

「マルチミスト[®]」を用いた加湿・除菌システムの開発と適用

四本 瑞世 緒方 浩基

湯浅 篤哉 木村 剛
(本社営業総本部) (本社設計本部)

Development and Application of Humidification and Decontamination System Using “Multi Mist[®]”

Mizuyo Yotsumoto Hiroki Ogata

Atsuya Yuasa Takeshi Kimura

Abstract

In this study, we develop a humidification and decontamination system using the mist spraying system “Multi Mist,” which can be installed as a building equipment. This paper presents its system overview, installed example in an actual facility, and operation effects. This system is installed in a nursery in a commercial facility and can be used as humidification in the daytime and decontamination in the nighttime. Its operating conditions are determined via contamination tests with a biological indicator in the actual location. The adherent bacteria are investigated 3 years after the operation is started to evaluate the operational effects. Because the decontamination operation is performed regularly, the number of adhered bacteria is low in general. After decontamination, the number of bacteria decreased further, and their decontamination ability is confirmed.

概要

薬剤ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト[®]」を建築設備として導入するにあたり、加湿機能を追加した加湿・除菌システムを開発した。本報では、同システムの概要、実施への導入事例、運用効果について報告する。本システムは、人が在室する時間帯には加湿器として使用し、人が不在の時間帯に薬剤を噴霧して環境表面を除菌する技術であり、商業施設内の保育園に導入した。本システムは、タイマーおよび保育室に設置された湿度センサ連携による噴霧の自動制御が可能である。運転条件は、自作のバイオロジカルインジケータを用いた除菌試験により決定した。現時点で運用から3年が経過しており、現地で除菌前後の付着菌調査を行い、本システムの運用効果を再評価した。当該保育園では、定期的な除菌運転がなされており、除菌前の環境表面の付着細菌数は全体的に少なかった。除菌後には更に菌数が減少しており、薬剤ミスト噴霧による除菌効果を確認した。

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⁾。薬剤は、Fig. 1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、病室モックアップ実験室における除菌検証試験により、薬剤を微細なミストで噴霧することで、ドアノブやベッド手すりだけでなく、ベッド下の床面も除菌できることを確認した²⁾。

さらに、除菌作業を効率的に行うためにキャスター付きの可搬型カートを作製しており、介護老人保健施設や厨房、観光施設トイレ等に適用範囲を広げている³⁾。

薬剤の代わりに水を噴霧すれば、加湿することができる。特に、冬季は、室内が低湿度状態になりやすく、衛生管理やインフルエンザ等感染予防のために、加湿による適切な湿度管理が重要である。

そこで、筆者らは、昼間在室している時間帯に加湿し湿度管理を行うとともに、人の不在時に薬剤を噴霧して除菌する加湿・除菌システムを新たに開発した。商業施設内の保育園に本システムを導入⁴⁾しており、現在、3年

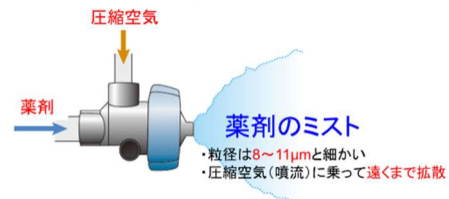


Fig. 1 二流体噴霧ノズル
Atomizing Nozzle

が経過している。

本報では、システムの概要、及び運用効果について、現地付着菌調査の結果も含めて報告する。

2. 加湿・除菌システムの概要

加湿・除菌システムは、噴霧ノズル、制御盤・液タンク、コンプレッサで構成されている。保育園では、保育室2部屋(部屋A：76m²、部屋B：53m²、計129m²)に、ノズル5本(部屋A：3本、部屋B：2本)を設置し、制御盤と液タンクは保育室傍の前室に、コンプレッサは配管シャフト内に設置した。

