

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02298

研究課題名(和文) アンサンブル平均概念の展開による建築音環境設計の革新

研究課題名(英文) Innovation of architectural acoustics designing process based on the concept of ensemble averaging technique

研究代表者

大鶴 徹 (Otsuru, Toru)

大分大学・理工学部・客員教授

研究者番号：30152193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：建築空間の音響性能向上を目的に、アンサンブル平均を用いる材の吸音特性測定手法の理論的基盤を明確化した上で、体育館等一般室での測定値が残響室における値と安定的に近似すること、複雑な建築材料の測定法と測定結果、等を示した。さらに、3軸PUセンサの実用的校正法と音響インテンシティや音響エネルギー測定等への適用可能性を示すとともに、様々な室の音場を有限要素法で解析し、室の境界面の形状や吸音性状が残響時間等室の音響性能へ与える影響を明示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

内外学会等で建築音環境に対する様々な苦情が報告されている。その解決を難しくする主たる原因は建築の複雑性にあり、とりわけ施工後の壁面の吸音特性が不明瞭なことがコンピュータ解析等科学的対策の障壁となっている。本研究ではアンサンブル平均概念の敷衍で複雑性を克服し、現場での吸音率とインピーダンス測定を可能とした。測定値を波動音響シミュレーションへ入力すれば複雑な室空間の詳細な音場解析が実現される。また、音響学に革新をもたらしつつある3軸PUセンサに関し、実用的校正法とともに音響エネルギー測定への応用例を示しており、学術的・社会的に有意義である。

研究成果の概要(英文)：To improve acoustic conditions in built environments, theoretical, computational and experimental investigations are conducted. The theoretical basis of the measurement method for sound absorption characteristics of materials using the ensemble averaging technique (EA method) is presented. Application experiments of EA method are conducted in various rooms revealed EA method's robustness. A new system to measure sound absorption of complicated porous bricks is developed and experiments using the system show satisfactory agreements with those measured by the impedance tube method. Three dimensional PU sensor is expected to bring innovations, while insufficient information is presented, so far. A practical calibration method with an impedance tube is proposed and several applications are conducted to show the sensor's fundamental potential. Several room acoustics simulations by FEM revealed that appropriate shapes and absorptions are indispensable to establish good acoustics.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：建築音響 吸音測定 有限要素法 音圧-粒子速度センサ アンサンブル平均

1. 研究開始当初の背景

今日、実験技術やコンピュータシミュレーション等が高度に発達し世界中で活用されているにも関わらず、音響的な問題を抱える建物が多数存在するのも事実である。その要因の中で、建築空間の複雑性・雑多性ととも、建築材料の吸音特性測定手法に大きな課題があると想定し、新たな測定手法 (EA 法と呼称) が提案されている。

EA 法は系の時間平均と空間平均が等しいとするエルゴード性を前提に、アンサンブル平均を用いる測定手法である。従来の手法では困難とされてきた建材の吸音特性、すなわち、吸音率と表面インピーダンス、の現場測定への道を拓いた点が重要である。

加えて、音圧-粒子速度センサ (PU センサ) は de Bree (蘭) らにより開発・上市され音響学に革新をもたらしつつある。しかし、特に3次元のベクトルセンサ (以下、3軸 PU センサ) に関する校正法や現場測定での有効性等、知見が不足しているのが実情であった。

2. 研究の目的

以下を当初の目的とした：

- (1) アンサンブル平均概念にもとづく建築音響設計の理論的妥当性と現場における有効性の検証
- (2) 音響設計用吸音データベース構築と3軸 PU センサの校正法の開発・確立
- (3) 建築空間の複雑性・雑多性を克服する総合建築音響設計手法の新たな枠組みの提案

3. 研究の方法

本研究では、理論、数値解析、実験の3者に関し以下を用いている。

(1) 理論解析：アンサンブル平均を利用する吸音測定法 (EA 法) の測定メカニズムについて、確率・統計的視点から整理・構成する。なお、測定系を後述の境界要素法でシミュレートし、試料への入射角等に関するパラメトリックスタディにより、理論へのフィードバックを行う。

(2) 数値解析：申請者らが開発してきた有限要素法による音場解析手法、並びに、高速多重展開境界要素法・汎用コード WAON (サイバネット社) を使用する。解析対象とする室は、理想的な半無響室、残響室、居室、曲面を含む空間等とし、境界面の形状・傾きや吸音特性を種々変化させ、インパルス応答等を算定し、残響時間等の評価指標を求め比較する。

