

高活性可視光応答型 光触媒の開発

住友化学(株)

基礎化学品研究所

酒谷能彰
奥迫顕仙
須安祐子
村田誠
井上勝喜*
沖泰行

Development of a Highly Active Visible Light Driven Photocatalyst

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

Basic Chemicals Research Laboratory

Yoshiaki SAKATANI

Kensen OKUSAKO

Yuko SUYASU

Makoto MURATA

Katsuyuki INOUE

Yasuyuki OKI

We had succeeded in the synthesis of a new type of visible light driven photocatalyst called ILUMIO[®], which was prepared by an improvement on conventional preparation of ceramics dispersion. The ILUMIO[®] coated layer decomposes volatile organic compounds (acetaldehyde, formaldehyde and toluene) under fluorescent lamp irradiation. Furthermore, the coated layer exhibits super hydrophilic performance under visible light irradiation. ILUMIO[®] has dispersing crystalline particles; therefore, the photocatalytic activity is achieved by coating followed by drying without calcination.

はじめに

1. 光触媒による水の分解

光触媒の研究は、1970年代に酸化チタン光電極に紫外光を照射し、水を水素と酸素に分解する、いわゆる、「本多-藤嶋効果」に端を発している¹⁾。オイルショックによる石油価格の高騰と重なり、次世代のクリーンエネルギーである水素を、太陽光線と水から作れるということで、非常に注目された。

その後光触媒を用いた水の完全分解は、電極ではなく粉末を用いた検討が主流となり、種々の複合酸化物や層状化合物や酸窒化物系の光触媒が開発された。紫外光を用いた反応では、工藤らにより、NaTaO₃ (Laドーブ) が、波長270nmの光の照射で、量子収率56%で水を水素と酸素に完全分解することが報告された²⁾。また、可視光照射での水の完全分解

反応では、堂免らにより、ZnO-GaNの固溶体からなる光触媒が、波長420~440nmの光照射により、量子収率2.5%で水を完全分解することが報告された³⁾。

2. 光触媒による有機物分解(環境浄化)

光触媒による有機物分解(環境浄化)の例としては、坂田らによる酸化チタンを用いたメタノール水溶液からの水素生成反応が知られている⁴⁾。その後この酸化チタン光触媒による有機物の酸化分解力を利用して、空気浄化や水質浄化等、環境浄化商品が種々開発された。しかし、これらの環境浄化型の光触媒は、全て紫外光照射でのみ機能し、屋内空間でも利用するには、可視光照射で光励起できる光触媒が望まれていた。

1997年に安保らは、CrやVイオンを酸化チタン中にイオン注入することにより、酸化チタンのバンドギャップを狭窄し、可視光照射でも機能する酸化チタン光触媒を見出した⁵⁾。さらに安保らは、マグネト

*現職：有機合成研究所

ロンスパッタ法により、遷移金属をドーピングすることなく結晶構造を制御し、可視光応答型の酸化チタン薄膜の作成に成功している⁶⁾。しかしこれらの方法は、高価な装置が必要である為、大量生産には不向きであった。

2001年に旭らにより、酸化チタンに窒素ドーピングすることにより、酸化チタンが可視光の照射で光触媒活性を示すことが報告された⁷⁾。その後硫黄をドーピングしても酸化チタンに可視光応答性を付与できることも見出された。今日までに、窒素ドーピング及び硫黄ドーピング酸化チタンに関する研究は全世界で行われ、多数の研究報告がなされている。

尚、1. で述べた水分解用の光触媒を有機物分解に適用した場合、光触媒の表面積が小さすぎる等により、十分な光触媒活性が得られていない。

3. 光誘起親水性

酸化チタンを塗布した塗膜は、紫外線の照射によって有機物を分解するだけでなく、塗膜の表面が親水化する、「光誘起親水性」現象を示すことが橋本らのグループらによって報告された⁸⁾。これにより紫外光照射により防曇性やセルフクリーニング効果を示す部材が商品化されている。

4. 光触媒市場の現状と最近の動き

光触媒工業会の会員企業を対象としたアンケートによると、2007年度の光触媒関連商品の市場規模は328億円とされており、年々拡大してきている。実際の市場規模としては、国内で700億円、全世界で1,000億円と見積もられている。光触媒市場を更に大きく拡大させるためには、より高活性な可視光応答型光触媒を開発することが必要である。

最近、酸化タングステンに種々の助触媒を担持した可視光応答型光触媒が注目されている。これまで、酸化タングステンを用いてアセトアルデヒド等の分解を行うと、分解中間体の酢酸等を分解できない為、見かけ上反応が止まってしまうことがあり、酸化タングステンを積極的に環境浄化用の光触媒材料として用いる試みは、あまり検討されてこなかった。

阿部らは酸化タングステンに白金を担持すると、揮発性有機化合物(VOCs)であるアセトアルデヒド等の有機物が完全分解することを世界で初めて見出した⁹⁾。また佐山らは同様の現象を、酸化タングステんにパラジウムや酸化銅の粒子を混合した系でも、有機物を完全分解できることを報告している^{10), 11)}。また、橋本らは、銅イオンやタングステンカーバイドを酸化タングステンに担持する系を提案している^{12), 13)}。

東京大学・橋本教授がプロジェクトリーダーとなり、大学、産総研、民間企業9社等からなる、(独)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」が2007年7月からスタートした。このプロジェクトの目標は、紫外光型光触媒で従来品の2倍の活性、可視光型光触媒で従来品の10倍の活性を示すものを実現するとしている。