システム図をFig. 2に、配置図をFig. 3に示すとともに、システムの外観をPhoto 1に示す。

誰でも容易に操作ができるよう制御盤はタッチパネル式とし、噴霧の制御は、タイマーおよび保育室に設置された湿度センサによる自動噴霧制御システムとした。

本システムは、相対湿度の低い冬季には、園児在室時に加湿(水道直結・湿度センサ連動)するとともに、保育園終了後の無人の時間帯に次亜塩素酸水溶液を噴霧し、室内環境表面を除菌することで、冬場の低湿度環境の改善と、人手では拭き漏れが発生しやすい場所まで除菌が可能となる。

特に、加湿においては、本システムを用いた場合、据え置き型の一般的な加湿器に比べて、加湿能力が2～6倍高く、さらに、水道に直結できるため、一般的な加湿器で問題となるタンク内の微生物汚染の心配がなく、衛生的である。

除菌は、噴霧・保持・パージ(液配管に空気のみを供給して配管内の残液を排出)の3工程で実施するとともに、除菌時には、各保育室の入口扉(Fig. 3の扉a, bの2カ所)を閉め、子どもトイレ側の扉(Fig. 3の扉c, dの2カ所)を開け、空調を停止させた状態で噴霧することで、保育室2部屋、および子どもトイレの3カ所全体に薬剤ミストを充満させて除菌する。

3. 現地除菌試験による運転条件の検討

3.1 方法

保育室2部屋および子どもトイレの壁や手すりを除菌するための噴霧時間などの運転条件を検討するため、運用前に、自作のバイオロジカルインジケータ(以下、自作BI)を用いた現地除菌試験を実施した。

BIとは、除菌対象となる微生物の指標菌を利用したもので、除菌処理後のBIを培養し、指標菌の増殖程度によって、除菌の成否を評価するものである。指標菌は、食中毒菌の黄色ブドウ球菌の代替菌として、人の常在菌で病原性が低く、乾燥に強いハンドリングしやすい表皮ブドウ球菌を用いている。自作BIの作成方法及び除菌効果の評価方法は既報¹⁾に示す。

今回、自作BIの菌数は、 $1.4 \times 10^4 \sim 4.9 \times 10^4$ であった。

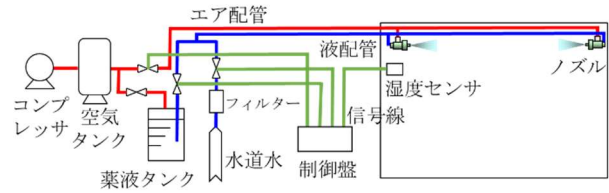


Fig. 2 システム図
System Diagrams of Humidification and Decontamination System

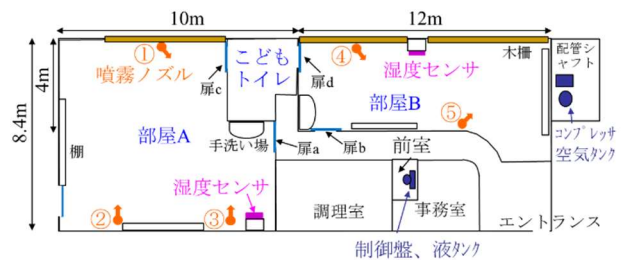


Fig. 3 システムの配置図
Layout of Humidification and Decontamination System



ミスト除菌状況(夜間に実施)

