

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 2 5 年 5 月 1 7 日現在

機関番号：1 3 7 0 1

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011 ~ 2012

課題番号：2 3 6 5 3 2 2 3

研究課題名（和文） ヒトの指先の触知覚に方向性があるのはなぜか？その機構の解明

研究課題名（英文） Why does human finger's tactile sense have the directionality in sensing fine steps? Its mechanism is elucidated.

研究代表者

川村 拓也（KAWAMURA TAKUYA）

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：5 0 3 1 3 9 1 1

研究成果の概要（和文）：本研究では，ヒト指先の「つるつる・ざらざら」という触感覚認識機構を解明することを目指している．これまでに，10 μm 程度のステップ状の微小段差刺激をヒト指先に呈示し，その知覚能力を測定してきた．本研究では，微小段差を呈示しながらそのとき指先にかかる力を計測する装置を開発した．実験では，30 mm/s の速度で往復運動する 20 μm ，50 μm ，100 μm の段差を指先で知覚するときの力を測定した．今後は得られたデータの解析方法について検討する．

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to elucidate the mechanism of human finger's tactile sense for recognizing surface roughness and smoothness. In the previous works, the capability of human finger's tactile sense was determined when the finger touched and discriminated about 10 μm fine steps. In this study, a fine-step presentation system was developed that can measure the compression force of the human finger touching a fine step. In the experiment, a human subject touched the fine steps of 20, 50, 100 μm moving reciprocally at the velocity of 30 mm/s, and the amounts of the compression force were measured. In future work, I will consider how to analyze the data measured in the experiment.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：感覚・知覚，触知覚の方向性

1. 研究開始当初の背景

本研究では，ヒトの触覚が得意とする，数 μm の凹凸を「つるつる・ざらざら」という触感覚として感知する触感覚認識機構を，心理物理実験法あるいは有限要素法と呼ばれる工学的手法などを用いて解明することを目指している．

ヒトの触感覚の認識機構については不明な点が多く，触感覚の計測技術や呈示技術の確立が VR 技術の分野などで期待されている．

ヒトは刺激に触れている指を動かす触運動を行って触感覚を得ている．そこで本研究では，触感覚認識機構における触運動の重要性に注目して，これまでその役割を定量的に評価してきた．

先行研究では，ヒトが指先で 10 μm 程度のステップ状の微小段差刺激を弁別する場合，指を指の長手方向に動かすほうが弁別能力が高くなることが示唆された．そこで，「人は触運動の方向を選択して触感覚認識能力

を高めている」とする仮説を立てた。触知覚の方向性の要因として指先の指紋の影響ではないかと考えたが、指の先端だけでなく、指紋の影響を受けにくい指の腹でも方向性が確認された。

そこで本研究では、触運動の方向により指先の変形の仕方が異なる点に着目して、微小段差を弁別するときの力を計測する。これより、触知覚における力の影響を定量的に明らかにする。まず、力計測可能な微小段差呈示装置を開発する。つぎに、微小段差弁別時の触運動により指先に加わる力を計測する。これらを実施して、触知覚の方向性のメカニズムを解明することを目指す。本研究により、微小刺激の強度、呈示速度、呈示方向のパラメータに加えて、力の影響が定量的に明らかになり、触感覚認識機構の解明に寄与することが期待される。

2. 研究の目的

10 μm 程度のステップ状の微小段差刺激をヒトが指先で触って知覚するとき、その知覚能力に方向性があることが先行研究で明らかになった。指先を横に動かすよりも指の長手方向に動かすほうが微小な刺激を弁別しやすかった。このようにヒトの指先の触知覚に方向性があるのはなぜか？その機構を解明することを目指す。ヒトが微小段差刺激を知覚するとき、触運動の方向により指先の変形の仕方が異なる点に着目し、微小段差弁別時の指先に作用する力を計測して、触運動の方向や速度と、微小段差が指先に与える力の関係を明らかにする。

