光で殺菌・抗ウィルス・防かび

工学研究院物質工学研究系 教授　横野　照尚

工学研究院物質工学研究系応用化学部門の横野照尚（おうのてるひさ）と申します。大学時代は、バイオ系の研究に興味があったため人工酵素の開発を行っている研究室に所属し、ビタミンB_{12}（図1）の人工酵素開発に没頭しました。博士後期課程を修了して、大学に助手として職を得てからは、様々な分子の形状を認識して選択手に捕捉するホスト分子を開発する分野に研究領域が変わりました。その後、助教授のポストを求めて、出身大学から離れました。このとき、研究領域の大転換を迫られました。有機化学を基礎とした人工酵素開発、ホスト分子開発の領域から、無機化学・物理化学を基礎とした金属酸化物半導体光触媒ナノ材料の開発が中心となりました。助教授として着任した研究室は、物理化学系の研究室で、その中の研究グループの光触媒材料開発の担当を命じられました。研究領域の大転換だったために、それまで培ってきた人脈や蓄積してきた多くの知識がリセットされ、学生と同様に基礎知識の勉強からの出発でした。また、大きな研究領域の転換のため、知名度も人脈もない状態だったため、研究費の獲得にはとても苦労しました。今考えると、この経験は研究開発における発想の柔軟性を培うとても良い経験となっています。

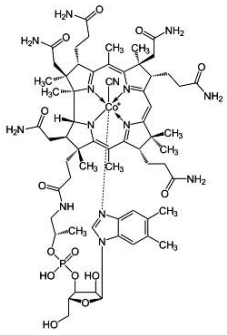


図1．ビタミンB_{12}の構造

半導体光触媒は、東京大学の本多健一先生と藤嶋昭先生が酸化チタン光触媒電極で水を光だけで分解して酸素と水素を製造する「本多―藤嶋効果」を1969年に発見したことが大きな研究の発端となっています（図2）。

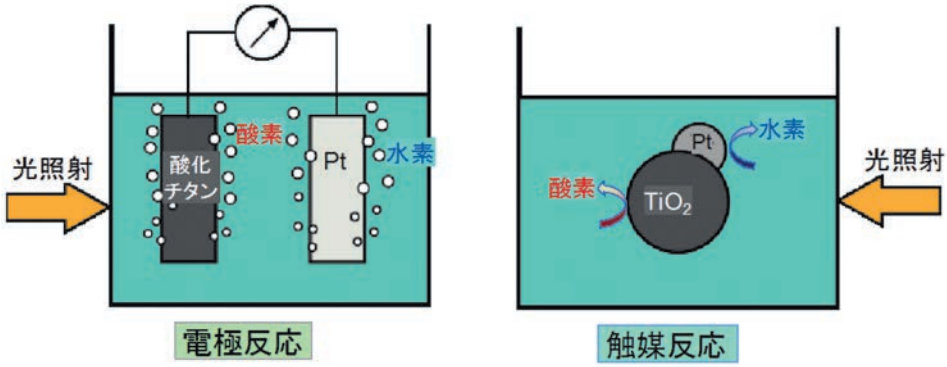


図2．本多―藤嶋効果の説明

この研究成果は、1972年にNature誌に掲載されたことから、酸化チタン光触媒のみならず新たな金属酸化物半導体光触媒の研究開発が世界中で活発に行われるきっかけとなりました。水素は、燃料電池の燃料として有望視されており、光触媒による水素製造は光だけがエネルギー源となるため、太陽光を利用すれば環境負荷が全くない、理想的な水素製造システムとなり得ます。現在、経済産業省、NEDOが中心となって、企業連合・大学連合で実用化を目指した工業プロセス開発が行われています。

酸化チタン光触媒は、光により非常に高い酸化能力を発揮するために、水の分解だけでなく、病原菌・ウィルス・カビ・汚れを酸化分解することができます。これらの能力を利用して、北九州の地元企業TOTO㈱やパナソニック㈱、ダイキン工業㈱、盛和工業㈱などの多くの会社と様々な大学の共同研究開発により、多くの光触媒製品が世に送り出されています。例えば、高層ビル（六本木ヒルズや虎ノ門ヒルズをはじめとする高層ビル）の外壁・窓ガラス、大型

建造物（ヤフオクドームなどの大型スポーツ施設・セントレア名古屋国際空港の外装と窓ガラス・北九州空港の外装と窓ガラス・ルーブル美術館のメインエントランスピラミッドの外装など）の外装などは、ほとんどが酸化チタン光触媒で表面処理がされています。昔のようにビルの窓ガラスをゴンドラで上がって清掃する姿を見ることがなくなったのは、光触媒窓ガラス、外装材の効果です。光が当たって、雨が降ると自動的に汚れを落として分解してくれます。これをセルフクリーニング効果と呼んでいます（図3）。また、イタリアでは、イタルセメンティという会社が国家プロジェクトで舗装道路や建造物のセメントに酸化チタン光触媒を混ぜて施工することで、排ガスの窒素酸化物・硫黄酸化物の60％削減の効果を挙げることに成功しています（図4）。

図3．光触媒タイルと通常タイルの防汚性に違い
（TOTO 関連製品のホームページより）

図4．Italcementi 社製の酸化チタン光触媒含有セメントで施工されたイタリアの Jubilee 協会

また、空気清浄機のフィルターにも光触媒が応用され、家庭用・業務用に多くの製品が開発されています。新幹線のN700系の喫煙ルームの空気清浄機は、酸化チタン光触媒フィルターと光源が組み込まれた光触媒空気清浄機が使用されています（図5）。新幹線のグリーン車の窓ガラスは酸化チタンナノシート材料でコーティングされており、汚れのない綺麗な状態を保つよう工夫されています。最近では、積水ハウスやパナホームの一般住宅の外装材にも酸化チタン光触媒コートされた製品が販売されています。

