

Title	HaptoRoom : 部屋全体に触覚を重量する空間メディアのデザイン
Sub Title	HaptoRoom : spatial media design to superimpose haptics on the room
Author	ツジ田, 喜琉(Tsujita, Kiryu) 南澤, 孝太(Minamizawa, Kōta)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2024
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2024年度メディアデザイン学 第1156号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002024-1156">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002024-1156</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2024年度

HaptoRoom: 部屋全体に触覚を重畳する  
空間メディアのデザイン



慶應義塾大学  
大学院メディアデザイン研究科

辻田 喜琉

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に  
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

辻田 喜琉

研究指導委員会：

南澤 孝太 教授 (主指導教員)

佐藤 千尋 准教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

南澤 孝太 教授 (主査)

佐藤 千尋 准教授 (副査)

陳 敦雅 准教授 (副査)

修士論文 2024 年度

# HaptoRoom: 部屋全体に触覚を重畳する 空間メディアのデザイン

カテゴリ：デザイン

## 論文要旨

メディアと場所はそれぞれ独立に進化しながら相互に影響を与え、空間を形成し、人の認知や行動に作用してきた。本研究では、触覚を介してこの空間の在り方を再考し、場所とメディアの両義性を持つ新たな空間メディアの可能性を探る。そこで、既存の物理空間に複数のデジタル触覚空間を重ね合わせることで、場所性とメディア性を持つ触覚空間メディア「HaptoRoom」をデザインする。まず、空間が与える触覚が暗黙的に人の認知に与える影響を検討し、触覚空間の有用性を明らかにする。その上で、床型触覚デバイスを開発し、触覚を通して物理空間とデジタル空間を重畳することで、空間の新たな活用法の可能性を探求する。また、複数のクリエイターとの共創を通じて、メディアとしてのプラットフォーム性を実証する。さらに、産学連携を通じて、既存の場所の機能を損なうことなく触覚空間メディア化できることを実証し、触覚を活用した空間メディアの可能性を探る。

キーワード：

空間インタラクション, 空間デザイン, 触覚, 身体性メディア, 床インターフェース

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

辻田 喜琉

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2024

# HaptoRoom: Spatial Media Design to Superimpose Haptics on the Room

Category: Design

## Summary

Media and place have been evolving independently of each other while mutually influencing each other, forming space, and acting on people's cognition and behavior. In this research, we reconsider the nature of this space through the sense of touch, and explore the possibility of a new spatial media that has ambivalence between place and media. We design a haptic spatial media "HaptoRoom" that has both place and media by overlaying multiple digital haptic spaces on an existing physical space. First, we examine the influence of tactile space on human cognition implicitly, and clarify the usefulness of tactile space. Then, we develop a floor-type tactile device and explore the possibility of new ways of utilizing space by superimposing physical space and digital space through the sense of touch. We will also demonstrate the platformability of the device as a media through co-creation with multiple creators. Furthermore, through industry-academia collaboration, we will demonstrate that tactile spatial media can be created without compromising the function of existing places, and explore the possibilities of spatial media utilizing the sense of touch.

## Keywords:

spatial interaction, spatial design, haptics, embodied media, floor interface

Keio University Graduate School of Media Design

Kiryu Tsujita

# 目 次

<b>第 1 章 Introduction</b>	<b>1</b>
1.1. 空間のメディア性と場所性 . . . . .	1
1.2. 人間と空間の境界 . . . . .	4
1.3. 空間メディア . . . . .	5
1.4. 本研究の目的 . . . . .	6
1.5. 本論文の構成 . . . . .	6
<b>第 2 章 Literature Review</b>	<b>8</b>
2.1. 空間が人に与える影響 . . . . .	8
2.1.1 パーソナルスペースとしての空間 . . . . .	8
2.1.2 空間が人の認知に与える影響 . . . . .	9
2.1.3 空間が人の行動に与える影響 . . . . .	10
2.2. メディアとしての空間 . . . . .	10
2.2.1 CSCW におけるメディアとしての空間 . . . . .	11
2.2.2 TUI におけるメディアとしての空間 . . . . .	12
2.2.3 デジタル情報の重畳 . . . . .	14
2.3. 自他境界としての触覚 . . . . .	16
2.3.1 認知における触覚の役割 . . . . .	16
2.3.2 行動における触覚の影響 . . . . .	17
2.4. 技術としての触覚 . . . . .	18
2.4.1 触覚ディスプレイ . . . . .	18
2.4.2 インタラクションにおける触覚の可能性 . . . . .	19
2.5. 本研究の位置付け . . . . .	21

---

<b>第3章</b>	<b>床触覚が暗黙的に及ぼす影響の調査</b>	<b>22</b>
3.1.	共同研究の体制 . . . . .	22
3.2.	共同研究における背景 . . . . .	23
3.3.	作品鑑賞時の印象評価実験 . . . . .	24
3.3.1	実験概要 . . . . .	24
3.3.2	実験装置 . . . . .	25
3.3.3	実験手順 . . . . .	26
3.4.	実験結果 . . . . .	28
3.5.	空間デザイナーとの議論および考察 . . . . .	28
3.6.	本章のまとめ . . . . .	33
<b>第4章</b>	<b>Concept Design</b>	<b>34</b>
4.1.	プラットフォーム化する空間 . . . . .	34
4.2.	堀田カーペット社長へのインタビュー . . . . .	35
4.2.1	空間に対する取り組み . . . . .	35
4.2.2	空間メディアに対する期待 . . . . .	36
4.3.	テレビ朝日社員へのインタビュー . . . . .	38
4.3.1	空間に関わる取り組み . . . . .	38
4.3.2	空間メディアに対する期待 . . . . .	39
4.4.	触覚空間メディアの設計指針 . . . . .	40
4.4.1	日常生活に溶け込む触覚デザイン . . . . .	40
4.4.2	柔軟なコンテンツ提供と空間のマッピング機能 . . . . .	41
4.4.3	パーソナライズされた触覚体験の提供 . . . . .	42
4.5.	HaptoRoom . . . . .	42
4.6.	HaptoRoom の実装 . . . . .	44
4.6.1	木製版プロトタイプの実装 . . . . .	44
4.6.2	建材埋め込み型ハードウェアプロトタイプの実装 . . . . .	46
4.6.3	ソフトウェアの実装 . . . . .	48
4.7.	展示を通じたユーザビリティテスト . . . . .	52
4.7.1	体験設計 . . . . .	55

---

4.7.2	フィードバック	56
4.8.	多様なコンテンツ融合によるメディアとしての実証	57
4.9.	HaptoRoom の統合設計	63
4.9.1	HaptoRoom のモジュール化	63
4.9.2	記録メディアとしての HaptoRoom	64
4.10.	本章のまとめ	66
<b>第 5 章</b>	<b>産学連携を通じた実証</b>	<b>68</b>
5.1.	堀田カーペットによる HaptoRoom の活用	68
5.1.1	共同研究体制	69
5.1.2	堀田カーペットでのフィールドワーク	70
5.1.3	博覧会での活用	71
5.2.	テレビ朝日による HaptoRoom の活用	76
5.2.1	共同研究体制	76
5.2.2	テレビ朝日社員へのインタビュー	77
5.2.3	メタバースコンテンツとの連携	78
5.2.4	広場での活用	82
5.3.	議論	85
<b>第 6 章</b>	<b>Conclusion</b>	<b>87</b>
	謝辞	89
	参考文献	91

# 目 次

1.1	最古のメディア	1
1.2	Room の概念	2
2.1	遠隔で顔を見ながらの共同作業を可能にするボードシステム	11
2.2	From GUI to Tangible User Interfaces	13
2.3	床センサを通じて部屋全体が入力インタフェースになる	14
2.4	Activeslate <sup>1</sup>	21
3.1	床材の質感デザインによる対象の印象評価への介入	23
3.2	実験環境についての議論	24
3.3	床が柔らかいカーペットの部屋	25
3.4	床が硬いタイルの部屋	26
3.5	床材のサンプル	27
3.6	Bouba(左) と Kiki(右) のオブジェ	27
3.7	形容詞対に対する評価の平均値	29
3.8	Bouba において有意傾向の見られた形容詞	29
3.9	Kiki において有意傾向の見られた形容詞	30
3.10	有意差が見られなかった形容詞の例	30
3.11	鑑賞物の視覚的な印象評価時に暗黙的に体性感覚が統合される内部モデルの存在が示唆される	32
4.1	堀田社長へのインタビュー	35
4.2	「CARPETROOM BASE」堀田カーペット HP <sup>1</sup> より引用	37
4.3	テレビ朝日社員との技術交流	39

4.4	可変的な空間のマッピング	41
4.5	触覚のパーソナライズ化	42
4.6	HaptoRoom のコンセプト	43
4.7	木製版床型触覚提示装置	44
4.8	振動に適したイコライザ調整	45
4.9	建材埋め込み型プロトタイプのシステム図	46
4.10	開発した上層の振動デバイス	47
4.11	使用した下層のセンシングデバイス	47
4.12	建材埋め込み型ハードウェアの背面	48
4.13	建材埋め込み型ハードウェア	49
4.14	マッピング用の動画例	50
4.15	圧力センシングプログラムの GUI	50
4.16	振動生成プログラムの GUI	51
4.17	場所に応じたイコライゼーション	52
4.18	触覚補間機能	53
4.19	HaptoRoom	53
4.20	SIGGRAPH 展示の様子	54
4.21	SIGGRAPH 展示で使ったデバイス	54
4.22	ちょもろー展示の様子	57
4.23	座り込んで体験する様子	58
4.24	人を追従するプロジェクションマッピングとのコラボレーション	59
4.25	人の存在感を感じる立体音響とのコラボレーション	60
4.26	荷重に応じた水面プロジェクションとのコラボレーション	60
4.27	家具インタラクションとのコラボレーション	61
4.28	VR コンテンツ「MR.Dog」とのコラボレーション	61
4.29	VR 認知コンテンツとのコラボレーション	62
4.30	閉眼時の光投影コンテンツとのコラボレーション	62
4.31	自身のコンテンツである素材が自由にかわる床	63
4.32	HaptoRoom デバイスのモジュール化	64

4.33	触覚記録機能の追加 . . . . .	65
4.34	触覚記録再生機能のシステム図 . . . . .	65
5.1	堀田カーペット工場のウィルトン織機 . . . . .	69
5.2	職人によるカーペットの質感の言語化 . . . . .	70
5.3	展示ブースの外観 . . . . .	71
5.4	博覧会で使用したデバイス . . . . .	72
5.5	踏み心地の言語化と対応する技術 . . . . .	73
5.6	博覧会の体験の様子 . . . . .	74
5.7	テレビ朝日社員への技術紹介 . . . . .	77
5.8	システム図 . . . . .	79
5.9	TV 朝日による XR 釣りコンテンツ . . . . .	80
5.10	技術展示会の様子 . . . . .	81
5.11	ARTBAY2024 の様子 . . . . .	82
5.12	体験できる XR 空間 . . . . .	84
5.13	散歩途中で訪れた親子 . . . . .	85

# 第 1 章

## Introduction

### 1.1. 空間のメディア性と場所性



ショーヴェ洞窟公式 HP<sup>1</sup> より引用

図 1.1 最古のメディア

世界最古のメディアは約 3 万 2000 年前のショーヴェ洞窟壁画<sup>1</sup>であるとされている（図 1.1）。この壁画には動物が中心に描かれ、当時の人々の世界観や狩猟生活の重要性が表れている。また、ショーヴェ洞窟自体が儀式的に使用されていたと考えられており、空間そのものが「場所」としての役割を果たしていた。

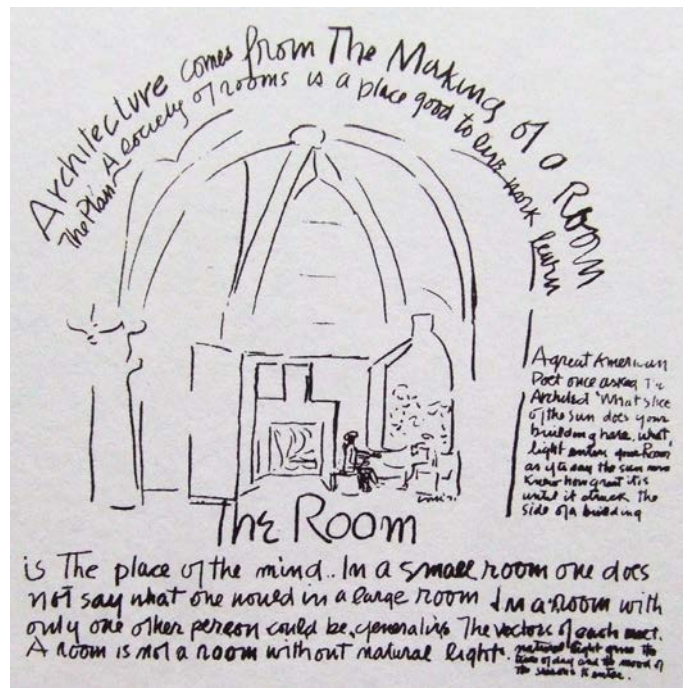
ここで、視覚的な構成における「図と地」という関係に着目する。デンマーク

---

1 <https://archeologie.culture.gouv.fr/chauvet/en>

の心理学者エドガー・ルビン [1] は、視覚認知の中で「図 (figure)」は中心となる対象として前景に浮かび上がり、「地 (ground)」は背景としてそれを支える要素になると指摘した。この理論は、単に視覚的な構成だけでなく、対象と環境の関係性や意味の生成にも応用できる。

この「図と地」の関係をショーヴェ洞窟壁画に当てはめると、壁画はメディアとして表現を担う「図」としての役割を果たす一方、洞窟空間そのものは儀式的「場所」として機能し、それを支える「地」としての役割を持っていたといえる。つまり、ショーヴェ洞窟壁画は「図」と「地」の両義性を兼ね備えた空間メディアとして捉えることができる。



ルイス・カーン—光と空間 [2] より引用

図 1.2 Room の概念

場所としての空間は、人間の行動や意識に暗黙的な影響を与えてきた。本論において「暗黙的」という言葉は、認識の対象として明確に意識されないが、無意識に人間の行動や認知に影響を与えてしまう空間の「地」としての側面を意味するものとして扱う。ルイス・I・カーン [2] は「建築は部屋 (Room) を作ることから

生まれる。部屋の配置と集まりは、人が暮らすのに適した場所となる。」と述べ、場所としての空間そのものが、Room を通して行動や体験を形成する基盤となることを示している。カーンの Room の概念を図 1.2 に示す。例えば寝室、リビング、キッチンなどの間取りは、それぞれ特定の行動を意図してデザインされており、空間そのものが人間の生活を支える「地」として機能している。このように、場所としての空間が持つデザインの力は、ただの物理的な構造を超えて、人間の意識や行動に暗黙的に深く影響を与えている。

一方で、壁画以降のメディアは、場所に固定されることなく利用することができる可搬性が求められるようになった。例えば、土偶や紙、さらに活版印刷による複製技術が登場し、情報の伝達はより自由度を増す分、「モノ」として進化を遂げていった。「メディアはメッセージである」というマーシャル・マクルーハンの言葉がある。彼は「電気技術という今日のメディアが、社会的な相互依存のパターンとわれわれの私的な生活のあらゆる側面を作り直し、再構成しつつある」と論じている。メディアが人に大きく影響を与えているのは明白である。例えば、ウォークマン<sup>2</sup>は音響的に空間をパーソナライズ化した初めてのメディアである。哲学者アラン・ブルーム [3] は『アメリカン・マインドの終焉』において「ウォークマンがある限り、少年たちは伝統に耳を傾けなくなる」と指摘している。この言葉が示す通り、ウォークマンは空間を「個人のためのもの」に再定義する契機となった。近年ではスマートフォンやスマートウォッチといったさらに個別化を推し進めるメディアが普及している。

しかし、メディアが可搬性を獲得したからといって、メディアと場所とのつながりが完全に途絶えたわけではない。場所に大きく影響を与えたメディアの一つがテレビである。テレビはメディア装置であるが、同時に家具として家族全員がリビングで同じ番組を視聴する「お茶の間」という場所を形成していた。またもう一つの象徴的な例が電話である。玄関が家族と社会をつなぐ接点だった時代、電話は玄関に設置されていた。しかし、テレビの普及とともにリビングが外界との結びつきとなり、電話もリビングに移動するようになった。

このようにメディアは、場所という「地」の上で、明示的に人に影響を与える

---

2 <https://www.sony.jp/walkman/>

「図」としての役割を担ってきた。新しいメディアの出現によって、場所が持つ意味もまた、時代と共に書き換えられてきた。これらは、場所とメディアが相互に影響を与えながら空間を織りなすことを示している。

また「場所」と「メディア」が織りなす空間では、そこに存在する複数の人々を考慮する必要がある。現代では、同じ部屋にいながらもそれぞれ異なる情報を取得することが一般的になっており、リビングという空間の中に、テレビを視聴する人とスマートフォンを操作する人が共存する光景は珍しくない。このように、空間は「共有」と「個別」という二つの異なる文脈を同時に内包するようになっている。そのため、空間デザインにおいては、複数人が同じ場所を共有しながらも、それぞれ異なる知覚や情報を得られる環境のデザインが求められ始めている。

## 1.2. 人間と空間の境界

メルロ＝ポンティ[4]は、「身体は単なる物理的存在ではなく、空間と相互作用し、その一部を構成する」と論じた。メルロ＝ポンティは身体が空間を知覚し、その中で行動を適応させる「身体図式」という概念を提唱しており、身体と空間の境界が動的かつ柔軟であることを強調している。

特に重要なのは、我々が足裏を中心に実空間の表面と常に接地し、触覚を感じているという事実である。地面の微細な振動や地面の硬さ、温度といった情報は、視覚や聴覚では得られない形で身体に直接的なフィードバックを与える。このように、触覚は身体が空間を体験する上で不可欠な感覚であり、空間の具体的な意味づけや身体との結びつきを深める働きをしている。しかし、現代では地面の触覚的な影響は均一化された地面の性質によって軽視されがちである。触覚は常に空間とのつながりとして存在しているのにも関わらず、人の意識下にのぼることが少ない。均一化され白紙となっている地面の触覚は制御することで暗黙的にも明示的にも空間から情報を与えられる可能性がある。

メルロ＝ポンティの思想において、空間は単なる外的な背景ではなく、身体を中心とした経験によって常に再構成される。触覚はこのプロセスの中核を担い、身体を空間に適応させるだけでなく、空間そのものを体験の場として意味付ける。

### 1.3. 空間メディア

これまで、場所とメディアはそれぞれ独立に進化を遂げ、相互に影響を与えながら空間を形成し、人に大きな影響を与えてきた。一方で、これまでの空間デザインの多くは「地」と「図」のどちらか一方の機能を重視して設計されている。「地」としての空間は、暗黙的に環境や文脈を提供し、人々に無意識の影響を与える場として機能する。一方、「図」としての空間は、明示的な情報や体験を提供し、視覚的・聴覚的なフィードバックを通じてインタラクションを強調する。この二極化は、従来の技術やデザイン思考の限界から生じており、空間の本質的な可能性を十分に活用できていない。

一方で、近年では空間を用いてコンテンツを提供する動きが盛んである。空間インスタレーションに代表されるように、視覚的・聴覚的要素を統合し、空間が情報を伝達する「図」として機能する事例が増えている。これにより、空間は単なる物理的な場を超えて、体験や意味を動的に生成するインタラクティブなメディアとして設計されるようになった。ただし、コンテンツが固定されていることからメディア性が薄い場合や、場所としての役割が損なわれてるケースがほとんどである。また、Apple Vision Pro<sup>3</sup>の登場にともなって近年注目されている「空間コンピューティング (Spatial Computing)」技術は、空間そのものを再構成し、新たな体験を提供する可能性を提示している。しかし、この技術は主に頭部に装着するデバイスを介して実現されるため、空間との関わりが個人に閉じたものになりがちであり、共有された体験を生み出すには限界がある。

しかし、触覚技術を含めた現代のテクノロジーの進化は、これらの場所性とメディア性の二面性を改めて統合できる可能性を秘めている。本論で扱う「空間メディア」はこれらの要素を取り入れ、場所性とメディア性を兼ね備えたものと定義する。

---

3 <https://www.apple.com/jp/apple-vision-pro/>

## 1.4. 本研究の目的

場所性とメディア性を持ち合わせた空間メディアは、物理的な「場所」の役割を維持しながら、表現性を持たせることで「メディア」として確立する必要がある。そこで、アプローチとして既存の「場所」に表現可能な空間を重畳する「メディア」を考案する。重畳する手段として、常に足裏を中心に空間との接点となっている触覚に着目をする。そこで本研究の目的は、触覚を通じて既存の場所に複数の「空間」を重畳する空間メディアの実現とする。

## 1.5. 本論文の構成

本論文では、「触覚を通じて既存の場所に複数の「空間」を重畳する空間メディアの実現」に向け、各章で順次検証と議論を進める。

第2章では、関連研究を整理し、空間が人に与える影響、メディアとしての空間、そして触覚に基づくインタラクションに関する既存の知見を概観する。

第3章では、触覚が暗黙的に人に与える影響を探るため、床触覚の質感が体験者の印象評価に及ぼす影響を検証する実験を行い、結果を考察する。これにより、空間的な触覚が実際のコンテンツや体験にどのような影響を与えうるのかを探り、空間的な触覚が持つ可能性を示す。

第4章では、触覚空間メディアの設計を進めるための基盤として、コンセプトとプロトタイプ実装について詳述する。具体的な機材構成、ソフトウェア設計、および触覚提示手法を示し、触覚空間メディアの具体像を提示する。さらに自身が空間触覚デザイナーとして様々なコンテンツとコラボレーションを行うことで、プラットフォームとしてのメディア性の実証を行う。

第5章では、実際に産学連携プロジェクトとして既存の役割のある場所に本システムを持ち込み、場所づくりの専門家やメディアのプロからのフィードバックを得ることで、触覚空間メディアの有用性や展開可能性を評価する。

第6章では、本研究全体の成果を総括し、空間メディアの未来に向けた展望と課題を提示する。触覚空間メディアが場所性とプラットフォーム性を両立するこ

とで、どのようにコンテンツ体験を向上させるのかについて、今後の発展を含めて考察する。

以上の章立てにより、触覚空間メディアに対するユーザの期待から、実際の実装・評価、そしてメディアプラットフォームとしての成立可能性までを一貫して検証し、場所性とプラットフォーム性を兼ね備えた「触覚空間」が新たなメディアとして成立しうることを論じる。

## 第 2 章

# Literature Review

第 2 章では，空間が人間の認知や行動に与える影響，メディアとしての機能，触覚の役割と技術的可能性を整理し，本研究の位置付けを明確にする．

### 2.1. 空間が人に与える影響

刺激の知覚が人の認知や行動に及ぼす影響は「Embodied cognition」と呼ばれる [5]．本節では特に空間が人に与える影響について論じる．

#### 2.1.1 パーソナルスペースとしての空間

エドワード・ホール の著書『隠れた次元』[6]では，人間がコミュニケーションや社会的相互作用を行う際に取り取る距離を「パーソナルスペース」として体系化している．彼はこの距離を 4 つのカテゴリーに分類した．親密距離（0～45cm）は，家族や恋人など親しい人々との間で用いられ，触れることが可能な距離である．個人距離（45cm～1.2m）は，友人や親しい知人との会話に適しており，手を伸ばせば触れることができるが，直接的な身体接触は避けられる．社会距離（1.2～3.6m）は，ビジネスや職場の同僚との関係において使われる距離であり，形式的なコミュニケーションが行われる場面に適している．最後に，公共距離（3.6m 以上）は，講演会や公的な場での演説など，不特定多数の人々を対象にしたコミュニケーションで用いられる．

