会員の頁

- 1. イアルボード天井板のご紹介
- 2. 試験機関としての小林理学研究所の紹介
- 3. やさしい防音講座 ―防音の基礎知識 4 ―

1. イアルボード天井板のご紹介

橋本 幸久 (Yukihisa Hashimoto) マグ・イゾベール株式会社

1. はじめに

1990年代よりグラスウール化粧吸音板としてEAL イアルボードを発売し、ホールやスタジオ、学校施設 を初め大型ドームなど多くの現場で採用を頂いていま す.

発売時のコンセプトは、Excellent(優秀な)Artistic (芸術的な)Luxury(贅沢な)でしたが、東日本大震災 の後に軽量で柔軟であることが加わりました. 大学や 設計事務所の皆様よりグラウウールの天井板は軽量な ので地震時にも壊れにくく、 万が一落ちても安全な天 井板として供給できるのではないかとの助言を頂き. 告示771号(特定天井)の対象となる現場でも施工でき る工法を開発し発売しました.

2. イージーセーフ工法のご紹介(写真1,2) グラスウール天井板は釘やビス止めが出来ませんの

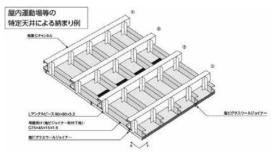


図1 イージーセーフ工法施工図(塩ビジョイナー受け有りの場合)

で、天井板の4周を塩ビジョイナー止めとします.

この塩ビジョイナーを構造材等に留め付ける直張り 構造とすることで、告示771号の対象外となります(施 工方法等の詳細はホームページの資料をご覧下さい).

図1 イージーセーフ工法の施工例(塩ビジョイ ナー受けを利用)900×1,800モジュールmmなど対応可 能です。

東日本大震災では避難所となっていた公立の小中学 校などの体育館の約半分で天井板が落下したため使用 できなかったことを踏まえて、翌年2012年に文部科学 省より天井の一斉点検及び改修工事の通達があり、自 治体に対して工事費の1/3を国が、53.4 %を都道府

公立学校施設

- (1) 事業名 学校施設環境改善交付金 防災機能強化事業
- (2) 対象施設 公立の幼稚園、小学校、中学校、中等教育学校(前期課程)、特別支援学校
- (3) 算定割合等 算定割合: 1/3
- (4) 対象事業 建築非構造部材の耐震化工事

 - 建築非構造部材の削寮化工事 ・ <u>天井林、駅即器具等の落下防止工事(吊り天井の撤去工事も対象)</u> ・ 外壁、建具、間仕切り等の刺落・落下防止工事 ・ 設備機器の移動・転削防止工事 ・ 等 ※非構造部材の点検等に係る経費(点検~設計)は、工事に合わせて補助対象となる

下限額:400万円~上限額:2億円

(過去急増市町村にあっては3億円)

<参考: 防災機能強化事業(非構造部材の耐震対策)に係る財源内訳(平成25年度)>

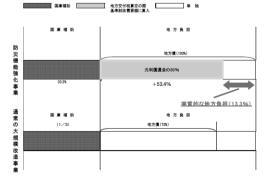


図2 学校施設の天井落下防止の為の文部科学省からの補助金



写真1 イージーセーフ工法 アリーナ



写真2 イージーセーフ工法 体育館

県が負担する施策がありました(図2). 現在でも新築の場合には、グラスウール天井板は国から工事費の1/3の補助金が継続して出ています.

・グラスウール天井板の利点としては、まず従来の天井板よりも軽量化ができ天井下地と天井板を合わせた総天井重量比で、 $1/5 \sim 1/9$ になります(表1).

天井板が軽量化されると、天井の慣性力も $1/5\sim1/9$ に低減され天井が揺れにくくなり安全性が増します。

また天井板が柔らかいため地震時に天井板が破壊されず、地震の後に元通りになる可能性が高くなります. さらにグラスウール天井板は、万が一落下しても破壊

表 1 天井工法の重さ比較

()	(g/m²)

	在来工法	単張工法	ES工法
天井下地	3.4	3.4	構造が負担
天井板	12.4	6.0	1.7
合計	15.8	9.4	1.7

ES:イージーセーフ工法

されないので、天井の落下被害を最小限におさえることができます.

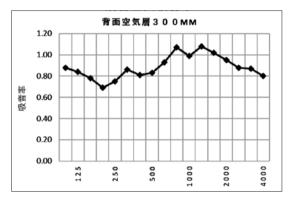
イージーセーフ工法用天井板:マグストーンの性能

・熱伝導率: 0.035(w/m・k) ・熱抵抗: 0.71(㎡・k/w)

·不燃NM-8610

・ホルムアルデヒド放散速度 ☆☆☆☆

・残響室法吸音率(グラフ1)



グラフ1 マグストーンの残響室法吸音率

・バレーボールの激突試験

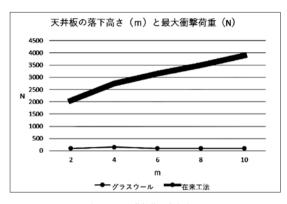
市町村の教育委員会様よりバレーボールを天井にぶつけるなどのいたずらがあっても壊れないかとのご質問があり、バレーボールをピッチングマシンで発射し、イージーセーフ工法のモックアップに激突させる試験を実施しました(図3). 試験ビデオは以下で視聴できます

https://www.isover.co.jp/ceiling/solution-large-space 結果は、バレーボールを100 km/時で激突させても、 天井板や塩ビジョイナーの破損、脱落はありませんで した。

・天井板落下試験データの引用



図3 バレーボール激突試験



グラフ2 天井板落下試験データ

人の頭に天井板が落下することを想定し、2~20 m の高さから2mピッチで天井板を落下させ、床に置いた人頭模型の圧力センサーで最大衝撃荷重を測定した試験データがあります(グラフ2)(グラフ2では高さ10 mまで表記). ヘルメットの研究者によると成人女性の頭蓋骨は、衝撃が2,000 Nを超えると損傷のリスクが増えるとのデータがあります。ここでは代表的なデータを掲示しますが重い天井板ほど最大衝撃荷重は大きくなります。防災時の安全・安心の意味では、2,000 N以下になるように配慮した設計が望まれます。

グラスウール天井板の場合には、落下高さにかかわらず、最大衝撃荷重はかなり低い値でほぼ一定で、その値は2,000 Nより遠く外れているため、万が一天井板が落下しても安全安心となる可能性が高くなります.

