

# 指中節用触覚インターフェースの研究

## Study on haptic interface for middle phalanx

東條晃一    南澤孝太    梶本裕之    川上直樹    舘暉（東大）

Koichi Tojo, Kouta Minamisawa, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, Susumu Tachi

The University of Tokyo

7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033 Japan

There have been many works on haptic displays for teleexistence and virtual reality, which actually have one common problem. The problem is that they only consider fingertip (distal phalanx), not the whole part of the hand. However, in our daily lives, we use not only the fingertips but also the other parts of the finger. We compared the force direction sensitivity of distal and middle phalanx by psychophysical experiment and showed that middle phalanx has quite the same discrimination ability as the distal phalanx. We also propose a new mechanism to display sense of touch for middle phalanx that is composed of coupled motors. The mechanism is small enough so that it never interrupt fingers' motion.

**Key words:** teleexistence, master hand, virtual reality

### 1. 序論

テレイグジスタンス環境下においては、道具の精密なマニピュレーションおよび外部環境との自然な相互作用を実現するため、手指への触覚提示が行われる。さらに遠隔地のスレーブロボットを操作するためには操作者の手指の姿勢を計測する必要があるため、姿勢計測系と触覚提示装置は共存する必要がある。以上のことから、テレイグジスタンスのための手指への触覚提示装置は姿勢計測と触覚提示が一体となって実装されたマスタハンドとして提案されてきた。

これまでに提案されたマスタハンドの多くは、指先への触覚提示を前提としている。これは、指先への触覚提示は、日常の細かな作業において指先の感覚が最も重要となると考えられることから合理的といえるが、指先以外にも触覚提示を行う機構は実現が困難であったとの理由もあると考えられる。指先以外にも触覚提示するものとしては、Teletact II[1]が挙げられる。これは、ハンドに30箇所のアポケットを設け、それらの内圧を独立に制御することによって圧覚、力覚を提示するものであるが、提示可能な周波数が数[Hz]程度と帯域が狭いことが問題である。

まず、指先のみに触覚提示を行うのがどのような状況に対応するのかを考える。Venkataramanら[2]による把持姿勢の機能による分類によれば、把持は図1のように「器用な把持」(precision grasp)と「安定な把持」(power grasp)という2種類に分類される。この分類において、物体との接触が指先のみで実現される把持は「器用な把持」であり、この「器用な把持」がこれまでの指先に触覚提示を行うマスタハンドで実現可能と考えられる部分となる。一方、残りの「安定な把持」では指先以外の部分の接触が必要となる。従来のマスタハンドでは、この「安定な把持」は実現できない。

また、「器用な把持」として分類されるタスクの多くが、実は「安定な把持」を同時に行っていることは注目に値する。たとえば、携帯電話でボタンを操作する際、携帯電話本体が親指以外の指によってしっかりと安定化されていることが

必要である。また、ハサミやナイフを扱うときは指先だけでなく中節が触れていることで安定した動作が可能となっている。



Fig. 1 Example of precision grasp and power grasp

以上のような理由から、指先以外の部分に質の高い触覚提示を行うことは重要であると考えられる。そこで、我々はまず、心理物理実験によって指先と指中節部の比較を行い、それらの触覚機能に差が無い場合がある事を確かめる。次に指中節部に触覚提示を行う新規機構を提案する。指先以外の触覚提示としては、手のひらも考えられるが、我々は手のひらよりも中節に触覚提示を行うことが重要と考える。なぜならば、中節は指先に最も近く、指先を用いた道具などのマニピュレーション時に道具を安定して扱うための助けとして最も重要となるからである。

また、触覚提示を考えるうえでの別な問題として、提示のための情報取得が可能なセンサが実現されているかという問題がある。今回は、この問題を触覚提示のための機構と同様の機構によって解決する方法を提案する。

### 2. 指先と中節の触覚機能比較実験

指先と中節において変位方向弁別能力の実験を行うことで指先と中節で触覚機能に違いがあるかを検証した。変位方向弁別は把持を行ううえで重要となると考えて測定対

象とした。

## 2.1 実験方法

二つの直動アクチュエータ(Emic 社製 511A)によって水平,垂直に駆動することの出来る触覚提示板を用意(図2),右手の人差し指を提示板の上に載せた。二つのアクチュエータにより指先に任意の角度の力を提示することができる。右手の人差し指を被験者側から見た状態を図3として,図中ので角度を定義する。

