

論文

清浄インテリア実現に向けた殺菌光触媒塗料の開発および環境教育

Development of Bactericidal Photocatalytic Paints for Clean Interiors and Environmental Education

松尾紗絵子¹⁾

Saeko Matsuo

下城 直貴²⁾

Naoki Shimojo

福地 彩夏¹⁾

Ayaka Fukuchi

中原 日向¹⁾

Hyuga Nakahara

森元 悠真¹⁾

Yuma Morimoto

森岡 陽介³⁾

Yosuke Morioka

堀 英祐³⁾

Eisuke Hori

西田 哲明⁴⁾

Tetsuaki Nishida

岡 伸人⁵⁾

Nobuto Oka

■Abstract

The purpose of this study is to develop photocatalytic paints for “clean interiors” to reduce the risk of infection in rooms. Three colors of photocatalytic paints based on TiO_2 (white), Fe_2O_3 (red), and WO_3 (yellow) were developed, and their bactericidal effects associated with visible-light and ultraviolet-light irradiations were evaluated. We also held a successful “coloring workshop for students of kindergarten, elementary school, and university” and “demonstrations and lectures for university students” for the purpose of environmental education.

Key Words: photocatalyst paint, bactericidal effect, interior

1. 背景・目的

2000年以降、新型コロナウイルスの流行は比較的短い周期で起きている。特にコロナウイルスではこの20年間にSARS (2002~2003年)・MERS (2012年)・COVID-19 (2019年~)の3度の世界的な流行があった。今後は新型コロナを含む新しい感染症のリスクを軽減する「新しい生活様式」が求められる。そこで我々は「住宅」に注目した。人間社会の中では住宅は重要な生活基盤である一方で、感染症リスクの観点からは3密(密集、密接、密閉)状況になりうる注意すべき場所でもある。2021年9月7日のCOVID-19感染者数に関する報道で、福岡県における家庭内感染の割合が70%(感染経路が判明した人の中での割合)に達したとある^[1]。

現状で有効な感染症対策は消毒やうがい・手洗いを徹底することしかないが、今後の世界的な感染の状況によっては医療用品が品薄となり手に入らなくなることも考えられる。そこで本研究では住宅やオフィスのインテリアデザインを向上させつつ、室内環境を改善する清浄インテリアの実現に向け、多様な光触媒塗料を開発することを目的とした。光触媒とは光エネルギーを吸収し触媒作用を発現する物質の総称であり、これにより周りの有害な有機物や菌、ウイルスを分解し、無毒化する事が出来る^[2,3]。住宅内では遮光カーテンや間接照明など、無駄になっている光エネ

ルギーも少なくないため、光触媒による住宅内の清浄化法は有効であると期待される。

さらに環境教育の一環として、開発した光触媒塗料を用いた大学生・小学生・幼稚園児への着彩ワークショップ、および大学生への実演・講演を行ったので併せて報告する。

2. 実験方法

2.1. 光触媒塗料の作製法について

本研究では^[4]に報告されている酸化チタン TiO_2 塗料の作製法を参考にして、3色の原料 [TiO_2 (白色)・酸化鉄 Fe_2O_3 (赤色)・酸化タングステン WO_3 (黄色)] をベースとした光触媒塗料を作製した。 Fe_2O_3 (赤色) および WO_3 (黄色) は可視光および紫外光をよく吸収し、光触媒活性を発現する(可視光応答型光触媒)。一方、 TiO_2 はバンドギャップが3.1 eVを超えるため可視光を吸収することができない。そのため可視光よりエネルギーの大きな紫外光を吸収することで光触媒活性を発現する。これら3色の光触媒材料(17.95 mass%)に、それぞれ蒸留水(30.00 mass%)と分散剤のポリアクリル酸ナトリウム(0.70 mass%)を加えて、ボールミル装置を用い約300 rpmで60分間混合した。この混合物に、填料 CaCO_3 (17.95 mass%)と樹脂としてメタクリル酸2-ヒドロキシエチル

1) 近畿大学大学院産業理工学研究科 博士前期課程

2) 近畿大学産業理工学部生物環境化学科 2021年3月卒業

3) 近畿大学産業理工学部建築・デザイン学科 講師

4) 環境材料研究所 所長(近畿大学元教授)

5) 近畿大学産業理工学部生物環境化学科 教授(nobuto.oka@fuk.kindai.ac.jp)

(33.40 mass%) を加え、よく振り混ぜて、3色の光触媒塗料を作製した。

2.2. ATPふき取り検査 (A3法) による光触媒活性の評価法について

合成樹脂クリヤー塗料をあらかじめ下塗りしたスライドガラスへ光触媒塗料を塗布した。乾燥後に表面を素手で触り汚染させたサンプルへ、可視光 (1.50 klux) もしくは紫外光 (5.0 mW/cm²) を24時間照射した。

