

iTP ホーン超臨界合成システムの装置化研究 —その1—

Development of the iTP-horn Supercritical Dispersion System for Quantum Catalyst Synthesis —Part 1—

岸 政七[†], 増渕伸一[‡]
Masahichi Kishi[†], Shinichi Masubuchi[‡]

Abstract Ultrasonic supercritical dispersion has been discussed to put the Quantum catalyst on development stage with emphasizing both on the iTP ultrasonic horn and the mounting vessel. It has been successfully examined by the iTP-horn mounted into the prototype supercritical dispersion vessel that the Quantum catalyst is synthesized to achieve more than 1.8 million times photo-catalytic effect that of the most effective existing 7nmφ titanium dioxide photo catalyst in one hour ultraviolet irradiation environment of 1mm/cm² watt strength.

1. はじめに

光触媒効果は、炭化ケイ素、ガリウム燐、酸化ジルコニウム、酸化タンタル、カドニウムセレン、酸化亜鉛、酸化ニオブ、酸化タンゲステン、燐酸銀、酸化チタン、酸化ハフニウムなどの幾多の物質が発現することが知られている。これらの光触媒物質は、光エネルギーを吸収し、電子とホールを、物質外に放出する現象を応用する光電素子としても、古くから身近で活躍している。特に、藤島昭東京大学特別荣誉教授（現東京理科大学学長）が発見した酸化チタンの光触媒効果は強力であり、応用研究や実用化が進展している¹。

酸化チタン粒子表面に酸化シリコンなどの第2物質を担持して光触媒効果を改善する量子触媒は、第2物質から酸化チタンの導電帯へ自由電子を、価電子帯へホールを潤沢に供給するように工夫した物質であり、紫外線照射環境はじめ、可視光照射環境、さらには遮光環境のいずれの環境においても光触媒効果を発現する^{2,3}。

量子触媒は酸化チタン光触媒の優れた特性を継承するに止まらず、数百倍に改善した光触媒効果は、適用領域

を、紫外線照射～可視光照射～量子線照射域へと拡大する⁴。

可視光も届かない遮光環境でも量子線は照射されており、量子触媒は遮光環境の地中の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。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、水質浄化など水資源確保に大きく寄与する^{5,6}。

低レベル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は、光電変換効率を改善でき高効率なソーラーセルの実現に寄与する⁷。さらに、夜間でも降り注ぐ量子線エネルギーを吸収し夜間発電可能な夢の第5世代ソーラーセルの出現を示唆している^{8,9}。

2. 超臨界分散システムの定量評価

周知のように、光触媒物質の比表面積が大なるほど、光触媒効果は大となる。第1物質に7nmφのアナターゼ酸化チタンを用いる場合、凝集を防ぎ1次粒子までに分散することが重要な課題となる。かかる観点から、合成する量子触媒の光触媒効果で評価することで、核技術のiTPチップの評価と分散システムの評価を定量的に議論

[†] 愛知工業大学 総合技術研究所（愛知県豊田市）

[‡] 株式会社ソニックテクノロジー（埼玉県三郷市）

する。さらに光触媒効果から導き出される光触媒物質の普遍量と位置付けられる反応速度比を議論する。

2.1 反応速度比と光触媒効果倍数の定義

ガスパック A 法に準拠し初発ガス濃度に対する残留ガス濃度の比で、光触媒効果を測定する。すなわち、100 重量 ppm 程度の窒素キャリアガスとするアセトアルデヒドガスの標準試験ガス 3L を、紫外線を透過する 5L 容量のバッグに対象光触媒物質と共に封入し、1mW/cm² 強度の紫外線を時間 T 照射したアセトアルデヒドガス残留濃度と、初発ガス濃度の比、すなわち残留ガス濃度比を光触媒効果 r_i とする。

