

ふじしま あきら

## 藤嶋 昭

(神奈川科学技術アカデミー 理事長)

酸化チタンの光触媒技術で世界をクリーンに



「ホンダ・フジシマ効果」として約 40 年前に発見された酸化チタン光触媒技術が、地球環境に優しい商品としてその応用化が急速に進められている

### 1. 一路「かながわサイエンスパーク」へ

2005年6月、梅雨の合間を縫って「かながわサイエンスパーク(略称:KSP)」を訪れた。東急田園都市線の溝の口駅(又は、JR 南武線の武蔵溝ノ口駅)からシャトルバスで約5分の所にある。KSPは1989年に誕生した大きな3棟のビルからなるわが国で最大規模を誇るハイテクインキュベーターとしての一大都市型サイエンスパークである。



写真1 かながわサイエンスパーク

今回の「かながわサイエンスパーク」訪問の目的は、「ホンダ・フジシマ効果」の発見者である藤嶋昭博士を(財)神奈川科学技術アカデミーに訪問することである。藤嶋昭は、科学技術の成果を産業振興に活かし地域経済の活性化と生活の質の向上に貢献することを目指す神奈川科学技術アカデミーの理事長に東京大学大学院教授から2003年4月に就任した。

藤嶋理事長との面会は、この原稿を書くためのインタビューが目的であった。前もって原稿案をお送りしておいたが、細かく校正をしていただき、さらに有益なお話をいろいろと伺い、貴重なアドバイスを多々いただいた。

神奈川科学技術アカデミーが入居している「かながわサイエンスパーク」のイノベーションセンタービル西棟の一階ロビー奥には、2004年7月にオープンした「光触媒ミュージアム」がある。ここには「歴史・原理、評価・標準化コーナー」、「新製品・新技術コーナー」、「原材料・コーティング剤コーナー」、「生活用品コーナー」、「建材・道路資材コーナー」、「屋外展示コーナー」、「空気清浄機・水浄化コーナー」などがあり、光触媒に関する歴史的展開、材料、応用商品、関連書籍や資料などが取り揃えられており、至れり尽せりである。ここに来れば、光触媒の全貌が見渡せるようになっている。



写真2 「光触媒ミュージアム」の入口

## 2. 光で水の電気分解が起こった

『太陽で“夢の燃料” 水中の半導体に光あて水素ガスを採取 日本人科学者発見の原理に脚光』。1974年の1月1日付朝日新聞紙上に大きな活字が躍った。この記事の中にある日本人科学者とは「ホンダ・フジシマ効果」の発見者である藤嶋昭のことである。

英国の科学雑誌「Nature」の1972年7月号に、藤嶋が本多健一（現、東京大学名誉教授）と共著で書いた水の光分解に関する論文が掲載された<sup>1</sup>。しかし、当時それほど注目されたわけではなかった。

ところが、時代が藤嶋を世界的なビッグネームに押し上げた。「Nature」に論文が掲載された翌1973年秋、第一次石油危機が起こったのである。今すぐにでも世界の石油が無くなるという雰囲気すらあった。日本では主婦がスーパーマーケットへ殺到し、なぜかトイレトペーパーの買占めが始まった。

<sup>1</sup> A. Fujishima and K. Honda, Nature, 238, 37 (1972).

藤嶋の研究によれば、水の光分解で水素ガスが発生する。光は太陽から無尽蔵に得られ、水もすぐに手に入る。たったこれだけの仕掛けで水素ガスが手に入るとなれば、文字通りクリーン・エネルギー製造システムの代表選手である。石油の代替エネルギーの有力候補として、急に世界中の注目を浴びることになった。しかし、その後の研究では期待したほど水素ガスが得られず、太陽エネルギーの変換効率としても1%以下であった。こうして、石油に代わるエネルギー源としての水の光分解への期待は急速に萎んでいった。

話は1966年に戻る。藤嶋は横浜国立大学から東京大学大学院へと進学し、生産技術研究所の菊池真一教授の研究室に入り、本多健一助教授の指導のもとで光電気化学の研究を始めることになった。具体的には、光に反応する酸化物半導体材料の研究である。

当時、酸化亜鉛(ZnO)や硫化カドミウム(CdS)といった半導体物質を電極にして水溶液中に入れ、これに光をあてると光に反応する現象が起きることは既に分かっていた。

たまたま隣の研究室にいた飯田武揚(埼玉大学教授を2004年3月退官)が、酸化チタンの単結晶を使った光物性の研究をしていた。酸化チタンの結晶は無色透明で、酸にもアルカリにも溶けず、化学的に安定な材料である。藤嶋は酸化チタンも酸化亜鉛や硫化カドミウムと同じような光反応効果が期待できるのではないかと考え、飯田が入手した酸化チタンの製造会社である中住クリスタルの中住譲秀社長<sup>2</sup>に手紙を書き、中住社長と直接話をして酸化チタンの単結晶を手に入れることができた。入手した酸化チタンは、白色顔料の材料として使われるルチル型酸化チタン(後に、アナターゼ型酸化チタンの方が、より強い光触媒作用を示すことが分かった)の単結晶であった。

こうした稀有なめぐり合わせから酸化チタンの単結晶を手に入れることができた藤嶋は、酸化チタンとの出会いが幸運の発端であったと後に述懐している。大きな仕事をなす人には、こうした幸運の女神がしばしば微笑むのである。

こうして入手した酸化チタンの単結晶は非常に硬く、結晶を薄く切断するにも苦労し、ほとんど絶縁物に近い状態の酸化チタン結晶に電気導電性を持たせることがまた一苦労と苦労の連続であったが、苦労の甲斐があってようやく酸化チタン結晶を導電性のある電極にすることができた。

