



## アップコンバージョンは人工光合成に貢献できるか

九州大学 楊井 伸浩

人工光合成研究の最前線でご活躍の先生に現在の課題を伺うと、(その一つが) 長波長光を利用できないことであるという。可視光で安定に駆動する光触媒が開発されているが、利用できる光が可視光の高エネルギー側に限られてしまう。より長波長の近赤外光まで利用できる高効率な光触媒が出来れば革新的だが、容易ではない。

そのような人工光合成にとって助け舟になるかもしれない技術が、長波長の低エネルギー光を短波長の高エネルギー光に変換する光子・アップコンバージョンである。従来利用できなかった近赤外光を利用できるようになれば、人工光合成やレドックス触媒、ペロブスカイト太陽電池などの飛躍的な効率向上が期待される(図1)。

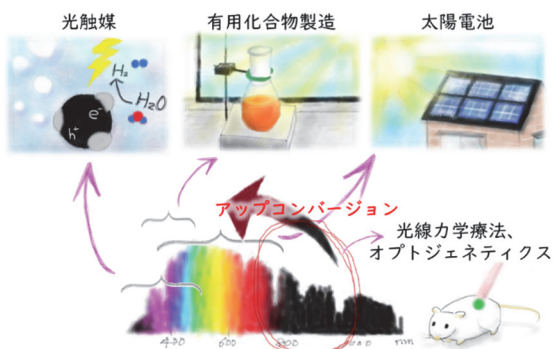


図1. アップコンバージョンの応用

アップコンバージョンの機構は複数存在するが、太陽光程度の低い励起光強度を利用するには分子系の三重項-三重項消滅(TTA)を用いた機構が有力である。ここでは光励起されたドナーが系間交差を経てアクセプターの三重項を増感し、増感されたアクセプター三重項間でTTAが起こり、生成した励起一重項からアップコンバージョン発光が得られる。しかし、TTAを用いたアップコンバージョンには致命的な課題

があった。それはドナーの系間交差に伴うエネルギーロスのため、近赤外光を可視光に変換できないことである。そこで筆者らを含め、世界中で新しい機構の開発が行われてきた(図2)<sup>[1]</sup>。これまで達成された系は二種類であり、一つは非常に小さいエネルギーロスで三重項増感が可能なPbS, PbSeなどの半導体量子ドットを用いる系、もう一つはそもそも系間交差を経由しない基底状態から励起三重項状態への直接遷移(S-T吸収)を用いる系である。これらの新しい三重項増感機構により、700~1000 nm程度の近赤外光を数~10%程度の効率で可視光に変換することが可能になってきた。

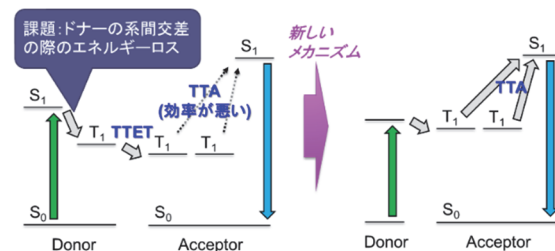


図2. 新たなアップコンバージョン機構

では、これらのアップコンバージョン系は人工光合成に貢献できるのか? 残念ながら未だ力不足であろう。太陽光程度の励起光強度で30%以上の効率を示すアップコンバージョンが達成されればその夢に近づく期待されるが、難易度の低い可視光域(例えば緑色光→青色光)でさえ誰も達成していない。近赤外光の変換となれば必然的に高い励起光強度が必要となるため、尚更難しい。しかしこの困難を乗り越えなければ、アップコンバージョン分野に真の未来はないと筆者は考えている。究極的なアップコンバージョン材料が出来れば、太陽光を利用する全てのデバイスに組み込まれる可能性がある。アップコンバージョンは人工光合成と比べて歴史が浅く研究人口も少ない新分野であり、今後大きく花開くかどうかはこれからの研究にかかっている。

[1] N. Yanai,\* N. Kimizuka\*, *Acc. Chem. Res.* **2017**, *50*, 2487-2495.