

住宅における室内空気質に起因する健康影響

小峯 裕己 (千葉工業大学教授)

－室内空気汚染とカビ・ダニ等の微生物汚染－

キーワード：1) 室内空気汚染, 2) ホルムアルデヒド, 3) VOC, 4) 微生物汚染, 5) 健康影響, 6) アレルギー, 7) 空気清浄器, 8) 住まい方, 9) 使用建材, 10) 換気

1. 気密住宅における室内空気汚染と健康影響

1.1 住宅室内で発生する空気汚染質^{文1)文2)文3)}

表1-1に、一般的な住宅を想定した場合の室内空気汚染源、及び、発生物質の一覧を示す。従来から指摘されている開放型燃焼器具、在室者及び喫煙等による汚染質の他、近年、社会的な問題となっている揮発性有機化合物が、尿素系やフェノール系のアルデヒド合成樹脂接着剤を使用した建材、日常生活で使用する機会が多い掃除用洗剤（床磨き、家具磨き）、ペンキ、殺虫剤、接着剤などの家庭用品・趣味材料やエアロゾルスプレーの形態で日常的に使用する調髪剤等から放出されている。

現在、日常的な暮らしや産業の中で使われている化学物質は約7万種類を超え、毎年約千種類ずつ増加し続けているといわれている。化学物質なしでは今日の生活は成り立たないと言っても過言でない状況である。しかしながら、1986年に使用が禁止された土台の防蟻処理用薬剤クロルデンに代表されるように、薬剤効果の観点のみから積極的に使用され、後になって長期低濃度曝露^{ばくろ}によ

る人体影響が解明され、大きな社会的問題となるケースが多い。

居住者に対して十分な情報が与えられておらず、居住者の意志で室内空気汚染発生源を排除する事が事実上不可能な状況であると言っても良い。少なくとも、建築材料に関しては、設計者や施工者は、製造工程や施工段階で使用する化学物質の性状を正しく把握して、室内空気汚染発生源となる恐れが少ないものを選択して使用するよう心掛けるべきであろう。

1.2 近年問題となっている室内空気汚染質とその健康影響

従来問題とされていた室内空気汚染は、開放型燃焼器具の不完全燃焼に伴って発生する高濃度の一酸化炭素中毒などであり、高濃度短期曝露に起因する中毒事故が主であった。

しかしながら、住宅の気密性能が向上して室内において少量しか発生しない空気汚染質でも、人体影響が及ぶ

表1-1 一般的な住宅における室内空気汚染源と発生する汚染質（文1から3に基づいて作成）

発生源		発生する汚染質	
屋外	工場などの固定発生源	硫酸化合物、オゾン、浮遊粉塵、一酸化炭素、炭化水素類、二酸化炭素、窒素酸化物、臭気	
	自動車	一酸化炭素、鉛、窒素酸化物	
	土壌	ラドン、浮遊微生物（細菌、真菌）	
室内	建材	コンクリート、石膏ボード	ラドン
		パーティクルボード、ポリウッド	ホルムアルデヒド
		断熱材	ホルムアルデヒド、ガラス繊維
		耐火被覆材	アスベスト繊維
		ペンキ	有機溶剤（ベンゼン、トルエンなど）、鉛
		内装材、接着剤、ビニールクロス	カビ、ダニ、ホルムアルデヒド、揮発性有機化合物
	器具、設備など	カーペット・カーテン	気化水銀、ホルムアルデヒド、細菌・真菌、カビ・ダニ、粉塵
		暖房器具、厨房器具等の燃焼器具	二酸化炭素、一酸化炭素、窒素酸化物、ホルムアルデヒド、浮遊粉塵（煙粒子、燃焼核）、炭化水素類、水蒸気
		加湿器	浮遊微生物（細菌、真菌）
		事務機器	アンモニア、オゾン、溶剤類
	在室者	地下水利用の給水設備	ラドン
		新陳代謝等	二酸化炭素、水蒸気、体臭、アンモニア
	人の生活行為、家庭用品	生態活動	微生物（フケ、細菌）
人・動物の代謝		感染源、アレルゲン、アンモニア、有機ガス	
清掃（掃除機使用）		粉塵、細菌・真菌	
喫煙		一酸化炭素、タバコ煙（タール、ニコチン、その他）、窒素酸化物、アンモニア、ホルムアルデヒド、炭化水素類、各種発癌物質、臭気	
スプレー		噴射剤（フッ化炭化水素）、プロパン、亜硝酸、塩化メチレン	
掃除用洗剤（家具用、床用など）		アンモニア、塩素、有機化合物	
塗装		重金属、ベンゼン、トルエン	
消臭剤、殺菌剤		石炭酸、クレゾール等、有機化合物	
殺虫剤	クロルデン、五塩化フェノール等、有機化合物		

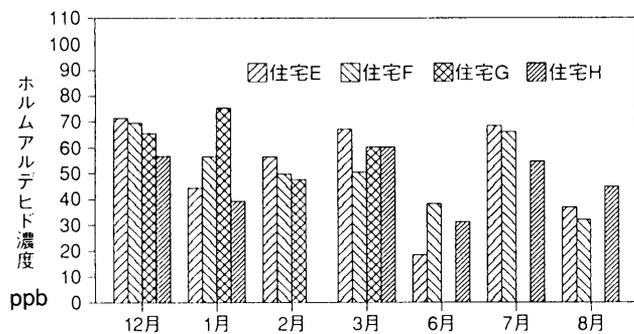
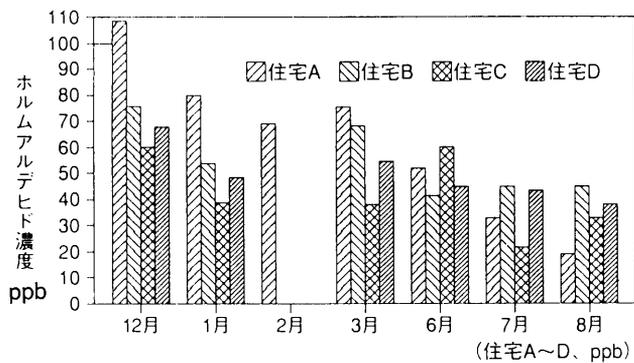


図1-2 高断熱・高気密住宅室内におけるホルムアルデヒド濃度の測定結果 (池田らによる^{文3)})

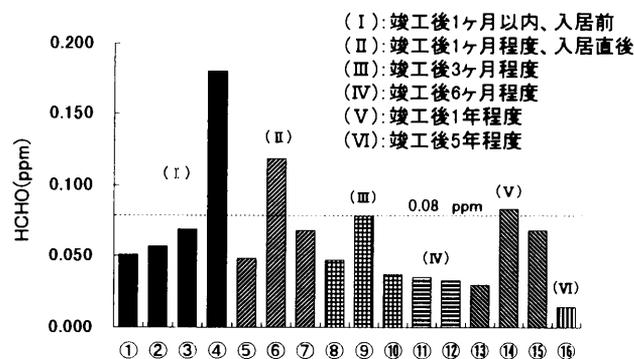


図1-3 新築・既築の集合住宅16戸の室内におけるホルムアルデヒド濃度の測定 (木村らによる^{文6)})

ている住宅、喫煙者がいる住宅などでは濃度が高かった。

アメリカの一般的な住宅で0.06~1.67ppm, モービルハウスと呼ばれ, 合板が多量に使用されている移動可能な簡易住宅では0.03~1.60ppm, オランダの住宅では0.03~1.50ppm等の測定結果が報告されている。

幸いなことに, 我が国における汚染レベルは, これら諸外国の濃度に比べ低い値であったが, 新築直後の住宅等では上述のガイドラインを上廻るものがあり, 何らかの対応を迫られている。

(4) 汚染防止対策

重要な対策の1つとして, 汚染の元凶である接着剤の改良が不可欠である。最近, 我が国でも HCHO を殆ど使用しない接着剤の開発が進み, このような接着剤を用いた合板が市販され始めている。1980年, JAS (日本農林規格) では, 合板や特殊合板のホルムアルデヒド放

