調査研究報告　　No. 467
RESEARCH REPORT 2026. 3

中低層木造集合住宅用の天井懐と二重床を利用する全館空調システムの開発

Development of Central Air-conditioning Systems Utilizing Spaces above the Ceiling and Double Floor for Wooden Multiple Dwelling Houses

北谷 幸恵[1)]、廣田 誠一[2)]、
今福 昌克[3)]、木本 勢也[3)]、橋本 由樹[3)]、倉部 豊弘[3)]
Yukie Kitadani[1)], Tomohito Hirota[2)],
Masakatsu Imafuku[3)], Seiya Kimoto[3)], Yoshiki Hashimoto[3)] Toyohiro Kurabe[3)]

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部 北方建築総合研究所
Northern Regional Building Research Institute, Building Research Department
Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization
三井ホーム株式会社
Mitsui Home Co.,Ltd.

[1)] 北方建築総合研究所　建築システムグループ　研究主幹・博士（芸術工学）　[2)] 同　副所長・博士（工学）　[3)]三井ホーム株式会社
1) Senior Research Manager of Building Engineering System Group, Building Research Division, Dr. Design Eng. 2) Deputy Director of Northern Regional Building Research Institute, Dr.Eng. 3) Mitsui Home Co.,Ltd.

本書の全部および一部の無断での転載はご遠慮ください。

No unauthorized reproduction

概　要
Abstract

中低層木造集合住宅用の天井懐と二重床を利用する全館空調システムの開発
Development of Central Air-Conditioning Systems Utilizing Spaces above the Ceiling and Double Floor for Wooden Multiple Dwelling Houses

北谷 幸恵[1)]、廣田 誠一[2)]、今福 昌克[3)]、木本 勢也[3)]、橋本 由樹[3)]、倉部 豊弘[3)]
Yukie Kitadani[1)], Tomohito Hirota[2)] ,
Masakatsu Imafuku[3)], Seiya Kimoto[3)], Yoshiki Hashimoto[3)] Toyohiro Kurabe[3)]

キーワード ： 木造集合住宅、空調、二重床、遮音
Keywords：*Wooden multiple dwelling house , Air-conditioning, Double floor, Sound insulation*

１．研究概要

１）研究の背景

・中層以上の集合住宅については、建設時の CO_2 排出量の低減等の目的から、木造化が進み始めている。
・現状の木造集合住宅における短所の１つとして、界床の遮音性能の低さが挙げられる。
・空調については、将来のエネルギー転換に備える観点から、電気ヒートポンプが有力な選択肢の１つと言える。しかし、既往技術である全館空調やエアコンは、集合住宅においては、熱源容量の過大さによる効率低下、熱源やダクトの建設費の価格、輻射式暖房と比べた快適性の低下等の課題がある。
・2024 年４月に賃貸住宅の省エネ性能表示制度が運用開始される等、性能が住まい選びの判断材料の１つとなりつつあり、省エネ性能や遮音性能の向上は入居率の確保のためにも重要になると考えられる。
・効率・コスト・温熱環境が改善された空調手法と、界床等の高い遮音性能を、同時に実現できれば、入居者から見た木造集合住宅の魅力が高まり、オーナーにとっても賃貸住宅の安定経営につながる。

２）研究の目的

中低層木造集合住宅を主対象とし、高い床遮音性能を確保しつつ、乾式二重床および天井懐を空気搬送チャンバーとして利用する全館空調手法を開発する。

２．研究内容

１）空気循環経路と室内への熱供給手法の検討（R5～R7 年度）

・ね　ら　い：空気循環経路、および、室内への熱供給手法を検討する。
・試験項目等：実大実験（風量、温度等）、空気循環経路の設計

２）遮音性能向上技術の検討（R5～R6 年度）

・ね　ら　い：重量・軽量床衝撃音の性能向上のため、乾式二重床の面密度と剛性の向上、RC 造用防音フローリングの乾式二重床への適用拡大、天井の高遮音化の検討を行う。
・試験項目等：実大試験体による実験

３）空調手法と遮音性能の検証および提案（R6～R7 年度）

・ね　ら　い：１）２）の成果を実験住宅に施工し、夏・冬の温熱環境と遮音性能を検証する。本手法の設計方法を提案する。
・試験項目等：実験住宅における実験

[1)] 北方建築総合研究所　建築システムグループ　研究主幹・博士（芸術工学）　[2)] 同　副所長・博士（工学）　[3)]三井ホーム株式会社

[1)] Senior Research Manager of Building Engineering System Group, Building Research Division, Dr. Design Eng. [2)] Deputy Director of Northern Regional Building Research Institute, Dr.Eng. [3)] Mitsui Home Co.,Ltd.

３．研究成果

１）空気循環経路と室内への熱供給手法の検討（R5～R7 年度）

断熱等級 6 を前提に、空気循環経路を暫定で設定したうえで、各種検討から次の成果を得た。

・二重床表面に生じる温度むらに関する実大実験を行い、二重床内部への空気拡散部材の設置により、むらを緩和できることを明らかにした（図 1）。

・暖冷房負荷を試算し、空調風量はエアコン最大風量以上（56.1m² の想定住戸プランにおける寒冷地向け小容量機器で 1,050[m³/h]）とする等の要件を示した。

２）遮音性能向上技術の検討（R5～R6 年度）

・遮音性能向上を意図した界床の仕様を立案したうえで、実大実験から、界床の仕様改良による重量・軽量床衝撃音の性能向上効果を明らかにした（図 2）。

３）空調手法と遮音性能の検証および提案（R6～R7 年度）

・実棟実験から、床面積あたりの空調風量が、冷房で 19[m³/h]以上、暖房で 4[m³/h]以上の条件において、上下温度差 3℃以下になることを検証した。また、ファン風量の調整により、複数室の室間温度差を 2℃以下に制御可能であることを確認した。

・空気搬送用ファンの選定方法等（図 3）、気象条件や住戸プランに応じた空調設計方法を示した。

＜具体的データ＞

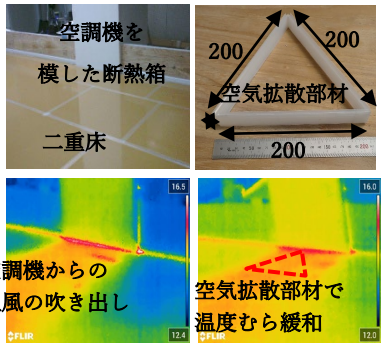


図１　二重床の表面温度

	①耐火仕様（既存）	①＋乾式二重床	②＋粒状体	③＋防音ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ
重量床衝撃音	70	65	60	60
軽量床衝撃音	80	60	55	50～45

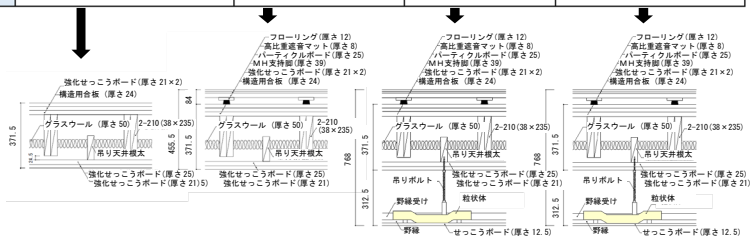


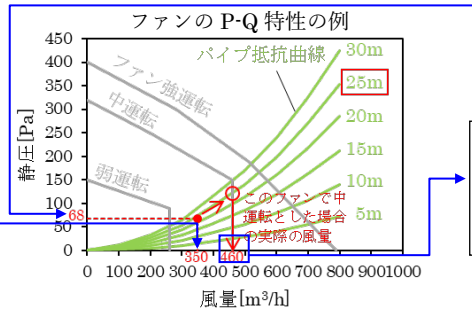
図２　界床の仕様と遮音性能

	風量[m³/h]（計 1050）	空気循環経路の圧力損失[Pa]					
		空調室の二重床入口	二重床内部	通気幅木	天井グリル	ほか	計
LDK	316	14.9	36.6	15.3	1.5		68
洋室 1	306	9.9	31.2	21.8	5.8		
洋室 2	310	14.4	25.6	22.4	5.9		
玄関	118		0.9	65.8	0.9	0.6	

ww

住戸の合計の風量　1050[m³/h]
（エアコン最大風量以上）

ファン 3 台／住戸の場合
ファン 1 台あたり 350[m³/h]



実際の風量
ファン 1 台あたり 460[m³/h]
ファン 3 台の合計で 1680[m³/h]

図３　ファンの機種選定方法（床面積 56.1m² の住戸を例示）

４．今後の見通し

本研究成果は、共同研究機関にて商品化の検討を行うとともに、道総研にて普及資料等を通じて道内設計事務所や工務店に普及し、木造集合住宅等の良質な温熱・音環境の形成、省 CO_2 化に貢献する。また、協力機関にて防音フローリングを販売することで、乾式二重床の遮音性能の向上に寄与する。

協力機関：DAIKEN 株式会社、早川ゴム株式会社

目　次

１．研究の背景と目的 1

２．空調の空気搬送経路の要件に関する検討 2
２．１　本章の検討内容 2
２．２　検討用の住戸モデル 2
２．３　空調搬送経路の概要 2
２．４　暖冷房負荷 3
２．５　空調の風量 3
２．６　空気搬送経路の有効開口面積 4
２．７　床表面等の温度むら緩和手法 4
２．８　まとめ 6

３．遮音性能の向上技術の検討 7
３．１　遮音性能の向上技術の基本方針 7
３．２　防音フローリング 7
３．３　床・天井周りの仕様検討 8
３．４　まとめ 15

４．遮音と空調を組み合わせた手法の検証 16
４．１　検証の内容 16
４．２　空調が形成する温熱環境 16
４．３　空調用の天井グリルがある場合の遮音性能 18
４．４　まとめ 18

５．空調の設計手法の提案 19
５．１　設計の流れ 16
５．２　住戸モデルによる設計例 16

１．研究の背景と目的

１．１　背景

建築物の建設時の CO_2 排出量の低減、木材の使用による炭素固定等を目的とし、中層以上の集合住宅の木造化が進み始めている。

現状の木造集合住宅の短所の１つとして、界床等の遮音性能の低さが挙げられる。技術的には RC 造並みの床衝撃音遮断性能等を実現できるが、ローコスト化が課題である。

一方、運用段階の省 CO_2 化に向けては、将来のエネルギー転換に備える観点から、電気ヒートポンプの採用が有力な選択肢の１つと言える。具体例としては、戸建て住宅向けの全館空調の転用、ルームエアーコンディショナ（以下、エアコンと称す）等がある。しかし、これらは、熱源容量の過大さによる部分負荷効率の低下、気流による快適性の低下等の課題がある。

賃貸の集合住宅については、2024 年 4 月に省エネ性能表示制度が運用開始されるなど、省エネ性能が、入居者の住まい選びの判断材料の１つになりつつある。こうした流れのなかで、エネルギー効率・温熱環境が改善された空調手法や、界床等の高い遮音性能の実現は、入居者から見た木造集合住宅の魅力を高め、集合住宅の入居率向上への貢献も期待できる。

１．２　目的

中低層木造集合住宅を主対象とし、高い床遮音性能を確保しつつ、乾式二重床および天井ふところを空気搬送チャンバーとして利用する全館空調手法を開発する。

図 1-1 に、本手法のイメージを示す。

１．３　研究の流れ

本研究では、空調（2 章）と床遮音（3 章）それぞれの検討を行ったのち、それらを統合した手法について性能検証を行い（4 章）、空調の設計方法を提案する（5 章）。

