

病院改修・解体工事におけるアスペルギルス症対策

四 本 瑞 世 緒 方 浩 基

奥 田 寛 野 溝 貞 良
(本社技術本部) (本社技術本部)

Countermeasures Against Aspergillosis Infection in Hospital Renovation and Demolition Work

Mizuyo Yotsumoto Hiroki Ogata

Satoru Okuda Sadayoshi Nomizo

Abstract

A substantial amount of dust is generated in renovation and demolition building work. As the dust contains a large amount of fungal (*Aspergillus*) spores, hospitals in which patients with impaired immunity are present face a considerable risk of Aspergillosis infection by the aspiration of spores. This paper describes countermeasures against Aspergillosis infection from construction work, using mist spray disinfection technology “Multi Mist®”. From the preliminary fungus investigation, we confirmed that there were many *Aspergillus* spores in the dust of the ceiling cavity. Decontaminating the fungi before demolishing the ceiling can reduce the risk of scattering *Aspergillus*. In demolition of a hospital, the back of a ceiling with a total area of 4,900 m² was decontaminated using a portable “Multi Mist” system. It is confirmed that 98% of the fungi concentration was decontaminated.

概 要

建物の解体や改修工事において、大量の粉塵が発生する。粉塵中には、カビの一種であるアスペルギルスの孢子が大量に含まれることがあるため、免疫力が低下した患者が在室する病院では、この孢子を吸引して感染するアスペルギルス症の危険性が一段と高まるとの報告があり、病院側より対策を求められるケースが増えている。本報では、ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト®」を活用した工事由来のアスペルギルス症対策について述べる。カビ調査より、天井裏の埃にアスペルギルスが多く存在することを確認した。実際の病院解体工事において、延べ4,900m²の天井裏を可搬型マルチミストにより薬剤をミスト噴霧し、98%の除カビ効果を確認した。以上より、解体前に天井裏を除カビすることで、解体工事により生じるアスペルギルス飛散リスクを低減できることが明らかとなった。

1. はじめに

建物の解体や改修工事において、大量の粉塵が発生する。粉塵中には、カビの一種であるアスペルギルスの孢子が大量に含まれることがあるため、免疫力が低下した患者が在室する病院では、この孢子を吸引して感染するアスペルギルス症の危険性が一段と高まるとの報告がある¹⁾。なお、健康な人が吸引してもアスペルギルス症に罹らない。従来、工事現場では、アスペルギルス症対策として、解体エリアの密閉性を高めて陰圧制御する他、隣接する病棟の窓の開閉制御などの工夫がなされていた。

本論文では、ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト」^{2),3)}を活用し、従来よりも工事由来のアスペルギルス飛散リスクを低減する技術について報告する。可搬型タイプのマルチミストを用いて、アスペルギルスが多く存在する天井裏を除カビし、その後解体することで、工事由来のアスペルギルス飛散リスクを従来よりも大幅に低減することが可能であり、概要と実工事での適用事例について述べる。

2. アスペルギルス症について

アスペルギルス (*Aspergillus* sp.) は、カビの一種で、土壌や環境中に広く存在し、Fig. 1に示すように、たくさんの分生子 (2~7μmの細胞) を産生する特長がある。また、アスペルギルスには、200菌種以上の種類があり、その中には、病原菌と有用菌が含まれている。有用菌の中には、みそやしょうゆ、日本酒の製造に用いられている麹菌の一種であるアスペルギルス・オリゼ (*Aspergillus oryzae*) がある。

一方で、免疫に問題がある人がアスペルギルスの分生子を多く吸い込んだ場合、アスペルギルスに感染し、重篤な肺炎 (アスペルギルス症) を起こすことがある。アスペルギルス症の進行は、早い場合には、発病から1~2週間で死に至ることがある。ただし、健康な人に対しては感染を起こさず、日和見 (ひよりみ) 感染の一つと考えられる⁴⁾。

特に、既存建物の改装や補修工事により生じる粉塵中には、大量のアスペルギルスの分生子が含まれることが

あるため、病院患者に対する感染症の危険性が一段と高まる事が懸念されており、病院の解体や改修工事では、アスペルギルス症対策が求められるようになってきた。

病院で問題になるのは、Photo 1に示すアスペルギルス・フミガタス(*Aspergillus fumigatus*)という種類であり、乾燥した場所でも生息し、アスペルギルスの中でも高温性(30～45℃)を好むカビである⁵⁾。

