

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5836941号  
(P5836941)

(45) 発行日 平成27年12月24日(2015.12.24)

(24) 登録日 平成27年11月13日(2015.11.13)

(51) Int.Cl.	F I
G 1 O K 11/16 (2006.01)	G 1 O K 11/16 D
G 1 O K 11/162 (2006.01)	G 1 O K 11/16 A

請求項の数 2 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2012-517648 (P2012-517648)	(73) 特許権者	505005049
(86) (22) 出願日	平成22年6月22日 (2010. 6. 22)		スリーエム イノベイティブ プロパティ
(65) 公表番号	特表2012-531629 (P2012-531629A)		ズ カンパニー
(43) 公表日	平成24年12月10日 (2012. 12. 10)		アメリカ合衆国, ミネソタ州 55133
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/039470		-3427, セント ポール, ポスト オ
(87) 国際公開番号	W02010/151533		フィス ボックス 33427, スリーエ
(87) 国際公開日	平成22年12月29日 (2010. 12. 29)		ム センター
審査請求日	平成25年6月21日 (2013. 6. 21)	(74) 代理人	100088155
(31) 優先権主張番号	61/220, 261		弁理士 長谷川 芳樹
(32) 優先日	平成21年6月25日 (2009. 6. 25)	(74) 代理人	100154656
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 鈴木 英彦
		(74) 代理人	100128381
			弁理士 清水 義憲
		(74) 代理人	100107456
			弁理士 池田 成人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可聴音響周波数管理のための音波バリア

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の密度を有する第1の媒質中に配置される実質的に周期的な構造体のアレイを有するフォノンニック結晶を含み、前記構造体が前記第1の密度とは異なる第2の密度を有する第2の媒質から形成されている音波バリアであって、前記第1の媒質及び第2の媒質の一方が、少なくとも0.02の気孔率を有する、多孔性金属以外の多孔性媒質であり、前記第1の媒質及び第2の媒質の他方が粘弾性媒質であり、当該粘弾性媒質が、縦波音波の伝播速度と横波音波の伝播速度とを有し、前記縦波音波の伝播速度が、前記横波音波の伝播速度の少なくとも約30倍である、又は、前記第1の媒質及び第2の媒質の前記他方が、少なくとも毎秒約2000メートルの縦波音速を有する弾性媒質である、音波バリア。

10

【請求項 2】

20ヘルツ～20キロヘルツの範囲の少なくとも一部において、20デシベルを超える音波透過損失を実現する、請求項1に記載の音波バリア。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の相互参照)

本出願は、米国特許仮出願第61/220,261号(2009年6月25日出願)の優先権を主張し、その内容は参考により本明細書に組み込まれる。

【0002】

20

( 発明の分野 )

本発明は音波バリアに関し、別の態様においては、音波バリアの製造方法、及び遮音におけるそれらの使用方法に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 3 】

防音材料及び構造は、音響産業において重要な用途を有する。この産業で使用されている従来の材料、例えば吸収体及び反射体は、通常、周波数選択的な音波制御を提供することなく、広い周波数範囲にわたって機能する。能動的雑音消去装置は周波数選択的な音波減衰を斟酌するが、この装置は、典型的には閉鎖空間内で最も有効であり、パワー及び制御を提供するために電子機器を包囲し及び装置を作動させる必要がある。

10

【 0 0 0 4 】

従来の吸音材（例えば、発泡体又は繊維材料）は、一般的に重量が比較的軽く、多孔性であり、吸音材の比較的広い表面積にわたって音波の振動エネルギーを散逸するよう機能する。（例えば、2つの弾性基材の間に挟まれた空気層を含む）ヘルムホルツ共鳴器を吸音体として使用することもできる。しかしながら、通常、比較的低い可聴周波数で比較的良好な吸収特性を得るためには、どちらのタイプの吸収体にも比較的厚い構造が必要とされ（例えば、約500ヘルツ（Hz）未満の周波数に対して厚さが約50ミリメートル（mm））、そのような厚い構造は、密閉された空間での使用に対して問題となる可能性がある。

【 0 0 0 5 】

20

従来の音波吸収材料と対照的に、従来の音波バリアは、材料による音波透過損失が、一般にその質量及び剛性の関数であるため、比較的重く、気密性を有する傾向がある。いわゆる「質量則」（所定の周波数範囲内にて多くの従来の音波バリア材料に適用可能）は、材料の単位面積当たりの重量が2倍になると、材料を介した透過損失が6デシベル（dB）増大することを決定づける。単位面積当たりの重量は、より密度の高い材料を使用することにより、又はバリア厚を増大させることにより増大し得る。しかしながら、重量の追加は、多くの用途において望ましくない可能性がある。

【 0 0 0 6 】

音響通過帯域及びバンドキャップを有する音波バリアとして、フォノンニック結晶（即ち、周期的に不均一な媒質、典型的には弾性/弾性、又は弾性/流体構造の形態）が提案されてきた。そのような構造は、主要な物理的メカニズムとしての粘性消散又は共鳴に頼る必要なく、受動的ではあるが周波数選択的に、音響バンドキャップを生成することができる。代わりに、透過損失は、不均一な、多相の、空間的に周期的な構造の2つ以上の構成成分間の音速コントラストによるブラッグ散乱によるものである。

30

【 0 0 0 7 】

例えば、空気中の銅管の周期的アレイ、弾性的に柔軟な材料で覆われた高密度の中心部を有する複合要素の周期的アレイ（局所共鳴構造のアレイを提供する）、及び空気中の水の周期的アレイは、周波数選択的な特性を有する音波バリアを形成することが提案されている。しかしながら、これらの手法は、一般に、狭いバンドキャップの生成、オーディオ用途には高すぎる周波数（例えば、20kHz以上の超音波周波数）におけるバンドギャップの生成、並びに/又は嵩高い及び/若しくは重い物理的構造（例えば、デシメートル又はメートルの外部寸法を有するアレイに配置された直径数センチメートルの金属パイプ）の必要性等の欠点を有する。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

したがって、本発明者らは、外部寸法が比較的小さく、及び/又は比較的軽量であると共に、可聴音響周波数にて少なくとも部分的に有効であり得る（音波透過を低減し、又は好ましくは排除する）音波バリアが必要であることを認識する。好ましくは、音波バリアは、可聴周波数の比較的広い範囲にわたって少なくとも部分的に有効であってもよく、及

50

び／又は比較的単純かつ費用効率が高く製造することが可能である。

【課題を解決するための手段】

【0009】

簡潔に言うと、一態様において、本発明は、第1の密度を有する第1の媒質中に配置された実質周期的な構造体のアレイを含む音波バリアであって、該構造体は、第1の密度とは異なる第2の密度を有する第2の媒質で形成されており、第1の媒質及び第2の媒質の一方は、少なくとも約0.02の気孔率を有する、多孔性金属以外の多孔性媒質であり、第1の媒質及び第2の媒質の他方は粘弾性媒質又は弾性媒質である、音波バリアを用意する。好ましくは、粘弾性又は弾性媒質は、実質的に非多孔性媒質であり（即ち、媒質は約0.02未満の気孔率を有する）、及び／又は実質周期的な構造体のアレイは、第1の媒質及び第2の媒質を交互に重ねてなる交互層を含む多層構造体形状の一次元アレイである。音波バリアは、所望により、第1及び／又は第2の媒質と異なる、別の多孔性、弾性、及び／又は粘弾性の媒質を更に含むことができる。

10

【0010】

所定の特性を有する多孔性材料を選択し、それらを粘弾性材料又は弾性材料と組み合わせて空間的に周期的なアレイを形成することにより、フォノンニック結晶構造のバンドギャップ又は少なくとも有意な透過損失（例えば、20デシベル（dB）を超える）を、可聴範囲（即ち、20ヘルツ（Hz）～20キロヘルツ（kHz）の範囲）の少なくとも一部において得ることができることが判明している。驚くべきことに、このような構造体は、それらの理論的質量則の透過損失値（単位面積当たりの構造体の重量に基づく）を超えることができる透過損失を用意する。