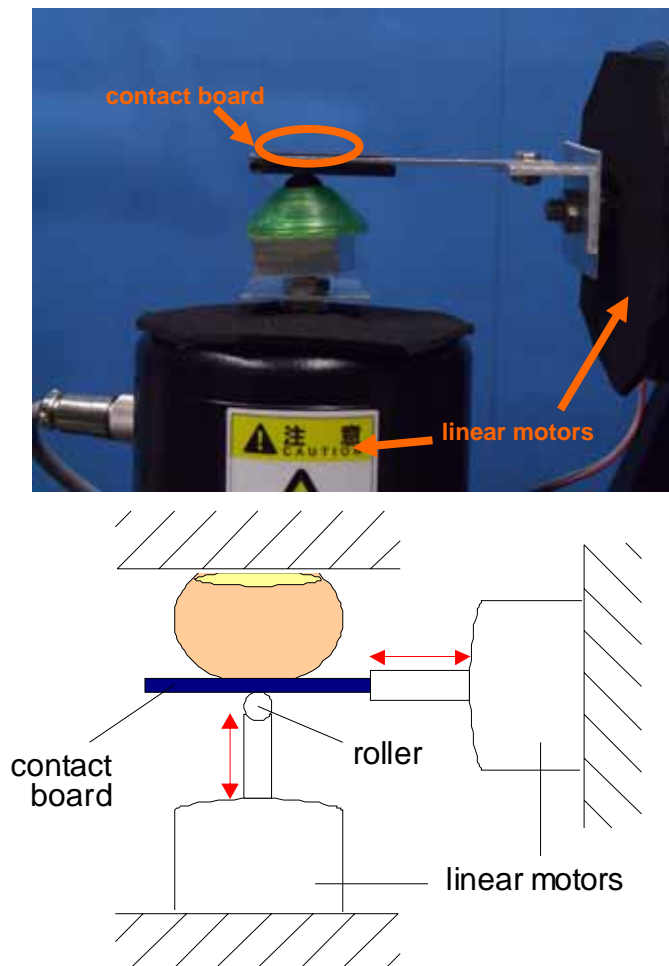


Fig. 2 Experiment setup

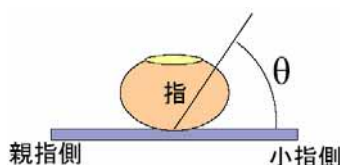


Fig. 3 Definition of

実験は,標準刺激として  $-90[\text{deg}]$ の変位を提示し,比較刺激として  $-90[\text{deg}]$ からある角度だけずれた変位を提示して,二つの刺激の違いを認識できるかを恒常法により測定

した。変位の絶対値は  $1[\text{mm}]$ で,一回の提示刺激は  $0.1[\text{s}]$ かけて正弦波状に滑らかに立ち上がり,その後  $2[\text{s}]$ 間一定の変位を保持し,  $0.1[\text{s}]$ かけて正弦波状に滑らかに立ち下がるようなパターンとなるようにした。また,実験中は,被験者の指の変位に沿った移動を制限するために,被験者の指を上から押さえて固定した。指の固定は,被験者の主観で指に過度な負担がかからず,かつ変位が最も感じられるような状態となるように調整した。比較刺激の幅は標準刺激( $-90[\text{deg}]$ )からのずれが左右に  $0[\text{deg}]$ から  $30[\text{deg}]$ までの範囲で刻み幅は  $5[\text{deg}]$ とした。1種類の比較刺激に対して10回の試行を行った。1回の試行で標準刺激と比較刺激を提示する順序はランダムで,1回目の刺激が2回目の刺激に対して右向き(小指側)か左向き(親指側)かを2件法で回答させた。

## 2.2 実験結果

被験者は6名(うち男性4名,女性2名)であった。うち,被験者2名について測定全体を通した正答率が5割程度とまったく認識できているようにみられず,曲線の当てはめも適切ではないような結果を得たため考察の対象から外した。この状況の原因は,被験者の実験への理解や慣れが不足していたことであると考えられる。

残った4名の被験者から得られた結果から比較刺激ごとに比較刺激を左と回答した割合を算出し,標準正規累積分布関数によってフィッティングした。被験者4名の測定結果を平均した結果を図4に示す。この結果から,指先と中節では力の方向弁別に関して明瞭な差が見られないことが分かる。