3. アスペルギルスの調査

3.1 目的

工事由来のアスペルギルス症対策を効果的に実施するために、まず、アスペルギルスがどこに多く存在するのか調査を実施することとした。

調査は、実際の病院解体工事現場において行い、病室の室内、天井裏の付着カビ数の測定とカビの種類を同定することで評価した。

3.2 方法

解体前の病室2部屋の室内床面、壁面、天井裏ボード表面の付着カビ数を調査した(Photo 2)。表面10cm×10cmの面積に付着しているカビを滅菌綿棒で拭き取って回収し、リン酸緩衝液で懸濁させ、抗生物質添加ポテト・デキストロース寒天培地に塗布後、25℃で培養し、発育したコロニー数を計測した。

床面および天井裏については、培養後プレートに発育したコロニーを18SrRNA遺伝子と5.8SrRNA遺伝子間のスペーサー領域(ITS領域約500塩基)の遺伝子配列を自動解析し、データベースと照合することでカビの種類を同定した。なお、DNAの抽出は既報⁶⁾の方法に従って実施した。

3.3 結果

Fig. 2に、2ヶ所の部屋における室内の床面、壁面、天井裏ボード表面の付着カビ数の測定結果を示す。

これより、室内壁面では、カビはほとんど認められず(検出下限値未満)、床面で100～125cfu/25cm²のカビが認められた。一方、天井裏ボード表面では、181～1,313cfu/25cm²のカビが認められ、床面よりも1.5倍～13倍多いことが明らかとなった。

Fig. 3に、床面及び天井裏の付着カビ培養後のプレート写真とその同定結果の一例を示す。これより、室内床面で確認されたカビは、フザリウムやそれ以外の好湿性のカビであった。一方、天井裏では、床面で検出されたカビは確認されず、アスペルギルスが70～100%の割合で存在していることが明らかとなった。

