



皮膚科における視診・触診の再現のための 3 自由度ロボットフィンガーの提案

Proposal of a 3-DOF Robotic Hand
for Reproduction of Visual and Palpation Examination in Dermatology

今美咲¹⁾, 加藤史洋²⁾, 竹田隼³⁾, 岩田浩康⁴⁾
Misaki KON, Fumihito KATO, Hayato TAKEDA and Hiroyasu IWATA

- 1) 早稲田大学 (〒162-0056 東京都新宿区若松町 2-2, misakiki000@toki.waseda.jp)
- 2) 早稲田大学 (〒162-0056 東京都新宿区若松町 2-2, phyro21@gmail.com)
- 3) 早稲田大学大学院 (〒162-0056 東京都新宿区若松町 2-2, falcon-t8864@akane.waseda.jp)
- 4) 早稲田大学 (〒162-0056 東京都新宿区若松町 2-2, jubi@waseda.jp)

概要: 著者らは視触診を遠隔診療で実現するためのロボットハンドの開発をめざし、触診における医師の動きを再現するロボットフィンガーを提案する。本ロボットは 3 自由度で構成され、IP 関節をワイヤー駆動で制御する。視診と触診を同時に可能とするような小型カメラを指先に組み込み、画像と触覚情報を同時に取得可能とする。本ロボットフィンガーは触診動作の「さする」という動作を行い、視覚取得機能や接触取得機能の評価を行った。評価試験により、鮮明な画像の取得や、「さする」という触診動作で要求される力を取得した。視診・触診の再現において有効である可能性が示唆された。

キーワード: 視触診, ロボット, 力覚・体性感覚, 触診

1. はじめに

現在、地方の医師不足や COVID-19 の世界的な流行により遠隔診療の必要性が高まっている。厚生労働省が公表している NDB オープンデータ^[1]より 2022 年年度までの医科診療行為の算定回数は合計で約 13.73 億回である。この中で遠隔診療での算定回数は合計約 87.15 万回で、全体の 0.06346 % である。2018 年年度と比較すると遠隔診療の回数は 411.3 倍に増加しているが、全体占める割合は低い。また我が国では超高齢社会で、過疎地域における医療の確保が重要である。さらに COVID-19 のような世界的な感染症が流行する際に、AI を搭載したロボットが遠隔で医師の診察をサポートが必要とされる未来も考えられる。

診察では問診や視診、聴診、触診に加えて、それに合わせた検査を行いその結果を統合して最終的な診断を行う^[2]。現在オンライン診療では、テレビ電話で対話することによって問診やカメラ映像による視診は可能である。しかし、患部の大きさや硬さ、温度といった触覚情報や患部を触った際の患者の反応情報の取得を可能とする触診の確立は未だ不十分である。よってオンライン診療を対面診療の質を同等にするためには、遠隔で視触診を行えるよう

なシステムやデバイスが必要である。

本論文は、遠隔診療で AI を搭載したロボットの視触診に必要な要素の開発と、それらを搭載したロボットフィンガーの有効性を示したものである。

2. 先行研究

示指、中指を想定したハンドの設計を行い、医師の触診動作の再現を目指したロボットハンドが提案されている^[3]。このハンドに視触覚を可能にするセンサを搭載した本ロボットフィンガーを組み合わせることで、安定した把持や視触診が可能である。本ロボットフィンガーでは、拇指を想定したロボットフィンガーの設計を行う。

3. 設計

本ロボットフィンガーは日常生活で人間の支援をめざし AI を搭載した人型ロボット AIREC^[4]のハンドへの導入を目指す。本ロボットフィンガーには以下のような要求機能想定している。1) 人の指の寸法比をもとに設計を行うこと。2) 指先の接触状態を把握できる設計を行うこと。3) 指先に視触覚センサを搭載すること。

開発したロボットフィンガーの外観を図1に示す。

3.1 寸法

提案するロボットフィンガーのサイズは日本人の手の寸法比を保ち、かつ小型カメラが収納可能なサイズから約1.5倍のサイズでの設計を行った。表1は19991年から1992年にかけての産業技術総合研究所の人体寸法データベース⁵⁾による日本人の親指の平均寸法と、人間の指と同じ寸法比で設計された本ロボットフィンガーの寸法を示す。

