

研究助成成果報告 研究助成 (S)

ジェスチャインタフェースの基盤技術の高度化と
臨床評価に関する研究開発

Enhancement of Fundamental Technologies for Gesture Interface and Clinical Evaluation

2208002



研究代表者	産業技術総合研究所 人間情報インタラクション研究部門	主任研究員	依田 育士
共同研究者	東海大学 医学部専門診療学系 リハビリテーション科学	教授	水野 勝広
	産業技術総合研究所 人工知能研究センター	研究チーム長	大西 正輝
	国立精神・神経医療研究センター 病院 身体リハビリテーション部	医長	西田 大輔

[研究の目的]

各種情報機器（PC や家電等）を使用する際にキーやスイッチ等の利用が困難な重度運動機能障害者をファーストターゲットとし、市販の3D カメラを一般のPC に接続し、開発したソフトウェアをインストールすることで、残存している随意性のある身体部位の動きをスイッチとして、情報機器と障害者の融和を促進するジェスチャインタフェースの研究開発を行った。この人間機能拡張、情報機能拡張の研究により、障害者の社会参加の増進を図ることが目的である。また、研究は、障害者自身や家族らと協調しながら社会実装を進め、ジェスチャインタフェースを本当に必要とするユーザを対象に研究開発を行うことで、健常者にまで利用可能な次世代技術の足がかりとなることを目指して研究を実施した。

[研究の内容, 成果]

3年後の具現化レベル

研究採択のための面接時には、3年後の具現化レベルを明確に提示する旨を要請され、以下の3つを基本として示した。

- ・2 基幹病院で30名の実用化
- ・個人利用のモデルケース確立
- ・地域病院のモデルケース確立

研究タイトルに、「**基盤技術の高度化と臨床評価**」と明記したように、本ファウンドによる研究開始時には、基盤となる9種のジェスチャ認識モジュール（頭部、大きなウインク、舌の出し入れ、肩の上下、指折り、膝の開閉、足踏み、微細な動き、手前のもの）は臨床評価が実施可能なレベルには到達していたが、常用利用者が数名の段階からの開始であった（図1）^[1]。そして、実際に地域の核となる3拠点病院を中心に展開し、多くのユーザに適応することで、そこからフィードバックを得て、認識モジュールの高精度化、高機能化に繋げた。同時に、個人利用のモデルケースと、核となる地域病院の

モデルケースの両方を確立することを目的に研究を進めた。



図1 9種の認識モジュール

地域展開と実利用者の獲得

地域の拠点病院として、新潟病院（新潟県柏崎市）、医王病院（石川県金沢市）、箱根病院（神奈川県小田原市）の3病院で本格的な使用を開始した。この3病院は、神経筋疾患患者の地域の拠点病院となっており、筋ジストロフィーの患者が多く、どの病院も少なくとも5名以上の患者適応が可能と想定されたからである。

個人利用のモデルケースの確立

これらの地域病院の展開を通して新潟病院では、個人利用のモデルケースと言える典型的なユーザが現れた。そのユーザは、片手と片足を使って、ワンクリックマウスを利用しているユーザであった。微細な動きを認識する Slight モジュールを適用し、口と頬の僅かな動きを使って、2つのスイッチを利用した。そして、ワンクリックマウスとの組合せで、多彩なアプリの利用方法を障害者本人が開発していった。具体的には、複数のゲームでの利用（マリオカート、あつまれ！どうぶつの森、Minecraft など）が上げられる。そして、そのゲームへの利用方法の動画を自ら作成し（図2）、障害者仲間に公開し、病院内で他の人に使い方を指導するに至った。さらに、研究者らに対しても、後述のインジケータやプロファイル機能に関して具体的な提案をし、まさに、個人としての利用方法を確立した^[10]。

さらに、医王病院においても、同様にワンクリックマウスを使えるユーザが、スイッチを複数追加することで、PC上のゲームである FIFA22（オンライン対戦型サッカーゲーム）の利用をオンラインで開始し、院内にその輪が広がるという個人利用モデルが生まれた。これは、院内に対象者が5名程度はいる拠点病院において複数の患者が適用を並行して始めたことによって、そこにコミュニティが発生し、病院と個人の両方のモデルケースとなった。



