

機関番号：12601

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20680005

研究課題名（和文）人肌の感触を再現する触感提示技術に関する研究

研究課題名（英文）Study on Tactile Display Technologies to Render Human Skin Feelings

研究代表者

山本 晃生（YAMAMOTO, AKIO）

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：40313035

研究成果の概要（和文）：本研究では、人肌感触の再現提示を念頭に、様々な触感要素の提示技術を研究した。人肌の再現には、肌表面のぺたぺたとした粘着感、あるいは、汗ばんだ際の濡れ感、といった感触の再現が重要であると考え、こうした感触の発生要因を検討し再現提示手法を提案した。また、皮膚に触れた際には、柔らかい感触の中に骨などのゴツゴツとした感触が感じられる。このような異物感を伴う柔らかさ感の提示を行うための手法を提案した。

研究成果の概要（英文）：This research project has worked on various tactile technologies for rendering human skin feelings. Various tactile technologies have been so far developed, but they are not enough for rendering human skin. In this project, stickiness sensation and wet sensation have been studied as essential sensations to compose human skin feelings. Also, the project has studies rendering of irregular softness feelings. The project developed several prototype tactile displays to render those tactile feelings.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2009年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2010年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
年度			
年度			
総計	17,400,000	5,220,000	22,620,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：触覚，触感提示，人肌，バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

近年、物体表面の感触を提示するデバイスが盛んに研究されている。こうしたデバイスは、触感ディスプレイや皮膚感覚ディスプレイといった名前と呼ばれている。こうしたディスプレイを用いて物体に触れた際の感触を擬似的に再現することが可能となれば、バーチャルリアリティにおける臨場感の向上、

通信における新しいモダリティの実現、あるいは、遠隔操作における操作性の向上などが可能になると期待されている。

こうした触感提示研究の究極的な目標は、単一のディスプレイデバイス上に、あらゆる物体の感触を自在に再現することである。しかし、現状では人の触感認知の仕組みすら十分には解明されておらず、多様な感触を自在に再現するデバイスを開発できる段階には

ない。そのため、現在の研究では、触感を構成すると思われる個々の触感要素（例えば、「つるつる／ざらざら」といった表面テクスチャ感、面の柔らかさ感、温度触感など）ごとに特化した形で、触感提示手法ならびにディスプレイの研究開発が進められてきている。特に注目されているのは表面テクスチャ感であり、触感ディスプレイ研究の多くが、表面テクスチャ感の提示をめざして行われてきた。

2. 研究の目的

これまで、触感提示の研究は表面テクスチャ感を中心とする一部の触感要素のみに着目して進められてきた。一方、触感提示技術の有望なアプリケーションとしては、たとえば「遠隔医療における触診」などのように「人肌の触感を提示する技術」が重要になると考えられ、その実現のためには、表面テクスチャ感のみならず、これまであまり着目されていなかった触感要素についても提示手法の検討を進めていく必要がある。

そこで本研究においては、人肌の触感の再現提示デバイスの実現に必要な触感要素を考え、それら触感要素の提示技術に関する研究を進めること、ならびに、それらの統合に関して研究を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、まず人肌の触感を構成する触感要素を考えた上で、そうした各触感要素について、提示手法を検討し、実際に提示を行うディスプレイを試作し評価する、という流れを基本的な研究の方法とした。

4. 研究成果

人肌の触感を得る際、まず、大きく分けて、二つの異なる触動作が考えられる。一つは、肌表面をなぞる「なぞり動作」、もう一つは、肌表面に指を押し当てる「押し当て動作」である。なぞり動作で得られる触感（これを、ここでは「なぞり触」と呼ぶこととする）と

しては、表面テクスチャ感がある。一方、押し当て動作で得られる触感（「押し当て触」）では、肌の弾力などに相当する柔らかさ感や、肌の温もりに相当する温度触感が挙げられる。

上に挙げた表面テクスチャ感、柔らかさ感、温度触感については、研究代表者らの事前研究も含め、いずれもこれまでに研究がなされてきたが、人肌の再現を考えた場合、これらの触感要素だけでは十分ではない。特に、押し当て触においては、単純な柔らかさ感と温度触感以外にも、重要な触感要素があるように感じられる。そこで、本研究では、従来の研究に不足している新たな触感要素の提示技術について研究を進めた。

