

室内空気汚染に対する建築的対応

池田 耕一¹⁾

1) 国立公衆衛生院建築衛生学部

Architectural mitigation measures for indoor air pollution

Koichi Ikeda¹⁾

1) Department of Architectural Hygiene Engineering and Housing, The Institute of Public Health

I. はじめに

ここ一年ほど、テレビ新聞雑誌等のマスコミに、室内空気汚染の1つとして「シックハウス症候群」とか「化学物質過敏症」という問題が、取り上げられ話題となっている。この問題は、オイルショックによって誘発された室内空気汚染問題、シックビルディングシンドローム (SBS) と1つであるが、それまでのSBSは、建物の気密化による換気量の減少とか、新建材やOA、HA機器の導入による新しいタイプの汚染物質の発生などの様に、建物やその付帯設備や家具調度などと言った建物、設備等のハード面の変化によって生じたものであるのに対し、これらの問題は、そのようなハード面の変化に加え、居住者の体質とか、生活様式といった人間側の変化が、大きな鍵となっている点の特徴である。その意味で、大気汚染問題の1つである「花粉症」と似た面がある。

シックハウスとか化学物質過敏症と呼ばれる問題が、いつ頃からどこで、言われるようになったかは正確には知らないが、筆者が、この化学物質過敏症という言葉に最初に接したのは、1995年の初夏の頃であり、NHKの朝の番組「生活ほっとモーニング」にコメンテーターとして、出演させてもらっていたときであった。このとき番組では、ビデオ取材に北里大学の宮田先生が、答えておられて、「化学物質過敏症」を訴えられる方の目の動きを診断され、確かにこの方は、化学物質過敏症であるとおっしゃっていられたのを見て、本当

にそんなことがあるのかなと思いつつ番組を続けた記憶がある。その後、この話は、あまり聞かなかったが、ほぼそれから1年経った1996年の春頃、同じくNHKの「おはよう日本」と言う番組でこの問題に関連し、何故この様なことが起こることになったかについて建築環境工学的立場からのコメントを求められる取材を受けた。できあがった番組を見たところ、能登さんとおっしゃる理学療法士で、「住まいの複合汚染」と題する本の筆者のご夫婦が出演されていた。御兩人とも化学物質過敏症とのことで、その苦しさ、過敏症発症を防ぐための涙ぐましい努力などについて語っておられた。その番組のせいか、能登さんのお書きになった本のせいか、それ以後、「新築病」とか、シックビルディングシンドローム (SBS) をもじった和製英語の「シックハウスシンドローム」などの言葉に乗って、この問題が、たびたびマスコミの登場するようになり、私のところにも問い合わせがきたり、宮田先生をはじめとする関連の研究をしている先生方や、ベターリビングの住宅部品PLセンターや各地の消費者センターの相談員の方々が、急に忙しくなったのではないかと想像する。特に、1996年の秋頃以降は、社会的関心が高まってきており、この問題に対する建築学的取り組みも各方面で検討され始めている。

本稿では、いくつかある室内空気汚染問題への対応の内の建築学的な対応について説明を行う。

II. 空気汚染に対する建築技術的対策

1. 概要

室内空気汚染物質の建築技術的除去手段としては、汚染質の室内侵入を許さない手段と汚染質の侵入は許したのち除去する手段の2つに大別される。前者は、さらに汚染発生源を除去、隔離する方法と、発生源の性質を変え無害化する方法の2つに分けられ、後者も、空気洗浄機等によって汚染質を除去する方法と、換気により室外へ排出する方法の2つに分けられる。これら4つの方法は、汚染質に対する働きかけが、列挙した順に積極性が少なくなるという特徴をもっている。以下にその概要を説明する。

2. 発生源を除去する方法

第1番目の方法は、その意味で最も積極的であるが、可能な場合もないことはないが、通常はかなり困難な対策であると言えよう。すなわち、対象とする汚染質がCO₂、VOC（揮発性有機化合物）、臭気などの場合、その主要発生源の1つが人体及びその活動であることを考えると、全く不可能な対策であると言える。人のいない室内の空気汚染問題と言うものは、通常、意味を持たないからである。ただし、タバコ煙の場合には喫煙者の自覚と協力があればある程度の隔離は可能かと思われる。

