

感染症抑制に向けた空気質管理技術の開発(その3) —純水ナノミストの拡散効果とブレンドオイルによる浮遊ウイルス除去効果の評価—

青木 貴均^{*1}・中村 孝道^{*2}

既報¹⁾では、純水ナノミストおよびアロマ水を空間噴霧することによる浮遊ウイルス除去効果を検討し、クラスター抑制の可能性を明らかにした。実用化に向けて、オフィスの共用スペースなどの広い空間において、純水ナノミストが居室全体に均等に拡散していることを示す必要がある。本研究では、純水ナノミスト噴霧時に発生する負イオンを用いて、拡散効果を評価した。また、アルコール割合が12～16%のブレンドオイルを空間噴霧した際の浮遊ウイルス除去効果を確認し、適用床面積を試算した。

キーワード： 空気質管理、純水ナノミスト、ブレンドオイル、拡散効果、浮遊ウイルス除去効果

1. はじめに

令和5年以降、新型コロナウイルスが5類感染症に分類され、一般社会における感染対策への意識は薄れつつある。しかし、コロナウイルスによる死亡率はインフルエンザと比較して依然として高く、厚生労働省は引き続き感染対策の重要性を周知している。2022年には国立感染症研究所がエアロゾルによる感染リスクを公式に認め、換気的重要性は一層高まっている。しかし、現代の建築物は高い気密性を持ち、冷暖房効率を重視するため、換気が行われにくい環境となっている。このような状況においては、空調を用いながら空気そのものの質を改善する新しいアプローチが求められている。したがって、今後の研究や実践においては、換気と空気質の向上を両立させるための方策を検討する必要がある。

これまで、蒸留水などの純水を1 μ m以下の微粒子（以下、純水ナノミスト）にして空間中に噴霧することにより、浮遊ウイルスに対する除去効果が得られることを、実大チャンバーを用いた検証¹⁾で明らかにした。しかし、チャンバー内の空間は実際の居室に比べて障害物が少なく、空気の淀みが起こりにくい。そのため、実空間における浮遊ウイルス除去効果を示すためには、噴霧器から放出された純水ナノミストが部屋全体に均等に拡散しているか、その分布傾向を確認する必要がある。本報告では、純水ナノミストから発生する負イオン²⁾を用いて、純水ナノミスト到達の可否を判定するための負イオン数の目安値をチャンバー試験により求めた。また、オフィス内で負イオン数と温湿度を計測することにより、分布傾向を確認した。

また、既報³⁾にて、単一種の植物から得られ、アルコー

ル成分の割合が40%以上となる精油およびアロマウォーターの空間噴霧により、浮遊ウイルス除去効果が得られることを示した。本報告では、複数種の精油を調香し、多くの人々に好まれるように調整したブレンドオイルを使用した場合の浮遊ウイルス除去効果を検討した。

2. 純水ナノミストの拡散効果

2.1 負イオンの利用

20～100 μ mの粒子径のミストが、特定の場所に存在することを確認する手法として、レーザーシート光源による可視化や、パーティクルカウンターの使用⁴⁾が一般的である。本試験では、執務者が業務を行っているオフィス内における実態調査を実施した。しかし、執務中に照明を消し、レーザーシート光源を用いて、居室内のミスト挙動を確認することは難しい。パーティクルカウンターを用いる場合、例えばクリーンルームの清浄度測定に用いられる機器の最小可測粒径は約0.3 μ mである。噴霧器の純水ナノミスト最頻径は0.3 μ mであるが、実際には0.05 μ m程度の微粒子も多く発生するため、正確な評価が難しい。また、最小可測粒径が小さいほど、パーティクルカウンターの最大可測粒子濃度の上限に達しやすい

表－1 噴霧器 仕様一覧

仕様	大型機	小型機
原理	超音波振動子	
ミスト最頻径(μ m) メーカー公表値	0.3	
おもな素材	ステンレス	ポリカーボネート
ミスト噴霧量	20 mL/min	6 mL/min
タンク容量	20 L	5 L
サイズ	幅250×奥行250× 高さ875(mm)	直径230× 高さ448(mm)

