

マルチミスト®の付着ウイルス不活化評価とビルトインの適用事例

四本 瑞世 緒方 浩基
湯浅 篤哉 大島 宗平
(営業総本部) (営業総本部)

Evaluation of Adherent Viruses Inactivation by “Multi Mist” and Application of Built-in Multi Mist

Mizuyo Yotsumoto Hiroki Ogata
Atsuya Yuasa Shuhei Oshima

Abstract

The necessity for environmental surface disinfection is increasing from the perspective of infection control measures. The mist spraying system “Multi Mist” has been developed as a technology for the automatic disinfection of environmental surfaces when users are not present. This technology has been used in nursery schools and medical facilities. This paper presents the results of the evaluation of the inactivation effect of adherent viruses in tabletop chamber tests using three types of real viruses. Additionally, we present examples of applications of the built-in Multi Mist, an outline of the disinfection system developed for application in office buildings, and an evaluation of the effects of the system on personal computers and documents. In future, we will propose a system that can efficiently disinfect multiple areas, office buildings, and other facilities.

概要

近年、感染症対策等の観点から、ドアノブやテーブル、手すりなどの環境表面の除菌ニーズが高まっている。筆者らは、利用者不在時に環境表面を自動で除菌する技術「マルチミスト®」を開発しており、これまでに保育園や医療施設に導入している。今回、付着ウイルスの不活化効果について、3種類の実ウイルスを用いた卓上チャンパー試験の結果を報告するとともに、マルチミストビルトインの適用事例、事務所ビルへの適用を目指して開発した除菌システムの概要および薬剤ミスト噴霧によるパソコンや書類への影響について報告する。今後、複数エリアを効率的に除菌できる本システムを事務所ビル等に提案していく。

1. はじめに

近年、感染症対策等の観点から、ドアノブやテーブル、手すりなどの環境表面の除菌ニーズが高まっている。筆者らは、環境表面の除菌技術として、二流体噴霧ノズルを用いた薬剤ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト®」を開発している^{1)~5)}。薬剤は、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。薬剤の微細ミストを室内の相対湿度が一時的に80%RH以上になるまで噴霧し薬剤ミストを室内に充満させることで、壁や手すり、手作業では拭ききれない什器の裏側まで除菌が可能となる。必要な設備は、噴霧ノズル、コンプレッサ、薬液タンクであり、大型の設備は必要としない。これまでに、配管を室内に施工し制御盤を用いて自動でミスト除菌を行うビルトインタイプ（以下、マルチミストビルトイン）を保育園に導入し、園児が在室する時間帯には加湿器として使用するとともに、不在の時間帯に薬剤を噴霧し環境表面を除菌している⁴⁾。また、病院の圧縮空気アウトレットに直接接続させてミスト除菌を行う持ち運びサイズの除菌装置を開発し、病院に適用し

ている⁵⁾。さらに、表皮ブドウ球菌を利用したバイオロジカルインジケータ（以下、BI）を独自で開発しており、実空間での除菌性能の評価が可能である¹⁾。

これまで、薬剤耐性菌や表皮ブドウ球菌など細菌に対する有効性の評価を行ってきた²⁾が、ウイルスに対する評価は行っていない。そこで、本報では、マルチミストの付着ウイルスの不活化効果について、インフルエンザウイルス、新型コロナウイルス、ノロウイルスの代替ウイルスであるネコカリシウイルスの3種類のウイルスを用いた不活化試験を卓上チャンパーで実施しており、その結果について報告する。さらに、マルチミストビルトインの来客者用施設への適用事例、事務所ビルへの適用を目指して開発した複数エリアの制御が可能なシステムの概要、高頻度ミスト除菌した際のパソコンや書類への影響について報告する。

2. 付着ウイルスの不活化効果

2.1 実験概要

2.1.1 実験設備及び噴霧装置 実験は、(一財)日本繊維製品品質技術センターのBSL3実験室の中にある

安全キャビネット内に160Lのチャンパー（透明塩ビ製、400×400×1,000mm）を設置して実施した。チャンパー内に、二流体噴霧ノズルが付いた2Lサイズの薬液ボトル（以下、ノズルボトル）を設置し、コンプレッサは安全キャビネット傍に設置した。チャンパー及び、チャンパー内に設置したノズルボトルをPhoto 1に示す。

