

ロボット技術を用いた医工連携における 適応型福祉機器の開発

— デジタルファブリケーションを用いた スケルトン型電動義手の開発 —

入江 満*, 中村 秀正*, 大槻 伸吾**, 花之内健仁***,
杉山 幸三***, 本田雄一郎****, 陳 隆明****

Development of Adaptive Welfare Equipment in Medicine-engineering
Collaboration with Robot Technology
—Study of a Skeleton Type Myoelectric Prosthetic Hand by Using Digital
Fabrication—

IRIE Mitsuru*, NAKAMURA Hidemasa*, OTSUKI Shingo**,
HANANOUCHI Kenji***, SUGIYAMA Kouzo***, HONDA Yuichiro****
and CHIN Takaaki****

Abstract

We discuss the development method of a simple myoelectric prosthetic hand by using the two type digital fabrication machines, which are a three dimensional printer and a laser cutting machine. The performance of both machines to developing the prosthetic hand is compared in terms of the difficulty of manufacturing and assembly, experimentally. Results demonstrated these digital fabrication capabilities of the prosthetic hand.

平成27年6月16日 原稿受理

*工学部 電子情報通信工学科

**人間環境学部 スポーツ健康学科

***工学部 機械工学科

****兵庫県立総合リハビリテーション中央病院 ロボットリハビリテーションセンター

Key Words: medicine-engineering collaboration, welfare equipment, Robot prosthetic hand

キーワード：医工連携，福祉機器，ロボット技術，電動義手

1. はじめに

日本は超高齢社会を迎え、医療・介護機器といった生活支援・ヘルスケア産業へのニーズの多様化が進んでおり、医療・介護の臨床と工学の「医工連携」を推進し、医療機関とものづくり技術との連携がますます重要になっている。

我々は、本学の電子情報通信工学，機械工学，整形医学及びスポーツ医学の知見を共有した医工連携にて、実学に応用可能なシステムを構築することを最終目的とし、クオリティライフ（QoL:Quality of Life,「人間が生活している間に送る生活の質」）の向上を目指して情報通信ネットワークやロボット技術を医療・介護の分野に適用し、新たな福祉機器を実現することを検討している。

このため、「兵庫県立総合リハビリテーションセンター中央病院・ロボットリハビリテーションセンター」（以後，“兵庫リハ”と称す）の経験豊富な医師やセラピストの臨床情報にもとづき、実学に応用可能なシステム開発を目的とした共同研究を実施した。

本研究では、ロボット技術等の自動化技術を用いたリハビリテーション訓練を施すことにより、医師やセラピストが有する臨床経験，技術知識の差を軽減し，障害当事者が社会復帰を果たすために必要な基盤技術及び障害当事者に適応した福祉機器を開発することを目的とする。

ここでは、ロボット技術を適用した医工連携課題の中において連携研究機関にて最もニーズの高い課題であった「簡易型電動義手」の研究開発に取り組んだ結果について報告する。

2. 医工連携課題の検討とロボット技術を適用した研究課題の選定

介護や福祉に重点をおいた医工連携では、図1に示すような利用者のニーズを踏まえ、臨床的な視点（利用可能性）とICT（情報通信技術：Information and Communication Technology）にもとづく視点との連携研究体制が必要となる。連携研究機関である兵庫リハでは、様々な医療・福祉・介護に関する研究に取り組みされており、ICTを活用した最新の主な研究課題は下記の通りである¹⁾。

- 1) ICT機器を活用した知的障害児，発達障害児のコミュニケーション支援に関する研究
- 2) 無線式身体動作計測評価システムに関する研究
- 3) 高齢者・障害者の個別のニーズに対応した福祉用具等の開発
- 4) 筋電義手在宅練習支援システムの開発研究
- 5) ロボットリハビリテーションの評価手法の開発

