

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：42686

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06340

研究課題名(和文)安全で高品質な音響空間創造のための散乱係数測定法の開発

研究課題名(英文)Development of a measurement method of scattering coefficient for creating safe and high quality acoustic space

研究代表者

羽入 敏樹 (HANYU, Toshiki)

日本大学短期大学部・その他部局等・教授

研究者番号：70299981

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：建築空間において非常放送などが障害なく伝わる安全で高品質な音響空間を創造するため、壁面の凹凸や物体による音の拡散効果を表す散乱係数を測定する方法について検討した。

本研究で得られた成果は以下の通りである。1、壁面の凹凸だけでなく空間に存在する物体の散乱係数も測定できる基本アルゴリズムを確立した。2、壁面や物体の吸音の影響を除去して音の散乱効果のみを定量化する方法を確立した。3、ランダム入射散乱係数だけでなく、垂直入射散乱係数および2次元入射散乱係数の測定法も提案し、それらの音響設計における利用法を示した。4、音場の拡散性を評価する指標として時系列変動係数と周波数変動係数を提案した。

研究成果の概要(英文)：In order to create a safe and high quality acoustic space where speech information can be transmitted clearly, a method of measuring the scattering coefficient quantifying diffusion effect by the unevenness of the wall surface and the object was studied.

The results obtained in this research are as follows. 1, a basic algorithm was established that can measure scattering coefficients of not only wall irregularities but also objects existing in space. 2, a method to quantify only the sound scattering effect by removing the influence of the sound absorption of the wall surface and the object was established. 3, Measurement methods of normal incidence scattering coefficient and two-dimensional incident scattering coefficient were proposed, and their usage in acoustic design has been examined. 4, Time series variation coefficient and frequency variation coefficient were newly proposed as indexes to evaluate the diffusivity of the sound field.

研究分野：建築音響

キーワード：室内音場 拡散 散乱係数 垂直入射散乱係数 2次元入射散乱係数 時系列変動係数 周波数変動係数  
散乱係数測定法

1. 研究開始当初の背景

壁面の拡散が不足すると残響の方向が偏り、音の方向感が狂ったり、吸音効率が著しく低下するなどの問題が生じる。そのため音響設計における拡散の重要性が高まり、1990年代から世界中で拡散の研究が盛んになった。1995年にMommertzとVorländerが壁面の拡散性能として「散乱係数 (Scattering Coefficient)」を定義し、2004年にその測定法がISO規格 (ISO:17497-1) となった。これら拡散の研究は欧米主導で進められ、欧米では拡散のための壁面材料が様々開発されて新たな産業が興っている。日本はこの分野で出遅れている。

しかしISO規格による測定法は、壁面材料を回転台に載せて回転させるため、測定できるものは円形に限られる。そのため、壁面を円形に切り取る必要がある、立体的な拡散体の測定ができない、などの制約があり測定法の普及を妨げている。これら制約のない散乱係数の測定法が必要とされている。

制約を取り除くには、“壁面の吸音率と空間の残響時間の関係”を表す残響理論に相当する、「拡散の理論的枠組み」が必要とされていた。

2. 研究の目的

駅、空港、学校、スポーツ施設など大規模な公共空間では、災害時の避難誘導など、音声情報を特定方向から明確に伝えることが必要である。そのため空間の残響方向が偏らないように、壁面の凹凸 (拡散体) による「音の拡散」を設計することが重要になる。しかし、その設計手法は確立されておらず、空間の本来の音響性能が十分に達成できていないのが現状である。

本研究の目的は、安全で高品質な音響空間を創造するための「音の拡散」の設計基盤を構築することである。そのため、設計の基盤構築に不可欠となる拡散体の性能を表す「散乱係数」の測定法を確立することを目指す。

3. 研究の方法

吸音のある壁面に偏在させた立方体室あるいは直方体室の1/10縮尺音響模型を用い、「散乱係数の測定アルゴリズム」および「音場の評価指標」について実験的に検討した。

図1に示すように、立方体室もしくは直方体室の吸音を偏在させ、あえてフラッターエコーが生じるような拡散の悪い音場をつくり、その音場内に拡散体を設置することで音場の拡散性を変化させる。その際、図2、表1に示すように寸法の異なる拡散体を用いた。

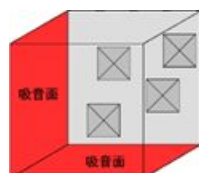


図1 模型実験概要

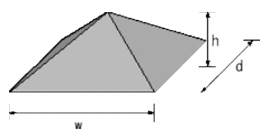


図2 拡散体

表1 拡散体寸法

Diffuser type	Size w*d*h(mm)
Square pyramid (L)	80*80*30
Square pyramid (S)	40*40*15

