

化学物質を排除した居住空間の構築に関する研究

A Study on the Construction of Chemical-free Rooms

河野俊樹^{*1} 小林真人^{*1}

Toshiki Kouno Masahito Kobayashi

【要旨】

化学物質を低減した集合住宅を提供することを目的として、天然素材からなる床構造と断熱構造を開発した。床構造は良好な歩行感を確保しながら集合住宅に要求される床衝撃音遮断性能を満足し、断熱構造についても集合住宅に要求される断熱性能を満足するものである。また、もっとも重篤な症状を示す化学物質過敏症では天然由来化学物質をも排除する必要があるため、これに対応するための床下換気手法を開発した。

【キーワード】 化学物質低減 集合住宅 床衝撃音 床下換気 断熱性能

1. はじめに

新築や改築後の建築物において、建築材料から発生した化学物質により、シックハウス症候群や化学物質過敏症等の健康被害を訴える事例が多数報告されている¹⁾。特に集合住宅においては機密性が高められていることにより、化学物質の住居外部への放散が図られにくいいため、潜在的な被害が増加していると考えられる。これらに関する行政の対応として、建築基準法に基づくシックハウス対策に係る法令等が平成15年7月に施行されているが、同法令で規制を受ける化学物質はクロルピリホスとホルムアルデヒドのみである。一方で化学物質の室内濃度に係る厚生労働省指針値においては、建築基準法で規制される物質を含む13物質についてガイドラインが設定されている。

このような背景により、筆者らは更に強い健康志向をもつユーザーにも対応する体に優しい居住空間を提供することを目的として、住居内における化学物質濃度を厚生労働省指針値以下とするために、天然素材にこだわった人工的な化学物質を排除した材料により、集合住宅に要求される断熱や床衝撃音遮断性能を満足する仕様を構築した。また、最も重篤な症状を示す化学物質過敏症では、天然由来化学物質をも排除することが要求されるため、これに対応するために床下換気手法の検討を行った。本報においてはこれらの検討結果について報告する。

2. 床仕様の検討

1. 技術研究所 第二研究室

2.1 性能目標

本研究において対象とするのは集合住宅であるから、上下階住戸間において発生する床衝撃音について十分な遮断性能を有する必要がある。そのため、性能目標は住宅の品質確保の促進等に関する法律²⁾（以下、品確法）に示される床仕上げ構造に関する軽量床衝撃音レベルの低減区分2以上とした。また、表面仕上げは無垢材フローリングの使用を想定したため、無垢フローリング材の歩行感を生かしつつ軽量床衝撃音を低減しやすい乾式二重床構造とした。ただし、乾式二重床はその構造のため、スラブ単体で得られる重量床衝撃音遮断性能を悪化させやすい特性がある。そこで開発床においてはこれを著しく悪化（1ランク：5dB以上）させないこととした。

2.2 構成材料の検討

床仕上げ構造に使用した材料の緒源を表-1に示す。部材単体での小型チャンバーによる空気質試験（JIS A 1901）の結果に基づき、アルデヒド類やVOCを著しく発散しない材料を選定した。一方で、良好な床衝撃音遮断性能を得るには床仕上げ構造の1次固有振動数が63Hz帯域（1/1oct.）以下となることが必須である。ここで、床の防振系に作用するばねは、防振ゴムと床下空気層ばねの並列仕上げ構造合成によるばね要素であるから、ばね要素の動的倍率を2.0と考えた場合に、表-1に示した値を用いると、防振系の1次固有振動数は35Hzと推定される。床仕上げ構造の標準断面を図-1に示す。

表-1 材料の諸元

| 材料名 | 物性値 | ホルムアルデヒド濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 炭化コルク | 材厚50mm, 熱抵抗 $1.16\text{m}^2\cdot\text{k}/\text{W}$ | 1.9 |
| 漆喰 | 材厚3mm, 熱抵抗 $0.015\text{m}^2\cdot\text{k}/\text{W}$ | 1.9 |
| フローリング(松) | 材厚18mm, 質量 $9.7\text{kg}/\text{m}^2$, ヤング係数 $10^9\text{N}/\text{m}^2$ | 47.3 |
| 木毛板 | 材厚20mm, 質量 $20\text{kg}/\text{m}^2$, ヤング係数 $2 \times 10^9\text{N}/\text{m}^2$ | 1.25 |
| 支持脚 | 鋼製ホルト+防振ゴム, ばね定数 $6.5 \times 10^4\text{N}/\text{m}$ | 2 |

