

度との間には相関がみられなかった。0.075 ppm の濃度の教室の学童の 55%に、0.043 ppm の教室の学童の 33%に FA 特異的 IgE 抗体がみとめられた (7)。

一般に FA に対する IgE 抗体が産生されることはまれであるといわれているが (8)、アトピー疾患患者では長期間にわたる FA 曝露では FA に対する IgE 抗体を産生し、IgE 抗体を介するアレルギーを引き起こすという報告 (9)もある。

一方わが国で 122 人喘息患児で FA 特異 IgE 抗体を調査した結果 2 名のみが陽性であったが、臨床的には環境あるいは症状との関連は明らかでなかった (10)。

また FA の高濃度曝露にさらされる解剖学実習中の医学生に関する調査ではその曝露は確かにすでにあるアレルギー症状や化学物質過敏症状を悪化させるが、これと FA 特異 IgE 抗体との間には関連がみられなかった (11)。

ところが歯科の治療に用いられる FA を含む充填剤などにより起こるアナフィラキシー、じんましんなど即時型アレルギー症状ではかなり高い FA に対する特異 IgE 抗体価がみられ、IgE 抗体と臨床症状の間に関連がみられる場合が多い (12, 13, 14) ようである。

このような結果からみると、確かに FA 特異 IgE 抗体は産生されるが、歯科治療におけるように接触濃度が高い条件を除けばガス状曝露ではアレルギー疾患や SHS に関してもその臨床的意義は現状では不明である。

また FA は遅延型アレルギーを引き起こす代表的な有機化合物でもある。しかし、FA はアレルギー疾患の接触性皮膚炎の原因物質とはなるが、SHS の症状には遅延型アレルギーの関与を思わせる所見は余りみられない。

また FA は C-fiber 刺激を介して神経原性炎症を引き起こすことが明らかにされている (15)。

57 例の気道アレルギー患者のうち 34 例 (60%) になんらかの化学物質に対する過敏性を示す病歴 (化学物質により何らかの症状の誘発あるいは臭いに敏感など) があつた。これら

の患者ではカプサイシン吸入咳誘発閾値が有意に低下しており、これらの患者の年齢は高い傾向にあつた (16)。

一方気道アレルギー患者でも化学物質過敏症状がない者では咳誘発閾値は健康人とかわりなかった。

これは知覚神経 C-fiber の過敏性亢進を示す所見であり、アレルギー性炎症による気道粘膜剥離による知覚神経の露出の結果と考えられている。

気管支喘息では好酸球性炎症による気道粘膜剥離がみられ、これが知覚神経 C-fiber の過敏性の原因ともいわれており、喘息以外でもアトピー性皮膚炎などで知覚神経過敏が問題となり、長期にわたるアレルギー炎症では C-fiber を介する神経原性炎症の関与があることが指摘されている。

したがってこれらの患者では FA に対する過敏性も亢進している可能性もあるものと思われる。このような所見はアレルギー疾患患者に化学物質過敏症が発症しやすい理由の 1 つになるかもしれない。

炎症惹起因子となる塵の中の生物因子の影響

また SHS の原因として湿気やカビの重要性を指摘している報告が多い (17, 18, 19)。

カビはアレルゲンともなるが、これが産生するマイコトキシンは様々な健康被害をもたらし、中枢神経系や免疫系に障害をもたらすばかりでなく、炎症惹起因子ともなる (20)。

また 1053 例の学童について SBS 症状と環境調査が実施されたところ、全般的な症状と湿度やカビの増殖状況とは相関しなかったが、目の刺激症状、咽頭刺激症状、頭痛、集中力低下、めまいなどの 5 項目を取り上げると床のほこりのカビ濃度と相関していた (21)。これらの症状を引き起こす機序は免疫学的機序より、むしろ毒性刺激と考える方がよいのかもしれない。

シックビル関連病患者 100 例の環境中のカビとそのカビに対する血中抗体や皮膚試験を実施した調査成績がある。その成績では環境中

からはアルテルナリア、クラドスポリウムなど 13 種のカビが採取され、これらを用いた血中抗体、皮膚反応からその過敏性と曝露状況が確認された。また T-リンパ球や B-リンパ球およびそのサブセットの異常も 80%の患者に確認された。またその他呼吸器症状は 60%に、神経症状は 70%にみとめられ、自律神経テストでは 100 例全例に異常がみとめられた。

おそらくカビやマイコトキシンはその毒性刺激、炎症惹起因子など多彩な側面から多彩な症状発現に関与していた可能性があり、抗体や陽性皮膚反応は単なるカビに対する防御反応や刺激に対する過敏性を表している可能性がある (22)。

湿気が SHS に重要な要因となっているとすれば、これがもたらすものはダニ、カビをはじめとする微生物およびこれに由来するマイコトキシン、エンドトキシン、その他の有機塵(ヒトのふけや毛髪、動物の毛など)、有機化合物である。これらの中でもダニはアレルゲンとして最も重要であるが、カビをはじめとする微生物、有機塵に関してヒトの健康に及ぼす影響についてはまだ不明な点が多い (23)。

ほこりの構成成分の中でとくに有機物の残骸が蓄積された有機塵が皮膚・粘膜刺激物質(炎症惹起因子)となり、アトピー素因はその促進因子となるともいわれている (24)。

ほこりの中の有機成分が炎症を引き起こす機序についてこれを裏づける研究報告もある。この報告 (25)によればほこり刺激による肺上皮培養細胞からの IL-8 分泌能はほこりの中の有機成分濃度に相関した。

また SBS 症状を訴える頻度が低い学校のほこりは訴えの頻度が高い学校のほこりに比べ IL-8 遊離能は低かった。この論文では有機成分とはエンドトキシンでも微生物でもなかったと述べているが、IL-8 はマクロファージや単球から主に分泌され、好中球を活性化する因子であり、その刺激は Toll-like receptor を介するエンドトキシン(グラム陰性桿菌由来)やペプチドグリカン(グラム陽性菌由来)、菌特有の DNA 構造である CpG モチーフその他鞭毛成

分などの刺激などがあり、菌類の関与も全く否定できるものではないと思われる。

マクロファージや単球の Toll-like receptor を介する刺激は IL-8 も遊離させるが、ナイーブ T リンパ球を Th1 にシフトさせる IL12 も遊離させるので、SHS では Th2 系で引き起こされるアレルギー症状と入れ替わって Th1 系が立ち上がった状況が背景にあるのかもしれない。

またオランダの 19 の官公庁ビルで働く 1355 人の労働者の SBS に関する調査では SBS の頻度が高い sick building ではその頻度が低い healthy building に比べ、グラム陰性菌が高濃度に検出され、また空気中のエンドトキシン濃度は前者では后者の 6-7 倍高かったという報告(26)がある。

この論文では SBS の原因の一つとしてグラム陰性桿菌とくにエンドトキシンの重要性も指摘している。

動物モデルについて

次にアレルギーと VOC との関連を示唆する動物実験に関する報告をまとめる。例えば FA 曝露は吸入 (27)あるいは注射 (28)によるアレルギー感作を促進することが明らかにされている。

さらにアレルギー患者は SBS をもつ頻度が高い理由を低濃度 FA 曝露の動物の下垂体-副腎系に及ぼす影響を調べることにより示唆する成績 (29)がある。

この研究では SBS は女性が多いことから雌のマウスが用いられた。

その結果では非アレルギー感作動物では用量依存的に視床下部における ACTH 産生刺激ホルモンを分泌するニューロンの増加がみられ、ACTH に関しても同様なパターンがみられた。一方アレルギー感作動物では下垂体-副腎皮質系のあらゆるマーカーの基礎値が高く、より低濃度の FA に反応する。これはおそらくアレルギーというストレスが頻回に加わっているためと思われる。また高濃度の FA 曝露では下垂体-副腎系の活性は低下する。これは FA の神経毒性によるものと思われる。

これらのモデルは SHS あるいは化学物質過敏症とアレルギー疾患の間には下垂体-副腎系機能亢進という神経-内分泌系を介した共通した病態があることを示唆している。

まとめ

SHS (SBS) の既往, 合併症としてアレルギー疾患の頻度が高いことに関しては多くの報告が指摘している。

この場合 SHS 患者がアレルギー疾患に罹患しやすいのか, アレルギー疾患患者が SHS に罹患しやすいのかは明らかでない。

しかし, SHS とアレルギー疾患の間には動物実験が示唆しているようになんらかの関連がある可能性はある。

SHS の発症にアレルギーを含む免疫学的機序の関与はあるかどうかについてはこれらの文献が示すように現在の段階では明らかでない。

アレルギー疾患と SHS の共通の所見として知覚過敏(とくに C-fiber について)があるようである。FA などの有機化合物は C-fiber を介して神経原性炎症を誘導し, さらに知覚神経の興奮を広める(軸索反射)ことも明らかにされている。

動物実験からは FA 曝露がアレルギー感作を促進するという報告もある。

いいかえれば VOC の曝露がアレルギー感作を促進すると同時に知覚神経をはじめとする神経系への病態を形成してゆく可能性があり, このあたりに SHS の発症機序のヒントがあるのではないかと考えられる。