この酸化チタン電極を一方の電極とし、もう一方の電極には白金を使って二つの電極を電解液中に入れ、酸化チタンの光反応特性を調べるために500Wのキセノン・ランプの光をあてた。酸化チタンに光があたるとブクブクと泡が出はじめた。光の照射を止めると泡も止まる。発生したガスを分析すると想像した通り酸素であった。もう一方の白金電極からも泡が出てい

---

<sup>2</sup> 1966年、ベルヌーイ法による結晶育成技術を活かして中住クリスタル(株)を設立し、同社社長に就任。1984年、同社をアース製薬(株)に売却し、結晶製造の技術指導と結晶合成炉の販売を目的とした中住結晶ラボラトリーを翌1985年に新たに設立した。

た。こちらは水素ガスである。酸化チタン電極と白金電極とを外部で結んだ電線の電流計がパツと動いた。まさに光による水の電気分解であり、電気が流れることから光電池でもある。

酸化チタン電極に光をあて続け気体を長時間発生させた後でも、酸化チタン電極の表面はピカピカのままであった。藤嶋は一連の実験の前と後で酸化チタンの重さを測ってみたが、酸化チタンの重さは全く変化していなかった。これはたいへんなことが起きたと藤嶋は興奮したという。藤嶋が大学院修士 2 年生の 1967 年春のことであった。この酸化チタンによる水の光分解現象は、指導教官の本多助教授の名前と共に「ホンダ・フジシマ効果」と呼ばれることとなる。

藤嶋は、「ホンダ・フジシマ効果」を説明するときのアナロジーとしてよく植物の光合成の例を使う。植物の光合成とは、光を受けた葉緑素が二酸化炭素と水から炭水化物と酸素を作り出す一連の反応である。葉緑素は光触媒として働いており、反応の前後で全く変化しない。酸化チタンも葉緑素と同じように光触媒として働いているのだという。藤嶋は、植物の葉緑素と同じような働きを酸化チタンが行っていることの類似性に気が付いて非常に感動した。

しかし、「ホンダ・フジシマ効果」の発見から 20 年以上経っても実用化の目処は立たなかった。1989 年、橋本和仁(現、東京大学先端科学技術センター教授)<sup>3</sup>が講師として藤嶋の研究室に入ってきた。それまで、橋本は岡崎国立共同研究機構で「ホンダ・フジシマ効果」の応用研究をしていた。橋本が藤嶋研究室のメンバーになったことで、酸化チタンの応用研究は新しい展開を迎える。

さらに、東陶機器(以下、TOTO)が「ホンダ・フジシマ効果」に興味を持っていることを知り、藤嶋は TOTO の江副茂社長と直接話をして、酸化チタン応用に関する共同研究が 1990 年に始まった。TOTO から共同研究に参加したのが渡部俊也(現、東京大学先端科学技術研究センター教授)<sup>4</sup>である。橋本と渡部の参加によって、藤嶋の酸化チタンに関する応用研究は急速に進展することになった。

TOTO との共同研究の中から、二つの大きな光触媒反応がクローズアップされてきた。ひとつは酸化チタンの持つ光触媒反応による酸化分解作用であり、有機化合物が二酸化炭素と水に分解される。もうひとつは酸化チタンをコーティングした材料に光をあてると水が水滴にならずに一様な膜状になって広がる光誘起超親水性である。

---

<sup>3</sup> 1955 年生まれ。1980 年、東京大学大学院理学系研究科化学専攻修士課程修了。1989 年、東京大学工学部応用化学科講師。1991 年、同助教授。1997 年、東京大学先端科学技術センター教授。2003 年、東京大学大学院工学系研究科教授。現在、東京大学先端科学技術研究センター所長。理学博士。

<sup>4</sup> 1959 年生まれ。1984 年、東京工業大学無機材料工学科修士課程修了。同年、TOTO 入社。1998 年、東京大学先端科学技術研究センター客員教授。2001 年より東京大学先端科学技術研究センター教授。工学博士。

### 3. 酸化チタンの酸化分解作用

酸化チタンには、ルチル型(正方晶系)、アナターゼ型(正方晶系)、ブルッカイト型(斜方晶系)と呼ばれる3種類の結晶構造が知られている。工業的に用いられているのはルチル型とアナターゼ型の酸化チタンであり、ブルッカイト型酸化チタンは光触媒としての活性化はかなり高いのではないかと見られているが、あまり研究されておらず詳細はよく分からない。

ルチル型酸化チタンは光触媒作用が比較的弱く、白色顔料や白色塗料の材料として用いられている。アナターゼ型酸化チタンは光触媒作用が強く、現在では光触媒作用を利用する各種応用商品に利用されている。

酸化チタンに紫外光を照射すると酸化チタンの光触媒作用によって有機化合物を分解するが、その仕組みは次のように考えられている。

まず、酸化チタンに光を照射すると、酸化チタンは禁止帯(バンドギャップとも呼ばれる。ルチル型;3.0eV、アナターゼ型;3.2eV、ブルッカイト型;3.2eV)以上のエネルギーに相当する紫外線を吸収して、下の価電子帯にある電子が禁止帯を飛び越えて上の伝導帯へと励起される。その結果、下の価電子帯には電子の抜けた穴ができて、見かけ上プラスの電荷が存在するように見えるので、このプラス電荷を正孔と呼ぶ。一方、上の伝導帯には紫外線で励起された電子が生成される(図1参照)。

