

のため)、一般のシックハウスの調査のために行われることはないと考えられます。エンドトキシンは、一般の室内環境ではシックハウス症状に影響を与えるとは考えにくく、逆に適度に曝露するとアレルギー性の喘息が減少することが報告されています。

5.2.3. ダニアレルゲン他

a. 室内環境中のダニアレルゲン他

日本国内のアレルギーの原因の代表となるダニは、チリダニ科ヒョウダニ属のヤケヒョウダニ (*Dermatophagoides pteronyssius*) とコナヒョウダニ (*Dermatophagoides farinae*) で、これらがハウスダストアレルギーの原因となります。ハウスダストアレルギーは通年的に生じるアレルギーであり、主に気管支喘息やアレルギー性鼻炎を生じます。

その他、ゴキブリや家の中で飼うイヌ、ネコ、ラットなどのげっ歯類等がアレルゲンとなりアレルギー症状に影響することがあります。

b. ダニアレルゲン他の評価法

ダニアレルゲンについてはいくつかの種類が同定・分類されていますが、Der p 1/ Der f 1、Der p 2/ Der f 2 が主要なアレルゲンと考えられ、環境測定において精密な測定法として受託検査としてエライザ (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay : ELISA) による測定法が行われていますが、その他半定量ダニアレルゲン測定キットが市販品として発売されており、一般家庭などでも測定が可能です。

その他、ゴキブリでは Bla g 1、ネコでは Fel d 1、イヌでは Can f 1、ラットでは Rat n 1、といったものが代表的ですが研究室レベルの測定として行われており、受託検査による測定も一般になっていません。

以上のアレルゲンについては、個人への影響の医療機関での検査として、血液検査で特異 IgE を測定することにより、アレルギー症状に影響しているか推定することができます。



5.3. 物理的要因

5.3.1. 温熱的要因

a. 快適な温度条件

熱環境の快適性に影響する条件は、温度、湿度、風速、輻射です。人は食べものを食べてエネルギーを生産しますが、生産するエネルギー（代謝量）と身体から発散するエネルギーは、健常の時は常に等しい状態になっています。このバランスが壊れそうになったときに寒さ、暑さを感じることになります。この4つの条件は快適環境を実現する際には相互に関連します。例えば、温度が低いときは温度を上げなくとも輻射量を増やせば寒さを感じなくなるし、温度が高く暑いときは扇風機で風を受ければ涼しく感じるということになります。

また、作業の状態によって代謝量は異なるので、同じ環境条件でも代謝量が多いときは暑く感じ、安静にしているときは寒く感じます。寒いときは着衣の量を増やして暖かくし、暑いときは薄着にして涼しさを得ることができます。このように快適条件の要因は温度、湿度、風速、輻射に加えて代謝量、着衣量の6つになります。

これらの条件をすべて考慮し、温熱環境の総合的な指標としてデンマークのファンガーが提唱したPMV 1)が今日では利用されています。PMVは6つの快適条件が定めれば計算で求めることができるので、空調設計や温熱環境の評価で良く利用されるようになってきています。計算の結果、PMVの値が0であれば暑くも寒くもない、+2であれば暑い、+1であればやや暑い、-2であれば寒い、-1であればやや寒い、の評価となります。また、人によって快適と感じる条件は異なり、PMVが0の条件でも、5%の人は不満を感じるという実験結果が示されています。

また、修正有効温度は、

空調設備が設置される建物では、建築基準法に決められた室内環境条件（温度、湿度、風速）の範囲に入るように建物を設計し室内環境を調整しなければなりません。学校の場合には、先に述べたように学校環境衛生基準に従う必要があります。住宅の場合に、室内環境の基準は法律上定められてはいませんが、日本建築学会では1994年に室内温度の推奨値を提案しております。

ただし、いずれも輻射の条件が示されていませんが、輻射による暖房・冷房は、温風・冷風を送る暖房・冷房方式に比べて快適であるとよく言われており、輻射利用の暖冷房が今後、増えていく可能性があります。

b. 温度分布、輻射の不均一

空調された室内において、温度が上下方向で、或いは水平方向で異なることはよく経験します。例えば、暖房している場合には、窓近くや足元が寒く感じます。断熱・気密性能が不十分な場合には、窓や床からの熱のロスが大きく、ロスの大きい場所の近くは温度が低くなるために温度の分布が生じやすくなります。また、窓表面や床表面の温度が低い場合には輻射の作用によって人体から熱が逃げていくために不快に感じます。これらの問題を解消するためには断熱・気密性能を高めることが最も有効である。

学校の教室では、温風暖房器が普及していますが、暖房器からは高い温度の空気が吹き出されるので、その近くに座っている児童にとっては暑くてたまらないということが生じます。その場合には当然、暖房器から机を離さなければなりません。或いはこの問題を解決するには輻射方式の暖房

方式を採用することが確実ですが、断熱・気密性能を高めて熱ロスを低くすれば、高い温度の空気を吹き出すことはなくなり局所的な分布も少なくなると推察されます。

c. 適応

快適温度の範囲についてみると、夏は相対的に高く冬は低くなっています。これは季節により変化する外気温に体が慣れることによるものであり、適応と呼びます。また、先に自然換気を行うオフィスの場合には、空調する場合に比べて温度の快適範囲が広がるという研究成果について述べましたが、一種の適応であり省エネルギーを進める上では重要な研究成果です。

また、転勤や大学入学のために北海道から南の地域に移動した人たちは冬の室内の温度が低く風邪をひいてしまったという話をよく聞きます。これは適応ができないことが原因で健康への影響にかかわる問題ですが、まだ研究は十分に進んでいません。

d. 低温・高温と健康

低温と高温が健康に与える問題に関しては既に触れましたが、低温の問題に関して追加して説明します。筆者らは2015年の冬に山形県の3つの町の住宅それぞれ約80件を対象に室内の温度を測定しました。その結果、暖房している住宅は主に居間だけであり、12℃から24℃の間で分布があるものの平均で約20℃となっていること、寝室の温度は分布が大きく約8℃と約20℃を中心とした山が2つ見られること、トイレは8℃を中心とした山がみられるが16℃まで分布していること、などの特徴がみられました。居間などの暖房している部屋と暖房していないスペースでの温度差は大きく、その間を移動する場合には居住者に熱的なストレス（ヒートショック）が加わることになります。

このような室内の温度の特徴、特に暖房している居間と暖房していない寝室やトイレとの温度差が大きいことやそのことが脳卒中の発症に影響していることを筆者らは既に30年前に明らかにしております。

断熱・気密性能の高い住宅に移った後には、それまで暮らしていた住宅で症状のあった気管支喘息、喉の痛み、せき、アトピー性皮膚炎などについては居住者の60%位が回復したことが調査で明らかにされています。

夏期の住宅内の高温に対しては、冷房設備の運転で対応することが望ましいのですが、冷房設備を運転して睡眠をとった場合には、冷房しない場合よりも睡眠障害、疲労感の度合いが高いという調査結果が得られており、冷房を適切に使用することが大切であるといえます。



5.3.2. 湿度

相対湿度は温熱快適性に関連するだけでなく健康に対しても各種の影響を及ぼします。夏期においては同じ温度でも湿度が低いほど快適に感じます。しかし相対湿度が低すぎる場合には特に冬期においては皮膚の乾燥、ドライアイ、呼吸器疾患、アレルギー鼻炎・喘息などの原因となります。インフルエンザウイルスは低湿度ほど活性化することが明らかとなっています。一方、高湿度の場合には、カビ・ダニが繁殖し、その結果、アレルギー疾患など健康への影響が出てきます。高湿度で結露やカビが発生している建物はダンプビルという言葉で呼ばれていることは、先に述べました。

また、高湿度の場合には化学物質の蒸発作用が促進されシックハウスを引き起こす可能性が大きくなります。

高断熱住宅では冬期の乾燥が問題として指摘されることが多くなっていますが、これはそれまでの住宅に比べて同じ量の水蒸気が発生しても温度が全体的に高くなっているために相対湿度が低くなるのが原因の一つではないかと推察されます。また化学物質が乾燥感を引き起こす可能性のあることが指摘されています。

