

不快臭が存在する居室におけるカビの生育抑制

川崎 たまみ* 潮木 知良* 京谷 隆*
吉江 幸子* 阿部 恵子**

Suppression of Fungal Growth in Offices of Railway Facilities Where Unpleasant Odors Exist

Tamami KAWASAKI Tomoyoshi USHIOGI Takashi KYOTANI
Sachiko YOSHIE Keiko ABE

There are offices and accommodation rooms with no windows that exist in the underground and under the viaducts of railway facilities. In some cases, there is fungal growth on the walls (gypsum boards) and occurrence of unpleasant odors in these rooms. In this study, Fungal Index (FI) of the surface of gypsum boards was surveyed under the conditions with/without high humidity of the back side of the boards in a chamber of constant temperature and humidity. As the result, FI of the surface of boards with high humidity of the back side of the boards was higher than that of the surface of boards without high humidity of the back side of the boards in the chamber set at humidity of 70% and 80%, at temperature of 25°C. But FI was not detected under the condition with/without high humidity in the chamber set at humidity of 60%.

キーワード：におい，微生物，カビ，居室，休養室，高架下，カビセンサ

1. はじめに

鉄道施設は、一般的にはお客様が利用できる施設と、鉄道事業者のみが利用できる施設に大別される。お客様が利用する鉄道施設としては、駅やホーム、コンコース等がある。一方、事業者のみが利用する鉄道施設の中でも特徴的な例としては、高架下や地下の空間を利用した駅員や乗務員の居室や休養室がある（図1）。こういった居室や休養室は、空間を有効に利用しているため、日当たりが十分ではない場合もある。中には居室や休養室内にカビが生育し、不快臭を感じる場合もある。2004年に鉄道利用者に対して実施した駅構内に関する意識調査では、地下空間において「嫌なにおいがする」との回答率が高く、そのにおいの例として「カビのようなにおい」と回答する率が高かった¹⁾。こうしたことから、不快臭の要因が全てカビに起因するわけではないが、地下空間の利用者がより快適に過ごせるように、居室・休養室内におけるカビの生育を抑制することは望ましいと考える。

一般的に室内にカビが生育する際には、内装材への発生や空調装置経由でカビが発生する場合は報告されている^{2) 3)}。そこで本報告では、内装材に着目した。恒温恒湿装置内にて現場の休養室内の温湿度条件を模擬した環境を再現し、その条件下で、内装材（石膏ボード）表面

* 人間科学研究部 生物工学研究室

** 環境生物学研究所



図1 高架下の休養室の例

上のカビの生えやすさを調べる実験を実施した。以下に、それらの結果を報告する。

2. 現地調査

まず実際にカビ臭がするとの指摘のあった居室の現状調査を行い、室内の温湿度環境と、カビ（以下、真菌と記す）の発生状況を把握した。

特集：人間科学

2.1 調査対象及び調査方法

2.1.1 調査対象

調査対象は、カビ臭がすると指摘があった高架下のA駅休養室とした。A駅は都市中心部に位置し、休養室は床面積約4.6m²、窓は無く、直接屋外に通じる部分はない(図2)。休養室内西側の壁近くにはベッドが設置され、毎日社員が就寝のため1時～5時の4時間のみ使用し、空

