

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-3276

(P2017-3276A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
GO1H	17/00	(2006.01)	GO1H	17/00	Z	2GO47		
G1OK	15/00	(2006.01)	G1OK	15/00	L	2GO64		
GO1N	29/11	(2006.01)	GO1N	29/11				

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-114053 (P2015-114053)	(71) 出願人	000001373 鹿島建設株式会社 東京都港区元赤坂一丁目3番1号
(22) 出願日	平成27年6月4日 (2015.6.4)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100122781 弁理士 近藤 寛
		(74) 代理人	100161425 弁理士 大森 鉄平
		(72) 発明者	矢入 幹記 東京都港区元赤坂一丁目3番1号 鹿島建設株式会社内

最終頁に続く

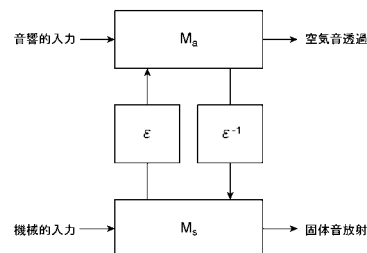
(54) 【発明の名称】 音響性能推定方法、音響性能推定装置及び音響性能推定プログラム

(57) 【要約】

【課題】音響性能を簡単に推定することができる、音響性能推定装置及び音響性能推定プログラムを提供する。

【解決手段】媒体の音響性能を推定する音響性能推定方法であって、空気音に対する媒体の音響性能を評価する空気音評価値、及び、固体音に対する媒体の音響性能を評価する固体音評価値の何れか一方の評価値を取得する取得ステップと、取得ステップにて取得された一方の評価値と、媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数とを用いて、媒体の空気音評価値及び固体音評価値のうちの他方の評価値を推定する推定ステップと、を備える。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

媒体の音響性能を推定する音響性能推定方法であって、

空気音に対する前記媒体の音響性能を評価する空気音評価値、及び、固体音に対する前記媒体の音響性能を評価する固体音評価値の何れか一方の評価値を取得する取得ステップと、

前記取得ステップにて取得された一方の評価値と、前記媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数とを用いて、前記媒体の空気音評価値及び固体音評価値のうちの他方の評価値を推定する推定ステップと、

を備える音響性能推定方法。

10

【請求項 2】

前記媒体の空気音評価値は音場入射透過率であり、前記媒体の固体音評価値は点加振放射パワーである請求項 1 に記載の音響性能推定方法。

【請求項 3】

前記変換関数は、前記媒体に係る境界条件に依存しない請求項 1 又は 2 に記載の音響性能推定方法。

【請求項 4】

媒体の音響性能を推定する音響性能推定装置であって、

空気音に対する前記媒体の音響性能を評価する空気音評価値、及び、固体音に対する前記媒体の音響性能を評価する固体音評価値の何れか一方の評価値を取得する取得手段と、

20

前記取得手段にて取得された一方の評価値と、前記媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数とを用いて、前記媒体の空気音評価値及び固体音評価値のうちの他方の評価値を推定する推定手段と、

を備える音響性能推定装置。

【請求項 5】

前記取得手段は、

前記媒体へ向けて音を放射する音発生手段と、

前記音発生手段により放射された放射音を測定する第 1 音測定手段と、

前記媒体を透過した透過音を測定する第 2 音測定手段と、

前記第 1 音測定手段により測定された放射音及び前記第 2 音測定手段により測定された透過音に基づいて、前記媒体の音場入射透過率を算出する透過率算出手段と、

30

を有し、
前記推定手段は、音場入射透過率、及び、前記媒体の音場入射透過率と点加振放射パワーとを関係付ける変換関数を用いて、前記媒体の点加振放射パワーを推定する、
請求項 4 に記載の音響性能推定装置。

【請求項 6】

前記取得手段は、

前記媒体を振動させる加振手段と、

前記媒体に加わる加振力を測定する力測定手段と、

前記媒体からの放射音を測定する第 3 音測定手段と、

40

前記力測定手段により測定された加振力及び前記第 3 音測定手段により測定された放射音に基づいて、前記媒体の点加振放射パワーを算出する放射パワー算出手段と、

を有し、
前記推定手段は、算出した点加振放射パワー、及び、前記媒体の点加振放射パワーと音場入射透過率とを関係付ける変換関数を用いて、前記媒体の音場入射透過率を推定する、
請求項 4 に記載の音響性能推定装置。

【請求項 7】

媒体の音響性能を推定する音響性能推定プログラムであって、

コンピュータを、

空気音に対する前記媒体の音響性能を評価する空気音評価値、及び、固体音に対する前

50

記媒体の音響性能を評価する固体音評価値の何れか一方の評価値を取得する取得手段、及び、

前記取得手段にて取得された一方の評価値と、前記媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数とを用いて、前記媒体の空気音評価値及び固体音評価値のうちの他方の評価値を推定する推定手段

として機能させる音響性能推定プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、音響性能推定方法、音響性能推定装置及び音響性能推定プログラムに関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

建築物の音響性能は、種々の評価値で示される。例えば、非特許文献1には、空気振動によって生じる空気伝搬音（空気音）や建築物に固体振動が入力されて生じる固体伝搬音（固体音）を評価することで、建築物の音響性能を表すことが記載されている。このような音響性能の具体的な測定手法は、例えば非特許文献2に記載されている。非特許文献2には、音源が配置された音源室と、遮音壁を挟んで音源室に隣接する受音室との2つの室間において、遮音性能を評価する手法が記載されている。この手法では、両方の部屋に騒音計が配置され、音源室に配置された音源から音を出力し、音源室及び受音室のそれぞれ

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】前川純一・森本政之・阪上公博著、「建築・環境音響学 第3版」、共立出版、2011年9月21日

【非特許文献2】「建物の室間音圧レベル差試験」、[online]、一般財団法人日本建築総合試験所、インターネット<URL:http://www.gbrc.or.jp/contents/test_research/test_series/document/ac_04.pdf>