一方、空気質にも湿度は影響し、湿度が高いと臭いの強度が強くなり、低いと空気を新鮮に感じますが、研究によっても明らかにされています。

いずれにしても相対湿度は高すぎないようにまた低すぎないように調整することが大切です。しかしながら、一般の住宅の場合には湿度の調整は難しく、居住者が加湿器や除湿機を持ち込んで対応していることが多い状態です。湿度の調整は、これからの大きな課題です。

DRAFT

5. 4. 喫煙、受動喫煙、三次喫煙

5. 4. 1. 喫煙、受動喫煙によって発生する有害物質と病気

喫煙者が吸い込む煙を主流煙、タバコの先端から立ち上る煙を副流煙と呼ぶことは広く知られるようになりました。タバコを吸わない人が、副流煙と喫煙者の口から吐き出された煙の混合物を吸わされることを受動喫煙と呼びます。

喫煙によって発生する煙は、粒子状成分（ミスト状のタール）とガス状成分（一酸化炭素、ホルムアルデヒドなどの気体）の混合物です。タバコ煙が視認できるのは粒子状成分が光を乱反射するからです。タバコ煙の粒子の直径は1 μ m（ミクロン）以下で、中国からの越境汚染で問題となった微小粒子状物質（PM_{2.5}）よりも小さいため、ガス状成分とともに空気の流れに乗って肺の最深部まで到達します。

粒子とガスには約4000種類の化学物質が含まれており、そのうち約200種類は人体に有害で、約70種類には発がん性物質があります。

そのため、まず、肺の炎症を起こし、その炎症は血液を通じて全身の動脈硬化を起こし、心筋梗塞や脳卒中、末梢動脈の閉塞などの血管系の病気になります。発がん性物質は、肺からだけでなく、口腔粘膜～咽喉にも曝露されますし、消化管からも吸収されるので、肺がん、舌がん、咽喉・喉頭がん、食道がん、胃がん、大腸がん、膀胱がんなどのリスクも高くなります。近年、糖尿病や慢性関節リウマチ、免疫の異常の原因になることも分かってきました。

受動喫煙に曝露された場合も上記の喫煙関連疾患のリスクが高くなります。例えば、長期間の受動喫煙の曝露を受けた人の肺がんや心筋梗塞のリスクは、曝露のない人よりも20～30%も高くなります。

口腔粘膜や衣服に付着した粒子状物質からガス状成分が長期間にわたって揮発します。その場で喫煙していないのに喫煙者の口臭や衣服がタバコ臭いこと、吸わない人が喫煙可能な飲食店等を利用すると衣服や毛髪がタバコ臭くなる現象を三次喫煙と呼びます。健常人には「迷惑」ですが、気管支喘息や化学物質過敏症の患者さんでは発作の原因となりますし、つわりの時期の妊婦では嘔気を催します。

シックハウス症候群を避けるためには、自宅内を完全禁煙にするだけでなく、玄関・通用口や窓に面した庭先、集合住宅の場合は隣家や下の階のベランダを含めて居住空間の周囲での喫煙を禁止して受動喫煙を避けること、さらに、三次喫煙を避けるために同居している家族に禁煙させることが必要です。自宅外であれば、屋内で喫煙している飲食店等には立ち入らないこと、公共施設等の喫煙室の周囲には近づかないこと、屋外であっても喫煙コーナーの風下は避けることが大切です。さらに、集合住宅では上下左右に隣接する住居との壁や床・天井の隙間、コンセントの隙間などからガス状物質が流入することも指摘されており、今後の検討課題とされています。



5.4.2. 喫煙、受動喫煙による汚染の測定方法

タバコの燃焼により発生する微小粒子状物質とガス状物質の測定方法は以下の通りです。

①微小粒子状物質 (PM_{2.5})

PM_{2.5}のリアルタイムモニタリング(5秒毎)は、TSI社製のデジタル粉じん計 Sidepak AM510 を用い、換算係数(0.295)によりタバコ煙濃度を算出しました。柴田科学社製のデジタル粉じん計 LD-3K を用いた測定では、質量濃度換算係数は0.8(mg/m³)/cpm を用いました。

②ガス状物質(総揮発性有機化合物 Total Volatile Organic Compounds: TVOC)

Figaro 技研株式会社製 パーソナル TVOC モニタ FTVR-01 を用いました。

5.4.3. 自宅内・自宅周囲で喫煙した場合の受動喫煙の実態

①個室で喫煙した場合

6畳の個室で1本の喫煙をした場合のPM_{2.5}濃度は600～700μg/m³に達しました。これは、大気汚染がひどい日の北京市のPM_{2.5}の汚染状況に相当します。ドアや襖の隙間から隣のリビングに拡散したPM_{2.5}濃度も200μg/m³に達しました(図5.4.1.)。

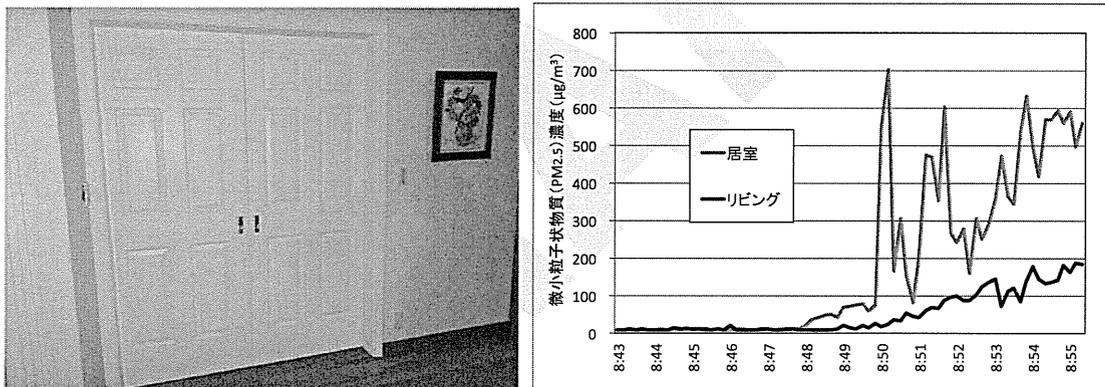


図 5.4.1. 個室で喫煙した場合のリビングの汚染(受動喫煙)

②台所換気扇の下で喫煙した場合

換気扇の下に置いた椅子に座って喫煙している状況で、平面レーザーを照射したところ、煙の一部はフードからはみ出していることが視認されました。ダイニングテーブルの上で測定したPM_{2.5}濃度が上昇したことから、換気扇の近くで喫煙することは受動喫煙を避ける対策にはならないことが分かりました(図5.4.2.)。



図 5.4.2. 換気扇からはみ出すタバコ煙によるリビングの汚染(受動喫煙)

③ベランダで喫煙した場合

いわゆる「ホテル族」です。サッシを閉めて喫煙した時のベランダ、サッシの内側、室内のテーブルの上でPM_{2.5}の濃度を測定しました。サッシを閉めているにもかかわらず、サッシの内側、そして、室内のテーブル上のPM_{2.5}の濃度が上昇し、タバコ煙が室内に流入していることが分かりました。平面レーザー光線の照射により、タバコ煙の流入経路はサッシとレールの隙間であることが分かりました（図5.4.3.）。



図 5.4.3. ベランダで喫煙した際のリビングの汚染（受動喫煙）と煙の流入経路

④玄関先で喫煙した場合

玄関のドアを閉め、屋外で喫煙しても屋内のPM_{2.5}濃度が上昇しました。平面レーザーを照射したところ、ドアの隙間が流入経路であることが分かりました（図5.4.4.）。



図 5.4.4. 玄関先で喫煙した際のリビングの汚染（受動喫煙）と煙の流入経路

⑤喫煙後の呼気に吐出されるタバコ煙

成人男性の肺の容積は約5リットルで、1回の呼吸量は約500ミリリットルです。喫煙終了後の呼気には、肺内に充満していたタバコ煙が含まれています。図5.4.5.は喫煙を終了し、タバコの火を消した後の呼気に平面レーザーを照射すると大量の煙が視認されました。粉じん計で確認したところ、喫煙後の粉じんの吐出は約30～40呼吸＝150～200秒ほど続くことが分かりました。

