

Title	GentlePoles : 無意識に穏やかな行動を誘発する木製ポール型回転アクチュエーターのデザイン
Sub Title	GentlePoles : design of rotating wooden pole actuators for ambient and gentle guidance
Author	清水, 将矢(Shimizu, Masaya) 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1145号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002024-1145

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

GentlePoles: 無意識に穏やかな行動を誘発する
木製ポール型回転アクチュエーターのデザイン



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

清水 将矢

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。

清水 将矢

研究指導コミッティ：

南澤 孝太 教授 (主指導教員)

陳 敦雅 准教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

南澤 孝太 教授 (主査)

陳 敦雅 准教授 (副査)

佐藤 千尋 准教授 (副査)

修士論文 2024 年度

GentlePoles: 無意識に穏やかな行動を誘発する 木製ポール型回転アクチュエーターのデザイン

カテゴリ：デザイン

論文要旨

現代の都市空間の余白は、広告・サイン・スマートフォンからの通知など、過剰な情報メディアによって埋め尽くされている。特に空港などの公共空間では、動的で明示的で強制的な情報が絶えず空間に重層化している。本研究では、人々の行動を穏やかに誘発する手法として、回転運動を伴う木製ポール型デバイス「GentlePoles」を提案する。これは、既存の空間要素を活用したテクノロジーの「小さな種」の介入により、より知的で感性的な空間を創出するアプローチである。

実験では、左右2本のポールが進行方向と同じ向き（外巻き）に回転する場合は前進を促し、逆回転（内巻き）は抵抗感をもたらすことが示された。また「吸い込まれる」「潮に流される」といった運動共感や、視覚的な癒し効果も報告された。

今後は、センシングやAI技術との統合による相互的コミュニケーションが可能な空間体験の実現や、心理的な安心感が求められる病院・学校、探索的な体験が価値を持つ美術館など様々な空間への応用が期待される。より Well-being な社会を目指し、人々の自然な知覚特性に寄り添った、情報技術と建築空間の穏やかな調和の可能性を目指したものである。

キーワード：

空間デザイン, 行動誘発, カームテクノロジー, 暗黙的インタラクション,
身体性メディア

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

清水 将矢

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2024

GentlePoles: Design of Rotating Wooden Pole Actuators for Ambient and Gentle Guidance

Category: Design

Summary

In contemporary urban spaces, particularly airports, excessive information layering through signage and notifications creates cognitive overload. This research proposes “GentlePoles: Design of Rotating Wooden Pole Actuators for Ambient and Gentle Guidance,” a system that influences human behavior through subtle environmental interventions to create intelligent spaces. Experiments show that outward rotation of poles in the direction of travel encourages forward movement, while inward rotation creates resistance. Participants report kinesthetic empathy effects, describing sensations of being “pulled in” or “carried by the tide” ,alongside calming benefits. The system shows promise for integration with sensing and AI technologies, particularly in spaces requiring psychological comfort like hospitals, or those valuing exploratory experiences like museums. This study demonstrates the potential for gentle harmony between technology and architectural space, aligned with human perception, aiming for a more well-being society.

Keywords:

spatial design, behavioral affordance, calm technology, implicit interaction, embodied media

Keio University Graduate School of Media Design

Masaya Shimizu

目次

第1章 Introduction	1
1.1. 都市空間の余白を埋め尽くす情報技術	1
1.1.1 平穏を脅かす情報技術	1
1.1.2 メディア化する建築空間	2
1.1.3 都市景観の均質化と場所性の希薄化	3
1.1.4 空間特性と情報提示の関係性	4
1.2. XR・空間コンピューティングによる空間体験の拡張	6
1.3. 空港旅客ターミナルにおける情報技術	9
1.3.1 空港旅客体験の変遷	9
1.3.2 情報の重層と欠落	11
1.3.3 パーソナライズな情報提示への挑戦	13
1.3.4 交通インフラ施設としての改修の難しさ	14
1.4. 研究目的	15
1.5. 論文構成	17
第2章 Literature Review	18
2.1. 暗黙的な空間情報提示	19
2.1.1 日本建築に見る無意識的な誘導	19
2.1.2 建築空間におけるウェイファインディング	20
2.1.3 ナッジによる暗黙的な行動誘導事例	21
2.1.4 アフォーダンスの空間活用事例	22
2.1.5 インプリシットインタラクション	24
2.1.6 アンビエントメディアの実践	25

2.1.7	カームテクノロジーの概念と実践事例	26
2.2.	動的な空間情報提示	29
2.2.1	Kinetic motion	29
2.2.2	形状変化 (shape-changing) による行動誘発	32
2.2.3	タンジブルメディア	33
2.2.4	プログラマブルな建築空間	34
2.2.5	運動共感 (kinesthetic empathy)	35
2.2.6	ベクション・錯覚効果	36
2.3.	情動的な空間情報提示	37
2.3.1	建築空間における五感と感情の重要性	37
2.3.2	不完全さがもたらす豊かさ	38
2.3.3	感情を理解するテクノロジー	40
2.3.4	エコトーン of 概念と空間設計への応用	40
2.4.	本章のまとめ	42
第3章	Concept and Method	43
3.1.	空港における空間情報の課題の再定義	43
3.2.	デザインアプローチ	44
3.2.1	本研究における空港課題の抽出	45
3.2.2	スタンションポールへの着目	46
3.2.3	スタンションポールの機能拡張	47
3.2.4	回転運動への着目	50
3.2.5	木材の触覚的癒し効果を活用した外装材	53
3.2.6	ドットを用いた外装デザイン	56
3.3.	GentlePoles	57
3.3.1	双方向的なインタラクション	59
3.3.2	単体機能と群機能での二面性	59
3.3.3	拡張性と実用性を考慮した外装設計	61
3.3.4	最小限で低コストな駆動システム機構	64
3.3.5	材料コスト分析	65

3.4. GentlePoles の活用事例	66
3.5. 本章のまとめ	69
第 4 章 プロトタイピングと予備実験	70
4.1. 予備実験前のプロトタイピング	71
4.1.1 プロトタイプ 1 の制作と検証	71
4.1.2 プロトタイプ 2 の制作と課題抽出	72
4.1.3 プロトタイプ 3 の制作と基礎機能の実装	72
4.2. 予備実験 1：人の移動に応じた回転表現の検証	74
4.2.1 目的	74
4.2.2 実験方法	74
4.2.3 実験結果	76
4.2.4 考察	77
4.3. 予備実験 2：回転方向による行動選択の影響調査	78
4.3.1 目的	78
4.3.2 実験方法	78
4.3.3 実験結果	79
4.3.4 考察	79
4.3.5 VR 学会での口頭発表およびデモ展示	80
4.4. プロトタイプの発展と効果検証	81
4.4.1 プロトタイプ 4 の開発	81
4.5. 予備実験 3：単列配置による誘導効果の検証	83
4.5.1 背景と目的	83
4.5.2 実験方法	83
4.5.3 結果と観察	84
4.5.4 考察	85
第 5 章 Proof of Concept	86
5.1. 実証実験：空港環境における行動誘導の検証	86
5.1.1 背景と目的	86

5.1.2	実験デバイス	87
5.1.3	実験デザイン	88
5.1.4	実験手順	89
5.1.5	実験結果	89
5.1.6	アンケート結果	91
5.2.	実証実験の考察	92
5.2.1	行動選択と誘導効果に関する考察	92
5.2.2	アンケートによる詳細分析	93
5.3.	本章のまとめ	93
第 6 章	Discussion	94
第 7 章	Conclusion	99
	謝辞	101
	参考文献	102

目 次

1.1	Apple Vision Pro	6
1.2	空間のテクスチャーを自由に選択できる未来のイメージ	7
1.3	HYPER-REALITY : AR が普及した未来のディストピア的日常	8
1.4	空港業務DXについて	10
1.5	一度は撤去となったが再度復活したANAの大型デジタルサイネージ	12
1.6	複数の乗客に対して個別情報を同時に表示できるディスプレイ	13
1.7	テクノロジーの小さな種による示唆的な行動誘発のアプローチ	16
2.1	日本建築における暗黙的な誘導の仕掛け	19
2.2	ジュエル：チャンギ国際空港に併設された大規模な複合施設	20
2.3	ピアノ階段：各段に圧力が加わると音階が鳴る仕組みを持つ階段	21
2.4	建築家の前川國男，坂倉準三，村野藤吾らによる，内部空間や移動体験の期待感を高める仕掛けの例	22
2.5	Panasonic: アフォーダンスライティング 街のあかりに「動き」や「変化」を加えることで，人の心理・行動に働きかける照明演出	23
2.6	4つのインタラクションフェーズ	24
2.7	PinWheels：回転運動による情報の環境化	25
2.8	muiboard：木材とデジタルの融合による新しいインターフェース	27
2.9	羽田空港に2009年に設置された「出発の星座」	28
2.10	空港の喧噪な出発ロビーに瞑想的な要素を加えるキネティックアート	29
2.11	Daniel Rozen : Wooden Mirror	30
2.12	上：Al Bahr Towers， 下：The Shed	31
2.13	形状変化する糸の動的制御によるダイナミックアフォーダンス	32

2.14	左：形状変化するベンチ [1], 右：Furnituroid [2]	33
2.15	プログラマブルな影による空間の質的向上	34
2.16	運動共感による知覚体験のデザイン手法 [3]	35
2.17	高速道路におけるベクション活用	36
2.18	歩行誘導における自己運動を用いたベクション場の設計	37
2.19	役に立たない, でも愛着がある” 新しい家庭用ロボット Lovot	38
2.20	遠隔操作ロボットによる温かみのあるおもてなし	39
2.21	エコトーン：河岸や湖沼の沿岸など生物の生息環境が連続的に変化する移行帯	41
2.22	日本建築における中間領域の仕掛け	41
3.1	アプローチコンセプト	44
3.2	空港での待ち並び空間	45
3.3	スタンションポール	46
3.4	フリップドット・フリップボード	48
3.5	フリップディスプレイを活用する初期アイデア	48
3.6	初期スケッチによるモーションの検討	49
3.7	日常生活に根付いた回転運動	50
3.8	癒しを与える回転運動	51
3.9	ポール型の空間要素	52
3.10	ヒノキ平板への手掌接触が脳前頭前野活動にもたらす鎮静効果	53
3.11	端材を活用した初期モックアップ	54
3.12	アロマオイルを垂らしてディフューザーとして楽しむための木粒	55
3.13	外装のマテリアル初期検討	55
3.14	グラデーションを作り出すドットを用いたデザイン例	56
3.15	コンセプトイメージ	57
3.16	GentlePoles コンセプトパース	58
3.17	人とポールの双方向的な関係性の概念図	59
3.18	スイスのアーティスト・Zimoun によるアート作品	60
3.19	人々の気配や空間の記憶を表現する GentlePoles の活用イメージ	62

3.20	3D モデリングソフトの Rhinoceros を利用し設計	63
3.21	システム概念図	64
3.22	Touchdesigner による各ポールの回転方向・速度の制御	65
3.23	1 本のデバイスの材料コスト	66
3.24	GentlePoles の活用方法例	67
3.25	GentlePoles の活用シーンイメージ	68
4.1	プロトタイプと実験一覧	70
4.2	プロトタイプ 1 : 手動回転機構による基礎検証	71
4.3	プロトタイプ 2 : 自動回転機構の実装と課題抽出	72
4.4	プロトタイプ 3 : 制御可能な回転機構の実装	73
4.5	予備実験 1 設置イメージ	74
4.6	プロトタイプ 3 の設置状況	75
4.7	予備実験 1 のポール配置図	75
4.8	予備実験 1 の様子	76
4.9	ポールレイアウト (回転方向の違い)	78
4.10	VR 学会での口頭発表・デモ展示	80
4.11	プロトタイプの更新	81
4.12	システム図	82
4.13	予備実験 3 : 単列配置による空間誘導の検証	83
4.14	単列配置における回転パターンの検証	84
4.15	展示風景 : 写真は曲線配置	85
5.1	GentlePoles	87
5.2	terminal.0 でのデバイス設置状況	88
5.3	実験結果	90
5.4	terminal.0 での実験風景	92
6.1	SiggraphAsia2024TOKYO でのポスター発表	96
6.2	公共空間への GentlePoles の設置検討@竹芝ポートシティにて	98

7.1	自宅でプロトタイプを量産し，ボンドを乾かしている朝	100
-----	-------------------------------------	-----

表 目 次

第 1 章

Introduction

1.1. 都市空間の余白を埋め尽くす情報技術

1.1.1 平穏を脅かす情報技術

1991 年, コンピュータ科学者の Mark D. Weiser は「The Computer for the 21st Century」[4]において,「The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it. (最も深い技術とは, 見えなくなるものである. 日々の生活環境と区別がつかないほど, その中に溶け込む)」と述べ, 21 世紀のコンピュータは, 日常生活に溶け込み目立たないものとなる必要性を説いた. 一方 1995 年には「Designing Calm Technology」[5]の中で,「Information technology is more often the enemy of calm (情報技術は, しばしば平穏の敵となる)」と警告し, 情報技術が人々の注意を過度に要求する危険性を指摘している.

この予見は, 現代の都市空間において現実のものとなりつつある. 建築空間は, 静的な建築物の中に, 光や風, 影や音など, 時間や季節で変化する動的な自然環境を取り込むことで豊かな空間を作り出すものと考えてきた. しかし現代では, それらを覆いつくすように強制的で動的な情報環境が空間と時間を覆いつくしている. 人, 建築, そして情報が複雑に織りなす現代の都市空間は, もはや物理的な構造物の集積ではなく, 多層的な情報が流れ交わる動的な環境へと進化している. かつてデスクトップコンピュータやモバイルデバイスという個人的な領域に限定されていた情報技術は, 今日では大型ディスプレイやデジタルサイネージ, センサーネットワークとして都市空間に浸透している. さらに, BIM (Building

Information Modeling) による建築物の設計・施工・運用情報や, PLATEAU¹ (3D 都市モデル) に代表される都市空間のデジタルツインなど, 都市を構成する様々な要素がデジタル情報として統合され始めている. TOYOTA Woven City²のように, 人・建築・モビリティ・エネルギーなどあらゆるものが情報でつながる未来都市も実現に向けて動き始めている.

またスマートフォンの普及以降, 人々は複数のデジタルデバイスを身に着け, 常にインターネットに接続され, 絶え間ない情報とそれらを伝える様々な通知・警告・振動の中で生活するようになった. このように, 絶え間ない情報に常時接続される状態は, 新たな利便性をもたらす一方で, 物理空間とデジタル空間の情報の重層化を生み出し, 人々の認知負荷を著しく増大させ, 本質的に重要な情報の認識を妨げる結果となっている. まさに Weiser が警告した通り, 情報技術は私たちの注意を常に求め, 平穏を脅かす存在となりつつある. この状況は, 情報技術と人間の新しい関係性を模索する必要性を示唆している.

1.1.2 メディア化する建築空間

建築物も, 物理的で静的な構造体としての役割を超えて, 動的な情報を発信し続けるメディアプラットフォームへと変貌を遂げつつある.

ニューヨークのタイムズスクエアでは, 建物外装の大部分がLED ディスプレイ化し, 建築素材本来の質感や物質性は後景に退いている. ガラスの透明性を保ちながら LED ディスプレイ機能を実現する技術は, 建築の物理的な性質を保持しつつ, 自由で動的な情報提示が可能なメディアとなっている. 竹芝ポートシティの館内でも, 柱の一部がインタラクティブなメディアとなり, 来館者の男女比, 天候や時間帯に応じて異なる情報を投影する試みも行われている. 公共交通機関の空間においても, この傾向は顕著である. 例えば, JR 東日本や東京メトロでは, 駅構内の柱や壁面を大規模なデジタルサイネージに変換し, 広告コンテンツと運行情報を組み合わせて表示している. こうした事例以外にも, 建築自体や建築要素

1 <https://www.mlit.go.jp/plateau/>

2 <https://www.woven-city.global/jpn/>

の一部がメディアスクリーンとなり、絶え間なく変化する動画コンテンツによって人々の注意を引き続ける事例は、国内外の特に都市の商業地区で多く普及し始めている。

このように、情報技術は建築・都市要素の一部として空間に組み込まれ、人々の行動様式や空間体験に直接的な影響を及ぼすとともに、都市空間のデザインや運用そのものを変革しつつある。

しかし、この変化は同時に、都市空間における情報の氾濫という新たな課題を生み出している。収益性を求める広告と機能的に必要なサインが空間の余白を埋めるように重層的に配置され、利用者の視覚環境を複雑化させている。同時に、個人のスマートフォンを通じて届けられるメール、SNS、広告など、デジタル情報の通知も絶え間なく続き、都市空間における情報密度は著しく高まっている。

Posner [6] は、このような情報環境の悪化を「記号論的公害 (semiotic pollution)」として概念化している。これは、水質汚染や大気汚染といった物質的な環境問題と同様に、人々の生活の質を低下させる深刻な問題として捉えられている。「exactly those semiotic processes originally intended to facilitate human interaction, paradoxically, wind up hindering it (皮肉なことに、本来は人々の相互作用を促進するはずだった記号過程が、結果として相互作用を妨げることになる)」と述べ、本来は情報伝達を円滑にするはずの記号が、その過剰な集積によって、かえってコミュニケーションを阻害する要因となっていると指摘し、現代の都市空間における情報環境の問題を考える上で重要な視点を提供している。

1.1.3 都市景観の均質化と場所性の希薄化

情報化社会の進展は、都市景観にも大きな変容をもたらしている。かつて、都市の景観は地域固有の文化や歴史、自然環境を反映し、その土地ならではの特徴を持っていた。しかし現代では、効率性と視認性を重視した画一的な情報提示が、そうした地域性を覆い隠しつつある。

特に地方都市の幹線道路沿いでは、全国チェーンの大型商業施設や飲食店が、同一規格の看板やサインを掲げ、視認性や目立ちやすさを追求した景観を形成している。これらの看板は、企業ブランドの統一性を保つため、その土地の文脈や周

辺環境との調和を考慮することなく設置されることが多い。その結果、日本全国各地でも似たような景観が広がり、地域固有の特徴が失われつつある。評論家の三浦展はこの状況を、世界のどこにでもあるファストフードと喩えて、地方都市の「ファスト風土化」³と評している。

かつては、環境デザイナーの西沢健 [7] が指摘するように、「サイン機能が発達していない時代において、自然の風景や特徴のある建築物、街の情景、地蔵様などにサイン的機能があった」。つまり、人々は周囲の環境から自然に場所や方向性を読み取り、その土地に固有の文脈の中で空間を理解していた。

また現代では、国際標準化されたピクトグラムやサイン計画が世界中で採用されている。これらは、確かに言語や文化の壁を超えた普遍的理解可能性をもたらす一方、場所固有の文脈や特性を希薄化させる結果となっている。シャルル・ド・ゴール国際空港のサインデザインなどを手がけたアドリアン・フルティガー [8] は、空間の性質や利用者の心理状態に応じて、サインの設計方針を柔軟に変えるべきと指摘している。例えば空港や駅では、時間的プレッシャーや乗り間違えへの不安を抱える旅行者のために、迅速かつ的確な情報伝達が最優先される。一方で文化・スポーツイベントなど、利用者がリラックスした状態で訪れる場所では、その土地固有のグラフィックデザインを用いたサインシステムが望ましいと述べている。特にオリンピックのような国際的なイベントでは、開催国の個性を表現したサインデザインが、むしろ表現の豊かさとして受け入れられ、場所の記憶として人々の心に残ると論じている。

このような都市景観の均質化は、場所の記憶や物語性を希薄化させ、人々の空間体験や場所への愛着にも影響を及ぼし、その土地との情緒的なつながりを失わせる危険性を孕んでいる。

1.1.4 空間特性と情報提示の関係性

現代の都市空間では、空間特性や利用者の心理状態を十分に考慮せず、デジタルサイネージや通知、広告など、様々な情報が無秩序に付加され続けている。こ

3 https://www.japanfs.org/ja/projects/sus_college/sus_college_id033240.html

の結果、本来その場所が持つべき場所性が失われ、利用者の体験価値を低下させている場合も少なくない。空間設計において重要なのは、その場所に相応しい情報提示の作法を見出すことである。

空間の用途や特性の違いによって、適切な情報提示の在り方は異なる。これは単なる機能的な要件だけでなく、その空間における人々の心理状態や行動特性とも密接に関連している。

例えば、自宅のような限られた人が日常的に利用する空間では、明示的な情報提示はほとんど必要とされない。むしろ、空間自体が持つアフォーダンスや、生活の中で自然と形成される習慣的な動線が、暗黙的な情報提示として機能している。病院や庁舎、駅といった公共施設では、時間的制約や心理的なプレッシャーを抱えた利用者が多いため、迷わずに目的地にたどり着ける明快な情報提示と機能的で分かりやすい空間構成が重要となる。一方、商業空間やエンタメ施設では、完璧な案内性よりも、環境からの微細な手がかりを探りながら商品を発見する喜びや驚きに価値を見出す場合もある。この「計算された偶然性」は、利用者の探索本能を刺激し、より深い空間体験と記憶に残る購買体験を生み出す。また美術館やギャラリーでは、作品との出会いや空間体験自体を重視し、必要最小限の情報提示に留めることで、鑑賞者の感性を引き出すことを狙う場合も多い。

このように、空間の特性や文脈・用途に応じて、適切な情報提示の在り方は存在する。重要なのは、その空間における人々の心理状態や行動特性を深く理解し、最適な情報提示の手法を選択することである。デジタル情報によって利便性が増す現代社会において、人間本来の感覚や探索本能に働きかける空間デザインの重要性は、むしろ増していくと考えられる。

1.2. XR・空間コンピューティングによる空間体験の拡張

同時に、空間体験のあり方は大きな転換期を迎えている。

2024年2月、Appleは実空間とデジタル情報をシームレスに融合する空間コンピューティングデバイスとしてApple Vision Pro⁴を発売した。5つのセンサー、6つのマイク、12台のカメラが搭載されたヘッドセット型XRコンピューターによって、情報をインタラクティブに制御できる「体験空間」を生み出す技術である(図1.1)。



(<https://www.apple.com/au/newsroom/2023/06/introducing-apple-vision-pro/>)

図 1.1 Apple Vision Pro

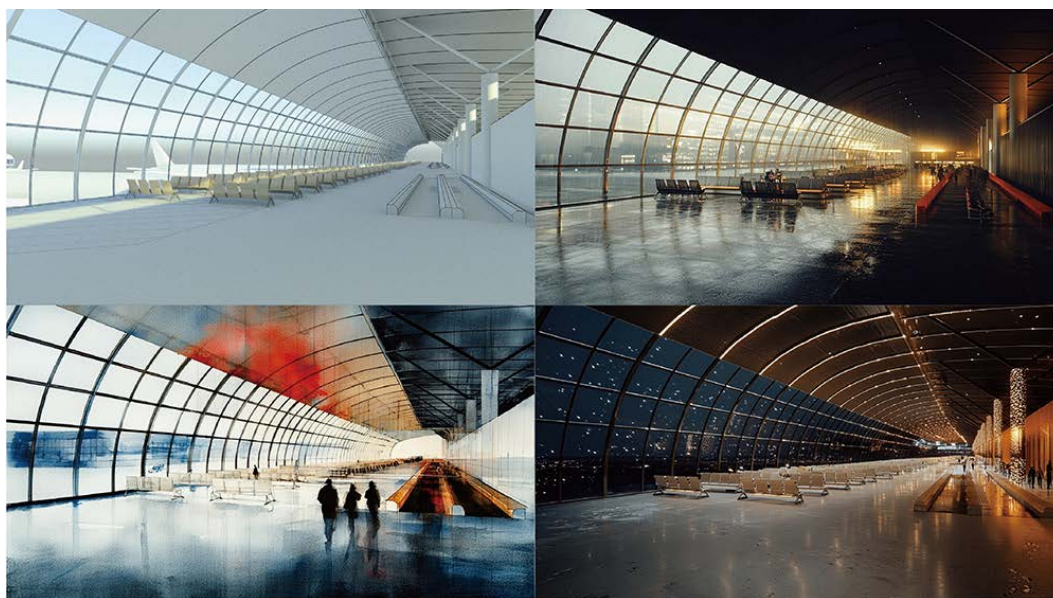
この手法は、物理的な建築空間からのアプローチではなく、身体を拡張することによる新しい空間体験の創造である。特筆すべきは、この技術が単なる情報表示の進化ではなく、空間体験そのものをパーソナライズ化・最適化する可能性を持つ点である。

雑誌WIRED VOL.53のインタビュー [9]で稲見昌彦は、視線や瞳孔サイズ、無意識の表情変化などから推定された内部状態を、システムの入力として再び利用し自己調整を行うフィードバックループによって、「その人その人に合わせた新し

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

い環世界」を創出することが可能と述べている。また、ASD(自閉症スペクトラム)の傾向がある人に対し、「物理世界だと情報量が多すぎて、どこを注視したらいいのかわかりにくい」というとき、人と物理空間の間にコンピューターのフィルターが入る空間コンピューティングであれば、例えば一部を抽象化することで認知負荷を軽減するといった環境を生み出す」可能性も示唆している。

こうした空間の視覚的な環境情報をカスタマイズできる未来においては、画像生成 AI の StableDiffusion や Midjourney による、元画像のアウトラインを崩さずに異なるテクスチャーを与える機能のように、木造風にも、水彩画風にも、昼にも夜にも、個人の好みに合わせて自由に視覚環境を切り替えることが可能となるだろう (図 1.2)。



(Midjourney で筆者生成.. 画風・景色・時間など視覚的空間を自由に選択できる未来)

図 1.2 空間のテクスチャーを自由に選択できる未来のイメージ

これらの技術は、空間の視覚的な質を動的に変更することを可能にし、個々の利用者の文脈や好みに応じた空間体験・情報提示をリアルタイムに創出できる時代の到来を示唆している。

しかし、それは必ずしも理想的な解決をもたらすとは限らない。現状でも物理的なサインとデジタルサイネージ、スマートフォンから通知される情報が、整理

されずに混在する状況にあり，空間コンピューティングの導入は，さらなる情報の重層化を招く可能性がある。

Keiichi Matsuda がディストピアとして描いた「HYPER-REALITY」⁵のように，AR 広告や案内が無秩序に溢れる世界は，むしろ新たな形の情報過多をもたらす可能性がある (図 1.3)。



(<https://www.youtube.com/watch?v=YJg02ivYzSs>)

図 1.3 HYPER-REALITY : AR が普及した未来のディストピア的日常

将来的に，こうしたウェアラブルデバイスがコンタクトレンズのように身体の一部となり，空間 AI が十分に成熟する未来においては，サインや広告といった不特定多数向けの情報の多くがデジタル空間レイヤーへと移行し，物理空間における情報環境のコストは最小限に抑制できる可能性もある。しかし，そこでも情報の整理が適切になされなければ，むしろ混乱を深める結果となりかねない。テクノロジーの進化と人間本来の空間体験の質を両立させることが，現代の空間設計における重要な課題である。

⁵ <https://www.youtube.com/watch?v=YJg02ivYzSs>

1.3. 空港旅客ターミナルにおける情報技術

私は建築家としてこれまで、主に空港旅客ターミナルの建築設計に携わってきた。前節で示した情報技術の発展がもたらす課題や、Posner [6] がいう「記号論的公害 (semiotic pollution)」の問題は、空港という特殊な公共空間においても顕著に表れている。建築家には物理的な空間と新しい情報技術をいかに調和させるかという重要な役割が求められている。

1.3.1 空港旅客体験の変遷

日本の航空旅客需要は、2019 年の新型コロナウイルスによる特殊な需要激減などを除けば、1970 年代以降、経済成長や拠点都市の空港容量拡充に伴い右肩上がりに増大してきた。特に 2010 年代以降、格安航空会社 LCC (Low Cost Carrier) の台頭による航空旅客の大衆化や、サービス内容・料金体系の多様化により、より多くの人々が航空機を利用するようになった。

