

## 量子触媒タイレックスとその特性\*

### Quantum Catalyst, Tilex and its Characteristics

岸 政七<sup>†</sup>  
Masahichi Kishi<sup>†</sup>

**Abstract** Quantum catalyst, Tilex is compounded through epitaxial crystallization the second material on titania surface to verify strong photo catalyst activity via JIS gas pack method A test. This Quantum catalyst increases reaction velocity by 4.28 times of that of titania photo catalyst, and simultaneously increases photo catalyst activity by more than 3.6 million times that of titania till 2008 year end. Superiority of the Quantum catalyst characteristics is derived from crystallization silicon on titania crystal surface without any distortion of crystal structure. Owing to being low recombination probability between excited free electron and hall in the tiattia crystal, either electron or hall is easily emitted from titania crystal to deoxidize surrounding materials by giving electron or to oxidize by deducting electron to promote photo catalyst activity. Especially the case of band gap of the second material consist of quantum catalyst being smaller than that of first material, titania, the stronger photo catalyst activity is realized through both free electron and hall excited in the second material being poured into the first material of quantum catalyst, Tilex.

#### 1.はじめに

地球人口は、近年急速に増加しているが、地球上に居住可能な人口は約 80 億であり、2020 年には居住可能な人口の上限数に達する恐れがあると推測されている (FAO 発表)。この居住可能人口数は食料問題や環境状況から推計されたものであり、温室効果ガス問題は、この推計に深刻な影響を与える。欧州各地では、十数年前から、かつて経験したことのない冬期 (11~3 月) における集中豪雨が多発し、毎年のように多くの被害が発生している。これは、明らかに地球温暖化の影響によるもので、その原因は CO<sub>2</sub> など温室効果ガスの増加によるものと考えられている。また、一方では温暖化に基因する気象変化の影響による水不足に悩まされている国も少なくなく、特に発展途上国では、飲料水の不足ばかりでなく、水質汚染による伝染病が急増している。

このため世界の主要国は、温室効果ガス排出削減を世界的課題として掲げ、ガス発生と吸収とをバランスさせる循環形社会の構築を急いでいる。しかし、地球上に人類など酸素を呼吸し生命エネルギーを得ている生物が生息する限り、温室効果ガス CO<sub>2</sub> の発生は避け難い。量子触媒は、CO<sub>2</sub> の 310 倍の温室効果を有する N<sub>2</sub>O など NOX の分解除去、大気汚染物質の揮発性有機化合物 VOC や硫黄酸化物 SOX を分解除去することに加え、生活活動や生産活動におけるエネルギー消費量を削減、エネルギー削減量に見合う CO<sub>2</sub> ガス排出量を削減し、環境改善に貢献する。

酸化チタンは抗菌消臭性に優れ、VOC ガス、温室効果ガスなどの分解除去に効果的である。酸化チタンに高いエネルギーの紫外線 (3.2eV 以上、波長 390nm 以下) を照射するとき、光触媒活性が発現する。しかし、紫外線は、室内、水中や地中には届かず、屋外など直射光の照射を受ける場所以外では光触媒活性が発現しない問題があつ

※愛知工業大学総合技術研究所プロジェクト研究 A 「量子触媒『タイレックス』の溶液化と環境浄化製品への適用化研究」初年度研究成果の量子触媒を纏めたものである

† 愛知工業大学 総合技術研究所 (豊田市)

た。遮光環境で十分な光触媒活性を発揮する新しい触媒が合成できるならば、光触媒の欠点を補う事ができ、余りある多方面・多用途の膨大なニーズに対応可能となり、引いては地球環境を有効に改善できる。

## 2. 量子触媒の基本概念

量子触媒は、光触媒活性を発現する数～数十 nm の酸化チタン微粒子表面に酸化シリコン結晶を成長させ、酸化チタンの光触媒活性の原動力である自由電子とホールを潤沢に供給するように工夫した物質であり、遮光環境においても光触媒と同等以上の光触媒活性を発現する。

量子触媒の動作概念は、酸化チタン微粒子にナノ電源を接続し、直流電流を流すことで、光触媒活性を増強する機構を等価的に実現したものと理解できる。

ナノオーダの酸化チタン微粒子に、実際に電極を取り付けることは難しく、ましてや直流電源を接続することはデメンション的にも不可能である。この問題を解決する唯一の手段が、酸化チタン微粒子の表面に酸化チタンより低いエネルギーで励起される第 2 物質をエピタキシャル結晶成長させ、酸化チタンと第 2 物質間に生じるヘテロジャンクションを介して、第 2 物質から自由電子とホールを供給する構造の実現である。この構造を実現した量子触媒は、遮光環境で光触媒活性を発現できる触媒となる。

第 2 物質は光触媒として機能する必要は必ずしも無く、酸化チタンの励起電位 3.2eV 以下で励起される物質であれば構わない。量子触媒は、第 2 物質として資源枯渇の心配の無い酸化シリコンを用いても実現できる。シリコンを用いれば 1.12eV 以上の量子線（遠赤外線）を照射すると、価電子帯の電子が励起され導電帯へ移行し自由電

子となり、価電子帯の電子の抜けがらとしてホールが発生する。シリコン原子で発生した自由電子とホールは、ヘテロジャンクションを介して酸化チタンに注入され、酸化チタンの結晶構造の特性に従い、結晶外に放出され、強い光触媒活性発現の原動力となっていた。

このように量子触媒は、酸化チタンを励起できない環境では、酸化シリコン内で発生する自由電子とホールを用いて、酸化チタンの結晶構造を活用して、強い光触媒活性を発現する新しい物質である。すなわち、酸化チタンの優れた光触媒活性遺産を受け継ぎ、その光触媒活性を強化した特徴を、量子触媒は有していると言える。

複合酸化チタン Titania Complex からの合成語 Tilex を新しい物質名とし、さらに、1.5eV 以下のエネルギーの遠赤外線、1.5～3.4eV の可視光、3.4eV 以上の紫外線などの光子が照射されるとき光触媒活性を発揮する物質を総称して、「量子触媒」と呼び、後述する正規化反応速度定数が 2 以上の量子触媒を特にタイレックスと呼ぶ。

### 2.1 量子触媒の適用領域

量子触媒の特性は光触媒の優れた特性をすべて遺産継承しており、かつ光触媒の光触媒活性を増強するので、光触媒の適用範囲をサブセットと見做しうるものとなり、量子触媒の適用領域は、紫外線照射～可視光照射～量子線照射（遮光環境）と無限に広がる。

たとえば、可視光も届かない遮光環境で光触媒活性を発現する量子触媒は、地中有害物質分解除去や人体内の癌治療への適用が可能となる。また、紫外線が届かない環境で光触媒活性を発現する特徴は、水質汚染物質・環境ホルモン、水生植物の分解除去し、水質浄化と水資源確保に大きな役割を果たす。さらに、低レベルな希薄エネルギーを吸収し自由電子とホールに変換する量子触媒の特徴は、酸化チタンの光電変換効率を改善して高効率な第 3 世代以降のソーラーユニットの出現を約束する。量子触媒の適用領域を、以下の 5 ジャンルに大別できる。

