

技 術 論 文

医療現場における環境実態調査及び光触媒タイルの抗菌性能評価 Actual Environmental Survey on Medical Field and Evaluation of Antibacterial Performance for Photocatalyst (TiO₂) Tile



技術開発センター
第三開発室 リーダー
博士(工学) 山本 清司
Kiyoshi Yamamoto

技術開発センター
第三開発室
原田 知典
Tomonori Harada

技術開発センター
技術開発センター長
博士(工学) 永吉 英昭
Hideaki Nagayoshi

要 旨

当社は、高速フレーム溶射法によって光触媒(TiO₂)の成膜技術を確立して以来、抗菌建材及び空気浄化装置等、光触媒機能を付与した様々な製品を開発してきた。光触媒は殺菌効果を示すことが知られており、免疫力が低下した患者が多い医療介護関連施設においては光触媒製品の活用が期待されている。そこで本研究では、医療現場における光触媒タイルの性能評価を目的とし、新築の急性期病院内に光触媒タイルを施工し、旧病院と新病院の床面における付着菌数の測定を実施した。その結果、新病院内の床面の付着菌数が有意に少ない結果が得られ、実環境における光触媒タイルの抗菌効果を確認できた。また、同病院内における空気中のアンモニア濃度及び床面の汚染度(ATP)を測定し、環境調査を実施し、空気中の清浄度が保たれていることが確認できたので、報告する。

Synopsis:

FUJICO has developed various photocatalyst (TiO₂) products such as antibacterial building materials and air purifiers, since we had established the deposition technology of photocatalyst by using the high velocity oxygen fuel thermal spraying method. Photocatalyst are known to have bactericidal effects, and photocatalyst products are expected to be utilized by hospitals and nursing care facilities where many patients have decreased immunity. In this study, for the purpose of evaluating the performance of photocatalyst tiles in the medical field, photocatalyst tiles were installed in a newly built acute care hospital, and the number of adherent bacteria was measured on the floors of the old and new hospitals. As a result, the number of bacteria adhering to the floor in the new hospital was significantly low, and the antibacterial effect of the photocatalytic tile in the actual environment could be confirmed. In addition, we measured the concentration of ammonia in the air and the degree of pollution (ATP) on the floor in the hospital, conducted an environmental survey, and confirmed that the cleanliness in the air was maintained.

1. 緒言

当社は、高速フレイム溶射法によって光触媒(TiO₂)を成膜する溶射技術を確立して以来、抗菌建材(商品名: MaSSC シールドタイル)、空気浄化装置(商品名: MaSSC クリーン)等、様々な光触媒製品を開発してきました。光触媒は紫外光及び可視光等の光が当たることにより、高い酸化力を持つ活性酸素が生じ、接触する有害物質を分解する性能を持つ。そのため、光触媒は様々な場所において、抗菌、脱臭、水処理等への応用が展開されており、その中でも医療介護関連施設においては、感染抑制の対策としての利用が期待されている。現在、医療介護関連施設では、病原体の伝搬を抑制するために、様々な対策が必要とされている。特に、免疫力が低い入院患者及び介護施設利用者が多い施設では、日和見感染の発症リスクが高いため、環境整備による感染抑制の対策が非常に重要とされている²⁾。弊社では、長年にわたり、複数の病院内で環境調査を実施することで、光触媒製品の抗菌性能に関する実証評価を行ってきている^{3,4)}。加えて、昨今のコロナ禍においては、床面から多くの病原菌が検出されたという報告もあり、これまで重要視されて来なかった床面を清潔に保つことへの重要度が高くなりつつある⁵⁾。

本研究では、新築される急性期病院の中で汚染度が高いと考えられる箇所に光触媒タイルを施工し、旧病院において同条件となる未施工場所における床面の付着菌数を比較することにより、光触媒タイルの抗菌性能の実証評価を実施した。また、同病院内における環境調査のため、アンモニア濃度及び床面の汚染度(ATP)の評価を実施した。