20

【0011】

そのような構造体は、比較的軽量で、比較的小さい（例えば、数センチメートル以下のオーダーの外部寸法を有する）可能性がある。材料の選択、格子構造の種類、異なる材料の間隔等の設計パラメータを制御することにより、バンドギャップの周波数、ギャップの数、及びそれらの幅を調整することができ、又は最低でも、透過損失レベルを周波数の関数として調整することができる。

【0012】

フォノンニック結晶構造は、音響バンドギャップを受動的であるが周波数選択的に生成することができる。音響産業で使用される最も一般的な音波吸収体とは異なり、フォノンニック結晶は、透過モードにて音波を制御する。バンドギャップの周波数の範囲内では、構造を介した入射音波の透過は本質的に存在しない可能性がある。バンドギャップは常に絶対（即ち、音波透過が存在しない）なわけではないが、音波透過損失は多くの場合、20デシベル（dB）程度以上であり得る。音響産業では、3dBのオーダーの減衰は有意であると見なされることから、20 + dBは透過の非常に有意な損失であり、音響出力の100パーセント低減に接近する。

30

【0013】

フォノンニック結晶構造は音源と受信体との間に配置されて、選択された周波数のみに構造を通過させる。したがって受信体は、フィルターを通された、望ましくない周波数は遮断されている音波を聴く。フォノンニック結晶構造を適切に構成することにより、透過された周波数を受信体に集めることができ、又は望ましくない周波数を反射して音源に戻すことができる（周波数選択ミラーと極めて類似）。現在の音響材料とは異なり、フォノンニック結晶構造は、音波を減衰させ又は反射するのみでなく、実際に管理するよう使用することができる。

40

【0014】

したがって、少なくともいくつかの実施形態において、本発明の音波バリアは、外部寸法が比較的小さく及び／又は比較的軽量であると共に、可聴音響周波数において少なくとも部分的に有効であり得る音波バリアに対する上記に引用したニーズを満たすことができる。本発明の音波バリアは、建造物（例えば、住宅、事務所、病院等）、高速道路の音波バリア、運搬用車両、聴力保護具等を含む、多様な異なる環境において遮音をもたらすよ

50

う使用することができる。

【 0 0 1 5 】

別の態様において、本発明は、音波バリアの製造方法も提供する。同方法は、( a ) 第 1 の密度を有する第 1 の媒質を用意することと、( b ) 第 1 の密度とは異なる第 2 の密度を有する第 2 の媒質を用意することと、( c ) 第 1 の媒質中に配置される、第 2 の媒質で作製される実質周期的な構造体のアレイを形成することと、を含み、第 1 の媒質及び第 2 の媒質の一方が、少なくとも約 0 . 0 2 の気孔率を有する、多孔性金属以外の多孔性媒質であり、第 1 の媒質及び第 2 の媒質の他方が、粘弾性媒質又は弾性媒質である。

【 0 0 1 6 】

別の態様において、本発明は更に、遮音方法を提供する。同方法は、( a ) 第 1 の密度を有する第 1 の媒質中に配置される実質周期的な構造体のアレイを含み、前記構造体が第 1 の密度とは異なる第 2 の密度を有する第 2 の媒質から形成されており、第 1 の媒質及び第 2 の媒質の一方が、少なくとも約 0 . 0 2 の気孔率を有する、多孔性金属以外の多孔性媒質であり、第 1 の媒質及び第 2 の媒質の他方が粘弾性媒質又は弾性媒質である、音波バリアを用意することと、( b ) 音響源 ( 好ましくは、可聴音響周波数源 ) と音響受信体 ( 好ましくは、可聴音響周波数の受信体 ) との間に音波バリアを介在させることと、を含む。

【 0 0 1 7 】

本発明のこれら並びにその他の特徴、態様及び利益は、次の説明、添付した請求項及び添付図面によりよく理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図 1 a】実施例 1 に記載の本発明の音波バリアの実施形態の透過損失 ( d B ; 実測値及び理論的な質量則の値 ) 及び透過係数 ( 算出値 ) と、周波数 ( H z ) とを対比したプロット。

【図 1 b】実施例 1 に記載の本発明の音波バリアの実施形態の透過損失 ( d B ; 実測値及び理論的な質量則の値 ) 及び透過係数 ( 算出値 ) と、周波数 ( H z ) とを対比したプロット。

【図 2 a】実施例 2 に記載の本発明の音波バリアの実施形態の透過損失 ( d B ; 実測値及び理論的な質量則の値 ) 及び透過係数 ( 算出値 ) と、周波数 ( H z ) とを対比したプロット。

【図 2 b】実施例 2 に記載の本発明の音波バリアの実施形態の透過損失 ( d B ; 実測値及び理論的な質量則の値 ) 及び透過係数 ( 算出値 ) と、周波数 ( H z ) とを対比したプロット。

【図 3 a】実施例 3 及び 4 に記載の本発明の音波バリアの実施形態の透過損失 ( d B ; 実測値及び理論的な質量則 ( 図 3 は垂直入射 ; 図 3 b は音場入射 ) の値 ) と、周波数 ( k H z ) とを対比したプロット。

【図 3 b】実施例 3 及び 4 に記載の本発明の音波バリアの実施形態の透過損失 ( d B ; 実測値及び理論的な質量則 ( 図 3 は垂直入射 ; 図 3 b は音場入射 ) の値 ) と、周波数 ( k H z ) とを対比したプロット。

【図 4 a】比較例 1 に記載の比較用音波バリア、及び実施例 5 に記載の本発明の音波バリアの実施形態に関して、透過損失 ( d B ; 実測値及び理論的な質量則 ( 垂直入射 ) の値 ) と、周波数 ( H z ) とを対比したプロット。

【図 4 b】比較例 1 に記載の比較用音波バリア、及び実施例 5 に記載の本発明の音波バリアの実施形態に関して、透過損失 ( d B ; 実測値及び理論的な質量則 ( 垂直入射 ) の値 ) と、周波数 ( H z ) とを対比したプロット。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 9 】

粘弾性材料及び弾性材料

本発明の音波バリアの上記に引用した粘弾性構成成分として使用するのに好適な材料は

10

20

30

40

50

、粘弾性固体及び液体を含む。粘弾性材料は多孔性であり得るが、実質的に非多孔性（即ち、約 0.02 未満の気孔率を有する）であるのが好ましい。このような実質的に非多孔性材料は、例えば、表面欠陥又は偶発的内部包有物の形態の、いくつかの気孔率を示し得るが、通常は非多孔性である。好ましい粘弾性材料は、（好ましくは、少なくとも音響周波数の可聴範囲内で）横波音波の伝播速度の少なくとも 30 倍（好ましくは、少なくとも約 50 倍、より好ましくは、少なくとも約 75 倍、最も好ましくは少なくとも約 100 倍）である縦波音波の伝播速度を有するものを含む。

#### 【0020】

有用な粘弾性固体及び液体は、周囲温度（例えば、約 20℃）で、約  $5 \times 10^6$  パスカル（Pa）以下の定常剪断プラトー弾性率（ $G'_{\infty}$ ）を有するものを含み、この定常剪断プラトー弾性率が、好ましくは材料のガラス転移温度（ $T_g$ ）より約 30 ケルビン度～約 100 ケルビン度高い温度範囲にわたって存在する。好ましくは、音波バリア中の粘弾性材料の少なくとも 1 つは、周囲温度（例えば、約 20℃）で、約  $1 \times 10^6$  Pa 以下（より好ましくは、約  $1 \times 10^5$  Pa 以下）の定常剪断プラトー弾性率を有する。

#### 【0021】

そのような粘弾性材料の例としては、エラストマー（例えば、熱可塑性エラストマーを含む）、粘弾性液体等、及びこれらの組み合わせ（好ましくは少なくともいくつかの用途のために、エラストマー及びこれらの組み合わせ）を含む様々な形態のゴム状ポリマー組成物（例えば、軽度架橋した又は半結晶性ポリマーを含む）が挙げられる。有用なエラストマーとしては、両方とも無機及び有機ポリマーであるホモポリマー及びコポリマー（ブロック、グラフト及びランダムコポリマーを含む）の両方、並びにこれらの組み合わせ、並びに線状又は分岐状のポリマー、及び／又は相互侵入若しくは半相互侵入ネットワークの形態若しくは他の複合形態のポリマー（例えば、スターポリマー）が挙げられる。有用な粘弾性液体としては、ポリマー溶融物、溶液、及びゲル（ヒドロゲルを含む）が挙げられる。