天井裏で優先的に生息していた原因として、アスペルギルスが、他のカビに比べて、乾燥に強く、やや高い温度でも生育できる性質が影響していると考ええる。

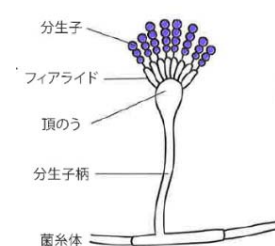


Fig. 1 アスペルギルスの構造
Structure of Aspergillus



Photo 1 アスペルギルス・フミガタス
Aspergillus Fumigatus



Photo 2 調査した部屋
Investigation Location

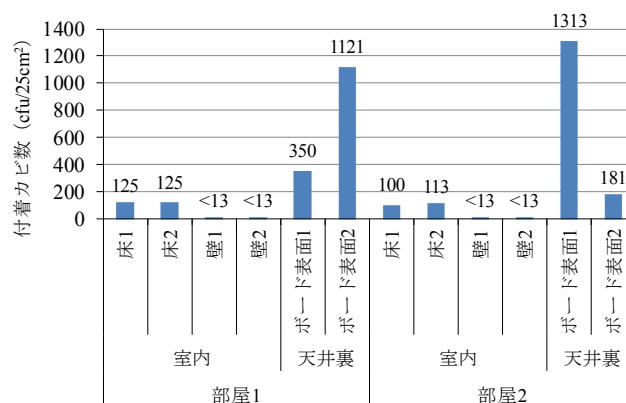


Fig. 2 表面付着カビ数の測定結果
Result of Measurement of the Number of the Adhesion Fungi

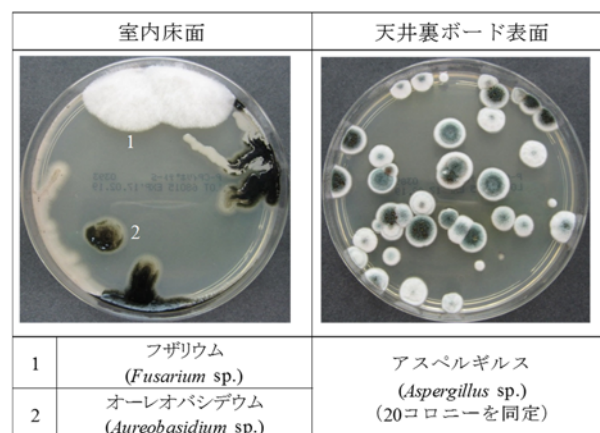


Fig. 3 床面および天井裏の付着カビのプレート写真
と同定結果
Photograph of Plate and Identification Result

4. 天井裏の除カビに適用するマルチミスト

4.1 経緯

3章より、工事粉塵中のアスペルギルス分生子は、天井裏の埃に由来すると考えられ、解体前に、天井裏を除カビすることが有効であることが示された。

一方、天井裏を除菌する場合、除カビ効果のある薬液を噴霧する方法が考えられるが、大規模な病院の解体・改修工事においては、短時間で、広範囲を効率的に除カビすることが望ましい。

そこで、天井裏の除カビには、薬剤ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト」を適用することとした。

4.2 マルチミスト

マルチミスト^{2),3)}は、大林組保有技術である二流体細霧冷房システム「さらっとミスト®」の応用技術である。

水のかわりに薬剤を噴霧し、環境表面を除菌する技術であり、薬剤は、Fig.4に示すように、圧縮空気により微細化したミストで噴霧されるため、少ない噴霧量でも薬剤が遠くまで拡散し、短時間で室内全体に行き渡る特長がある。必要な設備は、薬剤供給ユニット、コンプレッサ、噴霧ノズルであり、大型の設備は必要としない。

これまでに実施した病室モックアップ実験室における除菌性能検証試験では、Fig.5に示すように、壁や什器・建材表面だけでなく、その背面まで除菌できることを確認している³⁾。

天井裏の除カビに使用するのは、Photo3に示す可搬型タイプのマルチミストであり、どこでも容易に移動することができる。単相100V電源でノズル2本を同時に噴霧することが可能で、ノズル部分を天井裏に設置して、薬剤をミスト噴霧し除カビする。

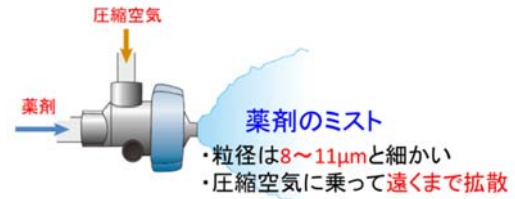


Fig. 4 二流体噴霧ノズル
Atomizing Nozzle

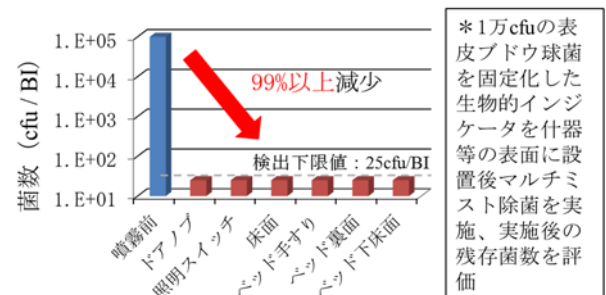


Fig. 5 マルチミストの表面除菌性能
Surface Decontamination Performance by Multi Mist



Photo 3 可搬型マルチミスト
Portable Multi Mist

5. 病院解体工事への適用

5.1 経緯

某病院の解体工事では、隣接する別棟の病院が通常通り運営されていたため、病院側よりアスペルギルス症対策が求められた。そこで、アスペルギルス属カビが多く生息する天井裏をマルチミストにより除カビ後に解体することとした。まず、天井裏の除カビについて、試験噴霧を行い、除カビ条件を検討するとともに、その結果をもとに、解体工事におけるミスト噴霧による除カビ作業を実施した。

5.2 試験噴霧による除カビ条件の検討

5.2.1 使用する薬剤 噴霧には、次亜塩素酸ナトリウム水溶液と塩酸を水道水で希釈混合し、pHおよび有効塩素濃度を調整した次亜塩素酸水溶液を用いた。

Fig.6に、液系接触試験における次亜塩素酸水溶液のアスペルギルス (*Aspergillus niger*) に対する殺菌効果を示す。これより、0.3%濃度の次亜塩素酸水溶液にアスペル