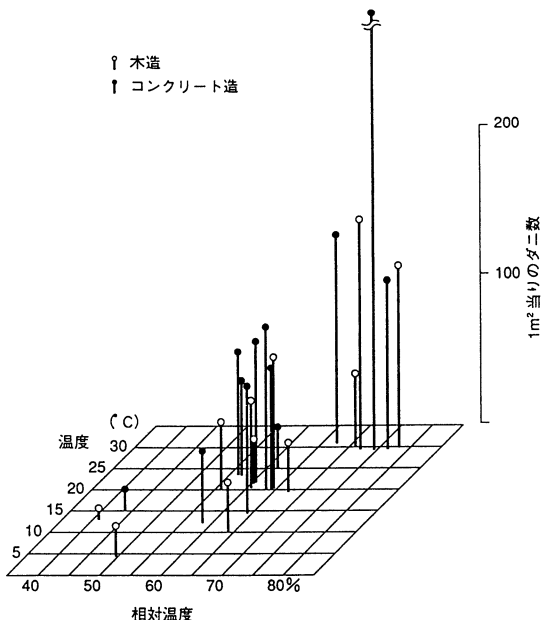


図1 室内の温湿度とダニの個体数の関係¹⁾

一方、人以外の汚染源としては、各種アレルギー、建材や各種の設備機器から発生する放射性的汚染質や化学物質などによる汚染と言うのが考えられるが、この場合は、ある程度の室内からの除去、隔離が可能なることもある。以下にその内のいくつかを示す。

1) ダニアレルゲンの除去

①湿度の制御

図1¹⁾に示したのは、室内の温室度とダニの個体数の関係である。この図より、ダニは、湿度が70%を超えると増えるが、50%以下では、ほとんど増えないことがわかる。したがって、室内の湿度を50%以下に保つことが重要であるといえる。ただし、ダニの生息場所は、床や布団などであるので、ここで言う湿度は、室中央のものではなく、床付近のものであることに注意する必要がある。室中央の湿度が低くとも、結露などが起こっている場合には、ダニの生殖場所での湿度が高くなっていることになる。このためには、室内での過剰な水蒸気の発生を防いだり、壁や床などの断熱を良くして、表面温度が下がらないようにするなどして防湿、防露に心がける必要がある。

②床の掃除

表1²⁾に示したのは、掃除機による床清掃の効果に関する実測結果である。清掃前後でダニ数が減少していることが示されている。

表1 掃除機による床清掃の効果に関する実測結果²⁾

調査床材	処理前ダニ数						処理後ダニ数					
	畳		絨毯		床板		畳		絨毯		床板	
中央部・隅部 ダニ	中央	隅	中央	隅	中央	隅	中央	隅	中央	隅	中央	隅
ホコリダニ科		33	3	21	3		6		6			
ツメダニ科		9		12	3		3		3			
コナダニ科	3			24			9	3				
チリダニ科	108	117	714	558	9	66	48	75	237	396	3	48
イエササラダニ科	6	18	3	54		3	9	6	3			
その他	9	9		20			3		3			
ダニ数合計	126	186	720	689	12	72	69	90	246	408	3	48

(注) ダニ数は1 m³あたりに換算した。

③布団の管理

布団は、それ自体がダニの棲息のために好都合な環境を提供するだけでなく、人が布団を使用するばあいを考えると、人は、布団の中に顔を埋めて寝るものであり、まさにアレルギー発生源の中

に顔を突っ込んで呼吸するのであるから、布団中のアレルギー量が如何に重要な意味を持つかが理解されよう。布団からのダニアレルギーの除去は、最も重要な対策の1つと言える。そのために最も効果的なのが、布団の丸洗い乾燥であり、表2³⁾に示される通り、最も効果的な場合には98%以上のアレルギーを除去している。但し、布団の丸洗い乾燥は、それほど頻繁に行える対策ではないため、布団を叩く、掃除機で吸引するなどの手軽に行える対策の併用も必要である。表3³⁾には、それらの対策の効果の例を示した。また、最近では、ダニが侵入できないほどの目の細かい(ダニの大きさは数百 μ m程度)布で織られた抗ダニ布団と呼ばれる布団が開発され、その効果が、ぜん息患

