

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 1 日現在

機関番号：22605

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500178

研究課題名（和文） 物体把持時における手と物体の動的安定性の考察

研究課題名（英文） Consideration of Dynamic Stability of Hand and Object in Grasping

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

研究成果の概要（和文）：本研究は、手（5指と掌から成る）を対象として、物体を把持しながら姿勢を変化させる手に関して、手の表面と物体間の力場（force field）を実時間で近似推定する方法を提案し、動的把持の力場と物体形状との動的安定関係を見出すことを目的とする。衝突空間内で物体把持を可能とするデジタルハンドを開発し、物体間の力場を観測する方式を開発した。これを用いて、物体を動的に操作するときの動的安定性に関する知見を得た。

研究成果の概要（英文）：This paper aims at surface of the hand and force field between objects for the hand that changes posture while holding the object for the hand, consist of five fingers and palms, and it aims to propose the method of doing the approximation presumption in real time, and to find the dynamic stability relation between the force field and the object shape of a dynamic holding. A digital hand that enabled the object holding in the collision space was developed, and the method to observe the force field between objects was developed. The finding concerning dynamic stability when this was used, and the object was operated dynamically was obtained.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：デジタルヒューマンモデル、ソフトハンド

## 1. 研究開始当初の背景

本研究では、手が物体を把持するとき接触部分に着目する（例えば、図1の破線部分）。この手に関して計算論的力学の観点から取扱いが困難な二つの問題がある。

(1) 手の自由度は少なくとも16自由度以上という膨大な数字で、これと同じ数学モデルを自由に制御することは実際上無理である。

(2) 物体を把持しているとき、手表面にセンサを自由曲面の分布状に貼ることは実現上の問題点があるため、広い面に渡る手表面と物体間の抗力や把持力などの力場を計測することは困難である。

問題(1)に対して、ロボット工学では多肢ハンドの研究が進められているが、本申請のよう

に人間の手（5本指+掌）を対象としたものは見当たらない。

問題(2)に対して、姿勢が変わる手表面に全体の分布を測る試みは現状では見当たらない。また、物体に面接触する場合、有限要素法やソフトフィンガー型ロボットハンドを用いた先行研究では、手姿勢の拘束性や物体は静止という条件で考察されている。本申請のように"5本指+掌"を対象とし、実時間で手姿勢と物体を柔軟に動かしているときの安定状態の把持に着目した研究は見当たらない。

申請者は研究[1][2]において、データグローブを用いて人間の手がモノを掴むときの姿勢変化の解析を行い、把持する直前と直後の動的变化する指骨格の機構的機能の分析と評価を行ってきた。研究[3]を通して、外部環境の形情報を手へ圧力として与える方法について成果を上げてきた。研究[4]を通して、骨格を考慮した指姿勢の計測方法に関する知見を示した。著書[5]では、研究の一環として、五指を有する手モデルをCGとして表現し、その動作に関する解説を行った。

一方、工業デザイン研究者らとの交流において、モノの持ち方を変えるとき、モノと指との接触状態が時系列的に分かれれば、新たな工業デザインの考え方が生み出されるというアイデアを持った（例えば、ペン回しをしやすいペンのデザインなど）。このためには、上記の問題 i,ii)の解決が必須ではあるが、厳密に解決を図るのではなく、実際の手姿勢データと仮想空間内の手モデルを効果的に連動させれば、手と物体とのインタラクションの力場を近似的かつ実時間で推定できるという確信を得るに至った。

[1] Y.Kinoshita, H.Hashimoto; Archive and Instruction of the Hand Motion: Analysis and Evaluation of the Hand Motion in using Chopsticks, IEEE IECON06 ,2006

[2] Y.Kinoshita, A.Sasaki, H.Hashimoto, C.Ishii; Analysis and Evaluation of Hand Motion in Use of Tools, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics,CD-ROM,2007

[3] 橋本, 松永, 佐々木, 石井, 新妻, 橋本(秀);手のハプティックインタフェースによる周辺障害物認識システムを用いた歩行器, 計測自動制御学会論文集, vol.43, no.3, pp.1-9, 2007

[4] A.Sasaki, S.Yokota, Y.Ohyama, H.Hashimoto; Hand Pose Estimation from Camera Images of Ring-shaped Markers, SICE Annual International Conference, 2009

## 2. 研究の目的

本申請は、互いに動いている手と物体が面接触時の力分布を実時間で近似的に推定する方法を提案し、動的把持の力場と物体形状との動的安定関係を見出すことを目的とする。ここで、本申請が設定する項目として、

- ・本申請での動的安定性とは、指先でのペン回しのように、ペンは回っていても、その代表点（重心など）の位置が安定的に維持されているような状態を意味する。
- ・手の把持の本質に迫るため、手モデルはソフトハンド（soft-hand）、すなわち柔軟体で表現されるべきと考える。

