

建物のカビを考える

—発生のメカニズムから抑止策まで—

阿部 恵子

1. カビ発生のメカニズムと有害性

1-1 カビ発生のメカニズム

建物内部がカビの発育条件を満たしていれば、その建物はカビにより汚染されます。図1に、カビの発育条件を示します。カビの発育には、「環境」(栄養分、酸素、温度、水分)と、「時間」が必要です。カビは生物で、発育には時間がかかります。環境の各条件が満たされた状態が長く続くと、カビの胞子は発芽して菌糸を伸長し、菌糸上に新しい胞子を着生します。胞子は飛散して何処かに定着し、新たなカビの発育が始まります。しかし、環境条件が満たされた状態になって発育を始めても、胞子を着生する前にその環境が途切れてしまうと、カビは発育を停止し子孫を増やすことができません。

有機物を含む建材はカビの栄養分になります。カビの発育には酸素が必要ですが、人の住む所には必ず酸素があります。そしてカビが発育する温度は0~45°C、最適温度は20~30°Cで、人の生活温度と一致します。したがって、カビの発育に必要な環境条件の「栄養分」、「酸素」、「温度」は、建物では常に満たされた状態です。建物で満たされていない唯一の条件が水分です。

水があればそれを利用してカビは発育しますが、

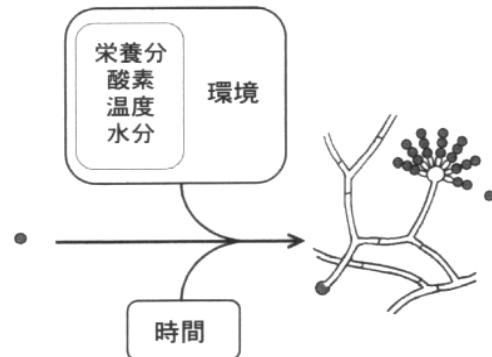


図1 カビが発育する条件。カビの発育には、環境条件が満たされた状態で持続することが必要。

水の無いところでは周囲の空気から水分を取り込みます。そのため、空気中の水分の状態はカビの発育に大きく影響します。

図2は「湿り空気線図」で、空気が元々持っている性質を示すものです。横軸は温度、縦軸は絶対湿度(乾燥空気1kg当たりに含まれる水分量)、斜めに走っている線が相対湿度(空気中の水分が飽和状態のときに比べてどれくらい含まれているかをパーセントで示すもの)です。

空気は温度が高くなるほど含み得る水分の量が多くなります。そのため空気の温度が上がると相対湿度が低下し、空気の温度が下がると相対湿度が上昇します。例えば25°Cで相対湿度51%の空気は15°Cに下がれば相対湿度95%になります。相対湿度が高くなるほどカビは空気から水分をもらい

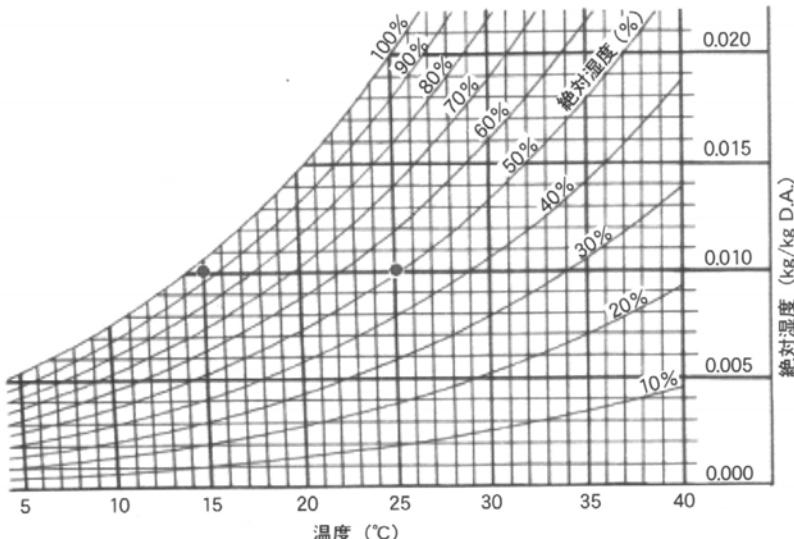


図2 湿り空気線図。空気が元々持っている性質を表す。絶対湿度が同じ空気の場合、低温ほど相対湿度は高い。例えば、絶対湿度0.010kg/kg D.A.（乾燥空気1kg当たり10gの水蒸気を含んでいる）空気の場合、温度が25°Cでは相対湿度が51%であるが、15°Cでは相対湿度が95%である。

