

論文審査の結果の要旨

氏名 藤澤 慶

本論文は全 7 章からなる。第 1 章は「Introduction」、第 2 章は「Theory」、第 3 章は「Experiments」、第 4 章は「Numerical method」、第 5 章は「Results and discussions」、第 6 章は「Application」、第 7 章は「Conclusion」となる。

本論文では、水中において音波が異流体レイヤーを透過した際に、非線形音響効果により生成される 2 次波が増幅する現象に関して、理論解析・数値シミュレーション・実験によりそのメカニズムを解明し、増幅された 2 次波の音響工学的性質を明らかにする。さらに、その増幅効果をパラメトリックアレイと組み合わせ水中での非接触計測技術へ応用する。

第 1 章では、非線形音響効果を利用した非接触計測技術について述べ、和音や差音などの 2 次波を利用するパラメトリックアレイが高精度な計測に有効であることを説明した。また、パラメトリックアレイを含めた非線形音響効果を利用する計測技術の欠点として基本波からの 2 次波への変換効率が低いなどの実現場での応用の難しさを述べた。そこで、非線形係数の異なる液体を透過する際に生じる 2 次波の増幅効果に着目し、その音響工学的性質を明らかにすることで非接触計測に応用することを本研究の目的とした。

第 2 章では、水中において異流体レイヤーを透過する際に生じる非線形音響効果について Burgers 方程式による理論解析について述べた。異流体レイヤーによる非線形音響効果への影響を生成される 2 次波により評価している。異流体の材料としてベンゼン・シリコンオイル・アセトン・ヘキサン・エタノールの 5 種類の液体について解析し、エタノールの場合に 2 次波が最も大きく増幅されることが確認された。また、異流体レイヤーが厚くなるほど 2 次波の増幅作用が大きくなることを示した。

第 3 章では、計算結果の実験的検証として、ハイドロフォンによる音場の計測方法について述べた。

第 4 章では、水中において異流体レイヤーを透過する際に生じる 2 次波の数値シミュレーションについて述べた。異流体レイヤーがある場合、隣り合う流体間の音響インピーダンスの違いによって生じる音の反射や屈折などの考慮が必要であるが、数値シミュレーションにおいてそれらを考慮する場合には、圧縮性流体方程式を解く必要があり、莫大な計算時間がかかってしまう。そこで、本研究では、異流体レイヤーを含めた音源近傍領域において圧縮性流体方程式を計算し、遠方領域では Khokhlov-Zaboloskya-Kuznetsov 方程式を計算する Hybrid model を新たに提案している。ここでは、Hybrid model で用いた計算方法や音源近傍領域と遠方領域のカップリン

グ技術について説明している。

第 5 章では、第 2 章・3 章・4 章で述べた Burges 方程式による理論解析・Hybrid model による数値シミュレーション・ハイドロフォンによる実験により得られた結果についてそれぞれをパラメトリックアレイにおける基本波と 2 次波の分布に関して比較している。異流体レイヤーの影響は、基本波に対しては小さく、2 次波に対しては異流体中とその境界において大きく増幅させる働きがあることが示された。

第 6 章では、異流体レイヤーとパラメトリックアレイを組み合わせた非接触計測方法について述べた。アルミニウム製の角柱を計測対象とし、異流体レイヤーがある場合とない場合それぞれ 2 次波により対象の大きさを計測した。異流体レイヤーがある場合はない場合と比べ、信号振幅が最大で 3.7 倍以上増幅され、高次の高調波の発生による計測精度の向上が確認された。

第 7 章では、これまでの結果をまとめ、提案手法が新たな非接触計測技術として有効であると結論づけている。

本研究により、水中において音波が異流体レイヤーを透過する際に、非線形音響効果により生成される 2 次波が増幅するメカニズムとその音響工学的特性が理論解析・数値シミュレーション・実験により明らかとなった。さらに、異流体レイヤーをパラメトリックアレイと組み合わせ非接触計測技術に応用することで、計測精度が向上することが示され、水中における計測技術として有望であると考えられる。

なお、本論文第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章は浅田昭との共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上により、博士（環境学）の学位を授与できると認める。

以上 1724 字