

明 細 書

発明の名称：遮音用繊維集積体、吸遮音材および車両用吸遮音材

技術分野

[0001] 本発明は、遮音性能および吸音性能を有する吸遮音材および車両用吸遮音材、ならびに、これらに用いられる遮音用繊維集積体に関する。

背景技術

[0002] 自動車や列車などの車両は、快適な乗客輸送のため静粛性が求められる。静粛性を実現するため、車両の壁面などには遮音効果や吸音効果のある材料が埋め込まれている。このような材料は、輸送の省エネルギー化の観点から軽量であることが望ましい。これら課題に対応する吸音材が、例えば特許文献 1 に開示されている。

[0003] 特許文献 1 の吸音材は、マイクロ繊維不織布の空隙部内で、ナノ繊維が不織布形態を有しながら存在しているものである。具体的には、吸音材は、マイクロ繊維不織布内部を観察したとき、当該不織布内の空隙部を多数のナノ繊維が分割し、結果として当該空隙部内でナノ繊維不織布が形成されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開 2017-181925 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記吸音材は、マイクロ繊維不織布を一旦製造した後に、ナノ繊維の分散液を含浸させ乾燥することにより得られるものであり、マイクロ繊維とナノ繊維とが絡まり合った複雑な構造を有している。製造コストの低減のためには、より簡易な構造で良好な遮音効果や吸音効果を実現することが望まれる。

[0006] そこで、本発明は、簡易な構造で効果的に遮音できる遮音用繊維集積体、

並びに、この遮音用繊維集積体を有する吸遮音材および車両用吸遮音材を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明者は、ナノメートルオーダーまたはナノメートルに近いマイクロメートルオーダーの径を有する繊維の集積体における平均繊維径およびかさ密度に着目し、これらパラメータの組み合わせと遮音性能との関係について多数の試験を繰り返し実施し、鋭意検討した。その結果、特に100Hz～2000Hz程度の比較的低い周波数領域において遮音性能を高いレベルで発揮できる平均繊維径およびかさ密度を見出し、本発明に至った。

[0008] 上記目的を達成するために、本発明の一態様に係る遮音用繊維集積体は、前記遮音用繊維集積体の平均繊維径を D_a とし、前記遮音用繊維集積体のかさ密度を ρ_a としたとき、以下の式(i)および(ii)を満足することを特徴とする。

$$(i) \quad 450\text{ nm} \leq D_a \leq 8500\text{ nm}$$

$$(ii) \quad 0.09\text{ g/cm}^3 \leq \rho_a \leq 0.33\text{ g/cm}^3$$

[0009] 本発明において、以下の式(i')をさらに満足することが好ましい。

$$(i') \quad 450\text{ nm} \leq D_a \leq 1650\text{ nm}$$

[0010] 本発明において、以下の式(ii')をさらに満足することが好ましい。

$$(ii') \quad 0.09\text{ g/cm}^3 \leq \rho_a \leq 0.22\text{ g/cm}^3$$

[0011] 本発明において、以下の式(i'')、(ii'')をさらに満足することが好ましい。

$$(i'') \quad 1350\text{ nm} \leq D_a \leq 1650\text{ nm}$$

$$(ii'') \quad 0.18\text{ g/cm}^3 \leq \rho_a \leq 0.22\text{ g/cm}^3$$

[0012] 上記目的を達成するために、本発明の他の一態様に係る吸遮音材は、第1繊維集積体層と前記第1繊維集積体層に重ねられた第2繊維集積体層とを有する吸遮音材であって、前記第1繊維集積体層が、上記遮音用繊維集積体で構成され、前記第2繊維集積体層が、平均繊維径を D_b とし、かさ密度を ρ_b としたとき、以下の式(iii)および(iv)を満足する繊維集積体で

構成されていることを特徴とする。

$$(i\ i\ i) \quad 4000\text{ nm} \leq D_b \leq 8500\text{ nm}$$

$$(i\ v) \quad 0.04\text{ g/cm}^3 \leq \rho_b \leq 0.06\text{ g/cm}^3$$

[0013] 本発明において、前記第1繊維集積体層の厚さを t_a とし、前記第2繊維集積体層の厚さを t_b としたとき、以下の式(v)をさらに満足することが好ましい。

$$(v) \quad t_a < t_b$$

[0014] 本発明において、以下の式(vi)をさらに満足することが好ましい。

$$(v\ i) \quad t_a / t_b \leq 1 / 2$$

[0015] 本発明において、前記第1繊維集積体層と前記第2繊維集積体層とが同一の材料で構成されていることが好ましい。

[0016] 上記目的を達成するために、本発明の一態様に係る車両用吸遮音材は、上記吸遮音材で構成され、前記第1繊維集積体層が前記車両の室外寄りに配置されかつ前記第2繊維集積体層が前記車両の室内寄りに配置されることを特徴とする。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、簡易な構造で効果的に遮音することができる。

[0018] また、本発明によれば、簡易な構造で効果的に吸音することができる。

[0019] さらに、本発明によれば、同一材料、同一生成装置によって作製される異なる集積体層による吸遮音材を構成できる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の一実施形態に係る遮音用繊維集積体を説明する図である。

[図2]本発明の他の一実施形態に係る吸遮音材を説明する図である。

[図3]繊維集積体の作製に用いる製造装置の一例を示す斜視図である。

[図4]図3の製造装置の一部断面を含む側面図である。

[図5]図3の製造装置によるナノファイバーが堆積される捕集網の正面図である。

[図6]物体に作用する音エネルギーについて模式的に示す図である。

[図7]本発明の遮音用繊維集積体および吸遮音材の評価に用いる測定装置を説明する図である。

[図8]本発明の実施例 1-1 ～ 1-4 における周波数と透過損失との関係を示すグラフである。

[図9]本発明の実施例 1-5 ～ 1-8 における周波数と透過損失との関係を示すグラフである。

[図10]本発明の実施例 1-9 ～ 1-12 における周波数と透過損失との関係を示すグラフである。

[図11]本発明の比較例 1-1 ～ 1-3 における周波数と透過損失との関係を示すグラフである。

[図12]本発明の実施例 2-1 における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図13]本発明の実施例 2-2 における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図14]本発明の実施例 2-3 における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図15]本発明の実施例 2-4 における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図16]本発明の実施例 2-5 における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図17]本発明の実施例 2-6 における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図18]本発明の実施例 2-7 における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図19]本発明の実施例 2-8 における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図20]本発明の比較例 2-1 における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図21]本発明の比較例2-2における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図22]本発明の比較例2-3における周波数と透過損失および吸収率との関係を示すグラフである。