こうした旅客需要拡大に伴い、空港旅客ターミナル施設は開港以来、増築と改修を繰り返してきたが同時に、旅客体験と従業員体験も大きく変容してきた。

一つ目の要因は、2001 年の同時多発テロ以降のセキュリティ強化である。それまでの煩わしさや混雑の少ない検査プロセス、搭乗ゲートまで家族と一緒にいくことができた情緒的な空港体験は、厳格な保安検査の導入により大きく制限された。搭乗までのプロセスは、チェックイン、手荷物検査、出国審査、保安検査など、複数の関所で厳しい検査を経る必要があり、これらの動線や空間構成は、効率性と安全性を最優先とすると同時に、ストレスや緊張感を伴う空間へと変化していった。保安検査員にとっても、検査項目の多く責任の重い厳しい労働環境等を背景として離職率が高く、人員不足による保安検査場の混雑といった問題が喫緊の課題となっている。

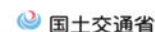
二つ目の要因は、情報技術の進化である。現代の都市空間において、人々は常にインターネットと情報に接続され続けることに安心感を覚える。それは空港内でも上空の航空機内でも例外ではない。常に Wi-Fi がつながり充電ができる作業

環境が求められ、空港が単なる航空機の発着場としての役割を超え始めている。

また当初、航空会社カウンターでの対面サービスが基本だった旅客プロセスは、自動チェックイン機の導入を皮切りに、次々とデジタル化・自動化が進められ、現在では、チェックインから搭乗までの一連のプロセスに、顔認証などの最先端技術やシステムを導入し、自動化やセルフ化を行う事で、手続全体の円滑化と旅客負担を軽減する「Fast Travel」⁶が主流となっている(図 1.4)。

同時に、航空会社や空港会社がスマートフォンアプリを通じた運航情報の提供や、手続きのデジタル化も進められ、空港での体験は物理的な空間内での活動から、デジタル空間と物理空間が融合した体験へと変容する過渡期でもある。

空港業務DXについて



- コロナ禍がようやく終わりを迎え、航空旅客数においても、国内線はほぼ回復し、国際線もインバウンド復調に伴い7割以上まで回復。
- その一方で、グランドハンドリングや保安検査をはじめとする空港業務は、生産年齢人口の減少による人手不足や、今後の航空需要の増大への課題を抱えており、省力化・自動化などのDXの取組が不可欠。
- 人手不足への対応やストレスフリーで快適な旅行環境の実現させるために、官民一丸となり、空港業務DXを推進。



1

(国土交通省 HP(<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001751130.pdf>) より引用)

図 1.4 空港業務DXについて

⁶ https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk19_000033.html

1.3.2 情報の重層と欠落

空港は、毎日異なるバックグラウンドを持つ不特定多数の旅客が絶え間なく流動し、分単位で航空機の運航情報が変化する特殊な公共空間である。このような環境において、物理空間とデジタル空間の情報が重層的に存在している。物理空間では、航空会社ごとに異なる手続き情報案内、サインや広告が混在する一方、デジタル空間でも、各航空会社や空港会社が個別に提供するスマートフォンアプリによる情報提示が行われている。これらの物理的・デジタル的な情報の混在により、利用者は情報過多による認知負荷の増大に直面している。

特に多言語対応の要請は、この状況をさらに複雑にしている。空港を含む外国人利用施設において、英語や中国語、韓国語といった主要言語での案内が一般的だが、各社が多様な多言語対応の強化・改善⁷に取り組んでいる。

また、自動化やセルフサービス化の進展により、旅客自身が対応すべきプロセスは増加しているともいえる。このような状況は、特に利用頻度の少ない旅客にとって大きな認知負荷となっており、必要な情報を適切なタイミングで認識することを困難にしている。常時接続された情報環境の中で、利用者は絶え間なく情報処理を強いられ、本来空港が役割を果たしてきた「人生の重要な瞬間を演出する空間」としての価値も希薄化しつつある。

一方で、デザイン性を重視するあまり必要な情報までも削ぎ落としてしまい、逆にユーザビリティを補うための説明的なラベルが多く貼られるなどの「デザインの敗北」⁸という現象も存在する。そのため、空港における情報提示は非常に重要なテーマである。案内サインや広告が無秩序に混在する情報過多と、デザイン性の重視や情報の整理・統合をするあまり必要な情報まで削ぎ落としてしまう情報の欠落は、相反する課題でありそのバランス設定は非常に難しい。

7 https://www.soumu.go.jp/main_content/000677784.pdf

8 スタイリッシュなデザインを追求した結果、ユーザビリティが著しく損なわれ、極端に使い勝手の悪い（分かりにくい・使いにくい）デザインになってしまっているさま。ユーザビリティを補うための説明的なラベルが貼られるなどして非常に野暮ったい（ダサイ）デザインに成り下がったりしているさま。

この課題を端的に示す事例として、ANA の取り組み⁹が挙げられる。2023 年 2 月、ANA は羽田空港第 2 ターミナルの保安検査場上部の大型デジタルサイネージを撤去し、スマートフォンアプリによる情報提供への移行を試みた。しかし、この決定は多くの反響¹⁰を呼び、高齢者や手荷物で手の塞がった利用者等への配慮不足が指摘され、結果として 2024 年 3 月に新しいデジタルサイネージが復活することとなった¹¹(図 1.5)。

この事例は、デジタル技術導入における重要な示唆を提供している。特に、公共空間における多様な利用者層への配慮の必要性、デジタルデバイスへの過度な依存がもたらすリスク、そして物理的な空間要素が持つ本質的な価値の再認識という点で重要な示唆となった事例である。



(2024 年 10 月 21 日 筆者撮影)

図 1.5 一度は撤去となったが再度復活した ANA の大型デジタルサイネージ

9 <https://www.aviationwire.jp/archives/269700>

10 <https://merkmal-biz.jp/post/32405>

11 <https://www.aviationwire.jp/archives/298017>

1.3.3 パーソナライズな情報提示への挑戦

空港におけるパーソナライズされた情報提示の取り組みとして、デルタ航空がデトロイト・メトロポリタン空港に導入した Parallel Reality¹²は注目に値する。このシステムは、同一のディスプレイから 100 人程度の利用者に対して同時に異なる情報を提示することを可能にし、プライバシーを確保しながら情報の個別最適化を実現している技術である (図 1.6)。仮に、壁や天井を含む空間全体がこの技術を用いたディスプレイだとしたら、どこにいてもその人にだけしか見えない視覚的な情報を提示できる未来も考えられる。



(<https://news.delta.com/mediakit/parallel-realitytm-experience>)

図 1.6 複数の乗客に対して個別情報を同時に表示できるディスプレイ

また、Bluetooth Auracast¹³の活用により、音声情報の個別配信が実現可能となっている。この技術により、搭乗口案内を自身のイヤホンで選択的に受信したり、特定のグループ内で音声情報を共有したりすることが可能となる。さらに、多言語での情報提供や視覚障害者への個別案内を、周囲の環境音を阻害することなく実現できる技術である。

¹² <https://news.delta.com/mediakit/parallel-realitytm-experience>

¹³ <https://www.bluetooth.com/ja-jp/auracast/>

このように、空港における情報のパーソナライズ化は、日々異なる属性を持つ不特定多数の利用者が行き交う公共空間において重要な意味を持つ。特に空港内の従業員の人手不足が深刻化する中で、Parallel Reality や Bluetooth Auracast といった最先端技術を活用した個別最適化された情報提示は、誰もが快適に利用できる空間の実現に向けた有望な解決策となりうる。ただし、このようなパーソナライズされた情報提示は、必然的にデバイスやアプリケーションの介在、そして個人情報の取得を必要とする。特に空港という公共性の高い環境において、プライバシーの保護と情報提示の個別最適化をいかに両立させるかという課題も存在する。そのため、個人情報に依存せず、デバイスを介さない空間環境からの情報提示との適切な組み合わせが、今後の重要な課題となると考える。

1.3.4 交通インフラ施設としての改修の難しさ

空港旅客ターミナルは、交通インフラとして 365 日運用を継続しなければならない特殊な施設である。そのため施設の改修には大きな制約が伴う。運用を維持しながらの改修では、代替施設の建設が必要となったり、航空機の運航がない深夜時間帯に工事を限定せざるを得ないなど、工期や工法に著しい制限を受ける。

さらに近年、建設業界では技能者の高齢化や人手不足、働き方改革による処遇改善の必要性、脱炭素化への対応要請など、複合的な社会的要因により建設コストが継続的に上昇している。このような背景から、建築全体の再構成による施設改善は、より一層困難になりつつある。

そのため、建築的なスケールでの大規模改修ではなく、より小規模かつ効果的な空間改善手法が求められている。

1.4. 研究目的

現代の空港において、案内サインやデジタルサイネージの増設は、情報の視認性向上と情報の欠落による不利便性に寄与する一方で、空間の複雑さを増大させ、利用者の認知負荷を高める要因となっている。また、技術革新による自動化やセルフサービス化などの新しい旅客プロセスは、旅客自身が処理すべき情報量が増加するという課題も併せ持つ。

このような状況において求められるのは、明示的な案内サインによる空間内の情報提示と並行して、より無意識的なレベルで認知負荷を軽減する旅客の行動支援の手法である。特に、人間の暗黙的な知覚や身体性に基づく動的な誘導、そして情動的な共感を引き出すような手法の可能性に着目する。そこで本研究では、文字情報や明示的な指示によらない、無意識的で穏やかな行動を誘発する新たな情報提示手法を探求する。

この取り組みの特徴は、以下の2点にある。

1) 暗黙的・動的・情動的な行動誘発

- 強制的な指示ではなく、無意識的な行動誘発であること
- 空間に溶け込む動的な要素による暗黙的な示唆であること
- 感覚的・情動的に理解できる穏やかな情報提示手法であること

2) テクノロジーの「小さな種」による空間介入

- 既存の建築空間要素を活かした最小限のテクノロジーであること
- 状況に応じて動的に変化するプログラマブルな性質であること
- 物理と情報の間領域として、新しい空間体験を創出すること

特筆すべきは、既存の空間要素に溶け込む、この「小さな種」がプログラマブルなテクノロジーである点である。ここでいう「小さな」とは、建築的なスケールにおける物理的な小ささだけでなく、人々の知覚や行動に影響を与える繊細な手掛かりとしての小ささをも意味する。建築物は一度建てると数十年という長期にわたって使用されるが、社会やテクノロジーの変化は加速度的に速くなってい

る。この「変化の速度の不一致」は、やむを得ず建築空間への「情報の重層化」という現象を生み出している。

本研究では、建築空間全体を作り変えるのではなく、既存の空間要素に溶け込むテクノロジーの小さな「種」の介入によって、より知的で感性的な空間を創出したい。最小限かつ低コストな介入であっても、人々の行動選択や空間知覚に穏やかな作用を及ぼす動的な仕掛けの実現を目指す。特に 365 日稼働を続ける空港において、極めて現実的で有効な手法となり得ると考える。

この「小さな種」は、建築的には大規模改修を必要としない施工性を持ち、かつ HCI 研究における触覚的・知覚的な微細な手掛かりの考え方とも共鳴する。建設費の高騰や人材不足が課題となる現代において、物理的な改修や人員の増強に頼ることなく、空間の適応性を高められる点も重要な意義である。

将来的には、センシング技術を用いた利用者の文脈に応じて動的に情報制御可能な仕組みによって、穏やかにパーソナライズされた誘導を可能とし、建築空間に新たな可能性をもたらすと考え。このアプローチは、人的案内の代替を目指すものではない。むしろ、空間に自然に溶け込みながら穏やかな誘導を実現する、補完的な要素として位置付けられる。また、従来の案内サインや情報機器の増設とは異なり、空間本来の性質を活かしながら、最小限の介入で効果的な誘導を目指す点に特徴がある (図 1.7)。

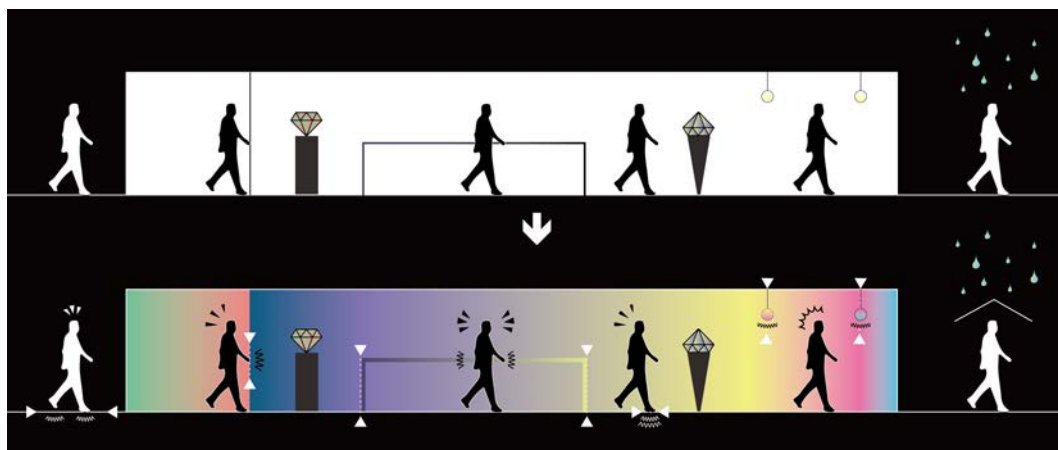


図 1.7 テクノロジーの小さな種による示唆的な行動誘発のアプローチ

1.5. 論文構成

本論文は、全体で7つの章から構成されている。

第1章では、空港における情報過多や人流制御の課題を背景として、最小限の技術介入による穏やかな誘導の必要性を提起し、研究の目的と意義を示す。

第2章では、関連研究として、暗黙的な空間情報提示（日本建築における無意識的な誘導手法、ウェイファインディング、アフォーダンス）、動的な空間情報提示（形状変化や kinetic motion, 運動共感）、情動的な空間情報提示（五感の重要性、不完全さの価値、エコトーン概念）の3つの観点から先行研究を整理・分析する。

第3章では、木製の回転するポールによる穏やかな誘導というコンセプトを提示し、プロトタイプ制作過程とシステムの実装について詳述する。具体的には、ステッピングモーターを用いた回転機構の設計や、制御システムの実装について説明する。

第4章では、3段階の予備実験を通じて得られた知見を示す。実験1では基礎的な効果検証、実験2では回転方向による行動選択への影響、実験3では単列配置での誘導効果について、それぞれ検証結果を提示する。

第5章では、羽田イノベーションシティ内にある、terminal.0での実証実験を通じて、実際の空港環境における有効性を検証する。特に一般来場者を対象とした実践的な効果検証とそのフィードバックを分析する。

第6章では、本研究の成果と課題について多角的な考察を行う。特に、物理的な動きによる誘導の可能性、技術的・実装的な課題、そして今後の応用可能性について議論する。

第7章では、研究全体を総括し、公共空間における穏やかな誘導の新しい可能性について結論を述べる。

第 2 章

Literature Review

本研究では、建築空間における「穏やかな行動誘発」と「最小限のテクノロジーの介入」というアプローチの理論的基盤を構築するため、本章では先行研究を暗黙的、動的、情動的という3つの情報提示の観点から体系的に整理する。

第一の暗黙的な空間情報提示では、伝統的な日本建築における無意識的な誘導手法から最新のインプリシットインタラクション研究まで、幅広い知見を考察する。特に、建築空間におけるウェイファインディングやナッジによる行動変容、アフオーダンスの空間活用事例を分析し、人々の無意識的な行動を導く手法について探る。さらに、アンビエントメディアやカームテクノロジーの実践事例を通じて、日本的な美意識との融合可能性や、公共空間における実装例についても検討する。

第二の動的な空間情報提示では、形状変化（shape-changing や kinetic）による行動誘導やタンジブルメディアの展開、プログラマブル建築の試みなど、空間の動的な変化がもたらす可能性を探る。特に、運動共感やベクション・錯覚効果などの知覚心理学的な知見を活用し、人間の知覚特性に基づいた効果的な情報提示手法についても考察する。

第三の情動的な空間情報提示では、利便性や効率性とは異なる視点で、建築空間における五感の重要性や、不完全さがもたらす情動的な豊かさについて検討する。感情を理解するテクノロジーの可能性や、エコトーンの概念の空間設計への応用など、より情緒的な側面からのアプローチについても考察を深める。

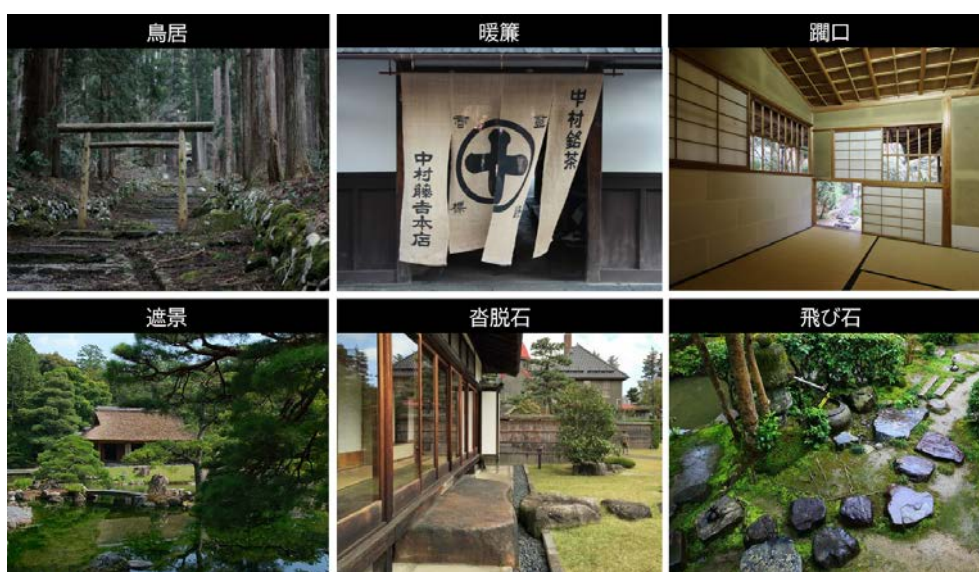
これら3つの視点からの分析を通じて、本研究が提案する手法の独自性と理論的妥当性を明らかにする。特に、異なる領域の知見を統合することで、建築空間における新しい情報提示の可能性を探求する。

2.1. 暗黙的な空間情報提示

2.1.1 日本建築に見る無意識的な誘導

日本の伝統的な空間設計には、文字情報に頼らない巧みな誘導手法が組み込まれている(図2.1)。茶庭における露地空間では、飛び石の蛇行によって歩行者の速度や視線を自然にコントロールし、同時に周囲の苔や植栽への意識を高める効果を持つ。また回遊式庭園では、築山や植栽による遮景や、地形の起伏を活かした視線の誘導により、移動に応じて段階的に景色を展開することで、空間体験に期待感と発見の喜びをもたらしている。暖簾は布という半透明な素材によって内外を緩やかにつなぎ、くぐり抜ける際には自然と頭を下げる動作を誘発し、その仕草自体が精神的な切り替えを促す。また、時間帯や季節による掛け替えによって、空間の状態を繊細に暗示する役割も担う。

これらの要素は、強制的な指示や案内に頼ることなく、空間要素自体に行動を導く「暗黙的な誘導」の仕掛けを組み込むことで、穏やかな空間体験の流れを生み出しており、現代の空間デザインにも重要な示唆を与える。

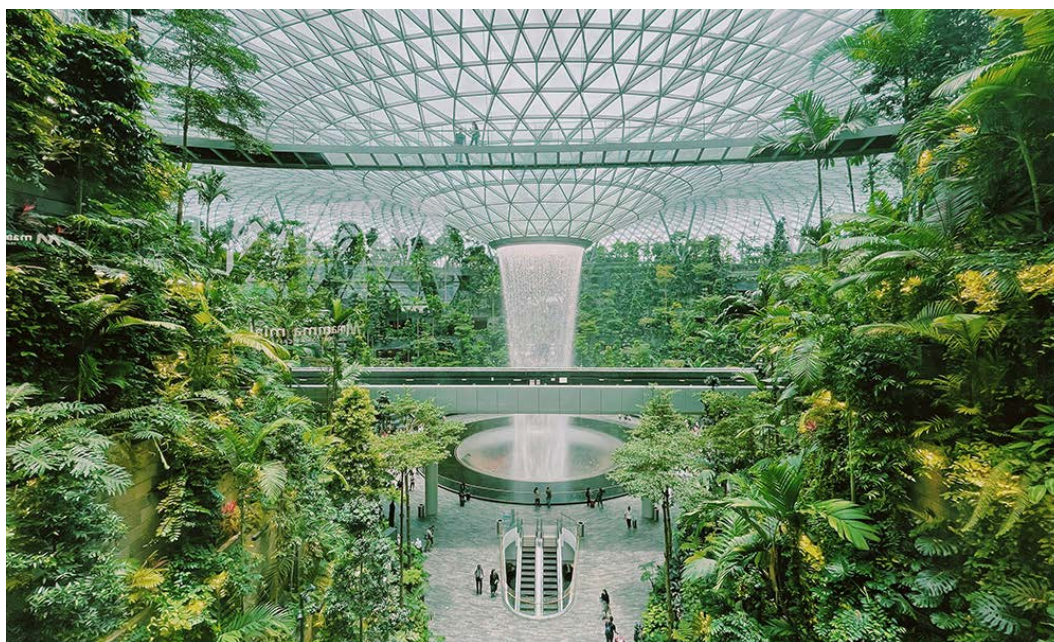


(境界 世界を変える日本の空間操作術 隈研吾,2010 [10] より引用)

図 2.1 日本建築における暗黙的な誘導の仕掛け

2.1.2 建築空間におけるウェイファインディング

Passini [11] の提唱したウェイファインディング理論は、建築空間における人々の移動を支援する環境デザインの基本原則を示している。これは、建築空間における人々の行動が、単なる目的地への移動ではなく、環境からの様々な情報を読み取りながら行われる複雑なプロセスであることを明らかにした。単なる記号や文字のサインデザインではなく、図 2.2 のように、空間の構成自体が直感的な誘導を行い、人々の無意識的な動きを導く仕組みを提唱している。この考え方は、空間全体をひとつの情報システムとして捉え、建築要素自体がナビゲーションの役割を果たすことを示唆している。素材感や光の操作、色彩計画といった視覚的要素を戦略的に配置することで、利用者は意識的な判断を必要とせずに目的地へと導かれる。また、視覚的な連続性を創出することで、空間の見通しを確保し、次の行動の予測を可能にする。環境内の様々な手がかり（ランドマーク、パス、ノードなど）は、利用者の意思決定を自然に支援し、空間における迷いや不安を軽減する役割を果たしている。



(人を自然に誘因する空間的仕掛け (Photo by Lennon Cheng on Unsplash))

図 2.2 ジュエル：チャンギ国際空港に併設された大規模な複合施設

2.1.3 ナッジによる暗黙的な行動誘導事例

暗黙的な情報提示の手法として、行動経済学に基づいた「ナッジ」が注目されている。ナッジとは、2008年に米国の経済学者リチャード・セイラーと法学者キャス・サンスティーン [12] によって、「選択を禁じることも、経済的なインセンティブを大きく変えることもなく、人々の行動を予測可能な形で変える選択アーキテクチャのあらゆる要素」と定義されている。

アムステルダムスキポール空港における男性トイレでは、小便器内に配置された模擬的なハエのシールによって、飛び散りを約8割削減するという効果をもたらした。また、ストックホルムの地下鉄駅で実施された「ピアノ階段」(図 2.3) では、通常の階段をピアノの鍵盤に見立て、踏むと音が鳴る仕掛けを施すことで、エスカレーター利用者の66%が階段使用に移行したという¹。

このように、建築空間におけるナッジデザインは、物理的な環境要素を活用しながら、人々の行動を望ましい方向へ自然に導く可能性を示している。注目すべきは、これらの介入が強制や規制ではなく、人々の持つ認知特性や行動傾向を活用している点であり、建築空間における「穏やかな行動誘導」の可能性と「最小限のテクノロジーの介入」による効果的な行動変容の実現可能性を示唆している。



(https://www.youtube.com/watch?v=1h_186ufQsk&t=742s)

図 2.3 ピアノ階段：各段に圧力が加わると音階が鳴る仕組みを持つ階段

1 https://www.youtube.com/watch?v=1h_186ufQsk&t=742s

2.1.4 アフォーダンスの空間活用事例

James.J Gibson [13] は、「アフォーダンス (affordance)」を「環境が動物に提供する行動可能性」として定義し、知覚と行動の直接的な結びつきを理論化した。この概念は、生態心理学の観点から、認知的な処理を介さない直接的な知覚-行動の関係性を示唆している。一方 Norman [14] は、物の形状や特徴が使用方法を示唆する「シグニファイア (signifier)」という概念を提唱した。

建築空間は人々の行動を導く様々なアフォーダンスとシグニファイアを内包している。ドアノブや手すり形状などによる、「引く」「押す」などの明示的な行動の手がかりから、空間の使い方や体験方法をユーザーに委ねる空間の仕掛けなど、建築家はあらゆるアフォーダンスやシグニファイアを空間に落とし込んでいる (図 2.4)。一方、必ずしもそうした概念を建築家は意識的に適用しているわけではない。人間の行動と空間の関係性についての深い洞察は、建築設計プロセスにおける普遍的な要素である。完成した建築空間には設計者による使用説明書は存在しないが、空間そのものが持つ特質が人々の行動を自然と導き、時には設計者の意図さえも暗黙的に伝えることがある。



(LIXIL eye : 建築・まちづくりから生活文化を探究する情報誌より引用)

図 2.4 建築家の前川國男，坂倉準三，村野藤吾らによる，内部空間や移動体験の期待感を高める仕掛けの例

近年では、静的なアフォーダンスの概念を超えて、状況や文脈に応じて動的に変化する「ダイナミックアフォーダンス」の研究も進んでいる。パナソニックの「アフォーダンスライティング」²は、街のあかりに「動き」や「変化」を加え、誘導や回遊、滞留の演出をすることで、人の心理・行動に自然に働きかける照明演出の実現と、景観と調和した魅力的な街の体験価値の向上を目指した技術である(図2.5)。これらの研究は、アフォーダンスを固定的な特性ではなく、状況に応じて変化する可能性として捉え直す新しい視点を提供している。他にも、形状変化する家具や、空間内に張り巡らされた糸による境界表現など、物理的な形状変化を通じて人々の行動に影響を与える試みが行われている(これらの詳細は、形状変化(shape-changing)に関する節で後述する)。

これらの概念は、テクノロジーの導入や明示的な行動誘導に頼ることなく、空間自体が持つ特質によって人々の行動を自然に導く可能性を示唆しており、建築空間における「穏やかな行動誘導」を実現する上で、重要な理論的基盤となる。