表－2 チャンバー試験 条件一覧表

No.	ケース名	計測対象	計測機	噴霧器からの距離(m)	使用噴霧機器	流量 (ml/min)	噴霧時間 (min)	計測時間 (min)	計測頻度 (sec/回)	計測時 温度(℃)		
1	B-0.9m	負イオン	NT-C101A (アンデス 電気株)	0.9	小型機	6		5	30	22～23		
2	B-1.8m			1.8								
3	B-2.7m			2.7								
4	I-0.9m			0.9			10	20				
5	I-1.8m			1.8								
6	I-2.7m			2.7								

という特性がある。本試験で用いた噴霧器は、大型機で加湿量が 20 (ml/min) と大きく、試験開始直後に粒子濃度が上限値に達し、計測不能となるおそれがある。そこで、既報²⁾にて計測実績がある負イオンを対象とすることで、これらの課題を解決し、オフィス内のミスト分布傾向を確認できると考えた。

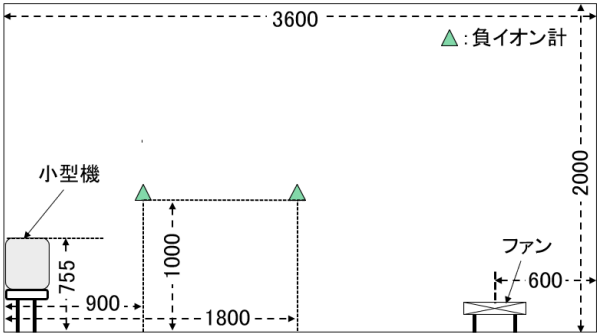
2.2 試験方法

2.2.1 純水ナノミスト噴霧機

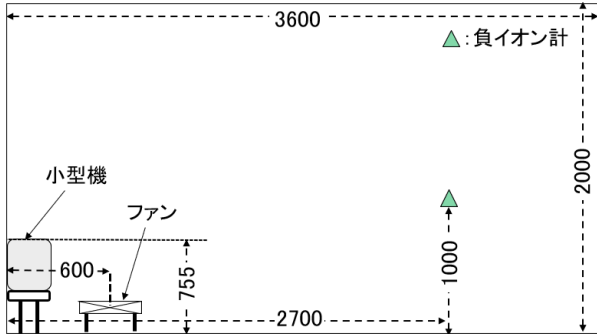
純水ナノミスト噴霧器（以下、噴霧器）の仕様を表－1 に示す。チャンバー試験では小型機 1 台のみを用いた。オフィス内での実証試験では、浮遊ウイルス除去効果が得られる噴霧条件¹⁾を考慮し、大型機 3 台と小型機 1 台を用いた。噴霧液には、水道水をイオン交換フィルターに通して精製した純水を用いた。

2.2.2 チャンバー試験

試験ケース一覧を表－2 に示す。居室空間内に純水ナノミストが拡散したと判断できる負イオン数の目安となる値(以下、目安値)を得るために、噴霧器から 0.9m, 1.8m, 2.7m 離れた地点の負イオン数を計測した。No.1～3 は純水ナノミスト噴霧を行わずに、5 分間の計測を実施した。No.4～6 は浮遊ウイルス除去効果が表れる条件下で、10 分間の純水ナノミスト噴霧を行った後に機器を停止し、その後 10 分間計測を行った。0.9m, 1.8m 計測時の立面図を図－1 に、2.7m 計測時の立面図を図－2 に示す。チャンバー内の空気質は、試験中にファン（YBS-B258, 山善株）を 9 (m³/min) の流量で常時運転することにより均一化した。計測時には、あらかじめ負イオン計（NT-C101A, アンデス電気株）を稼働させ、タブレット機器を録画モードにセットした（図－3）。No.4～6 では噴霧器のスイッチを入れた後、タブレット機器の録画ボタンを押し、チャンバーから退室した。20 分経過後に再度入室し、タブレット機器を停止した。その後、取得した各ケースの画像データから、30sec ごとの負イオン数



図－1 チャンバー試験 立面図
(0.9m, 1.8m 地点 計測時)



図－2 チャンバー試験 立面図
(2.7m 地点 計測時)



