

Nara Women's University

他者の手指作業への没入感を誘発する配信型追体験システムの研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2021-05-07 キーワード (Ja): 工芸, 職人技, 身体感覚, 体感, 体性感覚刺激, 配信型追体験システム, 没入感, 嗅覚刺激 キーワード (En): 作成者: 湯川,光 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10935/5565

博士論文

他者の手指作業への没入感を誘発する
配信型追体験システムの研究

18940012 湯川光

指導教員 佐藤克成

2021年2月

奈良女子大学大学院人間文化総合科学研究科生活工学共同専攻

概要

追体験とは、「他人の体験をあとからなぞり、自分の体験のようにとらえること」である。従来は、本や映像などの情報から受け手が情景を推測し追体験を行ってきた。近年では、VR（バーチャルリアリティ）や、複合的な感覚提示によって、追体験の質が向上しており、身体運動を伴う追体験を可能にするシステムが開発されている。身体運動の追体験システムの1つとして単方向型の情報伝達（配信型）を用いたシステムがある。配信型システムの場合、他者の体験情報の改変は最小限であるため、専門技術など個人に特有な体験の追体験を可能にできるというメリットがある。本研究では専門的な技術として伝統工芸や地場産業などの職人技に着目し、配信型の追体験システムのプロモーションへの活用を目指す。伝統工芸は日本の文化を象徴する産業の1つで、文化的・美術的価値を有しており、商品価値だけでなく、教育機関における情操教育の分野でも有用性が見直されているが、その市場規模や従事者数は年々減少している。その状況を打破するための訴求点の1つとして、職人技がある。職人技には独自性・希少性があり、追体験によって技術力を体感できればプロモーション効果が期待できると考える。

一方でVRにおける体験のリアリティを高めるためには、使用者の動作に応じて提示される情報を変化させ、相互作用性を向上させる方法が主流であるが配信型システムでは相互作用性は最小限となる。そのためこれまでの配信型追体験システムでは、複合的に感覚刺激を提示することによってリアリティを補完し、体験への没入感を向上させてきた。ただし、体験への没入感に対する感覚重畳の効果は明確になっていない。

以上の背景を踏まえ、本研究では2つの目的を設定する。1つ目は、配信型追体験システムの没入感への効果を定量的に示すことである。体性感覚刺激・嗅覚刺激を用いた配信型追体験システムを構築し、身体所有感・運動主体感の観点から没入感への効果を検証する。配信型追体験システムにおける感覚重畳の効果は定量的に明らかにすることは、今後のシステム設計の指針となり工学的意義があると考えられる。2つ目は、配信型追体験システムの訴求性を示すことである。製品や技術の印象向上効果と動作習得効果の観点から使用者に対する訴求性を明らかにすることで、提案するシステムが工芸の業界が抱える課題解決の一助となりえると考えられる。

第1章では、追体験コンテンツのこれまでの発展と、追体験コンテンツの活

用事例として本研究で取り上げる伝統工芸の現状を紹介した。そして本研究の目的と方法、意義を示し、本論文の構成を述べた。

第2章では、メディアを用いた体験の事例と感覚重畳による知覚・身体感覚の錯覚現象の先行研究を紹介した。そして、本研究で目指すシステムの機能要件として「他者の実体験の模倣」、「アクセシビリティ」を、求められる効果として「没入感」と「訴求性」を挙げ、体験コンテンツにおける配信型追体験システムの位置づけと、既存の配信型追体験システムに対する本研究の独自性を示した。

第3章では、**Pseudo Haptics** と追従動作、嗅覚刺激を用いた追体験システムを構築し、システムと対象とした製品の印象を評価させた。その結果、体性感覚刺激と嗅覚刺激によって製品の印象が向上し、嗅覚刺激によってシステムのリアリティが向上した。ただし体性感覚刺激による効果は小さかったことから、提示方法を検討する必要があると考えた。

第4～6章では、体性感覚刺激の提示法の改良を目指し、木工の追体験システムを構築した。身体感覚の錯覚現象である **Rubber Hand Illusion** やミラーセラピーを応用し、体性感覚刺激として振動刺激と追従動作を採用した。その結果、振動刺激と追従動作が身体所有感・運動主体感を向上すること(4章)、作業の要件として、次動作の予測性が重要であること(5章)が示された。さらに、一般ユーザに対する体験会を行い使用者の感想を得た(6章)。

第7章では、第4～6章で構築したシステムに嗅覚刺激を付与し、体性感覚刺激の効果を増強しうるか検証した。映像に対し、適切/不適切な嗅覚刺激を付与した場合の効果の差異を、身体所有感・運動主体感の観点から評価した。その結果、匂いの種類・有無による差異はみられなかった。一方で匂いの種類ごとに知覚しやすさが異なっていたことから、提示法が影響した可能性を考えた。

第8章では、第4～7章で構築したシステムを応用し、体性感覚刺激と嗅覚刺激を用いたシステムの訴求性への効果を調査した。訴求性として、製品や技術の印象向上効果と体験による動作習得効果を評価した結果、両者が向上する傾向がみられた。

第9章では、提案システムをシステム要件から考察するとともに、実験から得られた知見を工学的貢献、社会的貢献の観点から論じた。さらに、提案システムの実装に向けて、本研究で得られた知見を整理した。

第10章では、本論文のまとめとして、配信型追体験システムにおいて、体性感覚刺激によって身体所有感・運動主体感が向上すること、体性感覚刺激と嗅覚刺激によって使用者への訴求性が向上することを示すとともに、今後の展望を論じ結言とした。

Abstract

"Reliving experience" refers to the act of tracing another person's experience and perceiving it as one's own. In recent years, several systems have been developed that enable users to experience reliving experiences with physical movements using virtual reality technologies. When users experience reliving experiences of personal techniques with no standardization, it is necessary to alter the experience information as less as possible. Therefore, reliving experience systems have attempted to enhance immersion without altering the experience information by presenting multiple senses in a complex manner. However, the effect is still unclear. The aim of this study is to propose a broadcast-type promotional systems with high immersiveness that focuses on the craftsmanship of traditional crafts and local industries using somatosensory and olfactory stimuli. First, this study aimed to quantitatively demonstrate the effect of the proposed system on the sense of immersion, and it was evaluated in terms of the sense of body ownership and agency subjectivity. Second, it showed the effects of promoting the target products and techniques, and the impressions of products and techniques were investigated when the participants used the proposed system.

The results showed that somatosensory stimulation improves the sense of body ownership and agency subjectivity in the case of repetitive motion work. Furthermore, it was shown that adding somatosensory and olfactory stimuli improved the impression of the products. Based on these results, it was suggested that the broadcasting systems with somatosensory and olfactory stimuli could improve the immersiveness of the system and impression of the target products.

目次

第1章 序論.....	1
1.1. 他者の体験を共有する追体験.....	1
1.2. 職人技の現状.....	3
1.3. 体験によるプロモーション効果.....	5
1.4. 体験実施における課題.....	7
1.5. 本研究の概要.....	8
第2章 没入感を伴う追体験システムに関する先行研究.....	13
2.1. メディアを用いた体験.....	13
2.2. 体性感覚刺激に関する身体感覚の錯覚現象.....	17
2.3. 嗅覚刺激による錯覚現象と記憶に対する効果.....	19
2.4. 目指すべきシステムの要件定義.....	24
2.5. システムの提案.....	28
2.6. 本研究の独自性.....	29
第3章 Pseudo Haptics を用いたシステム.....	33
3.1. 提案システムの構成.....	33
3.2. 実験内容.....	33
3.3. 結果.....	37
3.4. 考察.....	40
3.5. まとめ.....	42
第4章 振動刺激・追従動作を用いた木工追体験システム.....	43
4.1. 木工追体験システムの構成.....	43
4.2. 実験内容.....	44
4.3. 結果.....	49

4.4.	考察.....	51
4.5.	まとめ.....	52
第5章	木工追体験システムにおける作業要件の検討.....	53
5.1.	実験内容.....	53
5.2.	結果.....	55
5.3.	考察.....	58
5.4.	まとめ.....	59
第6章	木工追体験システムの応用事例.....	61
6.1.	豆かんなの事例.....	61
6.2.	槍鉋の事例.....	63
6.3.	まとめ.....	65
第7章	嗅覚刺激による没入感への効果検証.....	68
8.1.	実験内容.....	68
8.2.	結果.....	71
8.3.	考察.....	72
8.4.	まとめ.....	74
第8章	配信型追体験システムにおける訴求性への効果検証.....	75
9.1.	実験内容.....	75
9.2.	結果.....	80
9.3.	考察.....	84
9.4.	まとめ.....	85
第9章	総合考察.....	86
10.1.	提案システムの効果の整理.....	86
10.2.	システム構成の要件に対する評価.....	87
10.3.	工学的知見.....	89

10.4.	社会的貢献.....	91
10.5.	提案システムの実装に向けて.....	92
第10章	結論.....	97
11.1.	まとめ.....	97
11.2.	今後の展望.....	98
	謝辞.....	99
	参考文献.....	100
	関連発表.....	108
	付録.....	109

第1章 序論

はじめに本研究で対象とする「追体験」の概念と特徴を紹介する。続いて、身体運動を伴う追体験の対象作業として本研究で取り上げる、工芸の職人技にまつわる現状の課題とその解決方を議論する。以上を踏まえ、本研究の目的、手段と意義、および論文の構成を示す。

1.1. 他者の体験を共有する追体験

1.1.1. 追体験の定義

追体験とは、「他人の体験をあとからなぞり、自分の体験のようにとらえること (Nacherleben, 広辞苑第6版)」である。心理療法の分野で池見らは、追体験を「他者の語りを聞いて、視覚的なイメージが浮かび、「わかる」あるいは「理解する」という体験である」と表現しており[1]、追体験は他者が過去に体験した事象への深い理解を促しうる行動だと推測できる。次節では時代と共に発展してきた追体験を可能にする方法の種類とその分類を述べる。

1.1.2. 追体験の種類と分類

追体験は、従来は著書や映像などの言語情報・視聴覚情報から、体験者(読者・視聴者)自身が体験を解釈し、体験したような感覚を生起させる方法で行われてきた。近年では、VR(Virtual Reality)の技術の活用により、CG(Computer Graphic)で再現されたVR空間での体験の実現や、視聴覚刺激以外の感覚刺激の複合的な重畳による環境のリアリティ向上によって、心理的な追体験のみならず、身体的な追体験の実現が試みられている(身体運動の追体験システムの先行事例の詳細は2章で後述する)。

池井ら[2]は身体運動の追体験システムの開発時に、追体験手法を体験の手段(現実空間・メディア)と運動感覚の提示方法(運動なし、能動運動型、能動運動型)によって分類している。表1-1に池井らによる追体験の手法の分類を示す。なお池井らの定義によると、メディアは「本物もしくは実物ではなく、記録や解釈による再現を行うための手段一般」を指す。現実空間での能動的な運動の例としては、過去の空間が再現された場所での体験が挙げられる。例えば、史跡の再現施設や体験型の博物館や科学館などの復元模型によって再現された現実空間内で、体験者自身に自由な行動をさせるものである。こうした体験は、過去の環境を知ることの特化しており、過去の他者の体験自体の

表 1-1：追体験の分類
[2]から引用（一部改変）

	現実空間を用いる手法	メディアを用いる手法
運動なし	—	書籍，映画の視聴
能動運動型	再現された実空間での自由な運動による体験	VR 空間での自由な運動による体験
受動運動型	テーマパーク等の再現世界のライドの体験	池井らの手法

共有とは異なる。またテーマパークのライドは受動的に運動刺激が与えられるものの、環境の観察に限定された追体験である。次に、運動を伴わないメディアを用いる手法として、書籍や映画を挙げている。これらの手法は、他者の体験自体を視聴覚情報として表現することはできる。一方でそれらの情報を手掛かりとした解釈が必要であるため、追体験の質は体験者の想像力や経験に依存する。能動運動型の手法としては VR 空間での自由な体験を挙げている。これは、現実空間を用いた場合と同様に環境の再現は可能にするが、過去の他者の体験自体の共有とは異なる。対して池井らは、歩行感覚に着目し、受動的に運動刺激と感覚刺激を与えることで他者の体験自体の追体験を可能にするシステムを構築している。このシステムは使用者の動作に対応した情報提示が最小限で、相互作用性が低い配信型である。しかし、視聴覚情報に複数の感覚刺激を重畳することで追体験の臨場感を高めている。

1.1.3. 追体験の活用

池井らが提案する身体運動の追体験は、体験学習や技能トレーニングに加え、プロモーションや娯楽コンテンツとしての活用が期待される。特に、個人に特有な体験を共有する場合、他者の体験情報をできる限り改変することなく伝達される必要がある。そのため、他者の体験自体を追体験する場合、その情報伝達の方法は、基本的には使用者の自由運動による体験内容の変動が少ない単方向の情報伝達（配信型）が望ましい。例えば、卓越した運動技能をもつアスリートや伝承の対象となる技術（伝統芸能や芸道、工芸など）の従事者の身体運動など、属人的で専門的な体験の共有時には、個人の体験情報が重要であり、配信型システムの有する特徴が有用となる。

そこで本研究では、伝統工芸や地場産業などの職人技を対象とした追体験に着目し、職人の技術力の体感を通じたプロモーションコンテンツの構築を目指す。

1.2. 職人技の現状

1.2.1. 伝統工芸の衰退

職人技を用いて製造される製品の代表として伝統工芸がある。伝統工芸は日本文化を象徴する産業の1つであり、文化的・美術的価値を有している。その特徴から、商品価値だけでなく、教育機関における情操教育の分野でも有用性が見直されている[3]。伝統工芸は、伝統的工芸品産業の振興に関する法律（昭和49年法律第57号）に基づき、経済産業大臣によって指定を受けた工芸品を指す[4]。以下に、伝統工芸に指定されるための5つの条件を示す。

- ① 主として日常生活の用に供されるもの。
日常生活の中で使用される用具であり、美術品などは含まれない。
- ② その製造過程の主要部分が手工業的。
製品の品質、形態、デザインなどの製品の持ち味に大きな影響する部分は手作業が中心であること。ただし補助的な道具の使用や補助的な工程の機械化を妨げるものではない。
- ③ 伝統的な技術又は技法により製造されるもの。
「伝統的」とは原則100年以上の歴史を持ち、現在も継続していること。
- ④ 伝統的に使用されてきた原材料が主たる原材料として用いられ、製造されるもの。
「主たる原材料」とは製品の品質や持ち味を維持するために必要不可欠な材料を指す。③と同様原則100年以上の継続使用が必要であるが、品質に影響しない範囲での同種内での原材料の変化は認められる。
- ⑤ 一定の地域において少なくない数の者がその製造を行い、又はその製造に従事しているもの。
「少なくない」とは、原則10以上の事業者または30人以上の従事者が存在することを指す。

上記の基準を満たした伝統工芸品として、現在235品目（産地）が指定されている（2019年11月20日時点）。伝統工芸品に指定されると、人材育成や技術・技法継承、産地指導、普及推進、需要開拓などの各事業の補助を受けることができ、2020年度の伝統的工芸品産業振興補助金の予算額は7.1億円にものぼる[5]。

こうした国による熱心な助成が行われる一方、伝統工芸の生産額と従業員数は年々減少している。図1-1のグラフに伝統工芸の生産額と従業員数の遷移を示す。左の縦軸は生産額（単位：10億円）、右の縦軸は従業員数（単位：千人）を表す。それぞれピーク時と比較すると生産額は約5分の1に、従業員数は約4分の1になっており、その衰退がうかがえる[6][7]。

さらに、地方自治体の伝統工芸への認識も問題である。図1-2に地方自治体が地域活

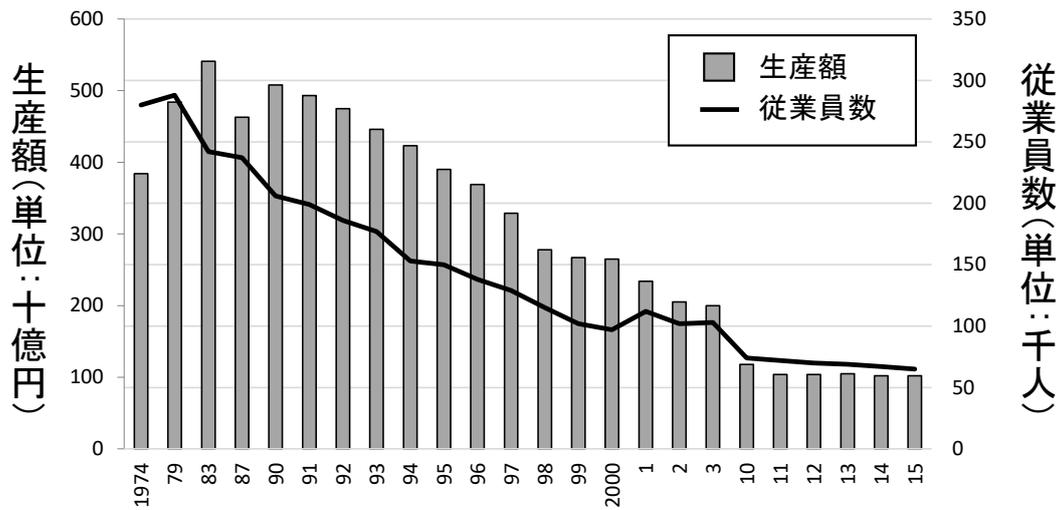


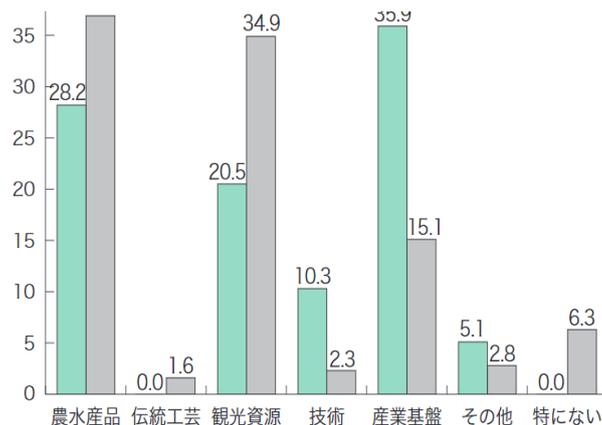
図 1-1：伝統工芸の生産額，従業員数の推移

出典：（一財）伝統的工芸品産業振興協会資料により作成[6][7]

活性化を促進に寄与すると期待できる地域資源を調査したデータを示す。他の地域資源と比較し、伝統工芸に対する期待が著しく低く、国内での伝統産業に対する関心と期待値の低さがうかがえる[6]。

1.2.2. 外国人に向けた日本文化の発信の可能性

国内の関心の低さ、少子高齢化による国内需要はさらに減少が見込まれることや、海外旅行客の増加に伴い、日本の文化的価値を海外市場に対して訴求する取り組みが行われている。例えば、日本政府主導で進められる「クールジャパン戦略」は、日本の伝統



資料：中小企業庁委託「自治体の中小企業支援の実態に関する調査」
 (2013年11月、三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株))
 (注) 地域活性化の切り札となる地域資源として1位から3位を回答してもらった中で、1位に回答されたものを集計している。

図 1-2：地域活性化の切り札となる地域資源 [6]から引用

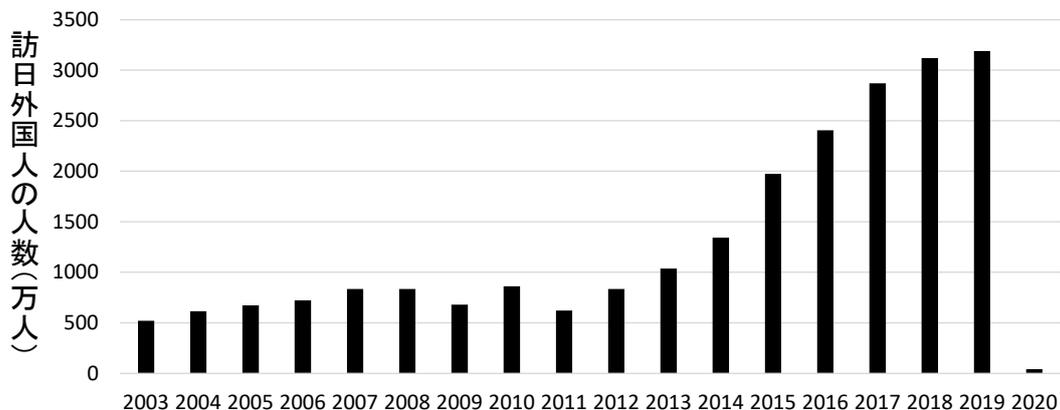


図 1-3：訪日外国人数の推移

出典：日本政府観光局（JNTO）[9]

文化だけでなく、アニメ、漫画、ゲーム、ファッション、食、ロボットなど、外国人から見た日本の魅力を発信し、海外需要を増加させることを目指した戦略である[8]。実際に訪日外国人の数は増加しており、2019年は2003年と比較し6倍以上になっている[9]（図1-3）。また2019年度の観光庁による訪日外国人消費動向調査[10]によると、観光・レジャー目的の旅行者の9.8%が民芸品・伝統工芸品を購入していると示されている。特に米国では購入率が高く、24%の旅行者が購入している。このため、外国人旅行者にとっては日本独自の文化の1つである民芸品や伝統工芸品は一定の訴求性があると考えられる。

さらに、訪日前に期待していたことを問うアンケートで、日本の歴史・文化体験を挙げた旅行者は、22.2%だった。言語や文化が異なる外国人旅行者にとって、文化や技術を直感的にできる歴史・文化体験は有用であると考えられる。

一方で、2020年にはCOVID-19の流行の影響で、訪日外国人の人数は前年の-87.1%となり、大幅に減少した。このような状況下では、現地に直接赴き文化的な体験を行うことは難しいと考える。

1.3. 体験によるプロモーション効果

市場が成熟し消費に対する価値観が変容する中で、差別化戦略が求められている。こうした戦略の1つとして、Shumitt[11]が提唱する戦略的経験価値マーケティング（SEM: Strategic Experiential Modules）という手法がある。Shumittは成熟した市場における消費者に対しては、製品の価格や機能性の訴求のみならず、企業や製品と消費者との間で生まれる体験を通じた感覚や感情への訴求の必要性を述べている。Shumittは経験価値を、SENSE：感覚的経験価値、FEEL：情緒的経験価値、THINK:

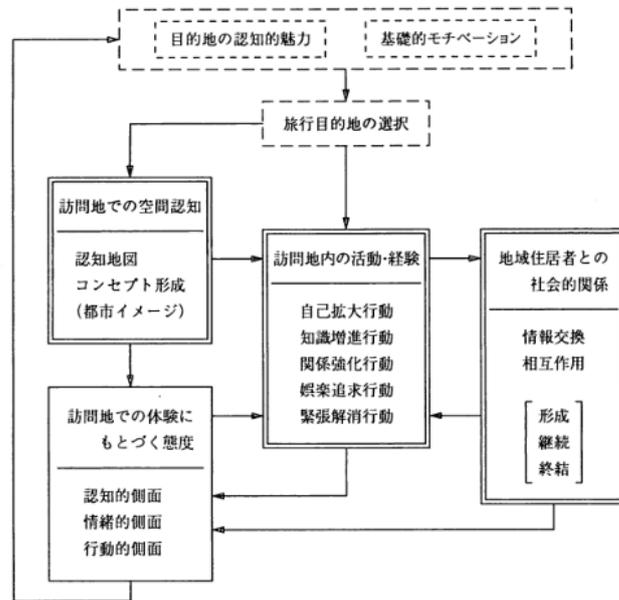


図 1-4：訪問地内での旅行者行動の関連モデル

[13]から引用

知的経験価値, ACT: 行動的経験価値, RELATE: 関係的经验価値の 5 つに分類しており, 消費者にこうした主観的な事象を消費者に提供するマーケティング活動の重要性を示している。

観光の分野でも体験の有用性が着目されている。山上[12]は『観光の京都論』の中で“人間の五感である「見る, 聴く, 嗅ぐ, 触れる (体験する), 味わう」「見る(seeing)遊びからする(doing)遊びまで」の多様な非日常的なことを体感したいと渴望しているのである。”と述べている。佐々木[13]は観光動機として「緊張解消」「娯楽追求」「関係強化」「知識増進」「自己拡大」の 5 次元特性を挙げており, こうした欲求を満たす/満たさない体験と, 地域居住者との社会的関係が, 訪問地に対する態度を形成すると示唆している (図 1-4)。ここで態度とは, 好悪などの情緒的側面や再訪意図につながる行動的側面などを含む。そしてこの態度が地域に対するイメージ形成に影響すると示唆した。さらに林ら[14]は, 旅行者の満足度に影響する要素を調査している。その結果, 旅行者の経験や旅行動機に関わらず, 実施した旅行の価値や効用を認知的な側面から捉えた機能的評価では「新奇体験 (e.g.その場でしかできない体験ができた)」「健康回復 (e.g.日頃の疲れを癒すことができた)」が, 観光地での気分や感情などから旅行の価値を捉えた情緒的評価では「ポジティブ活性 (e.g.陽気な)」の要因が満足度に影響すると示している。

こうした旅行者の体験の満足度を検討した研究においては, 「本物性」に着目されることも多い。Peace[15]では旅行経験の多少と「本物的—演動的」な旅行経験に対する満足度を調査した。その結果, 旅行経験が多い人ほど本物性のある体験を希求すること

を示した。このように旅行経験の本物性は「本物性～演出性」の1軸で考えられ、「満足～不満足」の次元と対応づけられてきた。一方佐々木らはそれらを「本物的」「演出的」の2軸に分類し、前者を内容に関する次元、後者を表現に関する次元として表現した。佐々木らが想定した4タイプを以下に引用する。

A.本物的×演出的→演出を施された本物を経験する：

(例)歴史的な建造物・遺跡・芸術作品が、理解しやすい説明や高度な工夫を施して、一般旅行者が近づきやすいように開放されている場合。

B.本物的×非演出的→本物をそのままの形で経験する：

(例)歴史的な建造物・遺跡・芸術作品が製作当時のままで残っていて、一般旅行者の便宜を図ることはしないが、人々の関心をひいている場合。

C.非本物的×演出的→演出を施された非本物を経験する：

(例)歴史的な建造物・遺跡・芸術作品の複製再現物が、一般旅行者が行きやすい場所で、理解しやすい説明や高度な工夫を施して開放されている場合。

D.非本物的×非演出的→非本物をそのままの形で経験する：

(例)歴史的な建造物・遺跡・芸術作品の複製再現物が、製作されたままの状態で置かれている場合。

そして上記の旅行経験の4タイプの分類と、経験に対する満足度は独立していると推察している。

以上のことから、身体や感覚を用いた体験や、その場でしかできない体験は消費者に対するプロモーション効果をもつと考える。さらに、「本物性」や「演出性」は、訴求性の高い体験設計の重要な指標になりうると考える。

1.4. 体験実施における課題

前節で示すように、体験を製品のプロモーションに活用しうる可能性がある一方で、体験実施には課題も存在する。表1-2に、体験を実施する上での実施者・参加者の課題を示す。

まず実施者は、体験のプログラムに加え、それを実施する施設や体験に必要な道具・材料、人員を準備する必要がある。特に工房は、職人たちが日常で作業をする場所であるため、参加者が工房に入る危険性がある場合や、工房内に秘匿性の高い技術や製品が存在している場合がある。その場合、体験用の施設を新たに設置・整備しなければならず、初期投資が問題となる。また、現地で体験を開催する場合、参加者側は現地を訪問する必要があり、そもそも製品のプロモーションとして行う体験自体が参加に対するハードルが高いという矛盾が生じる。物理的な移動の負荷を下げるため近隣住民を訴求対

表 1-2 : 体験実施における課題

実施者	参加者
<ul style="list-style-type: none"> ・施設、道具、材料などの準備 ・移動(都市部での開催の場合) ・費用対効果 	<ul style="list-style-type: none"> ・移動(現地での開催の場合) ・拘束時間
<ul style="list-style-type: none"> ・安全性 	

象とする方法もあるが、職人技や製品をすでに知っている場合も多く、新たな顧客層の開拓にはつながらない可能性も高い。一方、都市部のモノづくりのためにつくられた施設（[16]など）で体験を行う場合は、特別な施設を準備する必要もなく、参加者もアクセスしやすいというメリットがある。しかし、職人が都市部に赴く必要がありその間工房の作業はできない。従事者数の減少が課題である中、体験用の人員を定常的に確保することにはハードルがあると考えられる。また、材料や特別な道具を運ぶ必要があり、実施者側の負担が大きくなるという問題がある。

そして、ものづくりを体験する場合、一般的に数十分から数時間の時間を要するため、小売店や卸業者のバイヤー対象ではなく個人向けに行う場合が多い。そのため、体験によって技術力を伝え製品の購買を促進する効果を期待するよりも体験自体で収益を上げる必要があり、体験自体の質の向上や集客に対する労力もかかる。ただし、一度に体験できる人数には制限があり、費用対効果を向上させることにも限界がある。

さらに、実施者と参加者の両方に関わる課題として安全性の問題がある。ものづくりの過程では刃物など、ケガをする恐れのある道具を使う場合や、身体に異常が生じる可能性がある材料（漆によるかぶれなど）を使う場合がある。そうした道具や材料を使用する場合、子供や言語の通じない外国人など、適切なインストラクションが困難な体験者に対する体験実施には危険が伴う。また、昨今の COVID-19 の流行状況を鑑みると、物理的な移動や対面での長時間の対話は困難な状況にある。1.2.2 節で述べたように、この影響によって右肩上がりであった訪日外国人の人数は、2020 年には大幅に減少している。いずれ COVID-19 の流行は収束すると考えるが、こうした感染症の発生は今後も十分に予測されるため、物理的な移動や長時間の対話を伴わずとも、プロモーション効果を発揮しうる新たな体験手段を構築してゆく必要がある。

1.5. 本研究の概要

1.5.1. 目的と手段

本研究では属人的で専門的な体験の共有に有効である、身体運動の追体験システムの活用例として、工芸の従事者の身体運動（職人技）に着目する。工芸の代表といえる伝

伝統工芸は日本を象徴する文化・芸術の1つであるが、その市場は衰退している。こうした状況を打破するためのプロモーション手法として「体験」がある。一般的に伝統工芸は主に手作業で生産されるため、工業製品と比較し高額になり、単純な価格競争に勝つことは難しい。しかし体験を通じ、職人の技術力の高さ、そして品質の高さを実感することができれば、本質的な価値理解につながると考える。一方で実際の体験は実施者のコストが大きい他、参加者も物理的な移動を伴うため、そもそも体験参加へのハードルが高いという矛盾が生じる。

そこで本研究では、職人技の追体験による工芸のプロモーションを目的とした、配信型追体験システムの構築を目指す。メディアを用いて職人技を追体験することで、実体験よりも手軽に、映像視聴よりも技術力を体感できるプロモーションが期待できると考える。なお、本研究において配信型とは、配信側から使用者への単方向の情報伝達を基本としており、使用者の動作に応じた情報提示における相互作用性が低いシステムを指す。ただし配信型のシステムは、相互作用性が低いため他者の体験情報を改変せずに伝達しうる、実装にかかるコストを低減させうる、というメリットがある一方で、没入感を損ないやすいという課題がある。そこで本研究では、感覚刺激の重畳による身体感覚の錯覚現象を応用し、没入感を伴う配信型追体験システムの構築を目指す。この際、感覚刺激として体性感覚刺激と嗅覚刺激に着目する。この2つの感覚刺激は職人のモノづくりの過程を表現する際に重要な感覚であるが、現状のメディアで用いられる刺激としては、視聴覚刺激と比較すると一般的でない。

以上を踏まえて、本研究では以下の2つを目的として設定する。1つ目は、構築したシステムの没入感への効果を定量的に評価するとともに、配信型追体験システムの効果が発現する要件を示すことである。現状でも、感覚重畳による配信型追体験システムが提案されているものの、体験への没入感を創出しうるかは定量的に示されていない。また、配信型追体験システムには適切/不適切な作業があると予測されるが、その要件を明らかにすることでシステムの設計指針に関する知見を提供しうると思う。本研究では身体所有感・運動主体感の観点から、没入感の向上条件を検証する。2つ目は、構築したシステムの訴求性を検証することである。実際の現場で使用できるシステムとするためには、システムを使用した使用者、つまり消費者への訴求性が重要である。体験の質の向上だけでなく、体験によって使用者が抱く製品や技術に対する印象の変化や、行動の変化を示すことで、実際の現場でも有用となるシステムの開発指針になると考える。

なお、伝統工芸や地場産業には数多の職人技が存在するが、本研究では木工に着目する。木工は、工作の授業などで体験する場合もあることから、経験者が多く実際の体験との比較が容易である。さらに嗅覚刺激が生じる体験であり、その匂いもわたしたちの生活になじみ深いことから、本研究の追体験システムの対象として適していると思う。また、木工に関する職人技は制作物や道具、地域によって細分化されるが、本研究では追体験システムの有用性の検証と開発指針に関する知見を得る段階であるため、特定の

技術に限定はしない。

1.5.2. 本研究の意義

本研究の意義を図 1-5 に図解するとともに、以下に示す。

① 工学的意義

- 配信型追体験システムにおける、体性感覚刺激および嗅覚刺激の身体所有感と運動主体感への効果検証および、その向上条件の解明

配信型追体験システムは、単方向の情報伝達に対し感覚情報を重畳することで他者の運動を伴う体験を追体験させうる可能性が指摘されているが、没入感に対する効果が不十分かつ未解明な部分が多い。本研究では、没入感を身体所有感・運動主体感の観点からとらえ、その向上効果を定量的に示すことが意義となる。また、その向上条件を明らかにすることで、適切なシステム設計の一助になると予想する。

② 社会的意義

- 配信型追体験システムによる訴求性への効果検証

配信型追体験システムは実体験よりも手軽に、映像視聴よりも質の高い追体験を提供できるコンテンツだと示唆される一方で、使用者への訴求性は未解明である。使用者への訴求性を明らかにできれば、売り上げの促進や後継者候補への訴求に有用であると期待でき、実際の現場において社会課題を解決する一助になると考える。

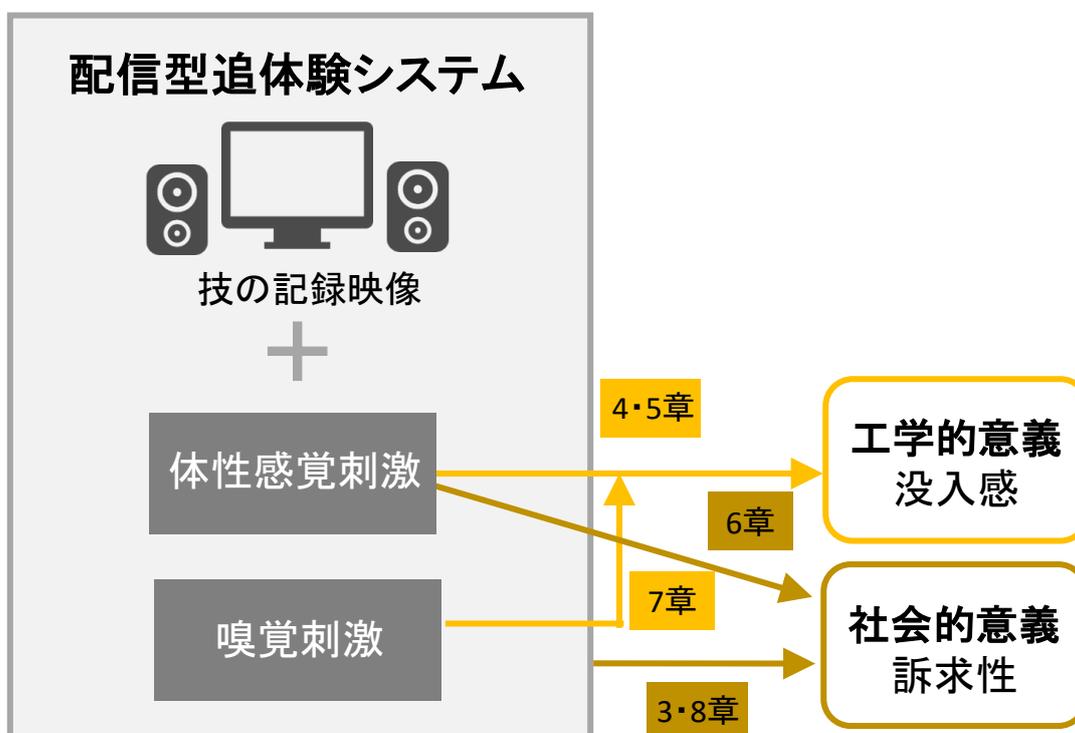


図 1-5 : 本研究の意義の図解

1.5.3. 本論文の構成

本章以降の本論文の構成を図 1-6 に図示するとともに、以下に示す。

第 2 章

メディアを用いた体験の事例と、体性感覚刺激・嗅覚刺激の重畳による知覚・身体感覚の錯覚現象の先行研究を紹介する。そして、本研究で目指すべきシステムの要件を定義し、先行研究との比較から本研究の独自性を論じる。

第 3 章

第 3 章では、体性感覚刺激として Pseudo Haptics（疑似触覚）と追従動作、嗅覚刺激としてヒノキの匂いを用いて構築した、木工追体験システムについて述べる。このシステムを用い、システム（映像）と製品への印象変化に対する体性感覚刺激および嗅覚刺激の効果を検証する。

第 4 章～第 6 章

第 4 章～第 6 章では、体性感覚刺激の効果的な提示方法を検証することを目的に、身体感覚の錯覚現象を応用したシステムを提案する。

第 4 章では、体性感覚刺激として振動刺激と追従動作を用いた木工追体験システムを構築し、没入感を身体所有感・運動主体感の観点から検証する。

第 5 章では、第 4 章と同一システムを用い、身体所有感・運動主体感の向上効果が発現する作業要件を検証する。

第 6 章では、第 4 章、第 5 章で製作したシステムを応用し、実際の職人の作業を用いたシステムを構築する。本章では一般ユーザに対する構築したシステムの体験会の事例

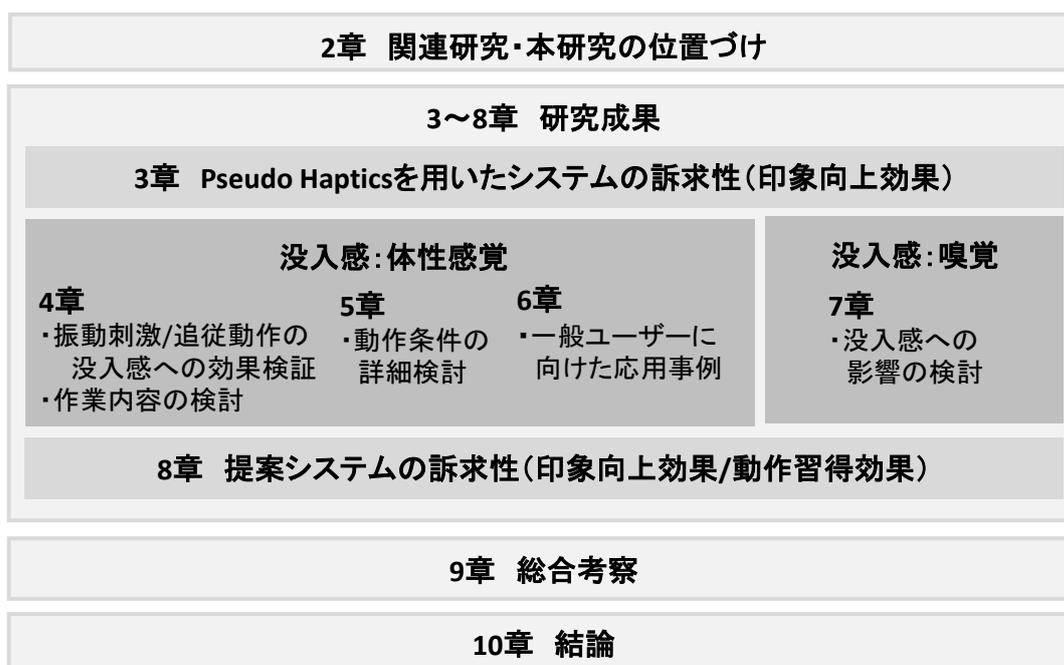


図 1-6：本論文の構成

を紹介する.