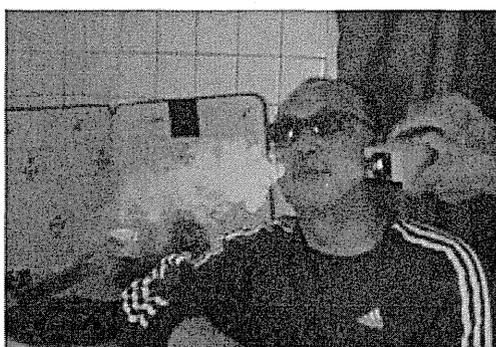


図 5.4.5. 喫煙後の呼気に含まれるタバコ煙

⑥台所での喫煙後、リビングでの受動喫煙

換気扇のフードにできる限り近づいて、吐き出す煙はすべて換気扇に向かって吐き出す実験を行いました。喫煙を終了するまで室内のPM_{2.5}の濃度は上昇しませんでした。喫煙者がリビングに戻ってきた瞬間にリビングのPM_{2.5}が大きく上昇し、その後、台所のPM_{2.5}濃度が上昇し、さらにキッチンカウンターの濃度が上昇しました（図5.4.6.）。

リビングのPM_{2.5}濃度がまず上昇した原因は、リビングに移動した喫煙者の肺内に充満していたタバコ煙が呼気とともに吐き出されたためです。台所のPM_{2.5}濃度が上昇したのは、喫煙後ただちに換気扇のスイッチを切ったため、排気しきれなかったタバコ煙が台所全体に拡がり、その煙がキッチンに拡散したためです。ベランダや玄関先で喫煙して、その直後に室内戻った場合にも同じ現象が発生します。喫煙者と同居している限り、受動喫煙を防止することは出来ません。

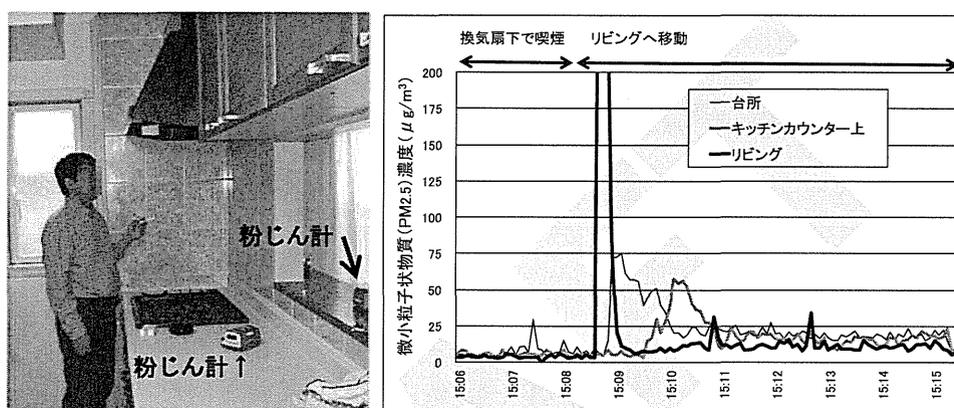


図 5.4.6. フードの真下に立ち、煙は換気扇に向かって吐き出した実験

⑦隣家のベランダからの受動喫煙

アパートやマンションのベランダでの喫煙による受動喫煙が社会問題となっています。2012年12月、「被告が、原告（隣家）に対する配慮をすることなく、自室のベランダで喫煙を継続する行為は、原告に対する不法行為になる」「後から居住したことをもって、原告が被告のベランダでの喫煙によるタバコの煙を受忍すべきということはない」という判決が下され、5万円の慰謝料が認められました。

この裁判の原因となった状況を再現するために、集合住宅のベランダで喫煙を行って実験をしたところ、水平方向の隣家のベランダでも、1フロア上のベランダでもPM_{2.5}が上昇し、それぞれ、開けていた窓から屋内にタバコ煙が流入することも確認できました（図5.4.7.）。

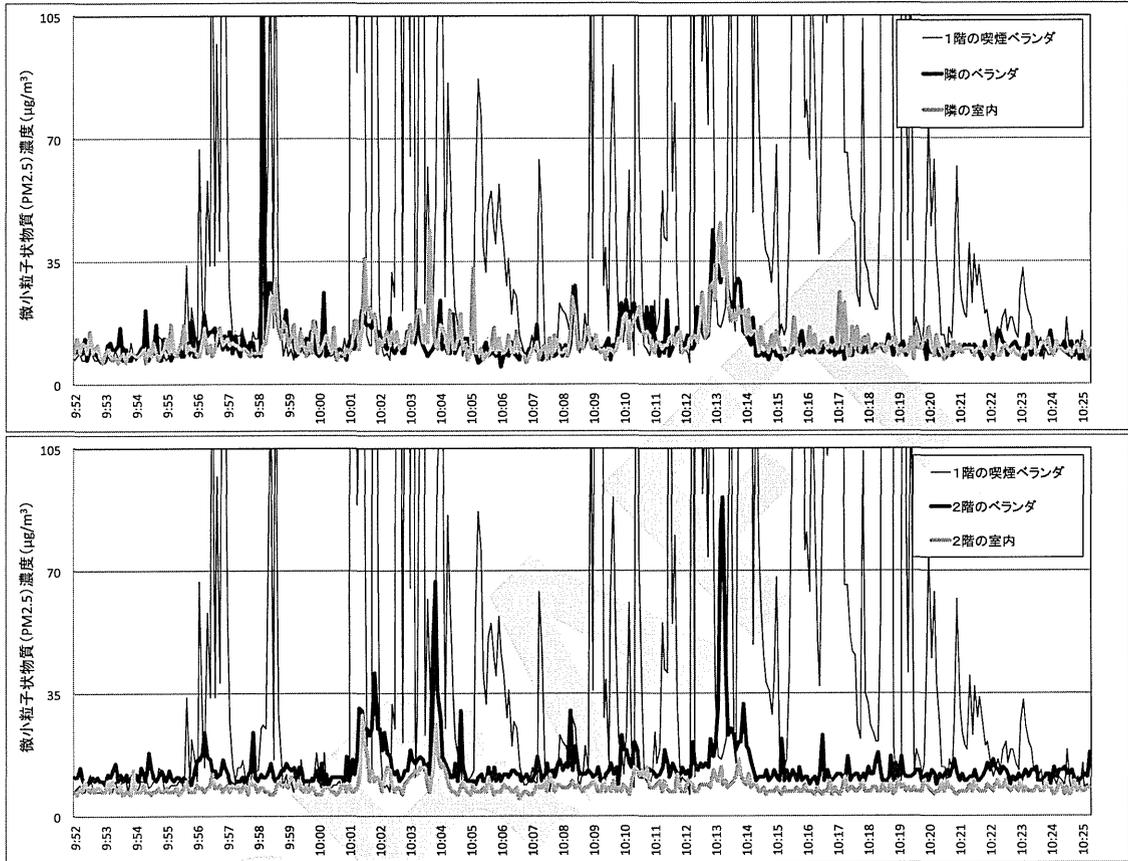
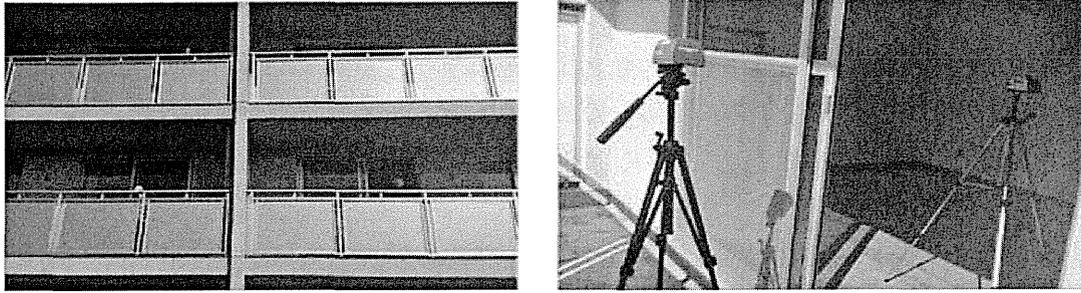


