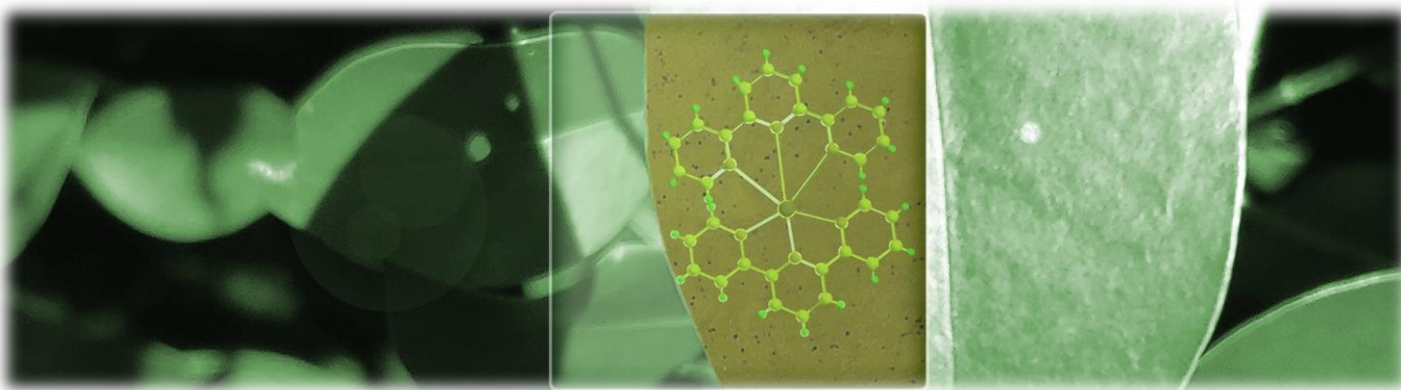


光触媒シートの開発 ～人工光合成によりCO₂と水と太陽光から燃料を作る～



名古屋大学 工学研究科

王 謙

e-mail: wang.qian@material.nagoya-u.ac.jp

web: <https://www.material.nagoya-u.ac.jp/wang-lab/>



 名古屋大学

研究教育歴

2014年 東京大学

工学博士

2014年10月～2018年8月

東京大学大学院 特任研究員

水分解に関する研究に従事し、光触媒シートの開発を行った。

2018年9月～2021年3月

University of Cambridge (United Kingdom)

