

VR鏡療法システムにおける  
遠隔情報共有および  
治療意欲継続支援に関する研究

岡山大学大学院自然科学研究科  
博士後期課程産業創成工学専攻  
(平成28年度)

---

51426305

三宅 貫太郎

---

# VR 鏡療法システムにおける遠隔情報共有 および治療意欲継続支援に関する研究

三宅 貫太郎

## 論文要旨：

複合性局所疼痛症候群や幻肢痛といった四肢に発症し日常的な激しい痛みと運動障害を伴う慢性疼痛に対し、鏡療法やバーチャルリアリティ鏡療法（Virtual Reality based Mirror Visual Feedback: VR-MVF）などの視覚的フィードバックを用いた治療の効果が確認されている。この治療効果を得るためには継続的な実施が必要とされており、自発的・継続的な治療を容易にするためには医師の指導の下で患者が在宅で治療タスクを実施可能であることが望ましい。ここで、在宅での治療タスクの実施では医師や看護師からの支援を受けることができないため、患者は適切でない手順や内容で治療タスクを行ってしまう可能性がある。加えて、慢性疼痛の発生機序や鏡療法で治療効果が得られる要因については未解明の点が多い。患者の治療に関する情報を遠隔で収集・共有可能な環境を構築することで、実際の治療状況に応じた適切な医療従事者による指示を可能とするのみならず、将来的には得られた情報を分析することで治療効果要因の発見に貢献できると期待される。

一方で、患者は日常的な痛みや治療に対する不安を抱えたまま長期的な治療やリハビリテーションに直面しなければならず、治療の動機づけが困難なために治療を中断してしまうことが問題となっている。このような状況において、ユーザに対して行動変容を促すようにいつでも働きかけ続けることができるというコンピュータの特長が治療の動機づけに貢献できる。コンピュータによる説得の概念である Captology が提案されている。Captology において定義されている説得のための諸原理をシステムに適用することで、患者の治療意欲を継続可能とすることが期待できる。しかしながら、該当領域における従来研究では慢性疼痛のように難治性で治療意欲維持が困難な病状において、どのように治療継続支援に貢献できるかは未検討であった。

そこで本研究は、在宅での慢性疼痛治療に関する医療従事者－患者間情報共有および治療継続支援を目的として、VR-MVF システムを対象とした遠隔情報共有機能の実装および Captology 諸原理の適用可能性の検証を行う。

本論文は全 8 章で構成される。第 1 章では、本研究での背景である複合性局所疼痛症候群や幻肢痛の概要およびその治療において存在する問題点について述べる。また、第 2 章では慢性疼痛とその治療法の一つである鏡療法および VR-MVF の詳細を述べる。このとき、慢性疼痛の発生機序や鏡療法による治療効果の生起要因について、これまでの知見に基づいて考察する。

第 3 章では患者の自宅等での患者の治療状況に関する各種情報を医療従事者と共有

するための仕組みについて検討している．まず，在宅でのVR-MVF治療において収集すべき情報として慢性疼痛に特徴的な症状である痛みや運動障害に着目し，各種痛みに関する質問票やVR-MVFタスク実施中の患者の運動を記録対象とした．自宅に設置する治療システム（在宅用VR-MVFシステム）において，これらのデータを記録するシステムの構築および遠隔地のデータベースサーバへデータを転送する機能の実装を行った．

第4章では，慢性疼痛患者が治療意欲を維持できない問題に対し，Captologyで定義されている説得のための諸原理を援用した問題解決のための仕組みを提案している．まず，慢性疼痛患者の治療意欲を阻害する要因を整理するため，慢性疼痛治療に携わる医療従事者4名へのインタビューを実施した．従来報告されていた患者特性とインタビュー結果から，患者の治療意欲を阻害する要因を治療プロセス上の患者の負担が大きいこと，患者が治療の効果を実感しづらいこと，痛みやそれに伴う障害による気分的落ち込みの3つに分類した．プロセス実施の負担に対しては，Captologyにおける手順の省略の原理およびトンネリングの原理の適用を検討した．ここで，患者が手順を覚える必要なく，独力でも容易に一連の治療プロセスを完了できるように，患者が行うべき治療手順を提示し操作を誘導する手順支援機能をGraphical User Interface (GUI)として在宅用VR-MVFシステムに実装した．また，治療効果を実感しづらいことに対してはセルフモニタリングの原理を適用し，患者に対して治療効果の目安となる情報を記録し提示することを検討した．

第5章では，第3章で述べる遠隔情報共有機能と第4章で述べる手順支援用GUIを実装した在宅用VR-MVFシステムを，テストケースとして実際に慢性疼痛患者が自宅で使用した結果について述べる．約3ヶ月間の使用結果より，構築したシステムが各種データの記録と転送，患者による継続的な治療実施支援が可能であることが確認された．また，システムを用いた治療による痛みと運動能力の変化およびシステムへのセルフモニタリングの導入可能性を検討するため，収集されたデータを分析した．その結果，疼痛軽減や腕動作範囲の拡大といった傾向が確認され，長期的には痛みや運動に変化が起こる可能性を見出した．一方で，患者によっては気分的落ち込みが原因で変化が見られるまでに治療を中断してしまうことや過度に長時間治療タスクを実施することも課題として挙げられた．

第6章では，第5章で挙げられた課題を解決する要素を見出すため，岡山大学病院で勤務する医療従事者と慢性疼痛患者が診察中に行う会話を調査した．会話分析の結果，患者の気分を高める称賛とともに，不適切な行為の指摘と適切な行為の説明を行うことで患者の気分を害さずに行動を改めるよう促す説諭が行われていることが明らかになった．コンピュータが行う説諭がユーザに与える影響はCaptologyの領域で

も未検討であり，説諭のような望ましくない行動へのフィードバックのあり方を検討することはCaptologyの概念拡張に貢献できると考えられる．

第7章では，称賛や説諭の効果を実験的に検討した．すなわち，治療への取り組みと類似性のある情報技術学習タスクを対象として，タスク実行に対するGUIからの称賛と説諭がユーザの自己効力感，自律性，行動継続およびインタフェースの印象に与える影響を実験的に調査した．実験結果から，称賛と説諭それぞれに自己効力感・自律性・インタフェースの印象といった継続に影響する要因を一部向上させること，特に説諭は批判などと異なり自己効力感や自律性の低下に影響しないことが確認された．これらから，長期的には称賛や説諭が行動の継続・変容に資する可能性を確認した．

最後に第8章で，各章で述べた内容を総括し今後の展望を述べ，本論文のまとめを行っている．



# 目次

|          |                                                |           |
|----------|------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>序論</b>                                      | <b>1</b>  |
| 1.1      | 研究背景 . . . . .                                 | 1         |
| 1.2      | 研究目的 . . . . .                                 | 3         |
| 1.3      | 本論文の構成 . . . . .                               | 3         |
| <b>2</b> | <b>慢性疼痛患者の背景</b>                               | <b>5</b>  |
| 2.1      | 慢性疼痛 . . . . .                                 | 5         |
| 2.1.1    | 複合性局所疼痛症候群 . . . . .                           | 6         |
| 2.1.2    | 幻肢痛 . . . . .                                  | 9         |
| 2.2      | 慢性疼痛の発生要因に関する一考察 . . . . .                     | 10        |
| 2.3      | 鏡療法 . . . . .                                  | 11        |
| 2.3.1    | 鏡療法の概要 . . . . .                               | 11        |
| 2.3.2    | リハビリテーション . . . . .                            | 14        |
| 2.3.3    | 治療過程における問題点 . . . . .                          | 15        |
| 2.4      | バーチャルリアリティを利用した鏡療法 . . . . .                   | 16        |
| 2.4.1    | バーチャルリアリティ . . . . .                           | 16        |
| 2.4.2    | バーチャルリアリティを利用した鏡療法装置 . . . . .                 | 17        |
| 2.4.3    | ヘッドマウントディスプレイを用いたバーチャルリアリティ鏡療法<br>装置 . . . . . | 18        |
| 2.4.4    | 在宅用簡易型バーチャルリアリティ鏡療法装置 . . . . .                | 22        |
| 2.4.5    | まとめ . . . . .                                  | 24        |
| <b>3</b> | <b>遠隔情報共有機能の検討</b>                             | <b>25</b> |
| 3.1      | 本章の概要 . . . . .                                | 25        |
| 3.2      | 遠隔医療 . . . . .                                 | 25        |
| 3.3      | 収集する情報の考察 . . . . .                            | 27        |
| 3.3.1    | 痛みに関する情報 . . . . .                             | 27        |
| 3.3.2    | 運動に関する情報 . . . . .                             | 28        |
| 3.4      | 在宅用VR-MVFシステム . . . . .                        | 29        |
| 3.4.1    | VR-MVFシステムに使用するコンピュータに望まれる能力 . . . . .         | 29        |
| 3.4.2    | VR-MVFシステムに使用するディスプレイ . . . . .                | 30        |

|          |                                           |           |
|----------|-------------------------------------------|-----------|
| 3.4.3    | Kinect for Windows の仕様 . . . . .          | 30        |
| 3.4.4    | 在宅用 VR-MVF 治療装置の配置 . . . . .              | 33        |
| 3.4.5    | VR 表示処理 . . . . .                         | 34        |
| 3.5      | データ記録機能の実装 . . . . .                      | 36        |
| 3.5.1    | 治療タスク実行中のデータ記録処理 . . . . .                | 42        |
| 3.6      | データ共有機能の実装 . . . . .                      | 45        |
| 3.6.1    | サーバ構成の概要 . . . . .                        | 45        |
| 3.6.2    | データ通信用 WebAPI の概要 . . . . .               | 46        |
| 3.6.3    | 通信・データ記録プロセス . . . . .                    | 47        |
| 3.7      | まとめ . . . . .                             | 48        |
| <b>4</b> | <b>Captology を援用した外装的グラフィカルユーザインタフェース</b> | <b>49</b> |
| 4.1      | 治療意欲阻害要因の検討 . . . . .                     | 49        |
| 4.1.1    | 慢性疼痛患者の状態の考察 . . . . .                    | 49        |
| 4.1.2    | 医療従事者への聞き取り調査 . . . . .                   | 51        |
| 4.2      | 治療意欲阻害要因の検討 . . . . .                     | 57        |
| 4.3      | Captology . . . . .                       | 58        |
| 4.4      | 導入する説得原理の検討 . . . . .                     | 61        |
| 4.4.1    | 手順の省略とトンネリング . . . . .                    | 61        |
| 4.4.2    | セルフモニタリング . . . . .                       | 62        |
| 4.4.3    | 称賛とフィードバック . . . . .                      | 62        |
| 4.5      | VR-MVF システムへの機能導入例 . . . . .              | 63        |
| 4.5.1    | GUI による治療手順の誘導 . . . . .                  | 63        |
| 4.5.2    | 治療に関する情報の提示 . . . . .                     | 67        |
| 4.5.3    | 称賛メッセージの提示 . . . . .                      | 67        |
| 4.6      | まとめ . . . . .                             | 68        |
| <b>5</b> | <b>構成したシステムの治療への使用実績</b>                  | <b>69</b> |
| 5.1      | 患者自宅への導入 . . . . .                        | 69        |
| 5.1.1    | 倫理的配慮 . . . . .                           | 69        |
| 5.1.2    | 協力患者 . . . . .                            | 69        |
| 5.1.3    | 患者によるシステム使用結果 . . . . .                   | 70        |
| 5.1.4    | 考察 . . . . .                              | 73        |
| 5.2      | 痛みデータの分析 . . . . .                        | 74        |
| 5.3      | 運動データの分析 . . . . .                        | 74        |
| 5.3.1    | 健常者の運動データの収集 . . . . .                    | 75        |
| 5.3.2    | 分析結果 . . . . .                            | 75        |

|          |                                  |           |
|----------|----------------------------------|-----------|
| 5.3.3    | 限界と今後の課題                         | 77        |
| 5.4      | まとめ                              | 78        |
| <b>6</b> | <b>情緒的支援機能の検討</b>                | <b>79</b> |
| 6.1      | 本章の概要                            | 79        |
| 6.2      | 医療従事者のコミュニケーションスキル               | 79        |
| 6.3      | 医療従事者－患者間の会話に見られる医療従事者の声掛け・指導の調査 | 81        |
| 6.3.1    | 倫理的配慮                            | 81        |
| 6.3.2    | 調査対象                             | 81        |
| 6.3.3    | 調査方法                             | 82        |
| 6.3.4    | 分析手法                             | 85        |
| 6.4      | 診察中の会話の分析                        | 86        |
| 6.4.1    | 発言の整理                            | 87        |
| 6.4.2    | 称賛・ポジティブな評価                      | 88        |
| 6.4.3    | 注意・叱咤                            | 90        |
| 6.4.4    | 医師と患者の位置関係に関する結果と考察              | 91        |
| 6.5      | 考察                               | 92        |
| 6.5.1    | 患者の精神状態                          | 92        |
| 6.5.2    | フィードバックに関する考察                    | 92        |
| 6.5.3    | 位置関係に関する考察                       | 95        |
| 6.6      | まとめ                              | 95        |
| <b>7</b> | <b>情緒的支援機能の検討</b>                | <b>96</b> |
| 7.1      | 仮説設定                             | 96        |
| 7.1.1    | 称賛                               | 96        |
| 7.1.2    | 説諭                               | 97        |
| 7.1.3    | Persuasive Technology における称賛と説諭  | 97        |
| 7.1.4    | 仮説設定                             | 98        |
| 7.2      | 称賛と説諭を行う情緒的支援機能を有するインタフェース       | 99        |
| 7.2.1    | 要件設定                             | 99        |
| 7.2.2    | 実装                               | 99        |
| 7.3      | 効果検証実験                           | 100       |
| 7.3.1    | 倫理的配慮                            | 100       |
| 7.3.2    | 参加者                              | 101       |
| 7.3.3    | 独立変数                             | 101       |
| 7.3.4    | 実験プロセス                           | 101       |
| 7.3.5    | 測定対象                             | 104       |

|       |                                     |     |
|-------|-------------------------------------|-----|
| 7.3.6 | 実験結果 . . . . .                      | 105 |
| 7.4   | 考察 . . . . .                        | 111 |
| 7.4.1 | 称賛と説論の効果 . . . . .                  | 111 |
| 7.4.2 | 実験の限界 . . . . .                     | 113 |
| 7.5   | まとめ . . . . .                       | 113 |
| 8     | 結言 . . . . .                        | 115 |
| 8.1   | まとめ . . . . .                       | 115 |
| 8.2   | 今後の展望 . . . . .                     | 115 |
|       | 謝辞 . . . . .                        | 118 |
|       | 参考文献 . . . . .                      | 120 |
|       | 論文リスト . . . . .                     | 134 |
| A     | 医療施設用 VR-MVF システム . . . . .         | 136 |
| A.1   | システムの構成装置 . . . . .                 | 136 |
| A.1.1 | 磁気センサの仕様 . . . . .                  | 136 |
| A.1.2 | データグローブの仕様 . . . . .                | 139 |
| A.1.3 | ディスプレイの仕様 . . . . .                 | 140 |
| A.2   | 運用時における構成装置の組み合わせ . . . . .         | 141 |
| B     | 調査票 . . . . .                       | 142 |
| B.1   | Sense of Agency に関するアンケート . . . . . | 142 |
| B.2   | 自己効力感に関する質問票 . . . . .              | 142 |
| B.3   | 自律性に関する質問票 . . . . .                | 142 |
| B.4   | インタフェースの印象に関する質問票 . . . . .         | 145 |

## 目 次

|      |                                         |    |
|------|-----------------------------------------|----|
| 2.1  | Penfield の体性感覚地図 . . . . .              | 11 |
| 2.2  | McCabe らの知覚－運動ループ . . . . .             | 12 |
| 2.3  | 鏡療法で用いられる mirror box . . . . .          | 13 |
| 2.4  | Murray らのバーチャルリアリティ鏡療法装置におけるセンサ装着方法 . . | 18 |
| 2.5  | Murray らのバーチャルリアリティ鏡療法装置で提示される仮想環境の様子   | 19 |
| 2.6  | 飯田らの VR を用いた幻肢リハビリテーションシステム . . . . .   | 20 |
| 2.7  | 佐藤らのバーチャルリアリティ鏡療法装置におけるセンサ装着方法 . . . .  | 21 |
| 2.8  | 佐藤らのバーチャルリアリティ鏡療法装置を使用した治療の様子 . . . . . | 21 |
| 2.9  | 五福らの簡易型 VR-MVF 治療装置 . . . . .           | 23 |
| 2.10 | 福森らの在宅用 VR-MVF システムの構成と使用中の様子 . . . . . | 24 |
| 3.1  | 遠隔情報共有を行う VR-MVF システムの構想図 . . . . .     | 26 |
| 3.2  | Kinect for Windows センサの構成 . . . . .     | 30 |
| 3.3  | Kinect for Windows の計測範囲 . . . . .      | 31 |
| 3.4  | モーションセンサのキャリブレーション中画面 . . . . .         | 33 |
| 3.5  | 簡易型 VR/MVF システムの構成物の配置 . . . . .        | 33 |
| 3.6  | VR-MVF タスク中の仮想空間 . . . . .              | 35 |
| 3.7  | 仮想の手の関節 . . . . .                       | 36 |
| 3.8  | 質問表への回答し忘れの場合 . . . . .                 | 37 |
| 3.9  | 回答未完了時に終了しようとした場合 . . . . .             | 37 |
| 3.10 | 痛みに関する VAS 画面 . . . . .                 | 38 |
| 3.11 | 簡略版マクギル疼痛質問票 . . . . .                  | 39 |
| 3.12 | Sense of Agency に関するアンケート . . . . .     | 39 |
| 3.13 | SF-36v2 . . . . .                       | 40 |
| 3.14 | EuroQoL 5 Dimension 日本語版 . . . . .      | 41 |
| 3.15 | 簡易疼痛調査票 . . . . .                       | 42 |
| 3.16 | 疼痛生活障害評価尺度 . . . . .                    | 43 |
| 3.17 | HADS 日本語版 . . . . .                     | 43 |
| 3.18 | 疼痛生活障害評価尺度 . . . . .                    | 44 |
| 3.19 | 治療タスク実施中のデータ保存処理手法 . . . . .            | 45 |
| 3.20 | 患者コンピューターサーバ間データ通信プロセス . . . . .        | 48 |

|     |                                           |     |
|-----|-------------------------------------------|-----|
| 4.1 | Fear-Avoidance Model ([99] を翻訳, 一部改変)     | 51  |
| 4.2 | Captology の領域                             | 59  |
| 4.3 | GUIアプリケーションを開始するためのデスクトップアイコン             | 64  |
| 4.4 | ログイン画面                                    | 64  |
| 4.5 | 実施する調査票があることの告知画面                         | 65  |
| 4.6 | GUIアプリケーションのメイン画面                         | 65  |
| 4.7 | 調査票実施の選択画面                                | 66  |
| 4.8 | 治療タスク開始方法説明画面                             | 67  |
| 4.9 | 治療結果表示画面                                  | 68  |
| 5.1 | 患者自宅での治療イメージ                              | 70  |
| 5.2 | 一日あたりの治療頻度                                | 71  |
| 5.3 | 治療開始時間ごとの治療頻度                             | 71  |
| 5.4 | 一日あたりの実施タスク実施時間                           | 72  |
| 5.5 | 時間ごとの治療頻度                                 | 72  |
| 5.6 | Pain value before and after the treatment | 73  |
| 5.7 | 健常者と患者Aの各運動指標量                            | 76  |
| 5.8 | 患者Aのリーチング動作における手と肘の移動距離差の変動               | 77  |
| 6.1 | 診察中の医師と患者の配置例                             | 92  |
| 7.1 | 情緒的支援インタフェース画面例                           | 100 |
| 7.2 | 情緒的支援インタフェースで提示されるキャラクタ画像                 | 100 |
| 7.3 | 情報技術に関するテスト画面例                            | 102 |
| 7.4 | 情緒的支援インタフェースから提示されるメッセージ例                 | 103 |
| 7.5 | 実験前の自己効力感スコア                              | 107 |
| 7.6 | 実験前後の自己効力感スコアの変動                          | 107 |
| 7.7 | 実験前の自律性スコア                                | 108 |
| 7.8 | 実験前後の自律性スコアの変動                            | 109 |
| 7.9 | 実験前後の自律性スコアの変動                            | 110 |
| A.1 | 医療施設用VR-MVFシステムの構成図                       | 137 |
| A.2 | 磁気センサFASTRAKの概観と各部品名                      | 137 |
| A.3 | FASTRAKにおける座標軸の定義                         | 139 |
| A.4 | FASTRAKレシーバを取り付けた様子の概観                    | 139 |
| A.5 | データグローブ5DT Data Glove 14 Ultraの概観         | 140 |

# 目 次

|     |                                                               |     |
|-----|---------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1 | The diagnosis criteria for CRPS (Budapest Criteria) . . . . . | 7   |
| 2.2 | 厚生労働省 CRPS 研究班から提唱された本邦版 CRPS 判定指標 . . . . .                  | 8   |
| 3.1 | 在宅用 VR-MVF システムの代表的構成 . . . . .                               | 29  |
| 3.2 | Kinect for Windows のスペック . . . . .                            | 31  |
| 3.3 | Kinect for Windows を動作させるためのコンピュータの要求仕様 . . . . .             | 31  |
| 3.4 | サーバのハードウェアスペック . . . . .                                      | 46  |
| 3.5 | サーバのソフトウェアスペック . . . . .                                      | 46  |
| 4.1 | Cohn, Fink, 上田の危機モデル . . . . .                                | 50  |
| 4.2 | Captology において定義されている説得原理 . . . . .                           | 60  |
| 5.1 | 導入した在宅用 VR-MVF システムの構成 . . . . .                              | 70  |
| 6.1 | 観察協力患者リスト . . . . .                                           | 83  |
| 6.2 | 医療従事者の発言・振る舞いに関する記録対象項目 . . . . .                             | 84  |
| 6.3 | 患者の発言・振る舞いに関する記録対象項目 . . . . .                                | 85  |
| 6.4 | 医師－慢性疼痛患者間の診察観察回数と観察一回あたりの平均時間 . . . . .                      | 86  |
| 6.5 | 医療従事者－慢性疼痛患者間の診察中の各発言の合計 . . . . .                            | 87  |
| 6.6 | 急性期のプライマリ・ケア診療の全体的な組織構造（参考文献 [117] 邦訳<br>版より引用） . . . . .     | 88  |
| 7.1 | 実験前の参加者の情報技術学習に対する意欲と自信 . . . . .                             | 106 |
| 7.2 | 参加者のテスト継続数およびテスト回答数の変動 . . . . .                              | 110 |
| A.1 | 医療施設用 VR-MVF システムおよび在宅用 VR-MVF システムの代表的な<br>装置構成 . . . . .    | 138 |
| A.2 | 磁気センサ FASTRAK のスペック . . . . .                                 | 138 |
| A.3 | 5DT Data Glove 14 Ultra のスペック . . . . .                       | 141 |
| B.1 | Sense of Agency に関するアンケート (例：右手が患部の場合). . . . .               | 143 |
| B.2 | 自己効力感に関する質問票 . . . . .                                        | 143 |
| B.3 | 自律性に関する質問票 . . . . .                                          | 144 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| B.4 インタフェースの印象に関する質問票 . . . . . | 145 |
|---------------------------------|-----|



## 序論

### 1.1 研究背景

身体への損傷・喪失に伴い発生する幻肢痛や複合性局所疼痛症候群 (Complex Regional Pain Syndrome: CRPS) といった慢性疼痛に苦しむ患者は少なくない。慢性疼痛は生活に支障を来すほど激しい痛みが特徴である。幻肢痛はすでに痛みを感じる部位が存在しないが、存在しないはずの部位がその場に存在するように感じ、その部位に痛みを感じている。また、CRPSでは通常痛みとして感じるもののない刺激でも痛みを感じる痛覚過敏や、患部の運動障害が発生する。慢性疼痛は未だに発生機序が判明しておらず、それに基づいた治療方法が未確立であるため、治療は困難となっている。これらの慢性疼痛に対しては主に薬による治療が行われている。しかし、薬剤治療は体調によっては薬を投与できないこと、薬の投与による副作用の存在、薬の反復使用に伴う抵抗性の獲得による効力の低下、特に幻肢痛の場合は投与する部位が存在しないなどの問題がある。

慢性疼痛への非侵襲・非投薬の治療法として、Ramachandranらによる鏡療法が提案されている [1, 2]。この治療では四肢の慢性疼痛に対し、存在しない、または動かすことができない患部が運動している様子を、鏡を用いて視覚的に提示する。鏡療法は幻肢痛や、身体への喪失を伴わないCRPS患者への治療効果をあげていることが報告されている [3]。鏡療法は、限られた空間で治療を行うために姿勢や運動に制限を生じることや、単調な治療に飽きやすいことが問題となっている。そこで、鏡療法をバーチャルリアリティを利用して構築したVirtual Reality-based Mirror Visual Feedback (VR-MVF) という四肢の仮想現実・擬似訓練が行われている。従来までに構築されたいくつかのVR-MVFにより、慢性疼痛患者への疼痛軽減効果が得られていることが報告されている [4, 5, 6]。しかしながら、鏡療法およびVR-MVFでの治療効果は即時的に得られるものではなく、治療の中断により減少、消失するケースが報告されており、治療効果持続のために継続的治療が必要とされる。そこで、患者の治療機会の増加のために、家庭内でVR-MVFを行うことが可能になる簡易型の在宅用VR-MVFシステムが開発されている [7, 8]。

ここで、鏡療法やVR-MVFを用いる治療において大きく二つの問題が存在する。一つは、それらの治療がなぜ疼痛軽減や運動機能改善などの効果が得られるのかが未解明なことである。幾つかの研究は鏡療法やVR-MVFを用いて治療効果が得られる要

因について考察している [9, 10] が、症状の多様さなどが理由で特定には至っていない。ここで、治療効果に起因する要因の特定、慢性疼痛の痛みのメカニズムの解明のために、数多くの治療に関する情報を収集したい医療のニーズが存在する。鏡療法は患者が独力で実施可能であるが、患者がどのような動きを行ったのかなどの客観的な情報は得られない。一方で、VR-MVF 実施のためにはシステムを設置してある医療施設への通院が必要である。その通院は患者にとって肉体的・時間的に負担であり、また医療施設での治療は患者が自由な時間に自発的に実施をすることは困難である。患者が自宅で治療を実施可能な在宅用 VR-MVF システムを導入することで、患者の自発的な治療を支援することが考えられる。しかしながら、患者が医療従事者が監視できない自宅では、不適切でない手順や内容で治療を行ってしまう可能性が存在する。

この問題に対し、治療に関する情報を遠隔で記録・収集することで医師や看護師と患者間でのコミュニケーションを容易にする仕組みが望まれる。医師や看護師が離れた場所にいる患者の状態を簡単に把握可能で、簡単に患者からも医師や看護師に連絡することができれば、より効果的な治療を行えるようになることが期待できる。また、治療に関する情報を集めて解析することで、VR-MVF 実施で得られる治療効果が得られている理由の特定や、治療効果に起因する要因の特定、慢性疼痛の痛みのメカニズムの解明に貢献する可能性がある。しかしながら、どのような情報が患者の治療過程において有益なものであるかは検討されていない。

もう一つの問題は、患者が様々な理由から治療を続ける意欲を維持することができないことである。患者の自宅に在宅用 VR-MVF システムを導入しても、患者が独力で治療手順を実施できない場合が存在する。また、日々痛みに対し苦悩する患者は、終わりの見えない単調な治療に対して意欲を維持できず、治療を中断してしまう。ここで患者のニーズとして、患者が日々の治療を可能にしつつ、治療に対し動機づけることへの支援が望まれる。医療施設であれば、医師や看護師をはじめとする医療従事者が患者の治療手順を支援し、治療意欲向上に働きかけることができる。しかしながら、医療従事者は日常業務で多忙であるため、治療を行う患者を医療従事者が支援し続けることは難しい。患者の家族や友人であっても、時間や期間を問わず患者に働きかけ続けることは困難である。

ここで、コンピュータを人間の行動変容のための技術として扱う研究領域として Fogg の提唱する Captology [11] が存在する。Captology の概念に基づくのであれば、コンピュータは時間を問わず生活に介入し、ユーザの態度や行動を変えるために働き続けることができる。今日では、人の行動変容を引き起こすために生み出された様々なコンピュータ技術や製品が存在する。特に健康に関する行動変容のため技術例としては、Chick Clique [12], Fish'n steps [13], Ubifit Garden [14], Flowei [15] などが挙げられる。Captology 研究領域では、人-コンピュータ間インタラクションにおいて人の行動を変えることが明らかになっているものは説得原理として整理されている。患者を治療に

対し動機づける仕組みを検討する際に、いくつかの説得原理を援用することで、いつでも適切に患者の治療に対する意識や行動を変えるよう促すことが期待できる。しかしながら、慢性疼痛のような日常的に痛みを有する患者を治療に動機づけるために Captology の概念がどのように貢献できるかは従来考慮されていない。

## 1.2 研究目的

本研究の目的は、患者が VR-MVF システムを用いて行う治療に関する情報を医療従事者と共有可能とし、かつ患者をシステムを用いた治療継続に動機づけるための仕組みを提案することである。そのために、まず患者の治療に関係する情報を整理する。その後、整理された情報を記録する手法を考案し、遠隔地の医療従事者が確認できるように情報を収集する機能を実装する。

また、本研究では慢性疼痛患者の治療意欲を阻害する要因を検討した上で、Captology で定義されている説得のための原理を適用して解決を目指す。加えて、治療においては患者を意欲的にするだけでなく、効果的に治療を行うための指導が重要になる。そのような指導をコンピュータが行う手法は Captology の領域でも未検討である。本研究は、医療従事者と慢性疼痛患者の会話から適切な指導の方法を検討する。さらに、検討した指導のメッセージを提示するインターフェースがユーザに与える影響を実験的に検証する。

## 1.3 本論文の構成

本論文は全 8 章で構成されており、各章の内容は次の通りである。まず第 1 章では本研究での背景である複合性局所疼痛症候群や幻肢痛の概要およびその治療において存在する問題点について述べ、本研究の目的を述べた。

第 2 章では慢性疼痛とその治療法の一つである鏡療法、および鏡療法をバーチャルリアリティ技術を用いて拡張したバーチャルリアリティ鏡療法の詳細を述べる。ここで、慢性疼痛の発生機序や、鏡療法による治療効果の生起要因について考察する。このとき、それらに影響すると考えられる運動-知覚ループや運動主体感について説明する。

第 3 章では患者の自宅等での患者の治療状況に関する各種情報を医療従事者と共有するための仕組みについて検討している。まず痛みや運動障がい慢性疼痛患者の特徴であることを踏まえ、患者の治療過程において収集されるべき情報を検討した。痛みに関する情報は痛みの程度や痛みの状態に伴って変化する心理状態を確認可能とするため、簡略版 McGill 疼痛質問票や疼痛生活障害尺度などの各種調査票を選定した。これらの調査票はコンピュータ上で実施可能とするため、またデータの転送を容

易にするためにグラフィカルユーザインターフェース（GUI）として電子化された．運動に関する情報はVR-MVFタスク実施中にセンサから取得される患者の姿勢や，患者が操作する仮想空間上の仮想の手による仮想物体把持状況が記録対象となった．最後に，記録されたデータをインターネット経由で医療従事者が閲覧可能なデータベースサーバに転送する情報共有機能の在宅用VR-MVFシステムへの実装について説明している．

第4章では慢性疼痛患者が治療継続に動機づけられない問題に対し，コンピュータによる説得概念であるCaptologyを援用した問題解決のための仕組みを提案する．まず，慢性疼痛患者がVR-MVFなどの治療システムを用いて治療を行う上で生じる，治療意欲を阻害する要因を考察した．ここで，Captologyの概要や，定義されている説得のための諸原理について説明する．そして治療意欲阻害要因に対し，それぞれの要因の解消に貢献するCaptologyで定義された説得のための原理，およびそれらを取り入れた仕組みについて検討する．さらに実装例として，在宅用VR-MVFシステムに各説得原理を適用して実装した機能を提示する．

第5章では，第3章と第4章で述べる情報共有機能とGUIを実装した在宅用VR-MVFシステムを用いて，実際に慢性疼痛患者が自宅で使用した一例について述べる．約3ヶ月間の使用結果から，構築したシステムが各種データの記録と転送，患者による継続的な治療実施支援が可能であることを確認する．また，システムを用いた治療による痛みと運動能力の変化およびシステムへのセルフモニタリングの導入可能性を検討するために実施した，収集されたデータの分析結果について説明する．さらに，実地調査の結果から患者が実際に使用する環境で発生する課題について整理する．

第6章では，慢性疼痛患者の治療継続に繋がる要素を見出すために行った医療従事者と慢性疼痛患者の診察中の会話の調査について述べる．調査は慢性疼痛患者の診察を行う岡山大学病院麻酔科蘇生科ペインセンターで行った．この調査から，患者の治療意欲に影響すると考えられる要素を整理する．このとき，本研究で気分を落ち込ませないように不適切な振る舞いの指摘と適切な振る舞いの指導を行うフィードバックを説論として定義する．

第7章では，治療への取り組みと類似性のある情報技術学習を対象として，GUIからの称賛や説論のメッセージがタスクを行うユーザに与える影響を実験的に検討する．ここでは，称賛および説論が実験参加者の自己効力感，自律性，インタフェースの印象，タスクの実行へ与える影響について仮説を立て，検証した結果を述べる．

最後に第8章で各章で述べた内容を総括し今後の展望を述べて，本論文のまとめを行う．

## 慢性疼痛患者の背景

本章ではまず、難治性慢性疼痛の概要を述べる。続いて、主な対象とする四肢複合性局所疼痛症候群や幻肢痛の症状について述べる。次に、それらの症状に対して現在までに論ぜられている発生要因に関して述べる。さらに、四肢の難治性慢性疼痛に対する治療手法の一つである鏡療法について述べる。その後、現在までに行われているバーチャルリアリティを用いた鏡療法の治療装置について触れる。

### 2.1 慢性疼痛

慢性疼痛とは、疼痛の原因が治癒したにもかかわらず長期間にわたり訴え続ける痛みである [16]。世界保健機関により公表されている国際疾病分類 (the International Classification of Diseases: ICD) の最新版である第11版 (ICD-11) では、3ヶ月以上持続または再発する痛みが慢性疼痛として定義されている [17]。ここで、痛みは国際疼痛学会 (International Association of the Study of Pain: IASP) により「実際に何らかの組織損傷が起こったとき、または組織損傷を起こす可能性があるとき、あるいはそのような損傷の際に表現される、不快な感覚や不快な情動体験」と定義されている [18]。

慢性疼痛の症状、発症部位は患者により異なり多種多様である。また、その症状が頻繁に変化する。原因が明確でないため治療が長引くことが多い。治療は投薬とリハビリテーションなどの運動を組み合わせることが多い。また、心理的な要因が関係する場合もある。

伊豫は慢性疼痛を有する者や診療に関わる人、家族などの支援者が共通して理解すべきこととして、下記4項目を挙げている [19]。

- (1) 本人は疼痛を実際に感じている
- (2) 現在の医学的検査では異常が明らかにならないことがある
- (3) 疼痛に関する過剰な心配が、思考や気分、感情、行動に重大な影響を及ぼしている
- (4) 疼痛を増強させる因子と減弱させる因子がある

特に(1)については客観的には判断することが難しく、多くの慢性疼痛患者はその痛みを他者に理解してもらえないため孤独で、心理的に傷つきやすい [20][21]。また、(3)については、慢性疼痛患者は痛みやそれに伴う自己制御感の低下によって、うつ病を発症したり生活満足度が低下するといった感情障害を引き起こす可能性がある [22, 23]。

本研究では四肢、特に上肢に発生する慢性疼痛として、主に複合性局所疼痛症候群や幻肢痛を対象とする。

### 2.1.1 複合性局所疼痛症候群

複合性局所疼痛症候群 (Complex regional pain syndrome: CRPS) は、骨折や外傷を発端として生じる慢性的な痛みを伴う症状の一種である [24]。慢性疼痛はその原因から侵害受容性疼痛、神経障害性疼痛、心因性疼痛に分類される。CRPSはそのうちの神経障害性疼痛に該当する。CRPSの痛みは疼痛の伝達・抑制機構に関わる神経線維の働きの異常によって生じると考えられている。その一方で、病因が多元的であり、神経系の機能的かつ可塑的变化が複雑に絡み合っているともされている。文献 [4] では、「神経や軟部組織への外傷（たとえば骨折）に関して通常の治癒過程に従わない疾患である」と述べている。つまり、外傷やその治癒過程での痛みとは乖離した痛みで、治癒後も痛みが持続することであると考えられる。

さらにその症状について、「疼痛と運動障害である CRPS は、初めの外傷から予想される症状の割合を超えるものである。一つまたは複数の四肢に発生した初めの主要な病状は、激しく、持続する、灼熱の、そして、深く疼く痛みと表現される。」と述べられている [25]。このように CRPS での痛みは非常に不快なものであり、患者にとっては痛みの除去や緩和が望まれる症状である。この慢性的な痛みを訴える患者は、痛みがあるためにうまく動かせず、日常生活に支障をきたすケースさえある。例えば、足の痛みがひどいため松葉杖を使って移動しなければならない、といったことがある。これらの疼痛は疼痛個所の違いや痛みの程度だけでなく、患者により痛みの感じ方が異なる。慢性的に痛みが続く、慢性的ではなく時折激しい痛みを生じるなど痛みの周期自体も様々である。

CRPS は 1994 年に国際疼痛学会による慢性疼痛の分類で定められた。CRPS のうち、神経損傷のない組織損傷に関連するものを type 1、神経も巻き込んだ損傷に関連するものを type 2 として分類している。従来、Evans により反射性交感神経性ジストロフィー (Reflex Sympathetic Dystrophy: RSD) [26] と呼ばれていたものを type 1、同じく Mitchell によりカウザルギー (causalgia) [27] と呼ばれていたものを type 2 としてまとめられている。Harden らによって提案され、2005 年に IASP により提唱された CRPS の診断基準 (Budapest Criteria) を表 4.2 に示す [28]。表 4.2 の診断基準は妥当性が確認されており、現在、世界的に広く表 4.2 の診断基準が用いられている [29]。日本では 2010 年に厚生労働省 CRPS 研究班により新たな CRPS の判定指標が提示されている [30]。厚生労働省 CRPS 研究班の提示した CRPS 判定指標を表 2.2 に示す。日本では CRPS は「難病」「特定疾患」に未認定であり、社会的認知度が低い。女性のほうが発症率が高いと考えられているが、性差は無いとされていることも多い [31, 32]。

表 2.1: The diagnosis criteria for CRPS (Budapest Criteria)

---

**General definition of the syndrome:**

CRPS describes an array of painful conditions that are characterized by a continuing (spontaneous and/or evoked) regional pain that is seemingly disproportionate in time or degree to the usual course of any known trauma or other lesion. The pain is regional (not in a specific nerve territory or dermatome) and usually has a distal predominance of abnormal sensory, motor, sudomotor, vasomotor, and/or trophic findings. The syndrome shows variable progression over time

**To make the *clinical* diagnosis, the following criteria must be met:**

1. Continuing pain, which is disproportionate to any inciting event
2. Must report at least one symptom in *three of the four* following categories:
 

**Sensory:** Reports of hyperesthesia and/or allodynia

**Vasomotor:** Reports of temperature asymmetry and/or skin color changes and/or skin color asymmetry

**Sudomotor/Edema:** Reports of edema and/or sweating changes and/or sweating asymmetry

**Motor/Trophic:** Reports of decreased range of motion and/or motor dysfunction (weakness, tremor, dystonia) and/or trophic changes (hair, nail, skin)
3. Must display at least one sign **at time of evaluation** in *two or more* of the following categories:
 

**Sensory:** Evidence of hyperalgesia (to pinprick) and/or allodynia (to light touch and/or temperature sensation and/or deep somatic pressure and/or joint movement)

**Vasomotor:** Evidence of temperature asymmetry ( $>1^{\circ}\text{C}$ ) and/or skin color changes and/or asymmetry

**Sudomotor/Edema:** Evidence of edema and/or sweating changes and/or sweating asymmetry

**Motor/Trophic:** Evidence of decreased range of motion and/or motor dysfunction (weakness, tremor, dystonia) and/or trophic changes (hair, nail, skin)
4. There is no other diagnosis that better explains the signs and symptoms

---

**For research purposes,** diagnostic decision rule should be at least one symptom *in all four* symptom categories and at least one sign (observed at evaluation) in two or more sign categories.

表 2.2: 厚生労働省 CRPS 研究班から提唱された本邦版 CRPS 判定指標

### 臨床用 CRPS 判定指標

- A** 病期のいずれかの時期に、以下の自覚症状のうち 2 項目以上該当すること。ただし、それぞれの項目内のいずれかの症状を満たせばよい。
1. 皮膚・爪・毛のうちいずれかに萎縮性変化
  2. 関節可動域制限
  3. 持続性ないし不釣り合いな痛み、しびれたような針で刺すような痛み（患者が自発的に述べる）、知覚過敏
  4. 発汗の亢進ないし低下
  5. 浮腫
- B** 診察時において、以下の他覚症状の項目を 2 項目以上該当すること。
1. 皮膚・爪・毛のうちいずれかに萎縮性変化
  2. 関節可動域制限
  3. アロディニア（触刺激ないし熱刺激による）ないし、痛覚過敏（ピンブリック）
  4. 発汗の亢進ないし低下
  5. 浮腫

### 研究用 CRPS 判定指標

- A** 病期のいずれかの時期に、以下の自覚症状のうち 3 項目以上該当すること。ただし、それぞれの項目内のいずれかの症状を満たせばよい。
1. 皮膚・爪・毛のうちいずれかに萎縮性変化
  2. 関節可動域制限
  3. 持続性ないし不釣り合いな痛み、しびれたような針で刺すような痛み（患者が自発的に述べる）、知覚過敏
  4. 発汗の亢進ないし低下
  5. 浮腫
- B** 診察時において、以下の他覚症状の項目を 3 項目以上該当すること。
1. 皮膚・爪・毛のうちいずれかに萎縮性変化
  2. 関節可動域制限
  3. アロディニア（触刺激ないし熱刺激による）ないし、痛覚過敏（ピンブリック）
  4. 発汗の亢進ないし低下
  5. 浮腫

#### ※但し書き 1

1994 年の IASP（国際疼痛学会）の CRPS 診断基準を満たし、複数の専門医が CRPS と分類することを妥当と判断した患者群と四肢の痛みを有する CRPS 以外の患者とを弁別する指標である。臨床用判定指標を用いることにより感度 82.6%、特異度 78.8%で判定でき、研究用判定指標により感度 59%、特異度 91.8%で判定できる。

#### ※但し書き 2

臨床用判定指標は、治療方針の決定、専門施設への紹介判断などに使用されることを目的として作成した。治療法の有効性の評価など、均一な患者群を対象とすることが望まれる場合には、研究用判定指標を採用されたい。

外傷歴がある患者の遷延する症状が CRPS によるものであるかを判断する状況（補償や訴訟など）で使用するべきではない。また、重症度・後遺障害の有無の判定指標ではない。

米国から提唱された判定指標にならい、本邦版 CRPS 判定指標でも臨床用指標と研究用指標の 2 種類を作成した。本邦版 CRPS 判定指標の使用にあたっては、但し書き 1, 2 を十分に理解して使用すること。

※文献 [30] より引用



患者はその痛みによって逃避的反応が優位になっており、例えば上肢のCRPSであれば、体幹に上肢を近づけて屈曲・内転した状態で固定する状態になることが多い[33, 34]。下肢のCRPSでは患肢へ荷重をかけることを避けるようになる。そのことが体幹に影響し、姿勢が非罹患肢（健常肢）へと逃げるように非対称なものとなる。これらは全身の筋の活動異常が原因であり、定型的姿勢運動パターンを形成した結果だと言える。また、このために日常生活動作で必要な体幹や四肢の多様な姿勢や運動を作ることができず、機能的動作能力の低下に繋がる。機能的動作能力低下に伴う不動が長期化すると、非可逆的な拘縮や廃用に繋がる恐れがある。

MaihöfnerはCRPS患者の運動機能の障害について検証している。実験では、ある特定の場所にある物体を、決められた姿勢から物体に向かって腕を伸ばして掴むというタスクを行う。このタスクを健常者とCRPS患者に対して実施してもらい、その運動軌跡や速度に関する結果を比較している。CRPS患者は健常者に比べての物体までのアプローチの際の軌道のばらつきが多く運動機能が阻害されていると報告している[35]。また身体認知に関して、MoseleyはCRPS患者の症状持続期間や運動実行に伴う痛みが、患側の手の面を認識する速度の遅延に影響することを示唆している[36]。

現在、CRPSの治療は主に薬による治療が行われている。ある一定期間にわたって薬を複数回投与することによって慢性的な痛みを取り除くことができる。しかしながら、薬剤治療は体調によって薬を投与できない場合や、患者によっては薬の反復使用により身体の薬への抵抗性が生まれ薬の効力が低下する場合がある。このために治療効果が得られないケースもあり治療は容易ではない。リハビリテーションなどの運動療法としては、痛みによる不動が原因の関節可動域制限に対して自動運動や疼痛に耐えうる範囲での他動運動が主に行われる。

### 2.1.2 幻肢痛

幻肢痛は、CRPSと同じく、慢性疼痛の1つである。人間は、神経の損傷や体肢の切断後に、しばしば幻肢と呼ばれる切断された部位が残っているような感覚が発生する。幻肢は切断個所の違いのみならず、患者によって幻の四肢の状態が異なる。例えば幻肢を実際の四肢と同様に自在に動かすことができる患者や手首などの幻肢の一部のみを動かすことができると訴える患者がいる一方で、中には全く動かすことができず幻肢はいつも同じ姿勢をとっていると訴える患者もいる。前者のような患者は、この幻肢の存在をありありと感じるにも関わらず実際には存在しないことに戸惑いを感じる[37]。後者のような患者の場合、しばしばその幻の部位に非常に強い痛みを感じることもあり、それを幻肢痛という。

幻肢痛の痛みもまた他のCRPSと同様に多種多様であり、慢性的に痛みが続く場合や定期的に痛みが襲ってくる患者もいる。幻の指が幻の手の平に食い込んでおり痛み

を生じているといった興味深い症状もある [1]. これは幻の指を動かす事がないため手のひらに刺さった状態であるため起こっていると考えられている.

