

図 6-10 物質伝達率制御型小形 Chamber 内平均風速分布

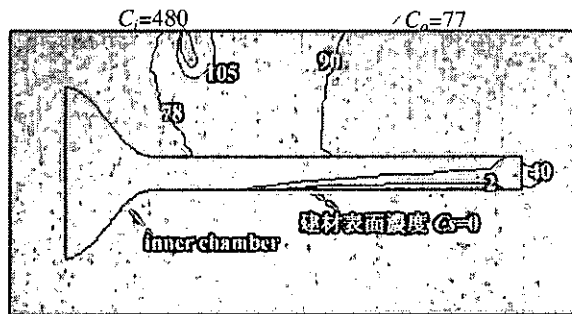


図 6-11 境界層型チャンバー内の濃度分布: case7 (X-Z 断面, 23°C, 単位[$\mu\text{g}/\text{m}^3$])

6-6 実大居室モデルにおける濃度低減に関する数値解析

吸収分解石膏ボードの吸着性能に関する数値予測モデルの妥当性を検証した。空気中の化学物質の濃度低減に関して境界層型小型 Test Chamber 試験に対する実験と数値解析の結果がよい対応を示した。このことから、この数値予測モデルを利用した吸着現象の数値解析が妥当であることがわかった。またこの chamber 試験において、吸収分解石膏ボードは空気中の化学物質濃度の低減に非常に効果があることが確認された。しかし、この濃度低減効果の結果は chamber における、つまり実際よりも小さなスケールに対する結果である。本研究で用いた石膏ボードは、実際の住宅等では特に壁材や天井材として用いられることが多い。ここではこの検証された吸収分解石膏ボードの吸着現象に関する数値予測モデルを用い、これを実スケールの居室モデルに適用し、その時の実大室内における化学物質の濃度低減効果の検討を行う。

6-6-1 居室モデルの概要

本解析に用いる簡易居室モデルの斜視図を示す。居室はその大きさが $3.52 \times 2.61 \times 2.40$ [m^3] となっており、公営住宅の6畳間を想定している。室内の換気回数は0.5回/hとし、床四周の巾木部分から外気（清浄空気）が侵入し、天井の同じく四周部分から漏出するものと仮定する。室内温度は23°C（等温）とし、外気

や各壁面における外部との熱交換はないものとする。この解析対象において汚染物質は床からのみ発生するとし、家電製品や家具、燃焼器具等の汚染質発生の可能性があるものは設置しないものとした。一般に石膏ボードは天井、壁面に利用されることが多いため、本解析でも吸収分解石膏ボードを天井、壁面に適用し、室内空気中の化学物質の濃度低減効果を確認する。解析は居室の対称性を考慮して南北方向の中心（1.305mの地点）において対称面をつくり（図 6-12）居室の1/2領域を解析する。

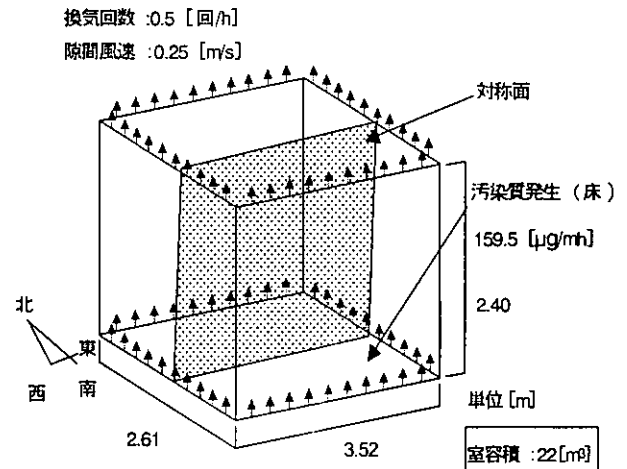


図 6-12 解析対象とした居室モデル

6-6-2 居室モデルにおける CFD 解析の概要

解析は居室の対称性から南北方向の中央に対称面を設け、1/2領域での3次元解析を行う。巾木部分から流入する外気は清浄空気、HCHO濃度は $0\mu\text{g}/\text{m}^3$ とする。また流入空気の乱れの強さは5%とする。床面から発生したHCHOは換気により天井四周より排出されるか、建材設置面で吸着されるかのいずれかとし、吸着面以外の壁面では吸着されないものとする。床面からのHCHO放散量は市販されているFe1合板について境界層型小型テストチャンバーを用いて試験した結果を用いる。一定の放散速度のHCHOに対して、吸収分解石膏ボードの設置面数、位置を変化させた場合の濃度低減効果を検討する。解析対象とした居室モデル、数値解析の概要と解析ケースをそれぞれ表 6-7, 6-8 にまとめる。

表 6-7 居室モデル、数値解析の概要

| | |
|----------|---|
| 室サイズ | 3.52×2.40×2.61 [m] |
| メッシュ分割 | 102,714 |
| 換気回数 | 0.5 [回/h] |
| 吹き出し風速 | U _{in} =0.25 [m/s] |
| 室温 | 23 [°C] |
| 乱流モデル | 低 Re 型 k-ε model (Abe-Nagano model) |
| 差分スキーム | 一次風上差分 (運動方程式、 スカラー方程式ともに) |
| 流入境界 | U _{in} =0.25 [m/s] L _{in} =0.001 [m] K=3/2 (U _{in} ×0.05) ² ε=Cu · K ^{3/2} /L _{in} |
| 流出境界 | U _{out} :質量保存による K _{out} , ε _{out} : free slip |
| 壁面境界 | No slip |
| 流入空気濃度 | C _{in} =0 |
| HCHO 放散量 | 159.5μg/m ² h |
| 空气中拡散係数 | Da=1.53×10 ⁻⁵ [m ² /s] (23°C) |

表 6-8 解析ケース

| Case | 吸収分解石膏ボード | |
|------|-----------|----------|
| | 設置面数 | 設置場所 |
| 1 | 0 | なし |
| 2 | 5 | 全面 (床以外) |
| 3 | 1 | 天井 |
| 4 | 1 | 壁面 (東) |

流れ場の解析条件 本解析において流れ場は、壁面や天井面での吸着を考慮するため粘性底層における拡散を精度よく解析する必要がある。そこで乱流モデルは低 Re 型 k-ε model (Abe-Nagano model) を用い、室内の濃度分布を把握するため 3 次元解析を行う。換気は隙間換気であり、その流入空気である床四周の中木部分からの吹き出し風速は室内の換気回数 (0.5 回/h) から 0.25m/s とし、吹き出し気流の乱れの強さは 5% とする。また流出空気は質量保存により天井四周より排出される。

拡散場の解析条件 汚染質 (ホルムアルデヒド) は床面から一様に発生するとし、床面以外から発生しないものとする。また床面からの汚染質の放散量は、159.5μg/m²h とする。この放散量は境界層型小型 Test Chamber の試験建材設置面に、市販されている合板のうち Fc1 のものを用いて試験した結果である。実験条件として、表 1 においてホルムアルデヒドの供給濃度をゼロ、つまり清浄空気を Outer Chamber へ供給した。床面より放散された汚染質は室内気流により移流、拡

散し室内に分布する。また室内に分布した汚染質は吸着面において吸着されるか、天井四周の隙間より排出されるかのいずれかとする。吸着材として用いる吸収分解石膏ボードの吸着面での吸着容量は非常に大きく、吸着面の初期濃度は建材全体でほとんど 0 とみなせるものと仮定した。床四周より室内に流入する空気は清浄空気であり、その空気に含まれる HCHO 濃度は 0 μg/m³ とする。HCHO の室内空気中の拡散係数は室温 23°C (等温) より、1.53×10⁻⁵ m²/s である。

6-6-3 CFD 解析結果

前述した 1/2 形状の実大居室モデルに関して CFD を用いて解析した流れ場、濃度場の結果を示す。また特にここで流れ場や濃度場は対称面における解析結果を示す。

流れ場の解析結果 以下に対称面における流れ場と、壁面近傍における流れ場を示す。床四周より流入した清浄空気は壁面沿いに流れ、天井四周より流出するものと、壁面に対し垂直方向に広がり、室中央に向かい室内を循環する流れに大別される。室中央へ向かう流れは、反対領域で同じように室中央へ向かう流れと衝突し、下降流となる。この下降流の風速は 1×10⁻³m/s 以下である。また清浄空気の入り口付近では吹き出し気流により循環流が巻き込まれる。居室中央付近の床面や、室内中心付近の天井面における流れ (風速) は 5×10⁻⁵m/s 以下であり非常に小さい (図 6-13)。

HCHO 拡散場の解析結果 吸着を考慮した HCHO 拡散場 (Case2~4) は HCHO が床面から発生し始めて 90 分経過した時点の結果を示す。全 case で HCHO 発生源である床面近傍 (特に室中央) で高濃度となる。床面から発生した HCHO は室内気流により移流・拡散するが、図 6-13 から分かるように床近傍 (特に室中央) では風速が非常に小さい。このため発生した HCHO は床面に滞留しやすいと考えられる。吹き出し口付近に滞留する HCHO は室中央へ向かう気流により、室内に広く分布する。また流入した外気のうち壁面、天井面沿いの流れは吸収分解石膏ボードの効果もあり、低濃度となる。この流れは徐々に室中央に向かい、下降流となるため室中心付近で低濃度となっていると考えられる。また清浄空気の流入する床四周の流入口付近では濃度が低い。

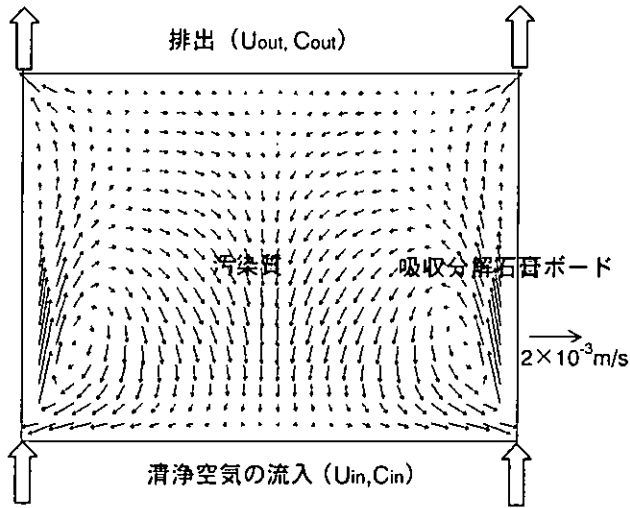


図 6-13 風速ベクトル

表 6-9 吸収分解石膏ボードの濃度低減効果

| Case | 吸収分解石膏ボード | 吸着速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] | 物質伝達率 [m/h] | 室平均濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | |
|------|-------------|--|----------------------------------|---------------------------------------|-----|
| | | | | 260分 | 定常時 |
| 1 | なし | — | — | — | 154 |
| 2 | 全面 (床以外) | 28.3 | 0.59 | 68 | 72 |
| 3 | 天井面 | 51.2 | 0.65 | 126 | 141 |
| 4 | 壁面(東) | 38.5 | 0.52 | 119 | 136 |

