

博士論文

医療を受ける子どもとその家族のための  
小児看護のディストラクションに向けた2面投影の研究

Two-screen projection as a distraction technique in pediatric  
nursing for children receiving medical care and their families

T192D002 荻原 弘幸

指導教員 奥 寛雅 教授

2024年8月

群馬大学大学院理工学府理工学専攻  
電子情報・数理領域



## 要旨

医療を受ける子どものストレスを軽減する実践的な方法として、小児看護では子どもの権利を尊重した医療環境を促進するために、気晴らし（ディストラクション）の創意工夫が重視されている。近年、小児看護の臨床では、没入型デジタル空間を再現するインターフェースを活用した仮想現実（VR; Virtual reality）が、子どもたちの苦痛や恐怖を効果的に軽減するディストラクションとして普及し始めてきた。また、医療処置に対するディストラクションだけでなく、入院への心理適応や生活の質を支援するために、没入型 VR の臨床的な介入が試みられている。本論文では、映像投影に基づき、没入感の高い演出を通じて、子どものストレスを軽減する効果的なツールの開発と実現を目的とした研究を報告する。

この目的を達成するための手法として、2面投影システムを提案した。この手法は、壁面と床面の2面に対して同期した映像を投影するものであり、見る人間に高い没入感を与え、ストレスを効果的に軽減することが期待されるものである。特に、病室を含む様々な環境での投影を可能にし、準備時間や人員要件を最小限に抑えることができる手法を開発した。これは、新たな機器の装着を必要とせず、複数人のコミュニケーションを妨げない特徴がある。そこで、本研究では、2面投影によって得られる没入感の高い体験がストレスを軽減する小児看護の効果的なディストラクションとなるという仮説を実験的に検証し、社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとしての実装の可能性を評価した。

提案手法が実際にストレス軽減に有効であることを実証するために、まずは健康な成人 30 名に対して、提案する 2面投影と、壁面のみの 1面投影について唾液  $\alpha$  アミラーゼ活性 (sAA; salivary  $\alpha$ -amylase activity) 測定に基づくストレス軽減効果の比較検証を行った。実験では、被験者に割り当てられた番号が偶数か奇数かによって、15名ずつの Pattern A と Pattern B の2つのグループに分けられ、時間や環境に影響するバイアスが分散されるよう交互に実施された。2面投影のストレス軽減効果を評価するために、1面投影と2面投影の視聴後に変化した sAA 値の差を抽出し、対応のある差の t 検定と Wilcoxon の符号付順位検定を用いて分析した。結果、健康な成人においては、没入感の高い2面投影のほうがより大きなストレス軽減効果があることが示された。

次に、提案する2面投影が実際に医療的ケア児のストレス軽減に有効であることを実証するために、医療的ケア児 9名を対象に、2面投影の前後で KOKORO スケールを用いてストレス軽減効果の比較検証を行った。実験では、被験者に対して2面投影の前後で KOKORO スケールを用い、Anxiety-Relief と Lethargy-Motivation の測定が実施された。2面投影のストレス軽減効果を評価するために、2面投影の前後に変化した Anxiety-Relief と Lethargy-Motivation の差を抽出し、Wilcoxon の符号付順位検定を用いて分析した。結果、医療的ケア児においては、2面投影後のほうが前よりも大きなストレス軽減効果があることが示された。

しかし、この2面投影は、録画した映像コンテンツを繰り返し再生するものであり、その場で視聴している人同士のコミュニケーションに限られ、社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとしては不向きであった。また、一定した映像コンテンツに飽き、遠隔地にいると

いう感覚に制約をかけてしまう欠点があった。そこで、遠隔地に存在している感覚で自由に行動できる Telexistence 技術を活用し、小児看護の効果的なディストラクションとして新たなソーシャルメディアネットワークが期待されるリアルタイム 2 面投影システムを提案した。このシステムは、これまでの 2 面投影と同じ機能を維持し、遠隔地とのネットワークを構築することで、リアルタイムの社会的相互作用を促進する特徴がある。特に、リアルタイムであることは、医療を受ける子どもたちが社会的文脈から突然排除されることなく、彼らの意思を尊重し、その場で自由に参加できる権利を擁護するという重要な意味を含む。

リアルタイム 2 面投影が実際に医療的ケア児のストレス軽減に有効であることを実証するために、医療的ケア児 12 名を対象に、リアルタイム 2 面投影の前後で KOKORO スケールを用いてストレス軽減効果の比較検証を行った。これまでの実験と同様の分析により、結果、医療的ケア児においては、リアルタイム 2 面投影後のほうが前よりも大きなストレス軽減効果があることが示された。また、保護者やスタッフの定性的評価からは、「リアルタイムでつながることで、その場にいるような感覚になった」「一緒に参加している感じがして楽しかった」といった反応が見られ、リアルタイムであることの重要性が強調された。

これらの研究報告は、2 面投影システムが小児看護における理想的なディストラクションとして機能し、医療を受ける子どものストレスを効果的に軽減する可能性があることを示した。また、Telexistence 技術を活用したリアルタイム 2 面投影が、彼らの社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとなり得ることも示唆された。

## Abstract

Pediatric nursing emphasizes creative distraction techniques to reduce stress among children receiving medical care, promoting a healthcare environment that respects children's rights. Clinical pediatric nursing has recently widely adopted virtual reality (VR) to recreate immersive digital environments, effectively alleviating children's pain and fear. Furthermore, clinical interventions using immersive VR are being explored beyond distraction for medical procedures, to support psychological adaptation to hospitalization and improve quality of life. This study reports on research aimed at developing and implementing an effective tool for reducing children's stress through highly immersive projection-based techniques.

A two-screen projection system was proposed to achieve this goal. This method involves projecting synchronized images onto two screens, the wall and the floor, providing viewers with a high level of immersion and potentially effective stress reduction. Specifically, the developed method allows for projection in various environments, including hospital rooms, while minimizing preparation time and personnel requirements. It does not require additional equipment or interfere with communication among multiple individuals. Therefore, this study experimentally tested the hypothesis that the high-immersion experience provided by the two-screen projection serves as an effective distraction for stress reduction in pediatric nursing and evaluated its potential as a community support tool to promote social interaction.

To demonstrate the proposed method's effectiveness in reducing stress, a comparison study was conducted with 30 healthy adults. This study compared the stress-reducing effects of the proposed two-screen projection with a one-screen projection using salivary  $\alpha$ -amylase activity (sAA) measurements. Participants were divided into groups, Pattern A and Pattern B, each comprising 15 individuals, based on whether their assigned numbers were even or odd. The experiments were conducted alternately to minimize biases related to time and environment. The difference in sAA values before and after viewing the one-screen and two-screen projections was analyzed using paired t-tests and Wilcoxon signed-rank tests to evaluate the stress-reducing effects of the two-screen projection. The results indicated that, in healthy adults, the high-immersion two-screen projection had a more significant stress-reducing effect than the one-screen projection.

Next, a comparison study was conducted with 9 children with medical complexity (CMC) to demonstrate the effectiveness of the proposed two-screen projection in reducing stress in CMC. The study used the KOKORO scale to assess stress reduction before and after the two-screen projection. The experiment measured Anxiety-Relief and Lethargy-Motivation using the KOKORO scale pre- and post-two-screen projection. The Wilcoxon signed-rank test was employed to analyze changes in Anxiety-Relief and

Lethargy-Motivation before and after the projection to evaluate the stress-reducing effects of the two-screen projection. The results indicated that, for CMC, the two-screen projection resulted in a more significant stress reduction effect after the projection compared to before.

However, this two-screen projection system repeatedly played pre-recorded video content, which limited communication to those present and was not well-suited as a community support tool for promoting social interaction. Additionally, there was a drawback of becoming bored with fixed video content and imposing limitations on the sensation of being in a remote location. Therefore, leveraging Telexistence technology, which allows for a sense of presence and freedom of movement in remote locations, a new real-time two-screen projection system was proposed as a potential effective distraction in pediatric nursing and an innovative social media network. This system maintains the functions of the previous two-screen projection while incorporating a network with remote locations to facilitate real-time social interaction. Notably, the real-time aspect carries significant meaning in respecting the rights of children receiving medical care by allowing them to freely participate in the social context without sudden exclusion, thereby honoring their autonomy and participation rights on the spot.

A comparison study was conducted with 12 CMC to demonstrate the effectiveness of real-time two-screen projection in reducing stress in CMC. The study used the KOKORO scale to assess stress reduction before and after the real-time two-screen projection. Analysis similar to previous experiments indicated that the real-time two-screen projection had a more significant stress reduction effect after the projection compared to before. Additionally, qualitative feedback from parents and staff highlighted the importance of real-time interaction. Responses such as "It felt like being there in person" and "It was enjoyable to feel like participating together" emphasized the significance of real-time connectivity.

These findings suggest that the two-screen projection system is an ideal distraction in pediatric nursing, potentially effectively reducing stress in children receiving medical care. It was also suggested that real-time two-screen projection, utilizing Telexistence technology, could serve as a community support tool to facilitate social interaction for these children.

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	医療を受ける子どもと VR . . . . .	1
1.2	没入型デジタル空間を再現するインターフェース . . . . .	1
1.3	VR ディストラクションの検討 . . . . .	2
1.4	2 面投影システム . . . . .	3
1.5	本研究の目標 . . . . .	4
1.6	本論文の構成 . . . . .	5
<b>第 2 章</b>	<b>2 面投影システム</b>	<b>6</b>
2.1	病室環境と機器配置 . . . . .	6
2.2	人間の視野角 . . . . .	6
2.3	没入感を高めるスクリーン設定 . . . . .	6
2.4	視覚誘導性自己運動感覚 . . . . .	7
2.5	病室内の投影スペース . . . . .	7
2.6	投影手順 . . . . .	9
2.7	ホモグラフィ変換 . . . . .	10
2.8	撮影方法 . . . . .	11
2.9	まとめ . . . . .	11
<b>第 3 章</b>	<b>2 面投影によるストレス軽減効果の検証</b>	<b>12</b>
3.1	1 面投影と 2 面投影の比較検証 . . . . .	12
3.2	2 面投影前後の比較検証 . . . . .	17
3.3	考察 . . . . .	24
3.4	まとめ . . . . .	25
<b>第 4 章</b>	<b>リアルタイム 2 面投影システム</b>	<b>26</b>
4.1	医療を受ける子どもの社会的つながり . . . . .	26
4.2	2 面投影の欠点 . . . . .	27
4.3	Telexistence . . . . .	27
4.4	リアルタイム 2 面投影システムの提案 . . . . .	28

vi 目次

4.5	現地施設の投影方法 . . . . .	28
4.6	遠隔地の撮影方法 . . . . .	29
4.7	現地施設と遠隔地のネットワーク . . . . .	30
4.8	まとめ . . . . .	30
<b>第 5 章</b>	<b>リアルタイム 2 面投影のストレス軽減効果とコミュニティ支援ツールの検証</b>	<b>31</b>
5.1	リアルタイム 2 面投影前後の比較検証 . . . . .	31
5.2	リアルタイム 2 面投影と録画再生 2 面投影の比較検証 . . . . .	36
5.3	考察 . . . . .	39
5.4	まとめ . . . . .	41
<b>第 6 章</b>	<b>結論</b>	<b>42</b>
6.1	本論文で議論した内容 . . . . .	42
	<b>謝辞</b>	<b>44</b>
	<b>参考文献</b>	<b>45</b>
<b>付録 A</b>	<b>投影範囲の計算方法</b>	<b>52</b>
<b>付録 B</b>	<b>投影範囲の計算結果</b>	<b>55</b>
B.1	壁面 . . . . .	55
B.2	床面 . . . . .	56



# 第 1 章

## 序論

### 1.1 医療を受ける子どもと VR

人工呼吸器や吸引器等の医療機器を必要とする子どもたちは、多様な環境に接する機会が少なく、この社会経験の不足が望ましい発達を制限している [1]. 特に、慢性的な身体・発達・行動・情緒に関わるリスクを抱え、一般的な子どもよりも医療サービスを必要とする医療的ケア児は、社会とつながる機会が限られ、ストレスの多い日常生活を送っている [2].

医療的ケア児の保護者によると、96.8%が「家族と一緒に外出や旅行をしたい」と希望している一方、その機会があるのはわずか 17.2%に過ぎず、51.3%が「社会から孤立している」と感じていた [3]. さらに、一般的な家庭では当たり前に行われていることができないという、このような状況を改善するために、最も多くの回答が寄せられたのは看護の支援であった [3].

医療を受ける子どものストレスを軽減する実践的な方法として、小児看護では子どもの権利を重視した医療環境を促進するために、ディストラクションと呼ばれる気晴らしの創意工夫が重視されている [4, 5]. 近年、特に小児看護の臨床では、没入型デジタル空間を再現するインターフェースを活用した仮想現実 (VR; Virtual Reality) [6] が、子どもたちの苦痛や恐怖を効果的に軽減する実践的なディストラクションとして普及し始めてきた [7, 8, 9, 10]. この VR によってもたらされる没入感、共感性、外向性、参加意欲等のポジティブな因子を促進し [11, 12, 13], 発達障害のある子どもに十分なコミュニケーションとディストラクションが提供されると、ストレス要因になる状況でも穏やかになることが報告されている [14, 15].

これらより、VR の提供は看護支援のニーズとして必然的な根拠となり、医療を受ける子どもとその家族の生活の質 (QOL; Quality of life) の向上には、小児看護のディストラクションに向けた没入型デジタル空間を再現するインターフェースが必要であると考えられた.

### 1.2 没入型デジタル空間を再現するインターフェース

近年、リアルな疑似体験を可能にする VR は急速に進化しており、将来にわたって多くの業界で需要が見込まれている. この VR は、コンピュータが生成した三次元的な表現に様々な角度から囲まれ、仮想世界の中を動き回ることができる体験と定義されている [6]. そこで、VR

## 2 第1章 序論

が提供する客観的な感覚的忠実度を示す没入感を高めるには、没入型投影技術が必要不可欠となる [16, 17]. 没入型デジタル空間の視覚的再現のためのインターフェースには、主にウェアラブル没入型ディスプレイを使用するものと周囲の空間をディスプレイとして使用するものの2種類が存在する.

まず、ウェアラブル没入型ディスプレイの一例として取り上げるヘッドマウントディスプレイ (HMD; Head-Mounted Display) は、ユーザーの視野を覆い仮想空間への没入感を高めることを可能にする [18]. しかし、HMD の問題点として、聴覚刺激の喪失や現実世界の物体との衝突等が一般的に報告されている [19, 20]. 実際、HMD がユーザーに与える影響には、頭痛、吐き気、眼精疲労等の症状が挙げられており、これらは主に輻輳による提示距離との焦点調節の根本的な不一致が原因と考えられている [21, 22]. このように、VR を体験するためのインターフェースとして、HMD は低コストで携帯性や省電力等に優れている一方、身体的負担やストレスを誘発する要因を含むため、HMD を能動的な双方向のコミュニケーションに利用するのは不適となる.

次に、周囲の空間をディスプレイの表示装置として利用する没入型デジタル空間を作り出す手法を紹介する. この顕著な例が没入型仮想現実体験装置 (CAVE; Cave Automatic Virtual Environment) であり、これはコンピュータで生成した画像をスクリーンに映し出し、それを3m 四方ほどの立方体の空間に投影することで没入感を高めるものである [23]. この技術は、両眼視差画像と液晶シャッターメガネを同期させて仮想空間を作り出すアクティブシャッターシステムを用いたもので、教育 [24]、医療 [25]、自然 [26]、ゲーム [27]、乗り物 [28] 等の分野で数多くの応用例がある. 3次元立体視装置である  $\pi$ -CAVE は、高さ3m、奥行き3m、幅7.8mの空間で複雑な CAVE シミュレーションデータを効率的に解析できる [29]. 一方、室外のコンピュータから複数のプログラムを切り替えて操作する一般的な CAVE とは対照的に、空間に没入しながら、プログラムを操作できる Multiverse [30] は、壁面3面、床面4面、投影用プロジェクター6台、トラッキング用カメラ10台を用いることで、VR を最大20人の同時提供を実現させた. このように、CAVE は VR を体験するためのインターフェース装置として自然な双方向のコミュニケーションを実現する優れたインターフェースであるが、広い空間と複数のスクリーン、プロジェクター、カメラを必要とする大規模でコストのかかる映像環境の構築には様々な課題がある.

### 1.3 VR ディストラクションの検討

長期入院を余儀なくされ、行動が制限される子どもたちに HMD を用いた VR ディストラクションを効果的に提供するためには、彼らの疾患、症状、治療、医療機器等を総合的に理解することが重要である. これらを考慮すると、医療的ケア児が HMD を装着することは可能かもしれないが、他者とのコミュニケーション手段が奪われ、表情やアイコンタクトといった非言語的な手がかりに基づく看護師の観察が阻害されることになる [31]. そのため、HMD を用いた医療的ケア児への VR ディストラクションは、身体的リスクや安全性の低下だけでなく心理的ストレスの増加により困難が予想される.