最近発表されたところでは、酸化タングステンに銅イオンを担持したものをNEDOプロジェクト内の材料メーカーが製造し、これを用いて実証試験を行っていくとしている。そして将来的には、屋内用途の光触媒市場を開拓し、約2兆8,000億円の市場創出を目指すとしている。

光触媒のメカニズム

1. 光触媒による有機物分解

光触媒反応の原理をFig. 1に示す。半導体にこのバンドギャップ以上のエネルギーをもつ光を照射すると、価電子帯の電子が伝導帯に励起されて、価電子帯にホール(正孔)が生成する。これら電子とホールはFig. 1に示す通り半導体内部を拡散し、(a)水分解の場合はそれぞれ水素イオンの還元と水の酸化が起こり、(b)有機物分解の場合は酸素の還元と水の酸化により活性酸素種を生成する。この活性酸素種により有機物の分解や滅菌作用が発現する。また、有機物の濃度が高くなれば、ホールが直接有機物を酸化分解することも知られている。このような光触媒作用を示す半導体としては、酸化チタンが最もよく知られている。

半導体が酸化タングステンの場合、その価電子帯、伝導帯共に酸化チタンに比べて深い位置にある。その為、光励起で生成したホールの酸化力は酸化チタンよりも強いが、励起電子の還元力は酸化チタンよ

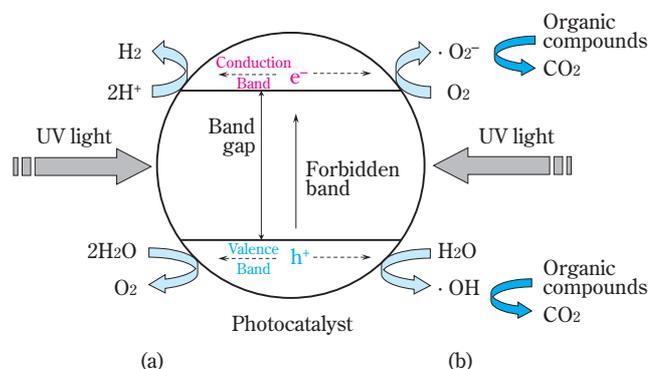


Fig. 1 Mechanism of photocatalytic decomposition of water (a) and organic compounds (b) over a photocatalyst under UV-light irradiation

りも弱く、酸素の還元反応において、酸化チタンでは一電子還元 (O_2^- が生成) が起こるが、酸化タンゲステンでは二電子還元 (H_2O_2 が生成) が起こるとされている。この酸化タンゲステンによる酸素の二電子還元は非常に反応速度が遅く、先に述べた通り、例えばアセトアルデヒドの分解反応では、分解中間体の酢酸の分解が困難となり、アセトアルデヒドの完全分解は困難であった。しかし、この酸化タンゲステンの表面に白金や銅イオン等を担持すると、酸素の二電子還元反応がスムーズに起こり、アセトアルデヒドの完全分解が可能となる。

2. 光誘起親水性

光誘起親水性の原理を Fig. 2 に示した。ここでは酸化チタンの例を取り上げる。Fig. 1 と同様に、酸化チタンにバンドギャップ以上のエネルギーをもつ光を照射すると、酸化チタン内部で光励起現象が起こり電子とホールが生成する。これらは活性酸素種の生成に用いられるが、ホールの一部は Ti-O-Ti 結合のブリッジ酸素にトラップされ、その際 Ti-O 結合の結合距離が長くなり、そこに空気中の水蒸気が解離吸着することにより Ti-OH の量が増加し、酸化チタン表面が親水性を示すようになる。但し、この Ti-OH の安定性はそれほど高くない為、暗所で放置すると、隣接する 2 つの Ti-OH から水分子が脱離し、Ti-O-Ti に戻り疎水性を示すようになる。

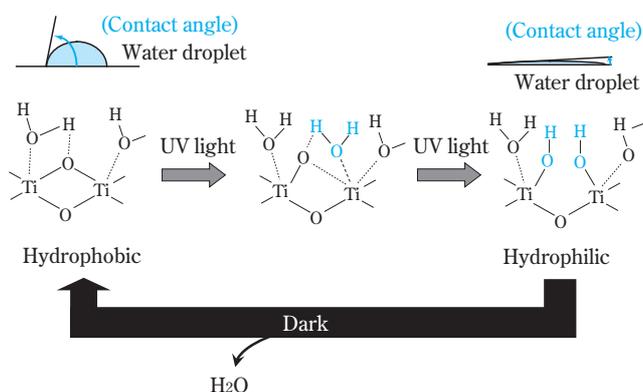


Fig. 2 Mechanism of photo-induced hydrophilic performance over TiO₂ photocatalyst under UV-light irradiation

高性能光触媒 ILUMIO®

当社ではこれまで、可視光応答型光触媒として、“TP-S201” (粉末)、“TS-S4110” および “TS-S4420” (ゾル) を既に商品化し、ブラインドやカーテンに広く採用されている。

今後更に光触媒を普及させていくには、更なる高性能化が求められている。そこで我々は、長年培ってきたセラミックス合成技術を駆使し、高性能光触媒 ILUMIO®を開発した。ILUMIO®は光触媒活性を有するセラミックス材料が分散したゾル状の分散液である。分散粒径やpH等の諸物性は、Table 1 に示すとおりである。ILUMIO®とILUMIO®を塗布したシャーレ (塗布量: 1g/m², シャーレの大きさ: 66mm) の外観を Fig. 3 に示した。ILUMIO®は灰色を呈している。一般に、可視光を吸収するものは、人間の眼では着色して見えることから、ILUMIO®は可視光線を吸収することがわかる。一方、塗膜は透明性が高く着色していない。ここから、ILUMIO®から作成した塗膜は、基材の意匠性を損なうことなく可視光を吸収し、光触媒活性を発現することがわかる。

