

**病院改修・解体工事におけるアスペル  
ギルス菌対策技術「アスペルバスター®」  
Aspergillosis Countermeasure Technology  
“Asperbuster” in Hospital Renovation  
and Demolition Work**

四本 瑞世 Mizuyo Yotsumoto  
緒方 浩基 Hiroki Ogata  
湯淺 篤哉 Atsuya Yuasa  
(本社営業総本部)  
奥田 覚 Satoru Okuda  
(大林ファシリティーズ)

1. はじめに

建物の解体や改修工事において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胞子が大量に含まれることがある。特に、免疫力の低下した患者が入院する病院内で改修工事や解体工事を行う場合には、この胞子を吸引してアスペルギルス症になる危険性が高まるとの報告がある<sup>1)</sup>。実際に、病院内でのアスペルギルス症のアウトブレイク事例の原因分析では、建築工事に関連した事例がほぼ半数を占めるとの報告<sup>2)</sup>や、病院内工事関連真菌感染症死亡数が米国内で推定年間 5,000 人との報告<sup>3)</sup>がある。

米国では、建設工事に起因する院内感染を未然に防ぐために、ICRA(Infection Control Risk Assessment)を評価ツールとしたアスペルギルス症対策(粉塵の封じ込め対策)が実施されており、近年、日本国内においても対策が求められるケースが増えている。特に、医療の質と安全において国際標準を満たすことを示す JCI(Joint Commission International)認証では、ICRA の遵守が認証取得要件の一つとなっている。

これまでに、筆者らは、病院側からの要請により、従来の粉塵飛散防止対策を上回る新たなアスペルギルス症対策として、「アスペルバスター®」を開発し、現場に適用した<sup>4)</sup>。具体的には、アスペルギルス菌が多く存在する天井裏を除菌後に天井ボードを解体し菌飛散リスクを低減させる技術であり、解体・改修エリアの閉鎖密閉や陰圧制御、工事仮囲いなど、通常の粉塵飛散防止対策に加えて実施することで、工事範囲外への菌漏洩リスクを大幅に低減できる。

ここでは、天井裏の除菌を効率的に実施できるように開発した一体型除菌カート、および大規模な面積を短期間で除菌することが可能な高速除菌システムについて、その概要と適用事例について報告する。

2. 一体型除菌カート

2.1 一体型除菌カートの概要

天井裏の除菌は、二流体ノズルを用いた薬剤ミスト噴霧により実施する。圧縮空気により微細化した薬剤ミストを噴射することで、少ない噴霧量でも薬剤を遠くまで拡散させることが可能である。必要な設備は噴霧ノズル、



ミスト噴霧状況

Photo 1 一体型除菌カート  
Decontamination Cart

液タンク、コンプレッサのみであり、ノズルのみを天井裏に設置すれば、ダクトなどの設備が多く狭い天井裏を効率的に除菌できる。本カートは、コンプレッサや液タンクなど必要な設備を可搬型カートとして一体化させ、電源を単相 100V とし、稼働中の病院のコンセントを利用できるようにした (Photo 1)。

ノズル(2方向)は、床上 4,200mm まで伸縮、かつ、30°ピッチで旋回できる。また、ノズル上には暗視カメラを搭載させた。天井裏には、梁などの構造体、配管や空調ダクトなど様々な障害物が存在する。伸縮・旋回可能な噴霧ノズルを天井裏まで伸ばし、暗視カメラで天井裏の障害物を確認しながら、ノズルの高さや噴霧方向を遠隔操作することで、直近の障害物を避けて除菌することが可能である。

噴霧薬剤には、次亜塩素酸ナトリウム 6%溶液を水道水で 0.3%に希釈した次亜塩素酸水溶液を使用する。

次亜塩素酸水溶液によるミスト噴霧では、相対湿度 80%付近になるまで薬剤を噴霧することが重要となる。これまでに、薬剤噴霧量と相対湿度上昇量の相関図より、噴霧前の相対湿度に応じて天井裏の容積 1m<sup>3</sup>当たりの噴霧液量<sup>5)</sup>を算出しており、本カートでは、その値に基づいた自動噴霧制御が可能である。

更に、水タンクと薬液タンクを搭載し、相対湿度が低い時期には、事前に水を噴霧し相対湿度を上昇させた上で次亜塩素酸水溶液を噴霧することで、必要最小限の薬液量で除菌できるようにしている。