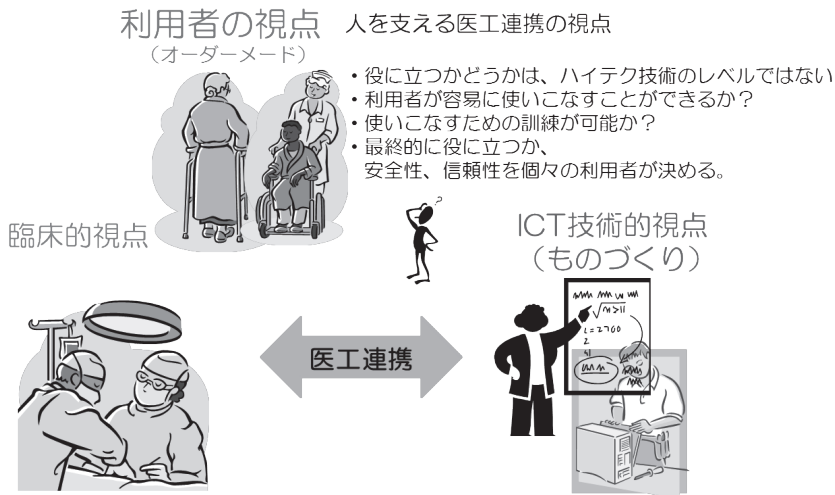


図1 臨床的視点とICT技術視点との医工連携研究

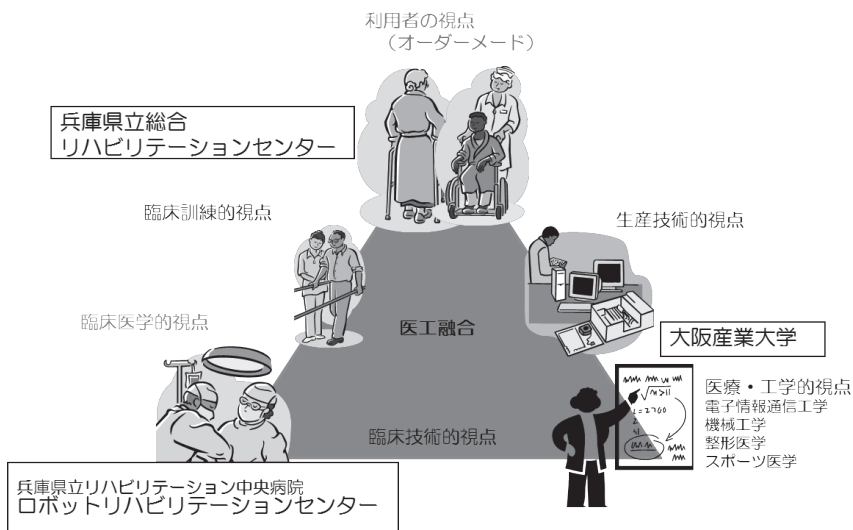


図2 大阪産業大学と兵庫県立総合リハビリテーションセンター中央病院・ロボットリハビリテーションセンターとの医工連携研究体制

6) 介護予防及び過疎地域におけるパーソナルモビリティに関する研究

これらの課題に関して、本学の電子情報通信工学，機械工学，整形医学及びスポーツ医学の知見を活用することで多くの課題において医工連携の可能性があり，図2に示すような連携研究体制を構築した。

連携研究機関での介護機器としてのニーズ，本学のデジタルものづくり技術のシーズを勘案して研究課題を検討した結果，開発機器を「簡易型電動義手」とし，本学のデジタルものづくり技術を活用したオーダーメイドが可能となる小型・軽量の電動義手の開発を連携研究テーマとして選定した。

3. デジタルファブリケーションを用いた簡易型電動義手の開発²⁾

3.1 電動義手の現状と課題

国内に約10万人と推定されている上肢切断者のうち，義手を利用している対象者の87%が装飾義手を利用しており，川村他（1999年：427人の対象者）の調査によれば，このうちわずか1%が電動義手の利用者である。多くの義手利用者は電動義手の利用を望んでいるが，現状の市販されている電動義手の問題点は，欧米型の高握力を有する電動義手のコンセプトで設計されており，重量が重く，操作が困難，さらに高価格（市販品150万円以上）であるという問題があり，様々な検討が行われている。³⁻⁶⁾