図5．光触媒空気清浄機が設置されたN700系新幹線の喫煙ルーム
（JR のホームページより）

このように万能に見える酸化チタン光触媒ですが、大きな欠点を有していました。それは、光源として紫外線が必須であることです。つまり、紫外線が含まれる太陽光が降り注ぐ屋外では、性能を発揮できるのですが、屋内、車内などの紫外線が届かない場所では全く役に立たなかったことです。室内環境に於いて殺菌・抗ウィルス、防かびなどの処理技術が、身体にいいと言えない化学薬品などを使わずに光だけで可能になれば、安全・安心な室内環境を生み出す理想的な技術となると考えられます。このようなことから経済産業省・NEDOが全国の大学、企業を巻き込んで室内光対応型の光触媒材料および製品開発のプロジェクトが15年ほど前から約10年間（5年プロジェクトが前半と後半2期実施）実施されました。同様の技術開発は、ほぼ同時期にヨーロッパ、アメリカ、韓国でプロジェクトが立ち上がり、世界中で開発競争が繰り広げられました。平成15年に九州工業大学に教授として着任する少し前にこのNEDOプロジェクトに参画させていただき、私どもの研究室でも活発に室内光対応型の光触媒材料開発を行いました。最終的に、私の研究室では2種類の室内光対応型の光触媒材料（硫黄添加型酸化チタン・鉄担持型形状制御酸化チタンナノロッド）の開発に成功しました（図6）。その

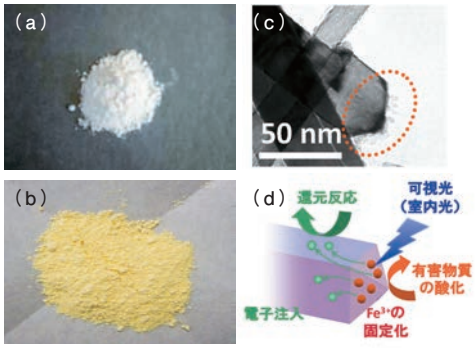


図6．九州工業大学で開発された室内光対応型酸化チタン光触媒と従来の酸化チタン：
（a）従来の酸化チタン，（b）硫黄添加型酸化チタン，（c）鉄担持型形状制御酸化チタンナノロッド，（d）（c）の酸化チタン光触媒の反応機構

一部の成果をまとめた論文は、現在引用数が１２００に迫ろうとしており、世界中から注目されました。何れの材料も共同研究企業（東邦チタニウム㈱、㈱ダイセル）の協力を得て商品化することができました（図７）。同時期に豊田通商㈱・住友化学㈱・㈱東芝・昭和セラミック㈱などの他、ドイツのメーカーも室内光対応型の光触媒材料を製品化しましたが、性能面、安定性の面で問題を抱えており、定常的に出荷が行われているのは私の製品だけとなっています。この材料を基にして、地元企業の㈱フジコーと共同開発した光触媒タイル・天井材・光触媒空気清浄機が応用製品として出荷され、病院・老健施設・公共のトイレの内装材や大型工場の環境浄化のための空気清浄機として利用が広がっています。また、九州工業大学でも中村記念館のトイレに施工されています。その他、小倉駅やモノレール平和通駅のトイレにも施工されています。これらの高い性能が認められ、ＪＡＸＡと共同で国際宇宙ステーションの内装材にも利用されています。また、用途範囲を広げるため大阪の塗料メーカー（㈱ピアレックス・テクノロジーズ）と共同開発して、室内光対応型の光触媒塗料も製品化されています。これらの塗料は小中学校の天井に施工することでインフルエンザによる欠席者数が半分以下に減少する成果が得られており、関西地区を中心に多くの学校に施工されています。また、この光触媒塗料は、マンションの内装施工や事務機器、白物家電にも利用が広がっており、ＬＥＤ照明だけで防かび・殺菌・抗ウイルスなどのクリーンな環境を提供する画期的な製品群として高く評価されています（図８）。

現在は、光触媒の還元力を利用して二酸化炭素を燃料に変換する新たな光触媒システムの研究開発を行っており、地球温暖化解決と燃料製造を実現する画期的なシステム開発へ向けて研究を行っております。

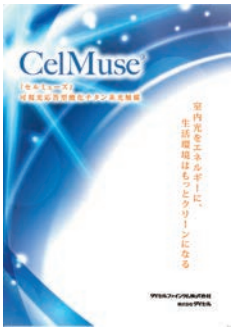
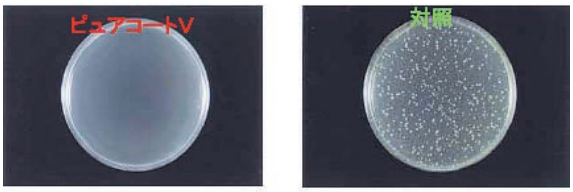


図7．世界トップレベルの性能を誇るLED光対応型光触媒CelMuseのパンフレット（ダイセルファインケムのパンフレット）



光触媒塗料処理　　光触媒塗料なし

図８．LED光対応型光触媒塗料（ピュアコートＶ）処理した壁と未処理の壁の黄色ブドウ球菌繁殖状況の違い