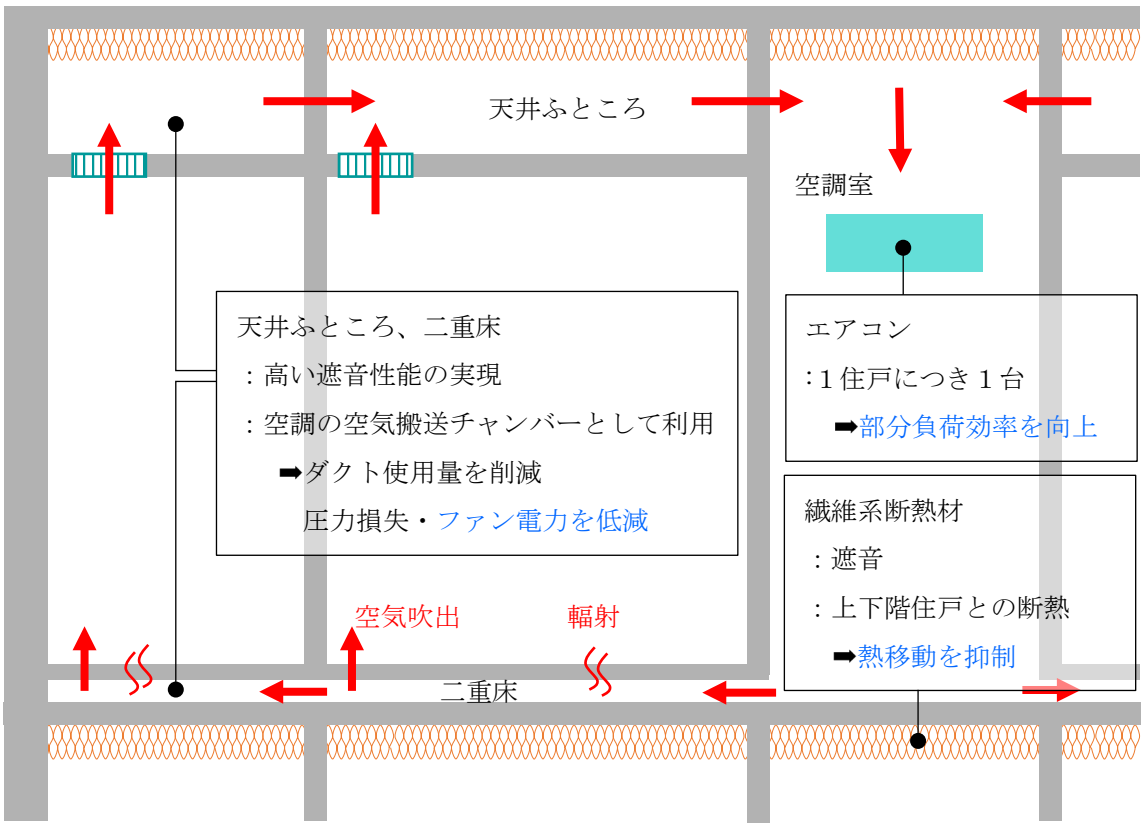


図 1-1　本手法のイメージ

２．空調の空気搬送経路の要件に関する検討

２．１　本章の検討内容

本章では、住戸モデルを用いて空気搬送経路を立案したうえで、空調の風量の検討、空気搬送経路の有効開口面積の把握、床表面等の温度むら緩和手法の検討を行う。

２．２　検討用の住戸モデル

図 2-1 および表 2-1 に住戸モデルの概要を示す。外皮の断熱性能は等級 6 とする。本住戸モデルは、最上階端部に位置する。これは、暖冷房負荷が多く、エアコンやファンの必要容量が大きい場合でも、適用可能な空調システムとするためである。

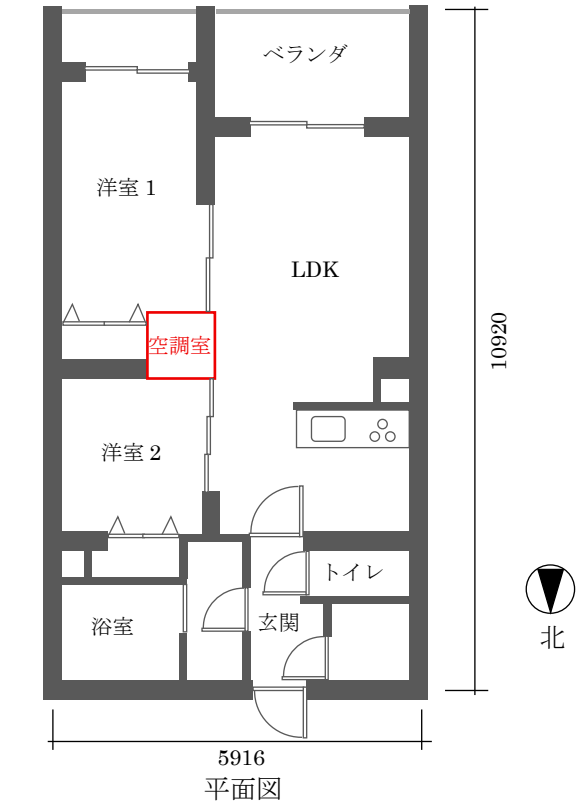


図 2-1　検討モデル

表 2-1　検討モデルの概要

延べ床面積	56.10m²（ベランダを除く）
天井高	2450mm
気積	137.45m³

２．３　空調搬送経路の概要

図 2-2 および以下に、空気搬送経路の概要を示す。

空調室を前掲図 2-1 に示した位置に設け、その中にエアコンを設置する。高断熱な集合住宅では各室の暖冷房負荷が小さくなるが、エアコンを 1 住戸につき 1 台とすることで部分負荷効率低下を抑制する。

エアコンで処理した空気は、空調室から二重床内に対し吹き出す。これは、ファンで空調室内を加圧することによる。

二重床内の空気は、通気幅木を通じて室内に吹き出す。室内への吹出には、床面ガラリの利用も考えられるが、通気幅木は二重床の振動伝達による遮音性能低下を避けるために設置されること、また、部屋の四周に設置できるため家具やカーペットで塞がれた場合の影響が少ないことから、通気幅木を利用する。

室内への熱供給は、通気幅木からの空気の吹出と床表面の輻射による。

室内の空気は、天井グリルを通じて天井ふところに流入させる。これは、ファンによって天井ふところ内を負圧にすることによる。

天井ふところの空気は、ファンによりエアコンの吸込口の近傍に吹き出す。ファンは、ＬＤＫ、洋室 1，洋室 2 の別で設置する。

熱交換換気装置により採り入れた外気も、エアコン吸込口の近傍に吹き出す。この手法は、既往研究[1]において、エアコンの COP 向上に寄与することが示唆されている。

玄関や洗面等の空間には、空調室から直接空気を吹き出すことができないため、LDK と洋室 2 を経由する熱供給となる。これらの室間で空気が流れるように、二重床内部および天井ふところ内部を連通させるとともに（図 2-2）、換気の排気（RA）を玄関等から取る。

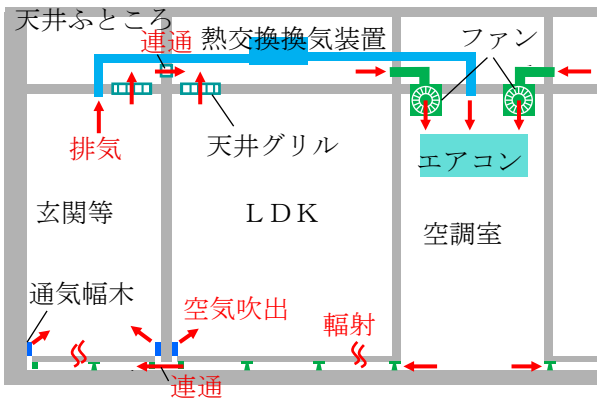


図 2-2　空気搬送経路の概要

２．４　暖冷房負荷

空調の熱源であるエアコンの機種選定に向けて、暖冷房の年間最大負荷を把握するためのシミュレーションを行った。立地は東京と札幌とし、気象データには拡張アメダス 2020 年版を使用した。計算プログラムには AE-Sim/Heat を用いた。計算モデルは前述 2.2 のモデルである。断熱性能は表 2-2 に示す等級 6 とし、比較対象として等級 5 の計算も実施した。換気は、全熱回収型の熱交換換気装置とし、換気回数は 0.5[回/h]、効率は表 2-3 のとおり仮定した。

図 2-3 に年間負荷の計算結果を示す。等級 5 から等級 6 への高断熱化に伴い、東京と札幌において、暖房負荷と冷房負荷ともに減少する。

図 2-4 に、年間の最大負荷の計算結果を示す。断熱性能が高い等級 6 の方が、暖冷房負荷が小さい。エアコンの暖冷房能力は、この値以上とする必要がある。

図 2-5 に、部屋別の最大負荷の計算結果を示す。この部屋別の負荷に応じた熱分配を行うため、ファン等の風量を設定する必要がある。

表 2-2　外皮平均熱貫流率（U_A 値）[W/(m²･K)]

東京		札幌	
等級 6	等級 5	等級 6	等級 5
0.46	0.60	0.28	0.40

表 2-3　熱交換換気装置の効率

	暖房期	中間期	冷房期
顕熱回収率	84%	79%	79%
潜熱回収率	67%	66%	66%

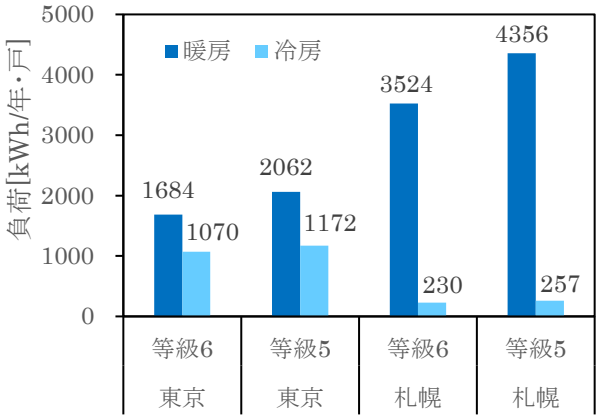


図 2-3　年間負荷の計算結果

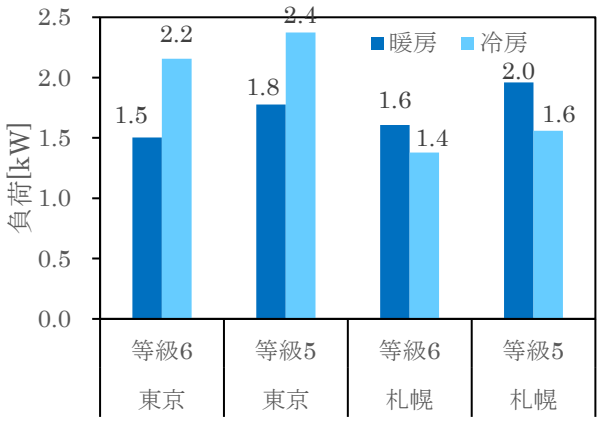


図 2-4　年間最大負荷の計算結果

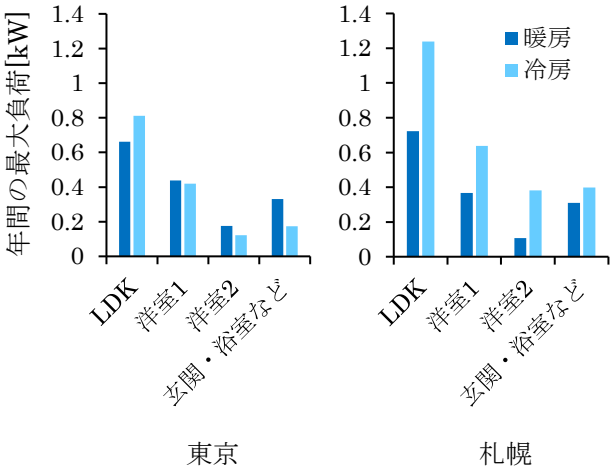


図 2-5　部屋別の年間最大負荷（等級 6）

２．５　空調の風量

表 2-4 に寒冷地と温暖地の外気温の条件下で使用可能なエアコンのうち、暖冷房能力が前掲図 2-4 に示した等級 6 の暖冷房の最大負荷に見合う機種について、諸元の例を示す。エアコン能力が最大負荷を上回り、１住戸につき１台のエアコンで暖冷房が可能であることを確認できる。

エアコンの最大風量は暖房時の 1038[m³/h]となっている。

図 2-6 に示すとおり、空調室に対しては、ファンが室内からの還気を供給し、熱交換換気装置経由で外気を供給する。エアコンはこれらの空気を吸い込むが、空調室への供給空気の風量がエアコン風量を下回る場合は、エアコンの吹出空気を、エアコンが再度吸い込む現象が起こり、エネルギー効率が低下する。本空調手法では、エアコン風量が負荷に応じて増減するなかで、常に再吸込みを防止するため、ファンと換気の合計風量がエアコンの最大風量を上回ることを条件とする。

