

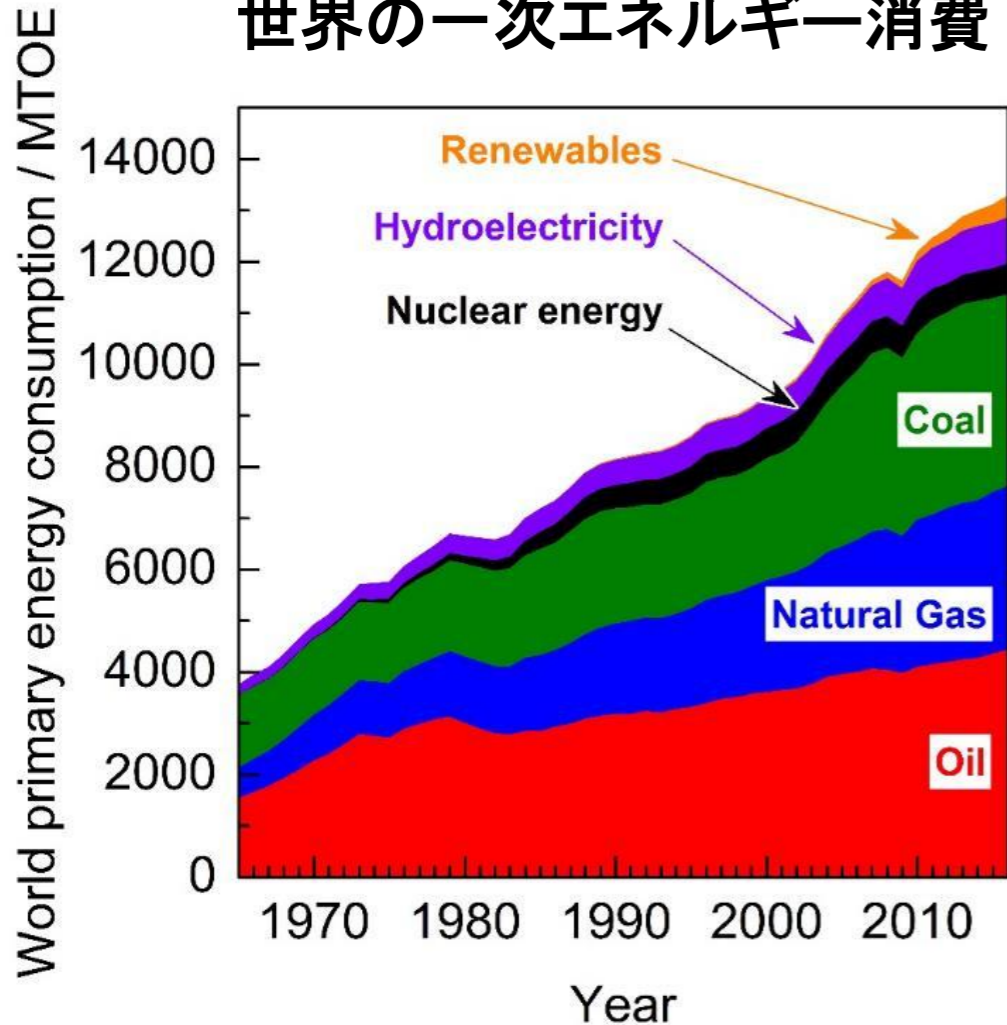
配線不要！太陽光と水から 水素キャリアをつくる光触媒隔膜シート

信州大学 工学部 物質化学科
准教授 影島 洋介

2026年1月13日

背景：太陽光エネルギー利用

世界の一次エネルギー消費



太陽光エネルギーですべて賄うとしたら？

