触る切り絵:

レーザー加工された紙による触覚提示と盲ろうの非言語コミュニケーションを支援するツールの開発

Tactile Stencil : Haptic presentation with laser processed papers and development of tools to support def-blind communication

○三國　孝　(東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻) *1　　山中　俊治　(東京大学生産技術研究所) *2

*1 Kou Mikuni, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113-0033, Japan, mickson@iis.u-tokyo.ac.jp

*2 Shunji Yamanaka, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba Meguro-ku, Tokyo 153-8505, Japan, design-lab@iis.u-tokyo.ac.jp

キーワード: プロダクトデザイン, デジタルファブリケーション, 盲ろう支援, 触覚提示

1. 背景

1. 1. 盲ろう

目が不自由な上に耳も不自由な人たちのことを「盲ろう者」と呼ぶ(1). 盲ろう者が点字などを通して手に入れられる文字による情報量は, 盲のみ, 聾のみの人たちが音や光を通して得る情報量に比べても桁違いに少ないと言われている(2). 特に, 顔や声の表情といった, 視覚や聴覚に不自由のない人たちが日常的に大きく依存している非言語的な情報が限定的になる.

盲ろう者の用いるコミュニケーション方法の代表的な例として, 手のひら書き文字, 触手話, 点字, 指点字, 指文字などの触覚を介した方法が挙げられる(1). 弱視ろう者のための筆談, 全盲難聴者のための補聴器など, 触覚以外の情報伝達手段も用いられるが, 少なくないコミュニケーション方法が触覚をベースにしている. 触覚ベースの, 話者どうし, または話者と通訳者が直接触れ合うコミュニケーションにおいて身体的な触れ合いや様々な工夫を通して非言語的な情報のやり取りが行われている.

1. 2. 触覚提示技術

盲ろうを支援する取り組みの多くが触覚を媒介する方法を用いている. 今まで数多の触覚提示方法が, 盲ろう支援に限らず, VRやテレイグジステンスの文脈などで提案されている(3)(4). また, 付加製造技術(AM)を活用し触感を提示する構造を生み出した事例も存在する. 谷川らは, 変形構造により触感を生み出す「構造触感」という概念を提案し, 多くのプロトタイプを制作した(5). 「構造触感」はAMで実現される複雑な構造によって手で触れた際の変形や弾性, 質量感を変化させる. これは, 同一の素材を用いて多様な触感を提示できるという点において, 広い意味での触覚提示の方法の1つである.

1. 3. 構造で振る舞いをコントロールする事例

前述の「構造触感」はAMで作られた複雑な形状によって触感を変化させる取り組みであるが, 除去加工を用いても同じように構造の工夫で振る舞いを変化させる取り組みも存在している. Oshimaらは板材にスリットの繰り返しパターンを切り込むことによって板材の弾性をコントロールする方法を提案している(6).

2. アイデアと仮説

2. 1. 「触る切り絵」アイデアの概要

本論文では触覚による情報提示の新しい方法として「触る切り絵」を提案する. これは紙に緻密なパターンカットを施し様々な触感を提示するものである. レーザー加工機で和紙をハニカム格子状に加工した際に, 加工した部分の手触りが加工していない部分の手触りに比べて柔らかく異なって感じられたという筆者の個人的な体験から, アイデアが着想された.

2. 2. 仮説1: 触感の提示の可能性

レーザー加工機を用いると自由度の高いパターンによる加工が可能である. 様々なカットパターンを使い分けると, 前述の「構造触感」のように多種多様な触感を紙に刻印することができると期待される. そこで, 本論文を通して以下の仮説を検証した.

仮説1: 「触る切り絵はカットパターンの特徴に応じた多種多様な触感を提示することができる. 」

2. 3. 仮説2: 触感による非言語情報の提示の可能性

触覚情報や肌に触れているものの質感は，触覚と関係なく意識を向けているものの印象に影響を与える(7)．また様々な擬態語や触覚と関係のない様子を表すための言語表現に，触覚に由来する言葉があてがわれ一般的に用いられている(7) (8)．これらの事実から触感と印象は強く相関していると言える．