2. 病院における光触媒タイルの性能評価

2.1 目的

新築の病院内に光触媒タイルを施工し実環境における抗菌性能を評価する。また、比較検討が難しい条件であるため、プロスペクティブ スタディを実施し、以下のA,Bの2つのコントロールを設けることで、効果の検証を実施した。

- (A)旧病院の光触媒タイル未施工箇所のサンプリング
- (B)新病院の開院前の光触媒タイル施工箇所のサンプリング
- (C)新病院の開院後の光触媒タイル施工箇所のサンプリング

ここで本研究での光触媒タイルの効果に対する目標は以下の2点である。

- (1)旧病院(A)に比べて、新病院の開院後(C)の菌数及び臭気数が低いこと。
- (2)新病院において開院前(B)から開院後(C)において大幅に菌数及び臭気が増加しないこと。

2.2 概要

2.2.1 調査日時

調査の実施は2018年5月から2019年5月の1年間で実施した。

(A)旧病院 2018年5月から9月 週1回の合計10回
(B)新病院(開院前) 2018年11月から12月 週1回の合計5回

(C)新病院(開院後) 2019年3月から5月 週1回の合計10回

また、外的影響を除くために、朝の定期清掃から一定時間が経過した15時から全てのサンプリングを実施した。

2.2.2 調査場所

各病院の外科及び内科の入院病棟の汚物処理室2部屋にて実施した。汚物処理室におけるサンプリング位置の見取り図はFig. 1に示す。汚物処理室内のサンプリング位置は、①シンク前、②ゴミ箱前、③汚物槽前、④汚物槽左前の計4箇所である。

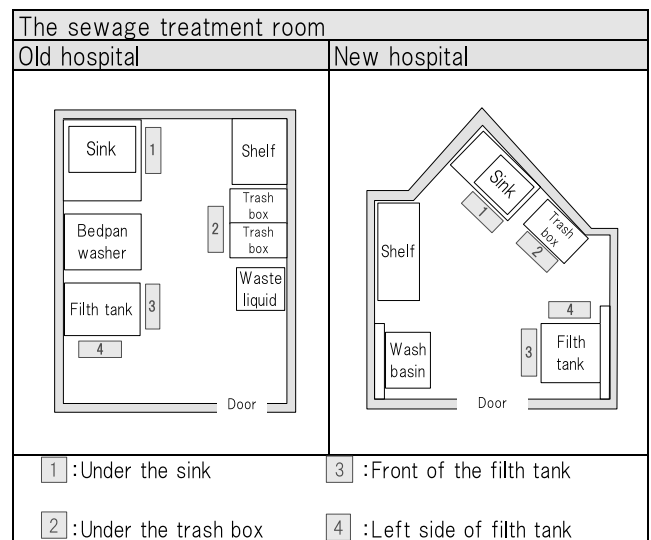


Fig.1 Sampling position in each sewage treatment room.

2.2.3 測定項目、調査方法

調査項目は付着菌測定とATP測定、アンモニア測定の3項目である。

付着菌測定については、分析対象とする菌種は、一般細菌、大腸菌、黄色ブドウ球菌とした。測定方法を下記に示す。初めに、測定対象である各床面から検体をサンプリングした。サンプリング方法は、スワブ(ふきふきチェックII、栄研化学)拭き取り法を適用し、サンプリング範囲は100cm²(10cm×10cm)とし、専用の滅菌済検査棒(ふきとり検査棒、アズワン)を使用した。汚物槽前におけるサンプリング時の写真をFig.2に示す。付着菌数については、飛沫による汚染度の違いを考慮して、隣接する3箇所を個別に接種し、培養後3箇所の菌数を平均化し、1検体とした。次に、サンプリング完了後の菌液を社内にて培養した。各菌種に対して培養時に使用した選択培地をTable 1に示す。培養

は 35°C 設定のインキュベーター内において、大腸菌は 24 時間、一般細菌及び黄色ブドウ球菌は 48 時間実施した。培養後は、培地表面に生育した菌数(コロニー数)を計測し、光触媒タイル施工場所及び非施工場所における検出菌数を比較した。また、統計学的評価として、対応のない t 検定により有意水準 5% 未満を有意差ありとした。



Fig.2 Picture showing sampling area in the sewage treatment room.