例えば 2.2 の住戸モデルの場合、エアコンが 1038[m³/h]、換気は換気回数 0.5[回/h]で 69[m³/h]であることから、ファン風量は合計で 1038－69＝969[m³/h]超となる。ファンは LDK、洋室 1，洋室 2 の別で計 3 台である。

また、1038[m³/h]の空気が住戸全体を循環することになるが、平均の床面積あたりに換算すると 19[m³/h]程度となる。この風量を念頭に置きつつ、後述の室内温熱環境などの検討を実施する。

表 2-4　エアコンの諸元の例

外気条件	-25℃以上
電源	単相 100V
能力[kW]	冷房 2.5、暖房 2.8、暖房低温 5.8
室内機の最大風量[m³/h]	冷房 960、暖房 1038

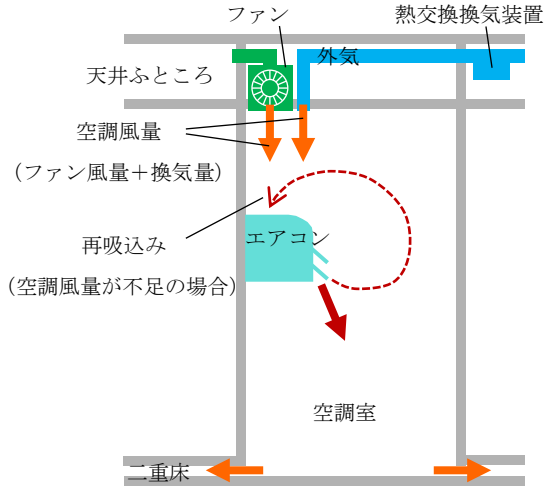


図 2-6　エアコンの再吸込みのイメージ

2．6　空気搬送経路の有効開口面積

空気搬送経路の有効開口面積について、既往の知見が無い下記 2 つの部位を測定した。

（1）空調室から二重床への入り口部分

図 2-7 に二重床の試験体を示す。測定対象は、空調室の 1 辺 0.9m あたりの有効開口面積とする。測定は、JIS-A2201-2017[2)]に準拠する測定器により行った。

表 2-5 に測定結果を示す。1 辺の有効開口面積は、205[cm²]である。

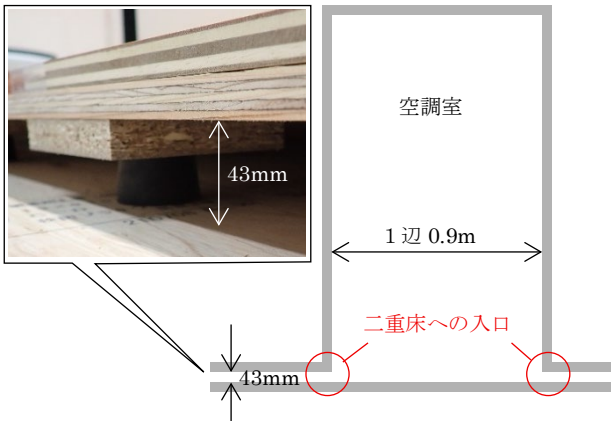


図 2-7　二重床への入り口部分

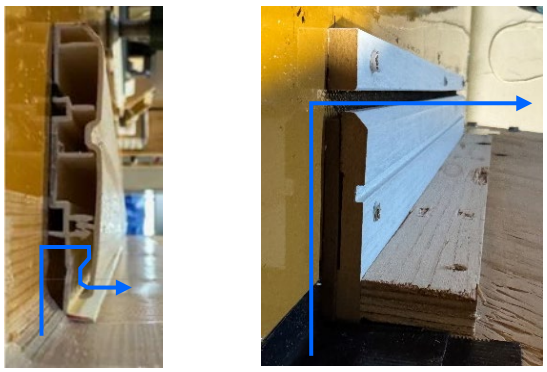
表 2-5　有効開口面積（二重床への入り口部分）

1 辺あたりの有効開口面積	205[cm²]
検討用住戸モデルの有効開口面積（空調室の 3 辺が二重床への入口として解放される）	614[cm²]

（2）通気幅木

写真 2-1 に通気幅木の試験体 2 種を示す。測定対象は幅木長さ 1m あたりの有効開口面積とし、455mm ピッチで壁との間に下地がある。測定は JIS C9603-1988[3)]に準拠する風量試験装置により行った。

表 2-6 に測定結果を示す。有効開口面積は、通気幅木 B の方が A よりも大きく、17.2[cm²]であった。



通気幅木 A　　通気幅木 B

写真 2-1

表 2-6　通気幅木の長さ 1m あたりの有効開口面積

通気幅木 A	7.8[cm²]
通気幅木 B	17.2[cm²]

2．7　床表面等の温度むら緩和手法

ここでは、二重床の室内側表面等における温度むらの緩和手法を、床周辺部の実大試験体を用いた実

験により検討した結果を記す。

（１）実験方法

図 2-8、図 2-9、写真 2-2 に試験体の概要を示す。試験体の平面は、実験室の寸法が対応できる範囲内で、図 2-1 の検討モデルの LDK の寸法に近くなるようにした。

本実験では、図 2-9 中に示す二重床内部の位置に、空気拡散部材を設置し、空調室から二重床内部へと供給する空気の吹き出し方向を拡散させることで温度むらを緩和する手法を検討した。

実験では、断熱箱内の電気ヒータで温めた空気を二重床内部へ吹き出す。吹出空気が 40℃程度となるように、電気ヒータの発停制御を行った。

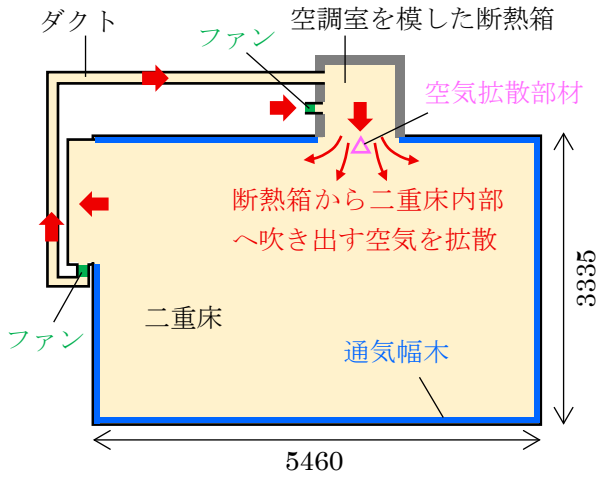


図 2-8　二重床の試験体（平面）

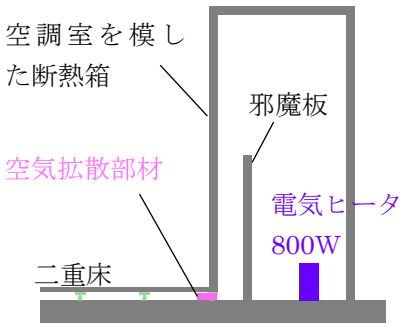


図 2-9　二重床の試験体（断面）

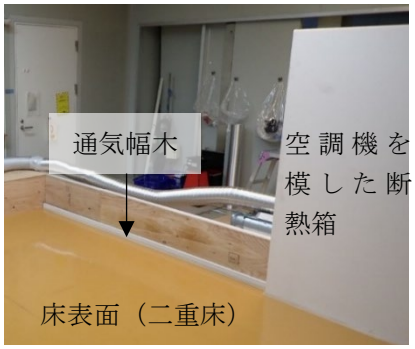


写真 2-2　二重床の試験体

（２）空気拡散部材の有無の比較実験

１）実験条件

本実験では、写真 2-3 に示す空気拡散部材を、二重床内部の断熱箱近傍に設置した場合としない場合における、床表面温度を比較した。

実験室の室温は成り行きとした。二重床内部への吹出風量は床面積あたり 16[m³/(h･m²)]である。

２）実験結果

図 2-10 に床表面の熱画像を示す。空気拡散部材が無い場合には、断熱箱正面に位置する床表面の温度が高くなっている。一方、空気拡散部材を設置した場合は、断熱箱の左右の床の温度も上昇している。以上から、空気拡散部材により、床表面の温度むらを緩和できることがわかった。

また、通気幅木として 2.6 の通気幅木 A を用いたところ、風切音が生じた。そのため、以降の実験では通気幅木 B を用いることとした。

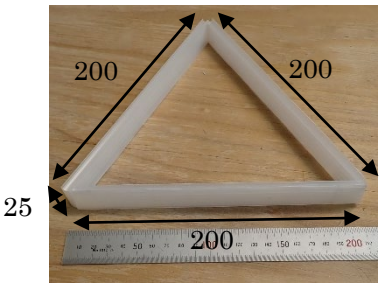
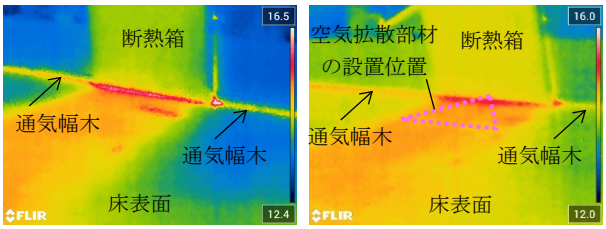


写真 2-3　空気拡散部材（プレ実験）



空気拡散部材なし　　空気拡散部材あり

図 2-10　床表面の温度分布

（３）空気拡散部材の各種形状の比較実験

１）実験条件

温度むら緩和に効果的な空気拡散部材の形状を把握するため、図 2-11 に示す各種形状の空気拡散部材について、温度むらの生じ方を比較した。

実験室の空調を 23℃設定で稼働させた。二重床内部への吹出風量は、床面積あたり 17～19[m³/(h･m²)]である。図 2-12 に温度測定点を示す。

２）実験結果

表 2-7 に実験結果を示す。空気拡散部材が無い場合、測定点内における最大の温度差は、幅木からの吹出空気が 7.1℃、床表面温度が 2.6℃であった。こ

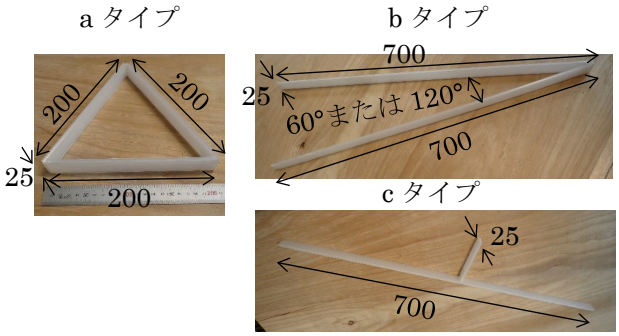


図 2-11　空気拡散部材の形状

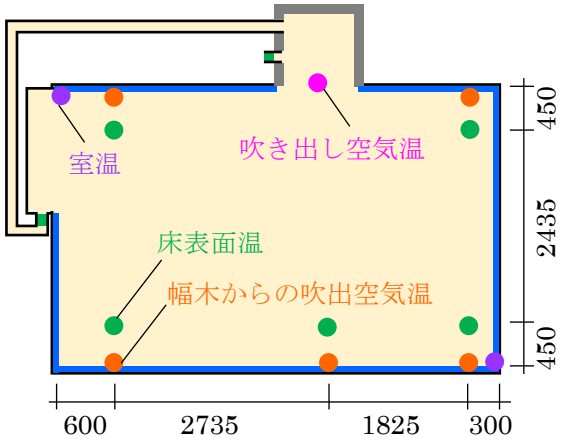


図 2-12　温度測定点

表 2-7　実験結果※1

空気拡散部材	空調機近傍の床表面		幅木からの吹出空気※2	床表面温度※2
なし ←空調室 二重床	28.0	最高	30.8	26.1
		最低	23.7	23.5
		最高-最低	**7.1**	**2.6**
a タイプ	28.1	最高	27.7	25.6
		最低	24.0	23.5
		最高-最低	3.6	2.1
b タイプ 60°	29.9	最高	26.0	24.6
		最低	25.0	23.4
		最高-最低	**1.0**	**1.2**
b タイプ 120°	25.9	最高	26.3	25.3
		最低	21.9	21.0
		最高-最低	4.4	4.3
c タイプ	30.7	最高	26.6	25.6
		最低	24.8	23.8
		最高-最低	1.8	1.8

