

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04309

研究課題名（和文）ロボットハンドによる遠隔作業の高効率化のための手背代用型触覚提示デバイス

研究課題名（英文）Haptic Device that Presents Sensation Corresponding to Palm on Back of Hand for Teleoperation of Robot Hand

研究代表者

佐藤 徳孝（Sato, Noritaka）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：60574374

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：近年、情報収集だけでなく作業もできる災害対応ロボットが求められており、ロボットハンドを搭載した災害対応ロボットが開発され始めている。従来のロボットハンドの遠隔操作システムでは手掌の接触状態を操作者にフィードバックしないため、遠隔操作が困難であった。そこで、操作者の把握動作を妨げずにロボットハンドの手掌の接触状態を操作者に提示するための手法として、操作者の手背に代用提示する手法を提案した。研究成果は以下の2点である。1点目は人間の手背の触覚の特性を明らかにしたことである。2点目は試作デバイスを製作し、その性能評価から目的達成に十分な性能を有していることを示した点である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、災害対応ロボットの遠隔操作に資する手背代用型触覚提示デバイスの研究開発を行った。本研究の意義は、この当初の目的を達成しただけでなく、バーチャルリアリティ分野など幅広い分野への適用可能なデバイスについて研究開発を行った点である。今後は、手背代用による手掌の触覚提示というコンセプトが、災害対応ロボットだけでなく、様々なアプリケーションに対して適用可能である。今後は、どこまで適用可能かについて調査・検証していく計画を立てており、学術的な発展性を有する。

研究成果の概要（英文）：Recently, rescue robots which can manipulate somethings are needed. Therefore, rescue robots which have robotic hands begin to be developed. It is difficult to teleoperate the rescue robot which has the robotic hand, because existing teleoperation systems did not feedback the haptic sense of the palm of the robotic hand. In this study, the method which can substitutively present haptic feedback of the palm of the robotic hand to the back of the hand of the operator.

We clarified the characteristics of the back of the hand of the human, and we verified that the proposed device have enough performance to teleoperate the robotic hand installed on the rescue robot.

研究分野：災害対応ロボット

キーワード：災害対応ロボット 触覚提示 ハプティクス 代用提示

## 1. 研究開始当初の背景

地震やテロによる大規模災害の現場では、人間が救助活動や情報収集のために建物内部へ侵入を試みても、これが非常に困難な状況であることが多い。このような極限環境下においては、人間に変わって被害状況の確認や要救助者の探索が行えるレスキューロボットが求められる。

近年では、探索や被害状況の調査をするだけでなく、人間と同様に作業できるような、ロボットハンドを搭載した災害対応ロボットが必要とされている。災害対応ロボットは、未知の極限環境で動作するため、その殆どが安全な場所にいる人間によって遠隔操作される。ロボットハンドの遠隔操作は、操作者の手指の関節角を測定し、その角度をロボットハンドの各関節の目標角度とするマスタスレーブ方式が多く用いられている。しかし、カメラ画像のみで提示すると物体を把持できているか正確に判断することが難しい。障害物除去等の作業効率を向上させるためには、視覚情報だけでなくロボットハンドの掌と把握対象物との接触状態を、操作者にフィードバックすることが必要となる。

## 2. 研究の目的

現存する触覚提示デバイスは、主に手指の接触状態をフィードバックするシステムものがほとんどである。既存研究への考察から、ロボットハンドの遠隔作業のための触覚提示デバイスに対する要求は、「手掌側には何も取り付けずに手掌上の複数の点に対して触覚提示せよ」ということが分かった。この相反する困難な要求に対する答えを導くための手段として、本研究ではロボットハンドの手掌への接触状態を、操作者の手背に代用提示する手法を提案する。