図 6-14、表 6-9 より吸収分解石膏ボードの設置は室内空気中の HCHO 濃度低減に効果があると考えられる。特に建材近傍ではその効果が大きく、Case2 (全面 (床面を除く) 吸着)、Case3 (天井面吸着)、Case4 (東壁面吸着) では、それぞれ建材設置位置の近傍で低濃度となっていることがわかる。CFD 解析において建材表面の濃度はほぼゼロであるため、表 6-9 の物質伝達率は換算換気量を表す^{注4)}。室内の濃度分布に関して Case2 では室内全域で濃度低減効果がある。Case3 では室内全域で比較的高い濃度となる。Case4 では室内の東側領域で低濃度となる。これは石膏ボードの設置位置に起因するもので、汚染質は室内気流により発生源となる床付近 (上流) から天井側 (下流) へ移流・拡散する。Case3 の場合、吸収分解石膏ボードは下流側に設置してあるため、室内全域で高濃度の分布となる。また Case4 の場合、上流側に設置してあるため室内への汚染質の移流・拡散を抑制し HCHO 濃度を低減することができる。

6-6-4 考察

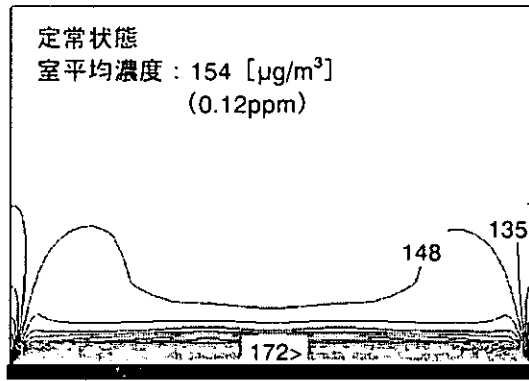
流れ場の数値解析結果に対する考察 床四周の中木部分から流入した空気が壁面に沿ってそのまま天井四周より排出されるのはコアアンダ効果によるものであると考えられる (コアアンダ効果とは流れの中に物体を置いたときにその物体に沿って流れようとする

流体の性質のことをいう。実大居室モデルにおいて物体に相当するものが壁面であり、流入空気は壁面に沿った流れを生じることになる。排出口は壁面に沿ったところに位置しているため流入空気の一部は室内を循環せずに室外へ排出されることになる。

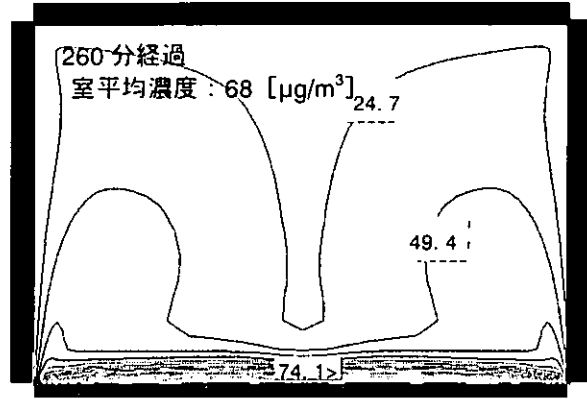
室内を循環する循環流はジェットの流れを考えると容易に想像がつく。ジェットの流れは吹き出し口付近では吹き出し口と同じ広さの流れであるが、遠ざかる位置でその流れは広がっていく。本解析では吹き出し口が床四周の中木の隙間部分であるが、吹き出した流れは壁面側には広がることができないのでその垂直方向、つまり居室内側に徐々に広がる。そして天井面にぶつかり居室内側への流れと変わる。またある特定の壁面側の流れを考えた場合、例えば図 6-14 で東側 (右側) 領域の流れを考えた場合、西側 (左側) でも同様に内側へ向かう流れが生じている。室中央で完全な下降流となるのはこの向かい合った流れが室中央でぶつかり、下降流となっているのではないかと考えられる。

吹き出し口付近の流れは周囲の流れよりも速く、その風速は表 6-1 より $0.25\text{m}/\text{s}$ である。流れが速くなるとそこでは圧力が減少し、結果周囲と圧力勾配が生じる。つまり吹き出し口付近では圧力は周囲よりも低いいためこの流れに巻き込まれるような流れが生じていると考えられる。

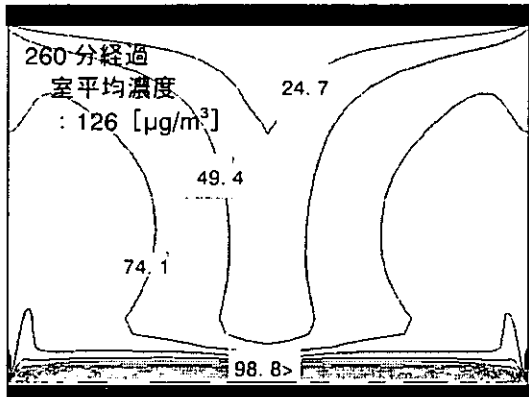
— 汚染質 — 吸収分解石膏ボード



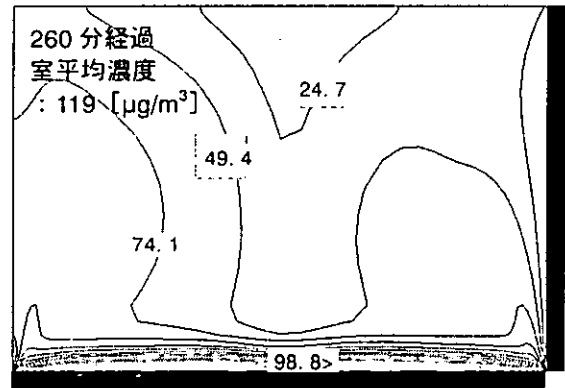
(1) Case1 (吸着面なし)



(2) Case2 (全面 (床面を除く) 吸着)



(3) Case3 (天井面吸着)



(4) Case4 (東壁面吸着)

図 6-14 居室モデル内の HCHO 濃度分布

拡散場の数値解析結果に対する考察 これまで高気密・高断熱住宅の普及により、0.2回/h程の少ない換気回数 of 建築物が多々存在し、換気回数を増やす方向に改善されつつある。しかし、case1のような場合、本解析の条件として換気回数 0.5回/hを与えたが、室内のホルムアルデヒド濃度が指針値 (100µg/m³) を大きく上回っている。つまり換気回数 0.5回/hでは、必ずしも室内空気が指針値を下回り安全側に維持されるとは限らない。よって室内を構成する建材、施工材の化学物質の放散量に気を配る必要があり、その上で換気回数を決める必要があると考えられる。

図 6-14 から、全 Case において床面付近で高濃度となっている。これは、室内気流によるものと考えられる。床面から発生したホルムアルデヒドは室内気流により移流・拡散するが、その気流の分布をみると図 6-4 から床近傍 (特に室中央) での風速が非常に小さい。そのためホルムアルデヒドは床面に滞留しやすいと考えられる。床四周より流入した外気のうち、壁面、天井面沿いの流れは吸収分解石膏ボードの吸着効果もあり低濃度となる。この流れは徐々に室中央へ向かい、反対領域からの室中央へ向かう流れと衝突し下降流となるため、室中心付近で低濃度領域が存在

すると考えられる。

解析対象が 1/2 領域であるため、南壁面の吸着速度は算出できない。暫定的に北壁面と同等の吸着力をもつものとする。特に天井面での吸着速度は小さい。床面から発生したホルムアルデヒドは、まず吹き出し気流により上昇する。上昇する過程で壁面に設置してある吸収分解石膏ボードの吸着効果のために濃度が低減する。つまり天井面付近に汚染空気が到達するまでにはすでに低濃度空気となっているため天井面では吸着速度は小さい。Case2 の吸着速度の算出には全吸着面の吸着速度の平均をとっているため過小に評価される。Case2 のように全面に吸収分解石膏ボードを適用すれば、最も室内空気中の化学物質濃度を低減させることが可能である。しかしこの Case2 のように天井面での吸着効果が小さい場合は設置の必要性がなくなることも考えられる。

また Case3 の場合吸着速度が大きいにもかかわらず、室平均濃度が高くなっている。これは吸収分解石膏ボードの設置位置に起因するものと考えられる。汚染質が室内へ分布する際、室内気流により発生源となる床面 (上流) 側から天井側 (下流) 側へ移流・拡散する。Case3 の場合、吸収分解石膏ボードは天井に

設置してあり、「汚染質の流れ」の中では下流側に位置している。天井での設置では床面から放散し始めたホルムアルデヒドを室内に分布する前に効率よく吸着することができず、床面から天井側へ徐々に移流・拡散されるのを待つしかない。よって時間が経つと室内全体が比較的高い濃度となる。また吸着速度は建材近傍の空気相と建材表面の濃度勾配により左右される。Case3で吸着速度が大きいのは建材表面の濃度はほぼゼロであり居室内が高濃度のため、吸着相—空気相での濃度勾配が大きく吸着速度も必然的に大きくなったのではないかと考えられる。Case4の場合は、吸収分解石膏ボードは東壁面に設置しており、「汚染質の流れ」の中で上流側に位置している。つまり床面から放散されたホルムアルデヒドに対し、室内に広く分布する前に抑制し、室内空気中のホルムアルデヒド濃度を低減することができると考えられる。このことから吸収分解石膏ボードの設置による室内空気中のホルムアルデヒドの濃度低減効果は、換気方式（室内気流）や建材設置面によって大きく左右されることが考えられる。

【注】

- 1) 試験体ボードはメーカーで製造直後にアルミホイルで包み、更にビニル袋で密閉した状態で輸送、保存している。本パッシブ吸着建材は、せっこうボードにアミノ基 (-NH₂) を有する吸着剤を添加しており、この吸着剤がアルデヒド類と化学反応しアルデヒド類を分解する。分解物質は建材中に固定される。せっこうボードは住宅・ビルなどの建築物に幅広く使用されており、一般的な建築材料と考えられる。このように汎用的な建築材料にホルムアルデヒド濃度低減効果をもたせたものなので、本研究での試験建材とした。
- 2) JIS P 8117 : 1998 紙及び板紙—透気度試験方法—ガーレー試験機法により通気性を確認した。
- 3) 比較建材の場合、物理吸着が起こるため徐々に濃度低減性能が低下する。定常状態は数日間排気口濃度の変化がないことを確認することで判定した。
- 4) 加圧法により配管を含む物質伝達率制御型小形 Chamber 全系統の気密性を測定した結果、相当開口面積は 0.97mm² (10Pa 時) であり、十分な気密性が確保されていることを確認している。回収率試験は ENV 13419-1 (1999)¹⁸⁾ により測定した結果、99%以上の回収率が得られた。また、換気性能係数 η は、1.01 と報告されており JIS A 1901 を十分満たす¹⁹⁾。
- 5) CFD 解析には、商用コード *Fluent (Ver.6.1)* を使用した。
- 6) 建材表面の第 1 メッシュの壁座標 $Z^* = U \cdot Z_1 / \nu$ 。ここでは、

$$U^* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (6-10), \quad \tau_w = \rho \nu \left. \frac{\partial u}{\partial z_n} \right|_{wall} \quad \dots(6-11)$$

