

令和元年5月17日現在

機関番号：22605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02883

研究課題名(和文) 人間の手を模倣したハンドモデルによる道具操作時の手姿勢の状態遷移メカニズムの解明

研究課題名(英文) Investigation of Mechanism Analyses on State Transition of Hand Model imitating Human Hand while Operating Equipment

研究代表者

橋本 洋志 (Hashimoto, Hiroshi)

産業技術大学院大学・産業技術研究科・教授

研究者番号：60208460

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,000,000円

研究成果の概要(和文)：柔軟な皮膚で覆われた人間の手が道具を動的に操作(ハサミ操作/箸の持替え等)するときの手と道具間の相互状態を考える。本研究の目的は、この動的状態での手と道具間の力学的相互関係を考察し、これを基に手姿勢の状態遷移メカニズムを明らかにすることで手の動的作業能力を体系化することにある。本研究の特徴は、力学的相互関係の変化を対象とし、接触部のミクロな力表現と道具の拳動を表すマクロな力表現を導入することで、状態遷移メカニズムを基本動作に分解することにある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、道具を操作するという一つの現象に、力のミクロ・マクロ表現という別次元の表現法を導入すること、および、動的な操作の状態遷移メカニズムを、道具の機能と関連させようとする点にある。社会的意義は、状態遷移メカニズムの体系化にある。この意義は、もの作り、芸術、スポーツなど手を使う産業・文化における技術伝承の効率化、および本知見が次世代ロボットハンドの設計・制御論における新たなステージを追加することに貢献できる。

研究成果の概要(英文)：We consider the interaction between the hand and the tool when the soft skin-covered human hand operates the tool dynamically (scissor operation / pickle replacement etc.). The goal of this study is to consider the dynamical relationship between the hand and the tool in this dynamic state. Based on this, clarify the state transition mechanism of the hand posture and systematize the hand working ability of the hand. The typical feature of this research is to break down the state transition mechanism into basic motion by introducing the microscopic force expression of the contact part and the macro force expression representing the behavior of the tool, targeting the change of the mechanical interaction.

研究分野：人間情報学

キーワード：デジタルハンド 解剖学 道具操作 手姿勢 状態遷移

## 1. 研究開始当初の背景

熟練者が道具や材料を扱うとき、指の動きや皮膚の柔らかさを利用して熟練の技を發揮し、見事な作業やモノづくりを行う(図1は、手術用ハサミ操作の例)。この技は、道具や材料のデザイン(形状、機能、材質などを言う)に依存する。手操作とこのデザインとの相互関係に注目した文献[1]は、把持(じっと持っている静的状態)のみを扱っている。申請者は手の解剖学的考察に基づき手の姿勢(アーチやホールディング)で器用な操作の考察[2]を示したが、手と道具との相互作用が生じている力学および姿勢に関する状態遷移メカニズムの考察をまだ行っていない。

我が国の優れた熟練者の技の伝承は、多くは口伝や見よう見まねが多くて非効率的である。次世代への技術伝承の効率性向上、またはロボットハンド開発への貢献という点から、手の熟練技の工学的表現を示すことは重要と考える。

## 2. 研究の目的

柔軟な皮膚で覆われた人間の手が道具を動的に操作(ハサミ操作/箸の持替え等)するときの手と道具間の相互状態を考える。本研究の目的は、この動的状態での手と道具間の力学的相互関係を考察し、これを基に手姿勢の状態遷移メカニズムを明らかにすることで手の動的作業能力を体系化することにある。本研究の特徴は、力学的相互関係の変化を対象とし、接触部のミクロな力表現と道具の挙動を表すマクロな力表現を導入することで、状態遷移メカニズムを基本動作に分解することにある。これを分析することで、状態遷移と道具操作が関連するメカニズムを解明する。本研究では、道具操作を阻害しない計測方法と、多様な道具形状に対する複雑な手操作の実時間計測などの必要要件があり、これらを満たすハンドモデルを導入して研究を推進する。

## 3. 研究の方法

本申請で明らかにする内容との方法は次のA), B), C)である。

A)ハンドモデルの設計論: ハンドモデルの構成要素は、剛体で構成される骨格モデル、メッシュ構造で弾性体を実現する皮膚モデルと爪モデルである。圧力分布センサ(所有)や高速度カメラ(最大10000fps)の活用、および解剖学やバイオメカニクスの観点から、これらモデルの設計論を確立する。

A-1)構成要素の設計論 既に開発したハンドモデルの改良指針として、人間の手と同じくらいの器用さと道具との力の相互関係を実現するため、骨格モデルの多自由度構造と骨の形状、皮膚・爪モデルの性質を決めるパラメータの選定指針を見出す。

A-2)モデルの結合法 実際の手のように骨と皮膚を皮下組織などで連続的に結合できないので、ハンドモデルに適する骨格モデル、皮膚モデル、爪モデルの結合の方法論を見出す。この結合は離散点での結合にせざるを得ないが、結合点が過多であると、コンピュータ負荷から実時間操作性、および弾性が実際に合わなくなる。これらを考慮した結合方法を見出す。

B)手と道具との力学的関係の解明: 力学的関係は、接触面に注目したミクロな力学的現象(力のミクロ表現)と、道具全体の動きを説明するマクロな力学的現象(力のマクロ表現)を対象として、下記の項目を明らかにする。

