

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04268

研究課題名（和文）多様な身体性提示による制約下の上肢運動機能の解明

研究課題名（英文）An attempt to elucidate motor function of constrained upper limb by presenting various physical characteristics

研究代表者

宮田 なつき（Miyata, Natsuki）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究チーム長

研究者番号：90344225

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、健康な手を持つ者に自身と異なる身体性を疑似体験させることで、そうした身体性を持つ人に特徴的な把持戦略に関するデータ収集が可能か検討し、機能制約を伴う手による把持推定の枠組みを構築した。VR疑似体験システム上で、可動域の制限された手モデルを操作し、想定された可動域の逸脱時に通知を受けることで、物理的制約時と同様の把持姿勢が概ね観察可能であり、可動域が制約された手に可能な姿勢の理解が進むことが示された。筋力低下や摩擦など高齢化に伴う手制約を考慮した姿勢を生成する手法も合わせて構築し、疑似体験によるデータ収集が進むことで、種々の身体性を考慮した把持姿勢推定が可能になる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々な人にとって使いやすい製品の設計を支援するためには多様な手による物の扱い方を推定できることが必要となるが、例えば手指機能への制約の生じ方は様々で、すでに制約の生じた者から十分なデータを収集することは難しい。本研究では、限定的ではあるが、身体性の一つである可動域について、健康な手を持つ者に自身と異なる状態を体験させることで、異なる身体性を持つ人に特徴的な把持戦略に関するデータが取得しうること、少なくとも対象の理解度が増進することが示された。また筋力低下など機能が制約された状態の手で可能な姿勢の推定手法も合わせて構築されたことから、今後の設計支援システムの推進に寄与すると期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated whether it is possible to collect data on grasping strategies characteristic of people with healthy normal hands by having them experience a simulated physicality different from their own, and developed a method for estimating grasping postures using hands with functional limitations. On our VR experiencing system, subjects manipulated a hand model with a limited range of motion by themselves, and are notified when they deviate from the range of motion of the hand they are experiencing. The results showed that the subjects were able to find a grasping posture different from their own, and that they were able to better understand the possible postures for the hand with a restricted range of motion. We have also developed a method for generating postures that take into account hand constraints associated with aging, such as muscle weakness and decreasing friction.

研究分野：デジタルヒューマンモデリング

キーワード：デジタルハンド 関節可動域 身体性 体験

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

様々な人にとっての使いやすさが製品設計における“あたりまえ品質”として考慮されるようになるには、人が製品をどのように扱うかを計算機上で予測し設計者に提示可能である必要がある。把持はもっとも基本的な手の機能であり、多くの製品に手で扱う部分があることから、人の把持を理解することが重要であり、これまで数多くの研究がなされ、予測のための計算機モデル化が進んできた。しかし、そのほとんどは健康な手（以下、健常手と呼ぶ）に関するものであり、リウマチのような部分的変形や関節硬化といった疾患を伴う手（以下、疾患手と呼ぶ）についてはほとんどなされていなかった。また、自由度が約 30 と高く解空間が膨大である手部の姿勢生成問題において、予測結果の“人らしさ”を担保するのに、十分な量の把持姿勢データを事前に集め参照するアプローチが有効だが、既に制約を負ってしまった手を持つ者から、大量な姿勢データを取得することは難しい。申請者らはこれまでに、健常手の動きをテーピングにより物理的に制約することで疾患手を模擬し計測を代替する手法を提案し、母指可動域の制約下で健常時と異なる把持戦略が観測されること、その姿勢をデータベースに追加することで新たな物体の把持姿勢の推定が可能であることを示してきた[1]。ただし、テーピングによる制約では対象部位や範囲、度合いなどに限界があり、リウマチにおける関節包の腫れのような見た目の変化も含めた種々の制約の実現は難しい。ここで、“自分とは異なるサイズの手の体験システム”において、体験中の手サイズに特徴的な物のつまみ上げ方が観察されていた[2]。このことから、物理的な制約を完全には実現できなくとも、視覚情報等も適切に組み合わせることで異なる身体性を体験できたと感じさせられることができれば、体験した手特有の動作を計測・解明できるのではないかと考えた。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、把持の形態に大きな影響を与える手指関節の可動域に着目して、健康な手を持つ者に自身と異なる可動域を模擬体験させた際の物を扱う動作データを取得して特徴を分析し、任意の物体に対しても同様の動作を推定可能なシステムを構築することを目的として実施した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 異なる可動域を持つ手による把持体験システムの構築