#### 【0022】

好ましい粘弾性固体としては、シリコーンゴム（好ましくは、約 20 A～約 70 A、より好ましくは約 30 A～約 50 A のデュロメータ硬度を有する）、（メタ）アクリレート（アクリレート及び／又はメタアクリレート）ポリマー（好ましくは、イソオクチルアクリレート（IOA）とアクリル酸（AA）とのコポリマー）、エチレン酢酸ビニル（EVA）コポリマー、ブロックコポリマー（好ましくは、スチレン、エチレン及びブチレンを含む）、セルロース系ポリマー（好ましくは、コルク）、有機ポリマー（好ましくは、ポリウレタン）とポリジオルガノシロキサンポリアミドブロックコポリマー（好ましくは、シリコーンポリオキサミドブロックコポリマー）とのブレンド、ネオプレン、並びにこれらの組み合わせが挙げられる。好ましい粘弾性液体としては、鉱油変性ブロックコポリマー、ヒドロゲル、及びこれらの組み合わせが挙げられる。

#### 【0023】

それらの粘弾性固体及び液体は、公知の方法により調製することができる。多くは、商業的に入手可能である。

#### 【0024】

上記に引用した本発明の音波バリアの弾性構成成分として使用するのに好適な材料は、本質的に全ての弾性材料を包含する。粘弾性材料は多孔性であり得るが、実質的に非多孔性（即ち、約 0.02 未満の気孔率を有する）であるのが好ましい。このような実質的に非多孔性材料は、例えば、表面欠陥又は偶発的内部包有物の形態のいくつかの気孔率を示し得るが、通常は非多孔性である。好ましい弾性材料は、少なくとも每秒約 2000 メートル（m/s）の縦波音速を有するものを含む。

#### 【0025】

弾性固体の有用なクラスとしては、金属（及びそれらの合金）、ガラス状ポリマー（例えば、硬化型エポキシ樹脂）、複合材料（例えば、ポリマーマトリックス中にガラス繊維、金属繊維、又は炭素繊維（あるいはフレーク又は粉末などの別の粒子形態）が入ったも

10

20

30

40

50

の)など、及びこれらの組み合わせが挙げられる。弾性固体の好ましいクラスとしては、金属、金属合金、ガラス状ポリマー、及びこれらの組み合わせ(より好ましくは、銅、アルミニウム、エポキシ樹脂、銅合金、アルミニウム合金、及びこれらの組み合わせ、更により好ましくは銅、アルミニウム、銅合金、アルミニウム合金、及びこれらの組み合わせ、なおより好ましくは、アルミニウム、アルミニウム合金、及びこれらの組み合わせ、最も好ましくは、アルミニウム)が挙げられる。

#### 【0026】

そのような弾性材料は、公知の方法により調製し又は得ることができる。多くは、商業的に入手可能である。

#### 【0027】

##### 多孔性材料

本発明の音波バリアの上記に引用した多孔性部材として使用するのに好適な材料としては、真空又は流体収容細孔(例えば、空洞、隙間、介在物等)を含む固体マトリックス材料、若しくは液体マトリックス材料、又はこれらの組み合わせ(例えば、ゲル)を含み、かつ、少なくとも約0.02の気孔率を有する、多相材料(多孔性金属以外)が挙げられる。好ましくは、マトリックス材料は、固体又はゲル(より好ましくは、固体)であり、及び/又は細孔は、少なくとも1種の流体(即ち、液体又は気体、好ましくは、気体)で少なくとも部分的に充填されている(より好ましくは、完全に充填されている)。有用な流体としては、水蒸気、窒素、二酸化炭素、液体水等、及びこれらの組み合わせが挙げられる。多孔性材料は、任意に、真空又は流体収容材料(例えば、気体を収容することができるガラス又は重合体微粒子の形態)を更に含むことができる。

#### 【0028】

固体マトリックス材料は、本質的にあらゆる粘弾性材料又は弾性材料を含むことができるが、ただし、元素金属は、高分子マトリックスの充填剤としてのみ存在し得る。好ましくは、粘弾性材料又は弾性材料は、細孔がマトリックス材料で有意に充填されるのを避けるために、使用条件下で、本質的にクリープを示さないか、又は最小限のクリープだけを示すことができる(好ましくは、約 $10^{-6}$  Pa $\cdot$ s未満、より好ましくは、約 $10^{-7}$  Pa $\cdot$ s未満の定常剪断クリープコンプライアンス、 $J(t)$ を示す)。

#### 【0029】

有用な粘弾性及び弾性マトリックス材料としては、上述のものが挙げられる。好ましい弾性材料は、少なくとも每秒約2000メートル(m/s)の縦波音速を有するものを含む。好ましい弾性マトリックス材料は、無機材料(例えば、酸化物結晶などのセラミックス(例えば、アルミナ又はシリカに基づくもの、及びより従来の粘度ベースのセラミックスを含む)並びにガラス(例えば、シリカ系ガラスを含む);硬化、ガラス状、又は結晶性高分子樹脂(例えば、硬化エポキシ樹脂);比較的高架橋度のエラストマー(例えば、少なくとも約ショア60Aのデュロメータ硬度値を有するゴム、例えば、アクリロニトリルブタジエンゴム、エチレンプロピレンジエンMクラスゴム(EPDMゴム)、ポリクロロブレンゴム、スチレンブタジエンゴム、及び比較的高度に加硫されたオレフィンゴムなど);使用条件下で比較的玻璃状、結晶質、又はこれらの組み合わせである熱可塑性ポリマー(例えば、周囲条件下(例えば、約23及び約1気圧)、ポリプロピレンなどのポリオレフィン;ポリスチレン;ポリカーボネート;及びポリエステル);並びに同類のもの;及びこれらの組み合わせが挙げられる。好ましい粘弾性マトリックス材料としては、比較的中程度に架橋されたエラストマー(例えば、少なくとも約ショア40A~約ショア59Aのデュロメータ硬度値を有するゴム、例えば、シリコン類及びアクリレート類);使用条件下で比較的ゴム様の熱可塑性ポリマー(例えば、周囲条件(例えば、約23及び約1気圧)、ポリエチレン;及びエチレンとビニルアセテートのコポリマー(EVAコポリマー));並びに同類のもの;及びこれらの組み合わせが挙げられる。必要に応じて、弾性材料と粘弾性材料の組み合わせを使用することができる。

#### 【0030】

固体マトリックス材料内の細孔は、本質的にあらゆる形状及び寸法であり得る。細孔の

10

20

30

40

50

形状及び／又は寸法は、同一であることができ、又は様々であることができる。有用な寸法は、例えば、約 10 マイクロメートル～数ミリメートルの範囲であることができ、有用な形状は、平面又は曲面、及び鋭角又は曲線状の頂点を有する球形、楕円形、多角形など、並びにこれらの組み合わせを包含する。更に、固体マトリックス材料内の細孔の空間的配置は、完全にランダムであることができ、又は、部分的に若しくは完全に周期的（好ましくは、部分的に周期的）であることができる。細孔の形状、寸法、又は間隔のあらゆる変化は、マトリックス材料内で非対称又は対称（好ましくは、対称）であることができる。細孔の一部又は全ては、固体マトリックス材料によって（例えば、「独立気泡発泡体」の中の介在物として）封入される又は完全に取り囲まれることができ、あるいは、好ましくはやや少ない数が、他の細孔の一部又は全てと、及び／又はマトリックスの外面と（例えば、「開放セル発泡体」と同じように）接触することができる。

