住宅室内のカビ汚染と防止に関する研究

(その2) 換気による室内カビ汚染防止に関する実証調査

STUDY ON THE CONTAMINATION CONTROL OF FUNGI IN DWELLINGS

Part 2 Verification of ventilation effectiveness against prevention of fungal outbreaks in dwellings

小峯 裕己*, 荒井 卓也**, 長谷川 永**

Hiromi KOMINE, Takuya ARAI and Hisashi HASEGAWA

It is well known that fungi may scarcely germinate or grow in the house with sufficient ventilation. This effect may be a rule of thumb because scientific background such as experimental data or field test data are not shown.

This study aims to clarify the ventilation effectiveness against prevention of fungal outbreaks in dwellings on the basis of full scale tests. A method of pair comparisons between a room with proper ventilation and a room without ventilation were adopted. In these rooms, building materials such as tatami mat, which is the Japanese traditional flooring, made of straw mat, plywood, wallpaper and so on were placed in order to observe germination or colony forming.

Germination or colony forming on the building materials, set in the room with sufficient ventilation, were not confirmed although fungal contamination occurred in the room without ventilation.

Measuring data of temperature and relative humidity in both rooms were compared with the thermal conditions preventing the growth of 4 kinds of hygrophile fungi, as was reported in the former paper. Measuring data in the room without ventilation were overlapped with the specified thermal region, nevertheless thermal condition in the room with proper ventilation was beyond the specified thermal region.

Keywords: Prevention against Fungal Pollution, Ventilation, Full scale Tests,
Indoor Temperature and Relative Humidity
カビ汚染防止, 換気, 実証実験, 温湿度条件

1. はじめに

近年、居住者の快適な住環境に対する要求の高まりや、住宅の断熱・気密性能等のシェルター性能の向上や冷暖房設備の充実等により、室内温熱環境は、大幅に改善されている。しかしながら、高気密化に対応した換気設備の設置は、必ずしも十分とは言えない。従来の住宅のように、漏気を換気替わりに利用することができないこれらの住宅では、漏気減少に伴って換気が不足しがちである。また、リゾートマンションのように不在期間の長い建物では、窓を閉め切っている時間が長いと、やはり換気が不足しがちである。

室温の最適化と換気不足があいまって、最近の多くの住宅では、ダニやカビ等の微生物汚染やこれに伴う健康影響等の発生が報告されており、大きな社会問題となることが懸念される。

ところで、従来から微生物汚染に対する有効な防止対策の一つとして、換気の促進が挙げられているが、その効果の有用性に関する学術的な根拠は見当たらない。本研究では、換気が室内カビ汚染防止に果たす役割を明らかにすることを目的に、換気状況が異なる複数の居室に長期間曝露した建材上へのカビの発生状況を観察するとともに、室内温湿度の測定を行い、換気の有無によりカビの発生状況に差異が認められること、換気を行った部屋の室内温湿度は前報¹⁾で明らかにした「カビの発生しやすい温湿度範囲」から逸脱して

いることを確認し、換気のカビ発生に対する抑制効果を実証したので、その結果を報告する。

2. カビ汚染防止に対する換気効果検証のための実際の居室を用いた一対比較実験

2.1 実験目的

平面が同一で隣接する居室2室を用い、一方は換気を行う居室、他方は換気を行わない居室として、これら2室に設置したカビ胞子懸濁液塗布の建材へのカビ発生状況を観察することにより、カビの生育に対する換気の抑制効果を実証する。

2.2 実験概要

(1) 実験対象とした菌種

住宅内で出現頻度の高い *Aspergillus* 属注ⁱ⁾を用いた。

(2) 使用した基材

畳表・ベニヤ・壁紙・布・餅を用いた。

(3) 使用した居室

図1に、本実験で使用した居室の平面図を示す。神奈川県藤沢市にある企業の独身寮の1階北側に位置する2部屋を使用した。両室の床面積は各々12.04m²と等しく、気積は28.88m³である。

* 千葉工業大学建築学科 教授・工博
** 松下精工㈱空調技術研究所

Prof., Chiba Institute of Technology, Dr. Eng.
Air Conditioning Research and Development Institute, Matsushita Seiko Co. Ltd.

