

課題番号	LR013
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成 25 年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	サーフェスアクチュエーションに基づく触力覚インタラクション技術の開発
研究機関・ 部局・職名	東京大学・大学院工学系研究科・准教授
氏名	山本 晃生

1. 当該年度の研究目的

本研究課題では、主として静電サーフェスアクチュエーション技術を活用することで、革新的な触力覚インタラクション技術を実現することをめざしている。本年度は、前年度までに実現した新インタラクション技術である「透明静電アクチュエータによるアクティブテーブルトップ技術」、「大画面ディスプレイ上でのマルチタッチ力覚提示技術」、「硬軟しこり触感提示技術」の各技術について、基本性能向上やシステム構築を行うことを目的とした。具体的には、(1)透明静電アクチュエータの動作高度化、(2)映像と物体搬送が同期した新しいインタラクティブシステムの構築、(3)マルチタッチ力覚提示技術の高度化、(4)遠隔触診応用を念頭においた触感提示技術の高度化、を主な目的とした。

2. 研究の実施状況

(1) 平面2自由度駆動を実現する静電アクチュエータ電極構成として、前年度にX-Y電極群を市松模様配置する構成を提案したが、電極配置の最適化手法を考案し、従来より面積利用効率の高い電極配置を実現した。また、電極配置をより細分化でき小型移動体の駆動に適したメッシュ構造電極(図1)をスクリーン印刷で一体形成する技術を確立し、複数の移動体を駆動制御できることを実証した。この他、移動体に配線を要する同期駆動方式において、コロナ放電による充電を用いた無配線駆動方式を見出した。

(2) 透明アクチュエータを液晶ディスプレイに統合することで、ユーザ操作に応じて映像と物体がインタラクティブに動くシステムを構築した。CGキャラクタが画面上の物体を動かすMixed Reality System(図2)や、動作計画を映像と物体の動きで可視化するActive Tangible System(図1)などを構築した。また、駆動方式として誘導駆動を用いる場合には移動体の位置検出が必要となるが、電磁誘導式センサを用いることで、よりコンパクトにシステムを構成できることを実証した。

(3) 前年度に提案したマルチタッチ力覚提示技術は静電力による摩擦を利用したパッシブ力覚提示技術であるが、仮想壁面が粘着力を持つ、というパッシブ式特有の問題を解決するため、操作方向を検知するセンサを提示パッドに組み込んだ新しい構成を提案した。また、マルチタッチのパッシブ式に特有の問題として、物体のつまみ動作時に物体が吸着するという新現象を見出した。このほか、コンパクトなシステム構成を実現するため、背面赤外カメラ方式のタッチパネルとの統合を実現した。

(4) 指先に硬軟感・しこり感を提示する技術に関して、機構の制御方式を発展させることで、指先でしこりが左右に動く触感など、より高度な触感提示を実現した。また、技術の応用先として期待される触診が複