図 5.4.7 集合住宅のベランダで喫煙した際の上階と隣家のベランダと室内の汚染 (受動喫煙)

5.4.4. 職場や公共的な施設での受動喫煙による汚染の実態

①喫煙席からの拡散

ファミリーレストラン等では喫煙席と禁煙席の設定をしている店舗が増えてきました。しかし、空間が連続していますから、エアコンで攪拌されて禁煙区域も汚染されます (図 5.4.8)。このような場所には立ち入らないことが症状を悪化させないために重要です。

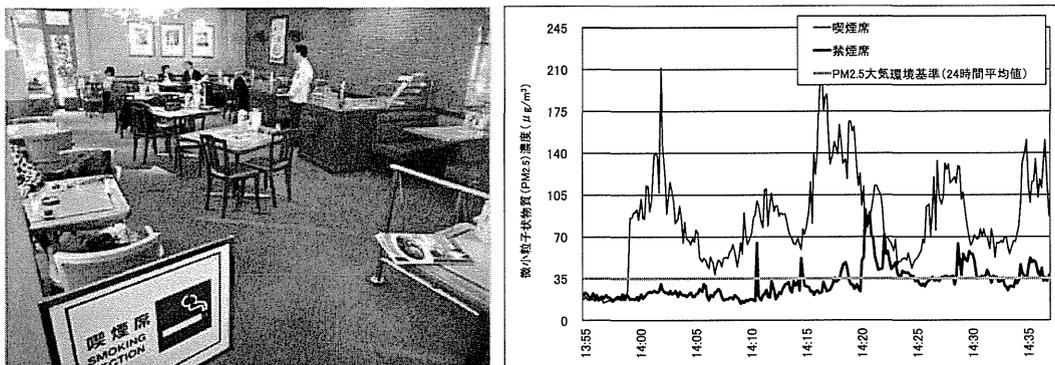


図 5.4.8. 喫煙席・禁煙席があるレストランの汚染 (受動喫煙)

②喫煙室からの漏れ

東京都庁3階にある喫煙室とその周囲のPM_{2.5}を測定したところ、内部は劣悪な環境で、廊下にも明らかにタバコ煙が漏れていました(図5.4.9.)。喫煙室の外に漏れたタバコ煙はフロア全体を汚染しますので、このようなビルにも立ち入らないことが大切です。

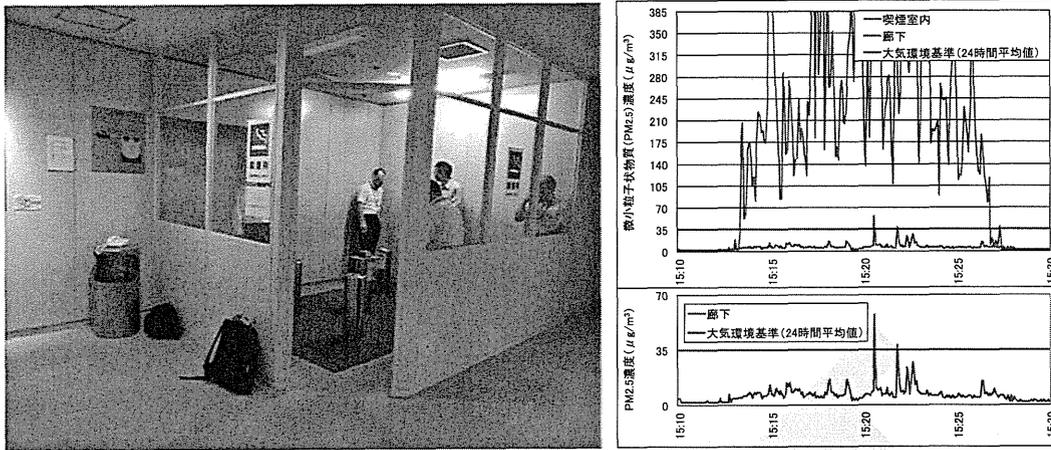


図 5.4.9. 東京都庁3階の喫煙室から廊下に拡散する汚染(受動喫煙)

③屋外の喫煙コーナーからの流入

出入口に灰皿があると屋内に大量のタバコ煙が入ってきます(図5.4.10.)。このような施設には灰皿の撤去を申し出ること、撤去されるまでは利用しないことが症状を悪化させないために大切です。

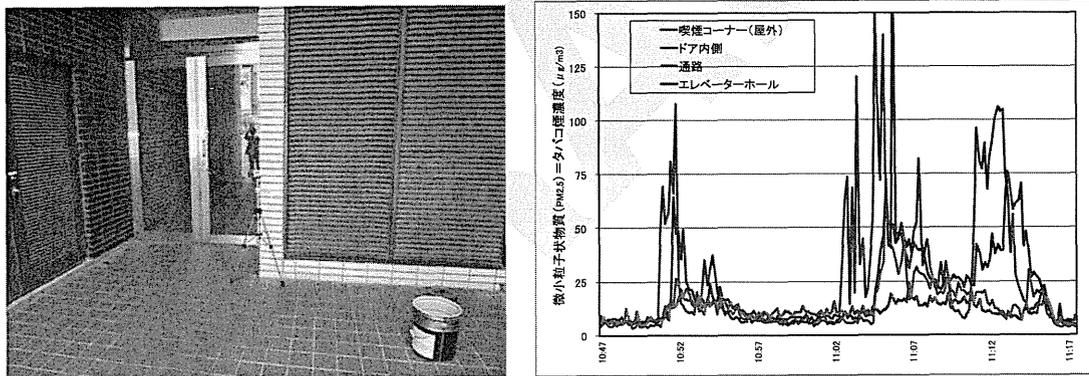


図 5.4.10. 出入口の喫煙による建物内の汚染(受動喫煙)

④屋外の喫煙コーナーの風下での受動喫煙

路上喫煙禁止区域にある喫煙コーナーの風下でPM_{2.5}濃度を測定したところ、25メートル先でも明らかな受動喫煙が発生することを確認しました(図5.4.11.)。喫煙コーナーがある場所には可能な限り近づかないようにすることが大切です。

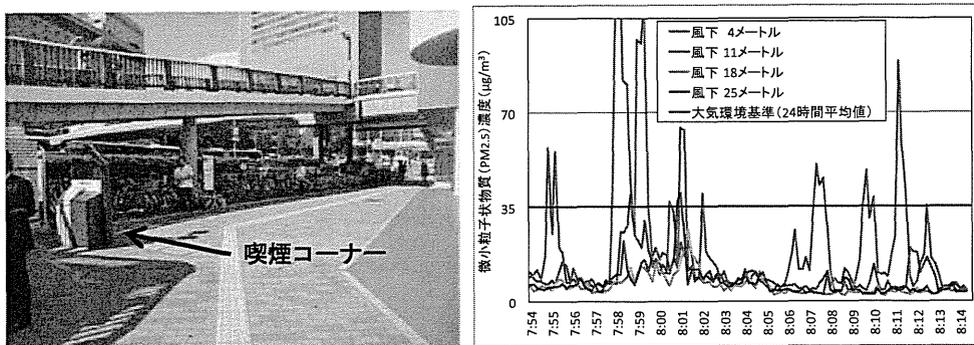


図 5.4.11. 喫煙コーナーの風下25メートルでも発生する汚染(受動喫煙)

5.4.5. 三次喫煙

東京駅八重洲口の地下街、動輪の広場には混み合う喫煙室があります。喫煙室の内外でPM_{2.5}濃度を測定したところ、内部は劣悪な環境で、大量のタバコ煙が地下街に漏れていること、喫煙室内のTVOC濃度とPM_{2.5}濃度はよく相関することが認められました。