表1 カビの有害性

人に対して	アレルギー	アレルギー性鼻炎、気管支喘息、過敏性肺炎 アトピー性皮膚炎、じんましん
	感染症	皮膚科：水虫 内科：日と見感染症（カンジダ症） 輸入真菌症（コクシジオイデス症）
	食餌性中毒	カビ毒（アフラトキシン中毒）
物に対して	住居汚染・食品腐敗・衣類汚染・文化財劣化	
その他	ダニ増殖の促進	

やすくなります。

室内では絶対湿度がほぼ一定ですので、温度が低い箇所は相対湿度が高くなり、カビの発育しやすい環境になります。外気温度の影響で温度が低下しやすい外壁に面した壁がカビで汚染されやすい、南側より北側のほうがカビで汚染されやすいなどは、低温箇所で相対湿度が高くなることが原因です。

1-2 カビの有害性

表1に、カビの有害性を示します。人に対する有害性として、アレルギー、感染症、中毒を挙げることができます。

アレルギーには、カビの胞子を吸い込むことによるアレルギー性鼻炎、気管支喘息、過敏性肺炎、カビと接触することによるアトピー性皮膚炎、じ

んましんなどがあります。アレルギーはカビが体内で増殖するわけではありません。体内でカビが増殖すれば感染症です。皮膚科領域の感染症の代表は水虫でしょう。内科領域ではカビによる日と見感染症があります。日と見感染症は、病原菌と人体の抵抗力との力関係で発病するかどうか決まり、体に抵抗力があるときは発病せず弱っていると発病します。カンジダは皮膚や腸管の中などにいるカビですが、体力が落ちていたり、抗生物質の使用により体表面にいる微生物のバランスがくずれたりするとカンジダ症になることがあります。

カビは有機物であればほとんど何でも栄養源に利用するので、衣食住の全ての物がカビで汚染される可能性があります。住居がカビで汚染されれば、室内の空気中に漂うカビ胞子の数が増えアレルギーを誘発します。

ダニの中にはカビを餌として発育する種類があり、住居の中でカビが増えるとダニも増えます。室内のダニアレルゲンとして最も重要なチリダニは、

人のフケを餌としカビは餌にしていませんが、カビが生えて脂肪分が分解されたフケのほうがチリダニの発育には適しています。

2. カビ発育環境の測定法

室内がカビの発育できる環境を保っていても、そこに居る人はカビ汚染が目に見える状態になるまで気付きません。そして目に見えるほどカビ汚染が進んだ時は、すでに汚染部分からカビの胞子が室内に飛び散っています。カビで汚染される前に、室内がカビの発育する環境になっているかどうかを知ることができれば、カビによる被害を受ける前に対応できるはずです。

そこで、カビそのものを環境のセンサーとして使い、その発育速度から環境を定量的に表示する

方法を開発し『カビ指数(fungal index)』^{1~4)}と名付けました。定量的に表示することにより、カビ抑制対策を立てた時に、その効果を評価する事が可能になります。

カビ指数の調査には、内部にカビの胞子を封入した試験片(カビセンサー)を使います。図3は、壁面に設置した「室内用カビセンサー」でクリップに挟み釘に掛けてあります。白い不織布の袋の中にカビセンサーが入っています。図4は、カビセンサーの正面図と側面図です。カビの胞子を栄養分の中に分散させ、直径約3mmのスポット状にプラスチック板に接種し(乾燥状態)、スポットはさらに酸素と水分を透過するフィルムと両面テープで囲み閉じてあります。水分と酸素はフィルムを通して内部のカビに供給されます。カビセンサーを設置した箇所がカビの発育できる環境であれば内部でカビの胞子が発芽し、菌糸を伸長します。内部のカビの発育は周囲の環境に依存するので、その発育から周囲の環境がわかります。

カビ指数調査法は次のとおりです。①カビセンサーを調査したい箇所に設置(環境曝露)、②一定期間の環境曝露後に回収、③カビセンサー内部のカビを顕微鏡下で写真撮影、④写真プリント上で菌糸長を計測、⑤菌糸長と曝露期間を基にカビ指数を計算。

