

光エネルギーによる物質変換技術に革新を！ 過剰な電子を含む酸化チタン光触媒

国際環境工学部 エネルギー循環化学科 准教授 天野 史章

1. 研究背景

人類が直面する環境・エネルギー問題を解決する低炭素社会を実現するうえで、太陽光エネルギーの変換・貯蔵技術の開発が最大の課題です。その本命中の本命が、半導体光触媒による水分解技術です。太陽電池と同様に、半導体光触媒が紫外光や可視光を吸収すると、励起電子(e^-)と正孔(h^+)といった電荷が空間的に離れた状態が生成します(図1)。この電荷分離状態は、いろいろな化学反応(酸化還元反応)を起こすことができます。例えば、植物が光合成で水から酸素をつくって二酸化炭素の還元反応から有機物をつくるように、水から酸素をつくる($H_2O + 2h^+ \rightarrow 1/2O_2 + 2H^+$)と同時に水素イオンの還元反応で水素をつくる($2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$)ことができます。再生可能エネルギーである太陽光と、循環型資源の水さえあれば燃料となる水素を作ることができ、光エネルギーを貯蔵・運搬が可能な化学物質に変換したことになります。使いたいときに使いたい場所で再生可能エネルギーを使うことができるため、燃料電池を基盤とした低炭素社会を実現できると期待されています。しかし、光の利用効率の面で光触媒技術にはまだまだ課題が多く、これからの研究開発が重要です。

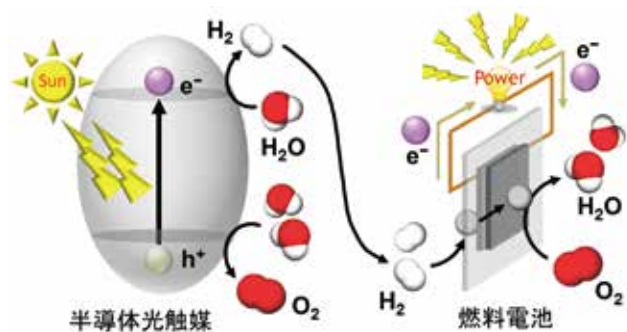


図1 半導体光触媒を用いた太陽光水分解による水素製造($H_2O \rightarrow H_2 + 1/2O_2$)と、燃料電池を用いた水素循環型社会の構築

2. 酸化チタン光触媒の高性能化

北九州市立大学では、古くからよく知られた光触媒材料である酸化チタン(TiO_2)について、従来からの「常識」にとらわれない新規手法によって高活性化・高効率化することに成功しました。光触媒を高温焼成した場合の失活機構の研究をヒントとして、水素還元処理という新しい活性化手法を開発しました(図2)。水素雰囲気中で熱処理すると、酸素欠陥(V_o)と水の生成に伴って伝導電子や3価のチタン種(Ti^{3+})が生成するため、 TiO_2 粉末が灰色に着色します。過剰な電子が TiO_2 粒子中に蓄積することで、電子伝導性が向上するとともに、粒子表面に空間電荷層の電位勾配(バンドの曲がり)が形成します。この二つの効果によって、励起電子と正孔の電

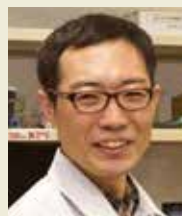
荷分離が促進され、光触媒活性が大きく向上することがわかりました。この水素処理の手法によって、低活性で知られる低比表面積のルチル型 TiO_2 粒子を高活性化できるようになり、金属ドーパ型 TiO_2 などの可視光応答性光触媒や半導体電極へ応用展開が可能となりました。

比較的長い TiO_2 の研究の歴史のなかで、高比表面積かつ高結晶性の光触媒がよいと考えられてきました。これに対して、低比表面積のルチル型 TiO_2 にあえて結晶欠陥を導入することで、通常の TiO_2 粉末では電子密度が低く粒子径も小さいために形成させることが困難であったバンド曲がり形成させ、励起電子と正孔の電荷分離を促進させることに成功しました。低炭素社会実現のためのキーテクノロジーである光触媒材料の高性能化に新たな道筋をもたらすとして、その革新性が学術的に高く評価されています。



図2 過剰な電子を含むルチル型 TiO_2 光触媒の電荷分離機構

Profile



天野 史章
Fumiaki Amano

役職/准教授
学位/博士(工学)
学位授与機関/京都大学

【連絡先】
amano@kitakyu-u.ac.jp

■ 研究分野・専門
触媒化学、光電気化学、エネルギー化学
■ 主要研究テーマ
・新しい光化学反応プロセスの開発
・光触媒や半導体電極の高活性化
■ PR・その他
京都大学工学部卒業。北海道大学を経て、2011年より研究室を主宰。2015年より科学技術振興機構さきがけ研究員を兼任。主な受賞に「第6回 Honda-Fujishima Prize」、「平成29年 触媒学会 学術奨励賞」がある。