そこで、著者らは周囲の空間をディスプレイ表示装置として利用する没入型デジタル空間を作り出す手法に着目した。現在、広い空間と複数のスクリーン、プロジェクター、カメラを必要とする大規模でコストのかかる映像環境を構築する課題に対して、一般家庭でも周囲の空間をディスプレイ化できるシステムが数多く提案されている。例えば、RoomAlive [32] は、拡張性のある分散フレームワークを介して結合されたプロジェクターの奥行きカメラユニットを採用し、あらゆる部屋で没入型のエンターテインメント体験を提供する。3D カメラを搭載した Ariana [33] は、投影オブジェクトに置かれた周囲の環境を認識し、家具や雑貨が置かれても歪みなく適切な投影を可能にして没入感を高める。

映像投影による感覚刺激の促進には、自閉症スペクトラム障害への効果的介入として知られるスヌーズレンに VR を導入する等の様々な試みがある [34]。SnomezelenCAVE [35] は、ハンドモーションデバイスと音声認識システムを統合し、視覚学習、聴覚技法、自然なフリーハンドのインタラクション方法を刺激する VR を提供する。最近では、Lands of Fog [36] や FUTUREGYM [37] が報告され、いずれもマルチユーザー体験を提供する全身インタラクションシステムを通じて、自閉症スペクトラム障害を持つ子どもへの社会的相互作用を促している。神経発達障害を持つ子どもには、前庭感覚と固有受容感覚に制御可能な刺激を与えることでマルチモーダルな体験的相互作用を支援する Magic Room [38] が報告され、別の研究では患者が治療を受ける無菌室でプロジェクションマッピングを実施したところ、介入前後で不安レベルが低下したことが明らかにされている [39]。さらに、GESTURETEK HEALTH [40] の没入型ジェスチャーコントロール技術は、どのような表面上でもマルチタッチ・インタラクティビティを可能にする柔軟なハードウェア・ソリューションを報告し、エントランス、ホール、共有エリア、病室、待合室、治療室、病棟等の様々な場所に設置することができる。

このように、医療的ケア児への VR ディストラクションを検討する上で、空間、没入感、使いやすさの観点から映像投影システムの必要性が取り上げられた。

## 1.4 2面投影システム

そこで、著者らは病室を含む様々な環境での投影を可能にしながら、準備時間や人員要件を最小限に抑え、複数人のコミュニケーションを妨げることなく没入感のある視覚体験を提供し、医療的ケア児が新たな機器を装着する必要のない2面投影システムを提案する [41]。

### 1.4.1 2面投影システムの提案

周囲の空間をディスプレイの表示装置として利用する没入型デジタル空間を作り出す2面投影システムを図 1.1 に示す。この2面投影は、一般的な病室で没入感のある映像を投影するために、適切な機器の配置と画面サイズが定量的に設定されている。機器の配置スペースには、ノートパソコン、壁面プロジェクター、床面プロジェクターを備え、限られたスペースで没入感のある VR 体験を提供する。

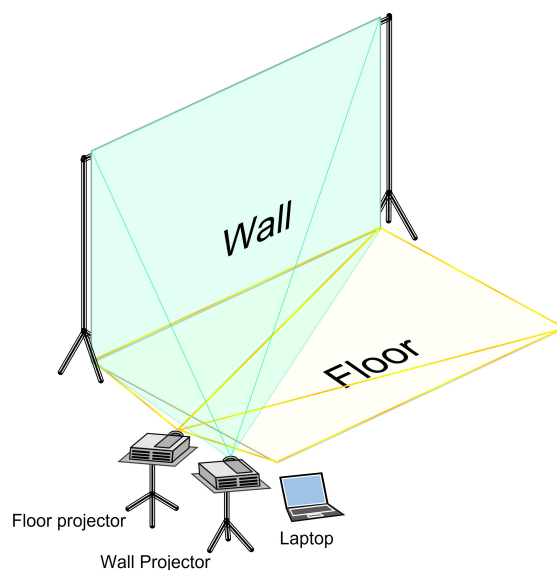


図 1.1. 2面投影システム

### 1.4.2 2面投影の可能性

2面投影は、没入型デジタル空間を再現するインターフェースとして、低コストで携帯性や省電力に優れるウェアラブル没入型ディスプレイの特徴を保ち、大規模でコストのかかる映像環境を構築する周囲の空間ディスプレイの欠点を補う。

しかし、この2面投影が医療的ケア児の利用する施設で有効に機能するかどうかは確認されておらず、ストレスを軽減するディストラクション効果を持つかどうかは不明である。また、2面投影が医療的ケア児やその家族の社会的交流を促す機会として、その実装の可能性を示唆する証拠を得られていないという問題点がある。

## 1.5 本研究の目標

そこで、本研究では、1) 2面投影によって得られる没入感の高い体験がストレスを軽減する小児看護の効果的なディストラクションとなるという仮説を実験的に検証し、2) 社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとしての実装の可能性を評価することを目標とする。

これらの目標を達成することで、2面投影は医療的ケア児とその家族に向けた看護支援となり、彼らが日常的に抱える社会的孤立の問題を解消する方策となり得る。この実現は、医療を受ける子どもたちの権利を保障し、QOLの向上を目指す実践的な小児看護のディストラクションとして応用することが可能になると考えられた。

## 1.6 本論文の構成

本論文は、大きく分けて2つの内容からなる。1つ目は2面投影システムの提案と2面投影のストレス軽減効果の有効性について、2つ目は2面投影システムに Telexistence 技術を追加したリアルタイム2面投影の有効性とコミュニティ支援ツールの可能性についてである。

これらの内容は、次の各章で詳述する。

- 2面投影システムの提案と2面投影のストレス軽減効果の有効性
  - 第2章 2面投影システム
  - 第3章 2面投影によるストレス軽減効果の検証
  
- リアルタイム2面投影のストレス軽減効果の有効性とコミュニティ支援ツールの可能性
  - 第4章 リアルタイム2面投影システム
  - 第5章 リアルタイム2面投影によるストレス軽減効果とコミュニティ支援ツールの検証

## 第 2 章

# 2 面投影システム

この章では、限られた空間にある病室で実装可能な 2 面投影システムについて説明し、人間の視野角の計測に基づく没入感を高めるための根拠とモバイル環境に適した簡易性について示す。

### 2.1 病室環境と機器配置

米国の Facility Guidelines Institute [42] によると、病室は患者一人当たり少なくとも  $11.5m^2$  の面積を持たなければならないと定義している。日本の医療法施行規則第 16 条 [43] での病室は  $6.4m^2$  以上、病床数は 4 床以下と定められている。このような病室で没入感のある映像を投影するためには、機器の適切な配置とスクリーンサイズの定量的な設定が重要である。具体的には、最適なスクリーンサイズを選択するために部屋の大きさを考慮し、プロジェクターを正しく配置する必要がある。

### 2.2 人間の視野角

視野角 (FOV; Field of View) とは、人間が視点を動かさずに見ることができる範囲のことで、両眼で約 180 度、没入感を高めるためには 60~90 度の視野角が必要となる [44]。また、効果的な情報受容範囲を提供する視野を考慮することも重要であり、これは一般的に垂直方向に 45~70 度、水平方向に 60~90 度である。

### 2.3 没入感を高めるスクリーン設定

身長中央値が  $1155mm$  である 6 歳の女兒 [45] が高い没入感を得られる設定を選択した。図 2.1 に示すように、壁面から約  $1500mm$  の距離で、水平視野 (HFOV; Horizontal Field of View) 90 度、垂直視野 (VFOV; Vertical Field of View) 70 度を達成するためには約  $3000mm \times 2000mm$  のスクリーンサイズが必要である。病室で効果的に没入感のある映像を投影するには、これらの要素を考慮することが不可欠である。

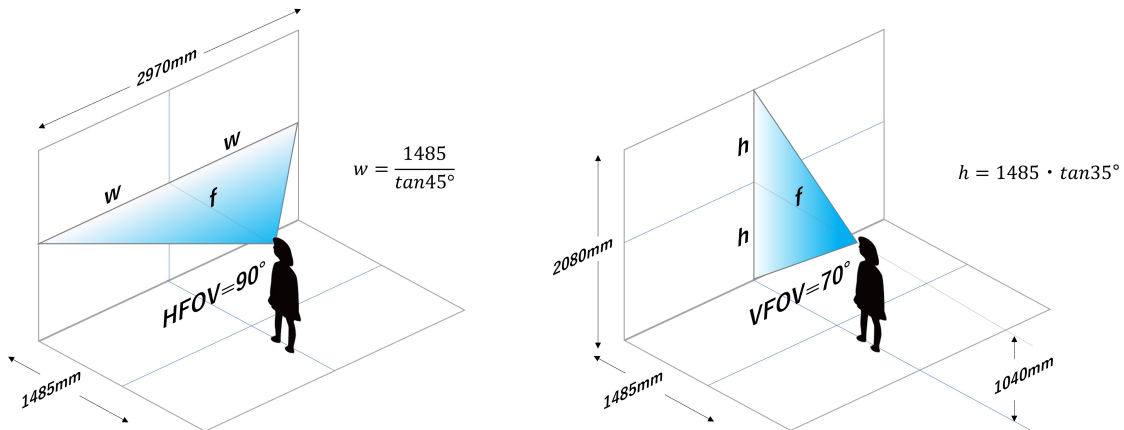


図 2.1. 視野角に応じた壁面と床面のスクリーン設定

## 2.4 視覚誘導性自己運動感覚

VR 体験における没入感のレベルを評価するには、視覚刺激によって静止している人が動く感覚を指す視覚誘導性自己運動感覚 (Vection) に起因する重心動揺を測定することで達成できる [46, 47]. 姿勢反応は、この自己運動錯覚の測定に有用な方法であり、重心動揺の大きさは個人の Vection の強さを予測するために使用することができる [48, 49, 50].

視覚刺激によって誘発される重心動揺の大きさは、画像提示の視角が広がるにつれて増加し、視野の下部領域が上部領域よりも影響力が大きいことが示されている [51, 52]. さらに、人間の両眼視野は下方に向かって広がっていることから [53], 直立姿勢を維持するためには下方からの視覚情報が重要であり、没入感を高めるためには画像提示領域に足元を含める必要がある。

VR 体験の没入感を高めるために提案する投影配置は、HFOV と VFOV を考慮した壁面スクリーンと強い視覚刺激を与える下方領域の床面スクリーンが必要になる。この壁面と床面のスクリーンを含む 2 面投影システムが、限られた空間での没入体験の要件を満たすことになる。

## 2.5 病室内の投影スペース

本研究では、4 床の病室から 2 床のベッドを病室外へ移動し、病室内で 2 面投影のセットアップの実現可能性を検討した。図 2.2 に示すように、2 台のプロジェクターを使用し、1 台を壁面、もう 1 台を床面に投影することで、没入感を高めることのできる病室環境が設定された。

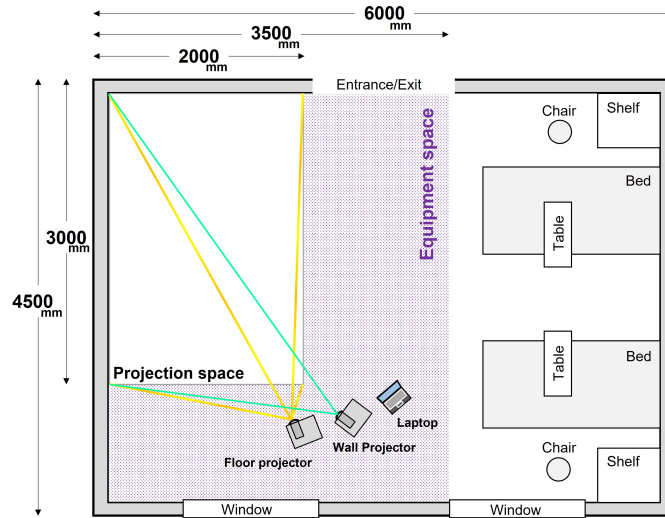


図 2.2. 病室における 2 面投影配置の鳥観図

4500mm × 6000mm の 4 人部屋を想定し、4500mm × 3500mm の機器設置スペースにノート PC、壁面プロジェクター、床面プロジェクターを設置した。壁面プロジェクターと床面プロジェクターは、3000mm × 2000mm の投影スペース内に投影される人物の影の映り込みを最小限に抑える角度で配置した。これらのプロジェクターが斜め方向から投影している理由は、子どもたちが壁面スクリーンの前に立っても影を落とさず、彼らの没入感を阻害しないためである。また、病院や施設等では、天井にプロジェクターを固定することが容易でないことから、床面スクリーンにも斜め方向から投影する必要がある。以上のことから、図 2.3 に示す 2 面投影システムにより、限られたスペースで VR 体験を実現することが可能となる。さらに、2 面投影は、この角度と配置要件を満たすことができれば、左右どちらからでも実施することができる。投影範囲の計算方法は付録 A に、投影範囲の計算結果は付録 B に示す。

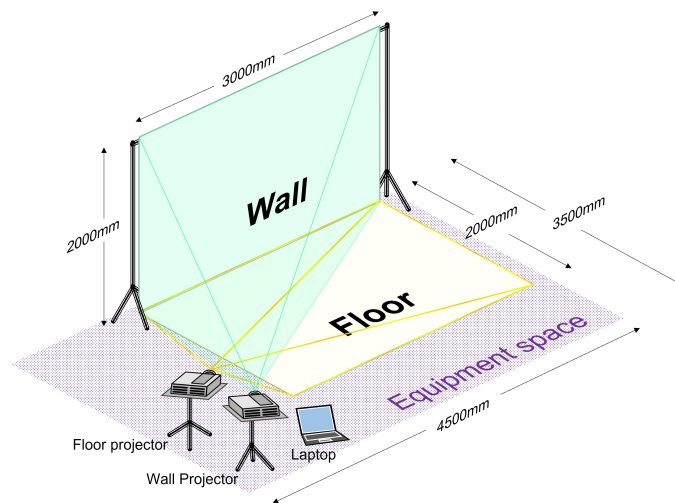


図 2.3. 機器設置スペース内における 2 面投影のレイアウト



## 2.6 投影手順

図 2.4 に 2 面投影の投影手順を、図 2.5 に 2 面投影の実際を示す。2 面投影に必要な機器や資材は市販されており、入手も容易でモバイル環境に適し、作業自体は単純で準備から投影まで 15 分程度で完了する。まず、スタンドと背景布を設置し、スタンドの幅 3000mm、高さ 2000mm を決定する。次に、スタンドの寸法を決めた後、背景布を 2000mm の高さまで上げ、壁と床のスクリーンの角度を調整し、必要な機器を指定位置に設置する。没入感を高めるための投影には、壁面と床面スクリーンの境界になる部分の角度を正確に 90 度とする必要がある。

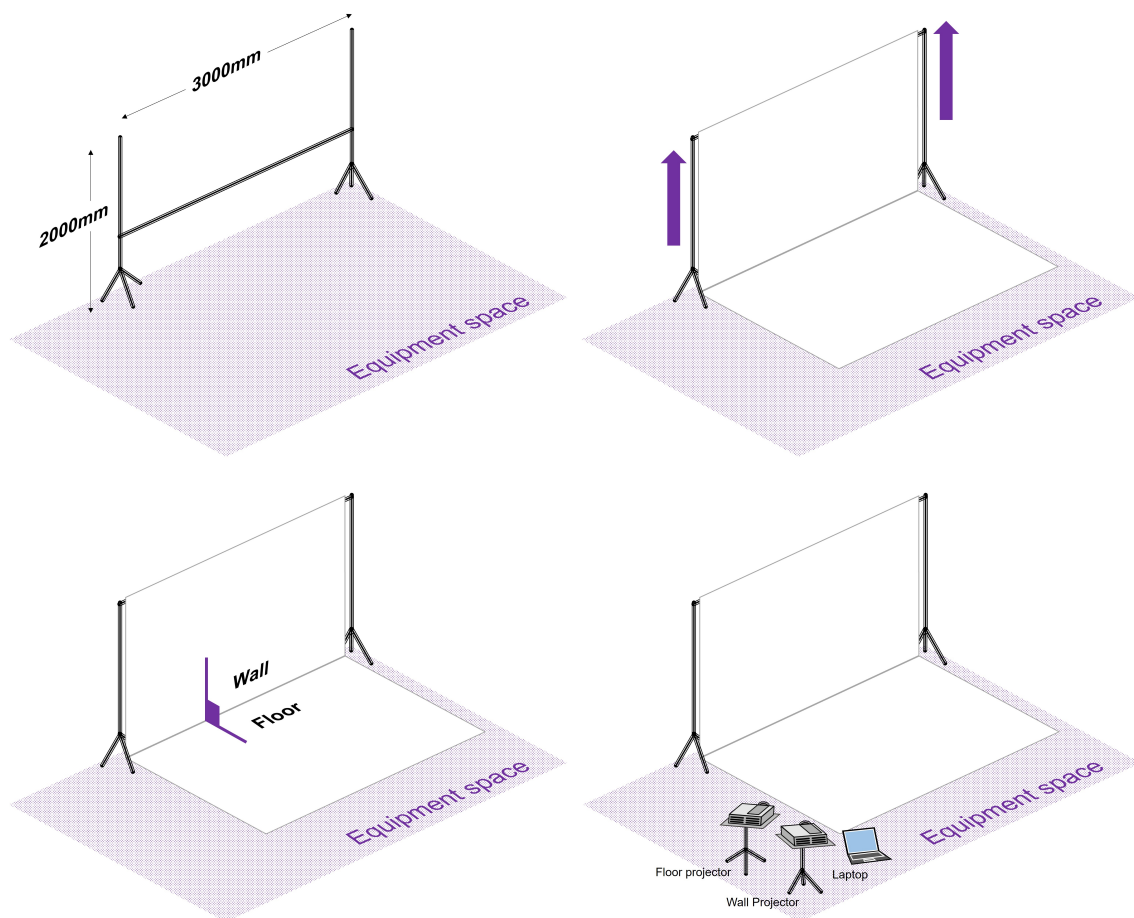


図 2.4. 2 面投影の投影手順

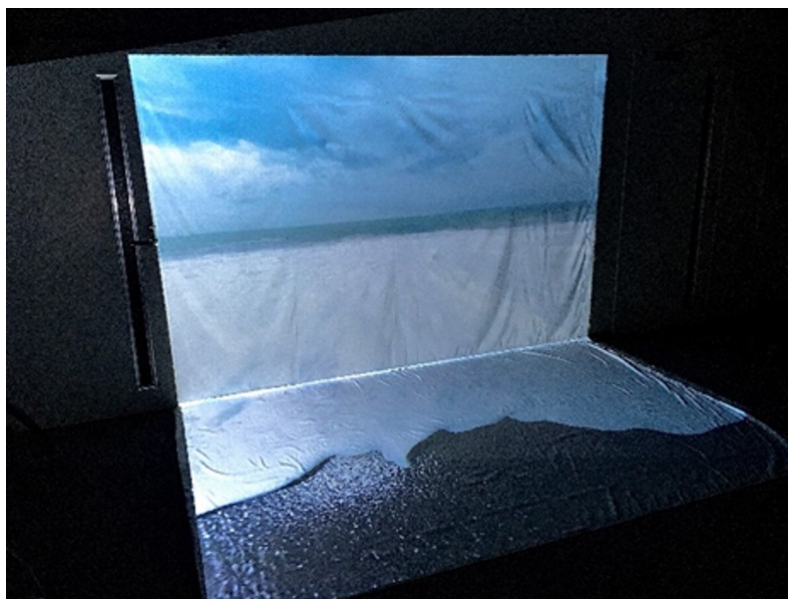


図 2.5. 海の砂浜を映像コンテンツに用いた 2 面投影の実際

## 2.7 ホモグラフィ変換

本研究で用いた投影法は、プロジェクターが投影面に対して斜めに設置されていることで、投影画像の形状が投影される対象物の表面と一致しないという課題がある。この問題に対処するために、ホモグラフィ変換として知られる画像変換技術を投影画像に適用した。このホモグラフィ変換とは、ある平面を射影変換によって別の平面に投影することである。画像全体の変換行列が、ホモグラフィ変換によって画像内の 4 点の対応関係から導出できることを図 2.6 に示す。

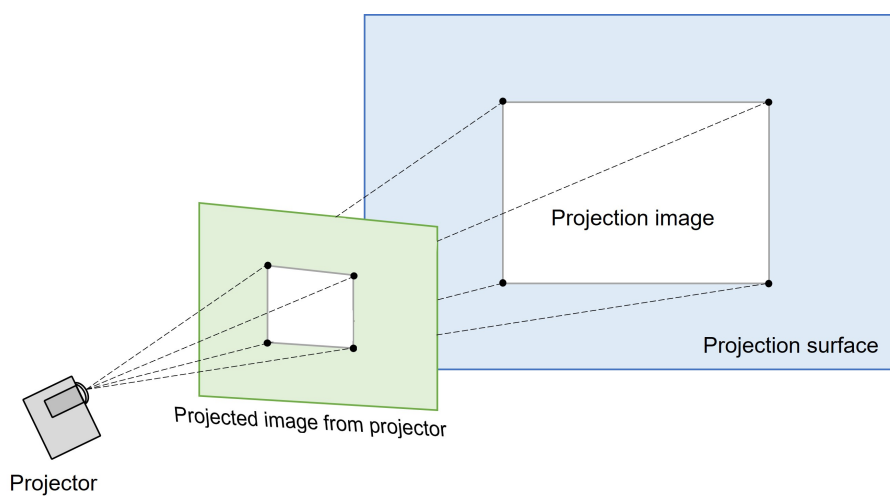


図 2.6. ホモグラフィ変換

## 2.8 撮影方法

映像コンテンツは、360度カメラ (RICOH THETA V) を用いて撮影し、360度画像を90度の画角にトリミングして壁面と床面の画像を得た。この方法により、壁面と床面に投影される画像の境界面が一致することを確認した。撮影は360度カメラを棒の先に取り付け、図2.7のように傾けて行った。この撮影方法は、360度カメラの境界が壁面に写り込まず、撮影者の映像が床面に写り込まないようにするために実施された。



