

研究報告2022 目次 【研究開発部】

国際評価技術サービス提供事業 「抗菌・抗ウイルス研究」グループ

◆総括	154
◆新型コロナウイルスを用いた性能評価の取り組み	156
◆抗菌・抗ウイルス性能評価の提供について	159
◆金属酸化物の新型コロナウイルスに対する抗ウイルス活性	162
◆光触媒による防藻性能評価実証試験	165
◆業績	168

光触媒グループ 抗菌・抗ウイルス研究グループ

グループリーダー 藤嶋 昭

【基本構想】

本プロジェクトでは、光触媒加工品やその他抗菌・抗ウイルス加工品による性能評価の提供を通じて、様々な企業や研究機関による抗菌・抗ウイルス加工品の研究開発を推進することを目的に活動している。提供する性能評価方法は JIS/ISO として制定されている方法に加えて、標準規格で対応できない形状や性質の加工品についてもオーダーメイドの性能評価方法を提供している。また、抗菌分野(JIS Z 2801)の ISO 17025 を取得し、光触媒工業会や(一社)抗菌製品技術協議会が定めている認証マークの取得に向けた試験結果の提供を可能としている。その他、共同研究や自主研究を行うことで、新しい評価方法の開発や抗菌・抗ウイルス効果を持つ新規物質の探索等に取り組んでいる。

1. 2021 年度の研究目的

我々は様々な研究を行っているが、本年度については、下記の取り組みに注力して行ってきた。

(1) 抗菌・抗ウイルス性能評価の提供について

これまでに、数多くの抗菌・抗ウイルス性能評価の提供を通して、様々な企業や研究機関の抗菌・抗ウイルス加工製品の製品開発を促進している。また、試験方法として確立されている JIS や ISO 等の試験方法では対応できない形状や性質の加工品に関しても、オーダーメイドの試験方法を提案することで対応している。本年度についても、引き続き性能評価試験の提供を続けた。

(2) 新型コロナウイルスを用いた性能評価の提供

新型コロナウイルスの感染拡大により、数多くの抗ウイルス製品の研究開発が進められている。これまで評価対象ウイルスとして、インフルエンザウイルス及びネコカリシウイルスが主要なものとして使用されてきた。一方で、実際の標的とするウイルスを用いた性能評価を行うことが、製品開発では重要である。そこで、2020 年度に新型コロナウイルスを取り扱うための BSL3 を整備し、2021 年に新型コロナウイルスを用いた性能評価の提供を開始した。また、基材や光照射による新型コロナウイルスへの影響について、検討を行った。

(3) 光触媒による防藻性能評価試験

光触媒反応を応用した防藻性能評価方法として、ISO 19635 が制定されており、また国内では 2022 年に JIS R 1712 が制定された。これらの評価方法を活用することで、光触媒による防藻性能を評価することが可能となっている一方、実際の環境下における防藻性能を確認することも製品開発をするために重要である。

本研究では、光触媒工業会との共同研究を通じて、実

際の環境下における光触媒の防藻性能の実証試験をおこなうと共に、ISO や JIS の性能評価方法との関連性について、検討を行った。

(4) 新規機能材料の探索

我々はこれまでに、持続性を持つ抗ウイルス剤として、金属酸化物に注目し、研究を行ってきた。本年度は、我々が国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト」(PL: 橋本和仁教授(現 JST 理事長))の中で開発した可視光応答型光触媒材料 $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ 可視光応答型光触媒及び東京工業大学、中島研究室で開発された希土類を含む複合酸化物($\gamma\text{-Ce}_2\text{Mo}_3\text{O}_{13}$, CMO)の新型コロナウイルスに対する抗ウイルス活性を奈良県立医科大学との共に評価した。

2. 2021 年度の研究成果

(1) 抗菌・抗ウイルス性能評価の提供について

本年度についても、非常に多くの抗菌・抗ウイルス加工製品の性能評価を行った。

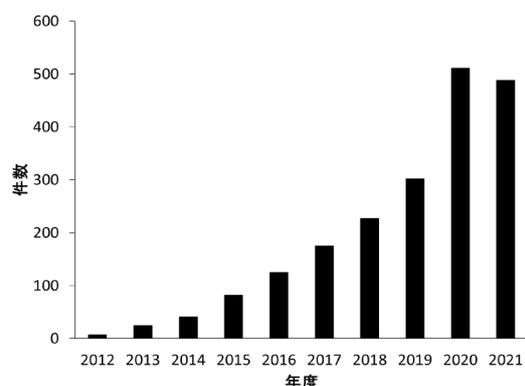


図 1: 性能評価提供件数の推移

図1にこれまでの評価件数の推移を示す。図にあるように、毎年度、その評価件数が増加しており、特に新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、数多くの抗ウイルス加工製品の研究開発が加速したと思われる。

(2) 新型コロナウイルスを用いた性能評価の提供

2021年度は平板状及び繊維状の抗ウイルス加工品を対象に、新型コロナウイルスを用いた性能評価を提供した。その内訳としては、75%が平板状の加工品であった。また、性能評価を行った中で65%が光触媒による抗ウイルス加工品であった。

また、光照射による影響などを確認したところ、新型コロナウイルスは紫外光に対して、抵抗性が低いことを明らかとした。

(3) 光触媒による防藻性能評価試験

光触媒を塗布したサンプル及びブランクを海老名本部及び溝の口支所に設置し、防藻性能の評価を行ったところ、ブランクと比較して、光触媒塗布サンプルでは汚れや藻類の付着量が抑制されていることが明らかとなった(図2)。



図2：光触媒による防藻性能実証試験結果

左から順番に4枚がブランク、8枚が光触媒塗布サンプル

また、実証試験で用いた各サンプルについてISO 19635による性能評価を行った結果、高いメチレンブルー分解活性を持つ光触媒サンプルは防藻性能についても、高い効果を持つことが明らかとなった。

(4) 新規機能材料の探索

本研究で用いた可視光応答形光触媒、 $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ に含まれるCuは $1 < x < 2$ の価数を持ち、1価が暗所においても高い抗ウイルス性能を示し、2価が可視光照射による光触媒反応に寄与する。また、本材料の特徴的な反応として、環境中において容易に1価のCuが酸化され、2価になる状況を可視光の照射を行う事により、1価に戻すことが可能である。このことから、暗所及び、可視光照射下のいずれにおいても、高い抗ウイルス活性を保持することが可能な材料と考えられた。

実際に新型コロナウイルスに対する性能を評価した結果が、図3である

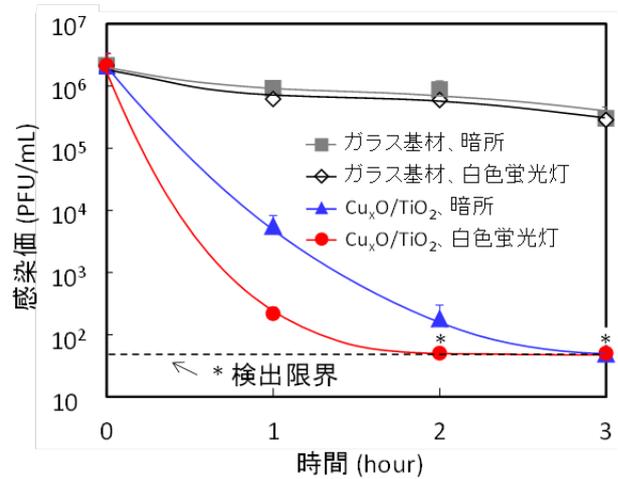


図3：新型コロナウイルスに対する効果

図3に示す通り、暗所または光照射をおこなうことで、新型コロナウイルスの不活化が起こることを明らかとした。

希土類を含む複合酸化物であるCMOについても、同様に新型コロナウイルスに対する効果を確認したところ、図4に示す通り、新型コロナウイルスを不活化することが明らかとなった。