散に対する基準を規定し, F1からF3の区分を表示するよう義務付けている。50mm×150mmの合板10枚から放散されるホルムアルデヒドを蒸留水で捕集した場合の水溶液の濃度が平均0.5mg/l以下, 最大0.7mg/l以下のものをF1, 10倍の濃度のものをF2, 20倍の濃度のものをF3と称している。しかしながら, 住宅で使用される合板は, 放散量が少ないF1でないことが多い。

対策として, 次のようなことが考えられる。

- ① 住宅室内で使用される板は, 出来るだけ無垢材を使用すること, もしくは, 上述のような合板を使用する。
- ② 高温・高湿の室内空気は, HCHOの放出量を増加させるので, 適当な温湿度を維持する必要がある。但し, 入居前の段階では, 逆に温度を高め建材から多量のHCHOを放出し尽くすbake outも対策として考えられており, 現在, その効果を研究中である。
- ③ Loading factor (材料の表面積と室内気積の比率) を考慮した設計・施工として, 発生源となる建材の表面積を抑制する。
- ④ 換気に留意して, 施工中からHCHOを発生と同時に, 迅速に屋外に排出する。
- ⑤ 工業製品の場合, 倉庫で寝かせ発生強度が低下した製品を用い, 製造直後のものを使用しない。

1.2.2 揮発性有機化合物 (VOC)^{文2)文4)文7)}

(1) 性状と発生源

揮発性有機化合物とは数十~数百種類の物質を包含する語句で, 脂肪族, 芳香族炭化水素, 塩素化炭化水素, 各種ケトン類, アルデヒド類等が含まれている。ベンゼンやテトラクロロエチレンなどのうちのいくつかは, 発ガン性物質である。性質も毒性も様々であるが, 次のような共通する性質がある。

- ① 常温で液体であり揮発しやすいので, 空気中に含まれるガスの状態で肺に吸引され, 血液に吸収される。
- ② 脂肪溶解性があるので, 皮膚や目からも吸収される。
- ③ 引火性が強いものもある。

表1-4に, 建材に含まれるVOCや事務所室内におけるVOC発生源を示す。物質自体多種類にわたるため, 発生源も多岐にわたっているが, 大別すると家庭用品と建材に分類できよう。建築材料の内, 石膏ボード, 鈹物綿, ガラス綿, セルロース綿などからは製造過程で使用する接着剤からVOCが放散されている。また, ビニールクロス等に添加されている難燃剤・可塑剤, ビニールクロス接着剤等からも, VOCがかなり放散されている。なお, 世界保健機関 (WHO) では有機化合物の沸点を基に, 次のような定義を行っている。

沸点 0~100℃	超揮発性有機化合物 (VVOC)
100~260℃	揮発性有機化合物 (VOC)
260~400℃	半揮発性有機化合物 (SVOC)
380℃以上	粒子状有機化合物 (POC)

表1-4 建材に含まれるVOCや事務所室内におけるVOC発生源

材料	有害有機化合物
木材	a-ピネン、b-ピネン、リモネン
墨	ジメチルジサルファイト、カプロンアルヒド
木工用接着剤	酢酸メチル、酢酸ビニル、酢酸エチル、アセトアルデヒド、エタノール、イソプロピルアルコール
ラッカー	トルエン、キシレン、酢酸エチル、イソプロピルアルコール、n-ブタノール
ニス(水性)	アセトン、イソプロピルアルコール、n-ブタノール、1-メトキシ-2-プロパノール
ペイント	トルエン、エチルトルエン、キシレン、トリメチルベンゼン、n-ノナン、n-デカン、n-ウンデカン
床ワックス	1,4-ジエチルベンゼン、ブチルベンゼン、デカン、1,2,5-トリメチルベンゼン、1-ノナン、エチルベンゼン、キシレン、リモネン
カーペット洗剤	芳香剤をもつ水溶液
天井洗剤	リモネン、p-シメン、ウンデカン、a-ピネン
セラミック床の洗剤	リモネン、p-シメン
石の床の洗剤	ヘプタン、ウンデカン、ノナン、デカン
机の洗剤	p-シメン、リモネン、ウンデカン
ガラス用洗剤	ヘプタン、アンモニア
ペンキの用洗剤	トルエン、キシレン、トリメチルベンゼン、ノナン、デカン
水性ニスの溶剤	アセトン、ISO-プロピレン、n-ブタノール
ラッカーの溶剤	トルエン、キシレン、酢酸ブチル
ビニルクロスの可塑剤	フタル酸エステル系(DBP、DOP)、リン酸トリクレシル(TCPC)
壁紙類の難燃加工材	リン酸エステル系(TBP、TCEP)
壁紙類の接着剤溶剤	酢酸メチル、n-ブタノール、トルエン、キシレン
木工用接着剤溶剤	酢酸メチル、酢酸ビニル、酢酸エチル
木材防腐剤(クレオソト)	1,1,1-トリクロロエタントリクロロエチレン、ハークレン、トルエン、キシレン、n-ノナン、デカン、インデンナフタレン、メチルナフタレン
量の防虫加工剤	ナフタリン、フェニチオン、フェニトロチオン(スミチオン)、ダイアジノン
コルク板	トルエン、キシレン、ナフタレン、バレアルデヒド、a-ピネン、ジクロロベンゼン、ホルムアルデヒド
壁紙(塩化ビニル)	酢酸ブチル、n-ブタノール、トルエン、キシレン

また、ガスクロマトグラフィーで分離定量された種々のVOCの総量をTVOCと呼び、一般的にはTVOCでVOCの濃度等を表示することが多い。

(2) 健康影響と許容濃度

人体が一般環境下で曝露されるVOC濃度は極めて低濃度であり、且つ、多種類の揮発性有機化合物による複合汚染曝露であるため、人に対する影響も解明し難いとされていたが、近年、臨床環境医学の発達により、低濃度曝露による人体影響も明らかになりつつある。

VOCの影響は、中枢神経、特に免疫系や他の器官系に対して二次的影響を及ぼす大脳辺縁系に対するものであるといわれている。具体的には、記憶困難、集中力欠如、下痢、便秘等の自律神経系の機能異常、また、恐怖感、孤独感の助長、肩凝り、冷え症、頭痛、めまい、吐き気、疲労感等の症状があると報告されている。

表1-5に、MolhaveによるTVOC濃度と人への影

表1-5 TVOC濃度と人への影響の関係

TVOC濃度	刺激と不快感
<0.20	刺激も不快感も生じない
0.20~3.0	他の曝露が互いに影響する場合、刺激や不快感が生じる可能性がある
3.0~25	他の曝露が互いに影響する場合、頭痛や暴露影響が生じる可能性がある
>25	頭痛が生じるよりも神経毒性影響の可能性はある

TOVC濃度の単位はmg/m³

響の関係²⁸⁾を示す。0.2mg/m³程度の濃度では影響が現れないが、他の空気汚染質との相互影響が考えられる場合には0.2~3.0mg/m³の範囲で、刺激や不快感を生じる。3.0mg/m³以上になると常に影響があり、25mg/m³になると毒性影響を生じるとされている。

また、Hundellらは厳重なスクリーニングテストを通過した被験者を用いた実験に基づいて、6.0mg/m³で刺激の増加、3.0mg/m³になると集中力の低下が認められることを明らかにしている²⁹⁾。

これらのように、人体に対する影響が明らかになるにつれ、WHO等により一般室内環境を対象としたガイドラインが提案され始めている。表1-6に、WHO、オーストラリア、北欧のガイドラインを示す。WHOのガイドラインの場合、有機化合物の族性別濃度とTVOC濃度を別個に定めているほか、個々の化合物濃度は、それらが属する族性の全濃度の50%未満、かつ、TVOC濃度の10%未満であること、住宅の竣工後の時間により許容値を緩和していること等、細部に及んでいる。

我が国では、労働衛生の分野で有害な有機化合物毎の管理濃度の概念が導入されているが、住宅内基準は未だ設定されていない。

表1-6 VOC濃度の基準値に関する提案

	VOCの種類	濃度(μg/m ³)	備考
WHO	アルカン族	100	個々の化合物の濃度は、それらが属する族性の全濃度の50%を超えてはならないし、TVOC濃度の10%を超えてもならない。
	芳香族炭化水素	50	
	テルペン	30	
	ハロ-カーボン	30	
	エステル	20	
	アルデヒドケトン(ホルムアルデヒドを除く)	20	
	その他	50	
	VOCsの総計(目標値)	300	
オーストラリア 北欧建築物規制協会	TVOC(トルエン換算)	500	一般居住環境 オフィス 学校
	TVOC(トルエン換算)	50-400	
	TVOC(トルエン換算)	50-1300	
	TVOC(トルエン換算)	50-300	
	TVOC	200	AQ1
		500	AQ2