τ_w : 壁面せん断応力 (N/m²), ρ : 流体密度 (kg/m³), Z_n : 壁面鉛直方向座標 (m), ν : 分子動粘性係数 (m²/s), u : 壁面接線方向速度 (m/s)。

- 7) 吸着等温線を考えた場合、吸着量 C_{ad} が十分に小さい (0 に近い) 場合、吸着等温式の勾配は十分に大きく、 C_{ad} の多少の増加に関わらず吸着材表面気中濃度は低濃度に保たれる。よって、十分な量のパッシブ吸着建材が確保された場合、 C_{ad} は低レベルに保たれ、結果としてパッシブ吸着建材表面濃度 C_s を 0 と仮定することは第一次近似として妥当であると考えられる。この境界条件は吸着等温式で Henry model を用いた際に Henry 定数 $k_h = \infty$ と仮定したことと同値となる。数値解析では低 Re 型 $k-\epsilon$ model を用いて粘性底層の拡散現象まで解析している。すなわち、 $C_s=0$ の仮定、および CFD で解析される第一離散点 (距離 Δx_1) の濃度 C_1 より次式にて吸着 flux が算出される。 D は気中での対象物質の拡散係数を示す。

$$J_s = -D \frac{\partial C}{\partial x} = -D \cdot \frac{C(\Delta x_1) - C_s}{\Delta x_1} = -D \cdot \frac{C(\Delta x_1)}{\Delta x_1} \quad \dots(6-12)$$

- 8) 無次元化されたスカラー量 (ϕ) の輸送方程式を以下に示す:

$$\frac{\partial \phi^*}{\partial t} + \frac{\partial (u_i^* \phi^*)}{\partial x_j^*} = \frac{1}{\text{Re} \cdot \text{Sc}} \left\{ \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j^*} \right\} \quad \dots(6-13)$$

ここで、添え字*は量を表し、 ϕ : VOC 濃度, $u_i^* = u_i/U_0$, $x_j^* = x_j/L_0$, $t^* = t/(L_0/U_0)$, L_0 : 代表長さ (m), U_0 : 代表速度 (m/s), レイノルズ数 $\text{Re} = (U_0 L_0)/\nu$, シュミット数 $\text{Sc} = \nu/D_a$, ν : 空気動粘性係数 (m²/s), D_a : 空気中における物質拡散係数 (m²/s), $i=(1,2,3)$, $j=(1,2,3)$ 。(8)式よりレイノルズ数 Re およびシュミット数 Sc が等しい場合、 ϕ の拡散場は完全な相似となる。

【参考文献】

- 1) Steve M. Hays, (1995) Indoor Air Quality, Solutions and Strategies, McGraw- Hill, Inc.
- 2) Shin-ichi Tanabe (1997) Review of Indoor Air Pollution Studies and Guidelines on HCHO and VOCs, Annual Meeting J. Archit, D-2, 767-768
- 3) 加藤信介, 伊藤一秀, 朱 清宇, 村上周三: 居室模型を用いた化学物質吸着効果・室内濃度分布の測定と数値解析, 日本建築学会計画系論文集, No.564, pp41-47, 2003
- 4) 長谷川麻子, 木村 洋, 小峰裕己, 鎌田元康: パッシブ型ホルムアルデヒド (HCHO) 除去製品の簡易性能試験方法, 日本建築学会計画系論文集, No.548, pp57-62, 2001
- 5) 成富隆昭, 富岡一之, 山口 一: 室内濃度域におけるホルムアルデヒド低減材の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp859-860, 2001
- 6) 伊藤一秀, 村上周三, 加藤信介, 近藤靖史, 朱清宇, 神 卓也: 揮発性有機化合物の放散・吸脱着等のモデリングとその数値予測に関する研究 (その 14), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp493-496, 1999

- 7) 朱 清宇, 加藤信介, 村上周三, 伊藤一秀: 境界層型小形 Test Chamber の開発と試験建材表面の化学物質伝達率に関する実験と CFD 解析, 日本建築学会計画系論文集, No.549, pp45-50, 2001
- 8) JIS A 1901: 建築材料の揮発性有機化合物 (VOC), ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法 - 小形チャンパー法, 2003
- 9) 加藤信介, 村上周三, 朱 清宇, 伊藤一秀: 揮発性有機化合物の放散・吸脱着等のモデリングとその数値予測に関する研究 (その 26), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp809-810, 2001
- 10) 安宅勇二, 加瀬田郎, 横山 至, 加藤信介, 村上周三: 定常法による HCHO 吸収分解せっこうボードの濃度低減効果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp875-876, 2001
- 11) 安宅勇二, 加藤信介, 村上周三, 朱 清宇, 伊藤一秀: 揮発性有機化合物の放散・吸脱着等のモデリングとその数値予測に関する研究 (その 35), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp709-712, 2002
- 12) ASTM D 5116 - 97: Small - Scale Environmental Chamber Determinations of Organic Emissions From Indoor Materials/Products, 1997
- 13) 羽田崇秀, 長谷川麻子, 小峰裕己, 鎌田元康: 家庭用空気清浄機によるホルムアルデヒド (HCHO) 除去性能の評価に関する研究 (その 2) 性能評価指標および試験方法の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp1189-1192, 2001
- 14) 伴野正幸, 島田菜穂美, 舟木里香, 池田礼子, 田辺新一: 小型チャンパーADPAC を用いたアルデヒド類、VOC 放散量の測定に関する研究(その 2 壁紙及び壁紙施工用接着剤からの化学物質放散速度測定), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp831-832, 2000
- 15) Nagano. Y., et al.: A new turbulence model for predicting fluid flow and heat transfer in separating and reattaching flows- 1. Flow field calculations, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 38. No.1., 139-151, 1994
- 16) 化学工学協会編: 化学工学便覧改訂 3 版, 1968
- 17) (財)日本建築センター: 新建築技術認定事業報告書 室内空気中の揮発性有機化合物汚染低減建材「BCJ-AIBT-7」, 2002
- 18) ENV 13419-1: Building products - Determination of the emission of volatile organic compounds - Part1:Emission test chamber method, 1999
- 19) 朱 清宇, 加藤信介, 安宅勇二: 大型テストチャンパーにおける建材や電気製品等からの化学物質放散量の測定に関する研究 (その 2), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp469-472, 2003

第7章 東北地域の戸建住宅における 室内空気質の実態調査

第7章 東北地域の戸建住宅における室内空気質の実態調査

Investigation of Indoor Air Quality of Detached Houses in Tohoku District

In order to clarify sick house syndrome of detached houses in Tohoku District, measurement of three houses was conducted in the summer and winter of 2003. The formaldehyde concentration in a house was found to be higher than the guideline of $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. The TVOC concentrations in three houses were lower than the guideline of $400\mu\text{g}/\text{m}^3$. The p-dichlorobenzene concentration in a house was found to be higher than the guideline of $240\mu\text{g}/\text{m}^3$. The ventilation rate was also measured by passive sampling method using PFT. According to a series of survey from 2001, in conclusion, 1) materials used in daily life as well as building materials led to the emission of formaldehyde and VOCs in houses. 2) sick house problem in cold area would be serious not only in well-insulated and airtight houses but also in ordinary houses that use vented kerosene heaters without ventilation system. 3) it was found to influence for air tightness performance and residents' lifestyle (e.g., opening windows in summer, closing windows in winter and usage of ventilation system) on IAQ.

KEYWORDS: Measurement, IAQ, Aldehydes, VOCs, Emission Rate, Ventilation Rate, PFT Method

7-1 目的

東北地域の高断熱高気密住宅におけるシックハウス問題の実態を明らかにし、特に、寒冷地の住宅における問題解決のための基礎資料を収集することを目的として、2001年以降3年間に亙り、住宅内の化学物質濃度に関する実態調査を行っている。これまでの調査結果から、部屋を締め切って使うことの多い冬季においては、高断熱高気密住宅よりも、機械換気設備を備えていない在来型住宅においてVOCsが高濃度で発生していることがわかり、その発生源の中には、建材や接着剤だけでなく、日常的に使用する生活用品も含まれる可能性が高いことが判った。今年度はこれまでに得られた知見の確認を行うとともに、対象住宅の気密性能および換気性能と室内化学物質濃度との関わりについても検討する。また、今年度は夏季実測も行い、夏季、冬季の室内化学物質濃度のデータを得ることにより、秋田県の住宅における室内空気環境の実態を把握する資料として整備する。

7-2 調査概要

7-2-1 調査対象

対象住宅は、秋田市に立地する戸建住宅3戸である。表7-1に対象住宅の概要を示す。3戸のうち、H邸、U邸の2戸は築年数が10年以上経っており、断熱気密性能が相対的に低い来型住宅との位置づけで調査している。H邸とU邸の気密性能は、 $4.9\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、 $8.6\text{cm}^2/\text{m}^2$ と低い。この2戸は、夏季にはエアコン、扇風機を使用し、冬季にはFF式ストーブを使用している。H邸には給排気ともセントラルで行う換気設備が

設置されているが、使用しておらず、窓による換気が主である。U邸でも換気設備を使用していない。それに対して、I邸は平成9年に建てられ、築年数が比較的新しい住宅である。断熱気密性が比較的高く

($3.3\text{cm}^2/\text{m}^2$)、換気設備は給排気ともセントラル式である。冷房設備として冷暖房エアコンを設置しているが、夏季のエアコンの使用頻度は低い。冬季は温水パネルヒーター・ファンコンベクターを使用している。図7-1に対象住宅の外観と居間の測定風景を、図7-2に対象住宅の平面を示す。

7-2-2 調査方法・調査項目

測定法は、早稲田大学田辺研究室規定の測定法(厚生省及びISO-16000を基に作成した測定手順)に準拠する。居住住宅を対象とし、24時間法による測定を行う。調査時期は、表7-1に示すとおり、2003年8月下旬および12月上旬である。測定項目は、アルデヒド類気中濃度(アクティブ法・パッシブ法)、VOC気中濃度(アクティブ法・パッシブ法)、アルデヒド類・VOCの床面放散速度(ADSEC法)、温湿度、換気量(早稲田大学田辺研究室考案のPFT法)、気密性能(コーナー札幌製の気密測定器(KNS-4000II)、米国製プロワードアを使用)の6項目である。測定方法は表7-2に示すとおりである。測定箇所は図7-2の対象住宅平面に示す。