仮説1に従って「触る切り絵」が様々な触感を提示するならば，それは触感に伴った何らかの印象を提示すると推測される．一般的に，印象には抽象的で言語化されない情報や知覚も含まれていることを考慮すると，「触る切り絵」を介して印象，または，非言語的な情報の伝達が行われるはずである．非言語コミュニケーション，特に背景で述べたように非言語的な情報の限られた状況を余儀なくされている盲ろう者のコミュニケーションを支援するツールへと，「触る切り絵」が応用される可能性を見込んで，本論文を通して以下のもう1つの仮説を検証した．

仮説2:「非言語的な触覚情報の交換を支援するツールが，触る切り絵を用いて実現される．」

2. 4. 点字やエンボスとの比較

点字などのエンボス加工は紙や物体の表面に凹凸を施すので，視覚に障害のある人でも指先でその様子を読み取ることができる．これらは形状や文字などの記号的，言語的な情報を提示する．一方，前述の2つの仮説の通り「触る切り絵」が触感や印象を提示するならば，盲ろう者が非言語的な情報を扱う際の補助となるアプリケーションが期待され，盲ろう者のコミュニケーションをより豊かにし，不便を緩和することが期待される．

3. 本論文の目的

3. 1. 試作検討

仮説を検証するために試作を行った．カットパターンとそれによって再現される触感の大まかな傾向を調べるために，代表的なタイリングを参照しカットパターンを設計した．

3. 2. インタビューと今後の開発の方向性の検討

仮説を検証するために，試作物に触れながらのインタビューを行った．被験者として，視覚障害の当事者に協力を依頼した．その後にディスカッションを行い，ニーズのあるアプリケーションの方向性など，今後の研究の方針について検討した．

4. 試作1

4. 1. 試作1の概要

レーザー加工機で出力するパスデータをRhinocerosとAdobe Illustratorを用いて作成し，素材にはケント紙を用いた．カットパターンで参照したタイリングは大きく分けて9種類，それぞれのタイリングに対して，各種パラメータを変えたバリエーションを2~6種類つくり，合計で30枚のサンプルを作成した．

紙のコミュニケーションツールの代表例である名刺をモチーフとして，三つ折りにして91 mm × 55 mmとなる寸法を採用した．Z字型の三つ折りで中面を両側から挟み保護し，中面にパターンカットを施した．加工部分の強度を補うために，中面の外縁に3mm幅の加工しない領域を設けた(図1)．図2~10は各サンプルに施したパターンで，グレーに塗りつぶした領域が切り抜いた部分である．これらの図はトリムした上で倍率は1倍としてある．

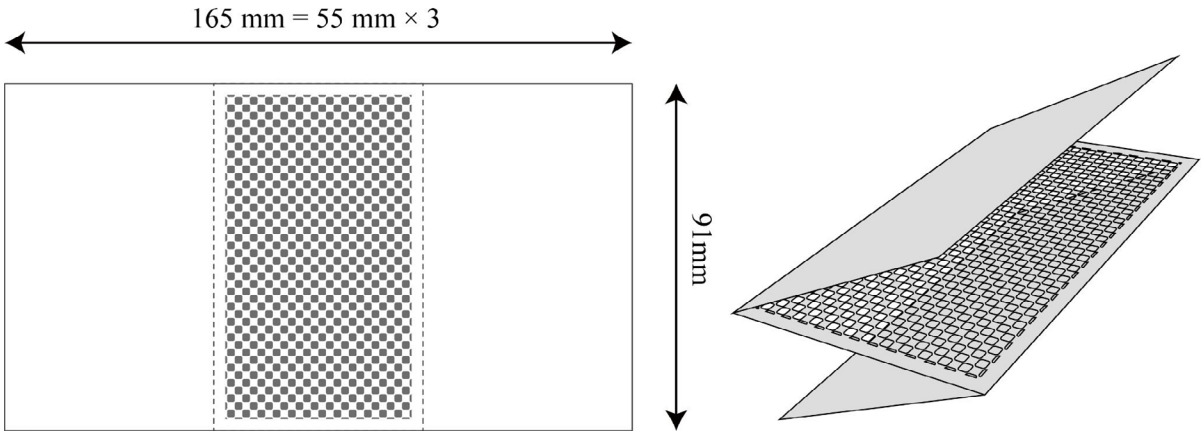

Fig. 1 Left : a drawing of a prototype of checkered pattern, Right : a CG that shows a folded prototype

