

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03170

研究課題名（和文）言語機能・空間認知訓練支援システムの構築と訓練教材の開発

研究課題名（英文）Construction of language function and spatial cognition training support system and development of training materials

研究代表者

佐久間 実緒（Mio, Sakuma）

仙台高等専門学校・総合工学科・准教授

研究者番号：70515139

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：言語聴覚士や作業療法士が、失語症および視空間認知障害のリハビリテーションを効率的に実施可能にするための言語機能・空間認知訓練支援システムを構築し、リハビリ教材を開発した。福祉施設などに勤務する言語聴覚士および作業療法士からのニーズを反映して、リハビリテーションアプリ、リハビリテーション結果の管理機能を開発した。また、視空間認知訓練の視線データ記録および管理のために、リハビリテーションアプリと連携して動作する視線解析システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

言語聴覚士と作業療法士のニーズを反映したリハビリアプリを複数開発し、それぞれに難易度選択機能を実装したことで、症状に合わせてカスタマイズしたリハビリを提供することができる。また、リハビリ対象者のモチベーションを維持し、言語聴覚士や作業療法士の作業負担を軽減することができる。視空間認知訓練のリハビリアプリと連動する視線解析システムを開発したことで、視線データによる症状の評価およびリハビリ内容の検討を客観的に行うことができるようになる。また、視線データを集約・活用することで、症状の似た人々に対する支援方法の確立に繋がれると考える。

研究成果の概要（英文）： A support system for language function and spatial cognition training was developed to enable speech-language-hearing therapists and occupational therapists to efficiently perform rehabilitation for aphasia and visuospatial cognitive impairment, and rehabilitation materials were developed. Reflecting the needs of speech-language pathologists and occupational therapists working at welfare facilities, we developed a rehabilitation application and a management function for rehabilitation results. We also developed a gaze analysis system that works in conjunction with the rehabilitation application to record and manage gaze data from visuospatial cognitive training.

研究分野：教育工学

キーワード：高次脳機能障害 失語症 視空間認知障害 言語聴覚士 作業療法士 リハビリテーション 視線解析

## 1. 研究開始当初の背景

現在の日本においては、医療技術の進歩による死亡率の低下から、健康な高齢者だけでなく疾患や障害を抱えた高齢者の数も増加傾向を示しており、これらの高齢者が身体機能を維持し、自立して自分らしい生活を送るための『生活の質の向上』への援助が求められている。高齢者に発症率の高い脳卒中などの脳血管障害は、後遺症として認知機能に障害が生じる高次脳機能障害を合併する場合が多い。高次脳機能障害は、脳の病巣箇所によって症状が異なり、症状例として失語症や半側空間無視が挙げられる。高次脳機能障害が残った場合、社会生活に戻るためには、医療・福祉施設等において言語聴覚士（ST: Speech-Language-Hearing Therapist）や作業療法士（OT: Occupational Therapist）によるリハビリテーション（以下：リハビリ）などの支援が必要となる。しかし、医療・福祉現場に勤務する ST や OT は、高次脳機能障害のリハビリ以外にも業務を抱えている場合が多いため、リハビリの準備・実施・管理にかかる負担を軽減し、リハビリの効率的な実施を支援するためのシステム開発は重要である。失語症の言語機能訓練や、半側空間無視などの視空間認知訓練では、リハビリ対象者の症状に合わせた教材選択や、出題の難易度選択、複数のリハビリ対象者の訓練結果の管理が必要である。言語機能訓練や視空間認知訓練の内容には、ST や OT が長年の経験により培ってきた手法が多く存在するため、それらの手法を教材として電子化することは非常に有用である。特に、視空間認知訓練に関しては、リハビリ結果と合わせて視線データの記録が可能になると、リハビリ結果の定量的な評価が可能になるだけでなく、リハビリ対象者が自身のリハビリ成果を視覚的にも把握できるようになると考えた。

## 2. 研究の目的

失語症および視空間認知障害のリハビリを支援する ST や OT が、円滑かつ効率的にリハビリを実施可能にするための言語機能・空間認知訓練支援システムを構築し、リハビリ教材を開発する。医療・福祉施設などに勤務する ST および OT からのニーズを反映したリハビリ教材を、障害や症状に合わせてカスタマイズ可能にし、リハビリ結果の管理機能と連携させる。また、視線解析システムを搭載することで、リハビリ結果として視線データも記録可能にするリハビリ支援システムの開発を目的とする。