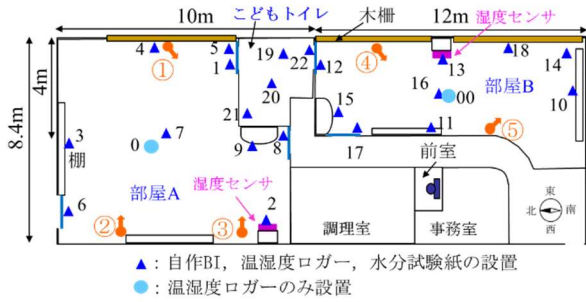


制御盤(タッチパネル) 制御盤・液タンク



コンプレッサ・空気タンク

Photo 1 加湿・除菌システム
Humidification and Decontamination System



No.	場所	詳細	No.	場所	詳細
0	天井	火災感知器傍	00	天井	火災感知器傍
1	壁・南側	こどもトイレ扉面	10	壁・南側	扉付柵面
2	壁・西側	湿度センサ付近	11	壁・西側	柵上
3	壁・北側	扉付柵面中央	12	壁・北側	こどもトイレ扉面
4	壁・東側	窓側の木柵表面	13	壁・東側	湿度センサ付近
5	床・隅南東	こどもトイレ前	14	床・隅南東	柵前
6	床・隅北西	ゲート前	15	床・隅北西	手洗い場前
7	床・中央	中央	16	床・中央	中央
8	入口扉	手が触れる場所	17	入口扉	手が触れる場所
9	手洗い場	手が触れる場所	18	窓側の木柵	手が触れる場所
19	こどもトイレ用扉	手が触れる場所	21	こどもトイレ手すり	手が触れる場所
20	床・中央	中央	22	部屋B側扉	手が触れる場所

Fig. 4 現地除菌試験測定点 Measurement Points

自作BIは、入口扉や壁、木柵など手の触れやすい場所を中心に22カ所に設置するとともに、ボタン型温湿度ロガー(計測間隔:1分)および水滴に触れると不可逆的に発色する水分試験紙も併せて設置し、除菌効果以外に薬剤ミスト噴霧に伴う湿度推移と什器表面の濡れの程度を評価した。温湿度ロガーは、火災感知器近傍の天井部分にも設置(各部屋1カ所ずつ、計2カ所)した。測定場所をFig. 4に示す。

除菌試験は、噴霧停止湿度やミスト粒子径を変化させた条件で行った。試験条件をTable 1に示す。

なお、ミスト粒子径を変更した実験(条件4および5)は、部屋Bのみで行い、ミスト粒子径9μmのノズルを標準とし、それよりも小さい8μmのノズルをFig. 4の④の場所に設置した。部屋Bの火災感知器(煙)がノズル④の噴霧先にあり、ミスト粒子径の違いによる除菌効果と火災検知器への影響を評価するためである。その際、粒子径が小さくなるほど、時間当たりの噴霧流量が少なくなるため、その影響を考慮し、ノズル④の設置本数を1本(南西方向)から2本(南西方向、北西方向の2方向)に増やした(Fig. 5)。

噴霧薬剤は、有効塩素(Free Available chlorine; FAC)濃度が120mg/Lの弱酸性の次亜塩素酸水溶液を使用した。

薬剤ミスト噴霧停止後、7分の保持、15分のバージ運転を行い、配管内の薬液を排出後、30分経過後に自作BIを回収し、除菌後の生存菌数を計測した。

3.2 実験結果

3.2.1 噴霧停止湿度の影響(条件1~3) 試験結果をTable 2に示す。これより、条件1および条件3では、測定した22カ所すべてで除菌効果(BIの菌減少率99%以上)が認められた。条件1では床中央(No. 7, 16)で軽度な濡れが確認されたが、その他の場所では確認されなかった。

条件1よりも噴霧停止湿度を上げ、噴霧流量を増やした条件3では、床面の4カ所で軽度な濡れが確認された。

一方、噴霧停止湿度を条件1よりも低く設定した条件2では、22カ所中19カ所で除菌効果が認められたが、3カ所で除菌効果が認められなかった。

Table 1 試験条件 Test Conditions

No.	条件	実験した部屋	使用するノズルの種類	ノズル本数(本)		噴霧停止湿度	初期湿度	噴霧流量
				部屋A	部屋B			
1	標準(噴霧停止湿度78%RH)	部屋A、B、子どもトイレの3カ所	ミスト粒子径9μmのノズルのみ	3	2	78%RH付近	51	3.0
2	1の低減(噴霧停止湿度75%RH)					75%RH付近	37	3.8
3	1の上昇(噴霧停止湿度80%RH)					80%RH付近	52	3.1
4	ミスト粒子径の変更	部屋Bのみ	④のノズルをミスト粒子径8μmに変更	-	3(④に2本)	78%RH付近	46	1.1
5	ミスト粒子径の変更+上昇(噴霧停止湿度80%RH)					80%RH付近	48	1.3

