

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 8 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11428

研究課題名(和文) 人腕の骨格モデルに基づいた多自由度電動義手の開発と臨床応用

研究課題名(英文) Development of a multi-DOF prosthesis based on human anatomy and clinical application

研究代表者

辛 徳 (Shin, Duk)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号：00431982

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、事故などで上肢の一部を失った身体障がい者が物体とのインタラクションなど日常生活における殆どの作業を行うことができ、外観上も本物の手と同様な多自由度電動義手の開発を目指した。本研究では解剖学に基づいて母指に4自由度、その他の4指に各3自由度、合計16自由度の電動義手の設計・製作を行った。さらに、表面筋電信号を用いて日常生活に重要な4種類の動作(握力把握、精密把持、側面把握、リラックス)に対して平均90.8%の動作識別率を見せた。最近では親指と人差し指が複数ある8筋電動義手を製作し、粘弾性制御を行った。それらの結果を国際論文誌や国際学術会議で発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

50年前から市販された電動義手は表面筋電位の閾値を用いたオン・オフ制御が多く、5本指を制御できる多自由度義手やロボットの研究は常用化されていない。その理由は機能的な面を重視する電動義手は人間の骨格系と異なるリンク構造を持っているのでシリコン皮膚を被せるだけでは皮膚の歪みが生じてしまい、患者が装着することを好まないからである。我々は人間の骨格系に基づいて作られた骨、腱、筋肉、靭帯、皮膚を再現し、自然な外観と日常生活に重要な4種類の動作(握力把握、精密把持、側面把握、リラックス)が可能になった。それを実現するため、日本標準骨格に基づいた骨や複数の伸筋・屈筋による粘弾性制御が成果として挙げられる。

研究成果の概要(英文)： We aimed to develop a prosthetic hand with multiple degrees of freedom that is similar in appearance to an actual hand in this study. Upper limb amputees perform most tasks in daily life, such as interaction with objects.

We designed and fabricated an electric prosthetic hand with 4 DOFs for the thumb and 3 DOFs for each of the other four fingers, based on anatomical musculoskeletal system of the human hand. Using surface electromyograms, we showed an average motion discrimination rate of 90.8% for four types of movements common in daily life (grip grasp, precision grasp, lateral grasp, and relaxation). Recently, we succeeded in an 8-muscle electric prosthetic hand with multiple thumbs and index fingers and performed viscoelastic control. Those results were published in international journals and international academic conferences.

研究分野：neuroscience

キーワード：prosthetic hand anatomical system electromyograms viscoelastic control

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

義肢の歴史は古く、紀元前 950～710 年に製作された足の義指が世界最古の義肢である。中世時代でも鉄腕ゲッツの異名を持つゲッツ・ベルリヒンゲンの鋼鉄の義手が現存している。近代から現在までは二回の世界大戦と様々な戦争により手足を失う傷痍軍人が急増し、本物の肉体に近い外観再現を重視するエピテーゼ義肢の製作が発達してきた。50 年前から市販された電動義手も表面筋電位の閾値を用いたオン・オフ制御が多く、5 本指を制御できる多自由度義手やロボットの研究は常用化されていない。その理由は機能的な面を重視する電動義手は人間の骨格系と異なるリンク構造を持っているのでシリコン皮膚を被せるだけでは皮膚の歪みが生じてしまい、患者が装着することを好まないからである。最近、3D プリンターの普及により、子供用の電動義手が安く製作することが可能になった。しかし、成人が使うにはトルクが足りないことや外観上の問題が解決できない。そこで、我々は人間の骨格系に基づいて作られた骨ロボットなら拳を握っても骨の形状により皮膚の歪みがなくなり自然な動作が可能になると考えた。

### 2. 研究の目的

本研究では、上肢の一部を失った身体障がい者が物体とのインタラクションなど日常生活における殆どの作業を行うことができ、外観上も本物の手と同様な多自由度電動義手の開発を行っていた。

### 3. 研究の方法

本研究では主に指と手首の電動義手を開発した。令和元年度には主に解剖学に基づいて指骨と関節を新しく設計し、3D プリンターを用いて製作を行った。しかし、腱膜や靭帯などの弾力性や骨の上に糸を通すトンネルなどが不自然であるなどさまざまな問題点があった。令和 2 年度では光造形形式 3D プリンターを購入したので材料を ABS 材から UV レジン材に変更した。これにより、指骨をより細かい部分までナチュラルかつ機能的な面を考慮した再設計が可能になった。さらに、手首のモデルの設計も行い、球関節を手根骨の内部に埋め込むように設計した。一方、人間のように粘弾性制御を行うためには各関節に伸筋と屈筋のペアが必要である。複数の伸筋と屈筋を表す各モータを同時に制御するため、20ch モータコントローラーの設計・製作を行った。作られた 20ch モータコントローラーは小型 (31cm x 16cm x 3cm) でパソコンとの情報伝達を担当するメインマイコン 1 個 (STM32F103、ARM 社) と 5 個のモータの制御を担当するサブマイコン (STM32F302、ARM 社) 4 個を用いて制御を行う。また、電源部と制御部は完全に電氣的に分離して設計を行った。

### 4. 研究成果

本研究では 2 つの電動義手を開発した。まず、令和元年～1 年には主に解剖学に基づいて母指に 4 自由度、その他の 4 指に各 3 自由度、合計 16 自由度の電動義手の設計・製作を行った。開発した電動義手は人間の骨格系と同様な骨、靭帯、腱鞘、腱、筋肉、皮膚を再現し、日本人男性の標準サイズの約 1.1 倍 (身長約 190 cm 男性) の大きさで設計した。さらに、表面筋電信号を用いて日常生活に重要な 4 種類の動作 (握力把握、精密把持、側面把握、リラックス) に対して平均 90.8% の動作識別率を見せた。その結果を国際学術論文誌 2 編、国際発表 1 件で報告し、Excellent Paper 賞を獲得した。

令和3年~4年ではさらに小型化を目指して日本女性の標準骨格サイズ（159cm、52kg）に基づいた標準サイズの義手の製作が可能になった。ピンチング作業ができる2指の義手の開発を主に行った。設計した第1指のIP関節・MP関節と第2指のDIP関節・PIP関節・MP関節についての指骨3Dモデルでは人間と同様の可動域に従い、過屈曲・過伸展を防ぐ関節構造を採用した。第1指CM関節は鞍関節と呼ばれる2軸性関節を採用し設計を行った。靭帯も改善があり、精密ネジとシリコンゴム紐によって靭帯を疑似的に再現し、粘弾力を持つ粘着剤で補強を行う方法を考案した。腱鞘は指骨内にトンネルのような管を設計することで再現した。使用したモータも従来のRCモータではなく、金属材質の遊星ギヤを持つ超小型DCモータを採用した。さらに、フィードバックセンサとしてシリコンと液体金属で構成されたセンサを特注し、骨に付けた。動作実験では従来のロボットハンドではできなかった様々な繊細な指の動作が可能になり、人間の44%の力を発揮することに成功した。さらに、伸筋と屈筋を同時活性化することで指のスティフネスを調節することも成功した。この結果を国際学術論文誌2編、国際発表1件で報告した。

これまでの研究結果を研究室のホームページ (<http://wrlab.t-kougei.ac.jp/>) と東京工芸大学公式ブログである KOGEI PEOPLE (<https://blog.t-kougei.ac.jp/mc/>) に公開している。さらに、前回、「A Design of Anthropomorphic Hand based on Human Finger Anatomy」タイトルで投稿した国際会議 (CcS2020) では Excellent Paper 賞を受賞した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Narumi Sakura, Huang Xiansong, Lee Jongho, Kambara Hiroyuki, Kang Yousun, Shin Duk	4. 巻 11
2. 論文標題 A Design of Biomimetic Prosthetic Hand	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Actuators	6. 最初と最後の頁 167 ~ 167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/act11060167	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 Kawahara Kihiro, Shin Duk, Ogai Yuta	4. 巻 12
2. 論文標題 Design of a Movable Tensegrity Arm with Springs Modeling an Upper and Lower Arm	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Actuators	6. 最初と最後の頁 18 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/act12010018	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 黄 現松, 矢崎 侑真, 鳴海 早久来, 辛 徳	4. 巻 49
2. 論文標題 手首関節用のリハビリロボットの開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 東京工芸大学紀要	6. 最初と最後の頁 18-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Chen Chao, Yu Xuecong, Belkacem Abdelkader Nasreddine, Lu Lin, Li Penghai, Zhang Zufeng, Wang Xiaotian, Tan Wenjun, Gao Qiang, Shin Duk, Wang Changming, Sha Sha, Zhao Xixi, Ming Dong	4. 巻 41
2. 論文標題 EEG-Based Anxious States Classification Using Affective BCI-Based Closed Neurofeedback System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Medical and Biological Engineering	6. 最初と最後の頁 155 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40846-020-00596-7	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 該当する

1. 著者名 Li Penghai, Xu Han, Belkacem Abdelkader Nasreddine, Zhang Jianfeng, Xu Rui, Guo Xinpu, Wang Xiaotian, Wu Dongyue, Tan Wenjun, Shin Duk, Liang Jun, Chen Chao	4. 巻 11
2. 論文標題 Brain Patterns During Single- and Dual-Task Leg Movements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Medical Imaging and Health Informatics	6. 最初と最後の頁 781 ~ 788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1166/jmih.2021.3348	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kambara H., Ogawa H., Takagi A., Shin D., Yoshimura N., Koike Y.	4. 巻 35
2. 論文標題 Modulation of wrist stiffness caused by adaptation to stochastic environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 818 ~ 834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2021.1900913	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chen Chao, Chen Peiji, Belkacem Abdelkader Nasreddine, Lu Lin, Xu Rui, Tan Wenjun, Li Penghai, Gao Qiang, Shin Duk, Wang Changming, Ming Dong	4. 巻 8
2. 論文標題 Neural activities classification of left and right finger gestures during motor execution and motor imagery	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Brain-Computer Interfaces	6. 最初と最後の頁 117 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/2326263x.2020.1782124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 He Zixun, Kang Yousun, Shin Duk	4. 巻 6
2. 論文標題 A Design of Anthropomorphic Hand based on Human Finger Anatomy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal	6. 最初と最後の頁 431 ~ 438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.25046/aj060448	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 Chen Chao, Chen Peiji, Belkacem Abdelkader Nasreddine, Lu Lin, Xu Rui, Tan Wenjun, Li Penghai, Gao Qiang, Shin Duk, Wang Changming, Ming Dong	4. 巻 2020
2. 論文標題 Neural activities classification of left and right finger gestures during motor execution and motor imagery	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Brain-Computer Interfaces	6. 最初と最後の頁 1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/2326263X.2020.1782124	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 該当する

1. 著者名 清水智, 坂田修一, 福田聖斗, 辛徳	4. 巻 47
2. 論文標題 釣り糸を用いた人工筋肉を動作させるための制御装置の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東京工芸大学工学部紀要	6. 最初と最後の頁 15-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 坂田修一, 清水智, 福田聖斗, 辛徳	4. 巻 47
2. 論文標題 深層学習を用いたロボットアームのピックアップ作業に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東京工芸大学工学部紀要	6. 最初と最後の頁 10-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Chao Chen, Jiaxin Zhang, Abdelkader Nasreddine Belkacem, Shanting Zhang, Rui Xu, Bin Hao, Qiang Gao, Duk Shin, Changming Wang, Dong Ming	4. 巻 2019
2. 論文標題 G-Causality Brain Connectivity Differences of Finger Movements between Motor Execution and Motor Imagery	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Healthcare Engineering	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2019/5068283	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 該当する

1. 著者名 Zixun He, Aya Wakabayashi, Rezenko Roman Yurievich, Masayuki Sekiguchi, Yousun Kang, Yuta Ogai, Duk Shin	4. 巻 7
2. 論文標題 Development of a Prosthetic Hand Based on Human Anatomy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Information and Electronics Engineering	6. 最初と最後の頁 17-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18178/ijeee.7.2.17-20	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 該当する

