HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	室内に浮遊する有機物およびカビについて
Author(s)	森吉, 昭博
Citation	月刊建築仕上技術, 50(590), 30-34
Issue Date	2024-09-13
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93076
Type	journal article
File Information	Moriyoshi_50_590_p30.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

室内に浮遊する有機物およびカビについて

北海道大学名誉教授　森吉 昭博

1．まえがき

住宅には木材として軟材(針葉樹：米スギ、松、樅(モミ)、えぞ松)や硬材(広葉樹：オーク、樺(カバ)、ブナ、胡桃、桜)等が使われています。これらの木材を扱う木材作業者(製材、木材研磨)で欧州では副鼻腔(上顎洞)に扁平上皮ガンや副鼻腔の腺ガンが発生し(IARC 1995)、日本では扁平上皮ガンが木材作業者で発生しています。この原因は木材の紛塵が主な原因とされています。これら木材の粉塵中の主な化学成分はセルロース、リグニン、多糖類の他に軟材ではテルペン、リグナン、スチルベンが、一方硬材ではタンニン、フラボノイド、キノン、両者の木材にはさらにフェノールが含まれています(ACGIH 2010)。

住宅内の空気の汚染は通常揮発性の有機物(Volatile Organic Compounds(VOC：沸点範囲：50-100～240-260℃)の害について議論しています。住宅の作りが省エネルギーの観点から高気密、高断熱の方向に向かっています。このため、室内の空気は従来よりも動き難くなっています。最近の住宅はエアーコンディショナー(エアコン)や空気清浄機が室内で装備されています。このため、室内に浮遊している「有機物」や「カビ：黴」対策も病気を抑えるために重要と思われます。

本研究は木造住宅とコンクリート製の住宅の室内を浮遊する「有機物とカビ」について検討しました。

2．コンクリート製の住宅から放散される有機物

コンクリートは大気中の極微量の有害物質であるフタル酸エステル化合物(phthalates：Ps)やウインドウオッシャ液中の陰イオン界面活性剤(Sodium Polyoxyethylene Nonyl-phenyl Ether Sulfate：SPNES)を自身の呼吸作用でコンクリートの内部に取り込んでいます。このため、この２種の物質はコンクリート中のカルシウム成分と化学反応し、ブタノール、2-Ethyl-1-Hexyl phthalate (2E1H：オクタノールの異性体)，オクタノールの３種類のアルコールを放散しています。室内のコンクリートから放散された2E1Hの濃度が1000μg／m³を超えると、咳、目、鼻、咽頭の刺激感、悪心などの症状が見られました(上島通浩、日本公衆誌，57(９)，825-834,2010)。

この2E1Hのアルコールの他、Di-n-Butyl Phthalate (DBP)やDi-n-Ethyl Hexyl Phthalate(DEHP)，Di-n-Octyl Phthalate(DOP)の３種類のフタル酸エステル化合物(Ps)も室内で放散されています。このうち厚生労働省が室内汚染で認定している物質は2E1Hのみです。PsやSPNESは極微量でも環境ホルモンであり、これらは極めて有害な物質です。

3．木造の住宅から放散される有機物

木材中のPsは70年前に検出されましたが、これらは(Ps)の化学分析中のコンタミ(分析中の汚染物質)として現在でも世界中の木材の研究者は木材中のPsはすべて無視しています。筆者はエルム、ポプラ、黒松、赤松、梅等の樹木から高精度の実験で極微量のPs(μg)を検出しました。北海道大学の構内にあった。巨木のエルム(胸高直径：約1.5m)で倒壊寸前の樹木の2002年、および江戸時代の1860年の年輪からもそれぞれPsを検出しました。Psが使用され始めたのは70年前ですが、エルムの心材に近い年輪(1860年)からもPsを検出しました。このため、Psは樹木中で自由に移動してこれらが大気中にも発散していると思われます。樹木も内部に吸収したPsやSPNESが樹木の内部のカルシウム成分と化学反応し、2E1Hのアルコールを放散していると思われます。これは樹木が内部に大気中のPsやSPNESを吸収しているためです。

住宅内部の揮発性の有機物(Volatile Organic Compounds：VOC)で厚生労働省が認めているのは現在以下の７つです。ホルムアルデヒド，ｄ-リモネン，トルエン，アセトン，エタノール，２-プロパノール，ヘキサナー