2.1.2 供試ウイルスと付着ウイルス試験体の作成方法

（一財）日本繊維製品品質技術センターで保有しているウイルスのうち、インフルエンザウイルス、新型コロナウイルス（国立感染症研究所より分与）、ノロウイルスの代替ウイルスであるネコカリシウイルスの3種類を用いた(Table 1)。

今回、環境表面に付着しているウイルスの不活化効果を評価できるよう、付着ウイルス試験体は、18mm×24mmのカバーガラスに、各ウイルス懸濁液（リン酸緩衝生理食塩水に懸濁、約10⁸PFU/mL）を5μL塗布し、約3cm²に塗り拡げ、安全キャビネット内（排気ファンを稼働させた状態）で約10分間放置し、液滴が完全になくなるまで乾燥させたものを使用した(Table 2)。

2.1.3 実験方法 チャンパー内の温湿度を、22°C、50%RH付近に調整後、チャンパー壁側（長手方向）にノズルボトルを設置し、付着ウイルス試験体を中央底部に3枚設置した。今回、噴霧ノズルは、チャンパーの大きさを考慮し、ザウター平均粒子径が6.7μm（噴霧圧力0.4MPa時）、単位時間当たりの噴霧量が0.23g/sec（実測値）のものを使用した。

薬剤を1分30秒間噴霧後、30分間その状態を維持した後にウイルス試験体を取り出した。チャンパーには、温湿度センサも設置し、薬剤を1分30秒噴霧した時点で、相対湿度が80%RH以上に上昇していることを確認するとともに、チャンパー内が薬剤ミストで充満していることを目視で確認した。なお、噴霧量は約21gであった。

噴霧薬剤は、0.02%および0.05%の次亜塩素酸ナトリウム水溶液の2種類を用いた。対照区は、温湿度を22°C、

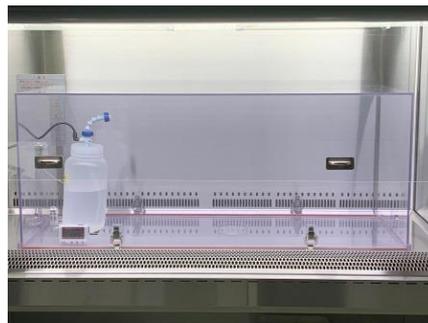


Photo 1 チャンパーおよびノズルボトルの外観
Appearance of Chamber and Nozzle Bottle

Table 1 供試ウイルス
Test Viruses

No.	ウイルス種	株	宿主細胞
1	インフルエンザウイルス <i>Influenza virus</i>	(H3N2)A/Hong Kong/8/68;TC adapted ATCC VR-1679	MDCK細胞 ATCC CCL-34
2	新型コロナウイルス SARS-CoV-2	NIID分離株;JPN/TY/WK-521	VeroE6/TMPRSS2 JCRB1819
3	ネコカリシウイルス <i>Feline calicivirus</i>	Strain F-9 ATCC VR-782	CRFK細胞 ATCC CCL-94

Table 2 付着ウイルス試験体
Adhered Virus Samples

ウイルス試験体（乾燥前）	ウイルス試験体（乾燥後） 試験に使用
<p>ウイルス懸濁液 カバールガラス</p>	<p>乾燥ウイルス</p>

Table 3 各付着ウイルスの不活化効果評価実験の結果
Results of Inactivation of Adherent Viruses

ウイルス種	インフルエンザウイルス <i>Influenza virus</i>		新型コロナウイルス SARS-CoV-2		ネコカリシウイルス <i>Feline calicivirus</i>		
	株		株		株		
	(H3N2)A/Hong Kong/8/68;TC adapted ATCC VR-1679		NIID分離株;JPN/TY/WK-521		Strain F-9 ATCC VR-782		
試験条件	No.	試験液1mLあたりのウイルス感染価 (PFU/mL) 対数値	乾燥直後に対するウイルス感染価対数減少値	試験液1mLあたりのウイルス感染価 (PFU/mL) 対数値	乾燥直後に対するウイルス感染価対数減少値	試験液1mLあたりのウイルス感染価 (PFU/mL) 対数値	乾燥直後に対するウイルス感染価対数減少値
乾燥直後	1	4.64	4.62	4.74	4.74	4.28	4.25
	2	4.62		4.75		4.23	
	3	4.61		4.74		4.26	
自然減衰	1	3.72	0.99	3.56	3.58	3.45	3.38
	2	3.64		3.59		3.30	
	3	3.54		3.59		3.38	
次亜塩素酸ナトリウム 0.02%	1	2.26	2.49	2.48	2.27	3.00	2.91
	2	2.00		2.46		2.81	
	3	2.15		2.47		2.90	
次亜塩素酸ナトリウム 0.05%	1	<1.00	>3.62	1.74	1.56	<1.00	1.16
	2	<1.00		1.65		1.18	
	3	<1.00		1.30		1.30	

