

カーボンナノチューブを有機色素で染めて使う 新しい光触媒技術を開発

山口大学大学院創成科学研究科の三宅秀明助教と岡山大学大学院環境生命科学研究科の高口豊准教授、田嶋智之講師、村上範武大学院生らの共同研究グループは、カーボンナノチューブの内部空間に色素分子を封じ込めることで、光照射下において、色素増感水分分解反応による水素製造が可能になることを世界で初めて確認しました。また、通常の光触媒^[1]では利用困難な赤色光（波長 650 nm）照射下で水分解水素生成反応の活性を比較したところ、染色したカーボンナノチューブ光触媒の量子収率（1.4%）は、色素分子をもたないカーボンナノチューブ光触媒の量子収率（0.011%）に比べて、活性が 120 倍になることも確認されました。本研究成果は 3 月 5 日米国化学会雑誌「*Journal of American Chemical Society*」誌で公開されました。

これは、カーボンナノチューブを有機色素で染めることで、カーボンナノチューブ光触媒の活性波長が制御できることを示しています。これまでに例のない活性波長制御法として、太陽光と光触媒を利用した水分解による CO₂ フリー水素^[2]製造法（人工光合成）の鍵技術となることで、本学が取り組んでいる国連の「SDGs（持続可能な開発目標）」の達成に貢献することが期待されます。

<キーワード>

- ・人工光合成
- ・CO₂ フリー水素製造
- ・カーボンナノチューブ
- ・光触媒

<業績>

山口大学と岡山大学の共同研究グループは、カーボンナノチューブの内部空間に色素分子を封じ込めることで、光照射下において、色素増感水分分解反応による水素製造が可能になることを世界で初めて確認しました。その水素生成光反応の量子収率は、550 nm の波長の光で 7.5% と非常に高く、通常の光触媒では利用困難な赤色光（波長 650 nm）照射下での量子収率（1.4%）は、色素分子をもたないカーボンナノチューブ光触媒の量子収率（0.011%）に比べて、活性が 120 倍になることが明らかとなりました。

カーボンナノチューブを有機色素で染めて使うことで、水素発生光触媒の活性波長を自由に制御できるため、太陽光エネルギー変換効率向上の鍵技術となり得るほか、太陽電池やセンサーなどの分野への応用も期待されます。

<背景>

パリ協定が発効し、近い将来、CO₂排出量を実質ゼロにする「カーボンニュートラル」を実現する必要に迫られています。我が国では、そうした将来を見据えて「水素社会」構築へ向けた社会インフラの整備が国策として始まっています。一方で、もっとも肝心の「水素社会」の基盤技術となるCO₂フリー水素製造法について成熟した技術があるとは言い難く、再生可能エネルギーを活用した水素製造法開発が危急の課題となっています。

太陽光と光触媒を利用した水分解による水素製造法は「人工光合成」とも言われ、無限とも言える太陽光のエネルギーと水から「水素エネルギー」を、安価に得ることができるため、持続可能な社会にとって欠くことのできない技術と考えられています。しかし、現在までに実用化が検討されている光触媒は、太陽光スペクトルのごく一部しか利用できないために、十分な活性が得られていないこと、また、光触媒の一部に希少元素が利用されていることなどの問題点がありました。

本研究グループは、世界的にも例を見ない、炭素材料を光触媒として利用する水素製造法について研究を進め、カーボンナノチューブが水素発生光触媒として極めて高い活性を有することを発見し、報告してきました。カーボンナノチューブ光触媒は、従来型の水分解光触媒が300~530 nm程度の波長域の光にのみ活性を示すこととは異なり、300~1100 nmの広い波長域で活性を示すため、水素発生光触媒のブレークスルー技術として期待されていますが、それでもまだ全ての波長で高い活性を得ることは難しく、新たな活性波長制御技術が期待されていました。

<見込まれる成果>

同研究グループが開発したカーボンナノチューブ光触媒は、従来型の無機半導体光触媒に比べて、600 nm以上の長波長域での活性が極めて高く、優位性を持つことが確認されました。今回の成果は、有機色素を利用し、さらに細かい活性波長のチューニングが可能となったことから、これまで利用効率が上がらなかった波長を上手に活用した水素製造が可能になるため、太陽光エネルギー変換効率の大幅な向上につながる画期的な技術といえます。さらにこの技術は、太陽電池やセンサーなどへ応用することで、デバイスの性能を大きく向上することが期待されるほか、無機光触媒に比べて軽量であることを活かした宇宙空間での利用など、産業界での活用へ向けた検討が進められつつあります。

<論文情報等>

論文名 : Enhanced Photosensitized Hydrogen Production by Encapsulation of Ferrocenyl
Dyes into Single-Walled Carbon Nanotubes

「カーボンナノチューブへの色素内包による光水素製造促進効果」

掲載誌 : *Journal of American Chemical Society*

著 者 : Noritake Murakami, Hideaki Miyake, Tomoyuki Tajima, Kakeru Nishikawa, Ryutaro
Hirayama, and Yutaka Takaguchi

D O I : 10.1021/jacs.7b12845

発表論文はこちらからご覧いただけます。

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.7b12845>

<補足・用語説明>

1) 光触媒 : 光エネルギーを利用してさまざまな反応を触媒する物質。特に、太陽光エネルギーを利用した水の分解反応により、水素と酸素を発生させる光触媒は、無尽蔵といえる太陽エネルギーを利用した CO₂ フリー水素製造技術の鍵となる材料として注目されている。

2) CO₂ フリー水素 : CO₂ の排出を伴わない製造過程を経て生産される水素のことを言う。現状では、水素は、天然ガスを原料としたスチームリフォーミングなどの手法で製造されており、製造過程で CO₂ が排出されている。

なお、本研究の一部は、岡山県特別電源所在県科学技術振興事業の研究委託、JSPS 科研費 15H03519、16K05895、17K14448、文部科学省地域産学官連携科学技術振興事業費補助金地域イノベーション戦略支援プログラム（研究機能・産学集積高度化地域）、やまぎん地域企業助成基金、中国電力技術研究財団、宇部興産学術振興財団、大阪新薬株式会社との共同研究の助成を受けて実施されました。