

人工光合成

植物を超える効率と100時間の寿命を実現 2018年度からCO₂固定化に本格着手

NTT先端集積デバイス研究所は、光通信や電池に関する研究開発で培った半導体成長技術と触媒技術を活用して、水と二酸化炭素から水素やメタンなどの燃料を生成する人工光合成の研究開発を進めている。同研究所の人工光合成技術の特色は、人工光合成に使用する半導体の腐食を防止する方法を考案して長寿命化を実現していることである。2018年度からは二酸化炭素の固定化に本格着手する。同研究所の人工光合成技術の研究開発を紹介する。

炭素循環社会の実現を目指して人工光合成の研究が進行中

地球温暖化防止のため、二酸化炭素(CO₂)排出量の削減が求められている。CO₂排出量の削減方法には、省エネ化やクリーンエネルギー活用によって排出量そのものを削減する事前対策と、排出したCO₂を燃料や工業原料に変換して再利用したり、隔離・貯留したりする事後対策の主に2つがある。CO₂由来の燃料を使って地球温暖化を防止する「炭素循環社会」を実現するためのキーテクノロジーとして注目されているのが、植物の光合成と同様に、光を受けることで水と二酸化炭素から様々な物質を生成する「人工光合成」技術である(図1)。人工光合

成で生成できる主な物質とその用途を表1に挙げた。生成の難易度は、表の上から下になるほど高くなる。

人工光合成技術の研究開発は世界中で活発に進められている。すでに実験室レベルでは、植物の光合成の変換効率(約0.2%)を超える変換効率が実現されている。例えば、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は2016年10月、人工光合成による水素生成変換効率3%を達成したことを発表している。

当面の目標は、化石燃料のコストを下回ると見積もられている10%の変換効率である。2020~2025年頃にこの目標

を達成するべく競争が続けられている状況だ。

層構造の触媒形成によって半導体の腐食を防止

NTT先端集積デバイス研究所(以下、先デ研)は、光通信や電池に関する研究開発で培った半導体成長技術と触媒技術を活用して人工光合成技術の研究開発を進めている。

変換効率の面では2017年度までに0.84%を達成し、植物を超える効率に到達した。また、人工光合成を継続できる時間(寿命)の面では



NTT先端集積デバイス研究所 ソーシャルデバイス基盤研究部
[左から] 研究員 渦巻 裕也氏、研究主任 小野 陽子氏
里 紗弓氏、グループリーダー 小松 武志氏

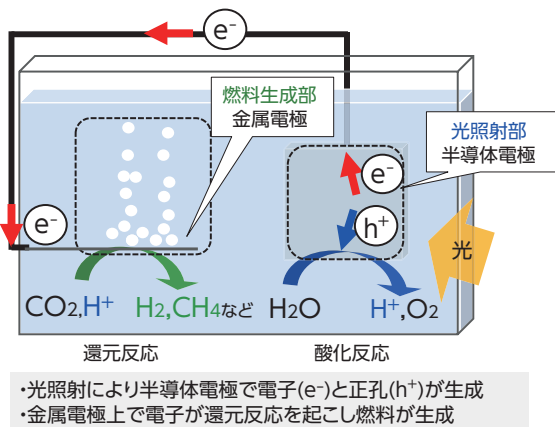


図1 人工光合成の概要

原料	人工光合成で生成される物質	主な用途
水	水素	ガス燃料、工業原料
水、二酸化炭素	ギ酸	工業原料、水素生成の原料
	一酸化炭素	ガス燃料、工業原料
	ホルムアルデヒド	工業原料
	メタノール	液体燃料、工業原料
	メタン	ガス燃料、工業原料

表1 人工光合成で生成できる主な物質とその用途

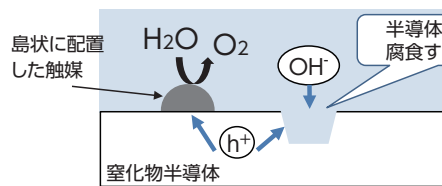
2016年度時点で100時間の連続試験を達成するなど外部の研究機関に対して優位に立っている。2017年度には100時間後の変換効率を、開始時の76%に維持する成果を挙げた。