Marie Skłodowska-Curie Fellow

二酸化炭素還元システムの開発を行った。

2021年5月～

名古屋大学

准教授

研究の背景：脱炭素社会



- 二酸化炭素 (CO_2) 濃度の上昇
- 地球温暖化
- 化石資源の枯渇



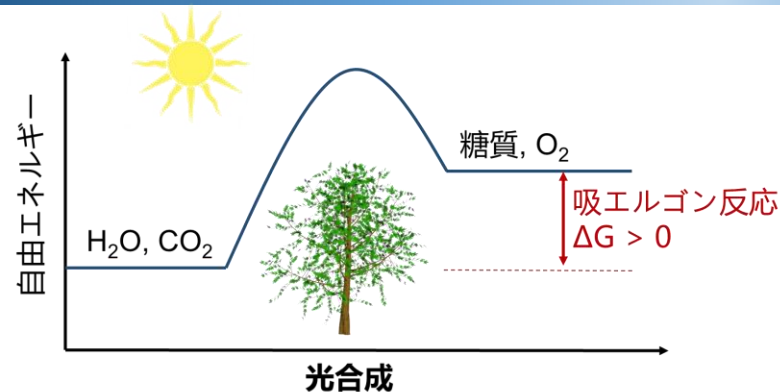
<長所>

- 膨大なエネルギー規模
- クリーン、安全
- 無尽蔵
- 地球上広く分布

<短所>

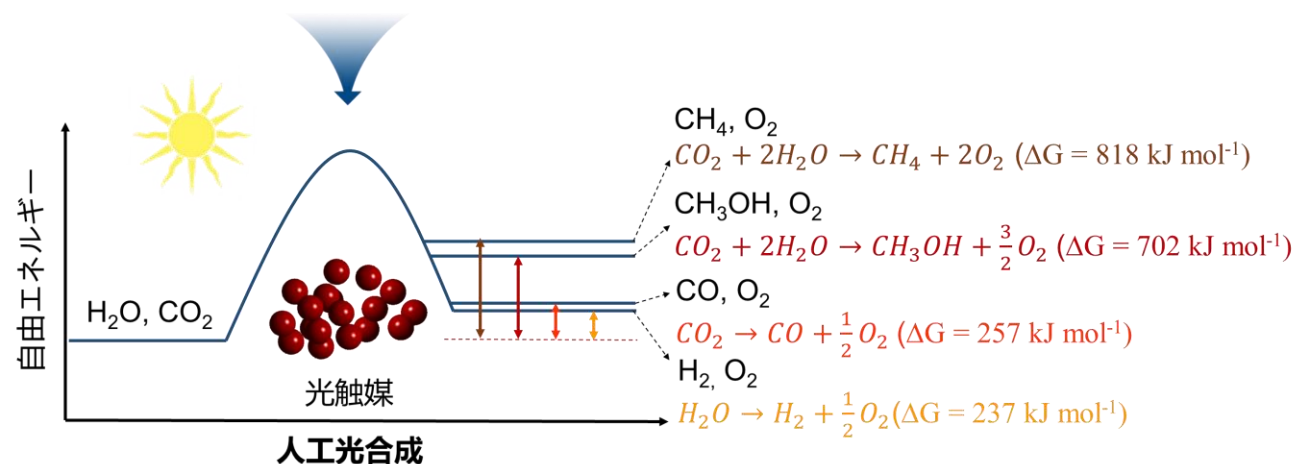
- エネルギー密度が低い、希薄
- 天候に左右。不安定。

研究の背景：人工光合成により脱炭素社会の実現

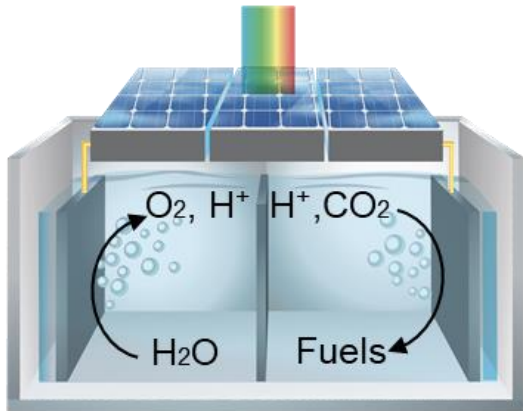


人工光合成

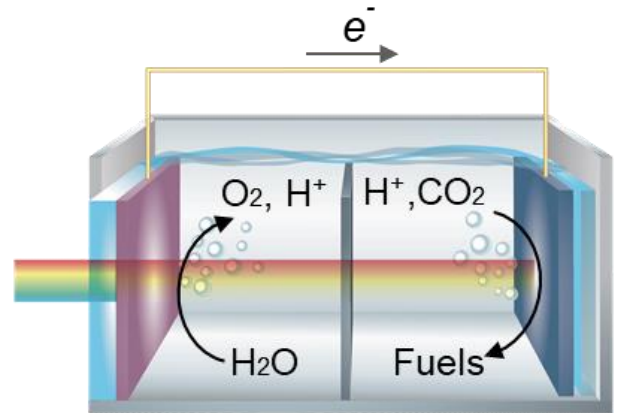
- 太陽光を化学エネルギーに蓄積
- CO_2 と水から有用な物質を高効率に合成
- 地球温暖化と化石燃料の枯渇を同時解決



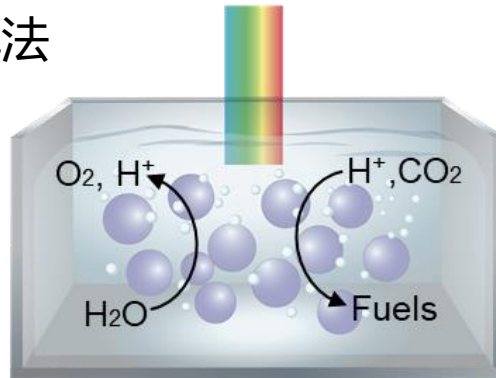
人工光合成の技術



太陽光発電 - 電解法

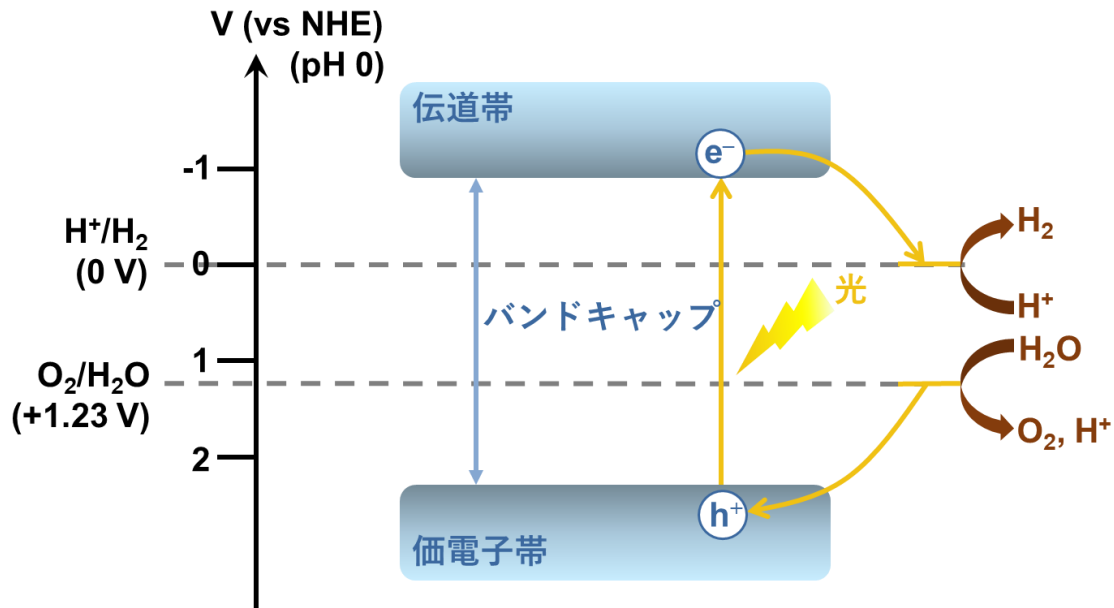
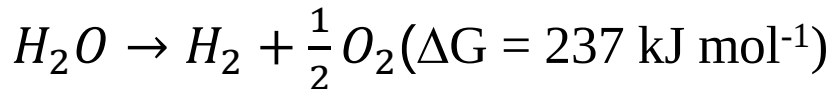