カビ指数とは、調査環境に設置(環境曝露)したカビセンサー内のカビの発育(1週間当たり)を、基準気候(温度25°C・相対湿度93.6%)における基準菌(ユーロチウム)の発育と比較し、相対値から環境を表すものです。図5を例に説明します。

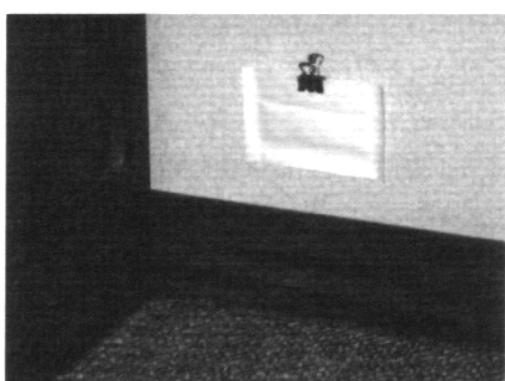


図3 壁面に設置した室内用カビセンサー。不織布の袋の中にカビセンサーを入れ、袋の口をヒートシールしている。

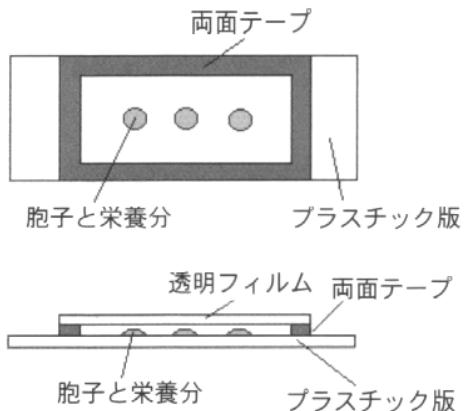


図4 カビセンサー。カビ発育環境調査用の試験片。

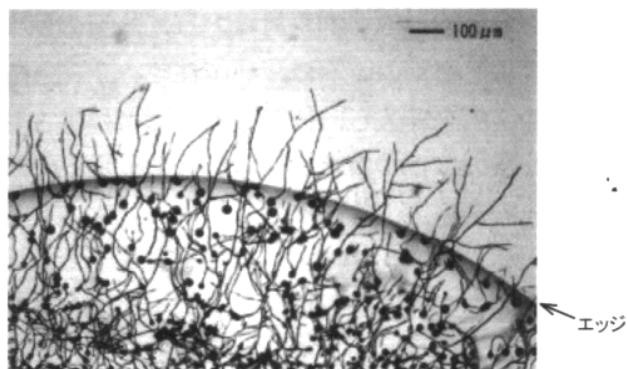


図5 環境曝露後のカビセンサー内のカビ発育例。

図5は、調査箇所から回収したカビセンサーの顕微鏡写真です。胞子が発芽して菌糸が伸び、胞子を分散させたスポットのエッジから外側に菌糸が伸長しています。この写真では、エッジから菌糸先端までの距離が320μmです。この発育状態(菌糸長)は基準菌を基準気候下で培養した時の20時間培養と同じです。調査環境に1週間曝露したカビセンサーでこの写真と同様の発育が得られた場合、その調査環境をカビ指数20にします。設置した期間が2週間でこの発育状態であれば、カビを発育させる速度は半分ですので、カビ指数10($20 \div 2 = 10$)、4週間であればカビ指数5($20 \div 4 = 5$)になります。1日でこの発育状態になれば発育速度は7倍で、カビ指数140($20 \times 7 = 140$)になります。