#### 1. 量子触媒・抗菌消臭繊維製品の実用化

繊維練り込み、あるいは織布・後加工で量子触媒・抗菌消臭繊維製品を製造し、靴下、T シャツなどのインナー、医師・看護師白衣などの作業服、カーテン、壁紙な

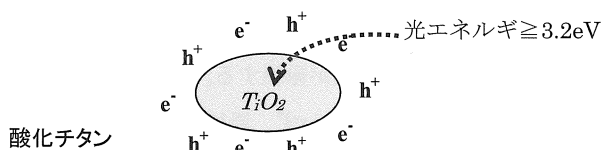


図2.1 酸化チタンの光触媒活性発現メカニズム

Fig.2.1 Photo catalyst activity mechanism in tiania crystal

ドインテリア建材、抗ウイルスマスク等へ展開する。

なお、抗菌試験 JIS R 1702, JIS L 1902 は、日本化学繊維検査協会生物試験センタで実施した結果は後述する。

## 2. 量子触媒・バイオゾルの実用化

食の安全を確保できる添加剤のみを用いた量子触媒 1 重量%のバイオゾルを開発し、無農薬果実栽培、腐敗遅延、水質浄化、泥土処理等の用に供する。

## 3. 量子触媒・汎用ゾルの実用化

量子触媒 1 重量%の汎用ゾルを開発し、建築構造物の室内外に塗布、大気汚染物質、温室効果ガスを分解除去し、大気汚染防止、環境改善の用に供する。

## 4. 量子触媒・遮熱塗料の実用化

量子触媒をエマルジョンペンキに混練して遮熱塗料を開発し、ビル外壁や舗装面に塗布、VOC,SOX を分解除去、温暖化防止、大気汚染防止の用に供する。

## 5. 量子触媒・焼却炉バグフィルタの実用化

量子触媒スラリを乾燥粉碎ラミネートした PTFE フィルムを裁断し繊維を用いて、耐熱バグフィルタを開発し、焼却炉排ガス中に含まれるダイオキシンを分解除去する。

## 2.2 量子触媒の波及効果

量子触媒は、主原料の光触媒酸化チタン表面に酸化シリコンなどの第 2 物質をエピタキシャル結晶成長させて合成する安全な触媒である。市販光触媒である 7nmφ のアナターゼ酸化チタンに比較した反応速度定数が 2 倍以上、換言すれば、ガスパック A 法準拠の 2 時間後のガス残留濃度比で 100 分の 1 以下となる光触媒活性を有する量子触媒を、特にタイレックスと呼ぶ。

量子触媒自身が独創的であることに加え実用化では次の 5 項目の成果が得られる。①抗菌・消臭・防汚機能を有する繊維製品、②温室効果ガス・大気汚染物質の分解除去能力および抗菌機能を有する食の安全を保証するバイオゾル、③温室効果ガス・大気汚染物質の分解除去能力を有し、建築物の省エネルギーに寄与する汎用ゾル、④

熱や光量子エネルギーの変換能力を有する遮熱塗料、ならびに⑤ダイオキシン分解除去能力を有するバグフィルタ等が、待得られる。また、量子触媒の遮光環境における光触媒活性が確認されたことで、量子触媒の適用範囲には無限の広がりが見込まれている。

## 2.3 量子触媒の特性概要

実用化の最終目標値としている正規化反応速度定数 5.0 の量子触媒の光触媒活性は、ガスパック A 法に準拠した条件: 1mW/cm<sup>2</sup> の強度で紫外線 2 時間照射後の VOC の代表的物質であるアセトアルデヒドの残留ガス濃度が、光触媒酸化チタンのアセトアルデヒド残留ガス濃度に対して 1 億分の 1 と、1 億倍の光触媒作用活性を有する触媒を合成する。

初発ガス濃度  $W_0$  の時間  $T$  経過後のガス濃度  $W(t)$  は、

$$W_i(T) = W_0 \exp(-\alpha k_i T) \quad (2.1)$$

ここに、

$\alpha$  はガス量、温度、触媒量、照射エネルギーなど実験系で定まるシステム定数

$k_i$  は、触媒の反応速度定数

式 2.1 に与えられる。したがって、初発ならびに  $T$  時間経過ガス濃度を測定すれば、触媒  $i$  の反応速度定数  $k_i$  は、式 2.1 の対数から次のように与えられる。

$$k_i|_T = -\frac{1}{\alpha T} \ln \left\{ \frac{W_i(T)}{W_0} \right\} \quad (2.2)$$

式 2.2 に示すように、反応速度定数  $k_i$  は、ガス濃度  $W_0$ 、 $W_i(T)$  に加え、システム定数  $\alpha$  と観測時間  $T$  の関数にもなっている。反応速度定数が、触媒のみの関数では無く、実験システムや、実験時間に左右されるので、統計処理を施しても正確に観測できない問題が存在していた。これらの問題を解決するため、新たに正規反応速度定数の概念を導入した。

正規化反応速度定数  $\delta_i$  は、対象触媒  $i$  の反応速度定数  $k_i$  を標準触媒  $s$  の反応速度定数  $k_s$  で正規化した値として、式 2.3 に定義する。

$$\delta_i = \frac{k_i|_T}{k_s|_T} = \frac{-\frac{1}{\alpha T} \ln\left\{\frac{W_i(T)}{W_0}\right\}}{-\frac{1}{\alpha T} \ln\left\{\frac{W_s(T)}{W_0}\right\}} = \frac{\ln\left\{\frac{W_i(T)}{W_0}\right\}}{\ln\left\{\frac{W_s(T)}{W_0}\right\}} \quad (2.3)$$

式 2.3 に示すように、触媒  $i$  の正規化反応速度定数  $\delta_i$  は、初発ガス濃度  $W_0$  と、標準触媒  $s$  の  $T$  時間後のガス濃度  $W_s(T)$  と触媒  $i$  の  $T$  時間後のガス濃度  $W_i(T)$  のみの関数として与えられる。標準触媒  $s$  と触媒  $i$  との質量、ならびに、試験ガスの等容量を用いて、同一強度の紫外線などの光を同時照射すれば、正規化反応速度定数は正確に測定できることになる。

正規化反応速度定数  $\delta_i$  を用いれば、光触媒活性比は、次のように簡単に計算できる。新聞記事などに良く見かける「何倍」と言う表現は、光触媒活性の比として、ガスパック法 2 時間経過の残留ガス濃度比を用いることが一般的である。ここで、 $T$  時間経過後の光触媒活性の比とは、標準触媒のガス濃度  $W_s(T)$  と触媒  $i$  のガス濃度  $W_i(T)$  との比で次に示すように与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{W_s(T)}{W_i(T)} &= \frac{W_0 \exp(-\alpha k_s T)}{W_0 \exp(-\alpha k_i T)} \\ &= \frac{\exp(-\alpha k_s T)}{\exp(-\alpha k_i \delta_i T)} \end{aligned}$$

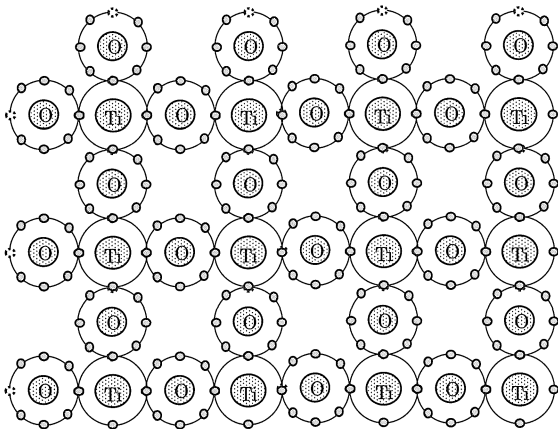


図 2.2 酸化チタンの結晶模式図  
Fig.2.2 Lattice model of titania crystal

$$= \frac{1}{\exp\{-\alpha k_s (\delta_i - 1)T\}} \quad (2.4)$$

さらに、標準触媒  $s$  の 2 時間残留濃度  $W_s(2 \text{時間})$  が 1% の値が用いられることが一般的であるので、新聞発表と同一条件では、式 2.4 は更に簡単に整理できる。

$$\frac{W_i(T)|_{T=2h}}{W_s(T)|_{T=2h}} = 10^{2(\delta_i-1)} \quad (2.5)$$

正規化反応速度定数  $\delta_i$  が 5.0 の活性は、式 2.5 右辺指数部  $\delta_i$  に 5.0 を代入して、 $10^8$  倍すなわち 1 億倍となる。