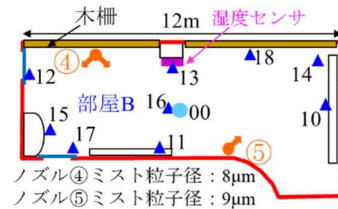


Fig. 5 条件4および5におけるノズル向き Nozzle Direction of Condition 4 and 5

Table 2 除菌試験結果 Results of Decontamination Test

No.	条件	除菌効果(BI結果)		水分試験紙の反応
		除菌効果(BIの菌減少率99%以上)が認められた箇所	除菌できなかった場所	
1	標準(噴霧停止湿度78%RH)	22カ所/22カ所	なし	7,16の2カ所で軽度の濡れ
2	1の低減(噴霧停止湿度75%RH)	19カ所/22カ所	3,6,17の3カ所	5,7の2カ所で軽度の濡れ
3	1の上昇(噴霧停止湿度80%RH)	22カ所/22カ所	なし	5,7,14,16の4カ所で軽度の濡れ
4	ミスト粒子径の変更	2カ所/9カ所	10,14以外の場所	濡れなし
5	ミスト粒子径の変更+上昇(噴霧停止湿度80%RH)	6カ所/9カ所	11,12,17の3カ所	濡れなし

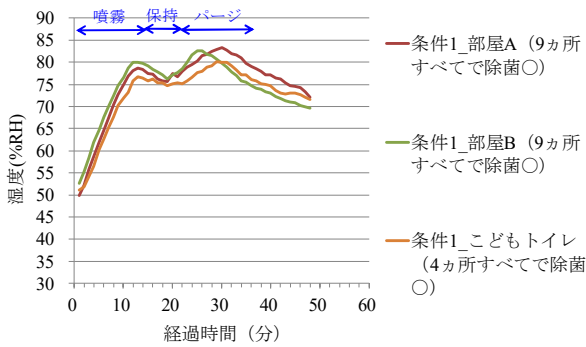


Fig. 6 条件1における湿度推移
Changes of Relative Humidity of Condition 1

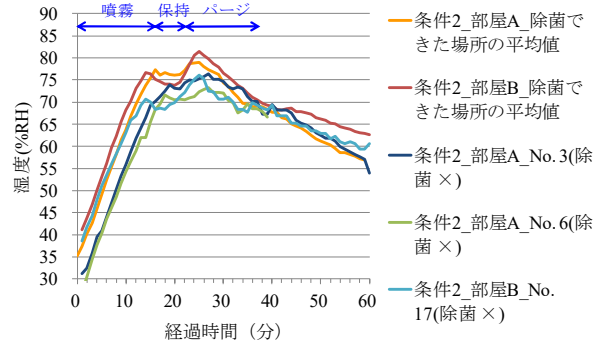


Fig. 7 条件2における湿度推移
Changes of Relative Humidity of Condition 2

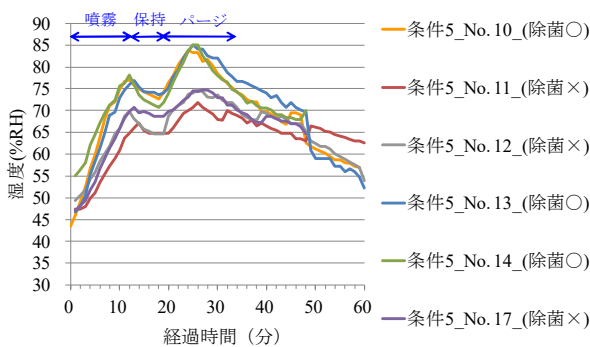


Fig. 8 条件5における湿度推移
Changes of Relative Humidity of Condition 5

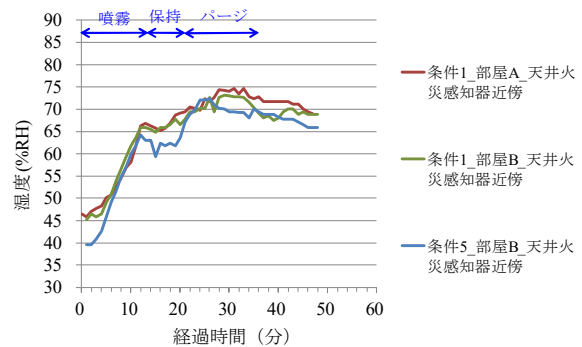


Fig. 9 天井火災感知器傍の湿度推移
Changes of Relative Humidity of Ceiling near the fire detector

次に、ミスト除菌に伴う湿度推移について、条件1の結果(平均値)をFig. 6に示す。これより、噴霧に伴い相対湿度は上昇し、保持工程でいったん下がるが、パージ工程で配管に残留した薬液が排出されて再び上昇し、噴霧直後からパージ工程まで75～83%RHで推移した。3部屋(部屋A, B, こどもトイレ)すべてで同じ傾向を示した。