ルです。これらの物質はPsやSPNESのような極微量でも人間に著しい影響がある環境ホルモンではないと思われます。これらの有機物（PsやSPNES）は屋外の大気からも侵入していると思われます。

4．ウイスキーの木樽の有機物

ウイスキーの木樽は樹木の中心から表皮の方向に向かって放射線状に厚さ約３㎝、幅５～10㎝の板を樹木から切り取り、これらの板を沢山束ね、「タガ」を使って木樽を作ります。このためウイスキーの木樽用の樹木は樹齢が約100年以上の樹木が必要となっています。このウイスキーの木樽は完成した木樽の木材の内部の表面を３～７㎜の厚さまで直火で焼いて（チャーリング操作）から、ウイスキーを木樽の中に入れ、ウイスキーを長期間熟成します。このチャーリング操作を行うと、木樽に加熱処理したことで、木の成分を活性化させて、甘いバニラやアーモンドのような香りが生成します。

ウイスキーの樽用の樹木は日本の楢（ジャパニーズオーク：ミズナラ）やフランスの樫が好まれています。これは木樽中にウイスキーを長期間（50年以上）貯蔵すると、木樽中のPs、SPNES等がウイスキーに滲みだすだけでなく、木樽を天日乾燥しますと柑橘系のフルーツやココナッツ、バニラのような甘い香りがウイスキーに遷されることがわかっているためです。

このため、特殊な樹木（日本の楢、フランスの樫）が好まれるのは、このような樹齢が100年以上の貴重な巨木が必要なことと、ウイスキー木樽から染み出す樹木中の有用な極微量の有機物のためと思われます。

5．木材従事者のガン

日本や欧州では木材の「製材」や「木製品の磨き作業」をしている木材従事者にガンが多発しています。

ガンでも特に扁平上皮ガン、鼻腔ガン、副鼻腔ガンが多く発症しています。扁平上皮ガンはFukuda K, が（Br J Ind Med, 44:263-266,1982）に、鼻腔ガンは「ブナ」を扱っている木材作業者に多いことをHandfield E H, が（Ana R Coll Surg of Engl, 46(6), 301-319,1970）で報告しています。一方、副鼻腔ガンは木材の軟質および硬質の木材を扱った木材従事者に多いことをHayes E H, が（Am J Epidemiol, 124(4), 569-577,1986）に報告しています。

木材は放置するとカビが内部まで生えやすいことが知られています。このため、以上の結果は木材から「カビ」や環境ホルモンであるPs，SPNESに付着したカビの胞子が放散し、これらを木材従事者が長時間吸ったため、ガンが発病したと思われます。

例えば、建築現場などの埃っぽい環境では、Ｎ－95マスクのようなアスペルギルス菌（以下で述べる）の胞子が通過できないマスクを着用することが勧められています。ガーデニングのような土壌との接触を避けたり、HEPAフィルター（High Efficiency Particulate Air：数十μ以上の粒子を捕集）を用いて空気をキレイにしたりするのも効果的です。

私はこれらのガンは３．で述べた一般のVOCと言われている揮発成分が「ガン：癌」の原因ではなく、極微量でも環境ホルモンであるPsやSPNESがこれらのガンの原因と考えています。

6．室内のカビについて

多くのカビ（真菌）は「有機物」を好むため、この有機物上にカビが発生します。今までは住宅のグラスウール断熱材や「エアコン」中のカビの発生原因は不明でした。

筆者はグラスウール断熱材の主な化学成分がCaO, Na_2O_3であり、この黒い物質は「有機物」であるPs（アスファルト屑、タイヤ屑、ディーゼル排煙：これらはPsを含んでいます）やＳＰＮＥＳがこの黒い物質と推定しました（森吉昭博，月刊建築仕上げ技術，47（563），2022-6，６月号，2022）。ここではグラスウール断熱材の化学成分の１部がPsやSPNESで溶解し、大気中のPsやSPNESでグラスウール断熱材の色が黒くなり、かつ湿気が多く含まれていました。