Table 1 Characterization of ILUMIO®

Appearance	Gray colored aqueous dispersion
Solid content	5 ~ 10wt%
Dispersed particle size	100 ~ 150nm
pH	4 ~ 5



Fig. 3 Picture of ILUMIO® (a) and ILUMIO® coated petri dish (b)

光触媒分散液を塗布する際、塗布する基材の濡れ性が悪い場合、均一に塗布できない等の不具合が生じる為、通常濡れ性を向上させるために界面活性剤やアルコールの添加が行われている。ILUMIO®の分散媒は主に水であるが、例えばエタノールと混合した場合、光触媒成分の固形分濃度を5wt%とすると、少なくともエタノール含有量が40wt%まで光触媒粒子の分散安定性は維持されることを確認している。

高性能光触媒 ILUMIO® の有機物分解性能

1. ガスバッグ法での光触媒活性評価

現在、日本では屋内照明は蛍光灯が主流である。蛍光灯にはFig. 4に示す通り、若干の紫外線を含む光が照射されているが、アクリル板（日東樹脂工業（株）製N-169）を通すと紫外線がカットされる。ここからアクリル製の照明カバーを設置すると、蛍光灯からは可視光のみが照射される。

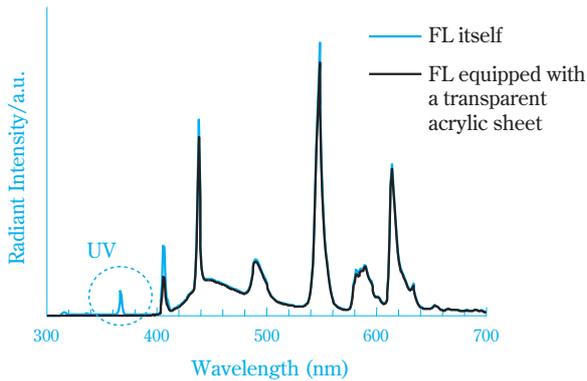


Fig. 4 Spectra of a fluorescent lamp

ILUMIO®の光触媒活性の評価方法をFig. 5に示した。ILUMIO®に含まれる固形分が、シャーレ上に $1\text{g}/\text{m}^2$ となるように塗布して塗膜を作成した。この塗膜はFig. 5に示す通り、非常に透明性の高いものである。次にこの塗膜をシャーレごとガスバッグ（容量1L）に設置し、内部を相対湿度50%の合成空気（容量0.6L）を封入して、そこに所定量のアセトアルデヒドを注入した。その後1時間暗所で放置し、白色蛍光灯（照度1,000ルクス）を照射して、一定時間照射後のアセトアルデヒドと二酸化炭素の濃度を

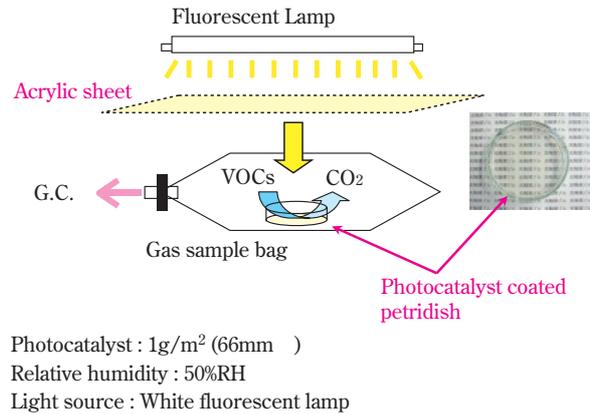


Fig. 5 Illustration of the experimental setup for photocatalytic decomposition of VOCs under a fluorescent lamp irradiation

ガスクロマトグラフィーで定量した。照度1,000ルクスとは、明るい部屋に置かれた机の上程度の照度である。

(1) アセトアルデヒドおよびトルエンの分解反応

ILUMIO®から作成した塗膜を用いて、蛍光灯照射下でアセトアルデヒドの分解反応を行ったときの結果をFig. 6(a)(b)に示した。比較として当社現行品（可視光応答型光触媒ゾル：TS-S4110）から作成した塗膜も用いた。これをみると、ILUMIO®はTS-S4110と比べて、本評価条件において5~6倍の高い光触媒活性を示すことがわかった。また蛍光灯中の可視光線（紫外線カット）を照射しても、ILUMIO®は高い光触媒活性を示すことがわかった。次にトルエンの分解反応を同様の方法で行った。結果をFig. 7(a)(b)に示した。これをみると、ILUMIO®はアセトアルデヒドの分解反応と同様に、トルエンの分解反応でもTS-S4110よりも高い光触媒活性を示し、更に蛍光灯中の可視光照射下でも高い光触媒活性を示した。