4. 研究成果

本研究で得られた成果は以下の通りである。

(1) 壁面の凹凸だけでなく空間に存在する物体の散乱係数も測定できる基本アルゴリズムを確立した。

図3のように、吸音のある壁面に偏在させた立方体室あるいは直方体室において、壁面拡散体や立体拡散体が“あり”と“なし”の2条件の残響減衰を測定し、その変化から「散乱係数」を推定するアルゴリズムを考案し、その有効性を1/10縮尺模型実験によって確認した。これにより、従来手法のように拡散体を回転台に載せて回転させる必要がなくなり、立体的な拡散体の測定も可能となる。

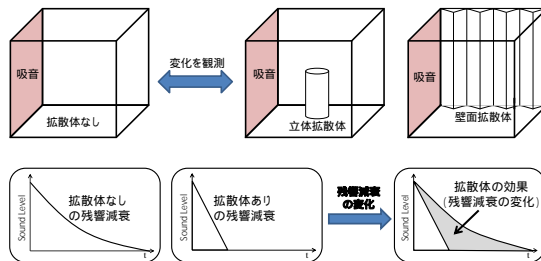


図3 散乱係数の推定アルゴリズム概念図

図4、図5は壁面拡散体として図2のピラミッド型拡散体の数を変化させたときの散乱係数の測定例である。図4と図5は拡散体のサイズが異なる。サイズの大きい拡散体の散乱係数である図4は、サイズの小さい拡散体の結果に比べて、より低音域から散乱係数が大きくなっていることから、サイズの大きい拡散体の方が低音域の拡散効果が高いという従来の知見を裏付けている。

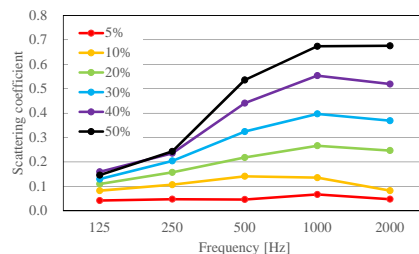


図4 ピラミッド型拡散体 (大) の散乱係数

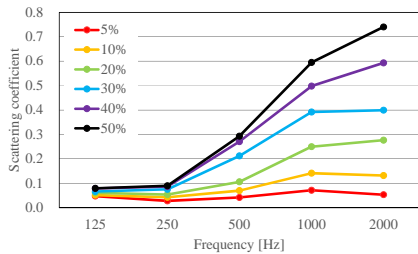


図5 ピラミッド型拡散体（大）の散乱係数

(2) 壁面や物体の吸音の影響を除去して音の散乱効果のみを定量化する方法を確立した。

本研究で提案した測定手法で得られる散乱係数は、拡散体自体の吸音の影響を受け、本来の値より吸音の分だけ過大評価されてしまう。そこで、まず拡散体の吸音率を測定し、散乱係数から吸音の影響を除去する手法を考案し、模型実験等でその有効性を示した。

吸音の影響を含む散乱係数の測定例を図6、吸音の影響を除去した結果を図7に示す。これらと比較すると、図7の散乱係数は吸音の影響が取り除かれ図6に比べて若干小さい値を示しているのがわかる。

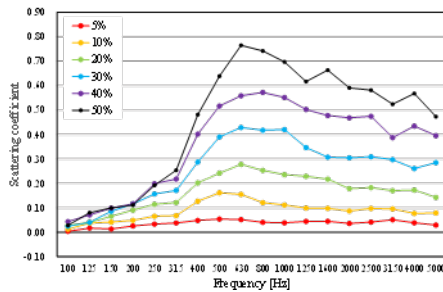


図6 吸音の影響を含む散乱係数

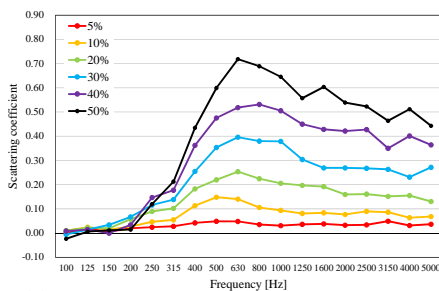


図7 吸音の影響を除去した散乱係数

(3) ISO 測定によるランダム入射散乱係数とは異なる垂直入射散乱係数および2次元入射散乱係数の測定の可能性を見出し、それらの音響設計における重要性を確認できた。