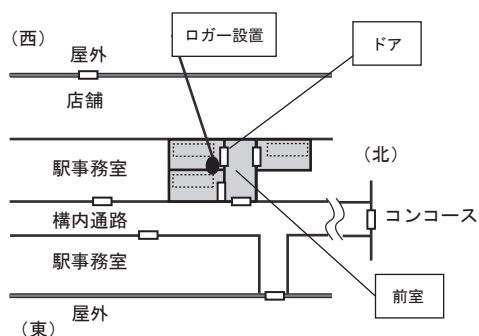


図2 調査対象A駅休養室付近の見取り図

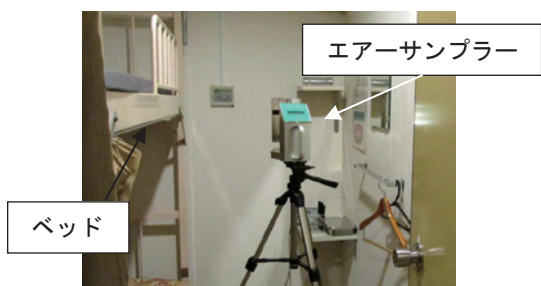


図3 浮遊真菌採取の様子

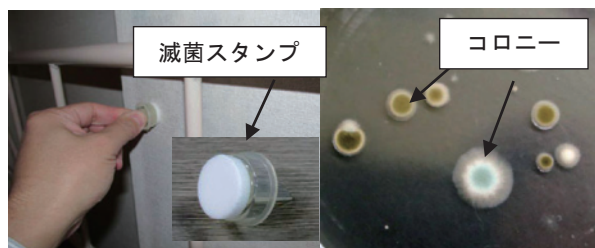


図4 付着真菌採取の様子と出現コロニー

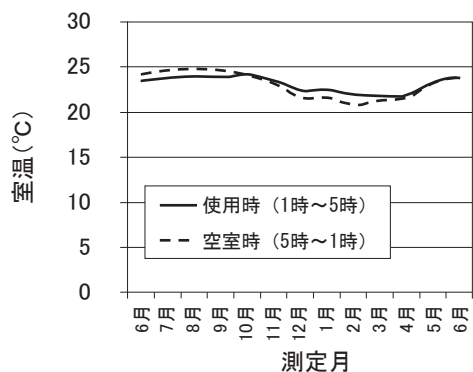


図5 A駅休養室内の温度調査結果

調や換気装置は適宜使用されている。5時～1時の20時間の空室時は無人で、空調や換気装置は停止している。

2.1.2 温湿度測定

休養室の床角に、温湿度ロガー(日置電機, LH501)を設置し、温湿度条件を一年間通して測定した(図2)。

2.1.3 浮遊真菌の測定

室内空気中に浮遊する真菌数を計測するため、室内中央の高さ約150cmの位置にエアースンプラーを設置し、室内の空気200Lに含まれる真菌の胞子をDG18寒天培地上に採取した(図3)。採取後、DG18寒天培地を25°Cの恒温室で3～5日間培養した後、出現したコロニーを計数した。また、比較対照のため、休養室外の構内通路(図2)でも同様に測定を行った。測定は2014年7月～2015年6月の一年間実施した。

2.1.4 付着真菌の測定

真菌発生を確認するために、壁面、天井及び床から、滅菌スタンプ⁴⁾による付着真菌の採取を実施した。具体的には、滅菌スタンプ(栄研化学)を、調査対象の壁面、天井、床に押し当て壁面上の真菌を採取した後(図4左)、滅菌スタンプをDG18寒天培地上に押し当て、25°Cで3-5日間培養した。培養後、出現したカビのコロニー(図4右)を計測した。付着菌量測定は、2014年6月と2015年2月、種類同定用には2014年9月に実施した。

2.1.5 浮遊真菌・付着真菌の同定

浮遊真菌、付着真菌共に2014年9月採取分について、培養後出現したコロニーを単離し、顕微鏡下で形態学的な種類の同定を実施した。

2.2 現地調査結果

2.2.1 休養室内の温湿度測定結果

休養室は、使用時と空室時では室内の温湿度環境が異なると考えられることから、各々の時間帯に分けて集計した。休養室使用時間帯(夜中1時～早朝5時)、空室時間帯(早朝5時～夜中1時)の平均温度、平均湿度をそれぞれ図5、図6に示す。平均室温は、使用時で21.3～24.5°C、空室時で20.2～25.3°Cであった。平均湿度は、使用時で33.6～81.4%、空室時で30.2～79.7%であった。室温の平均は、年間を通じて概ね20～25°Cの範囲にあり、比較的温度変化が少ない環境であった。一方、湿度は6月から9月にかけて70%を超え、12月から2月にかけて40%を下回るような変動が見られた。