水洗いした新品のタオルを3本、喫煙室内に5分間、10分間、15分間静置し、それぞれ、密閉バッグに封入して清浄な空気環境の場所へ移動した後で、密閉バッグ内のTVOC濃度を4分間測定し、その最高値を記録した結果をグラフに示します(図5.4.12.)。5分間静置しただけで、タオルは強いタバコ臭の発生源となることが認められました。布類や喫煙者の口腔粘膜に付着したタバコの粒子状物質からガス状物質が揮発する現象は、学術論文で三次喫煙(thirdhand smoke)と定義されています。列車や飛行機などの閉鎖空間に喫煙室を使用した人が隣に座った時の三次喫煙は特に問題になります。2010年に発出された厚生労働省健康局長通知「受動喫煙防止対策について」には、「残留タバコ成分」として啓発に努めるべきことが述べられており、気管支喘息や化学物質過敏症やシックハウス症候群の患者さんでは発作の原因となります。

同居する家族が喫煙する場合、衣服や呼気から発生する三次喫煙は避けられません。喫煙室を撤去すること、喫煙する家族は禁煙させること、自力での禁煙が困難な人は禁煙外来を受診させることが必要です。



図 5.4.12. 喫煙室に静置したタオルから発生するガス状の汚染物質 (三次喫煙)

5.5. 浮遊粒子、燃焼生成物等

5.5.1. 開放型燃焼器具による汚染とその影響

石油を燃焼させる暖房器具を使用する場合、大量の汚染物質（窒素酸化物、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、アンモニア等）が発生します。シックハウス症候群の患者さんが居る家庭では使用しないことが重要です（図 5.5.1.）。

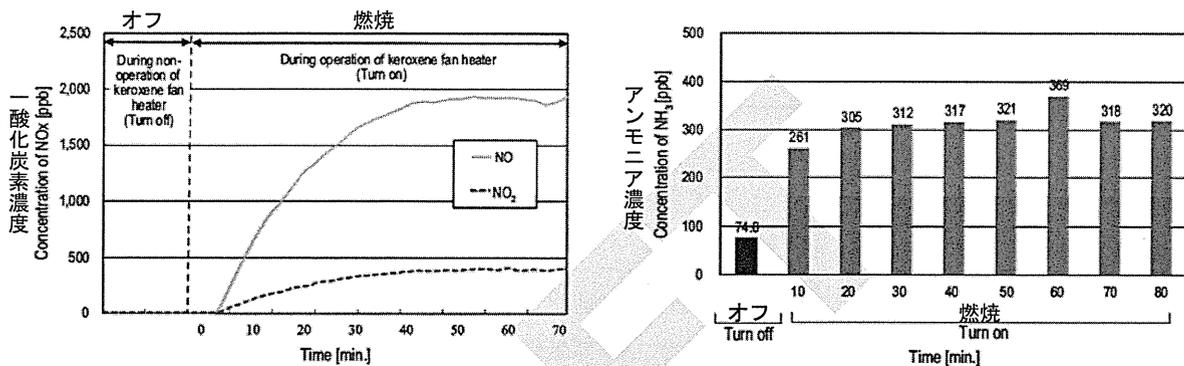


図 5.5.1. 石油ファンヒーターの使用で発生するガス状の汚染物質
(左：窒素酸化物、右：アンモニア)

5.5.2. 調理で発生する PM_{2.5} とガス状物質

調理で発生する煙も PM_{2.5} とガス状物質の混合物です。調理の煙をなるべく吸い込まないようにするためには、換気扇のフードに磁石で固定できる天ぷらガードで延長し、側面にはアルミホイルを磁石やテープで固定すると排気効率が改善します（図 5-14）。



図 5.5.2. 台所の換気扇の排気効率を改善する工夫

5.5.3. 大気中の汚染物質：粉じん（PM_{2.5}）

2009年、環境省は「人の健康を保護する上で維持されることが望ましい基準」として、PM_{2.5}の大気環境中の基準を「1年平均値が15μg/m³以下であり、かつ、1日平均値が35μg/m³以下であること」とされました。さらに、2013年、工業化が進む中国からの越境汚染が社会問題となり、表に示す指針が示されました。環境省は、PM_{2.5}濃度が高い日には、不織布で作られた高性能で、顔の大きさに合った粉じんマスクを着用すること、屋内ではPM_{2.5}を除去できる空気清浄機を使用することを推奨しています。

表 5.5.1. 注意喚起のための大気中のPM_{2.5}の暫定的な指針

レベル	暫定的な指針となる値	行動の目安	備考
	日平均値(μg/m ³)		1時間値(μg/m ³) ※3
II	70 超	不要不急の外出や屋外での長時間の激しい運動をできるだけ減らす。(高感受性者 ※2 においては、体調に応じて、より慎重に行動することが望まれる。)	85 超
I	70 以下	特に行動を制約する必要はないが、高感受性者では健康への影響がみられる可能性があるため、体調の変化に注意する。	85 以下
(環境基準)	35 以下 ※1		

※1 環境基準は環境基本法第16条第1項に基づく人の健康を保護する上で維持されることが望ましい基準。

環境基準の短期基準は日平均値35μg/m³であり、日平均値の年間98パーセンタイル値で評価。

※2 高感受性者は、呼吸器系や循環器系疾患のある者、小児、高齢者等。

※3 暫定的な指針となる値である日平均値を一日の早めの時間帯に判断するための値。

5.5.4. 大気汚染による室内汚染（SO_x，NO_x，黄砂など）

大気汚染の原因となる代表的な粒子状物質はPM_{2.5}や黄砂で、ガス状物質は硫黄酸化物（SO_x）や窒素酸化物（NO_x）です。PM_{2.5}は大気中ではガス状物質とほぼ同じ動きをする上に、容易にリアルタイムモニタリングが出来るので、PM_{2.5}を測定することで大気汚染による室内汚染を推測することが出来ます。

中国からの黄砂やPM_{2.5}が飛来する4月、西九州（長崎、佐賀、福岡）の5ヵ所の事務所で延べ60回にわたり、大気中と室内のPM_{2.5}の濃度を比較した田口らの調査により、屋内のPM_{2.5}の濃度は屋外の約8割であることが分かりました。大気汚染物質が高い日の対策は、窓を開けないこと、ドアの開閉は最小限にすることが大切です。

第Ⅲ部 室内環境にかかわる要因の把握と
快適な環境の実現

第6章 快適な室内環境の実現

DRAFT

第6章 快適な室内環境の実現

6.1. 汚染の少ない建物とは

室内空気汚染は、健康に影響を及ぼす物質が室内空气中に滞留して起きる現象ですから、汚染濃度の低い環境をつくり、維持することが快適な室内環境づくりの当面の目標になります。

話を簡単にするため、吸着・分解など複雑な現象を無視すると、対策の基本は「汚染発生の発生・流入を抑える」と、「換気により速やかに希釈・排出・排除を図る」の二つの方策に尽きると言えるでしょう（図 6.1.1.）。

ここでは、汚染物質発生の源である建物の内装や構造体の選定・設計が室内空気健康性にどのように係わっているかを、環境工学の視点から換気対策と関係づけながら説明して行きます。

（換気に係わる気密性や換気・空調設備については「第6章 6.3. 換気的重要性」、建築法規制については「第4章 室内環境に関わる規制」、カビなど生物汚染については「第6章 4. 高湿度環境への対応」を参照して下さい。）

