

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 6 日現在

機関番号：52605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350698

研究課題名(和文)人らしい外観を有する人間型ハンドの開発

研究課題名(英文)Development of humanoid hand with the outward appearances like the human being

## 研究代表者

深谷 直樹 (Fukaya, Naoki)

東京都立産業技術高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：80353259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：義手や人間型ロボットの手には人が恐れを感じない自然さの実現が求められる。この自然さとは形状のみならず、動作そのものにも求められることから実現は容易ではない。

よって本研究では、動作を阻害しない人らしい外装を実現するコスメティックグローブを新たに開発すると共に、これを装用可能な協調リンクによるなじみ機構を有する内骨格機構を開発した。この結果、指部で89%、手掌部で64.9%の小型化を実現すると共に高柔軟性を有するコスメティックグローブの装用が実現された。実際に動作試験を実施した結果、人らしい形状、動作の双方を実現し、箸やペンチ等の道具の操作、豆腐の把持などを実現するに至った。

研究成果の概要(英文)：We have developed a humanoid hand for humanoid robot and handicapped people. This hand is called a TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand. This hand has unique structure for a lightweight with self-adjustment functionality by my original design, it called a Harmonic link system. I used this design for an artificial arm. It is necessary to use a glove of the natural appearance to make an artificial arm. However, I have to make the design of the hand a small size to use this glove. So I did the design to make the hand small. The sizes of fingers were small to 89%, the size of palm was small to 64.9%. It was also possible to wear the cosmetic glove made originally.

研究分野：機械要素設計

キーワード：ロボットハンド 動力義手 人間型ハンド ヒューマノイドロボット コスメティックグローブ

## 1. 研究開始当初の背景

動力義手に求められる要望の一つに、動作の多様性と外見の自然さの両立がある。自宅など限定された空間での使用のみならず、外環境で周囲の人々に気づかれないのならば利便性の高い動力義手の利用を要望する潜在的希望者は多い。このような人の外見を再現したものとして Michelangelo prosthetic hand や Vincent Hand といった動力義手が開発されている<sup>(1)-(4)</sup>。だが外装の自然さを実現した一方、実施可能な把握動作は数種類に限られている。

またロボットの世界においても、人の形状を為したハンドに対する要望は高まっている、人に近い形状を実現すれば、多くの人間が行ってきた労働の代替実現が期待できる。また福祉ロボットなど、特に機械に恐怖心を抱く高齢者が中心となる用途においても、比較的容易に環境へ適応できると期待される。

このため既に人に近い形状を為したアンドロイドのようなロボットはいくつか開発、製作されている<sup>(5)-(7)</sup>。だがこれらが行う動作は見た目の自然さを優先したことから単純なものに限定されており、特に手に至っては簡単な握手すら満足にできないのが実情であった。これは人の手の構造が極めて複雑であること、またその複雑な構造を動作させるためのアクチュエータやセンサの制御に高度さが必要であることが要因である。事実、人の皮すら被っていないロボットハンドであつてさえ、1.5 リットルのペットボトルを掴んだり、ハサミなどの道具を操ったり、豆腐のような柔らかい物体を把持したりといった、人間にとってごく当たり前の動作すら実現できていなかった。

以上に示すように、産業界では古くから義手や人型ロボットに利用可能な動作生と、人に極めて近い外装の両立を実現した人型ハンドの開発が望まれてきた。

## 2. 研究の目的

前章の背景を鑑み、当該研究担当者は人に近似した形状を有しつつも多種多様な動作を簡便に実現可能な人間型ロボットや義手に利用可能な TUAT/Karlsruhe humanoid hand と呼称される人型ハンドの開発を行ってきた<sup>(8)-(10)</sup>。このハンドは主たる把持動作を1個のアクチュエータに集約することで簡潔な操作系を実現すると共に、リンク機構によって各指や手掌の動きを対象物に合わせて微細な力調整を自動的に行いつつ動くため、フィードバック制御を用いずに単純な指令で鉄アレイなどの重量物から卵といった軟弱物の把持実現までを可能とする。だがその形状は大柄で外観もアルミフレームが露出するなど極めて機械的であり、義手としての利用を鑑みた際に相応しい形状とは言い難いのが実情であった。

