# 集合住宅の内装工事の仕様と遮音性能について

藤　橋　克　己 ＊1

## 要　　旨

当社では，高層RC集合住宅の設計・施工における職員生産性を向上し，品質・工期を確保して逸失利益を防止することを目的として，遮音性能に関する当社独自の設計標準を整備している．

ここでは，当社独自の設計標準を追加するために，内装工事の仕様と遮音性能について実験的に検証した二つの事例を報告する．

一つ目に，集合住宅の同一住戸内の間仕切り壁の遮音性能に関して，間仕切り壁の天井裏のボードを貫通する配管の隙間処理方法が室間の遮音性能に及ぼす影響について実験的に検証した結果を報告する．

二つ目に，集合住宅の高層化に伴い増えてきた乾式二重壁の界壁の遮音性能に関して，界壁の両面をふかし壁で仕上げたときの共鳴透過による遮音欠損と改修方法について実験的に検証した結果を報告する．

キーワード　空気音遮断性能／遮音欠損／隙間処理／乾式二重壁／ふかし壁／共鳴透過

## 目　　次

１．はじめに
２．同一住戸内の間仕切り壁の遮音性能
３．乾式二重壁の界壁の遮音性能
４．まとめ

# THE RELATIONSHIP BETWEEN INTERIOR CONSTRUCTION SPECIFICATIONS AND SOUND INSULATION PERFORMANCE IN APARTMENT BUILDINGS

**Katsumi　FUJIHASHI**

Synopsis:

Our company has established its own design standards for sound insulation performance with the aim of improving employee productivity in the design and construction of high-rise reinforced concrete apartment buildings, ensuring quality and meeting construction schedules, and preventing lost profits.

Here, we report on two case studies in which we experimentally verified interior construction specifications and sound insulation performance.

First, regarding the sound insulation performance of partition walls within individual units of apartment buildings, we report the results of an experimental study examining the effect of gap sealing methods for pipes penetrating the ceiling panels on the sound insulation performance between rooms.

Second, we report the results of an experimental verification of the sound insulation performance of dry-type double-wall partition walls—which have become more common with the rise of high-rise apartment buildings—focusing on sound insulation losses due to resonance transmission when both sides of the partition wall are finished with cavity walls, as well as methods for remediation.

＊１本店　ＩＣＩ総合センター

## 1. はじめに

当社では，高層RC集合住宅の設計・施工における職員生産性を向上し，品質・工期を確保して逸失利益を防止することを目的として，遮音性能に関する当社独自の設計標準を整備している．ここでは，当社独自の設計標準を追加するために，内装工事の仕様と遮音性能について実験的に検証した二つの事例を報告する[1),2)].

一つ目に，集合住宅の同一住戸内の間仕切り壁の遮音性能に関して，間仕切り壁の天井裏のボードを貫通する配管の隙間処理方法が室間の遮音性能に及ぼす影響について実験的に検証した結果を報告する．

二つ目に，集合住宅の高層化に伴い増えてきた乾式二重壁の界壁の遮音性能に関して，界壁の両面をふかし壁で仕上げたときの共鳴透過による遮音欠損と改修方法について実験的に検証した結果を報告する．

## 2. 同一住戸内の間仕切り壁の遮音性能

集合住宅の住戸内に間仕切り壁を施工する場合，間仕切り壁の施工方法や納まりと室間の遮音性能の関係について様々な検証がなされてきた [1),2)]．検証内容のひとつに天井裏を経由する側路伝搬音の影響があり，対策として間仕切り壁の下地材を天井裏まで施工し，天井裏にもボードを張る場合がある．ここでは，間仕切り壁の天井裏にもボードを張る場合に天井裏のボードを貫通する配管の隙間処理方法が室間の遮音性能に及ぼす影響について実験的に検証した結果を中心に，同一住戸内の室間の遮音性能について得られた知見を報告する [3)]．

### 2.1 実験概要

当社が保有する RC 造で床面積 20 ㎡，天井高さ 3m の箱型実験室 I のなかに同一住戸内の部屋を施工した．

実験室の平面図を**図-1**，間仕切り壁の仕様を**図-2**，天井裏のボードの配管貫通部の仕様を**図-3** にそれぞれ示す．

室間の間仕切り壁は床先行工法で施工し，間仕切り壁の下地材は天井裏まで施工した．A-C 室間は標準壁，遮音壁 I，遮音壁 II の 3 種類を組み換え，B-C 室間は標準壁のみとした．天井裏のボードの配管貫通部の隙間処理方法を**写真-1**，**表-1** に示す．天井裏の条件は以下のとおり．

- スパイラルダクトφ100 の貫通による隙間を想定し，同じ面積となるようボードに隙間を設けた（各室 2 か所）．
- 間仕切り壁のボードは，標準壁と遮音壁 II は C 室側から 1 枚，遮音壁 I は C 室側から 2 枚，GW はすべてなし．
- 参考として，間仕切り壁にボードがない条件でも実験．

**表-1** 配管貫通部の隙間処理方法

| 処理方法 | 内容 |
|---|---|
| 隙間なし | 他の隙間処理方法に対する基準 |
| 隙間あり | 隙間の幅 12.5mm，長さ 353mm，各部屋 2 か所 |
| GW 詰め | 隙間にグラスウール（GW）密度 32K を圧縮詰め |
| テープ張り | 隙間に厚さ 0.05mm のアルミテープを片面張り |