居住者に対してヒアリング・アンケート調査を行う。調査内容は、空気質測定日の生活や、夏季・冬季の住まい方、住宅内の空気の汚れ・乾燥感について等である。

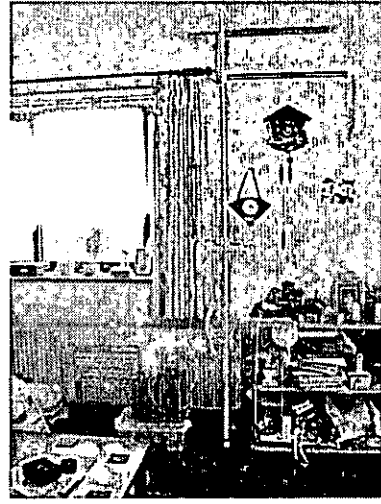
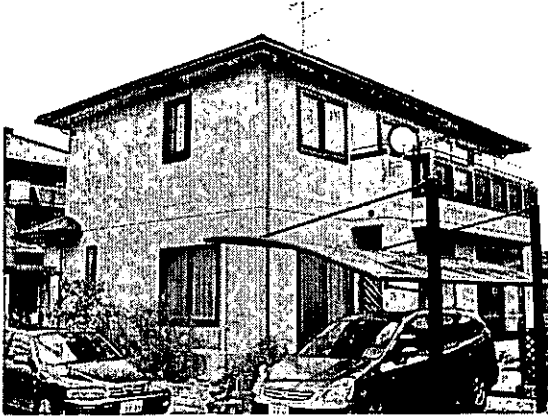
表 7-1 実測対象住宅の概要

| | | I 邸 | H 邸 | U 邸 |
|---|-----|--|-----------------------------|---|
| 竣工年 | | 1997 年 | 1992 年 | 1984 年(1996 年に 2 階部分を増築) |
| 延床面積 [m ²] | | 142.85 | 277.67 | 160.63 (増築前 126.69) |
| 1F 床面積 [m ²] | | 78.10 | 200.93 | 67.07 |
| 2F 床面積 [m ²] | | 64.75 | 76.74 | 63.75 |
| 構造 | | 軽量鉄骨造 | 木造軸組 (在来) | 木造軸組 (在来) |
| 家族人数 [人] | | 4 | 6 | 5 |
| 家族構成 | | 大人 2 人・子供 2 人 | 大人 5 人・子供 1 人 | 大人 2 人・子供 3 人 |
| 家族の健康状態 | | 1) 主人が喘息 2) 小 2 の兄が、アレルギー性鼻炎 (ダニに陽性、ハウスダストは未検査) 3) 妻がアレルギー (花粉症) | 喘息・アレルギーなどの症状は、家族全員なく、健康な状態 | 1) 妻が化学物質過敏症 (パンクレアチンという薬剤アレルギー)。ただし薬剤師の職業病で、住宅とは関係ない過敏症と思われる。 2) アレルギーは長女がハウスダストとヤケヒョウヒダニ (97 年の診断書あり)、三女がブタクサ等の植物 (診断書はなし) |
| 窓 (居間) | サッシ | 樹脂 | アルミ | アルミ |
| | ガラス | 複層ガラス | 複層ガラス | 1 枚ガラス+2 枚ガラス |
| 窓 (寝室) | サッシ | プラスチック | アルミ | アルミ+プラスチック |
| | ガラス | 複層ガラス | 複層ガラス | 複層ガラス |
| 冷房設備 | | 冷暖房エアコン | 冷暖房エアコン・扇風機 | 冷房専用エアコン・扇風機 |
| 暖房設備 | | 灯油熱源セントラル (パネルヒーター) | FF 式石油ストーブ・冷暖房エアコン | FF 式石油ストーブ |
| 給油設備 | | セントラル式 | セントラル式 | セントラル式 |
| 調理熱源 | | 都市ガス | LP ガス | 都市ガス |
| 換気設備 | | 給排気ともセントラル式 | 給排気ともセントラル式 | 各室個別の機械給排気 |
| 放散源の数 (1F C ₆ F ₆) | | 1 | 2 | 1 |
| 放散源の数 (2F C ₇ F ₈) | | 2 | 2 | 2 |
| 防蟻処理の有無 | | なし | なし | あり |
| 観葉植物の有無 | | あり | あり | あり |
| 喫煙者数 [人] | | 0 | 0 | 0 |
| 相当隙間面積 [cm ² /m ²] | | 3.3 (減圧法) | 4.9 (減圧法) | 8.6 (減圧法) |
| 空気質・換気量調査時期 | 夏季 | 2003/8/30~8/31 | 2003/8/26~8/27 | 2003/8/28~8/29 |
| | 冬季 | 2003/12/8~12/9 | 2003/12/4~12/5 | 2003/12/6~12/7 |

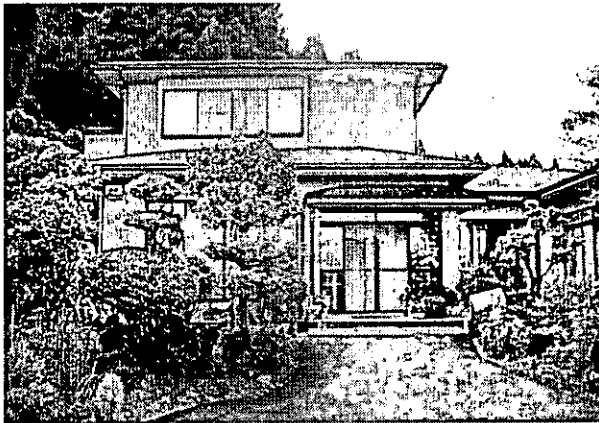
表 7-2 測定項目・測定方法

| 測定項目 | 測定場所 | 測定方法 |
|----------------------------|---------------------|--|
| アルデヒド類 気中濃度 | 居間・寝室・外気 高さ 1.2m | ①アクティブ法: Sep-Pak DNPH (Waters 製) をポンプ流量 100mL/min で 24 時間捕集 |
| | | ②パッシブ法: DSD-DNPH (Supelco 製) を 24 時間自然放置 |
| VOC 気中濃度 | | ①アクティブ法: Tenax TA (Supelco 製) をポンプ流量 100mL/min で 24 時間捕集 ②パッシブ法: VOC-SD (Supelco 製) を 24 時間自然放置 |
| アルデヒド類・ VOC の床面放散 速度 | 居間床面 寝室床面 | DSD-DNPH, VOC-SD (いずれも Supelco 製) を床面に設置した Carbonyl-ADSEC, VOC-ADSEC にセットし, 24 時間自然放置 |
| 温湿度 | 居間・寝室・外気 高さ 1.2m | 小型データロガー (T&D 製おんどり TR-72S, 精度: 温度±0.3°C, 相対湿度±5%) を用いて空気質測定日を含む 1 週間測定 (測定間隔: 夏季 10 分, 冬季 15 分) |
| | 居間・寝室床表面 | 小型データロガー (T&D 製おんどり TR-71S, 精度: 温度±0.3°C) を用いて空気質測定日の 1 日間測定 (測定間隔: 夏季 10 分, 冬季 15 分) |
| 換気量 | 1F・2F 高さ 1.2m | PFT 法による。2 種類の PFT 放散源 C ₆ F ₆ (ヘキサフルオロベンゼン), C ₇ F ₈ (オクタフルオロトルエン) を用いる。放散源を 2mm シリコン膜付バイアル瓶に入れ, 定常に達するまでに十分な時間を置いた後, VOC-SD (Supelco 製) にて 24 時間捕集する。各階を 1 つのゾーンと考え, 1F に C ₆ F ₆ , 2F に C ₇ F ₈ を高さ 1.7m の位置に設置する。PFT の放散量, 気中濃度を算出し, ゾーンごとの換気量を算出する。 |

(a) I 邸



(b) H 邸



(c) U 邸

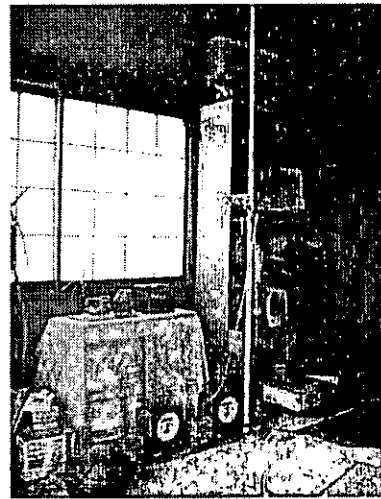
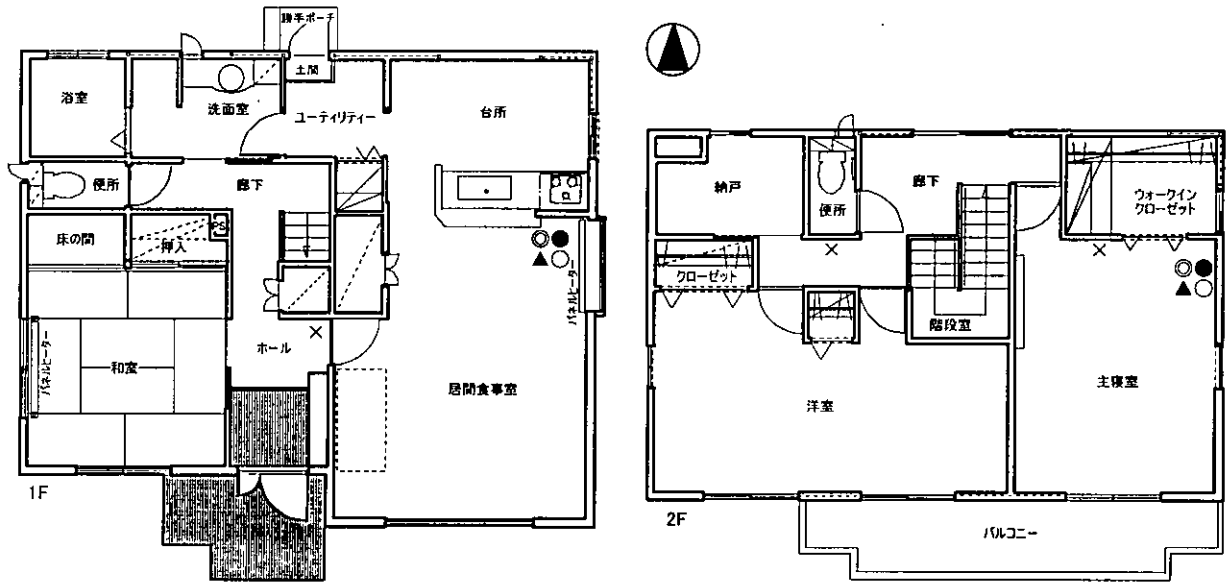
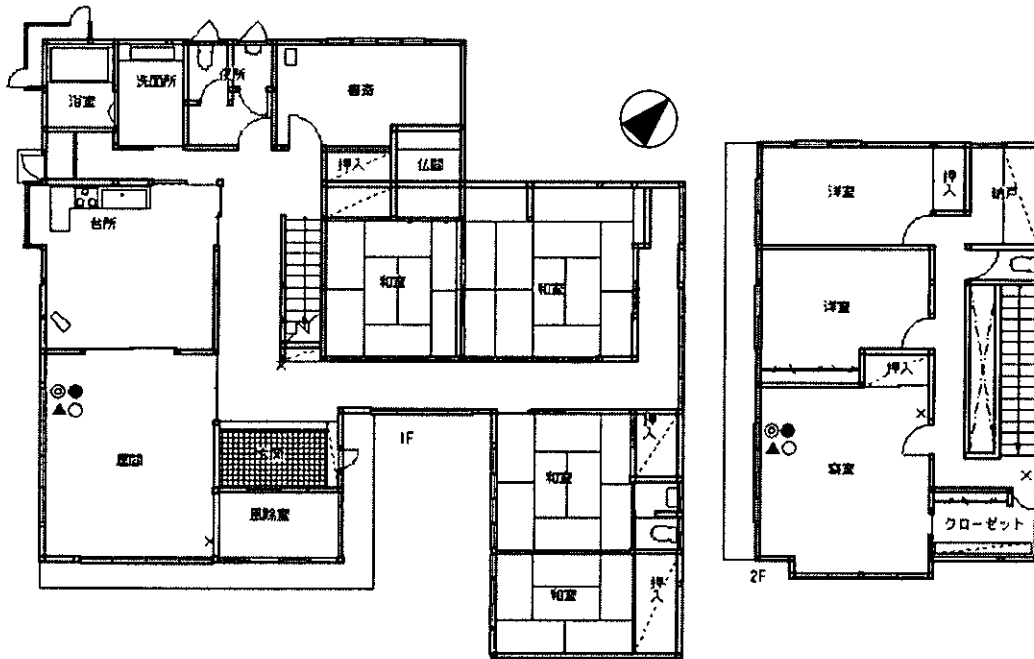