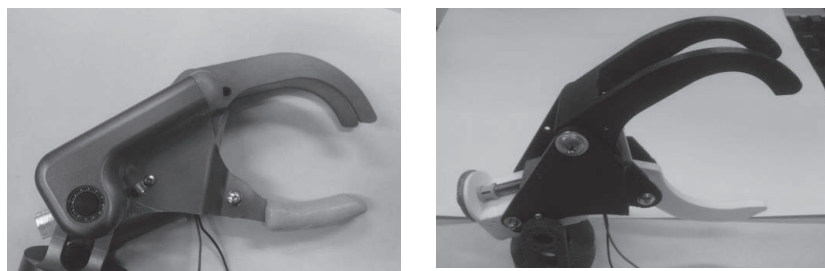
一方，国内における片側切断者の電動義手の利用者の実態から考えると，片側切断者には残された健常手に把持機能を有しているため，電動義手には健常手ほどの把持力はほとんど必要とされておらず，両手協調動作の補助として利用できる利便性を確保することに重要性があることが指摘されている。

片側前腕切断者がより便利に利用できる電動義手の実用化を考えた場合，市販されている欧米型の高握力を有する電動義手のコンセプトとは異なり，子供から大人までの健常手の補助としての利用に主眼を置いたオーダーメイドの小型電動義手の開発が必要であることが明らかとなった。

3.2 電動義手の開発目標と試作による製造方法の検討

デジタルファブリケーション技術として3次元プリンタ（以降3Dプリンタと称す）を用いて義手試作の検討を行った。製造方法の検討を行うため国立研究開発法人・産業技術総合研究所で開発された電動義手を基に，部品のデジタル図面を作成，3Dプリンタでそれを複製することで電動義手を復元した。図3にデジタル復元した電動義手を示した。この電動義手はABS樹脂を素材とし3本の指（親指・人差し指・中指の役割）で構成されており，モータ駆動により3本の指が開閉する基本動作を確認している。この試作により，3Dプリンタを用いた電動義手製造方法の基本的な確認を行った。

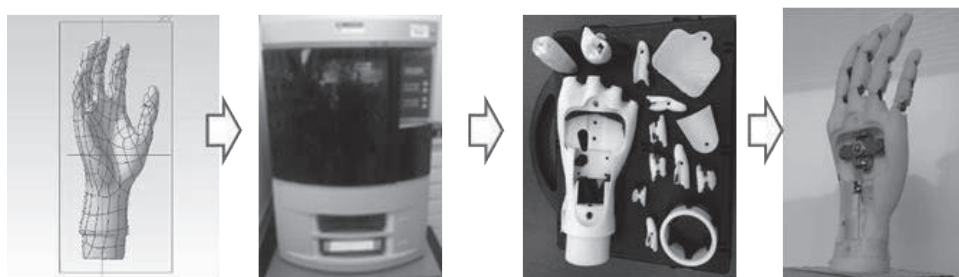
次に，利用者の利便性を改善するために，下記の5点に主眼を置いて試作を実施した。この試作では陳らが他組織と連携して開発に関わっていた電動義手の設計データをもとに，新たに積層型3Dプリンタを用いて再製作を行った。



(a) 電動義手
((独) 産業技術総合研究所製)

(b) 複製した電動義手

図3 3次元 プリンタで複製した既存の電動義手



(a) 3D CADデータ

(b) 3Dプリンタ

(c) 試作部品

(d) 義手の組立て例

図4 3Dプリンタを用いた製造プロセス

- ① 5本指となる義手
- ② 対象物を5本指で持てる機構
- ③ 手の甲側からの衝突に対して指が自然に曲がる機構
- ④ 現在のリハビリテーション訓練方法の適用が可能であること
- ⑤ 軽量化

市販されている電動義手は3指タイプであり、親指とそれに対向して位置している人差し指、中指の3指が同時に第3関節（MP関節）を軸として開閉する機構を有するものが一般的である。ここで開発する電動義手の機構的な特徴は、1つのモータで4指の駆動が行え、プーリーと天秤の機構により把持対象物に沿うように指関節が曲がる為、把持対象物を安定して持つことができることである。