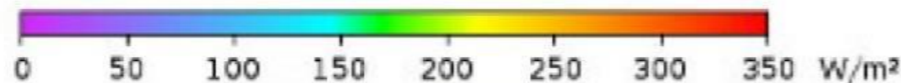
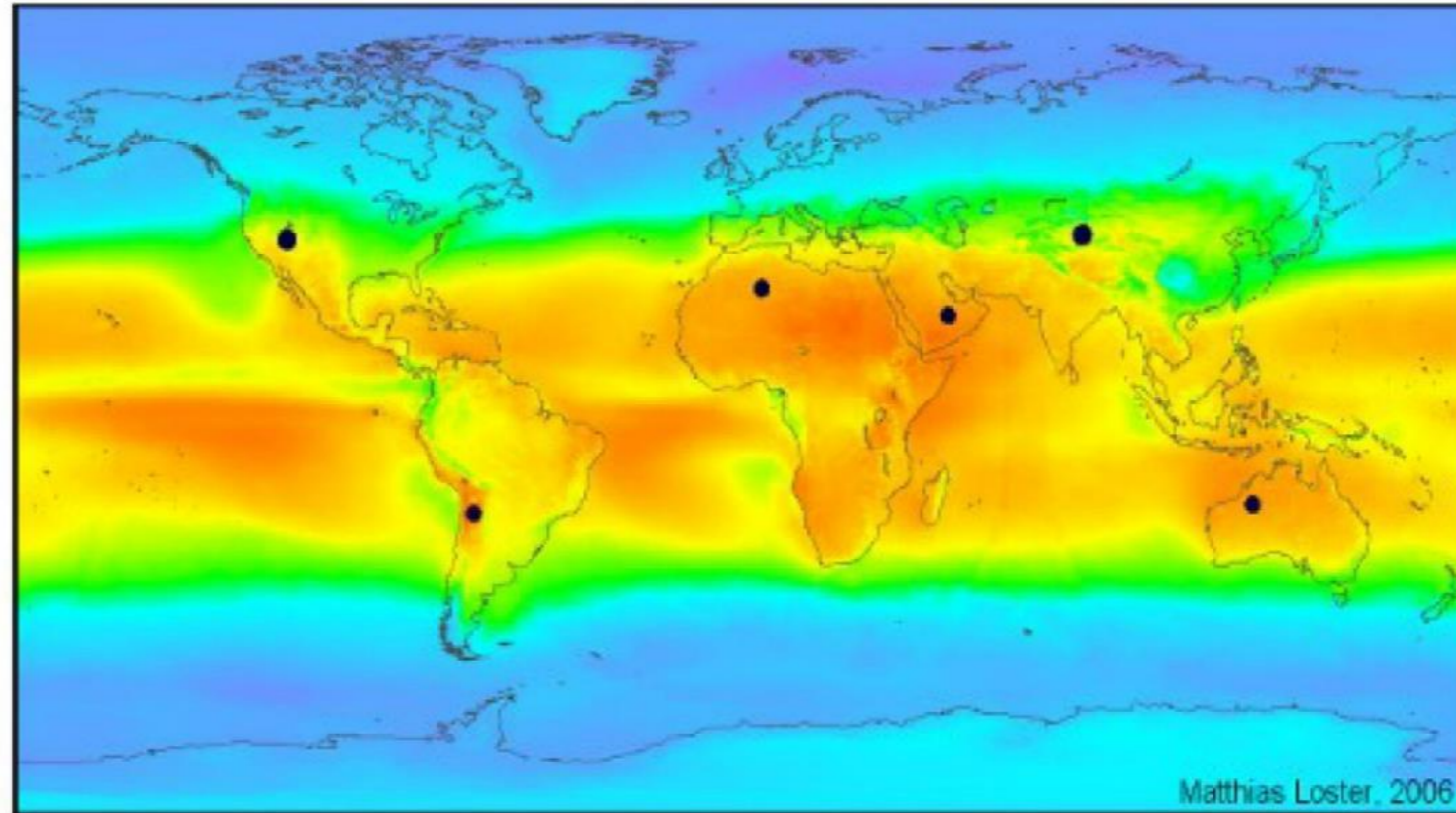


- ✓ 世界の1次エネルギー消費量: $5.6 \times 10^{20} \text{ J year}^{-1}$
- ✓ サハラ砂漠での太陽光エネルギー密度: 260 W m^{-2}
- ✓ 太陽光変換効率10%を仮定