図－3 チャンバー試験 計測状況
を記録した。

2.2.3 オフィス内実証試験

2.2.2 で得られた負イオン数の目安値を基に、オフィス内で噴霧器を稼働した際に、純水ナノミストがオフィ

表－3 オフィス内 居室・加湿条件 一覧表

居室条件					加湿条件				
気積(m³)	空調機			換気割合 (%)	大型機		小型機		運転時間 (min)
	運転モード	温度設定	加湿		台数	加湿量	台数	加湿量	
1233	暖房	28℃一定	なし	50	3	20 ml/min	1	6 ml/min	240

表－4 オフィス内 計測条件 一覧表

温湿度計					負イオン計				
品番	メーカー	台数	計測頻度	計測期間	品番	メーカー	台数	計測時間	計測日
RTR-53A	(株)T&D	5	5 min/回	2025/3/5～ 2025/3/12	NT-C101A	アンデス 電気(株)	1	30 sec, 60 sec	2025/3/19

ス内のどの箇所まで届いているかを、負イオン数の計測により確認した。また、加湿性能を評価するため、温湿度も計測した。居室・加湿条件を表－3に、計測条件を表－4に示す。

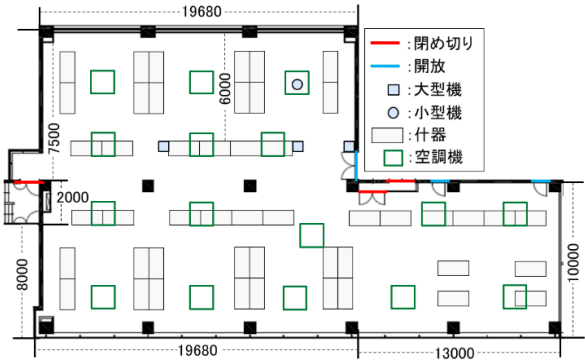
温湿度の計測は2025年3月5日～2025年3月12日の7日間、負イオン数の測定は2025年3月19日に実施した。オフィス内では30人の執務者が勤務しており、28℃に設定された暖房が入っている。空調機による加湿は屋内結露リスクがあるため、未実施とした。空調機は天井設置型の業務用エアコン（FXYFP71MJ、ダイキン工業(株)）をほぼ均等に計16台設置している（図－4）。空調機の稼働時間はAM8時～PM6時、噴霧器の稼働時間はAM8時30分～PM5時とした。負イオンおよび温湿度の計測位置を図－5に示す。負イオンは計測箇所の吹出しを実線で、温湿度は点線で示している。大型機・小型機

の負イオン数計測位置は、純水ナノミスト噴出口から5cm地点とした。他の計測地点は、床から高さ1mの位置で計測した。計測時にはあらかじめ負イオン計を稼働し、各計測地点に機器を設置後、表示値が安定した後に30sec後・60sec後の値を記録した。温湿度の位置は噴霧器近傍と窓際周辺、オフィス端部の計3点とし、5分ごとの値を記録した。

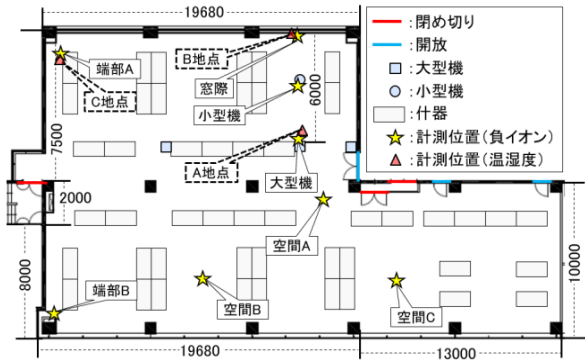
2.3 試験結果

2.3.1 チャンバー試験

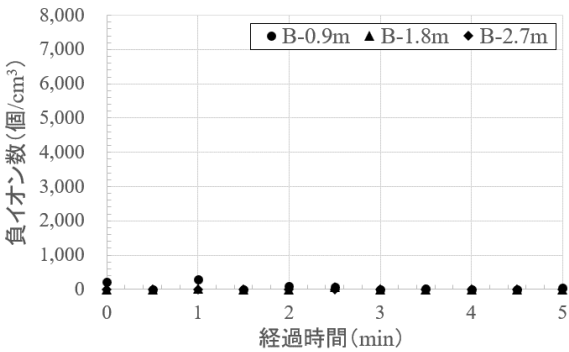
純水ナノミスト噴霧を行わなかったNo.1～3の結果を図－6に示す。また、純水ナノミスト噴霧を行ったNo.4～6の結果を図－7に示す。純水ナノミスト噴霧を行わない場合、振動などによる誤検知を除き、負イオン数の検出は見られなかった。純水ナノミスト噴霧を