数の指で行われることをふまえ、複数指に同時に硬軟感を提示する装置を実現した(図3)。

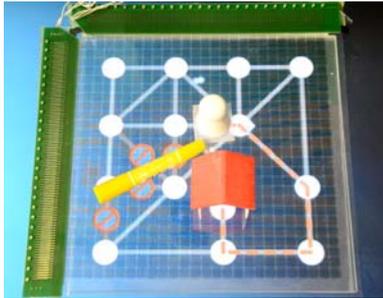


図1 メッシュ構造電極によるインタラクションシステム



図2 透明アクチュエータによる Mixed Reality System

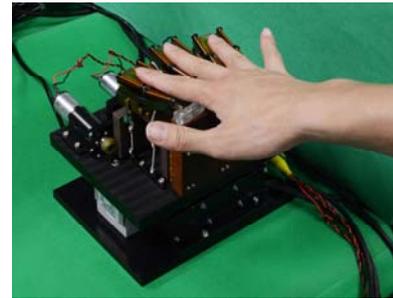


図3 多指硬軟感提示装置

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計6件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計4件</p> <p>[1] Fuminobu Kimura, Akio Yamamoto, “Effect of delays in softness display using contact area control: rendering of surface viscoelasticity”, <i>Advanced Robotics</i>, 27(7), pp. 553-566 (2013/4)</p> <p>[2] Taku Nakamura, Fuminobu Kimura, Akio Yamamoto, “A Photoelastic tactile sensor to measure contact pressure distributions on object surfaces”, <i>Journal of Robotics and Mechatronics</i>, 25(2), pp. 355-363 (2013/4)</p> <p>[3] Norio Yamashita, Akio Yamamoto, Toshiro Higuchi, “Effects of Electrode Configuration for Performances of Voltage-Induction-Type Electrostatic Motors”, <i>Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing</i>, 7(3), pp. 333-347 (2013/5)</p> <p>[4] Norio Yamashita, Akio Yamamoto, Toshiro Higuchi, “Pulse voltage operation of two-to-four-phase voltage-induction-type electrostatic motor”, <i>International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics</i>, 42(3), pp. 391-408 (2013/7)</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 計2件</p> <p>[5] Ryosuke Saito, Takuya Hosobata, Akio Yamamoto, Toshiro Higuchi, “Linear resonant electrostatic induction motor by using electrical resonance with piezoelectric transducers”, <i>Mechatronics</i>, 24(3), pp. 222-230 (2014/4 掲載予定)</p> <p>[6] Takuya Hosobata, Akio Yamamoto, Toshiro Higuchi, “Modeling and Analysis of a Linear Resonant Electrostatic Induction Motor Considering Capacitance Imbalance”, <i>IEEE Transactions on Industrial Electronics</i>, Vol. 61, No. 7, pp. 3349-3447 (2014/7 掲載予定)</p>
<p>会議発表 計27件</p>	<p>専門家向け 計27件</p> <p>[1] Fuminobu Kimura, Akio Yamamoto, “Rendering Variable-Sized Lump Sensations on a Softness Tactile Display”, <i>IEEE World Haptics Conference 2013</i> (2013/4, Daejeon, Korea)</p> <p>[2] Taku Nakamura, Akio Yamamoto, “Multi-finger Electrostatic Passive Haptic Feedback on a Visual Display”, <i>IEEE World Haptics Conference 2013</i> (2013/4, Daejeon, Korea)</p> <p>[3] Takuya Hosobata, Akio Yamamoto, “Mixed Reality System on Flat Panel Display with Real Object Driven by Synchronous Transparent Electrostatic Actuator”, <i>The International Conference on Multimedia and Human-Computer Interaction (MHCI'13)</i> (2013/7, Toronto, Ontario, Canada)</p> <p>[4] Takuya Hosobata, Akio Yamamoto, Toshiro Higuchi, “2-DOF Synchronous Electrostatic Actuator with Transparent Electrodes Arranged in Checkerboard Patterns”, <i>2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013)</i> (2013/11, Tokyo, Japan)</p> <p>[5] Takuya Hosobata, Norio Yamashita, Akio Yamamoto, Toshiro Higuchi, “Wireless Driving of Electrostatic Film Actuator by Pre-charging Electrodes with DC High Voltages”, <i>5th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2013)</i> (2013/11, Taipei, Taiwan)</p> <p>[6] Taku Nakamura, Akio Yamamoto, “Multi-Finger Surface Visuo-Haptic Rendering Using Electrostatic Stimulation with Force-Direction Sensing Gloves”, <i>IEEE Haptics Symposium 2014</i> (2014/2, Houston, TX, USA)</p>