第 7 章

第 7 章では, 第 4 章, 第 5 章で製作したシステムに嗅覚刺激を付与したシステムを構築し, 嗅覚刺激の身体所有感・運動主体感への効果を検証する.

第 8 章

第 8 章では, 第 4 章～第 7 章までで構築したシステムを踏まえたシステムを構築し, 訴求性への影響を調査する. 訴求性の評価は, 製品や技術の印象向上効果と動作習得効果の観点から行う.

第 9 章

第 9 章では, 第 3 章～第 8 章までで提案したシステムを, 2 章で示したシステム要件の観点から評価するとともに, 得られた結果を工学的知見と社会的貢献の観点から総合的に考察する. さらに, 提案システムの実装に向けて本研究で得られた知見を整理する.

第 10 章

第 10 章では本研究を総括するとともに, 今後の課題を述べる.

第 2 章 没入感を伴う追体験システムに関する先行研究

本章では、メディアを用いて体験を提供する既存システムを紹介する。続いて、感覚重畳による没入感創出に関わる現象として、体性感覚刺激による身体感覚の錯覚現象と、嗅覚刺激の特性および感覚間相互作用の先行研究を紹介する。最後に、これら先行研究を踏まえて本研究で目指すべきシステム要件の定義し、本研究の位置づけを論じる。

2.1. メディアを用いた体験

2.1.1. 鑑賞型プロモーションシステム

近年、VR を用いた観光コンテンツの開発が盛んである[17]。Guttentag[18]は、観光における VR の活用が特に有用になるカテゴリとして、「観光地の都市計画とマネジメント」、「マーケティング」、「エンターテインメント」、「教育」、「アクセシビリティ」、「保全」の 6 つを挙げており、様々な目的に対する活用が期待されている。

例えば、凸版印刷株式会社が提供する「トッパン VR・デジタルアーカイブ」では、文化財の VR コンテンツを製作している[19]。これは文化財を計測しデジタルアーカイブすることから始まった事業で、現存する文化財のデータの後世への伝承や、消失してしまった文化財の CG による再現など、歴史的・文化的資産の保全と継承を担う活動である。この他にも文化財の鑑賞を可能にするシステムとして、伝統工芸の使用イメージを体験するシステム[20]や文化財を鑑賞するシステムも開発されている[21][22][23]。

Kim ら[21]は VR 空間内に大画面を設置した劇場を制作し、重要文化財に指定されている東京国立博物館所蔵の重要文化財「十二神将立像戌神」のシネマチック VR コンテンツの有効性を検証した。シネマチック VR とはシアターでの鑑賞を目的に作られた VR コンテンツを指す。4 種の VR コンテンツを製作し、鑑賞方法の違いを視線停留時間と視線運動から評価した結果、映像中のナレーションによる情報の付加が視聴態度に影響し、印象に残ったシーンを積極的に視聴していたことが示唆された。土居らは Kim らの実験を発展させ、国宝「八橋蒔絵螺鈿硯箱」を対象にした VR コンテンツの有効な表現方法を検討した。その結果、文化財の中に入ることで、文化財を透過することなど VR 特有の表現によって対象への興味が高まりやすいことを示した[22]。さらに、こうしたコンテンツの鑑賞は、対象となった文化財のみならず、類似性のある文化情報への興味・

関心を促進することを示した[23].

Tussyadiah ら[17]は、こうした VR コンテンツの臨場感(sense of presence)が高まるとコンテンツの楽しさと、来訪地に対する好感度を高めることができると示した。さらに、好感度が高まることで来訪・再訪したいという考えを増強すると示している。

また、マーケティング分野における VR の有用性は多くの研究によって示されており、Wan ら[24]はバーチャルな体験がパンフレットの閲覧よりも効果的であることを示した。Guttentag[18]は映画での紹介が観光客を増加させることや[25][26]、博物館の HP の閲覧によって博物館への興味を高めうる[27]という知見と併せて、VR で観光地を訪問することによって現地訪問を促進するという仮説を間接的に立てている。

2.1.2. シミュレーションを用いた技術習得システム

専門家の技術の伝達・体験に関する先行研究として、シミュレーションシステム[28]がある。医療分野では外科手術等のトレーニングに効果を発揮しており、視覚的・触覚的なフィードバックの提示が、トレーニング効果を向上させると示されている[29][30]。さらに、工場における技能伝承や[31]工作におけるスキルの習得[32][33]、スポーツの技能向上システム[35][40]などにも活用されている。日本文化の技術習得システムとしては、華道体験の導入・練習システム[36]や、力覚提示を用いた書道の技能伝達[37]、粘土のろくろ形成のシミュレーションシステム[38]が開発されている。こうした技術は、動作のモデル化や感覚刺激のフィードバックにより、実際の状況を高い精度で再現することができる。それにより、実際に近い練習環境を提供でき、技能向上が期待できる。

2.1.3. テレイグジスタンスシステム

テレイグジスタンスシステム[39]は、ロボットなどの機器を用いて、遠隔地に実際に存在しているような高い臨場感をもった作業やコミュニケーションを可能にする技術である。これはアメリカのアルゴンヌ国立研究所で放射性物質を安全に取り扱うための「マスタ・スレーブ・マニピュレーション」から始まった。このマスタ・スレーブ・マニピュレーションでは、人間が操作する側をマスタ、作業する側をスレーブと呼ぶ。最初期のシステムは機械式で、ワイヤーテープを介してマスタとスレーブが接続されていたため、作業範囲の限定性や設置場所の問題があった。その問題を解決するため、マスタ側の運動刺激を電気信号に変換し、スレーブ側に伝達する電気式のシステムが開発された[40]。

そうしたマスタ・スレーブ・マニピュレーションが礎となり、テレイグジスタンスシステムとして発展してきた。テレイグジスタンスシステムは、制御するロボット（スレーブ）の中に入り込んでいる（その場にいる）ような感覚を持ちながら、ロボットを遠隔制御することを可能にする技術であり、感覚フィードバックと動作の連動性の高さが、高臨場感を実現している。さらに、単純にマスタの動作をスレーブに伝達するのみなら

ず、力を増幅することも可能である。つまり、通常の人間にはできない作業や、行けない場所での作業を、その場にいるような感覚の提供により高い精度をもって実施することが可能になる。

システムの精度は年々向上しており、スレーブの自由度 (DOF:身体運動の自由度の指標で独立して制御できる関節の数を表す) や体性感覚のフィードバックが改良され続けている。2020年に発表された TELESAR VI[41]は、スレーブの自由度は67自由度で、すべての指先に、力センサ、加速度センサ、温度センサが埋め込まれている。そして、マスタ側のグローブは振動や温度、力感覚といった高精度な触覚フィードバックが提示される。このようにトレイグジスタンスシステムは、ロボットとの動作の連動性や感覚刺激のフィードバック向上によって、ロボットに対する没入感を伴う作業を実現している。

さらにこうしたシステムは研究領域のみならず、社会実装もされている。例えば avatar in では AVATAR という遠隔ロボット操作システムを用いて、遠隔地からの運動支援や遠隔観光体験を提供している[42]。こうしたシステムは、物理的な移動というハードルを低減することで、遠方にすむ顧客や高齢者・障がいをもつ方などに対するアクセシビリティを高めることができる。またエンターテインメント性が高く、都市部での観光客誘致や産物の販売に対するプロモーションへの活用が期待される。

2.1.4. 配信型追体験システム

本節では、1.1節で述べた、身体的体験の追体験を目指した配信型追体験システムを紹介する。これらのシステムの特徴として、使用者の動作に対する感覚刺激の提示の応答性が低いことが挙げられる。しかし、複合的に感覚刺激を提供することで、低相互作用性でありながらリアリティを担保している。

配信型のシステム先駆けは、M. Heilig の Sensorama [43] である。このシステムでは記録した3D映像・音響に振動や匂い、気流などの情報を複合的に提示することで、市街地をバイクで走る感覚を体験させた。

近年では、池井ら[2][44]は、観光や陸上選手の走行を対象にした歩行感覚の追体験コンテンツを開発した(図2-1)。360度カメラで撮影した一人称視点の実映像を見ながら、映像にあった音声、匂い、風に加え、歩行(走行)感覚として、下肢の運動、座席の運動などの刺激を提示するシステムを開発した。このシステムは実映像を使用しているため、使用者の頭の動きで視点が変わるといった低いインタラクティブ性しか提供されておらず、他の感覚刺激も映像に合わせて提示されるのみである。しかし使用者は受動的に刺激を与えられているだけにも関わらず、臨場感を感じる事が示された。

Mizushimaら[45]は触覚刺激のブロードキャスト配信[46]という概念を利用し、バドミントン選手の感覚を共有するコンテンツを開発した(図2-2)。このシステムで使用者は、バドミントンをやる映像の動作に合わせて、ラケットを把持しながら使用者自身で

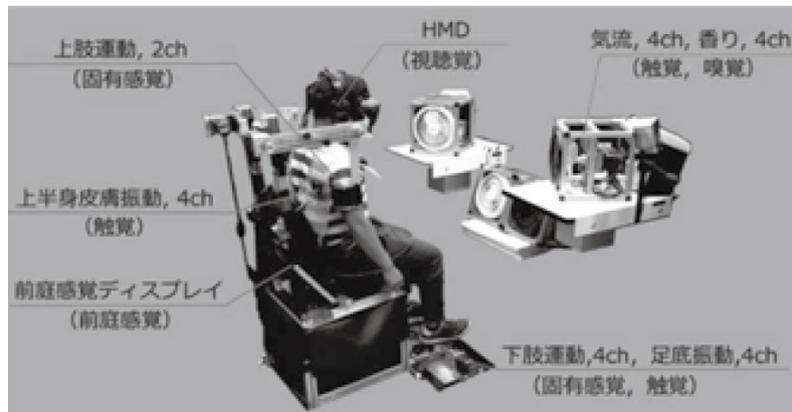


図 2-1 : 五感シアター (池井ら[44]から引用)



図 2-2 : Haptic Broadcasting (Mizushina ら[45]から引用)

腕を動かす。そして映像中の選手のラケットにシャトルが当たった瞬間に、使用者のラケットにも触覚刺激を提示される。また、このシステムは記録された実映像を使用しているものの、使用者のスイングの速さが計測され、それに応じて映像の再生速度が変化する仕組みとなっている。このように、使用者は他者の体験映像に合わせて動作をしているだけだが、使用者自身の動きと、シャトルへの触覚刺激が実際にプレイしているような感覚を引き起こすという感想が得られている。

さらに、専門家の体験を共有する体験として「Haptic 茶道」[47]がある(図 2-3)。これは、触覚共有デバイス[48]を用い、茶人がお茶をたてる際の触感を客(参加者)と共有する体験である。茶人は参加者の目の前でお茶を立てながら、指につけたセンサで、皮膚で感じる振動を計測する。そして参加者の指につけた振動子からは、計測された茶人が感じている触感がリアルタイムで再現される。こうした目の前での実演と触覚の共有によって、「一緒にお茶を立てている感覚」が生起するという感想が得られている。



図 2-3 : Haptic 茶道 ([47]から引用)

2. 2. 体性感覚刺激に関する身体感覚の錯覚現象

体性感覚刺激によって身体所有感を向上させる現象である「Rubber Hand Illusion (RHI)」と、手指の運動感覚を誘発する現象である「ミラーセラピー」を紹介する。さらにバーチャル空間での体験時に、バーチャル空間と実空間を媒介するツールとなる「物理代替インタフェース」、視覚情報により疑似的な触感を生起させる「Pseudo Haptics」を紹介する。

2. 2. 1. Rubber Hand Illusion

RHI とは、視覚情報と触覚刺激によって、ゴムでできた手の模型への身体所有感を引き起こす現象である[49]。RHI の実験では、参加者の右手を衝立で隠した状態で、ゴムの右手の模型を参加者の目の前に置き、ゴムの手と参加者の右手を同時に絵筆でなぞる。その際参加者は、ゴムの手がなぞられている様子を見ながら自身の右手への触覚刺激を知覚することで、ゴムの手が自分自身の手になったかのような感覚を引き起こすことが知られている。こうしたモノに対する身体所有感は、主観的なアンケートの他に、**Proprioceptive Drift (PD)** によっても調べられており、身体所有感が得られると、自身の手の知覚位置が対象方向に寄ることが知られている。またゴムの手の模型のみならず、手の映像を用いた場合の錯覚現象である **Virtual Hand Illusion (VHI)** も報告されている[50]。さらに、実験参加者自身の手指を受動的・能動的に動かす場合には、身体所有感だけでなく運動主体感も向上する[51][52]。一方で、模型の見た目が手と極端に異なる場合（枝など[53]）や、身体位置と矛盾している場所に置かれている場合（身体に対し平行に置かれているなど[54]）錯覚は生じない。また、ラバーハンドの肌の色が異なる場合は、個人のもつ人種に対する偏見の大小が錯覚の大小に影響することが知られており、心理的・経験的側面が錯覚に影響することから、トップダウン処理の介在が推察さ

れる。ただし、VHIにおいて、見た目が身体とは大きく異なる形状（画面に表示された長方形[55]）でも、対象が使用者の身体運動に合わせて大きさや色が変わることによって、身体所有感が生じると示されている。そのことから、錯覚の生起にはボトムアップ型のアプローチも寄与していると推察される。

以上より、触覚刺激や動作を用いた RHI や VHI は、身体所有感・運動主体感を誘発すると推測される。また、これらの錯覚は基本的にはトップダウン型のアプローチが働くが、ボトムアップ処理で対象と自身の身体との連関を強固にすることで、錯覚が生じる場合も存在する。

2.2.2. ミラーセラピー

ミラーセラピーは、四肢を切断した患者が存在しない部位に痛みを感じる幻肢痛の緩和に使用される方法として発案され[56]、現在は手指の麻痺に対するリハビリテーションにも応用されている[57][58]。鏡を挟んで両手を配置し、麻痺側の腕のあるべき位置に、鏡に映った正常な腕の動きを重ねて見ることで、麻痺側の腕の運動感覚を生じさせる。これにより、麻痺した手指の運動能力が改善するのみならず、損傷した脳機能を補修する効果をもたらした事例が報告されている[59]。この手法では、自身の手を使って作業していることよりも、作業の様子が手に重畳されていることが重要であり[59]、発展形として VR も活用されている[60][61]。Rinderknecht ら[60]は、ミラーセラピーに運動感覚を誘発する腱振動と VR を応用し、手のグラフィックが映し出されたタブレット画面の背面に手を配置し、その手に振動が提示されるシステムを提案した。その結果 VR が腱振動の効果を増強し、手指の伸展知覚を向上させることを示した。また西出ら[61]は手指を用いたボール回しの動作を対象に、映像の真下に使用者の手を配置し、ボールを回転させる装置を用いて触覚刺激を提示するシステムを提案し、運動錯覚が生じることを示した。これらのように、ミラーセラピーにより運動感覚の生起や運動能力の向上が報告されていることから、鏡やモニタに表示された手に合わせた動作（追従動作）が、身体所有感と運動主体感を生起させると推測する。

2.2.3. 物理代替インタフェース

物理代替インタフェースは、デジタル空間上のオブジェクトの操作時に、類似した形状の道具をコントローラとして使用する手法である[62]。デジタル空間に表示される視覚的な形状と、実空間で把持する触覚的な形状の矛盾を低減させることで、オブジェクトの操作性を向上させることが示されている[63][64]。この際模型の形状は厳密に同一である必要はない。Fujinawa ら[65]は、複数の形状や重さの模型を製作し、使用者の形状知覚を調査した。その結果、触覚形状知覚を維持したまま、デジタル空間上のモデルの形状よりも実際の形状を小さくした VR コントローラを自動設計できる設計システムを構築した。こうした物理代替インタフェースは、デジタル空間と実空間を媒介する

方法として使用されており、こうした模型を把持しながら動作することは体験の没入感を向上させる有用な手段であると考えられる。

2.2.4. Pseudo Haptics

触覚刺激を含む体性感覚刺激の提示は、コンテンツのリアリティの向上に寄与するが、通常であれば、物理的な刺激を発生させるデバイスが必要となる。一方で Pseudo Haptics [66]は視覚的な情報のみを提示し、ディスプレイ上の対象物を触っているような感覚にさせ現象で、物理的な触覚刺激の提示は行わない。例えば Watanabe ら[67]は、マウスカーソルの大きさや動作速度を変化させることで、ディスプレイ上の物体の立体感や粘性、抵抗感を表現している。服部ら[68]は、タッチパネルを用い、ユーザの指の動きに反応して変形する布の画像を提示することで、視覚刺激のみよりも布の質感が伝達できることを示した。エンタテインメントコンテンツ「YUBITOKO」では、雪面に足跡がついていく映像と音を提示する雪上歩行体験を提供している。ディスプレイ上での使用者の指の動きに対する映像の動きを調整することで、雪の深さによる歩行時の抵抗感の差異を表現している[69]。さらに、より一般的な例としては、歌手である安室奈美恵の楽曲「Golden Touch」のミュージックビデオにも用いられている[70]。Pseudo Haptics を用いたこれらのシステムでは、使用者が、提示される視覚刺激の変化と、自身の身体の動作や位置の関連性を認識することが重要な要素である。こうした錯覚を用いた感覚提示は、アクセシビリティと没入感の高い体験の構築に有効であると考えられる。

2.3. 嗅覚刺激による錯覚現象と記憶に対する効果

嗅覚刺激は、VR コンテンツに用いることでリアリティの向上や、環境内の物に対する記憶向上の効果が知られている[71]。また、映像に匂いを適用した場合もリアリティと記憶の向上、そして匂いに関する箇所への誘目性が示されている[72]。さらに前述の池井ら[2]の身体運動の追体験システムにおいても嗅覚刺激が用いられており、臨場感を向上させる要因の1つであると考えられる。この理由として、嗅覚刺激が他の感覚知覚を変容させることによる影響を考える。嗅覚刺激はその知覚の仕組みから、感情や記憶との強い連関が知られており[73]、特定の匂いを嗅ぐことで、それに関連した印象が生起され、他の感覚知覚に影響している可能性がある。ただし、体性感覚刺激のように身体感覚の錯覚を誘発する現象は未解明である。そのため、本節では、嗅覚刺激による感覚知覚の錯覚現象と、錯覚現象の発現に関係していると考えられる。嗅覚刺激と記憶との関連についての先行研究を紹介する。

2.3.1. 視覚情報へ及ぼす効果

嗅覚刺激と調和する色の検討などの研究により、匂いと色の関係性が示されている

[74][75][76]. 例えば Demattè ら[77]はストロベリーの香りとピンク・赤、スペアミントの香りとターコイズが適切な組み合わせであることを示した. 続いて IAT を応用したテストを用い, 匂いと色を識別し適切なキーを押すというテストをそれぞれ行った. その結果, キーに割り当てられている香りと色の刺激が適している組み合わせの場合 (ex:ストロベリーとピンク), 適していない場合(ストロベリーとターコイズ)よりも, 識別の正確さが向上し, 速度が速くなることが示された. このことから視覚刺激と嗅覚刺激の間に潜在的な連合があり, イメージを共有している可能性が示されている.

こうした視覚刺激との関連で, 匂いによって視覚刺激のリアリティが向上することが知られている. 例えば Brkic ら[78]は, 草原の映像に適した匂いを付与した場合に, 低画質の画像と高画質の画像の知覚的な差異を低減させることを示した. また, 匂いの付与による身体知覚の錯覚として, ボディイメージの変化を調査した研究がある. Brianza ら[79]は, レモンの匂いを提示した場合, バニラの匂いよりも身体が「軽い」印象を与えることを示した. この軽いという印象はレモンの匂いがもつ印象と一致しており, 嗅覚刺激の印象が身体知覚に影響する可能性を示している.

一方で, 視覚刺激の提示によって嗅覚刺激の知覚が変化することも知られている. 例えば坂井ら[80]は, 匂いと関連する画像・関連しない画像をそれぞれ提示した際の匂いの強度を判定させ, 匂いと関連する画像を提示する場合, 匂いが強く感じられることを示した. また Morrot ら[81]は白ワインを赤い染料で着色し, ワインの匂いを形容する言葉を選ばせる実験を行った. その結果, 赤く着色した白ワインは, 赤ワインを形容する言葉が選ばれることが示された. このことは, 色によって匂いの質が変化して知覚されたことを示唆している. この現象についてウィルソンら[82]は, 経験に基づく連想の効果に着目し, 視覚-嗅覚間の知覚に生じた齟齬が最小限となるよう変化して知覚されていることから, 嗅覚に対する視覚の優位性を考察している. 坂井ら[83]は, 以上のような視覚情報の嗅覚刺激の知覚に影響を及ぼすメカニズムについてモデル化した(図 2-4). それによると, 視覚刺激が匂い知覚に及ぼす影響は, 単に感覚レベルでの作用ではなく, 認知レベルを介在したトップダウン処理を介在し生じている可能性を示唆している.

以上のことから, 嗅覚刺激は視覚刺激へ影響し, 嗅覚刺激によってリアリティや印象が変化する可能性がある. 反対に視覚刺激によって嗅覚刺激の知覚が変動することもあり, 両者が相互に関係していることがわかる.

2.3.2. 触感知覚に及ぼす効果

嗅覚と触覚の相互作用による研究は, 1923年に Laird[84]によって行われた, ストッキングの品質比較評価実験が先駆けであるといわれている. 無臭, 数種類の香り(香水, フルーティ, スイセン)を付与したストッキングの品質を, 見た目や触り心地の観点から評価させる実験を行った. その結果として, ほとんどの参加者が匂いを付与して

いることに気づかなかったにも関わらず、スイセンの香りを付与した製品が、無臭、および、他の香りを付与したものと比較し高い品質だと評価された。

Demattèら[85]は綿の布地を使用し、匂いの種類による触感の柔らかさ—粗さ感の変化を調査した実験を行った。1つ目の実験ではレモンと動物の匂いを使用し、オルファクトメータによって布地に触る2.5秒前から匂いを提示した。布地が見えない状態で右手の親指と人差し指で自然にこするように触れさせ評価させた結果、レモンの匂いを付与した場合、動物の匂いよりもより柔らかく知覚されることを示した。2つ目の実験では、ラベンダーと動物の匂いを使用した。この実験では布地に匂いを直接塗布し、目隠しをした状態で布地に触らせた。評価は1を柔らかい、10を粗いとする10段階で行った。その結果、ラベンダーの匂いを付与した場合、動物の匂いよりも柔らかく知覚されることが示された。

2つの実験の結果から、匂いと触感の相互作用が確認された。さらに、潜在連合テスト (Implicit Association Test) により、レモンの匂いと柔らかい触感、動物の匂いと粗い触感が潜在的に連合していることを示した[86]。そのような現象が起こる仮説の1つとして、経験からの学習による影響を挙げている。すなわち我々は、清潔で柔らかい布地からフルーティフローラル系の匂いがすることを経験的に知っており、連合学習が生じていると指摘した。そのため、柔らかい布地に触る、あるいはフルーティフローラル系の匂いを嗅ぐ際に、無意識に香りや触感を連想したことで触感変化が生じたと考察している。

Kitamotoら[87]は、匂いによるおしぼりの印象変化の調査で、“冷たい—温かい(Cold - Warm)”, “硬い—柔らかい(Hard - Soft)”, “粗い—なめらか(Rough - Feel-smooth)”といった触覚に関する形容詞対を使用している。結果として、バニラの匂いをつけたおしぼりが、無臭のものよりも柔らかく、また高級に感じられることが示唆された。

西野ら[88]は、嗅覚と触覚の相互作用を定量的に分析するために、力覚提示装置を使用し、硬さの知覚とざらつきの知覚に関する2つの実験を、調整法を用いて行った。結果として、硬さ知覚実験では、基準刺激が硬い場合に、無臭やバラの嗅覚条件よりも、白檀の嗅覚条件の場合により硬く知覚された。さらに、ざらつき知覚実験では、基準刺

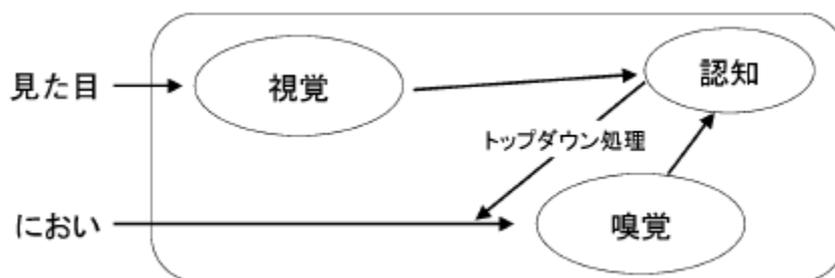


図 2-4 : 見た目がにおいに対して影響を及ぼすメカニズムのモデル ([83]から引用)

激が滑らかな場合に、無臭の嗅覚条件に比べ、バラの嗅覚条件でより滑らかに知覚されることがわかった。

庄司ら[89]は匂いがもつ印象と、瓶の重量感との関係性を調査した。その結果、レモンの匂いでは瓶が軽く、オークモス(濃い磯)の香りでは瓶が重く感じられることがわかった。また、匂いの特徴の調査から、「透明さ」と「明るさ」と重量感の間に相関が見られ、透明で明るいイメージを持つ匂いほど軽く感じられることが示された。加えて庄司ら[89]は、温冷感に対する影響を化粧クリームの使用感を判断する実験で調査した。変質を防ぐため直接クリームに香料は混ぜず、クリームを塗布する部分付近に綿を貼付し匂いを提示した。結果として、バニリンの匂いの場合温かく、ペパーミントの匂いの場合冷たく感じられることが示された。同様に匂いの特徴の調査を行ったところ、匂いのみから感じられる温冷感とクリームの温冷感の変化が相関関係にあることがわかった。このことから、匂いの温冷感のイメージが触覚的な温冷感に影響することが示唆された。さらに、匂いによる温冷感の変化が何度程度の効果を持つのか調査を行った。温度を管理した水槽中に手を入れ、28度から34度まで上昇させる中で、随時水の温度を“非常に冷たい”から“熱い”の7段階で評価させた。その結果、匂いなし条件では28度で“やや温かい”と評価されたのに対し、ペパーミントの香りを嗅いだ場合では、同程度の評価が得られたのは32度付近であり、約4度の差が見られた。これらの結果から匂いの印象と触感変化が連関していることが示唆された。

こうした結果を踏まえ、著者ら[91]は木材の匂いの付与が、素材の触感のリアリティを向上させることを示した。これまでの匂いによる触感変化は単一の触感因子(柔らかいー硬いなど)と特定の匂いに対して検証する、ケースワークにとどまっていた。しかし、情動的側面が大きい匂いに触感のリアリティを増強させる効果を期待する場合、単一の触感要素ではなく総合的な触感が重要である。そこで、匂いを提示しながら、表面形状の異なる複数の素材に触らせた場合に、「使用者が匂いから想像する触感」への近似が生じるか調査した。第一に目かくし状態での評価を行い、ヒノキの匂いから連想する触感と、素材から得られる触感が近似するかを調査した。その結果匂いの付与により、有意に評価が近似することが示された。第二に木材およびプラスチック樹脂をなぞる映像を見せながら素材表面をなぞらせ、それらの適合性を調査した。その結果、ヒノキ匂いの付与により、木材の映像との適合性が上がる素材とプラスチック樹脂の映像との適合性が下がる素材が確認された。これらのことから、木材の匂いの付与が触感の木材らしさ、すなわちリアリティを増強することが示された。

以上のことから、嗅覚刺激は触覚的な刺激の知覚へ影響し、嗅覚刺激によって触覚刺激のリアリティや印象を向上させる可能性がある。

2.3.3. 嗅覚刺激と記憶との関連性

嗅覚刺激はその知覚の仕組みから、記憶と強い連関があることが知られている[73]。

代表的な現象として、特定の匂いを嗅ぐことにより、その匂いと関連する過去の記憶を想起するプルースト現象が挙げられており、匂いを嗅ぐことで記憶を想起しやすくなることが示されている[92].

