

# 研究終了報告書

## 「セルフリハビリテーションを促進するシステム基盤構築」

研究期間：2017年10月～2021年3月

(新型コロナウイルス感染症の影響を受け2021年9月まで延長)

研究者：杉浦 裕太

### 1. 研究のねらい

高齢化に伴う整形外科疾患の患者数の増加によって、病院からリハビリ患者が溢れてしまう「リハビリ難民」が社会問題となっている。これを打開するためには、病院以外での地域包括ケアシステムや生活環境でリハビリ実施を促す仕組みを用意することが急務である。申請者はこの課題にIoT基盤技術でアプローチする。生活環境で利用するIoTシステムを設計する場合には「IoTインフラを導入するコスト」「プライバシーの侵害」「ネットワーク通信量の課題」「患者個人ごとの能力に応じた支援」といった課題や要求を考慮する必要がある。

そこで本提案は、市場に普及しているスマートフォンやタブレット端末を用いて、日常環境で医師の付き添いなしにリハビリテーションを実施するための基盤技術を構築する。

本提案の具体的な研究項目は3点ある。1点目は本提案の中核技術であり、端末から取得できる低次元の実世界センサ情報からリハビリで重要となる患者の身体復元や疾患状態を把握する技術の構築である。2点目は、セルフリハビリテーションシステムの運用を実現するフレームワークの構築である。3点目は、実践的なアプリケーションの開発である。市場に普及する端末を用いるためコストも削減でき、また患者から取得する情報は低次元であるためプライバシー侵害の恐れも低く、ネットワーク通信量も削減できる。さらに個人ごとの身体復元モデルを用意することで、体格差や運動能力に合った支援ができる。

本提案期間では、上肢の整形外科疾患の患者を対象としたシステム構築を目指しているが、成果は下肢を含めた全身の整形外科疾患にも適用できる。また応用先として、スポーツトレーニングや、高齢者の見守り、現場環境でのマーケティング調査、身体性を伴うエンタテインメントの構築などが想定される。

従来のIoTシステムは、モノとモノ同士をネットワークで繋げることが主流であった。これは工場現場のような人間が介在しない環境での作業効率化といった目的では機能していた。一方生活環境で利用するIoTシステムは、モノを通じてその先に存在する人間に対してサービスの提供を考えなければいけないが、生活環境という制約ではこれまで人間の一端のみの観測に留まっていた。本技術によって、限られた低次元のセンサから人間を身体復元することができ、人間同士がネットワークでつながり合う未来のサービスを築くことができる。

## 2. 研究成果

### (1)概要

当該研究期間では、セルフリハビリテーション基盤構築に向けて、①特定の整形疾患を推定する技術の確立、②身体姿勢を推定するモデルを構築可能なシステム基盤、③運動支援アプリケーションの構築を実施した。

新型コロナウイルス感染症の影響で医療データセット蓄積が遅延し、結果として研究成果の公開が遅れた。そのため、6ヶ月間研究期間を延長し、その期間では、研究成果をまとめるとともに、公開に向けたプレスリリースの準備を進めた。プレスリリースの反響で、多数のメディアより照会を受け、その対応作業やシステムの社会実装を中心に進めた。

### (2)詳細

研究成果 A「手根管症候群疾患スクリーニング技術の確立」(代表的な論文 1)

中高年女性に好発する手根管症候群を対象として、通常のスマートフォンやタブレットで手指運動の計測を可能とした。まずは、iPad 用の手根管症候群スクリーニングアプリ(図 1 左)を作成し、機械学習により 80%以上の精度でニクラス分類の疾患推定が可能になった。また、これをスマートフォンでも行うようにアプリを改良した(図 1 右)。さらに、医療現場でのデータ収集における、健常と疾患データ数の偏りを解消するために、疾患データを学習に含む必要のない異常検知技術により、感度 80%以上で手根管症候群の推定が可能になった。これらの成果により、従来医師による診察や特殊な検査でしか判定できなかった手根管症候群の早期発見につながる可能性が示された。