(3) 汚染レベルの現状

海外では1980年代後半から住宅内の実態調査が行われている。例えば、図1-4にアメリカ合衆国における測定結果²²⁾を示す。アメリカ合衆国ではOak Ridge National Laboratoryが40軒の住宅室内におけるVOC濃度の測定を夏季と冬季に行っており、20~150種類のVOCが検出されたこと、外気濃度より室内濃度が高いことなどを1984年発表の論文で明らかにしている。ドイツでは500軒の住宅を対象とした42種類のVOCの測定結果が1985年に発表¹⁰⁾されている。イタリアでは北イタリアの14軒の住宅を対象とした35種類のVOCの測定結果を1986年に発表¹¹⁾している。

VOC濃度が報告されている事例の場合、前述のWHO

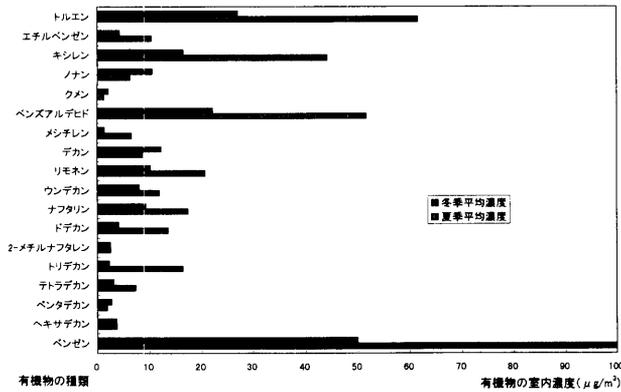


図1-4 アメリカの40軒の住宅における VOC 濃度の測定結果^{文2)}

のガイドラインを上回っていた。

我が国では1990年代に入ってから測定結果が報告され始めているが、調査例は非常に少ない。堀らが都内の事務所ビルにおける調査結果を1990年に報告^{文12)}しているが、この報告が我が国における最初の報告と思われる。その後、小関らの1994年の報告^{文13)}、松村らの1992年からの複数の報告^{文14)}などが続いている。最近では、図1-5に示す新築・既築集合住宅16戸を対象とした木村らによる測定^{文6)}を挙げることが出来る。竣工直後、竣工後1ヶ月の住宅など、目標値の適応外の住宅も含まれているが、WHOの提案する目標値を満足する住宅は、16戸中僅か1戸に過ぎなかった。竣工後1年経過した住宅3戸の内、2戸が目標値を超えており、5年経過後の住戸も室内のリフォーム実施により高い濃度を示していた。

(4) 汚染防止対策

基本的には、ホルムアルデヒドに対する対策と同様であるが、建材以外の発生源が室内に多数存在するため、また、発生する VOC も多種類に及ぶため、対策が絞り切れていないのが実状であろう。現在の段階で明らかにされている対策は次の通りである。

- ① 水性ペイントなど揮発性有機化合物の溶剤を使用しない塗料を使用する。
- ② 室内での喫煙、趣味の塗装作業など、VOC の発生につながる行動を控える。

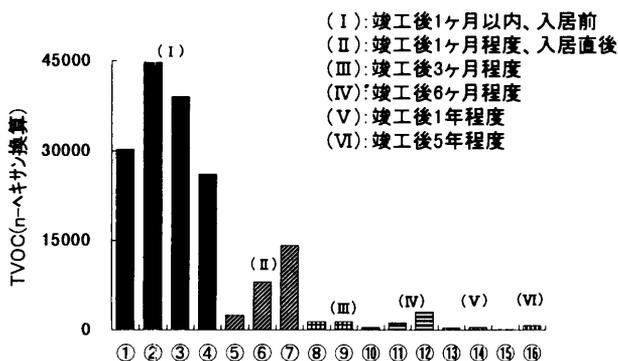


図1-5 新築・既築の集合住宅16戸の室内における TVOC 濃度の測定 (木村らによる^{文6)})

- ③ Loading factor を考慮した設計・施工とする。
- ④ 住宅竣工後一定期間入居をさせないで、窓などを開放する自然換気、機械換気設備が設置されている場合には設備の運転等に努め、VOC を放散させた後、入居させる。
- ⑤ 入居前の段階では、室温を高め建材から多量のVOC を放出し尽くす bake out も対策として考えられる。
- ⑥ 日常使用する家庭用品に対して注意を払い、VOC 発生につながる不要な生活行為を避ける。

1.3 化学物質過敏症^{文4)文15)}

1950年代、アメリカ・シカゴの開業医セロン・G・ランドルフ博士は、ごく微量の化学物質に起因する様々なアレルギー様の症状を研究し、「化学物質過敏症」と命名した。同博士は、多数の患者の診察結果から大気汚染や室内空気汚染、食品の残留農薬などにより、微量の化学物質を長期間体内摂取すると、アレルギーに似た症状を示したり、情緒不安、神経症、ハイパーアクション(行動過多)に陥ることを明らかにした。その後設立された臨床環境医学会では、化学物質と健康との関係を「トータル・ボディーロード(身体が受け入れられる容量限界)」という言葉で説明している。すなわち、農薬、大気汚染・食品添加物・建材・化粧品・日用品等に含まれている化学物質の量は微量ではあるものの、日常身近にあれば長期間の内には体内に蓄積した量がトータル・ボディーロードを超えてしまう。このような身体は、どんなに微量でも、化学物質に対して過剰なほどに敏感になり、何かの機会ごとにアレルギー症状を呈してしまうと考えられている。化学物質過敏症の治療を行っているアメリカ・グラス環境健康センターの治療法は、患者の周辺から原因物質を取り除いた環境下で生活を行うことである。我々から考えると極端すぎるほどであり、化学物質・カビ・花粉を除去するフィルター付き空気清浄機が取り付けられ、珪藻引きの壁、タイル床、スチール家具で構成されたクリーンハウスで寝起きをして、清浄機で処理した水で風呂やシャワーを浴び、食べ物や衣服も無農薬有機農法で生産されたものに限定するという徹底ぶりである。このような治療法により、多くの患者の症状が改善されているという。

残念ながら、我が国では「臨床環境医学」の歴史、化学物質過敏症に対する社会的な認識ともに浅いため、身の回りにある化学物質に対して、たいした注意も払わずに極めて膨大な種類の化学物質を無造作に使用している。我が国より早く多量の化学物質を使用していたアメリカでは、化学物質の普及に伴う健康障害が日本より何十年も早くから顕在化しており、我が国でも今後、化学物質過敏症の患者が激増する恐れがある。

2. 微生物汚染と健康影響

2.1 室内空気汚染と微生物汚染の違い

上述のガス状物質などによる室内空気汚染と微生物汚染との間には、次のような相違点が見出せる。

- ① 室内に特定の発生源があるわけでないにもかかわらず、必ず生息している（ある汚染レベルにある）カビは微生物の1つとして自然環境中のあらゆるところに生息しており、カビ胞子は地球上のどこにも飛散し、無菌施設以外の室内に浮遊している。
一方、ダニも人間が生活する限り、必ずその場所に生息しているといわれている。
- ② 室内温熱環境、自由水、栄養分など、微生物の繁殖に適している条件が満たされた場合、微生物汚染は悪化する恐れが大きい。
- ③ 人間と微生物は共に生物であるので、室内に生息する微生物の絶滅を図ることは、人体の健康影響にも何らかの形で影響があり、最悪の場合には多大の悪影響を及ぼす可能性がある。
- ④ 従って、微生物汚染に関しては、居住者にとって許容できる微生物汚染レベルに汚染を抑制することを目的として、人間と微生物の共存を図るべきである。