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

非特許文献1の手法を実現場で採用した場合、様々な建築部位からの寄与による平均的な遮音性能を評価することになる。例えば、遮音壁自体の遮音性能、建具の遮音欠損、隙間、天井回りのクロストーク、床回りの増幅、外壁回りの側路伝搬などが遮音性能の評価に影響を与える。このように、遮音性能に寄与する要因が多数存在するため、実現場においては、遮音性能が低い場合、どの建築部位の遮音性能が低いのかを特定するために膨大な時間と試行錯誤が必要になる。

【0005】

40

このため、本技術分野では、音響性能を簡単に推定することができる新規の手法が望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記のとおり、媒体の音響性能は、一般的に空気音透過特性と固体音放射特性とを評価することで行われる。媒体の空気音透過は、外力が音響的な圧力となり、媒体の固体音放射は、外力が機械的な加振力となる。このため、本技術分野では、空気音透過特性と固体音放射特性のそれぞれの評価値は区別して取り扱われていた。ここで、本発明者は、空気音は空気の振動により音波が伝搬するのに対して、固体音では壁などの媒体が振動して音波を再放射しているため、空気音透過も固体音放射も類似の現象であるということに着目

50

して、鋭意研究を行った。そして、空気音透過特性の評価値である空気音評価値と、固体音放射特性の評価値である固体音評価値との間に対応関係があることを見出し、本発明をするに至った。

【0007】

すなわち、本発明に係る音響性能推定方法は、媒体の音響性能を推定する音響性能推定方法であって、空気音に対する媒体の音響性能を評価する空気音評価値、及び、固体音に対する媒体の音響性能を評価する固体音評価値の何れか一方の評価値を取得する取得ステップと、取得ステップにて取得された一方の評価値と、媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数とを用いて、媒体の空気音評価値及び固体音評価値のうち他方の評価値を推定する推定ステップと、を備える。

10

【0008】

この発明によれば、媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数を用いて、既知の評価値から未知の評価値を推定することができる。つまり、例えば実現場において測定し易い手法で一方の評価値を測定さえすれば、他方の評価値を推定することができる。このため、音響性能を簡単に推定することができる。

【0009】

ここで、媒体の空気音評価値は音場入射透過率であり、媒体の固体音評価値は点加振放射パワーであってもよい。この場合、一般的に広く用いられている評価値を用いて音響性能を簡単に推定することができるので、汎用性に優れている。また、実現場において点加振放射パワーは測定が容易であることが多いため、音場入射透過率を単純に測定する場合に比べて、簡単に音響性能を評価することができる。

20

【0010】

また、変換関数は、媒体に係る境界条件に依存しない関数とすることができる。この場合、変換関数は、媒体の物性値をパラメータとして含まないため、未知の媒体であっても音響性能を評価することができる。

【0011】

また、本発明に係る音響性能推定装置は、媒体の音響性能を推定する音響性能推定装置であって、空気音に対する媒体の音響性能を評価する空気音評価値、及び、固体音に対する媒体の音響性能を評価する固体音評価値の何れか一方の評価値を取得する取得手段と、取得手段にて取得された一方の評価値と、媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数とを用いて、媒体の空気音評価値及び固体音評価値のうち他方の評価値を推定する推定手段と、を備える。この装置によれば、上述した音響性能推定方法と同一の効果を奏する。

30

【0012】

ここで、取得手段は、媒体へ向けて音を放射する音発生手段と、音発生手段により放射された放射音を測定する第1音測定手段と、媒体を透過した透過音を測定する第2音測定手段と、第1音測定手段により測定された放射音及び第2音測定手段により測定された透過音に基づいて、媒体の音場入射透過率を算出する透過率算出手段と、を有し、推定手段は、音場入射透過率、及び、媒体の音場入射透過率と点加振放射パワーとを関係付ける変換関数を用いて、媒体の点加振放射パワーを推定してもよい。この音響性能推定装置によれば、媒体の音場入射透過率を測定し、測定した結果に基づいて媒体の点加振放射パワーを簡単に推定することができる。

40

【0013】

あるいは、取得手段は、媒体を振動させる加振手段と、媒体に加わる加振力を測定する力測定手段と、媒体からの放射音を測定する第3音測定手段と、力測定手段により測定された加振力及び第3音測定手段により測定された放射音に基づいて、媒体の点加振放射パワーを算出する放射パワー算出手段と、を有し、推定手段は、算出した点加振放射パワー、及び、媒体の点加振放射パワーと音場入射透過率とを関係付ける変換関数を用いて、媒体の音場入射透過率を推定してもよい。この音響性能推定装置によれば、媒体の点加振放射パワーを測定し、測定した結果に基づいて媒体の音場入射透過率を簡単に推定することができる。

50

【 0 0 1 4 】

また、本発明に係る音響性能推定プログラムは、媒体の音響性能を推定する音響性能推定プログラムであって、コンピュータを、空気音に対する媒体の音響性能を評価する空気音評価値、及び、固体音に対する媒体の音響性能を評価する固体音評価値の何れか一方の評価値を取得する取得手段、及び、取得手段にて取得された一方の評価値と、媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数とを用いて、媒体の空気音評価値及び固体音評価値のうちの他方の評価値を推定する推定手段として機能させる。このプログラムによれば、上述した音響性能推定方法と同一の効果を奏する。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 5 】

以上説明したように、本発明によれば、音響性能を簡単に推定することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 6 】