Table 1 Types of agar medium for each kind of bacteria

Analysis object	Types of agar medium
General bacteria	Tryptic Soy Agar
<i>E. coli</i>	XM-G Agar
<i>S. aureus</i>	Mannitol salt Agar with Egg Yolk

ATP 測定については、付着菌の測定箇所隣接する床面から検体をサンプリングした。サンプリング方法は、スワブ(ATP 測定用試薬 UXL100、スリーエムジャパン)拭き取り法を適用し、サンプリング範囲は 100 cm² (10 cm×10 cm)とし、専用の滅菌済検査枠(ふきとり検査枠、アズワン)を使用した。次に、サンプリング完了後のスワブを ATP 測定器(ATP 測定器ルミノメーターUNG3、スリーエムジャパン)を使用し、ATP 値を測定した。

アンモニア濃度測定については、汚物処理室内全体のガスをエアースンプラーで捕集し、ガス検知管(光明理化、アンモニア：美術館用 900 NHH)を用いて臭気濃度を測定した。

2.3 結果及び考察

2.3.1 一般細菌

旧病院の非施工場所(A)における一般細菌数の測定結果を Fig. 3 及び Table 2 に示す。旧病院における測定結果から全箇所において平均して高い数値の菌数が検出された。特に汚物処理室 2 の汚物槽下左側の箇所にお

おいては他の箇所よりも 1 桁ほど高い菌数が安定して検出されており、汚物槽内から飛沫が飛散していることが示唆された。

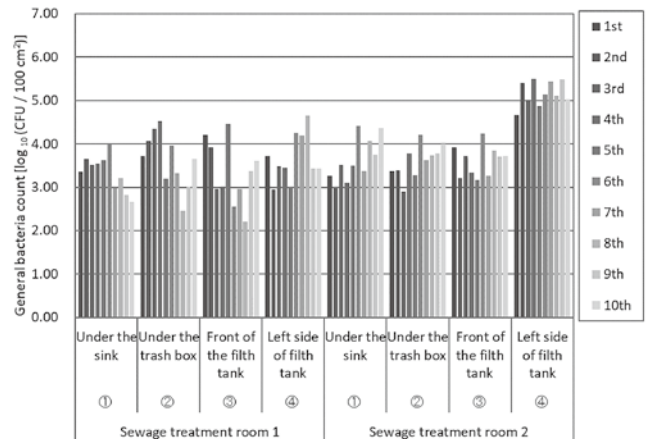


Fig.3 Measurement results of general bacterial count of old hospital (Case A).

Table 2 Detection results of general bacterial count of old hospital

Sampling Point	Mean ± SD [log ₁₀ (CFU/cm ²)]		Ave.
	1	2	
①	3.34 ± 0.13	3.63 ± 0.16	3.48 ± 0.09
②	3.62 ± 0.20	3.61 ± 0.12	3.61 ± 0.11
③	3.32 ± 0.23	3.61 ± 0.11	3.47 ± 0.10
④	3.65 ± 0.17	5.16 ± 0.09	4.41 ± 0.10

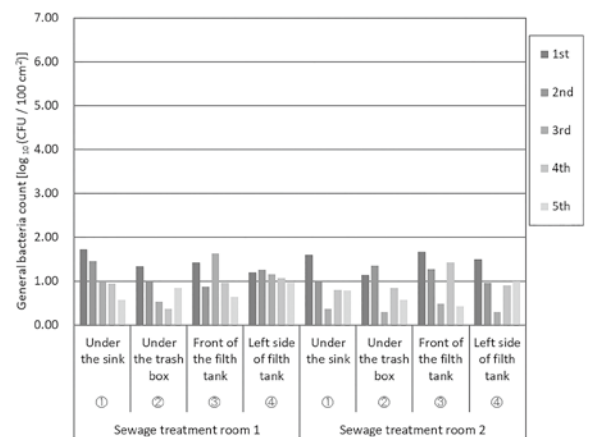


Fig.4 Measurement results of general bacterial count of new hospital before opening (Case B).