初発ガス濃度 W_0 の T 時間後のガス濃度 $W_i(T)$ は、式 2.1 で与えられる。

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

ここに、

α はガス量、気圧、温度、触媒量、照射エネルギーなど実験システム固有な定数

k_i は、光触媒物質 i の反応速度定数

初発ガス濃度 W_0 ならびに T 時間経過後の残留ガス濃度 $W_i(T)$ を用いて、光触媒物質 i の光触媒効果 r_i を次に与える。

$$r_i(T) = \frac{W_i(T)}{W_0} \quad (2.2)$$

反応速度定数 k_i は、式 2.1 を初発濃度 W_0 で正規化し、両辺の対数を採れば次のように求まる。

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

式 2.2 と 2.3 が示すように、光触媒効果 $r_i(T)$ も反応速度定数 $k_i(T)$ も、測定時間 T の関数となる。さらに、反応速度定数 $k_i(T)$ は、システム定数 α を変数に含む。システム条件や、観測時間を変数に含む光触媒効果や反応速度定数は、実験を複数回繰り返して測定した結果を統計処理しても、正確に求めることは難しい。

このため、光触媒効果や反応速度定数に変え、光触媒効果倍数や反応速度定数比を定義する。

光触媒効果倍数 $\hat{r}_i(T)$ を文字通り、基準とする光触媒物質 s の光触媒効果 $r_s(T)$ と、光触媒物質 i の光触媒効果 $r_i(T)$ との比で定義する。

$$\hat{r}_i(T) = \frac{r_s(T)}{r_i(T)} = \frac{W_s(T)}{W_i(T)} \quad (2.4)$$

また、反応速度比 $\hat{k}_i(T)$ を同様に、光触媒物質 i の反応速度定数 k_i と基準光触媒物質 s の反応速度定数 k_s の比として、式 2.5 に定義する。

$$\hat{k}_i(T) = \frac{k_i(T)}{k_s(T)} \quad (2.5)$$

式 2.3 を代入すれば、反応速度比 $\hat{k}_i(T)$ は、次に変形できる。

$$\hat{k}_i(T) = \frac{\frac{1}{\alpha T} \ln \left\{ \frac{W_i(T)}{W_0} \right\}}{\frac{1}{\alpha T} \ln \left\{ \frac{W_s(T)}{W_0} \right\}} = \frac{\ln \{W_i(T)\} - \ln \{W_0\}}{\ln \{W_s(T)\} - \ln \{W_0\}} \quad (2.6)$$

続いて、式 2.6 の最終右辺の残留ガス濃度式 2.1 を代入すれば、

$$\hat{k}_i = \frac{\ln \{W_0\} - \alpha k_i T - \ln \{W_0\}}{\ln \{W_0\} - \alpha k_s T - \ln \{W_0\}} = \frac{k_i}{k_s} \quad (2.7)$$

反応速度比 \hat{k}_i は、照射時間 T に独立な量として与えられる。以降、反応速度比は照射時間に独立な値であることから、式 2.7 のように変数 (T) の記述を省略する。

光触媒物質 i と基準光触媒物質 s のガスパック試験を、光触媒物質のシステム定数を互いに等しく設定して、同時に実施する時に得られる光触媒効果の対数の比で与えられる。

2.2 反応速度比と光触媒効果倍数の関係

・光触媒効果倍数

新聞記事などで「光触媒の何倍の効果の新しい触媒物質を開発した」とのセンセーショナルな報道に接することが多々あるが、何時間照射した結果であるとの記載が無いことをしばしば経験する。

ここで、光触媒効果が何倍であるかを具体例について考えてみよう。例えば、照射時間 T が 2 時間の場合には、基準光触媒物質の残留ガス濃度比が 1% (0.01)、報道物質の残留ガス濃度比が 0.01% (0.0001) であり、照射時間 T が 1 時間の場合には基準物質の残留ガス濃度比は 10% (0.1)、報道物質の残留ガス濃度比は 1% (0.01) であったが、報道では照射時間 T が記載されていなかったものとする。

照射時間 T を 2 時間と仮定する場合、報道物質の光触媒効果倍は、式 2.4 から 100 倍であることが知れる。

$$\hat{r}_{\text{報道物質}}(2) = \frac{W_s(2)}{W_{\text{報道物質}}(2)} = \frac{0.01}{0.0001} = 100 \quad (2.7)$$

