

粉末光触媒を活用する 低電圧水素製造法*

Hydrogen Production under Low Applied Bias Conditions Using Powdered Photocatalyst

三石 雄悟¹⁾ 佐山 和弘²⁾
Yugo Miseki Kazuhiro Sayama

Hydrogen, which is attracting attention as a clean energy source, is also an important raw material for basic chemicals and synthetic fuels. Photocatalytic reactions using semiconductor powders are gaining attention as a simple method for converting solar energy into chemical energy. In this paper, we introduce our efforts to develop an economical hydrogen production method utilizing photocatalytic technology.

KEY WORDS

Environment • Energy • Resources, Fuel/Alternative Fuel, Energy Manufacturing
Photocatalyst, Hydrogen, Solar Energy Conversion [D2]

1 緒言

石油や石炭、天然ガス等の化石資源は、長い年月をかけて地球に蓄えられた貴重なエネルギー源であり、現在のわれわれの生活にとってかけがえないものである。しかしながら、昨今の大量消費により、化石燃料枯渇の懸念や温室効果ガス排出量増加に伴う地球温暖化等のさまざまな課題が顕在化し、化石資源依存からの脱却が望まれている。

日本の運輸部門における二酸化炭素排出量を調べてみると、2022 年度における日本の二酸化炭素排出量 (10 億 3,700 万トン) のうち、運輸部門からの排出量 (1 億 9,200 万トン) は 18.5% を占めている⁽¹⁾。さまざまな対応策が議論されているが、その一つに燃料のカーボンニュートラル化が挙げられる。再生可能エネルギー由来の水素と二酸化炭素から製造した合成燃料を使用するというものである。合成燃料はガソリンやジェット燃料と成分が似ているため、既存の車両やインフラをそのまま活用できる可能性があるほか、国内製造できればエネルギー自給率向上への貢献も見込まれる。また原料に二酸化炭素を使用するため、燃料のラ

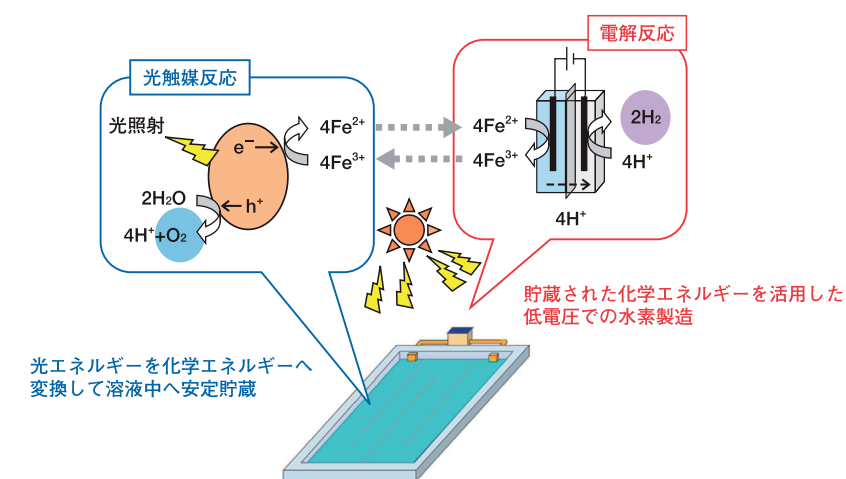
ライフサイクル全体での正味の二酸化炭素排出量を大きく削減できる特徴がある。

しかしながら、合成燃料の製造コストの高さが大きな課題として挙げられており、そのコスト高の要因の一つとして再生可能エネルギー由来の水素の価格が指摘されている。本稿では、この再生可能エネルギー由来の水素を安価に製造することを目的とした、粉末光触媒を活用する低電圧水素製造法の概要と最近の成果について紹介する。