3. 研究の方法

微小段差弁別時における指先に作用する力を計測して、触運動の方向や速度と、微小段差が指先に与える力との関係を明らかにして、触知覚の方向性のメカニズムを解明することを目指す。

まず、微小段差弁別時の力を計測可能な微小段差呈示装置を新たに設計・開発する。これまでに開発した微小段差呈示装置では、ステンレス製板を突き合わせたステップ状の数 μm の微小な段差を試料とし、試料の刺激強度、呈示速度、呈示方向、呈示温度の4つのパラメータをそれぞれ制御して、被験者に呈示することが可能となっていた。本研究では、これら4つのパラメータに加えて、ステンレス製板に加えられる指の押し付け力や、触運動時に微小段差が指に与える力などを計測可能な微小段差呈示装置を新しく設計・開発する。

本装置では、力を計測するために6軸力覚センサを2台用いる。また、呈示試料の刺激強度、呈示速度、呈示方向の3つのパラメータをコンピュータにより同時にかつ高精度

に制御可能とする。これを実現するため、ハーモニックギヤ付き高精度モータを搭載した高精度楔形Zステージ1台、Xテーブル1台、回転テーブル1台を用いる。装置の要求仕様は、微小段差量の送りピッチ1 μm 以下、呈示速度0~50 mm/s、呈示方向0~360度で制御可能とする。なお、ヒトの指先の触覚は高感度であるため、Xテーブル駆動中に生じる振動やガタツキを極力少なくし、数 μm の微小段差の呈示に影響を与えない十分な耐荷重性能、耐振動性能などをもつ装置とする。

つぎに、新しく開発した力計測可能な微小段差呈示装置を用いて、触運動の方向や速度を変えたときの微小段差弁別時の指先に作用する力を測定する。ここでは、触運動の方向や速度により指先の変形の仕方が異なる点に着目する。心理物理実験では、指と刺激との相対的な運動に対して、段差刺激の強度、移動速度および移動方向の三つのパラメータを制御し、またそのとき指に加わる力を計測して、触運動の方向、速度および指先に加わる力が触感覚認識機構に及ぼす影響を定量的に明らかにする。実験においては、被験者の指に対する段差刺激の移動方向をコンピュータ制御により縦、横、斜めなどの任意の方向に設定して、段差刺激の呈示方向を制御する。

4. 研究成果

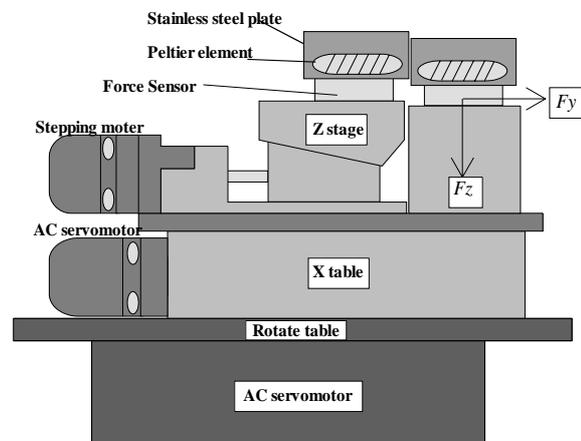


Fig. 1 Fine-step presentation system

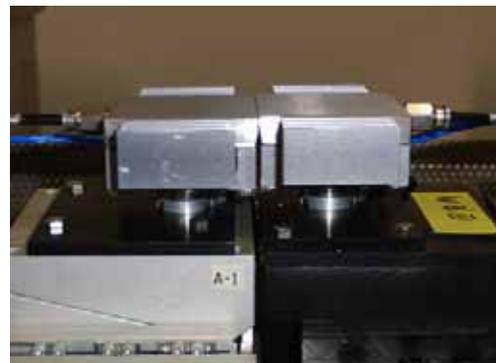


Fig. 2 A fine step with force sensors

本研究では、ヒトが微小段差刺激を知覚するとき指先に作用する力に着目し、微小段差刺激を呈示しながらヒト指先に作用する力を計測する装置を開発した。また、本装置を用いて 30 mm/s の速度で往復運動する数十ミクロンの段差を指先で触れる実験を行い、段差を知覚したときの力を測定した。以下ではその結果を示す。

