

量子触媒高機能ガーゼタオルの抗菌特性評価 Antibacterial evaluation of gauze towel adhered Quantum Catalyst

岸 政七[†], 加藤 勘次[‡], 松井 秀生[†]
Masahichi Kishi[†], Kanji Kato[‡], Hideo Matsui[†]

Abstract The Quantum catalyst has been discussed to put textile fabric on development stage with emphasizing such significant capability as antifouling, deodorant, antibacterial and anti-virus. The Quantum catalyst, TX5Gp or TX5Gn, expresses photo-catalytic effect of 50 thousand times that of anatase titanium oxide photo-catalyst with owing to creating donor or acceptor level in its band gap.

It was successfully verified based on both JIS and JTECT standard in the Japan food research laboratories that the textile fabric adhered with Quantum catalyst TX5Gp achieves same bacteriostatic activity for *Klebsiella pneumoniae* even in dark place as to that of the anatase titanium oxide photo catalyst in ultraviolet irradiation.

1. はじめに

光触媒物質は、光エネルギーが照射されると自由電子とホールを物質外に放出する作用を利用する光電素子として、古くから身近な物資として活用されてきた。近年、東京大学藤島昭特別名誉教授（現東京理科大学学長）が開発した酸化チタン光触媒は、強力な光触媒効果を発現することで知られており、実用化研究も積極的に展開され、日本発のオリジナル技術として世界をリードしている。

酸化チタンの優れた光触媒効果を活用し、自動車排気ガスによるトンネル内設置照明器具の汚染防護、あるいは細胞膜を分解破壊するガン治療、あるいは耐性菌の発生を抑える新しい抗菌効果の医療への応用が試みられてきた。しかし、酸化チタン光触媒の強力な光触媒効果を発現させるためには、3.2eV以上のエネルギーを有する紫外光の照射が必須であり、紫外光は直進性が強く吸収されやすく酸化チタン光触媒に届き難い問題を有し、トンネルや人体内部などの暗所では、満足できる成果が得られていない。

このため、紫外光や可視光照射を必ずしも必要としない新しい触媒の研究開発が積極的に実施されてきた。

強力な光触媒物資である酸化チタンに、第2物質を担持あるいは窒素ドーピングなどすると、光触媒効果が増強される。例えば、白金を担持すると、白金と酸化チタンとのショットキー接合効果で、酸化チタンの禁止帯幅（バンドギャップ）が狭められ、3.2eV以下の低いエネルギーが照射され光触媒効果を発現するように改質できる。

また、酸化チタンに窒素をドーピングして、結晶中の一部のチタン原子を窒素に置き換えたり、第2物質に鉄や銅を使用したりすると、可視光応答型の酸化チタン光触媒物質が実現されることが知られている。しかし、窒素ドーピングでは酸化チタン結晶に歪を与え紫外光照射での光触媒効果の劣化が避けられない問題を発生していた。

第2物質として3族あるいは5族原子の酸化物を担持すると、酸化チタン結晶に歪を与える事無く、紫外線照射時の光触媒効果を増強し加えるに、可視光照射時にも暗所での量子線照射時にも応答する新しい触媒・量子触媒 TX5G が実現できることを実証した。

担持する物質が3族元素の酸化物ならば TX5G は p 型半導体特性の TX5Gn を、5族元素の酸化物ならば n 型半導体特性の TX5Gp を実現でき、抗菌作用に新しい素材を提供する。

かかる新しい量子触媒 TX5G を用いて製造する高機能ガーゼタオルが、消臭・抗菌機能に優れていることを調べ、その抗菌能力が、制菌加工（特殊用途）規格を暗所でも満たすことを実証できたので報告する。

[†]愛知工業大学 総合技術研究所（豊田市）
[‡]おぼろタオル株式会社（津市）

本報告は、平成25年度から3年間実施するプロジェクト共同研究第2年度の平成26年度成果の一部を纏めたものである

2. 高機能繊維製品の抗菌制菌抗ウイルス能力

多剤耐性緑膿菌 MDRP やメチシリン耐性黄色ブドウ球菌 MRSA などの耐性菌は、抗生物質や薬剤の使用で発生する。多剤耐性菌の発生数は、この 10 年間 3 万件前後の漸増か横ばい傾向にあった。しかし、平成 11 年すべての菌に有効とされていた万能抗生物質バンコマイシンに対する耐性菌【耐性腸球菌】が発生、未知の菌や新種の耐性菌が、医療・介護現場を院内感染の温床に化している。かかる危機的状態を開閉するため、新種の多剤耐性菌や一般的なインフルエンザウイルス、結核菌、あるいは予期せぬ新種菌や、SARS、MERS、エボラ出血熱などウイルスなど、種別を問わず死滅する新しい夢の物質の実現が切望されている。

2.1 光触媒の抗菌・制菌能力

図 2.1 に示すように、光触媒は、紫外線照射で自由電子とホールを放出し、近傍空間に OH ラジカルを発生、OH ラジカルは菌・ウイルスなどの細胞膜を破壊死滅、さらに菌死滅後に残るペロ毒素などの有害物質も分解除去する。この光触媒の優れた機能は、人や動物へ害を及ぼさず、紫外光が照射される限り長期間劣化することは無い。

医療スタッフや患者の着衣、病院・介護現場のカーテン、入院衣や寝装品など全ての繊維製品の防汚・抗菌・抗ウイルス・消臭化が喫緊の課題対応に光触媒の適用が検討されている。

長期間、何度も医療用洗濯の強力な苛性ソーダで洗濯する過酷な使用条件で、十分な光触媒効果をも保つには、繊維表面に触媒を固着する必要がある。

紫外線はバインダ層で反射・吸収され、十分な強度な紫外線が触媒に届かず、強力な紫外線照射を要する従来の光触媒では菌などを破壊死滅するに足る光触媒効果を獲得できない。

バインダ層で反射減衰した弱い紫外線照射や、あるいは可視光、さらには暗所でも大きな光触媒効果を発現する新しい触媒が必要となる。

NEDO と東大は、酸化タングステン WO₃ に着目して、

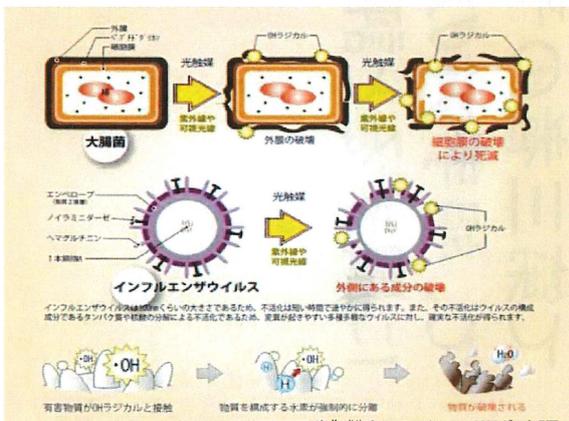


図 2.1 光触媒の防汚・消臭・抗菌メカニズム
Fig.2.1 Antifouling, deodorization, antibacterial mechanism of photo-catalyst

表 2.1 繊維製品の抗菌制菌加工と使用菌種

機能加工名	抗菌防臭加工	制菌加工		光触媒抗菌加工
		一般用途	特定用途	
SEKマーク	DIC06(青)	DIC12(橙)	DIC156(赤)	DIC189(紫)
	抗菌防臭加工	制菌加工(一般用途)	制菌加工(特定用途)	光触媒抗菌加工
	●	●	●	●
試験対象菌種	黄色ぶどう球菌 NBRC12732	●	●	●
	肺炎かん菌 NBRC13277	-	●	●
	緑膿菌 NBRC3080	-	○	○
	大腸菌 NBRC3301	-	○	○
	モラクセラ菌 ATC19976	-	○	○
	MRSA IID1677	-	-	●
対象製品 (乳幼児用品除外)	衣料品・寝装品・インテリア用品など	一般家庭で使用する製品	医療施設ならびにそれに類する施設用品	一般家庭で使用する製品
●印: 必須菌 ○印: オプション菌				

