



News letter

文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究
 領域略称「人工光合成」領域番号 2406
 人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：
 実用化に向けての異分野融合

人工光合成の実現に向けた課題

東京大学 久富隆史、堂免一成

光触媒・光電極を用いて太陽光照射下で水を水素と酸素に分解する反応が盛んに研究されている。この反応は水分子 1 モルあたりギブズエネルギーが 237 kJ 増加するため、太陽エネルギーを水素に変換する人工光合成型反応といえる。近年、数多くの光触媒・光電極が水の分解反応に活性を示すことが報告されているが、我々は人工光合成の実現に向けて何を考えていかなければならないのだろうか。

人工光合成型反応による水素製造プロセスを実用化するためには十分な経済的競争力が必要である。ゆえに、光触媒・光電極を用いて水を分解して得た水素の販売価格と生産量が問題となる。経済産業省が 2008 年に策定した『Cool Earth-エネルギー革新技术計画』によれば、我が国は 2020 年ごろに水素の価格を 40 円/Nm³ に下げることが目標としている。海外の事例を挙げれば、米国エネルギー省は水素供給価格の目標を 2–4 USD/kg (=0.18–0.36 USD/Nm³) と定めており、価格目標は概ね一致している。最近、米国の研究グループから種々の形式の人工光合成型水素製造プラントで製造する水素の販売価格についての分析が発表された[1]。これによれば、水分解反応により太陽エネルギーから水素を製造する過程の太陽エネルギー変換効率 (Solar-to-hydrogen conversion efficiency, STH) が 10%、光触媒・光電極の寿命が 10 年である場合、水素の価格は 1.6–10.4 USD/kg と見積もられている。また、光触媒系は光電極系よりも安価であること、光触媒系は STH の向上、水素と酸素の分離に課題が多いこと、光電極系は固定資本費が高く、STH、製造コスト、寿命の改善が重要であること等が指摘されている。いずれの場合も、光触媒系は 5%以上、光電極系は 10%以上の STH が水素供給価格の目標を満たす実用上の必須条件とみなしてよいだろう。

光触媒・光電極がどのような性能をもつと STH が 10%になるのかを量子効率や利用波長の観点から整理する。4 光子で 2 分子の水が反応する一段階光励起による水分解反応の場合、太陽スペクトルの 600、700、800 nm よりも短波長側の光を一定の見かけの量子効率で利用できたとすれば、それぞれ 62%、40%、30%の見かけの量子効率が必要である。二段階光励起による水分解反応の場合はこの 2 倍の量子効率が必要である。700 nm よりも長波長側の光を水の分解反応に利用できる光触媒・光電極の開発が必要であることは一目瞭然であろう。長波長の光を利用可能な光触媒・光電極はバンドギャップが狭く反応効率が低い場合

が多いが、将来的な実用化を考えれば克服しなければならない課題であることを強調したい。

STH が 10%の光触媒・光電極、及び付帯する設備が開発された場合、25 km²の規模の人工光合成型水素製造プラントから、一日当たり 5100 トンの水から 570 トンの水素が製造できると試算されている[2]。これを適当な方法で分離・精製して、輸送や貯蔵が容易な液体燃料に物質変換して利用していくことが想定される。なお、2050 年頃のエネルギー需要の 3 分の 1 を人工光合成プロセスで製造した水素でまかなうには、上記のプラント 10,000 基分 (250,000 km²) の領域が必要となる。人工光合成用光触媒・光電極の開発にあたっては拡張性を考慮した設計も必要がある。

以上のように、実用化を目指した人工光合成用光触媒・光電極の開発目標は極めて高く、多くの研究者が知恵を絞って性能を向上させていかなければならない。一方、様々な光触媒・光電極が報告される中で反応条件が多様化し、しばしば活性の評価方法自体が議論の対象となるようである。例えば、活性の指標として特定の反応条件下や波長で測定された量子効率が用いられる。これは科学的な観点から見れば有用であるが、殊に人工光合成という明確な応用目的がある場合には、むしろ STH を性能の指標とするべきであると思われる。STH は太陽光 (一般には ASTM-G173 AM1.5 global tilt) に相当する光照射下での水からの水素製造速度により決まるから、実際に生成した水素の量を正確に求めることが必要である。また、光電極を用いる場合、電圧を印加しているのであれば対応する電力分を差し引かなければならない。実用化を考えるとこのような基本的な条件に加えて、STH や耐久性が光量、入射角、温度、反応器形状、反応雰囲気等などに依存するかを規格化された条件で評価していく必要がある。例えば各種太陽電池の評価方法に関して、国際的には IEC (国際電気標準会議) 規格、国内では JIS (日本工業規格) が定められており、第三者試験認証機関による性能認定が実施されている。人工光合成用光触媒・光電極についても実用条件を考慮した性能評価方法を策定し、公正な研究開発を推進する必要があるのではないだろうか。

[1] B. A. Pinaud, J. D. Benck, L. C. Seitz, A. J. Forman, Z. Chen, T. G. Deutsch, B. D. James, K. N. Baum, G. N. Baum, S. Ardo, H. Wang, E. Miller, T. F. Jaramillo, *Energy Environ. Sci.* **2013**, *6*, 1983.

[2] K. Maeda, K. Domen, *J. Phys. Chem. Lett.* **2010**, *1*, 2655

新学術領域「人工光合成」ニュースレター

第 2 巻・第 3 号 (通算第 15 号) 平成 26 年 6 月 1 日発行

発行責任者: 井上晴夫 (首都大学東京 都市環境科学研究科)

編集責任者: 八木政行 (新潟大学 自然科学系)

<http://artificial-photosynthesis.net/>