

## 光触媒を応用した室内環境浄化型内装建材の開発

奥田 章子 堀 長生  
小川 晴果

### Development of Moisture-regulating and Air-purifying Interior Finish Applied Photocatalyst

Akiko Okuda Nagao Hori  
Haruka Ogawa

#### Abstract

The authors have developed a moisture-regulating and air-purifying interior finish applied photocatalyst “PHOTOSANO™” to create a good and comfortable indoor environment. “PHOTOSANO” is a high-function calcium silicate board that has many microsized pores. The optimum amount of photocatalytic TiO<sub>2</sub> is applied to the “PHOTOSANO” to effectively eliminate harmful gas by adsorption and photodecomposition. It is shown that “PHOTOSANO” eliminates harmful chemical gas and bad smelling gas. In addition, “PHOTOSANO” is used in the conference room at OBAYASHI corporation and it has been confirmed that it eliminates formaldehyde and toluene gas.

#### 概要

室内の有害化学物質や悪臭ガス成分を継続的に除去する目的で、微細孔を有し、吸着性能に優れる高機能けい酸カルシウム板（基材）と光触媒酸化チタンとを複合化した、室内環境浄化型の内装建材「フォトサーノ™」を開発した。基材表面の光触媒酸化チタンは、基材の吸着と光触媒酸化チタンによる光分解との2つの機能が最も効果的に発揮される担持量で処理されている。「フォトサーノ」は、室内の代表的な有害化学物質や悪臭ガス成分の除去性能に優れ、その性能が継続的に発揮されることを実験的に確認した。また、「フォトサーノ」を施工した会議室において、ホルムアルデヒドとトルエンを各々発生させた結果、実空間においても良好なガス除去性能を示すことを検証した。

#### 1. はじめに

昨今、健康に対する意識が高まっており、シックハウスの原因となる室内の有害化学物質や室内の臭い成分が問題となっている。シックハウスに関しては、2002年7月の建築基準法の改正に伴って関連政令が2003年7月に施行され、ホルムアルデヒドを放散する建材の使用が制限されたものの、溶剤等に含まれるトルエンやキシレン等のVOC（揮発性有機化合物）については、未だその対策が不十分である。また、臭いの問題に関しては、アンケート調査の結果、高齢者施設の約80%において臭いに対して問題があると認識されているのが現状である<sup>1)</sup>。

室内の有害化学物質や臭い成分を除去する手法として、多孔質材料による吸着除去が考えられる。多孔質材料は、その微細孔に有害化学物質や臭い成分を吸着して室内を浄化する機能を発揮するが、その微細孔が吸着した物質で飽和してしまうと、それ以上有害化学物質や臭い成分を吸着できなくなる。そのため、環境を浄化する機能には限界があるという欠点を持つ。また、気温の上昇によって、一度吸着した物質を脱着して再放出する可能性がある。古くから臭い対策として日本人の生活に取り入れられてきた炭も、その微細孔が全て吸着物質で埋まって

しまうと環境浄化機能は失われ、再利用するためには、高温乾燥や沸騰水による洗浄等のメンテナンスが必要であった。

そこで、筆者らは、メンテナンスフリーで継続的に吸着除去効果を発揮できる新しい環境浄化型材料の開発を目指し、吸着性能に優れる紀州備長炭の表面へ光触媒酸化チタンを担持した光触媒担持備長炭「ひかりの炭」を開発した<sup>2)</sup>。光触媒とは、酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)に代表され、紫外線が当たることによってその表面にスーパーオキシドイオンとヒドロキシラジカルを生成し、有機物分解や超親水性効果を発揮する機能性材料である。「ひかりの炭」は、微細孔に吸着された物質を光触媒酸化チタンが分解するため、微細孔が吸着物質で飽和することがなく、継続的に吸着による環境浄化機能を発揮する<sup>2)</sup>。

一方で、「ひかりの炭」は什器や室内のインテリア材として使用されるため、吸着面積が稼げず、負荷の高い室内の環境浄化性能にある程度の限界があると考えられる。室内の環境浄化性能を更に高めるためには、吸着面積を増やす必要がある。そこで、「ひかりの炭」の基礎技術を内装用建築材料へ応用し、室内環境浄化型の光触媒応用建材「フォトサーノ™」を開発した。「フォトサーノ」は、従来品のけい酸カルシウム板より微細孔量を