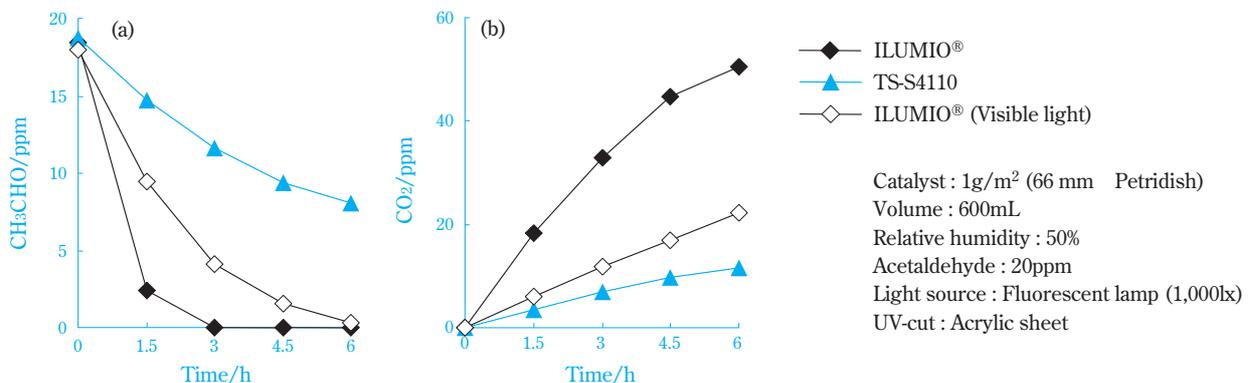


Fig. 6 Time course of decomposition of acetaldehyde (a) and evolution of CO_2 (b) under a fluorescent lamp irradiation

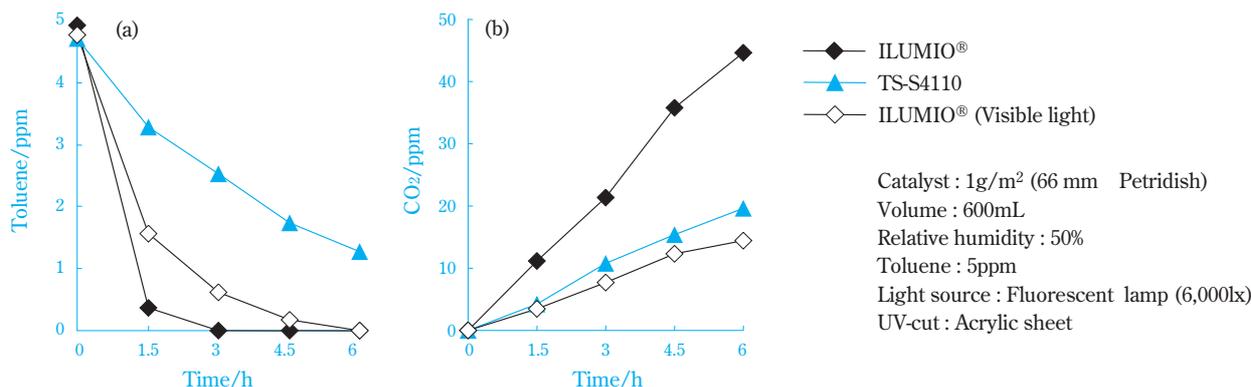


Fig. 7 Time course of decomposition of toluene (a) and evolution of CO₂ (b) under a fluorescent lamp irradiation

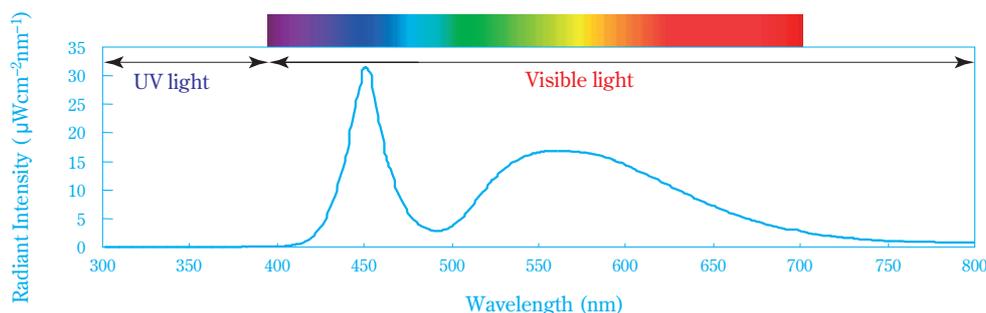


Fig. 8 Spectrum of a white-colored LED

(2) 白色LED照射下でのアセトアルデヒドの分解反応

現在、屋内照明としては蛍光灯が主流であるが、今後LED（発光ダイオード）を光源とする照明が普及するといわれている。既に商品化されているLEDには大きく分けて2つのタイプがあり、(i)赤・緑・青の3種類のLEDを組み合わせたタイプと、(ii)青色のLEDに黄色の蛍光体を組み合わせたタイプがある。(i)はフルカラーの道路標示板やスクリーンに用いられており、(ii)は照明等に用いられている。

ここでは白色LED照明（東芝ライテック(株)製：LEDベッド灯）を用いて、ILUMIO®の光触媒活性の評価を行った。このLED照明の照射スペクトルをFig. 8に示す。

光触媒活性の評価結果をFig. 9に示した。比較として市販の紫外光応答型の光触媒ゾルを用いた。ILUMIO®は光の照射と共に、アセトアルデヒドの濃度が低下し完全分解生成物のCO₂の濃度が増加していることがわかる。一方、市販の紫外光型光触媒では、アセトアルデヒドの濃度は殆ど低下せず、しかもCO₂は殆ど生成しないことがわかった。ここからILUMIO®は将来の室内光源である白色LEDでも高い光触媒活性を発現することがわかる。