把持体験システムの概要を図 1 に示す。VR 空間に提示された自分とは異なる可動域内では動かかない手モデルを操り、仮想物体を把持する体験をしてもらった。赤外線型のハンドトラッキング装置である Leap Motion Controller の視野内で手を動かし、手各部の関節角が体験対象となる他人の手の ROM から外れた場合、VR 空間内の視覚情報と各指に与える振動刺激により、現在取っている手姿勢が ROM から外れていることを認識させることとした。振動刺激は、振動制御モジュール DhaibaDAQ を介して各指の先端に装着した振動子を制御することで与えた。

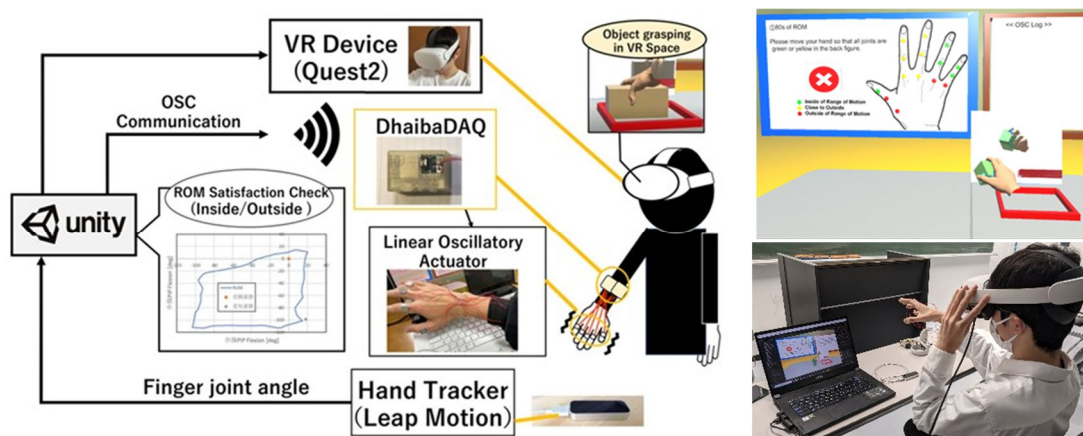


図1 異なる手の身体性のVR体験システムの構成（左）と実験の様子（右上：体験中のヘッドマウントディスプレイでの表示画面例，右下：体験中の実験参加者の様子）

(2) 制約を反映した姿勢計測データを活かした多様な身体性に応じた把持姿勢生成手法の構築  
(1)での体験等を通じて収集できた把持姿勢情報を活用して、種々の身体性想定 of 把持姿勢を予測する手法を構築した。図2のように、体験システム等により得られた観測結果は接触領域に基づく把持姿勢データベースに追加し、初期姿勢を生成した後、最終姿勢を求めるための最適化プロセスにおいて、各種身体機能制約を定量的に反映させるものとした。身体性として、具体的に

は高齢化に伴う身体性変化に着目し、筋力の低下、表面摩擦力の低下および関節可動域の低下を考慮するため、上肢に関する関連研究に基づき、図3のように、20歳のときの平均的パラメータ値を100%とした場合の、指定年齢における比率をモデル化して用いることとした。