一方、照射時間 T を 1 時間と仮定する場合、報道物質の光触媒効果倍数は、次のように 10 倍となる。

$$\hat{r}_{\text{報道物質}}(1) = \frac{W_s(1)}{W_{\text{報道物質}}(1)} = \frac{0.1}{0.01} = 10 \quad (2.8)$$

光触媒効果倍が照射時間 T の関数に依存する量であるにもかかわらず、照射時間 T が未定義であることは大きな問題である。報道物質の光触媒効果が 100 倍なのか、あるいは 10 倍なのか定かに定まらない。同一光触媒物質の光触媒効果倍数が 10 倍も異なっているかの感を与え混乱を齎す恐れがあり、経過時間の明記が重要である。

・反応速度比

一方、反応速度比は照射時間に関係なく物質の特性で定まる。具体的に、報道物質の反応速度比が、照射時間に独立であることを確かめる。

照射時間 2 時間の反応速度比は、次のように 2 である。

$$\hat{k}_{\text{報道物質}} = \frac{\log(0.0001)}{\log(0.01)} = \frac{-4}{-2} = 2 \quad (2.9)$$

また報道物質の反応速度比は、照射時間が 1 時間の場合でも、次のように、値の 2 となる。

$$\widehat{k}_{報道物質} = \frac{\log(0.01)}{\log(0.1)} = \frac{-2}{-1} = 2 \quad (2.10)$$

反応速度比 \widehat{k}_i は、光触媒効果倍数 $\widehat{r}_i(T)$ とは異なり、経過時間に関与しない普遍的な量、すなわち光触媒物質の一種の固有値と言える。

一方、光触媒効果倍数は、直観的に判り易い量であり、使用されることが多いが、照射時間の明記が必須となる。

・反応速度比と光触媒効果倍数

反応速度比 \widehat{k}_i は、式 2.6 に示すように残留ガス濃度比の対数の比で定義され、対数の基底値に関与する事なく反応速度比 \widehat{k}_i は一意に定まるので、日常的に慣れている常用対数を用いることとする。また、基準光触媒物質 s としては、入手しやすい石原産業製アナターゼ酸化チタン ST-01 を用いるものとする。

式 2.6 の反応速度比 \widehat{k}_i は、次のように表現できる。

$$\widehat{k}_i = \frac{\log\left\{\frac{W_i(T)}{W_o}\right\}}{\log\left\{\frac{W_s(T)}{W_o}\right\}} \quad (2.11)$$

定義式 2.4 に従い、残留ガス濃度 $W_i(T)$ を光触媒効果倍数 $\widehat{r}_i(T)$ と $W_s(T)$ で書き直せば、反応速度比 \widehat{k}_i は次に変形できる。

$$\begin{aligned} \widehat{k}_i &= \frac{\log\left\{\frac{W_s(T)}{\widehat{r}_i(T)W_o}\right\}}{\log\left\{\frac{W_s(T)}{W_o}\right\}} = \frac{\log\left\{\frac{W_s(T)}{W_o}\right\} - \log\{\widehat{r}_i(T)\}}{\log\left\{\frac{W_s(T)}{W_o}\right\}} \\ &= 1 - \frac{\log\{\widehat{r}_i(T)\}}{\log\left\{\frac{W_s(T)}{W_o}\right\}} \end{aligned} \quad (2.12)$$

式 2.12 に示すように、基準時間 T だけ照射した場合の基準光触媒物質の残留ガス濃度比 $\frac{W_s(T)}{W_o}$ 、光触媒効果倍数 $\widehat{r}_i(T)$ と反応速度比 \widehat{k}_i は、一意に定まる。この関係から、光触媒効果倍数 $\widehat{r}_i(T)$ は、反応速度比 \widehat{k}_i で、次に与えられる。

$$\widehat{r}_i(T) = \left\{\frac{W_s(T)}{W_o}\right\}^{(1-\widehat{k}_i)} \quad (2.13)$$