量子触媒の正規化反応速度定数  $\delta_i$  の値を 2 以上、光触媒活性で 100 倍以上と定義したことで、十分な有意水準を得るものと考えている。

アナターゼ型の光触媒酸化チタンの価電子帯と導電帯とのエネルギーギャップすなわちバンドギャップは 3.2eV である。光触媒活性を発現させるには、図 2.1 に示すように、3.2eV 以上のエネルギーを有する紫外光を照射する必要がある。

図 2.2 に酸化チタンの結晶モデルを示す。

実際には酸化チタン結晶は、アナターゼ、ルチル、中間のブルッカイト型の立体構造を有している。しかし、ここでは、同図に示す平面ラチス構造を用いるが、第 1 物質である酸化チタンと第 2 物質との接合面（ヘテロジャンクション）周りの結晶構造を論じるに十分であり、一般性を失うこと無く議論を進めることができる。

同図は、チタン原子の原子核と最外殻軌道上的電子、ならびに、酸素原子の原子核と最外殻軌道上的電子を模式的に表わしたものである。

チタン原子は最外殻軌道に 4 個の電子が存在する 4 価物質であり、6 価の酸素原子は最外殻軌道に 6 個の電子が存在する。チタン原子の 4 個の電子は、1 個ずつ 4 個の酸素原子の最外殻軌道に共有され結晶が構成される。これらの電子すべて結晶構成に使用され、拘束されているので、価電子帯に存在していることが理解できよう。

チタン原子と酸素原子が 1:2 の割合で平面構造の酸化チタン結晶を構成するならば、図 2.2 に示すように結晶左端ならびに上端の酸素原子露出部では、酸素原子の最

外殻軌道に7個の電子しか存在しない。この酸素原子の最外殻軌道に、さらに1個の電子を取り込み安定構造となる。換言すれば、酸素原子の最外殻軌道に破曲線で示すホールが1個存在していることになる。

また、図中酸化チタン結晶右端ならびに下端のチタン原子露出部では、チタン原子の最外殻軌道に結晶構成に関与していない電子が1個存在している。このチタン原子の最外殻軌道の電子は、結晶構成に関与しておらず、1個の電子を他の原子の最外殻軌道に与えることで安定構造となる。換言すれば、チタン原子の最外殻軌道に自由電子が1個存在していることになる。

しかし、チタン原子と酸素原子の構成比率が1:2の割合を保つ限り、チタン原子のホールと酸素原子の自由電子の数が等しく、結晶端のホールと自由電子が互いに電荷を打ち消し合うように結合が進み、立体的な結晶構造が生じる。代表的な立体的な結晶構造として、アナターゼ型、ルチル型、並びに中間的なブルッカイト型となる。

酸化チタンでは、チタン原子の最外殻軌道に存在する4個の電子は、隣接する4個の酸素原子の最外殻軌道に取り込まれるように共有され、結果的にチタン原子の最外殻軌道上の電子が全て酸素原子の最外殻軌道に取り込まれ、酸素原子の最外殻軌道の電子は8個の最外殻軌道の満タン状態となり最早これ以上の電子を取り込むことが出来ない状態で安定し、結晶が構成される。このとき、酸化チタン結晶の電子は、すべて価電子帯に存在しているので、結晶は電気的に中性な絶縁物となっている。

酸化チタン結晶にエネルギーレベルを徐々に上げながら光照射して行くと、エネルギーレベルが略  $3.2\text{eV}$  に達する時、チタン原子の最外殻軌道上に自由電子が現れる。この電子は、結晶構成に関与していないため、酸化チタン結晶内を自由に動くことができ、電荷を運びことで、結晶に導電性を付与する。この自由電子は、導電帯に存在する。

自由電子が出現したことは、結晶構成に使用され拘束されていた価電子帯の電子が導電帯の電子となったことを意味する。結晶は電気的に中性であったので、価電子帯の電子の抜け殻は、ホールと呼ばれ、その電荷量は、絶対値が電子と同じであるが逆の極性に帯電することになる。

ホールは結晶構成に必要な価電子帯の電子の抜け殻であるので、結晶を安定に保つため、近傍からホールに電子が取り込まれる。近傍の電子が自由電子の場合も、価電子帯の電子の場合もある。自由電子の場合は再結合されたことになるが、アナターゼ型酸化チタンでは再結合確立はあまり高くない。近傍の価電子帯の電子が取り込まれる場合、新たに近傍にホールが発生する。このように、ホールに近傍の価電子帯の電子が取り込まれて、ホールが結晶内を自由に動き回るようになり、電子とは逆のプラスの電荷を運び、結晶の導電性を増すことが観察できる。

自由電子が発生したことは、酸化チタンが励起されたことを意味する。酸化チタンは自由電子とホールの一部を結晶外へ放出する性質を有し、放出された自由電子は結晶周辺の物質を還元し、放出されたホールは結晶周辺の物質を酸化する。この自由電子とホールが結晶外へ放出され周辺の物質を酸化・還元することは、物質が光触媒活性を発揮したと言う。以降、光量子エネルギーが照射される時、光触媒活性を発現する物質を光量子触媒と、特に  $3.2\text{eV}$  超のエネルギー光（紫外線等）の照射を必要とする物質を光触媒、 $1.24\text{eV}$  以下の遠赤外線（量子線）が照射される時光触媒活性を発現する物質を量子触媒と定義できる。

光触媒は、励起された自由電子とホールが結晶内で再結合される確率が低く、結晶外へ多くの自由電子とホールを放出することが特徴であり、特に、アナターゼ型酸化チタンは、自由電子とホールが結晶内で再結合される確率がルチル型酸化チタンより低く、光触媒活性が高い。結晶外へ放出されるホールは周辺物質から電子を奪いとり酸化し、逆に自由電子は周辺物質を還元し、光触媒近傍に存在する分子量数千未満の物質を酸化・還元して分

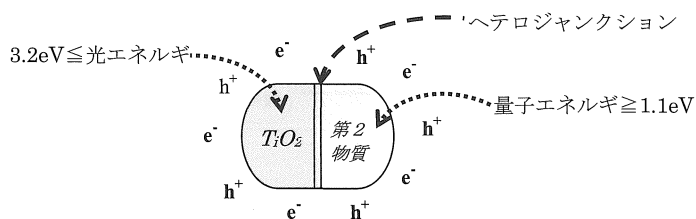


図2.3 量子触媒タイレックスの光触媒活性発現メカニズム  
Fig.2.3 Photo catalyst activity mechanism in quantum catalyst, Tilex

解除去する。

従来、光触媒に関する研究は、光触媒が強力な活性を発現するので、光触媒活性を制御して抑圧することに傾注されていた。チタニアアパタイト（酸化チタン・リン酸カルシウム複合結晶）などが、この方向の代表的な研究成果となっている。しかし、可視光反応型酸化チタンなどに見られる近年の光触媒に関する研究は、酸化チタンの光触媒活性をより強める方向を向いている。1 昨年 2007 年に報道された実験報告であるが、紫外光を照射しても光触媒活性を発現しないガリウム砒素単結晶 GaAs に、直流電流を流しながら紫外線を照射すると GaAs が光触媒活性を発現する現象が発見された。この現象は、光触媒活性を強化する方向を示す事例であり、光触媒活性を強力にする研究の新しい方向を示すものであるが、同時に、量子触媒の基本原理の確認になっている。

量子触媒は、図 2.3 に示すように第 1 物質の光触媒結晶微粒子表面にバンドギャップが第 1 物質より小さい第 2 物質を結晶成長させ合成する触媒であり、第 1 物質の光触媒物質と第 2 物質がヘテロジャンクションで接合されている特徴を有する。量子触媒タイレックスは、第 1 物質に光触媒アナターゼ酸化チタン結晶面に、第 2 物質の酸化シリコンを結晶成長させ合成する触媒である。

第 2 物質が酸化シリコンの場合、酸化チタンの励起エネルギー  $3.2\text{eV}$  より低いエネルギー  $1.12\text{eV}$  で励起され、自由

