

Title	Sense-LinQuest : MR空間における触覚共有による「協働感」のデザイン
Sub Title	Sense-LinQuest : designing a "sense of collaboration" through tactile sharing in MR spaces
Author	森田, 迅亮(Morita, Jinsuke) 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1164号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002024-1164

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

Sense-LinQuest: MR空間における
触覚共有による「協働感」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

森田 迅亮

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。

森田 迅亮

研究指導委員会：

南澤 孝太 教授 (主指導教員)

砂原 秀樹 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

南澤 孝太 教授 (主査)

砂原 秀樹 教授 (副査)

杉浦 一徳 教授 (副査)

修士論文 2024 年度

Sense-LinQuest: MR 空間における 触覚共有による「協働感」のデザイン

カテゴリ：デザイン

論文要旨

複合現実（MR）技術の進展により、複数の人が同時に MR 空間で作業を行うことが可能になっている。しかし、MR 空間での協調作業において、他者の存在感や一体感を高めることは依然として課題となっており、特に触覚を介した体験の共有については十分に実現されていない。そこで本研究では、MR 空間における協調作業での一体感を向上させることを目指し、触覚共有体験を実現するシステム「Sense-LinQuest」を開発した。このシステムは、複数人が同時に触覚を共有し、相互に感覚をフィードバックすることで、他者の存在をより直感的に感じられる協調作業の実現を目指した技術である。各ユーザーのインタラクションによって生じる触覚情報を他のユーザーにリアルタイムに伝達する機能を実装し、従来の MR 空間では実現されていなかった新たな形での協調作業を提案する。本システムを用いることで、他者との触覚共有が MR 空間での協調作業における一体感や存在感に与える影響を検証することが可能となる。これらの研究は、今後の MR システムにおける複数人でのインタラクション設計に重要な示唆を与えるものと期待される。

キーワード：

身体性メディア, 複合現実, 触覚, 体験共有, 協調作業

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

森田 迅亮

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2024

Sense-LinQuest: Designing a “Sense of Collaboration”
through Tactile Sharing in MR Spaces

Category: Design

Summary

Recent advancements in mixed reality (MR) technology have enabled multiple users to work concurrently within MR environments. However, enhancing the sense of presence and unity among collaborators remains challenging, particularly regarding the sharing of tactile experiences, which has not yet been fully realized. To address this, we developed “Sense-LinQuest”, a system designed to improve unity in collaborative MR tasks by enabling real-time tactile feedback among users. The system transmits haptic information generated from individual interactions directly to other users, allowing each participant to perceive others’ presence more intuitively—a novel approach absent in conventional MR environments. By employing Sense-LinQuest, we can examine how shared tactile experiences affect users’ sense of unity and presence, offering valuable insights for the design of future multi-user MR interactions.

Keywords:

embodied media, mixed reality, haptics, shared experience, collaborative work

Keio University Graduate School of Media Design

Jinsuke Morita

目 次

第 1 章 Introduction	1
1.1. オンラインゲームから始まる新しい協調体験	1
1.2. デジタル時代における「一緒にいる」ことの変容	3
1.3. 感覚共有による協調体験の可能性	5
1.4. 本研究の目的	6
1.5. 本論文の構成	7
第 2 章 Related Works	9
2.1. 「協働感」の形成機序	9
2.1.1 We-Mode	9
2.1.2 一体感を高める感覚統合モデル	12
2.1.3 協調行動における感覚共有の役割	12
2.1.4 感覚共有と一体感の形成に関する研究	14
2.2. 複数人インタラクション技術	15
2.2.1 複数人 MR インタラクションの現状	15
2.2.2 協調的ジェスチャーとコミュニケーション	16
2.2.3 協調作業支援技術	18
2.3. 触覚共有技術	19
2.3.1 触覚提示	20
2.3.2 触覚伝送	22
2.4. 本研究の位置付け	24
第 3 章 Concept Design	26
3.1. 本研究が目指す MR 協働体験の方向性	26

3.1.1	デジタル領域での「協働感」の課題	26
3.1.2	非対称タスクによる感覚共有戦略	27
3.1.3	本章以降での展開	27
3.2.	協働感の理論的定義と学術的基盤	28
3.2.1	既存概念を踏まえた本論文における協働感の定義	28
3.2.2	関連研究から得た協働感形成要因の抽出	29
3.2.3	本研究で扱う「協働感」指標	30
3.3.	システムデザイン	31
3.3.1	協働感形成に資する設計指針	31
3.3.2	MR 空間での触覚共有インタラクション設計	32
3.3.3	基本アーキテクチャとモジュール設計方針	33
3.4.	ハードウェアインターフェースのプロトタイピング	34
3.4.1	プロトタイプ v1	34
3.4.2	プロトタイプ v2	36
3.4.3	プロトタイプ v3	37
3.4.4	得られた知見	38
3.4.5	最終的な剣型デバイスへの落とし込み	39
3.5.	Sense-LinQuest の提案	40
3.5.1	Sense-LinQuest のコンセプト	41
3.5.2	背中合わせ協力プレイの課題とデザインの意義	41
3.5.3	スケッチによる全体イメージ	43
3.5.4	デバイス・役割・触覚共有の総合的統合	44
3.6.	システム設計	45
3.6.1	全体アーキテクチャ（ハード・ソフト・ネットワーク）	45
3.6.2	MR ヘッドセット、剣・盾デバイス、サーバー構成	48
3.6.3	攻撃情報・防御情報・触覚信号伝達フロー	49
3.7.	協働感を生み出す触覚デザイン	50
3.7.1	剣側フィードバック（攻撃成功時の衝撃）	50
3.7.2	盾側フィードバック（防御成功時の圧迫感）	51

3.7.3	提示タイミング・強度・持続時間等の設計要因	52
3.7.4	触覚デザインが協働感向上に寄与する論理付け	53
3.8.	本章のまとめ	54
第4章	Sense-LinQuest による協働感の検証	55
4.1.	体験のデザイン	55
4.1.1	コンテンツデザイン	55
4.1.2	触覚のデザイン	60
4.2.	実験の設計	61
4.2.1	実験の目的	62
4.2.2	実験条件の設定	63
4.2.3	参加者と実施手順	65
4.2.4	評価方法	67
4.3.	実施	69
4.4.	実験結果	71
4.4.1	主観評価の結果	72
4.4.2	インタビュー	76
4.4.3	インタビューデータの分析	79
4.5.	考察	84
4.5.1	触覚共有が協働感に与えた影響	84
4.5.2	体験の質的な違いの分析	85
4.5.3	本手法の有効性と制限	86
4.6.	本章のまとめ	88
第5章	Conclusion	90
	謝辞	94
	参考文献	96
	付録	104
A.	Interview Transcripts	104

B. 質問票 118

目 次

1.1	ゲームの集会所	3
2.1	We-Mode について	11
3.1	Prototype-Ver1	35
3.2	Prototype-Ver2	37
3.3	Prototype-Ver3	38
3.4	最終的な剣型デバイスの外観	40
3.5	背中合わせデザインの概念図	43
3.6	Sense-LinQuest システムの概念スケッチ (モックアップ)	44
3.7	Sense-LinQuest システム全体アーキテクチャ	46
3.8	接触時の振動刺激波形 (Impact)	51
3.9	切り裂く感覚の振動刺激波形 (Slash)	51
3.10	FireBall 防御時の振動波形 (Explosion)	52
4.1	使用した剣のモデル	56
4.2	使用した盾のモデル	56
4.3	攻撃役プレイヤーの一人称視点	57
4.4	防御役プレイヤーの一人称視点	57
4.5	攻撃役プレイヤーがドラゴンに斬撃を加える瞬間	58
4.6	一人称視点におけるファイアブレス防御シーン	59
4.7	FireBall 攻撃の一連の流れ (1) 発射、(2) 背後へ飛行、(3) 方向転換、(4) Shield 付近への接近、(5) Shield への命中と爆散。	59
4.8	実験に用いた実空間のレイアウトと可動範囲	70

4.9	プレイヤー、制御端末、VR オブジェクトの配置図	70
4.10	実際にプレイしているシーン	71
4.11	協働感スコアの分布	74
4.12	達成感スコアの分布	75

表 目 次

4.1	各条件における役割分担と触覚共有の設定	64
-----	-------------------------------	----

第 1 章

Introduction

1.1. オンラインゲームから始まる新しい協調体験

スマートフォンの普及とともに、私たちの生活に大きな変化をもたらしたゲームがある。2016年に登場したポケモンGO¹は、位置情報ゲームという新しいジャンルを一般に広く知らしめ、都市の公園や広場に老若男女が集まる光景を生み出した。一方、2004年から展開されているモンスターハンターシリーズ²は、プレイヤー同士が強大なモンスターに立ち向かう協調型アクションゲームとして、「一緒に狩りをする」という新しい協力体験を確立した。これらは単なるゲームの革新にとどまらない。家族での散歩が増え、見知らぬ人々が自然に交流する場面が生まれ、あるいは共通の目標に向かって見知らぬ人々が協力し合うなど、デジタルゲームが現実世界のコミュニティ形成に寄与する可能性を示したのである。

このような協調体験は、オンラインゲームの歴史の中で徐々に発展してきた。1990年代後半のウルティマオンライン³に代表されるMMORPGは、インターネットを通じて多人数が同時に参加し、共通の目的に向かって協力する体験を提供した。モンスターハンターは、この協調プレイの形をより洗練させ、最大4人のプレイヤーが明確な役割分担のもとで強大な敵に挑むという、緊密な協力関係を必要とするゲーム体験を生み出した。例えば、ある者が盾で敵の注意を引きつけ、別のプレイヤーが大剣で尻尾を切断し、また別のプレイヤーが回復アイテムで仲間を支援するといった、まるで狩猟の名手たちが息を合わせて獲物に挑むような緊

1 ポケモンGO <https://www.pokemongo.jp/>

2 モンスターハンター <https://www.monsterhunter.com/ja/>

3 Ultima Online <https://uo.com/>

張感のある協調プレイを実現したのである。

その後、このような協調プレイの形は、『スプラトゥーン⁴』のようなチーム対戦型ゲームや、『インGRESS⁵』のような位置情報ゲームへと発展し、オンラインでの協調体験の形は多様化していった。特筆すべきは、これらのゲームが単なる娯楽を超えて、新しい形の社会的交流を生み出している点である。モンスターハンターの「集会所」に代表されるような、プレイヤーが集まり、戦略を練り、時には失敗を重ねながらも目標達成を目指すという体験は、現代社会において失われつつある協調の喜びを、デジタルの力を借りて再構築したと言えるだろう。

現在では、Meta Quest⁶等のMRデバイスの発展により、これらの協調体験は新たな進化の段階を迎えている。現実空間とバーチャル空間を融合させることで、例えばモンスターハンターのような緊密な協調プレイを、あたかも同じ空間で行っているかのような臨場感で体験できる可能性が開かれつつある。これは単にゲームの進化というだけでなく、人々の繋がり方や協力の仕方に新しい可能性を提示している。実際の身体動作を伴いながら、物理的に離れた場所にいる仲間と共に、手に汗握る狩りの興奮を共有するような体験が、技術的に実現可能となってきているのである。

このように、デジタルゲームを起点とした協調体験は、テクノロジーの発展とともに、より豊かな社会的交流の可能性を広げてきた。特に注目すべきは、これらの体験が生み出す「協働感」である。プレイヤーは単にゲームを楽しむだけでなく、共通の目的に向かって協力する過程で、新しい形のつながりや一体感を見出している。モンスターハンターが示したような、互いの役割を理解し、呼吸を合わせ、時には言葉なく意図を察し合うような深い協調体験は、デジタル時代における新しい「共にある」形のひとつの理想型を示していると言えるだろう。

4 スプラトゥーン <https://www.nintendo.com/jp/character/splatoon/index.html>

5 Ingress <https://ingress.com/ja>

6 Meta <https://www.meta.com/jp/>

1.2. デジタル時代における「一緒にいる」ことの変容

2020年以降、私たちの「一緒にいる」という概念は大きく変容した。Zoom⁷をはじめとするオンラインコミュニケーションツールの普及により、地理的な制約を超えた対話や協働が日常となった。会社の同僚と異なる国からミーティングを行い、友人と離れた場所からオンラインゲームを楽しむことが、もはや特別なことではなくなっている。例えば、モンスターハンターのような協調プレイを重視するゲームでは、かつて図1.1に示すような「集会所」⁸に集まって対面で行っていたコミュニケーションが、オンラインでの音声チャットやジェスチャーによる意思疎通へと移行していった。



モンスターハンター⁸ より引用

図 1.1 ゲームの集会所

しかし、このデジタルな「つながり」の浸透は、皮肉にも人々の物理的な孤立を加速させている面がある。確かにオンラインでは「つながっている」が、実際には一人一人が個別の空間に閉じこもり、本来人間が持っていた自然な社会的交

7 Zoom <https://www.zoom.com/ja>

8 CAPCOM: モンスターハンター: ワールド 公式サイト <https://www.monsterhunter.com/world/ja/sp/base/08.php>

流が失われつつある。モンスターハンターの例で言えば、オンラインプレイの利便性と引き換えに、同じ画面を見ながら肩を寄せ合って狩りに挑む興奮や、成功時に交わす握手やハイタッチといった物理的な触れ合いを通じた喜びの共有が減少している。このような変化は、特に若い世代において顕著であり、オンラインでの交流は活発である一方で、実際の対面での付き合いが減少しているという報告もある [1]。

このような状況において求められているのは、単なるビデオ通話やテキストチャットを超えた、新しい形の協調体験である。それは、オンラインの利便性を活かしながらも、より深い「一緒にいる感覚」を提供し、時には人々を物理的な活動へと誘導するような体験だ。例えば、モンスターハンターで培われた「息の合った協調プレイ」の要素を現実空間に持ち込み、離れた場所にいながらも同じ目的に向かって体を動かしたり、バーチャルな課題に対して実空間での行動を組み合わせたりするような体験が考えられる。ハンター同士が互いの動きを察知し、絶妙のタイミングで連携技を決めるような、緊密な協力関係を MR 空間で実現できれば、新しい形の「一緒にいる感」を生み出せるかもしれない。

特に注目すべきは、バーチャルとリアルを跨いだ体験設計の重要性である。単にオンラインで会話するだけでなく、共通の目的に向かって協力し、その過程で生まれる達成感や一体感を共有できるような体験が必要とされている。モンスターハンターが示したように、プレイヤー間の緊密な連携や役割分担、そして何より「共に戦う」という実感を伴う体験は、デジタル時代における新しい「共にある」形のモデルケースとなりうる。実際の身体動作を伴いながら、離れた場所にいる仲間と息を合わせて課題に挑戦する。そこでの成功体験や失敗、そして克服の過程を共有することで、より深い「一緒にいる感」を実現できる可能性がある。これは、デジタル技術を活用しながら、人々の本質的な繋がりへの欲求に応える新しい挑戦とも言えるだろう。

1.3. 感覚共有による協調体験の可能性

これまでのデジタル空間における協調体験は、主に視覚と聴覚を通じたものだった。モンスターハンターのようなゲームでも、プレイヤーは画面上の映像と音声チャットを頼りに連携を取り、チームメイトの状況を把握してきた。しかし、現実世界での協力関係において、人々は視覚や聴覚以外にも、様々な感覚を通じて相手の存在や行動を認識している。例えば、大きな荷物を二人で運ぶとき、私たちは相手の力の入れ具合や動きの方向を、触覚を通じて自然に感じ取っている。

この点を象徴的に示す場面として、お祭りにおける神輿担ぎの例を挙げることができる。遠藤 [2] によると複数人が同じ棒を肩に乗せ、「わっしょい」と声をかけながら進むとき、人々は単に言葉だけではなく、互いの身体感覚を共有し合うことで一体感を生み出している。隣の人がどのくらい力を込めているか、どのタイミングで動いているかといった情報が、肩や腕を通じてダイレクトに伝わるため、「一緒に担いでいる」という実感が極めてよくなる。これこそが、視覚や聴覚だけでは説明しきれない”盛り上がり”や深い協力の感覚を引き出す鍵となっている。

また、MR 技術の発展は、このような多感覚的な協調体験をデジタル空間でも実現する可能性を開いた。特に注目すべきは触覚の共有である。従来、触覚は極めて個人的な感覚とされ、他者と共有することは困難だと考えられてきた。しかし、あえてこの「共有されない感覚」を意図的に共有することで、これまでになかった形の協調体験を創出できる可能性がある。例えば、モンスターハンターの世界では、ハンターたちは各々の武器を駆使してモンスターに立ち向かうが、その際の手応えや衝撃は個々のプレイヤーの体験にとどまっていた。もし、仲間の剣が敵に命中した瞬間の衝撃や、盾で受け止めた際の振動を他のプレイヤーも感じることができれば、より深い「一緒に戦っている」という実感が得られるかもしれない。

このような触覚共有には、いくつかの重要な可能性がある。第一に、他者の行動をより直感的に理解し、予測することが可能になる。チームメイトの動作に伴う触覚を共有することで、言葉を交わさなくても相手の次の行動を予測し、適切なタイミングで協力できるようになるかもしれない。第二に、成功体験や失敗の

瞬間をより深いレベルで共有することができる。仲間の攻撃が決まった時の手応えや、防御に成功した時の振動を共有することで、その達成感をより実感として分かち合うことが可能になる。

しかし、このような触覚共有の実現には、技術的・認知的な課題も存在する。触覚情報をどのように伝達し、どの程度の強度で提示するべきか。自分の動作に伴う触覚と、他者からの触覚情報をどのように区別するか。また、触覚共有が却って注意を散漫にしたり、プレイヤーの没入感を妨げたりする可能性もある。これらの課題に対しては、慎重な設計と検証が必要となる。

MR空間における触覚共有は、単なる技術的な革新を超えて、人々の協調体験の質を根本的に変える可能性を秘めている。それは、オンラインでありながら、まるで同じ空間で共に活動しているかのような深い一体感を生み出すかもしれない。本研究では、特に協働感の形成に焦点を当て、触覚共有がもたらす新しい協調体験の可能性を探究する。

1.4. 本研究の目的

本研究の目的は、MR空間における協調プレイにおいて、複数人での触覚共有が協働感を向上させることを明らかにすることである。特に、本来共有されることのない他者の触覚情報を意図的に共有することの効果に注目する。具体的には、モンスターハンターに着想を得た協調的なアクションゲームの文脈において、以下の仮説を検証する：

「他プレイヤーの攻撃動作に伴う触覚を共有することで、協働感が向上する」

また、本研究では、攻撃（剣）と防御（盾）という非対称的な役割分担を有する協働タスクを採用し、この役割差が触覚共有による協働感向上にどのような影響を与えるかを実証的に検証する。この仮説を検証するため、本研究では以下の2点を実施する：

1 複数人での触覚共有が可能なMRシステムの実装

– Meta Quest 3を用いたMR環境の構築

- 触覚フィードバックデバイスによる振動提示
- ネットワークを介した触覚情報の共有
- プレイヤー間の役割分担を考慮した触覚パターンの設計

2 触覚共有の有無による協働感の違いの評価

- 主観評価による定量的検証
- インタビュー調査による質的分析
- 触覚共有が協調行動に与える影響の分析

本研究で得られる知見は、以下の点で意義があると考えられる：第一に、MR空間における新しい形の協調体験の可能性を示すことができる。従来の視覚・聴覚中心の体験を超えて、触覚を含めた多感覚的な協調体験の設計指針を提供することが期待される。

第二に、協働感の形成メカニズムについての理解を深めることができる。特に、触覚共有という新しいアプローチが、協調作業における一体感の形成にどのように寄与するかを明らかにすることで、今後のMRシステム設計に重要な示唆を与えることができる。

第三に、デジタル時代における新しい「共にある」形の一つのモデルを提示できる。物理的な距離を超えて、深い協調体験を実現する手法として、触覚共有の可能性を示すことができる。これらの検証を通じて、MR空間における触覚共有の有効性を示し、より豊かな協調プレイ体験の実現に向けた知見を得ることを目指す。

1.5. 本論文の構成

第1章では、MR空間における協調プレイと触覚共有の意義について述べた。特に、オンラインゲームの歴史的発展から現代のMR技術までの流れを整理し、その中で触覚共有という新しいアプローチの可能性と重要性を論じた。

第2章では、本研究に関連する先行研究について述べる。MR空間における複数人インタラクション技術、感覚共有と一体感の形成に関する研究、そして触覚共有技術について、既存研究のアプローチと知見を整理する。特に、モンスターハンターのような協調型アクションゲームにおける協働感の形成要因や、触覚フィードバックの役割について詳しく考察する。

第3章では、複数人での触覚共有を実現するためのシステムの設計と実装について述べる。まず協働感の構成要素について検討し、それを踏まえた触覚共有の設計指針を示す。続いて、実際のシステムアーキテクチャやハードウェア、ソフトウェアの実装詳細について説明する。特に、プレイヤー間の役割分担を考慮した触覚パターンの設計や、ネットワークを介した触覚情報の共有方法について詳述する。

第4章では、開発したシステムを用いた評価実験について述べる。実験では、触覚共有の有無による協働感の違いを、主観評価とインタビュー調査を通じて検証する。特に、槍と剣という異なる役割を持つプレイヤー間での触覚共有が、協調プレイにおける一体感の形成にどのような影響を与えるかを詳細に分析する。また、得られた結果に基づいて、触覚共有による協調プレイ体験の向上について考察を行う。

第5章では、本研究の成果をまとめ、MR空間における触覚共有の可能性と今後の展望について述べる。特に、本研究で得られた知見が、将来の協調型MRシステムの設計にどのように活かせるか、また、より広い文脈での「一緒にいる感覚」の創出にどのように貢献できるかについて議論する。

このように、本論文は触覚共有による協働感の向上という課題に対して、理論的検討から実装、評価実験まで、体系的なアプローチで取り組んでいく。

第 2 章

Related Works

2.1. 「協働感」の形成機序

協働感は、複数の人々が共同で活動する際に生まれる心理的な現象である。これは単なる物理的な共存や並行作業とは異なり、参加者間に生まれる「共に活動している」という主観的な感覚をさす。この感覚は、チームスポーツやオーケストラの演奏、あるいはビデオゲームでの協力プレイなど、さまざまな協調活動において重要な役割を果たしている。協働感の形成には、複数の心理的・認知的なメカニズムが関与していることが、これまでの研究で明らかになってきている。例えば、他者の意図や行動の理解、共通目標の認識、行動の同期性などが、協働感の形成に寄与する要素として挙げられる。特に注目すべきは、これらの要素が単独ではなく、相互に影響を及ぼし合いながら、全体として協働感を形成している点である。本節では、この協働感の形成メカニズムについて、以下の観点から詳細に検討する。まず、集団的認知モードとしての We-Mode 概念について解説し、続いて一体感を高める感覚統合モデルを紹介する。さらに、協調行動における感覚共有の役割を分析し、最後に感覚共有と一体感の形成に関する具体的な研究事例を概観する。これらの理論的枠組みと実証的知見を整理することで、本研究が着目する触覚共有による協働感向上の理論的基盤を提示する。

2.1.1 We-Mode

We-mode(集団的認知モード)は、人々が共同で行動する際の特異な認知状態を説明する概念である。Tuomela [3] によって提唱され、個人としての視点(I-mode)とは異なり、集団の一員として状況を認識し行動を選択する心理的態度を指す。

この概念は、その後、社会的認知研究の文脈で Gallotti and Frith [4] によって発展が図られ、協調行動における認知メカニズムの理解に重要な示唆を与えている。特に、他者との相互作用が生み出す集団固有の認知プロセスや、個人の認知能力を超えた集団としての新たな能力の創発メカニズムに貢献している。また、この社会認知の集団モードへの遷移が、言語的コミュニケーションに依存しない暗黙的な協調行動を可能にすることも示唆されている。

We-mode の基本的特徴として、以下の3つの要素が挙げられる：

- 1 集団的視点の採用：参加者は自身の行動を個人の行為としてではなく、集団活動の一部として認識する。これは単なる役割の認識以上に、集団としての「われわれ」という視点からの思考と行動を意味する。
- 2 集団的責任の受容：グループのメンバーとしての責任や義務を自発的に受け入れる。この責任は外部から強制されるものではなく、集団の一員としての内発的な動機付けに基づく。
- 3 共有目標への志向：グループの目標や意図を共有し、それに基づいて行動を調整する。各メンバーは集団の目標達成に向けて、自身の行動を能動的に調整する。

この認知モードは、単なる並行行動や模倣とは本質的に異なる。Sebanz ら [5] によると例えば、図 2.1¹ に示すように二人で同じものを運ぶ場合、We-mode では「私たちが運んでいる」という集団的認識のもと、お互いの行動を考慮しながら最適なタイミングを選択する。一方、I-mode では各プレイヤーが独立して「私が運んでいる」という認識のもと行動することになる。

1 NTT FACILITIES JOURNAL digital：コミュニケーションデザインから考える、ワークプレイスの多様性 <https://www.ntt-f.co.jp/ntt-fjd/newworkstyle/0013/>



コミュニケーションデザインから考える、ワークプレイスの多様性：NTT ファシリティーズ¹ より引用

図 2.1 We-Mode について

We-mode への遷移が生じると、以下のような認知的・行動的变化が観察される：

- 1 情報アクセスの拡大：他者の持つ情報へのアクセスが飛躍的に増大する。これは単なる情報共有以上に、他者の意図や行動の予測を含む包括的な理解を可能にする。
- 2 パフォーマンスの質的向上：協働作業における知覚、社会的認知・行為能力が質的に向上する。特に、複数の参加者の行動を調整する必要がある場合に顕著な効果が見られる。
- 3 予測的行動の促進：他者の行動を予測し、それに基づいて自身の行動を事前に調整することが可能になる。

Sebanz ら [5] は、これらの変化が単なる個人の能力の総和を超えて、集団としての新たな能力の創発につながる可能性を指摘している。さらに、Knoblich [6] は、We-mode における行動調整が、明示的な言語的コミュニケーションを必要としない暗黙的なレベルでも機能することを示している。

このように、We-mode は単なる集団行動の様式を超えて、人間の社会的認知の基本的なメカニズムの一つとして理解されるべきものである。それは個人の認知能力を拡張し、より効果的な協調行動を可能にする特殊な認知状態として位置づけられる。

