

機関番号：22604

研究種目：研究スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21800025

研究課題名（和文） 触知覚へ影響を及ぼす力学的要因の解明

研究課題名（英文） A study of dynamical factors affecting tactile sensing

研究代表者

石橋 良太（ISHIBASHI RYOTA）

首都大学東京・システムデザイン研究科・助教

研究者番号：20535835

研究成果の概要（和文）：本研究では、知覚に影響を及ぼす力学的要因のモデル化と定量評価を目的とし、指先の動特性を数理モデルで表した。得られた知見は、力触覚提示装置へ応用した。数理モデルは解剖学的知見と材料的特性に基づく動特性の簡略化モデルであり、実験により妥当性を検討した。実験では接触条件の変化と振動覚閾値との関係を示した。力触覚提示装置は前述のモデルに基づき提示情報を調整するものであり、面型とジョイスティック型を用いた。

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,080,000	324,000	1,404,000
2010年度	980,000	294,000	1,274,000
総計	2,060,000	618,000	2,678,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：システム制御，ロボティクス，ハプティクス，知覚情報処理，触覚

## 1. 研究開始当初の背景

人間の触知覚は、ウェーバー・フェヒナーの法則に基づき非線形に変化することが知られており、皮膚表面に印加された刺激は、弱い刺激は感度良く、強い刺激は低感度に知覚される。このようなヒト固有の巧みな触覚センシング能力の詳細を力学的に解明することは、機能形態学的な観点から興味深いばかりでなく、人間と親和性の高い触覚提示デバイスなどの開発に際し、設計指針を決定する

極めて重要な基礎データを提供できる。このような観点から、皮膚の持つ情報伝達作用に関しては、多くの解析が行われてきた。

本研究では、触覚受容器の一つであるマイスナー小体へ着目する。マイスナー小体は、表皮下浅部の真皮乳頭に位置し、“つるつる感”や“ざらざら感”などの知覚に深く関係する。このため、そのメカニズムを力学的に分析できれば、ヒト固有の触覚センシング能力の一端に関して、力学的な解明を与える事

が出来る可能性がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、皮膚と触覚受容器からなる力学系に関し、その幾何学構造に着目することにより、静特性および動特性について分析する。ここで、幾何学構造へ着目することには以下の利点がある。

### (1) 幾何学構造と動特性のモデル化

幾何学構造に着目することにより、構造的な観点から受容機能を分析できる。さらに、触覚受容器と皮膚構造に関する幾何学構造を数理モデルで表し、これに基づく動特性モデルを構築することにより、情報の入出力関係を簡便に表現できる。

### (2) 動特性モデルに基づく触覚センシングの力学的解釈

触覚受容器の形状の違いによる出力情報の差が定量化できる。このため、解析結果に基づき、力触覚提示装置の提示情報を制御することにより、装置の提示機能を向上できる可能性がある。

## 3. 研究の方法

本研究では、触覚受容器の一つであるマイスナー小体へ着目し、はじめに皮膚とマイスナー小体からなる一連の力学系の幾何学を導出する。さらに、幾何学モデルに基づき動特性のモデル化をおこなう。具体的には、皮膚とマイスナー小体の幾何学構造の内、いかなる構造が主要な役割を果たすのかを明らかにする。さらに、マイスナー小体の形状の違いによる出力情報の差を、ヤコビ行列等を用いて定量的に表現する。具体的には、以下となる。

### (1) 触覚受容器の数理モデル

触覚受容器の一つであるマイスナー小体の幾何学構造を検討する。マイスナー小体は、皮下の真皮乳頭へ位置する楕円体形状の機械受容器であり、螺旋状の神経軸索、層状に積み重なった層板細胞、およびコラーゲン繊維から構成される。コラーゲン繊維は、楕円体を真皮乳頭へ結合するように配置されている。マイスナー小体は楕円体形状を有する点、及び層状の弾性体である点に着目すると、その力学特性は非線形ばねに類似すると考えられる。そこで、本研究ではマイスナー小体の幾何学形状を樽状の非線形弾性体と仮定し、幾何学を導出する。これに基づき、入出力に関する伝達関数を推定する。このとき、導出した伝達関数は数値シミュレーションにより具体化し、心理物理実験などの結果と比較検討を行なう。

### (2) 皮膚構造と触覚受容器の統合モデル

ヒトの皮膚は数種の機械受容器が適材適所に配置され、その結果、様々な触覚情報を得ている。例えば、皮膚下には真皮乳頭が配置されており、マイスナー小体はコラーゲン繊維により結合されている。ここで、解剖学的知見から、皮膚表面の変形により真皮乳頭が開閉する可能性が示唆している。また、コラーゲン繊維は皮膚表面へ向いているものと想定される。この構造の場合、受容器は、皮膚表面に対して水平方向に左右に伸張され、垂直方向に圧縮される。このような触覚機能に関わる皮膚構造をモデル化し、前述のマイスナー小体の幾何学モデルと統合することにより、表面変形に起因した伝達関数を導出する。その後、解析モデルの誤差解析により、皮膚と受容器の幾何学構造の内、センシングにおいて主要な役割を果たす構造を明らかにする。