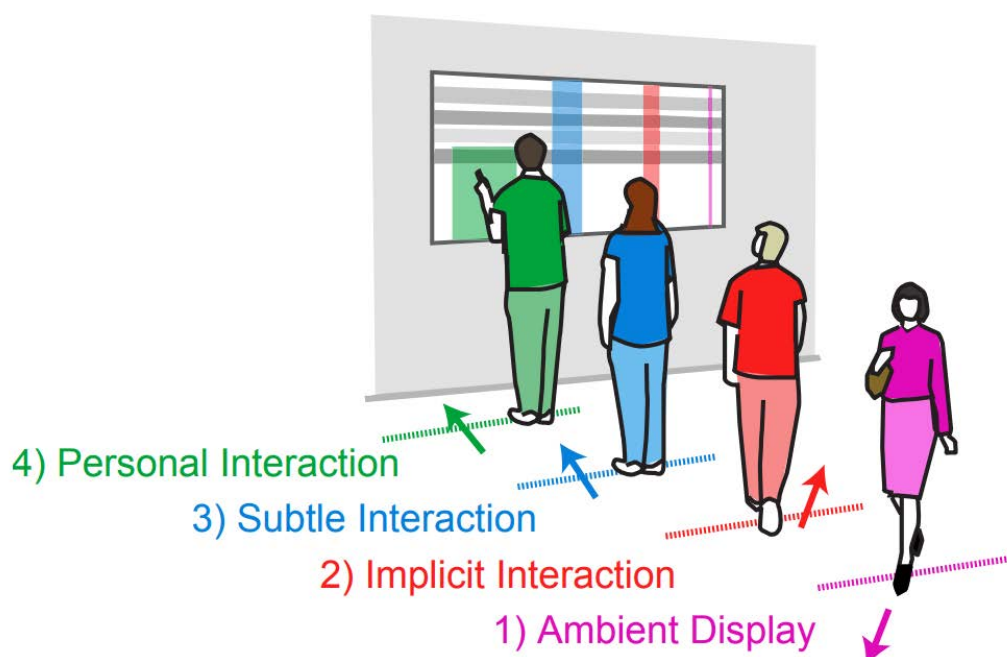
<https://www2.panasonic.biz/jp/lighting/plam/method/affordance/>

図 2.5 Panasonic: アフォーダンスライティング 街のあかりに「動き」や「変化」を加えることで、人の心理・行動に働きかける照明演出

² <https://www2.panasonic.biz/jp/lighting/plam/method/affordance/>

2.1.5 インプリシットインタラクション

インプリシットインタラクションとは、Albrecht Schmidt [15] により「ユーザーがコンピュータシステムとの対話を主目的としない行動であっても、システムがそれを入力として解釈できるもの」と定義される。つまり、ユーザーの特に意識していない行動や振る舞いをシステムとの暗黙的な対話として捉える考え方である。この概念に基づき、パブリックディスプレイにおけるインプリシットインタラクションの研究は、ユーザーとシステムの関係性を空間的距離に応じて段階的に変化させるモデルとして発展してきた。特に Vogel と Balakrishnan [16] は、下図のように4段階のインタラクションフェーズを提案している(図2.6)。このモデルの特徴は、空間的な距離に応じて情報の性質を変化させ、一般的な情報から個人向けの詳細情報まで、段階的な情報提示を可能にした点にある。また、ユーザーの体の位置や向きといった日常的な振る舞いを入力として活用することで、特別な学習なしにシステムと対話することを可能としている。



(空間的な距離に応じて情報の性質を変化させ段階的な情報提示を行う [16])

図 2.6 4つのインタラクションフェーズ

2.1.6 アンビエントメディアの実践

MIT メディアラボで Tangible Media Group を率いる石井らは，ambientROOM [17] や PinWheels [18] を通じて，情報を「気配」として空間に溶け込ませる可能性を探求している．PinWheels では，40 個のコンピュータ制御された風車型のユニットを用いて，サイバースペースからの情報の風（wind of bits）を物理的な回転運動として表現し，建築空間をヒトとデジタル情報を繋ぐインターフェースとして再定義する試みである (図 2.7)．従来のデジタルディスプレイとは異なり，風車の回転速度や音の微細な変化を通じて情報を伝達することで，情報は空間内の自然な変化として知覚され，ユーザーの意識を必要以上に占有することなく，周辺の認知を可能にしている．



(石井らの研究より引用 [18])

図 2.7 PinWheels : 回転運動による情報の環境化

2.1.7 カームテクノロジーの概念と実践事例

1995年にユビキタス・コンピューティングの父、Mark D. Weiser と John Seely Brown [5] によって提唱された『Designing Calm Technology』では、情報技術は意識の中心（Center）と周辺（Periphery）に適切に配置されることで、ユーザーに安心感と快適さを提供すべきとしている。

2015年にアンバー・ケース [19] によって書籍化された『Calm Technology』では、デバイスの数が人間の数をはるかに上回り、アテンションエコノミーによって人間の注意が常に奪われる現在における新たな設計指針として、カームテクノロジーの8つの基本原則を示した。

- 1) テクノロジーが人間の注意を引く度合いは最小限でなくてはならない
- 2) テクノロジーは情報を伝達することで、安心感、安堵感、落ち着きを生まなくてはならない
- 3) テクノロジーは周辺部を活用するものでなければならない
- 4) テクノロジーは、技術と人間らしさの一番いいところを増幅するものでなければならない
- 5) テクノロジーはユーザーとコミュニケーションが取れなければならないが、おしゃべりである必要はない
- 6) テクノロジーはアクシデントが起こった際にも機能を失ってはならない
- 7) テクノロジーの最適な用量は、問題を解決するのに必要な最小限の量である
- 8) テクノロジーは社会規範を尊重したものでなければならない

この8つの原則は、特に「テクノロジーの最小限の介入」「周辺部の活用」「安心感の創出」という観点において、本研究が目指す方向性と深く共鳴する。建築要素に溶け込んだ穏やかな情報提示により、利用者の注意を必要以上に奪うことなく穏やかに行動を導く可能性を示唆している点で、本研究を理論的に支える重要な基盤となっている。

京都に拠点を置く mui Lab³は、カームテクノロジーの概念を日本的な美意識と融合させ、実践的な展開を行っている。そのアプローチは、自然との調和、Calm UI の実現、ウェルビーイングの追求という三つの特徴的な要素を含んでいる。自然との調和においては、伝統的な精神性や自然共生の知恵を活かし、デジタルテクノロジーを生活空間に違和感なく統合することを目指している。木材などの自然素材を活用し、情報の見え隠れによる余白の表現を実現している点は、日本的な美意識を現代的に解釈した好例といえる (図 2.8)。

Calm UI の実現では、天然素材を用いたタッチパネルディスプレイなど、物理的な質感を持つインターフェースを通じて、必要な情報のみにアクセスできる環境を構築している。必要な時だけ現れる情報という考え方は、日本建築における「仕舞う」という概念とも通じており、空間の清浄さを保つ伝統的な知恵を現代的に展開している。さらに、ウェルビーイングの追求においては、生産性や効率化のみならず、持続可能な豊かさを実現するため、心理的な快適性を重視した設計を行っている。これは、テクノロジーの導入が必ずしも人間の幸福に直結しないという認識のもと、より本質的な豊かさを追求する姿勢を示している。



(<https://muilab.com/ja/>)

図 2.8 muiboard : 木材とデジタルの融合による新しいインターフェース

³ <https://muilab.com/ja/>

カームテクノロジーの原則を体現した先駆的なパブリックアートとして、2009年に羽田空港に設置された「出発の星座」(図 2.9)が挙げられる。この作品は、現在 mui Lab に参画し研究開発を行っている佐藤宗彦⁴とアーティストの鈴木康広⁵による共同制作であり、空港ロビーの天井に設置された 3,000 個の LED によって構成されている。実際の出発便の離陸時刻に連動して飛行機のシルエットを描き、目的地の方角に向かって光が移動していくという、空間と情報を融合させた作品である。天井という視野の周辺部を活用することで利用者の注意を必要以上に引かず、実際の出発便に連動した情報提示を実現している。また、星空を見上げるという社会的習慣に基づいた直感的な体験を提供し、必要最小限の情報量で人々の想像力を刺激する豊かな体験を創出し、カームテクノロジーの原則を高度に実践している。本研究が目指す「穏やかな情報提示」の先駆的な実践例といえる。



(<https://satomunehiko.com/works/constellation-of-departure/>)

図 2.9 羽田空港に 2009 年に設置された「出発の星座」

4 <https://satomunehiko.com/>

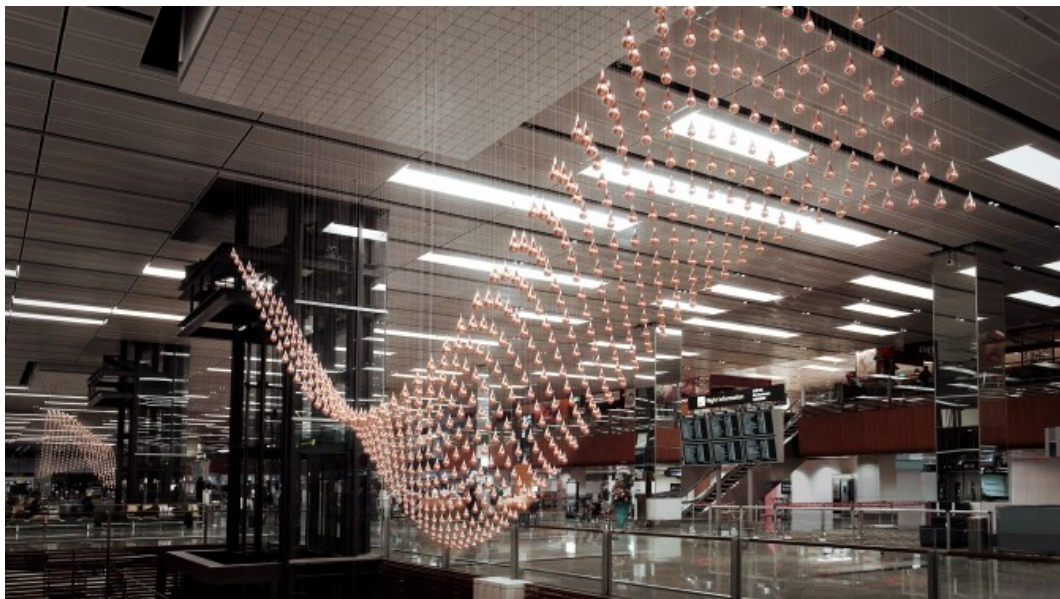
5 <https://www.mabataki.com/>

2.2. 動的な空間情報提示

2.2.1 Kinetic motion

本節では、建築空間に組み込まれた動的な要素が、空間体験にもたらす影響について考察する。

代表的な事例として、シンガポール・チャンギ空港の「Kinetic Rain」⁶が挙げられる。2012年にターミナル1の出発ロビーに設置されたこの作品は、608個の銅メッキされたアルミニウム製の雨滴が、コンピュータ制御によって独立して上下する巨大なキネティックスカルプチャーである。飛行機や風、熱気球などの飛行に関連するシルエットを15分間のループで描き出す様は、空港という場の象徴性を視覚的に表現している。Art+Com社は、この作品について「その場所のアイデンティティの源となり、旅客が思索し内省する瞬間を提供する」としている。



(<https://artcom.de/en/?project=kinetic-rain>)

図 2.10 空港の喧噪な出発ロビーに瞑想的な要素を加えるキネティックアート

6 <https://www.dezeen.com/2012/07/19/kinetic-rain-artcom/>

同様のアートの試みとして、Daniel Rozen の「Mirrors」⁷シリーズがある。木、ゴミ、アクリル、スチール、毛糸など、さまざまな素材を数百個配置した機構が各々回転したり反転する動きを利用して、観察者の姿をインタラクティブに抽象的に映し出す作品は、人々の存在をフリップボードの穏やかな動きと心地よい音で抽象的に表現している (図 2.11)。これらの作品は、空間に動的な要素を導入することで、人々の感性に訴えかける効果を持っている。



(<https://www.smoothware.com/danny/woodenmirror.html>)

図 2.11 Daniel Rozen : Wooden Mirror

一方、より機能的なアプローチとして、環境応答型のキネティック建築がある。アラブ首長国連邦の Al Bahr Towers は、太陽の動きに応じて開閉する遮光装置を外装として備え、環境負荷の低減と快適性の向上を両立している。

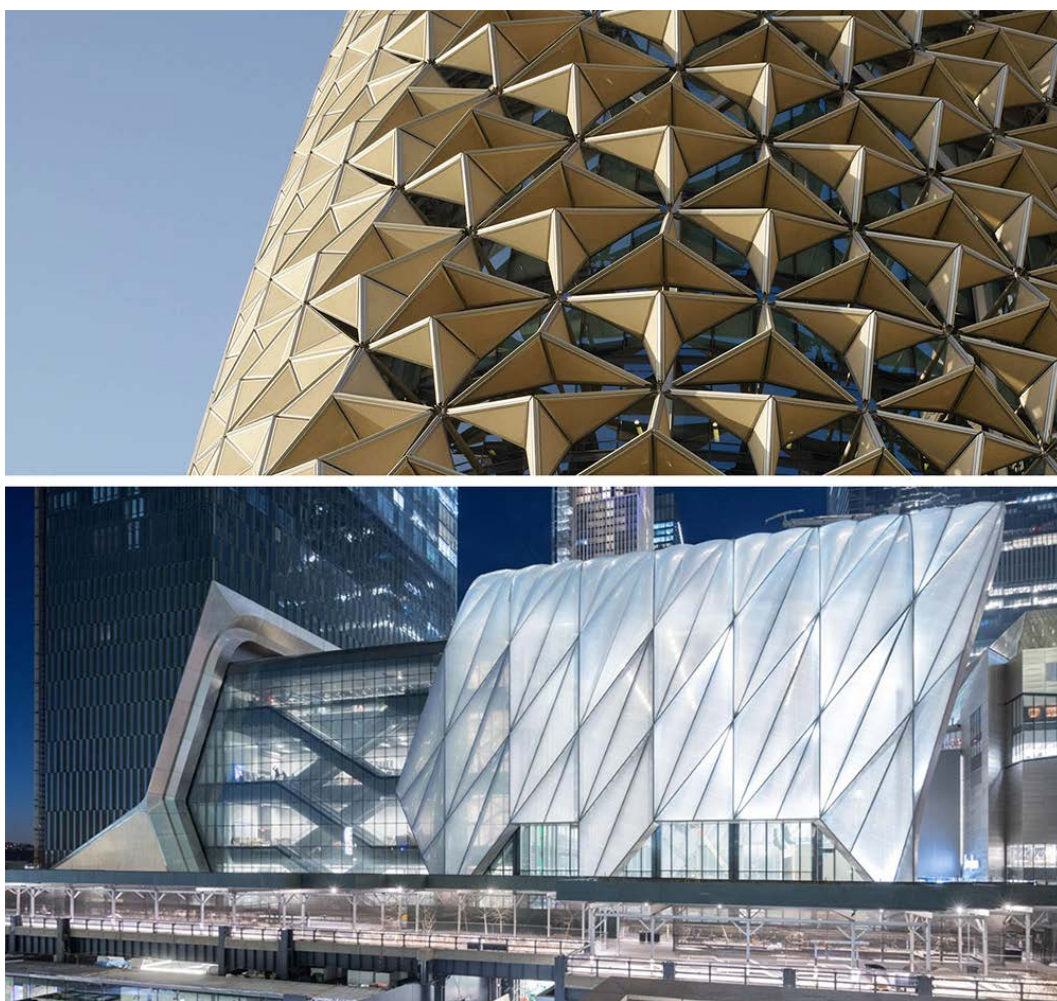
また、Scfidio + Renfro と Rockwell Group による「The Shed」⁸は、建築スケールでの動的な可変性を実現している代表的な事例である。ニューヨークのハドソンヤードに建設されたこの文化施設は、外装シェルが建物本体から展開・収納す

⁷ <https://www.wired.com/story/daniel-rozin-mechanical-mirrors/>

⁸ <https://www.rockwellgroup.com/projects/the-shed>

る伸縮可能な機構を持つことで、異なる用途や規模に対応可能な空間を創出している (図 2.12)。このような大規模な可動機構は、建築の変容性の新たな可能性を示すと同時に、都市景観に動的な変化をもたらす存在としても注目される。

これらのキネティック建築やキネティックアートの多くは、視覚的な印象や機能的な変化を主目的としており、人々の行動を積極的に誘発するような仕掛けとはなっていない。むしろ、人々は動く建築要素の観察者や、環境変化の受益者として位置づけられている。



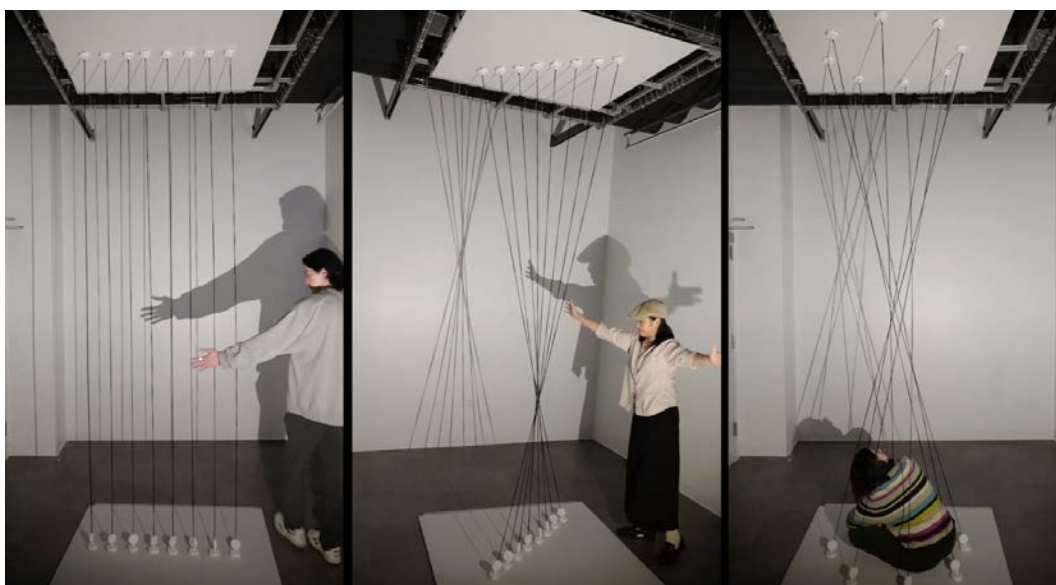
(環境や用途の変化によって可変し対応するキネティックアーキテクチャー)

図 2.12 上 : Al Bahr Towers, 下 : The Shed

2.2.2 形状変化 (shape-changing) による行動誘発

近年の HCI 研究においては、物理的な形状変化を用いた様々なアプローチが試みられている。MIT メディアラボの inFORM [20] は、多数のピンディスプレイを用いて動的な形状表現を可能にし、物理的な情報提示の新しい可能性を示している。このシステムは、デジタル情報を物理的な起伏として表現することで、直感的な理解と操作を可能にしている。

より建築的なスケールでは、中垣ら [21] による Threading Space が注目される。このプロジェクトでは、空間内に張り巡らされた糸の動的な制御により、物理的な境界や動きの表現を実現している (図 2.13)。糸という最小限の要素による繊細な空間演出は、本研究が目指す「小さな種」による介入とも通じる考え方を示している。



(中垣ら [21] の研究より引用)

図 2.13 形状変化する糸の動的制御によるダイナミックアフォーダンス

また、Gronvall ら [1] による形状変化するベンチの研究は、公共空間における形状変化するインタフェースの可能性を探求している。この研究では、ベンチの形状変化が人々の行動や交流に与える影響を検証し、物理的な形状変化が社会的

インタラクションを促進する可能性を示している。

さらに、中西ら [2] による「Furnituroid」は、形状変化する家具型ロボットによって、多様で動的なアフォーダンスを実現している (図 2.14)。この研究は、家具の機能を固定的なものではなく、状況に応じて変化する可能性として捉え直している点で、空間要素の新しい可能性を示唆している。

これらの研究は、物理的な動きや形状変化が、単なる機能的な変化以上の価値を持つことを示している。特に、人々の行動や知覚に対して穏やかな影響を与える手法として、本研究が目指す方向性との親和性が高い。



図 2.14 左：形状変化するベンチ [1]， 右：Furnituroid [2]

2.2.3 タンジブルメディア

MIT メディアラボの石井が提唱した「タンジブル・ビッツ」[22]と「ラディカル・アトムズ」[23]の概念は、物理的な触覚体験とデジタル情報の新しい関係性を示している。タンジブル・ビッツは、直接手で触れて操作できる物理的なオブジェクトをデジタル情報とつなげるインターフェースとして活用するビジョンであり、ラディカル・アトムズは、物質そのものをプログラマブルにすることで、より統合された体験の実現を目指している。これらの概念は、デジタル情報を物理的な形態で具現化することで、画面を介さない暗黙的な情報提示を可能にしている。物理的な実体を持つことで、利用者は意識的な学習なしに自然な認知能力や操作性を活かしたインタラクションを行うことができる。また、形状や材質の動的な変化を通じて情報を表現することで、視覚に偏重しない多感覚的な空間体験を創出している。

2.2.4 プログラマブルな建築空間

暦本 [24] は「プログラマブル建築」という概念を提唱している。これは建築物の物理的特性自体を動的に変化させることで、環境や利用者のニーズに柔軟に対応することを目指すものである。

例えば、透明度を制御可能な壁面システム Squama⁹は、プライバシーと開放性の両立や、太陽光の制御による影の生成など、空間の物理的特性を動的に調整することで、利用者の文脈に応じた環境を創出している (図 2.15)。このアプローチは、テクノロジーの介入を建築要素に統合することで、直接的な情報提示ではなく、空間全体の質的な変化として利用者に体験させる可能性を示している。また、環境条件や利用状況に応じて建築要素自体が変化することで、利用者に対して暗黙的な行動の誘導を可能にしている。影の生成や光の制御といった繊細な環境の操作は、日本建築における障子や簾戸などの伝統的な可変要素の現代的な解釈としても捉えることができ、建築空間における情動的な豊かさの創出にも寄与している。



(<https://www.g-mark.org/gallery/winners/9dd809c2-803d-11ed-af7e-0242ac130002>)

図 2.15 プログラマブルな影による空間の質的向上

9 <https://lab.rekimoto.org/projects/squama/>

2.2.6 ベクシオン・錯覚効果

ベクシオン（視覚誘導性自己運動感覚）は、視覚的な動きの知覚が自己運動感覚を誘発する現象であり、実際の物理的な移動を伴わずに運動感覚を生み出すことができる。この効果を用いることで、空間における人々の行動を穏やかに誘導することが可能となる。

例えば、高速道路では道路脇に設置された発光体の光の流れる速度を制御することで、ドライバーの速度感覚に働きかけ、上り坂などでの速度回復を促す対策が実施されている [25](図 2.17)。また、電気通信大学の梶本研究室の吉川ら [26] は、公共施設の混雑解消を目的として、レンチキュラレンズを用いた新しい歩行誘導手法を提案している。歩行者の動きに応じた視覚刺激を床面に呈示することでベクシオンを生じさせ、実験を通じてその誘導効果の有効性を実証している (図 2.18)。ただし、実際の建物内や駅構内での実装においては、他の歩行者や周囲の環境が視覚刺激の妨げとなる可能性があり、視野に占める視覚刺激の割合と誘導効果の関連性について、さらなる検証が必要とされている。

これらの研究は、視覚的な動きによって人々の行動を無意識的に誘導できることを示しており、特に、強制的な指示や案内に頼ることなく、環境からの自然な知覚刺激によって行動変容を促す点で、本研究のアプローチと共通する特徴を持つ。



(<https://www.youtube.com/watch?v=RE36uFKV7wo>)

図 2.17 高速道路におけるベクシオン活用



(<https://www.youtube.com/watch?v=z-ymvEjN6qQ>)

図 2.18 歩行誘導における自己運動を用いたベクション場の設計

2.3. 情動的な空間情報提示

2.3.1 建築空間における五感と感情の重要性

建築空間における多感覚的な体験と感情的な共鳴に関する研究は、複数の研究者によって重要性が指摘されている。

パラスマー [27] は著書「建築と触覚」において、「ドアハンドルは建物の差し出す握手だ」と述べ、建築における触覚の重要性を指摘した。さらに「触覚は私たちを時間と伝統に結びつける」と論じ、視覚偏重の現代建築に対して、より豊かな感覚体験の必要性を説いている。

心理学者のスペンス [28] は「Senses of place」において、建築をより多感覚的な視点で捉え、感覚の相互作用に敏感になるべきと主張している。また、多くの感覚に調和する体験をデザインすることで、没入感があり記憶に残る体験を生み出せると述べ、建築空間における動的な感覚体験の重要性を強調している。

建築家のトーマス・ヘザウィック [29] は、「emotional sustainability（感情的持続可能性）」という概念を提唱している。彼は「感情は建築環境における不可分

な機能である」と指摘し、現代建築における感情や人間性の欠如を問題視している。「人々が誇りに思う建築には自ずと人が集う」という指摘は、効率性や利便性を超えた、感情に訴えかける空間の持続可能性を示唆している。これは本研究が目指す、情動的な豊かさを通じた穏やかな行動誘発の理論的根拠となっている。

これらの研究は、建築空間における視覚偏重からの脱却と、触覚をはじめとする多感覚的な体験の重要性を示している。さらに、感情的な共鳴を含むより豊かな空間体験が、持続可能な建築環境の実現に不可欠であることを示唆している。本研究で提案する穏やかな情報提示手法は、これらの知見を踏まえ、人々の無意識的な感覚と感情に働きかける新しいアプローチとして位置づけられる。

2.3.2 不完全さがもたらす豊かさ

テクノロジーの完璧な自動化や効率化だけでなく、人間らしい温かみを持つテクノロジーの重要性が認識されつつある。例えば GROOVE X 社の LOVOT¹⁰は、意図的に不完全さを導入し、人間らしい振る舞いを実現することで、テクノロジーに対する親近感を生み出している。「役に立たない、でも愛着がある」ことを価値として掲げ、効率や利便性とは異なる次元での存在意義を示している点で、非常に示唆に富んでいる (図 2.19)。



図 2.19 役に立たない、でも愛着がある ” 新しい家庭用ロボット Lovot

10 <https://lovot.life/>

一方、羽田空港のインフォメーションカウンタにおける案内ロボット「MORK」や「mini MORK」¹¹の運用では、完全な自動応答ではなく、従業員が遠隔操作によってリアルタイムで応対していることで、テクノロジーと人的サービスを効果的に融合している(図 2.20)。これにより、効率性や省人化を実現しながらも、日本独自のおもてなし感を維持することに成功している。

このような事例は、必ずしも完璧な効率性や利便性を追求することだけが解決策ではないことを示唆している。むしろ、適度な不完全さや探索性を残すことで、空間体験はより豊かなものとなる可能性がある。空港や商業施設といった公共空間においては、完璧な効率性の追求だけでなく、発見や気づきを促す仕掛けを残すことで、より記憶に残る空間体験を生み出すことができるのではないかと考える。



(<https://morkrobot.com/minimork/>)

図 2.20 遠隔操作ロボットによる温かみのあるおもてなし

¹¹ <https://morkrobot.com/minimork/>

2.3.3 感情を理解するテクノロジー

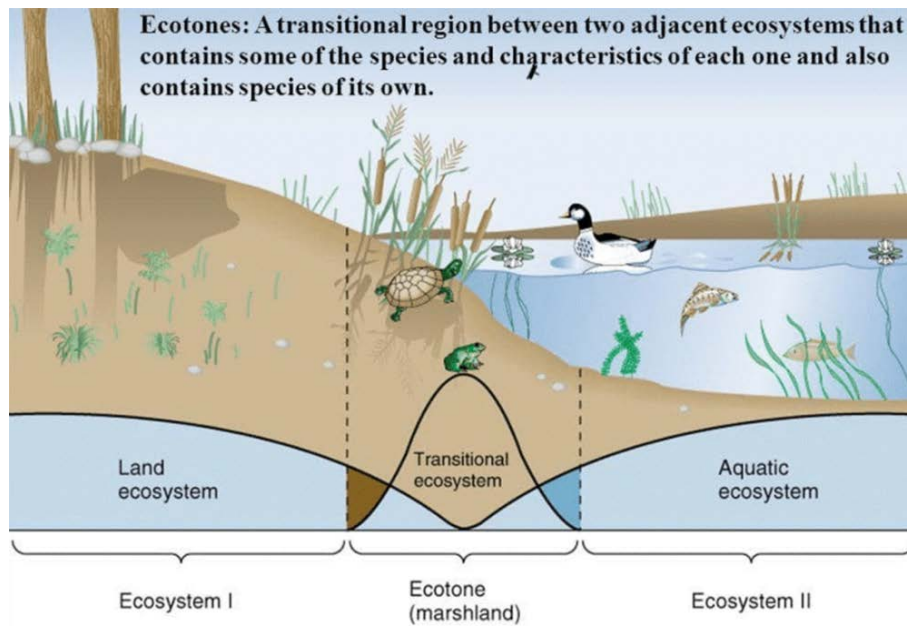
MIT の Rosalind Picard ら [30] が提唱したアフェクティブコンピューティングは、人間の感情を理解し、それに応答するテクノロジーの可能性を示している。この概念は、単なる機能的な相互作用を超えて、感情的なつながりを持つテクノロジーの実現を目指している。特に公共空間における情報提示において、利用者の感情や状態を理解し、適切に応答することの重要性は高まっている。例えば、急いでいる利用者にはより直接的な情報提示を、余裕のある利用者には探索的な体験を提供するなど、状況に応じた適応的な振る舞いが可能となる。