2. 流通系での光触媒活性評価

光触媒活性の評価方法として、平板流通法が既に

CH₃CHO 20ppm(600mL), White LED6,000Lx

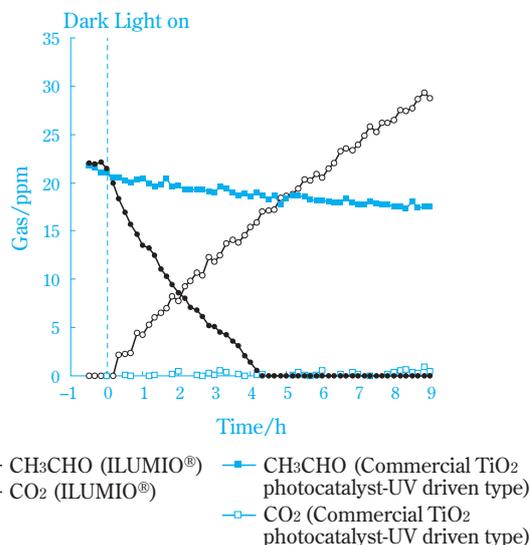


Fig. 9 Time course of decomposition of acetaldehyde and evolution of CO₂ under a white colored LED irradiation

JIS化されている。この方法の概要をFig. 10に示した。ガラス基板（5cm × 10cm）にILUMIO®又はTS-S4110の乾燥粉末をガラス基板上に40g/m²となるように塗布し、これを反応装置に設置して、濃度1ppmのホルムアルデヒド又はアセトアルデヒドを流速1L/minで



Fig. 10 A picture and an illustration of the experimental setup for photocatalytic decomposition of VOCs using a flow type reactor under a fluorescent lamp irradiation

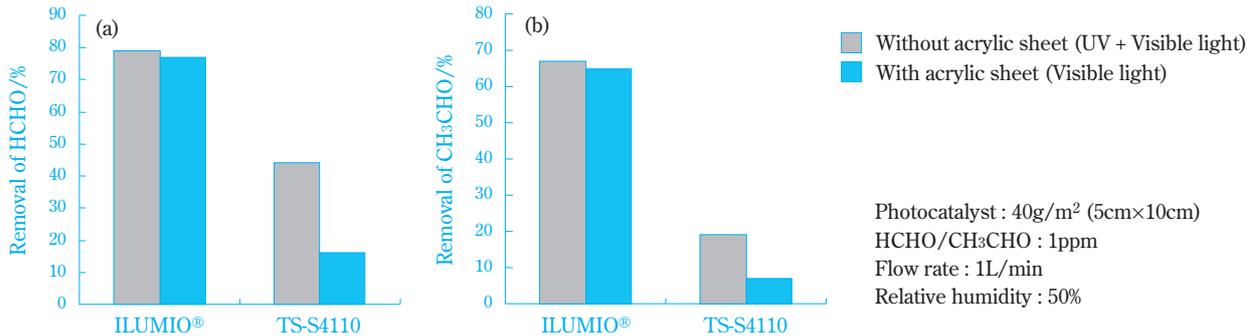


Fig. 11 Removal percentage of formaldehyde (a) and acetaldehyde (b) under a fluorescent lamp irradiation

流し、反応装置の上部から蛍光灯の照射を行った。紫外線のカットには、アクリル板（日東樹脂工業（株）製N-169）を用いた。

結果をFig. 11に示した。これを見ると、ILUMIO®は紫外線の有無に関わらず、TS-S4110と比べてホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドを高い光触媒活性で除去することがわかった。

3. 小型チャンパー法での光触媒活性評価

建材からの揮発性有機化合物の放散量試験方法として、小型チャンパー法（JIS A 1901（建築材料の揮発性有機化合物（VOCs）、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法））が知られている。

この方法を利用した光触媒活性の評価がJISに登録される予定となっている。そこでこの小型チャンパー法を用いてILUMIO®の光触媒活性の評価を行った。

評価方法をFig. 12に示した。ILUMIO®を塗布したガラス基板をチャンパー内に設置し、濃度0.08ppmのホルムアルデヒドガスを流通させながら、チャンパーの上部より蛍光灯（照度：1,000ルクス）を照射した。入り口と出口のホルムアルデヒドの濃度を液体クロマトグラフィーで定量した。ホルムアルデヒドの流量は、換気回数：0.5回/hで行った。換気回数とは、その空間の空気を単位時間当たり何回入れ替えたかを示し、建築基準法により住宅では換気回数は最低で0.5回/h以上、住宅以外では0.3回/h以上と定めら

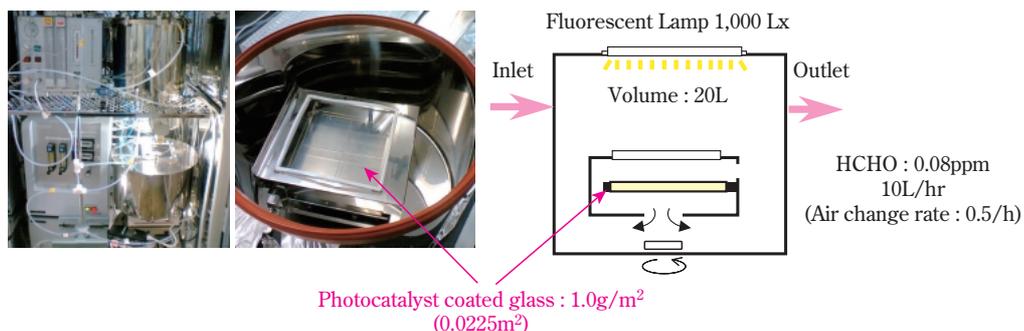


Fig. 12 Pictures and an illustration of the experimental setup for photocatalytic decomposition of formaldehyde using a small chamber type reactor under a fluorescent lamp irradiation