10

#### 【0031】

固体マトリックス材料は、連続的又は非連続的であることができる。例えば、非連続的な固体マトリックス材料は、離散粒子（例えば、繊維又は粉末）を含むことができ、これら離散粒子は、互いに接触して、隙間の形状の細孔を形成する。粒子の寸法、形状、及び／又は化学組成は、同一であることができ又は異なることができ、それらの空間的配置は、ランダムであることができ、又は部分的に若しくは完全に周期的であることができる。粒子は、多孔性粒子、実質的に非多孔性粒子、又はこれらの組み合わせであることができる。

#### 【0032】

20

多孔性媒質の全細孔容積を、この全細孔容積と全固体マトリックス材料容積（即ち、多孔性媒質の全容積）の合計で割ったものは、媒質の「気孔率」を定義する。気孔率は、0 と 1 との間の無次元数である（純固相及び気相にそれぞれ対応する上下限を含まない）。本発明の音波バリアを作るのに有用な多孔性媒質は、約 0.02 ～ 約 0.99（好ましくは、約 0.02 ～ 約 0.65；より好ましくは、約 0.03 ～ 約 0.2 及び約 0.4 ～ 約 0.65；更により好ましくは、約 0.04 ～ 約 0.18 及び約 0.42 ～ 約 0.62；最も好ましくは、約 0.05 ～ 約 0.15 及び約 0.45 ～ 約 0.6）の気孔率を有する媒質である。

#### 【0033】

多孔性媒質の「嵩密度」は、多孔性媒質の全質量をその全容積で割ったものとして定義することができる。嵩密度（ $\rho$ ）は、次の式により固体密度（ $\rho_s$ ）、流体密度（ $\rho_g$ ）、及び気孔率（ $\phi$ ）に関連付けられる。

30

$$\rho = \rho_g + (\rho_s - \rho_g) \phi$$

#### 【0034】

本発明の音波バリアを作るのに有用な多孔性媒質は、0 超過及び約 3000 kg/m<sup>3</sup> 未満（好ましくは、約 1.0 超過及び約 2900 kg/m<sup>3</sup> 未満；より好ましくは、約 1.5 超過及び約 2800 kg/m<sup>3</sup> 未満；最も好ましくは、約 2.0 超過及び約 2600 又は 2700 kg/m<sup>3</sup> 未満）である嵩密度を有するものを含む。

#### 【0035】

上述の多孔性材料又は媒質は、既知の方法で調製することができ、また、いくつかは市販されている。好ましい多孔性媒質としては、ポリマー発泡体（好ましくは、独立気泡ポリマー発泡体、例えば、独立気泡ポリエチレン発泡体）、ポリマー不織布材料（例えば、ポリオレフィン不織布材料）、多孔質シリカ材料（例えば、パーライト及びエアロゲル）、多孔性複合材料（例えば、ポリマーマトリックス内のパーライト又は気体含有重合体微粒子）、及びこれらの組み合わせが挙げられる。より好ましい多孔性媒質としては、独立気泡ポリマー発泡体、ポリマー不織布材料、多孔質シリカ材料、及びこれらの組み合わせ（更により好ましくは、独立気泡ポリマー発泡体、ポリマー不織布材料、及びこれらの組み合わせ、最も好ましくは、ポリマー不織布材料、及びこれらの組み合わせ）が挙げられる。

40

#### 【0036】

50

所望であれば、本発明の音波バリアは、場合により他の構成成分材料を含んでもよい。例えば、音波バリアは、2つ以上の粘弾性材料（例えば、第1の媒質及び第2の媒質の一方として又は追加の媒質としてのいずれかで使用することができる、その横波音波の伝播速度の少なくとも約30倍である縦波音波の伝播速度を有さない1つ以上の粘弾性材料など）、2つ以上の弾性材料、及び/又は2つ以上の多孔性材料（上述した多孔性材料と異なる1つ以上の多孔性材料（例えば、多孔性金属）など、ただし、上述の多孔性材料の少なくとも1つが、上述のように音波バリアに含まれている場合）を含むことができる。

#### 【0037】

##### フォノンニック結晶構造の調製

本発明の音波バリアは、第1の密度を有する第1の媒質中に配置される実質周期的な（一次元、二次元又は三次元の）構造体のアレイを含み、前記構造体が、上述したように、第1の密度とは異なる第2の密度を有する第2の媒質から形成されている。そのようなアレイは、第1の媒質として、上述した多孔性材料又は上述した粘弾性材料若しくは弾性材料のいずれかと、第2の媒質として、その2つのうちの他方とを使用することにより形成されることができる。

#### 【0038】

結果として得られる構造すなわちフォノンニック結晶は、巨視的な構造であり得る（例えば、センチメートル又はミリメートル又はそれ未満のオーダーの大きさ尺度を有する）。所望であれば、フォノンニック結晶は、空間的に周期的な格子の形態をとってもよく、その格子位置に均一な大きさ及び均一な形状を有する内包物を含み、内包物の間でマトリックスを形成する材料で包囲される。そのような構造の設計パラメータとしては、格子の種類（例えば、四角形、三角形等）、格子位置間の間隔（格子定数）、単位セルの構成及び形状（例えば内包物で占められる単位セルの部分面積 - いわゆる「充填率（fill factor）」 $f$ としても公知）、内包物及びマトリックス材料の物理的特性（例えば密度、ポアソン比、弾性率等）、内包物の形状（例えば棒形、球形、中空棒形、四角形柱等）等が挙げられる。そのような設計パラメータを制御することにより、結果として得られるバンドギャップの周波数、ギャップの数、及びそれらの幅を調整することができ、又は最低でも、透過損失のレベルを周波数の関数として調整することができる。

#### 【0039】

好ましくは、実質周期的な構造体のアレイは、第1の媒質及び第2の媒質の交互層を含む多層構造体形状の一次元アレイである（また所望であれば、1つ以上の層形状である、上述した場合による1つ以上の構成成分を更に含み、例えば第1の（A）媒質及び第2の（B）媒質、並びに2種の追加の構成成分C及びDから、「A B C D」構造体、「A C D B」構造体、「A C B D」構造体等を形成することができる）。多層構造体の層の合計数は、使用する特定の材料、層の厚さ、及び特定の音響用途の必要条件に応じて幅広い範囲で変更し得る。

#### 【0040】

例えば、多層構造体の層の合計数は、2層のような少数から、数百層以上のような多数までの範囲にわたり得る。層の厚さも、幅広く変動し得る（例えば、所望の周波数に応じて）が、好ましくはセンチメートル以下のオーダーにある（より好ましくは、ミリメートル以下のオーダー、最も好ましくは、約10 mm以下である）。そのような層の厚さ及び層の数は、センチメートル以下（好ましくは、約100 mm以下、より好ましくは、約50 mm以下、更により好ましくは、約30 mm以下、最も好ましくは、約20 mm以下）のオーダーの寸法を有するフォノンニック結晶構造を提供することができる。所望であれば、構造の組み立て前に層を（例えば、界面活性剤組成物又はイソプロパノールを使用して）洗浄してもよく、また場合により1種以上の結合剤（例えば接着剤、又は機械的締結具）を使用してよい（但し、所望の音響との有意な干渉が存在しないことを条件とする）。

#### 【0041】

多層構造体の好ましい実施形態は、約5 mm～約10 mmの層厚さを有する多孔性材料（好ましくは、独立気泡ポリマー発泡体、ポリマー不織布材料、多孔質シリカ材料、又は

10

20

30

40

50



これらの組み合わせ)、及び約0.025mm~約1mmの層厚さを有する弾性材料(好ましくは、アルミニウム、エポキシ樹脂、アルミニウム合金、又はこれらの組み合わせ)を交互に重ねてなる約3個~約10個、又は20個(より好ましくは約3個~約5個)の交互層を含む。これは、約5mm~約100mm(より好ましくは、約10mm~約60mm、更により好ましくは、約10mm~約50mm、最も好ましくは、約10mm~約30mm)のオーダーの好ましい寸法を有するフォノニック結晶構造を提供することができる。