(4) 実験方法

1) 換気の調整方法

カビ汚染防止に対する換気の効果は、室内相対湿度の低減、及び、室温の低下にあると考えられるので、換気を行う居室の換気は常時一定量の換気を行うのではなく、外気エンタルピが室内空気エンタルピより低い時だけ換気を行うような工夫を施した。換気有りの部屋には、給気用・排気用の換気扇（パイプファン）を設置して、熱交換型換気ユニット用コントローラーを用いて、上述のエンタルピの条件下でのみ、換気扇を運転するような自動制御運転とした。なお、2台の換気扇の間には仕切板を設置して、給気と排気とが短絡しないよう配慮した。また、換気無しの居室は、窓を閉鎖したままの状況として、特に手を加えていない。両室の換気状況を定量的に把握するため、「JIS A 1406 屋内換気量測定法（炭酸ガス法）」2)に従って、換気回数を測定した。測定結果を表1に示すが、換気無しの部屋でも換気回数1回程度の漏気が存在したが、換気扇運転時の両室の換気状況には有意な差異があると言える。

2) 室内温湿度の調製方法

両室とも相対湿度の測定値に基づいて運転を制御する超音波加湿機を設置し、換気有りの部屋は換気を行わない状態で相対湿度80%RH以上を維持するように作動させ、換気無しの部屋は常に相対湿度80%RH以上を維持するように作動させた。なお、実験期間が長期に亘るため、曝露基材が乾燥しすぎる恐れがある。

表1 換気回数測定結果

	換気有りの部屋	換気無しの部屋
換気扇ON	5.7回/h	—
換気扇OFF	2.6回/h	1.1回/h

このため、超音波加湿機の噴霧口を曝露基材に向け、超音波加湿器作動時には噴霧される霧状水滴により曝露基材が濡れた状態となるように配慮した。両部屋とも閉め切って、観察や超音波加湿機への水補給時以外の出入りはないものとし、室温は自然気温とした。

3) 曝露基材の調整方法

前報1)と同様の調製過程を経て、カビ孢子懸濁液を塗布した曝露基材を準備した。

4) 曝露期間・観察期間

写真1に示すように調製した曝露基材を各々の部屋中央の台上へ設置し、1990年12月4日～18日までの14日間暴露した。曝露期間中1日1回、基材上へのカビ発生の有無、発生後の生育面積を目視により観察した。各部屋の室内温湿度の経時変化は、神栄株式会社製温湿度センサー（RHU-650-232）で自動測定した。

5) 評価尺度

カビの発育度に関する評価尺度は、「JIS Z 2911 カビ抵抗性試験方法」3)に準じた基材への発育面積の大小に基づく4段階尺度を用いた。

2.3 実験結果、及び、考察

表2に換気有りの部屋と無しの部屋でのカビ発生状況の観察結果を示す。

表2 換気の有無によるカビ発生状況の差異

	壁紙	ベニヤ	布	餅	畳
換気有り	ND	ND	ND	ND	ND
換気無し (カビ発生日)	○ (12/13) 10日目	ND	ND	◎ (12/8) 5日目	ND

菌糸の生育が認められない・・・ND

菌糸の生育面積が全面積の1/3未満・・・○

菌糸の生育面積が全面積の1/3以上・・・◎

換気有りの部屋では、全ての基材ともカビ発生が全く認められなかったのに対して、換気無しの部屋では壁紙や餅の上にカビが発生した。

図2に、実験期間中のある2日間における室内外温湿度の経時変

図1 本実験で使用了居室の平面

写真1 基材並びに実験機器の設置状況

図2 実験期間中のある2日間の室内外温湿度の経時変化

化を示す。室温の変動範囲は、両部屋とも12～14℃とほとんど差が認められなかったが、室内相対湿度は、換気有りの部屋における値が60～83%であり、換気無しの部屋の85%に比べて、最大25%程度低かった。

また、2日間の中でカビの発生しやすい湿度80%を越える頻度は、換気無しの部屋で常時、換気有りの部屋で1時間づつ2回であった。

両室の熱負荷はほぼ同程度であり、日射の室内入射もほとんど無い非暖房状態であったため、室温変動範囲が同程度であったと考えられる。換気を行った部屋の室内相対湿度は、換気無しの部屋における値に比べ、常時低めであった。関東地方等の冬季における外気中の絶対湿度は、常時、室内側に比べて低い状態であり、上述のエンタルピー比較制御運転を行うことが、低湿度の外気と室内の高湿度の空気を入れ替えたことになったためであると考えられる。