2010 年、東京大学と NEDO が世界最高の光触媒効果を有する酸化タングステンの開発に成功し、その光触媒効果は 16 倍であると報道された。この酸化タングステンの反応速度比 \widehat{k}_w を求める。

基準光触媒物質 ST-01 の 残留ガス濃度比 $\frac{W_w(1)}{W_o} = 0.01$ 、

光触媒効果倍数 $\widehat{r}_w(1) = 16$ を、それぞれ式 2.12 の最終右辺に代入すれば、酸化タングステンの反応速度比 \widehat{k}_w は、次のように 1.60 と求まる。

$$\begin{aligned} \widehat{k}_w &= 1 - \frac{\log\{\widehat{r}_w(1)\}}{\log\left\{\frac{W_s(1)}{W_o}\right\}} = 1 - \frac{\log(16)}{\log(0.01)} \\ &= 1 + \frac{1.204}{2} = 1.60 \end{aligned} \quad (2.14)$$

同様に、市販触媒の石原産業の白金担酸化チタン MPT-623 の光触媒効果倍数 $\widehat{r}_p(1) = 145$ 倍であり、反応

速度比 \widehat{k}_p は、2.08 となる。

$$\widehat{k}_p = 1 - \frac{\log\{\widehat{r}_p(1)\}}{\log\left\{\frac{W_s(1)}{W_o}\right\}} = 1 + \frac{\log(145)}{2} = 2.08 \quad (2.15)$$

式 2.12~2.15 に示したように、照射時間 T を明確に表示する場合、光触媒効果倍数と反応速度比の関係が一意に定まる。

2.3 量子触媒の光触媒効果

タングステンあるいは白金を用いて世界最高水準の光触媒が実現されており、それらの紫外線照射 1 時間の光触媒効果倍数は 16 あるいは 145 倍であり、反応速度比は 1.6 あるいは 2.08 である。タングステンあるいは白金を用いる光触媒は、経済性や資源枯渇問題を内在し、さらに資源埋蔵地域の偏在から希土類の二の轍を踏む恐れがあり使用を避けることが望ましい。一方、9 番目に多い地殻構成元素のチタンを主成分とする酸化チタン光触媒と量子触媒は、資源供給や資源枯渇問題は殆ど無い。

図 2.1 に量子触媒 TX 5Gn の合成例について、ガスバック A 法に準拠して求めた反応速度比 \widehat{k}_T を示す。この合成例では、第 1 物質の粒径 7nm のアナターゼ酸化チタン石原産業製 S T-01 に、本研究の核技術である iTP チップを装着した超臨界分散装置で 5 価物質を担持した n 型量子触媒である。3 価物質を担持合成する p 型量子触媒は別途報告するものとして、本報告では n 型量子触媒に限定して議論を進める。

図 2.1 の横軸は、量子触媒の合成時間を、縦軸は反応速度比 \widehat{k}_T を表す。なお、合成時間の単位として、モル当たりの分を使用している。図中、青曲線は反応速度比 \widehat{k}_T の最大 champion data 値を、紫曲線は平均 average 値を、赤曲線は最小 bottom 値を表す。量子触媒の反応速度比 \widehat{k}_T は、合成時間 3 分/モルまで合成時間に関して単調に増加し、その後減少する傾向を示す。

合成時間 3 分/モルの量子触媒 TX 5Gn の反応速度比 \widehat{k}_T は、最大 4.13、平均 3.29、最小 3.09 であり、照射時間 1 時間の光触媒効果倍数 $\widehat{r}_T(T=1)$ は、champ 値 182 万倍、average 値 3 万 8 千倍、bottom 値 1 万 5 千倍である。既存の酸化タングステン光触媒に対する光触媒効果倍数は、champ 値 11 万 4 千倍、average 値 2 千 4 百倍、bottom