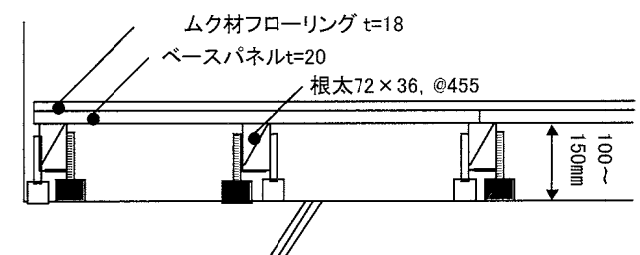


図-1 床仕上げ構造の断面図

2.3 床衝撃音遮断性能の確認試験

床衝撃音遮断性能の検討は、技術研究所音響実験棟住宅用実験室における基本性能確認実験、現場における施工実験（関東建築支店：ルネ川口作業所，同：ひたちのうしく作業所）により行い、得られた結果に基づき最終仕様を決定した。その後、最終仕様に対して（財）建材試験センターにおいて、国土交通大臣が定める音環境の特別評価方法認定に関する「遮音測定の結果による音環境に関する試験のガイドライン」の「3-4 重量床衝撃音レベル低減量の試験方法」、及び「4-4 軽量床衝撃音レベル低減量の試験方法」に基づく試験を行った。以下に（財）建材試験センターにおける試験概要と結果を示す。

試験はJISに規定される箱形実験室（スラブ厚200mm）に、図-1に示す試験床を10m²施工して行った。重量衝撃源による床仕上げ構造の加速度応答計測結果を図-2に、重量および軽量床衝撃音レベル低減量の試験結果を図-3に示す。

(1) 防振系の固有振動数

図-2から防振系の1次固有振動数は19Hzであることが判る。結果としては63Hz帯域から離れることで良い傾向ではあるが、ばね要素の考え方が当初推定と乖離する結果となった。前節の検討では並列合成ばねとして、1次固有振動数を35Hzと推定した。しかしながら床端部納まりからの振動伝搬による性能悪化を防止するため、納まり部に5mmの隙間を設けたことにより空気の流入が発生している。これにより、並列合成ばねではなく

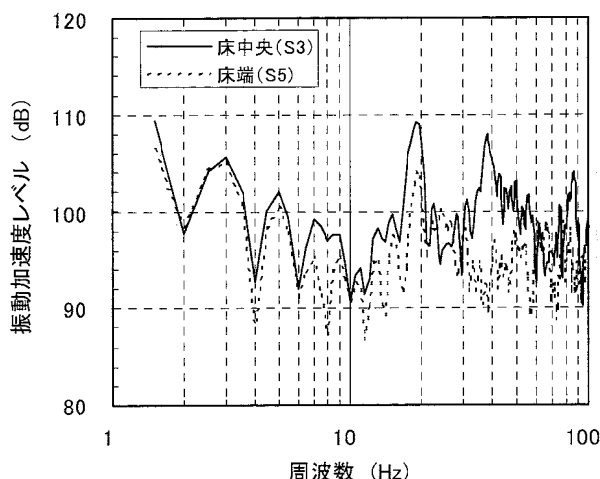


図-2 床構造の加速度応答計測結果

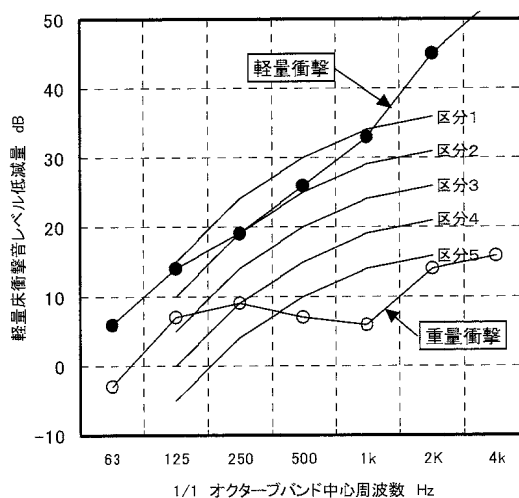


図-3 床衝撃音レベル改善量の計測結果

防振ゴムを主体としたばね要素による防振系が構成されたものであり、1次固有振動数が計算と実測で乖離したものと考えられる。ゴムのみをばね要素とした1次固有振動数の計算値は21Hzであり試験結果にはほぼ対応する。