50%RH付近に調整したチャンパー内に、ウイルス試験体を中央底部に3枚設置後、薬剤を噴霧しないで30分間放置した（自然減衰）。

チャンパーからウイルス試験体を取り出した後、チオ硫酸ナトリウム溶液をEMEM(Eagle’s minimal essential medium)もしくは2%FBS(Fetal Bovine Serum)含DMEM(Dulbecco’s modified Eagle’s medium)で終濃度1mMに調整した溶液1mLを用いて試験体上のウイルスを回収した。なお、ウイルス試験体作成直後に試験体上のウイルスを回収したものを「乾燥直後」とした。

ウイルス不活化効果の評価は、回収ウイルスを宿主細胞 (Table 1) に接種し、ウイルスが細胞に感染しているかを判定してウイルス量を算出する「ブランク測定法」にて測定した（測定値は、試験液1mL当たりのウイルス感染価で算出）。試験は、すべて、（一財）日本繊維製品品質技術センターに依頼し実施した。

2.2 実験結果

各付着ウイルスの不活化効果の実験結果をTable 3に示す。各付着ウイルスの不活化効果は、「乾燥直後」に対するウイルス感染価対数減少値により評価した。

Table 3より、自然減衰における付着ウイルス感染価の対数減少値は、0.87~1.16であったのに対し、次亜塩素酸ナトリウム0.02%溶液を1分30秒噴霧し30分経過後の対数減少値は、インフルエンザウイルスで2.49、新型コロナウイルスで2.27と、自然減衰より高い値が認められ、両ウイルス共に、99%の付着ウイルス不活化効果が認められた。ネコカリシウイルスの対数減少値は1.34と、ほかのウイルスに比べてやや低かったことから、インフルエンザウイルスや新型コロナウイルスよりも薬剤抵抗性がやや高いと推察された。

一方、次亜塩素酸ナトリウム0.05%を噴霧した際の付着ウイルス感染価の対数減少値は、インフルエンザウイルスで>3.62、ネコカリシウイルスで3.18、ネコカリシウイルスで3.09と、3種類のウイルスすべてで、99.9%の不活化効果が認められ、噴霧薬液濃度の上昇による促進効果が確認された。

3. マルチミストビルトインの適用事例

3.1 加湿・除菌システムの来客者用施設への適用

昼間加湿し、夜間除菌する加湿・除菌システム⁴⁾を来客者用施設「けやきテラスTM」に適用しており、システムの配置図をFig. 1に、写真をPhoto 2に示す。ゲストルームでは加湿と除菌ができ、トイレでは除菌が可能なシステムとなっている。ゲストルームに設置された2本の噴霧ノズルは、ルーバーと一体化させ、内装と調和されたデザインとなっている。トイレは、収納庫に保管されたスタンド式ノズル (Photo 2) で除菌する。制御盤と液タンク、コンプレッサは機械室に設置しており、噴霧の制御は、室内及びトイレに設置された湿度センサにより自動