## 3. 研究の方法

言語機能訓練および視空間認知訓練の教材開発のため、ST および OT が実施しているリハビリ内容とニーズを調査して教材の仕様を設計した。また、視空間認知訓練の結果管理機能と視線解析機能については、OT からニーズを聞き取りし、リハビリ結果の記録や、結果の評価に必要な機能の仕様を設計した。言語機能訓練の教材は、Android タブレット端末用アプリとして、開発環境に Android Studio、開発言語に Java および Kotlin を用いて開発した。視空間認知訓練の教材は、視線解析システムと連携するために、Windows OS アプリとする必要がある。言語機能訓練にも使用できる教材については、Android タブレット端末での利用も可能とするために、Visual Studio を用いてクロスプラットフォームフレームワークである Xamarin により開発した。視空間認知訓練のみに用いる教材については、tkinter により、python で GUI アプリとして開発した。視線解析システムは、本研究で開発する教材以外との連携も視野に入れ、汎用性を考慮して、リハビリ教材とは切り離して開発した。視線データ取得のために、視線計測装置が必要となるが、これらは高額であるため、小規模な福祉施設などでは導入が難しいため、市販の Web カメラを使用した。視線解析システムは、統合開発環境である Visual Studio を用いて、開発言語に C#, C++, Python, Xaml, フレームワークに .NET 5 を利用して開発した。

システムの実装機能については、ST および OT と定期的に打ち合わせを行い、フィードバックを重ねて改善を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 言語機能訓練教材の開発

言語機能訓練の教材として、「文字ならべ」、「名前あて」、「動詞あて」、「じゃんけん」、「会計演習」のリハビリアプリを開発した。「文字ならべ」、「名前あて」、「動詞あて」は、語想起のリハビリを目的としており、「文字ならべ」は、表示されたイラストの名称に合うように、ひらがなを並べ替える教材である。表示する文字数により、難易度を設定できる。「名前あて」と「動詞あて」は、表示されたイラストに合う名称または動詞を選択する教材であり、選択肢の数により難易度を設定できる。「じゃんけん」は、ゲーム感覚で楽しめる教材とするために、通常のじゃんけんの他に、後出しじゃんけんを実装し、繰り返し回数、制限時間の設定を可能にした。また、教育教材や認知症のリハビリ教材としても使用できるように音声機能を実装した。「会計演習」は、普段の生活において必要となる会計を練習する教材であり、お釣りを計算する、合計金額を計算する、所持金で買い物をする、の3つの問題から選択できる。また、カラーユニバーサルデザインを導入し、色覚異常のある人や高齢者が見やすい配色にした。

いずれの教材においても、正誤判定機能、結果表示機能を実装し、リハビリ結果を確認できる。開発した言語機能訓練教材のうち、「文字ならべ」、「名前あて」、「会計演習」の問題画面を図1に示す。



図1 言語機能訓練教材

### (2) 視空間認知訓練教材の開発

視空間認知訓練教材として、「もぐらたたき」、「なかまさがし」のリハビリアプリを開発した。「もぐらたたき」は、もぐらが表示される画面分割数、もぐらを表示する時間および回数、類似したイラストの表示の有無で、難易度が設定できる。また、ゲーム感覚で楽しめるように、タイムトライアル版も開発した。訓練結果は CSV 形式で保存され、訓練対象者ごとに保存できる。「なかまさがし」は、表示されるイラストと同じものを複数のイラストの中から選択する教材であり、イラストの表示枚数で難易度が設定できる。また、視線と視認知の関係を評価することを目的として、図形を連続的に動かす教材を開発した。図形の大きさ、軌道パターン、速度を変更することにより、難易度を設定できる。また、図形をマウスでクリックまたはタッチパネル画面上でタッチした履歴を CSV 形式で保存し、訓練結果を記録する。図2に開発した視空間認知訓練教材の問題画面を示す。