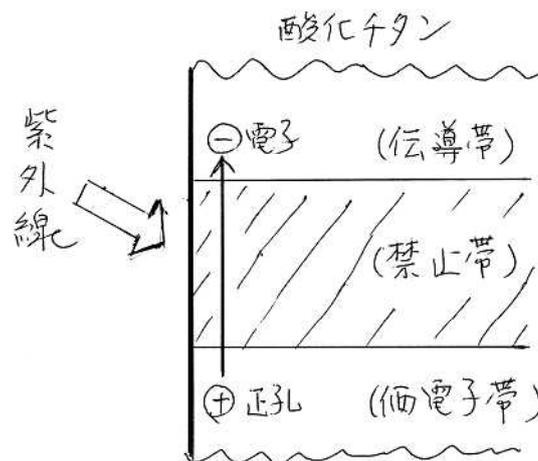


図1 酸化チタンの紫外線吸収と正孔・電子対が生成する模式図

紫外線の吸収により生成された正孔と電子は、それぞれ価電子帯と伝導帯にしばらくの間存在する。普通の半導体では、価電子帯の正孔と伝導帯の電子はすぐに再結合して熱や光になる。しかし、酸化チタンではすぐに再結合しないでしばらく生存していて正孔は酸化作用を、電子は還元作用を示す。特に正孔の酸化作用力が電子の還元作用力よりもはるかに強

いことが酸化チタンの大きな特徴である。

紫外線の吸収により生成した正孔が酸化チタン表面に存在する水を酸化して、非常に反応性の高い活性酸素種であるヒドロキシルラジカル( $\cdot\text{OH}$ )を作りだし、このヒドロキシルラジカルが有機化合物と反応して分解し、最終的には有機化合物を二酸化炭素と水に分解するといわれている。

酸化作用や還元作用に寄与しなかった酸化チタンの正孔と電子も、最終的には再結合して熱となって消滅することになる。

#### 4. 酸化チタンの殺菌作用

酸化チタンに紫外線をあてると酸化チタンが光触媒として働き、強力な酸化分解作用によって有機化合物を二酸化炭素と水に分解する。この酸化チタンの光触媒としての酸化分解作用がまず注目されたが、殺菌作用も非常に強力である。

酸化チタンを塗布したガラスの上に大腸菌を載せて紫外線を 1 時間照射すると大腸菌はほとんど死滅し、普通の蛍光灯でも 3 時間で大腸菌は千分の一に減少するという。しかし、酸化チタンだけでは紫外線がないと殺菌効果を発揮できないが、酸化チタンに銀や銅と一緒に混ぜておくと紫外線が無くても殺菌作用を示すことが知られている。例えば、酸化チタンと銅と一緒に塗布したガラスの上に大腸菌を載せて、蛍光灯を 2 時間照射すると大腸菌は千分の一に減少し、暗所でも 6 時間で大腸菌は千分の一に減少したと報告されている<sup>5</sup>。

酸化チタン触媒のよいところは、細菌を死滅させるだけでなく、有機物であるその死骸までも分解してしまうことである。さらに普通の抗菌剤による抗菌では耐性菌が生まれるが、光触媒反応による抗菌作用では耐性菌が生まれる可能性はゼロに等しいと考えられる点である。

光触媒抗菌タイルの実験では、1,000 ルクス<sup>5</sup>の光を 1 時間あてると MRSA (メチシリン耐性黄色ブドウ球菌) や大腸菌が 99% 以上も死滅することが確認されており、しかも耐性菌ができない点が最大の特徴であることは、いくら強調しても強調しすぎることは無い。

MRSA (メチシリン耐性黄色ブドウ球菌) というのは、抗生物質の乱用の結果、抗生物質に対する耐性を獲得した黄色ブドウ球菌のことである。現在では多剤耐性 MRSA が主流になり、その治療の切り札としてバンコマイシンが用いられていたが、今度はバイコマイシン耐性腸球菌 (VRE) が現れて院内感染の拡がりを見せている。その上にバイコマイシン耐性を獲得した MRSA としてヘテロ耐性 MRSA も出始めた。

消毒剤である塩化ベンザルコニウムに耐性を持った消毒剤耐性 MRSA による院内感染も急速に拡がりつつある。このように抗生物質の乱用によって MRSA が出現し、さらに消毒剤の

<sup>5</sup> 橋本、藤嶋監修、「図解 光触媒のすべて」、工業調査会、2004.

多量使用で消毒剤耐性 MRSA が出現した現状に対して、医療面からは全く打つ手が無い状況に追い込まれている。

このような状況の下で、酸化チタンの光触媒による抗菌作用が MRSA を死滅させ、しかも MRSA の耐性菌が出来ないことから、酸化チタンの光触媒作用は現代医療に対する大いなる救いの神となった。

## 5. 酸化チタンの脱臭効果

酸化チタン光触媒は強い酸化分解作用をもっているが、この分解作用の一つの働きとして脱臭効果ももっている。

酸化チタンの脱臭効果を示すために、悪臭の元になる化学物質の代表例としてアセトアルデヒドの濃度変化を測定した結果を図2に示す。図中の角柱状酸化チタン光触媒とは、アンデス電気が開発したバインダー(接着剤)を使用しないアナターゼ型酸化チタン光触媒であり、詳細は空気清浄機の応用例のところ述べる。

図2は20リットルのガラス容器にアセトアルデヒドを閉じ込めた中に酸化チタンを表面コーティングした基板(60 mm×60 mm)を置いて紫外線(紫外線強度; 3.8 mW/cm<sup>2</sup>)をあて、アセトアルデヒドの濃度変化を測定した結果である。図中の UV (ultraviolet)とは紫外線のことである。この実験では3種類の酸化チタンを使っているが、時間の差はあるもののどれもアセトアルデヒドの濃度が急速に下がっていることが分かる。