(3) 実験：吸音特性の測定は、受音系として1軸 PU センサを基本に、3軸 PU センサ、並びに、2マイクロホンを用いる。なお、3軸 PU センサの校正法のプロトタイプを作製を行い、グラスウール等の吸音特性を測定し、得られた結果の精度や安定性・再現性を検証する。これらの実験では、大分大学残響室、同大学構内実物住宅模型 (コンクリート住宅居室)、同大学体育館、公共体育館等を使用する。なお、各室ではインパルス応答の測定とともに、3軸 PU センサを用い音響インテンシティや音響エネルギー測定への応用可能性を検証する。

4. 研究成果

(1) アンサンブル平均概念の理論的基盤について：EA 法の解析モデルを図1に示す。本研究では、均一な材への単一音源からの入射事象を対象に、入射角 ( $\theta, \phi$ ) をパラメータとする高速多重展開境界要素法によるシミュレーションを行った。

試料の大きさは  $L = 1$  m、及び、0.6 m の2種、インピーダンスは 50 mm 厚グラスウール (密度  $32 \text{ kg/m}^3$ ) の値を Miki の実験式で算定し境界条件として与え、原点から 1cm 上方の受音点における音圧と材のノーマル方向粒子速度を算定し、表面インピーダンスと吸音率を求めた。

得られた結果の一部を図2に示す。図中、EA 法のアンサンブル平均操作で用いる吸音率を黒線で、また、一般的な斜入射吸音率を赤線で表している。 $\theta$  が小さく垂直入射に近い場合、両者ともに 500 Hz 前後の周波数域で、周波数特性にピークディップが認められ、擦過角入射へ近づくときれらは消滅する。なお、相互に無相関な音源の入射事象を十分にアンサンブル平均することで、これらのピークディップは相殺される。

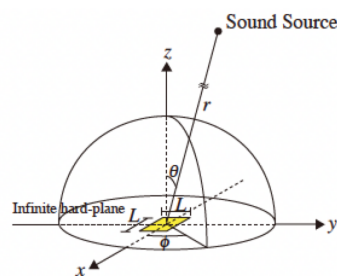


図1 EA 法の解析モデル

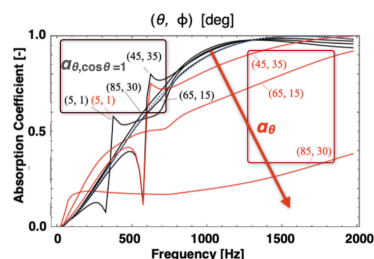


図2 入射角 ( $\theta, \phi$ ) と吸音率の関係  
黒線：EA 法、赤線：斜入射吸音率

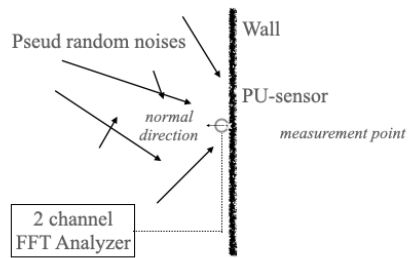
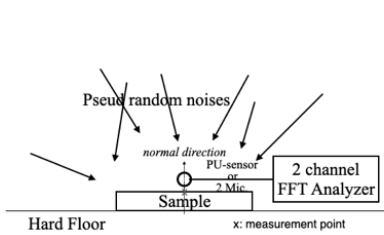


図3 EA法の測定系  
(左)：試料水平設置、(右)：試料垂直設置

これらをもとに、EA法で測定される表面インピーダンスが、 $(\theta, \phi)$ の生起確率分布 $\Pr(\theta, \phi)$ に対するノーマルインピーダンスの期待値であること、並びに、EA法で得られる吸音率が斜入射時の垂直インピーダンスに対するアンサンブル平均値であること、をそれぞれ明らかにした。

(2) 吸音データベース構築に向けた測定法の整備について：研究期間中、COVID-19感染症対策のため残響室等の閉鎖空間での実験を縮小し、代わって以下を推進した。

① 公共体育館 (Gym-X) と大学体育館 (Gym-OU) の2箇所において、EA法の特徴を活かし、窓や扉を開放し適用可能性を検証した。なお、Gym-Xの測定時には機械換気装置が稼働中であり、さらに、一部の实验中、同一アリーナ反対側コートにおいて、一般市民4～6名がバドミントンをプレー中であつたことを付記する。