増やすことによって、吸着及び吸放湿性能を高めた高機能けい酸カルシウム板の表面に光触媒酸化チタンを担持した天井用及び壁用の内装ボードである。既に、(財)ベターリビングよりホルムアルデヒドの気中濃度低減対策機材としての性能証明書を2005年9月に取得済みである。

本報では、光触媒応用建材「フォトサーノ」について、光触媒担持条件選定試験、各種性能試験及び施工した実空間における性能検証試験を実施した結果について報告する。

## 2. 光触媒応用建材「フォトサーノ」の開発

### 2.1 光触媒担持条件選定試験

**2.1.1 目的** 光触媒担持備長炭「ひかりの炭」の開発において得られた基礎的な光触媒技術を建築材料へ応用すべく、多孔質材料として高機能けい酸カルシウム板を選定し、光触媒酸化チタンを担持した内装ボード「フォトサーノ」の開発を目指した。まず、トルエンガス除去性能試験によって、吸着機能がより効果的に、かつ継続的に発揮される最適な光触媒酸化チタンの担持条件を選定することを目的とした。

**2.1.2 試験体の概要** 試験体の種類をTable 1に示す。光触媒を担持する基材は、従来品より微細孔量を増やして吸着性を高めた高機能けい酸カルシウム板(ケイカル板)である。光触媒担持ケイカル板①～③は、この基材表面に光触媒コーティング材の構成及びその塗布量を変えて光触媒酸化チタンを担持したものである。光触媒酸化チタン水分散液(固形分3wt%)に対してシリカ質バインダー水溶液(固形分4wt%)を内割りして30、50及び70wt%の割合で添加して光触媒コーティング材とし、これを各試験体表面に所定量刷毛塗り後、120℃で1分間強制乾燥して光触媒酸化チタンを担持した。比較用に汎用品であるロックウール化粧吸音板(岩綿吸音板)も試験した。試験体サイズは50mm角とした。各試験体表面における光触媒酸化チタンの担持量(固形分量)を光触媒コーティング材の塗布量から算出してTable 1に示す。

#### 2.1.3 試験項目及び試験方法

(1) トルエンガス吸着除去性能試験 各試験体を5Lのエアバック中へ入れ、170ppmのトルエンガスを充填し、紫外線を照射せずに暗所へ静置し、経時的にエアバック内のトルエンガス濃度を検知管で測定して、吸着のみによる除去性能を試験した。

(2) トルエンガス吸着・分解除去性能試験 吸着除去性能試験に引続き、同様の試験方法で100～120ppmのトルエンガスを用いて、強度1mW/cm<sup>2</sup>の紫外線を照射しながら、吸着及び分解による除去性能を試験した。

#### 2.1.4 試験結果及び考察

(1) トルエンガス吸着除去性能試験結果 吸着によるトルエンガスの除去性能試験結果をFig. 1に示す。これより、光触媒無し基材のケイカル板の方が岩綿吸音板と比較して明らかに吸着性能が高かった。また、基

材のケイカル板に光触媒コーティング材を処理すると吸着性能が向上した。これは、ケイカル板に微細孔が残存し、かつ光触媒コーティング材にも吸着機能があるためと推定される。ただし、光触媒コーティング材の担持条件が異なっても吸着性能に大きな差は認められなかった。

(2) トルエンガス吸着・分解除去性能試験結果 紫外線を照射し、吸着と分解との併用効果によるトルエンガス除去性能試験結果をFig. 2に示す。また、Fig. 1及びFig. 2から試験終了時のトルエンガス除去率を算出し、酸化チタン担持量との関係を求めてFig. 3に示す。これより、岩綿吸音板は飽和吸着に達し、全くトルエンガスを除去しなかった。また、光触媒酸化チタンを担持していないケイカル板も吸着性能が著しく低下した。一方、各種光触媒担持ケイカル板は、基材による吸着に加え、光触媒酸化チタンによる分解効果が発揮され、繰り返し試験を実施しても、良好なトルエンガス除去性能を維持した。さらに、この実験においては、Fig. 3よりバインダー添加率50%、酸化チタン担持率1.67～2.80g/m<sup>2</sup>の光触媒担持ケイカル板②-1～3で、吸着による除去性能と吸着及び分解による除去性能とがいずれも良好であり、この範囲の光触媒酸化チタン担持量を担持条件として選定した。

