

技 術 論 文

殺菌建材と空気浄化装置による高度バイオクリーン室の実証評価 Demonstration of High Effectiveness Bio-Clean Room by Photocatalyst Antibacterial Building Materials and Air Purification Equipment



技術開発センター
事業化開発室
係長 樋口 友彦
Tomohiko Higuchi

技術開発センター
光触媒技術開発
リーダー 原賀 久人
Hisato Haraga

技術開発センター
事業化開発室
室長 吉永 宏
Hiroshi Yoshinaga

技術開発センター
事業化開発室 主任
博士(工学) 裴 銀榮
Eunyoung Bae

技術開発センター
事業化開発室
山本 清司
Kiyoshi Yamamoto

要 旨

弊社は高い殺菌性能をもった光触媒成膜技術を溶射法により開発した。現在、その技術を応用し、床・壁・天井3次元空間に光触媒抗菌建材と光触媒空気浄化装置を設置したバイオクリーン室での実証試験を行っている。本報では、バイオクリーン室のプレ試験として行った、25m³空間での空気浄化装置によるガス、浮遊細菌、浮遊カビの除去試験に関して有効性が確認できた。また、実フィールド空間にて行った、空気浄化装置による浮遊細菌の除去効果及び殺菌床材と空気浄化装置を組み合わせた浮遊菌、付着菌の除去効果についての検証結果について報告する。

Synopsis:

FUJICO has successfully developed the photocatalyst coatings technology with the high sterilizing performance by thermal spraying method. Using this technology, we have carried out demonstration of the bio-clean room, which is installed with photocatalyst air purification equipment and photocatalyst antibacterial building materials in 3D space of floor, wall and ceiling. In this paper, it is reported that the photocatalyst air purification equipment can effectively remove VOC gas, floating bacteria and floating mold in the 25m³ bio-clean room. In addition, we have investigated the removal effect of floating bacteria by the combination of antibacterial flooring and air purification equipment in field study.

1. 緒言

現在の高度バイオクリーン室は、一方向層流方式及び HEPA フィルタによる粒子捕集能力に頼っている。その為、高額な設備投資と高頻度のフィルタ交換等が普及を妨げている。弊社は H13 年度から産学官連携研究開発事業により、溶射法による殺菌消臭光触媒成膜技術の開発に着手し、基盤を固めてきた^{1)~6)}。また、近年の経済産業省の支援により短時間で殺菌及びウイルスを不活化出来る高性能の殺菌建材と空気除菌消臭装置を開発した。さらに、その技術を発展させ、Fig. 1 に示した3次元空間に殺菌建材及び空気除菌消臭装置を最適な位置に配

置し、装置での空気除菌及び乱流効果でバイオエアロゾルを殺菌建材表面に輸送し付着させ殺菌する相乗効果を狙った新しい空間システムを現在開発している。その目的は、大幅な設備投資無しで、既存設備を容易に改修でき、安価で安全な、省エネルギー型高度バイオクリーン室を幅広く普及させることである。

バイオクリーン室の開発に向けた事前試験として、25 m³の空間で空気浄化装置によるアセトンガスの除去試験及び黄色ブドウ球菌とアオカビのバイオエアロゾル除去試験を行った。

