

光触媒フィルタの制作と臭気物質分解性能試験

Development of a photocatalyst filter and Performance Test for decomposition of Odorant

○ 高木陽子¹⁾ 伊藤一秀²⁾

(¹⁾東京工芸大学 大学院、²⁾東京工芸大学 風工学研究センター)

1 研究目的

室内環境中には、建築材料、家具・什器などから発生する VOC (揮発性有機化合物)や人体起源ならびに微生物起源の臭気物質といった知覚性物質が多様に存在している。これらの物質は居住者に不快感を与えると共に、MCS (化学物質過敏症)やシックハウス症候群を引き起こす原因の一つともなっており、様々な規制・対策が行われている。この問題に対する対策は、発生源対策ならびに発生後の換気・吸着・分解等の対策の2つに大別することが出来るが、特に後者の対策として、近年では光照射のみで有機化合物を分解する光触媒反応に着目した研究が多く行われており、室内建材への応用も含め、その結果が報告されている^{1,2)}。

このような背景のもと、本研究ではルチル型ならびにアナターゼ型の酸化チタン(TiO₂)を使用した光触媒フィルタ(パッシブ型の化学物質吸着分解建材)を試作し、その性能試験を行った結果を報告する。特に本報では、代表的な臭気物質であるアンモニア(NH₃)と、室内に存在する代表的な化学物質としてホルムアルデヒド(HCHO)とトルエン(C₆H₅CH₃)を対象として光触媒効果による対象物質の分解性能試験を行っている。

2 対象とする光触媒とフィルタの試作

本研究では屋外での使用を前提としたコンポスト用の有機物質分解フィルタと、室内での使用を前提とした揮発性有機化合物のパッシブ型吸着分解建材の開発を目的とする。

2.1 対象とする光触媒

光触媒反応を生じさせるための半導体として酸化チタン(TiO₂)を使用する。本報では表 1 に示す 4 種類の酸化チタンを使用して、基材と組み合わせることにより光触媒フィルタを作成する。屋外での使用、ならびに室内での使用と用途が異なるフィルタを試作するため、紫外線応答型ならびに可視光応答型の両者の酸化チタンを採用している。粉末状の酸化チタンを水に分散させた酸化チタンゾルを作成し、基材に塗布している。

2.2 屋外用の光触媒フィルタ

屋外に設置するコンポスト用の光触媒フィルタとして

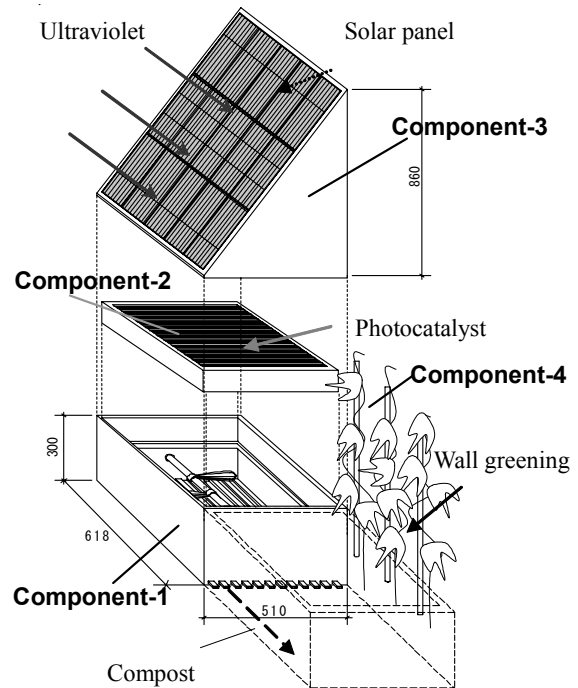


図1 Natural Process Design コンセプトの概要

和紙を基材としたフィルタを試作する。本研究ではセピオライト紙(阿波製紙製)を用いる。コンポスト中への設置を前提とした光触媒フィルタであり、分解対象はアンモニア、メタン等の臭気物質である。光触媒フィルタは塗布する酸化チタン濃度ならびに酸化チタン種類を変化させて試作し、酸化チタンと塗布量の最適値を検討する。また性能比較のために基材としてガラスを用いたフィルタも試作している。