2 粉末光触媒を活用する低電圧水素製造法

最も電力的に研究されている水素製造法の一つは、再生可能エネルギー由来の電力を利用した水電解反応が挙げられる。昨年発表された「NEDOの燃料電池・水素技術開発ロードマップ」²⁾によると、燃料の水素製造設備は電解槽の設備費と電力由来のランニングコストが大幅であることが報告できる。そのため、課題の一つである再生電力を削減させる工夫が優先されるべき水素製造設備の削減に貢献できる。

図1に半反応が書ける水素酸化反応を示す²⁾。本手法では、2価の鉄イオンを3価へ還元しながら水を酸化して酸素を生成する電解反応と、2価の鉄イオンを3価へ還元しながら水を還元して水素を生成する電解反応を組み合わせて、全体で水分解反応を進行させる。鉄イオンは還元と還元を繰り返しながら二つの電解をつなぐ役割(コメディエーターの役割)を担う。

図1 粉末光触媒を活用する低電圧水素製造法⁽³⁾

下記の条件を満たすものを求める。

(主編張其成·副主編張其成·主編張其成)

- 化学エスエムエーが市場の中で重要・先進
- 高純度のエスエムエーが供給可能
- 市場のエスエムエーは高純度の化学エスエーが90%

1999年12月

- ・濃度が高(カーボン)電極上での酸化反応であっても電位が小さい¹²⁾
- ・0.05V以下の電位で酸素が還元(電極上には十分な電位は必要)
- ・ほぼ100%のフェラジー電位での酸素が還元可能で、酸素が豊富

以前から魅力的な研究が盛んに行われていた高分子光触媒反応のみを適用した水分解水素製造法では、水の中に溶解させた高分子光触媒へ光エネルギーが照射されるだけで、水の電気分解と同様の反応が光触媒分子表面で進行し、水素と酸素が生成する。シンプルな方法だが、水素が製造との混合ガスとして光触媒膜表面に付着して生成してしまい、その結果を完全かつ低コストに克服する工夫が必要となる。

- 一方、図1の酸イオンを利用した光触媒反応は、スネルザー-基触媒反応(St⁺ + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+$)であり、化学スネルザーが主種の酸イオンとプロトンという形態で水溶液中に安定配位されるため、光触媒反応種での光吸収量が不足となる。つまり、液体を保持できる微細孔のシンプルな構造で太陽光から化学スネルザーを生成・配位できる手法とみなせる。

一方、電解反応に関して、従来の水の電気分解では、水の電気分解を進行させるための過電圧が大きめという課題があり、1.23Vの理論電解電圧 ($\Delta G = 237.2 \text{ kJ/mol}_{\text{H}_2\text{O}}$) よりも高い電圧が必要とされる。そのため、目標とされる 2025 年 (2015 + 10年) が達成されても、大きなエネルギーロス ($237.2 \text{ kJ/mol}_{\text{H}_2\text{O}}$) を伴って電力から水素へと変換されることとなる。

それに対して、図1で進行する電解反応では、銅イオンを利用した電解反応で獲得・貯蔵した化学エネルギーを活用できるため、電解電圧に約20Vと小さくなるだけでなく、アノード側で進行させる反応を水の酸化反応から過電圧の小さな酸素発生イオンの酸化反応²⁷⁾へ置き換えられるため、80V以下(about 274 kJ/mol_{max})の電解電圧で水素が製造できる。つまり、再生可能な電力を用いた水電解装置にシンプルな電解反応槽を設置するだけで、水素製造に必要な電力のランニングコストを削減できる可能性を秘めた手段といえる。

3 低電圧水素製造法を社会実装するための課題

本装置手法を社会実装するための大きな課題は、 γ 線照射される、光触媒反応の促進と本装置手法を標準化し、製造させる光触媒の開発である。本装置手法の本装置設備を完成もった結果、銀イオンを利用した光触媒反応で2%の光触媒の添加で一度触媒率が達成できれば、日本の水産養殖設備の標準として設定されている200/1000/200を達成できる可能性があるとの試算結果を得てい