2.1.2 一体感を高める感覚統合モデル

複数の感覚モダリティ、特に視覚と触覚の同時提示と感覚間統合は、他者との一体感を形成する重要なメカニズムとなる。例えば、Botvinickら [7] によるラバーハンドイリュージョンでは、目に見える偽の身体への視覚情報と、実際の身体への触覚刺激が同期して提示されると、その偽の身体が自分の身体のように感じられる。感覚統合による一体感の形成は、以下の三つの要素から構成される。Tsakirisら [8] によると第一に、複数の感覚モダリティからの情報の時空間的な一致である。特に、視覚と触覚の同期的な刺激提示は、自己と他者の境界を曖昧にする効果を持つ。第二に、身体運動とそのフィードバックの整合性である。Leggenhager [9] によると自己の運動と視覚的フィードバックが一致することで、対象への所有感が増強される。第三に、空間的な整合性である。Ehrsson [10] によると視覚情報と体性感覚情報が空間的に矛盾しない配置であることが、一体感の形成には重要となるとされている。このような感覚統合モデルは、単に個人の身体所有感の形成メカニズムを説明するだけでなく、他者との一体感の形成にも重要な役割を果たす。例えば、Maisterら [11] によると相手の動作と同期した触覚フィードバックを受けることで、相手との間に強い一体感が生じることが報告されている。特に、Gallottiら [4] によると視覚-触覚の感覚統合は、We-modeの形成を促進する重要な要因の一つとして考えられている。

2.1.3 協調行動における感覚共有の役割

協調行動（共同作業やチームプレイ）を成立させるためには、参加者間でどのような感覚が共有されているかが重要なポイントとなる。これまでのBhardwaj [12]、Wangら [13] による研究では、視覚情報（アバターの位置やオブジェクトの状態）や聴覚情報（音声チャット、効果音）の共有が協調を促進する主要な要因として取り上げられてきた。しかし近年、触覚といった他の感覚チャンネルが協働感を強化し、認知や行動の同期度合いを高める可能性が注目されている。

参加者間の感覚共有は、以下の三つの側面から協調行動の質を向上させることが示唆されている：

- 行動同期の促進

触覚フィードバックの共有は、参加者間の動作タイミングの調整を促し、一貫性のある動作を可能にする。Bhardwaj et al. (2021) は、触覚通信がダイアド（二人一組）のパフォーマンス向上に寄与し、協調戦略の発展を支援する仕組みをモデル化している。特に、視覚的な手がかりだけでは不十分な状況下で、触覚フィードバックが動作の時間的同期を促進することが示されている。Marsら [14] は、この同期効果が遠隔での協調作業においても有効であることを実証している。

- パートナー認識の強化

触覚を介したフィードバックにより、パートナーの行動や意図を直接感じ取ることで、仲間の存在感が強化される。Wangら [13] は、触覚情報が共通目標の達成に向けたパートナー間の相互理解を深める効果を示している。また、Van der Wel [15] は、触覚フィードバックを通じて、パートナーの運動意図や力の入れ具合といった微細な情報が共有され、それが協調動作の質を向上させることを示した。

- 情動的・心理的一体感の深化

触覚情報は視覚や聴覚とは異なる質感を持ち、身体的な共鳴や共感を促す特性がある。Boessenkoolら [16] は、触覚共有が作業中の認知的負荷を軽減し、チーム内での感情的な一体感を醸成する可能性を示唆している。さらに、Musić and Hirche [17] は、触覚フィードバックが言語的なコミュニケーションを介さない直接的な感情伝達的手段として機能し、チームメンバー間の暗黙的な相互理解を深める効果があることを報告している。

これらの知見は主に遠隔通信やテレプレゼンス分野で示されてきたが、MR空間での触覚共有の具体的な実装やその効果についての研究は十分ではない。特に、Nagyら [18] が指摘するように、複数の感覚モダリティを統合した際の相乗効果や、触覚フィードバックの時空間的特性が協調行動に与える影響については、さらなる検討が必要である。一方で、触覚共有には技術的な制約や実装上の課題も存在する。Pacchierotti [19] は、遅延の問題や、触覚フィードバックの個人

差への対応、複数人での同時共有における情報の輻輳など、解決すべき課題を体系的に整理している。しかし、これらの課題にもかかわらず、触覚共有は協調行動の質を本質的に向上させる可能性を持つ重要な要素として位置づけられる。

2.1.4 感覚共有と一体感の形成に関する研究

人と人との間で生まれる「一体感」は、単なる物理的な共存以上の深い意味を持つ体験である。本項では、この一体感がどのように形成されるのか、特に感覚の共有という観点から、これまでの研究知見を整理する。

感覚共有と一体感の形成に関する研究は、大きく3つの理論的アプローチから進められてきた。第一に、認知科学的アプローチである。このアプローチでは、人間の脳がどのように他者との感覚共有を処理し、それが一体感の形成にどう寄与するのかを探究してきた。例えば、共同注意（joint attention）[20]の研究では、二人の人間が同じ対象に注意を向けるとき、その経験が単なる視覚的な共有を超えて、より深い相互理解につながることを示されている。

第二に、現象学的アプローチがある。このアプローチは、感覚共有による一体感を、生きられた経験（lived experience）として捉える。Voinov [21]は、人々が共に活動する中で、どのように相手の存在を身体的に感じ取り、それが一体感の形成につながっていくのかを詳細に分析している。この研究からは、感覚共有が単なる情報のやり取り以上の、質的な経験の共有をもたらすことが明らかになっている。

第三に、社会的相互作用の観点からのアプローチがある。Tang [22]は、感覚共有が社会的な結びつきの形成にどのように影響するかを検討し、適切に設計された感覚共有が、参加者間の信頼関係や相互理解を促進することを示した。特に注目すべきは、感覚共有が即時的な効果だけでなく、長期的な関係性の構築にも寄与する可能性が示唆されている点である。

これらの研究から、効果的な感覚共有には以下の3つの要件が重要であることが明らかになってきた：

- 1 時間的整合性：感覚情報が適切なタイミングで共有されること。これは特に、相互の行動の調整や予測において重要な役割を果たす。

- 2 空間的一貫性：異なる感覚モダリティからの情報が矛盾なく統合されること。この一貫性は、体験の自然さと信頼性を高める。
- 3 文脈的適切性：感覚共有が活動の目的に適切に組み込まれること。これにより、より意味のある相互作用が可能となる。

しかし、これらの知見を実際のシステム設計に応用する際には、いくつかの重要な課題が残されている。第一に、個人差への対応である。感覚の受容性や処理能力には個人差があり、これをどのように考慮するかが問題となる。第二に、異なる感覚モダリティ間の相互作用の理解がまだ十分ではない。特に、触覚と他の感覚モダリティとの統合については、さらなる研究が必要である。第三に、長期的な効果の検証が不足している。感覚共有による一体感の形成が、時間とともにどのように変化するのかについては、まだ十分な知見が得られていない。このような課題に対して、本研究では特に触覚共有に焦点を当て、それが一体感の形成にどのように寄与するかを実証的に検討する。

2.2. 複数人インタラクション技術

2.2.1 複数人MRインタラクションの現状

複数人でのMR体験は、近年の技術発展により実現可能となってきている。Milgram and Kishino [23] による複合現実感の概念提唱以降、様々な形態の複数人MRシステムが提案されてきた。この発展の歴史は、技術的な進歩とともに大きく変化してきた特徴的な三つの時期として捉えることができる。

1990年代後半から2000年代前半にかけての初期では、Satoら [24] による共有された物理空間にバーチャルオブジェクトを重畳する手法が主流であった。ARToolKitを用いた初期の研究では、マーカーベースのトラッキングにより、複数のユーザーが同じバーチャルオブジェクトを観察し操作することが可能となった。しかし、この時期のシステムは専用の機器が必要であり、トラッキングの精度も限定的であったため、実用的な応用は研究室レベルにとどまることが多かった [25, 26]。

2000年代後半から2010年代前半にかけては、モバイルデバイスの普及とセンサー技術の発展により、より手軽な複数人MR体験が実現されるようになった。スマートフォンやタブレットを用いたAR体験は、位置情報やジャイロセンサーを活用することで、空間共有を可能にした。Ingress (2012) や Pokémon GO (2016) といったアプリケーションは、位置情報ゲームという新しいジャンルを確立し、多人数が同時に参加可能なMR体験の社会的な可能性を広く示すことになった。2010年代後半から現在に至る期間では、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の高性能化と低価格化により、より没入感の高い共有体験が実現している。Meta Quest シリーズなどのMRデバイスは、高精度な空間トラッキング技術を実装し、Inside-out トラッキングによる自由な移動や、手指のトラッキングによるジェスチャー入力を可能にしている。さらに、リアルタイムの空間メッシュ生成や物理オブジェクトとの干渉検出、光源推定による陰影表現といった、高度な環境認識機能も実装されている。装置の軽量化による長時間使用の実現や、パススルー映像による現実空間の視認性向上など、実用的な利用に耐えうる性能を獲得している。このような技術的進歩は、モンスターハンターのような協調型アクションゲームの文脈において、特に革新的な可能性をもたらしている。プレイヤーは実際の身体動作を用いて攻撃や防御を行い、空間内を自由に移動しながら戦略を立てることができる。また、他プレイヤーの存在を認識し、視線や身体の向きといった非言語的なコミュニケーションを通じて協力することが可能となっている。さらに、プレイヤー間の正確な位置関係の把握や、物理的な障害物を考慮した移動と戦術立案が可能となり、環境に応じて動的にゲームフィールドを生成することもできる。これにより、現実世界の空間特性を活かしながら、バーチャルな要素を効果的に組み込んだ、より没入感のある協調プレイ体験が実現されつつある。

2.2.2 協調的ジェスチャーとコミュニケーション

MR空間における協調作業では、参加者間のコミュニケーションと相互理解が重要な役割を果たす。これまでのJing研究では、MR空間における協調的なジェスチャーとコミュニケーションについて、主に二つの観点から検討が行われてきた。一つは、Jingら [27] によると実空間でのコミュニケーション手法をMR空間

でいかに実現するかという課題である。実空間での協力プレイ、例えばモンスターハンターのような協調型アクションゲームを現実の人々と一緒にプレイする場面では、プレイヤーは相手の姿勢や動作、視線の動き、さらには体の緊張といった微細な非言語的手がかりを読み取っている。

「今攻撃のタイミングを狙っているな」「あの動きは回復アイテムを使おうとしているな」といった相手の意図を、言葉を交わさずとも理解できるのは、このような豊かな非言語的手がかりがあるからである。しかし、従来のMRシステムでは、このような繊細なコミュニケーションの要素を十分に再現することが困難であった。もう一つは、Sasikumarら [28]によるとMR空間固有の特性を活かした新しいコミュニケーション手法の可能性である。物理的な制約から解放されたMR空間では、現実世界では不可能な形でのジェスチャーや情報共有が可能となる。例えば、相手の視界に直接情報を重畳したり、動作の軌跡を可視化したり、あるいは意図や状態を視覚的なエフェクトとして表現したりすることができる。

このような新しい表現手法は、従来の対面コミュニケーションを補完し、より豊かな協調体験を実現する可能性を持っている。特に注目すべきは、これらの要素が協働感の形成に与える影響である。従来の研究では、協調作業における非言語的コミュニケーションの重要性は認識されていたものの、それらがどのようにして参加者間の一体感や共同感を生み出すのかについては、十分な検討がなされていなかった。例えば、モンスターハンターのような協調プレイにおいて、プレイヤーが「本当に一緒に戦っている」と感じられるのは、単に同じ目標に向かって行動しているからだけではない。相手の動きを予測し、それに合わせて自分の行動を調整する過程で生まれる「呼吸の合った」感覚や、成功や失敗の瞬間を共有することで生まれる連帯感など、様々な要素が複雑に絡み合って「一緒感」が形成されているのである。

このような観点から、本研究では特に触覚フィードバックという要素を導入することで、MR空間における協調的ジェスチャーとコミュニケーションの可能性を拡張することを目指している。視覚や聴覚による情報共有に加えて、触覚という感覚チャネルを活用することで、より直感的な協調作業の実現を図る。

2.2.3 協調作業支援技術

協調作業支援技術の研究は、Computer Supported Cooperative Work (CSCW) という分野として長年発展してきた。この分野では、複数の参加者が効果的に協力できるように支援するシステムやインタフェースの開発が進められてきたが、近年のMR技術の発展により、新たな展開を見せている。従来のCSCW研究では、Procterら [29] が主に画面共有やテキストベースのコミュニケーションツールを中心に、遠隔地間での協調作業を支援する手法が研究されてきた。例えば、ドキュメントの共同編集システムや、ビデオ会議システムなどが代表的である。しかし、Grossら [30] によるとこれらのツールでは、実空間での協調作業を得られる「workspace awareness (作業空間認識)」が不足するという課題があった。

実空間での協調作業、特にモンスターハンターのような身体性を伴うゲームプレイでは、Steed [31] によると、参加者は互いの存在や行動を感じ取り、それに基づいて自身の行動を調整している。しかし、従来の協調作業支援システムでは、このような暗黙的な理解や調整を十分にサポートすることができなかった。そこでPetersら [32] はMR技術を活用した新しいアプローチは、この課題に対する一つの解決策を提示している。MR空間では、参加者が同じ空間を共有しながら、それぞれの視点で環境を観察し、インタラクションすることができる。例えば、Wangら [33] によると、あるプレイヤーが特定の方向を指さした際、その動作が他のプレイヤーにも伝わり、注意を向けるべき対象や方向を理解することができる。

また、Wangら [34] によると実際の身体動作を用いたジェスチャーは、テキストや音声よりも豊かな情報を含んでおり、より自然なコミュニケーションを可能にする。特に注目すべきは、Wangら [35] によるMR技術を用いた協調作業支援が、単なる情報共有の枠を超えて、参加者間の協働感の形成にも寄与する可能性である。例えば、モンスターハンターの世界では、プレイヤーは互いの動作や状態を視覚的に確認しながら、息の合った連携プレイを実現している。MR空間でこのような体験を再現する際には、単に視覚的な情報を共有するだけでなく、相手の存在感や行動の意図を感じ取れるような仕組みが必要となる。

しかし、現状のMRベースの協調作業支援技術には、いくつかの課題も存在する。Karsaiら [36] によると第一に、空間認識の精度や遅延の問題がある。複数の

参加者が同じ MR 空間を共有する際、それぞれのデバイスでの空間認識にズレが生じると、スムーズな協調作業の妨げとなる。第二に、参加者間のインタラクションの自然さをいかに実現するかという課題がある。現実世界での協調作業では当たり前のように行われている非言語的なコミュニケーションを、MR 空間でどのように実現するかは、依然として重要な研究課題となっている。

これらの課題に対して、本研究では触覚フィードバックという新しいモダリティを導入することで、協調作業支援の実現を目指している。触覚情報の共有により、視覚的な情報だけでは伝わりにくい相手の動作や意図を、より直接的に感じ取ることができると考えられる。

2.3. 触覚共有技術

近年、触覚共有が人々の社会的・協力的行動に及ぼす影響を検討する研究が増えている。たとえば Takeuchi ら [37] は、公共財ゲームをオンラインで実施し、他者の行動を視覚のみで把握する場合と、コインの落下振動を触覚で感じられる場合を比較した。その結果、触覚共有によって「自分だけ協力しなかったときの罪悪感」が高まり、全体の協力的行動の維持が促進される可能性を示唆している。この研究は、触覚共有が単なる感情面だけでなく、実際の行動パターンにも変化をもたらす点を示し、本研究の「非対称タスク下での協働感形成」にも強く関連する。

他にも触覚共有技術は、離れた場所にいるユーザ同士が物理的触覚感覚を共有し、共通のタスクやコミュニケーションを支えるための重要な基盤として注目されている。こうした技術は、触覚提示と触覚伝送の二つの側面から発展してきた。触覚提示はユーザに触覚体験そのものを生成・提示し、バーチャルオブジェクトとの対話を可能にする技術であり、触覚伝送はこの触覚情報を遠隔地や複数ユーザ間で共有することに焦点を当てる。本研究は、これらの領域で蓄積された知見を統合的に活用し、非対称タスク下での協働感形成に触覚共有がどう作用しうるかを探究する。

2.3.1 触覚提示

触覚提示技術は、ユーザに対してバーチャル空間の物体に触れている感覚をリアルに伝えることを目的とする。その形態は多様だが、大きく「接地型」「装着型」「把持型」「遭遇型」の四つに分類されることが多い。以下、それぞれの特徴と代表例を示す。

1つ目の設置型は机や床などに固定されたデバイスを介して、ユーザが力覚や触覚を得る方式である。典型的な例として、PHANToM [38] や Falcon [39] といったアーム状のハプティックデバイスが挙げられる。これらは「ペン先」にあたるスティックをユーザが握り、仮想物体との接触や衝突感をアーム機構の反力として返すことが可能である。接地型デバイスは、高い剛性と精密な力覚提示を得やすく、「空中でほとんど抵抗がなく、壁や物体の表面に触れた瞬間だけしっかりした反力を感じる」という繊細な表現ができる点が大きな強みである。一方で、デバイス本体を固定するための設置スペースが必要になり、ユーザが自由に動き回れないこと、さらには装置の導入コストやメンテナンスの負担が大きいなどの課題がある。また、複数人同時利用にはさらに大掛かりな仕組みを要するため、大人数での協働シナリオに適用しづらい場合が多い。

2つ目の装着型は、ユーザの手指や腕などにアクチュエータや振動子を取り付けることで、自由に動き回っても触覚提示を継続できる方式である。たとえば、Minamizawa ら [40] による Gravity Grabber では指先パッドを変形させることで質量や慣性を指に錯覚的に提示し、また、HaptX Gloves²のように多数の小型アクチュエータを手袋内部に配置して皮膚を押し込むことで、手のひら全体に触圧情報を与える試みもなされている。装着型の大きな利点は、ユーザがVR/MR空間を移動しながらも「触覚」を体験し続けられる点である。視聴覚と統合する際にも自然なインタラクションを作りやすく、全身を使ったゲームやリハビリ、産業用途など多岐にわたる応用が考えられる。一方、身体への装着というハードルがあり、着脱の手間やフィット感に関する調整が必要となる。また、物体を押し返すような大きな力の提示は苦手で、強い反力を要するシナリオでは限界がある。

2 HaptX Gloves <https://haptx.com/gloves-g1/>

3つ目の把持型は、ユーザが手で直接デバイス本体を「握る」ことで力覚や振動を伝える方式である。Shigeyamaら [41] による Transcalibur のような研究では、デバイス内部に重りを仕込み、モータ制御によってその重心や慣性を動かすことで「剣の長さが変わった」「武器の先端が重くなった」等の錯覚を起こす仕組みを提案している。また、Liuら [42] による Weight-Shifting Controller など、単一の把持デバイスで多彩な物理特性を再現する試みもある。把持型のメリットは、「グリップを握る」という行為が VR 空間内の物体操作と直感的に対応づけられる点である。たとえ VR 空間では剣やバットの形状を想定していても、物理的には一本の棒状デバイスだけあれば、多様な重心や振動パターンを変化させることで複数の道具を“使い分けている”感覚を表現できる。一方で、中に駆動部や重りを搭載する都合上、やや重量が増す、駆動音が気になる、安全対策が必要といった面もあり、大掛かりになりやすいのが課題である。

そして4つ目の遭遇型は、ユーザが「そこにあるはずの物体」に触れたいタイミングで、デバイス側が板やロボットアームをユーザの手元に合わせて出現させ、物理的な衝突感を再現する方式である。Horieら [43] の EncounteredLimbs などの研究では可動式のロボットアームをユーザの手元にあて、あたかも“バーチャルオブジェクトが実在している”かのような触感を生み出す。また、Yafuneら [44] は操作パネル上の複数スイッチを仮想的に提示する遭遇型ハプティックデバイスを提案し、仮想空間上に配置したパネル面と実際のロボットアームの動作計画を組み合わせることで、ユーザがスイッチに触れたいタイミングに合わせてデバイスを適切に移動させる手法を示した。いずれの取り組みにおいても、実際に剛体を触る体験が得られるため、壁やパネル、机などの硬い物体をリアルに再現しやすい利点をもつ一方、高速移動時の安全性や複雑な制御・配置の必要性など、導入コストが高いという課題を抱えている。さらに、複数ユーザが同時に触れる物体を提示するには、空間内での衝突回避や役割分担がいつそう困難となるため、遭遇型デバイスを協働シナリオへ拡張するにはより緻密なシステム設計が求められる。

以上のように、多彩な触覚提示デバイスが研究・開発されているものの、「非対称な役割を持つ複数人」が「リアルタイムで相互に触覚を送受信し合い、かつ

各自の役割と相手の動きを同時に体感する」事例はまだ少ない。接地型や遭遇型のように力覚提示の精度が高い方法では、ユーザの自由移動や複数人への拡張が難しく、装着型や把持型は比較的可搬性を確保できる一方、強い反力や先端衝撃の精密再現は得意でない、などそれぞれに一長一短がある。

2.3.2 触覚伝送

触覚提示技術が「ユーザ個々へ質感や重さ・反力などを提示すること」を主眼に置くのに対し、触覚伝送技術は「触覚情報を複数ユーザ間で共有すること」を主目的としている。これにより、単独プレイや一方向的な体感を超えて、複数の参加者が同一の触覚経験をリアルタイムに共有したり、遠隔地のユーザ同士が「今、どんな動きや感触を体験しているか」を互いに伝え合う新しいコミュニケーション形態を可能にする。

本研究が着目する「触覚伝送」の文脈では、Braveら [45] の「inTouch」システムが早期の例として挙げられる。inTouchでは、回転ローラーを用いた物理デバイスを地理的に離れた2箇所に配置し、一方のユーザがローラーを操作すると、もう一方のデバイスにも同様の回転運動が再現される。これにより、遠隔地の人同士が“同じ物体”を一緒に操作しているような手応えを共有し、音声や映像では得られない身体的な繋がりを生み出すことが狙いとされていた。この研究は、バーチャルオブジェクトのリアルな力感再現という観点よりも、むしろ「動き (gesture) の共有」に注目しており、遠隔間のコミュニケーションを“物理的な動きのやり取り”として捉える先駆的アプローチといえる。実際のユーザ利用では、ローラーを回す強さや方向、抵抗感の変化といった微妙な動作を介して、遊び心や親密感といった情動コミュニケーションを引き出すことが確認されており、触覚経由の情報交換が人々の対人的な結びつきに与える可能性を示唆している。

他にも、Hayakawaら [46] [47] による「触覚公衆電話」では、映像通話に加えて振動を共有する仕組みを導入し、遠隔地の相手にまるで隣にいるかのような臨場感や存在感を伝えるインタラクションを提示している。また「ライブフィーリング」は、大規模なコンサートなどの会場で生まれる低周波振動や観客の盛り上がりや遠隔地に伝えることで、映像+音響だけでは得られない身体的な一体感を

共有する事例である。Kitamichi ら [48] の研究では、複数人が同時に触覚を感じ取る際、人間がどの程度まで同時並行で触覚信号を処理できるかを実験的に調べ、その限界や注意資源の配分を検討している。これらの研究はいずれも、単なる視聴覚では伝わりづらい「身体的な場の熱気や他者の動き」を共有する可能性を指し示している。

さらに、遠隔地でも「手と手を合わせる」行為を疑似再現する Komazaki ら [49] の「リモートハイタッチ」や、Watanabe ら [50] の「WOW BALL」のように空気圧で握りの強さを伝えるデバイスは、シンプルな触覚や力感覚によってエモーショナルなコミュニケーションを実現している。Maeda ら [51] による「Haptic Aid」では、失われた触覚の補助を目的としつつ、他者との触覚共有を新たな視点から捉え、弱化した感覚を相手に預けたり、逆に相手から触感を補完してもらうような仕組みを探究している。これらの試みは、身体感覚を“やり取りする”意義を強く示唆し、視聴覚偏重だったデジタルコミュニケーションの枠組みを広げるものである。

一方、Murata ら [52] による Dynamic Derm のように衣服内部のアクチュエータで皮膚を動的に変形させ、心拍や呼吸などの生体信号を触覚・視覚両面で伝える研究も登場している。こうしたウェアラブルな手法によって、単なる物体操作に留まらない「感情状態や内部感覚の遠隔共有」が可能となり、協働作業やコミュニケーションの深さを高める方向性が生まれつつある。Horie ら [53] による Seeing is Feeling では、皮膚変形を他者に対してリアルタイムに「見せる」仕組みを提案し、リモート下での「触覚＝視覚」連動コミュニケーションという新しい観点を提示した。

このように、多様な触覚伝送手法は従来のオンラインコミュニケーションが主に視覚・聴覚情報に依存していた点を超克し、人々が「物理的な存在」や「行為結果」を遠隔から共有する新しい可能性を開拓している。特に、大勢の観客や遠隔の家族・友人へ振動や圧力感を送る事例は「集団的な熱気」や「生の応援」の共有に効果があると報告されている。一方で、多くの研究が単独のデモンストレーションやデバイスプロトタイプの紹介にとどまり、複数人が非対称な役割を分担しながら協力する場面で「誰が何をしているか」を身体感覚レベルで共有する設

計指針は十分に確立されていない。本研究では、こうした「行為共有の触覚伝送」をより複雑な役割分担シナリオへ適用し、“背中合わせ”のように視認が難しい状況下でも相手の行動を身体的に感じ取れる環境づくりに取り組む。

2.4. 本研究の位置付け

以上のように、協働感の形成には視聴覚コミュニケーションだけでは捉えきれない暗黙的な身体感覚の共有や役割認知が深く関与し、We-mode理論が示すように「われわれが一緒に行動している」という集団的視点が獲得されることで協働感が高まることが分かっている。また、複数人参加型のMR環境においては、非言語的の手がかりや空間共有の仕組みによって協働作業を支援する試みが進められてきた。一方、触覚共有技術の研究では、遠隔通話やライブ会場などでの振動伝送による新たな臨場感の創出、またウェアラブルデバイスによる多感覚コミュニケーションなどが提案され、視聴覚以外の感覚による協働や相互理解の可能性が示唆されている。しかし、多くの先行事例は

- 1 複数人が非対称な役割を担う協力関係を想定していない
- 2 MR空間での背中合わせや視覚制限下における相互行為の可能性を十分に検討していない
- 3 触覚伝送の効果を行為理解や協働感の質的向上という観点から詳細に評価していない

といった課題がある。本研究は、こうしたギャップを埋めることを目的としている。すなわち、背中合わせという視覚制限の強い状況をあえて設定したうえで、剣と盾という非対称な役割を導入し、攻撃成功や防御成功時の触覚情報を双方に伝送するシステムを開発することで「仲間が何をしているか」を身体レベルで把握し合える環境を実現する。これにより、既存の協働感研究が提示してきたWe-mode的な役割補完の要素を、単なる視聴覚情報ではなく触覚共有の観点から検証する枠組みを構築する。さらに、協働感の形成過程を定量・定性両面で評価すること

で、「従来は視聴覚では補完しづらい他者の行為結果」を触覚を通じて知覚することが果たしてどの程度協働感向上に寄与し得るかを明らかにする。これらの検証を通じて、非対称ロールのMR協力プレイにおける行為共有デザインの意義と、触覚伝送がもたらす協働感醸成のメカニズムを理論・実践の両面から示すことを本研究の目標とする。

第 3 章

Concept Design

3.1. 本研究が目指す MR 協働体験の方向性

本研究は、複数人が同時参加する MR (Mixed Reality) 空間において、単なる並行作業を超えた「協働感」の創出を目指すものである。従来のオンラインゲームや VR/AR システムでは、プレイヤー同士が同一の目標を共有していても、実際には視覚・聴覚に依存したコミュニケーションが中心であり、身体的・直接的な感覚共有を伴う「一緒にいる感」を十分に実現することは困難であった。

