

認知リハビリテーション支援のための生活場面における AI 対話機能の設計と評価の検討

Design and Evaluation of AI Dialogue Function in Daily-Life Contexts for Cognitive Rehabilitation Support

倪 沁嬌[†] 大井翔[†]
Qinjiao Ni and Sho Ooi

1. はじめに

高次脳機能障害（Higher Brain Dysfunction, HBD）は、脳卒中や頭部外傷、神経変性疾患などを主な原因とし、記憶・注意・遂行機能・社会的認知といった多様な認知機能に障害をもたらす。こうした障害は、患者の自立した日常生活を著しく困難にするだけでなく、社会や職場への復帰を阻む大きな要因となる。そのため、包括的かつ効果的なリハビリテーションの提供が強く求められている。

中でも社会的認知機能は、対人関係の構築やコミュニケーション、自己制御、意思決定などに深く関わる中核的な能力であり、その回復支援は患者の生活の質（Quality of Life: QOL）向上に直結する重要な課題である。しかし、従来の認知リハビリテーションは、多くの場合、病院内という限定的な環境で実施され、紙ベースの課題や抽象的な訓練内容に依存していた。その結果、訓練内容と実生活との間に乖離が生じやすく、患者のモチベーション維持や、訓練で得たスキルを実生活に応用することが困難であるという課題があった。実際、従来の訓練方法では、現実的な文脈を十分に再現することが難しく、獲得したスキルが日常生活に反映されにくい傾向が報告されている [1]。

こうした課題に対処する手段として、近年ではバーチャルリアリティ（VR）技術の認知リハビリテーションへの応用が注目されている。VR は、三次元の仮想空間を通じて、調理や買い物といった日常生活に近い行動をリアルに模倣することが可能であり、かつ反復的かつ安全に訓練を行える環境を提供する。これにより、従来の方法に比べて動機づけを維持しやすく、学習内容の一般化が促進されると報告されている [2]。

さらに、近年の人工知能（AI）技術、特に自然言語処理（NLP）の進展により、ユーザの発話に対して文脈に即した応答をリアルタイムで生成できる対話システムの実用化が進んでいる。これにより、仮想空間内において社会的交流を模倣し、社会的認知機能を訓練することが可能になると期待されている。AI との対話によって生まれるインタラクティブなやり取りは、従来の一方的な課題に比べて、より柔軟かつ動的な学習環境を実現し、訓練中の注意力や自己制御力の向上にも寄与する可能性がある [3]。

本システムは、VR 内での調理タスクを通じて実生活に近い状況を再現し、さらに調理中に発生する社会的な割り込みを AI との対話で模擬することにより、遂行機能や注意切り替えなどの訓練環境を再現可能とする設計となっている（図 1）。

本研究では、こうした背景を踏まえ、調理という具体的かつ実践的な生活行動と、AI 対話を組み合わせた VR



図 1: 本研究の認知リハビリテーション

認知リハビリテーション支援システムを開発し、その使用性や認知負荷、および VR 酔いといった観点から、健常者を対象とした予備的評価を行うことを目的とする。

2. 先行研究

近年、認知リハビリテーション領域において、バーチャルリアリティ（VR）技術と人工知能（AI）の応用が急速に発展しており、両者の融合による革新的な介入手法が注目されている。

例えば、Catania ら（2023）[4] は、生活場면을模した VR 訓練が遂行機能の改善に寄与し、習得された技能が実生活に転移可能であることを報告している。また、Hummel ら（2023）[5] は、職業復帰を目指す患者に対して没入型 VR 訓練を実施し、動機づけの向上や自発的な行動変容が促進されることを示した。

さらに、次世代のリハビリ支援に向けた VR と AI の統合に関する研究として、İbişagaoğlu（2024）[6] は、AI の感情理解や対話機能を VR 環境に統合することで、個別最適化された治療が可能になると論じている。一方で、没入型と非没入型の VR 訓練を比較したレビュー研究では、前者の方が集中力や学習効果が高いことが指摘されており [7]、訓練効果を高めるためには臨場感の高い環境を構築することが重要である。