2.2 微生物とアレルギー疾患

2.2.1 アレルギー疾患の現状^{文16)文17)}

我が国におけるアレルギー疾患の現状と増加の原因は、厚生省アレルギー総合研究事業「住宅班」の研究成果「アレルギーと住環境」によれば、次のように考えられる。

厚生省統計情報部による1991年実施の全国無作為抽出の約5万人のアレルギー疾患調査では、アレルギー様症状を訴える人の割合は全年齢層にわたっており、全体として男33.4%、女36.2%と高い値であった。小児に関しては、1992年の西日本11県の小学生児童を対象とした調査で、アトピー性皮膚炎17.3%、アレルギー性鼻炎15.9%、気管支喘息4.6%、アレルギー性結膜炎6.7%、花粉症3.6%となっていた。各々の症状の正確な増加率は不明であるが、気管支喘息に限れば5%前後の明らかな増加が確認されている。

最近、アレルギー疾患の罹患率が増加した原因として考えられる事柄は、(1) **住環境の変化**—住宅の断熱・気密化の進行に伴って、室内の温熱環境が高温多湿となり、ダニ、ダニ由来物質、カビ、ゴキブリやペットの毛皮屑などが多量に蓄積され、高濃度感作されやすい状況になっている。(2) **食生活の変化**—高蛋白・高カロリーなど摂取食品の変化、低年齢からの摂取、保存食や各種食品添加物の摂取増加などに起因する食物抗原に感作された児童の増加が考えられる。(3) **大気汚染の変化**—自動車排ガス由来のNOx やスギ花粉症との関連が疑われているDEP (Diesel Exhaust Particles) 等は、依然として

減少しておらず、局所的にはかえって増加している。開放型燃焼器具の使用による室内におけるNOxによる汚染レベルは、大気汚染のレベルを大幅に超えていることも見逃せない。(4) **精神環境の変化**—一定量な記述は難しいが、アレルギー疾患の発症、遷延難治化に大きな影響を及ぼしていると考えられている。(5) **アレルギー素因の増加**—家族歴にアレルギー疾患のない人が少なくなっており、疾患がある人がいる場合にはない場合と比して、2~3倍の高率で発症しやすいことがわかっている、などである。

2.2.2 アレルギー疾患とは^{文16)文17)文18)}

アレルギーの基本となっているのは、抗原・抗体（免疫）反応である。免疫反応とは、非自己を抗原と認識して、これに対して特異的な抗体（免疫グロブリン）を産生して、非自己に対処・処理する連鎖的反応である。抗原と抗体が結合すると、血液中の白血球がこれを食べ易くなり、白血球は異物を処理して細菌等の感染から身体を守る。本来ならば、生体内で起こる有益な防御反応であるが、後述のように、IgE抗体が関与すると、異質に対する反応が過敏になる現象が起こる。これをアレルギーと呼んでいる。

医学的には、後述のIgE抗体が関与する最も単純なI型アレルギーから臓器移植拒否反応などのIV型（細胞伝達型）アレルギーまでの4つの型に分類されている。ここでは、I型アレルギーだけを取り扱う。

人間の体内にはグロブリンと呼ばれる蛋白質の物質が何種類もあり、その1つに身体に免疫抵抗力を与える役割を果たす免疫グロブリン（Immunoglobulin）がある。1966年、石坂博士はブタクサによるアレルギー性鼻炎の患者の血清からアレルギー反応を起こす特別な物質が、新たな免疫グロブリンであることを発見した。その当時、既に4種類の免疫グロブリンIgG、IgA、IgM、IgDが知られていたため、発見した免疫グロブリンをIgEと命名した。IgGは免疫グロブリンの主力で、ウィルス、細菌、自己抗原等のあらゆる抗原に対する抗体を含んでいる。IgMは病原体の感染初期に多く産生される抗体であり、IgAは気道・消化管の粘膜に滲み出し細菌感染を防止する機能があるが、IgDの作用は解明されていない。

本来、寄生虫に対する抗体であるIgEは、**図2-1**に

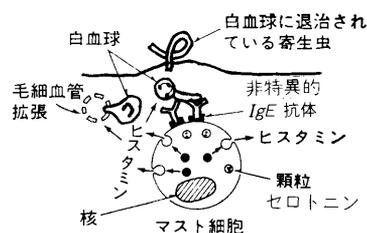


図2-1 寄生虫に対するIgE抗体の作用

示すような作用を起こす。皮膚や呼吸気道及び消化管の粘膜の上皮や目の結膜のすぐ下で、小さい血管のそばにマスト細胞と呼ばれる細胞がある。その内部には、組織に炎症を起こすヒスタミン等の化学伝達物質が、顆粒状の構造の中に蓄えられている。マスト細胞の表面には、異物の侵入が刺激となって産生された *IgE* 抗体が付着している。このような状況の下、刺激の原因となった抗原が再び侵入すると、マスト細胞と結合した *IgE* 抗体はその抗原と結合して、免疫反応を起こす。これが引き金となって、マスト細胞はヒスタミン等を含む顆粒を細胞の外に放出し、それと同時に、顆粒の中に蓄えられていた化学物質が皮膚や粘膜組織の中に遊離され、生理的作用を発現するようになる。

ヒスタミンは、毛細血管を拡大して血管壁を洩れやすくして、血液の中から白血球や水分を洩れさせ炎症を起こす作用がある。本来ならば、寄生虫の方に白血球を誘導させるので、有効な防御反応と考えられる。

花粉やホコリ自体は、寄生虫と異なり、粘膜表面等を突き破って中に侵入しないが、図2-2に示すように、これらの特有の蛋白質が粘液や涙などの中に溶けて吸収され *IgE* と反応して、マスト細胞内のヒスタミン等の化学物質を遊離する。この結果、(1)血液中の水分・白血球・蛋白質が血管外へ洩れ出て、鼻粘膜や気管支粘膜の上皮の下層に水が溜まり、炎症を起こす。(2)粘膜の分泌活動を亢進して、鼻汁・痰を分泌させる。(3)気管・気管支が収縮して、呼吸困難に陥る。(4)神経を刺激して、痒みやジンマシン、アトピー性皮膚炎を起こす、等の典型的なアレルギー症状を引き起こす。(1)と(2)に起因してアレルギー性鼻炎を生じるし、(3)により気管支喘息が起こる。これらに、(4)によるジンマシンやアトピー性皮膚炎を加えた症状を、4大アレルギー疾患と称している。

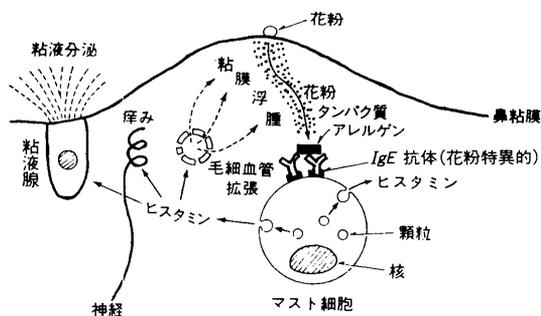


図2-2 スギ花粉等に対する *IgE* 抗体の作用

アレルゲンと呼ばれるアレルギーの原因となる抗原を大別すると、食餌、薬物、吸入性のものに分類できる。室内空気汚染に関連するアレルゲンは、吸入性のものであり、現在までのところ、ダニ、ダニ由来物質、カビ、ゴキブリや猫や犬等のペットや毛皮の動物からの毛皮屑、

羽枕や羽布団の中の羽、これらを全て包括するハウスダスト、外気中のスギ花粉やブタクサの花粉等が吸入性アレルゲンとして知られている。

スギ花粉やダニ由来が人体に吸引された場合、スギ花粉特異的 *IgE* 抗体、ダニ特異的 *IgE* 抗体の産生が始まるが、これら *IgE* 抗体自体が *IgE* 産生系を刺激して、特異的 *IgE* 抗体の産生を増幅する。この働きが著しい人は抗原・抗体反応が過敏となり、結果としてマスト細胞中の化学物質による生理的作用を受ける機会が多くなり、アレルギー疾患患者となる可能性が高い。

2.3 ダニ

2.3.1 ダニとは^{文16)文19)}

ダニは、エビやカニ、昆虫と同じ節足動物門の蛛形綱ダニ目に属している虫である。住宅室内で検出されるダニは、家屋内で一生活を過ごすダニ(家屋内固有種)と、屋外から偶然室内に飛び込んで検出されたダニ(迷入種)に分類され、後者は動植物に寄生するダニ、土壤中に生息するダニ、水中に生息するダニである。家屋内固有種には、ヒョウヒダニ類、ツメダニ類、コナダニ類、ニクダニ類が含まれる。これらの内、特に着目されているダニがヒョウヒダニであるが、この名前は古くなって剥がれた人の表皮(皮膚)等を食べて生活することに由来しており、皮膚の他、食べ物屑、カビ類などを食べて生きている。