本研究で開発した、ヒト指先にかかる力を測定するための微小段差呈示装置を図 1 と 2 に示す。本装置では、二枚のステンレス鋼板を段違いに突き合わせることでステップ状の段差を呈示しており、その段差量は楔形 Z ステージにより制御される。また、Z ステージは X テーブルの上に設置されており、段差を水平方向に往復運動させることができる。これにより、人は指先を動かさずに微小段差を知覚できるようになっている。また、それぞれのステンレス鋼板の下には力センサ（ビー・エル・オートテック(株), ThinNANO1.2 /1) があり、指先にかかる力を測定可能となっている。なお、段差温度はペルチェ素子により調整可能である。

つぎに、ヒト指先力を測定した。本実験では、X テーブルにより往復運動する段差を右手示指の指腹部で知覚するときの力を測定した。このとき、指先をできるだけ動かさないようにして、段差を押し付ける力を一定に保つようにした。なお、段差量は 20, 50, 100 μm 、段差の移動速度は 30 mm/s とした。

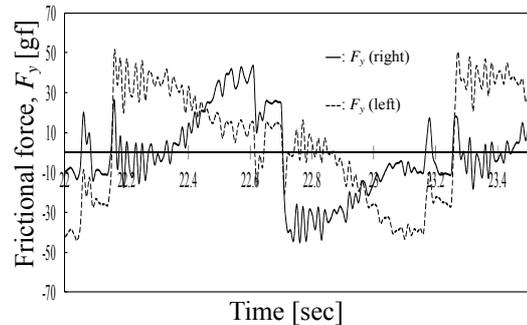
力の測定結果を図 3 から図 5 に示す。実験では段差をおよそ 30 秒間繰り返し呈示したが、ここでは、呈示開始後 22 秒程度から、段差が指腹部の下を一往復したときの Y 軸の力 F_y と Z 軸の力 F_z を示す。図 3 と 4 はそれぞれ段差量が 20 μm 、50 μm のときの F_y と F_z を示し、図 5 は 100 μm のときの F_z を示している。実験では、段差に向かって左側のステンレス鋼板を右側のステンレス鋼板より高くしてある。図中の実線と破線は、それぞれ右の段と左の段にかかる力である。

まず F_y に注目すると、22.1 秒、22.7 秒、23.3 秒付近で、 F_y の値の符号が変化していることから、段差の移動方向が反転したことがわかる。また、 F_z に注目すると、22 秒付近では実線がほぼ 0 となっており、このとき指先は左の段の上にあることがわかる。つぎに、段差が左方向に移動していき、 F_z の値が変わりはじめるところで指先が右の段も押さえはじめると、その後、 F_z の値がほぼ一定となり、このとき指先は右の段の上にある。さらに 22.5 秒、23 秒付近では、 F_z の実線と破線が交差しており、このとき段差が指腹部の中央を通過したと考えられる。これらのことから、およそ 22.1 秒から 22.7 秒の間に指先は高い段から低い段に移動し、22.7 秒から 23.3 秒の間に低い段から高い段に移動したことが

