

光触媒式空気清浄器

鈴木賢一郎

Photocatalytic Air Purifier

Ken-ichirou Suzuki

要 旨

快適な居住環境並びに車室内環境への関心は近年ますます高くなっている。なかでも、悪臭による空気汚染は快適性を阻害する大きな要因となっている。著者は安全でクリーンな空気浄化方法を得るため、光触媒の持つ強力な酸化力・還元力に着目し研究を進めた。

本報告では、まず、光触媒成分である酸化チタン粉末をハニカム担体に担持した光触媒を用い、室温下における悪臭物質の浄化特性を述べる。光触媒反応は完全酸化型の分解で悪臭物質を除去することを見出した。次に、光触媒を用いた小型の車載用空気清浄器の

実用化の検討過程について述べる。試作した空気清浄器の性能把握のため、車室内の多種悪臭物質の浄化能力を調べた。空気清浄器を2時間稼動すれば、“新車臭”はほぼ50%まで低減できた。また、実際に使用している車25台に空気清浄器を搭載し3ヵ月間にわたる官能試験を実施した結果、モニターの70%以上が悪臭低減効果を認めた。なお、光触媒を用いた空気清浄器は自動車室内のみならず各種環境内の空気浄化にも効果があつたので、現在、より適合する型式のものを検討している。

Abstract

Recently, social needs for comfortable environments are increasing. Especially, odor nuisances indoors or in vehicles are difficult to solve, because odor components are perceivable even when their concentrations are extremely low. In order to overcome this problem, we focused on the photocatalytic reaction.

TiO₂-coated photocatalysts prepared on honeycomb supports were systematically examined in terms of purifying gaseous contaminants in extremely low concentrations at room temperature. The contaminants

diminished on the TiO₂ photocatalyst under the coexistence of O₂ and UV irradiation. The reaction proceeded stoichiometrically. The excellent results have encouraged us to develop an "on-board" air purifier based on the photocatalysis principle. The purifier has been evaluated on a new vehicle as well as ones in use, and its effectiveness was clearly confirmed through both chemical analysis and sensory test. In addition to the on-board use, this air purifier is promising for versatile applications.

キーワード

光触媒, 空気, におい, 環境, 光エネルギー, 酸化チタン, 空気清浄器, 快適性, 新車臭

1. はじめに

快適な居住環境並びに車室内環境への関心は近年ますます高くなっている。なかでも、悪臭による不快感は快適環境を阻害する大きな要因となっている。悪臭対策として、各種の吸着剤・化学薬液・オゾンなどによる低減策が講じられているのは周知である¹⁾。しかし、効果の持続時間、悪臭物質に対する選択性、人体に対する安全性などに問題がある¹⁾。

著者は安全で長寿命且つ悪臭物質を分解して除去する浄化方法として、室温下で光触媒が持つ強力な酸化力・還元力に着目し基礎的研究を行なった²⁻⁴⁾。酸化チタン (TiO_2) をハニカム担体に担持した光触媒の悪臭浄化能は優れていたため、車載用空気清浄器を試作し実車評価を実施した。この車載用空気清浄器は "新車臭" 並びに使用中の車の臭いに対し有効であることを確認することができた。本報告では以上の内容について詳述する。なお、光触媒の原理・応用分野については第5章に記述する。

2. 光触媒調製と評価方法

2. 1 光触媒調製

触媒工学的にハニカム構造の触媒は低圧損、広い反応域、均一な反応ガス流れが得られる利点がある⁵⁾。従って、本研究においてもコーディエライト (NGK製) 及び活性炭 (神戸製鋼製) ハニカム構造の担体を用いた。両担体のセル密度は、処理風量に対する圧損の影響・触媒調製の容易さを検討し、300セル/ in^2 のものを用いた。

光触媒成分は安定で毒性が無く、しかも、半導体粉末の中で価電子帯のエネルギー・レベルから酸化力が最も強いとされる酸化チタンとした⁶⁾。酸化チタンはメーカーにより製造方法が異なるため、光触媒活性も異なっている。市販の酸化チタン (15種類) の悪臭浄化活性を調べ、最も優れていたデグサ社製 (P-25) を用いた。

担体上に酸化チタン粉末を担持するためには、自動車排ガス浄化用触媒の調製に常用されているウオッシュ・コート法⁵⁾を用いた。酸化チタン粉末の担持量はすべて84g/L-catとした。光触媒の表面状態はSEMにより観測した。

2. 2 悪臭物質の分析

悪臭の実験室評価においてはアセトアルデヒド、トルエン、イソ酪酸、イソプレン、アンモニア、メチルメルカプタン及び硫化水素を対象とした。また、実車評価においては "新車臭" に含まれるトルエン、キシレン、硫化水素、二硫化炭素、含窒素化合物を対象とした。