- エネルギー・環境問題 → 再生可能エネルギーの利用拡大
- 太陽光エネルギーは潜在賦存量が特に大きい

背景：時間的・空間的不均一性

太陽光エネルギーの分布



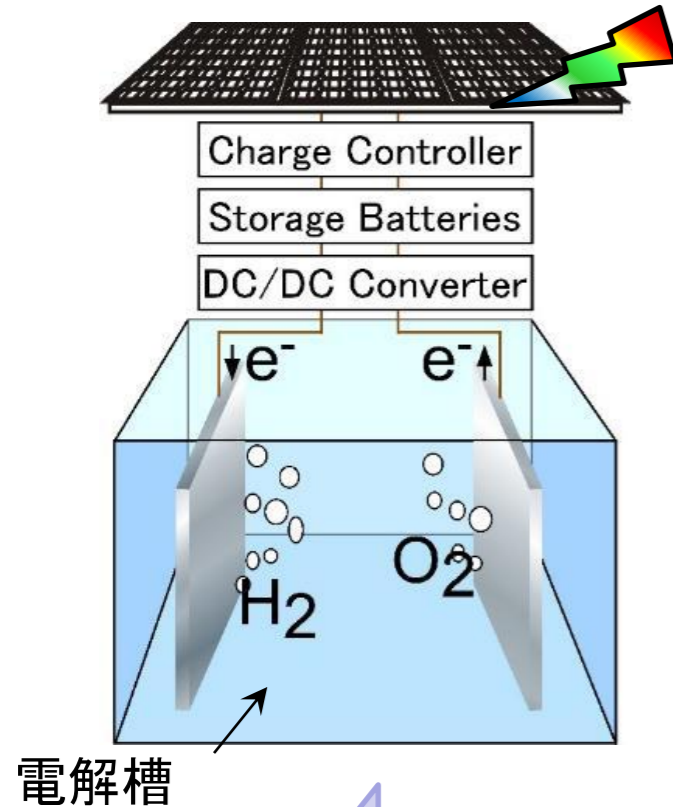
Statistical Review of World Energy 2017, BP, London, 2017.
Matthias Loster http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/

- 場所による不均一な分布 (エネルギー消費地との不一致)
- 時間・季節による変動

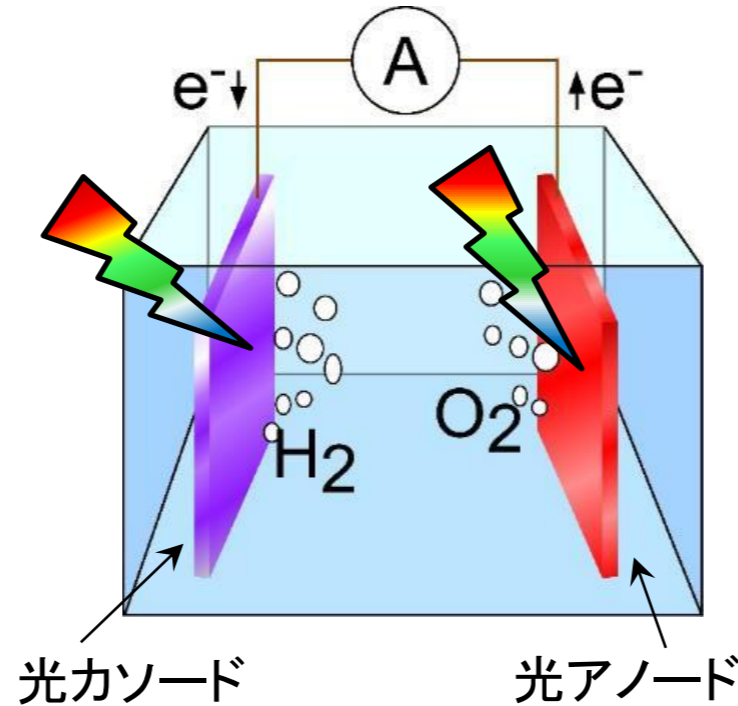
➡ **貯蔵・輸送に有利な化学エネルギーの形態への変換**

背景：ソーラー水素製造

a) 太陽電池and/or電解槽

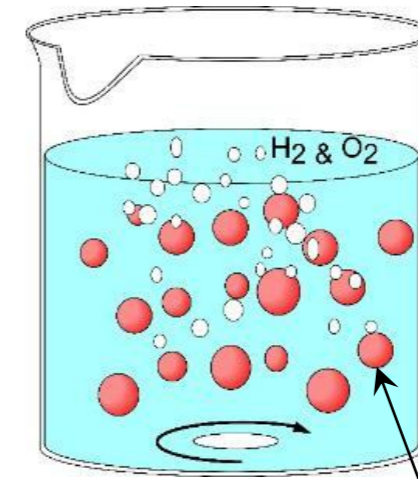


b) 光電気化学(PEC)系

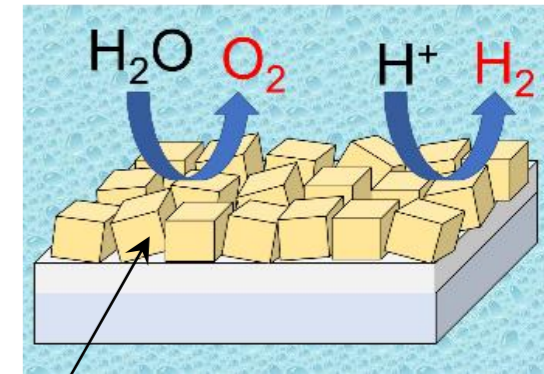


c) 光触媒粉末系

✓ 粉末懸濁系



✓ 光触媒シート



光触媒粉末

◎ 高い変換効率(STH)
× 系が複雑・高コスト
(建材、外部回路、電解槽)