Subjective point of view



Objective perspective from the side

図 2.7. 撮影時のイメージ

## 2.9 まとめ

2面投影システムは、病室環境での投影が可能で、時間や人員のコストパフォーマンスに優れ、没入感を高めるポータブルな空間ディスプレイとなり、小児看護におけるディストラクションとして効果的な手法であることが考えられた。また、この2面投影は、人工呼吸器や点滴等が必要な子どもたちの特徴を考慮し、新たな機器類を追加しないという点で安全性が高く、視聴環境を清潔に保つことで感染を予防することも可能である。

## 第3章

# 2面投影によるストレス軽減効果の 検証

この章では、2面投影の没入感が1面投影と比較し、健康な成人のストレスを軽減できるかどうかについて、人間の生理学的な指標を用いた実験から得た証拠を示す。また、2面投影前後の比較で、医療的ケア児、保護者、スタッフのストレスを軽減できるかどうかについて、主観的フィードバックによる指標を用いた実験から得た証拠を示す。

### 3.1 1面投影と2面投影の比較検証

このセクションでは、1面投影と2面投影を比較するために、健康な成人のストレスを軽減できるかどうかについて、客観的フィードバックによる指標を用いた実験から得た証拠を示す。

#### 3.1.1 被験者の選定

##### 適格基準

適格基準は、A大学に所属し、2021年11月から2022年4月の間で実験の参加に同意を得られた成人年齢の学生と教職員30名の被験者である。

被験者には、ポスターを用いて実験の説明を行い、研究協力の意思があり、研究に参加できることを十分に確認した。実験への参加は、実験当日に説明文書による説明を行い、被験者から同意書を取得し、実験当日に被験者の体調が良好であることを条件とした。

##### 除外基準

除外基準は、ポスターあるいは説明文書を用いた実験の説明に対して、実験への参加に意思がない者、同意書が取得されない者である。また、実験当日に体調不良を申し出た者、自律神経に影響を与える薬物を使用している者、実験2時間前から水以外の飲食をされた者、乗り物酔いの症状が強く生じると予測される者を被験者から除外した。

### 中止基準

中止基準は、実験中に体調不良を申し出た者、実験後に研究への同意撤回を申し出た者である。

### 3.1.2 実験における科学的合理性の根拠

目標サンプル数は、教職員 30 名以上とした。この実験では、目標サンプル数が満たせない場合、あるいは統計的な有意性が示せない場合であっても、実証研究を実施することで得られる本質的な技術要素の知見を重視する。

### 3.1.3 唾液 $\alpha$ アミラーゼ活性による測定

ストレスとは、生体に作用する外からの刺激に対して生じる非特異的反応の総称であると定義されている [54]。このストレスに対して、唾液 $\alpha$ アミラーゼ活性 (sAA; salivary  $\alpha$ -amylase activity) は、様々なストレス条件下での血漿カテコールアミン濃度、特にノルエピネフリン濃度を予測できる酵素であり、心拍数の変化よりも直接的で単純なカテコールアミン活性のマーカーとなることが報告されている [55]。また、sAA は急性の心理社会的ストレスによって増加するため、信頼性の高い非侵襲的バイオマーカーとして知られている [56, 57]。

本研究では、この sAA を測定するために、ニプロ社製の唾液アミラーゼモニターを使用した [58]。唾液アミラーゼモニターは、唾液中の sAA を検出し、その値が高いほどストレスレベルが高く、逆に sAA 濃度が低いほどストレスレベルが低いことを示す。これらより、2面投影のストレス軽減効果を評価する実験に sAA 値を採用した。

### 3.1.4 実験手順

複数のステップから構成された実験手順の詳細を表 3.1 に示す。まず、被験者は 2~3 桁の足し算と引き算の暗算課題を 3 分間行った後、最初の sAA 測定値が記録された。次に、被験者は海の砂浜の動画を Pattern A または Pattern B で 1 分 30 秒間視聴し、2 回目の sAA 測定値が記録された。その後、2 桁から 3 桁の足し算と引き算の暗算課題を再び 3 分間行い、3 回目の sAA 測定値が記録された。最後に、被験者は海の砂浜の動画を前回と異なる Pattern A または Pattern B で 1 分 30 秒間視聴し、4 回目の sAA 測定値が記録された。

表 3.1. Pattern A と Pattern B の実験手順

Time (min)	Pattern A	Pattern B
0-3	Mental arithmetic	Mental arithmetic
3-4.5	1 <sup>st</sup> sAA measurement	1 <sup>st</sup> sAA measurement
4.5-6	One-screen projection	Two-screen projection
6-7.5	2 <sup>nd</sup> sAA measurement	2 <sup>nd</sup> sAA measurement
7.5-10.5	Mental arithmetic	Mental arithmetic
10.5-12	3 <sup>rd</sup> sAA measurement	3 <sup>rd</sup> sAA measurement
12-13.5	Two-screen projection	One-screen projection
13.5-15	4 <sup>th</sup> sAA measurement	4 <sup>th</sup> sAA measurement

この実験手続きでは、被験者に図 3.1 に示された位置に着席するよう指示し、投影中は自由に動き回ることができる説明を行った。

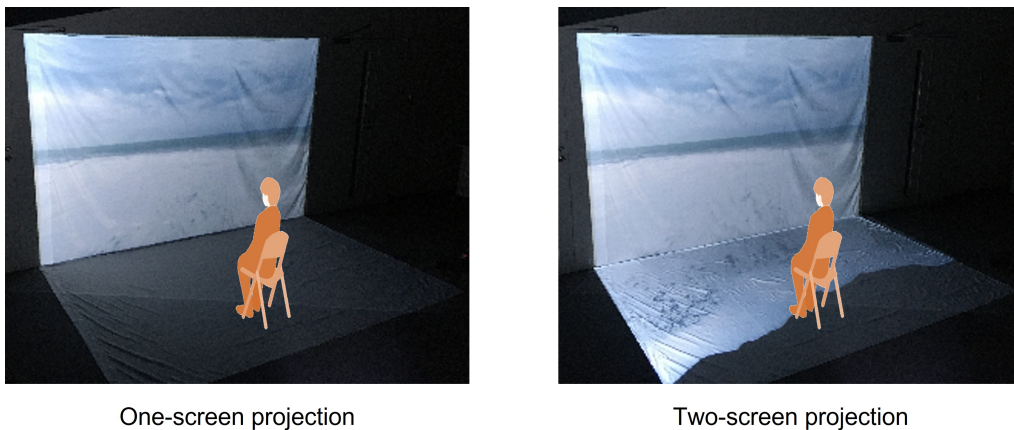


図 3.1. 1面投影と2面投影の実験

この着席位置は、図 2.1 に示す人間の視野角に応じた壁面と床面のスクリーン設定によって、高い没入感を得られる目線の高さや距離に基づく。投影中、被験者が動くことができるという条件には、座位以外の体位や歩行等を制限せず、自由度のある体験をしてもらう意図があった。さらに、2面投影システムにおける機器の設置と投影のスペースが実装に適しているという根拠を具現化するための設定を行った。被験者には、周囲の雑音による注意散漫を避けるために、ホワイトノイズが流れているヘッドホンを装着させ、視覚的に得られる情報に限定した。

実験は、被験者に割り当てられた番号が偶数か奇数かによって、15名ずつの Pattern A と Pattern B の2つのグループに分けられ、時間や環境に影響するバイアスが分散されるよう交互に実施し、最終的に自由記述を求めた。

### 3.1.5 分析方法

まず、1面投影後のsAA値から1面投影前のsAA値を差し引き、1面投影の視聴後に被験者のsAA値がどのように変化したのかを求めた。次に、2面投影後のsAA値から2面投影前のsAA値を差し引き、2面投影の視聴後に被験者のsAA値がどのように変化したのかを求めた。ここで、2面投影のストレス軽減効果を評価するために、1面投影と2面投影の視聴後に変化したsAA値の差を抽出した。

具体的には、計4回測定されたsAA値について、1面投影前 $a$ 、1面投影後 $a'$ 、2面投影前 $b$ 、2面投影後の $b'$ とした。1面投影後と1面投影前のsAA値の差を $a' - a = c_1$ 、2面投影後と2面投影前のsAA値の差を $b' - b = c_2$ 、2面投影と1面投影のsAA値の差を $c_2 - c_1 = c_3$ 、平均値あるいは順位平均値を $\bar{c}_3$ とした。データの正規性はKolmogorov-Smirnov検定とShapiro-Wilk検定を用いて評価し、対応のある差の $t$ 検定とWilcoxonの符号付順位検定を用いて分析した。

### 3.1.6 倫理的配慮

この実験は、群馬大学「人を対象とする医学系研究に関する倫理審査委員会」(HS2021-112)の承認を得て実施された。

### 3.1.7 実験結果

#### 被験者の特徴

被験者の平均年齢と平均睡眠時間を表3.2に示す。被験者全体の体調は良好であり、90.0%が2面投影を初めて経験した。

表 3.2. 被験者の特徴

被験者	平均年齢±標準偏差	平均睡眠時間±標準偏差
全体 (n=30)	27.7 ± 12.9 歳	6.7 ± 1.1 時間
Pattern A (n=15)	26.6 ± 10.7 歳	6.6 ± 1.1 時間
Pattern B (n=15)	28.7 ± 15.1 歳	6.7 ± 1.2 時間

#### 対応のある差の $t$ 検定によるsAAの分析

2面投影と1面投影のsAA値の差 $c_3$ のヒストグラムを図3.2に示す。 $\bar{c}_3$ は-16.83、分散は1346.28であった。

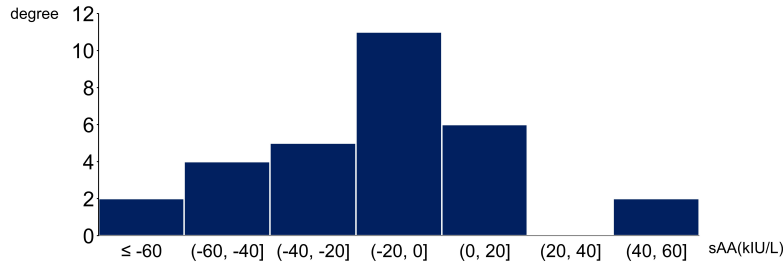


図 3.2. 2面投影と1面投影における sAA 値の差

Kolmogorov-Smirnov 検定の  $p$  値は 0.191, Shapiro-Wilk 検定の  $p$  値は 0.053 であった。これらの  $p$  値は 0.05 以上であることから,  $c_3$  の分布は正規分布とみなすことができる。したがって,  $c_3$  の正規性を仮定して,  $c_3$  が 0 より有意に小さいかどうかを評価するために  $t$  検定が実施された。この手続きは, 2面投影が1面投影と比較してストレス軽減により効果的であることを意味する。帰無仮説  $H_0$  は「1面投影と2面投影の間に sAA 値に差がない」とし, 2面投影によって sAA が減少しなかったことを示唆する。対立仮説  $H_1$  は「2面投影によって sAA 値に差が生じる」とし, 2面投影によって sAA が減少したことを示唆する。

2面投影と1面投影の sAA 値の対応のある差の  $t$  検定を行った結果,  $t$  値は -2.513(自由度 29),  $p$  値は 0.018( $< 0.05$ ) となり, 帰無仮説  $H_0$  は有意水準  $\alpha = 0.05$  で棄却された。したがって, 2面投影によって sAA は有意に減少したと結論づけることができる。

#### Wilcoxon の符号付順位検定による sAA の分析

2面投影と1面投影の sAA 値の差の正規性について, Shapiro-Wilk 検定では,  $p$  値が 0.05 に近い 0.053 であったことから, 分析の妥当性を確認するためのノンパラメトリック検定を行った。帰無仮説  $H_0$  と対立仮説  $H_1$  は, 対応のある差の  $t$  検定と同様に設定された。 $c_3$  の検定統計量は 108.5, 標準化検定統計量 -2.551 であったことに基づき,  $p$  値は 0.011( $< 0.05$ ) となった。その結果, 帰無仮説  $H_0$  は棄却され, 2面投影によって sAA が有意に減少することが示された。

#### 自由記述回答

- 1面投影後に2面投影を視聴した Pattern A
  - スクリーン下部の映像は, よりリアルで海にいるような臨場感があった
  - 2面投影がリラックスできた
  - 1面投影を見ている時は, 眠気を感じたが, 2面投影が始まると目が覚めた
- 2面投影後に1面投影を視聴した Pattern B
  - 2面投影では視界いっぱい海が広がり, 没入感のあるダイナミックな体験ができた
  - 2面投影では, 足に波が押し寄せる感覚をはっきりと感じた
  - 壁面だけの1面投影を見ると違和感を感じ, 不安な気持ちになった
  - 1面投影では, 何かを見せられているような感覚を強く覚えた



## 3.2 2面投影前後の比較検証

このセクションでは、2面投影前と2面投影後を比較するために、医療的ケア児、保護者、スタッフのストレスを軽減できるかどうかについて、主観的フィードバックによる指標を用いた実験から得た証拠を示す。なお、医療的ケア児へのsAAの採取は、彼らの脆弱性や機能的制限等の理由から安全上困難であり、倫理的配慮の観点からも意図的に実施しなかった。

2面投影によって得られる没入感の高い体験が、ストレスを軽減する小児看護の効果的なディストラクションとなるという仮説を実験的に検証するには、医療的ケア児とともに保護者の知見を得ることが重要である。保護者は、ストレスの多い日常生活で、「家族と一緒に外出や旅行をしたい」ことを希望し、看護の支援を求めている[2, 3]。そのため、保護者のニーズに対して、2面投影によるストレス軽減効果や体験を通じた反応を知る必要がある。さらに、医療的ケア児とその家族の日常をサポートするスタッフの視点は、医療的ケア児の楽しみや療育を受ける機会のない状況改善[3]のための重要な知見となる。

### 3.2.1 被験者の選定

#### 適格基準

適格基準は、多機能型通所介護施設を利用し、2022年12月から2023年4月の間で実験の参加に同意を得られた医療的ケア児9名、保護者3名、スタッフ12名の計24名の被験者である。

被験者に選定された医療的ケア児は、医療的ケア児及びその家族に対する支援に関する法律に基づき、日常生活及び社会生活を営むために恒常的に医療的ケアを受けることが不可欠である児童（18歳未満の者及び18歳以上の者であって高等学校等に在籍するもの）とした。医療的ケアとは、人工呼吸器による呼吸管理、喀痰吸引、その他の医療行為（気管切開、酸素療法、経管栄養の管理等）を示す。このように高い医療ニーズがあり、脆弱性、機能的制限を認める医療的ケア児[59]は、慢性的な身体・発達・行動・情緒に関わるリスクを抱える[2]。この実験では、年齢や機能的制限等の複雑性から属性を細分化することが困難であることを考慮し、医療的ケア児という1つの集団に設定した。

被験者には、医療的ケア児、保護者、スタッフ用の各ポスターを用いて実験の説明を行い、研究協力の意思があり、研究に参加できることを十分に確認した。実験への参加は、実験前日あるいは実験当日に説明文書による説明を行い、被験者から同意書を取得し、実験当日に被験者の体調が良好である判断を看護師が行うことを条件とした。

#### 除外基準

除外基準は、医療的ケア児、保護者、スタッフ用の各ポスターあるいは説明文書を用いた実験の説明に対して、実験への参加に意思がない者、同意書が取得されない者である。また、実験当日に医療的ケア児が通所サービスを利用する際、実験への参加が困難な状態であると判断

## 18 第3章 2面投影によるストレス軽減効果の検証

された者、乗り物酔いの症状が強く生じると予測される者を被験者から除外した。

### 中止基準

中止基準は、実験中に健康状態の変化や安全上の問題を認めた者、実験後に研究への同意撤回を申し出た者である。

### 3.2.2 実験における科学的合理性の根拠

目標サンプル数は、医療的ケア児 10 人、保護者 5 人、スタッフ 10 人、計 25 人とした。医療的ケア児は、施設サービスを利用している人数から、実験への参加意思や健康状態が良好であることを被験者の適格基準とした場合、データ収集が困難になる。また、保護者は施設を訪れる機会が少なく、同意取得の難しさが想定された。スタッフは、施設に従事する人数に基づいて、実験に参加する人数を見積もった。

本研究では、実証研究を実施することで得られる本質的な技術の要素について様々な知見を重要視している。2面投影は、準備時間と人員のコストを最小限に抑えつつ、病室を含む様々な環境での投影を可能にする。また、病室内の複数人のコミュニケーションを妨げず、機器やデバイスを装着することなく、没入型の視覚体験を提供できるという独自性がある。したがって、目標サンプル数が満たせない場合、あるいは統計的な有意性が示せない場合であっても、被験者全体や各被験者のストレス軽減効果、それぞれの体験を通じた反応から2面投影システムの特性を検討する。

### 3.2.3 KOKORO スケールによる測定

KOKORO スケールとは、理化学研究所によって開発された気分測定システムで人間の感情や気持ちの変化を数値化するものである。この尺度は、4象限マトリックスで構成され、横軸に Anxiety-Relief、縦軸に Lethargy-Motivation の4方向2次元空間の2軸気分尺度として定量化される [60, 61]。中心点を 0、横軸を -100 (Anxiety) ~ 100 (Relief)、縦軸を -100 (Lethargy) ~ 100 (Motivation) となる KOKORO スケールを図 3.3 に示す。

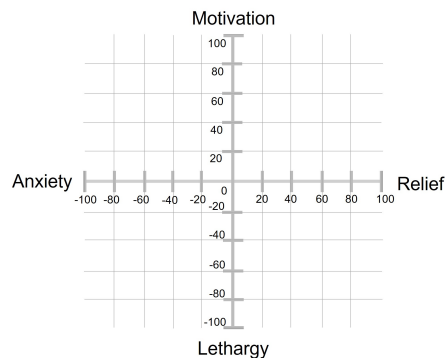


図 3.3. 人間の主観的感情を評価する KOKORO スケール

### 11段階のフェイススケール

この実験では、医療的ケア児が自分の感情を数値化するのに困難が生じる場合があることを想定した。そのため、彼らの理解度を高める配慮として、Faces Pain Scale-11 [62] をもとにした図 3.4 に示す馴染みのある表情から選択できる 11 段階のフェイススケールを作成した。なお、図 3.4 の上図 [62] は、Creative Commons BY-NC-SA 4.0 ライセンスに基づいて複製された。

この 11 段階のフェイススケールにより、KOKORO スケールにおける横軸の-100 (Anxiety) ~100 (Relief)、縦軸の-100 (Lethargy)~100 (Motivation) を表情に置き換え、医療的ケア児が自分の感情に近いものを視覚的に選択することが可能になる。

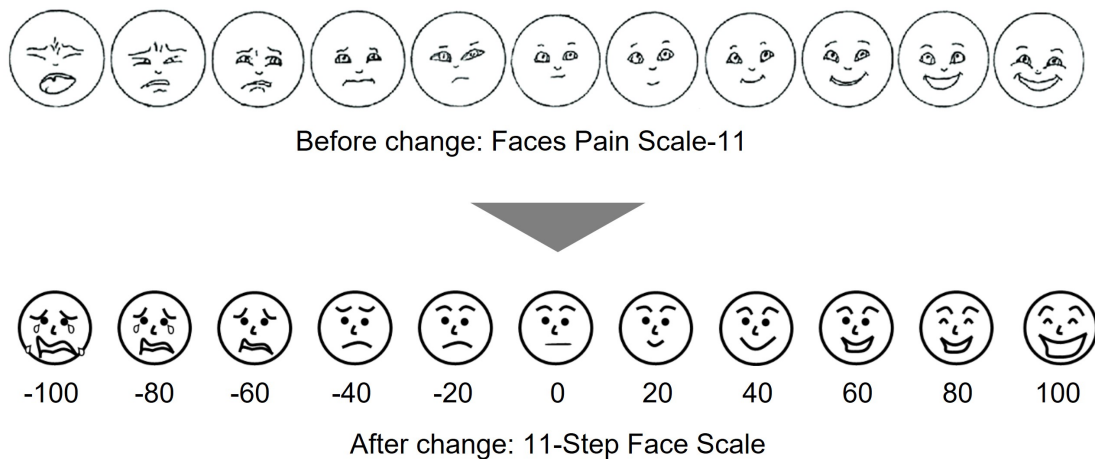


図 3.4. 医療的ケア児用に作成された 11 段階のフェイススケール

#### 3.2.4 実験手順

被験者の医療的ケア児には、平易な言葉で実験の手順を説明し、保護者やスタッフが必ず同席するよう配慮した。これらは、実験の理解に限界がある、あるいは意思疎通の難しい状態にある医療的ケア児の反応を、保護者やスタッフが測定に協力する重要な手続きであった。医療的ケア児が自分の感情を伝えられる場合は、11 段階のフェイススケールの中で最も当てはまる表情を選択し、そうでない場合は日常を良く知る保護者やスタッフが医療的ケア児の感情の変化を回答するように指示した。

被験者は、2 面投影前に 1 回目の KOKORO スケール測定を行い、2 面投影を 10 分間視聴した後、2 回目の KOKORO スケール測定を行った。この実験のタイムスケジュールを表 3.3 に示す。また、海の砂浜が 2 面投影されている実験の様子を図 3.5 に示す。

表 3.3. 2面投影前後の KOKORO スケール測定

Time	Pattern
0-1min	1 <sup>st</sup> KOKORO scale measurement
1-11min	Two-screen projection
11-12min	2 <sup>nd</sup> KOKORO scale measurement



図 3.5. 2面投影を視聴する被験者

### 3.2.5 分析方法

KOKORO スケール測定における Anxiety-Relief を 2面投影前  $d$ , 2面投影後  $d'$ , Lethargy-Motivation を 2面投影前  $e$ , 2面投影後  $e'$  とした. 2面投影後と 2面投影前の測定の差をそれぞれ  $d' - d = f_1$ ,  $e' - e = f_2$ , これらの順位平均値を  $\bar{f}_1$  と  $\bar{f}_2$  とし, Wilcoxon の符号付順位検定を用いて分析した.

