

義肢装具製作におけるデジタル技術の活用と 参加型デザインプロジェクトの実践

竹腰 美夏^{1,a)} 馬場 哲晃^{2,b)}

概要：旧来の義肢装具の製作は、一人のユーザに対して一人の義肢装具士が担当する体制が主流であった。そのため、ユーザの身体に関する情報や製作過程は暗黙知となり、他者による再現やデザイン改変、応用開発が困難であった。本研究では義肢装具のデザイン・製作においてデジタル技術を活用し、協働的なプロセスを導入することによって、既成概念にとらわれない義肢装具、QOL 向上を促進させる多様な身体へのデザイン可能性を検討した。3D スキャナ、3D-CAD 等を用いてデータ共有・作業分担を行い、3D プリンタで試作可能な環境のもとで、ユーザや開発者、義肢装具士が参加するデザインプロジェクトを実践的に行った。本稿では実施内容をまとめて報告し、最後に一般的な義肢装具と成果物の要素を比較して考察する。

キーワード：義手、QOL、上肢障害、身体所有感、デジタルファブリケーション

MINATSU TAKEKOSHI^{1,a)} TETSUAKI BABA^{2,b)}

1. はじめに

義足の陸上競技選手、オスカー・ピストリウスは、2012 年ロンドンオリンピックに両足義足ランナーとして初出場を果たした。また、ロンドンパラリンピックでは金メダルを獲得した（図 1）。その洗練された走りは、多くの人の「障害」に対する意識を少し変えるものとなった。2015 年、走り幅跳びの選手であるマルクス・レームは、カタールで開催した障害者国際陸上大会で 8 メートル 40 センチの世界記録を出し優勝した。この記録は、パラリンピックのみならずオリンピックにも出場できるほどの高記録である。

旧来の義肢装具は、身体の欠損部を「補綴」するものであり、健常者に近い生活を送れることを目的とするものだった。一方で、陸上競技用義足は、人間の脚の形状とは全く違うものであるが、カーボンファイバーのスプリングによって高い推進力を持ち、走ることににおいて健常者よりも高い能力を発揮できる可能性を持っている。

このように、近年の身体障害者に向けたプロダクトは



図 1 「陸上男子 400 メートル（切断など）で金メダルを獲得したピストリウス」2012 年 9 月 9 日朝日新聞デジタル [1] より

ADL (Activities of daily living) *1 だけではなく、一人一人の人生の内容の質や社会的にみた生活の質を概念とした QOL (Quality of life) を向上させることが重要な価値となっている。当然のことながら、ランナーではない障害者が陸上競技用義足を使うことはないが、多様な生活スタイルに合わせて使用する「補綴」ではないアプローチの義肢装具が徐々に報告されている。

例えば、ベンチャー企業の exiii は、2015 年にファッショ

¹ 首都大学東京大学院

² 首都大学東京

^{a)} takekoshi-minatsu@ed.tmu.ac.jp

^{b)} baba@tmu.ac.jp

*1 日常生活動作。食事・更衣・移動・排泄・整容・入浴など生活を営む上で不可欠な基本的行動を指す。

ン性に価値を置いた 3D プリント電動義手 HACKberry を開発した [2]. 旧来の人肌に似せた義手のイメージとは異なり, ロボットのような見た目のスタイリッシュな義手である. HACKberry のソースコード, 回路図, 筐体の 3D データ, 組み立て方はインターネット上に公開されているため, データをダウンロードし市販の部品を揃えれば, 低価格に製作することが可能である. デジタル技術を活用することによって, 世界各地の開発者が参与しユーザー一人一人の個性に合わせて機能やデザインの改変することも可能になり, 多様な義手が創造され続けている.

他方, 我が国に流通している大半の義肢装具は, 製作の専門家である義肢装具士が国家資格となった 1987 年 [3] からほとんど仕様が変わっていない. 製作工程は, 義肢装具士の経験と技量に基づいてほぼ手作業で行っている. そのような職人的な業界では, 多忙な上に他業種の人とのコラボレーションが困難なため, QOL に価値を置く新しい製品開発があまり成されてこなかった.