地震発生時に天井板が壊れないこと, 万が一破損して落下しても人体や施設への影響が最小限となることは, BCP(事業継続計画)の観点からも望まれます.

[引用文献]

日本建築学会大学学術梗概集からデータを抽出して表示「人体耐性指標 を用いた天井材の安全評価に関する基礎的研究」

3. イアルスーパーライトのご紹介(図4,写真3,4) 既存の天井板単張り工法からの改修を目標に、グラスウール天井板の厚さを12 mmとし、天井板4周を専 用塩ビジョイナーで軽量下地に止付けます。

特定天井対応ではない一般天井が対象となります. 天井板は密度64 kg/m³厚さ12 mmなので、グラスウールだけで768 g/㎡となり最軽量(スーパーライト)となります.

特長は、イージーセーフ工法でご紹介した天井が揺 れにくくなることや落下時の安全性が高い性能を引き 継ぎ、改修工事の手間を省力化しました。

改修の前後で天井板の厚さが変わらない仕様のため、天井下地や設備機器のレベル調整手間を削減でき

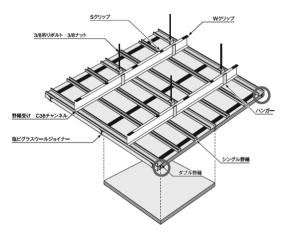


図4 イアルスーパーライト施工図



写真3 イアルスーパーライト 幼稚園



写真4 イアルスーパーライト 幼稚園

ます

また、在来天井からの改修等により天井板が軽量化できるため天井下地の負荷を低減します。また天井下地の一部を再利用することも見込めるので、工事手間の短縮ばかりでなく廃材量の低減にもなります。天井板は910×910 mmモジュール対応します。

イアルスーパーライト用天井板の性能

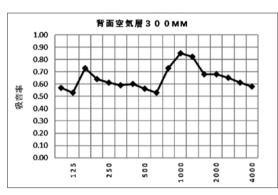
・熱伝導率: 0.035(w/m・k)

・熱抵抗:0.34(m・k/w)

・不燃NM-4848

・ホルムアルデヒド放散速度 ☆☆☆☆

・残響室法吸音率(グラフ3)



グラフ3 イアルスーパーライトの残響室法吸音率

どの周波数でもほぼ一律に高い吸音効果が得られます.

施工業者の評価

- ・専用の塩ビジョイナーは、予めプレカットしてある ので寸法カットの手間が省けます。
- ・工事全体の施工効率が単張り工法より改善します.
- ・夜間工事や施工時間が取れない現場にも適合します.

4. おわりに

イアルボード天井板の2つの施工方法:①イージー

セーフ工法 ②イアルスーパーライトをご紹介しました

弊社のホームページには次の資料があります.

https://www.isover.co.jp/industry/ceiling

- ・カタログ
- 施工マニュアル
- ・施工ビデオ(イアルスーパーライト)
- ・CAD図面(標準施工図、設備機器の収まりなど) (グラスウール天井板の特長のまとめ)
- ・天井が揺れにくくなります.
- ・天井が壊れにくくなります.
- ・天井板が万が一落下しても人体や施設に影響をあた えにくくなります.
- ・吸音性能があります。

(日常時、非常時ともに部屋の音響改善に役立つ)

・断熱効果が期待できます.

(停電時にシェルターとなる場所では特に必要となります)

以上の特長は避難所等の施設で地震時のBCP(事業継続計画)に貢献できることをお伝えしました.

地球温暖化の影響とされる CO_2 に対しては、2030年の CO_2 削減目標を2013年比46%に目標設定されました。グラスウールは断熱材でもあり CO_2 削減についても貢献できる場面は多くなるものと推定されます。

また近年はコロナ禍や大地震発生予測のニュース報道の影響もあり自宅やオフィス、避難所等の防災に対する関心が高まってきています。

地震などの災害は発生時期を予測することが難しい と言われ、規模についても想定を超える被害が起きる こともあり正確な予測は難しいようです.

今後このような災害が予測できない規模で襲ってくることを考慮せざるをえなくなってきた中で、防災対策の1つとしてグラスウール天井板が貢献できれば幸いです。

2. 試験機関としての小林理学研究所の 紹介

吉村 純一 (Junichi Yoshimura) 一般財団法人 小林理学研究所 (Kobayasi Institute of Physical Research)

1. はじめに

財団法人 小林理学研究所は、昭和13年文部省から 認可がおり、同年11月東京都国分寺市に設立されました。当初は物理学の基礎及び応用研究を指向する研究 所として発足し、戦後は研究の中心を音響学におくようになりました。主な事業として、音・振動の発生および伝搬のメカニズムの解明、センサを含めた計測システムの開発と実用化、騒音・振動の影響評価と予測・対策・制御、吸音遮音材料の開発等に係る研究を課題としております。

こうした研究活動を通して、各種学会や公的機関の活動に協力し、規格の審議・改訂などに貢献するとともに、近年、国の機関や業界などからの社会的ニーズに呼応すべく、新たな計測評価業務を開始しております。ここでは、各担当者からその一端を簡単に紹介してもらいます。

なお、 $2\sim5$ 章の文責および担当者の氏名を章末に記載します。詳しくは、一般財団法人 小林理学研究所のホームページ(http://www.kobayasi-riken.or,jp/)も併せてご参照戴ければ幸いです。

2. 建築音響材料

建築音響材料の計測業務については、昭和30年第1, 第2残響室を完成、その後昭和40年までに第3~7残 響室を完成させて以来、吸音遮音材料の計測業務を継 続しており、床衝撃音レベル低減量測定のほか、吸音 遮音性能の予測に必要な、多孔質材料の流れ抵抗測定、 板材の振動減衰試験なども実施している.

2.1 残響室法吸音率測定

音響材料の吸音率は、一般的に残響室法吸音率で表されることが多い。当所では、JIS A 1409[1]に準じ、図1に示すような不整形7面体残響室において測定をおこなっている。昭和30年に建設されたこの残響室は、室容積は513 m³、表面積は382 m²であり、国内で最初の本格的な残響室である。平面吸音材料を対象とする場合、試料面積は10~12 m²程度としている。また、



図1 不整形7面体残響室

劇場椅子などの個別吸音体についても測定をおこなっている.

2.2 音響透過損失測定

音響透過損失測定の測定方法は、JIS A 1416[2]に 規定されている。この規格は2000年にISOに整合化された際に、従来用いられていた残響室(タイプI試験室)だけでなく、欧米で広く用いられている容積の小さい 矩形の試験室(タイプ II 試験室)も規定に加えられた。 当所では、これら両者のタイプの試験室があり、状況に応じて選択して使用することが可能である.