この分類は，これらの距離が単なる物理的な隔たりではなく，文化的背景や社会的文脈によっても変化することを示している．たとえば，アメリカ文化では比

較的広いパーソナルスペースが好まれる傾向があるが、日本文化では狭い距離が許容されることが多い。これらの違いは、パーソナルスペースが人間の心理的安全性を確保するための適応的な仕組みであることを反映している。

この概念をさらに発展させた研究が数多く存在する。たとえば、Sommer [7] は、パーソナルスペースを「個人が所有する目に見えない空間」と定義し、その距離が社会的な要因（性差、年齢差、関係性など）により変動することを示している。また、山口 [8] は、親しい相手よりも知らない相手と接する際に、パーソナルスペースが広がる傾向があることを明らかにしている。このような研究は、パーソナルスペースが他者からの侵入を防ぐ「防御的空間」として機能していることを示唆している。

### 2.1.2 空間が人の認知に与える影響

本節では、空間の広さや照明、色彩といった環境特性が認知や思考プロセスに与える影響について紹介する。Worchel [9] は、部屋の広さが人の行動に与える影響について研究を行い、小さい部屋では大きい部屋と比較して、より広い対人距離が必要とされることを明らかにした。Adams [10] の研究では、部屋の明るさが近接感に影響を与えることが示され、明るい部屋よりも暗い部屋のほうが近い距離での居心地の悪さが増すことが確認された。また、MeyersLevy [11] は、高い天井が抽象的な思考を促進する一方で、低い天井がより具体的な思考を促進し、タスクのパフォーマンスを向上させることを示した。さらに、IJzerman [12] は、室温が暖かい条件（22 – 24 °C）では冷たい条件（15 – 18 °C）と比べて、実験者との心理的距離が近づくことを発見している。

Ellio [13] の研究では、環境の色が認知パフォーマンスに及ぼす影響を調査し、赤い背景は集中力を高める効果があり、青い背景は創造性を引き出すことが確認された。これらの結果は、認知タスクに適した環境デザインの重要性を示唆している。また、Meier [14] は明るい空間がポジティブな認知バイアスを引き起こし、暗い空間では慎重さや警戒心が強まることを報告している。これは、照明が認知プロセスを形成する上で重要な役割を果たしていることを示している。

さらに、空間の特性が時間感覚に与える影響についても多くの研究が行われて

いる。松井 [15] は、周辺視野の視覚刺激が主観的な時間評価に影響を及ぼすことを明らかにしており、刺激の提示速度が速くなると時間が短く感じられる一方、遅くなると長く感じられることを示した。また、藤本 [16] の研究では、自然要素が多い屋外空間では時間が長く感じられ、人工的要素が多い空間では時間が短く感じられる傾向が確認された。これらは空間の物理的・感性的特性が主観的時間感覚に及ぼす影響を示している。Katsuura [17] の研究では、明るい照明環境では時間が短く感じられ、暗い環境では長く感じられる傾向が示された。これらの知見は、環境の物理特性が時間感覚の形成に重要であることを示唆している。

### 2.1.3 空間が人の行動に与える影響

Zhong [18] は、明るい部屋と暗い部屋における匿名性の認識について研究し、暗い部屋では実際の匿名性が変わらなくても、ごまかし行為が増える傾向があることを指摘している。Steidle [19] の研究では、暗い部屋のほうが明るい部屋に比べて、魚釣りゲームでの協力行動が促進されることが示された。また、黒川 [20] は、明るい部屋では対面して座るとコミュニケーションが活発になるが、相手への印象が低下することを明らかにしている。一方で、並んで座る場合にはコミュニケーションは抑制されるが、相手への好意的な印象が強まることが確認された。

さらに、Read [21] は、天井が低い空間で協力行動が促進される可能性があることを示しており、Huang は室温が行動に与える影響を調査し、暖かい環境（24 – 25 °C）が涼しい環境（16 – 17 °C）よりも社会的同調を高めることを明らかにした。Baron [22] は、室温が社会的行動に及ぼす影響について、暖かい環境では協力的な行動が増加し、冷たい環境では競争的な行動が促進される傾向を報告している。

## 2.2. メディアとしての空間

空間は単なる物理的な場としてだけでなく、情報伝達やインタラクションを媒介するメディアとして、多様な側面を持つ存在である。例えば、CSCW（Computer-Supported Cooperative Work）の研究では、空間が協働作業の場として機能する

方法が議論されており、共有空間における視覚的・触覚的フィードバックの重要性が強調されている。また、TUI (Tangible User Interfaces) の分野では、空間が物理的なオブジェクトを通じてデジタル情報と結びつき、直感的なインタラクションを可能にする設計が追求されてきた。

### 2.2.1 CSCW におけるメディアとしての空間

CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) は、コンピュータ技術を活用して人々の協調作業を支援する研究分野である。この分野は、技術の進化に伴い、単なるタスクの効率化を超えて、分散環境におけるコミュニケーションの質を高める方法を探求してきた。特に、空間の概念が情報伝達や社会的つながりを支えるメディアとして注目されるようになり、CSCW の研究は空間の活用と再定義において大きな役割を果たしている。



ClearBoard [23] より引用

図 2.1 遠隔で顔を見ながらの共同作業を可能にするボードシステム

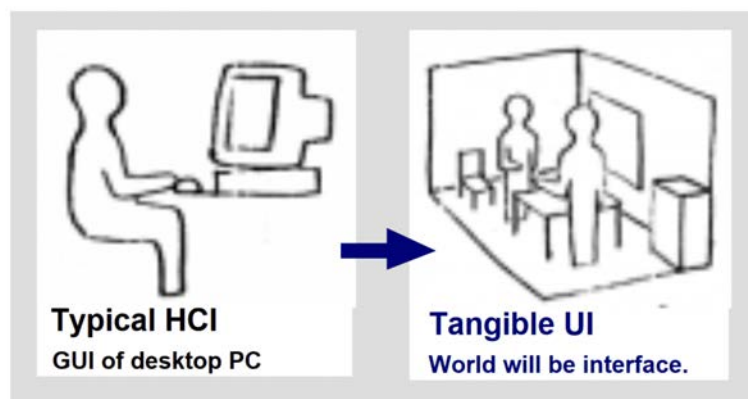
CSCW における空間の研究は、初期の視覚的メタファーの活用から、より複雑な場所 (place) の概念へと進化してきた。Harrison [24] は、空間 (space) と場所 (place) の違いを明確にし、空間が「物理的構造」としての可能性 (opportunity) を提供する一方、場所は文化的・社会的な意味を持つ「理解された現実 (understood reality)」であると主張した。1990 年代初頭の研究では、Ishii の ClearBoard [23] が、空間を媒介としてユーザー同士の視線を共有する可能性を示した (図 2.1)。こ

のシステムは、空間の物理的構造を利用して、協働作業の文脈を形成することを目指していた。同時期には、Tangが、テーブルトップ環境におけるビデオを用いた身体的ジェスチャーの共有が、アイデアの伝達と理解において重要であることを示した [25]。これらの研究は、空間が視覚的・身体的フィードバックを提供する技術的媒介物として機能することを強調している。その後の技術の進展により、分散型環境における空間共有はさらに高度化した。Gutwinは、視覚的フィードバックを活用してアウェアネスを強化する手法を提案し、ユーザー間での効率的なコミュニケーションの基盤を構築した [26]。これらのシステムでは、ビデオ技術が空間の共有とユーザーの行動可視化において重要な役割を果たしている。さらに、KinectArms [27]は、深度センサーを使用してジェスチャーをリアルタイムでキャプチャすることで、分散環境における身体的存在感を強化した。このシステムは、物理的な制約を超えた空間共有を可能にし、ユーザーが同じ空間にいるような感覚を生み出す新しい可能性を示した。加えて、Kimmel [28]は、VR環境でのジェスチャーと社会的存在感の関係を調査し、モーションキャプチャ技術による空間的相互作用が、協働作業を支援する効果を実証した。

またTakagi [29]は、触覚を通じた人間同士の相互作用に焦点を当て、物理的な力学特性が協調作業の質をどのように変化させるかを示した。彼らの研究は、硬さや柔らかさを持つ仮想的なバンドを用いて、異なる触覚条件が協働の役割分担や相互理解に与える影響を検討している。硬いバンドはリーダーとフォロワーの明確な役割分担を促進し、柔らかいバンドは双方向的な目標共有を可能にした。以上のように、メディアとしての空間は、CSCWにおいて技術の進化とともに発展を遂げてきた。さらに初期の視覚的メタファーやビデオ技術から、深度センサーやVRといった高度な技術に至るまで、空間はより強力な情報伝達のメディアとして機能し、協働作業の質を向上させ続けている。

### 2.2.2 TUIにおけるメディアとしての空間

Ishiiら [25]はコンピューティングを真にユビキタスかつ目に見えないものにするために、「タンジブルユーザーインターフェイス」(TUI)と呼ぶ新しいタイプのHCIの確立を目指していると述べている。TUIは、デジタル情報を日常の物理的



Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms [25] より引用

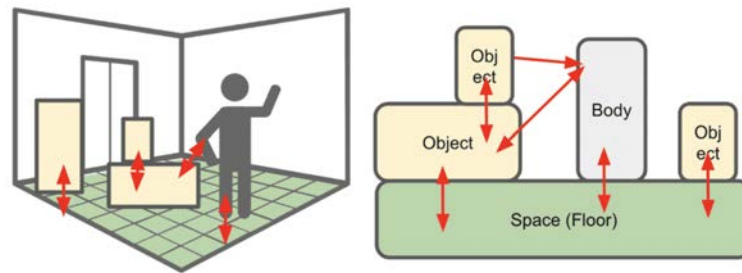
図 2.2 From GUI to Tangible User Interfaces

オブジェクトや環境に結合することで、現実の物理世界を拡張することである。図 2.2 は、HCI がデスクトップ PC の GUI から世界そのものをインターフェースに変える TUI への移行を示している。中でも、人間の周辺意識を活用してデジタル情報を提供する ambientROOM [30] は光、音、動きなどの「ambient media（周辺メディア）」を使い、気づきやすく邪魔にならない形で情報を提示している。

まず周辺視野を利用した取り組みとして、IllumiRoom [31] はテレビ画面内に閉じ込められた視覚体験を、プロジェクターを用いて部屋全体に広げ、ゲームや映画を物理空間と統合する新しい没入型の体験を提供している。

部屋の形状変化の研究例として、RoomShift [32] は、家具を動かすスワームロボット群を用いて、VR 環境における部屋規模の動的触覚体験を提供するシステムである。このシステムでは、物理環境を動的に再構成することで、VR の中で物理的に触れたり、寄りかかったりするオブジェクトを実現している。また LiftTiles [33] は、低コストで再構成可能なモジュール型の空気膨張型アクチュエータを用いて、部屋規模の形状変化インターフェースを迅速に試作できるシステムを提案している。

建材にセンサを入れ込むことで部屋をインタフェース化する研究として、Wall++ [35] は壁をインターフェースに変えるシステムで、静電容量センサーと空中電磁ノイズ検知を活用して、タッチ追跡、ジェスチャー認識、身体ポーズ推定、家電の検出と追跡を可能としている。GravitySpace [36] は高解像度の圧力センサーを



ForceField [34] より引用

図 2.3 床センサを通じて部屋全体が入力インターフェースになる

使用し、床全体でユーザーや家具の位置、姿勢をトラッキングする。主に圧力分布の精度とリアルタイムな可視化に焦点を当て、床の下からプロジェクションを使用して視覚的フィードバックを提供している。同様に IntelligentCarpet [37] は床の圧力センサから人の 3D ポーズの推定を行っている。Flexel [38] はモジュール型フロアインターフェースとして設計され、各モジュールが圧力や荷重を検知する。既存の床材や構造に容易に適応可能な設計となっており、床だけでなくテーブルへのタッチ推定机上での動作の推測も可能である。さらに ForceField [34] では床センサを用いることで人、物体、空間の物質間の相互作用は、物体や物体に追加のデバイスを取り付けることなく部屋全体を入力インターフェースとすることを可能としている (図 2.3)。

### 2.2.3 デジタル情報の重畳

メディアを語るうえで、プラットフォーム性は欠かせない要素である。テレビや音楽プレイヤーは、興味や嗜好に合わせて様々なコンテンツを選択・消費できる柔軟性を持っている。さらに、YouTube<sup>1</sup>などの動画配信サイトは、クリエイターが自由に参入して多様なコンテンツを発信・更新できるため、プラットフォーム性に優れたメディアの典型例といえる。プラットフォームとして優れたメディアは、多様なコンテンツホルダーやクリエイターが容易に参加し、互いに影響を与

1 <https://www.youtube.com/>

え合いながら新しい価値を生み出すエコシステムを形成する。

一方で、こうしたプラットフォームの概念は、単なるコンテンツ流通に留まらず、物理空間とデジタル情報を重畳させる技術へと広がりつつある。従来、主に視覚領域ではAR（Augmented Reality）技術やプロジェクションマッピングが広く研究・応用され、空間への映像投影や拡張現実表示を介して、物理空間とデジタル情報を融合させる取り組みが行われてきた。たとえば、変幻灯 [39] のように周囲の照明条件や投影手法を巧みに制御することで、空間の視覚的特性を動的に変化させる技術も存在している。また Niantic の「Splats Change Everything」 [40] に示されるような新しいアプローチが注目されている。Splats は、インタラクティブなデジタルオブジェクトとして、現実世界の物理空間に統合されることで、ユーザーが直感的に体験できるインタラクションを提供する。例えば、ユーザーが実際に移動しながら Splats に触れることで、新しい情報が現れるなど、物理的な行動をトリガーにしたデジタル体験が可能になる。

さらに近年では、味覚・聴覚・触覚といった視覚以外の感覚領域にも、デジタル情報を重畳する試みが広がりつつある。味覚においては、エレキソルト [41] が電気刺激を利用して塩味をより強く感じさせるデバイスとして注目されている。聴覚の分野では、外界の音を完全に遮断することなく、自分だけが聴きたい音を明瞭に体験できるパーソナライズドサウンドゾーン [42] 技術が提案されている。これは、イヤホンを装着していても周囲の音を必要な範囲で聞き取れる一方、自分の聴覚環境を個別に最適化することができるものであり、空間の聴覚的特性を高度にカスタマイズ可能にする。

さらに、触覚の領域でも、物体に手や足で触れた状態を維持しながら振動提示を追加する手法が確立されており [43]、近年では「FEELTECH Wear」 [44] のようなデバイスが注目されている。この技術では、既存の物体に対して新たな触覚情報を付加することで、利用者の知覚や操作感に変化をもたらし、従来とは異なる体験価値を提供できる。触覚は視覚や聴覚と異なり、自他の境界や身体感覚に深く関与するため、物理空間とデジタル情報を結びつけるうえで非常に重要な感覚であると考えられる。

これらの技術動向から、空間をメディアとして捉えた場合、視覚情報だけでな

く味覚・聴覚・触覚など多様な感覚チャンネルにデジタル情報を重畳できることが明らかになりつつある。従来のように「見る」こと中心のインタラクションだけを追求するのではなく、複数の感覚を同時に拡張することで、空間がより総合的かつ多層的なメディアとして機能する可能性が高まる。

## 2.3. 自他境界としての触覚

触覚は、人間が自己と他者、または環境との境界を認識し、調整する上で中心的な役割を果たす感覚である。本節では、触覚を「認知」「行動」の観点から論じ、触覚がいかに空間を含む自他境界の形成と拡張に寄与するかを考察する。

### 2.3.1 認知における触覚の役割

触覚は、自他の境界を認識し、自己の身体が「空間の中で自分に属している」と感じる身体所有感を形成する上で重要な感覚である。身体所有感は、身体が空間における特定の位置を持ち、その空間内での行動や経験を通じて自己として認識される感覚である。

身体所有感は、空間的な触覚情報を視覚や運動感覚と統合することで形成される。このプロセスを示す代表的な実験に「ラバーハンド錯覚」がある。この実験では、ゴム製の手（ラバーハンド）と被験者自身の手を異なる空間に配置し、同時に触覚刺激を与えることで、被験者はゴム手を自分の手と感じるようになる。この現象は、触覚が視覚情報と統合され、空間的に「ここにある」という認識を生み出すことで、身体所有感を変化させることを示している。

水面に手や腕を浸すと、水と大気境界を明確に触覚として感じる現象がある。Meissner [45] は、指を水銀に浸した際、指先では圧力を感じず、水銀の液面でのみ圧力を感じることを報告している。また、足裏触覚の低下が補償的ステップ反応や姿勢外乱に対する制御に影響を与え [46]、足裏触覚が転倒リスクと関連していることも示されている [47]。このように触覚が空間認知や姿勢制御において重要な役割を果たしていることが分かる。

さらに、空間と身体が一体となる体験を目指した研究として、John Cが開発したアイソレーション・タンク [48] がある。これは皮膚温度に保たれた水に身体を浮かべ、光や音、触覚を遮断することでリラクセス効果を高める装置である。また、Synesthesia X1 [49] は、物体に身体を預けた状態で皮膚表面に触覚情報を伝達し、空間と身体における触覚の両義性を活用している。この装置は、「空間に漂うあらゆる情報が身体の中に入ることで生まれる体験」を創出し、シナスタジア体験を提供している。

### 2.3.2 行動における触覚の影響

触覚は、人間の行動や意思決定に直接的な影響を与える感覚である。Ackermanの研究では、木製の硬い椅子に座ると交渉場面での態度が硬直し、柔らかいクッション付きの椅子では柔軟になることが示されている [50]。また、Schaefer [51] によって裁判の判定においても、座る椅子の硬さが判断の厳しさに影響を与えることが報告されている。触覚的な「硬さ」や「柔らかさ」は、無意識のうちに人の態度や行動を変化させる要因となる。

触覚はチームワークや共同作業の場においても重要な役割を果たしている。Ishigaki [52] の研究では、軽い触覚的接触が二者間の協調を促進する効果が示されており、親密な関係ほど協調が強くなることが明らかにされた。このことは、触覚的接触がチーム内の協力的行動を促進する可能性を示唆している。

さらに、触覚は購買行動にも大きな影響を与える。McCab [53] は、商品を実際に触れることで消費者の評価が向上し、特に素材感が重要な商品でその効果が顕著であることを示している。Peck [54] は、触覚的体験が不足すると製品評価の信頼度が低下し、触覚情報を重視する消費者において特にその傾向が強いことを報告している。これらの知見は、商品に触れる機会の設計が購買意欲を向上させる重要な要素であることを示している。

触覚の影響はストレス軽減にも及ぶ。Björkhem-Bergman [55] の研究では、触覚刺激がポジティブな感情を増加させ、不安を軽減する効果が確認されている。このように触覚は、リラックスした状態を作り出し、心理的な安定に寄与可能な感覚である。

## 2.4. 技術としての触覚

触覚技術は、人間の皮膚を通じて得られる感覚を再現し、物理空間および仮想空間とのインタラクションを豊かにする重要な技術として発展してきた。視覚や聴覚と異なり、触覚は物理的な接触を伴うため、体験者に直感的かつ没入感のある情報を伝える手段として注目されている。

触覚技術の研究は、主に「触覚ディスプレイ」と呼ばれる装置を中心に展開されてきた。触覚ディスプレイは、力覚や振動、摩擦、テクスチャなど、さまざまな触覚要素を提示することで、仮想的な対象に「触れている」かのような感覚を実現する。これにより、デジタル情報や物理空間とのインタラクションをリアルタイムに提供することが可能になった。

一方で、触覚技術は手や指先など限られた部位に焦点を当てた研究が多かったが、近年では「環境全体」を対象とした触覚技術への展開が進んでいる。環境型触覚デバイスは、床や壁といった空間要素をインタラクティブなメディアに変えることで、足裏や身体全体を通じた触覚フィードバックを提供する。この技術により、触覚はもはや「手先の情報伝達」ととどまらず、「空間との直感的な対話」の手段として新たな可能性を広げている。

本節では、まず触覚ディスプレイを中心に技術の進展を概観し、次に環境型触覚デバイスを中心としたインタラクションにおける触覚の可能性について考察する。本節では、触覚技術が物理的・仮想的インタラクションに与える可能性について示す。

### 2.4.1 触覚ディスプレイ

振動触覚フィードバック技術は、HCIの分野でさまざまな応用が進められている。初期の触覚技術として、PHANToM [56] が挙げられる。1990年代に開発されたこのデバイスは、力覚フィードバック技術を用いて、仮想環境内で物体に触れる感覚や操作対象の物理的特性をリアルに再現することを可能にした。この技術は、触覚を仮想空間に導入する先駆けとして広く用いられた。

次に、1992年に発表されたSPIDAR [57] は、ケーブル駆動型の力覚提示装置で

ある。複数のワイヤーを用いて正確な力覚を提示するこの技術は、広範囲な操作領域を提供し、VR やリハビリテーション分野での応用が進んだ。

2007年には、GravityGrabber [58]が開発された。この技術は、小型デバイスを通じてユーザーが仮想環境内の物体の質量を感じることを可能にし、触覚フィードバック技術の小型化と高精度化を象徴している。仮想空間内で重力の感覚を仮想的に再現することで、より直感的なインタラクションを実現した。

2012年に発表されたTECHTILE toolkit [59]は、指が表面をなぞる感触や物体に触れた際のテクスチャを記録し、再現する技術である。

さらにHorie [60]は、力覚測定 (Force Myography) と皮膚のストレッチフィードバックを統合したウェアラブルデバイスを提案している。このシステムは、筋力スキルの学習を支援するために、リアルタイムの触覚フィードバックを提供することを目的としている。

これらの触覚技術は、時代とともに進化を遂げ、触覚を操作可能な情報として活用することで、物理的および仮想的なインタラクションを豊かにする役割を担っている。

### 2.4.2 インタラクションにおける触覚の可能性

触覚は、人間と環境とのインタラクションを媒介する手段として重要な役割を果たしている。たとえば、Watanabeら [61]の研究では、振動刺激が歩行速度に与える影響が明らかにされている。一定のリズムで提示される振動が歩行者の速度を増減させることが示されており、触覚が身体の運動制御に関与する可能性を示唆している。

さらに、WayLet [62]のようなナビゲーションデバイスは、振動フィードバックを活用することで、視覚や聴覚に頼らない直感的な方向案内を実現している。これにより、触覚は移動支援や案内システムにおける重要な要素としての可能性を広げている。

床面を利用した触覚インタラクションの研究も注目されている。Visellらの「Touch is everywhere」 [63]は、床面に設置された振動子を用いて触覚刺激を足裏に伝えるシステムである。この研究は、振動がユーザーの身体的・認知的な反

応に与える影響を探り、足裏を介した触覚がインタラクシオンデザインにおいて重要であることを示した。

Law らによるマルチモーダル床空間 [64] は、床面に設置された振動子や圧力センサーを組み合わせ、ユーザーとの双方向的なインタラクシオンを実現するシステムである。この研究では、振動を足裏で感じるだけでなく、床面に加えた圧力や動作をリアルタイムで検出し、それに応じた触覚フィードバックを提供する。このようなマルチモーダルな設計により、ユーザーは身体を動かしながら仮想環境とのインタラクシオンを深めることができる。

SolefulTap [65] は、足裏から触覚を通じて音楽のリズムやパターンを伝えるインタラクシオンを目指した研究である。このシステムは、床面の振動フィードバックを通じてユーザーに新たな音楽体験を提供し、聴覚的なリズム感覚を補完することを目的としている。