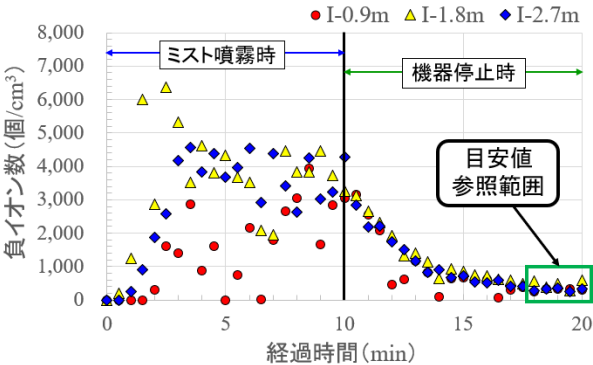
図－4 オフィス内 空調機設置箇所



図－5 オフィス内 計測位置（負イオン・温湿度）



図－6 負イオン数計測結果（No.1～3）



図－7 負イオン数計測結果（No.4～6）

行った場合、全てのケースで検出が見られたが、I-0.9mとI-1.8mでは純水ナノミスト噴霧時の負イオン数の変動が大きく、I-2.7mでは変動が小さくなる傾向が見られた。この理由として、噴霧器を始点とした場合、I-0.9mとI-1.8mではファンの設置位置が計測地点よりも後方にあるため、チャンバー後方から負イオン計周辺に気流が移動し、計測機が空気を吸引する際に周辺の流れ場による影響を受けたものと思われる。純水ナノミスト噴霧終了後は、どのケースでも比較的変動が少ない状態のまま漸減し、試験開始から18分後以降は概ね300(個/cm³)前後の値で安定する傾向が見られた。試験中のファン稼働により、噴霧終了から10分経過後においてチャンバー内の負イオン濃度は概ね均一化したと仮定し、本試験における純水ナノミスト拡散の目安値を300(個/cm³)とした。

2.3.2 オフィス内実証試験

オフィス内で噴霧器を4時間稼働した後の負イオン数計測結果を図-8に示す。噴霧器の噴出口から5cm離れた地点における負イオン数は、大型機で4,000～6,500(個/cm³)、小型機で18.6万～26.4万(個/cm³)となり、小型機は大型機と比べて28～67倍となる結果が得られた。この理由として、加湿量の違いや超音波振動子に用いられるセパレーターの性能差、純水の清浄度、噴霧器に用いられる素材の違いなど、複合的な要因が影響している可能性がある。

他の計測位置について、2.3.1で得られた目安値を基にミストの拡散状況を評価したところ、大型機から6m離れた窓際以外にも、端部Aや空間Aに純水ナノミストが届いていることを確認した。また、目安値には達しないものの、大型機から10m以上離れた端部Bでも、端部Aとほぼ同等の負イオン数が観測された。空間Bおよび空間Cでは端部に比べて負イオン数が低下した。本試験では、噴霧器の設置位置がオフィスの一角に集中しているため、噴霧器近くの窓際ではミストが高濃度となり、負イオン数が大きくな