タイプ I 残響室は、2.1で述べた不整形残響室と同様の辺比率の形状で、室容積が201 m³の 2 室の残響室

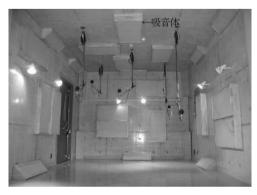


図2 音響透過損失測定用タイプⅡ試験室

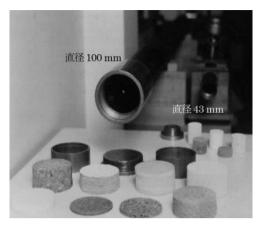


図3 垂直入射吸音率測定に用いる音響管

が組み合わされている。また、図 2 に示すタイプ Π 試験室は、室容積が $51.4~m^3$ と $56.7~m^3$ の 2 室の試験室が組み合わされている。室内で発生する極端なモード分布を抑制するために、図中に示す吸音体によって、規格で規定された残響時間になるように調整している。両タイプの試験室とも、試験体を設置する開口部面積は約 $10~m^2$ である。

2.3 音響管を用いた吸音性能評価

音響管法は、JIS A 1405[3,4]の第一部に定在波比法、第2部に伝達関数法が規定されている。当所では両手法での測定が可能である。音響管は図3に示すように直径100 mmと43 mmのものがあり、測定周波数範囲は、それぞれ125~1,600 Hzおよび1,000~4,000 Hzである。また、断面が角形(300×300 mm)の音響管は、主に吸音楔の音圧反射率の測定(Cut off周波数など)に用いられ、測定周波数範囲は63~500 Hzである。なお、管径100 mmを用いて多孔質材料の流れ抵抗測定も可能である。

2.4 床衝撃音レベル低減量測定

床仕上げ構造の床衝撃音レベル低減量の測定は、JIS A 1440[5,6]に基づき、壁式構造試験装置と呼ばれる矩形の床試験室を用いて測定される. 低減量はコンクリート製標準床の厚さに依存するため、床厚150±10 mmと200±10 mmの試験室でそれぞれ改善量を測定する. 床面(約20 m²)の片隅の所定の位置に10 m²の試料(床仕上げ材料又は床仕上げ構造)を設置し、標準軽量床衝撃源又は標準重量床衝撃源を用いて、所定の5カ所の位置を加振し、素面と試料設置状態においてそれぞれ下室での平均床衝撃音レベルを測定する.

両者を差し引いて床衝撃音レベル低減量を算出する.

2.5 振動減衰試験

当所では、材料の振動減衰特性の試験は、試料の中央を加振して、そこで検出される板のインピーダンス特性から、半値幅を測定して損失係数を求める共振法を用いて測定をおこなっている。恒温槽内において試験をおこなうことで、任意の温度条件で試験することが可能である。主に、制振鋼板や合わせガラスの制振効果を調べる目的で用いられる。

担当;豊田恵美(Emi Toyoda)

3. 遮音板の耐飛び石性試験

高速道路などの遮蔽壁として、ガラス、ポリカ、アクリルなどの透光板が設置されることが増えている。 走行する車が道路に落ちている小石などを跳ね上げると透光板に当たり、ひび割れや破損などを引き起こす場合がある。このため、NEXCOなどの道路管理者は、透光板を設置する前に「遮音板の耐飛び石性試験」を実施することを義務付けている。図4に当所が所有する



(内側:加撃側)



(外側)

図4 遮音板の耐飛び石性試験装置

試験装置を示す. この装置は、NEXCOが規定した試 験法908-2017[7]に準じており、圧縮空気と電磁弁を 用いて射出管内の鋼球(SUS440C, 質量4.5 g ± 5%, 呼 び径13/32インチ)を所定の速度(21 m/s±1 m/s)で 射出することができる. 装置および試験体は、安全の ため鉄板の壁・天井で構成された専用の試験建屋内に 設置されている。球の射出は、圧縮空気と電磁弁を用 いた方法を採用しており、1試験体あたり6か所の打 撃位置に対してそれぞれ射出管(計6本)を備えてい る. 球の射出速度は. 透光板の直前15 cm~20 cmで 計測する必要があるため、この試験では高速度カメラ を用いて毎秒1万コマで撮影する. 図に示すように. 試験体は実際と同様にH鋼に落とし込む方式でクラン プ留めされており、フォークリフトを用いて設置、撤 去することができる. ひび割れなどの確認は、原則と して立会者が目視で行う.

当所では、この装置以外に様々な射出装置があり、数cm大の石、氷、列車模型などを高速で射出することができる[8]. 射出物や目標速度に合わせて射出管の太さや長さ、圧力タンクの容量などを使い分けている。射出速度が時速数百kmを超える場合には、分子量が小さいヘリウムを用いることがある。

担当;土肥 哲也(Tetsuya Doi)

4. 高架道路用裏面吸音板の斜入射吸音率計測

複層構造の高速道路が郊外に延伸し始めた当時, 地上道路から発生した自動車騒音が高架道路の裏面で反射することで,沿道までよく聞こえてしまう事象が発生した.この裏面反射音を低減するには,高架道路の裏面に吸音板を設置する対策が効果的である.裏面吸音板を設置した場合の道路騒音予測を行うために,ランダム入射を仮定した残響室法吸音率ではなく,入射角度ごとの吸音率を把握できる測定方法が求められ,当所の斜入射吸音率計測装置が開発された.当時の建設省の平成7年度建設技術評価制度課題[騒音低減効果の大きい吸音板の開発]の吸音性能試験方法に採用され,裏面吸音板の吸音性能を評価する指標として現在でも用いられている.

図5に示すように、装置は垂直方向を0度とし、0~45度の間を15度ごとにスピーカとマイクが鏡写しとなるように設置されている。スピーカからSwept-Sine信号を再生し、対応する位置にあるマイクで収録された音波を後処理によりインパルス応答に変換して、音波



図5 斜入射吸音率計測装置

の入射角度ごとに必要とする測定試料からの反射音のみを抽出することができる[9]. 測定室は床面積 7 $m\times 8m$, 高さ6mであり,試料を配置する床面とスピーカおよびマイクロホンとの距離は3mである.試料面積は過去の検討や道路に用いられる吸音板の大きさを考慮して, $4m\times 5m$ 程度で試験を行っている.