人工光合成の寿命が短い主な理由は、光を照射した際に生じる正孔(h⁺)や、水溶液中の水酸化イオン(OH⁻)によって、人工光合成に使用する窒化物半導体そのものが腐食されてしまうことである(図2上)。

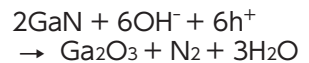
先デ研はこの問題を、触媒を層状に形成することによって解消した(図2下)。触媒が保護層となることで半導体の腐食が生じず寿命を延ばせる。「半導体で光を効率的に受ける必要があるため、それを妨げないように触媒は島状に配置するというのが常識でした。しかし、腐食のプロセスを調査するうちに、半導体の表面をすべて触媒で覆えば良いのではないかという着想を得ました。光の透過率を維持するには、触媒層の厚みを1~2nm程度に抑える必要がありますが、我々は通信デバイスや電池の開発で培った半導体成長技術と触媒技術を有しており、それを活用することで実現に至りました。」(ソーシャルデバイス基盤研究部 研究主任 小野 陽子氏)

試作品を作り、層構造の触媒の有無による寿命の変化を調べた結果が図3である。層構造の触媒がある場合は、人工光合成の変換効率に直結する光電流密度に関する性能を長時間維持できることが分かる。「我々のグループの特徴の1つは、電気化学というアプローチで人工光合成を研究していることです。反応進行

従来の触媒配置の問題点



腐食反応の概要



触媒を層状に配置して腐食を防止

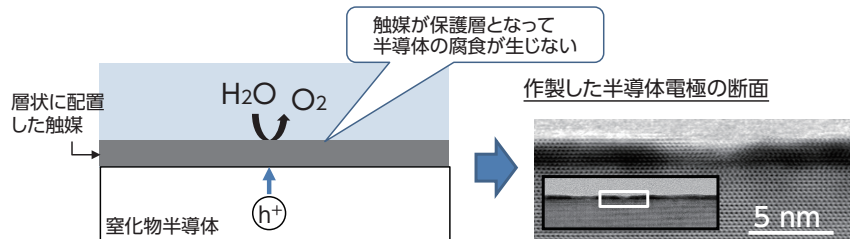


図2 触媒配置を工夫して半導体の腐食を防止する手法を考案

に際しての抵抗成分の定量的な解析などを実施し、その結果をフィードバックすることで大きな成果が得られたと自負しています。」(ソーシャルデバイス基盤研究部 研究員 渦巻 裕也氏)

現時点では屋内実験のみだが、1~2%の変換効率を達成できれば実験装置を大型化して屋外実験する予定だという。

2018年度からCO₂固定化に着手生成物質の検討などを進める

先デ研では2017年度まで、比較的難易度の低い水素の生成を中心に取り組んできた。2018年度からは、人工光合成による炭素化合物の生成に本格着手する。

「炭素化合物の生成の際には、水素生成も並行して生じますし、生成する物質によっては多数の段階の反

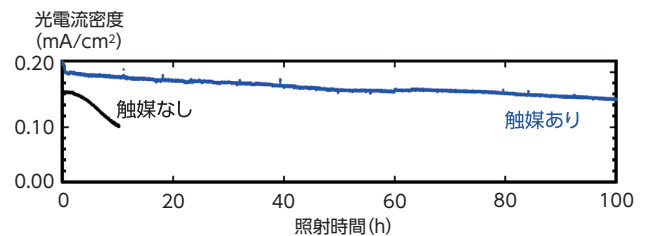


図3 層構造の触媒の有無による寿命の変化

応が必要になりますから、反応を制御して目的の物質を効率的に生成する難易度は飛躍的に高くなります。しかし、炭素化合物生成によるCO₂固定化は、炭素循環社会の実現のために欠かせないことですから、正面からチャレンジしたいと考えています。」(小野氏)

前述の通り、人工光合成によって様々な炭素化合物を生成できる。どの物質を生成するのが最適かは、生成の難易度と生成する物質の需要のバランスで変わる。「技術が実用化される5~10年先のエネルギー事情等を見据えて、生成物の検討などを進める考えです。」(ソーシャルデバイス基盤研究部 里 紗弓氏)