図2 ゲーム操作を説明する本人作成の動画

地域病院のモデルケースの確立

地域病院の中でも最も先行した新潟病院においては、常用利用者が早い段階から3名を超え、上述のように院内でのジェスチャインタフェースが拡がりを見せた。この内容を柏崎市の展示会^[7]で発表した結果、行政の目に留まった。柏崎市と協議を行い、全国初の日常生活用具の指定を受け、令和5年度からは、柏崎市では補助金での無償利用（カメラ購入）が可能となった。まさに、これが目指していた地域病院モデルである。この流れが、今後全国に拡がることを目指し、多地域での展開を継続している。

臨床評価

また、これらの活動を通して、実際の長期利用患者を対象に、柏崎市、金沢市、熊本市において臨床評価を実施した^[3-6]。これは、利用開始後1ヶ月、3ヶ月といった単位で、長期利用者にインタビューを繰り返し、その利用者の満足度などを調査した。ここでは、単純に機器の

操作が容易になった、使える機器が増えたという使用感だけでなく、心理面、QOLなど、生活の変化までを含めた聞き取りも行った。最大の変化は他者との関わり方で、今までにないコミュニティが出来る、人に教えることが出来るという点が本当の効果であったと考えている。

コロナ禍における社会実装

プロジェクト開始である2020年4月は、本格的にコロナ禍が始まるタイミングと重なり、全ての障害者、ならびに病院等への訪問が不可能な状況に陥ったが、結果としてこれが幸いすることとなった。訪問不可への対応として、全ての必要なソフトウェアをノートPCにインストールし、距離カメラと一緒に利用希望者の元へと送付した。第一段階として、対応する作業療法士等にオンラインでレクチャを行い、第二段階として、そのノートPCをそのまま使って初回の試用を行った。送付したノートPCを利用することで、オンラインでの指示であってもスムーズな患者適用が実現出来た。そして、第三段階として、貸与したカメラをユーザ自身のPCに付け、ソフトウェアをインストールして、試用を1ヶ月程度行ってもらった。これで、利用可能になったユーザは自分でカメラを購入して利用する最終段階へと進んだ。この方式を日本中の施設に対して行い、地域3病院以外は一切訪問することなく、多地域の多数施設へ展開を順調に進めることができた。

結果、全国21の施設(病院11、障害者支援施設5、訪問看護4、大学1)での試用を実現し、利用者は30名を超えた。それら施設の立地する都道府県数は13となった。具現化の目標とした利用者人数をこの手法で実現した。さらに海外においては英国の2施設で利用が2023年初頭から開始された^[9]。

基盤技術の高度化／認識モジュール

上述の多くの障害者に適応を続けていく過程で、9種の認識モジュールに関しては、幾度となく改良を行った。ユーザが病院や家庭におい

て、実際に利用する過程で発生する問題に対応し続けることで、技術を向上させ続けた。最も改良を要したのは、頭部周りを認識する(頭部、ウイंक、舌)モジュールであった。これらは、そもそも障害者の周囲に、ヘッドレスト、タッチセンサ、鼻マスクなど頭部内外に認識を妨げるものが多数存在し、それらの影響を削減するための工夫が必須であった。また、随意運動の小さい障害者が多く、動きが小さい故に、より高い精度を求められた。そのために、距離画像からの頭部の大きさと形状を正確に推定するなど、距離画像情報から外乱要因を除去する手法の工夫を重ねた。また、頭部の向き等の推定に関し、そもそもの基準位置が常に動き続けるという問題が発生した。これは、既に指の折曲げなどでも対応していた問題であったが、ユーザの動きの流れの中で、基準位置を更新し続ける手法を採用した。

基盤技術の高度化は以下の4点に集約できる。

- ・3次元身体形状に基づく外乱要因の除去
(ヘッドレスト、各種センサ、鼻マスク、机、椅子、介助者身体等)
- ・特徴量抽出の細部の工夫による精度向上
- ・基準位置の動的な連続再更新
- ・学習(キャリブレーション)の簡易化

