

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：57102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820287

研究課題名(和文) 建築材料の吸音特性に着目した施工管理システムの開発

研究課題名(英文) Development of construction management system using absorption characteristics of building materials

研究代表者

岡本 則子 (OKAMOTO, Noriko)

有明工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：00452912

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、建築物の内装材を施工する現場で、施工された内装材が要求される吸音性能を發揮できているかを検証する、施工状態管理システムの開発に向けた検討を行った。まず、一般的な単層の建築材料を対象とした持ち回り試験により、システムで用いる吸音特性の現場測定法の普遍性を確認した。続いて、施工状態を想定した複層の数種の試験体の測定を行い、吸音特性から施工状態の差異を捉えることを確認した。最後に、材料開発の施工現場に提案手法を適用し、材料の施工状態の管理に対する有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：The construction management system using absorption characteristics of building materials is proposed. In the system, the in-situ measurement method using ensemble averaging technique, namely EA method, is adopted as a measurement method of absorption characteristics. First, the reproducibility of EA method was confirmed through round-robin measurements. Next, measurements for multi-layer materials were conducted, and it confirmed that difference of absorption characteristics due to a slight difference in structure of materials are measurable by the EA method. Finally, the proposed method is applied to the evaluation of quality in material development, and the availability of the system is shown.

研究分野：工学

キーワード：建築音響 建築材料 吸音特性 現場測定 施工管理

1. 研究開始当初の背景

近年、意匠性の観点から、打放しコンクリートやガラスといったほとんど吸音が見込めない建築材料が使用され、残響過多となる建築空間が多く認められる。

これらの空間の音環境改善のためには、吸音性能の高い内装材の使用が必要となるが、従来室内音響が重視されていた空間と同様の内装材は、配置計画やコストの面から使用困難なケースも見受けられる。このため、種々の内装材が開発されているものの、施工条件や吸音機構が多様で施工事例も多いため、実際の建築現場での性能が未知なまま使用されることが考えられる。また、何らかの施工上の理由で内装材の吸音性能が発揮されない状況も想定される。このような場合、前述のように、その他の内装材は反射性の場合が多く、残響過多な状態になるが、現状では、状況が判明するのは施工後となることが多く、その改修には多大なコストを生じる。

建築材料の吸音性能を把握するための代表的な測定法としては、ISO や JIS で規格化された残響室法吸音率や垂直入射吸音率・インピーダンスの測定法が挙げられる。しかし、前者は、大型設備である残響室および10m²程度の試料を必要とするにも関わらず、測定環境や測定機関によって測定値が50%以上も変化する[1]とされ、室内音響設計や騒音制御の現場で非効率・資源の浪費が生じる原因となっている。後者は、小型の音響管を使用するため高精度な測定値が安定して得られるものの、一次元音場の測定値であり三次元音場である実際の建築空間の吸音特性が異なる場合や、実際の施工状態と異なる条件の測定値となる場合もある。この他、自由音場法による斜入射吸音率測定法なども提案されているが、測定で使用する音源や受音点の位置関係の制約などから建築室内における測定は困難とされ、反射音の多く存在する実際の建築空間で施工された材料の測定技術は確立されていない。

2. 研究の目的

前述の吸音性能の測定法に対し、筆者らは、アンサンブル平均を利用した材料の吸音特性測定法 (EA 法) を提案している[2, 3]。同手法によれば、in-situ (その場) 測定が行え、既存の測定法では困難とされる材料に対しても比較的容易な測定が期待できる。これまでに、主に多孔質材料を対象に持ち回り試験を行い、測定の基本的安全性・再現性を確認している。

以上を踏まえ、本研究では、建築物の内装材を施工する現場において EA 法を適用し、要求される吸音性能を発揮しているかを検証し、さらには、吸音特性から施工の善し悪しを判定できる施工状態管理システムの開発を目指す。まず、EA 法の適用可能性を明らかにするため、検討の初段として、既報の追

試とともに反射性の材料も含めた持ち回り試験を実施し、測定の実用性を確認する。続いて、施工状態を模擬した複層の試験体の測定を行い、施工された材料に対する提案手法の適用可能性を明らかにする。最後に、材料開発の現場における材料の施工状態の評価に適用し、その有効性を示す。