図3に、前報1)で明らかにしたカビが生育しやすい温湿度範囲と、換気有りの部屋ならびに換気無しの部屋の温湿度変動範囲との関係を示す。

カビの生育しやすい温湿度範囲と換気無しの部屋の温湿度変動範囲を比較すると、カビが生えた餅の場合には、重複する領域があった。壁紙の場合、カビの生育しやすい温湿度の範囲外であったにも拘わらず、壁紙上へカビが生育した。前述のように、超音波加湿機作動時に噴霧された霧状水滴により壁紙が濡れるようにしたため、比較的高い湿度を維持した換気無しの部屋では壁紙からの水分蒸発が殆どなく、壁紙が常時濡れた状態であった可能性がある。

換気有りの部屋の場合、測定期間中の室内湿度は、換気によりカビが生育しやすい温湿度範囲から逸脱した値で換気無しの部屋における湿度より低値を維持したので、壁紙が乾燥・湿潤を繰り返していた可能性がある。

3. 実際の居室を用いた年間を通じての換気によるカビ汚染防止効果の検証ならびに換気扇自動制御方法の比較実験

3.1 実験目的

前述の冬期に実施した実験は、室内相対湿度に比べ外気相対湿度が低く、換気を行えば必ず室内相対湿度が低減する理想的な環境下での実験であったと考えられる。

一般的に、カビ汚染が発生する頻度が高い季節は、温湿度ともが比較的高い梅雨や夏であると言われており、これらの季節における外気の温湿度は冬期のそれと大きく異なっている。

そこで、施工途中のリゾートマンションの内装等の仕上げが終了した3住戸を1年近くの長期間にわたって借用して、四季を通じての換気のカビ汚染防止に対する効果を検証した。また、換気扇の運転方法の差異に伴う効果の相違を検討した。

3.2 実験概要

(1) 使用した基材

前報1)で最もカビが発生しやすいと判明した量を半量分、各居室に設置した。また、参考のため、日用品の内、最もカビが発生しやすい餅も設置した。

なお、前述の実験と異なり、基材には人工的な汚れを再現した卵黄やカビ懸濁液を塗布しておらず、通常のままとした。

(2) 使用した住戸

図4に、本実験で使用した居室の平面図を示す。

新潟県湯沢町にある施工途中のリゾートマンションの2階東側に位置する3住戸を使用した。3住戸の床面積は各々30.09m²と等しく、気積は72.22m³である。これらの住戸は、内装が仕上げられており、施工途中と言っても一般の住戸と変わらない。但し、コンクリート打設後の経過時間が短いので、コンクリートの固化に伴う蒸

図3 カビが発生しやすい温湿度範囲と室内温湿度変動範囲の関係

発水分が室内に放出され続けていたと考えられる。

(3) 実験方法

1) 実験期間・観察頻度

実験期間は、1992年7月から1993年6月までの11ヶ月であった。

便宜上、表3に示すように、実験期間を季節毎に分割した。

実験期間中、2週間に1回、基材上へのカビの発生の有無、発生後の生育面積を目視により観察した。

表3 実験期間の季節分割

'92.	8	9	10	11	12	'93.	2	3	4	5
7						1				
←夏季→		←秋季→			←冬季→		←春季→			

2) 換気の調整方法

実験対象とした3住戸の内、2戸は換気有りとし、各住戸の台所に設置してある換気扇を自動制御運転した。

エンタルピを検出するセンサーが高価であることを考慮して、より実用性の高い自動制御方法の検討を試みた。表4に示すように、外気エンタルピが室内空気エンタルピより低い時だけ換気を行うエンタルピ比較制御の他、室温と外気温を比較して外気温が室温より低い場合のみ換気扇を運転する温度比較制御も実験対象とした。

換気無しの住戸は、窓・給気口とも閉鎖したままとした。

表4 換気扇自動制御方法

	換気扇運転	換気扇停止
温度比較制御 (内外の温度を比較)	室内温度 > 外気温度	室内温度 < 外気温度
エンタルピ比較制御 (内外のエンタルピを比較)	室内エンタルピ > 外気エンタルピ	室内エンタルピ < 外気エンタルピ

3住戸の換気状況を定量的に把握するため、「JIS A 1406 屋内換気量測定法（炭酸ガス法）」2)に従って、換気回数を測定した。

測定結果を表5に示すが、換気無しの住戸の換気回数や換気扇停止時の換気回数は0.5回程度と漏気による換気が行われていたが、換気扇運転時の換気回数は2～3倍に達しており、換気の有無による換気量の差異は有意であると言えよう。