2.3.4 エコトーン概念と空間設計への応用

生態学において「エコトーン」[31] とは、森林と草原の間や、陸地と水域の境界といった、異なる環境が接する移行帯を指す (図 2.21)。この領域では、両環境の特性が緩やかに混ざり合うことで、独自の生態系が形成される。エコトーンでは、両環境の生物が共存することで高い生物多様性が実現され、また漸進的な環境変化により、急激な環境変化に対するバッファとしても機能する。

このような境界領域は、単なる二つの環境の接点以上の価値を生み出している。それは新しい種の発生場となるだけでなく、生態系全体の安定性に寄与する重要な役割を果たしている。この概念は、デジタル情報と物理空間が交わる領域のデザインに新しい視点を提供する。

また、日本建築における境界空間 (図 2.22) は、エコトーン概念を空間的に表現している好例といえる。縁側は、内部と外部を緩やかにつなぎ、季節や時間に応じて柔軟に使い分けられる中間領域として機能する。同様に土間は、公的空間と私的空間の緩衝帯として、人々の交流を自然に促す場を生み出している。建築要素においても、障子は光を拡散させ、内外の光環境を穏やかにグラデーションさせる役割を果たす。また、障子を介して人の影を映し出すことで、視線を遮りながらも人の存在の気配を感じさせるような、可変可能な柔らかい境界である。このような仕掛けは、空間全体の質を大きく向上させる、電力を要しない「小さな種」の介入であり、本研究に重要な示唆を与える。



(<https://www.insightsonindia.com/environment/basic-concepts-of-ecosystem/ecotone-ecological-niche/ecotone/>)

図 2.21 エコトーン：河岸や湖沼の沿岸など生物の生息環境が連続的に変化する移行帯



図 2.22 日本建築における中間領域の仕掛け

2.4. 本章のまとめ

本章では、建築空間における「穏やかな行動誘導」と「最小限のテクノロジーの介入」を実現するための理論的基盤を、暗黙的、動的、情動的という3つの観点から整理した。

暗黙的な情報提示の観点からは、日本建築における無意識的な誘導手法やウェイファインディング、ナッジによる行動変容、アフォーダンスの空間活用など、文字情報に頼らない誘導の可能性が示された。特にカームテクノロジーの概念は、テクノロジーの最適な用量は「問題を解決するのに必要な最小限の量」であるという本研究の基本姿勢と合致している。

動的な情報提示の観点からは、キネティックアートや shape-changing インターフェース、タンジブルメディアなど、物理的な動きを用いた情報提示の可能性が示された。特に運動共感やベクションといった知覚特性を活用した誘導手法は、本研究が目指す回転運動による無意識的な誘導の理論的根拠となっている。

情動的な情報提示の観点からは、建築空間における五感の重要性や、不完全さがもたらす豊かさ、エコトーン概念など、効率性や利便性とは異なる価値の重要性が示された。これらは、本研究が目指す「穏やかな」誘導の質的側面を支える理論的基盤となっている。

これらの先行研究は、それぞれの領域で重要な知見を提供しているが、建築空間における人流制御に焦点を当て、これら3つの観点を統合的に扱った研究は見られない。本研究は、これらの知見を統合し、テクノロジーの「小さな種」によって、建築空間に新たな価値を付加する可能性を探究するものである。

第 3 章

Concept and Method

3.1. 空港における空間情報の課題の再定義

Mark Weiser [5] が 1995 年に「Information technology is more often the enemy of calm（情報技術は、しばしば平穏の敵となる）」と指摘した情報技術が人々の注意を過度に要求する危険性について、現代の空港旅客ターミナルにおいても顕在化している課題である。その背景には、航空需要の増加、インバウンド観光の拡大、デジタル技術の急速な発展など、空港を取り巻く環境の大きな変化がある。

まず、物理的なサインとデジタル情報の混在、各社が個別に提供するスマートフォンアプリ、多言語対応など、情報の重層化は利用者の認知負荷を著しく増大させている。加えて、人手不足への対応として進められる自動化やセルフサービス化は、利便性向上を目指す一方で、旅客自身が処理する作業の増加、人的サービスの減少による不安感を同時に生んでいる。特に高齢者や海外旅行者にとって新たな心理的負担となっている。さらに、効率性を重視する技術介入を進めるあまり、空間体験の均質化と場所性の喪失を招いている。世界中の空港で標準化された案内表示や自動化設備が導入される中、その空港ならではの場所性や地域性が失われている。

特に空港旅客ターミナルは、365 日稼働を続ける交通インフラとして、運用を継続しながらの施設改修という大きな制約を抱えている。建設業界における技能者の高齢化や人手不足、働き方改革、脱炭素化への対応など、複合的な要因による建設コストの上昇も、大規模な空間改修を困難にしている。このような状況下では、最小限の物理的介入で最大限の効果を生む、新しい空間デザインのアプローチが求められる。

3.2. デザインアプローチ

これらの課題に対応するため，本研究では建築空間本来の性質を活かしながら，最小限の介入で効果的な改善をもたらす新しいアプローチを提案する．

本研究では，以下の3つの原則に基づく情報提示手法を提案する (図 3.1)．

第一に「最小限の技術介入」である．既存の建築要素を活用し，低コストかつスケーラブルな実装を可能にする．これは，インフラとして運用を続けながらの建設・改修が必要な空港において，特に重要な要件となる．

第二に「穏やかで無意識な誘導性」である．カームテクノロジーやアンビエントメディアの概念を応用し，言語に依存しない無意識的で穏やかな情報伝達を実現する．利用者の注意を必要以上に消費せず，無意識的な行動誘発を目指す．

第三に「空間との調和」である．既存の建築要素を活用しながら，空間に自然に溶け込むだけでなく，異なる性質を持つ空間をつなぐ中間領域としての役割も担う．エコトーンが生態系の移行帯として独自の価値を持つように，この小さな介入は，物理空間とデジタル空間の境界，あるいは移動空間と待機空間といった異なる性質を持つ領域を，より豊かにつなぐ触媒となることを目指す．建築空間本来の質を損なうことなく，むしろその価値を高める新たな層として機能することで，空間体験の質的向上を図る．

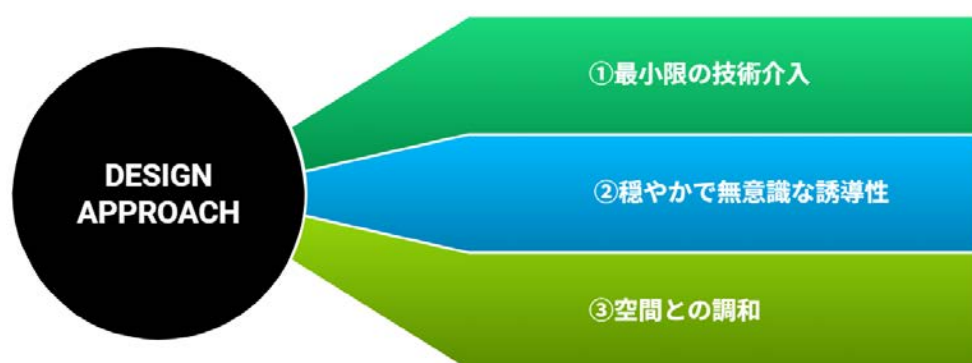
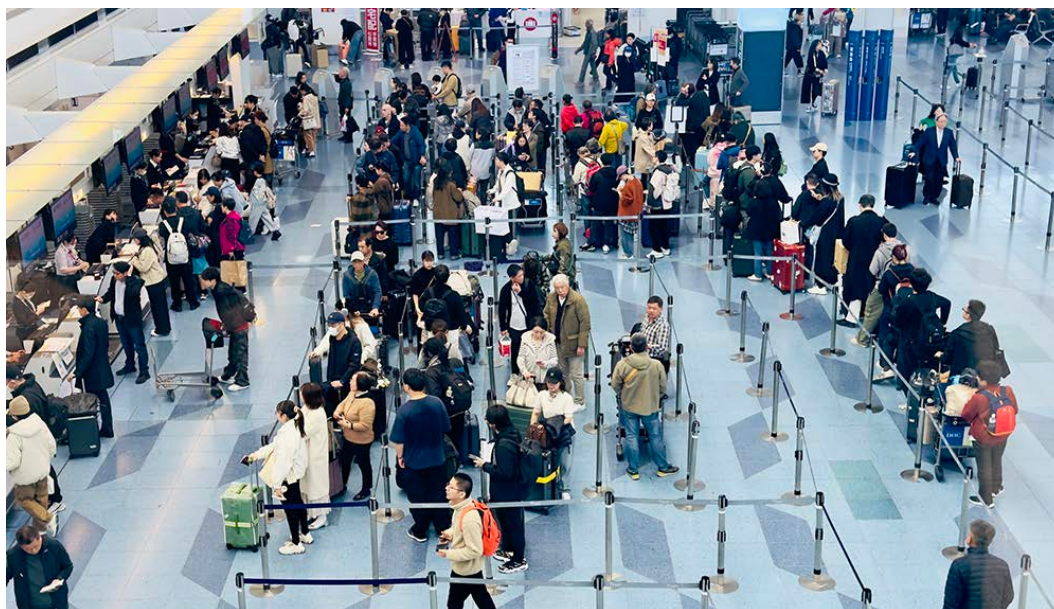


図 3.1 アプローチコンセプト

3.2.1 本研究における空港課題の抽出

前述のデザインアプローチに基づき、具体的な介入対象として、まず空港の待ち並び空間に着目した(図3.2).



筆者撮影@羽田空港 T3 のチェックインカウンター前並び列

図 3.2 空港での待ち並び空間

待ち並び空間は、空港運営における最も重要な課題の一つである。2001 年の同時多発テロ以降のセキュリティ強化や、旅客手続きの複雑化により、保安検査場やチェックインカウンター前の混雑は世界共通の課題となっている。

待ち時間の心理学的研究において、David Maister は 8 つの法則 [32] を提示し、何かやる事がある待ち時間はやることの無い待ち時間より短く感じられることや、不安や不確実性が待ち時間の体感を長くすることを指摘している。

D.A. ノーマン [33] も、待ち時間の重要性は実際の長さではなく過ごし方にあると述べ、特に待ち時間の予測可能性や理由の明確な説明が、人々の受容性を高めることを示している。さらに、混雑時には問題への対処を行っていることを示すことで、待ち行列における不安を最小限に抑えられるとしている。これらの知見は、待ち行列空間における適切な情報提示の必要性を示唆している。

しかし現状の空港における待ち並び空間は、金属製のスタンションポールとテープによる物理的な列形成に留まっており、ディズニーランドなどのテーマパークなどで見られるような待ち時間を豊かにする工夫も、ほとんど導入されていない。むしろ、保安検査の通過や入出国審査、手荷物預け入れ、搭乗時間への不安など、多くの旅客にとってストレスや緊張感を伴う空間となっている。

3.2.2 スタンションポールへの着目

これらの待ち並び空間における課題に対し、本研究では世界中の空港に普遍的に存在する「スタンションポール」(図 3.3) という建築要素に可能性を見出した。



筆者撮影：世界中の待ち並び空間に普遍的に存在するスタンションポール

図 3.3 スタンションポール

なぜスタンションポールを選択したのか。第一に、その普遍性である。世界中のあらゆる空港で使用される最も基本的な設備であり、新しいシステムの導入障壁が低い。その単純さゆえに、文化や言語の違いを超えて理解される普遍的な要素となっている。第二に、空間制御における重要性である。人々の動線を物理的に規定する重要な役割を持ち、セキュリティチェックや搭乗ゲート前など、重要な動線管理ポイントにおいて不可欠な要素となっている。第三に、発展可能性で

ある。これまで単なる物理的な障壁としてしか機能していなかったスタンションポールが、新しい形での空間制御デバイスに変容できる可能性を持つ。さらに空港に限らず世界中のあらゆる公共空間に存在する点においても、その発展可能性は高い。このスタンションポールを、より知的な要素として再設計すること。それが、本研究の出発点となった。

本研究では既存の空間要素を活用した最小限の介入による解決を試みるアプローチとして、この既存の空間要素であるスタンションポールに最小限のプログラマブルなテクノロジーを用いた情報提示手法を付加することで、ストレスを抱えて並ぶ人々の心理的な安らぎを創出すると同時に、歩行速度の緩やかなコントロールや体感時間の軽減、進行・停止などの簡易的な情報提示などを無意識的に行うことはできないかと考えた。

この提案の特徴は、待ち並び空間全体の改修ではなく、既存の建築要素の最小限の改変によって課題解決を図る点にある。介入するポール数は空港や空間の規模に応じて自由に選択可能であり、予算や必要な効果に合わせて柔軟に展開できるスケーラビリティを持つ。さらに、ポールの配置パターンを工夫することで、様々な空間効果を生み出すことも可能となる。

このアプローチは、エコトーンが生態系の移行帯として独自の価値を持つように、待ち時間という否定的に捉えられがちな時間と空間に、新しい質的価値を付加することを意図している。物理的な列形成という基本機能を保持しながら、心理的な安らぎや無意識的な行動誘導という新しい層を重ねることで、空間全体の質的向上を図るしかけでもある。

3.2.3 スタションポールの機能拡張

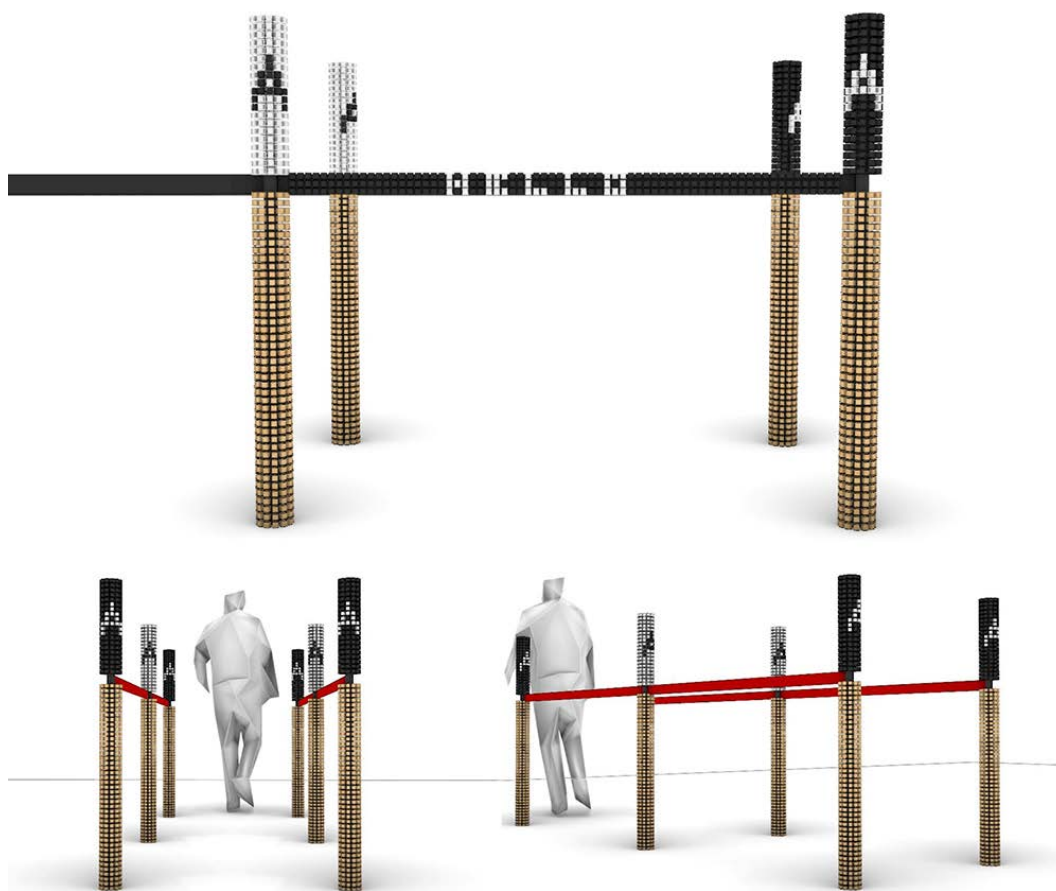
スタンションポールの新しい可能性を探る中で、まず情報提示機能の付加を検討した。検討の初期段階では、既存のスタンションポールにデジタルディスプレイとしての機能を持たせることを構想した。特に着目したのは、かつての空港で広く使用されていたフリップボード(図3.4)である。このメカニカルな表示システムは、運行情報を表示する際の板が反転する「パタパタ」という動きと音が、多くの人々に独特の情緒的な感覚を与えていた。



パタパタとパネルやドットが回転する機構のディスプレイ

(<https://www.whitevoid.com/orbital/>)

図 3.4 フリップドット・フリップボード



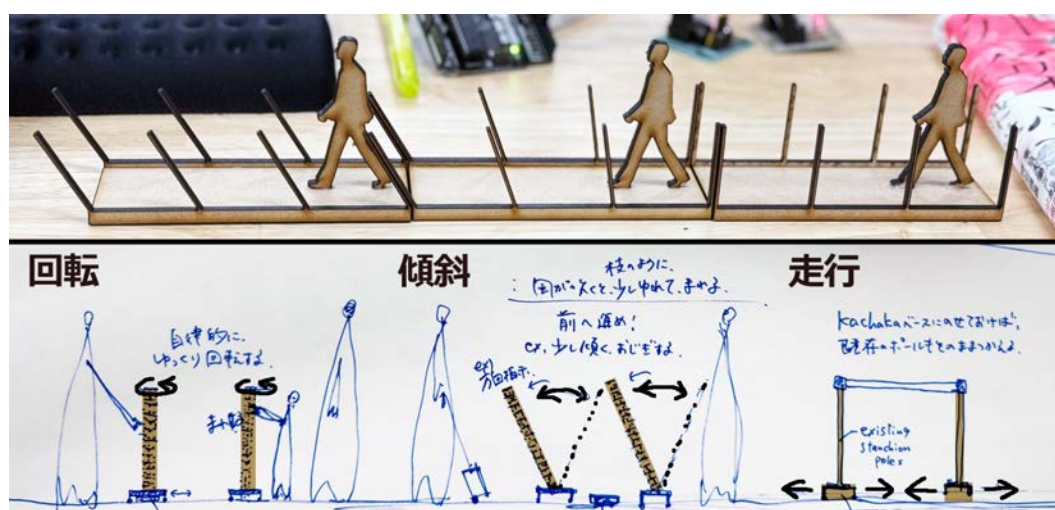
フリップドットを活用し，解像度の低い最小限の情報をボールが提示するアイデア

図 3.5 フリップディスプレイを活用する初期アイデア

このフリップボードの持つ機械的かつ詩的な特質を、現代のスタンションポールに応用することで、デジタルとフィジカルの特性を融合させた新しい情報提示の可能性を探った(図3.5)。しかし、より無意識的に人々の行動を導く可能性を探るため、ポール自体に動きを持たせることも検討した。

初期のスケッチでは、大きく三つの動作パターンを検討した(図3.6)。一つ目は、ポールが自律的に回転することで特定のメッセージを伝える「回転」、二つ目は傾きの角度によって進行方向や速度を示唆する「傾斜」、三つ目はポール自体が移動して群衆の流れを制御する「走行」である。特に走行型では、混雑状況に応じてポールが自律的に移動し、ポール間の幅を動的に調整することで、より柔軟な群衆制御の可能性を探った。走行には、家具を運ぶ搬送ロボットである「kachaka」¹など、既存の搬送ロボットを活用した動的な制御もアイデアとして考えた。

一方これらの検討を通じて、実装の容易さ、メンテナンス性、そして空間への影響度を総合的に考慮した結果、最終的に回転運動に着目することとなった。回転運動は、最小限の機械要素で実現可能でありながら、豊かな表現可能性を持つ動作として、本研究の方向性と最も親和性が高いと判断したためである。



回転、傾斜、走行を用いたスタンションポールの機能拡張検討

図 3.6 初期スケッチによるモーションの検討

1 <https://kachaka.life/home/>

3.2.4 回転運動への着目

これらのような、様々な情報提示の方法を検討する中で、本研究では特に回転運動の持つ可能性に着目した。この選択の背景には、回転という動きが持つ普遍的な特性がある。

例えば、床屋の赤と青のサインポールは、その回転によって営業中であることを示す文化的な記号として機能してきた。風車は、その回転を通じて風の存在を可視化し、人々に清涼感をも感じさせるような、環境情報を直感的に伝える装置として機能している。またレコードプレーヤーやCDプレーヤーの回転は、音楽再生の開始を視覚的に予告し、その円環的な動きと音楽体験が密接に結びついた記号として私たちの感覚に深く根付いている。このように回転運動は、言語や文化の違いを超えた情報伝達の手段として、長く人類の生活に根付いてきた (図 3.7)。

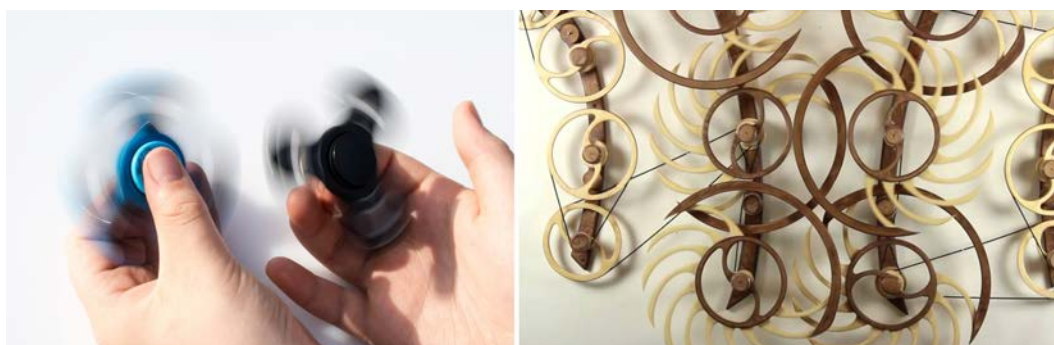


左：レコード (Photo by Lee Campbell on Unsplash), 中：床屋のサインポール (wikipedia より), 右：かざぐるま (Photo by Kazuo ota on Unsplash)

図 3.7 日常生活に根付いた回転運動

さらに回転運動は、心理的な効果も持ち合わせている可能性がある。ハndsスピナーは、自らの手で回転させる行為がリラックス効果をもたらすともいわれ一時的に流行した。

David C. Roy²の木製キネティックアートでは、複数の木製の車輪が緩やかに同期して回転することで、機械的な精密さを保ちながらも、自然の律動のような有機的な動きを実現し、見る者に深い瞑想的な体験をもたらした。ゼンマイの力を利用した持続的な回転は、数時間から数日間にわたって継続し、その安定した周期的な動きは、観察者に時間の流れを再認識させる効果をもたらす。このように回転運動は、単なる機械的な動作を超えて、時間や自然の循環を表現する芸術的な媒体としても機能することが示されている (図 3.8).



