

「みんなで楽しくできる」XRリハビリテーション空間の構築 — だれもがリハビリへ参加したくなる —

1. 背景

「あの時もっとリハビリをしておけば・・・」

疾患や外傷、老化などによって身体機能が低下した患者は、医療施設にて急性期・回復期のリハビリテーション（以下、リハビリ）を行う。退院後は在宅にて回復した機能を維持するための維持期リハビリを継続する必要があるが、単調な動作の繰り返しを一人で行う退屈さや、効果を実感しにくいこと、訪問・通所リハビリサービスが地域によっては十分に受けられないことが原因で、モチベーションの低下を引き起こし、リハビリを拒否する事例が多く存在する。その結果、回復した身体機能を維持できず、後遺症を抱えてしまうという深刻な課題がある。クリエイターの父も10年ほど前に脳卒中を発症し、維持期での自主リハビリを諦めた結果、右手に麻痺が残る後遺症を抱えて生活している。クリエイターは家族として父のリハビリを支えられなかった後悔から、XR技術をリハビリに活用し、1人で行う自主リハビリテーションを支援するXRリハビリアプリケーションを開発してきた。しかし、リハビリ施設等の現場へのデモンストレーションを通じて、以下の課題と要望が明らかになった。第一に、リハビリ利用者の家族から「一緒にXRリハビリをやりたい」という声があった。第二に、リハビリ施設の療法士から「療法士がHMDを装着していない状態では患者の取り組みが見えず、対応しにくい」という指摘があった。第三に、クリエイター自身がリハビリ利用者と一緒にXRリハビリを体験する中で、「みんなで一緒にやればもっと楽しいのではないか」という確信を得た。これらの経験から、複数人が同時参加できるマルチプレイ型XRリハビリ環境の構築することで、リハビリ中の孤独感の軽減とモチベーションの向上が期待できると考えた。

2. 目的

本プロジェクトでは、XR技術を用いて、患者・家族・療法士など、だれもがリハビリへ参加したくなる「みんなで楽しくできる」リハビリテーション空間を構築することを目的とした。目的を満たすため、以下4つの目標(1)～(4)を定めた。

- (1) 複数のHMDがLANで同一のMR空間を共有するコアシステムの構築
- (2) リハビリ動作を組み込んだマルチプレイ対応ゲームの開発
- (3) 管理者がスマートフォンから複数のHMDを一元制御する管理アプリケーションの開発
- (4) 実際のリハビリ施設でのワークショップの実施とフィードバックの収集

3. 開発の内容

本プロジェクトでは、ターゲットデバイスをXRデバイス単体でアプリケーションの実行が可能なMeta Quest 3(Meta Platforms, Inc.)などに定め、3DゲームエンジンUnity 6(Unity Technologies)を用いて開発を行った。開発したシステムは、複数のMeta Quest 3でXRリハビリ空間を共有するためのコアシステムと、その上で動作する3種類のXRリハビリゲームコンテンツで構成される。

3.1. XR リハビリ空間共有のコアシステム

本システムの通信基盤として、Unity 向けのオープンソースのネットワーク通信ライブラリである Mirror を採用し、LAN 上での XR マルチプレイ基盤を構築した。リハビリ施設やリハビリ患者の自宅などでは、インターネット環境が乏しい場合があるため、クラウドサーバーを用いず LAN 内のみで完結する通信方式とした。本システムは、HMD 起動時に LAN 上のサーバーを自動探索し、見つからなければその HMD 自身がサーバーに昇格する自動マッチング機能を備えており、利用者がネットワーク設定を行わなくとも HMD の電源を入れるだけでマルチプレイ環境が自動構築される。また、QR コードを物理空間上の共通基準点として用い、各 HMD がその QR コードを読み取ることで全デバイスの座標系を統一する位置合わせ方式を開発した。さらに、あるプレイヤーが仮想オブジェクトへリハビリ動作によるインタラクションをした際に操作権限を当該プレイヤーへ動的に移譲し、離れた際にサーバーへ返却するインタラクション同期基盤も実装した。