◎ 系がシンプル・スケーラブル
× 活性の向上が必要

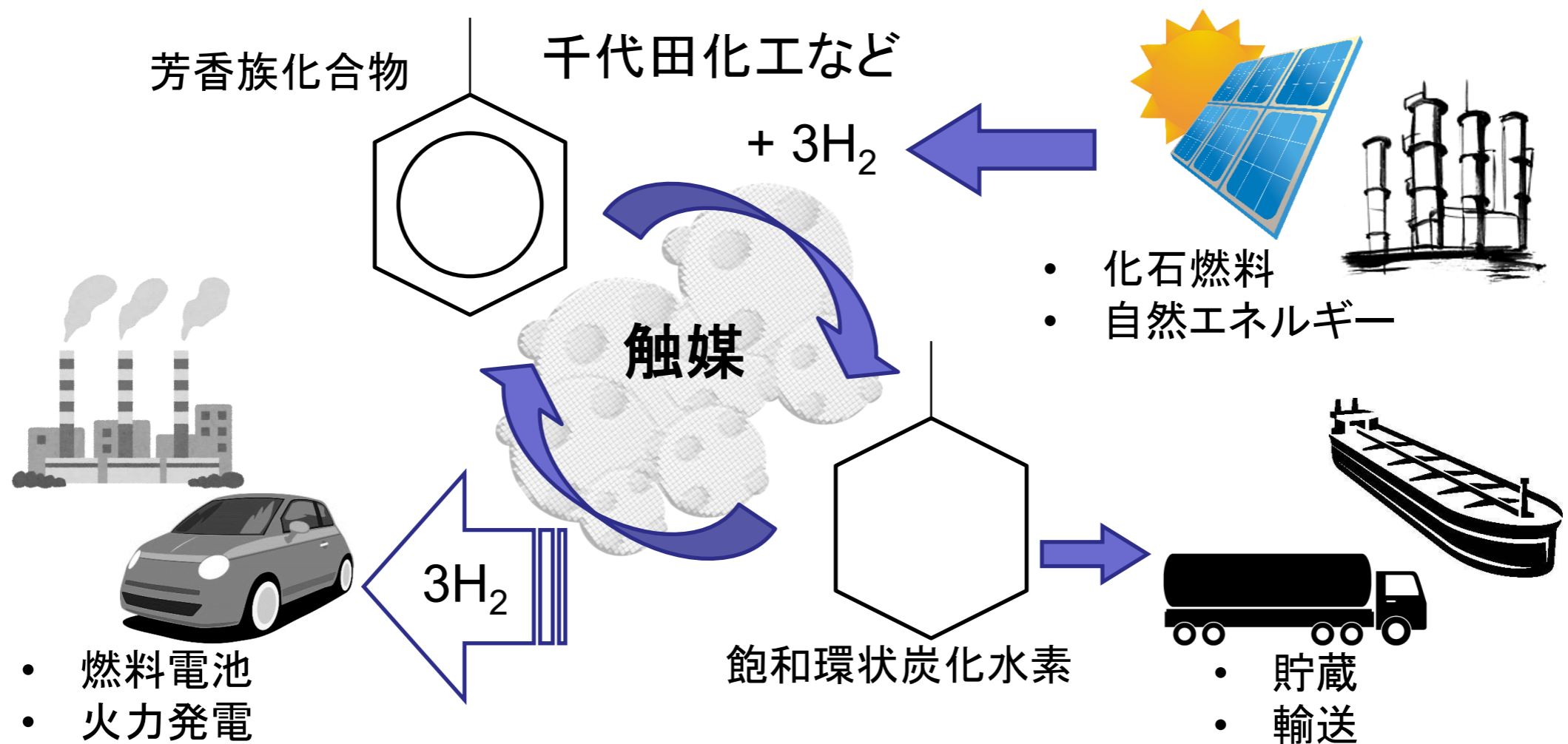
太陽電池+電解槽) <https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1509/24/news065.html>

PEC系) https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101057.html

光触媒シート) https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/articles/a_00473.html