2.2.2 浮遊真菌量及び同定結果

休養室内及び構内通路で検出された浮遊真菌量の年間平均値を図7に示す。休養室内から浮遊真菌が検出されたが、構内通路の検出量との間に統計的な差は認められなかった。

また、浮遊真菌の同定結果を表1に示す。その構成比は休養室内では、*Aspergillus restrictus*(コウジカビの一種)

が62%, *Cladsporium* (クロカビ) が30%, *Penicillium* (アオカビ) が8%であった。一方、構内通路では、*Cladsporium* (クロカビ) が75%, *Penicillium* (アオカビ) が18%, *Aspergillus vericolor* (コウジカビの一種) が6%であった。休養室内と構内通路での真菌検出量に差は見られなかったが、それぞれの優占種は異なっていたことから、休養室内では *Aspergillus restrictus* が優占的に生育

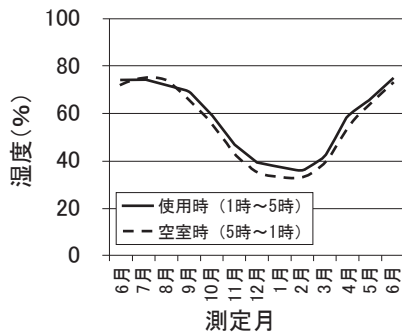


図6 A 駅休養室内の湿度調査結果

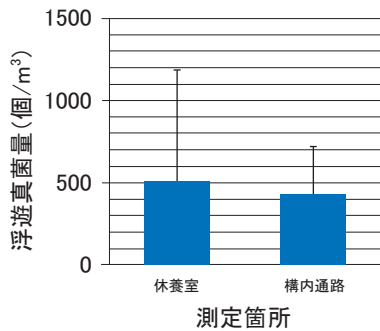


図7 A 駅の休養室と通路の浮遊真菌量

表1 A 駅休養室内の浮遊真菌構成比率

	<i>Aspergillus restrictus</i> (コウジカビの一種)	<i>Cladsporium</i> (クロカビ)	<i>Penicillium</i> (アオカビ)	<i>Aspergillus vericolor</i> (コウジカビの一種)
休養室内 (N=3)*	62	30	8	0
構内通路 (N=3)	0	75	18	6

* プレート数3枚中に出現したコロニーを同定

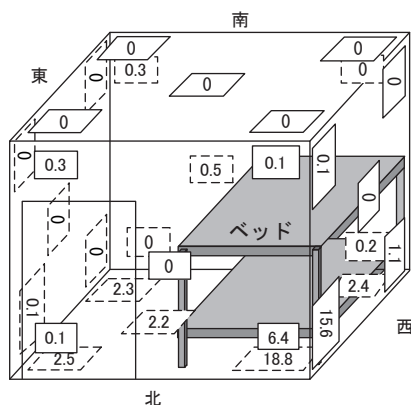


図8 A 駅休養室内の付着真菌量 (個/cm²)

していることが示唆された。なお *Aspergillus restrictus* は、カビ臭がするとの指摘のあった家屋内で検出され、湿度80%以下でも生育可能な真菌として報告されている⁵⁾。

2.2.3 付着真菌及び同定測定結果

付着真菌量の平均検出量を、休養室の模式図上に示す(図8)。天井からは真菌が検出されなかったが、壁と床から真菌が検出された。特に北西のベッドが設置されている壁や床から局所的に検出された。付着真菌を同定した結果、浮遊真菌と同じコウジカビが優占的に検出され、その他にクロカビが検出された。ただし、構成比率はコウジカビのコロニー数が多数増殖したため、計数は不能であった。このことから、休養室内で浮遊していた真菌は、同室内で発生したものと考えられた。