悪臭濃度はガスクロマトグラフ (GC) (島津; HCM-1B, GC-9A) 及びガスクロマトグラフー質量分析計 (GC-MS) (Hewlett-Packard; HP 5890-5971A) により定量した。但し、アンモニアは検知管分析 (ガステック; No.3L) によった。また "新車臭" 成分は吸着管 (Tenax GC) で濃縮採取した後、ガスクロマトグラフ (島津; GC-14A, Hewlett-Packard; HP 5890) により各成分を定性定量した⁷⁾。使用中の車の "臭い" は官能試験により評価した。

悪臭物質が光触媒上で浄化される際の反応生成物の同定には二酸化炭素を除き GC-MSを用いた。二酸化炭素については水酸化バリウム水溶液に吸収させ、塩酸での逆滴定により定量した⁸⁾。

2. 3 評価装置

2. 3. 1 実験室評価

光触媒の悪臭浄化能に関する基礎的評価には閉鎖循環システムを用い、さらに実使用時のモデル評価には大型密閉容器を用いた。

前者は、Fig. 1に示したように、光触媒、光源、ポリフッ化ビニル製の20Lガス溜め (GLサイエンス製; Tedler-c-c-k-20) 及びポンプから構成されている。光触媒 (Fig. 2) にはコーディエライト担体 (直径

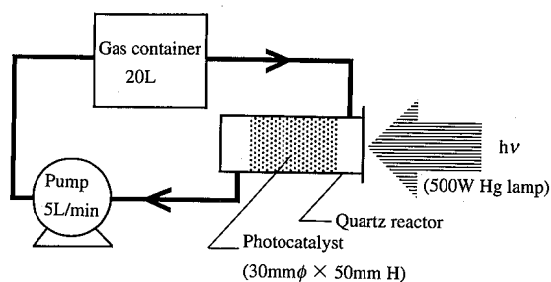


Fig. 1 Recycling reactor used for fundamental evaluation of photocatalyst.

30mm, 長さ50mm)を用い, 石英製反応管内に置いた。悪臭物質は空気で所定濃度に希釈しガス溜めに保持したのち, ポンプにより5ℓ/分の流速で循環しながら, 反応管外側より光を照射した。光源は酸化チタンを励起できる光エネルギー($\leq 400\text{nm}$)を発することが必要であるため, 200nmから500nmの連続光で365nmに最大波長をもつ500ワット水銀灯(ウシオ電機製; UI-501C)を用いた。全ての反応は室温下で実施し, 悪臭濃度は所定時間ごとに測定した。

車載用空気清浄器の実用的光源には小型・低電力消費が不可欠であるため, 5ワットの紫外線ランプ(オスラム製; HNS GIE 5w ofr)を用いた(200nmから500nmの連続光で254nmに最大波長をもつ)。この実用光源と光触媒とを組み合わせた場合の悪臭浄化能把握のためにはFig. 3に示す大型密閉容器(アクリル製: 1m^3)を用いた。容器内には小型光源の両側に光触媒を置いた反応器(Fig. 4)とファン(風量: $0.5\text{m}^3/\text{分}$)とを設置した。光触媒(Fig. 5)には活性炭担体(80mm $\times$ 60mm $\times$ 20mm)のものを用いた。評価は容器内に所定濃度の悪臭物質を注入し, 反応器を30分稼働し, 10分毎に悪臭濃度を測定した(30分稼働を1サイクルとした)。各サイクル後, 悪臭の減少分を補うため悪臭物質を再注入し, 繰り返し評価により実用光下での光触媒の耐久性を調べた。

2. 3. 2 実車での評価

実験室評価に基づきFig. 6に示す車載用空気清浄器(19cm $\times$ 12cm $\times$ 7cm)を試作し, 新車及び実際に使用している車に搭載し, 悪臭浄化効果の判定を行なった。新車の場合, 車載用空気清浄器の稼働前と稼働2時間後

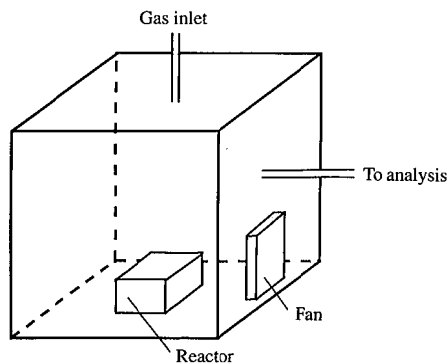


Fig. 3 Schematic diagram of 1m^3 stirred test box.

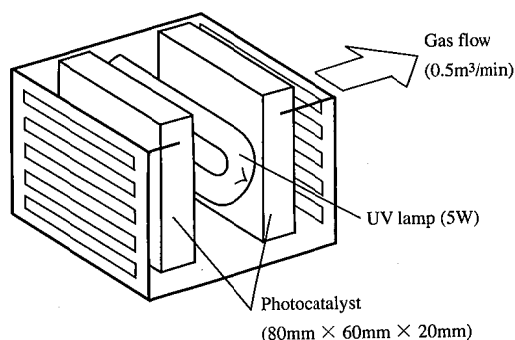


Fig. 4 Schematic diagram of reactor.