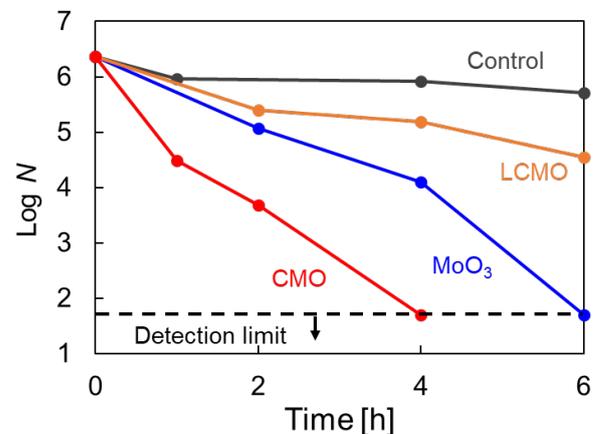


図4：CMOによる新型コロナウイルスに対する効果

以上のように、我々は抗菌・抗ウイルス性能評価の提供と共に新しい評価方法の開発や新規機能材料の探索により、より良い生活環境の構築に向けて取り組んでいる。また、食品機能性評価グループと共に2022年度からは新たに「次世代ライフサイエンス技術開発プロジェクト」として、抗菌・抗ウイルスだけではなく、未病改善に向けた取り組みや再生・細胞医療の評価方法開発に向けた研究活動を開始する予定である。

新型コロナウイルスを用いた性能評価の取り組み

「抗菌・抗ウイルス研究」グループ

永井 武

1. はじめに

2019 年末に中国の武漢で、新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) による感染事例が報告され、その後、瞬く間に世界中に拡散された。そして、2020 年 3 月 11 日、WHO が世界的な流行であるパンデミック宣言を出すに至った。日本でも、感染が拡大し、2020 年 4 月 7 日に一回目の緊急事態宣言が出された。2021 年度は、第 4 波 (4 月～5 月)、第 5 波 (6 月～10 月) 及び第 6 波 (1 月より) に見舞われ、全く収束する気配を見せない。感染拡大初期に比べ、消毒薬及びマスクの品不足は解消されてきたが、今後のウイズコロナの生活において、抗菌抗ウイルス製品は、欠かすことのできない物となっている。そして、市場が急拡大したため、新たな製品が次々と発売されている。しかしながら、市販の抗菌・抗ウイルス製品の多くは、「雑品」の扱いとなり、医薬品医療機器等法の適用範囲外であることから、中には抗ウイルス効果の低い、もしくは疑わしい製品も販売されている。そこで、抗ウイルス効果を謳う製品について、適切に性能評価を行える試験機関の重要性が高まりつつある。

我々は、2016 年より、インフルエンザウイルス及びネコカリシウイルス (ノロウイルスの代替) を用いた抗ウイルス試験を開始しており、平板、繊維、光触媒及び液体などの様々な素材の試験品について抗菌・抗ウイルス性能評価を行ってきた。また、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、2020 年初旬より、抗菌・抗ウイルス製品を扱う企業からの評価依頼が急増した。さらに、これらの企業の多くが SARS-CoV-2 での評価を要望していた。そのため、2020 年度に、SARS-CoV-2 を用いた抗ウイルス性能評価を立ち上げるため、急遽 BSL3 実験室の整備を行い、平板状及び繊維状サンプルについての評価系を構築した。そして、2021 年度より、正式に抗ウイルス評価の受付を開始することができたので、これらについて下記の通り報告する。

(1) 新型コロナウイルス評価の内訳

2021 年度に新型コロナウイルスを用いた抗ウイルス性能評価を行ったときの試験品の内訳を図 1 に示す。75% が平板状製品で、残る 25% が繊維状製品であった。平板製品においては、フィルム、鋼板、内装材及びガラスなど、製品の基材はさまざまであった。繊維状製品についても、カーテン生地、フィルター及び化学繊維などであった。また、全体の 65% が光触媒加工製品であり、紫外光応答型よりも可視光応答型の方が多かった。抗ウイルス製品の多くは、室内での使用が想定されるため、可視光応答型の製品が多かったと思われる。

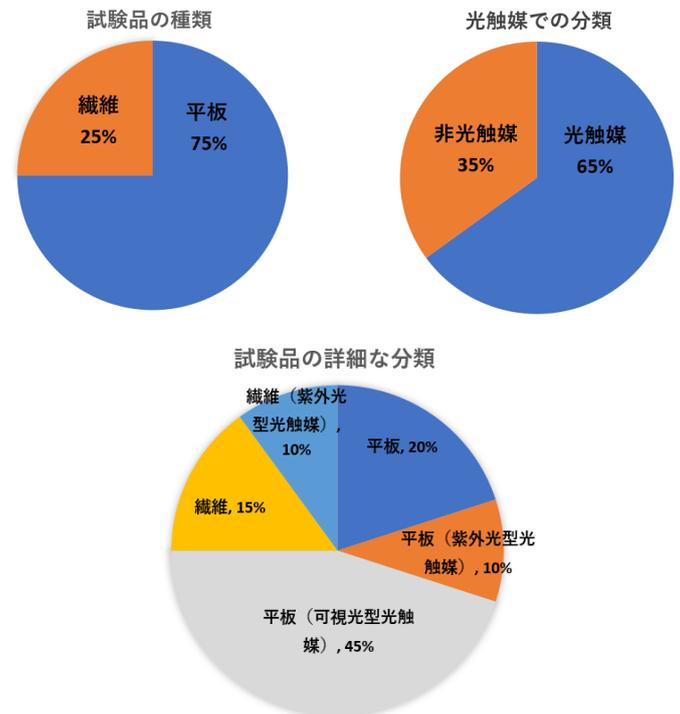


図 1：新型コロナウイルス評価の試験品の内訳

(2) 評価方法について

SARS-CoV-2 を用いた試験規格がないため、試験方法は、下記に示す既存の抗ウイルス試験規格を準用する形で行った。

- ・ ISO 21702 (平板製品) ¹
- ・ JIS R 1706 (紫外光応答型、平板及び繊維) ²
- ・ JIS R 1756 (可視光応答型、平板及び繊維) ³
- ・ JIS L 1922 (繊維状製品) ⁴
- ・ 試験ウイルス：SARS-CoV-2/Hu/KngFJ/232RD5
(神奈川県衛生研究所より分与されたもの)
- ・ 宿主細胞：Vero 細胞 (ATCC CCL-81)
- ・ 感染価の測定方法：プラーク法

各試験規格と異なる点は、下記の通りである

- ・ SARS-CoV-2 を用いている。
- ・ ウイルス感染価が約 2.0×10^7 pfu/ml
(ISO 21702 では、 1.0×10^8 pfu/ml ～ 5.0×10^8 pfu/ml)
- ・ 平板製品の場合、ウイルス回収時の SCDLP の量を合計 1 ml で行う。

・光触媒抗ウイルス試験規格では、バクテリオファージ QB を使用しているため、光触媒規格と ISO21702 または JIS L 1922 を組み合わせた方法で行う。

一方、抗ウイルス活性値に直接影響を与えると考えられている、試験ウイルス液の調製方法は、既存の規格と同様にし、ウイルス原液を滅菌水で 10 倍希釈したものを使用する。その他、作用時間、照射強度、照射時間などの作用条件は、既存の規格に準じて行った。(顧客からの要望で、これらから逸脱した条件で評価を行った事例もある) 光触媒試験の概要図を図 2 に示す。

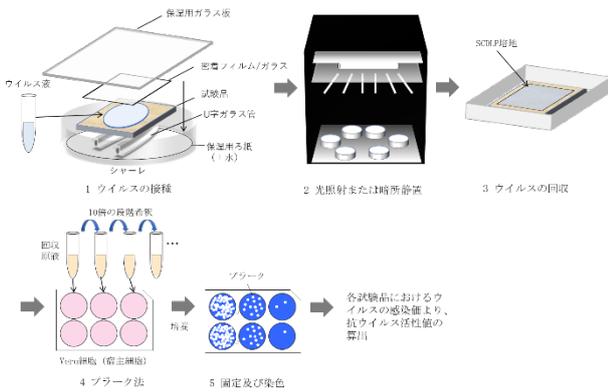


図 2：光触媒サンプルによる抗ウイルス性評価の流れ

2. 実験と結果

(1) SARS-CoV-2 のフィルム上での安定性について

SARS-CoV-2 を用いた抗ウイルス性能評価を行うなかで、評価毎に試験ウイルス液の感染価を測定する。この時の感染価については、ウイルスのストック液を作成後、半年以上経過しても、特に変化はなかった。しかしながら、無加工品の作用後の感染価が減少してくる印象があった。そこ

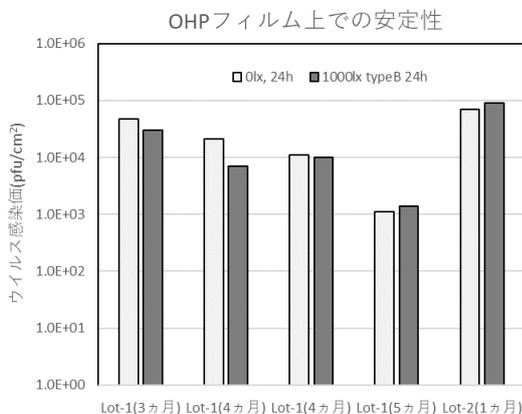


図 3：OHP フィルム上でのウイルスの安定性

で、コントロールとして測定 (暗所及び 1000 lx 24 時間)

