

感染症抑制に向けた空気質管理技術の開発(その2) ー水・アロマ水の空間噴霧による浮遊ウイルス除去効果の評価・実証ー

青木 貴均^{*1}・中村 孝道^{*1}

有人環境下でも利用可能な空間噴霧による感染症対策技術を開発するため、蒸留水・水道水・精油を水で0.1%に希釈したアロマ水を空間噴霧した際の、浮遊ウイルスの除去効果を確認した。その結果、蒸留水・アロマ水は試験開始から90min時点で浮遊ウイルスを99%以上除去できることを確認した。また、試験結果を基にした噴霧条件によりアロマ水を噴霧したオフィスにて、執務者の感染状況を確認した。その結果、9～10月はインフルエンザ注意報が発令されていたが、感染者は1名のみに留まった。その後、冬期にかけて感染拡大が見られたものの、超音波噴霧器の噴霧時間を1 (min/h) から4 (min/h) にした結果、クラスターが抑制されることを確認した。

キーワード： 空気質管理、薬剤噴霧、蒸留水、アロマ水、感染症対策

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症の世界的流行に伴い、接触感染対策として薬液散布やパーティションの設置、エアロゾル・空気感染対策として換気量の確保やリモートワークなどが行われてきた。特に、消毒剤の空間噴霧は最も有効な感染症対策技術として注目されている。しかし、塩素を主体とした消毒剤を空間に噴霧する場合、目や皮膚、呼吸器への曝露による健康影響や、内装材への接触による錆発生やめっき材の劣化などのリスクがある。そのため、消毒剤の空間噴霧時には無人時における利用やビニル養生など、居住者や内装材への配慮が必要であり、導入が進みにくい状況にある。そこで、上記リスクの小さい水や精油を水で希釈したアロマ水を用いることで、有人環境下における空間噴霧技術の提案・導入が進みやすくなると考えた。

既報(その1)では、蒸留水・アロマ水のミスト噴霧による浮遊ウイルス除去効果を確認したが、この効果が従来の加湿器に共通して現れるかは不明であり、当社独自の技術とするためには、従来品とは異なる特徴を明確にする必要がある。そこで、本報告では、ミスト最頻径が異なる超音波噴霧機を用いて、総溶解固形物量(以下、TDS)が異なる蒸留水と水道水による浮遊ウイルス除去効果を比較した。アロマ水については、実空間への適用を進めるため、従来のアロマディフューザーよ

りもミスト発生量が大きく、かつサブミクロンスケールの粒径でミストを発生できる超音波噴霧器を用いて、アロマディフューザーの試験時と同量程度のミストを発生させた際の浮遊ウイルス除去効果を比較した。また、室内試験で得られた噴霧条件を実空間に適用した際に、執務者への感染症抑制効果が表れるかを検証するため、オフィス空間にてアロマ水による実証を行った。

2. 試験方法

2.1 ミスト噴霧機

噴霧機の特徴を表-1に示す。機器A、B、Cは超音波噴霧器を、機器Dはアロマディフューザーを用いた。ミストの粒径による効果を比較するため、超音波噴霧器によるミストの最頻値は、機器Aが最も小さく、機器Cが最も大きいものを用いた。機器Aと機器Dはミスト最頻径が1 μ m以下となるサブミクロンスケールのミストを発生させる機器(写真-1)を用いた。

表-1 噴霧器 性能一覧

性能	機器A	機器B	機器C	機器D
噴霧器の種類	超音波噴霧器			アロマディフューザー
原理	超音波振動子			ベンチュリー効果
ミスト最頻径(μ m) メーカー公表値	0.3	2.0	4.0	0.1
流量(ml/min)	300	360		0.72
タンク容量(L)	5	3.5	4	0.15
サイズ	直径230× 高さ448(mm)	直径210× 高さ354(mm)	幅230× 奥行230× 高さ335(mm)	幅140× 奥行140× 高さ150 (mm)

