

室内空気質向上のための微量化学物質とカビの制御技術

Control Technology of Contamination on Minor Quantity Chemicals and Mould for Indoor Air Quality

武 廣 絵里子

I. はじめに

水に水質があるように空気には空気質がある。水は飲むこと・洗浄することが基本的条件であるが、水の安全性の指標として水質がある。空気の場合も同様に、呼吸できることが基本的条件であり、空気の安全性の指標として空気質がある。空気質では、空気中の化学物質、粉塵、微生物などの基準が定められている。

空気中の化学物質の問題に関し、屋外では大気汚染問題が取り上げられて久しいが、建物内の空気については、1996年頃から「シックハウス症候群」が社会問題化した。これは内装材に含まれるホルムアルデヒドや揮発性有機化合物（以下、VOC）という化学物質が室内に揮発して、体調不良を引き起こす現象を言う。室内空気質の汚染は人間の健康問題をもたらすだけではない。液晶や半導体などの電子部品を製造する電子デバイス施設（以下、クリーンルーム）では、製品不良を引き起こす原因となる¹⁾。また、美術館では、展示物の劣化、変色を引き起こす原因となる²⁾（Fig. 1）。

一方、化学物質を低減させたことで新たな問題も生じた。2000年の建築基準法改正により、シックハウス問題の主因であるホルムアルデヒドの使用を制限したことが影響し、室内のカビ問題が顕在化した。建材の防霉のために使用していたホルムアルデヒドはカビの抑制に有効であったが、人体の健康確保のために低減させたことでカビが生息しやすい環境となった。カビは建材劣化の問題とともに、空気中に飛散して人体にアレルギーなどの問題も引き起こすため、空気質を汚染させる要因と言える。

本報では、室内の空気質の向上を目的として、当社で取り組んできた微量化学物質とカビ、それぞれに関する制御技術を紹介する。

II. 微量化学物質の制御

微量化学物質制御の4原則³⁾として、①監視する、②持ち込まない、③発生させない、④排除するがある（Fig. 2）。筆者らはこれら4原則の視点から複数の技術を開発した。本報では特に適用が多い技術について述べる。

1. 監視・モニタリング技術^{4), 5)}

従来の微量化学物質の計測は、長時間の空気採取を行い、その後実験室で化学分析を伴う方法（以下、精密法）が行われていた。この精密法は結果取得までに時間を要するため、濃度の判断や現場の対応が遅れる問題があり、計測の迅速化が望まれていた。

美術館、クリーンルームでは、アンモニア、有機酸（ギ酸、酢酸）が美術品や電子製品に影響を与えるため、竣工時にこれらの濃度低減が望まれる。濃度低減を達成するためには、材料の選定、適切な換気計画は必須だが、更に施工中の濃度管理と枯らしのための運用が重要となる。しかし、アンモニア、有機酸の精密法による計測は、12~24時間を要して採取した空気を実験室に持ち帰り分析しなけ

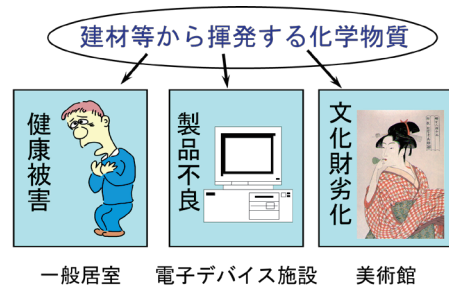


Fig. 1 微量化学物質による汚染影響
(Pollution Effect by Minor Quantity Chemicals)

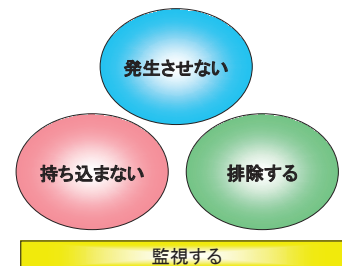


Fig. 2 微量化学物質制御の4原則
(Four Principles for Minor Quantity Chemical Control)

Table 1 開発検知管の概要
(Outline of Developed Detector Tube)