光電極



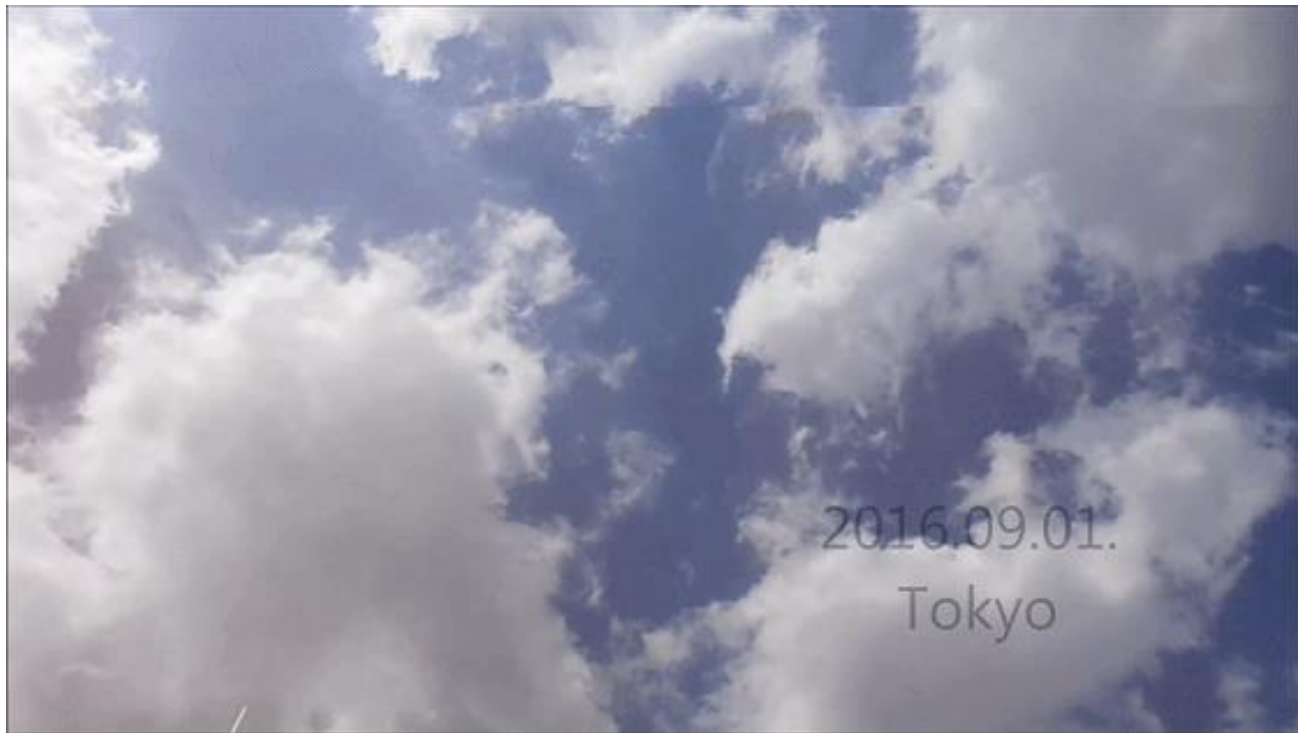
光触媒

半導体光触媒による水の分解



半導体光触媒による水の分解

光触媒パネル-SrTiO₃:Al



大面積化・低コスト化の実証試験

2019年11月6日@東京大学柿岡教育研究施設

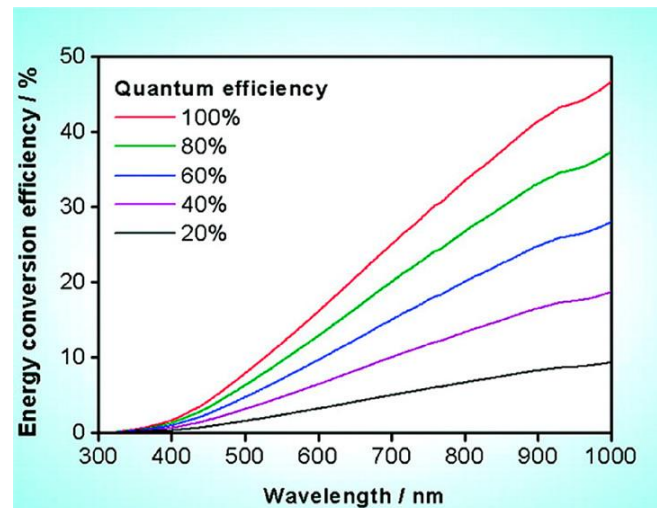
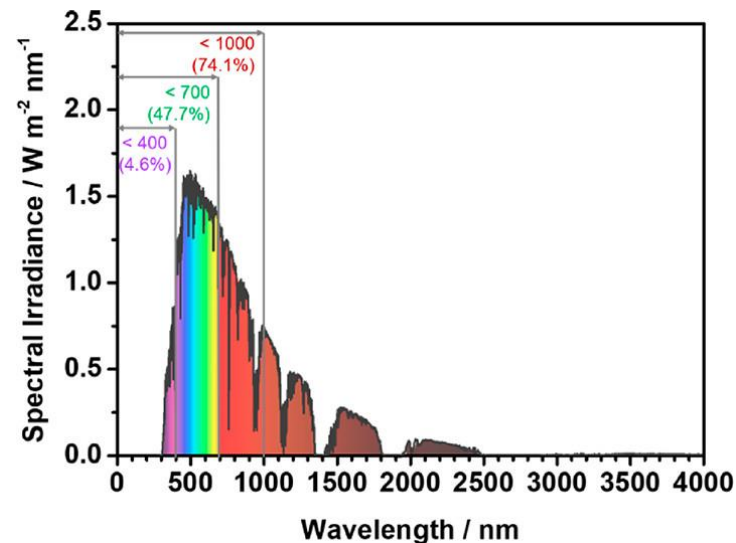