研究遂行に際し、特に指先と対象物体との

動的接触に関連した接触モデルに際しては、研究協力者の助言を仰ぎ進める（研究組織にて記載）。さらに、生理学的な展開、実験プログラム、および力触覚提示装置への展開に関しても、適宜助言を得ながら進める。

#### 4. 研究成果

##### (1) 研究の主な成果

本研究では、触知覚に影響を及ぼす力学的要因のモデル化と定量評価を目的とし、数理モデルを構築するとともに、得られた知見の力触覚提示装置への展開を進めた。具体的には以下の通りである。

平成 21 年度は、指先の数理モデルを構築し、様々な接触条件と知覚との関係について力学的に分析した。平成 22 年度は、前述の数理モデルを拡張して再構築するとともに、得られた知見を力触覚提示装置へと展開した。新たに構築した数理モデルは、無毛皮膚と機械受容器に関するもので、解剖学的データと材料的特性に基づく動特性の簡略化モデルである。力触覚提示装置は、構築した数理モデルに基づき提示情報を調整するもので、面型とジョイスティック型の二種において検討を進めている。面型の装置では、指先との動的接触状態を考慮した接触面のインピーダンス調整法について検討した。さらに、発展的課題として、能動触原理に関して、タッチパネルの操作タスクを例に分析を進めている (Fig. 1)。

##### (2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

皮膚の持つ情報伝達作用に関しては、多くの解析が行われてきた。これに対し、本研究は、触覚受容器の構造の持つ情報伝達作用に関して、力学的側面から解釈を行う点に特色がある。特に、皮膚構造と触覚受容器の幾何

学構造に着目し、幾何学パラメータが有する情報伝達作用を解析した研究成果は、多様な分野において有用な基礎データを提供できると考えられる。

さらに、本研究における解析結果は、人間と親和性の高い触覚提示デバイスなどの開発に際しても、その設計指針を決定する極めて重要な基礎データを提供できるものと期待される (Fig. 1 参考)。

##### (3) 今後の展望

本研究は、触知覚の基礎原理を力学的観点から分析し、定量的解釈を得る目的がある。ただし、これまでの成果は、研究遂行に応じて心理物理実験などを取り入れており、厳密な意味での力学的な定量評価指標とはなり得ないと考える。一方で、ある種の定性的な解釈を含みながらも、各種の力触覚提示装置の機能評価に際して評価基準を策定可能であることが確認されており、本基準に基づく相対的評価を可能とする。

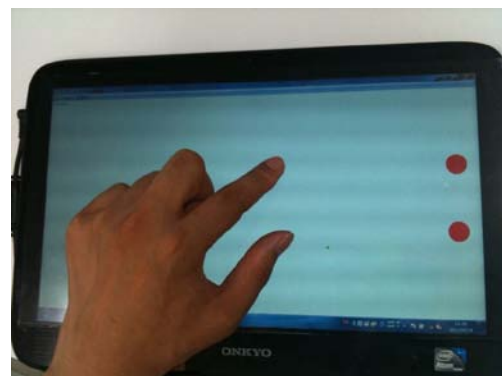


Fig. 1 親指と人差し指を用いたタッチパネル表面での目標点追従なぞり動作実験

## 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)

[学会発表] (計2件)

(1) Ryota Ishibashi, Tomohiro Ohara, Naoyuki Takesue, Jumpei Arata, Shigeki Toyama, Masahiko Hoshina, Yoshiyuki Hirai, Naoki Fukaya, Hideo Fujimoto, Study of a Spherical Ultrasonic Motor for Haptic Display System, International Conference on Control, Automation and Systems 2010 (ICCAS2010), Gyeonggi-do, Korea, October 29 2010.

(2) 石橋良太, Muhammad Aliff Bin Rosly, 佐野明人, 藤本英雄, 柔軟介在物とSMAを利用した触覚提示法の検討, 第11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, 仙台, 2010年12月.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石橋 良太 (ISHIBASHI RYOTA)  
首都大学東京・システムデザイン研究科・助教  
研究者番号: 20535835

### (2) 研究協力者

伊坂 忠夫 (ISAKA TADAO)  
立命館大学・理工学部・教授  
研究者番号: 30247811

### (3) 研究協力者

川村 貞夫 (KAWAMURA SADA0)  
立命館大学・理工学部・教授  
研究者番号: 20186141

### (4) 研究協力者

児島 晃 (KOJIMA AKIRA)  
首都大学東京・システムデザイン研究科・教授  
研究者番号: 80234756

### (5) 研究協力者

佐野 明人 (SANO AKIHITO)  
名古屋工業大学大学院・工学研究科・教授  
研究者番号: 80196925

### (6) 研究協力者

篠原 稔 (SHINOHARA MINORU)  
ジョージア工科大学・応用生理学科・准教授  
研究者番号: 「なし」

### (7) 研究協力者

武居 直行 (TAKESUE NAOYUKI)  
首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授  
研究者番号: 70324803

### (8) 研究協力者

遠山 茂樹 (TOYAMA SHIGEKI)  
東京農工大学・工学部・教授  
研究者番号: 20143381

### (9) 研究協力者

橋口 宏衛 (HASHIGUCHI HIROE)  
大同大学・工学部・講師  
研究者番号: 20434558

### (10) 研究協力者

藤本 英雄 (FUJIMOTO HIDEO)  
名古屋工業大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 60024345