[図23]本発明の実施例3-1～3-4における周波数と透過損失との関係を示すグラフである。

[図24]本発明の実施例3-5～3-8における周波数と透過損失との関係を示すグラフである。

[図25]本発明の実施例3-1～3-4における周波数と吸収率との関係を示すグラフである。

[図26]本発明の実施例3-5～3-8における周波数と吸収率との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0021] 本発明の一実施形態に係る遮音用繊維集積体および吸遮音材について、以下に説明する。

[0022] (遮音用繊維集積体の構成)

本実施形態の遮音用繊維集積体の構成について説明する。

[0023] 図1は、本発明の一実施形態に係る遮音用繊維集積体を説明する図である。具体的には、図1(a)は、成形前の微細繊維の一例を撮影した写真である。図1(b)は円柱状に成形した遮音用繊維集積体の一例を撮影した写真である。図1(b)において、4個の遮音用繊維集積体が写っている。図1(c)は繊維集積体(平均繊維径800nm)の一例を電子顕微鏡で拡大して撮影した写真である。

[0024] 遮音用繊維集積体は、ナノメートルオーダーまたはナノメートルに近いマイクロメートルオーダーの繊維径を有する微細繊維を集積して構成されている。本実施形態の遮音用繊維集積体は、平均繊維径が450nm～8500nmであり、かさ密度が0.09g/cm³～0.33g/cm³である。遮音用繊維集積体は、平均繊維径が450nm～1650nmであり、かさ密

度が $0.09 \text{ g/cm}^3 \sim 0.22 \text{ g/cm}^3$ のものが特に遮音性能に優れていて好ましい。さらには、遮音用繊維集積体は、平均繊維径が $1350 \text{ nm} \sim 1650 \text{ nm}$ であり、かさ密度が $0.18 \text{ g/cm}^3 \sim 0.22 \text{ g/cm}^3$ のものが最も好ましい。遮音用繊維集積体は、これら数値範囲を満足することにより、軽量でかつ効果的に遮音性能を発揮することができる。

[0025] 遮音用繊維集積体は、例えば、正方形のマット状に成形される。遮音用繊維集積体は、正方形以外にも円形や六角形などに成形されてもよく、それが埋め込まれる場所の形状など使用態様等に応じた形状に成形される。

[0026] 本実施形態において、遮音用繊維集積体を構成する微細繊維は合成樹脂からなる。合成樹脂としては、例えば、ポリプロピレン（PP）やポリエチレンテレフタレート（PET）等が挙げられる。これら以外の材料で遮音用繊維集積体を構成してもよい。

[0027] 特に、ポリプロピレンは、取り扱いがしやすく加工が容易なため遮音用繊維集積体の材料として好ましい。ポリプロピレンの密度（材料密度）は、原材料メーカーによって開示されている数値に $0.85 \sim 0.95$ 程度の幅がある。本明細書では、ポリプロピレンの密度として 0.895 g/cm^3 を用いている。

[0028] 遮音用繊維集積体は、平均繊維径を D_a とし、かさ密度を ρ_a としたとき、以下の式（i）および（ii）を満足する。

$$(i) \quad 450 \text{ nm} \leq D_a \leq 8500 \text{ nm}$$

$$(ii) \quad 0.09 \text{ g/cm}^3 \leq \rho_a \leq 0.33 \text{ g/cm}^3$$

[0029] 遮音用繊維集積体は、以下の式（i'）をさらに満足することが好ましい。

$$(i') \quad 450 \text{ nm} \leq D_a \leq 1650 \text{ nm}$$

[0030] 遮音用繊維集積体は、以下の式（ii'）をさらに満足することが好ましい。

$$(ii') \quad 0.09 \text{ g/cm}^3 \leq \rho_a \leq 0.22 \text{ g/cm}^3$$

[0031] 遮音用繊維集積体は、以下の式（i''）、（ii''）をさらに満足す

ることが好ましい。

$$(i'') \quad 1350 \text{ nm} \leq D_a \leq 1650 \text{ nm}$$

$$(ii'') \quad 0.18 \text{ g/cm}^3 \leq \rho_a \leq 0.22 \text{ g/cm}^3$$

[0032] 平均繊維径は、次のようにして求める。遮音用繊維集積体において複数箇所を任意に選択して電子顕微鏡で拡大する。電子顕微鏡で拡大した複数箇所それぞれにおいて複数本の微細繊維を任意に選択して径を測定する。そして、選択した複数本の微細繊維の径の平均値を平均繊維径とする。本実施形態では、遮音用繊維集積体の任意に選択した5箇所において20本ずつ任意に選択した微細繊維の径を測定した。そして、これら100本の微細繊維の径の平均値を平均繊維径とした。変動係数（標準偏差を平均値で割った値）は、0.6以下であることが好ましい。

[0033] 遮音用繊維集積体は、単独で用いても効果的な遮音性能を発揮するものであるが、以下に説明する吸遮音材にも用いることができる。

[0034] （吸遮音材の構成）

本実施形態の吸遮音材の構成について説明する。

[0035] 図2は、本発明の一実施形態に係る吸遮音材を説明する図である。図2（a）は、吸遮音材の斜視図であり、図2（b）は、図2（a）のX-X線に沿う断面図である。

[0036] 図2に示す吸遮音材5は、自動車や列車などの車両の壁面に埋め込まれる車両用吸遮音材である。これ以外にも、航空機や住宅等の建物の壁面に埋め込まれる吸遮音材としても有用である。

[0037] 吸遮音材5は、第1繊維集積体層1と、この第1繊維集積体層1に重ねられた第2繊維集積体層2と、を有している。第1繊維集積体層1は、上述した遮音用繊維集積体で構成されている。

[0038] 第2繊維集積体層2は、繊維集積体で構成されている。第2繊維集積体層2を構成する繊維集積体（以下、「吸音用繊維集積体」という）は、ナノメートルに近いマイクロメートルオーダーの繊維径を有する微細繊維を集積して構成されている。吸音用繊維集積体は、平均繊維径が4000nm～85

00 nmである。また、吸音用繊維集積体は、かさ密度が 0.04 g/cm^3 ~ 0.06 g/cm^3 である。吸音用繊維集積体は、これら数値範囲を満足することにより、軽量でかつ効果的に吸音性能を発揮することができる。

[0039] 本実施形態において、吸音用繊維集積体を構成する微細繊維は合成樹脂からなる。合成樹脂としては、例えば、ポリプロピレン（PP）やポリエチレンテレフタレート（PET）等が挙げられる。これら以外の材料で吸音用繊維集積体を構成してもよい。第2繊維集積体層2を構成する吸音用繊維集積体と、第1繊維集積体層1を構成する遮音用繊維集積体とは、同一の材料（例えば、ポリプロピレン）で構成されていることが好ましい。これらに同一の材料を用いることで、第1繊維集積体層1と第2繊維集積体層2と単一の材料で構成することができ、製造コストを低減できる。