対象ガス	アンモニア		有機酸
	超高感度型	高感度型	高感度型
仕様	超高感度型	高感度型	高感度型
用途	電子デバイス	美術館	電子デバイス・美術館
測定範囲(μg/m ³)	1~12	10~80	10~1000
吸引流量(mL/min)	400		200
指示値の色変化	淡紫色→淡黄色		淡桃色→淡黄色
全長(mm)	110		150
吸引時間(H)	0.5~1		



Photo 1 開発検知管
(Developed Detector Tube)

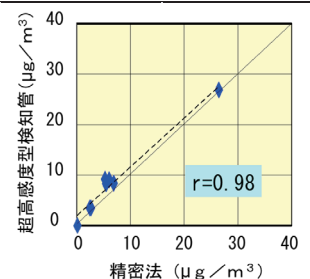


Fig. 3 精密法との相関
：超高感度型アンモニア
(Comparison between Chemical
Analysis and Detector Tube
:Super Detector Tube for Ammonia)

ればならない。そこで、現場で簡易な操作により速やかに濃度を計測できる、『超高感度型アンモニア検知管』、『高感度型有機酸検知管』を開発した。

開発した検知管の概要を Table 1 に示す。検知管の両端をカット

し、吸引ポンプを用いて計測対象空気を検知管内に吸引させて計測を行う (Photo 1)。検知管内には対象ガスに反応・変色する検知剤を充填させており、対象ガス濃度をその変色の量から判断できるようにした。精密法と比較・検証し、両者の計測値の相関は高く ($r=0.98$)、良好な手法であることを確認している (Fig. 3)。

2. 導入外気清浄化技術⁶⁾

室内の空気質清浄のため換気は必要である。しかし、導入外気が汚染されていると、室内の空気も汚染する場合がある (Fig. 4)。このような場合、外調機にケミカルフィルタを設置することは有効だが、外調機によっては、設置スペースがない場合やコスト面から採用できないこともある。そこで、ほとんどの外調機に適用可能な、低コストタイプの外気処理用『簡易増設型ケミカルフィルタ：OAレスキュー』を開発した。設置には中性能フィルタセクションを利用するため、外気処理部にエアワッシャ、ケミカルフィルタの設置スペースがなくても採用することが可能である。

アスファルト工事中のアスファルト臭 (VOC) を用いて、性能検証を実施した。開発フィルタを用いることで、上流に対し下流では 1/10 に低減し、その濃度は工事が行われていない時と同等であることを確認した (Fig. 5)。

3. 建材アウトガス抑制技術⁷⁾

クリーンルームでは気密性が要求されるため、シーリング材が通常の建物よりも多く使用される。しかし、一般的なシーリング材は、電子製品への影響が懸念される化学物質 (シロキサン、フタル酸エステル) を含んでいる。そこで、これらの化学物質を発生させない『低アウトガス型シーリング材：ペンギンクリーンシール 2555』を開発した。

開発したシーリング材のアウトガス試験では、VOC が他社対策品の 1/8 と非常に少なく、またクリーンルームで懸念されるシロキサン、フタル酸エステルは検出されないことを確認しており (Fig. 6)、良好な空気質環境の提供が可能となった。

4. 室内濃度低減技術⁸⁾

建物の竣工時や改修直後などに、建材から発生する VOC が高い場合がある。換気以外に確実な対策方法がほとんどないのが現状であり低減手法が要望されていた。そこで、室内に発生した VOC を速やかに、かつ確実に除去する『天井カセット形空調機用 VOC 除去フィルタ：トルイーター[®]』を開発した。

4 方向型の天井カセットにホコリ除去用のロングライフフィルタと置き換えて設置し、通常のアエアコンとして使用しながら VOC を除去するフィルタである。

除去効果の確認は一般的な教室を用いて実施した。評価は稼働前の濃度と稼働 1 時間後とした。稼働 1 時間後の結果において、91% の VOC を低減することを確認している (Fig. 7)。

III. 室内カビエンジニアリング技術⁹⁾

カビは生物であるためその挙動は複雑であり、1つの手段で抑制することは難しい。そこで、「測定診断」、「建材選定」、「予測評価」、「除去対策」の 4 つの要素に着眼し、4 つの開発技術を完成させた (Fig. 8)。これらを相互に活用することで、より確実に室内カビ抑制をする技術を確認した。