#### 【0042】

##### 音波バリア及びその使用

本発明の音波バリアは、音響源(好ましくは、可聴音響周波数源)と音響受信体(好ましくは、可聴音響周波数の受信体)との間に音波バリアを介在させ、又は配置することを含む遮音方法に使用することができる。有用な音響源としては、交通騒音、工場騒音、会話、音楽等(好ましくは騒音又は可聴成分を有する他の音波、より好ましくは騒音又は約500Hz~約1500Hzの範囲内の周波数成分を有する他の音波)が挙げられる。音響受信体は、例えば人の耳、任意の様々な記録デバイス等(好ましくは人の耳)であってもよい。所望であれば、音波バリアは、音響吸収体として(例えば音波バリアをヘルムホルツ共振器型の吸収体として機能できるように、物質に対して配置することによって)使用することができる。

#### 【0043】

本発明の音波バリアは、可聴範囲の比較的大きい部分にわたり透過損失を達成するように使用することができる(好ましい実施形態では、約800Hz~約1500Hzの範囲にわたって約20dB以上の透過損失をもたらし、より好ましい実施形態では、約500Hz~約1500Hzの範囲にわたって約20dB以上の透過損失をもたらし、更により好ましい実施形態では、約250Hz~約1500Hzの範囲にわたって約20dB以上の透過損失をもたらし、最も好ましい実施形態では、約500Hz~約1500Hzの範囲の少なくとも一部にわたって実質全部の透過損失をもたらす)。かかる透過損失は、フォノニック結晶構造の寸法を、センチメートル以下のオーダー(好ましくは、約20cm以下、より好ましくは、約10cm以下のオーダー、最も好ましくは、約10mm~約30mmのオーダー)に維持しながら達成することができる。

#### 【0044】

1つ以上の上述したフォノニック結晶構造に加え、本発明の音波バリアは、場合により、1つ以上の従来の又は今後開発される遮音材(例えば、従来の吸収体、バリア等)を更に含むことができる。所望であれば、それらの従来の遮音材は、例えば音波バリアの周波数有効範囲を拡大するように層状にしてもよい。

#### 【実施例1】

#### 【0045】

本発明の目的及び利点は、以下の実施例によって更に例示されるが、これらの実施例において列挙された特定の材料及びその量は、他の諸条件及び詳細と同様に本発明を過度に制限するものと解釈されるべきではない。実施例における部、百分率、比等は全て、特に記載しない限り、重量基準である。使用される溶媒及びその他の試薬は、特に記載しない限り、Sigma-Aldrich Chemical Company, (St. Louis, MO)より入手した。

#### 【0046】

##### 試験方法

##### 周波数範囲50Hz~1.6kHzにおける透過損失測定

Bruel & Kjaer Impedance Tube System Type 4206(100mm管、Bruel & Kjaer Sound & (振動測定)Vibration Measurement A/S, Denmark)を使用して、透過損失測定を行った。4マイクロホン伝達関数試験法を使用して、周波数範囲50Hz~1.6kHzで透過損失を測定した。

## 【0047】

手短には、管システムは、内径100mmのソース管、ホルダー管及び受容管から構成されていた。各試験サンプルを、ソース管と受容管との間に位置するホルダー管内に2つのゴムリングを用いて配置した。ソース管の端部に取り付けられたラウドスピーカ（インピーダンス4オーム（ ）、直径80mm）を音波平面波発生器として使用した。Type 4187の4つの0.64cm（1/4インチ）コンデンサマイクロホンを使用して、試験サンプルの両側の音圧レベルを測定した（2つはソース管内に、2つは受容管内に置いた）。ソース管内の2つのマイクロホンを使用して、入射及び反射された平面波を測定した。受容管内に配置された他の2つのマイクロホンを使用して、吸収及び透過された部分を測定した。

10

## 【0048】

4つのマイクロホン位置にて音圧を測定し、Olivieri, O., Bolton, J. S., 及びYoo, T.により「Measurement of Transmission Loss of Materials Using a Standing Wave Tube」、INTER-NOISE 2006、3~6 December 2006, Honolulu, Hawaii, USAに記載された手順に従って4チャネルデジタル周波数分析器を使用して複合的な移動関数を計算することにより、試験サンプルの透過損失を決定した。PULSEバージョン11データ獲得及び解析ソフトウェア（Brüel & Kjær）を使用した。

## 【0049】

各構造ごとに試験サンプルを用意した。全試験サンプルは、直径99.54mmの精密ダイを用いて切断した。各試験サンプルに対して透過損失測定を3回繰り返した。各構造ごとに得られる透過損失を、3つの測定値の算術平均として計算した。

20

## 【0050】

周波数範囲1,000Hz~25,000Hzにおける透過損失測定

周波数範囲1,000~25,000Hzにおける透過損失測定を、音響源、サンプルホルダー及びマイクロホンを含む試験チャンバ；デジタル/アナログ変換器（DAC）；電力増幅器；マイクロホン前置増幅器；アナログ/デジタル変換器（ADC）；及びパーソナル・コンピュータ（PC）で構成される音響試験ベンチボックス（ATB: acoustic test bench box）を使用して実施した。LabView（商標）8.0ソフトウェア（National Instruments（Austin, TX）から入手可能）をデータ収集プログラムとして使用した。ATBは、それぞれがそれ自体の詳細な下位システムを備える4つの相互接続高レベルシステムを有するように設計された。4つの高レベルシステムは、ユーザーインターフェース、信号処理、オーディオハードウェア、及び試験チャンバであった。

30

## 【0051】

ユーザーインターフェースは、試験設定、試験結果、及び試験を開始及び中止するための制御機構などの、ユーザーと試験チャンバとの間で情報の転送に關与する全ての構成要素を含んだ。信号処理システムは、信号の生成、取得、及び処理に關与した。その生成セクションは、一定周波数及び振幅のデジタル信号をデジタル/アナログ変換器（モデルPCI-6711、National Instruments（Austin, TX）から入手可能）へ送信して、アナログ信号に変換した。受信セクションは、アナログ/デジタル変換器（モデルPCI-4472、National Instruments（Austin, TX）から入手可能）からデジタル信号を受信し、あらゆるノイズを取り除くバンドパスフィルタを使用し、かつ得られた信号を校正データで正規化した。

40

## 【0052】

オーディオハードウェアは、試験チャンバを移動する音波の物理的生成、測定、及び増幅に關与した。デジタル信号は、信号処理システムからDACに送信され、そこでアナログ信号に変換された。アナログ信号は、10Xのゲインを有するカスタムメイドの電力増幅器に送信された。増幅器は、試験チャンバを音波で満たすフルレンジスピーカ（Fost

50

ex (商標) FE - 126Eフルレンジスピーカ、79 Hz ~ 25 kHzの音を生成可能、www.fostex.comから入手可能)に電力投入した。マイクロホンのアレイは、音波を測定し記録するために、試験チャンバのいたるところに戦略的に配置された。Earthworks (商標) M50測定マイクロホン (Earthworks, Inc. (Milford, NH) から入手可能)、及びDPA 4021小型カージオイドマイクロホン (DPA Microphones (Longmont, CO 80501) から入手可能)の、2種類のマイクロホンを使用した。マイクロホンは、プロ級マイクロホン前置増幅器 (モデルMillenia (商標) HV - 3D、48Vファンタム電源、Millenia Music and Media Systems (Placerville, CA) から入手可能)によって増幅された。前置増幅器は、その信号をADCに送信し、このADCは信号をアナログからデジタルに変換して、変換された信号を信号処理システムに返信した。

10

#### 【0053】

試験チャンバは、マイクロホン、スピーカー、及び試験サンプルの全てを保持する物理的なチャンバであった。チャンバは、0.514メートル/1.212メートル/0.572メートル (20.25インチ/47.75インチ/22.5インチ) (高さ/長さ/幅)の寸法を有する0.0191メートル (3/4インチ)のベニヤ板で作られた。チャンバは、一方の末端部にあるスピーカーボックス (9インチ/6.5インチ/5インチ (0.228メートル/0.165メートル/0.127メートル) (高さ/長さ/幅)の寸法を有する0.0191メートル (3/4インチ)のベニヤ板で作られた)、もう一方の末端部に実装されたマイクロホン、及びサンプルホルダー用ガイドポスト (0.393メートル/0.457メートル (15.5インチ/18インチ) (高さ/幅)の寸法の (0.0191メートル (3/4インチ))のベニヤ板で作られた)で構成された。試験チャンバのフロントパネル及びバックパネルは共に、スピーカー及びマイクロホンを簡単に交換することができるように、取り外し可能であった。試験チャンバ及び各サンプルホルダーの内部は、音波遮断のための3M (商標) Thinsulate (商標) Acoustic Insulation (不織布ポリマーマット、厚さ0.025メートル、3M Company (St. Paul, MN) から入手可能)で完全に裏打ちされた。