[0040] 吸音用繊維集積体は、平均繊維径を D_b とし、かさ密度を ρ_b としたとき、以下の式（iii）および（iv）を満足する。

$$(iii) \quad 4000 \text{ nm} \leq D_b \leq 8500 \text{ nm}$$

$$(iv) \quad 0.04 \text{ g/cm}^3 \leq \rho_b \leq 0.06 \text{ g/cm}^3$$

[0041] 吸音用繊維集積体は、第1繊維集積体層1の厚さを t_a とし、第2繊維集積体層2の厚さを t_b としたとき、以下の式（v）をさらに満足することが好ましい。

$$(v) \quad t_a < t_b$$

[0042] 吸音用繊維集積体は、以下の式（vi）をさらに満足することが好ましい。

$$(vi) \quad t_a / t_b \leq 1/2$$

[0043] 吸遮音材5は、例えば、正方形のマット状に成形される。吸遮音材5は、正方形以外にも円形や六角形などに成形されてもよく、それが埋め込まれる場所の形状など使用態様に応じた形状に成形される。

[0044] 吸遮音材5は、車両用の吸遮音材に適している。吸遮音材5を車両に用いる場合、第1繊維集積体層1が車両の室外寄りに配置されかつ第2繊維集積体層2が車両の室内寄りに配置されるように車両の壁面に埋め込むとよい。

このようにすることで、車両の室内の音（室内発生音）を効果的に吸収（封印）でき、かつ、車両の外から室内に進入する音（室外発生音）を効果的に遮断できる。

[0045] 具体的には、音源から発せられた音エネルギーが、比較的太い繊維で低密度に構成された第2繊維集積体層で効果的に吸収されながら進行し、比較的細い繊維で高密度に構成された第1繊維集積体層で進行を阻害（遮断）される。さらに、第1繊維集積体層の表面（境界面）で反射された音エネルギーが音源側に向かって進む際にも第2繊維集積体層でさらに吸収される。これにより、音をより効果的に内部に閉じ込めることができるものと推測される。

[0046] （繊維集積体の製造装置および製造方法）

吸遮音材5の第1繊維集積体層1を構成する遮音用繊維集積体および第2繊維集積体層2を構成する吸音用繊維集積体は、図3～図5に示す製造装置を用いて製造される。図3は、繊維集積体の作製に用いる製造装置の一例を示す斜視図である。図4は、図3の製造装置の一部断面を含む側面図である。図5は、図3の製造装置による微細繊維が堆積される捕集網の正面図である。

[0047] 図3および図4に示すように、製造装置50は、ホッパー62、加熱シリンダー63、ヒーター64、スクリー65、モーター66およびヘッド70を有している。

[0048] ホッパー62には、微細繊維の素材となるペレット状の合成樹脂が投入される。加熱シリンダー63は、ヒーター64によって加熱され、ホッパー62から供給された樹脂を溶融させる。スクリー65は、加熱シリンダー63内に收容されている。スクリー65は、モーター66によって回転され、溶融樹脂を加熱シリンダー63の先端に送る。円柱状のヘッド70は、加熱シリンダー63の先端に設けられている。ヘッド70には、ガス供給管68を介してガス供給部（図示なし）が接続されている。ガス供給管68はヒーターを備えており、ガス供給部から供給された高圧ガスを加熱する。ヘッ

ド７０は、正面に向けて高圧ガスを噴射するとともに、高圧ガス流に乗るように溶融樹脂を吐出する。ヘッド７０の正面には、捕集網９０が配置されている。

[0049] 製造装置５０の動作について説明する。ホッパー６２に投入されたペレット状の原料（樹脂）が加熱シリンダー６３内に供給される。加熱シリンダー６３内で溶融された樹脂は、スクリー６５によって加熱シリンダー６３の先端に送られる。加熱シリンダー６３の先端に到達した溶融樹脂（溶融原料）は、ヘッド７０から吐出される。溶融樹脂の吐出にあわせて、ヘッド７０から高圧のガスを噴出する。

[0050] ヘッド７０から吐出された溶融樹脂は、ガス流に所定の角度で交わり、引き延ばされながら前方に運ばれる。引き延ばされた樹脂は微細繊維となり、図５に示すように、ヘッド７０の正面に配置された捕集網９０上に集積される（集積工程）。そして、この集積された微細繊維９５を、所望の形状（例えば正方形マット状）に成形する（成形工程）。このようにして、繊維集積体を得る。このようにして得られた繊維集積体は、捕集網９０上の微細繊維９５を単に集めて成形するものであり、特許文献１に示されるマイクロ繊維不織布にナノ繊維の分散液を含浸させ乾燥するというような複雑な製造工程は不要である。そのため、本実施形態の繊維集積体は、マイクロ繊維とナノ繊維とが絡まり合った複雑な構造を有しておらず、微細繊維９５が不規則に集積された簡易な構造を有している。製造装置５０は、溶融樹脂の吐出速度、ガスの噴出速度、または、溶融樹脂がガス流に交わる角度などの各種パラメータを調整することにより、平均繊維径が異なる微細繊維を製造することができる。そのため、単一の製造装置５０においてパラメータを調整することにより、第１繊維集積体層１および第２繊維集積体層２を構成する微細繊維９５を製造することができる。

[0051] なお、上記製造装置５０では、原料となる合成樹脂を加熱して溶融した「溶融原料」を吐出する構成であったが、これに限定されるものではない。これ以外にも、例えば、所定の溶媒に対して溶質としての固形の原料または液

状の原料を所定濃度となるようにあらかじめ溶解した「溶剤」を吐出する構成としてもよい。本出願人は、繊維集積体の製造に用いることができる製造装置の一例として、特願2015-065171にナノファイバー製造装置およびナノファイバー製造方法を開示している。この出願は特許を受けており（特許第6047786号、平成27年3月26日出願、平成28年12月2日登録）、本出願人がその権利を保有している。

[0052] （性能評価）

本発明者らは、遮音用繊維集積体および吸遮音材について、遮音性能および吸音性能（封印性能）について評価を行った。

[0053] 始めに、物体に作用する音のエネルギーについて以下に考察する。

[0054] 図6に示すように、物体（試料TP）に入射した音のエネルギー（Incidence energy）を E_i とし、物体で反射された音のエネルギー（Reflection energy）を E_r とし、物体で吸収された音のエネルギー（Absorption energy）を E_a とし、物体を透過した音のエネルギー（Transmission energy）を E_t としたとき、以下の式（1）が成立する。