担当;星加 慧(Satoshi Hoshika)

5. 圧電材料物性試験

圧電体は力や歪みといった機械エネルギーを電気エネルギーに変換する性質を持ち、加速度ピックアップやハイドロフォンといった音や振動を検出するセンサとして用いられる.

本所では、圧電体の電極形成からポーリング処理と呼ばれる高電圧印加、さらに電気的性質、力学的性質について周波数依存性および温度依存性測定を行う。これらの結果は圧電体の物理現象の理解、性能や信頼性向上に役立てられている[10].

5.1 誘電率・弾性率試験

材料には電圧を加えると電流を流す導電体と電荷を 貯蔵する絶縁体に分けられる。絶縁体は誘電体と呼ば れ、その一部は圧電性を示す。圧電率は誘電体の電気 的性質である誘電率および力学的性質である弾性率と 関連する。当所では独自に自動測定システムを開発し、 自動測定と高精度データ取得の両立を実現している。

5.2 圧電率試験

当所では、圧電率の測定法として直接試料を伸縮させ発生する電荷量から圧電率を測定する方法と、誘電率周波数スペクトル上に現れる圧電共鳴スペクトルから導出する方法を行っている。圧電共鳴スペクトルは、圧電性を介して機械共振がスペクトル上に観測される圧電体特有の性質である。図6は-50 $\mathbb C$ から60 $\mathbb C$ で

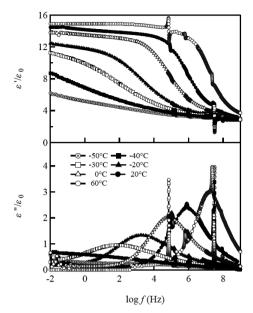


図6 ポリフッ化ビニリデンの誘電緩和と圧電共鳴

測定した圧電性ポリフッ化ビニリデンの誘電率周波数スペクトルである。ここで、 ϵ 'は貯蔵誘電率、 ϵ "は損失誘電率であり、真空の誘電率 ϵ 0との比である比誘電率が用いられる。

図に示すように、周波数範囲を10 mHzから1 GHz にわたる広帯域にすることで、分子運動に由来する誘電率の周波数依存性と、100 kHz、1 MHz、30 MHz に見られる圧電共鳴スペクトルが同時に観測される. 試料は短冊形状のフィルムであり、低周波側から長さ伸縮、幅伸縮、厚み伸縮を示す。これら共振周波数は試料の弾性率を与える。共鳴前後の誘電率変化は電気機械結合係数に依存する。弾性損失が大きくなるほど共鳴スペクトルはブロードとなる。このように、圧電共鳴スペクトルから電気機械結合係数、圧電率、弾性率さらに弾性損失が導出される。

5.3 強誘電分極反転試験

圧電体の一部は電場ゼロで分極を保持し、高電場印加により分極反転を示す。この性質を示す誘電体を強誘電体という。強誘電分極反転に伴う分極量変化は誘電応答による分極の数倍となる。強誘電体に大振幅の交流電場を印加して発生した電荷量を測定し、横軸に

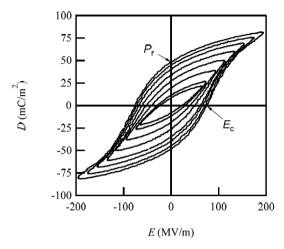


図7 ポリフッ化ビニリデンの強誘電DEヒステリシス曲線

電場E(単位厚み当たりの電圧), 縦軸に電気変位D(単位電極面積当たりの電荷)をプロットすると, 図7に示すヒステリシス曲線が得られる. E=0でのD値は残留分極量Pr, D=0でのE値は抗電場Ecを与える. 圧電率はPr値に比例する.

担当; 児玉 秀和(Hidekazu Kodama).

[参老文献]

- 1) JIS A 1409: 1998, 残響室法吸音率の測定方法
- 2)JIS A 1416:2000, 実験室における建築部材の空気音遮断性能の測 定方法
- 3) JIS A 1405-1:2007, 音響管による吸音率及びインピーダンスの測 定-第1部: 定在波比法
- 4)JIS A 1405-2: 2007, 音響管による吸音率及びインピーダンスの測 定:第2部: 伝達関数法
- 5) JIS A 1440-1:2007, 実験室におけるコンクリート床上の床仕上げ 構造の床衝撃音レベル低減量の測定方法-第1部:標準軽量衝撃源によ る方法
- 6) JIS A 1440-2:2007, 実験室におけるコンクリート床上の床仕上げ 構造の床衝撃音レベル低減量の測定方法-第2部:標準重量衝撃源によ る方法
- 7) NEXCO試験方法 第9編 環境関係試験方法
- 8) Doi et.al. "Development of an experimental facility for measuring pressure waves generated by high-speed trains," Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 98(1), pp. 55-61 (2010)
- 9) K. Kimura and K. Yamamoto, "A method for measuring oblique incidence absorption coefficient of absorptive panels by stretched pulse technique," Appl. Acoust., 62, pp. 617-632 (2001)
- 10) 古川猛夫「圧電ポリマー研究の話」小林理研ニュースNo. 148, 2020 年4月

音響商品開発を支援します

-吸音率測定、透過損失測定、床衝撃音測定、 振動減衰測定、パワーレベル測定、その他――

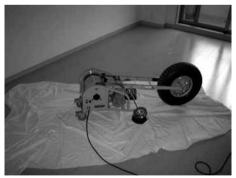
音響、振動等の専門研究機関の一般財団法人小林理学研究所と連携し、実験室における材料等の音響特性の測定を当協会がリーズナブルな費用で受託、音響商品開発のご支援をいたします。

【測定項目】

- 1. 透過損失測定
- 2. 残響室法吸音率測定
- 3. 垂直入射吸音率測定
- 4. 音圧反射率測定
- 5. 流れ抵抗測定
- 6. 振動減衰測定
- 7. 床衝撃音レベル低減量測定
- 8. 音響パワーレベル測定(残響室法)







一般社団法人日本音響材料協会 事務局までお問い合わせください。

169-0073東京都新宿区百人町3丁目21番16号 日本ガラス工業センタービル2階

Tel: 03-6384-1827 Fax: 03-6384-1828

Mail:info@onzai.or.jp

3. やさしい防音講座

一防音の基礎知識4-

6. 室内音場とは

日本音響エンジニアリング(株) 津金 孝光

7. 音響測定の方法

日本音響エンジニアリング(株) 福満 英章

前回まで、「1.音とは?防音とは?」、「2.吸音の仕組み・吸音材料」、「3.遮音の仕組み・遮音材料」、「4.防振の仕組み・吸音材料」、「5.騒音・振動の防止設計」を解説しました。今回は、引き続き、「6.室内音場とは、7.音響測定の方法」について解説します。