### 3.2.6 倫理的配慮

この実験は, 群馬大学「人を対象とする医学系研究に関する倫理審査委員会」(HS2022-095) の承認を得て実施された.

### 3.2.7 実験結果

#### 被験者の特徴

医療的ケア児 9 名の平均年齢は  $5.22 \pm 2.64$  歳, 平均睡眠時間は  $8.36 \pm 1.03$  時間 (無回答 2 名) であった. 医療的ケア児は, 人工呼吸器, 気管切開, 酸素療法, 吸引, 吸入, 経管栄養, 排便管理, 発作管理等に関連するケアを受けていた. 医療的ケア児の保護者 3 名の平均年齢は  $37.67 \pm 1.53$  歳, 平均睡眠時間は  $7.67 \pm 0.58$  時間であった. スタッフ 12 名の平均年齢は

38.33 ± 7.44 歳，平均睡眠時間は 6.79 ± 1.16 時間であった。スタッフには看護師，助産師，理学療法士，作業療法士，介護士，保育士，児童指導員，管理職が含まれ，平均勤続年数は 8.40 ± 5.73 年であった。被験者全体の体調は良好であり，58.3 %のスタッフが疲れを感じていた。2面投影を初めて体験したと回答した被験者は，医療的ケア児 77.8 %，保護者 66.7 %，スタッフ 58.3 %であった。

### 2面投影前後の KOKORO スケール測定結果

2面投影前後の KOKORO スケールの Anxiety-Relief と Lethargy-Motivation の測定値を図 3.6 に示す。

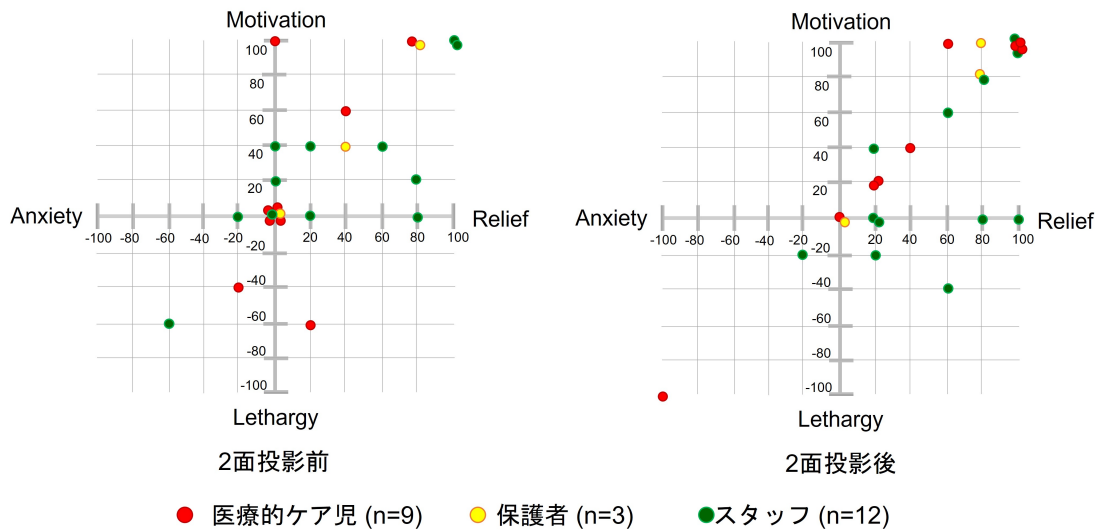


図 3.6. 2面投影の前後で測定された各被験者の KOKORO スケールの散布図

## Wilcoxon の符号付順位検定による KOKORO スケールの分析

サンプル数が限られていたことから、2面投影前後の差を調べるためにノンパラメトリック検定を採用した。2面投影中に啼泣していた医療的ケア児1名のデータは、Anxiety-ReliefとLethargy-Motivationの両者が2面投影後にそれぞれ100であった。この値は、Anxiety-ReliefとLethargy-Motivationのデータ分布において、第一四分位数の下端より小さく、他の観測値から大きく外れていたことにより、外れ値として慎重に判断した上で分析から除外した。

帰無仮説  $H_2$  は「2面投影の前後で Anxiety-Relief のスコアが等しい=2面投影は安心感を得られなかった」とし、対立仮説  $H_3$  は「2面投影によって Anxiety-Relief に差が生じた=2面投影によって安心感を感じた」とした。同様に、帰無仮説  $H_4$  は、「2面投影の前後で Lethargy-Motivation のスコアが等しい=2面投影によってワクワク感が高まらなかった」とし、対立仮説  $H_5$  は「2面投影によって Lethargy-Motivation に差が生じた=2面投影によってワクワク感が高まった」とした。さらに、帰無仮説  $H_2$  と  $H_4$  がともに棄却された場合、「2面投影によりストレス軽減効果が生じた」とした。各被験者の  $f_1$  と  $f_2$  の検定統計量、標準化検定統計量、両側検定による  $p$  値を表 3.4 に示す。

表 3.4. 2面投影前後の KOKORO スケール測定結果

被験者	$f_1$ (Anxiety-Relief)			$f_2$ (Lethargy-Motivation)		
	検定統計量	標準化検定統計量	$p$	検定統計量	標準化検定統計量	$p$
全体 (n=23)	120.0	3.438	0.001	83.5	1.990	0.047
医療的ケア児 (n=8)	21.0	2.207	0.027	15.0	2.032	0.042
保護者 (n=3)	3.0	1.342	0.180	1.0	1.000	0.317
スタッフ (n=12)	28.0	2.388	0.017	21.5	0.503	0.615

$f_1$  (Anxiety-Relief) では、被験者全体 ( $p < 0.01$ ), 医療的ケア児 ( $p < 0.05$ ), スタッフ ( $p < 0.05$ ) であったことから帰無仮説  $H_2$  が棄却された。同様に  $f_2$  (Lethargy-Motivation) では、被験者全体 ( $p < 0.05$ ), 医療的ケア児 ( $p < 0.05$ ) であったことから帰無仮説  $H_4$  が棄却された。したがって、帰無仮説  $H_2$  と  $H_4$  が棄却されたことにより、2面投影は、被験者全体、医療的ケア児のストレス軽減に効果的であると結論づけることができる。

$f_1$  (Anxiety-Relief) の帰無仮説  $H_2$  が棄却されなかったのは保護者 ( $p = 0.180$ ) であった。 $f_2$  (Lethargy-Motivation) の帰無仮説  $H_4$  が棄却されなかったのは保護者 ( $p = 0.317$ ) とスタッフ ( $p = 0.615$ ) であった。そのため、帰無仮説  $H_2$  と  $H_4$  が棄却されなかったことにより、2面投影が保護者とスタッフのストレス軽減に効果的であることは示されなかった。

## 2面投影を体験した各被験者の反応

2面投影を体験した各被験者の反応を図3.7に示す。

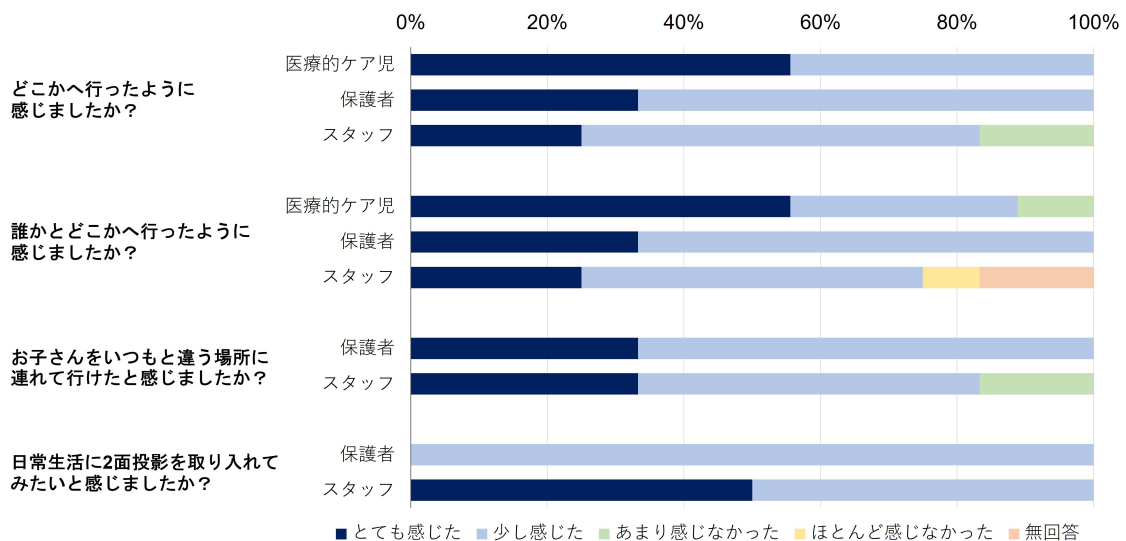


図 3.7. 2面投影を体験した各被験者の反応

医療的ケア児の約9割は、2面投影を再び体験したいと回答しており、「初めて見た時の不思議な感じを楽しめた」、「もっと長い時間見たかった」といったコメントがあった。また、投影開始時に一時的に脈拍が上がり、その後脈拍が下がったという報告や投影に没頭している間に声や表情が落ち着いたという回答が得られた。医療的ケア児と保護者からの要望として、動物園、水族館、遊園地、公園等の映像コンテンツが挙げられ、風のような感覚的要素を取り入れることで、さらに楽しい体験ができることが提案された。

スタッフからは、子どもたちが楽しんでいる姿を目の当たりにすることでリラックスでき、みんなで海で遊んでいるという感覚が得られたという。2面投影は外出できない、眠れない、興奮しやすい子どもや緩和ケアで子どもたちの心を癒す環境づくりに応用できるかもしれないといった意見があった。また、より鮮明な映像やテーマパークのコンテンツ、感覚器に働きかけられる演出をしてほしい等の要望も確認された。

### 3.3 考察

低コストで簡便な2面投影システムは、1面投影よりも健常な成人のストレス軽減に有効であることが明らかになった。追加の機器が不要で没入感を損なわない、複数人でのコミュニケーションが可能な2面投影は、投影前と比較して投影後の医療的ケア児のストレス軽減に有効であることが示された。これらの研究結果は、小児看護のディストラクションとして、2面投影が長期入院や行動制限を伴う医療的ケア児とその家族にとって理想的な新しいツールとなり得ることを示唆している。このセクションでは、これまでの実験で得られた知見を述べ、2面投影システムの意義について考察する。

健常な成人を対象とした実験では、2面投影は1面投影に比べてsAAを増加させにくく、sAAを減少させる可能性があることが示されたことから、2面投影はストレスを効果的に軽減させることが示唆される。これらは心理社会的ストレス時のsAAの低下によって証明される先行研究からも[56, 57]、2面投影のストレス軽減効果は支持される。また、被験者は2面投影は1面投影よりも現実的でダイナミックかつリラックスできると認識され、下部を連結した2面投影の後に1面投影を見た被験者は不安を感じたことが確認された。これらの知見は、第2章で示した2面投影の投影配置、投影範囲、投影方法が、人間の没入感を高めるのに適していることを裏付けた。特に、スクリーン下部の映像は、よりリアルで海にいるような臨場感があり、視界いっぱい海が広がりダイナミックな体験ができ、足に波が押し寄せる感覚をはっきりと感じ、1面投影より2面投影のほうが没入感を高めたといえる。つまり、これは没入感の高さに関連するとされているHFOV70度、VFOV90度が達成され[44]、強い視覚刺激を与える下部領域[51, 52, 53]の床面スクリーンが有効的に活用されたという証拠となる。

次の実験では、前回の実験でストレス軽減に効果が示された2面投影の前後に、KOKOROスケールを用いて医療的ケア児、保護者、スタッフの主観的評価を行った。2面投影後、医療的ケア児はAnxietyよりもReliefに、LethargyよりもMotivationに傾くことが確認された。このことから、2面投影後は2面投影前と比較して、医療的ケア児へのストレス軽減効果があることが示唆された。この結果は、医療的ケア児の自由回答を含め、2面投影による副交感神経刺激作用や爽快感を高めたことを示し、主観的効果と心臓自律神経調節との間に明確な相関がある先行研究と一致する[63, 64]。しかし、2面投影の没入感によって驚きや不快感を体験する医療的ケア児には十分に配慮することが必要であり、丁寧な説明に加えて投影される映像に慣れ親しんでもらう手続きが重要である。

スタッフは、2面投影後にAnxietyよりもReliefに傾き、Lethargy-Motivationの変化は2面投影前後で確認されなかった。また、保護者は2面投影の前後でAnxiety-ReliefとLethargy-Motivationともに変化は見られなかった。保護者やスタッフは、医療的ケア児よりも人生経験が豊富であったことが予想され、2面投影を客観的に捉える傾向があり、興味を引かれないと感じた部分があった可能性がある。また、今回の実験はサンプル数が少なく個人差も予想されるが、飽きずに興味を持続させることができるリアルタイム映像の提供を検討することも重要である。



本研究では、没入型デジタル環境を視覚的に再現する HMD[11, 12, 13] で問題視した双方向のコミュニケーションの実現という課題に対する解決策としても 2 面投影を提案した。この提案は、最近の Apple Worldwide Developers Conference 2023 [65] で発表された Apple Vision Pro でも実現が困難であったレベルの双方向性を促進する。医療的ケア児は、2 面投影を介して保護者やスタッフとの交流に楽しさを表現し、スタッフ自身も医療的ケア児の楽しそうな様子を目の当たりにしてリラックスした様子であった。スタッフからは、慢性的な不眠や焦燥感のある子ども、緩和ケアへの可能性についても言及され、2 面投影による看護支援の実用性が示唆された。2 つの実験で使用された海の砂浜のコンテンツは、自然環境と接する疑似体験が可能となり、ストレスや恐怖等 [66, 67, 68] のネガティブな感情が軽減され、ヒーリング効果が得られた可能性もある。これらの結果は、無菌室でのプロジェクションマッピング後の不安の減少について論じた先行研究 [39] と一致していることから、本研究で提案する 2 面投影システムは、効果的なストレス軽減が期待できると考えられる。さらに、この 2 面投影システムは機動性の向上や設営時間の短縮等、医療施設において多くのメリットを提供する可能性がある。

### 3.4 まとめ

この 3 章では、壁と床の両方に向けてプロジェクターを設置する 2 面投影システムを提案し、一般的な病棟で没入感の得られる映像投影が可能であることを定量的に実証した。2 面投影システムは、治療を受ける子どもたちのストレスを軽減するための理想的なツールであり、それぞれの治療状況や入院生活に合わせて没入感の高い体験を提供する。2 面に映像を投影するためのセットアップはシンプルでコスト効率に優れ、基本的な操作やレイアウトの知識があれば誰でも利用が可能である。

さらに、2 面投影がどのように双方向のコミュニケーションを促進するかの説明を行った。社会性の発達が阻害される環境に置かれている子どもたちにとって、2 面投影によって多様な環境を体験できることは大きなメリットである。これらは医療を受ける子どもとその家族が求める重要な看護支援であり、小児看護におけるディストラクションの創造的アプローチとして実践的な意義は大きい。しかし、2 面投影による双方向のコミュニケーションは、その場に参加している人同士に限定されてしまうことから、社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとしての実装は困難であり、彼らの社会性が育まれる環境構築への課題は残されている。

## 第 4 章

# リアルタイム 2 面投影システム

この章では、ストレス軽減効果が検証された 2 面投影に遠隔環境との交流を可能にする Telexistence 技術を追加し、社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとして期待されるリアルタイム 2 面投影システムの革新性について示す。

### 4.1 医療を受ける子どもの社会的つながり

人間には集団に属し意味のある社会的相互作用に参加したいという生得的な心理的衝動があり、この感覚は強固で長期的な対人関係の基盤であることが理論的に立証されている [69, 70]。また、社会的なつながりは、規範的な発達の軌跡の中心的な特徴であり、若者は重要な他者と関わることで支持される価値観を内面化し、意欲と能力を高める [71]。

入院中の 5 ヶ月から 16 歳までの子どもの追跡調査によると、脅威のない病院環境におけるニーズとして、活動、新しい経験、情報、参加、賞賛と承認、物理的資源の 6 つのカテゴリーが特定された [72]。一方、がんや心不全等の慢性疾患と診断されると、4~6 時間の学校生活を構成する社会的文脈から突然排除されることが報告されている [73]。デイケアセンターに通う子どもたちとは対照的に、週 1 回の治療を受けている白血病患者の子どもたちは遊びが少なく、社会的な遊びよりも反復的な一人遊びが多い傾向にあり、病院スタッフには子どもたちが遊べる機会を提供すると同時に、病気とそれに伴う感情的、認知的、身体的な困難への効果的な対処が求められている [74]。