2.3.2 健康影響と許容汚染レベル

現在、ダニに関連する健康影響で最も着目されているものは、ヒョウヒダニ類によるアレルギー疾患であろう。現在、我が国の気管支喘息患者の50~90%がダニに起因しているといわれている。ヒョウヒダニ類の生体・死骸・糞を含めてダニアレルゲンと呼んでおり、空気中、室内塵中に存在している。もっとも、空気中に浮遊しているダニアレルゲン量は極めて少なく、一般には室内塵に注意する必要がある。

また、ダニ刺されによってもIV型アレルギーを発症する。この場合にアレルゲンはダニの唾液であるが、これに対する抗体は存在しない。唾液の対応リンパ球が結合すると活性化、化学物質を放出して、細胞滲出や浸潤を伴う炎症を起こす。発症まで1~2日を要する遅延型のアレルギーである。

ダニアレルゲンは多様な分子量をもつ物質の集合であり、分析の結果、排泄物由来のアレルゲン Der. I、虫体由来のアレルゲン Der. II等に分類されている。これらの量と健康影響の関連に関しては現在、鋭意研究中であるが、アメリカでは、室内塵中の Der. I量が10 μ g/g以上あると喘息発作の危険があり、2 μ g/g以上あると感作される危険性があると推定する報告がある。これらは、室内塵1g中のダニ数に換算すると、各々500匹、100匹

に相当するといわれている²⁰⁾。また、1988年にWHOのダニアレルゲンと喘息に関する報告では、室内塵1g中のDer. I量が $2\mu\text{g/g}$ 未満とするガイドラインを設定していると思われる²¹⁾。我が国では未だ規定がないので、これらが参考値となろう。

2.3.3 汚染レベルの現状

ダニ過敏性の気管支喘息は春と秋、特に9月、10月に発作を起こしやすいといわれている。図2-3に示す高岡らの測定¹⁶⁾によるダニ繁殖の季節変動に基づけば、6月と7月に生きダニが多く、8月から9月にかけては死ダニが増加する。これらの時期と気管支喘息の発作好発期が一致している。

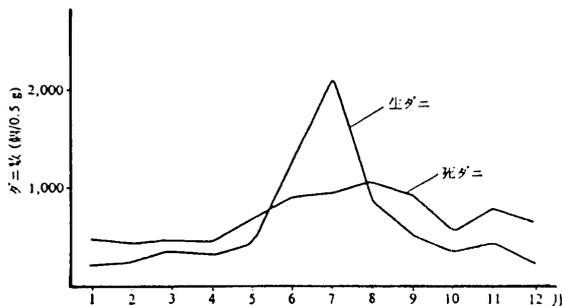


図2-3 住宅室内における生きダニ・死ダニの季節変動¹⁶⁾

また、高岡らによる冬季と夏期における室内塵0.5g中のダニ数の測定結果を表2-1²²⁾に示す。ヒョウヒダニ類が含まれるチリダニ科の総数は冬季86.5匹、夏季509.5匹と、夏季は上記のガイドラインをはるかに超えていた。

表2-1 冬季と夏季における屋内塵0.5g中のダニ数の測定結果 (高岡らによる²²⁾)

種類	冬季における平均 測定軒数 26軒	夏季における平均 19軒
ダニ総数	152.3 匹	665.3 匹
チリダニ科	86.5	509.5
コナダニ科	2.5	13.5
ニクダニ科	13.0	7.4
ヒゲダニ科	0.1	0.5
ウモウダニ科	0.1	0
ホコリダニ科	24.5	41.7
ヒサシダニ科	0.2	0.3
ツメダニ科	5.5	27.1
その他	19.9	65.3

一方、難波らによる空中浮遊ダニアレルゲンの測定結果を図2-4²³⁾に示す。排泄物由来のアレルゲン Der. Iは秋に高濃度を示したが、虫体由来のアレルゲン Der. IIは年間を通じて変化がほとんどない。単位が異なるため、さきのガイドラインとは単純に比較が出来ず、相対的な汚染レベルは不明である。

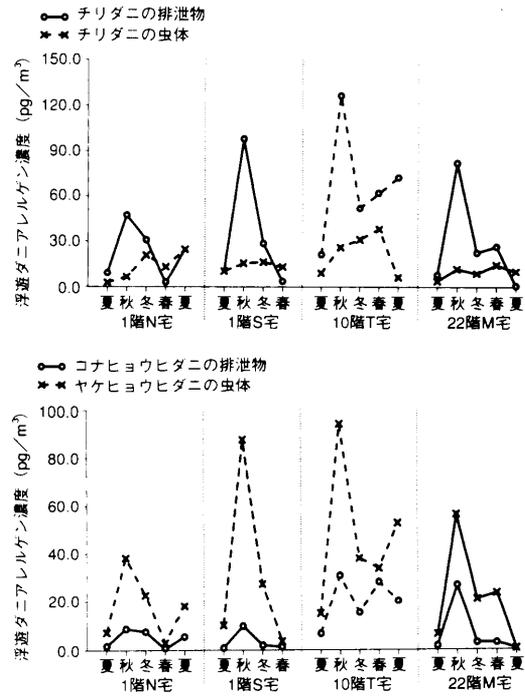


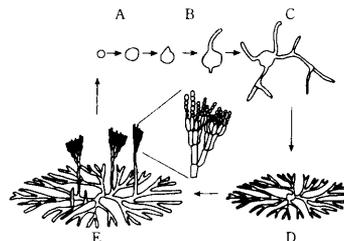
図2-4 住宅室内における浮遊ダニアレルゲン濃度の測定結果 (難波らによる²³⁾)

2.4 カビ^{19)文22)文24)文25)}

2.4.1 カビとは

カビとは通俗的な名称であり、学術的には真菌類に属する菌類の仲間、糸状の菌体からなる糸状菌の一群を指す。また、カビ・キノコ・酵母と通俗的に区別されているが、これらは全て真菌門に含まれるもので、学術的には区別することが難しい。

カビの基本的な形態は、図2-5に示すように、細長い糸状の細胞である菌糸で、これが成長して枝分かかれながら伸長し、幾つかの菌糸の先端には孢子が出来る。さらに生育が続くと、菌糸は網目状に絡み合い、肉眼で確認できるコロニーとなる。コロニーの色は、カビ孢子の色で、種類により特有の色がある。但し、カビの種属の同定は、孢子の形態、及び、孢子形成パターンに基づいており、コロニーを肉眼で観察した程度では正確なことが判らない。



注 A: 膨張する分生子, B: 発芽管の伸長, C: 菌糸の初期生長, D: 菌糸体の形成(コロニー), E: 菌糸から分生子柄を直立させ、その先端にベニシラスと分生子の鎖状形成、中央はベニシラスの拡大を示す。

図2-5 カビの基本的形態²⁴⁾

表2-2 一般的な住宅室内で検出されるカビの種類
(検出された住宅軒数の測定対象全住宅軒数に対する割合)

	1989年	1991年
好中温性菌		
Cladosporium	69.8%	68.6%
Penicillium	45.8	48.8
Aspergillus	24.5	18.6
Trichoderma	6.3	11.6
Fusarium	13.5	9.3
Alternaria	4.7	7.0
Aureobasidium	5.2	7.0
好乾性菌		
A. restrictus	69.8	46.5
Eurotium spp.	25.0	11.6
Wallemia sebi	42.7	34.9

自然界にあるカビの種類は、少なく見積もっても約5万種といわれているが、人の健康に直接危害を及ぼすカビは200種程度に過ぎない。更に、家屋内で一般的に検出されるカビは、表2-2に示すように10種類程度と極めて少数である。特に湿度が高くなる浴室、洗面所、台所などは、好湿性菌と呼ばれる *Alternaria*, *Cladosporium* 等の黒色のカビが繁殖する。好湿性菌とは、発育に相対湿度90%以上の高湿度を必要とするカビの総称である。上記2属のカビはカビアレルギーとして知られており、一般には屋外の植物に寄生しているカビである。これらの菌の胞子は、夏季など開放された窓等から室内に飛来して、室内を浮遊するようになる。