ポリエチレンシートで全体を覆ったグラスウール断熱材（厚さ：10㎝，直径：10㎝，16㎏／㎥）を使って「非定常」の透湿試験を夏季条件のもとで１日（24時間）行った後、グラスウール断熱材を深さ方向に３つに切断しました。このうち表面（外部相当）近くでは水分全体の3.7%、中部では2.5%，底部近く（屋内相当）では93.8%（１日で重量0.9g増）が含まれていました。すなわち、住宅に使用したグラスウール断熱材は長期間使用すると、自身の呼吸作用で大気中の湿気とこのPsやSPNESを内部に吸収し、グラスウール断熱材の内部までPsやSPNESで黒くなって、グラスウールの断熱材が黒く垂れ下がっていることから、グラスウールの断熱材は大量にPsやSPNESを吸着し、またここにカビが大量に発生することを示しています。

この有機物や水分の付着時期は（グラスウールの断熱材がPsやSPNESを吸う時期）は夏季の温度が高く（30℃

近く)、かつ相対湿度が大きい(80%)とき(夏季条件)に集中しています。

当然のことですが、この大気中の湿気で住宅の断熱性能は著しく低下していると思われます。しかし、住宅の断熱材の性能評価は２つの異なった温度の箱の真ん中に断熱材を設置し、この断熱材を通過する「定常」的な「透湿量」で「断熱性能」として評価しています。しかし、実際の住宅の断熱材は「ひと夏の期間：約30日」だけで毎日の断熱材の呼吸作用(外気温の変動に伴い、非定常的な呼吸のような挙動をする)によって大気中の湿気によりグラスウールの断熱材の断熱性能は著しく低下しています。これはコンクリートの床版が「夏季条件：名古屋の2000年７月２日の24時間状態」のように呼吸するので、夏季条件を８時間周期とした実験を行いました。この実験からコンクリート床版に繰り返し温度変化(表面温度と底面温度は過渡状態)と相対湿度の過渡状態で変化する湿度を与えると、この床版のコンクリートにはこの繰り返し回数とともに次第に湿気とこの試料の上に置いたフタル酸エステル化合物(Di－n－Ethyl－Hexyl Phthalate：DEHP)が界面にあるビニールシートも貫通して湿気とともに新設のコンクリート床版の底部までDEHPが浸透しました。これより、厚さ13㎝の新設のコンクリート床版は短期間(40回の繰り返し回数)で簡単に床版が底部まで完全に劣化しました。またこの結果はグラスウールの断熱材だけで「非定常」の透湿試験を夏季条件で行うと、グラスウールの断熱材の重量が次第に重くなることから頷ける結果と思われます(Sasaki I, Journal of Japan Petroleum Institute, 49(6), 315-320,2006)。

グラスウール断熱材は省エネの観点より大変重要な住宅の断熱材ですが、これまではこのグラスウール断熱材が黒くなって、垂れさがる原因は今まで不明でした。

このグラスウールの黒いカビはこの２つの有機物の物質(PsやSPNES)に付着して、カビが胞子を多量に増やしていると思われます。一般にグラスウール断熱材は吸湿性がないと信じられていましたが、これよりグラスウール断熱材には吸湿性と吸着性があり、断熱材を全面ビニールで覆ってもグラスウール断熱材中に水分(湿気)や有機物が増えることは室内実験で確認しました。

米国ではこのカビのため、子供の喘息的な症状、呼吸器系統の疾患と慢性的な頭痛がこのカビ(アスペルギルス・フミガーツス菌：以下に示す)が原因で発生しています(Alan P Knutsen, Allergy Clin Immunol, 2012,129(2), 280-291)。この断熱材に「付着した黒い有機物質」は大気中に浮遊している有機物のPsやSPNESと思われます。この「有機物：PsやSPNES」の表面にカビが生えた胞子が室内で多量に飛散したためこのような様々な症状が発病したと思われます。

室内のカビの種類は多く、特定されているカビが少ない状況です。しかし、カビでも人間がそのカビの胞子を吸うと重篤な病気になるカビがあります。

以下にその特殊なカビ「アスペルギルス・フミガーツス菌」について述べます。

アスペルギルス属の「カビ」は土壌や空中はもちろん、植物や木材にくっついていたり、室内のチリ(塵)の中に存在していたりと、どこにでも存在し、季節を問わずいつでも繁殖しています。従って、アスペルギルス菌とは、屋内外どこにでも生息しているカビ菌の一種です。