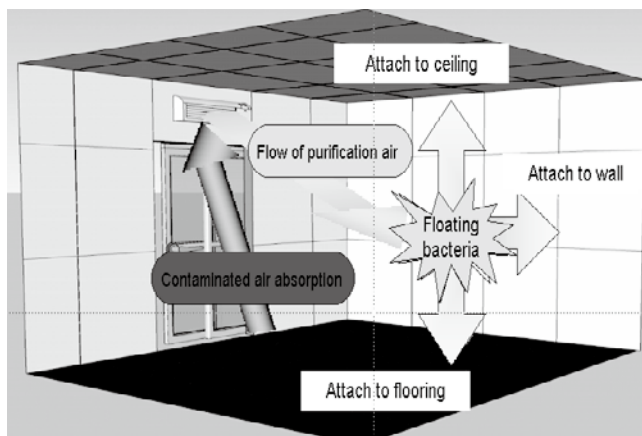


Fig.1 Schematic diagram showing the bio-clean room simulation

また、北九州市内の小学校では、空気浄化装置を用いた実フィールドでの浮遊細菌除去効果検証と、病院のリネン室で行った殺菌床タイル・空気浄化装置を用いた場合の浮遊細菌及び、付着菌調査を行った。

2. 25m³空間におけるガス除去能力評価

2.1 空気浄化装置のアセトンガス除去能力評価方法

ガス除去能力評価には Fig.2 に示した弊社が製造・販売を行っている空気浄化装置 MaSSC クリーン・MC-Pを用いた。評価試験方法の概念図を Fig.3 に示す。



Size	W×D×H = 420×210×550mm
Electricity consumption	130W (UV lamps 75W)
Air volume	5m ³ /min (Max air volume)

Fig.2 Air purification equipment (MC-P) specifications

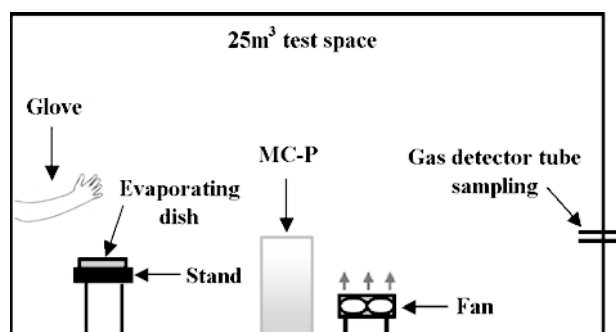


Fig.3 Schematic diagram of the experimental setup for decomposition of VOC gas by air purification equipment

空気浄化装置 MC-P は、あらかじめ試験前に清浄空气中で 12 時間空運転させる前処理を行い、試験に用いた。対象ガスはアセトンを使用し、蒸発皿上に 15 ml 滴下し、約 300 ppm になるようにアセトンガス濃度を調整した。アセトンガス濃度は 25 m³ 空間に設けたサンプリング口より、検知管にて測定を行った。MC-P は風量 5 m³/min に設定して試験を行った。

2.2 アセトンガス除去試験結果

MC-P の 25 m³ 空間におけるアセトンガス除去試験結果を Fig.4 に示す。

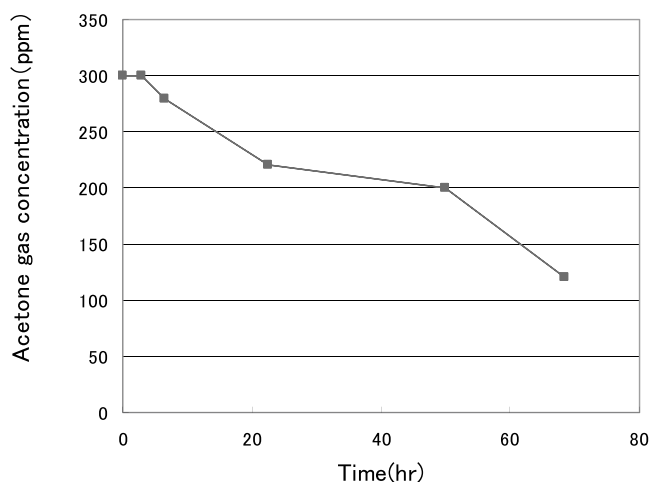


Fig.4 Acetone gas degradation in the presence of air purification equipment

アセトンガス除去試験の結果、経時変化によってアセトン濃度の減少が認められた。初期濃度より約 3 分の 1 にガス濃度が減少しており、25 m³ という、実フィールドに近いボリュームのガス除去においても VOC ガスの軽減が可能であることが分かった。