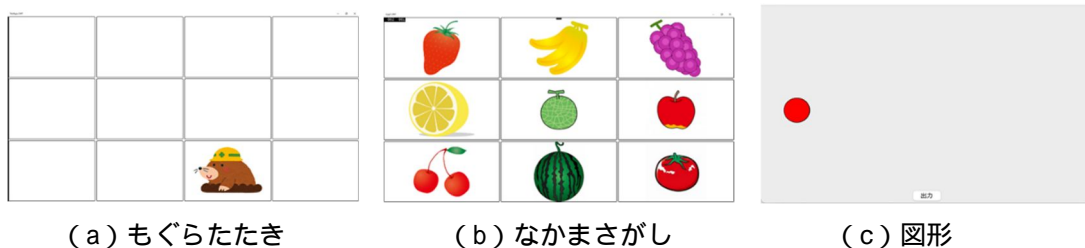
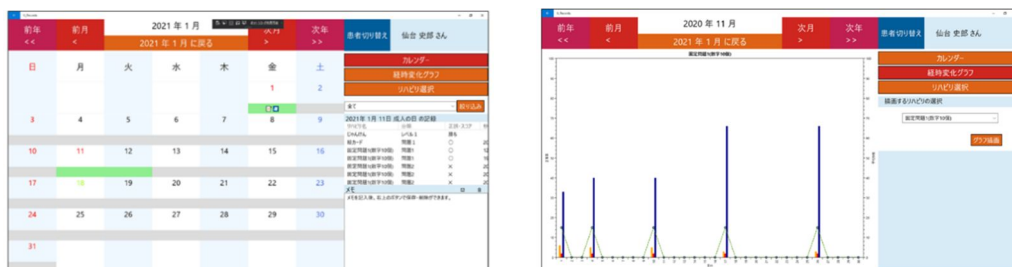


図2 視空間認知訓練教材

### (3) 視空間認知訓練教材の記録管理アプリの開発

視空間認知訓練のリハビリ結果を管理するアプリを開発した。リハビリアプリで保存される CSV 形式ファイルと連携させることにより、リハビリ対象者毎にリハビリ実施日とリハビリ内容、それらの結果を閲覧する機能、結果の経時変化を確認する機能を実装した。また、このアプリ上で視線動画の再生が可能である。個人情報保護のため、パスワード機能、記録内容の AES 暗号化処理を行った。



(a) リハビリ実施日の記録 (b) グラフ表示機能  
図3 視空間認知訓練教材の記録管理アプリ

(4) 視線解析システムの開発

図4に視線解析システムの概略図を示す。視線解析システムは、Webカメラを用いた視線取得機能と、取得した視線データを可視化する視線可視化機能から構成した。

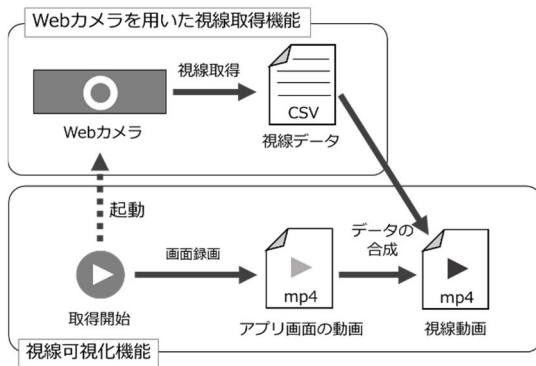


図4 視線解析システムの概要図

Webカメラを用いた視線取得機能

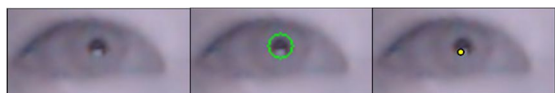
頭部固定の角膜反射法を用いて、単眼および複眼による視線取得機能を開発した。角膜反射法とは、赤外線 eyeball に照射し、角膜上に生じる光源の虚像（プルキニエ像）と瞳孔の位置から視線を検出する手法である。市販のWebカメラ（Logitech C922 PRO HD STREAM WEBCAM）と赤外線フィルターを用いて、赤外線 Web カメラを作成し、光源として赤外線 LED 回路を取り付けて視線取得用 Web カメラを作成した。また、27 インチディスプレイモニターを使用し、対象者の目の位置はモニター画面の中心から 50 cm とし、赤外線 Web カメラはモニターから 25 cm の位置に Web カメラ付属のスタンドに取り付けて設置した。