軽度認知障害（MCI）に対する VR 介入の可能性については、Tortora ら（2023）[8] がシステマティックレビューを行い、VR ベースの訓練が短期記憶や実行機能の改善に有効であることを明らかにしている。IADL（Instrumental Activities of Daily Living）に着目した研究では、June ら（2020）[9] が仮想空間内での調理タスクを通じて、日常動作能力の改善と客観的な成果指標の確立を実現している。

AI 対話技術の応用も進んでおり、Mazzolenis ら（2024）[10] は、AI アバターとの対話を通じた感情調整や認知支援が疼痛管理にも効果を持つ可能性を示唆している。

[†]大阪工業大学, Osaka Institute of Technology



図 2: Meta Quest 2 を装着し、実験室内で対話訓練を実施

さらに, Alouthah ら (2024) [11] は, AI による個別適応的リハビリテーション環境の構築をしており, 感情認識や記憶支援に関わる応用の幅広さを示した. Eman ら (2024) [12] もまた, AI と VR を組み合わせた次世代の理学療法モデルの有効性を報告している.

また, 物語形式の VR 訓練を通じて社会的回復を促す事例として, Pedrolí ら (2018) [13] は, PTSD 患者に対するストーリー型 VR 訓練が対人関係の再構築に有効である.

以上の先行研究は, VR や AI それぞれの技術が認知リハビリテーションにおいて有用であることを支持しているが, 日常生活に即した複合的課題を VR 環境内で再現し, 行動ログと主観評価を統合的に分析する研究は極めて限られている.

したがって, 本研究は, こうしたギャップを埋めるべく, VR 技術と AI 対話機能を融合させた実践的かつ多次元的な評価システムの構築と, その効果検証に取り組む点で学術的な独自性を有している.

3. 認知リハビリテーション支援システム構成

本研究で開発した認知リハビリテーション支援システムは, スタンドアロン型の VR ヘッドセット「Meta Quest 2」と, Unity ゲームエンジンを用いて構築されている. ユーザーが仮想空間内を自由に移動し, 手の動きを直感的かつ自然に操作できるように設計されている.

3.1. システム要件

本システムは, スタンドアロン型 VR ヘッドセット「Meta Quest 2」とゲームエンジン「Unity」を用いて構築されている. ユーザーの頭部および両手の位置・姿勢情報はリアルタイムに取得されており, 直感的な操作と高い没入感を実現している. 仮想環境内における物体とのインタラクションには, Unity を活用しており, ユーザーはキッチン空間内での移動, 物体の把持, 操作といった行動を自然に行うことが可能である.

音声対話機能については, 処理負荷の関係から外部 PC 上のサーバで実行されており, VR デバイスとは同一ネットワークを介して接続されている. 詳細な処理フローは第 3.3 節および図 7 に示す. 本システム構成により, 仮想空間内において調理行動と社会的対話を同時に実行可能な環境が実現されている.