図3に示すとおり、EA法は水平・垂直等、試料の設置条件の制約が少ない。垂直壁測定の一例として、コンクリート垂直壁の吸音率を1軸PUセンサを用いるEA法(EApu法)で求めた結果を図4に示す。100Hz～3000Hzの周波数域において、繰り返し3回の測定結果は概ね相互に近似の値が安定して得られている。

図中、文献値(1オクターブバンド、文献①)を示すが、全周波数域でEA法の結果とほぼ近似し、現場測定として十分良好な結果と判断した。

続いて、同一のグラスウールパネルを持ち回り吸音率を測定し結果を比較した。図5に公共体育館、大学体育館、残響室における測定結果を比較して示している。なお、測定時に試料共振が生じたため、再測定を行い、それぞれの結果を赤線、黒太線で表している。設置共振が認められた赤線の500 Hz以下の周波数域を除き、残響室における測定値とほぼ一致する値が得られており、EA法のロバスト性が確認された。

② さらに、形状や成分分布等で複雑多様な性状を有するポーラスコンクリートブロック(以下PCB)を対象に、EA法による吸音特性測定法の展開を図った。PCBの特性の一部は焼成時に混入する炭素量により調整可能だが、焼成後の形状や空洞の分布等の予測や調整は難しい。さらに、10 cm程度の大きさを大きくすることも容易ではない等、残響室法や管内法等、既往の吸音特性測定法の適用にも試料加工をはじめ様々な支障が伴う。そこで、EA法で測定する際のPCB設置方法を新規に開発した。その一例を図6に図示する。

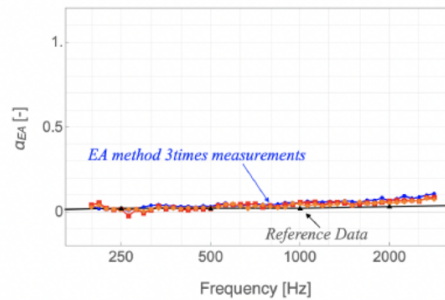


図4 EApu法によるコンクリート垂直壁の吸音率測定結果  
赤線、青線、橙線：3回繰り返し(1/12 Oct. Band)  
黒線：残響室法文献値①(1/1 Oct. Band)

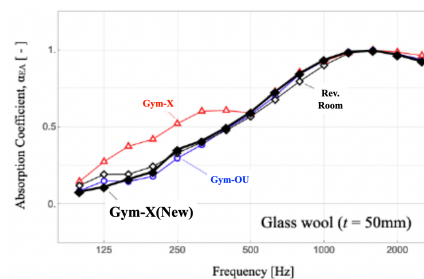


図5 EApu法による持ち回りグラスウールパネルの吸音率測定結果  
(黒太線：公共体育館、赤線：同、試料共振有の場合)

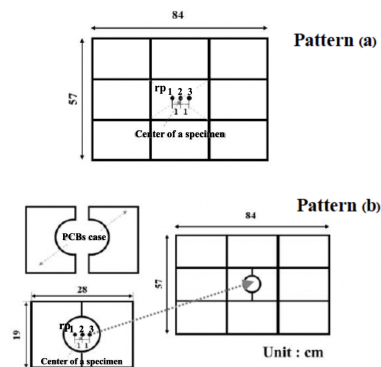


図6 EA法によるPCB測定時の試料設置方法の一例

この設置方法を用い PCB の吸音特性を EApu 法により測定し、音響管法で測定した結果を比較した結果が図 7 である。

前記のとおり、EA 法は斜入射時のノーマルインピーダンスのアンサンブル平均値を求めた上で、吸音率を算定する。従って、EA 法の測定結果は管内法の測定値と必ずしも一致する訳ではないものの、材の吸音特性の入射角依存性が顕著でない場合、両者は近似の値となる。これらは、材のノーマルインピーダンスや吸音率の入射角や材質性に対する期待値とも見做せ、建築音響での広い応用展開のための要点である。

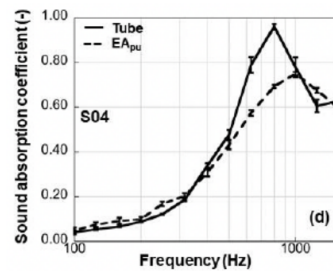


図 7 PCB の吸音率測定結果の比較  
管内法 (Tube) vs. EA 法 (EApu)