リハビリ動作の検出機能には、XR デバイス共通の国際標準規格である OpenXR (Khronos Group) のハンドトラッキング API を基盤として、手指のつまみ幅・屈曲角・外転角と、手首の回内外・尺屈撓屈・掌屈背屈をリアルタイムに計測するシステムを独自に開発した。

また、リハビリ現場での運用を円滑化することを目的に、療法士がスマートフォンから全 HMD を一元制御できる管理アプリケーションを開発した。本アプリケーションにより、リハビリゲームの一斉起動、セッションの制御、利用者情報(氏名・属性・難易度)の個別設定を効率的に行うことができる。

3.2. リハビリコンテンツ

以下の 3 種類はすべてマルチプレイに対応しており、4 段階の難易度調整(かんたん・ふつう・むずかしい・アダプティブ)を搭載している。アダプティブモードでは、プレイヤーのリハビリ動作の成功率に応じて動作認識のしきい値を自動調整する。

- (1) 動物つまみゲーム: マージパズルの要素を参考にしたつまみ動作訓練コンテンツである(図 1)。プレイヤーは XR 空間上の動物オブジェクトを指でつまんでケージの中に配置し、同じ種類の動物同士がぶつかるより大きな動物へと「進化」する。オブジェクトをつまむ動作と、配置先を判断しながら手を伸ばすリーチング動作を組み合わせた二重性課題(運動と認知の同時訓練)として、リハビリ効果が期待される。
- (2) 釣り堀ゲーム: 魚釣りを題材とした手首のひねり動作訓練コンテンツである(図 2)。プレイヤーは釣り竿を手首の回転動作で操作し、魚がかかった瞬間に竿を素早く振り上げる「アワセ」動作によりひねり訓練を行う。手首動作の大きさ・アワセの反応時間・釣れた魚のレア度によるスコアランキング機能を実装しており、身体機能の程度が異なる利用者同士でも公平なスコアリングが可能にした。施設内でのリハビリレクリエーションとしても活用できる。

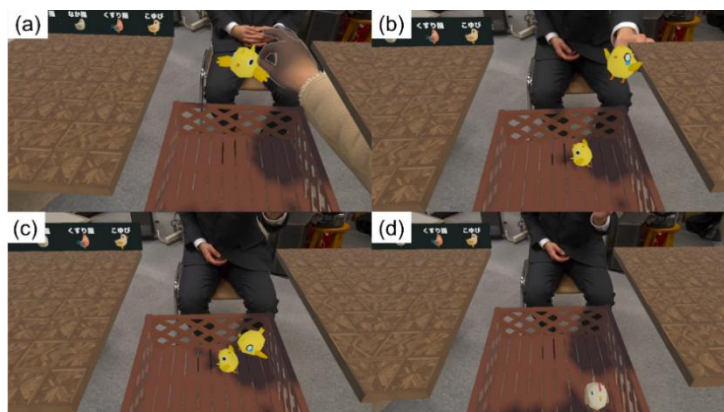


図 1:動物つまみゲームのスクリーンショット
(a) 自身が動物をつまむ (b) 他のプレイヤーが動物をつまむ
(c, d) 同種の動物オブジェクトがぶつかり進化する様子

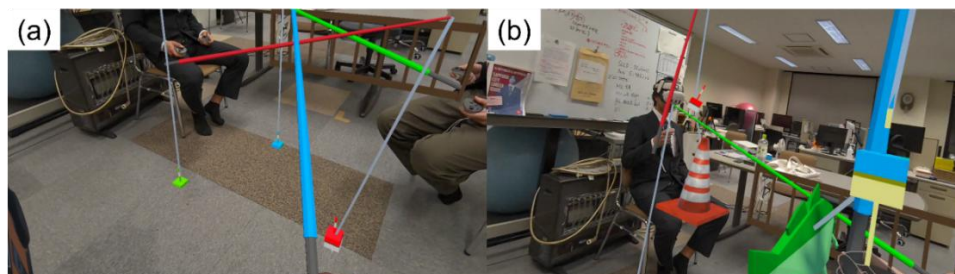


図 2:釣り堀ゲームのスクリーンショット
(a) 現実空間の床に釣り糸を垂らす様子、(b) 複数人が釣り上げている様子

(3) 生け花剪定ゲーム:生け花を題材としたにぎり・リーチング訓練コンテンツである(図3)。プレイヤーは XR 空間上に現れる植物に手を伸ばし、鋏を握る動作で枝葉を剪定し、切り落とした花を花瓶に生ける複数人の共同作業としての生け花体験を実現した。ワークショップのニーズ調査で利用者が最も高い関心を示した活動を反映して開発した。