3. 25m³空間における浮遊細菌の除去能力評価

3.1 浮遊細菌の除去能力評価方法

Fig.5 に示すように 25 m³ の試験空間内に試作空気浄化装置を設置し、空間内に菌懸濁液を噴霧、浮遊させた。初期(ゼロ分)の浮遊菌をインピンジャーで捕集後、装置の稼働を開始した。その後、経時的に空間内の浮遊菌を捕集し、菌数を測定した。また、試験対照として、装置を稼働させない条件(自然減衰)で同様に試験を行った。

試験には *Staphylococcus aureus* NBRC 12732(黄色ブドウ球菌)を用いた。冷凍保存した菌株を培養し、さらにトリプトソイ寒天培地で 35 °C、24 時間培養した。

発育した集落をかき取り、滅菌水に懸濁し、約 10^9 CFU/ml に調整した。

菌液の噴霧は懸濁液を入れたネブライザーから空間内へ 0.2 ml/min で 15 分間噴霧して浮遊させた。

浮遊菌の捕集はチオ硫酸ナトリウム溶液 20 ml を入れたインピンジャーを用いた。5 l/min で 2 分間、空間内の空気を吸引し浮遊菌を捕集した。浮遊菌のサンプルリングは 0、30、60、90、120 分後で行った。

菌数カウントは、捕集液を 10 倍段階希釈列とし、原液および希釈液を 1 ml 取り、トリプトソイ寒天培地との混釈平板にした。残液はメンブランフィルタでろ過し、トリプトソイ寒天培地表面に貼り付けた。これらの培地を 35°C で 48 時間培養後、培地上に発生したコロニーを数え、空気 10 l あたりの浮遊菌数を求めた。



Fig.5 Prototype of air purification equipment (Max air volume 6m³/min)

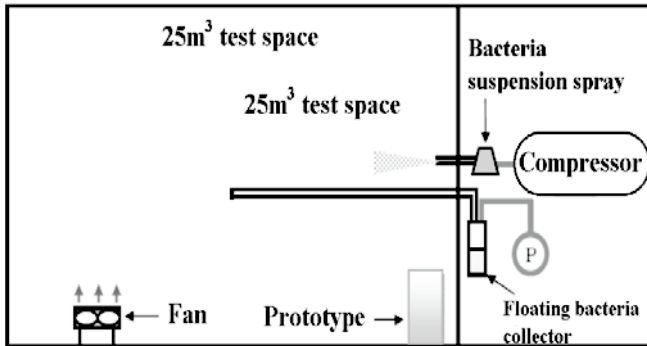


Fig.6 Schematic diagram of the experimental setup for removal of floating bacteria by air purification equipment

3.2 浮遊細菌の除去試験結果

Table1 及び Fig.7 に空気浄化装置の浮遊細菌に対する除去試験結果を示す。

Table1 Comparison of removal effect of floating bacteria on reference and air purification equipment

Test conditions	Time (min)				
	0	30	60	90	120
Natural damping(reference)	430,000	360,000	220,000	230,000	210,000
Air purification equipment	220,000	24,000	7,000	160	160

(Unit : CFU/10L-air)

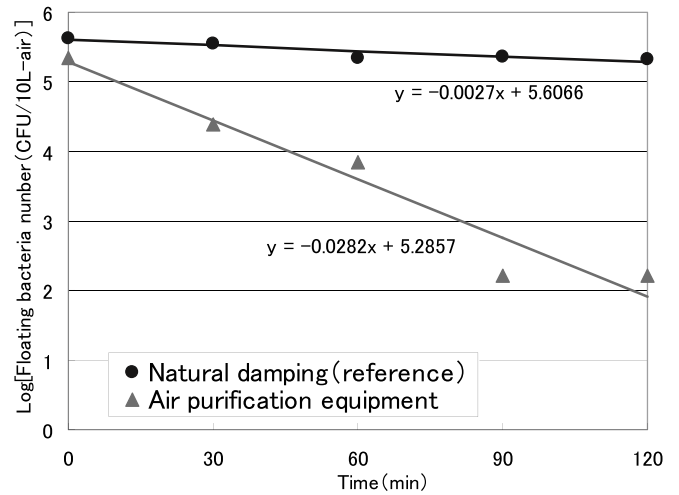


Fig.7 Removal effect of floating bacteria in the presence of air purification equipment