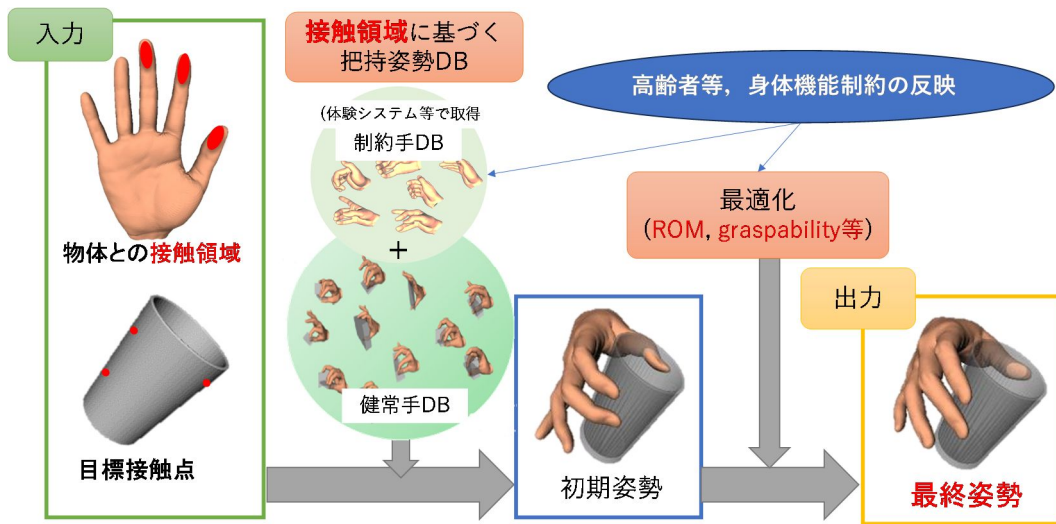


図2 身体機能制約を伴う手の把持姿勢生成手法の概要

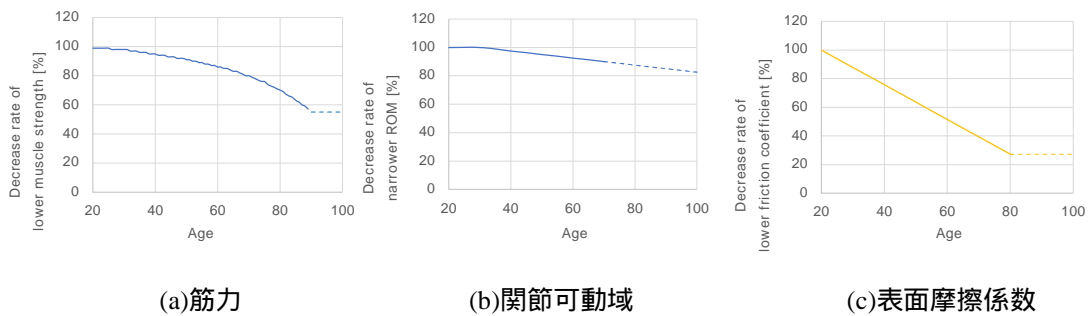


図3 加齢に伴う身体特性の低下率

#### 4. 研究成果

##### (1) - 1 異なる身体性を持つ手によるVR把持体験システムを用いた把持観察実験

まず、自身と異なる身体性の体験を通じて、その身体性特有の把持が観測可能なのかを確認するため、20代男性4名を対象として、母指および示指にリウマチと手根管症候群患者のような関節可動域の縮小した手の体験実験を行った。まず、図4左のように母指の手根中手関節（CM関節）と中手指節間関節（MP関節）、示指のMP関節と近位指節間関節（PIP関節）をテーピングにより制限した状態で可動域および、比較のための把持観察実験を円筒および直方体物体を用いて行った。次に同サイズの物体の把持を、構築したVRシステム上でも実施させた。その結果、被験者全体では現実空間およびVR空間での体験時にどちらも



図4 テーピングによる可動域の人工的制約手と体験システムでの同様な身体性体験時の把持姿勢比較実験の結果

Type 1: 側面部または対向に近い側面同士を、対向する母指と環指や小指指先で挟む姿勢

Type 2: 掌で上面または側面にしっかりとあて、残りの指で側面を固定する姿勢

の二種の把持戦略が観測され、複数名でデータを取得することで、現実での制約状態を反映した挙動が仮想空間でも取得できることが分かった。ただし、同一被験者内で比較すると、物理的制約下の実際と仮想空間での把持戦略が半数で異なっていた。本システムでは、想定された可動域を逸脱して実際の被験者の手が動いている間は姿勢を固定し、可動域内に戻ってきた際にその姿勢に不連続に復帰させる仕様となっていたこと、また把持成立の判定基準が実環境と異なっており体験として不自然な側面があり、完全に一致した体験を提供するにはシステムの改善が必要と考えられる。