模様①：単純格子模様（pincheck）

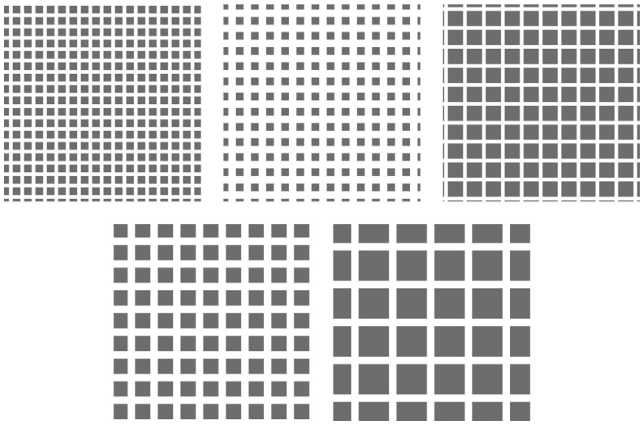

Fig.2 Cut paths referring to pincheck, labelling upper samples as pc-1, pc-2, pc-3 and lower ones as pc-4, pc-5 from left to right

これらの各パターンは各切り抜き部分（正方形）の一辺の長さを1mm，2mm，または，4mmに，また，経と緯のブリッジの幅を0.5 mm，または，1mmに設定した．

模様②：市松模様（checkered pattern）

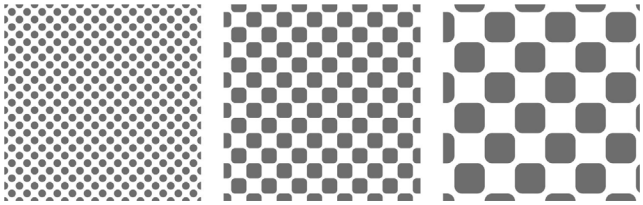

Fig.3 Cut paths referring to checkered pattern, labelling samples as c-1, c-2, c-3 from left to right

これらの各パターンは構成する正方形の一辺の長さを1mm，2mm，または，4mmに，また，切り抜き部分の角を0.5mm，または，1mmでフィレットするように設定した．

模様④：レンガ模様（brick pattern）

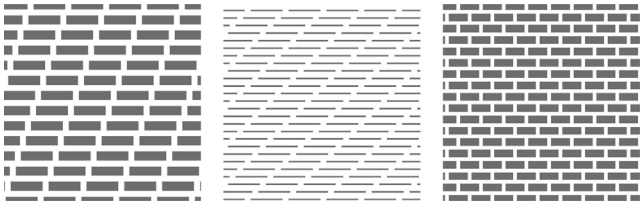

Fig.4 Cut paths referring to brick pattern, labelling samples as br-1, br-2, br-3 from left to right

これらの各パターンはブリッジ幅を0.5mm，または，0.8mmに，切り抜き部分の長方形の縦幅を1.2mm，0.2mm，1mmに，横幅を4.2mm，または，2.5mmに設定した．

模様③：ドロネーの三角形

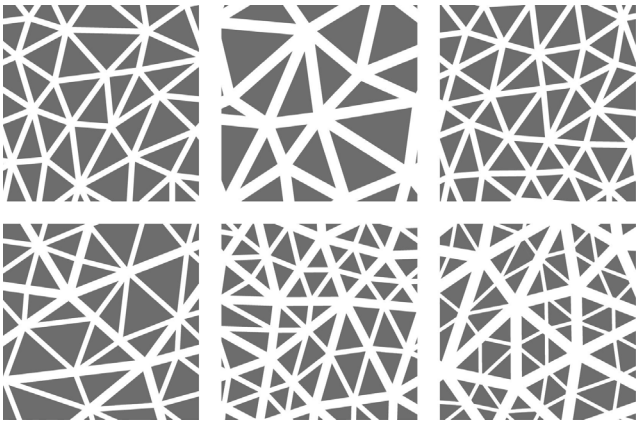

Fig.10 Cut paths referring to Delauney's triangle, labelling upper samples as dl-1, dl-2, dl-3 and lower ones as dl-4, dl-5,dl-6 from left to right

これらの各パターンはブリッジ幅を0.8mm，1.2mm，または，1.5mmに設定した．この内3つ（図10下段）は各エッジを二等分または三等分した点を含めた点群を核としたドロネー三角形をブリッジ幅0.5mm，または，0.7mmで重ねた．