左：ハンドスピナー (Photo by Myriams-Fotos on pixabay), 右：David C. Roy Kinetic Sculptures

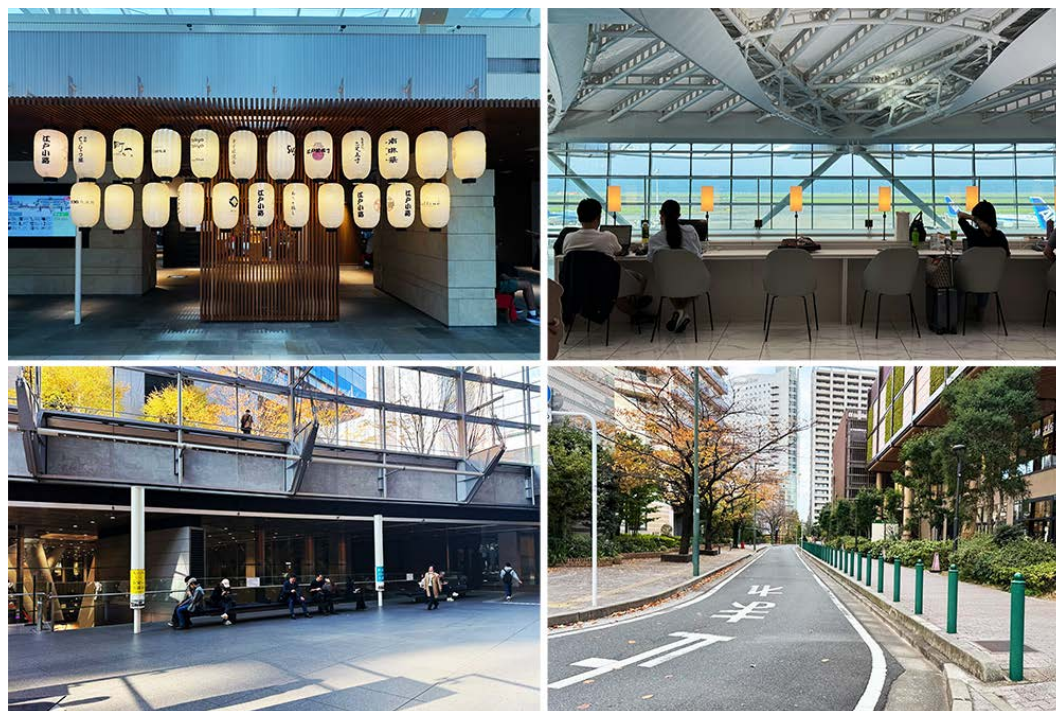
図 3.8 癒しを与える回転運動

空間的な観点からも、回転運動には優位性がある。その場で回転するという特性は、最小限の空間占有で効果を発揮できることを意味する。これは、既存の建築要素に実装しやすい最もシンプルなモーションであり、速度や方向の制御によって情報の強度を段階的に調整できる特徴を持つ。

また回転運動は、360度の範囲で人の動きに追従する機能を実現できる点も重要である。通常の案内サインが一方向的な情報提示に留まるのに対し、回転という動作は全方位的な情報伝達を可能とする。この特性を活かし、将来的には音声や香り、センサーなどの要素と組み合わせることで、より効果的な行動誘導の可能性が広がる。このように回転という単純な動作は、最小限の空間占有という物理的制約の中で、多様な情報提示と誘導の可能性を内包している。

2 <https://www.woodthatworks.com/>

スタンプホールに限らず，公共空間を見渡すと照明器具や柱など，多くのポール型の建築要素が存在することに気づく(図3.9)．こうした既存の建築要素に回転という単純な運動を付加するだけで，空間情報の提示や人々の行動誘導において新たな可能性が広がると考える．この発見は，最小限の介入で効果的な空間の改善を目指す本研究のアプローチとして重要な気づきである．



筆者撮影：公共空間を見渡すとポール型の空間要素は複数存在する

図 3.9 ポール型の空間要素

3.2.5 木材の触覚的癒し効果を活用した外装材

回転運動の実装にあたり、安全性と触覚的な親しみやすさを両立させるため、素材選択と構造設計に特に注力した。

一般的に回転する機械や装置は、安全性の観点から接触を避けるべき対象として扱われる。しかし本研究では、情報提示における触覚の重要性と、木材という自然素材がもたらす安心感に着目し、敢えて触覚性を伴う設計を重視した。

空港という非日常的な環境において、多くの人が感じる緊張や不安を緩和するため、本デバイスでは木材の持つ生理的・心理的效果を活用している。

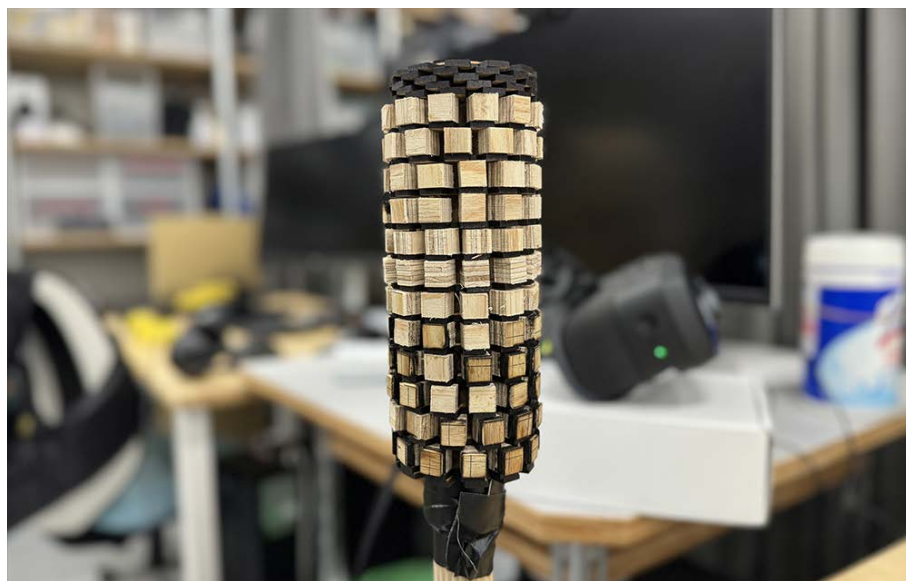
池井ら [34] [35] [36] [37] によれば、木材との接触は血圧の低下や心拍数の安定化をもたらし、副交感神経活動を活性化させる効果があり、嗅覚刺激による副交感神経活動の上昇、手掌や足裏の接触による脳前頭前野活動の鎮静化、木材壁面の視覚刺激によるリラックス効果など、多面的な効果が実証されている (図 3.10)。



(池井らによる研究 [35]) より引用

図 3.10 ヒノキ平板への手掌接触が脳前頭前野活動にもたらす鎮静効果

当初は、図 3.11 のように、木の端材をカットして利用したり、原木のスライス材を活用した、木材が本来持つ粗々しい素材感を出す外装検討も行ったが、実際に回転させたときに、手に触れたくなるような柔らかさや温かみを感じることができなかった。



エッジが四角いとゴツゴツした印象を受ける

図 3.11 端材を活用した初期モックアップ

そこで本研究では、これらのリラックス効果を最大限に引き出すため、外装に丸みを帯びた木製のサイコロを採用している。この素材は本来、アロマを垂らして木の香りを楽しむディヒューザーとしての利用を想定した木粒(図3.12)であり、将来的には香りによる情報提示と癒し効果の融合も視野に入れた素材選択となっている。木材は再生利用可能な自然素材であり、環境負荷の低減にも寄与する。このような環境への配慮は、これからの時代において重要な設計要件の一つであると考え、最終的に木粒による外装デザインを採用するに至った。

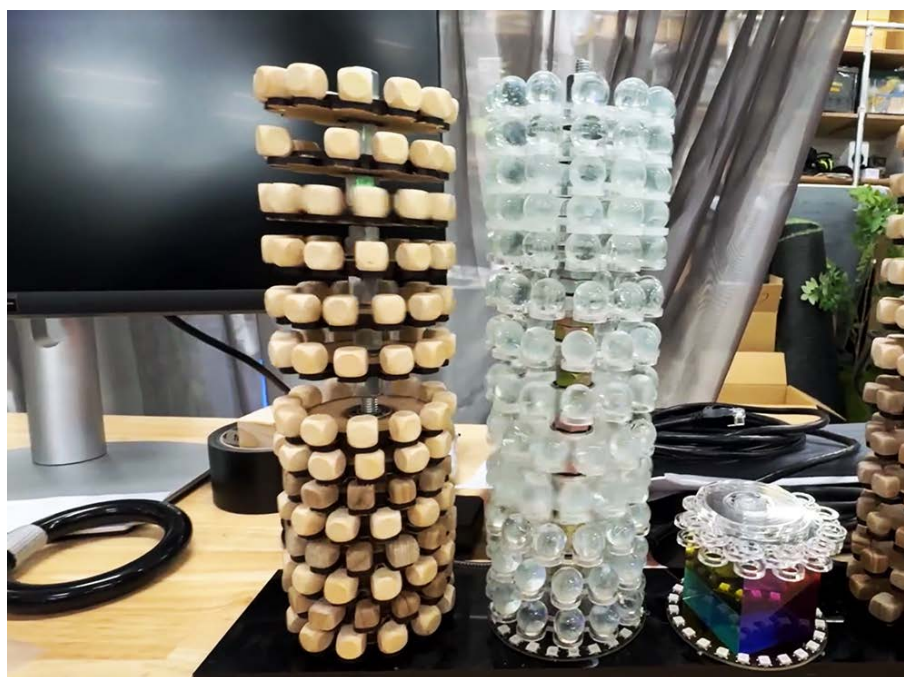
当初は光や視覚的な美しさを重視し、ビー玉を外装材として使用することを構想した(図3.13)。しかし、触覚性と環境への配慮を考慮した結果、最終的に木材を採用することを決定した。

また、デバイスの設計においては、人々が自然と触れたくなるような親和性の高さを重視している。目で動きを追える程度の穏やかな回転速度を採用し、物が引っかかった際には回転が停止する安全機構を備え、手で触れても安全な設計により、利用者の自発的な接触行動を促している。特に木材特有の温かみのある質感は、機械的な印象を和らげ、より安心感のある形での情報伝達を可能にしている。



左 : KUSU HANDMADE:<https://kusuhandmade.com/eco/932> 右 : 木のサイコロ

図 3.12 アロマオイルを垂らしてディフューザーとして楽しむための木粒



左 : 木粒の外装 右 : ガラスのビー玉の外装

図 3.13 外装のマテリアル初期検討

3.2.6 ドットを用いた外装デザイン

デバイスの外装デザインには、木材の粒を環状に配置し積み重ねた構造を採用している。この「ドット」による表現方法の採用には大きく2つの理由がある。

1つ目は、世界の様々なグラデーションを作り出す情報表現が「点の集合」として捉えられるという気付きである(図3.14)。デジタルスクリーンのピクセル、フリップボードの文字表現、指向性スピーカーのユニット配列、LEDによる光のグラデーションなど、多くの情報表現は点の集合により実現されている。

2つ目は、この「点による表現」が機能拡張性を確保できることである。現在は木の粒で構成されているが、これらの点はLEDによる光表現、スピーカーによる音表現、センサーによる行動検知など、様々な機能を持つ他の要素に置き換えることができる。

その他、粒を環状に配置し積み重ねたこの構造は、一部が壊れてもそこだけ取り換えれば良いというメンテナンス性、積み上げる高さを変えるだけでのスケラビリティも考慮した結果となっている。このように「点」の集合という単純な形態を基本とすることで、木質な温かみのある現在の表現を保ちながら、将来的な技術統合の可能性を持たせている。

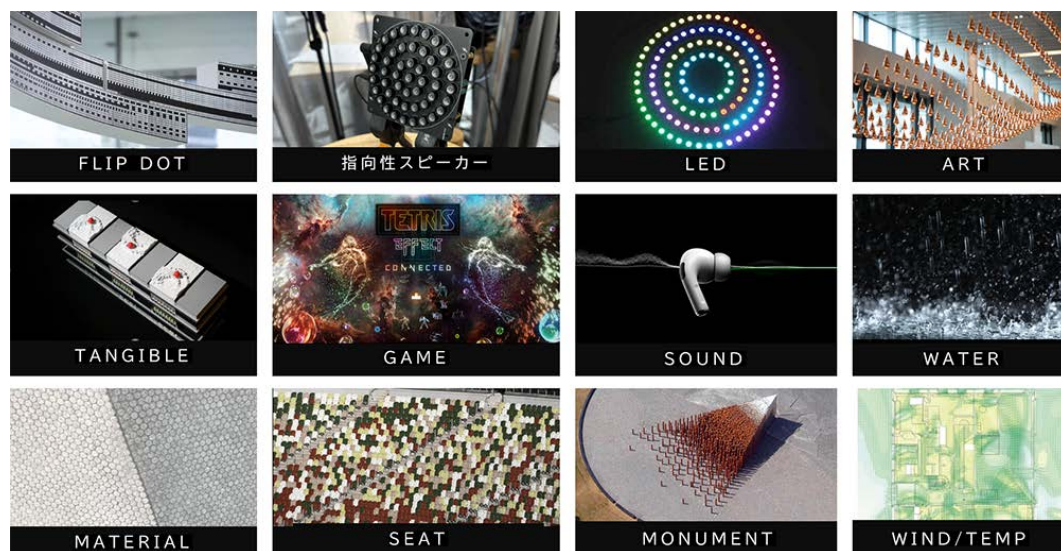
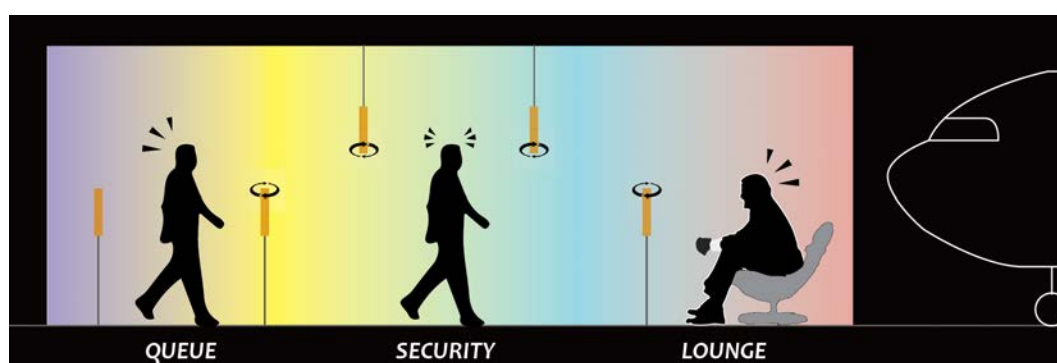


図 3.14 グラデーションを作り出すドットを用いたデザイン例

3.3. GentlePoles

これらの検討を踏まえ、本研究では優しく緩やかな回転運動を伴う木製のポール型アクチュエーターとして、「GentlePoles」を提案する。この名称は、紳士を意味する“Gentleman”になぞらえ、人々の行動を穏やかに、そして親切に促す存在となることを願って命名した。



筆者作成：人の行動を穏やかに誘導し、空間の境界を柔らかくつなぐ

図 3.15 コンセプトイメージ

GentlePoles は、単なる物理的な列形成装置としてのスタンションポールを超えて、空間に溶け込みながら人々の行動を自然に導く新しい建築要素を目指している。木材という温かみのある素材と、緩やかな回転運動という動的な要素を組み合わせることで、無機質になりがちな待ち並び空間に、より空間の柔らかさや温かみを付加することを試みる(図 3.15)。この装置の特徴は、急激な変化や強制的な指示ではなく、ゆっくりとした回転運動によって、人々の無意識的な行動を誘発する。この穏やかな動きは、待ち時間中の視覚的な安らぎを提供すると同時に、空いているレーンへの無意識的誘導や、歩行速度の緩やかなコントロールといった、実用的な機能も果たすことを意図している。また、複数の GentlePoles を連携させることで、より豊かな空間演出も可能となる。複数のポールが連続的に回転する動きは、人々の視線や動きを自然に誘導し、空間内の円滑な動線形成を促すことができる。このような動的な要素は、待ち時間という否定的に捉えられがちな体験に、新しい価値を付加する可能性を持っていると考える(図 3.16)。



(筆者作成：木製の回転ポールが人々を誘導するイメージ)

図 3.16 GentlePoles コンセプトパース

3.3.1 双方向的なインタラクション

本研究の目指すべき方向性として、人とポールの双方向的な関係性が挙げられる。ポールの回転運動が人々の行動に影響を与えるという一方向的な関係性のみならず、人々の近接や働きかけに応じてポールが反応を返すような、より対話的な関係性の構築を期待している（図 3.17）。例えば、人が近づくことでポールの回転速度が変化したり、立ち止まった時間に応じて回転パターンが変化したりするなど、人々の行動に呼応する形でポールが振る舞いを変化させることができるような相互作用的な関係性は、単なる誘導装置としてではなく、空間における新しいコミュニケーションの可能性を示唆する。

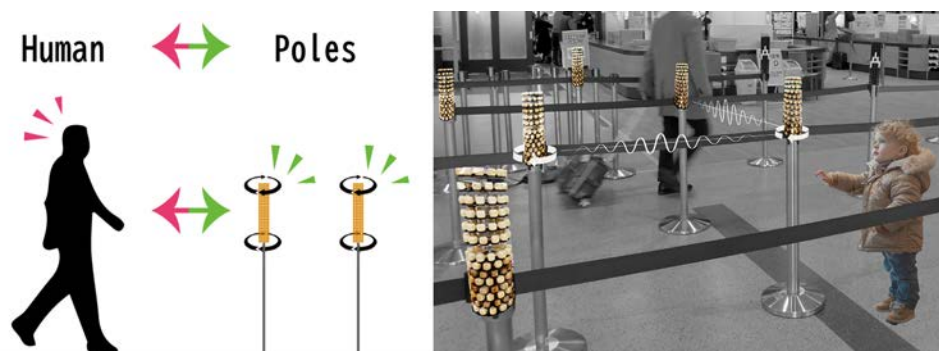


図 3.17 人とポールの双方向的な関係性の概念図

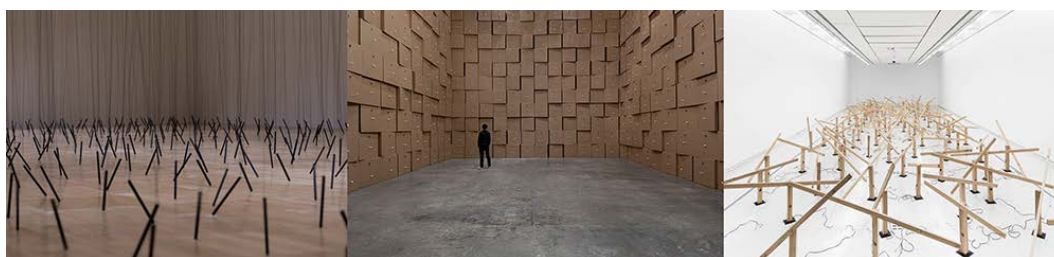
3.3.2 単体機能と群機能での二面性

本研究で提案する「GentlePoles」という複数形の名称には、単体としてのポールだけでなく、複数のポールが群として機能することへの期待が込められている。これは、個々のポールによる穏やかな誘導効果と、複数のポールによって生まれる空間全体での誘導の可能性を示唆している。

単体のポールは、その場に立ち止まる個人に対して直接的な効果をもたらす。例えば、搭乗までの待ち時間や手続きの順番を待つ間、緊張や不安を感じやすい場面において、木材の温かみのある質感と穏やかな回転運動が視覚的・触覚的な癒

しの効果を提供する。これは、空港特有の非日常的な緊張感を和らげ、より快適な待ち時間の過ごし方を可能にする。

一方、複数のポールを群として配置した場合、空間全体での穏やかな誘導が可能となる。サウンドアーティストの zimoun³は、モーターや段ボールといった工業的な素材を大量に組み合わせ、単純な機構を反復させることで予想外の力強い音響空間を生み出している (図 3.18)。例えば、数百個のモーターが同時に動作する作品では、個々の小さな動きが群として重なり合い、空間全体に独特の存在感を創出している。



単純な機構を反復させることで予想外の力強い音響空間を生み出す: <https://zimoun.net/>

図 3.18 スイスのアーティスト・Zimoun によるアート作品

また同時に、この群としての振る舞いは Swarm ロボティクス概念とも通じる。Swarm ロボティクスでは、個々は単純な規則に従って動作するが、それらが集団として振る舞う際には、より複雑で適応的な動きを生み出すことができる。これらの着想を応用し、回転の方向や速度のパターンを複数のポールで連動させることで、空間全体に穏やかな誘導の流れを創出することが可能となる。

同時に重要な点は、これらの機能が状況に応じて動的に変化できるプログラマブルな性質を持つことである。センサーによる人の検知や時間帯による混雑状況の変化に応じて、回転のパターンを適応的に制御することで、その時々々の空間ニーズに柔軟に対応することができる。例えば、混雑時には群としての誘導的な機能を強め、閑散時には単体での癒し効果を重視するなど、状況に応じた使い分けが可能となる。このような可変性は、早朝の閑散とした時間帯から、ピーク時の混

3 <https://zimoun.net/>

雑した状況まで、一日の中でも多様な状況が発生する空港空間において、特に重要な意味を持つ。

更なる可能性として、複数のポールによる空間の記憶の蓄積が挙げられる。自然界において、野生動物の移動によって自然発生的に形成される「獣道」は、多くの個体の移動の痕跡が時間とともに蓄積されることで生まれる現象である。本システムにおいても、複数のポールの配置によって、人々の行動の履歴を空間に蓄積し、そうした過去の気配を暗黙的に提示できる可能性がある。例えば、人々の通過ルートをポールが記憶し、その情報を回転方向や速度として表現することで、時間の経過とともに人気のあるエリアや自然な動線が浮かび上がってくる(図 3.19)。さらに、ポールの配置を容易に変更できる特徴を活かし、状況に応じて空間の性質を動的に変化させることも可能となる。これは単なる物理的な誘導を超えて、人々の気配や空間の記憶を表現する新しい可能性を示唆している。

このように、単体と群という二つの機能の使い分けにより、個人の快適性と空間全体の効率性を同時に高める形で人々の行動を支援する環境を創出する可能性を示唆している。

3.3.3 拡張性と実用性を考慮した外装設計

構造的な特徴として、一段ごとにベアリングを内蔵し、それぞれの段が独立して回転できる設計となっている。この段を積み上げていく構造により、二つの重要な機能性を実現している。一つは、部分的な破損や不具合が生じた際に、該当する段や特定の木材の粒のみを交換できるメンテナンス性である。もう一つは、積み上げる段数を調整することで、設置場所に応じて高さを変更できるスケーラビリティである。ベース部分には、ステッピングモーターと環状の LED を内蔵した土台を設けている。この土台は、既存のスタンプポールに装着可能な形状として設計されており、既存の建築設備との親和性を考慮している。このように、実用性とメンテナンス性を考慮し、木材の持つ温かみを活かした外装デザインを実現している。設計には、3D モデリングソフトの Rhinoceros⁴を利用した(図 3.20)。

4 <https://www.rhino3d.co.jp/>



異なる時間・日付の空間情報を蓄積し重ね、ボールが回転運動で暗黙的に表現する

図 3.19 人々の気配や空間の記憶を表現する GentlePoles の活用イメージ

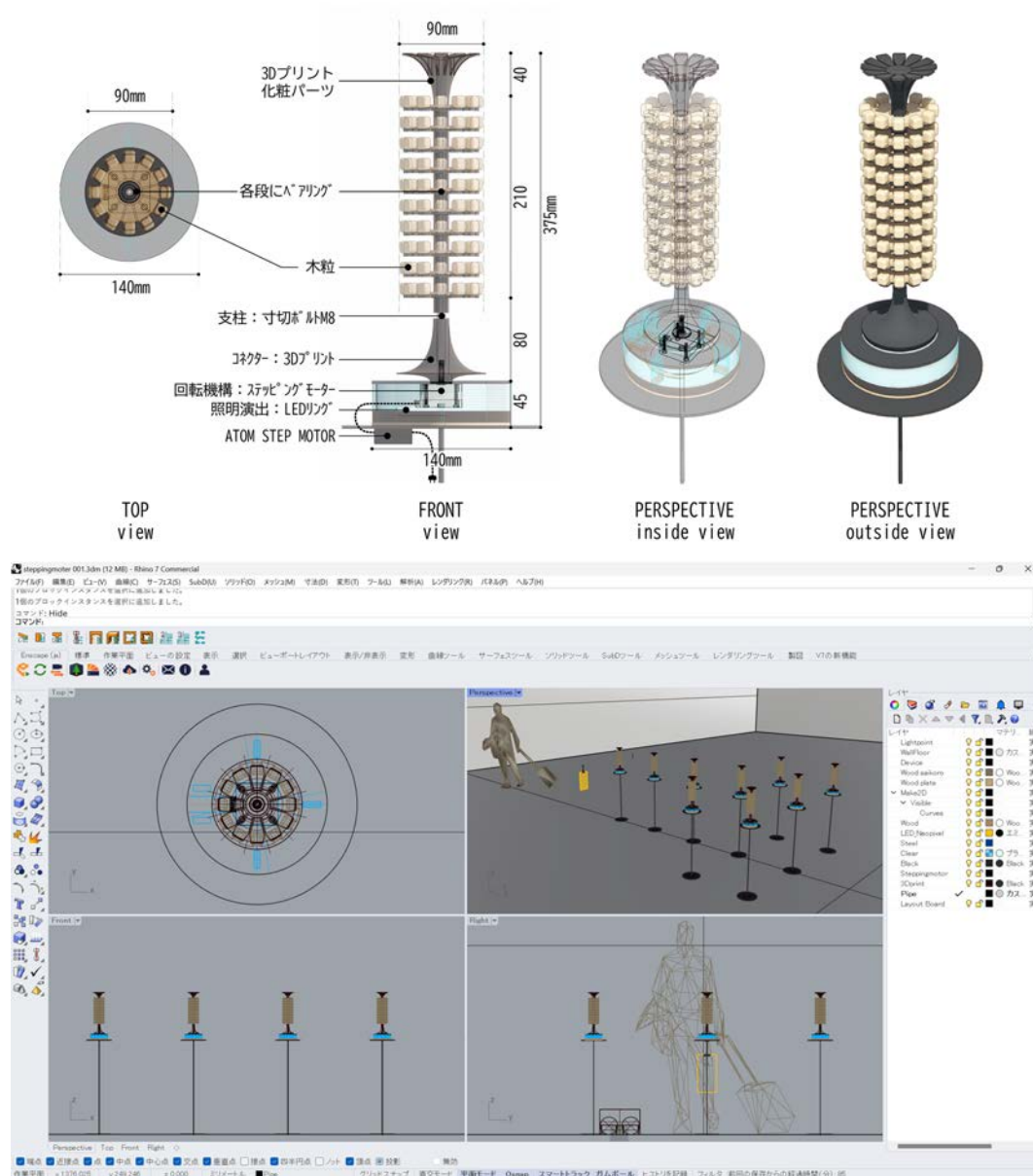


図 3.20 3D モデリングソフトの Rhinoceros を利用し設計

3.3.4 最小限で低コストな駆動システム機構

回転機構の制御システムは、最終的にステッピングモーター (Nema 17) による精密な回転制御, ATOM ステップモータードライバによる駆動制御, そして Arduino によるシステム全体の制御という三つの主要な要素で構成した (図 3.21). ステッピングモーターを採用することで, 回転方向と速度をコントロールすることが可能となっている.

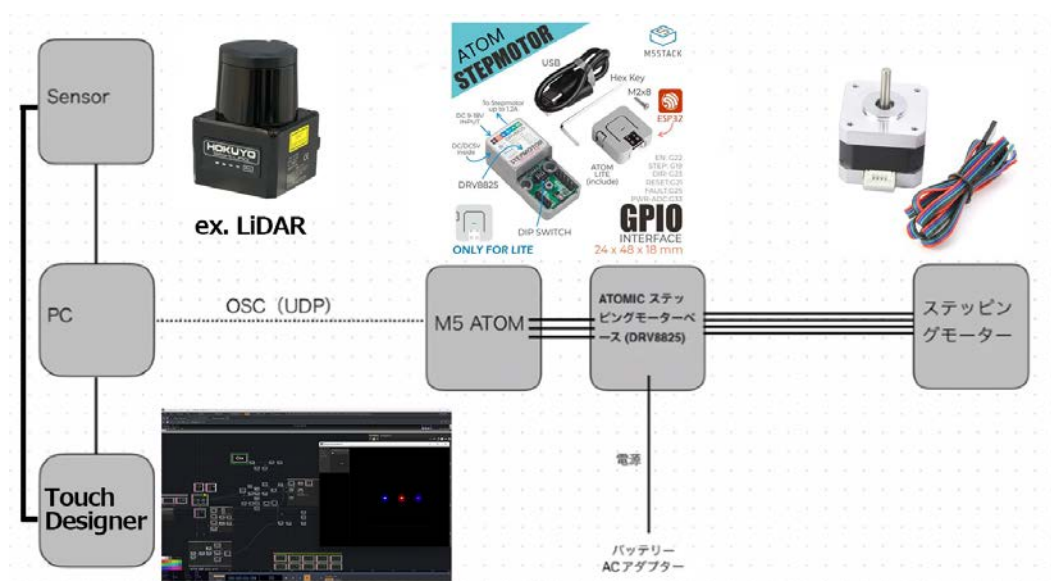


図 3.21 システム概念図

システムの制御には, TouchDesigner⁵をベースとしたインターフェースを開発した. このシステムにより, 各ポールの回転方向と回転速度を個別に制御することが可能となっている (図 3.22). センサーによる自動制御と手動制御を併用可能な設計とし, 状況に応じて適切な制御方法を選択できるようにしている. 混雑時の誘導的な機能強化や, 閑散時の癒し効果の重視など, 状況に応じた制御の最適化については, 今後の開発課題として残されている.