[数1]

$$E_i = E_r + E_a + E_t \quad \dots (1)$$

[0055] 物体で反射された音のエネルギー E_r に着目し、物体に入射した音のエネルギー E_i に対する物体で反射されなかった音のエネルギー（すなわち、物体に吸収された音のエネルギー E_a および物体を透過した音のエネルギー E_t ）の割合を吸音率 α として定義すると、以下の式（2）で表される。

[数2]

$$\alpha = (E_a + E_t) / E_i = (E_i - E_r) / E_i \quad \dots (2)$$

[0056] また、物体を透過した音のエネルギー E_t に着目し、物体に入射した音の

エネルギー E_i に対する物体を透過した音のエネルギー E_t の割合を透過率 τ として定義すると、以下の式 (3) で表される。

[数3]

$$\tau = E_t / E_i \quad \dots (3)$$

[0057] そして、物体による音エネルギーの透過損失を TL とし、デシベル表示すると、以下の式 (4) で表される。透過損失 TL が高いほど、遮音性能が高いと考えられる。

[数4]

$$TL = 10 \log_{10} (1 / \tau) = 10 \log_{10} (E_i / E_t) \quad [\text{dB}] \quad \dots (4)$$

[0058] これら吸音率 α および透過損失 TL を用いて、物体内部に閉じ込められる音のエネルギーの割合である吸収率 β ($\beta = E_a / E_i$) を算出することができる。吸収率 β が高いほど、吸音性能が高いと考えられる。

[0059] 次に、図 7 に示す測定装置 10 を用いた試料 TP における吸音率 α および透過損失 TL の測定原理について説明する。測定装置 10 として、日本音響エンジニアリング株式会社製、WinZac を用いる。

[0060] 測定装置 10 は、筒状の本体部 11 の一端 (図の左側の端) に音源 12 を配置し、他端 (図の右側の端) に吸音壁 13 を配置し、音源 12 と吸音壁 13 との間に試料 TP を配置する。試料 TP によって、本体部 11 内は、一端寄りの入射室 14 と他端寄りの透過室 15 とに区画される。入射室 14 および透過室 15 は気密状態である。本体部 11 には、入射室 14 および透過室 15 内の計測が可能なようにマイクロホン 21 ~ 24 が埋め込まれている。

[0061] 測定装置 10 において、試料 TP に入射した音波 P_i は、以下の式 (5) で表される。

[数5]

$$P_I = \hat{P}_I e^{jk_0 x} \quad \dots (5)$$

ただし、 $\hat{P}_I$ は試料表面($x=0$)における入射波の振幅

[0062] 試料TPで反射された音波 P_R は、以下の式(6)で表される。

[数6]

$$P_R = \hat{P}_R e^{-jk_0 x} \quad \dots (6)$$

ただし、 $\hat{P}_R$ は試料表面($x=0$)における反射波の振幅

[0063] 式(5)、(6)において、 K_0 は複素波であり、以下の式(7)で表される。

[数7]

$$K_0 = K'_0 - jK''_0 \quad \dots (7)$$

[0064] 筒状の本体部11内の音場は、入射波と反射波との和で表される。そのため、マイクロホン21の位置 X_1 での音圧 P_1 およびマイクロホン22の位置 X_2 での音圧 P_2 は、以下の式(8)、(9)で表される。

[数8]

$$P_1 = \hat{P}_I e^{jk_0 x_1} + \hat{P}_R e^{-jk_0 x_1} \quad \dots (8)$$

[数9]

$$P_2 = \hat{P}_I e^{jk_0 x_2} + \hat{P}_R e^{-jk_0 x_2} \quad \dots (9)$$

[0065] ここで、入射波が存在する場合のマイクロホン21ーマイクロホン22間

の伝達関数 H_1 は、以下の式 (10) で表される。

[数10]

$$H_1 = \frac{P_{2,I}}{P_{1,I}} = e^{-jk_0(x_1-x_2)} = e^{-jk_0s} \quad \dots (10)$$

[0066] 反射波が存在する場合のマイクロホン21ーマイクロホン22間の伝達関数 H_2 は、以下の式 (11) で表される。

[数11]

$$H_R = \frac{P_{2,R}}{P_{1,R}} = e^{jk_0(x_1-x_2)} = e^{jk_0s} \quad \dots (11)$$

[0067] そして、マイクロホン21ーマイクロホン22の2点間の伝達関数 H_{12} は、以下の式 (12) で表される。

[数12]

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\hat{P}_I e^{jk_0x_2} + \hat{P}_R e^{-jk_0x_2}}{\hat{P}_I e^{jk_0x_1} + \hat{P}_R e^{-jk_0x_1}} = \frac{e^{jk_0x_2} + r e^{-jk_0x_2}}{e^{jk_0x_1} + r e^{-jk_0x_1}} \quad \dots (12)$$

[0068] ただし、上記式 (12) の r は、試料表面における複素音圧反射率であり、以下の式 (13) で表される。

[数13]

$$r = \frac{\hat{P}_R}{\hat{P}_I} \quad \dots (13)$$

[0069] そして、上記式を整理すると、以下の式 (14) が導かれる。

[数14]

$$r = \frac{H_{12} - H_I}{H_R - H_{12}} e^{2jk_0x_1} = r_r + j r_i \quad \dots (14)$$

[0070] したがって、吸音率 α （垂直入射吸音率）は、以下の式（15）で表される。

[数15]

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 + r_i^2 \dots (15)$$

[0071] 試料TPに平面波が入射すると、一部は試料TPの表面で反射し、他の一部は試料TPを透過する。音源12からランダムノイズを入射すると、本体部11内には定在波が発生する。これは一端に配置された音源12から他端に向かう進行波と、他端から音源12に向かう後退波とが重畳したものである。これらの進行波と後退波とを識別するため、本体部11内における試料TPで区画された2つの部屋（入射室14、透過室15）それぞれに二本ずつマイクロホン21～24を設置する。音源12に近い入射室14側の進行波である入射波をWaとし、後退波である反射波をWbとし、音源12から遠い透過室15側の進行波である透過波をWcとし、後退波である反射波をWdとする。試料TPの表面 x_0 （ $x=0$ ）における表面音圧を P_0 とし、表面粒子速度を V_0 とし、試料裏面 x_d （ $x=d$ ）における裏面音圧を P_d とし、裏面粒子速度を V_d とする。これらにより、各マイクロホン21～24の位置 $x_1 \sim x_4$ における音圧 $P_1 \sim P_4$ は、以下の式（16）で表される。式（16）のA、Bは、式（17）、（18）の振幅A、Bである。