3. 研究の方法

本研究で用いる EA 法の測定系のブロックダイアグラムを図1に示す。EA 法は、材料への音波の入射条件としてランダム入射を想定し、材料表面近傍に設置した2本のマイクロフォンもしくは音圧粒子速度センサで測定される伝達関数からアンサンブル平均ノーマルインピーダンス $\langle Z_n \rangle$ を求める方法である。なお、ランダム入射音源として、測定対象の周辺に存在するアンビエントノイズを使用するが、不足する場合は、ピンクノイズを出力するスピーカ等の補助音源を使用して測定を行う。

本研究では建築物の施工現場での利用を想定しているため、簡便な受音センサとして2本のマイクロフォンを採用する。図1に示す2本のマイクロフォン間の距離 l 、マイクロフォンと材料間距離 d は、既往の知見に基づき、それぞれ 13 mm、10 mm とする。

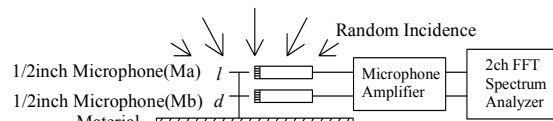


図1 EA法の測定系のブロックダイアグラム

4. 研究成果

(1) 測定の普遍性に関する検討

室容積および内装仕上げの異なる一般的な居室で、4種の材料の持ち回り試験を実施し、測定の実用性を確認した。なお、既報の検討では、1500 Hz の周波数領域を対象としていたが、本研究では、4000 Hz の1/3オクターブバンドの上限周波数までを対象とした。

測定場所は、室容積および内装材の異なる有明高専内の研究室、教室、視聴覚室の3室とした。図2に各室の平面図および材料の設置位置を、表1に各室の容積および内装材をそれぞれ示す。

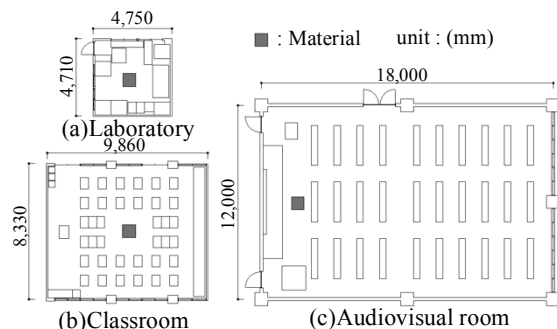


図2 測定室の平面図と試料設置位置

表 1 測定室の室容積と内装材

Room	Volume [m ³]	Interior materials
Laboratory	63	Ceiling: rock wool board Wall: plaster board Floor: vinyl sheet
Classroom	244	Ceiling: rock wool board Wall: plaster board Floor: vinyl sheet
Audiovisual room	690	Ceiling: rock wool board Wall: perforated panel Floor: carpet

測定材料は、表 2 に示すように、天井材や壁材として一般的に使用される 50 mm 厚のグラスウール（密度 32 kg/m³）、25 mm 厚のグラスウール（密度 32 kg/m³）、9 mm 厚の岩綿吸音板、9.5 mm 厚の化粧石膏ボードの 4 種とし、図 2 に示す位置の床上に設置した。材料の寸法は既報[4]を参考に、600 × 600 mm²とした。なお、材料の背後条件を同一にするため、各材料の背後にアクリル板を設置し、グラスウールについては、周辺端部もアクリル板で覆い、測定を行った。

表 2 測定試料

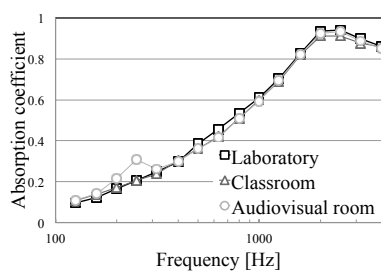
Symbol	Material
GW50	Glass wool (50 mm-thick)
GW25	Glass wool (25 mm-thick)
RW9	Rock wool board (9 mm-thick)
PB	Plaster board (9.5 mm-thick)

音源には、移動音源として 4 個のポータブルスピーカを用い、手で移動させた。また、アンビエントノイズ確保および室の顕著なモードの影響を防ぐため、室の窓を開けた状態で測定を行った。受音点は材料の中央に設定し、材料ごとに 3 回ずつ $\langle Z_n \rangle$ の測定を行い、次式を用いて吸音率を算出した。

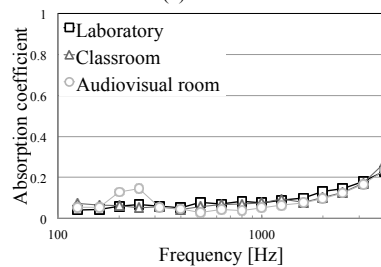
$$\alpha_{n,EA} = 1 - \frac{|\langle Z_n \rangle - 1|^2}{|\langle Z_n \rangle + 1|^2} \quad (1)$$