(3) 3 軸 PU センサの実用的校正法の開発と建築音響への応用展開について: 3 軸 PU センサには製造元校正値が添付され簡便な利用も可能であろう。ただし、精密計測を目的とする場合、センサ感度の経年変化や温湿度の変化が懸念され、現場校正法が重要となる。

ここでは、実用的な現場校正法として、既往の 1 軸 PU センサ用に開発済みの音響管の拡張を試みた (図 8)。x, y 両方向については既往の方法と同じ校正法が流用できる。z 方向については、PU センサと reference microphone の位置交換を行えば校正が可能である。なお、その際、座標軸の方向に留意すべきことを付記しておく (PU センサ: 材の外向き法線方向を正)。校正結果は割愛するが、実用的に十分な結果が得られ、音響インテンシティや音響エネルギー測定へと応用展開している。

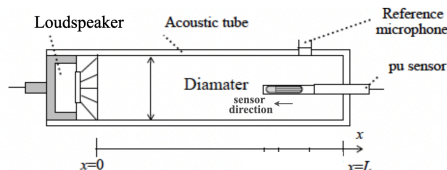


図 8 3 軸 PU センサ校正用音響管と z 方向校正時の設置状態

(4) 複雑多様な建築音場の有限要素法による解析について: 一般的な建築空間は、床・天井・壁面等、形状や吸音性状が複雑である。EA 法は吸音性状の期待値を複素インピーダンスとして測定されるため、波動音響解析での活用が可能である。本研究では以下をはじめとする建築音場に関する検討を行った。

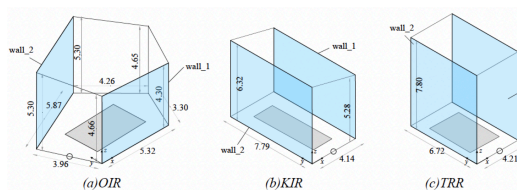


図 9 時間領域有限要素法による  
残響室内音場解析

① 時間領域有限要素法 (TDFEM) で、図 9 に示す容積・形状が異なる 3 種の残響室の音場を解析し、壁面の傾斜、および、拡散板の有無と測定値の関係を求め、効果的な拡散板の設置条件や壁の傾斜方法等を明らかにした。ただし、図 10 に示すとおり、それらの効果は測定試料の吸音率により変化する点に注意すべきである。

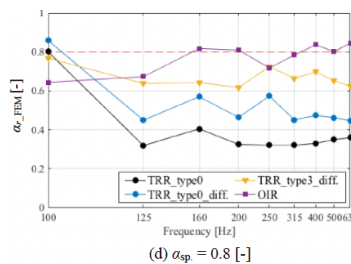


図 10 測定試料の吸音率が 0.8 の場合の測定吸音率の比較

② 境界面の吸音性状が周波数依存性を有する場合、TDFEM では狭帯域分析を所用の周波数帯域で統合することで簡易的対応が可能である。ここでは、学校教室等をモデルとした室内音場を対象に、狭帯域 TDFEM と既存の周波数領域 FEM (FDFEM) をそれぞれ実施し、減衰曲線や残響時間、 $D_{50}$  の比較を行った。

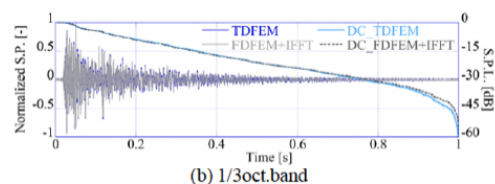


図 11 TDFEM と FDFEM (逆 FFT 処理) によるインパルス応答解析結果の比較  
DC: ノイズフロア除去処理適用

得られた結果の一部を図 11 に示す。FDFEM により得られた音場の帯域内の周波数特性を逆 FFT することで、FDFEM の結果と比較している。図より、0.8 秒を経過後の時間領域で軽微な相違が認められるものの、全般的な傾向は概ね一致している。

③ TDFEM で室に付加する吸音の効果を検討した。室の大きさ、形状、吸音特性を変化させ、それらの建築音響学的効果を残響時間や  $D_{50}$  等

音響指標を求めた。解析対象とした室の一例を図12に示す。

得られた結果の一部を図13に示す。空室時をCase-0として、天井材をロックウール、及び、グラスウールへ変更した場合をそれぞれCase-1、-2と表記している。この図から、 $D_{50}$ の数値の上では、ロックウールやグラスウールの効果が認められる。なお、得られたインパルス応答に話声等をたたみ込むことで可聴化し、聴感的な比較を参考的に試行することで、数値解析の有効性を確認している。