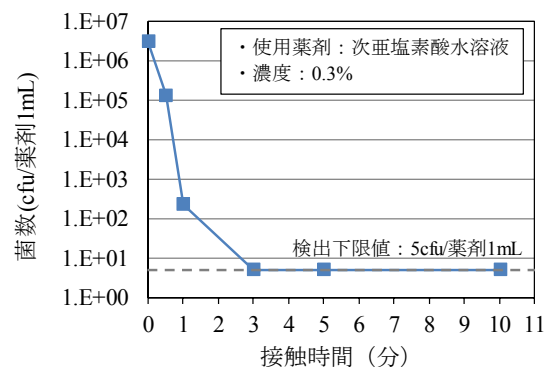


Fig. 6 アスペルギルス属カビの薬剤接触時間と
生存菌数の関係
Relation between Contact Time of Disinfectant and
Survival Fungal Number

ギルス胞子を接触させた場合、 3.1×10^6 cfu/mLのアスペルギルスが、接触時間3分後には検出下限値 (5cfu/薬剤1mL) 以下にまで殺菌できることがわかる。

5.2.2 試験噴霧の概要 試験噴霧は4カ所の病室の天井裏にて実施した。まず、天井中央に穴を開け、噴霧ノズルを2方向に配置し、開口部をシートで養生後、薬剤をミスト噴霧した。噴霧試験の概要図をFig. 7に示す。薬剤の噴霧は、天井裏中央に設置した湿度センサが噴霧停止の目安となる80%RHになった時点で止めた。なお、部屋の高さやミスト粒子径、薬液濃度を変化させて実験を行った。Table 1に試験条件を示す。

モニタリング箇所は3カ所（天井裏の中央および隅2ヶ所：廊下側、窓側）設置し、付着カビ数の測定（噴霧前、噴霧1時間後、噴霧3時間後の3回実施）および温湿度の測定（噴霧前～噴霧3時間後まで連続測定）を行った。更に、モニタリング場所中央において、塩素ガスセンサを設置し、次亜塩素酸水溶液のミスト噴霧による塩素ガス濃度を測定した。塩素ガスのTWA（Time Weighted Average;時間加重平均値の意で、通常の1日8時間労働または週40時間労働にわたって時間平均値を求めた許容し得る暴露濃度のこと）は0.5ppmである。

5.2.3 結果 各条件におけるミスト噴霧後の付着カビ数の変化をFig. 8に示す。これより、天井裏で検出された138～2,875cfu/25cm²のカビは、ミスト噴霧1時間後には、条件3の中央1カ所を除いて、63～検出下限値未満にまで減少し92～98%の除カビ効果が確認された。条件3中央1カ所では除カビ効果が不十分であった。

Fig. 9に、ミスト噴霧による相対湿度の推移の比較結果を示す。これより、除カビ効果が不十分であった条件3中央では、噴霧直後の相対湿度が他の場所と比較して低く、薬剤が隙間から漏れてしまったことが除カビ効果が十分に得られなかった原因と考えられ、開口部はしっかり養生することが重要であることがわかった。

ミスト噴霧前後の付着カビプレートの写真およびプレート上のコロニーの同定結果をFig. 10に示す。

これより、試験噴霧においても、天井裏で認められたカビは、アスペルギルスが多いこと、マルチミストを用いた次亜塩素酸水溶液の噴霧により、除カビできることが示された。

Fig. 11に、条件1及び2における塩素ガス濃度の時間推移を示す。これより、噴霧に伴い塩素ガス濃度は上昇し、噴霧停止直後（噴霧3分後）に、ピークとなりその後低下した。塩素ガス濃度のピーク値は0.8～0.9ppmと許容濃度0.5ppmを超えたが、すぐに低下し、噴霧開始から8～11分後には、0.5ppm以下となり、噴霧1時間後には検出下限値未満となった。

以上より、0.3%濃度の次亜塩素酸水溶液をミスト噴霧した際、一時的に塩素濃度が許容濃度よりも高くなるが、噴霧後1時間以上経過すれば、検出下限値（0.1ppm）未満になることが明らかとなった。