光触媒活性は、ATPふき取り検査 (A3法) により評価した^[5]。この検査法ではATP (アデノシン三リン酸)・ADP (アデノシン二リン酸)・AMP (アデノシン一リン酸)の量を測定する。ATPは生物のエネルギー源として存在する化学物質であり、生命活動があれば必ず存在する。また熱や長期保存、酵素などの働きによりATPが分解するとADPとAMPとなる。そこで生物由来の汚れの中に存在するATP、ADPおよびAMPを指標とすることで、光触媒による殺菌性能を評価した。つまり光照射の前後で光触媒の効果により殺菌が進み、サンプル表面の清浄度が向上すれば、ATP・ADP・AMP量は減少することになる。

2.3. 環境教育について

開発した光触媒塗料を用いた着彩ワークショップを、大学4年生・小学6年生・幼稚園児 (3名) 向けに2021年3月実施した。光触媒塗料で室内清浄を行う場面で、適切に光が照射される室内インテリアとして専用のシーリングライトを設計し、ワークショップではそこに自由に着彩した。

次に近畿大学 産業理工学部 生物環境化学科の大学3年生 (71名) への実演・講演会を2021年7月に実施した。実演・講演会の後には、視聴した大学生へ「光触媒塗料について考えたこと・感じたことなど自由な意見をお聞かせください」と問いかけ、自由記述形式での回答を得た。これらの回答はKH Coder^[6]を用いて、形態素解析によりバラバ

ラの語句とし、それらの語句の組み合わせが出現する頻度 (共起頻度) を基に共起ネットワーク分析を行った。

3. 結果・考察

3.1. 光触媒活性に関する結果

Table 1にATPふき取り検査 (A3法) の結果を示す。光触媒塗料を塗布していない場合、可視光照射後にはATP・ADP・AMP量は増加した。これはスライドガラス表面で菌が繁殖した結果と考えられる。一方、紫外光を照射するとATP・ADP・AMP量は13%減少した。これは紫外光そのものによる殺菌の結果と考えられる。

次にFe₂O₃やWO₃塗料を塗布した場合、可視光・紫外光の照射のいずれでもATP・ADP・AMP量は大幅 (56~73%) に減少し、清浄度が向上した。一方、TiO₂塗料を塗布した場合、紫外光を照射したときのみATP・ADP・AMP量が大幅 (61%) に減少した。これらのATP・ADP・AMP量の減少は、Fe₂O₃やWO₃ (可視光・紫外光)、TiO₂ (紫外光) による光触媒効果により殺菌された結果と考えられる。





以上述べたように本研究では、3色の光触媒塗料の作製に成功した。Figure 1に、今回開発した光触媒塗料を木材に塗った写真を示す。

3.2. 環境教育について

以上の結果を踏まえて、開発した光触媒塗料を用いた環境教育を実施した。Figure 2に着彩ワークショップの様子を示す。約2時間で4枚の木部に着彩を行った。今回作製した光触媒塗料は白・赤・黄色の3色であったが、市販品の水彩絵の具との調合もでき、参加者からは画用紙に絵を描く感覚で扱っても容易であったと好評であった。

次に光触媒塗料の実演および講演を受講した大学3年生から得た自由記述形式の回答を共起ネットワーク分析した結果をFigure 3に示す。近年のCOVID-19などの感染症に

Table 1. ATPふき取り検査 (A3法) の結果 (測定単位RLU: Relative Light Unitの略)

	TiO ₂ 塗装	Fe ₂ O ₃ 塗装	WO ₃ 塗装	塗装なし
				
照射前	570 RLU	440 RLU	340 RLU	320 RLU
可視光照射後	560 RLU (2%減)	120 RLU (73%減)	110 RLU (68%減)	350 RLU (9%増)
紫外光照射後	220 RLU (61%減)	190 RLU (57%減)	150 RLU (56%減)	280 RLU (13%減)

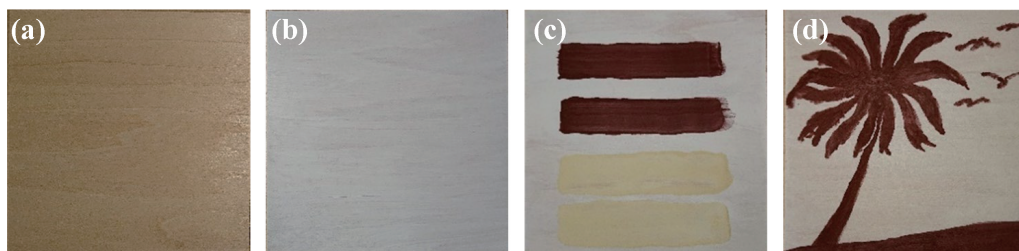


Figure 1. 光触媒塗料を塗った木材の写真 [(a)塗装無し木材、(b)木材にTiO₂ (白) を塗装、(c)TiO₂を下塗りした上にFe₂O₃ (赤) とWO₃ (黄) を塗装、(d)木材にFe₂O₃ (赤) を塗装]