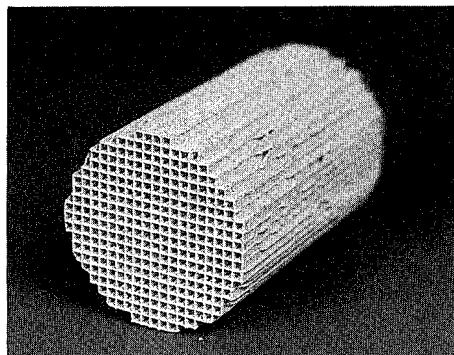


Fig. 2 Photocatalyst TiO_2 coated on cordierite support.

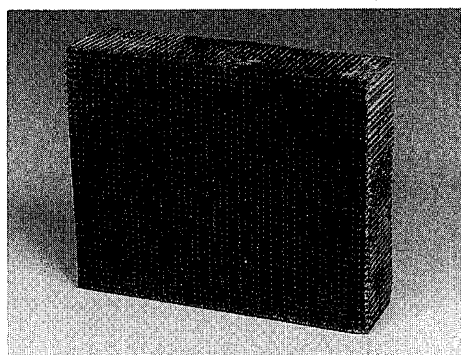


Fig. 5 Photocatalyst TiO_2 coated on active carbon support.

の悪臭濃度の変化から効果を確かめた。また、実際に使用している車の場合には、3ヵ月間にわたり25台の車を用い25名の官能評価により効果を判定した。

3. 結果及び考察

3. 1 閉鎖循環システムによる評価

3. 1. 1 光触媒の表面観察

Fig. 7はコーディエライト担体上に酸化チタン粉末をコートした光触媒表面のSEM像(200,000倍)である。酸化チタン粒径はほぼ均一で数十nmであった。本光触媒は閉鎖循環システムでの実験(3.1.2~3.1.4)に供した。

3. 1. 2 光触媒の浄化能

代表的な悪臭物質としてアセトアルデヒドを取り上げた。アセトアルデヒドは、悪臭防止法に指定されている悪臭12物質の一つで、検知いき値が0.014ppmと極めて低いもので、青臭い匂いを有する。

Fig. 8は光触媒の有無による照射時間とアセトアルデヒド濃度との関係を示す。光触媒存在下ではアセトアルデヒドの浄化反応が急速に進んでいる。一方、光触媒が存在しない場合、アセトアルデヒドの濃度減衰はごくわずかである。この減衰分は反応系の内壁への吸着に起因していることを、反応生成物の分析結果により確認した。

実用上、光触媒系に対する水分の影響は重要である

ため、水をバブリングし水分を反応系に導入した実験を行なった。反応容器内の水蒸気圧はほぼ24torrで、飽和水蒸気の状態である。Fig. 9よりアセトアルデヒド濃度は水分を導入した方がより速く減衰する傾向が見られ、実用的にも有利な結果となった。最近、Ollisらは気-固光触媒反応系における水分の影響について検討し、反応物質により挙動が異なり不明な点が多いことを報告している⁹⁾。現在、筆者はにおい成分に対する水分の影響を詳細に検討している。

次に、触媒担体の材料の違い、つまり、コーディエ

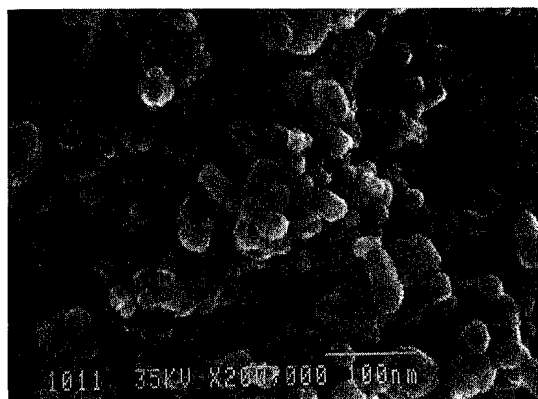


Fig. 7 Photocatalyst observed by SEM.

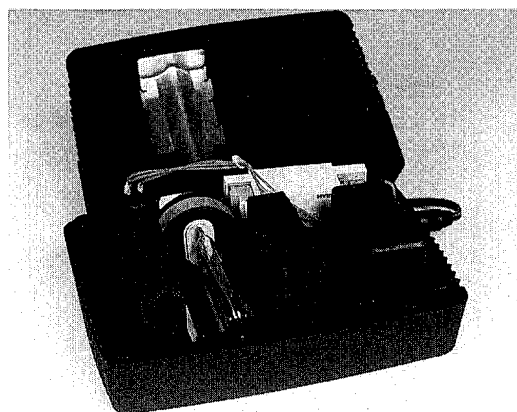


Fig. 6 Outside view of prototype air purifier with photocatalysts.