(2) 床衝撃音レベル低減量

図-3から軽量衝撃に対して低減区分2となり、性能目標を満足することが確認できる。重量衝撃に対しては性能目標（5dB以上悪化させない）を満足するものの63Hz帯域で3dB程度悪化している。これは図-2からも明らかのように床仕上げ構造の2次固有振動数（39Hz）の影響と推定できる。乾式二重床構造を採用した場合、スラブ単体の性能に比べて10dB程度悪化することが一般的³⁾である。開発床では1次固有振動数を十分低くすることで従来床のような性能悪化を防止しているが、2次による若干の影響が発生するため、要求条件が厳しい場合は躯体側に余裕を持たせた設計が必要である。

3. 断熱仕様の検討

3.1 性能目標

断熱部位に求められる断熱性能の指標としては品確法の規定が適用できる。本研究においては性能目標を品確法に示される「省エネルギー対策」等級3（新省エネ基準相当）以上とした。これに適合する断熱材の熱抵抗基準値を表-2に示す。ただし、本研究では関東地域への適合を目的としているため区分Ⅲ、Ⅳを対象とする。

表-2 外壁用断熱材の熱抵抗基準値

| 断熱材の熱抵抗基準値 (m ² ・K/W) | | | | | |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|
| 地域の区分 | | | | | |
| I | II | III | IV | V | VI |
| 1.7 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | - |

3.2 構成材料の検討

居住空間は、人工的な化学物質を排除するため、仕上げ材としてビニルクロスや石膏ボード、断熱材として発泡ウレタンを使用できない。そこで、断熱材に炭化コルク、仕上げ材には漆喰を使用する。これら材料の緒源は表-1に示した。ここで、炭化コルク単体の熱伝導率は0.043 (KW/m) であるから等級3を満たす材厚は50mmとなる。炭化コルクを使用した壁体の断熱性能を確認するため図-4に示す装置による実験を行った。部材の熱抵抗を考慮した温度変化の計算値と実測値の比較を図-5に示す。各部材の表面温度は計算値のほうが若干高くなっているが、各部材間の温度勾配は計算値と実測値で一致している。このことから、炭化コルク50mmとした場合に所定の断熱性能を確保できることが確認できる。

