

# 建築室内空気中の化学物質

国立保健医療科学院  
生活環境研究部 上席主任研究官 鍵 直樹

## 1. はじめに

人間は空気なくして生命を維持することはできず、人間を取り巻く空気は、生理的にも重要である。また一般に人間は1日の大部分を建物の中で過ごすと言われ、大気中の空気環境もさることながら、建物の中の空気環境は極めて重要である。

一般に空気とは、表-1に示すように、地球を取り巻く大気層の最下層部分の窒素、酸素、アルゴンやその他からなる混合気体を指す。窒素や酸素などで、空気の大部分を占めているものの、人の健康に有害となる成分はこれよりも極微量存在するものが対象となり、これらの物質に注目することが室内空気質悪化を対策する上で重要となる。よって、室内空気汚染を考える上では、この目に見えない、そして極微量に存在する物質が人体に悪影響を及ぼすことから、これらを検出し、発生源を発見し、除去するための対策を打ち立てることが室内空気質の維持に必要となる。

表-1 大気の定常成分

| 成 分    | 割 合   |
|--------|-------|
| 窒 素    | 78%   |
| 酸 素    | 21%   |
| アルゴン   | 1%    |
| 二酸化炭素  | 0.03% |
| その他のガス | 微 量   |

## 2. 室内空気と化学物質の関係

近年問題となってきた室内空気汚染物質として化学物質、揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds : VOC) が挙げられる。

近年、省エネルギーの観点から、高断熱・高気密建物となり、結果として室内空気は外気とは異なった性状の空気となった。それに加え、新建材と呼ばれる建築材料が使用されるようになってきた。多くの新建材はその製造工程において、接着剤や機能性を高めるための化学物質が使用されている。例えば、木質系材料の合板の接着剤に含まれているホルムアルデヒド及び有機溶媒、木質材料に使用されている防カビ、防虫剤、防蟻剤、ビニールクロスに含まれる可塑剤、ペンキ、ラッカー、ワックスの有機溶媒がそれである。このような化学物質が室内に発生すること、建物の気密性が向上したことで、結果的に空気中に汚染物質が滞留し、室内空気汚染の原因となっている。

このような室内に滞在することで、倦怠感・めまい・頭痛・湿疹・のどの痛み・呼吸器疾患などの症状があらわれる体調不良が起こることを、一般に「シックビル症候群」と呼んでいる。日本においては、住宅については特に、「シックハウス症候群」と

名付けている。

室内濃度指針値については表－2に示すように、厚生労働省から1996年よりホルムアルデヒドなど13の化学物質の指針値とTVOC(総揮発性有機化合物：揮発性有機化合物の合計濃度を表したもの)の暫定目標値が示された。この指針値は、毒性に係る科学的知見から、ヒトがその濃度の空気を一生涯にわたって摂取しても、健康への有害な影響は受けないであろうと判断される値である。

指針値の適用範囲については、特殊な発生源がない限り住宅やオフィスビルはもちろん車両を含めた全ての室内空間が対象となる。

指針値は、室内に発生源があり、外気と比較して明らかに濃度の高い物質を優先的に設定したものである。ホルムアルデヒド及びトルエンについてはヒト曝露における鼻咽頭粘膜への刺激及び神経行動機能・生殖発生への影響、その他の物質についてはラット及びマウスなどへの影響から指針値

を求めている。また、TVOCについては国内における室内化学物質濃度の実態調査の結果を用いて、対象となった居室の半数が達成可能と推定された値であること、健康影響を考慮した値ではないことなどから、暫定目標値として設定されている。

他の法律もこの指針値を参考としている。建築物衛生法では、オフィスビルや興行場など不特定多数の人が使用する特定建築物に対して、ホルムアルデヒドについてのみ上記指針値を基準値として採用している。この法律では二酸化炭素や浮遊粉じんなどを2ヶ月以内に1度、定期的に測定することが規定されているが、ホルムアルデヒドのみ建築、大規模な修繕・模様替えを行った次の夏期にのみ行うこととなっている。また、学校環境においては、学校環境衛生基準においてホルムアルデヒド及びトルエンを毎学年1回定期的に測定し、上記指針値を基準値として、超過した場合の事後措置として、換気の励行や発生抑制措置などが定められた。更に必要に応じてキシ