小児医療において、特に看護師は子どもたちの自然な活動に配慮し、病気や寝たきりの状態であっても外部の友人、家族、学校と継続的に接触できるように、新しいソーシャルメディアネットワークを実践に組み込むことを重視している [75]。これらより、医療を受ける子どもが社会的なつながりを持ったための手段として、彼らのストレスを効果的に軽減できる VR 技術を応用した 2 面投影を小児看護に取り入れていく必要性と根拠がここにある。

## 4.2 2面投影の欠点

2面投影による没入体験は、医療的ケア児のストレス軽減効果を示し、施設の外にいるような非日常的な感覚とその体験を他者と共有できることが特徴であった。しかし、録画した海の波を繰り返し再生する2面投影の映像コンテンツは、その場で見ている人同士のコミュニケーションに限定され、社会的なつながりを実現するツールとしては不向きであった。また、この2面投影では視聴者が一定した映像コンテンツに飽き、遠隔地にいるという感覚に制約をかけてしまう欠点があった。これより、2面投影とリアルタイム2面投影を区別するため、これまでの2面投影は録画再生2面投影として扱う。

## 4.3 Telexistence

このセクションでは、人間にとって自然な空間と相互作用しながら自由な行動を可能にすることが期待されるテレグジスタンス (Telexistence) に着目する [76]。Telexistence とは、現在いる場所とは別の場所に存在している感覚を与え [77]、その場所で自由に行動できるようにする技術である [78, 79]。

AVATAREX の Telexistence システム [80] は、現実世界とその仮想的なレプリカ空間を同時に占有するユーザーを結びつける手段を提供し、仮想現実デバイスを装着したユーザーは、拡張現実デバイスを装着したユーザーよりも強い協同的な存在感をもたらす。Telexistence ウェアラブルロボットである Piton は、遠隔地にいる他のユーザーとの社会的なコミュニケーションを実現させるために、新しい場所への旅行、社交的な集まり等のシナリオを提供し、遠隔地の風景に没入することで相互作用や親近感が促進され、インタラクティブで楽しい経験になり得ることが報告された [81]。

近年では、Double 3[82] や GoBe ロボット [83] 等の典型的な商用ロボットに高い需要がある。OriHime[84] は、リアルタイムの映像と高音質の音声を組み合わせた移動に適したロボットで、福祉現場や通学、遠足等に活用されており、この実践例には、治療を受ける高校生が遠隔教育において、クラスメイトや教師とのコミュニケーションを図りながら継続的な学習を行い、退院後の学校生活に向けた準備に効果的であった [85]。No Isolation が製造した AV1[86] は、病気や治療のために学校に通えない子どもたちの孤独感を軽減し、家に閉じこもることの単調さを解消する。これは物理的な共存のコストをかけずにリアルタイムの参加を可能にするという意味で、エネルギー効率の高いインタラクションの形態を提供する [87]。具体的には、リアルタイムのインタラクションを通じて、アスペルガー症候群や高機能自閉症の子どもが肯定的あるいは期待される社会的行動を増加させる可能性があるとし、リアルタイム支援の必要性が強調されている [88]。

一方、このような相互作用は、他者とのコミュニケーションにおける社会的存在を促進する中、ロボットを介在させたコミュニケーションは人間らしさを減少させる可能性があることも報告されている [89]。実際、在宅患者は非言語的コミュニケーションに価値を見出したもの

の、リハビリテーションセンターのメンバーは OriHime に人間的な特徴がなく、直接的な言語コミュニケーションを好んだことが報告されている [90].

#### 4.4 リアルタイム2面投影システムの提案

Telexistence による様々な没入体験が存在する中、著者らがリアルタイム2面投影を提案する根拠は、リアルタイムの社会的相互作用を促進しながら [91], 病室を含む様々な環境でシンプルかつ費用対効果の高い投影を可能にすることである。特に、リアルタイムであることは、医療を受ける子どもたちが社会的文脈から突然排除されることなく [73], 彼らの意思を尊重し、その場で自由に参加できる権利を擁護する点で重要な意味を含む [4, 92]. コミュニティ支援ツールとなり得るこのポータブルソリューションは、病院や施設内の子どもとその家族、スタッフ間のコミュニケーションを妨げることなく、追加の機器を装着せずに没入感のある視覚体験をリアルタイムで提供する。この4章で提案するリアルタイム2面投影システムは、これまでの先行研究における既存の実装とは大きく異なる独自のアプローチとして革新的である。

#### 4.5 現地施設の投影方法

現地施設におけるリアルタイムの映像投影は、2章で提案した図2.2と図2.3を基本とし、機器やスクリーンサイズを定量的に設定した。4500mm × 3500mmの機器設置スペースに、遠隔地からの映像を受信するデスクトップPC、壁面プロジェクター、床面プロジェクターを設置した。このような投影配置により、現地施設の限られたスペースでリアルタイムの2つの映像を投影し、没入感が提供されることを図4.1に示す。

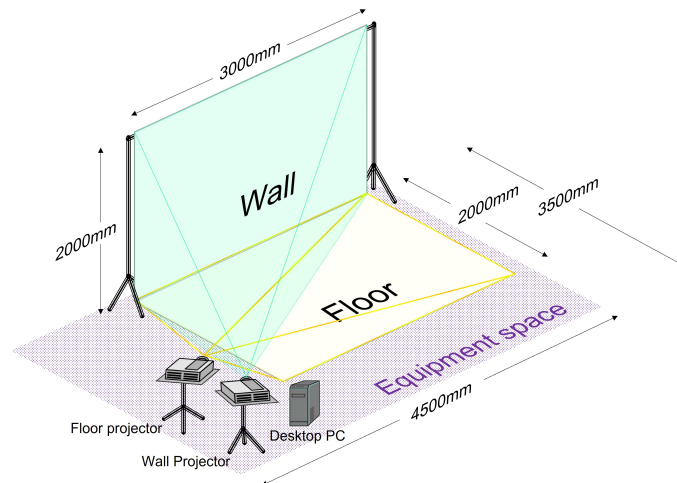


図 4.1. 現地施設におけるリアルタイム2面投影のレイアウト

## 4.6 遠隔地の撮影方法

遠隔地における撮影は、現地施設への映像配信専用 PC に 360 度カメラ (RICOH THETA V, THETA Z1) を接続し、360 度映像を Zoom[93] で配信する。撮影はロッドの先に 360 度カメラを取り付け、ロッドをスタンドで支えて実施したことを図 4.2 に示す。この撮影方法により、360 度カメラの境界線が壁面に投影されず、撮影者の映像が床面に投影されないことになる。



図 4.2. 360 度カメラによる遠隔地の撮影

遠隔配信環境では、モバイルルーターを設置して屋外に映像を配信し、インターネットに接続された現地施設が映像を受信する。図 4.3 に示すように、遠隔地の選択は水面が澄んで波打ち、木々が揺れ、池には鴨や鯉が泳いでいる場所とし、カメラを固定した時に被写体が自然に動くようなシチュエーションを検討した。現地施設から約 60km 離れた遠隔地は、日本有数の名所として知られていることから、著者らは 2023 年 11 月 26 日に観光協会から許可を得て撮影を行った。



図 4.3. 被写体が自然に動く遠隔地

## 4.7 現地施設と遠隔地のネットワーク

現地施設と遠隔地のネットワーク環境を図4.4に示す。

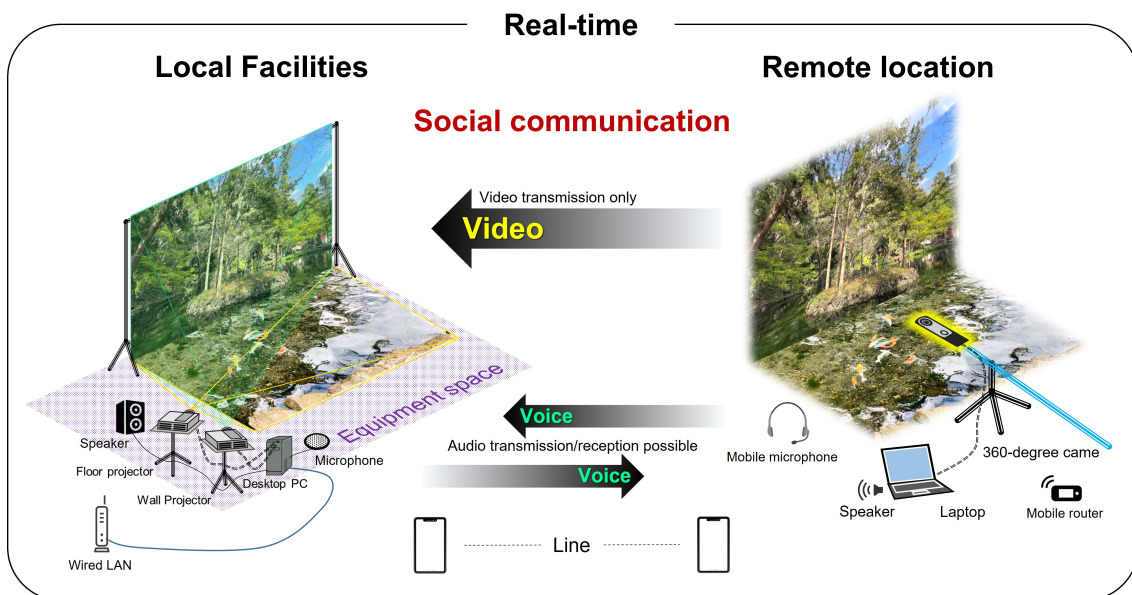


図4.4. リアルタイム2面投影のセットアップ

遠隔地からのライブストリーミングは、現地施設のデスクトップPCで受信し、Zoomクライアントによるフルスクリーンモードで画面に表示される。表示された360度画像は画角90度にトリミングし、壁面と床面のそれぞれのスクリーンに投影される。このトリミングは、デスクトップPCに表示された360度画像をWindows API(Application Programming Interface)の画面キャプチャ機能で取得し、OpenGLで処理された。現地施設と遠隔地はマイクとスピーカーを通じて音声で会話でき、一方、映像は遠隔地から現地施設に送信されるのみとなる。機器類を扱うスタッフ同士の情報交換は、スマートフォンで行われた。これらの手法によって、リアルタイムでの2面投影が可能となり、現地施設にいる人が遠隔地にいるような没入感を得ながら、遠隔地にいる人との社会的交流が実現される。

## 4.8 まとめ

これらより、リアルタイム2面投影システムは、病室や施設等の現地においての実現が可能であり、社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとなり得る。したがって、リアルタイム2面投影は小児看護の効果的なディストラクションとして新たなソーシャルメディアネットワークに追加できる有効な手法と考えられた。

## 第5章

# リアルタイム2面投影のストレス軽減効果とコミュニティ支援ツールの検証

この章では、リアルタイム2面投影前後の比較で、医療的ケア児、保護者、スタッフのストレスを軽減できるかどうかについて、主観的フィードバックによる指標を用いた実験から得た証拠を示す。また、リアルタイム2面投影後と録画再生2面投影後に共通した被験者におけるストレス軽減のデータに基づいた証拠を示す。さらに、社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとなり得るかどうかについて被験者の定性的評価から得た証拠を示す。

### 5.1 リアルタイム2面投影前後の比較検証

このセクションでは、リアルタイム2面投影前とリアルタイム2面投影後を比較するために、医療的ケア児、保護者、スタッフのストレスを軽減できるかどうかについて、主観的フィードバックによる指標を用いた実験から得た証拠を示す。

この実験についても、3.2のセクションで述べたように、医療的ケア児、保護者、スタッフのストレス軽減効果や体験を通じた反応は重要な知見である。特に、リアルタイム2面投影が、彼らの社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとして実装可能かどうかを評価するには、医療的ケア児、保護者、スタッフの3者の視点が必要である。

#### 5.1.1 被験者

被験者は多機能型通所介護施設を利用し、2024年1月から4月の間で実験に参加することへ同意した医療的ケア児12名、保護者3名、スタッフ9名の計24名である。被験者の選定および実験における科学的合理性の根拠は、3.2.1と3.2.2で詳述した通りである。

### 5.1.2 KOKORO スケールによる測定

この実験は、3.2.3 で論じた KOKORO スケールを用いてリアルタイム2面投影によるストレス軽減効果を測定した。

### 5.1.3 実験手順

被験者の医療的ケア児には、平易な言葉で実験の手順が説明され、保護者やスタッフが必ず同席するように配慮された。これまでの実験同様、医療的ケア児の理解に限界があること、意思疎通が困難であること等の特徴を加味した上で、保護者やスタッフが KOKORO スケールの測定に協力する手続きが必要であった。

被験者は、リアルタイム2面投影前に1回目の KOKORO スケール測定を行い、リアルタイム2面投影を20分間視聴した後、2回目の KOKORO スケール測定が行われた。タイムスケジュールを表5.1、実験の様子を図5.1に示す。

表 5.1. リアルタイム2面投影前後の KOKORO スケール測定

Time	Local Facilities	Remote location
0-1min	1 <sup>st</sup> KOKORO scale measurement	-
1-2min	Self-introduction	Self-introduction
2-3min	Ask questions to people in remote location. (e.g., location, weather, temperature.)	Answer questions from people at the local facility.
3-6min	Playing in pond water. (e.g., color, sound, coldness, pond patterns)	Conversing while bringing the scooped pond water closer to the camera.
6-10min	Playing with the fish in the pond. (e.g., Watching fish swim, touching fish food)	Conversing with pond fish while feeding them.
10-12min	Participants communicate with each other.	Move to a shooting position where the view is different from the current location.
12-15min	Playing in pond water. (e.g., color, sound, coldness, pond patterns)	Conversing while bringing the scooped pond water closer to the camera.
15-18min	Playing with the fish in the pond. (e.g., Watching fish swim, touching fish food)	Conversing with pond fish while feeding them.
18-19min	Farewell greeting.	Farewell greeting.
19-20min	2 <sup>nd</sup> KOKORO scale measurement	-





図 5.1. リアルタイム 2 面投影を視聴する被験者

#### 5.1.4 分析方法

KOKORO スケール測定における Anxiety-Relief をリアルタイム 2 面投影前  $g$ , リアルタイム 2 面投影後  $g'$ , Lethargy-Motivation をリアルタイム 2 面投影前  $h$ , リアルタイム 2 面投影後  $h'$  とした. リアルタイム 2 面投影後とリアルタイム 2 面投影前の測定の差をそれぞれ  $g' - g = i_1$ ,  $h' - h = i_2$ , これらの順位平均値を  $\bar{i}_1$  と  $\bar{i}_2$  とし, Wilcoxon の符号付順位検定を用いて分析した.

#### 5.1.5 倫理的配慮

この実験は, 群馬大学「人を対象とする医学系研究に関する倫理審査委員会」(HS2023-032) の承認を得て実施された.

#### 5.1.6 実験結果

##### 被験者の特徴

医療的ケア児 12 名の平均年齢は  $4.83 \pm 2.04$  歳, 平均睡眠時間は  $8.17 \pm 1.72$  時間 (無回答 6 名) であった. 医療的ケア児は, 人工呼吸器, 気管切開, 酸素療法, 吸引, 吸入, 経管栄養, 排便管理, 発作管理等に関連するケアを受けていた. 医療的ケア児の保護者 3 名の平均年齢は  $39.33 \pm 4.04$  歳, 平均睡眠時間は  $5.33 \pm 0.58$  時間であった. スタッフ 9 名の平均年齢は  $41.67 \pm 7.09$  歳, 平均睡眠時間は  $7.50 \pm 0.94$  時間であった. スタッフには看護師, 助産師, 理学療法士, 作業療法士, 保育士, 児童指導員が含まれ, 平均勤続年数は  $12.78 \pm 6.92$  年であった. 被験者全体は, 体調が良好であり, リアルタイム 2 面投影を初めて体験したと回答した. リアルタイム 2 面投影投影前の疲労は, 医療的ケア児 9.1%, 保護者 66.7%, スタッ

フ 33.3 %に対し、リアルタイム2面投影投影後は医療的ケア児 18.1 %、保護者 100.0 %、スタッフ 12.5 %であった。

### リアルタイム2面投影前後の KOKORO スケール測定結果

リアルタイム2面投影前後の KOKORO スケールの Anxiety-Relief と Lethargy-Motivation の測定値を図 5.2 に示す。

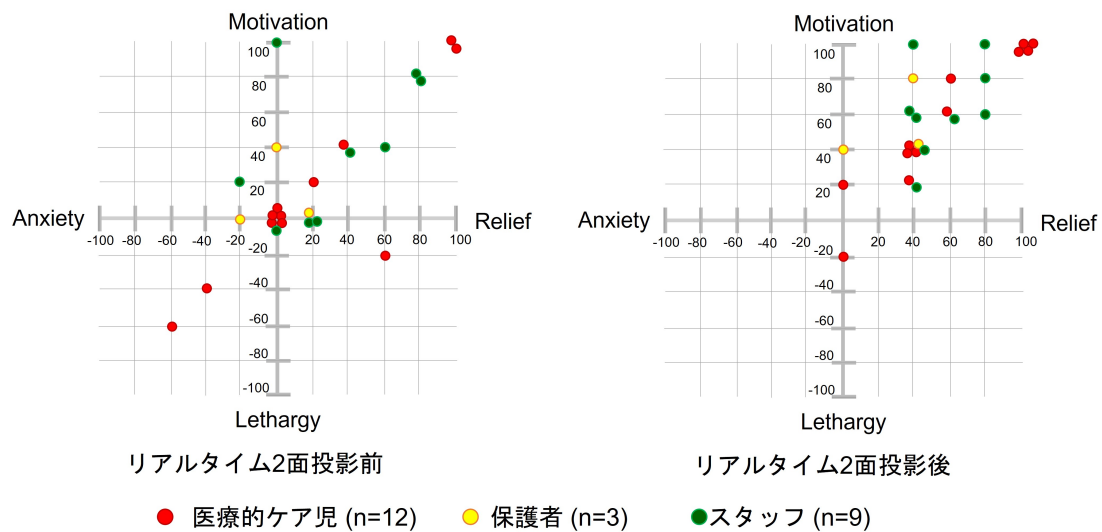


図 5.2. リアルタイム2面投影の前後で測定された各被験者の KOKORO スケールの散布図

### Wilcoxon の符号付順位検定による KOKORO スケールの分析

サンプル数が限られたことから、リアルタイム2面投影前後の差を調べるためにノンパラメトリック検定を採用した。

帰無仮説  $H_6$  は「リアルタイム2面投影の前後で Anxiety-Relief のスコアが等しい＝リアルタイム2面投影は安心感を得られなかった」とし、対立仮説  $H_7$  は「リアルタイム2面投影によって Anxiety-Relief に差が生じた＝リアルタイム2面投影によって安心感を感じた」とした。同様に、帰無仮説  $H_8$  は、「リアルタイム2面投影の前後で Lethargy-Motivation のスコアが等しい＝リアルタイム2面投影によってワクワク感が高まらなかった」とし、対立仮説  $H_9$  は「リアルタイム2面投影によって Lethargy-Motivation に差が生じた＝リアルタイム2面投影によってワクワク感が高まった」とした。さらに、帰無仮説  $H_6$  と  $H_8$  がともに棄却された場合、「リアルタイム2面投影によりストレス軽減効果が生じた」とした。各被験者の  $i_1$  と  $i_2$  の検定統計量、標準化検定統計量、両側検定による  $p$  値を表 5.2 に示す。