主な成果を以下に述べる。

(1) 粘着感の研究

人肌に指を押し付ける押し当て触を考えたとき、前述した柔らかさ感や温度触感の他にも、いくつかの特徴的な感触があることがわかる。具体的には、粘着（ぺたぺた）感と、濡れ（しっとり）感である。人肌は、しばしば皮脂や汚れなどによって、表面に「ぺたぺた」とした触感を生じるし、また、汗などによってしっとりとした触感を生ずる。こうした触感は、人肌を再現する上では必要不可欠と考えられるが、従来の研究ではほとんど検討されてきていない。そこで、本研究では、これら2つの要素について検討を行った。

まず、粘着感については、研究代表者らの事前研究において、その発生要因を接触面積変化の観点から計測し、基礎的な提示手法も検討している。本研究では、そうした事前の知見をもとに、粘着触感に関わる計測を進めるとともに、提示デバイスを製作・評価した。図1は、粘着面上に指を押し当て、引き離した際の、接触面積変化の様子の一例である。通常の間では、押し込み時と引き離し時に差が見られないが、粘着面上では、引き離し時に特徴的なカーブを描くことがわかる。すなわち、引き離し時の特徴的なカーブを再現することで粘着触感が生み出せる。

そこで、引き離し時のカーブを再現するために図2の装置を製作した。この装置はアル

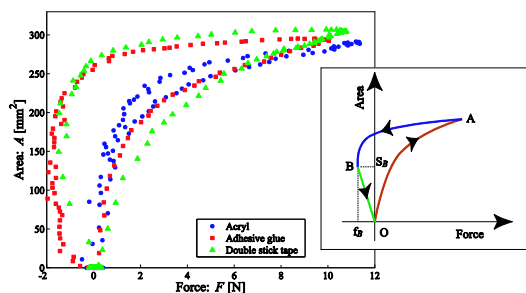


図1 粘着面上での接触力と接触面積の関係

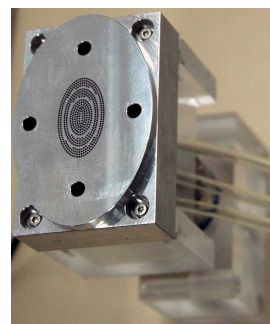


図2 粘着感提示装置

ミプレート上に、指の大きさに合わせて多数の微小穴を開けたものであり、これらの穴を通じて真空ポンプにより真空吸引圧を表面に発生させる。

指先で面に触れて穴を塞ぐと各穴は真空ポンプにより減圧され、指先に対し吸引力を生み出す。ただし、全ての穴を単一の真空ポンプで排気した場合、一部の穴が大気開放されるとともに全体の吸引力が失われるため、粘着面と同様の状況を再現できない。そこで提示部を3区画に分割し、3台の真空ポンプで排気することにより、指の引き離し時に連続的に吸引圧を生成できるよう構成した。また、指先による穴そのものの知覚を抑えるため、穴の直径を、加工できた範囲で最も小さな0.5mmに設定した。なお、微小穴の配列、および、3台のポンプとの接続は、図1の接触面積カーブに基づいてデザインした。

この装置に指を押し当て、引き離した際の接触力変化は、実際の粘着面上と類似した変化を示し、また、実際の感触としてもリアルな粘着感が実現できた。

(2) なぞり触と粘着感提示の統合

前述の粘着感提示装置は押し込み触を念頭においたものであるが、表面に粘着性がある場合は、なぞり触においても、特徴的な感触が発生するはずである。そこで、なぞり触においても粘着感提示を実現するために、図3の装置を製作した。

本装置では、トータル2541個の微小穴を開けた提示部を13区画(実際に用いたのは、そのうちの9区画)に分割し、複数の真空ポンプとバルブを用いることで、指先がなぞっている付近の区画のみを真空排気するよう構成した。具体的には、ベースプレートの9個の区画は、バルブを介して3台の真空ポンプ(排気速度33.3L/min, 到達真空度2.0Pa)に接続した。指位置をレーザ変位計で計測し、その情報に基づきバルブの開閉を制御することで、指が位置する区画周辺の3区画のみを常に真空排気するよう構成した。提示に用いることのできる範囲は幅約60mmである。