「アスペルギルス・フミガーツス菌」いうカビは、人体に感染すると肺や気管支で増殖し、呼吸困難を引き起こす「アスペルギルス症」の原因になります。

アスペルギルス属の菌は40～50℃の高温や湿度が50%を切るような乾燥した環境でも死滅せず活動できます。いくつかのアスペルギルス菌がありますが、アスペルギルス症の原因となるのは圧倒的に「アスペルギルス・フミガーツス菌」が多く、この症状の約90%を占めています。「アスペルギルス・フミガーツス」は特に肺の侵襲性アスペルギルス症の病原体の菌としてよく知られています(図１参照)。

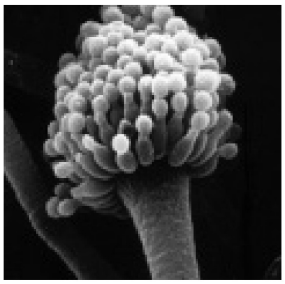


図１　アスペルギルス・フミガーツス菌の胞子

前述のように、アスペルギルス属の病原体は「アスペルギルス症」と呼ばれる疾患を引き起こします。最も注意すべきなのは「急性肺アスペルギルス症」と呼ばれるもので、病原体となるアスペルギルス(多くはアスペルギルス・フミガーツス)の胞子を人間が吸い込んでしまって感染・発症するものです。この菌の胞子の大きさは２～５μmで、空中には100～1000個／㎥の菌が存在しています。

このため、アスペルギルス・フミガーツス菌は空気中にも多く存在していますが、免疫機能が正常な健康な人に対して感染症を引き起こすことはほとんどありません。しかし、急性肺アスペルギルス症の発症に「注意が必要な人」は、抗がん剤治療を行っている人や臓器移植を受けて免疫抑制剤などを使っている人、白血病やHIV・糖尿病を発症している人で、いずれも著しく免疫機能が低下している人です。

急性肺アスペルギルス症では、鼻や口から入ったアス

ペルギルス菌が肺に到達してそこで急激にこの菌が増殖し、この菌で、肺が線維化して機能しなくなり、呼吸不全を引き起こすものです。肺の「間質」が線維化すると、肺が十分に膨らまなくなり、酸素を取り込み難くなります。その結果、酸素が不足して息苦しさなどの症状が現れます。

この治療は困難を極め、死亡率が約50%にものぼる非常に危険な疾患です。主な症状は咳・喀痰・喘鳴・胸痛・呼吸困難などですが、ごく軽度の場合は症状が出ないこともあります。急性ではないものの、アスペルギルス菌が徐々に肺で増殖し、慢性的に呼吸を妨げるようになったものが「慢性肺アスペルギルス症」です。こちらは何らかの呼吸器関連疾患(気管支拡張症、間質性肺炎、慢性閉塞性肺疾患(COPD)など)が基礎疾患としてある場合、あるいは過去に結核などの呼吸器疾患の既往歴があるという場合に感染リスクが高くなります。特に、喫煙習慣のある人は無自覚にCOPDを発症していることがありますので、注意する必要があるとされています。

また、増殖したアスペルギルス菌は肺の空洞に球状の塊をつくってしまう「肺アスペルギローマ」になることがあり、喀血などの症状が出ることもあります。さらに、免疫抑制剤やステロイドなどの薬剤を使っている場合、アスペルギルス菌が血管内に侵入してさまざまな臓器を侵食してしまう「侵襲性アスペルギルス症」へと進行する可能性もあります。

この場合、副鼻腔炎や外耳道炎、腎不全や肝不全を起こしたりする場合もあるとされています。侵襲性アスペルギルス症にまで進行する例は多くありませんが、これに罹ると急激に進行して発熱・悪寒のほか、急激に血圧が低下するショック症状や、意識が朦朧として錯乱してしまう「せん妄」を引き起こし、最悪の場合生命に関わることもあります。