一方、3カ所で除菌効果が認められなかった条件2のミスト除菌に伴う湿度推移の結果をFig. 7に示す。

これより、除菌できなかった場所(No. 3, 6, 17)の湿度推移は除菌できた場所の湿度推移(平均値)よりも低かったことから、表面除菌できるだけの薬剤ミストが到達しなかったと考えられた。

なお、薬剤噴霧量は、Table 1より、初期湿度が一番低い条件2が一番多かったことから、除菌効果は、薬剤の噴霧量よりも、薬剤ミスト噴霧により除菌に適した相対湿度にまで上昇させることが重要であることが確認された。

3.2.2 ミスト粒子径の影響(条件1, 4, 5) Table 2より、条件4(噴霧停止湿度は条件1と同じ、場所④)のノズルのミスト粒子径を9 μ mから8 μ mに変更では、測定した9カ所のうち除菌できたのは2カ所(No. 10, 14)であり、それ以外の7カ所で除菌できなかった。ノズルは同じで、噴霧停止湿度を上げ、噴霧液量を増やした条件5では、除菌できた場所は6カ所に増えたが、3カ所で除菌できなかった。

条件5におけるミスト除菌に伴う湿度推移の結果をFig. 8に示す。これより、除菌できなかった場所(No. 11, 12, 17)の湿度推移は、除菌できた場所よりも明らかに低い傾向を示した。除菌できたNo. 10と14の場所は、Fig. 4より、ミスト粒子径が標準のノズル⑤のミスト方向にあったことから、ミスト粒子径が8 μ mのノズルでは除菌に適した湿度を維持することができなかったと考えられた。ミスト粒子径が8 μ mのノズルは、ミスト粒子径9 μ mのノズルよりも時間当たりの噴霧液量が少なく、ミストの届く距離も短いことが影響したと考えられた。

3.2.3 ミスト噴霧による天井火災感知器への影響

Fig. 9に、条件1および条件5における天井火災感知器傍のミスト噴霧による湿度推移を示す。

これより、ミスト噴霧により相対湿度は75%RH付近まで上昇したが、感知器が誤発報を起こすことはなかった。部屋Bの条件1と条件5の湿度推移を比較した際、大きな差はなく、天井付近の湿度上昇にミスト粒子径はほとんど影響しないことがわかった。

ノズルの向きは水平～やや下方に設置しているが、このような状況で運用すれば、感知器への影響はないことが確認できた。今回、本システムは追加工事であったため、「煙」感知器が既に設置された部屋での導入であっ