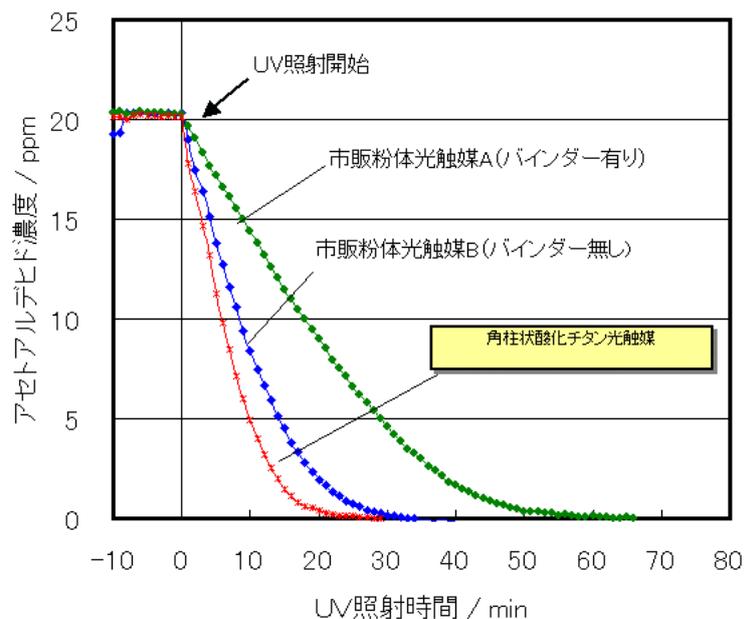


図2 酸化チタンによるアセトアルデヒド濃度変化<sup>6</sup>〔アンデス電気(株)提供〕

<sup>6</sup> <http://www.andes.co.jp/jp/company/tech/tio2/index.htm>

## 6. 酸化チタンの光誘起超親水性

### (1) 光誘起超親水性

酸化チタンに紫外線をあてると、酸化チタンが光触媒となって酸化分解作用を示すことは既に述べた。酸化チタンの光触媒としてのもう一つの重要な働きが光誘起超親水性である。

光誘起超親水性の説明の前に、まず水滴と材料表面との接触角について述べる。いろいろな材料に対してその表面が水に馴染みやすいかどうかは、水滴と材料表面との接触角により評価される。接触角というのは、材料表面に滴下した水滴の縁における材料表面と水滴との接線とがなす角度のことで図3に接触角の説明図を示す。

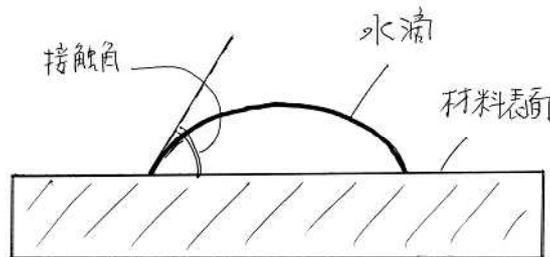


図3 水滴と材料表面とが構成する接触角

この接触角を使って親水性や撥水性の目安をまとめたのが表1である。

表1 接触角からみた水の馴染みやすさの目安<sup>7</sup>

接触角	水の状態
5度以下	超親水性
30度以下	親水性
60～90度	疎水性
90度以上	撥水性
150度以上	超撥水性

例えば、接触角が7度以下になるとガラス表面の曇りは無くなるといわれている。つまり、「防曇性」が得られる。この時、水滴はガラス表面全体に濡れが広がった状態で表面に一樣な水の膜が形成され、入射してくる光が表面で散乱されことなく透過するのでガラス表面が曇らない。

<sup>7</sup> 橋本和仁、藤嶋昭監修、「図解 光触媒のすべて」、工業調査会、2003。

酸化チタンそのものの表面はそれほど親水性が高いわけではないが、光があたることによって水と酸化チタンをコーティングした材料表面との接触角が 5 度以下の超親水性を示す。酸化チタン薄膜そのものは無色透明であり、色々な材料表面にコーティングして防曇性を与えるのには非常に適している。

水が材料表面で超親水性を示すと、材料表面に付いた水滴は材料表面を伝って落ちるため、水滴がポタポタと落ちることがなくなる。これを「防滴性」という。この防滴性の応用例としてビニールハウスの例が報告されている。ビニールハウスの内側表面に酸化チタンをコーティングして超親水性にしておくと、ビニールハウスの内側に付いた水分が水滴となって落ちずにビニール表面を伝って地面へ直接流れ落ちるため、水滴によってビニールハウス内部の野菜を傷めることがないという。

## (2) ハイブリッド親水性

酸化チタンをコーティングした材料表面が水によくなじむ光誘起超親水化の効果も、光がなくなると一度親水化した表面であっても時間が経つと元の状態に戻ってしまう。

酸化チタン単独での実験では、日中の太陽光で照射すると数時間で超親水性を示すが、太陽光を遮ると数時間から 10 時間程度で親水性を失ってしまう。この結果、酸化チタンの超親水性作用を応用した商品を開発しようとしても、この点が大きな問題であった。

ところが、酸化チタンにシリカ(二酸化珪素:  $\text{SiO}_2$ ) を添加すると劇的に改善されることが分かった。乾燥剤としてよく用いられているあのシリカである。シリカは表面には水の分子を吸着する作用があり、この性質を利用したのが乾燥剤であるが、親水性を保持させるためにシリカを利用することが考えられた。

シリカを添加した酸化チタンに太陽光を照射すると、まず酸化チタン自身が超親水性を示す。太陽光が無くなれば、今度はシリカの持つ水の分子を吸着する作用で親水性が 1 週間以上も維持できる。そこで現在実用化されている親水性を持った酸化チタン光触媒は、酸化チタンとシリカとの組合せになっている。

