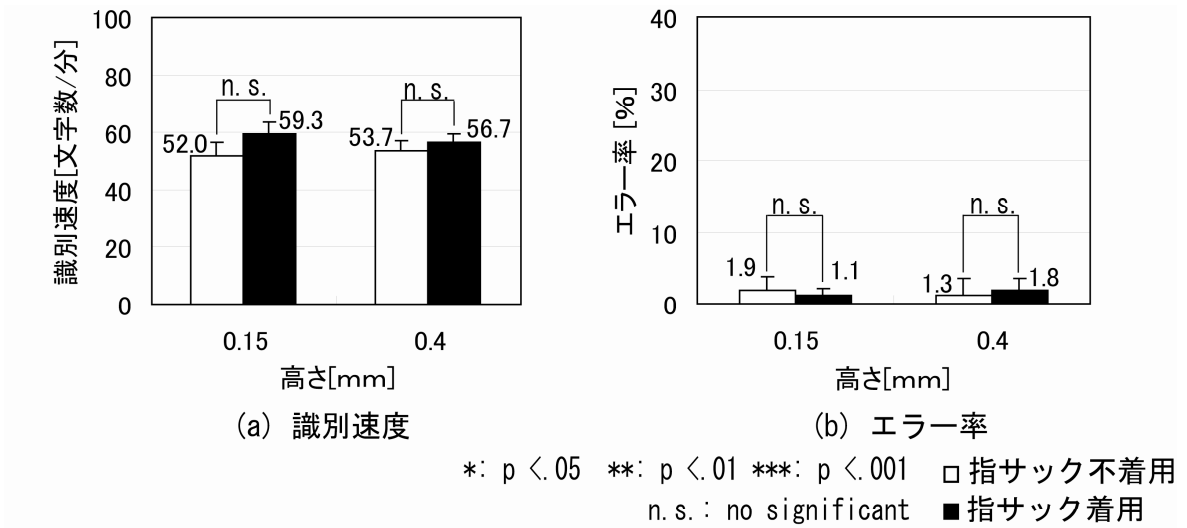


図3 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者C) : (a)識別速度, (b)エラー率

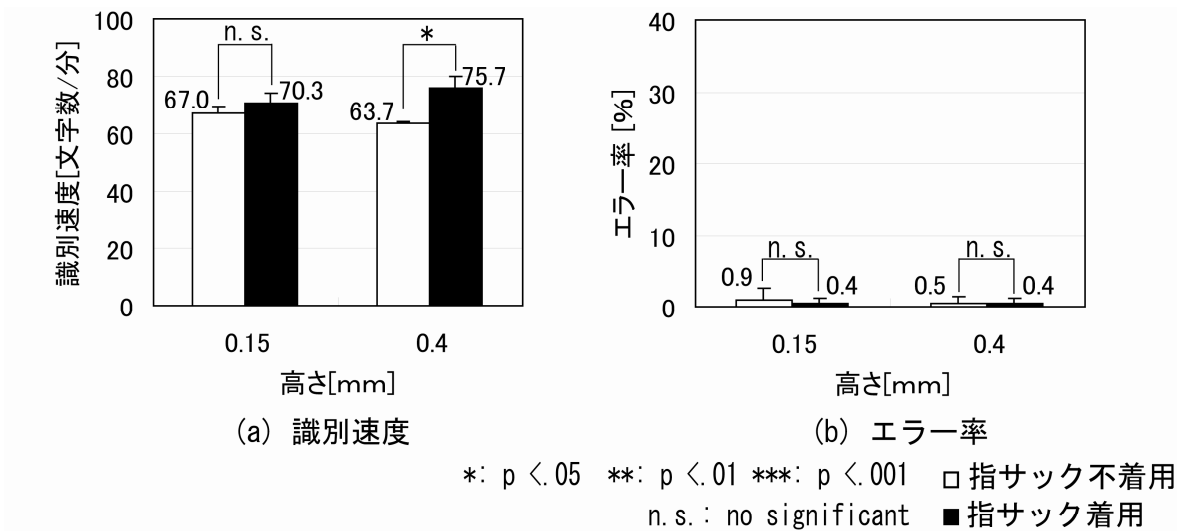


図4 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者D) : (a)識別速度, (b)エラー率