6. 室内音場とは

この章では、コンサートホールや会議室など、空間の用途に応じて、室内音響を設計する必要性とその方法を解説します。

6.1 室内音場とは

室内音場とは、床・壁・天井などによって閉ざされた室内空間における、音の振る舞いです。特徴的な現象に、残響 (Reverberation) と反響 (Echo) が挙げられます。

残響とは、室内で音を出した時、その音を止めた後 も響きがしばらく残る現象です。コンサートホールで 音楽を潤い豊かに聞くためには不可欠なものです。

しかし残響が多くなると、一般的に音の明瞭性が悪くなります。そのため、講堂や会議室など人の会話を聞くことが主途となる室内では、過度な残響は使い勝手を悪くしてしまいます。

反響とは、短い音を出した時に、その音に遅れて、1つまたは連続した多数の反射音が分離して聞こえる現象です。馴染みのあるところでは、山びこも反響の一種です。室内で、特に反射面が平行している場合には、その間で反射が繰り返され、連続的なエコーが生じます。これをフラッターエコーといいます。天井に荘厳な竜の絵が描かれた日光東照宮の薬師堂では、絵の真下で手をたたくと起こるフラッターエコーを鳴き竜と称し、名所となっています。しかし一般的な室内で反響がおきると音響障害となるため、極力防ぐ必要があります。

6.2 吸音と室内音場

室内の残響の長さを評価するものの一つに、残響時間(Reverberation Time)があります。残響時間とは、音の響きの長さです(図1)。 その定義は、室内音場として拡散音場(音のエネルギー密度がほぼ均一で、かつエネルギーの流れが等方的な音場)を仮定した時に、室内で音源から音を出し、音のエネルギー密度が定常状態になった後に音源を停止させ、エネルギー密度が1/10⁶(100万分の1、-60 dB)に減衰するまでの時間です。拡散音場の仮定に基づけば、残響時間は吸音材の配置、音源点・受音点の位置によらず、一定になりますが、実際の室空間においては音場の拡散の程度によって変化します。

残響時間を示す式はいくつかあります. ここでは, アメリカの物理学者ウォーレス・クレメント・セイビン(以下Sabine)の残響式を図2に示します.

このSabineの残響式には、2つのポイントがあります。1つ目は、室内空間の室容積が大きいと、必然的に残響時間は長くなります。2つ目に、平均吸音率と室内空間の総表面積との積である等価吸音面積(吸音力)が大きいと、残響時間は短くなります。つまり残響時間が短くなるためには、第1に室内空間の室容積が小さくなり、第2に吸音率の大きい材料を床・壁・天井などの表面に多く配置することが必要となります。

残響時間は、室内空間の過渡特性(入力の変化に対して、出力が追従する特性)を表す基本的な指標であると同時に、室内の響きや余韻の程度など、聴感的印象を表す指標としても広く使われます。最適な残響時

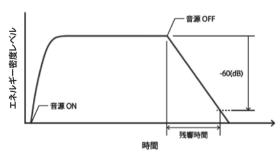


図1 残響時間の定義

残響時間 T= 0.161×室容積/等価吸音面積 (等価吸音面積=平均吸音率×室内総表面積)

図2 Sabine の残響式

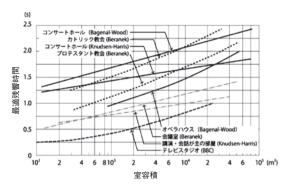


図3 室容積と推奨される最適残響時間(500 Hz)の関係図 日本建築学会編「建築設計資料集成環境」(丸善)より抜粋

間は、室の用途、規模によって異なります。複数の建築音響研究者により、コンサートホール、教会、会議室などの各用途別に、最適な残響時間が提案されています(図3).

また残響時間には周波数特性があり、なるべく周波 数特性が平坦(へいたん)になることが望ましいとされ ています.一般的な室では低音域でやや長め、高音域 で短めとなる傾向となります.

残響時間を用いた室内音場の検討は、コンサートホールなど音響特性が重視される室内だけでなく、会議室、体育館、教室など、日常的に利用される空間においても実施した方がよいでしょう。室内の吸音処理を考慮することにより、室の目的に合わせた適切な室内音場の空間を構築することができます。

6.3 室内音場の問題が起きやすい3事例

建築設計時に、音響特性への配慮がおろそかになり やすい3つの空間(会議室、大空間、教室)と注意点を 紹介します。

(1) 会議室の吸音対策

内装デザインに配慮した会議室は、床・壁・天井にガラス、塗装仕上げやフローリング、プリントタイルなど、音響的に反射性の高い材料や施工法によるケースが多くあります。完成後に使用してみたら、室内の音が響きすぎてしまい、話が聞き取りにくいという問題が顕在化することも少なくありません。会議室という室の目的から、適切な吸音処理は必須であり、話が聞き取りやすく、落ち着きのある空間を担保する必要があります。特に、最近多く利用されて来ているweb会議システムを利用する場合には、システムを介して相手とコミュニケーションを取るために、通常の会議室以上に吸音に配慮した空間が必要です。

(2) 大空間の残響対策

体育館やスケートリンク,プールなどの大空間は,室容積が大きいため,必然的に残響時間が長くなります(参考: Sabineの残響式).これらのスタジアムは競技用の床,リンクの氷面,プールの水面など,音響的に大きな反射面になることが多いことも特徴です。また,競技に使用される放送・音楽だけでなく,観客席からの声援もあり,騒がしい空間となりやすく,それらが競技に支障をきたす場合が見受けられます。さらに残響過多な大空間になると,非常時の放送が聞き取りにくく、避難に支障が出る可能性もあります。大空間においても、適切な吸音対策を施すことは極めて重要です。

(3) 教室の吸音対策

一昔前の一般的な学校は、壁や引き戸、扉で教室が独立・区画化され、廊下に面して並列に配置されていました。近年は、オープンプラン型をはじめとする多様な学校教室のデザインが提案され、また採用されています。各スペースを隔てる壁がないオープンプラン型は、従来のレイアウトより、音響的に良好な環境の確保が困難になる傾向があります。そのため日本建築学会は、環境基準として、学校施設の音環境保全基準・設計指針(AIJES-S001-2008)を2008年3月に発刊しました。適切な学校教育を行う場を構築するためには、教室の吸音対策は大事なポイントとなります。

本章では、室内音場の解説と、施設の目的ごとに留 意すべきポイントをまとめました.