*1 環境研究部

2.2 ミスト噴霧器の粒径と水の不純物量による浮遊ウイルス除去効果への影響

ミスト粒径と水の不純物量の差が、浮遊ウイルスの除去効果にどのような影響を与えるかを検証するため、機器A、機器B、機器Cの3種類の噴霧器を用いて、蒸留水・水道水のミストによる効果を比較した。試験ケース一覧を表-2に、試験工程表を表-3に示す。試験は、弊社が開発したチャンバー試験装置（JEMA【一般社団法人日本電機工業会】の附属書Dの基準に準拠）を用いて行った（写真-2）。まず、ウイルス検液を2ml/minで10min散布し、2min攪拌した後、ミストを10min噴霧し、表-3に示す間隔で適宜サンプリングを行った。サンプリングした空気質からウイルスDNAを抽出し、定量PCR法にて浮遊ウイルス量を定量分析し、除去効果を評価した。なお、ウイルス除去効果の評価は、空気清浄機の浮遊ウイルスに対する除去性能評価試験方法【JEM1467（日本電機工業会規格）「対数減少値が2.0以上（99%以上減少する）のとき、空気清浄機の浮遊ウイルスに対する除去効果があるものと判断」】に準拠した。

2.3 発生原理が異なる同粒径のミストによるアロマ水の浮遊ウイルス除去効果

既報（その1）では、ベンチュリー効果によりサブミクロンスケールの粒径でミストを発生できるアロマディフューザー（機器D）を用いて、アロマ水と精油の浮遊ウイルス除去効果を確認した。しかし、オフィスや講演会場など大空間へ噴霧する際にアロマディフューザーを用いる場合、流量が0.72ml/hと非常に小さいため、噴霧量を確保するために設置台数を増やす必要がある。その結果、導入コストが高くなることが課題となる。

そこで、ミストの発生原理は異なるが、加湿器と同程度の流量を持ち、かつアロマディフューザーと同様にサブミクロンスケールのミストを超音波振動子により発生させる超音波噴霧器（機器A）を用いることで、設置台数を増やさなくても、噴霧量の調整のみで気積の増減に対応できるため、導入コストが低減し、現場展開が進みやすくなると考えた。

表-4に精油成分の分類と成分割合¹⁾を示す。また、表-5に試験ケース一覧を示す。精油は単一種として、

ティートリーとペパーミントの2種類を選定した。試験時は蒸留水で精油を0.1%に希釈したアロマ水として用いた。また、居室内の各噴霧器の利用状況に合



写真-1 ミスト噴霧器（サブミクロンスケール）

表-2 試験ケース一覧（蒸留水・水道水）

No.	ケース名	噴霧器の 種類	ミスト流量	水の種類	噴霧時間
1	Blank				
2	D-A	機器A	5 ml/min	蒸留水	10 min
3	W-A			水道水	
4	D-B	機器B	6 ml/min	蒸留水	
5	W-B			水道水	
6	D-C	機器C		蒸留水	
7	W-C			水道水	

表-3 試験工程表

試験操作	使用機器	試験品の運転時間 (min)									
		0	10	20	30	60	90	120			
チャンバー内 空気質の均質化	攪拌ファン										
ウイルス 検液噴霧	ネブライザー										
空気質の捕集	サンプリング 機器										
試験品の運転	ミスト 噴霧装置	Blank		稼働無し							
		超音波噴霧器 (蒸留水)		10 min (D-A, W-A, D-B, W-B, D-C, W-C)							
		アロマ ディフューザー		常時稼働 (T-D, P-D)							
		超音波噴霧器 (アロマ水)		90 sec (T-A-90, P-B-90) or 9 sec (T-A-9, P-A-9)							

表-4 精油成分の分類と成分割合

精油成分の分類	成分割合 (%)	
	ティートリー	ペパーミント
炭化水素類	50.8	9.5
アルコール類	42.3	45.0
アルデヒド類		
ケトン類	0.1	31.2
フェノール類		0.1
オキシサイド類	4.6	5.2
エステル類		6.1
その他	2.2	3.0

太字: 感染症抑制に有効とされる成分

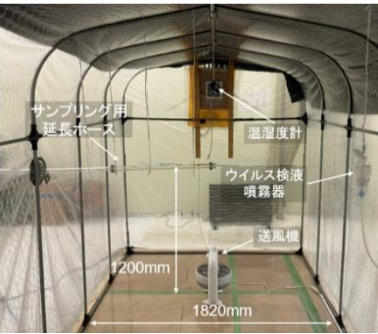


写真-2 チャンバー試験装置

表-5 試験ケース一覧（アロマ水）

No.	ケース名	精油条件			気積 (m ³)	噴霧器の 種類	噴霧時間 (min)	噴霧量 (ml)	
		濃度(%)	種類	希釈 溶媒					
1	Blank	0.1	ティートリー	イオン 交換水	13.1	機器A	1.5	7.50	
2	T-A-90						0.15	0.75	
3	T-A-9						120	1.44	
4	T-D						1.5	7.50	
5	P-A-90		ペパー ミント			機器A	0.15	0.75	
6	P-A-9						機器D	120	1.44
7	P-A								