電子とホールが酸化シリコン結晶内で発生し、ヘテロジャンクションを介して酸化チタン結晶に注入される。酸化シリコンから自由電子とホールが注入することは、酸化チタンに酸化シリコンのナノ電源から直流電流が供給されている状態に等価であるとも解釈できる。すなわち、GaAs 結晶が光触媒活性を発現したと同じ現象が量子触媒内で発生していたことになる。量子触媒が酸化チタンより強力な光触媒作用を発現する事実は、酸化チタンが励起できない低エネルギー量子線の照射で強力な光触媒作用を発現する現象と同じ原理に基づいていたものと解釈できる。

酸化シリコンを第 2 物質とする量子触媒に関する光触媒活性発現メカニズムを、図 2.4 のエネルギーダイアグラムに纏め示す。

図 2.4 に、アナターゼ酸化チタンが励起できない  $3.2\text{eV}$  以下の低エネルギー量子線を照射する場合の量子触媒の動作を示す。  $1.12\text{eV}$  超の量子線を第 2 物質の酸化シリコンに照射すると、シリコン原子が励起され、シリコン原子の最外殻軌道の導電帯に自由電子が、価電子帯にホールが発生する。量子触媒は、酸化チタン結晶内ではチタン原子の最外殻軌道上の価電子帯の 4 個の電子を共有して周辺に 4 個の酸素原子が共有結合した結晶構造を、ヘテロジャンクションで結合している酸化シリコン結晶内では、酸化チタンのチタン原子をシリコン原子に置き換

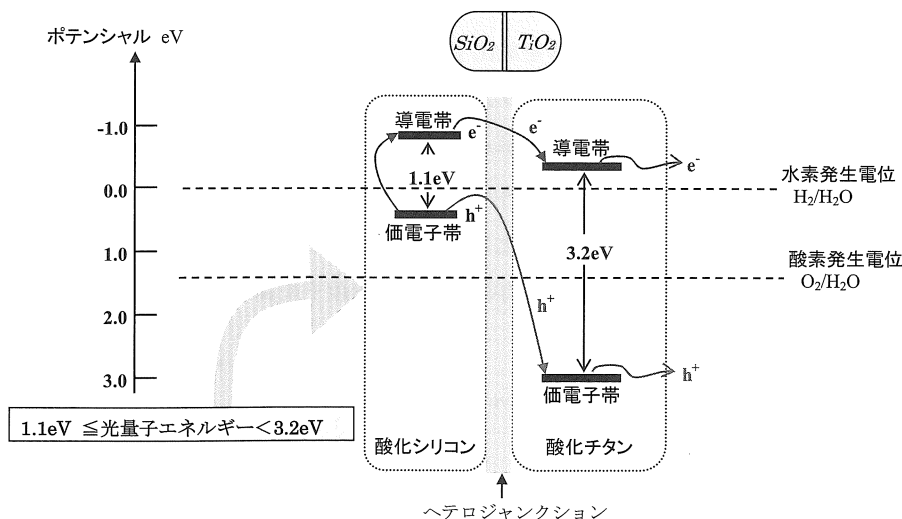


図 2.4 量子触媒タイレックスの光触媒活性発現エネルギーダイアグラム

Fig.2.4 Energy diagram of Quantum Catalyst, Tilex photo catalysis activity

ていることを除けば、同様な結晶構造を有している。このため、酸化シリコンで励起され発生した自由電子はヘテロジャンクションを経て酸化チタン結晶へ移動し、酸化シリコンで発生したホールはヘテロジャンクションを経て酸化チタン結晶へ移動する。

表2.1 珪酸ソーダのJIS規定  
Table 2.1 JIS specification of silicic sodium

	JIS—1 号	JIS—2 号	JIS—3 号
ボーメ値 15°CBe	-	54 以上	40 以上
酸化シリコン SiO <sub>2</sub>	35~38 重量%	34~36 重量%	28~30 重量%
酸化ナトリウム Na <sub>2</sub> O	17~19 重量%	14~15 重量%	9~10 重量%
鉄	0.03 重量%以下	0.03 重量%以下	0.02 重量%以下
水不溶分	0.2 重量%以下	0.2 重量%以下	0.2 重量%以下
モル比 SiO <sub>2</sub> /Na <sub>2</sub> O	2.15±0.1	2.50±0.1	3.15±0.1

導電帯に自由電子が充満し、かつ価電子帯にホールが充満した酸化チタンは、あたかも 3.2eV 以上のエネルギーを有する紫外光が照射され励起した状態と等価な挙動を呈し、酸化チタン結晶外へ自由電子とホールを放出する。結果、量子触媒の主成分のアナターゼ酸化チタンは励起されていないにも関わらず、低エネルギー光の照射で効果的に光触媒活性を発現する。

かかる第 2 物質が励起されヘテロジャンクションを経て、酸化チタンの導電帯に自由電子を、価電子帯にホールを注入する事は、酸化チタンに直流電流を流していることに等価である。この現象は、直流電流を流した GaAs 結晶バルクが光触媒活性を発現するようになった現象と動作原理が一致していると判断した理由であり、量子触媒が光触媒より強力な光触媒活性を発現する事実は、等価的に酸化チタン微粒子に直流電流を供給して光触媒酸化チタンを励起していたためであったと理解できよう。

しかし、周知のように光触媒は比表面積が大なるほど活性が強くなり、酸化チタン光触媒として 1 次粒子数~数十 nm 程度の微粉末が実用化されている。実際にナノスケールの酸化チタン微粒子に、電極を取り付けることは難しく、ましてや電源を接続することはデメンション的にも不可能であり、量子触媒のヘテロジャンクション方式が光触媒活性を飛躍的に強化できる唯一な実現手段であることが理解できる。

## 2.5 量子触媒の合成方法

量子触媒の試作工程の一例を、図 2.5 に示す。図中の

各工程に沿って、簡単に合成法を説明する。

### 工程1：攪拌

第 2 物質の酸化シリコンのアルカリ金属塩として、酸化シリコンと酸化ナトリウムとからなる珪酸ソーダを用いる。

珪酸ソーダ、水、界面活性剤を混ぜた溶媒を作成し、攪拌しながら酸化チタンを投入し、酸化チタンスラリーを作る。

酸化チタンスラリーの濃度については、高い程光触媒物質の光触媒活性が高くなる傾向が見出された。これは、酸化シリコンが析出するときに酸化チタンが近傍に存在する確率が高くなり、酸化シリコンが酸化チタン微粒子表面に析出し易くなるためと考えられる。媒体が水の場合、スラリー中の酸化チタン濃度を 5~20 重量%程度と設定した。

スラリーに他の物質が含まれていても構わない。酸化チタン微粉末は水等の媒体中で強い凝集力を発揮するので、酸化チタンの 100 重量部に対して 0.5~10 重量部程度の界面活性剤を添加しスラリー作製を容易にできる。界面活性剤として、市販されているアルカリにも酸にも耐性のある花王社製の Demole EP を酸化チタンの 100 重量部に対し、7 重量部ほど加えた。

酸化チタンは光触媒活性に優れているものを用いることが大切であり、市販品で優れた活性を有する石原産業製 ST-01 を使用している。

珪酸ソーダは、酸化シリコンと酸化ナトリウムの珪酸アルカリ金属塩の 1 種であり、酸化シリコンと酸化ナトリウムのモル比で 0.5~4 の珪酸ソーダが工業的に生産されている。モル比 0.5 のものはオルソケイ酸ソーダ、モル比 1 のものはメタケイ酸ナトリウムと呼ばれ、粘性の高い結晶状の

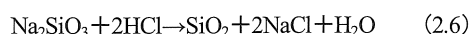
概観を示す。モル比1.3~4のケイ酸ソーダは一般的なケイ酸ソーダであり水ガラスとも呼ばれている。量子触媒の製造において出発点の酸化チタンスラリーを作製するために粘性の低いほど都合がよく、モル比1.3~4の珪酸ソーダを用いた。一般的な珪酸ソーダはJISで表2.1に示すように規定されている。