図1に提案手法の概念図を、図2に本研究で試作するハプティックデバイスのイメージ図(研究開始当初に描いたもの)を示す。

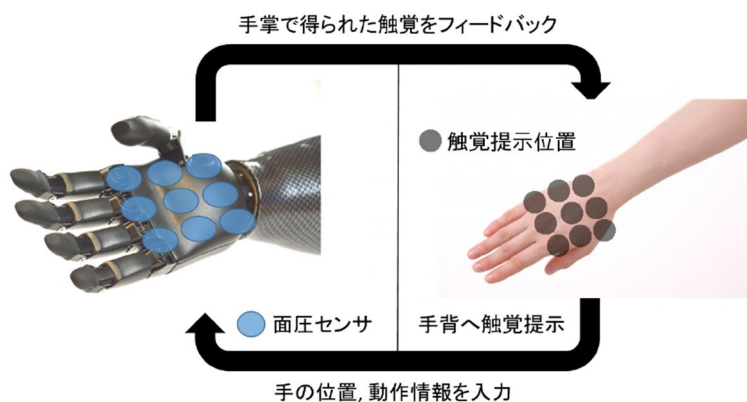


図1 提案手法の概念図

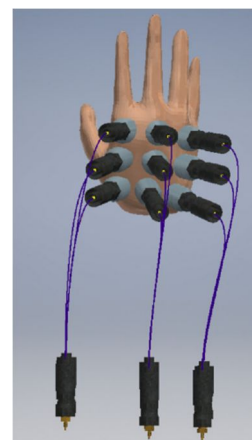


図2 デバイスのイメージ図  
(研究開始当初に描いたもの)

## 3. 研究の方法

本研究は以下の3つの研究項目を順に実施した。それぞれの概要を説明する。

### (1) 押圧刺激を用いたハプティックデバイスの仕様決定のための基礎検討

提案ハプティックデバイスは当初から吸引刺激を用いて作成する計画であったが、空圧を用いたシステムをこれまで構築しなかったため、研究の第一段階として押圧刺激を用いて基礎的な検討を行った。

図2に示した、図1を実現するためのデバイスを開発するためには、デバイスの仕様として以下の3点を明らかにしなければならない。

- 刺激点の力( $f$ )
- 刺激点の間隔( $i$ )
- 刺激点の直径( $d$ )

力と直径については、人間が知覚できないようでは意味がない一方、痛みを与えてはならない。また、間隔については人間の手の背の解像度に合ったものでなければならない。そこで、図3のよ

うな装置を用いて, 図 4 のような環境で被験者の手背を押し, 押された点の位置を回答してもらう実験を行った. 力  $f$ , 間隔  $i$ , 直径  $d$  の候補を表 1 のようにそれぞれ 3 候補を用意し, 最も正答率が高い組み合わせを仕様とした. 結果は成果の一部であるため, 4 の(1)で述べる.

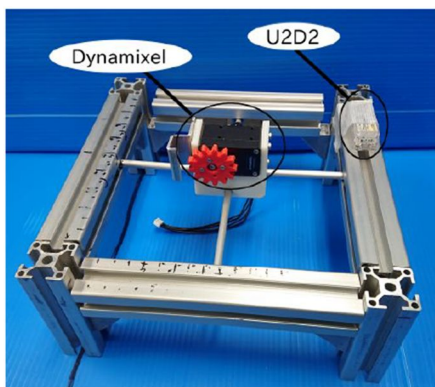


図 3 実験装置

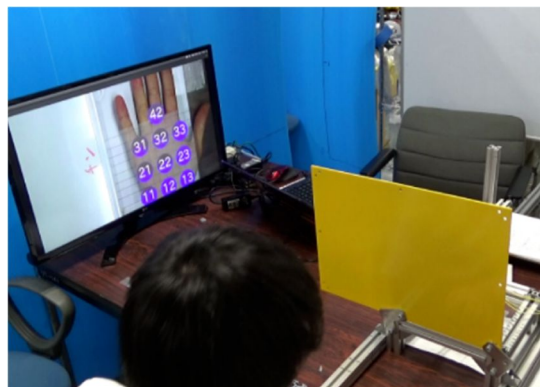


図 4 実験環境

表 1 仕様の候補

押下力 [kg]	0.1	0.5	0.9
押下間隔 [mm]	10	20	30
押下棒直径 [mm]	4	6	8

### (2) 手掌への押圧刺激と手背への吸引刺激の正答率に関する検証

(1)で明らかにした仕様は手背に押圧刺激を用いたものであった. しかし, 押圧刺激では装置が肥大化するため, 吸引刺激を用いる. また, ロボットハンドの手掌の接触状態を手背に吸引刺激で代用提示するため, 手掌への押圧刺激と手背への吸引刺激の正答率に関する検証を行った. ここでは, 図 5 に示す装置を用いて図 6 のような環境で(1)と同様に実験を行った. 力  $f$  と間隔  $i$  は(1)と同じ値を用いて直径  $d$  を 6mm, 10mm, 15mm の 3 つの候補に対して正答率を検証した.