者による使用などを通して検討されている。なお、布団を陽に干すことは、ダニを殺す(ダニは、50℃程度以上になると生きては行けない)効果はあるが、その死骸や、それが生きているとき排出したフンの除去には全く役立たないことを忘れてはならない。

なお、上記諸対策以前の問題として、布団の上げ下ろしに際し、あまり埃を立てないようにすること大切である。それは、上述したとおり、ダニアレルギーは、比較的粒子径の大きな粉塵であるため、発塵しにくいほうの粉塵であり、発塵しなければ、それを吸うことがないからである。

2) カビアレルギーの除去

カビも空気汚染物質としての室内環境中での動態は、微生物粒子であるという点ではダニと同じであるため、その発生源段階での除去対策も、ほぼダニの場合と同様、その主要部分は防湿である。若干の違いがあるとすれば、布団には、ダニと比べての話ではあるが、余りカビが生えることはないので、布団の管理を良くすることによってカビが大幅に減るということは期待できないと思われる。

3) その他の例

アレルギー以外の発生源除去する対策例として考えられるのは、一時流行ったアスベスト建材の除去等であるが、これについては、除去工事に際し、大量のアスベスト塵が発生し、その対策に多大な費用と労力がかかる割には、その後の防止効果に関する有効性が今一つ明確となっていないという欠点がある。

3. 発生源を無害化する方法

この方法の場合、発生源の性質を変えるための手段として、加熱、圧縮などの物理的手段を用いることが可能な場合は、空気質の改善という観点だけにたてば、それほど問題がないと言えるが、実際問題として物理的手段だけで汚染源が無害化したり消失することは少ないようである。多くの場合、汚染源の変質のために化学的手段に頼らざるを得ない場合が多く、この場合には、当所目的とした汚染質の発生を阻止することができても化学反応により別の形の汚染を生じ、その対策によ

表2 布団の丸洗い乾燥の効果³⁾

(a) 排泄物 (単位 pg/g)			
布団	水洗前	水洗後	除去率
A	13,600	1,310	90.4%
B	13,900	225	98.4%
C	14,900	2,000	86.6%

(b) 虫体			
布団	水洗前	水洗後	除去率
A	15,500	8,910	42.5%
B	19,600	1,490	92.4%
C	24,300	8,720	64.1%

表3 布団を叩く、掃除機で吸引するなどの対策の効果³⁾

(a) 排泄物 (単位 pg/g)				
布団	除去作業	除去前	除去後	除去率
A	たたく	10,300	13,600	-32.0%
B	たたく+掃除機	23,700	13,900	41.4%
C	掃除機	28,900	14,900	48.4%

(b) 虫体				
布団	除去作業	除去前	除去後	除去率
A	たたく	12,300	15,500	-26.0%
B	たたく+掃除機	36,200	19,600	45.9%
C	掃除機	40,300	24,300	39.7%

るリスクと、その対策以前の汚染質によるリスクのどちらが大であるかと言ったきわめて微妙な判断を要求されるリスク評価を行わなければならないのが現状である。そして、対策前の汚染質のリスクが大きい場合対策によるリスクが見落とされがちになったり、あるいは意図的に過小評価されることがあるので、注意が必要である。

上述のような理由により、この種の方法が実用化された例は多くはないが、例外の1つとして、最近社会的に注目されているホルムアルデヒドや揮発性有機化合物（VOC）等の建材等から発生する化学物質に対してはこの方法の実用化が検討されている。

1) 化学物質のベイクアウトによる除去

建材等に含まれたホルムアルデヒドやVOC等の化学物質は、室内の温度が高いほど発生が盛んになるという性質があるが、その性質を利用して、新築建物などに人が住む前に、意図的に室温を上げて、化学物質の放散を活発にしておき、居住者が住む頃には発生量が少なくなるような汚染低減対策が、考えられており、この様な対策を「ベイクアウト」と言う。