表－2 厚生労働省による室内化学物質の指針値

| 対 象 物 質    | 指針値<br>[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | 策定時期   | 対 象 物 質         | 指針値<br>[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | 策定時期   |
|------------|-------------------------------------|--------|-----------------|-------------------------------------|--------|
| ホルムアルデヒド   | 100                                 | H9.6   | テトラデカン          | 330                                 | H13.7  |
| トルエン       | 260                                 | H12.6  | フタル酸ジ-n-エチルヘキシル | 120                                 |        |
| キシレン       | 870                                 |        | ダイアジノン          | 0.29                                |        |
| パラジクロロベンゼン | 240                                 | H12.12 | アセトアルデヒド        | 48                                  | H14.2  |
| エチルベンゼン    | 3800                                |        | フェノブカルブ         | 33                                  |        |
| スチレン       | 220                                 |        | TVOC            | 400                                 | H12.12 |
| クロルピリホス    | 1 (0.2)                             |        | 暫定目標値           |                                     |        |

レン、パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレンを測定し、同様に上記の指針値を基準値として管理することとなっている。その他に、住宅の品質確保の促進等に関する法律(品確法)における住宅性能表示では、シックハウス対策の表示項目として室内の化学物質濃度が任意選択可能としている。その場合ホルムアルデヒドを必須とし、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレンは任意で測定値を表示する。

ただし、既にシックハウス症候群や化学物質過敏症の症状にある患者には、この濃度であっても発症する危険があることに注意する必要がある。

### 3. 建築物における化学物質の現状とは

住宅の化学物質汚染の実態調査については、全国における4,000住戸を超えるホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼン濃度の実態調査<sup>1)</sup>があり、また国土交通省により大規模な室内空気中の化学物質濃度の実態調査<sup>2)</sup>が2000年度より6年間行われてきた。一方、事務所ビルなど特定建築物では建築物衛生法により換気量が確保され、シックビル症候群として欧米ほどの問題<sup>3)</sup>となっていないものと考えられる。しかし、用途が幅広く、また発生源も多岐にわたり<sup>4, 5)</sup>、空気の性状や汚染物質の種類が建物毎に異なっていることが考えられる。測定例についても事務所建築<sup>6)</sup>及び官庁建築物<sup>7, 8)</sup>などの調査例はあるもの

の、その調査数は住宅の調査には及ばない。

そこで、全国約100件の事務所建築室内において、化学物質の測定を行った<sup>9)</sup>。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン濃度の分布を図-1に示す。スチレン及びパラジクロロベンゼンが $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった1物件を除いては、検出限界以下であることが多かった。指針値に比べると比較的低い濃度で分布しており、ホルムアルデヒドが建築物衛生法の基準値 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過する建物が3件(2.9%)、アセトアルデヒドの指針値 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるものが6件(5.9%)存在した。既往の建築物の超過率に関する報告<sup>7)</sup>では、ホルムアルデヒドが1.5%であった。また、国土交通省による新築住宅の平成16年の調査では、ホルムアルデヒドが1.6%、アセトアルデヒド9.7%、トルエン0.6%であり、ホルムアルデヒド及びトルエンについては年々減少の傾向を示している。建築物では一般の住宅とは内装材が異なり、空調設備により既に換気対策が施され、建築物衛生法により空気環

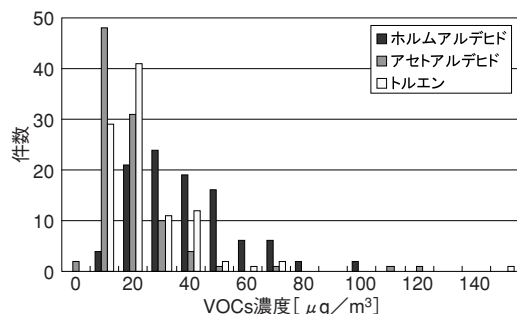
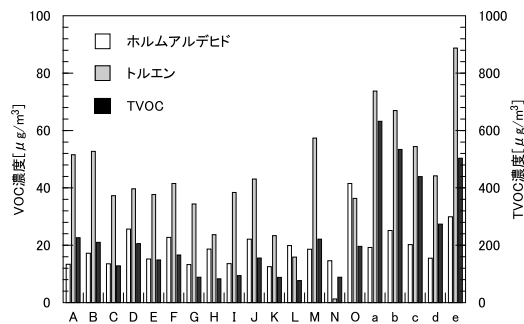