【 図 1 】 空気音透過と固体音放射の評価システムを模式的に示す図である。

【 図 2 】 音場入射透過率の算出モデルを説明するための図である。

【 図 3 】 音場入射透過率の周波数依存性の厳密解と近似解とを示すグラフである。

【 図 4 】 点加振放射パワの算出モデルを説明するための図である。

【 図 5 】 点加振放射パワの周波数依存性の厳密解と近似解とを示すグラフである。

【 図 6 】 音場入射透過率（計算値）の周波数依存性と、点加振放射パワ（計算値）に変換関数を積算した値の周波数依存性とを比較したグラフの一例である。

【 図 7 】 音場入射透過率（計算値）の周波数依存性と、点加振放射パワ（計算値）に変換関数を積算した値の周波数依存性とを比較したグラフの他の例である。

【 図 8 】 実施形態に係る音響性能推定方法を示すフローチャートである。

【 図 9 】 実施形態に係る音響性能推定装置の構成を示す概要図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 7 】

以下、添付図面を参照して本発明の実施形態について説明する。なお、各図において同一又は相当部分には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【 0 0 1 8 】

本実施形態に係る音響性能推定装置及び方法は、媒体の既知の音響性能から未知の音響性能を推定するものである。媒体とは、例えば建築物を構成する建築部位である。具体的には、媒体は、壁、床、天井、柱、梁、窓などが挙げられる。音響性能とは、音に関する特性である。音響性能には、空気音透過に関する特性と、固体音放射に関する特性とが含まれる。音響性能は、評価値を用いて評価することができる。

【 0 0 1 9 】

[空気音透過と固体音放射との関係モデル]

まず、本実施形態に係る音響性能推定装置及び方法の前提となる関係モデルについて説明する。図 1 は、空気音透過と固体音放射の評価システムを模式的に示す図である。図 1 に示すように、媒体への入力音が音響的な入力（空気振動によって生じる空気伝搬音）である場合、その入力に応じた媒体の出力を空気音透過という。このとき、音響的な入力音と透過出力とは、空気音評価値 M_a を用いて関係付けられる。空気音評価値 M_a は、例えば、音場入射透過率、音場入射透過損失（音場入射透過率の逆数の対数）、垂直入射透過率、斜入射透過率、球面波入射透過率などである。これに対して、媒体への入力音が機械的な入力（固体振動によって生じる固体伝搬音）である場合、その入力に応じた媒体の出力を固体音放射という。このとき、機械的な入力音と放射とは、固体音評価値 M_s を用いて関係付けられる。固体音評価値 M_s は、例えば、点加振放射パワ、放射インピーダンス、放射係数、床衝撃音遮断性能などである。

【 0 0 2 0 】

ここで、空気音評価値 M_a と固体音評価値 M_s との関係性を、以下の数式（1）のように線形演算子 \mathcal{L} を用いて定義する。

10

20

30

40

50

【数 1】

$$\begin{cases} M_a = \varepsilon[M_s] \\ M_a = \varepsilon^{-1}[M_s] \end{cases} \quad (1)$$

【0021】

このような線形演算子が存在した場合、線形演算子を用いて固体音放射特性から空気音透過特性を推定することができる。同様に、線形演算子を用いて空気音透過特性から固体音放射特性を推定することができる。さらに、線形演算子が媒体の物性値パラメータを含まない場合、すなわち、媒体の境界条件に依存しない形で線形演算子が存在する場合には、媒体については未知のままであっても、未知の音響性能を推定することが

10

【0022】

なお、以下では、説明理解の容易性を考慮し、固体音放射に関する媒体の音響性能の例として点加振放射パワ、空気音透過に関する媒体の音響性能の例として音場入射透過率を説明する。点加振放射パワ及び音場入射透過率は、本技術分野において広く用いられている評価値であるため、説明に適している。また、点加振放射パワは測定が比較的容易であり、実現場に応用し易いという利点もある。ただし、本発明は点加振放射パワと音場入射透過率との組み合わせに限定されるものではなく、種々の固体音の評価値と空気音の評価値を適宜組み合わせることができる。

20

【0023】

[音場入射透過率]

[厳密解]

最初に、音場入射透過率を説明する。図2は、音場入射透過率の算出モデルを説明するための図である。図2では、弾性板に平面波が斜入射する場合を示している。弾性板は、単層の無限大弾性板であり、その振動は薄板理論に従うとする。また、弾性板は、吸音性を有しないとす。上記条件で音場の支配方程式と弾性板の振動方程式とを練成し、平面波の入射角をとする場合の斜入射透過率の厳密解()を求める。角周波数を、空気中の音速を c_0 、空気の密度を ρ_0 、弾性板の厚さを h 、弾性板の密度を ρ_p 、弾性板のヤング率を E 、弾性板の損失係数を η 、弾性板のポアソン比を ν 、弾性板の曲げ剛性を $D = E(1 - \nu^2)h^3 / 12(1 - \nu^2)$ とすると、斜入射透過率の厳密解()は、以下の数式(2)で与えられる。

30

【数 2】

$$\tau_\theta(\omega) = \left[\left(1 + \eta \frac{\omega \rho_p h \cos \theta}{2 \rho_0 c_0} \frac{\omega^2 \operatorname{Re}[D] \sin^4 \theta}{c_0^4 \rho_p h} \right)^2 \right. \quad (2)$$

$$\left. + \left(\frac{\omega \rho_p h \cos \theta}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \left(1 - \frac{\omega^2 \operatorname{Re}[D] \sin^4 \theta}{c_0^4 \rho_p h} \right)^2 \right]^{-1}$$

40

【0024】

音場入射透過率は、あらゆる方向からの入射パワに対する透過パワの比で定義される。一般的には、実測値との対応関係が良好な $\theta = 0 \sim 78^\circ$ の範囲で積分して算出する。このため、音場入射透過率の厳密解 $\tau_f(\theta)$ は、以下の数式(3)で与えられる。

【数 3】

$$\tau_f(\omega) = \frac{\int_0^{78} \tau_\Theta(\omega) \cos \Theta \sin \Theta d\Theta}{\int_0^{78} \cos \Theta \sin \Theta d\Theta} \quad (3)$$

【0025】

[近似解]