表5 換気回数測定結果

	換気有りの住戸	換気無しの住戸
換気扇ON	0.8～1.9回/h	—
換気扇OFF	0.4～0.6回/h	0.4～0.6回/h

3) 実験条件

実験状況を写真2に示す。

各住戸とも、窓面にカーテンを設けて、直達日射が室内に侵入しないようにした。

夏季・秋季は、自然室温の状態としたが、冬季や春季は屋外条件を考慮し、400Wの電気ヒーターで加熱すると共に、水を溜めた水槽を室内に設置して加湿した。

各部屋の室内温湿度経時変化は、神栄株式会社製温湿度センサー（RHU-650-232）を用いて自動測定した。サンプリング間隔は、10分とした。

4) 評価尺度

前述のJIS Z 2911に準じた4段階評価尺度を用いた。

3.3 実験結果、及び、考察

表6に、温度比較で換気を行った住戸（以下温度比較換気住戸）とエンタルピ比較で換気を行った住戸（以下エンタルピ比較換気住戸）、換気無し住戸における基材上へのカビ発生状況に関する観察結果を示す。

餅は各季節毎に新しいものを設置し直した。畳①は本実験当初から設置していたものであり、畳②は10月22日に追加設置したものである。

図4 本実験で使用した居室の平面

表6 換気の有無、制御手段の違いによる
カビ発生状況の差異

		餅				畳①				畳②			
		夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春
換気 有り	温度	○	ND			ND				ND			
	エンタルピ	○	ND			ND	○	変化無		ND			
換気無し		◎	ND			○	変化無			ND			

菌糸の生育が認められない・・・ND

菌糸の生育面積が全面積の1/3未満・・・○

菌糸の生育面積が全面積の1/3以上・・・◎

餅の場合、夏季において、全ての住戸ともにカビが発生したが、換気の有無により生育面積に差異が認められた。その他の季節においては、換気の有無に拘わらずカビの生育は認められなかった。温度比較換気住戸のみ、四季を通じて、畳①にはカビが発生しなかった。換気無し住戸は夏季に、エンタルピ比較換気住戸は秋季に、畳①にカビが発生し、以降、カビの発育に変化は認められなかった。畳②に関しては、全住戸とも、カビの発生は認められなかった。基材に発生したカビ菌種の内、同定作業で確認できたものは *Aspergillus* 属注ii) 注iii) であった。ただし、本実験は実際の居室を用いたフィールド実験であるため、暴露基材である畳の上に一種類の菌種のみが生育するとは考え難く、実際には他の優先種が育成していた可能性がある。

図5に、夏季のある2日間における室内外の温湿度の経時変化を示す。

換気有り2住戸の室温と換気無し住戸のそれとは、28℃とほとんど差は認められなかった。室内相対湿度に関しては、温度比較換気住戸が68～75%と最も低く、エンタルピ比較換気住戸が72～76%、換気無し住戸が最も高く80～82%であった。また、秋季においても夏季と同様の傾向が見られ、3住戸とも室温は20℃とほとんど差が認められず、室内相対湿度は温度比較換気住戸が58～68%と最も低く、

エンタルピ比較換気住戸が63～70%、換気無し住戸が最も高く66～72%であった。

換気を行っていたにも係らず、温度比較換気住戸、並びに、エンタルピ比較換気住戸の室内相対湿度に変動が見られなかったのは、室内空気環境が非居住状態であったため、水蒸気発生量が居住状態

写真2 実験機器設置状況

に比べ微量であったことが考えられる。しかしながら、換気有り2住戸の相対湿度は、換気無し住戸のそれよりも低い値を維持していたことから、換気により室内の相対湿度を低くできたと考えられよう。

図6に、前報1)で明らかになったカビが生育しやすい温湿度範囲と換気有り2住戸（温度比較換気住戸とエンタルピ比較換気住戸）、並びに、換気無し住戸における温湿度の出現範囲との関係を季節別に示す。

夏季の場合、3住戸とも、餅上にカビが発生しやすい温湿度範囲と室内における温湿度の出現範囲が大幅に重複した。このため、前掲の表6に示すように、全住戸とも餅にカビが発生したと推定できよう。畳に関しては、温度比較換気住戸における温湿度の出現範囲のみ、畳にカビが発生しやすい温湿度範囲から外れていた。エンタルピ比較換気住戸と換気無し住戸における温湿度の出現範囲は、畳にカビが発生しやすい温湿度範囲と重複していたが、エンタルピ比較換気住戸の場合、その出現頻度は744時間中28時間であったのに対し、換気無しの出現頻度は744時間中78時間と約3倍であった。このような出現頻度の多少が原因で、エンタルピ比較換気住戸の場合、畳①にカビが発生せず、換気無し住戸のみ畳①にカビが発生したと考えられる。