山本ら[93]は、嗅覚情報が他の感覚からの情報よりも直感的に記憶を刺激することを示した。記憶は階層構造をなしており、下位になるほど具体的で詳細な情報が貯蔵されている。記憶の検索には、生成的検索と直接的検索があり、匂いなどの感覚知覚手がかりは、後者の検索を生起させると言われている。そのことを示すために、経験時の符号化処理の影響を受ける想起内容ではなく、検索過程そのものを反映する想起までの時間を指標として扱い調査した。実験では、先行と後続の2つの手がかりを提示した。先行手がかりは、単語を口頭で提示した。後続手がかりは3通りで、先行手がかりの単語と一致している匂い、単語と不一致な匂い、再度口頭で同一の単語提示とした。さらに、干渉課題あり・なしの条件を設けたため、全体で6条件の実験を行った。先行・後続各手がかりを提示した後、そのことから連想するエピソードについて実験参加者に話させた。結果としては、不一致な匂いを提示した場合と、口頭で再度提示した場合に、干渉課題の効果がみられ、検索時間が長くなった。前者は、各手がかりに矛盾が生じ、記憶の検索が困難であったためと考えられる。後者は、口頭による提示が、階層的な記憶を循環的に走査する過程を含む、生成的検索を生起するためだと考えられる。すなわち、これらの結果から、匂いによる記憶の検索は、直接的検索であることが示され、嗅覚情報は、聴覚などの他の情報よりも、直感的に記憶を刺激する効果があると考えられる。

さらに、記憶時の嗅覚刺激の提示によって情報を記憶付ける効果（文脈依存効果）も検証されている。Cannら[94]は匂いが記憶の過程に及ぼす影響を調査するため、女性の顔の写真50枚を男性参加者に見せ、魅力度を判別させるという課題を行った。続いて48時間後に100枚の写真を提示し前回のセッションで提示された50枚の写真を判別させた。その際、2つのセッションで同一の匂いを提示する群、異なる刺激を提示する群、統制条件として両方無臭の群を設けた。嗅覚刺激としては、よい匂いとしてフローラル系のコロンを、悪い匂いとして硫化アンモニウムの匂いを使用した。その結果、匂いの種類に関わらず、2つのセッションで同一の匂いを提示された場合、異なる匂いを提示された場合に比べ、再認課題の成績が良いことが示された。

こうした効果は匂いの種類によって変化することが示されている。Harzら[95]は匂いの新奇性と実験環境における匂いの適切さに着目し、その特徴によって記憶に対する影響が異なるか調査した。嗅覚刺激としては新奇性が高く環境と適さないキンモクセイ、新奇性は低い環境とは適さないペパーミント、新奇性が低く環境と適するクレンザーの匂い、そして無臭条件を設けた。1つ目の実験では学習時と確認時に同一の匂いを提示し、匂いの種類の影響を調査した。その結果、新奇性が高く、環境と適しておらず検出しやすいと考えられるキンモクセイの匂いが提示された場合、他の条件よりも記憶された単語の数が多く、新奇性はないが環境に適していないペパーミントの匂いは無臭条

件よりも多く記憶されることが示された。次に2つ目の実験では、同様の3種の匂いを使用し、学習時のみ提示・確認時のみ提示・両方提示・両方無臭の条件で調査を行った。その結果、キンモクセイの匂いペパーミントの匂いでは、学習時と確認時のどちらも匂いが提示された場合、他の条件よりも多く記憶されることが示された。一方で、新奇性が低く環境香と適しているクレンザーの匂いでは条件間で有意な差は見られなかった。このことから、参加者の嗅覚刺激に対する検出力により、記憶に対する効果に変化することが示唆された。

以上のことから、嗅覚刺激は記憶との連関が強く、多感覚相互作用におけるトップダウン処理を強化する可能性がある。また、記憶時に実験参加者が検知しやすい匂いを提示することで、記憶付けを強化しうることが示されている。

2.4. 目指すべきシステムの要件定義

1章で紹介した背景を踏まえ、本研究で目指す職人技の追体験によるプロモーションシステムの要件を定義する。以下では、本研究で目指すべきシステムの要件を、システムの機能とシステムの効果の観点から定義する。

2.4.1. システムの機能

職人技の体感によるプロモーションを対象とした追体験システムを実現する際のシステム機能上の要件として、他者の実体験の模倣ができることとアクセシビリティが高いことを挙げる。

① 他者の実体験の模倣

職人技などの個人の特殊な技能を追体験させる場合、他者の実体験を模倣させることが重要であると考えられる。本節ではこの要件を2つの要素に分けて定義する。1つ目は体験のオリジナリティである。他者の体験を追体験する場合、使用者はあくまで他者の体験を辿る（模倣する）必要がある。そのため、1.1.2節で紹介した池井らの分類で示すように、再現された実空間・バーチャル空間での自身のオリジナルの体験は、追体験とは異なる体験となる。2つ目は体験の本物性である。職人技は個人に特殊な技能であり、その人物の実際の体験情報に価値がある。仮に、CGによって体験情報を再現した場合、技術の紹介は可能だが職人がもつ技術力を体感させることにはならない。本研究では、職人技の体感（追体験）を通じた製品の本質的な価値理解を促すことを目指しているため、可能な限り職人の実際の作業情報を改変することなく伝達する必要がある。

例えばWOWが行ったろくろ削り体験のインスタレーション[96]は、映像が表示される画面に触れるとCGでつくられた木が削れていき、疑似的なろくろ挽き体験を可能にしている。この体験はエンターテインメント性や新奇性が高く、体験自体の来場者への

訴求性も高いと考える。しかし実際の職人技を対象とはしていないため、提供しているのは“自身の”“疑似的な”ろくろ挽き体験であり、追体験とは異なる。そのため職人技を体感させ、本質的な価値理解を促すという本研究の目的には即していない。

以上のことから、本研究では実際に他者が行った作業情報をできるだけ改変せずに伝達し、実体験を模倣させることが必要であると考ええる。

② アクセシビリティ

本研究での提案システムを実際の工房で使用する場合、実装・使用・応用に対するアクセシビリティが高いことが重要となる。市場規模の縮小に直面する業界で、高価な装置を導入することはハードルが高い。また、デジタル機器に対する高い専門性を持たずとも容易に使用できるシンプルな構成にする必要があり、できる限り一般化された技術・機器を用いることが望ましいと考える。さらに、他の技術への転用が可能な体験パッケージを構築できれば、個々の事業者の実装負担はより軽減できる。

2.4.2. システムの効果

追体験システムが、実際の現場において有用なシステムとなるために求められる効果として「没入感」と「訴求性」を挙げる。

① 没入感

本研究における没入感の概念図を図 2-5 に示す。Sanchez ら[97]は VR における Presence という言葉を、VE(virtual environment)などの仮想的な環境において人々が現実のようにふるまう程度のことであると表現している。ここでのふるまいとは、生理学的な次元から感情、行動的な次元まで様々な次元のものを指す。Slater[98]はこの presence という概念を place illusion(PI)と plausibility illusion(Psi)に分け定義した。

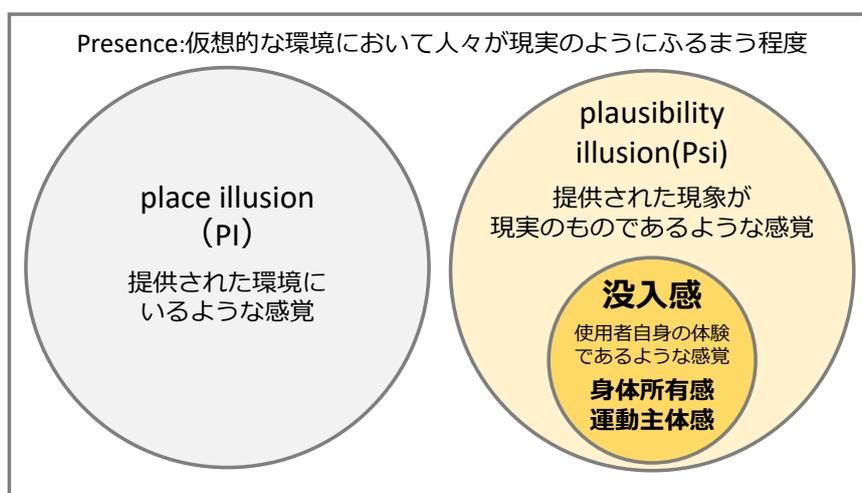


図 2-5 : Slater[98]を参考にした本研究での没入感の定義

PI は、使用者が実際にいる場所ではなく、VE など提供された環境にいるような感覚を生起させる錯覚である。対して、Psi は提供されている現象が現実が生じているという錯覚であるとしている。本研究では職人技を迫体験することを目指していることから、実環境に存在しているような感覚(PI)を向上させることよりも、提供される体験が現実のものであるという感覚(Psi)が重要となる。

さらに、使用者自身が作業をしている感覚を生起させるためには、使用者にシステムを介した他者の体験を自己の体験だと認識させる必要がある。自己の概念は一時的な自己と永続的な自己に分かれ、ある瞬間の自身の体験を認識するのは一時的な自己である。一時的な自己は、「行為を経験しているのは自分である」という感覚である身体所有感(Ownership)と、「自らが行為を引き起こしている」という感覚である運動主体感(Agency)によって形作られる[99]。そのため、質の高い身体運動を伴う迫体験を提供するためには、これら 2つの感覚を向上させるシステムが望ましい。本研究ではこの感覚を没入感と表現し、システムに求められる効果として挙げる。なお VR を用いた住環境提示システムの没入感を評価した実験では[100]、没入感を「映像の中に入り込み、一体化する感覚」と表現している。本研究の迫体験は他者（映像など提示される情報中の作業者）に乗り移ったかのような感覚を生起させることを目指しているため、この表現と矛盾しないと考える。

従来の迫体験は、他者の過去の体験におけるシチュエーションや感情を辿る意味合いが強かったため、本や映像などの受け手の想像力に依存するメディアを用いての迫体験が可能であった。一方で、職人技のように身体運動を伴う体験を迫体験する場合、身体の運動感覚を想像力のみで補完することは困難である。身体運動を伴う迫体験の質を向上させるためには、体験への没入感を向上させ、あたかも自身が他者の体験を体験しているかのような感覚を提供する必要がある。しかし、属人的な技術を迫体験する場合はその性質上、できる限り他者の体験情報を単方向に受信することが求められるため、使用者の動作と提示情報の相互作用性は低くなる。そのため相互作用性が低くとも、没入感を提供できる工夫が必要となる。

② 訴求性

本研究では、職人技の迫体験システムを通じたプロモーションによって、工芸の市場縮小という課題解決を目指している。そのため、システムの性能や新奇性を向上させるのみならず、使用者（消費者）への訴求性を明らかにする必要があると考える。この訴求とは消費者の需要を喚起し、購買や利用を促進することを意味する。以下では、工芸のプロモーション過程を消費者の行動モデル（AISAS モデル）に当てはめ、消費者行動の各段階で訴求性を高めるために必要となるシステムの効果を示す。

AISAS モデル[101]は、株式会社電通によって提唱された消費者の行動プロセスを分析するための枠組みである。消費者行動を認知段階の Attention（注意）、感情段階の

Interest（関心）、行動段階の Search（検索）、Action（行動）、Share（共有）の5つのプロセスに分けており、認知段階から感情段階、そして行動段階へ消費者を効率的に導入するためのマーケティング手法が求められている。この5つのプロセスに、従来のコンテンツを用いた、工芸のプロモーションの流れを当てはめた図を図2-6に示す。まず認知・感情段階(Action/Interest)では、映像視聴や実演の鑑賞によって、消費者の注意・関心を喚起する。そうしたコンテンツによって対象への興味が生じた場合、消費者は製品やサービスについて自身で調査(Search)し、行動を起こすかを決定する(Action)。なおここでは、行動段階を興味が創出された結果として金銭的負担を伴う行動をすることとしたため、製品の購入に加え現地等での実体験も含めている。ただし前述のように実体験自体がプロモーションの効果を持ち、対象への興味を強化し行動（再行動）を促す要因としても働きうると考える。そして、購入または利用後に、それが満足できるものであった場合、知人に対する口コミや SNS 等での共有を行う(Share)。それにより、再行動や新たな顧客の確保が可能になるという循環になっている。

このモデルに当てはめて考えると、訴求性を向上させるということは、認知・感情段階を経て、消費者を効果的に行動（購買・体験）へと導入させることを意味する。この行動への導入を促進するためには、認知・感情段階で消費者が抱く製品や技術に対する印象を向上させる必要があると考える。例えば、システムの使用によって従来のコンテンツよりも製品や技術の価値理解を理解させ、印象が向上すれば、製品の購買や体験の参加を促進しうると考える。

また、現地等での体験をプロモーションとして捉えた場合、体験の印象を向上させることで訴求性を強化しうると考える。フロー理論[102]によると、使用者のレベルに適した課題を与えると、対象への印象が向上し上達も速くなり、レベルが適していない場合使用者のモチベーションは低下することが知られている。感覚の共有によって効果的な動作習得が可能であった場合、体験の難易度を調整でき、間接的に訴求性を強化しうると考える。

以上より本研究では、印象向上効果と動作習得効果を訴求性の向上要因として捉え、システムに求められる効果として挙げる。

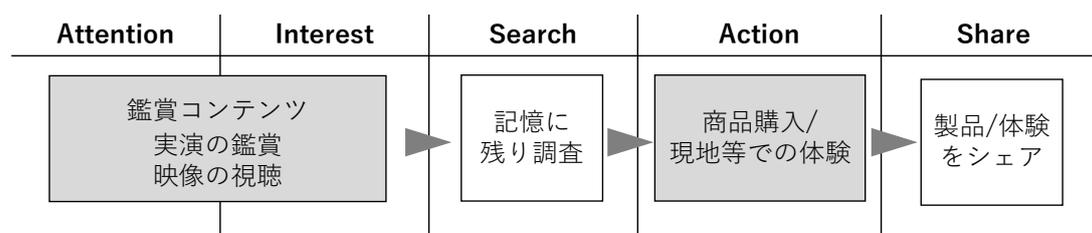


図 2-6 : AISAS モデルに当てはめた工芸のプロモーション過程

2.5. システムの提案

上記のシステムの機能面・効果面の要件から、本研究に適切なシステムの形式として配信型追体験システムに着目する。図 2-7 は図 1-5 の左部を、目指すべきシステム要件を踏まえ説明した図である。本研究で提案するシステムの基本構成は、作業を記録した実映像に体性感覚刺激と嗅覚刺激の両方もしくはどちらかを重畳するというものである。

以下では、前節で定義したシステムの機能面・効果面の要件に対する提案システムの妥当性を述べる。

・システムの機能

システムの機能の要件として他者の実体験の模倣とアクセシビリティを挙げた。まず、作業を記録した実映像を使うことで、他者の実体験の模倣は可能になる。また、配信型システムは配信側から受信側への単方向の情報伝達であり、使用者の動作と情報提示の相互作用性が高いシステムよりも実装のコスト（費用・難易度）は低下する。感覚刺激の重畳として、体性感覚刺激や嗅覚刺激を提示する場合には感覚提示装置を用いる場合もあるが、市販品で構成することで比較的容易に実装でき、アクセシビリティを著しく損なうほどの問題とはならないと推測する。以上より提案システムは、システムの機能として定義した要件を満たすと考える。

・目指すべき効果

目指すべき効果として没入感と訴求性を挙げた。配信型のシステムは、相互作用性が低いいためアクセシビリティが高い一方で、没入感を損ないやすい。そこで、提案システムでは体性感覚刺激と嗅覚刺激の重畳によって没入感を補完する。例えば、視聴覚刺激と同期した体性感覚刺激（振動刺激や追従動作）は、RHI[49]やミラーセラピー[56]のような身体所有感・運動主体感を錯覚させる現象を引き起こす。また、視聴覚コンテ

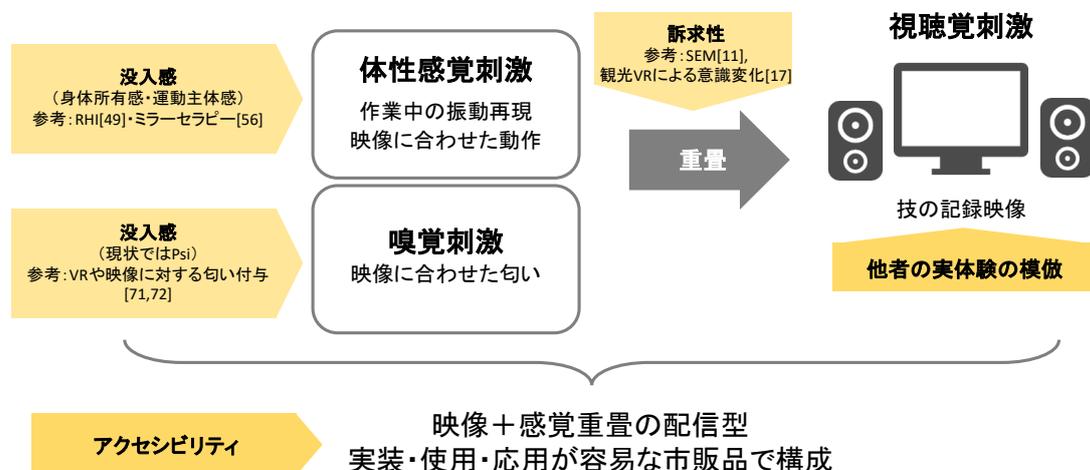


図 2-7 : 配信型追体験システムの特徴

ツに適した嗅覚刺激を付与することでリアリティが向上することが示されており、Psiの向上に寄与していると考えられる。これまでの研究では示されていないが、映像に適した嗅覚刺激が映像中の手との連関を強める働きをすれば、体性感覚刺激のように身体所有感・運動主体感を引き起こす要因となり、没入感の向上に寄与しうると考える。これらのことから、感覚刺激を重畳することで、配信型でありながら没入感のある追体験を創出する可能性があると考えられる。また、Shumitt[11]が示すように、感覚刺激の提供は現代の市場における価値づけの手法として注目されており、映像に対する感覚重畳は体験者への訴求性を高めると推測される。さらに、観光のプロモーションに対するVRコンテンツでは、臨場感の度合いによって、体験者の観光地に対する印象や行動が変化することが示されている[17]。つまり感覚刺激の重畳によって追体験の質を向上させることができれば、それに伴い訴求性も向上させうる可能性がある。

以上を踏まえ、本研究では記録映像に対する体性感覚刺激と嗅覚刺激の重畳を基本構成とする、配信型追体験システムを提案する。

2.6. 本研究の独自性

はじめに、配信型追体験システムの特徴を他の体験コンテンツと比較し、その利点と欠点を2.4節で定義した要件の観点から整理する。次に、現状の身体運動を伴う配信型追体験システムに関する研究を取り上げ、2.4.2節で定義した目指すべきシステムの効果の観点から論じる。以上を踏まえ、本研究の位置づけを示す。

2.6.1. 配信型追体験システムの特徴

図2-8に、目指すべきシステムの要件に対する各体験コンテンツの特徴の比較表を示す。相対的に評価し、本研究で目指すシステムの要件に適している場合は赤、適していない場合は青としてセルを着色している。まず、鑑賞コンテンツとして、実演の鑑賞と映像の視聴を挙げる。これらは体験する場所や方法が異なるが、共に一方的な体験の視聴であるため参加者の負担は小さい。また、他者の実演や実映像を視聴するため、他者の実体験の追体験が可能である。一方で、職人技のように身体運動を伴う体験を追体験する場合、身体の運動感覚を使用者の想像力のみで補完することは困難であるため、追体験への没入感は低下すると考える。展示会での実演は、目の前で実際の作業をみることができると、動画視聴よりも訴求性は向上するが、あくまで受動的な鑑賞であるため、体験を伴うコンテンツと比較すると訴求性は低いと予測する。

次に体験者自身の作業を伴うコンテンツとして、現地等での実体験と双方向型システムを介した体験を挙げる。これらの体験は体験者の自由な運動が可能であり、実際に身体の運動感覚を提示することができる。一方で、これらの体験はあくまでも体験者自身

		システムの構成				システムの効果	
		他者の実体験の模倣		アクセシビリティ		没入感	訴求性
		本物性	オリジナリティ	実施者	参加者		
鑑賞	展示会等での実演	実演	他者の体験の視聴	移動実演時の作業	視聴のみ	低	中
	動画配信	実映像	他者の体験の視聴	映像の使用により負担低減	視聴のみ	低	低
感覚共有	配信型追体験システム (映像+感覚重畳)	実映像	他者の体験感覚の共有	単方向伝達で実装の負担低減	運動を伴うが失敗はない	感覚刺激により補完？	
作業	現地での実体験	実演	自身の体験	施設 人員 体験時の作業 など	移動 拘束時間 作業の難しさ など	高	高
	双方向型システム シミュレーション レイジスタンス	実映像	CG	自身の体験	アクセシビリティと効果のトレードオフ		

■ 要件に適している ■ 要件に適していない

図 2-8：配信型追体験システムの特徴

がその時に行うオリジナルの体験であり、他者の体験の模倣ではないため、厳密には追体験とはいいがたい。またアクセシビリティの観点からみると、製作体験は実施者・参加者共に物理的な制約に伴うハードルが高い（表 1-2 参照）。また、双方向型システムはアクセシビリティと効果がトレードオフの関係にあり、視聴覚以外の感覚刺激を重畳させる場合、高額・大型のシステムになる場合が多い。

これらに対して本研究で扱うのが配信型追体験システムである。なお、ここでは配信型追体験システムを、記録映像に対し感覚を重畳させることでリアリティを補完する Sensorama[43]のようなシステムとして議論する。配信型追体験システムは、鑑賞コンテンツのように、体験情報は配信側から受信側（参加者）へ単方向に伝達されその内容は変化しない。そのため他者の体験の模倣（追体験）が可能になる。さらに映像に対し感覚刺激を重畳する形で、身体運動によって生じる感覚刺激を再現するため、鑑賞コンテンツよりも追体験の質が高い。また、この配信型追体験システムも、アクセシビリティと効果はトレードオフになるが、単方向の情報伝達であるため、双方向型システムよりも簡易なシステムでの実装が可能である。こうした特徴から、他者の実体験の模倣ができ、アクセシビリティが高い追体験を可能にするシステムとして、配信型追体験システムが有用であると考えられる。ただし、配信型追体験システムは没入感・訴求性を向上させる可能性が示されているものの、その効果は未解明であるため、本研究の着眼点とする。

2.6.2. 既存の配信型追体験システムとの比較

2.4.2 節で、追体験システムが実際の現場において有用なシステムとなるために求められる効果として「没入感」と「訴求性」を挙げた。本節では 2.1.4 節に記述した体性

感覚刺激を用いて身体運動を追体験させる3つのシステムと比較し、本研究の独自性を主に「没入感」と「訴求性」の観点から明らかにする。

まず配信型追体験システムを分類した図(図2-9)から、没入感の違いを示す。ここで、池井ら[2][44]は、自身の体験を「受動運動型」と示したが、対して本研究の提案システムを「追従運動型」と表現する。池井らの歩行の追体験システムは、受動的な感覚の提示によって自身が歩行している感覚を提供している。ただし、視点は1人称であるものの環境の映像を提示しているため、体験をしている他者の身体へ没入している感覚は薄い。また、機器が大型でアクセシビリティは低いという特徴がある。一方、追従運動型に分類されるシステムは、池井らのシステムに比べアクセシビリティが高い。しかし、Haptic 茶道[47]は茶人に合わせて動作をする場合はあるが、実際の茶道体験を補強するために感覚を共有する意味合いが強く、他者(茶人)の体験に対する身体所有感や運動主体感を向上させるものではない。また、Mizushina[45]らの Haptic Broadcasting は、使用者の動作に合わせた視聴覚情報の停止・再生、同期した振動刺激の提示によって、運動主体感を伴うバドミントンの追体験を提供していると推察する。一方で、提示される映像は、体験をしている他者の背中が映し出されている3人称視点の映像である。そのため、メディアを用いたバドミントン体験に対する運動主体感は生じるが、バドミントンをしている他者(の映像)に対する身体所有感を提供するものではない。そして、3つのシステムは、臨場感や体験している感覚を提供するという感想が得られているものの、身体所有感と運動主体感に対する定量的な知見は得られていない。これに対し、本研究では RHI やミラーセラピーといった身体感覚の錯覚現象を応用し、身体所有感・運動主体感を共に向上させるシステムの構築を目指す。そして、没入感に対する効果の定量的な検証を行う。

次に訴求性については対象の特性上、Haptic 茶道のみが対象となると考える。Haptic

	内容	感覚刺激	特徴	没入感		訴求性
				身体所有感	運動主体感	
受動運動型 感覚刺激の提示で運動感覚を生起	五感シアター 観光地の歩行追体験 陸上選手の走行追体験	1人称視点の 360度カメラ映像 足底への触覚刺激や 風、匂い	全身運動 機器が大型でアクセシビリティが低い	×	○	—
追従運動型 感覚刺激の提示と使用者の自発的な動作で他者の体験への没入感を創出	Haptic 茶道 茶人の触感を客(参加者)に共有	実演(3人称視点)と振動提示	手元の作業の感覚の共有	×	×	○
	Haptic Broadcasting バドミントンの追体験	3人称視点映像と振動提示、追従動作	動作に合わせた視聴覚刺激の停止・再生	×	○	—
	本研究 木工作業の追体験	1人称視点の映像と体性感覚・嗅覚刺激	身体所有感・運動主体感への影響を定量的に調査	身体感覚の錯覚現象を応用し補完?		

図 2-9：既存の配信型システムとの比較

茶道においては「一緒にお茶を立てている感覚」が生起するという感想が得られており、通常の体験よりもエンターテインメント性や新奇性が高く、体験者に対する訴求性も高いと推測される。しかし、このシステムの訴求性は評価されておらず、体験を通じた体験者の対象に対する思考や行動に与える影響は未解明である。対して本研究ではシステムの訴求性を、製品や技術に対する印象向上効果と動作習得効果の観点から明らかにする。工芸を対象にし、実社会での課題解決を見据えたシステムの構築とその効果検証を行うことは本研究の特徴であるといえる。

さらに、本研究の独自性として嗅覚刺激への着目がある。池井らのシステムでは嗅覚刺激が用いられているものの、その目的は環境のリアリティ向上であった。本研究では、嗅覚刺激が体性感覚刺激のように身体感覚の錯覚現象を引き起こす要因として機能し、没入感を向上させうるか検証する。そして体性感覚刺激と併用した場合にその効果を増強する効果が生じるかを調査することで、嗅覚刺激の有効範囲に関する一知見を得る。

2.6.3. 本研究の位置づけ

本研究では職人技の体感によるプロモーションを対象とした追体験システムの実現を目指しており、システムの機能の要件として「他者の実体験の模倣」であることと「アクセシビリティ」の高さを挙げた。さらに実際の現場で有用なシステムとなるために求められる効果として「没入感」と「訴求性」の高さを挙げた。それらの要件を踏まえ、本研究で最適なシステム形式として配信型追体験システムに着目した。一方で既存の配信型追体験システムは、没入感に対する効果が不十分かつ未解明な部分が多い。さらにシステムの使用による使用者の思考や行動の変化、つまり訴求性は検討されていない。そのため、本研究で明らかにすることは以下の2つである。1つ目は、配信型追体験システムにおける感覚重畳の効果を没入感の観点から明らかにすることである。そのために、体性感覚による効果を定量的に示すとともに、これまで着目されていなかった嗅覚刺激による没入感への効果を検証する。2つ目はシステムの訴求性を明らかにすることである。印象向上効果と動作習得効果から訴求性を検証し、実社会での課題解決の一助となるシステム構築のための知見を提供する。

第 3 章 Pseudo Haptics を用いたシステム

本章では、視覚刺激によって疑似的な触覚を生起させる Pseudo Haptics[66]を用いたシステムを構築し、体性感覚刺激と嗅覚刺激の効果を検証する。小型アロマシェータによる香りの提示と、Pseudo Haptics および追従動作による体性感覚刺激の提示を取り入れることで、従来の映像によるプロモーションよりも臨場感を高め、使用者の興味関心を向上させると予測する。本章の提案システムは日本の森林地域で製造されている木製スプーン製作キットの製作を追体験するものであった。

3.1. 提案システムの構成

提案システムを図 3-1 に示す。提案するシステムはタブレットディスプレイと小型アロマシェータ、それを制御する PC で構成される。使用者はタブレット画面の上に自身の手を置き、動画の中の手の動きに同期して手を動かして使用する。この時、映像中の手と使用者の手の動きが同期することで、動画に映し出された工芸品を実際に作っているような感覚が得られると推測する。さらに、手の動きを続けながら香りの刺激を与えることで、臨場感が高まり、映像や製品に対する印象の向上に寄与すると考える。こうした能動的な動きと香りという感覚刺激を使用者に与えることで、従来の受動的なプロモーション映像に比べ、より効果的なコンテンツとなりうる可能性がある。

なお、本システムでは、市販の木製スプーンづくりキット（株式会社西栗倉・森の学校販売、800 円（税込））を利用した。使用したキットを図 3-2 に示す。このキットはレーザーカッターにより大まかなスプーンの形に切れ込みが入っており、比較的容易に手作りできるようになっている。このキットの説明書に従い、スプーンを製作している様子を映像として使用した。

3.2. 実験内容

木製スプーンの製作過程を記録した映像を、各感覚刺激条件（追従動作の有無/香りの有無）で視聴した後、映像と製品の印象と行動の変化を検証した。

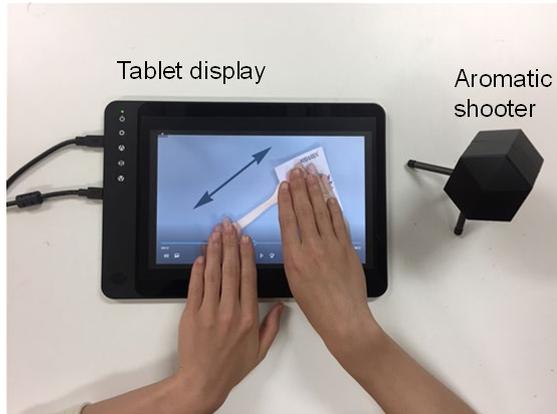


図 3-1：提案システム



図 3-2：スプーンキット

3.2.1. 実験参加者

実験参加者は、右利きの 18～23 歳の女子大学生 40 名（1 条件 10 名）であった。実験前に嗅覚刺激を提示することを説明し、同意を得たうえで実験を実施した。当日は嗅覚刺激が正常に知覚できることを確認した後に実験を開始した。

3.2.2. 実験条件

実験に使用した映像の内容および、体性感覚刺激、嗅覚刺激について記載する。

(1) 映像の内容

上述の木製スプーンづくりキットを用い、説明書に従い著者自身がスプーンづくりをしている様子を撮影した映像を使用した。映像は合計 6 セクションに分かれており、流れを以下に示す（図 3-3）。

- ①鉛筆で下書きをする。
- ②彫刻刀でスプーンの掬う部分を削る。
- ③クラフトナイフでスプーンの形を削りだす。
- ④#180 の粗い紙やすりで大きな凹凸を滑らかにする。
- ⑤#240 の中程度の紙やすりで表面を滑らかにする。
- ⑥#300 の細かい紙やすりで仕上げを行う。

映像は 10.1 インチのモニタ(On-Lap 1002, Gechie)に表示して使用した。なお、体性感覚刺激や嗅覚刺激の条件によって変化するのはセクション④のみで、他のセクションは条件に関わらず映像の視聴のみであった。

(2) 体性感覚刺激

体性感覚刺激として、映像に合わせた使用者自身の能動的な手の動作（追従動作）を採用した。動作がある場合はセクション④の映像中の手の動作に合わせて、タブレット

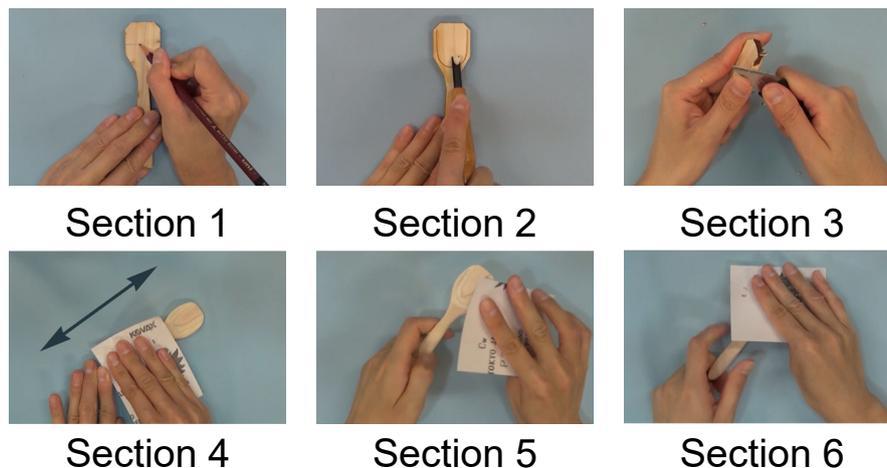


図 3-3：映像の各セクション

画面の表面をこするように指示した。こする方向は、左下から右上の斜め方向と上下の2方向で、斜めに10往復動かしたのち、同様に上下に10往復動かさせた。なお、動作の仕方がわかりやすいよう映像中には、映像に合わせて手を動かすという文字によるインストラクションや、動作の方向を示す矢印を示した。なお、動作がない条件の場合はタブレット画面の上に手をのせたまま手を動かさないよう指示した。

(3) 嗅覚刺激

嗅覚刺激は、Aroma join 製のアロマシュータから提示した。ヒノキの香りを使用した。嗅覚刺激も体性感覚刺激と同様にセクション④のみで提示した。

3.2.3. 評価法

映像と製品の印象を問う評価と使用者の行動の変化を評価した。映像と製品の印象は7段階のSD法で、評価基準は、-3：非常に当てはまる、-2：かなり当てはまる、-1：やや当てはまる、0：どちらでもない、1：やや当てはまる、2：かなり当てはまる、3：非常に当てはまるとして回答させた。使用した形容詞を表3-1に示す。映像の印象に関わる形容詞は10対、製品の印象に関わる形容詞は8対である。さらに製品の印象評価として、製品に対する値付けを行った。映像と製品の印象を問うアンケートに回答した後、実験参加者に実際のスプーンキットを渡し、「あなたはこのキットが何円だったら購入しますか?」という質問に回答させた。この際実験参加者は自由にキットを触れることができたが、値付けに対する手掛かりは一切与えなかった。

使用者の行動への影響は行動指標によって評価した。映像と製品の印象の評価後、実験結果の確認と謝礼の準備のため実験者が5分間程度退出する間、実験室で待つよう依頼した。退出する際にはセクション④の手前の状態まで加工された、スプーンと紙やす

表 3-1：評価項目の形容詞対

(a) 映像の評価
好きな—嫌いな
気持ちの良い—気持ちの悪い
違和感のない—違和感のある
楽しい—つまらない
迫力のある—迫力の無い
リアリティのある—リアリティのない
人工的な—自然な
立体的—平面的
速い—遅い
わかりやすい—わかりにくい
(b) キットの評価
好きな—嫌いな
ほしい—ほしくない
大きい—小さい
良い—悪い
簡単な—難しい
重い—軽い
高級感のある—安っぽい
親近感のある—疎遠な

りを手渡した。そして、実験参加者が実際にスプーンづくりを体験する時間をビデオで計測し、視聴した映像の違いによって行動が変化するかを調査した。

3.2.4. 実験計画と手順

実験条件は、体性感覚刺激（2：あり・なし）×嗅覚刺激（2：あり・なし）の4条件であった。なお、1人の実験参加者に対して、1つの実験条件を評価させる参加者間要因とし、各条件10名ずつ実験を行った。

実験の流れを以下に示す（図 3-4）。

① 実験説明

木製スプーン製作映像を視聴することや匂いが提示される場合があること、評価の手法など実験の説明を行った。また、体性感覚刺激の条件に応じて動作を説明した。

② 映像の視聴

体性感覚刺激・嗅覚刺激条件に応じて映像を視聴させた。

③ 映像と製品の印象評価

表 3-1 に示した形容詞対を用いて、SD法による映像と製品の評価を行った。

④ 製品の値付け評価

③の評価が終わった後、映像中で使用したキットを手渡し自由に触らせた。そしてこのキットがいくらだったら購入するかを問い、値付け評価を行った。



図 3-4：実験のながれ

⑤ 体験時間の評価

実験者が5分間退出する旨を伝え、その間実験室で待つよう指示した。その際映像のセクション④の手前の状態まで加工されたスプーンと紙やすりを手渡した。実験者が退出している間の、実験参加者のキット使用時間をビデオによって記録した。

⑥ 実験終了

実験参加者に、退出中の様子をビデオで記録し、キット使用時間を評価指標とした旨を伝えた。その後、謝礼を手渡し実験は終了した。なお、実験結果は同意が得られた実験参加者のもののみを使用した。

3.3. 結果

3.3.1. 解析方法

匂いを感じなかった4名の参加者（嗅覚刺激あり・体性感覚刺激なし条件：1名，嗅覚刺激あり・体性感覚刺激あり条件：3名）の結果は除外した。したがって、合計36人の参加者のデータを使用した。

3.3.2. 映像の印象評価

映像の印象評価結果を図3-5に示す。縦軸は、各形容詞の評価の全参加者の平均値、横軸は形容詞対、エラーバーは標準誤差を表している。線の種類は嗅覚刺激・体性感覚刺激の各条件を示し、黒実線は嗅覚刺激あり・体性感覚刺激あり、黒破線は嗅覚刺激あり・体性感覚刺激なし、灰破線は嗅覚刺激なし・体性感覚刺激あり、灰実線は嗅覚刺激なし・体性感覚刺激なしである。結果に対し、2つの参加者間要因（嗅覚刺激と体性感覚刺激）と1つの参加者内要因（形容詞対）の3要因分散分析（ANOVA）を実施した。その結果、嗅覚刺激と形容詞対の相互作用効果に有意差がみられた（ $F(9, 288)=2.02$,

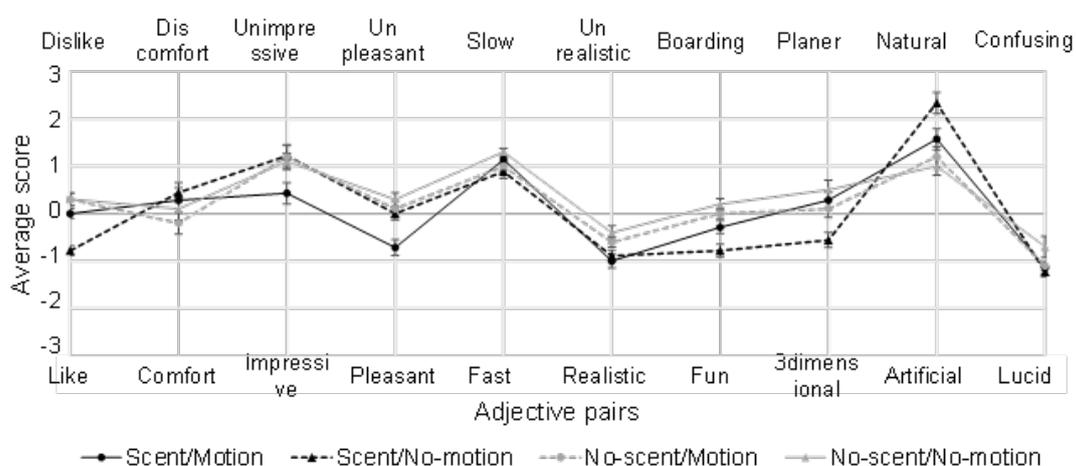


図 3-5：映像の評価

p=0.04). 有意差がみられた交互作用に対する下位検定を行った結果, 「人工的な-自然な」の形容詞対で嗅覚刺激の条件間で有意差が生じ, 嗅覚刺激がある場合, 参加者はより「自然な」印象を感じていた (F(1, 320)=5.60, p=0.02). 同様に, その差は統計的に有意ではなかったが, 嗅覚刺激の付与により, 「好き」「楽しい」と感じる傾向がみられた (F(1,320)=3.66, p=0.06, F(1,320)=3.08, p=0.08) (図 3-6).