本報で試作する光触媒フィルタは、図1に示す住戸スケールのサステナブルシステム³⁾(住戸単位でカーボンニュートラルを達成するためのコンポスト+緑化システム、筆者らはNatural Process Designと定義している)への組み込みを目指すものである。

2.3 室内用の光触媒建材

室内での揮発性有機化合物汚染対策用としてのパッシブ型のVOC吸着・分解建材を試作する。本研究では酸化チタンを塗布する基材として、石膏ボードと木材(桐)を採用する。石膏ボード自体は物理吸着性能に優

れた建材であり、石膏ボード表面に酸化チタンを適量塗布することで、光触媒反応による化学物質分解効果と石膏ボードによる物理吸着効果の相乗効果を期待するものである。基材種類、酸化チタン種類ならびにその塗布量を変化させ全6種の建材を製作している。また、性能比較のため酸化チタンを塗布しない基材のみの試験材も製作することで、光触媒効果の有無ならびに酸化チタンと塗布量の最適値を検討する。

3 性能試験の概要

本報ではテドラーバックを用いた濃度減衰法により、試作する光触媒フィルタの性能試験を行う。

3.1 濃度減衰法概要

本報では30Lのテドラーバック内に一定の初期濃度となる化学物質と、測定対象となる光触媒フィルタ、もしくはパッシブ型建材を設置し、その後の濃度減衰を測定する濃度減衰法により性能試験を行う。屋外での使用条件ならびに室内での使用条件を模擬するために、紫外線量ならびに可視光量を段階的に変化させて実験ケースを設定する。紫外線量の測定には紫外線強度計(コニカミノルタ製 UM-10、UM-360、UM-400)を、室内での照度測定にはデジタル照度計(コニカミノルタ製 T-10P)を使用し、テドラーバック透過後の試験体表面の紫外線照射強度等を測定する。スクリーニングの為にを行った屋外での実験を除き、全ての実験は実験室内で実施しており、雰囲気温度は20°C前後に制御した。

3.2 濃度測定法

テドラーバック内の化学物質濃度は検知管法により測定する。サンプリング量は100[cc]であり、アンモニア用検知管は測定レンジが0.5~78 [ppm]、検知限度が0.2[ppm]、ホルムアルデヒド用検知管は測定レンジが0.1~40.0 [ppm]、検知限度が0.05[ppm]である。トルエン用検知管は測定レンジが1~50[ppm]、検知限度が0.5[ppm]である。全て±5~10[%]の測定精度であるとされている。

3.3 性能試験用試験体

評価試験用の試験体は、30Lのテドラーバックサイズを考慮し、300mm×300mmの大きさとする。パッシブ型建材を試験体とする場合には小口を処理している。試験体はテドラーバック中に設置し、片面のみから光照射するため、実質的に試験体の片面のみを対象とした試験となる。測定機器及び実験条件をまとめて表2に示す。

表1 対象とする酸化チタン種類と組成

TiO ₂	結晶型	純度(%)	比表面積 (Sm ² g ⁻¹) 会社名	
ST-01	アナターゼ	93.9	314	石原産業
ST-31	アナターゼ	79.5 (14.6-ZnO)	257	石原産業
MPT-623	ルチル	-	-	石原産業
BA-PW25	アナターゼ	94.0	125	エコデバイス

ST-01:光触媒活性に優れる(紫外線応答型)
ST-31:ガス吸着に優れる(紫外線応答型)
MPT-623,BA-PW25:(可視光線応答型)

表2 測定機器ならびに実験条件

項目	測定機器	実験条件
反応容器	テドラーバック	30L
光源	白色蛍光灯(National製) ブラックライト(NEC製)	
温度	半導体式センサー	室温: 19.5±5[°C]
照度	照度計: T-10P	420[lx]
紫外線強度 [μw/cm ²]	紫外線強度計: UM-10 受光部: UM-360,UM-400	UM-360 UM-400
		Min 164.0 11.6
		Mid 390.3 30.8
		Max 782.0 60.2
濃度測定	検知管で測定	初期濃度目標値 NH ₃ : 10.0[ppm] HCHO: 2.4[ppm] C ₆ H ₅ CH ₃ : 25.0[ppm]