図 7-1 対象住宅の外観と居間の測定風景

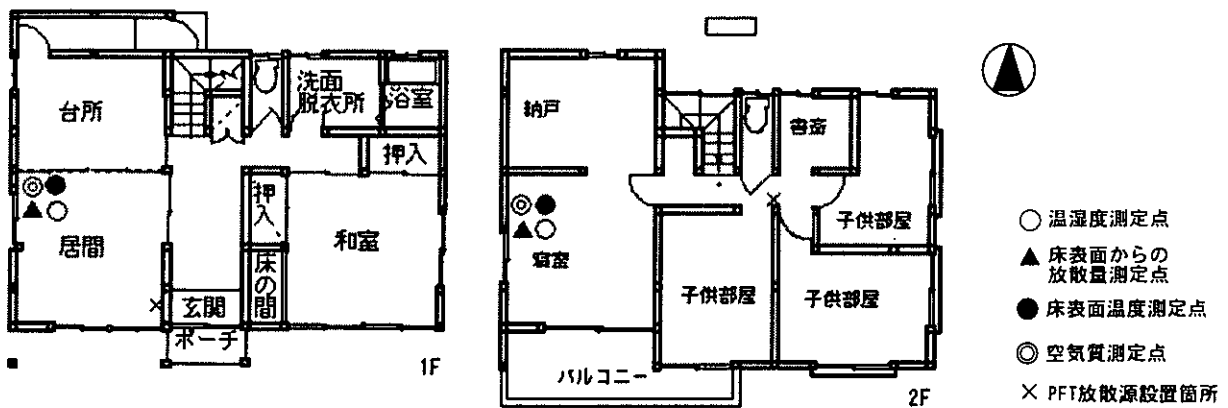
(a) I邸



(b) H邸



(c) U邸



- 温湿度測定点
- ▲ 床表面からの放射量測定点
- 床表面温度測定点
- ◎ 空気質測定点
- × PFT放射源設置箇所

図 7-2 対象住宅平面

7-2-3 分析方法

アルデヒド類は、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンの3物質を分析対象とする。Sep-PakDNPH、DSD-DNPH サンプラーとともに高速液体クロマトグラフィー（HPLC）で分析を行う。DSD-DNPH 拡散サンプラーの換算係数（Sampling rate）を表7-3に示す。

VOCsは50物質を分析対象とする。Tenax TAを固体吸着-加熱脱着-ガスクロマトグラフ質量分析法（GC/MS）により分析し、パッシブサンプラー-VOC-SDはGC/MSで溶媒抽出法により分析する。PFT法で用いるVOC-SDについて加熱脱着法により分析する。

表7-3 DSD-DNPHのSampling rate [mL/min]

| | |
|------------|------|
| ホルムアルデヒド | 71.9 |
| アセトアルデヒド | 59.4 |
| アセトン | 51.7 |
| アクロレイン | 52.6 |
| プロピオンアルデヒド | 51.7 |

7-3 調査結果

7-3-1 アルデヒド類の気中濃度

図7-3にホルムアルデヒドの気中濃度（アクティブ法）の実測結果を示す。夏季I邸の寝室では厚生労働省の指針値100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。また、全般的に他の2戸に比べてホルムアルデヒド濃度が高い。3戸の中では一番最近に建てられたことが主な要因であると考えられる。I邸と他の2戸の違いを考えると、家具や日用品が多いため、その影響も指摘できる。

アセトアルデヒドは、冬季I邸の居間で厚生労働省の指針値48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。I邸、U邸では冬季に比べて夏季の気中濃度が高い傾向があるが、H邸では逆に夏季よりも冬季の気中濃度がやや高い。住戸による気密性能や換気状況の違いが季節による気中濃度の差に反映されているのではないかと推測される。

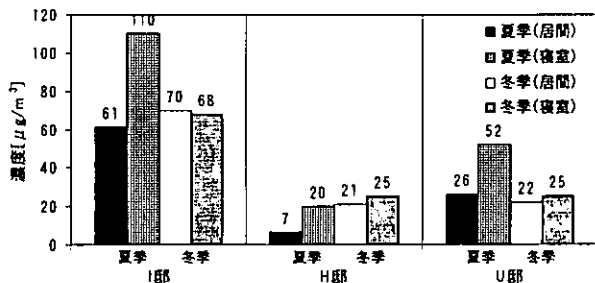


図7-3 ホルムアルデヒド気中濃度（アクティブ法）

夏季、冬季におけるアルデヒド類気中濃度の実測結果をアクティブ法、パッシブ法別にそれぞれ図7-4、図7-5に示す。冬季U邸の外気のアクティブ法は欠測である。アクティブ法とパッシブ法それぞれの結果の相関は比較的良い。

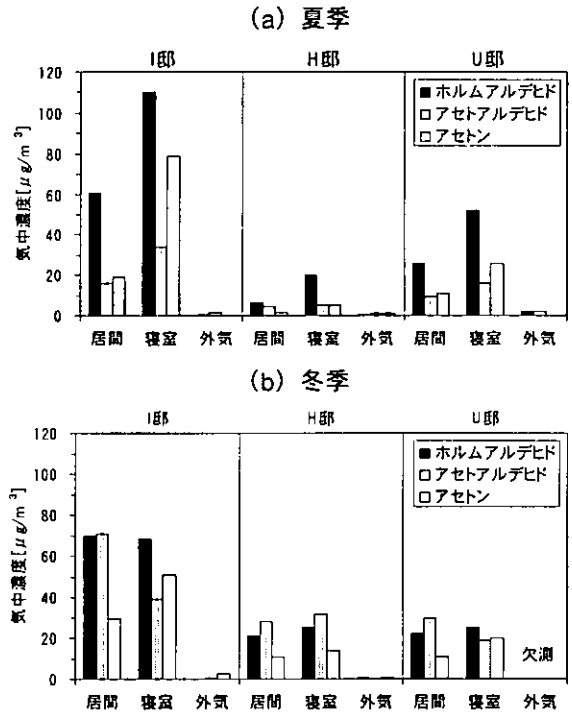


図7-4 アルデヒド類の気中濃度（アクティブ法）

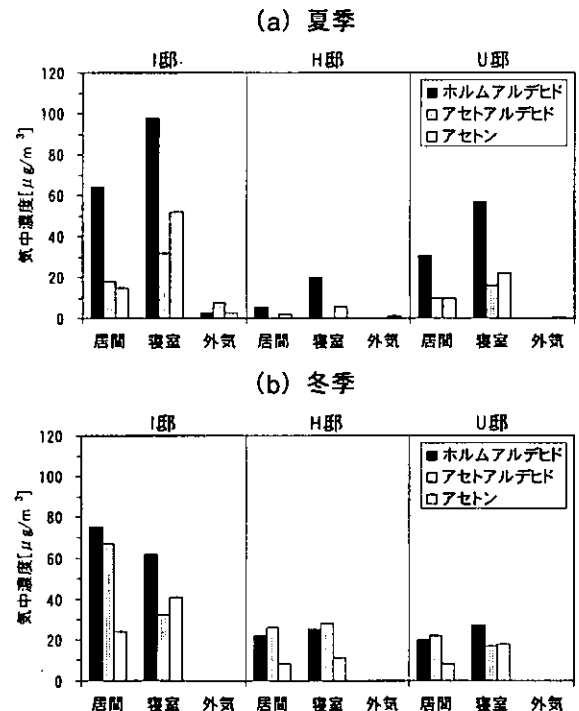


図7-5 アルデヒド類の気中濃度（パッシブ法）

7-3-2 TVOC 濃度

図 7-6 に、アクティブ法による TVOC 濃度（ヘキサシ以降トルエン換算）の実測結果を示す。夏季、冬季における 3 戸の TVOC 濃度は、いずれも厚生労働省暫定指針値 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回っている。TVOC 濃度としては低い、表 7-4 に示すとおり、さまざまな物質が検出されていることがわかる。

図 7-7 に、パッシブ法による VOCs 濃度の実測結果を参考に示す。H 邸寝室では、夏期、冬季とも $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていることがわかる。寝室には、居間にはないタンスや洋服といったものが多くあり、それらが発生源となっている可能性が高いと考えられる。詳細な分析結果によれば、p-ジクロロベンゼン（厚生労働省の指針値 $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）が夏季 $625\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬季 $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出されており、VOC 濃度が高い主要因であることがわかった。また、アンケートによれば、H 邸夏季の寝室において、蚊取り線香を使用していることがわかっていて、建材だけでなく、生活用品にも注意が向けられるべきことが示唆された。なお、トルエン（指針値 $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、キシレン（指針値 $870\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、エチルベンゼン（指針値 $3800\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、スチレン（指針値 $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）の濃度は問題となりうる水準ではなかった。H 邸冬季寝室では、p-ジクロロベンゼン以外のさまざまな VOC が検出されている。これは、寝室では冬季において石油ストーブを使用していること、測定日当日にスプレーを使用したことの影響であると考えられる。