3 回の測定による吸音率の平均値を求め、さらに、1/3 オクターブバンドに含まれる各周波数を算術平均した値を、評価に用いた。FFT の設定は、サンプリング周波数：25.6 kHz、周波数分解能：1.25 Hz、窓関数：ハニング窓、平均化回数 150 回とした。

図 3 に、結果の一例として、グラスウール 25 mm 厚と化粧石膏ボードについて、3 室で測定した吸音率の比較を材料ごとに示す。材料によらず、測定室毎の吸音率のアウトラインは概ね一致しているが、250 Hz 近傍で、視聴覚室における吸音率が大きくなっている。これは、視聴覚室における材料の設置位置が、什器に囲まれて小空間となっており、一部の周波数域でのランダム入射の実現が困難であったためと考える。図 4 に、3 室における測定値の材料ごとの平均偏差を示す。岩綿吸音板の 250 Hz を除き、平均偏差は 0.05 以下



(a) GW25



(b) PB

図 3 3 室で測定された吸音率の比較

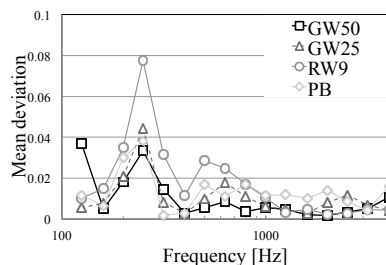


図 4 3 室における測定値の材料毎の平均偏差

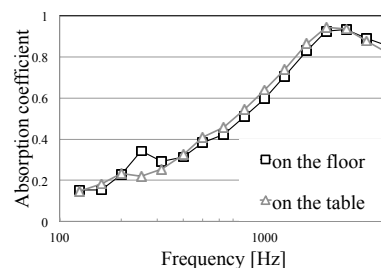


図 5 視聴覚室における測定試料の位置の検討

となった。

以上、250 Hz の測定値に差異が認められるものの、測定室の差異による測定値の変化は小さく、1500 Hz 以上の周波数域に対しても EA 法による測定の普遍性が確認された。なお、視聴覚室内で、什器の影響の少ない机上に測定場所を変更し、グラスウール 25 mm 厚の吸音特性測定を行った結果、図 5 に示すように、250 Hz の吸音率が他の室の結果と同程度の値となった。

(2) 背後構造の異なる材料の測定

既往の研究[2]では、主に多孔質材料などの単層の材料を対象に、測定値の妥当性を確認している。また、有孔板などの共鳴器型吸音材の測定可能性も示してきた。

本研究では、さらなる検討として、これらの材料の施工状態を想定した複層の材料に対して吸音特性の測定を行い、背後構造の違いを EA 法により捉えられるか検討すること

で、その適用可能性を明らかにする。

本検討では、背後構造の異なる建築材料として、表面材料の背後空気層の厚さの違い (Cond. 1)、背後空気層内の裏打ち材の有無 (Cond. 2)、背後空気層内の裏打ち材の設置位置の違い (Cond. 3) といった 3 つの条件に着目してそれぞれ吸音特性の測定を行う。

表 3 に測定する材料を条件ごとに示す。複層構造の材料は図 6 に示すように製作し、表面の材料の寸法は全て $900 \times 600 \text{ mm}^2$ とした。Cond. 1 は、表面材料としてグラスウール 25, 50 mm 厚 (以下, GW25, 50) の 2 種を用い、表面材料の背後に高さの異なる木枠を設置して、25, 50, 100 mm の 3 種の背後空気層を設けた。Cond. 2 は、孔径 5 mm, 開孔率 2.2% の有孔板の背後に空気層 50 mm を設けた場合と、同空気層内に 50 mm 厚のグラスウールを充填した場合の 2 種とした。Cond. 3 は、有孔板の背後に 100 mm 厚の空気層を設け、有孔板に接するように 50 mm 厚のグラスウールを配置した場合と、有孔板から 50 mm の空気層を設けて同グラスウールを配置した場合の 2 種とした。

表 3 測定対象

Condition	Surface material	Backing structure
Cond. 1	Glass wool 25 mm	Air cavity 25 mm
		Air cavity 50 mm
		Air cavity 100 mm
Cond. 2	Perforated panel 5 mm	Air cavity 25 mm
		Air cavity 50 mm
		Air cavity 100 mm
Cond. 3	Perforated panel 5 mm	Air cavity 50 mm on glass wool 50 mm
		Glass wool 50 mm on air cavity 50 mm