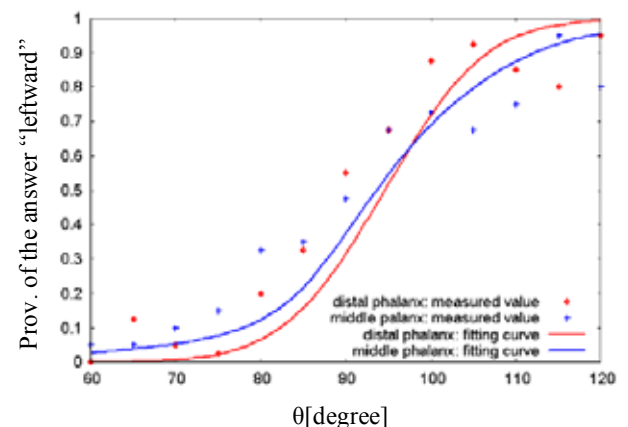


Fig. 4 Average result of four participants

指先と中節で結果に差が見られなかった理由としては,今回のような方向弁別には皮膚の横ずれに対して方向選択性を持っているSAIIが深くかかわるものと考えられるが,SAIIは,指先と中節で密度に大きな差が無いことが挙げられる[4]。

結局,力の方向弁別に関しては,指先と中節で差が無いと結論する。この結果は,指先がもっとも優れた触覚機能を持っているという考え方が当てはまらない場合もあるということを意味している。さらには,把持やマニピュレーションに

において指先以外の部分が指先と同等またはそれ以上の役割を果たしている可能性を示唆する。

### 3. 機構の提案

指中節部への触覚提示を実現する機構として、図5のような機構を提案する。

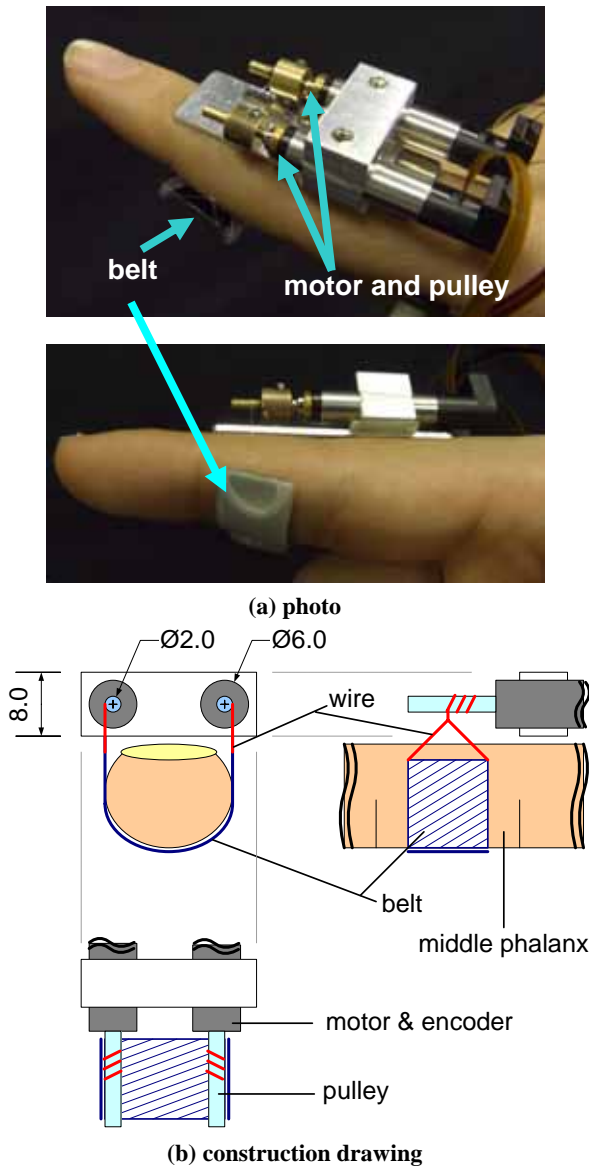


Fig. 5 Prototype of mechanism

指背面に二個のモータ(Maxon Motor 社製 EC08)を配置し、指腹へ触覚提示を行うためのベルト機構をワイヤを介して固定した。

二つのモータをベルト巻き取り方向に駆動することで垂直の圧覚を提示する。さらに片方のモータをベルト巻き取り方向に駆動し、他方のモータをベルト送り出し方向に駆動する(もしくはベルトを固定するように駆動する)ことによって指腹に対して水平なずれ応力成分を提示することも可能となる。これら二つの動作を組み合わせることで、指腹に対して垂直な方向の力から水平な方向の力まで、ある程度の角