- 0.76%の太陽光エネルギー変換効率 (STH)を達成
- 約73%の回収率で水素を分離

$$3 \text{ m}^2 \times 33 \text{ units} + 1 \text{ m}^2 = 100 \text{ m}^2$$



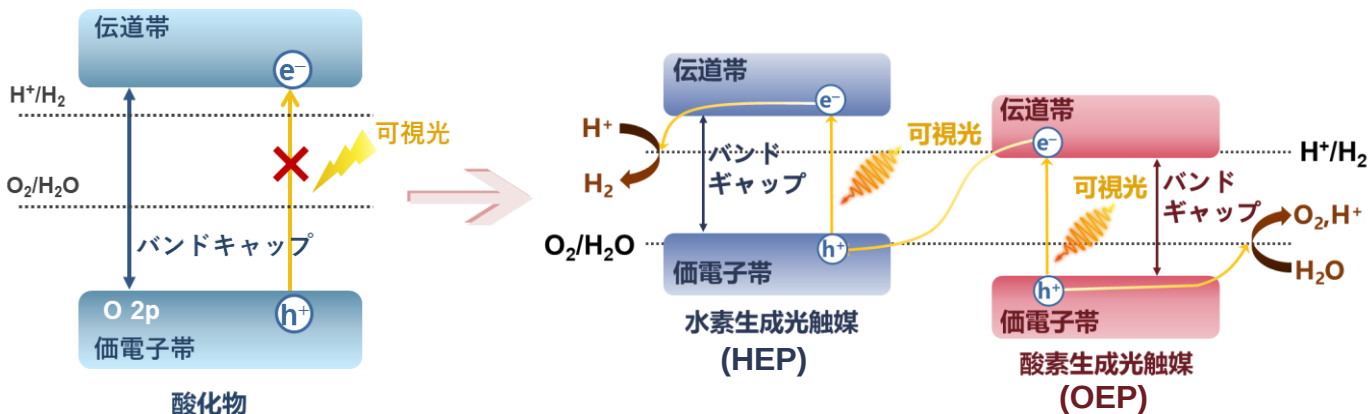
可視光応答型光触媒



水分解できる光触媒:

吸収波長が主に紫外光領域 (400nm以下) に限られるものが多く (80%以上) 光触媒の吸収波長を長波長化することが課題の一つ

二段階光励起型 (Zスキーム) 光触媒系



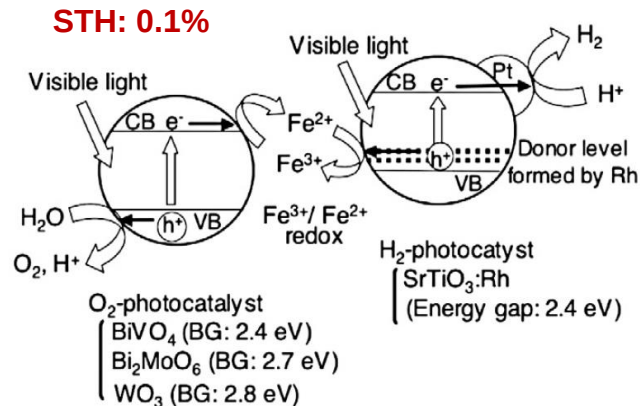
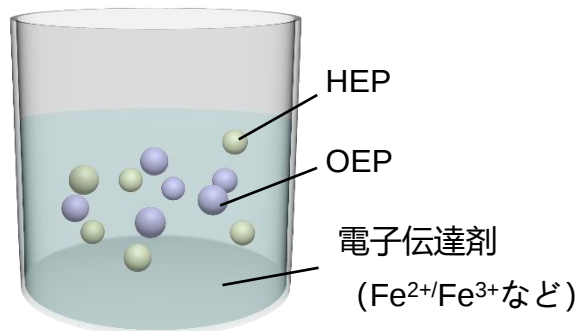
Zスキーム光触媒系