20

#### 【0054】

各試験サンプルを、試験チャンバの中の音響源 (スピーカー) と受信マイクロホンとの間に位置するサンプルホルダーの内部に、2つのゴムリングを用いて定位置に保持した、又はワセリンで封止した。それぞれの異なる構成に対して試験サンプルを用意した。全試験サンプルは、直径99.54 mmの精密ダイを用いて切断した。各試験サンプルに対して透過損失測定を6回繰り返した。各構成に対して得られる透過損失を、6つの測定値の算術平均として計算した。

30

#### 【0055】

##### 音速の測定

音の速度の測定を、特注のバルサノレーバシステムを使用して行った。このシステムでは、透過法音速システム構成を用いた。試験サンプルを、送信機としての2つの波トランスデューサ (モデルV101-RB Panametrics - NDT Contact Transducer、縦波、0.5 MHz、Olympus NDT (Waltham, MA) から入手可能) と、受信トランスデューサとの間に置いた。各試験サンプルごとに、VASELINE (商標) ワセリンを各トランスデューサの表面に適用して、良好な接続を確実にした。送信機及び受信トランスデューサを、バルサノレーバ (モデル5077PR Ultrasonicバルサノレーバ、Olympus NDT (Waltham, MA) から入手可能) に接続し、このバルサノレーバを、デジタルオシロスコープ (モデルDSO6054A 500 MHz、4チャンネル、6000シリーズオシロスコープ、Agilent Technologies, Inc. (Colorado Springs, CO) から入手可能) に接続した。100 kHzで飛行時間法によって音速を測定した。各試験サンプルごとに、音速の測定を3回繰り返した。音速の値を

40

50

、3つの測定値の算術平均として計算した。

【0056】

レオロジー測定

流動学的特性（例えば、定常剪断プラトー弾性率）を、商業的なARE S動的レオメーター（New Castle, DelawareのTA Instrumentsから入手可能）内で、材料の試験サンプルに対して伸長モードにて線形、等温周波数掃引動的機械分析（DMA）試験を行うことにより測定した。次いで、（22.7の室温とした）選択した基準温度での動的マスター曲線を得るために、時間-温度重ね合わせの原理を使用して、得られたデータをシフトした。動的マスター曲線をシフトするために使用した水平移動係数を調べ、Williams-Landel-Ferry（WLF）型に従うことが見出された。得られた動的マスター曲線を、最終的にNinomiya-Ferry（NF）手順を使用して、室温（22.7）での安定した線形伸長弾性率マスター曲線に変換した。ゴム引張係数プラトーの値は、安定した線形伸長弾性率マスター曲線から決定し、材料の安定剪断プラトー弾性率は、ゴム伸長弾性率プラトー値の1/3として取得した。（例えば、John D. FerryによるViscoelastic Properties of Polymers, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York (1980)における流動学的データ解析技術の考察を参照されたい。）

10

【0057】

材料

20

材料A：

ポリエチレン（PE）発泡体1番；商品番号8722K26、独立気泡発泡体、McMaster-Carr Inc. (Elmhurst, IL)から入手可能、厚さ6.35 mm。

【0058】

材料B：

ポリエチレン（PE）発泡体2番；商品番号8722K27、独立気泡発泡体、McMaster-Carr Inc. (Elmhurst, IL)から入手可能、厚さ9.53 mm。

【0059】

材料C：

VHB発泡体：3M（商標）VHB（商標）Acrylic Foam Tape 4611、独立気泡発泡体、3M Company (St. Paul, MN)から入手可能、厚さ1.14 mm。

30

【0060】

材料D：

アルミニウム1番：アルミニウムシート、Alcoa Corp. (Pittsburgh, PA)から入手可能、厚さ0.5 mm。

【0061】

材料E：

アルミニウム2番：アルミニウム箔、厚さ0.03 mm、ブランド名Reynolds Wrap（商標）で市販、Alcoa Corp., Pittsburgh, PAから入手可能。

40

【0062】

材料F：

シリコンゴム：McMaster-Carr Inc. (Elmhurst, IL)から入手可能な商品番号86915K24、デュロメータ硬度40A、厚さ0.8 mm、アクリル接着剤の裏当て付き、基本的に上記のように定めた室温22.7で定常剪断プラトー弾性率 $4.3 \times 10^5$  Pa。

【0063】

50

材料 G :

熱可塑性ポリマー：線状低密度ポリエチレン、The Dow Chemical Company (Midland, MI) から DOW DNDA - 1081 NT 7 として入手可能。

【0064】

材料 H :

ポリオレフィンエラストマー：エチレンとオクテン - 1 のコポリマー、The Dow Chemical Company (Midland, MI) から ENGAGE 8401 ポリオレフィンエラストマーとして入手可能。

【0065】

材料 I :

不織布マット：実施例 1 に記載の供給ブロックアセンブリを、一方は 200 の実施例 3 に記載の P S A の熔融流れであり、他方は重量比 20 / 80 の材料 G 及び H の熔融流れ（ポリオレフィン混合物を形成した）である 2 つのポリマー熔融流れにより供給して、厚さ 10 mm のマット得たこと以外は、ポリオレフィン不織布材料を、本質的に米国特許第 6, 133, 173 号 (Riedel ら) の実施例 1 に記載の通りに調製した。実施例 1 の歯車ポンプを、P S A とポリオレフィン混合物との比率が 20 / 80 になるように調整した。得られた不織布マットは、約 3200 g / m<sup>2</sup> の坪量を有した。

【0066】

材料 J :

多孔質シリカ材料：発泡パーライト粉末、平均粒径約 0.5 ミリメートル、Silbrico Corporation (Hodgkins, IL) から Ryolex (商標) グレード 3 - S として入手可能。

【0067】

材料 K :

重合体微粒子：Expancel (商標) 091 DE 80d30 微粒子（イソペンタンを封入したアクリルコポリマー）、平均直径 = 75 マイクロメートル、Eka Chemicals Inc. (Expancel, Duluth, GA) から入手可能。

【0068】

材料 L :

アクリレート系接着剤：アクリル酸イソブチル / アクリル酸イソオクチル (I B A / I O A) 50 / 50 コポリマー接着剤、1 : 1 I B A / I O のモノマー比を用いた以外は、米国特許第 5, 708, 110 号 (Bennett ら) の実施例 3 に記載の通りに本質的に製造した。

【0069】

材料 M :

多孔性複合材料 1 番：アクリレート系接着剤（材料 L）と多孔質シリカ材料（材料 J）の重量パーセント比 90 / 10 の混合物；材料を組み合わせ、木製棒で約 5 分間混合し、得られた混合物を 2 つのテレフタル酸ポリエチレン (P E T) ライナーの間で厚さ約 5 mm のシートに圧縮した後、得られた構造体の両面を約 2 時間紫外線 (U V) 照射して硬化することによって調製した。

【0070】

材料 N :

多孔性複合材料 2 番：アクリレート系接着剤（材料 L）と重合体微粒子（材料系）の混合物；材料を 93 / 7 重量パーセント比で組み合わせ、木製棒で手動で 5 分間混合し、得られた混合物を 2 つの P E T ライナーの間で厚さ約 8 mm のシートに圧縮した後、得られた構造体の両面を約 2 時間紫外線 (U V) 照射して硬化することによって調製した。