7. 音響測定の方法

本稿では、建築現場における音響測定の方法を説明 します. 騒音計、振動レベル計、測定用ノイズ発生装 置などの計器の使用方法についても触れます.

7.1 建築音響分野の音響測定

音響測定に使用する測定機器,測定方法,評価方法 に関する規格は、JIS(日本工業規格)、ISO(国際標準 化機構が発行する規格)、IEC(国際電気標準会議が発 行する規格)などによって厳密に整備されています。

その規格を守ることにより、音響特性を同一条件下で客観的に評価することが可能になっています.

建築現場での音響測定には3つの代表的な測定方法があります. 騒音測定(JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法), 遮音測定(JIS A 1417 建築物の空気音遮断性能の測定方法), 床衝撃音測定(JIS A 1418-1 建

築物の床衝撃音遮断性能の測定方法:標準軽量衝撃源による方法,-2建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法:標準重量衝撃源による方法)の3つです。なお,遮音測定の評価方法については JIS A 1419-1 に,また,床衝撃音測定の評価方法は JIS A 1419-2 に規格化されています。各測定方法,評価方法の詳細は、第4章で解説します。音響測定で重要なポイントは3つあります。騒音や音源の特性に合わせて音の物理的な大きさを正しく測定すること,その周波数特性(音色の特徴)を知ること,測定規格に沿うことにより正確で再現性の良い音響測定データを取得することの3つです。

7.1.1 騒音計,振動レベル計

測定に使用する計器として、騒音計と振動レベル計を紹介します。騒音計は、マイクロホンにより音圧レベルを計測する測定器です(図1).振動レベル計は、振動ピックアップにより振動レベル(振動加速度レベル)を計測する測定器です(図2).近年はほぼデジタル化されており、いずれもセンサに入力される音や振動の電気信号の変化を、音圧レベルや振動加速度レベルの変化として表示・出力するものです。

(1) 騒音計の設定と使用方法

騒音計(JIS C 1509-1: 仕様, C 1509-2: 型式評価試験)を使用する場合、測定前に、測定目的に合わせた



図1 騒音計



図2 振動レベル計

3つの基本設定を行う必要があります. まずは周波数 重み特性の設定です. dB(A), dB(C)の聴感補正回路, dB(F)のフラット特性同路の選択を行います。次に、 時間重み特性の設定を行います. 音源の特性に合わせ, メータの動特性 (Fast, Slow)を選択します. なお, 人の聴感特性は、Fastに近いといわれています。 最後 がダイナミックレンジの設定です。ノイズに埋もれな い、またオーバーロードしない最適なレンジに設定し ましょう. ここで、周波数重み特性について、詳しく 説明します(図3).人が感じる聴感上の音の大きさ(ラ ウドネス)は、同じ音圧であっても音の周波数によっ て異なり、低音域に対して鈍感な感度特性をしていま す. さらに人の耳の特徴として. 音の大きさによって その周波数特性が異なることが知られており、大きな 音では低音域の感度がフラットに近くなります. 純音 の聴感的な大きさが一定となる音圧レベルを結んだ等 感度曲線が等ラウドネス曲線ですが、dB(A)は1kHz で40 phonの大きさに聞こえる等感度曲線の逆特性に 近似した聴感補正回路で,一般的な騒音測定の評価に 使用されています. 一方. dB(C) は90 phonの等感度 曲線の逆特性に近似した低音域の感度が上昇した聴感 補正回路で、大きな音の騒音評価の際に使用されます. dB(F)は周波数特性がフラットで、音の物理特性をそ のまま周波数分析する時に使用します.

音響測定前には、音圧レベルを正しく計測するために、音響校正器を用い騒音計の指示値が正しい値を示すか確認する必要があります(JIS C 1515 音響校正器). 音は時間により変動するので、音源の種類や特徴によって、指示値の平均値、エネルギー平均値(Leq.)、ピーク値の平均値、時間率騒音レベル(Ls, L $_{50}$ など)等、適切な分析方法を採用します。(JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法). 現在は、デジタル

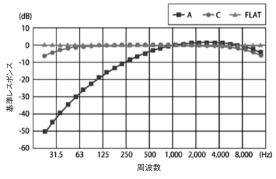


図3 周波数重み特性 dB(A), dB(C), dB(F)



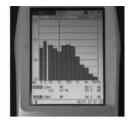


図4 リアルタイムアナライザ機能付き積分型騒音計の表示画面イメージ

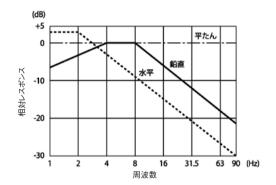


図5 振動レベルの感覚補正値

式の積分型騒音計が主流となっており、計測したサンプリングデータからエネルギー平均値や時間率騒音レベルを演算表示するので、分析結果を簡単に得ることができます。図4は、積分型騒音計の計測中表示画面の写真です。

(2) 振動レベル計の原理と使用方法

振動レベル計(JIS C 1510 振動レベル計)は、床面に振動ピックアップを設置して、その位置の振動レベル(VL: Vibration Level)を測定する計測器です。振動レベルとは、人が最も敏感なZ(鉛直)方向の振動加速度レベル($1\sim90~Hz$)に対して、人の振動に対する感覚補正値を加えた振動の大きさのことです。図5は、振動レベルの感覚補正値のグラフです。この図から、鉛直方向の振動に対しては、人は $4\sim8~Hz$ 帯域の周波数で最も敏感で、それ以上の周波数では急減に低下する感度特性を持っていることが分かります。

振動レベルも、騒音と同様に時間変動するので、振動の種類や特徴に応じて、エネルギー平均値(Leq.)、ピーク値の平均値、時間率レベル(L_5 , L_{50} など)等、適切な分析方法を採用します(JIS Z 8735 振動レベル測定方法).

7.1.2 周波数分析

騒音計のA補正回路を使用して測定すると、人が感じる騒音の大きさ(騒音レベル)を知ることができま

す. しかし. 騒音レベルのみでは. 高音域が大きい騒 音なのか、低音域が大きい騒音なのかといった情報は 分かりません、従って、音の特徴をより正確に知るた めには、音響情報をいくつかの周波数帯域に分解して 分析を行う必要があります。 建築音響の分野では、 定 量的な評価を行う場合に対象とする周波数範囲は、通 常63 Hz~8 kHzです. そのため. 周波数分析の方法も. 音響信号を63 Hz~8kHzの8帯域(バンド)に分割す るオクターブバンド分析、各々の帯域をさらに3帯域 に分割する 1/3 オクターブバンド分析(50 Hz~10 kHz)などがあります(図6)。 周波数分析は、音のエ ネルギーをいくつかの周波数帯域に分解して、各々の 帯域の音圧レベルを分析することなので、分割した全 ての帯域の音圧レベルを合成すれば、元の全体の音圧 レベルになります. なお. オクターブバンド分析は. 1/1オクターブバンド分析と表記する場合もありま す.