これらを各モジュール単位で、また共通可能な内容は、全モジュールが共通するような形式での改良を継続した。

また、各モジュールを改良するごとに、蓄積したデータを利用して、その認識精度の再評価を行った。その中で、トレードオフの関係にある抽出過剰と抽出不足の2種のエラーを常に評価した。問題のあった一人のユーザだけに適応するだけではなく、多くの同様のユーザに適応可能な手法であるかを検証しながら、改良を進めることで、安定した認識精度の実現を目指した。

各モジュールの基本的な枠組みの変更は無かったが、舌認識モジュールだけは、大幅な改良を実施した。これは、研究当初は、認識を安

定させるために、舌の出し入れを基本としていたが、ユーザが増えるに従い、舌の出し入れの難易度が高いため、口の開閉や、口の周辺の動きで認識させたいという要望が寄せられた。そこで、舌の認識に関しては、(口の開閉/舌の出し入れ/口周辺の動き)の3種類に分けて、認識を行うこととした。機能的には、口の開閉と舌の出し入れは、長押しが可能である。また健常者であれば、この2種は共存することも可能である^[8]。

ジェスチャインタフェース研究の本質

本研究の目的は、人の動作の画像認識を行い、それをPC操作等のインタフェースに応用することにある。同様な画像認識の研究に関して言えば、2010年以降の研究トレンドは、共通の画像データベースを利用して、その認識精度を高めるための認識手法を競う方向に明確に転じた。Deep Learningの大流行以降、さらにその傾向は顕著に強まった。しかし、ここでの課題は、RGB-Dカメラを利用したジェスチャの認識精度を高めることと、インタフェースの利用方法を定式化することが渾然一体化した問題である。

つまり、利用するジェスチャとカメラ位置によって認識精度は全く異なる問題になっている。そのために、現実的に利用できるジェスチャを探しながら、なおかつ、実利用環境を想定して、どのような位置にカメラを配置して利用するのかを決めなければならない。これは、利用可能なジェスチャ、その認識方向、その解像度の全てを定義するという問題である。ジェスチャ認識の問題設定の自由度を、他に手段のない運動機能障害者を対象とすることで、初めて問題を明確化できると考えた。そこで、収集データを使った実環境で使えるカメラ位置探しと解像度探しから始まり、それらを踏まえた上で、適用実験を繰り返しながら、認識可能な解像度とそのカメラ位置、そして利用可能な様々なジェスチャといったものを定式化していった。この点

が本研究の最大の特徴である。

基盤技術の高度化/周辺インタフェース

ジェスチャの認識性能が向上、安定化しても、ユーザのPC操作等がすぐに容易になるわけではない。ユーザが本当に求めているものは、PCの中にあるアプリケーション操作、環境制御(家電や電話等の操作)、ゲーム操作を容易に行えることである。そこで、必要となるPC内部のインタフェースの開発も行った。

まず、個々のモジュールに関しては、スイッチとして、単押し、長押しが簡易に使えることが求められている。これはジェスチャに依存し、9個の認識モジュール中、基本的に7個は長押し機能が既に実現されていた。一方、2個(微細な動き、大きなウイック)は、瞬間の動きしか認識できないので、長押しがそもそもできない。そこで、この2つの動きに関してはトグル機能を追加し、一度スイッチが入ると、オンのまま、もう一度動かすとスイッチオンが解除されるという実装を行った。

また、どのジェスチャを、マウスの左右クリックを含むどのキーに割り当てるかという問題に関しては、最初は10個のプロファイルを用意して、プロファイル毎に設定を行い、自分で選択する方法を実装した。しかし、最終的には、アプリ単位で登録し、各アプリの利用時に自動で切り替える方式を実装した。これにより、ユーザはアプリに応じたキー入力を自動で利用することができる。