7-3-3 VOCs 濃度

表 7-4、表 7-5 にアクティブ法、パッシブ法それぞれの VOCs 濃度の一覧を示す。

7-3-4 床面からの放散速度

Carbonyl-ADSEC、VOC-ADSEC による捕集量を捕集面積 (0.00519m^2) と捕集時間 (24h) で除してアルデヒド類、VOCs の放散速度をそれぞれ算出した。

アルデヒド類に関しては、ADSEC 容器設置時に用いるシリコン枠から放散するアセトンを除く、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドについて図 7-8 に示す。H 邸寝室床面からの放散速度が比較的大きい。その原因として、放散量の温度依存性の影響が指摘できる。床面放散速度と気中濃度の関連を考慮すると、I 邸は床以外の例えば家具等からの発生の影響が大きく、H 邸は床そのものが主要な発生源であることが推察される。

表 7-6 に示すとおり、H 邸寝室床面から VOC が検出された。夏季は p-ジクロロベンゼンが、冬季はさらにヘプタンとオクタンも検出された。p-ジクロロベンゼンの放散速度は冬季に比べて夏季の方が高く、温度

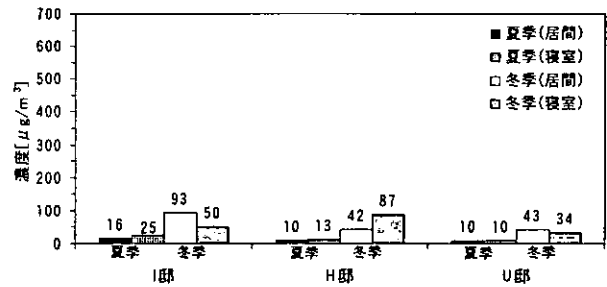


図 7-6 TVOC 濃度 (アクティブ法)

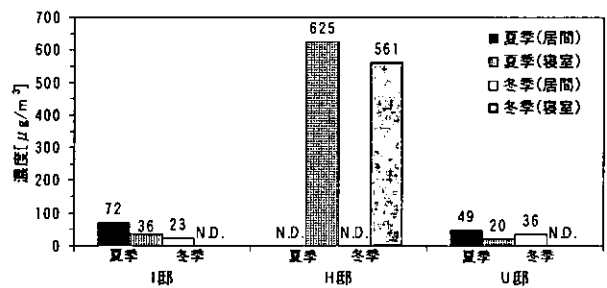


図 7-7 VOCs 濃度 (パッシブ法)

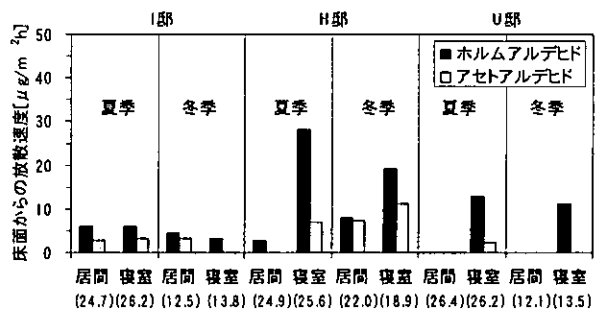


図 7-8 アルデヒド類床面放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] (括弧内は床表面温度の日平均)

表 7-6 VOC 床面放散速度 (寝室) [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

| 化学物質名 | I邸 | | H邸 | | U邸 | |
|------------|------|------|------|-----|------|------|
| | 夏季 | 冬季 | 夏季 | 冬季 | 夏季 | 冬季 |
| p-ジクロロベンゼン | N.D. | N.D. | 40.4 | 6.6 | N.D. | N.D. |
| ヘプタン | N.D. | N.D. | N.D. | 7.7 | N.D. | N.D. |
| オクタン | N.D. | N.D. | N.D. | 9.4 | N.D. | N.D. |

依存性が指摘される。H 邸寝室では前述のとおり、ホルムアルデヒドの放散も高く、床からの化学物質発生が認められる。床面放散速度から床からの発生を算出したところ、気中濃度の 65% を床が占めていることがわかった。H 邸寝室では、床材であるカーペットへの化学物質の吸着影響が考えられる。

表 7-4 VOCs 濃度 (アクティブ法) 一覧

| 住戸名 測定時期 | I邸 | | | | H邸 | | | | U邸 | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 夏季 | | 冬季 | | 夏季 | | 冬季 | | 夏季 | | 冬季 | |
| 化学物質名 \ 測定場所 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 |
| 酢酸エチル | N.D. | N.D. | 1 | 1 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| メチルイソブチルケトン | N.D. | 3 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| オクタン | N.D. | N.D. | 4 | 3 | N.D. | N.D. | N.D. | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| トルエン | 3 | 5 | 4 | 5 | N.D. | N.D. | 3 | 14 | 1 | 1 | 4 | 7 |
| 酢酸ブチル | 3 | 6 | 4 | 3 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| ノナン | 1 | N.D. | 10 | 6 | N.D. | N.D. | 2 | 5 | 2 | 1 | 4 | 4 |
| エチルベンゼン | N.D. | 1 | 4 | 3 | N.D. | N.D. | 1 | 7 | 1 | 1 | N.D. | 2 |
| m,p-キシレン | N.D. | N.D. | 3 | 2 | N.D. | N.D. | 1 | 8 | N.D. | N.D. | 2 | 2 |
| o-キシレン | N.D. | N.D. | 3 | 2 | N.D. | N.D. | 2 | 10 | N.D. | N.D. | 2 | 4 |
| スチレン | N.D. | N.D. | 1 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 2 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| n-デカン | N.D. | N.D. | 7 | 4 | N.D. | N.D. | 2 | 2 | N.D. | N.D. | 3 | 3 |
| m,p-エチルトルエン | N.D. | N.D. | 2 | 1 | N.D. | N.D. | 1 | 3 | N.D. | N.D. | 1 | 1 |
| o-エチルトルエン | N.D. | N.D. | 1 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 1 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| 1,2,4-トリメチルベンゼン | N.D. | N.D. | 4 | 2 | 1 | N.D. | 3 | 3 | N.D. | N.D. | 2 | 2 |
| リモネン(+) | N.D. | N.D. | 13 | 4 | 2 | N.D. | 1 | N.D. | 3 | 2 | 11 | 1 |
| ウンデカン | N.D. | N.D. | 4 | 2 | N.D. | N.D. | 2 | N.D. | N.D. | N.D. | 2 | 2 |
| p-ジクロロベンゼン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 6 | 13 | 18 | 26 | N.D. | 1 | N.D. | 3 |
| n-ノナール | 2 | 7 | 2 | 2 | 1 | N.D. | 1 | N.D. | 1 | N.D. | N.D. | N.D. |
| n-ドデカン | N.D. | N.D. | 6 | 2 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 2 | N.D. |
| デカナール | N.D. | 2 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| n-トリデカン | 1 | N.D. | 5 | 1 | N.D. | N.D. | 3 | 2 | N.D. | N.D. | 3 | N.D. |
| テトラデカン | 2 | 1 | 6 | 2 | N.D. | N.D. | 2 | 1 | N.D. | N.D. | 2 | N.D. |
| ペンタデカン | 1 | N.D. | 4 | 2 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 2 | N.D. |
| ヘキサデカン | 2 | N.D. | 5 | 2 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 2 | N.D. |
| TVOC | 16 | 25 | 93 | 50 | 10 | 13 | 42 | 87 | 10 | 10 | 43 | 34 |

表 7-5 VOCs 濃度 (パッシブ法) 一覧

| 住戸名 測定時期 | I邸 | | | | H邸 | | | | U邸 | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 夏季 | | 冬季 | | 夏季 | | 冬季 | | 夏季 | | 冬季 | |
| 化学物質名 \ 測定場所 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 | 居間 | 寝室 |
| 酢酸エチル | N.D. | N.D. | 23 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 36 | N.D. |
| ヘプタン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 49 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| オクタン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 95 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| トルエン | N.D. | 36 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 22 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| m,p-キシレン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 32 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| o-キシレン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 24 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| n-ノナン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 87 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| 1,2,4-トリメチルベンゼン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 37 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| n-デカン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 49 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| p-ジクロロベンゼン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 625 | N.D. | 120 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| リモネン(+) | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 49 | 20 | N.D. | N.D. |
| n-ウンデカン | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 47 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| n-トリデカン | 25 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| ペンタデカン | 47 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| 計 | 72 | 36 | 23 | - | - | 625 | - | 561 | 49 | 20 | 36 | - |

7-3-5 換気量

PFT法による換気量測定原理に基づいて、各階の外気導入量および換気量を算出する。ここで、外気導入量とは室外から室内へ取り入れられた空気を指しており、換気量とは、外気導入量に、他のゾーンからの流入量を加えた量を指すものとする。PFT法による換気量測定原理を図7-9および式(7-1)～(7-6)に示す。

$$Q_{2,1}C_{A2} - Q_{1,0}C_{A1} - Q_{1,2}C_{A1} = -M_A \quad \dots (7-1)$$

$$Q_{2,1}C_{B2} - Q_{1,0}C_{B1} - Q_{1,2}C_{B1} = 0 \quad \dots (7-2)$$

$$Q_{1,2}C_{A1} - Q_{2,0}C_{A2} - Q_{2,1}C_{A2} = 0 \quad \dots (7-3)$$

$$Q_{1,2}C_{B1} - Q_{2,0}C_{B2} - Q_{2,1}C_{B2} = -M_B \quad \dots (7-4)$$

$$Q_{0,1} = Q_{1,0} + Q_{1,2} - Q_{2,1} \quad \dots (7-5)$$

$$Q_{0,2} = Q_{2,0} + Q_{2,1} + Q_{1,2} \quad \dots (7-6)$$

$Q_{X,Y}$: ゾーンXからゾーンYの方向を正とした場合のゾーンX、Y間の換気量 [m³/h]

C_{AX}, C_{BX} : PFT“A”、 ”のゾーンXにおける気中濃度 [μg/m³]

M_A, M_B : 種類の異なるPFT“A”、 ”の放散量 [μg/h]

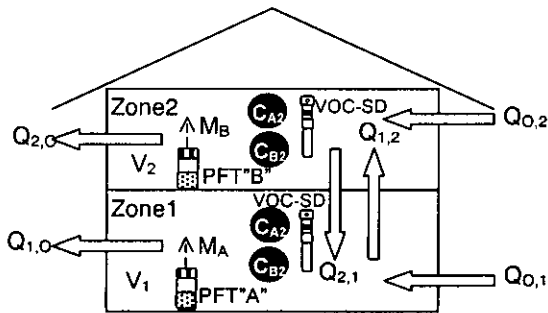


図7-9 PFT法による換気量測定原理 (2ゾーンの場合)