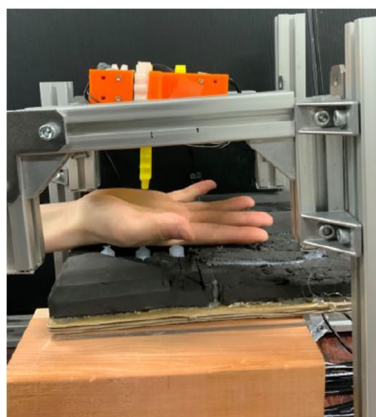


図 5 実験装置

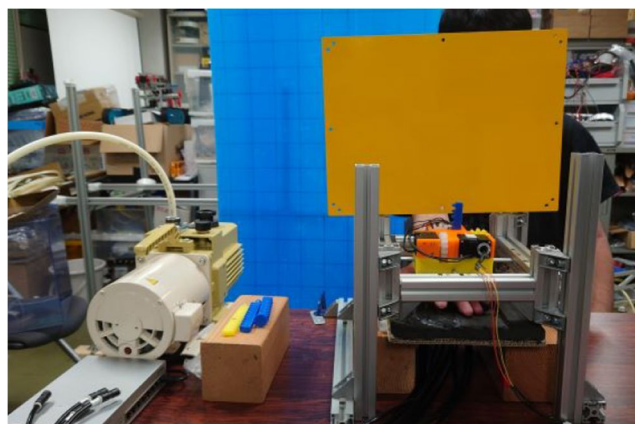


図 6 実験環境

### (3) ハプティックデバイスの試作と性能評価

試作したハプティックデバイスの外観を図 7 に, システム構成図を図 8 に示す. 機構は 3D プリンタで作成した. 関節部にはヒンジを, 吸着パッドにはバネを取り付け, 手の大きさに個人差があっても装着可能とした. また, 空圧源には真空ポンプを使用し, 真空レギュレータによって, 空圧を制御可能とした. ロボットハンドの接触状態に応じて, Arduino マイコンから真空レギュレータに制御指令を送る.

試作したハプティックデバイスの性能評価として被験者実験を行った. ランダムな順序で手背の特定の位置を吸引した. (2)の実験によって得られた正答率と同等であるかどうかにより, 提案ハプティックデバイスの性能を評価した. 結果は 4 で述べる.

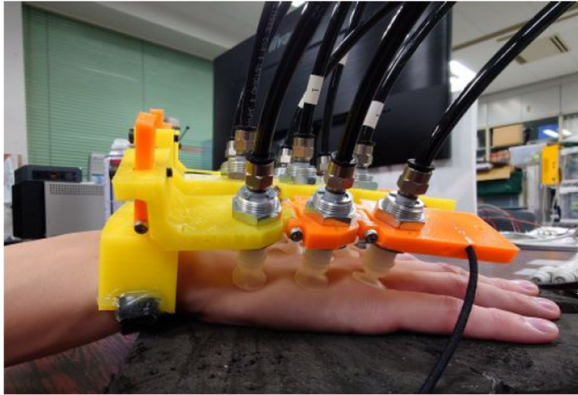


図7 試作ハプティックデバイスの外観

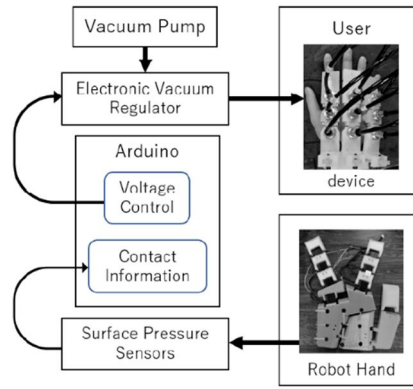


図8 システム構成図

#### 4. 研究成果

##### (1) 各研究項目で得られた成果

##### 3. の(1)の結果

図9に3(1)の結果を示す。結果より、本実験の候補では  $i$  が支配的であることが分かる。 $i=30\text{mm}$  という結果は手背の弁別閾とも符合しており、妥当な結果を得られたと考えられる。提案デバイスの要求仕様としては正答率が最も高かった、 $i=30\text{mm}$ 、 $d=6\text{mm}$ 、 $f=0.9\text{kgf}$  を採用した。

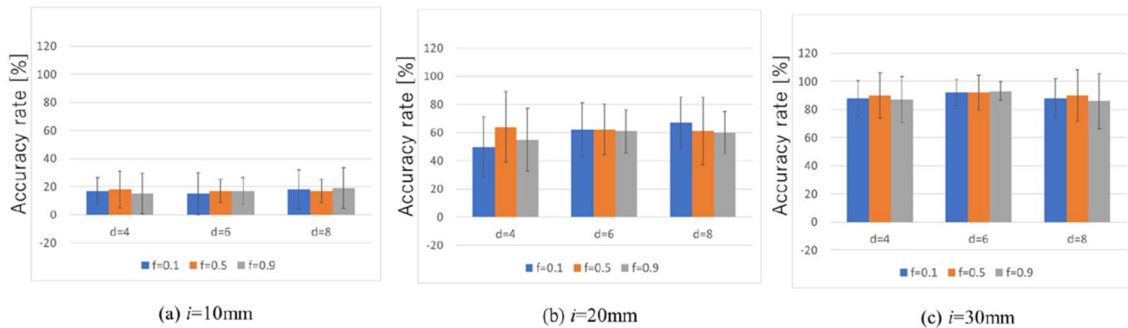


図9 3(1)の結果

##### 3. の(2)の結果

表2に3(2)の結果を示す。全体正答率、真陽性率、真陰性率とも、 $d=15\text{mm}$ において最も正答率が高かった。そのため、提案デバイスでは、 $d=15\text{mm}$ の吸着パッドを用いることとした。