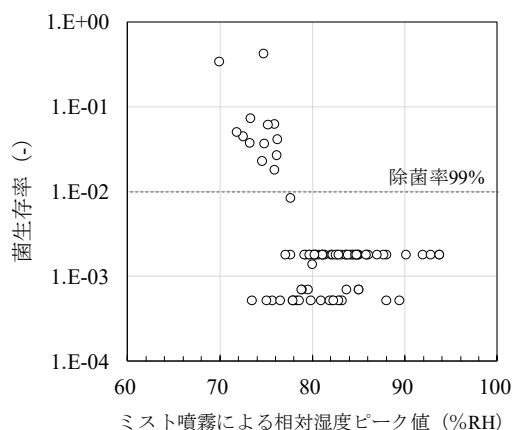


Fig. 10 相対湿度ピーク値と自作BIの菌生存率の関係

Relation between Bacterial survival rate and Relative Humidity

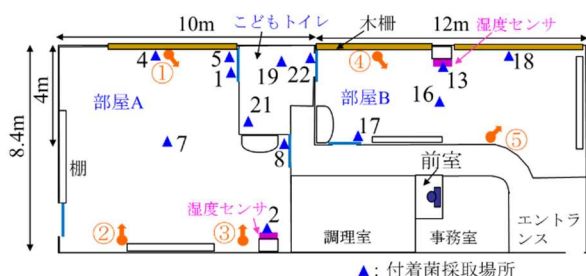


Fig. 11 付着菌採取場所

Investigated Points of Adherent Bacteria

たが、事前に調整(消防協議)ができれば、「熱」感知器を適用するのが望ましいと考えられる。

3.3 現地試験結果のまとめ

今回の試験結果より、環境表面を除菌するための運転条件として、条件1が望ましいことを実証試験により確認した。

各測定場所における薬剤ミスト噴霧による相対湿度ピーク値と自作BIの生存率の関係図をFig. 10に示す。

これより、相対湿度ピーク値が高くなるほど菌生存率は低くなっていること、筆者らが噴霧量の目安としている相対湿度80%RH以上では、99%以上の除菌効果を示している¹⁾ことを現地試験で確認することができた。

4. 現地付着菌調査による運用効果の評価

4.1 方法

現時点で運用開始から3年が経過しており、今回、現地で付着菌調査を行い、本システムの運用効果の評価した。調査は、2020年2月4日夜間に実施した。保育園では、1月27日～2月3日まで毎日、想定した運用方法に則った除菌運転を実施していた。



部屋A



部屋B

Photo 2 ミスト除菌状況

Decontamination Situation by Multi Mist

噴霧薬剤は、市販されている弱酸性の次亜塩素酸水溶液(FAC濃度200mg/L)をFAC濃度が120mg/L相当になるように水道水で希釈(薬剤:水道水=3:2)したものを使用している。除菌効果はミスト除菌前後の付着細菌数の変化より評価した。付着細菌数の測定は、表面10cm×10cmの面積に付着している細菌を滅菌綿棒でふき取って回収し、リン酸緩衝液で懸濁させ、ソイビーン・カゼイン・ダイジェスト(SCD)寒天培地に塗布後、32℃2日間培養し発育したコロニー数(Colony Forming Unit: cfuで表示)を計測することで評価した。

付着菌の採取は、運用前の除菌試験で調査した場所より13カ所を選んで実施した。採取場所をFig. 11に示す。一部の場所では温湿度データロガーも併せて設置し、薬剤ミスト噴霧により除菌に適した相対湿度まで上昇しているかを確認した。