カビの発育しやすい環境ほどカビ指数の値は高くなります。

3. カビ発生の抑止策

最初に述べたように、カビの発育には「環境」

と「時間」が必要です。

ここでは、「環境」による抑止策として除湿、断熱および加温を、「時間」による抑止策として空調機内部のカビ抑制と、間欠加温による壁面のカビ防止について述べます。

3-1 除湿

日本の夏は高温多湿で外気の絶対湿度が高いので、換気しても湿った空気が入ってくるだけでカビ抑制にはあまり役立ちません。夏は室内での除湿が必要です。

表2に、夏期のカビ抑制対策として除湿の効果を示します。梅雨の時期に戸建て住宅の空室と物入れに除湿機を導入し、稼動させた時と稼動させなかった時のカビ指数を比較しました。用いた除湿機は一般家庭用の除湿機で、連続で稼動させると室内の相対湿度を50~60%に保ちます。6月3日からの調査で除湿機を稼動させていないと、全調査箇所に設置したカビセンサー内部でカビが発芽してカビ指数が検出され、家の中はカビが発育する環境でした。次に6月17日から除湿機を連続で稼動させると、除湿機を入れている空室と物入れではカビ指数が検出されずカビが発育しない環境になり、除湿機の無い廊下ではカビ指数が検出されカビが発育する環境でした。再び除湿機を停止させると、全調査箇所でカビ指数が検出され、除湿機を稼動させると除湿機を入れている箇所だけカビ指数が検出されませんでした。除湿はカビ抑制に有効です。

3-2 断熱

冬は、外気も住宅の中も絶対湿度が低いので、外気温度の影響による温度低下を防ぐことができれば、壁面でのカビ発生を抑制できますので、断熱が有効です。

表3は、冬の絶対湿度が低い時期を想定し、低温外気の影響で壁面温度が何度まで下がるとカビが発育する環境に変わるか計算した例です。使った絶対湿度は0.0065kg/kg D. A. で、冬の室内の絶対湿度に相当します。

室温20°Cでは相対湿度が45%です。温度が12°Cまで低下してもカビ指数は1未満ですが、外気温度の影響で壁面温度が11°Cまで低下するとカビ指

数5になりカビが発育する環境になります。温度が下がるほどカビ指数は高くなりカビの発育しやすい環境に変わり、8°C以下に下がればカビの胞子が1日で発芽する環境です。この室内気候の住宅であれば、断熱して壁面を12°C以上に保っていれば、カビが生える可能性はありません。

3-3 加温

建物の壁面温度が低下すれば相対湿度が上がり、カビが発育する環境になりますが、逆にカビが発育する壁面環境でも温度を上昇させればカビが発育しない環境に変わらるはずです。

そこで、相対湿度95%付近まで加湿された15°Cの中温倉庫の壁面を暖めた場合を想定して、絶対湿度が同じで温度と相対湿度が異なる環境を作りカビ発育を比較しました。使った絶対湿度は0.010kg/kg D. A. です。この絶対湿度環境は、温度が15°Cであれば相対湿度が95%で、温度が16°Cであれば相対湿度が89%です(図2参照)。

アルタナリア(好湿性カビ)を入れたカビセンサーを使って調査すると、15°C(相対湿度95%)ではアルタナリアは発芽して菌糸を伸長しましたが(図6A)、16°C(相対湿度89%)では全く発芽が認められませんでした(図6B)。

絶対湿度0.010kg/kg D. A. で15°Cの壁面は、温

表2 夏期除湿の効果

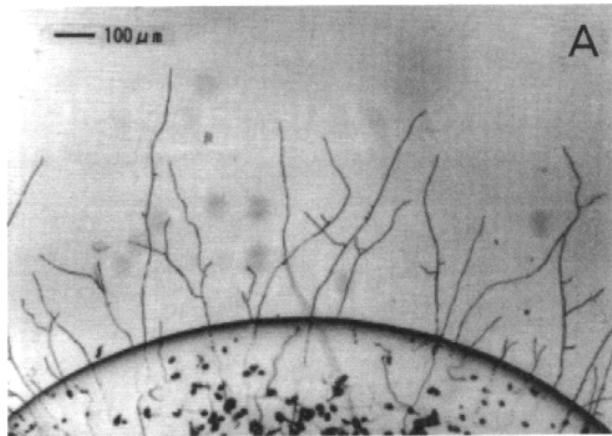
調査開始日	調査期間(日)	除湿機の使用状況	調査箇所のカビ指数		
			空室:除湿機あり	物入れ:除湿機あり	廊下:除湿機なし
6/3	14	使用なし	8.5	7.5	5.5
6/17	14	連続稼動	—	—	6.8
7/1	7	使用なし	14.3	13.2	9.4
7/8	7	連続稼動	—	—	9.2
7/15	7	使用なし	18.8	14.0	13.1