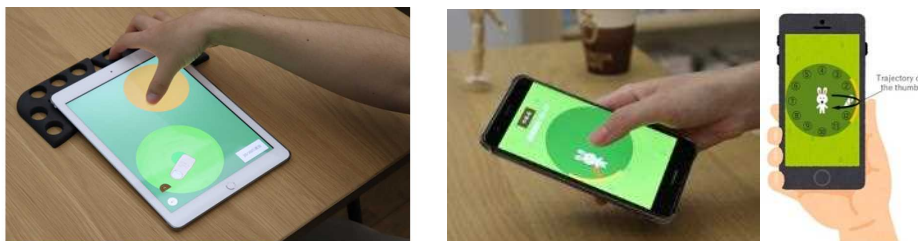


図 1: 手根管症候群スクリーニングシステム, タブレット版(左), スマートフォン版(右)

また、手根管症候群は上肢巧緻運動障害が生じるため、書字動作にも健常者と患者で動きに差がでる。近年では、性能の高いペンタブレットシステムが普及しつつあるため、これを使って手根管症候群のスクリーニングを試みた。具体的には Apple 社の Apple Pencil を用いて、渦巻きを描いたときの筆圧を計測した(図 2)。この筆圧の変化量を周波数成分に変換して、SVM による学習を行うと、精度、精度: 88%, AUC: 0.83, 感度: 92%, 特異度: 82%という結果となった。書字動作は、日常でも頻繁に行うシーンが存在し、例えば、スケッチ中や、クレジットカードのサ



図 2: 書字動作による手根管症候群のスクリーニング

インなどからも疾患推定が可能となる。このように生活に馴染む疾患スクリーニングシステムの創出ができた。

#### 研究成果 B「頸髄症疾患スクリーニング手法の確立」

頸椎部で脊髄が圧迫されて発症する頸髄症では、巧緻運動障害といわれる手指の運動障害が特徴的である。頸髄症に伴う巧緻運動障害を早期に発見するために、手指運動の解析を行った。手を大きく把握する動作を繰り返し、これを leap Motion で非接触に計測し、機械学習を行った(図3)。結果、80%以上の感度で疾患を特定することができるようになった。この方法は、従来のスクリーニング手法と比べても性能が良く、専門医がいない診療現場や健康診断の一貫での計測、疾患推定が可能となった点に新規性がある。

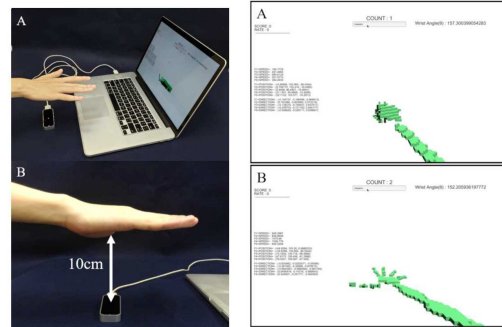


図3：Leap Motionによる手指巧緻運動計測

#### 研究成果 C「手指姿勢推定による握力推定」(代表的な論文 3)

握力は上肢筋力だけでなく身体の状態を簡単に評価する指標であり、定期的な計測は自身の健康状態を把握するために重要である。関連研究では転倒骨折リスク評価に利用もされている。しかし握力の計測には専用の機器が必要であり、これは一般家庭に普及されていないため日常的に握力を計測することは難しい。本研究では、単眼カメラを用いて柔軟なボールを把持しているときの空気圧を推定し、握力を計測できるか検討する。撮影された二次元画像から画像処理で手指関節角度を計測し、重回帰分析にてボールの空気圧を推定する(図4)。実験の結果、手指の関節角度とボールの空気圧およびボールの空気圧とかかる力にはそれぞれ相関があるとわかった。