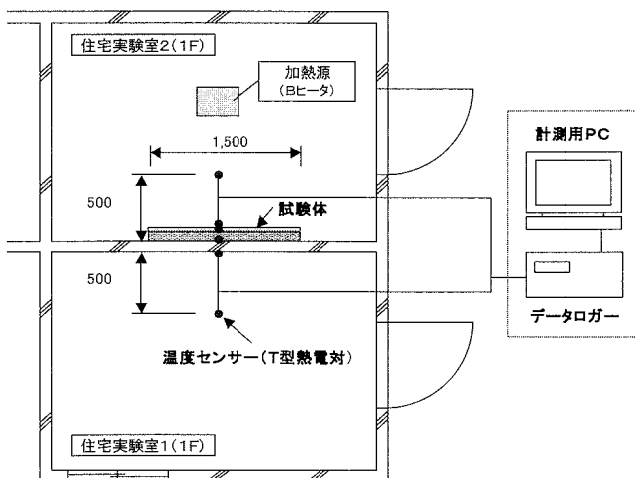


図-4 断熱性能実験の測定系統

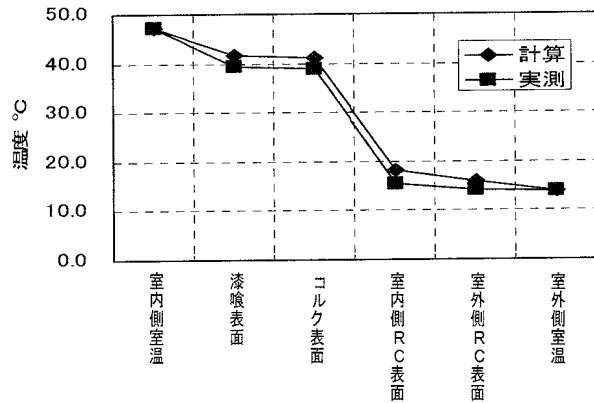


図-5 温度変化の計測結果

4. 床下換気手法の検討

4.1 床下空気の室内還流実験による排気風量の検討

本研究で検討した乾式二重床による床仕様では、材料選定により人工的な化学物質を排除しているが、低濃度の化学物質をさらに排除する必要がある場合や設備配管類から放散される化学物質を除去しなければならない場合等も想定される。ここで問題となるのが、壁面と床面との隙間(5mm程度)から入居者の歩行等による床面加圧で室内へ流入(還流)する空気を如何に抑止するかであり、本研究では対策として床下換気を設置を検討した。図-6、写真-1に示すように、図-1の乾式二重床を実験室内に再現(床面積 8.6 m²)し、壁面と床面との隙間から床下の空気が室内へどの程度還流するか確認を行った。実験条件を表-3に示す。

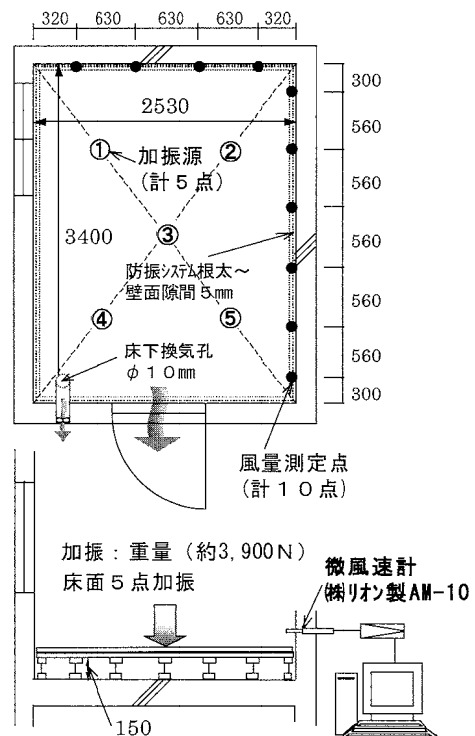


図-6 室内還流実験の測定系統

実験の結果、図-7に示すように、衝撃位置によって測定点の風速に差異が見られたが、端部隙間面積毎に風速の平均値から風量を求めると、約40~80m³/hの床下からの還流風量に相当する結果になった。この結果から対象とした乾式二重床では、床下容積約1.3m³に対して衝撃に用いた重量衝撃源の加振力(約3900N)を歩行時に相当する加振力(約2000N)に換算した場合の還流風量は約20~40m³/h(表-4参照)であると考えられる。

