

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |   |
|-------------------|---|
| 論題                | 突起の指先押付けによる力感覚鋭敏化に関する研究   |
| Title             | Research of improving the finger ' s sensitivity by pressing with the lugs  |
| 著者                | 石田悠朗, 広瀬 茂男   |
| Author            | Hiroaki Ishida, SHIGEO HIROSE   |
| 掲載誌/書名            | , , ,   |
| Journal/Book name | , , ,   |
| 発行日 / Issue date  | 2013, 5   |
| URL               | <a href="http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html">http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html</a> |
| 権利情報 / Copyright  | 本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。  |
| Note              | このファイルは著者（最終）版です。<br>This file is author (final) version.   |

# 突起の指先押付けによる力感覚鋭敏化に関する研究 —実験条件に関する基本的検討—

## Research of improving the finger's sensitivity by pressing with the lugs -Basic consideration of the experimental conditions-

○学 石田 悠朗 正 広瀬 茂男 (東工大)

Hiroaki ISHIDA, TITECH, ishida.h.aa@m.titech.ac.jp  
Shigeo HIROSE, TITECH

In the finger's controllers for a robot and the virtual reality, it is difficult for an operator to feel the feedback force directly because a resistance of the controllers makes the sensitivity of the fingers less sharp. Therefore, it is effective to press the fingers with lugs in order to feel the force originally. In this research, we consider the experimental conditions, lugs' diameter, height, pitch, number, position to the fingers, and tip shape, refer to former researches for making the sensitivity of the fingers better to the feedback force, and have the experiment to confirm the concept of pressing the lugs to the fingers.

**Key Words:** Force Feedback, Sensitivity, Lugs

### 1. 緒言

ロボットの遠隔操作やヴァーチャル・リアリティ (VR) の分野では、操作対象と周辺環境の接触状態を操作機器内部において力やモーメントを生成して人間に伝えることで、より臨場感のある認知をさせる研究が広く行われている[1][2][3][4]。力やモーメントを伝えるためにトリガーやリンクをアクチュエータで駆動して人間と接触させているが、人間と環境の間には常にトリガーやリンクといった介在物が存在するため、直接環境と接触しているリアルな感覚を表現することは非常に難しい。特に、微小の力を表現したい場合に、介在物の抵抗によって人間はほとんど知覚できないといったことが考えられる。これらの影響を顕著に受けると考えられるのは、人間が操作に使用可能な部位の内、指に対する影響である。通常、人間が物を掴む時には指に密集した感覚器官の情報を用いながら、把持しても物を潰したり、落とさない微妙な力を出力している。しかし、操作対象が介在した場合にはその抵抗により微妙な力を知覚できなくなり、掴む対象を握り潰したり、落とすといった意図しない操作に繋がってしまう。これらを改善するための従来の手法は、リンクの肉抜きやワイヤ駆動による軽量化、高性能な力センサを使用してアクチュエータを常に駆動するといった方法を用い、抵抗を可能な限り小さくするという方法を用いていた。しかし、リンクや駆動部の軽量化には限度があり、力センサによる重量増や時間遅れが残ることを考えると、その効果は限定的である。そこで操作対象を改良すると同時に、操作を行う人間側の指の感度を向上させることで、力の微妙な変化を認識させる複合的な手法が有効であると筆者らは考えている。そして、指先の知覚能力を向上させるための一つの手法として、複数の微小突起を人間の指先に押し当てることで皮膚の感覚受容器にひずみエネルギーを集中的に与えて、押付け力を増幅して感じさせるという研究が行われている[5]。この手法は本研究目的に有効な手法の一つと考えられる。

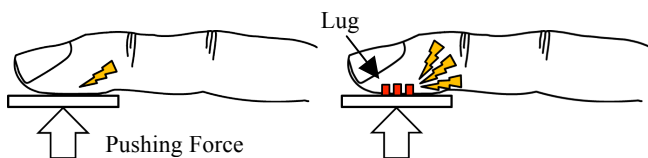


Fig. 1 Concept

本稿では、文献[5]の研究を参考に、指先に突起を押し当て指先の感覚を鋭敏化させることに対して、類似研究を引用しながらその有効性の検討を行う。また、突起によって指先の感覚、特に力に対する認識が向上することを確認するため、当研究室で開発したロボットアーム遠隔操縦桿「Armrest Joystick」の指操作部[6]で行った実験とその結果を報告する。

### 2. 方針の検討

突起を指先に押し当てることで人間の皮膚受容感覚器官（メルケル小体・マイスナー小体）を刺激した結果得られる様々な効果を計測した研究が、過去に行われている。

文献[5]では、複数の微小突起を指先に押し当てると、突起がない場合に比べて力を増幅して伝えることができると報告している。さらに、微小突起の間隔を変化させることでその効果にも違いがあり、最適値が存在することを示している。

また、文献[7]では、猿の指先に様々な直径の突起を押し当てて、皮膚の感覚受容器の反応を直接測定している。突起の直径を小さくしていくことで、受容器の信号数を増やすことができることを示している。