### 2.2 各種性能評価試験

**2.2.1 目的** 2.1で述べた光触媒担持条件選定試験において、吸着機能と分解機能が併用して効果的に発揮される酸化チタン担持量を決定した。ここでは、この担持条件で製造した光触媒応用建材「フォトサーノ」の各種性能を明らかにすることを目的とした。

**2.2.2 試験体の概要** 試験体の種類をTable 2に示す。開発材料として、抄造法で製造した高機能けい酸カルシウム板「ケイカル板(P)」及びこれを基材とした「フォトサーノ(P)」、押出成形法で製造した高機能けい酸カルシウム板「ケイカル板(E)」及びこれを基材とした「フォトサーノ(E)」の計4種類とした。光触媒酸化チタンは、2.1で述べた光触媒担持条件選定試験によって選定し

Table 1 試験体一覧  
A List of Samples

記号	光触媒の有無	コーティング材の構成と担持条件		厚さ(mm)
		シリカ質バインダー添加率(%)	酸化チタン担持量(g/m <sup>2</sup> )	
岩綿吸音板	無	—	—	12
ケイカル板	無	—	—	6
光触媒担持ケイカル板①	有	30	2.99	
光触媒担持ケイカル板②-1		50	1.67	
光触媒担持ケイカル板②-2			1.93	
光触媒担持ケイカル板②-3			2.80	
光触媒担持ケイカル板③	70	1.24		

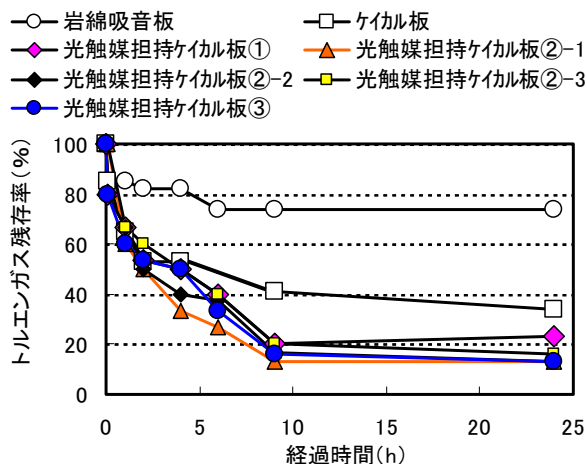


Fig. 1 吸着によるトルエンガスの除去性能  
Performance of Toluene Gas Elimination by Adsorption

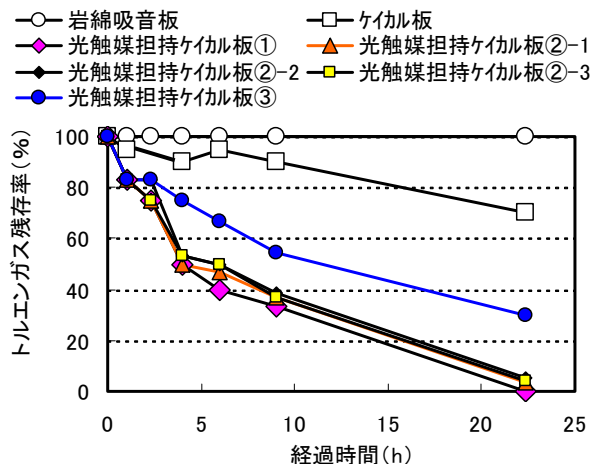


Fig. 2 吸着及び分解によるトルエンガスの除去性能  
Performance of Toluene Gas Elimination by Adsorption and photodecomposition