室内への床下からの空気還流を防ぐためには、この風量分を床下換気により屋外へ排出すれば良いことになる。

実際の集合住宅では床下配管等による抵抗増加が考えられるため、1.5倍程度の安全率を考慮し風量60m³/hの換気能力を床下換気の必要換気能力として想定した。

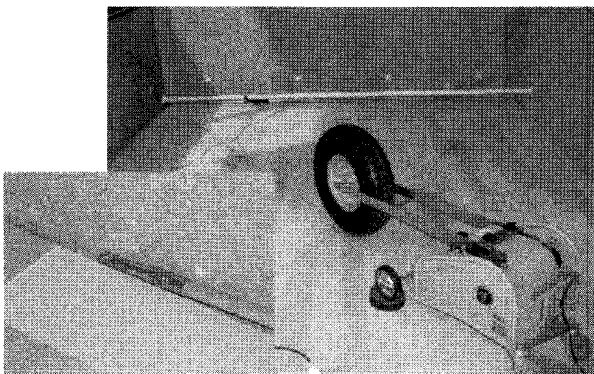


写真-1 室内還流実験の実施状況

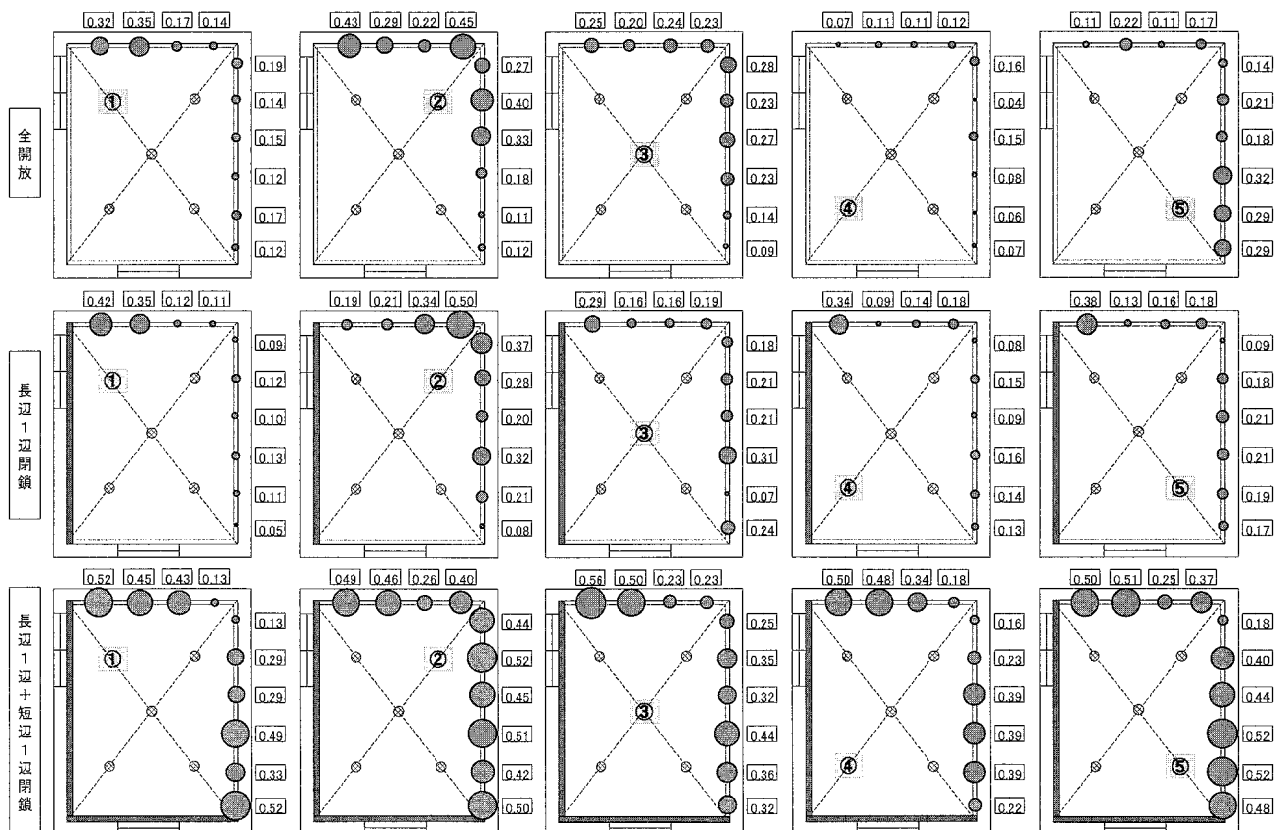


図-7 加振点別開口部風速測定結果

表-3 室内還流実験の実験条件

| | | |
|------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 開口面積 | 短辺部 | 2,530mm × 5mm × 2辺 = 0.025m ² |
| | 長辺部 | 3,400mm × 5mm × 2辺 = 0.034m ² |
| 開放条件 | 床面端部全開放、長辺1辺閉鎖、長辺1辺+短辺1辺閉鎖 (閉鎖辺は長辺、短辺とも非測定点側) | |
| 測定点 | 長辺部6点、短辺部4点、計10点 | |
| 加振源 | 計5点: 振動加速度レベル約3900N | |
| 測定値 | 打撃時における床下からの室内への風速値(m/s) 打撃回数12~13回/点、サンプリング周期100ms | |