以上、理論、数値解析、実験の3面から建築音響に関わる検討を実施した。途上、COVID-19感染症の流行に伴い、実験やインタビュー調査等、一部に制約が生じた。しかし、EA法の特長を活かし、窓や出入り口を開放、あるいは、機械換気装置を稼働した状態での実験を含める等、工夫を重ねるための契機ともなった。さらに、正味の測定時間が約90秒としてきたことも合わせ、スポーツアリーナ等に関する新たな展開へと繋がっている。反面、無響室等閉鎖空間での大規模な被験者実験等は控えざるを得ず、今後の課題とした。研究に協力頂いた大分大学技術職員・田嶋勝一氏、並びに、大学院生・卒論生各位に謝意を表します。

<引用文献>

- ① 前川純一、森本政之、阪上公博、建築・環境音響学（第3版）、p. 232 共立出版（2011）

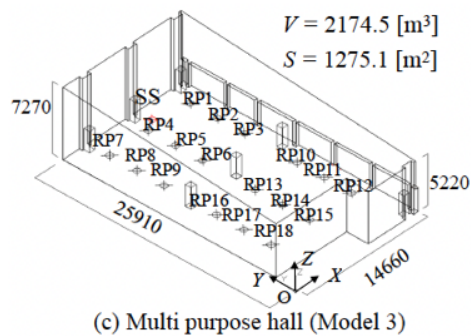


図12 有限要素法による解析対象の一例 (容積 2174.5 m³ の多目的ホール)