また SHS の病態には最近の文献ではほこりの中の有機成分(生物因子)の炎症惹起作用が大きな役割を果たしている可能性が指摘されている。

したがって SHS の原因としては VOC もさることながら, 生物因子に関する研究もさらに進める必要があるのではないと思われる。

今後の課題

Sick Building Syndrome の原因汚染物質とし

ては確かに化学物質も重要であるが, 生物因子に関する研究が充分でないように思われる。

したがってどのような生物因子がどのような機序を介して症状発現に関与しているかに関する研究をさらにすすめる必要がある。

また, シックハウス症候群, 化学物質過敏症にはアレルギー疾患を既往症として, あるいは合併症としてみられることが多く, これらの疾患の間には共通の病態があるものと考えられる。したがって, このような面の研究を進める必要がある。

引用文献

- (1) Brasche S, Bulliger M, Morfeld M, Gebhardt HJ, Bischof W: Why do women suffer from sick building syndrome more often than men? -Subjective higher sensitivity versus objective causes. *Indoor Air* 11: 217-222, 2001.
- (2) Redlich CA, Sparer J, Cullen MR: Sick-building syndrome. *Lancet* 349: 1013-1016, 1997.
- (3) 角田和彦, 北條祥子, 吉野 博, 石川 哲: アレルギー児が思春期に受ける化学物質の影響 *神経眼科* 19(2): 176-187, 2002.
- (4) 岸田 勝, 鈴木五男, 中園宏紀, 伊澤雅子, 岡田麻里: 室内ホルムアルデヒドが気管支喘息の発症・悪化に関与したと考えられる 2 例 *日児誌* 106(5): 680-683, 2002.
- (5) 山川有子, 相原道子, 林 正幸, 池澤善郎: アトピー性皮膚炎の悪化をきたしたシックハウス症候群の 1 例 *皮膚臨床* 42(12): 1903-1906, 2000.
- (6) 深谷元継: 新築住宅入居後に悪化したアトピー性皮膚炎 *皮膚* 42(22): 5-8, 2000.
- (7) Wantke F, Demmer CM, Tappler P, Gotz M, Jarisch R: Exposure to gaseous formaldehyde induces IgE-mediated sensitization to formaldehyde in school-children. *Clin Exp Allergy* 26: 276-280, 1994.
- (8) Dykewicz MS, Patterson R, Cugell DW, Harris Ke, Fang Wu A: Serum IgE and IgG to formaldehyde-human serum albumin: Lack of

- relation to gaseous formaldehyde exposure and symptoms. *J Allergy Clin Immunol* 87: 48-55, 1991.
- (9) Wilhelmsson B, Holmstrom M: Positive formaldehyde - RAST after prolonged formaldehyde exposure inhalation. *Lancet* 8551: 164, 1987
- (10) Doi S, Suzuki S, Morishita M, Yamada M, Kanda Y, Torii S, Sakamoto T: The prevalence of IgE sensitization to formaldehyde in asthmatic children. *Allergy* 58: 668-671, 2003.
- (11) Mizuki M, Tsuda T: Relationship between atopic factors and physical symptoms induced by gaseous formaldehyde exposure during an anatomy dissection course. *Alerugi*50(1): 21-28, 2001.
- (12) Braun JJ, Valfrey J, Scherer O, Zana H, Haikel Y, Pauli G: IgE allergy due to formaldehyde paste during endodontic treatment, Apropos of case:2 with and anaphylactic shock and 2 with generalized urticaria. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 101(4): 169-174, 2000.
- (13) Tas E, Pletscher M, Bircher AJ: IgE-mediated urticaria from formaldehyde in a dental root canal compound. *J Invest Allergol Clin Immunol* 12(2): 130-133, 2002.
- (14) Haikok Y, Braun JJ, Zana H, Boukari A, de Blay F, Pauli G: Anaphylactic shock during endodontic treatment due to allergy to formaldehyde in a root canal sealant. *J Endod* 26(9): 529-531, 2000.
- (15) Ito K, Sakamoto T, Hayashi Y, Morishita M, Shibata E, Sakai K, Takeuchi Y, Torii S: Role of tachykinin and bradykinin receptors and mast cells in gaseous formaldehyde-induced airway microvascular leakage in rats. *Er J Pharmacol* 307: 291-298, 1996.
- (16) Millqvist E, Johansson A, Bende M: Relationship of airway symptoms from chemicals to capsaicin cough sensitivity in atopic subjects. *Clin Exp Allergy* 34: 619-623, 2004.
- (17) 西條康明, 岸 玲子, 佐田文宏, 片倉洋子, 浦嶋幸雄, 畠山亜希子, 向原紀彦, 小林 智, 神 和夫, 飯倉洋治: シックハウス症候群の症状と関連する要因-北海道の一般住宅を対象とした実態調査- *日本公衆衛生雑誌* 49(11): 1169-1181, 2002.
- (18) Dales RE, Zwanenburg H, Burnett R, Franklin CA: Respiratory health effects of home dampness and molds among Canadian children. *Am J Epidemiol* 134: 196-203, 1991.
- (19) Engvall K, Norrby C, Norback D: Sickbuilding syndrome in relation to building dampness in multi-family residential buildings in Stockholm. *Int Arch Occup Environ Health* 74: 270-278, 2001.
- (20) Gray MR, Thrasher JD, Crago R, Madison RA, Arnold L, Campbell AW, Vojdani A: Mixed mold mycotoxicosis: Immunological changes in humans following exposure in water-damaged buildings. *Arch Environ Health* 58(7): 410-420, 2003.
- (21) Meyer HW, Wurtz H, Suadican P, Valbjorn O, Sigsgaard T, Gyntelberg F: Molds in floor dust and building-related symptoms in adolescent school children. *Indoor Air* 14: 65-72, 2004.
- (22) Rea WJ, Didriksen N, Simon TR, Pan Y, Fenyves E, Griffiths B: Effects of toxic exposure to molds and mycotoxins in building-related illness. *Arch Environ Health* 58(7) 399-405, 2003.
- (23) Bornebag CG, Sundell J, Bonini S, Custovic A, Malmberg P, Skerfving S, Sigsgaard T, Verhoeff A: Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO: a multidisciplinary review of the literature(1998-2000)on dampness and mite exposure in buildings and health effects.
- (24) Caroline E, W, Herr, Anja zur Nieden, Stilianaskis NI, Gieler U, Eikmann TF: Health effects associated with indoor storage of organic waste. *Int Arch Occup Environ Health* 77: 90-96, 2004.

- (25) ELECTRONIC PAPER; Allermann L, Meyer HW, Paulsen OM, Nielsen JB, Gyntelberg F: Inflammatory potential of dust from schools and building related symptoms. *Occup Environ Med* 60 e 1-5, 2003.
(<http://www.occenvned.com/cgi/content/full/60/9/e5>)
- (26) Teeuw KB, Vandenbroucke-Grauls CM, Verhoef J : Airborne gram-negative bacteria and endotoxin in sick building syndrome. A study in Dutch governmental office building. *Arch Intern Med* 154(20): 2339-2345, 1994.
- (27) Riedel F, Hasenauer F, Barth PJ, Kozirowski A, Rieger CHI: Formaldehyde exposure enhances inhalative allergic sensitization in the guinea pig. *Allergy* 51: 94-99, 1996.
- (28) Tarkowski M, Gorski P: Increased IgE antiovalbumin level in mice exposed to formaldehyde. *Int Arch Allergy Immunol* 106 : 422-424, 1955.
- (29) Sari DK, Kuwahara S, TSukamoto Y, Hori H, Kunugita N, Arashidani K, Fujimaki H, Sasaki F : Effect of prolonged exposure to low concentrations formaldehyde on the corticotropin releasing hormone neurons in the hypothalamus and adrenocorticotropic hormone cells in the pituitary gland in female mice. *Brain Research* 1013 : 107-116, 2004.

厚生労働科学研究費厚生労働科学特別研究事業
分担研究報告書

建築衛生からみたシックハウスの対策と対応について

分担研究者：田中正敏（福島学院大学福祉学部教授・福島県立医科大学名誉教授）

研究要旨

近年、我が国において住宅等の気密性の向上、ライフスタイルの変化に伴う室内空気の換気量の減少、化学物質を放散する多様な建築材料や家庭用品の普及等に伴い、住宅等における化学物質による室内空気汚染が問題となっている。住宅については冷暖房設備の開発・普及、そして窓、戸など開口部へのアルミサッシの普及から、全国的に室内の気密性が高まり、さらに住宅性能の向上があり、省エネルギーの観点からも高断熱、高气密住宅が普及している。使用される建材や家具、そして建材用の接着剤の多用化などによる室内での化学物質汚染がみられ、換気状態や清掃などの点からも、室内の環境衛生状態が問題になっている。住宅内においては、建材や家具・什器は主要な汚染物質の発生源の一つであり、住宅の内装材として使用されている建材や家具の材質は建築衛生にとって重要である。室内の化学物質濃度を低減させる方法には、大きくは、①室内の換気を励行する、②室内の汚染発生量を減少させる、③発生した化学物質を吸着・分解する方法がある。さらに、この基本的対策に加えて、入居や新築時に人々が生活しているなかで空気清浄機器のメンテナンスなど、留意すべき日々の対応、対策も重要である。シックハウス問題に対する国レベルの対応策として、①原因究明や対策立案のための調査・研究・開発、②建築基準法や JIS 規格などの法制度の整備、③住宅金融公庫などによる支援策の制定、④業界への指導、助言である。化学物質による建築物内部の空気汚染問題への基本的な対応として、建築基準法が改正され、その概要は、①規制対象とする化学物質はホルムアルデヒドおよびクロルピリホス、②木材保存剤、防蟻剤であるクロルピリホスを含有した建材の使用禁止、③ホルムアルデヒドを放散するおそれのある建材の使用規制（床面積を基準とした制限）、④気密性の低い在来木造住宅などを除く住宅での換気設備の設置義務である。安全で快適な健康住宅は、住む人の責任でもある。人間が生活する環境に無菌で無毒な環境は実際的ではない。人々の生理状態が安全な限界において、化学的、生物的、物理的要因が居住環境においてバランスのとれ、快適なレベルである総合的な健康な住まいが必要とされる。