ここで着目するのが「触覚共有」による新たな協働体験の創出である。本研究は、他者の行為に伴う触覚情報を意図的に共有し、身体的レベルでの行為理解や連携強化を可能にするシステムデザインを探究する。特に、モンスター討伐のような協調的アクションゲームを題材とし、単なる情報共有ではなく、行為そのものを体感的に同期させることにより、プレイヤー間の協働感を向上させることを目標とする。

以下では、こうした方向性を示した上で、具体的な非対称的役割分担（剣と盾）を導入し、それに基づいたインタラクションデザインによって協働感を高める戦略を概念的に提示する。

3.1.1 デジタル領域での「協働感」の課題

オンラインゲームやリモートワークツールの普及により、人々は地理的な制約を超えて共同作業を行う機会が増えている。しかし、画面越しのコミュニケーションは、視聴覚を介した情報伝達に偏りがちであり、物理的・感覚的な「場」を共

有することの難しさが浮き彫りとなっている。結果として、協働感は、対面での共同作業や身体運動を伴う活動ほど強く生まれにくい。

この問題を解決するためには、単なる視聴覚情報の増強では不十分である。身体的感覚を共有し、相手の行為を自分の身体を通して経験するような仕組みが求められる。触覚は、現実世界の共同作業で自然に利用されている感覚モダリティであり、これをデジタルな MR 空間に導入することにより、新しい形の協働感を醸成できる可能性がある。

3.1.2 非対称タスクによる感覚共有戦略

従来は、プレイヤー同士が同種の行為（例：全員が剣を振る）を行う対称的なタスクを想定していたが、この場合、他者の行為由来の触覚刺激と自分自身の行為由来の刺激が混在し、識別が困難になる懸念がある。そこで本研究は、攻撃（剣）と防御（盾）という非対称な役割分担を導入する。

この非対称タスクにより、各プレイヤーは明確に異なる行為を担い、触覚的なフィードバックもそれぞれ異なる質の刺激（剣側は鋭い衝撃、盾側は圧迫感）を受け取ることが可能となる。こうした役割分化は、単純な「全員攻撃」モデルよりも、他者の行為を触覚的に把握しやすくする。攻撃役は、他者が防御を成功させた際の特有の触覚フィードバックを手元に感じ、防御役は、他者が攻撃を成功させた瞬間に発生する鋭い触覚刺激を受け取ることで、仲間の行為を自分の身体感覚として取り込むことができる。

3.1.3 本章以降での展開

本章では、本研究が目指す協働感創出の方向性として、触覚共有を活用した非対称的役割分担による MR 協働体験を提示した。この方向性を理論的かつ実証的に裏付けるため、本章以降では以下の流れで議論を進める。

まず、3.2 節で「協働感」を学術的文脈で定義し、We-mode 理論や一体感モデルなどを踏まえた理論的基盤を整える。続いて、3.3 節でこれらの理論的基盤に基づくシステムデザイン提案を行い、3.4 節でハードウェアインターフェースのプロ

トタイピングを通じてデバイス設計を具体化する。その後、3.5節で本研究の最終的な提案手法を「Sense-LinQuest」として提示し、3.6節でシステム構成の詳細、3.7節で協働感を生み出す触覚デザインの手法を示す。最終的に3.8節で本章を総括し、実験的評価を行う次章へと結びつける。

3.2. 協働感の理論的定義と学術的基盤

3.1節では、MR空間において複数の参加者が触覚共有を通じて「協働感」を醸成する方向性を示した。しかし、この「協働感」は感覚的・経験的な概念であり、学術的には多面的な定義や類似概念が存在する。

本研究が協働感を扱ううえで重要なのは、協働感が単なる同席感や同期行動以上の意味を持つことである。すなわち、参加者同士が共通の目標や意図を共有し、その過程で生まれる相互理解や一体感が、行動調整やパフォーマンス向上をもたらす心理的・社会的状態と考えられる。この状態を学術文脈で位置づけるために、本節では以下のステップで論を進める。

まず3.2.1で、We-mode理論や一体感モデル、さらには感覚共有に関する先行研究を参照し、協働感を理論的に捉える枠組みを示す。次いで3.2.2では、関連研究から抽出した協働感形成要因を整理し、本研究で重視するパラメータや条件を洗い出す。最後に3.2.3で、本研究が扱う「協働感」指標を明確化し、後の評価実験で用いる測定軸を確立する。

3.2.1 既存概念を踏まえた本論文における協働感の定義

協働感は、多くの研究領域で議論されている概念であり、社会心理学、認知科学、HCI (Human-Computer Interaction) の文脈で多様な名称やモデルが提唱されている。その中で本研究が特に参照するのが、We-mode理論と一体感 (sense of togetherness) モデルである。

We-mode理論 (Tuomela, 2006 ; Gallotti & Frith, 2013) は、個人が「私 (I-mode)」として行動するのではなく、「私たち (We-mode)」として集団視点に立つ際の社会的・認知的変化を説明する。We-mode状態では、メンバーは共通の目

標や意図を内在化し、言語的コミュニケーションが限定されても暗黙的な協調行動が可能となる。この理論は、単なる並行作業ではなく、相互依存的な役割分担を前提とした協働において、特に強い関連性を示す。

一方、一体感モデルは、集団内で行動や注意が同期するとき、人々が感じる「一緒に行動している」という主観的感觉を説明する。この一体感は、スポーツチームや音楽演奏集団などで典型的に観察され、非言語的情報（視線、身体動作、触覚的フィードバックなど）によって強化される。

本研究は、これら理論を踏まえ、「協働感」を以下のように再定義する：協働感とは、「参加者が共通の目標達成に向けて、自他の行為を相互依存的・補完的な関係で捉え、We-mode的視点を獲得することで生じる、身体的な一体感と心理的な結束感を含む主観的状态」である。

3.2.2 関連研究から得た協働感形成要因の抽出

既存文献では、「協働感」を生み出すうえで複数の要因が指摘されているが、それらは大きく「目標・意図の共有」「行為の可視化・可触化」「役割補完性」「リアルタイムのコミュニケーションモダリティ」「情動的な共感」などに分類できる。これらは相互に影響し合い、総合的に「協働感」と呼ばれる心理的・社会的状態を形成すると考えられる。本研究の文脈では、以下の3つを特に重視する。

- 共通目標の明確化と相互依存性

まず協働感の大前提として、各プレイヤーが「同じゴールへ向かう共同体」であると認識することが必要である。そのうえで、単にゴールを共有するだけでなく、互いの行為が不可欠な相互依存関係にあるほど「協働している」感覚が高まると報告されている [5]。

- 行為理解を助ける感覚共有（視覚・触覚・聴覚など）

他者の行為を正確かつリアルタイムに知覚できるほど、「仲間がいま何をしているか」を自分ごとのように捉えやすくなる。視覚情報が豊富な場合は相手の動きが直接把握可能だが、それが制限された状況（背中合わせなど）で

は代替チャンネルとしての触覚が有効に働く可能性がある。触覚は、身体的かつ直接的な感覚モダリティであるため、相手の行為結果を“自分の身体を介して追体験”できる点が大きな特徴となる。

- 役割補完性による達成感の相互承認

協働感とは、お互いが同質な動きをするよりも、明確に異なる役割を担い合うことで高まりやすい。例えば攻撃役と防御役がそれぞれにしかできない行為をしているとき、仲間の行為が「自分にはできない重要なもの」と認識しやすく、「あの人がいてくれたおかげで自分は攻撃に集中できる」「自分が守ったから仲間が攻撃できた」という補完関係が生まれる。この「お互いに必要不可欠な存在である」という認知が、協働感を強くする鍵となる。

上記要因のうち、本研究では、協働感を構成する多様な要素のうち、特に「行為理解を助ける感覚共有」の側面に注目している。そもそも協働感とは、単なる情報交換を超えて、仲間の行為を自らの身体に取り込むような深いレベルでの共感や結束感を指す。その観点から見たとき、触覚情報は視聴覚よりも身体感覚に密接しているため、仲間が攻撃や防御を成功させた瞬間の手応えを自分の手元で追体験できる点が大きな特長である。ここでは、背中合わせでお互いを視覚的に確認しづらい環境下であっても、仲間が行った行為の成果が振動として伝わることで、わざわざ振り返らずとも相手の存在や支援を身体的に理解できる。このように、視覚情報が乏しい状況でも触覚が行為理解の補完手段として機能すれば、仲間同士が役割を補完し合いながら同じ目標へ進んでいることを「身体感覚を通して」把握しやすくなる。その結果、自分一人だけでは到底成し遂げられない戦闘行為を共同で遂行するという体験が、一体感や連帯感といった協働感の強化へとつながると考えられる。

3.2.3 本研究で扱う「協働感」指標

以上の内容を踏まえ、本研究では「協働感」を測定するための指標を以下のように定義する。

1 主観評価指標：

Likert スケールによるアンケート項目を用い、「仲間と協力していると感じたか」「仲間と一緒に共通の目標を達成していると感じたか」など、協働感に関連する複数の設問を設定する。

2 質的データ（インタビュー）：

プレイ後のインタビューで、参加者がどのような瞬間に「一緒にやっている」と感じたか、触覚共有がどのような役割を果たしたかを自由記述させ、テキスト分析を通じて協働感の質的特徴を把握する。

これらの指標を組み合わせることで、本研究は「触覚共有」と「非対称役割分担」という設計要因が、MR 空間での協働感形成にどのような影響を及ぼすかを、主観・質的側面から総合的に検証する。

3.3. システムデザイン

3.2 節では、協働感を理論的に定義し、その形成要因として非対称的役割分担と多感覚（特に触覚）共有の重要性を示した。本節では、これらの知見をもとに、実際の MR 空間でどのようなシステムデザインによって協働感を醸成できるか、その「設計指針」を提示する。

本研究が狙うのは、単なる技術的実装にとどまらず、役割分担や触覚提示手法を意図的に組み合わせることで、プレイヤー同士が We-mode 的視点を獲得し、より強い一体感や相互理解を得る仕組みを構築することである。本節では、そのための基本的な「設計指針」として、以下の要点を整理し、MR 空間で実現すべきインタラクションとシステム構成の方向性を示す。

3.3.1 協働感形成に資する設計指針

本研究では、協働感形成において以下の 3 つの設計指針を採用する。

1 非対称役割による相互補完的関係の形成：

攻撃（剣）と防御（盾）という異なる役割を導入することで、プレイヤー間に相互補完的な行為関係を確立する。これにより、プレイヤーは単なる同期以上に、相手の行為が自分の行為を支え、補強するという関係性を感得しやすくなる。

2 触覚共有による行為理解の身体的補完：

視覚・聴覚に加え、行為に伴う触覚情報を共有することで、プレイヤーは相手の意図や行動結果を身体的な実感として受け取る。これにより、単なる情報伝達を超えた深い行為理解と協働感の醸成が期待される。

3 MR 環境での直観的インタラクション設計：

MR ヘッドセットを用いた空間共有や視線追跡、ジェスチャー認識といった要素を積極的に活用する。これらに触覚共有が加わることで、行為の因果関係や役割間の補完性がより明確となり、協働感をさらに高める。

3.3.2 MR 空間での触覚共有インタラクション設計

上記の設計指針を具現化するため、MR 空間内でどのようなインタラクションを想定するかを整理する。

- 攻撃役（剣）の触覚提示：

攻撃が成功した瞬間、剣側のプレイヤーは自分が発生させた斬撃の手応えを感じる。また、盾側プレイヤーも攻撃成功の衝撃を軽微ではあるが共有することで、仲間がモンスターに有効な一撃を加えたことを身体で理解する。

- 防御役（盾）の触覚提示：

防御が成功した際、盾側プレイヤーは衝撃・圧迫感をリアルタイムに感じ取り、自分がチームに貢献した感覚を得る。一方、剣側プレイヤーは、その時点で軽い圧迫や別種の振動を受け取り、仲間が攻撃を防いだ事実を感じ取

る。これにより「自分が攻撃しやすい状況を仲間が生み出してくれている」という認識が触覚を通して生まれる。

- 役割間相互理解を促すフィードバックパターン：

攻撃成功時と防御成功時の触覚パターンを明確に異なる質感（周波数、強度、持続時間）に設計することで、プレイヤーは「これは攻撃成功時の手応え」「これは防御成功時の手応え」と識別しやすくなり、役割の補完性と自他行為の関連性を身体感覚として獲得する。

3.3.3 基本アーキテクチャとモジュール設計方針

これらのインタラクションを成立させるためには、ハードウェア・ソフトウェア・ネットワークの統合的なアーキテクチャ設計が必要である。

- ハードウェア面：

剣型デバイスを用意し、各プレイヤーがそれぞれを把持する。振動アクチュエータを内蔵し、外部からの制御信号に応じて触覚フィードバックを生成する。3.4節で詳述するが、これまでのプロトタイプ開発を踏まえて軽量化・振動効率向上などを行う。

- ソフトウェア面：

MR ヘッドセット（Meta Quest）上でUnityなどの開発環境を用いて、プレイヤーアバターとモンスターの状態を同期し、攻撃・防御のトリガーを検出する。ネットワーク（Normcore等）を介してプレイヤー間で行為情報を即時共有し、その情報に応じて触覚フィードバック出力コマンドを各デバイスに送信する。

- ネットワークモデル：

攻撃・防御イベントを軽量なメッセージで即時共有し、遅延を最小限に抑える。これにより、行為発生から触覚提示までの時間差を極小化し、リアルタイム性を確保する。

これらの設計方針により、プレイヤーはMR空間内での視覚・聴覚情報に加え、触覚刺激を通して他者の行為を身体的に把握できる。その結果、単なる情報共有を超え、補完的な役割を相互に理解し合う協働感が醸成されると期待される。

3.4. ハードウェアインターフェースのプロトタイピング

本節では、協働感形成のための触覚共有デバイスとしての剣型インターフェース確立に至るプロトタイピング過程を詳細に述べる。これまで考察した設計指針(3.3節)を具現化するために、3段階の試作(v1、v2、v3)を行い、その都度目的や設計方針、実装上の工夫、評価から得た教訓を整理する。最終的な剣型デバイスは、これらの試行錯誤を通じて洗練される。

3.4.1 プロトタイプ v1

目的・概要

プロトタイプ v1 では、非対称振動によって「斬る」感覚を再現できるかを最初の目標とした。指先で把持する小型デバイスを想定し、2つの振動子を可変距離で配置して振動強度・方向性を制御することで、異なる触覚パターンを表現する試みを行った。

設計

v1 は人差し指と親指でつまむ小型ユニットとして設計し、2つの振動子を直線上に配置できる構造とした。振動子間距離を変えることで、単純な強弱だけでなく、指先への振動伝達方向やバランスを調整できると考えた。

実装

3Dプリンタで小型ハウジングを成形し、2基の小型振動モータを可動式のスロットに取り付けた。Unity側のスクリプトから有線接続で非対称振動による音声波

形を出力することにより斬撃感の提示を行おうと考えた。操作は基本的に静止した状態で行い、斬撃を想定した試験用の動作を模倣した。

評価

初期評価（開発者自身による主観評価）では、静止状態であれば異なる振動感覚を指先で感じ取れるものの、実際に手を動かすと微細な振動差を識別することが困難であることが判明。また、指先のみで把持する方式は、剣らしい操作感から遠く、斬る動作中の精確な触覚知覚が不安定であることが課題として浮上した。

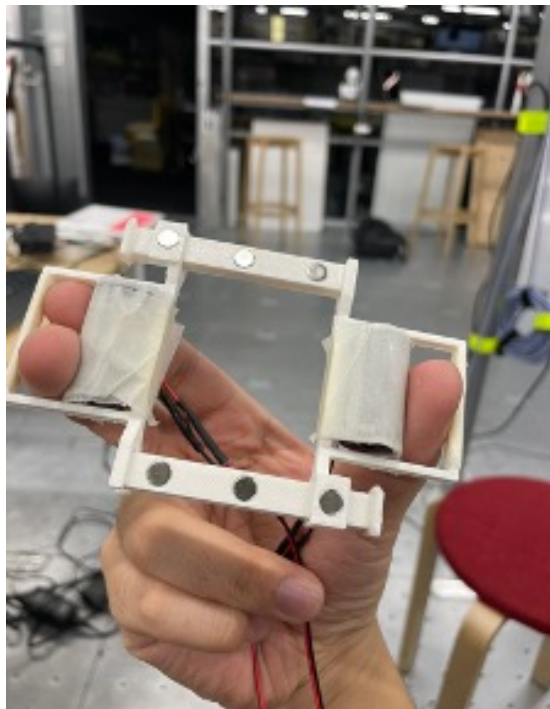


図 3.1 Prototype-Ver1

3.4.2 プロトタイプ v2

目的・概要

v1の課題を踏まえ、v2では触覚フィードバックをより強力かつ手のひら全体で受容できるよう、多数の振動子を組み込んだ剣型デバイスを試作した。狙いは触覚強度の向上と皮膚接触面積の拡大である。

設計

剣のグリップ部分に2並4列、計8基の振動子を埋め込み、強力な振動提示を可能にした。また、重量バランスを考えず、まずは強い触覚刺激を得ることを優先した設計を採用した。

実装

3Dプリンタで剣型ハウジングを作成し、8基の振動アクチュエータを均等配置した。外部電源で動作させ、Unityと有線接続で振動パターンを制御した。振動強度を上げ、方向性も工夫しようとしたが、制御が複雑化した。

評価

強力な振動を得られたものの、総重量約275gと重くなり、操作性が著しく低下した。また、多数の振動子がかえって制御困難となり、期待した方向性表現が困難であった。結果、回転方向や微妙な反力表現の再現には向かず、単純な強振動に終始した。さらに、重さによる疲労感が増し、ゲーム的な操作には不向きであると判明した。

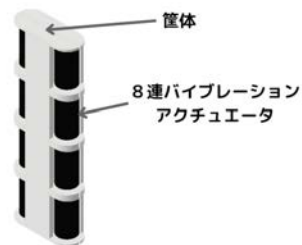


図 3.2 Prototype-Ver2

3.4.3 プロトタイプ v3

目的・概要

v2での重量・方向性喪失問題を受け、v3では極端に軽量化し、手首腱への刺激を利用した独特の反力提示手法を試した。狙いは、軽量化で操作性を回復し、特殊な腱刺激による強い反力感を得ることである。

設計

35g程度の軽量デバイスを手首部に装着し、手首を屈曲する特定の姿勢で強い反力感を得る原理を探索。モータや弾性素材を用いて、腱張力を増幅するアイデアを導入した。

実装

軽量ハウジングと振動子2基で構成。装着者が手首を90度に曲げると腱が張り、そこに振動を与えることで強い反力様感覚を感じ取れるようにした。ESP32を用いて実装し、Unity側のスクリプトからBluetoothで非対称振動の音声ファイルを送信した。

評価

静止状態・特定角度であれば強い反力感が得られたが、剣を振るような動的な動作中は効果が感じにくく、また腱張力依存の仕組みは一般的な「剣を振る」行為から逸脱していた。結果として、剣操作感や汎用性に欠け、動作中の触覚知覚安定性も十分でないことが判明した。

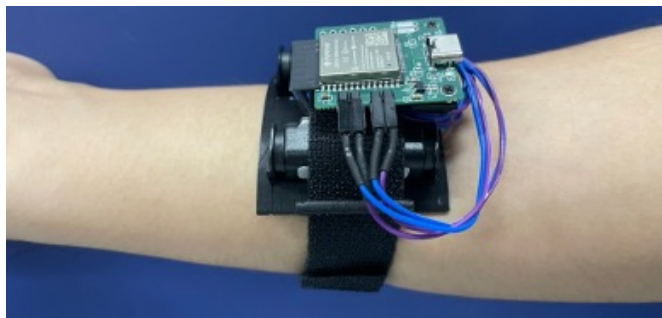


図 3.3 Prototype-Ver3

3.4.4 得られた知見

v1、v2、v3という三段階のプロトタイプ開発を通じて、MR環境において有効な触覚共有デバイスを設計するためには、プレイヤーが「剣らしさ」を感じられ、動作中にも容易に識別可能な触覚パターンを提示することが必要であるとわかった。具体的には、操作時に生じる不自然な把持形態や重量増加による操作性の低下、さらに特殊な姿勢への依存といった問題を回避するため、デバイスは軽量化や形状の最適化、人間工学的な設計を通じて取り回し感を確保する必要がある。また、方向性や多数振動子による複雑な表現は動的操作時には識別困難であるため、強弱や持続時間、周波数といった基本的なパラメータを明瞭に使い分けるシンプルな触覚パターンの提示が効果的である。さらに、行為直後に遅滞なく触覚刺激を伝えるためには、デバイス構成や制御系を簡素化し、低遅延な通信手法を採用することが望ましい。加えて、攻撃役と防御役といった非対称タスクを十分に活かすには、役割ごとに異なる質感を持つ触覚パターンを用意し、形状・重心

設計により役割固有の動作を支援することが求められる。これらの知見は、最終的な剣型デバイスを設計するうえでの基礎的な方向性を示し、非対称タスクにおける触覚共有を最大限に活用して協働感を醸成するうえで重要な指針となると考えられる。

次節（3.4.5）では、これらの教訓を具体的な設計要件へと落とし込み、最終的な剣型デバイスの形態と機能を明確化する。

3.4.5 最終的な剣型デバイスへの落とし込み

これまでのプロトタイプ開発で得られた知見を踏まえ、本研究が最終的に採用する剣型デバイスは、「剣らしさ」と明瞭な触覚フィードバック、低遅延なワイヤレス制御、そして非対称タスクへの適用性を統合した設計へと到達した。まず、「剣を振る」という動作を違和感なく再現するために、手首を特殊な姿勢にする必要のない、人間工学的なグリップ形状と軽量な 3D プリント筐体を用いて把持性を確保した。この設計によって、プレイヤーはあたかも本物の剣を扱うような直観的な操作感を得ることができる。

次に、触覚フィードバックは多数の振動子や複雑な方向性表現を排し、2基の振動子を用いてシンプルで識別容易なパターン提示を重視した。攻撃成功時には短く鋭いパルスの振動を、防御成功時にはやや持続的で低周波な振動を提示することで、条件による違いを触覚的に直観できるよう配慮した。内部には振動伝達効率を高める緩衝構造を取り入れ、激しい動作中でも触覚刺激を確実に感じ取れるよう工夫している。さらに、ESP32 を内蔵し、Bluetooth 通信を用いた軽量な通信プロトコルを採用することで、Unity 側からの指令を遅延なくデバイスへ伝達し、行為トリガーと触覚提示を密接に紐づけることに成功した。これにより、攻撃や防御といったアクションの直後に適切な振動を提示し、プレイヤーは振り返らずとも仲間の行為結果を身体で理解しやすくなる。

また、このデバイス設計は剣側・盾側で異なる振動質感を用いることで、攻撃成功時には高め周波数の鋭い刺激、防御成功時には重めで持続的な刺激といった差異を明確にし、非対称タスクの相互補完性を伝える。プレイヤーは手元の振動から「いま仲間が攻撃成功した」あるいは「防御に成功した」ことを瞬時に判断

でき、その結果、役割間の補完関係を身体的レベルで理解しやすくなる。図 3.4 は、本研究で使用した最終的な剣型デバイスの外観を示すもので、振動モータ配置やグリップ形状の最終仕様を視覚的に理解する一助となる。

以上のように、最終的なデバイス設計は、これまでの試行錯誤で得られた軽量性・操作感・分かりやすい触覚パターン・低遅延制御といった要素を統合し、非対称タスクにおける触覚共有を最大限に活かすかたちへと結実した。



図 3.4 最終的な剣型デバイスの外観

本デバイスは、v1～v3 で確認された課題（重量過多、方向性表現の困難さ、特殊姿勢の必要性、繊細な振動パターン識別の難しさなど）を総合的に解決するよう設計されている。次章では、このデバイスを中核的コンポーネントとする MR システム「Sense-LinQuest」を提示し、実際に触覚共有を用いて複数人協働感の向上を実現する仕組みを説明する。

3.5. Sense-LinQuest の提案

これまでの検討を通じて、本研究では、非対称な役割（剣と盾）と触覚共有による協働感醸成のための MR 空間システムに求められる要件とデバイス設計指針を明確化した。本説では、それらを総合した最終的な提案システムを「Sense-LinQuest」と名付け、そのコンセプト、全体イメージ、そして各要素の統合点を示す。

3.5.1 Sense-LinQuest のコンセプト

Sense-LinQuest は、複数人が同時に参加する MR (Mixed Reality) 環境において、剣 (攻撃役) と盾 (防御役) という非対称な役割をもつプレイヤーたちが協働し、モンスター討伐を目指すアクションゲームシナリオを想定したシステムである。そのコンセプトは、大きく三つの観点から構成されている。第一に、非対称なタスク構造を導入することで、剣による攻撃と盾による防御が相互補完関係を生み出し、両者の行為が組み合わさることで共通の目標達成へと向かう強い協働感を醸成することを狙っている。第二に、触覚共有を活用することで、視覚情報では十分に伝わりにくい仲間の行為結果を身体的なフィードバックとして即座に感じ取ることが可能になる。これにより、プレイヤーは仲間の成功や状況変化を自らの身体を介して理解し、一体感や結束感が従来以上に強化される。第三に、MR ヘッドマウントディスプレイを用いることで、参加者は同一の物理空間を共有しつつ、バーチャルなモンスターと対峙する臨場感あふれる状況が構築される。これによって、身体動作や視線追跡、空間的な位置関係が同期し、触覚共有と多感覚的なインタラクションが相乗的に作用する没入感の高い協働体験が実現する。Sense-LinQuest は、これらの要素を統合し、プレイヤー同士が集団的な「We-mode」状態へと移行し、より深い協働感を形成しうる新しい MR システムとして機能することを目指している。

3.5.2 背中合わせ協力プレイの課題とデザインの意義

本研究で想定する協力シナリオの一つとして、「背中合わせ」での協力プレイが挙げられる。たとえば攻撃役が正面からモンスターを攻撃し、防御役が後方からの攻撃をガードする局面においては、お互いが視線を交差しづらいという特性からいくつかの問題が生じやすい。具体的には、VR を介して背後の状況をカバーする仕組みがあっても、視覚情報だけでは仲間の動きや状況を十分把握できないことが多く、防御役が本当に機能しているのか、攻撃役がちゃんと攻撃しているのかが分からないまま不安や連携ミスが発生するなどの課題がある。