よって本研究では生活環境化に親和性が高い外装を有する人型ハンドの開発を目的とする。この目的達成のために、日常生活における様々な動作を実現可能な内骨格機構を設計開発するとともに、この構造を極めて簡便な指令で動作させ、日常生活の様々な動作を実

現可能な制御システム開発を行った。

## 3. 研究の方法

目的を達成するために、研究は大きく分けて3項目について行った。以下にその項目を示す。

- ・動作を阻害せず人らしさを有する外装（コスメリックグローブ）の開発
- ・外装を装用可能な内骨格形状の設計開発
- ・ボタン操作や筋電位といった簡便な指令で動作可能な制御システムの開発

この3項目の実施内容について以下に示す。

### (1) 動作を阻害せず人らしさを有する外装（コスメリックグローブ）の開発

外装を開発するに当たり、予備実験を行った。人らしい外装として代表的なものに装飾義手がある。この装飾義手に用いられるカバー（以後コスメリックグローブ）を用い、内部にハンドを挿入して動作したところ、カバーが堅く、指一本を屈曲させるのに大きな損失が生じて安定的な動作が困難であることが明らかとなった。これは、装飾義手は通常見た目の自然さを限界まで追求したものであり、動作は要求しないことが要因である。このため見た目の自然さを有しつつ、屈曲剛性が低いコスメリックグローブの開発を行う。

具体的には、本研究のハンドのために諸寸法を採寸した成人男性の手を型取りし、この型から雄型雌型を整形、均一かつ薄肉グローブを整形する。またグローブの材質は従来のもではなく、柔軟性と擦過性に優れたシリコン系の材質に絞って構築する。

### (3) 外装を装用可能な内骨格形状の設計開発

開発したコスメリックグローブに挿入するためには、従来ハンドよりも小型な構造のハンドの構築が必要となる。また単純に挿入するだけではなく、屈曲時につぶれる空間（例えば指を曲げると曲げた部分が折り曲がって潰れているのが分かる）を有するといった十分な余裕が必要になる。だがこの空間的余裕が大きすぎると思わぬところが窪むなどし、動作時に人とは異なった形状となる危険性もある。

このため指及び手掌の構造を見直し、人間同様の内骨格構造を与えることとした。指については図?に示すように構造に対して大幅な小型化を行ったモデルと、形状そのものを人に近い形とし、構造体そのものがリンク構造を為すヒト指近似形状構造の2種類を開発した。

### (4) ボタン操作や筋電位といった簡便な指令で動作可能な制御システムの開発

ロボットハンドにおいては形状のみならず自然な動作もまた重要なポイントである。例えばどんなに自然な形状をしていたとしても、拇指が突然逆向きに曲がったとしたら、周囲の人々は驚き恐怖する。人は人そのものを見慣れているが故に、極僅かな違いに過敏に

反応し不気味さを覚える。いわゆる「不気味の谷」が手にも当てはまることになる。このためハンドの動作もまた自然さが求められることになる。

よって本研究では指や手掌の動作を自然かつ安定的に行うことを目的に、指や手掌に加えて手首関節もなじみ機能を有する構造を新たに開発することで動作の自然さを再現すると共に、動作を極めて簡単な指令(複雑な制御プログラムやセンサ情報に頼ることなく数個のボタンを操作する程度)で動作可能なシステムを構築することとした。これは動力義手では1~3ch程度しか動作指令を取得できないことから操作用の指令をシンプルにせざるを得ないこと、また人型ロボットにおいてもハンドの操作だけで膨大なタスクを必要とするのは処理能力に多大な負担を強いるためである。

#### 4. 研究の成果

前章に述べた3項目に関して開発を行った。以下にその結果を示す。

##### (1) 動作を阻害せず人らしさを有する外装(コスメティックグローブ)の開発

コスメティックグローブ開発に当たり、材質の検討を行った。材質としては大きく分けてウレタン系、シリコン系があるが、柔軟性実現の可能性が高いシリコン系を採用することとした。また見た目の自然さを実現するために、ハンドの基本構造の採寸元である成人男性の手をサンプリングし、これから雄型雌型を作成してコスメティックグローブを作成した。グローブの肉厚は強度と柔軟性を考慮し2mmになるように配慮した。実際に構築されたコスメティックグローブと装飾義手用グローブとを図1に示す。実験機のため、装飾義手用グローブのように塗装はしていないため、色調は単調になっているものの、形状の再現性は極めて高い。また図から分かるように極めて柔軟性に富み、また擦過性に対しても十分な強度を実現するに至っている。



