

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360184

研究課題名(和文)ハンドハプティックインターフェイスによる手技伝達の研究

研究課題名(英文)Research on handling skill transfer using hand haptic interface

研究代表者

川崎 晴久(KAWASAKI, HARUHISA)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：40224761

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,100,000円、(間接経費) 4,530,000円

研究成果の概要(和文)：人は、指先、指腹部、掌での力覚や触覚にもとづいて物体操作する。医学的手業を仮想環境で訓練するには、指先のみならず指腹部や掌にも力覚を提示できるハンドハプティックインターフェイスが必要となる。人の手の触覚受容器の数は、掌から指先に向かって多く、感度も高くなる。ハードウェアを簡素にし臨場感の高い力覚を提示するには、指腹部は1D力覚、指先は3D力覚を提示するインターフェイスが望ましい。

本報告は、1) 研究開発したハンドハプティックインターフェイス、2) 本インターフェイスを用いたときの力の知覚特性、3) 乳房触診を想定した力覚レンダリング、4) 熟練者の手技伝達法についての研究成果を述べる。

研究成果の概要(英文)：Humans manipulate objects using force and tactile feelings on their fingertips, finger pads, and palm. For practice medical training in a virtual environment, a hand haptic interface that can apply forces to not only the fingertips but also the finger pads and palm is desired. The human finger has high sensitivity with regard to force on the fingertip, but low sensitivity on the finger pad and palm. This suggests that a hand haptic interface that displays 1D force to fingerpads and 3D force to fingertips would be effective for use in a virtual environment.

This report presents followings; 1) Concept and design of developed hand haptic interface, 2) Characteristics of human force recognition at using the hand haptic interface, 3) Force rendering of biological object for real-time breast palpation training, 4) Skill transfer method from skilled person to beginner by using hand haptic interface.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：ハプティクス ロボット ロボットヒューマンインターフェイス 手業伝達 触診訓練

1. 研究開始当初の背景

医療における触診、ものづくり現場や伝統工芸における手技などは熟練した先輩から長期にわたりその技術の訓練や指導を受けて学ぶ。特に医療分野での実施訓練においては、ボランティアの協力のもと触診等の手技を訓練し、時には患者を対象に半ば訓練を兼ねた治療が行われる。医学知識を伝える学習では、知識が文字や言語などを通じて直接伝達されるため、長期にわたる学習は一般に必要としない。しかし、手技の学習では、手の動き、指先での力の使い方、手の感触を伝えなければならないが、このための直接的手段がないため、訓練者は、熟練者の操作を見様見真似で学んでおり、情報の伝達精度に問題があるため学習を困難としている。こうした手技の学習は、医療分野に限らず、ものづくり現場や伝統工芸においても同様な問題が生じている。

従来からの手技の学習の問題解決に向けて、バーチャルリアリティ (VR) 環境での手技の学習システムの研究が近年開始されている。VRを用いた手技伝達システムの特徴は、1) 熟練者がその場になくても教示を受けられる、2) 熟練者の手の動きや力操作を記録でき、正確な情報伝達ができる、3) 訓練者の技能レベルに応じた訓練メニューが可能で、学習の効果も提示できる等がある。手技の伝達の研究としてこれまでの研究は、力の提示が一箇所に限定されていたり、3次元空間で操作する手技の伝達を考慮していない。5本指での肺圧操作のバーチャル訓練システムの研究があるが、単なる模擬システムにとどまっており、指腹部や掌を含めた手の技能伝達の方法論は示されていない。