光触媒効果が酸化チタンの 16 倍の世界最高水準の新光触媒を開発した。さらに、第 2 物質に 3 族ホウ素あるいは 5 族リンを用いて、光触媒効果が数万倍の複合酸化チタンである量子触媒 TX5G が開発されている。この量子触媒 TX5G は、酸化チタン光触媒の真性半導体とは異なり、第 2 物質として 3 族ホウ素の場合は p 型半導体、リンの場合は n 型半導体となる。

2.2 高機能繊維製品の抗菌制菌規格

繊維評価技術協議会 JTECT は、表 2.1 に示す SEK 繊維製品認証基準を定めており、認証基準を満たす製品に、抗菌防臭加工、制菌加工一般用途、制菌加工特殊用途、光触媒抗菌加工の認証マークを付与、抗菌制菌機能を承認する。

試験対象菌種を表 2.1 に、評価基準を表 2.2 に、それぞれ示す。

表 2.1 に示すように、抗菌防臭加工は黄色ぶどう球菌 NBRC12732 に対する試験を、制菌加工 (一般用途) は黄色ぶどう球菌 NBRC12732 ならびに肺炎かん菌 NBRC13277 の 2 種類の菌に対する試験を、制菌加工 (特殊用途) は黄色ぶどう球菌 NBRC12732、肺炎かん菌 NBRC13277 および MRSA メチシリン耐性黄色ブドウ球菌 IID1677 の 3 種菌に対する試験を、光触媒抗菌加工は黄色ぶどう球菌 NBRC12732 に対する 2 種菌試験を必須条件としている。

表 2.2 に示すように、試験方法には菌液吸収法 JIS L 1902 ならびにガラス密着法 JIS R 1702 の 2 種が定義されており、菌液吸収法は、抗菌防臭加工、制菌加工 (一般用途)、制菌加工 (特殊用途) の 3 加工抗菌試験に、ガラス密着法は光触媒抗菌加工の抗菌試験に使用する。

菌液吸収法は、標準布に試験菌を接種する対照と、加工試料に菌液を接種する検体の菌数を、接種直後と暗所静置 18 時間培養した生菌数を調べる。

表2.2 抗菌防臭・制菌・光触媒抗菌評価基準

試験の種類		加工の種類	評価基準
定量試験	菌液吸収法 JIS L 1902	抗菌防臭加工	静菌活性値 $S \geq 2.2$ (SEK) $S \geq 2.0$ (JIS)
		制菌加工 (一般用途)	殺菌活性値 $L \geq 0$
	制菌加工 (特定用途)	殺菌活性値 $L > 0$ (SEK) $L \geq 0$ (JIS)	
ガラス密着法 JIS R 1702	光触媒抗菌加工	静菌活性値 $S_L \geq 2.0$ かつ ΔS (紫外光放射効果) ≥ 1.0	
静菌活性値 $S = (M_b - M_a) - (M_c - M_d)$ 殺菌活性値 $L = M_a - M_c$ M_a : 標準布の試験菌接種直後の3検体の生菌数の常用対数値の平均 M_b : 標準布の18時間培養後の3検体の生菌数の常用対数値の平均 M_c : 加工試料の試験菌接種直後の3検体の生菌数の常用対数値の平均 M_d : 加工試料の18時間培養後の3検体の生菌数の常用対数値の平均 静菌活性値 $S_L = M_{BL} - M_L \geq 2.0$ 紫外光照射効果 $\Delta S = (M_{BL} - M_L) - (M_{BD} - M_D) \geq 1.0$ ただし標準布に紫外光照射で細菌増殖抑制効果が認められる場合 $\Delta S = M_D - M_L \geq 1.0$ L : 試験で用いた紫外線放射強度 (mW/cm^2) M_{BL} : 標準布に強度L紫外光照射8時間後の3検体の生菌数の常用対数値の平均 M_L : 光触媒抗菌加工布に強度L紫外光照射8時間後の3検体の生菌数の常用対数値の平均 M_{BD} : 標準布を暗所8時間静置後の3検体の生菌数の常用対数値の平均 M_D : 光触媒抗菌加工布を暗所8時間静置後の3検体の生菌数の常用対数値の平均 M_{BA} : 標準布の菌接種直後の3検体の生菌数の常用対数値の平均			

抗菌防臭加工の評価基準は、静菌活性値 S が 2.2 以上、JIS 規格では 2.0 以上と定められている。

ここに、静菌活性値 S は、対照の 18 時間後の生菌数と接種直後の生菌数の比の常用対数と、検体の接種直後の生菌数と 18 時間後の生菌数との比の常用対数との差で与えられる値。

制菌加工 (一般用途) の評価基準は、殺菌活性値 L が 2.0 以上と定められている。また、制菌加工 (特殊用途) の評価基準は、SEK 規格では殺菌活性値 L が 0 を下回らないこと、JIS 規格では L が 0 以上と定められている。

ここに、殺菌活性値 L は、検体の試験菌接種直後の生菌数と 18 時間後の生菌数の比の常用対数で与えられる値。

光触媒抗菌加工の評価基準は、静菌活性値 S_L が 2 以上

であり、紫外光放射効果 ΔS が 1 以上と定められている。

ここに、 S_L はある強度の紫外光を 8 時間照射した後の対照の生菌数と検体の生菌数の比の常用対数で与えられる値であり、紫外光強度として特に指定は無いが、 $0.25mW/cm^2$ が用いられることが多い。

3. 量子触媒加工繊維製品の抗菌評価

量子触媒 TX5G は、使用する第 2 物質で異なった性質となり、第 1 物質の酸化チタン禁止帯にアクセプター準位を有し正に帯電する TX5Gp およびドナー準位を有し負に帯電する TX5Gn に大別できる。一方、微生物等の細胞表面層には各種タンパク質ポリマーが存在しており、

生理的環境で負に帯電¹⁶している。この物理的現象を活用し、細菌との接触性を改善される事を期し、正に帯電する TX5Gp を抗菌評価に使用する。

抗菌試験に、反応速度比が最小値 2.83、平均値 3.10、最大値 3.59、光触媒効果が最小 4,570 倍、平均 1 万 5 千倍強、最大 15 万倍強の量子触媒 TX5Gp (開発コード TX5Gp-2552) を、おぼろタオル社製ガーゼタオルに付着した高機能ガーゼタオルを作成した。

3.1 量子触媒の紫外光照射抗菌特性

量子触媒付着高機能ガーゼタオルを検体とし、試験菌に黄色ブドウ球菌とした紫外光照射に対する抗菌試験を、2014 年 10 月、日本食品分析センターにて実施、その結果を、表 3.1 に示す。

