

## 論文の内容の要旨

論文題目      Acoustic Boundary Holograms  
                    (音響境界ホログラムとその応用)

氏 名      井上 碩

本論文では、インピーダンス境界表面における音場を制御する方法論として、境界音響ホログラムを提案する。これは自由空間の音場を制御する音響ホログラムの発展形と位置付けられ、反射・散乱を生じるインピーダンス境界曲面上の音響場を数値的に制御するものである。例えば、音響放射圧は物体と音場の相互作用によって生じる現象であり、音場の反射・散乱があつて初めて現れる現象である。この反射と散乱を陽に考慮しながら散乱境界上の放射圧分布を制御することにより、物体にかかる力やトルクを正確に制御することが可能になる。この音響境界ホログラムによる放射圧モデルの実装法として、Galerkin境界要素法の定式を基礎にしたシステム表現を示し、フェーズドアレイ波源による陽な行列表現を導く。

また、境界音響ホログラムの具体的な応用例として二例を提案・実証する。まず第一に、巨視的物体の空中浮揚を実証する。これは波長より大きい剛体の位置と姿勢を安定させつつ、フレネル領域の空中に浮揚させるものである。本手法では、剛体にかかる並進力とトルクをフェーズドアレイ駆動の関数として書き下し、安定条件を達成するように数値最適化により駆動を決定する。これまで、音響場を用いたフレネル領域での浮揚は波長より小さい構造をもつ対象に限られていたが、本手法によってフレネル領域に3波長から6波長の構造長を持つ剛体の浮揚を実現する。これは対象物体の材質・形状上の制約が少ない浮揚法として、今後の発展が期待される。第二に人間の皮膚に遠隔で触覚を提示する空中超音波触覚ディスプレイにおいて、指の形状を考慮した音圧収束法によりその感覚量を有意に向上させることを示す。接触型の従来触覚ディスプレイではユーザの能動的な動きによって定量化しにくい皮膚にかかる応力を、正確に再現する装置としての発展が期待される。

加えて、大規模超音波フェーズドアレイの応用を見据え、ユニット間で位相を同期しモジュール化可能なフェーズドアレイユニットの設計と実装について、実用的なモジュールアーキテクチャを提案・実装し、その性能を評価する。