[数16]

$$P_n = [Ae^{-jkx_n} + Be^{jkx_n}]e^{j\omega t}, \quad n=1 \sim 4 \dots (16)$$

[0072] 進行波である入射波Waおよび透過波Wcの振幅A、Cと、後退波である反射波Wbおよび反射波Wdの振幅B、Dを各マイクロホン21～24の位置 $x_1 \sim x_4$ の音圧 $P_1 \sim P_4$ で表すと、以下の式（17）～（20）で表される。

[数17]

$$A = \frac{j(P_1 e^{jkx_2} - P_2 e^{jkx_1})}{2 \sin k(x_1 - x_2)} \quad \dots (17)$$

[数18]

$$B = \frac{j(P_2 e^{-jkx_1} - P_1 e^{-jkx_2})}{2 \sin k(x_1 - x_2)} \quad \dots (18)$$

[数19]

$$C = \frac{j(P_3 e^{jkx_4} - P_4 e^{jkx_3})}{2 \sin k(x_3 - x_4)} \quad \dots (19)$$

[数20]

$$D = \frac{j(P_4 e^{-jkx_3} - P_3 e^{-jkx_4})}{2 \sin k(x_3 - x_4)} \quad \dots (20)$$

[0073] 上記式(12)、(16)～(20)より、透過定数Tを伝達関数H₁₂、H₁₃、H₃₄で表すと、以下の式(21)のようになる。

[数21]

$$\begin{aligned}
T &= \frac{A}{C} = \frac{j(P_3 e^{jkx_4} - P_4 e^{jkx_3}) / 2 \sin k(x_3 - x_4)}{j(P_1 e^{jkx_2} - P_2 e^{jkx_1}) / 2 \sin k(x_1 - x_2)} \\
&= \frac{\sin ks_1}{\sin ks_2} \frac{P_3 e^{jkx_4} - P_4 e^{jkx_3}}{P_1 e^{jkx_2} - P_2 e^{jkx_1}} \\
&= \frac{\sin ks_1}{\sin ks_2} \frac{e^{jkx_4} - H_{34} e^{jkx_3}}{e^{jkx_2} - H_{12} e^{jkx_1}} H_{13} \\
&= \frac{\sin ks_1}{\sin ks_2} \frac{e^{jkx_2} - H_{34}}{e^{jkx_1} - H_{12}} e^{jk(x_3 - x_1)} H_{13} \quad \dots (21)
\end{aligned}$$

[0074] したがって、透過定数 T より透過損失 TL （垂直入射透過損失）は、以下の式（22）で表される。

[数22]

$$TL = 10 \log_{10}(1/\tau) \quad \text{ただし、透過率} (\tau = |T|^2) \quad \dots (22)$$

[0075] そして、以下の式（23）に示すように、吸音率 α から透過率 τ を差し引くことで、試料 TP に閉じ込められた音エネルギーの割合である吸収率 β を算出することができる。

[数23]

$$\beta = \alpha - \tau \quad \dots (23)$$

[0076] （遮音用繊維集積体の評価）

次に、本発明者らは、下記に示す本発明に係る遮音用繊維集積体の実施例 1-1～1-12 および比較例 1-1～1-3 を作製し、それらについて遮音性能の検証を行った。

[0077] まず、上述した製造装置 50 を用いて、ポリプロピレンを材料とした平均

繊維径500nm、1500nm、4450nmおよび7700nmの微細繊維95を製造した。繊維径の標準偏差は900であり、標準偏差を平均繊維径で割った変動係数は0.60である。そして、以下に示すように平均繊維径およびかさ密度の組み合わせとなる円柱状の遮音用繊維集積体の実施例1-1~1-12を作製した。また、市販の材料を用いて比較例1-1~1-3を作製した。

[0078] (実施例1-1)

上記微細繊維95を、平均繊維径500nm、かさ密度0.1g/cm³、高さ(厚さ)10mmの円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0079] (実施例1-2)

上記微細繊維95を、平均繊維径1500nm、かさ密度0.1g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0080] (実施例1-3)

上記微細繊維95を、平均繊維径4450nm、かさ密度0.1g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0081] (実施例1-4)

上記微細繊維95を、平均繊維径7700nm、かさ密度0.1g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0082] (実施例1-5)

上記微細繊維95を、平均繊維径500nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0083] (実施例1-6)

上記微細繊維95を、平均繊維径1500nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0084] (実施例1-7)

上記微細繊維95を、平均繊維径4450nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0085] (実施例1-8)

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 7700 nm、かさ密度 0.2 g/cm³、高さ 10 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0086] (実施例 1-9)

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 500 nm、かさ密度 0.3 g/cm³、高さ 10 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0087] (実施例 1-10)

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 1500 nm、かさ密度 0.3 g/cm³、高さ 10 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0088] (実施例 1-11)

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 4450 nm、かさ密度 0.3 g/cm³、高さ 10 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0089] (実施例 1-12)

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 7700 nm、かさ密度 0.3 g/cm³、高さ 10 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0090] (比較例 1-1)

市販のフェルト材（製品名：吸音材 [2177]、エーモン工業株式会社、羊毛）を、かさ密度 0.1 g/cm³、高さ 10 mm の円柱状に成形した吸音材。

[0091] (比較例 1-2)

市販のウレタンフォーム材（製品名：吸音材 [2176]、エーモン工業株式会社、軟質ウレタンフォーム）を、かさ密度 0.1 g/cm³、高さ 10 mm の円柱状に成形した吸音材。

[0092] (比較例 1-3)

市販のポリエステル不織布材（製品名：ホワイトキューオン [ESW-10-303]、東京防音株式会社、平均繊維径 20 μm）を、かさ密度 0.1 g/cm³、高さ 10 mm の円柱状に成形した吸音材。

[0093] 上述した実施例 1-1～1-12 および比較例 1-1～1-3 について、上述した測定装置 10 を用いて透過損失 TL を測定した。図 8 に実施例 1-

1～1-4の透過損失TLを示し、図9に実施例1-5～1-8の透過損失TLを示し、図10に実施例1-9～1-12の透過損失TLを示し、図11に比較例1-3の透過損失TLを示す。

[0094] そして、実施例1-1～1-12および比較例1-1～1-3の透過損失TLについて、以下の評価基準に基づいて評価した。実施例1-1～1-12および比較例1-1～1-3の構成および評価結果を表1に示す。

[0095] (透過損失TLの評価基準)

○・・・5000Hz以下の周波数領域において透過損失TLが5dB以上である。

×・・・5000Hz以下の周波数領域において透過損失TLが5dB未満となる周波数がある。

[0096] [表1]