そこで本研究では, 義肢装具製作においてデジタル技術を活用し, ユーザや他業種の人参加することを可能にする協働的なプロセスを導入することによって, QOL 向上を促進する多様な義肢装具の開発可能性を検討する. 本稿では, 実践的に行った参加型デザインプロジェクトについて報告し, 後に一般的な義肢装具と成果物の要素を比較する. 障害を持つ人それぞれの能力・個性・生活に特化した<身体>のデザインについて考察する.

2. 調査と定義

2.1 参加型デザイン

参加型デザインは, 元々ソフトウェア開発の際に活用されてきた. 問題抽出とプロトタイピングをチームで協働的に繰り返すことによって, 仕様の完成度を高める設計手法である. 複雑な仕様を持つソフトウェアでは設計段階で仕様評価することが困難なため, ユーザに協力を得てテストと実装を並行して進め, 最適なものを構築していく [4]. 近年では同様に, 複雑な仕様が必要とされる福祉機器開発においても, 参加型デザインの応用が報告されている [5].

Kim Halskov ら [6] は, 参加型デザインは 5 つの目的に分類されるとした.

- 参加者が自身の労働環境の改善などに影響力を与える
- 参加者が自身の生活の専門家として知見提供をする
- 参加者を取り巻く製品・サービスの利用に関する文脈を明らかにする
- 参加者が製品・サービスの設計に影響力を与える方法を検討する
- 参加者の QOL 改善等をもたらす製品・サービスを開発する

本研究で実施する参加型デザインは, 特に 2 つ目と 4 つ目に該当する. ユーザの生活や価値観, 身体知見を顕在化し

て参加者同士で共有すること, 参加者がデジタル技術を用いて情報共有やプロトタイピングを円滑にすることによって議論を活発にし, 既成概念にとらわれない義肢装具の開発を促進することを目的とする. 5 つ目については, 「QOL 改善等をもたらす」目的に関しては一致するが, 本プロジェクトは研究として実験的に行う段階であるため, 製品・サービス開発は今後の展望として考察したい.

2.2 製作と共有のデジタル化

参加型デザインにおいてデジタル技術による情報化の意義とは, 参加者同士で共有できる情報量を増やし, 参加者のプロジェクトへの「関わりしろ」を増やすことが可能になる点にある [7]. 特に, ハードウェアを含む開発においては, 物質と情報間の行き来を可能にするデジタルファブリケーション技術が, 参加型デザインの可能性を拡張させるものとなる.

Rhizomatiks Architecture, WIRED.jp, 経済産業省が実施するプロジェクト, 3D CITY EXPERIENCE LAB.[8] では, 実在する都市を 3D スキャンしたデータを「デジタルインフラ」としてウェブ上に共有していくことによって, 協働的に都市の未来をデザインしていくためのプラットフォームを構築している. それによって, 様々なバックグラウンドをもつ有識者や住民の「関わりしろ」が増え, 実世界での生活の質を向上する新たな都市コンテンツやサービス開発が期待されている.

身体と密接に関わる一種のハードウェアである義肢装具においても, デジタルファブリケーション技術は, 参加型デザインの導入にあたって有用であると考察する.

2.3 臨床とデジタルファブリケーション技術

義肢装具士免許を持つ者は, 医師の指示の下に義肢や装具の装着部位の採型および採寸, 製作, 身体へのフィッティング作業が義肢装具士法 [9] で許可される. 平たく記述すると, 医師の指示のもと, 病院の中で患者の患部を触って採型・採寸することが許可される. 一方で, 採型・採寸の工程を 3D スキャナに置き換えられるとすれば, 「患者の身体を触って採型・採寸」せずとも出来る可能性がある. 3D データがあれば他者への義肢装具設計の依頼が円滑になる. またユーザの意見を加えて仕様変更することも複製することも容易になる. 更に分業して 3D プリンタによる製造を他者に依頼することも可能になる.