#### (1) - 2 提案する VR 把持体験システム利用の有無による可動域制限手の理解度検証

体験結果の設計支援への活用という観点では、製品の想定ユーザの身体性に関する設計者の理解を促進させることも有用である。そこで、可動域が健常な手よりも狭められた疾患手が、許容される可動域内で物体を把持する姿勢を、提案する体験システムや動画視聴により学んだのち、提示された手姿勢を見て、その姿勢が想定される可動域の範囲内で成立するものかどうかを正しく判断できるか、理解度を確認した。実験は、参加者 5 名を

GroupA: VR 体験システムでの学習 理解度テスト1 動画学習 理解度テスト2

GroupB: 動画学習 理解度テスト1 VR 体験システムでの学習 理解度テスト2

の 2 グループに分けて行った。VR 体験システムでの学習では、45 秒間自由に手を動かしたのち、45 秒間空間内の仮想物体の把持を試みさせた。動画学習では、VR 体験システムでの学習と内容をできるだけ揃えるため、実験実施者による VR 体験システムでの学習の様子を見せた。なお、(1) - 1 の結果を受け、フォースクロージャの考慮で把持成立性を判断する機能を組み込むことで、体験性の向上を試みた。

理解度テストでは、健常な手であればどれも可能であるが可動域が狭まっている場合不可能な状態を混ぜた 10 点の手姿勢画像 (図 5 の左) を見せ、対象の手の可動域に収まっているかどうかを答えさせた。図 5 右のグラフより、GroupA および GroupB のいずれにおいても、一度目の理解度テストでの平均正答率よりも二度目の方が高かったことから、学習により対象の理解が進むことがわかる。また、理解度テスト 1 での平均正答率の比較から、VR 体験学習システムでの結果の方が動画学習よりも正答率がやや高く、VR 体験学習システムの優位性が見られた。実験参加者数が少なく統計的有意性を示すには至らなかったが、平均値での傾向比較から、提案システムの有効性が示唆されたと考える。ただし体験システムの使いにくさなどから正答率は決して高くはなく、システム改善のうえで、多数の実験参加者での検証が必要と考える。

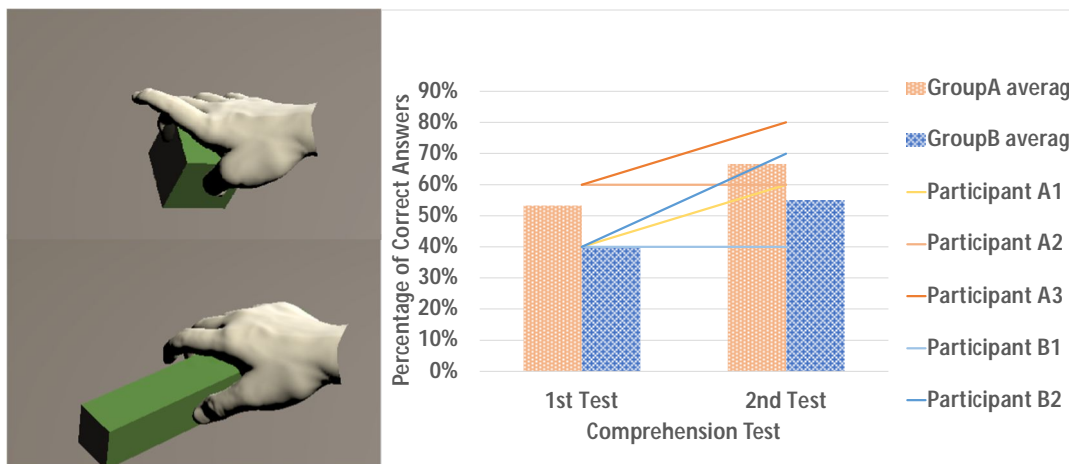


図5 身体性理解度を確認める問題例 (左上: ROM外姿勢例, 左下ROM内姿勢例) と正答率 (右)