また Shibasaki [66] は、聴覚障害者向けにタップダンスの振動リズムを体感できる触覚フィードバックシステムを開発している。この研究では、触覚フィードバックを用いることで、聴覚が困難なユーザーがタップダンスのリズムやダイナミクスを感じられるように設計されている。これにより、触覚技術の社会的な価値を示すとともに、音楽やダンスの体験を拡張する新たな可能性を示している。

床型触覚技術は企業でも注目を集めており、ソニーはその一例として ActiveSlate<sup>2</sup>を開発している (図 2.4)。この技術は、Haptic Floor にインタラクティブ性をもたせ、床が水たまりや砂浜に変わったかのように感じさせる触覚体験を提供する。

さらに、床の触覚フィードバックにおいて、物理的な形状や地形の変形を再現する試みも行われている。Noma ら [67] の研究では、トレッドミルの下に可動ステージを配置し、地面の凹凸を作り出す方法が提案されている。これにより、仮想環境内でのリアルな地形体験を実現している。また、Hansen [68] らの研究では、形状が変化するカムシャフトを用いて、触覚的に方向を示す凹凸を提供する技術が開発されており、足裏を介したインタラクシオンデザインの可能性をさらに広げている。

---

2 <https://www.sony.com/ja/SonyInfo/research/projects/haptics/>

図 2.4 Activeslate<sup>1</sup>

また、HoloTile [69] は床面全体をモジュール化し、ユーザーの移動を物理的にサポートする技術である。このシステムは、床面が個々のモジュールごとに動き、ユーザーを意図した方向に誘導することで、仮想環境やインタラクティブな体験をより没入感のあるものへと進化させる。

## 2.5. 本研究の位置付け

空間における触覚デバイスは、これまで振動提示やインタラクティブな仕組みを備えたものが多く提案されてきたが、それらは基本的に単一の空間情報を伝えるものにとどまっていた。また、触覚の重畳という概念は存在するものの、複数の空間を統合的に体験できる仕組みの構築はほとんど試みられていなかった。さらに、空間が人に与える影響に関する研究は数多く行われてきたが、空間からの触覚が暗黙的に及ぼす影響については十分に調査されていなかった。本研究は、これらのギャップに着目し、触覚を通じた暗黙的な空間認識の変化を探求するとともに、床という物理的インターフェースを活用して複数のデジタル空間を重畳するシステムを提案する。

## 第 3 章

# 床触覚が暗黙的に及ぼす影響の調査

空間が与える触覚が，人の体験やコンテンツにどのような影響を与えるかを理解することは，空間をメディアとして活用する上で不可欠である．特に，触覚がもたらす無意識的な影響や，空間の質感が認知や行動に及ぼす効果についての理解は，今後の空間デザインや体験設計の基盤となる．本章では，触覚的な空間体験が体験者にどのように影響を与えるかを明らかにするため，作品鑑賞時の印象評価に床の触覚的質感が暗黙的に及ぼす影響を調査する．

### 3.1. 共同研究の体制

本研究の目標を実現するため，株式会社乃村工藝社<sup>1</sup>と慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Embodied Media Project の共同研究を実施した．

株式会社乃村工藝社ではデザイナーの暗黙知の定量化が推進されている．本プロジェクトの目的は，作品鑑賞時の印象評価に床の触覚的質感が暗黙的に及ぼす影響の調査である．この目的が，空間としての床が触覚的に与える影響の調査の目的と一致していることから，共同研究を行うこととした．

本プロジェクトには，株式会社乃村工藝社からは吉江優氏，谷清鳳氏，横山尚明氏，青野恵太氏らが参加し，慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Embodied Media Project からは筆者，Burcu Nimet Dumlu，吉田貴寿特任助教，堀江新特任助教，齋藤達也特任准教授，南澤孝太教授が参加した．株式会社乃村工藝社は実験デザイン及び実験設備の構築，筆者は実験デザイン及び解析を担当した．

---

1 <https://www.nomurakougei.co.jp/>

## 3.2. 共同研究における背景

現代の空間デザインは印象的で記憶に残る視覚的な感覚を重視してきた。しかし近年では聴覚や触覚なども考慮したデザインをする必要があると指摘されている [70]。例えば、美術館やギャラリーのように鑑賞の対象として作品が置かれている空間では、暗黙的な認知体験を重視するデザインをすべきである。なぜなら空間は常に作品をはじめとする対象の印象に、影響を与えている可能性があるためである。例えば作品鑑賞において、作品の制作者にとっては作品を阻害しない空間や作品の魅力を向上させる空間が求められる。一方で、図 3.1 に示すような対象の印象を意図的に操作することを目的とした空間デザインにおいては、作品の印象が空間デザインによって介入される条件を明らかにする必要がある。

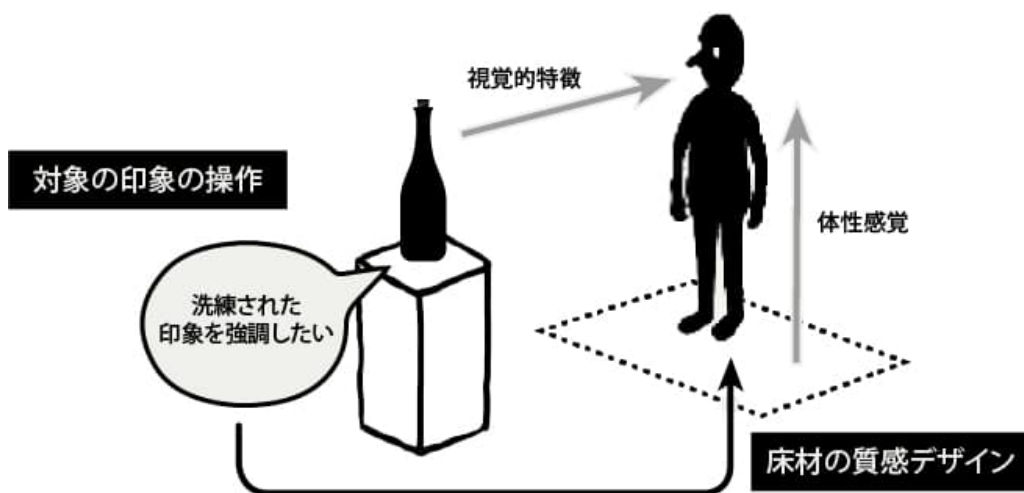


図 3.1 床材の質感デザインによる対象の印象評価への介入

空間をデザインするにあたって、さまざまな要素があるが、本実験では特に床に着目する。床面は人と建築の物理的な接点であるために、デザインにおける触覚の指標や評価が必要である。しかし一般に床面のデザインは見た目の印象、素材感といった視覚的な意匠の点で評価されることが多い。一部、床材が人に与える影響について調査している研究がある。例えば複数の床材に立っているときの主観的な不快感や疲労などを評価している研究がある [71] [72]。しかしこれらは触覚的質感が自身の感覚に影響を与えているものの、作品などのプロダクトに対

する印象の評価にまで影響を与えているかは定かではない。

そこで本実験では被験者がオブジェを評価することで、床面の質感が人に暗黙的に及ぼす影響について分析を行った。実験では、異なる床面の材質でゾーニングされた空間内において、対象物の鑑賞においてどのような心理的な変化が起きるか、調査を行った。

### 3.3. 作品鑑賞時の印象評価実験

#### 3.3.1 実験概要

実験で使用する床材や部屋については床材の実験であることを悟られぬようデザイナーの方々と議論をし(図3.2)、最終的に図3.3に示すような柔らかいカーペットを敷いた部屋と、図3.4に示すような硬いタイルを敷いた2つの部屋を用意した。それぞれの部屋に図3.6に示すような、形状とさまざまな印象との連想につ

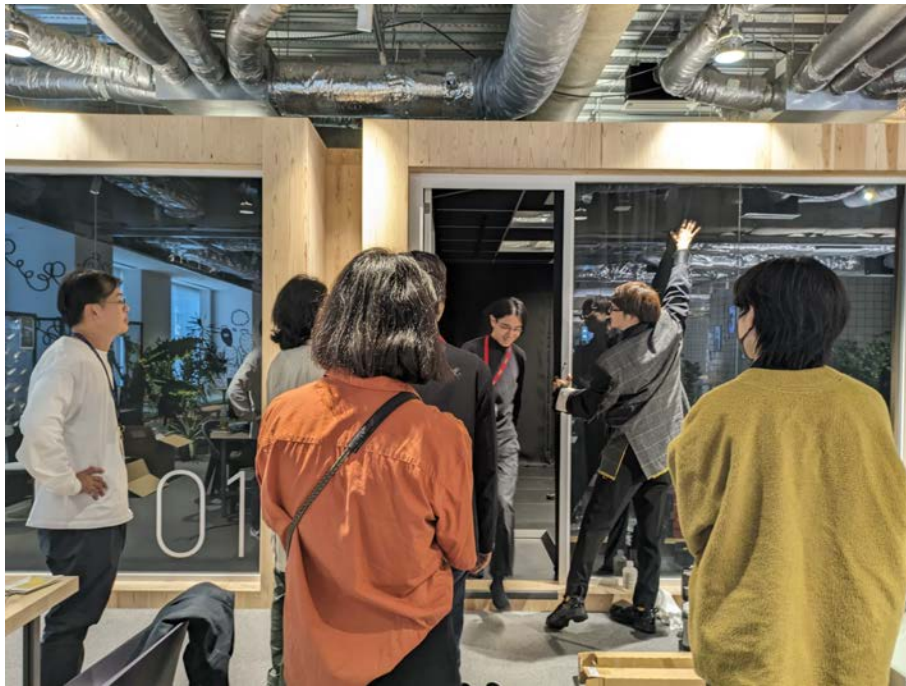


図 3.2 実験環境についての議論

いての研究 [73] からの着想を元に、Bouba をモチーフとした 3D オブジェと Kiki をモチーフとした 3D オブジェを設置した。被験者は床についての情報は与えられずに、どちらか 1 つの部屋のオブジェ 2 つを官能評価した。測定は 7 段階 SD 法で検証を行った。感性評価尺度は視触覚に関わる形容詞を抜粋している研究 [74] を参考に選出し 28 対用意した。得られた実験データの客観的評価を行い、評価をもとに身体性の観点からデザインの指針となりうる考察を行う。



図 3.3 床が柔らかいカーペットの部屋

### 3.3.2 実験装置

実験では床が柔らかいカーペット (ハンタフ黒 W100% 30mm シャギー 1800 粒) の部屋と硬いタイル (株式会社サンワ MB-6001M (マット)) の部屋の 2 つを用意した。素材のサンプルを図 3.5 に示す。各部屋は寸法約  $12\text{m}^2$  ( $3.96\text{m} \times 2.875\text{m}$ ) であり、視覚的な影響を最小化するために黒が基調の空間とした。評価対象物はクロスモーダル知覚評価に関わる Bouba と Kiki をモチーフとしたオブジェを作成



図 3.4 床が硬いタイルの部屋

し、各オブジェを高さ 1.1m の台の上に配置した。Bouba と Kiki は多感覚統合の実験手段として用いられ、Watanabe ら [75] は Bouba/Kiki 効果が触覚にも広がりを見せることを示している。各天井には検証用兼記録用に GoPro を 2 台設置した。

### 3.3.3 実験手順

被験者は 20 代から 50 代の 86 名であった (男性 46 名・女性 42 名)。被験者はどちらか片方の部屋のみ入室とし、うち 44 名は Soft (柔らかいカーペットを敷いた) 部屋に誘導した。残り 42 名は Hard (硬いタイルを敷いた) 部屋に誘導した。被験者は部屋に入る前に実験説明を受けた。このとき床についての実験であることは知らされなかった。被験者はアンケート回答用の iPad を受け取り指示された部屋に入室した。アンケート用の iPad からは「まずは 2 分間程度、部屋の中にある 2 つのオブジェをご鑑賞ください。見終わりましたら次へお進みください。」と指示された。2 分間の鑑賞を終えた後、被験者は各オブジェに対して 28 個の形容詞



図 3.5 床材のサンプル



図 3.6 Boubou(左) と Kiki(右) のオブジェ

対について7段階評価を行い記入した。

### 3.4. 実験結果

各部屋とオブジェクトごとの形容詞対に対する評価の平均値を図3.7に示す。7段階評価に対してt検定(対応なし)を行い、各オブジェクトに対して有意差と有意傾向が得られた形容詞対を図3.8, 3.9に示す。Boubaにおいて形容詞対弾力のある/弾力のないについて有意差( $p < 0.01$ )が得られた。また形容詞対規則的な/不規則なについて有意傾向( $p < 0.1$ )が得られた。次にKikiにおいて3つの形容詞対について有意な結果となった。好きな/嫌いなについて有意差( $p < 0.05$ )が得られた。明るい/暗いについて有意差( $p < 0.001$ )が得られた。美しい/汚いについて有意差( $p < 0.01$ )が得られた。また形容詞対洗練された/野暮なについて有意傾向( $p < 0.1$ )が得られた。またt検定では有意差が得られなかったものを抜粋して図3.10に示す。

### 3.5. 空間デザイナーとの議論および考察

結果から対象物のある限定された特性については、床の違いで主観的評価に偏りが生まれることが分かった。各形容詞対の考察を以下に記す。

- 弾力感に関して、Boubaにおいては硬い床の方がより強く感じられた。柔らかい床において足裏で知覚する柔らかさが視覚的認知に影響し弾力感を弱め、逆に硬い床のほうが相対的に強い弾力感を対象に対して感じる可能性がある。Kikiはそもそも対象からの弾力感を感じにくいため、差も生じにくいと考える。
- 不規則さに関して、Boubaにおいては柔らかい床の方がより不規則に感じられた。柔らかい床において足裏から感じる触覚の規則性が下がることで、対象物体から視覚的に感じる規則性も低下している可能性がある。

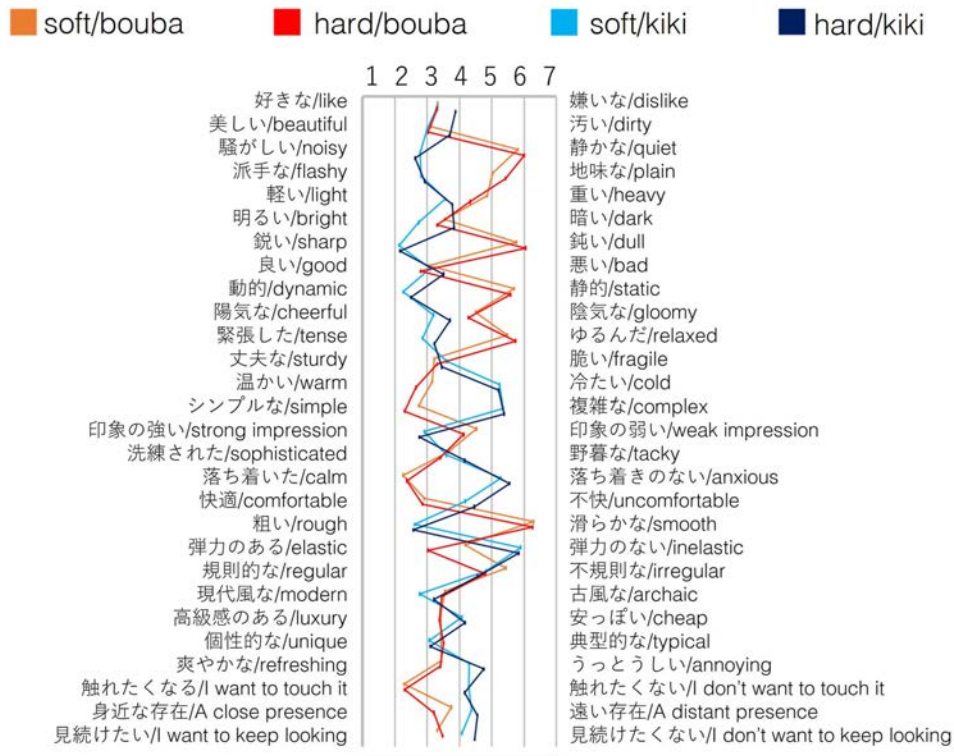


図 3.7 形容詞対に対する評価の平均値

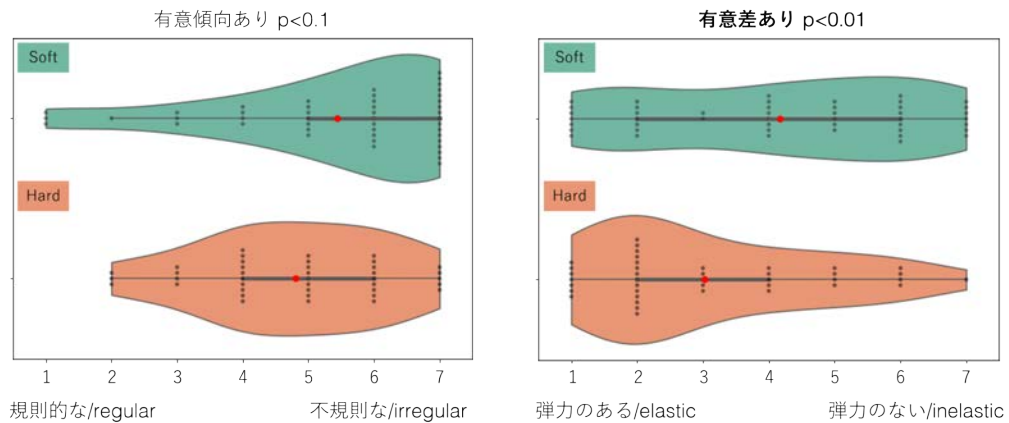


図 3.8 Bouba において有意傾向の見られた形容詞

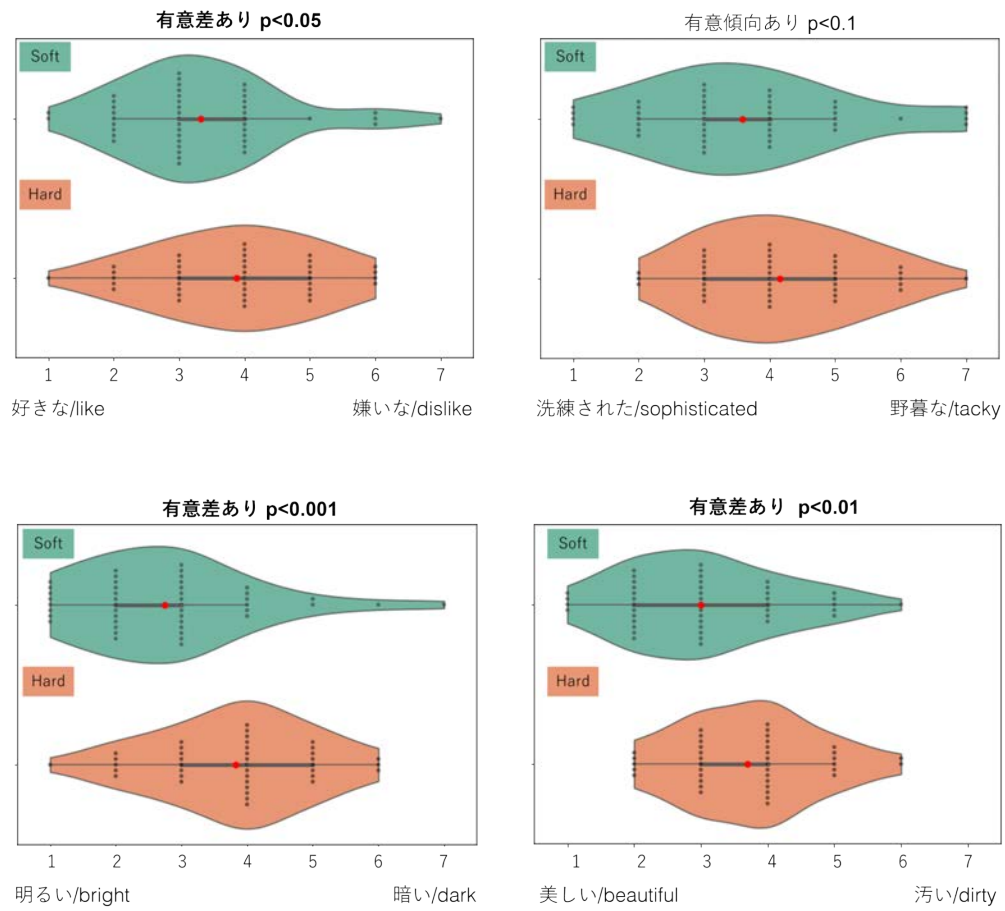


図 3.9 Kiki において有意傾向の見られた形容詞

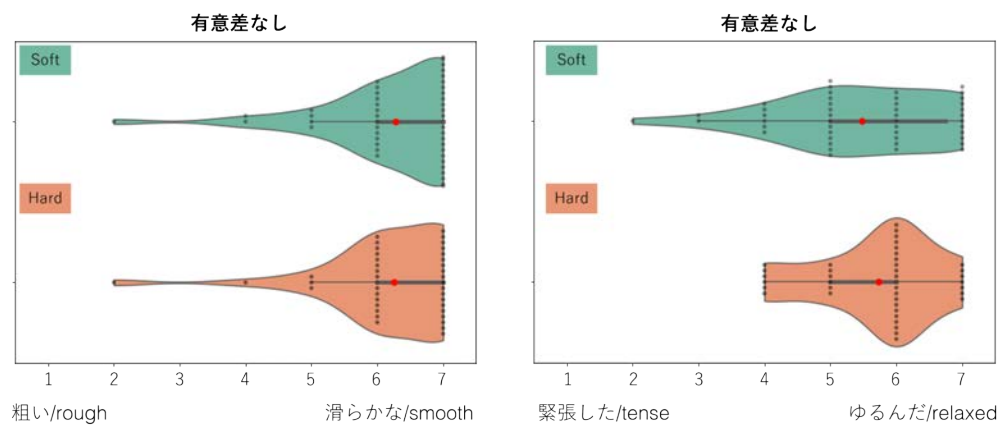


図 3.10 有意差が見られなかった形容詞の例

- 明るさに関して、Kikiにおいては柔らかい床の方がより明るく感じられた。柔らかい床のほうが足元の触覚の包み込まれ感が高く、より落ち着く。それにより相対的に対象物の白さが浮き出て感じられる可能性がある。ただし柔らかい床の方が光を吸収し部屋の壁が暗くなることで、実際に対象物の相対輝度が高くなっている可能性も考えられる。
- 美しさに関して、Kikiにおいては柔らかい床の方がより美しく感じられる傾向があった。柔らかい床の方が足元からKikiの持つ直線的な要素とは対抗する柔らかく不定形な触覚的印象が感じられ、相対的にKikiの視覚的印象として直線的美しさが強調されたことで、より美しく感じる可能性がある。Boubaにおいては対象物自体が持つ美しさが十分に高く、床からの影響が相対的に少なかったと考えられる。
- 好き嫌いに関して、Kikiにおいては柔らかい床の方がより好きに感じやすい傾向があった。柔らかい床の触覚的な柔らかさや不定形さがKikiの持つ直線的な視覚的特徴を浮き立たせ、それが対象物の視覚的印象に影響した可能性がある。
- 洗練さに関して、Kikiにおいては柔らかい床の方がより洗練されたものと感じやすい傾向があった。柔らかい床の方が足元から感じられる触覚に柔らかさや不規則さがあり、相対的に直線的な視覚的特徴を持ったことで、対象物の視覚的印象がより洗練されたものとして引き立たせられた可能性がある。

また今回有意差が見られなかった形容詞の中でも、図3.10の粗い/滑らかなと緊張した/ゆるんだのように図の形が同じものと違うものが見られる。結果の分布が異なるものは主観的評価に影響を与えている可能性があり、今後調査が望まれる。