A. 研究目的

シックハウス症候群の予防と治療に関するデータを集積し、健康的で快適な住環境の条件とシックハウス症候群発生の予防を目標として、文献的考察をおこなった。ここでは主として建築資材、家具調度品などのシックハウス症候群の発生にかかわる社会・経済的要因、そしてそれらの予防対策としての換気、空気清浄機、そして法的規制などについて記述した。

B. 研究方法

シックハウス症候群の発症にかかわる社会・経済的要因、そしてシックハウスの予防対策の現状と効果についての文献レビューをおこなった。

C. 研究結果

1. はじめに

建物が原因となって発症する疾病は、広くビル起因性の疾病（building related illness, BRI）と呼ばれる。欧米諸国ではオイルショック

ク後の時期、1970年代後半から1980年代にかけて、外部から取り入れる新鮮な空気量、即ち部屋の換気量を減少させたオフィスビルなどで働く人々の間で、頭痛やめまい、吐き気などの不定愁訴や非特異的症状を呈する人々が増加した。1982年にWHO（世界保健機構）では、室内空気汚染についての会議を開催し、これらの建物をシックビルディング(sick building)、症状をシックビル症候群(sick building syndrome, SBS)とした。現在においてもこのような健康問題が発生した原因については必ずしも解明されておらず、複合要因が関与している可能性が示唆されている。一つにはエネルギーの利用効率化などの観点から、建築物の気密化や外気取り入れの抑制が行われたために換気量が不足したことに伴い、室内空気の汚染が進んだことが、シックハウスの主な原因と考えられる。

米国では省エネルギーの観点から、室内の換気量を1981年に、居住者1人あたり2.5 L/秒(9m³/時)のガイドライン値としたが、シックビル症候群が発生したことから、1989年には居住者1人あたりの換気量を3倍の7.5 L/秒(27m³/時)へと基準の変更を行い、二酸化炭素濃度については1000ppmとガイドライン値を定めている。この二酸化炭素濃度は、おおよそ換気量7.5 L/秒を維持するための水準とされる(1-3)。

日本では1970年に、公共性の高いビルなどを対象として「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」(従来のいわゆる「ビル衛生管理法」。以下、現行の「建築物衛生法」とする)が制定された。この法律は多数の人々が使用し利用する建築物の管理に関し環境衛生上必要な事項などを定めることによって、その建築物における衛生的な環境の確保を図り、公衆衛生の向上及び増進に資することを目的としている。対象となる建物は、事務所、店舗、学校、共同住宅、百貨店、興行場などの用に供され、延べ面積3000m²以上、ただし学校の場合には8000m²以上の特定建築物であり、その維持管理について環境衛生上、特に配慮の必要なものとしている(4)。

米国などにおいて社会問題となったシックビルディングが、日本の事務所、ビル等においてさして大きな問題にならなかったのは、これらの建築物の環境衛生管理体制によるものが大であると考えられる。また、日本で一般住宅について従来、シックビル症候群様の発生を免れてきたのは、建築様式の違い、和風建築にみられる隙間風などにより自然換気がおこなわれる状況が多かったからであると考えられる。近年の建築様式では建築物の気密性が増してきており、シックハウスが社会問題となっている。建築物における実際の日常の場での衛生管理の充実を図らないと、ビルや住居等の建築物の中で1日の大半を過ごす人々が飛躍的に増加しているなかで、問題はますます顕在化する可能性が大きい。人々の生活や活動の場である建築物は、安全性はもとより、健康で衛生的な環境が保持されていなければならない(5)(表1-1)。

シックハウスの主な原因として不適切な換気、そして室内での空気汚染物質があげられ、汚染物質として新建材、合板などの接着剤などに使用されているホルムアルデヒドなどの揮発性有機化合物(VOC)や複写機、事務機器などからのオゾン、塗料に含有されているトルエン、キシレン、それに各種建材の保存剤、可塑剤、防蟻剤などがあげられる(6)。なかでも、シックハウス症候群の大きな原因物質の一つとしてホルムアルデヒドがある。建築物衛生法で室内の空気質については、二酸化炭素(CO₂)を空気汚染の指標とし、基準をCO₂で1000ppm以下としている。これは一般的に外気量にして1人、1時間当たり30m³に相当し、室内の必要換気量が確保される(3,6)。

現在、ビルなどの建物については「建築物衛生法」があり、衛生管理が行われている。この法律の制定時には、厚生省において「ビルに関する法律」と「住宅に関する法律」が検討されたが、後者については個人の問題であり、法律的に考えることは不適とした意見もあり、制定にはいたらなかった。その後も住宅の環境衛生に関して推奨値などが検討されたが、立法化されないままになっていた(4)。

近年、日本では新築の住宅の居住者に身体の不調を訴える場合が多くみられる。ビルなどの建物での換気状態、空調設備などが悪く、汚染された空気によって、人々が不快や体調不良を訴える場合やアレルギーなどの症状を起こす場合が、シックビルディング症候群 (sick building syndrome, SBS) であるが、日本では住宅の場合に特に問題になり、これらは室内環境問題を喚起することからの造語として、住居についてはシックハウス、症状としてはシックハウス症候群 (sick house syndrome, SHS) と呼ばれる (1-8)。また、こうした現状や症状は学校でも生じており (9)、この場合はシックスクール症候群と呼ばれるが、本態としてはシックビルディング症候群と考えられる。

シックハウスの主因とされる室内でのホルムアルデヒドの発生は、揮発性などの化学的性状、そして気温や風速などの物理的因子による影響がみられる。特に新築の住宅においては、ホルムアルデヒド等の濃度が高く、シックハウス症候群を起こしやすいことから新築病ともよばれる。新築直後には接着剤などとして使用された建材の表面部分にあるホルムアルデヒドが、気温の高い環境条件で揮発し、換気状況の悪い閉めきった室内において高濃度となる。表在性のホルムアルデヒド等が揮発し終っても、合板などで建材内部に使用されているホルムアルデヒドは、経時的に少しずつ室内に発生することになる (3, 10, 11)。

シックハウス問題については、行政、研究機関・大学、企業など各方面から原因、対策などにつきアプローチがなされている。ここでは、シックハウス症候群の予防と治療に関するデータを集積し、健康的で快適な住環境の条件とシックハウス症候群発生の予防を目標として文献的考察をおこない、主に建築資材、家具調度品などのシックハウス症候群の発生にかかわる社会・経済的要因、そしてそれらの予防対策としての換気、空気清浄機、そして法的規制などについて記した (1, 5, 7, 8, 11-17)。

2. シックハウス症候群の発症にかかわる社会・経済的要因

2.1 住まいの変遷、住まい方の変化

日本での従来の木造家屋は、夏向きに造られていた。夏には戸を開放し風通しも良く、隙間からの部屋換気回数も多く、囲炉裏で薪を燃やしても、藁葺き家では屋根裏から越屋根へと煙は外へ流れ出し、室内の空気汚染については無縁の存在であった。しかし、冷房のない時代には、暑い夏に裸になっても人間の耐暑反応とすれば限界があり、逆に冬には衣服を着込めば何とか凌げたことから、住まいが夏向きに建築されたことは風土的に当然のことであった。近年、我が国において住宅等の気密性の向上、ライフスタイルの変化に伴う室内空気の換気量の減少、化学物質を放散する多様な建築材料や家庭用品の普及等に伴い、住宅等における化学物質による室内空気汚染が問題となっている (18-19)。

住宅については冷暖房設備の開発・普及、そして窓、戸など開口部へのアルミサッシの普及から、全国的に室内の気密性が高まり、さらに住宅性能の向上があり、そして省エネルギーの観点からも高断熱、高气密住宅が普及している。使用される建材や家具、そして接着剤の多用化などによる室内での化学物質汚染がみられ、なおかつ換気状態や清掃などの点から、ダニ、カビ、粉塵等による室内の環境衛生状態が問題になっている (20-22)。かつては室内空気中の汚染の問題として、開放型燃焼器具の使用、工場や自動車からの排ガスで汚染された外気の導入に伴う一酸化炭素、窒素酸化物、硫黄酸化物、粒子状物質による健康影響が建築物衛生上の重要な課題であった。最近では、ホルムアルデヒドなどの揮発性有機化合物による室内空気汚染、タバコの受動喫煙による健康影響が社会的問題となっている。

