

## 高齢者のための見守り機能を有する手指・腕の複合トレーニング装置の開発

(研究代表者)

静岡大学工学部 准教授 伊藤 友孝

(共同研究者)

浜松医科大学医学部 教授 鈴木 みずえ

静岡大学工学部 助教 清水 昌幸

(連携機関)

株式会社創生 代表 志村 孚城

### 研究の概要と成果

本研究プロジェクトは、加齢とともに衰える脳機能や運動機能の維持と回復を目的に、高齢者のための見守り機能を有する手指・腕の複合トレーニング装置を開発することを目指すものである。高齢になると、例えば筋力低下によりペットボトルの蓋が開けられなくなるなど生活動作に支障をきたし、手先の細かい作業や運動の不足により脳機能が低下して認知症の危険性が高まるため、生活の質（QOL）の向上と維持が高齢者福祉の大きな課題となっている。そこで本研究では、画面に提示される訓練プログラムの指示に従って、操作デバイスを握りながら手指と腕を動かして複合的にトレーニングを行うことができる新しい装置の開発を行った。手指と腕の同時トレーニングは運動機能や脳機能の維持・回復に効果的で、訓練データの記録と分析によって見守り効果も期待できる画期的な装置となる。今年度（初年度）は、手指と腕に与える抵抗感を自由に変えることができる可変負荷発生デバイス（指用と腕用の二種類）の開発を行い、それを基に手指と腕の複合トレーニング装置のプロトタイプを開発した。その上で、評価用の訓練プログラムを作成して、想定通りのトレーニングが可能であることを確認することができた。また、初年度最終評価として、共同研究者ならびに施設スタッフを交えて評価会議を実施し、効果を確認した。今年度は当初の計画を超える段階まで到達することができ、二年目に繋がる重要な成果が得られた。次年度は、この成果を基に装置や訓練プログラムを改良し、施設での実地試験を実施する予定である。

### 1. はじめに

近年、国際的に高齢化が大きな問題となっており、怪我や病気の後の機能回復や、脳機能や運動能力低下の予防策としてのリハビリテーションの重要性が増してきている。それに伴って、BE-Well[1]やPLEMO[2]などのリハビリテーションを支援する様々な機器が開発されているが、その多くは上肢や下肢などの大きな動きを対象としている。日常生活には「ペットボトルの蓋を開ける」「ドアノブをひねる」などの指を使った細かい

動作や上肢との複合動作が必要になる場面が多く、加齢による筋力低下や器用さの低下によってそれができなくなると、生活の質（QOL）が大きく低下してしまうことが指摘されており、手指と腕の複合動作のトレーニングや機能維持を行うための支援機器の開発が強く望まれている現状がある。指先や腕の動作は脳機能の維持や回復にも大きな効果が期待できるため、このようなトレーニング装置の開発が急務であると考えた。

そこで本研究プロジェクトでは、ロボット技術を応用し、使用者の状態に合わせて指と腕に適切に負荷を与えながら手指と腕の複合トレーニングを行うことができる新しい装置を開発することを目標とした。ただし、施設での使用を考慮してモーターなどの駆動要素を極力用いない構造とし、安全に配慮した構成とすることを大前提とした。図1に、提案システムのプロトタイプを示す。使用者は、画面もしくは机上に提示された訓練プログラムからの指示に従って、操作デバイスを握りながら手指と腕を動かしてトレーニングを行う。操作デバイスには可変負荷発生器を内蔵し、磁気粘性流体（MR流体）という特殊な流体を用いることで物に触った時の指の感覚（粘土を変形させる感覚や柔らかいものをそっと掴む感覚など）を自由に提示したり、使用者に合わせて運動負荷を適切に変えたりすることを可能にする。ゲームのような感覚で取り組むことができ、利用時のデータは蓄積して分析することも可能なため、訓練効果の確認や状態の見守りにも活用可能である。

本プロジェクトの開発期間は二年を予定しており、初年度（令和3年度）は可変負荷発生器およびトレーニング装置のプロトタイプの開発と中間評価を課題とした。次年度（令和4年度）はその結果を踏まえて装置及び訓練プログラムの改良を行い、施設にて実地試験を行って効果を最終評価する予定である。