Web カメラで取得した画像からディスプレイ上の視線位置を計測する場合、Web カメラの解像度によって分解能や画像処理速度が決まるため、視線取得機能では、もぐらたたきアプリ（図2(a)）との連携のために、注視している場所に視線があることを検出する精度は 80 %、画像処理速度はアプリの動作時間と同じ時間を目標とした。

視線取得として、まず、赤外線 Web カメラで取得した対象者の顔画像に対して、機械学習のライブラリである dlib により顔検出を行い、輪郭点抽出により目領域の検出を行った。次に、検出した目領域の画像に対して、瞳孔およびプルキニエ像の検出を行った。瞳孔検出および瞳孔中心位置の取得には、グレイ変換、ガンマ変換、指定領域内の輝度のヒストグラム、P タイル法による二値化や輪郭検出の画像処理手法を採用した。プルキニエ像検出とプルキニエ像中心位置の取得には、指定領域内の輝度のヒストグラム、モルフォロジー変換の一種であるトップハット変換や瞳孔近傍の高輝度検出の画像処理法を採用した（図5）。

視線位置の導出には、プルキニエ像を基準として、瞳孔の移動量を算出する必要がある。そのため、対象者がモニター中心を注視した場合のプルキニエ像の座標と瞳孔中心座標、モニター画面の上下左右の中心位置を注視した場合の瞳孔中心座標を取得し、モニターサイズの実測値から瞳孔の移動量に対する重みを算出するキャリブレーション機能を実装した。瞳孔の移動量と重みの積からモニター画面上の視線座標を計算して csv 形式ファイルで保存可能にした。

Web カメラの解像度に対する視線取得機能の分解能と画像処理時間について評価を行った。図6にWebカメラの解像度を 640 x 480 (VGA) とした場合の分解能と視線検出精度を示す。図2(a)の12分割領域を識別する分解能を得た。視線検出精度は分解能の影響により、場所依存が生じ、30%から90%となった。実際にもぐらたたきアプリと連動させると、もぐらに対する視線位置は十分に把握できたため、もぐらたたきアプリとの連携には十分な性能であると考えられる。また、30秒間のもぐらたたきアプリに対する画像処理速度は、単眼で30秒、複眼で60秒となった。



(a) 処理前 (b) 瞳孔検出 (c) プルキニエ像

79%	70%	67%	64%
30%	53%	37%	49%
97%	75%	71%	68%

図6 視線取得の分解能と検出精度

視線可視化機能

視線可視化機能では、視空間認知訓練用のアプリ操作画面を MP4 形式で動画として保存し、取得した視線データと組み合わせる視線動画を作成する。図7に視線可視化機能のメイン画面を

示す。この画面から画面録画機能，視線動画生成機能，動画再生プレイヤー機能を起動する。視線動画を対象者毎に管理するために利用者登録機能を設け，個人情報保護のためにメイン画面の起動にはパスワード入力を設定し，対象者名は AES により暗号化して管理する。OT から視線データの他に，マウスカーソルの座標を記録したいという要望を受けたため，マウスカーソルの座標を取得して CSV 形式で保存する機能を実装した。視線の取得とマウスカーソル座標の取得の切り替えは，メイン画面から変更可能である。

視線の可視化の手法として，ヒートマップとゲイズプロットを用いた。ヒートマップは，視線の累積時間を色の濃淡で表示する。ゲイズプロットは，注視点を円，注視した時間を円の大きさで表示し，視点の動きの順番に円を直線で結ぶことで，ヒートマップだけでは把握できない視点の順番を可視化する。マウスカーソルの履歴についても，アプリ画面と合成して視線データと同様の表示が可能である。図 8 にヒートマップ，ゲイズプロットの視線動画の例を示す。ヒートマップ生成では，色調の変更，視線の累積時間の上限値を設定する機能を実装した。ゲイズプロットでは円の色，視線の停留を判定する閾値，停留点の円の大きさを変更する機能を実装した。また，それらの設定値は，動画ごとに XML ファイルで保存し，後日の参照時にも同様の設定値で表示可能にしたことにより，視線経路の確認が容易になった。さらに，図 9 に示すように動画の同時再生を可能にしたことで，最大 3 人の対象者の症状の比較，1 人の症状の経時変化の確認が可能になった。