## (3) セルフクリーニング効果

酸化チタンの光誘起超親水性によって「防曇性」と「防滴性」という二つの効果が得られるが、それにプラスして「セルフクリーニング」機能も持っている。

酸化チタンをコーティングした材料表面に光があっていると超親水性を示す。その結果、酸化チタンをコーティングした材料表面に油や汚れが付いていても、その油や汚れの下に材料表面になじんだ水が回り込んで材料表面を覆う状態になり、油や汚れを浮き上がらせる。その後、雨水などがあたると浮き上がった油や汚れが洗い流され、結果として酸化チタンをコ

ーティングした材料表面はいつまでも汚れの付かないきれいな状態が維持できる。これを「セルフクリーニング」効果と呼んでいる。酸化チタンのセルフクリーニング効果は既にビルの外壁やテントなどに応用されている。

## 7. 産学連携が実を結ぶ

岡崎国立共同研究機構の橋本が藤嶋研究室へ講師として入ってきたのが 1989 年で、TOTO 基礎研究所の渡部が共同研究のために藤嶋研究室に合流したのが翌 1990 年である。この頃から酸化チタンの実用化に向けた研究が急速に進展することになった。

TOTO 基礎研究所の渡部は、それまでオゾンを使った脱臭装置の研究を続けていたが、藤嶋研究室との共同研究が始まったことを受けて、酸化チタンを使った光触媒による脱臭装置の研究・開発を行うことにした。

渡部の最初の開発目標は脱臭タイルの実用化であった。TOTO では試行錯誤の後にタイル表面に酸化チタン薄膜をコーティングすることに成功した。まずタイルに釉薬を塗った後に酸化チタンの小さな粉末を含んだ液体原料を吹き付け、高温にして酸化チタンをタイル上にコーティングする。その後、銀や銅などの金属イオンを吹き付け、そこに光を当てて光触媒反応によりこれらの金属が還元反応を起こして超微粒子の形で固定化される方法である。

TOTO は、脱臭タイル開発の成果を 1992 年秋の酸化チタン光触媒国際会議で発表した。この時、酸化チタン光触媒タイルに抗菌効果もあるのではないかという意見が出たという。

この意見がヒントになって、TOTO でも酸化チタンをコーティングしたタイルが抗菌効果を示すかどうかを確かめるための実験を始めた。その結果、酸化チタンをコーティングしたタイルに 1,000 ルクスの光を 1 時間あてると大腸菌や MRSA (メチシリン耐性黄色ブドウ球菌) などの菌が 99% 以上も死滅することが確かめられた。さらに手術室の床と壁に酸化チタンをコーティングしたタイルを使うと、手術室中に浮遊する細菌の数も激減することが分かった。

こうした努力の結果、TOTO は 1994 年秋に酸化チタンをコーティングしたタイルを「光触媒抗菌・防汚・脱臭タイル」と銘打って商品化に成功した。藤嶋が 1967 年に発見した酸化チタンの光触媒技術が商品として初めて世の中に出た瞬間である。藤嶋が大学院生のときに「ホンダ・フジシマ効果」を発見してから 27 年後のことであった。

TOTO で「光触媒抗菌・防汚・脱臭タイル」の商品化に目処がついたことで、酸化チタンの光触媒技術の研究は一段落した。渡部はこの研究開発の最後に「光触媒抗菌・防汚・脱臭タイル」がどの程度水をはじくのかを調べたいと思った。渡部の願いとしては、このタイルが水をはじいてくれることを密かに願っていたという。つまり、酸化チタンをコーティングしたタイルの上では、水滴との接触角が 90 度以上の撥水性や 150 度以上の超撥水性を示せば、タイルに水が付いてもハスの葉の上の水滴のようにコロコロと転がって落ちることになる。

しかし、事実は渡部の願い通りにはいかなかった。水滴とタイルとの接触角は3度程度で、撥水性や超撥水性とは全くかけ離れた実験結果を示していた。水滴とタイルとの接触角が5度以下であれば「超親水性」である。つまり、酸化チタンをコーティングしたタイルは水の濡れ性が高いということを意味している。酸化チタンの超親水性現象が発見されたのである。1995年のことであった。

酸化チタンの超親水性現象を発見した TOTO でもその原理までは解明できず、藤嶋研究室に超親水性の解明を依頼することになった。酸化チタンの超親水性に関する共同研究の成果は1997年2月号の英国科学雑誌「Nature」に発表された。

酸化チタンの超親水性が解明されたのを機に、TOTO では光触媒事業により力を入れ始め、1998年以降に発売された全ての内外装用タイルに酸化チタンをコーティングすることになる。TOTO では、これら酸化チタンの光触媒技術を「ハイドロテクト」技術と名付けて次々と新しい製品開発に取り込むことになった。

## 8. 商品化が進む光触媒技術

### (1) 光触媒ガラス

TOTO が持つ酸化チタン超親水性の特許を使って、世界で初めて超親水性ガラスを製品化したのは、米国の板ガラスメーカー最大手の PPG インダストリーズ社であった。

出来上がったガラスの上から酸化チタンをコーティングする従来方法では酸化チタン膜面が不均一で厚くなり、ガラス本来の透明感や耐久性に問題が生じる。そこで、PPG インダストリーズ社では高温状態のままガラス表面に酸化チタン膜をコーティングする化学気相成長法を開発した。酸化チタンをコーティングした超親水性ガラスの開発に成功した PPG インダストリーズ社は、2002年に超親水性板ガラスの販売を開始している。

その後、日本でも日本板硝子が TOTO から光触媒技術のライセンスを受けて松下電工と共同で光触媒コーティング材をガラスに焼き付けた光触媒ガラスを開発した。2002年からモニタリング販売を行い、2004年からは光触媒クリーニングガラスと銘打って正式に販売を始めた。