このような背中合わせの状態であっても、「仲間が守っている／攻撃している」

ことを身体的に感じ取れる設計を導入することで、自分の視界外に存在する他者が不可欠な役割を担っている事実を直感的に理解しやすくなる。Sense-LinQuestでは、そのために、後方にいる仲間の振動情報を触覚経路で共有する手法を採用し、防御役が受けた衝撃を攻撃役にも伝えると同時に、攻撃役のアクションを防御役にも触覚的にフィードバックする。これにより、「いま後ろで仲間が攻撃を受け止めている」「今この瞬間に前方で斬撃が成功している」といった事象を、視覚に頼らずとも身体的に把握できるようになる。その結果、背中合わせという厳しい視野制限下でも、互いがどのタイミングで何をしているかを自然と補足できるため、息の合った協力行動が可能になる。

背中合わせの協力プレイが生む視野外問題への対処として、Sense-LinQuestでは視覚中心の情報伝達に加え、触覚による「他者の動作そのものを手元を感じる」仕掛けを組み込んでいる。これによって、仲間が見えない位置関係であっても、「いま相手がきちんと防御している」といった安心感を得るだけでなく、自分自身が相手の行動に対してどのような役割を果たしているかを身体感覚で理解しやすくなる。そうした「いま仲間が確かにそばにいる」という身体レベルの実感は、単に相手が攻撃や防御を実行したという事実を知るだけでは得られないものであり、結果的に「一緒に戦っている」という協働感を高める要因となる。図 3.5 は、この背中合わせデザインの概念を示したものである。図中では、背後にいる防御役が自分の受けた衝撃を攻撃役へ送り返し、攻撃役も剣を振って生じる振動を防御役に伝達するという二方向の触覚連携が提示されている。こうした仕組みによって、互いに相手の動きを実感できる環境が生まれ、背中合わせという特徴的な視野制限においても役割分担と協働作業がスムーズに展開される。



図 3.5 背中合わせデザインの概念図

3.5.3 スケッチによる全体イメージ

下図 3.6 は、Sense-LinQuest システムの全体イメージを示した概念スケッチである。プレイヤー A（剣役）とプレイヤー B（盾役）は、MR ヘッドセットを装着し、同一の物理空間に設置されたバーチャルオブジェクト（モンスター）を視認する。剣型および盾型デバイスを把持し、それぞれが対応する行為（攻撃・防御）を実行するたび、その結果がネットワークを通して相手プレイヤーへ伝達される。触覚刺激は、簡潔で識別しやすいパターンで提示され、攻撃成功時の衝撃的なパルス振動や、防御成功時の持続的な低周波振動として相手のデバイスに届く。

このスケッチでは、プレイヤー同士が視線や身体動作を用いて空間的に連携し、視覚に加え触覚フィードバックを介して互いの行為結果を即時的・身体的に理解する状況を示している。



図 3.6 Sense-LinQuest システムの概念スケッチ (モックアップ)

3.5.4 デバイス・役割・触覚共有の総合的統合

Sense-LinQuest が目指す協働感醸成は、デバイス、役割分担、触覚共有という三つの要素が密接に絡み合う総合的な設計によって実現される。前節までに示した最終的な剣型デバイスは、軽量化や人間工学的配慮を経て、プレイヤーが「剣を振る」動作を行ううえで無理のない形状と重量バランスを備えている。このデバイスは、内部に組み込まれた振動アクチュエータを用いた簡潔かつ明瞭な触覚パターン提示を可能とし、激しい動作中にも安定した触覚刺激の識別を目指している。

これらハードウェア的工夫は、非対称的な役割分担という設計方針と緊密に結びつく。攻撃役としての剣使いは、斬撃を放った瞬間に鋭いパルス状の触覚刺激を得るとともに、その成功が盾側プレイヤーにも短い衝撃感として伝わり、仲間の行為が身体感覚を介して相手にも認識される。逆に盾側プレイヤーは、防御成

功時にやや持続的で重みのある振動を感じ取り、同時に攻撃側プレイヤーにもそれが異なる触覚パターンとして伝わることで、防御行為が仲間にとって意味を持つ状況を示す。このように、剣と盾が相互に行為結果を触覚を通じて共有することで、プレイヤーは互いの役割の重要性や行為の効果を身体レベルで理解し、役割間の相互依存性が強調される。

さらに、MR空間はこれらの要素を支える舞台装置として機能する。プレイヤーはヘッドセットを介して同一の複合現実空間を共有し、バーチャルなモンスターに対して実際に体を動かして攻撃・防御といった行為を行う。その結果生まれる視覚・聴覚的情報は、仲間の位置関係や動作タイミングを理解するうえで基礎的な手がかりとなる。一方で、触覚共有はこの情報空間に新たな感覚チャンネルを付与し、仲間の行為やその成果を身体的直観で捉える手段となる。こうした多感覚的な情報処理は、We-mode的な視点を獲得し、一体感や結束感に裏打ちされた「協働感」をより強固なものにしていく。

このような総合的な統合によって、Sense-LinQuestは、単なる視覚・聴覚中心のオンライン協力とは異なり、役割分担と触覚共有による全身的な協働体験を提供する。これによって、従来のデジタル空間で実現が困難だった協働感が形成され、非対称タスクを背景にした創発的なチームワークが生まれることが期待される。

3.6. システム設計

3.5節までで、Sense-LinQuestのコンセプトや全体イメージ、要素間の総合的な統合について示した。本節では、これらを具体的なシステム構成として明確化する。ハードウェア、ソフトウェア、ネットワークといった各レイヤがどのように連携し、攻撃・防御行為がどのように触覚フィードバックとして伝達されるかを詳細に説明する。

3.6.1 全体アーキテクチャ（ハード・ソフト・ネットワーク）

Sense-LinQuestの全体アーキテクチャは、プレイヤー側のデバイス（MRヘッドセット、剣・盾デバイス）と、ネットワークを介した情報伝達を担うサーバー

側コンポーネント、そして Unity を用いたアプリケーションロジックから成り立つ。以下の図 3.7 は、システム全体の構成を示したものである。

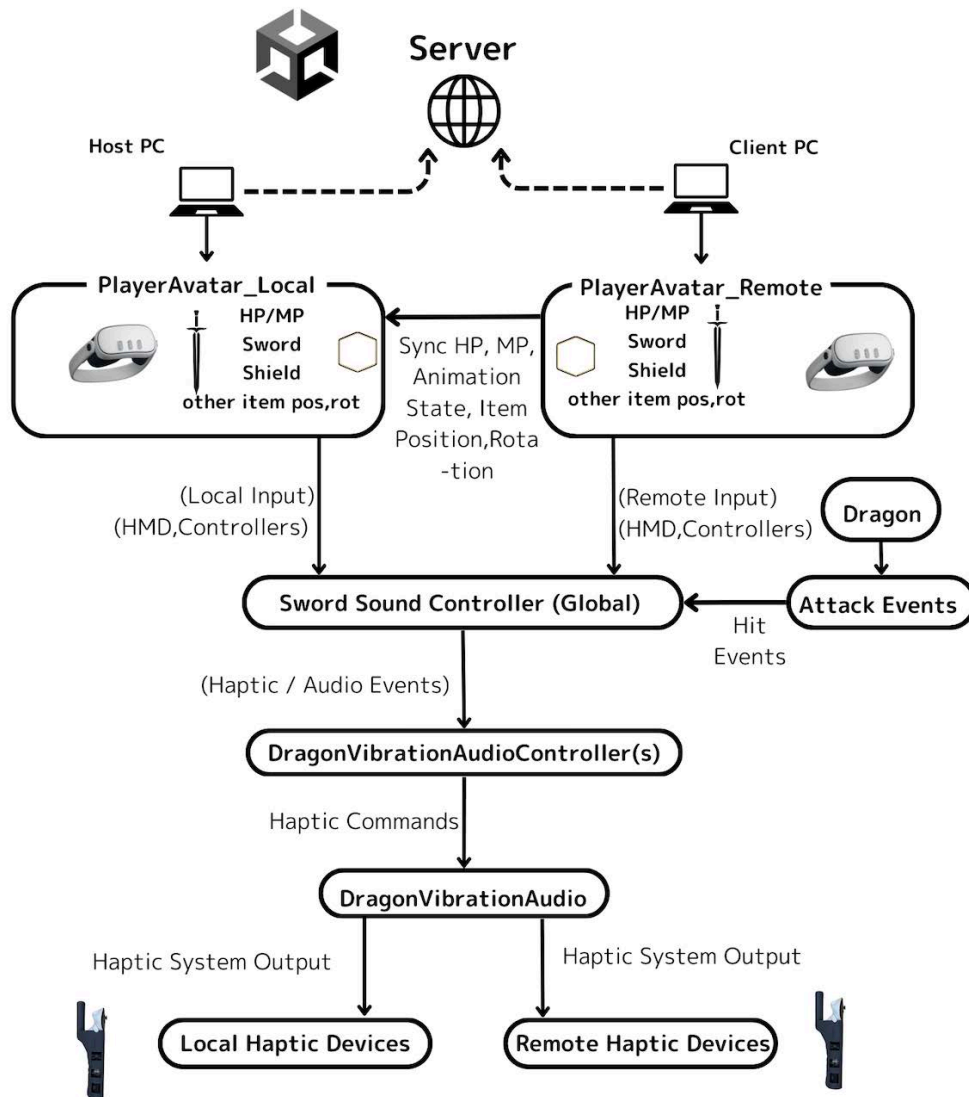


図 3.7 Sense-LinQuest システム全体アーキテクチャ

Sense-LinQuest システムは、大きく以下の3レイヤから成る。

1 ハードウェア層：

本システムのハードウェア層は、MR ヘッドセットを中心とする入力・出力デバイス群と、ネットワークインフラから構成されている。プレイヤーはMR ヘッドセットを装着することで、バーチャルオブジェクトが重畳表示された物理空間を視覚・聴覚的に体験し、ヘッドセット内蔵のトラッキング機能によって頭部位置や姿勢情報が常時 Unity アプリケーションへと送られる。これにより、システムはプレイヤーの動きを高精度で把握し、VR 空間内のアバターや視点をリアルタイムに更新する。

さらに、プレイヤーは剣・盾デバイスを用いて実際の操作を行い、これらの3D オブジェクトがVR 空間内に投影されることで、プレイヤーは物理的な動作を通じてバーチャル空間での攻撃・防御行為を実行できる。このデバイスには振動アクチュエータが内蔵されており、攻撃が命中した瞬間やドラゴンの攻撃を防いだ際には、手元で触覚刺激が生成される。こうした即時的なフィードバックにより、プレイヤーは仲間やモンスターとのインタラクションを身体的レベルで感じ取りやすくなり、一体感や結束感を高める契機となる。

また、ネットワークとしては、サーバと通信回線を介したインターネット接続を用いることで、複数プレイヤーが遠隔地から同時に参加し、Normcore などのリアルタイム同期ライブラリを活用してアバター位置やオブジェクト状態、イベントトリガーの共有を実現する。この仕組みにより、離れた場所にいるプレイヤー同士が、同じMR 空間に存在し、役割分担を伴う協働体験を即時に共有可能となる。

2 ソフトウェア層：

ソフトウェア層では、Unity エンジン上で動作するメインアプリケーションが、ヘッドセットやコントローラから得られる位置・入力情報を随時取得し、プレイヤーアバターや剣、盾、ドラゴン、ファイアボールといった各種オブジェクト状態を更新・同期する。攻撃動作や防御動作が検出されると、剣側

のフィードバックを制御するスクリプト（例：SwordSoundController）やドラゴン関連の振動制御スクリプト（DragonVibrationAudioController など）が呼び出され、触覚・音響フィードバックが即時に生成される。

ファイアボール発射やドラゴンの動きといったイベントは、FireBallController などのコンポーネントによる軌道計算や挙動シミュレーションを経て、Normcore Realtime を介して他のクライアントへと共有される。このリアルタイム同期フレームワークによって、各プレイヤーのローカル環境で発生したイベントや状態変化がサーバを通じて即座に他クライアントへ反映され、遠隔地にいるプレイヤー間であっても同一タイムスケール上で視覚的・触覚的なインタラクションを共有可能となる。

こうしたソフトウェア層の実装により、プレイヤーはMR空間での非対称タスク遂行に伴う仲間の行為結果を、遅延なく触覚刺激として受け取り、「協働感」をより強く実感できる環境が整備される。また、ユーザーインターフェースやシステムロジックは拡張性・保守性を意識して設計されており、今後さらなるタスクバリエーションや感覚モダリティの追加に対しても柔軟に対応できるよう設計している。

3 ネットワーク層：

各クライアント（プレイヤー）はインターネット回線を介して Normcore サーバに接続する。サーバは各クライアントからの更新情報を集約し、全参加者へ配布する。これにより、VR空間内のイベント（攻撃成功やShieldへの着弾）をミリ秒オーダーの遅延で他プレイヤーに伝達することが可能になる。

3.6.2 MRヘッドセット、剣・盾デバイス、サーバー構成

今回、Meta Quest を用いて Unity から標準の VR API を通じて位置・回転情報が取得した。剣・盾デバイスは VR コントローラをベースに拡張されており、インバースキネマティクスやアニメーション処理を介してバーチャル空間内の剣・盾オブジェクトに対応付けられる。剣や盾への衝撃イベントは、独自で作成したスクリプトによって動作し、ローカル側のプレイヤーは「当たった」という触覚感覚

を得る。サーバーはクラウド上または専用マシン上で動作し、Normcore Realtime サーバとして、全クライアントからの同期要求を処理する。

3.6.3 攻撃情報・防御情報・触覚信号伝達フロー

1 攻撃フロー：

ローカルプレイヤーが剣を振る→Unity内で剣先コライダーがDragon やリモートプレイヤー側のオブジェクトに接触→SwordSoundController や DragonVibrationAudioController が攻撃ヒットイベントを発火→Normcoreにより「攻撃がヒットした」というイベントがリモート側にも送信→リモート側では同様のイベントハンドラが呼び出され、触覚出力が再生される。

2 防御フロー：

リモートプレイヤーがファイアボールを発射→ファイアボールの位置・軌跡は Normcore 経由でローカルにも同期→ファイアボールがローカルプレイヤーの盾に衝突→ローカルプレイヤー側のハプティクス管理スクリプトが衝突イベントを検出し、盾デバイスのアクチュエータを振動させ、防御した感覚をプレイヤーに伝達→必要に応じてリモート側にも攻撃がブロックされたイベントを伝達し、リモートプレイヤー側での触覚出力（共有設定が On なら）も生成可能。

3 触覚信号伝達：

剣・盾デバイスへの振動出力は、Unity上のC#スクリプトが接続された触覚デバイスAPIを介して行われる。また、音声的なフィードバック（Contact音やSlash音）はDragonVibrationAudioなどのコンポーネントが制御し、HMD内のオーディオ出力や触覚デバイス用オーディオ出力チャンネルへ送られる。Normcoreはイベントやステートのみを同期し、アクチュエータ駆動はローカルで行われるが、イベントがリモートにも伝達されることで、同種の触覚・音響フィードバックを両側が再現できる。

以上のように、3.5節までのコンセプトを、3.6節ではシステム構成の具体的詳細として示した。ハードウェア・ソフトウェア・ネットワークの各層が統合的に機能し、攻撃・防御・触覚フィードバックを含む一連のインタラクションが、ローカル・リモート間で同期され、プレイヤー間のやっている感・臨場感を高める設計を目指した。

3.7. 協働感を生み出す触覚デザイン

本研究では、プレイヤー間で攻防アクションをリアルタイムに同期するために、VR空間を用いたMR環境とハプティックフィードバックを統合したシステムを構築した。ここで注目したのは、単純な「当たった・防いだ」といった事実伝達のみならず、適切な触覚の質感を通じて、プレイヤー同士の「協働感」を強化する点である。本節では、剣および盾デバイスを介した触覚設計の概要と、提示パラメータ設計およびその背後にある協働感向上の論理付けを説明する。

3.7.1 剣側フィードバック（攻撃成功時の衝撃）

攻撃役のプレイヤーが剣でドラゴンへ一撃を加える際、その接触タイミングで瞬発的な触覚刺激を提示する。図3.8は、このとき提示される振動刺激の波形例であり、横軸は時間（秒）、縦軸は正規化した振幅（Amplitude）を示している。この時、極めて短時間内（0.05s）にピーク強度へ到達する鋭いパルスが確認できる。その後、図3.9に示すように、弱いランダムノイズ（粗い振動成分）を付与することで、プレイヤーは「固体を切り裂いた」あるいは「何かに当たった」感覚を手元でリアルに感じ取ることができる。

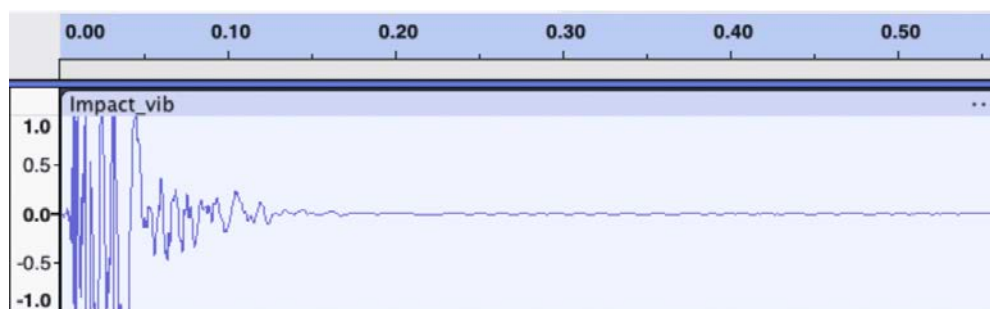


図 3.8 接触時の振動刺激波形 (Impact)

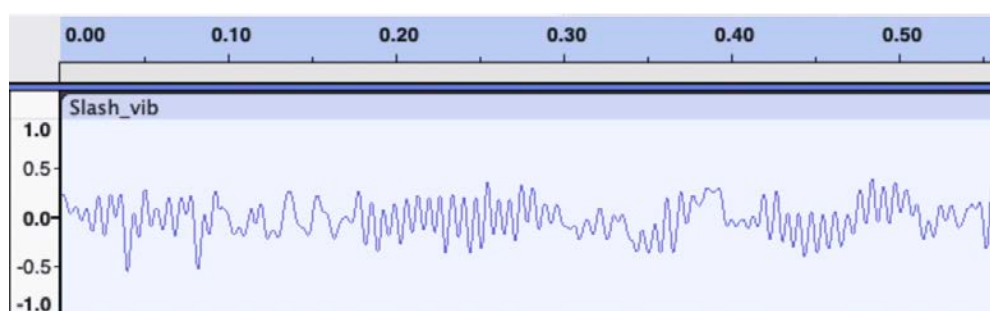


図 3.9 切り裂く感覚の振動刺激波形 (Slash)

この設計により、攻撃が的中した瞬間、プレイヤーは単なるヒット確認以上の身体的リアリティを体感できる。短く鋭いパルスは、剣先で対象物を斬りつけた際に得られる「刃先が食い込む」ような感覚を疑似再現し、その後のランダムノイズは刀身を通じて伝わる微細な振動を模倣する。結果、遠隔地に存在するドラゴンとの攻防であっても、ローカルな触覚経路を介して明確な物理的実感を提供し、協働的な戦闘体験の没入度を高める。

3.7.2 盾側フィードバック（防御成功時の圧迫感）

防御役プレイヤーが盾を構えている状態でドラゴンの Fireball を受け止めた場合、その触覚刺激は瞬間的な強い衝撃と、その後に徐々に弱まる圧迫感として提示される。この設定により、防御行為は単なる「当たった」の一瞬以上の意味を

持ち、質量感・重みを伴う「受け止めた」実感をプレイヤーに伝えることが可能となる。

図 3.10 は、Fireball 受弾時の振動波形例である。横軸は時間（秒）、縦軸は正規化した振幅（Amplitude）を示しており、0～約 0.5 秒程度の短い間に生じる刺激の変化を観察できる。初期は大きな振幅が集中し、急激な衝撃を表現している。その後、振幅は短時間で減衰し、ゆるやかな振動成分として残る。この減衰過程は、衝突後にエネルギーが拡散・消散していく様子を触覚的に再現している。

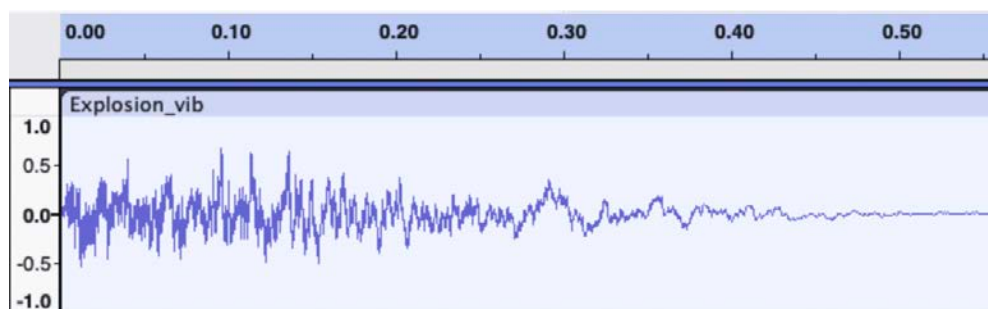


図 3.10 FireBall 防御時の振動波形 (Explosion)

このような波形設計により、「衝撃後に振動が減衰しつつ残る」という現象を再現することで、Fireball が盾表面で砕け、エネルギーが消散していくような感覚を再現した。瞬間的な強振動で「防いだ瞬間」を明確化し、その後の減衰振動は、プレイヤーの身体に「受け流した」「押し返した」といった能動的防御行動の感触を与える。これにより、単に攻撃を防いだという視覚的・論理的情報だけでなく、身体的・情動的な達成感や連帯感を強化する。

3.7.3 提示タイミング・強度・持続時間等の設計要因

触覚提示を協働感向上に結びつけるためには、提示タイミングや強度、持続時間といったパラメータの調整が重要である。本システムでは、攻撃・防御イベント発生から可能な限り遅延なく触覚を提示し、プレイヤーの運動感覚との同期を図った。これにより、プレイヤーは自身や仲間の行動と触覚刺激を容易に因果的関連として捉え、行為理解を身体的なレベルで深化させる。

強度や持続時間に関しても、過剰な複雑性を避け、明確に識別可能な範囲でのパラメータ選択を行った。例えば、攻撃成功時は鋭いパルスに短いノイズを付加する一方、防御成功時は一瞬の強衝撃後、徐々に弱まる余韻を残すといった具合に、役割間で異なる刺激質感を用意する。これによって、異なる行為結果が触覚的に差別化され、仲間の行為が身体感覚を通じて理解されやすくなる。

3.7.4 触覚デザインが協働感向上に寄与する論理付け

これまで述べてきた触覚デザインは、単なる没入感やリアリティの向上を目指すだけでなく、プレイヤー間の「協働感」を本質的に高めるために意図的に設計されている。その理論的根拠は、We-Mode理論や一体感モデルを背景とした、人間が社会的行為において他者の行為や意図を身体的に理解する際の認知メカニズムにある。

まず、剣側のフィードバックで用いた、「鋭いパルスと微細なノイズを組み合わせた刺激」は、攻撃成功という成果を瞬間的かつ身体的にプレイヤーへ伝える。この刺激は単なる「ヒット」情報以上の意味を持ち、プレイヤーが「実際に何かを斬った」と感じる手応えに変換する。その結果、自分の攻撃行為は他者（盾側プレイヤー）にも、明確な触覚シグナルとして共有され、仲間が自分の攻撃成功を身体的に察知する。この身体的共感を通じて、プレイヤー達は視覚情報だけでは得られない行為理解と結束感を高める。

一方、盾側のフィードバックで用いた「強い衝撃後に減衰する継続的な振動」は、防御成功の意味を「相手の攻撃を受け止め、衝撃を拡散・霧散させる」という身体的プロセスとして演出する。このプロセスを触覚的に感じ取ることで、防御側のプレイヤーは単なる成功確認だけではなく、「仲間を守った」という達成感を身体感覚として獲得し、攻撃側プレイヤーも、他者（防御役）の貢献を手元の震えで直観的に感じ取ることができる。これにより、両者はお互いの行為が自分自身の身体感覚世界に組み込まれたような認知状態、すなわち We-Mode 的な立場へと移行しやすくなる。

また、提示タイミング・強度・持続時間などのパラメータは行為と触覚刺激を因果的に結びつけるための「身体的シグナル処理」の最適化である。即時的な提

示は脳内で自分あるいは仲間の動作と触覚刺激を関連付けとして埋め込み、感覚統合の過程で「仲間と一緒にいる」という感覚を自然発生させている。

このように、ここで提示した触覚デザインは、視覚情報だけでは達成しにくい「相互理解」や「共感的な行為の理解」を身体感覚レベルで補強する仕組みといえる。攻撃・防御イベントに対応した振動パターンが、プレイヤー同士の関係性を強化し、We-Mode 的な協働感を誘発する理論的背景に則って設計された結果、Sense-LinQuest は単なるバーチャルな協力ゲームを超えて、全身のかつ情緒的な「共に戦う」体験を実現する。

3.8. 本章のまとめ

本章では、「協働感」を高めるための触覚共有システムの設計および実装について述べた。HMD による MR での視覚的な共有、剣型デバイスによる触覚提示、そしてネットワークによる多人数同期を組み合わせることで、プレイヤー間の攻撃動作や戦闘状況を身体的に共有する枠組みが確立された。

これらの設計と実装を通じて、複数人参加型 MR アクションゲームでの新たな協調体験モデルを提示した。次章では、本システムを用いた評価実験と、その結果から得られる知見について考察する。

第 4 章

Sense-LinQuest による協働感の 検証

4.1. 体験のデザイン

これまでは、複数のプレイヤーが全員「剣」を用いてモンスター討伐に挑むシナリオを想定していたが、前章までのプロトタイプ開発や試行的プレイから、激しい動作中に他者へ繊細な「斬る」感覚を触覚情報として伝達することが困難であることが明らかになった。また、単に攻撃行為を共有するだけでは、プレイヤー同士の行為を触覚的に区別しづらく、十分な「協働感」を醸成しにくいという問題点が浮上した。こうした課題に対応するため、本研究では役割を非対称化した新たな体験設計へと方針を転換し、以降ではそれらのデザインについて説明する。

4.1.1 コンテンツデザイン

本研究では、一方のプレイヤーが「剣」を扱う攻撃役を、もう一方が「盾」を用いる防御役を担当し、異なるタスクを割り当てることで、各プレイヤーが受け取る触覚刺激の質を明確に差別化し、行為の違いを身体的な手がかりとして共有可能にすることを目指す。実験で用いた剣と盾のモデルを図 4.1 および図 4.2 に示す。