模様⑤：バスケットチェック（basket check）

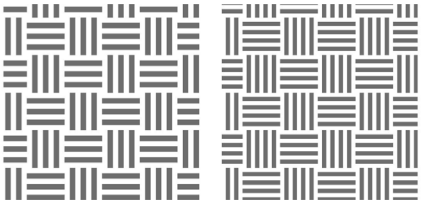

Fig.5 Cut paths referring to basket check, labelling samples as bs-1, bs-2 from left to right

これらの各パターンはベースとなる正方形の一辺を5mmに，スリットの切り抜き部分と切り残し部分の幅を等しく，3つ，または4つのスリットが入るように設定した．

模様⑥：ハニカム模様

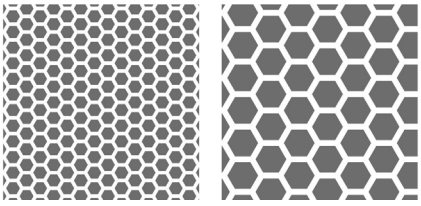

Fig.6 Cut paths referring to honeycomb pattern, labelling samples as hn-1, hn-2 from left to right

これらの各パターンは構成する六角形の一辺を，1.2mm，2.5mmに，ブリッジ幅を0.5mm，0.8mmに設定した．

模様⑦:トラス構造

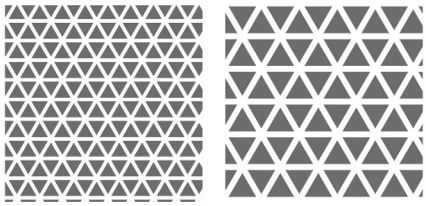

Fig.8 Cut paths referring to regular tiling of equilateral triangles, labelling samples as tr-1, tr-2 from left to right

これらの各パターンは構成する正三角形の一辺を3mm, または, 5mmに, ブリッジ幅を0.5mm, または, 0.8mmに設定した.

模様⑧:七宝つなぎ

Fig.9 Cut paths referring to shippo pattern, labelling samples as sp-1, sp-2, sp-3 from left to right

これらの各パターンは構成する円の直径を, 2.5mm, 4mm, 5mmに, ブリッジ幅を0.5mm, 0.7mm, 1mmに設定した.

模様⑨:ハニカムをさらに三分割した模様

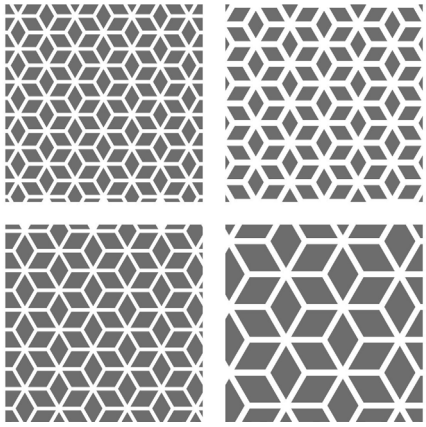

Fig.7 Cut paths referring to honeycomb divided into three rhombuses, labelling upper samples as dh-1, dh-2 and lower ones as dh-3, dh-4 from left to right

これらの各パターンは構成する菱形の一辺を, 2.5mm, 3mm, または, 5mmに, ブリッジ幅を0.5mm, または, 0.8mmに設定した.

5. 事前検討

5. 1. 事前検討の目的

視覚障害を持つ被験者にインタビューを行う前に, 仮説をより具体化して詳細な検討を行うための準備として事前検討を行った. この事前検討では筆者自身の主観で評価が行われた.

5. 2. 手順

事前検討を以下の手順で行った. 30枚のサンプルをシャッフルし, 目隠しをした状態でランダムに3枚を取り出した. 目隠しをしたまま, 手で触った感覚を3枚それぞれに対し主観的に擬態語などを用いて表現し, その内容を記録した. 記録した内容をもとに触感に対して用いられた表現の傾向について考察した.

5. 3. 結果と考察

5. 3. 1. 粗さに関する表現　ドロネーの三角形のサンプルに対して粗さに関する表現が多く出現した. ドロネーの三角形は他の正則タイリング, または正則タイリングを基調とした繰り返しパターンと比較してランダム性が強い. このようなことから, 粗さの知覚とパターンのランダム性の強さに相関があると予想される.

5. 3. 2. 摩擦感に関する表現　市松模様のサンプルやbr-2に対し, 摩擦の少ない様子をあわらす言葉が多く出現した. このことから, 切り抜いた面積割合の低いものほど摩擦感が弱くなるという相関があると予想される.