わせ、超音波噴霧器の試験では、試験開始から90秒間(1.5min)もしくは9秒間(0.15min)運転することで短時間噴霧を行い、機器Dと同等の効果が得られるかを確認した。機器Dは常時噴霧(120分稼働)とした。

試験時の噴霧量は、90秒間噴霧時は7.5mlとなり、機器Dによる噴霧量の1.44mlと比較して、5.2倍となった。9秒間噴霧時は0.75mlとなり、機器Dによる噴霧量の0.52倍となった。機器Dは常時稼働により試験を行った。

2.4 オフィス空間における実証試験

室内試験で得られた噴霧条件を実空間に適用した際に、執務者への感染症抑制効果が表れるかを検証した。2023/8/1～2024/3/31にかけて、東京都内の事務所に噴霧機器を設置し、執務者(計43人)の感染状況を確認した。噴霧機器の性能一覧を表-6に、噴霧条件を表-7に示す。噴霧機器はサブミクロンスケールのミストを発生させる超音波噴霧器を2台、アロマディフューザーを3台設置した。超音波噴霧器は噴霧量が大きいため、執務者が長期間滞在することで、常時空気質が悪化する執務室に設置した。アロマディフューザーは超音波噴霧器と比べて噴霧量が小さいが、打合せに利用するため、断続的に空気質が悪くなる会議室に設置した。精油はティートリーを用いた。噴霧時は執務者への快適感を考慮し、水道水で0.1%に希釈し、検知閾値もしくは認知閾値程度の微弱な芳香を感じるアロマウォーターとして用いた。超音波噴霧器の運転条件は24時間稼働とし、2023/8/1～2023/12/24の間は1min噴霧後に59min停止する形とした。2023/12/25～2024/3/31の間は、1min噴霧後に14min停止するサイクルを繰り返した。アロマディフューザーは常時噴霧した。事務所平面図を図-1に示す。感染者数の確認は、事務所関係者から座席、感染症の種類も含めて、聞き取り調査を行った。図-2に東京都における感染者報告数の推移²⁾を示す。インフルエンザ(以下、インフル)の注意報は指針³⁾に基づき、1週間の医療機関当たりの報告数が10以上であることを基準とした。新型コロナウイルス(以下、コロナ)は、医療機関当たり報告数のみで判断できる明確な基準が存在しない⁴⁾ことから、報告

表-6 噴霧機器 性能一覧

名称	ミスト発生原理	粒径(μm)	流量(ml/min)	容量(ml)	サイズ(mm)
超音波噴霧器	超音波振動子	0.3～1.0	20	10000	幅250×奥行250×高さ875
アロマディフューザー	ベンチュリー効果	0.1～0.5	0.012	150	幅140×奥行140×高さ150

表-7 噴霧条件 一覧表

試験 条件	精油条件			気積 (m³/台)	機器条件			流量条件			
	濃度 (%)	種類	希釈 溶媒		名称	流量 (ml/min)	設置 台数	2023/8/1～12/24		2023/12/25～2024/3/31	
								噴霧時間 (min/h)	噴霧量 (ml/day)	噴霧時間 (min/h)	噴霧量 (ml/day)
1	0.1	ティートリー	水道水	200	超音波噴霧器	20	2	1	480	4	1920
2					アロマディフューザー	0.012	3	60	17	60	17