⁵ <https://derivative.ca/>

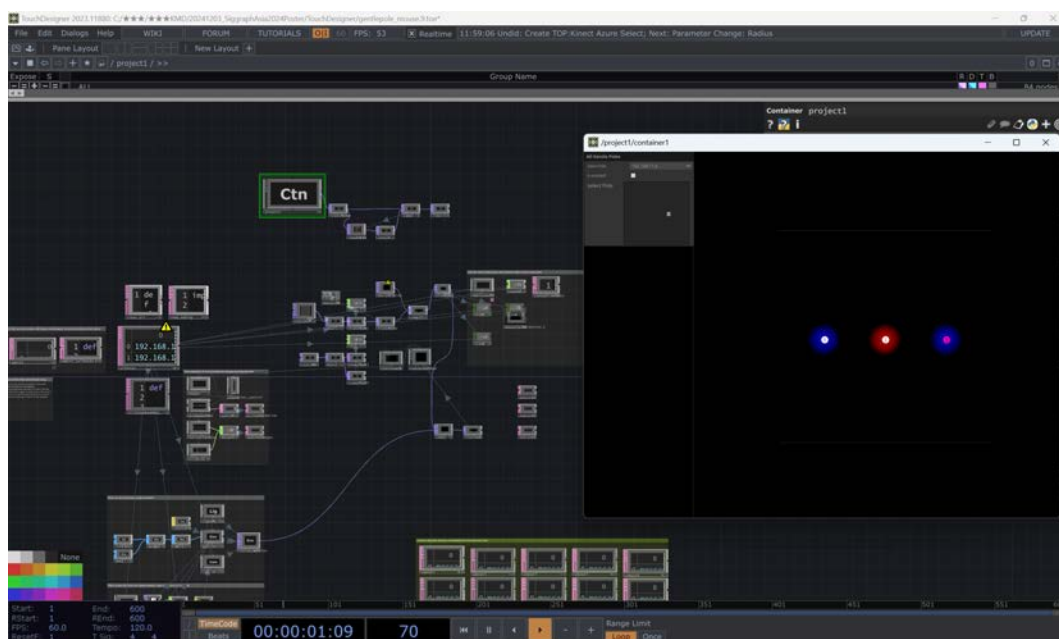


図 3.22 Touchdesigner による各ポールの回転方向・速度の制御

3.3.5 材料コスト分析

1 本のデバイスの材料コスト概算は、加工費及び製作費、運搬費等は除き、約 13,000 円となっている（図 3.23）。材料コストは大きく制御機構と外装部分に分類できるが、約半々のコスト分配となっている。制御機構では、ATOM STEP MOTOR ドライバーキット（¥4,000）、ステッピングモーター（¥1,500）、LED リング（¥450）、配線ケーブル（¥800）で合計¥6,750 となっており、全体の約 52%を占める。外装部分では、MDF 合板とアクリル板（¥3,000）、3D プリント パーツ（¥400）、ベアリング（¥650）、木粒（¥1,200）、寸切ボルト（¥200）と接着剤等の雑費（¥800）で合計¥6,250 となっており、全体の約 48%を占める。これは試作段階でのコストであり、量産化による部品の一括購入やプロセスの最適化により、製作コストを削減できる可能性がある。なお、運用時の消費電力の算定は現時点では実施できていない。製作工程においては、レーザーカッターでの切削、接着、乾燥、組立作業、3D プリントによる部品製作など、すべての工程が手作業となっており、1 本の制作に半日程度の時間を要している。

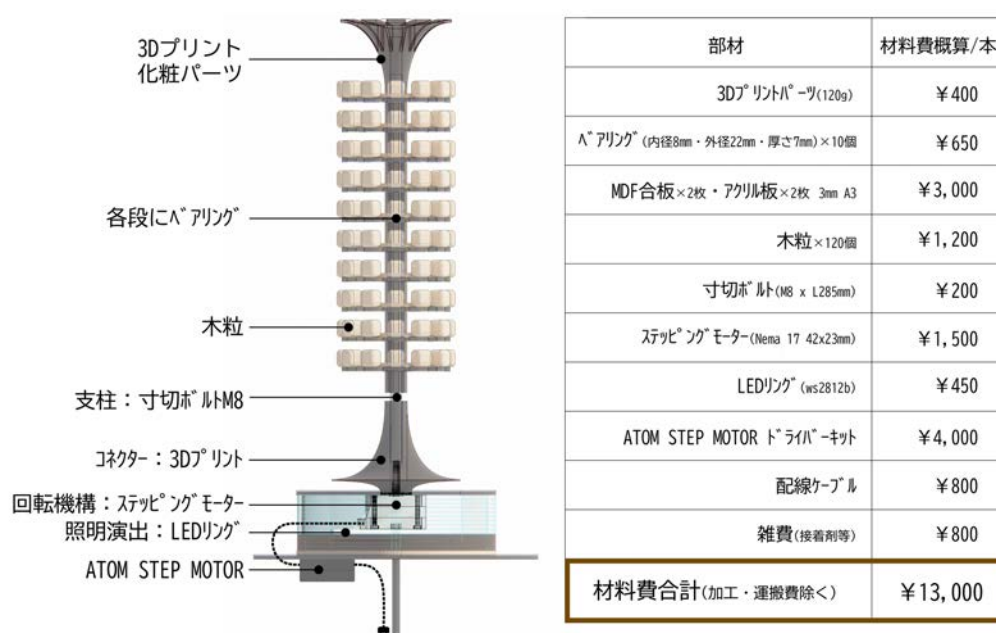


図 3.23 1本のデバイスの材料コスト

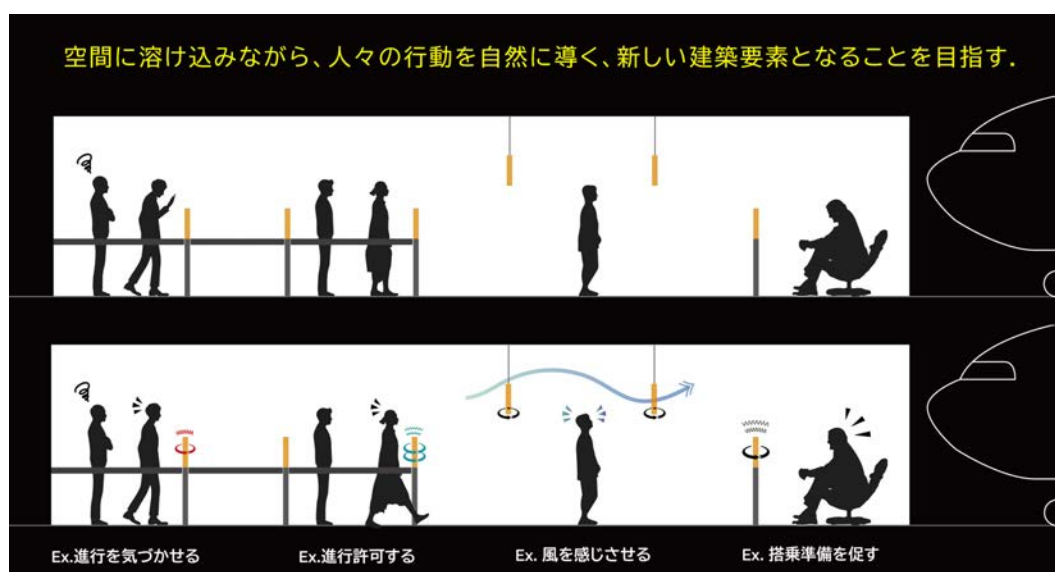
3.4. GentlePoles の活用事例

本研究で提案する GentlePoles は、既存のスタンションポールに回転運動という新たな価値を付加することで、様々な場面での活用が期待されるものである(図 3.25)。特に、情報過多な現代の都市空間において、強制的な指示や警告に頼ることなく、人々の行動を穏やかに導く新しい手法としての活用が期待されるものである。

空港環境においては、多様な活用シーンが想定される(図 3.24)。例えば、保安検査場やチェックインカウンター前の待ち行列において、ポールの回転方向により混雑の少ないレーンへの無意識的な誘導を行うことで、施設全体の利用効率を向上させることができる。また、待ち時間中の緩やかな回転運動により、長時間待機時のストレス緩和と体感待ち時間の軽減が期待される。この効果は、特に混雑時における旅客のストレス軽減に大きく貢献する可能性を持つ。

空間全体での動線最適化への応用も可能性を持つ。混雑度の異なる二つのカフェが存在する場合、天井から吊り下げられたポールの回転方向によって、待ち時間

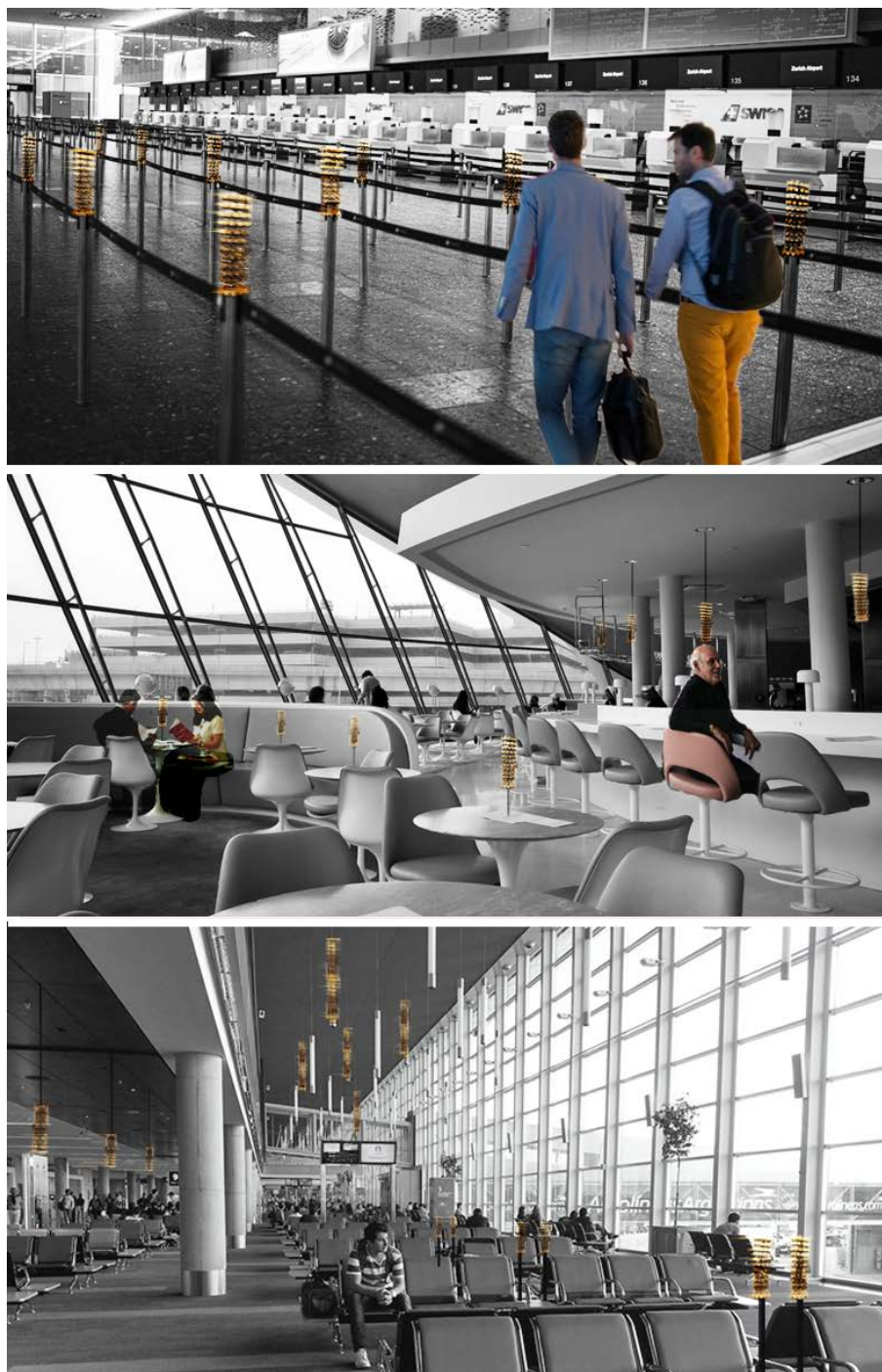
の少ない方への自然な誘導を行うことができる。これは単なる効率化だけでなく、旅客一人一人の快適な空港体験の創出にも寄与する。また、搭乗時刻が近づいた旅客に対して近くのポールが回転を始めることで準備を促したり、レストランでの料理の到着を予感させたりする時間的な予告としても機能する。この穏やかな通知は、従来のアナウンスや電光掲示板による通知と比べ、より自然で心地よい体験を提供する。



人の案内やサインを用いず、穏やかに情報の気配を提示

図 3.24 GentlePoles の活用方法例

本デバイスの特徴は、効果が強制的な指示や警告によってではなく、最小限のテクノロジーによる穏やかな動きを通じて実現される点にある。その動きは空間に溶け込みながら、人々の無意識的な行動選択に影響を与え、より快適な空間体験を創出する。このアプローチは、空港に限らず、病院や学校など、ストレスや不安を感じやすい場所においても有効に機能すると考えられる。さらに、センシングやAI技術との統合により、人流データと連動した最適な誘導パターンの生成や、個々の利用者の行動パターンに応じた柔軟な対応が可能となる。これにより、人々に穏やかな行動を促しながら、非日常的な空間をより快適なものへと変容させる新しい可能性が開かれるものである。



筆者作成 上：空港内の待ち並び列，中：食事を楽しむカフェ，下：搭乗前の待合室

図 3.25 GentlePoles の活用シーンイメージ

3.5. 本章のまとめ

本章では、空港における情報過多という課題に対し、既存の建築要素であるスタンションポールを活用した「GentlePoles」というアプローチを提案し、以下の三つの特徴的な設計思想に基づいている。

第一に「最小限の技術介入」である。既存のスタンションポールという建築要素に回転という動きを付加することで、運用を継続しながらの段階的な展開を可能とした。特に回転運動は、その場で完結する最もシンプルなモーションでありながら、方向と速度の制御によって豊かな情報表現を可能とする。

第二に「穏やかで無意識な行動誘発」である。木材の温かみのある質感と緩やかな回転運動を組み合わせ、言語に依存しない無意識的な情報伝達を行う。特に単体としての触覚的な癒し効果と、群としての空間的な誘導効果という二面性を持たせることで、個人の快適性と空間全体の効率性の両立を図っている。

第三に「空間との調和」である。外装には将来的な拡張性を考慮したドット状のデザインを採用しながら、木材という自然素材を用いることで、空間に溶け込む存在としての調和を実現している。これは、エコトーンが生態系の移行帯として独自の価値を持つように、異なる性質を持つ空間をより豊かにつなぐ触媒として機能することを意図している。

これらの特徴を持つ GentlePoles の効果を検証するため、本章ではハードウェアとソフトウェアの実装を行い、実際の空港利用者を対象とした実証実験の計画を設計した。次章では、この実験から得られた知見とその分析について述べる。

第 4 章

プロトタイピングと予備実験

本章では，本研究における予備的な検証として行った一連の実験について説明する．これらの実験は，5 章で述べる実証実験に先立ち，基礎的な効果検証とシステムの改良を目的として実施したものである．具体的には，手動式の初期プロトタイプを用いた基礎検証から始まり，電動化したプロトタイプによる回転効果の検証，そして実空間での配置検証まで，段階的な実験を通じてシステムの有効性と課題を明らかにしていった (図 4.1)．

開発・実験	主な特徴	得られた知見
プロトタイピング		
プロトタイプ 1	・手動回転機構 ・物理的構造の検証	・視線高さでの視認性向上 ・回転制御の必要性
プロトタイプ 2	・自動回転機構 ・シーリングファン活用	・回転速度制御の重要性 ・安全性確保の課題
プロトタイプ 3	・ステッピングモーター採用 ・Arduino 制御	・穏やかな回転の実現 ・基本制御機能の確立
プロトタイプ 4	・高トルクモーター採用 ・LED演出追加・TouchDesigner連携	・動きの表現拡充 ・視認性の向上
予備実験		
予備実験 1 (プロト 3使用)	・6本 2列×3行 1レーン配置 ・人の通過検知による回転演出 ・日本科学未来館での展示	・インタラクションの遅延課題 ・子供の自発的接触行動 (触覚的アフォーダンスの確認)
予備実験 2 (プロト 3使用)	・6本 3列×2行 2レーン配置 ・内向き/外向き回転の比較 ・VR学会でのデモ展示	・回転方向による行動選択効果 ・認知の個人差 ・モーター能力の限界
予備実験 3 (プロト 4使用)	・9本 1列配置 ・直線/円弧配置の比較 ・KMDforum2024 での展示	・配置形状による誘導効果 ・心理的效果の応用可能性 ・最小配置構成での有効性示唆

図 4.1 プロトタイプと実験一覧

4.1. 予備実験前のプロトタイピング

4.1.1 プロトタイプ1の制作と検証

前章で示したコンセプトスケッチを基に、手動回転機構を備えたプロトタイプ1の制作を行った。本プロトタイプでは、各段にベアリングを組み込んだ手動回転機構を実装し、モーターは使用していない。検証では、床置き配置、天井吊り下げ配置、複数配置などの設置方法の違いや、各段数、木の粒の配置間隔などの構造的パラメータを変化させ、視認性と体感効果の関係を検証した(図4.2)。

検証の結果、目線の高さへの木製回転機構の配置は視認性が向上するものの、顔にぶつかる可能性があるなどの安全性に課題があることが確認された。また、列柱間を歩く場合、ポールの設置数が多いほど回転への意識が向けられやすいことも体感として確認した。回転の速度については、全段且つ複数のポールが同じ速度で、同じタイミングで一律に回転することにより、各ポール同士の連携が取れてシンクロしている感覚を感じることができた。一方で、一部のポールが逆回転をしていたり、回転速度が緩やかになっているなど差別化された状態では、他とは異なる運動をしている部分に目がいきやすいなどの体感効果を確認することができた。しかしながら、手動回転機構の制約により、複数ポールの同時回転や回転速度の制御が困難であったため、回転による誘導効果や行動誘発の可能性についてはまだ十分な検証を行うことができなかった。



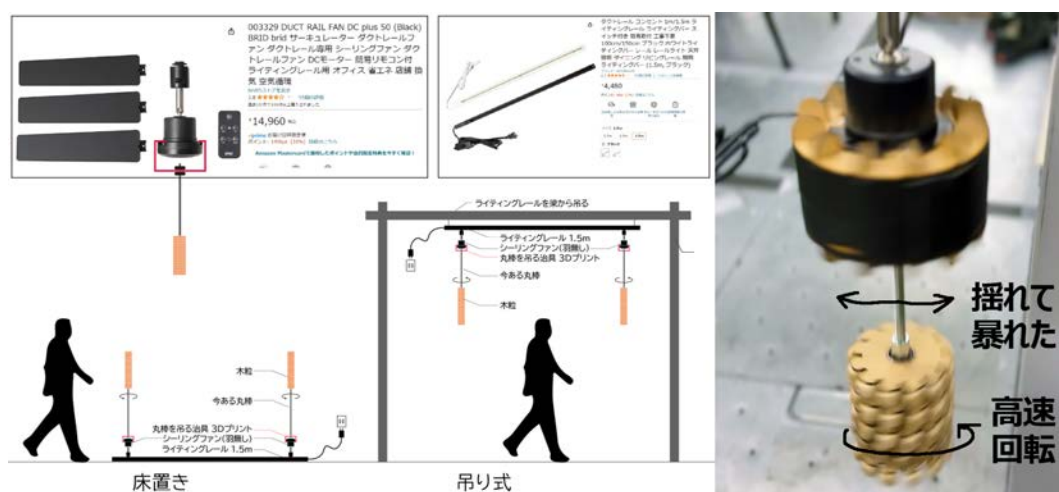
左：床置きタイプ、右：天井吊りタイプ

図 4.2 プロトタイプ1：手動回転機構による基礎検証

4.1.2 プロトタイプ2の制作と課題抽出

プロトタイプ1の知見を踏まえ、自動回転機構の実装を試みた。具体的には、位置可変型のダクトレールと、3段階速度調整機能を持つ既存のシーリングファンを組み合わせ、GentlePolesの自動回転プロトタイプを装着する機構を開発した。

しかし、実験の結果、シーリングファンの最低回転速度でも想定以上に高速であり、遠心力によってポールが大きく揺動するという課題が明らかとなった(図4.3)。この現象は、ポールの転倒リスクや周囲への安全性の観点から問題があり、より穏やかな回転を実現する機構の再設計が必要と判断された。



ポールの回転が速すぎると遠心力でポールが揺れて暴れてしまった

図 4.3 プロトタイプ2：自動回転機構の実装と課題抽出

4.1.3 プロトタイプ3の制作と基礎機能の実装

プロトタイプ2の知見を踏まえ、ステッピングモーター(28BYJ-48)、モータードライバ(U2N2003)、Arduinoを組み合わせた穏やかな自動回転機構を開発した(図4.4)。ステッピングモーターを土台に埋め込み、その上に木製ポールを挿し込む構造形態とした。木製ポールはモーターとの摩擦力のみで回転する機構とし、転倒防止用に視覚的な影響を最小限に抑えたアクリル製の支持構造を付加した。

制御プログラムは Arduino 上に実装した。回転制御の仕組みとして、ステッピングモーターの4つの電磁コイルを順番に通電することで回転を生み出している。特に滑らかな動きを実現するため、初期状態では50ミリ秒の遅延時間から開始し、徐々に遅延時間を減少させる加速制御を採用した。これにより、急激な動きを抑えた穏やかな回転の立ち上がりを実現している。

また、外部制御インターフェースとしてシリアル通信を実装し、回転方向と速度のリアルタイム制御を可能とした。具体的には、"R" コマンドで時計回り回転、"L" コマンドで反時計回り回転、"D" コマンドで速度調整が可能である。この機能により、様々な動作パターンの検証が可能となった。

開発過程で、使用したステッピングモーターの性能特性による回転速度の制約が明らかとなった。具体的には、一定速度以上での回転時に脱調現象が発生するという課題が確認された。しかしながら、モーターによる回転制御の基本機能が実装できたことから、このプロトタイプを用いて基礎的な効果検証とデモンストレーションを実施することとした。



ステッピングモーターによる回転機構

図 4.4 プロトタイプ3：制御可能な回転機構の実装

4.2. 予備実験 1：人の移動に応じた回転表現の検証

4.2.1 目的

2024 年 6 月 2 日に日本科学未来館にて、研究室訪問プログラムの一環として主に小学生以下の児童を対象としたデモンストレーションを行った。

本実験では、プロトタイプ 3 の基礎的な効果検証を行うと共に、人の通過に応じて回転するポールによって「デジタルそよ風」と呼べるような表現が可能であるかを検証することを目的とした (図 4.8)。具体的には、人が空間内を移動することによって生じる影響を視覚化し、それを感知可能な形で表現することを試みた。



図 4.5 予備実験 1 設置イメージ

4.2.2 実験方法

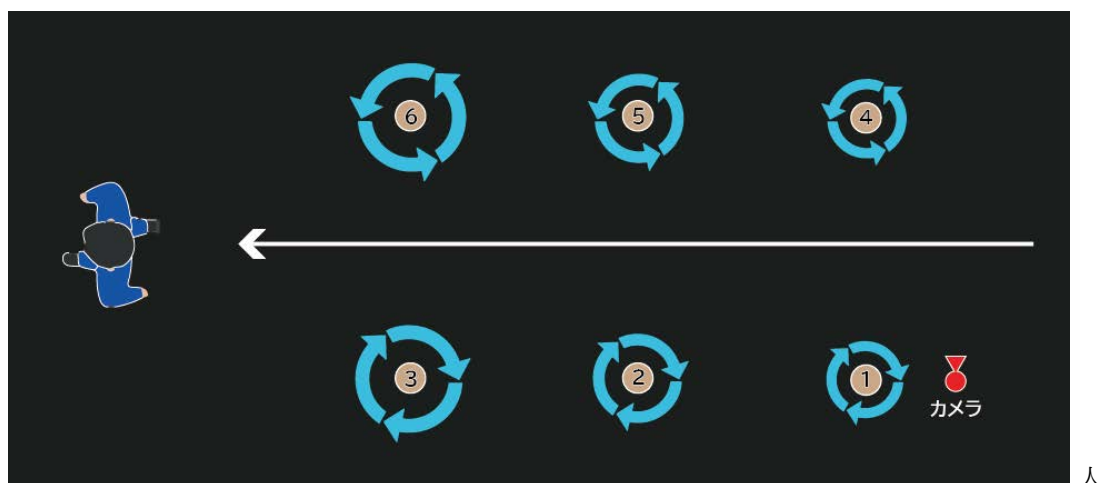
プロトタイプ 3 を 6 基製作し、2 列× 3 行の配置で通路状に設置した (図 4.6)(図 4.7)。人の通過検知のため、ポール下部にカメラを設置し、これに連動して回転運動を制御する機構を実装した。

システムの動作としては、通常時は低速で定常回転し、人の通過を検知すると、通過者の後方のポールから順次回転速度が上昇し、その後緩やかに減速する制御を行った。これにより、通過者の移動に伴う空気の流れ (デジタルそよ風) を視覚的に表現することを試みた (図 4.8)。



ポール間を通過してもらい、通過した後にポールが回転する仕組み

図 4.6 プロトタイプ 3 の設置状況



の通過後に巻き起こした風によってポールが回転するイメージ

図 4.7 予備実験 1 のポール配置図

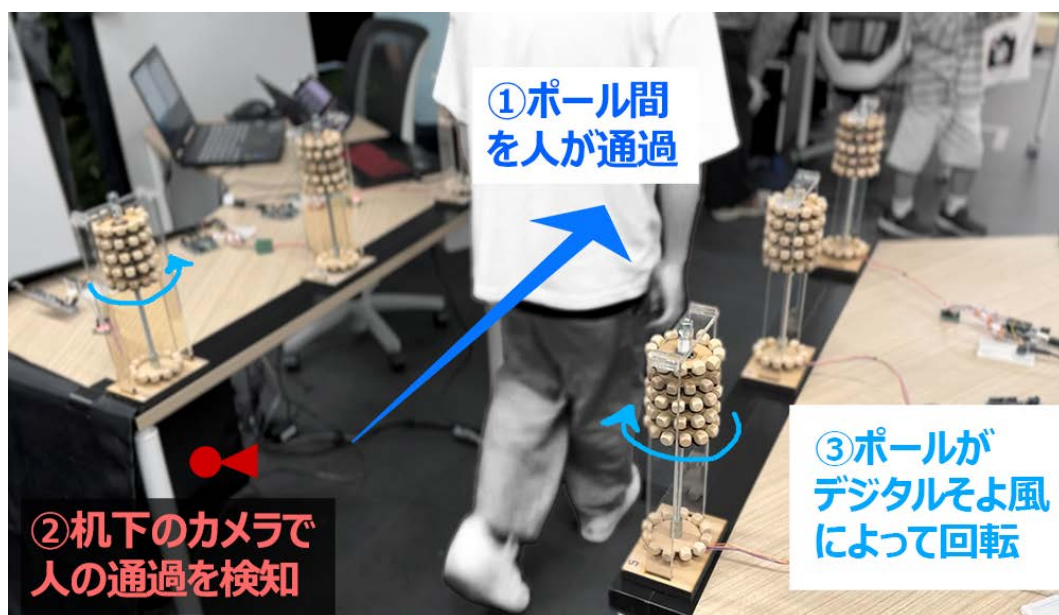


図 4.8 予備実験 1 の様子

4.2.3 実験結果

本実験を通じて、GentlePoles のインタラクション性や体験価値に関する複数の観察結果が得られた。

インタラクションに関して、現状のシステムではポールは人が通過した後に回転を始めるため、参加者は振り返らなければ効果を視認できない体験であった。

行動観察からは、多くの被験者が自発的にポールに触れ、手動での回転を試みる様子が記録された。また、緩やかに減速する回転動作からは風を連想させるような感想が複数得られた。被験者からは早く歩けば強い風を巻き起こせるという体験を期待し、歩行速度に応じた回転速度の変化を期待する声が多く聞かれた。

技術面では、使用したモーター (28BYJ-48) において、ある一定以上の高速回転時の脱調が確認され、非常に緩やかな回転運動しか提示できなかったため、強い風を巻き起こすような体験を実現することができなかった。特に児童の利用において、そうした期待に対するインタラクション性の不足による体験の中断が複数観察された。

4.2.4 考察

木材の使用と穏やかな回転を基本とした設計は、安全性と触覚的なアフォーダンスを引き出す有効な手段であることが示唆された。特に、木材特有の温かみのある質感と、緩やかな回転運動の組み合わせが、人々の自然な興味を引き出し、能動的な関わりを促進する効果があった可能性が考えられる。

インタラクションの遅延は体験の質を低下させる要因となったが、本研究が目指す無意識的な行動誘発という観点からは、この穏やかな動きが持つアンビエントな特性に可能性が見出されたともいえる。一方実験を通じて、周辺視野での認知しやすさと無意識的な情報提示との強度のバランスの重要性が浮かび上がった。この知見は、強制的な誘導ではなく、さりげない空間的な介入による行動誘発の可能性と課題の両面を示唆している。

また、被験者から示された歩行速度と回転速度の関係性への期待は、人の動きと空間の応答性という新たな可能性を示している。特に、回転運動が風を連想させる効果は、自然現象との関連付けによる直感的な理解を促進する可能性を示唆している。このような物理的な運動と自然現象のメタファーの活用は、空間における情報提示の新しいアプローチとなり得る。

現状のプロトタイプでは技術的制約により実現できなかった高速回転による強い風の表現は、より強力なモーターの採用により解決できる可能性がある。しかし、本来目指すべき穏やかな行動誘発という観点からは、むしろ緩やかな回転による控えめな表現の方が適している可能性も考えられる。