次に、音場入射透過率 $\tau_f(\omega)$ の近似解を説明する。上述した数式(2)に $\Theta = 0^\circ$ を代入すると、垂直入射透過率 $\tau_0(\omega)$ が得られる。なお、面密度は $m = \rho_p h$ とする。

【数 4】

$$\tau_0(\omega) = \left(\frac{2\rho_0 c_0}{m\omega} \right)^2 \left[1 + \left(\frac{m\omega}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right]^{-1} \quad (4)$$

【0026】

ここで、音場入射透過率 $\tau_f(\omega)$ は、垂直入射透過率 $\tau_0(\omega)$ の $10^{-1/2}$ で近似的に表現することができる。このため、音場入射透過率の近似解 $\hat{\tau}_f(\omega)$ は、数式(4)を用いて以下の数式(5)と表現することができる。

【数 5】

$$\hat{\tau}_f(\omega) = \sqrt{10} \tau_0(\omega) \cong \sqrt{10} \left(\frac{2\rho_0 c_0}{m\omega} \right)^2 \quad (5)$$

なお、数式(4)の音響負荷を表す部分は無視した。上記数式(5)の逆数の対数は、音響透過損失であり、 $10 \log [1 / \tau_0(\omega)] - 5$ [dB]となる。この数式から、面密度又は周波数が2倍になると音響透過損失が6 [dB]増加するという、いわゆる質量則の傾向が読み取ることができる。

【0027】

図3は、音場入射透過率の周波数依存性の厳密解と近似解とを示すグラフである。図3では、数式(3)に示す厳密解 $\tau_f(\omega)$ を破線で示し、数式(5)に示す近似解 $\hat{\tau}_f(\omega)$ を実線で示している。図3に示すように、1000 [Hz]以下の周波数帯域において、近似解と厳密解とはほぼ一致することがわかる。

【0028】

[点加振放射パワ]

[厳密解]

次に、点加振放射パワを説明する。図4は、点加振放射パワの算出モデルを説明するための図である。図4では、弾性板に点加振力が入力される場合を示している。弾性板は、単層の無限大弾性板であり、その振動は薄板理論に従うとする。また、弾性板は、吸音性を有しないとす。上記条件で音場の支配方程式と弾性板の振動方程式とを練成し、軸対象であることを考慮して Hankel 変換を適用することで、加振力で基準化した板の振動変位 (r_0) の波数空間解 $W(k)$ が得られる。なお、音波の波数を $k_0 = \omega / c_0$ とす。

【数 6】

$$W(k) = -\frac{1}{2\pi} \frac{1}{\frac{2\rho_0 \omega^2}{\sqrt{k^2 - k_0^2}} - (Dk^4 - \rho_p h \omega^2)} \quad (6)$$

【0029】

10

20

30

40

50

なお、振動変位 $w(r_0)$ と波数空間解 $W(k)$ とは、下記数式 (7) で定義される Hankel 変換の関係を有する。

【数 7】

$$\begin{cases} W(k) = \int_0^{\infty} w(r_0) J_0(kr_0) r_0 dr_0 \\ w(r_0) = \int_0^{\infty} W(k) J_0(kr_0) k dk \end{cases} \quad (7)$$

【0030】

弾性板の放射パワーは、下記の数式板表面の音響インテンシティを板全体で面積分することで得られる。なお、板表面の音圧を $p(r_0)$ 、板の振動速度の複素共役を $\bar{v}(r_0)$ とする。

【数 8】

$$\Pi(\omega) = \iint_S \frac{1}{2} \operatorname{Re}[p(r_0) \bar{v}(r_0)] dS_0 \quad (8)$$

板表面の音圧 $p(r_0)$ 及び板の振動速度の複素共役 $\bar{v}(r_0)$ は、何れも数式 (6) で示した $W(k)$ の関数である。よって、加振力で基準化した点加振放射パワーの厳密解 () は、数式 (8) を変形した以下の数式 (9) を解くことで得られる。

【数 9】

$$\Pi(\omega) = \pi \rho_0 \omega^3 \int_0^{k_0} \frac{|W(k)|^2}{\sqrt{k_0^2 - k^2}} k dk \quad (9)$$

【0031】

[近似解]

次に、点加振放射パワー () の近似解を説明する。点加振放射パワー () は、遠距離音場の音響インテンシティを面積分して求めることもできる。図 4 に示すように、原点からの距離を r 、 z 軸方向とのなす角を θ とすると、遠距離受音点の音圧 $p(r, \theta)$ は、Rayleigh の積分公式よって、近似的に下記の数式 (10) となる。なお、厚さ密度 (面密度) は $m = \rho h$ とする。

【数 10】

$$p(r, \theta) \cong \rho_0 \omega^2 W(k_0 \sin \theta) \frac{e^{ik_0 r}}{r} = \frac{-2i \rho_0 \omega^2}{\frac{2\rho_0 c_0 \omega}{\cos \theta} + i(Dk_0^4 \sin^4 \theta - m\omega^2)} \frac{e^{ik_0 r}}{4\pi r} \quad (10)$$

【0032】

上記の数式 (10) から音響インテンシティ $|p(r, \theta)|^2 / 2 \rho_0 c_0$ を導出することができる。導出した音響インテンシティを半球面全体で面積分すると、以下の数式 (11) に示すように点加振放射パワー () が得られる。

【数 11】

$$\Pi(\omega) \cong \frac{r^2}{2\rho_0 c_0} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi/2} |p(r, \theta)|^2 \sin \theta d\theta \quad (11)$$

【0033】

上記数式 10 を、コインシデンス周波数 $c = (c_0^4 m / \operatorname{Re}[D])^{1/2}$ を用いて変形すると、以下の数式 (12) となる。