2.2 病院改修工事への適用

2.2.1 天井裏除菌の概要 藤田医科大学病院では、JCI 認証取得の審査期間中に改修工事を実施するため、ICRA に基づいてアスペルギルス症対策を行うことになった。菌の漏洩リスクを最小限にするため、ICRA に基づいた対策に加えて、薬剤ミスト噴霧による天井裏除菌が採用された<sup>5)</sup>。外来棟 1 階～6 階および、A 棟一部(外来棟との接触部分他)の約 4,800m<sup>2</sup> について、天井裏の除菌作業を 2017 年 11 月から 2018 年 9 月にかけて実施した。除菌作業フローを Fig. 1 に示す。

天井裏ボード表面のカビ数(付着カビ数)は、10cm×10cm の面積を滅菌綿棒でふき取って回収し、10mL の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(Colony Forming Unit: cfu で表示)を計測することで測定した。ミスト除菌前後で付着カビ数を計測するとともに、培養プレートに発育したコロニーの一部について、DNA 塩基配列解析法<sup>6)</sup>によりカビの種類を同定した。

2.2.2 結果 今回、天井裏付着カビ数の調査は、57 カ所で実施したが、25cm<sup>2</sup> あたり検出下限値未満の場所が 10 カ所、100cfu 未満の場所が 11 カ所、100 以上 1,000cfu 未満の場所が 13 カ所、1,000 以上 10,000cfu 未満の場所が 15 カ所、100,000cfu 以上の場所が 2 カ所確認された。天井裏のカビの生息数は、ばらつきがあるものの、25cm<sup>2</sup> あたり 100cfu 以上確認された場所が全体の 63% を占めた。

Fig. 2 に、ミスト除菌前における天井裏付着カビのプレート写真とその同定結果の一例を示す。これより、5 階廊下では、約 12,000cfu/25cm<sup>2</sup> のアスペルギルス (*Aspergillus sp.*) が確認された。また、3 階手術室エリア近傍では、付着カビ数は 140cfu/25cm<sup>2</sup> と多くはなかったが、そのうちアスペルギルスが 40% を占めていた。一方、ア

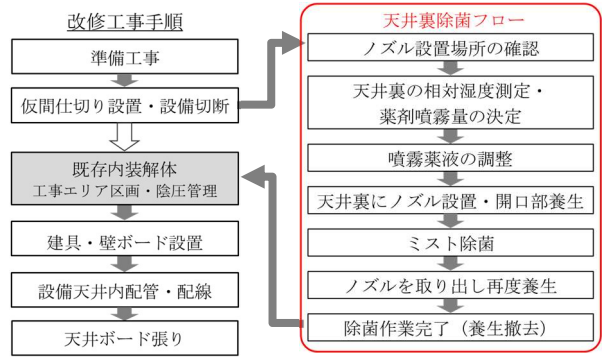


Fig. 1 天井裏除菌の作業フロー  
Decontamination Procedure

Table 1 ミスト除菌前後の付着カビ数  
Result of the Number Fungi by Decontamination

建物	階	付着カビ数(cfu/25cm <sup>2</sup> )*		除菌率 (%)
		ミスト除菌前	ミスト除菌後	
外来棟	1階	29,000	1,900	93
	2階	14,000	200	99
	3階	5,900	160	97
	4階	4,100	28	99
	5階	11,000	98	99
	6階	75,000	18	99.9
A棟	3階	180	<13	>93
平均		16,000	380	98

\* 各階の平均値

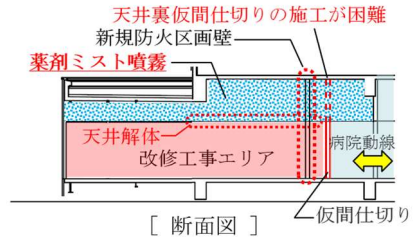


Fig. 3 天井裏の仮間仕切り施工が困難な場所  
Difficulty of Installing a Temporary Wall in the Ceiling Cavity