1. カビ迅速診断技術

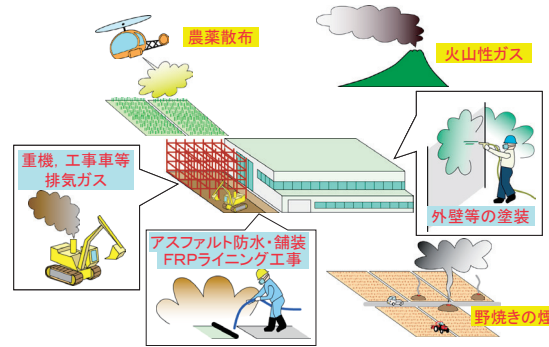


Fig. 4 建物周辺における外気汚染源 (Air Pollution Factor around Building)

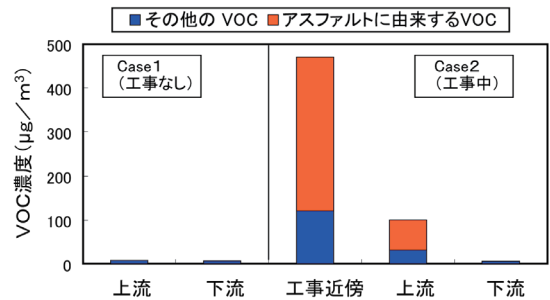


Fig. 5 アスファルト工事における検証結果 (Results of Efficiency Test on Site: Asphalt)

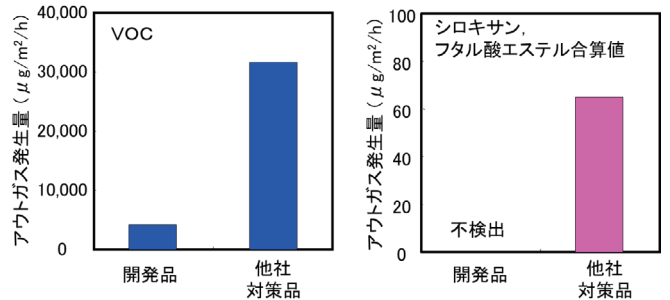


Fig. 6 開発シーリング材のアウトガス結果
左: VOC, 右: シロキサン, フタル酸エステル合算値
(Result of Out-gas from Developed Sealant
Left: VOC, Right: Siloxanes+Ester)

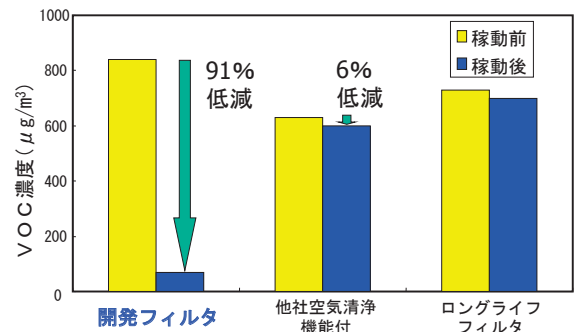


Fig. 7 VOC除去検証結果 (新築現場)
(Result of Proof Experiment on Site)

壁や天井にカビが発生したというクレームを受けて、調査をするとかビではなかったという場合がある。付着汚れがカビかどうかを判定する場合、従来は汚れを採取し、試験機関などの実験室に持ち込み培養を行って判断する。しかし、この培養法は、カビを培養して確認するため、結果を得るのに 1~2 週間程度の期間を要し、建

築現場での対応・対策立案に時間を要する欠点があった。また、汚れの主原因がカビでなくても、培養すると多くの場合カビを検出してしまいうために、汚れの主成分がカビであると誤判定される場合もある。そこで、建物内の付着汚れを1分あるいは30分で判定できる、簡易な『カビ迅速診断手法』を確立した (Fig. 9)。

本迅速法は、『NAD (Nicotinamide Adenine Dinucleotide) 法』、『ATP (Adenosine TriPhosphate) 法』の2種類用意し、調査場所などの条件により使い分けできるようにした (Photo 2)。