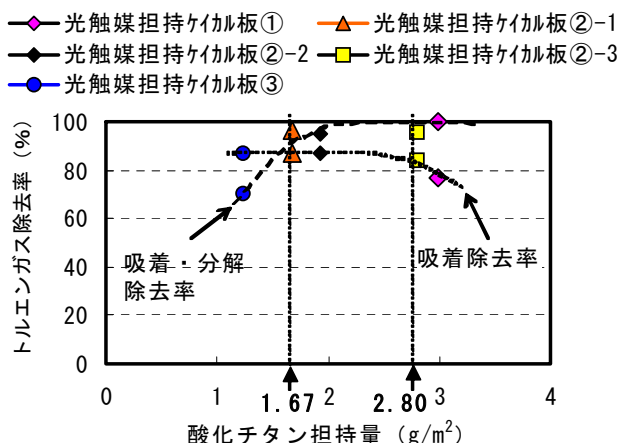


Fig. 3 酸化チタン担持量とトルエンガスの除去性能  
Amount of photocatalyst and Performance of Toluene Gas Elimination

Table 2 試験体一覧  
A List of Samples

試験体名称	基材	光触媒の有無	厚さ (mm)
開発材料	ケイカル板(P)	無	6
	ケイカル板(E)		8.5
	フォトサーノ(P)		6
	フォトサーノ(E)		8.5
比較材料	汎用天井材	無	12
	市販調湿建材A	無	5.5
	市販調湿建材B		10
	市販調湿建材C		9.5
市販調湿建材D	9		

た条件で担持した。

比較材料として、汎用品であるロックウール化粧吸音板(岩綿吸音板)と代表的な市販調湿建材A~Dの計4種類を試験体とした。市販調湿建材は、光触媒処理無し(A~C)と光触媒処理有り(D)の2タイプを選定した。

### 2.2.3 試験項目及び試験方法

(1) 細孔分布測定 吸着性能や吸放湿性能を左右する基材の細孔構造を比較・調査する目的で「ケイカル板(P)」及び「ケイカル板(E)」, 比較用の汎用天井材について、ガス吸着方式(日本ベル社製BELSORP-28SA)で細孔分布を測定した。測定用試料は、各試験体を5mm程度に砕いたものとした。

(2) 吸放湿性試験 「JIS A 1470-1(調湿建材の吸放湿性試験方法)の中湿域条件に準じて、30°C55%(RH)で恒量化した各試験体を30°C75%(RH)で24時間保持し、次に30°C55%(RH)で24時間保持し、この時の吸湿量と放湿量を求めた。なお、試験体のサイズは100mm角とした。

(3) 有害化学物質の除去性能試験 「フォトサーノ

(E)」についてトルエンガス除去性能、「フォトサーノ(P)」, 「フォトサーノ(E)」及びそれらの基材についてホルムアルデヒドガスの除去性能を評価した。

トルエンガス除去性能試験は、試験1回目を2.1.3の(1)に述べたトルエンガス吸着除去性能試験、試験2回目及び3回目を2.1.3の(2)に述べたトルエンガス吸着・分解除去性能試験と同様の方法とした。なお、試験2回目及び3回目は、強度1mW/cm<sup>2</sup>の紫外線を照射して試験した。

ホルムアルデヒドガス除去性能試験は、2.1.3の(2)に述べたトルエンガス吸着・分解除去性能試験と同様の方法とし、860ppmのホルムアルデヒドガスを用いて、強度1mW/cm<sup>2</sup>の紫外線を照射して試験した。

(4) 悪臭ガス成分の除去性能試験 「フォトサーノ(P)」について、代表的な悪臭ガス成分である硫化水素、トリメチルアミン及びメチルメルカプタンの吸着・分解除去性能試験を実施した。試験方法は、2.1.3の(2)に述べたトルエンガス吸着・分解除去性能試験と同様とし、強度1mW/cm<sup>2</sup>の紫外線を照射しながら、2ppm及び30ppmの