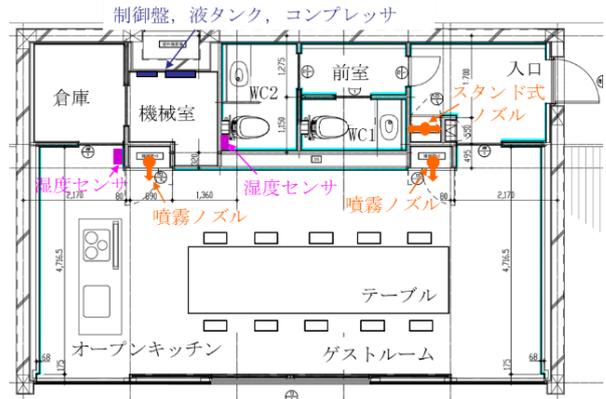


Fig. 1 システム配置図
System Layout



外観



内観



噴霧ノズル



制御盤など

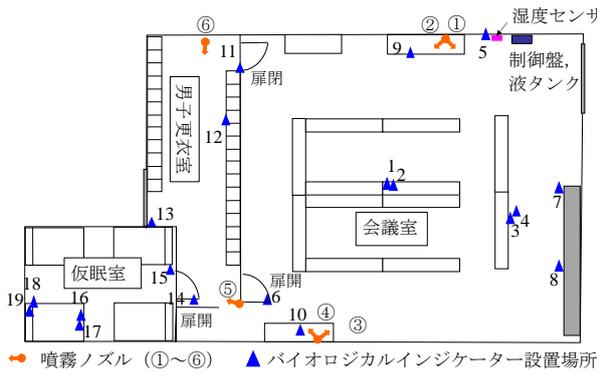


スタンド式ノズル

Photo 2 けやきテラス マルチミストビルトイン
Built-in Multi Mist at Keyaki Terrace



Photo 3 工事事務所 マルチミストビルトイン
Built-in Multi Mist at the Site Office



No.	場所	No.	場所
1	会議室机(中央)端部	11	男子更衣室ドアノブ
2	会議室机(中央)裏側	12	男子更衣室ロッカー表面
3	会議室椅子背もたれ	13	男子更衣室入口壁
4	会議室椅子座面上	14	仮眠室ドアノブ
5	会議室壁(制御盤傍)	15	仮眠室入口スイッチ
6	会議室ドアノブ	16	仮眠室ベッド手すり(表)
7	会議室棚ボール部分	17	仮眠室ベッド手すり(裏)
8	会議室棚ボール部分(奥)	18	仮眠室奥ベッド手すり(表)
9	会議室机(壁側)端部	19	仮眠室奥ベッド手すり(裏)
10	会議室棚(壁側)中		

Fig. 2 現地除菌試験測定点
Measurement Points

で噴霧が停止するシステムとなっている。除菌は、噴霧・保持・パージ（液配管に空気のみを供給し配管内の残液を排出）の3工程で実施する。加湿は、受水槽を経由して供給された水道水をミスト噴霧する。そのため、加湿用の水がタンク内に滞留することがないため、衛生的かつメンテナンスフリーであり、据え置き型の一般的な加湿器に比べて短時間で加湿が可能である。

3.2 複数エリアの対応が可能な制御システムの開発

複数の執務室や会議室がある事務所ビルにマルチミストを適用するには、複数エリアを同時に制御できるシステムが必要となる。ビルトインタイプは、導入費用が高い課題があるため、今回、制御盤とコンプレッサ、それぞれ1台で複数エリアを順次除菌するシステムにすることで、初期導入費用を抑制した。除菌は、各エリアに設置した温湿度センサと事前に入力された部屋の容積から、相対湿度を80%RHに上昇させるための噴霧時間を自動算出するとともに、ウィークリータイマーによる自動噴霧機能により、省力化を図った。通常必要な作業は、除菌に使用する0.02%の次亜塩素酸ナトリウム水溶液（水道水18Lに、次亜塩素酸ナトリウム6%水溶液を約60mL添加）を作成し、18Lの薬液タンクに投入するのみである。

3.3 事務所ビル適用に向けたパソコン等への影響評価

3.3.1 実験概要 執務室にはパソコンや書類があるため、高頻度除菌した際の影響を事前に評価する必要がある。そこで、工事事務所の会議室にパソコンと書類等

を設置し、3.2の制御システムによる試験適用を行い、1週間に5日間除菌を繰り返し実施した際のパソコンや書類に対する影響を評価した。

3.3.2 方法 今回試験適用を行った場所は、某工事事務所の会議室、男子更衣室、仮眠室の3部屋（面積112m²、容積260m³）であり、噴霧ノズルは、会議室に4本、男子更衣室に2本（1本はノズルを仮眠室に向けて設置）、合計6本設置した。制御盤と液タンクは会議室内に、コンプレッサは半屋外に設置した。設置状況をPhoto 3に示す。

