



## 2次元、3次元、2.5次元?

信州大学 久富隆史

物理量と基本量（長さ、重さ、時間など）の関係性を次元という。例えば、線、平面、立体は長さに対して1次元、2次元、3次元の図形である。エネルギー変換用半導体の研究では、薄膜状の光電極は2次元、微粒子光触媒の懸濁液は3次元的な広がりを持つ系として扱われる。では、微粒子光触媒が平面に固定化された「光触媒シート」は2.5次元の系とでもいうべきだろうか。

これは2018年の233rd ECS Meeting 会期中に開催されたワークショップでの小話である。光電極を扱う研究者の間では、平面的な系には物質拡散性やスケールアップの観点で限界があると認識され、空間的な広がりを持つ光触媒懸濁系への興味が高まりつつある。一方で、水分解反応に高効率で拡張性に優れる光触媒シートが日本から発表されている。冒頭の問いかけからは、3次元的な光触媒懸濁液を2次元的に用いるにもかかわらず優れた反応特性を示す光触媒シートへの強い関心が伺える。ところで、水分解用光触媒を固定化して研究した例はそれほど多くない。そこで、本稿では光触媒を固定化する意義について考えたい。

現在、水分解用光触媒は懸濁液として活性を評価するのが一般的である。これは、高圧水銀灯を挿入する内部照射型反応器を用いると懸濁させなければ光触媒に光を十分に照射できないことや、水蒸気よりも液体の水の方が効率よく分解されることが研究初期に判明し、光触媒懸濁液を用いることが実験手法として定着したためであると筆者は考えている。しかし、太陽光を光源とする場合、上方から平行光が照射されるため、懸濁されていても固定化されていても光触媒の投影面積当たりの体積は同じであり、光吸収は同程度に起こるはずである。そのため、光触媒懸濁液を用いる必要性は自明ではない。むしろ、光触媒を懸濁させると実用上様々な問題が生じると予想さ

れ、実際に光触媒懸濁液を大面積展開した事例もほとんど報告されていない。

第一に、大容量の光触媒懸濁液を保持できる反応器を安価に建造することが困難である。水深を1 cmと仮定すると、水の質量だけで1 m<sup>2</sup>あたり10 kgに達する。そのため、反応器は必然的に堅牢なものとなり建造コストが高くなる。しかし、太陽光水素変換システムは1 m<sup>2</sup>あたり100ドル程度で製造できなければ経済性利益が生じないと試算されており現実的ではない。第二に、光触媒は密度が水よりも大きいため、十分に攪拌しなければ反応器底面に偏って沈降して太陽光を吸収しない部分が生じる。そのため、懸濁状態を維持するエネルギー投入が必要となる。また、光触媒を懸濁するには攪拌装置の大きさと同程度以上の水深が必要となり、反応器の重量増加につながる。第三に、劣化した光触媒の回収を懸濁液の沈降やろ過により行わなければならない、エネルギーと時間を要する。光触媒水分解システムは大面積に設置されることを考慮すると、劣化光触媒の交換に関するプロセスは極力簡便で迅速であることが望ましい。

上述の問題は光触媒をシート状に固定化してパネル反応器を用いることである程度改善できる。光触媒を基材に固定化すると、光触媒粒子層内で気泡及び水の物質拡散が問題となり活性が低下しやすい[1]。しかし、適当な粒径の親水性シリカ粒子を添加することで懸濁液と遜色ない活性を示す光触媒シートを作製可能である[1,2]。また、光触媒シートを格納したパネル反応器は1 m<sup>2</sup>スケールに拡張しても目立った活性低下を起ささないことも確かめられている[2]。高効率太陽エネルギー変換にむけて、可視光応答性光触媒材料や高活性・高選択的な助触媒の担持手法の開発は依然として必要である。一方で、光触媒の実用性に言及するのであれば、低コストで拡張性の高い反応系の開発にも目を向ける必要があるだろう。

[1] Xiong *et al.* *Catal. Sci. Technol.* **2014**, *4*, 325.

[2] Goto *et al.* *Joule* **2018**, *2*, 509.