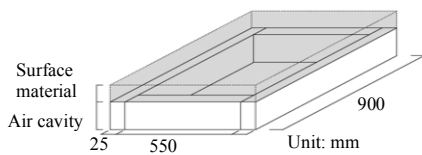


図 6 複層材料の構造

測定室は有明高専内研究室 (容積: 63 m^3) とし、材料は室中央の床上に設置して測定を行った。図 7 に平面図を示す。音源条件は前稿と同様とした。受音点は材料の中央に設定し、試料ごとに 3 回ずつ測定を行った。3 回の測定値の平均値を求め、さらに、1/3 オクターブバンドに含まれる各周波数を算術平均した値を、以降の検討で用いる。FFT の設

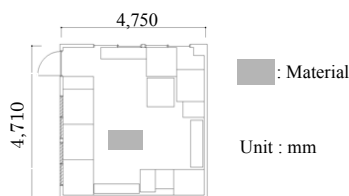


図 7 測定室の平面図と試料設置位置

定は、周波数分解能: 1.25 Hz, 平均化回数 150 回とした。

図 8 に背後空気層を変化させた場合の吸音率を材料ごとに示す。材料によらず、1000 Hz 以下では、空気層が厚くなるほど、吸音率は高くなる。

続いて、有孔板の背後空気層における裏打ち材の有無に関する測定結果を図 9 に示す。背後に裏打ち材の無い場合は 630 Hz 付近で吸音率が最大となるが、裏打ち材を設置すると、最大値は 400 Hz にシフトするとともに、最大値も大幅に上昇した。

最後に、材料背後の裏打ち材の設置位置の違いに関する測定結果を図 10 に示す。1000 Hz 以下では、表面材料に裏打ち材を隣接させた方が吸音率は高くなり、裏打ち材の設置位置による吸音率の差異が現れた。

以上より、目視では背後構造を把握できない材料に対し、EA 法による吸音特性の測定結果が背後構造の差異を捉えうることを確認した。なお、条件の詳細は異なるものの、本

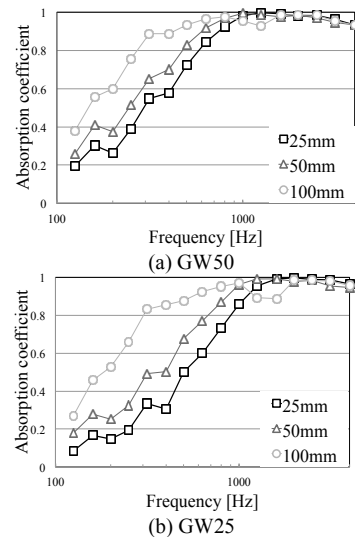


図 8 空気層の厚さの異なる材料の吸音特性の比較

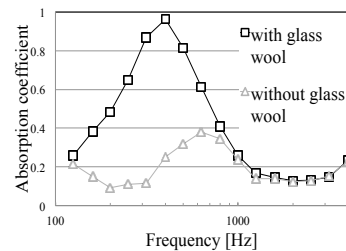


図 9 裏打ち材がある場合と無い場合の有孔板の吸音率の比較

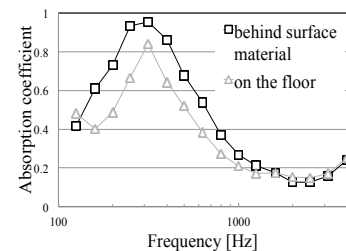


図 10 裏打ち材の設置位置の異なる有孔板の吸音率の比較設置位置

結果は、同様の材料に対する残響室法吸音率 [5]と同様の傾向となることを確認している。

(3) 吸音特性測定値による施工状態の予測

最後に、吸音特性測定値による施工状態の予測として、材料開発の現場で製作された試験体の施工状態の評価を EA 法の測定により試みる。

測定対象は、図 11 に示す、多機能性材料として開発段階にあるポーラスモルタルとする。試験体は 3 体 (No. 1~3) 準備し、不整形残響室内の床面中央付近に材料を設置して測定を行った。音源には、移動音源として 5 個のポータブルスピーカーを使用した。受音点は各試験に対し、図 12 に示す Point1~Point3 の 3 点とした。FFT の設定は、周波数分解能 : 1.5625 Hz, 平均化回数 : 200 回とした。

