

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、ヒューマンインターフェイス、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。

当該年度においては、触原色原理に基づく触知覚の機序の解明、経皮電気刺激において様々な触感を提示するための信号設計、力触覚の知覚における皮膚感覚-固有受容感覚間および固有受容感覚-視覚間の感覚統合の効果の検証とデバイス設計法への応用、実体性を提示する3次元視触覚ディスプレイの基礎設計など、人の触知覚に関する基礎的な検証を行った。次年度以降においては検証を進め知見を深めると同時に、これまで得た知見を応用し、触覚センサ・触覚ディスプレイを設計開発することで、中間目標である「さわれる情報環境実験評価装置」の構築を目指す。

§ 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、教授）

② 研究項目

- ・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
- ・身体性を有する触覚情報コンテンツの構成技術
- ・実体性を提示する3次元視触覚ディスプレイ

§ 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)

当該年度では、全体研究計画書の研究の主なスケジュールに示した研究実施項目のうち、以下の項目を実施した。

(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

(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

(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

(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

本研究実施項目に関して、当該年度は触原色原理の基礎的な解明、および経皮電気刺激における触原色原理に基づく信号設計を検討し、各受容器への入力情報と得られる触知覚との関係性を調べ進め、下記(1-1)～(1-3)の成果を得た。

(1-1) 経皮電気刺激による触覚の時間知覚メカニズムの基礎的検証

本 CREST 研究では経皮電気刺激を用いた触情報の提示、特に陰極刺激よりも空間解像度が高い陽極刺激の幅広い利用を試みる。陽極刺激による触情報の提示精度が一般的な機械刺激に比べ遜色無いことを確認するため、触知覚の時間分解能に関与する“同時性判断、順序判断、運動検出”の精度を心理物理実験により検証した[A1]。その結果、機械刺激を用いた先行研究との対応が良く取れていることが確認され、経皮電気刺激による時間的な情報提示の可能性を裏付けるものとなった。

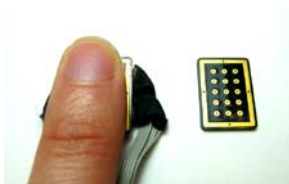


図 1: 経皮電気刺激電極

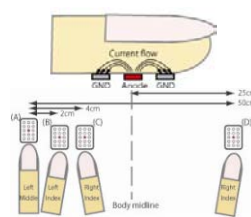


図 2: 同時性判断の実験条件

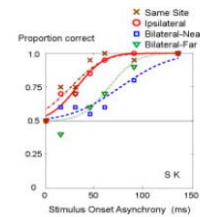


図 3: 同時性判断の実験結果

(1-2) 3次元ベクトルを提示する経皮電気刺激の設計と基礎的検証

経皮電気刺激による触覚受容器の選択的刺激を応用して、3次元力ベクトルを提示する電気刺激信号を設計した。指先に3次元力ベクトルを加えた際の皮膚変形を有限要素法により算出し、触覚受容器応答の空間分布の推定を行うことで、電極ピンアレイ上における電気刺激信号の極性、強度、および周波数を設計した。設計した電気刺激信号を用いて力ベクトルの方向弁別実験を行った結果、経皮電気刺激により3次元力ベクトルを提示可能であることが確認された。

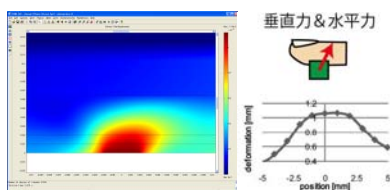


図 4: 指皮膚変形の推定

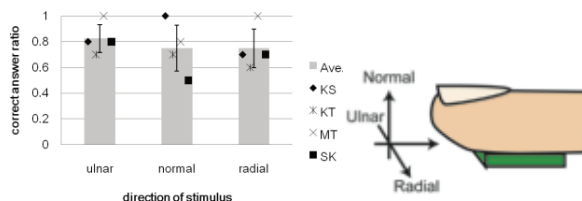


図 5: 力の方向弁別結果

(1-3) 刺激パターンの工夫によるボタン形状やクリック感の再現

皮下の触覚受容器のうち振動覚を担うRA受容器と圧覚を担うSAI受容器は、それぞれ陽極刺激・陰極刺激による選択的刺激が可能である。これらを効果的に組み合わせ、タッチインタフェースにおけるユーザの操作感の向上を試みた。タッチパネルを模した 3cm×5cm 大の基板に 12×20=240 個の電極が実装された電極アレイを作成し、アレイ上での指位置・圧力を計測し、電気刺激のタイミングや強度・周波数を制御することで、ボタンの凹凸形状やクリック感を提示し、評価実験を通して本手法による操作性の向上を確認した。

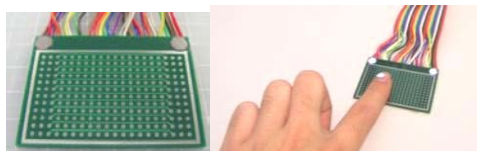


図 6: タッチパッド大の電極アレイ

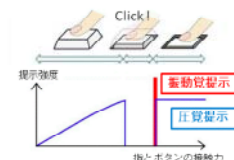


図 7: ボタン形状の提示手法

(2) 身体性を有する触覚情報コンテンツの構成技術

本研究実施項目に関して、当該年度は身体性を生み出すと考えられる感覚間統合を触覚情報提示デバイスの設計に応用することを目的として、(2-1)皮膚感覚と力覚 (2-2)視覚と力覚の感覚統合について心理物理実験を通じて知見を収集し、次年度以降の触覚センサ・触覚ディスプレイの開発に向けた基盤形成を行った。