- より長波長に吸収を持つ半導体を利用できる
- これまでに一段階光励起による水分解に利用できなかった半導体でも候補になる

従来型のZスキーム光触媒系

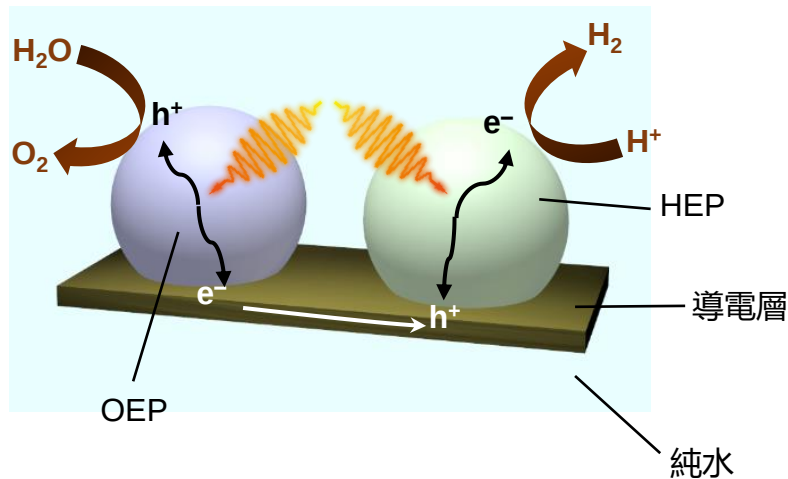
OEP|Redox|HEP

e.g.: $\text{BiVO}_4|\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}|\text{SrTiO}_3:\text{Rh}$



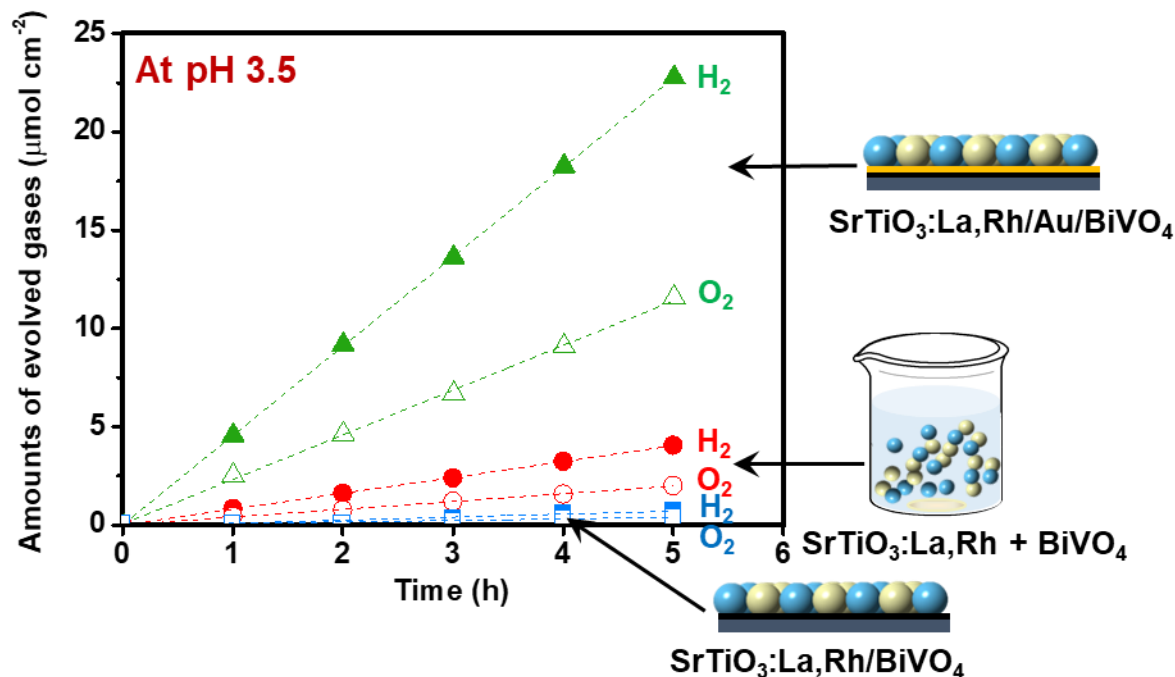
- 電子伝達剤が副反応が起こりやすい
- 粒子間電子移動効率が低い

光触媒シートの開発



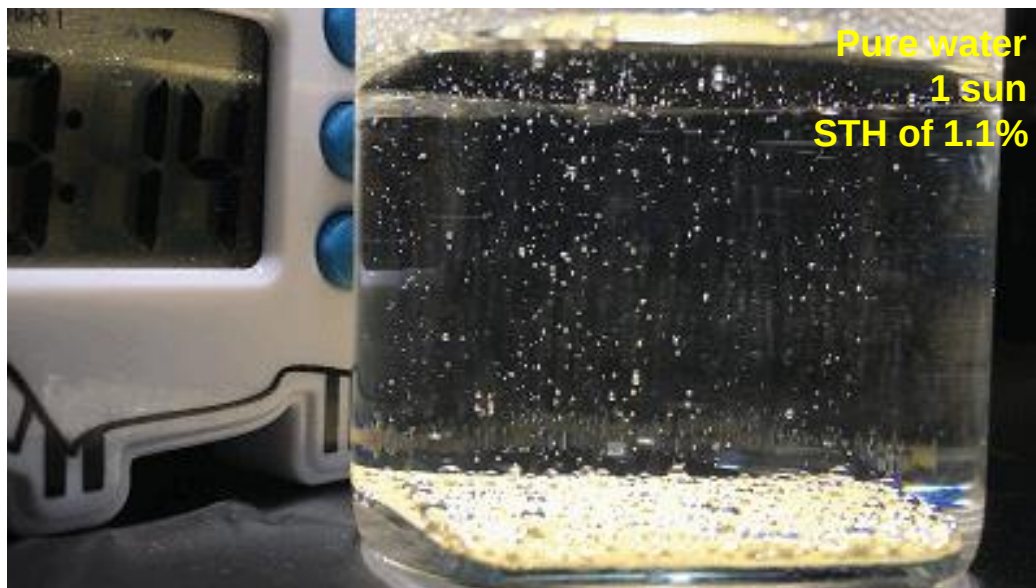
粉末状の水素生成光触媒と酸素生成光触媒を導電層上（金、カーボンなど）に固定化し、光触媒シートを開発