幻肢痛は、疼痛を感じている部位自体が存在しないため、他の慢性疼痛で行われるような患部への投薬による治療は適切とはいえない.

## 2.2 慢性疼痛の発生要因に関する一考察

CRPSや幻肢痛が発症する原因はいまだ解明されていない点が多い. このような種類の慢性疼痛が起こる原因の1つとして考えられているものに、脳の可塑性がある. 私たちが姿勢を把握するとき、身体を目で見ることによって現在の身体の姿勢を把握する. さらに、私たちは身体を動かすと実際にその動かしている部位を見ることなく動かした身体の姿勢を把握できる. これは体性感覚によってもたらされる. 体性感覚は関節や筋肉の状態、姿勢、触れたものの質感、痛み等の様々な感覚をもたらす. そして、その体性感覚の信号は脳へ送られ、一次体性感覚野で処理される. この一次体性感覚野のそれぞれの部位は特定の部位からの信号に対して強く反応することが知られている.

Penfieldは、身体部位と脳の体性感覚野との対応を調査し、図 2.1 に示す体性感覚地図を作成した [38]. 図 2.1 に示すように、一次体性感覚野の反応する領域の大きさは等しくなく、また実際の身体の各部位の大きさと一次体性感覚野の反応する領域の大きさは比例しない. それぞれの反応する領域の中で、一次体性感覚野全体に対して顔の周辺や手の占める割合が特に広い. Bearらは、その領域の大きさはそれぞれの身体の部位からの感覚入力の重要性和相関すると述べている [39]. Ponsらは、サルにおいて背側脊髄神経根を切断して手を麻痺させる前後で、サルの顔面から入力される感覚情報が麻痺した手の領域にまで拡大していることから、体性感覚地図の変化を確認した [40]. また、Ramachandranは幻肢を生じた患者も同様に一次体性感覚野に変化が起きることを報告している [2]. この実験では、手を切断されたある患者の顔面を刺激したとき、顔面を触られると同時に幻肢を触られている感覚が得られている事が報告されている. つまり、手を失った患者は図 2.1 の一次体性感覚野の手に当たる部分と実際の身体の手との関連が消失する. この時、関連が喪失した個所は、身体との関連が喪失したままではなく、脳の可塑性により一次体性感覚野の手の領域に隣接する顔面や腕の領域が関連の喪失した部分を補うように拡大する. そして、身体と一次体性感覚野との間に新たな関連が生じると考えられる. これにより、幻肢患者は新たな関連が生じた身体部位を通して切断後も無くした部位で気温を感じることができ、水が顔に当たれば同時に幻肢で水に触れているようにも感じられると考えられる. さらに身体との関連は消失した後も切断以前に獲得した手の運動と体性感覚野に関する機能的回路網は健在であると考えられる. このため切断後も切断個所が存在して

いるように感じる現象が発生すると考えられる。

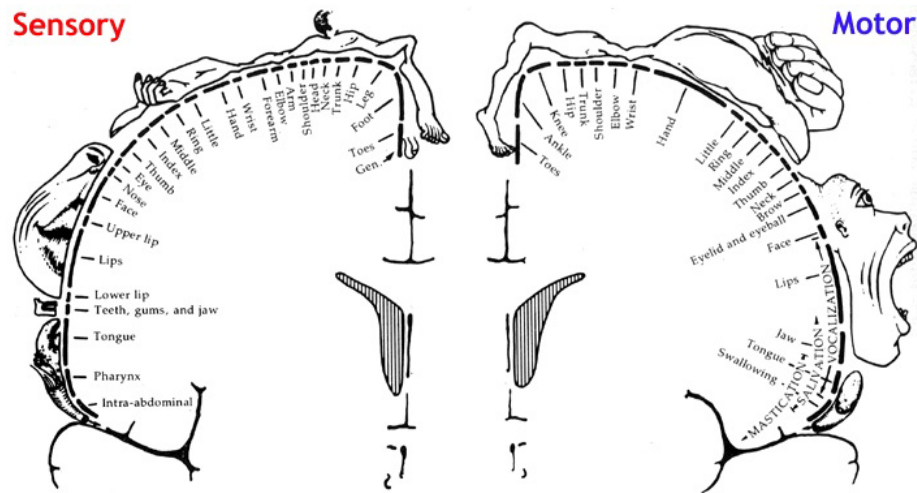


図 2.1: Penfield の体性感覚地図

住谷らは、慢性疼痛の要因に関して、四肢運動における知覚－運動ループに注目している [10]. 四肢運動の際は、運動の指令に続いて実際の運動が起こり、そしてその運動の結果を知覚（フィードバック）することによって、次の運動指令を準備する．この運動に伴う一連の流れは常に中枢神経系で監視されている．これを知覚－運動ループ（sensorimotor loop）と呼んでいる [41]. McCabe らの知覚－運動ループの概要図 [9] を図 2.2 に示す．慢性疼痛患者では、患部（幻肢痛の場合は、疼痛が発生していると感じる位置）を運動する指令（例えば、姿勢調節など）の発動に対し、患部の運動が起こらないために感覚のフィードバックがない状態であると考えられている．疼痛が発生するのは、この知覚－運動ループの整合性が得られていない状態、すなわち知覚－運動ループが破綻している異常な状態に対する警告として痛みが発生するとしている．McCabe は鏡を用いて健常者に鏡像と映っている側の四肢に異なる姿勢を取らせることによって、健常者であっても痛みの兆候となる感覚異常が起こっており体性感覚のずれが痛みを誘発する可能性があることを示唆している．

## 2.3 鏡療法

### 2.3.1 鏡療法の概要

文献 [42] では、四肢の末梢神経が損傷され四肢を動かすことができなかった患者は切断後、四肢はその麻痺していたときの姿勢を取る傾向にあると述べている．これを学習された麻痺（learned paralysis）と呼んでいる [37]. そして、この麻痺をなくし幻肢を動かすための手法として Mirror Visual Feedback が考案されている．鏡療法（Mirror visual

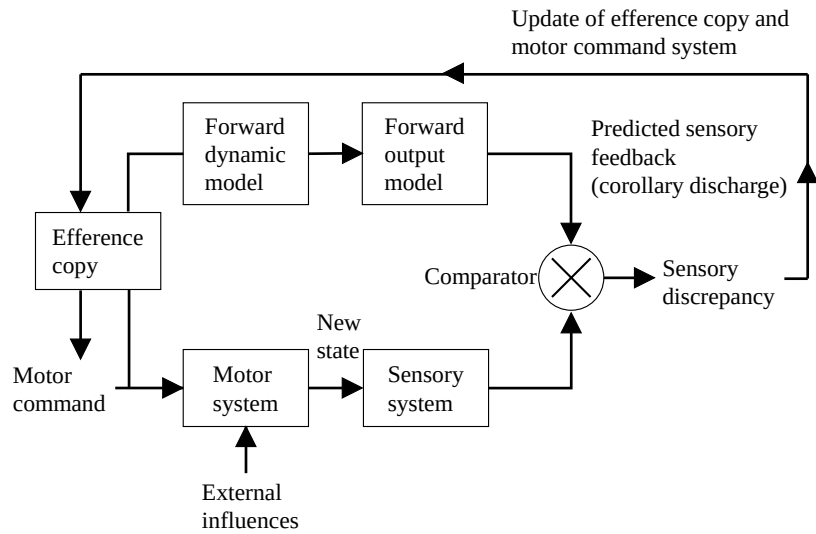


図 2.2: McCabe らの知覚－運動ループ

feedback: MVF) は、この麻痺を無くし幻肢を動かすための手法として、Ramachandran により考案された。

Ramachandran の鏡療法では、図 2.3 のような mirror box と呼ばれる箱を用いる。mirror box は箱の上面および正面が開いており、その箱の中央に身体を左右対称に切る面に平行に鏡が挿入されている。患者は図 2.3 の手前(鏡面側)の空間に健常肢を差し入れ、また図 2.3 の奥(鏡面でない側)の空間に患肢を差し入れる。その状態で患者が健常肢側から鏡を覗き込むと鏡に投影され健常肢の像が見える。このとき、患者はその鏡に映る像を幻肢であるようにイメージを持ってもらう。このとき患者は幻肢と鏡に投影された像がなるべく重なるようにすることが望ましい。すると切断により存在しないはずの体肢が実在するかのように錯覚する。さらに、その姿勢で健常肢側を動かすと喪失した体肢が動いているように錯覚する。幻肢患者がこの mirror box を使用することで、それまで自由に動かすことができなかった幻肢を動かせるようになる。

この mirror box を用いた鏡療法の効果について Ramachandran は次のように述べている。「幻肢患者は四肢の一部を失っているため脳が運動指令を送ってもその動きを再現できない。これを視覚情報を提示することで幻肢を生じている肢体の一部が動いていると錯覚させることで、無くした腕があると学習させる。これによって幻肢を動かせるようになることや、幻肢痛の軽減が起こる。」[1] Mercier も幻肢痛患者に対する週 2 回、8 週間の鏡療法による疼痛緩和効果を確認している [43]。

鏡療法は幻肢や幻肢痛以外の治療にも用いられている。McCabe らは鏡療法を体肢の喪失のない CRPS 患者への適用を行っている [44, 3] これにより、慢性的な痛みが低減する可能性について示唆している。McCabe[44] の実験では有効性が見られたのは初期 CRPS 患者に限定されていたが、Moseley は鏡療法を含めた 3 段階のイメージプログラ



図 2.3: 鏡療法で用いられる mirror box

ムの実施により，長期化した CRPS 患者の疼痛緩和や機能改善を確認している [45]．また，脳卒中後の上肢麻痺や片麻痺に対しても運動機能改善の効果が確認されている [46, 47]．下肢についても，脊髄損傷後下肢片麻痺 [48] など複数の症例に対して鏡療法の有効性が示唆されている．

身体の姿勢の把握は，第 2.2 節で述べたように視覚と体性感覚野で行われる．健常者の運動の制御は図 2.2 に示すような運動制御システムで行われていると考えられている．脳から運動指令を身体の各部へ送り，その指令に基づいて動いた身体の現在の姿勢を感覚野や視覚の情報から得る．それと同時にその運動指令をもとに自己の内部モデルを構築する．そしてそれらの情報をフィードバックしその情報をもとに再び運動指令を身体の各部へ伝達する．

鏡療法は鏡像という視覚情報を与えることで，運動制御システムのループの破綻した部分を補完していると考えられる．鏡を用いることで，患者は疼痛側の（仮想の）四肢が自分の意図通りに動く様子を観察することができる．ここで，意図通りに動かす感覚は，Gallagher の提唱している運動と知覚の関係における「自分がその対象を操作している」感覚である運動主体感（Sense of Agency）[49] に関係すると考えられる．Gallagher や Synofzik, Cameron は，運動主体感の誘発には，自分の運動に関する知覚の予測と実際の知覚の結果が一致する事が重要であると述べている [50, 51]．

### 2.3.2 リハビリテーション

鏡療法は運動機能を改善させるためのリハビリテーションとしても捉えることができる。リハビリテーション (rehabilitation) の語源は「re (再び)」「habilis (適した)」「ation (にすること)」であり、すなわちリハビリテーションは「再び適した状態にすること」を意味する。一般的には「疾患や災害などによって生じた障害に対する機能回復のための治療を意味するもの」として用いられている。より広く深い意味では「何かの障害を受けた人が、再び人間として能力を回復して社会に適合するための過程」、あるいは「全人間的な立場に立って、その尊厳や権利、資格を、本来あるべき姿に回復する過程」となる [52]。本邦の医療や介護の領域におけるリハビリテーションの最新の定義は、リハビリテーション病院・施設協会により、「リハビリテーションとは、障害のある人が、最良の心身の状態を獲得し、年齢や障害の程度に応じ、その地域に住む人々とあらゆる面で同水準の生活がなされることである」<sup>1</sup>とされている [53]。また、世界保健機関 (WHO) は 2011 年に定義を更新し、リハビリテーションを「環境との相互作用において最適な機能を達成し維持するために、障害を経験した、もしくはは経験する可能性のある個人を支援する一連の措置」と定義している [54]。

リハビリテーションは実施される目的とその時期に応じて、大きく分けて (1) 予防的リハビリテーション、(2) 治療的リハビリテーション、(3) 維持的 (生活期) リハビリテーションに分けられる。

#### (1) 予防的リハビリテーション

予防的リハビリテーションでは障がいの予防が目的となる。障がい発生のリスクが高い対象者に対しリスクの改善を図るとともに、体力増進により障がいの発生を予防する。これには高齢者が主な対象者となる。

#### (2) 治療的リハビリテーション

治療的リハビリテーションは傷病発症後に行われるものである。これには急性期リハビリテーションと回復期リハビリテーションが含まれる。

急性期リハビリテーションは発症や手術直後からベッドサイドで開始される。この時期は発症後まもなく病状が不安定であるため、生命維持のための医学的治療・処置が最優先される時期である。急性期リハビリテーションの目的は合併症予防や、安静の取りすぎに起因する心身不使用による廃用症候群の予防、セルフケアの早期自立を目標とした早期離床・早期機能回復である。

---

<sup>1</sup>ここで、「あらゆる」とは社会的、教育的、職業的、経済的、文化的な意味である。生活が「なされる」としたのは、主体的に生活を「送る」ことができない人々を除外しないためである。

回復期リハビリテーションは急性期リハビリテーションに引き続き行われる集中的かつ包括的なリハビリテーションである。積極的なリハビリテーションを行うことによって効果が期待できる患者に対して、セルフケアや移動、コミュニケーションなどの日常生活動作 (activities of daily living: ADL) や手段的日常生活動作 (instrumental activities of daily living: IADL) 能力における最大限の活動の回復および早期の社会復帰を目指す。ただし、この時期のリハビリテーションの内容は患者の心身の状態や社会的背景に応じて異なり、対象患者の生活に必要な機能や能力の獲得を目指してリハビリテーションが行われる。

### (3) 維持的（生活期）リハビリテーション

維持的（生活期）リハビリテーションは急性期および回復期リハビリテーションによって獲得された機能を長期維持するために行われる。家庭復帰後に傷病・障がい発生前に実施できていたことができなくなるなどで不便さを感じ、生活の質 (quality of life: QoL) は低下してしまう。不活発な生活を送ることで筋力や体力が低下し、さらにできないことが増えてしまうこともあり、廃用症候群が進行してしまう場合も考えられる。このような問題を回避するために、獲得した機能の維持やさらなる改善だけでなく、QoLの向上も維持的（生活期）リハビリテーションの目的となる。

慢性疼痛の改善を目的として行われる鏡療法は主に回復期リハビリテーションに該当する。実際には回復期リハビリテーションだけで慢性疼痛が全快することはまれであり、家庭復帰・社会復帰後にも疼痛緩和や心身機能維持を目的として継続的に行われることも多いため、維持期（生活期）リハビリテーションにも該当する。

#### 2.3.3 治療過程における問題点

鏡療法を治療に取り入れる場合、その治療過程には幾つかの問題が存在する。一つは、鏡療法による疼痛緩和などの効果獲得・持続のためには長期間の継続的治療が必要とされることである [10]。鏡療法を行う適切な頻度や期間については明らかになっていない。しかしながら、これまでの報告の多くは、数週間以上の期間において複数回の鏡療法実施によるものである。多くの研究で効果が確認されている一方で、Brodieらは80人の下肢切断患者に対し鏡療法が幻肢痛を軽減するか無作為比較試験を行ったところ、鏡療法群は鏡を見ない対照群より幻肢運動を誘発したが、疼痛軽減については差がなかったことを報告している [55]。また、Michielsenは半年後のフォローアップで、鏡療法により一度得られた運動機能改善効果が失われていたことを確認している [46]。今日では、鏡療法単独では運動イメージと比較しても即時的な疼痛軽減においては差はないが、他の運動イメージ治療プログラムと組み合わせつつ鏡療法を日々継続することで疼痛軽減効果を持つと考えられている [56]。



二つ目に、身体を中心を通る鏡を覗き込む姿勢を取る必要があることや、鏡が見える範囲での限られた運動しか行えないこと、加えてMirror Boxを用いる場合には窮屈な箱による身体の拘束という制約があることが挙げられる。これらの制約により治療が単調になってしまい、患者が治療に対して飽きてしまう。この問題は鏡療法の継続が難しくする。その観点から鏡療法を考えたとき、限られた狭い空間での運動ではなく、より自由度の高い運動ができる必要性があると考えられる。

三つ目として、医療従事者が観察していない場合、患者がどのような動作を行っているのかを客観的に知る術が無いことが挙げられる。これは維持期リハビリテーションのように患者が自宅など医療施設外で鏡療法を行う場合に発生することが想定される。患者が鏡に映す健常肢の動作、鏡にあたかも患肢の動作として映る健常肢の様子、それらを観察する患者の姿勢などは、鏡療法の効果に影響する要素となりうる。患者が医療施設に通院して行う診療やリハビリテーション中での鏡療法では、医療従事者が観察しているところで行われるため、その様子から医療従事者はより適切な動作を指示、指導することができる。しかしながら、患者が継続的实施を目的として自宅などで鏡療法を行う場合には、殆どの場合、患者は他者の観察がない状況で実施することになる。そのため、もし患者が不適切な姿勢や状況、動作で鏡療法を行っていたとしても、医療従事者は客観的な情報に基づいた指示や指導を行うことができない。不適切な鏡療法の実施のために治療効果が得られなかった場合、患者が治療を行う意欲を失うことにもなりうる。

## 2.4 バーチャルリアリティを利用した鏡療法

第2.3.3節で挙げた鏡療法の問題点を解決する手段として、バーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) 技術が注目された。この節では、VRに関する概要を述べ、これまでに開発されてきたVRを利用した鏡療法に関する先行研究に関して述べる。

### 2.4.1 バーチャルリアリティ

バーチャルリアリティはコンピュータグラフィックスなどを用いて人工的に実際の環境等を模擬して、ユーザへ提供する技術のことである。この技術を用いることで、実際にはその場には存在しないものを含む任意の空間をユーザへ提供することができる。ここで、バーチャル (virtual) とは、The American Heritage Dictionary によれば「Existing or resulting in essence or effect though not in actual fact, form, or name」と定義されている [57]。すなわち、みかけや形は原物そのものではないが、本質的あるいは効果としては現実であり原物であることをいう。これは、そのままバーチャルリアリティの定義を与える。これを踏まえて、日本バーチャルリアリティ学会では、VRを「人間



の能力拡張のための道具であり，現実世界の本質を時空の制約を超えて人間に伝えるもの」と定義している [58].

VR の構成要件として，以下の 4 つが挙げられる [59].

- (1) Virtual world: 体験可能な仮想空間の構築
- (2) Immersion: 五感のうちのいくつかに働きかけて得られる没入感
- (3) Sensory feedback: 対象者の位置や動作に対する感覚へのフィードバック
- (4) Interactivity: 対象者が世界に働きかけることができる対話性

バーチャルリアリティはロボティクス，エンターテインメント，設計・開発，訓練等多くの分野で用いられている．医療においても，CT や MRI などの画像撮影装置で生成された一次医用画像をコンピュータで再構成して二次医用画像を作成し，体内構造を把握することを容易にしたり，それを用いて実際の治療のトレーニングやシミュレーションが行われている [60, 61]. また，Hoffman は火傷患者が VR 空間内で仮想物体とインタラクションすることで，一時的に痛みの減少をもたらすことを示した [62]. このことから，VR 技術は患者の注意を痛みからそらす鎮痛剤としての役割を果たすことも可能だと言える．

#### 2.4.2 バーチャルリアリティを利用した鏡療法装置

これまでに VR を利用した治療装置が幾つか開発されている．いずれの装置でも，以下の要素で構成される．VR 鏡療法システムは，主に以下の 3 つの装置要素より構成される．

- (1) VR の患側の仮想四肢の動きを生成するデバイス
- (2) VR を生成するコンピュータ
- (3) VR を患者へ提供するためのディスプレイ

1 のデバイスとしては磁気センサやデータグローブの他，対象部位にマーカーを取り付けたものをカメラで撮影するものが代表的である．

また，各治療装置は仮想空間を提示するディスプレイの位置により下記のように分類することができる．

- (1) 使用者がヘッドマウントディスプレイを装着するもの
- (2) ディスプレイを使用環境に配置するもの
  - (1) Ramachandran らの mirror box の鏡の位置にディスプレイを配置し，従来の鏡療法を模したもの
  - (2) 使用者に正対するようにディスプレイを配置するもの

### 2.4.3 ヘッドマウントディスプレイを用いたバーチャルリアリティ鏡療法装置

マンチェスター大学のMurrayらの開発した幻視痛のための装置は、ヘッドマウントディスプレイを視覚的情報の提示に使用している[4]。患者には仮想環境を提示するヘッドマウントディスプレイが取り付けられる。また、頭の動きに合わせて仮想環境を変化させるための磁気センサが取り付けられる。仮想四肢の運動を生成するデバイスとして、患者は上肢や下肢の動作と姿勢を計測する磁気センサ、指の動きを計測するデータグローブを装着する。治療時は上肢と下肢それぞれで使用するセンサが異なり、図2.4のように装着して治療を行う。頭の動きを検出する磁気センサは全てのモードで使用する。上肢を喪失している場合は指の動きを検出するデータグローブを健常肢側につけ上肢に磁気センサを装着する。下肢喪失の場合は、下肢に磁気センサを取り付ける。

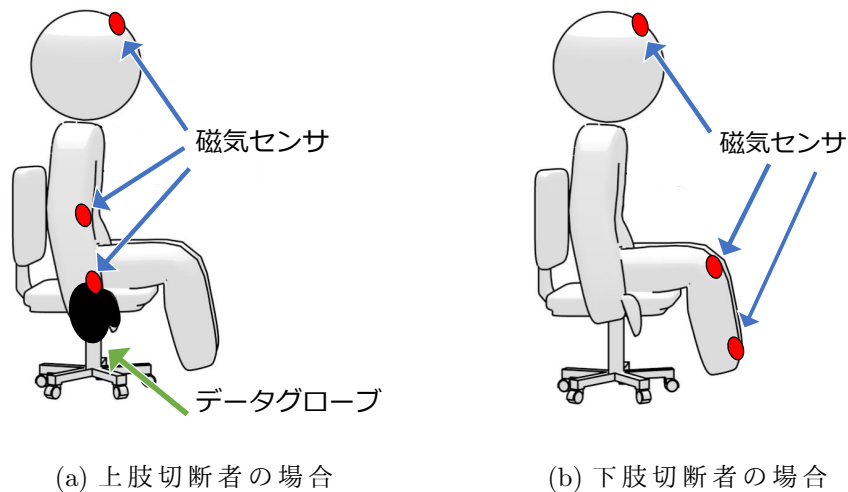


図 2.4: Murray らのバーチャルリアリティ鏡療法装置におけるセンサ装着方法

治療時に患者に提示される映像例を図2.5に示す。映像は1人称視点となっているため、あたかも仮想環境の中に自分の身体が存在し、その仮想環境内にいる自分の目を通して仮想の世界を見ることになる。このため、治療では仮想環境のみが見え、健常側を視覚的に無視することができ幻肢側に集中することができるシステムとなっている。タスクとして、動くものを上肢や下肢を動かして追跡したり、ボールを叩いたり、光るタイルに触れたりといった運動を行う。この治療装置を用いた治療において、疼痛軽減効果が得られている可能性があることが示唆されている。

本邦でも、Murrayらのものと類似したVR技術を用いた鏡療法システムの開発およびその効果検証が行われている[6, 63]。大住らは仮想環境下での鏡療法を模した視覚動作訓練により、幻肢痛患者の疼痛緩和や動作改善効果が得られることを示している。

この形式の治療装置の欠点として、仮想環境の映像はヘッドマウントディスプレイ

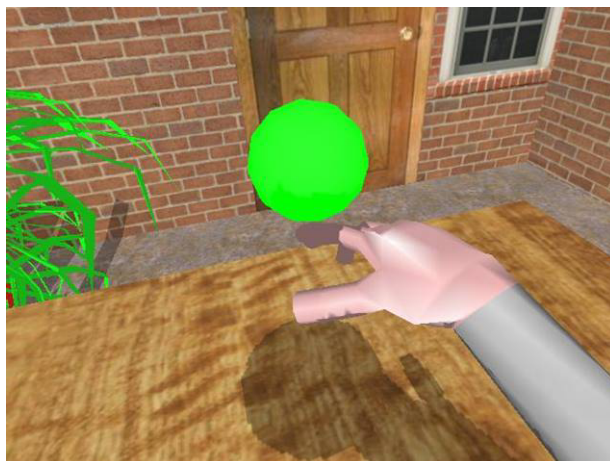


図 2.5: Murray らのバーチャルリアリティ鏡療法装置で提示される仮想環境の様子

で提示され、かつ頭の動きに合わせて提示される映像も動く。そのため、患者が治療中に3D酔い、すなわち、一種の車酔いのような症状が発生するために治療を続けることができないケースがある。さらに、治療システムにおいて提示される視覚情報はバーチャルリアリティで構築された環境のみであるため、患者は健常肢が見えず、健常側の上肢や下肢が幻肢側の義肢に衝突してしまう問題点があった。

#### Mirror box を用いた治療を模したバーチャルリアリティ鏡療法装置

O'Neill らは mirror box において鏡を配置する位置にディスプレイを配置し、仮想の手を現実空間の映像に重畳提示する幻肢痛治療システムを提案した [64]。このシステムは健常な側の手にデータグローブを装着し、その手の運動が仮想の手の運動として反映されディスプレイに表示される。

国内では、飯田らがディスプレイの表示面を地面に対して水平に上向きにし、ディスプレイを幻肢のある部位の上方に配置する幻肢痛リハビリテーションシステムを開発している [65]。このシステムでは、カメラと健常肢に取り付けたマーカーによって腕の動きを計測し、その計測された動きをもとに喪失した腕をバーチャルリアリティで提示する。この治療手法は図 2.6 のようにディスプレイを見下ろすような姿勢を取ることができるため、比較的楽な姿勢で運動を行えることが特徴である。

この形式の装置は Ramachandran らの提案した mirror box と同様の姿勢で行うため、鏡療法からの移行が容易に行うことができる。しかしながら、家庭において個人で治療を行う事を考えた場合、この治療システムはディスプレイの配置が特殊であり設置が難しいことや、小さいディスプレイでは腕動きの再現できる範囲が狭くなる可能性があると考えられる。また、Mirror Box を用いた鏡療法と同様に、腕を少し動かすことや指を動かすことといった、装置内の空間で可能な範囲での運動に制限される。加

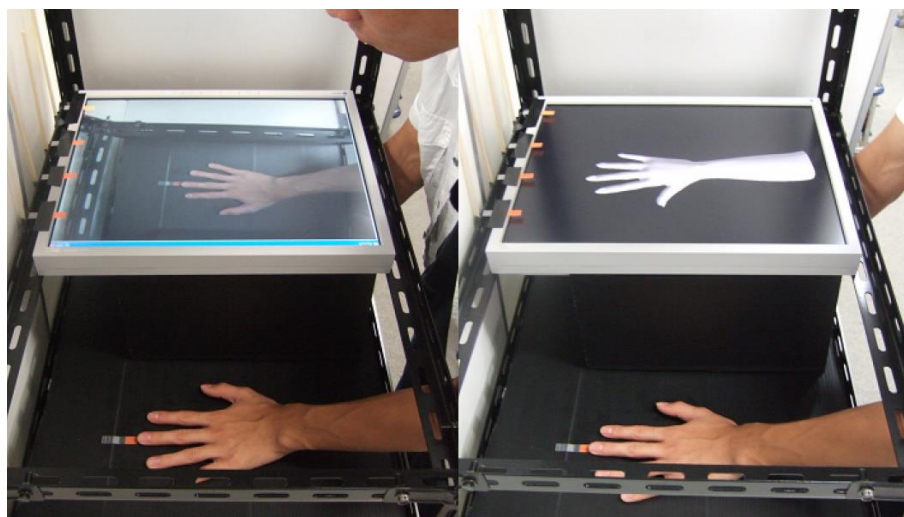


図 2.6: 飯田らのVRを用いた幻肢リハビリテーションシステム

えて、上記システムは幻肢痛患者に対する鎮痛効果などの治療効果は確かめられていない。以上のような課題のためか、この形式の治療装置の開発や治療効果に関する報告は少ない。

#### 使用者に正対するようにディスプレイを配置したバーチャルリアリティ鏡療法装置

ここで述べる治療装置は、使用者に正対するように仮想空間を提示するディスプレイを配置したものである。この形式の治療装置として佐藤、五福、福森らが開発したVR鏡療法装置が挙げられる[66, 7, 8]。彼らはVR鏡療法を各英単語の頭文字からVR-MVFと呼称している。佐藤らの治療装置は上肢の幻肢痛やCRPSを対象として開発された。治療装置では、患者は図2.7のようにディスプレイや上肢の動きを検出する磁気センサ、指の動きを計測するデータグローブ治療装置を配置、装着する。患者は健常側の手にデータグローブを装着する。四肢の損失がある幻肢痛患者の場合、図2.7(a)のように健常側の腕に磁気センサを装着する。一方、四肢の喪失がないが手に痛みを持つCRPS患者や腕部分が現存する幻肢痛患者の場合、図2.7(b)のように疼痛側の腕に磁気センサを装着する。

治療の様子を図2.8に示す。図2.8は四肢の喪失がないが左手に疼痛を生じている患者の場合の治療の様子である。画面には疼痛側の仮想の腕と手(図2.8では左側)が出力され、装着したデータグローブや磁気センサによって得られた動作が仮想の腕や指の動作として反映される。

治療におけるタスクとして、腕を動かして物体へアプローチし、仮想環境の中の物体を掴んで移動させることが設定された。仮想環境内には大きさの異なる4種類の物体が提示される。4種類の物体は大きいものが最も掴みやすく、最も小さいものが最

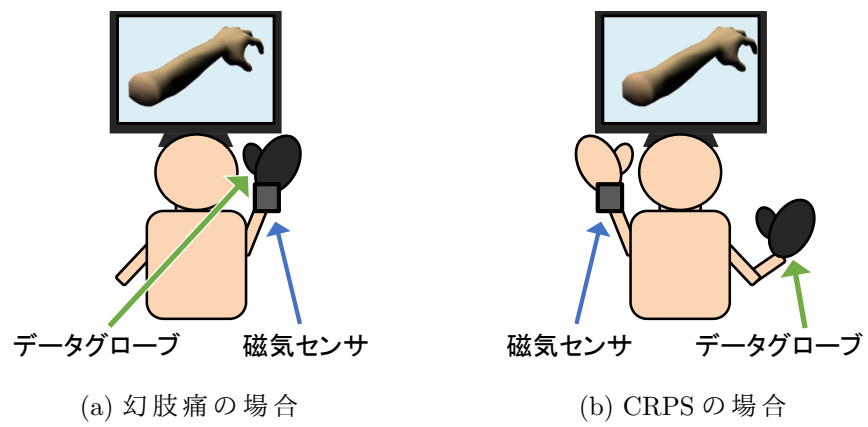


図 2.7: 佐藤らのバーチャルリアリティ鏡療法装置におけるセンサ装着方法

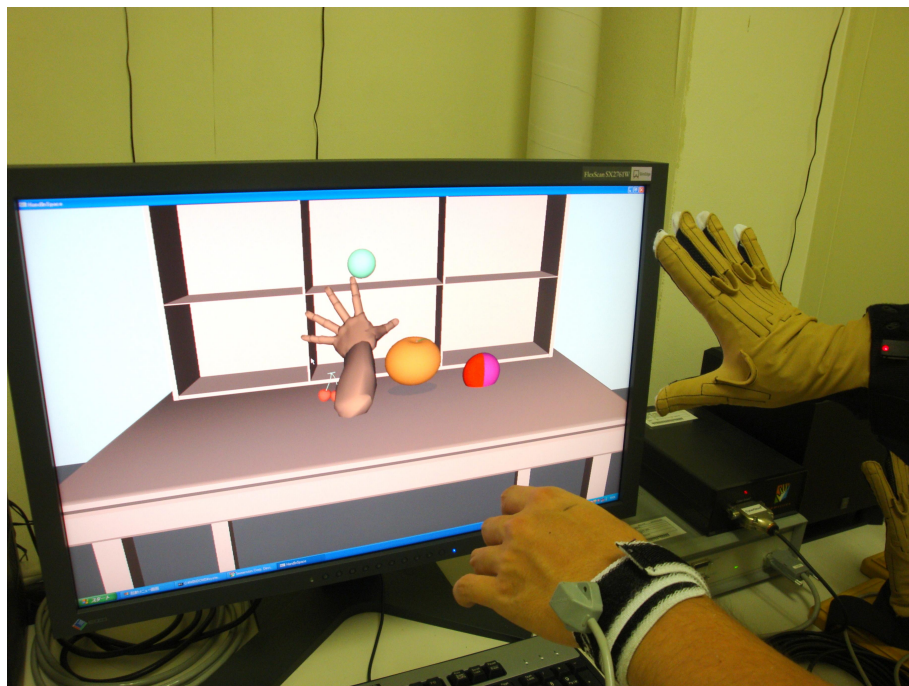


図 2.8: 佐藤らのバーチャルリアリティ鏡療法装置を使用した治療の様子



も掴みにくくなっている。

佐藤らはシステムを用いた治療により、疼痛軽減効果が得られることを報告している。治療効果が得られた要因として鏡療法に比べて動きのバリエーションが増加したことや没入感の増加が考えられる。Mirror boxを用いた鏡療法では箱の中で腕や手を動かしていた。一方、佐藤らの開発した装置では、ミラーボックスを用いた鏡療法のような運動できるスペースの制限がない。そのため、鏡療法と比較し腕や手の動かす範囲や姿勢のバリエーションが増加した。このことによって、疼痛側を痛みを感じることなくより自在に動かしている様子を視覚でとらえることができる。さらに、VRの導入によって画面の中の物体が自分の行為によって変化する。これにより画面に対して意識を向けられ、画面に映し出される動きに集中することができる。この2点が治療効果を得られている要因として考えられる。

また、同システムにおいて、より治療への没入感を向上させるため、河上らによって立体視を用いたシステムも開発された[67]。河上らのシステムでは偏向メガネを利用した3Dディスプレイを用いて立体視を表示しながら治療を行う。立体視の導入によってVR空間内での奥行きが把握が容易になり、操作性の向上が確認されている。しかし、立体視を使用しない場合と比較して疲労感が増加するという意見が被験者より得られている。

#### 2.4.4 在宅用簡易型バーチャルリアリティ鏡療法装置

佐藤らはシステムを用いた治療により、疼痛軽減効果が得られることが報告されている。しかし、鏡療法のように使用の中断による鎮痛効果の喪失、または、消失するケースがあることも報告されている[5]。そのため、自宅などで継続的にVR-MVF治療を行うことが望ましい。しかしながら、上記のVR鏡療法装置は個人で導入するには装置が大掛かりであり、装置の価格が高価なことが問題となる。また、ヘッドマウントディスプレイやデータグローブのようなデバイスは患者身体への装着が必要である。特に上肢に疼痛を持つ患者は多くの場合で健常な手しか用いることができないため、上記のようなデバイスの装着は困難である。加えて個人での使用においては、機械やコンピュータの扱いを苦手とする患者の使用も想定される。そのため、治療装置が比較的シンプルで使いやすいものである必要がある。

佐藤らの研究グループの五福、福森は上に挙げた課題を解決するため、佐藤らの装置を改良して簡易型のVR-MVF治療装置を開発した[68, 7]。簡易型VR-MVF治療装置を使用した模擬治療の様子を図2.9に示す。簡易型VR-MVF治療装置は磁気センサやデータグローブの代わりに、手の握り動作と腕の姿勢・動きを計測するためのUSBカメラ、赤外線LEDを6個配置したマーカー（以下、マーカー）で構成される。USBカメラには赤外光のみを撮影するために可視光吸収・赤外線透過フィルタをカメラのレン

ズの前に設置する．この治療装置ではカメラで赤外線を発するマーカを撮影して画像処理を行うことで，患者の手の握り動作や腕の姿勢・動きを推定する．



図 2.9: 五福らの簡易型 VR-MVF 治療装置

開発された治療装置は，佐藤らの治療装置との併用を想定しているため2つの治療システムは類似した機能を有し，また一部は同様の機能を有している．治療システム移行の際に使用者はそれぞれの治療方法をわずかな学習により使用することができ，オリジナルの治療装置から簡易版治療装置への移行はよりスムーズになる．そのために，図 2.7で示したように，

- (1) 痛みのない側の腕と手の動きの検出
- (2) 痛みのある側の腕と痛みのない側の手の動きの検出

を行う必要がある．そこで簡易型 VR-MVF では，(1) のモードは赤外線マーカにある赤外線 LED のうち握り検知用の LED を手で隠すことによって，(2) のモードは PC についているマウスをクリックすることで握り動作を行なったことを判定してバーチャルリアリティの手の握り動作の映像を生成している．開発された簡易型 VR-MVF 治療装置を用いた被験者による治療タスクの実行において，没入感と操作性について前項の佐藤らの治療装置と比較して検討し，良好な操作性と没入感が得られている事が示されている．

また，福森らは患者の上肢の動きを検出するモーションセンサとして Microsoft 社製の Kinect for Windows を用いることで，患者の身体にセンサ類の装着をすることなく VR-MVF を可能とする在宅用 VR-MVF システムを開発した [8]．福森らが開発した在宅用 VR-MVF システムを用いて治療を行っている様子を図 2.10 に示す．このシステムで

は，患者の上肢の動作はKinect for Windowsで計測され，仮想の上肢の動作に反映される．また，仮想の手の開閉動作生成にはマウスが用いられており，マウスをクリックすることにより仮想の手が徐々に閉じる．マウスをクリックしている状態から離すと，仮想の手は開いた初期状態に徐々に戻っていく．



図 2.10: 福森らの在宅用 VR-MVF システムの構成と使用中の様子

#### 2.4.5 まとめ

本章では，本研究で対象となる慢性疼痛患者や，その治療として行われる鏡療法，鏡療法を発展させた VR-MVF について述べ，現在それらの治療において存在する問題点について整理した．第 2.3.3 節で挙げた鏡療法の問題点のうち，動作や姿勢の制約については VR-MVF により解決が期待できる．また，VR-MVF を自宅で行うことを想定したシステムの開発も行われており，治療継続を容易にするための検討も行われている．

その一方で，患者が鏡療法または VR-MVF を行っている動作などの情報を記録，医療従事者と共有することについては検討が進んでいない．次章では，医療従事者－患者間での情報共有の問題に対する改善案を説明する．



## 遠隔情報共有機能の検討

### 3.1 本章の概要

本章では、前章で挙げた鏡療法やVR-MVFの課題である、患者の治療に関する情報の共有を可能とするための仕組みについて検討する。諸元で述べたように、患者の治療に関する情報は一般に長い期間を要する慢性疼痛治療の効果を上げることに資する。そのため、システム自体に治療に関する情報を記録・共有する仕組みが取り入れられるまた、その情報を共有するための機能をVR-MVFシステムに実装する。

### 3.2 遠隔医療

本研究で提案する、医療施設外で治療を行う患者と医療施設内の医療従事者との情報共有を可能とする仕組みは一種の遠隔医療と言える。遠隔医療は大きく以下の3つに分類される。

1. 医師(D)同士が遠隔でのコンサルテーションを行うD to D
2. 遠隔地の医師のサポートを受けつつ患者(P)側の現地の医師や医療スタッフ(N)が医療行為を行うD to D(N) to P<sup>1</sup>
3. 患者側に現地スタッフを置かず遠隔地から医療行為を行うD(N) to P

(2)は現場の医療従事者による対面医療であるが、(3)は完全な非対面医療であり、在宅医療のように患者が一人で治療タスクを実施するものは、(3)のD(N) to Pに該当する。

別の視点では、遠隔医療はEメール[70]のようにサーバにデータを蓄積して後ほどその情報を閲覧する非リアルタイムの形態と、テレビ電話[71]のようなリアルタイムの形態に分類することができる。例えば、在宅の患者と医療従事者間でコンピュータやタブレット端末を用いてインターネット上で情報共有を行うシステムも存在する

---

<sup>1</sup>日本遠隔医療学会は遠隔医療を「通信技術を活用して離れた二地点間で行われる医療活動の全体を意味する」と定義し、遠隔診療を「遠隔医療のうち、医師が遠隔地から在宅等で療養する患者の診察およびそれに続く一連の診療を行うこと」と定義している[69]。この定義では(2)、(3)はともに遠隔診療として一つに分類されることになるが、本研究では主に患者が自宅などで治療を行う際に現地で医療スタッフがサポートしない状況を想定するため、本文の分類を採用した。

[72]．在宅医療における患者に対する遠隔での診療・コミュニケーションにはEメールやテレビ電話が主に用いられているが、近年の情報機器や通信環境の発展に伴い、患者自宅に多機能・低価格な機材を導入することも可能となってきている．リアルタイムでのコミュニケーションでは、医師と患者が時間の都合を合わせる必要があり、特に多忙な医師にとっては時間の確保が負担となる．医師-医師間や医師-患者間でのコミュニケーションにおける時間と場所の制約を解決するため、リアルタイム型と非リアルタイム型を組み合わせた遠隔医療も提案されている[73]．在宅で行う治療タスクにおいても、リアルタイムで医師の指導を受けながら行うだけでなく、患者が都合のいい時間に治療タスクを実施し、医師はその情報を後ほど確認できるようにすることにより、医師にとっても患者にとっても時間の制約がなくなり、治療をより継続しやすくなると考えられる．

本研究では、患者自宅に設置するVR-MVFシステムに対し、情報蓄積型のモニタリングによる情報共有の仕組みを検討する．VR-MVFシステム全体の構想を図3.1に示す．患者は自宅で在宅用VR-MVF治療装置を用いて治療を行う．VR-MVFタスク中の動作や痛みの程度などの治療に関する情報は治療装置で記録される．記録された情報はインターネットを介して、医療施設等に設置されたデータベースサーバに転送・蓄積される．医療従事者は必要に応じてデータベースサーバにアクセスして治療データを閲覧し、患者の状態の判断や今後の治療方針の決定を行う．また、テレビ電話等を利用してリアルタイムで患者と医療従事者が適宜コミュニケーションを行う．

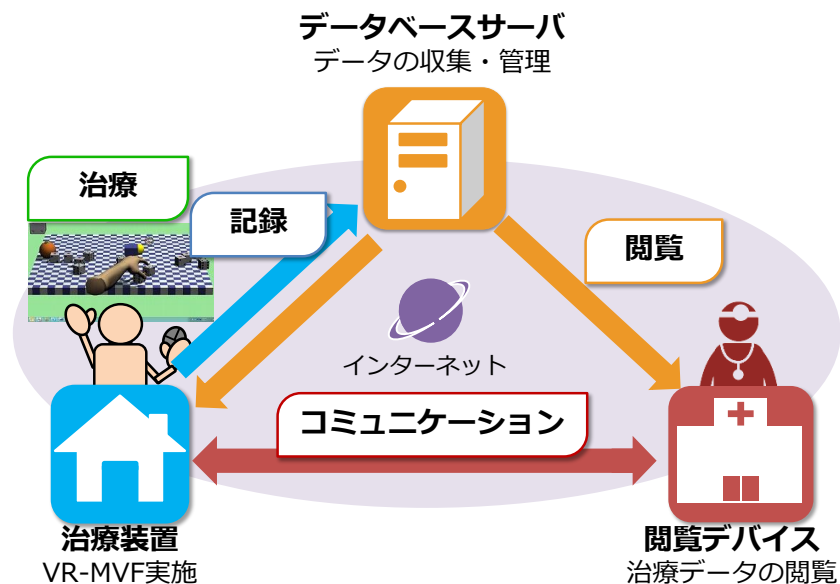


図 3.1: 遠隔情報共有を行う VR-MVF システムの構想図

この情報共有の仕組みを構築する上で、鏡療法やVR-MVFを導入した治療過程において収集すべき情報を整理する必要がある．また、それらの情報を欠損なく継続的

に記録するために、各情報をどのように記録し蓄積するかについて検討する必要がある。次節以降でこれらについて検討し、患者が自宅で使用する在宅用VR-MVFシステムへの機能実装について述べる。

### 3.3 収集する情報の考察

第2章で述べた慢性疼痛患者の症状から、患者の治療過程において記録すべき情報を整理する。

#### 3.3.1 痛みに関する情報

患者は自らの健康状況に関して、痛みに関心を置くことが多い。ファイザー株式会社の調査によると、慢性疼痛患者は多少の痛みがあったとしても、痛みを耐えなければいけないと考えていることが多い[74]。しかし、痛みを耐え長引かせることは、患者を肉体的にも精神的にも疲弊させ、患者のQOLを低下させる要因となる。痛みが原因で、うつ状態になる傾向も見られている。また、慢性疼痛は早期治療を行わなければ、症状が悪化し治療がより困難になる。このため、本来であれば患者は早いうちに医師の診察を受け、治療を開始することが望ましい。

しかしながら、ファイザー株式会社の調査では、慢性疼痛患者は自らの痛みをうまく表現、説明することが難しいことが示唆されている。これは、患者が自らの痛みや健康状態を適切に表現するための指標がわからないことが原因として考えられる。また、患者が医師に説明するときには痛みを伴う体験から時間が経っていることで、忘れていたり、記憶が曖昧になっている場合が考えられる。日々の治療で感じたことが忘れないうちに記録されていれば、実際に医師と対面して診療を受ける際にも、事前に情報が医師の元にわたっていれば、より効率よく、かつ効果的な治療を行える可能性がある。

以上から、患者の健康状態、特に痛みに関連する情報の記録を検討した。慢性疼痛を扱う医師と検討した結果、疾患状態の把握、治療効果の確認、治療効果の要因検討のための基礎データの収集のために、以下に記す各種調査票を実施することとした。

毎回実施する調査票

#### (A) 痛みに関する Visual Analog Scale (VAS) [75]

治療前後での痛みの軽減量を調べる

週に1回実施する調査票

#### (B) 簡略版マクギル疼痛質問票 [76]

痛みの質の評価指標。痛みに関連した多数の単語を分類した質問表

**(C) Sense of Agency に関するアンケート**

運動主体感 (Sense of Agency) に関する質問群

月に1回実施する調査票

**(D) 簡易疼痛調査票 (Japanese Brief Pain Inventory: BPI-J) [77]**

痛みの強さおよび痛みにより傷害される気分や行動を評価する．Brief Pain Inventory-Short Form (BPI-SF) の日本語版

**(E) SF-36v2 [78][79][80]**

NPO 法人健康医療評価研究機構が作成した健康関連 QOL を測定するための尺度

**(F) EuroQoL 5 Dimension 日本語版 [81]**

1990 年 (日本語版は 1998 年) に発表された, 包括的尺度・選好に基づく尺度

**(G) Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS 日本語版) [82, 83]**

(身体的疾患を有する患者の) 抑うつと不安に関する精神的状況を計測する尺度．心理的・精神的側面関連の指標

**(H) 疼痛生活障害評価尺度 (Pain Disability Assessment Scale: PDAS) [84]**

日常生活での行動による痛みの評価

**(I) 痛み破局化スケール (Pain Catastrophizing Scale: PCS) [85]**

痛みを感じている時の考えや感情を評価する, 破局的思考の尺度

### 3.3.2 運動に関する情報

Maihöfner ら [35] により, 慢性疼痛の羅漢部位に運動障がいや拘縮が見られることも報告されている．長期間に渡り対象部位を動かさないことや, それに伴う廃用が, さらなる難治性の痛みの原因となり得る．また, 痛みがあるために無理な姿勢や運動を引き起こし, それが二次的な筋機能障がいが生じて新たな痛みが出現する場合もある．このため, 慢性疼痛患者にとって運動機能の改善を表す情報は, 痛みの改善を表す情報とともに優先的に望まれるものである．

McCabe は文献 [9] で, 運動体性感覚と視覚が解離すると, 病的痛みを含む異常感覚が現れることを報告している．第 2.2 節で述べた視覚-運動ループの観点からも, 患者に提示する視覚情報と, 運動情報が重要だと考えられる．以上から, VR-MVF 中の患者の身体動作, 特に上半身の動作や提示される仮想空間の情報を記録することを検討した．

### 3.4 在宅用 VR-MVF システム

ここで，遠隔情報共有の仕組みを導入する在宅用 VR-MVF システムについて述べる．在宅用 VR-MVF システムには小型で設置が容易な機器で構成され，かつ身体に装着する必要がない身体動作計測センサを用いる福森らのシステム構成 [8] を採用した．在宅用 VR-MVF システムそれぞれの代表的な装置構成を表 A.1 に示す．在宅用 VR-MVF

表 3.1: 在宅用 VR-MVF システムの代表的構成

|                     |                                              |
|---------------------|----------------------------------------------|
| コンピュータ              |                                              |
| OS                  | : Windows 7 professional 64bit               |
| CPU                 | : Intel Core i7-3770                         |
| HDD                 | : 500GB                                      |
| RAM                 | : 8GB                                        |
| グラフィック<br>ボード       | : NVIDIA GeForce GTX 650                     |
| ディスプレイ<br>(サイズ/解像度) | : BenQ G2420HD<br>(24 インチ/1920 × 1080)       |
| モーションセンサ            | : Kinect for Windows                         |
| 把持動作生成用<br>デバイス     | : ワイヤレスマウス<br>(Logicool Wireless Mouse M310) |

システムの使用中の様子は図 2.10 に示したとおりである．

なお，在宅用 VR-MVF システム開発の基盤である，佐藤らの研究グループで作成された岡山大学病院に設置された医療施設用 VR-MVF システム [5] の構成については付録 A に記す．

#### 3.4.1 VR-MVF システムに使用するコンピュータに望まれる能力

VR の生成には CPU や GPU 等のコンピュータの処理能力が大きく関わる [86]．特に，GPU やグラフィックボードの性能は治療タスクを行う上で，画面に表示される VR 生成・表示処理の速度に大きく関わる．そのため，コンピュータはグラフィックボードを搭載していることが必要条件となる．また，後述するデータの保持のため，ある程度メモリ容量が大きいことが望ましい．なお，表 A.1 に示したものより性能が低いコン

コンピュータでも十分治療は可能であるが，VR表示処理速度が低下し，結果的に治療効果に影響する可能性がある．

### 3.4.2 VR-MVFシステムに使用するディスプレイ

VR-MVFシステムに使用するディスプレイには，表示されるVR空間で物体を操作している感覚（没入感）が得られるだけの大きさである必要がある．特に，簡易型VR/MVFシステムでは後述する理由から身体とディスプレイとの距離が大きくなり，相対的にVRが小さく見える．より高い没入感を得るためには，大きなディスプレイを用いることが望ましい．また，ディスプレイの解像度も高いものであることが望ましい．本研究では，ディスプレイの大きさは24インチ以上，解像度は $1920 \times 1080$ 以上であるものを推奨している．なお，解像度が高くなるほど，コンピュータに要求される処理能力も大きくなることに注意する必要がある．

### 3.4.3 Kinect for Windowsの仕様

図 3.2に装置の概観および各センサ位置を示す[87]．また，Kinect for Windowsのハードウェア仕様を表 3.2に，Kinect for Windowsの距離センサ測定可能範囲を図 3.3に，そしてKinect for Windowsを動作させるために必要なコンピュータ仕様を表 3.3に示す．



図 3.2: Kinect for Windows センサの構成

Kinect for Windows は，以下の4つのセンサが搭載されている．

- (i) 距離センサ：近赤外線プロジェクタ＋近赤外線カメラ
- (ii) 映像センサ：RGBカメラ
- (iii) 音声センサ：指向性マイク

表 3.2: Kinect for Windows のスペック

|                |                                                                        |
|----------------|------------------------------------------------------------------------|
| サイズ            | : W280 × D65 × H70 mm                                                  |
| 重量             | : 600 g                                                                |
| センサ類           | : 距離センサ: 赤外線プロジェクタ, 赤外線カメラ<br>色センサ: RGB カメラ<br>音センサ: マイクアレイ<br>3次元加速度計 |
| 距離センサ解像度       | : 640 × 480                                                            |
| フレームレート (距離・色) | : 30 frames per second (FPS)                                           |
| インタフェース        | : USB 2.0                                                              |

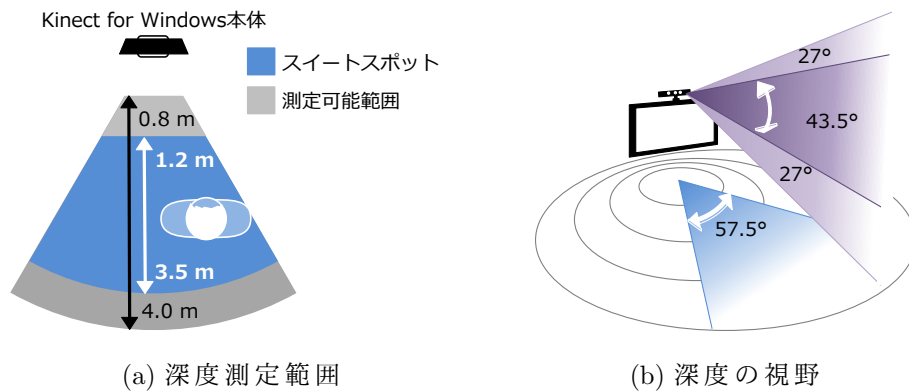


図 3.3: Kinect for Windows の計測範囲

表 3.3: Kinect for Windows を動作させるためのコンピュータの要求仕様

|         |                                                                                                                       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CPU     | : 32 ビット (x86) または 64 ビット (x64) プロセッサ<br>Dual-core 2.66GHz プロセッサ以上を推奨                                                 |
| メモリ     | : 2GB RAM                                                                                                             |
| OS      | : Windows 7<br>Windows Embedded Standard 7<br>Windows Embedded POSReady 7<br>Windows 8<br>Windows Embedded Standard 8 |
| インタフェース | : USB 2.0 接続可能                                                                                                        |

#### (iv) 加速度センサ

本システムでは、距離センサ、加速度センサおよび本体ヘッド部分の向きを上下に変更するチルトモーターを使用する。

Kinect for Windowsによる赤外線深度カメラの精度は、使用する環境の光の状態が大きく影響する。Kinect for Windowsのユーザインタフェースガイドラインでは、赤外線深度カメラは暗闇を含む全ての光の状況で動作するが、直射日光やフルスペクトルの照明よりも薄暗い照明の方が望ましいとしている[88]。また、大量の自然光の下での骨格追跡は信頼性が低くなるとしている。黒い服装や、光を反射する素材の服装も同様に、骨格追跡の信頼性が低くなるため避けるべきである。加えて、服装はジャージなどの広がりの少なく体の大きさにあうものが望ましい。

Kinect for Windowsによる距離測定の信頼度は、ユーザとセンサの距離が1.5~2mの間で最も高くなるとしている。また、Kinect for Windowsを身体の正面に設置して使用する場合、身体の前方に手や腕が位置するような状態では骨格追跡の信頼性が低下する。

Kinect for Windowsを制御するドライバとしてKinect for Windows SDKを使用した。また、Kinect for Windowsより得られる情報を処理するAPIにはOpenNI2, NiTE2を用いた。OpenNI2はKinect for Windowsから得られる深度情報の取得を行う。NiTE2は得られた深度情報を処理し、ユーザの検出や骨格の検出を行う。なお、実際に構成した治療アプリケーションを動作させる際は、Kinect for Windows SDKに付随する再頒布用モジュール(Kinect for Windows ランタイム)を使用して動作環境を構成した。

骨格追跡の精度は、その処理を行うAPIに依存している。Kinect for Windows SDKは骨格追跡のためのキャリブレーション処理が必要ないが、キャリブレーション処理を必要とするNiTE2の方が骨格追跡の精度は高い。

OpenNI2とNiTE2を用いているため、使用時には最初にキャリブレーションを行う必要がある。キャリブレーションの様子を図3.4に示す。キャリブレーションはまず、体を前後に動かし、人として認識させる。さらに軽く腕を広げるなどして、骨格を認識させる。骨格認識が終わり、キャリブレーションが終了すると、モーションセンサとして機能することができる。

Kinect for Windowsからは対象とする人の各関節位置が得られる。関節数は使用するAPIによって異なるが、OpenNI2とNiTE2を用いた場合、図3.7に示すように計15関節の三次元直交座標位置が得られる。この内、肘の位置(JOINT\_LEFT\_ELBOWまたはJOINT\_RIGHT\_ELBOW)から手の位置(JOINT\_LEFT\_HANDまたはJOINT\_RIGHT\_HAND)への単位ベクトルを求めることで、VRの腕の姿勢と位置を決定する。



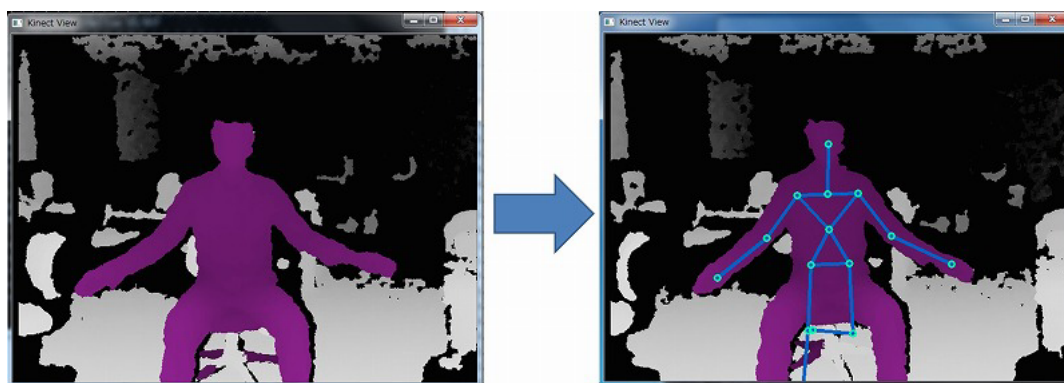


図 3.4: モーションセンサのキャリブレーション中画面

### 3.4.4 在宅用 VR-MVF 治療装置の配置

簡易型 VR-MVF 治療装置の配置図を図 3.5 に示す。簡易型 VR-MVF 治療装置を用いた治療のためには、患者が椅子に座った状態で両手を広げた時に何も接触するものが無い状態である必要がある。そのため、最低でも前後 3 m、左右 2 m、床からの高さ 2 m を確保できる場所に設置する。ディスプレイは、画面の上端がユーザが椅子に座った状態の目線の高さになるように設置し、コンピュータに接続する。Kinect はディスプレイの上面に取り付けられた台の上に載せられる。

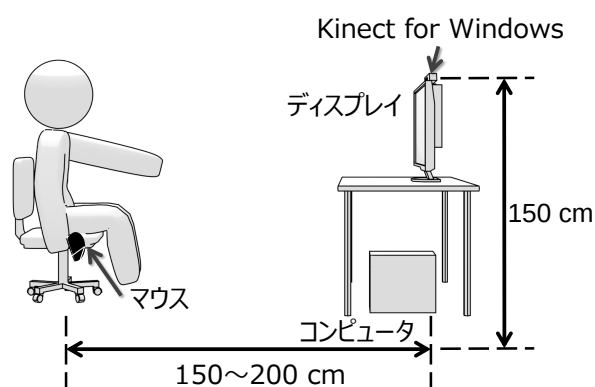


図 3.5: 簡易型 VR/MVF システムの構成物の配置

骨格追跡の信頼性を高めるためには、ユーザが距離センサの方向を向くようにする。非接触式モーションセンサはディスプレイの上部に設置するような状態にする。ワイヤレスマウスのレシーバは、治療中のワイヤレスマウスの位置に限りなく近い位置で、ワイヤレスマウスとレシーバの間に遮蔽物が無い状態になるように設置する。USB ポートに接続するタイプのレシーバの場合、USB 延長ケーブルなどを用いてワイヤレスマウスとレシーバの距離を近づけておくことが望ましい。

自己身体認知に関わる知覚-運動ループは、体性感覚だけでなく、他感覚情報を統合

して制御されており，中でも視覚情報が最も重要であることが示唆されている [89]. そのため，患者がVR環境の中で自らの患部が動いていることを認識しやすくするためには，動かすことが困難な現実の患部が治療中に視界に入らないことが望ましい．

### 3.4.5 VR表示処理

治療装置のディスプレイに表示されるVR環境の構築のため，グラフィックAPIとしてOpenGLを用いた [90]. また，VR環境での運動シミュレーションには物理エンジンミドルウェアのHavok<sup>TM</sup> Physicsを用いた [91]. Havok<sup>TM</sup> Physicsは多数の物体の落下や衝突，およびその連鎖反応など，移動している物体の速度や加速度を計算し，次の状態を導き出す物理演算能力に優れている．一度に数百以上の物体の物理演算を行うことが可能で，より現実的なVRの表現を行うことができるため，ゲームなどにも利用されている．

治療アプリケーション実施中，患者が集中できるよう，また治療に飽きてしまわないよう，BGMを再生することができる．BGMを再生するためのサウンドAPIにはSDL\_Mixer [92] を用いた．

アプリケーション内部での各処理はマルチスレッドで行われる．具体的には，以下のスレッドが同時に処理を行っている．

- ・描画スレッド（メインスレッド）：VRの描画を行う
- ・物理演算スレッド：仮想環境上の各物体に関して物理演算を行い位置・速度・加速度・姿勢を計算する
- ・モーションスレッド：モーションセンサが腕の位置・姿勢を測定する
- ・サウンドスレッド：BGMや環境音を再生する

物理演算スレッドで行う物理演算の結果や，センサスレッドが取得した腕の位置・姿勢情報はメインスレッドに送られ，それらの情報を元にVR空間の描画が行われる．

VR/MVF治療タスク中に表示されるVR環境の例を図 3.6 に示す．VR環境上のサイコロや，オレンジを模した球体などのオブジェクトは，3DポリゴンモデルのMetasequoia [93] やBlender [94] によって生成されたモデルオブジェクトを読み込むことで表示している．さらに，物理エンジンを組み込んでいるため，それらのオブジェクトは自由落下や地面と衝突したときに跳ねる，などといった運動を模擬することができる．オブジェクトはVRの手でリセットボタンに触れることで，初期位置に戻る．

VRの親指の先と，親指以外のいずれかのVRの指先の両者がオブジェクトが接触している場合，VRの手でオブジェクトを把握している状態になる．オブジェクトを把握

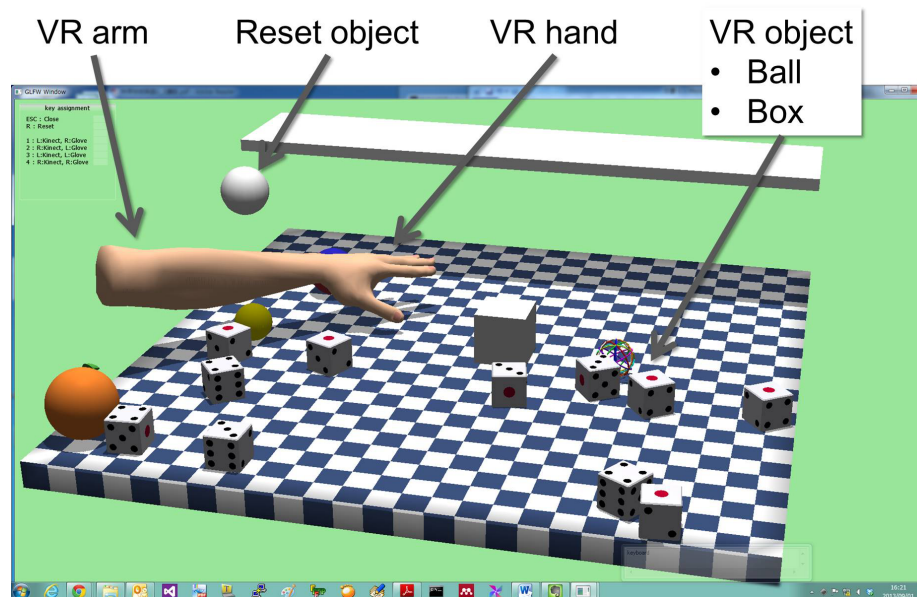


図 3.6: VR-MVF タスク中の仮想空間

している状態では，VRの手とオブジェクトは位置と姿勢が同期して移動する．そのため，VRの手でVRオブジェクトを掴み移動させるような運動を可能にしている．

治療タスクアプリケーション実施中のVR環境の視点は通常，アプリケーション実施前に設定しておくが，アプリケーション実施中でも患者の望む視点に変更することが可能になっている．具体的には，治療タスク実施中に，画面を左クリックしながらドラッグすると視点を上下左右に移動させることが可能である．同様に，中クリック（マウスのセンタホイールをクリック）しながらドラッグすると視点を前後に移動させることができ，右クリックしながらドラッグするとVRのステージを中心に視点回転が可能である．

VRの手は実際の人間の手を模擬しており，以下に示す計18つの関節を有している．

- ・ 親指 (Thumb finger) : 2 関節
  - － 中手指節関節 (Metacarpophalangeal joint: MP joint)
  - － 指節間関節 (Interphalangeal joint: IP)
- ・ 人差し指 (Index finger)，中指 (Middle finger)，薬指 (Ring finger)，小指 (Pinky) の 4 本 : 3 関節
  - － 中手指節関節 (MP joint)
  - － 近位指節間関節 (Proximal Interphalangeal joint: PIP joint)<sup>2</sup>
  - － 遠位指節間関節 (Distal Interphalangeal joint: DIP joint)

<sup>2</sup>近位指節間関節と遠位指節間関節を合わせて指節間関節と呼ばれる．

・ 指間開き（外転）量：4つ

- － 親指－人差し指間
- － 人差し指－中指間
- － 中指－薬指間
- － 薬指－小指間

これらに対応する変数で各関節の姿勢を決定する．VRの手の関節位置を図 3.7に示す．人間の指は自然に曲げる際，PIP 関節と DIP 関節の曲げは連動していることが解剖学的に明らかになっている [95]．そのため，現在は上記の18つの関節に対応する変数のうち，親指以外の4本の指の PIP 関節と DIP 関節の2関節の姿勢を表す変数は同じ値としている．すなわち，14つの変数で手の姿勢を表している．また，ワイヤレスマウスを使用している場合は，クリックしている時間に応じて上記の14つの変数を増減させている．

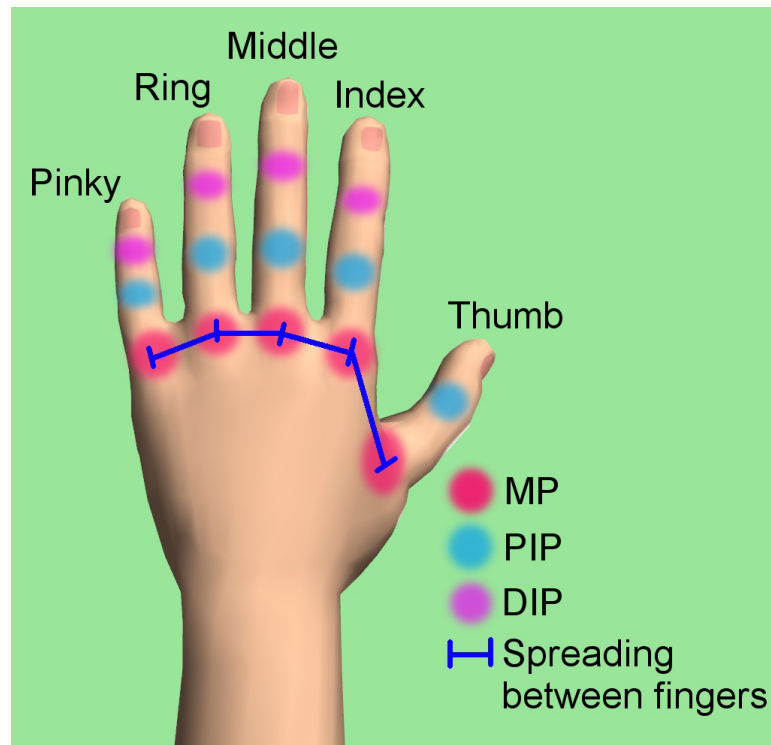


図 3.7: 仮想の手の関節

### 3.5 データ記録機能の実装

在宅用 VR-MVF システムに対する，患者の治療に関する情報を記録するための機能の検討および実装について述べる．

## 電子調査票

3.3 で挙げた9種類の調査票をコンピュータ上で実施可能となるよう電子化し、グラフィカルユーザインタフェースとして実装した。各種電子調査票の回答データは、それぞれの電子調査票の実施ごとに分けてCSVファイルとして記録される。

電子調査票において、全項目回答終了時や次の回答項目へ移動する際に回答していない項目があった場合、図 3.8 のように未回答項目があることがメッセージで表示され、その未回答部分の背景色が変化して強調表示される。これにより、患者の回答し忘れを未然に防いでいる。

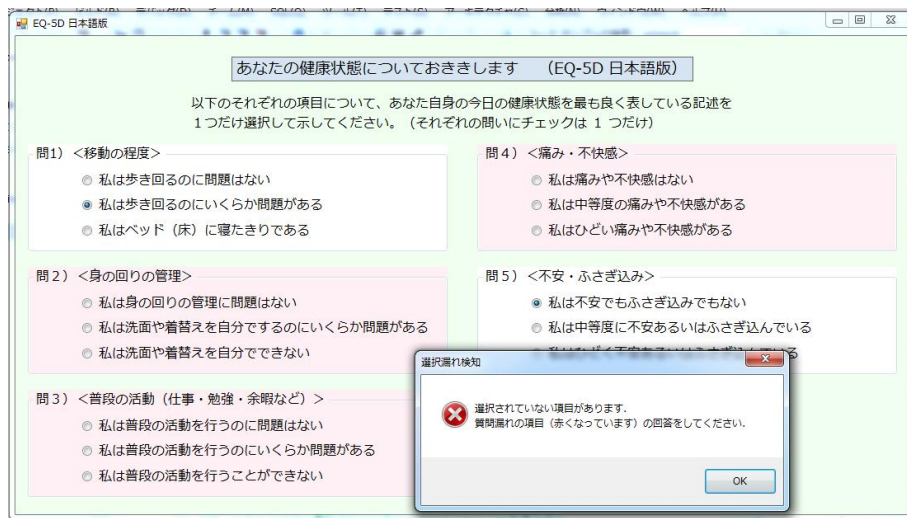


図 3.8: 質問表への回答し忘れの場合

また、各種電子調査票ごとに、全項目を回答せず、右上の終了ボタンを押すなどして終了しようとする時、図 3.9 のような確認メッセージが表示される。「はい」ボタンを押すと結果が記録されずに調査票が終了し、「いいえ」ボタンを押すと調査票が続行される。このようなメッセージを表示することにより、可能な限り患者に調査票を回答するよう促しつつ、もし患者が調査票を終了したい場合には途中で終了できるようにしてある。

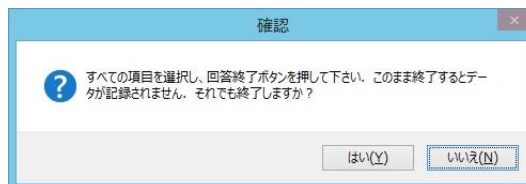


図 3.9: 回答未完了時に終了しようとした場合

## 痛みに関する VAS

痛みの程度に関する VAS を行う画面例を図 3.10 に示す。患者は画面中央のスライダーのつまみを移動させて痛みの程度を表現する。通常の VAS と同様に、左端が全く痛みがない状態を表し、右端がこれまでに経験したことがないほど激しい痛みを表す。つまみの位置が決まったら、決定ボタンを押して回答を終了する。

図 3.10: 痛みに関する VAS 画面

## 簡略版マクギル疼痛質問票

簡略版マクギル疼痛質問票を行う画面例を図 3.11 に示す。回答はラジオボタンの選択およびスライダーにより行う。ラジオボタンを選択して回答する項目は、その質問項目で複数ある選択肢のうち一つしか選択（チェック）することができない。元々選択していたものと別の選択肢を選択した場合、元々選択していた選択肢のラジオボタンのチェックは外れる。全質問に回答し終わったら、回答終了ボタンを押して回答を終了する。簡略版マクギル疼痛質問票の回答は、治療の前後でそれぞれ実施する。画面は治療前後で異なる記録であることを明らかにするため、背景色を変え、上部の表示も「治療後」と表示するようにしている。

## Sense of Agency に関するアンケート

Sense of Agency に関するアンケートを行う画面例を図 3.12 に示す。全 15 項目のすべてでスライダーによる回答を行う。左端を「そうは思わない」、右端を「そう思う」として、任意の位置にスライダーを移動させる。一つの項目ごとに、画面下部のボタンを押して回答を決定する。



SF-MPG (簡略版マクギル疼痛質問票)

2013年 4 月 30 日

質問1: 以下に痛みを表す15の表現があります。  
あなたの痛みの状態についてその程度を選択して下さい

|                    | 全くない                  | いくらかある                | 強くある                  | かなりある                 |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ①ズキンズキンと断続的痛み      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ②ギクッと走るような痛み       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ③突如刺されるような痛み       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ④鋭い痛み              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑤締め付けられるような痛み      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑥食い込むような痛み         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑦焼け付くような痛み         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑧うずくような痛み          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑨重苦しい痛み            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑩触ると痛い             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑪割れるような痛み          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑫心身ともにうんざりするような痛み  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑬気分が悪くなるような痛み      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑭恐ろしくなるような痛み       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ⑮耐え難い、身のおどろおどろしい痛み | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

質問2: 自分の痛みを表す位置につまみを移動させてください

安静時  痛みはない  これ以上の痛みはないくらい痛い

動かしした時

質問3: あなたの痛みの現在の強さはどのようなものですか?  
以下の6つのうちでお答え下さい

- ☐ まったく痛みなし
- ☐ わずかな痛み
- ☐ わずらわしい痛み
- ☐ やつかりで慣れない痛み
- ☐ 激しい痛み
- ☐ 耐え難い痛み

回答終了

図 3.11: 簡略版マクギル疼痛質問票

Visual Analog Scale Question from Okayama University

### Visual Analog Scale Question

この質問群は、あなたが今回のVR治療に関して感じたことを表現していただきます。  
下記のようなスライダーを用いて、  
左端を 0 (全くそうは思わない)、  
右端を 100 (そうだと感じる) として、  
として、スライダーのつまみを移動させて表現して下さい。

質問3) 私はディスプレイに表示されている右手の動きに  
対して右手の意識を重ねることができた

そうは思わない  そう思う

次の質問に進む

図 3.12: Sense of Agency に関するアンケート

## SF-36v2

SF-36v2を行う画面例を図 3.13 に示す。すべての項目をラジオボタンを選択して回答する。図 3.13 のように、いくつかの項目が一つの画面にまとめて表示される。質問ページは下部のボタンで切り替えることができる。最後の質問ページでは、右下のボタンが回答終了ボタンに変化する。回答終了ボタンを押すと回答が終了する。

問 9 : 次にあげるのは、過去 1 ヶ月間に、あなたがどのように感じたかについての質問です。  
(ア〜クまでのそれぞれの質問について、一番よくあてはまるものを選択してください)

|                                  | いつも                   | ほとんど<br>いつも           | ときどき                  | まれに                   | ぜんぜん<br>ない            |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ア) 元気いっぱいでしたか                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| イ) かなり神経質でしたか                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ウ) どうにもならないくらい、<br>気分がおちこんでいましたか | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| エ) おちついていて、<br>おだやかな気分でしたか       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| オ) 活力（エネルギー）に<br>あふれていましたか       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| カ) おちこんで、<br>ゆううつな気分でしたか         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| キ) 疲れはてていましたか                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ク) 楽しい気分でしたか                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ケ) 疲れを感じましたか                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

問 10 : 過去 1 ヶ月間に、友人や親せきを訪ねるなど、人とのつきあいが、  
身体的あるいは心理的な理由で、時間的にどのくらい妨げられましたか。  
(一番よくあてはまるものを選択して下さい)

| いつも                   | ほとんど<br>いつも           | ときどき                  | まれに                   | ぜんぜん<br>ない            |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

前の質問に戻る      次の質問に進む

図 3.13: SF-36v2

## EuroQoL 5 Dimension 日本語版

EuroQoL 5 Dimension 日本語版を行う画面例を図 3.14 に示す。一つの画面に全 5 項目が表示され、それぞれラジオボタンを選択して回答する。右下のボタンを押すと回答が終了する。

## 簡易疼痛調査票

簡易疼痛調査票を行う画面例を図 3.15 に示す。全 15 項目のうち、12 項目はスライダーによる回答を行う。また、1 項目は図 3.15(a) のようにラジオボタンによる二択の回答を行う。1 項目は図 3.15(b) のような身体を表す画面をマウスでクリックして回答



図 3.14: EuroQoL 5 Dimension 日本語版

する．患者が自らの身体部位で痛みがある部位をマウスで左クリックするとバツ印が描画され，バツ印が描画されている位置付近で右クリックするとバツ印が消える．バツ印は任意の数を描画できる．残りの1項目は，図 3.15(c) 上部のテキストボックス内に，キーボードによる自由記述で回答を行う．図 3.15 のように，いくつかの項目が一つの画面にまとめて表示される．質問ページは下部のボタンで切り替えることができる．最後の質問ページでは，右下のボタンが回答終了ボタンに変化する．回答終了ボタンを押すと回答が終了する．

### 疼痛生活障害評価尺度

疼痛生活障害評価尺度を行う画面例を図 3.16 に示す．一つの画面に全 20 項目が表示され，それぞれラジオボタンを選択して回答する．下部のボタンを押すと回答が終了する．

### HADS 日本語版

HADS 日本語版を行う画面例を図 3.17 に示す．一つの画面に 1 項目が表示され，それぞれラジオボタンを選択して回答する．画面下部に質問項目を切り替えるボタンがある．この電子調査票では，患者が同じ質問項目に繰り返し見直すなどして長時間悩まないようにするため，前の質問項目に戻るためのボタンをつけていない．すなわち，患者が一度回答した項目を変更できないようにしてある．

### 疼痛生活障害評価尺度

疼痛生活障害評価尺度を行う画面例を図 3.18 に示す．一つの画面に全 13 項目が表示され，それぞれラジオボタンを選択して回答する．下部のボタンを押すと回答が終了

(a) ラジオボタン選択部

(b) 対象部位選択部

(c) 自由記述部

図 3.15: 簡易疼痛調査票

する。

### 3.5.1 治療タスク実行中のデータ記録処理

治療タスク実施中の患者の動作に関する情報を記録するための処理について述べる。データ保存スレッド：必要に応じてメインスレッドが生成し、データのファイルへの保存処理を行う。

治療タスクの実行中、プログラム1ループ（約30 fps, すなわち0.03秒）ごとに動作データを記録する。動作データとして記録される情報は、前述のように使用するモーションセンサによって異なる。

ディスプレイに表示されるVRの腕の視覚的姿勢情報は4×4行列のデータで表現されており、その行列を記録する。また、VR環境内のオブジェクトをVRの手で保持しているか否か、保持している場合はどのオブジェクトかを記録する。

これらの治療タスク実行中の実際の腕の位置、姿勢や、VRの腕の位置、姿勢データなどはCSVファイルとして出力する。治療タスク実施中に、タスク実施アプリケーションが何らかの問題が発生して強制終了してしまう場合が考えられる。治療タスク

Pain Disability Assessment Scale (PDAS) 日本語版

この質問票は、あなたの病気（痛み）が、あなたの日常生活のいろいろな場面でおこなっている活動にどのような影響を及ぼしているかを調べるためのものです。以下にいろいろな動作や活動が書かれています。それぞれの項目について、最近 1 週間のあなたの状態を最もよく言い表している数字を選択して下さい。

|                               | 全く困難<br>(苦痛) はない      | 少し困難(苦痛)<br>を感じる      | かなりの困難<br>(苦痛)を感じる               | 苦痛が強くて、<br>私に行えない     |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 1. 掃除機かけ、庭掃除など家の中の雑用をする       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 2. ゆっくり走る                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 3. 腰を曲げて床のものを拾う               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 4. 買い物に行く                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 5. 階段を登る、降りる                  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 6. 友人を訪れる                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 7. バスや電車に乗る                   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 8. レストランや喫茶店に行く               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 9. 重いものをもって運ぶ                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 10. 料理を作る、食器洗いをする             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 11. 腰を曲げたり伸ばしたりする             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 12. 手を伸ばして棚の上から重いもの（砂糖袋など）を取る | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 13. 体を洗ったり、拭いたりする             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 14. 便器に座る、便座から立ち上がる           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 15. ベッド（床）に入る、ベッド（床）から起き上がる   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 16. 車のドアを開けたり、閉めたりする          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 17. じっと立っている                  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 18. 平らな地面の上を歩く                | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 19. 趣味の活動を行う                  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |
| 20. 洗髪する                      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> |

次の質問に進む

図 3.16: 疼痛生活障害評価尺度

Hospital Anxiety and Depression scale : HADS (日本語版)

この質問紙は、あなたが最近どのように感じているかをお尋ねするよう編集されています。次にあげてある 14 の問いを読み、それぞれについて 4 つの答えのうち、あなたのこの 1 週間のご様目に最も近いものを選択して下さい。それぞれの問いに長く時間をかけて考える必要はありません。パッとまず頭に浮かんだ答えの方が正しいことが多いからです。

問 2) まるで何かひどいことが今にも起こりそうな  
恐ろしい感じがしますか？

☐ はっきりあって、程度もひどい  
☐ あるが程度はひどくない  
☐ わずかにあるが、気にならない  
☐ 全くない

次の質問に進む

図 3.17: HADS 日本語版

Pain Catastrophizing Scale (PCS) 日本語版

この質問紙では、痛みを感じている時のあなたの考えや感情についてお聞きします。以下に、痛みに関連したさまざまな考えや感情が13項目あります。痛みを感じている時に、あなたはこれらの考えや感情をどの程度経験していますか。あてはまるものを選択して下さい。

|                              | 全く<br>あてはまら<br>ない                | あまり<br>あてはまら<br>ない               | どちらとも<br>いえない                    | 少し<br>あてはまる                      | 非常に<br>あてはまる                     |
|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. 痛みが消えるかどうか、ずっと気にしている      | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 2. もう何もできないと感じる              | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 3. 痛みはひどく、決して良くならないと思う       | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 4. 痛みは恐ろしく、痛みに圧倒されると思う       | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 5. これ以上耐えられないと感じる            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 6. 痛みがひどくなるのではないかと怖くなる       | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 7. 他の痛みについて考える               | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 8. 痛みが消えることを強く望んでいる          | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 9. 痛みについて考えないようにすることはできないと思う | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 10. どれほど痛むかわかることばかり考えてしまう    | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> |
| 11. 痛みが止まって欲しいということばかり考えてしまう | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |
| 12. 痛みを弱めるために私にできることは何もない    | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            |
| 13. 何がひどいことが起きるのではないかと考える    | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |

次の質問に進む

図 3.18: 疼痛生活障害評価尺度

が正常終了する時にデータをファイルとして出力する手法の場合、上記のような自体ではデータが残らず消えてしまう。また、治療タスクの実施中、データはコンピュータのRAMに保持している。コンピュータのRAM容量が少ない場合や長時間の治療では、データ量がRAMの容量を超えてしまいコンピュータに不具合を発生させてしまう可能性がある。さらに、ファイル出力処理は計算コストが大きく、時間がかかる。アプリケーションにおいて、VR空間の描画などを行う主スレッドでファイル出力処理を行うと、その処理を行っている間は画面描画が行われず、患者に違和感を与えてしまう。

これらの課題を考慮し、本システムでは治療タスク実施中にデータが一定量に達した場合、その都度CSVファイルとして出力するようにした。処理の流れの概要図を図3.19に示す。本手法では、データを保持するメモリ領域を2つ確保しておく。領域はそれぞれ4000フレーム分、タスク実行速度平均30 fpsで処理している場合では約2分間分のデータを記録している。データはまず、どちらか一方のメモリ領域（領域Aと表記する）を使用して保持される。この保持のための処理は主スレッドが行う。領域Aをすべて使用した場合、主スレッドは別のスレッド（サブスレッドと表記する）を生成する。そのサブスレッド上で、領域Aに保持しているデータのファイル出力処理を実行する。サブスレッドの生成と同時に、主スレッドはデータ保持に使用するメモリ領域をもう一つの領域（領域Bと表記する）に切り替えるサブスレッドは主スレッドと非同期に処理を行うため、サブスレッドが処理を行っている間も主スレッドは処理を継続する。すなわち、サブスレッドが領域Aのデータをファイルに出力している間、主スレッドは領域Bを使用してデータを保持する。ファイル出力処理が終了すると、領域Aのデータを削除し領域を初期化してサブスレッドは終了、消滅する。領域Bがすべて使用された場合も、上記のようにデータ保持領域をAに切り替え、サブスレッドで領域Bのデータをファイルに出力する。この際、ファイルはファイル名の末尾に連番

(1, 2, 3, ...) を付けて保存される。治療タスク終了時は、それまでにメモリ領域に保持しているデータをファイルに出力する。

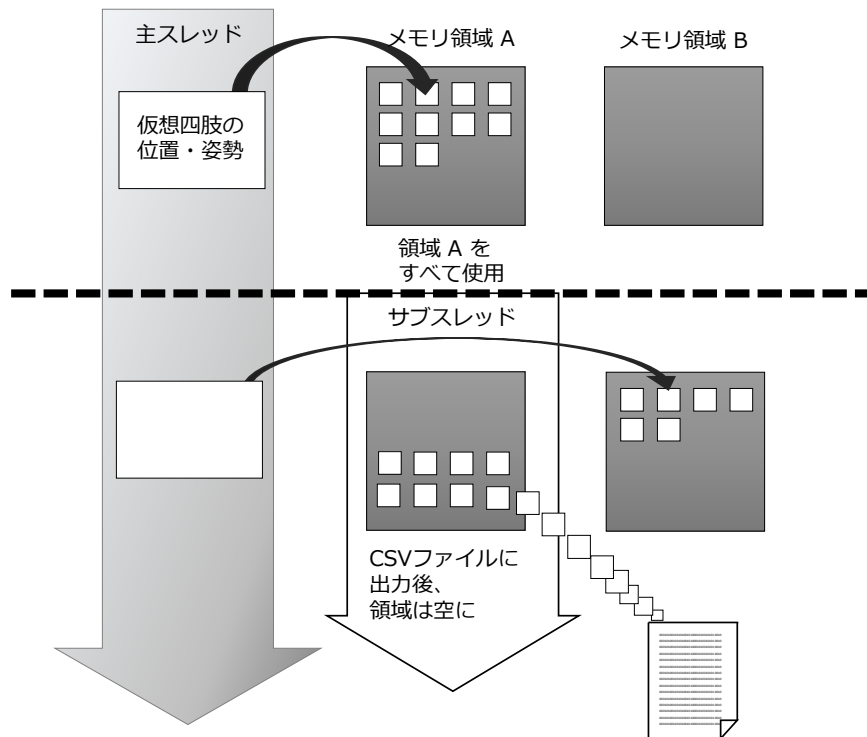


図 3.19: 治療タスク実施中のデータ保存処理手法

## 3.6 データ共有機能の実装

在宅用 VR-MVF システムに対する、患者の治療に関する情報を転送するための機能の検討および実装について述べる。なお、VR-MVF を行うコンピュータ、および本節で説明するデータベースサーバの双方にインターネット接続ができる環境が整っていることを前提とする。

患者の状態をデータとして記録した場合、そのデータには個人情報が含まれる。そのデータを記録、通信する上で、それらのデータは他者に容易に閲覧、改ざんされないように厳重に扱う必要がある。

### 3.6.1 サーバ構成の概要

サーバは OS に Linux, Web サーバに Apache, データベースに MySQL, 開発・実行言語を PHP を使用する LAMP 環境で構築している。サーバの詳細なハードウェアスペックを表 3.4 に示す。また、本システムに使用しているソフトウェアの詳細を表 3.5 に示す。

す。OSはCentOSを使用した。PHP5用のWebフレームワークにFuelPHPを使用した。また、セキュアな通信を行うためにOpenSSLを用いてサーバ証明書を作成し、サーバクライアント間での暗号化通信を行っている。

表 3.4: サーバのハードウェアスペック

|                                       |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| VT64 WorkStation 9500 X-I             |                       |
| (made by Visual Technology Co., Ltd.) |                       |
| CPU                                   | : Intel Xeon 5675 × 2 |
| RAM                                   | : 24GB                |
| HDD                                   | : 320GB for System    |
|                                       | 2TB for Database      |
| GPU                                   | : NVIDIA Tesla C2075  |

表 3.5: サーバのソフトウェアスペック

|            |                 |
|------------|-----------------|
| OS         | : CentOS 5.7    |
| RDBMS      | : MySQL 5.0.77  |
| Web server | : Apache 2.2.3  |
|            | PHP 5.3.3       |
|            | FuelPHP 1.7     |
| SSL        | : OpenSSL 0.9.8 |
|            | mod_ssl 2.2.3   |

### 3.6.2 データ通信用 WebAPI の概要

サーバはPHPを用いて、特定のURLにアクセスされた場合、そのアクセスに付随するPOST情報を用いて各種処理を行い、レスポンスを返すWebAPIを構築してある。サーバはWebサーバ(Apache)を起動し、通信を受け付ける状態にしておく。コンピュータとデータベース間の通信はSSLを用いたHTTP通信(HTTPS)にて行われる。また、患者個人の情報が保存されているユーザリストの存在するデータベースは暗号化処理を行っている。

WebAPIは以下の機能のものを構築した。

- ・ 個人認証用ログイン機能

- ・ ログアウト機能
- ・ 各VR-MVF治療ごとのデータ登録機能
- ・ 各電子調査票回答データ登録機能
- ・ 治療タスク中の運動データ登録機能
- ・ データベース内データ取得機能

それぞれの機能で異なるURLが割り当てられている。また、ログイン機能以外は実行するためにログイン状態である必要があり、ログインしていない場合は処理を拒否される。ログイン状態はデータベースでセッションを用いて管理しており、ログイン状態であるかどうかは通信にCookieをつけて行うことで確認している。ログイン状態は同じユーザアカウントで同時に1台の機器でのみ維持される。あるアカウントが一つの機器（コンピュータ）でログインしている場合、別の機器から同じアカウントでデータベースサーバと通信はできない。別の機器から同じアカウントで通信を行う場合は、それまでにログインしていた機器においてログアウト処理を行う必要がある。

患者側コンピュータでは前章のGUIアプリケーションが通信を行う。患者側コンピュータでは、すべての通信プロセスが一連の手順の中で自動で行われるため、患者が操作する必要はない。データは上記のようにHTTPS通信で送受信される。患者側コンピュータからはHTTPメソッドにPOSTを指定してパラメータを設定し、実行する機能に対応するURLにHTTPリクエストを送信する。患者の情報を送信する場合、一度CSVファイルとして保存されている内容を読み取った後、それらの値をPOSTパラメータに指定して送信する。送信されたこれらの内容はデータベースに記録される。例外として、運動データを保存しているCSVファイルはそのままサーバに送信し、サーバ内部で内容の読み取りおよびデータベースへの記録が行われる。

### 3.6.3 通信・データ記録プロセス

データ通信プロセスの概要図を図3.20に示す。まず、患者のコンピュータからデータベースサーバに、個人認証を行うためにIDとパスワードが送られる。サーバはそのIDとパスワードが正しい組み合わせかどうかデータベースを参照して確認し、その結果として正しい組み合わせであった場合のみ、ログイン状態を示すCookieをつけて返信が返る。なお、この時に使用するIDとパスワードは患者が治療を開始する際に入力するものを使用するため、基本的にはログインが成功するようになっている。以降、データの通信セッションが開始され、ログアウト処理を行うまでCookieをつけて通信が行われる。

電子調査票の回答データは、CSVファイルとして保存されている内容をGUIアプリケーションで読み込み、それぞれPOSTパラメータとして設定する。HTTPS通信でサーバにPOSTパラメータで設定したデータを送信し、サーバはそのデータの中身や



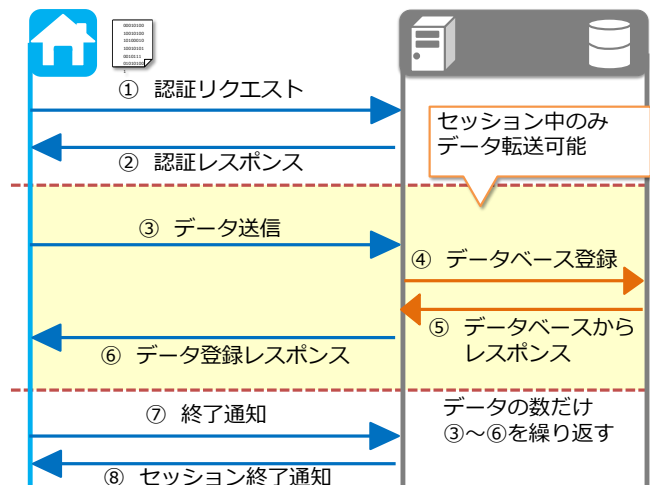


図 3.20: 患者コンピュータ－サーバ間データ通信プロセス

組み合わせが正しいものか検証する．正しい内容，組み合わせであった場合，それらに対応するデータベースに記録する．これらのサーバ内部処理の結果を，HTTP レスポンスとして返信する．組み合わせが正しくない場合などは，それを表すエラーコードがレスポンスとして返信される．

運動データの場合は内容が多いので POST パラメータとしては送信せず，ファイルをそのままサーバにアップロードする．サーバ内部で CSV ファイルの読み込みが行われ，内容の検証が行われる．

患者側コンピュータがデータをすべて送信し終わった場合，終了通知としてログアウト申請が送られる．サーバ内でログアウト処理が行われレスポンスが返り，セッションが終了する．

### 3.7 まとめ

本章では患者が VR-MVF を用いて行う治療過程で記録され，医療従事者と共有されるべき痛みに関する情報および運動に関する情報を整理した．また，在宅用 VR-MVF システムに対して，痛みに関する情報を記録するための電子調査票や，VR-MVF 治療タスク実施中の患者の運動に関する情報の記録機能を実装した．さらに，各種情報を管理するデータベースサーバを構築し，在宅用 VR-MVF システムからデータベースサーバへデータを転送する機能を実装した．

なお，本章で実装した機能を実装した在宅用 VR-MVF システムの動作に関する検証については，後述の第 5 章で説明する．



# Captologyを援用した外装的グラフィカルユーザインタフェース

本章では、患者の治療意欲を阻害する要因を考察し、整理する。また、それらの要因に対してコンピュータによる説得概念の Captology を援用し、解決策を検討する。

## 4.1 治療意欲阻害要因の検討

患者の治療意欲阻害要因を検討するためのアプローチとして、下記の二つの方略を取った。

- ・ 各種モデルに基づく慢性疼痛患者の状態判別
- ・ 慢性疼痛患者を扱う医療従事者への聞き取り調査

### 4.1.1 慢性疼痛患者の状態の考察

患者の治療意欲について考察する上で、患者がどのような状態であるかを把握しておくことは重要である。本研究では、(1) 危機モデルおよび (2) Fear-Avoidance Model の二つから患者の状態を推察する。

#### 危機モデルに基づく慢性疼痛患者の状態の考察

医療現場では医療従事者を含む援助者が患者の状態を把握し、援助者が何をすべきかを考える上で、段階理論に基づく患者の危機モデルが用いられる。危機モデルは患者が深刻な病気や怪我などの危機的状态に陥った場合に、危機の受容・適応に至るまでのプロセスをモデル化したものである。また、危機受容までのプロセスがあるという考えは段階理論 (stage theory) と呼ばれている。これまでに Cohn, Fink, 上田らなどによって患者状態に応じた様々なモデルが構築されている [96, 97, 98]。例えば、Cohn の危機モデルでは突然の身体障害を受けた患者が障害受容に至るプロセスとして、ショック (Shock), 回復への期待 (Expectancy of recovery), 悲嘆 (Mourning), 防衛 (Defence), 適応 (Final adjustment) の5段階があるとしている。Cohn, Fink, 上田の提唱するモデルを表 4.1 に示す。

表 4.1: Cohn, Fink, 上田の危機モデル

| 提唱者  | 危機プロセス                               | 概要                             |
|------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Cohn | ショック → 回復への期待 → 悲嘆<br>→ 防衛 → 適応      | 突然の身体障害を受けた患者が<br>障害受容に至るプロセス  |
| Fink | 衝撃 → 防御的退行 → 承認 → 適<br>応             | 中途障害者として脊髄損傷患者<br>を対象としている     |
| 上田   | ショック期 → 否認期 → 混乱期 →<br>解決への努力期 → 需要期 | 障害受容 (= 価値観の転換) に至<br>る段階をモデル化 |

糖尿病などの慢性的な疾病は多くの場合、患者本人に食生活の乱れなどの原因がある。本研究で対象とする慢性疼痛は、不意の事故など、患者本人には直接的原因がないことが多い。そのため、患者は症状発生の事実を受け入れにくく、精神的ショックを受けやすい。このことから、慢性疼痛患者を多く扱う岡山大学病院麻酔科蘇生科ペインセンターで勤務する医師は、Cohnの危機モデルは慢性疼痛の発生からの心理的プロセスと類似しており、受診する患者の多くはCohnのモデルにおける回復への期待、または防衛の段階にあると考えている。一方で、実際には段階理論で考えられているように順序を踏んで一方向に受容に進むだけでなく、症状の悪化などによって段階を逆行する場合もある。慢性疼痛を扱う医師たちはそれまでの経験から、受診するほぼすべての患者は回復への期待段階でなくとも、少なからず回復への期待を持っており、それが治療に対する動機となっていると予想している。以上を踏まえ、分析では患者がCohnのモデルを参考に患者の精神状態を推察する。

### Fear-Avoidance Modelに基づく慢性疼痛患者の状態の考察

Fear-Avoidance ModelはLethemらにより提唱された、痛みに対する反応と痛みの慢性化との関係を表すモデルである。図 4.1にLeeuwらが作成したFear-Avoidance Modelの概念図[99]を示す。このモデルに基づく、人が負傷などにより痛みを体験した際、痛みに対する不安を持たない場合はその痛みと対峙することができ、やがて回復する。一方、不安感や無能感を持つ、すなわち破局的な思考をする場合はその痛みを悲劇的に解釈してしまう。否定的な感情や病気に関する情報はその人の悲劇的解釈を強める。悲劇的な解釈をすることで痛みに対する恐れや不安が引き起こされ、痛みを引き起こしうる行動に対し過剰に逃避や回避を行うようになる。その結果、痛みを有する罹患部を動かさなくなり、身体能力の低下に伴う廃用や身体障がい、抑うつ、社会生活への適応障がいに繋がってしまう。この痛みに対する破局的思考と回避行動の悪循環により、痛みが慢性化する。

このモデルは本研究で対象とする慢性疼痛患者に対しても同様に適用することができる。痛みの原因や明確な治療法が確立されていない今日では、患者は痛みに対す

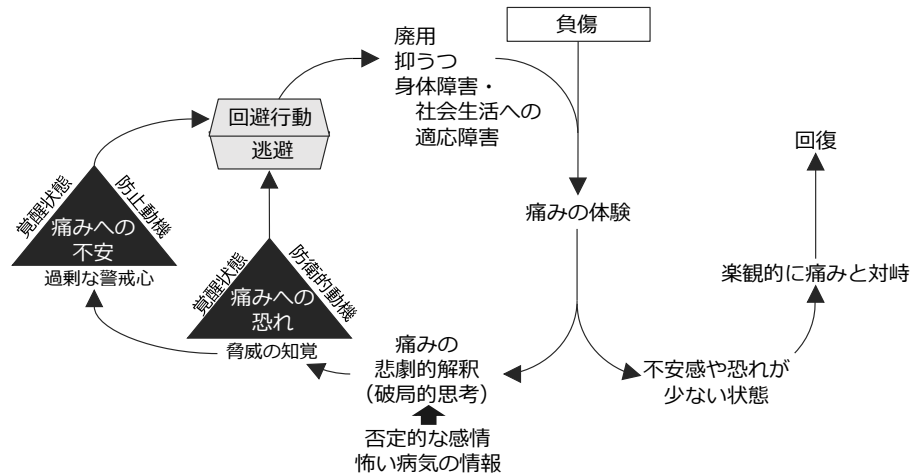


図 4.1: Fear-Avoidance Model ([99] を翻訳, 一部改変)

る不安や無力感を感じやすい。その不安や無力感が、患者が痛みを伴う日々の生活や治療に対し消極的となる要因だと考えられる。

#### 4.1.2 医療従事者への聞き取り調査

従来の治療プロセスにおける患者の治療意欲を阻害する要因を検討するため、VR-MVF 治療に関わる医療従事者に対し、患者の治療への意欲を維持・向上させるための行動について聞き取り調査を行った。聞き取り調査は痛みに対する診療を主とする痛み外来を有し、かつ佐藤らが開発した VR-MVF 環境 [66] を有する岡山大学病院麻酔科蘇生科ペインセンターにて実施した。1 年以上の勤務実績があり、VR-MVF 治療に 3 ヶ月以上関わった経験を持つ看護師を募った結果、女性看護師 3 名の協力を得た。以下、各看護師を NA, NB, NC と呼称する。また、長年この治療に携わってきた経験を持つ男性医師に協力を得た。以下、この医師を DA と呼称する。聞き取り調査は半構造化方式を採用し、(i) 患者がリハビリ意欲を失うことはあるか、(ii) 患者の治療への意欲を高めるための工夫をしているか、に関連する事項について掘り下げた。聞き取り調査実施時間は一人あたり、およそ 20 分だった。分析では、聞き取り調査中の医療従事者の発言を内容に応じてコードをつけ、類似する内容の発言をまとめて整理した。その後、整理された発言群から、患者の治療意欲に影響すると思われるものを抽出した。

#### 患者の効果への期待

VR-MVF を実施している患者が意欲を失うかどうかについて、聞き取り調査に参加した医療従事者は以下のような発言をしている。

(2014年7月7日)

三宅：(患者がVR-MVFを実施する際に)担当して見られてる間に、患者さんがリハビリをもうやめたいなっていうような、意欲をそもそも無くしているような状態っていうのは見られることはありますか？

NB：それはないです。

三宅：途中でしんどくなったからやめようっていうのとかは？

NB：のもとりあえず当たったことはないですね。はじめに患者様が15分とか10分とか設定されて、今日何分しますか？っていうことで。で、それで、行って、もうちょっとできそうって言って延長することはあっても、早めにもうしんどいからブザーが鳴ってっていうのは私は経験ないです。

三宅：ほうほう。

NB：あと5分延長しますとか、10分延長しますって言われたらもう一回タイマーかけてもう一回声かけますねって言って。もししんどくなったらそれまでね、あの、自分ではできそうでもできないことがあるかもしれない、そうしたらこのブザーを鳴らしてくださいって言って、できるところまでじゃあがんばってください、ということでお願いしています。

上記発言では、患者はVR-MVFを行っている最中では意欲を失って中断するようなことがほとんどないことを述べている。他3名の医療従事者からも同様の発言が確認された。

しかしながら、慢性疼痛患者の診察を行う医師DAは以下のようにも述べている。

(2014年7月7日)

三宅：その途中でやめられるってなると、さっきの患者さんみたいに痛みがひどくなったっていうのが多い？

DA：いや、あそこまで激しい痛みの方はこれまでおられなかったの。どちらかというと、う～ん、痛み自体が楽になってきていて、自然にもうバーチャルいよねってバーチャルから卒業するような形で、バーチャルの治療を一旦止める、それは痛み自体が良くなっていった方もおられるし、あとはもう痛みがほとんど変わらずというか。で、そのバーチャルがそれほど著効しなかった方っていうのも。でも、まあちょっとやめようかっていう方も何人かおられますね。

三宅：そのやめようか、になるまでの期間の目安みたいなのはありますか？

DA：いや、それはないですね。その人自体が、だからどのくらいやって、たとえば10回やって効果が無いからやめましょうみたいな感じ。少なくともバーチャルではそういうプロトコル的なものっていうのはまだないですね。本人さんとのケースケースで相談しながら。

三宅：相談しながら．実際これまでの〇〇さんとかの流れ見てても，10回だとあんまり効果がぱっとでないような感じがあるんですけど，それでも患者さんとしては，もういいやってなる感じですかね？

DA：個人によってね～．個人差は大きいですよ．すぐ諦めちゃう人っていうか，すぐ諦めちゃうっていうんじゃないで，すぐ効果を期待される方と，効果が出ないと，こりゃ効かんわ，っていう風にすぐに考えられる方と，〇〇さんのようにずっと続けられる方と．これはちょっと一概には…ですね．僕らも，その～，バーチャルで効果もある人も見てきたし，もちろん効果が無い人も見てきたけど，どのくらいやればいいんですっていうのが個々のケースで違うから，なかなかこう本人があんまりやる気がなくなってきたっていうか，本人自体があんまりこれやっても効果を実感できないっていう人に，いやそんなことないんですよ，何回も，例えば100回続けなきゃ効果が出ないんですよっていうのが言えないっていうのが．僕らもそういうデータがないので．何回やったらいいか．だから本人がもういいっていうのを，そこを無理にまだ続けましょうっていうのはなかなか言えないですね．

ここから，個人差はあるものの患者は治療に対する効果を期待しており，その効果が感じられない場合には治療を継続することができない患者がいることがわかる．

#### 支援者への負担に対する患者の意識

看護師NCは，診察に来た患者と行う会話について，以下のように発言している．

（2014年7月7日）

三宅：やっぱその，そこから周りの状況を聞くっていうようなこともありますか？  
世間話して，なにかその環境，じゃないですけど，今の生活する上でのストレスとか．

NC：あ．うんうん．そうそう．それはあるかもしれない．いつもこう体が不自由だけど，お家ではどうされているのかとか，そういう話．じゃあご主人に手伝ってもらってるんですかとか，あんまり負担掛けたくないんですよとかって言われる人もおられるし．家庭のことを話をされる人もおられるし，仕事の話を，前はこうこうこうでこうだったんですとか，あと，食事？ おばあちゃんに食事作ってもらって，おばあちゃんばかりに負担かけたらいけないからとか，そういう話をしてくださる人，家庭の話をね．主婦の人とかは．やっぱり女性同士だから話がし易いのかなと思ったりするんですよ．

三宅：ちょっと今感じたのが，患者さん，負担かけたくないって思いがあるんですかね？

NC：患者さん？家事？

三宅：まあ、家庭ですとか仕事ですとか。

NC：あ～、なんか、家事ですとか、車いすで来られてる、何さんだったっけ？ 人？…とかも、やっぱり制限されるじゃないですか。そうすると、ご主人も一生懸命で家事も手伝ってくれてるんだらうなとか、仕事のご主人の仕事も忙しいんですとか言われたら、ああ、大変なんだとか、ご主人の迷惑をなるべくかけんようしたいけど、でも手伝ってんと仕方がないんだらうなとか。もう一人の女性の人は、仕事の合間に来られるんだけど、子供さんもおられて、おばあちゃんに食事の準備をしてもらったりしてるんだとかって話をして、じゃあ協力してもらってるんですねとかいって、ねぎらいの言葉とかをかけたりするんですよ。

患者は痛みや運動障碍のために活動が制限されていることも多い。そのため、多少なりとも程度の差はあるが、家族など周囲の人の支援を受けつつ日常生活を過ごすことが多い。しかしながら、上記の発言のように、患者によっては支援を受ける場合にその支援者に対して負担をかけていると考える、また負担をかけたくないと考える場合があることがわかる。

## 患者の痛みの変化

(2014年7月7日)

三宅：終わりのときにどんな言葉かけたりっていうのはありますか？

NA：う～ん、痛みの程度聞くのがあるので、まあ、ちょっと良くなったとか、あんま変わらないとか、そういうこと、痛みの程度とか。それこそ疲れてないとか。ですかね。大体毎週来られてる方なので、ほんと世間話ですけど。そのぐらいですかね。

三宅：世間話。なるほど。で、実際その、なんか痛いとかっていうような、聞いた時に患者さんの反応ってだいたいどういうものが返ってきますか？

NA：そうですね～。だいたいあの、いつも来てる方は、あんまり程度は変わらないかな、でもまあやった方がいいかな、っていうような感じで。う～ん、どんな感じですかね～。...

：

三宅：特にこっちのバーチャルでやってる（VR-MVFの治療タスクの）結果とかで何か言ったりとかっていうことはあまりない感じですか？

NA：やった後で？　そうですね～．やった前後で，そうですね～，やったから，やった後がすごくいいって方があまりいないので．まあ，日々こうやっていく…そうですね，やってすごいよく，その時に良くなったっていう，まあ点滴みたいにそういう感じがしないので．　そうですね，頑張ってされましたねっていうような感じですかね．

これらの発言から，医療従事者はVR-MVFを実施している慢性疼痛患者から，患者が日常的に痛みを感じていること，VR-MVF実施で鎮痛等の効果を感じていないことを聞いていることがわかる．

### 医療従事者の職務

患者がVR-MVFを実施するに当たり，佐藤らの開発したシステム [66] は患者身体への各種センサの装着が必要となる．調査を実施した岡山大学病院麻酔科蘇生化ペインセンターでは，看護師がセンサ類の着脱やシステム操作を行っていた．

このような業務を行っていた看護師NCは以下のような発言をしている．

(2014年7月7日)

三宅：特にその，バーチャルの画面の中での状態を見て，何かを言うってことはあまりない感じですかね？

NC：そうですね．そこまでゆっくり見て，今日どうですかっていうほど，ちょうどお昼時で一人休憩に入って二人でやってる時なので，そこに一人こもってしまうと，やっぱりね，業務に差し支えてもう一人がね，ちょっと困ってしまうので．なかなかやっぱりこう，時間帯もちょうど忙しい時だから，ですね．夕方とかもうちょっと余裕がある時だと，私らももうちょっと見られたりとかあるのかもしれないですけど，なかなか昼の休憩入りながらの忙しい時なので．ゆっくりしたい気持ちはあってもなかなか難しいのが現状です．

三宅：やっぱり中，バーチャルの治療の中身自体には声をかけるのは時間とか体力的には難しい？

NC：そうですね．タイミングですね．

三宅：タイミング？

NC：はい．でも誰も患者さんがいなくて，先生が「はいこの処置します」みたいな声もかからなく，何もないような感じだったらね，今日どんな感じか，どういうふうにやってるか見たい気持ちはあるんですけど．

三宅：現状では難しい？

NC：はい．残念ながら．

観察を実施した岡山大学病院麻酔科蘇生科ペインセンターでは、観察当時は看護師3人体制で業務を行っていた。患者がペインセンター内でVR-MVFを実施するのは昼間であり、その時間帯では医療従事者は業務を行う人数の一時的減少により多忙となることがわかる。そのため、医療従事者がVR-MVFを実施している患者に声をかけたり、どのような動作を行っているのかを観察することに興味を持っているにも関わらず、実際にそれらを行うことは困難となっている。

## 治療意欲

看護師NAは患者の治療について以下のように発言している。

(2014年7月7日)

三宅：その、痛いとかしんどいとかっていう患者さんがおられた時に、何か、その患者さんに続けてもらおうっていう工夫はありますか？

NA：工夫ですか？ 基本はあの、あんまり頑張りすぎて、そのあともっとしんどくなって痛みがでたらいけないと思って、そんなに無理をしないようには言ってます。どちらかという、もう、患者さんは逆に頑張ってされようとする方が多くて、無理しない程度に、てこっちが言うことの方が多いですね。頑張ってもうちちょっとしましうって言うことはあまり言わないですね。

また、医師DAは同様に以下のような発言をしている。

(2014年7月7日)

三宅：（治療を行う患者に対し、）この症状があるからこれはしてはいけないっていう、日常生活的なのは？

DA：ないですね。ただ、痛みがもし増強するのであれば、そのしてる途中にね、それ以上無理をしてするのはやめましようっていうような言い方はしますね。だから出来る範囲で、患者さんが出来る範囲で、自分の、この前の〇〇さんじゃないけど、自分のペースでやってくださいっていうのは、まあ努めますよね。だから何分しましうっていうのも、僕が決めるんじゃないって、患者さんが何分できる、だから今までに1時間ぐらいたる人もいるし、今日の人みたいにしんどかったら5分でも10分でも…だから今△△さんも毎週来られてるけどだいたい10分15分くらい自分で決められた時間をやって帰っていけるので。という感じですかね。

これらの発言から、意欲の高さから長時間治療タスクを行う患者が存在することがわかる。また、医療従事者はそのような長時間の治療タスク実施が痛みの増悪を引き起こす可能性を考え、望ましくないと考えている。



## 4.2 治療意欲阻害要因の検討

以上から、本研究では慢性疼痛患者が鏡療法やVR-MVFを治療として行う上で存在する、治療意欲を阻害する要因を下記の三つに分類した。

一つ目の要因は、治療プロセス上の患者の負担が大きいことである。慢性疼痛は特殊な治療を受ける必要があり、通院が欠かせない。しかし、患者が通院して治療を行う時間を確保できない場合があることが確認されている。患者が自宅で治療を行える環境を用意することで通院の手間は省くことができるが、それにはいくつか課題が存在する。VR-MVFのプロセスには、システムの操作、鏡療法タスク、患者の健康状態を把握するため一定期間毎に実施される調査票の回答がある。しかし、従来の治療ではそれらの各プロセスは連携されていなかった。また、従来のVR/MVFシステムは医療従事者により立ち上げ・初期設定の操作が行われることを前提としていたため、鏡療法を行う機能のみが実装されていた。しかし、在宅での治療は、医療施設と異なり医療従事者の補助を受けられない。また、家族からの支援も常に受けられるわけではなく、支援を受ける場合にも患者がやましさを感じてしまう可能性がある。そのため、患者はそれらの治療に関する各プロセスを独力で理解・記憶・実行しなくてはならず、その実施手順に関して指導を受ける必要があった。

二つ目の要因は、患者が治療の効果を実感しづらいことである。従来の鏡療法やVR/MVF治療ではVisual Analog Scale (VAS) により患者の痛みの程度のデータを収集していた。痛みの程度の変化は日々の治療の効果を表すことができると考えられる。しかしながら、そのようなデータは患者に客観的な治療効果の指標に変換してフィードバックしていなかった。このため患者は治療効果を感じることができず、先行きが不透明な上に終わりの見えない単調な治療を続けることになる。このことに患者は不安や無力感を感じ、治療意欲を喪失してしまう。

三つ目の要因は、痛みを有することによる気分的な落ち込みや自らの状態を受け入れられないことである。慢性疼痛は完治することが難しい。Dudgeonの調査では、患者にとって痛みは人生をともにする一部分であると述べられている[100]。これはCohnの危機モデルに当てはめると適応の段階、すなわち生活に痛みが伴うことを受容している状態を指すと考えられる。実際には、患者がそのような精神状態に至るまでに、悲嘆のように精神的に落ち込む状態が多い。前述のように、本研究で対象とする慢性疼痛患者はその症状発生の事実を受け入れにくく、精神的ショックを受けやすい。Fear-Avoidance Modelでも示されているように、慢性疼痛患者が自分の状況に直面せず喪失に対処しない場合、うつ状態になる可能性が高い[20]。そのような状態において生じる破局的思考は、治療を行う意欲を失わせ、さらなる痛みの慢性化を引き起こす恐れがある。

一方で、患者がやりすぎるほど熱心に治療を行う場合があることも、患者が防衛の

段階であると考えられることで説明ができる。すなわち、回復への期待を持っていることに加えて自らの現状を受け入れられないために、治療を行うことで精神的安定を図ろうとしているとも捉えられる。ただし、無理な治療は症状の悪化を招く恐れがある。また、元の状態に戻らない、痛みとともに過ごすという事実を受け入れられず、完治を目指してドクターショッピングなどの行動を取ることも想定される。患者の望ましくない振る舞いをする場合に対し、患者の心理状態に応じて適切に情緒的な支援を行うことが望まれる。

以上の三つの治療意欲阻害要因を解消するため、本研究では Captology の概念に着目した。

### 4.3 Captology

Captology とは、Fogg により提唱された「人の態度や姿勢、行動を変えることを目的として設計された対話型のコンピュータ製品のデザイン、研究、分析」に焦点を当てた学術領域である [11]。Captology の名称は “computers as persuasive technologies” から取られたものであり、説得のための技術のうち、特にコンピュータによるものに着目している。今日では機械や製品の中に計算機としてのコンピュータが埋め込まれていることが多いことから、現在の該当研究領域ではコンピュータに関するものであっても Persuasive technology の名称が用いられることも多い。Captology の領域において、説得とは「ものの考え方・態度・行動を本人の意思で自発的に変えようとする働きかけ」のことを指す。Captology は、図 4.2 に示すようなコンピュータ技術と説得の理論が交わる領域を扱い、人とコンピュータとのやりとり、すなわちヒューマン・コンピュータ・インタラクション (Human Computer Interaction) に注目している。また、対話型の技術の内部に組み込まれた、意図された説得の効果にのみ注目する。これは、コンピュータを介した人と人のやりとりや、第3者など外部からの働きかけによる説得を取り扱わないことを意味する。

コンピュータによる説得は、他の媒体や人による説得と比べ、以下のような優位な点がある。

- ・ 一日中、繰り返し説得を行う辛抱強さ
- ・ 匿名での参加を許可し、プライバシーを保護する匿名性
- ・ 人が処理しきれないような膨大なデータを保存、アクセス、処理する処理能力
- ・ 映像、音声など、あらゆる形態とその組み合わせで情報を伝える表現力
- ・ ソフトウェアによる比較的容易な拡張性
- ・ あらゆるものに組み込まれており、人の入ることのできない場所にも説得のために存在する偏在性

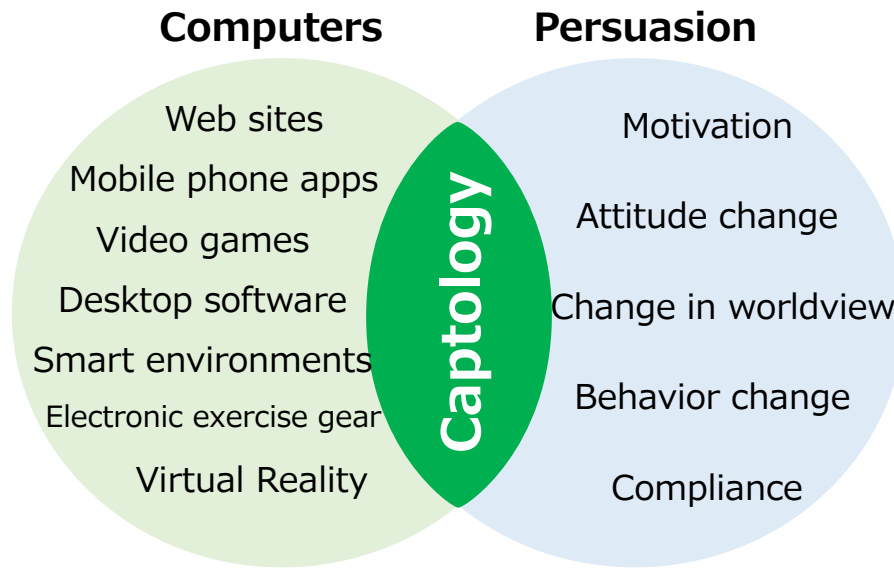


図 4.2: Captology の領域

このような優位点を活用することで、コンピュータは疲れ知らずなユーザの支援者として働くことができる。

Captology では、コンピュータには、(A) 人の能力を向上させるツール、(B) 人に疑似体験を提供するメディア、(C) 人との関係を築くソーシャル・アクターという3つの振る舞いを行うとしている。それらの振る舞いは、それぞれ異なる説得のための原理を用いる。コンピュータ製品の多くは、これらの振る舞いのうち2つ以上を併せ持つ。

説得を行うコンピュータシステムは健康行動への介入にも有用だと考えられる。例えば、Chick Clique[12], Fish'n steps[13], Ubifit Garden[14], Flowei[15]などはユーザに対して進捗情報などを提供することで、ユーザの運動や食事に対する意識を変えようとする。今日では、コンピュータシステムがユーザの健康行動改善のためのコーチとして振る舞う場面は複数確認できる[101]。例えば、ナイキ社のNIKE+<sup>1</sup>やアディダス社のmiCoach<sup>2</sup>のようなランニング支援アプリは、ユーザに対して能動的に働きかけるコーチとして働いている。一方、健康に関する情報を得たいユーザに対しては、その要望に応じて働くコンシェルジュとして振る舞うことも考えられる。NTTドコモ社が提供するスマートフォンアプリであるしゃべってコンシェル<sup>3</sup>や情報推薦機能を有する検索サイトはコンシェルジュとして振る舞うコンピュータの一例である。

本研究では、慢性疼痛患者の治療意欲阻害要因を解消し、治療に対する意欲を向上させるため、コンピュータから積極的にユーザに働きかけるコーチとして振る舞うことが望ましい。以降では、患者の治療意欲阻害要因解消のための仕組みとして、

<sup>1</sup>ナイキジャパン, <http://www.nike.com/jp/ja-jp/c/nike-plus>

<sup>2</sup>アディダスジャパン, <http://adidas.jp/mi/micoach/product/app/>

<sup>3</sup>NTTドコモ, [https://www.nttdocomo.co.jp/service/shabette\\_concier/](https://www.nttdocomo.co.jp/service/shabette_concier/)

表 4.2: Captology において定義されている説得原理

| 振る舞い       | 説得のための原理    | 概要                                                                                       |
|------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| ツール        | 手順の省略       | 行動のために必要な仕事・手順を簡単に済ませられるようにしてユーザの対コスト効果を上げることによって、その行動をユーザが自らすすんで行うよう働きかける               |
|            | トンネリング      | 一連の手順・体験に導きながら、一気に説得していく状況を作る                                                            |
|            | カスタマイズ      | 使う個人のニーズや関心、性格、状況など、あらゆる要素の関連が深い情報を提供することで、提供する情報の説得力が高まる                                |
|            | 提案          | 最適なタイミングで情報を提供することで効果的にユーザを説得する                                                          |
|            | 自己監視        | ユーザの状態や進み具合をわかりやすく知らせることで、ユーザが予め設定した目標や結果を達成しやすくする                                       |
|            | モニタリング      | ユーザが行動や振る舞いを変えようとしている状態を明示的に監視する状況を作ることで、ユーザの行動変容を促す                                     |
|            | 条件付け        | ユーザに正の強化を与えることで、ユーザの複雑な動作の形成や動作の習慣化といったプロセスを支援する                                         |
| メディア       | 因果関係        | 原因と結果の間の関係をシミュレーションによりその場で確認できるため、態度や行動を変えるように説得できる                                      |
|            | バーチャル・リハーサル | 行動をリハーサルできるような動機付けシミュレーション環境を提供することで、現実世界における態度や行動を変えさせることができる                           |
|            | バーチャルな報酬    | バーチャルな世界で目的を達成した時に報酬を与えるコンピュータ・シミュレーションを使用することで、ユーザは現実の世界においても、目的とする行動を繰り返し、効率的に行えるようになる |
|            | 因果関係        | 日常生活で使えるように設計された携帯型のシミュレーション・テクノロジーにより、特定の行動がどのような影響をもたらすのかが鮮明になり、態度を変えようという気になる         |
| ソーシャル・アクター | 魅力で惹きつける    | 対象となるユーザにとって魅力的に映るコンピュータ・テクノロジーは、より高い説得力を持つ                                              |
|            | 類似性         | どこか自分と似たところをもつコンピュータ製品に、人は説得されやすい                                                        |
|            | 称賛          | 言葉や画像、記号や音を使って人に称賛を与えることにより、コンピュータ・テクノロジーは説得を受け入れやすい状況にユーザを導くことができる                      |
|            | 互助主義        | コンピュータ製品が自分を助けてくれたと感じる時、それに対して人はお返しをしなければと感じる可能性がある                                      |
|            | 権威者         | 権威のある役割を思わせるコンピュータ・テクノロジーは、説得力をより高めることができる                                               |

Captologyにおける説得のための諸原理を組み合わせて治療に使用するVR-MVFシステムへ導入することを検討する。

## 4.4 導入する説得原理の検討

第4.2節で挙げた各治療意欲阻害要因を解消するために、Captologyにおける説得のための諸原理のうち、手順の省略、トンネリング、セルフモニタリング、称賛の導入を検討した。

### 4.4.1 手順の省略とトンネリング

治療プロセス上の患者の負担が大きい問題に対しては、手順の省略の原理およびトンネリングの原理の適用が考えられる。手順の省略の原理やトンネリングの原理は、主要タスク達成を支援する目的で頻繁に取り入れられている[102]。手順の省略は文字通り、本来ユーザが行うべき手順をコンピュータが代わりに行うことで、ユーザが対象となるタスクを行うために必要な作業を減らし、タスクそのものに取り組むことを容易にするというものである。Amazonをはじめとするネットショッピングでログイン状態の場合、ボタンを一度クリックするだけで購入手続きが完了する1-Click機能は、手順の省略の一例である<sup>4</sup>。

トンネリングは、コンピュータテクノロジーを使って、一連の手順や体験に導きながら一気に説得する状況を作る、というものである。コンピュータアプリケーションのインストーラーはトンネリングの原理を利用する一例である。アプリケーションのインストール過程で他のソフトウェアのインストールを提案することで、そのソフトウェアがインストールされるよう動機づけられる機会を生み出すことができる。また、もともとアプリケーションをインストールすることに動機づけられているため、ユーザにとってインストールプロセス上では他のソフトウェアをインストールすることも一連の流れとして考えるようになり、結果としてソフトウェアがインストールされやすい状態となる。

これらの原理をシステムに適用した場合、負担を減らすように治療プロセスの実施をサポートすることで、システムを利用する患者の治療意欲を維持することが期待できる。具体的には、患者が手順を覚える必要なく、独力でも容易に一連の治療プロセスを完了できるように、患者が行うべき治療手順を提示し操作を誘導する。忘れてしまいがちな調査票の回答を一連の治療プロセスに含めることで、患者に調査票の

---

<sup>4</sup>Amazonは2016年にこの手順省略の仕組みをさらに発展させ、コンピュータ上ではなく、現実空間に設置したボタンを一度押すだけで商品購入を完了するAmazon Dash Buttonサービスを開始している。

回答をするよう促すことができる。また、前述のように電子調査票としてコンピュータ上で実施可能とすることで、インターネット経由で回答データを医療従事者と共有可能とし、患者が回答した調査票を医療施設へ持ち込む手間を省くことも可能となる。また、患者の治療に必要な設定を保存しておき、次回以降の治療ではそれらの設定を自動で反映させることで、患者が行うべき設定手順を省略することができる。

#### 4.4.2 セルフモニタリング

患者が治療の効果を実感しづらいことに対しては、セルフモニタリングの原理の適用が考えられる。セルフモニタリングは今日では健康行動を促進するための様々なツールに取り入れられている。セルフモニタリングによってユーザの状態をフィードバックすることはユーザに行動の導入を動機づけるよりも、継続的な行動にユーザを動機づけることに貢献する [103]。

セルフモニタリングとして患者に提示する情報は、第3.3節で考察し収集されるものが同様に挙げられる。第3.3節で整理した医療従事者と共有する情報は、患者の治療効果の指標となりうるものである。それらの情報を客観的な指標として患者自らが確認できるようにすることで、患者がリハビリの積み重ねと治療効果との関連に気づくことが可能となる。それによって、患者が治療の効果を実感することを可能にし、より治療に対して動機づける効果が期待できる。また、患者は医師により設定される治療における目標の確認を行うことができるようになり、目標に向けて治療を続ける励みにすることが可能となる。

#### 4.4.3 称賛とフィードバック

患者の気分的な落ち込みに対しては、称賛の原理の適用が考えられる。称賛は、例えばそれがコンピュータから対象者に行われたものであっても、対象者の気分を高めることができる。それによって、対象者は説得されやすくなるというのが称賛の原理である。

前述の聞き取り調査において、患者に対する治療意欲を高める工夫として、医療従事者は治療を行ったことに対するねぎらいや称賛の声掛けを行っていることを確認した。患者を褒めることで、患者に気分的高揚をもたらしつつ、見守られていると感じさせることで安心感を与えられる可能性がある。また、褒められることや、反対に叱られることは患者にとって、先行きが不透明な治療において治療の方向性を定め維持するための指標となる。患者が毎日リハビリを行う、調査票への回答をするといった望ましい行為をした場合は、その行為を褒めることで日々のリハビリをより意欲的に行う効果が期待でき、治療が適切に行われていることを患者に伝えることができる。

また、日々の治療を怠るといったような望ましくない行為を行った場合にその事実をフィードバックすることは、患者に対して間違った行為をしていることに気づかせ、治療効率の低下を防止することに繋がる。しかし前述の聞き取り調査において、医療従事者は日々の業務で多忙となることも多く、常に見守ってあげたいという考えがあるにも関わらず、患者に対して常に働きかけることは困難であることが語られている。

ここで、コンピュータを活用することで、医療従事者が同時かつ同場所に居なくとも、コンピュータが患者に対して褒めることができる。これにより、例えば毎日治療をしている、一度の治療中により多くの回数の把握動作を行う、といった望ましい行動に対し、報酬として称賛のメッセージを表示して患者の気分を高めつつ、患者が医療従事者の目的に沿った行動を行うように仕向ける。これらのメッセージを表示することは、患者に対して治療を行うことに対する達成感や自己効力感を感じさせ、患者が日々の治療を単調だと感じにくくさせる可能性がある。また、患者にその場にいはいはずの医療従事者の存在をコンピュータを介して感じさせ、見守られている安心感を与えられることが期待できる。

## 4.5 VR-MVF システムへの機能導入例

なお、GUIの開発は、Windows 7 Professional 64bit 上で Visual Studio 2012 Ultimate を使い、言語はC#を用いて行った。

### 4.5.1 GUIによる治療手順の誘導

本節では、実際に患者がGUIアプリケーションを用いて治療を行う流れを示す。このGUIアプリケーションは、表示される指示や電子調査票に従って操作することで、患者が操作手順を把握することなく一連のリハビリテーションを完了することを可能にする。

前提として、痛みに関するVAS以外の電子調査票は、患者ごとに実施する日時と、それぞれの電子調査票に回答したか否かの判定（フラグ）が、GUIアプリケーションと後述するデータベースにより管理されている。電子調査票を実施する日時は、一ヶ月に一度実施するものでは各月最初の月曜日、一週間に一度実施するものは毎週月曜日に設定される。実施する日時を過ぎた場合、アプリケーションは電子調査票を実施するフラグを立てる。

まず、コンピュータを起動してデスクトップに配置されているGUIアプリケーションのショートカットから、GUIアプリケーションを起動する。GUIアプリケーションのショートカットは、図 4.3 に示すアイコンで表示されている。



図 4.3: GUIアプリケーションを開始するためのデスクトップアイコン

GUIアプリケーションが起動すると、患者個人を特定するためのログイン画面が表示される。ログイン画面を図 4.4 に示す。患者ごとに与えられたIDとパスワードを入力してログインボタンを押すと、アプリケーションによりIDとパスワードの対応が検証される。正しいIDとパスワードが入力された場合のみ、次の手順に移行する。IDとパスワードの対応が間違っている場合は、間違っていることを通知するメッセージボックスが表示される。

図 4.4: ログイン画面

ログインに成功すると、GUIアプリケーションは患者ごとの電子調査票の実施に関するフラグを確認する。フラグが立っている電子調査票、すなわちその回で痛みの程度に関するVAS以外に実施する電子調査票がある場合、その電子調査票の一覧が図 4.5 のように表示される。次に、メイン画面が表示される。メイン画面を図 4.6 に示す。メイン画面から、後述する手順とは別に、任意で個別の電子調査票の実施も可能になっている。治療する手（左手、または右手）、すなわち治療タスク中にVR空間内に



表示されるVRの腕と手を選択し、治療開始ボタンを押すと、次の手順へと進む。治療する手を選択されていない場合、選択を促すメッセージボックスが表示される。

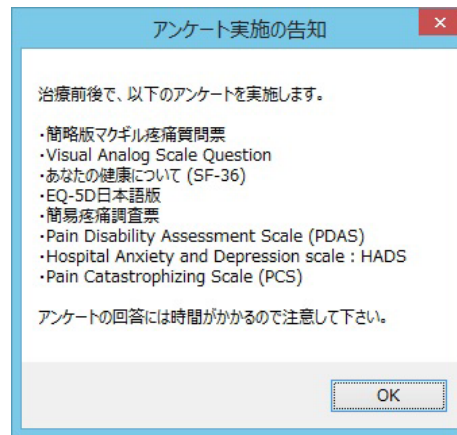


図 4.5: 実施する調査票があることの告知画面

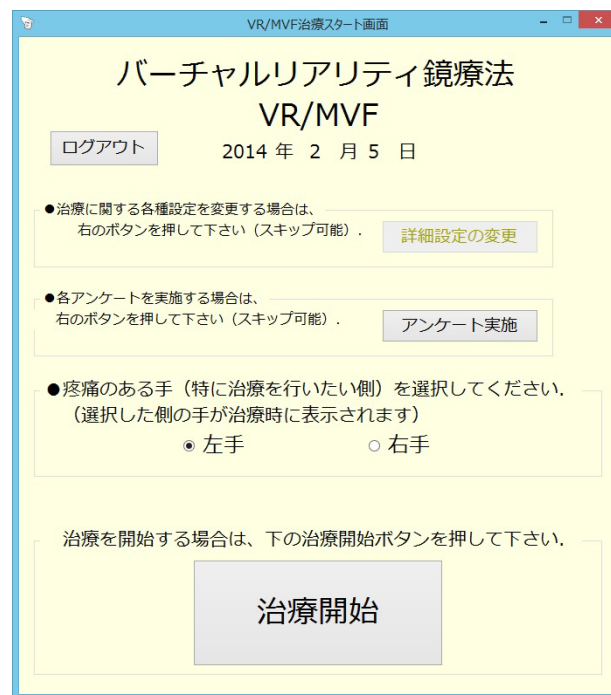


図 4.6: GUI アプリケーションのメイン画面

痛みの程度に関するVAS以外の電子調査票を実施する前に、実施するか否かの選択画面を表示する。選択画面を図 4.7 に示す。図 4.7 で「はい」を選択した場合、電子調査票が実施される。「いいえ」を選択した場合は、痛みの程度に関するVAS以外の電子調査票は、その回の治療では実施されない。

治療前での電子調査票は以下の順に実施される。

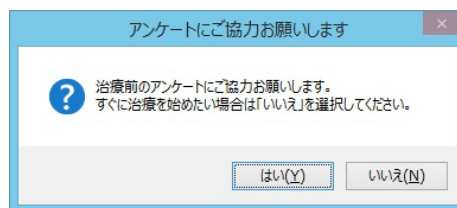


図 4.7: 調査票実施の選択画面

- (1) SF-36v2 (図 3.13)
- (2) EuroQoL 5 dimension 日本語版 (図 3.14)
- (3) 簡易疼痛調査票 (図 3.15)
- (4) 疼痛生活障害評価尺度 (図 3.16)
- (5) HADS 日本語版 (図 3.17)
- (6) 疼痛生活障害評価尺度 (図 3.18)
- (7) 簡略版マクギル疼痛質問票 (図 3.11)

回答した電子調査票はフラグが消滅し、次の回答時期が訪れるまでは、一連の手順の中では実施されない。

治療タスク開始前に、その時の痛みの程度に関するVAS (図 3.10) を実施する。VAS 回答後、簡易型 VR/MVF 装置を使用する場合で Kinect が接続されていない場合は、接続を促すメッセージが表示され、接続が確認されるまで次の手順を行えない。