図1 開発したコスメティックグローブ (右がコスメティックグローブ、左は装飾義手)

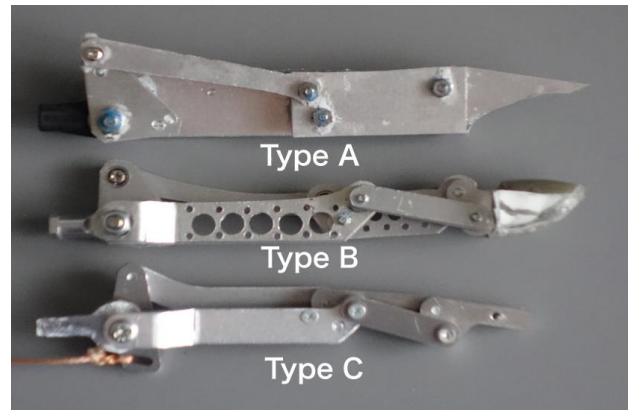


図2 内骨格型構造用指モデルの検討結果

表1 従来型の指 (Type A) の寸法

	拇指	示指	中指	薬指	小指	平均
全高	17.5	15	15	15	15	15.5
全長	106.5	86.5	93.5	89.5	75	90.2

[mm]

表2 内骨格型構造用指モデル (Type B) の寸法

	拇指	示指	中指	薬指	小指	平均
全高	17	13	13	13	13	13.8
全長	104.5	80	87	83	70	84.9

[mm]

##### (2) 外装を装用可能な内骨格形状の設計開発

###### ① 内骨格型構造用

従来型ハンドの指をコスメティックグローブに挿入する際、最も影響が大きいのが指の形状である。このため主として指の機能を維持しつつ縮小化できるように設計を行った。従来型 (Type A) は指を構成するプレートの下部に対象物と接触するためのクッション材であるウレタンゲルを添付して接触していたのに対し、内骨格型は関節以外の、いわゆる指の腹の部分にくぼませて骨格に近い形状とし、ここにウレタンゲルを添付するように設計を変更したモデルを2種類設計開発した (Type B, Type C)。これにより、各指のサイズは従来と比較して大幅に小型縮小化し、Type A と Type B との比較では、高さは 89.0%、MP/CMC 関節から指先までの長さは 94.1%まで小型化した。比較例として Type A と内骨格型モデル Type B, Type C に関する示指の形状差を図2に、従来モデルの各指長さを表1に、内骨格型モデルの形状を表2に示す。

手掌部についても、同様に内骨格構造で構築した。手掌を2自由度ボールジョイントで構築し、人の肉を表現したウレタンゲルシートを添付することで物体に接触した際に安定的に接触できるように構築されている。

###### ② ヒト近似外装構造

指を構築するためには図2のようなリンク構造を内包する必要がある。このリンクに外装を構築すると形状の大型化を招くことから、リンク構造そのもの

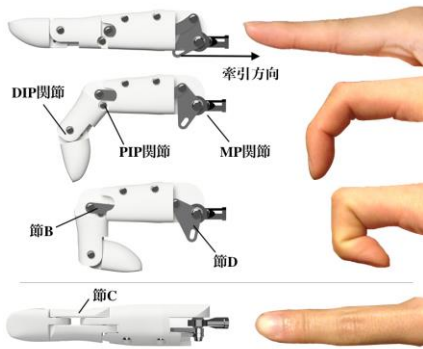


図3 ヒト近似外装構造の指形状 (Type D)

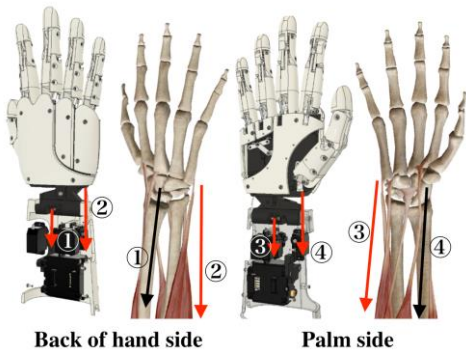


図4 手首関節の2自由度構造概略

のがフレーム及び外装を兼ねる構造 (Type D) を新たに開発した。外装はコスメティックグローブの装用を鑑み、予め人の指形状をなす3次元形状になるように設計した。図3に外観を示す。リンクそのものが指の形状を有することで自然な外観を再現できると共に部品数の大幅な削減が実現できた。この部品点数減は商業化を考慮した際に重要な特性である。