2. 研究の目的

医療における触診、ものづくり現場や伝統工芸における手技などは、熟練した先輩から長期にわたりその手技技術の指導を受けて学ぶ。しかし、手技を伝える学習では、手の動き、指先での力の使い方、指腹部や掌での力の感触を手全体の感触として伝えなければならないが、このための直接的手段がないため、訓練者は熟練者の操作を見様見真似で学んでいるのが現状である。従来の手技の伝達法の研究は、指先のみに限られており、手技情報の伝達精度に問題があり、訓練者による手技の習得を難しくしている。この問題の解決に向けて、本研究は、1) 指先のみならず指腹部、掌を含めたハンドハプティックインターフェイスの確立、2) 指先、指腹部、掌を含めた手全体での力覚の知覚特性の解明、3) 多点の接触判定と抗力計算や柔軟物体の変形等の力覚レンダリングの実時間処理法の確立、4) 熟練者の技能の初学者への手技伝達法の確立を目指している。

3. 研究の方法

指先、指腹部、掌を含む手全体での物体操

作における手技の伝達法を確立する。このため、次のことを実施する。

- 1) 人間の指腹部と掌での力覚の知覚特性を解明し、1本指に2箇所取り付け可能な小型高性能な指腹部1自由度力覚提示デバイスを開発し、HIRO と組合せ Hand HIRO を構築し、その操作性を評価する。
- 2) 粘性と摩擦力を考慮した柔軟物体の触覚レンダリングとGPUを用いた並列計算により仮想物体操作の実時間処理化を図る。
- 3) 乳癌触診訓練システムを構築し、そのリアリティの評価検証とともに、熟練者と操作者の手の空間位置と力を時間を分割して提示する時間分割法を基本に、効果的な手技の伝達法を確立する。

4. 研究成果

(1) 指先・指腹部・掌に力覚提示できるハンドハプティックインターフェイスの研究

手全体での力覚提示を可能とするハンドハプティックインターフェイスのコンセプト(図1参照)を示し、指の2箇所以上に装着でき、指腹部・掌の力覚提示デバイスの小型高性能化に向けたデバイス(図2参照)の改良試作を行なった。本デバイスは、2.6 Nの力覚提示ができ、質量4.8 gと小型でありながら、高出力である。

改良したデバイスを用い、VR空間における受動的及び能動的な物体操作における臨場感や操作性の評価を行ない、デバイスの空間配置の影響を明らかにした。

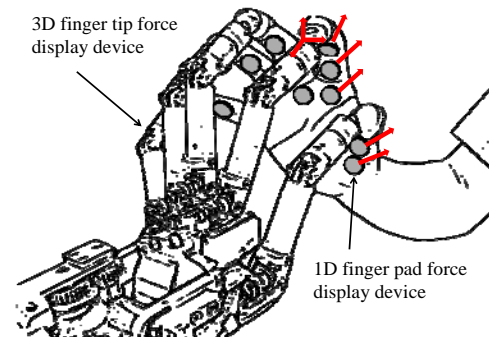
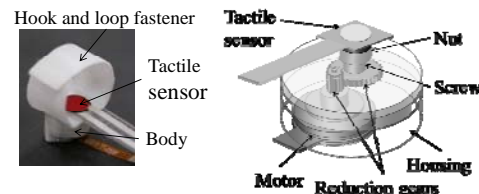


Fig. 1. Concept of proposed hand haptic interface



(a) Photograph (b) Structure of body

Fig.2 Developed finger pad force display:

(2) 手の力覚の知覚特性の解明

改良したデバイスを用い、指先のみならず指腹部を含めた手全体での空間的な力に対する知覚特性について、遭遇型と装着型の力覚デバイスによる知覚評価に関する心理学実験を行った。その結果、1点の力提示のときは、前者が力の弁別域が小さいが、2点の

力提示のときはその差異がないことが明らかとなった。

また、多数のデバイスを装着することは、操作者に煩わしさを与える。一方で、デバイスが多い程リアリティの向上に寄与する。そこで、操作者が能動的に操作するときと操作者は操作しないが対象物が動く受動的なときで、指腹部力覚提示デバイスの配置により知覚が大きく異なる明らかに、今後の配置方法について知見を得た。