本調査ではPFT“A”をC₆F₆、PFT“B”をC₇F₈の2種類とし、対象住宅を1F、2Fの2ゾーンに分けて換気量を算出する。

PFTの単位時間当たりの放散量は温度に依存する。したがって、C₆F₆、C₇F₈の放散量をシリコン厚さ2.0mmの式(7-7)、(7-8)からそれぞれ算出する。式(7-7)、(7-8)はシリコン厚さ2.0mmのときの式であり、測定時における各ゾーンの平均温度を代入することにより算出する。

$$M_{\theta} = M_{25} (=5.85) \times 1.03 (\theta - 25) \quad \dots (7-7)$$

$$M_{\theta} = M_{25} (=1.89) \times 1.04 (\theta - 25) \quad \dots (7-8)$$

M_{θ} : 温度 $\theta^{\circ}\text{C}$ のときの単位時間当たり放散量 [mg/h]

M_{25} : 温度 25°C のときの単位時間当たり放散量 [mg/h]

次に、パッシブサンプラーのPFT捕集量から気中濃度を式(7-9)にて算出する。式(7-9)において、捕集時間は24時間である。式(7-9)中のサンプリングレートは捕集したゾーンの空気温度に依存するので、パッシブサンプラーのC₆F₆、C₇F₈それぞれのサンプリングレートを式(7-10)、(7-11)にて求める。なお、本式中に記載の係数(4.27、2.74)は、早稲田大学田辺研究室による大型チャンバー実験から算出された係数である。なお、パッシブサンプラーの分析を加熱脱着法にて行った場合の値を用いている。

$$C = W / (K \times t) \quad \dots (7-9)$$

$$K (C_6F_6) = 4.27 \times (273 + t) / (273 + 25) \quad \dots (7-10)$$

$$K (C_7F_8) = 2.74 \times (273 + t) / (273 + 25) \quad \dots (7-11)$$

C: 気中濃度 [μg/m³]

K: パッシブサンプラーのサンプリングレート [m³/h]

t: サンプラーの捕集時間 [h]

W: パッシブサンプラーの捕集量 [μg]

放散量、気中濃度を式(7-1)～(7-6)に代入して各階の換気量を算出する。

各階の外気導入量および換気量の算出結果を表7-7に示す。また、図7-10、図7-11に、夏季、冬季それぞれにおける各住戸の空気の流れを示す。

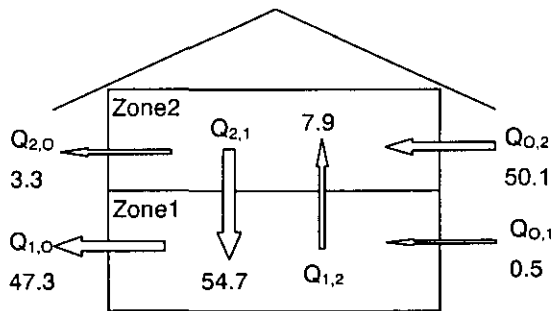
対象住宅の換気回数は、夏季0.3～0.5回/h、冬季0.4～8.2回/hと算出された。3戸中2戸(I邸、U邸)では、冬季の換気回数が夏季よりも多く算出されている。また、夏季・冬季U邸1Fおよび冬季I邸では、外気導入量が0m³/hと算出される結果となっている。

いずれの住宅も換気設備を備えているが、I邸では就寝中に運転した場合に喉が痛くなるため、夜間は停止しており、1日の総換気時間は、夏季14時間、冬季13時間となっている。I邸の換気回数を見てみると、夏季は0.3回/hとほぼ設計換気量(0.5回/h)に近い値となっているが、冬季の換気回数は2.6回/hと大きく算出されている。また、H邸とU邸では換気設備は設置されているにもかかわらず使用しておらず、前者では、ほとんど換気に注意が払われていない。H邸の換気回数は、夏季、冬季とも0.5回/h程度であり、季節による差が小さいが、大規模な住宅なので換気回数が小さく算出されている可能性もある。U邸では冬季の換気回数が8.2回/hと大きく算出された。U邸の換気量の多さは、気密性能が低い故に、隙間からの温度差換気が非常に多いことを示しているのではないかと考えられる。

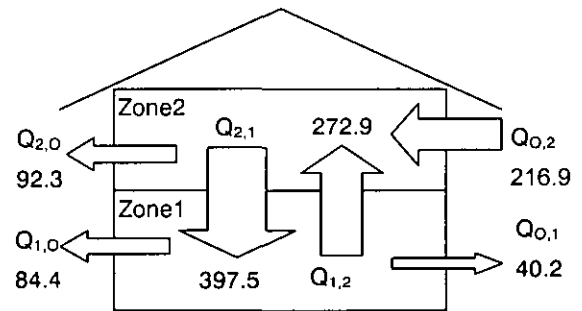
表 7-7 各階の外気導入量・換気量と換気回数

| 住宅名 | ゾーン | 容積 [m ³] | 夏季 | | | | 冬季 | | | |
|-----|-----|----------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| | | | 外気導入量 [m ³ /h] | 換気量 [m ³ /h] | 外気導入量から算出した換気回数 [回/h] | 換気回数 [回/h] | 外気導入量 [m ³ /h] | 換気量 [m ³ /h] | 外気導入量から算出した換気回数 [回/h] | 換気回数 [回/h] |
| I 邸 | 1F | 187.44 | 0.5 | 55.2 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 397.5 | 0.0 | 2.1 |
| | 2F | 155.40 | 50.1 | 58.0 | 0.3 | 0.4 | 216.9 | 489.8 | 1.4 | 3.2 |
| | 全体 | 342.84 | 50.6 | 113.2 | 0.1 | 0.3 | 216.9 | 887.3 | 0.6 | 2.6 |
| H 邸 | 1F | 502.33 | 53.1 | 175.0 | 0.1 | 0.3 | 53.6 | 146.2 | 0.1 | 0.3 |
| | 2F | 184.18 | 72.4 | 146.3 | 0.4 | 0.8 | 25.7 | 135.2 | 0.1 | 0.7 |
| | 全体 | 686.51 | 125.5 | 321.3 | 0.2 | 0.5 | 79.3 | 281.4 | 0.1 | 0.4 |
| U 邸 | 1F | 160.97 | 0.0 | 78.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 1278.2 | 0.0 | 7.9 |
| | 2F | 153.00 | 62.6 | 80.0 | 0.4 | 0.5 | 1003.1 | 1299.9 | 6.6 | 8.5 |
| | 全体 | 313.97 | 62.6 | 158.0 | 0.2 | 0.5 | 1003.1 | 2578.1 | 3.2 | 8.2 |

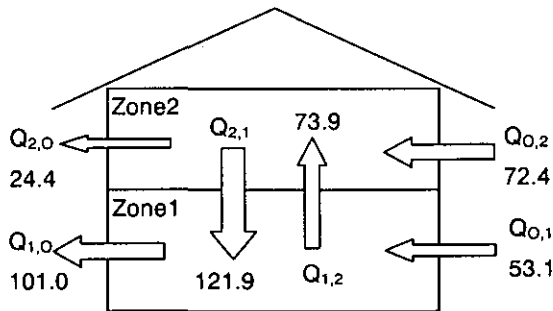
(a) I 邸



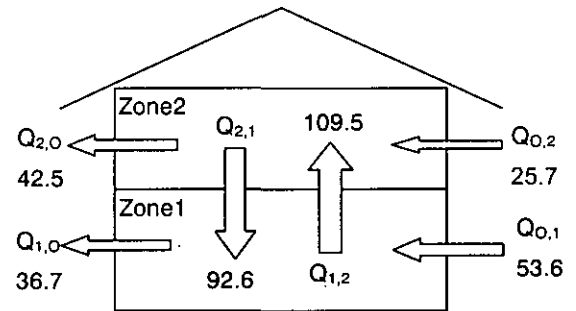
(a) I 邸



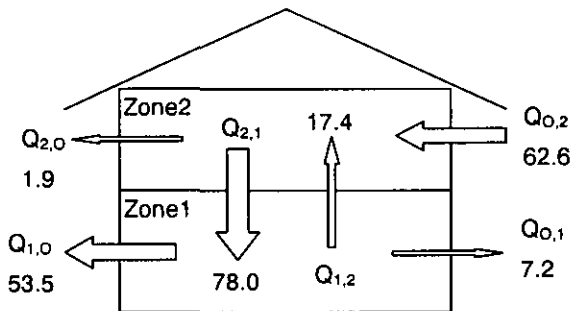
(b) H 邸



(b) H 邸



(c) U 邸



(c) U 邸

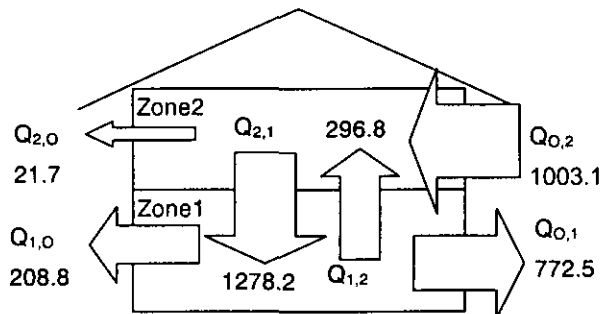


図 7-10 各住宅の空気の流れ (夏季) (単位: m³/h)

図 7-11 各住宅の空気の流れ (冬季) (単位: m³/h)

7-3-6 温湿度

表 7-8、表 7-9 に、夏季、冬季における空気質実測日の温湿度の測定結果（日平均）を示す。夏季、冬季における空気質の測定日を含む1週間の温湿度データを時刻別に平均したものを図 7-12、図 7-13 に示す。2003 年夏季は冷夏のため、日平均外気温が 21～24℃であり、例年に比べると低めである。また、2003 年冬季は、12 月上旬に測定を行ったが、日平均外気温が 3～4℃であり、2001 年、2002 年冬季の測定時期と比べると気温が高い。

夏季における室温は、3 戸とも日変動に大きな差はなく、居間、寝室の温度は 3 戸とも 25℃ 前後である。ヒアリングによれば、I 邸では機械換気設備による換気が主であるが、夏季は必要に応じて窓を開けている。空気質実測日において、居間では冷房設備の使用はなく、寝室ではエアコンを約 2 時間使用している。H 邸、U 邸では、エアコンの使用はほとんどなく、扇風機を使用している。2 戸とも何らかの換気設備を有しているが、使用していない。

冬季における室温は、断熱気密性能が比較的高く、パネルヒーターによる全室暖房を行っている I 邸と、他の 2 戸の差が顕著に現れている。H 邸、U 邸では夜間の居間温度の低下が激しいほか、寝室温度が 1 日を通じて 15℃ 以下である。特に U 邸の寝室温度は、1 日を通じて 12℃ 程度である。ヒアリングによると、冬季の空気質実測日において、U 邸では寝室で暖房を使用していないことがわかっており、このことが室温の低さに反映されていると考えられる。H 邸居間では、昼間の温度は 20℃ 以上であるが、U 邸居間では昼間でも 20℃ 以下と低めである。暖房設備としては、H 邸、U 邸とも居間は FF 式石油ストーブを 10～12 時間用いており、寝室では H 邸は石油ストーブを使用しているが、U 邸は先述のとおり、暖房器具を使用していない。