まず共同開発した松下電工の東京本社ビルに採用され、2005年2月に開港した「中部国際空港セントレア」のターミナルビルの一部にも採用された。「中部国際空港セントレア」のホームページでは、光触媒ガラスの採用で清掃回数が減って清掃用洗浄水も節約できることから、環境に配慮した空港として PR している。このような動きを受けて、国内でも光触媒ガラスの採用が急速に進みつつある。

写真3は酸化チタンをコーティングした市光工業の自動車用ドアミラーである。酸化チタンをコーティングしてあるので曇らず、雨の日でも安全に後方確認ができるという。

タイルのような無機物へ酸化チタンをコーティングするにはそのまま焼結する方法でよいが、ガラスの上に酸化チタンを焼結しようとする、ガラス材料中に含まれるナトリウムイオンが酸化チタンと反応して光触媒作用を示さない物質に変化する。そこでガラス表面にまずシリカを塗布し、その上から酸化チタンを塗布すると、シリカがナトリウムと酸化チタンとの反応を防止する役目を果たす。その後、高温で焼結する方法がとられている。



写真3 酸化チタンをコーティングした光触媒自動車用ドアミラー  
〔「光触媒ミュージアム」の展示品〕

## (2) 光触媒テント

東京ドームのテントを施工したことで有名な太陽工業は、TOTO から光触媒技術のライセンスを受けて、藤嶋研究室の指導のもとに日本曹達と共同で酸化チタンをポリ塩化ビニル(PVC)テント膜材に利用する研究を始めた。その結果、1998年に世界で初めて酸化チタンによる光触媒効果を持ったテントの開発に成功した。

テントに付着した有機化合物は酸化チタンの光触媒効果により分解され、雨水などで自然に汚れがとれるセルフクリーニング効果により、テントはいつもきれいな状態に保たれ、テント内は明るく、照明の費用も抑えられる。また、日射の反射率が高く室内の温度上昇も緩和される等の利点があるという。

酸化チタンのセルフクリーニング効果を積極的に利用した太陽工業の光触媒テントは1999年から発売され、既に多くの場所で利用されている。我々の目に付きやすい常設のテントとしては、東京国際展示場(「東京ビッグサイト」)から近くの「りんかい線」国際展示場駅までのプロムナードに通路テント屋根として使用されている。

写真4は一般膜材を使ったテント(A)、フッ素処理膜材を使ったテント(B)、酸化チタン光触媒膜材を使ったテント(C)の3種類のテントを屋外に5カ月置いた実験結果を示している<sup>8</sup>。

<sup>8</sup> 太陽工業ホームページ < <http://www.taiyokogyo.co.jp/titan/clean.html> >

フッ素処理した膜材は一般膜材に比べて防汚性はかなり改善されているが、それでも使用する条件によっては汚れが付着する。これに対して光触媒膜材を使ったテントでは、更に優れた防汚性を示している。



(A)一般膜材テント (B)フッ素処理膜材テント (C)光触媒膜材テント  
写真4 3種類のテントを5カ月間放置した後の屋外実験結果〔太陽工業(株)提供〕

写真5は「光触媒ミュージアム」の屋外展示コーナーに展示されている酸化チタンをコーティングした光触媒テントの写真で、2005年6月に撮影したものである。このテントは2004年7月に設置されたもので、設置から約1年経っている。写真の左が酸化チタン光触媒をコーティングしたテントで、右が光触媒をコーティングしていない従来のテントである。酸化チタンを塗布したテントのセルフクリーニング効果は一目瞭然である。左右のテントの汚れ具合の違いは、写真で見るよりも実物を見たほうがよりハッキリする。



写真5 光触媒テント(左)と従来テント(右) (2004年7月設置)  
〔「光触媒ミュージアム」屋外展示コーナーで2005年6月撮影〕

### (3) 光触媒空気清浄機

「重症急性呼吸症候群」といってもピンとこないが、いわゆる「サーズ(SARS: Severe Acute Respiratory Syndrome)」が2003年初めに香港や中国で猛威をふるった。この影響で急速にその良さが世間に知れ渡ったのがアンデス電気の酸化チタン光触媒を使った空気清浄機で

ある。

2001 年、アンデス電気は独立行政法人「新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization)」の助成を受け、八戸工業高等専門学校の長谷川章助教授との共同研究によって、角柱状酸化チタンの開発に成功した。写真 6 がその開発に成功した「角柱状酸化チタン」の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真である。アンデス電気はこの角柱状酸化チタンを光触媒として使用した空気清浄機 (アンデス電気では空気浄化機と呼んでいる) を 2002 年に商品化した。

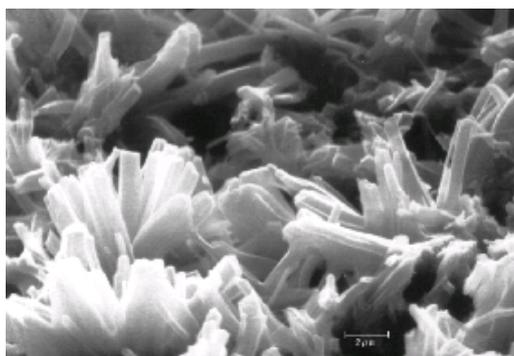


写真 6 「角柱状酸化チタン」の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真 (倍率; 5000 倍)

(アンデス電気(株)提供)