(2-1) 指皮膚感覚と腕部固有受容感覚の協調に基づくハプティックディスプレイの自由度設計

我々の先行研究において指の皮膚感覚を刺激するハプティックディスプレイを開発してきたが、幅広い力を提示するためには腕の固有受容感覚の刺激も必要不可欠といえる。ところが従来の多自由度リンク機構は可動範囲や干渉の問題が生じ易く、機構の簡易化が求められる。そこで指の皮膚感覚と腕の固有受容感覚との役割分担に着目し、指への皮膚感覚提示と腕への固有受容感覚提示との統合を前提とすることで各々の感覚提示機構において必要な自由度数の削減を試みた。この結果、必要な弁別性能に応じた提示装置の自由度数の削減に関する指針を得、小型ながら幅広い質量を提示可能なハプティックディスプレイが設計可能であることを確認した。

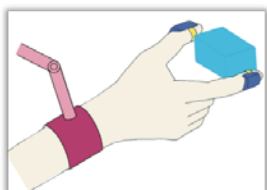


図 8: 指皮膚感覚と腕力覚の統合



図 9: 実験装置

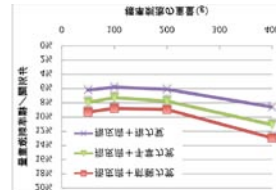


図 10: 自由度数毎の弁別閾

(2-2) 視覚の尺度変換を利用した力覚強調

コンパクトな力覚提示機構を設計するために、視覚の尺度変換を利用した力覚強調効果を、力

覚提示機構の設計パラメータとして導入することを試みた。心理物理実験から、知覚される力覚は視覚の尺度変換係数 α の値に応じて実際の力の 0.5 倍～2.5 倍の範囲で変動する傾向を確認した。すなわち視覚の尺度変換を用いることで力覚提示装置の出力の最大 2.5 倍相当の力知覚を生起させ、小型の装置を用いて、より大きな力覚の提示が可能であることが示された。

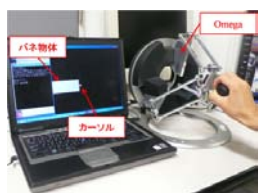


図 11: 視覚の尺度変換を利用した力覚強調

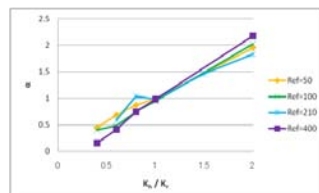


図 12: 視覚の尺度変換係数と力知覚の関係

(3) 実体性を提示する 3 次元視触覚ディスプレイ

本研究実施項目に関して、当該年度は(3-1)3次元視覚ディスプレイの設計および(3-2)全周囲立体映像環境における視触覚融合に向けた基礎研究を行った。

(3-1) 3次元視覚ディスプレイの基本構造の設計

触覚提示と等しい位置関係を保つ立体映像の提示を目的として、再帰性反射材をスクリーンとしてプロジェクタアレイにより視差映像を投影し上下左右の運動視差を有する立体映像を裸眼に提示できる3次元視覚ディスプレイを設計し、光学系の試作を行った。図 14 のように LCD の表面に投影レンズをアレイ状に配置する光学系を試作し、各視点画像の連続性が保たれる光学パラメータを実験的に明らかにした。結果としてレンズ間隔を 12～16mm にすることで連続的な視差画像を提示できることが確認された。

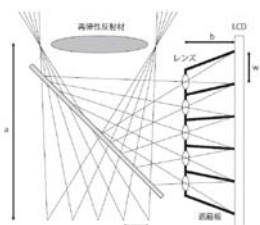


図 13: 提案光学系

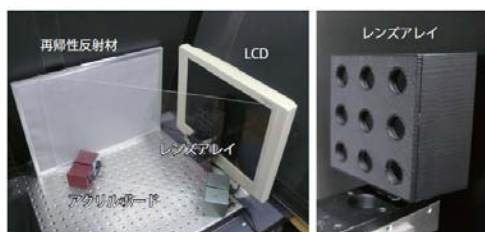


図 14: 試作した光学系

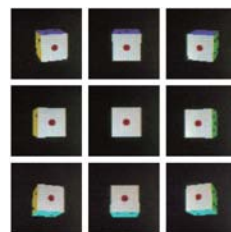


図 15: 観察画像

(3-2) 全周囲立体映像提示環境における身体運動の取得と手元への立体映像提示

遠隔地にいる相手と表情や視線を介したコミュニケーションを行いながら、ユーザ同士の空間を共有し、バーチャルな 3 次元物体の操作を行うシステムを構築した。全周囲立体ディスプレイ TWISTER を用いて、カメラで取得したユーザの顔の映像と、モーションキャプチャによる身体運動の情報を双方向に送受信することで空間共有及び3次元物体の協調操作を行う。実際にシステムを構築しネットワークを介した通信を行うことで、両ユーザが1つの物体を協調操作するインタラクションが実現された。今後は本システムに触覚フィードバックを加えることで視触覚融合を図る予定である。



図 16: 手元に提示された物体の操作



図 17: 遠隔ユーザとの空間共有

§ 4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

[A1] Shinobu Kuroki, Junji Watanabe, Naoki Kawakami, Susumu Tachi, and Shin'ya Nishida: Somatotopic dominance in tactile temporal processing, Experimental Brain Research (in press)