## 工程2：析出

第1工程で作成した酸化チタンスラリーは、アルカリ金属塩を含むので、水溶液中ではアルカリ性を呈する。この酸化チタンスラリーを室温程度で攪拌をしながら、スラリーが中性~弱酸性になるまで酸をゆっくり滴下する。

この処理におけるスラリー温度は5~20℃程度の室温に保てば十分であるが、酸化チタンの水スラリーの場合には前述の温度範囲において低温な程、好ましいことが判明した。これは、酸化チタンの凝集力が低温ほど弱まるためであることに起因する。

用いる酸は、酸化チタンスラリーに含まれるアルカリ金属塩が中和されて生成する副産物のアルカリ金属塩が媒体（たとえば水）に可溶性であると、後の工程3での洗浄効果が高まる。例えば、珪酸ソーダを用い、塩酸でイオン交換する場合は、次のように反応する。



酸として硫酸を用いる場合も塩酸と同様であるが、副生成物が硫酸ナトリウムとなる。

酸化チタンの水スラリーの場合には、塩酸の濃度が2重量%以下、滴下速度が1~30分の範囲で適切に設定する。例えば、酸化チタン100モル部に対して、JIS-3号に相当する愛知珪曹工業社製珪酸ソーダ3号4.6モル部を含有する濃度20重量%の酸化チタンスラリーを10℃に保ち、この酸化チタンス

ラリーに7重量%の塩酸水溶液6.3モル部を、15分程度掛けて滴下すると、量子触媒が生成する。塩酸濃度が濃すぎると、酸化チタンスラリーが局所的に急速に中和し、酸化シリコンの表面に更に重なるように析出し、酸化シリコン粒子サイズが大きくなり好ましくない。

酸化チタンスラリー中の酸化チタン100モル部に対する珪酸ソーダが12.5モル部を超えると、光触媒活性が劣化する。これは、析出する酸化シリコンが酸化チタン微粒子の表面全体を覆うようになり、酸化チタン分子からの自由電子とホールとの外部への放出能力が低下するためと思われる。析出する酸化シリコンは、酸化チタン微粒子の表面に析出する。これにより、析出する酸化シリコンは酸化チタン微粒子とヘテロジャンクションを実現するものと考えられる。

なお、酸化チタンスラリー中で酸化チタンが凝集し大きな粒径の2~3次粒子を形成していると、凝集塊表面に酸化シリコンが析出することになり、生成する量子触媒の比表面積が減少し、ひいては光触媒活性が劣化する。このため、既述のごとく界面活性剤を酸化チタンスラリーに添加し、酸化チタンスラリー中での酸化チタンの1次粒子の凝集を防止する。具体的に、酸化ケイ素と酸化ナトリウムとからなる珪酸ソーダ（愛知珪曹工業社製・珪酸ソーダ3号）、水、界面活性剤（花王社製のDemole EP）、および、平均1次粒径が7nmの酸化チタン（石原産業社製ST-01）を攪拌して酸化チタンスラリーを造った。

珪酸ソーダにおける酸化ケイ素と酸化ナトリウムのモル比（換算値）は、3.15であり、珪酸ソーダの比重は1.5、酸化チタンスラリー中の酸化チタンの濃度は20重量%、界面活性剤は、酸化チタンの100重量部に対して16重量部。酸化チタンの100モル部に対し、珪酸ソーダは4.8~48モル部とした。このスラリーを、5~10℃で攪拌しつつ、7重量%の塩酸水溶液を15分掛けて徐々に添加した。液のpHが7を下回り、6程度の弱酸性になった時点を終点とし、量子触媒スラリーを製造した。

## 工程3：洗浄

工程2で製造した量子触媒スラリーに、1,000倍量の水を加え攪拌し、1昼夜程度静置する。界面活性剤や副生成物は上澄み液として除去し、洗

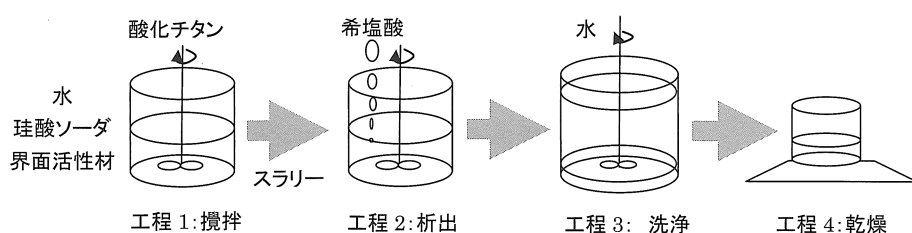


図 2.5 量子触媒の製造方法例

Fig.2.5 Example of Quantum catalyst production procedure



浄した量子触媒を沈殿物として回収した。

#### 工程4：乾燥

洗浄した量子触媒を、コンベック乾燥器を用いて 105°C で乾燥し、ミルで粉体に粉碎した。少量の場合、自動乳鉢で 1分/g の処理時間で、元の酸化チタンの1次粒子と同程度の粒径の白色を呈する量子触媒の微粒子を得た。

得られた量子触媒物質中、前記第1物質である酸化チタンと前記第2物質である酸化シリコンの和に対する酸化シリコンの割合はレーザ定量分析法によって確認した。

#### b2. 量子触媒の特性

酸化チタンモル数に対する酸化シリコンのモル数を変化させ、第2物質の酸化シリコンを酸化チタン微粒子表面にエピタキシャル結晶成長させ複数の量子触媒を試作した。

この量子触媒の微粒子または酸化チタンST-01の各10 mgを、5 Lのテドラバッグに入れ、100重量ppm濃度に調整した測定対象ガス（アセトアルデヒドガス）を3 L注入し、照射強度1.0 mW/cm<sup>2</sup>の紫外線を照射し、45分経過後の残留ガス濃度をガス検知管（ガステック社製 No.92M）で測定した（以降、このガス濃度を、残留ガス濃度と呼ぶ）。測定結果から、光触媒活性の評価量として反応速度定数を求め、第1物質の反応速度定数で正規化した正規化反応速度定数を図2.8に示す。

量子触媒物質全体としての量は一定（10 mg）であった。紫外線光源として、東芝ライテック社製ブラックライト

FL40SBLB-Aを2本点灯し、コニカ・ミノルタ社製UV Radio Meter UM-10、受光部同社製UM-360を用いて照射面にて紫外線強度を測定した。

同一重量を用いて同一環境で残留ガス濃度を測定する場合、測定対象の光触媒物質に含まれる酸化チタン量は、第1物質の重量分少なくなる。また、第2物質の酸化シリコンは光触媒機能をほとんど発揮しないことが知られている。このような条件で、量子触媒の反応速度定数が第1物質の反応速度定数を上回ることで、すなわち、量子触媒の正規化反応速度定数が値1を上回るとは、これまで知られていなかった。これは、既述のごとく、第2物質から第1物質へ自由電子とホールとが効果的に注入され、これによって第1物質の表面から放出される自由電子とホールとの量が増大し、酸化チタンの有する光触媒作活性を上回る光触媒活性を獲得したものと考えられる。

図2.6に示したように、酸化シリコン含有率が変化すると、量子触媒の光触媒活性が敏感に変化することが見出された。具体的には、酸化チタン100モル部に対し、含有酸化シリコン2.3モル部で正規化反応速度定数1.86、含有酸化シリコン4.6モル部で正規化反応速度定数3.40、含有酸化シリコン9.3モル部で正規化反応速度定数1.75、含有酸化シリコン17.4モル部で正規化反応速度定数0.79、含有酸化シリコンモル部47.2で正規化反応速度定数0.28となった。

本試作例では、量子触媒物質中の酸化チタンの100モル部に対し、量子触媒物質中の酸化シリコンが4.6モル部前後で最大の正規化反応速度定数3.40が得られ、タイレックスが