Fig.7 に示した浮遊菌数に関する近似式の傾きは自然減衰が-0.0027、空気浄化装置が-0.0282であった。

初期からの浮遊菌数減少は 120 分で自然減衰が 52 % 減少、(0.32 桁減)空気浄化装置が 99.95 % 減少(3.38 桁減)であった。対照である自然減衰を基準として、空気浄化装置による菌数の減少率を比較すると、空気浄化装置は 120 分間の稼働で 99.91 % 減少(3.06 桁減)した。(社)日本電機工業会が独自に制定している「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」では、対数減少値が 2.0 以上のとき、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する、となっている⁷⁾。

浮遊ウイルスと浮遊菌では粒子サイズがかなり異なるが、本試験においては 3.06 の対数減少値が見られ、有効性があると考えられる。

4. 25 m³ 空間における浮遊カビの除去能力評価

4.1 浮遊カビの除去能力評価方法

浮遊細菌除去試験と同様の試験をアオカビを用いて行った。

凍結保存したカビをポテトデキストロース寒天培地に塗布し、27 °C で 2 週間培養した。コロニーをかき取り、滅菌水に懸濁し、脱脂綿でろ過後、約 10^8 CFU/ml に調製した。

カビ液を入れたガラス製ネブライザーで、カビ液をチャンバー内へ毎分約 0.2 ml で 15 分間噴霧して浮遊させた。

捕集液として 0.015 % チオ硫酸ナトリウム溶液 20 ml を入れたインピンジャーを用いた。1 回の捕集につき、毎分 5 l で 2 分間 (= 10 l) のチャンバー内の空気を吸引し、浮遊カビを捕集した。

浮遊カビのサンプリングは 0、30、60、90、120 分後で行った。

浮遊カビ捕集後のインピンジャー内の捕集液を試料原液とし、エアロゾルOT添加生理食塩液で10倍段階希釈列を作製した。その試料原液または希釈液の各1mlをポテトデキストロース寒天培地との混積平板とした。また、試料原液の10mlおよび残り全量をメンブランフィルタで濾過し、フィルタをポテトデキストロース寒天培地表面に貼り付けた。これらの培地を27℃で1週間培養後、培地上に発生したコロニーを数え、空気10lあたりの浮遊カビ数を求めた。

4.2 浮遊カビの除去試験結果

Table2、及び Fig.8 に空気浄化装置の浮遊カビに対する除去試験結果を示す。

Table.2 Comparison of removal effect of floating mold with control and air purification equipment

(Unit : CFU/10L-air)

Test conditions	Time(min)				
	0	30	60	90	120
Natural damping (reference)	28,000	20,000	32,000	18,000	19,000
Air purification equipment	51,000	1,300	73	4	1