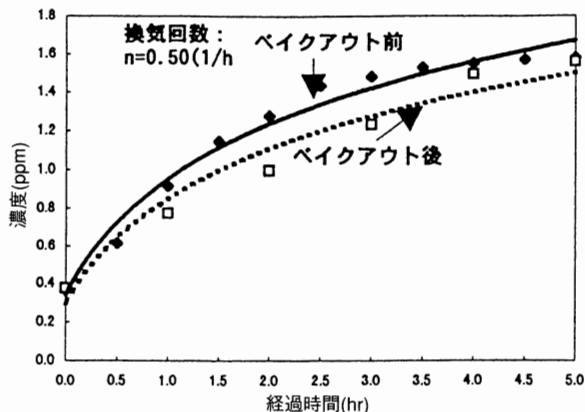


図2 ベイクアウトの効果に関する実験結果⁴⁾

図2⁴⁾に示したのは、実験室内にベイクアウト（室温を24時間にわたって33℃に保った）する前後のそれぞれの建材について室内のホルムアルデヒド濃度の上昇パターンの違いを比べたものである。図よりわかるようにベイクアウトした場合はそうでない場合に比べ2割程度低い濃度を示し

ている。ベイクアウトの効果は、この場合、濃度の2割減につながったことになるが、ベイクアウトの時間や温度によってその効果は変わってくる。一般的には、温度は高いほど、時間は長いほど効果は上がるものと思われるが、温度の上げすぎは、建材や仕上げ材にそりをもたらすことになるし、長時間のベイクアウトは、いろいろな意味でコスト高となるが、それに見合う効果が得られるかどうかは必ずしも明確ではない。空気環境の改善と言う以外の要素も加味した幅広い検討が必要であり、今後の課題の1つである。

2) その他の例

ラドンガス、化学物質などをビニール皮膜などで覆って室内への発生を阻止する対策が考えられるが、この方法は、その皮膜に少しでもひび割れなどの隙間ができると、そこから汚染質が漏れ出してしまい、防止効果が無に帰してしまうという欠点があり、この種の方法が実用化されたと言う話はまだないようである。

4. 空気清浄機等による汚染質除去

空気清浄機等を用いた室内に侵入した汚染質を除去する方法は、前の2つに比べればかなり実用性の高い方法であると言える。但し、除去の対象となる汚染質が特定されており、さらにその物理化学的挙動特性が十分に知られていなければならない。よって対象とする汚染質が単なる浮遊粉塵1種類の場合のような単純なケースの場合は実用的であると言えるが、VOC、タバコ煙、燃焼排ガス、臭気のように、問題とする汚染質が気体やエアロゾルなどの様々な化学物質からなる場合には、必ずしも全ての原因物質を除去できないと言う欠点を抱えている。また、空気清浄装置の維持管理が不十分だと、浄化装置の汚染保持容量を越える汚染質を処理する結果となり、浄化装置からの汚染の再発生と言う事態も考えられる。さらに、保持容量を越える処理をしていなくとも、管理が悪ければ、捉えた汚染質を保持している部分に微生物が繁殖する、化学反応を起こすなどして、別な形の汚染を起こす恐れのあるところである。

以下にいくつかの具体例を示す。

1) タバコ煙、一般浮遊粉塵などの粒子状物質の除去

空気清浄機と呼ばれる器具は、元々、タバコ煙除去を目的としたものであるため、図3⁵⁾に示すように、粒子状物質の除去に関しては、それ相応の効果を示す。しかし、改めて言うまでもないことかもしれないが、浮遊した粉塵であっても空気清浄機の中に入らない限り除去されることはないのが事実である。よって、あまり過大な期待はしない方が無難である。

また、使用者によっては、空気清浄機があることにより、精神的な安定を得るといった側面も認められないとはいえないが、逆に、空気清浄機に頼りすぎ、換気や掃除、布団の管理など基本的な防除策を怠るようになるとした問題であるので、この点からも、注意が必要である。

2) カビ・ダニアレルギーの除去

カビやダニのアレルゲンは、粉塵の一種であり、空気中に浮遊しているカビ・ダニアレルギーの空気汚染物質としての挙動は、浮遊粉塵と同じと考えてよい。したがって、浮遊粉塵除去を主目的とした空気清浄機は、基本的には有効であるといえる。但し、カビ・ダニアレルギーは、粒子径の大きな粉塵であり、空気中に浮遊している時間は、微細粒子のタバコ煙などと比べれば、それほど長くなく、空気清浄機によって除去される効率は、必ずしもよいとはいえない。

