HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	キロヘルツ-ギガヘルツ固体音響波の共振器による伝播制御［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	藤田, 健太郎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13990号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78203
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kentaro_Fujita_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（工学）　氏名　藤田健太郎

学 位 論 文 題 名

キロヘルツ-ギガヘルツ固体音響波の共振器による伝播制御
(Controlling propagation of kHz-GHz acoustic waves with resonators)

固体媒質を伝わる音響波は、空気中の音響波や光波と比べて多様な伝播形態、すなわち、モードを取り得る。これは固体媒質中に圧縮応力と剪断応力の双方が働くことに由来する。各モードの特徴を巧みに活かして、この固体中の音響波は非破壊検査やセンシング、エネルギーや情報の伝送、信号処理などの幅広い分野で利用されている。また、多様な音響デバイスも開発されている。特にデバイスの分野では近年の微細加工技術の向上や、デバイスの小型化、応答の高速化などの需要に伴い微小領域における高周波数の音響波制御が重要な研究課題となっている。また、振動の積極的利用のみならず制振や免震といった、機械や建造物などを振動から保護する目的でも振動や音響波の制御は重要である。特定の周波数帯に注目する場合は、該当する周波数の音響波に対し鋭敏な応答と大きな振幅を得られる共振現象を利用することも多い。

本論文では共振を利用して固体媒質中の音響波を制御する二種類の研究を扱う。一つ目は小型の通信機器用フィルターなどに利用される GHz 帯の表面音響波を対象とする。表面音響波が共振しながら伝播するモードのひとつにウィスパリングギャラリーモードがあり、音響波は、基板表面に埋め込んだ直径がミクロンスケールの薄い円盤の縁近傍に局在しな がら円盤縁を周回する。過去の研究では光パルスを用いて当該モードの非破壊・非接触な励起と検出が行われている。このウィスパリングギャラリーモードには縁に沿って左回り・右回りに伝わる二つのモードが縮退して存在し、先行研究ではこれら両方のモードを同程度の大きさの振幅でしか励起できなかった。しかし、縮退するモードの内の一方を他方よりも強く励起し、かつ、どちらを強めるかを切り替え可能となれば、所望の周波数で左回りまたは右回りのカイラルな音響場を自在に生成可能となる。本論文では光パルスにより非破壊・非接触に、縮退するふたつの GHz 表面音響波ウィスパリングギャラリーモードの内の一方を他方よりも強く励起する手法を開発し、音響カイラリティの実験的な制御を行った。この成果は音響カイラリティを利用した新奇デバイスの開発や同デバイスの評価技術などに応用できる。

二つ目の研究では可聴域である kHz 帯にて梁・角柱を伝わる音響波を対象とする。基本的に梁などの棒状の媒質では四種類のモード、すなわち、圧縮波、変位方向が直交する二種の曲げ波、捻り波が伝播する。一般的には、この棒状媒質に印加される擾乱の空間的な対称性が極めて高い場合を除き、複数のモードが同時に生成・伝播する。それゆえ、ある周波数に注目し構造物を振動から保護するために棒状媒質で音響波伝播を抑えようとする場合、これら 4 モードを同時に制御する必要がある。棒の制振を目的とした分野のひとつに音響メタマテリアルの研究がある。音響メタマテリアルは、注目する音響波の波長よりも小さな 共振器を組み込み、その局所的な共振を利用して音響波伝播の抑止が可能な人工媒質である。同様の目的のために研究される類似の技術には、注目する音響波の波長と同程度かそれ 以上の構造を用いたフォノニック結晶もあるが、音響メタマテリアルの方が同じ周波数に対し小型の制振機構を実現する上では有利である。これまで、上記の目的の

ために数多くの音響メタマテリアル構造が提案されてきた。しかし、棒状媒質には 4 通りのモードが伝わ るにもかかわらず、先行研究で提案された構造の多くは一部のモードのみを対象とした、かつ、複合材料からなり作製に手間のかかる複雑なものであった。また、ある周波数で同時に全モードの伝播を抑制可能な構造も一部提案されているが、筆者の知る限り実験的な全モードの同時遮蔽は報告されていない。その上、いくつかのフォノニック結晶では単一材料からなり全モード遮蔽ができる、すなわち、完全バンドギャップを有する構造があるが上記の全モード遮蔽可能なメタマテリアルは全て複合材料からなっている。そこで本研究では、上記の問題を打破するために単一材料からなり kHz 帯で完全バンドギャップを有する矩形断 面の音響メタマテリアル梁を開発した。また、その音響特性の実験的・数値的な評価を行った。これはメタマテリアルによる制振機構の作製を容易にし、当該技術の発展と強力な制振機構を付与した多様な構造物の開発に貢献し得る。

本論文の内容は以下の通りである。まず上記の二種類の研究それぞれの関連分野の基礎知識や研究背景、先行研究について紹介する。次に一つ目の研究である GHz 帯の表面音響波ウィスパリングギャラリーモードのカイラリティ制御実験について、実験原理の説明も含めて記す。また、数値計算による検証についても報告する。続いて二つ目の研究である kHz 帯で完全バンドギャップを有する音響メタマテリアル梁について、提案する構造の詳細や実験・数値計算の結果を記す。最後にはそれぞれの研究結果を踏まえた統括を述べる。