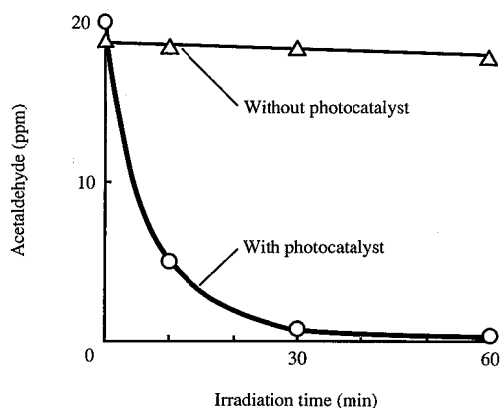


Fig. 8 Photocatalytic reaction of CH_3CHO in air at room temperature.

ライトと活性炭, によるアセトアルデヒド浄化効果を検討した。Fig. 10より活性炭担体の方がコーディエライト担体よりも浄化能が高いことが分かる。但し, この結果は担体上の酸化チタン自身の浄化能の違いを示すものでなく, 担体固有の吸着能の差によることを反応生成物の分析結果により確認している。

最後に, ブランクテストとして光触媒, 酸素, 照射のうちいずれか一つを欠いた反応条件の結果を正常な"光触媒反応"の結果と比較した。すなわち, Table 1の第1行には正常な"光触媒反応", 第2行には光触媒を欠く場合, 第3行には酸素を欠く場合, 第4行には光照射を欠く場合の結果を示す。また, Table 1の最右列の数値は60分後のアセトアルデヒド浄化率を示す。即ち, 正常な"光触媒反応"下でのアセトアルデヒド浄化率は他の条件下のそれに比べ極めて高い値となり, 光触媒反応には光照射・光触媒・酸素の存在が不可欠であることが明らかである。

3. 1. 3 光触媒反応のメカニズム

前節でアセトアルデヒドの光触媒反応がどのような反応因子に依存するかを述べた。本節では, アセトアルデヒドの浄化過程において留意しなければならない反応生成物について述べる。GC-MSによる反応生成物の同定では反応過程で生成すると考えられる酢酸, メタンなどの部分酸化された有機化合物はいずれも検出されず, 唯一, 二酸化炭素のみが検出された。この

現象を明らかにするため, 以下の検討を行なった。

まず, アセトアルデヒドの初期濃度を33.1, 164, 252, 340, 395ppmとし, それぞれ1時間光触媒反応を行なった。Fig. 11に浄化されたアセトアルデヒド量と同時に生成した二酸化炭素量との関係を示す。両者のモル比は初期濃度に関係なく, 常に"2"となった。

次に, アセトアルデヒドの初期濃度を340ppm一定とし, 光照射時間を10, 20, 30, 45, 60分とした場合において, 浄化されたアセトアルデヒド量と同時に生成した二酸化炭素量との関係をFig. 12に示す。この場合も, 両者のモル比は反応時間によらず常に"2"であった。この結果は Ollisらがホルムアルデヒドで行なったものと一致している⁹⁾。

『全反応を通し二酸化炭素生成量とアセトアルデヒド

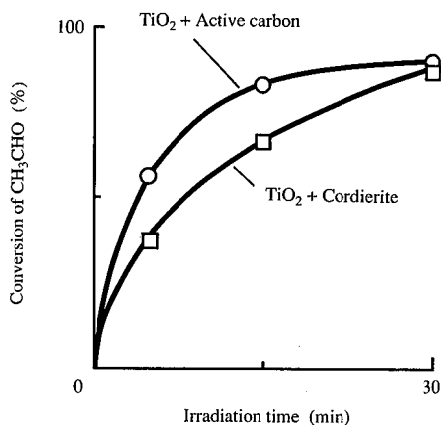


Fig. 10 Effect of support material; active carbon and cordierite.

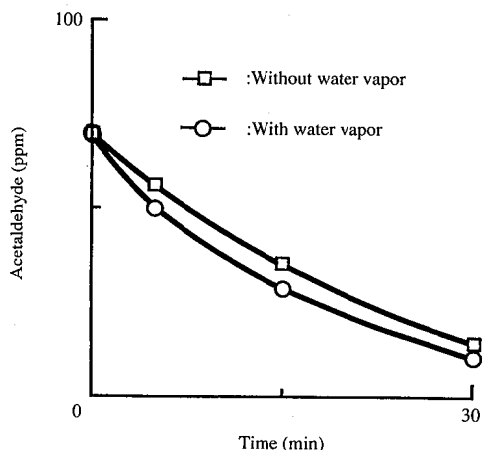


Fig. 9 Influence of water vapor on photocatalytic reaction.

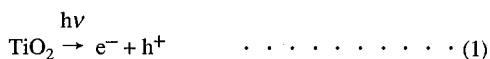
Table 1 Results of normal condition and three kinds of blank tests.