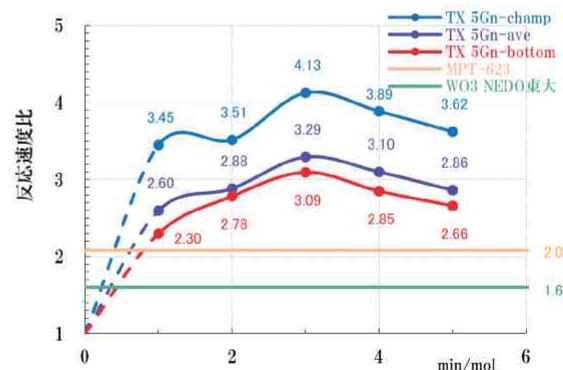


図 2.1 量子触媒 TX5Gn 反応速度比 vs. 合成時間
Fig.2.1 Quantum catalysis TX 5Gn reaction velocity ratio \widehat{k}_i vs. synthesizing time by minute/mol

値 955 倍と、十分強力な光触媒効果を発現している。

瞬間風速ではあるが、反応速度比 4.13 の量子触媒 TX 5Gn は「夜間発電可能」な「夢の太陽電池」の出現を示唆する。夜間発電可能な第 5 世代太陽電池を実現するために必須な反応速度比 5 の達成は重要な課題であり、反応速度比 5 の量子触媒を合成することを目標に、合成に必要な iTP チップ超臨界分散システムを開発する。

3. iTP 超臨界分散システム

量子触媒の合成プロセス概要を図 3.1 に示す¹⁰。第 1 物質には入手が容易で高い光触媒効果を発現する粒径 7nm の酸化チタン光触媒 ST-01 を用いる。粒径 7nm の酸化チタン微粒子の凝集力は強く、高次凝集体を成す。高次凝集体に第 2 物質を担持すれば量子触媒の粒径が大きくなり、換言すれば比表面積が小さくなり、引いては比表面積に比例する光触媒効果が低減する。優れた量子触媒を合成するために、水などの溶液中で効果的に分散した酸化チタンスラリーを調整することがキーテクノロジーとなる。

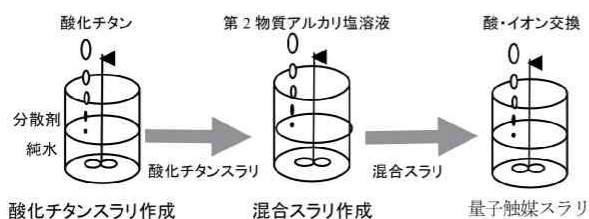


図 3.1 量子触媒の合成プロセス概要
Fig.3.1 General flow of the Quantum catalyst synthesis

マイクロオーダーの微粒子の分散は、主に破碎・分散のカテゴリに属し、粒子そのものの破碎効果に負うところが多いが、ビーズミルなどの機械的破碎力が有効に機能する。サブマイクロオーダーの微粒子分散には、超音波を照射しながら機械的破碎力を活用する手段が有効である。

しかし、7nmφ 程のナノオーダーの微粒子には、機械的破碎力の分散は機能せず、超臨界場などのソフト分散力を用いた酸化チタンスラリー調整技術が重要となる^{11~14}。

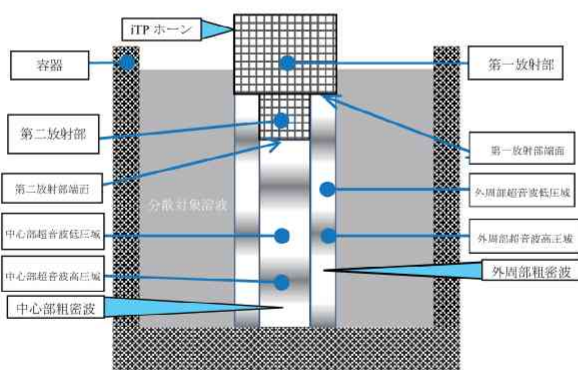


図 3.2 iTP ホーン超臨界分散の概念図
Fig.3.2 Schematic view concept of the supercritical dispersing equipment via the iTP-horn