今回の実験で得られた結果を、対象評価と床材の関係性を知覚現象として知られる「図と地の関係」として構造的に捉える。つまり、評価対象として意識を向かわせる対象物(図)と、評価者である人間が置かれている環境としての床材(地)という関係性である。実験に先立って、地である床材は空間全体を黒に統一するなどして対象として意識されないような工夫をした上で、2つの部屋の違いは床材

の質感のみである。結果から推測されることとしては、地にあたる床材の質感が対象物の評価に意識的・無意識的に影響している可能性があるということである。

今回の実験によって示唆される、床素材から得られる体性感覚が対象の評価に影響を及ぼすことの背後に図 3.11 のような構造を想定している。対象に対する視覚情報と床材によって生じる体性感覚が何らかの形で感覚統合され、人間が持っている内部モデルによって、対象の特性評価が処理されるという構造である。可能性として、この統合のされ方には、2つのパターンがあることが考えられる。まず図としての対象と地としての床材の間で、同様の性質を持った感覚質が互いに強調しあう「足し算的統合」である。そしてもう一つのパターンとして、相反する感覚質が与えられることによって、対象の特性がコントラストとして強調される「コントラスト的統合」である。これらの統合モデルが対象物と被験者の距離に応じて変わるといった指摘 [11] もある。今後は鑑賞者と作品との間に設けるバリアラインのデザインも考慮した設計が望まれる。

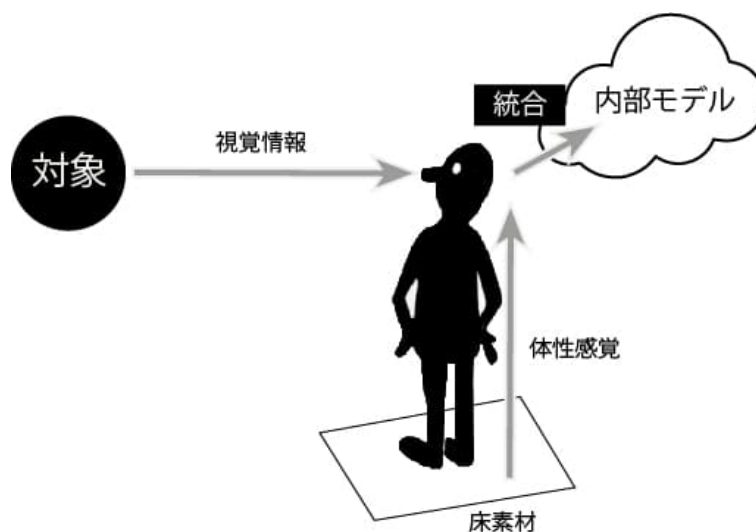


図 3.11 鑑賞物の視覚的な印象評価時に暗黙的に体性感覚が統合される内部モデルの存在が示唆される

この「図と地の関係」の中での対象評価の影響を意図的に印象操作することは、床材を活用したデザインの指針になるといえる。実際の店舗デザインや鑑賞空間の設計において、意図的に地に相当する床材を設計することで、対象物となる鑑

賞物，場合によっては商品の特定の特徵，あるいはその空間におけるエクスペリエンスのある側面を強調することができる可能性がある。この考え方は，既存の意匠的なビジュアルデザインの延長としての床材デザインとは異なる，身体性を主眼においた床材デザインの方針と言える。またこれは，既存の特定の空間デザインにおける空間デザイナーのヒューリスティクスとも合致するのではないかと考えられる。

一方で本実験では以下のような要因を十分に考慮できておらず，今後の検討が必要である。たとえば，触覚刺激の効果が時間とともにどのように変化するのかについては明確に解明されていない。また，振動の解釈には文化的背景や年齢差が大きく影響すると考えられる。異なる文化圏では振動にさまざまな意味が付与される可能性があり，さらに年齢層によって好みや感受性が異なることも想定される。これらの要因を総合的に理解し考慮することで，この知見がより普遍的で多様なニーズに適応し，その有効性を最大化する可能性が高まると考えられる。

### 3.6. 本章のまとめ

本実験では，異なる床面の材質でゾーニングされた空間において，対象物の鑑賞時に生じる心理的变化を分析した。その結果，地面からの触覚が暗黙的に作品の評価に影響を与えていることが示された。具体的には，Boubaにおいて「弾力のある／弾力のない」という形容詞対で有意な結果が得られた。また，Kikiにおいては「好きな／嫌いな」，「明るい／暗い」，「美しい／汚い」の3つの形容詞対で有意差が観察された。

これらの結果から，触覚情報が視覚的对象の印象形成に寄与していることが明らかとなった。これは，触覚がデジタル床によって変化させられる場合，コンテンツの印象や評価に柔軟に影響を与える可能性が示唆されたと言える。本研究は，まずアナログの床触覚に基づいて，触覚空間メディアとしての価値を確認した。

次章では，これらの知見を基に，デジタル床を用いた新たな空間メディアの可能性とそのコンセプトについて論じる。

## 第 4 章

# Concept Design

### 4.1. プラットフォーム化する空間

メディアとしての空間をデザインするために、空間メディアをプラットフォームとコンテンツの二つの側面から見る必要がある。空間メディアにおいては、プラットフォーム性があることで、クリエイターが介入しコンテンツ制作できることが望ましい。例えば、チームラボ<sup>1</sup>をはじめとするインスタレーションは、場所とコンテンツを一体化させることに成功しているが、多くの場合、特定のコンテンツのためだけに空間を最適化しており、コンテンツの変更や拡張が想定しにくい構造となっている。このため、プラットフォームとしてのメディア性は十分とはいえない。利用者側にとっては、このようなプラットフォーム性が空間に実装されれば、空間は単なる「場所」の提供にとどまらず、コンテンツを流動的に受け入れて変化し続けるメディアとしての可能性を獲得できる。

場所性とプラットフォームとして優れたメディア性を両立させるには、両領域に精通したプロの視点が欠かせない。場所づくりの専門家が重視する要素と、メディアの専門家が得意とするコンテンツ設計やユーザ体験の最適化は、しばしば異なる視点から語られるからである。

そこで本研究では、床触覚を通じた空間体験の可能性を探求するため、床材会社とテレビ局との共同研究を開始した。また、自身が空間触覚デザイナーとして参画し他のコンテンツともコラボレーションを進め、場所性とプラットフォームとしてのメディア性を両立する空間メディアの新たな価値創出を目指す。

---

1 <https://www.team-lab.com/1>

## 4.2. 堀田カーペット社長へのインタビュー

堀田カーペット<sup>2</sup>は1962年に大阪府和泉市で創業した、ウールのウィルトンカーペットを主力とするカーペットメーカーである。堀田カーペット株式会社の代表取締役である堀田将矢社長へのインタビュー(図4.1)では、カーペットが住宅空間に与える価値や、業界全体が直面する課題について話を伺った。



図 4.1 堀田社長へのインタビュー

### 4.2.1 空間に対する取り組み

堀田社長によると、カーペットの住宅市場は1970年代のピーク時と比較して1/100にまで縮小しており、ウィルトンカーペットを製造する会社はわずか4社、織機台数は20台程度、紡績や染色会社も数社に限られるなど、ウィルトンカーペットは存続の危機に瀕していると語った。

---

<sup>2</sup> <https://hdc.co.jp/>

しかし、堀田社長は「カーペットには他の床材にはない『柔らかい』という特徴があり、裸足で暮らす日本人にとっては魅力的な暮らし方につながる」と強調する。堀田カーペットの掲げるビジョンは「カーペットを日本の文化にする！」であり、カーペットの敷き込みによって床に座る生活や昼寝をする習慣、本を読む環境といった暮らしの質が大きく変わると述べた。

堀田社長は、カーペットを未来につなげるためには単なる産地の維持ではなく、「ウールカーペットを生産したいと思う人材や業界づくり（習得）」、「カーペットを楽しく選び、購入できる環境づくり（共有）」、「気持ちの良い暮らし方を広めていくこと（伝達）」という3つの循環を生み出すことが必要だと語った。

実際の取り組みとして、堀田カーペットは「CARPETROOM PROJECT」を推進している。このプロジェクトの第一弾として取り組んでいるのが、「CARPETROOM BASE」の建設である。本社工場から車で5分ほどの場所にある170坪の土地に「CARPETROOM BASE」を設け、宿泊施設・インテリアサロン・ショップを併設することで、カーペットの「体感」を提供するだけでなく、暮らしを構成する建築材料や商品との出会い、さらにはさまざまなインスピレーションを得られる空間の創出を目指している（図4.2）。

#### 4.2.2 空間メディアに対する期待

CARPETROOM BASEのようなショールームを作るには、コストや広大な面積が必要となる。多様な種類のカーペットを実際に体験してもらうためには、物理的な空間の制約が大きな課題となっている。

この課題に対して堀田社長は、空間メディアに期待するものとして、VRショールームのような仕組みを挙げる。もし空間メディアを活用して、遠隔でもカーペットの「質感」や「魅力」をリアルに伝えることができれば、物理的な制約を超えて、より多くの人々にカーペットの価値を届けることが可能になると語った。

さらに、堀田社長は「Material Meetup TOKYO vol.16 - 床材の可能性の拡張を考える」の登壇イベント<sup>3</sup>において、「空間メディアでカーペットが完全に再現で

---

3 <https://fabcafe.com/jp/events/tokyo/material-meetup-tokyo-vol-16/>

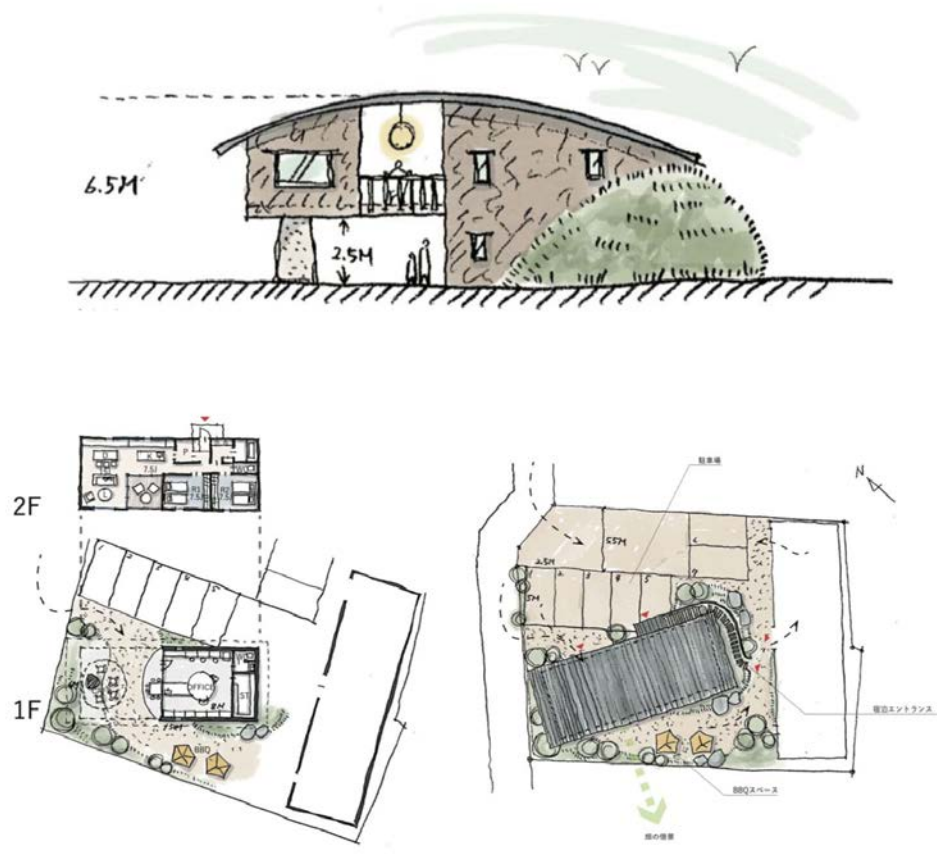


図 4.2 「CARPETROOM BASE」堀田カーペット HP<sup>1</sup>より引用

きるようになった場合、物理的なカーペットが必要なくなるのではないか」という問いに対し、次のように述べた。「新しい技術との融合は、市場を失うこと以上に価値がある」。

堀田社長は、デジタル技術や空間メディアが単にカーペットを置き換えるものではなく、新しい価値を生み出し、市場を拡張する可能性があると考えている。物理的なカーペットとデジタル空間の融合が進むことで、遠隔でも体験を共有できる新たな文化やライフスタイルの提案が可能になるだろう。

### 4.3. テレビ朝日社員へのインタビュー

株式会社テレビ朝日<sup>4</sup>は、日本のメディア業界を代表するテレビ局であり、長年にわたり視覚・聴覚を中心としたコンテンツを提供し、居住空間における「情報の中心」として機能してきた。本節では空間に関わる取り組みや期待に関してテレビ朝日技術局コーポレートデザインセンターの香川凌也氏、山村風子氏にインタビュー及び技術交流(図4.3)を行った。

#### 4.3.1 空間に関わる取り組み

両名によると、「これまでテレビ朝日は、IP コンテンツや出演者ネットワークを活用し、空間を演出するイベントや体験型インスタレーションを手掛けてきた。その一つに『ARTBAY TOKYO』<sup>5</sup>を挙げる。

また、新型コロナウイルス感染症の影響により、従来のような現地イベントの実施が難しくなった時期については、「オンライン空間やXR技術に取り組み、番組「金曜日のメタバース」におけるプロジェクト [76] を通じて仮想空間に新しい体験の場を提案した。これにより、遠隔地でも視聴者にテレビコンテンツやイベントを届けることができ、放送の新たな価値を創出している」と述べた。

---

4 <https://www.tv-asahi.co.jp/>

5 <https://artbaytokyo.com/>



図 4.3 テレビ朝日社員との技術交流

今後の展望について、「視覚や聴覚だけでなく、触覚や空間全体を活用することで、これまでになかった新しいコンテンツの形が生まれると考えている。例えば、家族や友人が集まりテレビを囲むような共有体験を触覚を通じて提供できれば、『お茶の間』という空間の価値や意味も再定義されるだろう」と語った。

#### 4.3.2 空間メディアに対する期待

両名は「これまでのイベント事業では、視覚や聴覚を活用した演出が中心だったが、そこに触覚を含む新しい要素が加わることで、空間デザインの可能性はさらに広がる」と語る。触覚を取り入れることで、単なる視聴体験を超えた、多感覚的な空間メディアとしての価値を提供できると述べた。

特に XR 事業については、「現在はメタバースのような仮想空間が中心となっているが、それだけに依存するのではなく、もう一つオプションな体験の選択肢が欲しい」と指摘する。その選択肢として、触覚や物理的な空間体験を取り入れ

ることで、新しいお茶の間的な楽しみ方が実現できるのではないかと述べる。「例えば、みんなでテレビを囲んで楽しむような共有体験が触覚を通じて提供されれば、単なる個別的なメディア消費ではなく、対マスを基軸とした新しい空間体験が生まれるだろう」と語った。

さらに、「イベント空間においては、目的を持って訪れた人だけでなく、たまたまその場を通りかかった人にも気軽に参加してもらえる設計が重要だ」と強調する。視覚や聴覚に加え触覚を活用することで、体験のハードルが下がり、偶然の興味や驚きを引き起こす仕組みが生まれる。「これによって、より多くの人々に空間メディアの価値を感じてもらえる可能性が高まる」と述べた。

また、居住空間における空間メディアとしての触覚については、「まず視聴者に触覚が面白いという気づきを与えることが大切だ」と考えている。触覚の魅力や可能性を広めるためには、イベント事業が最初のステップとして効果的ではないかと語る。「視覚や聴覚に比べて、触覚はまだ広く認識されていない。だからこそ、ユーザに直接体験をしてもらい、その新しさや価値を伝える場が必要だ」と強調した。

## 4.4. 触覚空間メディアの設計指針

本節では、インタビュー結果、関連研究、および自身の考察を踏まえ、触覚を活用した空間メディアに求められる設計要件を示す。

### 4.4.1 日常生活に溶け込む触覚デザイン

触覚空間メディアは、場所としての役割も損なわないために人々の生活空間に溶け込む形で設計されるべきである。堀田社長のインタビューでは「暮らしに寄り添うカーペットの価値」が強調されたが、これは触覚空間メディアにも共通する視点である。テレビ朝日の両名も、「イベント空間において、目的を持って訪れた人だけでなく、偶然通りかかった人にも気軽に参加してもらえる仕組みが重要だ」と述べ、体験のハードルを下げ、より多くの人に新しい価値を届ける重要性を語っている。

そこで、空間メディアは立つ・座る・寝転がるといった日常の姿勢変化に対応する必要がある。そのためには、床型の触覚メディアが最適であると考えられる。環境に統合された触覚提示により、足裏を中心に全身にフィードバックを提供できる。さらに、専用の装着型デバイスを必要とせず、日常生活に組み込まれることで、違和感なく触覚体験を楽しむことが可能である。

#### 4.4.2 柔軟なコンテンツ提供と空間のマッピング機能

触覚空間メディアが多様な体験を提供するためには、柔軟なコンテンツ設計が必要である。これは堀田カーペットの「ショールームで実際に触れて価値を感じてもらおう」という視点に通じる。複数のカーペットを体験できるように、触覚空間メディアにおいても、異なるシーンやユーザー層に応じてコンテンツを簡単に入れ替えられる設計が求められる。またこれはテレビ番組をはじめとする近年のメディアの基本構造とも言える。

さらに、空間メディアがインタラクティブであることを前提とすれば、物理空間とデジタルコンテンツを連携する空間マッピング機能が必須となる。図4.4のように現実の空間そのものをコンテンツに反映することで、直感的なインタラクションが実現し、没入感を高めることが可能となる。この点は筆者の考えとして、空間が触覚メディアとして機能するためには欠かせない要件である。

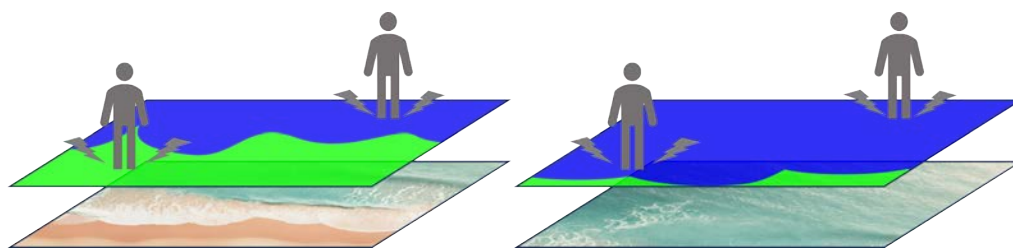


図 4.4 可変的な空間のマッピング

### 4.4.3 パーソナライズされた触覚体験の提供

近年のメディアは，スマートフォンを代表にパーソナライズ化が前提となっており，触覚空間メディアにおいても例外ではない．同一空間内で複数のユーザーが異なる体験を享受するためには，図 4.5 に示すように個別の触覚フィードバックが必要である．また，触覚の感じ方は位置や体勢により異なるため，イコライザー機能による柔軟な調整が求められる．これにより，ユーザーごとの状況に応じた最適な触覚設定が可能となり，快適な体験が提供されるべきである．

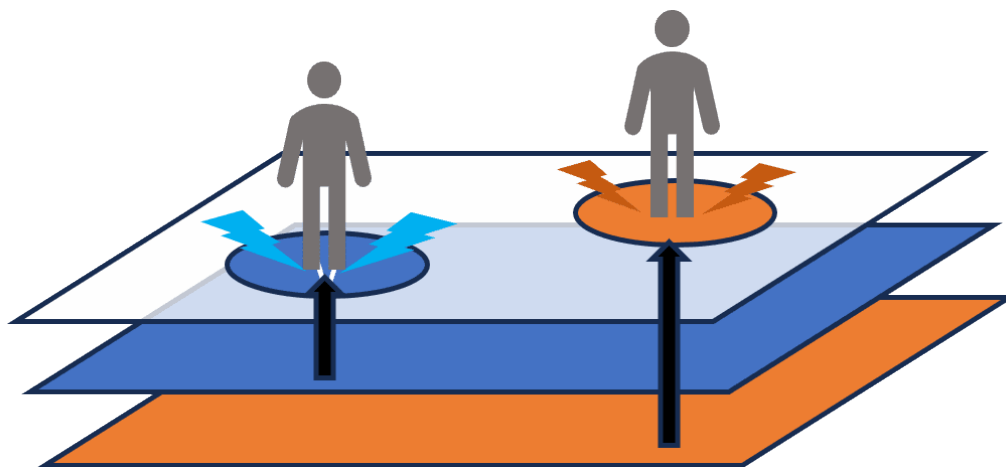


図 4.5 触覚のパーソナライズ化

## 4.5. HaptoRoom

本研究では，居住空間やイベント空間に適用可能な共通ソリューションとして，既存の場所の触覚が「位置」や「時間」，「人」に応じて変わることによって複数の「空間」の重畳を実現する空間メディア「HaptoRoom」(図 4.6)を提案する．HaptoRoom は，床材そのものに触覚提示機能を組み込むことで，視覚・聴覚中心の従来のメディア体験に触覚要素を付加し，空間的で没入感のある空間体験を実現することを目指している．

触覚メディアは，装着型デバイスとは異なり，環境に統合されることで日常生活の一部として触覚を体験できる点に価値がある．堀田カーペットのインタビュー



図 4.6 HaptoRoom のコンセプト

でも「暮らしに寄り添うカーペットの価値」が語られたように、HaptoRoomは床材一体型であることから、足裏や全身に触覚フィードバックを提供し、ユーザーが特別な準備や意識を必要とせず、無意識のうちに触覚体験を楽しむことができる。さらに、このような仕組みは、たまたまその場を訪れた人や触覚体験が初めての人に対しても、体験のハードルを下げ、気軽にコンテンツに参加してもらうことが可能である。

HaptoRoomは、触覚の強度や周波数を調整することで、多様な触覚コンテンツを柔軟に提供できる点も特長である。例えば、居住空間においては、映画視聴時に振動を通じた没入感を高める演出や、リビングや寝室でリラックス効果を生む触覚提示が可能である。一方で、イベント空間では、インタラクティブな展示や体験型インスタレーションにおいて、視覚や聴覚だけでは伝えきれない情報や体験価値を触覚を通じて補完し、空間全体を新しいメディアとしてデザインすることができる。

さらに、触覚メディアは近年のパーソナライズ化が前提となるメディア動向にも適応している。HaptoRoomでは、同一空間内に複数のユーザーが存在しても、それぞれの体勢や位置に応じて独立した触覚フィードバックを提供することが可能である。例えば、座って映画を観るユーザーと、立ってVR体験をするユーザーが同じ空間にいても、それぞれの状況に最適な触覚を提示することで、パーソナライズ化された体験を提供する。このため、体勢や利用シーンに応じて触覚の強度や周波数を細かく調整できるイコライザー機能が重要となり、ユーザーごとに最適化された触覚体験が実現する。

HaptoRoomは、このような日常生活への統合、柔軟なコンテンツ提供、およびパーソナライズ化された触覚体験を通じて、従来の視聴覚中心のメディアに触覚

を加え、空間そのものを重畳することで新たなインタラクティブメディアとして再定義する可能性を持つ。触覚が補完的な役割を果たすことで、ユーザーは気軽に、かつ新しい価値を体験できるようになる。