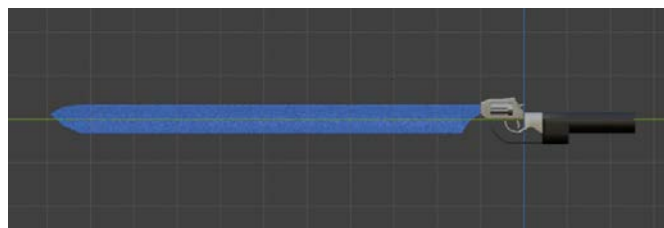


図 4.1 使用した剣のモデル

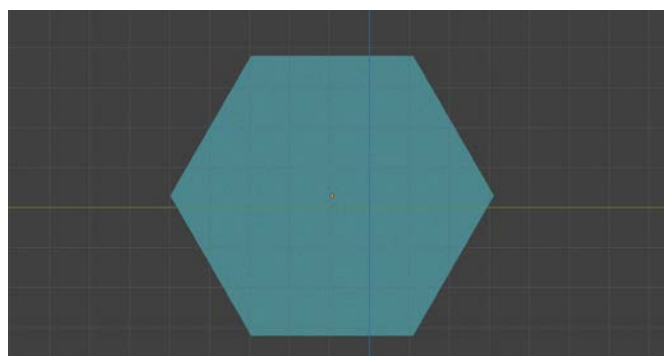


図 4.2 使用した盾のモデル

この非対称タスクを組み込んだ Sense-LinQuest システムを用いて、触覚共有が複数人参加型 MR ゲーム体験における協働感に及ぼす影響を検証する。ここでの主眼は、視聴覚情報が中心のオンライン協力体験では得がたい、身体的な結束感が、非対称タスク（攻撃役と防御役）と触覚共有によって顕在化するかどうかを明らかにすることにある。

本研究で用いるコンテンツは、2名のプレイヤーが MR 空間で1体のドラゴン型モンスターを討伐する短時間のアクションゲームである。攻撃役は剣でドラゴンへ接近し、直接 HP を削る。防御役は盾を展開してドラゴンが発射する火球 (Fireball) を受け止めることで、攻撃役が自由に動き回れる環境を保証する。こうした非対称な役割分担により、両プレイヤーは異なる行為を行い、互いを補完する関係となる。

攻撃役プレイヤーの一人称視点を図 4.3 に、防御役プレイヤーの一人称視点を図 4.4 に示す。攻撃役は前方のドラゴンに集中し、防御役は後方で火球を受け止

める。また、ドラゴンはファイアーブレスや突進攻撃、後方へ飛ばす火球など多彩な戦術を用いるため、攻撃役はブレスを避けて斬撃を加え、防御役は火球を確実に防ぐ必要がある。

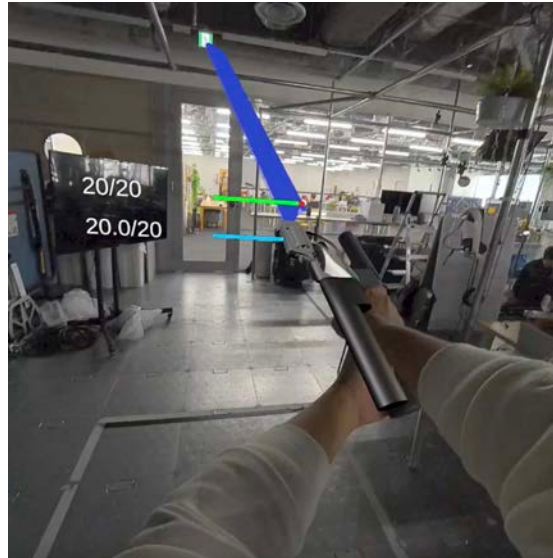


図 4.3 攻撃役プレイヤーの一人称視点

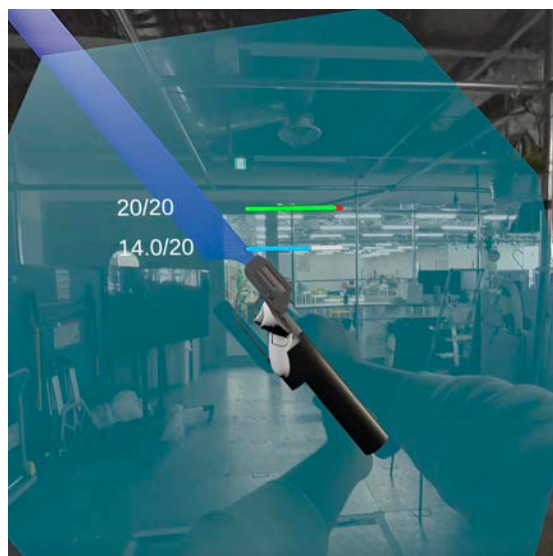


図 4.4 防御役プレイヤーの一人称視点

攻撃役が実際にドラゴンへ斬撃を繰り出す様子を図 4.5 に示す。この場面では、攻撃役プレイヤーが剣を振り下ろす瞬間に、鋭いパルス状の触覚フィードバックが得られ、攻撃が成功すればその一部が防御役側にも微細な振動として伝達される。こうして、単なる視認や数値情報以上に、仲間行為が身体的信号として共有される環境が整う。



図 4.5 攻撃役プレイヤーがドラゴンに斬撃を加える瞬間

また、ドラゴンのファイアーブレスは、シールドで防御することで一時的に炎が視界を覆う状況となる。この防御場面を図 4.6 に示す。加えて、後方へ飛ばした火球がプレイヤー背後で方向転換し、再び正面へ戻ってくる FireBall 攻撃も存在し、図 4.7 はこの一連の流れをコマ送りで示している。防御が成功すれば、盾側プレイヤーに発生する重い衝撃振動が攻撃役側にも別の質感で伝わり、「防御が成立した」ことを示す。



図 4.6 一人称視点におけるファイアブレス防御シーン



図 4.7 FireBall 攻撃の一連の流れ (1) 発射、(2) 背後へ飛行、(3) 方向転換、(4) Shield 付近への接近、(5) Shield への命中と爆散。

本コンテンツは約3分ほどの短時間戦闘を想定し、多彩な攻防が繰り返されるため、触覚共有の有無がプレイヤー間の行為理解や協働感に与える影響を把握しやすい。また、短時間で複数条件（触覚共有あり／なし、役割変更）を切り替えられることは、後続の実験設計上の利点ともなる。

このようなコンテンツデザインと触覚共有の組み合わせにより、非対称なタスク構造下での行為が単なる情報共有を超え、身体的共感として感じ取れる新たな協働体験が可能になると考えられる。本章以降では、このコンテンツを用いた評

価値実験を通じて、触覚共有が複数人参加型 MR ゲーム体験にもたらす協働感強化の効果を実証的に示していく。

4.1.2 触覚のデザイン

本研究が目指す協働感の醸成は、単に複数プレイヤーが同一タスクに取り組む状態を指すだけではない。ここでの焦点は、攻撃役と防御役という非対称な役割がもたらす行為の違いを、視覚のみならず「触覚」を通して相互に理解・共有する点にある。すなわち、プレイヤーは自分の行為に伴う触覚フィードバックだけでなく、仲間が行った行為が生み出す触覚刺激をも身体的に受け取り、その結果として仲間の存在と貢献を体内感覚のレベルで知覚できるようになる。

この目的を達成するため、剣（攻撃役）と盾（防御役）という二つの異なる行為タイプに対して、それぞれ明瞭に特徴づけられた振動パターンを設計した。具体的には、攻撃成功時には剣側のプレイヤーが「固体を斬り込む」ような瞬発的で鋭いパルスを手中に得るとともに、わずかなノイズを伴う微細な振動を感じ取れるようにした。これにより、剣を振り下ろした瞬間に「刃先が何かに当たった」という特有の手応えが再現される。さらに、この衝撃の一部は即座にネットワークを介して盾側プレイヤーにも伝わる。防御役は、ほんのわずかに異なる質感でその刺激を受け取り、攻撃役が成功を取めたことを身体的に察知することができる。これにより、従来であれば画面の HP バー減少や効果音でしか実感しなかった仲間の「攻撃が決まった」事実を、自分の身体感覚を通じて追体験し、仲間との一体感を深められる。

一方、防御成功時には、盾側プレイヤーが「何か重く大きな物体を受け止めた」ような強めの衝撃を即座に感じ取れるようにした。加えて、この衝撃は一瞬で終わらず、ごく短時間ではあるがやや持続的な減衰する振動を伴うように調整した。これによって、火球を防御する行為は単なるワンショットの接触以上の物理的リアリティを帯び、手元でしっかりと重みを支え込む感覚が生まれる。そしてこの防御成功時の触覚刺激は、防御役の身体を通じて、攻撃役側にも異なる周波数や強度、パターンで伝播する。攻撃役プレイヤーは自分が手を動かさなくとも、仲間が防御行為を成功させたその瞬間の感覚を、自分の剣デバイス上の特有の振動

として感じ取り、仲間が自分を守っている事実を理解できる。結果として、攻撃役は自らが安心して攻撃できる環境が仲間の奮闘によって支えられていることを身体で悟り、その感覚を共有された触覚刺激として受け止めることで、「共に戦っている」感覚が深まる。

このような触覚パターンの設計は、非対称なタスク構造と組み合わせることで、行為の識別を容易にすると同時に、仲間同士が単なる情報交換以上の共感的な結びつきを得る契機となる。剣の斬撃感と盾の受け止め感は、互いに異なる触覚的特徴を持つため、一方の刺激を受けた際に「これは仲間が攻撃成功した瞬間だ」「これは仲間が防御してくれた」という区別が自然になされる。また、これらのパターンは過度に複雑な演出よりも、シンプルかつ異質な振動特性によって行為を差別化することを重視している。実動作中の激しい移動や斬撃動作中でも、プレイヤーは異なる刺激の特徴を比較的明瞭に感じ分けられるため、仲間の行為理解が行為中断や視線誘導なく可能になる。

まとめると、この触覚デザインは、非対称な役割分担に基づく行為差を触覚的手がかりとして積極的に活用する戦略である。攻撃成功時の鋭いパルスと防御成功時の持続する衝撃感は、視覚情報では補いきれない身体的共感をもたらし、プレイヤー同士を結びつける感覚的な接合点を形成する。これにより、Sense-LinQuest において触覚共有が「協働感」を質的に向上させることが期待できるのである。

4.2. 実験の設計

本研究では、前節までに示した非対称な役割分担（剣と盾）と触覚共有による多感覚的コミュニケーションが、複数人参加型 MR ゲーム体験における「協働感」を向上させるかを検証する。ここでの主たる検証ポイントは、従来の視聴覚中心のオンライン協力体験では得がたい、身体的な協働感が、他者行為を触覚を通じて経験することで強化されるかどうかである。そのため、実験では「触覚共有の有無」を操作要因とし、それ以外の条件はできる限り統一した状況下で、プレイヤーが感じる協働感や達成感、さらにはインタビューを通じた質的印象を比較する。

ここで鍵となるのは、非対称タスクを用いて仲間の行為を明確に区別可能な形

で提示し、その行為結果が触覚情報として互いに伝わる環境を提供することである。実験においては、2人1組のペアが、Sense-LinQuest による短時間（1条件3分程度）のドラゴン討伐タスクに取り組む。攻撃役と防御役の組み合わせで7つの条件を体験し、それぞれの条件後に主観評価を行う。最後にインタビューを実施し、触覚共有がプレイヤー体験にもたらす質的变化を探索的に明らかにする。

4.2.1 実験の目的

本実験の目的は、触覚共有による協働感強化の効果を実証的に示すことである。具体的には、以下の仮説を設定する。

仮説 H1: 攻撃・防御という非対称な役割を有する MR 空間において、他プレイヤーの行為結果（攻撃成功や防御成功）に伴う触覚を共有することで、プレイヤー間の「協働感」は有意に向上する。

この協働感が、触覚共有の有無によってどの程度変動するかを定量・定性両面から評価することで、触覚情報がオンライン・デジタル環境下での協力体験設計において有効な手段となり得るかを明らかにしたい。

本実験は、視聴覚主体の伝統的なオンライン協力ゲームとの比較を念頭に置きつつ、触覚共有という新たな情報チャンネルが、身体的共感や行為理解を深め、We-mode 的な認知状態（仲間を「自分たち」として認識する状態）への移行を促すかを検証する意義を有する。触覚共有が仮説どおり協働感向上をもたらすならば、MR 空間デザインにおける新たな設計指針を示せることになる。次節以降では、この仮説検証のための実験条件や参加者選定、手順、評価方法について詳述する。

本研究は、背中合わせの視覚的制約と非対称な役割分担を組み合わせることで、仲間の行為をあえてモニタしにくい状況を意図的に作り出している。攻撃側プレイヤーは後方を振り返りづらく、防御側プレイヤーは自分が防御成功したとしても、仲間がそれを視覚で確認する余地が少ない。ここに触覚共有を導入することで、以下のような効果を狙うデザインを構想している。

視覚的に相手を直接見られない状況下であっても、これらの触覚シグナルが「自分が協力し合っている」感覚を支え、結果的に身体的な協働感を高めるだろう、と

というのが本研究の設計上の出発点である。攻撃・防御いずれの行為も、あえて役割を分けることで「自分が行った行為」「仲間が行った行為」の区別がしやすく、それぞれ異なる触覚パターン（鋭いパルス vs. 継続的な圧力）を設計することが可能になっている。これにより、単なる“誰がどこを攻撃したか”の把握以上に、「仲間の存在を身体で実感し、その行為が自分の活動に影響している」という結束感を生み出すことを目指している。

4.2.2 実験条件の設定

本実験では、触覚パターンの有無や役割分担の仕方を変化させた合計7つの条件を用意し、1被験者あたり各条件を3分ずつ体験してもらった。体験の合間には適宜休憩を挟み、全試行を終えるまでに約1時間程度を要する。実験の大まかな流れとしては、まず基準状態（条件1）を体験した後、条件2~4をランダム順にプレイし、再度基準状態を挟んでから条件5~7をランダム順に実施し、最後に1対1のインタビューを行う構成である。これにより、触覚共有の有無や役割（攻撃・防御）の組み合わせが協働感や役割認識にどのように影響するかを比較検証する狙いがある。

表4.1に本実験で用いた7つの条件を示す。それぞれの条件では、被験者が「攻撃役」「防御役」あるいは「攻撃&防御（非分担）」を担当し、実験者が対応する逆の役割を担う。さらに、「被験者の感覚のみを伝える」「実験者の感覚のみを伝える」「両者の感覚を共有する」など、触覚共有パターンを状況に応じて切り替えることで、どの触覚刺激が被験者に伝わるかを制御している。以下では、基準状態を含む7つの条件の要点を簡潔に説明する。

表 4.1 各条件における役割分担と触覚共有の設定

条件	被験者の役割	実験者の役割	被験者が感じる触覚
条件 1 (基準)	攻撃 + 防御 (非分担)	攻撃 + 防御 (非分担)	被験者自身の感覚+実験者の感覚
条件 2	攻撃	防御	実験者の感覚のみ
条件 3	防御	攻撃	被験者自身の感覚+実験者の感覚
条件 4	攻撃	防御	被験者の感覚のみ
条件 5	防御	攻撃	被験者の感覚のみ
条件 6	攻撃	防御	被験者自身の感覚+実験者の感覚
条件 7	防御	攻撃	実験者の感覚のみ

- 条件 1 (基準) 被験者と実験者の両者が「攻撃&防御」を同時に行う非分担状態を想定し、かつ被験者は「自分が生じさせた触覚」と「実験者が生じさせた触覚」の両方を感じ取る。この条件を最初と途中で挟むことで、参加者が“両者とも攻撃も防御も行い、かつ相互に触覚共有を行う”という一番情報量の多いベースラインを再確認できるように設計している。
- 条件 2 被験者が攻撃役、実験者が防御役を担当する。被験者は自らの攻撃時の触覚のみを感じ取り、実験者の防御時に発生する触覚は共有されない。背中合わせの状況で、後方の防御成功を視覚以外では把握しにくい環境下で、あえて触覚共有をオフにする設定となっている。
- 条件 3 被験者が防御役、実験者が攻撃役を担当する。被験者は自分の防御時の衝撃に加え、実験者が攻撃を成功させた瞬間に生じる衝撃も手元で共有される。防御役として後方支援する際、仲間（実験者）の攻撃成功を身体的に追体験できるかどうか焦点となる。
- 条件 4 被験者が再度攻撃役となるが、条件 2 同様に被験者の触覚しか感じられない。すなわち、仲間（実験者）の防御時の衝撃は共有されない。条件 2 との違いは、被験者が既にほかの条件をいくつか体験しているため、比較的慣れが生じている点である。
- 条件 5 被験者は防御役を担当するが、実験者の攻撃時の衝撃は共有されな

い。条件3との対比により、防御時に仲間の攻撃が手元に伝わらない状況が協働感にどう影響するかを検証する。

- 条件6 被験者は攻撃役であり、かつ仲間（実験者）の防御に伴う衝撃が共有される。この条件は、条件2・4との差分を見ることで、「攻撃時の触覚共有が被験者の協働意識をどれほど高めるか」をより具体的に把握しようとする意図がある。
- 条件7 被験者が防御役を担当し、仲間（実験者）の攻撃時の衝撃のみが被験者に伝わる。自分の防御時の手応えが一切返ってこない代わりに、仲間が発生させた攻撃衝撃だけが共有されるため、非常に特徴的な条件となる。背中合わせの環境で、仲間の攻撃を自分の身体で感じ取ることが協働感に及ぼす影響を評価する。

以上のように、各条件は「どの役割を誰が担うか」と「被験者の手元にどの触覚が伝わるか」の2軸で構成されている。最終的には条件1（基準）を挟みつつ、条件2～7をランダム順でプレイすることで、参加者が様々な触覚共有パターンを体験し、それぞれに対して主観評価を行う。これにより、被験者がどのように触覚情報を役割認識や協働感に結びつけているかを総合的に検証する設計となっている。

4.2.3 参加者と実施手順

本実験にはKMD 大学院生7名（全員男性、平均年齢24歳）を参加者として招いた。参加者は実験実施前に、研究の目的や倫理面について簡潔な説明を受け、匿名化されたデータが学術的目的で用いられることに同意した。

実験は、参加者と実験者の2名1組（ペア）で進行する形式とした。実験当日は、参加者が到着後、まず実験の概要と流れについて口頭で説明した。ここでは、MR空間におけるドラゴン討伐が中心的なタスクであり、攻撃役（剣）と防御役（盾）という非対称的な役割が存在すること、ドラゴンが多彩な攻撃（突進、ファイアーブレス、火球発射）を繰り出すため、攻撃役は回避・攻撃、防御役は火球

防御という補完的な行為を担うことを伝えた。また、剣・盾の具体的な操作方法、HP や MP 管理の基本原則、コントローラトラッキングが不安定になった場合の対処法についても口頭で説明した。さらに、「触覚共有 (Shared Haptic)」がどのような状況で発生し、どのような感覚をプレイヤーに与えるのかも簡潔に示した。これらの説明は、参加者が抽象的な言葉だけでなく、実際の操作感覚や振動フィードバックを理解できるよう、実演デモを交えながら行った。実験者は MR ヘッドセットと剣・盾デバイスを用いて軽くプレイし、剣を振った際の振動や盾で火球を受け止めた際の衝撃などを参加者に体感させ、触覚共有がどのように働くかを実演してみせた。

この事前説明と実演デモの後、参加者にはウォーミングアップ (慣れ) セッションを行った。ウォーミングアップでは、あえて触覚共有 (Shared Haptic) ありの条件を用いることで、参加者が本番前に「仲間の行為が触覚で伝わる」体験を一度経験できるように配慮した。ウォーミングアップでは、自由にドラゴンと対峙し、剣・盾の基本操作やドラゴン攻撃への対処を試してもらい、最大でドラゴンを 2 回討伐するまで実行した。この段階で参加者は、攻撃役と防御役の役割差、触覚共有による身体的フィードバックの特徴、ならびに MR 空間内での移動・回避などの基本スキルに十分慣れることができた。

ウォーミングアップ終了後、本試行へと移行する。本実験では、触覚共有の有無や役割交代など複数の条件でプレイしてもらい、各 3 分程度の戦闘セッション後に短いアンケート回答を求めた。参加者には「これから複数のパラメータを少しずつ変えた 7 パターンの体験を行います」と口頭で説明し、各施行前にどのようなパラメータが変わるのかを伝えずに実験を実施した。

各条件の戦闘セッションが終了すると、参加者は即座に質問票 (Likert スケール形式) に回答する。アンケートには協働感や達成感に関する設問、およびダミー質問を含めており、タスク直後の生の印象を数値化できる。すべての条件を終了し、計 8 回のアンケート回答が終わった後、最後に短い休憩を挟んで半構造化インタビューを実施した。インタビューでは、回答者が条件間の違いを思い出しやすいように簡単なヒントを出しつつ、なぜ特定条件で協働感をより強く感じたか、触覚共有はどのような心理的变化をもたらしたかななどを深く掘り下げた。

説明からインタビューまでの所要時間は約1時間程度となり、参加者はいずれも支障なく実験を完了した。このプロトコルにより、参加者はウォーミングアップで基本操作と触覚共有の特性を理解したうえで、条件比較を行えるため、触覚共有の効果に関する評価がよりの確に行われると期待できる。

4.2.4 評価方法

本研究は、触覚共有が非対称タスクを伴うMR空間での協働感向上に寄与するかを検証するため、定量的評価（主観評価）と定性的評価（インタビュー）を組み合わせた多面的な手法を採用する。以下では、主観評価用質問票の設計方法とインタビュー調査のデザインについて詳細に述べる。

主観評価項目の設計

主観評価では、各条件試行直後に参加者から回答を得る短時間のアンケートを用いる。このアンケートは、リッカートスケール（例：1＝まったくそう思わない、7＝強くそう思う）を基本とし、プレイ直後の生の感覚を即時的かつ定量的に捉えることで、触覚共有が「協働感」や「達成感」に及ぼす効果を明らかにすることを目的としている。

アンケート項目は大きく3種類に分類される。第一に、協働感に関する複数の質問を設け、プレイヤーがパートナーと共通の目標に向かっていていると感じたか、パートナーの行動や意図を理解できたか、あるいは互いの動きが同期しているように感じたか、などを問う。これらの質問は、複数の側面から協働感を捉え、それらの回答を因子分析または平均化することで、統合的な「協働感スコア」を得ることが可能となる。

第二に、達成感に関する質問を用意する。ドラゴン討伐に成功した際の満足度や達成感、短い時間でも充実した体験だったかなどを問うことで、触覚共有がタスク成果に対する満足感にも影響を及ぼすかを検討する。達成感協働感ほど本研究の主眼ではないが、タスク遂行感や楽しさとの関連を理解する上で補完的な指標となる。

第三に、ダミー質問を混在させる。例えば、ドラゴンの見た目の面白さやゲーム空間の雰囲気に対する評価など、触覚共有とは直接関係の薄い項目を挿入することで、参加者が測定意図を察知しづらい環境を整え、回答バイアスを低減する狙いがある。

こうした質問項目は、オンラインフォーム（Google Forms）を通じて提供し、プレイ終了後ただちに回答を求めることで、記憶の風化を防ぐ。回答時間は2～3分程度で済むように項目数をコントロールし、実験負荷を軽減する。最終的に、各条件（触覚共有あり/なし、役割差）で得られた主観評価データを統計的に比較することで、触覚共有の有効性を定量的に検証する。

インタビュー調査の設計

主観評価アンケートで得られる数値は、触覚共有が協働感や達成感に与える影響を定量的に示すうえで有用であるが、その裏にある心理的プロセスや、特定の条件下で参加者がなぜそう感じたのかといった背景を理解するには、定性的な情報が不可欠である。そのため、本研究では全条件終了後に半構造化インタビューを実施し、参加者が体験中に何を感じ、どのように触覚共有や役割の非対称性を捉えていたのかを深く掘り下げることを試みる。

インタビューは、1名あたり約10分程度を目安として行い、次のような設計方針をとった。

1つ目は、条件間比較を容易にする構成である。参加者は7種類の条件を経験しており、インタビューでは実験者が各条件の特徴を簡潔に振り返り提示する。このとき、参加者が条件間の違いを思い出しやすくするために、具体的なキーワードや状況（「触覚共有があった条件で防御役を担当した回」「触覚共有なしで攻撃役だった回」など）を挙げ、参加者の記憶と印象を喚起する。

2つ目は、協働感や達成感、役割非対称性、触覚共有の心理的効果に関わる自由な発言を誘発する質問形式である。インタビューは半構造化形式をとり、あらかじめいくつかの基本的質問項目（例：「一緒に戦っている感を強く感じた条件はどれか」「その理由は何か」「触覚共有は仲間の存在理解にどのように影響したと思うか」「より強く協働感を感じるにはどういった改善が必要だと考えるか」）を

用意するが、参加者の回答に応じて新たな追問を行い、より具体的なエピソードや心理的要因を引き出すことを目指す。

3つ目は、実験条件の理解を補助するヒントの提供である。参加者は複数の条件を短時間で経験しているため、記憶が曖昧になる可能性がある。そこで、実験者は条件名や状態を簡潔に言及し、参加者が「触覚共有があったあの回」「攻撃役を担当した最初の回」などといった特定のシナリオを再想起できるような支援を行う。ただし、実験者は特定の回答を誘導しないよう中立的な立場を維持し、あくまで記憶を喚起するための最低限の情報提示にとどめる。

このようなインタビュー設計により、参加者は単に数値を回答しただけでは表現しきれない内部状態や思考過程を語る事が可能になる。得られた発言は、後続の考察段階において、定量評価で示されるスコアの変動要因を解明したり、触覚共有がどのような心理的契機を経て協働感を喚起するかを論じる手がかりとなる。インタビューによって得られる定性的データは、主観評価アンケートの結果を補完し、本研究の主張に対してより豊かな解釈と洞察をもたらすことが期待される。

4.3. 実施

本実験は、参加者（被験者）と実験者が広さ約 $5000\text{mm} \times 2700\text{mm}$ の可動範囲を確保した実空間で、背中を合わせる形で行われた。図 4.8 に実際の環境を示す。また、実空間におけるプレイヤー位置と、制御 PC やセンサー類、バーチャルオブジェクト（ドラゴン）の相対的な配置を示したスキーマを図 4.9 に示す。両者は MR ヘッドセットを装着し、同じバーチャルドラゴンが投影された空間を共有するが、身体的には背中合わせとなることで、視線を向けても直接相手を確認できない状況を意図的に作り出している。これにより、直接的な視覚接触が困難な環境下で、触覚共有が相手行為の理解や協働感の形成に果たす役割を検証することが可能となる。

図 4.10 は、実際のプレイ中のシーンで、写真手前のプレイヤーは攻撃役として剣型デバイスを振り上げ、ドラゴンに攻撃を加えようとする瞬間を示す。背後に防

御役がいるが、振り返らずとも仲間の支援が触覚共有によって身体的に感じられることが期待される。また、後ろのプレイヤーは防御役として同じ剣型デバイスで盾機能を展開し、火球を受け止めようとする場面である。背中合わせの配置により、攻撃役は視覚的には防御役の行為を直接確認できない。しかし、触覚共有が機能していれば、防御成功の衝撃が攻撃役にも伝わり、実際に守られている感覚を得ることができる。