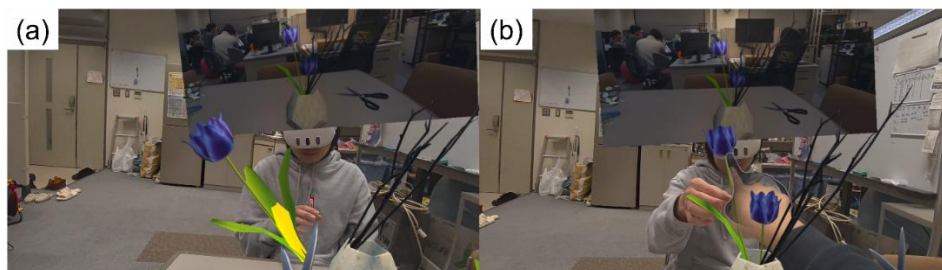


図 3:生け花剪定ゲームのスクリーンショット
(a) 剪定を行う様子、(b) お題に沿って花を生ける様子

4. 従来の技術(または機能)との相違

既存の XR リハビリ製品は、1 台の HMD で 1 人の患者が使用する形態であり、同一の XR 空間に複数人が同時参加するマルチプレイには対応していない。本プロジェクトのシステムは、以下の点で従来にない特徴を持つ。

- (1) 同一 MR 空間での複数人同時参加:本システムでは最大 12 台の HMD が同じ部屋で MR 空間を共有し、複数人が同時にリハビリゲームをプレイできる。
- (2) インターネット不要の QR コード位置合わせ:LAN 環境のみで完結し、施設のインターネット環境の制約に対応可能である。
- (3) スマートフォンによる一元管理:療法士がスマートフォンのアプリケーションから、複数 HMD を一括制御でき、施設運用に最適化している。
- (4) OpenXR 標準ベースのハンドトラッキング:特定メーカーに依存せず他社製 HMD にも展開可能である。

5. 期待される効果

本プロジェクト期間中に、開発した XR リハビリシステムの実環境での検証を目的として、複数の住居型老人ホームにて計 24 名を対象としたワークショップを実施した(図 4)。5 段階評価のアンケート(楽しさ・グループ体験・リハビリへの意欲・従来リハビリとの比較・ユーザビリティ)の全項目で肯定的な評価を得た。体験者からは「みんなで一緒にやれてうれしかった」「一人でやるより楽しかった」という声が多く寄せられ、本 XR リハビリシステムが維持期リハビリの継続率向上と、患者・家族の心理的負担の軽減に寄与する可能性が示された。



図 4:介護施設でのリハビリワークショップの様子

6. 普及(または活用)の見通し

今後は、本プロジェクト期間中に共同研究契約を締結した医療機関の理学療法士・作業療法士と連携し、関節可動域の改善度や握力回復などの定量的指標に基づく臨床試験や、脳波計や心拍計などの生体センサを活用したグループリハビリテーションの生理的検証を実施して、リハビリツールとしての有効性のエビデンスを蓄積する。また、リハビリ動作時の反応時間や関節移動距離を長期的に記録・分析する機能を開発し、利用者の回復経過の可視化と療法士向けモニタリング機能の充実を図る。事業化に向けては、未踏アドバンス事業や GAP ファンドを活用し、保険外サービスである自費リハビリ分野を第一のターゲットとして、介護施設や訪問リハビリサービスへの展開を計画している。OpenXR 準拠による他社製 HMD への対応や、スマートフォンアプリケーションからの HMD の一元管理による容易な施設導入が普及の強みとなる。

7. クリエータ名(所属)

平塚 心太郎(北見工業大学 大学院工学研究科 博士後期課程)