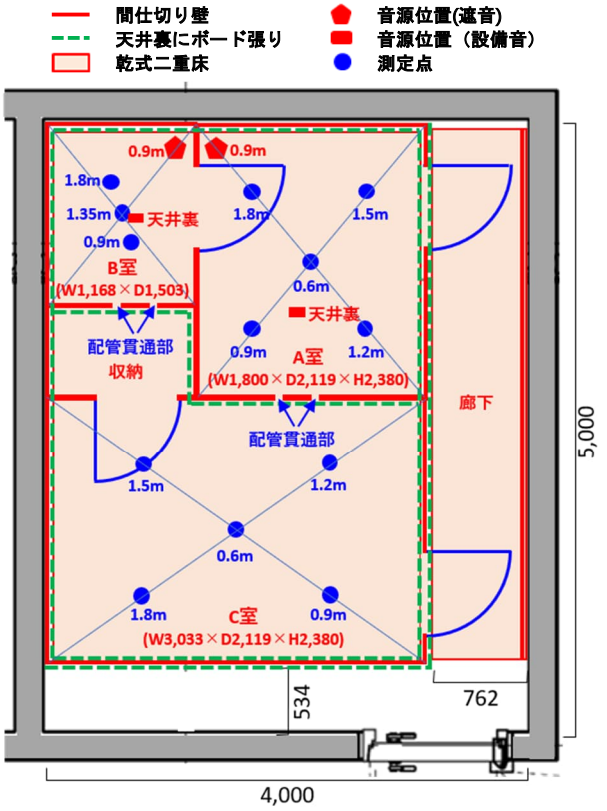



**図-1** 箱型実験室 I の平面図

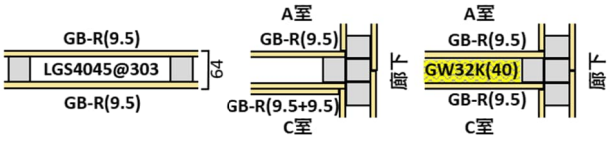



**図-2** 間仕切り壁の仕様（平面図）

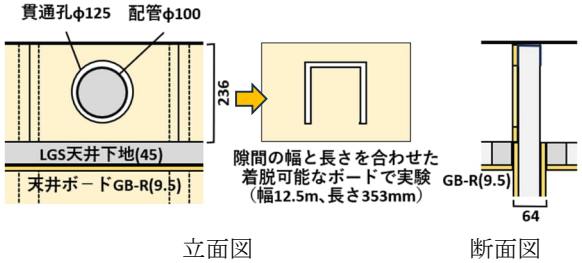
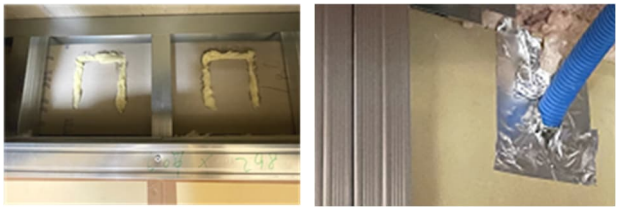



**図-3** 配管貫通部の仕様



GW 詰め（実験室）　　テープ張り（実建物）

**写真-1** 配管貫通部の隙間処理方法

実験に用いた機器を**表-2**，実験状況を**写真-2** に示す．

室間の遮音性能の測定は JIS A 1417:2000 に準拠し，音源室 A と B，受音室 C の室内に均等に割り付けた床上 0.6～1.8m の 5 測定点（**図-1**，B 室は 3 測定点）で音圧レベルを測定して室間音圧レベル差を求めた．

また，A 室と B 室の天井裏の間仕切り壁から 0.7m 離して設置したスピーカーから実建物の天井裏で収録した設備音を再生し，受音室 C で音圧レベルを測定した．

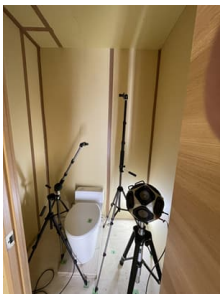
なお，4 か所ある扉（**図-1**）はすべて扉を閉めた状態で測定し，扉のアンダーカットもすべてボードで塞いだ．

**表-2** 実験に用いた機器

| 機器名 | メーカー/型番（備考） |
|---|---|
| 精密騒音計 | RION/NA-28（1 台で移動測定） |
| データレコーダ | RION/DA-21（実建物の設備音を収録） |
| 信号発生器 | NTi/MR-PRO（Pink Noise） |
| アンプ | CROWN/XLS2502 |
| スピーカー | ONO SOKKI/SJ-1810（遮音測定用，12 面体） |
| | SONY/SRS-XE300（設備音用，天井裏に設置） |



A室



B室



C室

**写真-2** 室間音圧レベル差の測定状況

## 2.2 実験結果

### (1) 室間音圧レベル差

**図-2** で示した間仕切り壁の仕様に対して，**表-1** で示した隙間処理方法の効果を検証した．A 室（音源側）→C 室（受音側），B→C 室の室間音圧レベル差の基準（天井裏：ボードあり，隙間なし）を**図-4**，**図-5** にそれぞれ示す．