3.2. 調理行動マルチタスク訓練

本研究では, 調理という日常的で連続性のある生活行動を通じて, 記憶力・注意力・実行機能といった複数の認知機能を同時に評価・訓練するためのマルチタスク型

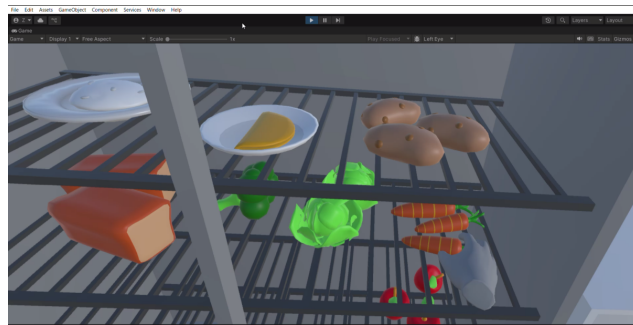


図 3: VR 空間内にて提示されたレシピに基づき, 冷蔵庫から対象食材を選択して取り出す実験参加者の行動. 選択の注意と記憶の活用が求められる

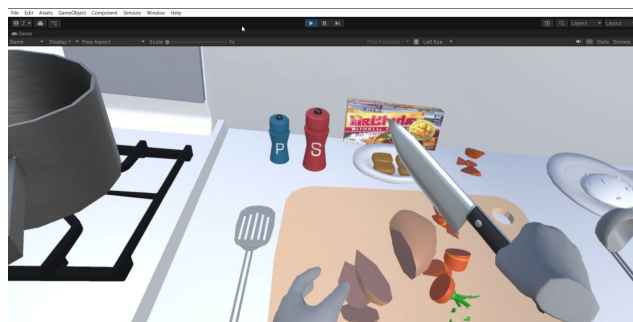


図 4: ユーザーが包丁を使い, まな板上の食材を正確に切断する工程中の VR 視界. 切断方向や力加減が物理演算で反映される

VR 課題を設計した. 仮想空間内に構築されたキッチン環境において, カレーを調理する一連の工程を段階的に構成し, それぞれの過程で異なる認知的負荷が生じるように設計する.

はじめに, ユーザーは VR 内に提示されるレシピを読み, 必要な食材の種類・個数・投入順序を記憶する. このレシピはユーザーが任意のタイミングで閉じることができるが, 一度閉じると再度表示することはできない仕様となっており, 情報の保持および記憶の想起を強く促す構成となっている. 次に, 冷蔵庫や棚から目的の食材を探し出す場面へと進む. これらの収納スペースには類似の食材も含まれており, 選択的注意と識別能力が求められる (図 3).

適切な食材を取得した後は, まな板に移動して包丁で野菜を切断する (図 4). この作業は, 手の動きを検出し, 接触判定に基づくメッシュ分割アニメーションによって自然に再現されている.

続く工程では, 切った食材を正しい順序で鍋に投入する必要がある. 順序の誤りが調理結果に影響するように設計されており, 順序記憶と遂行力が試される. さらに, 水を加える場面では注ぐ動作に応じて水位がリアルタイムで変化し, 量が不足していると次に進めないよう制御されている.

加熱の工程では, ユーザーがコンロに火をつけて煮込みを開始する. その最中に玄関のチャイムが鳴り, ユーザーは調理を中断して訪問者対応へと移行する. このように, 突発的な外部刺激に対応しながら注意を切り替える場面を設定することで, マルチタスク能力や注意の転換力を

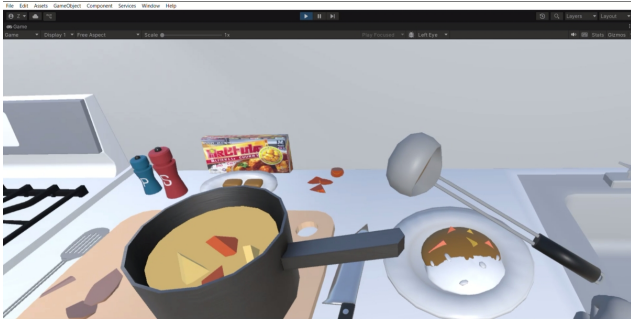


図 5: 全工程を終えて、カレー料理を完成させた場面. タスクの統合性と遂行能力を評価する重要フェーズ

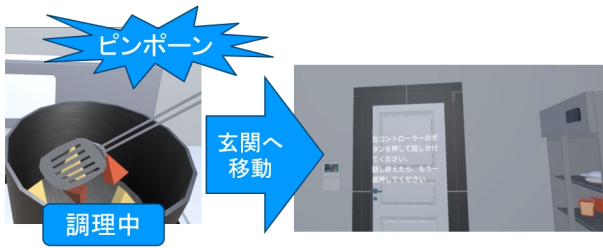


図 6: 調理中に鳴るチャイム音がトリガーとなり、ユーザは仮想空間内の玄関へ移動する

評価することができる。

最終的に、煮込みが完了した料理を皿に盛り付けて調理作業を完了する(図5)。このように、本VR調理課題は、日常生活に即した自然な形式の中で、多様な認知機能の同時評価と訓練を可能にする実践的なリハビリテーション課題として設計されている。

3.3. 訪問販売対応訓練

調理中に鳴るチャイム音がトリガーとなり、ユーザは仮想空間内の玄関へ移動するよう促される。(図6)これにより、調理作業はいったん中断され、ユーザは訪問者役として登場するAI販売員と対面する。このAI販売員は、保険商品を販売する訪問販売員という設定であり、ユーザは自然な言語による双方向の対話を体験する。

本タスクに登場する訪問販売員という設定は、とくに高齢者や在宅者が日常生活において頻繁に直面する社会的やり取りの一例であり、実生活に即した社会的認知機能の訓練課題として妥当性が高いと考えられる。