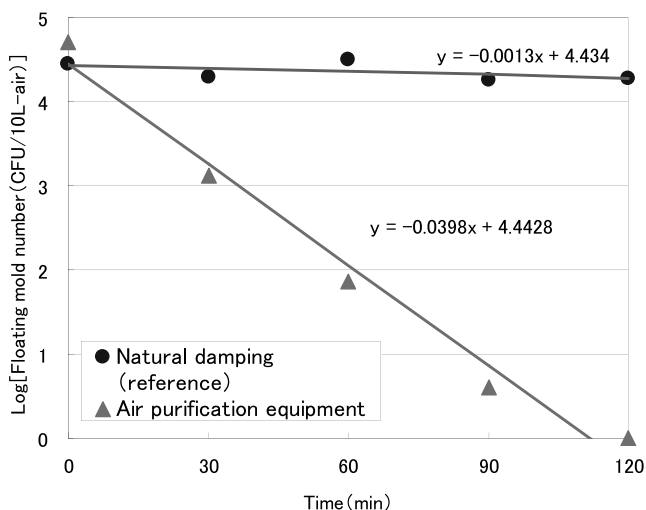


Fig.8 Removal effect of floating mold in the presence of air purification equipment

Fig.8 に示した浮遊カビ数に関する近似式の傾きは、自然減衰(対照)が-0.0013、試作空気浄化機が-0.0398であった。

初期からの浮遊カビ数の減少は、60分で自然減衰(対照)が16%減少、(0.07桁減)試作空気浄化機が99.59%減少(2.38桁減)であった。対照である自然減衰を基準として、試験品によるカビ数の減少率を比較すると、60分間の作用で試作型空気浄化機は99.51%減少(2.31桁減)した。

以上より、浮遊カビに対しても浮遊細菌と同様に空気浄化装置の有用性が認められた。

5. 小学校保健室における空気浄化装置による浮遊菌除去効果実証

5.1 空気浄化装置の浮遊細菌への除去効果調査方法

北九州市内の7つの小学校にMC-Pを2台ずつ設置し、浮遊菌除去効果の検証を行った。代表例としてその内2校での結果を報告する。

浮遊微生物濃度測定は浮遊菌サンプラーで行った。浮遊微生物濃度の測定は1時間ごとに実施し、測定時間中に対象室内に出入する人数と室内の状況を記録した。

両小学校の保健室にて、空気浄化装置の影響が少ない部屋中央付近を選び、机上(高さ130cm)で測定を行った。

- ・使用サンプラー：BIOSAMP MBS-1000 ミドリ安全
- ・使用培地：一般細菌 ソイビーンカゼインダイジェスト寒天培地
真菌 クロラムフェニコール添加ポテトデキストロース寒天培地
黄色ブドウ球菌 卵黄加マンニット食塩寒天培地
大腸菌群 デソキシコレート寒天培地
- ・捕集方法：吸引流量100 l/minで5分間の捕集
- ・捕集間隔：1時間毎に各培地にてサンプリング
- ・培養条件：一般細菌及び黄色ブドウ球菌 37℃、48時間
真菌 25℃ 5日間
大腸菌群 37℃ 20時間

5.2 小学校における調査結果

各小学校において得られた結果から浮遊微生物濃度(CFU/m³)と最大在室者数の関係をそれぞれ Fig.9、Fig.10 に示す。また、室外と室内濃度との比(I/O比)についてもそれぞれ Fig.11、Fig.12 に示す。

B 小学校では実測中に掃除機による室内清掃が行われ、その時間帯に浮遊微生物濃度(一般細菌および真菌)の著しい上昇が一時的に見られたところが、1時間後には濃度は清掃前の水準にほぼ戻っていることが確認された。これは、床面に付着した微生物が掃除機の運転により室内に舞い上がったため濃度が高くなったと考えられる。しかし、その後は速やかに濃度が低下したことから、空気浄化装置により捕集処理されるとともに、大きな粒子が再度床面に落下したためと考えられる。