図8は90度向きが異なる拡散体設置パターンA,Bを示している。この2条件で散乱係数を測定した結果を図9に示す。図9を見ると、設置方向AはBに比べ、ほぼ全帯域で散乱係数が低い。同じ拡散体でも設置方向によ

って拡散効果が異なることがわかる。この違いは、設置方向Aでは吸音面方向ではなく二次元音場内に留まる方向に散乱させ、設置方向Bでは二次元音場からはじき出して吸音面方向に音を散乱するためと考えられる。また設置方向Bの結果を見ると、垂直入射散乱係数と同様、折板(大)は折板(小)に比べ1オクターブ低域にシフトしている現象を確認できた。

二次元入射散乱係数では拡散体の設置する向きによって拡散体の効果が大きく異なることが示された。これはISOに定められたランダム入射散乱係数では表すことのできない情報であり、向きを変えるだけで、空間に音を残して残響を長くするか、音を散乱させ残響を短くするかを選択できることを示している。これらは実際の音響空間を設計する際には重要な情報となる。

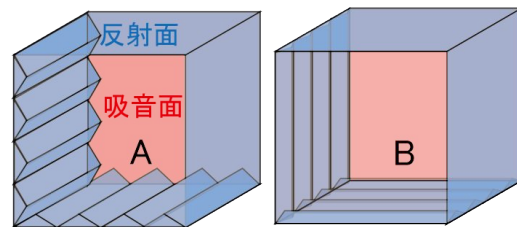


図8 二次元入射散乱係数の測定パターン

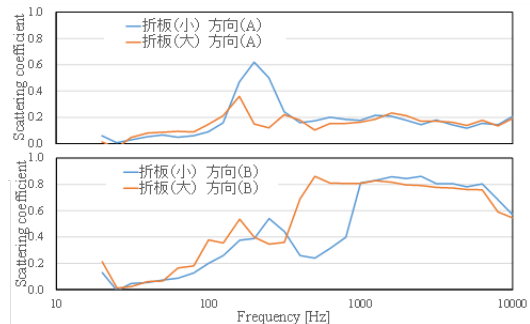


図9 設置方向の違い(A,B)による折板の二次元入射散乱係数

(4) 音場の拡散性を評価する指標として時系列変動係数と周波数変動係数を提案した。

図10、図11はピラミッド型拡散体(大)と(小)を設置したときの音場の時系列変動係数、図12と図13は周波数変動係数である。これらを見ると、拡散体の数が増すほど、時系列変動係数、周波数変動係数共に小さくなり、音場の拡散性が高くなったことがわかる。時系列変動係数は主に高音域、周波数変動係数は主に低・中音域で変動した。

これらの指標を用いると、時間領域と周波数領域の両面から音場の拡散性を評価できる可能性がある。そして、拡散性が低いために生じるフラッターエコーやブーミングなど、従来その評価指標が無かった現象に対して有効な指標となり、音響障害を自動判別したり、障害の程度を評価できることが期待さ