3.1 iTP 超臨界分散システムの基盤技術

iTP ホーン超音波振動子で水溶液へ超音波を放射すると、図 3.2 に模式的に示す超臨界場が生じる。超音波は放射ホーン端面から垂直方向に放射され、超音波 λ の半分 $\lambda/2$ ピッチの疎密状態を呈する準定在波（以降、粗密波と略称する）が生じる。iTP ホーン端面が同心 2 重円状で、外側の第 1 端面と内側の第 2 端面から放射される 2 本のコヒーレントな粗密波の位相が互いに $\pi/4$ radian 異なる場合、疎密波は互いに最大の密度差で接する。

この結果、互いに $\pi/4$ radian 異なるコヒーレントな粗密波の境界面で超音波照射方向とほぼ垂直方向に生じる圧力でパラメトリック振動を誘起し、立体的な超臨界場を発生する^{15~18}。

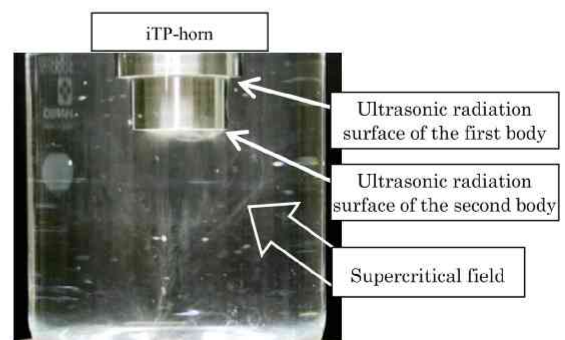


図 3.3 iTP ホーン生成超臨界場
Fig.3.3 Supercritical field yielded with the iTP-horn

図 3.3 の写真は、iTP ホーンを用いて超音波をピーカーの水に放射したときに生じる超臨界場を示す。iTP ホーンから生じる超臨界場は、第 2 放射部端面の周辺から球状の 3 次的に広がり、容器中央下部において収束するように分布する。超臨界場が 2 本のコヒーレント粗密波の界面近傍で密に生じている。また、iTP チップの第 1 放射部と第 2 放射部との間隔、すなわち駆動超音波長 λ の 4 半長 $\lambda/4$ の場合、球状の超臨界場のピーカー深さ方向のデメンションが約 2 倍の半波長 $\lambda/2$ になっていることから、粗密波間のパラメトリック振動の存在を確認できる。

3.2 iTP 超臨界分散ベッセル

iTP ホーンは、複数の位相の異なるコヒーレント超音波を放射し、超音波間でパラメトリック振動を発生させるメカニズムに基づき、立体的な大容量の超臨界場を生じることが特徴となっている。

超臨界場では、溶液の水が液体と気体の臨界状態となり、微粒子の強力な凝集力に勝る分散力が発揮され、効率良く分散できる。iTP ホーンは、立体的な大容量の超臨界場を実現する基盤技術を提供するものである。図 3.4 に示すベッセルを試作し、コヒーレント粗密波とパラメトリック振動を制御して分散力を最大化する条件を明らかにして、反応速度比 5 の量子触媒を合成する超臨界システム装置を開発する。超臨界システム設計では、合成

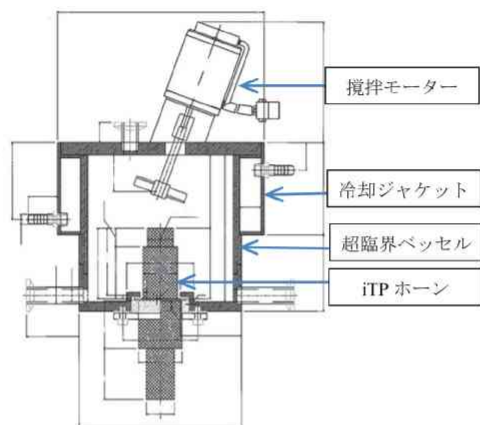


図 3.4 iTP ホーン超臨界分散ベッセルの概要

Fig.3.4 Schematic view concept of the supercritical dispersing vessel with the iTP-horn