表-4 測定値および歩行時の風量換算結果

| 測定値 | 条件 | 平均風速による風量換算値(m ³ /h) | | | | | 平均 |
|-------------------|-------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 加振源① | 加振源② | 加振源③ | 加振源④ | 加振源⑤ | |
| 測定値 | 全開放 | 39.24 | 59.63 | 46.07 | 20.52 | 43.67 | 41.87 |
| | 長辺1辺閉鎖 | 34.09 | 57.42 | 42.82 | 31.83 | 40.19 | 41.27 |
| | 長辺1辺+短辺1辺閉鎖 | 75.85 | 94.73 | 75.64 | 69.91 | 88.83 | 80.99 |
| 歩行時の 予測風量 ※ | 全開放 | 20.13 | 30.69 | 23.64 | 10.53 | 22.40 | 21.48 |
| | 長辺1辺閉鎖 | 17.49 | 29.46 | 21.97 | 16.33 | 20.62 | 21.17 |
| | 長辺1辺+短辺1辺閉鎖 | 38.91 | 48.60 | 38.80 | 35.86 | 45.57 | 41.55 |

※歩行時の加振力約2000N/ハンガマシン加振力約3900N=51.3%とする。

4.2 数値シミュレーションによる床下排気効果検討

前項の実験結果をもとに、集合住宅1住戸で床下換気を実施した場合の換気効果を確認するため、一般的な集合住宅1住戸をモデルプランとして、図-8に示す床下換気方式による室内への床下空気還流抑止効果を数値シミュレーションによって検討した。

数値シミュレーションにおいては、表-5、図-9に示すように床下換気経路上の圧力損失分として必要換気能力の20%を考慮し、モデルプランでの床下容積5.87m³

に対し、 $60\text{m}^3/\text{h}$ の換気ファン計6ヶ所を設定した。加振条件の設定は、室内側が換気回数0.5回/hを満足するとともに、床下側を負圧とすることで加振時も室内への床下空気還流を抑える吸排気バランスとしている。数値シミュレーションの結果(図-10参照:マイナス値が床下への流出風速を示す)では、一部室内への還流箇所が生じ

る結果となったが、風速値自体は小さく(0.02m/s程度)、周囲は床下へ流出していることから、化学物質拡散の可能性は少ないと考えられる。なお本研究では数値シミュレーションによるモデル解析での検討であるため、実際の換気効果についての詳細な検討は今後実際の集合住宅への適用等を通して検討していく予定である。

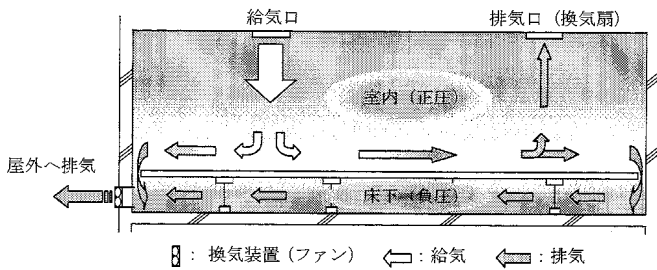


図-8 換気方式イメージ

表-5 数値シミュレーション流入出条件

| | 面積 | 個数 | 流速(m/s) | 風量(m^3/h) | |
|----|------|------|---------|-----------------------------|--------|
| 排気 | 床下排気 | 0.02 | 6 | 0.83 | 358.6 |
| | 換気扇 | 0.16 | 1 | 0.695 | 400.3 |
| | 換気口 | 0.04 | 2 | 0.243 | 70.0 |
| | 風量合計 | | | 828.9 | |
| 吸気 | 吸気孔 | 0.04 | 4 | 1.042~2.778 | 850.0 |
| | 加振源* | 0.04 | 4 | 0.19 | 109.44 |
| | 風量合計 | | | | 959.44 |