合成されることが判明した。

量子触媒の実用化を成功させるには、理想的には5.0、少なくとも正規化反応速度定数が2.5を超える製造技術を確立することが必要である。先に述べたように、市販で良好な光触媒活性を示す酸化チタン ST-01 の反応速度定数を基準値1とする。正規化反応速度定数が1の光触媒は、紫外線照射時には十分強力な光触媒活性が得られる触媒であることが知られている。しかし、紫外線照射ない、室

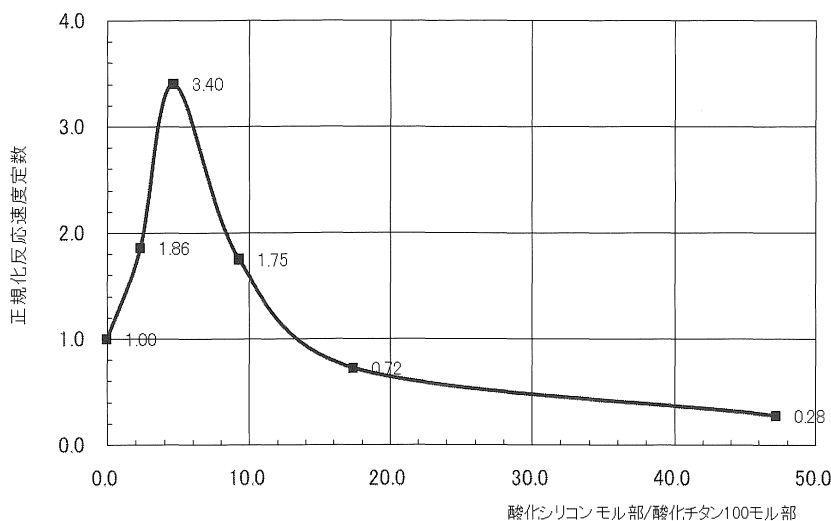


図 2.6 量子触媒の正規化反応速度定数特性

Fig.2.6 Quantum catalyst normalized reaction velocity characteristics

内光照射環境などでは光触媒活性は減衰し、紫外線照射も可視光照射もない遮光環境では光触媒活性は殆ど発現しない。紫外線照射時の光触媒活性を 1 とすると、室内光では 1/10 に、遮光状態では 1/1,000 に減衰すると言われていた。日常的に光触媒が使用される場面は、室内が主であり紫外線照射が殆ど無く、可視光照射が、さらに可視光すらない遮光環境であることに起因していた。

この欠点を補い十分な光触媒活性を体得させるには、最悪の遮光環境で、活性が光触媒の 1,000 倍、すなわち 2.5 の正規化反応速度定数を有することが量子触媒の必要最小条件となる。正規化反応速度定数が 2.5 を超える量子触媒は、酸化シリコンを 3~7 モル部とする領域で合成できるものと推定でき、遮光環境においても光触媒と同等以上の光触媒活性を有することが判明した。事実、酸化シリコン 4.6 モル部の量子触媒は、最大値 3.4 の正規化反応速度定数を有し、ガスパック法 2 時間値に換算して光触媒活性が  $10^{2(3.4-1)}=10^{4.8}$  倍の 6 万 3 千倍となっており、ユーザにとっては十分満足できる光触媒活性を提供できる触媒であると判断できる。

## 2.6 ケイ酸ソーダが量子触媒に及ぼす光触媒活性の影響

ケイ酸ソーダとして表 2.2 に示す種類と量のものを使用した以外は、b1.量子触媒の製造法に示す方法と同様にして得た光触媒物質を、b2. 量子触媒の特性に示す評価法と同様にして評価した。結果を表 2.2 に示す。

表中、第2物質原料名が空白の番号1は、比較基準のために用いた第1物質の酸化チタンに対する評価結果を示す。この残留ガス濃度で正規化した光触媒活性を、番号2~8に示す。

番号2~8における第2物質原料名は、酸化チタンスラリー作製に加えた、酸化シリコン・アルカリ金属化合物であるケイ酸ソーダの名称を示す。

番号2、3、4は、それぞれ、JIS規格JIS-1号、JIS-2号、JIS-3号に対応する愛知珪曹工業製のケイ酸ソーダ1号、2号B、3号を用いて製造した量子触媒の評価結果を示す。愛知珪曹工業製ケイ酸ソーダ3号を用いた正規化反応速度定数が 3.40であり、酸化チタンST-01の反応速度定数の3.40倍となった。

番号5は、JIS規格、JIS-3号に対応する東珪産業製の3号ケイ酸ソーダT2を用いて製造した量子触媒の評価結果を示す。番号4と5の結果を比較すると理解できるように、同じJIS規格のケイ酸ソーダJIS-3号でも、製造会社によって若干の性能の優劣が見られる。しかしながら、酸化チタンの100モル部に対し酸化シリコンが4.6モル部前後である量子触媒は、いずれのケイ酸ソーダを用いても、第1物質より優れた光触媒活性を有することが明らかになった。

したがって、試作例で用いた量子触媒の第2物質である酸化シリコンを第1物質の酸化チタン表面に析出させヘテロジャンクションを構成するとき、酸化シリコンで生じる自由電子とホールとがヘテロジャンクションを介して酸化チタンに注入され、酸化チタンの光触媒活性を増強する現象を証明できたものと考えられる。

表 2.2 アセトアルデヒドガスの分解除去能力評価  
Table 2.2 Quantum catalyst evaluation of decomposition acetaldehyde gas

資 料		アセトアルデヒドガス濃度 (重量 ppm)		正規化 反応速度 定数	
		含有酸化シリコン*	初 発 濃 度		残留濃度
1	-	0	1 0 0	3 3. 3	1. 0 0
2	愛知珪曹工業製・珪酸ソーダ 1 号 G	4. 6	1 0 0	7. 1	2. 4 0
3	愛知珪曹工業製・珪酸ソーダ 2 号 B	4. 6	1 0 0	1 0. 0	2. 1 0
4	愛知珪曹工業製・珪酸ソーダ 3 号	4. 6	1 0 0	2. 5	3. 4 0
5	東曹産業製・3号珪酸ソーダ T2	4. 6	1 0 0	8. 6	2. 2 3
6	愛知珪曹工業製・特殊水ガラス AK-1	4. 6	1 0 0	9. 8	2. 1 1
7	愛知珪曹工業製・特殊水ガラス AK-2	4. 6	1 0 0	8. 1	2. 2 9
8	愛知珪曹工業製・特殊水ガラス TT-1	4. 6	1 0 0	8. 1	2. 2 9

\*モル部/酸化チタン100モル部

量子触媒は、これらの実施例に示したように、光触媒活性を飛躍的に高めることができる。このため、アンモニア、トリメチルアミン等のアミン系、硫化水素等の硫黄系、有機酸、ホルムアルデヒド等のアルデヒド系、エステル系、芳香族系、炭化水素系等の臭気物質の分解除去能力をはじめ、環境汚染物質であるダイオキシン等に対する高い分解除去能力を有する。更に、抗菌・殺菌能力にも優れた能力を発揮し、水質汚染の元凶とも言えるアオコを水中で分解除去する。また、代表的な第1物質である酸化チタンと、代表的な第2物質である酸化シリコン等の組合せの場合には、人や動物、植物等のすべての生命体に悪影響を及ぼすことはなく安全な物質である。

### 3. 量子触媒の吸収スペクトル

量子触媒として、Phase3、Phase4、ならびに Phase4e の3種類の開発が完了している。なお現在、光触媒活性をさらに増強する Phase5、Phase6 を試作しており、遮光環境や太陽電池への適用を目指している。酸化シリコンを第2物質とする量子触媒 Phase4 は、窯業技術の一種である真空焼成した Phase4 と、液相結晶成長する Phase4e の2種が存在する。

