

柔剛ハイブリッド指の一体化製法

○永井 舜也（立命館大） 三森 友貴（立命館大） 平井 慎一（立命館大）

軸やねじなどを用いて製作されるロボットハンドは、製作過程に組み立て作業を要する。本研究では、ヒトの指を模倣した機構を、シリコンゴムと 3D プリンタを用いて一体成型する手法を提案する。実際の指の骨のスキャンデータを利用してリンクを製作し、骨どうしをシリコンで結合することで関節を製作した。

1. 緒言

ソフトロボティクスの分野では、柔らかい材料の特性を利用し、様々な生物模倣のロボットが提案されている [1]。例えば、柔軟な人体模型 [2] やヒトの指を模倣した多指ロボットハンドが研究されている [3]。また、材料にシリコンゴムを使用したロボットハンドが提案されてきた [4]。シリコンゴムを材料として使用するロボットハンドの製作では型取りを用いることが一般的である。シリコンゴム材料と樹脂材料の結合には接着剤を用いる方法が一般的である。しかし、接着剤による結合は外力で剥がれるといった強度の問題を有する。そのため、接着剤を用いずに Poly-Lactic Acid (PLA) などの樹脂材料からなる硬い構造にシリコンゴムを結合する構造も提案されている [5]。

本研究では、文献 [5] で用いる結合方法を参考に、ヒトの指を模倣した機構をシリコンゴムと 3D プリンタを用いて一体成型する手法を提案する。また、複雑な形の人間の骨の 3D データを利用した指機構を組み立て作業を要せず、金属部品を使わずに、PLA とシリコンゴムのみで指を製作している。したがって、製作方法は容易であり、短い工程で製作が完了する利点をもつ。さらに、製作した指をロボットハンドに応用するためにワイヤー駆動で指が可動する機構を提案している。

2. 一体化製法を用いた指の製作

本研究で使用するヒトの指の骨格はライフサイエンス統合データセンター [6] から骨格の 3D データを入手し、データの 3D モデルを 10 分の 1 の縮小し、PLA 素材で 3D プリントした。指の関節はシリコンゴムにより骨どうしを結合する。本研究で製作された指は、図 1 に示す型から人差し指の末節骨、中節骨および基節骨と関節部分を型抜きした型を用いて製作した。3D プリントした指を製作で使用する型に当てはめた状態を図 2 に示す。

指の PLA 骨格とシリコンゴムを使用して指を製作する工程を以下に示す。シリコンゴムは SMOOTH-ON 社の Dragon Skin 20 を使用した。

1. 図 2 に示した状態の型にシリコンゴムを流し込み、シリコンゴムを PLA 骨格に充填する。シリコンを充填した状態を図 3 に示す。
2. 図 4 に示すように型で挟み込み、シリコンを硬化させる。図 5 に硬化後の指を示す。
3. 余分なシリコンゴムを取り除く。完成した指を図 6 に示す。



図 1: 指の形状を抜いた型



図 2: 指が配置された型



図 3: シリコンを流し込んだ型



図 4: 固定した型



図 5: シリコン硬化後



図 6: 完成した指

3. チューブ内蔵型指

本研究で製作した指を実際にロボットハンドとして動作させるために、各指骨の掌側にチューブを通すことができる円筒を追加した。チューブを通した指を図 7 に示す。内蔵したチューブに糸を通し、糸を引っ張ることで指が曲がる。

第 2 章で述べた製作方法と同様に、PLA とシリコンゴムを使用する。糸はナイロン製の糸を使用した。以下にチューブ内蔵型指の製作方法を示す。

1. チューブ内蔵型指骨が配置された型にシリコンゴムを充填する。シリコンゴムを充填した状態を図 8 に示す。
2. 図 9 に示すように型で挟み込み、シリコンゴムを硬化させる。硬化後の状態を図 10 に示す。
3. 余分なシリコンを取り除く。完成したチューブ内蔵型指を図 11 に示す。