	平均繊維径	かさ密度	高さ(厚さ)	透過損失評価
実施例 1-1	500nm	0.1g/cm ³	10mm	○
実施例 1-2	1500nm	0.1g/cm ³	10mm	○
実施例 1-3	4450nm	0.1g/cm ³	10mm	○
実施例 1-4	7700nm	0.1g/cm ³	10mm	○
実施例 1-5	500nm	0.2g/cm ³	10mm	○
実施例 1-6	1500nm	0.2g/cm ³	10mm	○
実施例 1-7	4450nm	0.2g/cm ³	10mm	○
実施例 1-8	7700nm	0.2g/cm ³	10mm	○
実施例 1-9	500nm	0.3g/cm ³	10mm	○
実施例 1-10	1500nm	0.3g/cm ³	10mm	○
実施例 1-11	4450nm	0.3g/cm ³	10mm	○
実施例 1-12	7700nm	0.3g/cm ³	10mm	○
比較例 1-1	—	0.1g/cm ³	10mm	×
比較例 1-2	—	0.1g/cm ³	10mm	×
比較例 1-3	20um	0.1g/cm ³	10mm	×

[0097] 図8～図10から明らかなように、実施例1-1～1-12は、5000Hz以下の周波数領域全体にわたって透過損失TLが5dB以上である。一方、図11から明らかなように、比較例1-1～1-3は、5000Hz以下の周波数領域全体にわたって透過損失TLが5dB未満であり、十分な遮

音性能を発揮することができない。

[0098] また、図8～図10に示すように、実施例1-1～1-12から、かさ密度が大きいほど透過損失TL（すなわち遮音性能）が高くなり、かさ密度が小さいほど透過損失TLが低くなる傾向があることがわかる。透過損失TLの観点からは、かさ密度が大きい方が有利であるがその分重量が増えてしまう。実施例1-1～1-4（かさ密度 0.1 g/cm^3 ）と実施例1-8～1-12（かさ密度 0.3 g/cm^3 ）とでは、同じ体積であれば後者の重量は前者の重量の3倍となる。一方、かさ密度が小さいと透過損失TLが低くなり、十分な遮音性能を確保することができない。このことから、遮音用繊維集積体において、かさ密度 $0.1\text{ g/cm}^3\sim 0.2\text{ g/cm}^3$ 程度が透過損失TLと重量とのバランスの観点から適切であると考ええる。

[0099] また、図8、図9から明らかなように、かさ密度 0.1 g/cm^3 、 0.2 g/cm^3 の実施例1-1～1-8において、平均繊維径が細いもの（ 500 nm 、 1500 nm ）の方が、平均繊維径が太いもの（ 4450 nm 、 7700 nm ）より全体的に透過損失TLが高い傾向にある。特に、 $100\text{ Hz}\sim 300\text{ Hz}$ 程度の低音において、平均繊維径が細いもの（ 500 nm 、 1500 nm ）の方が優れており、平均繊維径が 1500 nm 近傍において最も優れた透過損失TLとなる。

[0100] 上記結果から、平均繊維径が $500\text{ nm}\sim 7700\text{ nm}$ 程度でかつかさ密度 $0.1\text{ g/cm}^3\sim 0.3\text{ g/cm}^3$ 程度の遮音用繊維集積体が優れた遮音性能を発揮することを確認できた。そして、平均繊維径が $500\text{ nm}\sim 1500\text{ nm}$ 程度でかつかさ密度 $0.1\text{ g/cm}^3\sim 0.2\text{ g/cm}^3$ 程度の遮音用繊維集積体が特に優れた遮音性能を発揮することを確認できた。さらに、平均繊維径が 1500 nm 程度でかつかさ密度 0.2 g/cm^3 程度の遮音用繊維集積体が最も優れた遮音性能を発揮することを確認できた。

[0101] （吸遮音材の評価）

次に、本発明者は、下記に示す本発明に係る吸遮音材の実施例2-1～2-8および比較例2-1～2-3を作製し、それらについて遮音性能および

吸音性能の検証を行った。

[0102] まず、上述した製造装置50を用いて、ポリプロピレンを材料とした平均繊維径800nm、1500nm、4450nmおよび7700nmの微細繊維95を製造した。繊維径の標準偏差は900であり、標準偏差を平均繊維径で割った変動係数は0.60である。そして、以下に示す吸遮音材の実施例2-1～2-8および比較例2-1～2-3を作製した。

[0103] (実施例2-1)

上記微細繊維95を、平均繊維径800nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ(厚さ)20mmの円柱状に成形した第1繊維集積体層と、平均繊維径4450nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ(厚さ)10mmの円柱状に成形した第2繊維集積体層とを重ねて構成した吸遮音材。

[0104] (実施例2-2)

上記微細繊維95を、平均繊維径800nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ15mmの円柱状に成形した第1繊維集積体層と、平均繊維径4450nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ15mmの円柱状に成形した第2繊維集積体層とを重ねて構成した吸遮音材。

[0105] (実施例2-3)

上記微細繊維95を、平均繊維径800nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した第1繊維集積体層と、平均繊維径4450nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ20mmの円柱状に成形した第2繊維集積体層とを重ねて構成した吸遮音材。

[0106] (実施例2-4)

上記微細繊維95を、平均繊維径800nm、かさ密度0.1g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した第1繊維集積体層と、平均繊維径4450nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ20mmの円柱状に成形した第2繊維集積体層とを重ねて構成した吸遮音材。

[0107] (実施例2-5)

上記微細繊維95を、平均繊維径1500nm、かさ密度0.2g/cm³

、高さ10mmの円柱状に成形した第1繊維集積体層と、平均繊維径4450nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ20mmの円柱状に成形した第2繊維集積体層とを重ねて構成した吸遮音材。

[0108] (実施例2-6)

上記微細繊維95を、平均繊維径800nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した第1繊維集積体層と、平均繊維径7700nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ20mmの円柱状に成形した第2繊維集積体層とを重ねて構成した吸遮音材。

[0109] (実施例2-7)

上記微細繊維95を、平均繊維径800nm、かさ密度0.1g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した第1繊維集積体層と、平均繊維径7700nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ20mmの円柱状に成形した第2繊維集積体層とを重ねて構成した吸遮音材。

[0110] (実施例2-8)

上記微細繊維95を、平均繊維径1500nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した第1繊維集積体層と、平均繊維径7700nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ20mmの円柱状に成形した第2繊維集積体層とを重ねて構成した吸遮音材。

[0111] (比較例2-1)

上記微細繊維95を、平均繊維径4450nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ30mmの円柱状に成形した単層構成の吸遮音材。

[0112] (比較例2-2)

上記微細繊維95を、平均繊維径800nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ30mmの円柱状に成形した単層構成の吸遮音材。

[0113] (比較例2-3)

