

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2008

課題番号：18206045

研究課題名（和文） 触原色の原理に基づく高品位皮膚感覚提示の実現

研究課題名（英文） high-definition tactile display based on tactile primary colors

研究代表者

館 暲（TACHI SUSUMU）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：50236535

研究成果の概要：

触るといふ感覚の原理を解明し、高品位な触覚ディスプレイの社会的普及を目的として研究を遂行した。触ることにより生じる皮膚の変形や内部の現象を理論的に検証し設計のための知見を得た上で、電気刺激による皮膚感覚提示デバイス、簡易で普及しやすい把持力提示デバイス及び力覚と皮膚感覚を統合した操縦型ロボットハンドシステムを実現した。さらに、視覚障害者の目を代行する額型電気触覚ディスプレイの工学的基礎を与え、社会的普及へ貢献した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	11,900,000	3,570,000	15,470,000
2007 年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
2008 年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
年度			
年度			
総計	34,100,000	10,230,000	44,330,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電機電子工学・計測工学

キーワード：バーチャルリアリティ、触覚ディスプレイ、把持感覚、機械刺激、電気刺激、ウェアラブル、皮膚感覚提示

1. 研究開始当初の背景

現在、視覚・聴覚提示装置（ディスプレイ）は既に完成の域に達し、家庭でも広く用いられ我々の豊かな生活に欠かせないものとなっている。これに対して触覚ディスプレイは、世界的に本格的な研究開発競争が始まって十年に満たず、提示手法の提案が乱立しているものの、どれをとっても提示される感覚は自然とはいえず、記号的な提示の域を越えるものは少ない。

申請者らは申請当初の 2005 年度までに触

感覚を人工的に再現する手法として、皮膚表面からの電気刺激によって皮膚下の触覚受容器（Meissner 小体、Merkel 細胞、Pacini 小体）を種類別に刺激する選択刺激法を提案してきた。視覚における「三原色」と同様に受容器ごとの刺激を感覚基底として扱い、合成操作によって全ての触感覚の生成を試みるものである。我々はこのような選択的刺激を「触原色」と呼び、この原理を解明しそれに基づいた触覚提示装置を開発することが出来れば、自然な触覚の提示に繋がると考え

られる。

2. 研究の目的

我々の研究の目的は、自然な感覚を得られる触覚ディスプレイの構築である。具体的には予備知識の無い装着者が、触覚ディスプレイによって表現された日常的な接触対象の材質を一意に特定し得る、高品位の皮膚感覚提示手法を探る。

本研究は既に我々が提案している触原色の原理をさらに追求し、それに基づき高品位の皮膚感覚提示を実現するものである。流れとして、「触覚の原理的解明」及び「高品位・大規模触覚ディスプレイの実現」という二つの大きな指針を基に研究を進める。触覚の原理的解明では、これまでに得られた触覚の時空間知覚特性に基づき、現象観測による触覚情報処理の研究と最適設計論による触覚情報処理の研究の2つの方向性から研究を行い、触覚の知覚特性の本質を探ることを目的とする。高品位・大規模触覚ディスプレイの実現では、視覚障害者が求める安価で高解像度な触覚ディスプレイの実現を目的とする。

3. 研究の方法

これまでの研究成果を踏まえ、触覚の原理的解明、および触覚ディスプレイ装置の構築という二面から本研究を進めた。

(1) 触覚の原理的解明

本項目では、時空間的に変動する刺激下における触覚の解析として、有限要素解析を用いた皮膚変形解析と心理物理実験による触覚検証を行った。その後、大面積触覚提示システムのための準備として最適設計論による触覚受容器の役割解析を行った後、福祉機器としての応用研究を進めた。

(2) 触覚ディスプレイ装置の構築

本項目では、(1)にて得られた触覚受容器の役割解析の結果に基づき、高品位・大面積触覚提示システムの構築を実現した。さらに、力覚提示と皮膚感覚提示を用いた触覚提示装置の統合を行った。また、福祉機器としての応用研究成果を福祉機器システムに利用可能なものとして提供した。

4. 研究成果

(1) 触覚の原理的解明

本項では申請時の研究方針に従い、以下の4つの知見を得た。

皮膚の凹凸知覚の解析

研究開始時の前年度までに得られていた皮膚の凹凸知覚に関してさらに研究を進めた。凹凸刺激による指の変形を解析した上で、

Fishbone Tactile Illusion をベースにどのような刺激に対して凹知覚が生じるのかを検証し、中心部と周辺部の荒さや固着面に特定の条件があることを明らかにした。

さらに、凹凸刺激に対する指腹の触覚特性に関しては凹凸の検出及び同定には 0.2mm の高低差があればよいことが分かった。これらの知見は、指腹の触覚特性の本質を追及する基礎知見となるだけでなく、今後の触覚ディスプレイを新規開発・改良する上での指針に繋がる。