※1：空調吹出空気温度と室温は設定値から若干ずれるため、測定結果から空調吹出空気温度 40℃、室温 23℃の場合を推計した値を示す。
※2：５点の測定点における最高値、最低値、及びその差。

の温度差は、空気拡散部材の b タイプ（60°）を設置した場合に最も小さく、幅木からの吹出空気が 1.0℃、床表面温度が 1.2℃になった。

２．８　まとめ

最上階端部の住戸モデルを想定した検討から、次の結果を得た。

・空調の空気搬送経路を立案した。
・暖冷房負荷シミュレーションを行い、エアコン機種選定の元となる年間最大負荷を示した。
・空調風量について、ファン風量と換気量の総量を、エアコンの最大風量超とすべきことを示した。
・空気搬送経路の有効開口面積を実測したところ、空調室から二重床への入り口部分は長さ 0.9m あたり 205[cm²]、通気幅木は開口が大きな商品の場合で 17.2[cm²]であった。
・二重床周辺部位の実大試験体を用いた実大実験を行い、空調室近傍の二重床内部に空気拡散部材を設置することで、床表面温度および通気幅木から室内に吹き出す空気の温度のむらを緩和できることを明らかにした。実験対象とした空気拡散部材のうち温度むら緩和の効果が最も大きかったのは、1 辺が 700mm の正三角形（図 2-11 の b タイプ 60°）の部材であった。

[参考文献]

1)建築研究本部　調査研究報告書「主として暖房エネルギー削減と温熱環境性能向上が両立する木造戸建住宅の改修手法に関する研究」、2014.3
2) JIS-A2201-2017　送風機による住宅等の気密性能試験
3) JIS C9603-1988　換気扇

３．遮音性能の向上技術の検討

３．１　遮音性能の向上技術の基本方針

枠組壁工法の共同住宅の場合、技術的には高い遮音性能の確保が可能であるものの、高さの制限、耐火仕様との整合といった制約の中で性能を確保することは容易ではない。本研究では、これまで床衝撃音遮断性能を向上するために研究[1), 2)他]が行われ、成果が得られている乾式遮音二重床を採用し、この二重床空間を空調の空気搬送経路とする新たな暖房方法を開発するための遮音性能向上技術を検討する。

遮音性能を向上するための要素を次に示す。

・乾式二重床の面密度と剛性の向上（図 3-1 中の①）
・二重床用防音フローリングの開発（図 3-1 中の②）
・乾式二重床の端部隙間の吸音措置（図 3-1 中の①）
・天井の高遮音化の検討（図 3-1 中の③）
・空調経路の遮音性能を確保するための吸音・遮音技術の開発

床の遮音性能を高めるためには、乾式二重床を用いる方法が有効なため、三井ホームでは 2021 年から早川ゴムと MOCX MUTE という二重床を開発していた。本研究は耐火構造の枠組壁工法床をベースにこの二重床を床上に、床表面仕上げ材に DAIKEN の木質防音フローリング、天井の遮音性能を高めるためにフクビ化学工業の粒状体であるサイレントドロップを用いて床構造を構成する。

なお、目標性能は、$L_{i,\mathrm{Fmax,r,H(1)}}$-55 以下、$L_{i,\mathrm{r}}$-50 以下、界床の室間音圧レベル差等級 D_{r}-50 以上である。

３．２　防音フローリング

コンクリートスラブ素面では重量床衝撃音遮断性能は高いが軽量床衝撃音遮断性能は低い。この軽量床衝撃音遮断性能を向上するために開発されたのが木質防音フローリングである。しかし、防音フローリングは木質ではあるが、クッション性が高く歩行時に撓むため歩行感が問題になる。そこで、乾式二重床構造が RC 造マンション用に開発された。重量床衝撃音遮断性能はコンクリートスラブ素面と同等で、軽量床衝撃音遮断性能は、無垢フローリングを用いても防音フローリングと同等の性能を確保できる。一方、木造共同住宅の床衝撃音遮断性能を向上するためには、RC 造と同様の対策では効果が得られにくい。例えば、床衝撃音対策を行っていない床構造に RC 造で用いられている ΔL=0 の二重床を施工しても重量床衝撃音遮断性能は $L_{i,\mathrm{Fmax,r,H(1)}}$-70 程度にしかならず、軽量床衝撃音に対しては、$L_{i,\mathrm{r}}$-75 程度である。性能を高めるためには、ベースの床構造と天井の性能を向上したうえで ΔL=0 仕様の乾式二重床を施工することで、$L_{i,\mathrm{Fmax,r,H(1)}}$-65、$L_{i,\mathrm{r}}$-65 程度の性能を確保できる。

軽量床衝撃音に対しては、目標値は一般的な RC 造マンションと同等の $L_{i,\mathrm{r}}$-45 である。木造床は RC 造床と比べて空気伝搬音の遮断性能が低いため、二重床を用いても床表面で発生した音が床構造を透過して受音室へ届き性能が低くなる。対策として二重床上に防音フローリングを用いる方法を検討した。課題は、二重床などのたわみやすい材料の上に施工

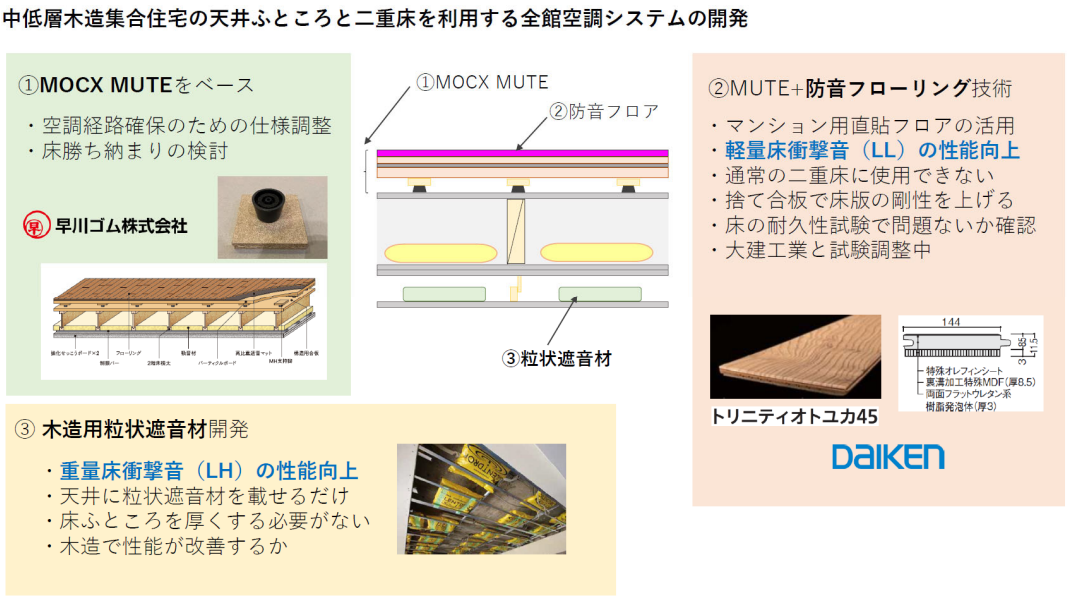


図 3-1　遮音構造を構成する要素

した場合にさね部を痛める可能性があるため防音フローリングメーカーでは二重床上への施工を推奨していないことである。そこで、DAIKEN でサネの耐久性確認試験を行なった。

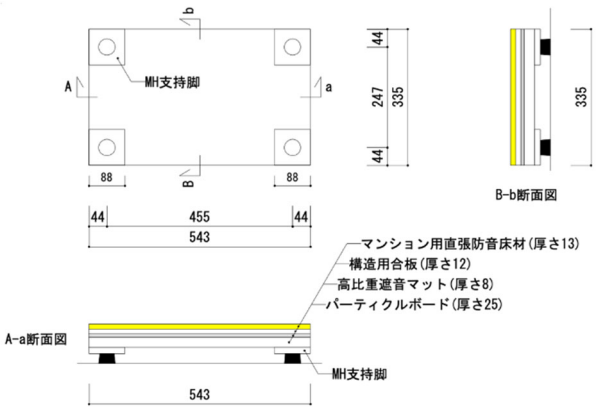


図 3-2　サネの耐久性確認試験用試験体

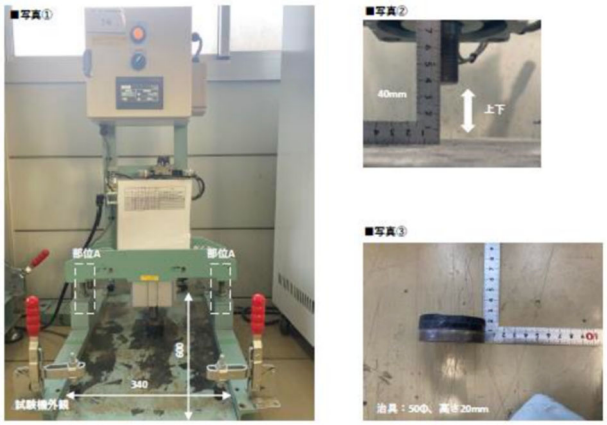


写真 3-1　サネの耐久性確認試験装置

試験方法は、図 3-2 に示す試験体を写真 3-1 に示す装置に取り付けて、50φ の治具を床表面に繰り返し押し付けて床材の損傷の有無を確認する。治具の加圧力は 80kg の人が踵で局部的に踏みつけることに相当する。繰り返し回数は 15 万回である。

防音フローリングは、DAIKEN のハピアオトユカ 45Ⅱ、ハピアオトユカ 40、トリニティオトユカの 3 種類とした。試験体の概要と試験結果を表 3-1 に示す。

3 種類のフローリングと貼り方 2 種類の計 8 試験を行い、いずれもサネ部の損傷は見られなかった。

表 3-1 耐久性確認試験の試験体

試験体	フローリング名	貼り方向	接着の有無	試験結果
①	ハピアオトユカ フロア 45Ⅱ	縦	全面ウレタン接着	損傷なし
②		横		
③	ハピア オトユカ 40	縦		
④		横		
⑤	トリニティ オトユカ	縦		
⑥		横		

3．3　床・天井周りの仕様検討

（1）二重床の歩行感の向上

今回使用する二重床は、三井ホームと早川ゴムが開発した製品を用いることにした。製品仕様は、ゴム硬度が 40、45 及び 50、高さが 25mm 及び 28mm などがある。これまでの仕様を表 3-2 に示す。

表 3-2 これまでの二重床の仕様

年度	2022 年度			2023 年度
測定名	測定 A	測定 B	測定 C	測定 D
面材 3	木質フローリング 12mm			
面材 2	遮音マット 8mm			
面材 1	パーチ 20mm			パーチ 25mm
ゴム脚形状	差込	接着(改 2)		接着(改 5)
ゴム脚高さ	25mm			28mm
ゴム脚硬度	50	40		45
ゴム脚個数	77	77	99	132
天井	強化 PB12.5mm×2			同 15mm×2
L 数(ゴムボール)	61	61	61	57

このうち、2023 年に実施した、測定 D（ゴム硬度 45、高さ 28mm、ゴム脚個数 132 個）を用いた実験住宅における試験（図 3-3）では、ゴム硬度 50 の測定 A に対して性能は 4dB ほど向上したが、揺れやすく家具のがたつきも発生していた。歩行加振時の振動加速度波形を図 3-4 に示す。加速度が大きいということは変位も大きいことから測定 D では揺れやすいといえる。