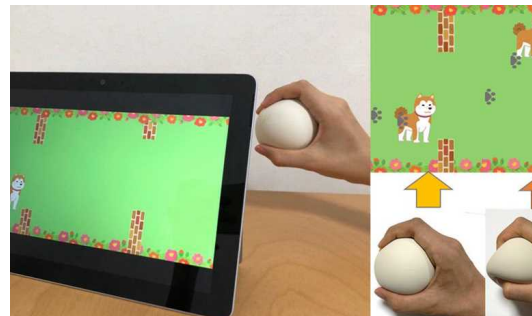


図4：leap Motionによる手指巧緻運動計測

#### 研究成果 D「センサ配置最適化統合プラットフォームの構築」(代表的な論文 2)

身体姿勢推定のための学習データを蓄積した。Kinect で収集した身体表面形状を読み込み、バーチャルにカメラや実世界センサを配置して動作を学習させることで、姿

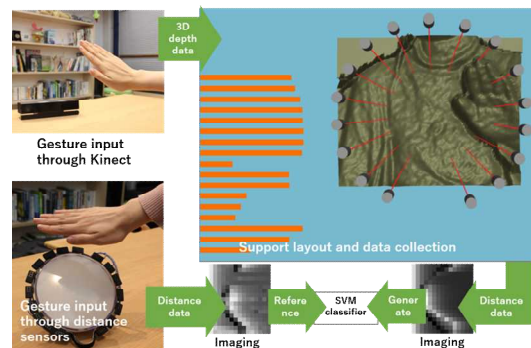


図5：Kinectによる身体情報計測と、センサ配置と機械学習データの収集を支援するソフトウェアの概要

勢推定を実現できた(図5)。実世界センサの自動的的配置に取り組み、ソフトウェアで生成した学習モデルと配置プランをハードウェアに実装して、姿勢を推定することができた。

#### 研究成果 E「嚥下運動トレーニングシステムの開発」

歳をとるにつれてものを飲み込む力は弱くなり、嚥下障害を発症しやすくなる。嚥下障害とは食べ物がうまく飲み込めなくなる状態を指し、重症化すると栄養失調や誤嚥を引き起こす。嚥下障害の予防として喉を意識的に挙上させる訓練が提唱されているが、自らの喉の動きを見ることはできないためトレーニング動作の教示が困難である。そこで本研究では喉の動きを可視化することによる喉上げトレーニングの支援システムを提案した(図6)。またトレーニングに対するモチベーションの向



図6：嚥下動作を識別するデバイス

上を目的として、トレーニング動作をゲーム操作として導入した喉上げゲームを開発する。反射型光センサにより喉の皮膚表面の形状変化を計測し、Support Vector Machine (SVM) を用いて喉頭位置を推定する。推定された喉頭位置はゲーム画面中のアバターの位置として表示され、ユーザは喉頭を動かすことでアバターを操作する。提案した喉頭位置推定の精度を検証したところ、ユーザ実験において喉を上げていない自然状態の推定確率が84.1%、最大まで喉を上げた最大挙上状態の推定確率が89.6%であった。提案した喉上げゲームを行うことで喉頭挙上能力が向上する様子が見て取れた。またゲームに対して自己の記録を更新しようとする者や他者と競う者がおり、喉上げゲームに意欲的に取り組む様子が見られた。

#### 研究成果 F「踵上げ運動支援アプリの普及」

足底腱膜炎は比較的有病率が高く、その機能回復に向けては踵上げ運動を促進すると良い。その運動を促進するために、タブレット端末のみを用いて気軽に踵上げの回数を計測できるようにしたアプリケーションである(図7)。端末のカメラ画像を用いてユーザの顔の動きを検出する。そしてそれによりカウントした結果を画面表示しユーザにフィードバックを返す。これをリリースして、2020年10月末現在、417名のユーザ登録があり、約11万回の運動が実践されている。この発展として、踵上げ以外の動作による誤カウントを防止するため、ユーザの顔の動きの時系列データを用いて機械学習を行うことで運動の種類推定を行った。