3D プリント物の品質に関してはまだ議論が必要ではあるが, 将来的にデジタルファブリケーション技術の活用が業界で本格的に認められれば, 多様な立場の人の「関わりしろ」が増え, 本プロジェクトのようなものづくりが社会実践されることも期待できる.

2.4 義肢装具から取り組む<身体>デザイン

本研究でデザインする義肢装具のユーザは、「患者」ではなく「障害を抱えて生活する人」である。つまり、本研究で示す義肢装具とは、療養やリハビリを目的とせず、QOL 向上を促進させるためにユーザの個性に合わせて使用するものである。例えば、ファッション性を向上させる身体パーツや、食事中的コミュニケーションを支援するツールなどである。一人一人の能力・個性・生活に特化したデザインの義肢装具を身につけることによって、障害の「補綴」を超え自分らしく生きるための<身体>を獲得するアプローチになることを望む。

3. プロジェクトの実践

参加型デザインプロジェクトを研究的に実施するにあたり、本報告では製品・サービス化をまずは目的とせず、草の根的にユーザの QOL 向上を目指したプロダクトの開発をし、実用に向けた可能性を検討していく。このことに共感してもらい、上肢障害に関する情報交換コミュニティの特定非営利活動法人 Mission ARM Japan[10] に協力を得た。ユーザとして上肢障害をもつ会員 1 名、監査役として義肢装具士免許を持つ会員 1 名にプロジェクトに参加してもらった。開発者側は、ファシリテータ兼プロダクトデザインを担当する筆者と、デジタルファブリケーション技術を使った義肢装具の研究開発をしているベンチャー企業のエンジニア 1 名がメンバーとして参加した。プロトタイプングツールとして、3D-CAD ソフトは Autodesk の Fusion360、3D スキャナは 3D Systems の Sense, FDM 方式 3D プリンタは PP3DP の UP BOX を用意した。

成果物の考察や展示活動を除き、本デザインプロジェクトには 2017 年 1 月下旬から 3 月中旬の期間で計 4 名で実践した。

3.1 前腕欠損（先天性）用の義手を再考する

上肢障害を持つユーザとして参加する T 氏は 30 代男性であり、先天的に左前腕が欠損している。T 氏は幼少期から義手を所持せず育ち、18 歳で普通運転免許の取得の機に装飾義手を購入した。現在は外出時のみ電動義手 [11] を装着している。場合によって義手を外して作業することもある。T 氏は、自身の欠損に対してポジティブな意識を持っており、「補綴」ではない新しい義手の開発に大変感心を示していた。まず、筆者は T 氏本人に生活と義手の関係についてヒアリングを行った。T 氏の日常的な活動 9 項目における断端部（左腕先）と義手の使用頻度についてまとめたものを表 3.2 に示す。

3.2 ユーザの生活・身体知見を顕在化する

表 3.2 より、「食事」「ドライブ」「事務作業」「撮影」では、断端部と義手の使用頻度が同様の組み合わせとなった。

表 1 T 氏の日常活動時における左腕断端部と義手の使用頻度
（◎：必ず使う，○：使うこともある，×：使わない）

【活動項目】	断端部	装飾義手	電動義手
食事	○	×	○
ドライブ	○	×	○
サイクリング	×	○	×
事務作業	○	×	○
荷物運び (箱)	◎	×	×
PC タイピング	○	×	×
料理	◎	×	×
電子工作	◎	×	○
撮影 (一眼レフ)	○	×	○

これらの活動は、物を持つ・握る動作は右手で行い、補助的に物を押さえつける動作を「断端部」または「電動義手」で行っていることが共通していた。「装飾義手」は外観を人間の手に似せることを目的としたもので、指や手首など関節を曲げて操作することはできない。「サイクリング」に関しては、左腕がハンドルに届きにくいいため、空間補完として「装飾義手」を「使用することもある」とのことだった。「PC タイピング」に関しては、右手指をメインに使うとのことだった。