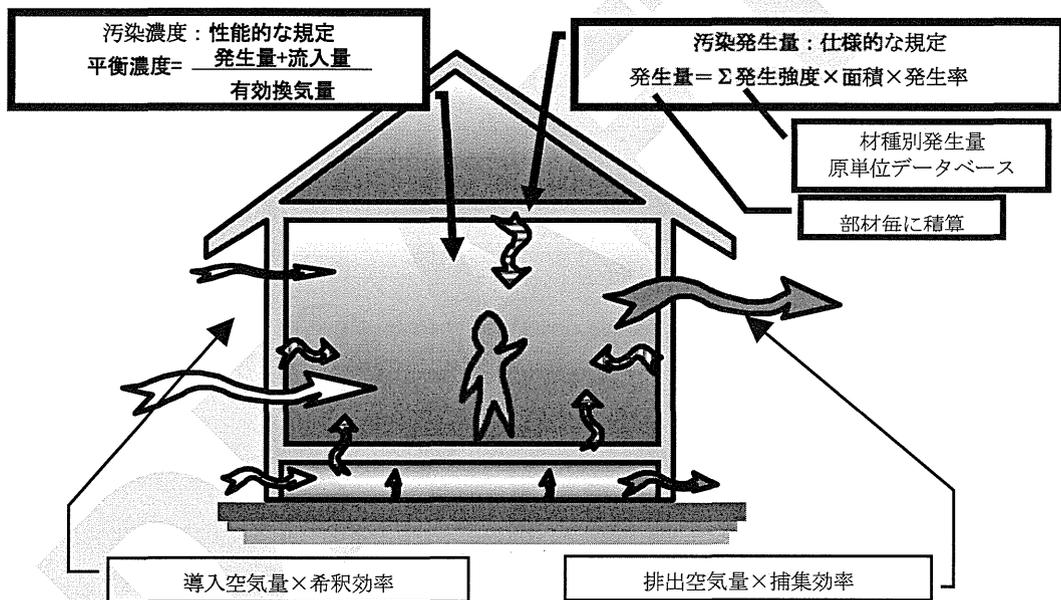


図 6.1.1. 建築における室内空気汚染の経路と指標の基本

従来から建築分野では、外界の大気汚染、ストーブ・調理機器等からの燃焼排気、人体からの呼気などを汚染源として扱い、建築基準法でも換気や通風の手だてが論じられてきました。

しかし、現代の建築物には構造強度、接着、可塑、防虫・防蟻、防腐・防菌・防黴、防炎、防汚など様々な性能・効果を実現するため、多くの薬剤・人工化合物が用いられています。近年ではそれらなしに効率的で快適な建築の足元を支える材料製造、設計施工を行うことは、技術的にもコスト的にも非常に難しくなっています。一方、家具や電気機器、装飾品など持込み品からの発生も日常化して汚染発生を完全に断つことが難しくなる中、発生源や発生メカニズムを踏まえて、定量的・科学的に健康影響を防ぐ方法を考えていく必要が高まっています。

一方、省エネルギー対策の一環として 1980 年代から先進諸国で進められた建築物の過激な換気削減策等が建築物内の居住者に及ぼす健康影響が「シックビル症候群（Sick Building Syndrome : SBS）」として顕在化したことも忘れてはいけません。わが国でも当時の調査研究により、微粒子

や気体の形で室内空気中に様々な物質が検出されて、その対応が社会的な課題となりました。

しかし幸い、わが国の一般建築物（公共性が高い特定用途で延床面積が一定以上の建築物が対象）においては建築物衛生法により室内の二酸化炭素濃度を 1000ppm 以下に保つことが定められ、行き過ぎた換気量削減に歯止めがかけられていました。本来、二酸化炭素濃度は全体的な空気の汚れの総合指標として採用された項目で、今日のシックハウス防止を意識したものではなかったのですが、結果的に大型施設の空気環境の維持に効果を挙げました。

ところが、この規制が適用されなかった住宅においては、省エネルギー化への動きが自然換気の減少という形で直撃し、世界にも例を見ないシックハウス問題の発生を許してしまいました。

日本のシックハウス問題は、欧米諸国とは異なる固有の背景の中で生じています。我が国の伝統的な住まいでは、多雨で高温多湿な気候にあわせ、冬の寒さより夏の暑さ対策を旨とした開放的な構造、天井裏・床下の大きな緩衝空間、庇が深く大きな開口部を備えた特有の様式が培われましたが、そこには「気密」の発想が欠けていました。

意図して設けた隙間ではないので詳細は明らかではありませんが、昭和 30～40 年代の隙間量(C 値:「床面積当たりの相当開口面積」で評価します)は、平均して近年建つ住宅の数倍あるいはそれ以上あったと考えられています。1980 年代の石油危機以降、省エネルギー化をめざして暖冷房の効率と快適性の改善を図るとともに、断熱材・構造躯体での結露（躯体内で生じるため、室内表面での結露と区別して「内部結露」と呼ばれる）を防ぐため、シート等を用いた気密・防湿の強化が急速に進行しました。当然、汚染物質希釈に一定の効果があった隙間換気などが確保されなくなるなか、世帯人数の減少や共働きの増加、生活時間の変化、外界環境の劣化等が引き金となって、通風換気の習慣が失われていったことも汚染物質の滞留を加速しました。

このような「化学物質発生の増大」と「換気量の減少」とが相乗的に作用し、わが国においても特に住宅を中心にシックハウスの危険が高まったと考えられています（図 6.1.2. 参照）。

以下、本章の冒頭に示した「汚染発生の発生・流入を抑える」対策に係る主な発生源とその対策について述べていきます。

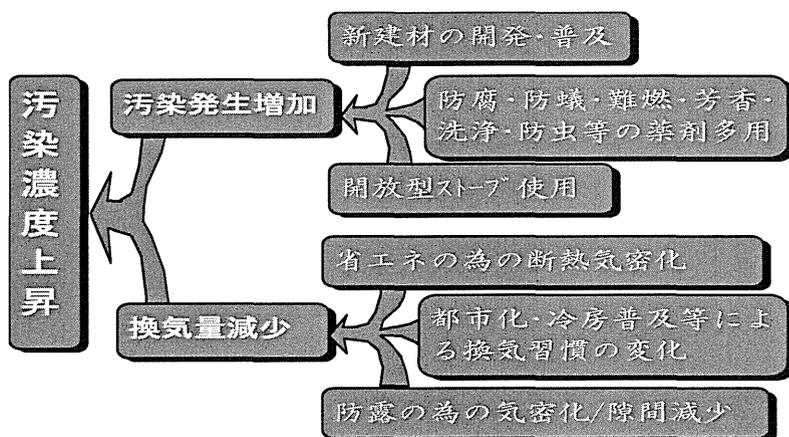


図 6.1.2. 住宅におけるシックハウス問題発生の構図

6.1.1. 発生源と移動経路

一般に建築物は、外界からの気象（熱湿気、風圧、日射等）、害虫獣、騒音、犯罪などのストレスに対抗する屋根・外壁・外部建具などの外装と、室内の空間を包みこんで生活空間を形成・維持する天井面・壁面・床面などの内装、荷重や外力を負担し外装や室内空間を支持する木材やコンクリートなどの構造躯体、そして給排水・衛生・調理や暖冷房・給湯・照明等に係わる住宅設備により構成されています。さらに、外観からは識別できない断熱材、防水材、気密材、配線・配管材のほか、塗料、シーリング材、接着剤をはじめとする様々な素材にも本来機能の実現と耐久性・生産

性改善のために薬剤が使われその影響が居住空間に現れます。薬剤・成分と健康影響の詳細については第5章で詳しく触れていますので、ここでは部位・用途の観点から発生と移動メカニズムを分類して表6.1.1.に示しました。

汚染物質の発生部位が居住者の視野に入っていれば分かりやすいのですが、現れていない構造躯体内部や補助資材からの汚染は、施工時期や移行経路・メカニズムに影響されるため、発見が困難なうえ、対応方策も一様ではなく注意が必要です。従って、汚染物質の発生・移動（流入）を考え、対策を練るには、部位別に加えて、発生に係る行為の段階別（設計/施工/居住/災害時/改修時など）、移動経路・要因別（材料選択/養生不足等の施工ミス/高温高湿等による加速/暖冷房・換気設備による圧力分布/建具性能/気密性など）などを把握しておかなくてはなりません。