表3 屋外用光触媒フィルタの実験ケース

Exp.Case	TiO ₂ の種類	基材	紫外線	対象物質
Case1-1	ST-01 ST-31 MPT-623 BA-PW25	ガラス	ブラックライト (3段階)	NH ₃
Case1-2				
Case1-3				
Case2-1		セピオライト 紙	ブラックライト (3段階)	
Case2-2				
Case2-3				

表4 室内用光触媒建材の実験ケース

Exp.Case	TiO ₂ の種類	基材	紫外線	対象物質
Case3-1	ST-01 (40g/m ²)	石膏ボード	白色蛍光灯	(1)HCHO (2)C ₆ H ₅ CH ₃
Case3-2	BA-PW25 (40, 120g/m ²)			
Case3-3	Blank			
Case4-1	ST-01 (40g/m ²)	桐 (木材)	白色蛍光灯	(1)HCHO (2)C ₆ H ₅ CH ₃
Case4-2	BA-PW25 (40, 120g/m ²)			
Case4-3	Blank			
Case4-b	Blank			

3.4 屋外用の光触媒フィルタを対象とした

実験ケース

本試験に先立ち、酸化チタン塗布量の検討を行うため、太陽光の下で予備実験(スクリーニング試験)を行った。スクリーニング試験は、酸化チタン塗布量を $40\text{g}/\text{m}^2$ ならびに $120\text{g}/\text{m}^2$ の2段階で行った。その結果、今回の実験条件では $40\text{g}/\text{m}^2$ 塗布した基材のほうが光触媒効果に優れていることが確認された為、実験室で行う詳細な性能試験には酸化チタン塗布量として $40\text{g}/\text{m}^2$ を採用することとした。

実験室での実験では図2に示すブラックライトを用いた紫外線照射装置を使用する。本実験装置を使用することで吸収波長の強度による濃度減衰割合の相違を検討する。紫外線強度を3段階に設定した。

対象化学物質はアンモニア、基材種類(ガラスと和紙)、酸化チタン種類ならびに紫外線量を変化させることで全6ケース設定する。屋外用光触媒フィルタを対象とする実験ケースを表3にまとめて示す。

3.5 室内用の光触媒建材を対象とした実験ケース

蛍光灯下での本試験に先立ち、ガラス基材に各種の酸化チタンゾルのみを塗布し、太陽光下にて試験を実施することで、酸化チタン種類の絞り込みを行った。その結果、表1に示したST-01、BA-PW25での分解効果が高いことを確認している。

室内用のパッシブ型建材を対象とした試験は、実環境を模擬して、実験室内に設置した白色蛍光灯の下で実施する。本試験では光触媒効果とガス吸着の両者の効果を同時に検討することとなる。

基材種類(石膏ボードならびに桐)、対象化学物質(ホルムアルデヒドならびにトルエン)、酸化チタン種類ならびに塗布量を変化させることで、全8ケース設定する。室内用光触媒建材を対象とした全実験ケースを表4にまとめて示す。

4 濃度減衰試験結果

4.1 屋外用の光触媒フィルタを対象とした

試験結果

図3ならびに図4に屋外用の光触媒フィルタを対象とした濃度減衰試験結果を示す。ここでは濃度減衰データより計算した1次減衰定数と紫外線強度の関係として示している。Case1に着目した場合、4種の酸化チタン間でのアンモニアに対する分解能力に差がない結果となった。屋外で使用することが前提条件であるが、紫外線応答型ならびに可視光応答型に相違が見られな