していた OHP フィルムのデータを経時的にグラフ化した。(図 3)

OHP フィルムにウイルス液を接種後、同様の OHP フィルムで密着した後、暗所または可視光 1000 lx 照射し、SARS-CoV-2 のウイルス感染価を測定した。その結果、ウイルス原液を作成してからおよそ 5 か月程度で一桁以上の減少が見られた。しかしながら、試験ウイルス液自体の濃度の低下は見られていない。おそらく何らかの理由で、時間が経つにつれ、OHP フィルム上での安定性が低下しているのではないかと推測される。今後、同様の現象が起きることが考えられるため、定期的にチェックを行い、必要に応じてウイルスのストックを更新する必要があると考えられる。

(2) SARS-CoV-2 の光照射に対する安定性について

SARS-CoV-2 を用いた評価を行っている時、紫外線照射だけでも感染価の低下が見られる事例があった。そこで、フィルムやガラス板上での光照射に対する安定性を確認した。ガラス板は SLG (ソーダライムガラス)、フィルムは OHP フィルムを用いて、その上にウイルス液を接種し、OHP フィルムで密着させそれぞれ暗所もしくは光照射 (紫外光・可視光) し、6 時間後ウイルスの感染価を測定した (図 4)

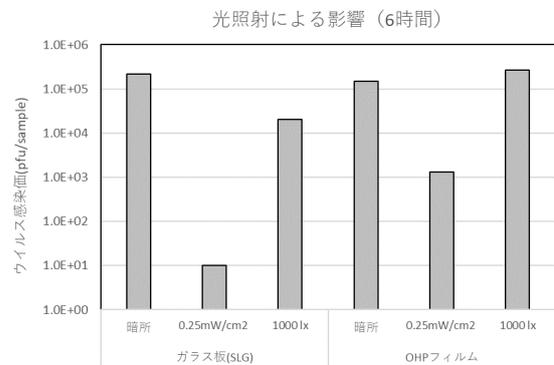


図 4：光照射したときのウイルスの安定性

その結果、特にガラス板上での紫外線照射 (0.25 mW/cm²) は、検出限界まで低下してしまうことが明らかになった。また、フィルム上でも、二桁程度の減少が見られた。一方、可視光 (1000 lx) では、あまり大きな減少は見られなかった。つまり、SARS-CoV-2 は、紫外線自体に対して他のウイルスよりも抵抗性が低く、さらに、ガラス板上ではより感染価が減少してしまうということが明らかとなった。今後、試験品の基材の選定や、評価を行う上でも注意が必要となる。

3. 考察及び今後の展望

新型コロナウイルスを用いた性能評価については、上

記のように個別に対応しながら進めることができた。
SARS-CoV-2 は新しいウイルスのため、まだ、その性質や感受性などについては、不明な点が多いと思われる。また、試験規格では、材料、条件及び方法が詳細に記載されている一方、取り扱う試験品は多種多様であるため、注意深くそれぞれの評価を観察していく必要がある。今後、平板状または繊維状以外のサンプル（例えば、吸湿性素材、紙、フィルター及びそれらの光触媒製品など）にも対応できるように検討していく。このような検討には、インフルエンザウイルスやネコカリシウイルスでの試験の経験を生かしていくのも重要であると考えられる。このように、ウイルス種や試験品の素材についての様々な情報を集約させることで、試験所としての経験値を上げ、より信頼性の高い評価サービスを提供できるように整備していくことが重要である。

2022年度は、液体サンプルにも対応できるように、評価方法を整備していく予定である。液体サンプルの種類としては、無機系、有機系、塩素系及びアルコール系などが一般的であるが、これら以外のサンプルや組成非開示の場合も考えられる。特に、液体サンプルの場合、作用時間が短いため、適切な中和剤の選定が非常に重要となる。例えば、塩素系であれば、中和剤にはチオ硫酸ナトリウム水溶液、有機系（界面活性剤系）であれば、吸着ビーズ処理、組成非開示の場合は、汎用性の高いSCDLP培地などが有効であると考えられる。次年度、上記の項目について、新型コロナウイルスを用いた性能評価サービスを提供していく予定である。

【参考文献】

1. ISO 21702 (2019) “Measurement of antiviral activity on plastics and other non-porous surfaces.”
2. JIS R 1706 (2020) “ファインセラミックス—光触媒材料の抗ウイルス性試験方法—バクテリオファージQ β を用いる方法”
3. JIS R 1756 (2020) “ファインセラミックス—可視光応答形光触媒材料の抗ウイルス性試験方法—バクテリオファージQ β を用いる方法”
4. JIS L 1922 (2016) “繊維製品の抗ウイルス試験方法”

抗菌・抗ウイルス性能評価の提供について

「抗菌・抗ウイルス研究」グループ

畑山 靖佳

1. はじめに

本研究テーマでは、光触媒加工品やその他の抗菌・抗ウイルス加工品の性能評価を行い、様々な企業や研究機関による研究開発の推進させることを目的として、活動をおこなっている。具体的に用いる方法としては、ISOやJIS規格等の標準方法であるが、その一方で、ISOやJISでは対応できない形状の加工品が様々開発されている。我々はそのような加工品に対しても、可能な限り対応するために、最適な評価方法をオーダーメイドで提案し、提供を行っている。ここでは、抗菌・抗ウイルス性能評価としての、JISやISOについて説明しながら、我々が行ってきた評価の内容について、報告する。

(1) 光触媒加工品に対する性能評価方法

以前より光触媒加工品による抗菌・抗ウイルス性能評価方法の確立に向けた研究活動をおこなっており、その成果として、紫外光応答形光触媒及び可視光応答形光触媒を用いた光触媒加工品による抗菌・抗ウイルス性能評価試験方法が規格として制定されており¹⁾、これらの規格は定期的に内容の見直しもおこなわれている。これらの規格で対象となる形状の加工品は平板状又は繊維状の2種類となっている。

更に、これまでに得られた研究結果より、既に制定されているJISやISOを用いた評価結果は実環境で使用した際の抗菌効果を十分に反映していない可能性が明らかとなってきた。そこで、実環境を想定した条件による抗菌性能評価方法の確立に向けて取り組みがなされ、2020年にISO 22551として制定された²⁾。その他にも、2022年には光触媒加工品による防藻性能評価方法であるJIS R 1712が制定されているが³⁾、いずれについても平板状の形状を対象としている。なお、これらの新しい規格についても性能評価の提供をすでに開始している。

(1)-1 光触媒加工品の抗菌・抗ウイルス方法概要

光触媒加工品が抗菌・抗ウイルス効果を発揮するためには、光を当てる必要があるため、図1に示すように、シャーレの内部に試験片を設置、試験菌液を接種した光触媒加工品に対して、上からフィルムをのせて菌液をと試験品を密着させたものを準備し、上部より光照射をおこなう。その後、一定時間経過した接種菌・ウイルス液を回収し、その生菌数や感染価を測定する方法となっている。また、接種液の乾燥を防ぐために、シャーレ内に水で湿らせたろ紙を設置していること、また光を透過させる必要があるために、上部をシャーレのふたではなく、

ガラス板で蓋をすること、暗幕内で光を照射するため、後述する光触媒加工品の性能評価とは異なり、室温で反応させること、などいくつかの点で光触媒加工品独自の方法をとっている(図2)。