一方、居間や寝室などの室内塵には好乾性菌が多量に含まれている。好乾性菌とは、胞子の発芽や発育に必要なとされている最低の相対湿度が80%以下のカビの総称である。*Eurotium*, *Aspergillus restrictus*, *Wallemia* などが含まれている。これらの菌は、カビを培養するための従来の水分の多い培地では十分に発育しなかったため、見逃されていたカビである。在室時間が長い居室に潜むカビで、曝露時間が長くなることから注目すべきカビであろう。

また、ダニが繁殖しやすい温度20~25℃、相対湿度75%の温湿度条件が、好乾カビの発育にも適していることが判明している。しかも、室内塵中の人の皮膚の屑に好乾性菌が生え、これを分解していること、分解された屑をダニが餌としていることが実験的に明らかにされており、ダニとカビが共存してアレルギーを増加しているので、今後十分な注意が必要であろう。

なお、カビの生育条件は、(1)温度、(2)pH、(3)水分、(4)栄養源、(5)酸素などである。最適な生育温度帯は25~30℃で、相対湿度は80%以上である(中温菌)。種類によっては、-5~-10℃の低温域で生育できるカビ(好冷菌)もいるし、逆に55℃以上で生育できる高温菌もいる。微酸性を好み、全般的にはpH2.2~9.6の幅広い領域で生育可能である。水分はカビにとって生育に必

要不可欠なもので、乾燥に対してすこぶる弱い。必要とする水分条件は、基質(カビが生えるもの)中の水分内の利用し得る水分の量を示す水分活性という指標が用いられている。基質中の遊離水分の内、利用し得る水分は、環境のpH、温度、栄養等の条件により変動する。例えば、糖や食塩濃度を高めると、基質中の水分は利用し得なくなり、カビは生え難くなる。一般に、好乾性菌は、水分活性0.65以上、好湿性菌は0.80以上は必要といわれている。カビは外部から種々の栄養源を細胞内に取り込み、炭素源は糖類のような炭水化物を、窒素源は蛋白質を、その他、脂肪、ミネラル、ビタミン類などを、栄養源として利用している。これらの栄養源は、一般の植物の栄養源とほぼ同様な物質である。但し、カビの代謝の主役は糖類である。カビは必ず酸素を必要としており、空気を遮断するとカビの発生を抑制できる。

2.4.2 健康影響と許容汚染レベル

真菌類が原因で発症する疾病には、それ自体が感染源となる疾病とアレルギーとして作用するアレルギーがある。前者の場合、真菌類が人の体表面の皮膚・粘膜や組織内深部に侵入して増殖したり、あるいは、生理的な体腔や他の疾患によって出来た腔内で真菌が繁殖して、直接的な障害を与えるもので、真菌感染あるいは真菌症と呼ばれている。いわゆる水虫・タムシ・インキンなどから、内臓に繁殖して命にかかわる日和見真菌感染まで種々の症状が見られる。後者は、空中に浮遊する頻度が高い *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Aureobasidium* などの菌種がアレルギーとして報告されている。

喘息がカビに関連していると気付いたのは、1700年代、ワイン貯蔵庫にきた喘息患者が激しい発作を起こしたためであるといわれており、カビ胞子がアレルギーとなることがはっきりしたのは、1924年である。以後、アレルギー性鼻炎・喘息・アレルギー性気管支炎の大半は、真菌に由来することが判明しており、近年では、I型アレルギーだけでなく、自分の身体の細胞を自らが溶かしてしまうII型アレルギー、抗原と抗体の複合物が体組織に付着して障害を起こすIII型アレルギー、あるいは、それらが複合したアレルギー反応を引き起こすことも明らかにされている。

住宅室内だけでなく、一般環境におけるカビの許容基準は検討されているものの、未だ設定されていない。なお、その根拠は不明であるが、濱田・山田は論文中で「室内空気1m³中に1,000個以上のカビ数が検出された場合をカビ汚染がある」と取り扱っている^{文26)}。

2.4.3 汚染レベルの現状

住宅室内における浮遊カビ汚染の実態を報告した事例はあまり数が多い。

表2-3に、濱田・山田が報告している、大阪市及び

表2-3 75軒の住宅の居間における浮遊カビ数の分布
(濱田, 山田による²⁶⁾)

カビ数 (CFU/1m ³)	部屋数	
	4月	7月
≥10,000	1室	0室
5,000~10,000	1	3
1,000~5,000	12	17
500~1,000	10	13
250~500	15	21
100~250	13	12
0~100	0	9
カビ数		
居間平均	541	468
外気平均	140	220

その周辺の一般住宅の居間75部屋の測定結果²⁶⁾を示す。住宅によりカビ数が大きく異なり、在室者密度・生活様式の影響が大であると考えられる。4月における測定値の最大は21,300個/m³、7月が8,560個/m³であった。一般的な外気中の平均浮遊カビ数250個/m³に比べ、室内の値のほうが高い住宅は72%もあり、1,000個/m³以上の住宅は27%も存在した。なお、室内の浮遊カビ相と屋外の浮遊カビ相とは異なっており、住宅室内のカビ汚染の原因は、室内塵中のカビ相と非常に類似していること・カーペット塵中のカビ数と浮遊カビ数の相関が認められたことなどから、室内塵の巻き上がりによると述べている。

また、図2-6に、北海道の高断熱・高気密住宅を含む20戸程度の独立住宅における測定結果の内、住宅構造別に取りまとめたものを示す²⁷⁾。住宅構造にかかわらず、梅雨時から夏季の平均値が高く、特に木造と高断熱・高気密住宅の値が高かった。両者とも、1,000個/m³以上であった。

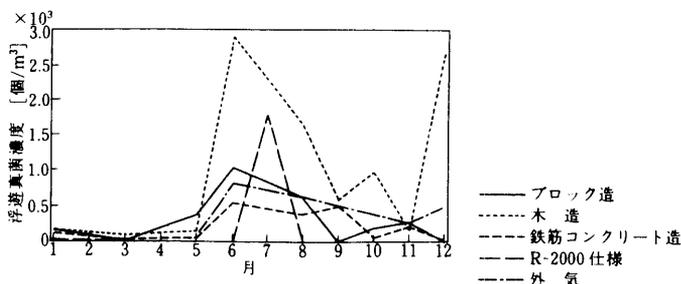


図2-6 北海道の20戸の独立住宅室内における浮遊カビ濃度の季節変動 (横山らによる²⁷⁾)

3. 室内空気汚染・微生物汚染の防止と制御²⁸⁾

ホルムアルデヒドやVOCによる汚染防止策に関しては、各々の節で述べたので、ここでは、他の汚染質や微生物汚染の防止策について述べる。

微少時間内の室内における汚染質と空気量の取支に関する微分方程式を解き、定常状態における室内濃度を求めると、次のようになる。

室内濃度 = (汚染質侵入量 + 汚染質発生量) / 換気量
通常、室内に流入する空気量は等しいと考えられるので、上の関係は下記のように書き換えられる。

$$\text{室内濃度} = \text{外気濃度} + (\text{汚染発生量} / \text{換気量})$$

室内の汚染レベルは、外部濃度に室内発生量を換気量で割った値を上乗せした値であり、汚染を抑制するためには、発生量を削減するか、換気量を増加させればよいことになる。なお、発生量とは、室内発生源からの発生量から空気清浄装置等により除去された量を引いた、残りの汚染質の量を指す。

3.1 室内における汚染発生源に対する対策

室内における汚染発生量を削減するために、最も効果的な手段は、想定し得る汚染発生源を室内から排除することである。図3-1は、同じ住棟の2住戸を対象に、同じ生活モードを行った場合の模擬実験に基づいて、暖房器具と室内空気汚染の関連を調べた結果である。汚染された燃焼廃気を室内に放出する開放型燃焼器具である石油ファンヒーターを使用している住戸の室内空気は、燃焼廃気を屋外に直接排出する密閉型燃焼器具であるFF型石油ストーブを使用している住戸に比べ、はるかに汚染されていることが判る。