表 5.2. リアルタイム 2 面投影前後の KOKORO スケール測定結果

被験者	$i_1$ (Anxiety-Relief)			$i_2$ (Lethargy-Motivation)		
	検定統計量	標準化検定統計量	$p$	検定統計量	標準化検定統計量	$p$
全体 (n=24)	190.0	3.879	< 0.001	190.0	3.897	< 0.001
医療的ケア児 (n=12)	45.0	2.694	0.007	45.0	2.716	0.007
保護者 (n=3)	6.0	1.633	0.102	6.0	1.732	0.083
スタッフ (n=9)	28.0	2.414	0.016	28.0	2.414	0.016

$i_1$  (Anxiety-Relief) では、被験者全体 ( $p < 0.001$ ), 医療的ケア児 ( $p < 0.01$ ), スタッフ ( $p < 0.05$ ) であったことから帰無仮説  $H_6$  が棄却された。同様に  $i_2$  (Lethargy-Motivation) では、被験者全体 ( $p < 0.001$ ), 医療的ケア児 ( $p < 0.01$ ), スタッフ ( $p < 0.05$ ) であったことから帰無仮説  $H_8$  が棄却された。したがって、帰無仮説  $H_6$  と  $H_8$  が棄却されたことにより、リアルタイム 2 面投影は、被験者全体、医療的ケア児、スタッフのストレス軽減に効果的であると結論づけることができる。

保護者の  $i_1$  (Anxiety-Relief) における帰無仮説  $H_6$  は棄却されず ( $p = 0.102$ ),  $i_2$  (Lethargy-Motivation) の帰無仮説  $H_8$  も棄却されなかった ( $p = 0.083$ )。そのため、 $H_6$  と  $H_8$  が棄却されなかったことにより、リアルタイム 2 面投影が保護者のストレス軽減に効果的であることは示されなかった。

### リアルタイム 2 面投影を体験した各被験者の反応

リアルタイム 2 面投影を体験した各被験者の反応を図 5.3 に示す。

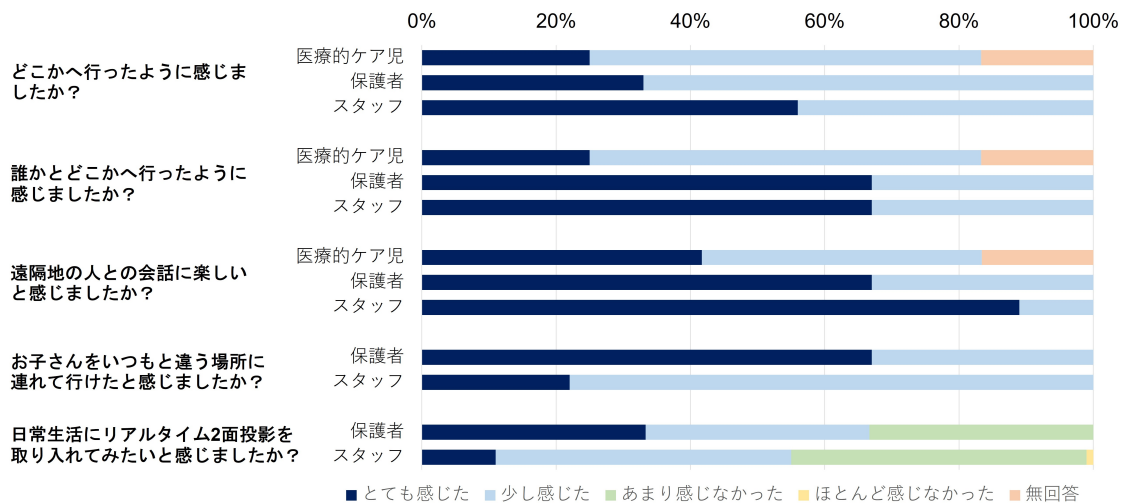


図 5.3. リアルタイム 2 面投影を体験した各被験者の反応

無回答を除く医療的ケア児と保護者の回答者全員がリアルタイム 2 面投影を再び体験したいと回答した。スタッフが医療的ケア児を観察したところ、「質問に答えるのが難しい医療的ケ

ア児はリラックスしており、咳もなく呼吸状態も良かった」と回答した。保護者からは「映像を投影するだけでなく、リアルタイムでつながることで、その場にいるような感覚になった」、「我が子は水の中にいるような感覚を楽しんでいるようだった」等の反応があった。

スタッフからは「実際に外に出られるような気がした」、「遠隔地の人と話ができワクワクして、リラックスもできた」、「指示したことを行ってくれるので、一緒に参加している感じがして楽しかった」等の反応があった。また、「リアルタイム2面投影で医療的ケア児の反応が良かったので、遠出ができない、落ち着かない医療的ケア児にも良い影響があるのではないか」、「医療現場で嫌な思いをした子どもたちがそのことを忘れられるように活用してはどうか」等の提案が挙げられた。

## 5.2 リアルタイム2面投影と録画再生2面投影の比較検証

このセクションでは、リアルタイム2面投影と録画再生2面投影を比較するために、これまでの実験で得られたデータに基づき、医療的ケア児、スタッフのストレス軽減効果についての証拠を示す。

### 5.2.1 被験者

被験者は多機能型通所介護施設を利用し、2022年12月から2023年4月までと2024年1月から4月までの間で実験に参加することへ同意した医療的ケア児5名、スタッフ7名の計12名である。

### 5.2.2 測定方法

この実験は、リアルタイム2面投影と録画再生2面投影の両者の実験に参加したことのある被験者を選定し、リアルタイム2面投影と録画再生2面投影のストレス軽減効果に違いがあるかどうかを検証するために実施された。

まず、ストレス軽減に効果があると検証された録画再生2面投影に参加した被験者のKOKOROスケール結果から外れ値を除いたデータを用いた。次に、リアルタイム2面投影のKOKOROスケール結果からも同様の被験者を除外した。なお、リアルタイム2面投影と録画再生2面投影の両者の実験に参加したことのある保護者はいなかった。

### 5.2.3 分析方法

リアルタイム2面投影のKOKOROスケール測定では、Anxiety-Reliefを投影前 $j$ 、投影後 $j'$ 、Lethargy-Motivationを投影前 $k$ 、投影後 $k'$ 、投影前後の差をそれぞれ $j' - j = o_1$ 、 $k' - k = o_2$ とした。また、録画再生2面投影のKOKOROスケール測定では、Anxiety-Reliefを投影前 $l$ 、投影後 $l'$ 、Lethargy-Motivationを投影前 $m$ 、投影後 $m'$ とし、投影前後の差をそれぞれ $l' - l = o_3$ 、 $m' - m = o_4$ とした。ここで、リアルタイム2面投影と録画再生2面

投影の差を  $o_1 - o_3 = q_1$ ,  $o_2 - o_4 = q_2$ , これらの差の順位平均値を  $\bar{q}_1$ ,  $\bar{q}_2$  とし, 各被験者を Wilcoxon の符号付順位検定を用いて分析した.

#### 5.2.4 倫理的配慮

この実験は, 群馬大学「人を対象とする医学系研究に関する倫理審査委員会」(HS2023-032, HS2022-095) の承認を得て実施された.

#### 5.2.5 実験結果

##### 被験者の特徴

医療的ケア児 5 名の平均年齢は  $5.60 \pm 1.14$  歳, 平均睡眠時間は無回答者 3 名を除き  $8.50 \pm 0.71$  時間 (リアルタイム 2 面投影), 無回答者 2 名を除き  $8.00 \pm 1.00$  時間 (録画再生 2 面投影) であった.

スタッフ 7 名の平均年齢は  $39.57 \pm 5.65$  歳, 平均睡眠時間は  $7.35 \pm 0.85$  時間 (リアルタイム 2 面投影),  $7.21 \pm 1.22$  時間 (記録再生 2 面投影) であった. スタッフは看護師, 助産師, 理学療法士, 作業療法士で構成され, 平均勤続年数は  $11.86 \pm 7.69$  年であった.

##### リアルタイムと録画再生の 2 面投影前後における KOKORO スケール測定結果

リアルタイムと録画再生の 2 面投影前後における KOKORO スケールの測定値を図 5.4 に示す.

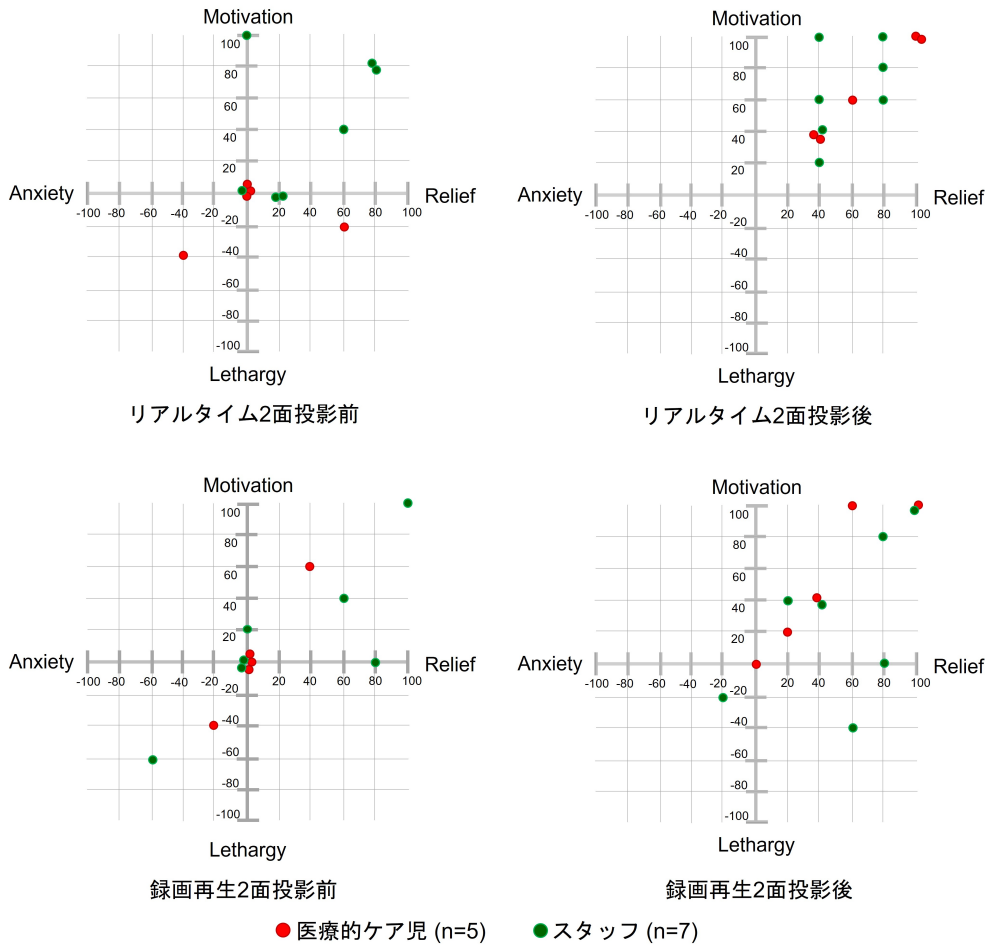


図 5.4. リアルタイムと録画再生の2面投影の前後で測定された各被験者の KOKORO スケールの散布図

### Wilcoxon の符号付順位検定による KOKORO スケールの分析

サンプル数が限られたことから、リアルタイムと録画再生の2面投影によるストレス軽減効果の違いを調べるためにノンパラメトリック検定を採用した。

帰無仮説  $H_{10}$  は「リアルタイム2面投影と録画再生2面投影で Anxiety-Relief のスコアが等しい＝リアルタイム2面投影は録画再生2面投影よりも安心感を得られなかった」とし、対立仮説  $H_{11}$  は「リアルタイム2面投影と録画再生2面投影では Anxiety-Relief のスコアに差が生じた＝リアルタイム2面投影は録画再生2面投影よりも安心感を感じた」とした。同様に、帰無仮説  $H_{12}$  は「リアルタイム2面投影と録画再生2面投影で Lethargy-Motivation のスコアが等しい＝リアルタイム2面投影は録画再生2面投影よりもワクワク感が高まらなかった」とし、対立仮説  $H_{13}$  は「リアルタイム2面投影と録画再生2面投影では Lethargy-Motivation のスコアに差が生じた＝リアルタイム2面投影は録画再生2面投影よりもワクワク感が高まった」とした。さらに、帰無仮説  $H_{10}$  と  $H_{12}$  がともに棄却された場合、「リアルタイム2面投

影は録画再生 2 面投影よりストレス軽減効果が生じた」とした。各被験者の  $q_1$  と  $q_2$  の検定統計量，標準化検定統計量，両側検定による  $p$  値を表 5.3 に示す。

表 5.3. リアルタイムと録画再生の 2 面投影前後の KOKORO スケール測定結果

被験者	$q_1$ (Anxiety-Relief)			$q_2$ (Lethargy-Motivation)		
	検定統計量	標準化検定統計量	$p$	検定統計量	標準化検定統計量	$p$
全体 (n=12)	17.0	-0.660	0.509	14.5	-1.338	0.181
医療的ケア児 (n=5)	2.0	-1.511	0.131	2.5	-1.355	0.176
スタッフ (n=7)	6.5	0.552	0.581	6.0	-0.412	0.680

$q_1$  (Anxiety-Relief) では，被験者全体 ( $p = 0.509$ )，医療的ケア児 ( $p = 0.131$ )，スタッフ ( $p = 0.581$ ) であり，帰無仮説  $H_{10}$  は棄却されなかった。同様に  $q_2$  (Lethargy-Motivation) では，被験者全体 ( $p = 0.181$ )，医療的ケア児 ( $p = 0.176$ )，スタッフ ( $p = 0.680$ ) であり，帰無仮説  $H_{12}$  は棄却されなかった。これらの結果は， $H_{10}$  と  $H_{12}$  が棄却されなかったことにより，リアルタイム 2 面投影が録画再生 2 面投影よりもストレス軽減に効果的であることは示されなかった。

## 5.3 考察

リアルタイム 2 面投影は，リアルタイム 2 面投影前よりもリアルタイム 2 面投影後のほうが，医療的ケア児とスタッフのストレスレベルを軽減する効果があることが明らかとなった。定性的評価に基づく参加者の反応によると，リアルタイム 2 面投影はあたかも遠隔地にいるかのような没入感を維持しながら，遠隔地にいる人々との社会的交流を促す有望なコミュニティ支援ツールとなる可能性が示された。これらの知見は，小児看護のディストラクションとして革新的であり，Telexistence 技術を追加したリアルタイム 2 面投影が長期入院や行動制限を経験する医療を受ける子どもとその家族にとって理想的な新しいツールとなることを示唆している。このセクションでは，これまでの実験で得られた知見を詳述し，リアルタイム 2 面投影システムの意義について考察する。

まず，すでにストレス軽減効果が示されている録画再生 2 面投影に Telexistence 技術を追加したリアルタイム 2 面投影を使用し，その前後に KOKORO スケールを用いた医療的ケア児，保護者，スタッフの主観的評価を行った。リアルタイム 2 面投影後，医療的ケア児，スタッフは Anxiety よりも Relief に，Lethargy よりも Motivation に傾くことが確認された。

一方，リアルタイム 2 面投影後の保護者は，Anxiety-Relief と Lethargy-Motivation とともに変化は見られなかったが，録画再生 2 面投影よりも Anxiety-Relief と Lethargy-Motivation のスコアが有意水準 5 % に近づき，ストレス軽減効果が期待できることが示唆された。定性的評価を考慮すると，この実験では保護者のサンプル数が少ないことが有意差の有無に影響していることが予想されるため，サンプル数を増やして再実験を行うことが必要になる。

定性的評価では，リアルタイム 2 面投影が，誰かと一緒に遠隔地に行ける感覚や遠隔地の

人と会話する楽しさをもたらし、リアルタイムだからこそ可能な社会的交流を促進することが示唆された。特に、その場にいるような感覚になったという保護者、遠出ができず落ち着かない医療的ケア児にも良い影響があるかもしれないというスタッフは、両者とも共通してリアルタイムであることの重要性が回答されていた。リアルタイム2面投影によって、現地施設にいる人たちの要望が遠隔地にいる人に届き、彼らがその要望にリアルタイムで応え、現地施設にいる人たちに楽しみや喜びをもたらした今回の結果は、人間が自然な空間と対話しながら自由に行動できるという Telexistence[76, 78] の概念が部分的に実現されたと考えられる。これらより、リアルタイム2面投影は社会的相互作用に参加しようとする生得的な心理的衝動 [69, 70] や社会とのつながりから発達しようとする子どもの特性 [71] を促進する可能性があるといえる。

次に、リアルタイム2面投影と録画再生2面投影の両者の実験に参加したことのある医療的ケア児とスタッフを選定し、リアルタイム2面投影と録画再生2面投影のストレス軽減効果の差について分析を行った。これらの実験において、リアルタイム2面投影と録画再生2面投影では、医療的ケア児とスタッフともに Anxiety-Relief と Lethargy-Motivation の変化は見られなかった。表3.4と表5.2の比較から、リアルタイム2面投影は録画再生2面投影よりもストレス軽減効果が高い傾向にあることが示唆されたが、両者ともにVRの2面投影による没入感を得られたという点で安心感やワクワク感が生じ、その結果、ストレス軽減効果をもたらしたと推測される [94]。リアルタイム2面投影と録画再生2面投影の比較では、Anxiety-Relief と Lethargy-Motivation ともに明らかな有意差は認められなかったが、医療的ケア児はスタッフよりも有意水準5%未満に近い値であることがわかり、リアルタイム2面投影は録画再生2面投影とは異なる特性を持っていることが示唆された。

筆者らは、録画再生2面投影の欠点であった、繰り返し再生される映像コンテンツへの飽き、その場にいる人に限定されたコミュニケーション、社会的交流を促すことの難しさ等の解決策として、コミュニティ支援ツールとなり得るリアルタイム2面投影の提案を行った。この Telexistence に基づく提案は、社会的文脈から突然排除された慢性疾患 [94] や長期入院児のためのソーシャルメディアネットワーク [75] の拡大を促すものである。リアルタイム2面投影は、入院への心理的適応と患者のQOLを支援するために没入型VR介入を臨床的に利用する [95] 方法の1つとして革新的であり、病気とそれに伴う感情的・身体的困難を抱える子どものケアアプローチ [74] として有用である可能性が高い。

リアルタイム2面投影は、効果的な小児看護のディストラクションや社会的交流の機会を提供できるコミュニティ支援ツールとしての利点がある一方、インターネット環境の改善や高解像化の課題が残る。また、医療的ケア児や保護者のサンプル数が少なく、VRの受容性や満足度が高いとされる入院患者の保護者を対象とした先行研究 [95] との比較は行われていない。今後は病院で治療を受ける子どもやその家族、医師、看護師等の専門スタッフへのリアルタイム2面投影の有用性を調査し、実際の医療現場での実施が可能なシステムの改善を図っていく必要がある。



## 5.4 まとめ

この5章では、録画再生2面投影に Telexistence 技術を追加したリアルタイム2面投影システムを提案し、このシステムが医療的ケア児の利用する施設で社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとなり得ることを量的および定性的に実証した。リアルタイム2面投影は、離れた場所にいる人とのコミュニケーションを図り、リアルタイムでの社会的没入体験が得られることから、小児看護のディストラクションとしての実用性に優れている特徴を持ち、医療を受ける子どものストレスを軽減する理想的な方法としての社会実装が期待される。これは、社会的孤立を経験している子どもや長期療養中の子ども、その家族の思いにこたえる看護支援の重要な意味を含む。