1993年に鎌倉市の戸建て住宅で調査。除湿機は空室と物入れに導入。

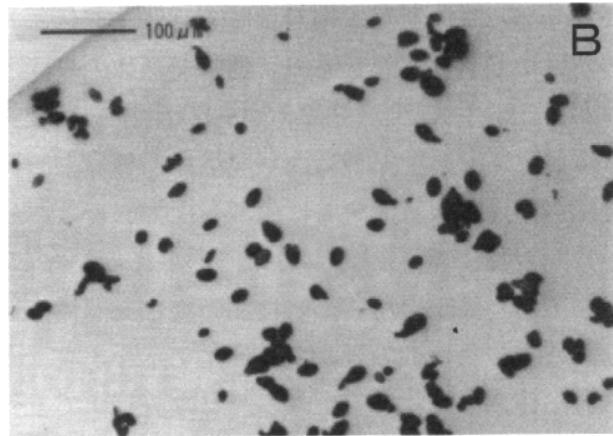
—: カビ指数検出なし。カビセンサー内部で胞子の発芽が認められない。

表3 壁面温度が低下した場合のカビ指数

(絶対湿度 6.5 g/kg dry air の場合)		
温度(°C)	相対湿度(%)	カビ指数
20	45	< 1
12	69	< 1
11	80	5
10	85	13
9	90	24
8	98	70
7	100	72



A : 温度15°C(相対湿度95%)で3日間培養. 発芽し
菌糸が伸長している.



B : 温度16°C(相対湿度89%)で3日間培養. 発芽し
ていない.

図6 絶対湿度0.010kg/kg D. A. の環境でのアルタナリアの発育.

度を1°C上げて相対湿度を低下させるだけで、好湿性カビが発育しない壁面環境に変わります。

3-4 空調機内部のカビ抑制

冷房中は空調機内部の冷却部分で結露し、停止後も内部が乾かないため、夏期の空調機内部はカビが発育しやすい環境を保っています⁵⁾。

冷房時は内部を乾燥させることができますが、冷房停止後に内部を乾燥させれば、水分が付着した状態が連続するよりはカビの発育が抑えられるはずです。そこで、冷房後に内部を乾燥させるプログラムを組み、このプログラム「あり」と「なし」で空調機内部のカビ指数を調査しました。

表4に、冷房期間中の空調機内部のカビ指数を示します。内部を乾燥させない通常のエアコンの場合は、内部のカビ指数は80以上でした（カビセンサーの曝露期間5日間で菌糸が伸びすぎて計測上限を超えた）。曝露期間をもっと短くすればカビ指数は測定され、冷房時のエアコン内部はカビ指数200前後です。乾燥プログラム「あり」の場合は、カビ指数が最も高いドレンパン排水口でもカビ指数20でした。乾燥プログラムを入れることにより、カビ指数が1/10に、すなわちカビの発育する速度が1/10に下がりました。

通常の空調機は数年間使用すれば内部がカビで黒くなりますが、乾燥プログラムを入れた空調機は数年使用した後も内部にカビ汚染が全く認められませんでした。カビの発育速度が1/10になれば空調機内部がカビで汚染される前に冷房の季節が

表4 エアコン内部のカビ指数乾燥プログラムの効果

調査箇所	カビ指数	
	乾燥プログラム なし	乾燥プログラム あり
フィルター	—	—
ドレンパン 底面	>80	—
ドレンパン 排水口	>80	20
送風ファン	>80	14
エアコン内部の背面	>80	—
室内中央	—	—

乾燥プログラム：冷房停止後に加温と送風により内部を乾燥させる。

>80：カビセンサー内部で菌糸長が計測上限を超えるカビ指数の値が測定できない。カビ指数80以上（カビセンサー設置期間は5日間）。

—：カビセンサー内部で発芽が認められない。カビ指数10未満。

終わり、カビの発育は「時間切れ」になったと思われます。冷房期間中に毎日1回乾燥運転をせれば、カビで汚染された空調機から胞子が吹出してくるようなことはなくなるでしょう。

3-5 間欠加熱による壁面のカビ抑制

カビはどこかに付着して発育するもので、空気中に浮遊した状態で発育するわけではありません。したがって、カビ発育の抑止が必要な箇所は壁面や建材表面など、何かの表面です。