CH ₃ CHO (ppm)	Photo-catalyst	Atmosphere	Irradiation	Conversion (%)
20.2	yes	Air	yes (60 min)	99.5
19.0	no	Air	yes (60 min)	6.3
22.5	yes	Ar-N ₂	yes (60 min)	10.6
21.0	yes	Air	no	13.7

ド浄化量とのモル比が常に「2」』という上記の実験結果より、アセトアルデヒドの光触媒反応は『化学量論的に完全酸化反応』であることが分かった。この事実から光触媒反応を悪臭除去に適用した場合、反応生成物は二酸化炭素と水だけであり安全性という点で極めて好ましいことが明らかである。例えば、オゾン法は光触媒反応に類似する酸化分解型であっても、悪臭物質に対しオゾン量が不十分であれば部分酸化物質が残存するし、過剰に供給されれば残存するオゾンの除去が必要となる（オゾン許容濃度：0.1ppm）。

光触媒上でのアセトアルデヒドの反応メカニズムとしては以下のような逐次的な反応が考えられる（第5章参照）。

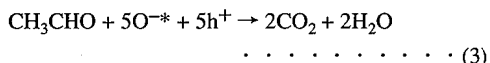
- (1) 酸化チタンの光励起により電子及び正孔の生成



- (2) 電子との反応



- (3) 正孔との反応



但し、反応素過程中の酸素活性種（ $\text{O}^{\cdot-}$ ）は未同定である。

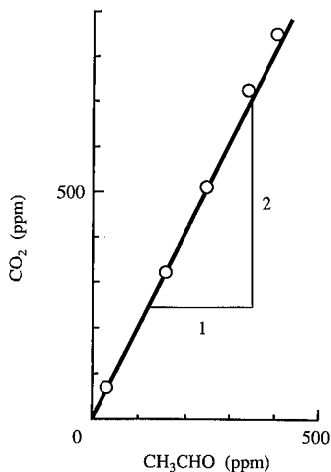


Fig. 11 Relation between CO_2 produced and CH_3CHO decomposed after 60 min of irradiation.

3. 1. 4 他の悪臭物質での光触媒反応

アセトアルデヒド以外にトルエン、イソ酪酸、メチルメルカプタン及び硫化水素の光触媒反応による浄化過程について検討した。結果をFig. 13に示す。図の縦軸は対数表示の悪臭物質の濃度を表す。各悪臭物質の浄化過程はいずれも一次反応式に従うことが分かる。光触媒上での悪臭物質の反応速度定数をTable 2に示す。

上記結果から、光触媒を適用すれば室温下で空気中に存在する低濃度の種々悪臭物質を安全且つ効率よく浄化することが明らかとなった。

3. 2 大型密閉容器内での評価

3.1節の基礎実験では、400nm以下の十分な励起エネルギーを持つ光源として500ワットランプを用いた。この光源は、前述したように、形状・大きさ・消費電力の点で車載用には不向きである。従って、以下の実験では小型、省電力且つ必要な波長範囲を持つ5ワットの紫外線ランプを用い、車室を考慮したより実用的な条件下での悪臭物質の浄化実験を行なった。

5ワットランプの両側に光触媒を配した反応器（Fig. 4）とファンとからなる大型密閉容器内での各種悪臭物質の浄化挙動をFig. 14に示す。縦軸には悪臭物質の濃度、横軸にはサイクル数を示す。また、各図の上段には活性炭担体のみの場合、下段には光触媒を用いた場合の結果を合わせ示す。

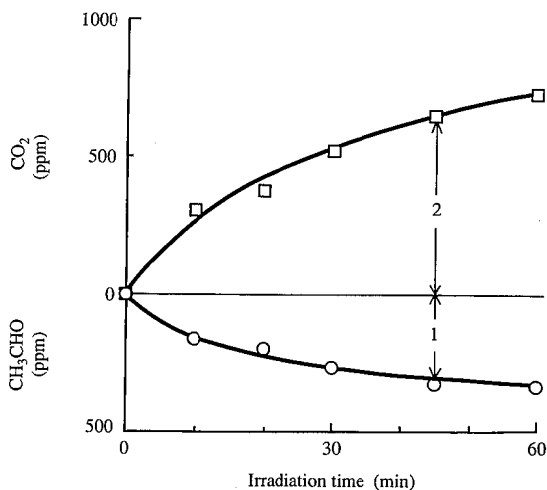


Fig. 12 Relations of CO_2 produced and CH_3CHO decomposed to irradiation time.

Fig. 14 (a)に硫化水素の結果を示す。20サイクルまでは光触媒の有無にかかわらず十分な除去能を示した。但し、担体のみの場合は担体への硫化水素の吸着による濃度低下であるのに対し、光触媒の場合には担体への吸着と光触媒面上での硫化水素の浄化とにより濃度低下が起きている。

Fig. 14 (b)にイソブレンの結果を示す。光触媒の場合には各サイクルとも十分な浄化能を示すと共に、再現性も確認できた。一方、担体のみの場合には浄化能は徐々に低下した。

Fig. 14 (c)にアンモニアの結果を示す。浄化挙動は硫化水素・イソブレンとは差異があった。即ち、アンモニア濃度は分析精度の悪い検知管法を用いたこと以上に、光触媒は12サイクル以降で徐々に浄化能が低下する傾向を示した。但し、浄化能の低下が認められた18サイクル終了後、大型密閉容器内のアンモニアを空