表2 3(2)の結果

	6mm	10mm	15mm
全体正答率 [%]	71.0	79.0	85.0
真陽性率 [%]	52.5	72.5	75.6
真陰性率 [%]	83.3	83.3	91.5

##### 3. の(3)の結果

図10に3(3)の結果を示す。1点刺激において3(2)と同等の結果が得られていることから試作したデバイスならびに提案手法は妥当であると考えられる。一方で、同時に吸引する点を2,3,4点と増やして実験したところ、正答率が低減する結果となった。最終的にロボットハンドの遠隔操作を行うためには複数点を同時に吸引する必要がある。正答率が下がる原因としては真空ポンプの出力不足が考えられる。そのため、今後、真空ポンプを変更した上で再度実験を行う計画を立てている。

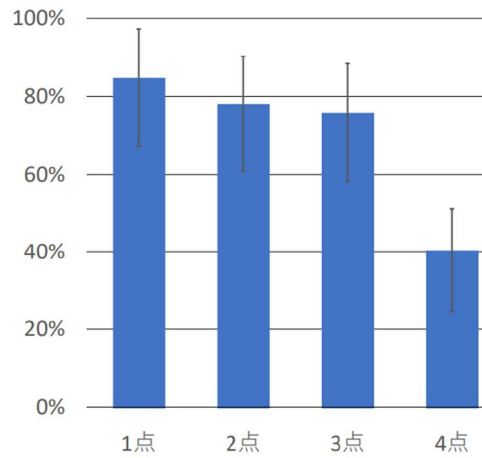


図 10 3(3)の結果

## (2) 学術的成果と今後の展開

3年間を通じて、査読付き国際学术论文 1 件、査読付き国際会議発表 3 件、国内学会発表 2 件を公表した。詳細は別紙のリストに掲載する。

本研究では、災害対応ロボットの遠隔操作に資する手背代用型触覚提示デバイスの研究開発を行った。本研究の意義は、この当初の目的を達成しただけでなく、バーチャルリアリティ分野など幅広い分野への適用可能なデバイスについて研究開発を行った点である。今後は、手背代用による手掌の触覚提示というコンセプトが、災害対応ロボットだけでなく、様々なアプリケーションに対してどこまで適用可能かについて調査・検証していきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kyosuke Ushimaru, Noritaka Sato, Yoshifumi Morita	4. 巻 Vol. 2, No. 1
2. 論文標題 Experimental Consideration on Requirements Specification of Haptic Device that Presents Sensation Corresponding to Palm on Back of Hand for Teleoperation of Robot Hand	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advances in Artificial Life Robotics	6. 最初と最後の頁 pp.244-248
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 佐藤徳孝, 牛丸恭佑, 森田良文
2. 発表標題 ロボットハンドによる遠隔作業の高効率化のための手背代用型触覚提示デバイス 第1報：被験者実験によるデバイスの要求仕様の策定
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kyosuke Ushimaru, Noritaka Sato, Yoshifumi Morita
2. 発表標題 Haptic Device that Presents Sensation Corresponding to Palm on Back of Hand for Teleoperation of Robot Hand Report2: Consideration on Decided Specification
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤徳孝, 牛丸恭佑, 森田良文
2. 発表標題 ロボットハンドによる遠隔作業の高効率化のための手背代用型触覚提示デバイス, 第3報：手のひらと手背の刺激位置の認識誤差に関する考察
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kyosuke Ushimaru, Noritaka Sato, Yoshifumi Morita
2. 発表標題 Haptic Device that Presents Sensation Corresponding to Palm on Back of Hand for Teleoperation of Robot Hand, Report 4: Consideration of the Detection Error of the Stimulus Position between the Palm and the Back of the Hand
3. 学会等名 Joint symposium, International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kyosuke Ushimaru, Noritaka Sato, Yoshifumi Morita
2. 発表標題 Haptic Device that Presents Sensation Corresponding to Palm on Back of Hand for Teleoperation of Robot Hand Report 5: Verification of development device specifications
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------