B-1)接触面での力のミクロ表現 ハンドモデルは接触部の力情報を取得できる。この情報を基に、物理現象に適合するようなテンソル表現を行う。ここで、メッシュ分割が細かいと、力の表現数が莫大となり、人間の理解力を超える。このため、力分布のクラスタリングで表現数の縮約等を検討し、現象を理解しやすい力のミクロ表現を見出す。

B-2)道具の力のマクロ表現 接触部以外でも、道具の形状や性質は変化する。この挙動をマクロ的に見て、その適切な力学的表現を見出す。

C)手姿勢の状態遷移メカニズムの解明: 手と道具の状態(姿勢・形状や力学的関係など)は時間変化する。この状態遷移を人間が理解しやすい形式で表現することで、メカニズムの解明を図る。このため、B)の成果を基に次の項目を検討する。

C-1)手姿勢の基本動作抽出と記号表現

手姿勢の基本動作を抽出し、この遷移の記号表現を図る。この意義は、手の動作と道具の変化の動的対応を視覚的に認識しやすくすることにある。特徴的な点は、変化する手姿勢のメカニズムと手のプリシェーピング(手の姿勢を事前に道具に合せて変化させること)を考慮する点である。

C-2)状態遷移メカニズムの解明 B)とC-1)の成果を基に、手姿勢の状態遷移の一連の意味が、動作する手と道具の作業能力とどのように関連するのか、不連続なメカニズムも考慮できるように考察する。この観点から状態遷移メカニズムを解明し、手の作業能力に関する体系化を図

る。

#### 4 . 研究成果

3 . に合わせて下記に示す。

A-1) 構成要素の設計論 現在のハンドモデルの改良として、骨格モデルについて、3種のアーチと親指のCM関節の6自由度を実現した。次に、手の模倣度を上げるため、手根骨などの骨形状デザインを検討した。

A-2) モデルの結合法 弾性体の皮膚に道具の応力がかかる仕組みをモデル化する。皮膚モデルの形状が対称形でないため、結合位置の算出が難しい。そのため、1本の指骨モデルと皮膚モデルとの結合点の位置を自動算出するアルゴリズムを開発した。

B-1) 接触面での力のミクロ表現 皮膚モデルを人間の皮膚に近づけるため、メッシュ分割を導入、かつ、力分布のクラスタリングを図った。

B-2) 道具の力のマクロ表現 人間は、道具の形状が変化しても、大まかなイメージで、その全体の動きを捉えている。例えば、ハサミの例では、ハサミ自身の位置は変動し、形状は変化するが、人間は道具のマクロな動きを認識している。ハサミの例では、代表点である支点を道具の位置、道具の機能(モノを切る)としての指穴の動き、これらをマクロな動きとした表現法を提案した。

C-1) 手姿勢の基本動作抽出と記号表現: 手姿勢の基本動作を抽出し、この遷移の記号表現を図る。例えば、「掴む」「離す」「回す」などの基本動作を用いた表現法をマトリクス法および樹形図法として考案した。

C-2) 状態遷移メカニズムの解明: C-1)で示す基本動作の状態遷移、かつ、各基本動作を上手に実現できるという事実、さらに使用環境や条件により、対象物体が同じであっても、動作遷移が異なることの事実を発見した。特に、ある機器を操作する際の身体の状態に依存して、手の動きの遷移が異なることを見出した。この分析は、従来の仮説としての、「手がある熟練操作を行うとき、その作業に適する基本動作のある状態遷移があり、かつ、各基本動作を上手に実現することで、熟練が達成できる」という考えを立証するものであり、このことを状態遷移メカニズムとして捉え、手の作業能力に関する知見を得た。

#### 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

下記、全て査読有

Masahiro Yokota, Shohei Kawazoe, Daisuke Chugo, Sho Yokota and Hiroshi Hashimoto, Standing Assistance that considers user posture tolerance, International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2018), 79-88, 2018

S.Kawazoe, M.Yokota, S.Yokota, H.Hashimoto, etc., Standing Assistance with Non-Verbal Cues Based on Intended Movement, IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 4312-4317, 2018

Daisuke Chugo, Shohei Kawazoe, Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, Takahiro Katayama, Yasuhide, Mizuta, Atsushi Koujina, Pattern Based Standing Assistance Adapted to Individual Subjects on a Robotic Walker, 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2017) , 1216-1221, 2017

Sanggyu Shin, Hiroshi Hashimoto and Ikuyo Yoshida, Effects of Different Behaviors Between Cross Cultures on Learners When Studying, International Conference on Culture and Computing 2017 (CandC2017), 82-88, 2017

Daisuke Chugo, Shohei Kawazoe, Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, Pattern Based Standing Assistance for a Low Level of Care, Proc. of the 20th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR2017) , 2017

Nozomi Nishino, Ryo Tsugita, Daisuke Chugo, Satoshi Muramatsu, Sho Yokota, and Hiroshi Hashimoto, Robot Navigation According to the Characteristics of Pedestrian Flow depend on Environment, Proc. of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2017), 716-721, 2017

Jinhua She, Hiroshi Hashimoto, Toshihiro Mita and Min Mu, Design of a Bilaterally Asymmetric Pedaling Machine and its Measuring System for Medical Rehabilitation, 1st International Conference on Human Computer Interaction Theory (HUCAPP2017), 113-118, 2017

Jinhua She, Fajian Wu, Toshihiro Mita, Hiroshi Hashimoto and Min Wu, Design of a

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：  
ローマ字氏名：  
所属研究機関名：  
部局名：  
職名：  
研究者番号(8桁)：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：  
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。