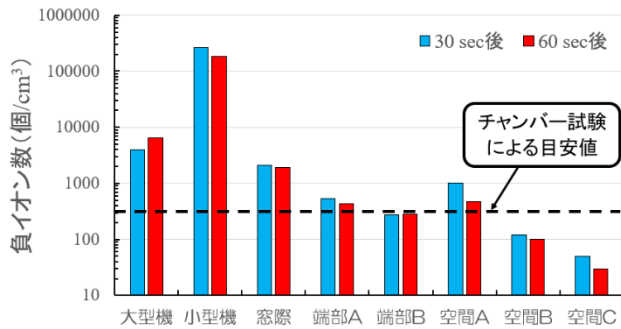


図-8 オフィス内 負イオン数計測結果

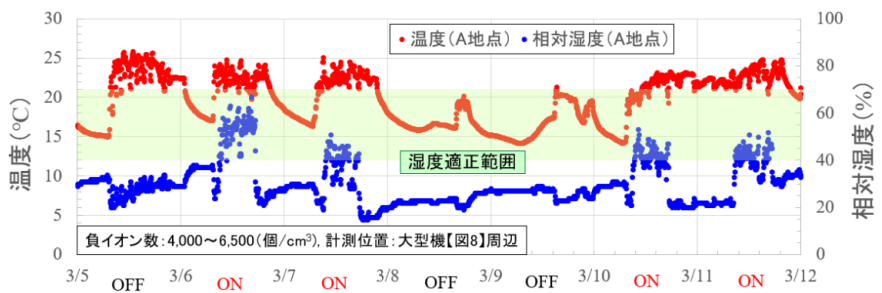


図-9 オフィス内 温湿度計測結果 (A 地点)

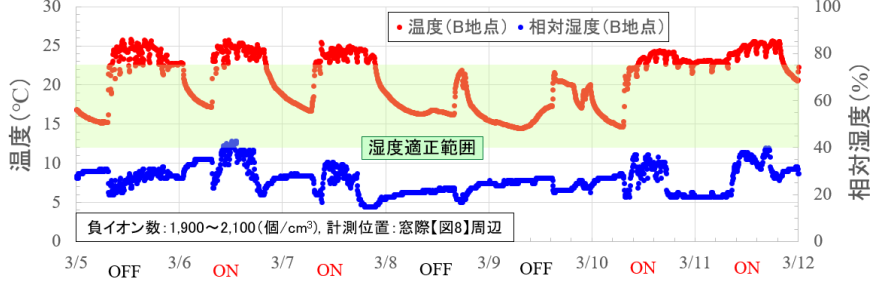


図-10 オフィス内 温湿度計測結果 (B 地点)

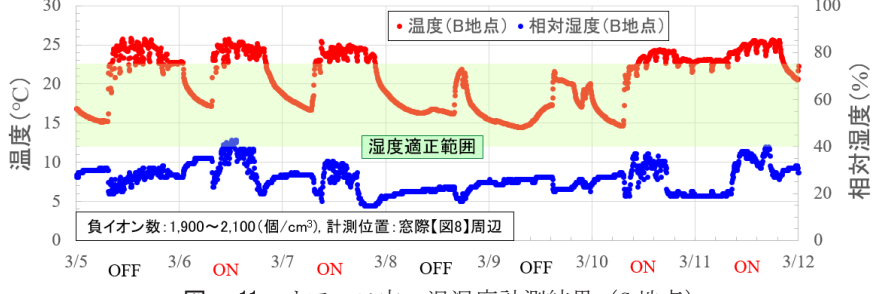


図-11 オフィス内 温湿度計測結果 (C 地点)

ると考えられる。

端部に負イオンが見られる理由として、空調機により発生した風が壁面に衝突することで形成される流れ場と、大型機・小型機から発生したミストが混合し、ミスト中の負イオンが壁沿いに移動する壁面周辺の空気の流れに乗ることで、端部に移動した可能性がある。空間Bと空間Cの負イオン数低下については、噴霧器の設置条

表-5 アロマディフューザー 仕様一覧

原理	粒径	流量	タンク容量	稼働必要量	サイズ
ベンチュリー効果	0.1～0.5 μm	0.72 ml/hour	150 ml	15 ml	幅140×奥行140×高さ150 (mm)

件を変更するなど比較検討を行い、調査を進める。

オフィス内の2025年3月5日～2025年3月12日までの温湿度計測結果を図-9(A地点), 図-10(B地点), 図-11(C地点)に示す。これらの計測位置は、いずれも負イオン数が目安値に到達した箇所周辺である。グラフ下のON/OFF表記は、その日に噴霧器を稼働したか否かを示している。また、湿度の適正範囲は厚生労働省の基準を参照し、40～70%と設定した。