(3) 柔軟物体の力覚レンダリング

柔軟物体を対象とした力覚レンダリングは、物理法則に則ったリアルな力覚の実時間での提示が課題である。そこで、GPU による並列演算化と計算の発散を防止する共回転計算により、有限要素法を基礎とした計算が実時間で処理できる見通しを示した。

開発した力覚レンダリングにより、図3に示す、乳癌触診訓練システムを開発した。乳房表面の三角メッシュ数は6,004個あり、生体内部の四面体数は44208個あり、ハプティックループは1Kz、グラフィックスは30Hzを実現した。今後、指腹部を含めた干渉計算やさらなる高分解化が課題である。

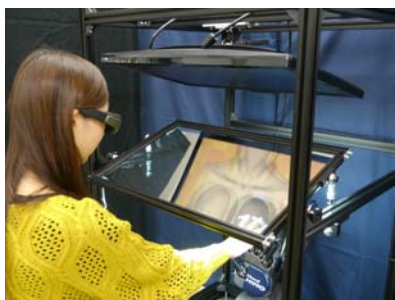


Fig.3 Breast cancer palpation training system

(4) 熟練者の技能の初学者への手技伝達法

熟練者から初学者への手業伝達の方法として、熟練者の指先の位置を球あるいは手の映像で視覚的に示し、力を図4に示すようにハプティックインターフェイスを用いて熟練者と操作者の力を交互に提示する手業伝達法における知覚特性の評価を行った。その結果、熟練者の力を0.5秒、初学者の力を0.2秒で提示するとき、初学者の熟練者の力に追従しやすいことが示された。

また、手業伝達法として次の3方式を比較評価した。

方式1: 熟練者の指先位置を小さな球で示し、力は、上記の方法で提示する。

方式2: 図5のように熟練者の手の映像を示し、力は、上記の方法で提示する。

方式3: 図5のように熟練者の手の映像を示し、力は、初学者の操作力のみ提示する。その結果、指先位置誤差と力誤差において、

方式1と方式2は大差がなく、方式3は最も誤差が少なく、かつ繰り返し訓練において、操作の誤差が低減する

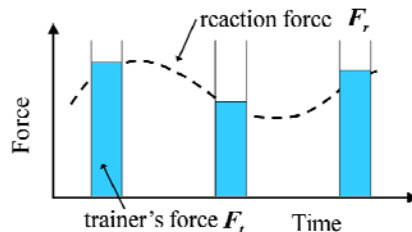


Fig. 4 Presentation of reaction force and trainer's force

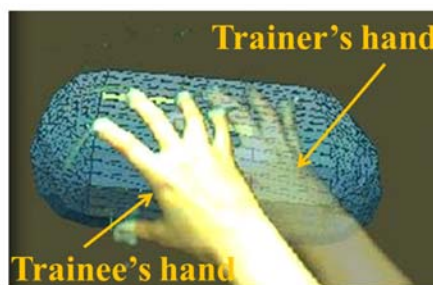


Fig.5 Hand motion images in the skill transfer method.

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 7 件)

T. Endo, M. Kobayashi, and H. Kawasaki, A Finger Skill Transfer System Using a Multi-Fingered Haptic Interface Robot and a Hand Motion Image, *Robotica*, 査読有、Volume 31, Issue 8, pp.1251-1261, 2013

T. Endo, S. Tanimura, and H. Kawasaki1, Development of Tool-Type Devices for a Multi-Fingered Haptic Interface Robot, *IEEE Transactions on Robotics*, 査読有、Vol. 29, NO.1, pp.68-81, 2013

T. Endo, M. Yasue, H. Kawasaki, Experimental investigation of a collision avoidance controller for a bimanual multi-fingered haptic interface, *The Journal of the Franklin Institute*, 査読有、pp. 2664-2677. Published by Elsevier Ltd., 2013, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016003213002160>

T. Endo, T. Yoshikawa, and H. Kawasaki, Multi-Fingered Bimanual Haptic Interface Robot with Three-Directional Force Display, *Journal of Advanced Robotics*, 査読有、Vol.25, No.13-14, pp.1773-1791, 2011.