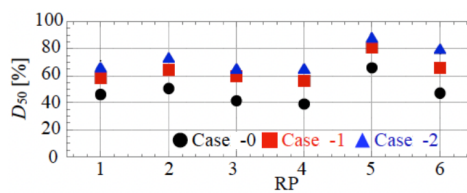


図13 TDFEM 解析結果 ( $D_{50}$ )  
Case-0:空室時, Case-1:天井ロックウールへ変更, Case-2:天井グラスウールへ変更

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Lawanwadeekul Siwat, Tomiku Reiji, Okamoto Noriko, Otsuru Toru, Masuda Masahiro, Matsuoka Yasuyuki	4. 巻 42
2. 論文標題 Comparison of sound absorption characteristics measured by impedance tube method and ensemble averaging technique on porous clay bricks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 154 ~ 157
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1250/ast.42.154	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Okamoto Noriko, Lawanwadeekul Siwat	4. 巻 263
2. 論文標題 Trial applications at gymnasiums of in-situ sound absorption measurement method by ensemble averaging technique	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 4532 ~ 4537
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3397/IN-2021-2729	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tomiku Reiji, Okamoto Noriko, Otsuru Toru, Iwamoto Shun, Suzuki Shoma	4. 巻 263
2. 論文標題 Finite element sound field analysis on measurement of absorption coefficient in a reverberation room -Relationships between inclination of walls and measurement results-	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 5571 ~ 5577
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3397/IN-2021-3158	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Okamoto Noriko, Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Masuda Masahiro, Tabaru Arisa	4. 巻 263
2. 論文標題 Calculation of statistical absorption coefficient using ensemble averaged surface normal impedance of material	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 5578 ~ 5583
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3397/IN-2021-3163	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Lawanwadeekul Siwat, Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Nishiguchi Hiroyasu	4. 巻 255
2. 論文標題 Thermal-acoustic clay brick production with added charcoal for use in Thailand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 119376 ~ 119376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.conbuildmat.2020.119376	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Lawanwadeekul Siwat, Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Nishiguchi Hiroyasu, Sakamoto Noriaki, Matsuoka Daiki, Yoshimoto Ryota	4. 巻 164
2. 論文標題 Applying the ensemble averaging method with a pressure-velocity sensor to measure sound absorption characteristics of porous clay bricks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Acoustics	6. 最初と最後の頁 107250 ~ 107250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apacoust.2020.107250	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Okamoto Noriko, Lawanwadeekul Siwat, Sakamoto Noriaki	4. 巻 261
2. 論文標題 A discussion on the mechanism of sound absorption measurement method based on the ensemble averaging technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 510-515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomiku Reiji, Okamoto Noriko, Otsuru Toru, Iwamoto Shun	4. 巻 261
2. 論文標題 Finite element sound field analysis in rooms with curved surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 1651 ~ 1658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Otsuru Toru, Reiji Tomiku, Siwat Lawanwadeekul, Daiki Matsuoka, Ryota Yoshimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Sound absorption measurement method using ensemble averaging technique: A robust method for surface impedance including in-situ applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ICA 2019 AND EAA EUROREGIO	6. 最初と最後の頁 1350-1357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okamoto Noriko, Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Ito Kaho	4. 巻 -
2. 論文標題 In-situ sound absorption measurement method of materials using ensemble averaging-Comparison of proposed method with tube method or reverberation room method.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ICA 2019 AND EAA EUROREGIO	6. 最初と最後の頁 4633-4637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計40件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Okamoto Noriko, Lawanwadeekul Siwat
2. 発表標題 Trial applications at gymnasiums of in-situ sound absorption measurement method by ensemble averaging technique
3. 学会等名 Inter-noise 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomiku Reiji, Okamoto Noriko, Otsuru Toru, Iwamoto Shun, Suzuki Shoma
2. 発表標題 Finite element sound field analysis on measurement of absorption coefficient in a reverberation room -Relationships between inclination of walls and measurement results-
3. 学会等名 Inter-noise 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Okamoto Noriko, Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Masuda Masahiro, Tabaru Arisa
2. 発表標題 Calculation of statistical absorption coefficient using ensemble averaged surface normal impedance of material
3. 学会等名 Inter-noise 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Okamoto Noriko, Lawanwadeekul Siwat, Sakamoto Noriaki
2. 発表標題 SOUND ABSORPTION MEASUREMENT METHOD USING ENSEMBLE AVERAGING TECHNIQUE FOR COMPUTATIONAL ROOM ACOUSTICS SIMULATIONS
3. 学会等名 The 27th International Congress on Sound and Vibration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大鶴徹、富来礼次、岡本則子
2. 発表標題 吸音特性のアンサンブル平均に関する考察
3. 学会等名 日本騒音制御工学会秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金澤篤秀、富来礼次、岡本則子、木村太紀、大鶴徹
2. 発表標題 矩形室内の音響エネルギー密度測定に関する研究 -その1 3軸音圧-粒子速度センサを用いるための基礎的検討-
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木彰馬、富来礼次、岡本則子、大鶴徹
2. 発表標題 残響室法吸音率の測定音場に関する有限要素解析 -矩形残響室における傾斜壁および拡散板が測定値に与える効果-
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Otsuru Toru, Tomiku Reiji, Okamoto Noriko, Lawanwadeekul Siwat, Sakamoto Noriaki
2. 発表標題 A discussion on the mechanism of sound absorption measurement method based on the ensemble averaging technique
3. 学会等名 INTERNOISE 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomiku Reiji, Otsuru Toru, Okamoto Noriko, Iwamoto Shun
2. 発表標題 Finite element sound field analysis in rooms with curved surface
3. 学会等名 INTERNOISE 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大鶴徹, 上田麻理
2. 発表標題 スポーツと音・音響学 ~ スポーツ音響調査研究委員会の活動 ~
3. 学会等名 日本音響学会電気音響研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大鶴徹，富来礼次，岡本則子，ラワランデークル シワット
2. 発表標題 スポーツ音響への応用に適したアンサンブル平均を用いた吸音特性の現場測定法 -アンサンブル平均の特徴に関する考察-
3. 学会等名 日本音響学会秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 富来礼次，大鶴徹，岡本則子，藤田和宏
2. 発表標題 3軸音圧 - 粒子速度センサーを用いた音響測定に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本音響学会秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大鶴徹、富来礼次、坂本憲昭、岡本則子、Siwat Lawanwadeekul
2. 発表標題 アンサンブル平均を用いた吸音特性の現場測定に関する一考察 - 芝・床・水面等の吸音特性 -
3. 学会等名 日本音響学会研究発表会（秋季）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡大樹、大鶴徹、富来礼次、Siwat Lawanwadeekul、吉本亮太
2. 発表標題 アンサンブル平均を利用した材料の吸音特性の in-situ 測定に関する研究 多孔質粘上レンガの測定に関する基礎的検討 -
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	岡本 則子  (Okamoto Noriko)  (00452912)	大分大学・理工学部・准教授   (17501)	
研究 分担者	富来 礼次  (Tomiku Reiji)  (20420648)	大分大学・理工学部・教授   (17501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
タイ	Lampang Rajabhat University		