手掌部についても同様に人の形状を有する構造で構築した。外装そのものを一体構造で製作したことで、自然な外観そのものを容易に実現できるようになった。

また形状の自然さを実現するために、従来手掌内に配置していたアクチュエータを前腕部に移動させ、内部を、ワイヤを介して牽引する構造とした。同時に手首については屈曲・伸展、外転・内の2自由度を与えている。この前腕についても自然な形状をなすように構築している。詳細は次に示す。

### (3) ボタン操作や筋電位といった簡便な指令で動作可能な制御システムの開発

指で開発した Type D の基本設計を踏襲し、自然で不気味さを感じない形状、動作を実現するように配慮しつつ手掌及び前腕までを構築した。図4に基本構造を示す。手首は2自由度を有し各関節あたり2個のアクチュエータで牽引する、筋腱駆動に近い構造である。このアクチュエータを同時に緩めることで手首をフリー状態にし、周辺環境へのなじみ動作を再現できる。この構造と手が有するなじみ機能を組み合わせることで、通常かなりの精密さが要求される物体へのハンド

や指の位置決めについてもさほど意識することなく、極めて簡単にアクセスし、物体の把持やドアノブの操作といった目的の動作を実施することが可能である。この結果、操作はコントローラのボタンやレバーを単純に操作するだけで良い。

また同様に勘弁な操作性が求められる動力義手のために、筋電位による操作システムも開発した。ハンドの基本動作は通常1個のアクチュエータを操作すれば良いため、操作系も1chでよい。よって筋電位も1ch取得できればよいことから腕橈骨筋近傍の筋電位を取得可能な回路を構築した。操作についてはハンドの特性を発揮するために、従来の動力義手が行う比例制後、段階制御のみならず最大値保持制御を開発した。これにより、対象物を安定的に把持できるようになった。

### (4) 把持動作試験

外装が自然であったとしても、把持など基本的な動作を十分有するのかについて実証実験を行った。

#### ①内骨格型構造ハンド

図5にコスメティックグローブを実際に装用した結果を示す。掌背部の一部にフレームの突起や中空形状によるくぼみが見えるなどの違いはあるものの、採寸者の手に近似した形状を実現するに至った。人間の目は僅かな形状や動きの違いを的確に見抜くため、上記の違いの解消は今後の継続的課題である。