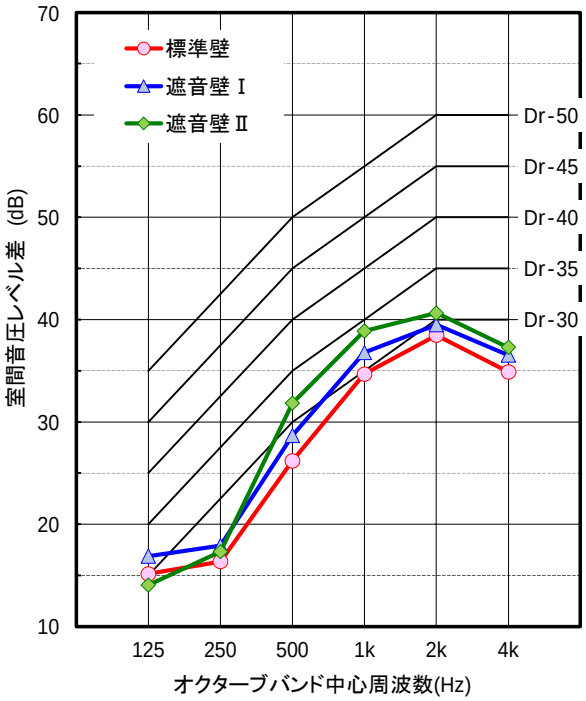



**図-4** 室間音圧レベル差の測定結果（基準）
（A→C 室　天井裏：ボードあり，隙間なし）

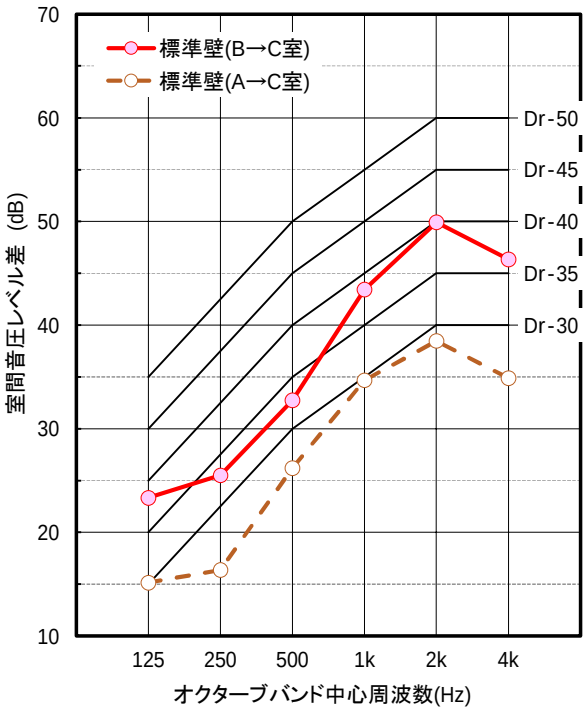



**図-5** 室間音圧レベル差の測定結果（基準）
（B→C 室　天井裏：ボードあり，隙間なし）

**図-4** で A→C 室の遮音壁の効果は標準壁に対して 500～1kHz 帯域で 2～6dB 得られており，遮音壁I（片面にボード増張）よりも遮音壁II（中空層に GW 挿入）の方が有効であった．

なお，250Hz 帯域では二重壁の共鳴現象による落ち込みが生じており，増張や吸音の効果も小さい．

**図-5** で B→C 室の標準壁の遮音性能は空気音の伝搬経路上にある収納の効果で，A→C 室間の標準壁よりも 7～12dB 高い遮音性能が得られている．

次に，**表-1** で示した配管貫通部の隙間処理方法の効果を**図-4**，**図-5** で示した基準（天井裏：ボードあり，隙間なし）に対する遮音性能の差で**図-6**～**図-9** に示す．

**図-6** で A 室→C 室の標準壁は，天井裏のボードの配管貫通部の隙間を塞がなくても遮音性能は低下していない．さらに，天井裏のボードなしでも遮音性能は低下していない（概ね 0.5dB 以内の差）．

**図-7** で A 室→C 室の遮音壁Iは，天井裏のボードなしで高音域に 1dB 近い性能低下がみられるが，全体的には標準壁と同様の結果といえる．

**図-8** で A 室→C 室の遮音壁IIは，実験条件によって 1dB 以内で差は生じているが，隙間が大きいほど性能低下している訳ではなく，実験誤差の範囲内とみなしてよいと考えられる．

**図-9** で B 室→C 室の標準壁は，天井裏のボードの配管貫通部の隙間処理方法による違いは 1dB 以内だが，天井裏のボードなしは 250～1kHz 帯域で 1～3dB の性能低下がみられる．

以上のとおり，本実験では同一住戸内の室間の遮音性能に対して天井裏のボードの配管貫通部の隙間処理は不要で，空気音の伝搬経路上に収納がない間仕切り壁については天井裏のボードも不要という結果が得られた．

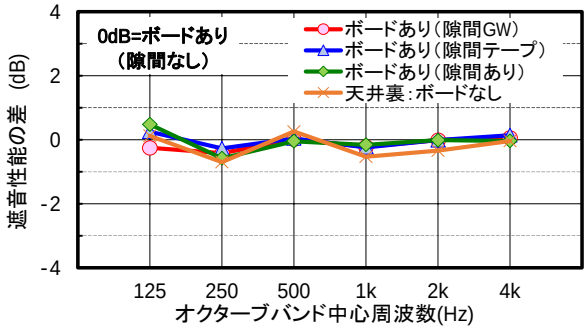



**図-6** 遮音性能の差（A室→C室　標準壁）

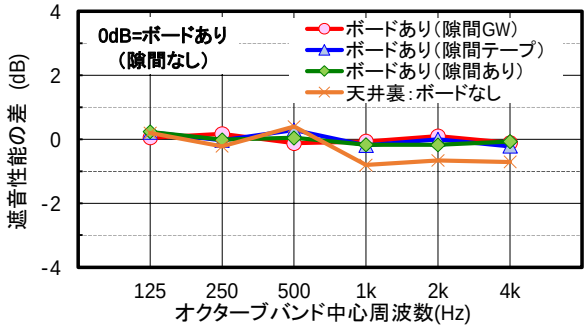



**図-7** 遮音性能の差（A室→C室　遮音壁Ⅰ）

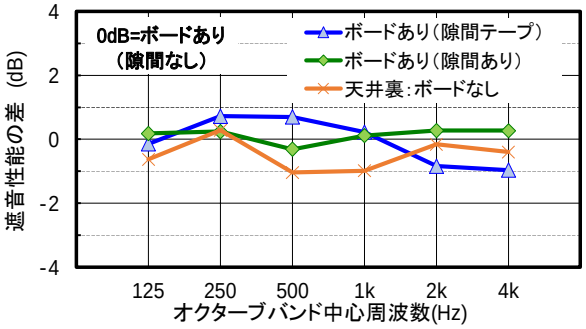



**図-8** 遮音性能の差（A室→C室　遮音壁Ⅱ）

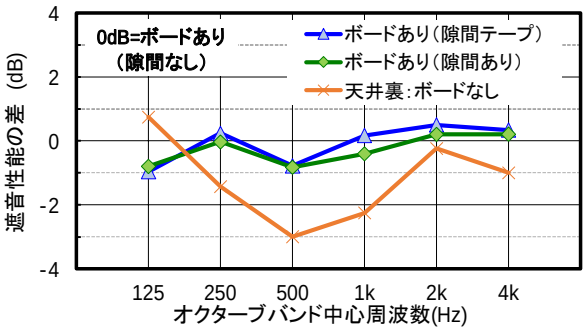



**図-9** 遮音性能の差（B室→C室　標準壁）

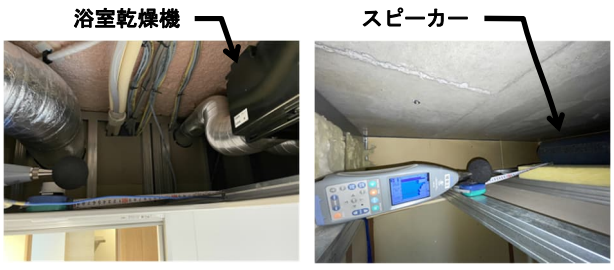
## (2) 室内設備騒音

天井裏に設置された設備機器の運転時に天井裏を経由して隣室内に伝搬する騒音について，天井裏のボードの配管貫通部の隙間処理による騒音低減効果を検証した．

まず，実建物の浴室の天井裏にある浴室乾燥機の側に騒音計とデータレコーダを設置して，浴室乾燥機の騒音が最大となる運転条件（乾燥の強運転）で収録した．

次に，**図-1** に示したように実験室の A 室と B 室の天井裏の下地上にグラスウールを敷いた上にスピーカーを設置して，収録した試験音の音圧レベルが実建物と似た値となるように調整してスピーカーから試験音を発生させて，C 室の 5 測定点で室内音圧レベルを測定した．