どの計測点でも、噴霧器を稼働しない場合の相対湿度は20～35%に留まった。A地点では、噴霧器を稼働しているAM8時半～PM5時の時間帯において、概ね湿度の適正範囲に入った。噴霧器周辺でも相対湿度が100%に到達しないため、周辺への結露リスクは小さいと思われる。空調機を稼働してから純水ナノミストを噴霧することで、AM8:00～9:00における相対湿度が、B地点では16～20%, C地点では10～16%上昇した。空調機稼働直後の相対湿度が25%前後となる2025年3月6日には、大型機から6m以上離れたB地点でも湿度の適正範囲に到達する結果が得られた。これらの結果から、負イオン数が目安値に到達した箇所では、相対湿度として10%以上の加湿効果が得られると考えられる。

3. ブレンドオイルによる浮遊ウイルス除去効果

3.1 試験方法

本試験では、芳香散布用のサブミクロンスケールのミストを発生させる噴霧器（以下、アロマディフューザー）を用いた。仕様一覧を表-5に示す。使用したブレンドオイルは、感染症抑制に有効と考えられるアルコール類・アルデヒド類・フェノール類のいずれかを12.1～16.2%有する4種類の精油で構成されている。図-12に精油成分の分類と成分割合⁵⁾を示す。各ブレンドオイルについて、噴霧時間を1minと3minの2ケースに分けて、浮遊ウイルス除去効果（JEM1467【日本電機工業会規格】に基づき、減少率99%以上を基準とする）を評価した。試験ケース一覧を表-6に示す。

3.2 測定方法

試験工程を表-7に示す。試験開始時におけるウイルス検液の散布およびサンプリング後のウイルス量の評価は、既報⁶⁾に準拠して実施した。分析の対象となるウイ

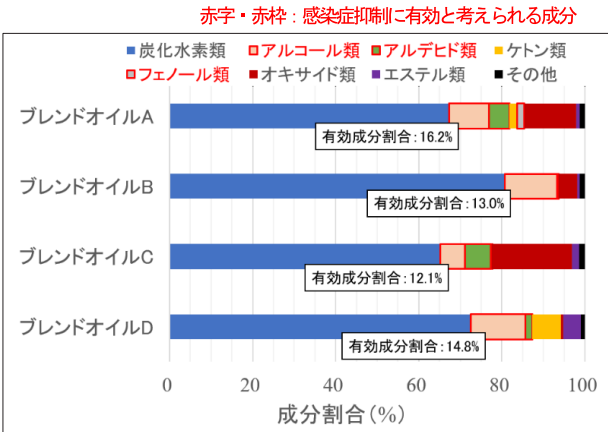


図-12 精油成分の分類と成分割合

表-6 試験ケース一覧

No.	ケース名	ブレンドオイル種類	使用噴霧機器	流量 (ml/min)	噴霧時間	計測時間 (min)	評価対象
1	A-1m	A	アロマディフューザー	0.012	1 min	120	浮遊ウイルス除去効果
2	B-1m	B					
3	C-1m	C					
4	D-1m	D					
5	A-3m	A			3 min		
6	B-3m	B					
7	C-3m	C					
8	D-3m	D					

表-7 試験工程表

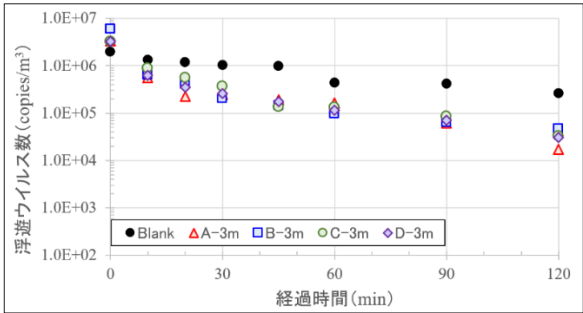
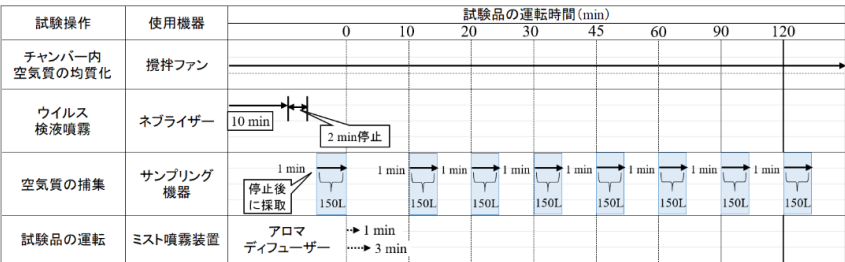