真空中 750°C前後で真空焼成することでヘテロジャンクションを実現する Phase4 は、酸化チタンのアナターゼ・ルチル変異点近傍までの熱処理を施すため、光触媒性能の劣化が避けられず、正規化反応速度定数として 1.5 程度が上限値となっている。

一方、液相エピタキシャルでヘテロジャンクションを実現する Phase4e は、処理温度が室温程度でアナターゼ結晶構造は保存さ

れ、正規化反応速度定数が 4 を超える優れた性能を呈する。

図 2.7 に示すように、光触媒酸化チタンは 3.2eV 以上の光量子を吸収し光触媒活性を発現する。

エネルギー 3.4eV 以上、波長 360nm 以下の光量子は、いわゆる紫外線である。光触媒は 3.2eV 以上、波長 390nm 以下の可視光の一部紫色や紫外線で光触媒活性を発現することから、光触媒と称されるようになった。

第2物質として酸化第2鉄を用いたタイレックス3は、2.3eV 以上、波長 540nm 以下の光量子を吸収し、光触媒活性を発現する。2.3eV は黄緑色～緑色の可視光であり、タイレックス3は、可視光スペクトルのほぼ半域をカバーする。

量子触媒タイレックス Phase4 ならびに Phase4e は、

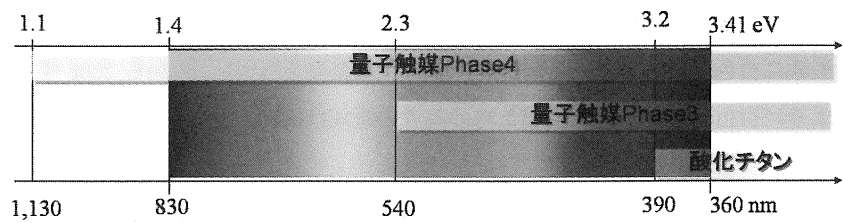
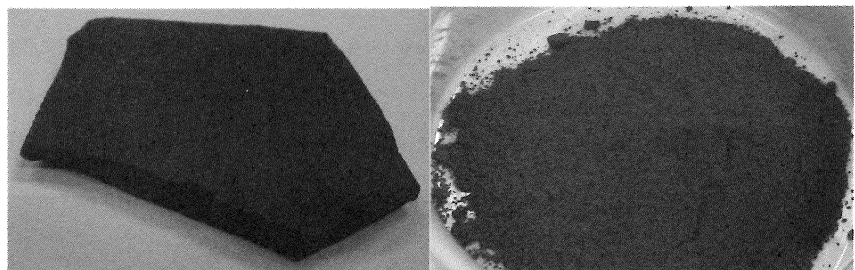


図 2.7 量子触媒ならびに光触媒のエネルギー吸収域

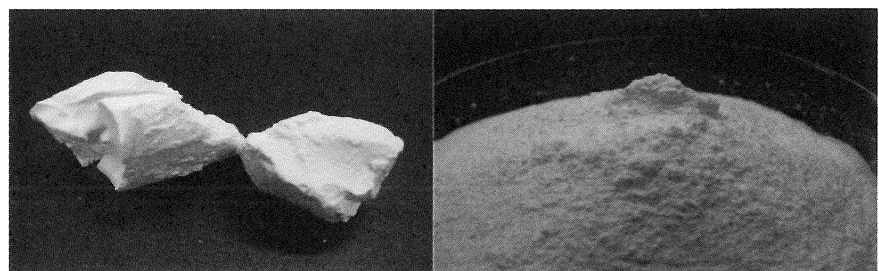


a.量子触媒タイレックス3焼成体

b.量子触媒タイレックス3粉体

図 2.8 量子触媒タイレックス Phase3 の概観

Fig.2.8 General view of phase-3 Tilex quantum catalyst



a.量子触媒タイレックス4バルク

b.量子触媒タイレックス4粉体

図 2.9 量子触媒タイレックス Phase4(真空焼成)の概観

Fig.2.9 General view of phase-4 Tilex, vacuum sintered quantum catalyst

1.1eV 以上、波長 1,130nm 以下の光量子を吸収し、光触媒活性を発現する。可視光と赤外線の境界は、1.4eV、波長 830nm であるので、1.1eV を吸収する量子触媒 Phase4 ならびに Phase4e は、赤外域のエネルギーを吸収し光触媒活性を発現するので、量子触媒と命名した。

図 2.8 は、窯業技術を応用して焼成したタイレックス 3 の外観を示している。同図 a は焼成体バルク、b は粉体を示す。焼成には、シャトル炉中で還元炎環境を選択的に使用した。

第 2 物質として酸化第 2 鉄を用いるタイレックス 3 は、酸化第 2 鉄のベンガラ色を呈す。

図 2.9(a)に、窯業技術を応用して真空焼成した量子触媒 Phase4 の外観を示す。焼成は、真空炉、750°C、24 時間実施した。図 2.9(b)は、液相エピタキシャル法で合成した量子触媒 Phase4e の粉体を示す。

第 1 物質の酸化チタンに加え第 2 物質の酸化シリコンも共に白色であるので、量子触媒 Phase4 は図に見られるように白色物質で、粉体にした時の両者の概観は区別し難い。

量子触媒 Phase4e は、水中の湿式反応で、酸化チタンに酸化シリコンを液相エピタキシャル成長させ製造するので、ヘテロジャンクションは室温となるが、量子触媒 Phase4 は 750°C で焼成してヘテロジャンクションを実現する。

量子触媒 Phase 4 e は常温で製造するため、光触媒用

酸化チタンの結晶構造がアナターゼ型からルチル型に変異する確率は低い。しかし、量子触媒 Phase4 のように、750°C で焼成すると酸化チタンはアナターゼ型からルチル型に変異する確率が高まり、光触媒活性が阻害されること場合がある。

4. 量子触媒の光触媒活性特性

真空焼成法した量子触媒 Phase 4 が紫外線照射時の光触媒活性が増強することを、2006 年夏に確認した。この光触媒活性を増強する現象は、量子触媒の動作原理の定性解析を可能にした現象でもあり、それ以降の量子触媒 Phase4e, Phase5, Phase6 の出現を示唆していた。

図 2.10 に、スラリー濃度、第 2 物質のモル比、イオン交換速度等の種々のパラメータを種々変化させ 2006 年から 2008 年末までに合成した量子触媒 Phase4e の 10 組ごとの各組における紫外線照射時の最大正規化反応速度定数のアンサンブル平均を示す。図中、世代 1~世代 10 は、アンサンブル平均を求めた 10 組の量子触媒を意味する。

量子触媒は遮光環境でも光触媒活性を発現するが、従来の光触媒は活性を呈しない。このため、正規化反応速度定数を求めるために、従来の光触媒が十分活性を発現する紫外線照射環境において、量子触媒と光触媒との活

性を測定し正規化反応速度定数を求めている。遮光環境や可視光照射環境における正規化反応速度定数は、紫外線照射時より大きくなる。

世代 0 は、第 1 物質である光触媒 ST-01 を黒色で、第 1~2 世代は 2006 年に開発した量子触媒 Phase4e を緑色で、第 3~10 世代は 2007 年~2008 年末に開発した量子触媒 Phase4e の正規化反応速度定数を青色で、