5.2.4 相対湿度より算出した噴霧液量 試験噴霧の結果をもとに、現場でミスト噴霧する際の初期相対湿度に応じた噴霧液量を算定した。

試験噴霧における噴霧液量と相対湿度上昇量（噴霧後

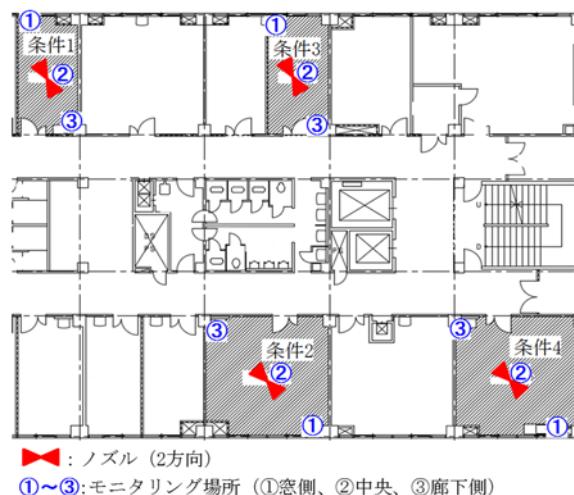


Fig. 7 噴霧試験の概要図
Schematic Drawings of Mist Atomizing Test

Table 1 試験条件
Test Conditions

条件	部屋の大きさ (天井裏高: 0.6m)		ミスト 粒子径	時間当 たりの噴霧 液量	次亜塩素酸水 溶液		噴霧 液量	噴霧 時間
	面積	容積			FAC濃度	pH		
	m ²	m ³			μm	ml/min	%	-
1. 標準区	17	10	11	120	0.3	6.3	24	2.0
2. 条件1の容 積増大区	34	20	11	120	0.3	6.3	15	2.5
3. ミスト粒 子径変更区	17	10	8	25	0.3	6.3	9	4.0
4. 薬液濃度 上昇区	34	20	11	120	0.5	6.0	15	2.5