れている。今回の評価では、住宅を想定した換気回数(0.5回/h)で行った。また、ホルムアルデヒドの除去率についても、上で述べた流通系での評価で示した分解率だけではなく、分解率を換気回数に換算した「換算換気回数」で評価した。「換算換気回数」は、以下の式で求めることができる。

$$\text{換算換気量} = (C_{in} - C_{out}) \times 0.02 [m^3] \times 0.5 [回 h^{-1}] / (C_{out} [m^3] \times \text{試料表面積} [m^2])$$

$$\text{換算換気回数} = \text{換算換気量} \times \text{気積比}$$

分解率で評価した結果をFig. 13(a)に示した。比較として、ホルムアルデヒドの分解反応に高い光触媒活性を示す可視光型光触媒コーティング液(TC-S4115)を用いた。これをみると、TC-S4115が除去率51%であるのに対し、ILUMIO®は83%と高い光触媒活性を示すことがわかった。また、換算換気回数として表した結果をFig. 13(b)に示した。これをみると、TC-S4115は換算換気回数が約0.6回/hであるのに対し、ILUMIO®は約2.4回/hであることがわかった。

これは、仮に気積比が1(ILUMIO®を塗布した壁の面積/部屋の容積 = 1[m²/m³])となるようにILUMIO®を塗布した部屋では、1時間当たり2.4回分余分に、部屋の空気を完全に入れ替えるのと同等の空気の清浄化ができることを示している。

4. 生活臭の分解

光触媒が実際の生活臭(複合臭)に対してどの程度脱臭効果を有するか、商品化を進める上で非常に重要な要素である。そこでILUMIO®から得られる塗膜を用いて、タバコ臭と糞尿臭の脱臭評価を行った。

ILUMIO®を塗布したガラス板(50cm²)を5Lのガスバックに設置し、そこにタバコ臭又は糞尿臭を入れて、16時間蛍光灯(1,000ルクス)を照射した後の臭気濃度をにおい識別装置FF-2A((株)島津製作所製)を用いて測定した。蛍光灯の照射時間は、日常の活動時間(24時間 - 睡眠時間8時間)から16時間とした。タバコ臭及び糞尿臭の初期濃度は、前者は当社の喫煙室内の臭気濃度、後者は病室でのオムツ交換時の臭気濃度(換気扇無し, 臭気濃度: 74)を参考にして決めた¹⁴⁾。比較として光触媒を塗布していな

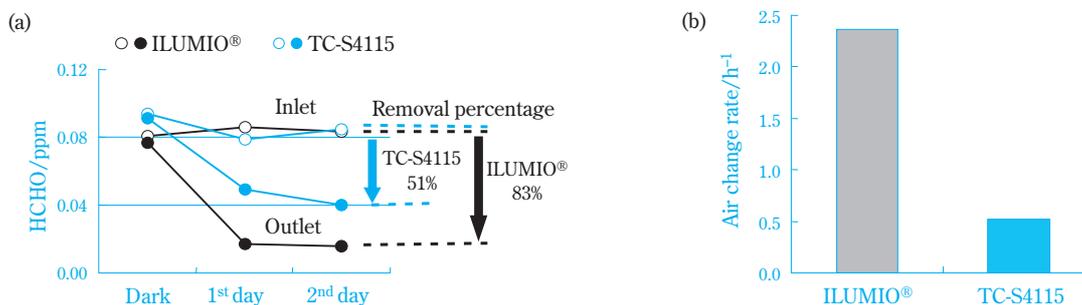
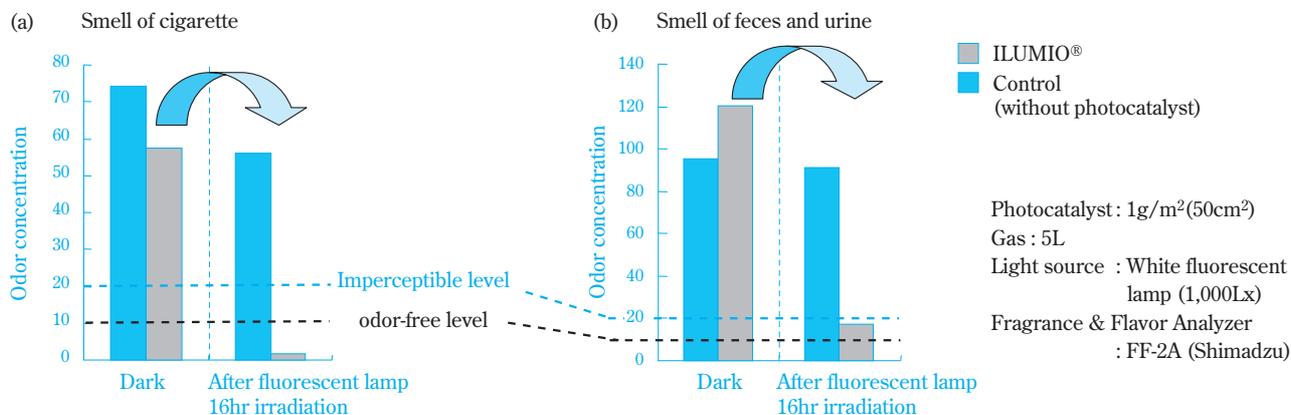


Fig. 13 Time course of the removal percentage of formaldehyde (a) and the air change rate at the 2nd day (b)



The smell of cigarette was collected from cigarette smoke.

The smell of feces and urine was collected from a dirty diaper.