10

20

30

40

【数 1 2】

$$p(r, \theta) \cong \frac{-2i\rho_0\omega^2}{\frac{2\rho_0c_0\omega}{\cos\theta} + i\left(m\frac{\omega^2}{\omega_c^2}\sin^4\theta - m\right)\omega^2} \frac{e^{ik_0r}}{4\pi r} \quad (12)$$

ここで、周波数 ω がコインシデンス周波数 ω_c より十分小さい周波数であるとする ($\omega^2 \ll \omega_c^2$)。この条件のもと、数式 (11) に数式 (12) を代入して、以下の数式 (13) に示すように、点加振放射パワの近似解 $\hat{\Pi}(\omega)$ を得ることができる。

【数 1 3】

$$\begin{aligned} \hat{\Pi}(\omega) &= \frac{\pi^2}{2\rho_0c_0} \int_0^{\pi/2} \left| \frac{-2i\rho_0\omega^2}{\frac{2\rho_0c_0\omega}{\cos\theta} + i\left(m\frac{\omega^2}{\omega_c^2}\sin^4\theta - m\right)\omega^2} \frac{e^{ik_0r}}{4\pi r} \right|^2 \sin\theta d\theta \\ &= \frac{1}{4\pi\rho_0c_0} \left(\frac{\rho_0}{m}\right)^2 \left[1 - \frac{2\rho_0c_0}{m\omega} \tan^{-1} \frac{m\omega}{2\rho_0c_0} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

10

20

数式 (13) の第 2 項は音響負荷を表す項である。第 2 項を無視すると、以下の数式 (14) となる。

【数 1 4】

$$\hat{\Pi}(\omega) = \frac{1}{4\pi\rho_0c_0} \left(\frac{\rho_0}{m}\right)^2 \quad (14)$$

【0034】

数式 (14) から、点加振放射パワは、音場入射透過率とは異なる振る舞いになることがわかる。具体的には、音場入射透過率と同様に、面密度 m が 2 倍になると放射パワは 6 [dB] 低減するものの、周波数に依存しないことがわかる。

30

【0035】

図 5 は、点加振放射パワの周波数依存性の厳密解と近似解とを示すグラフである。図 5 では、数式 (9) に示す厳密解 $p(r, \theta)$ を破線で示し、数式 (14) に示す近似解 $\hat{\Pi}(\omega)$ を実線で示している。図 5 に示すように、1000 [Hz] 以下の周波数帯域において、近似解と厳密解とはほぼ一致することがわかる。

【0036】

[関係モデルへの当てはめ]

数式 (1) では、空気音評価値 M_a と固体音評価値 M_s との関係を、線形演算子 \hat{T}_f を用いて定義した。このような線形演算子 \hat{T}_f が存在するか否かを、音場入射透過率の近似解 $\hat{\tau}_f(\omega)$ と点加振放射パワの近似解 $\hat{\Pi}(\omega)$ とを用いて検討する。数式 (5) に示す音場入射透過率の近似解 $\hat{\tau}_f(\omega)$ と、数式 (14) に示す点加振放射パワの近似解 $\hat{\Pi}(\omega)$ とを数式 (1) に代入すると、以下の数式 (15) になる。

40

【数 1 5】

$$\hat{\tau}_f(\omega) = \varepsilon(\omega)\hat{\Pi}(\omega) \quad (15)$$

数式 (15) を解くことにより、線形演算子 \hat{T}_f は以下の数式 (16) になる。

【数 16】

$$\varepsilon(\omega) = \frac{16\sqrt{10}\pi\rho_0c_0}{k_0^2} \quad (16)$$

このように、音場入射透過率の近似解と、点加振放射パワの近似解との間に、線形演算子が存在することが示された。数式(16)から分かるように、線形演算子()は、媒体のインピーダンスと波数だけで構成されている。つまり弾性板のパラメータを含まない関数である。このため、媒体の境界条件に依存しない形で線形演算子が存在するといえる。このような場合、媒体の厚さ、構造、物性値(密度 ρ 、ヤング率 E、損失係数、ポアソン比、曲げ剛性 D など)が未知であっても、媒体の音響特性を推定できることになる。なお、以下では、線形演算子()を変換関数ともいう。

10

【0037】

[厳密解への適用]

次に、数式(16)が、音響負荷がある場合や、コンインシデンス周波数以上の帯域においても適用することができるのかをシミュレーションした。つまり、以下の数式(17)が成り立つのか否かを数値計算により確認した。

【数 17】

$$\tau_f(\omega) \cong \varepsilon(\omega)\Pi(\omega) \quad (17)$$

20

【0038】

[事例1：石膏ボード]

弾性板のパラメータとして、一般的な石膏ボードの物性値を用いた。物性値は以下のとおりである。

厚さ h : 12.5 mm

密度 ρ : 650 kg/m³

ヤング率 E : 1.8 × 10⁹ N/m²

損失係数 : 0.03

ポアソン比 : 0.01

上記物性値を数式(3)に代入し、音場入射透過率の厳密解 τ_f ()を得た。そして、その逆数の対数を演算した。次に、上記物性値を数式(9)に代入し、点加振放射パワの厳密解()を得た。そして、点加振放射パワの厳密解()に数式(16)で示した線形演算子を積算し、その逆数の対数を演算した。図6に結果を示す。

30

【0039】

図6は、音場入射透過率(計算値)の周波数依存性と、点加振放射パワ(計算値)に変換関数を積算した値の周波数依存性とを比較したグラフの一例である。図6では、縦軸が損失 [dB] であり、横軸が周波数 [Hz] である。また、音場入射透過率の厳密解 τ_f ()の逆数の対数を破線で示し、点加振放射パワの厳密解()と線形演算子との積算値の逆数の対数を実線で示している。図6に示すように、厳密解同士であっても、線形演算子は有効であることが確認された。

40

【0040】

[事例2：コンクリート]