また清掃やネズミ、昆虫等の防除など建築物の維持管理に用いられる薬剤や、建築物利用者の生活行為活動に起因する化学物質により、室内の空気汚染が生じる可能性もある。

こうした事例の原因となる室内空気中の化学物質濃度の実態把握を行い、化学物質の不必要な曝露を低減するための対策を進める必要がある。タバコは様々な種類のガス状及び粒子状の有害物質を含有しており、種々の疾病の危険性を増大させる要因となり、妊娠中の喫煙により低出生体重児や早産の頻度が高くなるという報告もある。他人のタバコの煙を吸わされる受動喫煙により、肺癌や呼吸器系疾患等の危険性が増大する。受動喫煙を防止するためには、建築物において禁煙や適切な分煙の措置を講じることが重要である(4, 23)。

建築物の構造や、設備の維持管理、使用条件などは、病原微生物の増殖やそれに基づく感染症をはじめとする種々の疾患に大きく関与している可能性がある。建築衛生の観点からは、かつては、水系感染症や蠅や蚊、蚤などによる媒介感染症の対策が重視されてきた。生活環境の改善により、今日ではこれらの感染症は激減しているが、近年、ダニ、カビなどのような生物汚染問題への対応が建築衛生上の重要な課題となっている。建築物内の塵埃中に含まれるダニ、真菌の孢子、花粉、動物の毛、ゴキブリの虫体成分等は主要なアレルゲンであり、これらを除去するため、清掃の励行等建築物の維持管理における配慮が必要である。高温多湿の条件はダニや真菌の増殖を招きやすい。一方、アトピー性皮膚炎や気管支喘息の患者では低湿度が増悪因子となりやすいことから、適切な温湿度管理が必要である。住宅等への花粉の侵入についての実測では、室内での被曝量は屋外の1~2%であり、窓際の花粉の落下量率が高いなどの報告がみられる(24)。

過敏性肺炎は、建築物の構造や維持管理が発症に大きく関連するアレルギー疾患の1つであり、夏型過敏性肺炎は、高温多湿で日当たりが悪く、換気状態の悪い家屋で増殖しやすいトリコスポロン(Trichosporon asahii や Trichosporon mucoides)によって発症する過敏性肺炎である。予防のためには清掃を励行しトリコスポロンを除去することが重要である。また、建築物の空調に起因する結核の集団

感染事例が増加している。換気が不十分な建築物での集団感染事例の報告や、建築物の気密性の向上と集団感染の増加の関連を示唆する報告もあり、換気不足や過密が結核感染の重要な要因として挙げられている(4, 11)。

室内空気汚染での化学物質の発生原因として挙げられているのは(25-27)、

- ①住居施工時の素材である構造材、壁材、床材、天井材、接着剤、シール材などの建材、
- ②厨房設備機器、暖房機器、空調システム、家具、調度品
- ③在室者の呼気や体臭、生活用品、殺虫剤、芳香剤、除臭剤、喫煙
- ④外気の侵襲によるものとして自動車排ガス、住居周辺の発生源、外壁塗装などが挙げられる。

これらの発生原因の建築素材等としては、

- ①建材ではパーティクルボードの接着剤、化粧板の原材料と接着剤、壁紙の原材料と可塑剤・接着剤、断熱材の発泡剤、シール材の有機溶剤、プラスチック配管の原材料、畳、フローリング、プラスチックタイルの原材料・可塑剤と接着剤、塗料の原材料と有機溶剤、防かび剤、合成接着剤の原材料と有機溶剤
- ②家具・調度品ではカーペットの原材料と接着剤、タンスや家具の原材料や接着剤・防虫剤、カーテンなどの難燃剤
- ③暖房・厨房機器では石油ストーブやガスレンジの燃料・排気ガス、システムキッチンの原材料と接着剤
- ④空調機器では空調システムのダクト内壁塗装剤の有機溶剤
- ⑤生活用品では衣料品、化粧品、事務用品、接着剤、芳香・消臭剤、滅菌剤、洗浄剤などの原材料と加工剤
- ⑥電化製品・事務機器では掃除機の防菌・防カビ剤、コピー機器のオゾン、文具のマーカー類の有機溶剤
- ⑦自動車関連製品では燃料、排気ガス、内装材の原材料と表面加工材などが挙げられる。

2.2 建材、家具・什器と化学物質

住宅内においては、建材や家具・什器は主要な汚染物質の発生源の一つであり、住宅の内装材として使用されている建材および家具の材質などは建築衛生にとって重要である(27)。

(1) 合板、床フローリングなどの木質系の建材

フローリングは、材料と製造方法の違いにより単層フローリングと複合フローリングに区別される。単層フローリングの材料には、ブナ、ナラ、サクラ、カエデなどの木材が用いられる。複合フローリングの場合には、合板や集成材などの木質材料の表面に、天然木または合成樹脂を上張りしたものが使用されている。

木質建材とホルムアルデヒドの関係については、日本農林規格(JAS)により、普通合板、構造用合板、特殊合板、コンクリート型枠用合板、防災合板、難燃合板、構造用パネル、複合フローリング、集成材、構造用修正材、単板積層材および構造用単板積層材に関しては、2003年の建築基準法改正までは、Fc0からFc2の等級による分類が行われていた。これはホルムアルデヒド放散量(デシケータ法による水中濃度)による分類であり、数値が小さくなるほど放散量が少ないことを示している。また、これと同様に日本工業規格(JIS)により、パーティクルボード、繊維板(MDF: Medium Density Fiberboard)に関して、ホルムアルデヒド放散量(デシケータ法による水中濃度)により、E0からE2の等級に分類されていた。これも数値が小さくなるほど放散量が少ないことを示している。シックハウス問題の広がりとともに、建材などとしてホルムアルデヒド放散の少ない木質建材や繊維板などの使用が増加し、ホルムアルデヒドの放散量の少ないFc0合板やE0ボードの生産量が増加した。

建築基準法の改正にともない、農林水産省により、JASのホルムアルデヒド放散量の等級の基準値の改正が2003年に施行され(表2-1)、また、経済産業省により、繊維板、パ

ーティクルボード、塗料、接着剤等の建築材料のJIS改正が施行され(表2-2)、建材等の材料面でのホルムアルデヒド等の放散量は低下している。

JAS改正の内容は、従来の上位基準Fc0の上に、最上位基準F☆☆☆☆「放散量0.3mg/L」を新設し、一部の木材を除いてホルムアルデヒド放散量を部材に表示することを義務化している。JIS改正も同様に、E0などの従来の基準を改正、表示記号を変更、一部の木材を除いて等級表示を義務づけている。これによって、新基準の建材を使用した際に建材の使用制限の適用回避、等級に対する誤解の解消、ユーザーに対する情報開示が一層進むことが期待される。

(2) 壁紙

壁紙は素材により、ビニル系壁紙、布系壁紙、紙壁紙、木質系壁紙、無機質系壁紙に分類される。ビニル系壁紙は低価格で、デザインが多様、耐薬品性が高い、施工性がよいなどの特徴があり最も普及している。しかし、塩化ビニル、可塑剤などから有害物質の放散がみられる。布系壁紙の素材は、綿、麻、絹など天然繊維、レーヨン、ポリエステルなどの合成繊維などである。オーガニック・コットン壁紙は、無農薬、有機農業で栽培された、原料により作られた壁紙である。

壁紙において注意しなければならないのは、可塑剤、防カビ剤、難燃剤、プリント壁紙の溶剤である。可塑剤はビニルクロス以外の壁紙であればあまり問題はない。ビニルクロスの場合は種類によって可塑剤の放散量は異なるが、なるべくこれらが含まれた製品を使用しないようにした方がよい。同様に、防カビ剤や難燃剤についても、化学物質による空気汚染の危険性があり、これらが含まれていない製品を使用したほうがよい。壁紙は使用面積が広く、さらに室内に貼付するため、室内の空気質に影響が大きいので十分な配慮が必要である。

壁紙に関する規格は様々であるが、日本では、壁紙材料協会のインテリア材料に関する自主基準ISM(Interior Safety Material)により、

加工紙壁紙、織物壁紙、ビニル壁紙に関するガイドラインが設けられている。また、一部のメーカーでは、海外で最も厳しいとされるドイツのRAL（ドイツ商品安全表示協会）規格を取得しているところもある。日本国内の壁紙メーカーを主とした団体であるSV（Standard Value）協議会では、安全性の基準はRALに、品質面の基準はJISに準じたSV規格を制定している（表2-3）。建築基準法の改正に伴い、壁紙についてのホルムアルデヒド放散量の等級規格として、F☆☆☆☆（放散量基準値0.2mg/L）が設けられた。ビニル壁紙などを対象とした発生ガス実験では、ガス発生は初期に大きく（28）、そして環境条件に影響され、高温高湿条件でガス発生が大きくなっている（29-31）。

(3) 接着剤と塗料

接着剤は、主成分、溶剤、添加剤の要素で構成され、用途としては壁紙用、床材用、木材用の3つに大別できる。接着剤に含まれる化学物質には、トルエン、キシレン、酢酸ブチル、酢酸ビニルなどがある。安全性の面からはエマルジョン系の接着剤を使用することが望ましいが、強度や耐久性が落ちるといった問題がある。有機溶剤接着剤は、強度、耐久性、施工性、経済性の面で優れており、人体への健康影響が疑われても、その性能上の利点からすぐには製造、使用停止とはならない場合がある。有機溶剤系接着剤を用いる場合には、使用規定に基づき、一定の換気期間を取らなければならない。また、有機溶剤系の接着剤でもエマルジョン系の接着剤でも、固まる前の樹脂の状態である主成分の樹脂モノマーには毒性が指摘されるものが多い。溶剤や樹脂モノマーの影響を少なくするために、接着剤が十分に乾燥し固まってから入居することが大切である。