Fig. 14 Photocatalytic deodorization of smell of cigarette (a) and feces and urine (b) under a fluorescent lamp irradiation

いガラス板を用いた評価も行った。

臭気濃度と実際の臭気との関係では、におい識別装置の結果から判断すると、臭気濃度20は感知できないレベル、臭気濃度10は無臭のレベル、臭気濃度0は高純度窒素ガスのレベルであった。ILUMIO[®]を用いたタバコ臭と糞尿臭の脱臭評価の結果をFig. 14に示したが、蛍光灯を16時間照射することにより、前者は無臭レベル、後者は感知できないレベルにまで脱臭できたことがわかった。ここからILUMIO[®]から得られる塗膜は、実際の生活臭の脱臭でも高い効果を発現することがわかった。

高性能光触媒 ILUMIO[®]の光誘起親水性

光触媒には有機物等の酸化分解の他に、光誘起超親水性の機能がある。光誘起親水性を利用した商品は、既に自動車のドアミラーや種々のガラス製品、テント等に利用されている。光誘起親水性により、基材が曇らなくなるだけでなく、基材の表面に薄い水の膜ができ、汚れが雨水等で簡単に流される為、セルフクリーニング効果が期待できる。

酸化チタンから得られる塗膜の場合、超親水性（水滴の接触角が5度以下）を示すには、 $5\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 程度の紫外光の照射が必要とされている¹⁵⁾。また、酸化チタンと非晶質酸化タングステンの積層膜を作成すると、微弱な紫外光（紫外光強度 $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ）の照

射で、親水性を示すことが報告されている^{15), 16)}。これは紫外光を照射すると、酸化チタンだけでなく酸化タングステンでも光励起がおり、酸化タングステンで生成したホールが酸化チタンに移動して酸化チタン中のホールの量が多くなり、より表面水酸基の量が多くなるためとしている。また、酸化チタン層と酸化タングステン層の間に、シリカの層を入れると、酸化タングステンから酸化チタンへのホールの移動が遮断されてしまうため、微弱な紫外光での光誘起親水性は示さなくなったとしている。

ILUMIO[®]を塗布したガラス基板（塗布量： $0.5\text{g}/\text{m}^2$ ）をスピコーターにて作成し、この塗膜の光誘起親水性を調べた。結果をFig. 15(a)–(d)に示した。評価条件としては、(a) 初期化（親水性評価前の紫外光照射）なし・暗所保管、(b) 初期化なし・可視光照射、(c) 初期化あり・暗所保管、(d) 初期化あり・可視光照射、の4つで行った。

Fig. 15(a)(c)に示す通り、ILUMIO[®]から得られた塗膜は初期化の有無に関わらず、暗所で長期にわたり水滴に対する接触が5度以下の低い値を示した。一般に、水滴に対する接触角が7度以下であれば防曇性（曇らない）を示し、10度以下であればセルフクリーニング効果を示すとされている。ILUMIO[®]は暗所でも5度以下の接触角を維持していることから、ILUMIO[®]を塗布すると、光照射無しでも防曇性を示す部材を作成できる可能性がある。一方、市販の紫外光

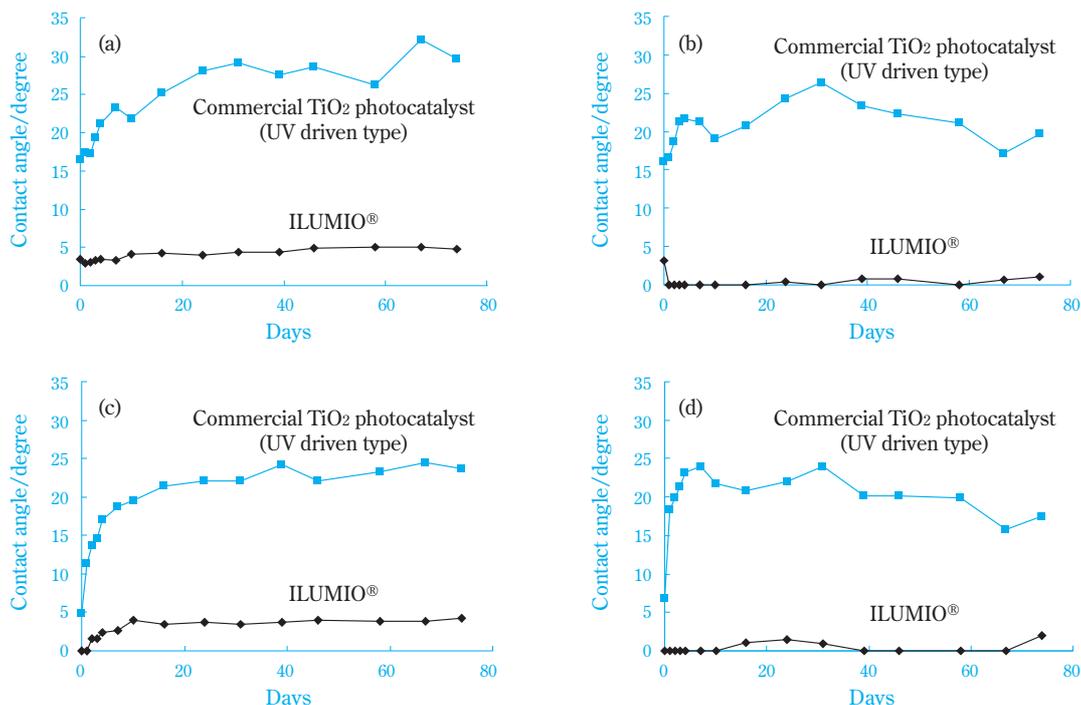


Fig. 15 Changes in water contact angle under dark (a) (c) and visible light irradiation (b) (d) ; without (a) (b) or with (c) (d) UV light irradiation prior to the evaluation of the hydrophilic performance