上記微細繊維95を、平均繊維径4450nm、かさ密度0.05g/cm³、高さ10mmの円柱状に成形した第1繊維集積体層と、平均繊維径800nm、かさ密度0.2g/cm³、高さ20mmの円柱状に成形した第2繊維

維集積体層とを重ねて構成した吸遮音材。

[0114] 実施例 2-1～2-8 は、第 1 繊維集積体層を比較的細い繊維で高密度に構成し、第 2 繊維集積体層を比較的太い繊維で低密度に構成している。また、実施例 2-1 は、第 1 繊維集積体層の高さが第 2 繊維集積体層の高さより大きくなるように構成している。実施例 2-2 は、第 1 繊維集積体層の高さと第 2 繊維集積体層の高さが同一となるように構成している。実施例 2-3～2-8 は、第 1 繊維集積体層の高さが第 2 繊維集積体層の高さより小さくなるように構成しており、その比は 1 : 2 である。比較例 2-1、2-2 は、第 1 繊維集積体層のみの単層で構成している。比較例 2-3 は、第 1 繊維集積体層を比較的太い繊維で低密度に構成し、第 2 繊維集積体層を比較的細い繊維で高密度に構成しており、具体的には、実施例 2-1 の第 1 繊維集積体層と第 2 繊維集積体層とを入れ替えた構成を有している。

[0115] 上述した実施例 2-1～2-8 および比較例 2-1～2-3 について、上述した測定装置 10 を用いて吸音率 α および透過損失 TL を測定した。そして、これら吸音率 α および透過損失 TL を用いて吸収率 β を算出した。図 12～図 19 に実施例 2-1～2-8 の透過損失 TL および吸収率 β を示し、図 20～図 22 に比較例 2-1～2-3 の透過損失 TL および吸収率 β を示す。各図において、(a) は周波数と透過損失 TL との関係を示し、(b) は周波数と吸収率 β との関係を示す。

[0116] そして、実施例 2-1～2-8 および比較例 2-1～2-3 の透過損失 TL および吸収率 β について、以下の評価基準に基づいて評価した。実施例 2-1～2-8 および比較例 2-1～2-3 の構成および評価結果を表 2 に示す。

[0117] (透過損失 TL の評価基準)

◎・・・5000 Hz 以下の周波数領域において透過損失 TL が 15 dB 以上である。

○・・・5000 Hz 以下の周波数領域において透過損失 TL が 5 dB 以上かつ 15 dB 未満である。

×・・・5000Hz以下の周波数領域において透過損失TLが5dB未満となる周波数がある。

[0118] (吸収率 β の評価基準)

◎・・・500Hz～2000Hzの周波数領域において吸収率が0.4以上である。

○・・・500Hz～2000Hzの周波数領域において吸収率が0.2以上かつ0.4未満である。

×・・・500Hz～2000Hzの周波数領域において吸収率が0.2未満である。

[0119] (総合評価)

◎・・・透過損失TLおよび吸収率 β がともに非常に良好(◎)である。

○・・・透過損失TLおよび吸収率 β が非常に良好(◎)または良好(○)である。

×・・・透過損失TLおよび吸収率 β の一方または両方が不良(×)である。

[0120]

[表2]

	第1繊維集積体層			第2繊維集積体層			透過損失評価	吸収率評価	総合評価
	平均繊維径	かさ密度	高さ(厚さ)	平均繊維径	かさ密度	高さ(厚さ)			
実施例 2-1	800nm	0.2g/cm ³	20mm	4450nm	0.05g/cm ³	10mm	◎	○	○
実施例 2-2	800nm	0.2g/cm ³	15mm	4450nm	0.05g/cm ³	15mm	◎	○	○
実施例 2-3	800nm	0.2g/cm ³	10mm	4450nm	0.05g/cm ³	20mm	◎	◎	◎
実施例 2-4	800nm	0.1g/cm ³	10mm	4450nm	0.05g/cm ³	20mm	○	◎	○
実施例 2-5	1500nm	0.2g/cm ³	10mm	4450nm	0.05g/cm ³	20mm	◎	◎	◎
実施例 2-6	800nm	0.2g/cm ³	10mm	7700nm	0.05g/cm ³	20mm	○	◎	○
実施例 2-7	800nm	0.1g/cm ³	10mm	7700nm	0.05g/cm ³	20mm	◎	◎	◎
実施例 2-8	1500nm	0.2g/cm ³	10mm	7700nm	0.05g/cm ³	20mm	◎	◎	◎
比較例 2-1	4450nm	0.05g/cm ³	30mm	—	—	—	×	◎	×
比較例 2-2	800nm	0.2g/cm ³	30mm	—	—	—	◎	×	×
比較例 2-3	4450nm	0.05g/cm ³	10mm	800nm	0.2g/cm ³	20mm	◎	×	×

- [0121] 図12～図19から明らかなように、実施例2-1～2-8は、5000 Hz以下の周波数領域全体にわたって透過損失TLが5 dB以上あり、上記遮音用繊維集積体の各実施例と同様に良好な遮音性能を発揮している。そして、特に、実施例2-1～2-3、2-5、2-7、2-8については、透過損失TLが15 dB以上となり、かさ密度を 0.3 g/cm^3 とした上記遮音用繊維集積体の実施例1-9～1-12と同等の非常に良好な遮音性能を発揮している。
- [0122] また、実施例2-1～2-8は、500 Hz～2000 Hzの周波数領域において吸収率 β が少なくとも0.2以上あり、音を効果的に内部に閉じ込めている。特に、実施例2-3～実施例2-8は、第1繊維集積体層の高さが第2繊維集積体層の高さより小さいことから、音エネルギーが、比較的太い繊維で低密度に構成された第2繊維集積体層で効果的に吸収されながら進み、比較的細い繊維で高密度に構成された第1繊維集積体層で遮断される。さらに、第1繊維集積体層の表面で反射された音エネルギーが第2繊維集積体層でさらに吸収されるので、音をより効果的に内部に閉じ込めることができるものと推測される。
- [0123] すなわち、本実施形態の吸遮音材において、室内発生音は、(1)第2繊維集積体層に入射すると吸収されながら進行し、(2)第1繊維集積体層に到達するとさらに第1繊維集積体層に吸収されながら進行する。これにより、吸遮音材を通り抜けた室内発生音は大きく減衰される。さらに、室内発生音は、(2')第1繊維集積体層に到達するとその境界面で反射して、第2繊維集積体層を音源側に向かって吸収されながら進行する。これにより、室内発生音が吸収(封印)される機会が増加すると考えられる。また、室外発生音は、透過損失TLの比較的高い第1繊維集積体層で反射されることから、室内に入り込みにくい構成になったものと考えられる。
- [0124] 実施例2-3、2-5、2-7、2-8は、透過損失TLおよび吸収率 β がともに非常に良好であり、優れた遮音性能および吸音性能を発揮することができる。