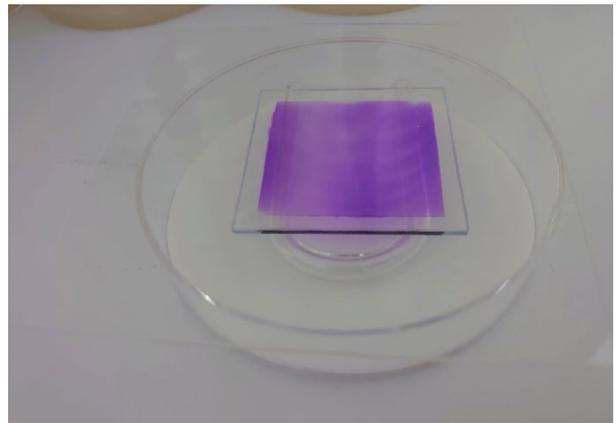


図1：光触媒加工品のサンプルの設置方法

*菌液の代わりに色を付けた水をのせてあります。

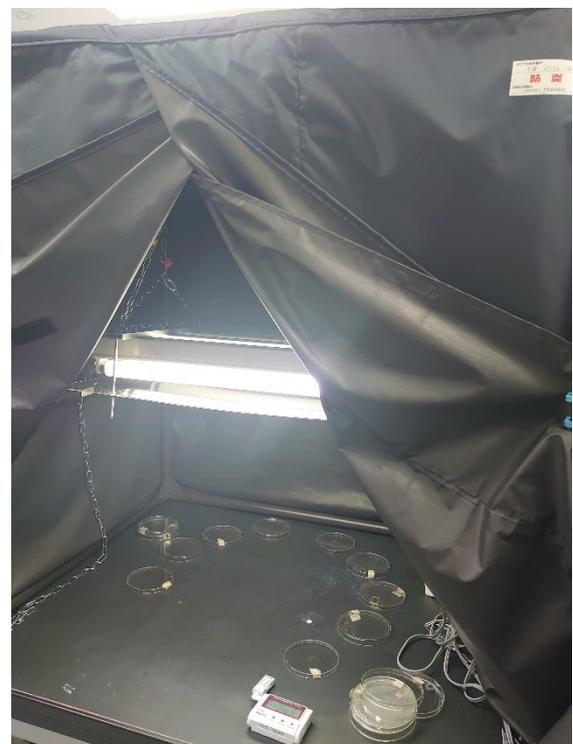


図2：光照射で用いる暗幕の例

また、光触媒加工品のうち、繊維状の形状に関しては、ガラス状に評価をおこなう光触媒加工品をのせ、フ

イルムで密着させるのではなく、ガラス板によって密着させることとなっている。この方法は光触媒加工品以外の抗菌・抗ウイルス加工品と大きく異なる点である。

(2) 光触媒加工品以外に対する性能評価方法

光触媒加工品以外に対する抗菌・抗ウイルス性能評価方法に関しても、平板状と繊維状の2種類の形状に対して、JISやISOが制定されている。光触媒加工品とは異なり、平板状と繊維状の規格が別々に存在している。平板状の加工品では、抗菌性能評価方法(JIS Z 2801)⁷⁾及び抗ウイルス性能評価方法(ISO 21702)⁸⁾があり、繊維状については抗菌製品評価方法(JIS L 1902)⁹⁾及び抗ウイルス性能評価方法(JIS L 1922)¹⁰⁾がある。このうち、我々はJIS Z 2801について、JNLAの登録試験所認定を取得している。これにより、光触媒工業会や一般社団法人抗菌製品技術協議会が認証しているマーク申請に必要なデータを提供することが可能となっている。

(2)-1 光触媒加工品以外に対する性能評価方法概要

光触媒以外の加工品による性能評価方法は平板状については、ほとんどの点で光触媒加工品の性能評価方法と同様の流れとなっており、異なる点は光照射が不要であることや試験時の温度を35°Cに保つこと、などの違いである。

繊維状の抗菌・抗ウイルス加工品については、光触媒加工品とは大きく異なっており、0.4g程度に裁断した抗菌・抗ウイルス加工品をバイアル瓶にいれ、菌液・ウイルス液を接種し、培養器に入れて、一定時間反応させる方法である。

平板状、繊維状どちらも、一定時間の反応時間が経過後、接種液を回収し、生菌数や感染価を測定する点は光触媒加工品の性能評価と同様である。

2. 実験と結果

我々が、これまでに提供してきた性能評価件数の推移を図3に示す。機器の共用化として、抗菌性能評価の提供を開始してから、毎年、利用件数が増加してきた。特に、2020年は新型コロナウイルスの感染拡大により、大幅な利用件数の増加があり、その傾向は、2021年度も続いていた。

2021年度の利用件数の状況を図4に示す。図4で明らかのように、利用件数の内、標的をウイルスとしたものが80%という内容であった。また、その目的に関しては、研究開発だけではなく、最終製品の評価や材料の探索といった目的での利用が主であった。

光触媒加工品の抗ウイルス性能評価に関しては、紫外光応答形と可視光応答形の2種類の光触媒材料の内、90%超が可視光応答形光触媒を用いた光触媒加工品の利用であった。

3. 考察及び今後の展望

結果に示したように、性能評価の受託を開始してか

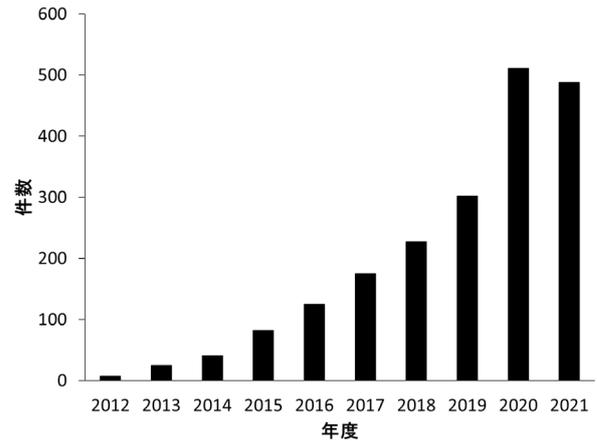


図3：性能評価提供件数の推移

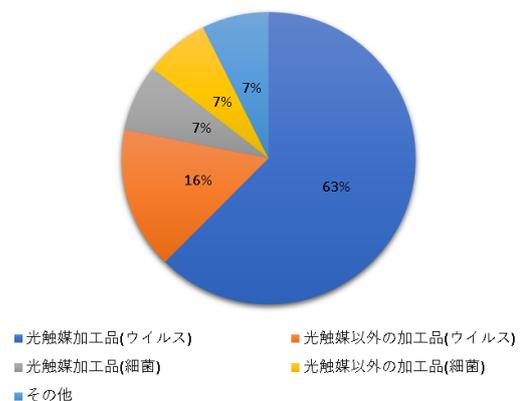


図4：性能評価提供件数の内容

ら、利用件数が増加を続けてきている。特に、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、2020年度より大幅な件数の増加が認められ、特にウイルスを対象とした研究開発目的が最も多い利用目的であった。このことから、新型コロナウイルス感染の拡大を防ぐために、この数年で数多くの企業や研究機関が抗ウイルス加工品の研究開発を加速させていると考えられる。

光触媒に関しては、90%超が可視光応答形を対象とした抗ウイルス性能評価試験であったが、細菌やウイルスの感染予防に関しては、特に室内環境などの生活空間で使用されることを念頭に置いた研究開発が進められていると考えられる。また、可視光応答形光触媒は光があたらない場所でも抗菌・抗ウイルス性能が発揮されるハイブリッド形と呼ばれるものが開発されている。これにより、暗所においても抗菌・抗ウイルス効果を発揮し、また光が当たる環境下で、その効果が更に高まるような製品開発が進められていると思われる。

残念ながら、現在も新型コロナウイルスは変異を続けながら、依然として感染が続いている。一方で、人々の生活は、新型コロナウイルスの感染拡大前の生活に近くように多くの試みや試行が続けられている。その中のツールの一つとして、抗ウイルス加工品の研究開発が進められていくことは非常に重要なことと考えられる。

抗菌加工製品や抗ウイルス加工製品の大きな課題とし

て、対照としている微生物である細菌やウイルスなどを通常の生活環境で目に見たり感じたりすることが難しいことである。そのため、抗菌・抗ウイルス効果を実感することが難しく、消費者にとって、本当に効果が出ているかの判断をすることが出来ない点である。そのような課題に対し、これまでに制定されてきた JIS や ISO を始め、その他我々が行っているオーダーメイドの性能評価を利用していただくことで、抗菌・抗ウイルス効果が確実に発揮されている加工品であることを数値として確認することは非常に有効な手段である。是非、今後も皆様には抗菌・抗ウイルス加工品の研究開発をおこなう中で、KISTEC の性能評価を利用していただき、良い抗菌・抗ウイルス製品の開発につなげていただきたい。

【参考文献】

- 1.JIS R 1702:2020. ファインセラミックス-光触媒抗菌加工材料の抗菌性試験方法及び抗菌効果. 一般財団法人日本規格協会.
- 2.JIS R 1752 ファインセラミックス-可視光応答形光触媒抗菌加工材料の抗菌性試験方法及び抗菌効果. 一般財団法人日本規格協会.
- 3.JIS R 1706:2020. ファインセラミックス-光触媒材料の抗ウイルス性試験方法-バクテリオファージ Q β を用いる方法. 一般財団法人日本規格協会.
- 4.JIS R 1756 ファインセラミックス-可視光応答形光触媒材料の抗ウイルス性試験方法-バクテリオファージ Q β を用いる方法. 一般財団法人日本規格協会.
- 5.ISO 22551:2020. Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Determination of bacterial reduction rate by semiconducting photocatalytic materials under indoor lighting environment — Semi-dry method for estimating antibacterial activity on the actual environmental bacteria contamination surface.
- 6.JIS R 1712:2022. ファインセラミックス-光触媒材料の防藻性試験方法. 一般財団法人日本規格協会.
- 7.JIS Z 2801:2012. 抗菌加工製品-抗菌性試験方法・抗菌効果. 一般財団法人日本規格協会.
- 8.ISO 21702:2019. Measurement of antiviral activity on plastics and other non-porous surfaces.
- 9.JIS L 1902:2015. 繊維製品の抗菌性試験方法及び抗菌効果. 一般財団法人日本規格協会.
- 10.JIS L 1922. 繊維製品の抗ウイルス性試験方法. 一般財団法人日本規格協会.