次に新病院の開院前(B)における一般細菌数の測定結果を Fig. 4 および Table 3 に示す。開院前の測定結果から、人の出入りが制限され、加えて看護師が作業を実施していない状況であることから、検出される菌は非常に少ない結果となった。未使用の状況においても、環境菌が存在する結果が示され、環境調査を実施するにつれて菌数が低減する結果も示されていることから、

週に1回のサンプリングが定期的な清掃と同じ効果が得られている結果が明らかとなった。

Table 3 Detection results of general bacterial count of new hospital before opening

Survey times	Mean ± SD [$\log_{10}(\text{CFU}/\text{cm}^2)$]		Ave.
	1	2	
①	1.14 ± 0.20	0.91 ± 0.20	1.02 ± 0.19
②	0.81 ± 0.17	0.84 ± 0.19	0.83 ± 0.16
③	1.10 ± 0.18	1.05 ± 0.25	1.08 ± 0.19
④	1.13 ± 0.05	0.93 ± 0.19	1.03 ± 0.10

新病院の開院後(C)における一般細菌数の測定結果を Fig. 5 及び Table 4 に示す。開院後の測定結果については、全体を通して、開院前(B)に比べて、筋層が増加している傾向が示された。汚物槽左側の結果については、汚物処理室1は他の箇所よりも低い傾向であるのに対し、汚物処理室2では最も菌数の高い箇所が示されていることから、病棟における使用者及び使用状況に影響を受けていることが示唆された。

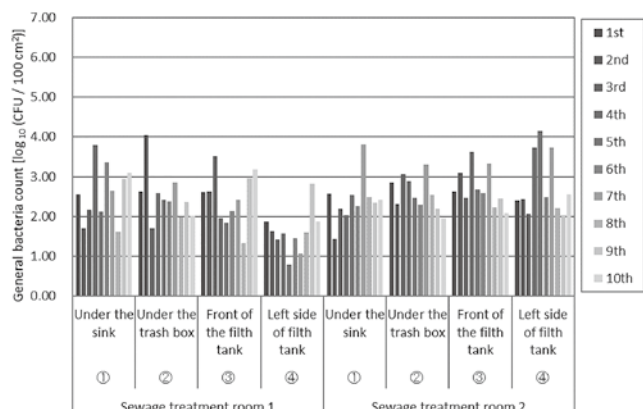


Fig.5 Measurement results of general bacterial count of new hospital after opening.

Table 4 Detection results of general bacterial count of new hospital after opening

Survey times	Mean ± SD [$\log_{10}(\text{CFU}/\text{cm}^2)$]		Ave.
	1	2	
①	2.60 ± 0.23	2.41 ± 0.19	2.50 ± 0.15
②	2.49 ± 0.20	2.59 ± 0.14	2.54 ± 0.12
③	2.46 ± 0.21	2.71 ± 0.15	2.59 ± 0.11
④	1.61 ± 0.17	2.78 ± 0.25	2.19 ± 0.09

各条件における一般細菌数をまとめて比較した結果を Fig. 6 に示す。旧病院(A)における一般細菌数の検体数は、全10回のサンプリングにおいて、2部屋で各4箇所であることから $N = 80$ であり、平均一般細菌数は $3.74 \pm 0.73 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ である。対して、開院前の新病院(B)においては、 $N = 40$ で平均一般細菌数は

