

## 論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 芳賀 浩史

本論文は「静電気力を用いたインタラクティブ視触覚ディスプレイに関する研究」と題して、ユーザーの指が画面に触れた際に触覚刺激を提示する機能を有する視触覚ディスプレイ技術の設計が論じられる。

静電触覚ディスプレイは電極と絶縁層とで構成され、電極に電圧を印加した際に指と電極との間に生じる静電気力によって、触察時の摩擦力を変化させて振動刺激を行う触覚ディスプレイである。映像ディスプレイに積層して利用することができるため、インタラクティブ視触覚ディスプレイへの応用が期待されている。

本研究では静電触覚ディスプレイを利用したインタラクティブ視触覚ディスプレイを開発し、視触覚ディスプレイの設計論への道を拓く。

まず、触覚刺激の空間的局在化の課題が論じられる。X電極とY電極で構成した電極基板を用いてヒトの触覚閾値の低い静電気力振動を特定の交差部分に発生させる構成を提案し、電極に印加する信号の周波数の設計指針が示される。

次に、静電触覚ディスプレイと静電容量式タッチパネルとの共存化の課題に対して、電極の時分割駆動が適用可能であることを実証し、静電気力が途切れることで生じる不要な触覚刺激を抑制する駆動方法の設計指針が示される。

続いて、正方形のパッチ電極をアレイ状に配列した電極構造の静電触覚ディスプレイを用いて、隣り合う電極に位相が180度異なる交流信号を印加することで、ヒトの電氣的接地状態に依存しない安定した触覚刺激を提示できることが示される。

さらに、クリック感を提示するためのラテラルモーションと呼ばれるディスプレイパネルの機械的な動きに関して有効な設計指針が示される。ラテラルモーションによる触覚提示に関する主観評価実験により、タッチ面の振動方向が指の長軸方向の場合は、短軸方向の場合と比較して触覚刺激が強く知覚されることが示される。

本論文は7章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、研究背景および、本研究の動機と目的が示される。

第2章では、第3章以降の前提となる、触覚の知見、触覚ディスプレイの研究と分類、静電触覚ディスプレイの研究、触覚刺激の局在化に関する研究、タッチセンシング技術が概説される。

第3章では、静電触覚ディスプレイにおける触覚刺激の空間的局在化の手法が提案される。マルチタッチに対して独立した刺激を提示するためには触覚刺激を局在化する必要がある。直交するX電極とY電極に、指先の振動検出閾値が大きい1240 Hzと1000 Hzの交流電圧信号をそれぞれ印加すると電極の交差部分で振動検出閾値が小さい240 Hzの静電気力振動がうなりにより発生し、

タッチ面上に局在化された触覚刺激を提示できることが示される。

第4章では、静電触覚ディスプレイのインタラクティブ化で必要とされる、静電容量センサとの共存化を電極の時分割駆動で解決する手法が示される。特定の電極がタッチセンサとして利用される時間を8.3 msecとし、タッチセンサとして利用する電極を空間的に拡散させ走査させることで、静電気力が途切れることで生じる不要な触覚刺激が抑制されることを示す。また、センサに混入する電氣的ノイズを低減するために、触覚を提示する交流電圧信号にタッチを検出するための励振信号を重畳する回路、およびタッチ検出信号に混入する、触覚提示用の交流信号を除去するための基準ノード駆動ハイパスフィルタ回路が提案される。これらの技術を利用することで静電触覚ディスプレイと静電容量センサとの一体化が可能であることが示される。

第5章では、四角形の電極を30×20のアレイ状に配列したセグメント電極構造の静電触覚ディスプレイにおいて、個々の電極を独立して制御することでマルチタッチ入力が可能なこと、形状の自由度が高い触図を提示できることが示される。触覚刺激を提示するための交流信号に関して、隣り合う電極に位相が180度異なる交流信号を印加することで、ヒトの電氣的接地状態に依存しない安定した触覚刺激を提示できることが示される。さらに、タッチ面上に空間的に局在化し提示した静電触覚オブジェクトを、複数の指で触察する際に生じる触覚のクロストークが、該交流信号を利用することで低減することが示される。

第6章では、ラテラルモーションを併用しクリック感を提示する際の知覚特性を解明する。タッチ面の振動方向が指の長軸方向の場合は、短軸方向の場合と比較して触覚刺激が強く知覚されることを主観評価実験で示し、振動方向の設計指針を示す。また、静電容量センサを一体化した静電触覚ディスプレイとラテラルモーション機構を用いてインタラクティブな視触覚ディスプレイを作製し、Eyes-free interactionを可能とする一つの構成が示される。

第7章では、本研究の成果をまとめ、今後の課題と展望が記述される。