文献[8]では、複数の突起に低周波振動を与えることで、指先に押し付けることなく、指先の感覚受容器を選択的に反応させて力を錯覚させる装置の開発を行なっている。この研究の先行研究で文献[9]のシミュレーションの結果では、突起の直径を小さくすることで皮膚の感覚受容器の剪断エネルギー密度を増やし、さらにピンの間隔に関して剪断エネルギー密度を最大化するための最適値が存在することを示している。

文献[10]では、微小突起を並べた「触覚コンタクトレンズ」を用いて物の表面をなぞると、通常では認知できない微小の凹凸を感じられるようになると報告している。そして、突起の高さによって凹凸の認識率、認識にかかる時間が変化することを実験により確認している。

以上の先行研究をまとめると、突起を指先に静的、あるいは動的に接触させることで、突起がない場合と比べて感覚に差が生じることは明らかと言える。また、これらの研究では

- ・ 突起間隔
- ・ 突起直径
- ・ 突起高さ

を変化させた場合で受容感覚に変化があり、一部には最適値が存在すると報告している。さらに筆者らは他の要因として、

- ・ 突起の本数
- ・ 押し当て位置
- ・ 突起の先端形状

によっても皮膚のひずみを変化させて、体感感覚を効果的に変化させることができると考えている。したがって、今後は新しいこれらの要素に関して指先の感覚に与える影響を調べ、既存の要素と比較を行ない、指に効果的に力を伝達するための突起の最適化を図る予定である。

### 3. 検証実験

#### 3.1 実験条件

突起を指先に押し付けた際に、力に対しての認識がどのように変化していくかを確認するための簡単な実験を行った。実験では、操作機器として Armrest Joystick のグリップ操縦桿を使用した。このグリップ操縦桿は、外骨格型 5 節リンクにより構成され、根本に配置された減速機付 DC モータ (MAXON RE13 3Watt、減速機 GP13A 減速比 17:1) によって指先のリンクに接触力を再現することができる。この操縦桿において力を再現して、グリップの接触状態が識別できることは、文献[6]における把持実験で確認している。また、リンクは人差し指の末端節のみで接触するように改良を行い、末端節部分のみに力を与えることとする。指先に接触させる突起は、直径が 2、2.5、3、4mm の円柱を 4 種類、各直径に対して高さが 1、1.5、2mm の 3 種類を用意した。これらの各突起を簡単のため 1 本のみリンク上に設置して、末端節の中心付近に接触するようにして指を配置した。また、リンクに還す力に関しては、リンクを徐々に閉じていくとある段階から力を還すようにモータを駆動し始め、さらに閉じていくとモータの出力が増加するような電流制御を PC 上で定義した。被験者にはモータが駆動していない状態からモータを駆動した状態へ変化したと認識したところでグリップを閉じるのを停止するという動作を繰り返した。また、計測値はモータに直結したエンコーダの値とモータの電流値とした。

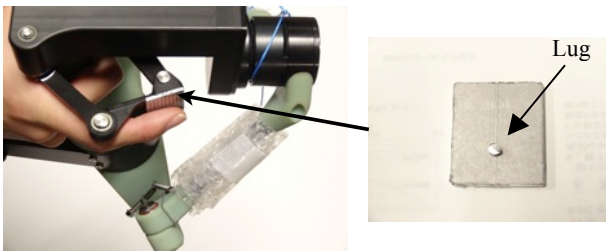


Fig. 2 Experiment Condition

#### 3.2 実験結果

実験結果として、エンコーダのカウント値と電流値の推移を Fig.3 に示す。エンコーダのカウント値は、値が増えるほどグリップをより閉じた状態を示している。

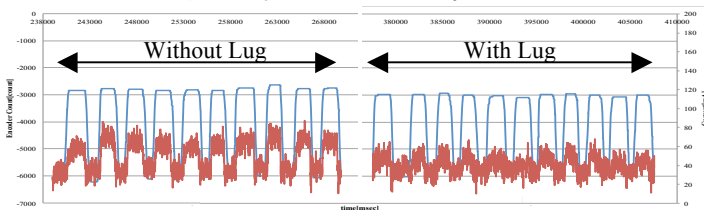


Fig. 3 Experiment Result

Fig.3 の結果が示す通り、グリップを閉じるのを停止した状態、つまり最も電流が大きくなった時の値は、突起を指先に

配置した場合に低下していることがわかる。これは突起によって指先で力の感覚が向上していることを示している。

次に突起の直径を変化させた場合のエンコーダのカウント値、電流値の最大値を、10 回グリップを操作した時の平均値で比較する。この時の突起は高さが 1mm のものを用いた。Table.1 に示す通り、突起の直径を小さくしていくことで電流値が小さくなる、つまり小さな力でも指先が認識していることがわかる。直径が 2.5mm の時の電流値が直径 2、3mm の時と比べて大幅に大きな値を示しているが、エンコーダのカウント値を比べると丁度中間の値を示しているため、前述のような結果と考えることができる。

| Diameter [mm]         | 2     | 2.5   | 3     | 4     |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Average Count [count] | -3024 | -3063 | -3094 | -2866 |
| Average Current [mA]  | 39.1  | 47.1  | 39.5  | 51.7  |