3.3.3. キットの印象評価

まず, SD 法の評価の結果を図 3-7 に示す. 縦軸は, 各形容詞の評価の全参加者の平均値, 横軸は形容詞対, エラーバーは標準誤差を表している. 線の種類は嗅覚刺激・体性感覚刺激の各条件を示し, 黒実線は嗅覚刺激あり・体性感覚刺激あり, 黒破線は嗅覚刺激あり・体性感覚刺激なし, 灰破線は嗅覚刺激なし・体性感覚刺激あり, 灰実線は嗅覚刺激なし・体性感覚刺激なしである. SD 法の結果に対し, 2 つの参加者間要因 (嗅覚刺激と体性感覚刺激) と 1 つの参加者内要因 (形容詞対) の 3 要因分散分析 (ANOVA)

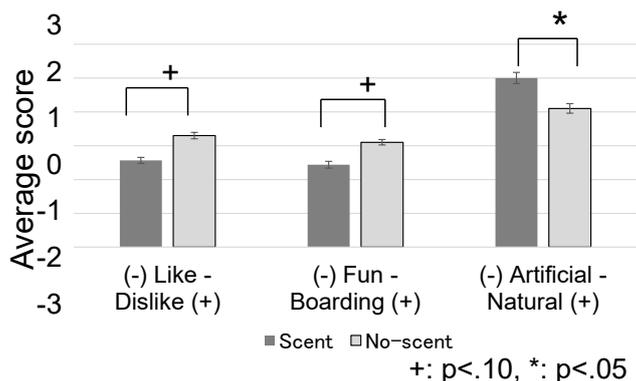


図 3-6 : 映像の印象の下位検定

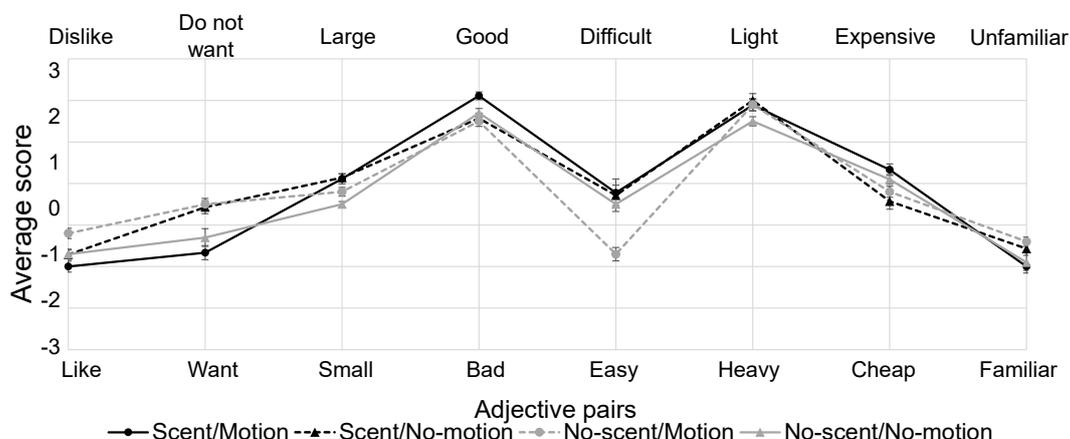


図 3-7 : キットの評価

を実施した。その結果、嗅覚刺激、体性感覚刺激、形容詞対の相互作用効果に有意差がみられた ($F(7, 224)=2.89, p<0.01$)。下位検定を行った結果、「欲しい-欲しくない」の単純主効果 ($F(1, 256)=8.18, p<0.01$) に有意差があった。さらに、嗅覚刺激あり条件の場合、体性感覚刺激あり条件よりもなし条件の方が、スプーンキットを有意に「欲しい」と評価する結果が得られ ($F(1, 256)=6.20, p=0.01$)、嗅覚刺激なし条件の場合、体性感覚刺激なし条件よりもあり条件の方が、評価が高い傾向がみられた ($F(1, 256)=2.92, p=0.09$)。さらに体性感覚刺激なし条件では、嗅覚刺激あり条件の方が「欲しい」という評価が高かった ($F(1, 256)=5.46, p=0.02$) (図 3-8)。また、「簡単な-難しい」は有意傾向であった ($F(1, 256)=3.64, p=0.06$)。

次にキットの値付け評価の結果をボックスプロットとして図 3-9 に示す。縦軸は全参加者の値付けの平均値、横軸は嗅覚刺激・体性感覚刺激条件をそれぞれ表している。4つの条件を比較するために、Kruskal-Wallis 分析を行ったが有意差は生じなかった ($\chi^2=1.35, df=3, N.S.$)。

3.3.4. 行動評価

図 3-10 に実験参加者のキット使用時間 (最大 300 秒) をボックスプロットで示す。

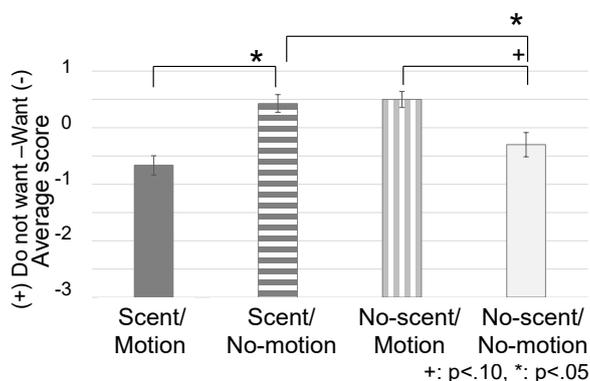


図 3-8：“欲しい-欲しくない”の評価

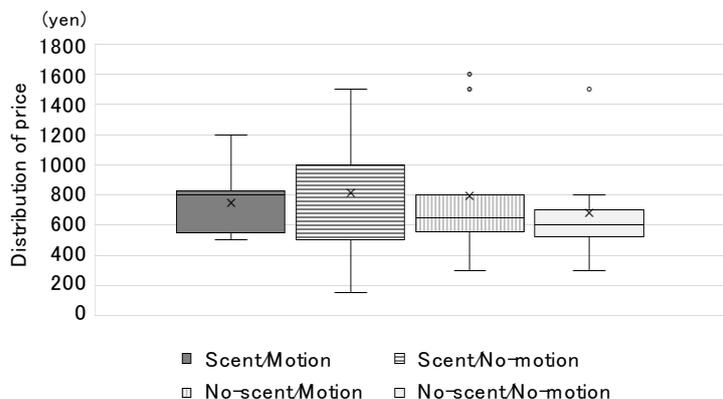


図 3-9：値付けの結果

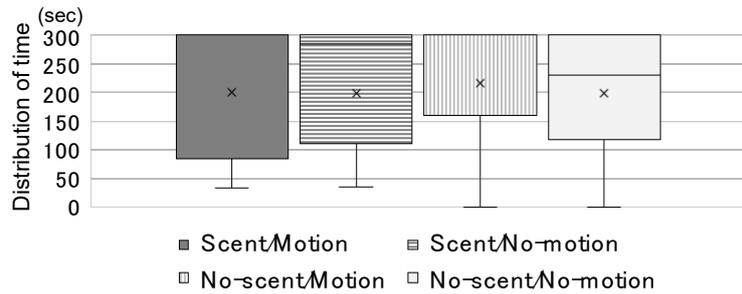


図 3-10：やすりがけ体験時間の結果

縦軸は使用時間の平均値，横軸は嗅覚刺激・体性感覚刺激の条件を示す．各条件間の比較するために，Kruskal-Wallis 分析を実施した結果，有意差は認められなかった ($\chi^2 = 0.34$, $df=3$, N.S.).

3. 4. 考察

3. 4. 1. 嗅覚刺激の効果

映像の評価では，映像に関連する匂いであるヒノキの匂いを提示することで，「自然な」，「好きな」，「楽しい」という印象を与えることが示唆された．通常木材の表面を紙やすりでこすると，木の香りを感じることができる．そのため，この実験で提示された匂いを嗅ぐことによって，参加者の実体験や知識が連想され，上記のような印象を生起した可能性がある．この結果は，映像のシーンと関連している匂いを提示する場合，そのシーンの臨場感を高めるという Tomono ら[72]の研究結果とも矛盾しない．そのため，適切な匂いの提示は映像に対する印象を変化させ，リアリティや楽しさを高める可能性があることが示唆された．また，キットの評価では嗅覚刺激のみが提示される場合に，キットを「欲しい」という印象が高くなり，訴求性を向上させたと考える．観光プロモーションにおける VR コンテンツの効果に関する研究において，Tussyadiah ら[17]は，臨場感の度合いが楽しさに影響を与え，さらに臨場感と楽しさが観光客の態度に影響を与えることが示唆している．以上より，映像と関連した嗅覚刺激の提示は使用者に対する訴求性を高められると考える．

3. 4. 2. 体性感覚刺激の効果

映像の印象については，体性感覚刺激あり条件となし条件の間に差はなかった．また，キットの評価では，嗅覚刺激がない状態で動作をさせた場合，動作をさせない場合に比べ，スプーンキットを「欲しい」という印象が高まった．一方価格付けの結果では，嗅覚刺激がある場合に比べて，体性感覚刺激がある場合の価格の中央値の増加幅は小さくなった．このことから，手を動作させることによるキットへの興味促進効果は，嗅覚刺

激による効果よりも小さいと考えた。

その理由として、2つの可能性を考える。1つ目は、参加者の手の動きと映像中の手の動きのズレが顕著であった可能性である。参加者の中には、映像中の手の動作に合わせて、手を動かすことが困難である参加者が存在した。そうしたズレによって、画面に表示された動きを自身が引き起こしている感覚を生起されず、映像の臨場感が高まらなかった可能性がある。2つ目は体験の難易度が影響した可能性である。体性感覚刺激あり条件では、映像と同じように手を動かすことを求められる。そのため映像と自身の動作を同期することに注力しなければならず、コンテンツを集中して楽しむことができなかった可能性がある。

この問題を解決する方法として、2つの方法を考える。1つ目はズレを認識しづらくする方法である。今回のシステムではタブレット画面上に手を置いて使用するため、映像とのズレが顕著に感じられる構成となっていた。そのため、自身の手を隠し、映像を表示する画面の真下で手を動かすなど、使用者に明確にズレを感じさせなくすることで改善する可能性がある。また、その際には、画面の中の手を自身の手であると認識させる必要があるため、感覚刺激の重畳などの方法で一体感を増強するような工夫が必要となる。2つ目は簡易的に相互作用させる方法である。Mizushinaら[45]のように、使用者の動作に合わせて映像を停止・再生するような、簡易的なインタラクティブ性を提供するシステムであれば、運動主体感を生起させつつ追体験を実現できる可能性がある。

一方、有意差はみられなかったが体性感覚刺激あり条件では、なし条件に比べてキットの使用時間が長かった。しかし、今回の実験では最大で300秒(5分)であり、実験者が実験室に戻るまでキットを使用し続けた参加者も多くいた。そのためこの結果は、実験時間を長くすれば変動する可能性がある。

3.4.3. 体性感覚刺激と嗅覚刺激の併用効果

本実験では、嗅覚刺激と体性感覚刺激を組み合わせた場合の、正の相乗効果は確認されなかった。特にキットの印象評価では嗅覚刺激を提示すると、追従動作をする場合、しない場合よりも「欲しくない」という印象が高まった。同様に値付けの評価でも、嗅覚刺激を提示すると、追従動作をする場合の方がしない場合よりも、価格の評価の中央値が低くなった。値付けの評価では、嗅覚刺激なし条件はあり条件と比較し中央値が低いことから、体性感覚刺激の効果が弱く、嗅覚刺激の効果を阻害している可能性を考える。

以上のことから、体性感覚刺激の提示法を改良したシステムを構築することで、嗅覚刺激と体性感覚刺激の間に正の相乗効果を誘発し、コンテンツの訴求性向上につながると予測する。

3.5. まとめ

本実験では、木材スプーンの製作キットを対象に、製造過程を記録した映像に、嗅覚刺激としてヒノキの匂い、体性感覚刺激とし **Pseudo Haptics** と追従動作を採用したシステムを構築した。そして構築したシステムを用いた際に使用者が抱く、システム（映像）の印象と製品の印象への効果を検証した。その結果、嗅覚刺激を提示することで映像に対して「自然な」印象を与え、嗅覚刺激または体性感覚刺激によって、キットを「欲しい」という印象を向上させることが示された。一方で、嗅覚刺激と体性感覚刺激を組み合わせた場合には、「欲しくない」という印象が高まるという予想外の結果が示された。その要因として、体性感覚刺激の提示法が体験の質を低下させていた可能性を考え、次章以降では体験への没入感を阻害しない体性感覚刺激の提示方法を検討する。

第4章 振動刺激・追従動作を用いた木工追体験システム

本章では、RHI やミラーセラピーなどの身体感覚の錯覚現象を応用した、体性感覚刺激を提示する追体験システムを提案する。3章で提案したシステムは、追従動作の効果が小さく、体性感覚刺激の提示法に改良の余地があると考えた。3章では、システムの効果が小さかった要因として、映像と動作のズレが顕著に感じられた可能性を挙げた。そこで、本章では映像と動作のズレを不明瞭にするために、使用者の手を隠し、映像を表示する画面の真下で映像に合わせて手を動かす構成のシステムを提案する。また、その際に、画面の中の手と使用者の手の一体感を増強させるため、映像と同期した振動刺激と物理代替インタフェース（工具の模型）を使用した。本システムは映像と使用者の動作の相互作用性は存在しないが、RHI やミラーセラピーといった身体感覚の錯覚現象を応用しているため、視聴覚と触覚、および身体運動の感覚統合で、没入感を補完しうると予測する。なお本章では、のこぎり、彫刻刀、クラフトナイフ、紙やすりの4種類の道具を用いた木工作業を対象とした追体験システムに着目する。

4.1. 木工追体験システムの構成

図4-1は提案システムの実装例である。提案システムは、PCとモニタ（GeChic社製 ON-LAP 13.3インチ）、スピーカー（Logicool社製 Speaker System Z320）、工具の模型（物理代替インタフェース）、振動提示装置（TECHTILE Toolkit[103] および ALPS ALPINE社製 ハプティック® リアクタ Hybrid Tough Type）、それらを置く筐体で構成される。筐体は2段構造になっており、上段に置かれたモニタからは作業の映像が流れる。下段は使用者が手を動かすスペースで、TECHTILE Toolkit、振動子を内蔵した工具の模型、スピーカーを配置した。上段と下段の床からの高さはそれぞれ約116cm、約86cmであり、使用者の身長に合わせて10cm刻みで調整できる。スピーカーとTECHTILE ToolkitはそれぞれPCのオーディオ端子につながるオーディオ分配ケーブルに接続する。PCで再生されるステレオ音声は2ch共に同じ信号とする。

使用者は図4-1に示すように、モニタに表示される手の真下で工具の模型を把持しながら、映像中の手の動きに合わせて自身の手を動かす。工具の模型には振動子が内蔵されており、映像撮影時にマイクを板に張り付け集音した作業音を、TECHTILE Toolkit



図 4-1:提案システムの構成

を介して増幅して提示する。例えば，図 4-1（のこぎりで木を切る作業）の場合，使用者が把持している工具の模型からは，のこぎりで木を切る際に生じた振動が映像と同期して提示される。画面の真下にある手に，画面中の手を感じていると推測される触感，図 4-1 の場合は木を切る振動を提示することで，RHI のように，画面上の手への身体所有感が生じると予想する。また工具の模型が物理代替インタフェースとして作用し，映像への没入感が向上すると考える。さらに，手の映像に合わせて使用者自身の手を動かすことで，ミラーセラピーや動作を伴う RHI のように，身体所有感と運動主体感を向上させると考える。

なお，モニターとしては HMD (Head Mounted Display) を用いることも考えられる。しかし今回は手元での作業に着目しており，使用者の頭部位置が変化しないため，映像中の手指への動作の合わせやすさや体験の記録を含めた実装コスト，使用感を重視し，HMD は使用しなかった。HMD を用いて 3D の映像や広視野角の映像を表示した場合，没入感の向上が期待できるが，映像の記録や再生のための機材が必要となる。

4. 2. 実験内容

本章では，振動刺激によって身体所有感が，追従動作によって身体所有感と運動主体感が向上するという仮説の検証を行った。また，これらの効果は作業内容に依存することが懸念されるため，4 種類の木工作業に対して検証実験を行い，作業の特徴と効果の関係性についても検証した。

4. 2. 1. 実験参加者と実験環境

実験参加者は，20 歳前後の右利きの女子学生 19 名で，実験前に実験の手順と振動刺激を提示することを説明し，同意を得たうえで実験を実施した。実験室の温度・湿度は空調により調整し，室温 $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $50\% \pm 10\%$ であった。

4. 2. 2. 実験タスク

図 4-1 に示す提案システムを使用し、実験参加者に木工作業を体験させた。まず参加者は、画面を上から見下ろす形でシステムの前に立った。次に、作業の振動が提示される工具の模型を持って、後述する振動刺激条件と手の動作条件のもと、作業映像を視聴した。体験後は、後述する方法に従い身体所有感と運動主体感の評価を実施した。以上のタスクを、4 種類の木工作業と振動刺激・動作条件に対して繰り返した。

4.2.3. 実験条件

作業内容 (4 条件) × 振動刺激 (2 条件) × 動作 (2 条件) の計 16 条件を評価させた。実験に使用した各刺激について記述する。

① 作業内容

作業は 4 種類の道具を使った木工作業（のこぎり、彫刻刀、クラフトナイフ、紙やすり）とした（図 4-2）。これらの作業は小型の道具を用いる手元の作業であり、木を削る際に振動が生じるため、本システムに適していると考えた。のこぎり、紙やすりの作業は右手のみを前後に連続して往復させる作業で、動作の速度はコントロールしなかったが、映像から推定したところ $140\text{bpm} \pm 10\text{bpm}$ であった。彫刻刀は右手を前に押し出すように動かす作業で、動作の回数は 30 秒間に 12 回であった。クラフトナイフは右手にナイフを持ち、左手の親指でナイフの背を押すように右上に向けて動かす動作で、回数は 30 秒間に 20 回であった。なお、彫刻刀・クラフトナイフの作業は前に動かすときのみに木を削るため、木を削る速度と手を手前に戻す速度は異なっており、木を削る速度は約 50bpm であった。映像の流れをのこぎりの例で示す（図 4-3）。映像では最初に動作条件が示された後、自身の手を映像中の手の真下に配置するようインストラクションが入る。そして 3 秒間のカウントダウンの後、振動提示や追従動作を行う作業部が

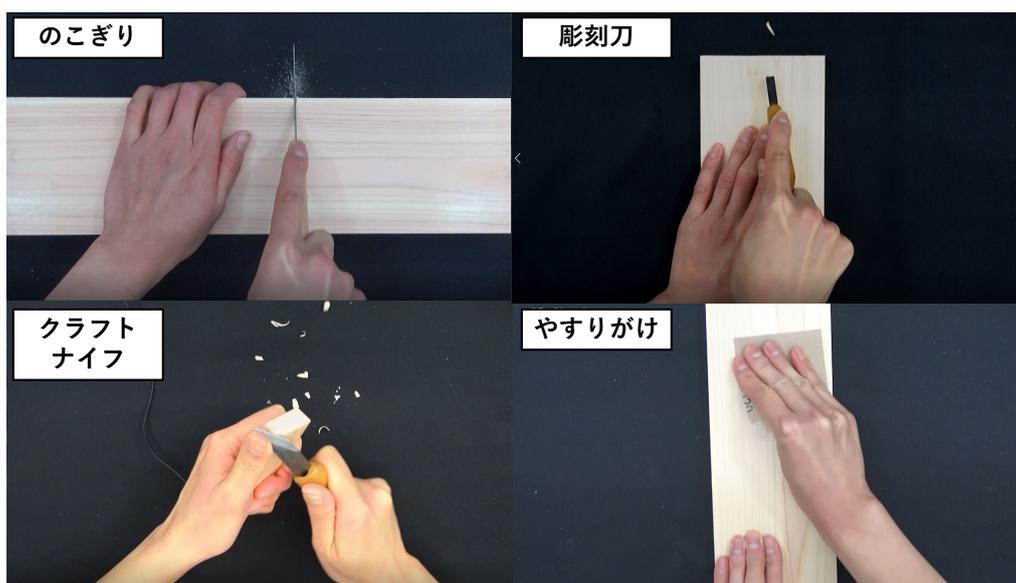


図 4-2:作業内容

開始される。映像は全体が約 43 秒で、そのうち振動提示や追従動作を行う作業部は約 30 秒であった。この長さは RHI が約 15 秒の刺激時間で生じることや[104]、ミラーセラピーの実験[59][60][61]から作業時間を設定した。

これらの作業の様子は、映像としてビデオカメラ（Sony 社製，HDR-CX680）で真上から撮影した。手の見た目が大きく違うことが身体所有感・運動主体感を損なう[105]可能性を考え、参加者と同じ 20 代女性の実験者の手を被写体とし撮影を行った。ビデオカメラから撮影対象までの距離は、システム筐体上段のモニタに表示した手の大きさが、下段にある手の大きさと同様になるよう調整した（身長 162 cm の撮影者が調整）。本実装におけるモニタに表示した物体の大きさは、実際の大きさの約 70% の縮尺だった。モニタに表示した際の映像中の右手の動作距離を計測したところ、10 回の動作の平均値と標準誤差(カッコ内)は、のこぎり:4.20cm (0.13cm)、彫刻刀:3.56cm (0.09cm)、クラフトナイフ:0.84cm (0.07cm)、紙やすり:8.89cm (0.44cm)となった。ビデオカメラにはモノラルマイク（Audio-technica 社製，AT9904）を接続し、作業により生じる振動（音声）を記録した。なお、マイクは木材のビデオカメラの死角となる位置にテープで固定したため、映像には映っていない。

② 振動刺激

振動あり・振動なしの 2 条件を設け、振動ありの場合 TECHTILE Toolkit を介し、



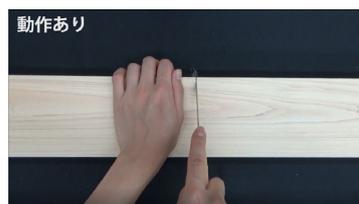
←動作の条件



映像中の手の形と位置が合うように調整。



3・2・1 のカウントダウンの後映像開始。



映像開始。
動作の条件に応じて手を動作・停止させる。
(動作の条件は左上に記載)

図 4-3:映像の流れ

作業時の音を振動に変換し提示した。作業時の音は、映像撮影時に作業対象となる木の板にマイクを貼り付け集音した。作業音を変換した振動は工具の模型に内蔵された振動子から提示した。工具の模型は3Dプリンタで作成したABS樹脂製で、作業の内容に合わせて4種類準備した(図4-4)。紙やすりのみ振動子を入れた台座を普通紙でこする形とし、他の作業は振動子が入った工具の模型を把持して使用した。なお、模型の表面粗さは、 $29.93\mu\text{m}$ であった(サーフテストSJ-210(株式会社ミツトヨ)で3点計測の平均値)。

③ 動作

動作あり・動作なしの2条件を設けた。動作ありの場合、映像中の両手の真下で、同様に自身の両手を配置した後、映像に合わせて右手を動かすよう求めた。動作なしの場合は、最初に映像に合わせて両手を配置した後は、そのままの位置で動かさないよう指示した。

4.2.4. 評価法

評価には、アンケートによる主観評価とPD(Proprioceptive Drift)による行動評価を用いた。主観評価は、Kalckertら[52]を参考に、身体所有感(Ownership)と運動主体感(Agency)を問う設問、およびそれらと無関係な対照設問(Ownership Control, Agency Control)を設けた。表4-1に項目を示す。評価は-3~3の7段階のリッカート尺度で、評価基準は、-3:非常に当てはまらない、-2:かなり当てはまらない、-1:やや当てはまらない、0:どちらでもない、1:やや当てはまる、2:かなり当てはまる、3:非常に当てはまるとして回答させた。なお、回答用紙は身体所有感と運動主体感の設問を混合しランダムに並べた。

PDの評価は、左手人差し指で右手の高さを推定させることで計測した。参加者はシ



図4-4:工具の模型

システムの下段に右手のひらを下にした状態で置き、左手人差し指は、実験者がシステム筐体の側面に貼り付けたスケール上の、ランダムな高さのスタートポジションに誘導した。そして参加者は、その位置から上下に左手人差し指を移動させ、右手の高さを推定させた。その後スケールを用い、左手人差し指の位置を計測した。各試行の映像視聴前後で、それぞれ3回ずつ行い、各評価の平均値の差分から算出した。

4.2.5. 手順

実験の流れを図4-5に示す。実験前に映像を視聴しながら画面の下で模型を把持する

表 4-1：身体所有感・運動主体感の評価項目

身体所有感 Ownership (O)
<ul style="list-style-type: none"> ・自分の手を見ているように感じた ・画面上の手が自分の体の一部のように感じた ・画面上の手が動いた場所で自分の手の動きを感じた ・画面上の手は自分の手だと感じた
身体所有感対照群 Ownership Control (OC)
<ul style="list-style-type: none"> ・自分の手が画面の手に置き換わったかのように感じた ・自分の右手がもう1本増えたように感じた ・画面上の手が自分の手に近づいているように感じた ・自分の右手が失われたように感じた
運動主体感 Agency (A)
<ul style="list-style-type: none"> ・画面上の手は、自分の意志に従うかのように、自分が望んだように動いた ・自分が画面上の手の動きを操作していると感じた ・自分が見ている手の動きを自分が引き起こしているように感じた ・自分の手を動かすたびに、画面上の手も同じように動くと感じた
運動主体感対照群 Agency Control (AC)
<ul style="list-style-type: none"> ・画面上の手が自分の意思を操作するよう感じた ・画面上の手が自分の手の動きを操作するよう感じた ・自分の手と画面上の手の間のどこかから動きが感じられた ・画面上の手に意志があるようだった



図 4-5:実験の流れ

こと、振動が提示される場合や動作を求める場合があることを説明した。なお、実験目的は木工のバーチャル体験システムの評価とのみ説明し、詳細な意図は説明していない。また、視聴中は画面の手の真下に手を配置した状態で画面を注視し、下段をのぞきこまないことを周知した。次に、実験の一連の流れと、4種類の映像の内容、道具の使い方、動作の仕方を確認する練習を行った。実験の各試行ではまず、右手の高さの推定(PD)を3回行った。その後、ランダムに選択された作業内容に対して適切な工具の模型を手渡し、ランダムに選択された条件に応じて映像を視聴させた。映像視聴後は模型を放し、視聴前と同様に右手の高さの推定を3回行った。続いて、身体所有感、運動主体感を問うアンケートに回答させた。以上を1試行とし16試行繰り返した。説明を含めた全実験時間は約1時間であった。

4.3. 結果

4.3.1. 主観評価の結果

主観評価項目を O (Ownership : 身体所有感) , OC (Ownership Control : 身体所有感対照群) , A (Agency : 運動主体感) , AC (Agency Control : 運動主体感対照群) の4つに分類し、分類ごとに評価値の平均値を求めた。図4-6に、縦軸に平均値、横軸に条件、エラーバーに標準誤差をとったグラフを示す。特に効果が大きかったのはのこぎりの作業で、動作なしよりありの場合に、振動なしよりありの場合に O や A の値が大きくなる傾向にある。

結果に対し4要因(設問:4(O, OC, A, AC) × 作業:4(のこぎり, クラフトナイフ, 彫刻刀, 紙やすり) × 動作:2(あり, なし) × 振動:2(あり, なし))の分散分析を行った。なお、本研究では身体所有感と運動主体感の設問は没入感の評価指標として用いており、それら指標間の相互作用性までは検討しない。ただし、両者の設問を1つの実験として回答させたため、多重性を考慮し設問も要因として扱った。その結果、4要因の交互作用は有意傾向 ($F(9, 162) = 1.73, p = .09$) だったが、3要因における設問 × 作業 × 動作 ($F(9, 162) = 5.22, p < .001$)、および、設問 × 作業 × 振動 ($F(9, 162) = 2.56, p = .01$) の交互作用に5%水準で有意差がみられた。そこで、3要因における2つの交互作用に対しそれぞれ多重比較を行い、OとOC、AとACの間に有意差が生じた項目と動作条件間、振動条件間で有意差が生じた評価項目について以下で述べる。



図4-6:主観評価結果

動作条件内の、O-OC, A-AC 間のいずれかあるいは双方で有意差がみられた項目を図 4-7 の上のグラフ上部に示す。動作ありの場合、身体所有感は、すべての作業においてOはOCを有意に上回った(のこぎり:t(432)= 6.04, p< .001, クラフトナイフ:t(432)= 4.32, p< .001, 彫刻刀:t(432)= 3.01, p= .003, 紙やすり:t(432)=5.94, p< .001)。一方運動主体感では、AがACを有意に上回ったのは、のこぎりの作業のみであった(t(432) = 4.04, p<.001)。なお、動作なし条件においてはOがOを、AがACを有意に上回る作業はみられなかった。また動作条件間で有意差がみられた項目を図 4-7 の上のグラフ下部に示す。のこぎりのAC, クラフトナイフ・彫刻刀のOC 以外のすべての設問において、動作ありの場合に評価が上昇した

次に振動条件内の、O-OC, A-AC 間のいずれかあるいは双方で有意差がみられた項目を図 4-7 の下のグラフ上部に示す。振動ありの場合、身体所有感ではすべての作業でOがOCの値を上回った(のこぎり:t(432)= 6.05, p< .001, クラフトナイフ:t(432)= 4.41, p< .001, 彫刻刀:t(432)= 2.71, p= .01, 紙やすり:t(432)= 4.51, p< .001)。一方で、運動主体感では、AがACを上回った作業は存在せず、むしろクラフトナイフ・彫刻刀ではAがACより有意に低いという結果になった(t(432)= 4.68, 4.25, p< .001)。なお、振動なし条件では、OがOCを上回る作業は紙やすりのみで、AがACを有意に上回る作業は存在しなかった。また、振動条件間で有意差がみられた項目を図 4-7 の下のグラフ下部に示す。クラフトナイフのA, 彫刻刀のOC, A, 紙やすりのOC, AC 以外

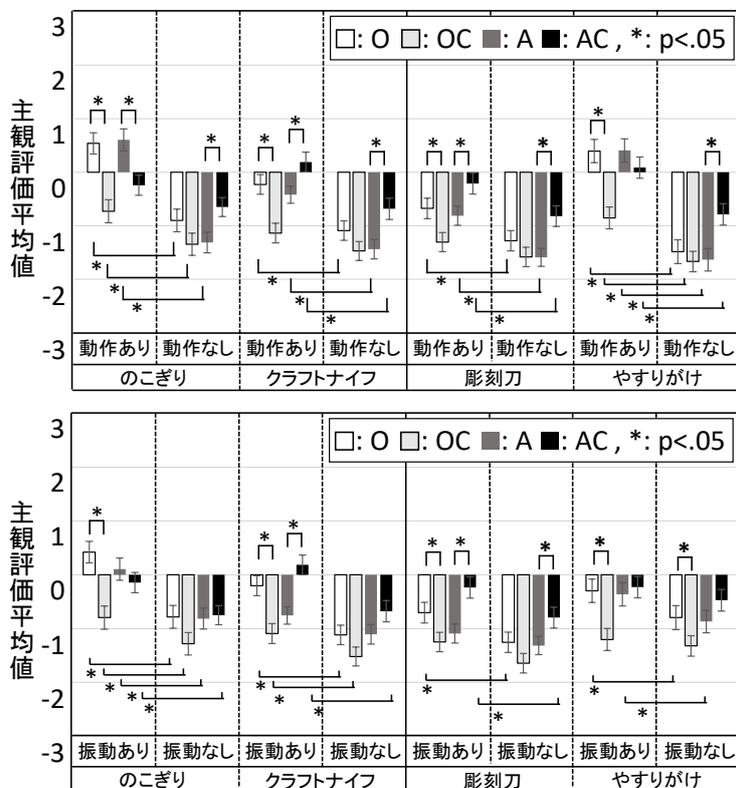


図 4-7:動作・振動条件ごとの結果

のすべての設問において、振動ありの場合に評価が上昇した。

4.2.2 Proprioceptive Drift (PD) の結果

各試行の前3回、後3回の評価をそれぞれ平均し、施行前後の差分を求めた。図4-8に縦軸に平均値、横軸に条件、エラーバーに標準誤差をとったグラフを示す。平均値に對して、3要因の分散分析を行ったが有意差はみられなかった。

4.4. 考察

4.4.1. 追従動作と振動の効果

身体所有感の設問は、動作・振動あり条件ではすべての作業で、OはOCより有意に高くなった。また、動作・振動あり条件では、なし条件と比較し、すべての作業でOの評価が有意に高くなること示された。運動主体感の設問は、のこぎりの作業において、動作ありの場合にAはACより有意に高くなった。また、動作あり条件では、なし条件と比較し、すべての作業でAの評価が高くなること示された。これらのことから、振動と動作によって身体所有感が、動作によって運動主体感が向上するという、仮説を支持する結果が得られたと推測する。

振動刺激と動作の効果は作業ごとに異なり、のこぎり・紙やすりの作業では効果は大きかった。紙やすりの作業は運動主体感は生じなかったが、動作・振動の付与で身体所有感の評価が正に転じていた。一方、クラフトナイフ・彫刻刀の作業では効果が小さかった。これらの作業は身体所有感が向上したものの、その評価値は0以下であり、明確な身体所有感が得られていたとは言い難い。またクラフトナイフでは、動作あり・振動あり条件でACの評価が正に転じている。この原因として、他の作業より1ストロークの動作距離と時間が短く、振動刺激と動作がある場合、参加者は映像と自身の手のズレを明確に感じやすいことを考える。ズレを感じやすい状態で映像に合わせて手を動かすことで、ACの質問項目にある「画面上の手が自分の手の動きを操作するように感じた」という感覚が生じた可能性がある。

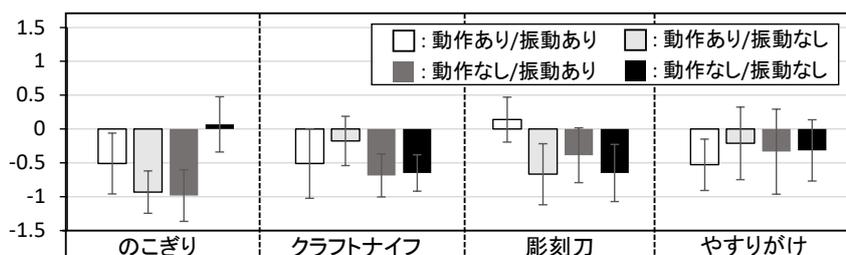


図4-8:Proprioceptive Drift の結果

4.4.2. 効果発現の要因検討

効果の大小が異なった作業の特徴の差異として、動作の規則性に着目する。まず規則性は、のこぎり・紙やすりの作業は右手を連続的に前後に動かす動作である一方で、クラフトナイフ・彫刻刀の作業は、木を削るのは前に動かすときのみで速度に差があった。そのため、前者の方が規則性は高いと考える。

作業の特徴の違いから、身体所有感・運動主体感を向上させる要因として 2 つ考える。1 つ目は映像と使用者の動きの同期性である。映像と使用者の手の動きが同期していない場合、映像と実際の手の位置とのズレや、触覚刺激が提示されるタイミングと実際の動作のタイミングとのズレが生じる。RHI の先行研究により、ゴムの手と実際の手の距離によって錯覚の効果に差異が生じることが示されている[104]。また、RHI の実験において非同期の触覚刺激は、錯覚が生じないと考えられている[49]。これらの事例から、今回の実験でも映像と使用者の動きの時間的・空間的な同期性が低いことが、効果を低減させた可能性を考える。2 つ目は使用者の次の動作に対する予測性である。規則性のある映像の場合、使用者は次の動作がどのタイミングで生じるかを予測しながら動作することができる。そのため、厳密に動作が同期していなくとも、使用者自身が自発的に動作し続けることで、違和感が生じず身体所有感と運動主体感が向上した可能性がある。

4.5. まとめ

本章では、体性感覚刺激の提示法に着目し、身体感覚の錯覚現象を応用した追体験システムを提案し体験への没入感を評価した。3 章のシステムでは映像と使用者の手の動きのズレが顕著であったことが、体験への没入感を阻害した可能性がある。そこで、使用者の手を隠し映像を表示する画面の真下で映像に合わせて手を動かす構成を採用するとともに、画面の中の手を自身の手であると認識させるため、映像と同期した振動刺激と物理代替インタフェースを使用した。本実験では没入感の指標として、身体所有感と運動主体感を採用し、映像と同期した振動刺激と映像に対する使用者自身の追従動作の効果を検証した。その結果、振動刺激によって身体所有感が、追従動作によって身体所有感と運動主体感が増強された作業が確認された。また、効果が大きかった作業内容としては、のこぎりで木を切る動作ややすりがけの動作など、同一動作の反復作業が挙げられる。この作業の特徴として、映像と使用者の動作の同期性と、使用者が次の動作を予想できる予測性に着目した。

