

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630075

研究課題名(和文) MEMSメタマテリアルを用いた音響カーテン

研究課題名(英文) Planar acoustic filter using Helmholtz resonators

研究代表者

高橋 英俊 (Takahashi, Hidetoshi)

東京大学・情報理工学(系)研究科・助教

研究者番号：90625485

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、ヘルムホルツ共鳴器を並列に繋げた素子による音響フィルタの研究を行い、特定の音を通さない周波数特異性を持つ音響カーテンにつなげる。そのため、ヘルムホルツ共鳴器の配置と消音効果の関係を、シミュレーションにより解析し、フィルタ素子を試作し、透過特性を定量的に評価した。シミュレーション結果からノッチ周波数における透過率を低くするためにはヘルムホルツ共鳴器を面内均一に配置することが重要であることを明らかにし、実験結果もシミュレーション結果と同様の特性を示すことを確認した。

研究成果の概要(英文)：The developed acoustic filter consists of a number of spherical Helmholtz resonators (HRs), which are placed at the in-plane vertices of a regular polygon. A simulation result reveals that this uniform arrangement of HRs improves the silencing effect because the uniform applied waves emitted from the HRs act as canceling waves to the cross-section of the short hole. The total pressure emitted from the HRs is equal regardless of the number of HRs connected to the hole. Therefore, the arrangement of HRs is essential for realizing a planar notch filter. Simulated transmittance spectra demonstrated that the depth of the dip in the transmittance increases with the number of uniformly arranged HRs. It is confirmed that the experimental results with the fabricated filters, which consist of between one and six HRs, agrees with the simulated transmittance spectra.

研究分野：MEMS

キーワード：ヘルムホルツ共鳴器 ノッチフィルタ 音響フィルタ

1. 研究開始当初の背景

音は光と同様に、人が知覚する物理現象の一つであり、会話や音楽など色々な形態で利用されている。一方で、我々の生活空間の中には常に音響ノイズが存在しており、この音響ノイズを取り除くため、遮音カーテンやノイズキャンセラーが開発されている。この中で、パッシブ型と呼ばれる、駆動するためにエネルギーを必要としない遮音カーテン等は、吸音材の特性を利用して、若干の強弱はあるものの全ての周波数帯の音波をカットするものとなっている。ある特定の周波数だけを通したい、といった要求に対しては、駆動するためにエネルギーを必要とする、ノイズキャンセラー等が使われている。

一方で、近年、自然界の物質には無い振る舞いをする人工物質としてメタマテリアルの研究が盛んに行われている。メタマテリアルの単位素子は、対象とする波の波長に比べて充分小さい構造となって、初めて機能することが知られている。研究の多くが、電磁波を対象としているが、音波においてもメタマテリアルが存在することが知られている。

その中でも、ヘルムホルツ共鳴器は音響共振器として良く知られており、ダクト内のノイズ低減を目的とし、盛んに研究されてきた。近年はヘルムホルツ共鳴器とダクトを組み合わせた構造を素子として構成する音響フィルタが盛んに研究されている。特にダクト長手方向にヘルムホルツ共鳴器を多数配列することで、特定周波数の音波の伝搬を抑制し、ノッチフィルタとして機能することが報告されている。

2. 研究の目的

本研究課題では、図1に示すようなヘルムホルツ共鳴器を並列に繋げた素子による音響フィルタの研究開発を行い、特定の音を通さない周波数特異性を持つ音響カーテンにつなげる。そのため、ヘルムホルツ共鳴器の配置と消音効果の関係を、シミュレーションにより解析し、またノッチフィルタ素子を試作し、透過特性を定量的に評価することを目的とした。

3. 研究の方法

(1)音響シミュレーション

シミュレーションソフト (COMSOL Multiphysics) を用いて、音響シミュレーションを行い、提案するデバイス構造での音響特性の解析を行う。

(2)試作デバイスによる音響特性実験

3D プリントを用いて、提案するデバイスを作製し、フィルタにスピーカから音波を与えた際の消音特性について評価する。上記2つの研究結果から、提案するフィルタ構造の特性を得る。

