

舘 暲

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科・教授

さわれる人間調和型情報環境の構築と活用

§1. 研究実施の概要

本研究は、実空間コミュニケーション、ヒューマンインタフェース、メディア処理が融合した、見て触れる情報環境の構築を目指す。すなわち、実空間の触覚情報の取得と理解及び触空間の伝達と人への能動的働きかけを可能とし、人が自然環境で所作し行動しているような感覚で、遠隔コミュニケーション、遠隔体験、疑似体験を可能とし、デザインや創作などの創造的活動を実世界と同様に行える人間調和型の「さわれる情報環境」を構築する。

H22 年度においては、触原色原理に基づく触知覚の機序の解明、力分布と温度を同時に計測する指型触覚センサの設計、経皮電気刺激によって様々な触感を提示する触覚ディスプレイの開発と信号設計、直感的入力による3次元視触覚モデリングシステムの開発、実体性を提示する3次元視触覚ディスプレイの構築を行った。人の触知覚に関する基礎的な検証と並行して、これらの知見を応用した触覚センサ・触覚ディスプレイなど、次年度の中間マイルストーンである「さわれる情報環境実験評価装置」に向けた要素技術を開発した。また視覚と触覚が融合した3次元視触覚インタラクションシステムを構築し、プレスリリースおよび多くの体験型展示を通じて、「さわれる情報環境」のコンセプトを広く伝えた。

§2. 研究実施体制

(1) 舘グループ（慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科）

① 研究分担グループ長：舘 暲（慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科・教授）

② 研究項目

- (1) 触原色原理に基づく触知覚メカニズムの解明とデバイス設計法
- (2) 身体性を有する触覚情報コンテンツの構成技術
- (3) 実体性を提示する3次元視触覚ディスプレイ
- (4) 実証システムの構築と検証

§3. 研究実施内容 (文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

当該年度は、全体計画書に示した研究項目のうち、以下の各項目を実施した。

- (1) 触原色原理に基づく触知覚メカニズムの解明とデバイス設計法
 - 1-a. 触原色原理の解明 / 1-b. 触覚センサの開発 / 1-c. 触覚ディスプレイの開発
- (2) 身体性を有する触覚情報コンテンツの構成技術
 - 2-a. 触運動知覚の基礎的研究
- (3) 実体性を提示する3次元視触覚ディスプレイ
 - 3-a. 視触覚融合の基礎的研究
- (4) 実証システムの構築と検証
 - 4-a. 「さわれる情報環境実験評価装置」の構築

(1) 触原色原理に基づく触知覚メカニズムの解明とデバイス設計法

【1-a. 触原色原理の解明】

触原色原理を利用した触覚信号提示に向けた基礎的検討として、触覚受容器の選択刺激による時空間的な情報の提示精度を検証した^[A2]。人の手における圧覚は主にSAI系、皮膚の伸びはSAII系、低周波振動はRA系、高周波振動はPC系の触覚受容器で符号化されている。このうち小型の振動子を低周波振動させると皮膚浅部のRAが、大型の振動子を高周波振動させると皮膚深部のPCが優先的に活動する事が知られている。そこで、指先2か所に対して振動を加え、同時や運動感など「知覚状態の遷移」と右/左の「方向判断の精度」を計測し、選択刺激による時空間情報提示能力の精度を比較検討した。その結果、(1) RAへの刺激では2刺激間の時差を変更することで複数の知覚状態を生成可能であったが、PCへの刺激では複数の知覚状態が混ざってしまうこと (2) RAへの刺激に比べPCへの刺激では振動方向の判別精度が低いことが示された。これにより、指腹に対して振動の時間的なパターンを利用して時間・時空間的な情報提示を行うには、低周波振動を用いてRA神経を選択的に刺激することが適当であると示唆された。