図-13 浮遊ウイルス数 (ブレンドオイル, 1分噴霧)

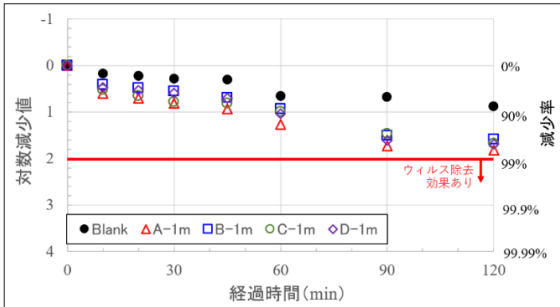


図-14 対数減少値と減少率 (図-13から)

ルスを浮遊させた空気質をサンプリングし、ウイルス DNA を抽出した後、定量 PCR 法を用いて浮遊ウイルス量を定量分析した。

3.3 測定結果

3.3.1 1min 噴霧時の効果

図-13に1min噴霧時の浮遊ウイルス数の経時変化を、図-14に浮遊ウイルス数に基づいた対数減少値と減少率を示す。ブレンドオイル噴霧時の120min経過後における減少率は97.4～98.5%となり、Blank時の86.7%と比較して10%以上低下したが、除去効果は得られなかった。その中でも、ブレンドオイルAの減少率が最も高かった。この理由として、ブレンドオイルAはアルコール類・アルデヒド類など、感染症抑制に有効とされる成分の総和値が、本試験で用いたブレンドオイルの中で最も高いことが考えられる。

3.3.2 3min 噴霧時の効果

図-15に3min噴霧時の浮遊ウイルス数の経時変化を、図-16に浮遊ウイルス数に基づいた対数減少値と減少率を示す。ブレンドオイル噴霧時の120min経過後における減少率は98.9～99.5%となり、ブレンドオイルA・B・Dにおいて浮遊ウイルス除去効果を確認した。一方、ブレンドオイルCでは除去効果が見られなかった。この理由として、感染症抑制に有効とされる成分の割合が12.1%と、今回試験を行ったブレンドオイルの中で最も小さいことが考えられる。

3.3.3 適用床面積の試算

本試験におけるチャンバーの気積⁶⁾は13.1m³である。仮に1回換気の条件下で、空間噴霧による芳香の供給量と換気による減少量が一致するまで空間噴霧を継続したと仮定する。試験の噴霧条件に基づき、ブレンドオイルA・B・Dのいずれかを常時噴霧した場合、チャンバー気積の20倍に相当する262m³に対して浮遊ウイルス除去効果が得られると考えられる。居室の天井高さを2.4mとした場合、約110m²の床面積にアロマディフューザーを1台設置・稼働することで、居室内のクラスターを抑制できる可能性がある。導出の流れを図-17に示す。

