

光を使って水から水素をとりだす？

東京工業大学 資源化学研究所 堂免 一成

Kazunari Domen
Research Laboratory of Resource Utilization,
Tokyo Institute of Technology

エネルギーの源

現在私たちが用いているエネルギーの大部分は石炭・石油などの化石燃料です。これらのエネルギー源は大昔の植物が太陽エネルギーを用いて行った光合成の産物のほんの一部にすぎませんが、それを蓄えるのに地球は約3億年かかっています。人間はこの地球上の産物を今世紀とせいぜい来世紀の200年くらいで使いきってしまおうとしています。ではもし地球上に降り注いでいる太陽エネルギーを人間が全部集めることが出来ればどのくらいの量があるのでしょうか？すべての化石燃料（既に燃やしたものもまだ埋まっているものも含めて）に匹敵する量が約10日間で集まります。したがってもし人間が太陽エネルギーのほんの一部（多分10万分の1程度）を生活や産業の為に自由に使えるようになれば人類は太陽が存在する限りいつまでも枯れることのない安心して使えるエネルギー源を手に入れることができるわけです。ある計算によりますと地球上に存在する砂漠の50分の1位の面積で10%位の効率で集めれば十分です。地球全体からみればほんの少しの面積とは言っても地球は大きくて広いですからその様な量の太陽エネルギーを集めるためにはやはり広大な面積が必要です。このような大事業あるいは大産業はかつて人類が経験したことのないものですから多くの困難が目に見えています。しかし地球の貴重な贈り物である石炭・石油等の化石資源を独り占めにしてそこそこ快適な生活を送っている20世紀・21世紀に生きる我々が子孫の為に地球の為にこの困難に正面から取り組まねばならないのは、歴史的責任というべきではないでしょうか。

光エネルギー変換としての光合成

さて太陽エネルギーを人間が自由に使えるようにするために現在最も実用的な方法は太陽電池を使って電

気エネルギーに変換することでしょう。通産省のサンシャイン計画等ではより効率的で大面積をもつ太陽電池の開発が活発に行われています。ただこの方法で将来人類が必要な全てのエネルギーを賄えるかとなると必ずしも楽観的な見通しだけではないようです。一方自然界に目を向けると膨大な量の太陽エネルギーが光合成によって毎日蓄えられています。実際野菜や肉等の我々の食べ物も元は全て光合成によって与えられています。もし人工的に光合成が行えれば我々は大量のエネルギーを手に入れることが出来るのではないのでしょうか？

ここで光合成について少し考えてみましょう（図1）。光合成は植物が水と二酸化炭素から炭水化物と酸素を生成する反応です。この反応は原料よりも生成物の持っているエネルギーが大きいため自発的には起こらず太陽エネルギーの助けが必要です。言い換えれば太陽エネルギーが生成物の化学エネルギーとして一部取り込まれているわけです。我々が自由に使えるのはこの化学エネルギーです。光合成の機構をもう少し詳しくみてみると大きく分けて二つの過程から成っています。まず太陽エネルギーを用いて水を分解して酸素を発生し同時に非常に還元力（あるいはエネルギー）の高い物質（NADPH）を作ります。この過程が“明反応”と言われるものです。次に明反応で出来たこの非常に還元力の高い物質を用いて二酸化炭素を還元し炭水化物を作ります。これが“暗反応”あるいは“カルビン回路”と言われるものです。この暗反応過程は生物が生きていく為に必要な物質を作っている非常に複雑な反応過程ですがエネルギー的にはより低い状態のものを生産します。従って純粋に少しでも多くのエネルギーがほしいのであれば明反応だけを行わせればいいわけです。植物はNADPHを作りますが最も単純で人間が使いやすいエネルギーの高い物質は水素でしょう。水素は燃やしても元の水に戻るだけですから環境的にも全く問題ありません。従って水を分解する植

物の明反応をまねて光のエネルギーを使って水を分解して酸素と水素を取り出せば非常に都合が良いわけです。もちろん極めて複雑な植物の光合成の機能を人工的に行わせることはまだまだ不可能ですが、水の光分解だけなら今でも何とかできそうです。