パソコン等への影響評価実験を行う前に、現地でBIを用いた除菌試験を行い、除菌効果を評価した。除菌試験は、Fig. 2に示す19カ所（会議室10カ所、男子更衣室3カ所、仮眠室6カ所）にBIと温湿度センサを設置し、Table 4に示す条件で実施した。

BIの除菌結果より、環境表面を除菌できる条件を現地で確認したのち、除菌可能なミスト噴霧条件で週に5日、除菌試験を繰り返し行い、パソコンと書類への影響を評価した。

ノートパソコンを会議室に2台設置し、1台は電源を入れサインオフにし液晶画面を閉じた状態に、もう1台は、噴霧ミストの影響を受けないように、ノートパソコンを防水生地で覆った。

書類は、プリントアウトした書類をそのまま、クリアファイルに入れたもの、パイプ式ファイルに閉じたものの3種類を準備し、机上、棚の中（扉あり、なしの2カ所、但し、パイプ式ファイルのみ）に設置した。

定期的に、パソコンを起動し、正常に起動するかを確

Table 4 試験条件
Test Condition

ノズルの高さ と向き	噴霧薬剤	除菌前の温湿度センサ表示値		噴霧時間 分	噴霧液量 g	パーズ 時間
		温度 (°C)	相対湿度 (%)			
天井から26cm 下, 平行	次亜塩素酸ナトリウム0.02%	22	50	13	2,700	6

Table 5 試験結果
Results of Decontamination Test

No.	場所	温度 (°C)		相対湿度 (%RH)		BI結果 (対照区: 3.1×10 ⁴ cfu/BI)	
		噴霧開始時	噴霧直後	噴霧開始時	噴霧直後	ミスト除菌後の菌数 cfu/BI	除菌効果 99%以上:◎ 90%以上:○
1	会議室机(中央)端部	23.0	21.0	57.2	84.5	<25	◎
2	会議室机(中央)裏側	23.0	21.5	57.1	82.5	<25	◎
3	会議室椅子背もたれ	23.0	21.0	57.8	83.9	<25	◎
4	会議室椅子座面上	23.0	20.5	58.4	88.3	980	○(97%)
5	会議室壁(制御盤傍)	23.5	22.5	58.0	79.0	<25	◎
6	会議室ドアノブ	23.0	21.5	58.6	84.0	300	◎
7	会議室棚ボール部分	23.5	21.5	58.3	87.4	<25	◎
8	会議室棚ボール部分(奥)	23.0	21.5	59.9	79.7	<25	◎
9	会議室机(壁側)端部	23.5	22.0	57.6	83.7	300	◎
10	会議室棚(壁側)中	22.5	21.0	59.4	83.7	100	◎
11	男子更衣室ドアノブ	23.0	21.5	59.2	86.0	<25	◎
12	男子更衣室ロッカー表面	24.0	22.0	56.7	82.3	<25	◎
13	男子更衣室入口壁	23.5	21.0	53.5	85.4	<25	◎
14	仮眠室ドアノブ	22.5	21.0	55.8	91.6	<25	◎
15	仮眠室入口スイッチ	24.5	23.0	51.1	75.4	<25	◎
16	仮眠室ベッド手すり(表)	24.0	22.5	52.0	75.6	<25	◎
17	仮眠室ベッド手すり(裏)	24.0	22.5	51.2	75.0	25	◎
18	仮眠室奥ベッド手すり(表)	24.0	23.0	51.7	72.5	100	◎
19	仮眠室奥ベッド手すり(裏)	24.5	23.0	52.8	73.2	100	◎
平均値		23.4	21.8	56.1	81.8		

認するとともに、目視により書類に対するミスト噴霧の影響を評価した。パソコン、書類の設置状況をFig. 3に示す。

パソコン、パイプ式ファイル設置場所には、温湿度センサも設置し、ミスト噴霧による湿度推移を確認した。

影響評価実験は、2021年11月12日に開始した。2022年5月23日時点で、110回の次亜塩素酸ナトリウム0.02%溶液のミスト除菌を行っている。

3.3.3 結果 除菌試験の結果をTable 5に示す。これより、対照区(25°Cの部屋に保管)の表皮ブドウ球菌の菌数は31,000cfuに対して、ミスト除菌後の菌数は、測定した19か所のうち、18カ所で300~検出下限値未満にまで減少し、99%以上の除菌効果が認められた。No.4(会議室椅子座面上)の菌数は980cfu(除菌率97%)と、やや除菌効果が低くなった。座面の材質が影響したと考えられた。薬剤ミスト噴霧直後の相対湿度は、測定した19か所の平均値で81.8%RHと、除菌に適した値(80%RH以上)にまで上昇していることを確認した。