表3.1 高機能ガーゼタオルの黄色ブドウ球菌・紫外光照射抗菌試験

日本食品分析センター2014年10月実施					
紫外光照射強度 $0.25mW/cm^2$ 、照射面積 $100cm^2$ 、試験実施温度 $25^\circ C \pm 5^\circ C$					
試験条件	菌種				
黄色ブドウ球菌 Staphylococcus aureus subsp aureus	接種直後菌数	検体	対照	紫外光照射静菌活性値 S_{VL}	
	1.5 時間菌数	240,000	240,000	S_{V0}	0
	2.75 時間菌数	12,000	140,000	S_{V1}	1.1
	8.0 時間菌数	989	89,343	$S_{V3.0}$	2.0
		0.03	13,545	$S_{V8.0}$	5.7
NBRC12732	紫外光照射量子触媒抗菌判定	合格 $S_{V8} = 5.7 \geq 2.0$ $2.0 =$ 紫外光 $0.25mW/cm^2$ 8 時間照射光触媒静菌活性値			
	紫外光照射量子触媒抗菌効果 <紫外光照射光触媒比>	紫外光照射量子触媒の抗菌効果は、 紫外光照射光触媒抗菌効果の 6579 倍			
枠色凡例	実測値、紫外光 $0.25mW/cm^2$ 1.5 時間照射、プレ照射 24 時間 (紫外光 $1mW/cm^2$)				
	実測値からの外挿				
	紫外光 $0.25mW/cm^2$ 照射量子触媒の抗菌試験				
	紫外光 $0.25mW/cm^2$ 照射量子触媒抗菌効果と紫外光照射光触媒抗菌効果の比較				
紫外光照射 n 時間抗菌試験 = 光触媒および量子触媒に強度 $0.25mW/cm^2$ の紫外光を n 時間照射する抗菌試験					
紫外光照射静菌活性値 $S_{Vn} = \log_{10}$ (紫外光 n 時間照射の対照菌数 / 紫外光 n 時間照射の検体菌数)					
紫外光照射量子触媒抗菌効果 <紫外光照射光触媒比> ≥ 10 の $2(r_v - 1)$ 乗					
ここに $r_v =$ 紫外光照射光触媒が静菌活性 2.0 に要する基準時間 / 紫外光照射量子触媒が静菌活性 2.0 に要する時間					
紫外光照射光触媒静菌活性 2.0 に要する基準時間 = 8 時間					
紫外光照射量子触媒静菌活性 2.0 に要する時間 = 2.75 時間					
試験方法: JIS R1752.2013 (フィルム密着法)					
照射光量一定	1.5 時間 / $100cm^2$ の照射 \leftrightarrow 6 時間 / $25cm^2$ の照射				
使用量子触媒	TX5Gp-2552				
反応速度比	bottom=2.83, ave=3.10, champ=3.59				
光触媒効果	bottom=4,570倍, ave=15,848倍, champ=151,359倍 (基準光触媒=ST-01)				

表 3.1 の白色枠は、紫外光照射強度 1mW/cm², 照射面積 100cm², 照射 1.5 時間の生菌数を表す。

ここで、照射面積 25cm² に 6 時間照射する場合と、照射面積 100cm² に 1.5 時間照射する場合に、検体と対照が受ける紫外光エネルギーは互いに等しい。紫外光照射時の光触媒特性の評価基準は、検体と対象の面積を 100cm² に規定されている。一方、抗菌試験に使用する設備の物理的条件から照射面積を 25cm² に設定することとした。

25cm² 6 時間照射試験を、100cm² 1.5 時間の照射試験と見做して、光触媒規定に合致させることにした。

検体に量子触媒 TX5Gp 付着の高機能ガーゼタオルを、対照に標準布を使用した。接種直後の検体と対照の生菌数は互いに同じ 24 万個、1.5 時間後の検体の生菌数は 1 万 2 千個、対照の生菌数は 14 万個となった。

測定値を表 3.1 に付記する計算式を用いれば、1.5 時間後の紫外光照射静菌活性 S_{Vn} が値 1.1 と求まる。

薄紫枠に示すように測定値から外挿近似すれば、紫外光照射 8 時間後の検体ならびに対照の生菌数は 0 個ならびに 13,545 個となる。

さらに、紫外光照射静菌活性値 S_{Vn} が基準値 2.0 となるまでに、2.75 時間の紫外光照射を要することが知れる。

紫外光照射 8 時間の静菌活性値 S_{Vn} が、基準値の 2.0 より 7 ポイント上回っており、抗菌力認証試験に合格する。

量子触媒加工検体が、紫外光照射 8 時間静菌活性基準値 2.0 に達するために紫外光照射 2.75 時間要することは、抗菌速度が 8/2.75=2.91 倍であると言える。

この抗菌速度比を、光触媒類の反応速度比と同様に扱い表 3.1 付記計算式に代入すれば、紫外光照射 8 時間の量子触媒触媒の抗菌効果は、紫外光照射 8 時間の光触媒の抗菌効果の 6,579 倍であることが理解できる。この抗菌速度比は、抗菌効果の定量評価の 1 尺度となると考えても妥当性は失わないであろう。

紫外光照射 8 時間の静菌活性値が、基準値 2.0 を上回る値 3.7 から直接的に 5 千倍と想定できる。さらに、繊維加工に使用した量子触媒 TX5Gp-2552 の光触媒効果の平均値が光触媒の 1 万 6 千倍であるが、繊維製品の片面にのみ紫外光が照射されるとすれば光触媒効果は半減し 8,000 倍となり、5,000 倍と 8,000 倍の中間値 6,579 倍を示す抗菌効果の定量評価値の妥当性が確認できよう。

以降、この抗菌速度比と抗菌効果を定量評価に適用することとする。

3.2 量子触媒加工繊維製品の可視光抗菌特性

3.2.1 黄色ブドウ球菌に対する可視光抗菌特性

量子触媒付着高機能ガーゼタオルを検体とし、試験菌に黄色ブドウ球菌を用いた可視光照射抗菌試験を、2014 年 10 月、日本食品分析センターにて実施した。その結果を表 3.2 に示す。

ここでは、可視光強度 1,000Lx, 照射面積 100cm² とした。照度強度を 6,000Lx と眩しい明るさの可視光照射試験を実施している例など散見するが、ここでは、事務所の照射基準として JIS-Z9100 が規定する、750Lx ~ 1,500Lx の中間値、1,000Lx を採用する。

表 3.2 の白色枠は実測値を表す。

試験条件		可視光照射強度 1,000 Lx, 照射面積100cm ² , 試験実施温度 25°C±3°C			
菌種		検体	対照	可視光照射静菌活性値 S _{Bn}	
黄色ブドウ球菌 Staphylococcus aureus subsp aureus	接種直後菌数	170,000	170,000	S _{B0}	0
	1 時間菌数	53,000	250,000	S _{B1}	0.67
	2.9 時間菌数	5,788	520,203	S _{B2}	2.0
	8 時間菌数	15	3,718,584	S _{B8}	5.4
NBRC12732	可視光照射量子触媒抗菌判定	合格 S _{B8} = 5.4 ≥ 2.0 2.0 = 紫外光 0.25mW/cm ² 8 時間照射光触媒静菌活性値			
	可視光照射量子触媒抗菌効果 <紫外光照射光触媒比>	可視光照射量子触媒の抗菌効果は、 紫外光照射光触媒抗菌効果の 3290 倍			
枠色凡例	実測値、可視光 1,000Lx 1 時間照射、ブレ照射 24 時間(紫外光 1mW/cm ²)				
	実測値からの外挿				
	可視光 1,000Lx 照射量子触媒の抗菌試験				
	可視光 1,000Lx 照射量子触媒抗菌効果と紫外光 0.25mW/cm ² 照射光触媒抗菌効果の比較				
可視光照射 n 時間抗菌試験 = 光触媒および量子触媒に可視光強度 1,000Lx を n 時間照射する抗菌試験					
可視光照射静菌活性値 S _{Bn} = log ₁₀ (可視光照射 n 時間の対照菌数 / 可視光照射 n 時間の検体菌数)					
可視光照射量子触媒抗菌効果 <紫外光照射光触媒比> = 10 の 2*(r _B - 1) 冪乗					
ここに r _B = 紫外光照射光触媒が静菌活性 2.0 に要する基準時間 / 可視光照射量子触媒が静菌活性 2.0 に要する時間					
紫外光照射光触媒が静菌活性 2.0 に要する基準時間 = 8 時間					
可視光照射量子触媒が静菌活性 2.0 に要する時間 = 2.9 時間					
試験方法: JIS R1752.2013 (フィルム密着法)					
照射量一定条件	1 時間 / 100cm ² の照射 ⇔ 4 時間 / 25cm ² の照射				
使用量子触媒	TX5Gp-2552				
	反応速度比	bottom=2.83, ave=3.10, champ=3.59			
	光触媒効果	bottom=4,570 倍, ave=15,848 倍, champ=151,359 倍 (基準光触媒=ST-01)			