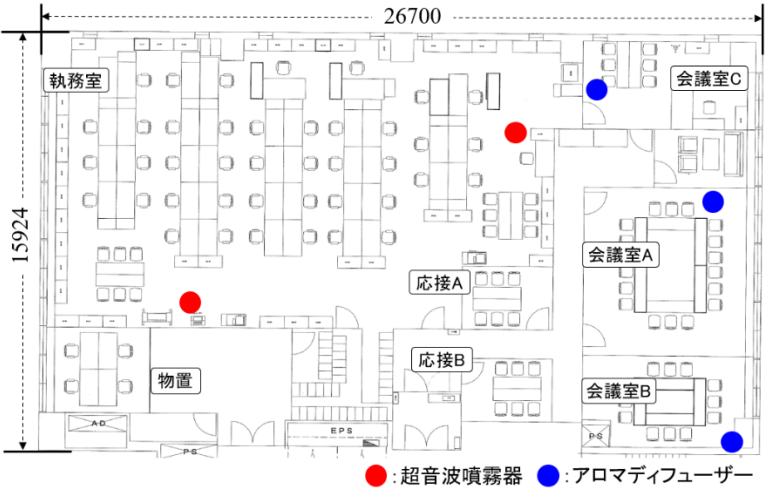


図-1 事務所平面図

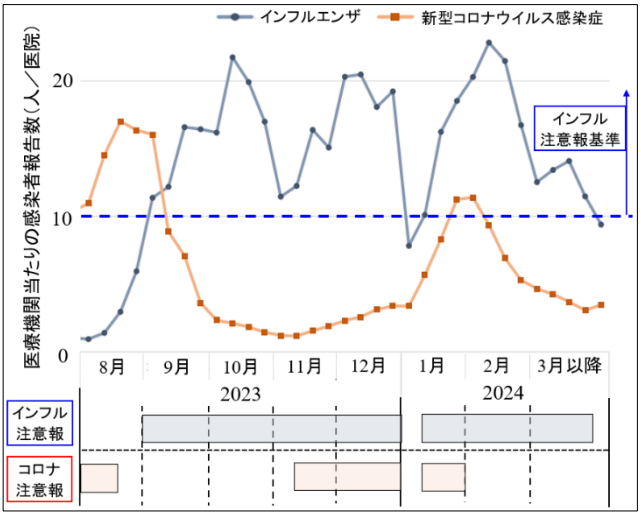


図-2 感染者報告数の推移(東京都)

数が上昇している時期をコロナ注意報の期間とした。

3. 試験結果

3.1 ミスト噴霧器の粒径と水の不純物量による浮遊ウイルス除去効果への影響

図-3に浮遊ウイルス数を示す。ケースD-Aは試験開

始から 30min 後にウイルス数の急減が見られ、120min 後においても他のケースに比べて 1 桁程度小さくなった。図-4 に図-3 の結果に基づいた対数減少値と減少率を示す。ケース D-A は試験開始から 90min の時点で、自然減衰による影響も含めた条件において、減少率が 99% 以上となった。蒸留水を用いたケース D-B およびケース D-C についても、水道水に比べて大きな浮遊ウイルスへの除去性能が確認されたが、120min 後の減少率はケース D-B で 94.2%、ケース D-C で 96.5% に留まった。水道水の試験ケースについては、概ね Blank と同様の挙動を示したが、ケース W-A のみ 120min 後にウイルス数が急減し、減少率が 96.5% となった。この現象はサンプリングの不備などが原因と考えられる。

図-5 に図-4 の結果から、Blank の対数減少値を差し引いた正味の対数減少値と減少率を示す。ケース D-A では試験開始 30min 時点で減少率が 90% を超え、120min まで概ね一定値を示した。どの噴霧器を用いても、蒸留水を用いた際に浮遊ウイルスへの除去効果が向上し、水道水を用いた場合は、ケース W-A の 120min 時点を除いて、明確な効果は確認できなかった。

水による抗ウイルス効果について、ミスト最頻値が異なる噴霧器 3 種類を用いて、不純物量が異なる蒸留水・水道水の 2 ケースに分けて性能を比較したところ、サブミクロンスケールのミストを発生させる超音波噴霧器（機器 A）を用いて蒸留水を噴霧した際に、浮遊ウイルスに対する除去効果が表れることを確認した。この理由として、蒸留水を用いることで負イオンが増加し、かつミストの最頻値が小さい機器を用いることで、さらに負イオンが増加する⁵⁾ことが確認されたが、今後詳細なメカニズムの解明を進めていく。

3.2 発生原理が異なる同粒径のミストによるアロマ水の浮遊ウイルス除去効果

(1) ティートリー（0.1% 希釈水）噴霧時の効果

図-6 に浮遊ウイルス数を、図-7 に図-6 の結果に基づいた対数減少値と減少率を示す。超音波噴霧器により 90 秒間噴霧したケースでは、経過時間 120min 後に浮遊ウイルスの減少率が 99% 以上になり、その除去効果が認められた。9 秒間噴霧の場合は、試験中の減少率が 99% に到達しなかったため、除去効果は認められなかった。アロマディフューザーでは、経過時間 90min 後に浮遊ウイルスの減少率が 99% 以上となり、超音波噴霧器よりも浮遊ウイルス除去効果が高くなる傾向が見られた。