次亜塩素酸ナトリウム0.02%溶液のミスト除菌によるパソコン等への影響について、まず、ミスト除菌に伴う相対湿度の変化をFig. 4に示す。これより、パソコン(カバーなし)と棚(扉なし)付近の相対湿度は、噴霧回数

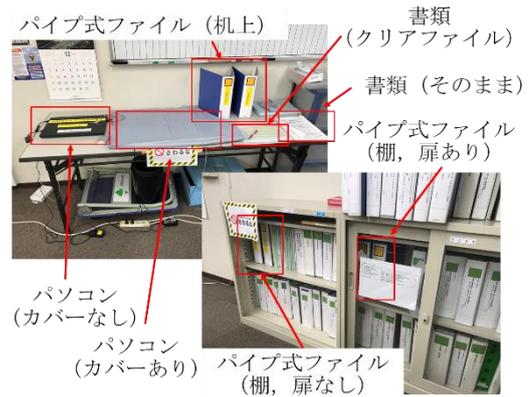


Fig. 3 パソコンおよび書類の設置状況
Installation of Computers and Documents

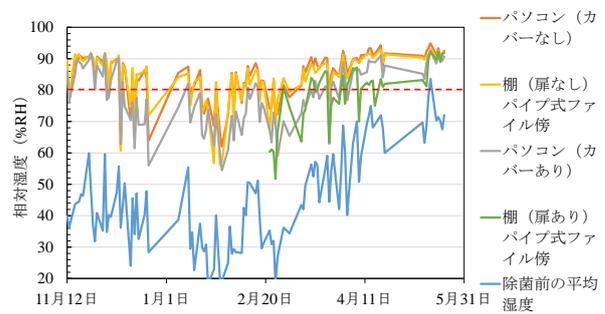


Fig. 4 ミスト除菌に伴う相対湿度変化
Changes of Relative Humidity by Mist Spraying

除菌が正常に行われていたと判断された。さらに、パソコン(カバーあり)と棚(扉あり)では、相対湿度の上昇程度が、パソコン(カバーなし)と棚(扉なし)よりも低く、カバーの設置や扉により薬剤ミストの影響が小さくなっていることを確認した。

噴霧110回時点におけるパソコンと書類への影響についてTable 6に示す。

パソコンは、カバーありなしに関わらず、2台とも正常に作動しており、異常は認められなかった。

書類への影響について、プリントアウトした書類をクリアファイルに入れたものは変化が認められなかったが、プリントアウトした書類をそのまま机の上に置いたものは、Fig. 5に示すように、ミスト除菌を繰り返し実施することで紙の端部に反りが認められるようになった。噴霧回数が増えると共に、反りは大きくなった。

パイプ式ファイルに閉じられた書類への影響について、Fig. 6に示す。これより、机の上に置いたパイプ式ファイル、棚の中(扉なし)に入れたパイプ式ファイルの書類は、扉のある棚に入れたパイプ式ファイルの書類に比べて、書類が倒れており、影響が認められた。なお、什器への影響は、目視で確認されなかった。

以上より、高頻度除菌した際のパソコンや書類への影響について、噴霧110回時点でパソコンは正常に動いてお

り、パソコンへの影響はほとんど認められないと考えられた。一方、書類には反り等の影響が認められるため、扉のある棚に片づける、もしくは、掲示する際にはラミネート加工が必要であると考えられた。

4. おわりに

今回、マルチミストの付着ウイルスの不活化効果を評価するとともに、マルチミストビルトインの適用事例、高頻度で除菌した際のパソコンや書類への影響について報告した。以下に結果を示す。

- 1) 付着ウイルスの不活化効果について、次亜塩素酸ナトリウム0.02%溶液をチャンバー内の相対湿度が80%RH以上になるまでミスト噴霧し、30分経過後のインフルエンザウイルス、新型コロナウイルスでは、99%の不活化効果が確認された。ノロウイルスの代替ウイルスであるネコカリシウイルスでは95%の不活化効果が確認された。次亜塩素酸ナトリウム溶液の濃度を0.05%に上昇させた場合、3種類のウイルスすべてで99.9%の不活化効果が確認された。
- 2) ビルトインの適用事例として、来客者用施設「けやきテラス」の適用事例を紹介した。
- 3) 複数エリアの制御が可能なシステムを開発し、試験適用によりパソコンや書類への影響を評価した。現時点でパソコンへの影響は認められないこと、書類には影響が認められるため、対策が必要であることが明らかとなった。