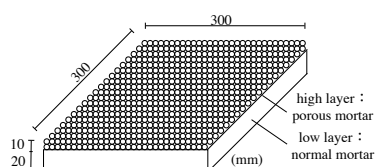


図 11 測定に用いるポーラスモルタル

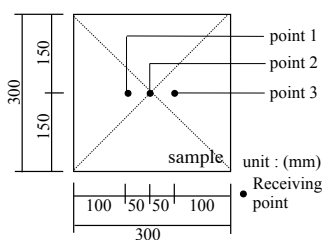
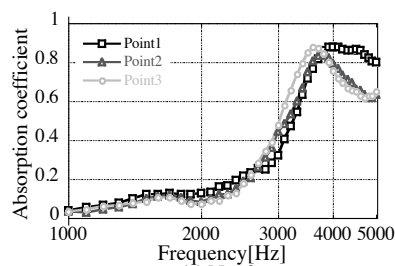


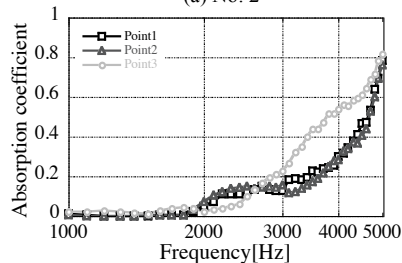
図 12 ポーラスモルタルの寸法と受音点

試験体 No. 2 と No. 3 の Point1~Point3 における測定結果を図 13 に示す。それぞれの試験体で、受音点間ではばらつきが認められるが、これはポーラスモルタルの表面に凹凸があるため、受音点で差異が生じたものと考えられる。一方、No. 2 と No. 3 を比較すると、同様の方法で製作したにも関わらず、No. 3 の吸音率は No. 2 より低くなっている。なお、結果は割愛するが、No. 1 と No. 2 の吸音率は同様の傾向であった。よって、No. 3 は施工不良が示唆される。そこで、No. 2 と No. 3 の受音点を含む断面を切断した。断面写真を図 14 に示す。No. 3 は No. 2 に比べ、ポーラスモルタルの厚さが、約 40%程度薄くなっている。このため、No. 3 では吸音率が低く測定されたと考える。すなわち、材料表面からは判別困難なポーラスモルタルの厚さの差異を吸音率測定結果より推測できたと考える。

以上、建築物の内装材を施工する現場で、その施工状態を検証するための吸音特性計測システムの開発を目指し、各種検討を行った。仕器に囲まれた状態の内装材については



(a) No. 2



(b) No. 3

図 13 No.2 および No.3 の point 1-3 におけるポーラスモルタルの吸音率の比較

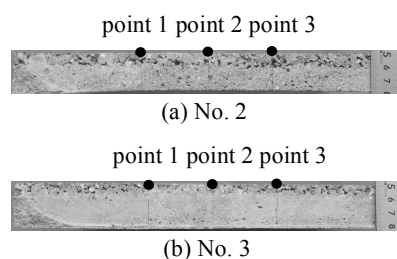


図 14 point 1-3 を含むポーラスモルタルの断面図

課題が残るものの、提案システムの基礎となる EA 法による測定の普遍性が確認された。また、背後構造の異なる内装材に対して吸音特性の測定を行い、吸音特性から施工状態の差異を捉えうることを示した。さらに材料開発の施工現場に提案手法を適用し、材料の施工状態の管理への有効性を示した。今後は、測定システムの簡易化を行い、実際の建築施工現場への適用に向けた検討を行う予定である。

<引用文献>

- [1] 牧田他, 残響室法吸音率の測定精度に関する研究 (I) 第 3 回協同比較試験と音場拡散条件の検討, 日本音響学会誌, 24(6), 381-392, 1968
- [2] Takahashi, et al., In situ measurements of surface impedance and absorption coefficients of porous materials using two microphones and ambient noise, Appl. Acoust., 66, 845-865, 2005
- [3] N. B. C. Din, et al., Reproducibility and applicability of ensemble averaged surface normal impedance of materials using an in-situ technique, Acoust. Australia, 41(3), 207-212, 2013
- [4] N. B. C. Din, et al., Measurement method with a pressure-velocity sensor for measuring surface normal impedance of materials using ensemble averaging: Comparison with other methods and its geometrical configuration, Acoust. Sci. & Tech., 33, 86-95, 2012
- [5] 建築設計資料集成 [環境], 日本建築学会, 2008