さらに、ユーザに対するインタフェースとして、インジケータの追加を行った。スイッチオン・オフの表示は、今までは表示画像の内部に色の変化でしか見られなかった。そこで、スイッチの数だけ丸形で単純に表示されたインジケータを追加して、スイッチのオンとオフを視覚化した。同時に、個々のスイッチ単位で、スイッチオン時の音の有無を選べるようにした。

次に、PC操作のために、障害者向けの既存のアプリへのインタフェースを用意した。具体

的には、“オペレートナビ”、“Hearty Ladder”、Windowsのオンスクリーンキーボード(OSK)、ワンキーマウスのための“パット de マウス”に、すぐに接続できるようなDLL、あるいは既存ツールを利用した接続インタフェースを用意した。

さらに、環境制御に関しては、“Gesture Link”という環境制御ソフトを独自に開発した。これは、1~4つのスイッチ(ジェスチャ)で操作可能なソフトで、市販の赤外線学習リモコン“Nature Remo”と組み合わせることで、赤外線リモコンを持つ家電操作を実現した。他にも主な機能として、radikoを利用したラジオ聴取、Skype課金を利用した一般電話番号への架電等が可能になっている。

最後にゲーム操作に関しては、Windows PCで動作するゲームであれば、そのまま利用可能である。さらに、市販のゲームインタフェースである“Titan One”を利用すれば、任天堂のSwitch、SonyのPlayStation、MicrosoftのXboxの専用機もそのまま利用可能となっている。

これらの多くは、研究というより開発そのものであったが、もれなく用意することで、ユーザは自身のPCでのアプリ操作、家電等の環境制御、ゲーム操作がすぐに利用できる。これら周辺インタフェースの開発によって、社会実装を確実に実現した。

ジェスチャインタフェースの適用方法(代替と拡張)

研究当初は、マウスを全く使えない最も重度な運動機能障害者を対象者として開始された。随意で動かせるのは、足のみ、指1本のみ、膝の開閉のみで、そのジェスチャをスイッチとして扱い、PCを操作するという、既存デバイスを代替するインタフェースの研究開発としてのスタートであった。しかし、データを収集して対象者を拡張していく過程で、両手を使って、辛うじてマウスを操る(マウスは1クリックの

みの)ユーザも対象者として広がった。このようなユーザは、既存デバイスによるマウスポインタ操作とワンクリック機能に、ジェスチャによるスイッチ機能を複数追加することで劇的に操作効率を上げることが分かった。その典型例がゲームであった。多くのゲームは、マウス(ジョイスティック)機能と複数の押しボタンによって構成される。この押しボタンの数はゲームによって異なるが、多くは3~4個程度のボタンを頻繁に押すことが求められ、1~2ボタンしか押せないユーザは、8~9割のゲームを操作することができない。複数の押しボタンをジェスチャで追加すると、5割程度のゲームが操作可能になった。

また、事務作業例として、録音された議事録から文字起こしをする障害者の事例があった。このユーザは、従来は小型のトラックボールのみ利用可能なところに、頭部と指のジェスチャで2つのスイッチを追加している。トラックボールを使って走査型オンスクリーンキーボードによって文字入力を行い、録音再生ソフトを、頭部と指の2つのジェスチャで操作した。2つのアプリの操作系統を完全に分離することで、文字起こしの作業時間を半減することができた。つまり、ジェスチャインタフェースの活用方法として、既存デバイスの代替だけでなく、既存デバイスと共存、追加によって、操作を拡張することが本格的な利用普及の鍵となることが示唆された。

健常者への利用に向けて

このアプリ単位で操作系統を分離してジェスチャインタフェースを利用する方式を、文字起こし作業をする健常者に適用する基礎実験を最終年度後半に開始した。健常者に適したジェスチャを検討した結果、足踏みモジュールを利用することとした。通常、PC操作のために手は、常にキーボード入力とマウス操作に使われること。さらに、健常者は頭を掻いたり、飲み物を飲んだり、常に上半身のどこかを動かすので、

それらの動きを除外し続けなければならない。その点、下半身は、無意識の動きが少なく操作には好都合であった。そこで、足踏みモジュールに、健常者向けにごく僅かな改良（足をスイッチ物体に載せたままで動作させる）を施し、実験を開始した。障害者のように作業時間が半減するかはともかく、2~3割程度の削減は、疲労することなく実現出来ると考え、適用実験を進めている。

まとめと今後の展開

本研究は、3年間を通して、地域病院での社会実装を核として、個人と病院での利用モデルケースを確立した。また、そこでの実際のユーザへの適用を通して、認識モジュールの高精度化と高機能化を繰り返し追求し、実利用に耐えうる認識モジュールを実現した。同時にその過程で、長期利用ユーザを対象に臨床評価を行い、使用感、心理面、QOLなど、生活の変化までを含めた聞き取りを行った。特に、ユーザと周囲のコミュニティの関わり方にまで効果を与えたことが確認出来た。これらは、ユーザが求める各種アプリやゲーム、環境制御への接続、さらにはアプリとマニュアルの英語版の用意もを行い、どこでもすぐに使える環境を実現することで、社会実装を大きく進展させることが出来たと考えている。特に新潟病院において、複数ユーザが常用したことで、柏崎市から日常生活用具の指定を受けたことは、目指すべき地域病院の典型的なモデルケースとなった。今後は、この技術が、さらに教育での利用や、就労支援に繋がることを目標に、全国の多地域展開を継続する。また、ソフトウェアも技術改良を行いながらアップデートを継続するだけでなく、OSのマルチプラットフォーム化とユーザビリティの大幅向上のために、WEBベースのVer. 2への移行を予定している。

[成果の発表、論文など] (発表順)

- [1] AAGI ホームページ,
<http://gesture-interface.jp/>
- [2] 依田育士, “ユーザが望むジェスチャをスイッチにするシステム開発,” 神経難病リハビリテーション研究会 第2回 WEB セミナー, オンライン (国内), 2021-02-04.
- [3] 中山, 伊藤, 木下, 依田, 水野, 小林, 西田, 中村, 三橋, 有明, 佐々木, 清水, “適応的ジェスチャインタフェースに関する研究 —— 第4報 ——,” LIFE 2020-2021 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会講演論文集, 2021-09.
- [4] 佐々木, 清水, 有明, 佐藤, 中村, 西田, 水野, “重度運動機能障害者の就労・教育・余暇活動を支援するジェスチャインタフェースの使用例と今後の展望,” 第75回国立病院総合医学会, オンライン (国内), 2021-10-23.
- [5] 伊藤, 中山, 木下, 依田, 水野, “重度運動機能障害者へのジェスチャインタフェースの導入効果について,” 信学技報 vol. 121, no. 287, WIT2021-32, pp. 1-6, 2021-12.
- [6] 西田, 木下, 依田, 中山, 水野, “神経筋疾患患者における非接触型スイッチシステム —— ジェスチャインタフェース —— の使用感調査: 長期使用による変化,” 第59回日本リハビリテーション医学会学術集会論文予稿集, 日本リハビリテーション医学会, S501, 2022-06.
- [7] 国内展示会出展, “# 024U イノベーションデイ 2022 in 柏崎,” 新潟県柏崎市, 2022-06-15.
- [8] I. Yoda, K. Itoh, and T. Nakayama, “Extended Mouth/Tongue Gesture Recognition Module for People with Severe Motor Dysfunction,” Springer, Computer Helping People with Special Needs Part I (LNCS 13341), pp. 363-370, 2022-07.
- [9] 国際展示会出展, “Communication Matters 2022,” International Society for Augmentative and Alternative Communication (ISAAC), Leeds, UK, 2022-09-11/13.
- [10] I. Yoda and M. Kawashima, “Promotion of Gesture Interface for Employment and Education among People with Motor Dysfunction within real users,” Communication Matters 2022, International Society for Augmentative and Alternative Communication (ISAAC), 2022-09-12, Leeds, UK.
- [11] 国内展示会出展, “第49回国際福祉機器展 H. C. R. 2022,” 東京ビッグサイト, 2022-10-5/7.