する量子触媒の反応速度比を評価し、分散能力の定量評価を実施する。

図 3.5 左の写真は、iTP ホーンの試作ベッセル装填状態を示す俯瞰図である。試作ベッセル底面に設置した3段円筒構造体が iTP ホーンであり、最上段が第2放射部、中段が第1放射部、最下段は iTP ホーン支持体である。

図 3.5 右の写真は、図 3.5 左の試作ベッセルに水を満たし 100w の超音波を放射した場合の試作ベッセル内の俯瞰図を示す。図 3.5 左に示すように超臨界場が存在しない場合には、iTP ホーンと支持体の円筒体構造が同心円状構造を成していることが観測できる。図 3.5 右の超臨界場を発生させた場合には、iTP ホーン各段の円筒体構造が大きく歪み、端面が円形に観えない。さらに、歪みが各段で異なり、同心円構造であるとは言い難い状態に観える。溶液密度が超臨界場で異なり、光の屈折率が変化することで透過する光が均一で無くなり、粗密波の境界近傍で屈折が発生したためと考えられる。

従来の平坦ホーンが発生する細い線状の超臨界場とは異なり、iTP ホーンは立体的に分布する超臨界場を発生する。この立体的に分布する超臨界場は、iTP ホーンが放射する2種のコヒーレント粗密波の圧力差がパラメトリック振動を発生させていることに起因する。

主要成分の粗密波を、ベッセル内で共振させ、準定在波を発生させることで、さらなる超臨界場の分布を拡大させることが可能となる。図 3.3 に示す深さ方向反波長 $\lambda/2$



図 3.5 ベッセルに装填した iTP ホーン(左)と超臨界生成中の iTP ホーン(右)俯瞰図

Fig.3.5 Bird's-eye view of the iTP-horn loaded into the vessel (left), and that of in the generated supercritical field (right)

で収束している超臨界場を繰り返し生成させ、ベッセル全深度において球状部分と同様な分布を成すように工夫し、さらなる分散能力を改良する。

4. むすび

市販されている光触媒物質はじめ開発が報告されている光触媒活性物質は多種存在する。白金と酸化チタンのショットキーバリアを利用した白金担持酸化チタン、石原産業製 MPT-623 は、2.08 と大きな反応速度比を実現している。また、NEDO と東大は、平成 20 年 10 月に酸化チタンに変え酸化タングステンをを用いた反応速度比 1.60 の優れた光触媒の開発に成功している。しかし、白金やタングステンなどは資源枯渇問題を含み、さらに産出地域が狭く希土類の需給逼迫や供給危機の二の轍になる恐れがある。

量子触媒は、資源枯渇や供給危機の恐れを回避できる地殻構成の第 8 番目に多いチタンを主原料とした安心安全な物質である。

紫外線照射時は、既存の光触媒に対して光触媒効果倍数だけ強い光触媒機能を発現する。さらに、可視光しか届かない水中でも、可視光や紫外線照射が無い遮光環境でも到来する量子線や熱線を受けて、量子触媒は光触媒活性を発現することができ、その利用目的と適用領域は格段に広がる。将来、パンデミックが心配される新型インフルエンザの防止に有効な経済的な抗菌・除菌マスクの実現に機能する。紫外線が到来しない、さらに可視光も大幅に減衰する体内深部においても、量子線だけで光触媒活性を発現する量子触媒は、癌細胞を破壊し安全安心な癌治療法を提供できる。

さらに、反応速度比 5、すなわち 1 億倍の光触媒効果を発現する量子触媒は、遮光環境で既存酸化チタン光触媒と同等の活性を発現し、夜間でも十分な電力を発生する夢の第 5 世代太陽電池実現を可能とする。

現在までに合成に成功している光触媒効果 182 万倍の量子触媒を、さらに 55 倍改善するのは、到達可能な目標である。反応速度比 5 の量子触媒は、刷毛塗で発電効率を極限 75%の夢の第 5 世代太陽電池を実現し、再生可能エネルギーの提供源として低炭素社会構築に大きく寄与するものとなる。

謝辞

量子触媒に関する研究遂行中 2003 年～2014 年に渡り、継続して愛知工業大学プロジェクト共同研究を実施していただき多大なご援助頂いた本学総合技術研究所の歴代の所長・故大根義男教授、架谷昌信教授、澤木信彦教授に謝意を表します。