2.2.4 現地調査結果まとめ

鉄道施設としては一般的な、高架下の休養室内にて、年間温湿度調査、浮遊真菌調査、付着真菌調査を実施した。その結果、カビ臭がすると指摘のあった休養室内は、温湿度の平均湿度は20.2-25.3℃、相対湿度は30.2-81.4%の範囲であり、壁から真菌が検出され、コウジカビが優占種であった。

3. 模擬環境における真菌発生試験

休養室の現地調査の結果から、壁面にコウジカビが局在していることが分かった。従来、一般的な室内環境において、真菌発生を抑制するには、居室内の相対湿度を下げるのが効果的と言われてきた²⁾。しかし、壁面で真菌が局在するという事は、除湿により室内側がある程度低湿度に保たれたとしても、真菌が生育に必要とする水分量が壁面に何らかの理由で保たれているからであろうと考える。鉄道現場における居室や休養室は、高架下や地下にある事が多く、壁面裏側も高架下や地下の閉鎖空間であり高湿度環境であることも考えられる。そこで、真菌が生育に必要とする水分量が居室の壁面に保たれる理由の一つとして、「壁面(内装材)裏側の温湿度環境も影響を与える」という仮説をたて、これを検証するために現場の温湿度環境を模擬した環境内における実験を行った。

3.1 恒温恒湿装置を用いた試験方法

3.1.1 恒温恒湿装置内の条件

恒温恒湿装置内の温度条件は、休養室の実測値の最高温度(図5)と、真菌の最適生育温度が25℃であることから考慮して25℃とした。湿度は、休養室内の夏場の実測値(図6)から80%を最高湿度とし、下限値は一般的に真菌の発生がみられないと考えられている60%⁶⁾、そしてその中間の70%の3条件とした。

表2には、実験室内の恒温恒湿装置内を上記条件に

表2 測定温湿度条件

測定箇所	測定項目	恒温恒湿室設定相対湿度		
		60%	70%	80%
恒温恒湿室内 (水無条件) ^{a)}	温度(°C)	24.9 ± 0.1	25.2 ± 0.1	25.3 ± 0.2
	相対湿度(%)	57.8 ± 2.7	71.4 ± 0.2	80.1 ± 2.7
ケース内 (水有条件) ^{b)}	温度(°C)	25.2 ± 0.2	25.3 ± 0.1	25.2 ± 0.2
	相対湿度(%)	96.6 ± 1.7	97.2 ± 1.3	97.7 ± 0.6

- a) 水無条件と水有条件の試験は同時に行った。
- b) 水有条件の石膏ボードの裏面側。

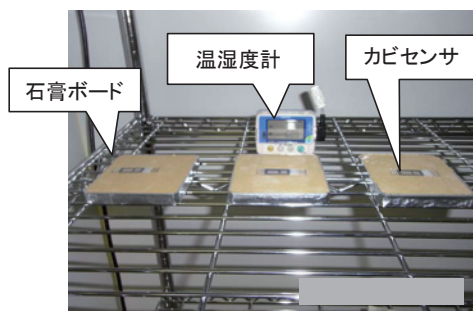


図9 恒温恒湿室内の試験片とカビセンサの設置状況 (水無条件)

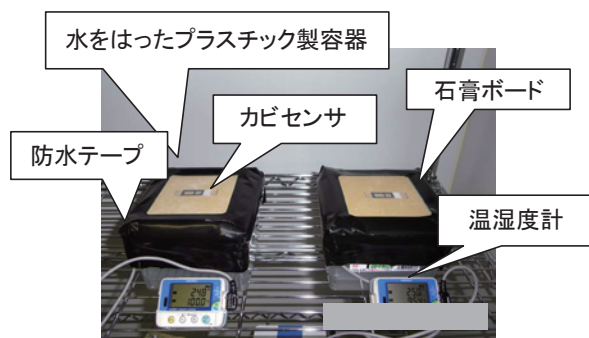


図10 恒温恒湿室内の試験片とカビセンサの設置状況 (水有条件)