一方、バインダー (接着剤) を使って粉体酸化チタンを固めた酸化チタンの走査型電子顕微鏡 (SEM) の写真例を写真 7 に示す。

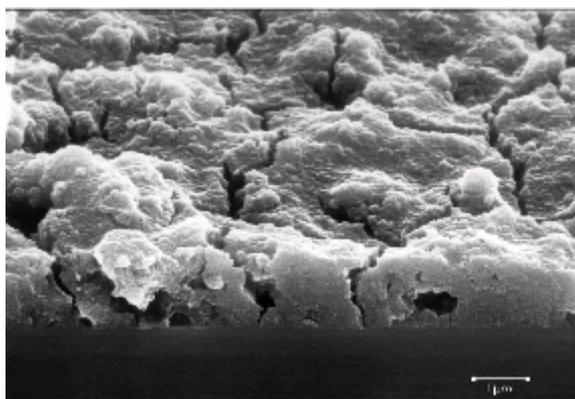


写真 7 バインダーを使用した酸化チタンの走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真 (倍率; 5000 倍)

(アンデス電気(株)提供)

これらの走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真からも明らかなように、バインダーを使用して固めた酸化チタンに比べて角柱状酸化チタンの方が外気と接する表面積は格段に広く、その分だけ酸化チタンの光触媒としての機能も大きい。

アンデス電気では、角柱状酸化チタンを使った市販の空気清浄機(製品名:BF-H201A)の除菌能力試験を(社)北里研究所に依頼したところ、2003年3月に凄い除菌能力を示す結果が出た。表2がその結果である。実験室レベルの話ではなく、実際に市販されている空気清浄機での除菌結果である。

表2 光触媒を使った空気清浄機(BF-H201A)の除菌能力例(ワンパス法)<sup>9</sup>

試験媒体	除菌率
インフルエンザウイルス A型	99.00%
大腸菌	99.95%
MRSA(メチシリン耐性黄色ブドウ球菌)	99.94%

更に、このような除菌だけではなく有害物質や悪臭も短時間で分解できることも確認された。例えば、シックハウス症候群の原因と考えられているホルムアルデヒドの濃度が角柱状酸化チタンを使った空気清浄機でどの程度分解されるかを示したデータが図4である。1立方メートルの容器に濃度10ppmのホルムアルデヒドを入れておき、角柱状酸化チタンを使った空気清浄機(製品名:「BF-H201A」)の運転を開始してからのホルムアルデヒド濃度を示している。厚生労働省の指針値0.08ppmを30数分でクリアしている。一方、比較のためにプラズマとバインダー方式光触媒と吸着剤を使った空気清浄機(図4の「方式A」と高性能(HEPA)フィルターと活性炭を使った空気清浄機(図4の「方式B」)の結果も示されているが、これらの方式でもある程度の濃度まではホルムアルデヒドを分解または吸着するが、直ぐに飽和状態に達してそれ以上はホルムアルデヒド濃度を下げることができない。

<sup>9</sup> <http://www.andes.co.jp/products/aoimori/pdf/h201a/pbfh201a02.pdf>

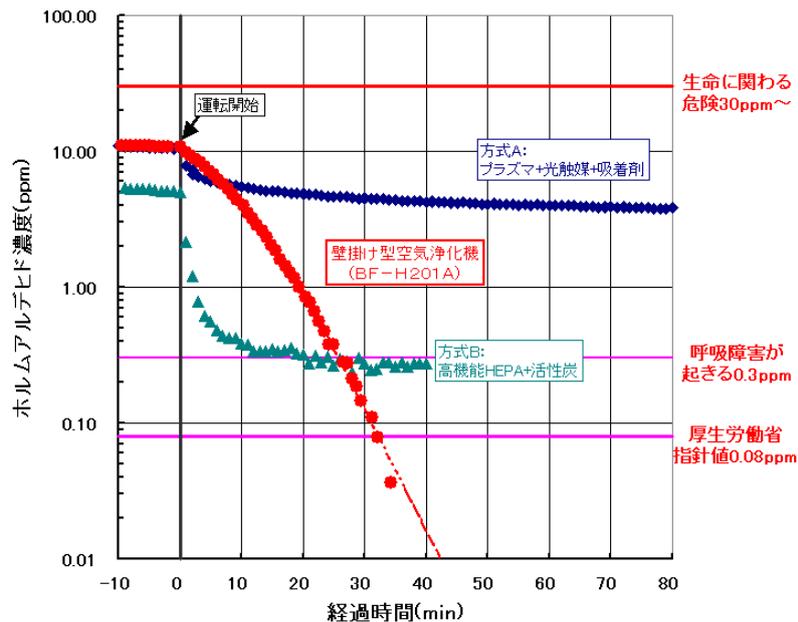


図4 「角柱状酸化チタン」を使った空気清浄機(BF - H201A)によるホルムアルデヒド除去性能<sup>10</sup>  
〔アンデス電気(株)提供〕

これまで有効な対応策が無かった MRSA(メチシリン耐性黄色ブドウ球菌)を分解するだけでも非常に有り難いことであるが、その上、ホルムアルデヒドに代表される有害物質や悪臭を短時間で分解できる酸化チタンの光触媒効果は素晴らしいの一言である。揮発性有機化合物などの化学物質に対する過敏症で悩む人たちにとっては待ちに待った朗報である。

藤嶋が1967年に発見し、研究開発に日夜没頭して得た酸化チタン光触媒効果がようやく我々の周りで大活躍するようになり、日々の環境浄化に力を発揮し始めた。

## 9. 「七五三(しちごさん)問題」の解決に向けて

今、藤嶋は「七五三(しちごさん)問題」に非常に関心を持っている。ここでいう「七五三」とは、例の11月15日に行われる三歳と五歳と七歳の子供たちの成長を祝う行事のことではない。

文部科学白書の中に理科が好きな生徒の割合として、小学五年生では72%、中学二年生では55%、高校二年生では30%台になるという文章を見つけ、このように高学年になるにつれて急速に理科離れが進むことは日本の将来にとって大変由々しきことだと思い、藤嶋は自らこれを「七五三(しちごさん)問題」と名づけた。