4. まとめ

純水ナノミストによる浮遊ウイルス除去効果が居室全体に適用されるかを確認するため、既報の成果²⁾に基づ

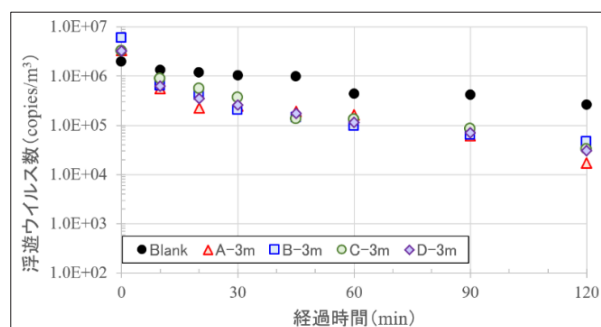


図-15 浮遊ウイルス数（ブレンドオイル、3分噴霧）

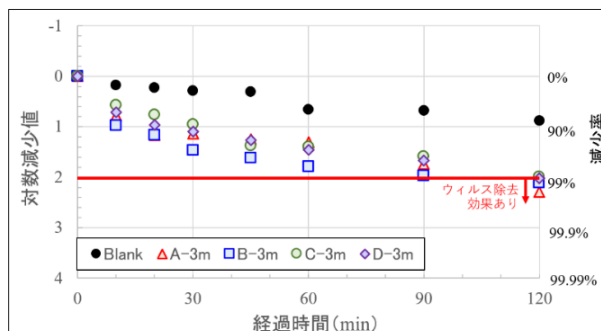


図-16 対数減少値と減少率（図-15から）

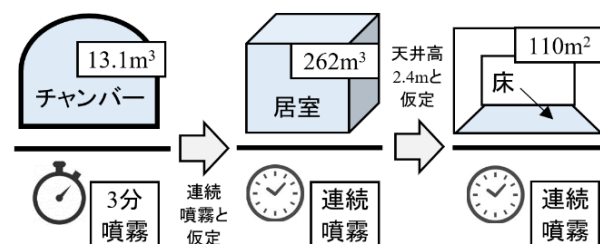


図-17 適用床面積導出の流れ

き必要な負イオン数の目安値を求め、オフィス内で負イオン数・温湿度を計測した。その結果、以下のことが判った。

- ・チャンパー試験で、浮遊ウイルス除去効果が表れるまで純水ナノミストを噴霧した後、停止してから8～10分経過した際に、負イオン数は概ね300（個/cm³）前後の値で安定した。
- ・負イオン数の目安値を300（個/cm³）とし、オフィス内で純水ナノミストを4時間噴霧したところ、居室の端部にも拡散した。また、目安値以上の負イオンが検出される箇所では、相対湿度が10～20%増加した。

また、単一種の植物による精油に比べて、多くの人に好まれるブレンドオイルを用いて浮遊ウイルス除去効果を確認した結果、以下のことが判った。

- ・チャンパー試験で、サブミクロンスケールのミストが発生するアロマディフューザーを用いてブレンドオイルを3min噴霧したところ、4種のうち3種で浮

遊ウイルス除去効果を確認した。

以上から、純水ナノミストによる居室全体への拡散効果とブレンドオイルによる浮遊ウイルス除去効果が明らかとなり、本技術の実空間への適用性が高まった。今後は、純水ナノミスト噴霧器について運用条件の違いによる負イオン数の変化を調査し、通年利用の条件を確認する。ブレンドオイルの利用については、より短時間の噴霧により浮遊ウイルスの除去効果が得られ、香りによる快適感も期待できる製品の選定を進めていく。

参 考 文 献

- 1) 青木他：水や芳香成分を用いた空間噴霧の浮遊ウイルスに対する除去性能の評価，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，2023. 9，pp.105-108
- 2) 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，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，2024. 9，pp. 33-36
- 3) 青木他：精油を用いた空間噴霧の浮遊ウイルスに対する除去性能の評価，第36回においかわり環境学会講演要旨集，vol. 36，2023. 8，pp. 40-41
- 4) カトウ光研㈱，気体・液体の流れを可視化 | 流体可視化について事例と合わせて解説，
<https://www.kk-co.jp/use/kitaiekitai/>
- 5) ㈱フレーバーライフ社：エッセンシャルオイル成分表
- 6) 青木他：ビニルチャンバーによる浮遊ウイルス除去性能評価装置の開発，2023 年度日本建築学会大会梗概集，2023. 9

Development of air quality control technology to control infectious diseases (vol.3)

- Evaluation of the diffusion effect of pure water nano-mist and the floating virus removal effect with blended essential oil nano-mist -

Takahiro AOKI, Takamichi NAKAMURA

This study investigated the effectiveness of removing airborne viruses by spraying nano-misted pure water and aromatic water into the air, revealing the potential for cluster suppression. To achieve practical application, it is necessary to demonstrate that nano-mist diffuses uniformly throughout large spaces, such as shared office areas. This study evaluated the diffusion effect of nano-mist using negative small ions generated during pure water nano-mist spraying. Additionally, the removal effect on airborne viruses when spraying a blended oil with an alcohol concentration of 12-16% was confirmed, and the applicable floor area was estimated.