濃度の各ガスについて除去性能を試験した。

### 2.2.4 試験結果及び考察

(1) 細孔分布測定結果 Fig. 4に細孔分布測定結果を示す。これより、基材の「ケイカル板(P)」及び「ケイカル板(E)」は、汎用天井材と比較して、測定したいずれの径の細孔量も明らかに多いことが確認された。このため、「ケイカル板(P)」及び「ケイカル板(E)」は、汎用天井材よりも吸放湿性や吸着性能に優れると考えられる。また、「ケイカル板(P)」の基材の方が「ケイカル板(E)」の基材と比較して、細孔量が多かった。

(2) 吸放湿性試験結果 各試験体の吸放湿量の測定結果をFig. 5に示す。これより、汎用天井材は、試験した材料の中で吸湿量が最も小さかった。また、「フォトサーノ(E)」は、試験した材料の中で吸湿量が最も大きく、高い吸放湿性能を示した。さらに、「フォトサーノ(P)」は、「フォトサーノ(E)」よりも吸湿量が小さかったが、市販調湿建材A及び光触媒処理有りの市販調湿建材Dよりも吸湿量が大きかった。

(3) 有害化学物質の除去性能試験結果 試験1回目～試験3回目のトルエンガス除去性能試験結果をFig. 6

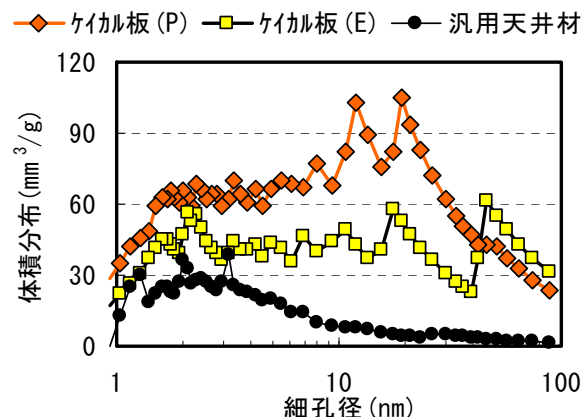


Fig. 4 細孔分布測定結果  
Results of Measurement of Pore Distribution

に示す。試験1回目は吸着のみによる効果、試験2回目及び試験3回目は紫外線を照射して、吸着と分解との併用効果による除去性能を示している。また、紫外線を照射して試験した、吸着と分解との併用効果によるホルムアルデヒドガスの除去性能試験結果をFig. 7に示す。

Fig. 6の試験1回目の結果から、「フォトサーノ(E)」は、代表的な市販調湿建材A及びDよりも吸着性能に優れることがわかる。また、試験2回目では、試験1回目よりも良好なトルエンガス除去性能を示した。これは、吸着機能に加え、光触媒による分解効果が発揮されているためと考えられる。さらに、「フォトサーノ(E)」は試験3回目においても良好なトルエンガス除去性能を示し、継続的にトルエンガスを除去できることを確認した。