3) 窒素酸化物、ホルムアルデヒド、VOCなどのガス状物質の除去

上述のとおり、窒素酸化物はガス状物質であり、元々は、タバコ煙のような浮遊粉塵の除去を目的として開発された空気清浄機は、窒素酸化物の除去に関しては、ほとんど無力である(図3⁵⁾中の▲と■)はずであるが、最近では、ガス状物質の除去も視野に入れたとの宣伝文句の空気清浄機も販売されるようになり、場合によっては、図4⁵⁾中の◆に示すようにかなりの効果が期待できる場合も見られるようになってきた。特に、窒素酸化物の場合には、空気清浄機等によく吸着されるケースがあり、使い方によってはそれなりの効果が期待できる場合もある。ただし、この種類の空気清

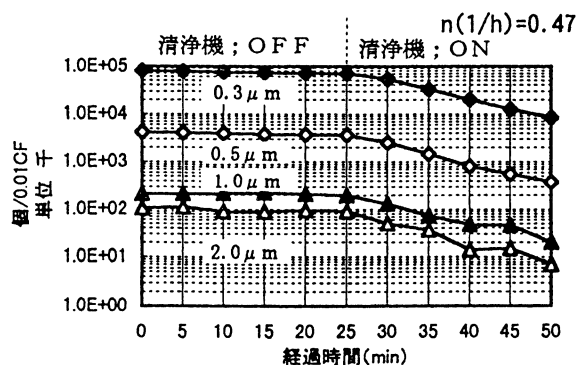


図3 空気清浄機の粉塵除去効果に関する実験結果例⁵⁾

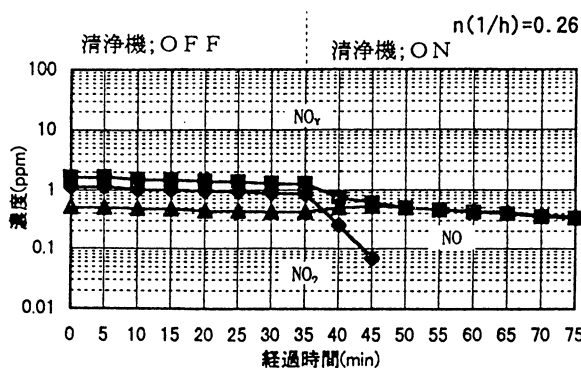


図4 空気清浄機のガス状物質除去効果に関する実験結果例⁵⁾

浄機を使用する場合には、効果が期待できるかを十分確かめておく必要があるのは言うまでもない。

なお、最近、特にホルムアルデヒドを極めて効率的に取るとの宣伝文句の空気清浄機が販売され始めているが、そのタイプの清浄器が著者らの実験⁵⁾した由来製品と比べどの程度であるかは、まだ、公表されたデータはないようであるため、公式の評価はできない。

4) 花粉アレルギーの除去

アレルギーの原因となる花粉は、原則として室内には発生源がなく、室内環境中の花粉アレルギーは、すべて外気からの侵入ということになる。このため、このケースでは、後述するように、通常はオールマイティの汚染除去手法である換気はできるだけしないことが望ましいことになる。しかしながら、換気をしないと室内発生性の汚染

物質が室内に滞留してしまうことになるので、花粉防除のために換気を完全に止めるというのは、現実的でない。そこで、換気をすることは前提とした上で、それによる外部からの浸入を最小限にするとか浸入したものを室内で除去することになる。ただし、換気を前提とした上で浸入量を最小にするといっても、窓を開けたり、換気扇を運転している時間を最小限にする、窓や換気扇の入口に花粉除去のためのフィルターをつけるなどしてもそれによる浸入量の大幅な低下は、あまり期待できないため、実際には、室内に入ってきた花粉を空気清浄機で除去することになるものと思われる。

5) 気流によるラドン娘核種の除去

ラドン娘核種は、ラドンと言う放射性のガスの壊変により発生するきわめて微細な粒子状物質であり、これを吸入することにより、肺癌のリスクを高めるとされる。ラドン娘核種壊変直後は、帯電しているため、他のエアロゾルに付着することが多い他、壁、床、天井、家具などの表面にも、付着しやすい性質を持っているため、気流に乗せて、それら表面に衝突させることにより、空気中のラドン娘核種を減少させることができることが考えられる。また、空気をかき回す扇風機やファンなどの羽にも付着することも考えられ、扇風機などで気流を起こすことは、1つの有力な濃度削減対策となる可能性がある。

