

(別紙2)

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 落合陽一

本論文は、コンピュータグラフィクス表現が有する可塑性を現実の物体にも与える新たな表現手段とする研究について論じている。より具体的には、コンピュータによって計算・制御可能な音響場を「計算音響場」(computational acoustic field)と名付け、この計算音響場を用いて、音響場と音響場に付随する物理現象を応用することで実世界の事物の物理的性質を変化させる手法を提案し評価している。提案手法によって駆動された実世界の事物は、コンピュータグラフィクス表現に類似する可変性や可塑性を持ち、音響場の制御によって見た目や手触り、三次元位置などを動的に変更することができる。

近年、このように現実の物質の性質を変化させ情報表現その他の目的に供しようとするプログラマブルマターと呼ばれる研究が注目されている。本論文では、場を制御することにより物質の組成を変化させようという環境型のプログラマブルマターと呼ぶアプローチを取っている。本論文の知見は、これらのプログラマブルマター研究を整理する上でも有用であり、研究成果はディスプレイ技術や、コンピュータグラフィクス表現、エンターテインメントコンピューティングやヒューマンインターフェースの発展に寄与するものと考えられる。

本論文の1章では、環境型アクチュエーションに関わる物理場の整理及び計算機音響場の特質について整理している。まず計算機を用いた物理場の制御における理論とデザイン手法について述べ、ポテンシャルエネルギーの一般的定式化、および各場に基づいたそれぞれの応用事例について例示している。特に、現状利用可能な物理場の制御の中で、アクチュエーション対象に制限が少なく、扱いやすい音響場と音響場に付随する現象についての利点について延べ、グラフィクスやインターフェース応用について言及している。

2章以降では実際に試作したシステムの構成原理及び性能評価について論じている。2章では、視野角を2度から175度までプログラム可能な光学的スクリーンの開発について述べている。これは、コロイド溶液を用いた液体による透明スクリーンであり、液面表面にキャピラリー波を超音波照射により形成することで、表面反射を制御することができる。この技術により、複数光源を用いた3D表現や、1次元BRDF表現と2次元画像の重畳による質感表現に応用可能であることを示している。

3章では物体の手触りを超音波振動によるスクイズ膜効果によって変える研究について述べている。ここでは、スクイズ膜効果の大きさを制御することで、50 $\mu$ m分の凹凸の触覚を消去したり、別の感触に置き換えたりできることを示し、共振周波数制御によって人間が

触れても安定的に触覚提示が行えるようなディスプレイを開発した。これにより、既存研究では行われてこなかった実際の事物に関する触覚の変更・改変が行うような応用可能性を示している。

4章では超音波フェーズドアレイ技術を用いた音響浮揚技術について論じている。既存の音響浮揚技術を3次的に拡大し、浮揚可能な空間のサイズを拡張し、最大1g (7.8 g/cm<sup>3</sup>)のものを浮揚させ、72cm/秒で物質を動かすことを可能にした。音響場の生成の仕方を制御することで新たなディスプレイ表現やマニピュレーション用途に応用可能であることを示している。

5章において構築したシステムについてまとめ、より一般的な議論として力の大きさや解像度に関する一性質やデザイン指針について議論し、将来展望、課題について論じた。

最後に6章にて本論文の貢献について整理し結論としている。

最終審査会では、論文の構成に従って発表を行ったあと質疑を行った。審査委員からは、具体的に新規なシステムを構築した上での議論を展開している点に評価があった。また出版論文数およびその内容も博論提出水準に達していることが再度確認された。一方で、構築した技術はまだ基礎段階であり、具体的な応用や適用に関する議論や知見が未成熟であるとの意見もあった。が、総合的には、本論文の内容が博士論文の水準に充分達しているということに審査委員の意見が集約した。よって本審査委員会は本論文が博士（学際情報学）の学位に相当するものと判断する。

以上