将来的には、リアルタイム2面投影の機能を向上させると同時に、嗅覚や触覚等の感覚器への刺激を重視することで、さらなる没入体験とともにソーシャルメディアネットワークの拡充を図っていく。また、リアルタイム2面投影の小児看護におけるディストラクションの創意工夫としての構想では、病室を馴染みのある自宅環境にセットして家族やペットとの交流を楽しんだり、病院や施設にいながらスタッフと一緒に海外旅行をしている感覚が提供できること等を目指している。さらに、高齢者が利用する介護施設のエンターテインメントや終末期へのケアアプローチとして QOL を高めるための看護支援への応用も検討したい。

## 第6章

# 結論

### 6.1 本論文で議論した内容

本論文では、次の内容について述べた。

まず、医療を受ける子どもとその家族について説明し、その課題として、彼らは日常的にストレスを抱え、限られたコミュニティで生活している現状を指摘した。また、一般的な家庭で当たり前に行われていることができない状況改善に看護支援が求められたことを指摘した。小児看護では、子どもたちのストレスを軽減する方法としてディストラクションが実践され、これをVRと組み合わせることでさらなるストレス軽減効果が期待できることを説明した。

次に、VRディストラクションについて述べ、その課題として、ウェアラブル没入型ディスプレイでは双方向のコミュニケーションが困難になり、身体や心理的リスクを招くことを指摘した。また、空間ディスプレイでは大規模でコストのかかる映像環境が必要になることを指摘した。そこで、複数人のコミュニケーションを妨げない、機器を装着しない、簡単に準備できる、病室で没入感のある視覚体験ができるという2面投影システムを提案した。また、このシステムが人間の視野角に基づいた定量的な機器配置で、限られた空間に没入体験の要件を満たすことについて説明した。

2面投影と1面投影を比較するために、健康な成人のストレスを軽減できるかどうかを人間の生理学的な指標となるsAA値を用いて実験した。被験者をPattern AとPattern Bの2つのグループに分け、複数のステップからなる手続きに基づいて実験が行われた。その結果、2面投影は1面投影に比べてsAA値を増加させにくく、sAA値を減少させる可能性を確認した。2面投影は客観的フィードバックによってストレス軽減効果があることを示した。

2面投影前と2面投影後を比較するために、医療的ケア児、保護者、スタッフのストレスを軽減できるかどうかを人間の感情変化で数値化するKOKOROスケールを用いて実験した。10分間の2面投影の前後でKOKOROスケールを測定する手続きに沿って実験が行われた。その結果、2面投影後は2面投影前に比べて医療的ケア児の安心感とワクワク感が高める可能性を確認した。2面投影は主観的フィードバックによってもストレス軽減効果があることを示した。

海の砂浜が映像コンテンツである録画再生2面投影の課題について考察した。その場で見て

いる人同士のコミュニケーションに限定される，社会的なつながりを実現するには不向きである，一定の映像コンテンツに飽きる，遠隔地にいる感覚に制約をかけるという欠点がわかった．そこで，人間にとって自然な空間と相互作用しながら自由な行動を可能にする Telexistence 技術を取り入れ，社会的交流を促すためのコミュニティ支援ツールとなり得るリアルタイム 2 面投影システムを提案した．リアルタイム 2 面投影システムを実現するための現地施設での投影，遠隔地の撮影，2 つの地点のネットワークを構築する必要性について説明した．

リアルタイム 2 面投影前とリアルタイム 2 面投影後を比較するために，医療的ケア児，保護者，スタッフのストレスを軽減できるかどうかを KOKORO スケールを用いて実験した．20 分間のリアルタイム 2 面投影の前後で KOKORO スケールを測定する手続きに沿って実験が行われた．その結果，リアルタイム 2 面投影後は，リアルタイム 2 面投影前に比べて医療的ケア児とスタッフの安心感とワクワク感を高める可能性を確認した．リアルタイム 2 面投影は主観的フィードバックによってストレス軽減効果があることを示した．

リアルタイム 2 面投影と録画再生 2 面投影を比較するために，両者に参加した被験者を選定してストレス軽減効果について分析した．その結果，リアルタイム 2 面投影は，録画再生 2 面投影に比べて医療的ケア児とスタッフのストレス軽減に効果的であることを示さなかったが，録画再生 2 面投影とは異なる特性を持つことを確認した．

以上の議論から，

- 理想的な小児看護のディストラクションに 2 面投影システムが適していること
- 医療を受ける子どものストレス軽減効果とコミュニティ支援ツールにリアルタイム 2 面投影システムが適していること
- リアルタイム 2 面投影システムは，多様な状況に合わせて活用することで，将来的には保健・医療・福祉サービスを必要とする人々の QOL 向上に貢献できる可能性があると考えられることが示せた．

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、次の方々には大変お世話になりました。ここにお礼申し上げます。

まずは、本研究にご協力いただきましたお子様、保護者様、スタッフの方々、教職員の方々、学生の方々に心より感謝申し上げます。重ねて、プラスエヌ代表取締役の野口和恵様、作業療法士の高橋祐貴様のご配慮に大変感謝いたします。

奥寛雅教授には、光学系の基礎から応用まで幅広いご指導をいただき、2面投影の着想に至る研究のチャンスを与えていただきました。医療を受ける子どもとその家族への看護に向けて新たな課題に挑戦する私の思いもご理解くださり、博士の道を耐え忍ぶ実行力と研究の推進に欠かせないユーモアをプレゼントしていただきました。濃密な時間を過ごさせていただいた感謝とともに、研究者として敬意を表します。金泉志保美教授には、この研究を小児看護の観点から洞察いただき、計画が滞りなく進められるよう多くのサポートをいただきました。三菱電機の船戸優希氏と、博士前期課程2年の岡田恵里佳氏は、2面投影のプログラム作成や実験の実施、さらに私の細かな要望まで快く引き受けてくれました。足利大学の橋本哲准教授は、私にとって難易度の高かった理数系の問題をとても丁寧に教えてくださいました。心より感謝申し上げます。

北の大地からのエールも、私にとっての大切な原動力でした。日本医療大学の照井レナ教授には、私が修士課程に在籍している時からいつも激を飛ばしていただき、当時のご縁を今でも続けられることにとても感謝しています。旭川市立大学の渡邊友香准教授には、医療的ケア児に関する研究プロジェクトで多くのチャンスとお知恵をいただきました。

最後に親愛なる家族へ。私の健康を気遣い、手料理をふるまってくれた母にお礼を伝えます。そして、大学院生と社会人の冒険的な生活をいつも応援してくれていた妻と子どもたちに、感謝の気持ちを込めてありがとうを贈ります。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省政策統括官付政策評価官室 アフターサービス推進室. 医療的ケアが必要な子どもと家族が, 安心して心地よく暮らすために. 厚生労働省, pages 4–16, 2018.
- [2] M. McPherson, H. Fox P. Arango, C. Lauver, M. McManus, P. W. Newacheck, J. M. Perrin, J. P. Shonkoff, and B. Strickland. A new definition of children with special health care needs. *Pediatrics*, 102(1):137–139, 1998.
- [3] 厚生労働省 令和元年度障害者総合福祉推進事業. 医療的ケア児者とその家族の生活実態調査報告書. 厚生労働省, pages 69–85, 2020.
- [4] H. Ogihara. Nursing studies a path to success: Pediatric nursing for appropriate healthcare environment based on united nations convention on rights of child. *IntechOpen*, pages 155–174, 2024.
- [5] H. Ogihara. Development and validation of the distracting ingenuity promotion scale for paediatric nurses to support the psychological outcomes of paediatric patients and their families: A survey based cross sectional cohort study. *Nursing Open*, 9(3):1653–1666, 2022.
- [6] H. Rheingold. *Virtual Reality*. Summit Books, New York, 1991.
- [7] K. A. Birnie, Y. Kulandaivelu, L. Jibb, P. Hroch, K. Positano, S. Robertson, F. Campbell, O. Abla, and J. Stinson. Usability testing of an interactive virtual reality distraction intervention to reduce procedural pain in children and adolescents with cancer. *Journal of Pediatric Oncology Nursing*, 35(6):406–416, 2018.
- [8] G. O. Gerçeker, M. Bektaş, Y. Aydinok, H. Ören, H. Ellidokuz, and N. Olgun. The effect of virtual reality on pain, fear, and anxiety during access of a port with huber needle in pediatric hematology-oncology patients: Randomized controlled trial. *European Journal of Oncology Nursing*, 50(101886):1–7, 2020.
- [9] R. Eijlers, E. M. Utens, L. M. Staals, P. F. de Nijs, J. M. Berghmans, R. M. Wijnen, and J. S. Legerstee. Meta-analysis: systematic review and meta-analysis of virtual reality in pediatrics: effects on pain and anxiety. *Anesthesia and analgesia*, 129(5):1344–1353, 2019.
- [10] A. Dunn, J. Patterson, C. F. Biega, J. Luna A. Grishchenko, J. R. Stanek, and R. Strouse. A novel clinician-orchestrated virtual reality platform for distraction

- during pediatric intravenous procedures in children with hemophilia: randomized controlled trial. *JMIR Serious Games*, 7(1):1–11, 2019.
- [11] C. D. Murray, J. Fox, and S. Pettifer. Absorption, dissociation, locus of control and presence in virtual reality. *Computers in Human Behavior*, 23(3):1347–1354, 2016.
- [12] C. Sas and G. O’ Hare. Presence equation: an investigation into cognitive factors underlying presence. *Presence Teleoperators and Virtual Environments*, 12(5):523–537, 2003.
- [13] D. Weibel, B. Wissmath, and F. W. Mast. Immersion in mediated environments: The role of personality traits. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 13(3):251–256, 2010.
- [14] D. Debbaudt. Patients with autism and other high risks: A growing challenge for healthcare security. *Journal of healthcare protection management: publication of the International Association for Hospital Security*, 25(1):14–26, 2009.
- [15] M. C. Souders, D. DePaul, K. G. Freeman, and S. E. Levy. Caring for children and adolescents with autism who require challenging procedures. *Pediatric nursing*, 28(6):555–562, 2002.
- [16] H. Bullinger, O. Riedel, and R. Breining. Immersive projection technology- benefits for the industry. *International Immersive Projection Technology Workshop*, pages 13–25, 1997.
- [17] M. Meehan, M. Whitton B. Insko, and F. P. Brooks. Physiological measures of presence in stressful virtual environments. *Acm transactions on graphics (tog)*, 21(3):645–652, 2002.
- [18] I. E. Sutherland. A head-mounted three dimensional display. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, pages 757–764, 1968.
- [19] S. C. Gupta, C. A. Wantland, and S. A. Klein. Cyberpathology: Medical concerns of vr applications. *ournal of medicine and virtual reality*, 1(2):757–764, 1996.
- [20] E. Viirre. A survey of medical issues and virtual reality technology. *Virtual Reality World*, 2(4):16–24, 1994.
- [21] M. Mon-Williams, J. P. Warm, and S. Rushton. Binocular vision in a virtual world: Visual deficits following the wearing of a head-mounted display. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 13(4):387–391, 1993.
- [22] M. Mon-Williams and E. Pascal. Virtual reality displays, implications for optometrists. *Optometry Today*, 2:30–33, 1995.
- [23] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, and T. A. DeFanti. Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the cave. *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 135–142, 1993.
- [24] T. T. de Back, A. M. Tinga, P. Nguyen, and M. M. Louwerse. Benefits of immersive

- collaborative learning in cave-based virtual reality. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17:1–18, 2020.
- [25] A. Al-Khalifah, R. McCrindle, P. Sharkey, and V. Alexandrov. Using virtual reality for medical diagnosis, training and education. *International Journal on Disability and Human Development*, 5(2):187–194, 2006.
- [26] M. Fabrika, P. Valent, and Ľ. Scheer. Thinning trainer based on forest-growth model, virtual reality and computer-aided virtual environment. *Environmental modelling software*, 100:11–23, 2018.
- [27] N. I. A. Rifdi, M. S. Sunar, and M. N. I. Sa’ Adon. Gamifying shooting training in cave automatic virtual environment (cave). *2022 2nd International Conference on Intelligent Cybernetics Technology Applications (ICICyTA), IEEE*, pages 198–203, 2022.
- [28] K. K. Yuen, S. H. Choi, and X. B. Yang. A full-immersive cave-based vr simulation system of forklift truck operations for safety training. *Computer-Aided Design and Applications*, 7(2):235–245, 2010.
- [29] Education and research center on computational science and engineering, graduate school of system informatics, kobe university, “ $\pi$ -cave. <http://www.eccse.kobe-u.ac.jp/pi-cave/>, 2023.
- [30] A. Kageyama and A. Tomiyama. Visualization framework for cave virtual reality systems. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, 7(4):1–12, 2016.
- [31] B. Hemsley, S. Balandin J. Sigafos, R. Forbes, C. Taylor, V. A. Green, and T. Parmenter. Nursing the patient with severe communication impairment. *Journal of advanced nursing*, 35(6):827–835, 2001.
- [32] B. Jones, R. Sodhi, M. Murdock, R. Mehra, H. Benko, A. Wilson, E. Ofek, B. MacIntyre, N. Raghuvanshi, and L. Shapira. Roomalive: Magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units. *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 637–644, 2014.
- [33] Project ariana, razer inc. <https://www.razer.com/concepts/project-ariana>, 2023.
- [34] M. Lotan and M. Shapiro. Management of young children with rett disorder in the controlled multi-sensory (snoezelen) environment. *Brain and Development*, 27(Suppl 1):s88–s94, 2005.
- [35] G. Perhakaran, A. M. Yusof, M. E. Rusli, M. Z. M. Yusoff, E. M. M. Mahidin, I. Mahalil, and A. R. R. Zainuddin. Snoezelencave: Virtual reality cave snoezelen framework for autism spectrum disorders. *Advances in Visual Informatics: 4th International Visual Informatics Conference, IVIC 2015, Bangi, Malaysia, November 17-19, 2015, Proceedings 4*, pages 443–453, 2015.

- [36] J. Mora-Guiard, C. Crowell, N. Pares, and P. Heaton. Sparking social initiation behaviors in children with autism through full-body interaction. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 11:62–71, 2014.
- [37] I. Takahashi, M. Oki, B. Bourreau, I. Kitahara, and K. Suzuki. Futuregym: A gymnasium with interactive floor projection for children with special needs. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 15:37–47, 2018.
- [38] F. Garzotto and M. Gelsomini. Magic room: A smart space for children with neurodevelopmental disorder. *IEEE Pervasive Computing*, 17(1):38–48, 2018.
- [39] S. Joko, M. Ohsuga, Y. Tada, and J. Ishikawa. Evaluation of a mental care system for patients recuperating in a sterile room after hematopoietic cell transplantation. *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pages 23–27, 2019.
- [40] Interactive environments and entertainment systems for medical facilities, gesturetek health. <https://gesturetekhealth.com/solutions/interactive-environments-medical-displays>, 2016.
- [41] H. Ogihara, Y. Funato, and H. Oku. Proposal for a distraction technique using two-screen projection for stress relief in children with medical complexity. *IEEE Access*, 11:105749–105760, 2023.
- [42] FACILITY GUIDELINES INSTITUTE. *Guidelines for Design and Construction of Health Care Facilities*. Health Forum Publishing Company, USA, 2018.
- [43] 昭和二十三年厚生省令第五十号 医療法施行規則. <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=323M40000100050>, 1948.
- [44] C. Manetta and R. A. Blade. Glossary of virtual reality terminology. *International Journal of Virtual Reality*, 1(2):35–39, 1995.
- [45] 学校保健統計調査. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00400002&tstat=000001011648&cycle=0&tclass1=000001064085&tclass2=000001064089&tclass3val=0>, 2014.
- [46] M. H. Fischer and A. E. Kornmüller. Optokineticausgeloste bewegungswahrnehmungen und optokinetischer nystagmus. *Journal of Psychological Neurology*, 41:273–308, 1930.
- [47] S. Palmisano, R. S. Allison, M. M. Schira, and R. J. Barry. Future challenges for vection research: Definitions, functional significance, measures, and neural bases. *Frontiers in Psychology*, 6:1–15, 2015.
- [48] D. Apthorp, F. Nagle, and S. Palmisano. Chaos in balance: non-linear measures of postural control predict individual variations in visual illusions of motion. *PloS one*, 9(12):1–22, 2014.
- [49] T. Seno P. J. Stapley S. Palmisano, D. Apthorp. Spontaneous postural sway predicts the strength of smooth vection. *Experimental Brain Research*, 232(4):1185–1191,



2014.

- [50] P. J. Stapley S. Palmisano, B. Arcioni. Predicting vection and visually induced motion sickness based on spontaneous postural activity. *Experimental Brain Research*, 236:315–329, 2018.
- [51] J. Ryu, N. Hashimoto, and M. Sato. Evaluation of immersive virtual environments displaying various areas. *The journal of the Institute of Image Information and Television Engineers*, 59(7):1051–1058, 2005.
- [52] N. S. Chowdhury, W. Luu, S. Palmisano, H. Ujike, and J. Kim. Spatial presence depends on ‘coupling’ between body sway and visual motion presented on head-mounted displays (hmds). *Applied Ergonomics*, 92:1–20, 2021.
- [53] J. J. Gibson. *The perception of the visual world*. Houghton Mifflin, Boston, 1950.
- [54] H. Selye and T. McKeown. Studies on the physiology of the maternal placenta in the rat. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences*, 119(812):1–31, 1935.
- [55] R. T. Chatterton Jr, K. M. Vogelsong, Y. C. Lu, A. B. Ellman, and G. A. Hudgens. Salivary  $\alpha$  - amylase as a measure of endogenous adrenergic activity. clinical physiology. *Clinical physiology*, 16(4):433–448, 1996.
- [56] N. Rohleder, U. M. Nicolas, J. M. Wolf, U. Ehlert, and C. Kirschbaum. Psychosocial stress - induced activation of salivary alpha - amylase: an indicator of sympathetic activity? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1032(1):258–263, 2004.
- [57] U. M. Nater, N. Rohleder, J. Gaab, S. Berger, A. Jud, C. Kirschbaum, and U. Ehlert. Human salivary alpha-amylase reactivity in a psychosocial stress paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, 55(3):333–342, 2005.
- [58] A. Nakano and M. Yamaguchi. Evaluation of human stress using salivary amylase. *Japanese journal of biofeedback research*, 38(1):3–9, 2011.
- [59] E. Cohen, D. Z. Kuo, R. Agrawal, J. G. Berry, S. K. M. Bhagat, T. D. Simon, and R. Srivastava. Children with medical complexity: An emerging population for clinical and research initiatives. *Pediatrics*, 127(3):529–538, 2011.
- [60] S. Kume, Y. Nishimura, K. Mizuno, N. Sakimoto, H. Hori, Y. Tamura, M. Yamato, R. Mitsunashi, K. Akiba, J. Koizumi, Y. Watanabe, and Y. Kataoka. Music improves subjective feelings leading to cardiac autonomic nervous modulation: a pilot study. *Frontiers in Neuroscience*, 11:1–11, 2017.
- [61] Y. Tamura, K. Takata, K. Matsubara, and Y. Kataoka. Alpha-glycerolphosphorylcholine increases motivation in healthy volunteers: a single-blind, randomized, placebo-controlled human study. *Nutrients*, 13(6):1–8, 2021.
- [62] R. Fadayevatan, M. Alizadeh-Khoei, S. T. Hessami-Azar, F. Sharifi, M. Haghi, and B. Kaboudi. Validity and reliability of 11-face faces pain scale in the iranian elderly community with chronic pain. *Indian journal of palliative care*, 25(1):46–51, 2019.