4. 研究成果

(1) 音響シミュレーションを行い、提案する

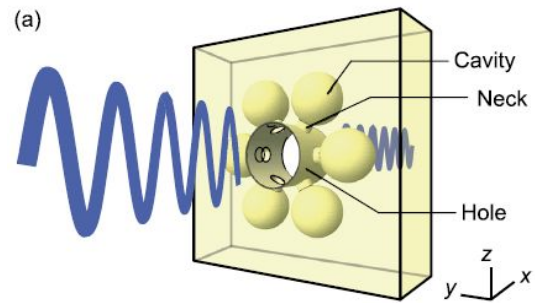


図1 提案する音響フィルタの概念図。

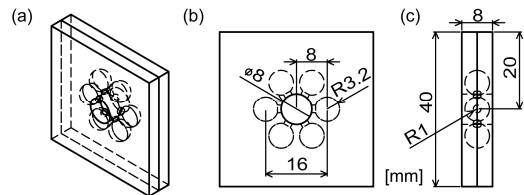


図2 音響フィルタのデザイン。(a) 鳥瞰図。

(b) 上面図。(c) 側面図。

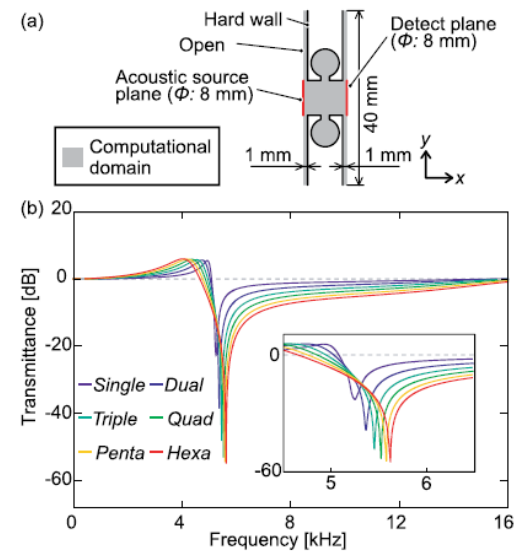


図3 (a) シミュレーションの条件。(b) 透過スペクトル

構造について、評価した。平面型ノッチフィルタ素子のデザインを図2に示す。中心に円柱状の穴が開いた平板を基礎構造とする。円柱周辺にヘルムホルツ共鳴器を配置して、ヘルムホルツ共鳴器の共振周波数を、約5 kHzとなるように設計した。図2は、ヘルムホルツ共鳴器が6個配置された素子を図示している。本研究では比較のために配置されたヘルムホルツ共鳴器の数が1個から5個の素子も設計し評価を行った。

図3にシミュレーションの条件及び得られた透過スペクトルを示す。全てのデバイスに

において、5 kHz 付近に特徴的なディップが確認できる。また、配置されたヘルムホルツ共鳴器の数が多くなればなるほど、ディップ位置が高周波側にシフトし、ディップ深さが深くなっていることも確認された。

次にヘルムホルツ共鳴器が6個配置された素子における音圧分布を、ノッチ周波数 5.6 kHz とノッチ周波数より十分高周波側の 16 kHz とで比較した。

図4に示す通り、ノッチ周波数においてヘルムホルツ共鳴器が共振し、入射音波と逆位相の音波を放射していることが確認できた。さらに詳しく解析すると、ヘルムホルツ共鳴器を穴周辺に均一に配置することにより、穴内に均一に逆位相の音波を供給することが可能となり、透過スペクトルのディップが深くなること分かった。

(2) 提案するデバイスを作製し、消音特性について評価した。図5に示すように、3Dプリンタ (Stratasys Ltd., Objet EDEN 250) を用いて並列に配置されたヘルムホルツ共鳴器の数が1個から6個の音響フィルタ素子を試作した。作製するデバイスの構造として、3Dプリンタで作製した穴の空いた2枚の板を重ねる形状とした。

組み立てた音響フィルタ素子に対して、図6の写真のように配置したスピーカから 10 Hz ~ 16 kHz の音波を試作したデバイス入口に発し、デバイス内を通過した音波の音圧をマイクロフォンで計測した。