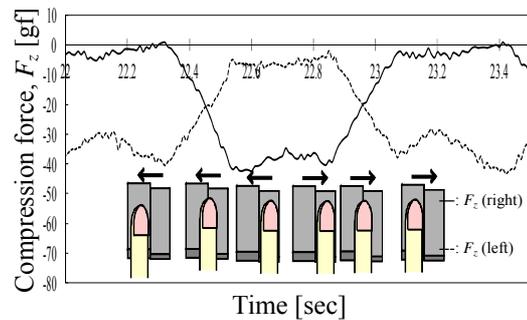
わかる。

ここでまず、段差が指腹部の中央を通過したときの F_y の変化に注目する。段差量が 20 μm と 50 μm のとき、 F_y の値は徐々に変化しているが、グラフに明確な違いは見られない。つぎに F_z の変化に注目する。図 5 の段差量が 100 μm のとき、指先が高い段を触れているときと低い段を触れているときとは値に違いがみられ、力の最大値を比較すると約 15 gf の差が生じている。しかし、段差量が 20 μm のときには差はほとんど見られない。したがって、100 μm 程度の段差では、この F_z の違いが段差判別に影響を与える可能性がある。

最後に、本研究では、微小段差を知覚するときのヒト指先の力を計測する微小段差呈示装置を製作し、20 μm 、50 μm 、100 μm の段差を知覚するときの力を測定した。今後は、得られたデータの解析方法について検討して、指先の触運動の方向や速度、指先にかかる力とヒト指先の段差弁別能力との関係を明らかにしていく。



(a) Frictional force F_y



(b) Compression force F_z

Fig.3 Forces applied to a fingertip touching a fine step of 20 μm

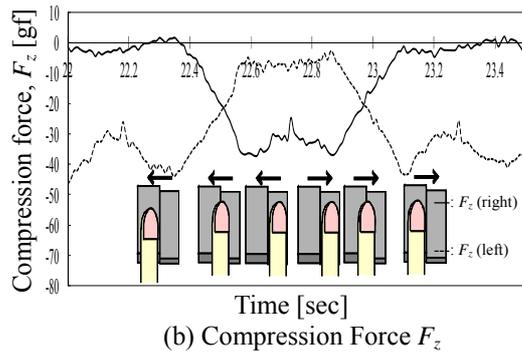
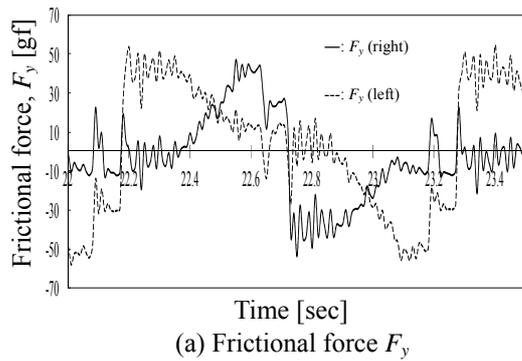


Fig.4 Force applied to a fingertip touching a fine step of 50 μm

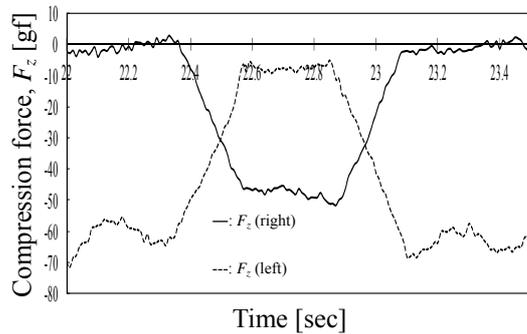


Fig.5 Compression Force applied to a fingertip touching a fine step of 100 μm

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

柿崎芳皓, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚, 谷和男, 微小段差弁別におけるヒト指先の力を測定するための微小段差呈示装置の開発, 日本機械学会東海支部第 62 期総会講演会講演論文集, pp. 63-64, 2013, 査読無.

[学会発表] (計 1 件)

柿崎芳皓, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏

尚, 谷和男, 微小段差弁別におけるヒト指先の力を測定するための微小段差呈示装置の開発, 日本機械学会東海支部第 62 期総会講演会, 2013.3.18-19, 三重, 津.

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

川村 拓也 (KAWAMURA TAKUYA)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号 : 50313911