Fig. 7より、「フォトサーノ(P)」及び「フォトサーノ(E)」は、紫外線照射下において、高濃度のホルムアルデヒドガスの除去性能に優れることを確認した。

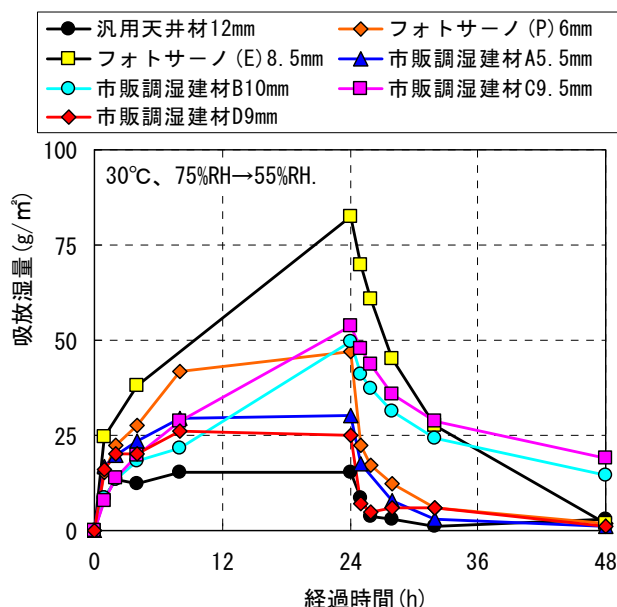


Fig. 5 吸放湿性能  
Performance of Moisture-regulation

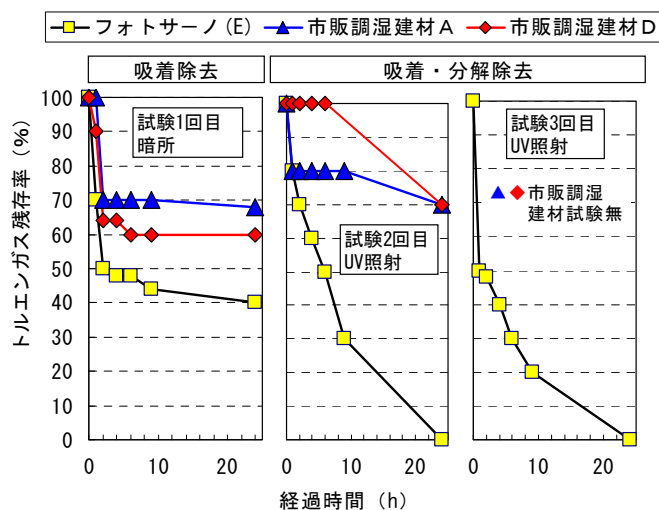


Fig. 6 トルエンガスの除去性能  
Performance of Toluene Gas Elimination

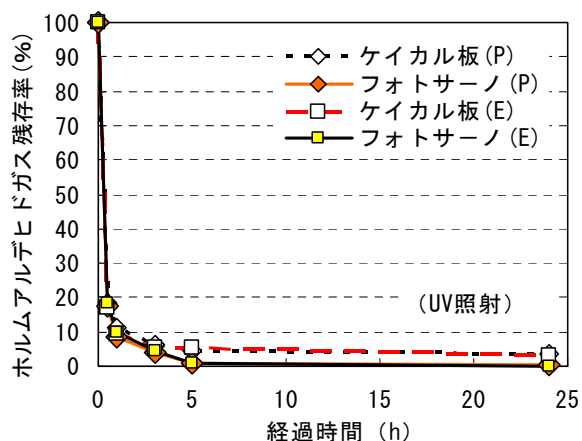


Fig. 7 ホルムアルデヒドガスの除去性能  
Performance of Formaldehyde Gas Elimination

(4) 悪臭ガス成分の除去性能試験 紫外線を照射して試験した結果、「フォトサーノ(P)」は2ppm及び30ppmの硫化水素、トリメチルアミン及びメチルメルカプタンの除去性能がいずれも良好であることを確認した。

### 3. 実空間における性能検証試験

#### 3.1 目的

光触媒応用建材「フォトサーノ」を施工した実空間において、実際に有害ガスを発生させて、その除去性能を検証することを目的とした。

#### 3.2 性能検証試験の実施場所の概要

実空間におけるガス除去性能の検証試験を実施した場所は、天井及び壁面において光触媒応用建材「フォトサーノ(P)」及び「フォトサーノ(E)」を実施した(株)大林組技術研究所火災工学実験棟の会議室(気積約120m<sup>3</sup>)である。材料・施工仕様をTable 3に示し、「フォトサーノ」を施工した会議室をPhoto 1に示す。「フォトサーノ」の気積比を使用面積<sup>2</sup>/気積<sup>3</sup>で表すと、天井面が0.29(35m<sup>2</sup>/120m<sup>3</sup>)、壁面が0.36(43m<sup>2</sup>/120m<sup>3</sup>)である。

天井に施工した「フォトサーノ(P)」、壁に施工した「フォトサーノ(E)」ともに、軽鉄下地に石膏ボードを捨張りし、その上から有機系弾性接着剤と両面テープとの併用による接着工法にて施工した。なお、「フォトサーノ(E)」は、基材の高機能けい酸カルシウム板を製造する際に顔料を添加して着色し、意匠性を向上させた。