「荷物運び」「料理」「電子工作」では、「断端部」を「必ず使う」ことが明らかになった。これら 3 つの活動項目は、両手の力加減を微細に制御する必要のある作業であり、もし義手の操作エラーを起こすと怪我をするリスクや、やり直しに手間がかかるリスクが高いことが共通点として挙げられる。義手を使用しない理由として T 氏は下記のことも述べていた。

「生身の腕（断端部）のほうが動作の微調整がしやすく、信用できると思う。義手をつけると断端部と義手の指先までの距離が長くなり、動きにあそびが起きてしまうので。」

「電子工作」のみ唯一「電動義手」も「使うことがある」という結果に関しては、例えば半田付け作業をする際に、両手で摘む動作が不可欠であるため、能動的な操作が可能な「電動義手」も適宜使用するという背景がある。一方で T 氏から、次のような意見も得られた。

「電子工作など細かい作業のときは、義手をつけない方が力の加減がしやすい。でも指がないから小さな部品を押さえることになる。面でなく点で押さえるには義手をつければ良いけども、そうすると腕が長くなり安定しなくなる。だから、腕の部分が短い義手があれば使いやすくないかな。自分の左腕（断端部）の先にシンプルな指のような自助具がついてるイメージ（図 2）。」



図 2 短い義手のアイデアを元に描いたコンセプトスケッチ

T 氏の腕の長さと操作性についての洞察は、本プロジェクトにおいて重要な知見となった。なお、T 氏のヒアリングにおいて筆者が留意した事項を下記にまとめる。

- (1) T 氏にとって義手は「道具」に近い存在であるという価値観を理解し、「機能」や「操作感」にフォーカスして話題を深めた。
- (2) 「こういう時どう行動するんですか？」など、活動項目ベースに義手の種類や使用頻度について確認した。

3.3 客観的観察に基づく触媒としてのプロトタイピング

前セクションの「短い義手」のアイデアをベースに具体的な用途や仕様を決めるためのプロトタイピングについて述べていく。下記の対話は 2017 年 2 月 1 日のディスカッションの一部を元にしたものである。

筆者 短い義手のアイデア、目から鱗です。

具体的にどのような状況で使ってみたいですか？

T 氏 そうですね... 理論上は便利そうと思っていたけど、実際どんなときに欲しかったのか忘れてしまったなあ。

筆者 確かに普段、手を意識しながら使うことはないかもしれませんが、では例えば電子工作のときに、何の道具が扱いにくくて困る等、あれば教えてください。

T 氏 義手を使わない代わりに、道具や部品の持ち方を工夫して作業していますね。例えば、膝と断端部で挟んで物を持ったり。スムーズにいかず困ることがあっても、ほぼ無意識に工夫しているのかもしれないです。中々思い出すのは難しい。

身体特性に基づくアイデアがあるにもかかわらず、具体的に困難を感じる行動までは聞き出せなかった。その要因としては、T 氏は幼少期に義手を着けずに育った背景から断端部を使い生活することに習熟しており、片手特有の技を身体が無意識に行っているため、言語化して経験を説明するのは困難であったと考えられる。



図 3 細かい部品のネジ止めの様子



図 4 部品固定方法の工夫

そこで後日、筆者は T 氏が実際に電子工作をしている現場の近くで、観察を行った。中でも特徴的だったのは、**図 3 図 4** の T 氏がネジ止めをしている場面である。

図 3 は、右手でドライバを持ち、左腕の断端部で直径約 20mm のギアパーツを机に押し付けて固定し、ネジ止めしようとしている。寸法約 40mm のパーツのネジ止めよりも作業時間が約 1.3 倍程かかっていた。セクション 3.2 の T 氏の意見のように、極端に小さいパーツを扱う作業では「面でなく点で押さえる」ことは比較的困難であることを観察によって確認した。

図 4 では、アセンブリ作業において基板を固定するために、ドライバを 1 本追加して治具として活用している様子がみられた。筐体全体を持ちながら基板をポジショニングし、ネジ止めすることは、手で「握る」行為ができないと困難と思える。それに対し、T 氏は額と腿で固定するユニークな技で工夫をしていた。