	<p>[7] Fuminobu Kimura and Akio Yamamoto, “Rendering a Variety of Softness Sensations by Wrapping a Flexible Sheet around Fingertip”, Workshop on Artificial Softness, in 2014 IEEE Haptics Symposium (2014/2, Houston, TX, USA)</p> <p>[8] Akio Yamamoto, Junro Suzuki, “Position Estimation in Singly-Fed Electrostatic Actuation Systems by Superposing Sensing Signals”, 2014 5th International Conference on Mechanical, Industrial, and Manufacturing Technologies (MIMT 2014) (2014/3, Penang, Malaysia)</p> <p>[9] Taku Nakamura, Akio Yamamoto, “Position and Force-direction Detection for Multi-finger Electrostatic Haptic System Using a Vision-based Touch Panel”, The Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2014) (2014/3, Barcelona, Spain)</p> <p>[10] Ryuta Iguchi, Takuya Hosobata, Akio Yamamoto, “Transparent Electrostatic Actuator with Mesh-structured Electrodes for Driving Tangible Icon in Tabletop Interface”, The Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2014) (2014/3, Barcelona, Spain)</p> <p>[11] Norio Yamashita, Kota Amano, Akio Yamamoto, “Interaction with Real Objects and Visual Images on a Flat Panel Display using Three-DOF Transparent Electrostatic Induction Actuators”, The Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2014) (2014/3, Barcelona, Spain)</p> <p>[12] 中村琢, 山本晃生, 「静電摩擦力制御によるマルチタッチ・パッシブ力覚提示の試み」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 (2013/5, つくば)</p> <p>[13] 山本晃生, 「高出力静電サーフェスアクチュエータ」, 日本機械学会 2013 年度年次大会 先端技術フォーラム(2013/9, 岡山)</p> <p>[14] 鈴木淳朗, トラムトミー, 山本晃生, 「静電誘導式紙送りにおける電極相数の影響」, 2013 年度精密工学会秋季大会 (2013/9, 大阪)</p> <p>[15] 中村琢, 山本晃生, 「画面上でのつまみ動作を実現する静電触感提示のための指装着型提示子の検討」, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会 (2013/9, 大阪)</p> <p>[16] 木村文信, 山本晃生, 「シート張力の非対称制御による左右に移動するしこり感の発生」, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会 (2013/9, 大阪)</p> <p>[17] 山下典理男, 山本晃生, 「静電アクチュエータを用いた テーブルトップインタラクティブへのデジタイザ利用の試み」, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会 (2013/9, 大阪)</p> <p>[18] 中村琢, 山本晃生, 「静電力覚提示のための力方向検出機能付きグローブ型提示子の開発」, 第 14 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(SI2013) (2013/12, 神戸)</p> <p>[19] 木村文信, 山本晃生, 「なぞり動作時に知覚するしこり感の生成手法の検討」, 第 14 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(SI2013) (2013/12, 神戸)</p> <p>[20] 北澤俊樹, 木村文信, 山本晃生, 「硬軟感ディスプレイの小型化に向けた弾性リンク機構の検討」, 第 14 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(SI2013) (2013/12, 神戸)</p> <p>[21] 山本晃生, 「静電アクチュエーション技術のインタラクティブ応用」, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門, 特別講演会「バイオロボティクス最前線」(2014/2/5, 東京)</p> <p>[22] 近藤俊, 中村琢, 山本晃生, 「画像マーカを用いたディスプレイ上での位置検出手法の安定性に関する考察」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会 (2014/3, 東京)</p> <p>[23] 鈴木淳朗, 山本晃生, 「静電誘導式シート搬送における複数電極領域を用いたシート位置検出手法の検討」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会 (2014/3, 東京)</p> <p>[24] 井口龍太, 細島拓也, 山本晃生, 「積層印刷メッシュ電極を有する静電アクチュエータによる複数移動子ハンドリング」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会 (2014/3, 東京)</p> <p>[25] 細島拓也, 山本晃生, 樋口俊郎, 「同期型2自由度静電アクチュエータにおける位置依存性回避のための電極設計法」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会 (2014/3, 東京)</p> <p>[26] 木村文信, 山本晃生, 「高流動性の薄い柔軟物体特有の触感“底着き感”の再現提示」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会 (2014/3, 東京)</p> <p>[27] 山下典理男, 山本晃生, 樋口俊郎, 「静電誘導給電型モータの駆動における CR 時定数の影響」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会 (2014/3, 東京)</p> <p>一般向け 計0件</p>
<p>図書 計25件</p>	<p>[1] Fuminobu Kimura, Akio Yamamoto, “Rendering Variable-Sized Lump Sensations on a Softness Tactile Display”, Proceedings of IEEE World Haptics Conference 2013, pp. 97-102 (2013/4)</p> <p>[2] Taku Nakamura, Akio Yamamoto, “Multi-finger Electrostatic Passive Haptic Feedback on a Visual Display”, Proceedings of IEEE World Haptics Conference 2013, pp. 37-42 (2013/4)</p> <p>[3] Takuya Hosobata, Akio Yamamoto, “Mixed Reality System on Flat Panel Display with Real Object Driven by Synchronous Transparent Electrostatic Actuator”, Proceedings of the International Conference on Multimedia and Human-Computer Interaction, pp. 127.1-127.7 (2013/7)</p>