次章では、規則性と速度を変化させた映像を用い、同期性と予測性の観点から提案システムで有効な作業の要件をより詳細に検証する。

第 5 章 木工追体験システムにおける 作業要件の検討

本章では 4 章で構築した木工追体験システムにおいて、有効な動作の要件を調査することを目的とした。4 章で、映像と使用者の動作の同期性と映像に対する予測性が影響する可能性を考察したことから、作業の規則性と速さに着目し、身体所有感と運動主体感を評価させ、提案システムにおける有効な作業要件を明らかにする。

5. 1. 実験内容

作業の規則性と速さを変化させた映像を用い、身体所有感と運動主体感を評価させるとともに、モーションキャプチャで使用者の動作を計測し、映像とのズレを評価した。没入感の向上に映像と使用者の動作の同期性が必要であった場合、映像と動作のズレが小さいほど身体所有感と運動主体感の評価は高くなる。一方で、厳密な同期性は必要なく、次の動作に対する予測性が重要であった場合、映像と動作のズレは評価に影響しない。規則性の高い動作は同期性も予測性も高くなるが、速度が速い動作の場合、予測性には影響しないが、動作を厳密に同期させる難易度は上昇すると考える。このため、作業要件が同期性であった場合、規則性が高く速さが遅い（ズレの小さい）作業で評価が高くなり、予測性であった場合、規則性は影響するが速さ（ズレの大きさ）は影響しないと考える。

また、4 章における作業ごとの効果の差異は、作業の運動量の違いにより生じていた可能性がある。そのため、筋活動電位を計測し、筋肉の活動量から推測される運動量の差異を評価した。

5. 1. 1. 実験参加者と実験環境

実験参加者は、20 歳前後の右利きの女子学生 17 名で、実験前に実験の手順と振動刺激を提示することを説明し、同意を得たうえで実験を実施した。実験室の温度・湿度は空調により調整し、室温 $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\% \pm 10\%$ であった。

5. 1. 2. 実験条件

4 章の実験で最も効果が大きかった、のこぎりの作業を採用し、前後動作の速さと規

則性を変化させた作業映像を用意した。速さは、一往復の速さが 50bpm と 150bpm の 2 条件であった。この 2 条件は、4 章おける、のこぎり・紙やすりの作業の最高速度と、彫刻刀・クラフトナイフで木を削る速度を参考に、実験参加者が違和感なく動作できる速度として設定した。規則性の条件は、4 章と同様の一定動作を繰り返す条件、動作をしない条件に加え、ランダムなタイミングで動作が停止・再生するランダム動作の条件を設けた。ランダム条件では再生してから停止する時間はランダムで、停止から再生するまでの時間は 1 往復分の時間とした。また、停止回数は 50bpm では 4~5 回、150bpm では 8~9 回であった。これらの停止回数は、実験参加者の予測を防ぐため一定数となることを避け、かつ停止回数が多過ぎることで動作が不自然にならない回数として設定した。また、映像の構成と被写体、映像と音声・振動の記録方法は 4 章と同様であったが、5 章では動作の速度を一定にするため、撮影時にはメトロノームを用いた。メトロノームの音はイヤフォンで確認したため、音声・振動計測のマイクには記録されていない。各映像は 3 種類ずつ用意し、実験参加者ごとにランダムに提示することで、条件内の差異の影響を低減した。なお、一定動作と動作なし条件では同一の映像を使用し、インストラクションのみを変更した。以下に、モニタに表示した映像中の右手の動作距離を 10 地点で計測した平均値と標準誤差(カッコ内)を示す。一定動作・動作なし 50bpm、：4.95cm (0.08cm), 150bpm : 6.28cm (0.10cm), ランダム動作 50bpm : 5.76cm (0.17cm), 150bpm : 6.82cm (0.17cm)であった。また 5 章では、振動はすべての条件で提示した。

5.1.3. 評価方法

4 章と同様の評価項目を用いたリッカート尺度と PD で評価を行った。さらに、モーションキャプチャ (OptiTrack PRIME 17W) による動作計測と筋電センサ (株式会社スポーツセンシング社製 DSP ワイヤレス筋電センサ SS-EMGD-HM) による筋活動電位の計測を行った。モーションキャプチャのマーカーは右手首に、筋電センサは右上腕に装着した (図 5-1)。



図 5-1: 筋電センサとマーカーの装着図

5.1.4. 手順

4章と同様の説明に加え、モーションキャプチャを利用し動作を計測することを伝え、練習を行った。参加者の右手首にパイル生地のリストバンドを装着させ、その上からモーションキャプチャのマーカをマジックテープで張り付け、筋電センサは上腕に医療用テープで装着した。マーカと筋電センサは実験開始前に装着し、4章と同様の流れで実験を行った。

5.2. 結果

5.2.1. 主観評価結果

主観評価項目を O, OC, A, AC の4つに分類し、各項目の平均値を求めた。縦軸に平均値、横軸に条件、エラーバーに標準誤差をとったグラフを図5-2に示す。

結果に対し3要因（設問：4（O, OC, A, AC）×速さ：2（50bpm, 150bpm）×規則性：3（なし, ランダム, 一定））の分散分析を行った。なお、4章と同様に身体所有感と運動主体感の相互作用については検討しない。その結果、設問と規則性間の交互作用 ($F(6,96) = 9.92, p < .001$) に有意差がみられた。

設問と規則性間の交互作用に対し多重比較を行い、規則性の条件内で O-OC, A-AC 間のいずれかあるいは双方で有意差が生じた項目を図5-2の各グラフの上部に示す。身体所有感の設問では、一定動作とランダム動作で O は OC より有意に高くなり ($t(144)$

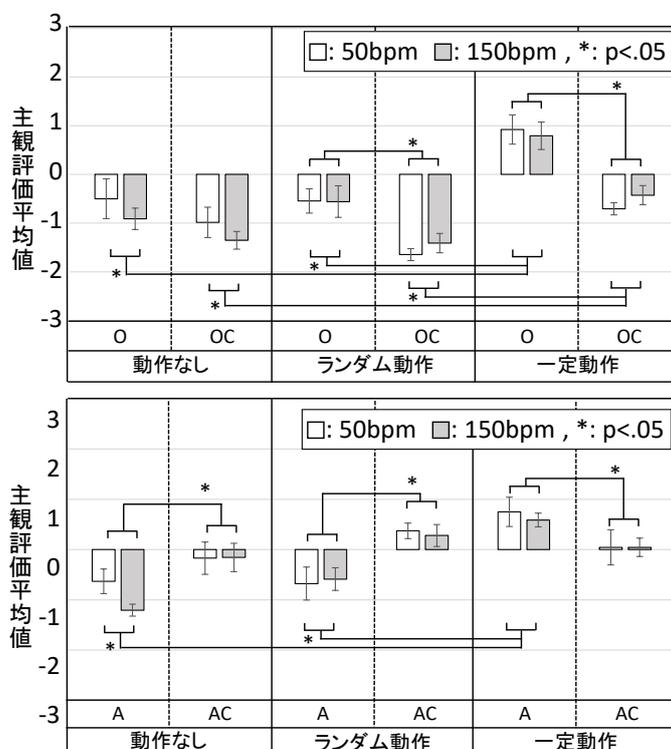


図 5-2: 身体所有感と運動主体感の主観評価結果

=6.43, 4.14, $p < .001$), 動作なしには有意差はみられなかった。また, 運動主体感の設問では, すべての規則性条件で有意差がみられたが, 一定動作では A は AC より高くなった($t(144) = 2.82, p = .01$)のに対し, 動作なしとランダム動作では低くなった($t(144) = 3.41, 4.33, p < .001$)。次に規則性の条件間で有意差がみられた設問を図 5-2 の各グラフの下部に示す。O, OC, A の設問では, 一定動作の評価値が動作なし・ランダム動作と比較し高いことが示された (動作なし O : $t(128) = 6.64, p < .001, OC : t(128) = 2.56, p = .01, A : t(128) = 6.74, p < .001$; ランダム動作 O : $t(128) = 5.98, p < .001, OC : t(128) = 4.09, p < .001, A : t(128) = 5.53, p < .001$)。

5.2.2. Proprioceptive Drift (PD) の評価結果

4章と同様に, 試行前後の計測の平均値の差分をとった。その値を縦軸, 速さと規則性条件を横軸, エラーバーに標準誤差をとったグラフを図 5-3 に示す。差分に対し, 2 要因分散分析を行った結果, 速さと動作の交互作用に有意差がみられた ($F(2,32) = 3.35, p = .05$)。しかし多重比較の結果, 有意差はみられなかった。

5.2.3. 動作計測による映像とのズレの推定

本実験では, 映像撮影時に手の動作を計測していないため, 時間ごとの映像中の手と参加者の手の正確なズレは評価できない。そのため, 往復動作を行った際に要した時間と距離を算出し, 推定される動作時間・距離に対するズレを評価した。

Python (Ver.3) で構築したプログラムで, 右手首の座標値の時系列データから, 手の前後方向の動作距離と, 移動に要する時間を算出した。作業中, 手は前後に往復運動を繰り返すため, 前後方向の座標値の極大値と極小値を検出し, 極大-極小間の座標値の差分と, それらの時間差を求めた。なお, モーションキャプチャの結果は, 実験参加者に手の動きを求めた規則性条件である, 一定動作・ランダム動作についてのみ示す。

① 動作時間のズレ

映像中の手の往復運動において, 片道の移動に要する推定時間は, 50bpm では 0.6 秒, 150bpm では 0.2 秒である。参加者の手の動作が映像と同期していた場合, 手の動作時

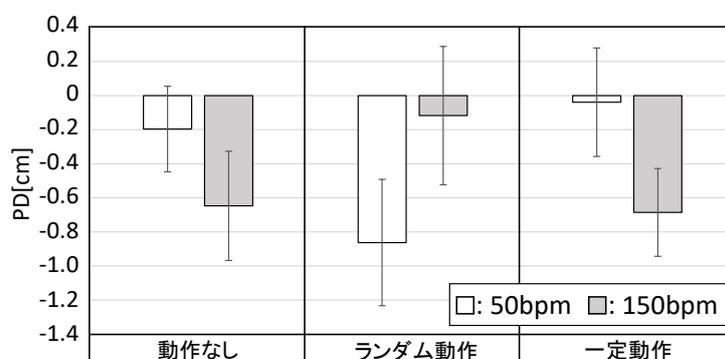


図 5-3: Proprioceptive Drift の評価結果

間も同程度になると推定される。そこで、移動時間の平均値と、速さ条件ごとの推定時間の差分の絶対値をとり、片道あたりの時間のズレを算出した。さらに、その値を推定時間で割り円周率をかけることで片道あたりのズレの位相を算出し、参加者 17 名の平均値を求めた。縦軸に片道あたりのズレ時間の位相の平均値、横軸に速さと規則性条件、エラーバーに標準誤差をとったグラフを図 5-4 左に示す。片道当たりのズレ時間の位相に対し、速さと規則性の 2 要因分散分析を行った結果、動作条件主効果のみに有意差が確認され、一定動作よりランダム動作の方が、位相が大きくなった ($F(1,16)=50.23, p<.001$)。

次に、作業全体で蓄積されるズレを検証するため、作業終了時に生じているズレの位相の総和を算出し、参加者 17 名の平均値を求めた。縦軸に位相の総和の平均値を、横軸に速さ条件を、エラーバーに標準誤差をとったグラフを図 5-4 右に示す。なお、ランダム動作条件では動作が停止するごとにズレがリセットされるため、一定動作条件のみを対象とした。ズレの位相の総和の結果に対して、50bpm-150bpm 間の対応ありの t 検定を行った結果、50bpm と比較し 150bpm の方が、有意に位相が大きくなった ($t(16)=-3.04, p=.004$)。

② 動作距離のズレ

映像中の右手の動作距離と、映像と合わせて動かした手の動作距離のズレを検証した。映像中の手の推定動作距離とモーションキャプチャで測定した手の動作距離の平均値との差分を算出した。図 5-5 に、縦軸に差分、横軸に条件、エラーバーに標準誤差をとったグラフを示す。差分に対し速さと規則性条件の 2 要因分散分析を行った結果、交互作用 ($F(1,16)=5.95, p=.03$) に有意差がみられた。多重比較の結果、速さ条件に関わらず一定動作の方が、有意に差分が小さく (50bpm, 150bpm: $F(1,32)=61.00, 18.78, p<.001$)、規則性条件に関わらず 50bpm の方が、有意に差分が小さくなる (一定動作, ランダム動作: $F(1,32)=127.88, 72.11, p<.001$) ことが示された。

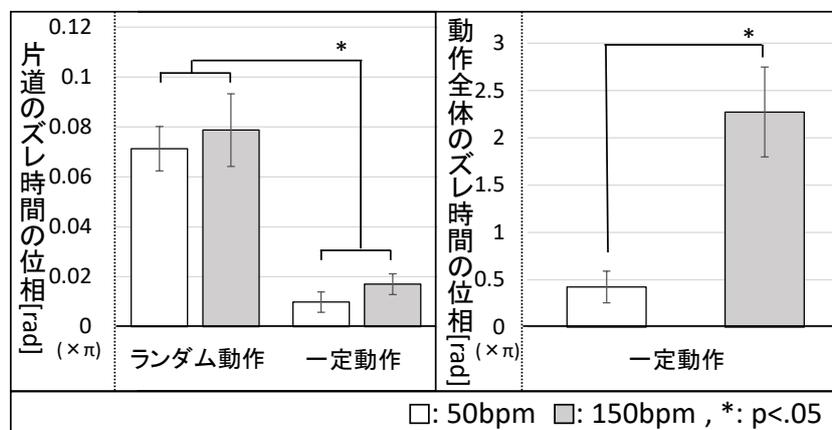


図 5-4:動作時間のズレの位相

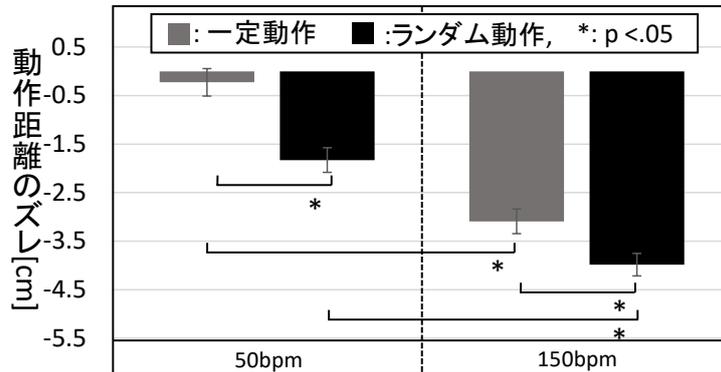


図 5-5:動作距離のズレ

5. 2. 4. 筋活動電位による運動量の推定

Python (Ver.3) で構築したプログラムで、計測ノイズを削除した、筋活動電位の平均振幅 ARV(Average Rectified Value)[106]を作業時間で平均した値を算出した。なお、3名はデータに不備があったため、14名のデータを用いた。縦軸に平均 ARV 値[mV]、横軸に速さと動作条件、エラーバーに標準誤差をとったグラフを図 5-6 に示す。平均 ARV 値に対し、速さと動作の 2 要因分散分析を行った結果、動作の主効果にのみ有意差が確認された($F(2,26) = 10.34, p < .001$)。

5. 3. 考察

身体所有感は、一定動作・ランダム動作条件において O が OC より高くなったが、ランダム動作条件では、O の値が 0 以下であったこと、一定動作条件よりも値が低く、動作なし条件との差異がなかったことから、身体所有感は創出されていないと考える。また、運動主体感は、一定動作条件では A が AC より有意に高く、その他の条件では低くなった。また一定動作条件の A の値は、ランダム動作・動作なし条件よりも高くなっ

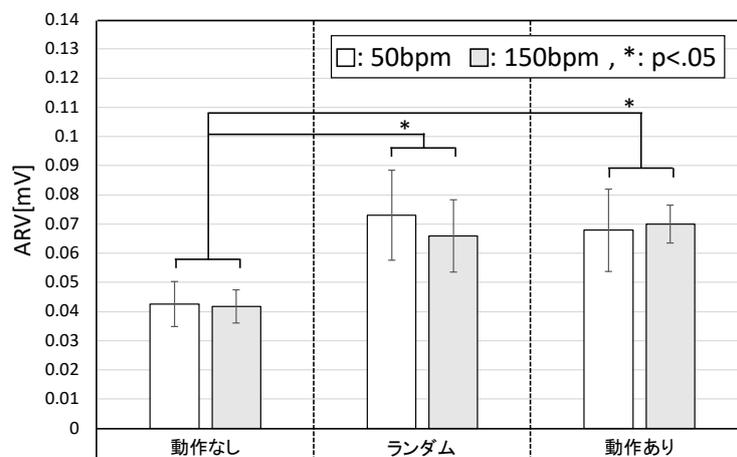


図 5-6:ARV 値の比較

た。以上より主観的な身体所有感と運動主体感には動作の規則性が影響し、一定動作の場合にのみ効果が生起すると示唆された。一方で、速さによる差異は確認されなかった。

以下では、規則性条件・速さ条件間の差異を、作業ごとの運動量と映像と動作の同期性の観点から検討する。そして、主観評価値との関連から、身体所有感・運動主体感を増強する動作要件を議論する。

5.3.1. 条件間の運動量の検討

筋活動電位を計測した結果、動作なし条件とランダム動作条件および動作あり条件との間にのみ有意差が生じた。一方でランダム動作条件と動作あり条件の間に有意差は生じなかった。また、ランダム条件と動作あり条件との間で身体所有感・運動主体感に有意差が生じたことから、条件間の運動量の違いは影響しないと考える。

5.3.2. 条件間の同期性の検討

規則性の条件間で比較すると、動作時間・動作距離のズレは、いずれも一定動作条件の方が小さかった。すなわち、一定動作条件の方が、映像と使用者の手の位置のズレが小さく、同期性が高かったと考える。

次に速さ条件間で比較すると、50bpmの方が動作時間・動作距離のズレは小さかった。4章の結果から、速い動作の方が映像と動作が合わせやすい可能性を推測したが、反対の結果となった。図5-4の右グラフより、動作全体のズレの総和に対する位相は、50bpmでは約0.4位相（片道の半分弱）に対し、150bpmでは約2.3位相（1往復強）のズレが生じており、映像の手と使用者の手の前後が2回程度反転していたと推測される。また、動作距離のズレも、150bpmの方が大きく、50bpmよりも動作距離が小さかった。以上より、150bpmでは使用者は映像の動きに合わせてのではなく、使用者自身のリズムと距離の動作を行っていた可能性がある。

5.3.3. 動作要件の考察

規則性がある動作の場合、身体所有感・運動主体感が向上し、映像と使用者の動作のズレが小さかった。一方で速さ条件間では、速い動作の際に、動作時間や距離のズレが大きくなったものの、主観評価は変動しなかった。これらの結果から、作業要件として重要であるのは次の動作に対する予測性だと考える。つまり、同じ動作が連続的に繰り返され、次の動作の予想が容易であることが重要であり、その場合においては動きが厳密に映像と同期する必要はないと示唆された。

5.4. まとめ

本章では、規則性と速度を変化させた映像を用い、映像と使用者の動作の同期性と次

の動作に対する予測性の観点から、提案システムで有効な作業の要件を検討した。3章と同様に身体所有感と運動主体感の評価をした結果、規則性が高い映像で評価が向上した。一方で、映像と使用者のズレを計測した結果、速度が速い場合は遅い場合に比べズレが大きくなっていったにも関わらず、速度の違いによる評価の差異はみられなかった。このことから、提案システムで有効な作業要件として、次の動作に対する予測性が影響していると考えられる。つまり、同一動作が遅滞なく繰り返され、次の動作が予測できることが重要であり、その場合には、映像と使用者の動作の厳密な同期が必要ないことが示唆された。

ただし、今回の実験の結果には、先行研究から予想された結果と異なる点が2つある。1つ目は、刺激の条件間で比較した際に、OC、ACそれぞれの評価値も上昇した項目があったことである。この原因として、実験参加者が意図を推測し、刺激の違いによって、評価を高く/低くした可能性がある。今回の実験では、詳細な実験目的は明言しなかったものの、より詳細な検討が必要である。ただし、OCおよびACの評価値の上昇は比較的小さく、提案手法の有効性は十分主張できると考える。2つ目は、身体所有感进行评估する行動指標であるPD評価に対して、法則性のある差異はみられなかったことである。動作や振動によってPDが生じていた先行研究と本研究との差異の1つに、参加者の実験時の姿勢がある。RHIの先行研究では着席状態で行っていたが、今回の実験はこのぎりで木材を切るときの姿勢を重視し、立った状態で行った。そのため、腕の伸び方など、身体の動きを記憶し、右手の位置を回答した可能性がある。また、PDへの効果は刺激時間によって変動し、数分間効果が上昇し続ける場合もあると知られている[107]ため、作業時間の延長によってPDへの効果も生じる可能性がある。

第 6 章 木工追体験システムの応用事例

4・5 章で提案した木工追体験システムを応用し，一般ユーザに対する体験会を実施した．本章では，実際の木工職人の作業情報を用いた応用システムとして，2つの事例を紹介する．

6.1. 豆かんなの事例

6.1.1. 技術および事業者の紹介

下市木工舎 市は奈良県吉野郡下市町で木工家具を製造する工房[108]で，豆かんなという指先で把持しながら用いる小さい鉋など（図 6-1）の道具を用い，木材の曲面を削り出す技術を持つ．本工房では豆かんなによる「鉋仕上げ」を極めており，やすりがけを行わずに製品を仕上げることで木目の美しさを表現している．また，通常家具には広葉樹が用いられることが多いが，下市木工舎 市では，主に杉やヒノキといった針葉樹を用いる．座面の曲面の削り出しの技術および使用する樹種により，座面の肌なじみの良さや柔らかさを表現する職人技をもつ．

6.1.2. 豆かんなの体験システム

豆かんなの体験システムには，4・5 章で提案した木工追体験システムを用いた．また振動を提示するための豆かんなの模型は図 6-2 に示す．映像と音声および振動は下市木工舎 市の職人に協力を依頼し，実際の作業時のものを記録した．撮影はビデオカメラ



図 6-1：豆かんなの技術

ラ (Sony 社製, HDR-CX680) で真上から撮影した。ビデオカメラにはモノラルマイク (Audio-technica 社製, AT9904) を接続し、豆かんなに貼り付けて作業により生じる振動を記録した。体験には杉板を豆かんなで削る映像と棒を豆かんなで削る映像を用いた。棒は硬さの異なる 2 種類の木材を用い、削っている感覚の違いを体感できるようにした。木材は堅い木材として広葉樹のケヤキ、柔らかい木材として針葉樹のヒノキを用いた。映像のキャプションを図 6-3 に示す。

6.1.3. 体験会でのユーザの反応

体験会は、奈良女子大学社会連携センターが主催する奈良女子大学第 17 回研究フォーラムのデモ展示として行った (図 6-4) (2019 年 11 月 8 日実施)。この研究フォーラムは、大学における「知」を社会に向けて発信することを目的に毎年開催されており、地域住民や地域企業の方々が自由に参加することができる。

3 種類の映像を体験していただいたところ、体験への没入感や、木を削る感覚のリアルさに驚いたという感想をいただいた。また、触感から樹種の違いを感じられることも確認できた。ただし、多くの参加者は、最初は動作を合わせることが難しくとも、次第にシステムに慣れていったが指示通りの動作が困難で没入感を感じられないまま体験

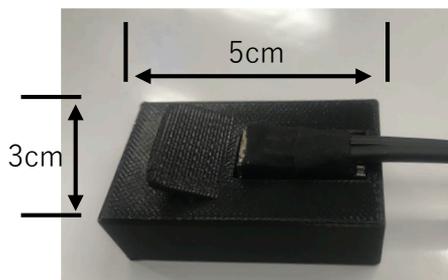


図 6-2 : 豆かんなの模型



図 6-3 : 映像のキャプション



図 6-4: 体験会の様子

を終了した参加者も一部存在した。さらに、実際の職人に体験していただいたところ、「切れ味が少し悪い感じのかんなの削り心地」というご意見をいただいたため、一定のリアリティはあるものの精度の向上は検討課題であるとする。

6.2. 槍鉋の事例

6.2.1. 技術の紹介

槍鉋（やりがんな）は、槍の穂先のような刃に長い棒状の柄をつけたかんので、粗削りをした木材の表面を滑らかに整えるために用いられた。槍鉋の写真と鉋屑の写真を図 6-5 に示す。この道具は、室町時代に台鉋が登場するまで使用されていたといわれている。

6.2.2. 槍鉋の体験システム

槍鉋の体験システムは、4・5 章の木工追体験システムを応用して構築した。映像と音声および振動は、国営平城宮跡歴史公園で奈良時代の建物の復元を行う清水建設株式会社にご協力いただき、実際の作業時のものを記録した。なお、撮影方法は豆かんのシステムと同様で、モノラルマイクは槍鉋の刃につけて記録した。ビデオ映像のキャプションを図 6-6 の左上に示す。

また、槍鉋の体験システムの構成はこれまでの体験システムのものと異なっている。システム環境を示した図を図 6-6 の右上と下に示す。映像はプロジェクタ（BENQ Co., Ltd. 製 Digital Projector W1080ST）によって、机に置かれた板の上に投影される。なお、プロジェクタで映像を投影することで、使用者のみならず周囲の見学者も体験の様子が視認でき訴求性が向上すると考え、この方式を採用した。使用者は槍鉋の模型（図 6-7）の柄を把持し刃先を板に押し当てながら、投影された映像中の職人の動作に合わ

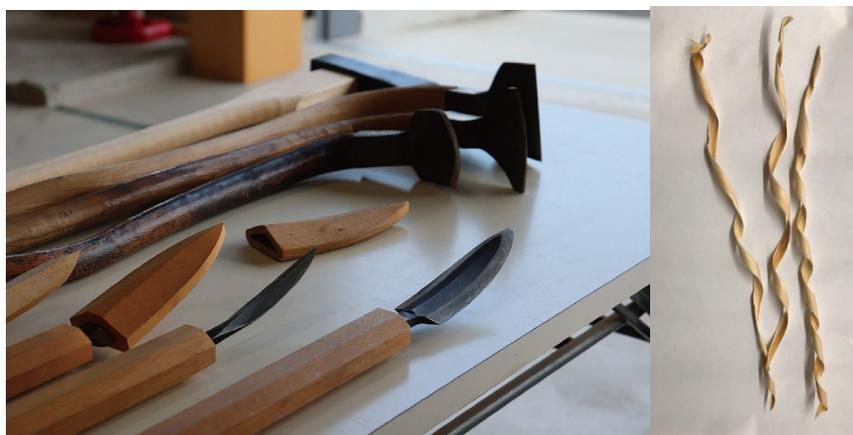


図 6-5：槍鉋と鉋屑

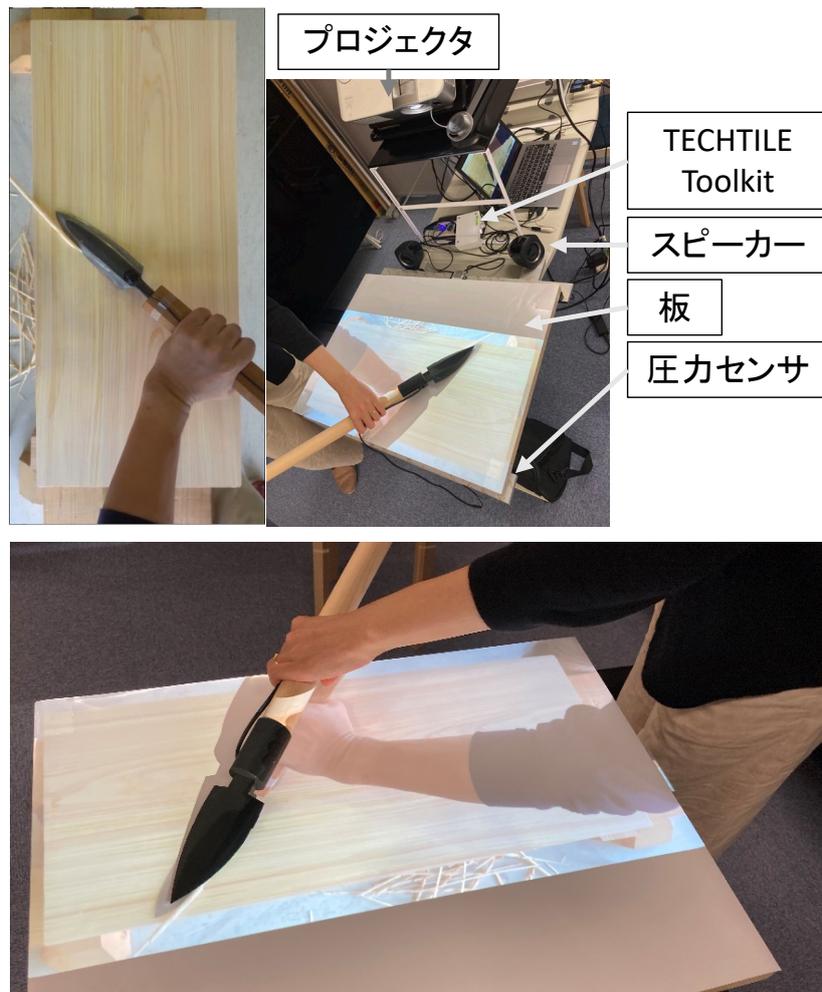


図 6-6：槍砲システム

せて動作する。板の下には圧力センサ（株式会社エー・アンド・デイ製 シングルポイントロードセル LCB03 シリーズ）が設置されており、押下圧が強すぎる/弱すぎる場合、映像と音声および振動は停止する仕組みになっている。振動の提示方法は 4・5 章のシステムと同様で、音声はスピーカー（エレコム株式会社製 MS-P08UBK）、振動は模型から提示される。槍砲の模型は刃の部分は 3D プリンタで製作し、振動子が入る構造になっている（図 6-7）。

6.2.3. 体験会でのユーザの反応

体験会は、国営平城宮跡歴史公園のいざない館にて 2020 年 9 月 19 日から 9 月 22 日まで、デモ展示として行った。なお、COVID-19 が流行中であり感染予防のため、使用者は使い捨ての手袋を両手に装着し体験を行った。体験は、図 6-8 に示すインストラクションの掲示に加え、展示員 1 名による説明を行った（図 6-9）。

体験は盛況で、約 350 名にシステムを体験していただくことができた。特に子供たち

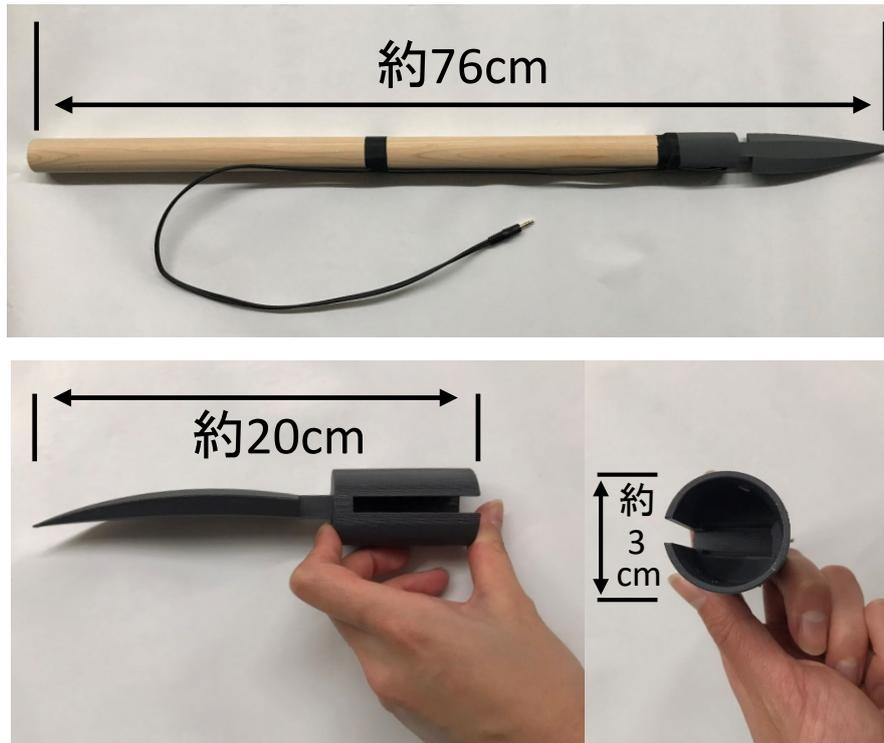


図 6-7：槍鉋の模型

の反応がよく、何度も繰り返し体験する参加者も存在し、体験自体が面白いという感想や、実際の槍鉋を使ってみたいという感想をいただいた。また、実際の槍鉋を使用したことがある方にも体験していただき、「実際は難しくてなかなか削れないが、このシステムは削っている感覚が味わえるので楽しい」という貴重なご意見をうかがうことができた。デモ展示には実際の槍鉋で削った鉋屑を用意しており、鉋屑に興味を示す参加者も多かった。さらに、削った後の実際の板を用意しておくことで、槍鉋で削ることによってどういう表面が作られるのかがわかり、より理解が深まるのではないかというご意見があった。

6.3. まとめ

一般ユーザに対する体験会として、豆かんな、槍鉋の体験会を行った。どちらの体験も職人に協力を依頼し、実際の職人技の追体験を可能にする体験であった。

豆かんなの体験では、樹種の異なる木材を削る体験を用意した。その結果、映像と振動の違いで、削り心地の差異を感じることができるといった感想が得られた。なお、この感想は職人のみならず一般ユーザからも得られており、明確な差異が表現できていたと考える。一方で実際の職人からは「切れ味が少し悪い感じのかんなの削り心地」というご意見をいただいたため、一定のリアリティはあるものの精度の向上は検討課題である。

槍鉋の体験では、押下圧に対するフィードバックによってゲーム性を取り入れた結果、



図 6-8：インストラクション

何度も体験を繰り返す使用者が多数存在した。この傾向は特に子供の参加者でみられ、豆かんな体験ではみられなかった傾向である。ただし、豆かんな体験の参加者は大人であったため、参加者の属性による影響は否定できない。

また、今回は豆かんな、槍鉋という特殊な道具を用いた体験であり、参加者のほとんどは未経験者であったが、作業をしている感覚を想像し体験できていたことが得られた感想や反応から推測される。一方で、経験者からの感想は実際の体験の想起や、実際の体験との比較が可能になるため、未経験者と体験の質が異なる可能性がある。



図 6-9 : 体験の様子

第 7 章 嗅覚刺激による没入感への効果検証

本章では 4・5 章で用いたシステムに対し、適切な嗅覚刺激を付与することで、身体所有感・運動主体感の向上効果を増強しうるか調査した。4・5 章で提案したシステムで応用した RHI は、模型の手がなぞられている様子を見ながら、同時に自身の右手への触覚刺激（なぞられている感覚）を知覚することで、模型の手に対する身体所有感が生じる現象である。この錯覚現象では、自分の手と模型の手の刺激に同期した刺激が付与されることで、両者の連関が認識され、一体化しているような感覚が引き起こされる。ここで触覚刺激と同様に嗅覚刺激を用いることを考えると、画面中の作業が匂いを発する場合、映像視聴中にその匂いを嗅ぐことで、画面中の手と自分の手の連関が生まれる可能性がある。また先行研究により、匂いの種類によって自身の体型イメージが変化することが示されており[79]、匂いが身体知覚に影響を及ぼす可能性が示唆されている。以上より、嗅覚刺激が両者の連関を生じさせうる場合、体性感覚刺激と同様に、身体所有感・運動主体感を向上させる可能性がある。

7.1. 実験内容

本研究では、体性感覚刺激により生じた身体所有感・運動主体感の向上効果が、木工作業の映像に適した/適していない匂いを付与した場合に増強しうるか調査した。

7.1.1. 実験参加者と実験環境

実験参加者は、平均 21.3 歳 (SD : 1.73) の右利きの女子学生 18 名で、実験前に実験の手順と振動刺激を提示することを説明し、同意を得たうえで実験を実施した。実験室の温度・湿度は空調により調整し、室温 $27^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\%\pm 10\%$ であった。

7.1.2. 使用システム

4・5 章で使用したシステムを、匂いを提示するアロマシュータ (Aroma join 製) と共に使用する。図 7-1 に使用するシステムを示す。システムは PC とモニタ (GeChic 社製 ON-LAP 13.3 インチ)、スピーカー (Logicool 社製 Speaker System Z320)、のこぎりの模型 (物理代替インタフェース)、振動提示装置 (TECHTILE Toolkit[103] および ALPS