(2) ペパーミント（0.1% 希釈水）噴霧時の効果

図-8 に浮遊ウイルス数を、図-9 に図-8 の結果に

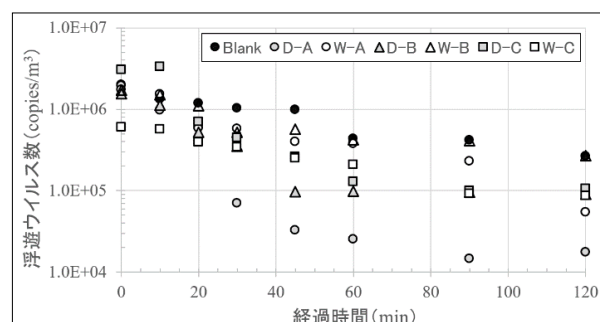


図-3 浮遊ウイルス数（蒸留水・水道水）

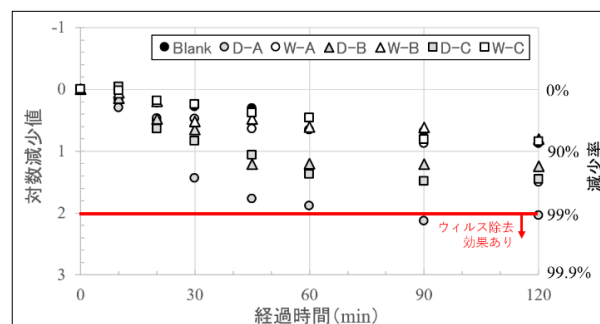


図-4 対数減少値と減少率（図-3 から）

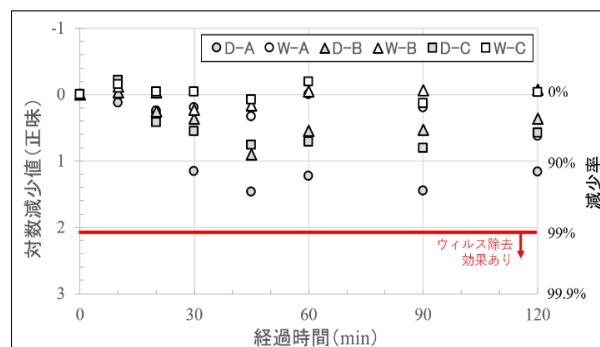
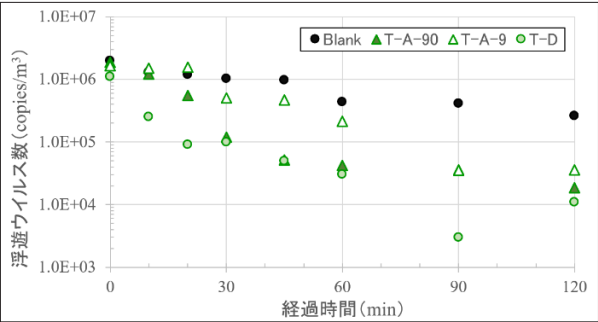


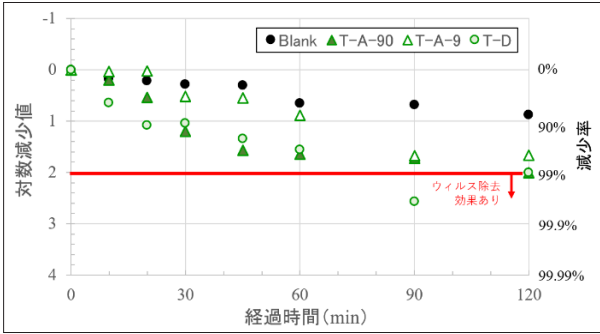
図-5 対数減少値と減少率（図-4 から、正味）

基づいた対数減少値と減少率を示す。超音波噴霧器により 90 秒間噴霧したケース、9 秒間噴霧したケースのいずれにおいても、経過時間 90min 後に浮遊ウイルスの減少率が 99% 以上になり、その除去効果が認められた。アロマディフューザーでは、経過時間 120min 後に浮遊ウイルスの減少率が 99% 以上となった。超音波噴霧器を 9 秒間噴霧したケースでは、アロマディフューザーに比べて噴霧量が少ない（0.52 倍）にもかかわらず、アロマディフューザーよりも浮遊ウイルス除去効果が高くなる可能性が示唆された。