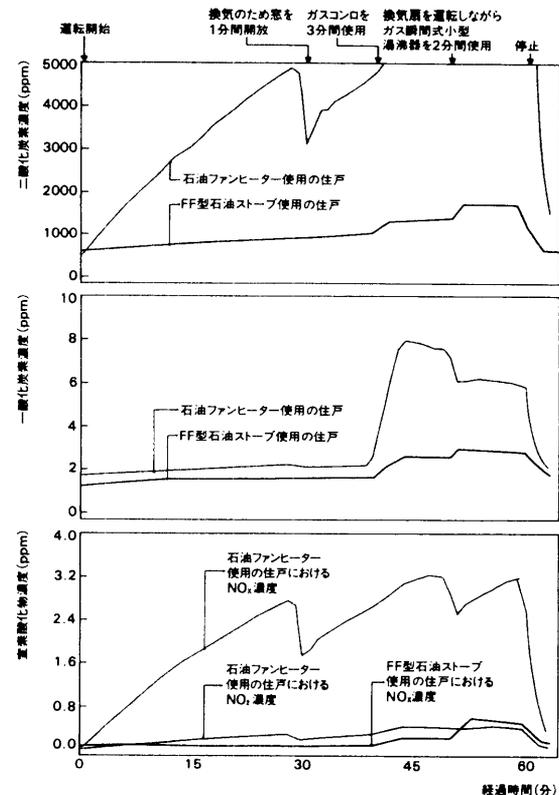


図3-1 暖房器具の種類による室内空気汚染レベルの差異

また、汚染発生源を室内から排除することが難しい場合には、図3-2に示すような方法により、発生量を低減させることが考えられる。定量的な効果は不明であるが、経験的には十分考えられる代替手段である。

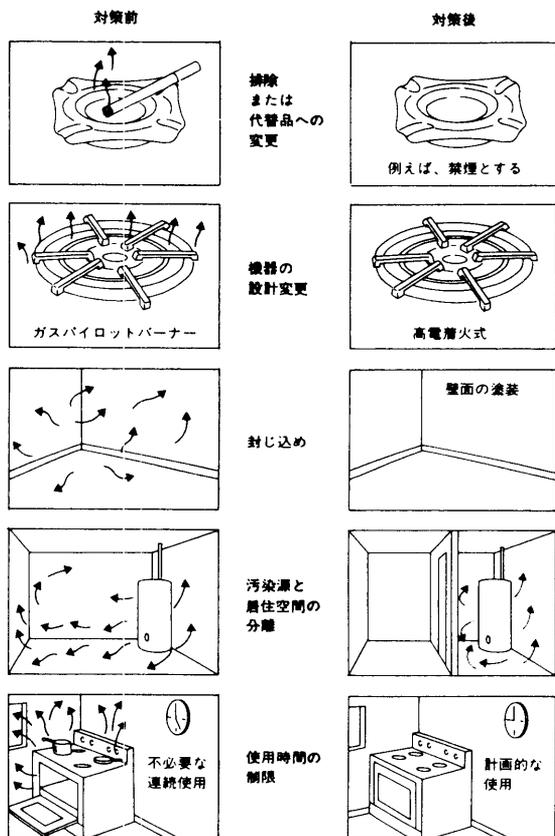


図3-2 室内汚染発生量の低減方法の事例

3.2 換気による汚染質の排除

汚染を抑制するためでもむやみに換気量を増加させることは望ましくない。効果的な換気とは、発生した汚染質を空間全体に拡散させないで排出することである。汚染発生源の特徴を踏まえた上で、適切な換気計画を策定することが肝要である。

図3-3に排気方式による換気方法の分類を示す。汚染発生源が室内に広く分布し、あるいは、移動する場合には、室全体の空気を対象とした全般換気をせざるを得ない。汚染質が室内全体に拡散・希釈された後の低濃度の汚染空気を排出するので、効率は余り良くない。これに対して、発生源が集中し、あるいは、固定されている

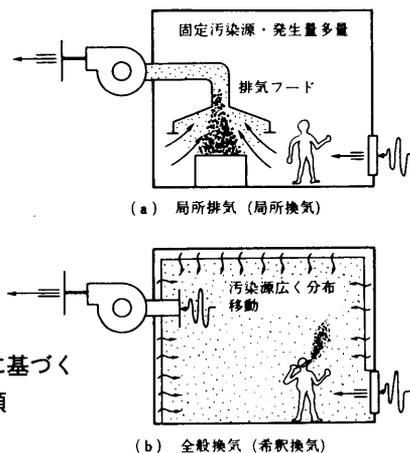


図3-3 排気方式に基づく換気の種類

場合には、出来るだけその近傍で汚染質を捕捉し排出する換気が可能である。フードなどの捕集装置を設置して、効率的に高濃度の汚染質を吸引・排出する局所換気を採用することが望ましい。

3.3 空気清浄機による汚染質の除去

外気が極端に汚れている場合は換気をしていても汚染は防止できない。また、室内発生量が極端に多い場合には、必要とする換気量が膨大になってしまう。このような場合には、空気清浄装置を用いて、室内に導入する外気中の汚染質を除去したり、室内空気を清浄装置に循環させて、室内空気中の汚染質を除去する必要がある。

住宅用空気清浄機はファン式とイオン式のものがある。前者は、粉塵を濾過するフィルター（スポンジ状や繊維状などの細かな穴のある物質）と荷電した細粒子を電極板に吸引付着させる電気集塵装置、若しくは、機械式の帯電フィルターなどが組み合わされたもので、ファンを用いて室内空気を装置内に吸引している。

後者は、ファン式で使用している電気集塵装置の放電圧を高くしたもので、マイナスイオンを室内空気中に放出して空気を清浄するとうたっている。

これらの浄化性能の比較実験の結果を図3-4、図3-5²⁹⁾に示す。発塵後に室内に充満した粉塵は、時間経過と共に沈降・付着・凝集などにより自然に減衰する

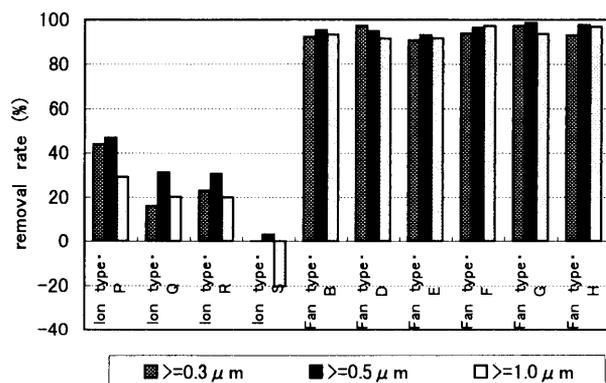


図3-4 空気清浄器10機種種のタバコ煙に対する浄化性能の比較 (大村らによる²⁴⁾)

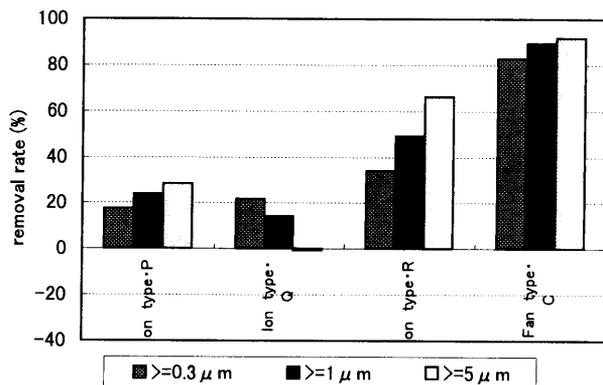


図3-5 空気清浄器4機種種のハウスダストに対する浄化性能の比較 (大村らによる²⁹⁾)

ので、自然減衰による濃度と空気清浄機運転時の濃度の差を自然減衰時の濃度で割った値を除去率と定義して、浄化性能の尺度としている。

タバコの煙に対する1時間における粒径別除去率で比較しても、10時間程度の長時間減衰と比較しても、ファン式は極めて高い清浄性能を示すのに対して、イオン式は自然減衰より僅かにより程度の減衰を示したに過ぎない。

また、布団を叩いて発塵させたハウスダスト程度の粒径の粉塵に対しても、イオン式に比べファン式の方が一般的に高い性能を示した。

これらから判るように、カビやダニを含む室内塵に対してはファン式の空気清浄機を長時間使用する事が有効であると言える。ガス状物質に対しては、活性炭を使用した吸着フィルターが最も一般的な除去方法であるが、持続性のある性能を確保することが難しいと考えられる。また、臭いをオゾンと触媒で分解無臭化する装置もあるが、学術的な定量評価が行われておらず、性能に関しては不明である。