- [63] M. S. Houle and G. E. Billman. Low-frequency component of the heart rate variability spectrum: a poor marker of sympathetic activity. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 276(1):H215–H223, 1999.
- [64] G. A. Reyes del Paso, W. Langewitz, L. J. Mulder, A. van Roon, and S. Duschek. The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: a review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*, 50(5):477–487, 2013.
- [65] Apple vision pro, apple inc. <https://www.apple.com/apple-vision-pro/>, 2023.
- [66] P. Grahn and U. A. Stigsdotter. Landscape planning and stress. *Urban forestry urban greening*, 2(1):1–8, 2003.
- [67] R. Kaplan and S. Kaplan. *The experience of nature: A psychological perspective*. Cambridge university press, New York, 1989.
- [68] J. Barton and J. Pretty. What is the best dose of nature and green exercise for improving mental health? a multi-study analysis. *Environmental science technology*, 40(10):3947–3955, 2010.
- [69] R. F. Baumeister and M. R. Leary. The need to belong: Desire for interpersonal attachments as a fundamental human motivation. *Psychological Bulletin*, 117(3):497–529, 1995.
- [70] A. H. Maslow. A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50:370–396, 1943.
- [71] J. Reeve, E. L. Deci, and R. M. Ryan. Self-determination theory: a dialectical framework for understanding sociocultural influences on student. *Big theories revisited*, 4:31–59, 2004.
- [72] I. Runeson, I. Hallström, G. Elander, and G. Hermerén. Children’s needs during hospitalization: An observational study of hospitalized boys. *International Journal of Nursing Practice*, 8(3):158–166, 2002.
- [73] V. A. Newhart, M. Warschauer, and L. Sender. Virtual inclusion via telepresence robots in the classroom: An exploratory case study. *The International Journal of Technologies in Learning*, 23(4):9–25, 2016.
- [74] N. Gariépy and N. Howe. The therapeutic power of play: examining the play of young children with leukaemia. *Child: care, health and development*, 29(6):523–537, 2003.
- [75] T. Pelander and H. Leino - Kilpi. Children’s best and worst experiences during hospitalisation. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*, 11(4):726–733, 2010.
- [76] S. Tachi. *Telexistence, 2nd ed.* World Scientific, Singapore, 2015.
- [77] M. Minsky. Telepresence. *Omni*, 2(9):44–52, 1980.
- [78] S. Tachi. From 3d to vr and further to telexistence. *In 2013 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT)*, pages 1–10, 2013.
- [79] Tachi laboratory. <https://tachilab.org/jp/about/telexistence.html>

#point01, 2024.

- [80] T. Koskela, M. Mazouzi, P. Alavesa, M. Pakanen, I. Minyaev, E. Paavola, and J. Tuliniemi. Avatarex: telexistence system based on virtual avatars. *In Proceedings of the 9th Augmented Human International Conference*, pages 1–8, 2018.
- [81] A. Iskandar, M. Al-Sada, O. Halabi, and T. Nakajima. Exploring user requirements and expectations of daily used wearable telexistence robotic systems. *In Proceedings of the 13th International Conference on the Internet of Things*, 27(3):82–89, 2023.
- [82] Double robotics. <https://www.doublerobotics.com/>, 2024.
- [83] Gobe robots. <https://gobe.blue-ocean-robotics.com/>, 2024.
- [84] Orylab. <https://orihime.orylab.com/>, 2024.
- [85] F. Yamasaki. Adolescent and young adult brain tumors: current topics and review. *International journal of clinical oncology*, 27(3):457–464, 2022.
- [86] L. E. Johannessen, E. B. Rasmussen, and M. Haldar. Student at a distance: exploring the potential and prerequisites of using telepresence robots in schools. *Oxford Review of Education*, 49(2):153–170, 2023.
- [87] No isolation. <https://www.noisolation.com/>, 2024.
- [88] P. J. Crooke, R. E. Hendrix, and J. Y. Rachman. Brief report: Measuring the effectiveness of teaching social thinking to children with asperger syndrome (as) and high functioning autism (hfa). *Journal of autism and developmental disorders*, 38:581–591, 2008.
- [89] A. P. Schouten, T. C. Portegies, I. Withuis, L. M. Willemsen, and K. Mazerant-Dubois. Robomorphism: Examining the effects of telepresence robots on between-student cooperation. *Computers in Human Behavior*, 126:1–9, 2022.
- [90] S. Vikkelsø, T. H. Hoang, F. Carrara, K. D. Hansen, and B. Dinesen. The telepresence avatar robot orihime as a communication tool for adults with acquired brain injury: an ethnographic case study. *Intelligent Service Robotics*, 13:521–537, 2020.
- [91] A. Kristoffersson, S. Coradeschi, and A. Loutfi. A review of mobile robotic telepresence. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2013:1–17, 2013.
- [92] General comment no. 12 (2009): The right of the child to be heard. <https://www.refworld.org/docid/4ae562c52.html>.
- [93] Zoom video communications. <https://zoom.us/ja>, 2024.
- [94] J. du Plessis and J. Jordaan. The impact of virtual reality on the psychological well-being of hospitalised patients: A critical review. *Heliyon*, 10(2):1–19, 2024.
- [95] M. Tennant, J. A. McGillivray, G. J. Youssef, M. C. McCarthy, and T. J. Clark. Feasibility, acceptability, and clinical implementation of an immersive virtual reality intervention to address psychological well-being in children and adolescents with cancer. *Journal of Pediatric Oncology Nursing*, 37(4):365–277, 2020.

## 付録 A

# 投影範囲の計算方法

プロジェクターの配置は、付録 A に概説されている方法で決定された。ここでは、プロジェクターの投影範囲を計算するために採用した方法について説明する。プロジェクターで投影実験を行う場合、プロジェクターは投影面に対して斜めに配置されるため、投影範囲を確認する計算が必要となる。

まず、プロジェクターで投影する際の投影中心を原点として、映像の四隅の点につながる 3 次元平面上の方向ベクトルを計算した。投影スクリーンを定義するための計算手順を図 A.1 に、計算結果を表 A.1 に示す。

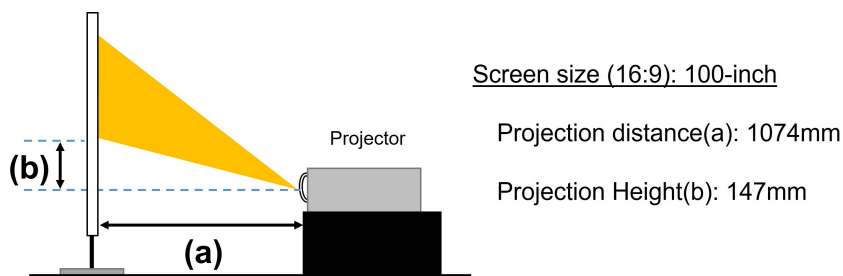


図 A.1. スクリーン投影の基準設定

表 A.1. 計算結果 (単位: mm)

Projector's point of view	X axis	Y axis	Zaxis
Upper Left	-1107	1074	1392
Upper Right	1107	1074	1392
Lower Left	-1107	1074	147
Lower Right	1107	1074	147

次に、方向ベクトルに変換が適用される。プロジェクターは、プロジェクタースタンドの軸周りの回転機能と垂直方向の姿勢調整機能を持つ。図 A.2 に示すように、スタンドの軸周りの回転は X 軸周りの回転に対応し、垂直方向は Z 軸周りの回転に対応する。各変換行列は式

(A.1) と式 (A.2) に示すように, 角度  $\theta$  で表すことができる.

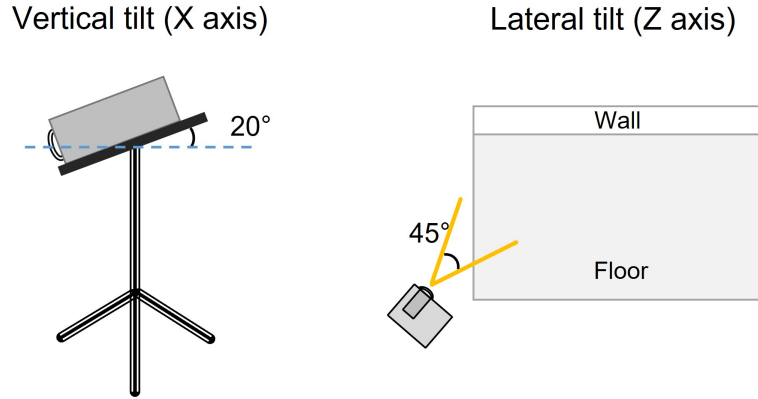


図 A.2. プロジェクターの X 軸と Z 軸の回転

Rotation around X axis

$$X_{rot} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (A.1)$$

Rotation around Z axis

$$Z_{rot} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (A.2)$$

計算では, X 軸周りの回転, Z 軸周りの回転の順に行列を適用した. 例えば, 方向ベクトル  $A = (x_0, y_0, z_0)$  に変換を適用すると, 計算結果は式 (A.3) のようになる.

$$AX_{rot}Z_{rot} = (x_0, y_0, z_0, 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (A.3)$$

次に, 床面と壁面との交点を計算する. 床面についてはプロジェクターと床面との距離を  $a$  とすると, 3次元平面上の平面  $z = -a$  を用いて, 次式により交点を求めることができる. 方向ベクトル  $A = (x_0, y_0, z_0)$  は式 (A.4) のように, 中間変数  $t$  との一次方程式で表すことができる.

$$x = tx_0, y = ty_0, z = tz_0 \quad (A.4)$$

$z = -a$  を代入することで, 中間変数  $t$  は式 (A.5) のように表すことができ, 式 (A.6) により方向ベクトル  $A$  と床面との交点を求めることができる.

54 付録 A 投影範囲の計算方法

$$-a = tz_0, t = -\frac{a}{z_0} \quad (\text{A.5})$$

$$\left( -\frac{ax_0}{z_0}, \frac{ay_0}{z_0}, -a \right) \quad (\text{A.6})$$

壁面の場合，プロジェクターと壁面の距離を  $b$  とすると，3次元空間では  $y = b$  の平面で表すことができる．交点は以下の式で計算できる．方向ベクトル  $A = (x_0, y_0, z_0)$  を媒介変数  $t$  を用いて一次方程式に変換すると，式 (A.7) が得られる．

$$x = tx_0, y = ty_0, z = tz_0 \quad (\text{A.7})$$

$y = b$  を用いると，中間変数  $t$  は (A.8) となり，これを用いて方向ベクトル  $A$  と壁面の交点を求めると (A.9) のようになる．

$$b = ty_0, t = \frac{b}{y_0} \quad (\text{A.8})$$

$$\left( \frac{bx_0}{y_0}, b, \frac{bz_0}{y_0} \right) \quad (\text{A.9})$$

最後に，3次元の投影範囲を計算するために，プロジェクターの位置と床からの高さを考慮して，導き出された値に調整を加える．

## 付録 B

# 投影範囲の計算結果

### B.1 壁面

壁面プロジェクターの設定を表 B.1 に、この構成の鳥瞰図を図 B.1 に示す。

表 B.1. 壁面プロジェクター設定値 (単位: mm)

Setting	Length
Distance from the lower left of the projected area on the floor (vertical)	600
Distance from the lower left of the projected area on the floor (horizontal)	600
Height from floor	900
Rotation in horizontal direction (z-axis)	450
Vertical rotation (x-axis)	600

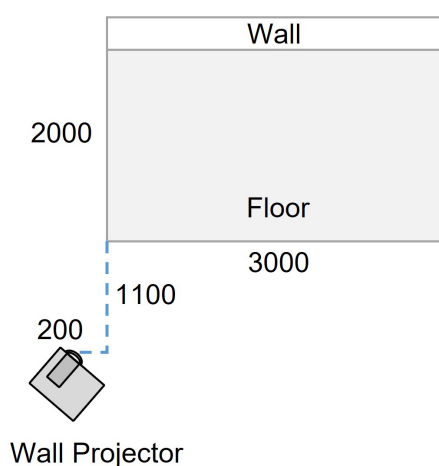


図 B.1. 壁面投影のセットアップにおける鳥瞰図 (単位: mm)

図 B.2 に示す座標系は、壁の投影範囲の右下を原点とし、垂直方向の移動を Y 軸、水平方向の移動を X 軸とする。

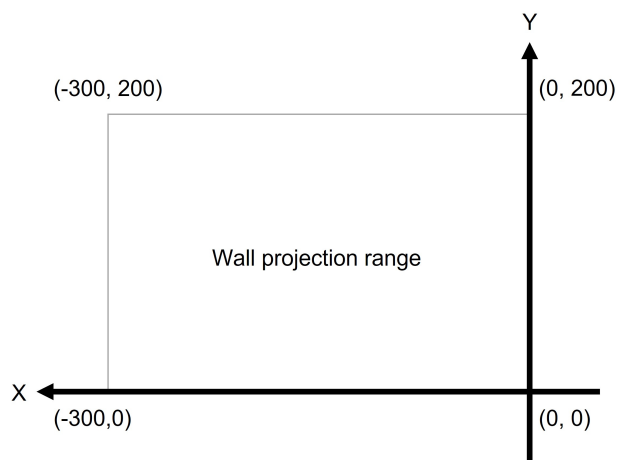


図 B.2. 壁面投影範囲の座標系

投影面積の座標は表 B.2 に、プロジェクター投影面積と壁面投影面積を図 B.3 に示す。

表 B.2. 壁の投影面積を計算するための 4 点の座標

Projector's point of view	Coordinates (X,Y)
Upper Left	(-399, 198)
Upper Right	(110, 270)
Lower Left	(-483, -6)
Lower Right	(-440, -134)

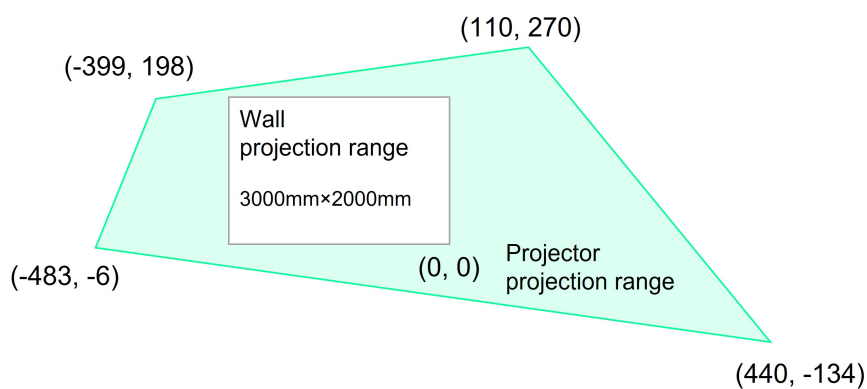


図 B.3. 座標系を使用したプロジェクター投影範囲と壁面投影範囲

## B.2 床面

床面プロジェクターの設定を表 B.3 に、この構成の鳥瞰図を図 B.4 に示す。



表 B.3. 床面プロジェクター設定値 (単位: mm)

Setting	Length
Distance from the lower left of the projected area on the floor (vertical)	600
Distance from the lower left of the projected area on the floor (horizontal)	600
Height from floor	900
Rotation in horizontal direction (z-axis)	600
Vertical rotation (x-axis)	450

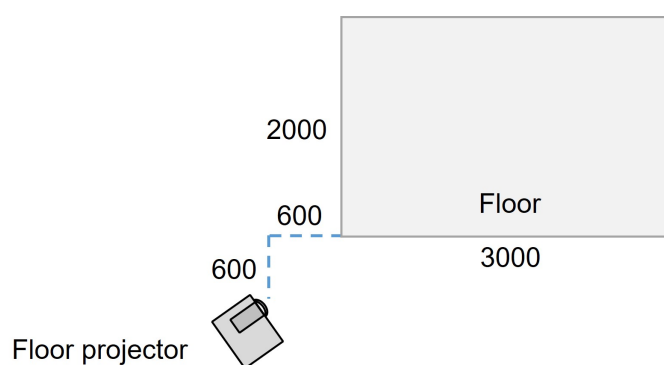


図 B.4. 床面投影のセットアップにおける鳥瞰図 (単位: mm)

図 B.5 に示す座標系は、床の投影範囲の右下を原点とし、垂直方向の移動を Y 軸、水平方向の移動を X 軸とする。

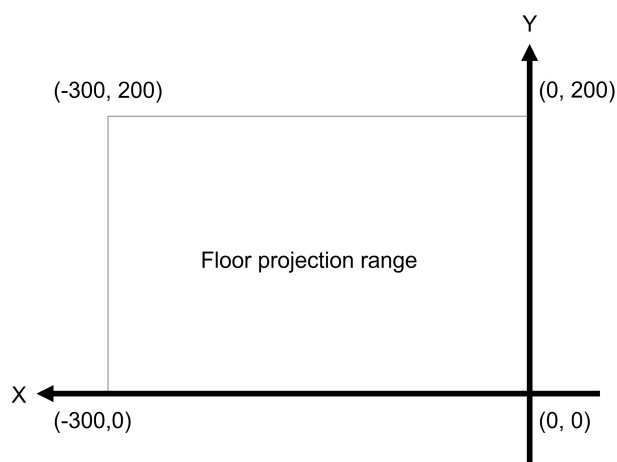


図 B.5. 床面投影範囲の座標系

## 58 付録 B 投影範囲の計算結果

投影面積の座標は表 B.4 に、プロジェクター投影面積と床面投影面積を図 B.6 に示す。

表 B.4. 床の投影面積を計算するための 4 点の座標

Projector's point of view	Coordinates (X,Y)
Upper Left	(-187, 715)
Upper Right	(415, 113)
Lower Left	(-393, 72)
Lower Right	(-228, -93)

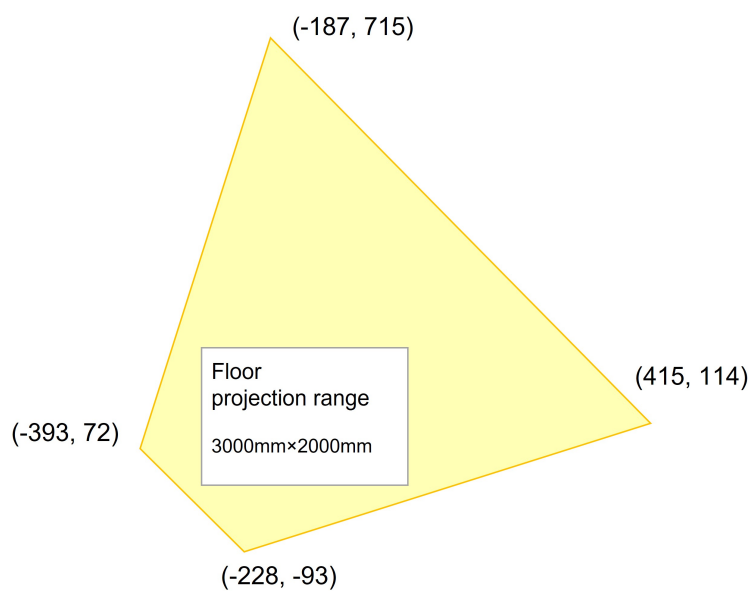


図 B.6. 座標系を使用したプロジェクター投影範囲と床面投影範囲