気で除去し、反応器を1時間作動させ、再び実験を行なったところ、初期の性能に回復した(20サイクルの浄化曲線)。この結果より、光触媒は清浄空气中で光照射することにより再活性化されることが分かる。一方、光触媒の場合に比べ担体のみの場合には浄化能の低下が急激に起こる。

大型密閉容器の実験を通し、5ワットの光源でも実用的な条件下で悪臭物質の浄化が可能であることを確認した。

3. 3 実車での評価

実験室評価結果を基に、小型の空気清浄器 (Fig. 6) を試作し新車並びに実際に使用している車を用い悪臭浄化能の評価を行なった。試作した空気清浄器は直流12ボルトで光源・ファンが作動し、電力消費量は10ワット(ラジオ使用時並)である。

新車内での評価では、“新車臭”として検出されるトル

エン、キシレン、硫化水素、二硫化炭素及び含窒素有機化合物を対象とし、空気清浄器の稼働前と稼働2時間後の濃度変化より効果を判定した (Table 3)。含窒素有機化合物は、主としてトリメチルアミン、プロピルアミンに代表されるアミン類である。個々の成分濃度は極めて低いため Table 3では合計量として表した。新車臭の原因となる物質は内装材や接着剤などから常時車内に放出されていることを勘案すると、空気清浄器の正味の浄化能はTable 3に示される浄化率よりもより高い数値を持つものと考えられる。

3.2では単味の悪臭物質に対して評価したのに対し本節では“新車臭”

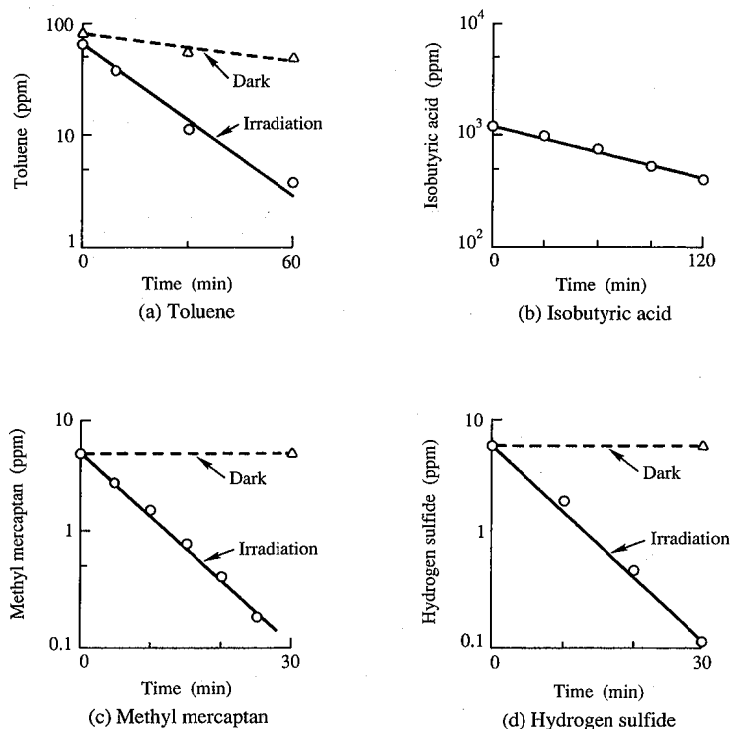


Fig. 13 Reactions of contaminants in air at room temperature in the presence of TiO_2 photocatalyst; (a) Toluene (b) Isobutyric acid (c) Methyl mercaptan (d) Hydrogen sulfide.

Table 2 Rate constant of photocatalytic reaction of odors.

Odor	Rate constant (min^{-1})
CH_3CHO	0.11
$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5$	0.059
$(\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$	0.0078
CH_3SH	0.13
H_2S	0.13

と呼ばれる多成分から成り立っている悪臭物質に対し評価したにもかかわらず、光触媒を内蔵した車載用空気清浄器が優れた浄化能を示し、有効であることが確認できた。

次に、実際に使用している25台の乗用車に空気清浄器を搭載し3ヵ月間にわたって評価を行なった。これらの車にはたばこ臭・体臭・ペット・エアコンに由来する種々な臭いをともなっていた。Fig. 15には25名の

官能試験に基づく結果の一例を示す。図より70%以上の人が空気清浄器の臭い低減効果を認めたことが分かる。人間の官能に関するテストにおいて、被験者数25名に対し "70%" という数値は非常に信頼性があるものと考えられる。

4. まとめ

酸化チタン粉末をハニカム担体に担持した光触媒を用い、各種悪臭の浄化を試みた。実験室評価で優れた効果が認められたので、車載用空気清浄器を試作し、新車と使用中の車に対し、効果の判定を行なった。光触媒による悪臭浄化の特徴は以下に要約できる。