	<p>[4] Takuya Hosobata, Akio Yamamoto, Toshiro Higuchi, “2-DOF Synchronous Electrostatic Actuator with Transparent Electrodes Arranged in Checkerboard Patterns”, Proceedings of 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4919-4924 (2013/11)</p> <p>[5] Takuya Hosobata, Norio Yamashita, Akio Yamamoto, Toshiro Higuchi, “Wireless Driving of Electrostatic Film Actuator by Pre-charging Electrodes with DC High Voltages”, Proceedings of 5th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology, Paper No. 1299 (2013/11)</p> <p>[6] Taku Nakamura, Akio Yamamoto, “Multi-Finger Surface Visuo-Haptic Rendering Using Electrostatic Stimulation with Force-Direction Sensing Gloves”, Proceedings of IEEE Haptics Symposium 2014, pp. 489-491 (2014/2)</p> <p>[7] Akio Yamamoto, Junro Suzuki, “Position Estimation in Singly-Fed Electrostatic Actuation Systems by Superposing Sensing Signals”, Applied Mechanics and Materials, Vols. 541-542, pp. 1487-1491 (2014/3)</p> <p>[8] Taku Nakamura, Akio Yamamoto, “Position and Force-direction Detection for Multi-finger Electrostatic Haptic System Using a Vision-based Touch Panel”, Proceedings of the Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, pp. 160-165 (2014/3)</p> <p>[9] Ryuta Iguchi, Takuya Hosobata, Akio Yamamoto, “Transparent Electrostatic Actuator with Mesh-structured Electrodes for Driving Tangible Icon in Tabletop Interface”, Proceedings of the Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, pp. 288-293 (2014/3)</p> <p>[10] Norio Yamashita, Kota Amano, Akio Yamamoto, “Interaction with Real Objects and Visual Images on a Flat Panel Display using Three-DOF Transparent Electrostatic Induction Actuators”, Proceedings of the Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, pp. 294-299 (2014/3)</p> <p>[11] 中村琢, 山本晃生, 「静電摩擦力制御によるマルチタッチ・パッシブ力覚提示の試み」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 講演論文集, 2A1-B04 (CD-ROM) (2013/5)</p> <p>[12] 山本晃生, 「高出力静電サーフェスアクチュエータ」, 日本機械学会 2013 年度年次大会講演論文集, No. 13-1, F113001 (CD-ROM) (2013/9)</p> <p>[13] 鈴木淳朗, トラムトミー, 山本晃生, 「静電誘導式紙送りにおける電極相数の影響」, 2013 年度精密工学会秋季大会講演論文集, pp. 145-146 (2013/9)</p> <p>[14] 中村琢, 山本晃生, 「画面上でのつまみ動作を実現する静電触感提示のための指装着型提示子の検討」, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 79-82 (2013/9)</p> <p>[15] 木村文信, 山本晃生, 「シート張力の非対称制御による左右に移動するしこり感の発生」, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 462-465 (2013/9)</p> <p>[16] 山下典理男, 山本晃生, 「静電アクチュエータを用いた テーブルトップインタラクションへのデジタイザ利用の試み」, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 641-642 (2013/9)</p> <p>[17] 中村琢, 山本晃生, 「静電力覚提示のための力方向検出機能付きグローブ型提示子の開発」, 第 14 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論文集, pp. 669-671 (2013/12)</p> <p>[18] 木村文信, 山本晃生, 「なぞり動作時に知覚するしこり感の生成手法の検討」, 第 14 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論文集, pp. 680-683 (2013/12)</p> <p>[19] 北澤俊樹, 木村文信, 山本晃生, 「硬軟感ディスプレイの小型化に向けた弾性リンク機構の検討」, 第 14 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論文集, pp. 2425-2426 (2013/12)</p> <p>[20] 近藤俊, 中村琢, 山本晃生, 「画像マーカを用いたディスプレイ上での位置検出手法の安定性に関する考察」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 977-978 (2014/3)</p> <p>[21] 鈴木淳朗, 山本晃生, 「静電誘導式シート搬送における複数電極領域を用いたシート位置検出手法の検討」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 213-214 (2014/3)</p> <p>[22] 井口龍太, 細島拓也, 山本晃生, 「積層印刷メッシュ電極を有する静電アクチュエータによる複数移動子ハンドリング」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 215-216 (2014/3)</p> <p>[23] 細島拓也, 山本晃生, 樋口俊郎, 「同期型2自由度静電アクチュエータにおける位置依存性回避のための電極設計法」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 811-812 (2014/3)</p> <p>[24] 木村文信, 山本晃生, 「高流動性の薄い柔軟物体特有の触感“底着き感”の再現提示」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 217-218 (2014/3)</p> <p>[25] 山下典理男, 山本晃生, 樋口俊郎, 「静電誘導給電型モータの駆動における CR 時定数の影響」, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 211-212 (2014/3)</p>
<p>産業財産権 出願・取得状 況</p> <p>計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計0件</p>