$0.99 \pm 0.40 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ であった。

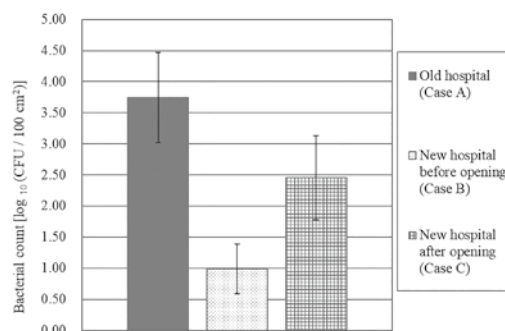


Fig.6 The comparison of measurement results of general bacterial counts.

開院後の新病院(C)においては、 $N = 80$ で平均一般細菌数は $2.45 \pm 0.68 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ であった。

この結果から、旧病院(A)から開院後の新病院(C)では $1.29 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ の低減が確認され、 t 検定においても有意に低減される結果が示された ($p < 0.05$)。このため、当初設定した目標の1つである新病院における光触媒タイル抗菌効果については示された。

しかしながら、新病院の開院前(B)から開院後(C)では $1.46 [\log_{10}(\text{CFU}/100\text{cm}^2)]$ の増加が確認され、 t 検定においても有意に増加している結果が示された ($p < 0.05$)。そのため、目標であった開院前後で一般細菌が大幅に増加しないという目標は達成できていない結果となった。

2.3.2 黄色ブドウ球菌

旧病院の非施工場所(A)における平均黄色ブドウ球菌数の測定結果を Fig.7 に示す。旧病院の汚物処理室の床面から黄色ブドウ球菌が検出される陽性率は90%と高く、72検体から検出される結果となった。開院前の新病院(B)の汚物処理室からは検出されない結果となり、入院患者及び看護師との出入りが少ない状況が大きく起因する結果となった。開院後の新病院(C)の平均黄色ブドウ球菌数の測定結果を Fig. 8 に示す。黄色ブドウ球菌はグラム陽性菌であり、一般環境で生存しやすいため、開院後には検出されているものの、旧病院(A)と比べて、検出される回数及び菌数についても少ない傾向が示された。

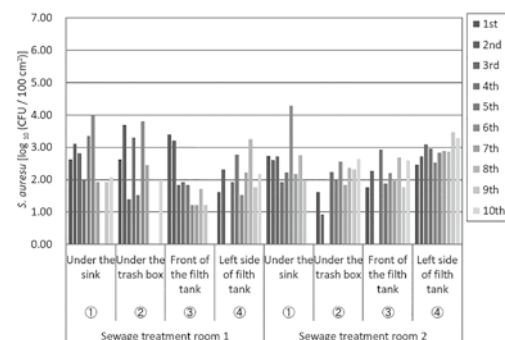


Fig. 7 Measurement results of *S. aureus* count of old hospital (Case A).

全条件における黄色ブドウ球菌の検出数の結果を Table 6 及び Fig. 9 に示す。旧病院(A)から開院後の新病院(C)では 0.82 [log₁₀(CFU/100cm²)] の黄色ブドウ球菌数が有意に低減されたことが確認された (p<0.05)。

しかしながら、開院前後においては、一般細菌と同様に増加する結果が示された。

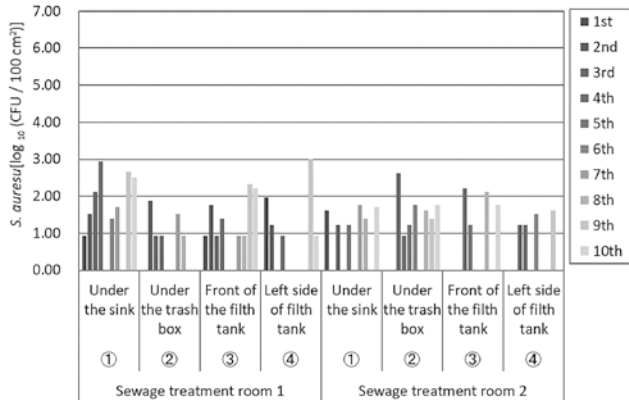


Fig. 8 Measurement results of *S. aureus* count of new hospital after opening (Case C).