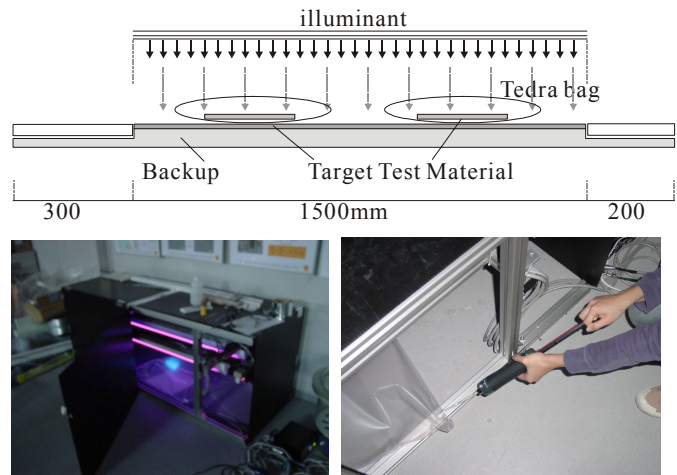


図2 ブラックライト照射装置

かった。Case2では、フィルタとして使用した和紙のガス吸着効果により光触媒効果に相違がみられた結果となった。和紙に含まれるセピオライト粉体と酸化チタンが混合したことにより、光吸収率に変化が生じたためと推測する。

4.2 室内用の光触媒建材を対象とした試験結果

図5に石膏ボードを基材としたパッシブ建材を対象とした化学物質濃度履歴測定結果を示す。図中の濃度はテドラーバック内の初期濃度で無次元化している。対象化学物質によって濃度減衰の性状が大きく異なった。Case3-1に着目した場合、ホルムアルデヒドは90[min]で濃度測定限界以下となった(図5(1))。トルエンは初期濃度から30%程度の濃度低下に留まっている(図4(2))。また、Case3-bは、ホルムアルデヒドの場合、Case3-3より濃度減衰が大きく(図5(1))、トルエンの場合、Case3-1より濃度減衰が大きい結果となった(図5(2))。

図6に木材基材のパッシブ建材を対象とした化学物質濃度履歴測定結果を示す。石膏ボードの場合と同様、対象化学物質によって濃度減衰は異なる結果となった。Case4-1に着目すると、ホルムアルデヒドは270[min]で濃度測定限界以下となった(図6(1))。トルエンは初期濃度から20%程度の濃度減衰であった(図6(2))。また、Case4-bは、ホルムアルデヒドの場合、Case4-3より濃度減衰が大きく(図6(1))、トルエンの場合、どのケースよりも濃度減衰が小さい結果となった(図6(2))。