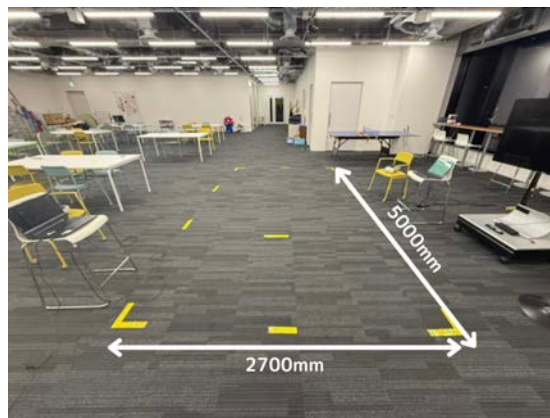


図 4.8 実験に用いた実空間のレイアウトと可動範囲

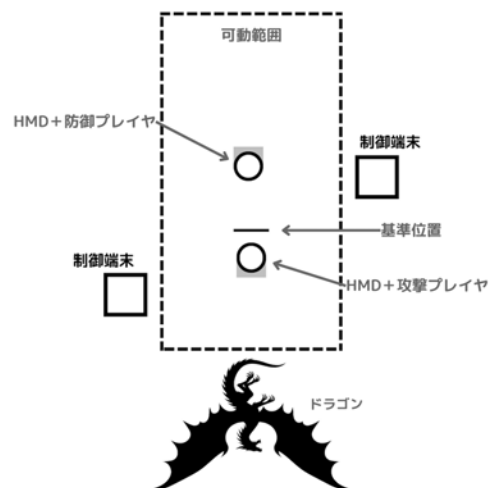


図 4.9 プレイヤー、制御端末、VR オブジェクトの配置図



図 4.10 実際にプレイしているシーン

このような背中合わせの配置と1本の剣型デバイスという設計によって、実験者と被験者は互いを視覚で直接把握することなくタスクを行うことになる。7種類の条件を経験する中で、参加者は触覚共有が実際の行為理解や「一緒に戦っている感」の形成に及ぼす影響を多面的に体験し、その直後に主観評価や最後のインタビューでその印象を報告することとなる。

4.4. 実験結果

本実験では、前章までに示した実験設計・手順に基づき、7名の参加者に合計7条件のタスクを行ってもらい、各条件ごとに主観評価アンケートに回答してもらった。また、全条件終了後には半構造化インタビューを実施し、参加者が体験中に何を感じ取ったのか、そのとき触覚共有がどのような役割を果たしたのかといった、定量的評価だけでは明らかにしづらい要因を探索的に分析する材料を得た。

以下では、まず主観評価アンケートの結果(4.4.1)を示し、その概要を報告する。次いで、インタビュー実施状況(4.4.2)およびインタビュー内容の分析手法(4.4.3)について述べ、最後に実験中の観察結果(4.4.4)を簡潔に整理することで、後章で行う考察の土台を整える。

4.4.1 主観評価の結果

本実験では、7名の参加者が4つの条件(1セット=16問)に対して計64回答(1名あたり)を行った。図4.11に示す箱ひげ図は、各条件における協働感スコア(1~7)の分布をまとめたものである。まず、(1)「自身のみ・防御」は平均4.09(分散2.01)で最も低く、(2)「相手のみ・防御」は5.29(分散1.48)で最も高い値を示した。さらに、(3)「共有・攻撃」も5.18(分散1.93)と比較的高水準であった。一方、基準である(4)「共有・非分担」は平均4.42であるが、最小値1から最大値6までのばらつきが大きく、評価が二極化している様子が見える。

こうした分布を見ただけでも、「防御を単独で担う役割は協働感が下がりやすく、逆に仲間の防御行為が共有される／あるいは攻撃行為を共有する状況では協働感が高まりやすいのでは」という解釈が浮かぶ。しかしながら、本研究ではFriedman検定を行った結果、条件間に統計的な有意差は認められなかった($\chi^2(6)=9.28, p=0.158$)。すなわち、今回のサンプル(7名)および回答のばらつきを踏まえると、7つの条件(=変数)全体を通じて「有意に異なる分布がある」とまでは言えないことを示している。

有意差が得られなかった原因としては、被験者数が少なかったことによる統計的検出力の不足や、回答の分布に大きな個人差が含まれていた点などが考えられる。実際、単独防御におけるスコアが相対的に低く、他者の防御や攻撃行為を共有するときのスコアがやや高めであるという傾向は平均値からはうかがえるが、統計的には十分に明確な差とは認められなかった。

また、Friedman検定におけるKendallの一致係数 $W \approx 0.22$ と推定され、効果量としては「小~中程度」ほどの差がありうることを示唆している。さらに、95%信頼区間は0.03, 0.34と広く、このサンプル規模($n=7$)では実際の効果量のごく小さい場合から中程度に及ぶ場合まで否定しきれないことを意味する。つまり、 p

値だけを見ると「有意差なし」という結論になる一方で、Kendall の W や信頼区間の情報からは「一定の差が存在する可能性がまったく排除されたわけでもない」という状況である。

今後は、サンプル数を増やした追試や、役割分担や視覚制約をさらに強調するような条件設計を行うことで、より鮮明な違いが観察されるかを再検証する必要がある。また、協働感を細分化した複数の評価項目を加えることで、条件間の差異がより敏感に捉えられる可能性もある。現時点では、箱ひげ図や平均値からは「単独防御が低い」「仲間の防御あるいは攻撃共有が高め」という示唆が得られつつも、Friedman 検定の結果としては統計的に有意な差を確認できなかったという結論にとどまる。

各条件の平均値は次のとおりである（カッコ内は分散）。

- 基準（共有・非分担）：4.42（0.78）
- 自身のみ・攻撃：4.80（1.51）
- 自身のみ・防御：4.09（2.01）
- 相手のみ・攻撃：4.84（2.28）
- 相手のみ・防御：5.29（1.48）
- 共有・攻撃：5.18（1.93）
- 共有・防御：4.89（2.06）

続いて達成感に関しては、7名の参加者から「達成感スコア（1～7）」を4つの条件（1セット＝16問）にわたり合計64回答（1名あたり）収集した。図4.12は、各条件での達成感スコアの分布を箱ひげ図として示している。まず、記述統計を見ると「自身のみ・防御」が平均3.63（分散1.88）と特に低く、「共有・攻撃」が5.36（1.62）で最も高く、「共有・防御」（5.07）や「相手のみ・防御」（4.96）もそれに続く。基準（共有・非分担）（4.88）や「自身のみ・攻撃」（4.95）、「相手のみ・攻撃」（4.70）と比較しても、防御を単独で担う条件でのみ達成感が大幅に下がる傾向が読み取れる。

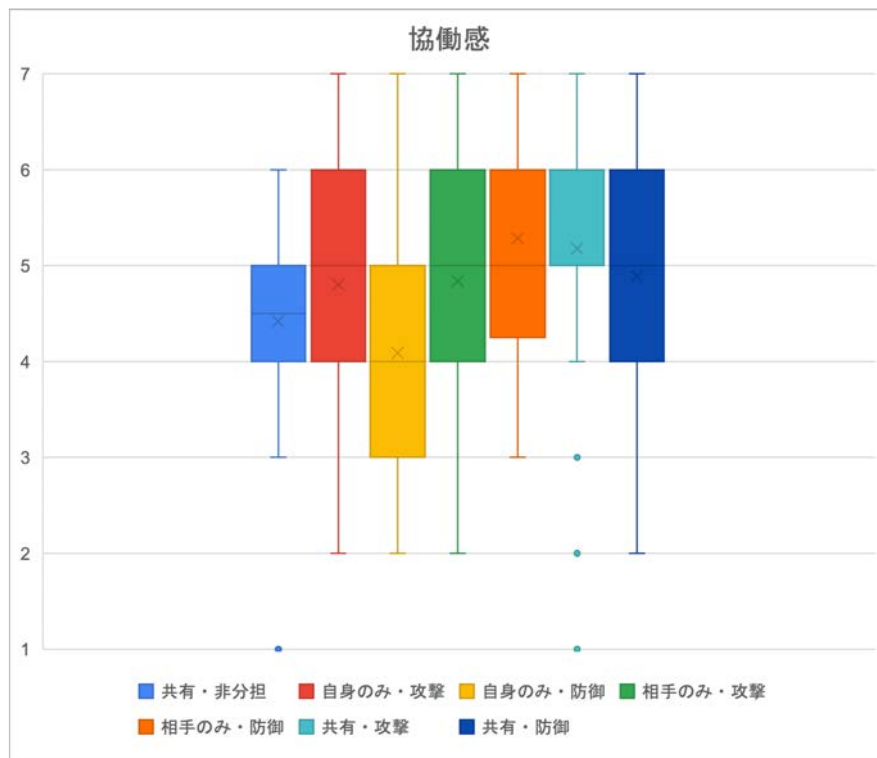


図 4.11 協働感スコアの分布

- 基準（共有・非分担）：4.88（0.99）
- 自身のみ・攻撃：4.95（1.32）
- 自身のみ・防御：3.63（1.88）
- 相手のみ・攻撃：4.70（1.56）
- 相手のみ・防御：4.96（1.74）
- 共有・攻撃：5.36（1.62）
- 共有・防御：5.07（1.67）

こうした分布を踏まえ、統計解析として Friedman 検定を実施したところ、 $(x^2(6)=15.814, p=0.0148)$ となり、7つの条件全体を通じて「どこかに有意な差がある」ことが示

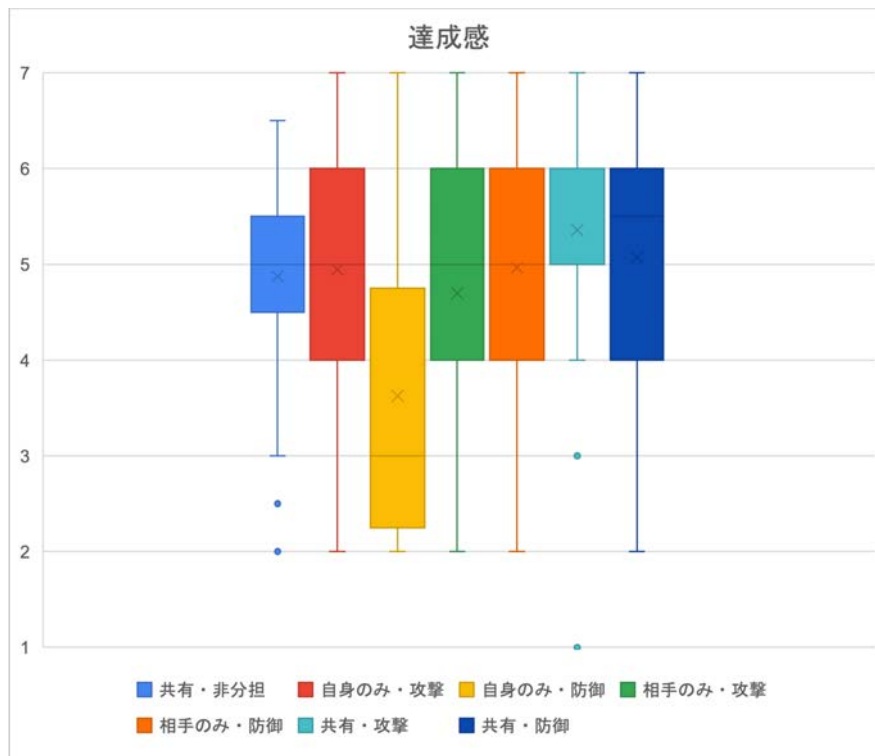


図 4.12 達成感スコアの分布

唆された。しかし、その後のペアワイズ比較（Wilcoxon 符号付順位和検定 + Bonferroni 補正）では、いずれの条件ペアについても有意差が確認されず、統計的に「どの条件とどの条件が異なるのか」を断定するには至らなかった。

この結果は、全体としては達成感に差が見られるものの、どのペアが明確に違うと結論づけられるほど各条件間のスコア差が大きくなかったり、サンプル数の少なさや回答のばらつきによって検出力が不足している可能性を示す。実際に、記述統計の段階では単独防御（自身のみ・防御）のスコアが低い点、共有を伴う攻撃や防御のほうが総じて高めである点などの傾向がうかがえたが、厳密な多重比較の観点からは「どの組み合わせが有意に異なるか」を明確には示せなかった。

さらに、効果量として Kendall の W を算出したところ約 0.38 となり、95%信頼区間は [0.22, 0.54] と比較的広い値を示した。一般に Kendall の一致係数 $W \approx 0.38$ は「中程度からやや大きめの効果」と解釈されるが、信頼区間の範囲は 0.22~0.54 と広いため、実際の差が想定以上に大きい可能性もあれば、いくらか中程度にと

どまる可能性も否定できない。要するに、達成感に関しては「統計的に有意な差がある」との結果が得られ、効果量もそこそこ大きいと示唆される一方、少人数 ($n=7$) や多重比較補正の厳しさなどの要因で、具体的にどの条件とどの条件が異なるかまでは特定できなかったといえる。

総合すると、達成感の観点ではフリードマン検定の段階で「条件による違いがある」ことが示されたが、ペアごとの比較では明確な有意差が見られず、効果量の信頼区間も広めであるため、実験規模を拡大して検証を重ねることが望ましい。本研究で得られた単純な平均値（「自身のみ・防御」が最も低く、「共有・攻撃」が最も高いなど）ともあわせ考えると、防御役を単独で担うことの退屈さ・受動性、攻撃側が“手応え”を共有できる場合の高いやり遂げ感などが全体として統計的にうかがえるものの、どの要素が最も達成感向上に効いているかは、サンプル数を増やすなど追加の検証を要するといえる。

4.4.2 インタビュー

インタビューは、全条件終了後に各被験者ごとに 10 15 分程度の半構造化対話を行い、各条件での印象や触覚共有、役割差、協働感、達成感などに関する自由な発言を得た。本実験では 3 名の被験者に対してインタビューを実施し、以下に各被験者ごとの主な発言内容の特徴を整理する。

- P1 の感想 P1 は「仲間と同時に役割分担して討伐を進める」場面に最も印象を持ったと述べている。具体的には、後方からの衝撃（防御側の行為）を触覚を通じて感じることで「相手が守ってくれている」「攻撃しやすい状況を仲間が作っている」ことが実感でき、徐々に「相手のために守ろう」「一緒に戦っている」という感覚が高まったと語った。一方で、防御役を担うときは“タンク”のような役回りが自分の性分に合い、自らガードを成功させた瞬間の「チームを支えている」という充実感が得られたという。ただし、非対称タスクによる達成感や協力感の高さを、同じロール同士の協力パターンと比較したときの差は大きくなかったようで、むしろ「それぞれ役割を任されることでやり遂げた感じ」も、「一緒に同じ役割を行う」場合の達成感

も、どちらも“それぞれの良さがある”と評している。とはいえ、背中合わせの状態では視覚に頼れない分、触覚共有の機能が「仲間が動いているのを身体で理解できる」手がかりとして役立っていたことは大きいと述べており、その機能的かつ情緒的な面を評価していた。

- P2 の感想 P2 は初めてドラゴンを討伐したときの「大きな生き物を倒す」インパクトを強く感じ、「それを仲間と一緒にやることでマルチプレイの面白さが生まれた」と語る。一方で、触覚共有の効果については後半ほど意識され始め、「相手が防御してくれたタイミングで手元に衝撃が来ると、一体感が増えて面白い」といったコメントをしている。特に「攻撃をしている自分の触覚は来ず、仲間が防御している触覚だけが来る」設定のときに、最も相手の存在を強く感じたようで、かえって情報が混在しない点がわかりやすく協力感を生んだようだ。ただし、役割分担によって各自が得る手応えには個人差があり、P2 自身は「むしろ防御役を担当したときのほうが、一緒に戦っている感覚を持ちやすかった」と述べている。加えて、視覚情報の大きさも強調しており、「相手の動きが目で見えている場合は、それだけで共闘感が生まれるが、触覚共有が加わるとさらに没入感が増す」とまとめている。
- P3 の感想 P3 は「攻撃を防いだ瞬間」よりも、「攻撃を成功させて敵を削っている瞬間」のほうが手応え・爽快感が大きいと述べる。しかし、防御側を担当すると、ファイアボールを防ぎきった達成感や誇らしさはあまり得られず、どちらかという「後ろで地味に支えている」印象になりがちだったようだ。また、背中合わせの状態が続く中では、仲間が何をしているかを視線で捉える余裕がほとんどなく、「触覚で仲間の行為を感じられるメリット」は一部あったものの、全体的には「視覚なしで協力実感を高めるのは難しい」とコメントしている。ただ、HP が少なくなって緊迫度が上がる場面などでは、相手の防御行為がより有難く感じられ、「この時は触覚共有が役立っていたかもしれない」と振り返った。
- P4 の感想 P4 は、剣を使ったときの「ドラゴンを斬ったフィードバック」に強い爽快感を覚え、防御役のときには「いまひとつ手応えを感じにくい」と

語った。また、「防御成功時の振動が攻撃成功時の振動と混ざってしまい、どちら由来か瞬時に判断しづらい」点が混乱を生むと指摘している。視覚情報でドラゴンの動きがある程度わかる場面では、攻撃役としてはそれなりの達成感を得られるが、背後を守る仲間の行為は「見えないうえに触覚の違いが曖昧だと把握が難しい」ため、協力感が十分に高まらなかったとしている。ただし、ゲームとしての難易度は「防御側だとファイアボールの軌道把握が難しかったが、攻撃側はちょうどよいレベル」と述べ、触覚共有の有無とは別に、ロールによる操作負荷の違いが体験の質を大きく左右すると感じていた。

- P5 の感想 P5 は防御担当時の動作が「意外と動き回れて面白い」と感じ、攻撃役よりも「守る」というタスクのほうがアクション性が高いと捉えていた。しかし、その反面、「相手がどう動いているかを視界に入れづらい」状況下では、一緒にやっているという実感が弱くなりやすいとも語る。触覚共有については、「自分がまったく行為していないタイミングで手元に衝撃が来ると、“あ、いま相手が攻撃（または防御）してるんだ”と直感できるのは面白い」と指摘し、その瞬間には一体感を得やすかったようだ。一方、両者の振動が同時に入ってくると「どちら由来のフィードバックか判別があいまいになる」ため、混濁してしまうとのこと。総合的には「非対称タスクのほうが役割の手応えが明確」だと感じたが、背中合わせで視覚を奪われる分、触覚をもっと差別化しないと「常時はっきり協力を感じるのには難しい」とコメントしている。
- P6 の感想 P6 は、防御側として火球をさばく動作を「自分のほうがより多く身体を動かすので面白い」と評価しつつも、実際のプレイ中に「自分が防御を成功させても、その触覚が手元に返ってきていないのでは？」と感じた場面があり、条件によるフィードバックの違いが分かりづらかったと述べている。攻撃側より防御側のほうが動作が多彩なぶん退屈しづらく、「ボールを追いかけて動くのは意外と楽しかった」と語った。また、チームとしての一体感については「背中合わせで相手がほとんど視界に入らない」ことが大きなハードルとなり、視覚的な手がかりが不足する分、触覚のパターンが

はっきり区別されていないと仲間の行為を十分には把握できないと指摘している。さらに、HP や相手の状態が分からないまま倒される心配が少なかったため、緊迫感が希薄になりがちだったと述べ、協働感や達成感をより高めるには「危機感を共有できる仕組み」や「仲間の行動がはっきりわかる触覚演出」が必要だろうと示唆していた。

- P7 の感想 P7 は「ドラゴンを切っているときに与えられる衝撃」がとてもわかりやすく、最もポジティブな印象だったと述べる。ただし、防御役になるとファイアボールを防げた瞬間こそ爽快感を得られるものの、「相手の動きが視覚的に把握しづらい」背中合わせの環境では、仲間との連帯感を強く持つまでには至らなかったようだ。また、相手の触覚が自分に伝わる設定自体は「一緒にやっている感覚を補強しうる」と理解しつつも、「結局はドラゴンがどう動くかばかりを注視していて、仲間が何をしているかまでは集中し切れなかった」と述べている。さらに、戦闘中の HP 管理や敵の攻撃パターンをもっと明確に知覚できる仕組みがあれば、「相手と一緒に危機を乗り越えている」という協力意識がより高まったのではないかと振り返った。

以上のように、各被験者とも「背中合わせ・非対称タスク・触覚共有」という仕組みの中で、協力感を感じる場面やその阻害要因がそれぞれ異なっている。特に、攻撃側は斬撃の手応えに強い爽快感を得やすく、防御側は火球を受け止める瞬間に達成感を得るものの、背後で仲間がどう動いているかを視覚で捉えられないがゆえに、触覚情報の差別化が不十分だと「本当に協力している」というリアルタイムの認識にはつながりにくい傾向が浮かび上がっている。また、HP や仲間の状態を可視化する UI の不足、および相手由来の触覚パターンが混ざってしまう問題なども、協力感や達成感を高めるうえでの課題として言及されていた。

4.4.3 インタビューデータの分析

本節では、前節で示した 7 名 (P1~P7) の被験者へのインタビュー内容を総合し、触覚共有や非対称タスク、背中合わせ配置など本実験特有の要素がどのように認知され、どのような協働感・達成感の形成に影響したのかを考察する。なお、

参加者が明確に自覚している場合と、そうではない場合とで触覚共有の受容度や役割の捉え方が大きく異なることが示唆されるため、本項では個別発言を参照しながら、全体的な傾向と相互比較を行う。

非対称タスクと協働感：攻撃役 vs. 防御役の体感差

多くの被験者が、攻撃役・防御役それぞれのプレイ感覚について言及しており、特に「背中合わせで相手を直接目視しにくい」状況が協働感の生起メカニズムに複雑な影響を与えていることが分かった。攻撃役を担当した被験者（P1, P2, P3 など）の発言を見ると、前方のドラゴンへ斬撃を入れる際は自身の動作に集中しやすい一方、後方を防御している仲間の行為が見えないので、「仲間がどれだけ頑張ってくれているのか」を視覚的に把握しづらいという意見が多かった。たとえば P1 は、序盤で後方支援を確認できず不安を覚えたが、触覚共有により「相手が守ってくれている感覚」を身体で捉えられたことで、安堵や協働感が高まったと述べている。

一方、防御役を担当した際には（P2, P3, P6 など）、火球を受け止める動作自体がやや複雑であること、相手が攻撃しているところをある程度振り返って確認できる場合があることから、視覚情報も大きな手がかりとなったと発言する被験者が多かった。特に P2 は「自分が防御に回ったときは相手の行動を見やすく、協働感を自然に感じやすかった」と語り、P6 は「防御側のほうが身体を動かす量が多くて面白い」と感じつつも、触覚フィードバックのパターンが混在したときには「これは自分の防御成功の振動なのか、それとも相手の攻撃成功なのか分からない」と混乱を覚える場面があったと振り返っている。

これらの発言から、攻撃役にとって触覚共有は「背後の仲間行為を掴むための大切なシグナル」となりやすい一方、防御役では視覚で仲間を確認できるケースが多く、触覚に強く依存しない傾向が見られると推察できる。また「協働感」は必ずしも常時顕在化するわけではなく、役割特性と視認性の組み合わせによって触覚共有のインパクトが増減する点が、インタビュー全体を通じて示唆される。

触覚共有の意識度合い：明示的理解と潜在的効果

インタビューの中では、触覚共有そのものをはっきりと意識した被験者（P2, P4 など）と、「何となく触覚が来ているのは分かったが、いつどのように共有されているかまでは明確に把握しきれなかった」という被験者（P1, P3, P5, P7 など）の双方が存在した。前者の場合、特定の条件（たとえば攻撃役側で相手防御の振動が伝わる状況）に強い一体感を覚えたり、「仲間の成功を手元で追体験しているようだ」と感じたりするなど、触覚共有を協働感形成に積極的に結びつけていた。一方、後者の多くは「忙しくてそこまで気を回せなかった」「どれが自分の振動でどれが相手由来なのか判別が難しかった」と述べることも多く、触覚共有による効果が潜在化したままプレイを続けていた可能性がある。

また、P6 のように「あるはずの防御フィードバックが感じられなかった」「特定の回で振動しなかったように思う」という指摘もあり、触覚共有が明示的に機能しなかった（または動作不安定に見えた）ケースもある。これはデバイス側の問題や通信遅延、被験者の体勢など技術的・環境的要因が絡んだ可能性が高い。被験者が触覚共有を実感できなかった場合、当然ながら協働感の向上にはつながりにくいと考えられる。

達成感と協働感の関係：条件依存の揺らぎ

達成感については、P1 が「役割をうまく果たせたときに誇らしかった」と述べたり、P2 が「後半になるほど自分が防御を上達できた感じがあって、楽しかった」と語ったりするように、非対称タスクならではの“自分が担当した役割をやり遂げる”手応えが印象的だったという言及が複数見られた。一方、P3 や P5 は「いつの間にか討伐が終わっていた」「思ったほど達成感が高まらなかった」と語り、本研究のゲームシナリオ自体が短時間であることや、敵 AI（モンスター）が単調になりがちなことも、達成感を大きく高めるまでには至らない要因として挙げられた。

加えて、協働感が高まった場面と達成感が高まった場面とが必ずしも一致するわけではないことも、複数の被験者インタビューで示唆されている。たとえば P2 は「防御役をやっているときは仲間行為を視覚的に確認できたので一体感はや

すかったが、同時に‘自分がやっている感’はやや薄い」という趣旨の発言をしており、協働感があっても個人的達成感が突出するほどではなかった様子が見える。逆に、P1 や P4 は「攻撃成功を一瞬で感じ取れると、爽快感や‘やったぞ’感は大きくなる」としつつ、仲間との一体感はそのまで意識しなかったと語るなど、達成感と協働感の間には微妙なズレが生じている。

背中合わせ配置による視線制限と触覚共有の補完的役割

今回の実験では、プレイヤー同士を意図的に“背中合わせ”の物理配置にし、互いを直接視界に入れにくい状況を作り出しているが、それに対する被験者の反応は大きく分かれた。P1 や P5、P7 は、攻撃役を担当しているときに後方支援が視界外になるため「仲間が何をしているのか全然分からない」「防御側の偉大さを触覚で感じ取れるとありがたい」と述べており、こうした制限下では触覚共有が“仲間行為を補足する稀少な情報源”として作用しやすかった。一方、防御役を担当している間は、振り返って仲間の動きをある程度確認しやすいため、触覚共有のありがたみが相対的に薄れたという声（P2, P3 など）もある。

また、背中合わせ配置そのものにネガティブな印象を抱く被験者もいれば、むしろ“仲間に背を預ける”という演出を面白いと捉える被験者もいた。P1 は「物理的に背中を向けることで‘一緒に戦う’感覚が増した」と感じ、一方で P6 は「背後からボールが飛んでくるので落ち着かなかった」「視線をもっと自由に使いたい」と不自由さを訴えるなど、背中合わせという設定が協働感に好影響か否かは参加者によって評価が分かれたと言える。ただし、共通して言えるのは、視線制限が存在する状況では、補完手段としての触覚共有が大きな意味を持つ可能性がある点である。