Table 6 Measurement results of *S. aureus* count of 3 cases

Survey cases	Detections [-]	Positive rate [%]	Mean ± SD [log ₁₀ (CFU/cm ²)]
A	72	90	2.40 ± 0.70
B	0	0	N.D.
C	47	59	1.58 ± 0.57

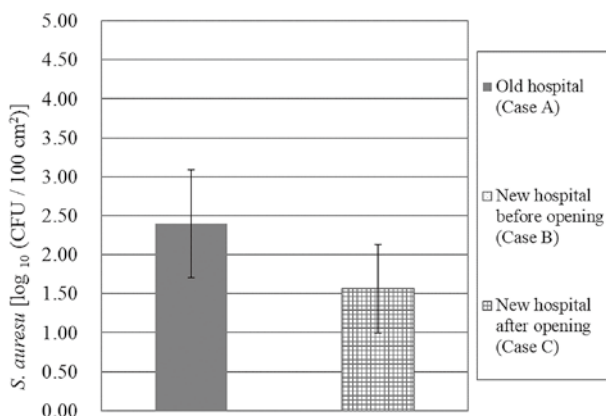


Fig. 9 The comparison of measurement results of *S. aureus* counts.

2.3.3 大腸菌

全条件における平均大腸菌数の測定結果を Table 7 に示す。全調査における大腸菌の合計検出数は、旧病院(A)では 7 箇所、新病院の開院前(B)では 0 箇所、開院後では 7 か所あり、一般細菌、黄色ブドウ球菌と比較して検出される頻度が少ない傾向が確認された。この原因は、大腸菌がグラム陰性菌であり、薄いペプチドグリカン層で覆われているため、温湿度因子及び物理的因子に弱く、一般環境で生存しにくいと考えられる⁶⁾。旧病院(A)から開院後(C)では 0.92

[log₁₀(CFU/100cm²)] の大腸菌数が有意に低減される結果が示されたものの (p<0.05)、大腸菌は直前の汚物処理作業による影響を受けたと考えられるため、単純な比較が困難な状況であった。

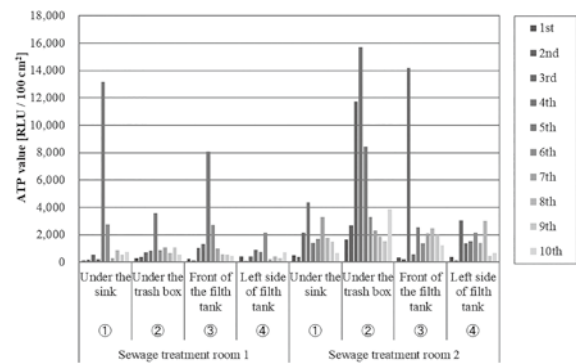
Table 7 Detection results of *E. coli* of 3 times surveys

Survey cases	Detections [-]	Positive rate [%]	Mean ± SD [log ₁₀ (CFU/cm ²)]
A	7	18	2.06 ± 0.25
B	0	0	N.D.
C	7	18	1.14 ± 0.23