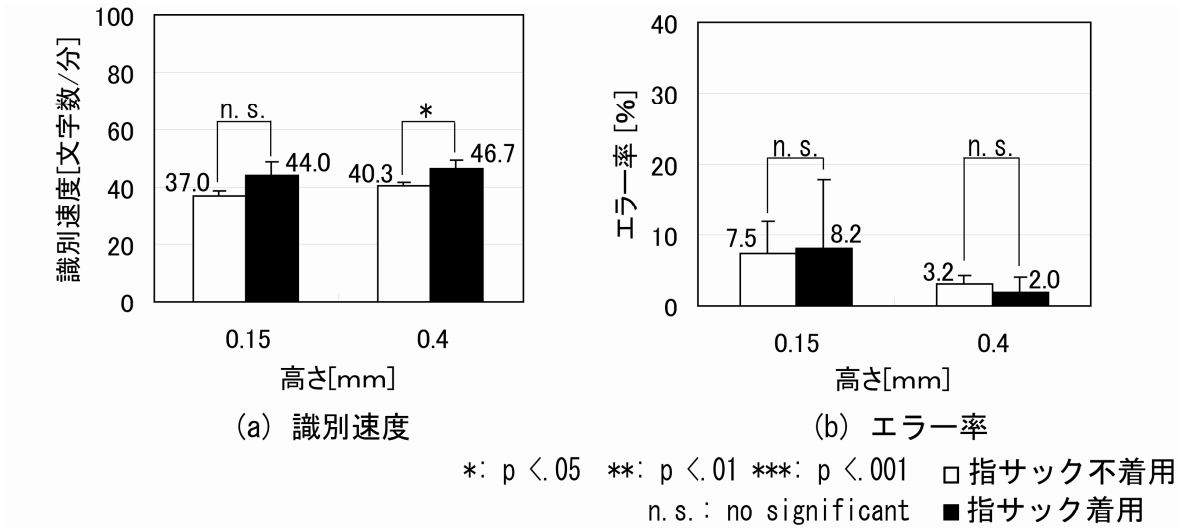


図5 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者E)：(a)識別速度，(b)エラー率

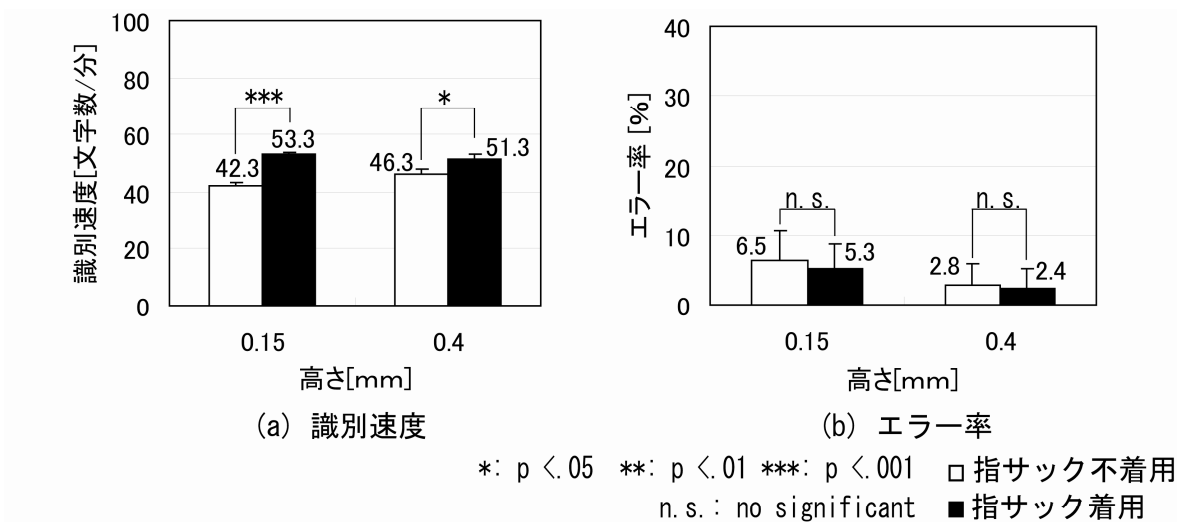
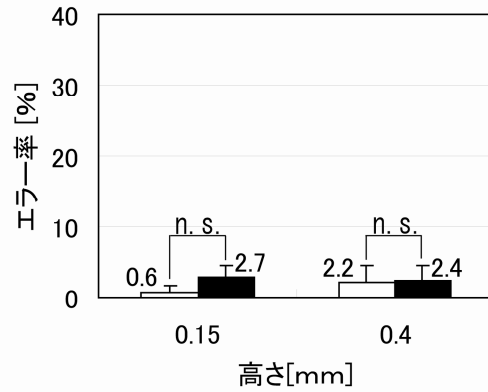
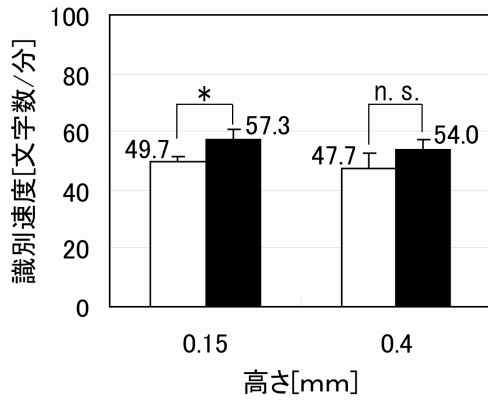