図7：足底腱膜炎リハアプリのスクリーンショット



### 3. 今後の展開

本提案の今後として、4つの発展可能性が考えられる。

- 生活に馴染む疾患スクリーニング手法による早期発見技術の発展  
本研究が主に対象としている関節、神経の変性が主体の整形外科疾患は、非常に緩徐に症状が進行するために患者自身が症状を自覚しにくい。さきがけ研究に取り組んでいる中で、取得したデータの一部の情報を使えば、疾患推定ができるという解析結果がでている。本解析結果は、例えば日常的な生活動作の中で疾患を推定できることが示唆される。生活動作から疾患推定ができれば、疾患の早期発見、重症化予防に寄与し、最終的には限られた医療リソースを適切に配分するシステムへと発展させ、医師の負担軽減や医療費の削減を目指すことができる。
- 医師の暗黙的知見の解明の可能性  
医師らは、長年の経験から身体所見でもある程度疾患の予測を立てることができるが、身体の具体的にどの部分が重要な観察部分であるかは明確になっていないことが多い。疾患推定に寄与する身体部位抽出や検査プロセスの最適化を通して、医師の暗黙知の解明できる可能性がある。また、情報技術との融合で医学分野ではまだ明らかになっていなかった推定メカニズムの発見も期待できる。
- 多様な医療検査キットを創出するプラットフォームの構築  
医療検査は、重症化予防に向けた疾患早期発見のための日常検査システム、健康診断や地域のクリニックで安価で迅速に検査できるシステム、大規模病院などで期待される検査システムなど目的に合わせて、検査プロセス、検査機器、検査性能が設定されたものであると良い。さきがけで開発したプラットフォームを活用することで、地域や国の格差などを考慮した、医療検査方法が確立できると考えている。
- 介入効果検証を実践できる学術研究プラットフォームの展開  
本さきがけの成果の一部は、期間中にリリースが完了しており、日々そのシステムを利用しているユーザも存在している。このようなシステムは、長期間の大規模な介入研究の実証フィールドとして今後利用できる期待がある。

### 4. 自己評価

- 研究目的の達成状況  
本研究は、セルフリハビリテーション基盤構築をテーマとしていたが、特にその中でも生活者の自己状態を推定する手法において、当初の予定よりも期待以上の成果を創出できた。その研究を通して、新しい今後の展開の可能性が生まれ、それは3に記載した通りである。そしてセルフリハビリ支援としては、実際にシステムをリリースして、日常的に利用するユーザが定着している状態にすることができた。効果の検証はこれからであるが、長期間検証できる介入研究の実証フィールドとして今後が期待できる。
- 研究の進め方  
研究開始当初より、東京医科歯科大学の整形外科の専門医と連携をしながら進めた。その結果、多数の共同研究成果を創出できた。期間中にこの輪が広がり、シンポジウムの実施や共同での予算申請につながっている。

- 研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果

本さがけは、提案当初から社会実装を想定しており、また研究領域からもその点を期待されていたため、期間内に研究成果の一部をリリース、運用できたことは良かった。また懸念していた利用ユーザ数も、コロナ禍による世間の健康に対する注目と重なり、メディア等にも取り上げられられた結果、継続的に定着している状態にできている。今後は学術研究プラットフォームとビジネスに向けた2つの方向性が考えられる。学術プラットフォームの展開としては、ユーザが定着している実証フィールドとして、様々な介入デザインを組み込んで長期間かつ多くのデータを取得できる基盤としての利用を考える。これに向けては1~2年でAPIを整えて、他の研究者も参画できるように展開する。もう1つはビジネスとしての方向性で、現在企業の健康経営の目的でシステムの導入に向けて民間企業との話し合いが進んでいる。

## 5. 主な研究成果リスト

### (1) 代表的な論文(原著論文)発表

研究期間累積件数:4件

1. Koji Fujita\*, Takuro Watanabe\*, Tomoyuki Kuroiwa, Toru Sasaki, Akimoto Nimura, and Yuta Sugiura (\*Koji Fujita and Takuro Watanabe are joint first authors), A Tablet-Based App for Carpal Tunnel Syndrome Screening: Diagnostic Case-Control Study. Journal of Medical Internet Research – Mobile Health and Ubiquitous Health, 2019, Vol.7, No.9, e14172 (10pages)