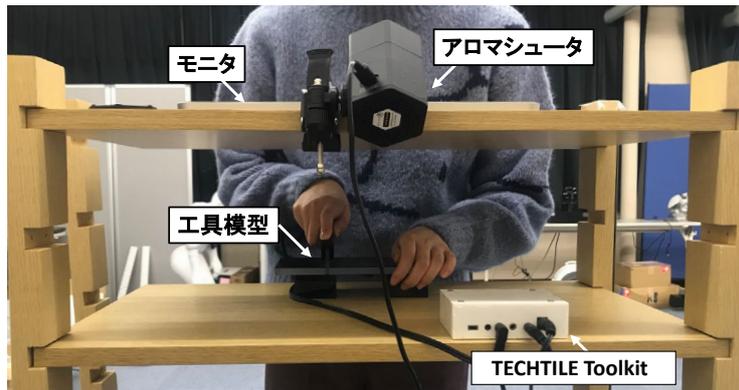


図 7-1：使用システム

ALPINE 社製 ハプティック® リアクタ Hybrid Tough Type), それらを置く筐体で構成される。筐体は 2 段構造になっており、上段に置かれたモニタからは作業の映像が流れる。下段は使用者が手を動かすスペースで、TECHTILE Toolkit, 振動子を内蔵した工具の模型, スピーカーを配置した。スピーカーと TECHTILE Toolkit はそれぞれ PC のオーディオ端子につながるオーディオ分配ケーブルに接続する。PC で再生されるステレオ音声は 2ch 共に同じ信号とする。上段と下段の床からの高さはそれぞれ使用者の身長に合わせて 10cm 刻みで調整できる。使用者が 161 cm 以上の場合は、上段：約 116cm, 下段：約 96cm, 160 cm 以下の場合は、上段：106 cm, 下段：86 cm とした。

使用者は図 7-1 に示すように、モニタに表示される手の真下で工具の模型を把持しながら、映像中の手の動きに合わせて自身の手を動かす。工具の模型には振動子が内蔵されており、映像撮影時にマイクを板に張り付け集音した作業音を、TECHTILE Toolkit を介して増幅して提示する。

7.1.3. 実験タスク

図 7-1 に示す提案システムを使用し、実験参加者に木工作業を体験させた。まず実験参加者は、画面を上から見下ろす形でシステムの前に立った。次に、作業の振動が提示される工具の模型を持って、後述する体性感覚条件（振動提示、動作）のもと、作業映像を視聴した。その際、嗅覚刺激条件に応じてアロマシューターから匂いが提示された。体験後は、後述する方法に従い身体所有感と運動主体感の評価、および匂い知覚に関する設問の評価を実施した。

7.1.4. 実験条件

体性感覚条件（2 条件：あり・なし）×匂い（4 条件）の計 8 条件を評価させた。実験に使用した各刺激について記述する。

①映像

4・5 章で使用した映像と同様であった。

③ 体性感覚条件

振動・追従動作の提示方法は4・5章と同様であった。ただし、今回は体性感覚刺激あり・なしの2条件のみを設定し、刺激がある条件の場合は、振動・追従動作の両方を提示し、刺激がない条件の場合はどちらも提示しなかった。

③ 匂い条件

匂いはアロマシュータを用いて提示した。匂いの選定には、匂いの種類の分類に関する先行研究[109]を参考にした。匂いの種類は3種類で、Aroma join製のアロマカートリッジの中から、木材の匂いとして、大和ヒノキ（以下ヒノキ）、木材ではない匂いとしてフローラルソープ（以下ソープ）、ガーデンスペアミント（以下ミント）の2種類を用意した。そこに無臭条件を加え、計4条件で実験を行った。匂いの提示は作業部のみに行った。また、アロマシュータの仕様上、連続噴射は10秒以下が推奨されていることや、匂いの提示時間に関する先行研究から[110]、7秒噴射し3秒停止するサイクルを3回繰り返す設定とした。

7.1.5. 評価方法

評価は、主観評価、Proprioceptive Drift(PD)による身体所有感と運動主体感の評価を用いた。さらに、各試行で参加者が匂いを正確に判別できているかを判断するため、匂いの強度と種類を回答させた。主観評価およびPDは4・5章と同様の評価手法を用いている。匂いに関する評価は、強度の数的評価と、匂いの種類に関する自由記述を行った。強度は先行研究[111]を参考に、無臭、かすかに感じるにおいて、軽度を感じるにおいて、強く感じるにおいて、非常に強く感じるにおいて、耐えがたく感じるにおいての6段階で評価させた。匂いの種類については、自由記述で回答させた。

7.1.6. 手順

実験前に映像を視聴しながら画面の下で模型を把持すること、振動や匂いが提示される場合や動作を求める場合があることを説明した。実験目的は木工のバーチャル体験システムの評価とのみ説明し、詳細な意図は説明していない。また、視聴中は画面の手の真下に手を配置した状態で画面を注視し、下段をのぞきこまないことを周知した。次に、実験の一連の流れと、映像の内容、道具の使い方、動作の仕方、匂いを感じるかどうかを確認する練習を行った。実験の各試行ではまず、右手の高さの推定を3回行った。その後、工具の模型を把持し、ランダムに選択された体性感覚条件・匂い条件に応じて映像を視聴させた。映像視聴後は模型を放し、視聴前と同様に右手の高さの推定を3回行った。続いて、身体所有感、運動主体感を問うアンケートに回答させた。以上を1試行とし8試行繰り返した。嗅覚の順応を防ぐため、各試行が終わるたびにコーヒーの匂いで嗅覚のリセットを行った。説明を含めた全実験時間は約1時間であった。

7.2. 結果

7.2.1. 匂い知覚の可否

まず参加者が正確に匂いを知覚できていたかを調査した。匂い知覚の基準として、匂いを提示した条件では匂い強度が 2~6, 匂いを提示しない条件では 1 と評価された場合、正確に知覚できていたとした。匂いの種類は、ヒノキの匂いの場合、木材など木にまつわる語が記載され、種類が同定できていた場合知覚できたとした。一方、ミント・ソープの匂いの場合、正確に匂いの種類が同定できていなくとも、木にまつわる語が書かれていなければ知覚できていたとした。正確に知覚できた人数と知覚できなかった人数を表 7-1 に示す。なお、知覚できなかった中で、匂いの種類を誤った人数をカッコ内に記す。ミント・ソープ条件では正確に知覚できている参加者が多かったが、ヒノキ・無臭条件では正確に知覚できたのは、約半分であった。

7.2.2. 主観評価結果

匂いを正確に知覚できた評価を対象に主観評価項目を O (Ownership : 身体所有感) , OC (Ownership Control : 身体所有感対照群) , A (Agency : 運動主体感) , AC (Agency Control : 運動主体感対照群) の 4 つに分類し、分類ごとに評価値の平均値を求めた。図 7-2 に、縦軸に平均値、横軸に条件、エラーバーに標準誤差をとったグラフを示す。結果に対し 3 要因 (設問 : 4 (O, OC, A, AC) ×体性感覚 : 2 (あり, なし) ×匂い : 4 (ヒノキ・ミント・ソープ・無臭)) の分散分析を行った。なお、今回すべての条件で匂いを正確に知覚できた参加者は 1 名のみであり、群間の回答数に差異が生じた。そのため設問以外の 3 つの要因は参加者間要因として扱い、分散分析を行った。その結果、設問と体性感覚の主効果とそれらの交互作用に有意差がみられ ($F(3,264)=19.66, p<.001$)、匂い条件間の有意差は確認されなかった。

次に、身体所有感の評価について匂いを正確に知覚できた群と知覚できなかった群間で比較を行った。図 7-3 に、縦軸に平均値、横軸に条件、エラーバーに標準誤差をとったグラフを示す。なお、匂いを知覚できなかった群の人数が少なく、群間のサンプル数に大きな差がみられた匂いが存在したことから、この結果に対しては統計的分析を行わ

表 7-1 : 匂いの知覚可否

単位(人)	知覚できた		知覚できなかった	
	動作あり	動作なし	動作あり	動作なし
ヒノキ	8	8	10(5)	10(3)
ミント	14	15	4(2)	3(1)
ソープ	17	15	1(0)	3(0)
無臭	9	10	9	8

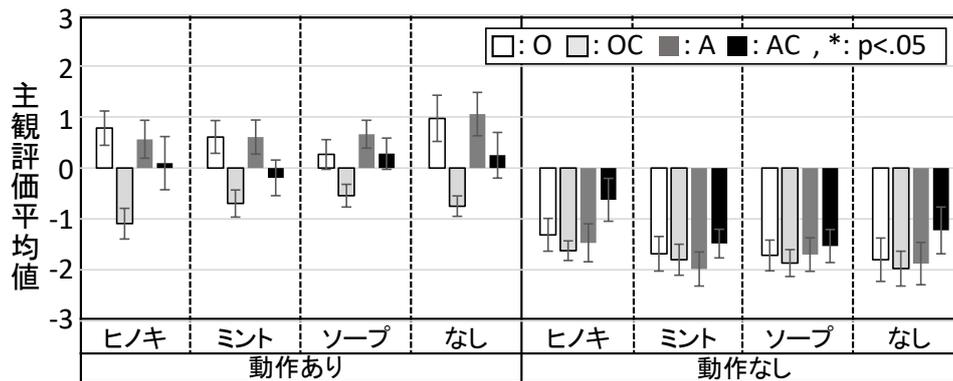


図 7-2: 主観評価結果

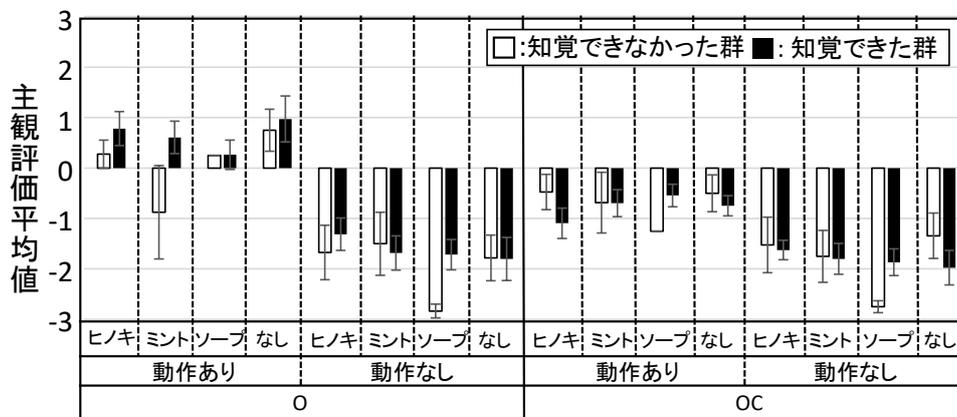


図 7-3: 匂いの知覚可否の群間比較

ない。グラフをみると、特に動作ありのヒノキ・ミントの条件では匂いが知覚できた群ではできなかった群と比較し、Oの値が高く、その差はソープ条件よりも大きくみえる。

7.2.3. Proprioceptive Drift(PD)の結果

各試行の前3回、後3回の評価を参加者ごとにそれぞれ平均し差分をとった。実験後に行った手の大きさの評価が回答傾向に影響する可能性を考え、評価に応じて、1または2を小さい(6人)、3を一緒(8人)、4・5を大きい(4人)として3つに分類し、1要因の分散分析を行った。なお、この際は匂いの知覚可否は反映しなかった。その結果、有意差は確認されなかった。次に、匂いが正確に知覚できた参加者を対象に、対応なしの2要因(体性感覚:2(あり,なし)×匂い:4(ヒノキ・ミント・ソープ・無臭))分散分析を行った。その結果、主効果・交互作用共に有意差は確認されなかった。図7-4に縦軸にPDの値、横軸に条件、エラーバーに標準誤差を表したグラフを示す。

7.3. 考察

7.3.1. 匂いによる主観評価への影響

先行研究と同様に、体性感覚刺激の付与によって身体所有感と運動主体感の向上効果

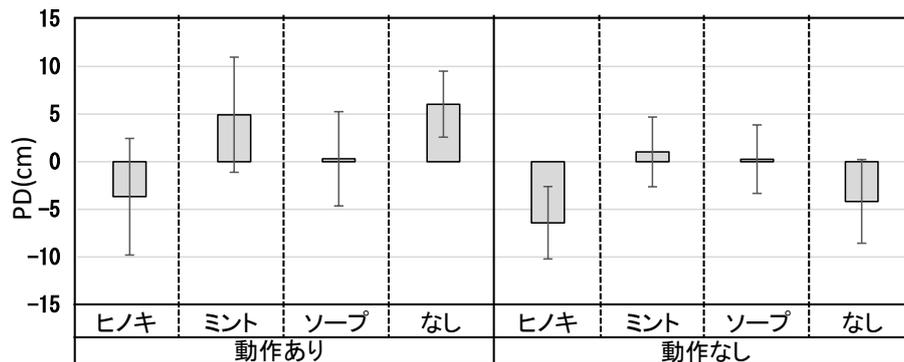


図 7-4 : Proprioceptive Drift の結果

が確認された。一方、映像に適した匂いを提示した場合には、身体所有感が向上すると考えたが、匂いの有無や種類によって統計的な差異は見られなかった。この原因の1つとして、匂いの種類や提示順が影響し、匂いが正確に知覚できなかった試行が多かったことを考える。特に、映像に適しており、身体所有感を増強すると予測していたヒノキの匂いは、ミント・ソープの匂いより弱く知覚されていた。そのため、匂いを感じ取れない参加者が多く、影響がみられなかった可能性がある。一方で、図 7-3 のグラフをみると、特に動作ありのヒノキ・ミントの条件では匂いが知覚できた群ではできなかった群と比較し、O の値が高く、その差はソープ条件よりも大きくみえる。ミントの匂いは木の匂いと表現した参加者も存在し、ソープよりも映像に適していたと推測されるため、映像と親和性のある匂いの付与による身体所有感への効果は否定できないと考える。ただし、今回の実験では個々の群のサンプル数が少なく誤差が大きいことや、統計的な検定ができていないといった問題があるため、匂いの身体所有感に対する効果には検討の余地がある。

また、図 7-2 をみると統計的な差異はみられなかったが、動作ありの場合、匂いを付与しない場合の方が、O や A の値が高いようにみえる。この原因として、匂いを同定することに集中してしまい、映像への没入感が損なわれた可能性がある。今後の実験では、事前に提示する匂いの種類を教示しておく、同一実験で複数の香りを使用しないなど、参加者が匂いを知覚しやすく、映像への集中を阻害しない匂いの提示方法を検討し、匂いの効果を正確に調査していく必要がある。

7.3.2. 匂いによる PD への影響

匂いの有無や種類によって、PD の値の変化はみられなかった。この原因の1つとして、参加者ごとに傾向が異なり誤差が大きかったことが挙げられる。今回の実験では、すべての試行が終了した後に手の大きさを評価させた。しかし、参加者が各試行で映像中の手に対して異なる印象を抱いていた場合、傾向にばらつきが生じた可能性がある。そのため各試行終了時に評価させることで、主観的な手の大きさの知覚と身体所有感との関係が、より明確になると考える。

7.4. まとめ

先行研究により、嗅覚刺激が体験のリアリティや記憶を向上させることが示されていた。一方本実験では、他者の体験を追体験する際の没入感の指標として身体所有感と運動主体感に着目したが、それらが向上したという明確な結果は得られなかった。その理由として、2つの可能性を考える。1つ目は実験参加者が匂いを正確に知覚できなかった可能性である。今回の実験では、匂いの種類によって強度や知覚しやすさが異なっており、そのことが結果に影響した可能性がある。2つ目は、嗅覚刺激が没入感に及ぼす影響が限定的である可能性である。嗅覚刺激を付与した先行研究では体験全体の質を向上させる結果は得られているものの、嗅覚刺激がいかに作用しているかは明確になっていない。そのため、身体所有感・運動主体感という範囲においては有効に機能しない可能性がある。この場合、身体所有感・運動主体感への影響をさらに検討していくことで、嗅覚刺激の有効範囲を明確にできると考える。

第 8 章 配信型追体験システムにおける訴求性への効果検証

本章では、6章で紹介した「下市木工舎 市」の作業映像を用いたシステムを構築し、実際の製品を対象とした場合の訴求性を、製品や技術に対する印象向上効果と動作習得効果の観点から検証する。

8.1. 実験内容

体性感覚刺激として、振動刺激と追従動作、嗅覚刺激としてヒノキの匂いを用いた木工体験システムを構築し、訴求性への効果を計測する。訴求性への効果として1つ目に、製品や技術に対する印象への影響を評価する。提案システムを用いた技術体験により価値の理解が促進されれば、製品や技術、工房への興味や印象を向上させ、購買につながる可能性がある。2つ目に体験の動作習得効果を評価する。実体験をプロモーションとして用いる場合、体験の難易度が高すぎると体験者が満足感を得られず、反対に悪い印象を与えてしまう可能性がある。提案システムを用いることで動作習得が容易になれば、体験者に対し適切な難易度の体験が提供できる。そして体験者の満足感の高い体験を提供することで、間接的に訴求性を強化しうると考える。

8.1.1. 実験参加者と実験環境

実験参加者は、平均 21.71 歳 (SD : 1.93) の右利きの女子学生 18 名 (2 条件 9 名ずつ) で、実験前に実験の手順と振動刺激を提示することを説明し、同意を得たうえで実験を実施した。実験室の温度・湿度は空調により調整し、室温 $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\% \pm 10\%$ であった。

8.1.2. システムの構成

6章で紹介した槍鉋の体験システムを、匂いを提示するアロマシュータ (Aroma join 製) と共に使用する。使用するシステムを図 8-1 に示す。使用者は、映像中の手に合わせて、映像の投影されている板をこするように手を動かす。なお、板の下には圧力センサが設置されており、押下圧が強すぎる (250gF 以上) 場合は映像と音声および振動が停止し、弱すぎる (10gF 以下) 場合は振動が提示されない仕組みになっている。

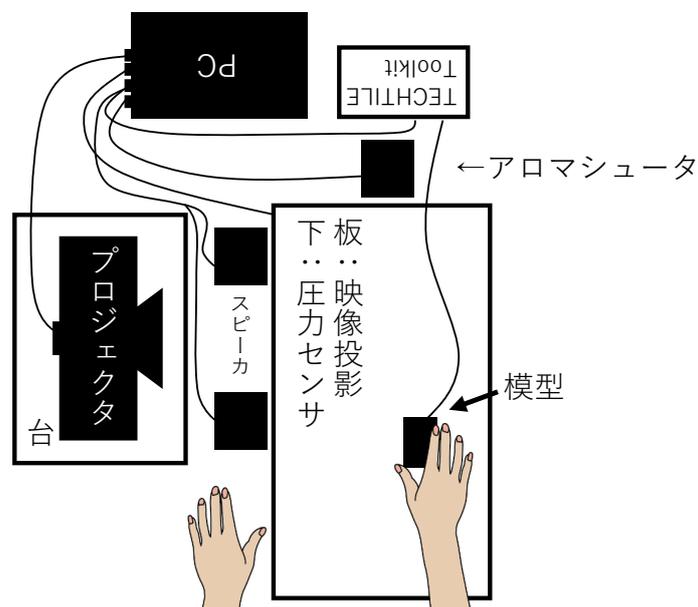


図 8-1：提案システム条件

映像には 6 章で紹介した「下市木工舎 市」の豆かんなの作業映像を使用した。なお、今回は職人の 1 ストロークの動作を切り取り、ループ再生する仕様になっており、1 ストロークの時間は約 1.09 秒であった。

8.1.3. 実験条件

体性感覚刺激・嗅覚刺激を提示する提案システムとの比較として対照条件を設け、2 条件の比較を行った。なお、今回は繰り返しによる学習効果が予測されるため、参加者間計画とした。

①提案システム（刺激あり条件）

図 8-1 に示す提案システム条件では、映像をプロジェクタによって実験参加者の手元の板の上に投影し、映像に重畳した追従動作と振動刺激、匂いを提示した。振動の提示方法は 4～7 章と、匂いの提示方法は 7 章と同様である。追従動作は 6 章で紹介した槍

鉋のシステムと同様に、プロジェクタで映像が投影された板の上を、映像中の手に合わせながら、模型でこする方法を用いる。その際、押下圧によって映像や音声、振動は停止する仕組みになっている。

④ 対照条件（刺激なし条件）

図 8-2 に示す対照条件では、映像を正面においた 27 インチワイドモニタ（Dell プロフェッショナルシリーズ P27 19H）を縦型にして表示し、振動と匂いは提示しなかった。追従動作は提案システムと同様に、模型を把持しながら板上をこする方法で行ったが、板上には映像は投影されていない。なお、対照条件でも押下圧によって映像や音声は停止する仕組みになっている。

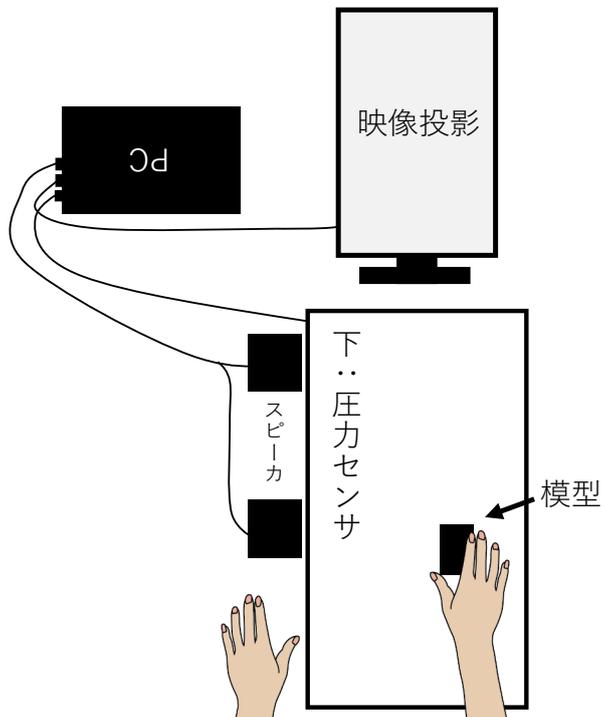


図 8-2 : 対照条件

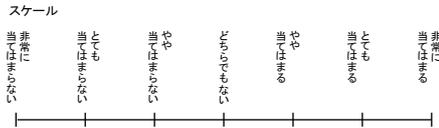
8.1.4. 評価方法

評価には、主観評価と行動評価、情報のテストを用いた。

①主観評価

製品、豆かんなの技術、本実験の体験に関する評価を行った。アンケートを図 8-3 に示す。評価には 7 段階のリッカート尺度の他に、体験の満足度には 7 段階の SD 法を用

下のスケールを参考に、以下の設問に回答してください。

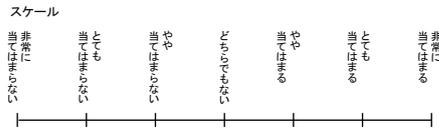


製品に関するアンケート

- ①製品の作られ方が分かった
- ②製品に対する興味をもった
- ③実際の製品を見たい・座りたいと思った
- ④製品を購入したいと思った
- ⑤製品の値付けをしてください。

円

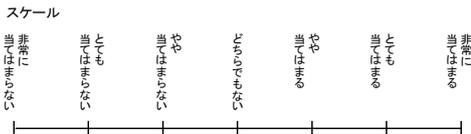
下のスケールを参考に、以下の設問に回答してください。



豆かんなの技術に関するアンケート

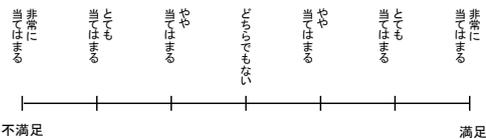
- ①豆かんなで行う作業の内容を理解した
- ②豆かんなの作業に興味をもった
- ③実際の豆かんなの作業を体験したいと思った

下のスケールを参考に、以下の設問に回答してください。



体験に関するアンケート

- ①体験は楽しかった
- ②体験はリアリティがあった
- ③体験全体の満足度を教えてください



以下の設問に回答してください。

1. 今回紹介した工房の名前と工房の所在地（町名）を教えてください。
 工房名 _____ 町名 _____
2. 値付け評価した椅子の名前を教えてください。
3. 動画中で使われていた道具の名前を教えてください。
4. 反対にこの工房で使わない仕上げの技術（道具）を教えてください。
5. HP で紹介されていた、木の種類を教えてください。

以下、アンケートです。
・製品や技術・工房について印象に残ったことを自由に記述してください。

・体験について感じたことを自由に記述してください。

図 8-3 : アンケート用紙

いた。また、製品の評価では、「下市木工舎 市」の実際の製品を用いて値付け評価を行った。

②行動評価

動作習得効果を計測するため、体験後一定時間が経過した後に、映像や音声等がない状態で体験時とできる限り同様のやり方で、板上をこするよう指示した。その際の押下圧の計測およびモーションキャプチャによる動作計測によって、動作習得の効果を検証した。なお、モーションキャプチャのマーカは右手人差し指の根元に装着した。

③情報のテスト

体験後に「下市木工舎 市」の HP に掲載されている情報をまとめた資料（付録）を読ませた。一定時間後、資料に書かれていた内容をどれだけ記憶しているかをテスト形式で評価した。テスト用紙を図 8-3 の右下に示す。

8.1.5. 手順

① 実験説明

「下市木工舎 市」の実際の職人の作業映像による、豆かんを用いた木工体験をすることを説明した。また、提案システム条件の参加者には嗅覚刺激、振動刺激が提示されることの説明を行った。

② 映像の視聴

これから体験するイスの座面を削る作業の映像を視聴させ、体験内容を周知した。

③ 体験の練習

手の動かし方や、押下圧に応じて映像や音声・振動が停止することを説明した。

④ 体験

3分間自由に体験させた。この際、提案システム条件の参加者はアロマシュータから匂いが、模型から振動が提示された。

⑤ 下市木工舎 市の HP 資料を閲覧

体験後 HP 資料（付録）を手渡し、読むよう指示した。

⑥ 主観評価

図 8-3 に示すアンケート用紙を用い、製品と作業、システムを用いた体験の印象を評価させた。

⑦ 動作習得評価

「先ほどの体験とできるだけ同じように手を動かしてください」と指示し、板上で自由に動作させた。動作は 1 分間で、その間の押下圧および動作を計測した。

⑧ 情報のテスト

図 8-3 の右下に示すテスト用紙を用い、HP 資料に掲載されていた情報のテストをおこなった。

実験は全体で約 30 分であった。

8.2. 結果

8.2.1. 印象評価

製品に対する印象評価の結果を図 8-4 に示す。縦軸に平均値，横軸に評価項目，エラーバーに標準誤差をとった。評価項目は，図 8-3 の製品に関するアンケートの①～④に対応しており，理解・興味・試用・購入としている。グラフをみると刺激の有無に関わらず，中間よりも高い評価がなされている。評価値に対して，刺激条件を参加者間要因，評価項目を参加者内要因とする分散分析を有意水準 5%で行った結果，評価項目による有意差のみ確認された。ただし，この有意差は今回の実験の対象とは異なるため詳しく言及しない。

次に作業に対する印象評価の結果を図 8-5 に示す。縦軸に平均値，横軸に評価項目，エラーバーに標準誤差をとった。評価項目は，図 8-3 の作業に関するアンケートの①～

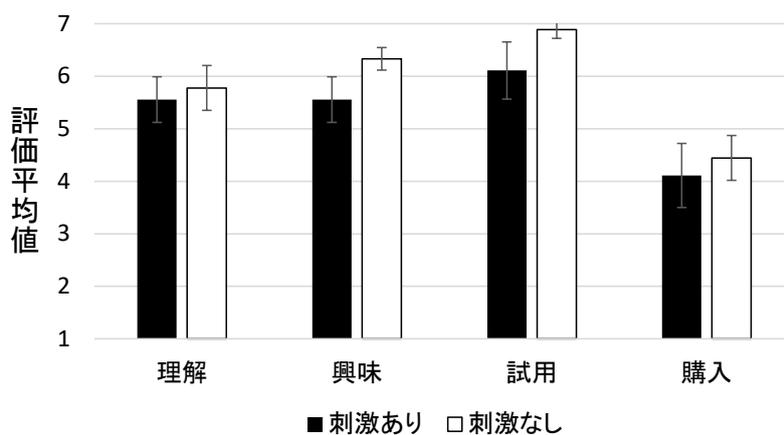


図 8-4：製品の印象評価

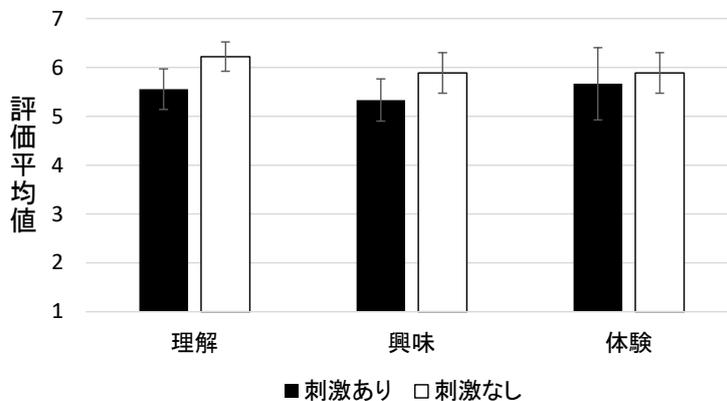


図 8-5：作業の印象評価

③に対応しており、理解・興味・体験としている。製品に関するアンケートと同様に、刺激の有無に関わらず、中間よりも高い評価がなされている。評価値に対して、刺激条件を参加者間要因、評価項目を参加者内要因とする分散分析を有意水準5%で行った結果、いずれの条件間にも有意差はみられなかった。

次にシステムを用いた体験に対する印象評価の結果を図8-6に示す。縦軸に平均値、横軸に評価項目、エラーバーに標準誤差をとった。評価項目は、図8-3の作業に関するアンケートの①～③に対応しており、楽しさ・リアリティ・満足度としている。他の結果と同様に、刺激の有無に関わらず、中間よりも高い評価がなされている。評価値に対して、刺激条件を参加者間要因、評価項目を参加者内要因とする分散分析を有意水準5%で行った結果、いずれの条件間にも有意差はみられなかった。

8.2.2. 値付け評価

値付け評価の結果は「下市木工舎 市」の実際の製品を用いたため、実際の評価価格は記述しない。図8-7の上部のグラフでは、縦軸に標準化した価格の平均値、横軸に刺激条件、エラーバーに標準誤差をとっている。なお標準化は、全参加者の価格評価値の平均が0、標準偏差が1となるよう行った。標準化した値に対し、刺激条件間の対応なしのt検定を有意水準5%で行った結果、有意差が確認された ($t(16) = 3.52, p = .003$)。次に、図8-7の下部のグラフでは、標準化後の各実験参加者の評価値を示した。グラフをみると、刺激あり条件では3人以上は平均値を上回ったが、刺激なし条件では1人以上平均値より下回っており、傾向に差があることがわかる。また、刺激あり条件の実際の評価価格の平均値は、刺激なし条件の価格の約2.9倍で、全参加者の評価における最高額と最低額の間には15倍の差があった。

8.2.3. 情報のテストの正答数

全6問の情報のテストの結果、刺激あり条件では平均3.89点、刺激なし条件では3.78

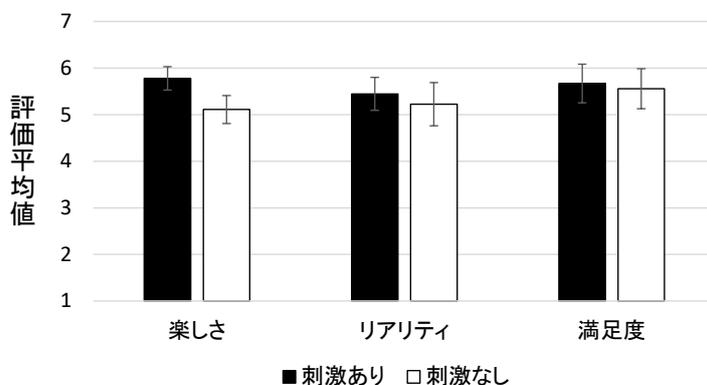


図8-6：体験の印象評価

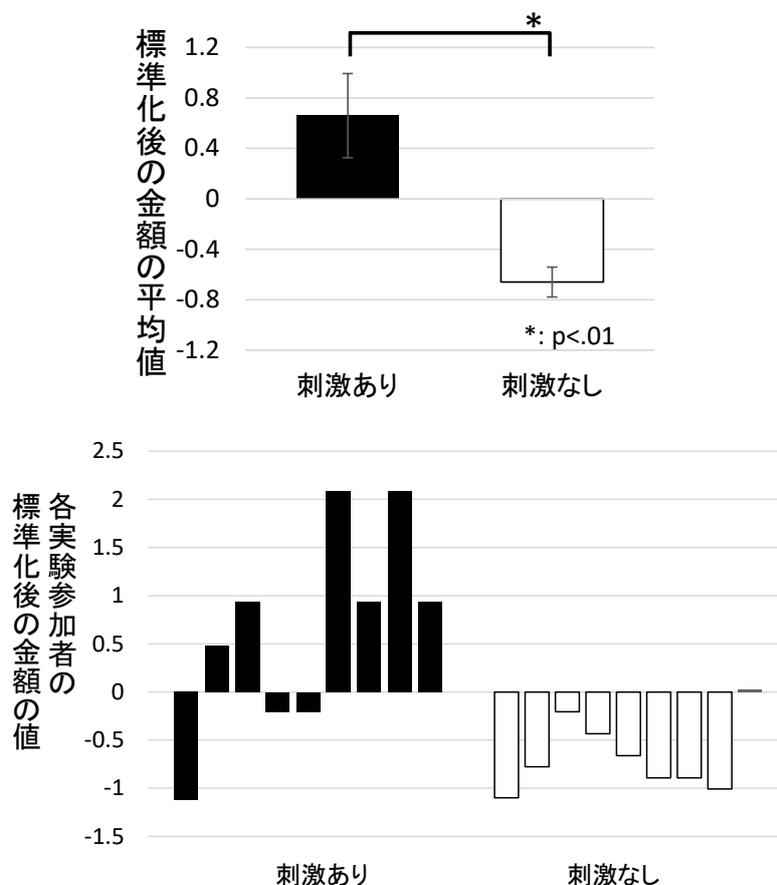


図 8-7： 値付け評価の平均値（上），各実験参加者の値（下）

点となった。縦軸に正答数の平均値，横軸に刺激あり・なし条件，エラーバーに標準誤差をとったグラフを図 8-8 に示す。正答数に対し，刺激条件間の対応なしの t 検定を有意水準 5%で行った結果，有意差は確認されなかった ($t(16)=0.17$, N.S.)。

8.2.4. モーションキャプチャによる動作評価

Python (Ver.3) で構築したプログラムで，右人差し指の座標値の時系列データから，手の前後方向の移動に要する時間と動作距離を算出した。作業中，手は前後に往復運動を繰り返すため，前後方向の座標値の極大値と極小値を検出し，極大-極小間の座標値の差分と，時間差を求めた。なお，データの欠損があったため，刺激なし条件は 1 名を除外し 8 名の結果を使用した。

図 8-9 に縦軸に片道の動作時間の平均値，横軸に刺激あり・なし条件，エラーバーに標準誤差をとったグラフを示す。さらに，動作時間のばらつきをみるため，1 分間の動作時間の標準偏差の平均値を表すグラフを図 8-10 に示す。縦軸に片道の動作時間の標準偏差の平均値，横軸に刺激あり・なし条件，エラーバーに標準誤差をとった。動作時間の平均値および標準偏差に対し，刺激条件間の対応なしの t 検定を有意水準 5%で，

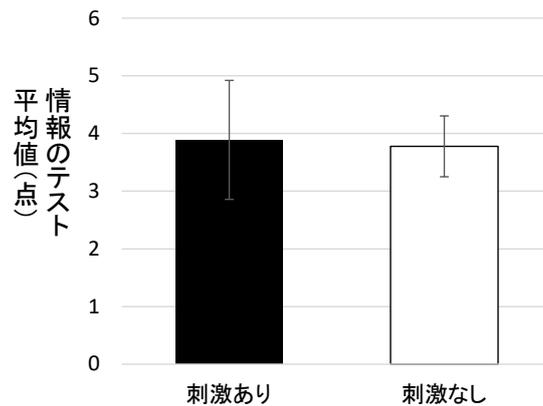


図 8-8：情報のテストの正当数

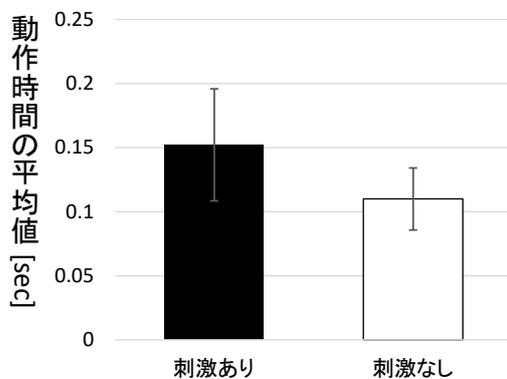


図 8-9：動作時間の平均値

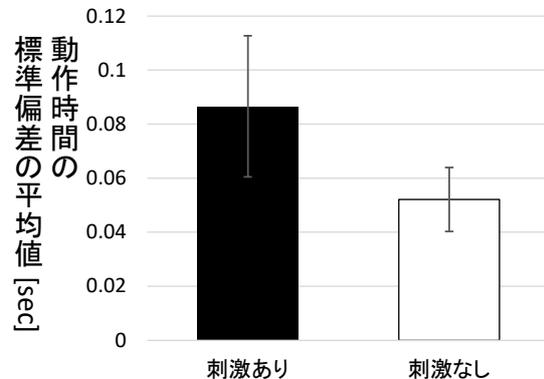


図 8-10：動作時間の標準偏差

それぞれ行った。その結果、いずれも有意差が確認されなかった($t(15)=0.77$, N.S., $t(15)=1.08$, N.S.).