さらに、本学プロジェクト共同研究を実施するに当たり、ご指導頂いた経産省中部産業局、中小企業基盤整備機構はじめ公的研究機関、ならびに共同研究体制を構築

支援頂いた おぼろタオル(株)、日本パーミル(株)、高規電器(株)、東レ ACE (株)、大有コンクリート工業(株)、東亜合成(株)、井上製作所(株)、タイレックス工業(株)はじめ多くの企業関係各位にお礼申し上げます。

文献

- (1) 例えば、神奈川技術アカデミー光触媒オープンラボ(責任者: 藤島昭)、光触媒技術情報 No.80, 平成 25 年 2 月 20 日
- (2) 大根義男、岸政七、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, 26 Sep. 2003, 特許登録 4515736, 21 May 2010
- (3) 大根義男、岸政七、光触媒物資およびその製造方法、特願 2006-310651, 16 Nov. 2006
- (4) 岸政七、量子触媒タイレックスとその特性、愛知工業大学総合技術研究所研究報告, No.11, pp.113-126, Sep. 2009
- (5) 西正昭、岸政七、遮光環境における自己浄化機能を有する構造物の開発、愛工大総研・研究報告、No.12、pp.125-128、Sep. 2010
- (6) 津田博洋、岸政七、環境触媒「タイレックス」の溶液化と環境浄化製品への適用研究、愛工大総研・研究報告、No.12、pp.111-117、2010 年 9 月
- (7) 伊名田剛司、松村直巳、奥田孝雄、岸政七、第 3 世代太陽電池の改良に関する研究開発、愛工大総研・研究報告、No.12、pp.119-124、Sep. 2010
- (8) 岸政七、量子触媒の特性とその実用化、神奈川科学技術アカデミー 光触媒オープンラボ(責任者: 藤島昭) 光触媒技術情報 No.80, PP. 667-674、Feb. 2013
- (9) 岸政七、量子触媒の特性とその実用化、愛工大総研・研究報告 Vol.14, PP.105-112, 平成 24 年 9 月
- (10) 岸政七、量子触媒物資およびその製造方法、特許出願 特願 2011-177434, 出願 15 Aug. 2011、特許公開 公開 2013-039522, 公開平成 25 年 2 月 28 日
- (11) 三留秀人、音響キャビテーションの生成とその利用について、日本機械学会誌 Vol.111, No.1074, PP.32-35, May 2005
- (12) 佐藤仁俊、超音波照射による酸化チタンナノ粒子の液中分散・凝集挙動制御、(独) 物資・材料研究機構 ナノセラミックスセンタープラズマプロセスグループ
- (13) 長嶋順一、市来克己、岸政七、強凝集微粒子の分散技術と量子触媒合成装置の開発、愛工大総研・研究報告、No.12, pp.101-109, Sep. 2010
- (14) 岸政七、長嶋順一、市来克己、強凝集微粒子ゾルの分散技術と量子触媒合成装置の開発に関する研究、愛工大総研・研究報告、No.13, pp.63-69, Sep. 2011
- (15) 岸政七、増渕伸一、超音波振動子ユニット、超音波振動子ユニットを有する分散装置及びこの分散装置を用いた分散方法、特許出願 特願 2012-266631, 平成 24 年 12 月 5 日
- (16) 岸政七、量子触媒の特性とその実用化、愛知工業大学総合技術研究所研究報告、第 14 号、Vol.14, PP.105-112, Sep.2012
- (17) 岸政七、増渕伸一、超音波振動子ユニット、超音波振動子ユニットを有する分散装置及びこの分散装置を用いた分散方法、特許出願 特願 2013-126593、平成 25 年 6 月 17 日
- (18) 岸政七、増渕伸一、超音波振動子ユニット、超音波振動子ユニットを有する分散装置及びこの分散装置を用いた分散方法、特許出願 PCT/JP2013/082615、平成 25 年 12 月 24 日