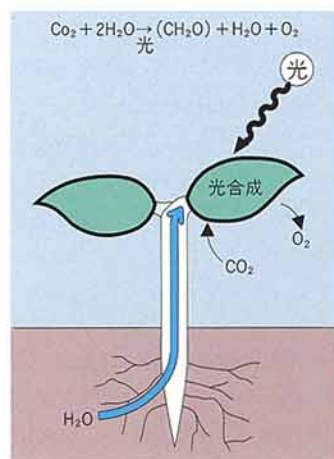
水の光分解

水を光分解して水素を取り出す色々な方法が研究されていますがここでは私たちが行っている固体の“光触媒”を用いる方法について簡単に説明します。水をご承知の通り透明ですから光を吸収しません。従って光のエネルギーを吸収してそのエネルギーを水分子に与える“媒体”が必要となります。この役割を担うのが“光触媒”と言われる物質です。半導体や絶縁体のような固体が光を吸収すると電子がよりエネルギーの高い状態(還元力の高い状態)に励起されると同時に電子が抜けたために非常に酸化力の高い状態(ホール)が出来ます(図2)。この励起された電子とホールが十分なポテンシャルエネルギーを持っていると図2に示すように水が電離して出来る水素イオンを還元して水素分子を発生し水酸化イオンを酸化して酸素分子を発生できます。これが非常に簡単に説明した固体光触媒による水の分解の原理ですが実際には生成する水素と酸素がまた水に戻ってしまう逆反応を阻止したり固体表面で水素や酸素を発生しやすくするための触媒機能を導入するなどの難しい問題が多くあります。図3に私たちがこれまで開発した水を分解する光触媒の例を示します。これは層間にアルカリ金属を含むニオブの層状複合酸化物です。これを水に浸すと層の間に水分子が入っていきます(インターカレーションという)。この物質には図3に示したように層が二種類ありますがその一方にニッケルの超微粒子が入っています。光はニオブ酸の層によって吸収され先に述べた励

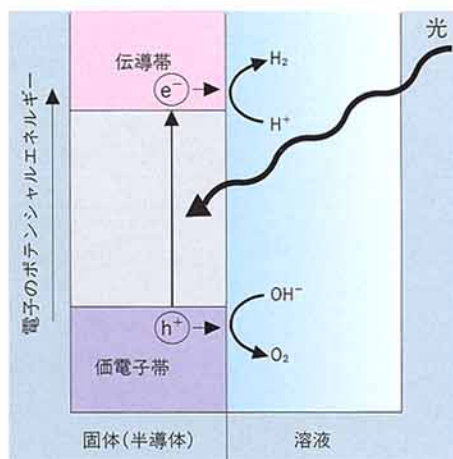
起された電子とホールを生成します。この電子は層間Iのニッケル超微粒子に渡されそこで水素を発生します。ホールは反対側の層間IIで水を酸化して酸素を発生します。このようにして水素と酸素がニオブ酸の反対側で生成するために水の光分解が比較的効率よく起こります。しかしそれでも生成した電子とホールの約30%が水の分解に使われているだけです。つまり半分以上の電子やホールはまた再結合してしまいせっかく吸収した光エネルギーが熱になって逃げてしまいます。それでもこれはこれまでに開発された光触媒の中で最も効率のよいものの一つです。更に大きな問題はこの光触媒は紫外光しか使えません。太陽光の大部分は目に見える可視光領域にあります。従って可視光を吸収して水を分解するような材料の開発がどうしても必要です。現在このような材料の開発にむけて研究を進めている段階です。

未来の為に

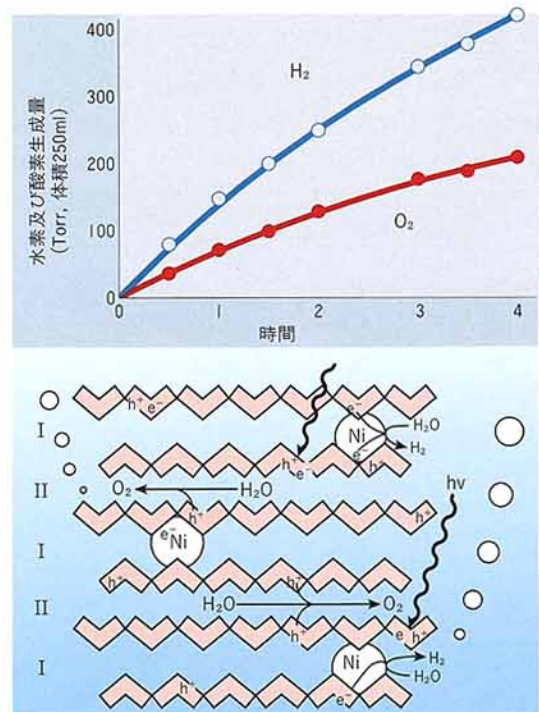
太陽光を使って水から直接水素を製造する大規模なシステムは究極のクリーンエネルギー源と成りえます。このために色々な方法が検討されつつあり、固体光触媒もその一つです。そのため解決されねばならない難しい問題が残されているのも事実ですが極めて大規模な応用、大面積を利用せねばならないことを考えた場合光触媒の方が太陽電池よりも有利かもしれません。いずれにしてもこの問題は現代に生きる人間が正面から取り組まなければならない大切な使命です。



第1図 植物の光合成



第2図 電子のポテンシャルエネルギー



第3図 Ni(0.1wt%)-K₂Nb₆O₁₇を用いた水の光分解