Table. 1 Result with changing diameter

さらに突起の高さを変化させた場合のエンコーダのカウント値、電流値の最大値を、10 回グリップを操作した時の平均値で比較する。この時の突起の直径は 3mm のものを用いた。Table.2 に示す通り、突起の高さは低いほど指先で力を敏感に認識できていることがわかる。これは突起が高すぎると指が弾性変形し切らずにリンクに対して浮いてしまい、指先端にひずみエネルギーを十分に生成できないためと考えられる。

| Height[mm]            | 1     | 1.5   | 2     |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| Average Count [count] | -3291 | -3283 | -3211 |
| Average Current[mA]   | 92.2  | 97.4  | 111.0 |

Table. 2 Result with changing height

最後に突起の押し当て位置を変化させた場合のエンコーダのカウント値、電流値の最大値を、10 回グリップを操作した時の平均値で比較する。この時の突起は、直径が 3mm で高さが 1mm のものを用いた。Table.3 では Position が「+」の場合は指の先端方向に、「-」の場合は掌方向に中央位置から突起をずらしたことを示している。実験の結果、指の先端方向ほど力を敏感に認識しているという結果となった。これは文献[11]で示されている通り、指先ほど皮膚感覚受容器の密度が多いことに起因すると考えることができる。

| Position [mm]         | +8    | +4    | 0     | -4    | -8   |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| Average Count [count] | -2993 | -2958 | -2823 | -2790 | 2743 |
| Average Current [mA]  | 46.2  | 49.4  | 57.8  | 62.1  | 64.3 |

Table. 3 Result with changing position

以上の結果から、突起によって指先の力を敏感に知覚できること、さらに突起の直径、高さ、押し当て位置を変えることで力の感じ方を変化できる可能性が示された。

### 4. 結言

本研究では、突起を指先に押し当てることで指先の感覚を鋭敏化することを目的に、過去の類似研究を用いながら突起のパラメータの検討を行った。また、突起を用いることで力に対する感覚が変化することを確認するための簡単な実験を行った。突起の直径、高さ、押し当て位置により力の認識向上の効果が異なることを確認した。

今後の予定として、今回確認できなかった突起の本数や先端形状の影響も含めて、より詳しく調べていくための実験機を作成し、多くの被験者に対して、突起がもたらす指先感覚の違いを調べる実験を行なっていく予定である。

## 文 献

- [1] Cyber Glove Systems, <http://www.cyberglovesystems.com/>.
- [2] Hasunuma, H., Kagawa, H., Takatori, M., Fujimori, J., Mifune, F., Shikda, S., Kobayashi, M., Itoko, T. and Tachi, S., "Development of teleoperation master system with a kinesthetic sensation of presence," *International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, vol.9, pp.53-59, 1999.
- [3] Kawasaki, H., Mouri, T., Alhalabi, M. O., Sugihashi, Y., Ohtuka, Y., Ikenohata, S., Kigaku, K., Daniulaitis, V., Hamada, K., and Suzuki, T., "Development of five-fingered haptic interface: HIRO-II," *International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, vol.9, pp.209-214, 2005.
- [4] 金時学, 長谷川晶一, 小池康晴, 佐藤誠, "7 自由度力覚ディスプレイ SPIDAR-G の提案", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.7-3, pp.403-412, 2002.
- [5] 佐藤淑美, 橋本悠希, 梶本裕之, "ポータブルデバイスのための擬似的な力覚の提示手法", 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.3B2-5, 2008.
- [6] Ishida, H., Hagiwara, T., Ueda, K. and Hirose, S., "Armrest Joystick-mechanism design and basic experiments-," *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.5119-5124, 2012.
- [7] LaMotte, R., H. and Srinivasan, M., A., "Responses of cutaneous mechanoreceptors to the shape of objects applied to the primate fingerpad," *Acta Psychologica*, vol.84, pp.41-51, 1993.
- [8] 昆陽雅司, 横田求, 前野隆司, 田所諭, "低周波振動刺激によって起こる静的圧覚の呈示条件", 第 11 回ロボティクスシンポジウム予稿集, vol.11, pp.179-185, 2006.
- [9] 横田求, 昆陽雅司, 前野隆司, 田所諭, "低周波振動刺激を用いた圧覚ディスプレイの開発 : 振動子形状の影響の評価", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'06 講演論文集, pp.2P2-B30, 2006.
- [10] 武居直行, 佐野明人, 望山洋, 菊植亮, 小澤敦, 藤本英雄, "触覚コンタクトレンズ -心理物理実験-", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, pp.1A1-H11, 2004.
- [11] 松尾一矢, 村上剛司, 長谷川勉, 倉爪亮, "把握認識のための触覚センサ素子配置の決定手法", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 講演論文集, pp.1P1-H17, 2008.