実建物と実験室の天井裏の測定状況と測定結果を**写真-3** と**図-10**，スピーカーを A 室，B 室の天井裏に設置したときの C 室の騒音測定結果の基準を**図-11** にそれぞれ示す．




実建物　　実験室

**写真-3** 天井裏の設備機器の運転音の測定状況

図-10 で実建物の音圧レベルはあくまで浴室乾燥機の一事例であり，スピーカーから発生させる試験音を実建物に厳密に合わせる必要はないと考え，周波数ごとの調整までは行わず，A 特性音圧レベル（横軸の A）が同等となるように調整した．

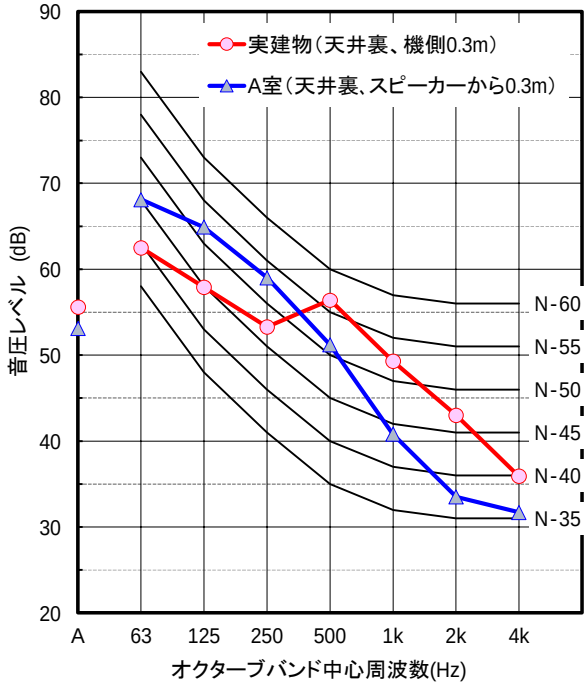



図-10 天井裏の騒音測定結果（実建物と実験室）

図-11 で A→C 室，B→C 室の音圧レベルは A 特性音圧レベルが 25dB 前後と同等で，周波数特性も概ね似た特性であった．実験室は実建物よりも暗騒音が小さいために浴室乾燥機の試験音は C 室で聞こえたが，実建物で浴室乾燥機の運転音はほとんど聞こえないと考えられる．

次に，表-1 で示した配管貫通部の隙間処理方法の効果を図-11 で示した基準に対する音圧レベル差で図-12，図-13 に示す．

図-12，図-13 で A→C 室，B→C 室ともに，配管貫通部に隙間処理（GW 詰め，テープ張り）を施せば音圧レベルはほぼ変わらないが，隙間ありとボードなしは 500Hz 帯域で 4～11dB，A 特性音圧レベルで 2～6dB 大きくなっており，隙間処理を施さないと実建物でも浴室乾燥機の運転音は聞こえる場合があると考えられる．

以上のとおり，本実験では天井裏に設置された設備機器の運転時に天井裏を経由して隣室内に伝搬する騒音に対して，天井裏のボードの配管貫通部の隙間処理（GW 詰め，テープ張り）は有効という結果が得られた．

実建物では，設備機器の運転時に発生する騒音の大きさや騒音の発生頻度，さらには室内の暗騒音の大きさも考慮して，隙間処理の要否を判定することになる．

なお，配管貫通部の隙間への GW 詰めは，その施工によって配管とボードの縁切りを確保できるため，設備機器の振動が配管を経由して室内の間仕切り壁まで伝搬して発生する固体伝搬音の対策も兼ねている．したがって，配管貫通部の隙間処理を不要とする場合，配管とボードが縁切りされていることを確認する必要がある．