製作したチューブ内蔵型指を曲げた挙動を図 12、図 13、図 14 に示す。



図 7: チューブを内蔵した指



図 8: チューブ内蔵型指が配置された型

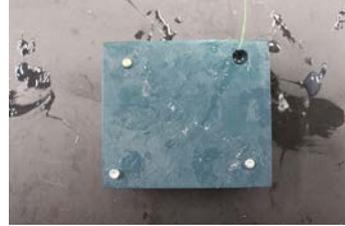


図 9: 固定した型



図 10: シリコン硬化後



図 11: 完成したチューブ内蔵型



図 12: 初期位置



図 13: 第一関節の屈曲



図 14: 第 2 関節の屈曲

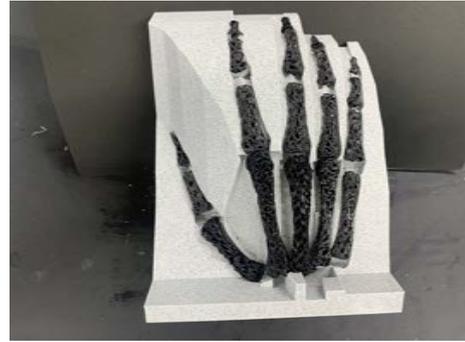


図 15: 5 本指の PLA 骨格

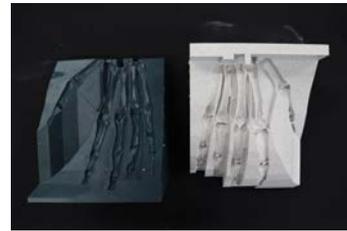


図 16: 5 本指の型



(a) 下の型



(b) 上の型

図 17: シリコンを流し込んだ型

4. 一体化製法による 5 本指の製作

本章では、一体化製法による 5 本指の製作について述べる。拇指の中手骨、基節骨、末節骨と示指、中指、環指、小指の中手骨、基節骨、中節骨、末節骨を印刷した。印刷した指骨を型の片面にはめた様子を図 15 に示す。図 16 の型を用いて指骨を固定した。

第 2 章で述べた製作工程と同様に、各指の PLA 骨格とシリコンゴムを用いて製作する。

1. シリコンゴムを PLA 骨格に充填する。シリコンゴムを PLA 骨格に充填した状態を図 17 に示す。
2. 図 18 に示すように紙粘土で型の姿勢を固定し、型の上から指骨が落ちないようにシリコンを硬化させる。図 19 に硬化後の指を示す。
3. 余分なシリコンゴムを取り除く。製作した 5 指ハンド構造を図 20 に示す。

指骨どうしはつながっていたが、気泡が残っており、強度に問題があった。



図 18: 固定した型



図 19: シリコン硬化後の 5 本指

[6] “ライフサイエンス統合データセンターのウェブサイト”,
<https://lifesciencedb.jp/bp3d/>



(a) 表

(b) 裏

図 20: 完成した 5 本指

5. 今後の展望

本研究では PLA 骨格を内蔵したシリコン製の指を一体成形した。また、指骨の掌側にチューブを付加することで、ワイヤの引張で屈曲可能な指を製作した。さらに、5 指ハンド構造の一体成型を試みた。本研究ではワイヤ駆動の構造を単一の指の中に実装した。今後は同様の方法で 5 本指の駆動を実現する。

参 考 文 献

- [1] 中村太郎：
“生物・生体の機能を規範としたソフトロボティクス”，システム/制御/情報, vol. 61, no. 7, pp. 265–270, 2017.
- [2] Masahiro Ikeda, Ryuma Niiyama, and Yasuo Kuniyoshi：“Proposal of Manufacturing Method for New Passive Elastic Joint and Prototype of Human Phantom”, Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 34, no. 2, pp. 402–412, 2022.
- [3] R. R. Ma, J. T. Belter, A. M. Dollar：“Hybrid Deposition Manufacturing: Design Strategies for Multi-Material Mechanisms via 3D-Printing and Material Deposition”, ASME Journal of Mechanisms and Robotics, 2015.
- [4] 平井慎一, 王忠奎：“ソフトロボットハンドによる食品ハンドリング”, 日本ロボット学会誌, 2019 年 37 巻 6 号 p. 489-494.
- [5] Hiroki Aoyama, Wang Zhongkui, Shinichi Hirai：“Shell Gripper Inspired by Human Finger Structure for Automatically Packaging Agricultural Product”, 2022 IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, pp. 90–95, 2022.