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Sakura Narumi, Xiansong Huang, Yousun Kang, Duk Shin
2. 発表標題 A Design of Biomimetic hand
3. 学会等名 ICCE-ASIA2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tamon Kondo, Duk Shin, Yousun Kang
2. 発表標題 Hand Pose Recognition for Japanese Sign Language using OpenPose
3. 学会等名 ICCE-ASIA2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳴海 早久来, 黄 現松, 姜 有宣, 辛 徳
2. 発表標題 解剖学に基づいた電動義手の設計
3. 学会等名 FAN2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黄 現松 , 鳴海 早久來 , 姜 有宣, 辛 徳
2. 発表標題 手首関節用のリハビリテーション装置の開発
3. 学会等名 FAN2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 姜有宣、神原裕行、辛徳
2. 発表標題 視線追跡装置を用いたオンライン学習時の集中度の評価
3. 学会等名 画像電子学会年次大会予稿集 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusun Kang, Duk Shin
2. 発表標題 Facial Color Analysis by Body Temperature using Color and Far Infrared Images
3. 学会等名 ITC-CSCC 2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusun Kang, Takenori Obo, Yuta Ogai, Duk Shin
2. 発表標題 Real-Time Emotion Estimation System Using Face API of Microsoft Azure
3. 学会等名 The 2nd International Symposium for Color Science and Art ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Chao Chen, Xuequan Zhu, Abdelkader Nasreddine Belkacem, Lin Lu, Long Hao, Jia You, Duk Shin
2. 発表標題 Automatic Sleep Spindle Detection and Analysis in Patients with Sleep Disorders
3. 学会等名 International Workshop on Human Brain and Artificial Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zixun He, Rezenko Roman Yurievich, Satoru Shimizu, Masato Fukuda, Yousun Kang, Duk Shin
2. 発表標題 A Design of Anthropomorphic Hand based on Human Finger Anatomy
3. 学会等名 2020 International Symposium on Community-centric Systems (CcS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R Rezenko, R Hase, T Obo, Y Kang, D Shin
2. 発表標題 Mobile Robot with Eye-Gaze Interface
3. 学会等名 The 9th International Conference on Smart Media and Applications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷良夜, 小林康平, 中埜武, 大保武慶, 辛徳
2. 発表標題 四肢麻痺患者のための遠隔コミュニケーションロボットにおけるマルチモーダルインターフェース
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川 聡, 山崎 遥, 若佐 哉太, 姜 有宣
2. 発表標題 深層学習を用いたステレオ画像の3D Relation Networkの構築
3. 学会等名 第22回 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 遥, 若佐 哉太, 辛 徳, 姜 有宣
2. 発表標題 テクスチャフィルタバンクを用いた 静脈認証の性能比較
3. 学会等名 第22回 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京工芸大学ホームページ新聞記事  <a href="https://www.t-kougei.ac.jp/activity/archives/2022/article_85141.html">https://www.t-kougei.ac.jp/activity/archives/2022/article_85141.html</a>          KOGEI PEOPLE  <a href="https://blog.t-kougei.ac.jp/mc/2021/12/01/718/">https://blog.t-kougei.ac.jp/mc/2021/12/01/718/</a>          国際会議 (CcS 2020) にてExcellent paper賞を受賞  <a href="https://blog.t-kougei.ac.jp/mc/2020/11/04/526/">https://blog.t-kougei.ac.jp/mc/2020/11/04/526/</a>          19K11428 : Excellent Paper Award @ CcS2020  <a href="http://wrlab.t-kougei.ac.jp/19k11428%ef%bc%9aexcellent-paper-award-ccs2020/">http://wrlab.t-kougei.ac.jp/19k11428%ef%bc%9aexcellent-paper-award-ccs2020/</a>          19K11428: 人腕の骨格モデルに基づいた多自由度電動義手の開発と臨床応用  <a href="http://wrlab.t-kougei.ac.jp/researches/">http://wrlab.t-kougei.ac.jp/researches/</a>          研究室のホームページ  <a href="http://wrlab.t-kougei.ac.jp/">http://wrlab.t-kougei.ac.jp/</a>          KOUGEI PEOPLE  <a href="https://blog.t-kougei.ac.jp/mc/">https://blog.t-kougei.ac.jp/mc/</a></p>
---

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
研究分担者	姜 有宣  (Kang Yousun)  (10582893)	東京工芸大学・工学部・教授    (32708)	

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