M. Hioki, H. Kawasaki, H. Sakaeda, Y. Nishimoto, and T. Mouri, Finger Rehabilitation Support System Using a Multifingered Haptic Interface Controlled by a Surface Electromyogram, Journal of Robotics, 査読有、 Vol. 2011, Article ID 167516, 10 pages, 2011,

T. Endo, H. Kawasaki, T. Mouri, Y. Ishigure, H. Shimomura, M. Matsumura, and K. Koketsu. Five-Fingered Haptic Interface Robot: HIRO III, IEEE Trans. on Haptics, 査読有、 Vol.4, No.1, pp.14-27, 2011.

H. Kawasaki, Y. Ohtuka, S. Koide, T. Mouri, Perception and Haptic rendering of Friction Moments, IEEE Trans. on Haptics, 査読有、 Vol. 4, No. 1, pp. 28-38, Jan.-Mar. 2011

[学会発表](計 30 件)

T. Endo, S. Tanimura, Y. Kazama, and H. Kawasaki, Softness Display by a Multi-Fingered Haptic Interface Robot, Proc. of 2014 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Hong Kong, 2013.6.1 (採択確定)

H. Kawasaki, Research on Multi-fingered Haptic Interface Robot HIRO, Symposium on Advanced Robot Hand, Invited Lecture, 財團法人精密機械研发中心 (PMC), Taichung, Taiwan, 2013.3.27 (Invited)

T. Kawai, T. Mouri, T. Endo, and H. Kawasaki, Breast Cancer Palpation Training System Using Five-Fingered Haptic Interface Robot and GPGPU, Proc. of the 18th Int. Symp. on Artificial Life and Robotics 2013 (AROB 18th '13), 査読有、 pp. 547- 550, Daejeon, Korea, 2013.1.30

T. Mouri, Y. Imada, Y. Ishigure, and H. Kawasaki, Haptic Interface Robotic Measurement System for Breast Engorgement, Proc. of 5th Int. Conf. on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI 2012), 査読有、 pp. 670-675, Chongqing, China, 2012.10.2

T. Endo, H. Aoyama, S. Nakagawa, H. Kawasaki, Haptic Display by a Side-Faced-Type Multi-Fingered Haptic Interface, Preprint of 10th IFAC Symp. on Robot Control - SYROCO 2012, 査読有、 pp.367-372, Dubrovnik, Croatia, 2012.9.5

H. Kawasaki, S. Koide, T. Endo, and T. Mouri, Development of a Hand Haptic Interface and Its Basic Experimental Evaluation, CD-ROM Proc. of Int. Symp. on Innovations in Intelligent Systems

and Applications (INISTA 2012), 査読有、 5 pages, Trabzon, Turkey, 2012.7.2

H. Kawasaki, Hand Haptic Interface Incorporating Finger Pad and Fingertip Force Display Devices, Workshop on Multi-Finger Haptic Interaction, EuroHaptics2012, (Invited), Tampere, Finland, 2012.6.3

T. Endo, S. Tanimura, H. Kawasaki, Development of a Tweezers-type Device for a Multi-fingered Haptic Interface Robot, Proc. of SI International, 査読有、 pp.1006-1011, Kyoto, 2011.12.20

H. Aoyama, H. Kawasaki, T. Endo, S. Nakagawa, Design and Simulation of a Side-Faced-Type Multi-Fingered Haptic Interface, Proc. of IECON2011, 査読有、 pp.3162-3167, Melbourne, Australia, 2011.11.7

T. Endo, S. Tanimura, H. Kawasaki, Development of a Surgical Knife Device for a Multi-fingered Haptic Interface Robot, Preprints of the 18th IFAC World Congress, 査読有、 pp. 6460-6465, Milano, Italy, 2011.8.28