3.4 空調設備・換気設備による温湿度の制御

微生物汚染の場合、室内の温湿度を微生物の繁殖しやすい温湿度範囲外に長時間保つことにより、汚染防止が可能と考えられる。

現状の住宅用エアコン等の空調機器は、温度制御に基づいて運転状況を制御しており、湿度に関しては成り行きの場合が多い。一方、ダニ・カビとも温度より湿度の影響が大きいため、空調機器を間欠的に運転するのではなく、連続的な運転を行うと共に、室内の湿度を監視して機器を制御することに注意する必要がある。

また、外気の温湿度にもよるが、換気を行うだけでも室内で発生した水蒸気を屋外に排出でき、湿度上昇を防げるので、ダニ・カビの増殖を抑制することが可能である。例えば、築2年半を経過した住宅の内、1日10時間以上閉め切りの家における畳の室内塵1g当たりのチリダニ数2441匹に対して、閉めきらない家では473匹と大きな差異が認められるとの報告¹⁹⁾もある。

3.5 使用建材等に対する配慮

これまでアレルギーとして注目されてきた多くのカビは好湿性菌・中湿性菌であった。これらに対しては、相対湿度を70%以下にすることが増殖抑制につながると考えられる。従って、効果に関しては現時点では未知であるものの、住宅室内の湿度を調整する上で、市販され始めた吸放湿建材・和紙・木材・土壁等を採用し調湿作用を持たせることも考えられよう。

一方、チリダニ科のダニが増殖しやすい条件の1つとして、ダニの餌である人のフケ等が室内に多量に貯蔵されていることが挙げられよう。じゅうたんやクロス張り

の壁、凹凸がある壁などは、埃が溜まりやすく掃除が徹底できないので、ダニの餌を貯めやすい。また、最近カビの新たなアレルギーとして注目されている好乾性菌も室内塵中に多数検出されることから、床などは掃除のしやすいフローリング、壁は拭き掃除がしやすい建材等にするなど、住宅建設時の使用建材に対する配慮が必要である。

図3-6に床仕上げの種類によるダニ数の差異¹⁹⁾を示す。ダニが潜って産卵する場所がない、掃除しやすいので表面の埃が少ない、ダニそのものがふき取られやすいなどの理由で、フローリングのダニ数が最も少ない。

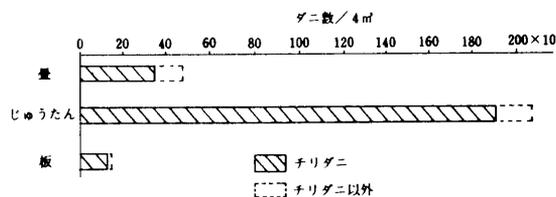


図3-6 床仕上げの違いによるダニ数の差異 (吉川らによる¹⁹⁾)

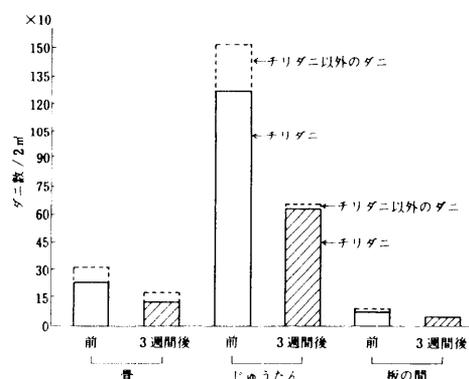


図3-7 掃除前後におけるダニ数の差異 (吉川らによる¹⁹⁾)

3.6 住まい方

以上、住宅で使用する建材、設置する設備機器等に関連する汚染防止対策を述べたが、これらが適切に使われなければ、または、これらの生み出す効果を打ち消すような住まい方をしていれば、何の効果も期待できない。

例えば、加湿器の使用、室内で洗濯物を干すこと、鉢植えの植物を置くことは、室内発湿量を増加させ兼ねない。鉢植えは、土壌そのものが菌増殖の温床となるので注意が必要である。室内で飼うペットも、皮膚や毛、排泄物などがカビの栄養源となるので避けた方が望ましい。

また、忠実に部屋の風通しをすること、寝室はこまめに掃除をすること、カーペットの部屋などは特に念入りに掃除すること、室内発湿源を排除すること、晴れた日は布団の天日干しを励行すること、寝具類は掃除機をこまめに掛けること、シーツや布団カバー等はこまめに洗濯すること、梅雨明けから秋口に掛けての期間に大掃除

を励行することなどを始めとして、面倒がらずに日常における住まい方を工夫する事が肝要である。

とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, 1996.4

<参考文献・引用文献>

- 1) 小峯裕己:住宅における室内空気汚染, 熱と環境, Vol.30, 1990.8
- 2) Isaac Turiel : Indoor Air Quality and Human Health, Stanford University Press, 1985
- 3) 池田耕一:室内空気汚染のメカニズム, 鹿島出版会, 1992.2
- 4) 室内環境研究会ニュース, No.4, 1996.8
- 5) 松村年郎:個人資料
- 6) 木村・堀・池田・松村:新築・既築集合住宅の室内空気質実態調査, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 A-41, 1996.9
- 7) 特集健康と環境に配慮した材料, 建築知識, No.465, 1996.1
- 8) L.Molhave : Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health, Proc. of Indoor Air 90, Vol.5, 1990
- 9) H.Hundnell et al. : Time Course of Odor and Irritation Effects in Humans Exposed to a Mixture of 22 Volatile Organic Compounds, Proc. of Indoor Air 93, Vol.1, 1993
- 10) C.Krause et al. : Occurrence of Volatile Organic Compounds in the Air of 500 Homes in the Federal Republic of Germany, Proc. of Indoor Air 87, Vol.1, 1987
- 11) M.P.Bortoli et al. : Concentration of Selected Organic Pollutants in Indoor and Outdoor in Northern Italy, Environment International, Vol.12, 1986
- 12) 堀他: オフィス環境快適制御のための空気質モニタリング法に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1990.10
- 13) 小関ほか: 空気質に着目した室内環境の実測その(1), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1994.10
- 14) 松村ほか: パラジクロロベンゼンのモニタリング法の検討と本法を用いたパラジクロロベンゼンの室内及び個人曝露濃度の測定結果について, 空気清浄, Vol.30, No.2, 1992
- 15) 能登春男・あきこ: 住まいの複合汚染, 三一書房, 1996年6月
- 16) 西間ほか: アレルギーと住環境, 厚生省アレルギー総合研究事業「住宅班」, 1995.3
- 17) 長尾宏: アレルギー, 中公新書, 1988.3
- 18) 稲岡徹: アレルギーは寄生虫感染で治るか?, 空調学会小委員会資料, 1996.5
- 19) 吉川・芦澤・山田: 住まいQ&A ダニ・カビ・結露, 井上書院, 1990.2
- 20) 厚生省生活衛生局監修: 居住環境におけるダニ対策ガイドライン, 日本環境衛生センター, 1993
- 21) 加藤ほか: ヒョウヒダニ抗原量から見た気管支喘息患者寝室の床掃除効果について, 日本公衆衛生雑誌, Vol.38, No.10, 1991.10
- 22) 高野・前田・長田編著: セミナー健康住居学, 清文社, 1987.10
- 23) 難波・入江ほか: 居住環境におけるアレルゲンの挙動に関する研究 その4, 第9回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, 1990.4
- 24) 倉田浩: カビとは, 空気調和・衛生工学 Vol.69, No.7, 1995.7
- 25) 宇田川俊一: アレルギーと室内環境のカビ, クリーンテクノロジー, 1994.4
- 26) 濱田ほか: 住宅内の浮遊カビ汚染, 防菌防黴 Vol.23, No.5, 1995.5
- 27) 横山・月館: 北海道の気密住宅の室内空気質, 空気調和・衛生工学 Vol.69, No.10, 1995.10
- 28) 小峯裕己: 室内空気汚染の防止と制御, 熱と環境, Vol.31, 1990.11
- 29) 大村・入江他: 室内型空気清浄器の性能比較, 第14回空気清浄