検体に量子触媒 TX5Gp 付着高機能ガーゼタオルを、対照に標準布を使用した。接種直後の検体と対照の生菌数は 17 万個、1 時間後の検体の生菌数は 5 万 3 千個、対照の生菌数は 25 万個となった。

測定値を表 3.2 付記の計算式に代入すれば、1 時間後の可視光照射静菌活性値 S_{Bn} が 0.67 であることが知れる。

水色枠に示すように測定値から外挿近似すれば、可視光照射 8 時間後の検体生菌数が 15 個、対照の生菌数が 3,718,584 個となる。

光触媒は、紫外光を照射する場合には静菌活性を発現するが、可視光を照射する場合には静菌活性を発現できない。ましてや、暗所では静菌活性も光触媒効果も発現できないし、発現しないものとして定義している。このため、光触媒に関して、可視光照射に対する静菌活性基準の定義は存在していない。

量子触媒は、紫外光照射のみならず、可視光照射時、さらには暗所においても光触媒効果を発現する触媒である。可視光照射時の静菌活性基準値や殺菌活性基準値は想定されていなかったため、紫外光照射時の光触媒に関する規定値を、可視光照射試験にも適用する。

紫外光照射時の光触媒の静菌活性 S_{Bn} の基準値 2.0 を、可視光照射時の量子触媒の静菌活性 S_{Bn} の基準値に適用する。言い換えれば、量子触媒が紫外光照射抗菌基準値を満たすならば、紫外光照射が無くても、可視光さえ照射されれば、紫外光照射時の光触媒と同等以上の静菌活性能力を発揮することが保証される。

表 3.2 に示すように、量子触媒に照度 1,000LX の可視光を照射して静菌活性値 S_{Bn} が 2.0 に達するまでには、2.9 時間要する。さらに、可視光照射 8 時間の制菌活性値

S_{Bn} は 5.4 であり、光触媒の紫外光 8 時間照射の静菌活性基準値 2.0 を大きく上回る 3.4 ポイント以上の抗菌力を発現することが明らかになり、抗菌試験に合格する。

照射 8 時間で静菌活性値 2.0 の基準に対して、量子触媒加工検体は可視光照射 2.9 時間で静菌活性基準値 2.0 を達成する。

量子触媒の 1,000Lx 可視光照射の抗菌速度比は $8/2.9 = 2.76$ となり、抗菌効果が紫外光を照射する光触媒の 3,290 倍あることが明らかになる。

3.2.2 肺炎桿菌に対する可視光抗菌特性

量子触媒付着高機能ガーゼタオルを検体とし、試験菌に肺炎桿菌を用いた可視光照射抗菌試験を、2014 年 10 月、日本食品分析センターにて実施した。その結果を表 3.3 に示す。

表 3.3 の白色枠は実測値を表す。可視光強度 1,000Lx, 照射面積 100cm², 照射する時の生菌数を示す。検体に量子触媒 TX5Gp 付着高機能ガーゼタオルを、対照に標準布を使用した。接種直後の検体と対照の生菌数は共に 11 万個、1 時間後の検体の生菌数は 1 万 6 千個、対照の生菌数は 13 万個となった。

測定値を表 3.3 付記の計算式に代入すれば、1 時間後の可視光照射静菌活性値 S_{Bn} が 0.9 と求まる。

水色枠に示すように測定値から外挿近似すれば、可視光照射 8 時間後の検体の生菌数が 0 個、対照が 418,599 個となる。

表 3.3 に示すように、量子触媒に照度 1,000Lx の可視光を照射して静菌活性値 S_{Bn} が 2.0 に達するまでには、2.2 時間要する。さらに、可視光照射 8 時間の制菌活性値 S_{Bn}

表 3.3 高機能ガーゼタオルの肺炎桿菌・可視光照射抗菌試験

日本食品分析センター 2014 年 10 月実施

試験条件	可視光照射 1,000 Lx, 照射面積 100cm ² , 試験実施温度 25℃±3℃				
	検体	対照	可視光照射殺菌活性値 S_{Bn}		
肺炎桿菌 Klebsiella pneumoniae	接種直後菌数	110,000	110,000	S_{B0}	0
	1 時間菌数	16,000	130,000	S_{B1}	0.9
	2.2 時間菌数	1,583	158,856	$S_{B2.2}$	2.0
	8 時間菌数	0.02	418,599	S_{B8}	7.3
NBRC 13277	可視光照射量子触媒抗菌判定	合格 $S_{B8}=7.3 \geq 2.0$ 2.0=紫外光 0.25mW/cm ² 8 時間照射光触媒静菌活性値			
	可視光照射量子触媒抗菌効果 <紫外光照射光触媒比>	可視光照射量子触媒の抗菌効果は、 紫外光照射光触媒抗菌効果の 18.7 万倍			
枠色凡例	実測値、可視光 1,000Lx 1 時間照射、紫外照射 24 時間 (紫外光 1mW/cm ²)				
	実測値からの外挿				
	可視光 1,000Lx 照射量子触媒の抗菌試験				
	可視光 1,000Lx 照射量子触媒抗菌効果と紫外光 0.25mW/cm ² 照射光触媒抗菌効果の比較				
可視光照射 n 時間抗菌試験 = 光触媒および量子触媒に照度 1,000Lx 可視光を n 時間照射する抗菌試験					
可視光照射静菌活性値 $S_{Bn} = -\log_{10}$ (可視光 n 時間照射の対象菌数 / 可視光 n 時間照射の検体菌数)					
可視光照射量子触媒抗菌効果 <紫外光照射光触媒比> = 10 の $2^{*(r_B - 1)}$ 乗乗					
ここに r_B = 紫外光照射光触媒が静菌活性 2.0 に要する基準時間 / 可視光照射量子触媒が静菌活性 2.0 に要する時間					
紫外光照射光触媒の静菌活性 2.0 に要する基準時間 = 8 時間					
可視光照射量子触媒の静菌活性 2.0 に要する時間 = 2.2 時間					
試験方法: JIS R1752.2013 (フィルム密着法)					
照射量一定条件	1 時間 / 100cm ² の照射 ⇔ 4 時間 / 25cm ² の照射				
使用量子触媒	TX5Gp-2552				
	反応速度比 bottom=2.83, ave=3.10, champ=3.59				
	光触媒効果 bottom=4,570 倍, ave=15,848 倍, champ=151,359 倍 (基準光触媒=ST-01)				