次に動作距離の結果を示す。なお、投影された映像の上を直接動作した提案システムは映像の実際の動作距離がわかるが、モニタに表示される映像を見ながら動作したシステムでは、実際の動作距離を知ることができない。つまり対照システムの使用者は動作距離の平均値に個人差が生まれると推測されるため、ここでは個人の体験内の動作距離のばらつきのみに着目する。図 8-11 に個人内の 1 分間の動作距離の標準偏差を参加者間で平均した値を表すグラフを示す。縦軸に片道の動作距離の標準偏差の平均値、横軸に刺激あり・なし条件、エラーバーに標準誤差をとった。動作距離の標準偏差に対し、刺激条件間の対応なしの t 検定を有意水準 5%で行った。その結果有意差が確認され、刺激あり条件の方が刺激なし条件よりも値が小さくなった ($t(15)=-2.44$, $p=.03$)。

8.2.5. 押下圧の評価

Python (Ver.3) で構築したプログラムで、各実験参加者の 1 分間の動作中で 10gF 以上の圧力がかかった場合の平均値を求めた。なお、豆かんなの動作は、前に押し出すときは台に押し付けるが、手前に引き戻すときは台の上を滑らすのみであるため、往復

の動作で圧力が異なる。そのため標準偏差の大きさは圧力の大きさに比例してしまうことから、ここでは言及しない。図 8-12 に、縦軸に圧力の平均値、横軸に刺激あり・なし条件、エラーバーに標準誤差を表すグラフを示す。圧力の平均値に対し、刺激条件間の対応なしの t 検定を有意水準 5%で行った結果、有意差は確認されなかった ($t(16)=1.27$, N.S.).

8.3. 考察

8.3.1. 印象の向上効果

製品・作業・体験に関する印象評価の結果、刺激あり条件と刺激なし条件の間には有意差が確認されなかった。ただし、両条件の評価はどちらも高かったことは留意される事項である。すなわち、感覚刺激が付与されなくとも対照システムの使用や HP の情報の提示によって十分に魅力が伝わっていた可能性がある。特に今回の対照システムでは映像に合わせた動作は行った。そのため、対照システムでも主観的な印象を向上させられたことで有意差が生じなかった可能性がある。

一方で値付けでは、刺激条件間に有意差が生じており、刺激あり条件の方が刺激なし条件よりも約 2.9 倍の値付けがされていた。今回の実験では、印象評価における評価軸のような参考になる基準や範囲は一切提示していなかったため、絶対評価で価格付けを行った。すなわち提案システムの体験を通じ、製品の本質的な価値理解を促進し、印象を向上したと考える。ただし、刺激あり条件において著しく低い値付けをした実験参加者が 1 名確認された。そのため、対象への興味が著しく低いなど、体験者のもつ価値観によって効果が変動する可能性がある。

情報のテストの平均値には条件間の差異はみられなかった。この原因として情報の読み方の違いが強く影響した可能性を考える。VR 環境下の対象物に対する記憶を調査した先行研究[71]では、コンテンツの体験時間は一定である。一方で、今回の実験では体験後に HP の資料を読ませ、そこに書かれている内容を問うテストを行った。その際、個々人の資料を読む時間やスピードは統制していなかったため、読み方の違いによって

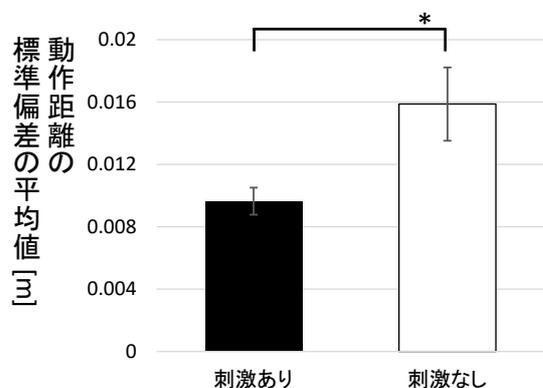


図 8-11：動作距離の標準偏差

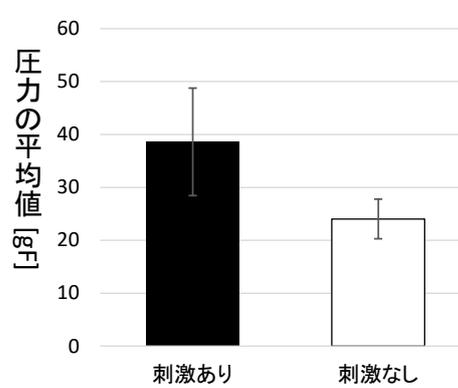


図 8-12：押下圧の平均値

情報に触れた量に差が生じていた可能性がある。そのため、事前に体験者の文章を読むスピードや読解力を調査した上で記憶の程度を評価する必要があると考える。

8.3.2. 動作習得効果

動作時間の結果には差異がみられなかった。一方で、動作距離の結果には差異がみられ、動作距離の標準偏差は、刺激あり条件の方が小さかった。すなわち1分間の動作距離にばらつきが少なかったと考える。このことから練習の精度が上がり、安定した動作をしやすくなった可能性を考える。

一方で押下圧の結果には差異がみられなかった。この原因として、圧力の下限の設定が小さすぎた可能性を挙げる。今回の実験では難易度が高くなりすぎることを防ぐため、映像が動作する圧力の幅を広く設定していた。そのため、そもそも適切な圧力が理解できず、両条件とも体験時から体験者独自の圧力で作業を行っていた可能性がある。その場合、習得効果を適切に評価することはできないため、今後の設計では許容範囲を限定し、使用者に適切な圧力を明示する必要がある。また、今回の実験では検証しなかったが、作業の動作習得のみならず、作業の手順の学習に寄与する可能性も考えるため、今後の検討の余地がある。

8.4. まとめ

提案システムの訴求性への効果を検証するために、印象向上効果と動作習得効果に着目した。印象の向上効果の評価では、提案システムの使用によって製品の値段をより高く設定する傾向がみられたことから、本質的な価値理解を促進できた可能性が示唆された。また動作習得効果の評価では、提案システムにおける練習後は動作距離の安定性が高かったことから、練習の精度が向上している可能性が示唆された。一方で圧力の設定によって難易度が変化し、難易度が低すぎる場合、適切な圧力の理解には寄与せず練習の精度向上にはつながらないと考えられる。そのため、動作習得効果を期待する場合には適切な難易度の設定が重要となる。

第9章 総合考察

本章では、本研究で提案したシステムを整理した後、1章で定義したシステム要件から、3～8章で構築したシステムを評価する。そして、実験結果をもとに、工学的知見として「没入感」への効果を、社会的貢献として「訴求性」への効果を取り上げ、総合考察を行うとともに、提案システムの社会実装に向けて本研究で得られた知見を整理する。

9.1. 提案システムの効果の整理

本研究で提案したシステムを図9-1に整理する。システムはすべて記録した実映像に感覚刺激を重畳する構成であった。3章で提案したシステムは、体性感覚刺激として追従動作と Pseudo Haptics を嗅覚刺激としてヒノキの匂いを提示するもので、嗅覚刺激によるリアリティ向上効果、体性感覚刺激と嗅覚刺激による印象向上効果がみられた。ただしこのリアリティ向上は Slater[98]の分類における Psi の概念には該当するが本研究で定義した没入感の概念には該当しない。4・5章で提案システムでは体性感覚刺激として振動刺激と追従動作を導入し、嗅覚刺激は用いなかった。また、映像と動作のズレを不明瞭化するために映像を提示するモニタの下に使用者の手を配置する構成とし、没入感を向上させるために物理プロキシを導入した。その結果、身体所有感・運動主体

		3章	4章・5章	7章	8章
図					
システム内容	体性感覚刺激	追従動作 Pseudo Haptics	振動刺激 追従動作	振動刺激 追従動作	振動刺激 追従動作
	嗅覚刺激	ヒノキ	×	ヒノキ	ヒノキ
	その他	—	ズレの不明瞭化 物理プロキシ	ズレの不明瞭化 物理プロキシ	ズレの不明瞭化 物理プロキシ ゲーム性
効果	没入感	—	振動刺激：身体所有感 追従動作：身体所有感・ 運動主体感	嗅覚刺激の効果は みられず	—
	訴求性	体性感覚刺激：印象向上 嗅覚刺激：印象向上	—	—	印象向上・動作習得効果

図9-1：提案システムの整理

感の向上効果が確認された。さらに7章では、4・5章のシステムに嗅覚刺激を導入したが、没入感への効果は確認されなかった。最後に8章では、映像をプロジェクタによって投影し体験者のみならず、周囲の見学者にも視認できるシステムを構築した。また、4・5章と同様の振動刺激・追従動作の提示と、嗅覚刺激としてヒノキの匂いの提示を行った。さらに、訴求性を向上させるために、押下圧によって映像が停止・再生するゲーム性を取り入れた。その結果、製品の印象向上効果と動作習得効果が確認された。

9.2. システム構成の要件に対する評価

2章において、目指すべきシステム構成の要件を「他者の実体験の模倣」、「アクセシビリティ」の観点から定義した。以下ではこれらのシステムを、上記2点から評価する。

9.2.1. 他者の実体験の模倣

本研究では、追体験システム構成の必要条件として他者の実体験の模倣を挙げた。さらに、この要件を2つの要素に分類した。1つ目は体験のオリジナリティである。追体験はその性質上、使用者が他者の体験を辿る（模倣する）ことが必要であるため、自身のオリジナルの体験は追体験とは異なる体験となる。2つ目は体験の本物性である。本研究では職人技の体感を通じた本質的な価値理解を促すことを目指しているため、CGなどで構築されていない実際の作業情報を改変することなく伝達する必要がある。以上のことから、追体験の要件として実際の作業過程をできるだけ改変せずに伝達し模倣できることが重要であると考えた。

本研究で構築したシステムは、すべて実映像を用いた実際の作業の体験を対象としている。また、使用者は映像中の手の動きに同期して、映像中の作業を模倣できる仕組みにしている。さらに、4章以降で提案した木工追体験システムでは実際の作業の音声を振動に変換して提示することで、体験の本物性を向上させている。

一方で嗅覚刺激は実際の作業によって生じた匂いを記録して再現したわけではなく、作業によって生じると予測される匂いを、アロマシュータを用いて提示した。しかし嗅覚刺激（ヒノキの匂い）は3章の映像の印象に対する評価で、「人工的な」に対し「自然な」印象を与えていることが示された。3章で対象としたのは木製のスプーンであったため、「自然な」印象はリアリティを高めていると考える。つまり嗅覚刺激は実体験の再現ではないものの、体験の本物性の向上に寄与したと考える。

9.2.2. アクセシビリティ

本研究で提案したシステムのアクセシビリティを実装・使用・応用の3点から評価する。

①実装

本研究の提案システムは、追従運動型の配信型追体験システムを採用しており、その基本構成は、作業の記録映像とそれに対する体性感覚刺激、嗅覚刺激の重畳であった。作業の記録映像は、市販されている一般的なビデオカメラとマイクで撮影しており実装は容易である。次に体性感覚刺激の提示は、3章のシステムでは視覚刺激のみで触覚を生じさせる **Pseudo Haptics** を応用したため、触覚提示装置を用いない最小限の構成であったが、体性感覚刺激による効果は低かった。そこで、4章では体性感覚刺激の提示法を改良し物理プロキシを介した振動刺激を用いるシステムを構築した。**Pseudo Haptics** と比較すると、実装のハードルは上がるものの振動を提示する振動子は **iPhone[112]** や **Nintendo switch[113]** などの製品にも取り入れられており、現在では一般化された技術である。また振動は、映像と同時に記録した音声を、振動に変換することが可能な市販されている機器によって提示した。本研究では **TECHTILE Toolkit** を用いたが、例えば株式会社若松通商製の **ADTEDS** 触感デバイス体感モジュールは 4000 円程度で購入でき、より安価に入手できる。続いて嗅覚刺激の提示には **Aroma join** 製の指向性のアロマシェータを用いた。ただし、今回の実験では映像と匂いのタイミングや濃度の連動をしていないことから、アロマディフューザのような空間に匂いを漂わせるタイプのシステムでも有効である可能性があり、その場合より安価に実装できる。また4章以降で使用したシステムでは3Dプリンタを用いて製作した模型を、物理代替インタフェースとして使用した。しかし、物理代替インタフェースでは厳密な形状の一致性は求められないことから、市販されている似た形状の模型を使うことも可能であると考え。最後に本研究で用いた躯体は実験用であるため大型であった。しかしモニタ下に手を配置できるなど、映像と動作のズレを不明瞭化できる構成であれば大型の躯体も必要ない。また、今回は手元の作業に限定していたためHMDは使用しなかったが、HMDを使用した場合、使用者自身の手は視認されないため映像と動作のズレは不明瞭化できると考える。

一方で、6章・8章で使用したシステムは、見学者への訴求やゲーム性によって効果的であると推測されるが、押下圧に応じたフィードバックによって複雑化されるため、実装と使用のアクセシビリティを向上させる必要がある。

②使用

本研究の提案システムは、映像を再生することで体験が可能となる仕組みになっている。映像の音声はスピーカー側と振動子側に分配しており、映像を再生するだけで音声と振動が同時に提示される。また、前述のようにシステムは基本的に市販されているデバイスで構成されているため、デジタル機器に対する高い専門性を持たずとも容易に使用できると考える。一方、6章で紹介した一般ユーザの体験会では、一部動作を習得できない人が存在しており、使用者に対するインストラクションは工夫が必要である。

③応用

4章以降のシステムは、ビデオカメラによる映像の撮影と小型マイクを対象に張り付けて記録した音声を振動に変換することでコンテンツを制作することができる。そのた

め、木工に限らず振動に特徴がある作業であれば、体性感覚刺激の提示システムは応用可能である。ただし、今回の実験で本システムは、規則性の高い連続動作に対して有効性を発揮することが示されたため、使用者が動作を予測しえない作業への応用は難しいと考える。

9.2.3. その他の効果

システム構成の要件として定義していなかったが、有効性が期待されるものとしてゲーム性があった。6章・8章で使用したシステムでは、押下圧によって映像と音声、振動の停止・再生を行い、体験にゲーム性を取り入れた。このゲーム性によって体験の演出性が高まり、使用者に適切な難易度の体験を提供できた可能性がある。フロー理論[102]によると、使用者のレベルに適した課題を与えると、対象への印象が向上し上達も速くなる。しかし、レベルが適していない場合使用者のモチベーションは低下することが知られている。そのためゲーム性によって体験へのモチベーションが増加し、訴求性を向上させた可能性がある。ただしゲーム性による演出の影響は定量的に調査していないため、今後の検討課題である。

9.3. 工学的知見

本研究の第1の目的として、配信型追体験システムにおける没入感の定量評価を挙げた。本節では体性感覚刺激と嗅覚刺激の没入感への影響を、身体所有感・運動主体感の観点から考察する。

9.3.1. 体性感覚刺激の効果

4・5章では、体性感覚刺激が没入感に及ぼす効果を検証した結果、追従動作によって身体所有感と運動主体感が、振動によって身体所有感が向上することが示された。

映像と同期した振動刺激の付与によって身体所有感が向上したことは、RHIから予測された効果と一致する。さらに、追従動作の付与によって身体所有感・運動主体感が向上したことも、自発的動作を伴うRHIやミラーセラピーから予測された効果と一致する。一方でPseudo Hapticsを用いた3章のシステムでも追従動作は提示していたが映像(システム)の印象に対する効果はみられなかった。3章では身体所有感と運動主体感の評価をしていないため厳密な比較はできないものの、追従動作の有無によって映像の印象変化がみられなかったことから、没入感への影響は小さかったと考える。この原因として、映像と身体とのズレが明確化されたことの影響を考える。3章のシステムは、映像が表示されているタブレット画面の上を、映像に合わせて手を動かす仕組みであった。そのため映像とのズレが明確になり他者の身体や体験へ没入しづらかった可能性がある。一方で、4章で提案したシステムは、身体感覚の錯覚現象であるVHIやVRを用い

たミラーセラピーの手法を応用して、映像が提示される画面の真下に自身の手を配置し、映像中の手を自身の手の上に重畳する形であった。そのためズレが感じづらく追従動作によって身体所有感・運動主体感が向上した可能性がある。また、6章・8章で用いたシステムでは、プロジェクタによる映像の投影を行っている。これは、一般ユーザに対する応用を考える上で、体験者だけでなく周りの見学者にも直感的に体験を理解できるシステム構成にするべく変更を行った。このシステムを用いた場合、自身の手の上に映像の手が投影されることになり、2つの手が可視化される。しかし、手や腕に対する重畳のため、モニタによる映像提示よりも不明瞭でズレが気にならないこと、自身の動作によって映像と音声、振動が停止することから、身体所有感・運動主体感を低減させる影響は小さいと考える。ただし、前述のように6章・8章でのシステムは身体所有感・運動主体感の定量的な調査は行っていないため、今後の検討課題である。

これらの効果が発現する作業要件として、同一動作が規則的に繰り返されることを挙げる。5章の結果から、規則的な動作が繰り返される場合、映像と使用者の動作が厳密に同期していなくとも効果が発現したことから、使用者の予測と矛盾しない動きを繰り返すことが身体所有感・運動主体感の向上につながると予測される。さらに、システムの構成要件として、映像と自身の動作のズレの不明瞭化を挙げる。追従動作を行う際には4・5・7章のシステムのような映像を提示したモニタで使用者の手を隠す方法や、6・8章のように手への映像投影を行うことで映像中の手を不明瞭化する方法によって、ズレを知覚しがたくする必要があると考える。

以上より体性感覚刺激の重畳によって身体所有感・運動主体感を向上させることが示された。そしてその場合の体験内容は、規則性のある連続動作など使用者が次の動作を予測できるものとし、システム構成は、使用者が映像と自身の動作のズレを認識しづらくなるよう設計する必要がある。

9.3.2. 嗅覚刺激の効果

これまでの研究では嗅覚刺激は他の感覚への影響や記憶向上効果、臨場感の向上効果が知られている一方で、身体運動への没入感に対する嗅覚刺激の効果は言及されていない。

3章の実験では適した匂いの提示によって、リアリティを向上させることを示しており、この結果は先行研究で示されている事象と矛盾しない。一方で7章の結果から、身体所有感・運動主体感の向上効果はみられなかった。嗅覚刺激は匂いのもつ印象や好悪と関連することが知られており、嗅覚刺激によって身体イメージが変化した先行研究では、匂いの持つ印象と身体イメージの変化の方向性が一致していた。一方で今回の実験では、嗅覚刺激をRHIにおける振動刺激のように、視聴覚刺激と身体運動の結びつきを強める介在要因として捉えていた。そのため、嗅覚刺激が体験全体の印象の向上や印象の変化には寄与するものの、身体感覚の錯覚を生じさせる要因とはなり得ない可能性

がある。ただし、この問題は嗅覚刺激の提示法によって解決できる可能性がある。本研究で使用したのは指向性のアロマシュータであり、体験中の動作によって顔の位置が移動することで匂いを感じにくくなった可能性がある。また、適切/不適切な匂いを提示した際には、匂いの種類ごとに知覚しやすさが異なっていたことから、同時に提示する匂いや環境にも留意が必要である。さらに、動作を継続するほど嗅覚刺激の濃度が高くなるなど、映像と匂い強度の連動性を向上させることで、介在要因としての効果を発揮する可能性がある。

以上より、映像に対する適した匂いの単純な重畳は、体験の印象やリアリティの向上には寄与するが、身体感覚の錯覚を生起する要因としては機能しないと考える。ただし、匂いの提示法や作業時間の経過に応じた濃度の調整などにより、使用者に映像との連関を強調させることができれば、効果を発揮する可能性がある。

9.3.3. 各刺激の有効範囲

各実験で得られた結果から、2.4.2 節における没入感の定義を参考に、各感覚刺激の有効範囲を示す(図9-2)。4・5章の結果から、体性感覚刺激は、身体所有感・運動主体感を向上させることが示された。すなわち体性感覚刺激は、没入感を向上させようとする。また、嗅覚刺激は3章において体験のリアリティは向上させることが示された。しかし、7章の結果から身体所有感・運動主体感への影響はみられなかった。すなわち、嗅覚刺激はSlater[98]により定義されたPsiには影響するものの、本研究で定義した没入感には影響していないと考える。

9.4. 社会的貢献

本研究の第2の目的として、配信型追体験システムにおける訴求性の評価を挙げた。本節では訴求性の効果を、製品や技術に対する印象の向上効果と、動作習得効果の観点から考察する。

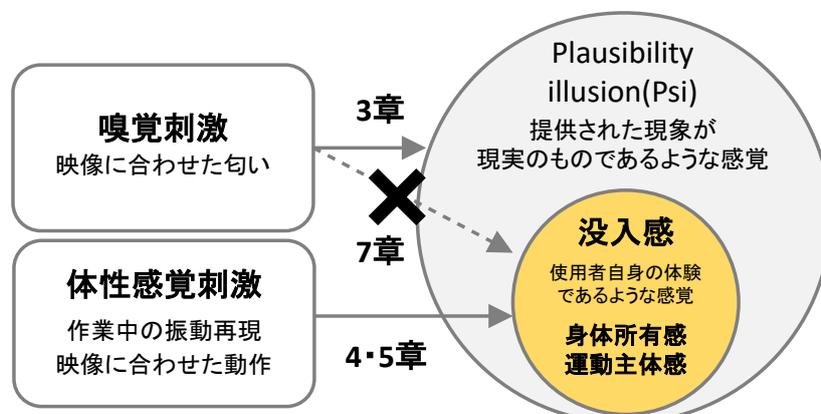


図9-2：体性感覚刺激・嗅覚刺激の有効範囲

9.4.1. 印象向上効果

3章では木製スプーンの製作体験を対象に、作業映像に対して、体性感覚刺激(Pseudo Haptics・追従動作)と、嗅覚刺激(ヒノキ)を提示するシステムを構築した。その結果から、体性感覚刺激(追従動作)と嗅覚刺激を単体で用いたときに、製品を「欲しい」という印象が向上することが示された。また、8章では「下市木工舎 市」がもつ豆かんなの技術を追体験するシステムを実装した。実際の職人の作業映像に対し、体性感覚刺激(振動刺激・追従動作)と嗅覚刺激を併用するシステムを使用させた後、製品・作業・システムによる体験に対する印象評価と、実際の製品に対する値付け評価を行った。その結果、提案システムの利用者は、製品をより高く値付けしており、製品の本質的な理解につながったと考える。

以上より、配信型追体験システムにおいて、映像に同期した体性感覚刺激(Pseudo Haptics・振動刺激・追従動作)と、映像に適切な嗅覚刺激の付与は、製品の印象向上に寄与すると示唆された。ただし、3章では追従動作と嗅覚刺激を同時に提示した場合、単体よりも効果は低くなった。8章の実験では各刺激を単体で用いた場合の検証を行っていないため、両刺激を併用した際の相互作用の影響は、検討の余地がある。

9.4.2. 動作習得効果

動作習得効果の検証は、8章のみで行った。豆かんなの技術を対象にしたシステムを用い動作の練習をさせた後、映像等の情報を提示せず、自由運動によって体験時の動作を再現するよう求めた。その際、どれだけ動作がトレースできるかを動作計測、押下圧計測によって明らかにした。その結果、提案システムを体験した参加者は、自由運動時の動作距離の標準偏差が小さく、動作距離にばらつきが少なかった。このことから、提案システムによって練習の精度が上がり、安定した動作をしやすくなった可能性を考えた。一方で押下圧の結果には差異がみられなかった。この原因として、映像が動作する圧力の幅を広く設定したことで難易度が下がりすぎてしまい、動作習得効果が発揮されなかった可能性がある。また、今回の実験では検証しなかったが、作業の動作の習得ではなく手順の習得に対しても効果的を発揮する可能性があるため、今後の検討課題であると考える。

以上より、本提案システムは一定の動作習得効果が期待されるものの、その効果を適切に発揮するためには難易度の設定が重要となる可能性が示唆された。ただし、印象向上効果と同様に、8章の実験では単体で刺激を用いた場合の検証を行っていないため、どちらの刺激の効果であるかは検討の余地がある。

9.5. 提案システムの実装に向けて

本研究ではメディアを用いて職人技を追体験することで、実体験よりも手軽に、映像

視聴よりも技術力を体感できるプロモーションが期待できると考え、配信型迫体験システムを構築した。本節では、本研究の提案システムを既存の体験コンテンツである、鑑賞コンテンツ（実演の鑑賞、映像の視聴）と現地等での実体験と比較し、「アクセシビリティ」と「没入感」、「訴求性」に対する位置づけを示す。さらに、提案システムの使用タイミングを消費者行動モデルに当てはめ、消費者の行動に与える影響を予測する。最後に本研究で明らかになった、提案システムの制約について言及し、提案システムを実装する上での知見とする。

9.5.1. 提案システムの位置づけ

本研究で提案したシステムはすべて「他者の実体験の模倣」を可能にするものであったが、アクセシビリティはシステムごとに異なっていた。そこで既存の体験コンテンツとの比較しながら、アクセシビリティと没入感・訴求性に対する本研究の提案システムの位置づけを示す。

まず、図 9-3 にアクセシビリティと没入感に対する位置づけを示す。鑑賞コンテンツはアクセシビリティが高く、没入感が低い。一方、実体験はアクセシビリティが低く、没入感が高い。3章で提案したシステムは **Pseudo Haptics** を用いており、触覚提示装置を用いず最小限の構成であったが、体性感覚刺激による効果は低かった。そこから改良を行い 4・5 章のシステムでは振動提示を行った。これによってアクセシビリティは低下したものの、没入感は向上することが示された。ただし前述のように、現在では振動提示は比較的容易に実装できる技術であり、十分なアクセシビリティが担保できていると考える。一方、7章では嗅覚刺激を導入し没入感の向上を図ったが、効果はみられずアクセシビリティのみを低下させる結果となった。

次に、図 9-4 にアクセシビリティと訴求性に対する位置づけを示す。鑑賞コンテンツはアクセシビリティが高く、訴求性が低い。一方、実体験はアクセシビリティが低く、訴求性が高い。3章で提案したシステムは、体性感覚刺激による効果は低かったため、4・5章のシステムでは体性感覚刺激の提示方法を改良した。さらに、8章ではゲーム性の導入と、体験者だけでなく見学者に対する視認性を向上させるシステムを構築した。これによってアクセシビリティは低下したが、訴求性は向上することが示された。ただし、4・5章時点での訴求性は検証していないため、ゲーム性を取り入れず（アクセシビリティを低下させず）とも、訴求性を向上させる可能性がある。

以上より、提案システムは従来の鑑賞コンテンツより没入感・訴求性が高く、実体験よりアクセシビリティが高いシステムであると考えられる。一方で、求められる性能は使用するシチュエーションによって異なると推察されるため、実装時にはアクセシビリティと没入感・訴求性とのバランスを検討する必要がある。

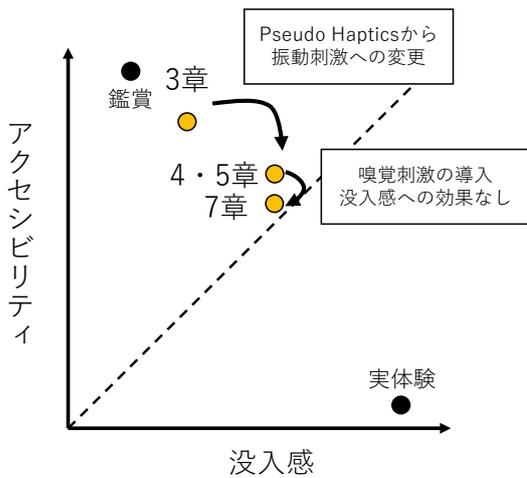


図 9-3 : アクセシビリティと没入感からみた位置づけ

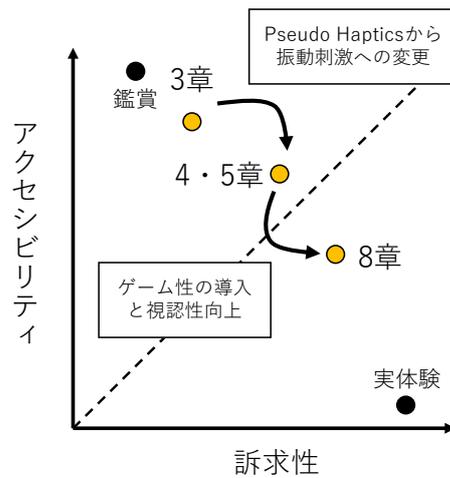


図 9-4 : アクセシビリティと訴求性からみた位置づけ

9.5.2. 提案システムの使用タイミング

従来の体験コンテンツである、鑑賞コンテンツ（実演の鑑賞や映像の視聴）と現地等での製作体験を AISAS モデル[101]に当てはめ、本研究で提案した配信型追体験システムが有用となる使用タイミングを考察する（図 9-5）。

プロモーションのプロセスに対し、提案システムが有用となるタイミングを 2 つ考える。1 つ目は認知・感情段階における鑑賞コンテンツの代用または併用としての使用である。鑑賞コンテンツは、情報を取得することはできるものの、職人技を体感することはできない。従来のプロセスで職人技を体感する場合、実体験によって、自身のスキルとの比較から間接的に体感することしかできなかった。しかし、本研究で提案した配信型追体験システムは他者の体験への没入感を生じさせることから、鑑賞コンテンツと

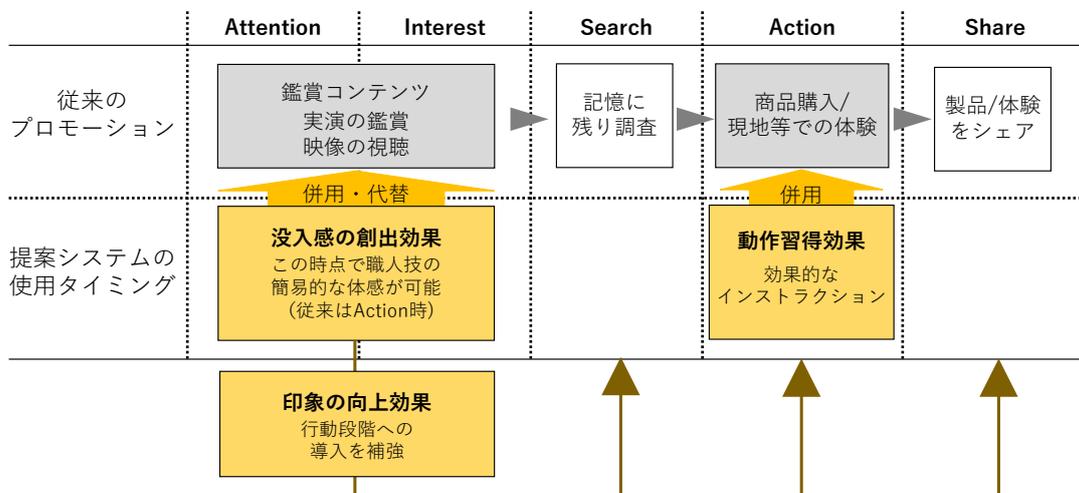


図 9-5 : AISAS モデルからみる提案システムの使用タイミング

併用, また代用することで追体験によって直接的に職人技を体感させることができると考える。提案システムによって製品の印象を向上させる効果が確認されているため, 認知・感情に対する訴求を行う段階で, 効果的なプロモーションを行うことができ, 行動段階への導入を補強できる可能性がある。2つ目は, 実体験時における併用である。システムの使用によって動作習得効果がみられたことから, インストラクションとして有用である可能性がある。短時間で技術を習得できたような感覚を提供するのみならず, 実際に効率的な動作の習得を可能にすれば, 体験の満足度を向上し, 共有や再行動を促す可能性があると考ええる。

また, 本研究で提案したシステムは, 従来の現地等での実体験よりも簡易的・直感的に他者の技術を体感することができる。そのため, 長距離の移動が困難な人や, 子供や障害者など, 通常の体験に危険を伴う人に対しても実施可能であり, 対象の幅を広げることができる。

以上より, 本研究で提案した配信型追体験システムがもつ没入感, 訴求性に対する効果によって, 鑑賞コンテンツによる訴求性の向上, 実体験の満足度の向上が期待でき, 行動(再行動)への導入を補強する可能性がある。

9.5.3. 本研究の制約

① 作業内容の制約

今回の実験で振動刺激と追従動作による没入感の効果は, 規則性がある連続動作に対して有効性を発揮することが示された。そしてその場合, 映像と動作の厳密な同期性は求められなかったため, 使用者の予想に反しない動作が繰り返されることが重要であると示唆された。つまり, 使用者が動作を予測しえない, 動作のタイミングや方向性が不規則な作業への応用は難しいと考える。加えて, 規則性の許容値は明らかになっていないため, 映像と使用者の動作の同期性に対するズレの許容値とともに更なる検討が必要である。

また, 体性感覚刺激による効果が発揮された3章以外のシステムは, 振動刺激を用いているため, 振動に特徴のない作業に対する応用は不適である。さらに嗅覚刺激は, 木工などわかりやすく汎用性の高い匂いであれば実装しやすいが, 匂いの生じない作業や独自性の高い匂いの場合, 実装は困難となる。

② ターゲットの制約

今回の提案システムは, 主体感を伴う他者の体験の追体験を可能にするものである。追体験であるため失敗することはなく, 簡易的に体験できるため, 技術の体感によるプロモーションを目的とするライトユーザへの体験に有用である。また, 安全性も担保されているため, 従来の体験は実施困難であった人に対しても実施可能であるというメリットがある。一方で, 本格的に技術を学びたい人(弟子入りをした人など)にとっては,

成功体験のみならず、失敗を重ねながら試行錯誤を繰り返す課程が重要となる。そのため、本研究での提案システムのターゲットとは異なる。ただし、そもそも本格的に技術を学びたいと思わせるための動機づけや、初学者に対する基礎的な技術のレクチャーに対しては、提案システムによる簡易的な体験は有用となると考える。

9.5.4. 本研究の対象範囲の制約

今回の実験では、使用者の属性による影響に留意が必要である。今回の3～5章、7・8章の実験の参加者は20歳前後の女子大学生に限定的であった。そのため、他の属性の実験参加者に対し実験を行い、効果を検証する必要がある。身体感覚の錯覚現象であるRHIの先行研究でも効果の年齢による影響は研究により意見が分かれており、年齢による差異はないとするもの[114]もあればシニア層(51-88歳)で弱くなると示しているもの[115]もある。しかし、こうした錯覚現象の効果は加齢に伴う運動反応や知覚感度、多感覚の統合の鈍化[116][117][118]が影響していると考えられるため、同程度の知覚感度をもつ使用者群に対しては、本研究結果も適用可能であると推測する。