設定した際の、水無条件及び水有条件時の試験片表面と裏面の温湿度測定結果を示す。恒温恒湿装置内の湿度条件を変えても、温度は水無・水有条件で平均 24.9℃～25.3℃、標準偏差も 0.1～0.2℃であったことから、恒温恒湿装置内の温度管理は問題ないことを確認した。また、水有条件の際の、プラスチック製容器内の湿度条件は、平均 96.6～97.7%、標準偏差 0.6～1.7%であったことから、容器内は高湿度を保ちかつ容器毎の湿度差も小さいことを確認した。

3.1.2 石膏ボードの表裏の湿度条件

(1) 試験片の作成

石膏ボード(厚さ 12.5mm)を、10cm × 10cm に切り出し、切断面の石膏が露出しないようにアルミテープ

で養生したものを試験片とした。試験片は、使用前に 40℃に設定した乾燥器に入れ、重量が安定するまで 3 日間以上乾燥させた。

(2) 水無条件、水有条件の設定

試験条件として、石膏ボード試験片表裏に湿度差が無い条件(水無条件：試験片をそのまま設置)と、湿度差を設けた条件(水有条件：試験片の裏側を湿度 90～100%に維持)をそれぞれ次の通り設定した(図 9, 10)。水有条件は、超純水を 300ml 入れたプラスチック製容器(13.0cm × 13.0cm × 9.5cm)内に、容器内の水が試験片に直接触れないよう、温湿度計のセンサが固定された試験管立て(12.5cm × 12.0cm × 8.5cm)に試験片を 1 枚のせた。更に、試験片と容器の隙間を防水テープで目張りして容器内の空間と容器外の空間を分断させることで、試験片裏側の湿度を高湿度に保つ工夫を行った(図 10)。なお、水面はケースの底から約 2.2cm、また、試験管立てにのせた試験片裏と水面との距離は約 7cm であった。

3.1.3 カビ指数の測定方法

カビセンサは、休眠状態の基準カビと栄養分を、通気性フィルム(表面)と非通気性フィルム(裏面)で挟み、透明プラスチック板上にパックしたものであり(図 11)、対象箇所にカビセンサを設置することで、真菌胞子の生長度合いをカビ指数として定量化することができる⁷⁾。カビ指数は、基準真菌が標準条件(25℃、相対湿度 93.6%)で測定された菌糸長まで成長するのに要する培養時間を、設置期間(週)で割った値(単位: ru/week)である。これまで、室内の温湿度条件とカビ指数の関係^{4)～9)}、及び室内の様々な場所におけるカビ指数について報告されている(表 3)^{10) 11)}。

なお設置期間内に、真菌胞子の発芽があった場合(図 12 右)のみ、カビ指数が得られ、発芽が見られなかった場合(図 12 左)には、カビ指数は検出下限値未満となる。

水無条件、水有条件共に、試験片及び超純水を入れたプラスチック製容器内にセットした試験片を恒温恒湿室内に設置してから約 2 日後、試験片表面にカビセンサを設置した。カビセンサは、胞子を覆う透湿性フィルム側が試験片に接するよう設置した。なお、事前の予備試



図11 カビセンサ

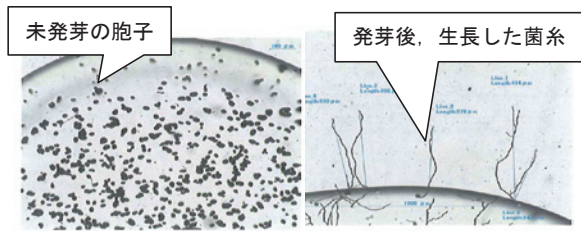


図 12 カビセンサ内胞子の様子

(左) カビ発生に適さない環境下のセンサ内胞子
(右) カビ発生に適した環境下で発芽したセンサ内胞子

表 3 様々な室内のカビ指数⁷⁾

カビ指数	カビ汚染可能性	環境例
2未満	なし	居室、押入れ、クローゼット、靴入れ等
4	低い	
20	あり	洗面所、浴室等
50	高い	
100以上	極めて高い	冷房時の空調機、夏期の浴室