度の違いを持たせて提示することが可能となると期待される。

さらに、提示のための情報取得を、提案機構を環境からの作用に対して機構をパッシブに駆動することによって実現することが可能と考えている。テレイグジスタンスにおいてロボットハンドに提案機構を装着した状態で情報取得を行う場合の動作を説明する。

ロボットフィンガの表面に弾性体層を敷設する。まず、機構は、弱いオフセットの力でフィンガを締め付けた状態にしておく。そこから、フィンガに垂直な力が加わった場合はベルトが緩んだ分だけモータによってワイヤが巻き込まれる。この巻き込み量から、弾性体の変形を求めることにより弾性体の弾性係数から外力の大きさを知ることができる。また、フィンガに水平なずれ応力が加わった場合も、垂直な力の場合と同様に、ベルトが緩んだ分だけ巻き込み、引っ張られた分だけ送り出す動作を環境からの力に対してパッシブに行えば、弾性体の変形によって外力の計測が可能である。

以上で説明した提示と計測の動作を行うシステムを模式的にあらわすと図6のようになる。

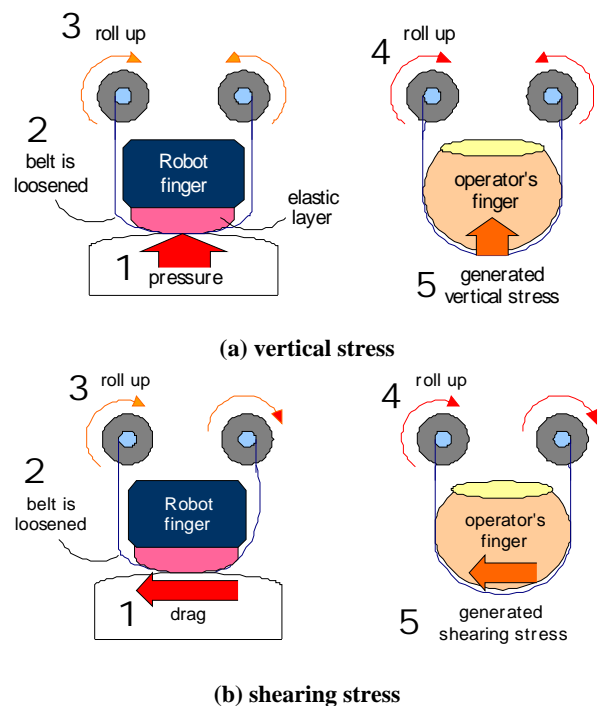


Fig. 6 Sensing and displaying mechanisms

試作した機構の連続最大出力は 650-700[gf] ( 6.4-6.9[N] ), 周波数帯域は 0-25[Hz] となった。しかしながら、触覚提示に対する反作用が指の背に感じられてしまう問題点が挙げられた。今後、従来の指先へ触覚提示を行うマスタハンドに今回の提案機構を搭載することで指背に生じてしまう感覚を取り除くことが可能と考えている。

## 4．結論

本論文では、安定した把持やマニピュレーションの実現のためには、指先以外の指腹、特に指中節部への触覚提示を行う必要があることをあげ、最初に指先と指中節部の触覚機能比較を行った。結果、変位の方向弁別に関しては指先と中節で差が無いこと、その理由として変位の方向検出に深く関与すると考えられている SAI 型受容器の分布密度が指先と中節で変わらないことが挙げられた。この結果は、指先以外への触覚提示が必要であるという我々の考え方を支持する内容であった。

さらに、指中節部へ触覚提示を行う機構の提案を行った。提案機構は、問題点が残るものの、既存の外骨格方マスタハンドへの搭載によって中節への触覚提示を行うことが可能なものとして実現された。今後の課題としては、まず今回提案した機構を適当なマスタハンドに搭載する、もしくは新規マスタハンドの開発が必要である。それによって、提案機構によって提示する感覚が、把持やマニピュレーションの補助として利用可能であるかを確かめることができる。また、今回は変位の方向弁別という側面から指先と中節で機能比較を行ったが、今後は、振動、テクスチャなど他の側面から手指の各部分での機能比較がなされることが必要である。

## 参考文献

- [1] Grigore C. Burdea, “Force and Touch Feedback for Virtual Reality,” John Wiley & Sons, 1996.
- [2] S. T. Venkataraman, T. Iberall, “Dextrous robot hands,” Springer-Verlag, 1990.
- [3] 岩村吉晃, “タッチ,” 神経心理学コレクション, 医学書院, 2001.
- [4] 大山正, 今井省吾, 和気典二, “新編感覚知覚心理学ハンドブック,” 誠信書房, 1994.