藤嶋はこの「七五三」の割合を、せめてそれぞれ1ポイントずつアップして「八六四」にした

<sup>10</sup> [http://www.andes.co.jp/jp/products/aoimori/bf-h201a\\_point.htm](http://www.andes.co.jp/jp/products/aoimori/bf-h201a_point.htm)

いと考えている。藤嶋が川崎市の教育委員を務めていることもあって、藤嶋にとっては余計にこの「七五三(しちごさん)問題」は気になる問題である。

藤嶋は恩師の本多健一と共同で2004年4月に「日本国際賞」を受賞したが、このときの賞金でコンピュータ制御付きで小型プラネタリウム並の機能を備えた大型望遠鏡5台を川崎市に寄贈している。川崎市ではこの大型望遠鏡を市内の小・中学校を移動する形で活用している。夕方に校庭に集まった生徒たちが歓声をあげている姿を想像するだけでも楽しいと藤嶋はいう。

藤嶋はもともと東京生まれであるが、先の大戦の関係で愛知県豊田市足助(あすけ)町へ疎開し、小学校時代をそこで過ごしている。足助町というのは岡崎より少し入った場所で、江戸時代から伊那街道(現在の国道153号線)の要衝として栄えた宿場町である。もみじの名所として名高い香嵐渓(こうらんけい)があり、風光明媚な場所である。藤嶋はこの足助町での思い出として、流れ星の数を数えることが楽しみの一つであったと語る。この経験から川崎市への大型望遠鏡の寄贈となった。

子供たちに科学や理科の面白さを知ってもらおうと、藤嶋は身近にあるいろいろなものを比較する「くらべるシリーズ」の出版も始めた。まずその第一弾として、藤嶋自身が監修して「くらべるシリーズ1 さびる?さびない?金と鉄」<sup>11</sup>を2004年11月に出版している。

更に中学時代の思い出として、フィルム写真の現像実験のときに現像液に浸けておく時間が短かったのかうまく現像できなかったが、友達の写真は鮮明に写っていたのはっきり記憶しているという。このような何気ない経験が、無意識的に藤嶋が東京大学の大学院に入ったときに写真化学の菊池教授の研究室に導いたのかもしれない。

どちらにしても、自分自身が自ら実験することの重要性を藤嶋は強調する。中山成彬文部科学大臣が子供たちの理科離れを防ぐのに意欲を持っていることを知り、実験を通して子供たちに感動する心を持ってもらいたいと、小・中学校の理科室に顕微鏡を備えてほしいと中山大臣へ手紙を書き、直接会って訴えた。せめて小・中学校の理科室で、子供たちが顕微鏡を通してミクロの世界に接して直接驚きを感じてもらいたいと願っている。

藤嶋は「七五三(しちごさん)問題」の解決に向けてこれからも走り続けることであろう。

#### (参考資料)

本文中ではいちいち断らなかつたが、多くの資料を参考にさせていただいた。主な参考資料のリストを挙げて、お礼を申し上げる。

<sup>11</sup> 藤嶋昭監修、(財)神奈川科学技術アカデミー科学書編集委員会編集、「くらべるシリーズ1 さびる?さびない?金と鉄」、丸善、2004年。

- ・ 橋本和仁、藤嶋昭監修、「図解 光触媒のすべて」、工業調査会、2003.
- ・ 岸宣仁、「光触媒が日本を救う日」、プレジデント社、2003.
- ・ 藤嶋昭、橋本和仁、渡部俊也、「光クリーン革命」、シーエムシー、1997.
- ・ 藤嶋昭、橋本和仁、渡部俊也、「光触媒のしくみ」、日本実業出版社、2000.
- ・ 有馬朗人監修、「実学の超研究術」、東京図書、2002.
- ・ 特許庁編、「特許マップシリーズ 化学 23 光触媒とその応用」、発明協会、2001.
- ・ 藤嶋昭、「辛口時評」、神奈川新聞、平成17年1月10 日版、3月7日版、5月2日版、6月27日版、2005.

**(略 歴)**

1942年 3月: 東京都生まれ  
1966年 3月: 横浜国立大学工学部電気化学科卒業  
1968年 3月: 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了  
1971年 3月: 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了  
1971年 4月: 神奈川大学工学部講師  
1975年 11月: 東京大学工学部講師  
1978年 4月: 東京大学工学部助教授  
1986年 7月: 東京大学工学部教授  
1995年 4月: 東京大学大学院工学系研究科教授  
1998年 1月: 光化学協会会長  
1998年 6月: (財)神奈川科学技術アカデミー(KAST)光科学重点研究室長  
2001年 3月: 日本化学会副会長  
2002年 9月: 光触媒標準化委員会委員長  
2003年 2月: 電気化学会会長  
2003年 3月: 東京大学大学院工学系研究科教授を退官  
2003年 4月: (財)神奈川科学技術アカデミー理事長(現任)  
2003年 6月: 東京大学名誉教授(現任)  
2005年 4月: 東京大学特別荣誉教授  
工学博士。

**(受賞等)**

- ・ 「朝日賞」授賞 (1983年 1月)
- ・ 「井上春成賞」受賞 (1998年 6月)
- ・ 「日本化学会賞」受賞 (2000年 3月)
- ・ 第1回 "The Gerischer Award"受賞 (2003年 4月)
- ・ 「紫綬褒章」授章 (2003年 11月)
- ・ 「日本国際賞」受章 (2004年 4月)
- ・ 「日本学士院賞」受賞 (2004年 6月)
- ・ 産学官連携功労者表彰「内閣総理大臣賞」受賞 (2004年 6月)
- ・ 「川崎市民荣誉賞」受賞 (2004年 7月)