験により、センサ設置期間については、発芽した菌糸が測定上限値よりも伸びすぎないように適切な期間を把握し、本試験で採用した。

3.2 模擬環境における試験結果

3.2.1 石膏ボード表裏の湿度環境と試験片表面のカビ指数の関係

表 4 に、水無条件、水有条件下の試験片の含有水分の増加量及びカビセンサの設置日数を示す。また図 13 には、カビ指数と水の有無条件との関係を示す。

図 13 の結果から、恒温恒湿室内の湿度 60% 設定時は、試験片の表面と裏面の空気が同じ湿度の場合(水無条件)も裏面の湿度が高い場合(水有条件)も、カビ指数は検出されなかった。

一方、恒温恒湿室内の湿度 70% 設定時は、水無条件下では、表面のカビ指数が検出下限値未満となったが、水有条件下では、表面のカビ指数は 33.6 ± 7.9 (平均値 \pm 標準偏差) を示し、試験片表面はカビが生育する環境であることが分かった。更に湿度 80% 設定時は、水無条件下、水有条件下共に、カビ指数が検出され、それぞ

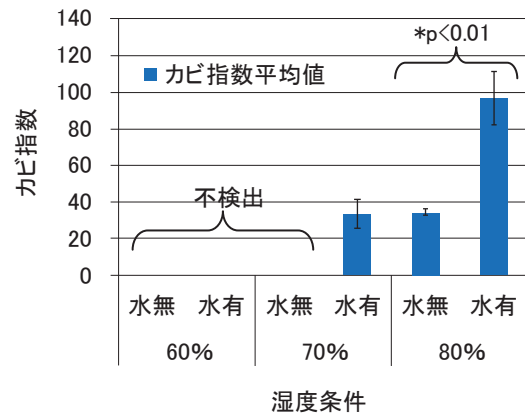


図 13 湿度条件と試験片表面のカビ指数との関係

れ 34.7 ± 1.7 , 96.5 ± 14.6 を示し、カビが生育しやすい環境であることが分かった。また、統計処理の結果、湿度 70% の水有条件と湿度 80% の水無条件との間に有意差は見られなかったが、湿度 80% の水無条件と水有条件との間では、有意差がみられた ($p < 0.01$)。表 3 によれば、「湿度 80%、水無条件、平均カビ指数 34.7 ± 1.7 」は、居室や押入れと同等の環境、「湿度 80% 水有条件下、カビ指数 96.5 ± 14.6 」は、冷房時の空調機や夏期の浴室と同程度の環境である。

また恒温恒湿室の湿度 60%、70%、80% 設定時の水有条件下では、試験片の水分増加量は、それぞれ 0.33%、0.42%、0.57% であった(表 4)。これらのことから、試験片の水分が僅か 0.09% 程度増えるだけで、その影響が試験片表側のカビ指数に影響を与えることも分かった。

3.2.2 模擬試験環境試験結果まとめ

休養室内の温湿度環境を模擬した恒温恒湿装置内において、石膏ボード表裏の湿度環境と表面のカビ指数の関係を調べた結果、水有条件では装置内湿度が 70% 以上、水無条件では装置内湿度 80% 以上の条件で、真菌が発生しやすいことが分かった(図 13)。

4. まとめと考察

本報告では、まず現地調査により、カビ臭のする休養

表 4 石膏ボードの含有水分の増加量 (N=3) とカビセンサ設置日数

恒温恒湿室設定相対湿度	60%		70%		80%	
	水無	水有	水無	水有	水無	水有
石膏ボード裏面						
曝露期間 (日)	12	7	15	6	10	4
平均増加水分量 (g)	0.29	0.44	0.44	0.55	0.61	0.76
平均増加水分量 (%)	0.22	0.33	0.33	0.42	0.47	0.57