アスペルギルス菌が引き起こすのは感染症だけではなく、アスペルギルス菌がアレルゲンとなるアレルギー反応もあります。この場合は「アレルギー性気管支肺アスペルギルス症」となり、早めに発見できればステロイド薬と抗真菌薬の併用などで通常の喘息程度に症状を抑えることが可能です。しかし、発見が遅れると気管支拡張症の悪化や肺の線維化など、取り返しのつかない状態になってしまい、日常生活においても酸素吸入が必要になるなどの事態を引き起こすこともあります。呼吸器疾患を持っている人や、過去に既往歴がある人は十分注意が必要とされています。

例えば、建築現場などの埃っぽい環境では、N－95マスクのようなアスペルギルス菌の胞子が通過できないマスクを着用することが勧められています。

「エアコン」のフィルターや内部で増殖したカビの胞子は、「エアコン」から吹き出される空気に乗って部屋中に多量に撒き散らされます。「エアコン」を10分かけると約1,000個の胞子が吹き出されるとされ、これは通常空気中に存在するカビの胞子(２～100個程度)の約10倍の量です。

７．室内の黒い汚れ

室内の車庫で保管している自家用車の表面のガラスや塗装、住宅の窓ガラス、室内の壁や天井の面材のシート(クロス)、木でできたフローリング等には細かい油まみれの黒い汚れがこれらの表面に付着しています。これはPsおよびSPNESの有機物と思われます。SPNESは窓ガラスや塗装も少し溶解します。

SPNESはバクテリアによる分解性が悪く、浸透性に優れ、低温から高温まで界面活性剤の効果があります。

「イグサ」で出来た日本の畳表は３～５年で色が褪せて色が茶色に変化します。イグサの中は葉緑体であるクロロフィルａが存在します。このクロロフィルａは日光の紫外線で劣化して色が茶色に変化したと思われています。クロロフィルａの化学成分中のテトラピロール環の真ん中にマグネシウムがついており、この環の端には長鎖のアルコール(フィトール)がエステル結合しています。私はこのアルコールが大気中のPsやSPNESによってイグサ(クロロフィルａ)が茶色に変質したと思っています。茶色に変質した畳表について室内で「アーデック工房㈱」の「炭」を細かく砕いてそれを壁の塗装中に混ぜて塗っておくと(ヘルスコート)、室内の茶色くなった「畳表」の色が緑色に変化しました。これより、畳の色が緑色に変化するのは通常のクロロフィルａではなく、「光合成細菌」の「バクテリオクロロフィル」のクロロフィルａであり、この細菌は可視光線に近い「近赤外線(0.78nm～2.5nm)」のもとで生育できます。この細菌により畳表の色が茶色から緑に変化したと思われます。

８．虫歯と大気汚染

今までは虫歯(う蝕)の原因は細菌(ストレプトコッカス・ミュータンス)が原因とされていますが、これはClarke Ｊ K,によって発見されました(Brit Ｊ Exp Pathol, 5(3), 141-147,1924)。本研究はまだ仮説ですが、虫歯の原因は大気汚染中の有機物質(Ps, SPNES)の可能性があると思います。

健康な人の歯の表面はエナメル質のハイドロキシアパタイト（$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$）で出来ています。このハイドロキシアパタイトはカルシウム塩とリン酸塩で出来ており、これらは大気中にあるフタル酸エステル化合物（Ps：$C_6H_4(COOR_1)_2$）やウインドウオッシャ液（SPNES：$C_8H_{17}C_6H_4-O(CH_2CH_2O)_6SO_3Na$）と容易に化学反応し、以下に示すような様々な物質に変化し、歯のエナメル質の脱カルシウム化が起こります。

以下で述べるフタル酸カルシウムは水溶性で、かつ界面活性剤のような浸透力があります。またフタル酸カルシウムは炭酸ガスを吸って、強酸性（2.9pKa）で昇華性のフタル酸（$C_6H_4(COOH)_2$）にも変化します。このため、歯のエナメル質は簡単にこの強酸のフタル酸で溶解し、浸透性の良い水溶性のフタル酸カルシウムは他の物質と共に歯の内部まで浸透します。

歯の表面のエナメル質（$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$）はPs（$C_6H_4(COOR_1)_2$）やウインドウオッシャ液（$C_8H_{17}C_6H_4-O(CH_2CH_2O)_6SO_3Na$）はハイドロキシアパタイトと化学反応し、エナメル質が脱カルシウム化して$Ca_3(PO_4)_2$，（リン酸カルシウム）、$C_6H_4(COO)_2Ca$（フタル酸カルシウム），$2(C_8H_{17}C_6H_4-O(CH_2CH_2O)_6SO_3)_2Ca$，に変化します。