観察全体を通し、健康者よりも作業に時間はかかるものの、作業そのものを楽しんでいる様子が伺えた。筆者は、複雑な工夫は不要であるが単純に時間がかかってしまう図 3 の状況で使用する作業用義手の試作を決定した。

3D-CAD を用いて迅速かつ簡易的に設計を行った。ソケット（断端に装着する部分）は、別日程で T 氏を 3D スキャンし 3D データを参照して CAD で設計した。スキャン作業、設計については、本プロジェクトの義肢装具士の

意見を交えて進めた。



図 5 観察に基づいて仮設計したプロトタイプ。
小さなパーツのネジ止め作業に用いる

図 5 は、設計データを 3D プリントした簡易的なプロトタイプである。市販のクリップを組み込んで使用する。素材は Polymaker の PolyMax PLA ホワイトを使用し、出力時間は UP BOX で約 4 時間半、重量は 210g であった。試作作業は、義肢装具士との相談も含め、わずか 3 日程で終了した。設計仕様を下記にまとめる。

- (1) ソケット：腕部分を短くした
- (2) 半球状のシャーレ：小さなパーツを中央に乗せる
- (3) クリップ：パーツが回らないよう挟んで固定する

3.4 視覚化・実体化が促進させるディスカッション

約 1 週間後、筆者と T 氏で、図 5 の仮設計したプロトタイプや PC で 3D データを参照しながらディスカッションをした。下記の対話は 2017 年 2 月 22 日のディスカッションの一部を元にしたものである。

筆者 先日の電子工作の様子を参考に、短い義手を試作してみました。（プロトタイプを差し出す）

T 氏 おおっ凄い、いつの間に、これはなんですか？

筆者 ドライバでネジ止めをする際に使う義手です。小さなパーツだと押さえにくそうに見えたので、断端部に「摘む」機能を追加してみました。

T 氏 （腕につけて使ってみる）うーん... ちょっとこれは要らないですね。義手なしの方が効率良く出来ると思います。電子工作ってネジ止め作業だけではないですね。

筆者 うーん、なるほど... 確かにそうですね。

T 氏 （腕先についているシャーレを眺めて）でもなんだか左手に醤油皿を持ってるみたいで面白い（笑）あ、思い出した。そういえば立食パーティに行くと、いつも皿を持って食事をする事が出来ないんです。料理を取り分ける時もそうですね。一度皿をテーブ

ルに置いてから、右手で盛り付けています。

筆者 おおっ、そう言われてみれば、断端部で皿を持つのは難しそうですね。何か工夫していることはありますか？

T 氏 一緒に来た知人に皿を持ってもらうか、部屋の端にテーブル席をつくってもらってそこで食べるかですかね。最近は電動義手をつけて参加するけど、料理皿を長時間持つにはあまり向いていないと思います。

T 氏と筆者は、断端部で皿を持つための短い義手の開発を進めることを決定した。結果として、ディスカッションに用いたプロトタイプの仕様 (2)(3) の検討不要になったが、T 氏の記憶を引き出し欲求や問題抽出をするためのトリガとなった。デジタル技術によって素早く仮設計し、視覚化・実体化することによって、参加者間で多くの情報共有や発展的なディスカッションが可能となった。一般的に製造業では製品の試作・試用段階において、仕様を大きく変更するのは困難であるが、本プロジェクトではラピッド・プロトタイピングの効果で、参加者のモチベーションを下げずに、気兼ねなく方向転換できた。

3.5 デジタル技術による知識共有と分業

前セクションのディスカッションを元に、断端部で皿を持つための短い義手（図 6）の開発を行った。素材は前回のプロトタイプと同様のものであり、出力時間は約 5 時間、重量は 250g である。設計仕様を下記にまとめる。