図-1 各VOC濃度の検出頻度分布

境の測定を定期的に行っていることから、2002年の改正建築基準法による新築住宅と同様に低い超過率となったものと考えられる。

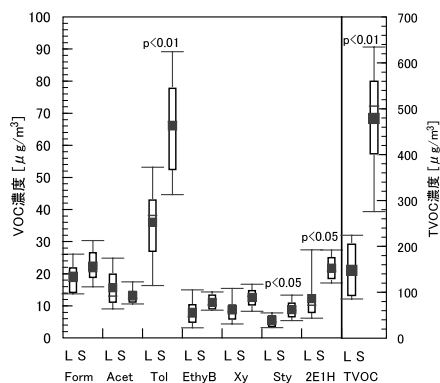
ところで、延床面積3,000m<sup>2</sup>以上の事務所ビルでは、「特定建築物」として建築物衛生法によって、空気環境の調整など実施が義務付けられている。環境衛生管理基準が定められており、基準と照合することが義務付けられている。しかし、3,000m<sup>2</sup>未満の建築物においてはこの法律の適用外である。よって、延床面積3,000m<sup>2</sup>以上の建築物と3,000m<sup>2</sup>未満の建築物（ここでは前者を大規模建築物、後者を小規模建築物と呼ぶ）では、室内空気質に影響を及ぼしていることも考えられる。そこで、事務所として使用されている大規模建築物（建物A～Oの15件）と小規模建築物（建物a～eの5件）の室内空気質について比較する<sup>10)</sup>。



図－2 各建物におけるVOC濃度

図－2に各建物における午前及び午後の値を平均したホルムアルデヒド、トルエン、TVOC濃度を示す。厚生労働省で示されている化学物質の室内濃度指針値を超過した建物はなかった。しかしながら、TVOCについては暫定目標値400 μg/m<sup>3</sup>を小規模建築物の5件中4件で超過していた。TVOC濃度が高かった原因として、室内における発生の多さ、換気不足が挙げられる。

図－3に大規模及び小規模建築物の化学物質濃度の比較を示す。両者の濃度に有意な差が現れたのは、トルエン、スチレン、1-エチル-2-ヘキサノール、TVOCであった。建築物での使用用途によっては、室内のVOC発生が異なることも考えられるが、小規模建築物で適切に換気が行われていないことが伺える。これから、適切に換気を行うことがVOC濃度の低減には重要であると考えられる。



図－3 大規模・小規模建物のVOC濃度の比較  
(L：大規模建築物、S：小規模建築物)

#### 4. 室内空気汚染の今までとこれから

1950年代からの室内汚染の変遷<sup>11)</sup>について、海外における室内空気環境、特に化学物質を中心とした今までの50年間の建物の変化と室内空気汚染の変化、そして今後の空気質についての記述があった。日本の状況とは若干異なるところもあるが、表-3にこのレビュー論文で記載されていた建物環境と室内空気環境の変遷についてまとめた。

建物側の変化としては、建築材料・内装材料があり、室内で居住者が使用する家庭用品の変化もある。そのため、例えば複合材からホルムアルデヒドの発生やPVCパイプ、ワイヤー、ケーブル、家電製品から揮

発性有機化合物(SVOC)の発生が多くなった、とある。実際に日本においても、住宅にはフローリング、オフィスなどにはカーペットを多用し、什器の種類によっては化学物質の発生が多くなり、室内の空気質を悪化させる原因となっていた。

また、室内における酸化や加水分解など化学反応による汚染物質の二次生成についても指摘されている。室内において、イオンを発生する空気清浄機や脱臭器などでオゾンが発生する機器が存在する場合、室内にある消臭剤に含まれているリモネンとの酸化反応により生成する、有機酸類、有機エアロゾルに関して、近年盛んに研究が行われるようになった。更に、接着剤と加水

表-3 建物環境と室内空気質の変化(文献11を変更)

| 建物環境の変化   |               | 室内空気質の変化                                                                                |
|-----------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 建築材料と製品   | 建築材料          | 複合材(ホルムアルデヒド)、PVCパイプ・ワイヤー・ケーブル(SVOC)                                                    |
|           | 製品            | カーペット、床材(リノリウム→PVC)、塗料(Texanol、リモネン)、家具、パーティション、洗浄剤、消臭剤(テルペン類)、家電製品(SVOC)、衣服(ドライクリーニング) |
| 化学反応による生成 | 酸化反応          | アルデヒド類、有機酸類、有機エアロゾルの生成<br>テルペン類(塗料、消臭剤)                                                 |
|           | 加水分解          | PVC(可塑剤から2エチル1ヘキサノール)<br>ラテックス塗料(Texanol)<br>ホルムアルデヒド(接着剤)                              |
| 生活習慣      | 喫煙            | 室内における喫煙の減少                                                                             |
|           | 室内における時間の過ごし方 | 室内での時間が多くなる                                                                             |
|           | 室内ペット         | ペットアレルゲン                                                                                |
| 建物の特性     | 気密性の向上        | 省エネの観点から                                                                                |
|           | 空調            | オフィス及び住宅でも換気的重要性                                                                        |
|           | ダンブ           | カビ、ダニの増殖                                                                                |