各部屋の薬剤ミスト噴霧による除菌状況をPhoto 2に示す。

4.2 結果

Fig. 12に調査日(2月4日)の除菌作業実施前後の付着細菌数の結果を示す。これより、除菌前は検出下限値未満

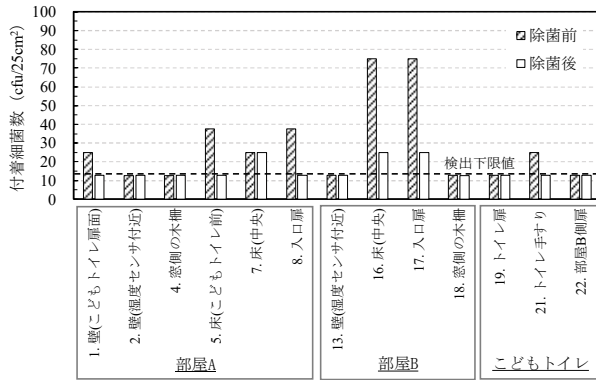


Fig. 12 付着細菌数の結果
Result of the Number of Adhered Bacteria

(13cfu/25cm²)の場所が4カ所、それ以外の場所では、13~75cfu/25cm²と、全体的に少ないことが確認された。

本保育園では、定期的な除菌を実施していたことから、環境表面の付着細菌数は低濃度に維持されていたと考えられた。ミスト除菌後には、さらに25cfu/25cm²~検出下限値未満にまで減少し、薬剤ミスト噴霧による除菌効果が確認された。

部屋Aおよび部屋Bにおけるミスト除菌に伴う湿度推移をFig. 13に示す。これより、ミスト噴霧に伴い室内相対湿度の平均値は、80~86%RHまで上昇していることを確認した。運用前に実施した除菌試験では、バージ運転の際、残液排出による湿度の上昇が認められたが、今回は認められなかった。部屋Aを除菌後に部屋Bを除菌したため、配管内の残液量が少なかったことが影響したと考えられた。

5. まとめ

薬剤ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト」に加湿機能を追加した加湿・除菌システムを開発した。本報では、システムの概要、実施への導入事例、運用効果について報告した。以下に結果を示す。

- 1) 加湿・除菌システムは、在室する時間帯に加湿し、夜間不在時に薬剤を噴霧して環境表面を除菌する技術であり、商業施設内の保育園に導入した。
- 2) 導入したシステムは、5本の噴霧ノズルで130m²の保育室を加湿・除菌する。保育室に設置された湿度センサによる自動噴霧システムであり、容易に操作ができるよう制御盤はタッチパネル式とした。本システムは、人手では拭き漏れが発生ししやすい場所まで短時間で手間なく除菌でき、冬場の低湿度環境の改善にも有効である。
- 3) 噴霧時間などの運転条件は、運用前に自作BIを用

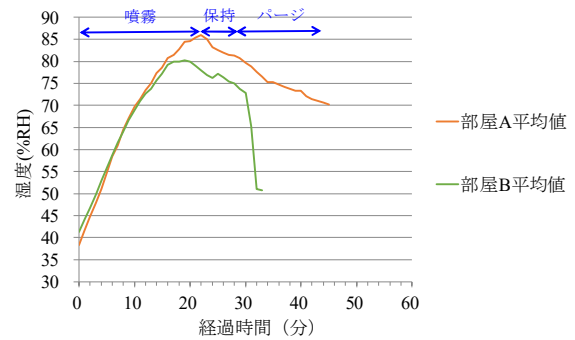


Fig. 13 ミスト除菌に伴う湿度推移
Changes of Relative Humidity by Mist Spraying

いた除菌試験により決定した。ミスト粒子径および噴霧量を相対湿度により制御することで、自作BIの除菌効果により22カ所すべてで99%以上の除菌効果を確認した。

- 4) 実運用による除菌効果について、現地で付着菌調査を行い確認した。保育園では、定期的な除菌運転を行っていたため、環境表面の付着細菌数は、検出下限値未満~75cfu/25cm²と、全体的に少なかった。ミスト除菌後には、さらに、25cfu/25cm²~検出下限値未満にまで減少し、薬剤ミスト噴霧による除菌効果を確認した。

感染症対策等の観点から、環境表面の除菌ニーズは高まっている。マルチミストは、手作業では拭ききれない細部まで短時間で効率的に除菌できる技術であり、今後、教育施設などへの普及に向けて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: 二流体噴霧ノズルを用いた除菌技術の開発(第8報), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2018