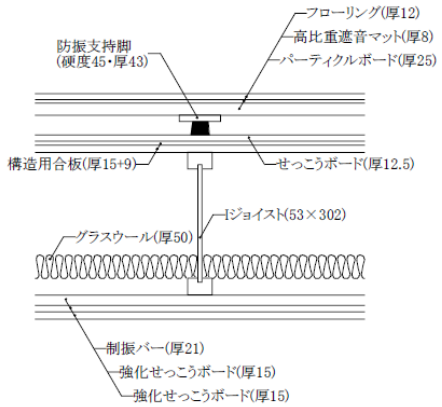
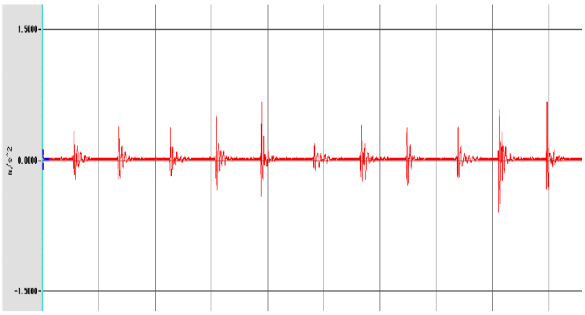


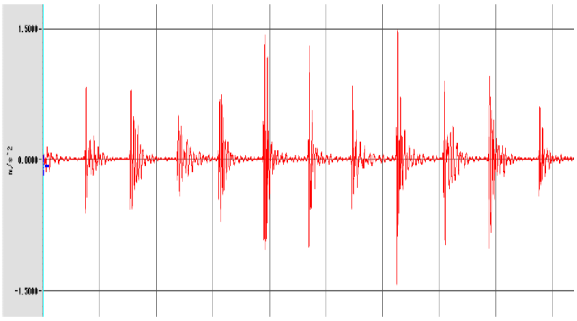
図 3-3　測定 D の床構成

そこで、性能を低下させずに歩行感を向上するために、ゴム脚は、ゴム硬度を 50 とし、形状を測定 A と同じでパーチへの取り付け方法が異なるものとした。また、二重床部分の曲げ剛性なども変えて試験を行なった（表 3-3）。

この結果、いずれの仕様も歩行感は改善された。検証 C のように二重床上の剛性を高めるとたわみ量は減るが検証 B の仕様でもたわみ量や歩行感が許容範囲に収まった（図 3-4（2）と比べて図 3-5（1）は振動加速度がかなり小さくなっている）ことから、検証 B の仕様を新たな仕様とすることにした。



（1）測定 A の振動加速度

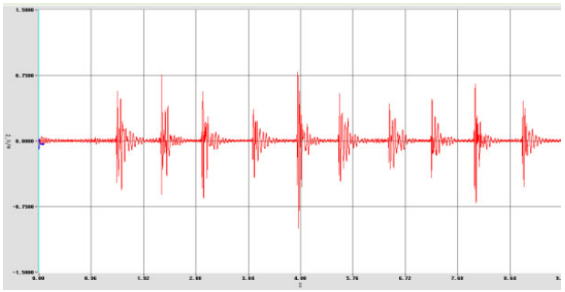


（2）測定 D の振動加速度

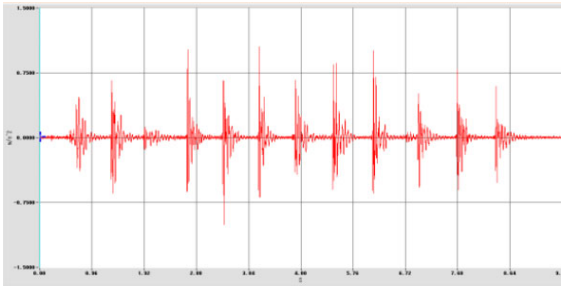
図 3-4　歩行加振時の振動加速度波形

表 3-3 歩行感改善用試験

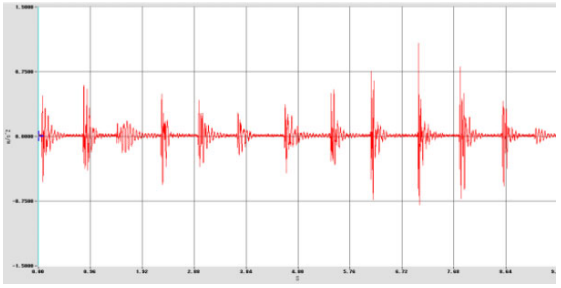
試験名		仕様					床衝撃音レベル等級(L 数)			たわみ量 [mm]	
		ゴム脚硬度	パーチ厚さ	マット	床表面仕上材	際根太	重量床衝撃音		軽量床衝撃音		
							タイヤ	ゴムボール	タッピング	一般部	際根太部
検証 B	B-2	50	パーチ 25	遮音マット 8	フローリング 12	なし	65(65)	55(56)	55(53)	2.7	1.6
	B-4	50	パーチ 25	遮音マット 8	フローリング 12	4 面あり	65(64)	55(55)	55(54)		
検証 C	C-2	50	パーチ 20		合板 12	2 面あり	75(73)	65(65)	70(67)	2.2	1.5
	C-3	50	パーチ 20		合板 12×2 (接着固定)	2 面あり	75(72)	65(63)	65(66)	1.4	0.9
	C-4	50	パーチ 20		合板 12×3 (接着固定)	2 面あり	70(71)	65(63)	65(64)	0.9	0.9



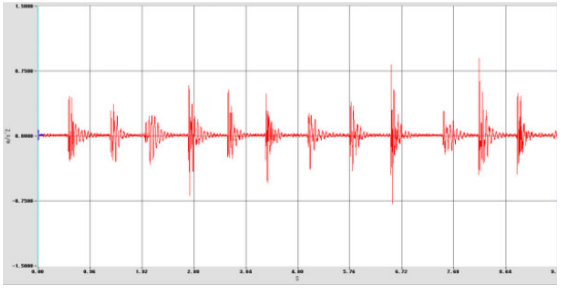
（1）B-2



（2）C-2



（3）C-3



（4）C-4

図 3-5 歩行感改善試験の歩行加振時の振動速度波形

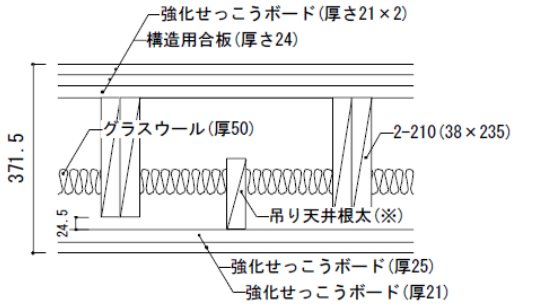
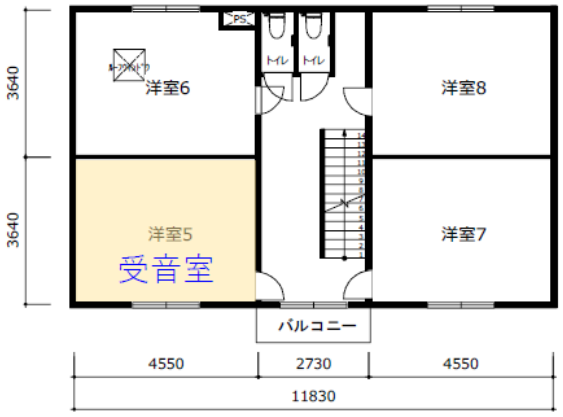
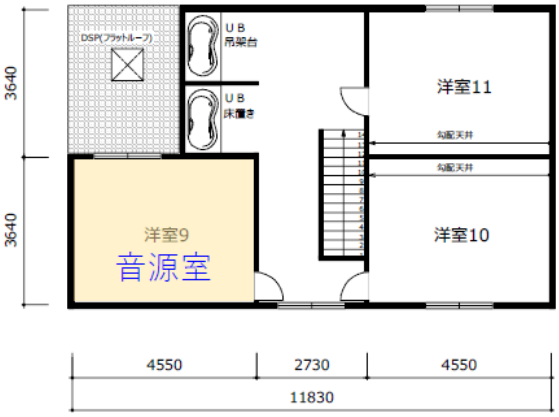


図 3-6　耐火構造の床構造



（1） 2階平面図



（2） 3階平面図

図 3-7　性能向上試験に用いた実験棟

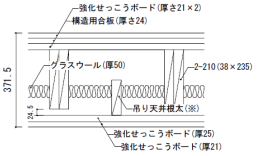
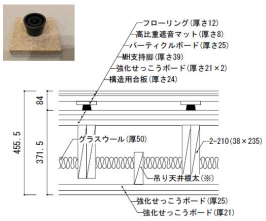
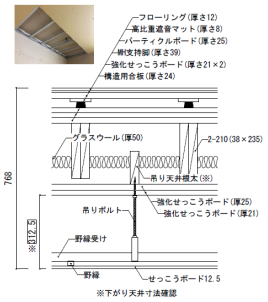
（2）性能向上の検討

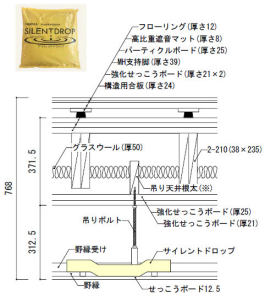
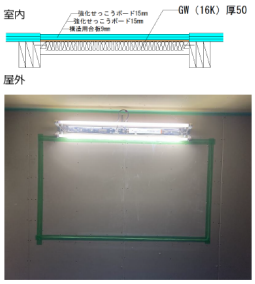
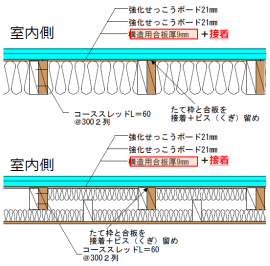
耐火構造の床構造（図 3-6）をベースに、前項で検討した二重床の仕様を載せ、天井などの仕様を変更しながら測定を行った。測定は、前出の実験住宅の音源室（3 階洋室 9）、受音室（2 階洋室 5）を使用して行った(図 3-7)。

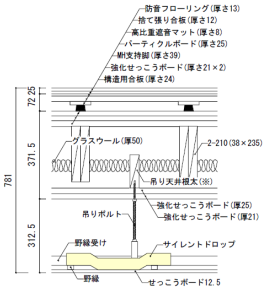
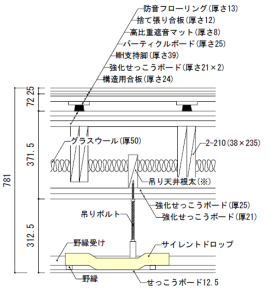
表 3-4 に測定を行った床構造仕様と結果の一覧を示す。

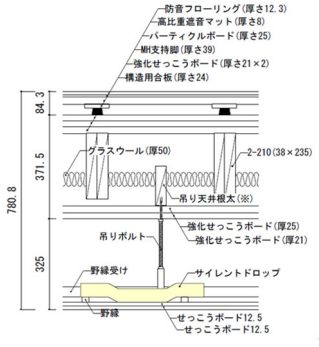
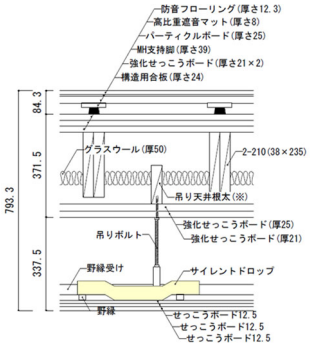
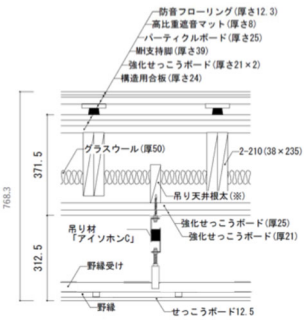
耐火構造の仕様である**測定①**と比べ、二重床を施工した**測定②**では、タイヤ衝撃源では改善しなかったが、ゴムボール衝撃源で 1 等級、軽量で 3 等級改善した。既往の論文[3]によると支持脚の高さが高いと改善量が大きくなる傾向がある。