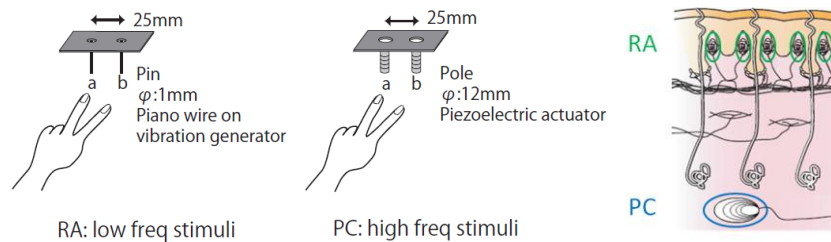


図 1: 低周波小型振動子と高周波大型振動子によって選択的に刺激される RA 神経と PC 神経

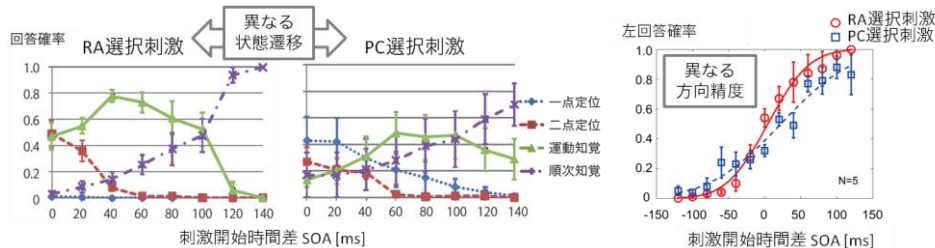


図 2 : RA/PC の選択的の刺激によって生じる知覚状態の遷移(左)と判別された方向(右)

【1-b. 触覚センサの開発】

人は皮膚の変形と温度変化の情報をそれぞれ機械受容器と温度受容器から取得し、それらの受容器応答を統合的に解釈することで触感を得ている。人と同等の触覚情報を取得するため、皮膚の変形と温度変化の情報を同時に計測可能な指型触覚センサの試作を行った。センサ表面の温度変化を計測するために、温度変化に伴い色が変化する示温塗料とカメラを用いた光学式の温度センサを構築した。示温塗料は塗料であり、この示温塗料を弾性体表面に塗布しその色相をカメラで検出することで、センサ表面の温度を計測できる。構築した温度センサを異なる温度の物体に接触させ、計測される温度の時間応答を記録したところ、物体の温度に応じた時間応答を示すことが確認された。これに、我々がこれまで開発してきた光学式 3 軸力分布センサの技術[A3,A5]を組み合わせ、指の変形と温度変化を同時に計測する触覚センサを試作し、計測される力分布や温度変化から、物体のエッジと平面の違い、金属と木材の違いを判別できることを確認した[A11,A12]。

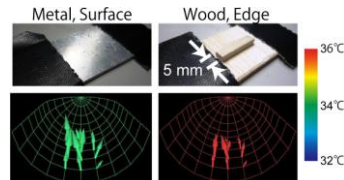
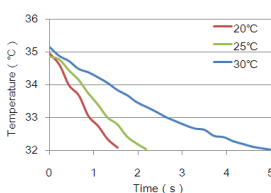
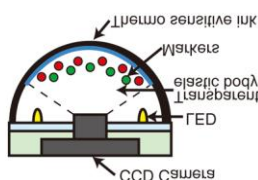
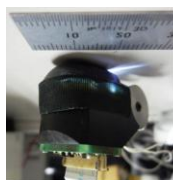


図 3: 指型触覚センサとその構造

図 4: 温度計測の時間応答

図 5: 力と温度の同時計測

【1-c. 触覚ディスプレイの開発】

電氣的刺激によって指先に触覚テクスチャを提示する触感ディスプレイを開発した。触覚刺激のための電気信号に関しては、昨年度の予備実験に基づき陽極刺激による振動覚と陰極刺激による圧覚の混合提示を行い、従来の記号的な提示から素材感の提示への拡張を行った。刺激強度の時空間的なばらつきによる粗さの表現と、二種類の触感の混合による中間的な触感生成の可能性を実験的に検証した。さらに異なる素材感を持つ7種類のテクスチャを選別し、パレットから任意の“触絵具”を選び指先で画面をなぞることで触感を伴った絵を描画する事ができる視触覚お絵かきシステム“Colorful touch palette”を構築した[A7,A8]。本研究成果は VRSJ 2009, インタラクション 2010, SIGGRAPH 2010, i-tokyo 2010 にて子供を含む多くの来場者に対して体験型展示を行い、触って楽しむ絵画体験は全く新しいながらも馴染みやすいと好評を得ると同時に、体験者から多くの創造的な作品が生まれた。