以下、表6.1.1.を参照しながら、発生メカニズムや対策に係る特徴について述べます。

表6.1.1. 部位・用途と発生・移動メカニズム

発生部位	主な用途・目的	関連する発生移行性状と配慮事項
建物内装	天井材 壁材(壁紙、左官材、室内塗料) 床材(木質系、ビニル系)	室内表面に敷設され直接放散されるが、検出や原因追究は比較的容易。 一部の低沸点化合物は表面から埃などに移行する可能性がある 基材と共に表面膜材やワックスに要注意 安全性配慮等にバラつきが大きい
構造躯体 (天井裏等)	軸組み木材 (柱、梁、土台等) 合板・集成材・木質繊維板 断熱材 コンクリート 防蟻剤、防腐剤	躯体内から室内に侵入する可能性があるが移行経路・発生源追求は難しい 接着剤はユリア系からフェノール系等に移行している 水分発生源として要注意 金網・材種選別など物理対策が模索中
建物外装	塗装(溶剤・樹脂・添加剤等) 防水材(溶剤・樹脂等)	外気経由や近隣汚染にも注意が必要 陸屋根、ベランダ防水等
補助資材 (室内、屋外)	接着剤 シーリング材	VOC 放散規格が設定され、VOC フリー材が普及してきた。
生活用品 (室内)	殺虫剤、芳香剤 家電、家具 開放型燃焼器具、喫煙 カーテン、衣服、印刷物	室内に直接放散されるため影響が大きい 海外未対応品や農薬に要注意 持ち込まないことが原則 有害物質の残留(吸脱着)等に要注意

6.1.2. 汚染物質の放散と対策の基本的考え方

図6.1.3.に建築基準法策定に際して作成した、ホルムアルデヒド発生と被害に係る建築的要因の連鎖を示します。ホルムアルデヒドは当時最も被害が大きく、国土交通省の実態調査(2001年)においても厚生労働省の濃度指針値(0.08ppm)を25%以上の住宅で超過していた代表的汚染物質です。

左端の被曝被害から右に向かって、係わっている指標・要因と、その制御のための物理的条件(対策)が示され、法的対応を想定したポイントは破線で囲まれた記述と矢印で記しました。ここでは時間経過や発生部位の詳細に立ち入ることなく、住宅全体の定常(平衡)状況を簡略に表現しています。室内濃度を抑えるには、この連鎖をどこかで断ち切ることが必要です。本章の冒頭に示した汚染発

生の抑制と汚染排出の確保に加えて、(発生量当たりの)室容積を増やす、或いは吸着(分解)を促すなどの手段が挙げられています。前者は建物自体を改造(設計変更)しなくてはなりませんし、後者は居住者による機器や部材の導入によらなければならないため建築基準法では規制対象にはできません。さらに汚染発生源対策から右に追うと、「使用面積」「発生強度」に加えて「他の発生源」「隣室からの流入」が挙げられています。「他の発生源」としては開放型燃焼(石油ストーブや携帯型ガスコンロ、喫煙、厨房からの廃ガス漏気)、「隣室からの流入」としては外気や構造体内、居住していない部屋からの流入などを想定しています。前者に建築基準法が介入することは難しいと判断する一方、後者に対しては「天井裏等」という形で規制をかけることとしています。

なお、建築基準法では使用面積算定の煩雑さを避けるため、表面積が全体の1/10以下となる線状或いは点状の材は規制対象としないので、設計図から発生源を探す時には注意が必要です。

シックハウス対策の歴史の中では、平成11年制定の「住宅の品質確保の促進等に関する法律」(以後「住宅品確法」)が当初、表面材に限った壁紙とその下地材(一般に石膏ボードまたは合板)のみを対象とする表面的な評価からスタートしました。しかし、2003年7月の建築基準法改正に先立って国土交通省が行った研究プロジェクト(国土交通技術総合研究開発プロジェクト「シックハウス対策技術開発(2001～2003年)」等)において、この方法ではホルムアルデヒド室内濃度の変化を評価できないことが指摘されました。現行の建築基準法・住宅品確法は、表面材だけでなく構造体内部も含めて建物全体の汚染源を総合的に考慮するよう改められています。

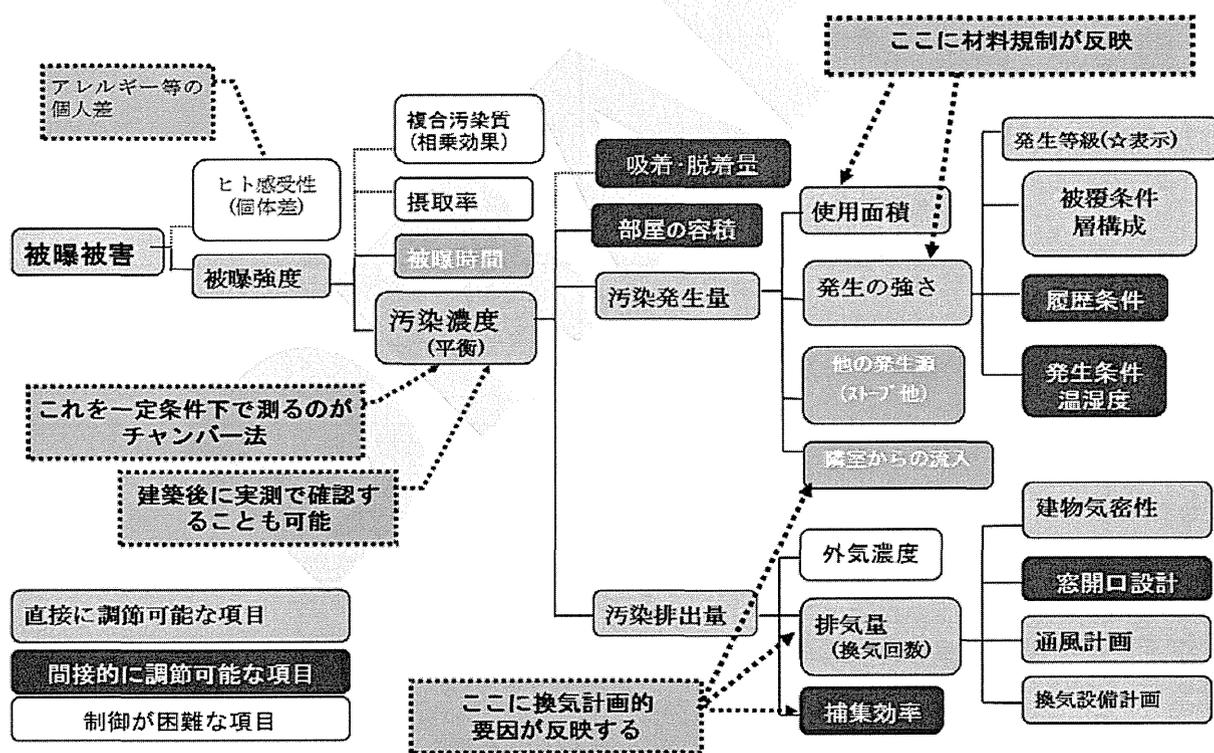


図 6.1.3. ホルムアルデヒド発生と被害に係る要因の連鎖

6.1.3. 内装材からの放散

室内に直接接する部材は「内装」と呼ばれ、室内との位置関係と機能から、「天井」「壁」「床」に大別することができます。内装材は多くの住宅において基本的な汚染発生源ですから、表 6-1

の中でも非常に重要な項目です。

「天井」は、大きな強度を要しない、下地と表面材からなる比較的単純な構造の部位です。一般に人体が触れたり、物理的に損耗する機会は少なく、発生した汚染物質が呼吸器に入る危険も比較的小さい部位と言えます。ただ、近年は照明器具をはじめとする様々な機材が取り付けられるなど機能が多様化してきています。なかでも暖冷房や換気関係の設備・開口が設けられる場合には、清掃点検が難しくなったり高温部位が生じるなど管理が難しくなります。

軽量性、吸音性、耐火性、断熱性などが要求され、クロス（ビニール・紙・布）、木質系（ムク・合板・繊維板）、無機質系（ロックウール板・石膏ボード）などの乾式工法、漆喰・モルタル・塗装・左官などの湿式工法があります。乾式では素材からの放散に加えて接着剤が、湿式では溶剤等が放散源となる場合があります。