解析コード: STREAM for windows (㈱ソフトウェアクレイドル製品)
有限体積法, 標準k-ε, メッシュ数約1,800,000メッシュ
* 実験結果をもとに, ここでは各加振源に単位面積当たり $3.4\text{m}^3/\text{h}$ の風量を加振力に相当する負荷として設定した。

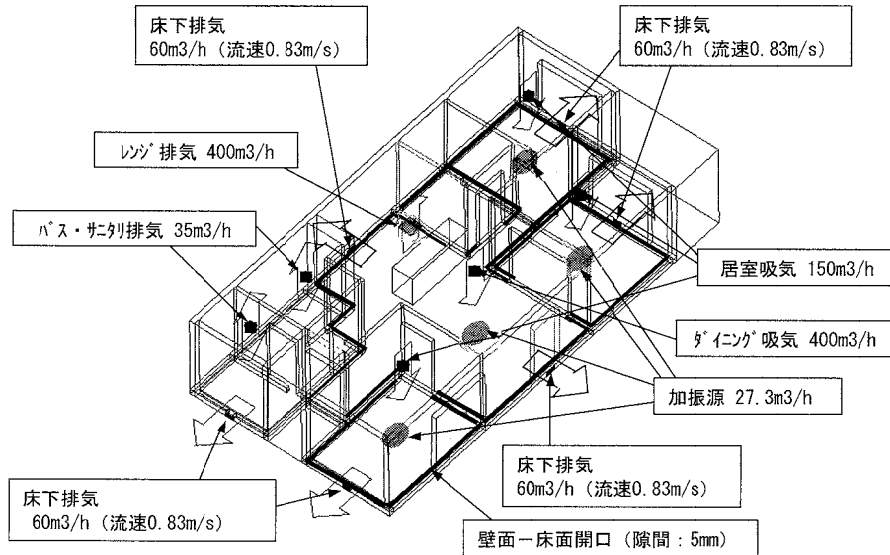


図-9 数値シミュレーション流入出配置

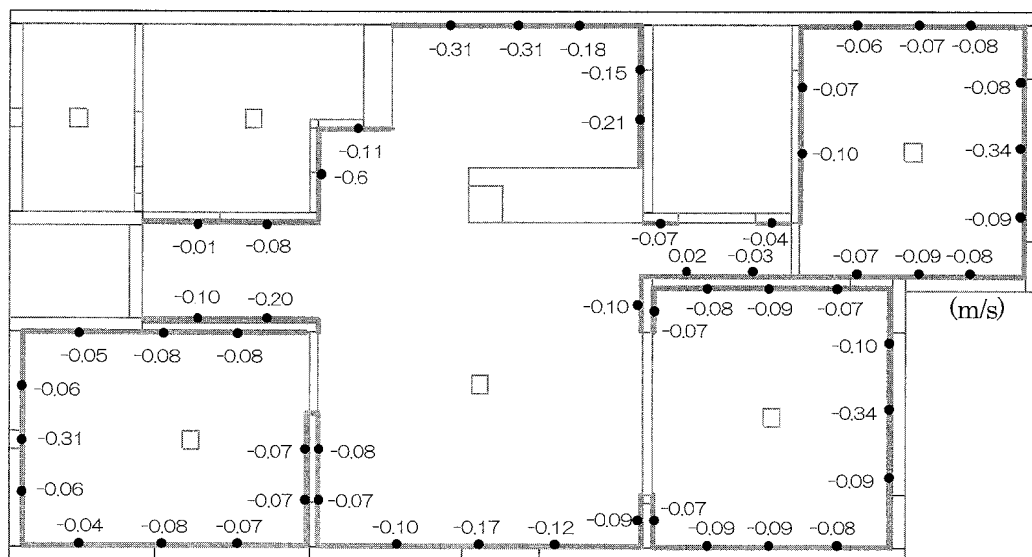


図-10 数値シミュレーション結果 (開口部風速: m/s)

4.3 床下換気による化学物質除去効果の検証

前項までの実験・解析では床下換気手法による室内還流抑止効果について検討したが、さらに実際の化学物質低減効果が床下換気によってどの程度実現できるかを実測により検証した結果を示す。測定対象とした床仕様は図-1で示した乾式二重床とし、100mm径で風量60m³/hの換気ファン1台を床施工直後から稼働させた。測定は床施工前の室内、施工1日後および7日後の室内・床下で行った。