## 4.6. HaptoRoom の実装

本研究では、触覚提示デバイスとして「木製版プロトタイプ」と「建材一体型プロトタイプ」の2種類を実装した。本節ではそれぞれの設計とシステムについて紹介する。

### 4.6.1 木製版プロトタイプの実装

木製版プロトタイプは、可搬式の床型触覚デバイスの初期プロトタイプとして設計・製作した。

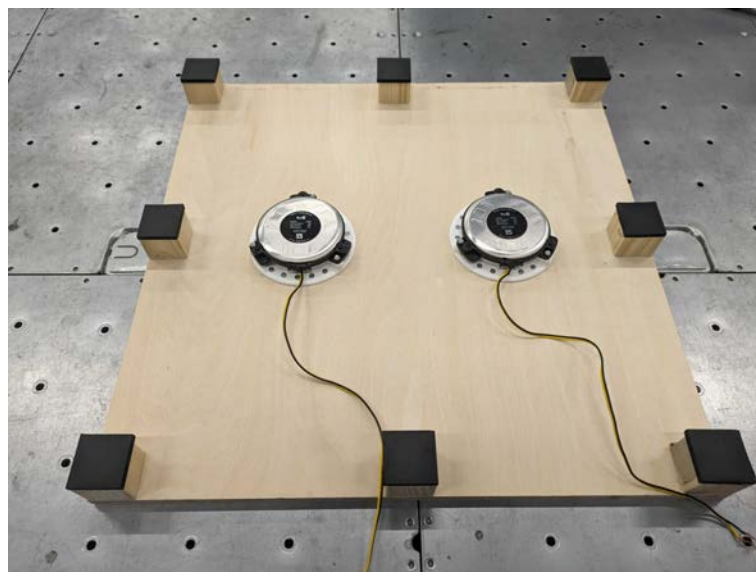


図 4.7 木製版床型触覚提示装置

### 触覚デバイスの設計と実装

デバイスには耐久性と振動伝搬効率を考慮し，1 モジュールあたり  $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 12\text{mm}$  の合板を使用した．各モジュールには振動子（アークヴ・ラボ製 VP6）を2つ取り付け，左右に分割された床面の触覚提示をそれぞれの振動子で制御できる設計とした．また，振動伝搬を妨げないように支柱は外周に8か所配置した．アンプは Foster 社製 AP15mk2，オーディオインターフェースは Loland 社製の OCTA-CAPTURE を使用した．

本デバイスは1人で2モジュールの中心に立つか，2人でそれぞれ別のモジュールに乗ることを想定して設計されている．製作した木製版プロトタイプを図 4.7 に示す．

### 振動触覚システムの設計

振動触覚システムは，オーディオ情報から直接振動を生成する方式を採用した．具体的には，音声信号を2系統に分岐させ，片方をそのままスピーカーに出力し，もう片方を触覚提示用オーディオとして使用する．

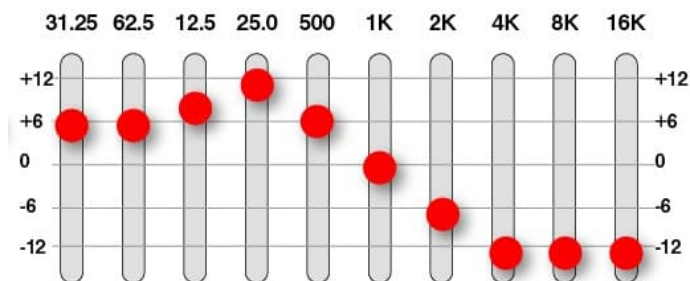


図 4.8 振動に適したイコライザ調整

触覚提示用のオーディオは，イコライザ（MXR（エムエックスアール）/ M108S 10 Band Graphic EQ）を通すことで  $1000\text{Hz}$  以下の低音域のゲインを強調し，振動として知覚しやすい信号を生成する．一方で  $1000\text{Hz}$  以上の音域は，スピーカーから聴覚情報として出力するためにゲインを下げ，触覚と聴覚のバランスを最適化した．このイコライザ設定を図 4.8 に示す．

木製版プロトタイプはこのような設計により、オーディオ情報から容易に振動触覚を生成し、手軽な体験導入を可能にした。

#### 4.6.2 建材埋め込み型ハードウェアプロトタイプの実装

本プロトタイプは振動機能を備えた2層構造の床型デバイスであり、オフィスフロア（OAフロア）に振動アクチュエータ（VP6）を取り付けたデバイスを上層（図4.10）に、荷重センサを取り付けたOAフロア [38] を下層（図4.11）に配置した構成である。OAフロアを採用した理由としては、配線のしやすさおよび、特定の箇所への振動提示のしやすさによるものである。振動アクチュエータは床面から直接振動を伝え、床面や椅子面に対して触覚フィードバックを提供する一方、荷重センサは床面にかかる圧力を検出し、フィードバックを生成するための基盤となっている。システムを図4.9に示す。

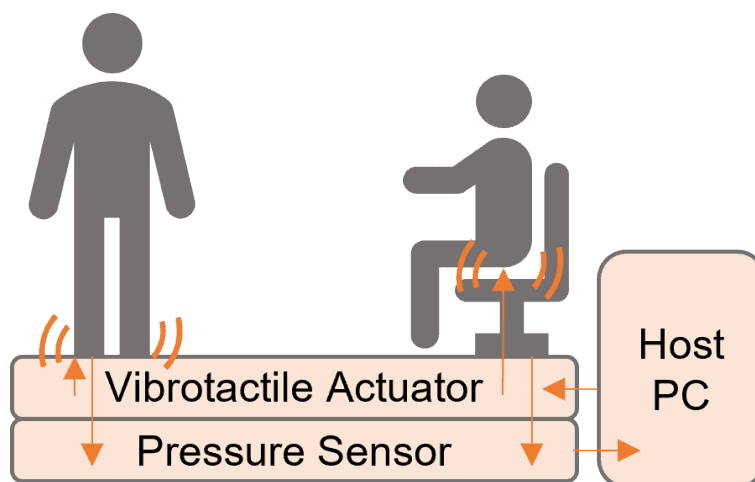


図 4.9 建材埋め込み型プロトタイプのシステム図

振動強度は家具や物体の部位ごとに異なるため、センサデータをもとに強度を補正し、均一な振動提示を実現する仕組みとした。ハードウェア構成には、振動トランスデューサとして VP6 シリーズ、オーディオインターフェースには MOTU LP32 を使用し、荷重センサモジュールは 50cm × 50cm × 5cm の高床構造に 36 個の荷重センサを配置、データ取得には HX711 アナログ-デジタル変換器を使用し



図 4.10 開発した上層の振動デバイス

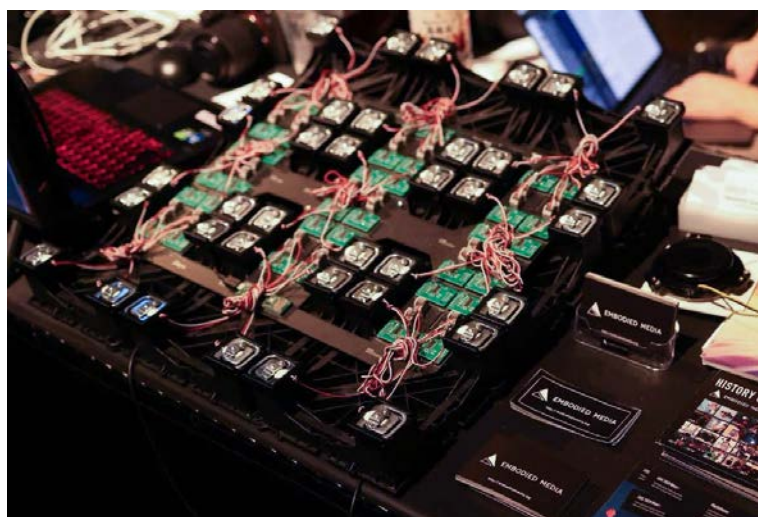


図 4.11 使用した下層のセンシングデバイス

て 80Hz でリアルタイムサンプリングを行うことで正確な荷重検出が可能となっている。

最終的に、この床モジュールを 3.0m × 1.5m のエリアに組み合わせ、圧力検出と振動フィードバックが一体化したシステムを実現し、床面を介した触覚体験を提供するハードウェアプロトタイプを構築した（図 4.12, 4.13）。



図 4.12 建材埋め込み型ハードウェアの背面

### 4.6.3 ソフトウェアの実装

本プロトタイプのソフトウェアは、圧力センシングと人間のトラッキング、触覚制御システム、および空間的触覚レンダリングの 3つの要素で構成されており、コンテンツを読み込むことで使用可能である。

#### コンテンツの読み込み

触覚コンテンツは、動画形式でマッピングを作成し読み込むことで、場所に応じた振動提示が可能となる。動画のサンプルを図 4.14 に示す。マッピングは RGB

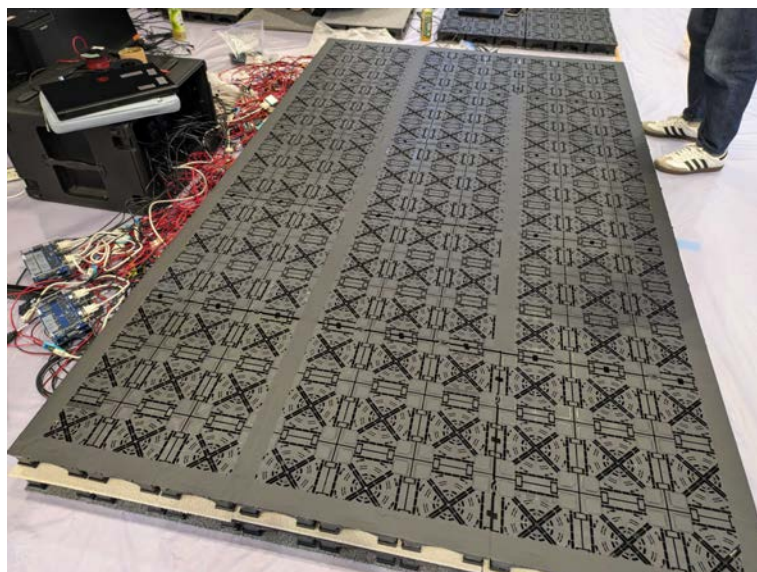


図 4.13 建材埋め込み型ハードウェア

で認識され、色の変化によって振動の種類を変更できる。また、音源にローパスフィルターを適用することで、振動用の音源として利用可能である。したがって、コンテンツ制作者が準備すべきものは、音源およびマッピング用の動画ファイルである。

#### 圧力センシングと人間のトラッキング

本研究では、未踏アドバンス事業「力覚遍在化技術の社会実装のためのプラットフォームの実現」[77]で開発された圧力ベースのトラッキングアルゴリズムを採用し、床面の荷重データをリアルタイムで解析することで人物の位置と足の状態（0本、1本、2本の接地）を検出する。アルゴリズムはPythonおよびRustで実装され、GUIはTypeScriptのReactフレームワークを用いて開発された。このシステムにより、複数の人物のトラッキングと足跡情報の可視化が可能となり、図4.15に示すようなインターフェースが実現されている。取得されたセンシングデータはUDP通信を通じてTouchDesignerで作成したパッチに送られ、位置情報やID情報が整理・管理される。

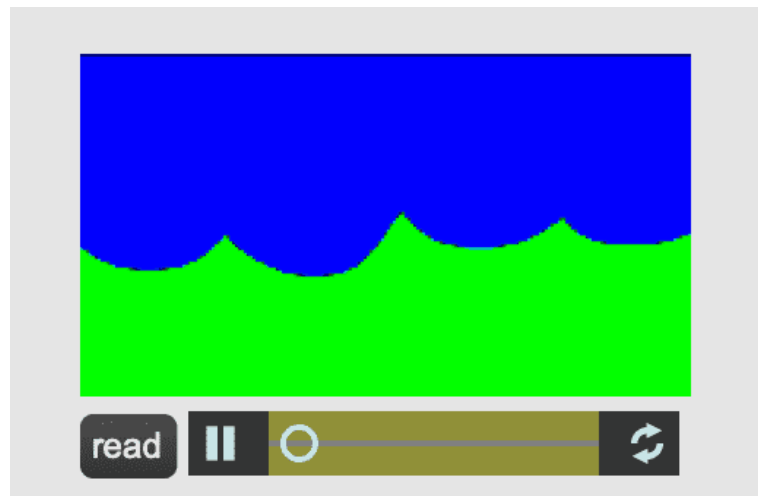


図 4.14 マッピング用の動画例

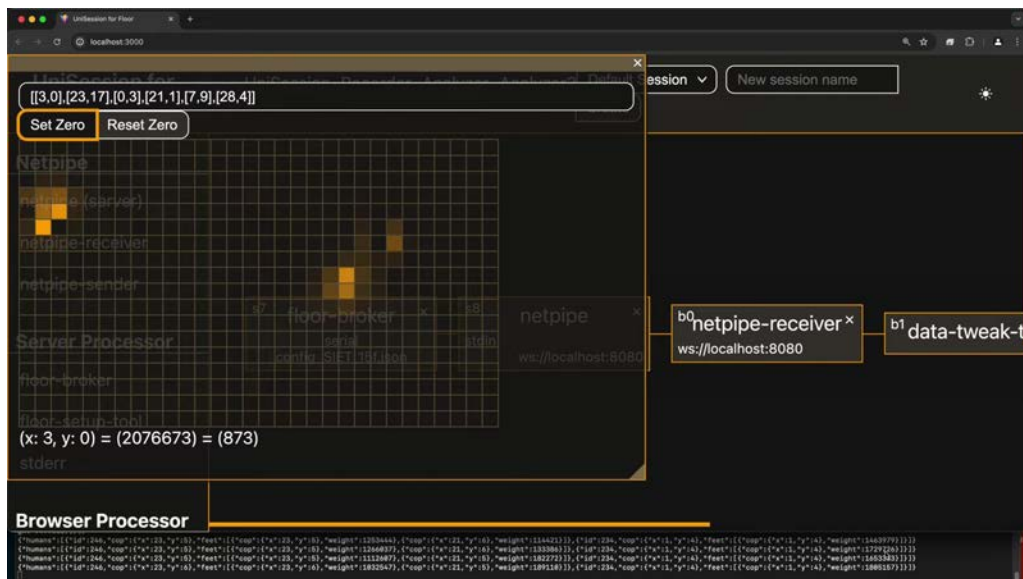


図 4.15 圧力センシングプログラムの GUI

## 触覚制御システム

TouchDesigner で整理されたデータは UDP 通信により MAX/MSP のパッチに送信され、振動フィードバックを制御する。床面に設定されたスイッチを踏むことで、TouchDesigner 側でコンテンツの切り替えが行われ、異なるシーンや振動を提示することができる。振動フィードバックは、センサデータに基づき振動の周波数や振幅が動的に調整され、荷重に応じて踏んだ場所の振動強度（ボリューム）が変化する。さらに、触覚イコライザー機能を用いることで、GUI（図 4.17）を通じて手動で振動の強度を調整することが可能となっている。

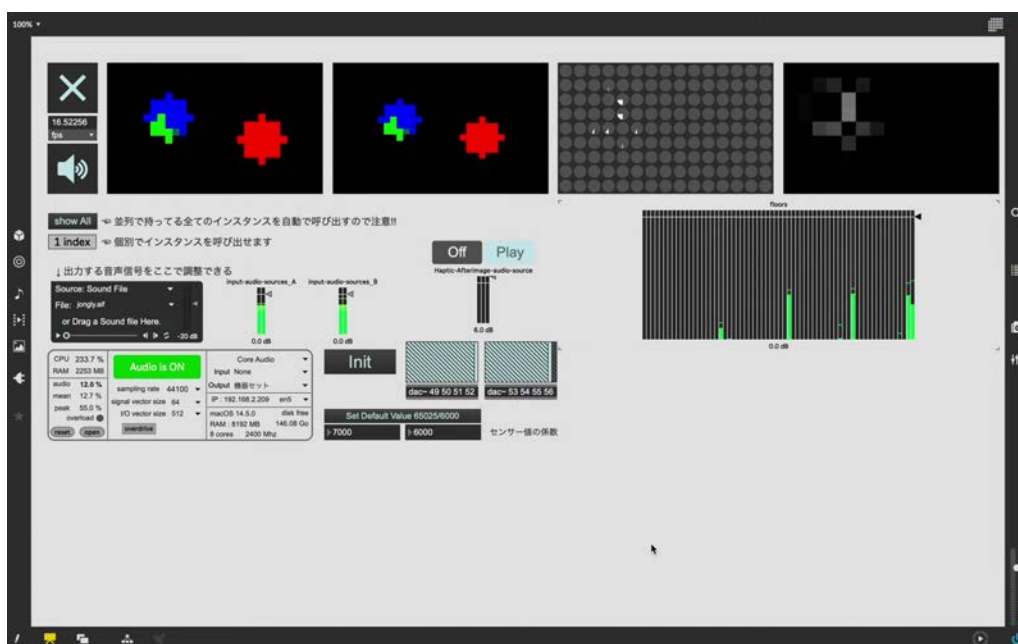


図 4.16 振動生成プログラムの GUI

## 空間的触覚レンダリング

触覚提示システムでは、UDP 通信で得られたトラッキングデータに基づき、特定の場所に対応した触覚コンテンツを提示する。加えて、触覚補間機能を導入することで、アクチュエータが直接配置されていない場所でも周囲 4つの振動子を振動させ、隙間を補完する仕組みを構築している。これにより、床面全体で一貫

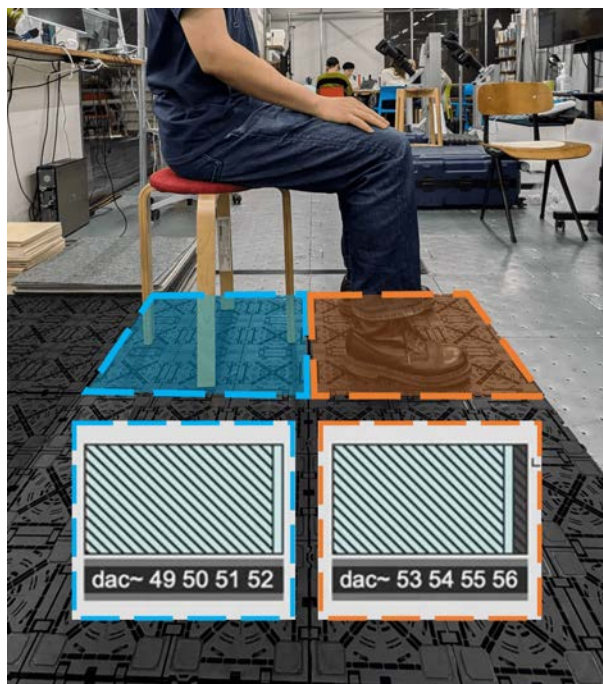


図 4.17 場所に応じたイコライゼーション

した触覚提示が実現され、体験者が違和感なく振動を感じられる設計となっている。システムの構造を図 4.18 に示す。

完成した HaptoRoom 全体像を図 4.19 に示す。

## 4.7. 展示を通じたユーザビリティテスト

アメリカのコロラド州デンバーで 2024 年 7 月 28 日から 8 月 1 日に開催された「SIGGRAPH2024 Emerging Technologies」で HaptoRoom [78] を展示し、フィードバックを収集した。

また同様の展示を竹芝ポートシティで 2024 年 10 月 12 日・13 日に行われた「ちょっと先のおもしろい未来 2024 (ちょもろー)」<sup>6</sup>にて「デジタルで拡張された世界をあるく」として展示を行った。

6 <https://www.change-tomorrow.tokyo/>

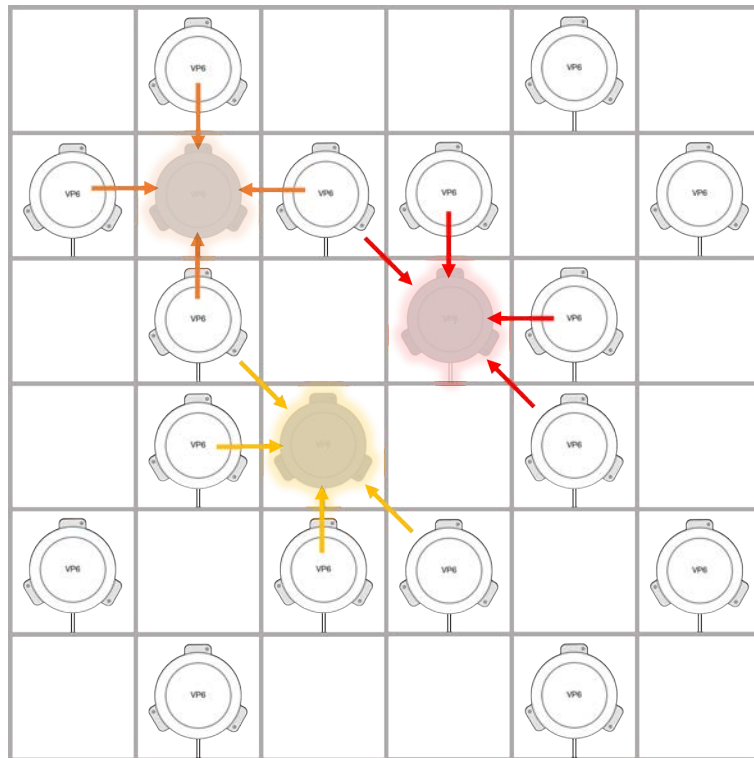


図 4.18 触覚補間機能



図 4.19 HaptoRoom



図 4.20 SIGGRAPH 展示の様子



図 4.21 SIGGRAPH 展示で使したデバイス

### 4.7.1 体験設計

本展示では、同時に3名まで参加可能なインタラクティブな触覚体験を設計した。参加者全員にはヘッドホンを装着してもらい、視覚と聴覚を通じて没入感の高い体験を提供する。2名は床上を歩行することで触覚を感じ、1名は椅子に座った状態で体験を行う構成となっている。展示の様子を図4.20, 4.21に示す。

歩行する2名には、床に設置された特定の2か所を踏むことでシーンを「海」と「森」に切り替えるインタラクションが提供される。シーンの切り替わりはモニターに表示されたイメージ画像の変化でも確認でき、視覚的にも環境の変化を知ることができる。「海」のシーンでは、波の動きを触覚として感じられるだけでなく、場所ごとに異なる触感が提示される。砂浜がマッピングされたエリアでは砂を踏む感触、水面がマッピングされたエリアでは水を踏む感触を体験できる。また、波は時間経過により動的に変化し、床の中央付近では砂と水の触感が滑らかに切り替わる設計となっている。一方、「森」のシーンでは、床を踏んだ際に落ち葉を踏む感触が再現され、自然の中を歩いているかのような触覚体験が提供される。

これらの触覚デザインは、フリーの効果音（SE）の低周波成分を編集することで実現した。振動は、特定の周波数帯域を強調し、波や落ち葉の動きを触覚として再現するよう設計した。

椅子に座る1名には、椅子と床を一体化させた触覚体験を提示する。具体的には、触覚残像<sup>7</sup>のコンテンツを床の振動を通じて椅子に伝えることで、椅子に座った状態でも動きや触覚を感じる体験を可能とした。

これらの設計により、触覚、視覚、聴覚が連携し、空間全体を通じて没入感のある体験を提供すると同時に、触覚と空間のインタラクションが生み出す新しい体験価値を提示した。

---

7 <https://www.ntticc.or.jp/ja/archive/works/haptic-afterimage/>

### 4.7.2 フィードバック

SIGGRAPH 展示期間中の5日間で100人以上が参加し、プロトタイプ体験後にウェブアンケートフォームを通じてカジュアルなフィードバックを収集した。ここでは、カンファレンスの参加者から寄せられた主なフィードバックを以下に示す。