れる。

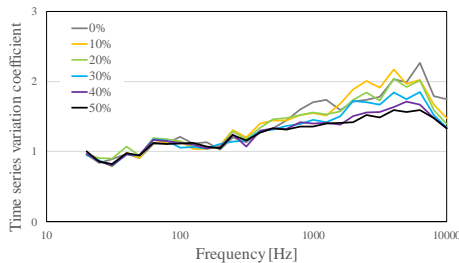


図 10 ピラミッド型拡散体(大)を設置したときの音場の時系列変動係数

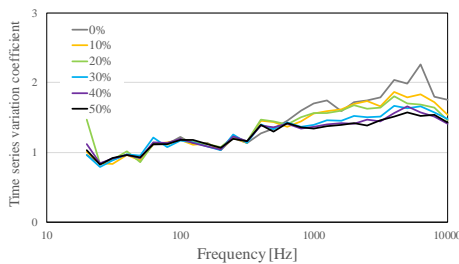


図 11 ピラミッド型拡散体(小)を設置したときの音場の時系列変動係数

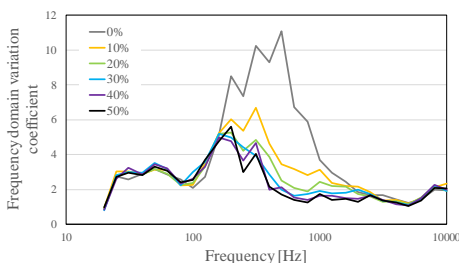


図 12 ピラミッド型拡散体(大)を設置したときの音場の周波数変動係数

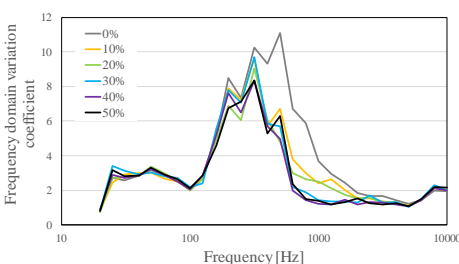


図 13 ピラミッド型拡散体(小)を設置したときの音場の周波数変動係数

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

羽入敏樹、マルコフ連鎖に基づく拡散を考慮した室内残響の数理モデル、日本建築学会環境系論文集、査読有、第81巻、第720号、2016、141-151  
<http://doi.org/10.3130/aije.81.141>

[学会発表](計16件)

Toshiki Hanyu, Kazuma HOSHI and Tao

NAKAKITA, Assessment of sound diffusion in rooms for both time and frequency domain by using a decay-cancelled impulse response、Euronoise2018 in Crete, Greece (招待講演)(国際学会)、2018

下山達志、星和磨、羽入敏樹、減衰除去インパルス応答を用いた室内音場の拡散性評価指標の可能性、2018年度日本建築学会大会、2018

Toshiki HANYU、Theoretical model on reverberation decay in a rectangular room with specular reflective walls、Internoise2017 in Hong Kong (国際学会)、2017

Toshiki HANYU、Theoretical model of reverberation decay in a rectangular room Potential for predicting flutter echo、American Society of Acoustics in New Orleans 2017 fall (招待講演)(国際学会)、2017

中来田道、星和磨、羽入敏樹、音の散乱係数測定における吸音の影響除去、2017年度日本建築学会大会、2017

羽入敏樹、鏡面反射面で構成された矩形室における残響減衰の数理モデル、日本音響学会2017年秋季研究発表会、2017

Toshiki Hanyu, Kazuma Hoshi, Tao Nakakita, Method for measuring sound scattering coefficients of walls and diffusers by using a non-diffuse sound field with unevenly-distributed sound absorption、Internoise 2016 Conference, Hamburg (招待講演)(国際学会)、2016

Kazuma Hoshi, Toshiki Hanyu, A Study on acoustic impedance in-situ measurement technique using cardioid Microphones、International Congress on Acoustics 2016 (国際学会)、Buenos Aires(Argentina)、2016

Toshiki Hanyu, Kazuma Hoshi, Evaluation of isotropy of sound field in a room based on the decay-cancelled sound intensity、International Congress on Acoustics 2016 (招待講演)(国際学会)、Buenos Aires(Argentina)、2016

Takahisa Miyata, Toshiki Hanyu, Kazuma Hoshi, Influence of music-induced floor vibration on impression of music in concert halls、International Congress on Acoustics 2016, Buenos Aires(Argentina)、2016

Akiho Matsuo, Toshiki Hanyu, Kazuma Hoshi, Analysis of reverberation times and energy decay curves of 1/12 octave bands in performance spaces considering musical scale、International Congress on Acoustics 2016, Buenos Aires(Argentina)、2016

Toshiki Hanyu, Akiho Matsuo, Kazuma Hoshi, Evaluation of spatial impression of sound field in a concert hall based on the sound intensity using musical sounds, ASA and ASJ the 5th Joint Meeting in Honolulu (招待講演) (国際学会), Honolulu(America), 2016

Kazuma Hoshi, Toshiki Hanyu, Elucidation of a mechanism of acoustic impedance technique using two cardioid microphones and ensemble averaging method, ASA and ASJ the 5th Joint Meeting in Honolulu (招待講演)(国際学会), Honolulu(America), 2016

羽入敏樹、星和磨、中來田道、音面が偏在する非拡散音場を利用した散乱係数測定法に関する基礎的検討、日本音響学会建築音響研究会、東京工業大学キャンパスイノベーションセンター(東京都港区)、2016

羽入敏樹、星和磨、音響インテンシティを用いた室内音場の等方性評価に関する基礎的検討、日本音響学会 2016 年春季研究発表会、桐蔭学園大学(神奈川県横浜市青葉区)、2016

羽入敏樹、マルコフ連鎖に基づく拡散を考慮した室内残響の数理モデル、日本音響学会建築音響研究会、芝浦工業大学豊洲キャンパス(東京都江東区)、2015

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

羽入 敏樹 (HANYU, Toshiki)

日本大学短期大学部・その他部局等・教授  
研究者番号：70299981

### (2) 研究分担者

星 和磨 (HOSHI, Kazuma)

日本大学短期大学部・その他部局等・准教授

研究者番号：50373171