【0071】

（実施例 1）

不織布マット（材料 I）及びアルミニウム 1 番（材料 D）を交互に重ねてなる交互層を

10

20

30

40

50

アセンブルすることによって6層構造体を作製した。得られた構造体（I D I D I D）の透過損失性能及び成分材料の縦波音波の速度を、上述の手順に従って測定した。成分材料の得られた縦波速度（ $c_1$ ）、並びにそれらの厚さ（ $d$ ）及び密度（ $\rho$ ）を用いて、6層構造体の予想バンドギャッププロファイルを計算した（J. M. Bendickson及びJ. P. Dowlingによる「Analytical expressions for the electromagnetic mode density in finite, one-dimensional, photonic band-gap structures」、Physical Review E, Volume 53, Number 4, pages 4107~4121（1996）に記載の分析モデルを用いた）。（計算に用いたパラメータ：不織布マット： $C_1 = 200 \text{ m/s}$ 、 $\rho = 260 \text{ kg/m}^3$ 、 $d = 10 \text{ mm}$ ；アルミニウム1番： $C_1 = 6342 \text{ m/s}$ 、 $\rho = 2799 \text{ kg/m}^3$ 、 $d = 0.5 \text{ mm}$ 。）

10

【0072】

最後に、構造体の単位面積当たりの測定重量に基づき、垂直（B & Kデータ）及び音場入射（ATBボックスデータ）質量則の値もまた、次の式に従って計算した（例えば、R. F. Barron、「Industrial Noise Control and Acoustics」、Marcel Dekker, Inc., New York（2003）, p. 112, 113を参照のこと）。

【数1】

$$TL_n = 10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{\pi f M_s}{\rho_1 c_1} \right)^2 \right]$$

$$TL_f = TL_n - 5$$

20

式中、 $TL_n$  及び  $TL_f$  は、それぞれ、垂直及び音場入射透過損失（dB）であり、 $\log_{10}$  は基底10の対数であり、 $\pi$  は約3.14の数学定数であり、 $M_s$  は単位面積（ $\text{kg/m}^2$ ）当たりの多層構造体質量であり、 $\rho_1$  及び  $c_1$  は、多層構造体を囲む空気中の、それぞれ、密度（ $\text{kg/m}^3$ ）及び音速（ $\text{m/s}$ ）であり、 $f$  は周波数（Hz）である。計算の結果得られた及び/又は測定された透過損失/透過係数を周波数と対比した曲線が、図1a及び図1bに示されている。

30

【0073】

（実施例2）

ポリエチレン（PE）発泡体2番（材料B）及びアルミニウム1番（材料D）を交互に重ねてなる交互層をアセンブルすることによって6層構造体を作製した。得られた構造体（B D B D B D）の透過損失性能及び成分材料の縦波音波の速度を、上述の手順に従って測定した。成分材料の得られた縦波速度（ $c_1$ ）、並びにそれらの厚さ（ $d$ ）及び密度（ $\rho$ ）を用いて、6層構造体の予想バンドギャッププロファイルを計算した（J. M. Bendickson及びJ. P. Dowlingによる「Analytical expressions for the electromagnetic mode density in finite, one-dimensional, photonic band-gap structures」、Physical Review E, Volume 53, Number 4, pages 4107~4121（1996）に記載の分析モデルを用いた）。（計算に用いたパラメータ：PE発泡体2番： $C_1 = 310 \text{ m/s}$ （ $268 \text{ m/s}$ の速度は測定されているとして、選択された控えめな値）、 $\rho = 50 \text{ kg/m}^3$ 、 $d = 9.53 \text{ mm}$ ；アルミニウム1番： $C_1 = 6342 \text{ m/s}$ 、 $\rho = 2799 \text{ kg/m}^3$ 、 $d = 0.5 \text{ mm}$ 。）

40

【0074】

最後に、構造体の単位面積当たりの測定重量に基づき、垂直（B & Kデータ）及び音場

50

入射（ＡＴＢボックスデータ）質量則の値もまた、実施例１に記載のように計算した。計算の結果得られた及び／又は測定された透過損失／透過係数を周波数と対比した曲線が、図２ａ及び図２ｂに示されている。

【００７５】

（実施例３及び４）

VHB発泡体（材料Ｃ）及びアルミニウム２番（材料Ｅ）を交互に重ねてなる交互層を組み付けて、３層構造体及び５層構造体を作製した。得られた構造体（実施例３のＣＥＣ及び実施例４のＣＥＣＥＣ）の透過損失性能を上述の手順に従って測定した。最後に、構造体の単位面積当たりの測定重量に基づき、垂直（Ｂ＆Ｋデータ；図３ａ）及び音場入射（ＡＴＢボックスデータ；図３ｂ）質量則の値もまた、実施例１に記載のように計算した。計算の結果得られた及び測定された透過損失を周波数と対比した曲線が、図３ａ及び図３ｂに示されている。

10

【００７６】

実施例５及び比較例１

シリコンゴム（材料Ｆ）及びアルミニウム２番（材料Ｅ）を交互に重ねてなる交互層を比較例１として（５層構造体）、並びに不織布マット（材料Ｉ）及びアルミニウム１番（材料Ｄ）を交互に重ねてなる交互層を実施例５として（６層構造体）組み付けて、２つの異なる多層構造体を作製した。得られた構造体（ＦＥＦＥＦ及びＩＤＩＤＩＤ）の透過損失性能を上述の手順に従って測定した。最後に、構造体の単位面積当たりの測定重量に基づき、垂直入射質量則の値もまた、実施例１に記載のように計算した。計算の結果得られた及び測定された透過損失を周波数と対比した曲線が、図４ａ及び図４ｂに示されている（主にそれらの相対的透過損失性能と対応の質量則との比較のため）。

20

【００７７】

（実施例６及び７）

アクリレート系接着剤（材料Ｌ）及び多孔性複合材料１番（材料Ｍ）を交互に重ねてなる交互層を比較例６として（５層構造体）、並びにアクリレート系接着剤（材料Ｌ）及び多孔性複合材料２番（材料Ｎ）を交互に重ねてなる交互層を実施例７として組み付けて、２つの異なる３層構造体を作製した。得られた構造体（ＬＭＬ及びＬＮＬ）の音速を、上述の手順に従って測定し、結果は、実施例６では２８８ｍ／ｓ、及び実施例７では２７６ｍ／ｓであったことが判明した。

30

【００７８】

本明細書で引用した特許、特許文献、及び公報に含有される参照された記述内容は、その全体が、それぞれ個別に組み込まれているかのように、参照として組み込まれる。本発明に対する様々な予見できない修正及び変更が、本発明の範囲及び趣旨から逸脱することなく当業者に明らかとなるであろう。本発明は、本明細書に記載した例示的な実施形態及び実施例によって過度に限定されるものではなく、またかかる実施例及び実施形態は、一例として表されているだけであり、ただし、本発明の範囲は、以下のように本明細書に記載した請求項によってのみ限定されることを意図するものと理解されるべきである。