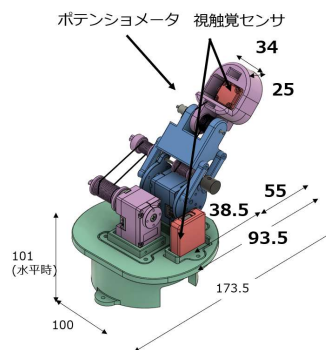


図1 本ロボットフィンガーの外観

表1 人体寸法データベースによる拇指寸法

名称	サイズ mm	
	人体寸法データベース	本ロボットフィンガー
第1指長	59	93.5
第1指関節幅	19.1	35
第1指関節厚	16.5	25

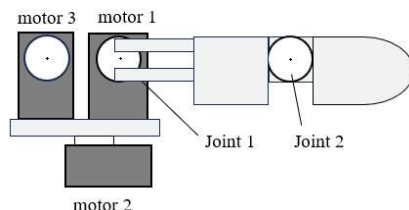
3.2 機構

IP関節はワイヤー駆動とし、各関節をサーボモーターで駆動する。開発したロボットフィンガーの構成を図2に示す。

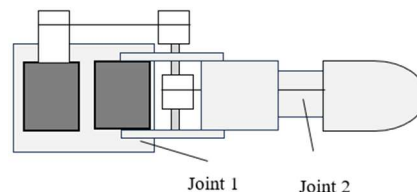
3.2.1 自由度

本ロボットフィンガーは3自由度で構成されている。自由度構成図を図3に示す。この図では、MP関節とIP関節では屈曲する方向をマイナス方向、伸展する方向をプラス方向とする。CM関節では反時計回りをプラス方向とする。

CM関節の内外転により、指先に搭載した視触覚センサで凹凸など周囲の面と異なる形状や色の画像取得や力取得を行うことができる。またMP関節とIP関節により指の屈曲を可能とする。



(a) Side view



(b) Over view

図2 ロボットフィンガー機構図

3.2.2 可動範囲

本ロボットフィンガーは人間の拇指よりも自由度が少ない。よって指先の可動範囲を大きくするために、人間の指の関節とは異なるがMP関節とIP関節のプラス方向の可動域を大きくした。各関節の要求仕様を表2に示す。

3.2.3 MP関節

図2よりMP関節の駆動方法はサーボモーターから平行リンク機構によって動力を伝達する。平行リンク機構を用いることで、ワイヤー駆動のプーリーのスペースの確保する。

3.2.4 IP関節

IP関節の駆動方法にはワイヤー(線径 0.5 mm)を介することで、サーボモーターの回転が指先のプーリーと連動し、指先の屈曲や伸展をする機構を用いる。今回使用したワイヤーはナイロンテグスを使用している。弾性要素として機能するワイヤーとしてナイロン糸を採用した5指型ロボットハンドがある⁶⁾。ナイロン糸を採用すると弾性要素としてのコイルばねが不要であるため、省スペース化が見込まれる。よって本ロボットフィンガーに導入した。

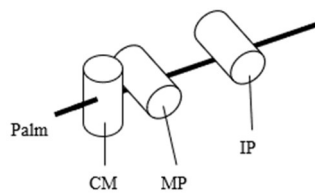


図3 自由度構成図

表2 各関節の要求仕様

関節	CM	MP	IP
方向	Roll	Ritch	Pitch
最大瞬間トルク [mNm]	262	250	145
回転速度 [rpm]	12.5	12.5	12.5
可動範囲 [deg]	-40~40	-40~40	-50~30

3.3 視触覚センサ

視触覚センサは小型の CMOS カメラ上に薄型のピンホールレンズ, LED 光源, ゲルで構成されている. ゲルが触れる面の映像と力を同時に取得することが可能である. ゲル表面に直径 0.5 mm の球のマーカが 1 つ挿入されゲルに力を印加する場合のマーカの変位から力の大きさや方向を示すカベクトルを所得する. 小型化するために CMOS センサと処理基盤を分離し, 分離型の視触覚センサの設計を行った. 一体型の視触覚センサ, 分離型をそれぞれ図 3 に, 大きさや重量を表 3 に示す.

触診のさする動作では 1~2N の指圧が確認されている^[7]. よって対象面に対する視触覚センサの接触力を最大で 1~2N として想定した設計を行った.

3.4 指周りのセンサ

指先の接触を検知するために Interlink Electronics 社の圧力センサの FSR400^[8]を使用した. 配線が視触覚センサの映像取得やロボットフィンガの動作に影響を与えないようにするため, 図 4 のような設計を行った.

さらにサーボモーターが間接的にワイヤーで駆動する IP 関節部分に角度センサとして, ALPSALPINE 社のポテンショメーターの RDC506018A^[9]を用いた.

それぞれのセンサを搭載したロボットフィンガを図 4 に示す.

4. 評価試験

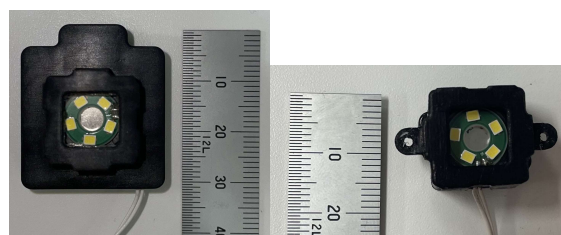
本ロボットフィンガは視触診を行うために, 指先に視触覚センサを搭載し接触状態を把握できるという要求機能をもとに設計を行った. よって本ロボットフィンガが視診, 触診において有効であるかを検証する.