表3.4 高機能ガーゼタオルのMRSAメチシリン耐性黄色ブドウ球菌・可視光照射抗菌試験					
日本食品分析センター 2014年10月実施					
可視光照射強度 1,000Lx, 照射面積100cm ² , 試験実施温度 25°C±3°C					
試験条件	検体		対照	可視光照射静菌活性値S _{Bn}	
菌種 MRSA メチシリン耐性 黄色ぶどう球菌 Staphylococcus aureus IID 1677	接種直後菌数	230,000	230,000	S _{B0}	0
	1時間菌数	79,000	260,000	S _{B1}	0.5
	3.78時間菌数	4,050	365,591	S _{B3.78}	2.0
	8時間菌数	45	613,327	S _{B8}	4.1
	可視光照射量子触媒抗菌判定	合格 S _{B8} =4.1 ≥ 2.0 2.0=紫外光0.25mW/cm ² 8時間照射光触媒静菌活性値			
IID 1677	可視光照射量子触媒抗菌効果 <紫外光照射光触媒比>	可視光照射量子触媒の抗菌効果は、 紫外光照射光触媒抗菌効果の171倍			
棕色凡例	実測値、可視光1,000Lx1時間照射、ブレ照射24時間(紫外光1mW/cm ²)				
	実測値からの外挿				
	可視光1,000Lx照射量子触媒の抗菌試験判定				
	可視光1,000Lx照射量子触媒抗菌効果と紫外光0.25mW/cm ² 照射光触媒抗菌効果の比較				
可視光照射n時間抗菌試験=量子触媒に1,000Lx可視光をn時間照射する抗菌試験					
可視光照射静菌活性値 S _{Bn} = log ₁₀ (可視光n時間照射の対照菌数/可視光n時間照射の検体菌数)					
可視光照射量子触媒抗菌効果<紫外光照射光触媒比>=10の2 ^{r_B} (r _B -1)乗					
ここにr _B =紫外光照射光触媒が静菌活性2.0に要する基準時間/可視光照射量子触媒が静菌活性2.0に要する時間					
紫外光照射光触媒の静菌活性2.0に要する基準時間=8時間					
可視光照射量子触媒の静菌活性2.0に要する時間=3.78時間					
試験方法: JIS R1752.2013(フィルム密着法)					
照射量一定条件	1時間/100cm ² の照射⇔4時間/25cm ² の照射				
使用量子触媒	TX5Gp-2552				
	反応速度比	bottom=2.83, ave=3.10, champ=3.59			
	光触媒効果	bottom=4,570倍, ave=15,848倍, champ=151,359倍 (基準光触媒=ST-01)			

は7.3であり、光触媒の紫外光8時間照射の静菌活性基準値2.0を5.3ポイント上回り、強力な抗菌力を発現することが明らかで、抗菌試験に十分合格する。

可視光照射の抗菌速度比は、8/2.2=3.64、抗菌効果は紫外光照射光触媒の187,382倍となる。

3.2.3 MRSAに対する可視光抗菌特性

量子触媒付着高機能ガーゼタオルを検体とし、試験菌にMRSAメチシリン耐性黄色ブドウ球菌を用いた可視光照射抗菌試験を、2014年10月、日本食品分析センターにて実施した。その結果を表3.4に示す。

表3.4の白色枠は、可視光強度1,000Lx、照射面積100cm²の照射試験時の生菌実測値を表す。検体に量子触媒TX5Gp付着高機能ガーゼタオルを、対照に標準布を使用した。接種直後の検体と対照の生菌数は23万個、1時間経過後の検体の生菌数は7万9千個、対照の生菌数は26万個となった。

測定値を表3.4付記の計算式に代入すれば、1時間後の可視光照射静菌活性値S_{Bn}0.5が求まる。

水色枠に示すように測定値から外挿近似すれば、可視光照射8時間後の検体生菌数が45個、対照の生菌数が613,327個となる。

表3.4に示すように、量子触媒に照度1,000Lxの可視光を照射して静菌活性値S_{Bn}が2.0を3.78時間で達成する。可視光照射8時間の制菌活性値S_{Bn}は4.1であり、光触媒の紫外光8時間照射の静菌活性基準値2.0を2.1ポイント上回り、強力な抗菌力を発現することが明らかになり、抗菌試験に十分合格する。

可視光照射の抗菌速度比は8/3.78=2.12、抗菌効果は紫外光照射光触媒の171倍である。

3.3 量子触媒加工繊維製品の暗所抗菌特性

3.3.1 黄色ブドウ球菌に対する暗所抗菌特性

量子触媒付着高機能ガーゼタオルを検体とし、試験菌に黄色ブドウ球菌を用いた暗所抗菌試験を、2014年10月、日本食品分析センターにて実施した。

その結果を表3.5に示す。表3.5の白色枠は実測値を表す。検体に量子触媒TX5Gp付着高機能ガーゼタオルを、対照に標準布を使用した。接種直後の検体と対照の生菌数は17万個であった。4時間後の検体の生菌数は5万1千個、対照の生菌数は25万個であった。

ここで、面積が25cm²の検体を暗所に6時間静置する場合、検体に紫外光や可視光が照射されないため、検体の抗菌作用は、面積に関わらず、抗菌試験実施温度などの試験環境と経過時間で与えられる。暗所抗菌試験は、面積25cm²の検体と対照に対して4時間実施されているが、面積100cm²の検体と対照で4時間実施されたと解釈できる。紫外光照射時の光触媒特性の評価基準は、検体と対象の面積を100cm²と規定されている。

一方、抗菌試験は面積25cm²の検体と対照に対して、4時間実施されたが、紫外光照射光触媒と合致させるため、100cm²4時間と同一面積での照射試験と見做す安全サイドに解釈することとした。

測定値を表3.5に示す計算式に代入すれば、4時間後の暗所静菌活性値S_{D4}は0.69と知れる。

表3.5 高機能ガーゼタオルの黄色ブドウ球菌・暗所静置抗菌試験

日本食品分析センター 2014年10月実施					
暗所静置, 試験実施温度 25℃±3℃					
試験条件	菌種	検体	対照	暗所静置静菌活性値 S_{Dn}	
黄色ブドウ球菌 Staphylococcus aureus subsp aureus NBRC12732	接種直後菌数	170,000	170,000	S_{D0}	0
	4時間菌数	51,000	250,000	S_{D4}	0.69
	11.3時間菌数	5,667	505,372	$S_{D11.3}$	2.0
	18時間菌数	754	964,182	S_{D18}	3.1
	暗所静置量子触媒抗菌判定	合格 $R_{D18}=3.1 \geq 2.0$ 2.0=暗所静置(薬剤系)18時間静菌活性値			
暗所静置量子触媒抗菌効果 <暗所静置(薬剤系)抗菌比>	暗所静置量子触媒の抗菌効果は、 暗所静置(薬剤系)抗菌効果の15.3倍				
<紫外光照射光触媒比>	紫外光照射光触媒抗菌効果の0.26倍				
枠色凡例	実測値、暗所静置4時間、プレ照射24時間(紫外光1mW/cm ²)				
	実測値からの外挿				
	暗所静置量子触媒の抗菌試験判定				
	暗所静置量子触媒抗菌効果と紫外光0.25mW/cm ² 照射光触媒抗菌効果の比較				
暗所静置n時間抗菌試験=暗所n時間静置する抗菌試験					
暗所静置静菌活性値 $S_{Dn} = \log_{10}$ (暗所静置n時間の対照菌数/暗所静置n時間の検体菌数)					
暗所静置量子触媒抗菌効果<暗所静置(薬剤系)抗菌比>=10の2*($r_{DV}-1$)乗					
暗所静置量子触媒抗菌効果<紫外光照射光触媒比>=10の2*($r_{DV}-1$)乗					
ここに r_{DV} =暗所静置(薬剤系)が静菌活性2.0に要する基準時間/暗所静置量子触媒が静菌活性基準2.0に要する時間					
r_{DV} =紫外光照射光触媒が静菌活性基準2.0に要する基準時間/暗所静置量子触媒が静菌活性基準2.0に要する時間					
暗所静置(薬剤系)静菌活性2.0に要する基準時間=18時間					
紫外光照射光触媒が静菌活性2.0に要する基準時間=8時間					
暗所静置量子触媒が静菌活性基準2.0に要する時間=11.3時間					
試験方法: JIS R 1752:2013 (フィルム密着法)					
照射量一定 4時間/25cm ² (暗所) ⇔ 4時間/100cm ² (暗所)					
使用量子触媒 TX5Gp-2552					
反応速度比 bottom=2.83, ave=3.10, champ=3.59					
光触媒効果 bottom=4,570倍, ave=15,848倍, champ=151,359倍 (基準光触媒=ST-01)					

水色枠に示すように、測定値から外挿近似すると暗所18時間後の検体生菌数が754個、対照の生菌数が964,182個となる。

光触媒は、紫外光を照射する場合には静菌活性を発現できるが、可視光を照射する場合には静菌活性を発現できない。ましてや、暗所では静菌活性も光触媒効果も発現できない。このため、光触媒に関して、暗所に於ける静菌活性基準が定義されることは無かった。

量子触媒は、紫外光照射のみならず、可視光照射、さらには暗所においても光触媒効果を発現する特徴の比類の無い触媒であるので、暗所の静菌活性基準値や殺菌活性基準値は、薬剤系と同じ暗所に於ける定義を用いる。

したがって、薬剤系の暗所18時間静置後の静菌活性値 S_{Dn} の基準値2.0を、暗所静置の量子触媒の静菌活性 S_{Dn} の基準値として用いる。

言い換えれば、光触媒では紫外光照射を必要とするが、量子触媒は紫外光照射も可視光照射も無い暗所において、薬剤系と同程度の静菌活性能力を発揮することが保証されることになる。

表3.5に示すように、量子触媒加工繊維の検体を暗所静置して静菌活性値 S_{Dn} が2.0に達するまでには、11.3時間要する。さらに、暗所静置18時間の制菌活性値 S_{Dn} は3.1であり、薬剤系18時間静置の静菌活性基準値2.0を1.1ポイント上回り、優れた抗菌力を発現することが明らかになり、抗菌試験に合格する。

暗所静置18時間で静菌活性値2.0を達成する基準に対

して、量子触媒加工検体は暗所静置11.3時間で静菌活性基準値2.0を達成している。

量子触媒の暗所静置抗菌速度の薬剤系の暗所静置抗菌速度に対する値、すなわち、暗所静置の量子触媒抗菌速度比は $18/11.3=1.6$ であり、抗菌効果は薬剤系の15倍であることが知れる。

次に、量子触媒の暗所静置抗菌を、光触媒の紫外光照射抗菌と比較する。

量子触媒の暗所静置抗菌速度の光触媒の紫外光照射抗菌速度に対する値、すなわち暗所静置の量子触媒抗菌速度比は $8/11.3=0.71$ であり、抗菌効果は紫外光照射光触媒の0.26倍、1/4以上の抗菌効果を発現することが知れる。

3.3.2 肺炎桿菌に対する暗所抗菌特性

量子触媒付着高機能ガーゼタオルを検体とし、試験菌に肺炎桿菌を用いた暗所抗菌試験を、2014年10月、日本食品分析センターにて実施した。その結果を表3.6に示す。

表3.6の白色枠は実測値を表す。検体に量子触媒TX5Gp付着高機能ガーゼタオルを、対照に標準布を使用した。接種直後の検体と対照の生菌数は共に11万個、4時間後の検体の生菌数は1万1千個、対照の生菌数は11万個となった。

測定値を表3.6付記の計算式に代入すれば、4時間後の暗所静菌活性値 S_{Dn} は1.0と求まる。

表3.6 高機能ガーゼタオルの肺炎桿菌・暗所静置抗菌試験

日本食品分析センター 2014年10月実施

試験条件		暗所静置, 試験実施温度 25℃±3℃			
菌種		検体	対照	暗所静置静菌活性値 S_{Dn}	
肺炎桿菌 Klebsiella pneumoniae NBRC 13277	接種直後菌数	110,000	110,000	S_{D0}	0.0
	4時間菌数	11,000	110,000	S_{D4}	1.00
	8時間菌数	1,100	110,000	S_{D8}	2.0
	18時間菌数	3	110,000	S_{D18}	4.5
	暗所静置量子触媒抗菌判定	合格 $R_{D18}=4.5 \geq 2.0$ 2.0=暗所静置18時間薬剤系静菌活性値			
暗所静置量子触媒抗菌効果	暗所静置量子触媒の抗菌効果は、				
<暗所静置(薬剤系)抗菌比>	暗所静置薬剤系抗菌効果の316倍				
<紫外光照射光触媒比>	紫外光照射光触媒抗菌効果の1倍				
枠色凡例	実測値、暗所静置4時間、プレ照射24時間(紫外光1mW/cm ²)				
	実測値からの外挿				
	暗所静置量子触媒の抗菌試験判定				
	暗所静置量子触媒抗菌効果と紫外光0.25mW/cm ² 照射光触媒抗菌効果の比較				
暗所静置n時間抗菌試験=暗所n時間静置する抗菌試験					
暗所静置静菌活性値 $S_{Dn} = \log_{10}$ (暗所静置n時間の対照菌数/暗所静置n時間の検体菌数)					
暗所静置量子触媒抗菌効果<暗所静置(薬剤系)抗菌比>=10の2*($r_{D0}-1$)冪乗					
暗所静置量子触媒抗菌効果<紫外光照射光触媒比>=10の2*($r_{Dn}-1$)冪乗					
ここに r_{D0} =暗所静置(薬剤系)が静菌活性2.0に要する基準時間/暗所静置量子触媒が静菌活性2.0に要する時間					
r_{Dn} =紫外光照射光触媒が静菌活性2.0に要する基準時間/暗所静置量子触媒が静菌活性2.0に要する時間					
暗所静置薬剤系静菌活性2.0に要する基準時間=18時間					
紫外光照射光触媒が静菌活性2.0に要する基準時間=8時間					
暗所静置量子触媒が静菌活性基準2.0に要する時間=8時間					
試験方法: JIS R 1752:2013 (フィルム密着法)					
照射量一定 4時間/25cm ² (暗所) ⇔ 4時間/100cm ² (暗所)					
使用量子触媒 TX5Gp-2552					
反応速度比 bottom=2.83, ave=3.10, champ=3.59					
光触媒効果 bottom=4,570倍, ave=15,848倍, champ=151,359倍 (基準光触媒=ST-01)					

水色枠に示すように、測定値を外挿近似すると、暗所18時間後の検体生菌数が3個、対照の生菌数が11万個となる。

表3.6に示すように、量子触媒加工繊維の検体を暗所静置して静菌活性値 S_{Dn} が2.0に達するまでに、8時間で達成する。さらに、暗所静置18時間の制菌活性値 S_{Dn} は

表3.7 高機能ガーゼタオルのMRSAメチシリン耐性菌・暗所静置抗菌試験

日本食品分析センター 2014年10月実施

試験条件		暗所静置, 試験実施温度 25℃±3℃			
菌種		検体	対照	暗所静置静菌活性値 S_{Dn}	
MRSA メチシリン耐性 黄色ぶどう球菌 Staphylococcus aureus IID 1677	接種直後菌数	230,000	230,000	S_{D0}	0.0
	4時間菌数	43,000	300,000	S_{D4}	0.84
	9.25時間菌数	4,760	425,182	S_{D8}	2.0
	18時間菌数	121	760,323	S_{D18}	3.8
	暗所静置抗菌判定	合格 $R_{D18}=3.8 \geq 2.0$ 2.0=暗所18時間静置薬剤系静菌活性値			
暗所量子触媒抗菌効果	暗所静置量子触媒の抗菌効果は、				
<暗所静置抗菌比>	暗所静置薬剤系抗菌効果の78倍				
<紫外光照射光触媒比>	紫外光照射光触媒抗菌効果の0.537倍				
枠色凡例	実測値、暗所静置4時間、プレ照射24時間(紫外光1mW/cm ²)				
	実測値からの外挿				
	暗所静置量子触媒の抗菌試験判定				
	暗所静置量子触媒抗菌効果と、紫外光0.25mW/cm ² 照射光触媒抗菌効果との比較				
暗所静置n時間抗菌試験=暗所n時間静置する抗菌試験					
暗所静置静菌活性値 $S_{Dn} = \log_{10}$ (暗所静置n時間の対照菌数/暗所静置n時間の検体菌数)					
暗所静置量子触媒抗菌効果<暗所静置薬剤系抗菌比>=10の2*($r_{D0}-1$)冪乗					
暗所静置量子触媒抗菌効果<紫外光照射光触媒比>=10の2*($r_{Dn}-1$)冪乗					
ここに r_{D0} =暗所静置薬剤系が静菌活性2.0に要する基準時間/暗所静置量子触媒が静菌活性2.0に要する時間					
r_{Dn} =紫外光照射光触媒が静菌活性2.0に要する基準時間/暗所静置量子触媒が静菌活性2.0に要する時間					
暗所静置(薬剤系)が静菌活性2.0に要する基準時間=18時間					
紫外光照射光触媒が静菌活性2.0に要する基準時間=8時間					
暗所静置量子触媒が静菌活性2.0に要する時間=9.25時間					
試験方法: JIS R 1752:2013 (フィルム密着法)					
照射量一定 4時間/25cm ² (暗所) ⇔ 4時間/100cm ² (暗所)					
使用量子触媒 TX5Gp-2552					
反応速度比 bottom=2.83, ave=3.10, champ=3.59					
光触媒効果 bottom=4,570倍, ave=15,848倍, champ=151,359倍 (基準光触媒=ST-01)					

4.5 であり、薬剤系 18 時間静置の静菌活性基準値 2.0 を 2.5 ポイント上回り、優れた抗菌力を発現することが明らかになり、抗菌試験に合格する。

暗所静置 18 時間で静菌活性値 2.0 を達成する基準に対して、量子触媒加工検体は暗所静置 8 時間で静菌活性基準値 2.0 を達成している。

量子触媒の暗所静置抗菌速度の薬剤系の暗所静置抗菌速度に対する値、すなわち、暗所静置の量子触媒抗菌速度比は $18/8=2.25$ であり、抗菌効果は薬剤系の 316 倍であることが知れる。

次に、量子触媒の暗所静置抗菌を、光触媒の紫外光照射抗菌と比較する。

量子触媒の暗所静置抗菌速度の光触媒の紫外光照射抗菌速度に対する値、すなわち暗所静置の量子触媒抗菌速度比は $8/8=1$ であり、抗菌効果は紫外光照射光触媒に一致する抗菌効果を発現する。

3.3.3 MRSA に対する暗所抗菌特性

量子触媒付着高機能ガーゼタオルを検体とし、試験菌に肺炎桿菌を用いた暗所抗菌試験を、2014 年 10 月、日本食品分析センターにて実施した。その結果を表 3.6 に示す。

表 3.7 の白色枠は実測値を表す。検体に量子触媒 TX5Gp 付着高機能ガーゼタオルを、対照に標準布を使用した。接種直後の検体と対照の生菌数は共に 23 万個、4 時間後

の検体の生菌数は 4 万 3 千個、対照の生菌数は 30 万個となった。

測定値を表 3.7 付記の計算式に代入すれば、4 時間後の暗所静菌活性値 S_{Bn} は 0.84 と求まる。

水色枠に示すように、測定値から外挿した近似すると、暗所 18 時間後の検体生菌数が 121 個、対照の生菌数が 790,323 個となる。

表 3.7 に示すように、量子触媒加工繊維の検体を暗所静置して静菌活性基準値 $S_{Dn}2.0$ を、9.25 時間で達成する。さらに、暗所静置 18 時間の制菌活性値 S_{Dn} は 3.8 であり、薬剤系 18 時間静置の静菌活性基準値 2.0 を 1.8 ポイント上回り、優れた抗菌力を発現することが明らかになり、抗菌試験に合格する。

暗所静置 18 時間で静菌活性値 2.0 を達成する基準に対して、量子触媒加工検体は暗所静置 9.25 時間で静菌活性基準値 2.0 を達成している。

量子触媒の暗所静置抗菌速度の薬剤系の暗所静置抗菌速度に対する値、すなわち、暗所静置の量子触媒抗菌速度比は $18/9.25=1.95$ であり、抗菌効果は薬剤系の 78 倍であることが知れる。

次に、量子触媒の暗所静置抗菌を、光触媒の紫外光照射抗菌と比較する。

量子触媒の暗所静置抗菌速度の光触媒の紫外光照射抗菌速度に対する値、すなわち暗所静置の量子触媒抗菌速度比は $8/9.25=0.865$ であり、抗菌効果は紫外光照射光触媒の 0.54 倍の抗菌効果を発現する。

表 4.1 光触媒と量子触媒 TX5Gp の制菌活性値

菌種	制菌活性基準値/抗菌試験時間			光触媒・制菌活性値		量子触媒・制菌活性値			
	暗所	可視光 1,000Lx	紫外光 0.25mW/cm ²	暗所	可視光/紫外光	暗所	可視光	紫外光	
黄色ブドウ球菌	2.0/18 時間	2.0/8 時間	2.0/8 時間	*	*	2.0	3.1	5.4	5.7
肺炎桿菌	2.0/18 時間	2.0/8 時間	2.0/8 時間	*	*	2.0	4.5	7.3	-
MRSA	2.0/18 時間	2.0/8 時間	2.0/8 時間	*	*	2.0	3.8	4.1	-

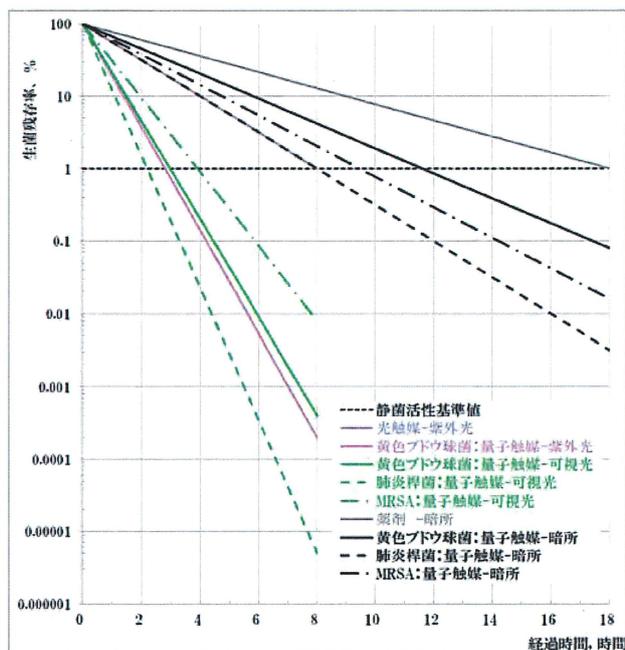


図 4.1 抗菌試験・生菌残存率(量子触媒 TX5Gp-2552, 光触媒 ST-01)
Fig. 4.1 Surviving bacteria properties of the antibacterial test
(Quantum catalyst: TX5Gp-2552, Photo catalyst: ST-01)

4. むすび

表 4.1 に示すように、量子触媒 TX5G を用いた高機能ガーゼタオルは、制菌加工 (特殊用途) 規格を、0.25mW/cm² 紫外光照射、1,000Lx 可視光照射、ならびに暗所の 3 条件における抗菌試験において、いずれの条件でも黄色ブドウ球菌、肺炎桿菌、MRSA の 3 種の必須菌にたいして、静菌活性値を満たし、抗菌防臭加工、制菌加工 (一般用途)、制菌加工 (特殊用途)、光触媒抗菌加工規格をクリアすることが明らかになった。

可視光照射時の光触媒抗菌規格は、定義されていないが、ここでは、紫外光照射時の規格を準用した。

量子触媒は、量子触媒に照射されるエネルギーを授受して抗菌活性の原動力である自由電子とホール放出量を放出する。照射エネルギーが大なる程、強力な抗菌力が発現されることになり、暗所での量子線、明るい環境での可視光、さらに高エネルギーの紫外光が有するエネルギーに比例した抗菌力を発揮する。暗所でも低温より高温程、多くの量子エネルギーを授受するので、暗所抗菌試験は 25℃ で実施した。また、明るい照明程、多くの可視光エネルギーを授受するので、JIS オフィス規程の中間値 1,000Lx とした。

3 種の必須菌に対して、暗所静置、可視光照射、紫外光

照射の順に、制菌活性が増大するのは、量子触媒へのエネルギー授受量が増大するためであり、紫外光照射の抗菌試験において、肺炎桿菌ならびにMRSAを省略したのは、より低エネルギーの可視光照射時の抗菌性能を確かめれば十分と判断したためである。事実、黄色ブドウ球菌の抗菌試験を、紫外光照射時にも実施し、紫外光照射時の抗菌性能が可視光照射時より高いことで検証した。

光触媒は抗菌メカニズムから、耐性菌を発生させない大きな特徴を有しており、多方面への適用が検討されている。光触媒のこの長所を、紫外光が照射されない場所でも発現する触媒の実現が喫緊の課題となる。

量子触媒は、光触媒の問題を解決する有力な解答案となると言える。図4.1に生菌残存率を示す。黒色線3種は量子触媒の暗所における生菌残存率を、緑色線3種は量子触媒の可視光照射時の生菌残存率を、紫色実線は量子触媒の紫外光照射時の生菌残存率を、薄紫色は光触媒の紫外光照射時の生菌残存率を、それぞれ表す。可視光ならびに紫外光照射時については試験開始から8時間後までの生菌生存率を、暗所については18時間までの生菌残存率を示す。

量子触媒の暗所抗菌能力は、灰色で示す薬剤規格を超え、必須菌3種の制菌活性が紫外光照射時に光触媒の制菌活性にはほぼ等しい特性を示している。特に、肺炎桿菌に対する量子触媒の暗所抗菌活性が、光触媒の紫外光照射抗菌活性に一致することは特筆すべき事実である。

換言すれば、光を必要としない新しい光触媒として、量子触媒が適用できることを意味している。

量子触媒は、光触媒活性を強化した触媒であり、光触媒の遺産を継承しており、耐性菌の発生を許さないばかりか、優れたアンチ・ウイルス特性も有する。また、暗所で抗菌力や抗ウイルス力を発現する特徴は、紫外線や可視光が届かない体内深部のガン治療への適用可能性を示唆する。

さらに、細胞膜を分解して死滅させるメカニズムは、昨今しばしば問題になっているエボラ出血熱、MERS, SARS ウイルスなど新種にウイルスへの有効な手段を提供できるものであり、さらに未知な菌やウイルスが出現した場合にも即対応可能な手段を提供すると期待できる。

謝辞

量子触媒に関する研究遂行中2003年～2014年に渡り、継続して愛知工業大学プロジェクト共同研究を採択いただきご指導ご援助頂いた本学総合技術研究所・故大根義男所長、架谷昌信前所長、澤木宣彦所長に謝意を表します。さらに、本学プロジェクト共同研究を実施するに当

たりご共同研究体制を構築頂いた企業ならびに公的機関関係各位に謝意を表します。

特に、興和(株)、品野セラミックタイル工業(株)、東亜合成(株)、タイレックス工業(株)、ソニックテクノロジー(株)、日本パーミル(株)、高槻電器(株)、大有コンクリート工業(株)、井上製作所(株)ならびに東レ ACE (株)の関係諸氏に御礼申し上げます。

文献

- (1) 加藤勘次、経済産業省中小企業庁・新連携事業 4-19-068 「特殊燃糸を用いたふっくらと柔らかく毛羽落ちの少ないタオル地製品の製造・販売事業」、法定(コア企業)、平成19年12月20日
- (2) 松井秀生、インクジェット捺染方法及び捺染布帛、特許公開2002-88665、平成14年3月27日
- (3) 例えば、神奈川技術アカデミー光触媒オープンラボ(責任者:藤島昭)、光触媒技術情報 No.80、平成25年2月20日
- (4) 大根義男、岸政七、非晶質の複合酸化物微粒子とその製造方法及び製造装置、特願2003-334685、26 Sep. 2003、特許登録4515736、21 May 2010
- (5) 大根義男、岸政七、光触媒物質およびその製造方法、特願2006-310651、16 Nov. 2006
- (6) 岸政七、量子触媒タイレックスとその特性、愛知工業大学総合技術研究所研究報告、No.11、pp.113-126、Sep. 2009
- (7) 西正昭、岸政七、遮光環境における自己浄化機能を有する構造物の開発、愛工大総研・研究報告、No.12、pp.125-128、Sep. 2010
- (8) 津田博洋、岸政七、環境触媒「タイレックス」の溶液化と環境浄化製品への適用研究、愛工大総研・研究報告、No.12、pp.111-117、2010年9月
- (9) 伊名田剛司、松村直巳、奥田孝雄、岸政七、第3世代太陽電池の改良に関する研究開発、愛工大総研・研究報告、No.12、pp.119-124、Sep. 2010
- (10) 岸政七、量子触媒の特性とその実用化、神奈川科学技術アカデミー 光触媒オープンラボ(責任者:藤島昭) 光触媒技術情報 No.80、PP.667-674、Feb. 2013
- (11) 岸政七、量子触媒の特性とその実用化、愛工大総研・研究報告 Vol.14、PP.105-112、平成24年9月
- (12) 岸政七、量子触媒物質およびその製造方法、特許出願特願2011-177434、出願15 Aug. 2011、特許公開公開2013-039522、公開平成25年2月28日
- (13) 長嶋順一、市来克己、岸政七、強凝集微粒子の分散技術と量子触媒合成装置の開発、愛工大総研・研究報告、No.12、pp.101-109、Sep. 2010
- (14) 岸政七、長嶋順一、市来克己、強凝集微粒子ゾルの分散技術と量子触媒合成装置の開発に関する研究、愛工大総研・研究報告、No.13、pp.63-69、Sep. 2011
- (15) 岸政七、量子触媒の特性とその実用化、愛知工業大学総合技術研究所研究報告、第14号、Vol.14、PP.105-112、Sep.2012
- (16) 鳥村政基、環境微生物の新たな解析技術の開発を目指して、分析技術情報誌、SCAS news 2011-1(Vol.33) 特集:品質管理、環境、PP.3-6、Feb.2011