図6 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者F)：(a)識別速度，(b)エラー率

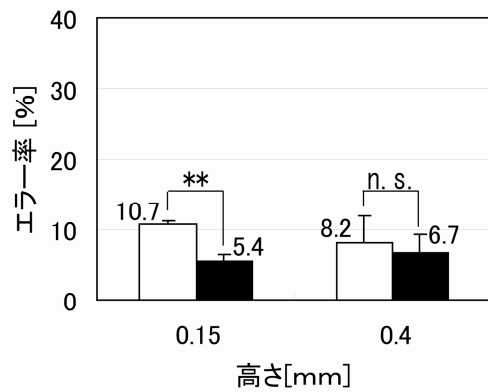
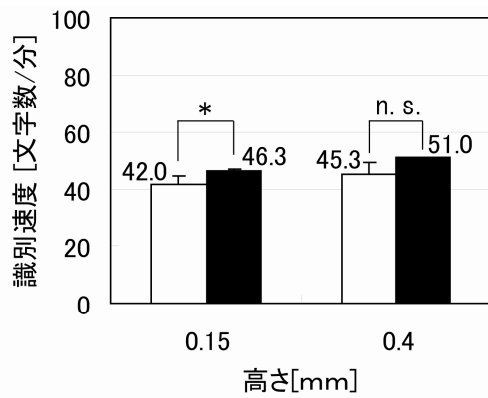


(a) 識別速度

(b) エラー率

*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n.s.: no significant ■ 指サック着用

図7 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者G) : (a) 識別速度, (b) エラー率



(a) 識別速度

(b) エラー率

*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$ □ 指サック不着用
n.s.: no significant ■ 指サック着用