金属酸化物の新型コロナウイルスに対する抗ウイルス活性

「抗菌・抗ウイルス研究」グループ

砂田 香矢乃、畑山 靖佳、永井 武、石黒 斉

1. はじめに

2020年から新型コロナウイルスによる感染症が世界中で蔓延しパンデミックとなってから、すでに2年以上が経過している。このパンデミックが長引いている原因の一つは、変異株が次々に生まれ、ワクチン接種の効果が低下してしまう点にある。

我々はこれまで、持続性のある抗ウイルス剤として金属酸化物を中心とした材料について開発を行い、抗ウイルス活性を評価してきた。本稿では、奈良県立医科大学、東京工業大学と三者での共同研究で行った金属酸化物材料の新型コロナウイルスに対する抗ウイルス活性について、新型コロナウイルスの野生株だけでなく、その変異株に対する効果もふくめて報告する^{1),2)}。

(1) 可視光応答型光触媒材料

奈良県立医科大学と東京工業大学宮内研究室との共同研究で扱った材料は、2007～2012年度に東京大学を中心に行われていた国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト」(PL:橋本和仁教授(現 JST 理事長))の中で創製された可視光応答型光触媒材料 $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ である³⁾。本材料は、酸化銅と二酸化チタンの複合体で、大きさが数ナノメートルの Cu_xO が TiO_2 粒子表面に分散して担持されている。 Cu_xO の x は、 $1 < x < 2$ の範囲をとり、銅の1価と2価が混合状態で存在し、1価の銅は暗所での抗ウイルス効果、2価の銅は可視光照射下で光触媒反応に寄与する。すなわち、暗所においても高い抗ウイルス活性を示し、室内光などの可視光が照射されれば、さらに高い抗ウイルス活性を発揮する。この材料について、新型コロナウイルスの野生株だけでなく、変異株であるアルファ株、ベータ株、ガンマ株、デルタ株に対する抗ウイルス活性を調べた。

(2) 希土類を含んだ酸化物材料

もう一つの材料として、東京工業大学中島研究室で創製された希土類を含んだ酸化物材料であるセリウムとモリブデンの複合酸化物($\gamma\text{-Ce}_2\text{Mo}_3\text{O}_{13}$ 、以下 CMO)の新型コロナウイルスに対する抗ウイルス活性を評価した。中島研究室では、CMO 以外にもランタンとモリブデン、セリウムとランタンなど希土類を含んだ酸化物、たとえば $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ や $\text{Ce}_{0.8}\text{La}_{0.2}\text{O}_{2.8}$ などが種々合成され、水中での有機物分解やバクテリオファージを対象とした抗ウイルス活性が調べられてきた^{4),5)}。希土類を含んだ化合物の抗ウイルス活性は、これまでほとんど調べられていなかったため、新規でオリジナリティのある研究となっている。

2. 実験と結果

(1) 可視光応答型光触媒 $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ の抗ウイルス活性

$\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ は、NEDO プロジェクトで合成したものを使い、その粉体をソーダライムガラスに担持して、抗ウイルス評価に供した。新型コロナウイルスに対する抗ウイルス活性は奈良県立医科大学で行われ、JIS R 1756 並びに ISO 21702 を参考に野生株だけでなく、変異株であるアルファ株、ベータ株、ガンマ株、デルタ株を使って評価された。可視光照射は、光源として白色蛍光灯(FL20SSW/18, MITSUBISHI)を用いて、Type A filter(400 nm 以下の波長をカット)のもとで照射し、1000 lx の照度で行った。

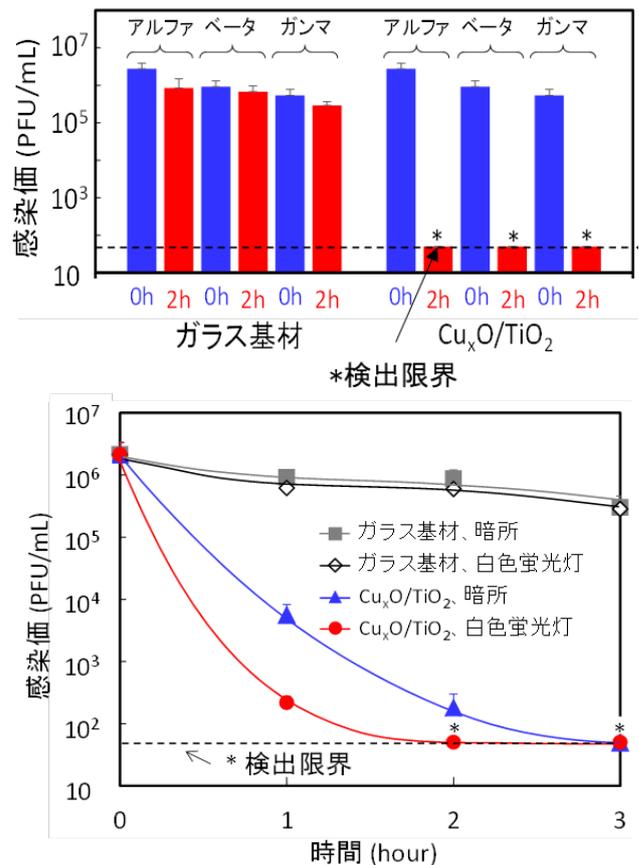


図 1: $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ の新型コロナウイルス変異株に対する抗ウイルス活性(上図: アルファ、ベータ、ガンマのそれぞれの変異株に対する可視光下での抗ウイルス活性、下図: デルタ株に対して暗所と照射下での抗ウイルス活性)

評価結果を図1に示したが、 $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ は、イギリス型変異株として知られるアルファ株、南アフリカ型変異株のベータ株、ブラジル型変異株のガンマ株のそれぞれに対して、2時間の可視光照射で、ウイルスの感染価を検出限界以下まで不活化できることが明らかとなった。また、日本でも流行のメインとなったデルタ株に対しても、 $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ は、可視光下2時間で、暗所下でも3時間で、感染価が検出限界となり、可視光照射下だけでなく、暗所でも高い抗ウイルス活性を發揮することが示された。

この抗ウイルス活性がどのように發揮されるかを明らかにするために、新型コロナウイルスの表面にある感染に関与するスパイクタンパク質(S1)の変性を、抗原抗体反応を利用してタンパク質定量を行うELISA法によって調べた。結果を図2に示した。図1の感染価減少と同様に、暗所でも光照射下でも1時間から2時間で $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ 上のスパイクタンパク質(S1)の濃度が急激に減少した。この結果から、新型コロナウイルスがヒトの細胞に感染する際に必要なタンパク質であるスパイクタンパク質を $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ が変性させることによって、その抗ウイルス活性が發揮されると示唆された。

また、新型コロナウイルス表面のスパイクタンパク質だけでなくウイルスが持つRNA量についてもRT-qPCR法で測定した。その結果、暗所でもRNAが断片化し、RNA量は減少したが、可視光照射下では、暗所下よりもRNA量の減少度合いが大きく、可視光での光触媒反応により、RNAの酸化分解が起こっていると考えられた。このRNAの分解も $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ の抗ウイルス活性をもたらしているメカニズムの一つと考えている。