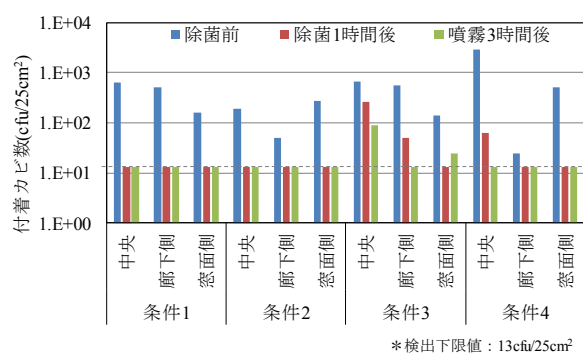


Fig. 8 試験工事における除カビ効果
Decontamination Effect by Test Work

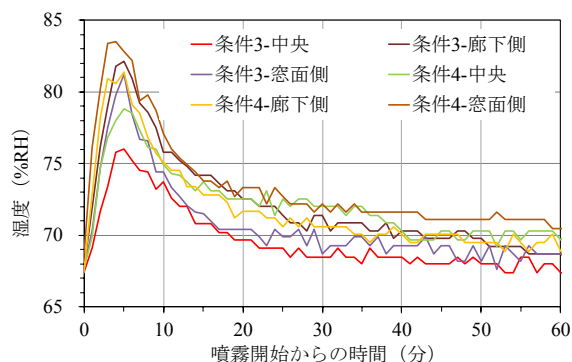


Fig. 9 ミスト噴霧による相対湿度の推移
Changes Humidity by Mist Atomizing

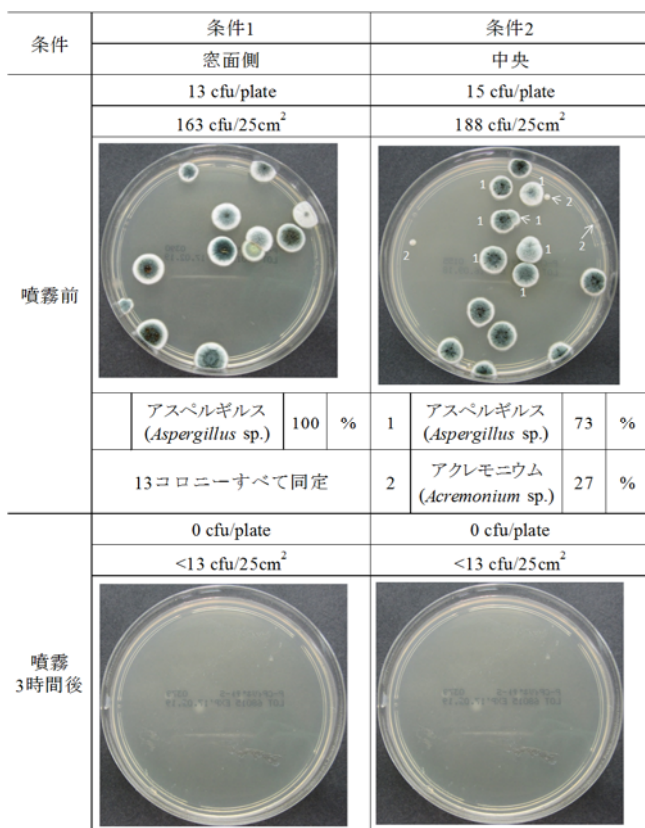


Fig. 10 ミスト除菌前後の付着カビのプレート写真と
同定結果
Photograph of Plate and Identification Result in Back and
Forward by Mist Atomizing

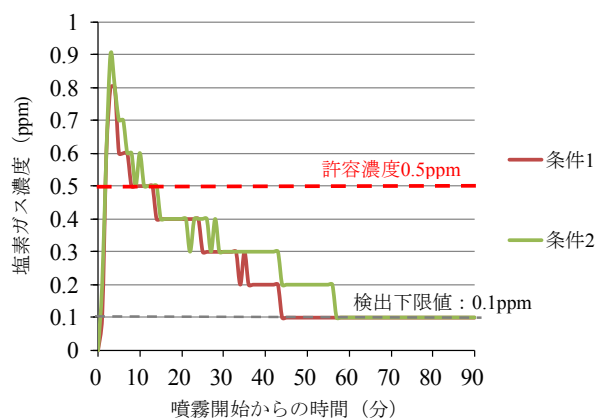


Fig. 11 塩素ガス濃度の時間推移
Changes of Chlorine Concentration

の相対湿度-初期の相対湿度)の関係図をFig. 12に示す。
噴霧液量と相対湿度上昇量との間に相関が認められた
ことから、初期の相対湿度に応じて、天井裏の容積1m³当
たりの噴霧液量を算出することとした(Table 2)。なお、
実際のみスト噴霧除カビ作業では、相対湿度のばらつき
などの要因を考慮し、試験噴霧よりも噴霧液量を増やす
こととした。

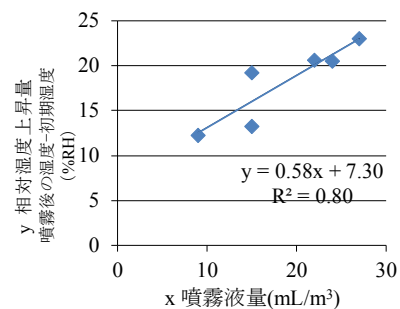


Fig. 12 噴霧液量と相対湿度上昇量の関係図
Relation between Spray Volume and Rising
Amount of Relative Humidity

Table 2 天井裏単位容積あたりの噴霧液量
Spray Volume Per Unit Volume of Roof Space

初期 相対湿度	目標 相対湿度	相対湿度 上昇量	天井裏1m ³ 当 たりの噴霧液量
%RH	%RH	%RH	mL/m ³
40	85	45	65
45	85	40	56
50	85	35	48
55	85	30	39
60	85	25	31
65	85	20	22



Photo 4 天井裏除カビ工事
Construction Work of Decontamination of Fungi

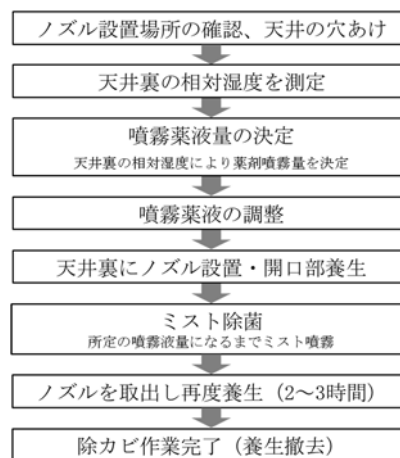


Fig. 13 薬剤ミスト噴霧による天井裏除カビフロー
Construction Flow of Decontamination of Fungi by
Mist Spraying of Chemical