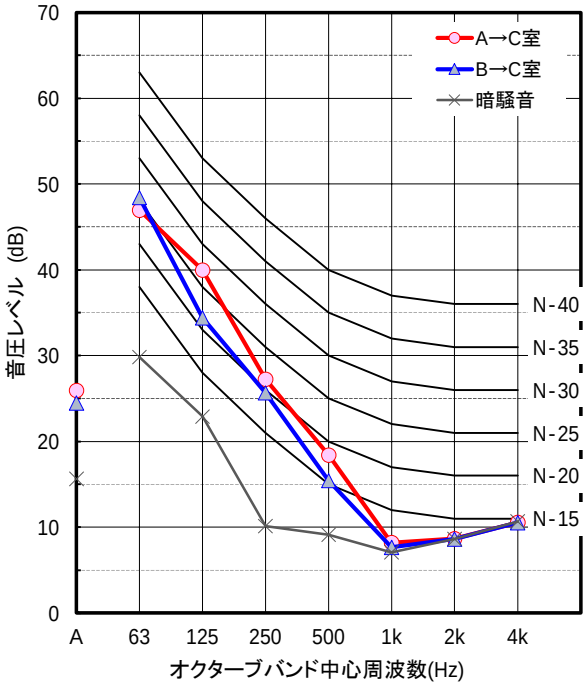



図-11 室内騒音の測定結果（基準）
（天井裏：ボードあり，隙間なし）

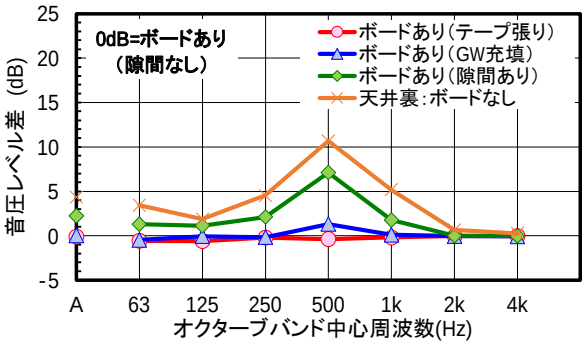



図-12 室内音圧レベル差（A 室→C 室）

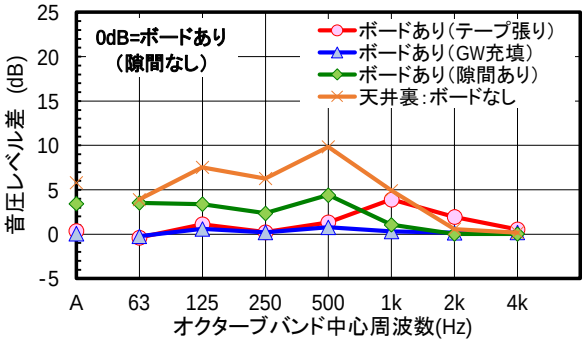



図-13 室内音圧レベル差（B 室→C 室）

## 3．乾式二重壁の界壁の遮音性能

最近では集合住宅の高層化に伴い乾式二重壁の界壁（以下，乾式壁）が増えており，乾式壁の両面をふかし壁で仕上げる事例も増えてきた．乾式壁による室間の遮音性能の評価量 Dr 数は二重壁の共鳴透過によって低音域（主に 125Hz 帯域）で決定しやすい．

さらに，ふかし壁自体も低音域で共鳴しやすく，乾式壁とふかし壁の組合せは四重壁となり，低音域の共鳴透過の対策は重要となる [4),5)]．ここでは，乾式壁の両面をふかし壁で仕上げたときの共鳴透過による遮音欠損とその改修方法について実験的に検証した結果を報告する [6)]．

### 3.1 実験概要

当社が保有する RC 造で床面積 20 ㎡，天井高さ 3.05m の箱型実験室 II のなかに乾式壁の集合住宅の共用廊下側の居室を施工した．実験室の平面図を**図-14**，乾式壁とふかし壁の仕様（当社標準）を**図-15**，**図-16** にそれぞれ示す．次に，ふかし壁の改修仕様を**表-3** に示すが，実建物での遮音欠損への対応を想定し，ふかし壁の改修は受音室のみで壁厚さは変えない仕様とした．

壁控えはふかし壁を乾式壁に固定する材料で，音源室，受音室ともに下地材の床上 1.2m 付近に施工した．内張はふかし壁のボードの裏面の下地材の間に貼る面材である．ふかし壁の改修仕様の施工状況を**写真-4** に示す．

遮音性能は前章と同じ方法で測定し，一例ではあるが，受音室で 300mm 間隔（床上 0.6～1.8m，計 245 点）の音圧レベル分布を測定し，低音域の固有モードも把握した．

次に，受音室の床上 1.2m でふかし壁の室中央付近のボード（幅 910mm）の下地材の間（腹）と下地材の上（節）の 7 測定点（**図-14**）の振動加速度レベルを測定した．ふかし壁の振動測定に用いた機器を**表-4** に示す．

なお，遮音実験に先立ち，予備実験として載荷実験によって壁控えとたわみの関係を把握した．

**表-3** ふかし壁の改修仕様

| 改修方法 | 仕様 |
|---|---|
| 壁控え | 下地材と乾式壁の隙間 t15 に<br>・発泡材(硬質ウレタンフォーム)を吹付<br>・緩衝材(高発泡ポリエチレン)□100t20 を挿入 |
| 内張 | 下地材と下地材の間のボードに<br>・石膏ボード t12.5(8.3kg/m²)をボンドで増張<br>・遮音シート t1.2×2(4.1kg/m²)をタッカーで増張 |
| 吸音 | 下地材と下地材の間の空気層に<br>・グラスウール GW32Kt40 を挿入<br>・グラスウール GW32Kt25 を挿入 |

・標準仕様：壁控え，内張，吸音なし）

**表-4** ふかし壁の振動測定に用いた機器

| 機器名 | メーカー/型番（備考） |
|---|---|
| 周波数分析器 | RION/NA-28（オクターブバンド分析） |
| 振動センサー | RION/PV-86（マグネットで固定） |
| チャージアンプ | RION UV-16（振動加速度を出力） |