塗料に関しては、エマルジョン系の水性塗料は、有機溶剤系塗料に比べ有機溶剤の含有量は少ない。最近では、植物を中心とした原料である自然塗料も普及している。自然塗料には柑橘系など独特のにおいを有するものが多く、合成アルコールが溶剤として使用され

ている。社団法人日本塗料工業会では、シックハウス対策として、塗料中の化学物質の含有率により塗料の分類の試案を作成している（表2-4）。接着剤も塗料も製品安全シート（MSDS：Material Safety Data Sheet）により成分表示等を知ることができる。

なお、建築基準法の改正に伴い、日本工業規格（JIS）により、接着剤についてのホルムアルデヒド放散量の等級規格として、造作用接着剤、床根太用接着剤にF☆☆☆☆（原料規制）を設定し、高分子系張り床材用接着剤、木レンガ用接着剤、壁・天井ボード用接着剤、発泡プラスチック保温板用接着剤、陶磁器質タイル用接着剤、酢酸ビニル樹脂エマルジョン木材接着剤、水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤にF☆☆☆☆～F☆☆（放散速度および原材料などの規定で等級分け）を設定し、壁紙施工用でん粉系接着剤にはF☆☆☆☆（放散量基準値0.1mg/L）が設定された。

塗料の規格については、ホルムアルデヒド放散量の等級規格として、建物用床塗料、アクリル樹脂製非水分散型塗料、アルミニウムペイント、油性調合ペイント、合成樹脂調合ペイント、フタル酸樹脂ワニス、フタル酸樹脂エナメル、油性系下地塗料、一般用さび止めペイント、多彩模様塗料、家庭用屋内木床塗料、家庭用木部金属部塗料、油性調合ペイントについては、F☆☆☆☆（放散量基準値0.12mg/L）、F☆☆☆（放散量基準値0.12～0.35mg/L）、F☆☆（放散量基準値0.35～1.8mg/L）の等級が設けられた。セラックニス類、ニトロセルロースラッカー、ラッカー系シーラー、ラッカー系下地塗料、塩化ビニル樹脂ワニス、塩化ビニル樹脂エナメル、塩化ビニル樹脂プライマー、アクリル樹脂ワニス、アクリル樹脂エナメル、建築用ポリウレタン樹脂塗料、つや有り合成樹脂エマルジョンペイント、合成樹脂エマルジョン模様塗料、合成樹脂エマルジョンパテ、家庭用屋内壁塗料についてはF☆☆☆☆（原料規制）が設けられている。

(4) カーペット

化学合成製のカーペットには、難燃剤、抗

菌剤、可塑剤が含まれているため、化学物質を放散させる可能性がある。木綿、麻、絹、羊毛などの天然繊維のものを使用することが望ましいが、これらにも防腐剤、抗菌剤などが含まれている可能性がある。またカーペットには発生する粉塵やダニ・カビの問題がある。カーペットは、様々な汚染物質をカーペットの表面、さらには繊維の中にまで集積しやすいので、定期的なクリーニングが必要である。

(5) 畳

畳は、原料が植物の井草であり、天然物という感じを受けるが、現在の畳の多くは、畳ボード、ポリスチレンフォーム板など、様々な材料からできている。以前には大掃除の際に、畳を屋外に出し裏返しにして太陽に干し殺虫したが、今ではそのような生活行為はほとんどおこなわれない。

さらにマンションでは床下に換気スペースがなく、コンクリートに直接に畳が置かれている。このような状態では、床下のような通気がなく高温多湿の日本の夏の気候においては、ダニなどの害虫が発生しやすい。したがって畳床には化学物質による防虫処理がなされているのが通例であり、室内空気質の汚染になりやすい。畳の和室では、人々は床面に近い空間で生活しているので、それだけ畳の影響を受けやすい。畳のなかには、炭や木材チップの使用や天然素材の畳床もみられる。

(6) 断熱材

断熱材は、主にグラスウールやロックウールなどの無機繊維系、発砲プラスチック系、木質繊維系の3種類に大別される。無機繊維系の断熱材の場合には、ホルムアルデヒドや酢酸ビニル等を含有する接着剤が使用されている。発砲プラスチック系の断熱材には硬質ウレタンフォーム、押出法ポリスチレンフォームであるスタイロフォーム等があり、これらには発泡材として代替フロンが含まれており、代替フロンは必ずしも安全ではなく、環境への影響も懸念されている。木質繊維系のセルローズファイバーは、新聞紙の端材等を主原料としている。施工はグラスウールと同

様で壁体などに入れ込むものであり、施工の良し悪しが断熱性能に影響する。

建築基準法の改正に伴い、日本工業規格(JIS)では、保温材、断熱材についてのホルムアルデヒド放散量の等級規格として、人造鉱物繊維保温材、住宅用人造鉱物繊維断熱材、吹込み用繊維質断熱材に、放散速度および原材料などの規定で等級分けされたF☆☆☆☆~F☆☆☆が設けられている。ホルムアルデヒドの低減を旨として断熱材の開発もおこなわれており、実績をあげている(5, 25, 32)。

(7) 防蟻剤

防蟻剤は建築物をシロアリによる食害から守り、耐久性を向上させ、耐用年数を延ばすことを目的に、床下の土壌や土台等の木材処理、防腐剤と併用して使用されている。現在、防蟻剤として広く使用されているのは、有機リン系、ピレスロイド系、カルバメート系の薬剤である。使用量としては、有機リン系のクロルピリホスが以前には多かったが、1999年にはその占める割合は20%に減少し、かわりに非有機リン系薬剤の使用が増加している。

これらの薬剤を現場で処理する場合、施工法によっては、薬剤の成分が近隣地へ拡散する一方で、室内に流入する可能性もある。建築基準法により、腐朽や腐食が懸念される部材には何らかの対策をとることが求められているが、その手法は必ずしも薬剤処理のみに限定されたものではなく、薬剤を使用せずに、防蟻・防腐上に有効な材料、ないしは工法を選択することも可能である。ヒノキ、ヒバ、ケヤキといった耐腐朽性、耐蟻性のある樹種の心材や心持材の使用、そして土壌への薬剤処理にかえて鉄筋コンクリート造のべた基礎にするなどの手法が挙げられる。

(8) 家具・什器

室内空気の汚染状況には、家具をはじめとした日常生活用品の影響も大きく、これらが室内空気の化学物質汚染の発生源の原因となっている。一般の家具には、床材と同様に、合板や繊維板などの木質材料が多用されている。いずれも加工の段階でホルムアルデヒドを含む接着剤を使用し、仕上げとして塗料を

塗布することが多く、家具からホルムアルデヒドやVOCが放散する可能性は高い。テーブルなどの場合には、家具自体に含有される化学物質が部屋の空気を汚染し、タンスなどの収納用の場合には、含有される化学物質が空気中に発散されるだけでなく、収納してある衣類をも汚染する。

一般に、こうした発生源による室内汚染の度合いには、使用されている材料とその表面積が関係し、使用材料からの化学物質の発生量が多く、材料の表面積が広いほど、より多くの化学物質が放散される。このことにより、内装仕上げ材が室内空気汚染物質として家具よりも重視される。

家具などの製造において、有害な化学物質の含有の少ない接着剤を使用し、仕上げ用の塗料が揮発し十分抜けているなど、製造工程の前段階において、化学物質に対する配慮がなされることが必要であり、居住者、使用者は、適正な家具を選び、入居後の空気汚染を抑制することが大切である。さらに、プラスチック製の家具類には、環境ホルモンとして人体影響が懸念されているフタル酸エステルなどの可塑剤が含まれるほか、パソコンやテレビなどの電化製品にはスチレンなどが含まれており、こうしてみると人々は日常生活において多くの化学物質の中で生活しているのである(33, 34)。

3. シックハウスの予防対策の現状と効果

3.1 汚染防止に関する技術面からの対策

室内の化学物質濃度を低減させる方法には、大きくは、①室内の換気を励行する、②室内の汚染発生量を減少させる、③発生した化学物質を吸着・分解する、の3つの方法になる。さらに、この基本的対策に加えて、入居や新築時に人々が生活しているなかで空気清浄機器のメンテナンスなど、留意すべき日々の対応、対策も重要である(7, 8, 35-37)。

(1) 換気

換気による室内空気中の汚染質の除去は最も効果的であり、汚染物質がガス状物質や粉塵などの種類によらず、或は汚染質が何種類

であろうとも汚染物質を室外へ排除し、室内空気を清浄に維持できるという利点がある。VOCなどのようないろいろな特性を持った汚染質の除去法として、安価で実用性の高い方法である。ただし、当然のこととして換気される外気が清浄であり、室内汚染物質濃度が外気中の汚染物質濃度より低いことが前提である(38)。