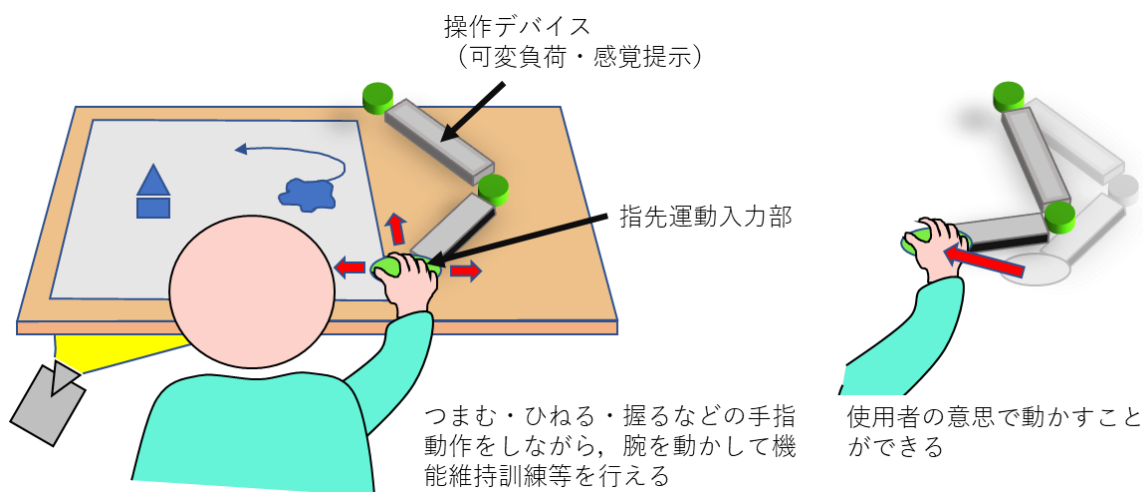


図1 手指・腕の複合トレーニング装置の概念図

## 2. 可変負荷発生器の開発

まず、訓練用の操作デバイスに内蔵する可変負荷発生器の開発を行った。今回の装置では、安全性を確保するためにモーターなどの能動駆動要素を用いずに使用者への感覚提示を実現する。そのために、これまで本研究室で開発を行ってきた「ロボット杖」[3]に使用した磁気粘性流体（MR 流体）の技術を応用することにした。磁気粘性流体はベースオイルに鉄の微粒子を分散させたもので、普段は液体のような流動性を示すが、外部から磁界を印加すると鉄の微粒子が架橋し（繋がり）、流動抵抗が増加する特性を持つ。印加する磁界を調整することで抵抗を連続的に変化させることも可能である。

今回は、指先の運動に負荷を与える指用可変負荷発生器と、腕の動きに対して負荷を与える腕用可変負荷発生器の二種類の開発を行った。図2に指用可変負荷発生器の構造と実際に製作したデバイスの写真を示した。指用可変負荷発生器はロボット杖に使用していた原理を応用したもので、二つのベローズを接続して、その中に磁気粘性流体を封じ込めた構造になっている。流路の途中に電磁コイルを配置することで、磁界の印加によってベローズの伸縮を制限して負荷を発生させる仕組みである。今回のプロトタイプでは、図3のように主に、指で物をつまむ時の動作に対して抵抗を発生させるのに用いる。開発したプロトタイプは、電流0.3A時に約13Nの抵抗力を発生可能である。

図4は利用者の腕の動きに対して負荷を発生させる腕用の可変負荷発生器である。今回のプロトタイプでは、図1のようにロボットアームのような構造の操作デバイスを構成するため、アームの各関節部分に内蔵するように腕用の可変負荷発生器は回転型（軸の回転に対して抵抗を発生するタイプ）とした。内部は、ベアリングやバネ、回転軸、電磁コイルからなる独自の構造で、上下に回転軸を有する両軸タイプと片側だけに回転軸を有する片軸タイプの二種類を製作して、アームの部位によって使い分けている。今回のプロトタイプでは、電流0.3A時に0.5Nmの抵抗を発生可能である。