夏季の外気相対湿度は 70～90% であるが、室内相対湿度は、機械換気設備を運転している I 邸で 60% 前後、他の 2 戸では 70～80% となっている。夏季において、換気設備を使用している I 邸の室内湿度が他の 2 戸に比べて低くなっている。一方、冬季の外気相対湿度は 70～90% であるが、室内相対湿度は居間 40～50%、寝室 50 から 60% となっている。H 邸では冬季の絶対湿度が他の 2 戸に比べて低い。これは、住宅そのものの容積が大きいことから、単位容積当たりの水蒸気発生量が相対的に小さいことが原因として予想される。U 邸では空気質実測日の天候が晴天で、外気の絶対湿度が低い、その割に室内の絶対湿度は高い。ヒアリングによると、U 邸では冬季に結露が発生しているとの

ことであり、換気設備の使用が望ましいと考えられる。

表 7-8 夏季における空気質実測日の日平均温湿度

| | 項目 | I 邸 | H 邸 | U 邸 |
|----|-------------|------|------|------|
| 居間 | 温度 [°C] | 25.5 | 25.9 | 25.1 |
| | 相対湿度 [%] | 59 | 79 | 76 |
| | 絶対湿度 [g/kg] | 12.1 | 16.5 | 15.1 |
| 寝室 | 温度 [°C] | 26.3 | 26.2 | 25.1 |
| | 相対湿度 [%] | 64 | 77 | 72 |
| | 絶対湿度 [g/kg] | 13.7 | 16.4 | 14.4 |
| 外気 | 温度 [°C] | 20.5 | 23.9 | 22.6 |
| | 相対湿度 [%] | 73 | 89 | 91 |
| | 絶対湿度 [g/kg] | 10.6 | 16.5 | 15.7 |

表 7-9 冬季における空気質実測日の日平均温湿度

| | 項目 | I 邸 | H 邸 | U 邸 |
|----|-------------|------|------|------|
| 居間 | 温度 [°C] | 21.6 | 18.5 | 16.0 |
| | 相対湿度 [%] | 46 | 43 | 48 |
| | 絶対湿度 [g/kg] | 7.5 | 5.7 | 7.2 |
| 寝室 | 温度 [°C] | 18.0 | 14.1 | 11.3 |
| | 相対湿度 [%] | 62 | 55 | 63 |
| | 絶対湿度 [g/kg] | 8.0 | 5.6 | 6.0 |
| 外気 | 温度 [°C] | 4.0 | 3.4 | 2.9 |
| | 相対湿度 [%] | 78 | 91 | 72 |
| | 絶対湿度 [g/kg] | 4.0 | 4.4 | 2.4 |

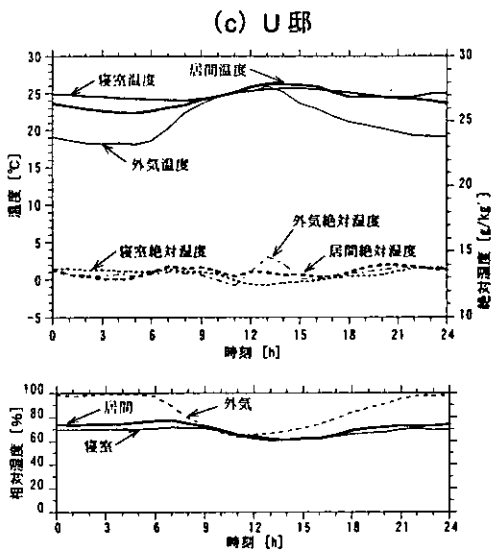
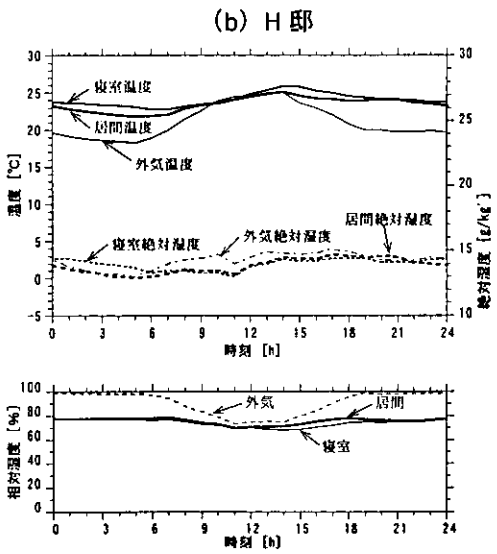
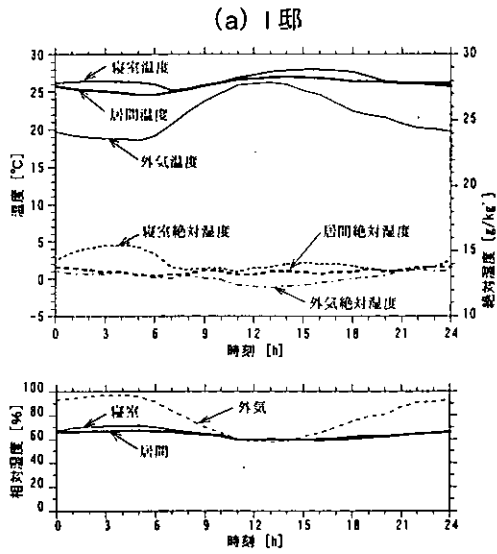


図 7-12 夏季温湿度日変動 (I邸、H邸、U邸)

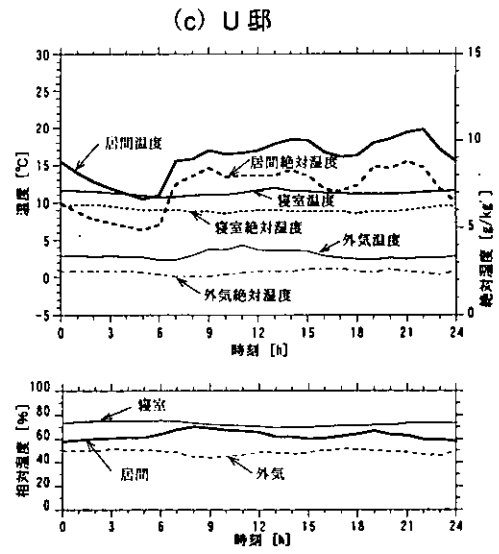
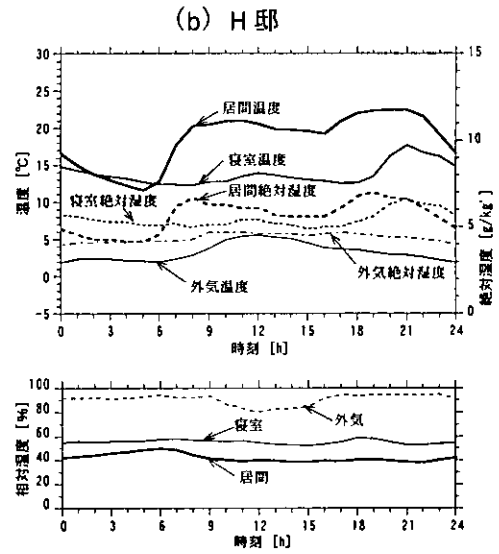
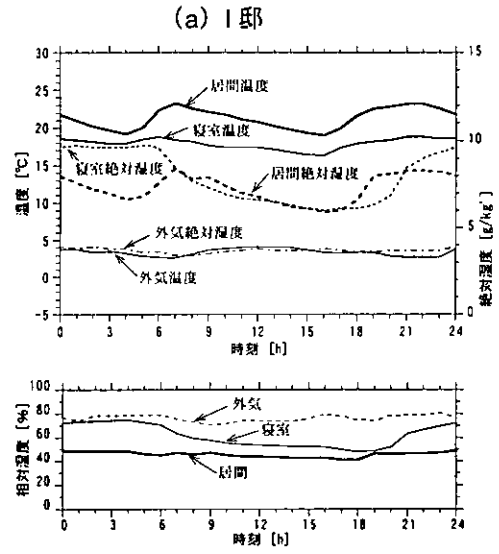


図 7-13 冬季温湿度日変動 (I邸、H邸、U邸)

7-4 まとめ

秋田県内の断熱気密性能が高く、常時換気設備を備えた住宅1戸と、断熱気密性が低く常時換気設備を使用していない住宅2戸の計3戸を対象として、2003年の夏季、冬季において、アクティブ/パッシブ法にてアルデヒド類・VOCs 気中濃度、ADSEC法にて床面放散速度、PFT法にて換気量を実測した。その結果、以下のような知見が得られた。

- 1) ホルムアルデヒド気中濃度は、夏季において、3戸中1戸で厚生労働省の指針値 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を上回っている。築年数と家具や日用品の多さが影響しているものと考えられる。また、室内気中濃度は、夏季の濃度が冬季よりも高い傾向にある。
- 2) TVOC濃度（アクティブ法）は3戸とも厚生労働省の指針値 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回っている。ただし、パッシブ法の結果によれば、ある住戸では、寝室のp-ジクロロベンゼンが指針値 $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える濃度を示した。VOCsの発生は建材や接着剤からの放散ばかりでなく、日常使用する様々な生活用品も発生源である可能性が高いという、これまでの秋田県の実測で得られてきた知見を確認することができた。
- 3) 築年数10年以上で、断熱気密性能の相対的に低い在来型住宅におけるホルムアルデヒド気中濃度は床材からの放散の影響を受けている可能性が高い。この点もこれまでの実測から得られている知見の一つであり、本年度の実測にて再確認することができた。
- 4) 断熱気密性能が最も低い住宅では、冬季において1日中窓を閉め切っているにもかかわらず、換気回数8回/hと算出され、隙間からの温度差換気の割合が非常に高い可能性があることがわかった。
- 5) 対象住宅3戸のうち2戸では、換気設備を備えているにもかかわらず、使用せず、夏季は窓開け換気をしており、冬季は締め切っている。また、換気設備を使用している住宅においても常時運転しているわけではなく、夜間は換気運転を停止しており、住宅によって換気設備の使い方がさまざまであることがわかった。
- 6) 寒冷地における住まい方の特徴として、夏の窓の開放、冬の窓の閉鎖が挙げられるが、これらが室内空気質濃度と関係している実態が明らかになった。

今後は、VOCs濃度と気密性能に関する数値計算を各種行い、実測調査を補強することを課題として取り組むこととしたい。

第8章 計画換気を用いた工業化住宅 における室内空気質に関する研究