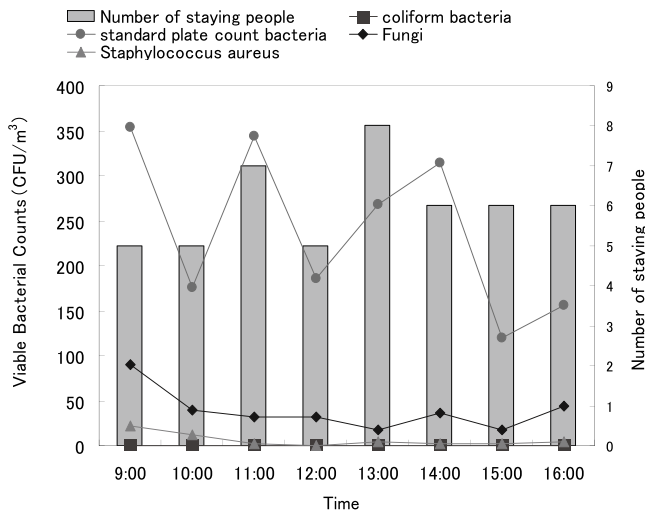


Fig.9 Correlation between floating bacteria and staying people in elementary school A

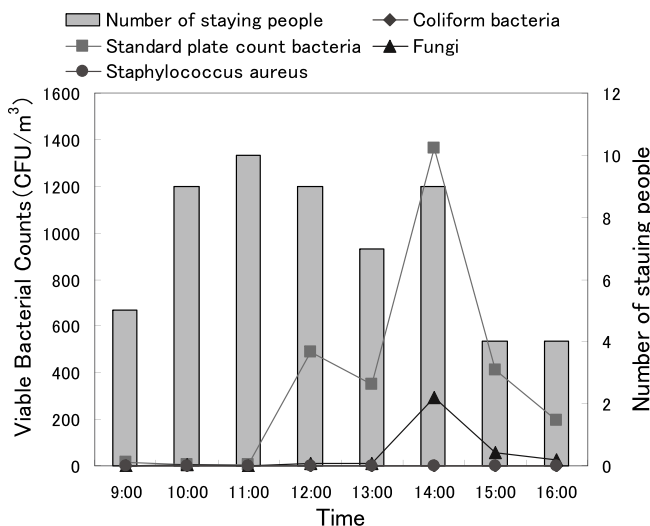


Fig.10 Correlation between floating bacteria and staying people in elementary school B