様式19 別紙1

Webページ (URL)	http://am.t.u-tokyo.ac.jp/next.html 「最先端・次世代研究開発支援プログラム:サーフェスアクチュエーションに基づく触力覚インタラクション技術の開発」
国民との科学・技術対話の実施状況	<p>・大学学園祭での研究室公開(2013/5/18, 19) 場所:東大本郷キャンパスの研究室, 参加者:一般 100 名程度 内容:透明静電アクチュエータを用いた Mixed Reality System や, 力触覚インタラクションデバイスに関する装置の実演体験およびビデオ紹介</p> <p>・テクノフロンティア 2013(2013/7/17~19) 場所:東京ビックサイト, 参加者:200 名以上(展示ブースへの来訪者) 内容:産業技術の展示会であるテクノフロンティア 2013 にて, 透明静電アクチュエータや力触覚インタラクションデバイスに関するビデオ, ポスターを展示</p> <p>・オープンキャンパス(2013/8/8) 場所:東大本郷キャンパスの研究室, 参加者:高校生 20 名 場所:東大本郷キャンパス工学部 14 号館教室, 参加者:高校生および父兄 150 名程度 内容:高校生を対象としたオープンキャンパスにおいて研究室公開を行い, 透明静電アクチュエータを用いた Mixed Reality System や力触覚インタラクションデバイスに関する装置の実演体験を行った。また, 同日に一般教室においても, 透明静電アクチュエータの実演展示を行った。</p> <p>・FIRST シンポジウム(2014/2/28) 場所:ベルサール新宿グランド “FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030 年」へのシナリオ”内の NEXT ポスター展示会場において, 研究内容全般についてのポスター展示を行った。</p>
新聞・一般雑誌等掲載計〇件	
その他	Youtube チャンネル https://www.youtube.com/user/YlabUTokyo

4. その他特記事項

【受賞】

- [1] IEEE WorldHaptics Conference 2013 **Best Student Paper Award** (poster presentation)
対象論文:” Rendering Variable-Sized Lump Sensations on a Softness Tactile Display” in Proceedings of IEEE World Haptics Conference 2013
- [2] International Conference on Multimedia and Human-Computer Interaction (MHCI'13) **Best Paper Award**
対象論文:” Mixed Reality System on Flat Panel Display with Real Object Driven by Synchronous Transparent Electrostatic Actuator” in Proceedings of the International Conference on Multimedia and Human-Computer Interaction

実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計) (単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	84,000,000	57,257,000	26,743,000	0	0
間接経費	25,200,000	17,177,100	8,022,900	0	0
合計	109,200,000	74,434,100	34,765,900	0	0

2. 当該年度の収支状況 (単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	13,067	26,743,000	0	26,756,067	26,756,067	0	0
間接経費	17,177,100	8,022,900	0	25,200,000	25,200,000	0	0
合計	17,190,167	34,765,900	0	51,956,067	51,956,067	0	0

3. 当該年度の執行額内訳 (単位:円)

	金額	備考
物品費	10,465,941	電極試作費, 加工機, タッチパネル, 材料等
旅費	3,196,658	学会参加旅費
謝金・人件費等	10,707,348	研究スタッフ人件費
その他	2,386,120	論文投稿費, 学会参加費, 借室料
直接経費計	26,756,067	
間接経費計	25,200,000	
合計	51,956,067	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
透明アクチュエータ 電極製作材料一式	ITO電極フィルム, スクリーンマスク	1	850,500	850,500	2013/5/30	東京大学
プリント基板加工機	LPKF, ProtoMatE33E	1	882,000	882,000	2013/6/11	東京大学
透明アクチュエータ 電極製作材料一式	ITO電極フィルム, スクリーンマスク	1	687,750	687,750	2013/6/24	東京大学
透明アクチュエータ 電極製作材料一式	ITO電極フィルム, スクリーンマスク	1	593,250	593,250	2013/9/25	東京大学
マルチタッチ液晶 ディスプレイ	Samsung, SUR40	1	756,000	756,000	2013/9/27	東京大学
フラットベッドカッ ティングマシン	GRAPHTEC, FC4500-50	1	997,500	997,500	2013/11/26	東京大学