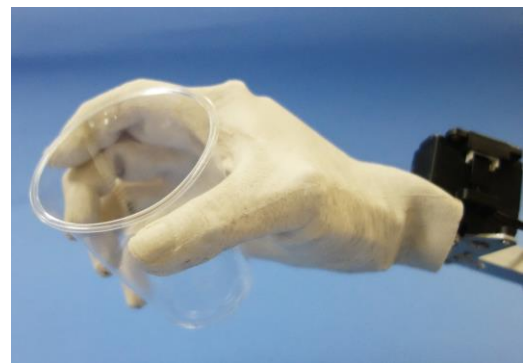


図5 コスメティックグローブを装用した内骨格型構造

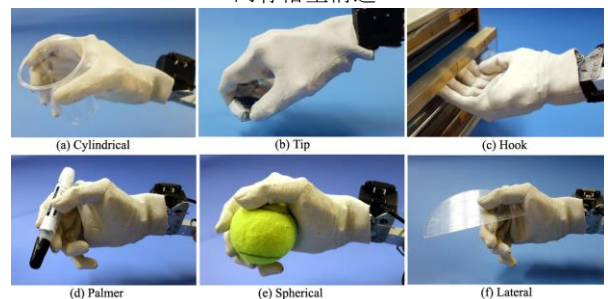


図6 日常的な6種類の把持動作実施例

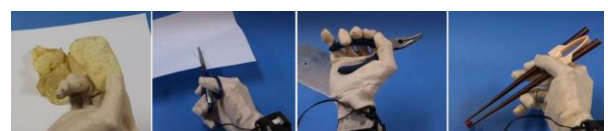


図7 ポテトチップス等軟弱物把持, ハサミ, ペンチ, 箸等道具の把持操作実験結果



次に日常生活における基本的な6種類の動作を行ったところ、筋電位のような単純操作でも図7に示すような把持動作を容易に実現するに至ったことから、目的とする把握動作を実現可能であることがわかった。さらに性能を確認するため、ポテトチップなどの軟弱物把持、ペンチや箸などの道具操作を実施したところ、図8に示すように、これらも安定的に把持できることがわかった。またその把持時の形状は極めて人に近く、着色をしていないことから色味の悪さはあるものの、動作そのものに不気味さは感じられなくなった。



図8 ヒト近似外装構造ハンド

②ヒト近似外装構造ハンド

図8に、ヒト近似外装構造ハンドの全体を示す。カメラのような、人間の手の動作に特化した複雑な形状物も図のように形状に沿って安定的に把持できていることがわかる。次に日常生活における基本的な6種類の動作を行った。コスメティックグローブを装着したモデルと同様に、図9に示すように単純操作でも把持動作を容易に実現するに至った。

また動力義手としての利用を鑑み、障害者において必要とされる両手を使ったADL動作のうち、主として求められるコップで水を汲む、靴下を履くなどの動作を行ったところ、手首関節を生かしてこれらの動作を安定的に実現できた。これらの動作を含む各種動作実験結果を図10に示す。

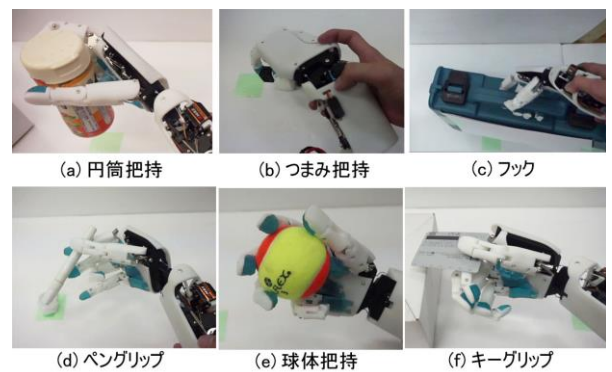


図9 ヒト近似外装構造ハンドによる日常的な6種類の把持動作実験結果

③筋電位を利用した把持動作試験

Type Dの設計手法を元に開発したハンドを筋電位による操作システムにて動作させたところ、ノイズ処理の問題によるジッターは存在するものの、ハンドの操作は安定的に実施できるようになった。性能を評価するため、筋電位操作により豆腐を把持したところ、図??のように容易に豆腐を掴み、持ち上げることができるようになった。



図10 ヒト近似外装構造ハンドによる、日常生活下における両手を使ったADL動作

<引用文献>

(1) Michelangelo prosthetic hand, <http://www.ottobockus.com/>  
 (2) Vincent Hand, <http://handprothese.de/vincent-hand/>  
 (3) iLimb hand, <http://www.touchbionics.com/>  
 (4) Bebionic hand, <http://bebionic.com/>  
 (5) M. Grebenstein, A. Albu-Schaffer, T. Bahls, M. Chalon, O. Eiberger, W. Friedl, R. Gruber, S. Haddadin, U. Hagn, R. Haslinger, H. Hoppner, S. Jorg, M. Nickl, A. Nothhelfer, F. Petit, J. Reill, N. Seitz, T. Wimbock, S. Wolf, T. Wusthoff, and G. Hirzinger, "The DLR hand arm system," in Proc. IEEE Int. Conf.

on Robotic and Automation, (Shanghai, China), pp. 691-698, 2011.  
 (6) R. O. Ambrose, H. Aldridge, R. S. Askew, R. R. Burrige, W. Bluethmann, M. Diftler, C. Lovchik, D. Magruder, and F. Rehnmark, "Robonaut: Nasa's space humanoid," IEEE Intelligent System, Vol.15, pp. 57-63, 2000.  
 (7) Shadow Robot Company, "Design of a dextrous hand for advanced CLAWAR applications," in 6th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Supporting Technologies for Mobile Machines, (Catania,