➔ 粉末光触媒の有効利用

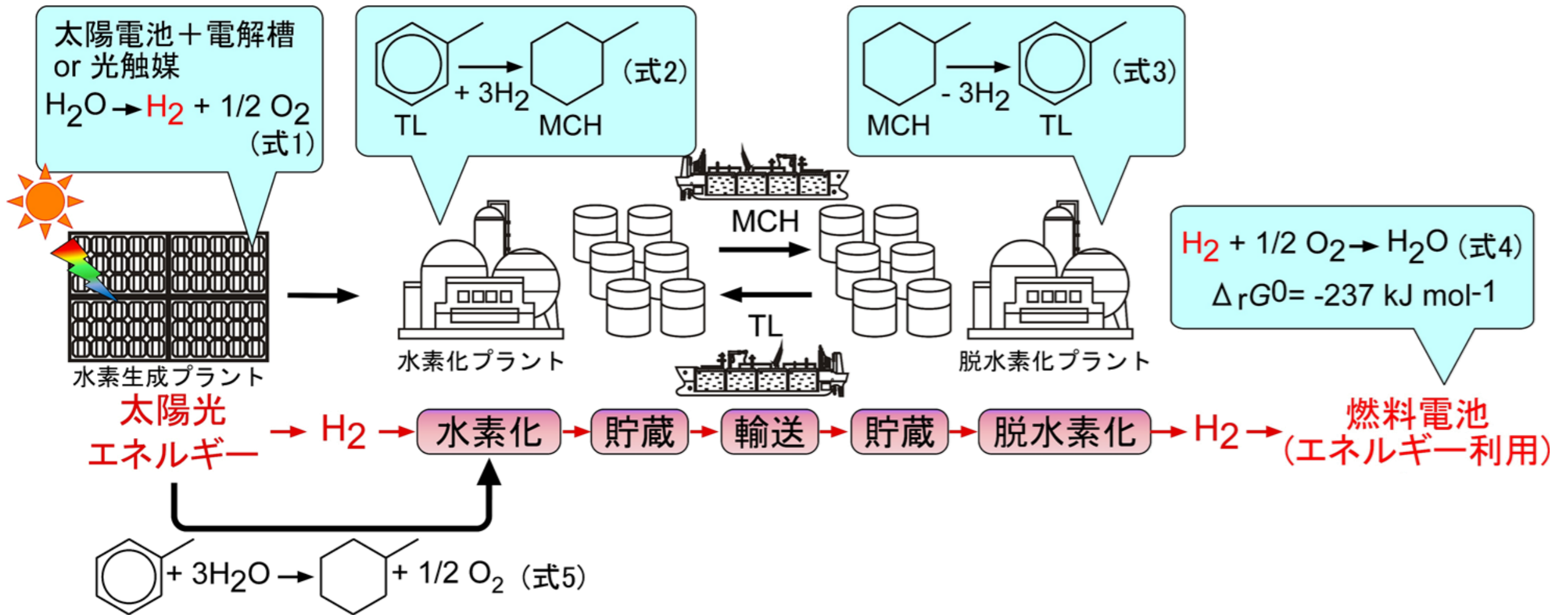
従来技術①: 有機ケミカルハイドライド法



岡田ら, 化学工学, 2013, 77, 47.

- 芳香族の触媒的な水素化反応により、高密度(47~56 kg-H₂/m³)¹⁾で水素を固定化
- 脱水素反応により水素を取り出し、芳香族化合物は回収リサイクル
- 常温・常圧で液体の状態での貯蔵・輸送