建物内部の汚れを用いて、本迅速法 (NAD法, ATP法) と培養法の比較検証を実施した。培養法で得られた結果とNAD法, ATP法それぞれの結果には良好な相関があり、応答性が良いことが確認できた (Fig. 10)。本手法は取り扱いが容易で、微生物検査に精通していなくても適切にカビか否かの判定が可能である。

2. カビ耐性建材選定技術

室内カビ汚染の制御では、温湿度環境をコントロールすることが有効だが、実際の建物では倉庫・廊下などの非空調の空間があり、計画上、除湿機の設置が困難な場合もある。また、建物の引き渡し後、空調の運用方法の変更により、カビが発生する場合もある。そのため温湿度環境による制御以外に、カビが生えにくいカビ耐性の高い建材を選定することは有効な対策となる。

筆者らは、『カビ耐性建材データベース』と、データベース上にない材料や、急に建材を選定しなければならない場合に適用する『簡易評価法』の2つの建材選定手法を確立した (Fig. 11)。

カビ耐性建材データベースは、試験法をカビ抵抗性試験 (ISO 846:1997 プラスチック製品A法, B法) とし、建物で使用頻度の高い内装材 (単材, 複合材) 約50種を対象として、クラス0からクラス3の4区分に分類した (Table 2)。

簡易評価法は、カビの生育環境はpH2.2~9.6であることに着目し¹⁰⁾、建材表面のpHからカビ耐性のある建材を簡易に評価・選定する手法とした。建材表面pHが9以上の建材は、カビ抵抗性が大きいと評価することができる (Fig. 12)。

3. カビ成長予測技術

建物竣工直後はコンクリート躯体からの放湿量が多く、地下室などの湿気の多い空間ではカビが問題となることがある。また、加湿を伴う生産施設、事務所なども同様にカビが懸念される。このような場合、湿度が高いとカビが発生しやすい、除湿や換気をするとう効果的であるという定性的な表現が使われるが、カビの生え易さの観点から、どの程度まで湿度を下げたら良いか定量的に示すことができなかった。そこで、設計段階におけるカビ発生予測や、運用段階の効果的な対策検討を目的として、実測温湿度データから判断できる『簡易版』と、時系列でカビの発生・成長が確認できる『詳細版』の2種類のツールを確立した。

簡易版は、竣工時・竣工後に現場で測定した温湿度を入力し、カビ発生リスクを段階分けして評価する方法である (Fig. 13)。建築環境工学の分野で引用されるクリモグラフ¹¹⁾を元に、3種類のカビを用いた試験データから、カビ成長温湿度範囲を加え完成させた。

詳細版は、温湿度の結果と、建材の種類によるカビの発生・成長の特性を考慮して評価できるようにした。対策ケースごとに、5年間積算のカビ菌糸成長長さ年間最大の温度湿度を試算する事が可能となった (Fig. 14)。

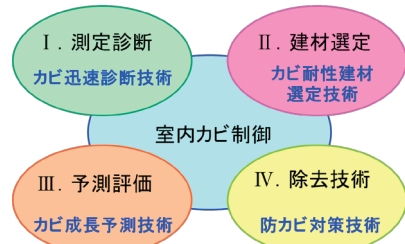


Fig. 8 室内カビ汚染制御に対する4つの技術 (Four Technologies for Indoor Mould Contamination Control)

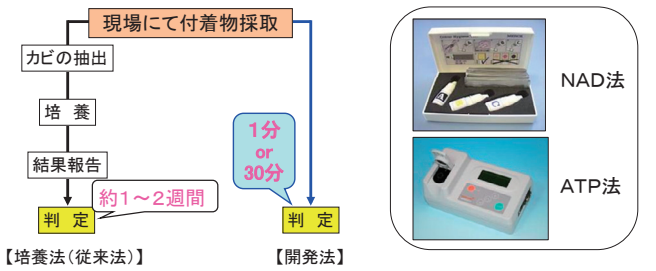


Fig. 9 カビ迅速診断と従来法の違い (Difference between Prompt and Conventional Methods) Photo 2 カビ迅速診断手法 (Prompt Evaluation Methods)