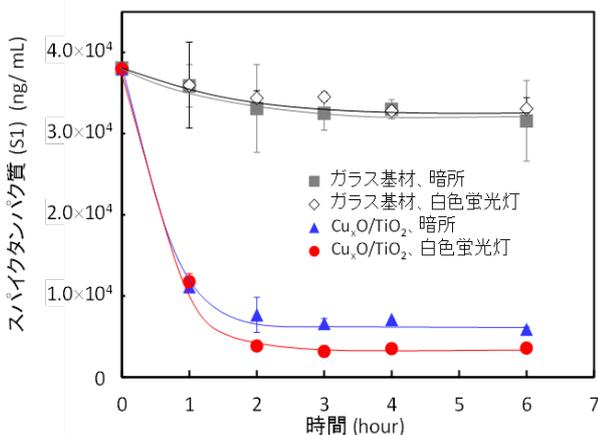


図2：新型コロナウイルス表面のスパイクタンパク質(S1)の変性のようす

(2) 希土類を含んだ酸化物の抗ウイルス活性

前述した通り、中島研究室では、希土類を含む種々の酸化物が創製されているが、はじめは、自己撥水性が報告されていた酸化ランタンと、抗菌活性が報告されていた酸化モリブデンを組み合わせた複合酸化物である $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ (以下LMO)の粉体合成がきっかけとなっている。LMOの大腸菌と黄色ブドウ球菌に対する抗菌活性を調べたところ、高い活性を示した。一方で、バクテリオファージに対

しての抗ウイルス活性を調べたところ、エンベロープをもたないバクテリオファージQ β に対しては高い抗ウイルス活性を示したものの、新型コロナウイルスやインフルエンザウイルスと同様のエンベロープをもつバクテリオファージ $\Phi 6$ に対しては、バクテリオファージQ β ほど、高い活性を示さなかった⁴⁾。そこで、中島研究室では、ランタン(La)をセリウム(Ce)に置換し、モリブデン(Mo)と複合させた酸化物であるCMOを水熱法により合成し、単相のCMOを創製することに成功した。

このCMOの抗ウイルス活性を、まずはバクテリオファージ $\Phi 6$ について調べたところ、LMOよりも高い抗ウイルス活性を示し、LaをCeに変えることによりエンベロープをもつウイルスに対しても高い活性を示すことが明らかとなった²⁾。

次に、奈良県立医科大学で野生株の新型コロナウイルスに対するCMOの抗ウイルス活性を評価し、結果を図3に示した。CMOは、暗所で4時間作用させると、感染価が検出限界となる高い抗ウイルス活性を示した。一方、Ceと複合していない MoO_3 単独では、CMOより遅い6時間で検出限界となり、LMOのLaの一部のみCeに置換しているLCMOでは、6時間の作用でコントロールのガラス上のウイルスに比較して1桁感染価が低下したのみの低い抗ウイルス活性を示した。この結果より、LMOのLaの一部ではなく、すべてCeに置換したCMOが、新型コロナウイルスに対して、一番高い抗ウイルス活性を發揮することが明らかとなった。

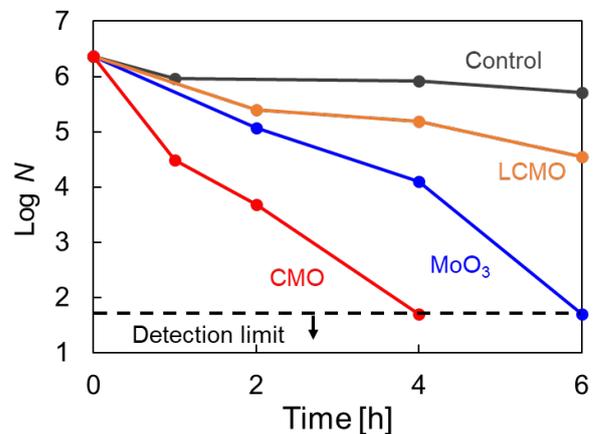


図3：CMOの新型コロナウイルスに対する抗ウイルス活性

3. 考察及び今後の展望

以上、新型コロナウイルスに対して高い抗ウイルス活性を示す2種類の材料について報告した。一つ目の可視光応答型光触媒材料である $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ は、1価と2価の銅が酸化チタン表面にナノクラスターで担持されていることで、1価の銅が暗所でも抗ウイルス活性を發揮し、可視光が照射されれば、さらに高い抗ウイルス活性を發揮するという特徴を持つ。一方で、1価の銅は、空気中の水分などで自然に酸化され2価になってしまうため、暗所での活性は持続性がないとも考えられる。しかし、この $\text{Cu}_x\text{O}/\text{TiO}_2$ は、

光触媒材料であるため、可視光が照射されれば、銅のナノクラスターに電子が励起され、酸化した2価の銅は1価に戻ることができるのである³⁾。このことも、Cu_xO/TiO₂の大きな特徴であり、非常に持続性のある抗ウイルス剤であると言える。また、この材料は、すでに安全性も調べられており、感染リスクを低減できる製品に応用されはじめている。

二つ目の希土類を含む酸化物の抗菌・抗ウイルス活性については注目されはじめているため、CMOより高い抗ウイルス活性を発揮する新しい材料が今後も合成されてくると思われる。それらの材料の抗ウイルス活性と希土類を含む複合化合物の電子配置との関係性を明らかにすることが、今後の新規な抗菌・抗ウイルス材料創製にとって、重要と考えている。

本稿での新型コロナウイルスに対する抗ウイルス評価は、奈良県立医科大学で行われたが、昨年度から弊所でも新型コロナウイルスに対する抗ウイルス評価は、可能となっている。抗ウイルス材料を開発されている方々にぜひ利用して頂ければと思っている。

最後になりましたが、共同研究を一緒に進めて頂きました奈良県立医科大学 中野竜一准教授、東京工業大学 中島 章教授、同じく東京工業大学 宮内雅浩教授をはじめ、関係者各位に深謝申し上げます。

【参考文献】

1. R. Nakano, A. Yamaguchi, K. Sunada, T. Nagai, A. Nakano, Y. Suzuki, H. Yano, H. Ishiguro, M. Miyauchi, *Scientific Reports* 12, 1-10 (2022).
2. T. Ito, K. Sunada, T. Nagai, H. Ishiguro, A. Nakajima *et al.*, *Materials Letters*. 290, 129510 (2021).
3. M. Miyauchi, K. Sunada, K. Hashimoto, *Catalysts* 10(9), 1093 (2020).
4. T. Matsumoto, K. Sunada, T. Nagai, H. Ishiguro, A. Nakajima, *et al.*, *J. Hazard. Mater.*, 378, 120610 (2019).
5. C. Kato, K. Sunada, T. Nagai, H. Ishiguro, A. Nakajima, *et al.*,

JCS- Japan, 129, 607-615 (2021).

光触媒による防藻性能評価実証試験

「抗菌・抗ウイルス研究」グループ
石黒 斉

1. はじめに

光触媒とは酸化チタンを始めとした物質に対して、太陽光などの光があたる事により、酸化還元反応や超親水性を発揮する物質である。この光触媒反応を利用することで、防汚、防曇、空気浄化、抗菌や抗ウイルス性能等の様々な機能を発揮することが可能となることから、光触媒を用いた様々な製品開発が進められている。その一つとして、外壁や住宅の汚れを抑えるために用いるコーティング剤の開発が挙げられる。

外壁や住宅の汚れには土埃などに起因される物質的な汚染だけでなく、藻類の付着や繁殖による生物的な汚染が挙げられる。特に藻類の付着は日当たりの悪い面が多く見られる汚れであり、このことが景観の悪化につながっており、大変大きな問題となっている。

この問題を解消するために、光触媒反応を用いた防藻性能を発揮する製品開発が進められており、その評価方法として、2016年にISO 19635¹が国際標準規格として制定された。更に、光触媒工業会を中心に国内標準化が進められ、2022年にJIS R 1712²が制定、試験機関における運用が開始されている。

一方で、上記ISOやJISによる性能評価方法に関して、実際の環境下における性能との比較はなされておらず、この両者の相関性を知ることは製品開発をおこなう上で、非常に重要な課題である。

そこで、光触媒工業会と共に、2018年度より防藻性能評価の実証試験について検討を開始し、実際に光触媒を塗布した基材を外環境に設置し、藻類の付着状況を検討している。その中から、本年度の成果について、報告する。

2. 実験と結果

本実験では、KISTEC海老名本部及び溝の口支所に架台を設置し、藻類の付着状況の確認と実験室内でおこなった防藻性能評価の結果との関連について、検討をおこなった。

(1) 外部環境における藻類付着についての実証試験

(1)-1 方法

300 mm×1000 mmのブランク及び光触媒塗布試験サンプルを斜面または垂直に設置し、外部環境にさらした状態で保持し、藻類や汚れの付着状況を確認した。ブランクについては、表面をエナメル処理したもの及びクリア塗装後に親水化剤を塗装したものとした。光触媒塗布サンプルについては、エナメル処理を施した表面に、光触