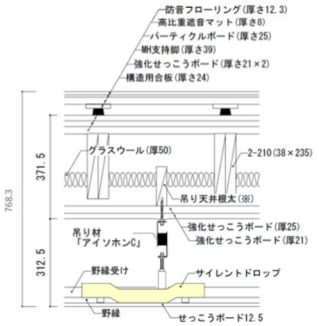
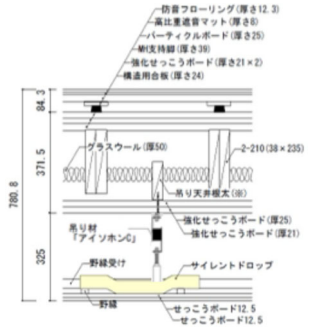
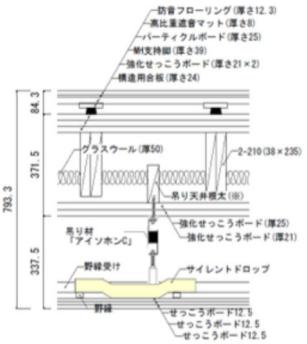
表 3-4　床構造仕様と測定結果　…重量は、上段がタイヤ、下段がゴムボール、（　）内はＬ数

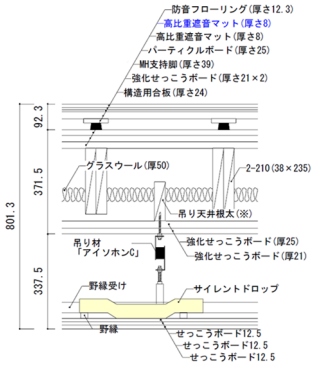
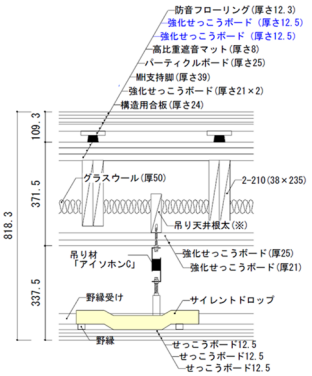
	測定①	測定②	測定③
仕様	 耐火構造	 測定①に二重床を施工	 測定②に二重天井を施工
重量	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-70　(70)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-65　(65)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-65　(65)
	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-65　(67)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-60　(60)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-60　(60)
軽量	$L_{i,r}$-75　(74)	$L_{i,r}$-60　(59)	$L_{i,r}$-60　(57)

	測定④	測定⑤	測定⑥
仕様	 測定③の二重天井内に粒状体を挿入	 測定④の窓をせっこうボードで閉塞	 測定④の壁の合板を接着（壁施工時に天井を施工しなおした）。合板と強化せっこうボードは接着していない。
重量	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-65　(64)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-65　(63)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-65　(66)
	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-60　(57)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55　(57)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-60　(60)
軽量	$L_{i,r}$-55　(55)	$L_{i,r}$-55　(55)	$L_{i,r}$-60　(57)

	測定⑦	測定⑧	測定⑨	測定⑩
仕様	測定②＋壁合板接着 測定⑥の結果が思わしくなかったため、測定⑥の二重天井を一度解体し壁合板接着のまま測定	測定⑦＋二重天井＋粒状体 測定⑦に二重天井を施工し粒状体を挿入	 測定⑧＋防音フローリング（オトユカ 40）	 測定⑧＋防音フローリング（オトユカ 45）
重量	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-65　(66)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60　(62)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60　(62)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60　(61)
	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-60　(59)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55　(57)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55　(55)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55　(56)
軽量	$L_{i,r}$-60　(59)	$L_{i,r}$-55　(55)	$L_{i,r}$-45　(44)	$L_{i,r}$-50　(48)

	測定⑪	測定⑫	測定⑬
仕様	 測定⑩＋天井せっこうボード 12.5	 測定⑩＋天井せっこうボード 12.5×2	 測定⑩＋粒状体
重量	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60 (62)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60 (61)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-65 (64)
	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55 (56)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55 (55)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-60 (58)
軽量	$L_{i,r}$-50 (49)	$L_{i,r}$-50 (48)	$L_{i,r}$-50 (51)

	測定⑭	測定⑮	測定⑯
仕様	 測定⑬＋粒状体	 測定⑭＋天井せっこうボード 12.5	 測定⑭＋天井せっこうボード 12.5×2
重量	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-65 (63)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60 (62)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60 (60)
	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-60 (58)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55 (57)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55 (56)
軽量	$L_{i,r}$-50 (50)	$L_{i,r}$-50 (50)	$L_{i,r}$-50 (48)

	測定⑰	測定⑱
仕様	 測定⑯+高比重遮音マット厚 8	 測定⑯+強化せっこうボード 12.5×2
重量	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60 (61)	$L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60 (61)
	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55 (53)	$L_{i,Fmax,r,H(2)}$-55 (54)
軽量	$L_{i,r}$-45 (43)	$L_{i,r}$-45 (47)

本検討では、枠組壁工法の中層共同住宅のため、高さ方向の制約が大きく二重床部分の高さを最小限に留める必要があることから 64mm とした経緯がある。この部分は今後の改善しろである。

１）二重天井

二重天井を追加した**測定③**では、軽量で L 数が 2dB 改善しただけで他は改善しなかった。

二重天井内に粒状体を挿入した**測定④**では、重量の等級は変わらず、軽量の等級が１改善した。

以上の結果から、二重床及び二重天井、粒状体による改善効果が小さかったため、窓及び壁からの放射音を押さえる仕様の測定を行った。

２）窓と壁の対策

測定⑤では窓を強化せっこうボード 15mm×2＋GW16K-50mm で塞いだ場合、**測定⑥**では、窓を戻して、壁部分を室内側から既存のスタッドにスタッドを抱かせてそれに強化せっこうボードを接着する方法とした。窓をふさいだ効果は極めて小さかった。壁の剛性を向上した測定では悪くなる傾向が見られた。各面の振動加速度レベルを測定した結果、入口側の壁面は 63Hz 帯域で 5dB 程度、対面の壁で 3dB 程度していたがこれら以外の壁面は改善が見られなかった。また、天井の振動加速度は顕著に悪化していた。この理由は、壁の施工時に二重天井を作りなおしておりその際に LGS 下地の剛性が低下したと考えられる。よって、**測定⑦**は、二重天井を解体した状態で測定を行った。この結果、仕様が同じ測定②と同じ結果となった。この状態で、同じということは壁からの放射の影響は小さいか若しくは改善できていないことを示している。

３）粒状体

二重天井を再施工し粒状体を挿入した**測定⑧**を測定し、測定③に比べてタイヤの L 数で 3、ゴムボールで 3、軽量で 2 の改善が得られた。図 3-8 に測定③及び④の二重天井内の粒状体の有無による天井面の振動加速度レベル低減量を示す。

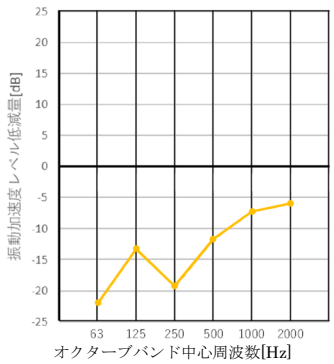


図 3-8　天井面の振動加速度レベル低減量

この結果では、大きなレベル差が生じており粒状体による天井面振動の効果が得られるはずであるが、実際の効果は小さいため壁面放射の影響を受けていると考えられる。

４）防音フローリング

防音フローリングを施工した**測定⑨**及び**測定⑩**では、軽量床衝撃音レベル等級 40 相当及び 45 相当の防音フローリングを使用した。この結果、軽量床衝撃音は測定⑨で２等級、測定⑩で１等級改善し、ともに目標としていた 50 以下を達成した。

５）二重天井へせっこうボード追加

この時点の重量床衝撃音レベル等級は $L_{i,Fmax,r,H(1)}$-60 で、目標としている 55 には達していない。このため、更なる性能向上対策として、測定⑩に天井せっこうボードを追加した**測定⑪**と**測定⑫**を行った。この結果、L 等級はいずれも変わらず、L 数で１の差だった。考えられる要因は二重天井の防振不足と壁からの放射音の影響である。

６）吊り木対策

二重天井の吊り木を防振タイプに変更し粒状体の無い**測定⑬**、粒状体を入れた**測定⑭**、更に天井のせっこうボードを 2 枚にした**測定⑮**、3 枚にした**測定⑯**の測定を行った。この結果、測定③と測定⑬の差が防振吊り木の効果であるが、重量床衝撃音で１から２の L 数の低減が得られた。しかし、粒状体を入れた測定⑩と測定⑭の差は悪化しており防振吊り木の効果は得られなかった。使用した防振吊り木は RC 造床用のゴム硬度 60 のもので、木造用である同 50 の製品は生産終了で入手できなかったことが一因として挙げられる。

天井にせっこうボードを追加した結果、重量床衝撃音でやや L 数が小さくなったが L 等級の改善には至らなかった。

７）振動加速度測定

測定⑯の仕様で音源室床にゴムボールを 1m の高さから落下させ受音室各面の振動加速度レベルを測定した。この値を振動速度レベルに変換した結果を図 3-9 に示す。

窓の振動速度レベルが卓越している。63Hz 帯域をみると壁９のレベルが他よりやや大きい。

各面の振動速度レベルから放射される音圧レベル L_p を式①を用いて算出した。

$$L_p = 10log_{10}\frac{S}{A} + 10log_{10}\sigma_{rnd} + L_v - 1.7 \quad \cdots式①$$

ただし、

S : 振動面の面積 [m²]
A : 室の吸音面積 [m²]
σ_{rnd} : 音響放射係数
L_v : 振動速度レベル [dB]

なお、音響放射係数は全周波数帯域で 1 とした。算出結果を図 3-10 に示す。赤線が天井から放射される音圧レベルである。これと他の面を比べると 63Hz 帯域では窓と壁 9 のレベルが高い。他は天井と同程度である。

これらの値を用いて各面の音圧レベルを合成して室平均音圧レベルを算出した。図 3-11 に結果を示す。室平均に対し、「窓なし」や「壁のみ」は 63Hz 帯域で 1～2dB 程度の減少低下だった。「天井のみ」は大きくレベルが減少した。この結果から、各面から放射される音圧レベルは同程度であるが面積の大きい壁面が支配的になっている。

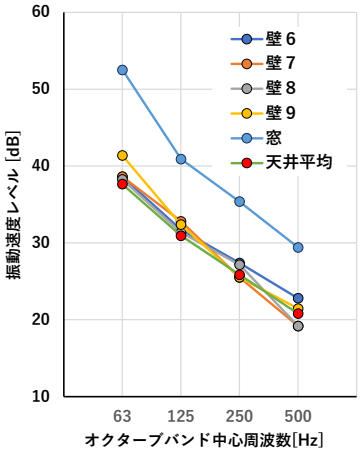


図 3-9　各面の振動速度レベル

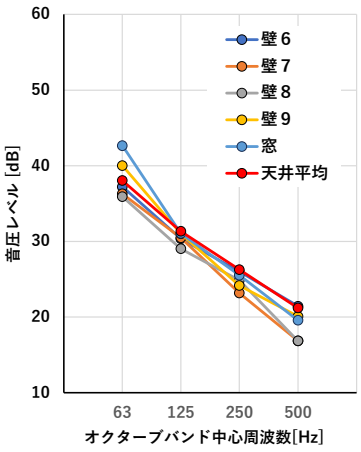


図 3-10　各面から放射される音圧レベル

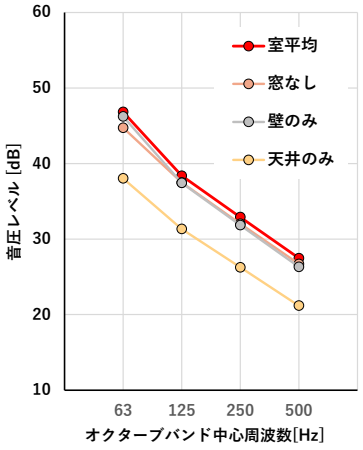
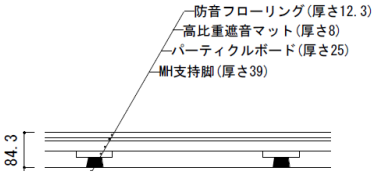


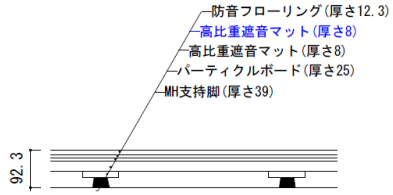
図 3-11　室平均音圧レベル

8）二重床面の駆動点インピーダンス向上

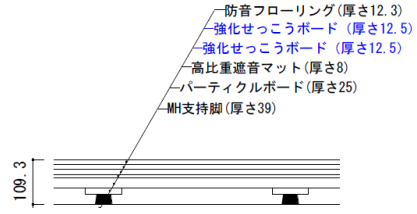
壁面放射の影響を改善することは現時点で困難なため、入力の方である二重床面の駆動点インピーダンス(Z_b)の向上を検討した。二重床部分の仕様を図 3-12 に示す。