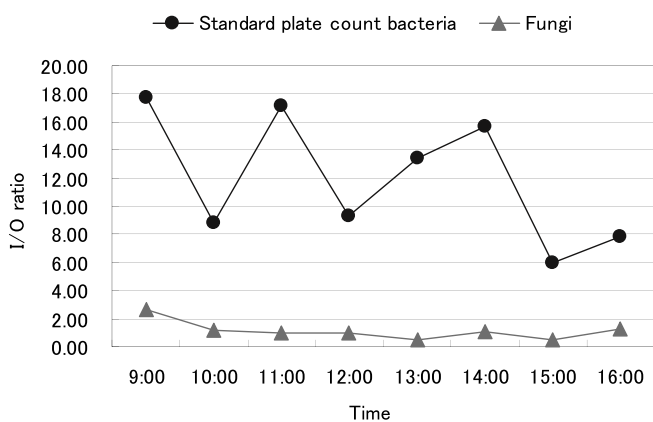


Fig.11 I/O ratio of floating bacteria in elementary school A

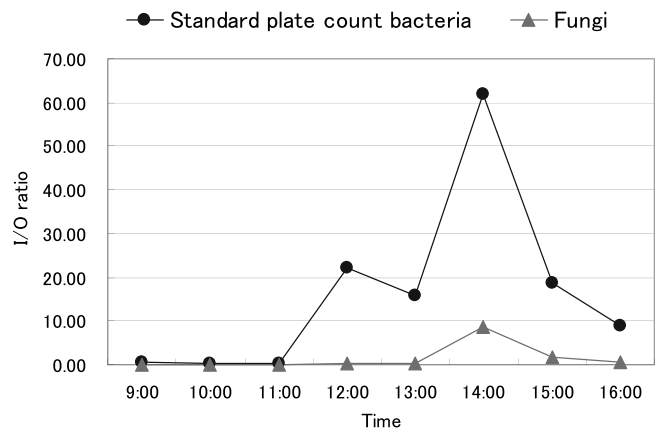


Fig.12 I/O ratio of floating bacteria in elementary school B

A 小学校では、B 小学校と比較して真菌の I/O 比が 1 前後で推移していたことと、黄色ブドウ球菌が検出されたことが特徴的なパターンであった。A 小学校では保健室に土足のまま入室できるようになっており、他の小学校とは大きく異なる点であったことから、靴に付着した汚れなどから汚染源が持ち込まれているのではないかと推察された。また、この A 小学校では廊下の真菌濃度が屋外よりも高く、保健室の濃度は廊下の汚染源の影響を受けているのではないと思われる。日本建築学会における「微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理基準」によれば、学校の浮遊微生物濃度基準値は浮遊細菌で 10,000 CFU/m³ 以下、浮遊真菌で 2,000 CFU/m³ となっている⁸⁾。これば教室の基準値であり、保健室の基準値ではないが、今回の実証試験結果はこれらの基準値を満足させたといえる。

6. 病院リネン室における殺菌床材と空気浄化装置による菌除去効果実証

空気浄化装置 MC-P と殺菌タイル MTF-300 のリネン室における除菌効果について調査を行った。

リネン室に空気浄化装置 MC-P を 2 台設置し (強運転)、浮遊菌サンプラーによる浮遊微生物濃度測定をおこなった。調査菌種は一般細菌とした。リネン室に施工した殺菌床タイル MTF-300 タイルの付着菌測定をスワブ法によりおこなった。調査菌種は一般細菌とした。

調査結果を Fig.13 および Fig.14 に示す。空気浄化装置は常時稼働させて調査を行っている。リネン室で実施した調査結果から、毎日のスケジュールにより室内の浮遊菌数が増加していることが判明した。例えば、10:00 の布オムツ回収直後の測定と 11:00 の紙オムツ回収直後において、浮遊菌数の増加が見られる。また、オムツ回収時に上昇した浮遊菌数は 20 分未満でまた低下することが認められた。