光触媒シート: $\text{BiVO}_4\text{:Mo|Au|SrTiO}_3\text{:La,Rh}$



光触媒シート: 高効率

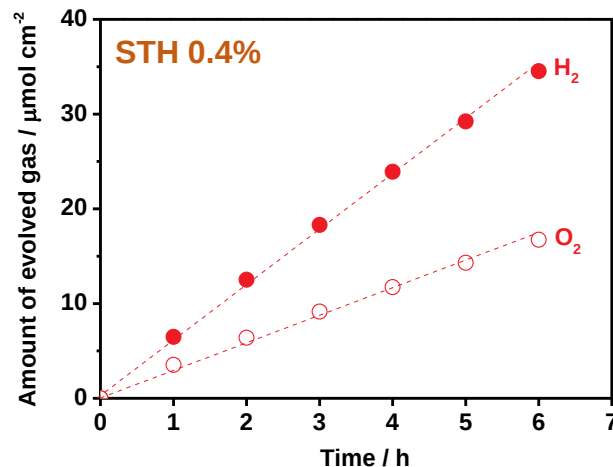
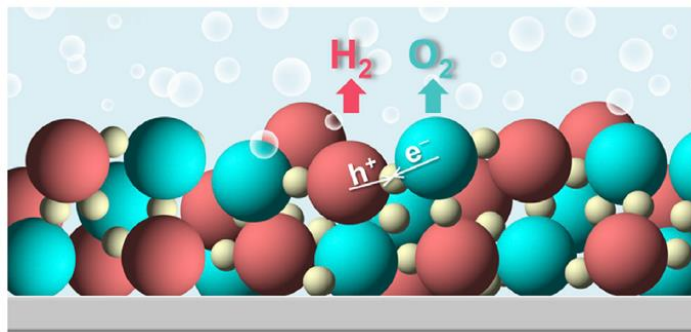
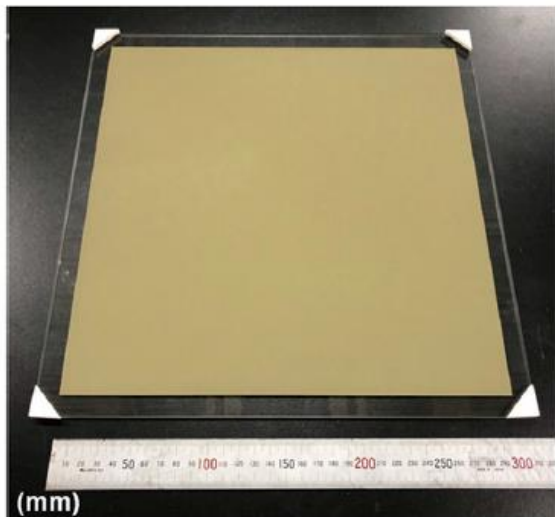
- 光触媒と導電層の接触抵抗を軽減: 粒子間電子移動効率を向上
- シンプルな構造かつ補助電力、電子伝達剤等を使わず、水中で太陽光を照射するだけで純水を分解