(1) 測定⑯の二重床構成



(2) 高 Z_b 仕様 1 （測定⑰）



(3) 高 Z_b 仕様 2 （測定⑱）

図 3-12 二重床の駆動点インピーダンス向上仕様

二重床部分の駆動点インピーダンスの算出結果を表 3-5 に示す。なお、各材料の物性値は既往の論文[4)]を参照した。防音フローリングは質量が軽くて曲が

るため計算に含めなかった。

表 3-5 二重床部分の駆動点インピーダンス

	駆動点インピーダンス [kg/s]	駆動点インピーダンスレベル [dB]
測定⑯	1.1E+05	101
測定⑰	1.2E+05	102
測定⑱	2.0E+05	106

この結果では、測定⑯に対して測定⑰は-1dB、測定⑱は-5dB 程度の効果が得られるが、床衝撃音レベルの実測結果（表 3-4）では、重量床衝撃音に対して効果が得られなかった。ゴムボールの結果からは 63Hz 帯域では性能向上していないが 125Hz 帯域や 250Hz 帯域では効果が得られていた。この理由は、前述の壁等からの放射音の影響、二重床上に入力した衝撃力が二重床内の空気ばねにより 63Hz 帯域で床面に伝わりやすい状態になっていることが考えられる。

３．４　まとめ

遮音性能の向上に関して、二重床への「防音フローリング」の適用、二重床の歩行感向上の検討、二重天井の性能向上、壁放射音の検討などを行った。この結果、軽量床衝撃音に関しては、防音フローリングの採用により目標としていた $L_{i,r}$-50 を達成したが、重量床衝撃音に関しては目標としていた $L_{i,Fmax,r}$-55 は達成できなかった。

課題は、壁の駆動点インピーダンスの向上と二重床の性能向上と考えられることから、今後の実住宅における検討などの際に対応を考えたい。

[参考文献]

1) 平光敦夫, 辻村行雄, 吉野雄二, 村上知徳； 枠組み壁工法実大建物における床衝撃音に関する実験的検討; 日本音響学会建築音響研究会資料, AA2007-16, 2007
2) 廣田誠一,佐藤洋,田中学,清野明,村上剛志,辻村行雄,平光厚雄; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp191-192, 2011,8
3) 豊田政弘, 高橋大弐, 防振支持脚と周辺空気抜きが二重床の遮音効果に及ぼす影響についての理論的考察, 日本建築学会環境系論文集 600 号, pp7-pp12, 2006.2
4) 廣田誠一, 田中学,平光厚雄,佐藤哲身; 木造床に乾式二重床構造を施工した場合の床衝撃音レベルと乾式二重床構造面材部分の駆動点インピーダンスの関係; 日本建築学会環境系論文集　第 80 巻, 第 712 号,pp501-508, 2015.6

４．遮音と空調を組み合わせた手法の検証

４．１　検証の内容

2 章で検討した空気搬送経路や温度むら緩和手法と、3 章で検討した高い遮音性能を有する界床を組み合わせた手法を対象に、以下の点の検証を行った。

・空調が形成する温熱環境（冷房時、暖房時）
・空調用の天井グリルがある場合の遮音性能

４．２　空調が形成する温熱環境

乾式二重床、通気幅木、空調室等を、北方建築総合研究所敷地内（旭川市）の実験棟に施工し、温熱環境の検証を行った。温熱環境は、大きな不快感を生じないよう、上下温度差 3℃以内を目標とする。

（１）冷房時の温熱環境

１）実験方法

図 4-1 と写真 4-1 に、実験棟の概要を示す。空調室内のエアコンは、室内に設置した温度センサー内蔵のコントローラで、設定温度等を制御する。換気は省略し、空気循環はファンのみで行う。窓は昼夜ともレースカーテンを閉じた。

２）実験結果

図 4-2 に室内の中央点における上下温度差の測定結果を示す。ファン風量が床面積あたり 19[m³/(h･m²)]以上の条件で、上下温度差が 3℃以下になった。また、この条件では、床面と床上 100mm の温度差が 0.3℃以内となるなど、床面温度が過度な低温にもならなかった。19[m³/(h･m²)]以上の場合には、不快感が生じにくいと考えられる。

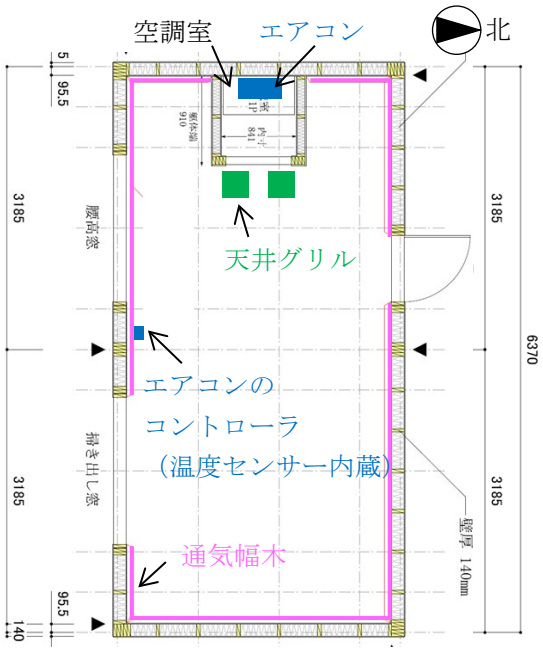


図 4-1　実験棟の平面図（冷房時）



写真 4-1　空調室周辺の状況

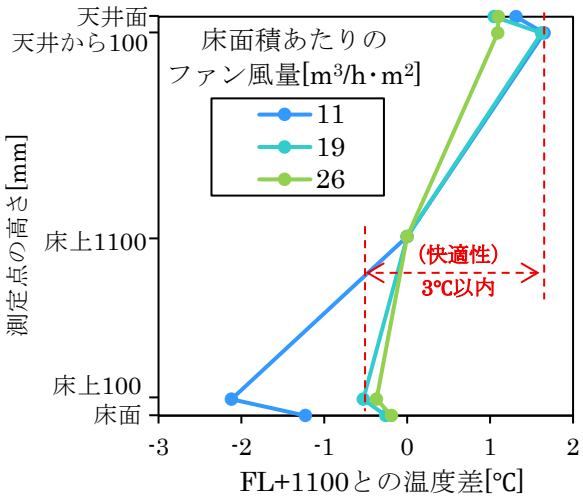


図 4-2　上下温度差の測定結果（冷房時）
（屋外と室内の温度差が 7～9℃の日時）

（２）暖房時の温熱環境

１）実験方法

図 4-3、写真 4-2，写真 4-3 に、実験棟の概要を示す。室内は間仕切壁により西室と東室の 2 部屋に分けた。換気は省略し、空気循環はファンのみで行う。窓は昼夜ともレースカーテンを閉じた。エアコンのコントローラは西室に設置した。

空調室の空気は、二重床内に流入した後、通気幅木を介して西室と東室に吹き出す。西室および東室の天井グリルから天井ふところに入った空気は、ファンにより空調室に還る。

２）実験結果

表 4-1 に、床面積あたりのファン風量と 2 室の室温の差を示す。温度差は、東室の風量が多いほど小さく、31[m³/(h･m²)]の場合に 2℃となった。

図 4-4 に西室の上下温度差を示す。ww ファン風量が床面積あたり 4、9、16、26[m³/(h･m²)]の 4 条件とも、上下温度差は 3℃より小さくなった。

図 4-5 に東室の上下温度差を示す。ファン風量が床面積あたり 14、26、29、31[m³/(h･m²)]の 4 条件とも、上下温度差は 3℃より小さくなったことから、温熱環境として許容範囲と考えられる。

ただし、ファン風量が多いほど、FL+100 の温度が低くなることで、上下温度差が大きくなった。この理由は明確ではないが、つぎのとおり、内外温度差の影響が認められる。

図 4-6 に東室における内外温度差と上下温度差の関係を示す。内外温度差が大きいほど、上下温度差が大きい。

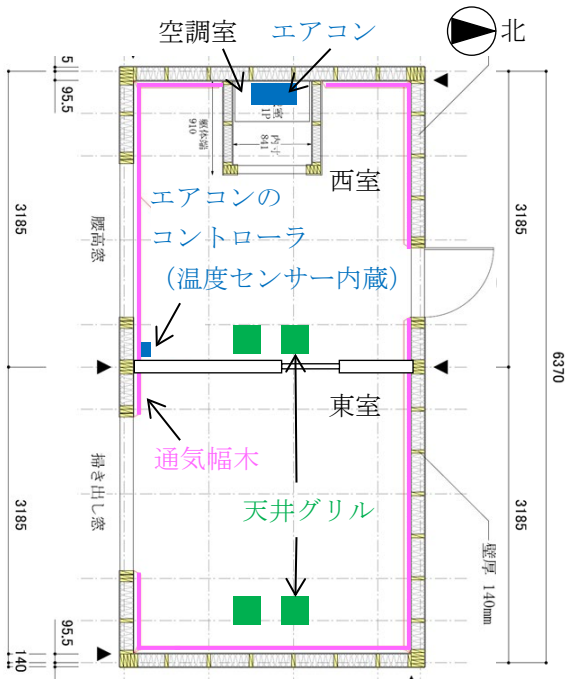


図 4-3　実験棟の平面図（暖房時）



写真 4-2　西室の状況

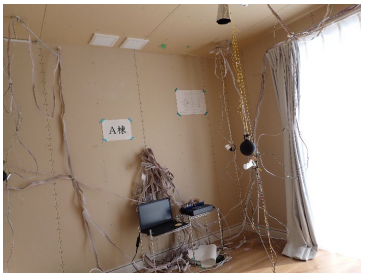


写真 4-3　東室の状況

表 4-1　ファン風量と 2 室の温度差の関係

床面積あたりのファン風量[m³/(h･m²)]		室温[℃]（室中央 FL+1100）		
西室	東室	西室	東室	2 室の差
4	14	25.1	21.6	3.4
26	26	26.5	24.1	2.4
16	29	26.4	24.1	2.3
9	31	28.3	26.3	2.0

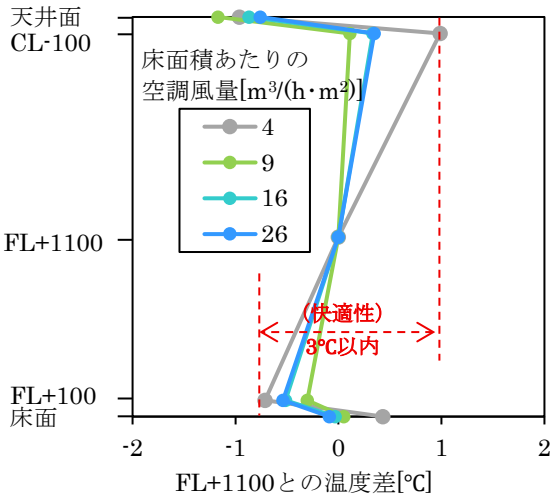


図 4-4　西室の上下温度差（暖房時／部屋中央点）
（屋外と室内の温度差が 28～33℃の日時）

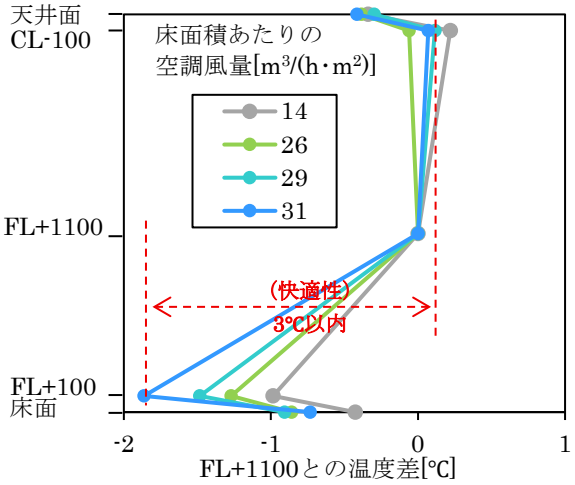


図 4-5　東室の上下温度差（暖房時／部屋中央点）
（屋外と室内の温度差が 28～33℃の日時）

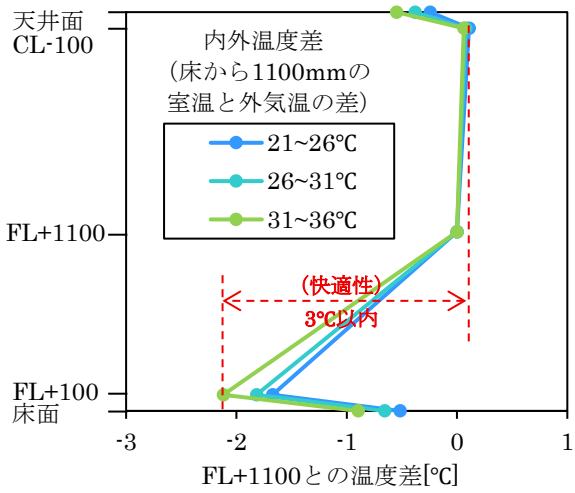


図 4-6　東室の上下温度差（暖房時／部屋中央点）
（床面積あたりの空調風量 31[m³/(h･m²)]）

４．３　空調用の天井グリルがある場合の遮音性能

（１）実験方法

空調用の二重天井部分に換気用のガラリがついた場合を想定し、床衝撃音の測定を行った。使用した床構造は第３章で行った測定⑱（図 4-7）である。開口部の位置を図 4-8 に、写真を写真 4-4 に示す。