媒を塗装したものとした。光触媒塗装については、光触媒反応による効果の違いを確認するため、メチレンブルーの分解活性をあらかじめ確認したものを準備した。また、サンプル表面については、平滑な表面だけでなく、リシン処理をすることでざらつきを持たせたサンプルを作成した。

(1)-2 実証試験結果

図1に溝の口支所にて、2019年より曝露を開始した試験サンプルの状態を示す。



図1：斜面に設置した試験サンプルの様子

図1の左より順に、平滑面エナメル処理、リシンエナメル処理、平滑面親水処理、リシン親水処理のブランクサンプルを設置しており、その隣から平滑面光触媒1、リシン光触媒1、平滑面光触媒2、リシン光触媒2、平滑面光触媒3、リシン光触媒3、平滑面光触媒4、リシン光触媒4のサンプルを設置した。光触媒サンプルの1-4の違いについては、1が最も光触媒活性が強く、数字が大きくなるほど、光触媒のメチレンブルー分解活性を低く設定したサンプルとなっている。図1に示されるように、最も汚れが目立っている試験サンプルはリシン処理をした親水性の試験サンプル(左から4番目に設置)であった。また、すべての光触媒サンプルに付着した汚れ、藻類の付着量はブランクサンプルと比較すると少ない状況であった。

海老名本部に関しては、8月に新たに試験サンプルを設置しており、その状況については2022年度に検証する予定としている。

(2) ISO 19635 を用いた光触媒加工品の防藻性能試験

(2)-1 方法

この検討では、外部環境における藻類付着の状況を確認しているサンプルと同等のブランク及び光触媒塗布サンプルを用いて、ISO 19635 を参考とした防藻性能評価を行った。具体的な方法として、始めに *Chlorella vulgaris* (NIES-227) を蛍光灯下におき、液体培地内で1週間増殖させた。培養した液は遠心により、*Chlorella vulgaris* を回収してから、水で洗浄した後、濃縮して、約 10^6 個/ml 程度の *Chlorella vulgaris* を液体培地中に入れて、再度培養を行った。1週間経過後に、*Chlorella vulgaris* を遠心により回収した後、洗浄、濃縮を行い、 10^8 個/ml 程度の濃度にしたものを試験液とした。試験サンプルは 50 mm×50 mm のサイズとし、それぞれ1水準につき3枚を使用した。表1に水準表を示す。また、基材として、実証試験で用いているスレートだけでなく、ガラス板にスレートと同様の塗布をしたサンプルの評価もおこなった。

表1 試験水準表

		時間	0時間		6時間	
		照射の有無	0.0 mW/cm ²		1.0 mW/cm ²	
基材	ガラス	ブランク	○	○	○	○
		光触媒加工品(活性低)	-	○	○	○
		光触媒加工品(活性中)	-	○	○	○
	スレート	光触媒加工品(活性高)	-	○	○	○
		ブランク	○	○	○	○
		光触媒加工品(活性低)	-	○	○	○
		光触媒加工品(活性中)	-	○	○	○
		光触媒加工品(活性高)	-	○	○	○
		光触媒加工品(活性高)	-	○	○	○

光照射方法は湿らせたろ紙を入れたシャーレ内にガラス管を入れ、その上にサンプルを設置した後、試験液を0.1 ml 接種し、密着フィルムをかぶせてからガラス板で蓋をし、目的の紫外光強度(1.0 mW/cm²)となる箇所を設置した。また、同時に紫外光を照射しない群も準備し、設置した。紫外光の照射時間は6時間とした。

6時間経過後、サンプルを取り出し、密着フィルムをはがした後、5 ml の洗い出し液を用いて、ピペッティングによるかけ流しで、回収した。回収した試験液の吸光度(660 nm、692 nm 及び 750 nm)を測定し、以下の式によって、防藻活性値を算出した。始めに式(1)を用いて、波長 660 nm と波長 750 nm の吸光度の値(W₆₆₀ 及び W₇₅₀)を結んだラインをベースラインとしたときの 692 nm の吸光度(W_{base692})を求めた。続いて、式(2)により、692 nm の吸光度の値(W₆₉₂)から W_{base692} を差し引くことで、各サンプルより回収した試験液の波長 692 nm の吸光度を補正した値(W_{peak})を算出した。また、接種直後に試験液を回収した試験液の波長 692 nm の吸光度を補正した値は、W_{peak(0h)}としている。

$$\text{式(1)} \quad W_{\text{base692}} = W_{660} + (W_{750} - W_{660}) / (750 - 660) \times (692 - 660)$$

$$\text{式(2)} \quad W_{\text{peak}} = W_{692} - W_{\text{base692}}$$

すべてのサンプルの W_{peak} を算出、その平均値を用い

て、式(3)によって光触媒の防藻活性値を算出した。

$$\text{式(3)} \quad R_s = (1 - W_{\text{peak}}) / W_{\text{peak(0h)}} \times 100$$

(2)-2 防藻性能評価結果

評価をおこなった結果は、表2に示す通りメチレンブルー活性が高いほど、防藻活性値も高くなる傾向が認められた。一方で、回収方法に関しては、*Chlorella vulgaris* を回収できていない可能性があったため、従来の ISO 19635 で用いられる歯ブラシによる回収方法を試みたが、特にスレートを基材としたサンプルでは防藻活性値を計算できる吸光度を取得することが出来なかった。

表2 各サンプルの防藻活性値

基材	ガラス	光触媒加工品(活性低)	37.3%
		光触媒加工品(活性中)	90.6%
		光触媒加工品(活性高)	89.5%
	スレート	光触媒加工品(活性低)	9.3%
		光触媒加工品(活性中)	92.5%
		光触媒加工品(活性高)	96.6%

3. 考察及び今後の展望

以上、実環境下に暴露した藻類の付着状況の確認と試験室内でおこなった光触媒による防藻性能評価の検討を行った。その考察及び今後の展望について述べる。

(1) 外部環境における藻類付着の実証試験結果について

藻類の付着が起こると考えられた場所に試験サンプルを設置し、長期間外部環境に暴露した結果、光触媒サンプルとブランクサンプルの間に顕著な汚染の違いがみられた。このことから、光触媒を塗布したサンプルには防汚だけでなく、防藻性能を発揮することが可能と考えられた。一方で、光触媒のメチレンブルー分解活性の違いと防藻効果の違いについては、大きな相関は認められなかった。この原因として、長期間に渡る風雨や日照状況など外的な要因が大きいと考えられる。更に、サンプルの設置場所に関しても、設置時に水分が非常に多い場所を選定していたが、周囲環境の状況が変わり、水分がほとんどない状況となってしまったため、より負荷が高い環境下に設置した場合に、光触媒のメチレンブルー活性の違いが顕著に表れると考えている。

(2) ISO 19635 を用いた光触媒加工品の防藻性能試験結果について

本検討結果から、光触媒による防藻性能とメチレンブルー分解活性には相関関係があると考えられる。一方、今回の試験では ISO 19635 では規定されていないピペッティングによる回収をおこなった。その理由として、以前の研究結果より、基材や光触媒の組み合わせによっては、正確な吸光度を測定することが困難であることを示唆するデータが得られている。そのため、ピペッティ

グによる回収方法をおこなったが、歯ブラシによる回収方法とは異なり、基材に *Chlorella vulgaris* が残ってしまう現象を認めた。そのため、残った *Chlorella vulgaris* を歯ブラシによって回収したところ、予想通りに吸光度の測定が出来ないという結果となった。このことから、今後新しい回収方法を作成することが重要と考える。

(3) 今後の展望

光触媒による防藻性能を応用することで、生活環境の景観を悪化させない製品の開発に関しては、日本国内に留まらず、広くアジア圏の各国においても非常に期待されているところである。また、光触媒は防藻剤などの薬剤とは異なり、セルフクリーニング性能と複合的に働き美観を損ねないこと、感染症のリスク低減として抗菌・抗ウイルス性能を発揮するなど非常に有用な技術である。そのため、今後更に光触媒を使用した製品開発が進んでいくことを期待している。

光触媒の性能評価方法の観点からは、抗菌・抗ウイルス性能評価では平板状に加えて、繊維状のサンプルを対象とした評価方法となっているが、その他の形状や対象外の性質を持つサンプルに対しては、標準的な評価方法がない状況である。防藻性能試験に関しても同様に ISO 19635 では対応できないサンプルが多数あると考えられる。そのため、そのようなサンプルに対する評価方法の開発も今後は大きな課題と考えている。その点で、我々は日常から様々なサンプルを扱い、サンプルの形状や性質に合わせた抗菌・抗ウイルス性能評価をおこなっている。この知見を応用した防藻性能評価方法の開発につなげていく予定である。

最後に、本検討をおこなう上で、光触媒工業会には多大なるご協力を頂いており、ここに感謝いたします。

【参考文献】

1. ISO 19635:2016 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Test method for antifungal activity of semiconducting photocatalytic materials.
2. JIS R 1712:2022. ファインセラミックス—光触媒材料の防藻性試験方法. 一般財団法人日本規格協会.