中高年女性に好発する手根管症候群を対象として、市販されたタブレットで手指運動の計測を可能とするアプリケーションを構築した。このアプリケーションでは、母指を用いて12方向から出現するキャラクタを取得する。その間の母指の運動データは記録される。健康者と患者でデータを取得し、機械学習を用いて推定モデルを構築、感度93.0%、特異度73.0%の性能でニクラス分類の疾患推定が可能になった。

2. 齋藤 彩音, 河合 航, 杉浦 裕太, ジェスチャ認識システム構築に向けたセンサ配置およびデータ収集支援ソフトウェアの開発, 情報処理学会論文誌, 2020, Vol.61, No.3, 638-643

実世界センサでの計測と機械学習を組み合わせることでジェスチャ識別を行う研究は数多く存在する。実世界センサは配置や個数、計測したい動作によって測定結果が変化することからセンサ配置を検討することが重要である。しかし、識別率の良いセンサ配置を検討することや実世界での学習データの蓄積には手間がかかる。本研究では、実世界センサの配置をデザインできるソフトウェアを開発した。ソフトウェアでは、Kinectを用いて記録した実世界の変形と自由に配置されたセンサとの距離を計測しジェスチャ識別器を生成する。また、ソフトウェア上のデータで生成された識別器を用いて実世界に配置したセンサでのジェスチャ識別を行った。

3. Nagisa Matsumoto, Koji Fujita, Yuta Sugiura, Estimation of Grip Strength using Monocular Camera for Home-based Hand Rehabilitation, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 14, No. 1, Pages 1-11, 2021-01.

本研究では、柔らかいボールと単眼カメラを用いてリアルタイムに握力を測定するシステムを開発した。本システムでは、カメラ画像から抽出した指関節角度とユーザの握力の関係をモ

デル化し、握力を推定する。実験の結果、指関節角度とボールを握ったときの空気圧との間には相関関係があることがわかった。平均推定誤差は 16.1hPa, 平均測定範囲は 100～230hPa であった。また、ボールの空気圧と印加される力との間には相関関係があるとわかった。

4. Takafumi Koyama, Shusuke Sato, Madoka Toriumi, Takuro Watanabe, Akimoto Nimura, Atsushi Okawa, Yuta Sugiura, Koji Fujita, A Screening Method Using Anomaly Detection on a Smartphone for Patients With Carpal Tunnel Syndrome: Diagnostic Case-Control Study, JMIR MHEALTH AND UHEALTH, Vol.9, No.3, e26320, 2021-3.

本研究では、スマートフォンアプリを用いて、手根管症候群のスクリーニングを可能なシステムを開発した。医療現場でのデータ収集における、健常と疾患データ数の偏りを解消するために、疾患データを学習に含む必要のない異常検知技術により、専門医の身体所見と同等かそれ以上の精度で疾患の推定が可能になった。

## (2)特許出願

該当なし

## (3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. Asian CHI Symposium 2020 Best Paper Award, Chengshuo Xia, Yuta Sugiura, A Study of Wearable Accelerometers Layout for Human Activity Recognition, Asian CHI Symposium 2020(オンライン).
2. チームラボ賞, 鳥海まどか, 渡辺拓郎, 佐々木亨, 藤田浩二, 杉浦裕太, モバイル端末を用いた手根管症候群患者スクリーニングアプリケーション, Entertainment Computing 2019(福岡, 日本).
3. Ayane Saito, Wakaba Kuno, Wataru Kawai, Natsuki Miyata, Yuta Sugiura, Estimation of Fingertip Contact Force by Measuring Skin Deformation and Posture with Photo-reflective Sensors the 10th Augmented Human International Conference (AH '19).
4. Nagisa Matsumoto, Chihiro Suzuki, Koji Fujita, Yuta Sugiura, A Training System for Swallowing Ability by Visualizing the Throat Position, In Proceedings of the 21st International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2019) .