「壁」は外観も多様ですが、それ以上に様々な構造・材質と機能を持つ部位です。住宅の場合、構造体や配管・配線が内部に収められているほか、断熱・気密・遮音・建具の取付下地などの機能が限られた空間に圧縮されているため、表面から内部がどうなっているかは専門家でも分かり難いものです。しかも気密と配管・配線、構造材と断熱材などは空間の取り合いとなって本来の機能を果たせない場合がしばしば生じます。また、模様替えなどで新たな汚染が生じる機会の多い部位でもあるので注意が必要です。クロス（壁紙）、塗壁、木、タイルなどが主な素材です。

その層構成は「木造軸組構法」「枠組み壁構法（ツーバイフォー）」「鉄筋コンクリート構法」などの構法・構造形式（その他にも鉄骨構造、ログハウス、組積造などがあります）によって異なるため、設計時・居住時の対策にそれぞれ配慮が必要です（第6章 4. 高湿度環境への対応 参照）。

「床」は生活に最も密着した部位です。室内家具・生活活動の荷重を支え、移動・行動に必要な安全性・快適性を保つことが第一に求められるので、強固な構造と表面の耐久性・衛生性のほか、遮音性や断熱性、滑りにくさなどを実現するための材料選択と設計がされています。なお、壁にも共通の課題ですが、幼児・小児が直接に接する機会が多くなるため、空気を介した摂取だけでなく、表面から口への摂取にも配慮が必要です。

近年の主流は木質フローリングですが、合成樹脂シート、畳、カーペット、コルクなども多く使われています。

放散物質の部位別割合は室の形状や面積規模次第で様々ですが、図 6.1.4. はある実態調査（2005、三田村）から、部位ごとに放散量を推定（測定した放散強度と放散面積の積）した結果です。ホルムアルデヒドでは過半が床から発生しているのに対し、トルエンでは壁からが過半を占めるなど大きな差異が認められるなど一般的な状況を示しています。

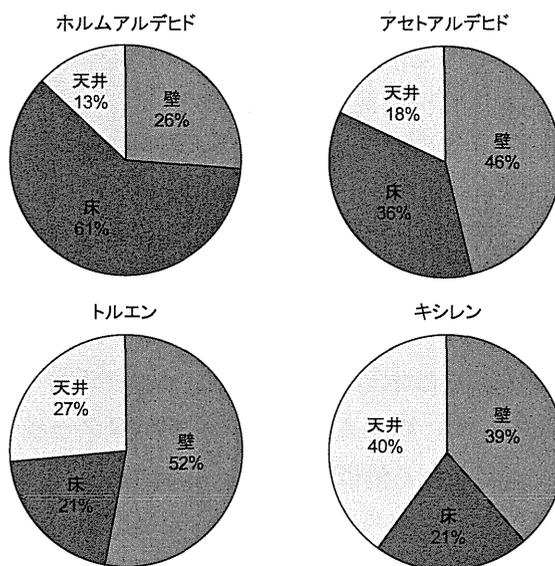


図 6.1.4. 物質別部位別の発生量の一例

6.1.4. (天井裏等の) 構造部材からの放散

表 6.1.1. に示した「構造躯体（天井裏等）」に分類されているのは、室内に面していない壁体内

部や床下、小屋裏等の空間から汚染物質が侵入してくる状況です。住宅の外装と内装の狭間に生じてしまう床下・壁内・天井裏や下屋等は、意図的に作られたものではありませんからしばしば不整形な納まりの悪い空間です。内装材の裏面やコンセント開口周りには内部結露防止のために気密層施工が一般化していますし、一部では相当隙間面積（床面積当たりの隙間面積）の小ささを競う風潮さえありますが、完全に気密にすることはできません。我が国の住宅の気密性は近年急速に上昇していますが、目に見えない隙間の封鎖を担保することは難しいことから、リスク管理上は躯体内で発生した汚染物質がこれら様々な経路を通ってある程度は室内に流入することを前提に発生源対策を講じておくことが合理的です。建築基準法では、このルールを厳格に適用して微量でも健康影響が顕著な防蟻剤（床下空間に散布）のクロルピリホスに対しては使用禁止とする一方、ホルムアルデヒドについては、気密層や通気止めが適切に設けられ、或いは換気設備などにより圧力差を設けて室内への流入が阻止できる場合には材料規制を免れることができる例外規定を設けるなどして運用しています。

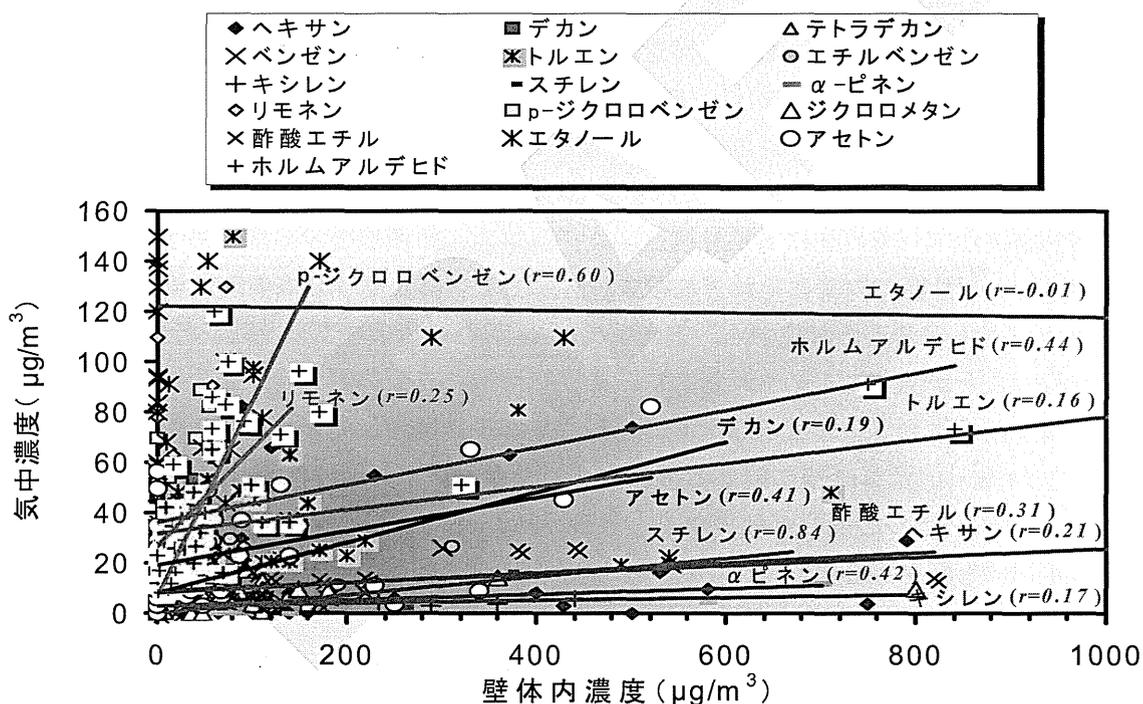


図 6.1.5. 室内濃度と壁内濃度の関係 (2004 三田村)

図 6.1.5. は木造住宅において室内と近傍の壁体内の空気をサンプリングし物質種ごとに比較したものです。ホルムアルデヒドやエタノールのように測定場所に偏りの少ない物質がある一方、接着剤に含まれる酢酸エチル、発泡プラスチック系断熱材のスチレン、木質材のαピネンのように壁体内の方が濃度の高い物質や、殺虫剤に使われるpジクロロベンゼンのように室内の方が高い物質も見られます。このように木造住宅では、躯体内での発生と室内への移行が疑われる場合が多いのですが、建物構造形式などによって様相は一律ではありません。

具体的な発生源としては、木質の合板、集成材、パーティクルボードなどのほか、接着剤、防蟻剤、防腐剤などが主なものですが、近年は躯体内にエアコンを設けたり、躯体内空間を蓄熱・送風・集熱などに活用しようとする試みも見られ事態を複雑にしています。これらは省エネルギーや温熱環境改善には効果がありますが、衛生管理上の課題を生じさせない適切な清掃・消毒などの配慮が必要になる場合があります。