業 績

【原著論文】

1. Kato C, Otsuka N, Sunada K, Isobe T, Matsudhita S, Nagai T, Ishiguro H, Nakajima A.
Decomposition of 2-naphthol in water and antiviral activity by CoO_x modified (Ce_{0.8},Bi_{0.2})O_{2-δ} and (Ce_{0.8},La_{0.2})O_{2-δ} in the dark or under visible light.
Journal of the Ceramic Society of Japan. 129: 607-615, 2021.
2. Saruwatari A, Sunada K, Isobe T, Matsushita S, Nagai T, Ishiguro H, Nakajima A.
Transparent porous La₂Mo₂O₉ thin film preparation and antibacterial and antiviral activities.
Journal of the Ceramic Society of Japan. 129: 485-488, 2021.

【総説】

1. 宮内 雅浩、砂田 香矢乃. 第2章 6節 可視光応答形光触媒とその抗菌・抗ウイルス機能、書籍. 抗菌・抗ウイルス技術の開発・評価と樹脂、繊維、塗料、フィルム等への製品応用. AndTech.2021年1月13日発刊.
2. 砂田 香矢乃、永井 武、中島 章、石黒 斉. 感染リスクの低減をめざした金属酸化物の抗ウイルス活性について. 無機マテリアル Vol.28, 146-151, 2021.
3. 砂田 香矢乃、宮内 雅浩. ウイルスフリーで安心・安全な生活空間の創出 ～光触媒による抗ウイルス材料の新展開～. 日本能率協会総合研究所 (JMAR) 『2020年度 MDB 技術予測レポート』
4. 砂田 香矢乃、宮内 雅浩. 銅担持酸化チタン光触媒材料の抗ウイルス活性とその評価. 雑誌『研究開発リーダー』 Vol.18, 18-21, 2021. 技術情報協会.

【書籍】

1. 石黒 斉. 第1節 光触媒素材の抗菌・抗ウイルス性能評価. 抗菌・抗ウイルス性能の材料への付与、加工技術と評価. 技術情報協会. 2021年3月31日発刊. 527-532.
2. 砂田 香矢乃、宮内 雅浩. 第4章 第1節 光触媒材料の抗菌・抗ウイルス活性とそのメカニズム. 書籍. 抗菌・抗ウイルス性能の材料への付与、加工技術と評価. 技術情報協会. 2021年3月31日発刊.

3. 石黒 斉. 第1 1章 抗菌・抗ウイルス性能評価 4 光触媒素材の抗ウイルス試験法と性能評価. 抗菌・抗ウイルス剤の最新動向. CMC 出版. 2121年5月10日発刊. 321-326.
4. 砂田 香矢乃. 第6章 銅や銀を用いた抗菌・抗ウイルス剤 3. 金属酸化物の抗菌・抗ウイルス活性とその評価. 抗菌・抗ウイルス剤の最新動向. CMC 出版. 2121年5月10日発刊. 128-135.
5. 宮内 雅浩、砂田 香矢乃. 可視光型光触媒による抗菌・抗ウイルス. 抗菌・抗ウイルス剤の最新動向. CMC 出版. 2121年5月10日発刊. 157-163.
6. 砂田 香矢乃、宮内 雅浩. 第2編 第1章 第2節 紫外光型・可視光型光触媒材料の抗菌・抗ウイルス効果. 書籍. 抗ウイルス・抗菌製品開発 基礎、作用メカニズムから評価、認証、商品化まで. 株式会社 NTS. 2021年3月31日発刊.
7. 石黒 斉. 光触媒材料による抗ウイルス性能評価方法. 書籍. 抗ウイルス・抗菌製品開発 基礎、作用メカニズムから評価、認証、商品化まで. 株式会社 NTS. 2021年3月31日発刊.

【口頭発表】

1. 岩倉 俊太、望月 泰英、磯部 敏宏、松下 祥子、中島 章、砂田 香矢乃、永井 武、石黒 斉.
固体表面の静的撥水性とモリブデン酸セリウムの漏出イオンが抗ウイルス活性に及ぼす影響.
日本セラミックス協会 2021 年会. 2022 年 3 月、オンライン.
2. 猿渡 輝良、磯部 敏宏、松下 祥子、中島 章、砂田 香矢乃、永井 武、石黒 斉.
希土類モリブデン酸複合酸化物薄膜の作製とその抗ウイルス活性.
日本セラミックス協会 2021 年会. 2022 年 3 月、オンライン.
3. 伊藤 拓朗、望月 泰英、磯部 敏宏、松下 祥子、中島 章、砂田 香矢乃、永井 武、石黒 斉.
モリブデン酸セリウム (γ -Ce₂Mo₃O₁₃) の作製とその抗ウイルス活性.
日本セラミックス協会 2021 年会. 2022 年 3 月.
4. 砂田 香矢乃、畑山 靖佳、永井 武、中島 章、石黒

- 齋. 実環境下での酸化モリブデン担持酸化チタンの抗ウイルス効果について.
第26回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」.
2022年3月、オンライン.
5. 砂田 香矢乃. 可視光応答形光触媒材料の抗菌・抗ウイルス効果～新型コロナウイルスに対する効果～.
建築建材展 2022(光触媒工業会セミナー). 2022年3月、東京.
6. 砂田 香矢乃. 銅を中心とした金属酸化物の抗菌・抗ウイルス活性とそのメカニズム.
一般社団法人日本繊維機械学会. 2021年10月.
7. 本村 瞳、尾崎 綾菜、多森 翔馬、野崎 優香、高澤 涼子、佐々木 和教、石黒 齋、宮城 洋平、長嶋 洋治、田沼 靖一、大野 茂男、秋本 和憲.
Glyoxalase 1 and protein kinase C λ as potential therapeutic targets for late-stage breast cancer.
第80回日本癌学会学術総会. 2021年10月、横浜.
8. 石黒 齋. 抗菌剤の性能評価方法（公的試験規格の種類と概要）.
日本防菌防黴学会第48回年次大会. 2021年9月、オンライン.
9. 砂田 香矢乃、畑山 靖佳、永井 武、中島 章、石黒 齋.
モリブデン酸化物と酸化チタンを組み合わせた材料の抗ウイルス活性について.
日本防菌防黴学会第48回年次大会. 2021年9月、オンライン.
10. 石黒 齋.
抗微生物材料とその性能評価. 高分子学会講演会. 2021年7月、オンライン.
11. 中野 竜一、鈴木 由希、中野 章代、矢野 寿一（会員外共同研究者：宮内 雅浩、砂田 香矢乃、石黒 齋）.
可視光応答形光触媒による新型コロナウイルス不活化効果の検証.
第95回日本感染症学会学術講演会. 第69回日本化学療法学会総会 合同学会. 2021年5月、横浜.
12. 中島 章、砂田 香矢乃、石黒 齋、永井 武.
撥水性と抗ウイルス活性を併せ持つ新規セラミックス材料.
日本セラミックス協会 2021年會. 2021年3月、オンライン.
13. 加藤 千尋、磯部 敏宏、松下 祥子、中島 章、砂田 香矢乃、石黒 齋、永井 武.
CoOx 担持 Ce_{0.8}Bi_{0.2}O_{2- δ} , Ce_{0.8}La_{0.2}O_{2- δ} による水中 2-ナフトール分解および抗ウイルス活性.
日本セラミックス協会 2021年會. 2021年3月オンライン.
14. 伊東 拓朗、磯部 敏宏、松下 祥子、中島 章、砂田 香矢乃、石黒 齋、永井 武.
モリブデン酸セリウムの作製とその抗ウイルス活性.
日本セラミックス協会 2021年會. 2021年3月、オンライン.

【特許】

- (1)国内特許出願 3件
(2)国際特許出願 1件