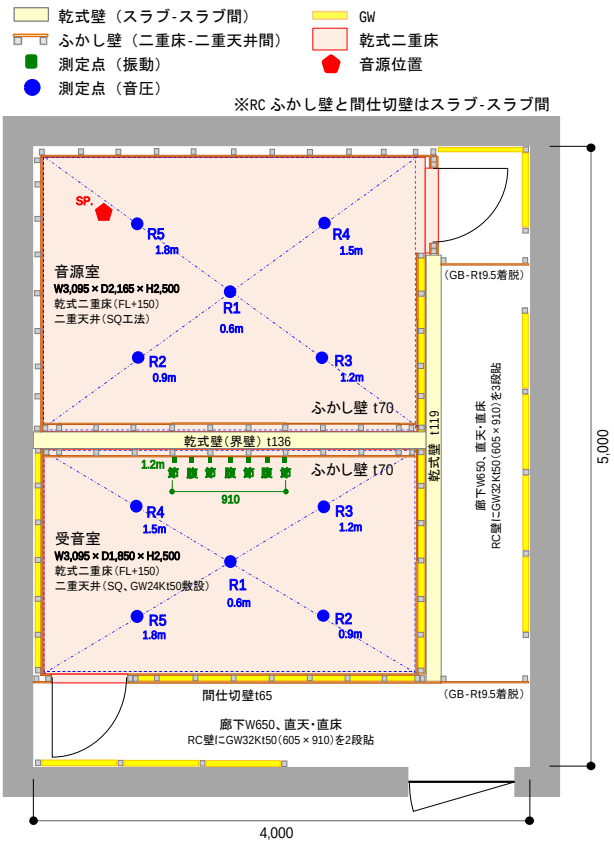



**図-14** 箱型実験室 II の平面図

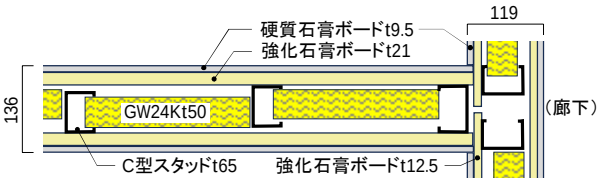



**図-15** 乾式壁の仕様（平面図）

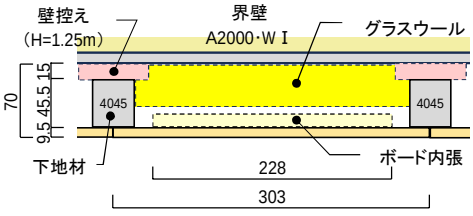



**図-16** ふかし壁の仕様（平面図）

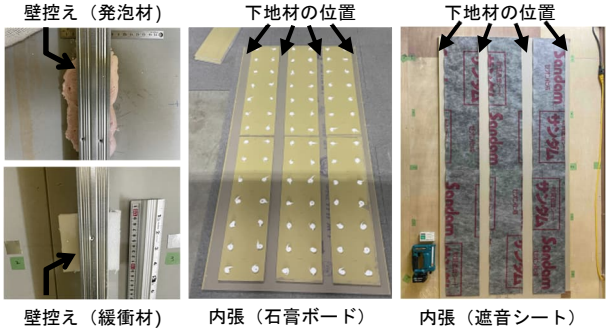



**写真-4** ふかし壁の改修仕様の施工状況

### 3.2 実験結果

予備実験として，長さ 2,500mm，幅 303mm のボードの下地材の両端をピン支持して RC 床から 15mm 浮かせて，ふかし壁の下地材の間の 1 スパン分を施工した．

人がふかし壁を強く押したときの荷重を 100N と想定[7]し，試験体中央（壁控えの施工位置）に集中荷重で段階的に載荷したときの壁控えとたわみの関係を**図-17** に示す．

ふかし壁のたわみは壁控えによって 1mm 前後に抑えられており，発泡材は緩衝材よりも硬いことを把握した．

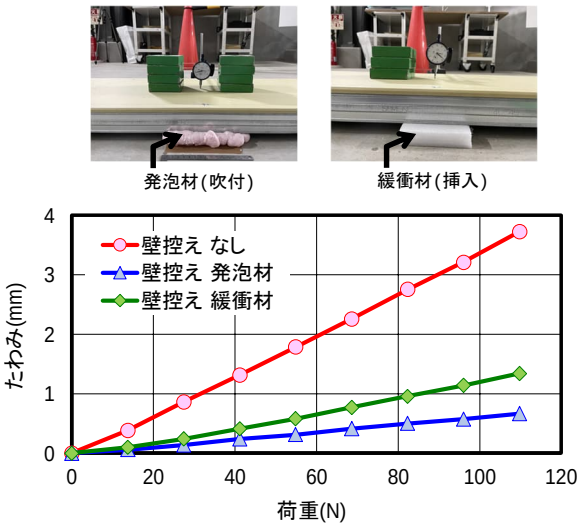



**図-17**　ふかし壁載荷時の壁控えとたわみの関係

### (1) 室間音圧レベル差

乾式壁の素面およびその両面をふかし壁で仕上げたときの室間音圧レベル差を**図-18** に示す．

ふかし壁を施工すると壁控えの有無によらず 125Hz 帯域で素面よりも 7～8dB 性能低下し，室間の遮音性能の評価量 Dr 数も Dr-52 から Dr-44～45 まで低下した．

次に，音源側の壁控えは発泡材として，受音側のふかし壁を**表-3** の仕様で改修したときの室間音圧レベル差の例を**図-19**，標準仕様（壁控え，内張，吸音なし）に対する改修後の Dr 数の改善量を**表-5** にそれぞれ示す．

改修後は 125Hz 帯域で壁控えによる違いが生じており，内張と吸音によって素面（ふかし壁なし）に近い性能を得るには壁控えを緩衝材にする必要がある．内張や吸音の仕様による Dr 数の改善効果の差は 1dB 以内であった．

**表-5** 受音側ふかし壁の改修仕様と Dr 数の改善量

| 内張 | | なし | | | 石膏ボード t12.5 | | | 遮音シート t1.2×2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 吸音 GW32K | | なし | t40 | t25 | なし | t40 | t25 | なし | t40 | t25 |
| 壁控え | なし | 0 | +3 | +4 | +2 | +5 | - | +1 | +5 | - |
| | 発泡 | 0 | +2 | - | 0 | +1 | - | +1 | +2 | - |
| | 緩衝 | 0 | +3 | +3 | +2 | +5 | +4 | +2 | +4 | +4 |

・0dB=標準仕様（壁控え，内張，吸音なし）
・Dr 数の決定周波数はすべて 125Hz 帯域，- はデータなし
・音源側のふかし壁は壁控え発泡材，内張なし，吸音なし