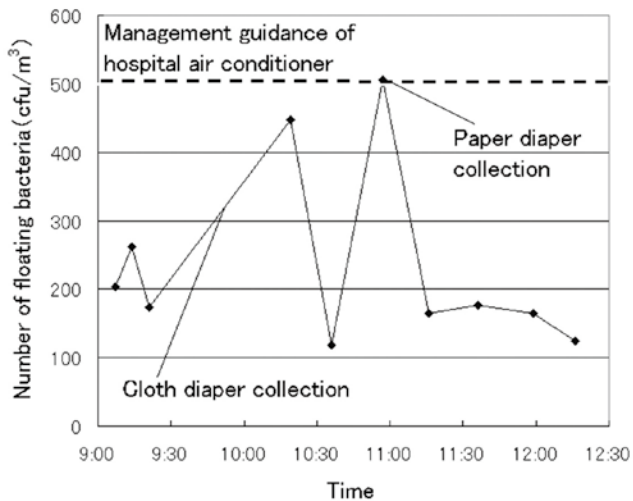


Fig.13 Monitoring the number of floating bacteria over time in linen room

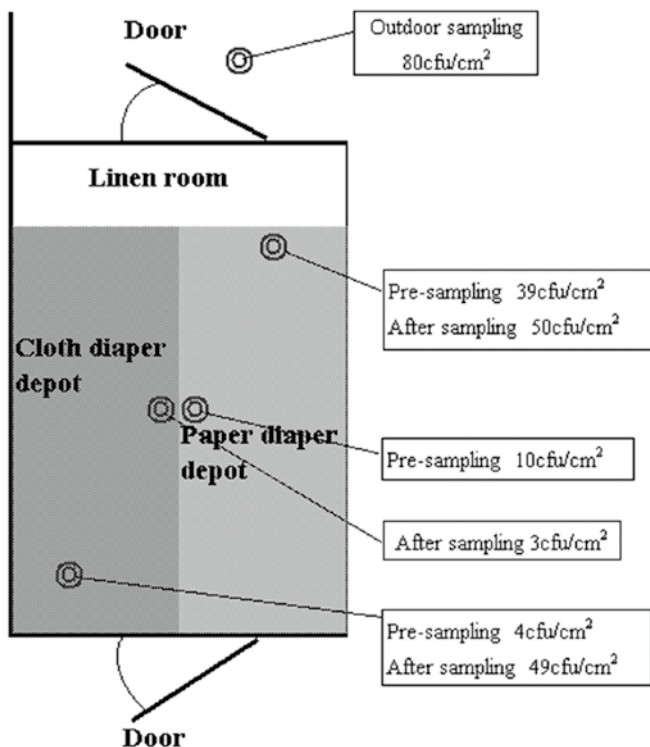


Fig.14 Findings of floating bacteria and adhesion bacteria in outdoors

日本病院設備協会規格・病院空調設備の設計・管理指針 (HEAS-02-1998) では、リネン室は清浄度クラス V に分類されており、浮遊細菌濃度は 500 CFU/m³ 以下が定められている⁹⁾。今回の調査では、管理指針を若干上回る数値が紙オムツ回収時に測定されているが、ほとんどの場合、管理指針より大幅に低い値で推移している。

床の付着菌はリネン室内で 1cm² 当り 50 個以下となっており、非常に衛生的な環境が維持されている。リネン室外の浮遊菌と付着菌を採取すると、それぞれ

1408 CFU/m³ と 80 CFU/cm² となっており、意外なことにリネン室よりも細菌が存在していることが分かった。リネン室の汚染源は接した室外から来ていると考えられる。

以上のことより、空気浄化装置と床タイルの効果による細菌抑制効果が確認できた。

7. 結論

殺菌建材と空気浄化装置による高度バイオクリーン室開発のための事前データの取得を目的として、25m³ 空間でのガス分解試験、空気除菌試験及び、実フィールドにおける空気浄化装置の除菌効果、殺菌床材との組み合わせによる実証試験によって、以下のことが分かった。

- 1) 実フィールドを想定した 25m³ 空間においても光触媒空気浄化装置の VOC 除去効果は実証された。
- 2) 空気浮遊菌および浮遊カビは外部からの供給がなければ、ガス分解と比較して、ある程度容易に除去が可能である。
- 3) 実フィールドにおいては人の掃除などの動きに関連して、浮遊菌数が急激に増加する。床面に存在するほこりや、人の衣服に付着した菌が要因である。しかし、その粒子径は大きく、落下や空気浄化装置によって短時間で元の浮遊菌数に戻る。
- 4) 床の付着菌数に対して浮遊菌数は、はるかに存在数が少なく、外部からの衣服などによる持込や汚染空気の流入が主な汚染源である。

参考文献

- 1) 樋口友彦, 原賀久人, 吉永宏, 梅田陽平, 山崎健之 フジコー技報 17 (2009) 49
- 2) 尾崎龍宏: フジコー技報 12 (2004) 48
- 3) 樋口友彦, 尾崎龍宏: フジコー技報 13 (2005) 43
- 4) 樋口友彦, 古田博昭, 野村大四朗: フジコー技法 14 (2006) 37
- 5) 樋口友彦, 原賀久人: フジコー技報 15 (2007)
- 6) 樋口友彦, 原賀久人, 吉永宏, 梅田陽平: フジコー技報 16 (2008) 54
- 7) (社) 日本電気工業会: 「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」 (社) 日本電気工業会 (2011)
- 8) (社) 日本建築学会: 「微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理基準・同解説」 丸善出版 (2005)
- 9) 日本医療福祉設備協会: 「病院空調設備の設計・管理指針 HEAS-02-1998」 日本医療福祉設備協会 (1998)