治療タスク開始前に、治療タスク開始直後に行うキャリブレーション動作のための説明画面を提示する。患者に提示するキャリブレーション説明画面を図 4.8 に示す。オリジナルの治療装置において、マウスの代わりにデータグローブを用いて治療を行う場合は、図 4.8 においてマウス保持の指示を行う代わりに、データグローブ装着の指示を行う。図 4.8 下部のボタンを押すと、治療タスクが開始される。具体的には、GUI アプリケーションが治療タスクアプリケーションを起動させる。治療タスクを実施している間、GUI アプリケーションの画面は非表示となり、治療タスクが終了するまで待機する。

治療タスクが終了すると、再度その時の痛みの程度に関するVASを実施する。また、治療タスク実施前と同様に、以下の調査票を回答するか否かの選択画面が表示され、電子調査票を回答する。

- (i) Sense of Agency に関するアンケート (図 3.12)
- (ii) 簡略版マクギル疼痛質問票 (図 3.11)

最後に、GUI アプリケーションを終了するかどうかの選択画面が表示される。GUI アプリケーションを終了しない場合、メイン画面に戻る。



図 4.8: 治療タスク開始方法説明画面

#### 4.5.2 治療に関する情報の提示

VR-MVFシステムに痛み、運動に関する情報を記録する機能を実装した。痛みに関する情報は、治療前後に実施する痛みに関するVASを実施することで記録した。運動に関する情報として、治療タスク実施時間や治療タスク中に行った把握動作、オブジェクト把握回数を記録した。また、VR-MVFシステムに痛み、運動に関する情報を期間の経過と併せて提示する機能として、GUIに治療経過提示画面を実装した。治療経過提示画面例を図 4.9 に示す。治療経過提示画面が表示される場合は、治療プロセスの最後に表示される。治療経過提示画面では、痛みの程度は治療前後での比較とともに、一定の治療期間での痛みの程度の変化を示すグラフが表示される。運動に関する情報は前回と比較して多い運動は色を変化させて強調される。

#### 4.5.3 称賛メッセージの提示

称賛のメッセージは治療経過提示画面の下部で提示される。メッセージは一定回数継続、仮想物体の多回数把持のような望ましい行動として設定した基準を満たしている場合に、事前に作成するルールに基づいて作成される。ただし、この称賛の提示法は一例であり、より効果的と考えられる提示画面例を第章で提案する。



図 4.9: 治療結果表示画面

## 4.6 まとめ

本章では，患者の治療意欲を阻害する要因を治療プロセス上の負担，治療効果実感の困難，気分的な落ち込みの三つに整理した．また，それらの要因に対して Captology から手順の省略，トンネリング，セルフモニタリング，称賛の原理を援用することを検討した．さらに，それらの原理に基づいた手順支援 GUI，治療経過提示画面，称賛メッセージ提示機能を提案し，VR-MVF システムに実装した．

次章で，まず手順支援 GUI の効果について検証を行う．

## 構成したシステムの治療への使用実績

前章までに、在宅用VR-MVFシステムに遠隔情報共有機能と手順支援用GUIを実装した。本章ではテストケースとして、それらの機能を実装したシステムを慢性疼痛患者が自宅で使用して治療を行った実績を示す。また、テストケースの結果から、実装した機能は想定通りに動作するか、得られたデータから将来の治療に貢献する情報は何かについて検討する。

### 5.1 患者自宅への導入

#### 5.1.1 倫理的配慮

本VR-MVFシステムを用いた治療の実施および得られたデータの利用に関して、岡山大学倫理委員会に臨床研究申請を行い、承認を受けている。また、患者には事前に情報の収集および利用に関して説明を行い、同意を得ている。

#### 5.1.2 協力患者

協力を得た慢性疼痛患者を以降、患者Aと呼称する。患者Aは設置時で40歳代の女性、利き手ではない左手にCRPSを発症しており、また左手部に運動障害が発生していた。罹患期間は約3年間で、その期間は岡山大学病院に通院していた。導入前より半年以上の期間、岡山大学病院麻酔科蘇生科ペインセンターにて週一度程度の頻度でVR-MVFを実施していた。また、導入2ヶ月自宅でVR-MVFシステムを用いた治療を行いたいと要望していた。試用期間開始時は、その疼痛が原因で仕事を休職していた。

設置期間は2013年4月5日から2014年2月5日であった。設置時点でGUIアプリケーションの手順支援機能は実装していたが、治療タスクの結果表示機能やデータ転送時の認証機能は未実装であった。設置した在宅用VR-MVFシステムの詳細な構成要素を表5.1に示す。また、在宅用VR-MVFシステムを設置して治療を行っている様子の例を図5.1に示す。

表5.1: 導入した在宅用VR-MVFシステムの構成

|                     |                                                                                      |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| モーションセンサ            | Kinect for Windows (Microsoft.co.)                                                   |
| マウス                 | Wirelwss Mouse m310t (Logicool co.)                                                  |
| コンピュータ              | CPU : Intel Core i5-3570<br>RAM : 8 GB<br>HDD : 1 TB<br>VGA : NVIDIA GeForce GTX 650 |
| ディスプレイ<br>(サイズ/解像度) | Acer S231HL bd<br>(23 inches/1920 × 1080)                                            |



図 5.1: 患者自宅での治療イメージ

### 5.1.3 患者によるシステム使用結果

2013年4月5日から患者はシステムを使用して治療を開始した．4月22日から患者の痛みが激しくなったため，医師の指示により一時使用を中断していた．痛みがある程度治まるのを待った後，5月13日から使用を再開している．7月1日より仕事に復帰しており，家事と仕事で多忙となったため自宅での治療は行っていない．そのため，実際にシステムを用いて治療を行っていた期間は4月5日から6月30日の約3ヶ月間である．ただし，5月20日までは，治療タスクアプリケーションが突然強制終了するなどの不具合があった．そのため，5月21日にGUIアプリケーション，治療タスクアプリケーションともにソフトウェアを更新している．この期間でのデータベースに収集された情報を整理し，設置期間中の患者の治療回数や治療している時間帯，治療タスク実行時間，痛みの程度の変化を調べた．

設置期間での治療回数は370回だった。このうち、1時間以内の連続した治療を除外して一日ごとの治療頻度を調査したところ、図 5.2 に示すように、上記の治療停止期間を除き、ほぼ毎日治療を行っていることがわかった。治療を行っていないのは、4月8日、9日の二日間だけであった。また、5月20日までは治療タスクアプリケーションの強制終了や、治療タスク中に運動が認識されなくなるなどの現象により、後述の結果を確認したところ短時間で複数回治療を行っている場合もあった。

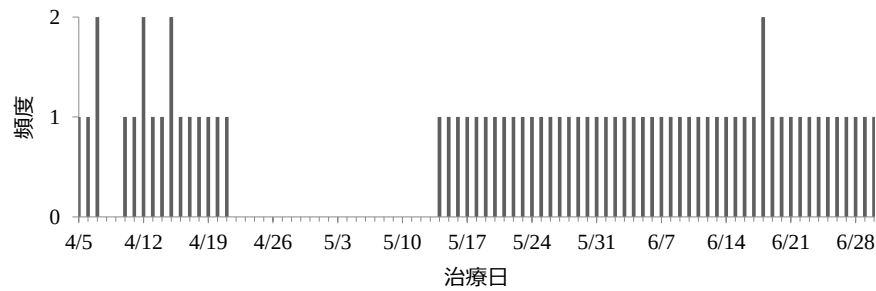


図 5.2: 一日あたりの治療頻度

同様に治療を行う時刻の割合を調査したところ、午後に治療を行うことが多く、特に夜19時から21時までの間で治療頻度が大きい。また、夕方以降に治療を行っていることが多い。23時以降から8時までの間に治療を行うことはなかった。時刻ごとの治療頻度を表すグラフを図 5.3 に示す。

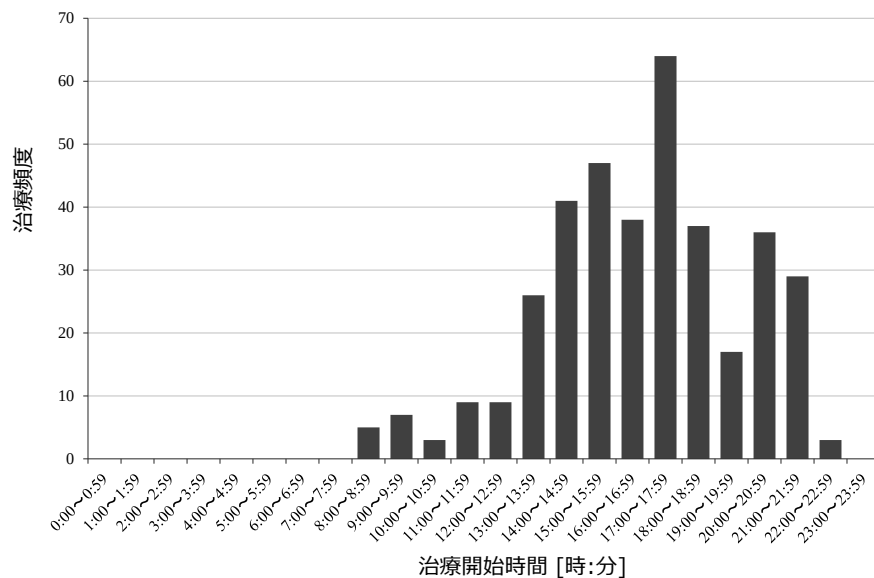


図 5.3: 治療開始時間ごとの治療頻度

5月21日以降の1日の治療タスク実施時間を調査したところ、平均  $3878 \pm 1337$  秒 (1

時間 4 分 38 秒 ± 21 分 7 秒)，最大 6176 秒（1 時間 42 分 56 秒），最小 1337 秒（22 分 17 秒）だった。5 月 21 日から 6 月 30 日までの期間での 1 日ごとの治療タスク実施時間を図 5.4 に示す。また、階級幅 5 分での治療タスク実施時間のヒストグラムを図 5.5 に示す。

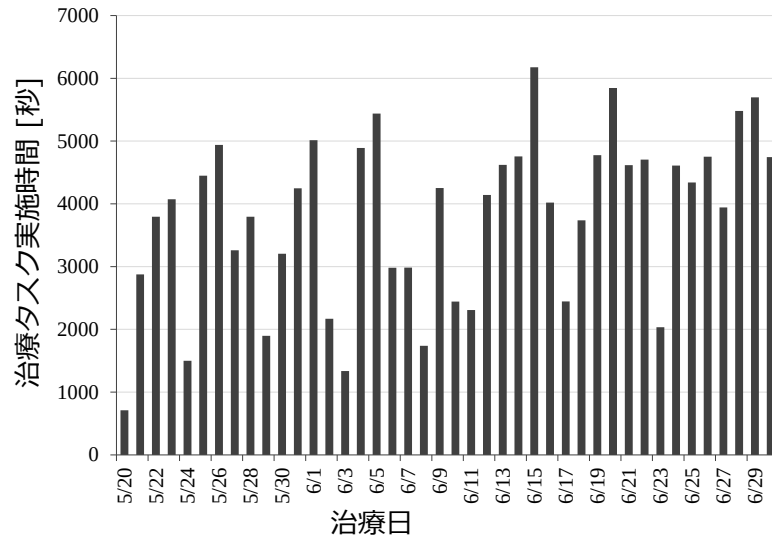


図 5.4: 一日あたりの実施タスク実施時間

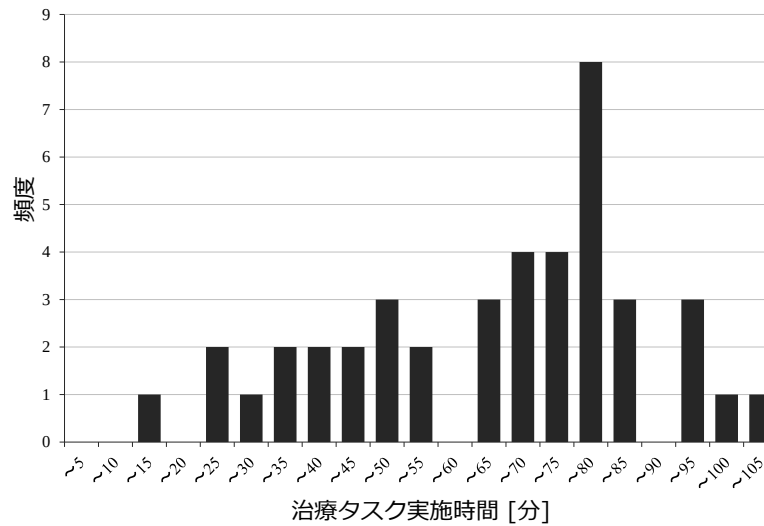


図 5.5: 時間ごとの治療頻度

設置期間での治療前後での痛みの程度を表す VAS の変化を図 5.6 に示す。



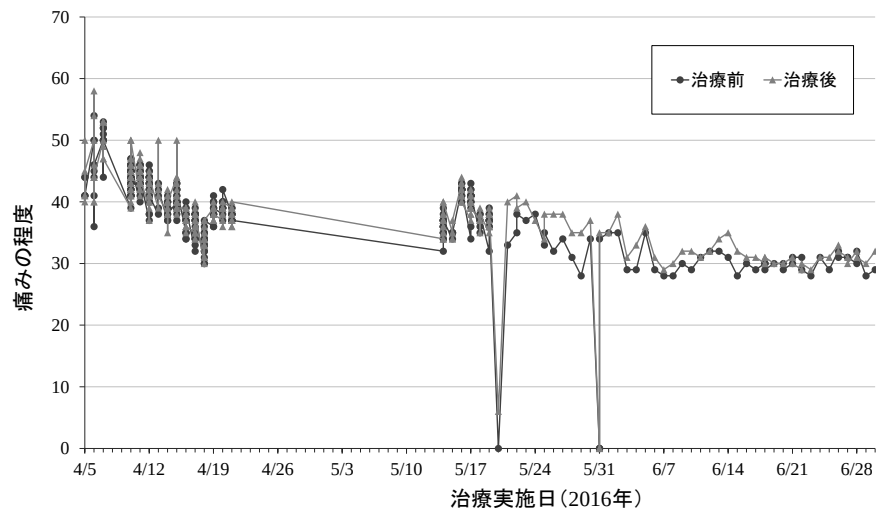


図 5.6: Pain value before and after the treatment

#### 5.1.4 考察

上記に挙げた情報が記録・取得されたことから、情報共有機能は問題なく機能したと判断できる。また、患者が手順支援機能を導入した在宅用 VR-MVF システムを用いて一定期間治療を継続的に行っていたことを確認した。

記録されたデータを見ると、図 5.3 で夕方から夜にかけて治療を行うことが多いことがわかる。これに関して、昼間は家事をしていることや、患者自宅付近にある医療施設で手の開閉運動などのリハビリテーションを行っていることが、医師による診察での会話でわかった。昼間の家事などが終わり余裕ができた時間に治療を行っていたためと考えられる。

患者の都合により使用を停止したが、「今はドタバタしているので使用できていないが、時間に余裕ができたなら、また使用を再開させてもらうかもしれない」と話していることを担当医が確認している。なお、患者は仕事に復帰して以降は、一週間に一度を目安に、仕事の休憩時間中に岡山大学病院ペインセンターに設置している VR-MVF システムを用いて治療を行っている。

医師とのコミュニケーションにおいて、「痛みがとても不快である」、「リハビリをしていて痛みを感じるようになる」という意見を話しており、リハビリを続ける上で痛みが治療継続の意欲を低下させていることが予想できる。しかし同時に、「本当に少しずつでも良くなっているなら、頑張ってリハビリを続けたいといけな」という、治療を続ける意欲があるととれる発言をしている。

試用期間中はほぼ毎日使用していたこと、一回あたり長時間の治療を行っていたこと、さらに治療意欲があることを感じさせる発言があったことから、本システムはこの患者に対して治療意欲の維持に貢献していると考えられる。ここから、本システム

が慢性疼痛患者に対して治療意欲の維持に貢献する可能性を見出すことができた。

## 5.2 痛みデータの分析

図 5.6 より治療前後で痛みの程度を比較すると、治療後の方が痛みが増していることが多い。この原因を考察すると、図 5.4 より患者の一回あたりの治療タスク実施時間の平均が1時間以上とかなり長いことがわかる。VR-MVF システムを用いた治療では、腕を上げ続ける状態となり、長時間治療を行うと腕や肩に疲労が発生する。病院での VR-MVF システムを用いた治療はこれらの疲労を考慮し、長くても 30 分を目安に行われるので、長時間の治療は大きな疲労を発生させる要因となる。また、同じ日に VR-MVF 以外のリハビリテーションや運動療法を行っている可能性もあり、その場合は肉体疲労がさらに増加する。この疲労が、患者の疼痛を強めた原因ではないかと考えられる。また、痛みが強くなるにも関わらず、これほど長時間治療を行ったのは、多少の痛みにも耐えてでも治療をすることが必要だと考える慢性疼痛患者全体の思考傾向が現れている可能性がある。しかし、治療ごとの痛みの程度は治療前後で増加することが多かったが、設置期間全体で見ると減少傾向にあるといえる。

## 5.3 運動データの分析

福森と筆者の研究グループは、在宅でのシステム使用で得られた運動データを一部分析した [104]。Maihöfner は、CRPS 患者が対象物へ向かって手を伸ばす運動（以下、リーチング運動と記す）を行う際の速度および加速度の変化を報告した [35]。この報告に基づく、CRPS 患者と健常者ではリーチング運動に違いが現れることが予想される。また、第 2.1.1 節で述べたように、CRPS 患者は手や腕が一定の姿勢を維持し、積極的には動かさない場合がある。そこで、VR-MVF 治療タスク中の運動のうち、CRPS 患者のリーチング運動における手や肘の動きに着目した。

福森と筆者の研究グループは Flash と Hogan の最小躍度モデル (the minimum-jerk model) [105] を三次元空間に拡張し、軌道の長さ、速度、加速度などの表現を可能にした。モデルの式は以下になる。

$$C(t, n) = \frac{1}{T} \int_{t_s}^{t_s+T} \sqrt{\left(\frac{d^n x}{dt^n}\right)^2 + \left(\frac{d^n y}{dt^n}\right)^2 + \left(\frac{d^n z}{dt^n}\right)^2} dt \quad (5.1)$$

ここで、 $t_s$  と  $t_s + T$  はそれぞれリーチング運動の開始と終了のタイミングを表す。特に  $t_s + T$  は仮想の手が仮想の物体を把持したタイミングでもある。分析では、それまでの患者の動作を観察した経験から  $T$  を 2 秒として設定した。また、 $x, y, z$  はそれぞれ時刻  $t$  における実空間内の対象者の手または肘の位置を表す。 $n$  は微分の次数を表

し、0～3の値をとる．ここで、 $n=0$ の場合は $C(t,n)$ は運動軌跡の長さを、 $n=1$ の場合は速度を、 $n=2$ の場合は加速度を、 $n=3$ の場合は躍度をそれぞれ表す．分析では(5.1)式のモデルを用いて、リーチング運動におけるCRPS患者および健常者の手と肘の動きを比較する．

### 5.3.1 健常者の運動データの収集

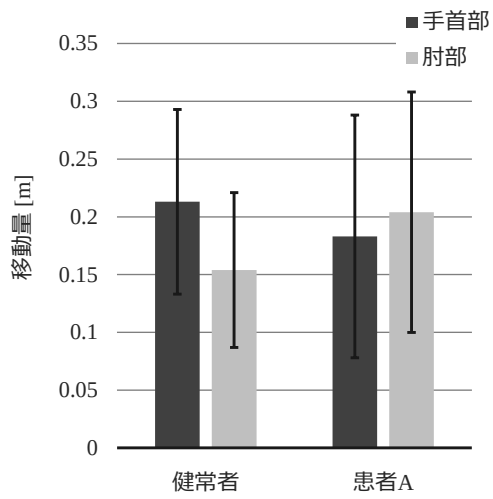
VR-MVFシステムを健常者が使用した場合の運動データを得るため、健常な参加者を募集したところ、10人から同意を得た．ここで、参加した健常者は21～24歳（平均22.7歳）で、10人の参加者のうち3人が眼鏡着用、3名がコンタクトレンズ着用、残り4名は裸眼だった．健常者はそれまでにVR-MVFシステムを使用した経験が無かった．治療タスクを実施する際、全員左腕にCRPSを発症した状況を想定し、左腕で仮想の上肢を動かした．健常者はまず在宅用VR-MVFシステムを用いて行う治療タスクにおいて、仮想の上肢を操作する感覚をつかむため、5分間の練習を行った．この練習で、参加者は仮想の手を操作し、仮想の物体を把持・移動ができることを学習した．その後、10分間治療タスクを実行した．

### 5.3.2 分析結果

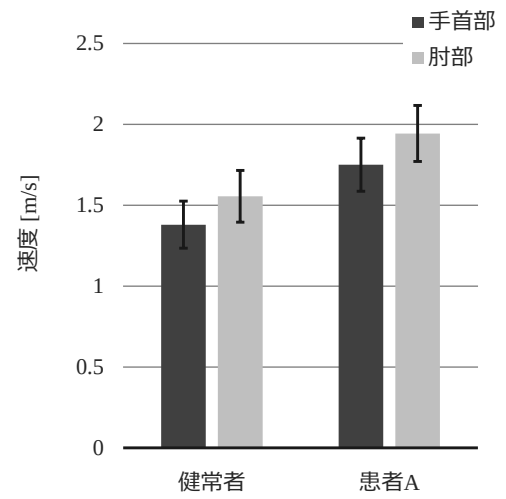
分析結果を図5.7に示す．図5.7(a)から、健常者は肘よりも手の移動距離が大きいことがわかる．一方、CRPS患者Aのリーチング動作では肘、手ともに健常者より移動距離が小さく、手と肘で移動距離の差が小さい．ここから考えられる健康な人とCRPS患者のリーチング動作の違いの例として、次のようなものが考えられる．健常者は身体から離れた物体に対して手前からリーチング動作を行う場合、前腕だけを動かす．一方、患者は同様の状況の場合には手を動かすよりも肘を動かす、もしくは上体ごと移動させることで手先を移動させる．患者Aは手をうまく動かすことができないと述べており、分析結果はその発言を反映していると言える．

また、図5.7(d)から、健常者と比較して患者Aの躍度が小さいことがわかる．これは、患者がリーチング動作を行う際に目標位置付近でうまく静止できていないためだと考えられる．

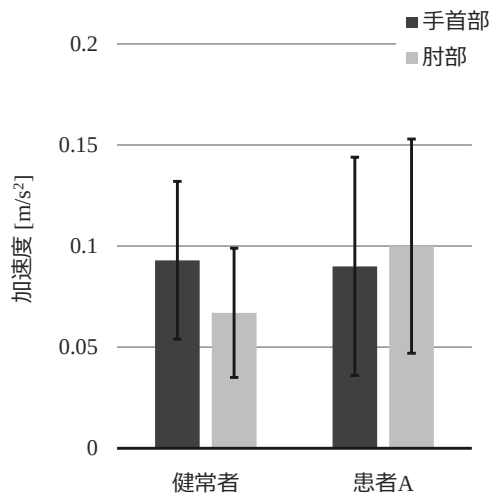
患者Aのリーチング運動における肘や手の移動距離の差を運動試行毎にプロットしたものを図5.8に示す．図5.8の縦軸はリーチング運動における手の移動距離と肘の移動距離の差を表し、横軸はリーチング運動の試行回数を表す．試行回数の増加に伴い、移動距離が増加していることが確認できる．ここで、図5.8の1439試行目は、図5.6の6月1日に相当する．同様に、図5.8の3269試行目は、図5.6の6月21日に相当する．図5.6の上記期間では、患者の痛みの程度は緩やかではあるが減少傾向にあるこ



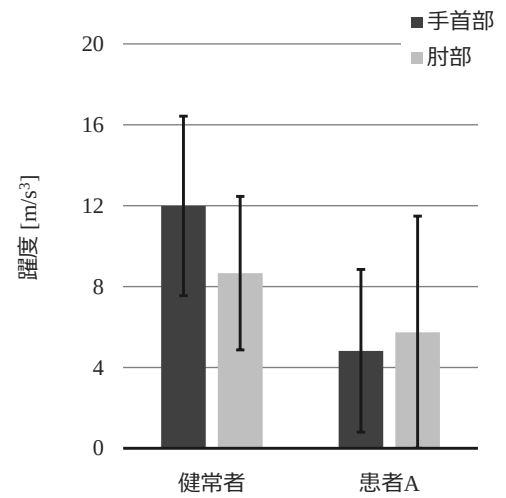
(a) 移動量の時間平均



(b) 速度の時間平均



(c) 加速度の時間平均



(d) 躍度の時間平均

図 5.7: 健常者と患者 A の各運動指標量

とが確認できる．ここから，患者の痛みの程度の減少と，VR-MVF タスク中の手の移動の改善には相関関係があると推測できる．

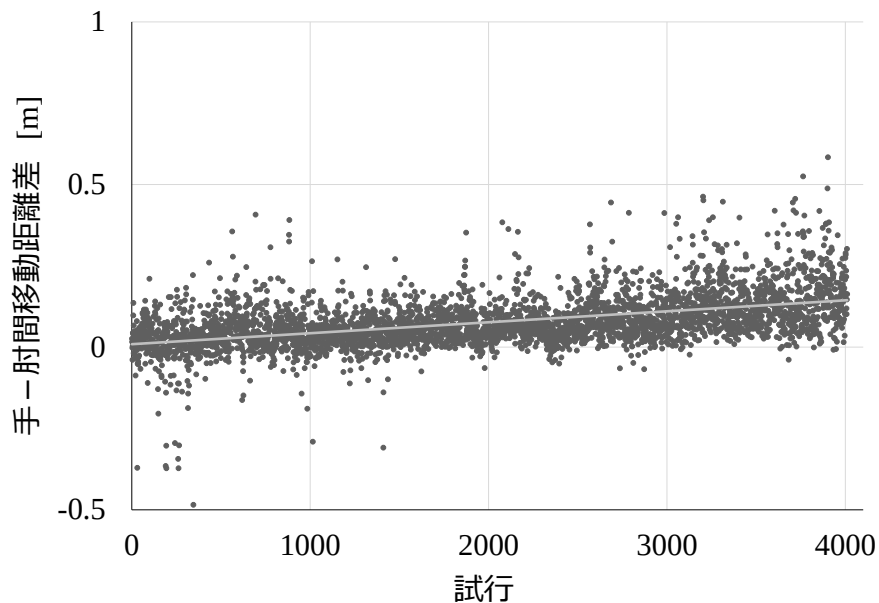


図 5.8: 患者 A のリーチング動作における手と肘の移動距離差の変動

### 5.3.3 限界と今後の課題

今回は，データベースサーバに記録されたデータから，情報共有機能が動作することを検証した．データ転送機能が動作することは導入前に確認してあった．しかしながら，データベースに記録されたデータが，患者が VR-MVF システムを使用した全ての機会のものであることを保証するものではない．それを確かめるためには，治療をしたという記録や，VR-MVF 治療タスク中にどのような運動を行ったのか，調査票にどのような回答をしたのかを使用者である患者に残させる必要がある．これらを患者に実行させることは患者の負担が大きく，患者がシステムを使用する意欲を失う原因となる．そのため，この実地調査では記録された結果を確認することに留めた．

分析結果から，CRPS 患者は健常者と異なり，リーチング運動において肘と手を上体ごと移動させることで達成しようとする可能性が示唆された．一方で，この分析ではいくつかの制限が存在する．まず，今回は患者一名の VR-MVF 治療タスク中のリーチング運動を分析した．この分析結果と同様の運動が他の CRPS 患者や幻肢痛患者にも見られるかを言及することはできない．それを確かめるためには，より多くの患者からデータを集める必要がある．

二つ目に，患者 A や健常者が行った VR-MVF 治療タスクにおいて，リーチング運動を行う範囲については制限がなかった．そのため，どの範囲でも今回の分析結果と同

様の運動が見られるかについては、さらなる調査が必要になる。著者や所属する研究グループが、患者がVR-MVFを実施している様子を観察したところ、患者は各々が持つ一定のルールに基づいて、一定の範囲内で手を動かす傾向がある。例えば、一定の範囲内で運動を行う傾向が確認された場合、医師は効果的に運動機能を改善させるために、より広い範囲でリーチング運動を行うよう患者に指示することができる。同様に、セルフモニタリングの内容としてそのような傾向があることを患者に図示することで、患者に運動範囲の傾向への気付きや改善を促す可能性がある。

最後に、分析に用いたデータは仮想物体の把持から数秒前の期間で抽出されたものである。それらには物体に限りなく近い位置で既に静止した状態のものも含まれる。設定した期間 $T$ はそのような状態のものを可能な限り取り除くよう著者らの観察経験に基づいて設定したが、実際にリーチング運動を行っていたものであることを保証することはできない。より厳密かつ詳細な分析を可能とするため、運動開始位置や終了位置を指定してリーチング運動を行う評価用のタスクを設定することが望まれる。

## 5.4 まとめ

第3章で述べた遠隔情報共有機能と第4章で述べた手順支援用GUIを実装した在宅用VR-MVFシステムを、テストケースとして実際に慢性疼痛患者が自宅で使用した結果から、それらの効果について検討した。結果から、情報の記録・転送機能は問題なく動作していたこと、手順支援によって患者はほぼ毎日VR-MVFシステムを使用できたことが確認された。また、システムを用いた治療による痛みと運動能力の変化およびシステムへのセルフモニタリングの導入可能性を検討するため、収集されたデータを分析した。その結果、疼痛軽減や腕動作範囲の拡大といった傾向が確認され、長期的には痛みや運動に変化が起こる可能性を見出した。一方で、過度に長時間治療タスクを実施するといった不適切だと考えられる行為を行っていたことも課題として挙げられた。

## 情緒的支援機能の検討

### 6.1 本章の概要

前章までに述べたように，患者のVR-MVFによる継続的な治療の実施を可能とし，患者の治療機会を増加させることを目的として，在宅用簡易型VR-MVFシステムが開発された．しかし在宅では，患者は終わりの見えない治療を一人で長期間継続しなければならない．患者が治療を途中で中断してしまうことがないよう，治療に対する意欲を維持する働きかけが重要である．

患者が治療に対して意欲的になる要因として，医療従事者の存在を感じ，見守られている感覚を得ることが挙げられる．我々はそのような感覚を患者に与える要素として，診察中に医療従事者が難治性疼痛患者に対して行う指導や励ましの発言に着目する．VR-MVFによる慢性疼痛の治療には数ヶ月以上の期間を要する．患者はその慢性疼痛により生活への支障を来しており，その多くは大きな不安やストレスを感じている．また，慢性疼痛を発症する患者には，発症しない者と比較して不安やストレスを感じやすいなどの特徴的な気質があると考えている．医療従事者は患者の診療において，そのような患者の不安・ストレスを取り除き，患者を治療に対して動機づけるために，患者の状態に応じた発言を行っていると予想している．その発言の要素として，患者の気分を高めるための称賛や励ましの他，患者が治療に向けて適切な行動をするような指導が含まれていると考える．従来の研究において，このような称賛や指導に着目して調査したものはほとんど存在しない．そのため，治療時の適切な声掛けや指導をルール化することは医学的な貢献となる．慢性疼痛患者の治療意欲の維持・向上につながる医療従事者の発言を整理することにより，医療従事者が患者に対してより適切な声掛けができるようになり，患者の治療に対する満足度を高めることが期待できる．

本章では上記課題解決の糸口を探るために実施した，情緒的支援機能の実装を目指した医療従事者と慢性疼痛患者の診察中の会話の観察について記す．

### 6.2 医療従事者のコミュニケーションスキル

コミュニケーションスキルは医療においても重要な技術である．声かけや態度のような医療従事者のコミュニケーションスキルは患者満足度を高めるだけでなく，慢性

的な疾病に対する患者の行動変容の促進にも大きく影響を与える。医療面接において医療従事者と患者との間に良好な信頼関係が築かれることで、その後の治療において患者の知識や診療への参加意欲の向上だけでなく、患者が痛みをコントロールできるようになり、ドクターショッピングなどの行動の減少に貢献することが確認されている [106]。Bendapudi らは理想的な医師の振る舞いとして、自信に満ちている (Confident)、共感的である (Empathetic)、思いやりがある (Humane)、患者を個人として扱う (Personal)、率直である (Forthright)、敬意がある (Respectful)、几帳面である (Thorough) として整理している [107]。このような振る舞いを行う医療従事者は、結果的に患者からの信頼を得ることが期待できる。箕輪と松村は、外来診療において患者から信頼され、患者の満足を得るために重要な医師のコミュニケーションスキルを下記の7群に分類している [108]。

- ・ オープニング：患者が自由に話しやすい雰囲気を作るスキル
- ・ 共感的コミュニケーション：患者の信頼を得て、ラポールを形成するスキル
- ・ 傾聴・情報収集：医師が行うコミュニケーションの基本スキル
- ・ 説明・真実告知・教育：患者への理解を促すスキル
- ・ マネジメント：患者の選択・自己決定を支援するスキル
- ・ 診断に必要な情報の授受：症状の特徴を聴取するスキル
- ・ クロージング：診断の最後に行う、患者の疑問や今後の予定の確認のためのスキル

松村らは初診時を主な対象としてこれらのスキル群を整理しているが、整理されたスキルの多くは再診時にも有効となる。

調査対象は言語情報である発言内容と非言語情報である振る舞いの2つに大きく分類できる。幾つかの先行研究は医療従事者が患者に対して行う発言の影響を調査している。木菱らはリハビリテーション場面における声かけについて、患者の治療意欲と使用の適切性および使用度を調査した [109]。その結果、称賛や共感、肯定的な評価が患者の意欲を高める一方で、安易な否定的評価や指示・命令が意欲を低下させることを示した。

同様に、患者に対する医師の位置や姿勢などの非言語情報は、患者に与える印象に影響する。Hall らが提唱するパーソナルスペースの概念では、対人距離は45cmまでの密接距離、45cmから120cmの個体距離、120cmから360cmの社会距離、360cm以上の公衆距離の4つに分類され、さらにそれぞれが近接層と遠隔層に分けられている [110]。澤らは作業療法の初回面談では120cm前後が望ましいとしている [111]。渋谷は、未知の人物よりも知人の方が不快に感じる対人距離が小さくなることを示している [112]。



これに基づくと、患者と医療従事者の対人距離は、互いの関係が深まるに応じて小さくなることが考えられる。

また、一般的に診療や面談では患者に緊張を与えにくくするために、患者と医療従事者が正面に向き合う対面法ではなく、斜めに向かい合う90度法が用いられる[113]。対面法は常に相手を見ることになるので相手に緊張感を与えやすくなるが、重要な内容を話す必要がある際には90度法から対面法になる場合がある。

本研究で主に着目するのは言語情報であるが、最終成果物であるインタフェースによる説得効果を高めるために、ある程度は非言語的振る舞いをインタフェースで提示するエージェントの振る舞いに取り入れることが望ましい。そのため、医療従事者と患者の位置関係やうなずきといった非言語も観察する。ただし、インタフェースとして実装されたときのエージェントの基本姿勢を検討するため、本章の分析では非言語情報の中でも医師と患者の位置関係に着目する。

### 6.3 医療従事者－患者間の会話に見られる医療従事者の声掛け・指導の調査

患者の治療継続に影響する要因を特定するため、医療従事者と患者間の会話を観察し、観察された医療従事者の声掛けや指導の要素を記録・分析する。本調査は慢性疼痛患者に対する医療従事者の診察を前向きに観察し、医療従事者の声掛けに含まれる称賛などの言語情報を質的に分析する。すなわち、注目する称賛や叱咤がどのような状況で発生するのか、どのようなプロセスで提示されるのか、どのような発言で構成されるのかを明らかにすることに主眼を置く。一方で、将来的にそのような称賛や説諭の発言が診察中の発言全体で占める割合などをルール化するためには、発言回数などの定量的情報も記録されるべきである。そのため、本研究ではHeritageとMaynardの提案する医療場面の会話分析の手法[114]を参考に、下記手法で調査および分析を行った。

#### 6.3.1 倫理的配慮

本観察調査の実施にあたり、岡山大学医療系部局生命倫理審査委員会に研究倫理審査を申請し、承認を得た上で実施した。

#### 6.3.2 調査対象

治療慢性疼痛患者は複数の診療科を跨って治療を受けることがあり、それぞれの医療従事者は診療科や職種によって声掛けや指導の仕方は異なる。そのため、慢性疼痛

患者の痛みについて診療を行う痛み外来と、痛みを伴いつつも運動能力を改善するためのリハビリテーションを支援するリハビリテーション外来の診察、リハビリテーション中の会話に着目した。

調査対象は岡山大学病院麻酔科蘇生科ペインセンター（以下、ペインセンターと記載）または同総合リハビリテーション部総合リハビリテーションセンター（以下、リハビリテーションセンターと記載）に勤務する医療従事者、およびそれらの診療科で診察・治療を受けている慢性疼痛患者である。本研究では普段の診療の様子を観察するために、研究対象者が普段と異なる振る舞いをしないよう研究分担者と研究対象者間に信頼関係が築かれていることが重要となる。そのため、調査対象となる医療従事者および患者には、調査前に観察の目的やデータの扱いにおけるプライバシーの保護について、研究説明書を用いて十分に説明を行い、調査に対する同意書への署名により同意を得た。

協力者を募った結果、ペインセンターで勤務する医師3名が調査に参加した。また、協力の同意を得た医師が診察を担当している患者9名が観察対象者として紹介され、それぞれ調査協力への同意を得て、観察を行った。以下、医師3名をそれぞれD1～D3、患者9名をそれぞれP1～P9と呼称する。各患者の調査時点での年齢、性別、症状およびリハビリテーションセンターでのリハビリテーションの実施有無を表 6.1 に記す。なお、患者 P3, P8, P9 は診察の際、それぞれ付添人が診察に同席していた。各付添人に対しても事前に観察、記録されることに対する説明を行い、同意を得た。

### 6.3.3 調査方法

調査はイベントサンプリング法に、事象発生時刻を同時に記録する手法で行う。観察者は診察・治療中に発生する事象を記録するため、事前に用意する観察シートを用いて、現場でシートへ発生した事象の記入を行った。記録対象となる事象は箕輪らが整理した医師のコミュニケーションスキル [108] を参考に、医療従事者に関するものを表 6.2、患者に関するものを表 6.3 のようにそれぞれ整理した。シートへの記入による発生事象および発生時刻の記録は、実行可能性を考慮し、観察開始時刻から 5 秒間隔のインターバル内に発生した事象にチェックを入れることで行う。医療従事者および患者の発言は上記観察シートを用いた記録以外に、IC レコーダーを用いて音声を記録する。また、観察する風景はビデオカメラを用いて撮影する。この際、患者は自分の姿を見られること、または記録されることに抵抗を示す場合がある。そのため、観察者およびビデオカメラは現場の医療従事者の業務の妨げず、患者の視界に入らないよう背後に配置し記録を行う。また、調査には同意するが現場で観察者により直接観察されることを望まない患者については、観察者による直接観察の代わりに複数のビデオカメラを用いた記録を行うことにした。

表 6.1: 観察協力患者リスト

| 患者 | 年齢* | 性別 | 症状                                 | リハビリの有無   |
|----|-----|----|------------------------------------|-----------|
| P1 | 43  | 女性 | 四肢に疼痛，運動障害．移動に車椅子を使用               | 理学療法・作業療法 |
| P2 | 49  | 男性 | 左人差し指根本の切断，疼痛．それに伴う左手の運動障害         | 無（別施設にて有） |
| P3 | 28  | 男性 | 両手，両肩（特に左肩）の疼痛，運動障害                | 無（別施設にて有） |
| P4 | 56  | 女性 | 両手首の疼痛                             | 無         |
| P5 | 56  | 男性 | 首周りに疼痛．口周りの麻痺による構音障害               | 理学療法      |
| P6 | 63  | 男性 | 両肩，右半身（特に右膝）に疼痛．右半身の運動障害のため歩行に杖を使用 | 無         |
| P7 | 80  | 女性 | 両手，両足，背中，胃付近の内臓に疼痛．移動に車椅子を使用       | 無         |
| P8 | 62  | 女性 | 左頬に疼痛                              | 無         |
| P9 | 66  | 男性 | 両腕（特に右腕），腹部のケロイドに疼痛．両手の運動障害        | 理学療法      |

\*観察期間開始時点

表6.2: 医療従事者の発言・振る舞いに関する記録対象項目

| 言語/非言語 | 箕輪らの分類                                                                                                                                   | 行為                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 言語     | <p>(1) オープニング</p> <p>(2) 共感的コミュニケーション</p> <p>(3) 傾聴・情報収集<br/>/ 診断に必要な情報の授受</p> <p>(4) 説明・真実告知・教育</p> <p>(5) マネジメント</p> <p>(6) クロージング</p> | <p>挨拶・自己紹介・患者確認<br/>詫び<br/>雑談・世間話・アイスブレイク<br/>促し・催促<br/>繰り返し<br/>明確化・確認・要約<br/>共感・反映・I-message<br/>正当化<br/>症状・治療に関する質問<br/>既往歴確認<br/>個人的情報確認<br/>患者の思いの確認<br/>会話を遮る<br/>説明・告知<br/>指示・指導<br/>称賛・ポジティブな評価<br/>注意・叱咤（ネガティブな評価）<br/>提案・アドバイス<br/>自己決定の援助<br/>目標確認・設定<br/>ドアノブ・クエスチョン<br/>今後の通院予定<br/>コンタクトの保証</p> |
| 非言語    | <p>共感的コミュニケーション<br/>傾聴・情報収集</p> <p>説明・真実告知・教育<br/>その他</p>                                                                                | <p>笑う<br/>思考・悩む・沈黙<br/>身振り・手振り<br/>うなずき<br/>姿勢変化：前傾<br/>姿勢変化：直立<br/>姿勢変化：後傾<br/>位置の移動<br/>視線移動<br/>話すスピード変更<br/>PC操作<br/>リハビリ手技実施／触れる</p>                                                                                                                                                                     |

表 6.3: 患者の発言・振る舞いに関する記録対象項目

| 言語/非言語 | 行為             |
|--------|----------------|
| 言語     | 挨拶             |
|        | 体調・気分表現        |
|        | 現在までの治療内容説明    |
|        | 質問             |
|        | 思い/心理(不安・安心)吐露 |
|        | 感謝             |
|        | 雑談・世間話         |
| 非言語    | 患部を触る・痛み行動     |
|        | 身振り・手振り        |
|        | リハビリ動作         |

観察期間での患者の疼痛状態や精神状態の変化を確認するため、対象患者は観察期間最初の診察後、および観察期間最後の診察後にそれぞれ下記の質問票に回答した。

- ・ 痛みに関する Visual Analog Scale
- ・ 簡略版 McGill 疼痛質問票
- ・ SF-36v2
- ・ EuroQoL 5 Dimension 日本語版
- ・ 簡易疼痛調査票 (Japanese Brief Pain Inventory)
- ・ 疼痛生活障害評価尺度 (Pain Disability Assessment Scale)
- ・ Hospital Anxiety and Depression Scale 日本語版
- ・ Pain Catastrophizing Scale
- ・ 日本語版 一般自己効力質問表 [115]
- ・ Pain Self-Efficacy Questionnaire 日本語版 [116]

#### 6.3.4 分析手法

観察で記録された会話の発言はすべて文字に起こされた。続いて、発言が行われた背景や、発言が行われる前後の流れや構造を検討するため、観察された会話は下記プロセスで分類およびラベル付けされた。

- 1) 会話内容の境目で区切る。基本的には医師の発言で区切る
- 2) 会話内容に応じた名前（ラベル）をつけていく。この段階では命名ルールは定めずラベル付けを行う
- 3) 会話内容が似ているもの、すなわちでつけられたラベルが類似するものをまとめる

- 4) 3でつけられたラベルと会話内容が整合するか確認し，適したラベルを付け直す
- 5) 再度3の手順でラベルをまとめる
- 6) 4, 5を変化が無くなるまで繰り返す

また，上記手順とは別に，各発言を表 6.2 および表 6.3 に記載した観察シートの項目に対応付けた．その後，表 6.2 の称賛・ポジティブな評価および注意・叱咤が行われている会話を抽出した．

## 6.4 診察中の会話の分析

第 6.3 節で挙げた各調査対象者に対する観察回数および診察またはリハビリテーション一回あたりの平均観察時間を表 6.4 に示す．観察は 2016 年 1 月から 3 月の期間で実施した．患者 P3 以外の診察は 1~2 週間に一度の頻度で観察が行われた．P3 の観察は一月につき一度の頻度で行われた．これらはおおよそ患者の診察頻度に等しい．

対象者全員が観察者による直接観察することに同意したため，観察は観察者が現場にて直接観察を行った．観察者が現場に存在していたことによる影響について，観察対象の医師が観察者に対して確認や話への参加を求める場面が 11 回あった．観察者がそれらの会話に参加した時間は一回あたり 2~3 秒であり，診察の時間や流れに大きく影響する場面はなかった．また，診察・リハビリテーション時間外での非構造化面接にて対象患者 P1, P4, P6 からは「気にならなかった」「観察者がいることを忘れていた」という発言が得られている．対象医師 D1~D3 からも同様に「カメラや観察者の有無に関係なく，いつもどおりやっている」という発言が得られている．以上から，観察者の存在が診察の流れに与えた影響は小さいと考えられる．

表 6.4: 医師一慢性疼痛患者間の診察観察回数と観察一回あたりの平均時間

| 調査対象者 ID |    |      | 平均観察時間          |
|----------|----|------|-----------------|
| 患者       | 医師 | 観察回数 | [分:秒]           |
| P1       | D1 | 4    | 6:30 (±1 : 04)  |
| P2       | D1 | 8    | 6:06 (±1 : 59)  |
| P3       | D2 | 3    | 16:36 (±8 : 28) |
| P4       | D1 | 4    | 7:52 (±2 : 04)  |
| P5       | D3 | 5    | 6:19 (±1 : 48)  |
| P6       | D3 | 5    | 6:37 (±3 : 52)  |
| P7       | D3 | 6    | 9:20 (±2 : 41)  |
| P8       | D3 | 5    | 7:46 (±1 : 51)  |
| P9       | D3 | 5    | 5:28 (±1 : 21)  |