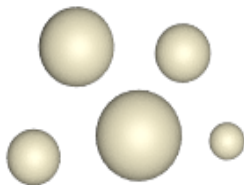
光触媒シート: 実用化

スクリーン印刷

- 高温真空プロセスなし
- 大面積化と低コスト化
- 安価な水素を大規模に供給可能

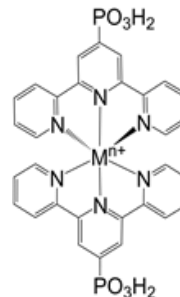


半導体光触媒による二酸化炭素還元



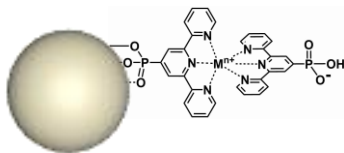
半導体光触媒

- <長所> 可視光を用いて水を酸化
- <短所> 二酸化炭素を還元することは困難



金属錯体触媒

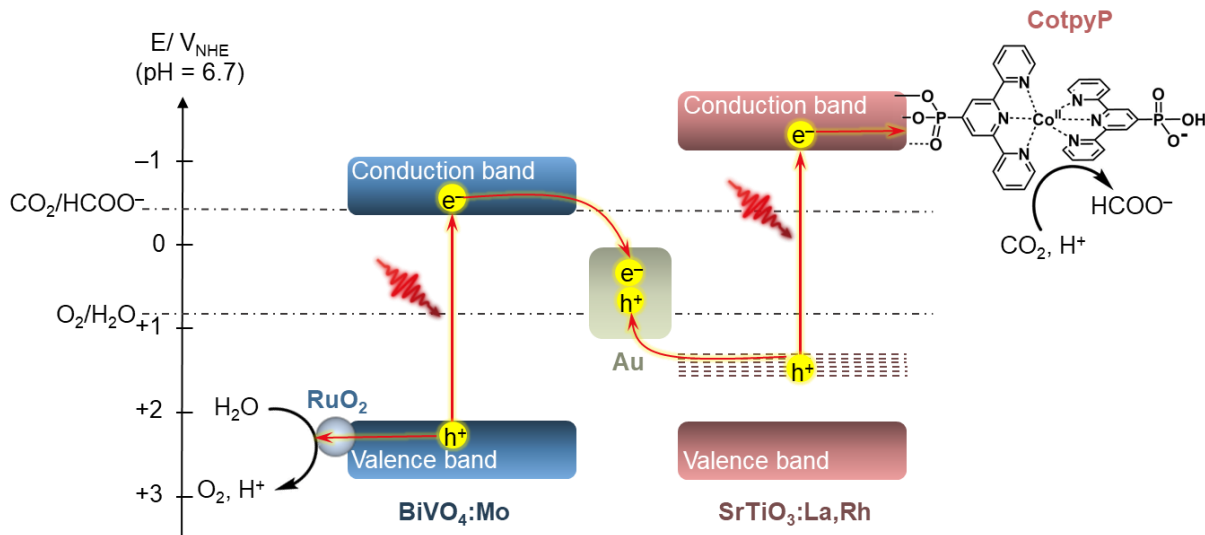
- <長所> 高効率な二酸化炭素還元を達成
- <短所> 均一系で使える



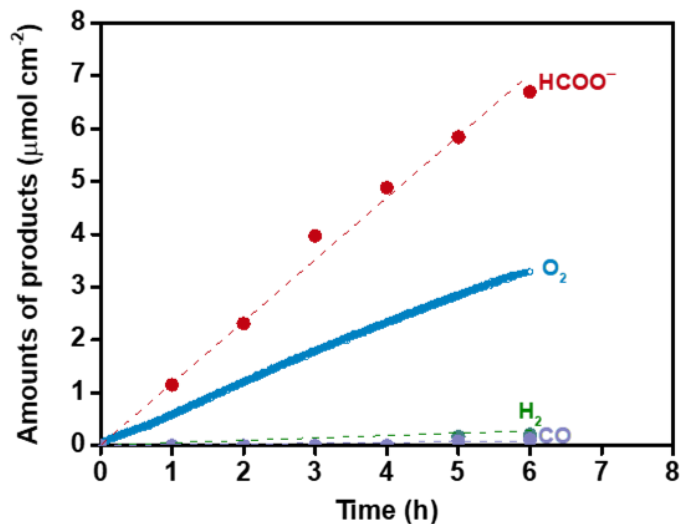
半導体-金属錯体触媒ハイブリッド

金属錯体触媒の二酸化炭素還元能と半導体の光吸収と水の光酸化能を兼ね備える

半導体と金属錯体触媒を融合した光触媒システムの開発

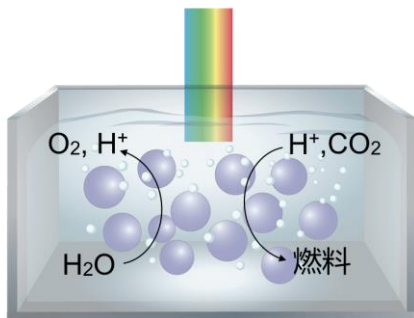


二酸化炭素からギ酸への選択的還元



- 0.08±0.01%の太陽光-ギ酸エネルギー変換効率
- 二酸化炭素からギ酸への選択性~ 97%

光触媒系と二酸化炭素固定細菌



光触媒系 [1]