弾性板のパラメータとして、一般的なコンクリートの物性値を用いた。物性値は以下のとおりである。

厚さ h : 150 mm

密度 ρ : 2300 kg/m³

ヤング率 E : 2.6 × 10¹⁰ N/m²

損失係数 : 0.005

ポアソン比 : 0.01

上記物性値を数式(3)に代入し、音場入射透過率の厳密解 τ_f ()を得た。そして、

50

その逆数の対数を演算した。次に、上記物性値を数式(9)に代入し、点加振放射パワの厳密解()を得た。そして、点加振放射パワの厳密解()に数式(16)で示した線形演算子を積算し、その逆数の対数を演算した。図7に結果を示す。

【0041】

図7は、音場入射透過率(計算値)の周波数依存性と、点加振放射パワ(計算値)に変換関数を積算した値の周波数依存性とを比較したグラフの一例である。図7では、縦軸が損失[dB]であり、横軸が周波数[Hz]である。また、音場入射透過率の厳密解 f ()の逆数の対数を破線で示し、点加振放射パワの厳密解()と線形演算子との積算値の逆数の対数を実線で示している。図7に示すように、厳密解同士であっても、線形演算子は有効であることが確認された。

10

【0042】

[まとめ]

線形演算子(変換関数)を用いて、固体音放射特性から空気音透過特性を推定することができる。同様に、線形演算子を用いて空気音透過特性から固体音放射特性を推定することができる。さらに、線形演算子が媒体の物性値パラメータを含まないため、媒体についての情報がなくても固体音放射特性又は空気音透過特性を推定することができる。

【0043】

[音響性能推定方法、音響性能推定装置及び音響性能推定プログラム]

次に、音響性能推定方法及び音響性能推定装置について説明する。図8は、実施形態に係る音響性能推定方法を示すフローチャートである。図8の(A)は、空気音透過特性から固体音放射特性を推定するフローチャートであり、図8の(B)は、固体音放射特性から空気音透過特性を推定するフローチャートである。図9は、実施形態に係る音響性能推定装置の構成を示す概要図である。図9の(A)は、空気音透過特性を測定する装置構成図であり、図9の(B)は、固体音放射特性を測定する装置構成図である。

20

【0044】

最初に、空気音透過特性から固体音放射特性を推定する場合を説明する。ここでは、室間の壁100が評価対象であるとする。図8の(A)に示すように、まず、壁100の空気音透過特性を測定する(S10:取得ステップ)。この測定は、例えば、図9の(A)に示す装置構成で行われる。音響性能推定装置1Aは、発音室R1に配置されたスピーカ10A(取得手段:音発生手段)及び騒音計11A(取得手段:第1音測定手段)と、受音室R2に配置された騒音計12A(取得手段:第2音測定手段)と、測定結果を演算する制御部13A(取得手段:透過率算出手段)とを備える。騒音計11A及び騒音計12Aは、制御部13Aに接続されている。制御部13Aは、CPU、ROM、RAMなどを備える汎用コンピュータである。スピーカ10Aは、壁100へ向けて音を放射する。スピーカ10Aが音を出力すると、騒音計11Aが出力レベルを取得する。騒音計12Aは、壁100を透過した透過音を測定する。制御部13Aは、騒音計11A, 12Aの測定結果に基づいて、出力レベルの差を算出する。これにより、空気音透過特性が測定される。

30

【0045】

図8に戻り、次に、固体音放射特性を推定する(S12:推定ステップ)。この処理は、例えば制御部13A(推定手段)によって行われる。S10の処理で測定された空気音透過特性に数式(16)に記載の線形演算子()の逆数を積算することにより、固体音放射特性が推定される。以上で図8の(A)に示すフローチャートを終了する。

40

【0046】

次に、固体音放射特性から空気音透過特性を推定する場合を説明する。ここでは、室間の壁100が評価対象であるとする。図8の(B)に示すように、まず、壁100の固体音放射特性を測定する(S20:取得ステップ)。この測定は、例えば、図9の(B)に示す装置構成で行われる。音響性能推定装置1Bは、加振器10B(取得手段:加振手段)と、力測定器11B(取得手段:力測定手段)と、受音室R2に配置された騒音計12B(第3音測定手段)と、測定結果を演算する制御部13B(取得手段:放射パワ算出手

50

段)とを備える。力測定器 11B 及び騒音計 12B は、制御部 13B に接続されている。制御部 13B は、CPU、ROM、RAMなどを備える汎用コンピュータである。加振器 10B が壁 100 に加振力を与えると、力測定器 11B がその加振力を測定する。騒音計 12B は、壁 100 から放射された音(放射音)を測定する。制御部 13B は、力測定器 11B 及び騒音計 12B の測定結果に基づいて、固体音放射特性を測定する。

【0047】

図 8 に戻り、次に、空気音透過特性を推定する(S22:推定ステップ)。この処理は、例えば制御部 13B (推定手段)によって行われる。S20 の処理で測定された固体音放射特性に数式(16)に記載の線形演算子()を積算することにより、空気音透過特性が推定される。以上で図 8 の(B)に示すフローチャートを終了する。