カビは熱に弱いので、壁面でカビがある程度発育しても、まだ新しい胞子を着生しないうちであれば加熱して発育を「時間切れ」にするカビ防止方法が使えます。

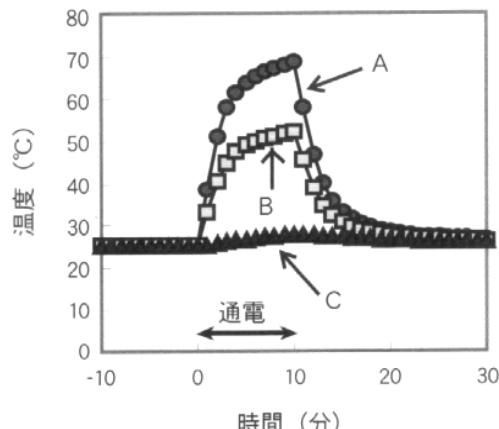
建物の壁面を加熱する手段として面状発熱体が利用可能です。そこで、実験室でカビセンサーを利用して間欠加熱がカビ発育に与える影響について調査しました。恒温恒湿ボックス（45cm×60cm,

高さ45cm、温度25°Cで相対湿度97.3%⁶⁾に調節)の内面に面状発熱体を貼り、面状発熱体の表面と、向かい側の壁面(面状発熱体から60cm離れている)にカビセンサーを貼り、面状発熱体は毎日1回10分間だけ通電し、間欠的に温度を上昇させながら7日間培養しました。

図7に、実験に用いた2種類の面状発熱体に10分間通電した場合の表面温度変化を示します。面状発熱体Aは69°Cまで上昇し、Bは52°Cまで上昇しました。Cは面状発熱体の向かい側の壁面温度です。

表5に、代表的なカビの発育状態を示します。36種類のカビについて調べましたが、面状発熱体Aの表面で発育したカビはありませんでした。面状発熱体Bの表面で発育したカビが13種類ありました。発育程度は向かい側の壁面での発育に比べると、著しく抑えられていました。残りの23種類は、面状発熱体Bの表面でも発育しませんでした。

面状発熱体を利用する間欠加熱はカビ抑止に大変効果があります。室内全体の環境は変えず、表面温度だけ制御してカビの発育を抑止する方法は、さまざまな建物の内面でのカビ防止方法として有効と思われます。ぜひ、どこかで使ってみてください。



A : 面状発熱体Aに10分間通電加熱。69°Cまで上昇。
B : 面状発熱体Bに10分間通電加熱。52°Cまで上昇。
C : 面状発熱体の向かい側の壁面。

図7 面状発熱体の表面温度変化。

[参考文献]

- 1) A Method for Numerical Characterization of Indoor Climates by a Biosensor using a Xerophilic Fungus. Indoor Air, 3 : 334–348, 1993
- 2) 好乾性カビをバイオセンサーとする室内環境評価. 防菌防黴, 21 : 557–565, 1993
- 3) Assessment of Indoor Climate in an Apartment by Use of a Fungal Index. Applied and Environmental Microbiology, 62 : 959–963, 1996
- 4) カビ指数による室内環境評価. 防菌防黴, 29 : 557–566, 2001
- 5) エアコン冷房時のカビ指数とカビ汚染. 室内環境学会誌, 1 : 41–50, 1998
- 6) ASTM E 104–85

(環境生物学研究所

[アベ ケイコ])

表5 間欠加熱の影響

カビセンサー内部に入れたカビの種類	7日間培養後の発育状態		
	面状発熱体Aの表面	面状発熱体Bの表面	向かい側の壁面
アスペルギルス・テレウス(こうじかび)	—	—	+++
アスペルギルス・ニゲル(こうじかび)	—	+	+++
アスペルギルス・フラバス(こうじかび)	—	—	+++
アルタナリア・アルタナータ(すずかび)	—	++	+++
クラドスボリウム・クラドスボリオイデス(くろかび)	—	—	++
クラドスボリウム・ヘルバルム(くろかび)	—	+	++
ペニシリウム・シトリナム(あおかび)	—	+	+++
ペニシリウム・フリクエンタヌ(あおかび)	—	—	+++
ユーロチウム・トノフィラム(かわきこうじかび)	—	—	+++
ワレミア・セビィ(あづきいろかび)	—	—	+

代表的なカビについて記載。

恒温恒湿ボックス内の片面に面状発熱体をはり、その表面と向かい側の壁面に、それぞれのカビを内部に入れたカビセンサーを貼って7日間培養。

— : 発育が認められない。+ : 菌糸長が200μm未満。++ : 菌糸長が200~2000μm。+++ : 菌糸長が2000μm以上。