H. Kawasaki, S. Nanmo, T. Mouri, S. Ueki, Virtual Robot Teaching for Humanoid Hand Robot Using Multi-Fingered Haptic Interface, CD-ROM Proc. of 2011 IEEE Int. Conf. on Communications, Computing and Control Applications (CCCA'11), 査読有、 Hammamet, Tunisia, 2011.3.5

松田 貴宏, 遠藤 孝浩, 川崎 晴久, 側面設置型多指ハプティックインターフェイスによる干渉回避, 日本機械学会東海支部第63期総会講演会予稿集 No. 143-1, 508, 名工大, 2014.3.18

川崎晴久, 多指ロボットハンドとその医学的応用システム、はままつメッセ2014イノベーションアリーナセミナー、主催公益財団法人 浜松地域イノベーション推進機構、アクトシティ浜松, 2014.1.30 (招待講演)

上木諭、毛利哲也、川崎晴久、遠隔操作型触診用ロボットのための触診支援情報システム、計測自動制御学会 第14回システムインテグレーション部門講演会予稿集、神戸, 2013.12.18

遠藤 孝浩, 谷村 聡史, 風間 祐太, 川崎 晴久, 側面設置型多指ハプティックインターフェイスによる柔らかさ提示, 電気学会研究会資料, MEC-13- 183, 東京, pp59-64, アオーレ長岡, 2013.11.22

川崎晴久, 人間の巧みな両手運動を可能になる高臨場感ハプティックインターフェイスの研究開発、情報通信フロンティアセミナー資料、pp107-116、名古屋ウイंकあいち, 2013.11.2 (招待講演)

川崎晴久, 多指ハプティックインターフ

- ェイスにおけるロボット力覚制御, RSJ 第 79 回ロボット工学セミナー 力覚を利用したロボット制御の実際 -, 中央大学, 2013.9.17 (招待講演)
- 毛利哲也, 川崎晴久, 安部貴大, ロボットハンド用圧力中心と分布の検出可能な触覚センサ, 第 31 回日本ロボット学会 学術講演会, RSJ2013AC3L1-06, 首都大学, 2013.9.4-6
- 遠藤孝浩, 川崎晴久, 側面設置型多指ハプティックインターフェイスのよる力指示, 日本機械学会 2013 年次大会予稿集, J028012, 岡山大学, 2013.9.8
- 川崎晴久, 多指ハンドとその医学応用システム, 健康科学特別講演会 (主催: 弘前大学大学院理工学研究科), 弘前大学, 2013.7.30 (招待講演)
- ②① 本田 裕哉, 毛利哲也, 川崎晴久, 人間型ハンドロボットの遠隔操作の研究, Proc. of the 2013 JSME Conf. On Robotics and Mechatronics (ROBOMECH 2013), 1A1-J02(1)-(2), 筑波大学, 2013.5.22
- ②② 毛利哲也, 今田葉子, 川崎晴久, 石樽康彦, ロボットハンドを用いた剛性計測システム, Proc. of the 2013 JSME Conf. On Robotics and Mechatronics (ROBOMECH 2013), 1A1-L06(1)-(2), 筑波大学, 2013.5.22
- ②③ 川崎晴久, 岐阜大学人間医工学研究開発センターと人間支援ロボティクス研究, 理研 東海コム人間共存ロボット連携センターシンポジウム予稿集, pp.25-34, 名古屋ウイックあいち, 2013.3.21 (招待講演)
- ②④ 野坂竜也, 遠藤孝浩, 川崎晴久, 多指力覚提示装置を用いた指先位置・指先力の学習法, 日本機械学会東海支部第 62 期総会・講演会予稿集, 名工大, 2013.3.18
- ②⑤ 川崎晴久, 多指ハプティックインターフェイスとその医学応用システム, SICE 中部支部 特別講演会, 名工大, 2013.1.13 (招待講演)
- ②⑥ 川崎晴久, 毛利哲也, 遠藤孝浩, 人間の巧みな両手運動運動を可能にする高臨場感ハプティックインターフェイスの研究開発(091706002), ICT イノベーションフォーラム 2012 予稿集(戦略的通信研究開発推進制度(SCOPE)成果発表), pp.32-33, 名古屋, 2012.10.2
- ②⑦ 黒竹信之介, 川崎晴久, 毛利哲也, 遠藤孝浩, ハンドハプティックインターフェイスの開発と基本的実験評価, 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.139-142, 慶応義塾大学, 2012.9.12
- ②⑧ 谷村聡史, 遠藤孝浩, 川崎晴久, 多指ハプティックインターフェイスを用いたピンセット型デバイスの力覚提示, 日本バーチャルリアリティ学会第 17 回大会予