- **HaptoRoom** 体験について良かった点

- 触覚残像体験について:
  - \* 「リアルな没入感が良かった」
  - \* 「そこにいない人を感じられるのが良かった」
- 複数ユーザーの触覚体験について:
  - \* 「ユーザーにとって侵襲的でない体験が良かった」
  - \* 「振動が空間オーディオと共にあり、足で異なる表面を感じながら、水の飛沫音や砂の音を聞くのが良かった」

- **HaptoRoom** 体験についての改善点や提案

- 触覚残像に関して:
  - \* 「視覚的なフィードバックも追加して人を見たい」
  - \* 「より強力なノイズキャンセリングがあると良い」
- 複数ユーザーのパーソナライズされた体験について:
  - \* 「スケーラブルで、より多くの人と同時に体験できるようにしてほしい」
  - \* 「落ち葉のカサカサ音がうまく再現できなかった」

展示では、立つ・座り込む・椅子に座るといったさまざまな姿勢に柔軟に対応した設計が可能であることを示した。フィードバックから、HaptoRoom は自然な触覚体験を提供しつつも、スケーラビリティの拡張が今後の課題として挙げられた。一方で、異なる姿勢や体験内容に適応できる設計が評価され、触覚空間メディアとしての新たな可能性が確認された。様々な体勢での体験の様子を図 4.22, 4.23 に示す。

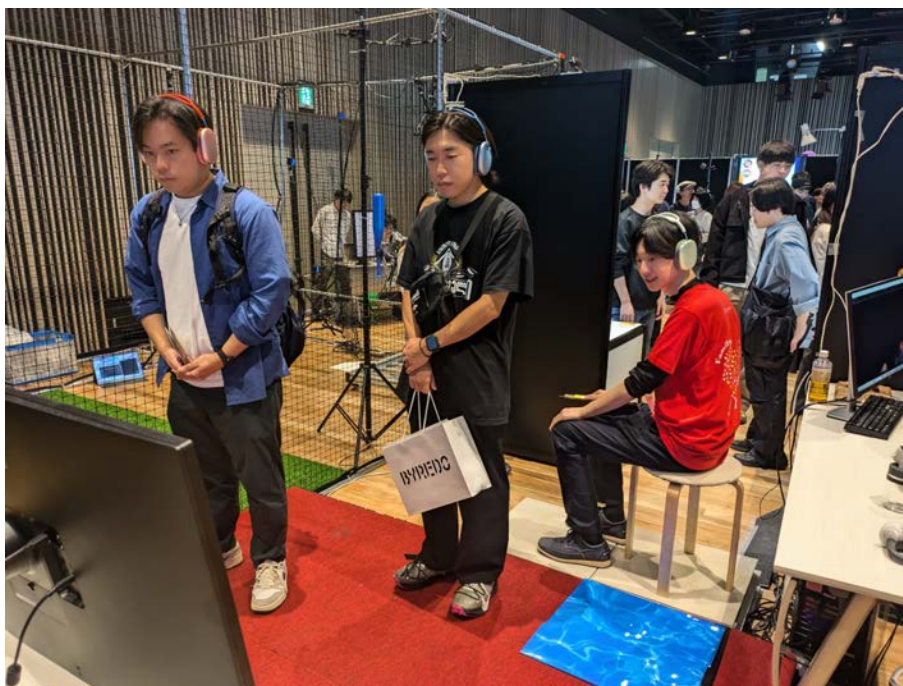


図 4.22 ちょもろー展示の様子

## 4.8. 多様なコンテンツ融合によるメディアとしての実証

HaptoRoom をメディアとして活用するためには、多様なコンテンツを柔軟に組み合わせ提示できることが重要である。本研究では、HaptoRoom をメディアとして活用する可能性を実証するために、自身が空間触覚デザイナーとして参画しながらさまざまな作品とのコラボレーションを行った。本節では、これらのコラボレーション事例を紹介し、HaptoRoom がメディアとしてどのように機能したかを述べる。

まず「INTER BEE IGNITION DCEXPO 2024」において、「HaptoRoom: 部屋全体を触覚インタフェース化する床材一体型デバイス」として展示を行った。本展示は HaptoRoom が経済産業省 令和 6 年度コンテンツ海外展開促進事業（コンテンツ海外展開のための官民連携体制構築事業）先端テクノロジー 社会実装プログラム Technology Implementation Program (TIP) 支援対象技術に採択されたことによる展示機会である。展示では、視覚作品や音響作品とのコラボレーショ



図 4.23 座り込んで体験する様子



図 4.24 人を追従するプロジェクションマッピングとのコラボレーション

ンも実施し、視覚・聴覚・触覚が融合した体験を来場者に提供した。

作品としては慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科（KMD）修士課程の鐘康鴻による人を追従するプロジェクションマッピング（図 4.24），同研究科修士課程の沈家宜による人の存在感を二者間に提示する音響コンテンツ（図 4.25），同研究科修士課程の大久保暖々子による荷重に応じて変化する水面プロジェクション（図 4.26）である。

同様に家具コンテンツとして武蔵野美術大学，小林康平の家具をスイッチとするコンテンツに触覚を付与するコラボレーションを行った（図 4.27）。

また VR 作品として KMD 修士課程，梅原路旦のバーチャル犬を撫でたり，おもちゃの紐を引っ張り合う「MR. Dog」に足裏触覚を加えるコラボレーションも行った（図 4.28）。

同様に VR 作品として，KMD 修士課程の森田迅亮とアバターの視覚効果と触覚を介して自身が水になったように感じる作品の制作を行った（図 4.29）。

さらに KMD インターン生，永田凧による閉眼時に光の動きと立体音響で電車



図 4.25 人の存在感を感じる立体音響とのコラボレーション

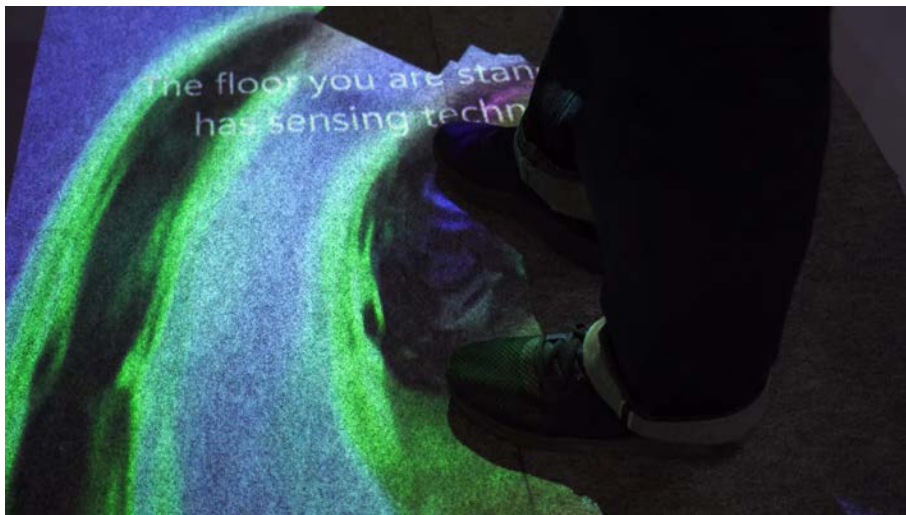


図 4.26 荷重に応じた水面プロジェクションとのコラボレーション



図 4.27 家具インタラクションとのコラボレーション

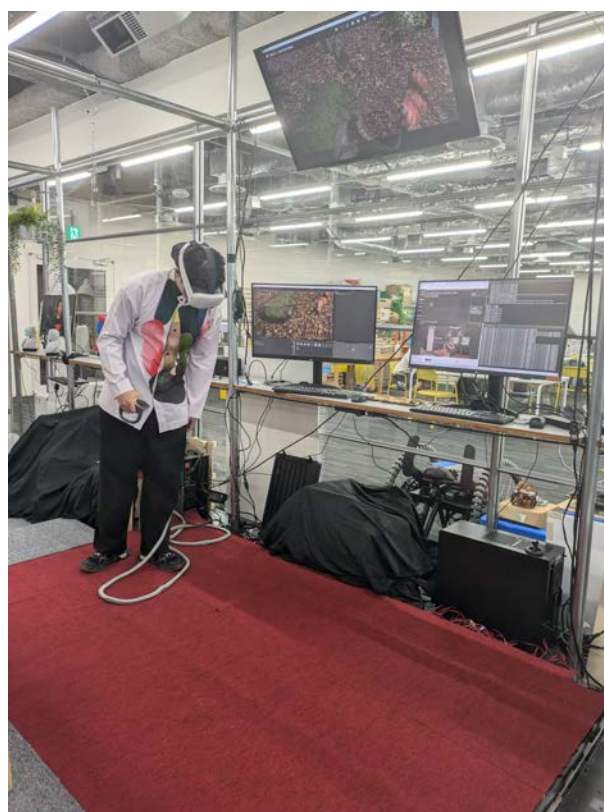


図 4.28 VR コンテンツ「MR.Dog」とのコラボレーション



図 4.29 VR 認知コンテンツとのコラボレーション



図 4.30 閉眼時の光投影コンテンツとのコラボレーション

に乗っている感覚を生むコンテンツに触覚を付与しコラボレーションも行った (図 4.30).



図 4.31 自身のコンテンツである素材が自由にかわる床

自身のコンテンツとしては踏み込みに応じて、氷を割る体験、マグマの上を歩く体験、木の軋みを楽しむ体験を作成し、日本科学未来館主催 のぞいてみよう！研究エリア「身体性メディア」プロジェクト カラダで感じる！ 未来のインタラクションにて「素材が自由にかわる床」として展示を行った (図 4.31).

## 4.9. HaptoRoom の統合設計

HaptoRoom の機能を統合・拡張することで、新しい柔軟なモジュール設計と記録システムを実現した。

### 4.9.1 HaptoRoom のモジュール化

HaptoRoom では、圧力センサ床と振動床を組み合わせた二重構造が採用されていたが、本研究ではこれらの機能を 1 つの床に統合した新バージョンを制作し

た(図 4.32). この新しい床は, 1 モジュールあたり 25cm × 25cm と足 1 つ分の大きさに設計され, 可搬性にも優れている. さらに, モジュールが小型化されたことで, 円形に近い形状など柔軟なレイアウトにも対応可能となった.

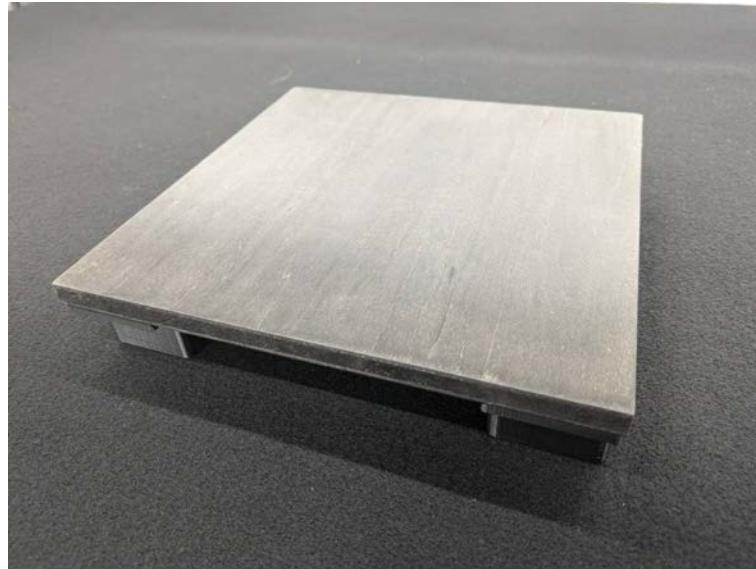


図 4.32 HaptoRoom デバイスのモジュール化

#### 4.9.2 記録メディアとしての HaptoRoom

これまでの HaptoRoom では, 圧力センサのみを記録インターフェースとして利用していた. しかし, 新たにエレクトレットコンデンサマイクロホン(株式会社プリモ社製 EM246U100B1)を導入することで, 振動の記録も可能とした図 4.33. これにより, 圧力情報と振動情報の両方を取得できる統合的な記録システムを実現し, 触覚データの多様な応用が期待される.

マイクから収録された音源は, ArduioInterface(BEHRINGER/ADA8200 および MOTU LP32) を経由し PC の MAXMSP で作成したプログラムに送信される. 送信された音源は Path を指定したクラウド上に保存可能であり, 別環境からも呼び出し可能である. 呼び出された音源は MAXMSP のプログラム上でローパス

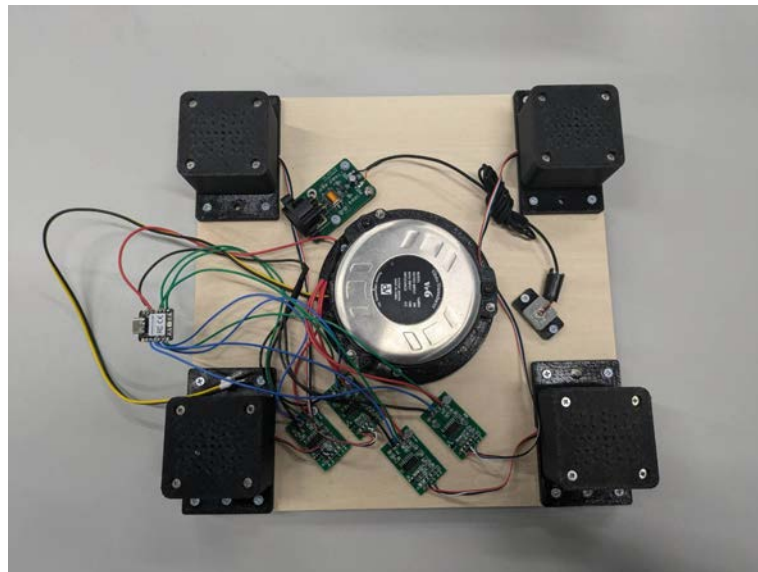


図 4.33 触覚記録機能の追加

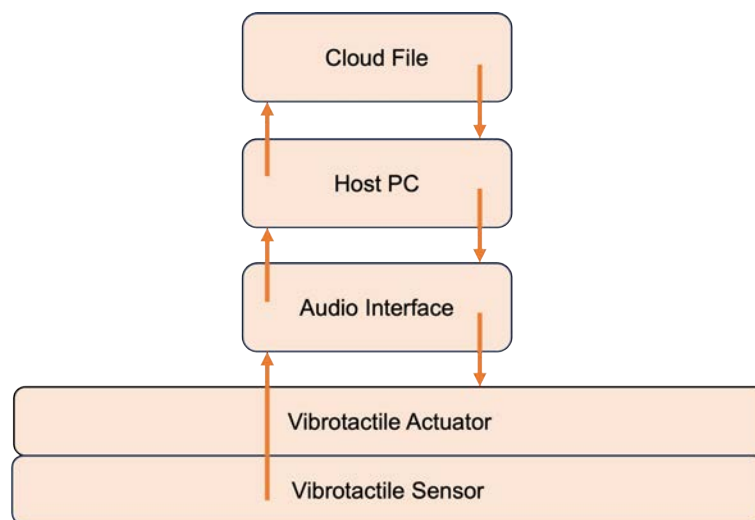


図 4.34 触覚記録再生機能のシステム図

フィルターがかけられ、再び ArduinoInterface を経由して床を振動させる。以上のシステムを図 4.34 に示す。

## 4.10. 本章のまとめ

本章では、既存の場所の触覚が「位置」や「時間」、「人」に応じて変わることによって複数の「空間」の重畳を実現する空間メディア「HaptoRoom」の概念設計と実装に関する詳細を示した。まず、触覚空間メディアのプラットフォーム化の必要性を明らかにし、堀田カーペット社長やテレビ朝日社員へのインタビューを通じて、実社会での空間メディアに対する期待や活用の可能性を探った。その後、触覚空間メディアの設計指針を策定し、日常生活に溶け込む触覚デザイン、柔軟なコンテンツ提供と空間のマッピング機能、パーソナライズされた触覚体験の提供という三つの主要な指針を提案した。

さらに、HaptoRoom のハードウェアおよびソフトウェアの実装について述べ、木製版プロトタイプと建材埋め込み型ハードウェアプロトタイプを開発し、それぞれの利点を比較した。また、HaptoRoom のシステム設計において、圧力センサ床と振動床の統合を進め、よりモジュール化された設計を採用することで、空間への適応性を向上させた。これにより、HaptoRoom の適用範囲が広がり、設置環境に応じたカスタマイズが容易になった。

また、展示を通じたユーザビリティテストを実施し、体験者からのフィードバックを収集した。SIGGRAPH やちよもろー展示など、異なる環境での展示を通じて、HaptoRoom が提供する触覚空間メディアの魅力と課題を明らかにした。その結果、HaptoRoom の触覚デザインが来場者の没入感を向上させることが確認され、特に触覚のパーソナライズ化が体験の質を大きく左右することが示唆された。

加えて、多様なコンテンツとの融合を行い、HaptoRoom がメディアとしての可能性を持つことを検証した。具体的には、プロジェクションマッピング、立体音響、水面プロジェクション、家具インタラクション、VR コンテンツなど、さまざまなメディアとの統合を試み、触覚空間メディアが多様な用途に対応可能であることを示した。

最後に、HaptoRoom の統合設計を進め、モジュール化と記録メディアとしての活用について検討した。触覚データを記録・再生する機能を追加することで、HaptoRoom が単なるリアルタイムの触覚提示システムにとどまらず、過去の体験を保存・再生できるメディアとしての可能性を持つことを示した。

次章では、産学連携を通じた HaptoRoom の実証研究について述べ、既存空間における応用の可能性を探る。

## 第 5 章

# 産学連携を通じた実証

本章では空間メディアに必要な「場所性」に着目し、産学連携を通じて既存の役割のある場所に空間を重畳することを目指す。

### 5.1. 堀田カーペットによる HaptoRoom の活用

堀田カーペット株式会社<sup>1</sup>では、カーペットの魅力を経験してもらうために宿泊施設やショールームを活用し、カーペットのある暮らしを広める取り組みを行っている。一方で、堀田社長は「ショールームを遠隔で体験できる仕組みがあれば、より多くの人にカーペットの価値を届けられる」と語り、空間そのものをメディアとして活用する新しいアプローチに期待を示している。

本プロジェクトでは、堀田カーペット株式会社が目指すショールーム体験の拡張と、HaptoRoom が提案する触覚を通じた空間メディアの可能性が一致したことから共同研究として実施された。HaptoRoom は、カーペットの触覚や質感を環境型メディアとして空間全体に提示し、リアルな体験を提供することで、ショールームの「場所」としての役割に加え、メディアとしての新たな価値を創出することを目指す。

---

1 <https://hdc.co.jp/>

### 5.1.1 共同研究体制

本研究の目標を実現するため、堀田カーペット株式会社と名古屋工業大学<sup>2</sup>と一般社団法人日本工芸産地協会<sup>3</sup>と株式会社三菱総合研究所<sup>4</sup>、および慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Embodied Media Project の共同研究を実施した。

本プロジェクトには、堀田カーペット株式会社からは堀田将矢社長、名古屋工業大学からは浅野奈津乃氏、湯川光助教、田中由浩教授、株式会社三菱総合研究所からは藤馬裕一氏、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Embodied Media Project からは筆者、吉田貴寿特任助教、堀江新特任助教、南澤孝太教授が参加した。本プロジェクトにおいて、筆者は床振動装置の開発および振動デザインを担当した。



図 5.1 堀田カーペット工場のウィルトン織機

---

2 <https://www.nitech.ac.jp/>

3 <https://kougei-sunchi.or.jp/>

4 <https://www.mri.co.jp/>

### 5.1.2 堀田カーペットでのフィールドワーク

図 5.1 に示すような工場を含む堀田カーペットでのフィールドワークを通して、堀田社長を中心にカーペット職人がカーペットの質感の言語化を行った。様子を図 5.5 に示す。以下に実際に言語化した踏み心地の原理を記述する。



図 5.2 職人によるカーペットの質感の言語化

- ストローク（自己受容感覚） 地面の柔らかさや変形具合は、足がどのくらい沈み込むかという感覚に強く関連する。足の沈み込み量に応じた自己受容感覚が、地面の柔軟性や抵抗感を認識する鍵となる。
- 接触面積（皮膚感覚） 足の皮膚が床面に触れる面積が変化することで柔らかさや硬さを感じ取る。柔らかい床では足圧による変形が生じ、接触面積が増加する。一方で硬い床では変形が少なく、接触面積の変化は最小限となる。
- 振動（皮膚感覚） 振動刺激は足底の皮膚感覚を活性化させ、地面の硬さや質感を認識する要素として働く。硬い床では高周波の振動が、柔らかい床では低周波の振動が主に生じる。

- 見た目のテクスチャ（視覚） 地面の視覚的特徴（模様や色合い）が、柔らかさや硬さに対する印象形成に影響を与える。視覚情報と触覚情報が統合されることで、床の印象がより強調される。

### 5.1.3 博覧会での活用

日本工芸産地博覧会 JAPAN CRAFT EXPO で開発したカーペットの踏み心地を再現した HaptoRoom の展示を行った。展示は2023年11月3日～11月5日に大阪万博記念公園にて行われ、工芸と Haptics の融合である「CrafTouch」プロジェクトとして出展した。日本工芸産地博覧会は数多くの工芸を取り扱う店舗が販売やワークショップを行っており、堀田カーペットも CrafTouch とは独立に別のブースでワークショップや販売を行うなど、博覧会としての場所の特性を備えていた。展示会の様子を図 5.4, 図 5.3, 図 5.6 に示す。



図 5.3 展示ブースの外観



図 5.4 博覧会で使用したデバイス

### 体験設計

言語化した踏み心地の原理に対応した仕組みを検討し実装した（図 5.5）。

- **センシングと Pseudo Haptics** Pseudo Haptics は、ユーザーの動きを取得し、視覚効果と組み合わせて柔らかさを演出する技術。動きに応じた変形や影の演出により、自然な感覚を生み出す。
- **触覚クリップ [79]** 周囲から圧迫する機構を用い、足が接地した際の変形や接触面積を調整することで、柔らかさや硬さを提示する。力加減に応じた触覚的な違いをリアルに表現可能。
- **HaptoRoom** 足圧に応じた複数の振動素子が埋め込まれた装置を用いて、柔軟な質感を再現する。振動のパターンを変化させることで、多様な踏み心地を再現可能。