対話においてAI販売員が提示する話題は、商品の説明、勧誘、質問など多岐にわたり、ユーザはそれらの情報を正確に理解・判断した上で、肯定・否定・保留といった意思を適切に表明することが求められる。この構造により、単なる言語的応答能力にとどまらず、状況理解力や感情調整能力、さらには断る・躲すといった対人スキルを含めた、多面的な社会的認知機能の評価が可能となる。

対話の内容は多岐にわたり、AI販売員からは商品の説明や勧誘、質問などが提示される。一方、ユーザはそれに対して疑問点の確認、断りの意思表示、あるいは軽い雑談などを通じて応答を行う。この対話は単なる定型文のやり取りではなく、ユーザの発話内容をリアルタイムで解析し、文脈や意図に応じて柔軟かつ自然な応答が

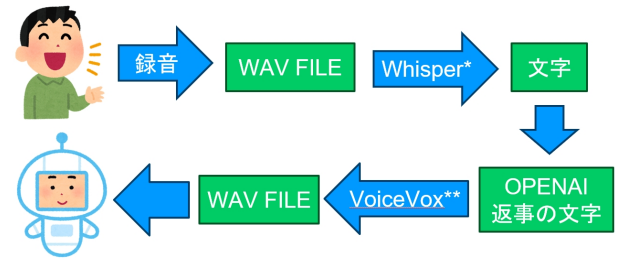


図 7: VR 環境における AI 対話機能の処理フロー：音声入力から Whisper による認識、GPT-4 による応答生成、VoiceVox での音声合成までの全体処理構成

生成されるため、現実の社会的コミュニケーションに近い環境が構築されている。

技術的な処理としては、ユーザの音声入力は Unity 上で録音され、まず Whisper と呼ばれる音声認識システムによってテキストに変換される。続いて、そのテキストデータが自然言語処理モデルである GPT-4 に送られ、発話の意図や文脈、対話の流れを解析した上で適切な応答が生成される。生成された返答はさらに音声合成エンジンへと送られ、AI 販売員の声として再生される。この一連の処理はリアルタイムで実行され、ユーザが違和感なく対話を継続できることを目指している。(図7)

この AI 対話タスクによって、ユーザの言語理解力や社会的認知能力の評価が可能となるだけでなく、調理タスクから訪問者対応への注意の切り替えや、複数タスクに同時対応する能力も観察できる。調理中に割り込みが発生するような状況においても、ユーザが適切に対応し、別の課題にスムーズに集中を移す必要があることから、本タスクは実生活に即した形での認知機能の総合的な評価・訓練に適している。

4. 実験方法

本研究で開発した認知リハビリテーション支援システムは、スタンドアロン型の VR ヘッドセットである Meta Quest 2 と、Unity ゲームエンジンを用いて構築している。ユーザが空間内を自由に移動し、手の動きを直感的かつ自然に操作できるように設計されており、XR Interaction Toolkit を導入することで高いインタラクション性を実現した。初期評価には健康な成人 6 名が参加し、そのうち男性が 5 名、女性が 1 名であった。参加者のうち 5 名は VR の使用経験があり、1 名は未経験者であった。研究倫理番号：2024-29-1。

4.1. 実験手順

本実験は、参加者が Meta Quest 2 を装着し、VR 空間内において調理タスクおよび AI 対話タスクを順次実行する形式で実施された。実施に先立ち、参加者には仮想環境内でカレーの作り方に関するレシピ映像が提示され、その内容を記憶した上で、システムの基本操作についてガイドに従った説明を受けた。さらに、短時間の自由操作フェーズを設け、インターフェースに対する慣れを促した。

調理タスクは、日常生活の一場面を模した複数の工程

表 1: レシピ記憶に基づき、冷蔵庫や棚から必要な食材を選定する工程における所要時間と誤操作回数 (n=6)