実験セットアップ及び実験結果を図6に示す。シミュレーションと同様に、全てのデバイスにおいて、5 kHz 付近に特徴的なディップが確認できた。また、配置されたヘルムホルツ共鳴器の数が多くなればなるほど、ディップ位置が高周波側にシフトし、ディップ深さが深くなっていることも確認された。

以上より、シミュレーションからノッチ周波数における透過率を低くするためにはヘルムホルツ共鳴器を面内均一に配置することが重要であることを明らかにし、実験結果もシミュレーション結果と同様の特性を示すことを確認した。これらの知見は平面型ノッチフィルタの実現に貢献すると期待できると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Akihiro Isozaki, Hidetoshi Takahashi, Hiroto Tamura, Tomoyuki Takahata, Kiyoshi Matsumoto and Isao Shimoyama, "Parallel helmholtz resonators for a planar acoustic notch filter," Applied physics letter, vol. 105, no. 24, article no. 241907, 2014. DOI: 10.1063/1.4904509 (査読有)

〔学会発表〕(計 2 件)

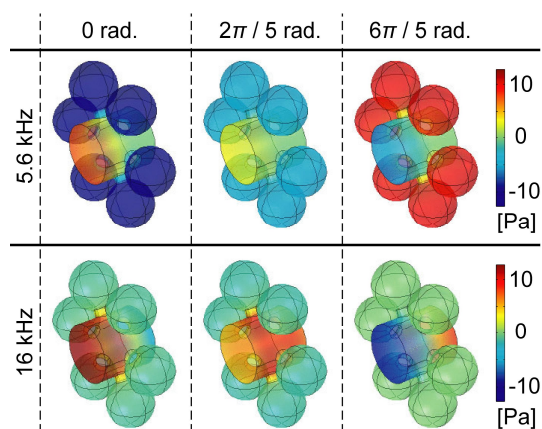


図4 フィルタ内の圧力変化。共振周波数 5.6 kHz 及び 16 kHz での応答。

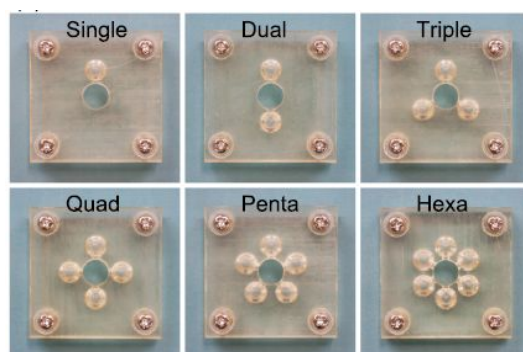


図5 試作したデバイスの写真

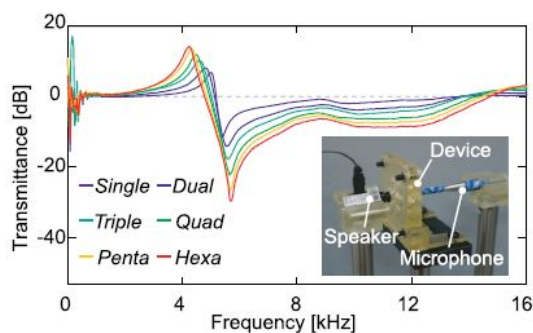


図6 実験セットアップ及び実験結果

磯崎瑛宏, 高橋英俊, 田村洋人, 高畑智之, 松本 潔, 下山 勲, “ヘルムホルツ共振器を用いた平面型音響ノッチフィルタ素子,” 応用物理学会 2015 年春秋講演会, pp. 02-142, 東海大学湘南キャンパス, 神奈川, Mar. 11-14, 2015.

田村洋人, 高橋英俊, 高畑智之, 松本潔, 下山勲, “ヘルムホルツ共鳴器を並列に接続した音響メタマテリアルに関する研究,” センサ・マイクロマシン部門 (E 部門)平成 25 年度総合研究会, pp. 35-38, 東京工科大学, 蒲田キャンパス, Aug. 8-9, 2013.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.leopard.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 英俊 (TAKAHASHI HIDETOSHI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任

助教

研究者番号：90625485

(4) 研究協力者

磯崎 瑛宏 (ISOZAKI AKIHIRO)

東京大学・大学院理学系研究科・特任研究員

研究者番号：10732555