- (1) 光触媒は各種の悪臭物質に対し浄化能が大きい。
- (2) 光触媒反応は悪臭物質の完全酸化であるため、人体に対し安全である。

なお、光触媒式空気清浄器は車室以外の悪臭 一例えば、調理臭、ペット臭、トイレ臭、病人臭などーや院内感染で問題になっているMRSAに対しても効果が認められたので、現在、関係各社がそれぞれの環境

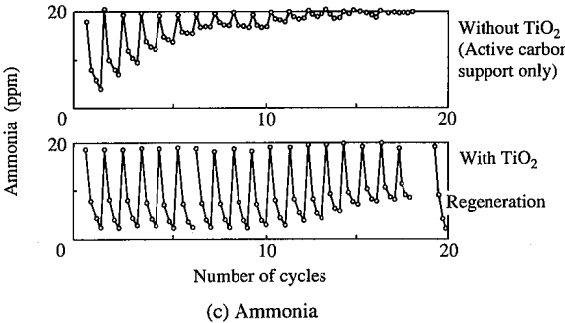
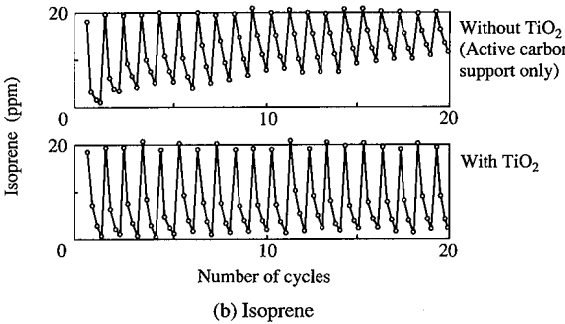
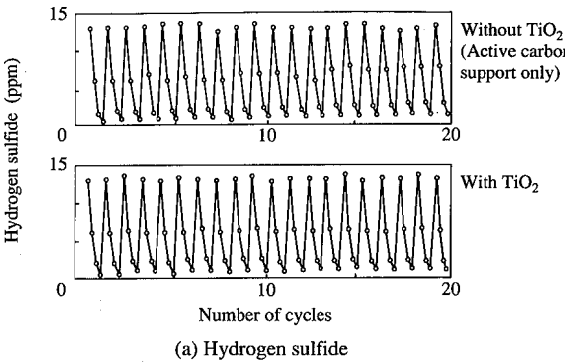


Fig. 14 Profiles of cyclic tests of contaminants in stirred box ; (a) Hydrogen sulfide, (b) Isoprene, (c) Ammonia.

Table 3 Apparent purifying ability of equipment in new vehicle during 2 hours.

	Concentration (ppb)		Purification rate (%)
	Before	After	
Toluene	51	17	67
Xylene	267	118	57
Hydrogen sulfide	5.7	4.3	25
Carbon disulfide	3.2	1.6	50
Organic nitrogen compound	3.4*	ND	≒100

*: ng/l

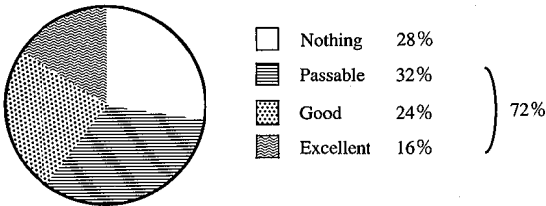


Fig. 15 Results of 3-month sensory test.

条件に適合する清浄器の開発を行なっている。

最後に、本研究を進めるにあたり、ご協力いただいたトヨタ自動車、日本電装、キャタラー工業の関係各位に深謝いたします。

5. 付記 光触媒の原理と応用

半導体物質である TiO_2 を用いた光触媒反応の特性は1972年に水の光電気分解として発表された本多・藤嶋効果として世界的に注目された¹⁰⁾。光触媒とは光エネルギーを吸収し励起状態となりそのエネルギーの一部を反応物質に供与し化学反応を進行させる物質と定義されている。通常、熱的に作動する触媒反応は熱力学的に進行可能な反応に限られるのに対し、光触媒反応は熱力学的に許されない温和な条件でも反応が進行する点が特異である¹¹⁾。光触媒は半導体性を有する材料 (TiO_2 , CdS など) の微粒子の状態が使われることが多い。

光触媒の作動原理を微視的に見れば以下になる。即ち、光触媒に光が照射されバンドギャップ (禁制帯幅) 以上の光エネルギーを吸収すれば、価電子帯に正孔 (h^+)、伝導帯に電子 (e^-) が生成する。 h^+ 及び e^- が反応物を酸化及び還元するポテンシャル (h^+ のエネルギーレベルが酸化体の酸化還元電位よりも正、 e^- が還元体よりも負) を持っておれば、原理的に光触媒反応が起こる。即ち、光励起過程により生成した正孔及び電子が反応物へ移行する過程での酸化反応 (正孔の関与する反応)・還元反応 (電子の関与する反応) が光触媒反応の本質である。