実験参加者 ID	所要時間 (秒)	ミス回数
1	60	0
2	90	0
3	20	0
4	90	0
5	40	0
6	30	0

で構成されている。具体的には、以下のようなステップが含まれる：

- (1) 冷蔵庫や棚からレシピ記憶に基づき必要な食材を選択する「食材の記憶と選択」
- (2) まな板と包丁を用いて野菜を切る「切断作業」
- (3) 切断済みの食材を適切な順序と量で鍋に投入する「材料の投入」
- (4) 調理中に鳴るチャイム音をきっかけに玄関へ移動する「注意分配課題」
- (5) 料理の完成後にカレーをご飯の上に盛り付ける「盛り付け」などである。

調理中には、特定のタイミングでチャイム音が鳴り、参加者には調理を中断して玄関エリアへ移動するよう促される。そこでは、保険販売員を模した AI 販売員が登場し、商品説明や質問を通じて自然な音声対話を行う。ユーザーは自由に応答することが求められ、社会的認知力や言語理解力が試される場面となる。

すべてのタスクが完了した後、参加者には Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) と主観的アンケートに回答してもらい、操作のしやすさ、違和感の有無、AI との会話の自然さ、将来的な使用意欲などについて評価を行った。また、各工程の所要時間、誤操作の有無、発話ログ、動作ログなども併せて記録し、定量的な分析に用いた。

4.2. 計測指標

以下の定量的・定性的データを収集し、評価を行った。

- 各タスクの所要時間
- 各工程における誤操作回数
- AI 対話におけるユーザの応答時間および応答の妥当性（内容の整合性・文脈理解）
- 主観評価（会話の自然さ、操作のしやすさ、没入感）
- SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) による VR 酔いの評価

5. 実験結果と考察

本研究では、調理タスクと AI 対話を組み合わせた生活場面型 VR 訓練システムを構築し、健康者 6 名を対象として、操作性や使用感に関する初期的な有効性を検証した。今回の実験は、認知障害者への応用を見据えた前段階に位置づけられ、主としてシステム全体のユーザビ

表 2: まな板上に配置した食材を包丁で切断する工程にかかった時間と操作ミスの回数 (n=6)

実験参加者 ID	所要時間 (秒)	ミス回数
1	50	0
2	150	1
3	30	0
4	120	0
5	90	0
6	24	0

表 3: 具材の投入順序や水量管理など、複数操作を同時に要求される工程での所要時間とミス回数 (n=6)

実験参加者 ID	所要時間 (秒)	ミス回数
1	140	2
2	150	1
3	50	0
4	170	1
5	30	0
6	130	0

リティ、対話品質、ならびに身体的負荷の評価を目的としており、実験参加者の認知機能そのものを直接評価するものではない。ただし、調理手順の記憶、注意の切り替え、実行操作といった日常的な認知活動を模したタスクにおいて、VR 環境下での遂行可能性を確認することができた。

材料準備工程（表 1）では、全実験参加者がレシピに従い、冷蔵庫から正確に食材を選択し、誤操作は一件も見られなかった。作業時間は最短 44 秒、最長 65 秒の範囲であり、短時間で安定した遂行が確認された。次の野菜切断工程（表 2）では、一部の実験参加者で誤切断が 1 回発生したが、その他の 4 名は正確に作業を完了した。続く「具材と水を加える」工程（表 3）では、実験参加者 1, 3, 5 において、具材と水の投入順序の誤りや水量不足が 1~3 回発生しており、タスクの複雑化に伴う認知負荷の上昇が観察された。

調理中の割り込み刺激として実装されたチャイム音に対し、実験参加者 1, 2, 4, 6 の 4 名がコンロの火を自発的に消す操作を実行した。一方で実験参加者 3 および 5 は反応せず、そのまま調理を継続した。最終的に、調理タスク全体を完了できたのは実験参加者 1, 2, 4, 6 の 4 名であり、実験参加者 3 と 5 は誤操作の累積により完了に至らなかった。（表 4）

AI 対話における「正確な応答」については、販売員役の AI による発話に対して、実験参加者がその意図を適切に理解し、文脈に即した返答ができていたかを基準とした（表 4）。評価は以下の 2 点に基づいて行った。第一に、AI が提示する保険商品の説明や質問に対し、肯定・否定・保留などの意志表示を明確に返せているか。第二に、対話全体を通して実験参加者の発言が AI の発話と整合性を保ち、双方向的な会話が成立していたかである。実験後に記録された音声ログと応答内容を分析した結果、すべての実験参加者において明らかな誤解や不適切な返答は確認されなかった。