上記の構成により、皮膚表面の感触とは異なるが、テープのような粘着面をなぞる感触

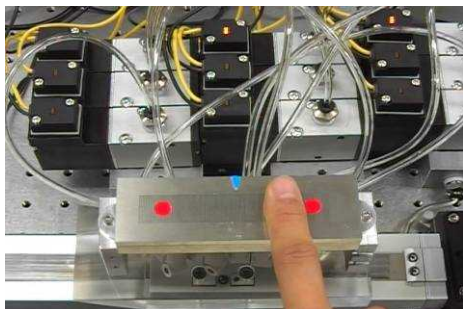


図3 なぞり触における粘着感提示

を提示することが可能であった。しかし、テープのような粘着面をなぞる場合には、大きなスティックスリップが生じるため、60mmというなぞり範囲では十分な提示が行えない。そこで、長距離にわたるなぞり動作を実現するため、デバイスをリニアモータ上に固定し指先の移動量に応じてデバイスを移動させる構成についても試みた。これにより、広い範囲における粘着面のなぞり感を提示することを実現した。

(3) 濡れ(しっとり)感の研究

皮膚表面への押し当て触において特徴的なもう一つの触感として、濡れ感についても研究を行った。濡れた感触というのは、例えば湿った布のような感触から、プールに手を入れたときの感覚まで、幅広い場面で感じられる。これらは、いずれも濡れ感という言葉で表現しうるが、その感触は大きく異なる。ここでは、表面にうっすらと水の張った面を想定して、濡れ感の発生要因について検討し、その提示手法を研究した。

濡れ感の研究では、温度感と柔らかさ感(=接触面積変化)が湿った感じを生み出すという心理学上の古い知見がある。一方、本研究に先立つ研究の中で研究代表者は、温度触感と柔らかさ感の提示方法について検討を行っている。そこで、温度触感提示と柔らかさ感提示を統合することで、濡れ感の提示ができるのではないかと考え、濡れ感提示の物理モデルの構築と提示装置の製作を行った。物理モデルとしては、濡れた面に触れた際の接触面積変化を、メニスカス(表面張力によって水が盛り上がる部分)との接触によるものと捉え、その変化量を計算するモデルを構築した。一方、温度については、水が介在することにより対象表面と指との接触熱抵抗が減少し、皮膚-物体間の熱流量が増加するものとしてモデル化した。

装置としては、図4に示す装置を試作し、構築したモデルに基づき、濡れ感の提示を行った。この装置では、接触部に薄いポリウレ

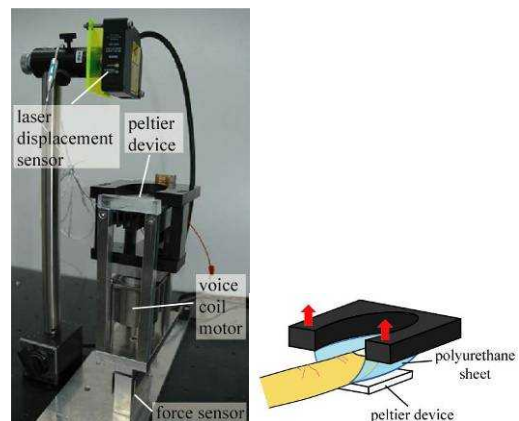


図4 濡れ感提示装置

タンシートが貼られており、そのシートの端部をモータで持ち上げることにより、指との接触面積を制御する。また、シートの下にはペルチェ素子が置かれており、指との熱流量を制御する。

この装置によって提示を行ったところ、濡れに“似た”感触を得ることができた。特に一部の被験者から「触れてから数秒経過してから濡れを感じた」というコメントが得られ、これは、ポリウレタンシートを介してペルチェ素子に触れているために、指への熱伝達に時間がかかるためであると考えられた。そこで、シートの表面温度を理論モデルの予測値よりも低めに制御することで、より濡れに近い感触が感じられることもわかった。

このように製作した装置では、濡れに近い感覚は得られたものの、直ちに濡れが感じ取れないことなど、その提示感覚には問題点が見られた。この原因としては、接触面積変化に関する考え方を誤っていたためだと思われる。すなわち、本装置の試作にあたっては、接触面積変化というものを単純に力学的に捉えており、シートが指に触れる面積を変化させることで、それを再現しようとした。しかし、その後、本研究において水面上における指先の挙動を詳細に観測し、より詳細な理論計算も行ったところ、メニスカスによる接触面積の増大は力学的な（＝指に知覚できる程度の圧力を与える）効果を持たず、単に指－物体間での熱伝達が起こる領域を増やしているに過ぎない、すなわち熱的な効果しか持たないことが示唆された。本研究では、そうした知見に基づき、濡れ感を与える熱伝達モデルの構築も行っており、今後、こうした点を加味して提示を行うことで、よりリアルな濡れ感の提示が可能になると期待できる。