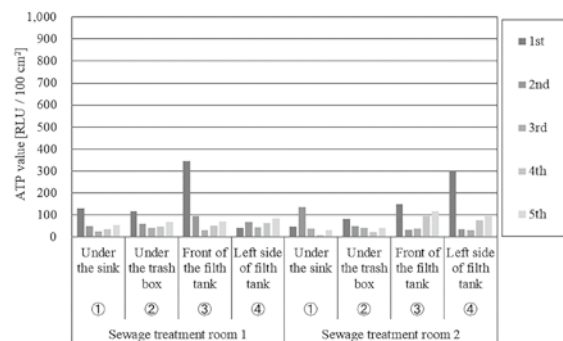
2.3.4 汚染度 (ATP) 測定

各条件における ATP 測定結果を Fig. 10 及び Table 9 にそれぞれ示す。ATP については、汚染度の指標として医療、食品の分野で広く活用され、高頻度接触部位の特定⁷⁾や危機表面の洗浄の効果を示す指標⁸⁾として活用されている。本研究においては、人の出入り、作業の目安及び汚染物の飛散及び残留の指標として、サンプリング時の汚物処理室の汚染度の測定を実施した。

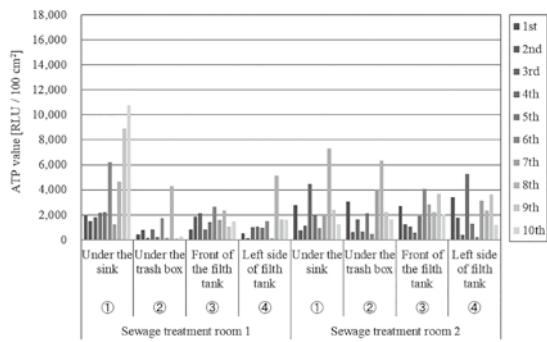
開院前(B)においては、ATP は全体を通して低い値で推移しており、平均で 75 ± 20 [RLU/100cm²] という結果となった。旧病院(A)及び開院後(C)においては、測定日または測定箇所により、極めて高い値を示すこともあるものの、平均値では約 2000 [RLU/100cm²] となっていることから、使用頻度及び測定箇所の汚染状況については同程度であることが示される結果となった。



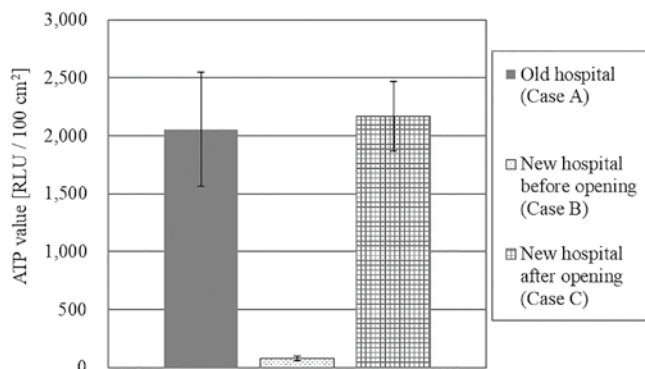
(a) Old hospital (Case A)



(b) New hospital before opening (Case B)



(c) New hospital after opening (Case C)



(d) The comparison of ATP value

Fig. 10 Measurement results of ATP value of 3 cases.

Table 9 Measurement results of ATP value

Case	Number of samples [-]	Mean ± SD [RLU/100cm ²]
A	80	2057 ± 491
B	40	75 ± 20
C	80	2167 ± 301

2.3.5 アンモニア濃度測定

各条件におけるアンモニア濃度測定結果を Fig. 11 及び Table 10 にそれぞれ示す。開院前(B)については、検出限界値(7ppb)未達が推移しており、人の出入り及び実作業を実施していない環境ではアンモニアは発生していないことが示された。旧病院(A)については、72 ± 16[ppb]となっており、嗅覚閾値以下の値となり、汚物処理室内でアンモニアが臭気問題になっているという結果は示されなかった。開院後(C)については、58 ± 13[ppb]となり、旧病院(A)と比べて、14ppbの低減が見られ、t検定の結果からも有意な低減効果(p<0.05)が示されたものの、嗅覚閾値以下の差であるため、実効果としては乏しい結果となった。