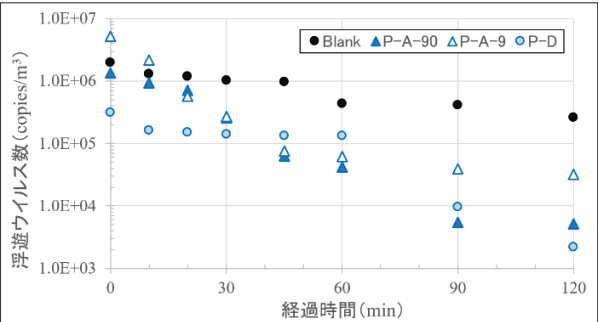
精油を蒸留水で 0.1% に希釈したアロマ水を、サブミクロンスケールのミストにより空間噴霧する際に、アロマディフューザーに比べて噴霧量の大きい超音波噴霧器を短時間利用した場合でも、浮遊ウイルスに対する除去効果が現れるか確認した。その結果、超音波噴霧器を 9 秒間噴霧したケースでは、ペパーミントのみ効果が見ら



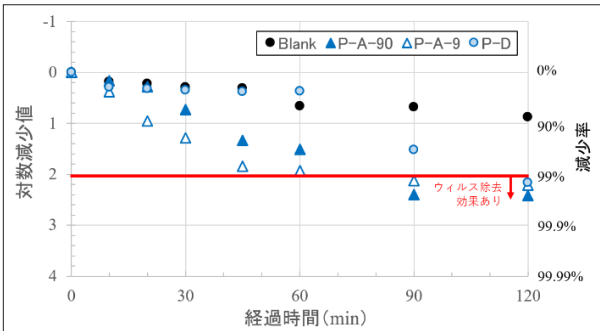
図－6 浮遊ウイルス数（アロマ水、ティートリー）



図－7 対数減少値と減少率（図－6から）



図－8 浮遊ウイルス数（アロマ水、ペパーミント）



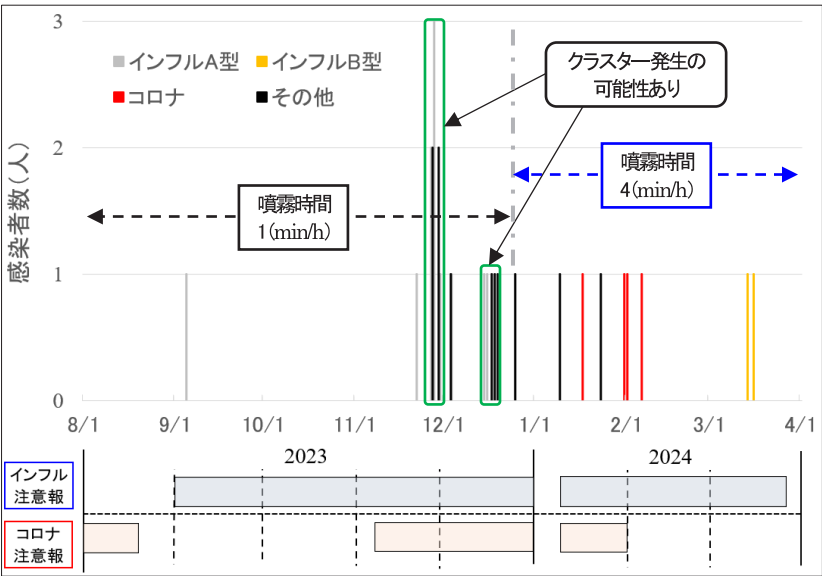
図－9 対数減少値と減少率（図－8から）

れ、90 秒間噴霧の場合は、ティートリー・ペパーミントのどちらも除去効果が見られた。

この結果から、サブミクロンスケールのミストを発生できるのであれば、ミストの発生原理が異なり、かつ高流量のミスト噴霧器を短時間噴霧した場合でも、アロマディフューザーと同様に浮遊ウイルスの除去が可能であることが確認できた。また、No. 3 と No. 6 では試験時の噴霧量が 0.72ml と同値になるが、ティートリーでは No. 4 のアロマディフューザーの方が、No. 3 の超音波噴霧機よりも効果が高くなった。ペパーミントでは、No. 7 のアロマディフューザーよりも、No. 6 の超音波噴霧器で効果が高くなる傾向を確認した。この結果は噴霧方法によるミスト発生状況の違いが影響していると思われるため、再現性確認など追加検証を進める。