図4に製作の過程とその内容を示した。この試作により、3Dプリンタを用いた製造では、機構パーツの加工精度は3Dプリンタの仕様に依存し、その造形時間は8-10時間程度必要であり、さらにパーツの分離やその組立て時の微細な加工と調整に大変手間がかかることが明らかとなった。

3.3 スケルトン型電動義手の開発

3Dプリンタを用いた試作により機構パーツを自由な形状で造形できる優位性を確認したが、その造形時間、組立て時の手間に関して開発を進めていく上での改善点も確認した。このため、我々の開発に関する試作製造サイクルを短時間で着実に回していく手立てとして、デジタルファブ리케이션における他の工作機械の利用を検討した。具体的には、デジタル工作機として3Dプリンタではなく、レーザーカッターを利用することを検討した。レーザーカッターは加工時間は短く、トータルの組立て時間の短縮に寄与するだけでなく、細部にわたる加工を行うことが可能となる。

また、手・指の形状を模式した5指を有する電動義手では装飾用グローブの装着が困難であることも確認したため、人の骨格部分のみを再現したスケルトンモデル化を行うこととした。

次に、レーザーカッターを用いた加工を前提に新たに考案したスケルトン型電動義手の設計と試作結果について述べる。

3.3.1 スケルトン型電動義手の設計と試作

我々の開発の主眼を変更することなく、新たにレーザーカッターでの加工を前提とした電動義手の設計を行い、試作を実施した結果を図5に示した。設計に当たっての3つの改良点は、1) 関節位置の調整、2) 加工の簡略化、3) 組立て時の調整の簡便化である。3次元CAD設計とレーザーカッターを用いた製造過程を図6に示した。試作は、3次元CADにて設計したデジタルデータをもとにレーザーカッターにて、ベニヤ板を用いてパーツに切り出し、得られたパーツを組立てる手順で実施した。ここでは、スケルトン形状の加工・組立ての検討を行うため、試作材料には、レーザーカッターで容易に加工できるシナベニア板(3mm)を用いた。レーザー