これらの知見を踏まえ、次期プロトタイプでは、情報提示のタイミングの改善に加え、回転速度と人の動きの相関関係の最適化、自然現象を想起させる運動パターンの探求、周辺視野における認知性の向上、そして空間全体での複数のポールの協調動作による効果の検証が必要である。

4.3. 予備実験 2：回転方向による行動選択の影響調査

4.3.1 目的

実験 1 の知見を踏まえ、回転方向が人々の無意識的な行動に与える影響を検証することとした。具体的には、回転方向の違う（進行方向と逆の内向き回転、および進行方向と同じ外向き回転）ポール間を通過した際の行動選択や体感への影響を明らかにすることを目的とした。

4.3.2 実験方法

6 本の木製ポールを用いて、内向き回転と外向き回転の 2 種類のレーンを構築した (図 4.9)。2024 年 7 月 20 日、学部生と大学院生 5 名を被験者として採用し、実験を実施した。被験者には事前の説明を行わず、自由な歩行を促し、レーンの選択行動を観察した。このプロセスは、各被験者に対して複数回繰り返した。その後、選択の理由と印象について詳細なインタビューを実施した。



図 4.9 ポールレイアウト（回転方向の違い）

4.3.3 実験結果

- 両脇の2本のポールが進行方向に対し内巻き回転時には「抵抗感を感じる」との報告が多く、進行を抑制する効果が示唆された。
- 外巻き回転時では、前進を促進する効果が確認され、被験者は外巻き回転のレーンを選好する傾向が顕著であった。
- ただし、回転方向の違いに気付かない被験者も存在し、認知に個人差があることが示された。

実験からは、回転方向による明確な行動への影響が観察された。特に注目すべき点として、進行方向と逆向きの回転（内巻き）に対して、「進行方向とは逆の戻される感覚を感じる」（被験者 A, B）, 「抵抗感がある」（被験者 A）といった報告が得られた。一方、進行方向と同じ方向の回転（外巻き）では、「進行方向に吸い込まれる感覚がある」（被験者 A, B）という感想が示され、前進を促進する効果が確認された。特に被験者 B からは「回転方向を一度意識し始めると、進行方向と同じ外巻きのレーンしか進めなくなる」という興味深い報告があり、回転方向の認知が行動選択に強く影響を与える可能性が示唆された。

しかし、被験者の反応には顕著な個人差も観察された。被験者 C と D は選択の理由を明確に言語化することができず、また被験者 E は研究者による回転方向の違いの説明を受けるまで、その差異に気付かなかった。このような反応の多様性は、回転による誘導効果の解釈や認知に個人差があることを示している。

4.3.4 考察

2本のポールの間を通過する体験において、ポールの回転方向が行動選択に与える影響を確認したが、被験者の認知に個人差がある点が課題として浮上した。また、現行のモーター性能では表現の多様性が制限されることが明らかとなった。今後の実験では、より多くの被験者への体験を実施し、認知の多様性を考慮した意見収集が求められる。

4.3.5 VR 学会での口頭発表およびデモ展示

本実験結果について、2024 年 9 月 12 日に名城大学で開催された VR 学会での発表を通じて多様な観点からのフィードバックを得ることができた (図 4.10)。研究のコンセプトと意義については広く共感を得られ、実験で確認された回転方向による効果も、多くの参加者から同様の体験報告があった。

応用可能性として、徘徊をしてしまう認知症の高齢者施設での穏やかな誘導や、スタジアムでの群衆制御など、具体的な提案が示された。技術的な観点からは、ベアリングの摩擦度の段階的な変化による、より複雑な動きの表現可能性が示唆された。また、アクセシビリティの観点から、視覚的コントラストの強化や視覚障害者への配慮についての重要な指摘を受けた。

一方で、実験 1 から継続する課題として、モーター性能による表現の制限が挙げられる。また、触覚的なインタラクションの可能性が十分に活かされていない点も明らかとなった。ただし、「必要最小限のテクノロジーで最大の効果を生む」という本研究の基本コンセプトを踏まえると、機能の追加については慎重な検討が必要である。

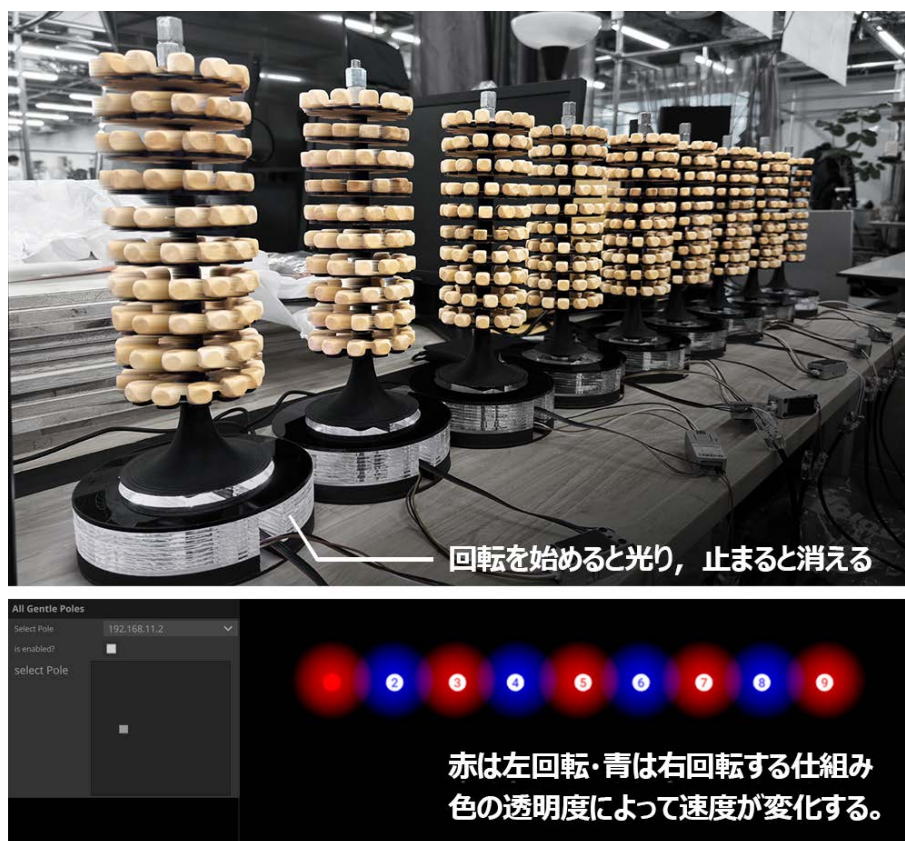


図 4.10 VR 学会での口頭発表・デモ展示

4.4. プロトタイプ的发展と効果検証

4.4.1 プロトタイプ 4 の開発

実験 1, 2 の知見を踏まえ, 新たな技術的改善を実施した. まず, より高トルク
のステッピングモーター (Nema 17) を採用することで, 回転速度のバリエーショ
ンを拡充し, より繊細な動きの表現を可能とした. また, ベース部分に LED ライ
トを実装し, 回転開始時に連動して点灯する機構を追加することで, 動きの視認
性を向上させた. さらに, TouchDesigner を用いた制御システムを新たに実装し,
回転速度と回転方向のリアルタイム制御を可能とすることで, 将来的な表現の拡
張性を確保した (図 4.11).



上 : プロトタイプ 下 : TouchDesigner 操作画面

図 4.11 プロトタイプの更新

プロトタイプ4の制御システムは、M5Atom マイクロコントローラを用いて実装した。システムは主にモーター制御部とLED制御部、そして通信部で構成されている。モーター制御部では、ステッピングモーターの最大速度を12000ステップ/秒、加速度（速度変化の割合）を毎秒5000ステップずつ変化するように設定し、より滑らかな回転の実現を可能とした。モーターの制御にはAccelStepperライブラリを使用し、速度と方向の精密な制御を実現している。LED制御部では、ベース部分に24個のWS2812B LEDを円環状に配置し、FastLEDライブラリを用いて制御を行っている。LEDは電球色（RGB: 255, 220, 90）で点灯し、モーターの回転速度に応じて明るさが変化する仕組みとした。これにより、回転運動と光の表現を統合した視覚的フィードバックを実現している。通信部では、WiFiを介したUDP通信を実装し、外部のTouchDesignerから制御信号を受信する構成とした。受信した値が閾値（-20から20）の範囲内の場合はモーターを停止しLEDを消灯、範囲外の場合は値に応じた速度でモーターを回転させLEDを点灯する。これにより、リアルタイムでの動作パターンの制御を可能としている。このシステムにより、モーターの回転速度とLEDの明るさを連動させた複合的な表現が可能となっている（図4.12）。

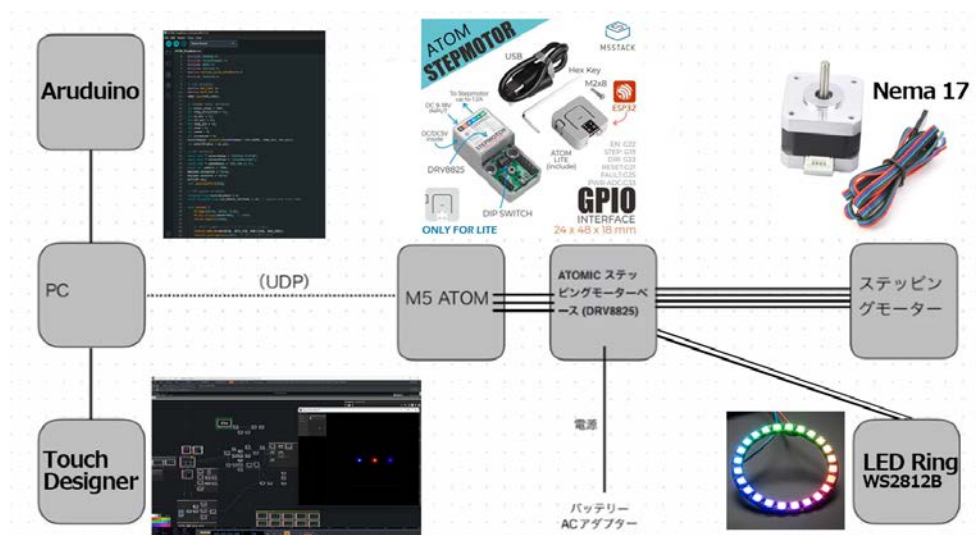


図 4.12 システム図

4.5. 予備実験 3：単列配置による誘導効果の検証

4.5.1 背景と目的

予備実験 2 では 2 本のポール間の通過による誘導効果を確認した。本実験ではより簡素な設置形態での効果検証を目的として、ポールの単列配置による空間誘導の可能性を探ることとした。また、ポールの回転を呼び水として、内側に展示した他のデモ展示への来訪者の誘導効果についても検証を試みた。なお、本実験は 2024 年 10 月 12,13 日に竹芝ポートシティで開催された KMDforum2024 での展示を通じて、来場者からの意見聴取という形で実施した (図 4.13)。



図 4.13 予備実験 3：単列配置による空間誘導の検証

4.5.2 実験方法

プロトタイプ 4 を 9 基用いて単列配置とし、異なる 2 種類の回転パターンによる検証を行った。1 つ目は全ポールが同一速度・同一タイミングで回転する同期回転パターン、2 つ目はポールが順番に回転することで進行方向への誘導を意図した順次回転パターンである。

さらに展示 2 日目には、より効果的な誘導を目指し、ポールを円弧状に配置する形式も試みた。これにより、回転方向や速度だけでなく、物理的な配置形状による誘導効果の違いについても検証を行った (図 4.14(図 4.15))。



ポールの直線配置と曲線配置により誘引効果に影響があるかを検証

図 4.14 単列配置における回転パターンの検証

4.5.3 結果と観察

予備実験 3 を通じて、以下の知見が得られた。単列配置においても実験 2 で確認された回転方向による誘導効果は維持され、特に回転方向と同じ方向への移動意欲の喚起が確認された。

接触行動に関しては、特に児童において顕著な自発的な接触が観察され、これは実験 1, 2 で確認された触覚的アフォーダンスの高さを裏付けるものとなった。

配置形状による効果の違いも明らかとなった。2 日目に試みた円弧状の配置では、直線配置と比較して内部への誘導効果が高まったという評価を得た。これは物理的に入口部の面積が広がったことが主要因と考えられるが、複数のポールの配置計画によって誘引効果に変化が生じる可能性が示唆された。

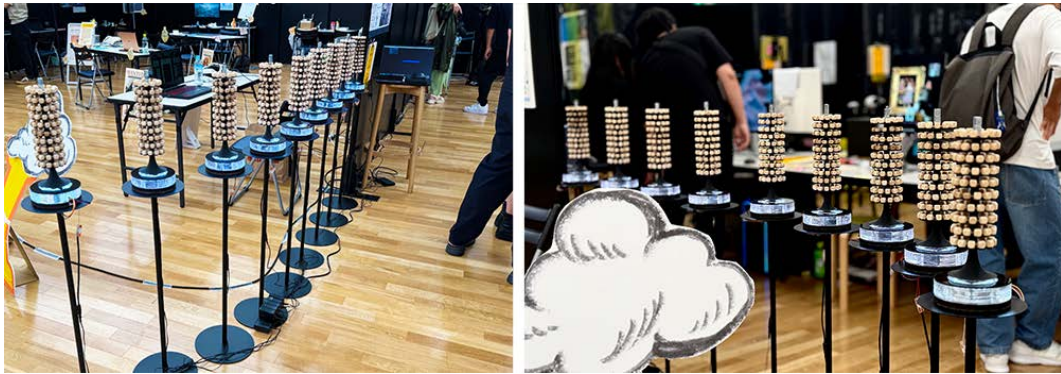


図 4.15 展示風景：写真は曲線配置

また、医療従事者からは予防医学や治療現場での活用可能性について具体的な提案があり、特に回転運動がもたらす心理的な癒し効果への期待が示された。

4.5.4 考察

プロトタイプ 4 での技術的改良により、より繊細な動きの表現と安定した回転制御が実現された。特に LED による視覚的フィードバックの追加は、デバイスの動作状態の認知を向上させる効果があった。

また、単列配置という最小限の構成でも、適切な列長と配置形状の工夫により、効果的な動線形成が可能であることが示された。特に円弧状の配置による誘導効果の向上は、空間設計における新たな可能性を示唆している。

これらの知見は、本研究が目指す「穏やかな行動誘導」の実現可能性を支持するものである。今後は、具体的な公共空間での応用シーンにおける実証実験を通じて、その効果の検証を進める必要がある。

第 5 章

Proof of Concept

4 章における 3 つの予備実験を通して，GentlePoles の基本的な効果と可能性が確認された．具体的には，回転方向による無意識的な行動選択への影響，木材と穏やかな回転による触覚的アフォーダンスの創出，そして単列配置・複数列配置でも有効な誘導効果の 3 点が示された．これらの知見を実際の公共空間で活用するためには，より自由度の高い環境下での検証が必要となる．特に空港という情報過多な環境において，複数のポールによる無意識的な誘導が効果的に機能するかを確認する必要がある．

5.1. 実証実験：空港環境における行動誘導の検証

5.1.1 背景と目的

本実証実験は，2024 年 11 月 3 日に羽田イノベーションシティ内の terminal.0¹にて実施した．terminal.0 は，日本空港ビルディング株式会社²が設置する空港を主要テーマとした研究開発・実証実験拠点である．筆者が所属し，空港建築施設の設計実績を多く持つ梓設計³と terminal.0 の協力により，実際の空港利用者を想定した環境での検証が可能となった．

本実験の目的は，情報過多かつ認知負荷の大きい公共空間において，アンビエ

1 <https://www.tokyo-airport-bldg.co.jp/terminal0/>

2 <https://www.tokyo-airport-bldg.co.jp/index.html>

3 <https://www.azusasekkei.co.jp/>

ントな情報提示による無意識的かつ穏やかな人流制御の実現可能性を探ることである。特に、文字サインや人的案内に頼らない、認知負荷の少ない誘導手法としての有効性を検証する。また、一般来場者を対象とした検証とフィードバック収集を通じて、実装に向けた具体的な知見の獲得を目指した。

5.1.2 実験デバイス

予備実験3で使用したデバイスをベースに改良を加えた。特に、ポール頭部の支柱の露出部分に対して、3D プリンターで作製した意匠パーツを新たに追加し、視覚的な洗練度を向上させた。基本的な機構や制御システムは予備実験3と同様の仕様とした(図5.1)。

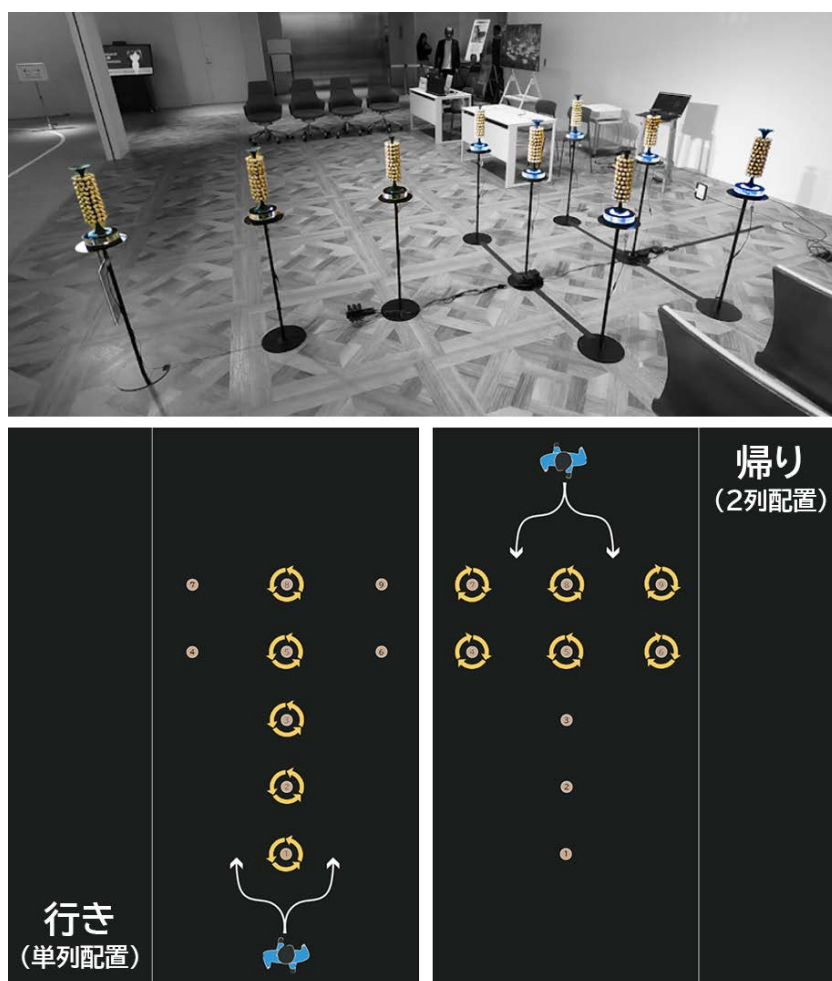


筆者撮影：穏やかな回転運動を伴う木製ポール型デバイス

図 5.1 GentlePoles

5.1.3 実験デザイン

実験では、回転する木製ポール 9 本を使用し、一般客が通過するレーンを形成した(図 5.2)。行きは 1 列に回転するポールを用意し、帰りでは 2 列のポール間を通過してもらう構成とした。通路幅は、一人が通過できる一般的な通路幅である 900mm とした。実験参加者には異なる回転パターンを提示し、自由に通過したり見てもらった後に、どちらのレーンを通過したいと感じたか、またその理由を尋ねた。



9 本のポールを T 型に配置し、1 列と 2 列の配置を両立させた配置とした。

図 5.2 terminal.0 でのデバイス設置状況

5.1.4 実験手順

実験では、以下の手順で実施した。

まず通行空間の目立つ場所に実験と撮影に関する告知を掲示し、非同意の場合は迂回または録画停止の措置を取ることとした。実験参加者には事前に作成した複数の回転パターンを提示し、2つあるレーンを自由に通過したり見てもらった後に、どちらのレーンを通過したいと感じたか、またその理由を尋ねた。その後、ランダムに抽出した参加者に対してアンケートとインタビューを実施し、最後にデバイスの開発意図について説明と議論を行った。参加者の拘束時間は最大10分、質問用紙の使用時間は3分とした。

5.1.5 実験結果

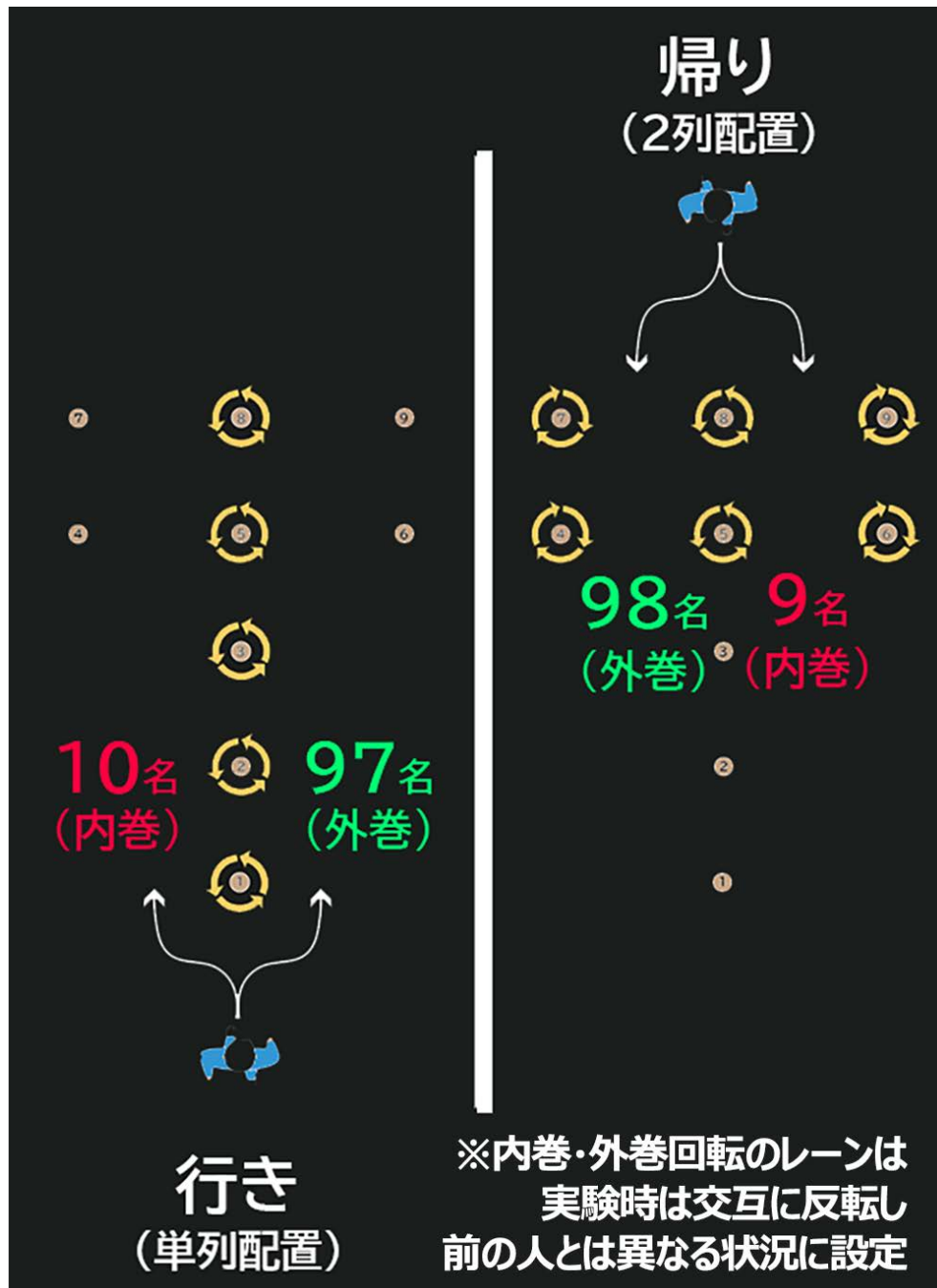
本実験には大人107名と子供45名が参加した。性別や年代は不問とした。

分析対象とした大人107名のうち、約90%(単列配置：97名、二列配置：98名)が進行方向と同じ回転方向のレーンを選択するという有意な傾向が確認された(図5.3)。子供についてはレーン選択の分析対象外としたが、45名中35名(約78%)が説明や許可を受けることなく回転するポールに自発的に触れて回転させて遊ぶという特徴的な行動が観察された。

レーン選択の理由に関する定性的分析では、進行方向と同じ回転方向(外巻き)を選択した参加者から、「吸い込まれる感覚」「矢印があるように見える」「潮の流れのよう」「気流の流れを感じる」といった自然現象に基づく直感的な回答が得られた。その回答者からは、進行方向と逆方向に回転する内向きのレーンについて、「逆走している感じがする」「抵抗感を感じる」といった印象が報告された。

一方、進行方向と逆回転(内巻き)のレーンを選択した参加者からは、「何となく」「直感的に」といった明確な根拠を持たない回答や、「明るい方に進んだ」という他の環境要因に基づく選択理由が得られた。

提案デバイスに対する印象としては、「穏やかさ・温かみを感じる」という情緒的な評価に加え、「車の洗車のように、体が洗われている感覚」「水や気流に流されている感覚」といった運動共感(キネステティックシンパシー)に関する報告



大人 107 名の被験者における回転方向の異なるレーン選択調査

図 5.3 実験結果

が複数得られた。これは、物理的な接触が存在しないにもかかわらず触覚的な感覚が生起するという、空間体験の拡張可能性を示唆する重要な知見となった。また、デジタルゲームにおける暗黙的な行動誘発の仕掛けとの類似性が指摘され、ゲームをよく行う人には理解しやすい仕掛けなのではないかという興味深い意見もあった。

5.1.6 アンケート結果

実証実験参加者から無作為に抽出した7名にアンケート調査を実施した。回答者の多くは年に3回以上の空港利用経験を持つビジネス目的の利用者であった。

デバイスへの印象や接触行動については、概ね肯定的な反応が得られた。特に木材の素材感やデザイン、回転動作への注目が集まり、7名中5名が実際に触れるという行動を示した。ただし、3名は他者の接触行動を観察してから触れており、新しいデバイスへの慎重な態度も見られた。触れた際の感覚として、木の温かみや癒しを感じたという評価がある一方で、ベアリングの粘性に関する改善提案など、技術的な課題も指摘された。

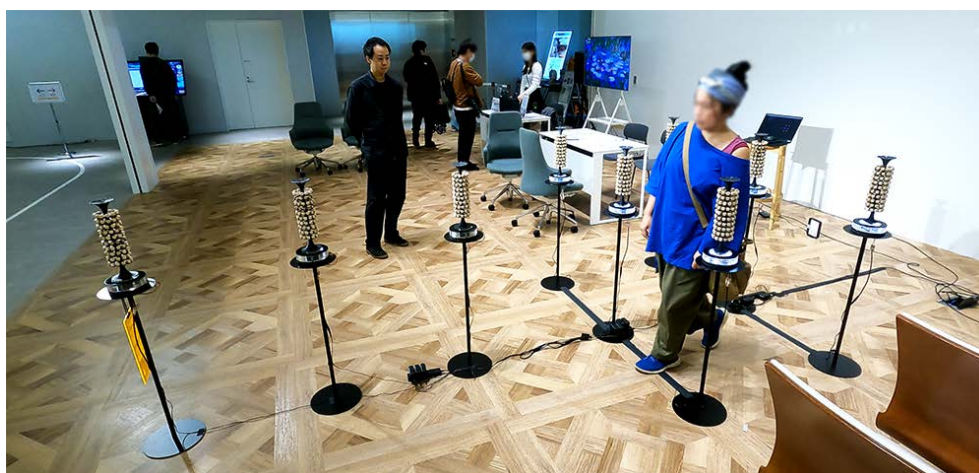
行動への影響として、全回答者が回転方向によってレーン選択が影響されたと回答し、予備実験で確認された誘導効果が裏付けられた。一方、回転速度と歩行速度の関係については、ゆっくりとした歩行を促したという回答が4名、影響を受けなかったという回答が3名と意見が分かれた。この結果は、回転速度による行動制御の効果が必ずしも安定していないことを示唆している。