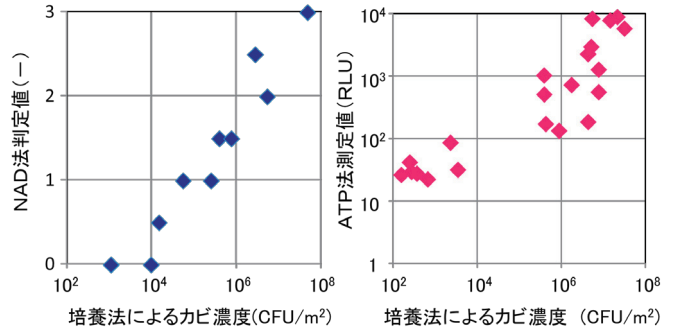


Fig. 10 室内付着汚れを用いた培養法との比較 (Relationship between Prompt Method and Conventional Method Left: MAD, Right: ATP)

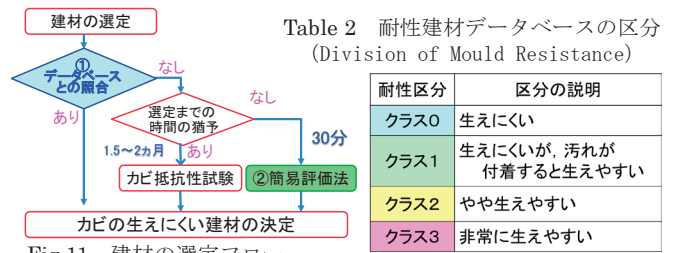


Fig. 11 建材の選定フロー (Flowchart for Selection of Building Materials)

Table 2 耐性建材データベースの区分 (Division of Mould Resistance)

耐性区分	区分の説明
クラス0	生えにくい
クラス1	生えにくいですが、汚れが付着すると生えやすい
クラス2	やや生えやすい
クラス3	非常に生えやすい

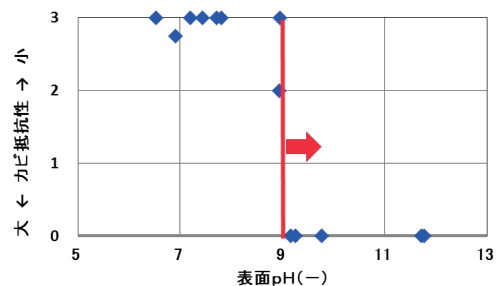


Fig. 12 建材表面pHとカビ抵抗性試験の関係 (Relationship between Mould Resistance and pH on Building Materials Surface)

4. 防カビ対策技術

設計段階の一般的なカビ対応として、除湿機の設置、換気量の増加、防カビタイプ建材の採用がある。しかし、施工中や竣工直後にカビ発生が懸念された場合、途中の仕様変更は難しい。また、発生したカビの除去には、次亜塩素酸ナトリウム、消毒用エタノールなどの薬剤を用いることが多いが、これら薬剤の効果は建材によって異なり、種類によっては効果が無い建材もあるため⁹⁾、『建材表面塗布型防カビ剤：モールセーフ[®]』を開発した。

カビは建材表面で発生・成長する特性があることから、開発した防カビ剤は建材表面に直接塗布するタイプにした。標準塗布量 100 g/m²を、ローラーや刷毛を用いて施工する。金属、プラスチックなどの一部の材料を除き、ほとんどの建材表面に塗布することができるため、工事中から引き渡し後まで、必要なタイミングに、必要な部位のみに塗布することが可能である。また、ホルムアルデヒドなどの厚生労働省指針物質¹²⁾を使用していないため、引き渡し後の室内空気にもほとんど影響しない。

2種類の有効薬剤を溶剤に添加し、多種類のカビに対応できるようにした。防カビ性能は、カビの発生が見られた室内で検証実験を行った。実験中は温湿度を改善させず、薬剤の効果のみを確認するようにした。次亜塩素酸、アルコールを用いた試験エリアⅡ、Ⅲや、新品ボードの張替を行った試験エリアⅤより、開発した防カビ剤を施工した試験エリアⅣはカビ抑制効果が高いことを確認した (Fig. 15)。

IV. おわりに

室内空気質として、微量化学物質とカビに関する抑制技術について紹介した。

微量化学物質に対しては、制御のための4原則の視点から各種技術を開発・展開させた。カビについては、建物の計画・設計段階から施工・竣工段階まで、各段階で展開できる総合的な室内カビエンジニアリング技術を確立した。