動的安定性を調べるため、膨大な自由度を持つ手姿勢を自由に動かしたい。そのため、データグローブから実際の手姿勢データを取得し、これに基づき仮想空間内の手モデルは実時間で模倣して動作する。仮想空間は物体間の衝突を検知し、その反力などを計算できる機能を有する。これらの中で、明らかにしようとしている点は次である。

(1) 手モデルのソフトハンド化の検討：仮想空間内の手モデルをソフトハンド化するために、手表面を三角メッシュで構築する。有限要素法と異なり、各三角メッシュ間は機械的なジョイントで結合され、そのダイナミクスはパラメータ調整できる。問題は、三角メッシュが小さすぎると、物体把持時の接触以外の部分の強度や姿勢制御に問題が生じることが知られている。そのため、そのパラメータ調整とメッシュのサイズの決め方の指針を実験を通して見出す。

(2) 力場の表示法の検討：接触面ではカベクトル、動いている物体にはモーメントなどの力（回転している矢印）が発生する。これらの力を視覚的に見える形で表現することにより、解析不能な関係性であっても、視覚で直観的な認識支援を行えるものとする。このため、多数のカベクトルやモーメントを群として表現して、視認しやすい方法を検討する。

(3) 動的安定性の解析と応用：ペンが手を這うようにしたとき、ある瞬間、静的状態ならば不安定でも、動的状態では物体にモーメントが働いていて、動的安定状態を生みだしている事実がある。この事実を実験で再現し、その動的安定状態になるための手の動かし方と物体形状の関係性を考察する。

(4) 実際の力場の計測とその比較の検討：上記の試みは、あくまでの仮想空間内での議論であり、力場が実際に近いものを表現しているであろうという仮説がある。そこで、実際に対する議論として有効か否かを検証するために、それと同様の手の動きによる動的安定性の実現するか否か、また、各種センサなどを用いるなどして、本手法の有効性の検証

方法そのものを考究する。

### 3. 研究の方法

(1) 手モデルのパラメータ（慣性モーメントに影響する指質量や摩擦係数など）の選定方針の骨格を実験的発見手法に基づき定める。

(2) 手モデルのソフトハンド化において、手の支持骨格に相当する部分を残しながら、パラメータ選定方針に基づき、まず、5本の指腹のソフト化を図る。この成果を得たのちに、掌の部分的ソフト化を図る作業を遂行する。

(3) 膨大な自由度の手モデルを自由自在に操作するため、23個のセンサを有するデータグローブからの手姿勢データを手モデルに与える装置を構築する。仮想空間内の物体を視認しながら、物体を動かし、動的安定状態での力場を視覚でわかりやすい表現を模索する。

(4) この成果を得て、動的安定状態の本質を、実験的発見手法と理論解析手法の二つのアプローチから考察する。

### 4. 研究成果

#### (1) デジタルハンドモデルの設計

人間の手の動きを似せるために、解剖学的見地からの考察（図1参照）を行い、把持動作にはFolding動作が重要であることがわかった。

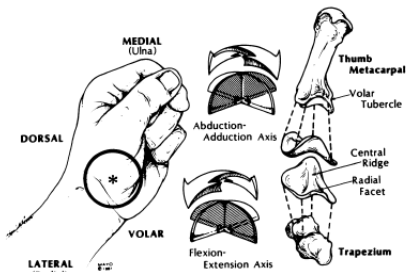


図1

一方、デジタルハンドを人間の手の構造を完全に模倣すると、膨大な計算不可がかかる。この問題の解決のため、把持動作におけるFolding動作を実現するため、親指の第1関節の自由度を2にすることで、近似的にFolding動作を実現できるモデル設計を提案した。

#### (2) 実時間操作のシミュレータ開発

衝突空間内にデジタルハンドの実時間操作が実現できるよう、データグローブによる実時間システムを開発した（図2）。



図2

#### (3) 器用な操作の解析

器用な操作の解析を力学的観点から行えるよう、手と物体との接触点における接触力を観測できるようにし、この力分布（図3の黄色線）を統計的に解析できるようにした。

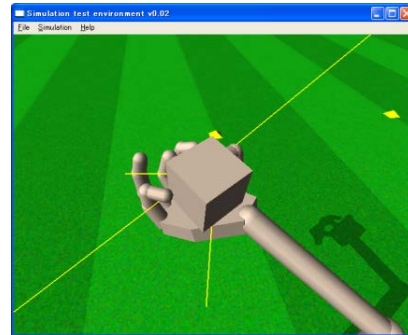


図3

#### (4) 器用な動作の実現

先の解析を基にして、器用な動作の解析を行った。例として、ペン回しを取り上げ、ペンが落ちないという動的安定性の概念を提唱し、これが成立するための条件を理論的にも実験的にも検証した。その実験風景を図4に示す。