光触媒の応用面としてはエネルギー変換及び人工光合成⁶⁾に関する研究が主流となり、ガン治療への適用¹²⁾、地球の温暖化を引き起こす二酸化炭素の還元固定・再利用の検討¹³⁾、光記録、表示などの光情報処理分野への応用¹⁴⁾など広範に進められている。環境浄化への応用も活発であり、1992年の11月には光触媒の環境浄化に関する第1回国際会議がカナダで開催されている^{3, 15)}。水質浄化の分野では発癌性が指摘されるトリクロロエチレンなどの塩素系有機溶媒による地下水や河川水の汚染に対し安全且つ無害化プロセスとして光触媒反応を適用する研究が数多く行なわれている¹⁶⁾。なかでも National Renewable Energy Labs. と Sandiana National Labs. との共同研究による、太陽光を用いた大規模なフィールド・テストは注目すべきも

のである¹⁷⁾。その他、除草剤¹⁸⁾、製紙工場廃液中のダイオキシンなどを含むクロロフェノール系有機塩素化合物¹⁹⁾、海水表面の油²⁰⁾など産業廃棄物処理を含めた環境浄化への多種類の応用が行なわれている。

他方、大気浄化の分野では微粒子の光触媒成分を大気中に分散保持させる困難さをともなうため、水質浄化に比べ研究報告は少ない。塩素系有機溶媒²¹⁾、フロン化合物²²⁾、窒素酸化物²³⁾、芳香属化合物⁹⁾などの処理に関する報告がある程度で、今後の研究の発展が期待できる分野である。

参 考 文 献

- 1) 佐藤重幸: "におい", 豊田中央研究所R&Dレビュー, 26-2(1991), 17
- 2) Suzuki, K., Sato, S. and Yoshida, T.: 電気化学および工業物理化学, 59-6(1991), 521
- 3) Suzuki, K.: Abstr. of the 1st Int. Conf. on TiO_2 Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, (1992), 81
- 4) 鈴木賢一郎, 吉本泰介, 本多健一, 藤嶋昭: 特開昭60-187322
- 5) Komiyama, M. and Muraki, H.: Handbook of Heat and Mass Transfer, 4(1990), 521, Gulf Pub. Co.
- 6) 坂田忠良: 無機光化学, 日本化学会編, (1983), 118, 学会出版センター
- 7) 悪臭防止法, (1972)
- 8) 分析化学便覧4版, 日本分析化学協会編, (1991), 262, 丸善
- 9) Pearl, J. and Ollis, D. F.: J. Cat., 136(1992), 554
- 10) Fujishima, A. and Honda, K.: Nature, 277(1972), 637
- 11) 本多健一, ほか2名: 光触媒, 朝倉書店(1988), および Kisch, H.: Photocatalysis; Fundamentals and Applications, Ed. by Serpone, N. and Pelizzetti, E., (1989), Wiley, New York
- 12) 例えば, Cai, R., Hashimoto, Y. and Fujishima, A.: Chem. Letter, (1992), 427
- 13) [a] Irine, J. T. S., Grimshann, J. and Eggings, B. R.: Solar Energy, 45-1(1990), 27, [b] Goren, Z., Willer, I., Nelson, A. J. and Frank, A. J.: J. Phys. Chem., 94(1990), 3784
- 14) Yoneyama, H., Takahashi, N. and Kuwabata, J.: J. Chem. Soc. Chem. Commun., 76(1992)
- 15) Proc. of the 1st Int. Conf. on TiO_2 Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, (1993), Elsevier, Amsterdam
- 16) [a] Pruden, A. I. and Ollis, D. F.: J. Cat., 82(1983), 404 [b] 久永輝明, 田中啓一: 電気化学および工業物理化学, 60-2(1992), 107
- 17) Pacheco, J., Methos, M., Turchi, C. and Link, H.: Abstr. of

- the 1st Int. Conf. on TiO_2 Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, (1992), 103
- 18) Pelizzetti, E., Manrino, V., Carlin, V., et al. : Environ. Sci. Technol., 24(1990), 1559
- 19) Turchi, C. S., Edmundson, L. and Ollis, D. F. : Proc. Int. Symp. Wood and Pulp Chem., (1989), 543
- 20) Gerischer, H. and Heller, A. : J. Electrochem. Soc., 139 (1992), 113
- 21) [a] Dibble, L. A. and Raup, G. B. : Catal. Lett., 4(1990), 345
[b] Nimlos, M. R., Jacoby, W. A., Blake, D. M. and Milne, A. : Environ. Sci. Technol., 26(1992), 545
- 22) Ohtani, B., Ueda, Y., Nishimoto, S. and Kagiya, T. : J.

Chem. Soc. Perkin Trans., 2(1990), 1995

- 23) 竹内浩士, 指宿堯嗣 : 公害, 5(1989), 333

著 者 紹 介



鈴木賢一郎 Ken-ichirou Suzuki

生年：1957年。

所属：人間工学室。

分野：環境浄化用触媒に関する研究・開発。においに関する研究。

学会等：日本化学会, 電気化学協会会員。