主観的な使用感については、アンケート結果（表 5）により、操作性、対話の自然さ、使用意欲、不快感など

表 4: 訪問販売員 AI との対話タスクにおける発話検知, 応答の有無と適切性, 対話の流暢さ評価, 応答時間, 会話中にガスを止めましたか, および最終完成の測定結果 (n=6)

実験参加者 ID	1	2	3	4	5	6
AI の発話に気づいたか	yes	yes	yes	yes	yes	yes
応答を行ったか	yes	yes	yes	yes	yes	yes
応答内容が適切だったか	yes	yes	yes	yes	yes	yes
会話の流暢さスコア	10	10	10	10	10	10
応答までの時間 (秒)	3	2	2	1	2	2
会話中にガスを止めましたか	no	yes	yes	no	yes	yes
最終完成	no	no	yes	yes	yes	yes

表 5: 主観評価アンケート (システム操作の難易度 (1 = 非常に簡単, 5 = 非常に難しい), 会話の自然さ (1 = まったく理解できない, 5 = 非常に理解できる), 使用意欲 (1 = まったく使いたくない, 5 = 強く使いたい), 不快感 (1 = まったくない, 5 = 非常に強い)) に対する 6 名実験参加者の 5 段階評価スコア (n=6)

実験参加者 ID	1	2	3	4	5	6
システムの操作の難易度はどの程度でしたか?	2	2	1	2	3	2
AI との会話の内容はいいですか?	3	4	1	5	2	1
このシステムの今後の使用意欲はどの程度ですか?	5	4	3	4	3	3
使用中の不快感 (視覚の違和感など) の程度は?	1	2	2	4	5	1

において個人差が見られたものの, 全体として肯定的な評価傾向が強かった. 一方で, 音声認識 (Whisper) と応答生成 (GPT-4) を分離したシステム構成に起因する処理遅延が指摘され, 今後の課題として, 音声入力から応答までを一括処理可能な統合型モジュールの導入による応答速度の向上が望まれる.

さらに, VR 酔いに関する評価には, Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) を用いた.SSQ は「悪心 (Nausea, N)」「眼精疲労 (Oculomotor, O)」「失見当識 (Disorientation, D)」の 3 つのサブスケールと, それらを総合した「総合スコア (Total Severity, TS)」で構成されている. 各スコアの最大値は以下の通りである: N (悪心) 200.34 点, O (眼精疲労) 113.7 点, D (失見当識) 250.56 点, TS (総合スコア) 168.3 点. 一般的には, 総合スコアが 20~30 点を超えると中程度, 40 点以上は重度の不快感とされる.

本実験において, 実験参加者の多くは悪心スコアが 20 点未満に収まっており, 軽度の範囲にとどまった. 一方で, 実験参加者 5 は悪心スコア 66.78 点, 眼精疲労スコア 60.64 点, 失見当識スコア 83.52 点, 総合スコア 56.1 点と, すべての指標で高い値を示した.

6. 結論

本研究では, 高次脳機能障害 (HBD) を対象とした新しい認知リハビリテーション手法の実現を目指し, バーチャルリアリティ (VR) と人工知能 (AI) 対話を組み合わせたシステムを構築した. その上で, 主に健常者を対象として, 操作性, 使用感, 認知負荷, および VR 酔いといった側面から予備的評価を行った.

以上の結果から, 今回構築した VR システムは, 健常者において基本的な操作性および対話機能が成立しており, 想定されたタスクを概ね遂行可能であることが確認された. また, 対話応答の自然さやタスク完了率の点でも, 社会的認知機能訓練環境としての実用性が初期的に示唆された. ただし, 実験参加者 5 のように VR 酔いが

強く出るケースもあり, 今後は視覚演出の最適化を含めた改良が必要である.

ただし, 本研究はあくまで健常者を対象とした使用性評価にとどまり, 認知機能への効果検証は実施していない. そのため, 本システムが実際に HBD 患者の遂行機能や社会的認知に与える影響については, 今後, 臨床現場での継続的かつ長期的な評価を通じて検証する必要がある. また, AI 対話の自然さやシナリオの柔軟性, VR 操作への適応性についてもさらなる改良の余地がある.