また、汚物処理室のアンモニアの発生源については、床面の菌からの発生よりも汚物槽内及びゴミ箱等からの発生が大きく、人の出入り及び換気の影響を強く受けた結果であることが考えられ、タイルの効果を示すものとしては難しい結果となった。

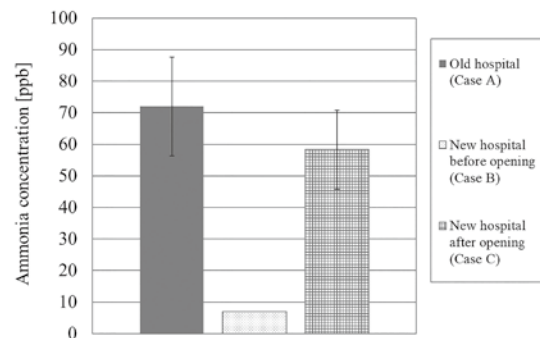


Fig. 11 Measurement results of ammonia concentration of 3 cases.

Table 10 Measurement results of ammonia concentration

Case	Number of samples [-]	Mean ± SD [ppb]
A	20	72 ± 16
B	10	7 ± 0
C	20	58 ± 13

3. 結論

本研究では、急性期病院内の汚物処理室における光触媒タイルの効果は実証評価を行うために環境調査を実施した。

旧病院及び新病院の結果の比較という難しい状況のため、プロスペクティブ スタディを実施し、旧病院(A)と新病院の開院前(B)というコントロールを設定することで、新病院の開院後(C)における光触媒タイル施工時の効果の検証を実施した。

2章の ATP 測定結果から、旧病院(A)と新病院の開院後(C)を比較した場合、同程度の使用頻度及び汚染状況であることが示唆される結果が示されている。この結果に対して、一般細菌、黄色ブドウ球菌、大腸菌については、旧病院(A)の床面から検出される菌数に対して、開院後(C)においては、全ての菌に対して有意に低減されている結果が示されており、病院内の実環境においても、光触媒タイルの抗菌性能が有効的であることが明示される結果となった。このことから、汚物処理室内の床面に飛散した汚物に起因する菌等が、看護師等の靴の裏を介して、同一フロアの廊下や病室に拡散するリスクを低減できることが示唆された。

しかしながら、病院内の看護師等にも実感してもらいやすい臭気等の低減効果においては、元の環境が清潔であったことも影響し、効果としては乏しい結果となっており、継続的な調査及び検証が必要となった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、調査にご協力いただいた北九州市立八幡病院の伊藤重彦院長、中川祐子看護師並びに病院関係者の方々、本研究にご尽力頂いた高嶋伽央里氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 永吉英昭：世界トップの高殺菌、消臭機能を有した光触媒高機能浄化製品の開発，フジコー技報 No.23, 20-24, 2015
- 2) 鷺尾昌一，藤島正敏：高齢者の MRSA 感染，日本老年医学会雑誌 37(10), 759-762, 2000
- 3) 焼山なつみ, et al.：介護施設における汚染度の実態把握と光触媒建材による除菌効果の実証，フジコー技報 No.23, 31-36, 2015
- 4) 高島伽央里, et al.：医療現場における環境実態調査及び光触媒タイルの抗菌性能評価，フジコー技報 No.25, 62-67, 2017
- 5) Zhen-Dong Guo, et al.: Aerosol and Surface Distribution of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Hospital Wards, Wuhan, China, 2020. Emerging infectious diseases. 2020 07; 26 (7); 1583 -1591.
- 6) 梅田昭子，天児和暢：細菌細胞壁の構造." 日本医真菌学会雑誌 39.3 (1998): 147-150.
- 7) 尾方壮行, et al.：ATP 測定法による病室における清掃前後の環境表面汚染度実測調査. 日本建築学会環境系論文集 81.726 (2016): 723-729.
- 8) 土方俊介，染谷拓：ATP を指標とした医療現場における洗浄プロセス評価." 医療機器学 84.5 (2014): 575-580