Figure 2. 着色ワークショップの写真 [(a)彩色用の室内インテリア、(b)ワークショップの様子、(c)着色後のインテリア]

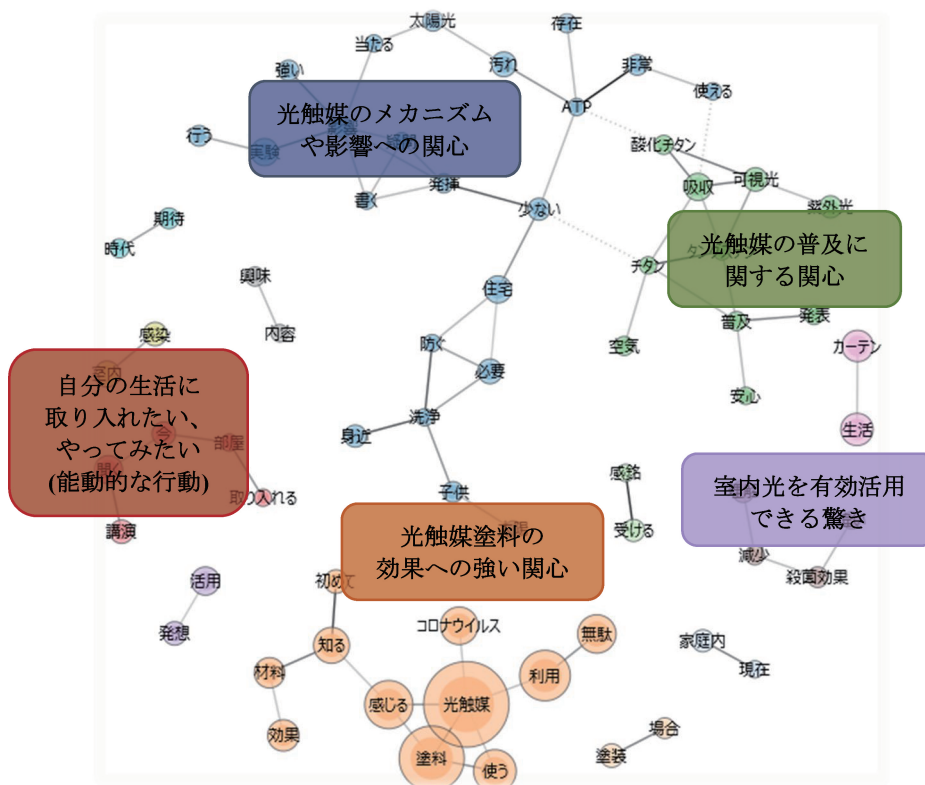


Figure 3. 環境教育後の大学生からのコメント (共起頻度によるネットワーク表記)

関連しての光触媒塗料への関心だけでなく、自分の生活を想定したアイデアや社会への普及に関する関心など多様な回答が得られた。

以上より、幼児から大学生までが楽しく学ぶことができる環境教育教材としても活用できることが分った。

4. 結論

住宅内での感染リスクを軽減する清浄インテリアを実現するために、 TiO_2 (白色)・ Fe_2O_3 (赤色)・ WO_3 (黄色)をベースとする光触媒塗料を作製した。これらの塗料を塗布したサンプル表面に、可視光もしくは紫外光の照射することで、ATP・ADP・AMP量は大幅に減少し、光触媒による殺菌が確認された。さらに今回作製した光触媒塗料を用いた大学生・小学生・幼稚園児3名への着彩ワークショップ、および大学生71名への実演・講演を行った。近年の感染症と関連した環境教育教材としても、幼児から大学生の視野を広げる優れた教育効果を有する。

【参考文献】

- [1] NHK, <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210907/k10013247911000.html> (2022年1月アクセス)
- [2] N. Oka, A. Murata, S. Nakamura, J. Jia, Y. Iwabuchi, H. Kotsubo, Y. Shigesato, *APL Materials*, **3** (2015) 104407-1-6.
- [3] A. Murata, N. Oka, S. Nakamura, Y. Shigesato, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **12** (2012) 5082-5086.
- [4] F. Salvadores, O. M. Alfano, M. M. Ballari, Kinetic study of air treatment by photocatalytic paints under indoor radiation source: Influence of ambient conditions and photocatalyst content, *Applied Catalysis B: Environmental*, **268** (2020) 118694.
- [5] Mikio Bakke, Shigeya Suzuki, *Journal of Food Protection*, **81** (2018) 729-737.
- [6] 樋口耕一、社会調査のための計量テキスト分析、ナカニシヤ出版 (2014).

【謝辞】

本研究の一部は、近畿大学“オール近大”新型コロナウイルス感染症対策支援プロジェクトの交付を受けて行われた研究成果である。