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 富来礼次, 岡本則子, 大鶴徹, 上水隆義, 山口信, 材料開発におけるアンサンブル平均による材料の吸音特性の in-situ 測定法の適用, 日本建築学会技術報告集, 査読有, 21 巻, 2015 年, 167-170
- ② 山口信, 村上聖, 富来礼次, 岡本則子, 多機能内装建材としての用途を想定したポーラスモルタルの機能的特性, セメント・コンクリート論文集, 査読有, 2014 年, 68 巻, 545-552

[学会発表] (計 14 件)

- ① 岡本則子, 建築材料の吸音特性測定法による施工状態管理システムの開発に関する研究-その 1 アンサンブル平均を用いた吸音特性測定法の普遍性に関する検討-, 日本建築学会, 2015 年 9 月 4 日, 東海大学湘キャンパス (神奈川県平塚市)
- ② 國丸慶太郎, 建築材料の吸音特性測定法による施工状態管理システムの開発に関する研究-その 2 背後構造の異なる材料の測定および材料開発への適用-, 日本建築学会, 2015 年 9 月 4 日, 東海大学湘キャンパス (神奈川県平塚市)
- ③ 中村麻美, アンサンブル平均を利用した材料の吸音特性の in-situ 測定法の応用-吹付け断熱材の吸音特性測定への適用-, 日本建築学会, 2015 年 9 月 4 日, 東海大学湘キャンパス (神奈川県平塚市)
- ④ 坂本浩平, 材料開発におけるアンサンブル平均を利用した材料の吸音特性の in-situ 測定法の適用-ポーラスモルタルの吸音特性に関する検討-, 日本建築学会, 2015 年 9 月 4 日, 東海大学湘キャンパス (神奈川県平塚市)
- ⑤ 國丸慶太郎, 建築材料の吸音特性測定手法による施工管理手法開発に関する研究, 日本建築学会九州支部, 2015 年 3 月 1 日, 熊本県立大学 (熊本県熊本市)
- ⑥ 中村麻美, アンサンブル平均を利用した材料の吸音特性測定法の応用-吹付け断熱材の吸音特性測定への適用-, 日本建築学会九州支部, 2015 年 3 月 1 日, 熊本県立大学 (熊本県熊本市)
- ⑦ 上水隆義, ポーラスモルタルの吸音特性の制御に関する基礎的研究, 日本建築学会九州支部, 2015 年 3 月 1 日, 熊本県立大学 (熊本県熊本市)
- ⑧ 山口信, ポーラスモルタルの吸音特性に及ぼす細骨材粒径および空隙率の影響に関する実験的研究, 日本建築学会九州支部, 2015 年 3 月 1 日, 熊本県立大学 (熊本県熊本市)
- ⑨ Noriko Okamoto, Application of an

in-situ measurement method using ensemble averaging technique to material development, International Congress on Noise Control Engineering, 2014 年 11 月 17 日, Melbourne convention and exhibition centre (Melbourne, Australia)

- ⑩ 上水隆義, 材料開発におけるアンサンブル平均を使用した材料の吸音特性の in-situ 測定法の適用-その 1 小試料における測定の再現性及び材料の吸音特性のばらつきに関する検討-, 日本建築学会, 2014 年 9 月 12 日, 神戸大学 (兵庫県神戸市)
- ⑪ 滝川宇志, 材料開発におけるアンサンブル平均を使用した材料の吸音特性の in-situ 測定法の適用-その 2 多機能型内装建材としての用途を想定したポーラスモルタルの吸音特性-, 日本建築学会, 2014 年 9 月 12 日, 神戸大学 (兵庫県神戸市)
- ⑫ 岡本則子, アンサンブル平均を利用した材料の吸音特性測定法に関する研究-ポーラスモルタルを活用した多機能内装建材の開発への適用-, 日本音響学会建築音響研究会, 2014 年 8 月 7 日, サテライトキャンパスひろしま (広島県広島市)
- ⑬ 上水隆義, アンサンブル平均を利用した材料の吸音特性の in-situ 測定法に関する研究-ポーラスモルタルを活用した内装仕上げ材開発への適用-, 日本建築学会九州支部, 2014 年 3 月 2 日, 佐賀大学 (佐賀県佐賀市)
- ⑭ 岡本則子, 材の吸音特性の in-situ 測定法に関する数値解析的検討, 日本音響学会建築音響研究会, 九州支部, 2013 年 7 月 16 日, キャンパスプラザ京都 (京都市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 則子 (Okamoto, Noriko)
有明工業高等専門学校・建築学科・准教授
研究者番号: 00452912

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: