

Applied Technology of Bamboo Charcoal to Improvement and Purification of Air Quality

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/29505

空気質の改善・浄化への竹炭の応用技術

Applied Technology of Bamboo Charcoal to Improvement and Purification of Air Quality

瀧本 昭[†] 多田 幸生^{*} 大西 元^{*} 深澤 智仁^{**}
Akira TAKIMOTO Yukio TADA Hajime ONISHI Tomohiro FUKAZAWA

*金沢大学理工研究域機械工学系 (920-1192 石川県金沢市角間町)

School of Mechanical Engineering, College of Science and Engineering, Kanazawa University
(Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192)

**金沢大学大学院自然科学研究科 (920-1192 石川県金沢市角間町)

Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University
(Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192)

Summary

The use of bamboo charcoal, which is one of the carbon from wood, attracts attention from the viewpoint of the environmental protection. Bamboo charcoal has high adsorption removal ability to various substances. In addition Bamboo charcoal is effective also for the filtration of the suspended solid and the bacterium by the macro pore that originates in the plant frame structure. In present paper, a new concept of gas clean technology by bamboo charcoal and TiO₂ with UV light irradiation was proposed. Its system is composed of TiO₂-coated bamboo charcoal, TiO₂-coated silica gel and UV lamp. Water vapor is adsorbed by bamboo charcoal and fine particles and airborne bacterium are trapped on the surface of it. Trapped contaminant is degraded by TiO₂ and UV light. In addition, the degradation is promoted by •OH produced by adsorbed water vapor. The air purification sanitization possibility in high efficiency for this system was clarified.

Keywords : Air cleaning, Indoor environment, Bamboo charcoal, Photocatalyst, UV, Humidity conditioning

1. 緒 言

地球環境問題の一つとして酸性雨等による森林立ち枯れ減少のCO₂吸収源の減少, 耕作地拡大のための森林伐採や, 里山の荒廃と放置竹林の拡大など森林破壊は, 温暖化現象に関係する重要な課題である。我が国に広く生育し成長の早い竹林も, 田畑への浸食や植物種多様性の減少など多くの二次的問題を招いている。その中で環境保全のための竹林伐採の有効利用法の一

つとして竹炭の利用が注目を集めている。

竹炭をはじめとする木質系炭化物は植物由来の組織構造に加え, 炭化の過程により形成される微細孔を持つポーラス構造体である。その細孔構造に起因する高い吸着性から, 河川等の水質浄化, 農地等の土壌改良, 屋内空気の改善・浄化など様々な環境浄化に利用されている。屋内空気に対しては, 優れた調湿性能^{1), 2)}のほか, ホルムアルデヒド等の人体に有毒な種々の有害物質や, アンモニア等に代表される臭気物質の

[†]Fax:+81 076-234-4743 E-mail: takimoto@t.kanazawa-u.ac.jp

除去に効果的であること³⁾がこれまでに報告されている。しかし、一般居住環境等において近年注目が高まっている浮遊粒子・浮遊菌に対する除去能力に関してその効果は未だ十分明らかにされていない。

本研究は、今日ますます重要視されている空気質改善の社会的ニーズに対応すべく、木質系炭化物の一つである竹炭により空気中の浮遊微粒子、花粉及び浮遊菌の汚染物質等を除去すると共に、光触媒(TiO₂)と紫外線(UV)照射による酸化分解効果⁴⁾を複合した捕集微粒子の再飛散を抑制した除塵除菌法を提案したものである。すなわち、除湿およびガス状物質除去に効果的である特徴をもつ竹炭による浮遊微粒子・浮遊菌の除去とTiO₂コーティングした竹炭と同コーティングしたシリカゲル粒子にUV照射することによる捕集菌の酸化分解を複合した新方式である。具体的には、浮遊菌の除去を対象に、本法の除菌・殺菌の効果と有効性について実験的に明らかにした。

2. 提案する新方式

本研究で提案する方式の概要を Fig. 1 に示す。本方式では、浮遊粒子・浮遊菌を捕集（粒子サイズにより、基本的にさえぎり、慣性衝突、拡散、重力沈降および静電力等の作用により捕集）するためのTiO₂コーティング竹炭、竹炭が光透過性を持たないという欠点を補完すべく用いた

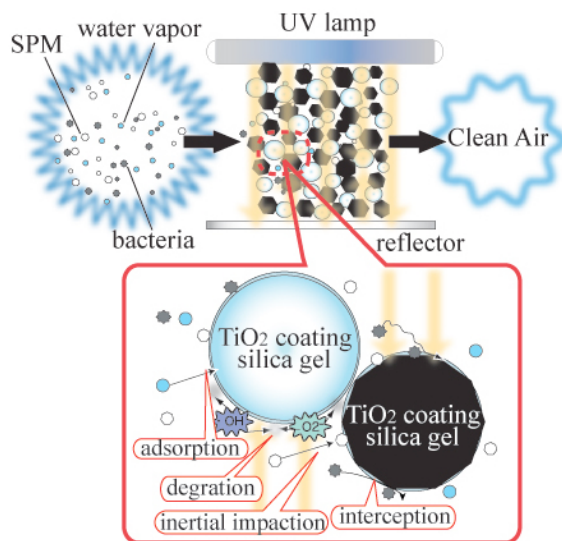


Fig. 1 Trap and degradation

光触媒シリカゲル、そしてコーティングされたTiO₂に光触媒活性を引き起こすための紫外線照射を行うUVランプから構成される。

具体的には、空気中に含まれる水蒸気が充填粒子内部の細孔へ吸着され、浮遊粒子及び浮遊菌は沈着機構により捕集され、それらは同時に紫外線照射により引き起こされるTiO₂による酸化分解作用で分解される。また、それと同時にその他の空気中の有害物質・臭気物質に対する吸着除去効果及び分解効果も期待できる。本方式の特徴をまとめて以下に挙げる。

- (1)水蒸気の吸着及び浮遊粒子・浮遊菌の捕集が同時に進行する。
- (2)光触媒と紫外線照射により捕集物質の酸化分解効果が引き起こされる。
- (3)光触媒コーティングに紫外線照射を行うことで発現する光誘起親水性に伴う表面張力等の付着力の影響が増大する。
- (4)試料表面に存在する水から光触媒と紫外線照射による作用で発生する・OHの影響による捕集物質の分解が促進される。

以上の特徴により浮遊粒子・浮遊菌に対する捕集能力及び分解能力を得ることが可能となる。

3. 実験

3.1 実験装置及び方法

実験装置の概要を Fig. 2 に示す。実験では、HEPA フィルタで塵・埃等を取り除いた室内空気を、送風機によって送り込み、ヒーター及びボイラーで装置主要部の主流温度および相対湿度を調節する。さらに、除菌対象の供給試料は超音波霧化部から供給し、混合部で混合した後に実験装置主要部へと流入させる。実験装置主要部前後に浮遊菌の濃度を測定するためのチューブ、微生物測定用サンプリングモニタを設置し、ポンプ吸引することで浮遊菌のサンプリングを行う。

水蒸気の吸着及び浮遊粒子・浮遊菌を除去する実験装置主要部を Fig. 3 に示す。装置主要部は、内径 40mm、長さ 40mm のアクリル製円筒中に実験試料を充填したものである。この実験試料により主流空気中の水蒸気の吸着を行うと共に浮遊粒子・菌の除去を行う。その実験試料

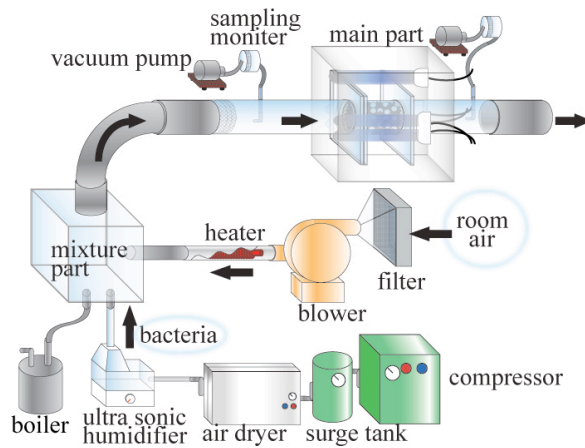


Fig. 2 Experimental apparatus

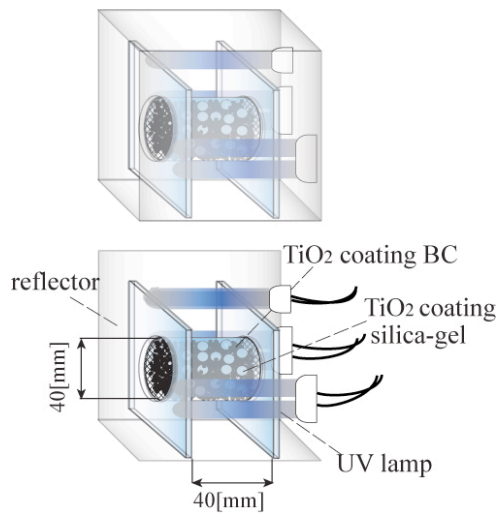


Fig. 3 Main part of experimental apparatus

に対して円筒周囲に設置した UV ランプ(波長 $\lambda = 315\sim 400\text{nm}$)によって紫外線照射を行った。また、効率的に照射を行うとともに、紫外線を外部に漏らさないために周囲をアルミ製のリフレクターで取り囲んでいる。

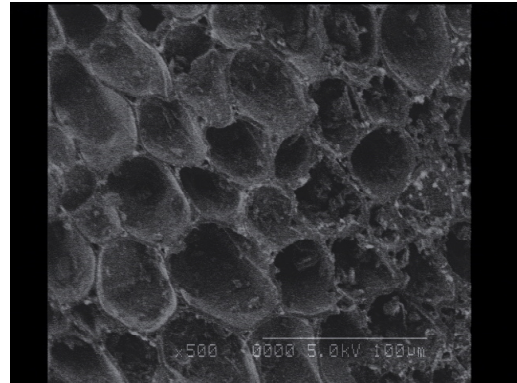
3.2 実験試料

本研究では, Fig.4 の SEM 写真出示す以下の 3 種の実験試料を用いて, 実験測定・評価を行った。

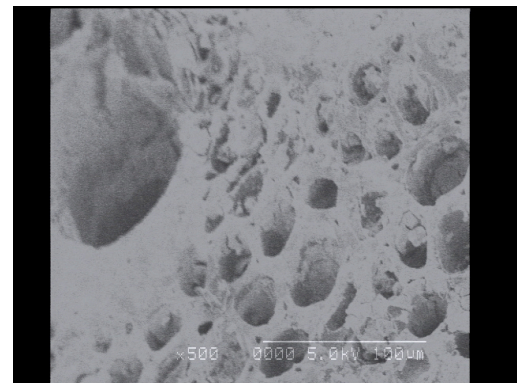
- (a) BC (Bamboo Charcoal)
- (b) TiO_2 / BC (TiO_2 coating Bamboo Charcoal)
- (c) TiO_2 / silica gel (TiO_2 coating silica gel)

BC(Fig. 4(a))は最も一般的な竹材の品種であるモウソウチクを約 $400\sim 800^\circ\text{C}$ で炭化を行ったものを粒径 $0.9\sim 3.0\text{mm}$ 程度の破碎粒子状としたものを混合した試料である。 TiO_2 / BC (Fig. 4(b))は BC にゾルゲル法でチタニアゾルをコーティング後, 約 300°C の下で焼成させることにより TiO_2 コーティングを行った試料である。

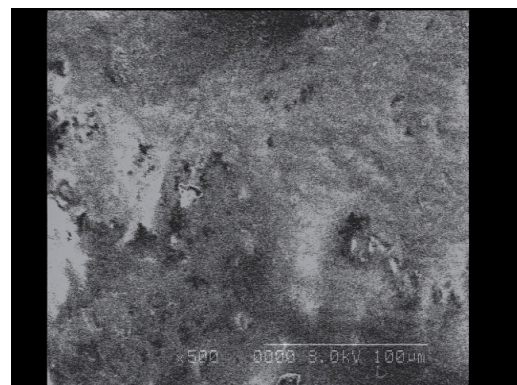
TiO_2 / silica gel(Fig. 4(c))はシリカゲル粒子に



(a) BC (Bamboo Charcoal)



(b) TiO_2 /BC (TiO_2 coating Bamboo Charcoal)



(c) TiO_2 /silica gel (TiO_2 coating silica gel)

Fig. 4 SEM picture of test samples ($\times 500$)

TiO₂ コーティングがされた粒径 1.7~4.0 mm 程度の試料, 光触媒シリカゲル(光触媒研究所(株)提供)である. この 3 種の実験試料を単独あるいは混合して供試した.

3.3 実験条件

以下に示す操作条件および実験試料条件で浮遊菌除去・分解性能の評価を行う.

3.3.1 操作条件

実験は装置主要部の主流速度($U_m=0.25\text{m/s}$), 流量($3.7 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$), 主流温度($T_{IN}=30^\circ\text{C}$)を一定のもと, 主要部入口部での相対湿度 C_{vIN} を 30, 75%RH の 2 条件に設定し, 紫外線(UV)照射の on/off を切り替え, 浮遊菌除去及び捕集菌分解実験を行った. また, UV 照射 on の条件に関しては事前照射を 24hr 行った. なお, 気流速度はカノマックス社製流速計 MODEL6004($\pm 5\% + 0.1\text{m/s}$)を, 温度・蒸気濃度の測定には, ヴァイサラ社製湿度温度計 HMI41($\pm 0.1\% \text{ RH}, \pm 0.1^\circ\text{C}$)をそれぞれ用いて測定を行った.

テスト菌としては, 安全性と簡便性を考慮しイースト菌(日清製粉製「スーパーカメラドライイースト顆粒」 $3\text{-}12 \mu\text{m}$)を用い, 所定量を蒸留水に混合した混合液を超音波霧化器で霧化し, 菌濃度 $f_{nBIN}=7.77 \times 10^4 \text{ cfu/m}^3$ で混入・流入させた.

3.3.2 試料条件

装置主要部に充填する実験試料としては, 以下の 4 条件を定めた. 比率は体積比率 vol.% である.

- (1) TiO₂/BC 100%
- (2) TiO₂/silica gel 100%
- (3) TiO₂/BC 50%, TiO₂/silica gel 50%
- (4) BC 100%

なお, BC 100%の条件に関しては光触媒の効果が得られないため, UV 照射 off の条件に関してのみ実験を行った.

3.4 測定方法

本手法の有効性を確認するために, 浮遊菌除去性能評価方法と分解性能評価方法の 2 種の実験から評価を行った.

3.4.1 浮遊菌除去性能評価方法

主要部前後での空気中の生菌数を比較するこ

とで算出した菌の生残率により, 浮遊菌の除去性能の評価を行った. 浮遊菌除去性能の評価には微生物測定用サンプリングモニタ (孔径 $0.45 \mu\text{m}$ のフィルタを内蔵したサンプリングモニタ (ADVANTEC 製 37mm)) を用い, 装置主要部前後のチューブから 1min, 真空ポンプにより等速サンプリングを行う. サンプリングを行った後, サンプリングモニタ中のメンブランフィルタを取り外し, 培養液 (ADVANTEC 製アンプル培地 SKM1020TG) を注入後インキュベータ内で培養 (37°C , 24 時間) し, コロニーを形成させる. 形成したコロニーを画像処理によって計測・処理し, 主要部前後でのコロニー数 W_{IN} , $W_{OUT} \text{ cfu}$ の比較を行い, 次式から生残率 $\eta_s \%$ を算出し評価を行った.

$$\eta_s = W_{OUT} / W_{IN} \times 100 \quad (1)$$

3.4.2 分解性能評価方法

実験試料により捕集した浮遊菌の生存状態を確認することで捕集菌の分解性能の評価を行った. すなわち, 所定の条件で 1 min 浮遊菌を捕集し続けた後, 紫外線照射を行う条件ではひとつの基準として 60 min 紫外線照射を行い, 紫外線照射を行わない条件では 60 min 放置する. その後, 実験試料を取り出し 20 ml の蒸留水と共に攪拌・濾過後, その溶液を 0.5 ml 採取し, 寒天培地に塗布する. その寒天培地をインキュベータ内で所定時間培養し, コロニーの形成様相から捕集菌の分解性能の評価を行った.

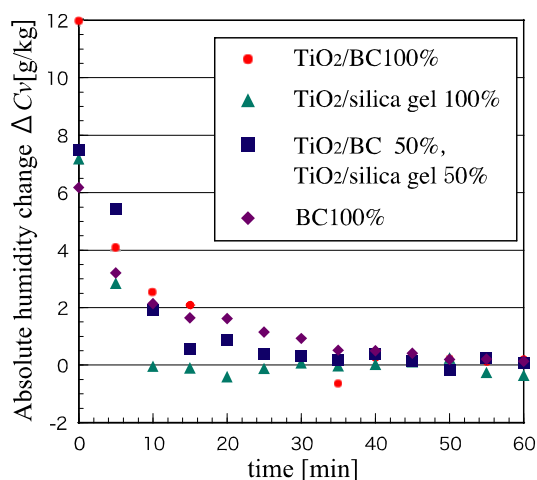


Fig. 5 Timewise variation of absolute humidity change

4. 実験結果及び考察

4.1 蒸気濃度変化

浮遊菌除去性能に対する水蒸気吸着の影響を確認するために主要部前後での蒸気濃度変化の測定結果を Fig. 5 に示す. 主要部入口相対湿度 $C_{V_{IN}}$ が 75%RH の際の主要部前後での蒸気濃度の差から蒸気濃度変化量 ΔC_v g/kg を求め、吸着開始時からの時間変化をプロットすることで、簡易的ではあるが水蒸気吸着様相を調べた. また、この実験の際には温度上昇等の影響を配慮し、UV 照射は行わなかった.

BC100%と TiO_2/BC 100%の水蒸気の吸着様相を比較すると、 TiO_2/BC 100%の試料の方が初期において吸着速度が大きく、吸着速度等を含め異なる吸着過程を示している. この相違は、BC 試料表面が元来疎水性であるが、 TiO_2 コーティングを施すことで BC 試料表面が親水化したことが影響したものと考えられる. また、 TiO_2 コーティングによる細孔構造の変化も少なからず影響を与えたものと考えられる. 本研究ではゾルゲル法により TiO_2 コーティングを行った. ゾルゲル法によるコーティングでは TiO_2 コロイド状態でコーティングが行われるため、 TiO_2 コロイドがメソ孔、ミクロ孔等の細孔と比較して径が大きく、細孔の閉塞が起こりにくいという特徴がある. よって、細孔構造の変化に与える TiO_2 コーティングの影響は小さく、BC100%と TiO_2/BC 100%の水蒸気吸着様相の相違は TiO_2 コーティングによる親水化の影響が大きいものと考えられる. また、いずれの条件に関しても約 30 min 程度経過するまでに蒸気濃度変化量 ΔC_v がほぼ 0 となり、水蒸気の吸着が行われなくなっていることがわかる.

4.2 浮遊菌除去性能

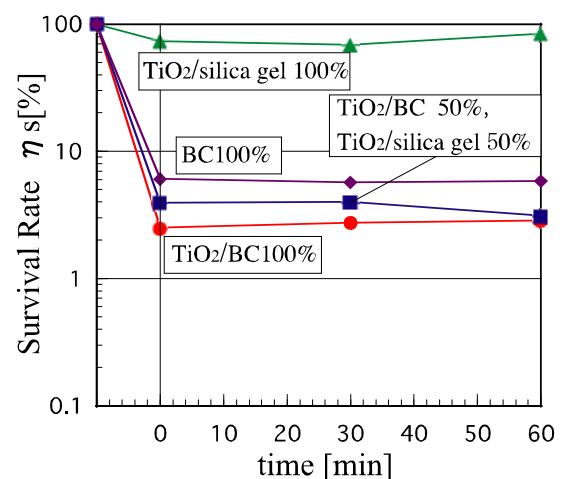
Fig. 6(a)(b)及び Fig. 7(a)(b)にそれぞれ $C_{V_{IN}}=30, 75\%$ RH の各湿度条件で UV 照射 on/off での各試料を用いた浮遊菌の生残率の経時変化の様相を示す. 以下に各条件での結果に関して考察を述べる.

4.2.1 UV 照射 off

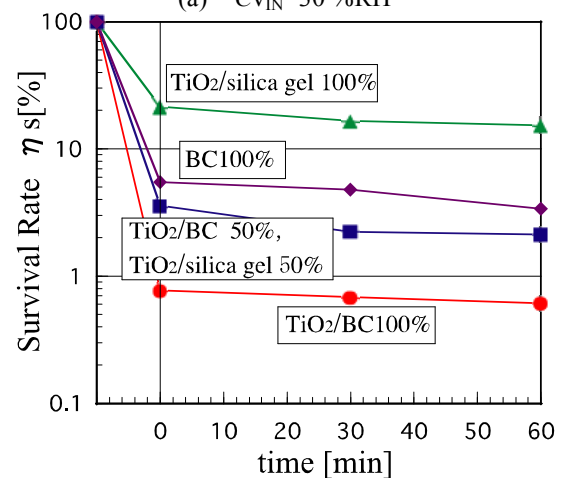
Fig. 6(a)(b)に示す結果から、全体的な傾向として高湿度条件の方が低湿度より生残率が低い、

つまり除菌率が高いことがわかる. この要因としては、水蒸気が多量に存在するために表面張力等の付着力が増大し、捕集菌の再飛散を抑制したことが考えられる. また、時間経過に伴う生残率の変化は小さく、特に高湿度条件に関しては、蒸気濃度変化の実験から約 30 min で水蒸気の吸着が行われなくなった点を考慮すると、水蒸気吸着様相の浮遊菌除去への影響は小さいものと考えられる.

試料条件に関しては、BC100%の条件と比較して TiO_2/BC 100%の方が除菌率が高く、高湿度条件ではその傾向がより顕著である. これは UV 照射を行っていない条件であることから、光親水化の影響とは別に、 TiO_2 コーティングにより疎水性であった BC 表面が親水性となり、特に



(a) $C_{V_{IN}}=30\%$ RH



(b) $C_{V_{IN}}=75\%$ RH

Fig. 6 Survival rate of bacteria : UV off

多湿条件時に表面に液膜が形成されやすく、表面張力の増大の影響が大きくなったためであると考えられる。また、TiO₂/BC 100%と TiO₂/silica gel 100%を比較すると、TiO₂/BC 100%の条件の方が除菌率が高くなっている。その要因として、流動抵抗等の相違のほか、TiO₂/BC 及び BC 試料は植物骨格構造に起因する μm オーダーのマクロ孔が豊富であるため、マクロ孔による濾過作用が働いた影響が表れたものと考えられる。

4.2.2 UV 照射 on

Fig. 7(a)(b)に示す結果から、全体的な傾向として UV 照射 off の条件と同様に高湿度条件の方が生残率が低い、つまり除菌率が高いことがわかる。このことは、UV 照射の on/off によらず水蒸

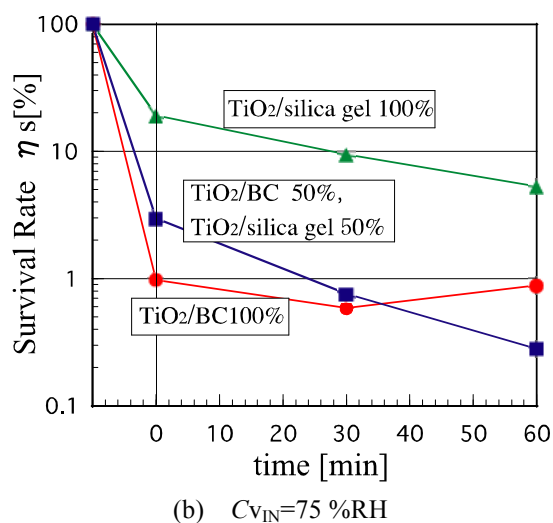
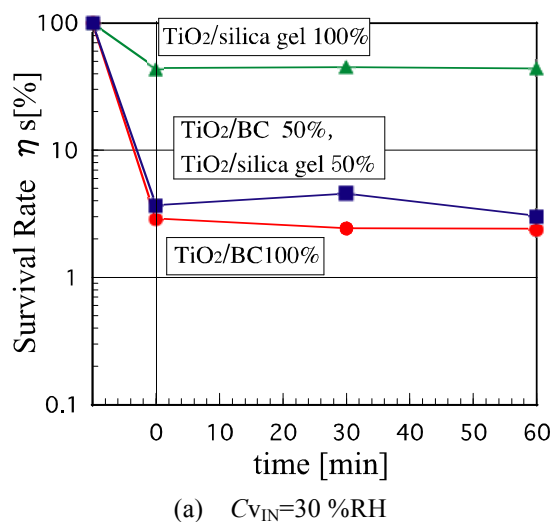


Fig. 7 Survival rate of bacteria : UV on

気の存在による表面張力の増大の影響が大きいものと考えられるが、今後さらに検討が必要である。

試料条件に関して、TiO₂/BC 100%の条件では湿度条件の相違による除菌率の差は大きいものの、UV 照射による除菌率の上昇はほとんどなく、光触媒と UV 照射による酸化分解の効果がほとんど得られないことがわかる。それに対し、TiO₂/silica gel 100%, TiO₂/BC と TiO₂/silica gel の混合条件では UV 照射に伴う除菌率の上昇が見られる。特に高湿度条件では時間経過に伴い除菌率が上昇している。このことは、水蒸気吸着様相の影響が小さいことを考慮すると、光触媒と紫外線照射に伴う酸化分解作用に加え、多量に存在する水蒸気及び試料表面に存在する水の光分解により発生した酸化分解力の強い・OH が多く生成していくことにより、捕集した菌の一部が分解され、再飛散が抑制されたためであると考えられる。

4.3 捕集菌分解性能

Fig. 8(a)-(c)に TiO₂/BC 100%, Fig. 9(a)-(c)に TiO₂/silica gel 100%, Fig. 10(a)-(c)に TiO₂/BC 50%,

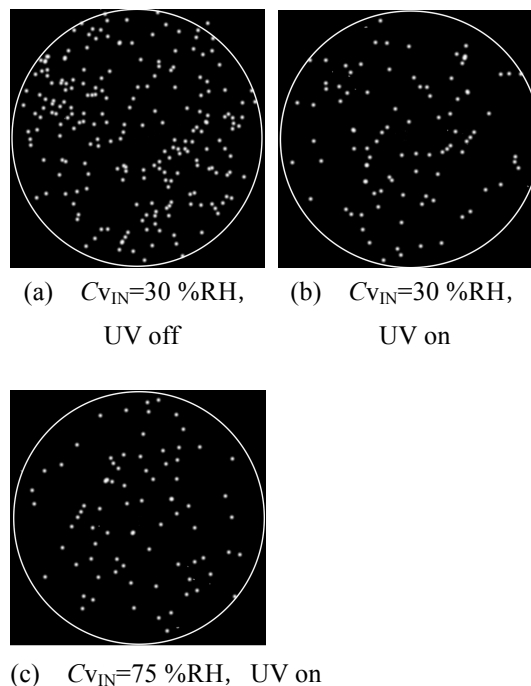


Fig. 8 Degradation performance (colony image) : TiO₂/BC 100%

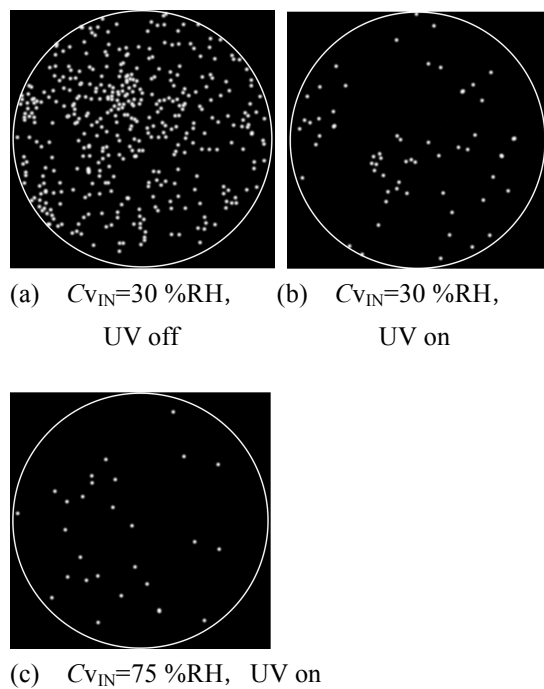


Fig. 9 Degradation performance (colony image)
: TiO₂/silica gel 100%

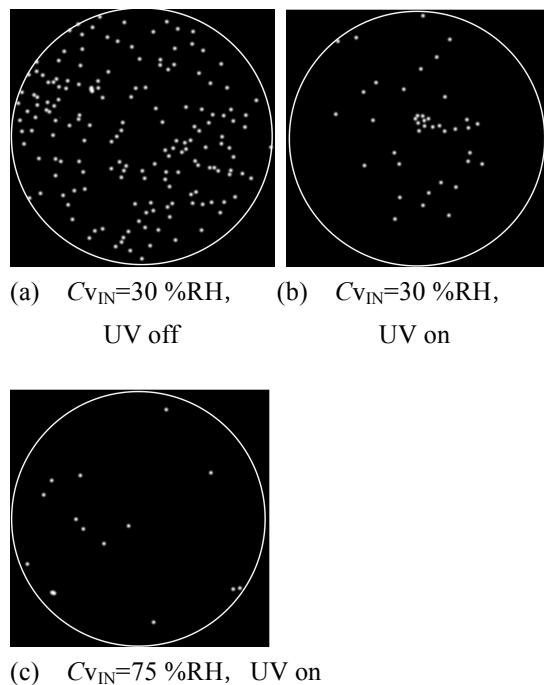


Fig. 10 Degradation performance (colony image)
: TiO₂/BC 50%, TiO₂/silica gel 50%

TiO₂/silica gel 50% の試料条件ごとに各操作条件での浮遊菌分解実験で得られたコロニー画像を示す。

TiO₂/BC 100% の条件では UV 照射に伴う大きな生菌数の減少は見られなかった。これは TiO₂/BC が光透過性を持たないため、光触媒と紫外線照射により発現する酸化分解作用の効果が得られなかったためであると考えられる。それに対し、TiO₂/silica gel 100% では UV 照射を行うことで低湿度条件では 80% 以上、高湿度条件では 90% 以上の捕集菌が分解されている。また、TiO₂/BC と TiO₂/silica gel 試料の混合条件に関しても UV 照射を行うことにより低湿度条件で 70% 以上、高湿度条件では 90% 以上の捕集菌が分解されている。よって、紫外線照射に伴う光触媒の酸化分解の効果が得られたことがわかる。特に高湿度条件では、試料表面に存在する水の光分解により生成した酸化分解力の強い・OH の影響により分解力が高まり、TiO₂/BC を含む条件に関しても高い分解効果が得られたものと考えられる。

