

## 微生物機能で水素社会を実現する？

成廣 隆

2017年の年の瀬、再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議により「水素基本戦略」が策定された<sup>1)</sup>。本戦略は、「低コストな水素利用の実現」「国内再生可能エネルギーの導入拡大と地方創生」「革新的技術開発」など、10の戦略項目から構成されており、2050年の我が国における水素エネルギー需給のあるべき姿や、官民が共有すべき目標を示したものである。水素社会を実現するための研究開発は、天然ガスの水蒸気改質や水の電気分解などの生産技術、輸送・貯蔵技術、燃料電池車に代表されるモビリティやコージェネレーションシステムなどの利用技術の3つに大別されるが、生化学や微生物工学などのバイオ分野が寄与できそうな項目は表向き見当たらない。しかし、戦略項目の一つである「革新的技術開発」の章をよく読むと、「高効率な水電解・人工光合成、水素高純度化透過膜など、新たな水素製造技術に係る研究」および「水素と二酸化炭素を利用した革新的化学品合成方法の開発」という記載を見つけることができる。本稿では、バイオ分野、特に微生物機能を活用した水素の生産・利用技術開発の最近の研究例を紹介する。

プロトン還元して水素を生成する反応を触媒する酵素として知られるヒドロゲナーゼは、その産業的な実用化に向けた研究が数多くなされている酵素の一つである。アムステルダム大学のReek教授の研究グループでは、活性中心に2個の鉄原子を含む[FeFe]型ヒドロゲナーゼの片方の鉄原子に、電子リザーバーとして有機リン化合物であるホスホール構造を結合して電子伝達を促進することで、プロトン還元効率と酸素耐性を向上させた人工修飾ヒドロゲナーゼを創成することに成功した<sup>2)</sup>。さらに同グループは、このような人工合成ヒドロゲナーゼをフッ素ドープ酸化スズ基盤上へ固定した水素生産デバイスの開発に向けた試みを報告しており、今後の実用化に向けた研究展開が注目されている<sup>3)</sup>。

ヒドロゲナーゼそのものを水素生産に利用する場合、その酵素活性をどのような方法で安定的に維持するかということが大きな課題となる。その一方で、微生物細胞そのものを利用することで、より安定的な水素生産を実現する応用研究も報告されるようになってきた。カリフォルニア大学のYang教授の研究グループは、光感受性半導体分子である硫化カドミウム(CdS)のナノ粒子を細胞表面に沈着させた酢酸菌 *Moorella thermoacetica* を用い、CdSに光エネルギーを照射して電子供与試薬であ

るシステインから電子を引き抜き、生じたプロトンや水素から酢酸を生産することに成功した<sup>4)</sup>。これは、光エネルギーと二酸化炭素から有機物を合成する光合成反応を人工的に模擬する「人工光合成」研究分野における画期的な成果の一つであり、微生物機能と水素を利用した「光エネルギーから有用物質へ(solar-to-chemical)」の概念を世界に広めたことで脚光を浴びることとなった。

このような革新的技術開発と並行し、水素の供給源として下水汚泥などの未利用地域資源を活用していくことが水素基本戦略に謳われている。これは、国内の都市下水処理施設から排出される汚泥の約85%がエネルギーとして未利用であることが背景にある<sup>5)</sup>。また、下水汚泥からのエネルギー回収技術として、さまざまな代謝機能を有する嫌気性微生物群集の働きにより、有機物からメタンを主成分とするバイオガスを生産することができる汚泥消化(メタン発酵)プロセスが広く用いられている。しかし、下水汚泥の消化により生産されている年間バイオガス量の約24%にあたる約8000万m<sup>3</sup>が未利用であることも報告されており<sup>5)</sup>、下水汚泥そのもの、あるいは汚泥消化施設から生じるバイオガスのさらなる有効活用が求められている。現在、下水汚泥由来バイオガス(福岡市、水素リーダー都市プロジェクト)や、畜産廃棄物由来バイオガス(北海道鹿追町、しかおい水素ファーム)からの水素の生産と周辺地域への供給を行う官民共同の都市型・郊外型の実証実験が実施されており<sup>5)</sup>、将来的な国内の水素サプライチェーン構築に向けた試みが各地で推し進められている。

現在、水素は水の電気分解や、メタンを主成分とする天然ガスの水蒸気改質により生産されているが、水素基本戦略が目指す水素社会を実現するためには、さらに効率的な水素生産技術の開発が求められている。今後、微生物機能に注目した研究が進展することで、水素を効率的かつ安価に生産する技術が確立され、水素社会の実現に向けた一助となることが期待される。

- 1) 経済産業省：<http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002.html> (2018/6/26).
- 2) Becker, R. *et al.*: *Sci. Adv.*, **2**, e1501014 (2016).
- 3) Zaffaroni, R. *et al.*: *ChemSusChem*, **11**, 209 (2018).
- 4) Sakimoto, K. K. *et al.*: *Science*, **351**, 74 (2016).
- 5) 国土交通省：[http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo\\_sewerage\\_tk\\_000410.html](http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000410.html) (2018/6/26).