応答型の酸化チタン光触媒を用いて同じ評価を行うと、初期化をすれば初期は接触角が低い値を示すが、時間の経過と共に大きくなり、親水性を示さなくなった。これは初期化の紫外光照射で酸化チタン表面のOH基が増えて親水性を示したが、光励起されない暗所では、新たに形成されるOH基が無く、隣接するTi-OH基から水が脱離して、Ti-O-Tiのブリッジ酸素に戻り、表面が疎水化した為と考えられる。

また、Fig. 15(b)(d)に示す通り、ILUMIO[®]から得られた塗膜は可視光照射下で水滴の接触角が0~2度となり、しかもその状態が長期に渡り持続することがわかった。ここでは光源に蛍光灯（照度：1,000ルクス）を用い、紫外線カット材（アクリル板；日東樹脂工業株製N-169）で紫外線をカットしている。1,000ルクスの照度で、しかもILUMIO[®]は紫外線をカットした状態で接触角が0~2度となることから、ILUMIO[®]は従来にない高度な可視光誘起親水性を有する材料といえる。

先に述べた接触角と防曇性や防汚性の関係からすると、ILUMIO[®]を塗布した部材は光の有無に関わらず防曇性や防汚性に優れるといえる。

おわりに

当社は、高活性な可視光応答型光触媒ILUMIO[®]を開発した。ILUMIO[®]は屋内での実用光源である蛍光灯や、次世代光源である白色LEDの照射下で高い光触媒活性を示した。また、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエンの分解反応だけでなく、タバコ臭や糞尿臭等の生活臭の脱臭でも高い光触媒性能を示した。更に、ILUMIO[®]から得られる塗膜は高い親水性を示し、水滴の接触角が暗所でも5度以下、蛍光灯を用いた可視光の照射でほぼ0~2度の超親水性を示すことがわかった。

現在、屋内で使用される用途に向けてILUMIO[®]のサンプルワークを開始しており、更なる活性の向上と共に、商品化に向けてスケールアップ及びコーティング液の開発を行っている。今後ILUMIO[®]がより多く採用されるものと期待している。

引用文献

- 1) A.Fujishima and K.Honda, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **44**, 1148 (1971) .
- 2) H.Kato, K. Asakura, and A. Kudo, *J. Am.Chem.Soc.*, **125**, 3082 (2003) .
- 3) K. Maeda, K. Teramura, D. Lu, T. Takata, N. Saito, Y. Inoue, and K. Domen, *Nature*, **440**, 295 (2006) .
- 4) T. Kawai and T. Sakata, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **15**, 694 (1980) .
- 5) M. Anpo, Y. Ichihashi, Y. Tamada, H. Yamashita, T. Yoshinari, and Y. Suzuki, *Proc. - Electrochem. Soc.*, 97-20, 331 (1997) .
- 6) M. Takeuchi, M. Anpo, T. Hirao, N. Itoh, and N. Iwamoto, *Surf. Sci. Jpn.*, **22**, 561 (2001) .
- 7) R. Asahi, T. Morikawa, T. Ohwaki, K. Aoki, and Y. Taga, *Science*, **293**, 269 (2001) .
- 8) R.Wang, K.Hashimoto, A.Fujishima, M. Chikuni, E.Kojima, A.Kitamura, M.Shimohigoshi, and T.Watanabe, *Nature*, **388**, 431 (1997) .
- 9) R. Abe, H. Takami, N. Murakami, and B. Ohtani, *J. Am.Chem.Soc.*, **130**, 7780 (2008) .
- 10) T. Arai, M. Yanagida, Y. Konishi, Y. Iwasaki, H. Sugihara, and K. Sayama, *Catalysis Communications*, **9**, 1254 (2008) .
- 11) T. Arai, M. Horiguchi, M. Yanagida, T. Gunji, H. Sugihara, and K. Sayama, *Chemical Communications*, 5565 (2008) .
- 12) H. Irie, S. Miura, K. Kamiya, and K. Hashimoto, *Chem. Phys. Lett.*, **457**, 202 (2008) .
- 13) Y.-H. Kim, H. Irie, and K. Hashimoto, *Appl. Phys. Lett.*, **92**, 182107 (2008) .
- 14) 板倉 朋世, 光田 恵, 柴田 英希, 第20回におい・かおり環境学会講演予稿集, 85 (2007) .
- 15) M. Miyauchi, A. Nakajima, K. Hashimoto, and T. Watanabe, *Advanced Materials*, **12**, 1923 (2000) .
- 16) M. Miyauchi, A. Nakajima, T. Watanabe, and K. Hashimoto, *Chem. Mater.*, **14**, 4714 (2002) .

PROFILE



酒谷 能彰
Yoshiaki SAKATANI
住友化学株式会社
基礎化学品研究所
主席研究員 博士（理学）



村田 誠
Makoto MURATA
住友化学株式会社
基礎化学品研究所
研究員



奥迫 顕仙
Kensen OKUSAKO
住友化学株式会社
基礎化学品研究所
主任研究員



井上 勝喜
Katsuyuki INOUE
住友化学株式会社
基礎化学品研究所
主任研究員 博士（工学）
（現職：有機合成研究所）



須安 祐子
Yuko SUYASU
住友化学株式会社
基礎化学品研究所
研究員



沖 泰行
Yasuyuki OKI
住友化学株式会社
基礎化学品研究所
主席研究員