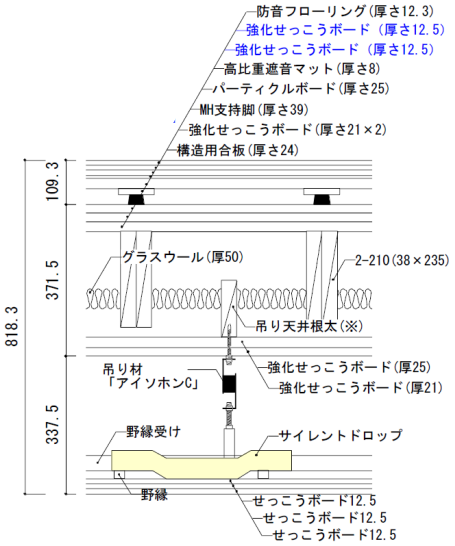


図 4-7 遮音性能測定床構造

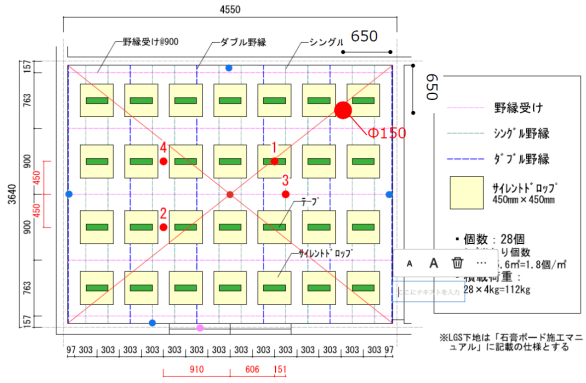


図 4-8 開口部の位置



写真 4-4 開口部

（１）実験結果

測定結果を表 4-2 に示す。等級では軽量床衝撃音が１等級低下した。重量床衝撃音はいずれも等級に変化はなかったが、L 数で 1 低下した。500Hz 帯域以上で差が見られたことから、二重天井内部に吸音材を入れる対応を取ることで改善すると考える。

表 4-2 測定結果

	開口前 測定⑱	開口後 測定⑲
$L_{i,Fmax,r,H(1)}$	60 (61)	60 (62)
$L_{i,Fmax,r,H(2)}$	55 (54)	55 (55)
$L_{i,r}$	45 (47)	50 (47)

４．４　まとめ

空調について、屋外実験棟において、冷房時と暖房時の温熱環境を検証し、上下温度差 3℃以内、室間温度差 2℃に制御可能であることを確認した。

界床の遮音について、天井に空調用のグリルがある場合の性能を検証し、若干の性能低下がみられたが、吸音材の挿入等の対応により改善する範囲と考える。

５．空調の設計手法の提案

５．１　設計の流れ

本空調の設計方法は複数考えられるが、ここではなるべく簡易な方法を述べる。

[Step-1]暖冷房負荷の把握

暖房と冷房それぞれについて、住戸の年間最大負荷を求める。計算は、市販の負荷計算ソフト等で行う。

[Step-2]エアコンの機種選定

エアコンについて、暖冷房能力が Step-1 の最大負荷以上となるように、機種を選定する。また、選定したエアコンについて、吹出風量の最大値をカタログまたはメーカから把握する。

[Step-3] ファンの合計風量の設定

住戸内に設置する全てのファンの合計風量を、Step-2 のエアコン最大風量と同値と仮置きする。

[Step-4]空気循環経路の圧力損失の把握

部材の有効開口面積等から圧力損失を算出する。表 5-1 に、空調室から二重床への入り口、および、本研究で使用した通気幅木について、有効開口面積を示す。なお、通気幅木については、製品による違いが大きく、有効開口面積の大きな製品を選択する必要がある。

[Step-5]ファンの機種選定

Step-4 で求めた圧力損失から、ファンの機種を選定する。選定にはファンのメーカのカタログに記載の P-Q 特性グラフ等を使用する。

ファンは機種により電力消費が大きく異なる。電力消費が多いファンを使用すると、空調全体のエネルギー効率が低下することから、省電力タイプのファンを選定する。

なお、特に寒冷地の暖房期においては、空調室に直接面していない空間では、他の部屋より室温が低くなる場合がある。こうした場合の室温維持のため、天井グリルの開度調整や風量可変型ファンの採用により、部屋別の風量を調整する。

表 5-1　空気循環経路の有効開口面積

	有効開口面積[cm²]
空調室 1 辺あたり （長さ 0.9m）	205
通気幅木 （2.6 の通気幅木 B）	17.2

５．２　住戸モデルによる設計例

ここでは、2.1 に示した住戸モデルを用い、5.1 で述べたステップに従って、空調の設計例を示す。

図 5-1 に二重床周辺の空気の流れ、図 5-2 に天井ふところ周辺の空気の流れを示す。

[Step-1]暖冷房負荷の把握

暖冷房負荷は、2.4 に示したとおりである。

[Step-2]エアコンの機種選定

エアコンは、表 2-4 に示した機種を選定する。エアコンの冷房能力と低温暖房能力が、最大負荷を上回る機種である。また、エアコンの最大風量は、暖房時の 1038[m³/h]である。

[Step-3]ファンの合計風量の設定

本例では、ファンを 3 台設置する。3 台のファンの合計風量が、エアコンの最大風量 1038[m³/h]超となるように、設計を進める。

[Step-4]空気循環経路の圧力損失の把握

圧力損失については、部屋別に、空気が空調室を出て再度空調室に戻るまでの経路を対象として計算する。表 5-2 に圧力損失の計算結果を示す。計算方法は複数あるが、ここで示す例では、住戸全体の風量が Step-2 のエアコン最大風量の 1038[m³/h]程度となり、かつ、圧力損失の合計が全ての部屋で同程度となるように各室の風量の値を調整した。具体的には、各室の風量を 118～316[m³/h]、合計風量を 1050[m³/h]としたところ、圧力損失の合計は 68[Pa]前後となった。なお、この風量は、圧力損失を算出するためのものであり、最終的なファン風量ではない。

[Step-5]ファンの機種選定

図 5-3 に、ファンの P-Q 特性の例を示す。横軸は、ファン 1 台あたりの風量で、Step-4 で示した合計風量 1050[m³/h]をファンの台数で除して、1050／3＝350[m³/h]とする。縦軸は、Step-4 で求めた圧力損失 68[Pa]とする。これらの交点（図 5-3 の a 点）が乗るパイプ抵抗曲線として、25m の線を選択する。ファンを中運転とする場合、25m のパイプ抵抗曲線と中運転の線との交点（b 点）の 460[m³/h]が風量となる。ファン 3 台の合計風量は、460×3＝1380[m³/h]となる。部屋毎に暖房・冷房負荷が異なることから、室温維持のため、天井グリルの開度によって部屋別の風量を調整する。

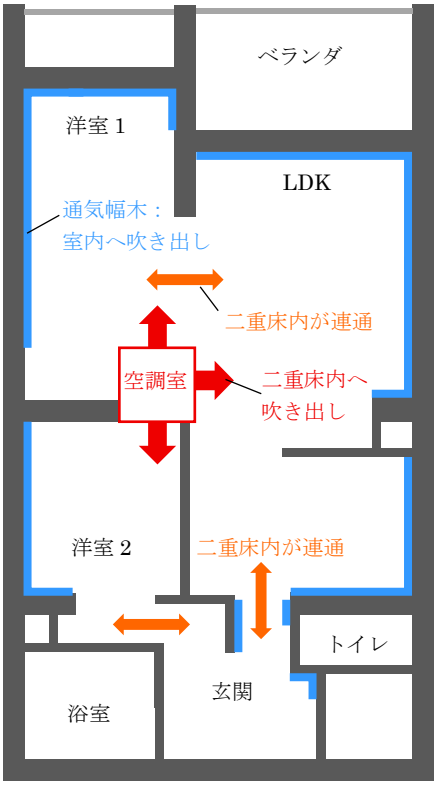


図 5-1　二重床周辺の空気の流れ

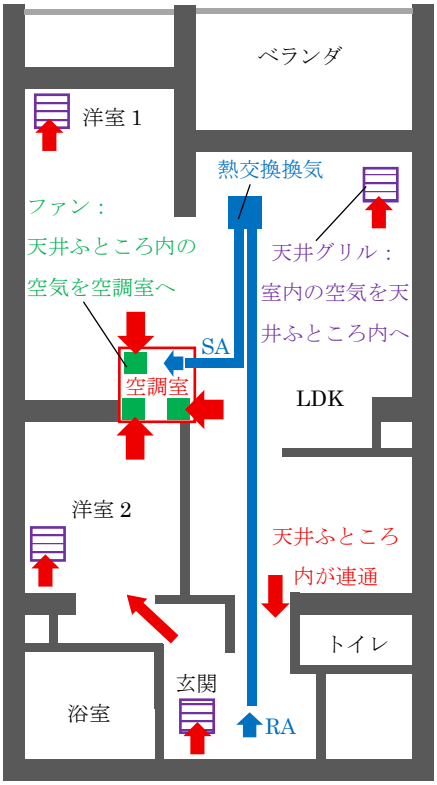


図 5-2　天井ふところ周辺の空気の流れ

表 5-2　空気循環経路の圧力損失[Pa]

	風量 [m³/h]	圧力損失[Pa]					
		空調室の二重床入口	二重床内部	通気幅木	天井グリル	室間連通部	合計
LDK	316	14.9	36.6	15.3	1.5	−	68
洋室 1	306	9.9	31.2	21.8	5.8	−	
洋室 2	310	14.4	25.6	22.4	5.9	−	
玄関	118		0.9	65.8	0.9	0.6	
計	1050						

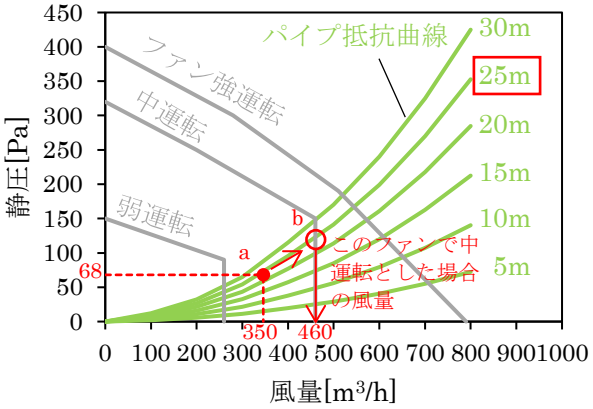


図 5-3　ファンの P-Q 特性の例