10

【0048】

次に、コンピュータを上記音響性能推定装置 1 として機能させるための音響性能推定プログラムを説明する。コンピュータとは、CPUなどの演算部と、ROM、RAM及びHDなどの記憶部と、入出力部とを備える汎用的な装置である。音響性能推定装置プログラムは、メインモジュール、入力モジュール及び演算処理モジュールを備えている。メインモジュールは、演算処理を統括的に制御する部分である。入力モジュールは、空気音評価値及び固体音評価値の何れか一方の評価値を算出するためのデータ又は評価値そのものを取得するようにコンピュータを動作させる。なお、評価値を算出するためのデータを取得するようにコンピュータを動作させた場合、入力モジュールは、取得された加振力及び取得された放射音に基づいて、媒体の点加振放射パワを算出するようにコンピュータを動作させるか、又は、取得された放射音及び取得された透過音に基づいて、媒体の音場入射透過率を算出するようにコンピュータを動作させる。演算処理モジュールは、入力モジュールにて取得又は算出された一方の評価値と、媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数とを用いて、媒体の空気音評価値及び固体音評価値のうち他方の評価値を推定するようにコンピュータを動作させる。例えば、演算処理モジュールは、取得又は算出された空気音透過特性に数式(16)に記載の線形演算子()の逆数を積算することにより、固体音放射特性を算出し、算出結果を記憶部に記憶する。あるいは、例えば、演算処理モジュールは、取得又は算出された固体音放射特性に数式(16)に記載の線形演算子()を積算することにより、空気音透過特性を算出し、算出結果を記憶部に記憶する。メインモジュール、入力モジュール及び演算処理モジュールを実行させることにより実現される機能は、上述した音響性能推定装置 1 の取得手段及び推定手段の機能とそれぞれ同様である。音響性能推定プログラムは、例えば、ROM等の記録媒体または半導体メモリによって提供される。また、音響性能推定プログラムは、ネットワークを介して提供されてもよい。

20

30

【0049】

以上説明したとおり、本実施形態に係る音響性能推定装置、音響性能推定方法及び音響性能評価プログラムによれば、媒体の空気音評価値と固体音評価値とを関係付ける変換関数()を用いて、既知の評価値から未知の評価値を推定することができる。つまり、例えば実現場において測定し易い手法で一方の評価値を測定さえすれば、他方の評価値を推定することができる。このため、音響性能を簡単に推定することができる。

40

【0050】

また、媒体の空気音評価値として、音場入射透過率を採用し、媒体の固体音評価値として点加振放射パワを採用することで、一般的に広く用いられている評価値を用いて音響性能を簡単に推定することができるので、汎用性に優れている。また、実現場において点加振放射パワは測定が容易であることが多いため、音場入射透過率を単純に測定する場合に比べて、簡単に音響性能を評価することができる。

【0051】

また、変換関数()は、媒体に係る境界条件に依存しない関数であるため、未知の媒体であっても音響性能を評価することができる。

【0052】

50

なお、上述した各実施形態は本発明に係る音響性能推定方法、音響性能推定装置及び音響性能評価プログラムの一例を示すものである。本発明に係る音響性能推定方法、音響性能推定装置及び音響性能評価プログラムは、実施形態に限られるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用したものであってもよい。

【0053】

例えば、図9では、制御部13A(13B)が実測データを騒音計から直接取得する例を図示しているが、これに限定されない。例えば、制御部13A(13B)は、有線あるいは無線のネットワーク又は記憶媒体などを介して、空気音又は固体音の測定結果を取得してもよい。あるいは、制御部13A(13B)は、他の演算機器から、空気音評価値及び固体音評価値の何れか一方の評価値そのもの取得してもよい。上述した場合であっても、一方の既知の評価値から他方の未知の評価値を簡単に推定することができる。

10

【0054】

また、音発生手段、加振手段、力測定手段、音測定手段、演算手段をそれぞれハードウェアとして説明したが、その一部機能がソフトウェアで構成されていてもよい。

【0055】

また、制御部13A, 13Bが算出手段及び演算手段として機能する例を説明したが、制御部13A, 13Bは、それぞれが1つのコンピュータ(制御部)として機能する場合に限定されない。つまり、制御部13A, 13Bそれぞれは、複数の制御部を備えていてもよい。

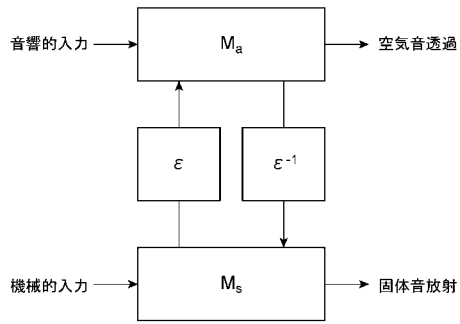
20

【符号の説明】

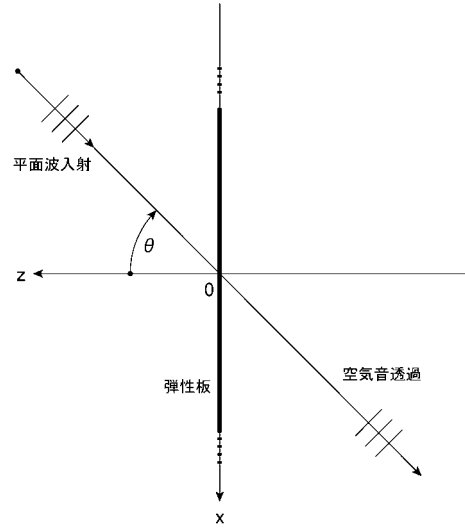
【0056】

1A, 1B...音響性能推定装置、10A...スピーカ(音発生手段)、10B...加振器(加振手段)、11B...力測定器(力測定手段)、11A...騒音計(第1音測定手段)、12A...騒音計(第2音測定手段)、12B...騒音計(第3音測定手段)、13A, 13B...制御部(透過率算出手段、放射パワ算出手段、推定手段)。