### 6.4.1 発言の整理

それぞれの医師－患者の診察において確認された各発言の回数の合計を表 6.5 に示す。

表 6.5: 医療従事者－慢性疼痛患者間の診察中の各発言の合計

| 発言内容 |                 | 患者 |    |    |    |    |    |     |     |    |
|------|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|
|      |                 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7  | P8  | P9 |
| 医師   | 挨拶・自己紹介・患者確認    | 9  | 18 | 4  | 6  | 14 | 9  | 20  | 11  | 11 |
|      | 詫び              | 0  | 4  | 5  | 7  | 11 | 10 | 8   | 6   | 15 |
|      | 雑談・世間話・アイス B    | 6  | 17 | 4  | 15 | 0  | 0  | 5   | 3   | 2  |
|      | 促し・催促           | 5  | 5  | 7  | 2  | 2  | 4  | 4   | 14  | 7  |
|      | 繰り返し            | 7  | 9  | 28 | 9  | 14 | 7  | 15  | 12  | 16 |
|      | 明確化・確認・要約       | 19 | 34 | 30 | 12 | 48 | 33 | 51  | 68  | 44 |
|      | 共感・反映・I-message | 11 | 14 | 10 | 6  | 4  | 8  | 26  | 21  | 4  |
|      | 正当化             | 1  | 7  | 5  | 2  | 4  | 1  | 15  | 3   | 3  |
|      | 症状・治療に関する質問     | 15 | 39 | 26 | 16 | 69 | 33 | 57  | 85  | 60 |
|      | 既往歴確認           | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  |
|      | 個人的情報確認         | 1  | 6  | 8  | 4  | 0  | 5  | 3   | 4   | 7  |
|      | 患者の思いの確認        | 0  | 2  | 3  | 0  | 2  | 3  | 7   | 4   | 2  |
|      | 会話を遮る           | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  |
|      | 説明・告知           | 7  | 18 | 49 | 9  | 14 | 18 | 28  | 31  | 18 |
|      | 指示・指導           | 2  | 0  | 13 | 1  | 1  | 0  | 5   | 4   | 2  |
|      | 称賛・ポジティブな評価     | 1  | 2  | 2  | 2  | 6  | 1  | 5   | 2   | 1  |
|      | 注意・叱咤（ネガティブな評価） | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  |
|      | 提案・アドバイス        | 0  | 5  | 6  | 2  | 6  | 3  | 14  | 11  | 2  |
|      | 自己決定の援助         | 1  | 1  | 4  | 1  | 3  | 0  | 3   | 8   | 1  |
|      | 目標確認・設定         | 0  | 0  | 2  | 0  | 7  | 4  | 3   | 1   | 6  |
|      | ドアノブ・クエスチョン     | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 7  | 2   | 12  | 9  |
|      | 今後の通院予定         | 4  | 12 | 7  | 5  | 8  | 1  | 8   | 6   | 3  |
|      | コンタクトの保証        | 0  | 1  | 0  | 0  | 4  | 2  | 6   | 0   | 1  |
| 患者   | 挨拶              | 8  | 10 | 3  | 5  | 10 | 4  | 12  | 14  | 16 |
|      | 体調・気分表現         | 3  | 23 | 40 | 29 | 51 | 55 | 118 | 122 | 73 |
|      | 現在までの治療内容説明     | 22 | 23 | 21 | 22 | 15 | 17 | 55  | 38  | 10 |
|      | 質問              | 8  | 2  | 14 | 4  | 4  | 6  | 22  | 18  | 6  |
|      | 思い/心理(不安・安心)吐露  | 19 | 4  | 26 | 21 | 18 | 47 | 67  | 61  | 26 |
|      | 感謝              | 3  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 5   | 2   | 0  |
|      | 雑談・世間話          | 8  | 25 | 3  | 23 | 0  | 6  | 41  | 22  | 15 |
|      | 症状説明            | 11 | 1  | 0  | 0  | 12 | 1  | 7   | 19  | 27 |

診察中の会話を整理したところ、下記の流れで進められていた。

1. 開始時の挨拶
2. 近日の体調/前回の診察からの体調の変化の問診
3. 薬の処方

4. 次回の診察の予定
5. ドアノブクエスチョン/コンタクトの保証
6. 終了時の挨拶

ByrneとLongは急性期の医師-患者間で行われる診察の流れを表6.6のように整理している[117]。これらと比較すると、観察された診察の流れはByrneらの整理した診療のプライマリ・ケア診療の流れと概ね同じように進行していた。詳細に見ると、ほぼ全ての診察開始時に挨拶が行われていた一方、関係性の構築のために行われる自己紹介の発言は観察されなかった。また、医師からの診断の提示が行われる場面は少なく、代わりにその時点での症状の確認が多かった。さらに、診察中のタイミングに依らず、患者の日常生活に関わる雑談に該当する会話が行われていることが確認された。

表6.6: 急性期のプライマリ・ケア診療の全体的な組織構造（参考文献[117]邦訳版より引用）

|     |       |                    |
|-----|-------|--------------------|
| I   | 開始部   | 医師と患者の相互行為的な関係性の構築 |
| II  | 症状提示部 | 患者からの病状や受診理由の提示    |
| III | 問診・触診 | 病歴聴取・身体触診          |
| IV  | 診断    | 医師からの診断の提示         |
| V   | 治療方針  | 治療や今後の検査についての話し合い  |
| VI  | 終了部   | 診療の終結              |

#### 6.4.2 称賛・ポジティブな評価

観察した全会話から、医師が称賛・ポジティブな評価を行っていた会話のイベントが下記に示すように抽出された。

1. ポジティブな意志の表現
2. 症状改善に向けた努力
3. 患者の自己管理記録
4. 通院継続
5. 患者の日常生活の努力
6. 外観の変化
7. 医師への貢献
  - ・ 症状説明のための説明資料作成
  - ・ 研究への協力



8. 患者にとって悪い情報の提示

9. 患者が長期に渡り症状改善を感じられない状況

これらは更に大きく二つの場合に整理できる。一つは、1~7のように患者の努力や前向きな態度の表現が確認された場合である。一例として、医師D1が患者P2が治療努力を確認した場合の会話を下記に示す。

（ケース1：2016年3月7日 ペインセンターでの診察）

P2：で今ちょっとお湯で、お風呂入らずに、ちょっとずつつけて。

D1：あっ、つけてみよるんですか。

P2：これにういたら、ジーっとくるから、も、このへんぐらいまで。ちょっとずつ、またつけてみて。

D1：慣れていくような感じですかね？

P2：そうですそう。あんまりこの辺来るとジーっとくる。

D1：うんうん

P2：ま、とりあえずこれでちょっとでもつけりゃ、少し良くなるかな。血の巡りがよくなりゃ。

（別の内容の会話を挟む）

D1：ま、でも少しづつこうね、自分であのー

P2：できること

D1：うん、できることをって、やられてるから。

この会話では、患者P2が日常でお湯や水に患部をつけて自律神経を整える温冷療法を行っていることについて話している。この件について医師は、自ら治療を行っている患者の努力を評価し、称賛を行っていた。

もう一つは、8~9のように患者にとって悪い状況が発生している場合である。例として、医師D2が患者P3にとって悪い情報を提示した場合の会話を下記に示す。

（ケース2：2016年2月15日 ペインセンターでの診察）

P3：え、あの痛みってのは基本もうこのままみたいなあれなんですかね。それとも…。

D2：難しい…。

P3：難しいところですか。

D2：難しいと思いますね。

P3：基本は、消えない方でいいんですか。

D2：基本消えないですね。消えない。消えないけれどもこれぐらいなら頑張れ

るかなあとか．寝込む回数が減ったっていうのもそれは進歩ですし，今まで寝込んでたけれども，自分でお薬の調節して，寝込むのも減ったとか，そういう工夫もちゃんとP3さんできているんで．

P3が痛みが残ることに不安を感じてD2に質問したところ，D2は疼痛が消えないということをはっきりと伝えている．また続いて，痛みがある状態でのセルフコントロールができることが望ましいことを伝えている．さらにその後に，P3が望ましい振る舞いができるとして称賛・評価している．

### 6.4.3 注意・叱咤

注意や叱咤のような適切な治療のためのフィードバックは患者P3と医師D2の診察でのみ確認され，二つの場面が存在した．一つは下記のような流れでフィードバックが行われていた．

1. 患者ができることの評価
2. 不適切行為の制止（フィードバック）
3. 患者にとって重要事項の説明

医師から患者に不適切な行為に対するフィードバックは不適切行為の制止の部分で行われていた．

もう一つの場面では，下記のように一連の会話で二度，不適切な行為に対するフィードバックが行われていた．

1. 前半
  - (a) 不適切行為の確認
  - (b) 不適切な行為が患者にとって不利益になることの説明（フィードバック）
  - (c) 望ましい行為と理由説明
2. 患者の称賛（ケース2参照）
3. 後半
  - (a) 不適切行為の確認
  - (b) 不適切行為の停止が望ましいと説明（フィードバック）
  - (c) 今後の振る舞いの指示
4. 患者への共感と励まし

どちらの場面にも共通することとして、患者に対して不適切な行為のフィードバックを行う場合、「～した方がいい」という言い方をしていた。また、フィードバックにはその理由が付随しており、加えてフィードバックを行った後に患者が行うべき望ましい行為の指示をしている。さらに、フィードバックが行われる前または後で、患者に対する称賛や共感、励ましなどの気分を高める発言を行っていた。

例として、ケース2の後半部分、すなわち前項で挙げたケースP2で医師D3から患者P2に対して称賛が行われた直後に、D3から不適切な行為へのフィードバックが行われた会話を下記に示す。

（ケース2:2016年2月15日 ペインセンターでの診察）

P3：なんかちょっと一回，1日何にも飲まんとして，やってみたんですよ。

D2：やめたほうがええ。

P3：めちゃくちゃですよ。

D2：やめたほうがええと思う。今はやめたほうがええと思う。

P3：やっぱそのめちゃくちゃで，1日たってその，薬飲んだ時にやっぱすごいめちゃくちゃ効いたのが分かって，うん。うーん，やっぱ，ほっとするぶん，やっぱ怖いのもあるかなってところで。

D2：大丈夫，このまま，徐々にようなっては来てるから，そのお薬の調節？ 一気に全部減らしたらとんでもないことになるんで，もう少し落ち着いて取りあえず1年，1年たって，じゃあ少しずつ減らしていきましょうとか，うん。

患者は痛み止めなどの処方された薬を継続的に服薬し，痛みをコントロールする。しかしP3が薬を飲んでいないと発言している。それに対してD2は，P3のその行為が望ましくないものとして中断するよう呼びかけている。また，D2は症状が改善しつつあるとP3に伝えて安心させつつ，今後の方針を説明している。

#### 6.4.4 医師と患者の位置関係に関する結果と考察

診察中の医師と患者の配置例を図6.1に示す。事前に計測しておいた椅子や机の位置関係から医師と患者間の距離を0.1 m単位で確認したところ，患者全員が約1.2 mの基本距離で医師の診察を受けていた。この距離は澤らの提案する初回面談で好ましい距離と等しい[111]。また，同様に医師は患者に対して正対ではなく，患者から見て多少左方向に向いた90度法に近い姿勢を取っていた。



図 6.1: 診察中の医師と患者の配置例

## 6.5 考察

### 6.5.1 患者の精神状態

本研究で観察対象となった患者は診察担当医師により紹介された。また、調査の対象となる患者のうち、Cohnの危機モデル[96]における悲観段階にあるようなネガティブな精神状態の患者は調査に同意する可能性が低い。このため、観察されることにより精神的に不安定になる可能性がある患者や、信頼関係を築くことができていないと判断された患者は、各医師が紹介対象から除外した可能性がある。また、観察に同意した患者9名は観察期間開始時点で担当医師の診察を半年以上受けていた。従って、患者P1～P9はそれぞれ各担当医師との信頼関係を構築済みであり、疼痛があることを理解し適応しようとする心理状態、すなわちCohnの危機モデルに当てはめると防衛または適応の段階にある患者であると推察される。

### 6.5.2 フィードバックに関する考察

#### 患者への称賛

医師が患者に称賛の発言を行う場面は複数確認された。それらの場面において観察された称賛の対象としては、治療に望む患者の努力や前向きな態度が挙げられた。医師D1は、多くの患者と医療従事者との間に痛みに対する意識の差があると考えている。患者は痛みが完全になくすることを望んで治療を受ける場合もあるが、ペインセンターで勤務する医師は慢性疼痛の痛みが完全になくすることは少ないと考えてい

る．例えば患者P3はケース2で挙げたように、回復することを期待しつつ、将来に不安を感じていた．

慢性疼痛患者を長年診察してきた医師D1は、ペインセンターでの医療従事者の役割として、下記の目標を患者に達成してもらうことと表現した．

<1> 痛みは消えないということを理解し、痛みを受け入れる

<2> 痛みが和らぐ、または痛みは変わらないが色々なことができることを自覚し増やす

患者P4は診察時間外で行った非構造化面接において、過去に医師D1から「痛みがなくなることはない」とはっきり伝えられたこと、それにより「治さなければいけないというプレッシャーから開放され肩の荷が降りた」と述べている．前述のように観察対象患者の多くが各担当医師の診察を長期間受けている過程で、上記目標の指導を受けていることが考えられる．今回の観察でもケース2が該当する．

しかしながら、患者によっては上記指導内容を受け入れられないことも考えられる．ケース2の時点ではP3はCohnのモデルにおける回復への期待段階と捉えることができる．回復への期待を持つ患者に対し、完全な回復はできないと伝えても、患者はその事実を受け入れることが難しい．このような場合において、称賛は患者が態度や行動を変えることを促す．従って、医師は上記項目を満たす患者の行為や態度確認された場合に称賛を行っていると考えられる．

また、第6.4.2項にも示したように、慢性疼痛の治療に関することだけでなく、患者の日常生活に関する事柄についても称賛が行われている．調査において、診察中に少なからず患者の日常生活に関わる雑談に該当する会話が行われていた．雑談や世間話をすることは、箕輪らが整理したように、患者が話しやすい雰囲気を作ることに貢献する[108]．その一方で、第4.1.2項で医療従事者が述べたように、慢性疼痛の診療においては世間話をするのが患者を取り巻く環境を把握するための手段にもなりうる．すなわち、雑談や世間話は慢性疼痛患者の日常生活上で行われている称賛すべき行動や態度を把握可能にし、患者を称賛する機会を増加させることに貢献している．また、医師は少しでも患者を称賛することで、気分が落ち込みがちな患者の気分を高め、自己効力感を向上させようとしていると推察できる．

#### 患者の不適切な振る舞いに対するフィードバック

第4章で実施したインタビューでは、医師DAは「あまり叱ったりということはないですね」と発言していた．しかしながら、実際には回数自体は少ないものの、患者の不適切な振る舞いに対するフィードバックが行われていることを確認した．

行動変容のために行われる不適切な振る舞いに対するフィードバックは可能な限り患者の気分を損うことや、自己効力感を失わせることなく行うべきである。一方的な叱責は、自己効力感を下げる言語的説得にあたる。特に、患者の人格を否定するような叱咤は、行動変容への効果がないだけでなく、患者の気持ちを傷つけ、不満を持ってしまう可能性があるため、行うべきではない。適切な叱咤の仕方の例として、中嶋は下記の4つを、受け入れられる叱咤のステップとして挙げている [118]。

<1> 気づかせる 自らの行為に問題があることを気づかせる

<2> 納得させる 叱られる理由を伝えることで、叱られることに納得させる

<3> 反省させる 同じ過ちを繰り返さないよう反省を促す

<4> 改善させる 今後を見守っていることを伝え、改善のための行動を自発的に促す

この叱咤のステップと医療従事者の患者に対するフィードバックを比較すると、期間中の観察では医療従事者は不適切な行為を厳しく叱るようなことはなく、上記ステップのうち<1>、<2>にあたる行為を行い優しく諭すように伝えていた。また、<3>の代わりに、望ましい行為とその理由を伝えている場面があった。このような指摘と助言を組み合わせることは、Grantの主張する否定的フィードバックの行い方 [119] に類似している。

このような医療従事者が行っているフィードバックの仕方は、叱咤や批判とは区別して扱われるべきだと考える。そこで本研究では、今回観察した医療従事者が行っていたネガティブな影響を及ぼさない否定的フィードバックの仕方を「説諭」と定義する。具体的には、説諭は下記の二つの手順で達成されるものとする。

<a> 対象者の不適切な振る舞いを、その理由と共に指摘する

<b> 対象者にとって望ましい振る舞いを、その理由と共に教示する

ここで、指摘・教示される理由は対象者にとって有益であるか有害であるかという観点で述べられるべきである。

観察された説諭は、その前後に称賛や共感などの患者の気分を高める発言が付随していた。これは説諭のように対象者に配慮したフィードバックであっても、対象者に精神的ダメージを与える可能性を考慮した結果だと考えられる。また、説諭で与えられる精神的ダメージが小さいものであれば、称賛による気分の高揚の効果が勝り、振る舞いの改善を前向きに行うよう動機づけられることが期待できる。これは指摘を称賛で挟むようにして相手に伝えるサンドイッチ法 [120]（またはハンバーガー法 [121]）と発想や手法が似ている。これらの手法は指摘によって発生しうる対象者の精神的ダメージを軽減するための工夫であり、医療従事者も患者に対して同様の手法をとっていた。従って、説諭を行う際には称賛を同時に行うことで、説諭の内容をより受け入れやすくする効果が期待できる。

### 6.5.3 位置関係に関する考察

今回の調査で確認された位置・姿勢関係は診察室内の机やコンピュータの配置に影響されているとも考えられる。医師と患者の間には机の一部が存在する。この上には資料を置いたり、患者の患部が上腕の場合は机上に患部を差し出して医師に見せるなどの利用が考えられる。観察中では、医師が患者に対して資料を共に見ながら説明を行う際、その机の一部分上に資料を置く場面があった。患者は自らの正面に資料を提示されることで、資料を閲覧しやすく、かつ医師とも適度な距離を保つことができる。一方で、机が存在することで医師と患者は距離を縮めることを困難にしている。そのため、机が存在しない場合には医師は観察された距離より患者に接近した位置に移動する可能性も考えられる。また、医師が使用するコンピュータの位置は医師－患者間から横にずれた位置に設置してあることで、医師がコンピュータ操作のためにディスプレイの方向を向いて座るようになる。そのまま患者と会話する際には自然と斜めを向いた状態になる。従って、これらの位置・姿勢関係が医師や患者が意識的に取ったものなのかを、さらには診察に最も適しているかどうかを言及することは難しい。

いずれにしても、調査で確認された位置・姿勢関係は従来提案されていた望ましいとされる状態に倣っている。また、患者は長期受診経験から、その位置関係に慣れ親しんでいると考えられる。ここから、本研究で検討するコンピュータエージェントの表示と、今回の調査で観察された患者視点での診察中の医師の位置や姿勢を対応付けることで、患者がコンピュータエージェントとインタラクションを違和感なく受け入れられる可能性がある。

## 6.6 まとめ

本章では、第4, 5章で挙げられた課題を解決する要素を見出すため、岡山大学病院で勤務する医療従事者と慢性疼痛患者が診察中に行う会話を調査した。会話分析の結果、患者の気分を高める称賛とともに、不適切な行為の指摘と適切な行為の説明を行うことで患者の気分を害さずに行動を改めるよう促す説諭が行われていることが明らかになった。

コンピュータが行う説諭がユーザに与える影響はCaptologyの領域でも未検討であり、説諭のような望ましくない行動へのフィードバックのあり方を検討することはCaptologyの概念拡張に貢献できると考えられる。次章で、コンピュータから行われる称賛や説諭が、ユーザの意識やタスクの実行にどのような影響を及ぼすか調査する。

## 情緒的支援機能の検討

在宅用VR-MVFシステムのように患者が医療従事者がいない場所で治療が行われる状況において、称賛のように患者の治療意欲を維持・向上させる要素となる情報やメッセージを表示する機能を実装することで、患者の治療継続を促すことが期待される。また、称賛だけでなく、治療における患者の不適切な振る舞いを改善するために医療従事者が行う説諭のような指導のメッセージは、医療従事者があたかもコンピュータを介して見守っているような感覚を患者に与えられる可能性がある。

そこで本章では、前章で検討した称賛や説諭といった情緒的フィードバックをインタフェースが行うことによってユーザに与える効果について検討する。

### 7.1 仮説設定

#### 7.1.1 称賛

称賛は他者に対して行う肯定的なフィードバックの一種である。HenderlongとLepperは、称賛は誠実であると認識されたときは対象者の内発的動機づけを高めつつ忍耐力を強化する、適応的行動への帰属や自律性の自覚を促進する、社会的な比較に依存することなく個人の能力に関する積極的な情報を提供する、現実的かつ破壊的でない基準や期待を伝える、という効果を持つと整理している[122]。一般的に、人は自分に対し好意的な評価を行う他者に対して良い印象や信頼感を持つことが知られている。信頼をおく他者からの情報はより信憑性をもって受け入れられる。誠実ではない、明らかなお世辞であっても対象者に好意的印象を与えることは可能であり、後の承諾を得やすくする効果があることも確認されている[123, 124, 125]。

以上から、称賛を行うことで対象者の自己効力感や自律性を高め、かつ気分を高揚させるという心理的影響を及ぼし、それによって称賛された行為をより多く行う効果が期待できる。

なお、能力や結果の称賛は対象者が瞬間的に好成績を残すことに貢献するが、その後の失敗を恐れ失敗した際には持続性の低下や成績の低下を引き起こす可能性がある[126]。一方、努力の称賛は行為の進捗に対する認識を支えることで動機を維持する。特に学習やリハビリテーションのように長期的に継続が必要な行為に対する動機づけには努力に対する称賛が有効だと考えられる。



### 7.1.2 説諭

否定的フィードバックは対象者の行為や仕事が望ましいものではないことや、目標に達していないことを示すために行われる。また、それによって対象者の行為の改善を促すことから、建設的または矯正的フィードバックと呼ばれる場合もある。否定的フィードバックを行う本人には相手に負の感情を起こす意図は無くとも、結果として負の影響が発生する場合は多い[127]。例えば、否定的フィードバックを受けた人は自己効力感や内発的動機づけが低下する。一般的に、否定的なフィードバックである批判を行う人は他者から好まれないが、褒める人よりも知的に感じられる場合もある[128]。その一方で、お世辞や称賛と異なり根拠のない批判は拒絶される可能性がある[129]。

破壊的批判のような否定的フィードバックでは自己効力感の低下に繋がる[130]。また、否定的フィードバックがタスクの進捗や熟練に焦点を当ててではなく、対象者自身の特性に注目するものや他者と比較するようなものの場合、むしろ動機に悪影響を与えることが予測される[131]。

前章で定義した説諭も否定的なフィードバックに属する。説諭は破壊的な批判ではなく、改善すべき点の指摘と望ましい行動の助言で構成される建設的なフィードバックである。説諭は対象者にとって利益になる助言を含むことで、対象者の自己効力感や内発的動機づけ、また説諭を行った者に対する印象を損なうことなく行動の改善に対し動機づけを行うことが期待できる。

### 7.1.3 Persuasive Technology における称賛と説諭

幾つかの研究は、コンピュータからの言語的報酬の効果に言及している。Reeves や Fogg, Nass らによりコンピュータからの明らかなお世辞を受け取るユーザは自分の振る舞いを良く評価し、お世辞を言うコンピュータを誠実な称賛を行うコンピュータと同様に好意的に評価し、気分や意欲が高まることが明らかになっている[133, 132]。また、Mumm と Mutlu は実際のタスクのパフォーマンスに依らず称賛を与えた場合にタスク継続意欲が増加することを確認している[134]。Persuasive Technology の概念では称賛を行うコンピュータがユーザから好意的に見られ、その後の説得を行いやすくすることを「称賛の原理」として整理している[11]。また、褒め言葉やバッチなどの報酬はユーザの行動を強化することに用いられる。

一方で、否定的なフィードバックについては懐疑的、もしくは否定的な意見が多い。Schwanda らは好意的理由（例えば、筋肉量増加に伴う体重増加）を考慮しない否定的なフィードバックがユーザに不快感を与え、技術使用中断に繋がると指摘している[135]。

コンピュータからの称賛を人からの称賛と同様に扱う理由について、Nassらは「コンピュータはソーシャルアクタである（CASA）」というパラダイムを示した[136, 137, 133]. 彼らは人間と人間との相互作用を導く社会的ルールとダイナミクスが人間とコンピュータの相互作用に等しく適用されることを示している. 例えば, 人はコンピュータに人格を感じ[138], チームメンバーとして認識することができる[139]. このパラダイムに基づくならば, コンピュータからの説諭は人間が行う説諭と同じような対象者の行動変容効果や意識を変える効果を有することが期待できる.

今日ではショートメッセージサービス（SMS）やEメールなどのテキストメッセージを介したコミュニケーションは一般的になっている[140]. テキストメッセージにより健康行動増加を促す報告[141]もあり, 言語情報だけでも行動や態度を変えるだけの影響を与えることは可能と考える.

#### 7.1.4 仮説設定

本研究では下記8つの仮説を実験的に検証する. 称賛は行為を行った対象者の自己効力感を高める. また, 批判や叱責のような否定的フィードバックでは自己効力感の低下に繋がるが, 説諭は自己効力感を低下させないよう提示される.

H1-A: 努力への称賛を提示するインタフェースは, ユーザの自己効力感を高める

H1-B: 説諭を提示するインタフェースは, ユーザの自己効力感の低下に影響しない

インタフェースからの称賛はユーザの内発的動機, その中でも自律性が高まることが期待できる. 一方で, 否定的フィードバックでは内発的動機は低下する[142]が, 対象者の精神的ダメージに配慮しパフォーマンス向上のための提案を伴う説諭であれば, それがインタフェースからのものであっても内発的動機や自律性の低下の軽減が期待できる.

H2-A: 努力への称賛を提示するインタフェースは, ユーザの自律性を高める

H2-B: 説諭を提示するインタフェースは, ユーザの自律性の低下に影響しない

称賛を行うコンピュータは好意的に見られ, ユーザの気分を高める. 一方, 説諭を行うインタフェースには権威を感じ, 信頼しやすい印象を与えることが期待できる.

H3-A: 努力への称賛を提示するインタフェースは, ユーザのインタフェースの印象を高める

H3-B: 説諭を提示するインタフェースは, ユーザのインタフェースの印象を高める

称賛は望ましい行動に対して行われるのであれば, その行動を促進する. また, 人間が行う建設的フィードバックとしての説諭は, 対象者の望ましい行動を発生させる.

H4-A: 努力への称賛を提示するインタフェースは、対象となるユーザの行為を強化する

H4-B: 説諭を提示するインタフェースは、ユーザが行うべき行為を強化する

## 7.2 称賛と説諭を行う情緒的支援機能を有するインタフェース

### 7.2.1 要件設定

上記仮説を検証するための実験に必要なインタフェースを作成した。インタフェースの要件は以下の5つである。

- (a) 対象となるタスクを外部アプリケーションとして実行可能である
- (b) タスク中の振る舞いをデータとして取得可能である
- (c) データや事前に定めたルールに基づき称賛や説諭のメッセージを生成可能である
- (d) 生成したメッセージをテキストとして画面に表示可能である
- (e) 人間の代わりにメッセージをユーザに伝えるキャラクターが表示される

これらのインタフェースの要件とは別に、タスクとして行われる外部アプリケーションには実行中の振る舞いやタスクの結果に関する各種データが出力・保存される機能を有する必要がある。

### 7.2.2 実装

後述の実験で使用したインタフェースの外観を図 7.1 に示す。インタフェースは右側のアバター部、左側のメッセージ部、下部応答ボタン部で構成される。要件 (a) に対応するため、インタフェースにはタスクとなる外部アプリケーションを起動・実行する機能を実装した。また、要件 (b) に対応するため、外部アプリケーションから出力されるテキストファイルに保存されたタスクの結果を読み込む機能を実装した。

要件 (c) に対応するメッセージ生成機能を実装した。メッセージの作成に必要なルールはスクリプトとして記述され、複数のテキストファイルに保存される。インタフェースはユーザのボタン押下後などのタイミングでスクリプトが記載されたファイルを読み込み、タスクの結果や記述されているスクリプトに従ってメッセージを作成する。

要件 (d) に対応するため、インタフェースでは作成されたテキストメッセージがメッセージ部に表示される。ユーザに伝える情報はメッセージ部に文章として、あたかもキャラクターが発言したように提示する。また、要件 (e) に対応してメッセージを話しているように振る舞うキャラクタイメージがディスプレイに表示される。キャラクタイメージはキャラクター毎に表情の数だけ静止画で用意され、前述のスクリプトに従って

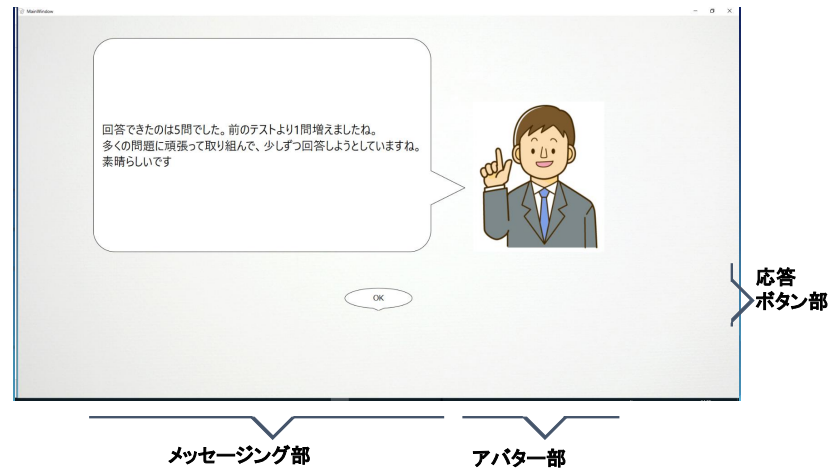


図 7.1: 情緒的支援インタフェース画面例

変化，表示する．なお，実験には図 7.2 に示すキャラクター種類，表情 4 つが使用された．キャラクタはインターネット上で配布されているもの<sup>1</sup>を作者の許可をとって使用した．

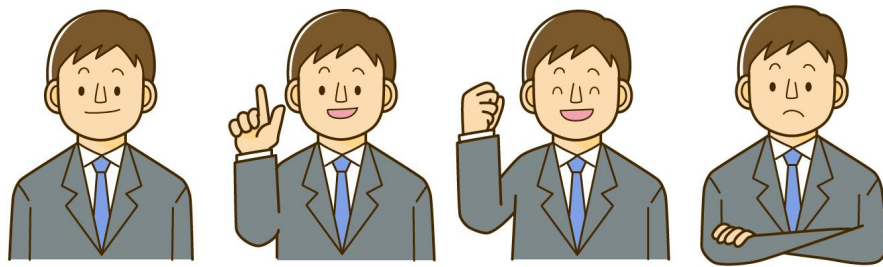


図 7.2: 情緒的支援インタフェースで提示されるキャラクタ画像

なお，応答ボタンの連打によるメッセージスキップを防止するため，応答ボタン押下後 1 秒間は次の応答ボタンが表示されないようにした．

## 7.3 効果検証実験

### 7.3.1 倫理的配慮

本節で述べる実験は，参加者の個人情報取り扱いなどに関して岡山大学工学部機械システム系学科システム工学コース倫理審査委員会に倫理審査申請を行い，承認を得た上で実施した．

<sup>1</sup>子供と動物のイラスト屋さん, <http://www.fumira.jp/>

### 7.3.2 参加者

工学部システム工学科の大学生または自然科学研究科の大学院生男性54名が実験参加のため雇用された。参加者は大学入学程度の日本語能力と、日常的にコンピュータを操作する経験（例えば、ワードプロセッサを用いて課題レポートを作成する）を有していた。また、参加者は全員基本情報技術者資格未保有かつ受験経験もなかった。募集時には参加者には「作成したインタフェースの評価に協力してもらう」とだけ伝えていた。また、参加者は実験前日に、情報技術学習に対する意欲と自信についてそれぞれ1（全く意欲がない／全くそう思わない）から7（かなり意欲がある／とてもそう思う）の7段階で回答した。

### 7.3.3 独立変数

独立変数はインタフェースから提示されるメッセージの種類である。メッセージは称賛、説諭そして統制の3種類である。各参加者は参加時に回答したアンケートに基づき、情報技術学習に対する意欲が各群で均等になるようにランダムで振り分けられた。

### 7.3.4 実験プロセス

参加者は実験開始までの24時間以内に、情報技術に関する知識や意欲を確認する実験前アンケートをインターネット上で回答した。

実験当日、参加者は実験会場に集まった後、他の参加者の操作の様子がわからないようにそれぞれ1m以上離れてコンピュータの前に着座した。その後、実験者から「情報技術の学習を支援するための機能を有するインタフェースの評価をしてもらう」ということを説明した。また、ディスプレイに表示されるインタフェースに対し、参加者各自の判断で操作を進めるよう指示した。注意事項として、インタフェースの操作を終了した場合、他の参加者全員がインタフェースの操作を終了するまでは、インターネットブラウジングをするなどしてコンピュータの操作を継続してもらうよう指示した。

インタフェースの操作プロセスは説明フェイズ、テストフェイズ、フィードバックフェイズ、継続選択フェイズで構成される。プロセス中の各フェイズの遷移は図3のように行われる。これら実験全体のプロセスは平均1時間30分程度だった。

## 説明フェイズ

説明フェイズでは参加者に参加者は情報技術学習に対する動機づけを行うため、インタフェースから情報技術の学習を行う意義や、参加者の情報技術に関する現在の知識を確認するためのテストを実施することが示される。具体的には、参加者は将来的に情報技術の知識が必要となる場面が増えること、そのような場面で参加者は他者から情報技術に関する知識を有していると期待されることをインタフェースから説明された。

また、このフェイズで操作者はインタフェースがメッセージを表示すること、インタフェース下部のボタンを押すことで次の場面に移ることを把握する。

## テストフェイズ

テストフェイズでは説明フェイズまで表示されていたインタフェースは隠れ、代わりにテスト画面が表示される。テスト画面の例を図 7.3 に示す。



図 7.3: 情報技術に関するテスト画面例

テスト画面はインタフェースとは別アプリケーションとして作成された。テストは1回につき10問出題された。テストの問題は基本情報技術者試験の過去問をIPA 情報処理推進機構<sup>2</sup>より許可を得て引用し出題した。各問題では、上部に問題文、回答の選択肢を提示してある。選択肢には基本情報技術者試験の回答選択肢4つに加え、正解がわからない場合に選択する「わからないのでパスする」が含まれる。実験参加者は回答を選択肢から選択した後、画面下部に表示されている「次の問題へ」ボタンを押す。いずれかの選択肢を選択するまで「次の問題へ」ボタンを押すことはできない。

<sup>2</sup>IPA 情報処理推進機構, <https://www.jitec.ipa.go.jp>

1回あたりのテスト時間は最大15分で、それ以上時間が経過すると強制的に終了する。このテスト時間は基本情報技術者試験の試験時間配分や事前に研究室内の学生数人に行ってもらった際にかかった時間を元にして、全問回答するのに必要な時間を10分として見積もった上で十分余裕がある時間として決定した。また、参加者の実験参加時点での情報技術の知識量を予想し、参加者がテスト1回あたり3問程度回答できるように出題される問題を選定した。

テスト終了後、テスト画面は消えて情緒的支援インタフェースが再度自動的に表示される。

### フィードバックフェイズ

フィードバックフェイズではインタフェースから直前のテストの内容などについてメッセージが表示された。このフェイズのみ、各条件で表示されるメッセージ内容が異なる。メッセージ例を図7.4に示す。

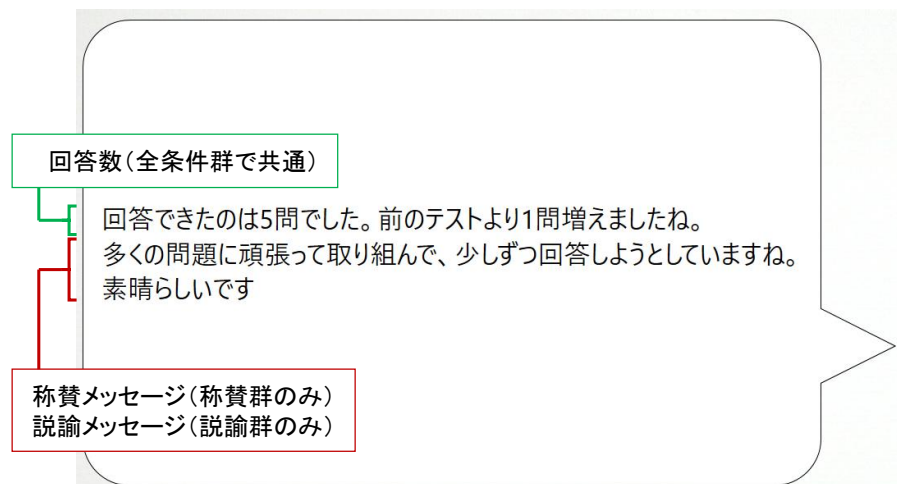


図 7.4: 情緒的支援インタフェースから提示されるメッセージ例

全条件で、直前のテストの回答数がメッセージとして表示された。また、2回目以降のテストで前回のテストと比較して回答数が増加または減少した場合、その数が提示された。その場合、メッセージは「回答できたのは5問、前のテストより1問増えました」のように表示された。このメッセージには称賛や説諭の意図はなく、ただ結果を明示するだけである。

称賛群では上記に加えて、テストで回答しようとする努力を賞賛するメッセージが表示された。メッセージは例えば、「多くの問題に頑張って取り組んで、少しずつ回答しようとしていますね。素晴らしいです」のようなものが表示された。

説諭群では全郡共通で表示されるメッセージに加え、より多くテストの問題に取り組んで回答するよう仕向ける説諭のメッセージが表示された。説諭のメッセージは前

述のように改善すべき点の指摘と望ましい振る舞いを含むようデザインした。提示されたメッセージは例えば、「でもこれから回答できる数はまだ増やせますよ。持っている知識から考えてみると、答えられるものもあります。それを知るためにも、より多くの問題にチャレンジしましょう」のようなものだった。

称賛群と説諭群で表示されるメッセージはテストの回答数に応じてふさわしいものを表示した。具体的には、テストの回答数が10問の場合と0問の場合はそれ以外の場合と異なるメッセージが提示された。

## 継続選択フェイズ

継続選択フェイズでは画面に継続するかどうかを参加者に選択させるメッセージが表示される。終了ボタンを押すとアンケート入力画面へと移行する。一方、終了することを選択した場合は終了を伝えるメッセージが表示され、アンケート画面が表示される。また、テストを合計7回実施した後は継続選択がスキップされ、終了を選択した場合と同様の処理が行われる。

### 7.3.5 測定対象

本実験では下記の4つを評価項目として設定した。これらの質問票の質問項目は付録Bに示す。

#### (1) 自己効力感に関する質問票

自己効力感に関する質問票は仮説H1の検証に対応する。質問票はPintrichとDeGrootが作成したMotivated Strategies for Learning Questionnaire[143]から自己効力感因子項目を抽出し日本語訳して使用した。各項目の選択肢は1（全くそう思わない）から7（とてもそう思う）の7段階だった。参加者は実験前後でそれぞれ回答し、評価は全項目の合計（最低9～最大63）の実験前後での変動量で行う。

#### (2) 自律性に関する質問票

自律性に関する質問票は仮説H2の検証に対応する。質問票はBlackとDeciが用いたLearning Self-Regulation Questionnaire (SRQ-L)[144, 145]を日本語訳し、内容を情報技術学習に合わせて改変して使用した。この質問票では5つの自律的調整（Autonomous Regulation：AR）に関する項目と7つの他律的調整（Controlled Regulation：CR）に関する項目からなる。各項目の選択肢は1（全くそう思わない）から7（とてもそう思う）の7段階だった。参加者は実験前後でそれぞれ回答し、評価はARに関するスコアの合計（最低5～最大35）からCRに関するスコアの合計（最低7～最大49）を引いたAR-CRスコアの実験前後での変動量で行う。



### (3) インタフェースの印象に関する質問票

インタフェースの印象に関する質問票は仮説H3の検証に対応する。質問票は称賛や説諭により起こりうる参加者自身の心理への影響や、称賛や説諭の効果に影響を与えうるインタフェースへの信頼感などの印象について、竹内と片桐[146]が実験で用いた心理評定を参考に作成した。質問票の項目は、期待された感覚、メッセージによる気分高揚、メッセージ内容の理解、試験実施者の意図の感覚、優しさ、見守り、信頼、権威、学習継続への効力予期、厳しさの9つを問うもので構成される。質問票の選択肢は1（全くそう思わない）から7（とても思う）の7段階とした。評価は項目毎に行う。

### (4-1) テスト継続数および (4-2) テスト1－2回目間の回答数の変動

テスト継続数とテスト中の回答数の変動は仮説H4の検証に対応する。今回の実験では前述の情報技術に関するテストの継続およびテスト回答数の増加を望ましい行動として設定した。テスト回答数は参加者で異なるため、全員が実施する1回目と2回目のテスト間で回答数がどう変動したかに注目した。

以上の4つの評価項目を各群間でWelch検定により比較した。有意水準は10%とし、検定の結果、 $p$ 値が0.1より小さかった場合には、Bonferroni法による多重比較を行い、どの群間で差があるのかを確かめた。

## 7.3.6 実験結果

実験参加者のうち、参加者称賛と説諭の内容に関する質問票において自由記述回答部分が全て無記入の参加者、実験後インタビューで参加者本人がインタフェースのメッセージを読んでいないことを示唆する発言をした者は統計対象から除外した。その結果51名（統制群16名、称賛群18名、説諭群17名）が統計分析対象となった。

事前に確認した情報技術の学習に対する意欲と自信の各群の平均値と標準偏差をTable 7.2に示す。Welch検定の結果、情報技術の学習に対する意欲は各群間で有意な差があるとは言えなかった（ともに $p \geq 0.1$ ）。そのため、実験前の参加者の情報技術の学習に対する意欲には各群間で差はないと判断した。

### R1. 自己効力感の変動

仮説H1-AおよびH1-Bを検証するため、実験前後の自己効力感に関する質問票への回答の変動を確認した。まず、各群の実験前の自己効力感に関する質問票の各項目への回答の平均値を図7.5に示す。各群間で実験前の自己効力感についてWelch検定を行ったところ、項目の合計値には差がなかった（ $p \geq 0.05$ ）。項目毎にWelch検定を行ったところ、項目1で $p = 0.036$ 、項目4で $p = 0.051$ となり、群間に差があると言える。そ

表 7.1: 実験前の参加者の情報技術学習に対する意欲と自信

| 条件       | $n$ | 意欲  |      | 自信  |      |
|----------|-----|-----|------|-----|------|
|          |     | 平均  | 標準偏差 | 平均  | 標準偏差 |
| Control  | 16  | 3.9 | 1.1  | 3.7 | 0.95 |
| Praise   | 18  | 3.9 | 1.4  | 3.6 | 1.1  |
| Admonish | 17  | 3.9 | 1.2  | 3.5 | 1.1  |

ここでそれぞれ Bonferroni 法による多重比較を行った結果、項目 1 では統制－称賛群間で  $p = 0.055$ 、項目 4 では統制－説諭群間で  $p = 0.033$  とそれぞれ差が見られた。

各群の実験前後での各質問項目への回答の変化の平均値を図 7.6 に示す。合計値について Welch 検定を実施した結果、有意な差は見られなかった ( $p \geq 0.1$ )。一方、項目毎に Welch 検定を実施した結果、項目 4 および項目 8 について有意な差が検出された (それぞれ  $p = 0.046$ ,  $p = 0.004$ )。項目 4 は他者と比較して自分をよい学習者だと考える傾向を表し、項目 8 は他者と比較して自分を情報技術についてよく知っていると考ええる傾向を表す。この 2 つの項目に対し Bonferroni 法による多重比較を実施した結果、項目 4 は統制群では減少したのに対し説諭群は増減がほぼなしと有意な差があった ( $p = 0.022$ )。ただし、実験前の統制群のスコアは説諭群より有意に高かったため、ここで現れた差は説諭による効果だと断定するのは難しい。一方、項目 8 は統制群と比較して称賛群および説諭群はスコアの減少量が有意に小さかった (それぞれ  $p = 0.019$  および  $0.023$ )。実験前では群間で差はなかったため、統制群と称賛群や説諭群の間に明確な差が現れたということができる。

以上より、仮説 H1-A は部分的に成立する、すなわちインタフェースから称賛のメッセージを受けたユーザは、他者と比較して情報技術を理解していると考えることが示唆された。ただし全体的には自己効力感は低下傾向のため向上はしておらず、低下量を小さくするのみに留まった。また仮説 H1-B は統制群との比較から全面的に成立することが確認された。特に説諭を受けたユーザは称賛群同様に情報技術を理解していると考えることが示唆された。ただし、説諭においてもスコアが向上してはならず、称賛と同様にスコア低下量の減少に留まった。

## R2. 自律性の変動

仮説 H2-A および H2-B を検証する前に、各群間で実験前の自己効力感に差があるかを確認した。実験前の自己効力感に関する各項目の回答の群毎の平均値を図 7.7 に示す。Welch 検定を行った結果、各群間で AR-CR スコアおよび各スコアに差があるとは