秋季における3住戸の室内温湿度の出現範囲は、畳にカビが発生しやすい温湿度範囲から外れていた。しかしながら、エンタルピ比較換気住戸のみ、畳①にカビ発生が認められた。この理由は不明である。ただし、今回測定した住戸があるマンションは施工途中であったため、工事の関係で停電事故が数日間発生していた。この測定データーが欠落した期間中、エンタルピ比較換気住戸における室内温湿度の出現範囲がカビの育成しやすい温湿度範囲と重複していた可能性もある。さらに、前報でも述べたように、カビが発生しやすい温湿度範囲を特定するための実験では、人工的な汚れを再現するために卵黄を塗布したので、成長に時間が掛かる環境下でのカビの発生を捉えられなかった可能性が高かった。測定結果に基づけば、8月下旬のエンタルピ比較換気住戸における室内温湿度の出現範囲と畳にカビが発生しやすい温湿度範囲とが、一部重複しており、この点を勘案すると、夏季から秋季に及ぶ長時間を掛けてカビが発生した可能性も考えられる。

冬季および春季における室内温湿度の出現範囲は、3住戸とも、畳にカビが生育しやすい温湿度が大きく外れていた。400Wの電気ヒーターと自然蒸発による加湿程度では、室内発生水蒸気量が実際の居住状態に比べて微量であったため、基材上へカビが発生しなかったと考える。

以上のことから、外気中の水蒸気分圧が高くなる夏季、秋季における室内カビ汚染防止に対する換気の効果を明らかにした。また、換気扇の自動制御運転方法に関しては、温度比較換気の方がエンタルピ比較換気と比べ、効果があるという結果が得られた。但し、温度比較換気の場合、梅雨時など水蒸気分圧の高い外気を導入する恐れがあるので、さらに検討を行う必要が有ろう。

図5 夏季のある2日間における
室内外温湿度の経時変化

図6 カビの生育しやすい温湿度範囲と各部屋の季節毎の室内温湿度変動範囲との関係

4. 結語

従来、経験則的に言われてきた換気の室内カビ汚染防止に関する実物実証実験を行い、以下のことを確認した。

- ① 換気の有無により、室内におけるカビ発生状況に差異が認められた。
- ② 換気を行った場合、室内水蒸気分圧が低減し、室内相対湿度が建材上にカビが発生し易い温湿度範囲から逸脱した値を維持した。
- ③ 換気が室内温熱環境に与える影響を考慮すると、換気はカビ汚染防止に対する効果があると言えよう。
- ④ この効果は、関東地方等の場合、外気中の水蒸気分圧が低い冬季だけでなく、四季を通じて有ることを検証した。
- ⑤ 換気扇の自動運転制御方法に関しては、温度比較換気の方がエンタルピ比較換気より若干ではあるが効果的であった。センサーの価格等、実用性を考慮すると、温度比較換気を採用することも考えられよう。

但し、本研究は関東地方等の一地域における非居住状態の居室を用いた模擬的な実験であり、他の地方や実際の居住状態の多種の発生源からの多量の発湿が再現されていない。今後、詳細な検討を行うためには、実際の居住状態での実大実験を行う必要が有ると考える。また、温度比較換気に関しても、梅雨時など外気の水蒸気分圧が高い場合に対する配慮を検討する必要がある。

謝辞

本研究を実施するに際して、住友建設(株)建築本部設備環境部、同東京支店のご協力をいただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

注

- 注i) 実際の住宅内で検出したカビを使用しており、属の同定は行ったが、種の同定は行っていない。
- 注ii) 実験中、実際にサンプル(餅)に発生したカビであり、属の同定は行ったが、種の同定は行っていない。
- 注iii) サンプルに発生したカビの一部をスタンプを用いて採取し、標準寒天培地を用いて培養、同定作業を行い、*Aspergillus* 属と断定した。

参考文献

- 1) 小峯裕己、小座野貴弘、長谷川永、末永義明：
住宅室内のカビ汚染と防止に関する研究、日本建築学会
計画系論文報告集、No. 484、1996年6月
- 2) 日本規格協会：JIS A 1406-1974，
“屋内換気量測定方法(炭酸ガス法)” pp. 470，
(財)日本規格協会，1995
- 3) 日本規格協会：JIS Z 2911-1981，JISハンドブック，
24巻，pp. 430，(財)日本規格協会，1987
- 4) 山里一英、横山和正他：微生物の分離法 R&Dラボニング
1986

(1996年7月9日原稿受理，1996年12月18日採用決定)