分解を起こして、室内におけるホルムアルデヒドの濃度が時間を経てもなかなか減少が見込めないのもこれが原因である。

住み手の生活習慣も非常に重要な要素であり、喫煙、室内での過ごし方などが挙げられている。また、近年室内においてペットを飼う家庭が増えてきていることから、室内におけるペットアレルゲンによる室内空気質の悪化も危惧されるところである。

建物の特性も先に述べたように気密性の向上で自然換気が期待できず、室内の濃度が上昇する要因にもなっている。日本においても住宅においては居住者の意思により、窓開け換気が行われなかったり、24時間換気システムがある住宅であっても、それが適切に動作していない、居住者によって停止されることなど換気が適切に行われ

ていない場合が見受けられる。

近年、建築環境の分野においては、「ダンプ」という言葉がよく聞かれる。ダンプは、「Damp」、「Dampness」であり、湿気、湿った、じめじめした、という意味で、建築内部の結露などによる環境の悪化を示したものである。WHOにおいても、ダンプに関するガイドライン<sup>12)</sup>が作成されたところである。ここで述べているダンプビルディング(ハウス)とは、住宅や建築物の湿度環境が過剰であること、これにより微生物の発生、材料の劣化、カビ臭、湿度過剰の問題が起きる建物である。室内の湿度の発生には、調理、洗濯、風呂、人、植物、その他に大気、地盤、漏水、洪水などもあり、結露により被害が拡大する。室内には、微生物、アレルゲン、VOCや他の化学物質が

表－4 今後の室内空気汚染物質の動向予測(文献11より変更)

| 汚染物質の種類          | 汚染物質の今後の動向                                             |
|------------------|--------------------------------------------------------|
| 無機ガス             | CO、NOx、ラドン↓<br>オゾン？(コピー機、イオン発生器)                       |
| VVOC             | ホルムアルデヒド↓<br>アセトアルデヒド↓？(室内化学反応)                        |
| VOC、アルデヒド        | ヘキサナール、ノナナール、デカナール↑？(室内化学反応)                           |
| VOC、アルカン・芳香族     | アルカン、芳香族↓<br>テトラクロロエチレン↑、↓(ドライクリーニング)                  |
| VOC、フタル酸類、シロキサン類 | DMP、DEP↑(化粧品類)<br>D5↑(化粧品、制汗剤)                         |
| SVOC             | BHT、DBP、BBP↑(酸化防止剤、可塑剤)<br>DEHP↑↓(製品(おもちゃ)含有の減少)       |
| 金属、繊維            | アスベスト↓                                                 |
| 粒子               | アレルゲン↑？(ダンプ、ペット)<br>真菌・細菌↑？(ダンプ)<br>浮遊粒子↓(喫煙の減少、大気の減少) |

存在し、その内で室内のダンプによって濃度が上昇し、ヒトの健康影響を生じさせる。アレルゲン(ダニ・カビ)・バクテリアを上昇するだけでなく、室内化学物質、特に微生物から発生するVOC(MVOC: Microbial Volatile Organic Compounds)の発生も促進させるものである。

また、先の文献11のTable 2には、今後の汚染物質の濃度の動向について予測が記載されている。表-4はその一部を抜き出したものである。表中の↑や↓は、今後の傾向として増加や低減となることを示している。従来から汚染として問題視されてきたCO、NO<sub>x</sub>やラドン、化学物質でも建材からの発生の低減が進められているホルムアルデヒドや脂肪族・芳香族炭化水素については、既に汚染発生のメカニズムも解明され、対策も確立されていることから、低減となると予測している。増加と予想しているのは、前述したような化学反応により二次的に生成するアルデヒド類や酸化防止

剤、可塑剤などのSVOCが増加傾向になるのではないかとしている。また粒子状物質については、室内における喫煙の減少、大気汚染の改善から浮遊粉じん濃度としては減少すると予想している。しかしながら、ダンプや室内ペットにより、浮遊微生物やアレルゲン粒子などの濃度が増加する可能性を示唆している。更には、それらの汚染物質による健康影響について注視することが、今後必要となってくるものと考えられる。

## おわりに

本稿では、室内における化学物質汚染について、その影響と建築物の実態調査の現状について報告した。さらに、室内空気汚染の変遷を述べるとともに、今後の汚染物質の動向の予想についても示した。