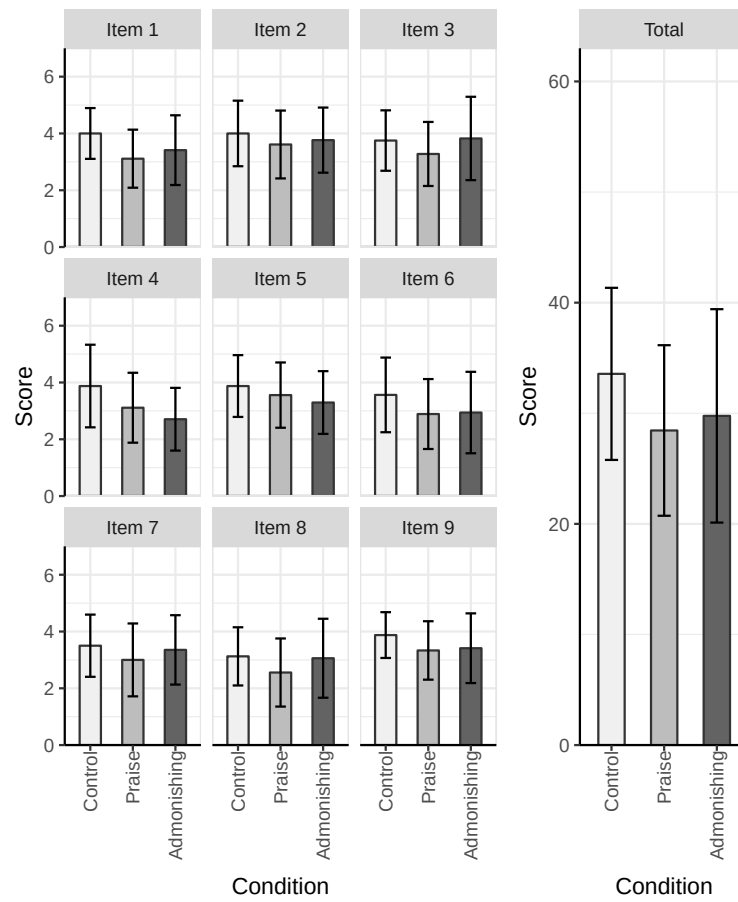


図 7.5: 実験前の自己効力感スコア

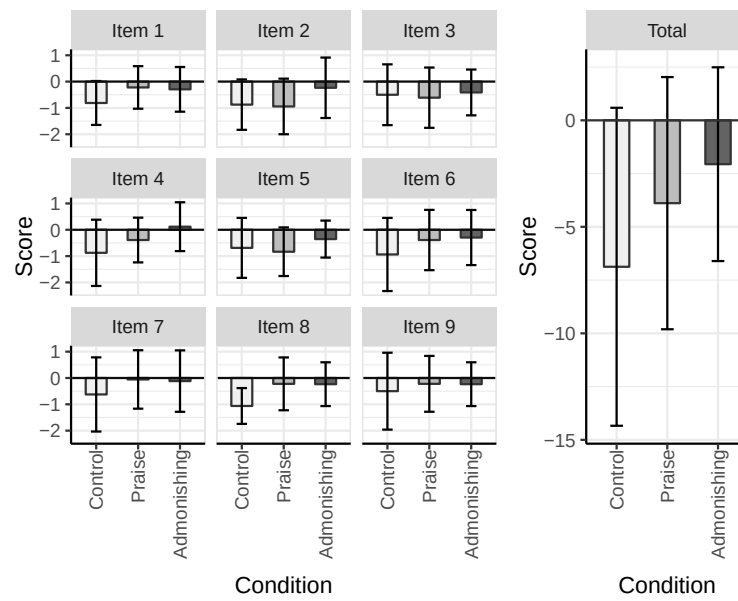


図 7.6: 実験前後の自己効力感スコアの変動

言えなかった（それぞれ  $p \geq 0.1$ ）。

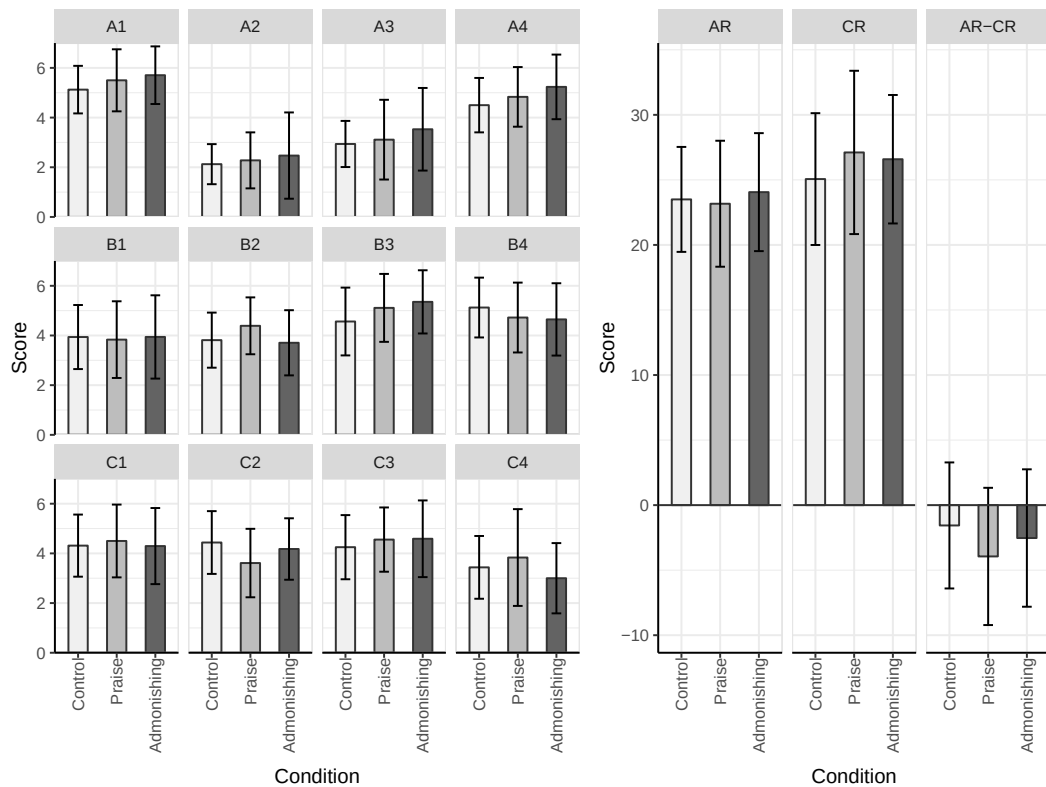


図 7.7: 実験前の自律性スコア

各群の実験前後での各質問項目への回答の変化の平均値を図 7.8 に示す。仮説 H2-A および H2-B を検証するため AR-CR スコアについて Welch 検定を行った結果、各群の平均に差があるとは言えなかった ( $p \geq 0.1$ )。項目毎に Welch 検定を行った結果、項目 A4 で  $p = 0.097$ 、項目 B4 で  $p \geq 0.059$  となった。ここで、項目 A4 は「情報技術の理解が知的成長に重要だから、積極的に情報技術の学習を行う」かを問うものであり、項目 B4 は「インタフェースが教材に関する見識を持つように感じたため、情報技術学習を支援するインタフェースからの提案に従う」ことを問うものであった。Bonferroni 法による多重比較を実施した結果、項目 A4 はどの項目間でも有意な差はなく（それぞれ  $p \geq 0.1$ ）、項目 B4 では統制－説諭群間で差が見られた ( $p = 0.084$ )。

以上より、仮説 H2-A は成立しなかった。すなわち、努力や説諭がユーザの自律性を高める効果は無かった。一方、仮説 H2-B は成立した。すなわち、説諭のメッセージ提示時は何もメッセージを提示しない場合と同等の自律性を参加者は有しており、説諭によって低下することは無かった。

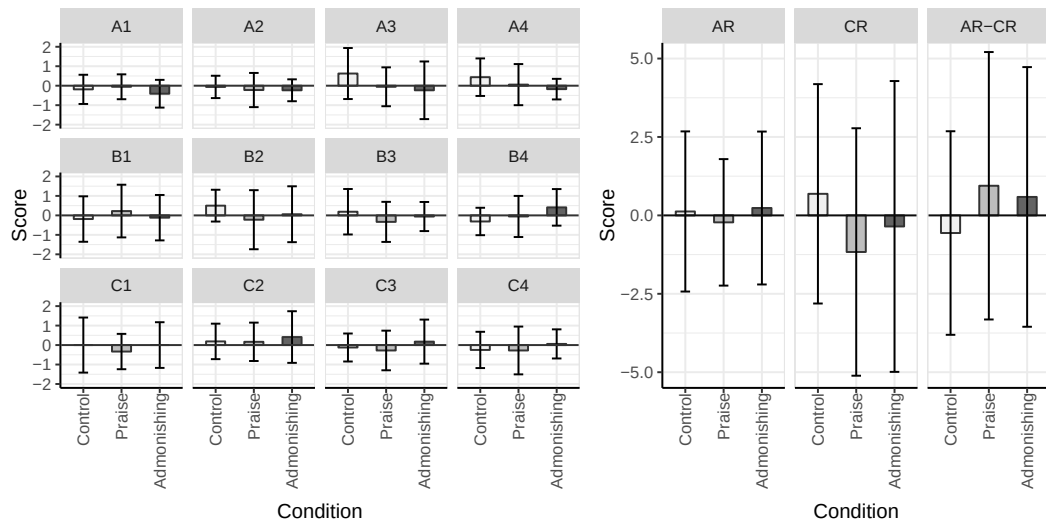


図 7.8: 実験前後の自律性スコアの変動

### R3. インタフェースの印象

各群のインタフェースの印象に関する質問票の各項目平均と標準偏差を図 7.9 に示す。質問票の結果から、インタフェースの発言内容が理解できたかを問う項目 3 に天井効果の兆候を、インタフェースに厳しさを感じたかを問う項目 10 にフロア効果を確認した。それ以外の項目について、Welch 検定を行った結果、項目 2 ( $p = 0.071$ )、項目 4 ( $p = 0.005$ ) に有意な差が確認された。インタフェースからのメッセージによる気分高揚を問う項目 2 において Bonferroni 法による多重比較を実施した結果、統制－称賛群間 ( $p = 0.094$ ) および称賛－説諭群間 ( $p = 0.095$ ) で僅かに差が見られた。また、インタフェースから試験実施者の意思を感じたかを問う項目 4 において Bonferroni 法による多重比較を実施した結果、称賛群より説諭群のスコアが有意に高かった ( $p = 0.003$ ) が、統制－説諭群間および統制－称賛群間では有意な差はなかった ( $p \geq 0.1$ )。

以上より、仮説 H3-A および H3-B は成立しなかった。しかしながら、インタフェースからの称賛が対象者の気分を高める可能性や、説諭のメッセージが対象者に行為を改善するべきという意図を伝える可能性が示された。

### R4. テスト継続数およびテスト回答数の変動

仮説 H4-A および H4-B を検証するため、テスト継続数について Welch 検定を実施した。その結果、各群間の中央値に差があるとは言えなかった ( $p \geq 0.1$ )。

また、1 回目と 2 回目のテスト回答数の変動について Welch 検定を行った結果、各群間で差があるとは言えなかった ( $p \geq 0.1$ )。以上より、仮説 H3-A および H3-B は成立せず、テストの継続やテスト回答数の増加といった行動の増加は確認されなかった。

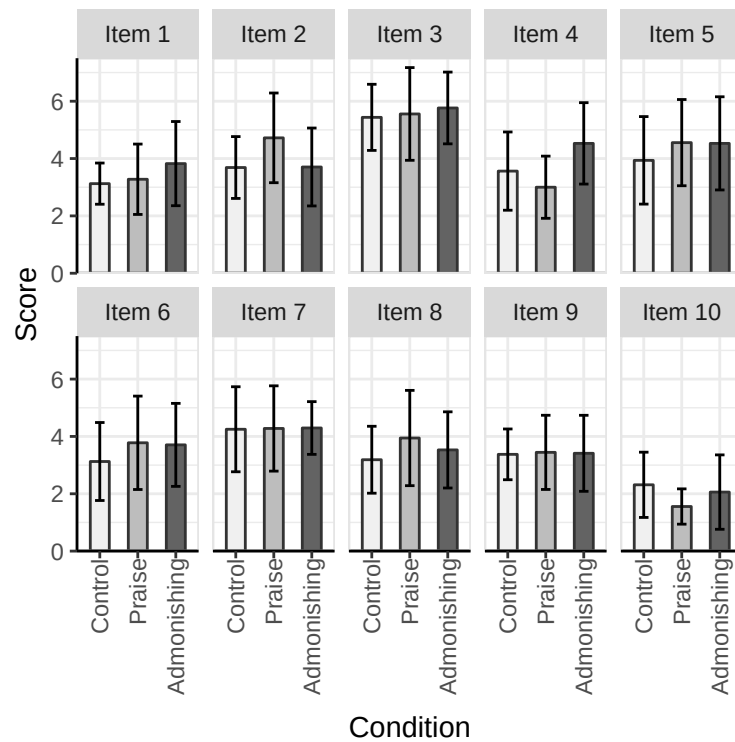


図 7.9: 実験前後の自律性スコアの変動

表 7.2: 参加者のテスト継続数およびテスト回答数の変動

| Condition | Count |     | 1st-2nd difference |      |
|-----------|-------|-----|--------------------|------|
|           | mean  | sd  | mean               | sd   |
| Control   | 4.3   | 1.5 | 3.7                | 0.95 |
| Praise    | 4.1   | 1.6 | 3.6                | 1.1  |
| Admonish  | 3.4   | 1.3 | 3.5                | 1.1  |

## 7.4 考察

インタフェースからの称賛や説諭がユーザの望ましい行動の促進、自己効力感の向上、自律性の向上およびインタフェースの印象向上に影響するという仮説をたて、実験から検証を行った。

### 7.4.1 称賛と説諭の効果

今回の実験における参加者の自己効力感の実験前でも大きいとはいえず、さらに実験後には称賛や説諭を受けた参加者も含めて低下傾向であった。これは参加者が正解と考える回答を一つに絞らなければ回答できないという制限と、タスクとして設定したテストが実験時点で知識の乏しい参加者にとっては正解を見つけることが難しいものであったことが理由だと考えられる。行動に対する努力によって結果をコントロールできない場合、自己効力感が得られずその行動に動機づけられることは少ない[147, 148]。特に後者の現象は学習やリハビリテーションなどのアクティビティ開始時期において容易に起こりうる。ここで、説諭のメッセージを提示された参加者の自己効力感、回答数の結果のみを提示された説諭群の参加者と比較して低下するといった負の影響は無く、むしろ一部の項目で低下量を軽減するという正の影響が見られた。また、努力の称賛のメッセージを提示された参加者にも提示されなかった参加者と比較して、一部の自己効力感の低下量が小さくなることが確認された。先行研究では自己効力感の低下はその後の動機づけや実際のタスクの成果、タスクへの持続性を低下させることが示唆されている[149, 147, 150, 151]。このため、自己効力感の低下を避けることは望ましい行為やタスクの継続に貢献する可能性がある。

自律性の変化に関しては全体的に実験前後で自律性に変動がほとんどなかったため、称賛、説諭の有無で有意な差は確認できなかった。参加者は全員、実験参加に当たって任意で参加した。そのため、本実験で行われること、すなわちインタフェースの操作や学術実験への参加に対してある程度の興味を持っていたと考えられる。実験前の質問票の回答でも、内的調整に関連する項目の回答の多くがスコア4以上、すなわちどちらかといえばそうだと感じている方が多かった。特に「情報技術学習を行うのは情報技術へのスキルや理解を改善するための良い方法だから」ということを問う項目A1はスコアの平均が5と大きい。一方で、「もし学習しないなら他の人が私を悪く思うから」「情報技術を学ぶことで誇りに思うから」ということを問う項目A2やA3は他の項目と比較してスコアが小さい。これらから参加者は、少なくとも本実験に対しては実験開始前から自発的かつ自律的に取り組んでおり、インタフェースから提示された称賛や説諭では自律性を変えるほどの効力がなかったと考えられる。

しかし、参加者は説諭を行うインタフェースに対して、学習に関連する素材について見識があるように感じる可能性がみられた。前述のように、参加者は自発的に実験

に参加していた．そのような場合，実験参加にあたって経験や知識などを得ようとしていた，すなわち熟達志向の者が多く実験に参加していた可能性がある．熟達志向のユーザにとって，ユーザの将来的利益になりうる情報を説論として提供するインタフェースを使用することは自らの成長に有益だと判断し，使用し続けることに動機づけされると考えられる．

また，インタフェースが与える印象やユーザの感情に与える影響として，人間の称賛と同様にインタフェースの称賛が参加者の気分を高める傾向があった．しかしながら，称賛が与えられなかった場合と比較して明確な差ではなく，従来報告されていたコンピュータからの称賛の効果 [132, 134] ほどの影響は確認されなかった．

ほとんどの参加者はインタフェースからの発言内容を理解したと感じており，かつインタフェースから厳しさをあまり感じていない．これらは継続的にインタラクションを行う上では望ましい状態であると言える．Earley はユーザがコンピュータで作業を行うにあたり，監督者からのフォードバックを受けるよりも作業を行ったコンピュータからの直接のフィードバックを受けた方が高い自己効力感を感じ，かつコンピュータを信頼すると報告している [152]．今回の結果でも，インタフェースの発言への信頼を確かめる項目7のスコアは平均4前後となっており，インタフェースに一定の信頼感を持ったことを示している．Atkinson が述べた [153] ように，今日のユーザはインタフェースそのものをプログラムと認識し，そのプログラムとインタラクションしていることを認識している可能性が大きい．参加者は20歳前後でコンピュータに慣れ親しんでいる人も多かったため，たとえメッセージを発するのがプログラムであったとしても，その内容を受け入れられたと推測できる．

テストの回答数については全群で1回目と2回目に変動がほとんど無かった．1回目のテスト回答前にインタフェースから指示されたことに対し，参加者は忠実に従っていたと考えられる．一方で，テストの内容については参加者に回答後答えが教示されるといったことはなかったため，実験前に有していた知識は実験を通じて変化しない．

Mumm と Mutlu は称賛を行った場合，文字カウントタスクのパフォーマンスが低い参加者はパフォーマンスが高い参加者より長時間タスクに取り組んだことを報告している [134] が，今回の実験ではそのような傾向は見られなかった．これは前述のようにタスクデザインが大きく影響したと推測される．

本実験は参加者を募る際にはインタフェースの評価をしてもらうとだけ伝えていた．そのため，参加者はテストが行われることは実験開始まで知らなかった．また，今回の実験では終了する条件や実験で望ましいとされる行為・状態を明示しなかった．このような状況下で，参加者は2つの考えを持ったと思われる．一つは早期に終わることに動機づけられるものである．前述のように実験は早期に終了することが利益になりやすい状況で行った．テストにおいて多くを回答できないことで，後のテストでも回答できないという状態になることを避けるため，テストを実施しないという選



択を行った可能性がある。

もう一つは、テストをひたすらに継続することに動機づけられるものである。今回、実験参加者を募集する際に、予め要する最大時間は参加者に伝えてあった。サンクコスト効果から考えると、実験に参加をしている時点で参加者は時間を代償としていたことがわかっている。そのため、事前に伝えてあった必要時間内であれば可能な限りのことを体験することで、すでに払った時間的コストを回収しようとする参加者の心理が働いたと考えられる。

Fishbackらは行動に対して、初心者は成功に対するフィードバックに応じて努力量が増加し、すでに多くの経験をしている人は失敗に対するフィードバックに応じて努力量が増加するべきだと主張した[154]。今回の実験結果に参加した人は学生ではあるが、情報技術の知識に対しては初心者であると言える。実験結果では、テスト継続数は有意な差ではないものの、説諭群より称賛群の方がテストを継続している。より多人数で実験を実施した場合に、称賛の方が説諭よりも大きな行動促進効果が見られる可能性がある。一方で、すでにある程度の知識や技術を参加者が持っていた場合には、説諭の方が称賛より行動を促進することも推測される。これを明らかにするために、参加者の知識に応じた称賛や説諭の効果を確認する実験の実施が望まれる。

#### 7.4.2 実験の限界

今回の実験では将来的に情報科学に関わる可能性がある分野に所属する、限られた年齢層の日本人男性学生のみを対象とした。これらの人が持つ属性はかなり限定される。そのため、年齢、性別、国籍など別の属性を持つ人にも同様の結果になるかは言及することはできない。これを明らかにするためには、より広範にわたり人を募集し実験する必要がある。

また、本研究ではインタフェースによる称賛や説諭メッセージの長期的な影響は検討していない。長期的に継続が必要な行為においてこれらのメッセージが及ぼす効果を検証するためには、長期実験を計画する必要がある。その際には効果に影響し得る称賛や説諭のメッセージの提示バランスやタイミングについて考慮する必要がある。

### 7.5 まとめ

本章では、治療への取り組みと類似性のある情報技術学習タスクを対象として、タスク実行に対するGUIからの称賛と説諭がユーザの自己効力感、自律性、行動継続およびインタフェースの印象に与える影響を実験的に調査した。実験結果から、称賛と説諭それぞれに自己効力感・自律性・インタフェースの印象といった継続に影響する要因を一部向上させること、特に説諭は批判などと異なり自己効力感や自律性の低下

に影響しないことが確認された。これらから、長期的には称賛や説諭が行動の継続・変容に資する可能性を確認した。

## 結言

本章では、この研究を通して得られた成果のまとめと今後の展望を記す。

### 8.1 まとめ

本論文では、VR-MVFシステムを用いた治療に関するデータを患者と医療従事者間で共有可能とすること、および慢性疼痛患者を治療に対し動機づける仕組みを構築することを目的とし研究を行った。まず、患者と医療従事者間で患者の治療に関わる情報を共有するため、痛みに関する調査票の回答やVR-MVF中の運動情報を記録対象として整理した。また、在宅用VR-MVFシステムにそれらの情報を記録する機能を実装した。さらに、データベースサーバを構築し、インターネットを介した遠隔での情報の収集、閲覧を可能とするシステムを開発した。

続いて、慢性疼痛患者の治療に対する意欲を阻害する要因を患者の負担、実感しづらい治療効果、患者の落ち込みがちな心理状態の3つに整理した。そして、各治療意欲阻害要因を解消するため、Captologyの説得原理を援用した手順支援機能、セルフモニタリング機能、情緒的支援機能の3つの機能を実装、提案した。手順支援機能については患者に協力してもらった結果、動作することが確認され、記録された情報からセルフモニタリングの有効性も示唆された。

さらに、効果的な情緒的支援のフィードバックのあり方を慢性疼痛患者と医師の診察を調査することにより検討した。調査結果から、称賛と説諭という二種類のフィードバックが整理された。それらがコンピュータインタフェースから提示されることによる効果を情報技術の学習タスクを対象に実験的に検証した。その結果、称賛と説諭それぞれに行動継続に影響する自己効力感、自律性、インタフェースの印象を一部向上させること、特に説諭は自己効力感や自律性の低下に影響しないことが確認された。

### 8.2 今後の展望

今後の課題として、提案した各説得原理を適用した機能群が与える影響のより詳細な調査が挙げられる。Foggは技術において意図した効果に注目しているが、Atkinsonが指摘する[153]のように、技術を設計する上で意図したものだけでなく、意図していな

かったユーザに与える影響<sup>1</sup>も含めて調査することは望ましい効果を多く、望ましくない効果を避けるようにシステム・デザインをする上で重要な知見となる。しかしながら、健康に関する行動変容のためのHCI技術の開発初期段階において、技術を評価するために長期大規模な無差別比較実験を実施することは非現実的であり、ユーザの行動や意識を変えるために導入した技術がなぜ有効だったのかを識別することは難しい。そのためにKlasnjaらは、技術が与える影響が何か、なぜ影響したのか、意図していなかった結果が起こりうるかをフィールド調査により短期的に調査することを推奨している[155]。本論文で提案した技術のうち、フィールド調査が行われたのは省略の原理とトンネリングの原理を適用したGUIと遠隔情報共有機能のみであり、それらも僅かな人数でしか行われていない。これらも含め、セルフモニタリングや情緒的支援がユーザに与える影響のさらなる調査が望まれる。

セルフモニタリングについては、患者や医師が記録されたデータを用いて状態の把握をするには、そのデータが患者や医師にとって理解しやすい形で提示される必要がある。本研究で述べたように、慢性疼痛患者の痛みの程度や運動機能の改善は短期的に表れることは少ない。そのような場合であっても全ての情報を毎回の治療後に提示するのが望ましいのか、それとも一定のルールの下に必要な情報のみを提示するのが望ましいのか、そのため、今後は患者や医師に対し、どのようなデータを、どのような見せ方で、どのようなタイミングで提示することが望ましいのかを調査する必要がある。例えば、電子調査票の回答データなどの膨大な情報の中から必要な情報のみを提示することで、情報確認の効率を向上させることが考えられる。また、動作データはそのままでは理解が難しいため、どのような軌跡や速度で運動しているかを理解しやすい形に視覚化する必要がある。そのような調査を通じて、治療過程の情報を適切に提示するための理論や可視化技術が発展することが期待できる。セルフモニタリングについては、どの情報を、どのようなタイミングで提示するのかを検討する必要がある。

情緒的支援機能については、賞賛や説諭の対象やタスク内容の違いによる情緒的支援効果への影響を確認することが挙げられる。本研究では賞賛・説諭対象はテスト回答数のみであったが、他に回答時間やテスト継続数などが考えられる。また、タスク内容の難度を変えることも検討できる。これらの違いによる影響を調査するため、実験を重ねて効果を検証することが望まれる。

また、少人数での効果検証が行われた後に、患者の長期的継続への影響を実地調査にて確認することが考えられる。Lallyは行為を意識せず自動で行われるようになる、すなわち習慣化にかかる期間を調査したところ、18日から254日とばらつきが大きいものの長期間必要であることを示唆した[156]。また、目的の行為が複雑であるほど習慣化にはより長い期間を要することも示している。WoodとNealは習慣とは目標と相

---

<sup>1</sup>これを Atkinson は Compusuasion と命名している。

互に関連し、目標が行為の習慣化を導くと述べている [157]. 慢性疼痛患者がVR-MVFシステムを用いて治療を行う上で持つと考えられる目標としては、仮想空間内の物体の移動のようなVR-MVFで達成されるものから、疼痛緩和のような症状に大きく関わるものまで考えられる. そのため、習慣化が達成されたかを検証する際は、VR-MVFを扱うことの複雑さや患者が設定する目標との関連も考慮する必要がある.

加えて、長期的な調査を行う場合には治療そのものが中断される可能性も考慮しておく必要がある. 第4章で医師の発言にあったように、治療の終わり方は治療効果が得られないために中断する場合と、医師が「卒業」と比喻した治療そのものが必要でなくなったために中断する場合がある. 前者は悲観的理由だが、後者は前向きな理由によるものである. 慢性疼痛が脳内の可塑的变化によるものだという考えに基づくのであれば、患者の症状が改善するにつれてシステムは使用されなくなるであろう. 一方で、治療を中断することで獲得されていた治療効果が失われるという考えに基づく場合、システムは症状改善後にも使用され続ける可能性が高い. または、システム自体を用いた治療は必要ではなくなるが、新たな健康維持・改善習慣を開始・継続するための「ゲートウェイ」としての技術となる可能性が考えられる [135]. システムに導入された技術の効果を検証する際に、もしそのシステムが使用されなくなっていた場合には、上記のような中断理由も併せて効果を検証する必要がある.

## 謝 辞

本研究を遂行し学位論文をまとめるに当たり、研究実施の機会を与えて下さり、研究の全過程において数々のご指導とご支援を頂きました。指導教官である岡山大学大学院インタフェースシステム学研究室（旧 機械インターフェイス学研究室）五福明夫教授に深く感謝致します。また、本研究を遂行するに当たり、日々の研究だけでなく多くのご指導をしていただき、辛抱強く見守って下さいました同 杉原太郎助教には深く感謝しております。時に応じて厳しくご指導いただいたこと、また優しく励まして下さったことを通じて、私自身の至らなさを実感することができ、それらの経験を成長の糧とすることができました。岡山大学医歯薬学総合研究科麻酔・蘇生学講座 佐藤健治准教授には医師の観点からシステム構築に関する貴重なアドバイスを頂き、実際に患者の皆様に使用していただくためにご協力頂きましたことを深く感謝致します。また、本論文作成に当たり、審査委員として多くのご助言を頂きました。生体計測工学研究室 呉景龍教授ならびにメカトロニクスシステム学研究室 渡辺桂吾教授には深く感謝いたします。

技術面においては、過密なスケジュールの中、サーバの設置や構築において大変貴重なご指導とご協力を頂きましたインタフェースシステム学研究室 亀川哲志講師、岡山大学工学部創造工学センター 柴田光宣様に深く感謝致します。

同じ研究グループで研究を進めてきた福森聡氏、諫武賢志氏、坂本実優氏、西岡美紗氏、北原亮宏氏、廣田遼平氏、古橋龍一氏には大変お世話になりました。福森氏には、多忙にもかかわらずプログラムの制作を始めとしてシステム開発に関するアドバイスや研究計画、研究の道筋をたてる大変貴重なアドバイスを頂き、研究全体に渡り親身になってご意見、ご指導を頂きました。同研究グループの皆で共に切磋琢磨し、一つのシステムを完成させるためにご尽力、ご協力頂いたことを深く感謝致します。

また，本研究にご協力いただいた医療従事者，慢性疼痛患者，大学生の皆様にご深くお礼申し上げます。皆様のご協力があったからこそ，本研究を完遂することができました。特に患者の皆様にはその境遇にも関わらず快くご協力を賜り，多くのことを学ぶことができました。皆様の症状寛解を，そしてより実り多い人生を送られることをお祈り申し上げます。

そして，苦楽を共にし，時には笑いや喜びを，時には建設的な指摘や斬新なアイデアを提供してくださったインタフェースシステム学研究室（旧 機械インターフェイス学研究室）の先輩，同期，後輩の皆様にご感謝致します。特に，研究の過程で調査・分析補助としてご協力いただきました平川将之氏，山岡晟造氏，岩井聖明氏，岡本康史氏，福田侑弥氏にご深くお礼申し上げます。

最後に，これまで私を暖かく見守り，そして支援してくださった両親に対して深い感謝の意を表して謝辞と致します。

## 参考文献

- [1] Ramachandran, V. S. and Hirstein, W. “The Perception of Phantom Limbs. The D. O. Hebb Lecture.” *Brain*, Vol. 121, pp. 1603–1630, 1998.
- [2] Ramachandran, V. S. , Rogers-Ramachandran, D. and Cobb, S. “Touching the Phantom Limbs.” *Nature*, Vol. 377, pp. 489–490, 1995.
- [3] McCabe, C. S., Haigh, R. C. and Blake, D. R. “Mirror Visual Feedback for the Treatment of Complex Regional Pain Syndrome (Type 1).” *Current Pain and Headache Reports*, Vol. 12, pp. 103–107, 2008.
- [4] Murray, C. D., Pettifer, S., Howard, T., Patchick, E. L., Caillette, F., Kulkarni, J. and Bamford, C. “The Treatment of Phantom Limb Pain Using Immersive Virtual Reality :Three Case Studies.” *Informa healthcare*, Vol. 29, pp. 1465–1469, 2007.
- [5] Sato, K., Fukumori, S., Miyake, K., Obata, D. and Morita, K. “A Novel Application of Virtual Reality for Pain Control: Virtual Reality-Mirror Visual Feedback Therapy”. In Ghosh, S. (ed), *Pain in Perspective*, chapter 10, pp. 237–254. InTech, 2012.
- [6] Osumi, M., Ichinose, A., Sumitani, M., Wake, N., Sano, Y., Yozu, A., Kumagaya, S., Kuniyoshi, Y. and Morioka, S. “Restoring Movement Representation and Alleviating Phantom Limb Pain through Short-Term Neurorehabilitation with A Virtual Reality System.” *European Journal of Pain*, Vol. 21, No. 1, pp. 140–147, 2017.
- [7] Gofuku, A., Fukumori, S. and Sato, K. “A Mirror Visual Feedback Therapy System Applying Virtual Reality Technology.” In Wu, J. (ed), *Biomedical Engineering and Cognitive Neuroscience for Healthcare: Interdisciplinary Applications*, chapter 8, pp. 73–80. IGI Global, Hershey, 2013.
- [8] Fukumori, S., Isatake, K., Gofuku, A. and Sato, K. “Mirror Thrapy System Based Virtual Reality for Chronic Pain in Home Use”. *Proc. of Industrial Electronics Society, IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE*, pp. 4034–4039, 2014.
- [9] McCabe, C. S., Haigh, R. C., Halligan, P. W. and Blake, D. R. “Simulating Sensory-Motor Incongruence in Healthy Volunteers: Implications for a Cortical Model of Pain.” *Rheumatology*, Vol. 44, No. 4, pp. 509–516, 2005.



- [10] 昌彦住谷, 哲宮内, 倫前田, 有人四津, 祐子大竹, 芳嗣山田. “幻肢痛の脳内メカニズム.” 日本ペインクリニック学会誌, Vol. 17, No. 1, pp. 1–10, 2010.
- [11] Fogg, B. J. “Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do.” Morgan Kaufmann, NewYork, 1st edition, 2003. (邦訳: 高良理, 安藤知華 共訳. “実験心理学が教える人を動かすテクノロジー.” 日経BP社, 2005.)
- [12] Toscos, T., Faber, A., An, S. and Gandhi, M. P. “Chick Clique: Persuasive Technology to Motivate Teenage Girls to Exercise.” *Proc. of CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1873–1878, 2006.
- [13] Lin, J. J., Mamykina, L., Lindtner, S., Delajoux, G. and Strub, H. B. “Fish’n’Steps: Encouraging Physical Activity With an Interactive Computer Game.” *Proc. of the 8th International Conference on Ubiquitous Computing, UbiComp'06*, pp. 261–278, Berlin, Heidelberg, 2006. Springer-Verlag.
- [14] Consolvo, S., McDonald, D. W., Toscos, T., Chen, M. Y., Froehlich, J., Harrison, B., Klasnja, P., LaMarca, A., LeGrand, L., Ryan, L., Smith, I. and Landay, J. A. “Activity Sensing in the Wild: A Field Trial of Ubifit Garden. *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '08, pp. 1797–1806, 2008.
- [15] Albaina, I. M., Visser, T., van der Mast, C. A. P. G. and Vastenburg, M. H. “Flowie: A Persuasive Virtual Coach to Motivate Elderly Individuals to Walk.” *Proc. of International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, pp. 1–7, 2009.
- [16] 菅原正秋, 吉川恵士, 林田眞和, 有田英子, 花岡一雄. “慢性疼痛の評価と治療.” 全日本鍼灸学会雑誌, Vol. 54, No. 2, pp. 120–136, 2004.
- [17] Treede, R., Rief, W., and Barke, A., Aziz, Q., Bennett, M. I., Benoliel, R., Kosek, E., Lavand, P., Nicholas, M., Perrot, S., Scholz, J., Schug, S., Smith, B. H., Svensson, P., Vlaeyen, J. W. S. and Wang, S. “A Classification of Chronic Pain for ICD-11.” *Pain*, Vol. 156, No. 6, pp. 1003–1007, 2015.
- [18] International Association of the Study of Pain. “IASP Taxonomy: Pain.” <http://www.iasp-pain.org/Taxonomy#Peripheralneuropathicpain>. 参照日 2017 年 1 月 6 日.
- [19] 伊豫雅臣. “痛みの理論と治療アプローチ.” 伊豫雅臣, 齋藤繁, 清水栄司 (編), “慢性疼痛の認知行動療法“消えない痛み”へのアプローチ,” 第2章, pp. 16–40. 日本医事新報社, 東京, 2016.

- [20] Devine, D. A. “Psychological and Behavioral Management Approaches to Chronic Pain.” In Margoles, M. S. and Weiner, R. S. (eds), *Chronic pain : assessment, diagnosis, and management*, chapter 15, pp. 195–202. CRC Press, Boca Raton, 1999.
- [21] 哲三本田. “慢性疼痛に対する包括的リハビリテーションプログラム－認知行動療法を中心に－.” *ペインクリニック*, Vol. 35, 別冊春号, pp. S3–S12, 2014.
- [22] Rudy, T. E., Kerns, R. D. and Turk, D. C. “Chronic Pain and Depression: Toward a Cognitive-Behavioral Mediation Model.” *Pain*, Vol. 35, No. 2, pp. 129–140, 1988.
- [23] Gamsa, A. “Is Emotional Disturbance a Precipitator or a Consequence of Chronic Pain?” *Pain*, Vol. 42, No. 2, pp. 183–195, 1990.
- [24] Wilson, P., Stanton-Hicks, M. and Harden, R. N. “CRPS : Current Diagnosis and Therapy.” Vol. 32. IASP Press, 2005.
- [25] The International Research Foundation for RSD / CRPS. “Clinical Practice Guidelines - Third Edition.” [http://www.rsdfoundation.org/en/en\\_clinical\\_practice\\_guidelines.html](http://www.rsdfoundation.org/en/en_clinical_practice_guidelines.html). 参照日 2014 年 1 月 14 日.
- [26] Evans, J. A. “Reflex Sympathetic Dystrophy.” *Surg Gynecol Obstet*, Vol. 82, pp. 36–43, January 1946.
- [27] Lau, F. H. and Chung, K. C. “Silas Weir Mitchell, MD: The Physician who Discovered Causalgia.” *The Journal of Hand Surgery*, Vol. 29, No. 2, pp. 181–187, 2004.
- [28] Harden, R. N., Bruehl, S., Stanton-Hicks, M. and Wilson, P. R. “Proposed New Diagnostic Criteria for Complex Regional Pain Syndrome.” *Pain medicine*, Vol. 8, No. 4, pp. 326–31, 2007.
- [29] Harden, R. N., Oaklander, A. L., Burton, A. W., Perez, R. S. G. M., Richardson, K., Swan, M., Barthel, J., Costa, B., Graciosa, J. R. and Bruehl, S. “Complex Regional Pain Syndrome: Practical Diagnostic and Treatment Guidelines, 4th Edition.” *Pain medicine*, Vol. 14, No. 2, pp. 180–229, February 2013.
- [30] 住谷昌彦, 柴田政彦, 眞下節, 山田芳嗣, 厚生労働省 CRPS 研究班. “本邦における CRPS の判定指標.” *日本臨床麻酔学会誌*, Vol. 30, No. 3, pp. 420–429, 2010.
- [31] de Mos, M., de Bruijn, A.G.J., Huygen, F.J.P.M., Dieleman, J.P., Stricker, B.H.C. and Sturkenboom, M.C.J.M. “The Incidence of Complex Regional Pain Syndrome: A Population-Based Study”. *Pain*, Vol. 129, No. 1-2, pp. 12–20, 2007.

- [32] Sumitani, M., Yasunaga, H., Uchida, K., Horiguchi, H., Nakamura, M., Ohe, K., Fushimi, K., Matsuda, S. and Yamada, Y. “Perioperative Factors Affecting the Occurrence of Acute Complex Regional Pain Syndrome Following Limb Bone Fracture Surgery: Data from the Japanese Diagnosis Procedure Combination Database.” *Rheumatology (Oxford, England)*, pp. 1–8, 2013.
- [33] 小林節郎. “整形外科疾患に対するペインクリニックー歩踏み出した治療ー.” 真興交易医書出版部, 東京, 2003.
- [34] 白井誠. “疼痛とりハビリテーション：慢性疼痛に対する運動療法.” ペインクリニック, Vol. 35, 別冊春号, pp. S13–S19, 2014.
- [35] Maihöfner, C., Baron, R. and DeCol, R. “The Motor System Shows Adaptive Changes in Complexregional Pain Syndrome.” *Brain*, Vol. 130, No. 10, pp. 2671–2687, 2007.
- [36] Moseley, G. L. “Why Do People With Complex Regional Pain Syndrome Take Longer to Recognize Their Affected Hand?” *Neurology*, Vol. 62, No. 12, pp. 2182–2186, 2004.
- [37] V.S. Ramachandran, S. Blakeslee, 山下篤子. “脳の中の幽霊.” 角川書店, 1999.
- [38] Penfield, W. and Rasmussen, T. “The Cerebral Cortex of Man. A Clinical Study of Localization of Function.” *The Quarterly Review of Biology*, Vol. 27, No. 1, pp. 108–109, 1951.
- [39] Bear, M. F., Connors, B. W. and Paradiso, M. A. “Neuroscience: Exploring the Brain, Third Edition.” Lippincott Williams and Wilkins, 2006. （邦訳：加藤宏司, 後藤薫, 藤井聡, 山崎良彦 共訳. “カラー版神経科学ー脳の探求ー.” 西村書店, 2007.）
- [40] Pons, T. P., Garraghty, P. E., Ommaya, A. K., Kaas, J. H., Taub, E. and Mishkin, M. “Massive Cortical Reorganization after Sensory Deafferentation in Adult Macaques.” *Science*, Vol. 252, pp. 1857–1860, 1991.
- [41] Wolpert, D. M. and Ghahramani, Z. “Computational Principles of Movement Neuroscience.” *Nature neuroscience*, Vol. 3, pp. 1212–1217, 2000.
- [42] Ramachandran, V. S. and Rogers-Ramachandran, D. “Synaesthesia in Phantom Limbs Induced with Mirrors.” *Biological Sciences*, Vol. 263, No. 1369, pp. 377–386, 1996.
- [43] Mercier, C. and Sirigu, A. “Training with Virtual Visual Feedback to Alleviate Phantom Limb Pain.” *Neurorehabilitation and Neural Repair*, Vol. 23, No. 6, pp. 587–594, 2009.
- [44] McCabe, C. S., Haigh, R. C., Ring, E. F. J., Halligan, P. W., Wall, P. D. and Blake, D. R. “A Controlled Pilot Study of the Utility of Mirror Visual Feedback in the Treatment of

Complex Regional Pain Syndrome (Type 1).” *Rheumatology (Oxford, England)*, Vol. 42, No. 1, pp. 97–101, 2003.