表4⁶⁾には、その様な意味で実施されたラドン娘核種の挙動に与える気流の影響を検討した実験

結果である。気流が0.1m/s程度から1.6m/s程度に増加することにより、ラドン娘核種の全成分（他のエアロゾルに付着した「付着成分」と付着していない「フリー成分」の和）の親核種であるラドンガスに対する比は、エアロゾル濃度は低い場合で、26%から10%に、高い場合で44%から37%に減少している。即ち、気流が増加することで、ラドン娘核種濃度は減少し、特に、エアロゾル濃度が低い場合に効果が大きいことが示されたと言える。このことは、エアロゾル濃度を低減させる効果の大きい空気清浄器の併用が有効であることを示している。

なお、上記実験において、ラドン娘核種濃度が、ラドンガス濃度に対する比として表わされているがこれは、ラドン娘核種濃度はラドンガス濃度に大きく依存するが、実験室の性能上の問題で、これを制御することができずラドンガス濃度は、実験した日によって大きく異なることになったことを補正するためである。

5. 換気

最後に、換気による室内空気中の汚染除去は、最も消極的な方法ではあるが、室内空気中の汚染質がガス状物質であろうとエアロゾルであろうと、また、それらの汚染質の挙動等がそれほどよく分かっていなくとも、さらには除去しなければならぬ汚染質が何種類であろうとも確実に全ての汚染質を室外へ排除できるというメリットを持っている。特に、VOC、タバコ煙、燃焼排ガス、臭気のような複雑な特性を持った汚染質の除去方

表4 気流のラドン娘核種に及ぼす影響に関する実験結果⁶⁾

Run #	条 件		結 果					換気量 (回/h)
	気流 (m/s)	エアロゾル (cpm)	ラドンガス (Bq/m ³)	ラドン娘核種 (Bq/m ³)		ラドン娘核種/ラドンガス		
				全成分	フリー成分	全成分 (%)	フリー成分 (%)	
1	0.09	30	1338	344	18.6 (5.4%)*	25.7	1.39	0.084
2	1.67	32	2150	205	18.1 (8.8%)	9.5	0.84	0.066
3	0.10	962	1825	807	4.9 (0.6%)	44.2	0.26	0.096
4	1.58	915	2977	1114	8.3 (0.7%)	37.4	0.28	0.129

*: () で囲んだ数値は、全成分に対するフリー成分の百分率。

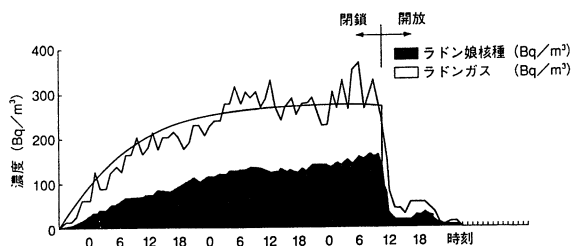


図5 ラドンガスの濃度と換気量の関係
(窓を閉め切った場合)⁶⁾

としては、最も費用がかからず、また実用性の高い方法と言える(但し、記述のとおり換気される外気の汚染質の濃度は、室内空気中にある汚染質の濃度より低いことが前提となっている)。

図5⁷⁾には、ラドンガスの濃度と換気量の関係が示されている。すなわち、部屋の窓などの開口をすべて閉め切った場合には、室の換気回数は、0.07回/hとなり、壁や床などからしみだすラドンガスによって室内の濃度が、徐々に上がり、2日半後には300Bq/m³に達し、平衡状態になることがわかる。その後、窓を開け、換気をすると室内の換気量は、数回/hとなり、濃度は、数Bq/m³程度にまで下がることが示されている。この場合重要なことは、濃度が上がるのには、相当の時間がかかるのに対し、下がるのには、1時間程度であることである。したがって、喚起をする時間は、閉め切った時間に比べ、相当短くても濃度を低くすることができることがわかる。

図6⁷⁾に示したのは、半日ごとに窓の開閉を繰り返した場合の室内濃度変動の様子で、この場合には室内の濃度が、100Bq/m³程度にしかならず、こまめに換気することの重要さが示されている。