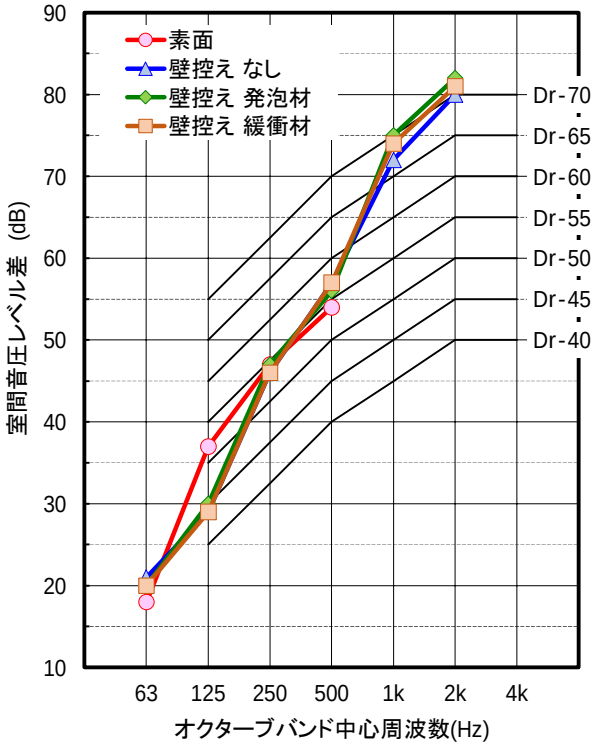



**図-18** 室間音圧レベル差（改修前）

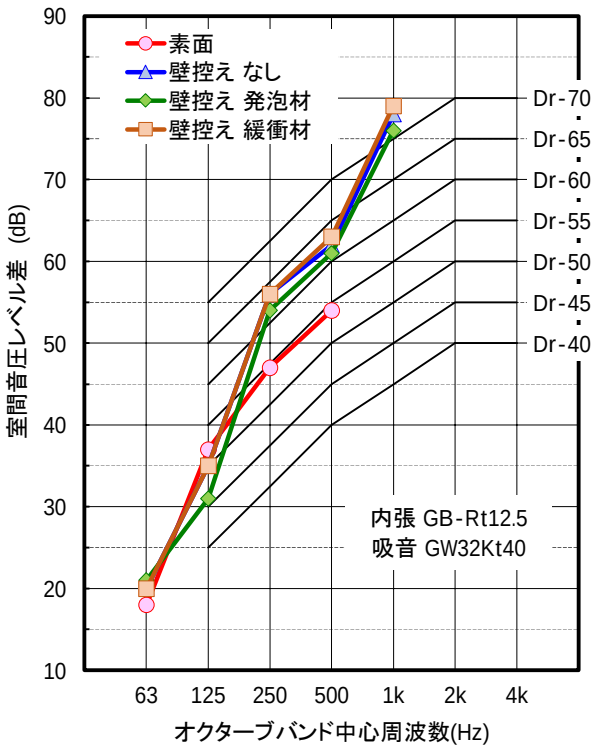
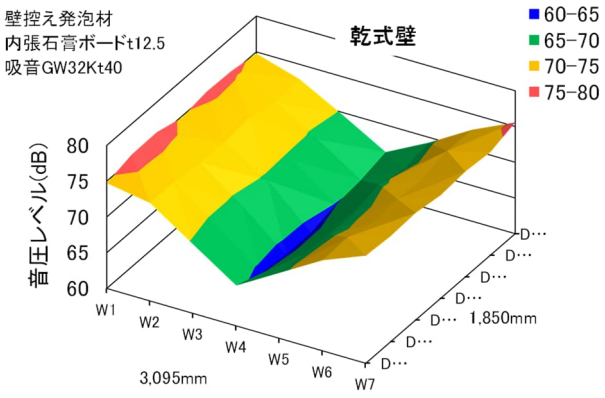
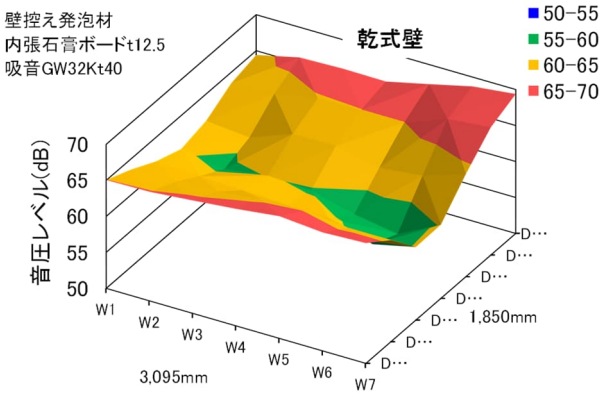



**図-19** 室間音圧レベル差（受音側改修後）

なお，受音室内の音圧レベル分布（**図-20**）は 63～125Hz 帯域で固有モードが顕著であったが，音圧レベル分布を測定した 245 点と室間音圧レベル差を測定した 5 点のエネルギー平均の差は 0.3dB と小さく，5 点は音圧レベル分布を代表する測定点として適当であった．




(a) 63Hz 帯域




(b) 125Hz 帯域

**図-20** 受音室内の音圧レベル分布

## (2) 振動加速度レベル

ふかし壁の共鳴透過が生じた 125Hz 帯域における壁控えと内張，吸音の関係について，音源側をピンクノイズで音響加振したときの受音側の振動測定状況を**写真-5**，受音側の素面（ふかし壁なし）に対するふかし壁の振動加速度レベル差を**図-21**，**図-22** にそれぞれ示す．

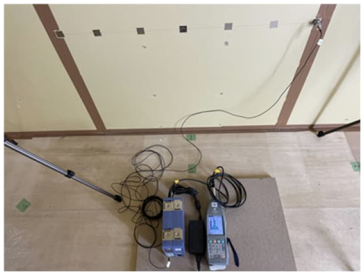
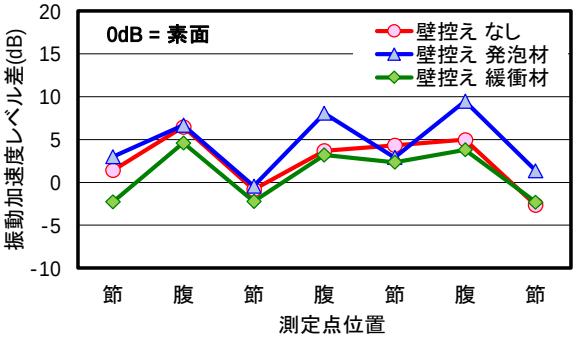