薬剤ミスト噴霧によるパソコン等への影響は、引き続き継続して評価するとともに、マルチミストビルトインの普及に向けて、今後もデータの蓄積や改良に取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) 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
- 2) 四本瑞世, 他: ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト®」の性能評価, 大林組技術研究所報, No. 80, 2016.12
- 3) 四本瑞世, 他: 「マルチミスト®」カートによる居室内除菌の性能評価, 大林組技術研究所報, No. 82, 2018.12
- 4) 四本瑞世, 他: 「マルチミスト®」を用いた加湿・除菌システムの開発と適用, 大林組技術研究所報, No. 84, 2020.12
- 5) 四本瑞世, 他: 持ち運びサイズの除菌装置「カセットミスト™」の開発, 大林組技術研究所報, No. 85, 2021.12

Table 6 パソコン、書類への影響評価
Effects on Personal Computers and documents
by Mist Spraying

種類	状態	薬剤ミスト噴霧の影響 (噴霧110回後)
パソコン	防水カバーなし	影響なし
	防水カバーあり	影響なし
書類	そのまま机上におく	影響あり (端部に反り)
	クリアファイルに入れる	影響なし
	パイプ式ファイルに閉じて、机上におく	影響あり (書類が倒れる)
	パイプ式ファイルに閉じて、棚に入れる(扉なし)	やや影響あり (書類がやや倒れる)
	パイプ式ファイルに閉じて、棚に入れる(扉あり)	影響なし

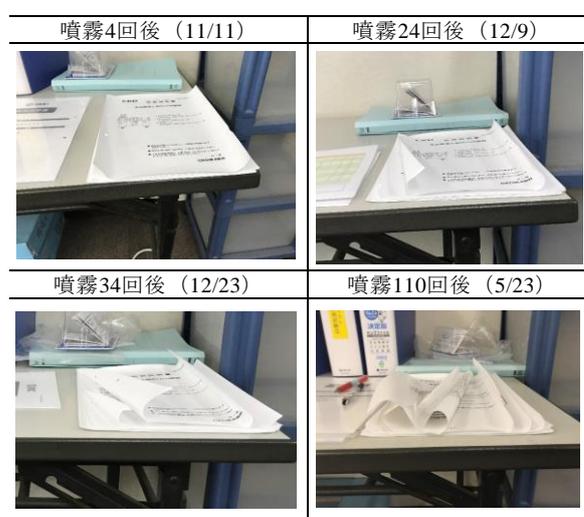


Fig. 5 書類への影響評価
Effects on Documents by Mist Spraying

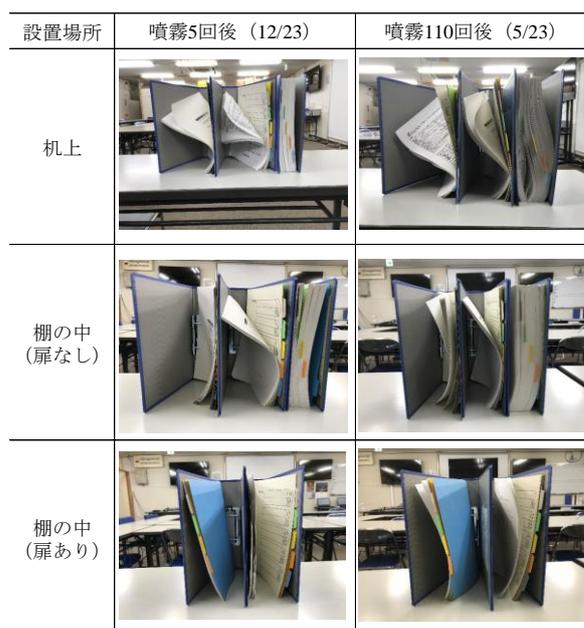


Fig. 6 パイプ式ファイル中の書類への影響評価
Effects on Documents in Pipe Type File by Mist Spraying