換気には、新鮮空気を取り入れる給気と室内の汚れた空気の外部への排気を共に機械装置により行う第1種換気と、給気を機械装置でおこなう機械給気と自然排気により行う第2種換気、台所等のように換気扇を使つての機械排気と自然給気により行う第3種換気、給気、排気ともに自然換気による第4種換気がある。漏気と自然換気とは、換気機械が関与しない点では共通しているが、隙間などからの漏気は隙間風のみでなく壁からの場合もあり壁の中などの結露の原因ともなり、健康障害、建物の被害をきたしやすいので、漏気を少なくし、人が制御できる窓、給気孔、排気孔などからの換気が必要である。

生活時の部屋の必要換気回数の目安は、部屋の空気が1時間で半分入れ換わる0.5回/時であるが、機械換気設備を備えている住宅でも、実際には空気の流れなどにより設定された換気量が得られていないケースもみられる。機械換気システムの方式としては、第3種換気システムの機械排気方式が一般住宅では最も普及している。第2種換気システムの機械給気方式は確実に外気を導入できるという点で優れている。しかし、この方式は壁体内部結露の問題もあり、現在、住宅ではあまり採用されていない。

また、建物の施工作業時に汚染濃度がかなり高く、さらに、建材は新しいものほど化学物質の放散量が多いため、引き渡し前に十分な期間をとって、可能な限り窓を開放して換気を行うことが必要である(39-41)。換気が室内環境に影響を与え、カビ発生防止などにも連なる(42-43)。新鮮外気を人々の呼吸域に供給し、実際的な高効率換気の試みもなされている(44)。

(2) 適切な建材、施工方法、日用品の選択

汚染物質の発生を抑える一つの方法は、化学物質を含む建材や薬剤などの室内への持込みを可能な限り抑えることである。設計面では、化学物質の放散量の少ない材料を選択し、実際の施工現場では、有害な化学物質を含む接着剤、塗料、薬剤の使用を抑えること、家具の購入、芳香剤や防虫剤の内容を確認することなどである。

(3) 汚染物質発生の抑制

室内の空気が化学物質によって汚染され、早く化学物質の揮発を抑制させたい時に、シートで建材を覆ったり、特殊な塗料を塗布したりすることにより建材からの化学物質の発生を抑制する方法がある。建材を覆うシートには、化学物質を透過させず、シート自体が新たな化学物質の発生源とならないことが必要である。この目的でよく使用されるのはアルミシートである。また、化学物質を封じ込める塗料としては、ホルムアルデヒドの揮発を80%まで抑制し、直接合板や建具に塗布できる自然系塗料や、ビニルクロスの難燃剤や可塑剤の揮発を約85%抑制し、壁紙に塗布することができる水性の高分子ペイントなどがある。

(4) フラッシュアウト (Flush-out) とベイクアウト (Bake-out)

換気量を一時的に増大させることによる室内空気の清浄化がフラッシュアウト (Flush-out) である。一般的には建材からの放散量が表面気流の影響をほとんど受けないため、フラッシュアウトを行った場合、換気量の増大分だけ室内の化学物質などの濃度が低減する。しかし、フラッシュアウト停止後、時間が経過すると室内の濃度レベルはフラッシュアウトを行う前の濃度レベルに戻ってしまう場合が多い。ペンキ塗り立ての状態では、換気量を増大させてフラッシュアウトを行うことにより、部屋の濃度レベルの低減が期待できる (45)。

これに対し、入居前に、室内の暖房機器などにより室温を上げ、同時に換気を行って化学物質の放散を促進させる方法がベイクアウ

ト (Bake-out) である。効果的であるが、あまり高温にしすぎると、内装材や建物にひびが入ってしまう場合もあり注意が必要である。また表面に塗布されているような化学物質には有効であるが、合板などのホルムアルデヒドのように材料中に含まれるものに関しては有効性が検証されていない。

新築マンションを対象として様々なベイクアウト実験を行い、総揮発性有機化合物 (TVOC) 濃度の低減効果を確認し、さらには換気の場合と比較し、ベイクアウトを併用した方が大きな低減効果があり、実施後の濃度の再上昇も少ないという報告もみられる (46-48)。ベイクアウト効果についての実験結果では、ベイクアウトの時間が長いほど効果があり、換気をしてベイクアウトをすることにより、建材への再吸着も少ないことが示されている (49-50)。自然放散が進んでいない建材ではベイクアウトは効果的であるが、自然放散が進んだ建材の場合にはあまり効果は期待できないとの報告もみられる (51)。

(5) 化学物質の吸着・分解

室内に発生した化学物質を吸着し、分解することで、化学物質が室内で高濃度になることを防止し、その影響を抑制することが可能である。近年になり、化学物質の吸着・分解による除去を目的とした空気清浄機や塗料、シートなどが開発されている (52-54)。

空気清浄機は、除去の対象となる汚染物質が特定され、さらにその物理・化学的特性が十分に知られていなければ効果的でない。そのため、汚染物質が粉塵やホルムアルデヒドというように特定されているケースには有効であるが、VOCなど多様な化学物質からなる場合には、必ずしもすべての原因物質を除去できるというわけではない (55)。環境タバコ煙等に対して、フィルタろ過式の空気清浄機は、静電気集塵式より性能は優り、効果の大きいことも示されている (56-57)。住宅での強制環境式空気清浄機の実測で、発塵後の初期には効果的であるが連続使用における効果は不明確であるとの報告もみられる (58)。

壁装材料としては、珪藻土や漆喰などを原

材料とした塗壁用材料，そしてゼオライトなどの火山灰土壌に含まれる粘土鉱物を焼成したうえで，ボード状にして貼り付けるタイプの材料がある。これらの材料は多孔質体で，吸湿・放湿性を有し，化学物質を吸着する優れた素材である。近年の塗壁などの左官材料の中には，樹脂が含まれるものも多い。その他の吸着・分解タイプの材料には，畳・床下調湿材，浄化シート，吸着・分解ボードなどがある(59)。

さらに，空気清浄機や塗料，シートなどの浄化能力や除去性能に関しては，製造者側の資料が存在するものの，標準的な性能確認試験方法に基づく学術的な検討は行われておらず，仕様書に記載されている性能の表示方法が統一されていないなどの問題もあり，空気清浄機の性能試験方法についての検討がおこなわれている(60)。

吸着剤や吸着分解剤は，原理的には化学物質除去法ではあるが，実際の生活の現場において，どの程度の効果があるかについては検討が必要である(61)。また従来の中央管理方式の空気調和設備又は機械換気設備を設けていない小規模建築物については，建築物環境衛生管理基準の適用外とされていたため，換気量が十分確保されず室内空気の汚染が懸念されるケースが認められること，そして十分な湿度管理が行われておらず冬季には低湿度状態になる傾向にあることが指摘されている(4)。

化学物質による室内空気汚染問題への対応については，二酸化炭素濃度が1,000ppm以下になるように換気量を確保することにより，建築物内の空気環境における化学物質の濃度を比較的低い水準に抑えることが可能であり，室内空気汚染の原因となり得る多数の化学物質を定期的に測定するのは実務的でないと考えられる。現時点における知見からは，化学物質の定期測定を一律に義務付けるのではなく，十分な換気量を確保することにより化学物質による室内空気汚染防止を図ることが適当と考えられる。

微生物による室内空気汚染問題への対応に

ついては，冷却塔等で増殖したレジオネラ属菌による集団感染，空気調和設備に起因する結核の集団感染，冬季に低湿条件で好発するインフルエンザの集団感染，加湿装置で増殖した細菌による肺炎や，居住環境に存在する真菌による過敏性肺炎の発症など，建築物の維持管理の状況等が，病原微生物の増殖やそれに起因する感染症をはじめとする種々の疾患に大きく関与している可能性がある(62)。実際，空気清浄装置，加湿装置，冷却塔，ダクト等の空気調和設備システムの構成機器が種々の細菌や真菌の汚染源となりうるということが報告されている(63)。

微生物由来の物質の存在状況と疾病との定量的な関係は，必ずしも明確ではない。したがって，現時点における知見に鑑みれば，細菌数や真菌数の測定を法令上義務付ける必要性は高くないが，微生物による室内空気汚染に関する調査研究は引き続き実施する必要がある。また，微生物の殺菌・抗菌を目的として，様々な種類の化学物質が使用されることがあるが，安全性や有効性が必ずしも十分検証されていないものが存在することが指摘されていることから，今後，これらを適切に評価する手法の研究が必要である(4)。

(6) 室内の清掃とメンテナンス

中央管理方式の空気調和設備では，ダクトを通じて給気，排気，外気導入が行われる。調査結果によれば，排気用ダクトの壁面には多量の粉塵が付着している場合があることが明らかになっている。また，室内空気中に清浄な空気を供給する給気ダクト内部にも，粉塵や真菌が存在し，空気調和設備始動時に吹出し口から室内に飛散される場合がある(4)。

ネズミ，昆虫等は，病原微生物を媒介し，人に感染症をもたらす恐れがあることから，建築物における衛生的環境を確保する上で，その防除が重要視されてきた。現在，我が国では，媒介動物が関与した感染症の発生は，極めて少なくなっているものの，世界的には発展途上国だけではなく先進諸国においても，しばしば媒介動物が重大な疾病の原因になっている。また，近年，建築物の大型化や室内

の温熱環境の向上に伴い、都市部においてネズミやゴキブリ等が増加傾向にあることが指摘されている。したがって、今後も、疾病予防の観点から、建築物におけるネズミ、昆虫等の対策に注意を払うことが重要である。