4.3 考察

アンモニア(NH_3)を対象臭気物質とした光触媒効果の性能試験では、各々の酸化チタンの光吸収波長が異なるため、紫外線強度と濃度減衰との間には線型関係は

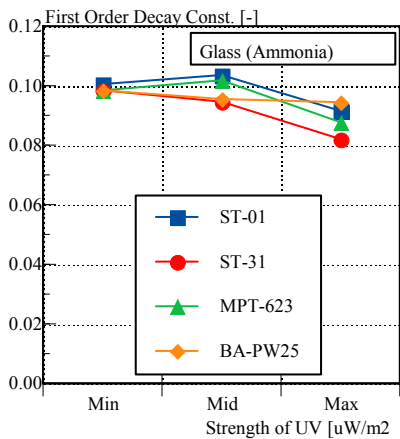


図3 Case 1 濃度減衰試験結果

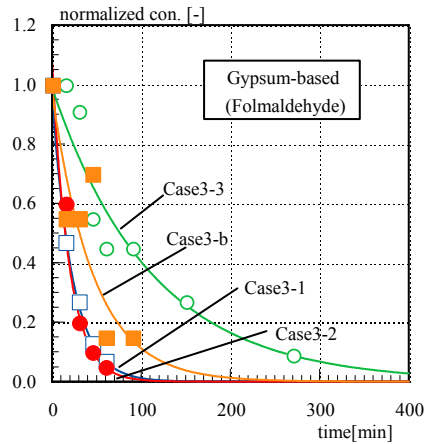


図5(1) Case 3 濃度減衰試験結果

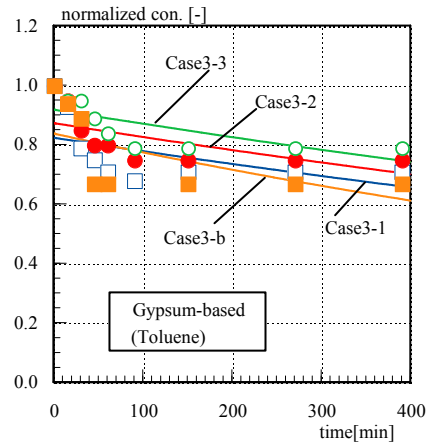


図5(2) Case 3 濃度減衰試験結果

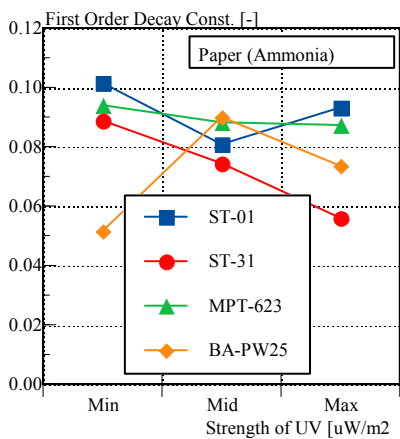


図4 Case2 濃度減衰試験結果

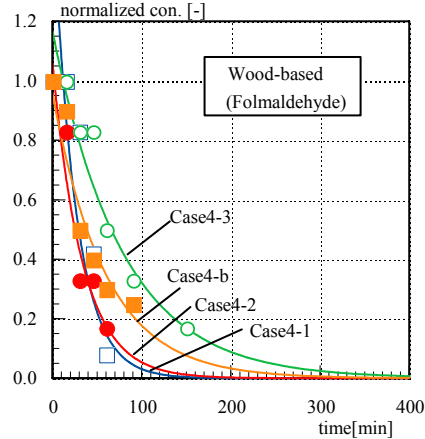


図6(1) Case 3 濃度減衰試験結果

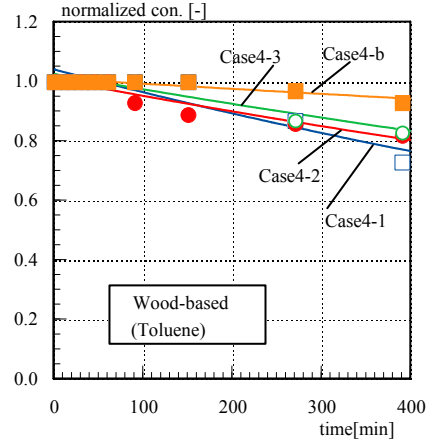


図6(2) Case 3 濃度減衰試験結果

成立していないことが確認された。図5ならびに図6で示した酸化チタンの塗布量を変えた実験結果より、基材に大量の酸化チタンを塗布しても光触媒効果を高めることは難しく、塗布量には光触媒効果を最も高める適量があると推察される。また、室内での可視光を対象とした場合、基材の吸着力は光触媒効果よりも相対的に高く、基材の吸着力を阻害せず酸化チタンを塗布する事が必要条件となる。基材の吸脱着反応を十分把握した上での組み合わせが重要である。また、VOC成分によって濃度減衰変化が異なる結果となった。一般に分子量と気中での拡散係数は反比例の関係にあり、分子量が小さい程拡散係数が大きくなる。そのため、トルエンより相対的に拡散係数の大きいホルムアルデヒドにおいて建材に対する衝突効率が向上し、濃度低減が促進されたものと考えられる。また、建材が一定の含水率を有しており親水性のホルムアルデヒドに対し吸収効率が向上した可能性も考えられる。

5 結論

各種の酸化チタンを用いた光触媒フィルタならびにパッシブ型吸着分解建材を試作し、その性能試験を行った。その結果、本実験条件では屋外用フィルタにはST-31、室内用建材にはBA-PW25を40 [g/m²]の割合で塗布した場合に、最も化学物質分解効果が大きい結果となった。また光触媒が基材自体の物理吸着性能を阻害することで、建材全体としての吸着・分解能力が低減することが確認された。

謝辞

本報で示した実験の一部は熊倉仁美氏(研究当時 東京工芸大学卒論生)に御協力頂いた。また基材に使用したセピオライト紙は阿波製紙(株)より、石膏ボードは(株)吉野石膏よりご提供頂いた。記して深甚なる謝意を示す。

参考文献

- [1] 橋本和仁、藤嶋昭：光触媒のすべて、工業調査会、2004年
- [2] 橋本和仁、藤嶋昭：酸化チタン光触媒研究動向199-1997、シーエムシー出版、2005年
- [3] シム・ヴァンダーリン、スチュアート・コーワン：エコロジカル・デザイン、1997年