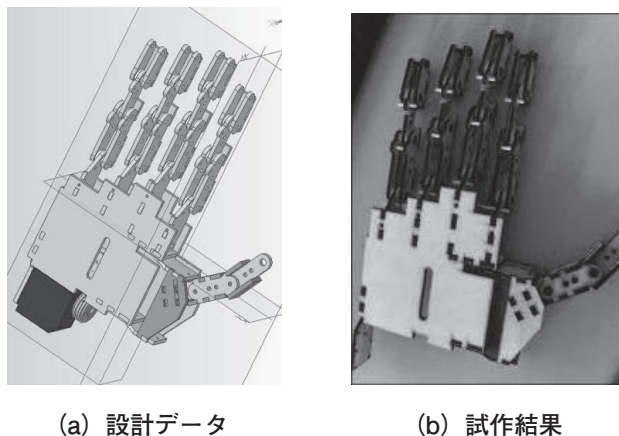


図5 レーザーカッターを用いた電動義手の試作例

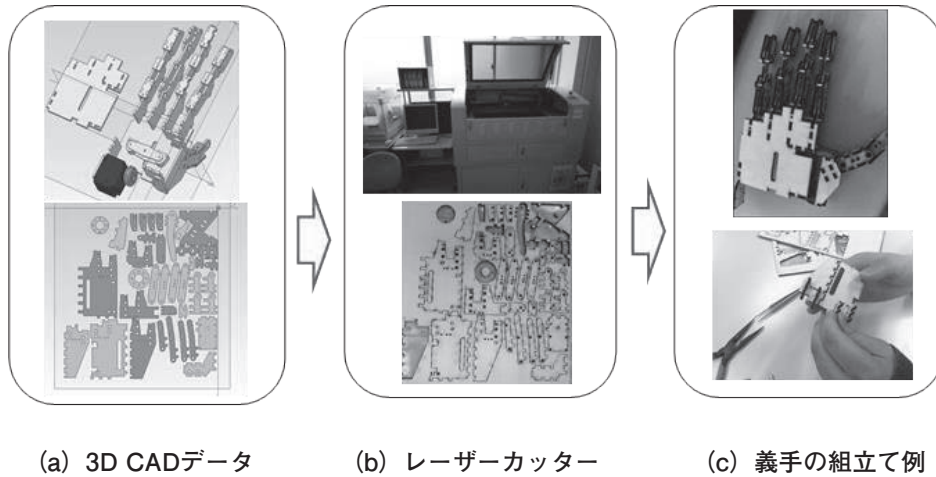
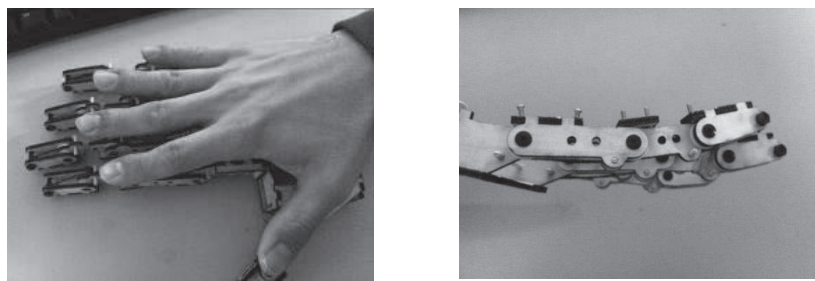


図6 レーザーカッターを用いた製造プロセス



(a) 全体形状の大きさ

(b) 指形状のそり

図7 レーザーカッターを用いた電動義手の試作結果

加工は、高エネルギー密度のレーザー光を集光・照射することにより、熱エネルギーとして対象物を溶融させる加工技術であり、木材ではバリ等は発生せず高精度に切断が行える。

試作の結果、設計時に行った改良点に関してはそれぞれ次の結果を確認した。

1) 関節位置の調整

関節位置を人と同じ位置配置にした結果、持てる物の大きさや形状が増加した。

2) 加工の簡略化

3Dプリンタを用いた加工では、造形時間に8時間程度を要したが、レーザーカッターではパーツの加工時間を10分程度に短縮した。

3) 調整の簡便化

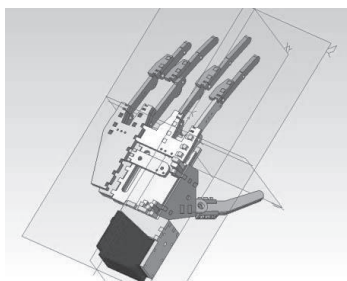
3Dプリンタにて製作した義手では、各関節に仕込まれていたバネの強度の調整等に6

時間程度かかっていたが、スケルトン型では張力として新たに輪ゴムを採用できる構造としたことにより、調整時間が20分程度に短縮した。

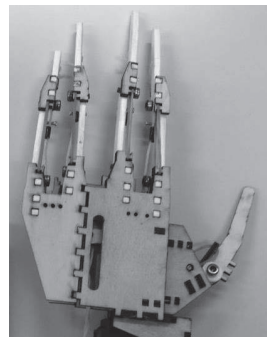
しかしながら、図7に示すようにスケルトンタイプの義手の大きさが日本人の手と比較して大きすぎる点（図7（a））や、指のそり方が不自然（図7（b））で動作が安定しないという問題を新たに確認した。

3.3.2 スケルトン型電動義手の改良試作

前項の問題点を解決するために改良試作を実施した。図8に改良モデルの設計と試作結果を示した。改良点は、義手の大きさを大人の手の大きさに縮小、前節の試作で動作ができなかった親指の手の内側への回転（手の開き量）を新たに追加、及びスケルトンモデルにおける指の動作の安定化である。図9に試作したスケルトン型義手の形状を健常手と比較して示した。義手の大きさ開き量とも健常手とおおきな差異が無いことが確認できる。また、第一関節を除去