なお、近年、建築物におけるネズミ、昆虫等の防除において Integrated Pest Management (総合防除：IPM) という考え方が注目されている。IPM は、主として農業分野における害虫防除の体系として発展してきた概念であり、「害虫等による損害が許容できないレベルになることを避けるため、最も経済的な手段によって、人や財産、環境に対する影響が最も少なくなるような方法で、害虫等と環境の情報をうまく調和させて行うこと」と定義されている。

IPM については、手法や効果が明確でない対象種があるなどの問題点があるものの、ネズミ、昆虫等の防除は、IPM の考え方を取り入れた防除体系に基づき実施することが適当と考えられる。居住環境において、しばしばネズミ、昆虫等の発生がゼロになることを求める傾向があるが、ネズミ、昆虫等は、環境によって繁殖要件が違い、また防除の必要度も異なることから、地域において建築物を画一的に防除するのではなく、むしろ、ネズミ、昆虫等の生息状況を定期的統一的に調査するのが重要であり、その調査結果に基づき、必要に応じ適切な防除を行うことが適当である。防除作業の実施に当たっては、ネズミ、害虫等による損害が許容できないレベルに抑制することが防除の目的であって、ネズミ、昆虫等の発生がゼロになることを追求するのは適当ではない。

新築住宅などで、いまだ、ペンキなどの臭いのあるうちに入居し、揮発性の化学物質がたち込める中、防犯の点から、戸や窓を閉め、換気の少ない状態にあると汚染物質の濃度は高くなる。新築の場合には、ホルムアルデヒドなどの室内の化学物質への曝露を減少させるため、引き渡し後にも、すぐには使用せず、一定期間、窓を良く開け換気し、建物を養生してからの入居が望ましい。また、特に夏季

などには高温のため学物質の揮発が促進されるので、普通の換気に配慮することが必要である。

3.2 行政、国レベルでの室内空気汚染問題への対応

1996年に国会においてシックハウス対策が採り上げられ、行政的にシックハウス問題の解決に向けて、関連する各省庁で様々な取り組みが行われるようになった。シックハウス問題に対する国レベルの対応策としては、①原因究明や対策立案のための調査・研究・開発、②建築基準法やJIS規格などの法制度の整備、③住宅金融公庫などによる支援策の制定、④業界への指導、助言、の4点である。

(1) 行政による室内濃度指針値

厚生省(当時)では1997年にホルムアルデヒドの室内濃度指針値を設定したほか、1997～98年度にかけて一般住宅を対象として、VOCの空气中濃度の測定調査を実施している。各物質濃度を室内と室外で比較した結果、ほとんどの化学物質の室内濃度が室外の3倍以上の値を示し、室内に汚染の発生源があることが確認された。そして、2000年に、厚生労働省はシックハウス症候群について予防、治療方法の確立、安全な建材の開発支援を柱とする「シックハウス問題に関する検討会」をスタートさせた。この検討会では、室内を汚染する有機化合物の室内濃度指針値の設定や、化学物質の標準的測定方法の策定が進められ、2002年には、室内濃度指針値が提案された(表1-1、表3-1)。今後、さらに多くの化学物質についてのガイドラインが設定されるものと思われる。しかし、指針値の策定により、該当する物質の濃度は低減するが、それ以外の物質の濃度はかえって増大するといった弊害が懸念される。実際に、規制のかかっていない、性質の似た物質の使用をおこなう業者も存在している。そのため、こうした規制では個別のVOCだけの規制のみでなく、VOC全体としての規制、すなわち暫定目標値ではない、TVOCとしてのガイドラインが必要となる。

国土交通省では、建材をはじめインテリア・家具などの規格の見直し、建築事業者への指導強化、建材への化学物質の使用量表示などの情報開示制度について検討し、さらに、同省では、2002年に「職域における屋内空気中のホルムアルデヒド濃度低減のためのガイドライン」を公表した。これは、ホルムアルデヒドに関して、職域での屋内濃度指針値と事業者が取るべき措置を示したものである。オフィスなどの一般の職場に対しては、ホルムアルデヒド濃度の指針値は0.08ppmとなり、ホルムアルデヒドが発散している恐れがある場合には、濃度を測定することを事業者に求める内容となっている(5, 11, 27)。

(2) 住宅の品質確保の促進等に関する法律

1999年に制定された住宅の品質確保の促進等に関する法律は、住宅の品質確保の促進と消費者が安心して住宅を取得できる市場条件、住宅にかかる紛争の処理体制の整備を図るため、①住宅性能表示制度の創設、②住宅にかかる紛争処理体制の整備、③瑕疵担保責任の特例、の3つの措置を講じるものである(12, 27)。

住宅性能表示制度の中には空気環境に関する項目が記載されており、ホルムアルデヒド対策として、ホルムアルデヒドの放散を評価するために、使用されている建築材料の種類と放散量に基づく等級を表示することになっている。加えて、換気対策を評価するための全般換気対策と、便所、浴室などでの空気汚染物質や湿気を排除するための局所換気設備について、換気設備の有無などを表示することとしている。2001年には任意の項目ではあるが、室内空気中の化学物質の濃度等の項目が追加された。これは、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレンについて、住宅の濃度測定を実施し、そのうえで表示を行うものである。同様に、既存住宅においても、空気環境に関する項目の一つである、室内空気中の化学物質濃度等について、新築住宅に準じた評価および表示制度の導入が検討されている。

(3) 建築基準法の改正による規制

化学物質による建築物内部の空気汚染問題への基本的な対応として、建築基準法が改正され、その概要は、(5, 11, 23, 25)

- ①規制対象とする化学物質はホルムアルデヒドおよびクロルピリホス
- ②木材保存剤、防蟻剤であるクロルピリホスを塗布ないし含有した建材の使用禁止
- ③ホルムアルデヒドを放散するおそれのある建材の使用規制(床面積を基準とした制限)
- ④気密性の低い在来木造住宅などを除く住宅での換気設備の設置義務である。

クロルピリホスは、2002年に住宅への使用を自粛することが決定され、対応が求められるのは、ホルムアルデヒドを含有した建材、ならびに換気設備となる。これらのうち、建材に関しては、放散量の等級区分が重要な意味を持つようになると考えられる(64, 65)。

これらを受けて2003年に建築基準法に係るシックハウス対策の技術的基準が公布された。ホルムアルデヒド対策に関する対応方法としては、

内装の仕上げの制限：居室の種類及び換気回数に応じて、内装仕上げに使用するホルムアルデヒドを発散する建材の面積制限を行う(表3-2)。

換気設備の義務付け：ホルムアルデヒドを発散する建材を使用しない場合でも、家具等からの発散があるため、原則として全ての建築物に機械換気設備の設置を義務付ける(表3-3)。

天井裏の制限：機械換気設備又は中央管理方式の空気調和設備を設ける場合には、天井裏等(天井裏、小屋裏、床裏、壁、物置その他これらに類する部分)から居室へのホルムアルデヒドの流入を抑制するため、以下のいずれかの措置が講じられていること。

- ① 下地材、断熱材、その他これらに類する面材について、特定する材料を使用しないことにより、天井裏等におけるホルムアルデヒドの発散を抑制し、ひいては居室への

ホルムアルデヒドの流入を抑制すること。

② 気密層又は通気止めにより、居室へのホルムアルデヒドの流入を抑制すること。

③ ①または②の対策を講じていない天井裏等の部分について、居室の空気圧が当該天井裏等の部分の空気圧以上となるよう機械換気設備等による措置を講じ、空気圧により居室へのホルムアルデヒドの流入を抑制すること。

建築基準法は、すべての建築物に使用され、いわば最低水準を示すものであり、国民の安全・健康を守るものとなる。そして、住宅性能表示制度は任意に、より上位の性能を評価することで、住宅性能の一層の向上に寄与するものである。

(4) 建築材料の規格、ラベリング

合板や繊維版など木質系建材のホルムアルデヒド放散量の規格については、JAS、JISで制定されている。しかし、接着剤、断熱材、塗料などの材料については、規格の中にホルムアルデヒドやVOCの放散量の観点に基づいた規定はない。経済産業省では、ホルムアルデヒドの放散量が多い塗料や接着剤などの内装材料には、JISで基準値や等級、ならびに表示方法を規定し、さらに、ホルムアルデヒド以外のVOCについてもJISで規定している。

このような規格を定める際には、第一に、建材の化学物質放散量を測定することが必要である。建材のJIS規定に併せて、化学物質の測定方法に関するJIS化も進んでいる。デシケータ法は、密閉容器の中の建材が放散するホルムアルデヒドを容器の底に置いた水に溶け込ませる方法であり、水溶性のホルムアルデヒドに可能な方法であって、水に溶けにくいVOCでは対応できない。導入されたチャンバー法は、温度や湿度を一定に保った空気をチャンバーに送り、建材から発生するVOCの量を測定するものである。空気の入れ替えも行い、換気回数も含めて、居住環境に近い状況を再現でき、揮発性有機化合物の放散速度が把握できるなどの利点もある。揮発性有機化合物の放散速度がわかれば、設計段階で、建材の使用量によって、1時間あたりの揮発