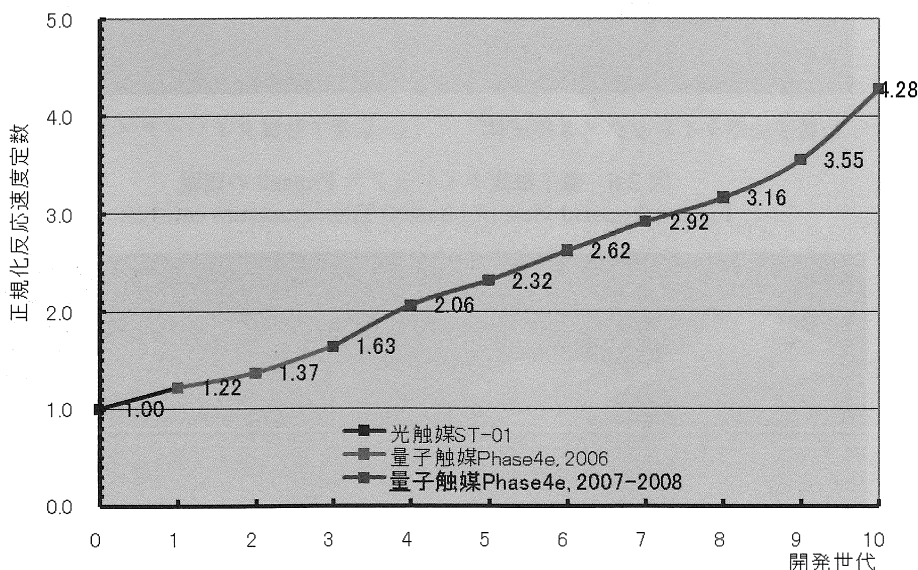


図 2.10 量子触媒 Phase4e の正規反応速度定数の達成履歴  
Fig.2.10 Normalized reaction velocity vita of Quantum catalyst, phase-4eTilex

それぞれ示している。

現存する光触媒のうち、白金担持型酸化チタン石原産業製 MPT-623 は、最大の正規化反応速度定数値 2.08 を実現している。白金担持型酸化チタン以外で正規化反応速度定数 1 を上回る光触媒は、NEDO と東京大学他の研究グループが、2008 年 10 月に合成に成功、2009 年 6 月に光触媒活性が 20 倍と新聞発表した酸化タングステンが記憶に新しい。このプレスリリース情報から酸化タングステンの正規化反応速度定数は 1.65 と算出でき、白金担持型酸化チタン MPT-623 に比べ光触媒活性に劣っている。

図 2.11 に、各種触媒の正規化反応速度定数をパラメータとした残留ガス濃度時間特性を示す。JIS ガスパック A 法に準拠し、窒素キャリアガスとする 100ppm アセトアルデヒドガス 3L を 5L テドラパックに封入し、 $1\text{mW}/\text{cm}^2$  のブラックライトを 2 時間照射した後の残留濃度が 1ppm となるように触媒質量を調整した。同図横軸は、経過時間、縦軸は残留ガス濃度を、対数スケールを表示している。

プレスリリース「光触媒活性で何倍」という記述は、暗黙のうち JIS ガスパック A 法 2 時間値で光触媒酸化チタン ST-01 の 1% 残留を基準とした残留ガス濃度比を表現することが一般的である。図 2.11 において、光触媒酸化チタン ST-01 の 2 時間経過時のアセトアルデヒドガス残留濃度 1% を基準とした時間特性を図示している。

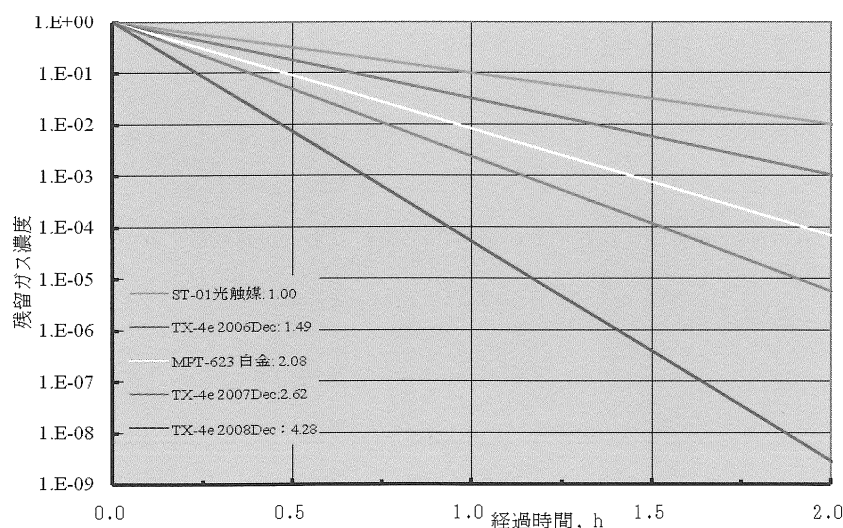


図 2.11 正規化反応速度定数をパラメータとした残留ガス濃度時間特性  
Fig.2.11 Acetaldehyde residual gas time characteristics, as taking normalized reaction velocity as parameters

正規化反応速度定数 2.08 の白金担持型酸化チタンの残留濃度は  $6.9210^{-5}$  となり、光触媒酸化チタン ST-01 の 145 倍の活性がある。

量子触媒 Phase4e の正規化反応速度定数は、2006 年末 1.49、2007 年末 2.62、2008 年末 4.28 と計測されている。したがって、光触媒酸化チタン ST-01 光に対する量子触媒 Phase4e の触媒活性は、2006 年末 10 倍、2007 年末 1,740 倍、2008 年末 363 万倍と改善されたことが明らかになる。図示していないが、光触媒活性 20 倍の酸化タングステンは、図中 2006 年末に合成された正規化反応速度定数 1.49 の量子触媒の活性に略等しい。

## 5. むすび

紫外光照射環境で体験できる優れた光触媒活性を、如何なる使用条件でも、如何なる使用環境でも、実現するためには、正規化反応速度定数 2.5 超の触媒が必要と考えられる。

量子触媒を除いた既存の光触媒活性物質として、白金と酸化チタンとのショットキーバリアを利用した正規化反応速度定数 2.08 の酸化チタン型の石原産業製 MPT-623 が広く知られている。しかし、2.08 の性能では、遮光環境で十分な光触媒活性を呈することはできない。非酸化チタン型として、酸化タングステン光触媒が NEDO、東京

大学が指導する研究グループが研究している。プレスリリースに依れば、2008 年 10 月、合成に成功、2009 年 6 月に 20 倍の光触媒活性が測定されたことが公表されている。このプレスリリース情報から酸化タングステンの正規化反応速度定数は 1.65 と推測でき、この酸化タングステン系光触媒は、既存の白金担持酸化チタン MPT623 より劣る光触媒活性を示している。タングステンも、白金も、共に資源枯渇問題を内在し、特に酸化タングステン光触媒は 1 グラム当たり 6,000 円と実用上問題も有して

いる。

一方、量子触媒 Phase4e は、地球に大量に存在する酸化チタンと酸化シリコンから合成する経済的な安心安全な物質である。白金やタングステンなどのレアメタルを用いないため、資源枯渇や高価格問題は発生しない。また、正規化反応速度定数 2.5 を上回る性能は、可視光環境のみならず、遮光環境でも、十分な光触媒活性を発現するものであり、利用領域と適用目的が無限に拡大する。今秋にもパンデミックが心配される新型インフルエンザを防止する経済的な抗菌・除菌マスク等の提供や、癌治療の新しい手法を可能とする。

さらに、効果的な自由電子とホール移送メカニズムは、太陽電池の発電効率を画期的に改善する可能性を秘め、新しいエネルギーの供給源となるものと期待される。

謝辞

量子触媒の研究開発に終始ご指導頂いた総合技術研究所大根義男元所長、架谷昌信現所長に謝意を表します。

参考文献

1. 特許、非晶質の複合酸化物微粒子とその製造方法及び製造装置、特願 2003-334685、出願 2003 年 9 月 26 日
2. 平成 15 年度新技術に関するデータ補完、科学技術振興機構、高密度高機能通信空間の構築技術
3. 特許、光触媒物質およびその製造方法、特願 2006-310651、出願 2006 年 11 月 16 日
4. 平成 20 年度農商工等連携対策支援補助（連携体構築支援事業）、経済産業省中部産業局、次世代型環境浄化触媒と燃料改質装置を活用した安心・安全かつ低炭素化を目指した農業経営の構築