- [45] Moseley G. L. “Graded Motor Imagery for Pathologic Pain: A Randomized Controlled Trial.” *Neurology*, Vol. 67, No. 12, pp. 2129–2134, 2006.
- [46] Michielsen, M. E., Selles, R. W., van der Geest, J. N., Eckhardt, M., Yavuzer, G., Stam, H. J., Smits, M., Ribbers, G. M. and Bussmann, J. B. “Motor Recovery and Cortical Reorganization after Mirror Therapy in Chronic Stroke Patients: A Phase II Randomized Controlled Trial.” *Neurorehabilitation and neural repair*, Vol. 25, No. 3, pp. 223–233, 2011.
- [47] Invernizzi, M., Negrini, S., Carda, S., Lanzotti, L. M. E., Cisari, C. and Baricich, A. “The Value of Adding Mirror Therapy for Upper Limb Motor Recovery of Subacute Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial.” *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, Vol. 49, No. 3, pp. 311–317, 2013.
- [48] Moseley, G. L. “Using Visual Illusion to Reduce at-Level Neuropathic Pain in Paraplegia.” *Pain*, Vol. 130, No. 3, pp. 294–298, 2007.
- [49] Gallagher, S. “Philosophical Conceptions of the Self: Implications for Cognitive Science.” *Trends in cognitive sciences*, Vol. 4, No. 1, pp. 14–21, 2000.
- [50] Synofzik, M., Thier, P. and Lindner, A. “Internalizing Agency of Self-Action: Perception of One’s Own Hand Movements Depends on an Adaptable Prediction about the Sensory Action Outcome.” *Journal of Neurophysiology*, Vol. 96, No. 3, pp. 1592–1601, 2006.
- [51] Cameron, B. D., Franks, I. M., Inglis, J. T. and Chua, R. “The Adaptability of Self-Action Perception and Movement Control When the Limb is Passively Versus Actively Moved.” *Consciousness and Cognition*, Vol. 21, No. 1, pp. 4–17, 2012.
- [52] 嘉清金田. “リハビリテーション総論.” 嘉清金田（編）, “リハビリテーション,” 第1章, pp. 1–39. NHK 出版, 東京, 2013.
- [53] 大田仁史, 石川誠, 浜村明德, 米満弘之. 日本リハビリテーション病院・施設協会（編集）, 澤村誠志（監修）. “リハビリテーション総論.” 日本リハビリテーション病院・施設協会（編）, 澤村誠志（監修）, 青海社, 東京, 2004.
- [54] World Health Organization. “Rehabilitation.” <http://www.emro.who.int/health-topics/rehabilitation/index.html>. 参照日 2017 年 1 月 2 日.
- [55] Brodie, E. E., Whyte, A. and Niven C. A. “Analgesia Through The Looking-Glass? A Randomized Controlled Trial Investigating The Effect of Viewing A ‘Virtual’ Limb Upon

- Phantom Limb Pain, Sensation and Movement.” *European Journal of Pain*, Vol. 11, No. 4, pp. 428–436, 2007.
- [56] Moseley, G. L., Gallace, A. and Spence, C. “Is Mirror Therapy All It Is Cracked Up to Be? Current Evidence and Future Directions.” *Pain*, Vol. 138, No. 1, pp. 7–10, 2008.
- [57] The American Heritage Dictionary. “American Heritage Dictionary Entry: Virtual.” <https://www.ahdictionary.com/word/search.html?q=virtual>. 参照日 2017 年 1 月 7 日.
- [58] 館暲. “日本バーチャルリアリティ学会 » バーチャルリアリティとは.” <https://vrsj.org/about/virtualreality/>. 参照日 2014 年 1 月 14 日.
- [59] Sherman, W. R. and Craig, A. B. “Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design.” Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, 2002.
- [60] 黒田知宏. “現代電子情報通信選書「知識の森」医療情報システム.” オーム社, 第 1 版, 2012.
- [61] ガデリウス・メディカル株式会社. “＜製品情報＞アキュタッチ (AccuTouch) VR 気管支・消化器内視鏡トレーニングシミュレーター.” <http://www.vrtraining.jp/products/AccuTouch/index.html>. 参照日 2014 年 2 月 1 日.
- [62] Hoffman, H. G., Doctor, J. N., Patterson, D. R., Carrouger, G. J. and Furness III, T. A. “Virtual Reality as An Adjunctive Pain Control During Burn Wound Care in Adolescent Patients.” *Pain*, Vol. 85, No. 1-2, pp. 305–9, 2000.
- [63] Inamura, T., Unenaka, S., Shibuya, S., Ohki, Y., Oouchida, Y. and Izumi, S. “Development of VR Platform for Cloud-Based Neurorehabilitation and Its Application to Research on Sense of Agency and Ownership.” *Advanced Robotics*, Vol. 31, No. 1-2, pp. 97–106, 2017.
- [64] O’Neill, K., DePaor, A., MacLachlan, M. and McDarby, G. An Investigation into The Performance of Augmented Reality for Use in The Treatment of Phantom Limb Pain in Amputees. In Craddock, G. M., McCormack, L. P., Reilly, R. B. and Knops, H. T. P. (eds), *Assistive Technology: Shaping The Future: AAATE’03, Vol 11-Assistive Technology Research Series*, pp. 1016–1020. IOS Press, Amsterdam, 2003.
- [65] 飯田拓, 井村誠孝, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏, 諸井慶七郎. “バーチャルミラーを用いた幻肢リハビリテーション.” 第 51 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, Vol. 51, pp. 535–536, 2007.
- [66] Sato, K., Fukumori, S., Matsusaki, T., Maruo, T., Ishikawa, S., Nishie, H., Takata, K., Mizuhara, H., Mizobuchi, S., Nakatsuka, H., Matsumi, M., Gofuku, A., Yokoyama, M.,

- and Morita, K. “Nonimmersive Virtual Reality Mirror Visual Feedback Therapy and Its Application for the Treatment of Complex Regional Pain Syndrome: An Open-Label Pilot Study.” *Pain medicine (Malden, Mass.)*, Vol. 11, No. 4, pp. 622–9, 2010.
- [67] 河上紗有美, 福森聡, 五福明夫, 佐藤健治. “幻肢痛・慢性疼痛のための没入型治療システムの開発と評価.” バイオエンジニアリング講演会講演論文集, Vol. 2009, No. 22, p. 297, 2010.
- [68] 福森聡, 五福明夫, 佐藤健治. “WEBカメラとバーチャルリアリティによる慢性疼痛のための治療システム開発.” バイオエンジニアリング講演会講演論文集, Vol. 2009, No. 22, p. 296, 2010.
- [69] 日本遠隔医療学会. “在宅等への遠隔診療を実施するにあたっての指針（2011年度版）.” 日本遠隔医療学会 Technical report, 2011.
- [70] 作宮洋子, 川口毅. “e-mailによるコミュニケーションの促進と効果に関する研究－寒冷地冬期の高齢者の心身健康増進支援－.” 日本遠隔医療学会雑誌, Vol. 6, No. 2, pp. 179–182, 2010.
- [71] 作宮洋子, 伊藤廣美, 金田豊子, 上田順子, 三上大季, 守屋潔, 大田哲生, 住友和弘, 羽田勝計, 吉田晃敏. “TV電話による通院患者・家族の自己健康管理促進支援の在り方に関する研究.” 日本遠隔医療学会雑誌, Vol. 10, No. 2, pp. 201–204, 2014.
- [72] 滝沢正臣, 小池健一, 中村昭則, 武井洋一, 笛木昇. “タブレット端末による在宅医療情報電子共有システム.” 日本遠隔医療学会雑誌, Vol. 8, No. 1, pp. 25–28, 2012.
- [73] 花田一臣, 石子智士, 守屋潔, 木ノ内玲子, 林弘樹, 三上大季, 山口亨, 吉田晃敏. “遠隔相談システムを活用した医療支援.” 日本遠隔医療学会雑誌, Vol. 10, No. 1, pp. 8–11, may 2014.
- [74] ファイザー株式会社プレスリリース. “《慢性疼痛に対する患者と医師の意識比較調査》慢性疼痛を抱える人、6割以上が通院していない状態治療目標の設定、対話状況で患者と医師間に認識差.” [http://www.pfizer.co.jp/pfizer/company/press/2013/2013.07\\_08.html](http://www.pfizer.co.jp/pfizer/company/press/2013/2013.07_08.html). 参照日 2014年1月14日.
- [75] 平川奈緒美. “痛みの評価スケール.” *Anesthesia 21 Century*, Vol. 13, No. 2-40, pp. 4–10, 2011.
- [76] Yamaguchi, M., Kumano, H., Yamauchi, Y., Kadota, Y. and Iseki, M. “The Development of a Japanese Version of the Short-Form McGill Pain Questionnaire.” 日本ペインクリニック学会誌, Vol. 14, No. 1, pp. 9–14, 2007.

- [77] Uki, J., Mendoza, T., Cleeland, C.S., Nakamura, Y. and Takeda, F. “A Brief Cancer Pain Assessment Tool in Japanese.” *Journal of Pain and Symptom Management*, Vol. 16, No. 6, pp. 364–373, December 1998.
- [78] Fukuhara, S., Bito, S., Green, J., Hsiao, A. and Kurokawa, K. “Translation, Adaptation, and Validation of the SF-36 Health Survey for Use in Japan.” *Journal of Clinical Epidemiology*, Vol. 51, No. 11, pp. 1037–1044, 1998.
- [79] Fukuhara, S., Ware, J. E. Kosinski, M., Wada, S. and Gandek, B. “Psychometric and Clinical Tests of Validity of the Japanese SF-36 Health Survey.” *Journal of Clinical Epidemiology*, Vol. 51, No. 11, pp. 1045–1053, 1998.
- [80] 福原俊一, 鈴嶋よしみ. “SF-36v2<sup>TM</sup> 日本語版マニュアル.” 特定非営利活動法人健康医療評価研究機構, 2004.
- [81] 日本語版EuroQol開発委員会. “日本語版 euro-qol の開発.” 医療と社会, Vol. 8, No. 1, pp. 109–123, 1998.
- [82] Zigmond, A. S. and Snaith, R. P. “The Hospital Anxiety and Depression Scale.” *Acta Psychiatrica Scandinavica*, Vol. 67, No. 6, pp. 361–70, June 1983.
- [83] 八田宏之, 東あかね, 八城博子, 小笹晃太郎, 林恭平, 清田啓介, 井口秀人, 池田順子, 藤田きみゑ, 渡辺能行, 川井啓市. “Hospital Anxiety and Depression Scale 日本語版の信頼性と妥当性の検討：女性を対象とした成績.” 心身医学, Vol. 38, No. 5, pp. 309–315, June 1998.
- [84] 有村達之, 小宮山博朗, 細井昌子. “疼痛生活障害評価尺度の開発.” 行動療法研究, Vol. 23, No. 1, pp. 7–15, 1997.
- [85] 松岡紘史, 坂野雄二. “痛みの認知面の評価：Pain Catastrophizing Scale 日本語版の作成と信頼性および妥当性の検討.” 心身医学, Vol. 47, No. 2, pp. 95–102, 2007.
- [86] N. Vincent, 石川尋代, F. de Sorbier. “画像処理とコンピュータビジョンのためのGPU.” 情報処理学会研究報告, Vol. 2008, No. 36, pp. 263–286, 2008.
- [87] Kinect for Windows. “Kinect for Windows — Voice, Movement & Gesture Recognition Technology.” 参照日 2014 年 1 月 13 日.
- [88] Microsoft. “kinect for windows human interface guidelines v1.8.0.” <http://go.microsoft.com/fwlink/?LinkID=247735>. 参照日 2014 年 1 月 6 日.
- [89] Jeannerod, M. “The Mechanism of Self-Recognition in Humans.” *Behavioural Brain Research*, Vol. 142, No. 1-2, pp. 1–15, June 2003.

- [90] OpenGL.org. “OpenGL - The Industry Standard for High Performance Graphics.” <https://www.opengl.org/>. 参照日 2014 年 1 月 6 日.
- [91] Havok. “havok<sup>TM</sup> physics.” <http://www.havok.com/jp/products/physics>. 参照日 2012 年 2 月 8 日.
- [92] S. Lantinga, S. Peter, and R. Gordon. “SDL\_mixer 2.0.” [https://www.libsdl.org/projects/SDL\\_mixer/](https://www.libsdl.org/projects/SDL_mixer/). 参照日 2012 年 2 月 8 日.
- [93] 株式会社テトラフェイス. “metaseq.net.” <http://metaseq.net/jp/>. 参照日 2014 年 2 月 1 日.
- [94] blender.org. “blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software”. <http://www.blender.org/>. 参照日 2014 年 2 月 1 日.
- [95] Drake, R. L., Vogl, A. W. and Mitchell, A. W. M. “Gray’s Anatomy for Students.” Churchill Livingstone, London, 3rd edition, 2014. (邦訳: 塩田浩平, 秋田恵一 共訳. “グレイ解剖学 原著第3版.” エルゼビア・ジャパン, 2016.)
- [96] Cohn-Kerr, N. “Understanding the process of adjustment to disability.” *Journal of Rehabilitation*, Vol. 27, pp. 16–18, 1961.
- [97] Fink, S. L. “Crisis and Motivation: a Theoretical Model.” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 48, No. 11, pp. 592–7, 1967.
- [98] 上田敏. “障害の受容-その本質と諸段階について-.” 総合リハビリテーション, Vol. 8, pp. 515–521, 1980.
- [99] Leeuw, M., Goossens, M. E. J. B., Linton, S. J., Crombez, G., Boersma, K. and Vlaeyen, J. W. S. “The Fear-Avoidance Model of Musculoskeletal Pain: Current State of Scientific Evidence.” *Journal of Behavioral Medicine*, Vol. 30, No. 1, pp. 77–94, 2007.
- [100] Dudgeon, B. J., Gerrard, B. C., Jensen, M. P., Rhodes, L. A. and Tyler, E. J. “Physical Disability and The Experience of Chronic Pain.” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 83, No. 2, pp. 229–235, 2002.
- [101] Fogg, B. J. “Why texting 4 health?” In Fogg, B. J. and Adler, R. (eds), *Texting 4 Health*, chapter 1, pp. 3–8. Captology Media, Stanford, 2009.
- [102] Torning, K. and Oinas-Kukkonen, H. “Persuasive System Design: State of The Art and Future Directions.” In *Persuasive ’09: Proc. of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, p. 1, 2009.



- [103] Fritz, T., Huang, E. M., Murphy, G. C. and Zimmermann, T. “Persuasive Technology in The Real World: A Study of Long-Term Use of Activity Sensing Devices for Fitness.” In *Proc. of CHI 2014*, pp. 487–496, 2014.
- [104] Fukumori, S., Miyake, K., Gofuku, A. and Sato, K. “Assessment of Motor Function in Complex Regional Pain Syndrome with Virtual Reality-Based Mirror Visual Feedback: A Pilot Case Study.” *Neuroscience and Biomedical Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 43–49, 2016.
- [105] Flash, T. and Hogan, N. “The Coordination of Arm Movements: An Experimentally Confirmed Mathematical Model.” *The Journal of neuroscience*, Vol. 5, No. 7, pp. 1688–1703, 1985.
- [106] Stewart, M. A. “Effective Physician-Patient Communication and Health Outcomes: A Review.” *Canadian Medical Association journal*, Vol. 152, No. 9, pp. 1423–33, 1995.
- [107] Bendapudi, N. M. Berry, L. L., Frey, K. A., Parish, J. T. and Rayburn, W. L. “Patients’ perspectives on ideal physician behaviors.” *Mayo Clinic proceedings*, Vol. 81, No. 3, pp. 338–44, mar 2006.
- [108] 良行箕輪, 真司松村. “患者に選ばれるために必要なコミュニケーションスキルとは.” 真司松村, 良行箕輪 (編), コミュニケーションスキルトレーニング患者満足度の向上と効果的な診療のために, 第2章, pp. 33–48. 医学書院, 東京, 2007.
- [109] 木菱由美子, 高橋由美子, 佐々木和人. “リハビリテーションにおける患者様への効果的な声かけについて.” 専門リハビリテーション, Vol. 3, pp. 25–29, 2004.
- [110] Hall, E. T. “The Hidden Dimension.” Doubleday, New York, 1966.
- [111] 澤俊二, 鈴木孝治. “作業療法ケースブック コミュニケーションスキルの磨き方.” 医歯薬出版株式会社, 東京, 2007.
- [112] 渋谷昌三. “人と人との快適距離 パーソナル・スペースとは何か.” 日本放送出版協会, 東京, 1990.
- [113] 良行箕輪, 純一佐藤. “医療現場のコミュニケーション.” 医学書院, 東京, 1990.
- [114] Heritage, J. and Maynard, D. W. “Communication in Medical Care: Interaction Between Primary Care Physicians and Patients.” Cambridge University Press, Cambridge, 1st edition, 2006.

- [115] Ito, K., Schwarzer, R. and Jerusalem, M. “Japanese Adaptation of The General Self Efficacy Scale.” <http://userpage.fu-berlin.de/health/japan.htm>, 2005. 参照日 2015 年 11 月 5 日.
- [116] Adachi, T., Nakae, A., Maruo, T., Shi, K., Shibata, M., Maeda, L., Saitoh, Y. and Sasaki, J. “Validation of The Japanese Version of The Pain Self-Efficacy Questionnaire in Japanese Patients with Chronic Pain.” *Pain Medicine*, Vol. 15, No. 8, pp. 1405–1417, 2014.
- [117] Byrne, P. S. and Long, B. E. L. “Doctors talking to patients: A study of the verbal behaviours of doctors in the consultation.” Her Majesty’s Stationery Office, London, 1976.
- [118] 中嶋郁雄. “叱って伸ばせるリーダーの心得 56.” ダイヤモンド社, 東京, 2014.
- [119] Grant, H. H.. “Sometimes Negative Feedback Is Best.” <https://hbr.org/2013/01/sometimes-negative-feedback-is>. 参照日 2017 年 1 月 9 日.
- [120] Daniels, A. C. “*OOPS! 13 Management Practices That Waste Time & Money (and what to do instead)*.” Performance Management Publications, 2009.
- [121] natejust. “The Hamburger Method of Constructive Criticism”. <http://n8tip.com/the-%20hamburger-method-of-constructive-criticism-works-for-vegetarians-too>. 2017 年 1 月 9 日引用.
- [122] Henderlong, J and Lepper, M. R. “The Effects of Praise on Children’s Intrinsic Motivation: A Review and Synthesis.” *Psychological Bulletin*, Vol. 128, No. 5, pp. 774–795, 2002.
- [123] Drachman, D., DeCarufel, A. and Insko, C. A. “The Extra Credit Effect in Interpersonal Attraction.” *Journal of Experimental Social Psychology*, Vol. 14, No. 5, pp. 458–465, 1978.
- [124] Byrne, D., Rasche, L. and Kelley, K. “When ”I Like You” Indicates Disagreement An Experimental Differentiation of Information and Affect.” *Journal of Research in Personality*, Vol. 8, No. 3, pp. 207–217, 1974.
- [125] Cialdini, R. B. “*Influence: Science and Practice*.” Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 5th edition, 2008. (邦訳: 社会行動研究会 訳. “影響力の武器 [第三版]: なぜ、人は動かされるのか.” 誠信書房, 2014.)
- [126] Mueller, C. M. and Dweck, C. S. “Praise for Intelligence Can Undermine Children’s Motivation and Performance.” *Journal of personality and social psychology*, Vol. 75, No. 1, pp. 33–52, 1998.

- [127] Claiborn, C. D. and Goodyear, R. K. "Feedback in Psychotherapy." *Journal of Clinical Psychology*, Vol. 61, No. 2, pp. 209–217, 2005.
- [128] Amabile, T. M. "Brilliant but Cruel: Perceptions of Negative Evaluators." *Journal of Experimental Social Psychology*, Vol. 19, No. 2, pp. 146–156, 1983.
- [129] Swann, W. B. and Schroeder, D. G. "The Search for Beauty and Truth: A Framework for Understanding Reactions to Evaluations." *Personality and Social Psychology Bulletin*, Vol. 21, No. 12, pp. 1307–1318, 1995.
- [130] Baron, R. A. "Negative Effects of Destructive Criticism: Impact on Conflict, Self-Efficacy, and Task Performance." *The Journal of Applied Psychology*, Vol. 73, No. 2, pp. 199–207, 1988.
- [131] Kluger, A. N. and DeNisi, A. "The Effects of Feedback Interventions on Performance: A Historical Review, A Meta-Analysis, and A Preliminary Feedback Intervention Theory." *Psychological Bulletin*, Vol. 119, No. 2, pp. 254–284, 1996.
- [132] Fogg, B. J. and Nass, C. "Silicon Sycophants: The Effects of Computers That Flatter." *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 46, No. 5, pp. 551–561, 1997.
- [133] Reeves, B. and Nass, C. "The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media like Real People and Places." Cambridge University press, Cambridge, 1996. (邦訳: 細馬 宏通 訳. "人はなぜコンピューターを人間として扱うか「メディアの等式」の心理学." 翔泳社, 2001.)
- [134] Mumm, J. and Mutlu, B. "Designing Motivational Agents: The Role of Praise, Social Comparison, and Embodiment in Computer Feedback." *Computers in Human Behavior*, Vol. 27, No. 5, pp. 1643–1650, 2011.
- [135] Schwanda, V., Ibara, S., Reynolds, L. and Cosley, D. "Side Effects and 'Gateway' Tools: Advocating a Broader Look At Evaluating Persuasive Systems." *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 345–348, 2011.
- [136] Nass, C., Steuer, J., Tauber, E. and Reeder, H. "Anthropomorphism, Agency, and Ethopoeia." *Proc. of the INTERACT '93 and CHI '93 conference companion on Human factors in computing systems - CHI '93*, pp. 111–112, New York, 1993. ACM Press.
- [137] Nass, C., Steuer, J., and Tauber, E. R. "Computers Are Social Actors." *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, No. January, pp. 72–78, 1994.

- [138] Nass, C., Moon, Y., Fogg, B. J., Reeves, B. and Dryer, D. C. “Can computer personalities be human personalities?” *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 43, No. 2, pp. 223–239, 1995.
- [139] Nass, C., Fogg, B. J. and Moon, Y. “Can Computers Be Teammates?” *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 45, No. 6, pp. 669–678, 1996.
- [140] Meyer, P. “Beyond texting: More technologies for health.” In Fogg, B. J. and Adler, R. (eds), *Texting 4 Health*, chapter 15, pp. 153–163. Captology Media, Stanford, 2009.
- [141] Patrick, K., Raab, F., Adams, M. and Dillon, L. “mDiet: A Personalized Approach To Weight Management Using Text Messaging.” In Fogg, B. J. and Adler, R. (eds), *Texting 4 Health*, chapter 4, pp. 35–47. Captology Media, Stanford, 2009.
- [142] Vallerand R. J. and Reid, G. “On The Relative Effects of Positive and Negative Verbal Feedback on Males’ and Females’ Intrinsic Motivation.” *Canadian Journal of Behavioural Science*, Vol. 20, No. 3, pp. 239–250, 1988.
- [143] Pintrich, P. R. and de Groot, E. V. “Motivational and Self-Regulated Learning Components of Classroom Academic Performance.” *Journal of Educational Psychology*, Vol. 82, No. 1, pp. 33–40, 1990.
- [144] Black, A. E. and Deci, E. L. “The Effects of Instructors’ Autonomy Support and Students’ Autonomous Motivation on Learning Organic Chemistry: A Self-Determination Theory Perspective.” *Science Education*, Vol. 84, No. 6, pp. 740–756, 2000.
- [145] selfdeterminationtheory.org. “Self-Regulation Questionnaires.” <http://selfdeterminationtheory.org/self-regulation-questionnaires/>. 参照日 2017 年 1 月 13 日.
- [146] 勇剛竹内, 恭弘片桐. “ユーザの社会性に基づくエージェントに対する同調反応の誘発.” 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 5, pp. 1257–1266, 2000.
- [147] Schunk, D. H. “Goal Setting and Self-Efficacy During Self-Regulated Learning.” *Educational Psychologist*, Vol. 25, No. 1, pp. 71–86, jan 1990.
- [148] Pintrich, P. R. “A Motivational Science Perspective on The Role of Student Motivation in Learning and Teaching Contexts.” *Journal of Educational Psychology*, Vol. 95, No. 4, pp. 667–686, 2003.
- [149] Bandura, A. and Cervone, D. “Differential Engagement of Self-Reactive Influences in Cognitive Motivation.” *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 38, No. 1, pp. 92–113, 1986.

- [150] Schunk, D. H. “Self-Efficacy and Academic Motivation.” *Educational Psychologist*, Vol. 26, No. 3-4, pp. 207–231, 1991.
- [151] Zimmerman, B. J. “Self-Efficacy: An Essential Motive to Learn.” *Contemporary Educational Psychology*, Vol. 25, pp. 82–91, 2000.
- [152] Earley, P. C. “Computer-Generated Performance Feedback in The Magazine-Subscription Industry.” *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 41, No. 1, pp. 50–64, 1988.
- [153] Atkinson, B. M. C. “Captology: A Critical Review.” *Persuasive Technology: First International Conference on Persuasive Technology for Human Well-Being, PERSUASIVE 2006*, pp. 171–182. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, 2006.
- [154] Fishbach, A. Eyal, T. and Finkelstein, S. R. “How Positive and Negative Feedback Motivate Goal Pursuit.” *Social and Personality Psychology Compass*, Vol. 4, No. 8, pp. 517–530, 2010.
- [155] Klasnja, P., Consolvo, S. and Pratt, W. “How to Evaluate Technologies for Health Behavior Change in HCI Research.” *Proc. of The 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '11*, pp. 3063–3072, ACM Press, New York, 2011.
- [156] Lally, P., van Jaarsveld, C. H. M., Potts, H. W. W. and Wardle, J. “How are habits formed: Modelling habit formation in the real world.” *European Journal of Social Psychology*, Vol. 40, No. 6, pp. 998–1009, 2010.
- [157] Wood, W. and Neal, D. T. “A New Look at Habits and The Habit-Goal Interface.” *Psychological Review*, Vol. 114, No. 4, pp. 843–863, 2007.
- [158] 旭エレクトロニクス. “位置・角度 磁気 センサ Fastrak”. <http://www.aec.co.jp/mm/products/fastrak.htm>. 参照日 2012 年 2 月 8 日.
- [159] 5DT. “5DT Data Glove Ultra Datasheet.pdf”. <http://www.5dt.com/downloads/dataglove/ultra/5DTDataGloveUltraDatasheet.pdf>. 参照日 2014 年 1 月 13 日.

## 論文リスト

### 参考論文：

1. 三宅貫太郎, 五福明夫, 福森聡, 杉原太郎, 佐藤健治, “遠隔情報共有機能を持つ在宅バーチャルリアリティ鏡療法システムの構築”, 日本遠隔医療学会雑誌, Vol. 11, No. 2, pp.64–70 (2015).
2. 三宅貫太郎, 福森聡, 杉原太郎, 五福明夫, 佐藤健治, “Captology 諸原理を応用した慢性疼痛患者の治療意欲を維持するための外装的機能の検討”, 人工知能学会論文誌, Vol. 30, No. 1, pp.148–151 (2014).

### その他の論文等：

#### 【その他の論文】

1. Kantaro Miyake, Taro Sugihara, Akio Gofuku, “Emotional Assistance Using Captology for Continuous Rehabilitation of Patients with Chronic Pain”, Proceedings of JSAI-isAI2015 Workshop on Healthy Aging Tech mashup service, data and people (HAT-MASH2015), LNCS(Paper No. 1) (2015).
2. Satoshi Fukumori, Kantaro Miyake, Akio Gofuku, Kenji Sato, “Assessment of motor function in Complex Regional Pain Syndrome with Virtual Reality-based Mirror Visual Feedback: A Pilot Case Study”, Neuroscience and Biomedical Engineering, Vol.4, No.1 pp.43-49 (2016).
3. Kenji Sato, Satoshi Fukumori, Kantaro Miyake, Daniel Obata, Akio Gofuku, Kiyoshi Morita, “A Novel Application of Virtual Reality for Pain Control: Virtual Reality-Mirror Visual Feedback Therapy”, In S. Ghosh (Ed.), Pain in Perspective, InTech, pp.237-254 (2012).

#### 【口頭発表およびポスター発表】

1. 三宅貫太郎, 杉原太郎, 北原亮宏, 五福明夫, 福森聡, 佐藤健治, “適切な治療継続のための情緒的支援を行うインタフェースの考察”, 第60回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集 (SCI'16), Paper No. 265-1 (2016).

2. Satoshi Fukumori, Kantaro Miyake, Akio Gofuku, Kenji Sato, “Changes in movement of upper limb on Complex Regional Pain Syndrome with Virtual Reality based Mirror Visual Feedback: pilot case study, Proceedings of The 9th ICME International Conference on Complex Medical Engineering (CME 2015), Paper No. OS1-5 (2015).
3. 三宅貫太郎, 福森聡, 杉原太郎, 五福明夫, 佐藤健治, “慢性疼痛患者の行動変容に向けた Captology における諸原理の応用可能性の検討”, 第4回 ARG Web インタジェンスとインタラクション研究会講演論文集 (第4回 WI2 研究会), Paper No. WI2-2014-01 (2014).
4. 三宅貫太郎, 杉原太郎, 五福明夫, 佐藤健治, “VR 鏡療法における患者の治療意欲を維持するための仕掛けの検討”, 人工知能学会第28回全国大会講演論文集 (JSAI2014), Paper No. 2G4-OS-21b-7, pp. 1-4 (2014).
5. 三宅貫太郎, 福森聡, 諫武賢志, 佐藤健治, 杉原太郎, 五福明夫, “VR/MVF 治療システムにおける患者に配慮したユーザインタフェース”, ヒューマンインタフェースシンポジウム2013講演論文集 (HI2013), Paper No. 2G4-OS-21b-7, pp.63-66 (2013).
6. 三宅貫太郎, 五福明夫, 亀川哲志, “インターネットを利用した CRPS 患者に対する VR/MVF 在宅治療システムの構築”, 第56回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集 (SCF'12), Paper No. M31-3 (2012).

## 医療施設用 VR-MVF システム

本付録では、研究対象である在宅用 VR-MVF システム開発の基盤となる、岡山大学病院に設置された医療施設用 VR-MVF システム [5] について述べる。

### A.1 システムの構成装置

医療施設用 VR-MVF システムを用いて治療を行っている様子を図 A.1 に示す。医療施設用 VR-MVF システムは第 2.4.2 項で挙げた構成する装置のうち、(1)VR の患側の仮想四肢の動きを生成するデバイスが異なる。医療施設用 VR-MVF システムでは医療従事者によるセンサ類装着の補助が得られることを前提とし、身体に装着することでより高精度の位置・姿勢計測を可能とするセンサを用いている。具体的には、上肢の動きを検出するモーションセンサには、高精度な測定が可能な磁気センサを使用する。また、VR の指の動作生成のためにはデータグローブを用いる。本論文執筆時点で使用されている医療施設用 VR-MVF システムおよび在宅用 VR-MVF システムそれぞれの代表的な装置構成を表 A.1 に示す。

なお、ソフトウェアについては、VR の生成などの基幹部分は在宅用 VR-MVF システムと同じものとなっており、センサからの情報を VR に反映処理する部分およびセンサからの情報を運動データとして記録する部分のみ異なる。

#### A.1.1 磁気センサの仕様

磁気センサには POLHUMUS 社製の FASTRAK を使用している。図 A.2 に磁気センサの概観を示す。また、磁気センサの仕様を表 A.2 に示す [158]。磁気センサでは、在宅用システムで用いている Kinect for Windows では測定できない腕の回内・回外動作も測定可能であるため、より多様な VR の腕の動作を行うことができる。

磁気センサはトランスミッタに対するレシーバの位置や姿勢を計測する。トランスミッタからのレシーバの XYZ 座標軸における相対的な位置が cm 単位で出力され、また姿勢が四元数で出力される。また、トランスミッタを原点とした座標軸で X 座標が負の値になるように移動した場合、図 A.3 に示すように座標軸が変化する。すなわち、Y 軸の値が正負が反転し、X 軸の値はトランスミッタからの X 軸移動量を絶対値として出力する。治療では上肢はおおよそ 70cm の範囲に収まるように移動するため、原



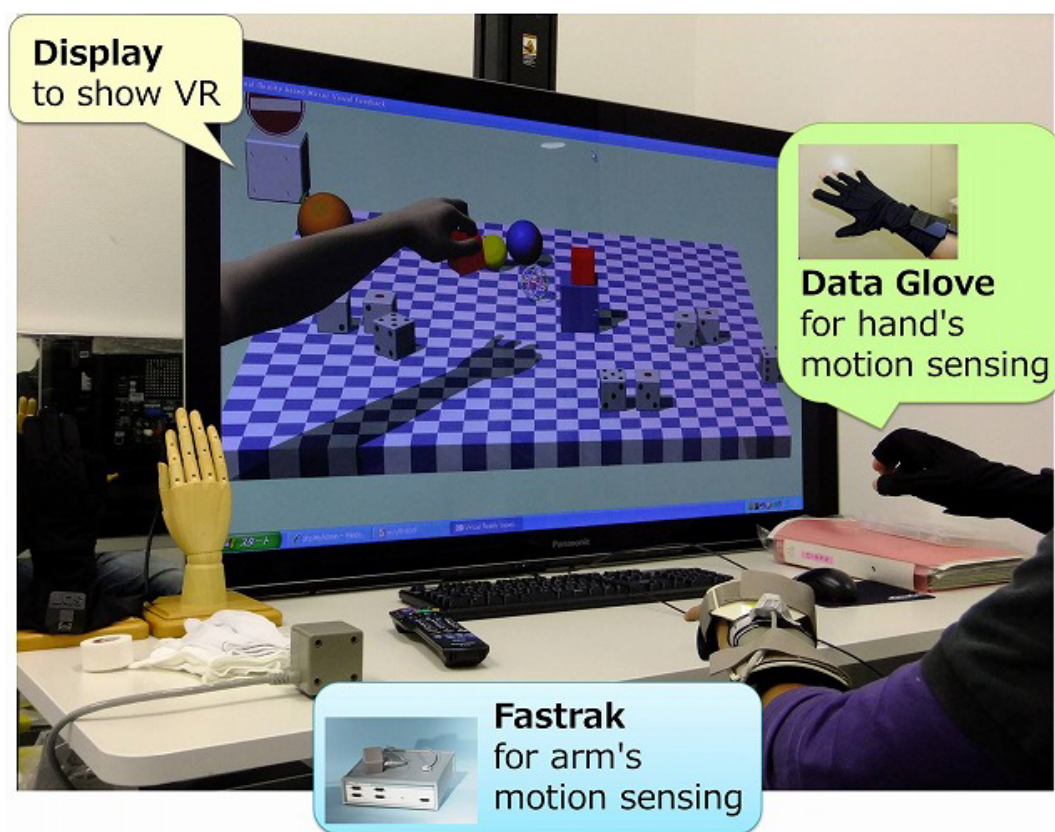


図 A.1: 医療施設用 VR-MVF システムの構成図

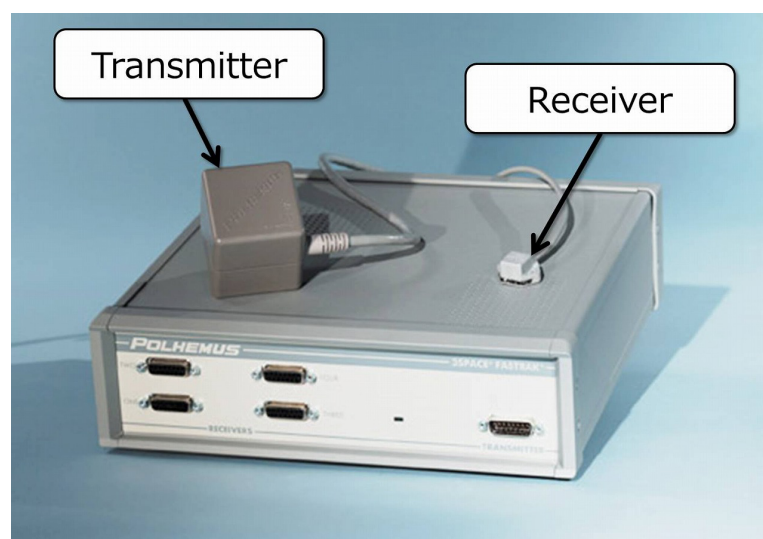


図 A.2: 磁気センサ FASTRAK の概観と各部品名

表 A.1: 医療施設用 VR-MVF システムおよび在宅用 VR-MVF システムの代表的な装置構成

| システム                | 医療施設用                                             | 在宅用                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| コンピュータ              |                                                   |                                             |
| OS                  | Windows 7 professional 64bit                      |                                             |
| CPU                 | Intel Core 2 Quad Q9705                           | Intel Core i7-3770                          |
| HDD                 | 500GB                                             |                                             |
| RAM                 | 4GB                                               | 8GB                                         |
| グラフィック<br>ボード       | NVIDIA Quadro FX 580                              | NVIDIA GeForce GTX 650                      |
| ディスプレイ<br>(サイズ/解像度) | Panasonic VIERA TH-P50GT3<br>(50 インチ/1920 × 1080) | BenQ G2420HD<br>(24 インチ/1920 × 1080)        |
| モーションセンサ            | FASTRAK                                           | Kinect for Windows                          |
| 把持動作実行用<br>デバイス     | データグローブ<br>(5DT Data Glove 14 Ultra)              | ワイヤレスマウス<br>(Logicoool Wireless Mouse M310) |

表 A.2: 磁気センサ FASTRAK のスペック

|                        |                                                                                            |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Static Accuracy        | : Position : 0.76 mm RMS<br>Orientation : 0.15 ° RMS                                       |
| Resolution             | : Position : 0.005 mm per 12 inch of source and sensor separation<br>Orientation : 0.025 ° |
| Accuracy assured range | : about 76 cm around                                                                       |
| Effective range        | : about 305 cm around                                                                      |
| Update Rate            | : 120 Hz (divided by number of sensors)                                                    |
| Number of Sensors      | : 1-4                                                                                      |
| Interface              | : RS-232C or USB                                                                           |
| Latency                | : 4ms                                                                                      |
| Data format            | : ASCII or Binary                                                                          |

則としてトランスミッタを上肢の左側に来るように設置する．また，金属による磁気変化の影響を大きく受けるため，トランスミッタ，レシーバともに，金属の物体から 20 c m 程度は離れるように設置・使用する．レシーバは1つ使用し，図 A.4 に示すように腕の方向からケーブルが沿うように向きを合わせ，患側の手首にサージカルテープで固定する．

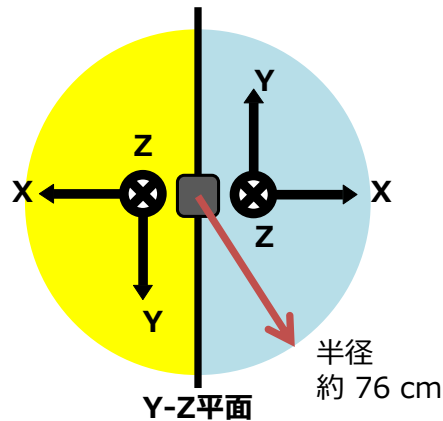


図 A.3: FASTRAK における座標軸の定義

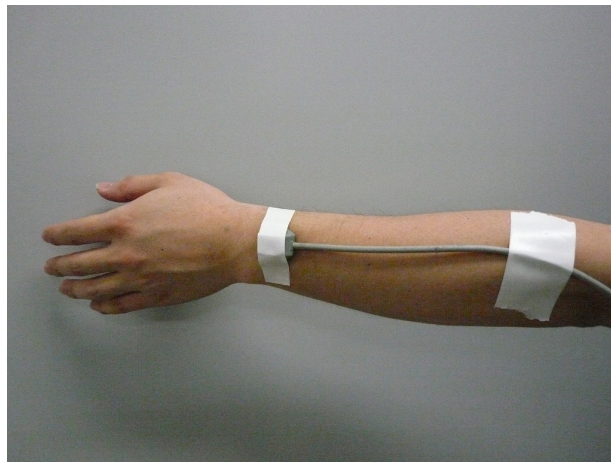


図 A.4: FASTRAK レシーバを取り付けた様子の概観

#### A.1.2 データグローブの仕様

データグローブは5DT社製の5DT Data Glove 14 Ultraを使用している．図 A.5 にデータグローブの概観を示す．また，このデータグローブの仕様を表 A.3 に示す [159]．小型かつ軽量であり，また高データ更新速度，高分解能，自動キャリブレーション機能による高精度なデータ測定が特徴である．このデータグローブからは，各指のMP関節，

PIP関節の曲げ量およびそれぞれの指間開き量の合計14つの値が出力される．それら14つの各関節姿勢の値が、必要に応じて設定値で重み付けされ、VRの手の対応する関節の姿勢に反映される．これによって、データグローブを装着した手の姿勢が、そのままVRの手の姿勢として再現される。



図 A.5: データグローブ 5DT Data Glove 14 Ultra の概観

実際の使用において、特に女性でデータグローブと比較して手が小さいため、うまくデータ測定が行えない場合がある．そのような場合は、データグローブを装着する下にメッシュの手袋を装着するなどして、手とデータグローブの大きさを合わせている．

### A.1.3 ディスプレイの仕様

医療施設用VR-MVFシステムに使用するディスプレイに要求される仕様は、本文第3.4.2項で述べたものと同じである。一方で、医療施設用VR-MVFシステムでは上記の磁気センサを用いるため、在宅用VR-MVFシステムのように計測対象者とディスプレイ間の距離を大きく空けて配置する必要はない。

表 A.3: 5DT Data Glove 14 Ultra のスペック

|                    |                                                                                                                                                               |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Model              | : 5DT Data Glove 14 Ultra                                                                                                                                     |
| Type               | : Right-handed or Left-handed                                                                                                                                 |
| Material           | : Black Stretch Lycra                                                                                                                                         |
| Size               | : Free                                                                                                                                                        |
| Sensor Resolution  | : 12-bit A/D (typical range 10-bits)                                                                                                                          |
| Flexure Sensors    | : Fiber Optics Based<br>14 Sensors in total<br>2 Sensors per finger, one sensor<br>for knuckle and one for first joint.<br>Abduction sensors between fingers. |
| Computer Interface | : Full-speed USB1.1                                                                                                                                           |
| Power Supply       | : Via USB Interface                                                                                                                                           |
| Sampling Rate      | : Minimum 75Hz                                                                                                                                                |

## A.2 運用時における構成装置の組み合わせ

本研究では第3章で示した構成のものを在宅用VR-MVFシステム、本付録にて示した構成のものを医療施設用VR-MVFシステムと呼称した。これらの名称は開発時のコンセプトに応じて本研究独自に分類したものである。しかしながら、実際のシステム運用では、患者の使用環境に応じて適切なセンサやデバイスの組み合わせでシステムが構成されることに注意する必要がある。例えば、在宅用VR-MVFシステムを使用する患者が、健常側の手で持つはずのワイヤレスマウスを握力の低下などの理由から保持することができない場合、VRの手の動作生成に医療施設用VR-MVFシステムで用いるデータグローブを代わりに使用することがある。ここで、本文で述べたように患者の患側の手は物体の接触により痛みが生じるため、データグローブの装着に使用することは困難である。従って、患者が家族やホームヘルパーからの装着補助を受けられる場合に、データグローブをVRの動作生成のために使用する。一方で、医療施設内であっても導入におけるコストや、補助を行う医療従事者の手間の増加などの問題から、在宅用VR-MVFシステムを導入することが考えられる。

また同様に、本論文で取り扱った遠隔情報共有機能や各GUIは在宅用VR-MVFシステムだけでなく、医療施設用VR-MVFシステムに対しても導入可能であることに注意する必要がある。

## 調査票

本付録では、本研究で使用した質問票のうち、本研究で作成または改編されて使用したものを示す。

### B.1 Sense of Agency に関するアンケート

第3章で電子調査票として実装した Sense of Agency に関するアンケートを表 B.1 に示す。質問項目は回答する患者の患側によって変化する。具体的には、もし患部が右手の場合は表 B.1 の質問項目の下線部が”右手”または”右側”となる。また、患部が左手の場合は同様に”左手”または”左側”となる。各質問項目への回答は左端が0（そうは思わない）、右端が100（とてもそう思う）の Visual analog scale で行われる。VR-MVF システムに実装した GUI では、回答者が該当する部分にスライダーのつまみを移動させる形で回答を行う。

### B.2 自己効力感に関する質問票

第7章で述べた実験で使用した、情報技術学習に対する自己効力感に関する質問票を表 B.2 に示す。各項目の選択肢は1（全くそう思わない）から7（とてもそう思う）の7段階である。

### B.3 自律性に関する質問票

第7章で述べた実験で使用した、情報技術学習に対する自律性に関する質問票の質問項目を表 B.3 に示す。質問票は大きく A C の3つのグループに分かれており、各グループは1~4の4つの項目を含んでいる。回答者は、各項目が属するグループの文章の後に項目の文章を繋げて読んだものに対して回答を行う。各項目の選択肢は1（全くそう思わない）から7（とてもそう思う）の7段階である。

表 B.1: Sense of Agency に関するアンケート (例：右手が患部の場合).

- 
1. 私は右手が自分の腕だと感じた
  2. 私は仮想の手を動かすことに集中できた
  3. 私はディスプレイに表示されている右手の動きに対して右手の意識を重ねることができた
  4. 私は右手を思い通りに動かしているように感じた
  5. 私は実験中、音によって気がそらされた
  6. 私は仮想の手を自由に動かせた
  7. 私は右手を動かすことを意識できた
  8. 私は実験に集中できた
  9. 私は疼痛側の運動イメージと、ディスプレイに表示されている健常側の仮想の上肢の運動を重ねることができた
  10. 私は仮想の右側の手を動かしているイメージを持つことを意識できた
  11. 私は画面に集中できた
  12. 私は右手を思い通りに動かせた
  13. 私はディスプレイに表示されている右側の仮想の手を私の実際の手だと感じた
  14. 私は疼痛側の仮想の上肢を動かしている気がした
  15. 私は今日は体調がいい
- 

表 B.2: 自己効力感に関する質問票

- 
1. 他の人と比べると、自分はよくやれると思う
  2. 情報技術に関して学習する内容を、自分は理解できる方だと思う
  3. 自分は、情報技術を用いる仕事でうまくやれると思う
  4. 他の人と比べると、自分はよい学習者だと思う
  5. 情報技術知識に関する問題や課題を、自分はうまくこなせると思う
  6. 自分は、情報技術の試験でよい結果・成果を出せると思う
  7. 自分の情報技術学習能力は、他の人に比べてすぐれていると思う
  8. 他の人と比べると、自分は情報技術についてよく知っていると思う
  9. 自分は、学ぶ情報技術のレベルについていけると思う
-

表B.3: 自律性に関する質問票

- 
- A. 私は積極的に情報技術の学習を行います
- A1. なぜなら、それが私の情報技術へのスキルや理解を改善するための良い方法だと思うから
  - A2. なぜなら、私がもし学習しないなら、他の人は私を悪く思うから
  - A3. なぜなら、情報技術をよく学ぶことで誇りに思うだろうから
  - A4. なぜなら、情報技術への確かな理解は私の知的成長にとって重要だから
- B. 私は情報技術学習において、それを支援するコンピュータインタフェースから提案があれば、その提案に従いそうです
- B1. なぜなら、そのインタフェースの提案通りにしない場合、悪い成績を取りそうだから
  - B2. なぜなら、学習において良いパフォーマンスができると思えず、心配だから
  - B3. なぜなら、自分で学習方法を考え出すよりも、インタフェースの提案に従うほうが簡単だから
  - B4. なぜなら、そのインタフェースは最良の教材に関する見識を持っているようだから
- C. 私が情報技術スキルを広げるために学習を継続する理由は、
- C1. 情報技術の知識をもっと学ぶことにワクワクするから
  - C2. 情報技術における問題を解決する方法を理解することが課題だから
  - C3. 情報技術に関して良い成績をとることは、私の経歴においてポジティブに見えるから
  - C4. 他の人から私が知的であるように見られたいから
-



## B.4 インタフェースの印象に関する質問票

第7章で述べた実験で使用した、インタフェースの印象に関する質問票の質問項目を表 B.4 に示す。各項目の選択肢は1（全くそう思わない）から7（とてもそう思う）の7段階である。

表 B.4: インタフェースの印象に関する質問票

- 
- |     |                             |
|-----|-----------------------------|
| 1.  | インタフェースは、自分に期待していると感じた      |
| 2.  | インタフェースからのメッセージで、気分が良く感じた   |
| 3.  | インタフェースの発言内容を理解できた          |
| 4.  | インタフェースから、試験実施者の意思を感じた      |
| 5.  | インタフェースから、優しさを感じた           |
| 6.  | インタフェースは、自分を見守っていると感じた      |
| 7.  | インタフェースの発言は信頼できた            |
| 8.  | インタフェースは、自分よりも権威がある存在に感じた   |
| 9.  | インタフェースがいれば、自分は学習を続けられると思った |
| 10. | インタフェースから、厳しさを感じた           |
-