性有機化合物の放散量が推定され、空気中の濃度が予測できる。

既述のように関連業界においても建材のラベリングへの検討が行われ、壁装材料については、壁装材料協会によるISM、壁紙製品規格協議会によるSV規格など、業界での自主規格に基づく認定や表示も実施されている。そして、接着剤や塗料についても、VOCの放散を低減するための試みが行われており、社団法人日本塗料工業会では、TVOCの量および含有される芳香族炭化水素量をもとにした塗料の分類案の検討がなされている。こうした建材のラベリングに関しては、日本よりも欧米諸国で進んだ対応が取られており、対象となる製品や基準が設置されている化学物質の種類は多い。

(5) 支援策の整備および業界への指導

現在、健康影響の少ない住宅のつくり方や住まい方を支援することを目的として、住宅金融公庫による融資制度、相談体制の充実などが図られている。前者は、良好な空気環境維持のために換気システムの設置などシックハウス対策のためリフォームを検討している住宅への融資を認めるものであり、後者は、一般の人々がシックハウス問題や健康影響、建物のつくり方を知りたい場合に利用できる窓口や専門相談員の充実、簡易測定器の貸し出しによる測定サービスといった支援などを含んでいる。

行政サイドからは各種関連業界に対する指導および助言もなされている。国土交通省は社団法人日本しろあり対策協会に対して、クロルピリホスの使用制限を要請し、協会は平成14年から住宅への使用を自粛することを決定した。また、経済産業省から建材などの関連団体への指導や助言によって、安全な建材の開発促進、ならびに建材表示制度の充実などが検討されている。

D. 考察

シックハウスなど室内空気汚染の行政的、施工、業者側からの防止対策は、問題とされ

る各種汚染物質の発生源と発生量を特定し、各汚染物質に関する基準値を設定し、それらの基準値以下となるように低減策や発生量の抑制策をおこなうことである。シックハウス問題の対策を検討するための基礎資料としては、リスク評価が必要となる。しかし、建築側では建材中の化学物質含有量や発生量などの情報量の不足や、基準値の不確定の汚染化学物質があり、一方、人の側では、化学物質過敏症やアレルギーなどの場合に基準値以下で症状を訴える居住者もおり、一般的なリスク評価が困難となるのも事実である。このような状況の中で現実的に重要なことは、建材などとして、いかにして化学物質使用のメリットを生かし、いかにして人々の健康に問題を起こさない化学物質のレベル以下に保っていくかということである。

現代社会において人間を取巻く環境に化学物質は多く、人々は日常生活の中でも、特定の化学物質のみでなく、常に多種類の化学物質に接している。さらには一つの物質のみによる影響だけでなく、他の物質が加わった場合、あるいは特定の環境条件での複合リスクを考えなければならない。多種類の化学物質への曝露に対する健康面のリスクを把握し、かつ高いリスクをもつ化学物質を認識し、実際の生活の場において健康被害をなくさなければならない。

シックハウスのリスク評価に要求されることは、企業側は情報を公開し、ユーザー側、消費者側は建物や室内のメンテナンスなど適切に対応し室内環境を安全、快適に保つことが貴重と考える。

20世紀後半における合成化学の発展は目覚しく、実験室、研究所、そして工場から製品が次々を生み出され、あるものは人々の生存、健康に重大な影響を与えた。1959年から約20年続いたベトナム戦争で使用された枯葉剤や除草剤などの合成化学物質によって奇形児が生まれ、ダイオキシンが注目された。アメリカ占領軍がノミ、シラミ、ナンキンムシなどの殺虫剤として戦後の日本に持ち込んだDDTは、長期的曝露により、動物実験で発癌性を

示し、またこれらの合成化学物質は性ホルモンにも影響する環境ホルモンでもある。1962年にレイチェル・カーソンが「沈黙の春 (silent spring)」を、1996年にはシーア・コルポーンらが「奪われし未来 (our stolen future)」を著し、合成化学物質による生存、健康被害について警鐘を鳴らしている。

シックハウス問題は、室内空気質問題の一つであり、主な原因は化学物質による空気汚染であるとする立場が一般的である。化学物質過敏症など化学物質による健康被害は欧米諸国、日本で深刻であり、WHOでは2000年に「清浄な室内空気のための宣言 (The right to healthy indoor air)」を発表している。20世紀での石油消費の時代には、利便性ととも化学物質の大量消費により、各種の健康障害が発生している。これは、人類が歩んできた、進化・発展の過程における歪みともいえる(66)。しかし、石油は無尽蔵ではなく地球全体の石油量は減少し、産出量は頭打ちとなり、やがては減少をむかえる。21世紀は生活環境と化学物質汚染の戦いの世紀ともいわれ、シックハウス問題はその序章にも位置づけられる。

日常生活のなかで化学物質による健康影響、症状を示す人々が多い。合成洗剤、化粧品類、芳香剤などでも人によっては深刻な健康影響がみられる。また、タバコの煙には、未知のものまで含めると数万から十数万種類の化学物質が含まれるとされており、室内での受動喫煙による健康影響がみられ、公共の場でも職場においても空間分煙が定着している。

建築基準法の改正では、ホルムアルデヒドを放散する建材の使用制限など、住宅での化学物質の発生をおさえ、部屋の換気回数を0.5回/時以上と義務付けるなど、具体的な行政的対策をとってきている。最近の室内ホルムアルデヒド濃度と建築後の年数との調査でも、築後4~5年経った住宅のホルムアルデヒド濃度がピーク値を示し、最近建築された築後1年以内の住宅や、築後2~3年の住宅のホルムアルデヒド濃度の方が低いレベルを示しておりその効果がみられる。

各国におけるホルムアルデヒドの指針値は、0.05 から 0.2ppm に分布しており、多くは 0.1 ないし 0.08ppm である (5)。各国の住宅の換気量は、建築様式や在室者数、換気システムなどにより表示は異なり一様ではないが、日本でモデルとしている標準住宅において、居住者を夫婦と子供 2 人として計算し、各国の基準となる部屋の換気回数を算定・比較すると、0.36 から 0.96 回/時に分布し、多くは、日本での建築基準法令でも定められている 0.5 回/時程度か、それをやや上回る値となっている (67)。

E. 今後の課題

シックハウス問題のなかで化学物質に対する研究・調査、対策・対応は、欧米諸国では 10 年前に主流を占めていた。しかし、最近ではダニ、カビ、細菌などの微生物による室内環境が問題となっている。これまで、低温、低湿環境の北米、北欧諸国において室内の微生物汚染は、さほど問題とはされなかったが、建材や薬剤などに含まれる化学物質対策が進み、室内の温湿度環境も整えられ、そうしたなかで微生物にとっても繁殖しやすい室内環境となり、微生物汚染が重要視されているものと考えられる(68, 69)。

住居は人間を自然の環境から守る保護的な働きをもち、人々が安全で健康な生活をおくられる条件を備えていなければならない。建物の建つ地域や風土などを含めての立地条件が、自然環境として重要であり、各々の立地条件を踏まえ画一的な建築設計でないきめ細かな住居のプランでなければならない。外部からの大気汚染が室内に侵入するような立地条件であってはならない。また季節性の豊かな地域では、春、秋の心地よい時季には自然環境と融和し、夏には涼風を取り入れた、住まいと環境との共生の姿勢が望まれる。

人々の健康を害する環境には、ホルムアルデヒドなどの有害化学物質とともに、ダニ、カビ、細菌、ウイルスなどの微生物があり、それらに影響する温度、湿度、光などの物理的環境条件もある。実際的に現在の居住環境

は高気密・高断熱化により省エネルギー効果は大きく快適性は増しているが、見えない室内空気汚染によるシックハウス症候群が生じている。人は呼吸し多勢の人々が存在するだけで二酸化炭素は増加し室内空気の汚染が生じる。さらには、炊事などで火器を使用する日常の生活行為により汚染は助長され、換気不足、不完全燃焼によりしばしば一酸化炭素中毒の発生がみられる。一方で化学物質を極力除いた木造住居のなかで、安易に利便性の高い煙突なしの開放型ストーブを使用している場合もみられる。石油やガスの燃焼により室内の酸素の消費が多く、廃ガスは室内に排出され、空気汚染からガス中毒事故にもなる。気密性の高い住宅は、漏気を少なくした住宅であり、居住者が調節すれば快適な住まいとなる (70)。気候の穏やかな季節には、外部の環境を室内に取り込み、夏には部屋に風の通り道をしつらえ涼風を享受し、低湿度になりやすい冬には適度の湿度に留意し呼吸器障害の予防につとめ、季節に応じた住まいへの気配り、メンテナンスが大切であり、安全で快適な健康住宅は住む人の責任でもある。

人間が生活する環境に無菌で無毒な環境は実際的ではない。人々の生理状態が安全な限界において、化学的、生物的、物理的要因が居住環境においてバランスのとれ、快適なレベルである総和的な健康な住まいが必要とされる。

文 献

- (1) 日本建築学会 (編) .シックハウス事典. 技報堂出版 2001.
- (2) 田中正敏 (編者) . 室内化学物質汚染 - シックハウスの実態と対応 - 松香堂 2001.
- (3) 田辺新一. 室内化学汚染. 講談社現代新書 1998.
- (4) 田中正敏, 小林秀幸. 建築物の環境衛生管理をめぐって. 日本衛生学会雑誌. 2003; 58: 231-240.
- (5) シックハウス対策マニュアル編集委員会ほか (編) . 建築物のシックハウス対策マニュアル. 工学図書 2003.