5.3 天井裏のミスト噴霧による除カビ作業

試験噴霧により得られた知見をもとに、延べ約4,900m²の天井裏でミスト噴霧による除カビ作業を行った (Photo 4)。

除カビ作業のフローをFig. 13に示す。除カビ作業の実績をTable 3に示す。

これより、天井裏の初期の相対湿度は42～71%RHと、天候等によって異なり、除カビに必要な噴霧液量も変化した。一般的な4床室の病室 (34m²) の天井裏を除カビするのに要した薬液量は、1.26Lと非常に少なく、噴霧時間も約11分で済み、約4,900m²の天井裏を11日と短期間で除カビ作業を完了することができた。

Fig. 14 に除カビ効果を示す。これより、天井裏で検出された30,000～300cfu/25cm²のカビがミスト噴霧後には300～検出下限値未満にまで減少し、平均98%の除カビ効果を確認した。

6. まとめ

病院改修・解体工事におけるアスペルギルス症対策について検討し、以下を確認した。

- 1) 天井裏の埃には、大量のアスペルギルスが生息している可能性が高い。そのため、内装解体前に天井裏を除カビすることで、改修・解体工事により生じるアスペルギルス飛散リスクを低減することが可能である。
- 2) 大規模な病院改修・解体工事における天井裏の除カビ方法として、ミスト噴霧除菌技術「マルチミスト」は効果も作業性も良好であり、アスペルギルス飛散リスクの低減に有効な技術である。
- 3) 実際の病院解体工事において、延べ約4,900m²の天井裏で薬剤ミスト噴霧による除カビ作業を実施した。一般的な4床室の病室 (34m²) の天井裏を除カビするのに要した薬液量は、1.26Lと非常に少なく、噴霧時間も約11分で済み、約4,900m²の天井裏を11日と短期間で完了することができた。天井裏で検出された30,000～300cfu/25cm²のカビがミスト噴霧後には300～検出下限値未満にまで減少し、平均98%の除カビ効果を確認した。

参考文献

- 1) 国公立大学附属病院感染対策協議会：病院感染対策

Table 3 除カビ工事の実績
Achievement of Construction Work

階	面積	噴霧液量	病室 (34m ²) あたりの噴霧液量	除カビにかかった日数	初期の相対湿度 (%RH)		
	m ²	L	L		1日目	2日目	3日目
2	1,322	61	1.56	3日間	50	48	50
3	1,240	67	1.85	3日間	42	45	51
4	1,167	28	0.81	3日間	67	67	54
5	1,184	26	0.75	2日間	70	71	
合計	4,913	182	1.26	11日間			

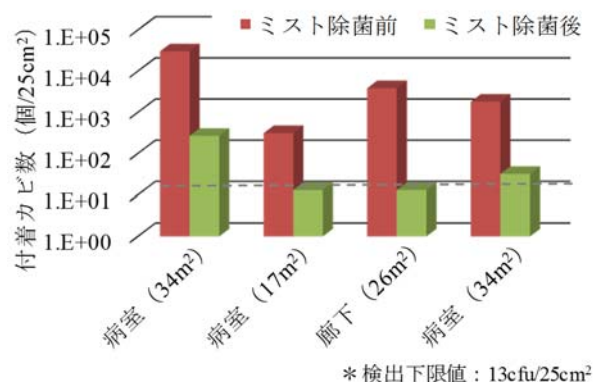


Fig. 14 実工事における除カビ効果
Decontamination Effect for Fungi in Construction Work

- ガイドライン感染対策実践マニュアル 改訂第2版, 株式会社じほう, pp. 173, 2016.2
- 2) 四本瑞世, 他: ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト™」の開発, 大林組技術研究所報, No. 79, 2015.12
 - 3) 四本瑞世, 他: ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト®」の性能評価, 大林組技術研究所報, No. 80, 2016.12
 - 4) 横浜市衛生研究所, 横浜市感染症情報センター, アスペルギルス症について, <http://www.city.yokohama.lg.jp/kenko/eiken/idsc/disease/aspergillus1.html>, 2011.8
 - 5) 高島, 他: “カビ検査マニュアル カラー図譜”, 株式会社テクノシステム, pp. 298, 2009.3
 - 6) 四本瑞世, 他: DNA塩基配列解析法を利用した室内微生物の同定, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2010.9