- (a) ソケット：腕部分を短くした
滑り止めとして内部にシリコーンを塗装
- (b) 皿置き：大皿も置けるよう縁の傾斜が緩い
滑り止めとして表面にシリコーンを塗装した
- (c) 自立スタンド：皿を持たないときに義手ごと置ける



図 6 断端部で皿を持つための短い義手。立食パーティ等に用いる

仕様 (a) は、T 氏とのフィッティングテストと、義肢装具士と前回の仮設計 3D データをインターネットを介して修

正箇所や取り直すことで、共同で修正を行った。ソケット内部に塗装をすることから、一般的な義手よりも浅い構造のソケットのデザインが可能になり、着脱が楽になる効果もあった。また、T氏や義肢装具士は、設計したソケットの3Dデータを活用し、他の義手も製作してみたいという声もあった。

仕様(a)(b)の塗装に関しては、滑り止め効果の他に、外観、洗いやさを考慮し、メンバのエンジニアと相談した。3Dプリント品独特の積層痕やPLA素材にも相性の良い塗装材を選択した。遠隔での話し合いの際には、形状の説明として3Dデータが役立った。また、今回は機能をもたらず形状のみの仕様を工夫したが、今後は肌当たりの良さや強度も考慮し、材料を部分的に変え、内部構造の設計をしたらどうか、皿の水平を保つ機構を追加したらどうか、という新しいアイデアも得られた。プロダクトデザインを学んでいた筆者が主体になると、このような成果物となったが、参加者の組み合わせ次第で新しい義手のデザイン可能性がさらに広がることが示唆できる。

4. <身体>デザインに関する考察

本プロジェクトでの成果物は、旧来の義肢装具のような欠損部の「補綴」でもなく、ロボットハンドのようなファッション性もない。ユーザ自身の身体への認識であったり、価値観・個性が顕著に現れるものである。

ユーザ本人が実際に「立食パーティ」で使用してみた感想、展示・シンポジウム発表を通して来場者から「短い義手」のアイデアについて得た意見とともに、身体心理学の観点からの考察を行う。

4.1 ユーザからの感想

- 皿を挟んで持つのではなく、皿を載せることに特化した形状のため、フォーク等で上から力をかけても安定する。
- 義手の腕部が短いおかげで、口もとに皿を寄せやすかった。一般的な義手だと手首の冗長自由度の関係で届かなかった。
- テーブルに依存せず好きな場所で食べられるため、パーティ参加者との会話を楽しめた。

4.2 短い義手のアイデアについて

- 同じ症状の息子がいるのだが、給食をよくこぼすので是非使わせてみたい。
- 健常者ですら立食パーティの時は、皿やワイングラスなど手が忙しいので、3本目の手のように使えたら便利そう。
- 手を模さない義手という発想が価値観を揺すぶられた。

4.3 <身体>への気づき

先天性欠損の人にとって、自分らしい手とは何なのかを考察した。例えばT氏に<左手>は何処にあるか、と問えば断端部にあると答える。多くの人が想像する左手は存在しないのだが、それは指の無い断端であっても本人にとっては<左手>なのである。T氏によると、義手は自分の身体の一部というよりは、状況によって使い分ける道具のような存在であると言う。事故、病気など中途障害で欠損を持つ人とは異なる価値観が発見できた。

本プロジェクトでの成果物は、特定の機能を追求するものとなった。一方で、実際に使用している場面を観察すると、複雑な工夫が不要になるために食事や会話に集中できる効果や、パーティ参加者同士で義手についての話題に盛り上がりポジティブなコミュニケーションが生まれる効果もあった。仮に道具のデザインをしたとしても、ユーザの振る舞いや自分らしさをつくる身体デザインに影響すると考察した。

5. おわりに

本研究では、義肢装具製作においてデジタル技術を活用した参加型デザインプロジェクトを実践した。旧来の製作手法では成されてこなかった義肢装具の情報化に取り組むことによって、プロジェクト参加者同士のコミュニケーションやプロトタイピングが円滑になり協働的なものづくりが可能になったことを確認した。