PsやSPNESは物質に付着しやすく、かつこの化学反応は常温で起こりやすいため、歯に付着したこれらの黒い物質は当初歯に黒い斑点（穴）になっていると思われます。このため、黒い斑点はPsやSPNESが歯に吸着され、PsやSPNESがハイドロキシアパタイトの１部を溶解し、細かい黒い「か洞（Cavity）」が生じたと思われます。その後、SPNESの陰イオン界面活性剤等のために、この黒い物質（PsやSPNSE）は歯の内部までこれらPsやSPNSEが浸透して、虫歯が歯の内部まで進行していると思われます。

この歯のエナメル質の脱カルシウム化はPsやSPNESにより発生するセメントコンクリート構造物中の化学反応（細かい穴）と全く同じ反応と思われたため、小さなコンクリート製の２つのモルタル試料（120年モルタル試料と新設のモルタル試料（打設後30日））に対して同じマイクロフォーカスCTスキャナー（1024 Pixel, Shimadzu Corporation, inspeXio, SMX－22CT）を使って３次元亀裂解析（Nihon Visual Science Ltd., Tokyo：VG Studio Max 2.0 and Exfact Analysis for Porous／Particles 2.0）を実施しました。これらの結果は以下の北大博物館の「廣井勇博士作成の120年モルタル試料」と共に展示されています。（https:// www. museum. hokudai. ac. jp / hiroi / hiroi－detail /）ここでセメント中のカルシウム成分（CaO）の比率は61～67%とされています。

120年モルタル試料は石灰岩、シリカ、粘土だけでセメントが作られ、そのモルタル試料は120年間室内で保存していました。これらの２つの試料の解析結果から、大気中のPsやSPNESにより120年モルタル試料では細かい脱カルシウム化が以下のように起っていると思われます。120年モルタル試料では大気中のPsおよびSPNESを呼吸作用で内部に取り込み、これとモルタル中の「カルシウム成分」が化学反応し、水溶性のフタル酸カルシウムまたは強酸となるフタル酸（$C_6H_4(COOH)_2$）になったと思われます。この水溶性のフタル酸カルシウムは呼吸作用で外部に溶出し、フタル酸は昇華により１部が無くなります。これらの現象から120年モルタル試料は細かい「穴」が以下のように沢山開いたと思われます。

すなわち、120年モルタル試料では空隙は0.0001～１㎟（平均空隙：0.02㎟），　亀裂幅は0.05㎜（亀裂全体の41.83%）～0.25㎜（0.0081%）となりました。これに対して、新設のモルタル試料（打設後30日）では空隙が0.02～10㎟（平均空隙：0.2㎟），　亀裂幅は0.138㎜（亀裂全体の67.6%）～0.552㎜（0.01%）となりました。

これより、この「120年モルタル」試料は大気中のPsやSPNESを吸って、大変細かい「空隙：穴」が沢山生まれ、虫歯と同じような細かい「か洞（Cavity）：空洞」が生成されたと思われます。

このため、この人間の局部的な虫歯（黒い斑点：穴）の原因は、虫歯に罹った歯の化学分析をすればこの歯の化学成分のハイドロキシアパタイトとPsおよびSPNESとの化学反応は確認できると思われます。

９．まとめ

大気汚染中のPsやSPNESは戸外で「直接」人間が吸うことで人間の免疫系（アレルギー、自己免疫疾患）、神経系（パーキンソン病）、内分泌系（生殖器異常、甲状腺機能低下）の様々な疾患を人間に引き起こすだけでなく、本研究では「住宅の内部でPsやSPNESが放散」されていることから、人間がこれら（PsやSPNES）を室内でも吸っている可能性が高くなることを示しました。

これらの結果より、大気汚染の影響は屋外だけでなく屋内でも浮遊している物質によって様々な症状が人間に引き起こされることから、この大気汚染中の有機物の濃度をなるべく早く低減するように各国が努力すべきであると思います。私は世界中の炭酸ガスの汚染よりこのPsやSPNESの汚染の方がより深刻であると考えています。