4.4 総合評価

BC 試料と比較して TiO₂/BC 試料は植物骨格構造由来のマクロ孔による濾過作用に加えて、TiO₂ コーティングによる影響で特に高湿度条件で付着力の増大が起こり浮遊菌除去性能は向上する。しかし、光触媒と紫外線照射による酸化分解効果が得られないため、捕集したエアロゾルの分解には有効ではない。TiO₂/silica gel 試料は光透過性が高いことから、光触媒と紫外線照射により得られる酸化分解効果の影響は大きい。しかし、浮遊菌の捕集能力の点では TiO₂/BC 試料に劣るため、TiO₂/BC と TiO₂/silica gel を混合するのが有効であると考えられる。特に、浮遊菌だけでなく種々のガス状物質の除去にも対応する空気浄化を考慮すると、異なる細孔分布を持つ TiO₂/BC、TiO₂/silica gel 試料の混合は効果的であると言える。また、紫外線照射以外の放電等による光触媒の活性化法を採用することで、TiO₂/BC による効果がより高まるものと考えられる。

5. 結論

木質系炭化物の1つである竹炭に光触媒を併用した除塵除菌の手法の有効性の追求を目的に、浮遊微生物除去・分解性能について実験的を行い、以下の結論を得た。

- (1) 竹炭により空気中の浮遊微生物を除去することが可能である。
- (2) TiO₂コーティングとUV照射の併用により捕集性能と捕集粒子の分解効果が向上する。
- (3) 多湿条件下では浮遊菌除去性能は向上し、TiO₂コーティングとUV照射の併用による相乗効果によりその効果はより顕著なものとなる。
- (4) BC100%試料を除いて、水蒸気が多量に存在する場合、TiO₂とUV照射によって水が光分

解されることで生成される高い酸化分解力を持つ・OHにより分解効果が向上する。
今後、UV照射効率の向上、および新たな酸化分解促進法の採用などによりさらなる性能向上が期待できる。

文 献

- 1) 藤原敏 : *BambooVoice*, **17**, 10(2002).
- 2) 秋友水季, 鈴木里佳, 石丸優, 飯田生穂, 古田裕三 : *木材学会誌*, **52**(4), 228-234 (2006).
- 3) Takashi Asada, Shigehisa Ishihara, Takeshi Yamane, Akemi Toba, Akifumi Yamada and Kikuo Oikawa : *Journal of Health Science*, **48**(6), 473-479(2006).
- 4) 橋本和仁・藤嶋昭, 「光触媒のすべて」工業調査会, (2003).