また、6章における一般ユーザへの体験会は属性を問わず、様々な年代の男女が参加した。体験の感想や反応から、属性によって体験に対する興味関心の度合いは異なるものの、体験の質に対する印象には大きな差がなかったと推測する。ただし、経験の違いによって体験の質が変化した可能性は懸念事項である。実際にその道具を使ったことのある参加者の場合、その時の感覚の連想や実際の体験との比較ができ、体験したことがない参加者より、高い質の体験を提供できる可能性がある。特に嗅覚刺激と記憶の連関は強固であり、過去に経験した匂いによって体験が強化される可能性がある。以上より、今後の実験では参加者の年代や性別といった属性のみならず、個人の経験による没入感・訴求性の影響を調査する必要があると考える。

第 10 章 結論

10.1. まとめ

本研究では職人技の体感によるプロモーションを目指した配信型追体験システムを提案した。配信型追体験システムで問題となる没入感の低さを解決すべく、感覚刺激の重畳による身体感覚の錯覚現象に着目し、映像に対して体性感覚刺激・嗅覚刺激を重畳するシステムを提案した。本研究の目的は 2 つあり、第 1 に、身体所有感・運動主体感の観点から、提案したシステムの没入感への効果を定量的に評価するとともに、その作業要件を示すことであった。そして第 2 に、システムの訴求性を検証することであった。以下に各章のまとめを示す。

第 2 章では、メディアを用いた体験の事例と感覚重畳による知覚・身体感覚の錯覚現象の先行研究を参考に目指すべきシステムの要件を定義した。そしてシステムの機能として「他者の実体験の模倣」、「アクセシビリティ」を、求められる効果として「没入感」と「訴求性」を挙げた。

第 3 章では、Pseudo Haptics と追従動作、嗅覚刺激を用いた追体験システムを構築し、システムのリアリティと訴求性を検証した。その結果、体性感覚刺激と嗅覚刺激によって製品の印象が向上し、嗅覚刺激によってシステムのリアリティが向上することが示された。一方で体性感覚刺激の効果が小さかったことから、次章以降で刺激の提示法の改良を行った。

第 4～6 章では、体性感覚刺激の提示法の改良を目指し、木工の追体験システムを構築した。身体感覚の錯覚現象である Rubber Hand Illusion やミラーセラピーを応用し、振動刺激（映像中の作業者の触覚再現）と追従動作（映像に合わせた動作）を取り入れたシステムを構築した。その結果、追従動作によって身体所有感と運動主体感が、振動刺激によって身体所有感が向上することを示した（4 章）。また、こうした効果が生じる作業の要件として、映像と使用者の動作の厳密な同期性よりも、動作の予測性が重要であることを示した（5 章）。さらに、一般ユーザに対する木工の追体験システムの体験会を行った際に得られた感想から、システムの使用によって実際の技術に対する興味を促進する可能性が示唆された（6 章）。

第 7 章では、第 4～6 章で構築したシステムに嗅覚刺激を付与し、嗅覚刺激によって没入感が向上しうるか調査した。映像に対し、適切/不適切な嗅覚刺激を付与した場合の効果の差異を、身体所有感・運動主体感の観点から評価したが、匂いの種類・有無によ

る差異はみられなかった。

第 8 章では、第 4～7 章で構築したシステムを応用し、訴求性への効果を調査した。訴求性として、製品や技術の印象向上効果と体験による動作習得効果を評価した結果、両者が向上する傾向がみられた。

4～6 章の結果から、体性感覚刺激（振動刺激・追従動作）は没入感を向上させうることが示された。一方で 3 章と 7 章の結果から、嗅覚刺激は体験自体のリアリティは向上させうるものの、没入感の向上には寄与しないことが示唆された。ただし、今回の実験では匂いの知覚しやすさが異なっていたことが結果に影響した可能性がある。

また、3 章と 8 章の結果から、体性感覚刺激・嗅覚刺激の重畳によって対象への印象向上効果と体験の動作習得効果が確認された。すなわち、提案システムの使用によって訴求性が向上することが示唆された。

以上より、本研究で提案した追体験システムは、配信型でありながら体験への没入感を創出しようとともに、提案システムの使用が対象物の訴求に対して有用であると示された。

10.2. 今後の展望

1 章で述べたように、工芸の市場は衰退の一途をたどり、その保全と振興は喫緊の課題である。今回の実験では木工を対象にしていたが、今回得られた知見は様々な技術へと応用可能であると考えられる。また、感覚共有による動作習得効果が示唆されたことから、プロモーションだけでなく、技術伝承のためのトレーニングツールとしての応用も期待される。

また、2020 年は、COVID-19 の感染が拡大したことが影響しオンラインコンテンツの需要・活用が飛躍的に増加した。一方で、現状のオンラインコンテンツは視聴覚情報に終始しており発展途上である。本研究で提案したシステムはアクセシビリティを重視した構成になっており、これを発展させることで、自宅にいながらにして感覚的な体験を可能にすると考えられる。こうした発展を通じ、個人が抱える物理的・身体的な制約に関わらず、クリエイティビティを発揮できるような体験を提供していきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教員である佐藤克成先生には約 8 年もの長きにわたり、大変お世話になりました。幾度となく熱心に指導していただきましたこと、感謝してもしきれない思いです。学部生の時に佐藤先生の授業で知った「ダイアログ・インザダーク」。この体験をしたとき、たった数時間の体験が人の価値観を揺さぶることができるのだと心から感動しました。そして人の感覚の統制による大きな可能性を感じたことが、私の現在の研究の原体験です。入学当初は想定しえなかった方法で、工芸の振興にアプローチできていることは、ひとえに佐藤研究室のおかげです。

副指導教員の才脇直樹先生、椎尾一郎先生、藤平真紀子先生、博士論文の副査を引き受けてくださった室崎千重先生をはじめ、奈良女子大学、お茶の水女子大学の先生方には数々の研究のアドバイス等をいただき、研究の内容を深めることができました。COVID-19 の流行というイレギュラーな事態の中、つつがなく博士論文の審査を進めていただけたこと、心から感謝いたします。そして、学部生時代にお世話になった後藤景子先生。後藤先生がおっしゃった「期待しています」という一言がとても嬉しく、日々の研究の励みになりました。

約 10 年間の学生生活の中で、挫折しそうなとき、思い悩むときがたくさんありました。自分の研究が社会に少しでも貢献できるのか、目指す未来に近づけているのか不安になることもありました。そのたびに、話し合い、寄り添い、支えてくれた両親、姉、そして夫がいたからこそ、ここまで研究を続けることができました。たくさん迷惑をかけました。本当にありがとう。

幼いころから研究者である父の背中を見て育ち、自分でも気づかぬうちにいつしか私も研究者になりたいと思うようになりました。苦悩しながら、でもとても楽しそうに仕事をしていた父の姿をよく覚えています。その初心を忘れぬよう、支えてくださったすべての人に恥じぬよう、人として、研究者として、まっすぐに生きていきたいと思えます。これまでの大きな感謝と、ここからの研究者としての誓いを、ここに記します。

最後になりましたが、忙しい中時間を割いてくださった実験参加者の方々、楽しい研究室のみなさん、学生時代から変わらない奈良女の友人たち、ご協力いただいた下市木工舎 市および清水建設株式会社の職人の方々にこの場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 池見陽編者: 傾聴・心理臨床学アップデートとフォーカシング 感じる・話す・聴くの基本, ナカニシヤ出版, 京都府(2016.4)
- [2] 池井寧, 広田光一, 阿部浩二, 雨宮智浩, 佐藤誠, 北崎充晃: 身体的追体験の概念の提案と一部機能の試験実装; 日本バーチャルリアリティ学会誌, 24(2), 153-164(2019.6)
- [3] 文化経済学会〈日本〉: 文化経済学—軌跡と展望—, 株式会社ミネルヴァ書房 (2016.6)
- [4] 経済産業省 HP「伝統工芸品に関する法律について」:
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/nichiyo-densan/densan/designation.html
- [5] 経済産業省 HP「伝統工芸品産業振興補助金について」:
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/nichiyo-densan/densan/yosan.html
- [6] 原岡知宏: 伝統ものづくりに対する評価の変革と期待への提言, NETT, No.109, 2020 summer, 16-19(2020)
- [7] 一般財団法人伝統的工芸品産業振興協会 HP「現状」:
<https://kyokai.kougeihin.jp/current-situation/>
- [8] 内閣府 HP「クールジャパン戦略について」:
https://www.cao.go.jp/cool_japan/about/about.html
- [9] 日本政府観光局 (JNTO)HP「訪日外客統計」:
https://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/data_info_listing/index.html
- [10] 観光庁 HP「訪日外国人の消費動向: 2019 年年次報告書」: chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbfmadadm/https://www.mlit.go.jp/kankocho/siryou/toukei/content/001345781.pdf
- [11] Schmitt, B.: Experiential Marketing; Journal of Marketing Management, 15:(1-3), 53-67, (1999)
- [12] 山上徹: 観光の京都論, 学文社 (2010.3)
- [13] 佐々木土師二: 旅行者行動の心理学, 関西大学出版部 (2000.5)
- [14] 林幸史, 藤原武弘: 観光地での経験評価が旅行満足に与える影響—観光動機と旅行経験の観点から—, 関西学院大学社会学部紀要 (114), 199-212, (2012.3)
- [15] Pearce P.L., Moscardo G.M.: The relationship between travellers' career levels and the concept of authenticity; Australian Journal of Psychology, 37 (2). 157-174(1985.8)
- [16] Makers' Base HP: <https://makers-base.com/>
- [17] Tussyadiah I.P., Wang D., Jung T.H., Dieck M.C.T.: Virtual reality, presence, and attitude

- change: Empirical evidence from tourism; *Tourism Management*, 66, 140-154 (2018.6)
- [18] Guttentag D.A.: Virtual reality: Applications and implications for tourism; *Tourism Management*, 31(5), 637-651 (2010.10)
- [19] トップパン VR・デジタルアーカイブ : <http://www.toppan-vr.jp/bunka/>
- [20] 杉田薫, 宮川明大, 柴田義孝 : JGN を利用した VR デジタル伝統工芸システム ; 情報処理学会 43 (2), 633-646 (2002.2)
- [21] Kim S., Uchiyama Y., Yagi K., Kawai T.: Gazing behavior by viewing heritage using a head-mounted display; *Proceedings of The 2nd Asian Conference on Ergonomics and Design 2017*, 53(2), 604-607(2017.6)
- [22] 土居巧果, 河合隆史, 中村直靖, 内山悠一 : シネマチック VR における文化財の表現手法が興味・関心に及ぼす影響 ; 第 23 回バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2018.9)
- [23] 土居巧果, 河合隆史, 中村直靖, 黒田敏康, 内山悠一 : 文化財 VR コンテンツの鑑賞が 類似文化の受容や印象に及ぼす影響 ; 第 24 回バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2019.9)
- [24] Wan C.S., Tsaur S.H., Chiu Y.L., Chiou W.B. : Is the advertising effect of virtual experience always better or contingent on different travel destinations?; *Information Technology & Tourism*, 9(1), 45-54(2007.1)
- [25] Riley R. W., Van Doren C. S.: Movies as tourism promotion: a “pull” factor in a “push” location; *Tourism Management*, 13(3), 267-274(1992.9)
- [26] Tooke N., Baker M.: Seeing is believing: the effect of film on visitor numbers to screened locations; *Tourism Management*, 17(2), 87-94(1996.5)
- [27] Thomas W., Carey S.: Actual/virtual visits: what are the links?; *Museums and the Web 2005: Proceedings(April 13-16)*(2005.4)
- [28] 理化学研究所計算科学研究センター 特別ポスター「シミュレーション図」公開 : <https://www.r-ccs.riken.jp/library/topics/170329-1.html>
- [29] Seymour N. E., Gallagher A. G., Roman S. A., O'Brien M. K., Bansal V. K., Andersen D. K., Satava R. M.: Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study; *ANNALS OF SURGERY*, 236(49), 458-464 (2002.10)
- [30] Lin Y., Wang X., Wu F., Chen X., Wang C., Shen G.: Development and validation of a surgical training simulator with haptic feedback for learning bone-sawing skill; *Journal of Biomedical Informatics*, 48, 122-129 (2014.4)
- [31] 綿貫啓一: バーチャルトレーニングと実習を融合したものづくり技術者の育成支援; *工学教育*, 56(6), 104-111 (2011.11)
- [32] Zoran A., Paradiso J. A.: FreeD- A Freehand Digital Sculpting Tool; *2013 ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2613-2616 (2013.4)

- [33] 本間達, 若松秀俊: 力覚表示システムに応用可能なノコギリの切離モーメントの算出; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 9(3), 319-325 (2004.9)
- [34] Bailenson J., Kayur P., Nielsen A., Bajscy R., Jung S. H., Kurillo G.: The Effect of Interactivity on Learning Physical Actions in Virtual Reality; *Media Psychology*, 11(3), 354-376 (2008.9)
- [35] Smith A. W. B., Lovell B. C.: Autonomous sports training from visual cues; In *Proceedings of the Third Australian and New Zealand Conference on Intelligent Information Systems*, 279-284 (2003.12)
- [36] 横窪安奈: 伝統芸道に親しむことを目指したコンピュータアプリケーション; PhD Thesis(2020.3)
- [37] 平俊男, 山岡信介: 力覚提示装置を用いた仮想毛筆書字システムによる技能的動作の解析; 奈良工業高等専門学校研究紀要 45 (2010.3)
- [38] 永井 亮一, 坂口 正道, 荒田 純平, 藤本 英雄: 力覚を伴うろくろ成形シミュレータの開発; 日本機械学会ロボティクス メカトロニクス講演会'07 講演論文集 (2007.5)
- [39] 舘暲: テレイグジスタンス; 日本ロボット学会誌, 33(4), 215-221(2015.6)
- [40] Goertz R. C., Thompson W. M.: Electronically Controlled Manipulator; *Nucleonics*, 12(11), 46-47 (1954.11)
- [41] 舘暲, 井上康之, 加藤史洋, Charith Ferando, Yamen Sarajji: テレイグジスタンスの研究 (第 96 報) -TELESAR VI: 67 自由度を有するテレイグジスタンス AVATAR システム-; 第 15 回テレイグジスタンス研究会 (2020.2)
- [42] avatarin HP: <https://avatarin.com/>
- [43] Heilig M.: U.S. Patent #3,050,870 (1962)
- [44] 池井寧: バーチャルリアリティによる身体的追体験; *バイオメカニズム学会誌* 43(1), 17-22 (2019.2)
- [45] Mizushina Y., Fernando C. L., Minamizawa K., Tachi S.: Haptic broadcasting. -System of Transmitting the Experience in Badminton-; *EuroHaptics 2014, Proceedings*, 466-468 (2014.6)
- [46] Cha J., Ho Y. S., Kim Y., Ryu J., Oakley I.: A Framework for Haptic Broadcasting; *IEEE Multi Media*, 16(3), 16-27 (2009.9)
- [47] 茶人が点てるお茶の振る舞い/触覚を共有する「Haptic 茶道」体験会レポート: https://fabcafe.com/jp/magazine/kyoto/201800526_haptic-sado_report/
- [48] Fukuda T., Tanaka Y.: Skin Vibration-Based Tactile Tele-Sharing; *Asia Haptics2018, Haptic Interaction* 82-84(2018.11)
- [49] Botvinick M., Cohen J.: Rubber hands 'feel' touch that eyes see; *Nature*, 391, 756 (1998.2)
- [50] Slater M., Perez-Marcos D., Ehrsson H. H., Sanchez-Vives M. V. Towards a digital body: the virtual arm illusion; *Frontiers in Human Neuroscience*, 2(6) (2008.8)

- [51] Tsakiris M., Longo M.R., Haggard P.: Having a body versus moving your body: Neural signatures of agency and body-ownership; *Neuropsychologia*, 48(9), 2740-2749 (2010.7)
- [52] Kalckert A., Ehrsson H. H.: Moving a rubber hand that feels like your own: a dissociation of ownership and agency; *Frontiers in Human Neuroscience*, 6 (40) (2012.3)
- [53] Tsakiris M., Haggard P.: The Rubber Hand Illusion Revisited: Visuotactile Integration and Self-Attribution; *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(1), 80-91 (2005.2)
- [54] Farmer H., Jiménez A. T., Tsakiris M.: Beyond the colour of my skin: How skin colour affects the sense of body-ownership; *Consciousness and Cognition* 21, 1242–1256 (2012.4)
- [55] Ma K., Hommel B.: Body-ownership for actively operated non-corporeal objects; *Consciousness and Cognition* 36, 75–86 (2015.6)
- [56] Ramachandran V. S., Rogers-Ramachandran D.: Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors; *Proc Biol Sci* 263, 263(1369), 377–386 (1996.4)
- [57] Altschuler E. L., Wisdom S. B., Stone L., Foster C., Galasko D., Llewellyn D. M., Ramachandran V. S.: Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror; *Lancet*, 353(9169), 2035–2036 (1999.6)
- [58] Rosén B., Lundborg G.: Training with a mirror in rehabilitation of the hand; *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery*, 39(2), 104-108 (2005.2)
- [59] Nojima I., Mima T., Koganemaru S., Thabit M. N., Fukuyama H., Kawamata T.: Human Motor Plasticity Induced by Mirror Visual Feedback; *The Journal of Neuroscience*, 32(4), 1293-1300 (2012.1)
- [60] Rinderknecht M. D., Kim Y., Santos-Carreras L, Bleuler H., Gassert R.: Combined Tendon Vibration and Virtual Reality for Post-Stroke Hand Rehabilitation; *IEEE World Haptics Conference*, 277-282 (2013.4)
- [61] 西出圭佑, 坂口正道, 和坂俊昭: 視覚と触覚を同時に提示するボール回しシステムの運動錯覚の検証; *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 24(4), 413-420(2019.12)
- [62] Hinckley K., Pausch R., Goble J. C., and Kassell N. F.: Passive Real-world Interface Props for Neurosurgical Visualization; *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 452-458 (1994.4)
- [63] Hoffman H. G.: Physically touching virtual objects using tactile augmentation enhances the realism of virtual environments; *Proceedings. IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium*, 59-63 (1998.3)
- [64] Insko, B. E.: *Passive Haptics Significantly Enhances Virtual Environments*; PhD Thesis (2001)
- [65] Fujinawa E., Yoshida S., Koyama Y., Narumi T., Tanikawa T., Hirose M.: Computational design of hand-held VR controllers using haptic shape illusion; *Proceedings of the 23rd ACM*

- Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 1-10 (2017.11)
- [66] Pusch A., Lécuyer A.: Pseudo-Haptics: From the Theoretical Foundations to Practical System Design Guidelines; Proceedings of the 13th International Conference on Multimodal Interfaces, ICMI 2011(Alicante, Spain, November 14-18), 57-64 (2011.11)
- [67] Watanabe K., Yasumura M.: Visual Haptics: Generating Haptic Sensation Using Only Visual Cues; Proceedings of the International Conference on ACE2008 (Yokohama, Japan, December 3-5, 2008), 405(2008.12)
- [68] Hattori A., Shibahara M., Sato K.: Presentation of Cloth Texture on Touch Panel using Pseudo Haptics; Work-in-progress of IEEE World Haptics 2017 (Munich, Germany, June 6-9, 2017) (2017.6)
- [69] Ujitoko Y., Hirota K.: Impact of Illusory Resistance on Finger Walking Behavior; Proceedings of IEEE VR 2015 (Arles, Camargue-Provence, France, March 23-27), 301-302, (2015.3)
- [70] YouTube 安室奈美恵 「Golden Touch -10 Million Views New Edit-」 Music Video : <https://www.youtube.com/watch?v=N6HPANTzA9w>
- [71] Dinh H. Q., Walker N., Song C., Kobayashi A., Hodges L. F.: Evaluating the Importance of Multi-sensory Input on Memory and the Sense of Presence in Virtual Environments; Proceedings of IEEE VR'99 (Houston, TX, March 13-1999), IEEE VR'99, 222-228(1999.3)
- [72] Tomono A., Kanda K., Otake S.: Effect of Smell Presentation on Individuals with Regard to Eye Catching and Memory; Electronics and Communications in Japan, 94(3), 478-486, (2011.2)
- [73] Zald D. H., Pardo J. V.: Emotion, olfaction, and the human amygdala: Amygdala activation during aversive olfactory stimulation; Neurobiology, 94, 4119-4124(1997.4)
- [74] 三浦久美子, 斎藤美穂 : 香りの分類及び調和色の検討 ; 日本色彩学会誌, 30 (4), 184-195 (2006.12)
- [75] 三浦久美子, 斎藤美穂 : 香りに対する調和色の検討 ; 日本色彩学会誌, 31 (4), 256-267 (2007.12)
- [76] Sakai N., Imada S., Saito S., Kobayakawa T., Deguchi Y.: The effects of visual images on perception of odors; Chemical Senses, 30(1), 244-245 (2005.1)
- [77] Demattè M.L., Sanabria D., Spence C.: Cross-Modal Associations Between Odors and Colors; Chemical Sense, 31, 531-538 (2006.4)
- [78] Brkic B. R., Chalmers A., Boulanger K., Pattanaik S., Covington J.: Cross-modal affects of smell on the real-time rendering of grass; SCCG '09: Proceedings of the 25th Spring Conference on Computer Graphics, 161-166, (2009.4)
- [79] Brianza G., Tajadura-Jiménez A., Maggioni E., Pittera D., Berthouze N. B., Obrist M.: As Light as Your Scent: Effects of Smell and Sound on Body Image Perception; Human-

Computer Interaction – INTERACT 2019. INTERACT 2019. Lecture Notes in Computer Science, 11749(2019.8)

- [80] 坂井信之, 今田純雄, 斉藤幸子, 小早川達, 高島靖弘: ニオイと視覚刺激との一致／不一致がニオイの強度評定に及ぼす効果; 日本味と匂学会誌, 10 (3), 483-486 (2003.12)
- [81] Morrot G., Brochet F., Dubourdieu D.: The Color of Odors; Brain and Language, 79, 309-320 (2001.11)
- [82] ドナルド・A. ウィルソン, リチャード・J. スティーブソン (訳: 鈴木まや, 柗木隆寿): 「においオブジェクト」を学ぶ: 神経生物学から行動科学が示すにおいの知覚; フレグランスジャーナル社 (2013.1)
- [83] 坂井信之: 他の感覚が嗅覚知覚に及ぼす影響; におい・かおり環境学会誌, 37 (6), 431-435 (2006.11)
- [84] Laird D. A.: How the consumer estimates quality by subconscious sensory impressions; Journal of Applied Psychology, 16, 241-300 (1932)
- [85] Demattè M. L., Sanabria D., Sugaeman R., Spence C.: Cross-modal interactions between olfaction and touch; Chemical Senses, 31, 291-300 (2006.5)
- [86] Demattè M. L., Sanabria D., Spence C.: Olfactory-tactile compatibility effects demonstrated using a variation of the Implicit Association Test; Acta Psychologica, 124, 332-343 (2007.3)
- [87] Kitamoto T., Soeta Y., Hasegawa H.: Effects of Fragrance on Subjective Impressions of Wet Cotton Cloth “Oshibori”; proceeding of ISASE 2015 (2015.3)
- [88] 西野由利恵, Kim D. W., Liu J., 安藤広志: 香りが感触に与える効果に関する心理物理学的分析; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 19 (1), 17-23 (2014.3)
- [89] 庄司健: 嗅覚が他の感覚知覚に及ぼす影響; におい・かおり環境学会誌, 37 (6), 424-430 (2006.11)
- [90] 井上光, 佐藤克成: ヒノキの匂いから連想する触感が木材・プラスチック樹脂の触感に及ぼす影響, 日本感性工学会論文誌, 17(1), 71-78 (2017.10)
- [91] 井上光: 嗅覚刺激が素材の触感知覚に及ぼす影響; 奈良女子大学大学院人間文化研究科修士論文 (未公刊) (2018.3)
- [92] 山本晃輔, 野村幸正: 自伝的記憶を紡ぎ出す匂いの働き; Aroma Research, 6 (2), 130-136 (2005.5)
- [93] 山本晃輔: におい手がかりが自伝的記憶検索過程に及ぼす影響; 心理学研究, 79(2), 159-165 (2008.6)
- [94] Cann A., Ross D. A.: Olfactory stimuli as context cues in human memory; Am J Psychol, 102 (1), 91-102 (1989)
- [95] Herz R. S.: The effects of cue distinctiveness on odor-based context-dependent

- memory; *Memory & Cognition*, 25(3), 375-380 (1997.5)
- [96] 株式会社 WOW HP 「POPPO 展」 : <https://www.w0w.co.jp/art/poppo>
- [97] Sanchez-Vives, M., Slater, M.: From presence to consciousness through virtual reality; *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 332–339 (2005.4)
- [98] Slater, M.: Place Illusion and Plausibility Can Lead to Realistic Behaviour in Immersive Virtual Environments; *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 364(1535), 3549-3557 (2009.12)
- [99] Gallagher S.: Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science; *Trends in Cognitive Sciences*, 4(1), 14–21 (2000.1)
- [100] 小野浩史, 青島智恵, 森川泰成, 吉澤望, 平手小太郎 : 提示装置の違いによる現実感・没入感・設計ツールとしての有効性の検証 : バーチャルリアリティを用いた住環境提示システムにおける実空間再現性の検討 その 2, *日本建築学会環境系論文集*, 69(583), 57-63 (2002.9)
- [101] 電通 S.P.A.T.チーム編 : 買いたい空気づくり方—AISAS 型購買行動に対応する広告・販促・陳列・接客等のアイデアを電通が提案, *ダイヤモンド社* (2007.6)
- [102] M. Csikszentmihalyi, *Flow: The Psychology of Optimal Experience*, Harper Perennial(1990) 今村訳, *フロー体験 喜びの現象学*, 世界思想社(1996)
- [103] Minamizawa K., Kakehi Y., Nakatani M., Mihara S., Tachi S.: *TECHTILE toolkit: a prototyping tool for design and education of haptic media*; *Proceedings of the 2012 Virtual Reality International Conference*, 1-2 (2012.3)
- [104] Lloyd M. D.: *Spatial Limits on Referred Touch to an Alien Limb May Reflect Boundaries of Visuo-Tactile Peripersonal Space Surrounding the Hand*; *Brain and Cognition*, 64(1), 104-109 (2007.6)
- [105] Lira M., Egito J. H., Dall’ Agnol P. A., Amodio D. M., Gonçalves Ó. F., and Boggio P. S.: *The influence of skin colour on the experience of ownership in the rubber hand illusion*; *Scientific Reports*, 7(1), 15745 (2017.11)
- [106] 増田正: ～口伝 表面筋電図篇～ ただいま処理中の巻; *バイオメカニズム学会誌*, 25(2), 88-92 (2001.5)
- [107] Tsakiris M., Patrick H.: *The Rubber Hand Illusion Revisited: Visuotactile Integration and Self-Attribution.*; *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(1), 80-91 (2005.2)
- [108] 下市木工舎 市 HP: <https://ichi-shimoichi.com/>
- [109] 若田忠之, 齋藤美穂 : 精油を用いた香りの心理学的分類—SD 法を用いた印象による香りの分類—; *日本感性工学会論文誌*, 13 (5), 591-601(2014.5)
- [110] Nakamoto T., Yoshikawa K.: *Movie with Scents Generated by Olfactory Display Using Solenoid Valves*; *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*, 291-

292(2006.3)

- [111] 竹村明久, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, 藤本徹: においの強さ・快適性に関する各種の言語評定尺度における表現用語感覚の比較; 日本建築学会環境系論文集 74 (638), 495-500(2009.4)
- [112] iPhone - Apple (日本) : <https://www.apple.com/jp/iphone/>
- [113] Nintendo Switch | 任天堂 : <https://www.nintendo.co.jp/hardware/switch/>
- [114] Palomo P., Borrego A., Cebolla A., Llorens R., Demarzo M., Baños R.: Subjective, behavioral, and physiological responses to the rubber hand illusion do not vary with age in the adult phase; *Consciousness and Cognition*, 58 (2017.11)
- [115] Ferracci S., Brancucci A.: The influence of age on the rubber hand illusion; *Consciousness and Cognition*., 73 (2019.5)
- [116] Kállai J., Péter K., Labadi B., Dorn K., Szolcsányi T., Gergely D., Hupuczi E., Janszky J., Csatho A.: Multisensory integration and age-dependent sensitivity to body representation modification induced by the rubber hand illusion; *Cognitive Processing*, 18(1) (2017.8)
- [117] Salthouse T.: The Processing-Speed Theory of Adult Age Differences in Cognition; *Psychological review*, 103(3), 403-428 (1996.8)
- [118] Ribeiro F., Oliveira J.: Aging effects on joint proprioception: The role of physical activity in proprioception preservation; *European Review of Aging and Physical Activity*, 4(2), 71-76 (2007.3)

関連発表

・ Hikari Yukawa and Katsunari Sato

Virtual Crafting Experience: Hand Motion and Scent Stimulation in Conjunction with a Promotional Video for Improving Interest, IEEE VR2019 (2019.3)

・ 湯川 光, 佐藤 克成:

非同期型追体験システムの身体所有感と動作の主体感に対する振動刺激と追従動作の効果,

日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 25, No. 4, pp. 374-383 (2020.12)

・ 湯川 光, 佐藤 克成:

非同期型追体験システム使用時の身体所有感に対する嗅覚刺激の効果,

計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2020) 講演論文集 (2020.12)

ABOUT

市について



市の思い

吉野杉の美しさ、ぬくもりを伝えたい。

市は2014年、奈良県と下市町、木工芸家・徳永順男の共同プロジェクトとしてスタートした、鉋(かんな)仕上げによる吉野杉の家具を製作する工房です。工房設立のきっかけは、プロジェクトを立ち上げた徳永に依頼された「吉野杉でデスクを作って欲しい。」という一つの注文でした。杉は柔らかく傷、汚れが付きやすいなどの理由から、家具にあまり使われていません。一般的に家具に使われる広葉樹に比べ、安っぽいイメージが先行しがちです。実際、「杉で大丈夫か?」と若干の不安を持ちながら、製作をスタートさせました。しかし完成した吉野杉のデスクは、それらの先入観を完全に覆すほど美しく、品の良いものだったのです。

さらに吉野杉を使っていく中でその背景にある歴史や技術、人、そして現状を知れば知るほど、今吉野杉を使う意義の大きさを感ずるようになっていきました。多くの人に吉野杉の美しさ、ぬくもりを感じてもらいたい。そして、鉋や吉野杉という日本が世界に誇れる技術、文化を継承していきたい。ただ家具を作るのではなく、それに必要な道具や木、それらを作る技術や人の思いを伝え、お客様と繋いでいく。そんなものづくりをしていきたいと思っています。

木工の町

平安時代からの吉野への入り口
自然豊かな木工の町、下市町。

工房がある下市町はその名が示すように中世以降、吉野山地と大和平野を結ぶ交通の要衝として交易が盛んになったことから市場町として栄えました。また割り箸や三宝といった良質の吉野杉、桧を素材とした地場産業が発展してきた木工の町でもあります。

ふらりと工房を訪れるおばちゃんから「きれいな柾目の良い杉使ってるね。」
「赤身ばかり使って贅沢やねー!」といった言葉が普通に出てくる、そんなところです。昔は小さな木工所が沢山あり、木の香りに溢れていた町で育った地元の方たちは、暖かく私たちを応援してくれています。吉野杉や檜を愛する人々が暮らす木工の町、下市町。そんな最高の場所に工房はあります。



CONCEPT

市のこだわり



吉野杉

奈良県の高級ブランド「吉野杉」

吉野における植林の歴史は古く、約五百年前の室町時代までさかのぼる事ができます。これだけ長い歴史を持つ人工森は世界的に見ても非常に稀です。当工房の家具に使われている吉野杉の多くは樹齢百年以上のものですが、それは最低でも親子二代にわたって育てられた木ということです。何十年何百年の先を見据えて、今、木を植え育てる。吉野の人々はそうして幾世代にもわたり山を大切に育ててきたのです。そんな思いと自然の厳しさに育てられた杉が、私たちの家具の材料です。あなたも吉野杉の家具と暮らすことで、日本の木の文化を紡いでいきませんか？

吉野杉の特徴

美しい柾目

吉野林業では山に木を植える際、他の産地に比べて木を密集させて植えます。その本数は約3倍にもなります。このように密植された木は、光を求めて上へ上へとまっすぐに伸びようとします。そして、時期を見て少しずつ何度も間伐を行い、最終的に1本を大きく育て上げるのです。このように、成長の過程で木をお互いに競い合わせることで、木はゆっくと、まっすぐに成長します。その結果、年輪幅が狭く均一な、美しい柾目を持つ杉が育つのです。



色艶、香りの良さ

吉野杉は油分が多く、年月が経つと美しい飴色に色艶が変化していきます。使い込むほどに変化していく味わいを楽しめるのも吉野杉ならではの特徴です。また香りも良く、江戸時代から酒樽として多く使われてきました。この香りにはフィトンチッドという香り成分が含まれ、防臭、消臭効果、さらには防腐、殺菌効果もあることが知られています。体にいいことも実験的に明らかになってきており、「精神を安定させる」「不眠を解消する」など、心身を深いリラクゼーションへ導くといった効果が報告されています。また、杉やヒノキといった針葉樹には広葉樹よりも多くのフィトンチッドが含まれており、木工製品になってからもその効果は持続すると言われてています。

柔らかさ

杉は非常に柔らかい木で、一般的な広葉樹の家具に比べ傷や凹みが付きやすくなってしまいます。しかし、当工房ではその杉の柔らかさを、人が手を置いたり、座ったりしたときにやさしく感じられるという長所と捉えています。杉からしか感じる事が出来ない心地のよさが確かにあるのです。特に椅子の座や背に使うと木の椅子とは思えないほど、優しくあたたかな座り心地になります。

鉋仕上げ

鉋だけが作り出せる光と質感

現在、一般的な木工製品はサンドペーパーによって仕上げられています。一方、当工房では仕上げにサンドペーパーを使わず、鉋で形を作りながら、最終的な木の表面の仕上げまでしていきます。それは鉋仕上げでしか得ることのできない、木そのものの美しさやぬもりがあるからです。何十年、何百年と大切に育てられた木を最高の姿にして使い、繋いでいきたい。そんな木に対する職人の感謝や敬意の想いを形にするのが鉋仕上げです。

鉋(かんな)

古来、日本の木造建築では、柱や天井などに木を地肌のまま使うことが多くみられます。これは木の持つ調湿性が室内環境を良くすることを知っていたからだけでなく、自然を身近に感じたいという日本人の感性があったからです。鉋は、そうした中で木を活かして使うための道具として独自の発展をしてきた、日本が誇る優れた道具なのです。私たちは大小、形の様々な鉋を使いますが、それらはすべて用途や使い勝手を考え、自ら作ります。鉋仕上げの家具を作る前に、まず鉋を作るところから始めるのです。そしてさらに刃の砥ぎ、台の調整、削り方などを身につけなければ思うような仕事は出来ません。最高の道具とそれを使いこなす技術が市の家具を作り出すのです。

自然な手触りと透明感

一般的な木工製品の仕上げは、サンドペーパーの番手を粗目から細目へと変えながら行きます。その過程で木の表面はサンドペーパーの堅い砂の粒によって傷だらけとなっていく、それはいくら目の細かいサンドペーパーを使っても取り切れません。一方、鉋は刃で切って仕上げていくので、木の表面を傷だらけにすることなく、透明感のある自然な仕上がりとなります。その肌触りの心地よさや、経年変化による色艶の上がり方は、サンドペーパーとは全く異なるものです。それは、切れ味の良い包丁で捌いた刺身は口当たりがまるやかで美味しいといわれるのにも通じることもありません。

滑らかな曲線美

無垢の木はプラスチックなどと違い、硬さが均質ではありません。そのため、サンドペーパーをかけていると、木の柔らかい部分の方が堅い部分よりも多く削られ、滑らかで線の通った曲線を作るのが非常に困難です。しかし、鉋を使うと木の柔らかい、堅い関係なく凸凹のない滑らかで美しい曲線を削り出すことが出来ます。鉋の一振りが削り出す線の通った一本一本の曲線が、出来上がったものに躍動感を与えてくれます。



商品情報

■製品写真



製品名：木星チェア

サイズ：幅480mm，奥行き520mm，高さ830mm，座面の高さ440mm

素材：背もたれ・座面/杉，脚/ケヤキ

制作工房：下市木工舎 市 ichi

■使用イメージ