[0125] 一方、図20から明らかなように、比較例2-1は透過損失TLが全体的に低く、低い周波数領域で透過損失TLが5dB未満であり、十分な遮音性能を発揮することができない。また、図21、図22から明らかなように、比較例2-2、2-3は、透過損失TLが高く十分な遮音性能を発揮するが、吸収率 β が低いため音を十分に閉じ込めることができない。また、比較例2-3は、実施例2-1を反転させて第1繊維集積体層と第2繊維集積体層との位置を入れ替えた構成を有している。実施例2-1では、音源側の第2繊維集積体層を比較的太い繊維で低密度に構成しているため、音エネルギーを効果的に内部に取り込むことができる。一方、比較例2-3は、音源側の第2繊維集積体層を比較的細い繊維で高密度に構成しているため、音エネルギーが反射されてしまい効果的に内部に取り込むことができない。そのため、実施例2-1と比較例2-3との比較から、第2繊維集積体層を室内側（音源に近い側）に配置し、第1繊維集積体層を室外側（音源から遠い側）に配置構成することで吸収率 β を効果的に向上できることがわかる。

[0126] 上記結果から、平均繊維径が800nm～1500nm程度でかつかさ密度0.1g/cm³～0.2g/cm³程度の第1繊維集積体層と、平均繊維径が4450nm～7700nm程度でかつかさ密度0.05g/cm³程度の第2繊維集積体層と、を重ねて構成した吸遮音材が優れた遮音性能および吸音性能を発揮することが確認できた。また、特に、第1繊維集積体層の高さ（厚さ）を第2繊維集積体層の高さ（厚さ）より小さくすることで、遮音性能および吸音性能を効果的に発揮することが確認できた。また、音源に近い側に第2繊維集積体層を配置し、音源から遠い側に第2繊維集積体層を配置することがよい。

[0127] （繊維集積体の構成と吸音率および透過損失との関係）

次に、本発明者らは、下記に示す本発明に係る遮音用繊維集積体の実施例3-1～3-8を作製し、それらについて吸音率 α および透過損失TLの測定を行った。

[0128] （実施例3-1）

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 800 nm、かさ密度 0.05 g/cm³、高さ（厚さ）50 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0129]（実施例 3-2）

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 1500 nm、かさ密度 0.05 g/cm³、高さ 50 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0130]（実施例 3-3）

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 4450 nm、かさ密度 0.05 g/cm³、高さ 50 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0131]（実施例 3-4）

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 7700 nm、かさ密度 0.05 g/cm³、高さ 50 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0132]（実施例 3-5）

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 800 nm、かさ密度 0.1 g/cm³、高さ 50 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0133]（実施例 3-6）

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 1500 nm、かさ密度 0.1 g/cm³、高さ 50 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0134]（実施例 3-7）

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 4450 nm、かさ密度 0.1 g/cm³、高さ 50 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0135]（実施例 3-8）

上記微細繊維 95 を、平均繊維径 7700 nm、かさ密度 0.1 g/cm³、高さ 50 mm の円柱状に成形した遮音用繊維集積体。

[0136] 上述した実施例 3-1～3-8 について、上述した測定装置 10 を用いて吸音率 α および透過損失 TL を測定した。図 23、図 24 に実施例 3-1～3-8 の透過損失 TL を示し、図 25、図 26 に実施例 3-1～3-8 の吸音率 α を示す。

[0137] 図 23、図 24 から明らかなように、1000 Hz 以下の周波数領域にお

いて、平均繊維径の小さいもの（800 nm、1500 nm）の方が、平均繊維径の大きいもの（4450 nm、7700 nm）より透過損失TLが高い傾向にある。また、かさ密度が高いもの（0.1 g/cm³）の方が、かさ密度が低いもの（0.05 g/cm³）より透過損失TLが高い傾向にある。そのため、遮音用繊維集積体としては、平均繊維径が小さくかつかさ密度が高いものがより適していることが確認できた。

[0138] また、図25、図26から明らかなように、1000 Hz以下の周波数領域において、平均繊維径の大きいもの（4450 nm、7700 nm）の方が、平均繊維径の小さいもの（800 nm、1500 nm）より吸音率 α が高い傾向にある。また、かさ密度が低いもの（0.05 g/cm³）の方が、かさ密度が高いもの（0.1 g/cm³）より吸音率 α が高い傾向にある。すなわち、平均繊維径が大きかつかさ密度が小さいものが、より吸音率 α が高いと言える。

[0139] ここで、吸音率 α が高いということは、反射される音エネルギーが少ないことを示し、より多くの音エネルギーが繊維集積体の内部に取り込まれることを示す。そして、吸遮音材で音エネルギーを吸収（封印）するためには、反射される音エネルギーを少なくして多くの音エネルギーを内部に取り込み、内部で効果的に減衰させることが重要である。

[0140] そして、上述した本実施例に係る吸遮音材（実施例2-1～2-8）は、音源から近い側に平均繊維径が大きかつかさ密度が小さい第2繊維集積体層を配置し、音源から遠い側に平均繊維径が小さかつかさ密度が大きい第1繊維集積体層を配置している。このような構成を有することにより、第2繊維集積体層においてより多くの音エネルギーを内部に取り込み、第2繊維集積体層を進行することで音エネルギーが減衰する。さらに、第1繊維集積体層に到達した音エネルギーは第1繊維集積体層との境界面で反射され、再度第2繊維集積体層を音源側に向かって進行し、さらに音エネルギーが減衰する。このことから、本発明の吸遮音材は、上記第1繊維集積体層および上記第2繊維集積体層を有することから、音エネルギーをより効果的に内部に

閉じ込めることができるものと推測され、優れた遮音性能および吸音性能（封印性能）を発揮することができる。

[0141] 上記に本発明の実施形態を説明したが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。前述の実施形態に対して、当業者が適宜、構成要素の追加、削除、設計変更を行ったものや、実施形態の特徴を適宜組み合わせたものも、本発明の要旨を備えている限り、本発明の範囲に含まれる。

符号の説明

[0142] 1…第1繊維集積体層、2…第2繊維集積体層、5…吸遮音材、10…測定装置、11…本体部、12…音源、13…吸音壁、14…入射室、15…透過室、21～24…マイクロホン、50…製造装置、62…ホッパー、63…加熱シリンダー、64…ヒーター、65…スクリー、66…モーター、68…ガス供給管、70…ヘッド、90…捕集網、95…微細繊維、TP…試料、Da、Db…平均繊維径、 ρa 、 ρb …かさ密度、ta、tb…厚さ、TL…透過損失、 α …吸音率、 β …吸収率