室内の温湿度調査、浮遊真菌量の測定及び同定、付着真菌の測定及び同定を実施した。その結果、休養室内壁で局所的にコウジカビが検出された。そこで、恒温恒湿装置内にて休養室の温湿度環境を模擬した条件で、石膏ボード表裏の湿度環境を変えて石膏ボード表面のカビ指数への影響を調べた。その結果、恒温恒湿装置内の湿度が70%、80%の下では、石膏ボード裏側の湿度が表側の湿度よりも高い環境では、石膏ボード表面のカビ指数に差が生じることが分かった。一方、石膏ボード裏側の湿度が飽和に近い条件であっても、室内側の湿度が60%にまで下がると、石膏ボード表面ではカビ指数は検出限界以下になることが分かった。

これらの結果から、真菌の発生を抑制するためには、居室・休養室室内（25℃）を湿度60%にまで除湿できれば、石膏ボード裏が高湿でも石膏ボード表面における真菌の増殖は抑制できると考えられる。しかし、室内湿度が70%の場合、石膏ボード裏側が高湿度であると、真菌の増殖を抑制することはできず、更に居室室内湿度が80%を示す場合は、内装材裏側の湿度に関わらず居室内で真菌が増殖する環境であることが示唆された。

鉄道現場を想定して考えると、真菌の発生を抑制するためには、室内の湿度を70%以下に保つことにより真菌発生を抑制できるが、内装材裏側の湿度が高い場合は、湿度60%まで下げる事が必要と考える。これらによって、石膏ボードの水分含有率を高めずにカビ指数を抑える、すなわちカビ発生抑制につながると考える。

5. おわりに

本試験では、恒温恒湿装置を用い、石膏ボード表裏の温湿度条件に注目し、石膏ボードの含水率またはカビ指数の変化を調べた。本試験の結果から、居室内の真菌発生を抑制するためには、室内のみの湿度条件に注目するのではなく、内装材裏側の湿度条件も重要であることが分かった。

文献

- 1) 鈴木浩明, 藤浪浩平, 斎藤綾乃, 川崎たまみ, 伊積康彦, 飯野直志: 衛生・清潔に関する利用者意識の実態と要望の分析, 鉄道総研報告, Vol 19, No.1, pp. 15-20, 2005
- 2) 小峰裕巳: 住宅室内のカビ汚染と防止に関する研究: 住宅総合研究財団, 研究年報 No. 20, 研究 No. 9219, 1993
- 3) 横山貴紀他: パッケージ型空調機における温湿度環境と微生物汚染の実態解明に関する研究, 室内環境学会学術大会講演要旨集, pp. 232-233, 2013
- 4) 橋本一浩, 各務清美, 横山耕治, 福田安住, 川上裕司: 美術館から分離された *Aspergillus section Restrictus* の遺伝子解析および形態的観察による同定・室内環境, Vol.13, No.2, pp.131-139, 2010
- 5) Taubel Martin et al., Application of the environmental Relative moldiness index in Finland, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 82, No. 2, pp. 578-584, 2016.
- 6) 高島浩介他: 紙本, 絹本の湿度差によるカビ発生, 保存科学, No.54, pp. 133-142, 2015
- 7) 阿部恵子: カビの発育を利用する環境評価法, 建築設備と配管工事 5月号 pp. 13-17, 2012
- 8) 阿部恵子: カビ発育から測定する実測カビ指数と温湿度から計算する予測カビ指数の比較, 室内環境学会誌, E23-30, 2006
- 9) Abe K., "Assessment of home environments with a fungal index using hydrophilic and xerophilic fungi as biologic sensors", *Indoor Air*. 22(3): pp. 173-85. 2012.
- 10) Abe K., Murata T., "A prevention strategy against fungal attack for the conservation of cultural assets using a fungal index", *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 88, pp. 91-96 2014.
- 11) Abe K., "Assessment of the environmental condition in a museum storehouse by use of a fungal index.", *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 64, pp.32-40, 2010.