今後の発展可能性や改善点

最後に、被験者から寄せられた意見としては、より迫力ある演出（ドラゴンの動きを多様化する、HP や被ダメージの可視化を強化する、BGM や効果音を増やすなど）を導入することで達成感や緊迫感を高められるとの指摘が複数あった。

また、P2 が言及したように “武器の種類や触覚パターンをさらに増やして、互いの行為がより明確に区別できるようにする” といった拡張案や、P3, P5 が述べたような “チーム全体の HP や仲間のステータスが把握しやすい UI 提示” を組み合わせる方法も有望であると思われる。

さらに、P1 は 「一体感を最大化するには、勝利時のスペシャル演出を追加したり、クリア後にハイタッチ感覚を強化したりといった ‘報酬設計’ も大切」と語り、インタビュー全体を通じて、ゲームそのものに 「ミッション成功時のインセンティブやアニメーション」 を付加することで、「やったぞ」という心理を増幅できるという改善余地が示唆された。触覚そのものの質や強度、周波数差別化についてはほぼ全員がさらに明確にすべきという意見を挙げており、仲間行為が自分由来か他者由来かを一瞬で判別できるほどの触覚パターン設計があれば、協働感と達成感の両面で向上が期待できるだろう。

まとめ：触覚共有の状況依存的な可能性とデザインの要点

総じて、インタビューデータからは、触覚共有が特定の条件下（攻撃側に視覚的余裕がない場面、視線を向けられない背中合わせ配置など）で協働感や一体感を高める有効な要素として機能すること、ただし “常に意識されるわけではなく、また役割や状況によっては視覚情報が優勢となることも多い” といった点が示唆される。また、触覚パターンがやや複雑化したときの混乱や、技術的に振動が伝わりにくくなる場面も含め、被験者が迷ったり効果を感じにくくなったりするシーンがあり、設計面やシステムの安定性に改良の余地があることが浮き彫りとなった。

一方、達成感については、非対称タスクをうまくこなす場面で “自分が役立った” 感覚が増幅しやすい一方、全体としてゲームの難易度や演出不足もあって “絶大な達成感” にまでは結びつかなかったという指摘が多い。今後は、よりダイナミックな演出や難易度調整、HP や仲間状況の可視化などを組み合わせることで、協働感と達成感の両立をより強く実現できる可能性があると考えられる。

以上のように、7名の被験者の語りからは、視覚と触覚の相補的な関係、非対称タスクがもたらす役割感と協働感の変動、そして背中合わせ配置という物理的

制約下でのコミュニケーション設計という、MR 環境ならではの複合的な課題と可能性が浮かび上がってくる。触覚共有に関しては、状況しだいで“非常に重要なチャンネル”にも“背景的存在”にもなり得ることが確認され、個々のプレイヤーが置かれる役割・視認性・緊張度合いを踏まえたうえで、触覚パターンの意図的な設計を行う必要があると示唆される。

4.5. 考察

これまでの分析結果から、本研究が目指した「非対称タスク（攻撃役・防御役）と触覚共有の組み合わせ」がどのように協働感や体験の質に影響したのかを検討する。本節では、(1) 触覚共有が協働感に与えた影響、(2) 体験の質的な違いの分析、(3) 本手法の有効性と制限の三つの視点から考察を行う。

4.5.1 触覚共有が協働感に与えた影響

本研究における触覚共有の最も大きな狙いは、「視覚・聴覚だけでは把握しづらい仲間の行為や状態を、身体感覚を通して直接的に理解させること」にあった。実験の定量データ（4.4.1）では、特に攻撃役が「自分の視界外にいる防御役の行動を触覚刺激で感じられる」と認識したとき、協働感スコアが上昇する傾向が見られ、インタビュー（4.4.2, 4.4.3）でも複数の被験者が背後の味方を視覚的に確認できない状況で「守られているという安心感」を触覚を通じて捉えていたと述べている。

攻撃役にとって、後方の防御役がどのように火球を防いでいるかは可視化しにくく、もし触覚共有がなければ「相手が本当にしっかりガードしているか」「いつ防御が成功したのか」は視覚的に把握しづらい。そこで、防御成功時に攻撃側デバイスに伝わる「やや重めの衝撃」や「継続時間のある振動」が、背後から来る火球を仲間が受け止めたことを身体的に報知し、単なる視覚・音声演出以上の「実感」をもたらす。インタビューでも「仲間が支えてくれている感じが、手元の震えで分かる」「何となく防御されている安心感が増した」という意見が散見された。

一方で、防御役では「仲間の行動をある程度振り返って視認できる」ため、触覚共有がなくても協働感を感じやすい場面があったとも考えられる。実際、防御役条件で触覚共有があっても顕著な効果増大が確認されなかった事例（4.4.1, 4.4.3）が複数あり、さらに「どの触覚が自分の防御成功か、相手の攻撃成功か判断しづらい」と混乱を覚える場面があることも分かった。したがって、触覚共有が常時協働感を高めるわけではなく、「視認性が制限される」「仲間行為を直ちに理解できるチャンネルが少ない」など、状況が噛み合ったタイミングでより大きな意味を持つと結論づけられる。

また、触覚共有を被験者が明確に「これは仲間が行っている動作の感触だ」と意識できないまま、潜在的に安心感や一体感を高めているケースが存在する可能性も示唆された。インタビューでは「どれが誰の行為由来の振動かを正確に区別できなかった」と語りつつも、「後半になればなるほど、一緒に戦っている感覚が増してきた」と話す被験者が複数いた。触覚共有が明示的に理解されずとも、身体への刺激が“背後の仲間”を感じさせ、結果的に自分ひとりで戦っているわけではないという心的安心感につながっていたと考えられる。

4.5.2 体験の質的な違いの分析

今回の実験では、同じ MR 空間・同じ敵キャラクターを使っても、(1) 役割分担（攻撃・防御）、(2) 触覚共有の有無、(3) 背中合わせという物理的配置、(4) 視野制限の程度など、複数の要因が重なって多様なプレイ体験が形作られた。特に、インタビューから浮かび上がった質的な違いは以下の二点に集約できる。

一つ目は、役割特性と動作負荷の差である。攻撃役はドラゴンを追いかけて斬撃を繰り返すため、前方への視線集中が生じやすく、後方を気にかける余裕が少なくなる。その結果、触覚共有があると背後の仲間行動を捉える一助になる。一方、防御役は火球を防ぐ行為が自分の正面～やや斜め方向に飛来するため、仲間をちらりと振り返りやすい場合があるほか、そもそも「盾を掲げて守る」動作自体に注意を向ける時間が増える。このような動作上の負荷や視線余裕の差によって「触覚共有が有効に働くかどうか」が大きく変化していたと見られる。

二つ目は、協働感と達成感のズレである。たとえば攻撃役で斬撃がうまく決ま

ると個人的な達成感は大いだが、仲間が守ってくれている実感にまで意識が向かない場合がある。逆に防御役は「自分が守っているおかげで攻撃が成立している」といった協働感を強く得られる可能性があるが、攻撃役ほど直接的な“敵への一撃”を加える爽快感にはつながりにくい。また、仲間との連携を視覚か触覚か、どちらをメインに用いたかで体験の質が変わり、「チームワークを強く実感できた」「作業になってしまった」といった感想に分かれる様子もうかがえた。言い換えると、同じシステムでも「どの入力チャンネルに重きを置くか」や「ゲーム内でどういうシーンが発生したか」によって、プレイヤーが感じとる協働感・達成感の水準が変化する。

さらに、演出や難易度設計の影響も大きい。たとえば被験者の中には「ドラゴンの動きパターンが単調なので、中盤以降はやや作業感に陥った」「BGM やエフェクトを強化すれば達成感がさらに上がっただろう」と述べた者もあり、触覚共有自体はあくまで“行為を身体的に補う情報チャンネル”であって、そこに緊迫感やドラマ性を与える演出が組み合わさらなければ、十分なインパクトを生まないという指摘が成り立つ。すなわち、体験の質は「触覚設計 × 役割構造 × 空間演出 × 個人差」の四つ巴で決まるという構図が明確になった。

4.5.3 本手法の有効性と制限

本手法の有効性

本研究の手法——すなわち、「背中合わせ配置」かつ「非対称タスク（攻撃／防御）」を導入し、かつ「触覚共有」を付与するという設計コンセプト——は、以下の点で有効性を示唆する結果が得られた。

- 1 視界外の仲間行為を身体感覚で補う背中合わせ配置は、あえて仲間を視覚に入れにくい状況を生み出すものの、触覚共有により「相手が今、攻撃に成功した」「火球を防御してくれた」といったタイミングが、プレイヤーのデバイスへダイレクトに届く。これはオンライン協力ゲームでも類を見ない“背後からの支援を体感する”形式を可能とする。

- 2 役割が違うからこそ触覚も区別されやすい剣役・盾役という非対称タスクは、それぞれの行為時に発生する振動の質を分けやすい（鋭い斬撃か、重い衝撃か）。これによって「どちらの行為が行われたのか」をある程度明確化でき、被験者が混同しにくい設計が組みやすい。実験中に混乱を覚えたという声もあったが、それは振動伝達の不安定や複数の条件が立て続けに切り替わったためであり、設計上さらにパターンを強化すればより効率的に役割の差別化が期待できる。
- 3 役割分担の補完性が心理的結びつきを生む攻撃と防御の二役は明確に相互依存し、「片方の成功がもう片方を助ける」という構造をもっている。これにより、被験者は「相手を守る」「相手に守られている」という相互補完の関係を実感しやすく、結果として協働感が高まりやすい。インタビューでも「仲間がいないと成り立たないタスク」「後ろを任せるしかないからこそ、一緒にやっている感があった」という意見が複数確認された。

本手法の制限・課題

一方で、本研究のアプローチには以下のような課題・制限も指摘できる。

- 1 触覚共有が常時強く意識されるわけではないインタビューでは、「実際に忙しくてそこまで触覚の違いを意識できなかった」「仲間由来と自分由来の振動の判別が難しい」という発言も多く、意図したほど触覚共有が“協働感向上の核”として顕在化しなかったケースがあった。特に視覚情報や自身のタスク負荷が大きい場面では、触覚への注意が希薄になりがちな点は大きな課題である。
- 2 役割と振動の対応付けが不明瞭になりやすい本実験で用いた振動パターンは、攻撃（斬撃）と防御（衝撃）を区別できるよう工夫したが、連続的なアクションや複数イベントが同時並行に起きると、プレイヤーがどの振動が誰の行為によるものか把握しづらい。実際に被験者の中には「いつの間にか振動が来ていたが、誰の動作か分からないまま終わった」という人も少なくな

かった。さらなる周波数や持続時間の差別化、提示部位の区分けなどが求められる。

- 3 タスクシナリオや演出面での制約実験で用いたドラゴン討伐シナリオは単一難易度かつ短時間であり、後半は作業感に陥ったり達成感が飽和してしまう場合があったという指摘も多い。触覚共有が真に効果を発揮するには、より難易度を上げて「仲間の補完が必須となる状況」を増やす、あるいはボス敵が多様な攻撃を仕掛けてくるなど演出的に盛り上げる工夫が必要だと考えられる。
- 4 被験者数・条件の制約本研究ではサンプルサイズの限界や実験条件（触覚共有あり／なし、役割）を短時間で実施せざるを得ず、結果の一般化に慎重さが求められる。より多人数・多条件での評価、そして同様の触覚システムを別の協働タスク（ゲーム以外を含む）に適用した検証が望ましい。

総合的に見ると、本手法は「仲間行為を身体感覚でシェアする」意義を実験的に示すことはできたが、常に強い効果を発揮するわけではなく、状況依存性が高いことを認める必要がある。特に背中合わせ配置と非対称タスクが組み合わさった際には、視認性が低い攻撃役にこそ触覚共有が重要な意味を持つ一方、防御役では視覚の余裕があるためそこまで大きなインパクトを感じない場合がある。役割の違いやタスク特性を踏まえた振動パターン設計や身体への振動提示部位の検討などがさらに進めば、より強い協働感・達成感を持続的に生み出す可能性が高まると考えられる。

4.6. 本章のまとめ

本章では、MR空間での非対称タスク（攻撃役・防御役）と触覚共有を統合したシステム「Sense-LinQuest」を用いた検証実験と、その結果および考察を述べた。まず4.1節では、システムの基本的なコンテンツデザインを示し、従来の「全員攻撃」型から役割を分けることで得られる行為差別化と、触覚共有による仲間行為の可視化（可触化）を組み合わせる狙いを説明した。次に4.2節では実験の

目的と設計を示し、触覚共有の有無を主な独立変数としながら、2名1組のプレイヤーが実際に攻撃役と防御役を交互に体験する手順を整備した。

4.3節では実際のプレイの様子を示し、背中合わせ配置によって仲間の位置や動作を視覚的に直接確認しにくい環境を意図的に作り出したことを説明した。そこで触覚共有が実際にどのような意味を持つかを検証することで、単なる視覚・聴覚中心のオンライン協力ゲームとは異なる協働感が生まれるかを探った。4.4節では主観評価（協働感・達成感）とインタビュー結果を報告し、攻撃役と防御役それぞれで触覚共有が果たしうる役割についての傾向を示した。特に、攻撃役が仲間の防御成功を視覚的に捉えにくい状況下で、触覚共有が「後方から守られている」という安心感や共同感覚を高める一助になり得ることが示唆された。一方、防御役側では視覚チャンネルで仲間の状況を把握できるため、触覚共有の有無が必ずしも大きな差を生じないケースもあった。

最後に4.5節の考察では、これらの定量・定性結果を踏まえ、「触覚共有が協働感に与えた影響」「体験の質的な違いの分析」「本手法の有効性と制限」の三つの観点から議論を行った。背中合わせや非対称な役割構造は、視認性やタスク負荷などの要因と相互作用しながら、触覚共有による身体的シグナルを補完的に活用する潜在的余地を高める一方で、視覚情報が十分提供される状況では必ずしも触覚が大きく意識されないことも判明した。また、触覚パターンが単純すぎる・判別困難といった課題や、演出・難易度・個人差などの多層的要因が協働感の最終的な水準を左右する状況が見られた。

総じて、本研究が提案する非対称タスク型触覚共有システムは「仲間の行為を身体感覚として共有する」ことで協働感を高めるデザインとして一定の有用性を示し、特に背中合わせのように相手を視覚的に捉えづらい場合に補完チャンネルとして機能する可能性があることが示唆された。ただし、常に明確な効果を発揮するわけではなく、タスクや配置、演出など複数の要因が重なった場面こそ、触覚共有がより大きなインパクトを生み出すという点が明らかになった。

第 5 章

Conclusion

本研究は、MR (Mixed Reality) 空間における非対称タスク (攻撃役と防御役) と触覚共有を組み合わせたシステムデザイン「Sense-LinQuest」を提案し、複数人参加型アクションゲームの体験において、視聴覚情報に加えて相手の行為由来の触覚を共有することが「協働感」を高める手立てとなり得るかを検証した。システム実装と段階的なプロトタイピングを経て、最終的な剣型デバイスならびにMR空間内でのドラゴン討伐タスクを構築し、合計7名の参加者を対象に評価実験を実施した。その結果、触覚共有が仲間の行為を身体感覚として知覚する仕組みとして機能し、状況によっては大きな協働感や達成感をもたらす可能性が示唆された。一方で、触覚共有の効果が常に明確に表れるわけではなく、視認性やタスクの緊迫度、難易度設定、さらには参加者が抱える個人のプレイスタイルなどが複雑に相互作用することが明らかとなった。

まず、ハードウェア面では、剣型デバイスのプロトタイプを三段階にわたって改良し、軽量化や振動設計の最適化を図った。特に「剣らしい操作感」を担保するため、握りやすいグリップ形状とシンプルな振動パターンに集約し、攻撃成功時や防御成功時のフィードバックを短時間でわかりやすく伝達するデザインを採用した。役割分担を強調するためには、剣による攻撃と盾による防御といったアクションの違いを十分に感じられる振動特性が必要であり、結果として、鋭いパルス状とやや持続的な衝撃感の二種のパターンに整理したことで、少なくとも動作中に触覚を感じ取りやすい程度のわかりやすさを確保できたといえる。しかし、被験者からは、仲間の行為由来の振動と自分の行為由来の振動とが混在し、判別が困難になる場面があるとの指摘も得られた。ここからは、触覚による情報伝達を設計する際の「識別しやすさ」や「タイミングの精度」が、協働感醸成に大き

く影響する要素であるとわかる。

次に、MR 空間での背中合わせ配置によるゲームタスクを設定したことで、視覚的に仲間を直接確認しづらい場面が生じ、それが触覚共有の意義を引き出す舞台となった。実験では、攻撃役が前方のドラゴンに集中するあまり後方を確認しにくい状況で、触覚共有が「仲間がしっかり守ってくれている」という安堵感や共闘感を補強する要因になり得ることが示唆された。一方で、防御役としては、後方を振り返って仲間の動きを目視できる余裕があることなどから、追加の触覚情報を必ずしも強く意識しない傾向もみられた。これらの結果は、視覚制約や役割差がない場合には、触覚共有が大きな差を生まない可能性があることを示す。また、緊迫度が上がり仲間行為の成否がパフォーマンス全体を大きく左右する局面では、触覚共有の潜在力が高まり、ゲーム体験における協働感をいっそう顕在化させることも確認された。

さらに、7名の被験者のインタビューからは、触覚共有がしばしば無意識に利用される一方、状況によってはあまり存在を認識できないままプレイを終えるケースもあることがわかった。これは、ゲームプレイ時には視覚や聴覚への情報負荷が大きく、常に触覚へ注意を向けるとは限らないことを意味する。しかし、複数の参加者が「背後からの振動が来た瞬間に相手の行為を理解し、チームとして動いている実感が生まれた」と述べていたように、触覚共有が適切な場面で提供されれば、仲間の存在を身体的に捉える価値あるチャンネルとなる。加えて、本研究では攻撃役と防御役のタスクを明確に分けることで、プレイヤー同士が単に「同じことを同時にする」のではない非対称的な補完関係に入り、それぞれが果たす行為の独自性を強く意識できるよう設計した。そこに触覚共有が重なることで、仲間の行為のタイミングや成果が、単なる音声・視覚表示以上の身体感覚として伝わるという特色が確立し、「あの瞬間に守られていた」「いま相手が一撃を決めた」という互いの活躍を実感する機会が増えたという知見が得られた。

本手法の限界としては、被験者数が少ないため、個人差やプレイスタイルの違いを十分に統計的にカバーしきれない点がある。また、背中合わせの配置やドラゴン討伐というシナリオ自体が実験環境特有のものであり、より一般的なコラボレーション作業や他ジャンルのゲームへの適用可能性は、なお検討の余地がある。

さらに、触覚提示設計の範囲も限定されており、振動パターンの多様化や提示部位の拡張、フィードバックの強度・周波数の最適化などを進めることで、より鮮明な役割区別や仲間行為の識別が実現できると考えられる。被験者の中には、自分の振動と仲間由来の振動を混同してしまったという意見も散見されることから、触覚の情報設計を高精度かつ直観的に行うための追加研究が必要である。

それでもなお、本研究の知見は、オンラインやリモートでの協働が当たり前となりつつある現代において、身体感覚の共有による新しい協働感創出の可能性を指し示す。視覚・聴覚中心の共有では伝わりにくかった「仲間がいま何をしているか」という行為理解や、「相手の動きが直接自分に影響している」という一体感は、非対称タスクに基づく触覚共有によって深まる可能性がある。たとえば視覚的に仲間を確認しづらい環境（背中合わせや狭い視野のVRアプリケーション）でも、触覚を介して相互の行為を補完的に把握すれば、共同作業やチームプレイがよりスムーズになり得る。

今後は、被験者を増やし、多数の条件設定やシナリオ（多人数協力や非ゲーム的作業への応用など）を検証することで、触覚共有による協働感向上の設計指針をより確立していく必要がある。また、本研究の提示する攻撃役・防御役という対照的な行為の背後には、現実社会における分業や相互依存的なタスク構造に重ね合わせられる部分が多い。そうした拡張的応用を検討し、どのような身体感覚をどの程度・どのタイミングで共有すれば最大限の効果が得られるのか、具体的なガイドライン化を進めることが一つの展望となるだろう。さらに、新しいインタフェース技術（超音波や電気刺激など）を活用した触覚提示の高度化、あるいはほかの五感（たとえば嗅覚や温度感覚）との連動など、MR環境をより豊かにし、協働感をさらに拡張させる研究も期待される。

結論として、本研究は非対称な役割分担の下で、相手の行為結果を触覚で共有するというデザインアプローチが、デジタル環境における身体的協働感を高める上で一定の効果を持ち得ることを示した。視認困難な場面や高い緊迫度を伴うタスクほど、互いの行為を身体感覚として認知する重要性が増し、協働感や達成感を深める契機になる。これらの成果は、オンラインゲームにとどまらず、リモートワークや教育、さらには医療・福祉などの分野にまで応用可能なポテンシャル

5. Conclusion

を含んでいる。今後はさらなる検証やデザイン精緻化を通じて、多感覚共有を軸とした MR 協働体験の新たな価値を切り拓いていくことが期待される。

謝 辞

本研究の完成にあたり、多くの方々からご指導、ご助言、そして温かい励ましをいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

まず、本研究の指導教員であり、幅広い知見と的確な指導を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の南澤孝太教授に、心から感謝申し上げます。ご多忙の中、私の相談にも耳を傾けてくださり、いつも迅速かつ正確なご指導をいただきました。その姿勢にはまさに「聖徳太子」のような並外れたご配慮を感じ、深く敬服いたしました。

本研究の遂行にあたり、同研究科の砂原秀樹教授、杉浦一徳教授には多岐にわたる助言やご指導をいただきました。特に中間発表の頃からは、私の視野を広げる貴重なコメントを賜り、また理論部分においても的確なご指摘をいただくことで、本研究の質を高めることができました。心より感謝申し上げます。

また、研究指導および論文執筆においてメンターとして多大なるご指導を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の堀江新特任助教にも、この場を借りて深く感謝申し上げます。私自身、度重なるご迷惑をおかけすることもございましたが、そのたびに迅速かつ的確にご対応いただき、心より御礼申し上げます。

さらに、前半の研究においてアドバイスをくださり、実験環境の構築に関して多くの助言をいただきました株式会社豊田中央研究所の堺浩之様および吉村貴克様にも心より感謝申し上げます。

また、研究方針や機材の使用方法について日頃から丁寧にご教示いただくだけでなく、さまざまなご相談にも快く応じていただきました博士課程の前田智祐様に、心より深く感謝申し上げます。

加えて、日頃から終電を過ぎてもなおご指導と修論の相談に長時間お付き合い

いただき、温かいご支援を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の脇坂崇平特任助教にも、心から感謝申し上げます。

また、技術的なアドバイス、および実装を手伝ってくださった神山洋一研究員にも心からお礼申し上げます。

次に、Embodied Media Project の皆様に心より感謝申し上げます。特に、共に切磋琢磨し、夜遅くまで励まし合いながら研究を進めることができた同期の皆様、そして1年上の先輩方には、常日頃から食事や遊びに連れ出してくださったり、さまざまなご相談に乗っていただき、心より深く感謝申し上げます。忘れられないハプニングも数多くありましたが、それもまた充実した研究生活の一部となりました。このご縁に深く感謝いたします。

最後に、いつも温かく支え、学びの環境を整えてくれた家族に、心からの感謝を捧げます。皆様の支えなくしては、本研究を成し遂げることはできませんでした。

以上、関わってくださったすべての方々に、心からの御礼を申し上げます。

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

参 考 文 献

- [1] Mark Griffiths, Zaheer Hussain, Sabine M Grüsser, Ralf Thalemann, Helena Cole, Mark N O Davies, and Darren Chappell. Social interactions in online gaming. *Int. J. Game-based Learn.*, Vol. 1, No. 4, pp. 20–36, October 2011.
- [2] Yuki Endo. Reliability through the festivals -festivals have been potentials as a [stabilizer in human society]. 日本大学大学院総合社会情報研究科紀要, Vol. No.22, pp. 037–048, 2021.
- [3] Raimo Tuomela. Joint intention, we-mode and I-mode. *Midwest Stud. Philos.*, Vol. 30, No. 1, pp. 35–58, September 2006.
- [4] Mattia Gallotti and Chris D Frith. Social cognition in the we-mode. *Trends Cogn. Sci.*, Vol. 17, No. 4, pp. 160–165, April 2013.
- [5] Natalie Sebanz, Harold Bekkering, and Günther Knoblich. Joint action: bodies and minds moving together. *Trends Cogn. Sci.*, Vol. 10, No. 2, pp. 70–76, February 2006.
- [6] Günther Knoblich, Stephen Butterfill, and Natalie Sebanz. Psychological research on joint action. In Brian H Ross, editor, *Advances in Research and Theory*, Vol. 54 of *The psychology of learning and motivation*, pp. 59–101. Elsevier, 2011.
- [7] M Botvinick and J Cohen. Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, Vol. 391, No. 6669, p. 756, February 1998.