図8 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者G) : (a) 識別速度, (b) エラー率

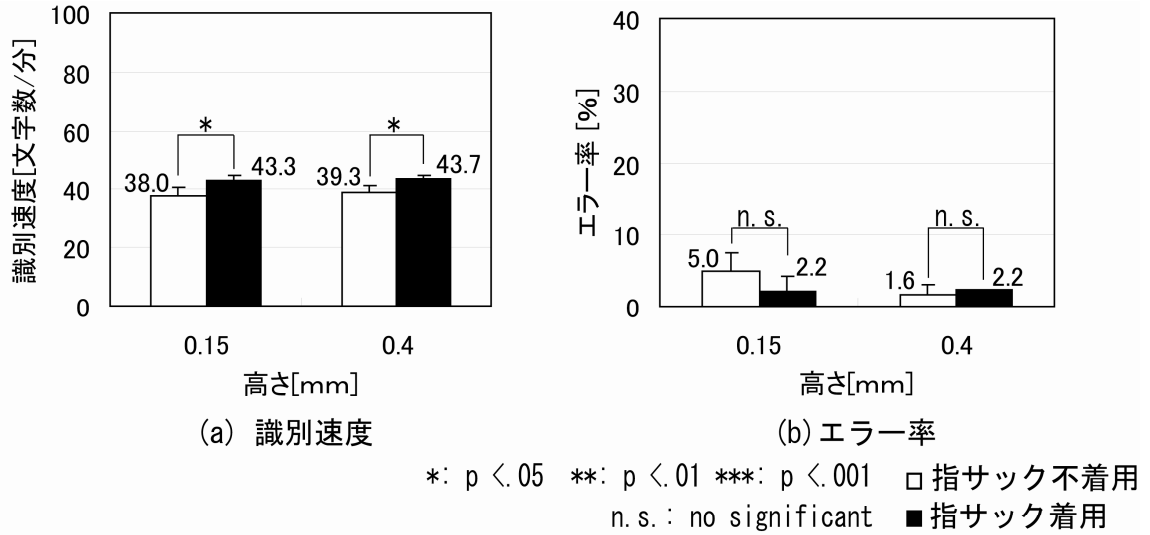


図9 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者I) : (a) 識別速度, (b) エラー率

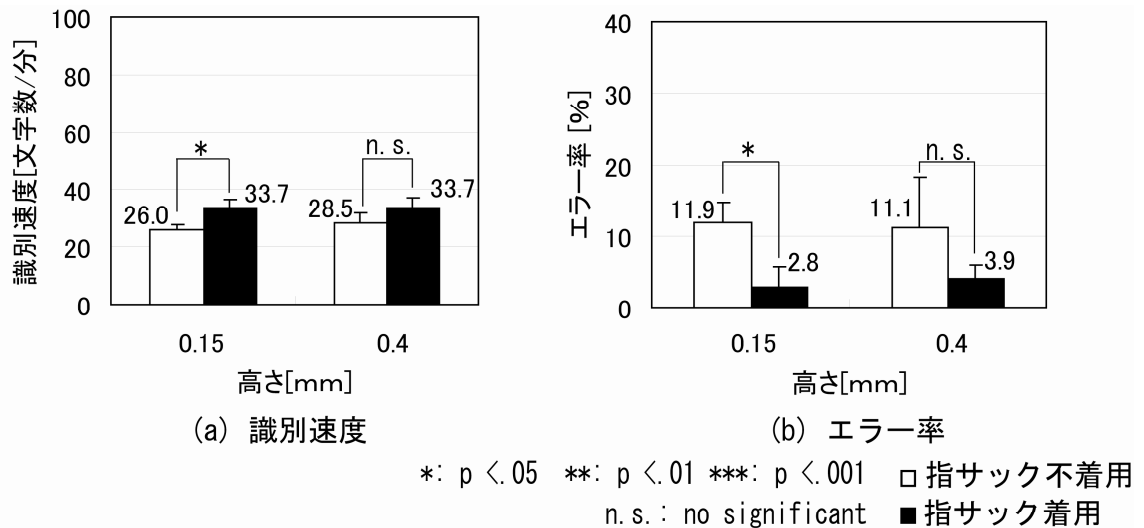