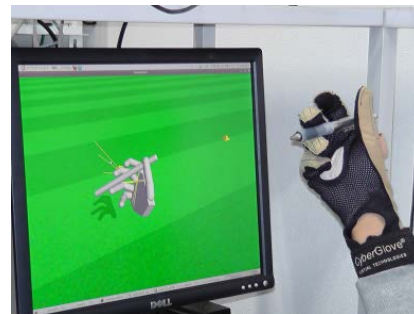


図4

#### (5) 器用な操作の実観測系の構築

様々な器用な手の操作の動きを観測することにおいて、データグローブは動きを妨げる場合がある。この問題を解決するために、Kinectを用いての観測システムが使えるか

の検証を行った。Kinectには人のボーンモデル(図5)を内在しているため、この使用が問題解決に有効であることを示した。

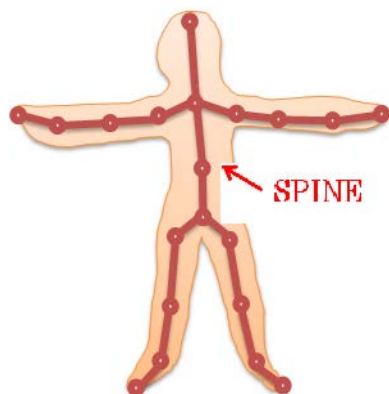


図5

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

① Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, Daisuke Chugo and Kuniaki Kawabata, Study on Motion Design for Service Robot based on Standard Human Motion Proc. of Int. Conf. on IEEE Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON2012), 査読有, 2012, 4187/4192

② Yasuyuki Hirao, Toshiyuki Murao and Hiroshi Hashimoto, A Study on Aesthetic Evaluation of Human Motion Based on Logarithmic Curvature Histogram, International Conference on Humanized Systems (ICH2012), 査読有, 2012, 121/125

③ Liyu Ouyang, Jinhua She, Min Wu and Hiroshi Hashimoto, Compensation of Unknown Input Dead Zone using Equivalent-Input-Disturbance Approach, International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICH2012), 査読有, 2012, 605/609

④ Hiroshi Hashimoto, Akinori Sasaki, Sho Yokota, Yasuhiro Ohyama and Chiharu Ishii, A Study on Degree of Freedom in Hand Modeling, SICE Annual International Conference, 査読有, 2011, 2492/2493

⑤ Ikuyo YOSHIDA, Yoshinori TERAMOTO, Hideki TABATA, Chao HAN, and Hiroshi

HASHIMOTO, Tacit Knowledge Extraction of Skillful Operation from Expert Engineers, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2011), 査読有, 2011, 554/559

⑥ Hiroshi Hashimoto, Akinori Sasaki, Sho Yokota, Yasuhiro Ohyama, Chiharu Ishii, Force Distribution Measurement to Investigate Dexterous Manipulation of Hand, IEEE International Conference on Mechatronics, 査読有, 2011, 1/6

⑦ Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, Yasuhiro Ohyama, Jin-Hua she, Daisuke Chugo, Hisato Kobayashi, Distinction of Intention and Improvement of Operation on Human Body Motion Interface, IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2010), 査読有, 2010, 488/493

[学会発表] (計3件)

① 橋本洋志, 佐々木智典, 横田祥, 大山恭弘, 石井千春, 実時間操作型デジタルハンドの開発と応用, 電気学会C部門大会, 2012年9月7日、弘前大学

② 河田 聡, 佐藤 裕作, 中野誉司, ハス朝魯, 村尾 俊幸, 橋本 洋志, 曲率対数分布図と平滑化微分を用いた美しい動きの評価, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2011年12月23日、京都大学

③ 横田 祥, 橋本 洋志, 中後 大輔, 大山 恭弘, 近似人間動作実現にむけた身体部位の動作計, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2010年12月23日、東北大学川内キャンパス

[図書] (計2件)

① H.Hashimoto, A.Sasaki, S.Yokota, Y.Ohyama and N.Amano, IWF, ETHZ Zurich(ISBN978-3-033-02507-3), Analysis of Object Grasping Using Hand Model Based on Force Vector Group in Dynamics Space, in The 12th Mechatronics Forum Biennial International Conference, 2010, pp.179-185

② A.Sasaki, H.Hashimoto, S.Yokota, Y.Ohyama and N.Amano, IWF, ETHZ Zurich(ISBN978-3-033-02507-3), Analysis of Object Grasping Using Hand Model Based on Force Vector Group in Dynamics Space, in The 12th Mechatronics Forum Biennial International Conference, 2010,

pp.268-273

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

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

○取得状況（計0件）

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

〔その他〕

ホームページ等  
<http://hhlab.org/>

## 6. 研究組織

### (1) 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

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

佐々木智典，東京都立産業技術研究センター  
研究者番号：30587126

### (4) 研究協力者

吉田育代，吉田育代本舗  
平尾康幸，ソニー株式会社