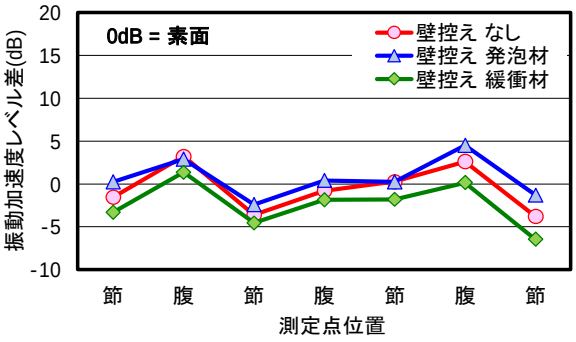
**写真-5** 振動加速度レベルの測定状況

**図-21** の(a)で内張なしでは下地材の間（腹）と下地材の上（節）で 5～10dB 程度のレベル差が生じており，(b)で吸音によってそのレベル差が緩和され，壁控えの仕様によらず低減効果が得られている．

**図-22** の(a)で石膏ボード内張は腹と節のレベル差をより緩和し，(b)で遮音シートは全体的にレベルを下げる効果が得られているが，発泡材の壁控えではそれらの効果が得られにくくなっている．

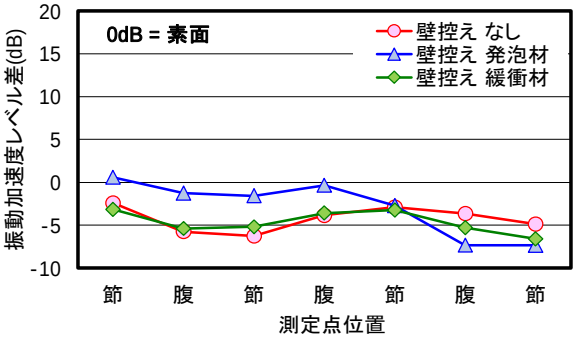



(a) 吸音なし

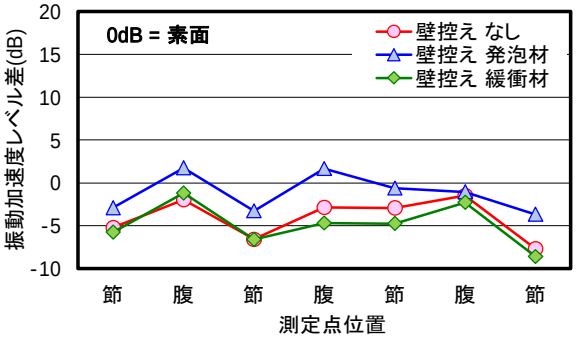



(b) 吸音あり

**図-21** ふかし壁と素面との振動加速度レベル差
（125Hz 帯域，内張なし）




(a) 石膏ボード内張



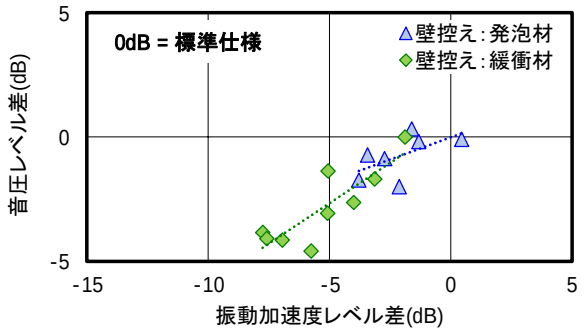

(b) 遮音シート内張

**図-22** ふかし壁と素面との振動加速度レベル差
（125Hz 帯域，吸音あり）

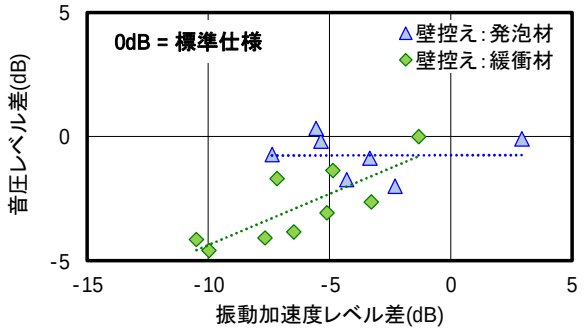
次に，受音側のふかし壁の標準仕様（壁控え，内張，吸音なし）に対する改修仕様の振動加速度レベル差と室内音圧レベル差の対応を図-23 に示す．

図-23 の(a)で節の振動は壁控えの仕様によらず音圧との対応がよく，(b)で腹の振動は壁控えの仕様が発泡材の場合は音圧との対応がよくない．

したがって，内張や吸音によって腹の振動を抑えると受音室の音圧に対する節の振動の影響が大きくなり，発泡材は緩衝材よりも節の振動が大きい（ばね材として硬い）ため，内張や吸音による音圧の低減効果を得られにくくなると考えられる．




(a) 下地材の上（節）の平均




(b)下地材の間（腹）の平均

図-23 受音側のふかし壁の振動と室内音圧の対応（125Hz 帯域）

以上のとおり，乾式壁をふかし壁で仕上げたときに生じる 125Hz 帯域の遮音欠損について，実建物での対応を想定した受音側での改修仕様について検証した．

その結果，本実験では受音側のふかし壁の壁控えに緩衝材を用いて内張と吸音を施すことで，ふかし壁のたわみを抑えながら界壁の素面に近い遮音性能を得られた．

## 4．まとめ

遮音性能に関する当社独自の設計標準を整備するなかで，当社独自の設計標準を追加するために，内装工事の仕様と遮音性能について実験的に検証した二つの事例を報告した．

一つ目に，集合住宅の同一住戸内の間仕切り壁の遮音性能に関して，間仕切り壁の天井裏のボードを貫通する配管の隙間処理方法が室間の遮音性能に及ぼす影響について実験的に検証した．

その結果，同一住戸内の室間の遮音性能に対して天井裏のボードの配管貫通部の隙間処理は不要で，音の伝搬経路上に収納がない間仕切り壁については天井裏のボードも不要という結果が得られた．

一方，天井裏に設置された設備機器の運転時に天井裏を経由して隣室内に伝搬する設備騒音に対しては，天井裏のボードの配管貫通部の隙間処理（GW 詰め，テープ張り）は有効という結果が得られた．

二つ目に，集合住宅の高層化に伴い増えてきた乾式二重壁の界壁（乾式壁）の遮音性能に関して，界壁の両面をふかし壁で仕上げたときの低音域の共鳴透過による遮音欠損と実建物での対応を想定した受音側での改修方法について実験的に検証した．

その結果，乾式壁をふかし壁で仕上げたときに生じる 125Hz 帯域の共鳴透過による遮音欠損について，ふかし壁の壁控えに緩衝材を用いて内張と吸音を施すことで，ふかし壁のたわみを抑えながら乾式壁の素面に近い遮音性能を得ることができた．

なお，乾式壁の遮音性能については，ふかし壁の共鳴透過以外の遮音欠損が問題となる場合もある．本実験でも乾式壁の端部でサウンドブリッジによって 1kHz 帯域以上で遮音欠損が生じたが，本実験の目的は低音域の共鳴透過による遮音欠損の改修方法の検証であり，ふかし壁によって解消される遮音欠損でもあったことから，図-18，図-19 の乾式壁（素面）の遮音性能において 1kHz 帯域以上で生じた遮音欠損は示していない．

## 参考文献


1) 浜田由記子，増田潔：自住戸内居室間の遮音性能予測に関する検討－天井による側路伝搬の影響－，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.245-246，2012.9
2) 室裕希，會田祐：住戸内間仕切壁の遮音性能における側路伝搬の影響に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.295-296，2023.9
3) 藤橋克己：配管・ダクト貫通部を有する壁の遮音性能 住宅天井裏隙間処理の影響，音響技術 No.214，pp.55-58，2026.6
4) 菅谷寛之，松本敏夫，橘秀樹：乾式二重壁の遮音性能の改善（リフォーム）方法の検討,日本建築学会大会学術講演梗概，pp.157-158，2004.8
5) 杉江聡：多重壁の低域共鳴透過周波数の推定,日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.413-414，2022.9
6) 藤橋克己：乾式二重壁のふかし壁による遮音欠損に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.249-250，2026.9
7) （一社）人間生活工学研究センター：NITE 平成 13-14 年度人間特性計測データのデータベース，2018.7