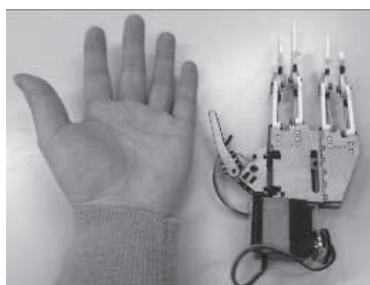


(a) 設計データ

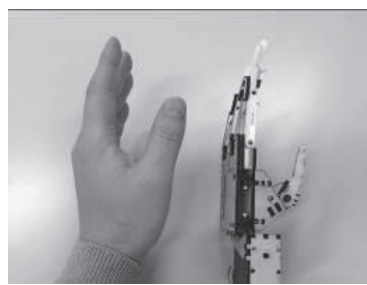


(b) 試作結果

図8 レーザーカッターを用いたスケルトン電動義手の改良試作例



(a) 上面形状



(b) 側面形状

図9 スケルトン電動義手の改良試作の形状評価

することにより、指の開閉における指動作の安定性も改善できた。

3.4 スケルトン型電動義手の試作結果

これまでの手・指の形状を模した電動義手では装飾用グローブの影響で動作が正常に出来なくなる事や、装飾用グローブの装着が困難であった。その為、人の骨格部分を再現したスケルトンモデル化を考案し、試作を行った。それにより、グローブを被せ易くなり、動作も正常に行えると思われる。組立ての簡略化として、パーツをはめ込み方式とする事により、組立て時間は4時間となり、従来の1/3程度に短縮できた。また、加工・組立て・調整の全製造時間は従来の1/5程度に短縮できた。表1に3Dプリンタとレーザーカッターによる製造工程の作業時間を比較して示した。

表1 3Dプリンタとレーザーカッターによる製造工程の作業時間比較

	加工	組立て	調整	合計
3Dプリンタ	8	12	6	26
レーザーカッター	0.5	4.0	0.3	4.8

単位：時間

この試作により現行電動義手の課題である重量は約400gから250gに低減、操作性は3指駆動から5指駆動に改善、また価格は150万円から50万円程度（推定）に低減できることが明らかとなった。

ここで得られた電動義手の軽量化、低価格化の成果は、連携研究機関・兵庫リハにおいて実用化に向けて高い評価を得ている。今後、実用化に向けた、臨床評価を実施していく予定である。

4. まとめ

本報告では、本学の電子情報通信工学、機械工学、整形医学及びスポーツ医学の知見を活用した医工連携体制を構築し、連携研究機関での介護機器としてのニーズ、本学のデジタルものづくり技術のシーズを踏まえて開発した「スケルトン型電動義手」の試作結果について述べた。

デジタルファブリケーションを用いた電動義手開発において3Dプリンタおよびレーザーカッターを用いた試作結果を報告した。3Dプリンタからレーザーカッターを用いたパーツの製作方法へ移行したことにより、造形形状の自由さが減少したが、研究開発のサイクル時間を短縮することで得られた効率向上の方が有用であると考えられる。

今後、医療・介護の臨床と工学のものづくり技術との連携は、ますます重要になっているも

のと考えられ、種々の課題に積極的に取り組んでいく必要がある。

本研究は、大阪産業大学産業研究所の平成26年度共同研究組織で実施した成果をまとめたものである。関係各位に対し深く感謝する。

参考文献

- 1) <http://www.assistech.hwc.or.jp/kenkyu/research.html> (2015年05月)。
- 2) 中村秀正, 本田雄一郎, 入江満, 陳隆明「デジタルファブ리케이션を用いたスケルトン型電動義手の開発」 ロボティクス・メカトロニクス講演会, 3P2-D01, 2014。
- 3) 大西謙吾「電動義手の国外の動向」日本義肢装具学会誌 vol. 26, No. 2, 2010, pp. 78-81。
- 4) 東原孝典「電動義手の国内の開発研究の現状」日本義肢装具学会誌 vol. 26, No. 2, 2010, pp. 82-90。
- 5) 辻敏夫, 芝軒太郎, 島圭介, 高木健, 大塚彰, 陳隆明「5指駆動型筋電義手と筋シナジーモデルに基づく制御法」日本義肢装具学会誌 vol. 26, No. 2, 2010, pp. 91-96。
- 6) 吉川雅博「3Dプリンタで制作可能な電動義手」第15回医療福祉技術シンポジウム資料, 2013, pp. 37-40。