4.1 視覚取得機能の評価試験

評価画像には, ランドルト環および色相環を利用する. ランドルト環は上下左右の 4 方向に切欠けがあるものを用いた. また使用した色相環は, 基本 12 色相 (赤・橙・黄・黄緑・緑・青緑・水・青・青紫・紫・赤紫) で, さらに明度が 4 段階ある画像である. 本提案のカメラで紙に印刷した画像を観察した図 5(a)は評価画像, (b)は iPhone 12 のカメラで撮影した画像, (c)は視触覚センサで撮影した画像である. ランドルト環の切欠けが判別でき, またカラーパレット 12 色と明るさ 4 段階を見分けることが可能である. 以上より, ロボットフィンガに搭載した視触覚センサによって鮮明な画像の取得が可能であることが示唆された.

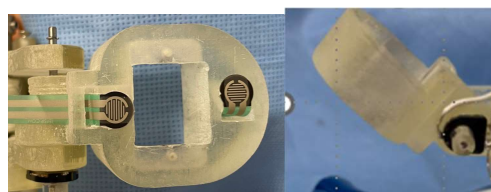
4.2 接触取得機能の評価試験

ロボットフィンガの接触取得機能の評価した. ロボットフィンガが台を押したときの, 指圧は最大で 1.72 N を確認できた. 1.72 N は「さする」触察で要求される力である. このため, 視触覚センサを搭載した「さする」とい



(a) 一体型 (b) 分離型

図 3 一体型と分離型の視触覚センサ

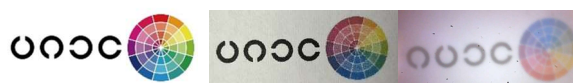


(a) FSR400 (b) RDC506018A

図 4 センサ設置したロボットフィンガ

表 3 視触覚センサの大きさや重量

	一体型	分離型
サイズ(縦×横×高さ) mm	30×25×20	10×28×14
指先搭載部の重量 g	93	26



(a) 評価画像 (b) iPhone 12 (c) 視触覚センサ

図 5 視覚取得機能の評価試験結果

う触察動作を行うロボットフィンガとして有効である可能性が示唆された.

5. まとめ

本論文では, 人間の指の寸法比で約 1.5 倍サイズの 3 自由度のロボットフィンガの設計, 製作, 評価について述べた. 本ロボットフィンガは接触部の画像と接触力の取得を可能とし, 遠隔での視触診の有効性が示唆している. 今後, 遠隔診療と質の向上を目指し人間の指の動きの再現と視触覚情報の取得を可能とするハンドの設計を行う.

謝辞

本研究は, JST 【ムーンショット型研究開発事業 Grant 番号【JPMJMS2031】】、日本学術振興会 科研費 Grant 番号【JP22K18220】の支援を受けたものである. また, 視触覚センサの開発について株式会社 PULAX 様, 株式会社 ForAlt 様に感謝の意を表します.

参考文献

[1] 厚生労働省.”第 9 回 NDB オープンデータ”.

- https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000177221_00014.html (2024年7月20日) .
- [2] 山本美知郎, “医療における触診の重要性と遠隔触診での導入に向けて”, 日本ロボット学会誌, 2022, Vol.40 No8, pp674-677.
- [3] 竹田隼, 加藤史洋, 神島海音, 岩田浩康 “医師の5種触察を再現する触診ハンドに関する研究—2 指つまみ揺動を可能とする回内外・並進関節機構の設計—”, 日本機械学会年次大会概要集, 2023,4J1-02.
- [4] 早稲田大学, “一人に一台一生寄り添うスマートロボット”.<https://airec-waseda.jp/> (2024年7月20日).
- [5] 人工知能研究センター, “AIST 日本人の手の寸法データ-寸法項目一覧” .
<https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/hand/data/list.html> (2024年7月20日).
- [6] 山野郁男, 前野隆司 “超音波モータと弾性要素を用いた5指型ロボットハンドの開発”, 日本機械学会年次大会概要集, 2004, 2P1-L1-9.
- [7] 竹田隼, 加藤史洋, 神島海音, 岩田浩康 “触診ハンドに関する研究-皮膚科医への触察ヒアリングと触察所作の分類-”, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス, 2023.
- [8] Interlink Electronics,
<https://www.interlinkelectronics.com/fsr-400> (2024年7月20日).
- [9] ALPSALPINE,
<https://tech.alpsalpine.com/j/products/detail/RDC506018A/> (2024年7月20日)