図10 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者J) : (a) 識別速度, (b) 正答率

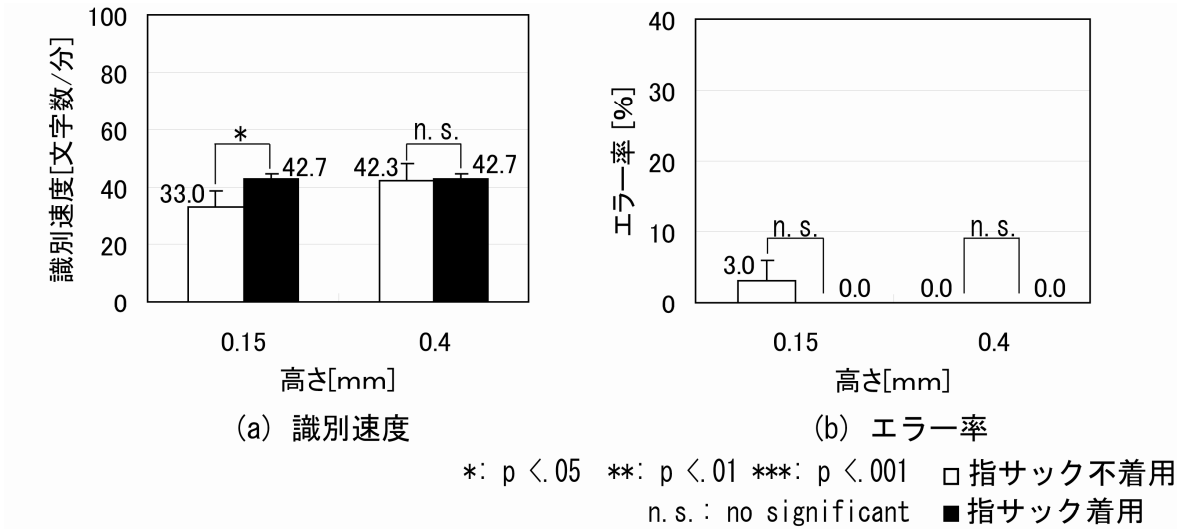


図11 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者K) : (a) 識別速度, (b) エラー率

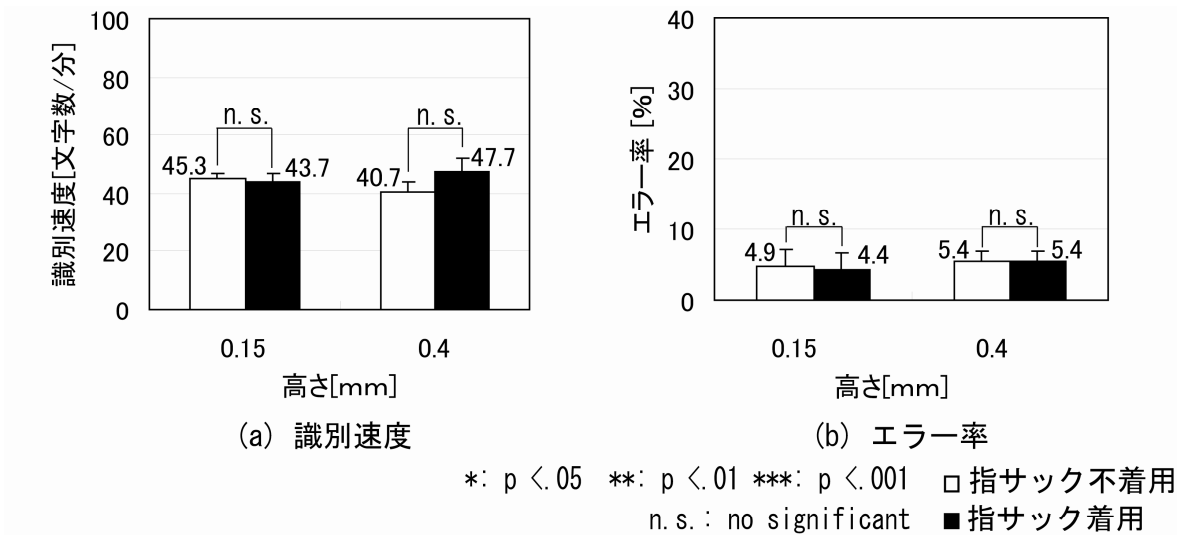


図12 上質紙の上に印刷されたUV点字について指サック着用・不着用によるUV点字の識別容易性比較実験の結果(被験者L) : (a) 識別速度, (b) エラー率