図 6: Colorful Touch Palette



図 7: 提示される触絵具

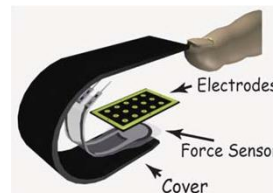


図 8: 指先装着型触感ディスプレイ



図 9: 体験者が作成した触感を伴う絵画の例

(2) 身体性を有する触覚情報コンテンツの構成技術

【2-a. 触運動知覚の基礎研究】

身体性を有する触覚情報コンテンツを作成するシステムのプロトタイプとして、空中でのスケッチ入力により、さわれる3DCGモデルの直感的作成が行える3Dモデリングシステム“Pen de Draw”を開発した^[A9]。ペン型力覚デバイスを持ったユーザの手の空中での動作軌跡からパラメータ抽出により3次元形状の生成を行うアルゴリズムを実装し、力覚フィードバックによるバーチャルなキャンバスの教示を行ったことにより、空中に絵を描くような感覚での3次元形状の作成を実現した^[A13]。本研究成果は、JST 予感研究所 3, インタラクティブ東京 2010, DCEXPO2010, IEEE-VR, Singapore Science Center で行われた JST Exhibition において体験型展示を実施し、1600人以上の体験者を得た。体験者からは、バーチャルな三次元物体をあたかも現実に生成しているかのような感覚に対して驚きの声を得られた。また、現段階では単純な軌跡のスケッチ入力からの単純な形状の生成のみが実装されているが、より多様な入力による複雑な形状のモデリングへの要望が多く得られ、次年度以降のシステムの拡張を検討している。



図 10: Pen de Draw

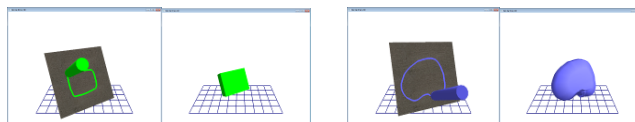


図 11: スケッチ入力からの立体形状生成

(3) 実体性を提示する3次元視触覚ディスプレイ

【3-a. 視触覚融合の基礎研究】

実空間中に3次元映像を重畳表示し、見た場所を見たままに触れる多視点裸眼立体ディスプレイ“RePro3D”を開発した。昨年度の予備実験に基づき、高輝度液晶パネルにレンズアレイおよびフレネルレンズを配置することで、小さなプロジェクタを15mm間隔で多数並べた状態と等価な高密度プロジェクタアレイを構成する手法を設計した。この結果、上下左右の滑らかな運動視差を有する3次元映像を空中像として提示することが可能となった^[A6]。また、赤外線カメラによってユーザの指先と立体映像との接触状態を認識し、ユーザの指に装着した指先装着型触覚ディスプレイを通じて映像に触った感覚を再現するシステムを構築し、CGキャラクターとの触覚を伴うインタラクティブなコミュニケーションが可能なコンテンツを作成した^[A10]。本研究成果は、SIGGRAPH2010, インタラクティブ東京 2010, DCEXPO2010, ISVRI 2011, Singapore Science Center で行われた JST Exhibition において体験型展示を実施し、2000人以上の体験者に対して立体映像との自然な触覚インタラクションを提供し、本手法の有効性が確認された。また、本研究成果に関しては、平成22年10月12日、『触れる多視点裸眼立体ディスプレイ「RePro3D」を開発～実空間に投影されたキャラクターと触れ合える立体ディスプレイ～』と題したプレスリリースを行った。



図 12: RePro3D



図 13: 提示される視差画像



図 14: 空中像にさわられる様子

(4) 実証システムの構築と検証

【4-a. 「さわれる情報環境実験評価装置」の構築】

本研究の中間マイルストーンの1つである能動的触覚スキャンプラットフォームの構築に向けて、これまで述べた各要素技術の研究開発を行うと共に、研究項目 1-b において開発した触覚センサを五指ロボットハンドに拡張するため、指先に収まる小型カメラを複数台同時に制御可能な「指先型センサカメラ」の開発を行った。また、能動的触覚スキャンプラットフォームの腕部および頭部に相当する、「人型ロボットアーム／ヘッドシステム」の開発を行った。次年度においては、これらに加え、指先型触覚センサを搭載する人型ロボットハンド、および研究項目 1-c・2-a を応用した、ユーザの身体運動を計測し触覚を提示する触覚ディスプレイの開発を行い、各要素技術を統合することで、能動的触覚スキャンプラットフォームを構築する予定である。