QOL向上を促進する義肢装具をデザインするためには、ユーザの生活や身体知見、潜在的な欲求を引き出す必要がある。一方で、人間の個性と同様に障害も多様であり、ユーザが求めるQOLを画一的に定できないのは自明である。この課題に対しては本プロジェクトでは、ユーザの日常行為を丁寧にヒアリングし、ユーザの発言のみで情報が不足する場合は、客観的に行動観察を行い考察した。ディスカッションにあたり、言語として簡潔に整理が難しい内容は、簡易的なプロトタイプを製作し、視覚化・実体化することによって意見交換が促進されることを確認した。

ディスカッションに用いたプロトタイプは最終成果物の機能や仕様の試作には直接関与しないこともあるが、ユーザの記憶を呼び起こしたり、インスピレーションを与えることに効果があった。本プロジェクトでは、デジタル技術活用の恩恵でラピッド・プロトタイピングが可能になり、開発者サイドのモチベーションを保ちながら、ユーザの欲求に忠実なデザインに舵取りが行えた。

開発の段階では、作業分担にデジタルデータが役立ち、効率的にプロジェクトを進めることができた。具体的には、気兼ねなく義肢装具士やエンジニア、デザイナーが遠隔でも意見交換が行えた。また、興味深い知見として、義肢装具において専門外である人材もデザインに参加すると既存の固定観念にとらわれない新しい発想が次と生まれた。

本研究では、実践した参加型デザインプロジェクトのプロセスを主に報告したが、今後はプロセスの有用性、他者への適合性、義肢装具と身体の関係性についても突き詰めていきたい。本研究が障害を持つ人、そして個性を持つ人間一人一人が、ものづくりを通して自分らしく生きるための<身体>を獲得するための足がかりとなることを期待する。

謝辞 本研究に多大なるご協力をいただいた、特定非営利活動法人 Mission ARM Japan の皆様、有益なご助言をくださった JST COI プロジェクト「ファブ地球社会創造拠点」研究メンバの方々、JST ACCEL「身体性メディアプロジェクト」の HAPTIC DESIGN プロジェクトメンバの方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 朝日新聞デジタル: ピストリウス、400 は圧勝 尾を引く「義足論争」、入手先 <http://www.asahi.com/olympics/news/TKY201209090227.html> (2012.9.9).
- [2] 近藤玄大: オープンソースを活かした電動義手の開発と普及, 第 16 回日本生活支援工学会大会, 日本機械学会 福祉工学シンポジウム 2016.
- [3] 厚生労働省: 義肢装具士国家試験の施行, 入手先 <http://www.mhlw.go.jp> (2017.11.13).
- [4] Joan G., Morten K.: *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*, CRC Press (1991).
- [5] 硯川潤: 福祉機器の参加型デザイン - 人と機器の適合を実現する-, 情報処理 Vol.56 No.7 June 2015.
- [6] Kim H., Nicolai B. H.: *The diversity of participatory design research practice*, Int. J. Human - Computer Studies (2015).
- [7] 水野大二郎, 渡辺智暁: デジタルファブリケーション設計しきら(れ)ない設計, 一橋ビジネスレビュー 2016 AUT.
- [8] Rhizomatiks, WIRED, 経済産業省: 3D City Experience Lab. 入手先 <https://3dcel.com/>, (2017.11.13).
- [9] 総務省: 義肢装具士法(平成二十六年法律第六十九号), 入手先 <http://elaws.e-gov.go.jp> (2017.11.12).
- [10] 特定非営利活動法人 Mission ARM Japan: 公式ホームページ入手先 <http://www.mission-arm.jp>, (2017.11.13).
- [11] 吉川 雅博, 田口 裕也, 阪本 真, 山中 俊治, 松本 吉央, 小笠原 司, 河島 則天: 機能性とデザイン性を考慮した軽量・低コストの対向 3 指義手, 日本ロボット学会誌, Vol. 32 (2014) No. 5 p. 456-463
- [12] 稲見昌彦: スーパーヒューマン誕生! 人間は SF を超える, NHK 出版 (2016).