5. 3. 3. 柔らかさ, 硬さに関する表現　七宝やハニカムパターンのサンプルに対して, 柔らかさを表す言葉が多く用いられた. これらのパターンは, 他のサンプルのパターンと比べて弾性が弱く変形しやすい構造を持つ. このことから弾性と柔らかさの知覚の間には相関があると予想される.

5. 4. 仮説1をより具体化した小仮説

前節の考察をもとに, 仮説1に関するより詳細で具体的な3つの小仮説を設けた.

仮説1-a:「触る切り絵のパターンのランダムさの強さと粗さの知覚の強さは相関する」

仮説1-b:「触る切り絵の切り抜いた面積割合の大きさと摩擦感の知覚の強さは相関する」

仮説1-c:「触る切り絵の弾性の強さと硬質感の知覚の強さは相関する」

6. 試作2

6. 1. 試作2の概要

インタビューで仮説1-b, 1-cについてより具体的な検証を行うために追加でサンプルを試作した. 図11~12のように単純格子を基調にした9種類のカットパターンを作成した. 1行目から3行目のサンプルにかけては線の蛇行を強くし, 弾性を弱くした. また, 1列目から3列目のサンプルにかけては四辺形の内部の切り残した領域の面積を大きくした. この試作2のサンプルは試作1のものと外寸法は同じであるが, 加工する領域の面積を小さくした(図13). これは加工時間を短縮するための変更で, 試作1のサンプルと直接の比較は行わないため, 検証に影響はない.

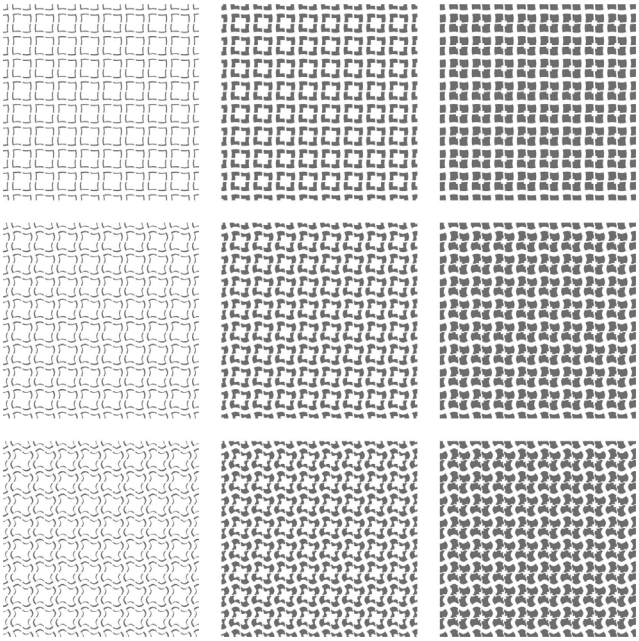

Fig.11 Cut paths for the 2nd prototype,
labelling upper samples as wg-1, 2, 3,
middle samples as wg-4, 5, 6 and
lower samples as wg-7, 8, 9 from left to right
(Scale: around 100%, trimmed)

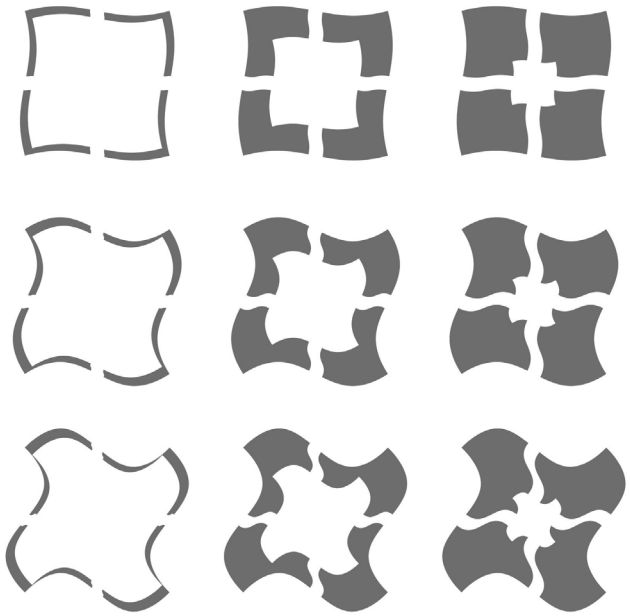

Fig.12 Each cut path unit for the 2nd prototype
repeated every 3 millimeters in cut paths
(Scale: around 800%)