(4) 柔らかさ感の研究

柔らかさ感については、指と対象物との間の接触面積の変化を通じて知覚されることが、これまでに複数の研究者らにより指摘されており、実際に接触面積を制御することで

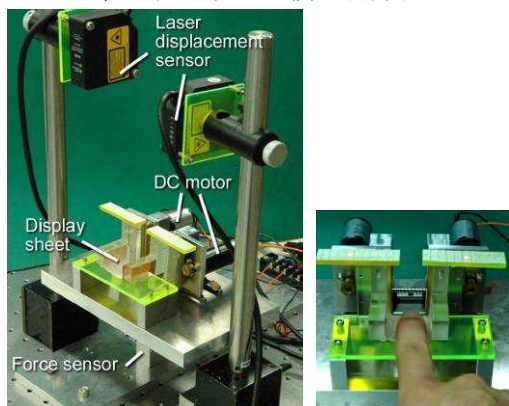


図5 2自由度接触面積提示装置

柔らかさ感提示が行えることが示されている。研究代表者も、そうした先行研究の考えに基づき、接触面積の制御による柔らかさ感提示を試みてきた。しかし、これまでの柔らかさ感提示は、先行研究のものも含め、いずれも一律な柔らかさ感しか表現できていない。これに対し、実際の人肌では、骨の感触などのように、柔らかい中に硬い異物が入っている感触など、非一律な柔らかさ感が感じられる場合が多い。本研究では、そのような非一律な柔らかさ感を表現するための検討を行った。

具体的には、図5に示すように、指の左右で異なる接触状況を再現する装置を試作し、これを、接触面積計測センサと組み合わせて遠隔提示実験を行ったところ、しこりの位置などをおおよそ判別できることが確認できた。しかし、この装置では、しこりの位置はおおよそ理解できるものの、しこりの感触自体は伝わってこないという問題点があった。これは、実際にしこりがある場合には、局所的に強い圧力分布が生じるのに対し、前述の装置では、そうした局所的な圧力分布を発生しえないためである。そこで、従来の接触面積に着目した手法に変えて、接触圧力分布に着目して柔らかさ感を再現する手法を検討した。

図6は、本研究で試作した接触圧力分布の提示装置である。複数のアクチュエータにより指先に接触圧分布を生成する。この装置では、指と装置との接触面積は一定であり、圧力の分布のみが変化する。この装置により提示を行ったところ、非一律な柔らかさ面や、しこりに似た感触などが再現可能となることを実験的に確認した。この装置では接触面積自体は制御されないことから、柔らかさ感の提示には接触面積の制御は必ずしも必要でなく、従来手法における接触面積制御は、必要な接触圧力分布を生成するための一手法であったことが示唆された。

(5) 触感提示の統合に関して

上述のように、本研究では、人肌の再現に必要な触感要素を抽出し、その提示技術に関する研究を行った。結果、粘着感やしっとり感、非一律な柔らかさ感など、従来はあまり研究がなされていない触感について、基礎的

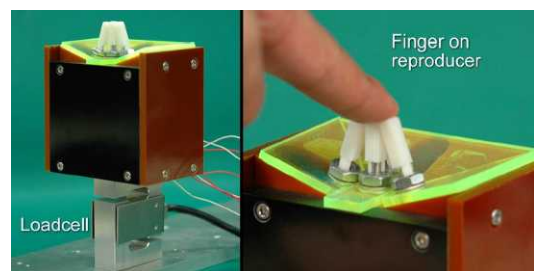


図6 接触圧力分布提示装置

な提示技術の確立や、提示手法の高度化を実現した。

一方、各触感要素の統合という観点からは、粘着触感のなぞり触との統合、接触面変形による柔らかさ感提示と、温度感提示との統合による、濡れ(しっとり)感提示の試みなどを行った。しかし、触感の統合については、検討を進めなくてはならない点が依然として数多く残されている。そうした課題を解決し、より広範な触感要素統合を成し遂げること、そして、それにより人肌に似た触感の提示を実現することは、今後の課題として挙げられる。