- <長所> 圧倒的にシンプル・低コスト
- <短所> 低効率・低選択性
 - 可視光により駆動できない
 - C2以上の生成物の合成が困難

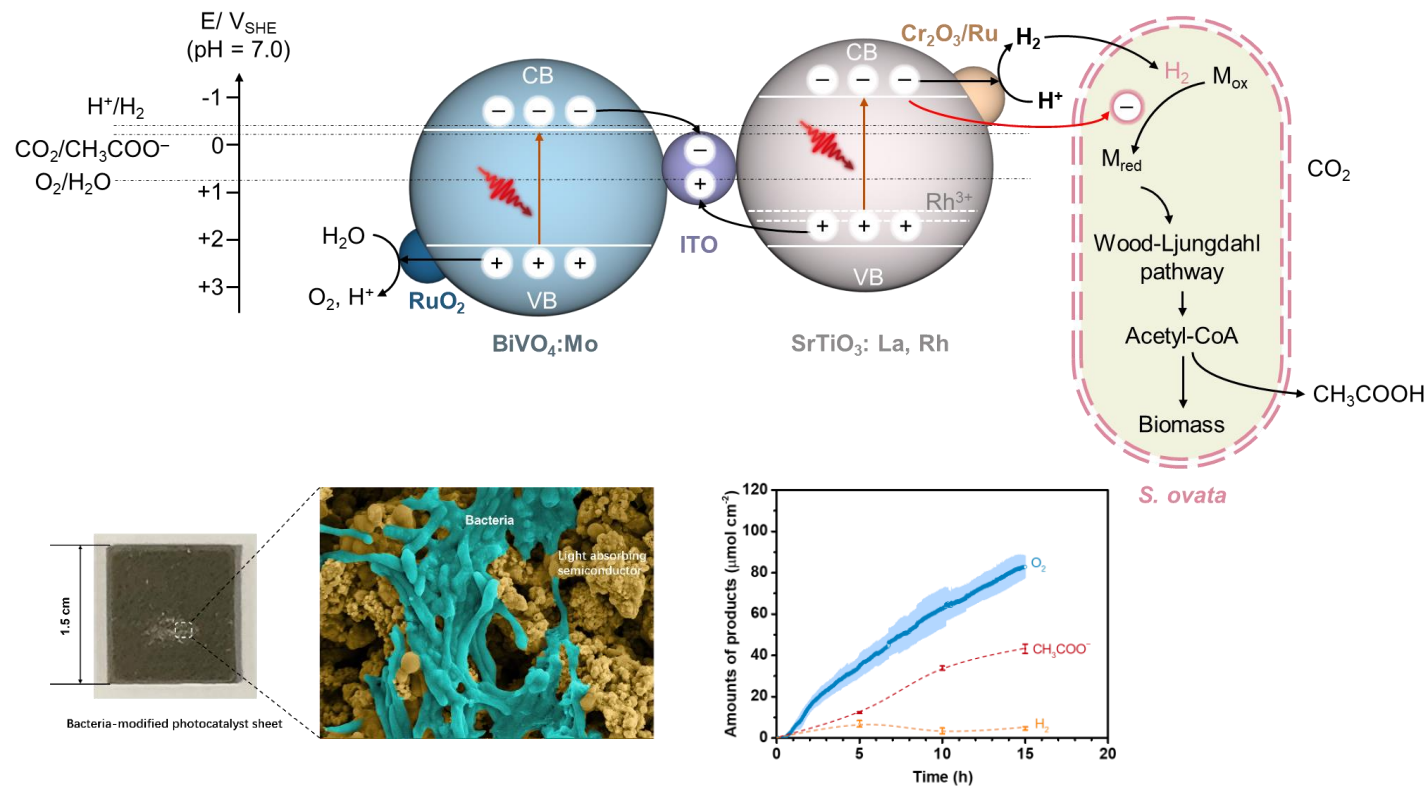


非光合成二酸化炭素固定細菌 [2]

- <長所> 高反応選択性のCO₂還元
 - 原料ガス成分変動へ良好に適応
 - 自己複製・自己修復機能
- <短所> 変換速度が遅い

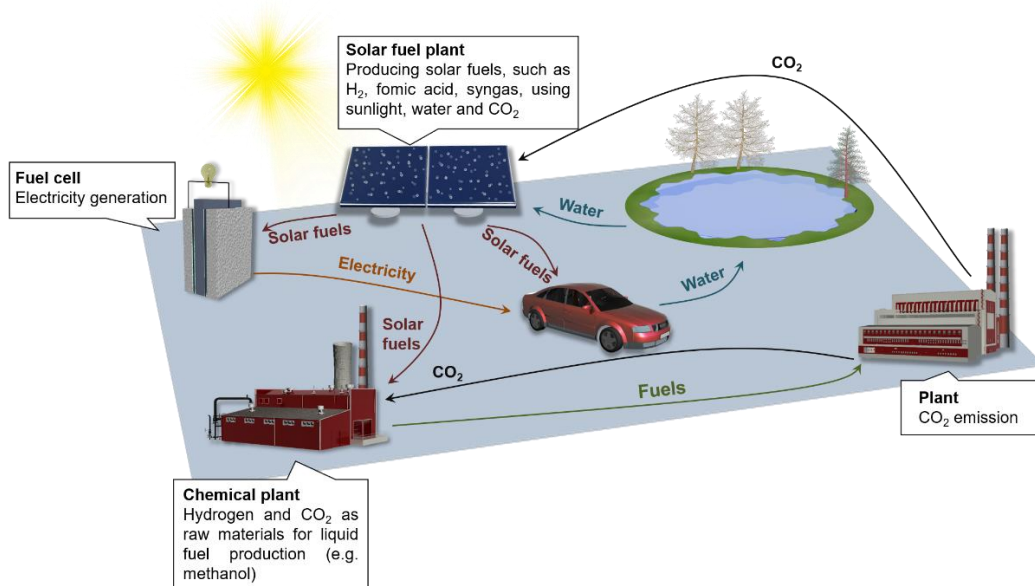
光触媒系と細菌のハイブリッド化による
太陽光燃料製造の高効率化に着想

光触媒系と二酸化炭素固定細菌



まとめ

- 光触媒シートによる大面積・低コストで太陽光、水と二酸化炭素からソーラー燃料を作られることが実証しました。
- 今後、可視光応答型光触媒による太陽光エネルギー変換効率（5～10%）を持つ高効率な光触媒開発で実用化を目指します。



Acknowledgements

DOMEN LAB.

@University of Tokyo



Reisner Lab @University of Cambridge



WANG LAB.



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY

TOTO



ARPChem



日本学術振興会
Japan Society for the Promotion of Science



MEXT

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN



Christian Doppler
Forschungsgesellschaft



New Energy and Industrial Technology
Development Organization