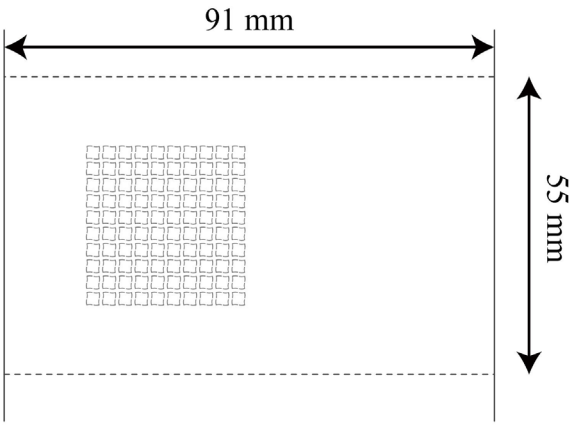

Fig.13 A drawing of the inner face of a sample
of the 2nd prototype

7. インタビュー実験

7. 1. インタビューの目的

事前検討の結果は, 製作者本人の主観による先入観の影響を受けている可能性がある. また, 目隠しなどの工夫を行ったとしても, 視覚情報の影響を排除しきれていない可能性があると考えられる. そこで, 日常的に点字などの触覚情報を用いている人物からのフィードバックを得ること, また,「触る切り絵」の応用開発を進めていくために必要な知見を得ることを目的として,

視覚障害の当事者（全盲）1名を対象にインタビューテストを行った．仮説1-a，b，cを検証するユーザーテスト形式のインタビューと，仮説2を検証する対話形式のインタビューを実施した．

7．2．インタビューの手順

7．2．1．ユーザーテスト形式のインタビュー1　試作1のサンプルを用いて仮説1-a，b，cを検証するための試行をそれぞれ1回ずつ，合計3回，下の手順に沿って行った．

(1) 手渡された4枚のサンプルを近い触感のもの同士で組み合わせて2つのグループに分けるよう被験者に指示した．

(2) 分けられたグループにどのような違いがあったのか被験者へのヒアリングを行った．

但し，使用したすべてのサンプルには回答を効率的に行うために予め点字で番号を振った．

7．2．2．ユーザーテスト形式のインタビュー2　試作2のサンプルを用いて仮説1-b，cを検証するための試行をそれぞれ1回ずつ，合計2回，下の手順に沿って行った．

(1) 図11のうち，同じ行（列）のサンプルを2枚手渡し，被験者にその2つの触感の違いについてヒアリングを行った．

(2) 次に(1)とは違うが互いに同じ行（列）のサンプルを3枚手渡し，被験者はそれらを(1)で違いとして回答した特徴の順にサンプルを並べた．

このインタビューで使用したサンプルにも予め点字で番号を振った．

7．2．3．対話形式のインタビュー　続いて自由対話形式のインタビューを実施した．手元に「触る切り絵」のサンプルを用意し，ユーザーテストの内容や「触る切り絵」の応用の可能性，視覚障害の当事者が期待することなどについて議論を行った．また，その様子をカメラで記録した．

7．3．結果（ユーザーテスト形式のインタビュー）

7．3．1．ユーザーテスト形式のインタビュー1の結果

(試行1) hn-2，dl-5の組と，dl-3，tr-3の組に分けられた．前者は穴が小さく，後者は穴が大きいという違いがあると回答を得た．

(試行2) br-2，c-1の組と，pc-1，br-3の組に分けられた．前者は「濾紙に似た手触り」「穴が小さい」「手触りがいい」という特徴があり，後者は「穴が大きい」「網戸に似た手触り」「摩擦が強い」「ざらつきが強い」という特徴があると回答を得た．

(試行3) sp-1，pc-3の組と，sp-3，pc-5の組に分けられた．前者は，目が細かく感じられ自分の指の温度よりも紙の質感を強く感じるのに対し，後者は，隙間が非常に大きく感じられ，紙を挟んだ自分の指の温度を強く感じるという違いがあると回答を得た．