【図 1 a】

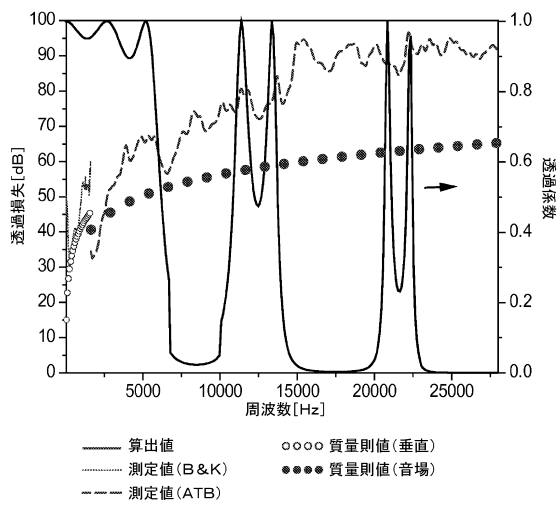


FIG. 1a

【図 1 b】

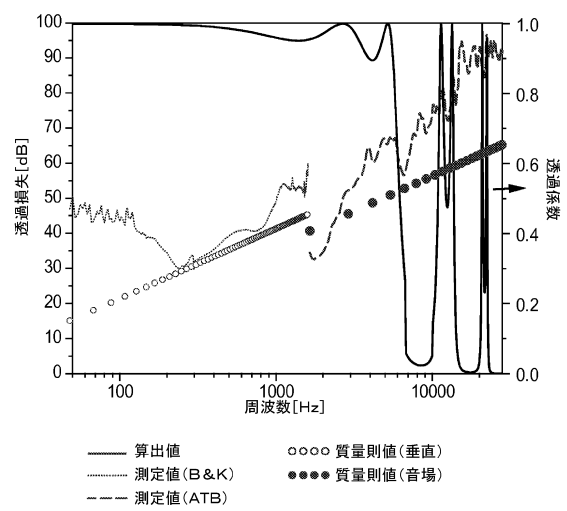


FIG. 1b

【図 2 a】

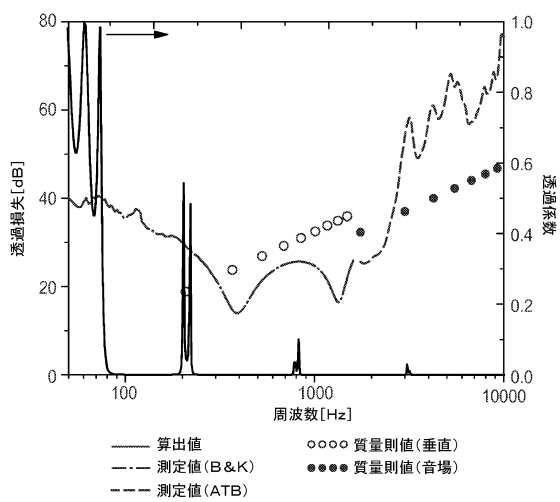


FIG. 2a

【図 2 b】

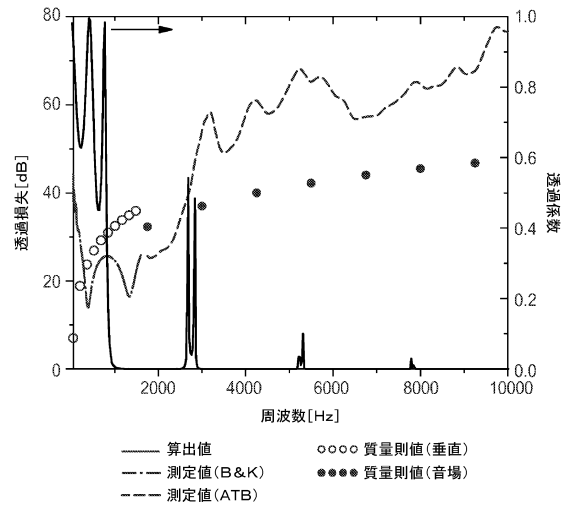


FIG. 2b



【図 3 a】

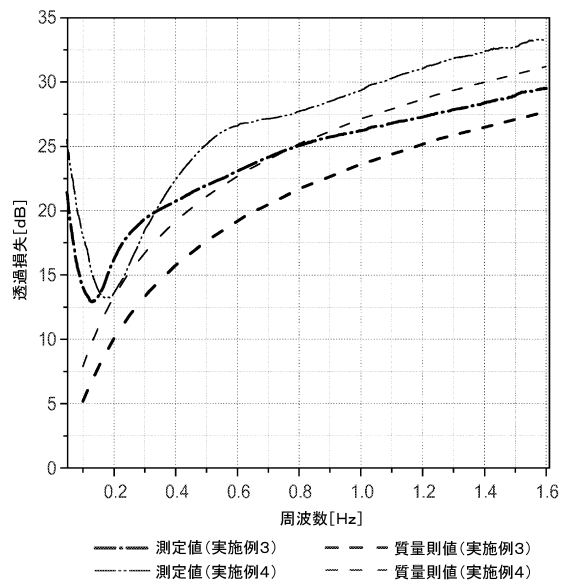


FIG. 3a

【図 3 b】

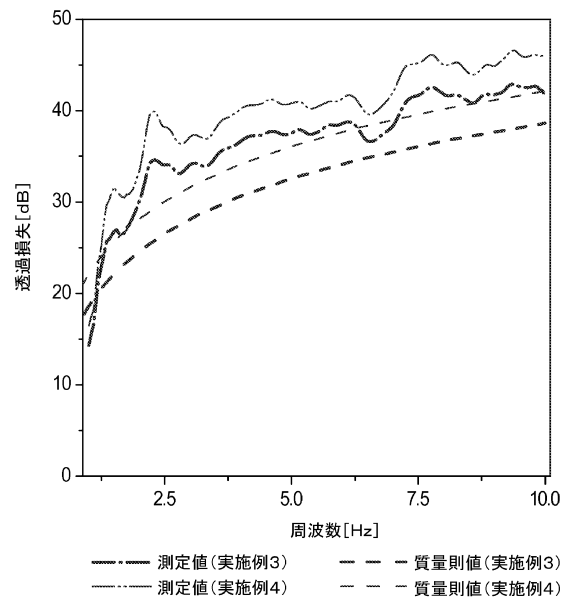


FIG. 3b

【図 4 a】

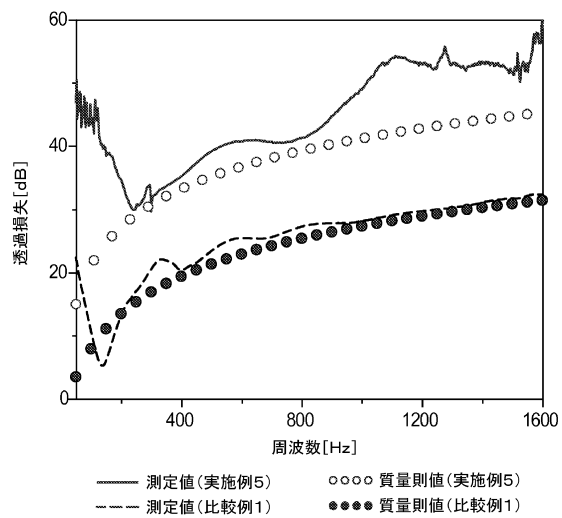


FIG. 4a

【図 4 b】

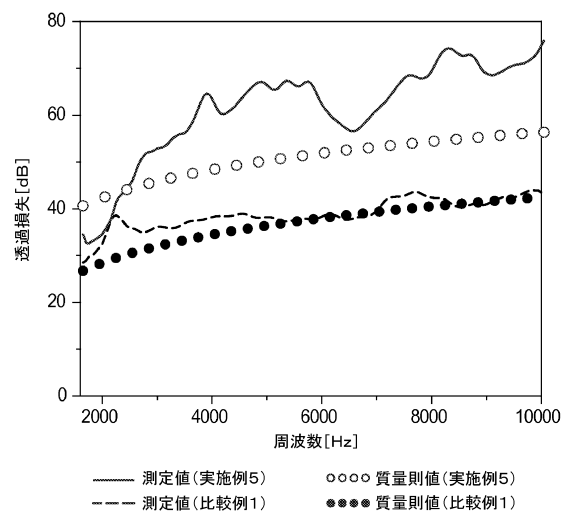


FIG. 4b

---

フロントページの続き

- (72)発明者 バーカー, アリ  
アメリカ合衆国, ミネソタ州, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 33427  
, スリーエム センター
- (72)発明者 チャタジー, ジュン  
アメリカ合衆国, ミネソタ州, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 33427  
, スリーエム センター
- (72)発明者 グレガー, リチャード, ダブリュ.  
アメリカ合衆国, ミネソタ州, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 33427  
, スリーエム センター
- (72)発明者 アロシャйна イーピー ルサフラー, マリー  
アメリカ合衆国, ミネソタ州, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 33427  
, スリーエム センター
- (72)発明者 モハンティー, サナ  
アメリカ合衆国, ミネソタ州, ウッドベリー, イーグル リッジ ロード 535

審査官 渡邊 正宏

- (56)参考文献 特開2006-023423(JP,A)  
特開2003-308074(JP,A)  
特開2009-090265(JP,A)  
特開平08-073648(JP,A)  
実開昭61-144109(JP,U)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G10K 11/00-13/00