厚生労働省指定13物質について実測結果を図-11に示す。人工的な化学物質を排除した材料選定を行った結果、床施工1日目でも指針値以下の濃度を確保していることが確認された。さらに施工7日後まで換気を継続した場合、床下のアセトアルデヒド濃度を除き、ほぼ室内・床下とも施工前の濃度まで低減できる結果となった。この結果より、住居内における化学物質濃度を厚生労働省指針値以下に抑えるという当初の目標を達成するとともに、床下換気を取り入れることが化学物質の除去に有効であることを確認した。

5. まとめ

本報では化学物質の放散を抑制する集合住宅を提案するための床構造や断熱構造について検討した結果および化学物質を室内に還流させないための床下換気手法とその化学物質除去効果について検討結果を報告した。

今後、実際の設計・施工案件に適用し、化学物質過敏症・シックハウス症候群対策の手法として、床構造や断熱構造および床下換気の効果について継続的に検証していく予定である。

なお、床衝撃音遮断性能の現場施工実験実施にあたり、関東建築支店ルネ川口作業所（神邑所長）、同じく、ひたちのうしく作業所（佐藤所長）に御協力を頂いた。

参考文献

- 1)厚生労働省：室内空気質健康影響研究会報告書：～シックハウス症候群に関する医学的知見の整理、平成16年2月
- 2)国土交通省住宅局監修：住宅の品質確保の促進等に関する法律、改訂版2006、平成18年10月
- 3)日本建築学会編集：建築物の遮音性能基準と設計指針第2版、平成11年2月

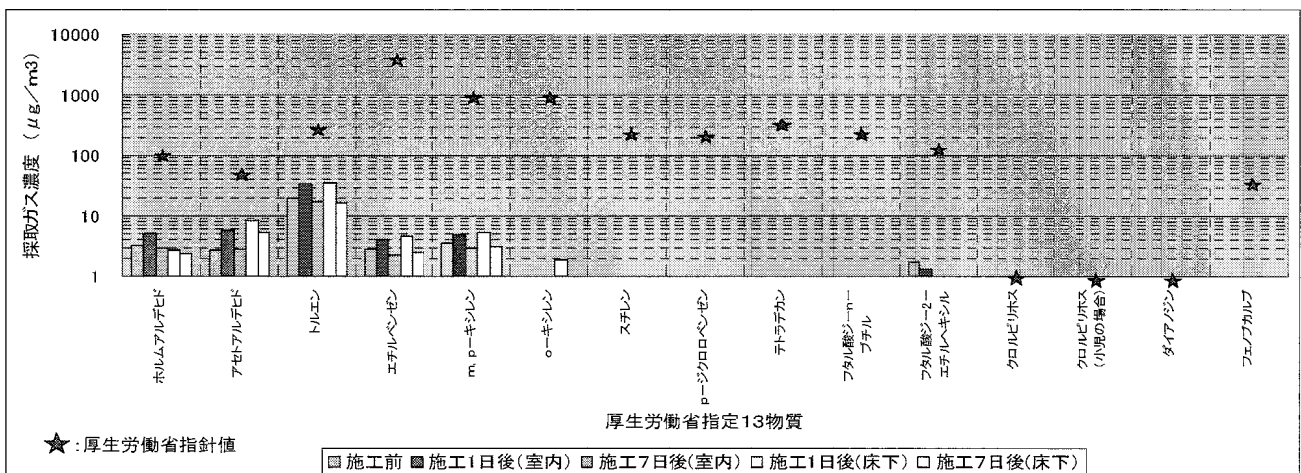


図-11 化学物質濃度測定結果（厚生労働省指定13物質）

Summary :

The authors have been studying on chemical-free housing. This paper reports on the following:

- a) Examination results of floor structures and thermal insulation structures with the aim of proposing chemical-free housing.
- b) Examination results of the performance of ventilation systems to reduce indoor chemical substances to levels lower than the limits specified by the Ministry of Health, Labour and Welfare .

Keywords : chemical-free, apartment house, floor impact sound, underfloor ventilation, thermal insulation