#### 3.3 試験項目及び試験方法

**3.3.1 試験前の空気質調査** ガス除去性能試験前の会議室内の空気質を分析した。分析したガスは、トルエン、ホルムアルデヒド以外に、アセトアルデヒド、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、パラジクロロベンゼンとした。アルデヒド類の分析は、DNPH誘導化固相吸着/溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法、その他のVOC(揮発性有機化合物)の分析は、固相吸着/溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を適用した。以下、ガス分析は、全てこれらの分析法を適用した。

**3.3.2 有害化学物質の吸着除去性能検証試験** 室内における代表的な有害化学成分としてトルエン及びホルムアルデヒドを選定し、これらのガスを各々会議室内に投入し、投入直後、投入4時間後、9時間後及び24時間後に室内の空気質測定を実施し、各ガスの濃度を測定した。会議室のブラインドは閉め、蛍光灯は消した状態とした。

発生させたトルエンの濃度は0.13ppm(厚生労働省が設定する室内空気質濃度指針値0.07ppmの約2倍)で、エアバック内に充填した高濃度ガスを会議室内へ投入した。

室内へ発生させたホルムアルデヒド濃度は、12.2ppm(厚生労働省が設定する室内空気質濃度指針値0.08ppmの約150倍)で、ホルマリンをSUS製プレート上にマイクロピペットで滴下して室内に蒸散させた。

#### 3.3.3 有害化学物質の吸着・分解除去性能検証試験

吸着除去性能検証試験終了後、再度、同濃度のトルエン及びホルムアルデヒドを各々会議室内に発生させた。各ガス投入直後、投入4時間後、9時間後及び24時間後に室内の空気質測定を実施し、各ガスの濃度を測定した。ブラインドは開け、蛍光灯を点けた状態とした。なお、トルエン及びホルムアルデヒドのガス発生方法は吸着除去性能検証試験と同様とした。

#### 3.4 性能検証試験結果及び考察

**3.4.1 試験前の会議室内の空気質調査結果** 試験前の会議室内のトルエン濃度は0.01ppm~0.03ppmで、ホルムアルデヒド濃度は0~0.01ppmであった。また、その他の測定成分の濃度も全て厚生労働省室内濃度指針値を下回った。

**3.4.2 トルエンガスの除去性能検証試験結果** トルエンの吸着除去性能検証試験結果をFig. 8に、吸着・分解除去性能検証試験結果をFig. 9に示す。これより、吸着除去性能検証試験では、トルエンを投入直後、厚生労働省室内濃度指針値0.07ppmを下回った。また、4時間後の測定時には、試験前濃度と同じ濃度レベルの0.01ppmまで低減した。吸着・分解除去性能検証試験においては、トルエンを投入してから4時間後の測定時に0.01ppmまで

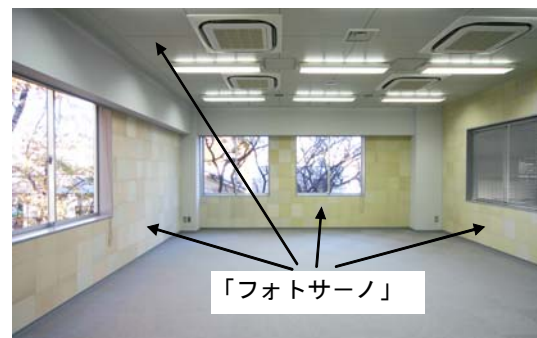


Photo 1 ガス除去性能検証試験を実施した会議室  
Conference Room That was Measured  
Performance of Gas Elimination

Table 3 材料・施工仕様一覧  
The Specification of Construction

	天井面	壁面
商品名	「フォトサーノ(P)」	「フォトサーノ(E)」
製造方法	抄造法	押出成形法
製品寸法	905mm角	303mm角
施工面積	約35m <sup>2</sup>	約43m <sup>2</sup>
表面加工	無し	エンボス
面取	有り	有り
色	アイボリー	アイボリー、サーモンピンク、ライトイエロー
下地	軽鉄+石膏ボードt12.5mm	軽鉄+石膏ボードt9.5mm
目地	底目地4mm	突き付け
接着剤	有機系弾性接着剤(両面テープ併用)	