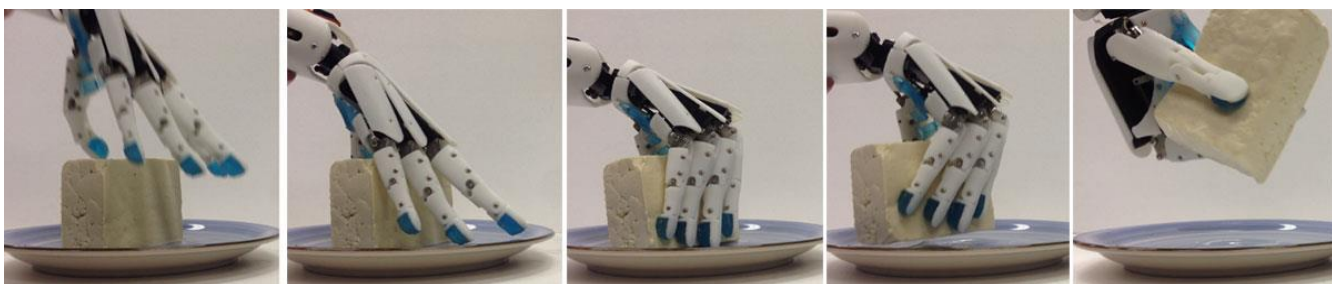


図11 筋電位を入力指令とする、豆腐の把持実験動作結果

Italy), pp. 691-698, 2003.

(8) N. Fukaya, S. Toyama, T. Asfour, R. Dillmann, Development of a Five-Finger Dexterous Hand without Feedback Control: the TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2013), pp. 4533, 2013

(9) 深谷直樹, 和田博, 遠山茂, TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand の把持機能向上, 第 28 回日本ロボット

(10) 学会学術講演会講演予稿集, 102-1, 2010

深谷直樹, 和田博, 遠山茂樹: 手掌皺を有する TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand の開発, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 1P1-2, 2011

## 5. 主な発表論文等

[国際会議論文] (計 2 件)

- ① 1) N. Fukaya, T. Asfour, R. Dillmann and S. Toyama, Development of a Five-Finger Dexterous Hand without Feedback Control: the TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013, (Tokyo, Japan)
- ② Naoki Fukaya, Shigeki Toyama, Development of Humanoid Hand which can Grasp a Fragile Object, The 6th International Conference of Manufacturing Machine Design and Tribology (ICMDT2015), pp. 112 (in DVD), 2015, (Busan, Korea)

[著書] (計 1 件)

- ① 大堀有礼, 深谷直樹, メカ機構の基本要素 リンク機構を利用した設計のポイント (特集 メカの強みを生かす! 使いやすい機械を実現する機構設計の基礎知識), 機械設計 58(6), 20-24, 日刊工業新聞社 2014 年 6 月,

[招待講演] (計 1 件)

- ① 深谷直樹, 馴染み機構を用いた人型ハンドによる生活環境下動作, 第 7 回全国電動義手研究会, 2016

[学会発表] (計 5 件)

- ① 海野晴岳, 深谷直樹, 電動義手における非侵襲簡易把持感覚フィードバック装置の開発, 日本福祉工学会第 15 回学術講演会講演論文集, 2013
- ② 小林将大, 深谷直樹, 移乗支援機能を有する車椅子用ロボットアームの開発 - 手首および肘関節の開発 -, 日本福祉工学会第 15 回学術講演会講演論文集, 2013
- ③ 野田春輝, 深谷直樹, なじみ機構を有する義腕の開発, p. 37, 2014
- ④ 小笠原 佑樹, 深谷直樹, 馴染み機構を用いた動力義手の開発, 日本機械学会関東支部関東学生会第 55 回学生員卒業研究発表講演会, 908, 2016 年 3 月
- ⑤ 深谷直樹, コスメティックグローブを装用可能な 5

指ハンドの開発, 日本機械学会第 16 回 機素潤滑設計部門講演会講演予稿集, B3-5, 2016

[その他]

ホームページ

<http://svm-web01.metro-cit.ac.jp/~fukaya/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

深谷 直樹 (FUKAYA Naoki)

東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科

医療福祉工学コース 准教授

研究者番号: 80353259