参考文献

[1] 永野智久, 岡橋伸幸. 認知機能評価のためのバーチャル買い物テストの開発. リハビリテーション心理学研究, Vol. 38, No. 1, pp. 33–41, 2012.

[2] 中村貴子. Vr を用いた認知リハビリテーションの実験的検討. バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 23, No. 2, pp. 45–52, 2018.

[3] 大山剛史, 岡橋伸幸. Vr と ai 対話を用いた社会的認知機能訓練の試み. 臨床神経心理, Vol. 37, No. 3, pp. 150–158, 2020.

[4] Valentina Catania, Francesco Rundo, S. Panerai, and Raffaele Ferri. Virtual reality for the rehabilitation of acquired cognitive disorders: A narrative review. *Bio-engineering*, 2023.

[5] Emilie Hummel, M. Cogné, M. Lange, Anatole Lécuyer, Florence Joly, and Valérie Gouranton. Vr for vocational and ecological rehabilitation of patients with cognitive impairment: A survey. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 31, pp. 4167–4178, 2023.

表 6: Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) に基づく VR 酔いの評価スコア（悪心，眼精疲労，失見当識，総合スコア）（n=6）

実験参加者 ID	1	2	3	4	5	6
Nausea (N 悪心)	9.54	9.54	9.54	47.7	66.78	9.54
Oculomotor (O 眼精疲労)	37.9	30.32	15.16	22.74	60.64	22.74
Disorientation (D 失見当識)	13.92	69.6	13.92	41.76	83.52	41.76
Total Severity (TS 総合スコア)	22.44	29.92	11.22	29.92	56.1	18.7

- [6] Duru İbişagaoğlu. Integrating virtual reality and ai for enhanced patient rehabilitation. *Next Frontier for Life Sciences and AI*, 2024.
- [7] Wei Quan, Shikai Liu, Meng Cao, and Jiale Zhao. A comprehensive review of virtual reality technology for cognitive rehabilitation in patients with neurological conditions. *Applied Sciences*, 2024.
- [8] Carla Tortora, Adolfo Di Crosta, Pasquale La Malva, Giulia Prete, Irene Ceccato, N. Mammarella, A. Di Domenico, and R. Palumbo. Virtual reality and cognitive rehabilitation for older adults with mild cognitive impairment: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, Vol. 93, p. 102146, 2023.
- [9] K. June, Park Jin Hong, Choyoungseok, and Keum-Sook Kim. The effect of cognitive rehabilitation program using virtual reality (vr) contents on cognitive function, depression, upper extremity function and activities of daily living in the elderly. *Journal of Convergence Information Technology*, Vol. 10, pp. 203–212, 2020.
- [10] M. V. Mazzolenis, Gabrielle Naime Mourra, Sacha Moreau, Maria Emilia Mazzolenis, Ivo H. Cerda, Julio Vega, James S. Khan, and Alexandra Théron. The role of virtual reality and artificial intelligence in cognitive pain therapy: A narrative review. *Current Pain and Headache Reports*, 2024.
- [11] Mohammad Ghatyan Sulaiman Alouthah, Mateb Falah Nahar Alshammari, H. Alsaadi, Saad Nghimish Khasram Alshammari, Hamad Hassan Mohammed Alonayzan, Talal Sanian Salem Alenezi, Manal Saad Aied Alotaibi, Homood Abdullah Alghanim, Talal Abdulrhman Alharbi, Ola Saleh Mohammad Albarrak, Mubarak Awad Alshammari, Sultan Abdulaziz Altheyab, Mohammad Abdurhman Almutrfy, Muteb Saeed Saud Alharbi, and Sultan Saad Alharbi. Advanced technologies in rehabilitation programs: Role of ai in diagnosis—an updated review. *International Journal of Health Sciences*, 2024.
- [12] Alishba Eman, Kanza Mehmood, and Hassan Ali. Next-gen rehab: Vr & ai revolutionize physiotherapy. *Journal of Bahria University Medical and Dental College*, 2024.
- [13] E. Pedroli, S. Serino, P. Cipresso, G. Leo, K. Goulene, S. Morelli, G. D’Avenio, M. Stramba-Badiale, M. Grigioni, A. Gaggioli, and G. Riva. An immersive cognitive rehabilitation program: A case study. In *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation III*. 2018.