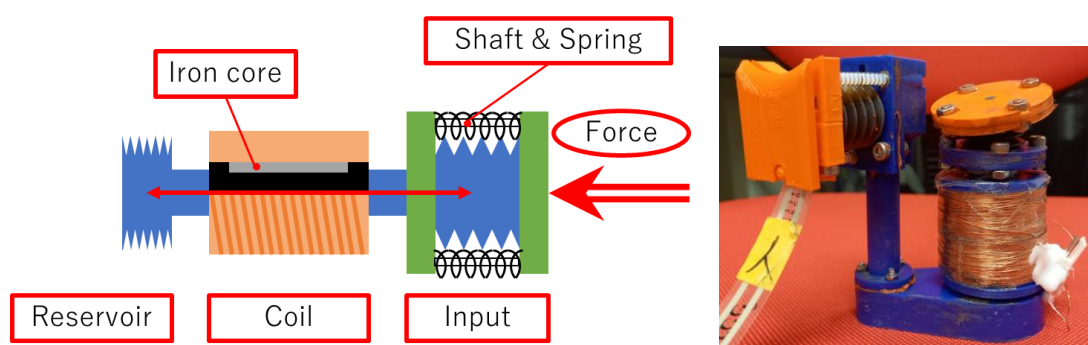


図2 指用可変負荷発生器（左：構造図，右：実物）

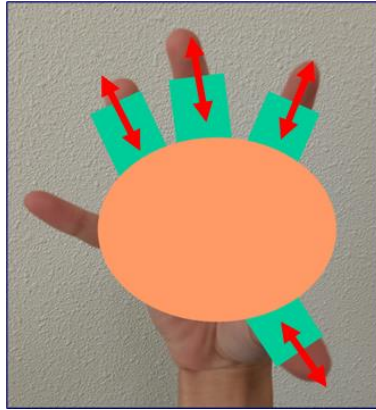


図3 プロトタイプでの指用可変負荷発生器の配置



図4 腕用可変負荷発生器（片軸タイプ，実物）

### 3. 手指・腕の複合トレーニング装置の開発

開発した可変負荷発生器を用いて複合トレーニング装置を構成した。高齢者の標準体格や一般的な手の大きさを考慮して、アームの動作範囲や各リンクの長さ、指先の感覚を提示するデバイスの形状や指の配置などの検討を行い、トレーニング装置の設計製作を行った。

図5は、利用者が握って使用する指先感覚の提示デバイスである。今回のプロトタイプでは、親指・人差し指・中指+薬指を使って握る方式とした。このデバイスは、利用者が握る動作を入力する入力装置であると同時に、その動作に対する抵抗や操作感覚（硬い感じ、柔らかい感じ、振動などプログラムによって様々に変更可能）を提示するために用いられる。また、各指には力覚センサシートを内蔵しているため、利用者が加えた力をリアルタイムに計測して制御に使うことも可能である。

図6は、アームに指先感覚提示デバイスを取り付けたトレーニング装置の全体像であ

る。アームには回転型の可変負荷発生器を合計3個内蔵しており、利用者の前後左右への手の動きに加えて、指先感覚提示デバイスを回転させる（ひねる）動作に対しても自由に抵抗を設定できるようになっている。これにより、ドアノブをつまみながら回すような動作も行うことができる。



図5 指先感覚提示デバイス

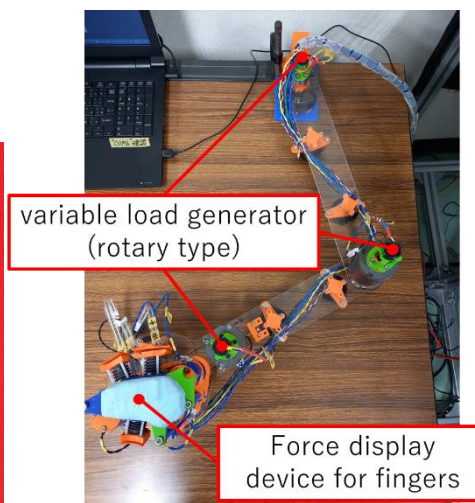


図6 複合トレーニング装置のプロトタイプ

完成したプロトタイプはマイコンを利用して制御するように構成しており、一般的なノートPCとUSB接続して訓練プログラムを実行することで、だれでも簡単に使用できるようにした。今回のプロトタイプでは、図7、8に示すような二種類の訓練プログラムを製作して評価に用いた。図7は、主に指先用のトレーニングプログラムで、画面に表示された各指の力の目標範囲に収まるようにデバイスを握る力を調整する課題を設定した。目標範囲はランダムに変わっていくようにし、押し込みの固さを変更したり、目標範囲に入ると振動で知らせたりすることも可能である。図8は、複合トレーニング用のデモプログラムで、利用者がアームを動かすと画面内の表示も同じように動くようになっている。アームを動かして画面に表示された物体（■）にアームの手先を合わせ、指先感覚提示デバイスを握ると、その物体を掴むことができる。それをゴール位置（○）に持って行き、鍵を開けるように手首を回すと目的達成とした。物体は、次々にランダムな位置に表示されるため、ゲームのような感覚で楽しむことができる。途中で長方形で表示された沼地を通ると、腕を動かすのに負荷が掛かる（それ以外の場所よりも少し力が必要になる）ようになっており、沼地を避けるかそのまま通るか、頭を使いながらトレーニングを行えるようにした。