一方, モータやエンジンなどの回転機器の騒音など, 純音成分や狭帯域の周波数分析, 倍音成分の分析が必要な場合には, 時間波形が数学的に正弦(sin), 余弦(cos)の周期関数による単振動波形に分解できるので, FFT分析(Fast Fourier Transform)により, 詳細に特徴周波数を分析することが可能です.

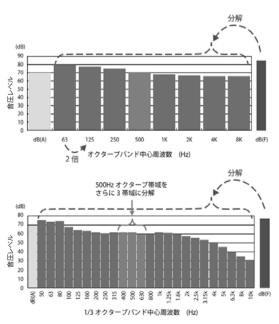


図6 オクターブバンド分析(上)と1/3オクターブバンド分析(下)の概念図

て検討します.

7.1.3 現場における実務的な音響測定

建築音響の現場での代表的な3つの音響測定である 騒音測定,遮音測定,床衝撃音測定について,詳しく 解説します.前述の通り,これらにはJISによる測定 方法の規格があります.

(1) 騒音測定、JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法室内騒音の測定事例のグラフを、図7に示します、空調騒音のように騒音が安定している場合(定常騒音)は、5秒間程度のエネルギー平均値(Leq.)で評価します(図7左).音楽などの変動する騒音(図7右)では、前述のリアルタイムアナライザ機能付き積分型騒音計を使用します。音源特性により設定した時間の騒音データをサンプリングし、取り込んだ音圧レベルのLmax、L5、Leq、L95、Lmin.などの時間率騒音レベルの演算結果により評価します。平均的な騒音値を知りたい場合は、エネルギー平均値であるLeq.を、また騒音対策用の音源データとして使用する場合は、一般的に時間率90%レンジの上端値であるL5の値を採用し

(2) 遮音測定(空気音遮断性能), JIS A 1417 建築 物の空気音遮断性能の測定方法

壁や扉などの測定対象面に、測定用の試験音(バンドノイズ)を音源スピーカにより均一に入射させて、音源側と受音側の音圧レベルの平均値の差を求め、測定対象の空気音を遮る能力として、D値などの等級曲線により評価します。JISによる規格では、測定周波数帯域は125 Hz~4kHzです。測定方法には、室間音圧レベル差、特定場所間音圧レベル差の2つがありま

す.室間音圧レベル差では、対象とする2室間の遮音性能を測定します。音源室、受音室ともに3~5の観測点を定め、測定します(図8)。特定場所間音圧レベル差では、壁、扉、窓などの特定部位を対象として遮音性能を測定します。音源側、受音側ともに1m離れた位置で3~5点を測定します。

音源スピーカ 部屋全体に音が拡散し、対象部位に音が均一に入射するように室の隅に設置する。 (※室内の場合)

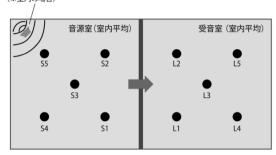
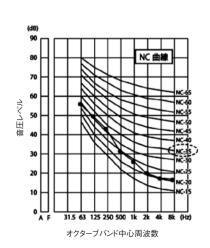


図8 室間音圧レベル差測定のイメージ図



図9 室間音圧レベル差測定の測定風景



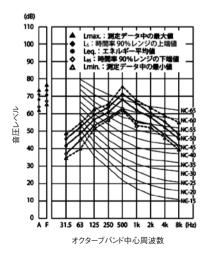


図7 定常騒音の測定事例・Leq.(NC値)と、変動騒音の測定事例・時間率騒音レベル(NC値)

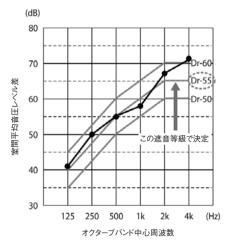


図10 室間音圧レベル差のグラフ(D値)

図9は、実際の音源室側と受音室側の測定風景です。 音源室側では、測定のためにノイズジェネレータ、アンプ、音源スピーカなどの装置を用い、バンドノイズ を発生させます。その状態で音源室、受音室ともに、 各測定位置での音圧レベルを騒音計で計測します。

室間音圧レベル差の測定結果からD値を導き出すためには、D値の等級曲線に測定データをプロットして評価します.基本的には測定値が全ての周波数帯域において上回る、最大の等級曲線を遮音等級とします.ただし、遮音性能の等級曲線は5dBステップとなっていることから、等級曲線の値より最大2dBまで下回ることが許容されています.図10に示す測定結果の場合は、遮音等級Dr-55と評価します.

(3) 床衝撃音測定, JIS A 1418-1(軽量), -2(重量) 建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法

規定の衝撃源で床を加振した時に、下階の居室に発生する音圧レベルを測定し、L値の等級曲線により評価します。通常使用する衝撃源として、軽量・重量の2種類の衝撃源が規定されています。標準軽量衝撃源は、小物の落下音、ハイヒールなどの歩行音を想定した周波数帯域125 Hz~4kHzの床衝撃源です。標準重量衝撃源は、子供の飛び跳ねや走り回りなどを想定した、周波数帯域63~500 Hzの床衝撃源です。

図11は、床衝撃音測定を行う場合のイメージ図です.加振装置には、標準軽量衝撃源としてタッピングマシン、標準重量衝撃源としてバングマシンを使用します(図12). なお、実際の床衝撃音の測定結果からL値を導き出すためには、L値の等級曲線に測定データをプ

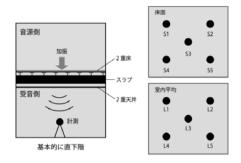


図11 床衝撃音測定のイメージ図

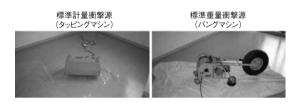


図12 床衝撃音測定に使用する標準衝撃源機器

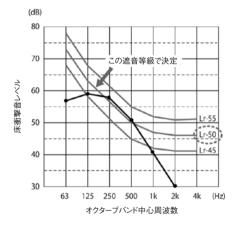


図13 床衝撃音レベルのグラフ(L値)

ロットして評価します。床衝撃音の場合は、基本的に 測定値が全ての周波数帯域において下回る、最小の等 級曲線を遮音等級とします。ただし、床衝撃音の等級 曲線は5dBステップとなっていることから、等級曲 線の値より最大2dBまで上回ることが許容されてい ます。図13の測定結果の場合は、遮音等級Lr-50と評価されます。

本章では、建築現場における代表的な3つの音響測 定の方法について解説しました.