これらの技術は現在、美術館・博物館、電子デバイス・医薬品・食品生産施設、学校などの施設で活用されている。また、建物用途を問わず、地下室や多湿環境などの空気の質が悪くなる可能性が高い空間に展開させることも可能である。今後もより良い空気質環境を提供するために、幅広く提案・活用していく予定である。

参考文献

- 1) 半導体プロセス環境における化学物質とその対策；リアライズ社，1997.
- 2) 佐野，呂ほか；博物館資料保存論，みみずく舎，2010.
- 3) 有機汚染物質／アウトガスの発生メカニズムとトラブル対策事例集；技術情報協会，2008.
- 4) 武蔵，涌井ほか；超高感度型アンモニア検知管の開発（その1，その2），日本建築学会大会学術講演梗概集，2002.9，pp.845-848.
- 5) 武蔵，涌井ほか；高感度型酸性検知管の開発（その1，その2），日本建築学会大会学術講演梗概集，2008.9，pp.811-814.
- 6) 武蔵，涌井，市野，高橋；外気処理用簡易増設型ケミカルフィルタの開発，第25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，2007.4，pp.13-15.

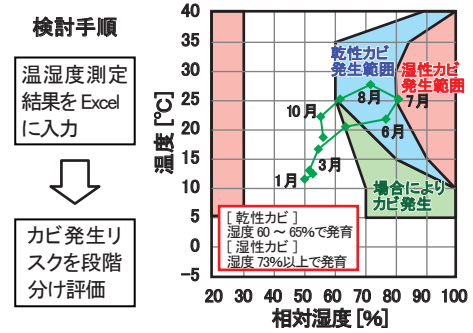


Fig. 13 「簡易版」カビ発生リスク評価の一例 (Prediction of Mould Risk Predicting: Simple Edition)

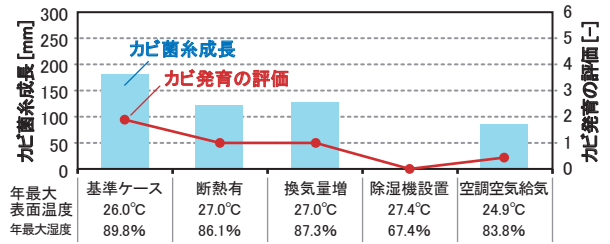


Fig. 14 倉庫の温湿度とカビ成長評価の一例「詳細版」 (Maximum Temperature and Humidity, Estimation of Mould Growth in Warehouse: In-depth Edition)

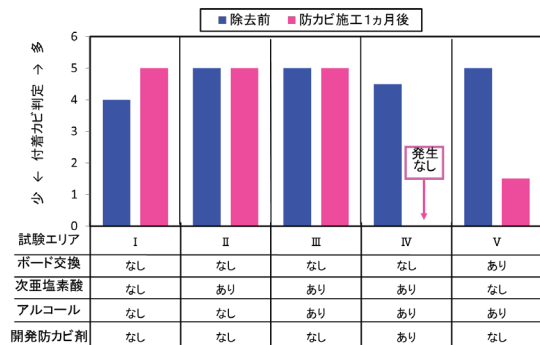


Fig. 15 試験施工の結果：1ヵ月時 (Concentration of Adhesion Mould at Examination Point: 1month)

- 7) 武蔵，涌井，高橋，市野；クリーンルーム用低アウトガスシーリング材の開発，第23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，2005.4，pp.58-60.
- 8) 涌井，武蔵，松本；天井カセット形空調機用VOC除去フィルタの開発，第24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，2006.4，pp.267-269.
- 9) 武蔵，涌井，三原，富田；室内カビ汚染の評価・計画・対策に関する研究（その1～その14），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東，東海，北海道，近畿），2011.8～2014.8.
- 10) 高鳥浩介；カビ検査マニュアルカラー図鑑，テクノシステム，2002.
- 11) 斎藤平蔵；建築気候，共立出版，1974.
- 12) 厚生労働省；シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会中間報告書－第6回～第7回のまとめ について，<http://www.mhlw.go.jp/houdou/O107/h0724-1.html>，2001.