採取場所	5階 廊下		5階 医局		2階 デイケア室		3階 手術室エリア近傍 (洗浄コーナー)	
懸濁液塗布量	100倍希釈液を200μL塗布		原液を200μL塗布		原液を200μL塗布		原液を200μL塗布	
付着カビ数	29,000	cfu/25cm <sup>2</sup>	3,400	cfu/25cm <sup>2</sup>	1,300	cfu/25cm <sup>2</sup>	140	cfu/25cm <sup>2</sup>
培養後のプレート								
同定結果	濃緑コロニー: <i>Penicillium sp.</i> 緑コロニー (小): <i>Aspergillus sp.</i> プレートの40% (12,000cfu/25cm <sup>2</sup> ) が <i>Aspergillus sp.</i> と同定		<i>Aspergillus sp.</i> および <i>Penicillium sp.</i>		<i>Aspergillus sp.</i>		緑コロニー (小): <i>Aspergillus sp.</i> 白いコロニー: <i>Fusarium sp.</i>	

Fig. 2 ミスト除菌前における天井裏付着カビのプレート写真と同定結果  
Photograph of Plate and Identification Result in Forward by Decontamination

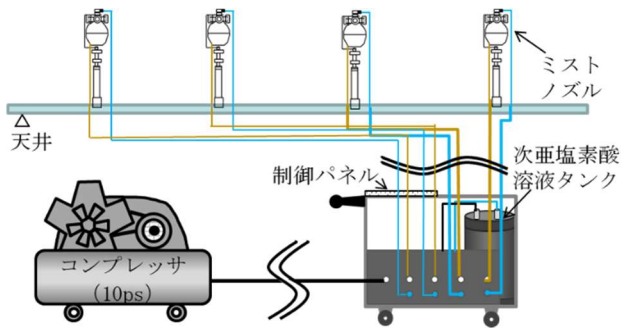


Fig. 4 高速除菌システム概略図  
Schematic Drawings of High-Speed Decontamination System

スペルギルス菌以外に、ペニシリウム(*Penicillium* sp.)も多く確認された。

ミスト除菌前後の天井裏の付着カビ数(各階の平均値)を Table 1 に示す。これより、天井裏で検出された 180~75,000cfu/25cm<sup>2</sup>のカビは、ミスト除菌後には 1,900~検出下限値未満にまで減少し、平均 98%の除菌効果を確認した。

工事では、Fig. 3 に示すように新規防火区画壁の構築が計画されていた。しかし天井裏部分では仮間仕切りの設置自体が粉塵を飛散させることになり、ICRA に基づく密閉区画が困難である。そこで、アスペルバスターによる天井裏の除菌を事前に行った。原因菌の飛散リスクを低減した上で、天井裏に達する防火区画の工事に着手することができた。

### 3. 高速除菌システム

#### 3.1 高速除菌システムの概要

病院解体工事では、通常の粉塵対策に加えて、解体建物の位置や風向を考慮して、敷地内の入院病棟の窓や吸気口への配慮が必要であり、解体前の天井裏除菌はアスペルギルス菌の飛散リスク低減になると期待される。

一方で、解体工事は、限られた期間で進められることが多く、解体工事前の短期間で数万 m<sup>2</sup>の天井裏除菌を実施しなければならないことが予想される。

そこで、我々は、大規模な面積でも迅速に除菌工事を進められるよう、大型のコンプレッサを使用し、4カ所同時に薬剤をミスト噴霧して除菌する高速除菌システムを開発した。本システムの概略図を Fig. 4 に、外観を Photo 2 に示す。

本システムでは、ノズル1本あたり4方向で噴霧する。その結果、4カ所同時に噴霧した際の噴霧速度は、2章のカート(ノズル2方向)に比べて8倍向上した。また、噴霧ノズルは、既存点検口に装着して設置することで、薬剤ミスト漏洩防止のための養生作業を省略した。

さらに、噴霧作業は、カートに搭載したタッチパネル



Photo 2 高速除菌システム  
High-Speed Decontamination System

Table 2 ミスト除菌前後の付着カビ数(病院 F)  
Result of the Number Fungi by Decontamination (Hospital F)

階数	付着カビ数(cfu/25cm <sup>2</sup> )*		除菌率 (%)
	ミスト除菌前	ミスト除菌後	
10階	49,000	500	99
9階	30,000	440	99
8階	38,000	2,800	93
7階	4,400	330	92
6階	18,000	1,600	91
5階	3,800	670	83
4階	100	13	88
3階	<13	<13	-
2階	610	<13	>98
1階	2,000	68	97
B1階	8,800	120	99

\*各階の平均値

Table 3 ミスト除菌前後の付着カビ数(病院 T)  
Result of the Number Fungi by Decontamination (Hospital T)