有限要素法による皮膚変形解析

Merkel 触盤の発火頻度がひずみエネルギー密度 (SED) に比例するという知見を基に、電気刺激による選択刺激を行う際の信号設計のために、有限要素法を用いて接触物体と SED の関係をシミュレーションにより検証した。その結果、これまでに提唱されていた人の知覚特性と一致する結果が得られ、その結果を基に作成したモデルにより電気刺激を設計したところ、従来よりも物体の形状認識が容易になった。

また、Fishbone Tactile Illusion の解明の手がかりをつかむ為に有限要素法による解析も行った。その結果、この現象の原理が垂直加重とせん断加重が同じ歪み分布を形成するという見解に関連していることを明らかにした。この成果は、前述した凹凸知覚の研究のための基礎知見となった。

触覚受容器：Meissner 小体の特性検証

触覚受容器の中の1つである Meissner 小体に着目した物理モデルを提案し、心理物理実験による検証を行った。先行研究を踏まえた上で、Meissner 小体が構造的に伸び方向の変形に対しての変形が容易になるように検波を行っているという仮説を提唱した。その仮説から、心理物理実験によって Meissner 小体による AM 検波が行われている可能性を示した。これらの成果から、Meissner 小体の特性に関する新しい知見を得たことに加え、適切な機械刺激と電気刺激の併用に関する感度分布に関する知見を得た。

触覚受容器の役割解析

機械刺激で空間的に高分解能なディスプレイを作成するのは、アクチュエータのサイズ制約からやや困難であるといえる。一方、電気刺激で時間的な高周波成分を再現することは困難であることがわかっている。また、閾値電流の個人差も大きく安定して圧覚のみを生成することが困難であり、いわゆる電氣的な感覚が生じてしまう問題も表出してくる。そこで本研究では、経費電気刺激と機械刺激を組み合わせた触覚提示装置を考え、その実現に向けた触覚の解明として、心理

物理実験を中心とした研究を行った。この併用には二つの利点があると考えられる。第一に、それぞれが異なる受容器(すなわち皮膚変形の異なる時空間領域)を狙うことにより、相補的に高品位皮膚感覚提示が実現可能となると思われる点である。第二に、同一の受容器を電気、機械で刺激する事による感覚閾値の低下、およびそれに伴う感覚のダイナミックレンジ拡大である。

心理物理実験により、電気刺激・機械刺激間に閾値の低下及び電気感覚の低減という相互作用を実験的に確認した。また、電気刺激知覚レンジに関する課題を解決することを目指し、電気、機械二種類の刺激が同時に加えられた場合の感覚閾値の変化も計測し、電気刺激・機械刺激を併用した提示システムの設計指針を明らかにした。これらの解析及び指針は、電気刺激の抱える問題点の一部の解決にも繋がると言える。

(2) 触覚ディスプレイ装置の構築

本項では申請時の研究方針に従い、以下の4つのシステムを実現した。

高品位触覚提示システムの実現

申請時前年度までに構築した電気触覚ディスプレイに対し、高品位化への改良を目的として皮膚の弁別域を調査し2点弁別閾が10mmという結果を得た。これを基に更に解像度を高めるため、電極を2mm間隔で六方最密構造に配置したものを実現した。更なる集積化により、1mm間隔の電極を持つデバイスも試作しており、従来よりも高品位な電気触覚ディスプレイが実現できているといえる。

触知覚に基づく新しい把持力提示触覚ディスプレイの実現

高品位な触覚提示を実現する一方で、触知覚を巧みに利用し、簡易で安価であるにもかかわらず高い触覚を再現するディスプレイの研究にも着手した。

皮膚が対象に接触した際の内部歪みの動的振る舞いを利用し把持感覚を提示することを目的とした非接地型の触覚ディスプレイの開発を行った。従来の把持感覚ディスプレイは接地型で比較的大掛かりな装置によるシステムが多かった。それに対し、触知覚の原理解明の過程で得られた知見を利用し、ポータブルで簡易な装着型システムを実現した。これは、物体を把持した際の指先および指中節の変形に着目し、指の物体接触面に横擦り方向の力を与えることで実際の把持時と同様の指変形を再現し、物体の重量感を提示する。本手法で物体の重量感を提示できることを、バーチャル物体に対して接触動作による位置認識、なぞり動作による領域認識、つまみ動作による大きさ認識の3点に対して

評価をし、実空間と同等な認識精度を有することを示した。本手法は非常にシンプルなものであるが、従来の大規模なシステムによる重量感提示と比べて遜色のない感覚提示を実現している。