#### (2) 提案システムによる高齢者の身体性に合わせた把持姿勢生成結果

3(2)で構築した手法を用いた一例として、健常者 (20 歳)、高齢者 (60 歳)、高齢者 (100 歳) を想定した手モデルによる把持姿勢の生成結果を図 6 に示す。使用する接触領域 (図中赤色で示された領域) の異なる 3 種類の把持戦略での結果であり、生成される姿勢がそれぞれ異なる。高齢者 (100 歳) では、いずれの把持戦略も、筋力や摩擦係数の低下により力学的に把持不可能と判断された。特に筋力は健常者の約 50% に低下しており、物をつかむことが非常に困難な状態である。健常者および高齢者 (60 歳) を比較すると、健常者の手では母指掌側が対象物に接触しているのに対し、高齢者 (60 歳) では橈側が対象物に接触している。後者は母指の可動域が狭くなっており、掌側に接触しにくいためである。このように、提案手法を用いることで、高齢者として妥当な把持が健常手と同様の枠組みの中で生成できることが確認できた。













Input contact regions	Healthy hand (20-year-old)	Elderly hand (60-year-old)	Elderly hand (100-year-old)
			
			
			

図6 提案手法により生成された姿勢の例

[1] R. Takahashi, et al., Grasps under Artificially-limited Thumb's Joint Range of Motion -Posture Analysis with ROM Boundary and Muscle Loads-, Proc. of the 29th 2018 Int. Symp. on MMHS, 253-255, 2018.

[2] 寺林ほか “異なる大きさの手の体験可能性検証と視覚遅延の影響”, 画像電子学会誌, 第37巻, 1号, 2008.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takahashi Reiko, Miyata Natsuki, Maeda Yusuke, Nakanishi Yuta	4. 巻 36
2. 論文標題 Grasp synthesis considering graspability for a digital hand with limited thumb range of motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 192 ~ 204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2021.2008489	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高橋 怜子, 宮田 なつき, 前田 雄介	4. 巻 41
2. 論文標題 Soft Fingerモデルを用いた把持可否判定に基づく複数の把持形態におけるデジタルハンドの把持生成	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 407 ~ 410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.41.407	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 中西佑太, 高橋怜子, 宮田 なつき, 前田雄介
2. 発表標題 ユニバーサルデザインに向けた高齢者模擬デジタルハンドによる把持生成
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋怜子, 宮田 なつき, 前田雄介, 中西佑太
2. 発表標題 母指関節可動域制限手による複数の把持形態における把持姿勢の生成
3. 学会等名 2022年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Reiko Takahashi, Natsuki Miyata, and Yusuke Maeda
2. 発表標題 Grasp Synthesis for Digital Hands with Limited Range of Motion in Their Thumb Using a Grasp Database
3. 学会等名 the 6th International Digital Human Modeling Symposium 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 怜子、宮田 なつき、前田雄介
2. 発表標題 Force Closureを考慮した人の母指関節可動域制限手による把持生成
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 怜子、宮田 なつき、中西 佑太、前田雄介
2. 発表標題 筋骨格モデルを考慮した母指関節可動域制限下のデジタルハンドによる接触領域指定にもとづく把持姿勢生成
3. 学会等名 第26回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮田 なつき
2. 発表標題 インクルーシブデザイン支援に向けた関節可動域の人為的制約下での手運動計測
3. 学会等名 第95回日本整形外科学会学術総会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Natsuki Miyata, Akihide Suga, Takuya Nakatsuka, Reiko Takahashi and Yusuke Maeda
2. 発表標題 Virtual Reality System to Experience Grasp of Others' Hands with a Different Range of Motion
3. 学会等名 25th International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takuya Nakatsuka, Natsuki Miyata and Yusuke Maeda
2. 発表標題 Experiencing the Hands of Others with Different Range of Motion Schematic Design and Prototype-System Development
3. 学会等名 16th Joint Symposium between Sister Universities in Mechanical Engineering (JSSUME2020+1)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 怜子, 宮田 なつき, 前田 雄介
2. 発表標題 Soft Fingerモデルを用いた把持可否判定に基づく複数の把持形態におけるデジタルハンドの把持生成
3. 学会等名 第40回記念日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022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

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
---------	---------