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4件)

(国際会議 Proceedings 論文を含む)

- ① F. Kimura, A. Yamamoto, and T. Higuchi, "Development of a 2-DOF Softness Feeling Display for Tactile Tele-presentation of Deformable Surfaces", Proc. 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2010), 査読有, pp. 1822-1827 (2010)
- ② F. Kimura, A. Yamamoto, and T. Higuchi, "Development of a Contact Width Sensor For Tactile Tele-Presentation of Softness", Proc. 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2009), 査読有, pp. 34-39 (2009)
- ③ M. Yamaoka, A. Yamamoto, and T. Higuchi, "Basic Analysis of Stickiness Sensation for Tactile Displays", Haptics: Perception, Devices and Scenarios (Proc. EuroHaptics 2008), 査読有, pp. 427-436 (2008)
- ④ 山本晃生, 「アクチュエータ技術と触覚インタフェース」, 計測と制御, 査読無, Vol. 47, No. 7, pp. 578-581 (2008)

[学会発表] (計10件)

- ① 木村文信, 「指腹部への圧力分布提示による物体表面の硬軟感提示の検討」, 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, 2010/12/23, 仙台
- ② F. Kimura, "Development of a 2-DOF Softness Feeling Display for Tactile Tele-presentation of Deformable Surfaces" IEEE ICRA 2010, 2010/5/4, Anchorage, USA
- ③ 木村文信, 「非対称な接触分布を提示する柔らかさ感ディスプレイの試作」, 第10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, 2009/12/24, 東京

- ④ F. Kimura, "Development of a Contact Width Sensor For Tactile Tele-Presentation of Softness", IEEE RO-MAN 2009, 2009/9/29, 富山
- ⑤ 山岡正明, 「デバイス相対移動を用いた粘着摩擦感の長ストローク提示」, 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, 2008/12/7, 岐阜
- ⑥ 高山裕行, 「濡れ感提示ディスプレイの試作」, 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会, 2008/9/25, 奈良
- ⑦ 山岡正明, 「真空吸引圧を用いた粘着摩擦感の再現提示に関する研究」, 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会, 2008/9/25, 奈良
- ⑧ M. Yamaoka, "Basic Analysis of Stickiness Sensation for Tactile Displays", EuroHaptics, 2008/6/12, Madrid, Spain
- ⑨ 高山裕行, 「物体表面における濡れ感の再現提示に関する基礎的検討」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2008/6/6, 長野
- ⑩ 山岡正明, 「粘着触感提示のための表面粘着力の速度依存性評価」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2008/6/6, 長野

[図書] (計2件)

- ① 下条, 前野, 篠田, 佐野編, サイエンス&テクノロジー, 「触覚認識メカニズムと応用技術—触覚センサ・触覚ディスプレイ—」, 2010, 全499頁 (山本晃生, 4-1「触覚提示の物理」, pp. 303-312, 4-3-5「静電気力による表面テクスチャ触感の提示」, pp. 393-402)
- ② 技術情報協会, 「最新タッチパネル技術」, 2009, 全191頁 (山本晃生, 第17章「触覚インタフェース技術とタッチパネルへの応用」, pp. 187-191)

[その他]

○受賞 (計3件)

- ① IEEE R&A Society Japan Chapter, Young Award 2010 (学生・木村文信が受賞, "Development of a 2-DOF Softness Feeling Display for Tactile Tele-Presentation of Deformable Surfaces", Proc ICRA 2010 に対して)
- ② 計測自動制御学会 学術奨励賞 研究奨励賞 (学生・山岡正明が受賞「デバイス相対移動を用いた粘着摩擦感の長ストローク提示」に対して)
- ③ 計測自動制御学会 SI2008 優秀講演賞 (学生・山岡正明が受賞「デバイス相対移動を

用いた粘着摩擦感の長ストローク提示」に対して)

○雑誌取材記事 (計 2 件)

- ①ロボコンマガジン 2010/1 月号 (No. 67)
「IEEE RO-MAN 2009 レポート：遠隔触感伝送装置」(pp. 50-51)
- ②日経エレクトロニクス 2008/6/2 号 (No. 979)「タッチが起こす入力革新」(pp. 61-62)

○ホームページ

http://am.t.u-tokyo.ac.jp/research/tactile_interface.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 晃生 (YAMAMOTO AKIO)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：40313035

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し