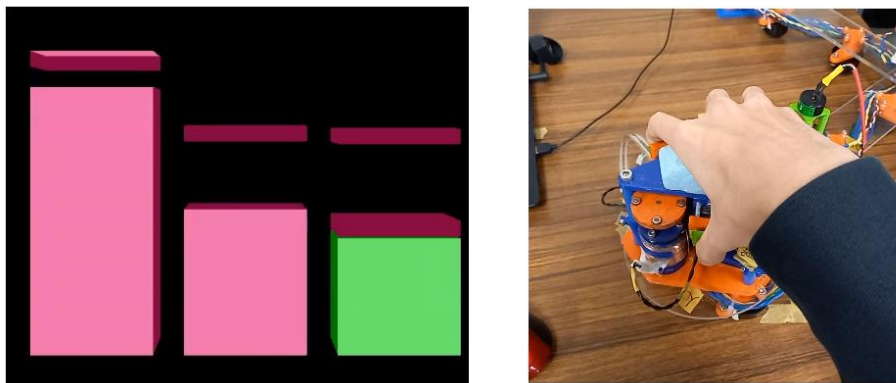


図7 指用トレーニングプログラム

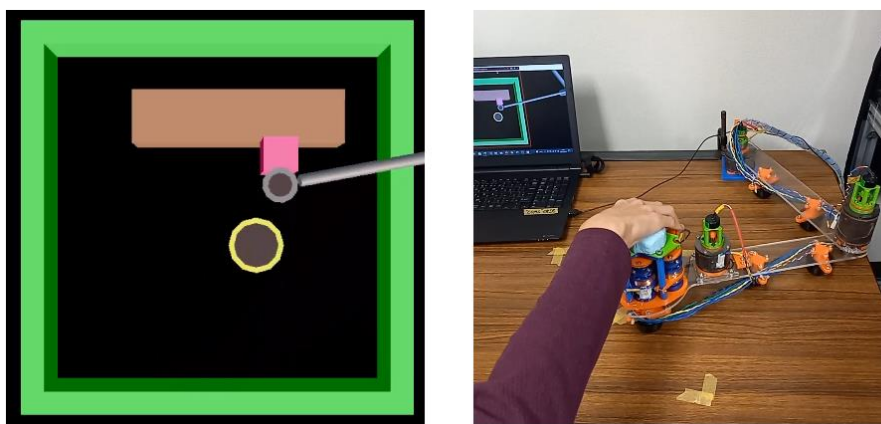


図8 複合トレーニングプログラム

#### 4. プロトタイプの評価

初年度の研究内容のまとめとして、開発したプロトタイプの評価を行った。当初計画では、施設にプロトタイプを持ち込んで現場スタッフに試用してもらって評価をする予定であったが、コロナ禍の影響で施設での実験ができなかったために、大学内での試用評価と、Zoomを介した共同研究者および施設スタッフとの遠隔評価の二つを実施した。

大学内では、20代から50代の男性7名に訓練プログラムを体験した上で評価をしてもらった。得られた評価の一部を挙げると以下の通りである。

- 頭を使いながらゲーム感覚で楽しむことができる。
- 指先のトレーニングでは、各指を個別に意識できて良い。
- 複合トレーニングでは、ルートを選択できるのが楽しい。
- 逆にルートを指定された方が難しくなって良い。
- 抵抗感が感じられる。
- 指先トレーニングは若年者でも少し難しいと感じた。
- アームに関してはもっと抵抗感を強めると良さそう。

また、共同研究者と施設スタッフを交えた評価会議では、

- 手指と腕の機能維持はとても重要なので、リハビリ効果に期待が持てる。
- 認知症予防に効果的であると思う。(NIRS装置で効果を確認できたらすごい)
- 結果が目に見えて、記録を残すことができる点はすごく助かる。
- 来年度は、前期高齢者を対象に試験をするのが良さそう。
- これが発展して三次元的な動きもできるようになることも期待したい。

などの意見が得られた。

初年度は、プロトタイプの開発に加えて、訓練プログラムのデモンストレーションを行えるレベルまで到達することができ、当初計画を超える重要な成果が得られたと判断した。

## 5. おわりに

初年度は、手指と腕に与える抵抗感を自由に変えることができる可変負荷発生デバイス（指用と腕用の二種類）の開発を行い、それを基に手指と腕の複合トレーニング装置および訓練プログラムを構成して、想定通りのトレーニングが可能であることを確認した。また、共同研究者ならびに施設スタッフを交えて評価会議を実施し効果を確認した。当初の計画を超える段階まで到達することができ、二年目に繋がる重要な成果が得られた。次年度は、装置や訓練プログラムを改良し、施設での実地試験を行う予定である。

## 参考文献

- [1] オージー技研株式会社, Be-Well シリーズ  
<https://og-wellness.jp/product/rehabilitation/we100-110>
- [2] 菊池, 小田, 胡, 福島, 古荘, 井上, “準3次元リハビリテーション訓練システム「PLEMO (プレモ)」の開発に関する基礎研究”, VR医学, 第 巻5, 第 1, pp. 24-31, 2007.
- [3] 兼子, 賀, 伊藤, “高齢者の不整地での歩行を支援するロボット杖の開発”, 日本ロボット学会誌, 37 巻 3 号, pp. 253-263, 2019.