稿集, 慶応義塾大学, 2012.9.12

- ②⑨ 川崎 晴久, 医工連携による人間支援ロボティクスの研究開発, 第 36 回岐阜人工関節フォーラム, 岐阜, 2011.9.24 (招待講演)
- ②⑩ 青山尚史, 川崎晴久, 遠藤孝浩, 中川志信, 側面設置型多指ハプティックインターフェイスの設計コンセプト, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, AC1G1-6, 芝浦工大, 2011.9.2

〔図書〕(計 4 件)

H. Kawasaki, T. Endo, T. Mouri, Y. Ishigure, V. Daniulaitis, HIRO: Multi-fingered Haptic Interface Robot and Its Medical Application Systems, Multi-finger Haptic Interaction, Springer Series on Touch and Haptic Systems, Edited by Galiana Ignacio and Ferre, Manuel, 査読有, ISBN 978-1-4471-5203-3, Springer London, pp.85-107, 2013

T. Endo and H. Kawasaki, Force Perception of Human Finger Using a Multi-Fingered haptic Interface, The Human Hand as an Inspiration for Robot Hand Development, Edited by Balasubramanian R. and Santos V. J. (Springer), 査読有, pp.345-361, 2013

川崎晴久, ロボティクス - モデリングと制御 -, シリーズ知能機械工学 4, 共立出版, 総ページ数 179, 2012.2.25

H. Kawasaki, S. Koide, T. Mouri and T. Endo. Development of a Finger Pad Force Display for a Hand Haptic Interface, Virtual Reality, Jae-Jin Kim (Ed.), 査読有, ISBN: 978-953-307-518-1, InTech, pp.93-106, 2011,

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 側面設置型力覚提示インターフェイス

発明者: 川崎 晴久, 遠藤孝浩, 毛利哲也

権利者: 国立大学法人岐阜大学

種類: PCT 特許出願

番号: 国際公開番号 W02012/081402

出願年月日: 国際出願 2011 年 11 月 30 日

国内外の別: 国外

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等: 下記に多指触覚インターフェイスの紹介がある

岐阜大学 工学部 人間情報システム工学科 川崎・毛利研究室

<http://robo.mech.gifu-u.ac.jp/>

産学プラザ 岐阜大学 川崎晴久

<http://www.sangakuplaza.jp/page/131123>

RT-net
http://www.rtnet-biz.jp/_search/univ.php?id=24
日本ロボット学会
http://www.rsj.or.jp/rij/?page_id=73
(株)丸富精工
<http://www.maru-tomi.co.jp/>
イー・バレイ(株)
http://www.e-valley.co.jp/ws/recruit_new/img/work/taidan1.pdf
(株)テック技販
<http://www.tecgihan.co.jp/p1.htm>
Aksonas Co.,Ltd
<http://robothand.eu/en/products/roboti>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川崎 晴久 (KAWASAKI HARUHISA)
岐阜大学・工学部機械工学科・教授
研究者番号：40224761

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

西本 裕 (NISHIMOTO YUTAKA)
岐阜大学・医学部整形外科・教授
研究者番号：20208234
今田 葉子 (IMADA YOUKO)
岐阜大学・医学部看護学科・准教授
研究者番号：00326167
後藤 多朗 (GOTOU TAROU)
岐阜大学・産官学融合本部・研究員
研究者番号：80599887