- 印刷による素材表現 カルペットの視覚的テクスチャを特殊な印刷技術で再現する。これにより、触覚と視覚が統合されたリアルな踏み心地を提供できる。

### 踏み心地の言語化

### 対応する技術

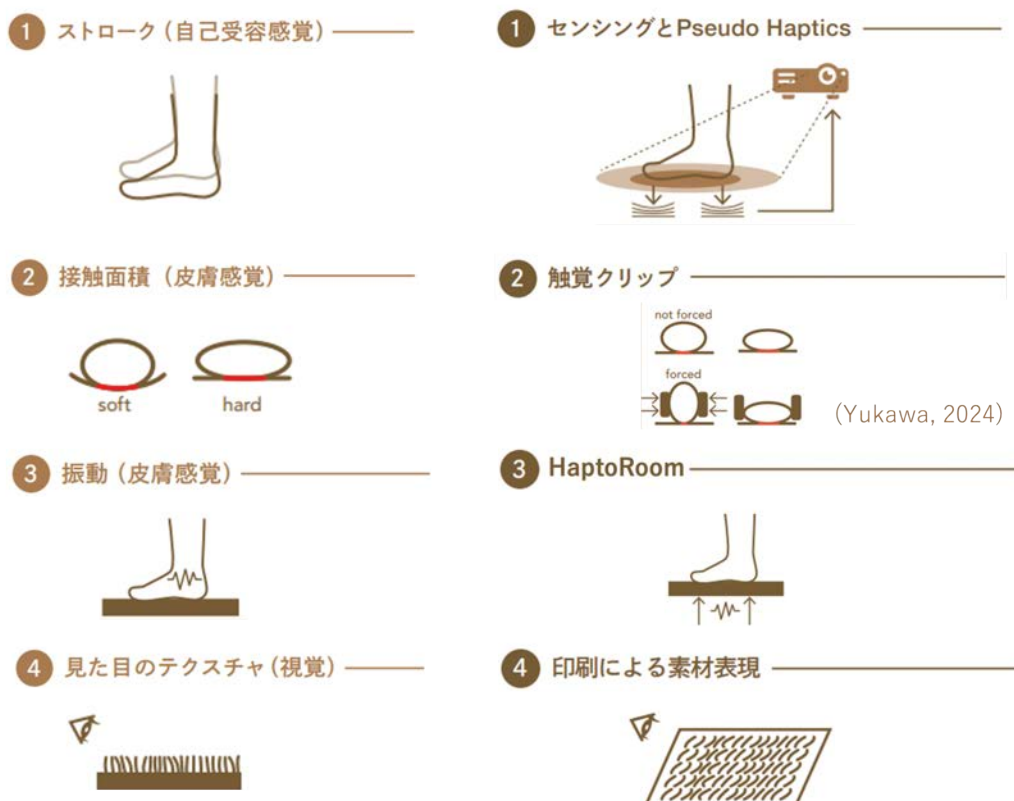


図 5.5 踏み心地の言語化と対応する技術

### 体験フロー

参加者はまず触覚クリップ [79] を装着する。このクリップは3つのサイズが用意されており、体験者の足に合うものを選択して使用する。クリップを装着した状態で床に踏み込むと、足の接触面積の変化がプロジェクションによって視覚化さ



図 5.6 博覧会の体験の様子

れ、圧力に応じて大きくなる影が映し出される。この疑似触覚 (Pseudo-Haptics) 効果により、足が柔らかい床に沈み込むような感覚が生まれる。さらに、足裏の面積が床に触れることで、振動によってざらざらした感触を体験することもできる。この一連の体験は、視覚・触覚・振動を統合的に活用した新しい触覚インタラクションを提供する。

#### 参加者によるフィードバック

100 名以上に体験いただき、フィードバックを受けた。主な意見を以下に示す。「気分によって床を変えられると良い」「毛がある気がする」「影が柔らかく感じる」「触覚に関する意見」「もこもこする」「ボコボコ感じる」「柔らかさしか感じない」「ザラザラしている」「硬さが違って感じる」「ただの振動という感じ」「温度は関係ないの？」また本物のカーペットと隣り合わせなことで、デジタル床を体験してから本物のカーペットの踏み心地を体験する人や、堀田カーペットが独

立に出しているブースの関心に示す人も多かった。ショールームとしての役割を持ちながら、デジタル触覚コンテンツによってカーペットをより触覚として楽しむ意識づけができたと考えられる。

#### 堀田社長によるフィードバック

堀田社長は、日本特有の「靴を脱ぐ文化」が触覚の変化を強く意識させる要素となり、靴を脱いで床に触れた瞬間に「スイッチが入る」ような感覚が生じると述べる。この文化的背景を活かすことで、日本における触覚や床材の研究には独自の価値があり、特にカーペットはヨーロッパ由来の文化でありながら、日本の生活様式の中で新たな発展の可能性を秘めていると指摘する。

床材の触感が具体的に伝わるデザイン（例：柔らかさや踏み心地の差）は、日本の文化において非常に重要であり、カーペットの触覚価値を追求することで、従来の視覚に頼った購買方法から「体験を通じて選ぶ」という新しい購買文化へと変革する可能性があるとする。

また、本プロジェクトは単なるスマートルームの利便性向上ではなく、触覚を研ぎ澄ます方向性を目指すべきであり、触覚を重視することで製品や空間に新たな価値が浮かび上がり、役立ち志向とは異なる意義深い体験を提供できると強調する。

デジタル床によってカーペットの触覚を完璧に再現することはショールームの理想であり、デジタル技術は触覚の違いや感触を「わかりやすく表現する」手段として有効だが、あくまで「触覚に気づかせる」導入的な役割を担うべきだと述べる。その意義は単なる利便性の追求にとどまらず、触覚的価値を広め、物理的な床材の魅力を引き出す手段として機能する点にあると締めくくった。

## 5.2. テレビ朝日による HaptoRoom の活用

テレビ朝日<sup>5</sup>では、視覚や聴覚を活用したコンテンツ制作やイベント事業に取り組んでおり、近年では XR 技術や空間演出を通じた新しい体験価値の提供を目指している。特に、同社の担当者は「空間そのものをメディアとして活用することで、視聴者に直感的で没入感のある体験を届けたい」と考えており触覚が加わることで体験のさらなる拡張に期待を示している。

本プロジェクトは、テレビ朝日を目指す体験型コンテンツの進化と、HaptoRoom が提案する触覚を通じた空間メディアの可能性という取り組みが一致したことから共同研究として実施された。HaptoRoom は、水面の質感を環境型メディアとして空間全体に提示し、リアルな体験を提供することで、イベント場の「場所」としての役割に加え、メディアとしての新たな価値を創出することを目指す。

### 5.2.1 共同研究体制

本研究の目標を実現するため、株式会社テレビ朝日と慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Embodied Media Project の共同研究を実施した。

本プロジェクトには、株式会社テレビ朝日からは山村風子氏、香川凌也氏、横井勝氏が参加し、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Embodied Media Project からは筆者、吉田貴寿特任助教、堀江新特任助教、南澤孝太教授が参加した。本プロジェクトにおいて、株式会社テレビ朝日は主にコンテンツの制作、筆者は床振動装置の開発および振動デザインを担当し相互にディスカッションを行った。



図 5.7 テレビ朝日社員への技術紹介

### 5.2.2 テレビ朝日社員へのインタビュー

テレビ朝日では、SusHi Tech Tokyo<sup>6</sup>への出展等のXR事業や、TOKYO DREAM PARK<sup>7</sup>の建設を通じた地域活性化に向け、ARTBAY<sup>8</sup>のような空間を活用した体験型イベントを展開している。こうしたイベント事業において、触覚を加えた新しい空間体験の実現が期待されている。

インタビューにおいて、テレビ朝日には音響技術のプロフェッショナルが揃っているものの、触覚については振動生成の難易度が高いという課題、またHMDを用いたコンテンツや手で持つタイプのデバイスとの組み合わせが望まれた。こうした課題を解決する手段としてHaptoRoomの導入に期待が寄せられた。

テレビ朝日の担当者は、HaptoRoomの導入により「触覚が加わることで、没入感のあるコンテンツがさらに進化し、視聴者の体験が一層深まる」と述べるとと

5 <https://www.tv-asahi.co.jp/>

6 <https://www.sushi-tech-tokyo.metro.tokyo.lg.jp/top/>

7 <https://tdp.tv-asahi.co.jp/>

8 <https://artbaytokyo.com/>

もに、「単に個別の体験にとどまらず、イベント会場に訪れた人や偶然通りかかった人々が気軽に参加し、触覚を通じて新たな空間価値を感じられる設計が重要だ」と強調した。テレビ朝日社員への技術紹介の様子を図 5.7 に示す。

### 5.2.3 メタバースコンテンツとの連携

エンターテインメント空間や VR 空間においては、体験の没入感を損なわないことが重要であり、触覚提示デバイスの導入においても既存コンテンツとの非干渉が求められる。まずは HaptoRoom を VR コンテンツや音響演出と自然に統合し、視聴覚体験を拡張する。

#### 展示概要

テレビ朝日社内技術展示会「ゴーテック 2024」において、開発したシステムの展示を実施した [80]。展示は 2024 年 2 月 15 日および 16 日に行われ、来場者には株式会社テレビ朝日およびグループ会社・系列各局の社員が多く、特にコンテンツ制作に関わる関係者が多く参加した。展示会の様子を図 5.10 に示す。

#### システム

オーディオ情報から振動触覚を生成し、床に触覚を提示するシステムを開発した。システムを図 5.8 に示す。HMD (Quest 3, Quest 2) を通じた VR 空間を提示。オーディオ情報がスピーカーと振動触覚デバイスに分配されるよう設計されている。スピーカーからは視聴覚体験を支える音響を出力し、床面の触覚デバイスには振動用の低周波音をイコライザーで調整して伝達する。触覚フロアデバイス：50cm × 50cm のモジュール 2 台に振動子 (Vp6) を計 4 台配置し、アンプを通じて振動情報を生成する。床面の触覚提示は空間全体に自然に統合され、HMD や手持ちデバイスと非干渉で動作するため、既存コンテンツを損なわない体験を実現する。またサブ体験者用に iPad を 3 台用意し、触覚体験参加者以外の来場者にも視覚的にコンテンツの操作や進行状況が共有できる仕組みを整えた。

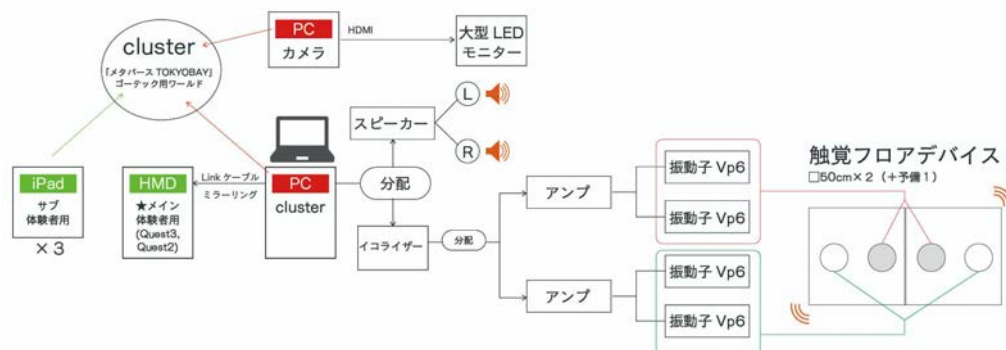


図 5.8 システム図

### 体験設計

体験コンテンツとして、釣りをテーマとした既存コンテンツに対して、提案システムに夜触覚提示を加えることで、多感覚な釣り体験をデザインした。釣りの体験は、Meta Quest3(Meta) を用いてメタバース空間に入るコンテンツを通して提供した。本コンテンツはテレビ朝日が、東京都主催の日本最大級メタバースイベント「Virtual Edo-Tokyo プロジェクト」<sup>9</sup>に、「メタバース TOKYOBAY - WearableSushi-」<sup>10</sup>を出展、クラスター株式会社と制作したものである。使用したコンテンツを図 5.9 に示す。触覚デバイスを海のテクスチャ柄を用いてデザインし、MetaQuest を装着する人のみでなく、周囲に立つ人も含めた複数人で体験を楽しめるように大型 LED ディスプレイを設置した。

オーディオスピーカーはディスプレイの下に設置し、音は前から振動は足元から提示される体験となっている。音および振動は空間内の環境音を使用したさざ波(ザー)をまた釣りをする際にモーションをトリガーとして提示される音および振動を用意した。釣り竿を水面に落とすとき(ポチャッ)、画面に「Hit」と表示され魚が跳ねているとき(バシャバシャ)、魚を釣り上げる時(バシャー)の3種類である。それぞれの音が体験の段階によって異なり、効果的になるような振動(音)にデザインした。

9 <https://sushitech-vr.metro.tokyo.lg.jp/jp/>

10 <https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000162.000030888.html>



図 5.9 TV 朝日による XR 釣りコンテンツ

### 体験フロー

体験者はまず MetaQuest3 を通したメタバースコンテンツの操作説明を受けた。説明を受けた後で触覚デバイスに乗り、この時点でさざ波の環境音を振動として感じることができる。続いて触覚デバイスに乗った状態で HMD をかける。物理的なコントローラーでメタバース空間にある竿をつかみ、同メタバース空間の海に投げかけるとポチャツという振動を感じる。魚が寄ってくる。魚が Hit すると魚の抵抗感を足元の触覚デバイスからバシャバシャという振動で感じられる。「UP」という表示が出た時点でコントローラーを振り上げると、バシャーンという振動を感じられる。体験者には口頭でのフィードバックを収集した。

### 体験者のフィードバック

体験者の口頭でのフィードバックは以下のようなものであった。もっとも多かった意見として「より大規模でやりたい」「もっと大人数でやったらどうなるのか」「イベントで活用できそう」という声が多かった。次に触覚に対するフィードバッ



図 5.10 技術展示会の様子

クとして、「釣れる魚によって振動の大小や種類が違くと良い」「そもそも振動に気づかなかった」という意見が得られた。また、「ほかに五感の要素を足すことが想定されるのか気になる」といった声が出された。

#### 5.2.4 広場での活用

メタバースコンテンツとの連携で得た知見をもとに、場所としての特性を持つ広場で展示を行った。展示は、ARTBAY TOKYO アートフェスティバル 2024～Port of Dialogue～において 2024 年 9 月 27 日～9 月 29 日、10 月 5 日～10 月 6 日にお台場の芝生広場である「夢の広場」で行われた。展示会の様子を図 5.11 に示す。



図 5.11 ARTBAY2024 の様子

#### 体験設計

本体験のコンセプトは「AR アートを触覚デバイスを介して体験することで、身体の細胞が覚えているような”残響”の感覚を生む」ことである。HaptoRoom とし

てのシステムはエンターテイメント空間での活用時と同じものを使用し、床材の形を複数人が浮きを気にせずに乗れるようにドーナツ形にデザインした。さらに体験者は「メタバースの境界線-降らない雨を感じている-」<sup>11</sup>で開発された傘型振動デバイスと iPad を持ちながら、あるいは HMD を装着して床の上に立ち、擬似的に雨を体験する仕組みとなっている。XR コンテンツは株式会社 STYLY の技術協力によって製作された。制作された XR 空間のイメージを図 5.12 に示す。床からは雨の振動が伝わり、以下の 3 種類の異なる雨を表現した：

- リアルな雨: 自然に近い振動
- 泡のような雨: ポワポワとした柔らかい振動
- 硬い金属の雨: 固い質感の振動

#### 体験フロー

体験者はまず iPad を渡され、操作の説明を受ける。iPad の画面には目の前に広がるドームが表示され、体験者はそのドームの中に進むことができる。ドーム内に入ると、床が振動するシステムが設置されており、体験者は足元から伝わる振動を感じることができる。次に、体験者には傘型振動デバイスが手渡される。このデバイスは手元で振動を伝える仕組みとなっている。体験者はその後、ドーム内を自由に歩き回ることができドーム内のアートを体験することができる。

#### 参加者によるフィードバック

主な意見を以下に示す。「形状のイメージと実際に感じる雨のイメージが合致していて、感動しました」「これ作りたーい」「傘の振動と床の振動がどのようにリンクしているのか不思議。臨場感たっぷり」「具体的にこれは何で使おうと思っているの?」「中はこうなったのか!」「ゴーグル越しにもリアル世界は見えていてほしい派です」「雨をよりリアルに感じるという点では、映像がなくてもいいか

---

11 <https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000141.000030888.html>

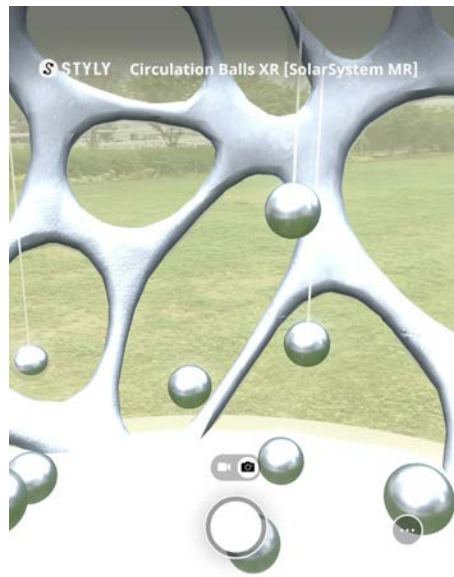


図 5.12 体験できる XR 空間

もしれない」「傘が重いのか振動（雨）を感じない」「傘を持って目を瞑って振動だけに集中してぼーっとするのも好き」「画面を見ずに触覚と聴覚に集中すると、よりリアルに雨の感覚を味わえた」「全身で感じる触覚体験は初めてで新鮮！もっと手軽にこういう体験ができるイベントが増えるといいですね」「本当に雨が降っているみたい！」

#### テレビ朝日社員のフィードバック

参加者から「振動には気づかなかったが楽しかった」という意見が見られた。担当者は、これは、十分な振動強度を提示しながらもエンターテインメント空間を邪魔することなく体験できたことを示唆している。また、触覚技術が視聴覚コンテンツと自然に融合することで、体験の没入感を高める可能性が示されたと語った。

また屋外の広場において、歩いている途中の通行者が自然に体験へと取り込まれる状況が見られた点は大きなポイントである。広場としての役割を損なわずに、触覚を介して新しいメディア体験を提供できたことが評価された(図 5.13)とした。

加えて、実施した日は曇りがちで本物の雨が降りそうな気候でもあったため、体

験者にとっては「振動の雨」を自然環境と結び付けやすい状況にあったと考えられる。屋外での触覚展示でしか得られないこの感覚は、実際の気象条件が没入感をさらに高める一因になったと述べた。



図 5.13 散歩途中に訪れた親子

さらに、複数人が同じ床に乗りつつも異なる振動や音を感じるパーソナライズ化の可能性が示されたが、担当者からは共感や共有体験の難しさが課題として挙げられた。

また本実証では、触覚技術がイベントや放送において新たな体験価値を生む可能性を示すとともに、体験者だけでなく制作者や関係者に意義を訴求する場としても有用であったと締めくくった。

### 5.3. 議論

本研究では、「場所」としての機能を維持しつつ、触覚をメディアとして提示する空間の役割を両立することに挑戦した。

堀田カーペットとの共創では、博覧会としての「場所」の役割を損なうことなく、デジタル触覚を自然に体験できる設計を実現した。来場者は空間に溶け込む触覚フィードバックを通じて、製品の質感や空間そのものに対する関心を自然に高めることができた。堀田カーペットが抱えていた「来場者が製品の価値を直感的に感じ取りづらい」という課題に対して、触覚を入口とした新しい体験設計により、来場者が製品の魅力を能動的に発見する状況を生み出した点は、課題解決の一步となった。

テレビ朝日との取り組みでは、テレビ朝日が課題として感じていた「新しい表現手法の模索」や「視聴者体験の拡張」という課題に対して、触覚技術が既存コンテンツを補完しつつ柔軟に統合されることで、体験全体の質を向上させる新たなメディア体験の実現が示された。触覚は「視聴覚を中心とした既存コンテンツを邪魔しない要素」として効果的に機能し、新しい価値提供の可能性を示唆した。

広場での取り組みでは、利用者が気軽に触覚体験に参加する状況が生まれた。広場本来の「場所としての機能」を維持しながら、触覚を介して新しいメディア体験を提供することに成功した。これにより、「目的意識がなく気軽な参加を促す」という課題が一定程度解決された一方、複数人が同じ空間にしながら異なる振動や音を感じることで、パーソナライズ化の可能性に対して共感・共有体験の難しさという新たな課題も浮き彫りになった。

これらの取り組みを通じて、HaptoRoomは空間の「場所」と「メディア」という両義的な役割を果たし、実社会における課題解決や新たな体験価値の創出に貢献することが示された。今後の展開としては、触覚が暗黙的に作用する仕組みの構築が鍵となる。微細な振動刺激の設計や受容性評価を通じて、触覚フィードバックの精緻な設計指針を構築し、イベント、教育、日常生活など多様な分野への応用が期待される。空間の文脈に自然に寄り添う触覚技術を深化させることで、より多くの人々に新たな体験価値を届ける可能性が広がるだろう。

## 第 6 章

# Conclusion

本研究では、空間の「場所」と「メディア」としての二面性に着目し、触覚が空間体験に与える影響について議論を行い、その成果として空間を触覚メディアとして再構築する新しいアプローチを提案した。既存の場所における触覚が「位置」「時間」「人」に応じて動的に変化することで複数の「空間」を重畳する「HaptoRoom」をデザインした。

第1章では、空間が「場所」として暗黙的な文脈を与える機能と、「メディア」として明示的な情報を伝える機能を持つことに触れ、この二面性を触覚技術によって統合する必要性を示した。従来の空間デザインが「地」と「図」のどちらか一方に偏って設計されていることに対し、本研究では触覚を通じてその統合を図る新たな視点を提示した。

第2章では、先行研究を整理し、空間が人間の認知や行動に与える影響、および触覚が持つ暗黙的な力学についての知見をまとめた。これにより、本研究が学術的背景の中でどのように位置づけられるかを明確にし、触覚を用いた空間デザインの意義を示した。

第3章では、床触覚が人間の認知に与える暗黙的な影響を実験的に調査し、床の質感や振動提示が暗黙的に作品の印象評価に影響を与えることを明らかにした。これにより、空間触覚がコンテンツ体験に影響を及ぼし、触覚を使った演出が人々の行動選択や空間認識を変容させる可能性を示唆した。

第4章では、これらの知見を基盤として、床材に触覚デバイスを組み込み、既存の場所における触覚が「位置」「時間」「人」に応じて変化することで複数の「空間」を重畳させる空間メディア「HaptoRoom」を開発・実装した。HaptoRoomは、触覚刺激を動的に制御することで、視覚や聴覚では得られない身体的・直感

的な体験を誘発し、空間全体が柔軟な触覚メディアとして機能し得ることを示した。また、コラボレーションを通じて複数のコンテンツを自由に入れ替えるプラットフォームとしてのメディア性を実証した。

第5章では、HaptoRoomを展示会や産学連携のプロジェクトに導入し、広場や博覧会といった既存の場所に触覚空間を重畳させる事例を検証した。その結果、場所づくりの専門家やメディアのプロからは、従来にはない没入感や新たな活用方法が期待されるとのフィードバックが得られた。触覚空間メディアが文化的・商業的価値に加え、様々な分野への応用可能性を持つことも示唆された。

本研究の成果として、既存の場所における触覚を動的に制御し、複数の空間を重畳する「HaptoRoom」を通じて、空間が「場所」としての暗黙的な役割と「メディア」としての明示的な機能を両立し得ることを示した。この仕組みにより、触覚は視覚や聴覚では捉えきれない無意識の感覚に働きかけ、空間体験をより直感的かつ身体的なものへと変容させる。また、産学連携を経て実際の場所に導入し、複数のコンテンツを柔軟に差し替えられるプラットフォームとしての拡張性を実証したことは、触覚空間メディアが新たなメディア基盤として機能する可能性を大きく広げるものである。

一方で、本研究にはいくつかの課題が残されている。触覚提示の精度やリアルタイム性、大規模空間への適用、長期使用における保守管理など、技術的・運用的な検討が今後の重要なテーマとなる。また、本研究ではコンテンツ体験の向上に焦点を当て、アナログな空間的触覚がコンテンツに与える影響を調査したが、デジタルメディアとしてのHaptoRoomも同様の効果をもたらす可能性を秘めている。HaptoRoomが社会に浸透し、人々がテレビやスマートフォンと同様に触覚フィードバックを当たり前享受する環境が実現すれば、より広範な文脈での検証が可能となると考えられる。したがって、今後は技術の発展だけでなく、社会受容の観点からもHaptoRoomの可能性を議論していく必要がある。

以上により、本研究は、場所性とプラットフォーム性を兼ね備えた「空間メディア」がコンテンツ体験を向上させる可能性の一步となった。今後、技術のさらなる高度化と応用分野の拡張を通じて、触覚空間メディアが日常環境に新しい価値を生み出し、多彩な場面で人々の体験を豊かにすることが期待される。