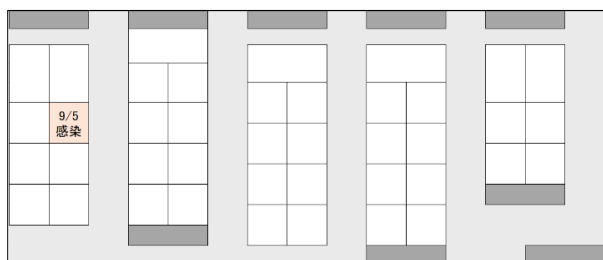
3.3 オフィス空間における実証試験

図－10 に事務所内における執務者の感染状況を示す。2023/8～2023/10 の期間は、インフル・コロナいずれかの注意報が発令しているにも関わらず、感染者数は 1 名のみであった(図－11)。2023/11～2023/12 の期間は、

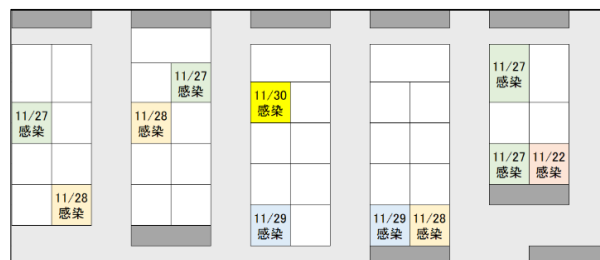


図－10 事務所内 執務者感染状況

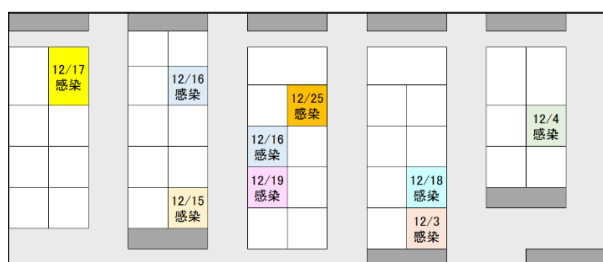
11/27～11/30 の間に、インフルおよびその他の感染症を含め、計 10 名が感染した(図－12)。また、12/15～12/19 の間に計 6 名が感染し、クラスター発生の可能性が疑われた(図－13)。その後、12/25 から噴霧時間を 4 (min/h) に変更したところ、1 名のみのが感染が散発的に発生し、クラスターの発生は見られなかった。1 月の執務室内における感染状況を図－14、2 月の感染状況を図－15、3 月の感染状況を図－16 に示す。図－11 から図－16 における図ごとの席の色は、同日に感染症に罹患した執務者の席位置を示している。



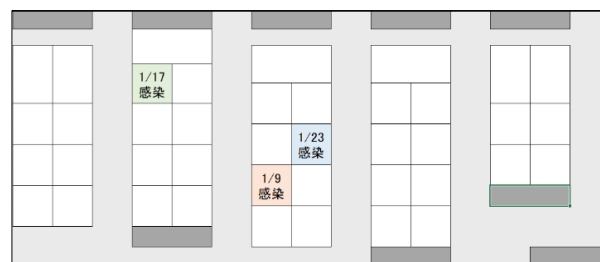
図－11 執務室内 感染状況マップ (8～10月)



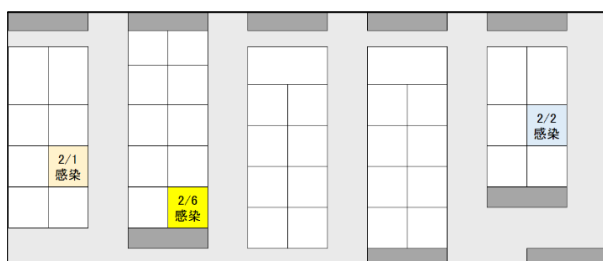
図－12 執務室内 感染状況マップ (11月)



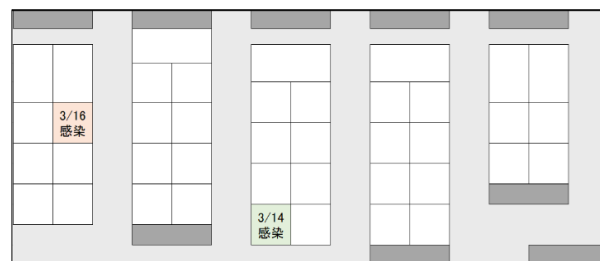
図－13 執務室内 感染状況マップ (12月)