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

- A1. Dmitry Tsetserukou, Katsunari Sato and Susumu Tachi: ExoInterfaces: novel exoskeleton haptic interfaces for virtual reality, augmented sport and rehabilitation, in Proc. of ACM Augmented Human Conference 2010, Megeve, France, pp.1-6, 2010.4 (DOI: 10.1145/1785455.1785456)
- A2. Shinobu Kuroki, Junji Watanabe, Naoki Kawakami, Susumu Tachi and Shin'ya Nishida: Somatotopic dominance in tactile temporal processing, Experimental Brain Research, Vol.203, No.1, pp.51-62, 2010.5 (DOI: 10.1007/s00221-010-2212-8)
- A3. 佐藤 克成, 舘 暲: 指型 GelForce と電気触覚ディスプレイを用いた分布触覚情報伝達システム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.12, No.2, pp.55-62, 2010.5, (DOI:不明)
- A4. Dmitry Tsetserukou, Katsunari Sato and Susumu Tachi: FlexTorque: Exoskeleton Haptic Interface for Tactile Interaction with the Digital World, in Proc. of EuroHaptics 2010, Amsterdam, Netherlands, 2010.7 (ISBN: 3-642-14074-2 978-3-642-14074-7)
- A5. Katsunari Sato and Susumu Tachi: Evaluation of Transmission System for Spatially Distributed Tactile Information, in Proc. of EuroHaptics 2010, pp.279-284, Amsterdam, Netherlands, 2010.7 (ISBN: 3-642-14063-7 978-3-642-14063-1)
- A6. Takumi Yoshida, Sho Kamuro, Kouta Minamizawa, Hideaki Nii, Susumu Tachi: RePro3D: Full-Parallax 3D Display Using Retro-Reflective Projection Technology,

in Proc. of ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies, Los Angeles, CA, USA, 2010.7 (DOI: 10.1145/1836821.1836841)

- A7. Yuki Hirobe, Takumi Yoshida, Shinobu Kuroki, Kouta Minamizawa, Katsunari Sato, Susumu Tachi: Colorful Touch Palette, in Proc. of ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies, Los Angeles, CA, USA, 2010.7 (DOI: 10.1145/1836821.1836831)
- A8. Yuki Hirobe, Takumi Yoshida, Shinobu Kuroki, Kouta Minamizawa, Katsunari Sato, Susumu Tachi: Colorful Touch Palette, in Proc. of ACM SIGGRAPH 2010 Posters, Los Angeles, CA, USA, 2010.7 (DOI: 10.1145/1836845.1836933)
- A9. Sho Kamuro, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi: 3D Haptic Modeling System using Ungrounded Pen-shaped Kinesthetic Display, in Proc. of IEEE Virtual Reality 2011, Singapore, 2011.3
- A10. Takumi Yoshida, Keitaro Shimizu, Tadatoshi Kurogi, Sho Kamuro, Kouta Minamizawa, Hideaki Nii and Susumu Tachi: RePro3D: Full-parallax 3D Display with Haptic Feedback using Retro-reflective Projection Technology, in Proc. of IEEE International Symposium on Virtual Reality Innovations 2011, Singapore, 2011.3
- A11. Katsunari Sato, Hiroyuki Shinoda, and Susumu Tachi: Vision-based Cutaneous Sensor to Measure Both Tactile and Thermal Information for Telexistence, in Proc. of IEEE International Symposium on Virtual Reality Innovations 2011, Singapore, 2011.3
- A12. Katsunari Sato, Hiroyuki Shinoda, and Susumu Tachi: Finger-shaped Thermal Sensor using Thermo-sensitive Paint and Camera for Telexistence, in Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation 2011, Shanghai, China (to appear in 2011.5)
- A13. Sho Kamuro, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi: Ungrounded Pen-shaped Kinesthetic Display - Device Construction and Application to 3D Interaction and Modeling, in Proc. of IEEE World Haptics Conference 2011, Istanbul, Turkey (to appear in 2011.6)

(4-2) 知財出願

- ① 平成22年度特許出願件数 (国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 0 件)