次号では、建物内に多様な顔を見せる湿度と水分について話を進めることとする。

## 参考文献

- 1) 例えば大澤元毅ほか：2000年全国実態調査に基づく住宅室内空気のVOC汚染の状況，日本建築学会環境系論文集，第575号，pp.61-66，2004.1.
- 2) 国土交通省：平成17年度室内空気中の化学物質濃度の実態調査の結果等について，[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/07/071130\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/07/071130_.html)，2006.11.
- 3) P. Wolkoff, J.K. Nojgaard, C. Franck and P. Skov : The modern office environment desiccates the eyes?, Indoor Air, 16, pp. 258-265, 2006.8.
- 4) P. Wolkoff, C.K. Wilkins, P.A. Clausen and G.D. Nielsen : Organic compounds in office environments ? sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry, Indoor Air, 16, pp. 7-19, 2006.2.
- 5) H. Destailats, R.L. Maddalena, B.C. Singer, A.T. Hodgson and T.E. McKone : Indoor pollutants emitted by office equipment : A review of reported data and information needs, Atmospheric Environment, 42, pp. 1371-1388, 2008.3.

- 6) 藤井雅則：オフィスビルにおける室内空気質，空気調和・衛生工学，第72巻，第1号，pp.47－60，1998.1.
- 7) 大澤元毅，三木保弘，坊垣和明，住田浩典：官庁建築物における室内空気環境実態調査，日本建築学会技術報告集，第17号，pp.255－260，2003.6.
- 8) 桑沢保夫，大澤元毅，坊垣和明，住田浩典：官庁建築物における室内空気環境実態調査（平成13年度から平成15年度における測定結果のまとめ），日本建築学会環境系論文集，第592号，pp.29－33，2005.6.
- 9) 鍵直樹，池田耕一，柳宇，長谷川あゆみ，藤井修二：パッシブ法による事務所における揮発性有機化合物の実態調査と汚染原因の検討，日本建築学会環境系論文集，日本建築学会，Vol.74，No.638，pp.501－506，2009.4
- 10) 鍵直樹，柳宇，池田耕一，西村直也：事務所建築物の規模による室内空気質の比較検討，日本建築学会環境系論文集，日本建築学会，Vol.76，No.659，pp.43－48，2011.1
- 11) C.J. Weschler：Changes in indoor pollutants since the 1950s，Atmospheric Environment，43，153－169，2009.
- 12) WHO Europe：Dampness and Mould，WHO Guidelines for Indoor Air Quality，2009.

#### 【筆者紹介】鍵 直樹 氏

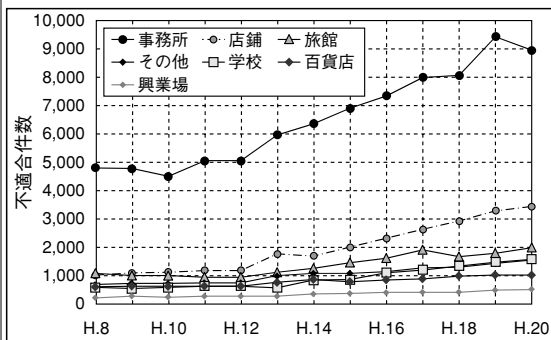
大学助手から、国立保健医療科学院に異動となり、シックビルやシックハウス症候群の対策のために、室内空気環境における汚染物質の中でも、化学物質やエアロゾルに関する研究に従事。博士（工学）

### 「空衛」2011年7月号 お詫びと訂正

「空衛」7月号（vol.65 No.7）において誤りがございましたので、下記のとおり訂正させていただきます。

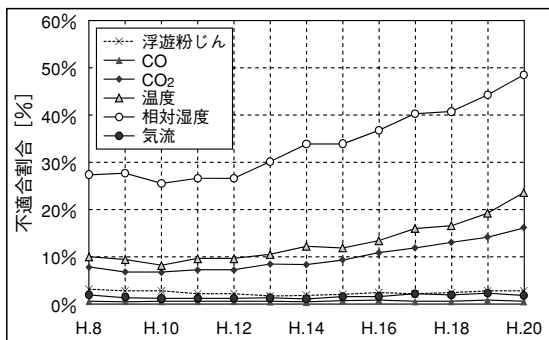
67 ページ

(誤)



図－3 全国特定建築物立入検査等状況調査による  
特定建築物届出数推移

(正)



図－3 全国特定建築物立入検査等状況調査による  
空気環境測定項目別の不適合割合

ご迷惑をおかけしました関係各位の皆様ならびに読者の皆様には謹んでお詫び申し上げます。