以上で全7回にわたる防音の基礎知識シリーズは終 了です。最後までお読みいただきありがとうございま した。 ◆音響技術のバックナンバーは、1 冊から購入できます。また、No.187号までのバックナンバーはDVD(第4版) 1 枚に収録しております。

- 〈音響技術 バックナンバーリスト〉 No194 (vol.50 no.2 2021.6) No.167 (vol.43 no.3 2014.9) 〈特集〉 初心者のための音環境のアンケート調査・心理評価実験〈超〉入門 〈特集〉遮音性能基準を考える ~集合住宅を中心として~ No193 (vol.50 no.1 2021.3) No.166 (vol.43 no.2 2014.6) 〈特集〉子どもと音環境 〈特集〉伝統の継承、新たなる挑戦 -ホールの改修・改築 No192 (vol.49 no.4 2020.12) No.165 (vol.43 no.1 2014.3) 〈特集〉会議と音響 〈特集〉避難所・応急仮設住宅の音響性能 No191 (vol.49 no.3 2020.9) No.164 (vol.42 no.4 2013.12) 〈特集〉超高層建築物の音と振動対策 〈特集〉集合住宅を支える最近の遮音対策技術 No190 (vol.49 no.2 2020.6) No.163 (vol.42 no.3 2013.9) 〈特集〉音環境に係わる法律・基準・規格の動向 〈特集〉鉄道騒音 測定・評価・予測・対策 最新技術への取り組み No189 (vol.49 no.1 2020.3) No.162 (vol.42 no.2 2013.6) 〈特集〉吸音の上手な使いかた 〈特集〉音響のディテール No188 (vol.48 no.4 2019.12) No.161 (vol.42 no.1 2013.3) 〈特集〉新しい遮音・吸音材料と活用技術 〈特集〉実務で役立つ様々なデータ・資料 No.187 (vol.48 no.3 2019.9) No.160 (vol.41 no.4 2012.12) 〈特集〉固体音問題の発生と対策,評価 〈特集〉建築工事騒音の現況と最近の対策技術 No.186 (vol.48 no.2 2019.6) No.159 (vol.41 no.3 2012.9) 〈特集〉オフィスの音と会話 〈特集〉音響材料の使い方と技術資料集 No.185 (vol.48 no.1 2019.3) No.158 (vol.41 no.2 2012.6) 〈特集〉波動数値シミュレーションの使い方・使われ方 〈特集〉木造建築物を対象とした音響技術の動向 No.184 (vol.47 no.4 2018.12) No.157 (vol.41 no.1 2012.3) 〈特集〉屋外の騒音源の伝搬特性と対策技術 〈特集〉曲面空間と音響 No.183 (vol.47 no.3 2018.9) No.156 (vol.40 no.4 2011.12) 〈特集〉現場測定のここに注意 〈特集〉床衝撃音の測定法・評価法に関する現状と課題 No.182 (vol.47 no.2 2018.6) No.155 (vol.40 no.3 2011.9) 〈特集〉最近の様々なホール事例 〈特集〉建物の環境振動を取り巻く最近の話題 No.181 (vol.47 no.1 2018.3) No.154 (vol.40 no.2 2011.6) 〈特集〉知っておきたい遮音・吸音・防振の基礎知識 〈特集〉航空機騒音 No.180 (vol.46 no.4 2017.12) No.153 (vol.40 no.1 2011.3) 〈特集〉建物の環境振動を巡る最近の話題 〈特集〉音響工事のここに注意 No.179 (vol.46 no.3 2017.9) No.152 (vol.39 no.4 2010.12) 〈特集〉木造建築物の新動向と遮音対策 〈特集〉スピーチプライバシー No.178 (vol.46 no.2 2017.6) No.151 (vol.39 no.3 2010.9) 〈特集〉いまさら聞けない建具のこと 〈特集〉床衝撃音の設計と対策 No.177 (vol.46 no.1 2017.3) No.150 (vol.39 no.2 2010.6) 〈特集〉共鳴・共振の基礎と応用 〈特集〉音響設計の基礎 No.176 (vol.45 no.4 2016.12) No.149 (vol.39 no.1 2010.3) 〈特集〉教育・保育施設の音環境 〈特集〉外部騒音の遮音 No.175 (vol.45 no.3 2016.9) No.148 (vol.38 no.4 2009.12) 〈特集〉住宅のリフォームと音環境性能 〈特集〉最近の数値解析技術と可視化・可聴化 No.174 (vol.45 no.2 2016.6) No.147 (vol.38 no.3 2009.9) 〈特集〉床衝撃音対策の新しい技術 〈特集〉建築音響のトラブルと訴訟の現状 No.173 (vol.45 no.1 2016.3) No 146 (vol 38 no 2 2009 6) 〈特集〉マイクロホンの使い方 〈特集〉安心社会のデザイン No.172 (vol.44 no.4 2015.12) No.145 (vol.38 no.1 2009.3) 〈特集〉初心者のための音響評価指標入門 〈特集〉生活系の固体音 No.171 (vol.44 no.3 2015.9) No.144 (vol.37 no.4 2008.12)

〈特集〉特色ある測定法の話題No.169 (vol.44 no.1 2015.3)〈特集〉残響の理論と実際No.168 (vol.43 no.4 2014.12)

No.170 (vol.44 no.2 2015.6)

〈特集〉工場の騒音・振動対策

〈行果〉 上場の融百・振動刈束

〈特集〉次世代・省エネ建築と音環境 No.141 (vol.37 no.1 2008.3) 〈特集〉プライベート空間の音響設計

No.143 (vol.37 no.3 2008.9)

No.142 (vol.37 no.2 2008.6)

〈特集〉最新規準・規格の解説

〈特集〉集合住宅のフリープラン化と音環境

(10.510) 2 2 1 1 22.7

〈購入申込先〉 一般社団法人日本音響材料協会

〈特集〉最近のオフィスに求められる音・振動環境

〒169-0073 東京都新宿区百人町 3 丁目21番16号 日本ガラス工業センタービル 2 階 TEL 03-6384-1827 FAX 03-6384-1828