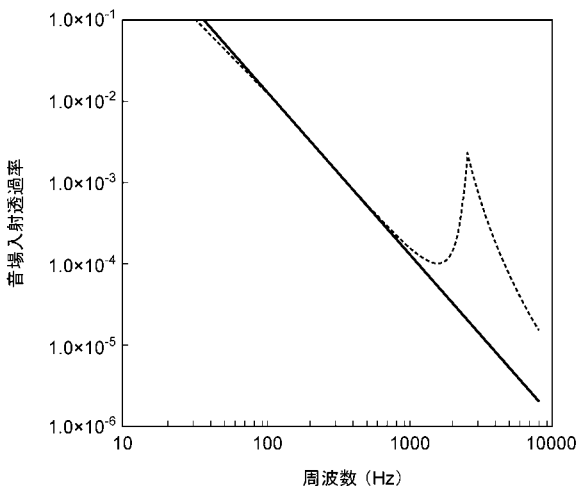
【 图 1 】



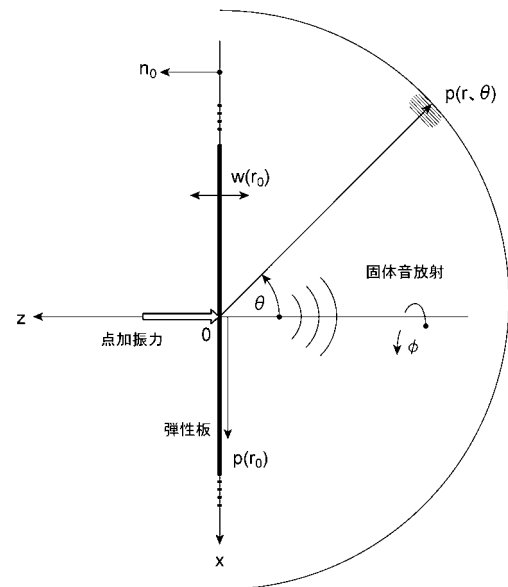
【 图 2 】



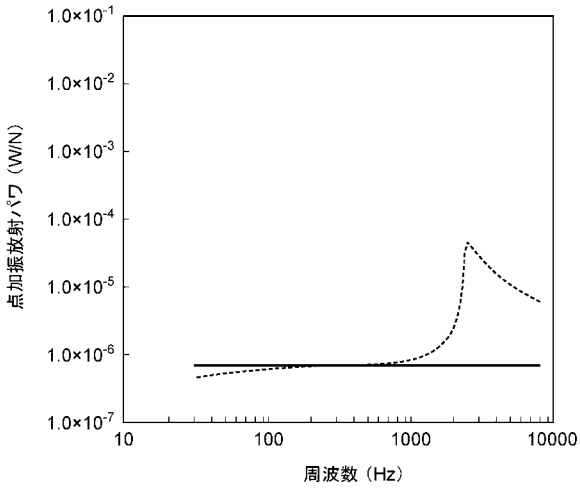
【 图 3 】



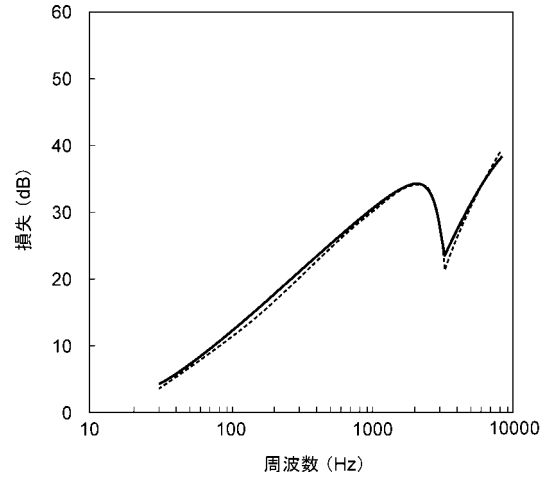
【 图 4 】



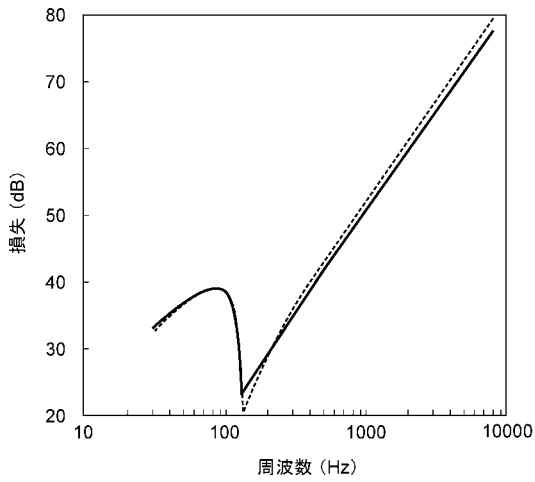
【 図 5 】



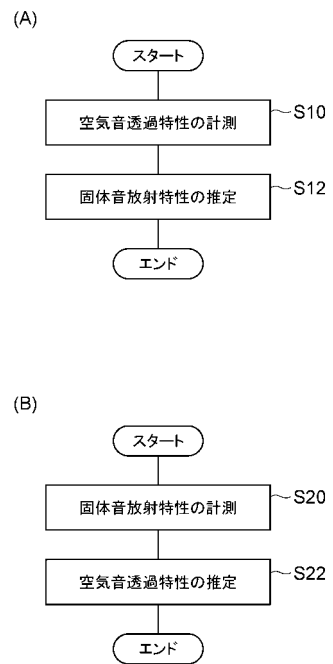
【 図 6 】



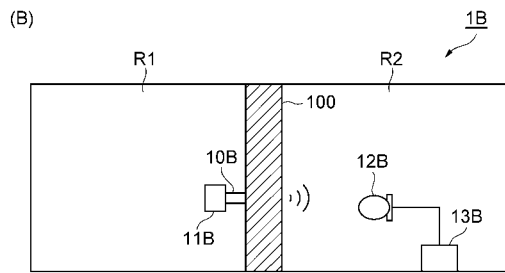
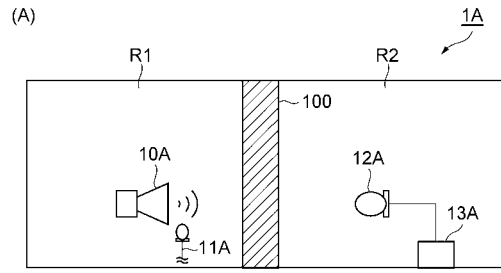
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G047 AB04 AC00 BA01 BC03 EA12 EA14 GA14 GD02 GG28
2G064 AA05 AB04 AB16 AB23 CC41 CC47