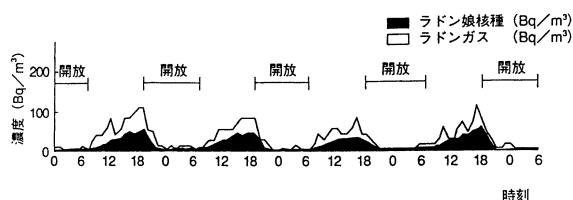


図6 ラドンガスの濃度と換気量の関係
(半日毎に窓を開閉した場合)⁶⁾

Ⅲ. まとめ

1. 室内空気汚染物質の建築学的除去手段としては、以下の4つに分けられる。

1) 汚染発生源を除去、隔離する事により汚染質の室内侵入を許さない手段

2) 発生源の性質を変え無害化する事により汚染質の室内侵入を許さない手段

3) 汚染質の侵入は許したのち空気清浄機等により除去する手段

4) 汚染質の侵入は許したのち換気により除去する手段

2. 上記「1)」の手段の1つであるカビ・ダニアレルゲンを室内に発生させない対策としての湿度コントロール(湿度を70%以上にさせない)は有効である。但し、室中央の湿度が低くとも、結露などが起こっている場合には、カビ・ダニの生息場所での湿度が高くなっていることになるので注意が必要である。

3. ダニアレルゲンに関しては、布団を掃除機で吸い取る、丸洗するなどの管理が有効である。

4. 上記「2)」の手段の1つである建材等に含まれたホルムアルデヒドやVOC等の化学物質に対する「ベイクアウト」と言う対策は、やり方によっては、効果的な場合もあるが、建材にそりを起こさせるなどの全く別の角度からみた問題点もあるので、今後、幅広い観点に立っての検討が必要である。

5. 上記「3)」の対策の内の1つである空気清浄機は、元々の開発の主旨からしてタバコ煙をはじめとする粒子状の汚染物質の除去には、一部問題がないわけではないが、それなりの効果が認められることは言うまでもない。

6. なお、機種によっては、窒素酸化物などのガス状物質の除去にもある程度の効果が認められる場合がある。特に最近では、ホルムアルデヒドやVOC等の除去に効果があることをセールスポイントとしたものもあり、今後検討されるべきである。但し、まだ、どの機種でもよいというわけにはいかず、全く効果のないものもあるので、注意が必要である。

7. 気流には、ラドン娘核種濃度を減少させる効

果が認められる場合があった。また、空気清浄機の併用は、一層、有効であると思われる。

8. 上記「4)」の換気は、室内空気中の汚染質がガス状物質であろうとエアロゾルであろうと、また、それらの汚染質の挙動等がそれほどよく分かっていなくとも、さらには除去しなければならない汚染質が何種類であろうとも確実に全ての汚染質を室外へ排除できるというメリットを持っている。また、こまめに換気することが重要である。

文献

- 1) Takaoka M : House Dust Mite in Japanese Building and Effect of Essential Oil. Proceedings for International Symposium on Mite and Midge Allergy : 42-56, 1988
- 2) 吉川翠 : ダニアレルゲン問題の現況と対策. 工業技術界講習会、シックビルディングシンドロームの現況と対策要旨集 : 3.1-3.9, 1992
- 3) 今井智子 : 居住環境のダニアレルゲン. 法政大学建築学科卒業論文, 1990
- 4) 飯倉一雄、野崎敦夫、他 : 集合住宅におけるベイクアウト効果に関する研究 (2)、室内HCHO、VOC汚染に関する研究 (その2). 空気調和・衛生工学会講演会公演論文集 1 : 57-60, 1997
- 5) 池田耕一、野崎敦夫、他 : 家庭用空気清浄機におけるガス状物質の除去特性に関する研究. 空気調和・衛生工学会講演会公演論文集 1 : 61-64, 1997
- 6) 池田耕一、伊藤和男、他 : 室内気流のラドン娘核種の挙動に与える影響. 日本建築学会大会学術講演梗概集 : 661-662, 1990
- 7) 池田耕一、吉沢晋、他 : 住居におけるラドン濃度構成機構に関する研究. 日本建築学会大会学術講演梗概集 : 1227-1228, 1987