7．3．2．ユーザーテスト形式のインタビュー2の結果

(試行4-1)「wg-8は穴が大きくざらつきを感じるのに対し，wg-7は穴が小さく，ざらつきよりも手触りの良さが先行したサラサラ感があり，すべすべ肌のようなさらっとした感じ」という回答を得た．

(試行4-2) wg-1，2，3を「サラサラ」から「ザラザラ」の順に並べると，wg-1，2，3の順に並ぶという回答を得た．

(試行5-1) wg-3，9を比較したが，wg-9に破れなどがありノイズが入ったため，中断した．

(試行5-2) wg-1,7を比較した．第一印象は何も違いを感じないという回答であったが，数秒触ったあとははっきりとwg-1が厚くしっかりした感じで，wg-7が薄く感じ，少しざらつくという回答を得た．

7．4．考察（ユーザーテスト形式のインタビュー）

7．4．1．カットパターンの目の大きさについて　試作1のサンプルを用いた試行1~3では，穴の大きさに関する回答が多かった．また，サンプル同士の違いについて考える間の被験者の呟きの中に，「線が真っ直ぐ」「線が斜め」といったカットパターンの構造や形状に関する具体的な発言が頻繁に聞かれた．このことから，普段から点字やエンボスなど細かな凹凸や形状を指先で感じとることに慣れている被験者にとって，試作1のサンプルの多くはカットパターンの目が大きく，形の情報を明確に認識してしまい，本来の狙いであった触感の知覚が起こりにくかったと考えられる．一方，br-2，3やsp-1，また，試作2のサンプルに対しては，触感に関する言葉が比較的頻繁に聞かれた．

7．4．2．仮説1-aについて　インタビュー実験ではランダムさと粗さの知覚の相関を見出すことができなかった．これは前項で述べたようにカットパターンの目が大きく，触感の知覚が期待されていたように起こらなかったからであると考えられる．仮説1-aを検証するためには，十分に細かな目を持つカットパターンで追加の比較を行わなければならない．

7．4．3．仮説1-bについて　試行2の結果は，切り抜いた面積割合の大きいもの（br-3，pc-1）と小さいもの（br-2，c-1）と組分けられた．前者の組に対しては，「網のような触感」「ざらつきが強い」「摩擦を感じる」，後者に対しては，「濾紙に近い触感」「ざ

らつきが弱い」「手触りが良い」と，粗さや摩擦感について明確に異なる傾向の回答があった．試行4-1，2の結果を踏まえても，切り抜いた面積の割合が大きなものほど摩擦を大きく感じるという仮説1-bが部分的に支持された．しかし，今回のインタビューで頻繁に聞かれた「ざらつき」は一般的に表面の粗さを表す擬態語である．岡本ら(9)の定義によると，触知覚を構成する5つの材質感次元のうち，「粗さ」と「摩擦感」は異なる次元である．今回の結果では，試行2，4に限って言えば，「粗さ」と「摩擦感」が相関している．「触る切り絵」の方法で，この2つの材質感を独立に変化させることができるのか，今後追加で検証する必要がある．

7. 4. 4. 仮説1-cについて　試行5の結果，弾性を弱くするためにブリッジの蛇行の振幅を大きくしたサンプルほど「薄さ」と「ざらつき」が強く感じられた．「薄い」と知覚されたサンプルも他のサンプルと同じ紙を使用しており実際の厚さは同じである．一般的に同じ材質ならば，薄い膜ほど弾性が弱くなる.今回被験者が，微妙な弾性の差を感じ取って，厚みの違いとして知覚していたという可能性がある．以上のことから仮説1-cは部分的に支持されるが，薄さと柔らかさの知覚について追加検討の必要がある．

7. 5. 対話形式のインタビューの内容

「どのサンプルが一番好みの手触りか」と問うた際，無加工の面が一番滑らかで好みという回答を得た．続けて，「滑らかな面の中に，1ヶ所だけ手触りが変化している部分があるとインパクトがある．手触りの良さよりも，注目したい部分の触感が変わっていることで見つけやすさという点で助かる」という旨のコメントが聞かれた．注目したい部分の具体例としてQRコードやバーコードが例として挙げられた．これらは視覚障害を持つ人にとってその印字された位置を知ることがとても難しいという．