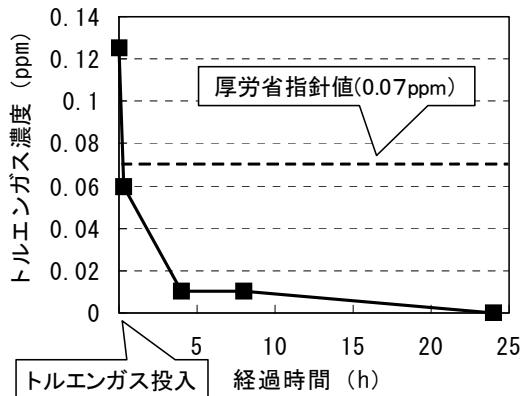


Fig. 8 吸着による除去性能  
Performance of Toluene Gas Elimination by Adsorption

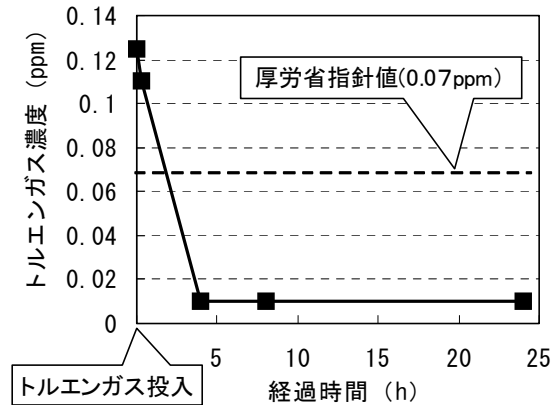


Fig. 9 吸着及び分解による除去性能  
Performance of Toluene Gas Elimination by Adsorption and Photodecomposition

低減した。なお、いずれの試験においても、他の測定ガス成分の濃度変化は認められなかった。

これより、「フォトサーノ」を施工した実空間において、トルエンガスの除去性能を確認した。ただし、吸着による除去性能と吸着・分解による除去性能とに差が認められず、吸着による除去性能が支配的で、光触媒による分解除去効果が明確にならなかった。

### 3.4.3 ホルムアルデヒドガスの除去性能検証試験結果

トルエンと同様に、吸着除去性能検証試験及び吸着・分解除去性能検証試験いずれにおいても、投入4時間後には厚生労働省室内濃度指針値0.08ppmを下回り、24時間後の測定時には、試験開始前の会議室内濃度と同濃度まで低減していることを確認した。また、投入したホルムアルデヒドガス以外の測定ガス成分の濃度増加は認められなかった。さらに、トルエンガスと同様、吸着による除去性能が支配的であった。

## 4. まとめ

室内環境を継続的に浄化することを目的として、微細孔を有する多孔質材料と光触媒酸化チタンを複合化して開発した光触媒担持備長炭「ひかりの炭」を建築材料へ応用し、高機能けい酸カルシウム板に光触媒酸化チタンを担持した内装建材「フォトサーノ」を開発した。実験的に選定した最適な光触媒担持条件で製造した「フォトサーノ」について、各種性能試験を実施した結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 「フォトサーノ」は、市販調湿建材と比較して、吸放湿性に優れている。
- 2) 「フォトサーノ」は、室内の有害化学物質や悪臭ガス成分の除去性能に優れ、その性能が継続的に発揮されることを実験的に確認した。
- 3) 「フォトサーノ」を施工した実空間（会議室）において、有害化学物質の除去性能を検証した。さらに、検証試験を実施後、1ヵ月経過した時点で空気質調査を再度実施して、「フォトサーノ」に吸着された有害化学物質が放出（脱着）されず、会議室内が継続的に清浄化されていることを確認した。

今後、室内の有害化学物質や臭い成分が問題となっている高齢者施設や医療施設等に「フォトサーノ」を適用していく所存である。

## 謝辞

「フォトサーノ」を共同開発しました神島化学工業株式会社、株式会社光触媒研究所の関係各位に深謝致します。

## 参考文献

- 1) 光田恵 他：高齢者施設における臭気の測定と対応策の提案，住総研研究年報No. 27, pp243-252, (2000)
- 2) 奥田章子 他：光触媒担持備長炭「ひかりの炭」，大林組技術研究所報，No. 69, (2005)