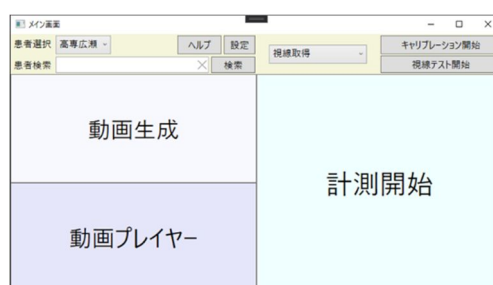
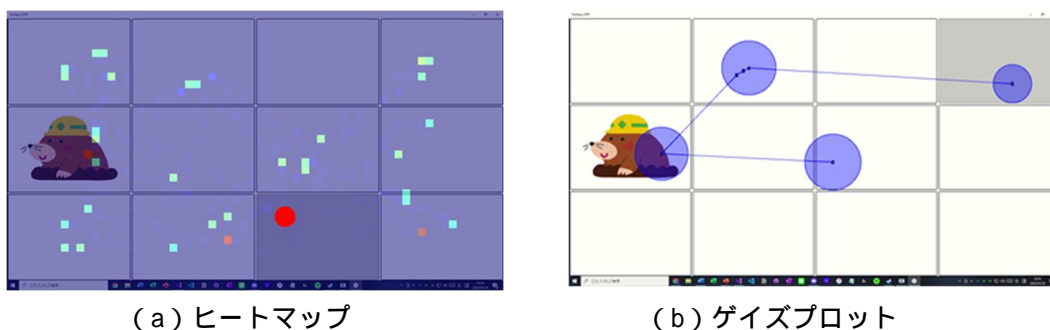


図 7 視線可視化機能のメイン画面



(a) ヒートマップ

(b) ゲイズプロット

図 8 視線動画の例



(a) 2画面表示

(b) 3画面表示

図 9 同時再生画面

### (5) システムの使用感の評価

言語機能訓練教材，視空間認知訓練教材の操作性について，学生および教員にアンケート調査を行ったところ高評価を得た。また，NEM による評価では，問題点は見られなかった。視空間認知訓練教材の記録管理アプリ，視線解析システムについては，実装機能と操作性を OT に評価していただき高評価を得たことから，今後は福祉施設等での試用を進めていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐久間実緒, 小畑佳, 船木智史, 大黒一司, 與那嶺尚弘
2. 発表標題 視空間認知訓練支援システムの提案
3. 学会等名 第197回ヒューマンインタフェース学会研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小畑佳, 船木智史, 大黒一司, 與那嶺尚弘, 佐久間実緒
2. 発表標題 視空間認知訓練を支援するためのWebカメラを用いた視線取得システムの研究
3. 学会等名 令和3年東北・北海道地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船木智史, 小畑佳, 大黒一司, 與那嶺尚弘, 佐久間実緒
2. 発表標題 視空間認知訓練を支援するための視線解析システムの開発
3. 学会等名 令和3年東北・北海道地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小畑佳, 船木智史, 大黒一司, 與那嶺尚弘, 佐久間実緒
2. 発表標題 視空間認知訓練のための簡易視線取得システムの開発
3. 学会等名 JapanATフォーラム in Toyama
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船木智史、小畑佳、大黒一司、與那嶺尚弘、佐久間実緒
2. 発表標題 視空間認知訓練のための視線解析システムの開発
3. 学会等名 JapanATフォーラムin Toyama
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤愛大、大黒一司、與那嶺尚弘、佐久間実緒
2. 発表標題 視空間認知訓練を目的としたアプリケーションの開発
3. 学会等名 令和3年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤志、大黒一司、與那嶺尚弘、佐久間実緒
2. 発表標題 視空間認知訓練のための記録管理アプリケーションの開発
3. 学会等名 令和3年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤志、佐藤愛大、與那嶺尚弘、佐久間実緒
2. 発表標題 視空間認知訓練支援システムに関する研究
3. 学会等名 令和2年東北地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	與那嶺 尚弘  (Yonamine Takahiro)  (00259805)	沖縄工業高等専門学校・メディア情報工学科・教授    (58001)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------