他に「紙幣の種類の弁別の助けになるかもしれない」と，「触る切り絵」の活用の可能性の例を挙げていた．また，鉄道を利用する際に，同時に発行される特急券と乗車券，領収書が弁別できずに困ったという体験談が聞かれた．被験者は一度確認してからチケットの種類ごとに異なる折り目をつけることで弁別していると話していた．その上で，「公共交通機関の規格化されたチケットなど，エンボスを施すことが難しいものに対して，パターンカットによって弁別できる印がつけられていると助かるかもしれない」という旨のコメントがあった．また会社ごとに異なるパターンカットがアイコンやシンボルのようにして施されていたら，実用的にも意匠的にも好ましいのではないかというアイデアも聞かれた．

7. 6. 対話形式のインタビューの内容についての考察

今回のインタビューでは「触る切り絵」を従来のエンボスや点字と同じく記号的な情報提示の方法として期待する声が聞かれた．一方で，2章で述べたような，当初見込まれていた非言語情報の提示に関する期待の声は聞かれなかった．ユーザーテスト形式のインタビューの考察の節でも述べたように，今回の試作品では触感の提示に関する検証を十分に行うことができなかったため，仮説2を確かめることができなかった．それに対して，応用する際の制約条件が点字などのエンボス加工と異なるため，エンボスが現時点で施されていないようなプロダクトにも触覚情報を載せられる可能性が示された．

8. 結論

8. 1. 触覚提示方法としての確立に向けて

本論文では仮説1-a，b，cを立てた上で，紙のカットパターンの構造と触感の関係について議論してきた．カットパターンの調整を通して触感に変化を与えるという方法を定式化するためには，今後，触感の尺度を定義し，具体的かつ体系的に議論していく必要がある．今回は，試作と実験を通して，目の大きさ，切り抜く面積の割合，弾性を調整することで，触感を変化させられることがわかり，今後の開発の方向性が示された．

8. 2. アプリケーションに向けて

今回，インタビューを通して期待を得られたアプリケーションの方向性は，エンボスの施しにくいとされる製品への代替技術としての活用であった．これは，当初想定していた，触感を介する非言語情報の提示による盲ろう者のコミュニケーションのサポートとは異なる方向性であった．しかし，「触る切り絵」が盲ろう者を含めた視覚障害を持つ人たちの生活の不便さを軽減し生活をより豊かにする可能性が見出された．次の検討として，どのような場面でエンボスが使われているか，どのような場合にはエンボスが使えないのかといった事例の調査を行うことが考えられる．また，アプリケーションの具体的な模索を行うために，パターンカットを施したプロダクトの試作検討を行うことも重要である．

今後の開発で「触る切り絵」の方法が確立された場合に，触感を介した非言語情報の提示についても，新たな応用の方向性が提示されるかもしれない．また，今回の検証では1人のみからフィードバックを受けたが，より多くの人からフィードバックを集めることで，新しいアイデアが得られることが期待できる．

文献

(1) 社会福祉法人 全国盲ろう者協会 ホームページ:盲ろう者とは: http://www.jdba.or.jp/deafblind/top.html (参照日 2021年6月11日)

(2) 生井久美子:ゆびさきの宇宙 福島智・盲ろうを生きて, 岩波書店, pp. 12-14, 2009

(3) 張建堯, 小林優人, 梶本裕之, 松森孝平, 齋藤直輝: 異なる皮膚状態の触感再現に関する研究, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 4A-04, 2019

(4) 井上 康之, 中 郁己, 加藤 史洋, 舘 暲:触原色原理に基づいた触覚提示システム, TVRSJ Vol.25 No.1, pp. 86-94, 2020

(5) 山中俊治:デザインと加工技術の深い関わり, そして未来プロトタイピングが示唆するAM革新の可能性, プラスチック成形加工学会 創立30周年記念冊子, 2018

(6) Taisuke Ohshima, Tomohiro Tachi, Hiroya Tanaka, Yasushi Yamaguchi:Analysis and design of elastic materials formed using 2D repetitive slit pattern, Proceedings IASS, pp. 1-12, 2015

(7) David J. Linden, 岩坂彰 訳:触れることの科学 なぜ感じるのか どう感じるのか(Kindle版) 第1章, 河出文庫, 2019

(8) 渡邊 淳司, 情報を生み出す触覚の知性: 情報社会をいきるための感覚のリテラシー(Kindle版) 第4章, DOJIN選書, 2018

(9) 岡本正吾, 永野光, 山田陽滋:素材の触知覚を構成する5種の材質感次元, 第16回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 362-365, 2011