階数	付着カビ数(cfu/25cm <sup>2</sup> )*		除菌率 (%)
	ミスト除菌前	ミスト除菌後	
9~18階	17~3未満	<3	-
8階	4,400	<3	>99.9
7階	510	51	90
6階	1,400	<3	>99
5階	180,000	<3	>99.99
4階	11,000	8	99.9
3階	290	<3	>99
2階	100	<3	>97
1階	1,300	79	94
B1階	5,000	<3	>99.9
B2階	420	53	87

\*各階の平均値

により操作を簡易化するとともに、積算流量計を用いた薬剤使用量の把握により作業管理の効率化を行い、除菌作業の高速化を図った。

### 3.2 病院解体工事への適用

本システムを用いて、藤田医科大学病院(以下、病院 F)では、2019年5月に約52,000m<sup>2</sup>、東京医科大学病院(以下、病院 T)では、7月中旬～8月末にかけて72,000m<sup>2</sup>の天井裏除菌を行った。最終的には、2,500m<sup>2</sup>/日の速度で除菌作業を行い、解体工事前の限られた期間で、解体建物全体の除菌作業を完了することができた。

ミスト除菌前後の天井裏の付着カビ採取は、1フロア当たり、2～4カ所で行っており、各病院のミスト除菌前後の付着カビ数(各階の平均値)をTable 2及び3に示す。

Table 2より、病院 Fでは、3階以外のフロアで25cm<sup>2</sup>あたり100～49,000cfuのカビが検出されたが、ミスト除菌後には2,800～検出下限値未満にまで減少し、83～99%の除菌効果を確認した。

一方、Table 3より、病院 Tでは、9階より高層階で天井裏のカビ数が、25cm<sup>2</sup>あたり17cfu～検出下限値未満しか検出されず、B2階～8階では、290～180,000cfuのカビが検出され、付着カビ数に大きなばらつきがあった。高層階と低層階では、天井の仕上げ方法が異なっており、それが影響していると考えられた。

ミスト除菌後には、25cm<sup>2</sup>あたり79cfu～検出下限値未満にまで減少し、87～99%以上の除菌効果を確認した。

病院 Tでは、天井裏のカビ数が少ないフロアが確認されたが、今回の解体工事では、天井裏のカビ数の多少にかかわらず、すべての場所で天井裏除菌を実施した。

解体工事においては、工期が限られているため、事前にかびの多い場所を調査し選抜した上で除菌するよりも、今回開発した本システムを用い、全ての場所の天井裏を除菌の方が効果的である。アスペルギルス菌の飛散リスクの低減を確実に行うという点からも有効である。

## 4. おわりに

建物の解体や改修工事では、アスペルギルス菌を含む大量の粉塵が発生する。病院では、免疫力の低下した患者が常時在室しているため、病院工事の粉塵由来によるアスペルギルス症の感染リスクが高くなる。

従来の粉塵封じ込め対策に加えて、アスペルギルス菌が多く存在する天井裏を除菌する本技術は、天井ボードを解体し菌が粉塵とともに飛散する前に除菌できるため、効果的なアスペルギルス菌対策であると考えられる。

今回開発した一体型除菌カートは、天井裏の構造物や配管などの設備に配慮して効率的に除菌できるため、今後、ICRAに基づき粉塵封じ込めが必要な工事や感染が心配される患者に近接する改修工事などへ展開していく予定である。

高速除菌システムは、敷地内での大規模な既存棟の改修工事や解体工事へ展開する予定である。2,500m<sup>2</sup>/日の速度で除菌作業を実施できるため、短期間かつ低コストで対策が可能である。

### 参考文献

- 1) 国公立大学付属病院感染対策協議会，病院感染対策ガイドライン 改訂第2版，2015
- 2) 満田年宏：アスペルギルス-易感染性患者におけるアスペルギルス症の発症予防と、感染制御のためのリスクアセスメントの重要性-，*Infection Control*, Vol. 18, No. 10, 2009
- 3) 岡山昭彦，他：病院大規模再整備に伴うアスペルギルス感染予防対策，*環境感染誌*, Vol. 33, No. 4, 2018
- 4) 四本瑞世，他：二流体噴霧ノズルを用いた除菌技術の開発(その6)，*日本建築学会大会学術講演梗概集*, 2017
- 5) 奥田覚，他：病院の改修・解体工事におけるアスペルギルス症対策，*病院設備*, Vol. 62, No. 1, 2020
- 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梗概集*, 2010