- [8] Manos Tsakiris and Patrick Haggard. The rubber hand illusion revisited: visuotactile integration and self-attribution. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, Vol. 31, No. 1, pp. 80–91, February 2005.
- [9] Bigna Lenggenhager, Tej Tadi, Thomas Metzinger, and Olaf Blanke. Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, Vol. 317, No. 5841, pp. 1096–1099, August 2007.
- [10] H Henrik Ehrsson. The experimental induction of out-of-body experiences. *Science*, Vol. 317, No. 5841, p. 1048, August 2007.
- [11] Lara Maister, Mel Slater, Maria V Sanchez-Vives, and Manos Tsakiris. Changing bodies changes minds: owning another body affects social cognition. *Trends Cogn. Sci.*, Vol. 19, No. 1, pp. 6–12, January 2015.
- [12] Akshay Bhardwaj, Steven Cutlip, and R Brent Gillespie. Modeling haptic communication in cooperative teams. In *2021 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 433–438. IEEE, July 2021.
- [13] Jinling Wang, Amine Chellali, and Caroline G L Cao. Haptic communication in collaborative virtual environments. *Hum. Factors*, Vol. 58, No. 3, pp. 496–508, May 2016.
- [14] Franck Mars, Mathieu Deroo, and Jean-Michel Hoc. Analysis of human-machine cooperation when driving with different degrees of haptic shared control. *IEEE Trans. Haptics*, Vol. 7, No. 3, pp. 324–333, July 2014.
- [15] Robrecht P R D van der Wel, Guenther Knoblich, and Natalie Sebanz. Let the force be with us: dyads exploit haptic coupling for coordination. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, Vol. 37, No. 5, pp. 1420–1431, October 2011.
- [16] Henri Boessenkool, David A Abbink, Cock J M Heemskerk, Frans C T van der Helm, and Jeroen G W Wildenbeest. A task-specific analysis of the benefit of

- haptic shared control during telemanipulation. *IEEE Trans. Haptics*, Vol. 6, No. 1, pp. 2–12, 2013.
- [17] Selma Musić and Sandra Hirche. Haptic shared control for human-robot collaboration: A game-theoretical approach. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 53, No. 2, pp. 10216–10222, 2020.
- [18] Edit Nagy, Gabriella Posa, Regina Finta, Levente Szilagyi, and Edit Sziver. Perceptual aspects of postural control: Does pure proprioceptive training exist? *Percept. Mot. Skills*, Vol. 125, No. 3, p. 31512518764493, January 2018.
- [19] Claudio Pacchierotti, Stephen Sinclair, Massimiliano Solazzi, Antonio Frisoli, Vincent Hayward, and Domenico Prattichizzo. Wearable haptic systems for the fingertip and the hand: Taxonomy, review, and perspectives. *IEEE Trans. Haptics*, Vol. 10, No. 4, pp. 580–600, October 2017.
- [20] Lara Maister, Flavia Cardini, Giorgia Zamariola, Andrea Serino, and Manos Tsakiris. Your place or mine: shared sensory experiences elicit a remapping of peripersonal space. *Neuropsychologia*, Vol. 70, pp. 455–461, April 2015.
- [21] Pavel V Voinov, Natalie Sebanz, and Günther Knoblich. Collective benefit in joint perceptual judgments: Partial roles of shared environments, metacognition, and feedback. *Cognition*, Vol. 189, pp. 116–130, August 2019.
- [22] Yun Tang, Xin Liu, Chenbo Wang, Miao Cao, Shining Deng, Xiujuan Du, Yuan Dai, Shujie Geng, Yun Fan, Lijuan Cui, and Fei Li. Different strategies, distinguished cooperation efficiency, and brain synchronization for couples: An fNIRS-based hyperscanning study. *Brain Behav.*, Vol. 10, No. 9, p. e01768, September 2020.
- [23] Paul Milgram and Fumio Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans. Inf. Syst.*, Vol. E77-D, no. 12, No. 12, pp. 1321–1329, December 1994.

- [24] I Sato, Y Sato, and K Ikeuchi. Acquiring a radiance distribution to superimpose virtual objects onto a real scene. *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics*, Vol. 5, No. 1, pp. 1–12, 1999.
- [25] F Ledermann, G Reitmayr, and D Schmalstieg. Dynamically shared optical tracking. In *The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit.*, p. 8. IEEE.
- [26] H Slay, B Thomas, and R Vernik. Using ARToolkit for passive tracking and presentation in ubiquitous workspaces. In *IEE Review*, pp. 46–53. IEEE.
- [27] Allison Jing, Kieran May, Gun Lee, and Mark Billinghurst. Eye see what you see: Exploring how bi-directional augmented reality gaze visualisation influences co-located symmetric collaboration. *Front. Virtual Real.*, Vol. 2, p. 697367, June 2021.
- [28] Prasanth Sasikumar, Lei Gao, Huidong Bai, and Mark Billinghurst. Wearable RemoteFusion: A mixed reality remote collaboration system with local eye gaze and remote hand gesture sharing. In *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 393–394. IEEE, October 2019.
- [29] R Procter, A McKinlay, R Woodburn, and O Masting. Coordination issues in tools for CSCW. In *Computer Supported Cooperative Work*, pp. 119–137. Springer London, 1994.
- [30] T Gross. Towards flexible support for cooperation: group awareness in shared workspaces. In *Database and Expert Systems Applications. 8th International Conference, DEXA '97. Proceedings*, pp. 406–411. IEEE Comput. Soc, 2002.
- [31] Anthony Steed and Ralph Schroeder. Collaboration in immersive and non-immersive virtual environments. In *Immersed in Media*, pp. 263–282. Springer International Publishing, 2015.

- [32] Erwin Peters, Bram Heijligers, Josse de Kievith, Xavier Razafindrakoto, Ruben van Oosterhout, Carlos Santos, Igor Mayer, and Max Louwerse. Design for collaboration in mixed reality: Technical challenges and solutions. In *2016 8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, pp. 1–7. IEEE, September 2016.
- [33] Peng Wang, Xiaoliang Bai, Mark Billingham, Shusheng Zhang, Sili Wei, Guangyao Xu, Weiping He, Xiangyu Zhang, and Jie Zhang. 3DGAM: using 3D gesture and CAD models for training on mixed reality remote collaboration. *Multimed. Tools Appl.*, Vol. 80, No. 20, pp. 31059–31084, August 2021.
- [34] Peng Wang, Shusheng Zhang, Xiaoliang Bai, Mark Billingham, Weiping He, Mengmeng Sun, Yongxing Chen, Hao Lv, and Hongyu Ji. 2.5DHANDS: a gesture-based MR remote collaborative platform. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 102, No. 5-8, pp. 1339–1353, June 2019.
- [35] Peng Wang, Shusheng Zhang, Xiaoliang Bai, Mark Billingham, Li Zhang, Shuxia Wang, Dechuan Han, Hao Lv, and Yuxiang Yan. A gesture- and head-based multimodal interaction platform for MR remote collaboration. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 105, No. 7-8, pp. 3031–3043, December 2019.
- [36] G Karsai, A Ledeczi, S Neema, and J Sztipanovits. Transparent collaborative haptic simulation. In *IEEE International Symposium on Intelligent Control*. IEEE, October 2006.
- [37] Daisuke Takeuchi, Keigo Inukai, Masaki Suyama, Nao Manabe, Taku Tanichi, Yoshihiro Tanaka, Junji Watanabe, Aiko Murata, and Kouta Minamizawa. How haptics induce social behavior: An exploratory study of public goods games with tactile sharing on the internet using a behavioral economics approach. In *2022 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp. 1–6. IEEE,

- March 2022.
- [38] Thomas Massie. The PHANToM haptic interface: A device for probing virtual objects. *Dyn. Syst. Contr.*, pp. 295–300, 1994.
 - [39] Steven Martin, Nick Hillier, and Csiro Ict. Characterisation of the novint falcon haptic device for application as a robot manipulator. *Australas. Conf. Robot. Autom. (ACRA)*, 2009.
 - [40] Kouta Minamizawa, Souichiro Fukamachi, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, and Susumu Tachi. Gravity grabber: wearable haptic display to present virtual mass sensation. In *ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies*. ACM, August 2007.
 - [41] Jotaro Shigeyama, Takeru Hashimoto, Shigeo Yoshida, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Transcalibur: A weight shifting virtual reality controller for 2D shape rendering based on computational perception model. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, May 2019.
 - [42] Yuhu Liu, Yuri Ishikawa, Yohei Fukuma, and Yusuke Nakagawa. Augmented haptic VR experience combining two weight-shifting versatile controllers. In *ACM SIGGRAPH 2023 Emerging Technologies*. ACM, July 2023.
 - [43] Arata Horie, Mhd Yamen Saraiji, Zendai Kashino, and Masahiko Inami. EncounteredLimbs: A room-scale encountered-type haptic presentation using wearable robotic arms. In *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 260–269. IEEE, March 2021.
 - [44] Motohiro Yafune, Tatsuki Kawashima, and Yasuyoshi Yokokohji. 1P1-G04 virtual control panel rendering system using an encountered-type haptic device. *Proc. JSME Annu. Conf. Robot. Mechatron. (Robomec)*, Vol. 2009, No. 0, pp. _1P1-G04_1-_1P1-G04_4, 2009.

- [45] Scott Brave and Andrew Dahley. inTouch: a medium for haptic interpersonal communication. In *CHI '97 extended abstracts on Human factors in computing systems looking to the future - CHI '97*. ACM Press, 1997.
- [46] Hirohiko Hayakawa, Richi Owaki, Takuya Ishikawa, Kouta Minamizawa, Yoshihiro Tanaka, Kakagu Komazaki, Yutaka Kamamoto, and Junji Watanabe. 高実在感を伴う遠隔コミュニケーションのための双方向型視聴触覚メディア「公衆触覚伝話」の提案. *VR学会論文誌*, Vol. 25, No. 4, pp. 412–421, December 2020.
- [47] Hirohiko Hayakawa, Youichi Kamiyama, Satoshi Matsuzono, Xu Mengy, Masuhito Tanaka, Takuto Yamamoto, Noriyuki Suzuki, and Kouta Minamizawa. 触覚伝送を伴うバスケットボールのライブフィーリングの実践. *日本バーチャルリアリティ学会大会論文集*, 2018.
- [48] Kota Kitamichi, Mina Shibasaki, Hikari Yukawa, Kouta Minamizawa, and Yoshihiro Tanaka. 複数人の触覚共有に向けた同時知覚可能人数の調査. *日本バーチャルリアリティ学会大会論文集*, 2021.
- [49] Kakagu Komazaki and Junji Watanabe. 触覚伝送による“リモートハイタッチ”: アスリートの家族間コミュニケーションや聴覚障がい者との観戦検討. *VR学会論文誌*, Vol. 27, No. 1, pp. 2–5, March 2022.
- [50] Junji Watanabe, Kohei Ai, Tomofumi Yoshida, Kouki Kuwano, Kakagu Komazaki, and Akiko Hayashi. 空気伝送触感コミュニケーションを利用したスポーツ観戦の盛り上がり共有: WOW BALLとしての検討. *VR学会論文誌*, Vol. 25, No. 4, pp. 311–314, December 2020.
- [51] Tomosuke Maeda, Roshan Peiris, Nakatani Masashi, Yoshihiro Tanaka, and Kouta Minamizawa. HapticAid: wearable haptic augmentation system for enhanced, enchanted and empathised haptic experiences. In *SIGGRAPH ASIA 2016 Emerging Technologies*. ACM, November 2016.

- [52] Ryo Murata, Arata Horie, and Masahiko Inami. Dynamic derm: Body surface deformation display for real-world embodied interactions. In *Augmented Humans Conference*, pp. 267–277. ACM, March 2023.
- [53] Arata Horie, Ryo Murata, Zendai Kashino, and Masahiko Inami. Seeing is feeling: A novel haptic display for wearer-observer mutual haptic understanding. In *SIGGRAPH Asia 2022 Emerging Technologies*. ACM, December 2022.

付 録

A. Interview Transcripts

Participant: P1

Interview Start

E: まず、今回の体験をざっくり振り返ってもらって、一番印象に残っているシーンはあるかな？ ポジティブでもネガティブでも、何かエピソードがあれば教えてください。

P1: 敵を倒した瞬間が印象に残っています。仲間と一緒に同時に役割分担して倒せたのが難しくもあり、面白かったです。あと、シールドの残りゲージ（バー）がなくなったら交代する、というアイデアを思いついたときも印象的でした。2人で役割交代しながら「相手の動きがどんな感じか」「自分を守ってくれているのか」がわかるのが楽しかったですね。

E: 全体の難易度や面白さについては、どう感じたかな？

P1: 難易度はそこそこ高かったと思います。特に、ガードのほうが一番最初はうまく操作できませんでした。パワーゲージみたいなものが下がるのをコントロールできなくて苦労しました。

E: 敵を倒した瞬間や攻撃を防げた瞬間は、どんな気持ちがあった？

P1: 成功したら爽快感がありました。音とか触覚とか、いろいろなフィードバックがあるほうがより楽しいと感じました。聴覚と触覚と視覚のすべてがあると、達成感が上がると思います。

E: 触覚共有があることで、どの程度面白さに影響があったと思う？

P1： 触覚がないときは、普通にゲームの画面を見ているだけという感じですが、触覚があると「相手がどう攻撃しているか、防御しているか」がわかるので、協力している実感が増しました。一体感がありましたね。

E： 役割分担（攻撃専門と防御専門）をしたとき、自分が「役に立っている」「誇らしい」などの感情はあった？

P1： ガードしているときは特に「タンク役をしているんだ」という感覚が強かったです。RPG というタンク役が好きなので、守っている実感や達成感は大きかったですね。

E： 相手と協力している実感はどんなタイミングで強くなったかな？

P1： 最初のほうから、2人で一緒にシールドを上げてファイアボールを防いだときに協力感を覚えました。攻撃と防御が分かれていると、それぞれの役割を果たしたときに達成感がありました。

E： 常に背中合わせだったけど、相手が攻撃しているとか防御しているとか、わかると自分のプレイに変化はあった？

P1： ありました。相手が連続でガードしている触覚パターンが来たときは、「そろそろ攻撃に移るかな」「じゃあ自分もファイアボールに注意しよう」などと思いました。触覚からくる情報で相手の行動を想像できました。

E： ファイアボールを防ぎきれずに食らったときは、どんな感情になった？

P1： やっぱり「しまった」「ごめん」という感じです。相手にも申し訳ないし、悔しかったですね。

E： この体験をもっと達成感のあるものにするには、どんな工夫がいいと思う？

P1： 報酬（アイテムなど）を付けるとゲーム的にはわかりやすいですね。あるいは最後に「2人でモンスターを倒した」という演出が加わる映像や大きめの触覚フィードバックがあるといいかもしれません。

E： 触覚共有や役割分担を他のゲームや作業に応用するとしたら、どんなシーンが面白そう？

P1: 例えばカヌーを2人で漕ぐとか、協調が必要なスポーツ系に向いていると思います。お互いの動きを触覚で感じられると、言わなくても息を合わせやすそうです。

E: 全体を一言でまとめてもらうと、どんな体験だった？

P1: やっぱり「楽しかった」です。触覚があると協力している感じが増して、面白かったです。

Interview End

Participant: P2

Interview Start

E: 今回、ざっくり振り返ってみて、一番印象に残っているシーンはどこでしたか？

P2: 7回目あたりの、防御担当の触覚が自分に伝わってきた場面が一番印象的でした。自分の振動は来ていないのに、相手の防御したときの触覚だけが来て「おお、ちゃんと防いでるんだ」と実感できて面白かったです。

E: 全体の難易度についてはどう感じた？

P2: ゲームに慣れていないんですが、体を動かすのは好きなので楽しかったです。ドラゴンの見た目がリアルで、VRならではの迫力もあって、そこはとても面白かったです。ドラクエの世界観とかでやったらもっと面白そう、と思いました。

E: 敵を倒す瞬間や攻撃を防ぐ瞬間は、どんな気持ちになった？

P2: 最初は新鮮で「すごい！」となりました。でも何度か繰り返すうちに慣れてきて、作業的になってしまった感もありました。ただし最初のほうはやっぱり盛り上がりましたね。

E: 触覚共有はどの程度、楽しさに影響していた？

P2: 最初は映像効果のほうが楽しかったのですが、後半になると相手の防御の触覚が自分に伝わってくるという点で「一体感」を感じる面白さがかなり大きかったです。

E: 攻撃役・防御役を分けたとき、自分が役に立っている実感や誇らしさはあった？

P2: 防御のほうが、やりがいを感じました。先輩を守るみたいな気持ちが働いて、うまく守れたときは「やった！」と思いましたね。

E: 相手と協力している実感はいつ強く感じた？

P2: 僕が攻撃して、相手が防御しているその触覚だけが手元に来るときが一番協力を感じました。攻撃と防御の両方の触覚が同時に来ると少し情報が多くて混ざっちゃうのですが、相手のだけはっきり伝わってくると「一緒にやってるんだ」という実感が強かったです。

す。

E： もし失敗して相手が攻撃を食らってしまったときは、どんな気持ち？

P2： 「すみません！」って申し訳ない気持ちになりましたね。やっぱり守れなかったら相手に悪いなど。

E： この体験をもっと達成感のあるものにするには？

P2： 武器やエフェクトを増やすのが面白いかも。剣やビーム、銃など、それぞれ触覚を変えてみたりすると、さらに楽しい気がします。あとはストーリー性のある演出があると、最後まで飽きないかなと思います。

E： 他のゲームや作業で、触覚共有や役割分担を応用するなら？

P2： スポーツでの協力作業や、大人数でのレイドバトルみたいな場面に応用したら面白そう。あとは、危険作業などのシミュレーションで相手の感覚を共有するのも、教育的に効果があるのではと思いました。

E： 全体的にまとめると、どんな体験だった？

P2： やっぱり「マルチプレイ感」が強いVR体験でした。1人でやるVRとは違う楽しさがありました。

Interview End

Participant: P3

Interview Start

E: 印象に残っているシーンを教えてほしいです。

P3: 最後のほうで、3種類の触覚パターン（自分の攻撃・自分の防御・相手の防御）が混在しているときに印象的でした。自分の触覚が来ない条件のときは「何をしているのかよく分からない」という不安がありました。

E: ゲーム全体で難しかった場面はあった？

P3: 防御側は慣れないとファイアボールを防ぎきれないときがあり、難しかったです。攻撃はわりとシンプルでした。

E: 敵を倒した瞬間やファイアボールを防いだ瞬間は、どんな気持ちに？

P3: 倒した瞬間は普通に「やった」という感覚がありますが、どちらかというと防御でうまくガードできたときに嬉しかったですね。攻撃はあまり「相手に貢献してる」感じがなくて、防御側のほうが「仲間を守っている」という気持ちになれました。

E: 触覚共有があると、一緒にやっている感じは強まる？

P3: はい。特に、自分が防御をしているときに相手が攻撃している振動が伝わってくると「ちゃんと連携しているな」と感じました。でも、実際には目視で相手を確認したほうが分かりやすいという面もありましたね。

E: 攻撃役・防御役を分けるやり方と、両方ごちゃ混ぜでやるやり方では、どちらが達成感あった？

P3: やることがハッキリする分、分けたほうが役割をしっかりと果たせたと思います。個人的には、防御のほうが貢献度を感じられたので嬉しかったです。

E: ファイアボールを防ぎきれずに当たってしまったとき、何か感情はあった？

P3: 申し訳ない気持ちと悔しさがありました。そういうときは「ああ、防げなかった」と落ち込む感じですね。

E： この体験をもっと達成感あるものにするには？

P3： 攻撃パターンや演出をもっと増やすといいと思います。ドラゴン側にももっと多彩な動きがあると飽きにくいかなと。あと、勝利の演出を派手にするとか。

E： 触覚共有や役割分担を他のゲームや作業に使うなら、どんなシーンがありそう？

P3： お互いが見えない場所で共同作業をするときに便利だと思います。例えば VR で協調作業をするシミュレーションなどで、相手の動きを触覚で感じられると、チーム連携が取りやすくなると思います。

E： まとめると、どんな体験だった？

P3： 「相手の動きが分かると安心感が出る」という体験でした。ただ映像だけじゃなく、触覚という新しい感覚が面白いと感じました。

Interview End

Participant: P4

Interview Start

E: ざっくり振り返ってみて、一番印象に残っているシーンは？

P4: ドラゴンを切ったときのフィードバックが一番わかりやすく印象的でした。防御したときの振動は、防御成功かどうか分かりにくかった場面もありました。あとは、相手が防御した触覚と自分の攻撃の触覚が被ると、どちらの振動か分からなくなりました。

E: 難易度はどうだった？

P4: そこまで難しくはないけど、ドラゴンが空を飛んでいて距離感をつかみにくかったです。ファイアボールが飛んでくる感覚もつかみづらくて、その点はちょっと難しかったですね。

E: 敵を倒したり、防御に成功した瞬間はどんな気持ち？

P4: 防御できたときは「おっ、うまくいった」と思いました。攻撃はそこまで「やったー！」という感じではなく、「当たったな」という程度。でも最初は確かに新鮮でした。

E: 達成感はあった？

P4: ステージをクリアしたな、という感じはあるんですが、対人戦ではないからか、大きな達成感とまではいかないかもしれません。もう少し演出があったほうが盛り上がりそうですね。

E: 触覚共有によって協力感や一体感が出た？

P4: 防御役をやっているとき、相手の攻撃の触覚を感じられると「お互い役割が違うんだな」とか、「今攻撃してるんだな」とわかりやすかったです。でも、それだけで強い達成感が上がるほどではありませんでした。

E: まとめると？

P4: ゲームとしては面白かったけれど、協力要素や達成感をさらに高めるなら演出面や

UI がもっと必要かもしれません。HP バーとかを共有できれば、連携しやすいと思った。

Participant: P5

Interview Start

E: 全体的に振り返って、印象的だったシーンは？

P5: 防御しているときに飛んでくる火の玉を弾くのが、ビジュアル的に迫力があって面白かったです。ただ、もっと音周りを整えるとさらに没入感が出ると思いました。あと、攻撃時と防御時の振動をはっきり区別してもらえるとわかりやすいです。

E: 難易度はどう感じた？

P5: 攻撃はそんなに難しくないけど、防御はちょっと大変でした。いろんな角度から火の玉が来るので、見渡しが必要でしたね。

E: 成功したときの気持ちは？

P5: 防御がうまくいくと「ちゃんと弾いたな」とわかるのが気持ち良かったです。触覚はあったほうが絶対わかりやすいと思います。

E: 役割分担（攻撃・防御）をしていたけど、達成感としてはどう？

P5: 攻撃側をやると分かりやすい爽快感があるけれど、防御側は相手を守ってる感じが強いですね。ただ、背中合わせのせいで相手の様子が見えないから「守ってる実感」が少し薄れるかもしれません。

E: もしもっと協力感を高めるなら？

P5: お互いのHPや状態をUIで表示したり、フィニッシュの演出をもう少し派手にするとういと思います。

E: 触覚共有を他に応用するとしたら？

P5: スポーツ系や複数で重いものを運ぶシミュレーションなど、実際に相手の「力の込め方」を感じられる場面が面白いと思います。

E: 全体としてはどうだった？

P5： VRゲームの協力プレイとしては面白かったです。さらに演出やUIを整えると、一体感はより高まりそう。

Participant: P6

Interview Start

E: 今回のプレイを振り返って、印象的だったのはどこ？

P6: 防御が面白かったです。動きが大きくて、火の玉をいろんな方向から受け止めなくちゃいけないので、ワイワイしてました。攻撃側は単調だけど、防御は忙しいというか、やること多めで楽しかったですね。

E: 全体の難易度はどう？

P6: 攻撃は簡単だけど、防御は難しいです。ただHPが高く設定されているのか、失敗してもあまり致命的にならない感じでした。

E: ドラゴンを倒したり、防御を成功させた瞬間の気持ちは？

P6: 防御できると、やっぱり「守った感」があって気持ちいいです。相手が攻撃を続けられるように守ってるわけですし、達成感があります。ただし、両方やるほうが個人的にはいろいろ動けて楽しいと思いました。

E: 触覚共有による協力感はどう？

P6: 後半、慣れてくると「相手が受け止めてくれたんだ」とか「今攻撃してるんだ」というのがわかるようになりました。ただ、情報量が多すぎると混乱するかもしれません。自分の攻撃・自分の防御・相手の防御が全部手元に来ると、どれがどれかわからなくなるときがありました。

E: この体験をもっと達成感のあるものにする工夫は？

P6: 派手なフィニッシュ演出、報酬、あるいはHPを少なめにしてギリギリ感を出すとか、ダメージを受けたときの振動を入れると緊張感が増すと思います。

E: 他のゲームや作業への応用はどうだろう？

P6: スポーツのフォーム矯正とか、複数人で一つのモノを操作するときなんかに向いていそうです。力加減やタイミングを相手と共有できるのは面白いかも。

Participant: P7

Interview Start

E: 全体を振り返って、特に印象深かった場面は？

P7: ドラゴンに近づかれて怖いと感じたところです。VRで自分より大きい存在が迫ってくると、やっぱり圧倒されます。あとは、攻撃して倒したときのザクザク感が良かったですね。

E: 難易度はどうだった？

P7: 攻撃は割と簡単ですが、防御はファイアボールの軌道がよく分からなくて、守るのに大変な印象です。HPが高いのか、あまりゲームオーバーにはならない感じでしたね。

E: 敵を倒したときや攻撃を防いだとき、どんな気持ち？

P7: ドラゴンを倒したら「やった、平和が戻った」みたいな安心感がありました。ファイアボールを防いだ瞬間は気持ちいいですけど、それに集中してるので仲間の存在はあまり感じられなかったかもしれません。

E: 触覚共有によって相手の行動はわかった？

P7: 正直、触覚というより目で見て「相手が動いてるな」って確認することが多かったです。触覚だとどの動きが誰のものなのか、やや分かりづらいと感じました。

E: 役割を分けたほうが達成感は上がった？

P7: 攻撃は「倒した！」というわかりやすい達成感がありますが、防御担当は「相手を守る」貢献を実感しにくかった気がします。背中合わせだと相手がどうなってるかよく見えないので。

E: もっと達成感を上げるとしたら？

P7: HPをシビアにするとか、敵の攻撃をもう少し強化するとか。あと、倒したあとの剥

ぎ取り（モンスターからの素材ゲット）みたいな追加要素があると盛り上がるかもしれません。

E： 他への応用は？

P7： 仕事や作業でのハラスメント対策みたいに使ったら…というアイデアもあるかもしれないけど、基本はゲーム的な協力要素で強みを発揮すると思います。お神輿みたいな大勢で担ぐシチュエーションとか面白そうです。

E： 総括すると、どんな体験だった？

P7： 大きいドラゴンを相手に、攻撃か防御か分担してやる VR 協力ゲームという印象です。もう少し演出を足せば、かなり盛り上がると思いました。

B. 質問票

協働感に関する質問

- 私はこのタスクを相手と“同じチーム”として取り組んでいると強く感じた。
- 相手の存在を身近に感じ、一緒にプレイしている距離感が縮まったと思う。
- 自分の動きと相手の動きが自然に噛み合っていたと感じる。
- お互いの役割が明確に分かれ、効率よく協力できたと思う。
- 同じ目標に向かって協力しているという意識が高かった。
- チームならではの一体感を体験できたと思う。
- もし自分がミスをしても、相手と協力すればカバーできるという安心感があった。
- 相手がどのタイミングで何をしているか、視覚以外でも分かりやすかった。

達成感に関する質問

- 自分の行動（攻撃/防御）が、ただの画面操作ではなく“実際に力を込めている”感覚を味わえた。
- 敵に攻撃を当てたり、相手の攻撃を防ぐときに、身体的な快感（あるいは安堵感）が高まった。
- 攻撃（防御）している最中に、仲間（相手役）の力加減や動きが手元で感じられて助かった（または楽しかった）。
- 相手（仲間）と同時に連携攻撃（あるいは防御行動）をするとき、より強い一体感を得られた。
- 自分の役割（攻撃 or 防御）が物理的な手応えと結びついているおかげで、役割を全うしている喜びが増した。
- 相手が攻撃している（あるいは防御している）タイミングを感じ取れたので、動きを合わせやすかった。
- 敵を倒した（もしくは攻撃を防いだ）ときに、視覚だけでなく身体全体で達成感を味わえた。
- 触覚があったおかげで、攻撃（防御）が上手くいった瞬間の“スカッと感”が大きくなったと感じる。

ダミー質問

- ドラゴンの動きは見ていて面白いと感じましたか？
- ゲーム内のビジュアル効果は、目標達成時の気分を高めたと思いますか？
- このゲーム空間の雰囲気は、全体的に楽しめるものでしたか？
- ドラゴンとの戦いは、記憶に残る体験だったと思いますか？