図－14 執務室内 感染状況マップ (1月)



図－15 執務室内 感染状況マップ (2月)



図－16 執務室内 感染状況マップ (3月)

室内試験時の噴霧条件を実空間で適用した際に、感染症抑制効果が表れるかを確認した。その結果、噴霧時間を1 (min/h) とした場合、夏期・中間期となる2023/8～2023/10の感染者数は1名のみに留まり、2023/11～2023/12は感染拡大の傾向が見られた。この理由として、夏期・中間期は空調運用時の設定温度が高くなるため、冬期と同じ相対湿度であっても、空気中の水分量は多くなる。そのため、冬期と比べてウイルスに対する水蒸気圧の影響⁶⁾も大きくなり、飛沫核の拡散が抑制され、空気感染が起これにくくなるなど、精油と水蒸気圧の効果が同時に寄与した可能性がある。12/25以降ミスト噴霧量を増加させた所、2024/1～2024/3においてクラスター発生が見られなくなるなど、精油と加湿による効果発現が示唆された。妥当性確認に向け、今後もデータ収集を継続する。

4. まとめ

ミスト用の液体を、従来の消毒剤に比べてより安全な製品にすることで、健康影響や内装材劣化などの運用リスクを低減し、かつ様々な建物に適用可能となる空間噴

霧技術を構築するため、噴霧器を変えて水やアロマ水の浮遊ウイルス除去効果を確認した。また、事務所にアロマ水の空間噴霧によるクラスター抑止効果を確認した。その結果、以下のことが判った。

- 水を用いる場合、サブミクロンスケールの粒径であり、かつTDSが小さい蒸留水を空間噴霧した際に、浮遊ウイルス除去効果が表れる。
- アロマ水の場合、サブミクロンスケールのミストであれば、発生原理や流量に影響を受けず、浮遊ウイルス除去効果が表れる。
- 室内試験にて浮遊ウイルス除去効果が表れる噴霧条件にて、アロマ水を居室内に空間噴霧することで、クラスターの抑止効果が期待できる。

以上のことから、噴霧器と水の特徴が定まったことにより、本技術の独自性が示された。また、事務所に実証結果が得られたことから、本技術の実空間への適用性が高まった。今後は感染症抑制のほか、個々人の嗜好性も含めた各種ニーズに対応できるアロマ水利用のラインナップ作成を進めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 榎フレーバーライフ社, エッセンシャルオイル成分分析表
- 2) 厚生労働省: インフルエンザと新型コロナウイルス感染症の定点当たり報告数の推移, 2024. 4
- 3) 国立感染症研究所: インフルエンザ流行レベルマップ, <https://idsc.niid.go.jp/disease/influenza/inf-keiho/guide06.html>
- 4) 厚生労働省: 新型コロナウイルス感染症に関する住民への注意喚起等の目安について, 2023. 8
- 5) 青木他: 蒸留水による抗ウイルス効果の発生条件の解明に向けた基礎調査, 令和6年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2024. 9
- 6) 庄司眞: 気象と感染症流行の相関に関する研究, 抗酸菌病研究所雑誌, vol. 40, No. 2, 1988, pp. 95-106

Development of air quality control technology to control infectious diseases (vol.2)

- Evaluation and demonstration of the removal performance of airborne viruses by air spraying of water and aromatic water -

Takahiro AOKI, Takamichi NAKAMURA

In order to develop a countermeasure technology against infectious diseases by space spraying that can be used in a manned environment, it would be beneficial to confirm the removal performance of distilled water, tap water and aroma water, in which essential oils are diluted to 0.1% with water, against floating viruses when sprayed in a space. As a result, it was found that distilled water and aroma water could potentially be effective in removing more than 99% of floating viruses at 90minutes from the start of the test. Furthermore, the infection status of office workers was monitored in an office where aroma water was sprayed in accordance with the spraying conditions based on the test results. As a result, only one person was infected, despite an influenza alert being issued in September and October, which was the middle period of the year. Thereafter, although the spread of infection was observed during the winter season, it was confirmed that increasing the spraying time of the ultrasonic sprayer from 1min/h to 4min/h had a positive effect, and the clusters were suppressed.