既存の待ち並び空間との比較では、「無機質さが緩和された」「より自然らしさを感じた」という評価が得られ、空間の質的向上への寄与が示唆された。応用可能性については、「人の流れの誘導」「空間のデザイン性・快適性の向上」「視覚的なサイン・矢印の代替」としての期待が示され、具体的な活用シーンとして空港の待ち並び列やカームダウン・クールダウンスペース、病院や美術館などが挙げられた。しかし、これらの評価は限られたサンプル数での短時間の体験に基づくものであり、長期的な効果や実際の利用環境での有効性については、より詳細な検証が必要である。

5.2. 実証実験の考察

5.2.1 行動選択と誘導効果に関する考察

実験結果から、提案デバイスは物理的な強制力を伴わない緩やかな誘導効果を持つことが明らかとなった。特に注目すべきは、大人 107 名中約 90% が進行方向と同じ回転方向のレーンを選択したという顕著な結果である。「吸い込まれる感覚」「気流の流れを感じる」といった自然現象に基づく直感的な解釈や、デジタルゲーム内における行動誘発の仕掛けとの類似性が指摘され、本デバイスが暗黙的な情報提示システムとして機能していることを示唆している。一方、進行方向とは逆方向の内向き回転のレーンを選択した参加者からの「何となく」「直感的に」という回答は、回転の意味理解に個人差が存在することを示している。また、「明るい方に進んだ」という環境要因に基づく選択は、実装時に考慮すべき重要な示唆となった。特筆すべき知見として、物理的な接触が存在しないにもかかわらず「車の洗車のように、体が洗われている感覚」といった運動共感に関する報告が複数得られた点は、空間体験の新しい可能性を示唆する重要な発見といえる。また、子供の反応は特に興味深く、45 名中 35 名（約 78%）が自発的な接触行動を示したことは、デバイスが本能的な興味を引き起こす性質を持つことを示している。



ポールの回転方向を感じながら通過する参加者

図 5.4 terminal.0 での実験風景

5.2.2 アンケートによる詳細分析

実験参加者の中からランダムに抽出したアンケート調査からは、デバイスの質的な評価と具体的な課題が明らかとなった。空港利用に慣れたビジネス層を中心とする回答者からは、木材の素材感や穏やかな回転という設計に対して肯定的な評価が得られ、空間の「無機質さの緩和」や「自然らしさ」の創出に寄与する可能性が示された。また、「人の流れの誘導」「視覚的なサイン・矢印の代替」としての応用可能性も具体的に示唆された。一方で、回転速度による歩行速度への影響については意見が二分され、その効果の安定性に課題が残された。また、新しいデバイスへの接触に対する心理的障壁も観察され、他者の行動を確認してから触れるという慎重な態度も見られた。ベアリングの粘性に関する改善提案など、技術的な課題も指摘された。これらの知見は、文字情報や人的な案内に頼らない新しい形の人流制御の可能性を示すと同時に、実装における具体的な設計指針を提供するものである。ただし、時間的制約やサンプルの偏り、環境要因との相互作用などの実験的制約も存在し、より多様な条件下での検証が今後の課題となる。

5.3. 本章のまとめ

実証実験を通じて、GentlePoles による穏やかな行動誘発の可能性が示された。特に、90%以上の参加者が進行方向と同じ回転方向を選択したという定量的な結果は、本システムの基本的な有効性を裏付けている。また多くの参加者から得られた「吸い込まれる感覚」「気流の流れを感じる」といった自然現象に基づく直感的解釈は、デバイスが暗黙的な情報提示システムとして機能することを示唆する。一方で、アンケート調査からは回転速度による行動制御の不安定さや、初見での心理的障壁など、実装に向けた具体的な課題も明らかとなった。特に、環境要因との相互作用や、利用者属性による反応の違いは、実装時の重要な考慮事項となる。これらの知見は、文字情報や人的案内に頼らない人流制御の可能性を示すと同時に、その適用範囲や限界についても示唆を与えた。今後は、より多様な環境での検証と長期的な効果の持続性の確認、そして具体的な応用シーンにおける実証実験を通じて、本システムの実用化に向けた研究を進める必要がある。

第 6 章

Discussion

研究で提案した GentlePoles システムには，実証実験を通じて明らかになった様々な限界と課題が存在する．これらの課題は大きく技術面，実装面，ユーザー体験，そして運用面の 4 つの側面から考察することができる．

まず技術面においては，システムの基本機能と情報連携に関する課題が存在する．現状のシステムでは人流の検知機能や状況に応じた対応機能が未実装であり，複数の利用者が同時に存在する場合の個別対応が困難という限界がある．また，フライト情報システム (FIDS) やその他の空港運用システムとの連携も重要な課題である．特に，搭乗時刻の変更，ゲートの変更，機材の変更などのダイナミックな情報変更への迅速な対応が実際の運用においては求められる．さらに，電源供給と通信システムの確立も技術面での重要な課題となる．電源供給については，床下配線による安定的な供給を基本としつつ，バッテリーバックアップシステムの導入や省電力設計の最適化が必要である．また，非常用電源との連携や，将来的にはソーラーパネルなどの代替エネルギー源の活用も検討に値する．通信システムについては，低遅延な無線通信ネットワークの構築や，セキュアなデータ転送プロトコルの実装やセンサーネットワークとの統合，クラウドベースの管理システムの構築なども重要な要素となる．

実装面における主要な課題は，設置環境の制約と耐久性の確保である．システムの性質上，電源供給が必要な場所に限定されることや，設置位置の制限が存在する．また，既存案内サインとの干渉や競合をいかに解決するかという課題も残る．365 日の連続運転に耐えうる設計が求められ，特に接触や衝突時の安全性確保は最重要課題である．また，日常的な清掃や消毒への対応，空港施設としての防火・防災基準への適合など，施設管理面での要件も満たす必要がある．コスト

面では、個々のユニット製作コストがまだ比較的高額であることに加え、定期的なメンテナンスの必要性も考慮しなければならない。大規模施設への展開を考えた場合、多数のユニット制御の複雑さやメンテナンスコストの上昇も重要な検討事項となる。

ユーザー体験に関しては、個人差への対応と情報提示方法の最適化が大きな課題となっている。実証実験を通じて、回転の知覚感度には個人差があり、文化的背景や年齢による受容性の違いも観察された。また、移動速度や注意力の個人差によって誘導効果が変化することも観察された。長期的な使用による慣れの可能性や、繰り返し利用時の効果の変化についても、さらなる検証が必要である。特に視覚障害者や高齢者、子供などの特定の利用者層への配慮は、今後重点的に取り組むべき課題である。本システムの特徴的な点として、従来の明示的な案内サインとアンビエントな情報提示の中間に位置づけられることが挙げられる。この特性は、場面に応じた適切な情報提示方法の選択を可能にする。例えば、重要な安全情報については従来通り明示的な表示が必要となる一方、一般的な待ち並び行列においては本システムによる穏やかな行動誘発が効果的である。また、商業エリアなど探索的な要素が重要な場所では、より曖昧で暗黙的な誘導を意図的に取り入れることで、利用者の無意識的な行動を促すことができるとも考えられる。

運用面では、実際の空港施設における日常的な管理運営に関する課題が存在する。まず航空会社の地上スタッフや空港ビル会社の担当者による運用管理の容易さが重要な課題となる。日々の運用において、スタッフがタブレット等を用いて簡単に制御できるインターフェースが不可欠である。また、緊急時の即時停止や方向転換など、状況に応じた柔軟な対応も必要となる。さらに、清掃や保守作業との調整、混雑時や非常時の対応プロトコルの確立など、実務的な運用面での課題も存在する。フライト情報システムとの連携も運用面での重要な課題であり、搭乗時刻の変更やゲートの変更など、刻々と変化する情報に対して適切に対応できる柔軟なシステム設計が求められる。また、セキュリティシステムとの統合や、空港内の他の案内システムとの調和も重要な検討事項である。国籍の違う旅客への対応など、多様な利用者への配慮も欠かせない。

これらの限界と課題は、今後の GentlePoles システムの改良と発展において重

要な検討事項となる。特に技術的な制限の克服と多様なユーザーへの対応は優先的に取り組むべき課題であり、実装上の制限については、コストパフォーマンスの向上とメンテナンス性の改善を通じて、より実用的なシステムへと発展させていく必要がある。

また現代の都市空間では、空間コンピューティングなどを含む技術発展により、物理空間とデジタル空間を高度に組み合わせることが可能な世界となりつつある。しかし、デジタル技術による完全な情報提示や明示的誘導が、必ずしも豊かな空間体験をもたらすわけではない。本研究で示したような、物理空間に溶け込むテクノロジーによる穏やかな誘導や、探索的な体験の創出が、より深い空間体験を生み出すことができると考える。GentlePolesの特徴は、強制的な誘導ではなく、利用者の無意識的な動きや感覚に働きかける点にある。この特性は、現代の過剰な情報提示や明示的な誘導に対する、新しいアプローチを示すものである。

2024年12月4日から6日に開催されたSiggraphAsia2024TOKYOでのポスター発表においても、多くの知見を得ることができた(図6.1)。



図 6.1 SiggraphAsia2024TOKYOでのポスター発表

最先端のCGやビジュアルディスプレイが主流の展示会において、木材を用いた物理的で暗黙的な情報提示デバイスは異質な存在であるとの意見も受けた。それゆえに、現代社会の建築空間における情報提示デバイスの乱立に対するアンチテーゼとして、本研究の意義が大きかった展示であったとも感じる。一方で、デ

デジタル技術がもたらす明快さや興奮、驚きの体験も、空間デザインにおいて重要な要素である。両者は対立するものではなく、状況や目的に応じて適切に組み合わせていくべきものである。

本研究のモチベーションの原点は“Emotional Airport”の実現という、人の心を動かし記憶に残り、愛着の感じる空港体験の創造にある。心を動かす体験には、興奮や驚きの体験、温かなおもてなしの体験、別れや旅立ちの感動体験、そして心を落ち着かせリラックスする体験など、様々な感情が含まれる。本研究では特に、現代の情報過多社会において見落とされがちな、穏やかさや温かみといった感情体験に着目し、最小限のテクノロジーによる穏やかな空間デザインを追求した。

空間の性質によって求められる情報提示の方法は異なる。住宅内は、限られた人が毎日暮らす空間であり、明示的なサインや案内は少ない。一方、病院や庁舎などの機能的な公共空間では、明快で誤解のない情報提示が重要である。一方、空港や商業施設、美術館といった公共空間では、完璧な案内性というよりも、森林散策や目的の無いウィンドーショッピングのように、適度な探索性がある場合での空間体験を豊かにする場合がある。参加者からは、日本的な風景や神社の参道のような伝統的空間との親和性や、空港の待ち列における視覚的な緩衝材としての可能性、さらには美術館のような余白のある空間でのアンビエントな情報提示の可能性など、多様な展開のアイデアを得ることができた。これらの意見は、本システムの応用可能性の広がりを示唆している。

現代の都市空間では完璧な案内や明確な誘導が求められがちだが、実際には必ずしもそれが最適解とは限らない。日本では、ユニバーサルデザインの名のもとに、あらゆる場面でバリアフリー化や明確な情報提示が推進される傾向にある。一方2024年パリオリンピックでは、歴史的な街並みだからこそ市内に多く残る物理的なバリアを、市民や警察による人的支援で対応すればよいというアプローチが見られた。必ずしも全ての人に対して完璧な案内や情報提示を目指すのではなく、人々の関係性や状況に応じた柔軟な解決を重視する考え方といえる。更にテクノロジーの進歩により、物理空間とデジタル空間の融合は加速度的に進んでいく。しかし同時に、実空間における探索と発見、そして直接的な感覚体験の価値は、むしろ高まっていくと考える。

同時に、他の環境要素との連携や人の行動や特性に応じた、よりリッチな空間体験の創出も目指すべき方向性である。本研究の中では実現できなかった、より公共性の高い空間における GentlePoles の設置やそれに伴う人々の反応の調査をトライし始めている（図 6.2）。VR や AR を活用したスケーラビリティの検証、マルチモーダルな情報提示の実現、インタラクティブ性の強化などを含め、より広範な条件下での実験を通じて、本システムの有効性と応用可能性を探求していく必要もある。さらに、環境心理学や行動科学の知見を取り入れながら、人々の無意識的な行動選択メカニズムの理解を深めることで、より自然で心地よい空間誘導の実現を目指したい。

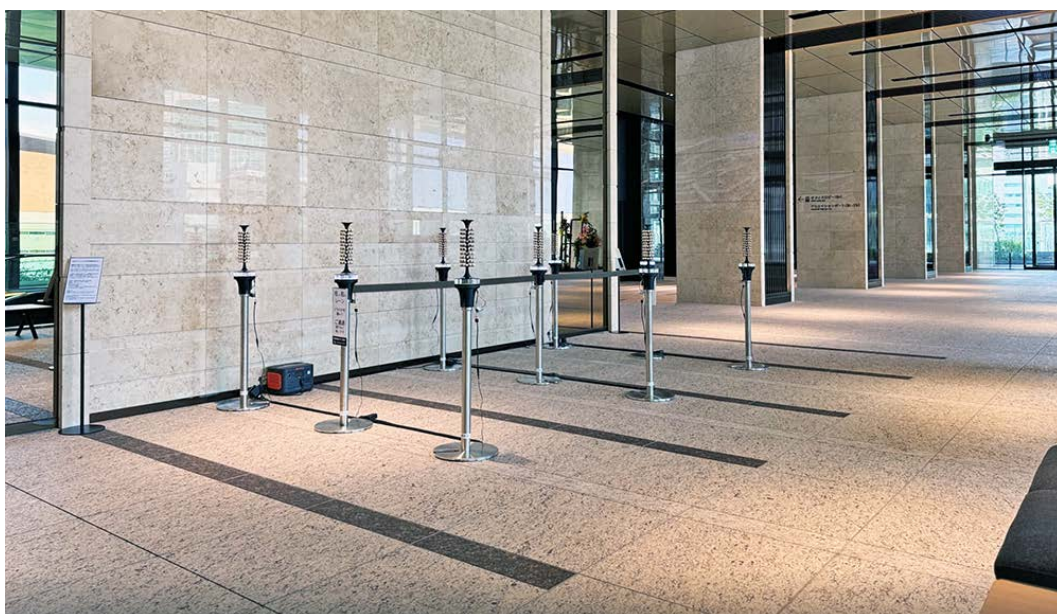


図 6.2 公共空間への GentlePoles の設置検討@竹芝ポートシティにて

本研究で提案した GentlePoles は、強制力を伴わない穏やかな誘導や行動誘発という特性により、そのような探索的な体験を損なうことなく、さりげない行動の示唆を可能とするものである。主要動線は明確に示しつつ、副次的な動線については利用者の自由な探索や、周囲の人々との関わりを優しく促すような、バランスの取れた空間デザインへの貢献が期待される。

第 7 章

Conclusion

本研究では、回転する木製ポールによる穏やかな行動を誘発する“GentlePoles”を提案し、その効果と可能性を検証した。現代の都市空間、特に空港などの公共空間において、デジタル技術による情報提示や明示的な誘導が増加する中、本研究は物理的な穏やかな動きと人間の意識に暗黙的に働きかける新しいアプローチを提示するものである。terminal.0 での実証実験では、参加者の 90% が進行方向と同じ回転方向にポールが回転するレーンを選択するという顕著な傾向が確認された。この結果は、「吸い込まれる感覚」「気流を感じる」といった解釈が要因として報告され、シンプルな回転運動が人々の無意識的な行動選択に影響を与えることを示している。また「車の洗車を受けているような」「水流に身を任せているような」といった物理的な接触がないにもかかわらず触覚的な感覚や運動共感が生起するという、空間体験の新たな可能性が示唆された。また、子供の参加者の内の 78% が示した自発的な接触行動は、回転という物理的で穏やかな動きが人々の本能的な興味を引き出す可能性を示している。一方で、本研究にはいくつかの重要な課題も明らかとなった。技術面では、電源供給の必要性や通信システムの確立、センサーとの統合など、実装に向けた今後の課題が存在する。実装面では、24 時間 365 日の連続運転に耐えうる耐久性の確保や、既存案内サインとの干渉の解決、コストの最適化が必要である。また、個人差や文化的背景の異なるユーザーへの対応、初見の人への適応可能性、視覚障害者や高齢者などの特定の利用者層への配慮など、ユーザー体験に関する課題も多く残されている。しかし、これらの課題は同時に、本システムの発展可能性を示唆するものでもある。特に、完璧な案内や明確な誘導が必ずしも最適解とは限らない空間状況において、本システムは人々の関係性や状況に応じた柔軟な解決の可能性を示している。

本研究のモチベーションの根底にある，心を動かす空港体験の実現という目標に対して，今回の GentlePoles は興奮や驚きではなく，穏やかさや温かみといった感情体験を重視するアプローチを提示している．住宅のような私的空間から，病院や庁舎のような機能的な公共空間，そして空港や美術館のような探索的要素を含む公共空間まで，それぞれの空間特性に応じた implicit と explicit の領域を持った情報提示の方法が存在するはずである．今後は，本研究と同様に空間に溶け込むテクノロジーの小さな種まきの手法によって，他のアプローチ手法も検討したい．また展望として，センサー技術との統合による人の行動に応じた動的な制御の実現，XR を活用したデバイスの空間活用検証，マルチモーダルな情報提示の実現など，より広範な条件下での実験を通じて，本システムの応用可能性を探求していきたい．本研究で提案した GentlePoles は，デジタルサイネージやスマートフォンに依存せずに，既存の空間環境を活用した人々の穏やかな行動誘発を促す手法である．物理空間とデジタル空間の融合が加速する中で，実空間における探索と発見，そして直観的な感覚体験の価値は，むしろ高まっていくと考える．今後も最小限のテクノロジーと空間との関係性を模索しながら，より豊かな空間体験の創造を目指していく．



図 7.1 自宅でプロトタイプを量産し，ボンドを乾かしている朝

謝 辞

本研究の指導教員であり、本当に幅広い知見と、毎度厳しくも的確なご指摘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南澤孝太 教授に心から感謝いたします。Embodied Media のメンバーはどなたも素晴らしく、このチームに参加できて本当に良かったです。今後ともよろしくお願い致します。

研究初期から様々な助言や温かいご指導をいただきました陳敦雅 准教授に心から感謝いたします。毎度前向きなお言葉で自信をもって進むことができました。

佐藤千尋 准教授には、最終発表に頂いた温かくも厳しいコメントのみならず、サービスデザインの講義からも多くの知見と研究のヒントを頂きました。KMD の講義の中で最も熱心に参加した講義でした。ありがとうございました。

入学当初から、電子工作もプログラミングも無知な自分に、穏やかに真摯に多くのご助言を頂きました堀江新 特任助教に心から感謝いたします。堀江さんがいらっしゃるなければ、この2年で何も生み出せませんでした。

研究指導を含め、触覚の話、建築の話、子育ての話など数多くの話し相手になって頂きました花光宣尚 特任助教に心から感謝いたします。熱心で面倒見の良さに甘えさせて頂きながら、毎度刺激的な議論に非常に助けられました。

本当に多くの助言と知見を賜りました吉田貴寿 特任助教に心から感謝いたします。人間性と頭の良さとユーモアを兼ね備えた鉄人に出会えたことに本当に感謝です。吉田さんの頭の中のビジョンに追いつけるようにこれからも頑張ります。

9月の卒業から帰国までの僅かな時間に、この研究のプログラム開発に携わってくれた Berend te Linde さんに心から感謝いたします。あなたのおかげで研究が確実に加速し、実現したい理想に近づくことが出来ました。

そして、自分のわがままで勝手な二度目の大学院生活を許容してくれた妻、在学中に元気に生まれてきてくれた娘に感謝を捧げたいと思います。

参 考 文 献

- [1] Erik Grönvall, Sofie Kinch, Marianne Graves Petersen, and Majken K. Rasmussen. Causing commotion with a shape-changing bench: Experiencing shape-changing interfaces in use. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 2559–2568, 2014. doi:10.1145/2556288.2557360.
- [2] Yasuto Nakanishi. Dynamic spaces with diverse furnituroids: Exploring the synergy of multiple shape-changing mobile furniture robots. In *Proceedings of the 2024 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, HRI '24, pp. 1293–1295, 2024. doi:10.1145/3610978.3641117.
- [3] 三好賢聖. 動きそのもののデザイン：リサーチ・スルー・デザインによる運動共感の探究. ビー・エヌ・エヌ, 2022.
- [4] Mark Weiser. The computer for the 21st century. *SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol. 3, No. 3, pp. 3–11, 1991. doi:10.1145/329124.329126.
- [5] Mark Weiser and John Seely Brown. Designing calm technology. In *PowerGrid Journal*, 1995. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=fdc2e87fcb4575bdf5154840ebd19c2dd490165c>.
- [6] Roland Posner. Semiotic pollution: Deliberations towards an ecology of signs. *Sign Systems Studies*, Vol. 28, pp. 290–308, 2000. doi:10.12697/SSS.2000.28.16.

- [7] 西沢健. ストリート・ファニチュア：屋外環境エレメントの考え方と設計指針. 鹿島出版会, 1983.
- [8] Adrian Frutiger. 図説 サインとシンボル. 研究社, 2015.
- [9] 稲見昌彦. WIRED VOL.53：「電腦空間」のトビラは（今度こそ）開くのか？コンデナスト・ジャパン, 2024.
- [10] 隈研吾. 境界：世界を変える日本の空間操作術. 淡交社, 2010.
- [11] Paul Arthur and Romedi Passini. *Wayfinding: People, Signs, and Architecture*. McGraw-Hill Book Company, 1992.
- [12] Richard H Thaler and Cass R Sunstein. *Nudge: The final edition*. Yale University Press, 2021.
- [13] James J. Gibson. The theory of affordances. In Robert Shaw and John Bransford, editors, *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology*, pp. 67–82. Lawrence Erlbaum Associates, 1977. URL: <https://cs.brown.edu/courses/cs137/2015/readings/Gibson-AFF.pdf>.
- [14] Donald A. Norman. 誰のためのデザイン？ 増補・改訂版：認知科学者のデザイン原論. 新曜社, 2015.
- [15] Albrecht Schmidt. Implicit human computer interaction through context. *Personal Technologies*, Vol. 4, No. 2, pp. 191–199, 2000. doi:10.1007/BF01324126.
- [16] Daniel Vogel and Ravin Balakrishnan. Interactive public ambient displays: Transitioning from implicit to explicit, public to personal, interaction with multiple users. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '04, pp. 137–146, 2004. doi:10.1145/1029632.1029656.

- [17] Hiroshi Ishii, Craig Wisneski, Scott Brave, Andrew Dahley, Matt Gorbett, Brygg Ullmer, and Paul Yarin. ambientroom: Integrating ambient media with architectural space. In *CHI 98 Conference Summary on Human Factors in Computing Systems*, pp. 173–174, 1998. doi:10.1145/286498.286652.
- [18] Hiroshi Ishii, Sandia Ren, and Phil Frei. Pinwheels: Visualizing information flow in an architectural space. In *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '01, pp. 111–112, 2001. doi:10.1145/634067.634135.
- [19] Amber Case. カーム・テクノロジー：生活に溶け込む情報技術のデザイン。ビー・エヌ・エヌ新社, 2020. 監修：mui Lab 株式会社.
- [20] Sean Follmer, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Akimitsu Hogge, and Hiroshi Ishii. inform: Dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 417–426, 2013. doi:10.1145/2501988.2502032.
- [21] Ramarko Bhattacharya, You Li, Emilie Faracci, Harrison Dong, Yi Zheng, and Ken Nakagaki. Threading space: Kinetic sculpture exploring spatial interaction using threads in motion. In *Proceedings of the 16th Conference on Creativity & Cognition*, C&C '24, pp. 571–575, 2024. doi:10.1145/3635636.3660498.
- [22] Hiroshi Ishii. Tangible bits: Beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '08, pp. xv–xxv, 2008. doi:10.1145/1347390.1347392.
- [23] Hiroshi Ishii, Dávid Lakatos, Leonardo Bonanni, and Jean-Baptiste Labrune. Radical atoms: Beyond tangible bits, toward transformable materials. *Interactions*, Vol. 19, No. 1, pp. 38–51, 2012. doi:10.1145/2065327.2065337.

- [24] Jun Rekimoto. Squama: Modular visibility control of walls and windows for programmable physical architectures. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '12, pp. 168–171, 2012. doi:10.1145/2254556.2254587.
- [25] 川島祐貴, 内川恵二, 金子寛彦, 福田一帆, 山本浩司, 木屋研二. 道路側面に設置された点滅柱状物体により生起する視覚誘導自己運動感覚を交通工学的に応用した自動車運転者の速度感覚変化手法. 映像情報メディア学会誌, Vol. 65, No. 6, pp. 833–840, 2011. doi:10.3169/itej.65.833.
- [26] 吉川博美, 蜂須拓, 福嶋政期, 古川正紘, 梶本裕之. ベクシオン場による歩行誘導手法の提案. 情報処理学会 インタラクシオン, Vol. 2011, pp. 457–460, 2011. URL: <https://www.interaction-ipsj.org/archives/paper2011/interactive/0252/3CR3-5.pdf>.
- [27] Juhani Pallasmaa. 建築と触覚：空間と五感をめぐる哲学. 草思社, 2022.
- [28] Charles Spence. Senses of place: Architectural design for the multisensory mind. *Cognitive Research: Principles and Implications*, Vol. 5, No. 1, p. 46, 2020. doi:10.1186/s41235-020-00243-4.
- [29] Thomas Heatherwick. I’m an imposter – a maker in the world of designing buildings, 2023. <https://au-magazine.com/shop/architecture-and-urbanism/au-202303/>.
- [30] Rosalind W. Picard. *Affective Computing*. MIT Press, 2000.
- [31] James R. Gosz. Ecotone hierarchies. *Ecological Applications*, Vol. 3, No. 3, pp. 369–376, 1993.
- [32] David H. Maister. The psychology of waiting lines, 1984. Harvard Business School. URL: <https://davidmaister.com/articles/the-psychology-of-waiting-lines/>.

- [33] Donald A. Norman. 複雑さと共に暮らす：デザインの挑戦. 新曜社, 2011.
- [34] Harumi Ikei, Chorong Song, and Yoshifumi Miyazaki. Effects of olfactory stimulation by α -pinene on autonomic nervous activity. *Journal of Wood Science*, Vol. 63, No. 3, pp. 234–238, 2017. doi:10.1007/s10086-016-1576-1.
- [35] Harumi Ikei, Chorong Song, and Yoshifumi Miyazaki. Physiological effects of touching hinoki cypress (*chamaecyparis obtusa*). *Journal of Wood Science*, Vol. 64, No. 3, pp. 226–236, 2018. doi:10.1007/s10086-017-1691-7.
- [36] Chorong Song, Harumi Ikei, and Yoshifumi Miyazaki. Physiological and psychological effects of olfactory stimulation with d-limonene. *Advances in Horticultural Science*, Vol. 28, No. 2, pp. 90–94, 2014. URL: <http://www.jstor.org/stable/24586803>.
- [37] Harumi Ikei, Masashi Nakamura, and Yoshifumi Miyazaki. Physiological effects of visual stimulation using knotty and clear wood images among young women. *Sustainability*, Vol. 12, No. 23, 2020. doi:10.3390/su12239898.