力覚提示と皮膚感覚提示の融合システムの実現

申請時前年度までの結果や、触覚受容器の役割解析によって得られた、人間の触知覚特性から触覚情報を伝達する場合に力覚と皮膚感覚に分けて行うことが妥当であるとの知見に基づき、ハイブリッド・マスタスレーブハンドシステムの開発・実装を行った。具体的には力覚情報と皮膚感覚情報の両方を伝達できる、ロボットハンドを用いたマスタスレーブシステムの構築を行った。システムの構築には、物体との接触力を3次元ベクトル情報として取得が可能な指型の分布型触力覚センサを取り付けたスレーブハンドと、電気刺激装置を搭載した外骨格型マスタハンドを使用する。これによって、従来は操作者に対し力覚情報のみを提示していたものが、皮膚感覚を含んだ触覚情報を提示可能なものとなった。構築したシステムの評価により、単純に力覚のみを提示した場合と比べて電気刺激による皮膚感覚を与えることで物体の識別率が上昇することを示した。このシステムは国内外において数千人に対してデモ展示を行い、一般層からも高い評価を得た。

福祉機器としてのシステム完成

視覚障害者を対象とした情報提示を行うシステムとして申請時前年度から研究を続けてきた額電気触覚システムの研究から得られた多くの設計指針が、製品レベルのシステム開発を促す成果を挙げ、社会的に大きな貢献を果たしたといえる。

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32件)

仲谷正史, Robert D. Howe, 舘暲: Fishbone Tactile Illusion を利用した触対象の凹知覚の研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.1, pp.97-100 (2008.3), 査読あり

佐藤克成, 梶本裕之, 川上直樹, 舘暲: 電気式皮膚感覚と力覚の統合による形状感覚提示, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.9, No.3, pp.71-76 (2007.8), 査読あり

Satoshi Saga, Hiroyuki Kajimoto and Susumu Tachi: High-resolution Tactile Sensor using the Deformation of a

Reflection Image, Sensor Review,
Vol.27, No.1, pp.35-42 (2007.1), 査
読あり

〔学会発表〕(計45件)

黒木忍, 渡邊淳司, 川上直樹, 舘暲: 触
覚同時性判断における空間距離及び神経
距離の影響, 日本バーチャリアリティ
学会第13回大会論文集, 奈良, pp.
135-137 (2008.9.24)

佐藤克成, 古明地秀治, 南澤孝太, 新居
英明, 川上直樹, 舘暲: テレグジスタ
ンスの研究(第55報) Haptic
Telexistence: 分布型触覚情報を伝達
するロボットハンドシステム-, 日本バ
ーチャリアリティ学会第12回大会論
文集, 福岡, pp. 213-214 (2007.9.19)

南澤孝太, 深町聡一郎, 梶本裕之, 川上
直樹, 舘暲: 物体把持時の指変形に着目
した重さ感覚提示手法の提案, 日本バ
ーチャリアリティ学会第11回大会論文
集, 宮城, pp. 27-28(2006.9.7)

〔産業財産権〕

出願状況(計5件)

名称: 光学式触覚センサ

発明者: 川上直樹, 舘暲, 南澤孝太, 城堅誠,
筧康明, 佐藤克成

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: 特願2008-140189

出願日: 2008-05-28

国内外の別: 国内

名称: 入力インタフェース

発明者: 川上直樹, 舘暲, 佐藤克成, 古明地
秀治, 南澤孝太

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: 特願2008-137521

出願日: 2008-05-27

国内外の別: 国内

名称: 反射像を用いた触覚センサ

発明者: 嵯峨智, 梶本裕之, 舘暲

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: 特願2006-179351, 特開2008-008746

出願日: 2006-06-29

国内外の別: 国内

名称: 電気触覚提示装置及び電気触覚提示
方法

発明者: 舘暲, 梶本裕之, 菅野米蔵 / 株式
会社アイプラスプラス

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: 特願2005-64874, 特開2006-251948

出願日: 2005-03-09

国内外の別: 国内

名称: Electric Tactile Sense Presenting
Device and Electric Tactile Sense
Presenting Method

発明者: S. Tachi, H. Kajimoto, Y. Kanno

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: PCT/JP2006/304574

出願日: 2006-03-09

国内外の別: 国外

〔その他〕

【報道関係】(計4件)

触って感じる機械の指「快適製品」開発
や介護ロボに活用, 日本経済新聞 31 面
(サイエンス), 2008年(平成20年)4
月13日(日)

ザ・ベストハウス1.2.3 春のプレゼ
ンバトル!, もはや人間! 日本の最新ロ
ボットBEST3, 第1位 Telesar 2, もう1
人の自分!? 思い通りに動く分身ロボ
ット, フジテレビ, 2008年4月9日(水)
爆笑問題のニッポンの教養, FILE02:
「科学的分身の術」, NHK 総合, 2008年1
月8日(火)

柔らかなセンサー・触覚 世界と私の境
界, TOKYO MX テレビ, 2006年11月26日
(日)

【ホームページ情報】

[http://projects.tachilab.org/tactile-di
splay/](http://projects.tachilab.org/tactile-display/)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

舘 暲 (TACHI SUSUMU)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究者番号: 50236535

(2) 研究分担者

川上 直樹 (KAWAKAMI NAOKI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師
研究者番号: 20312986

新居 英明 (NII HIDEAKI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
研究者番号: 50447439

(3) 連携研究者

梶本 裕之 (KAJIMOTO HIROYUKI)

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号: 60361541