# 謝 辞

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の南澤孝太教授は本研究の指導教員であり，幅広い知見からの確なご指導とご指摘をいただきました。また，多くのプロジェクトをご紹介くださり，研究の方向性を牽引してくださいました。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の吉田貴寿特任助教には，研究の方向性について多岐にわたるご助言をいただき，メインアドバイザーとして精神的にも大きな支えとなってくださいました。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の堀江新特任助教には，入学当初から研究指導や論文執筆において適切なお助言をいただき，研究活動を力強く支えてくださりました。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の脇坂崇平特任助教には，研究議論や論文執筆においてご指導・ご助言をいただきました。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の齋藤達也特任准教授には，貴重な知見や視点を提供していただき，哲学的な視点を学ぶきっかけを与えてくださいました。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の花光宣尚特任助教には，入学当初から研究議論や技術的支援をしていただきました。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の佐藤千尋准教授，陳敦雅准教授にはデザインの視点からご指導いただきました。

先生方に心より感謝申し上げます。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の神山洋一研究員には，技術的なアドバイスと実装を支援していただきました，また，小林康平研究員は技術的な助力に加えて友人としても多くの刺激を与えてくれました。

乃村工藝社の青野恵太さん，谷清鳳さん，横山尚明さん，吉江優さん，菅谷翔

さん、中谷唯和さん、今井健人さんには、空間デザインを手がける企業としての多くの知見や議論の機会をいただきました。

工芸産地プロジェクトにおいては、堀田カーペット株式会社代表取締役の堀田将矢さんには多くのお時間を割いていただき、貴重な知見や視点を提供していただきました。また、名古屋工業大学の田中由浩教授、湯川光助教、浅野奈津乃技術補佐員には、多くのアドバイスや論文指導を賜りました。工芸産地協会の原岡知宏さん、三菱総合研究所の藤馬裕一さんは、プロジェクトのリードを取ってくださいました。

テレビ朝日技術局コーポレートデザインセンターの山村風子さん、香川凌也さん、横井勝さんには、ディスカッションや共同研究の場に加え、社会人としても幅広くアドバイスをいただきました。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の先輩方には多くの刺激や学びをいただき、同期の皆さんにはデモ運営、研究ディスカッションなどあらゆる場面で支えていただきました。後輩の皆さんとは研究ディスカッションを通じて互いに学び合うことができました。

共にプロジェクトを推進してくださった皆様に心より感謝いたします。

最後に、私生活を含めこれまで関わってくださった、すべての皆さまに感謝申し上げます。

本研究の一部は、JST ムーンショット型研究開発事業「身体的共創を生み出すサイバネティック・アバター技術と社会基盤の開発」(Grant number JPMJMS2013)の支援を受けて実施されました。

## 参 考 文 献

- [1] Edgar Rubin. *Synsoplevede Figurer*. Gyldendalske Boghandel, Nordisk Forlag, Copenhagen, Denmark, 1915. Original work on figure-ground perception.
- [2] Louis Kahn. ルイス・カーン—光と空間. TOTO 出版, 1996. 翻訳: ウルス・ビュッティカー.
- [3] Allan Bloom. アメリカン・マインドの終焉【新装版】. みすず書房, 2024.
- [4] Maurice Merleau-Ponty. 知覚の現象学. みすず書房, 東京, 1945. 原著: *Phénoménologie de la perception*.
- [5] Varela, Francisco J., Thompson, Evan, Rosch, Eleanor. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press, Cambridge, MA, 1991.
- [6] Edward T. Hall. 隠れた次元. みすず書房, 東京, 2013. 原著: *The Hidden Dimension* (1966).
- [7] Robert Sommer. *Personal Space: The Behavioral Basis of Design*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1969.
- [8] 山口裕幸, 山直人. 知人と見知らぬ人とのパーソナルスペースに関する実証研究. 日本社会心理学会第 16 卷, Vol. 16, pp. 1–12, 2016.
- [9] Worchel, Stephen. The influence of contextual variables on interpersonal spacing. *Journal of Nonverbal Behavior*, Vol. 10, No. 4, pp. 230–254, 1986. doi:10.1007/BF00987482.

- [10] Adams, Leslie, Zuckerman, David. The effect of lighting conditions on personal space requirements. *Journal of General Psychology*, Vol. 118, No. 4, pp. 335–340, 1991. doi:10.1080/00221309.1991.9917794.
- [11] Meyers-Levy, Joan, Zhu, Rui Juliet. The influence of ceiling height: The effect of priming on the type of processing that people use. *Journal of Consumer Research*, Vol. 34, pp. 174–186, 2007. doi:10.1086/519146.
- [12] Ijzerman, Hans, Semin, Gün R. The thermometer of social relations: mapping social proximity on temperature. *Psychological Science*, Vol. 20, No. 10, pp. 1214–1220, 2009. doi:10.1111/j.1467-9280.2009.02434.x.
- [13] Elliot, Andrew J., Niesta, Daniela. Romantic red: red enhances men's attraction to women. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 95, No. 5, pp. 1150–1164, 2008. doi:10.1037/0022-3514.95.5.1150.
- [14] Meier, Brian P., Robinson, Michael D., Clore, Gerald L. Why good guys wear white: Automatic inferences about stimulus valence based on brightness. *Psychological Science*, Vol. 15, No. 2, pp. 82–87, 2004. doi:10.1111/j.0963-7214.2004.01502002.x.
- [15] 松井啓司, 中村聡史. 周辺視野への視覚刺激提示が時間評価に及ぼす影響. 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 3, pp. 970–978, 2018.
- [16] 藤本, 麻紀子. 休息空間における人と場の関わりと感覚時間に関する基礎的研究. 日本家政学会誌, Vol. 67, No. 7, pp. 382–396, 2016. doi:10.11428/jhej.67.382.
- [17] Tetsuo Katsuura, , Takumi Yasuda, and Yoshihiro Shimomura, and Koichi Iwanaga. Effects of monochromatic light on time sense for short intervals. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY*, Vol. 26, No. 2, pp. 95–100, 2007. doi:10.2114/jpa2.26.95.

- [18] Zhong, Chen-Bo, Bohns, Vanessa, Gino, Francesca. Good lamps are the best police. *Psychological Science*, Vol. 21, pp. 311–314, 2010. doi:10.1177/0956797609360754.
- [19] Steidle, Anna, Hanke, Eva-Verena, Werth, Lioba. In the dark we cooperate: The situated nature of procedural embodiment. *Social Cognition*, Vol. 31, No. 2, pp. 275–300, 2013. doi:10.1521/soco.2013.31.2.275.
- [20] 黒川光流. 初対面時の会話において部屋の環境が発話および印象に及ぼす影響. 富山大学人文学部紀要, Vol. 43, pp. 23–34, aug 2005.
- [21] Read, Marilyn A., Sugawara, Alan I., Brandt, Jeanette A. Impact of space and color in the physical environment on preschool children ’ s cooperative behavior. *Environment and Behavior*, Vol. 31, No. 3, pp. 413–428, 1999. doi:10.1177/00139169921972173.
- [22] Baron, Robert A., Rea, Mark S., Daniels, Susan G. Effects of indoor lighting (illuminance and spectral distribution) on the performance of cognitive tasks and interpersonal behaviors: The potential mediating role of positive affect. *Motivation and Emotion*, Vol. 16, No. 1, pp. 1–33, 1992. doi:10.1007/BF00996485.
- [23] Hiroshi Ishii, and Minoru Kobayashi. Clearboard: a seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’ 92, pp. 525–532. ACM, 1992. doi:10.1145/142750.142977.
- [24] Harrison, Steve, Dourish, Paul. Re-place-ing space: the roles of place and space in collaborative systems. In *Proceedings of the 1996 ACM conference on Computer supported cooperative work*, CSCW ’ 96, pp. 67–76. ACM, 1996. doi:10.1145/240080.240193.
- [25] Hiroshi Ishii, and Brygg Ullmer. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Con-*

- ference on Human Factors in Computing Systems, CHI ' 97*, pp. 234–241. ACM, 1997. doi:10.1145/258549.258715.
- [26] Gutwin, Carl, Greenberg, Saul. A descriptive framework of workspace awareness for real-time groupware. *Comput. Supported Coop. Work*, Vol. 11, No. 3, pp. 411–446, 2002. doi:10.1023/A:1021271517844.
- [27] Genest, Aaron M., Gutwin, Carl, Tang, Anthony, Kalyn, Michael, Ivkovic, Zenja. Kinectarms: a toolkit for capturing and displaying arm embodiments in distributed tabletop groupware. In *Proceedings of the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp. 157–166. ACM, 2013. doi:10.1145/2441776.2441796.
- [28] Kimmel, Simon, Landwehr, Eric, Heuten, Wilko. Kinetic connections: Exploring the impact of realistic body movements on social presence in collaborative virtual reality. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, Vol. 8, No. CSCW2, pp. 371:1–371:30, 2024. doi:10.1145/3686910.
- [29] Atsushi Takagi, and Francesco Usai, and Gowrishankar Ganesh, and Vittorio Sanguineti, and Etienne Burdet. Haptic communication between humans is tuned by the hard or soft mechanics of interaction. *PLOS Computational Biology*, Vol. 14, No. 3, p. e1005971, 2018. doi:10.1371/journal.pcbi.1005971.
- [30] Hiroshi Ishii, and Craig Wisneski, and Scott Brave, and Andrew Dahley, and Matt Gorbet, and Brygg Ullmer, and Paul Yarin. ambientroom: integrating ambient media with architectural space. In *CHI 98 Conference Summary on Human Factors in Computing Systems, CHI ' 98*, pp. 173–174. ACM, 1998. doi:10.1145/286498.286652.
- [31] Jones, Brett R., Benko, Hrvoje, Ofek, Eyal, Wilson, Andrew D. Illumiroom: immersive experiences beyond the tv screen. *Communications of the ACM*, Vol. 58, No. 6, pp. 93–100, 2015. doi:10.1145/2754391.

- [32] Suzuki, Ryo, Hedayati, Hooman, Zheng, Clement, Bohn, James L., Szafr, Daniel, Do, Ellen Yi-Luen, Gross, Mark D., Leithinger, Daniel. Roomshift: Room-scale dynamic haptics for vr with furniture-moving swarm robots. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ' 20, pp. 1–11. ACM, 2020. doi:10.1145/3313831.3376523.
- [33] Ryo Suzuki, and Ryosuke Nakayama, and Dan Liu, and Yasuaki Kakehi, and Mark D. Gross, and Daniel Leithinger. Lifttiles: Constructive building blocks for prototyping room-scale shape-changing interfaces. *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI ' 20, pp. 143–151. ACM, 2020. doi:10.1145/3374920.3374941.
- [34] Takatoshi Yoshida, and Takafumi Watanabe, and Hirosuke Asahi, and Kashun Rin, and Haruki Kozuka, and Masaharu Hirose, and Masahiko Inami. Forcefield: Visualizing intermaterial interaction through floor and depth sensing. In *SIGGRAPH Asia 2023 Emerging Technologies*, SA ' 23, pp. 1–2. ACM, 2023. doi:10.1145/3610541.3614587.
- [35] Zhang, Yang, Yang, Chouchang (Jack), Hudson, Scott E., Harrison, Chris, Sample, Alanson. Wall++: Room-scale interactive and context-aware sensing. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ' 18, pp. 1–15. ACM, 2018. doi:10.1145/3173574.3173847.
- [36] Bränzel, Alan, Holz, Christian, Hoffmann, Daniel, Schmidt, Dominik, Knaust, Marius, Lühne, Patrick, Meusel, René, Richter, Stephan, Baudisch, Patrick. *GravitySpace: Tracking users and their poses in a smart room using a pressure-sensing floor*. 2013. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI ' 13)*. ACM. doi:10.1145/2470654.2470757.

- [37] Luo, Yiyue, Li, Yunzhu, Foshey, Michael, Shou, Wan, Sharma, Pratyusha, Palacios, Tomás, Torralba, Antonio, Matusik, Wojciech. Intelligent carpet: Inferring 3d human pose from tactile signals. In *2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 11250–11260. IEEE, 2021. doi:10.1109/CVPR46437.2021.01110.
- [38] Takatoshi Yoshida, and Narin Okazaki, , Ken Takaki, and Masaharu Hirose, and Shingo Kitagawa, and Masahiko Inami. Flexel: A modular floor interface for room-scale tactile sensing. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '22*, pp. 1–12. ACM, 2022. doi:10.1145/3526113.3545699.
- [39] Takahiro Kawabe, and Masataka Sawayama, , Shin 'yaNishida. Deformation lamps: a projection technique to make a static picture dynamic. In *ACM SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies*, pp. 1–1. ACM, 2015. doi:10.1145/2782782.2792484.
- [40] NianticLabs. Splatschangeeverything. <https://nianticlabs.com/news/splats-change-everything>, 2024. Accessed: 2024-12-12.
- [41] 佐藤愛, 宮下芳明. 減塩食の塩味・うま味を増強するデバイス“エレキソルト”の開発と社会実装. *生物工学会誌*, Vol. 102, No. 12, pp. 629–631, 2024. doi:10.34565/seibutsukogaku.102.12\_629.
- [42] 阪内澄宇. パーソナライズドサウンドゾーン実現に向けた取り組みとその展望. *NTT 技術ジャーナル/日本電信電話株式会社編*, Vol. 36, No. 4, pp. 10–12, 2024.
- [43] 悠希橋本, 武士湯村, 朋子米村, 博幸飯塚, 太郎前田, 英由樹安藤. 爪上振動を利用したなぞり動作における触覚伝送手法 (特集)ハプティクスとvr). *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 16, No. 3, pp. 399–408, 2011. doi:10.18974/tvrsj.16.3\_399.

- [44] Rodan Umehara, Harunobu Taguchi, , Arata Horie, and Yusuke Kamiyama, and Shin Sakamoto, and Hironori Ishikawa, and Kouta Minamizawa. Feeltech wear: Enhancing mixed reality experience with wrist to finger haptic attribution. In *ACM SIGGRAPH 2024 Emerging Technologies*, pp. 1–2, New York, 2024. ACM. doi:10.1145/3641517.3664395.
- [45] Georg von Bekesy. 感覚と抑制. 医学書院, 1969.
- [46] Perry, Stephen D, McIlroy, William E, Maki, Brian E. The role of plantar cutaneous mechanoreceptors in the control of compensatory stepping reactions evoked by unpredictable, multi-directional perturbation. *Brain Research*, Vol. 877, No. 2, pp. 401–406, 2000. doi:10.1016/S0006-8993(00)02712-8.
- [47] Menz, Hylton B., Morris, Meg E., Lord, Stephen R. Foot and ankle risk factors for falls in older people: a prospective study. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, Vol. 61, No. 8, pp. 866–870, 2006. doi:10.1093/gerona/61.8.866.
- [48] John C. Lilly. Isolation tank. <https://www.johnclilly.com/isolationx.html>. Accessed: 2024-12-12.
- [49] SynesthesiaLab. SynesthesiAx1-2.44. <https://mediaambitiontokyo.jp/art/synesthesiAx1/>, 2021. Accessed: 2024-12-12.
- [50] Ackerman, Joshua M., Nocera, Chris C., Bargh, John A. Incidental haptic sensations influence social judgments and decisions. *Science*, Vol. 328, No. 5986, pp. 1712–1715, 2010. doi:10.1126/science.1189993.
- [51] Schaefer, Michael ... Bargh, John A. Incidental haptic sensations influence judgment of crimes. *Scientific Reports*, Vol. 8, , 2018. doi:10.1038/s41598-018-23586-x.
- [52] Ishigaki, Tomoya, Imai, Ryota, Morioka, Shu. Association between unintentional interpersonal postural coordination produced by interpersonal light

- touch and the intensity of social relationship. *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, p. 1993, 2017. doi:10.3389/fpsyg.2017.01993.
- [53] McCabe, Deborah Brown, Nowlis, Stephen M. The effect of examining actual products or product descriptions on consumer preference. *Journal of Consumer Psychology*, Vol. 13, No. 4, pp. 431–439, 2003. doi:10.1207/S15327663JCP1304\_10.
- [54] Peck, Joann, Childers, Terry L. To have and to hold: The influence of haptic information on product judgments. *Journal of Marketing*, Vol. 67, No. 2, pp. 35–48, 2003. doi:10.1509/jmkg.67.2.35.18612.
- [55] Brelet, Lisa, Gaffary, Yoren. Stress reduction interventions: A scoping review to explore progress toward use of haptic feedback in virtual reality. *Frontiers in Virtual Reality*, Vol. 3, , 2022. doi:10.3389/frvir.2022.900970.
- [56] Salisbury, J.K., Srinivasan, M.A. Phantom-based haptic interaction with virtual objects. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 17, No. 5, pp. 6–10, 1997. doi:10.1109/MCG.1997.1626171.
- [57] 佐藤誠, 平田幸広, 原田弘河. 空間インタフェース装置 spidar の提案. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J74-D2, No. 7, pp. 887–894, 1991.
- [58] Kouta Minamizawa, , Souichiro Fukamachi, and Hiroyuki Kajimoto, and Naoki Kawakami, , Susumu Tachi. Gravity grabber: wearable haptic display to present virtual mass sensation. In *ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies*. ACM, 2007. doi:10.1145/1278280.1278289.
- [59] Kouta Minamizawa, and Yasuaki Kakehi, and Masashi Nakatani, and Soichiro Mihara, and Susumu Tachi. Techtile toolkit: a prototyping tool for design and education of haptic media. In *Proceedings of the 2012 Virtual Reality International Conference*. ACM, 2012. doi:10.1145/2331714.2331745.

- [60] Arata Horie, Yunao Zheng, and Masahiko Inami. A wearable system integrating force myography and skin stretch feedback toward force skill learning. In *2023 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 190–196. IEEE, 2023. doi:10.1109/WHC56415.2023.10224440.
- [61] Junji Watanabe and Hideyuki Ando. Pace-sync shoes: Intuitive walking-pace guidance based on cyclic vibro-tactile stimulation for the foot. *Virtual Reality*, Vol. 14, pp. 213–219, 2010. doi:10.1007/s10055-009-0137-y.
- [62] Tomosuke Maeda, and Junnosuke Yamamoto, Takayoshi Yoshimura, and Hiroyuki Sakai, and Kouta Minamizawa. Waylet: Self-contained haptic device for park-scale interactions. In *SIGGRAPH Asia 2023 Emerging Technologies*, SA '23, pp. 1–2. ACM, 2023. doi:10.1145/3610541.3614567.
- [63] Visell, Yon, Law, Alvin, Cooperstock, Jeremy R. Touch is everywhere: Floor surfaces as ambient haptic interfaces. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 2, No. 3, pp. 148–159, 2009. doi:10.1109/TOH.2009.31.
- [64] Law, Alvin W., Peck, Benjamin V., Visell, Yon, Kry, Paul G., Cooperstock, Jeremy R. A multi-modal floor-space for experiencing material deformation underfoot in virtual reality. In *2008 IEEE International Workshop on Haptic Audio visual Environments and Games*, pp. 126–131. IEEE, 2008. doi:10.1109/HAVE.2008.4685311.
- [65] Tomoya Sasaki, and Narin Okazaki, and Takatoshi Yoshida, and Alfonso Balandra, and Zendai Kashino, and Masahiko Inami. *SolefulTap: Augmenting Tap Dancing Experience using a Floor-Type Impact Display*. 2023. ケーススタディとしての報告.
- [66] Shibasaki, Mina, Kamiyama, Youichi, Minamizawa, Kouta. Designing a haptic feedback system for hearing-impaired to experience tap dance. In *Adjunct Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on User Inter-*

- face Software and Technology*, UIST '16 Adjunct, pp. 97–99. ACM, 2016. doi:10.1145/2984751.2985716.
- [67] Noma, H., Sugihara, T., Miyasato, T. Development of ground surface simulator for tel-e-merge system. In *Proceedings IEEE Virtual Reality 2000*, pp. 217–224. IEEE, 2000. doi:10.1109/VR.2000.840501.
- [68] Hansen, Kim Laranang, Jensen, Ulrik Stoch, Johansson, Sune Porsmose, Papachristos, Eleftherios, Skov, Mikael B., Vertegaal, Roel, Merritt, Timothy. Feedback: Providing haptic directional cues through a shape-changing floor. *Nordic Human-Computer Interaction Conference (NordiCHI '22)*, pp. 1–10, 2022. doi:10.1145/3546155.3546653.
- [69] DISNEYPARKSBLOG. Disney imagineer first since walt to receive this honor. <https://disneyparksblog.com/disney-experiences/disney-imagineer-first-since-walt-to-receive-this-honor/>, 2024. lastaccessed: January 18, 2024.
- [70] Juhani Pallasmaa. 建築と触覚: 空間と五感をめぐる哲学. 鹿島出版会, 東京, 2009. 原著: *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses* (1996).
- [71] Cham, R., Redfern, M.S. Effect of flooring on standing comfort and fatigue. *Human factors*, Vol. 43, pp. 381–391, 2001. doi:10.1518/001872001775898205.
- [72] Redfern, M.S., Chaffin, D.B. Influence of flooring on standing fatigue. *Human Factors*, Vol. 37, No. 3, pp. 570–581, 1995. doi:10.1518/001872095779049417.
- [73] Wolfgang Köhler. *Gestalt Psychology*. Liveright Publishing Corporation, New York, 1929. A foundational work in Gestalt psychology.
- [74] 清水祐一郎, 土斐崎すみれ, 坂本真樹. オノマトペごとの微細な印象を推定するシステム. *人工知能学会論文誌*, Vol. 29, No. 1, pp. 41–52, 2014. doi:10.1527/tjsai.29.41.

- [75] Sakamoto, Maki, Watanabe, Junji. Bouba/kiki in touch: Associations between tactile perceptual qualities and japanese phonemes. *Frontiers in Psychology*, Vol. 9, p. 295, 2018. doi:10.3389/fpsyg.2018.00295.
- [76] 横井勝, 香川凌也. メタバーズ xr プロダクションの開発と運用 : 放送とメタバーズ空間の完全連動. *放送技術*, Vol. 77, No. 1, pp. 91–93, 01 2024.
- [77] 吉田貴寿, 近藤豊生, 渡辺貴史, 橋本大輝. 力覚遍在化技術の社会実装のためのプラットフォームの実現. 未踏アドバンスト事業プロジェクト成果, 2023. <https://www.ipa.go.jp/jinzai/mitou/advanced/2023/seika.html>.
- [78] Kiryu Tsujita, and Takatoshi Yoshida, and Kohei Kobayashi, and Arata Horie, and Nobuhisa Hanamitsu, and Kouta Minamizawa. Hapto-room: Using vibrotactile floor interfaces to enable reconfigurable haptic interaction onto any furniture surfaces. In *ACM SIGGRAPH 2024 Emerging Technologies*, pp. 1–2. ACM, 2024. doi:10.1145/3641517.3664394.
- [79] Hikari Yukawa, Natsuno Asano, Arata Horie, Kiryu Tsujita, Takatoshi Yoshida, Kouta Minamizawa, and Yoshihiro Tanaka. Tactile clip: A wearable device for inducing softness illusion through skin deformation. In *Haptics: Understanding Touch; Technology and Systems; Applications and Interaction*, pp. 252–261. Springer Nature Switzerland, 2025. doi:10.1007/978-3-031-70058-3.
- [80] 辻田喜琉, 山村風子, 香川凌也, 横井勝, 吉田貴寿, 堀江新, 南澤孝太. テレビ局のメタバーズ事業における可搬式床型触覚提示システムの活用. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2024 論文集, 第 2024 巻, pp. 286–289, 2024.