従来技術①: 水素サプライチェーン

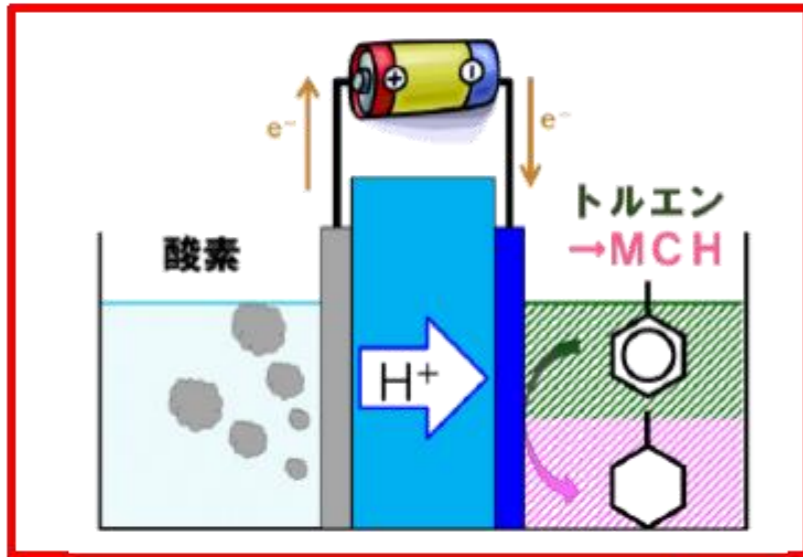


- 熱によるエネルギーのロス・プロセス数の増加 (水素 → TL水素化 → MCH脱水素化)
- エネルギーを作る部分の省プロセス・省エネルギー化
- ➔ 新しい人工光合成型の反応 (太陽光のエネルギーをMCHの形態に変換)

従来技術②: MCHの直接電解合成

ENEOS株式会社
有機ハイドライド電解合成技術
(Direct MCH®)

- ▶ 水素の形態を経ずにトルエンを直接水素化
- ▶ 水素サプライチェーンの実証実験

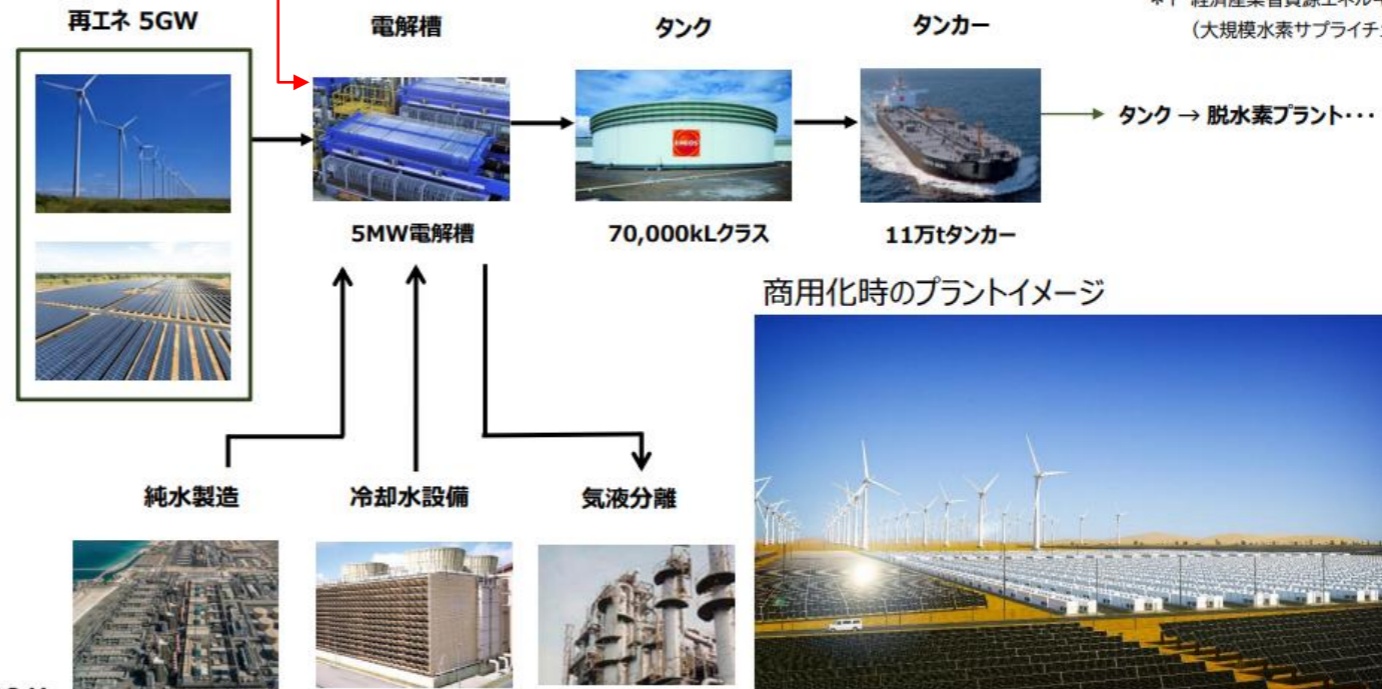


(参考資料) 松岡孝司 (ENEOS株式会社 中央技術研究所 水素キャリアグループ)
「再生可能エネルギー固定化を目指した新規電解技術の開発」
第54回 日化協技術賞 環境技術賞受賞講演 (2022年7月22日) より

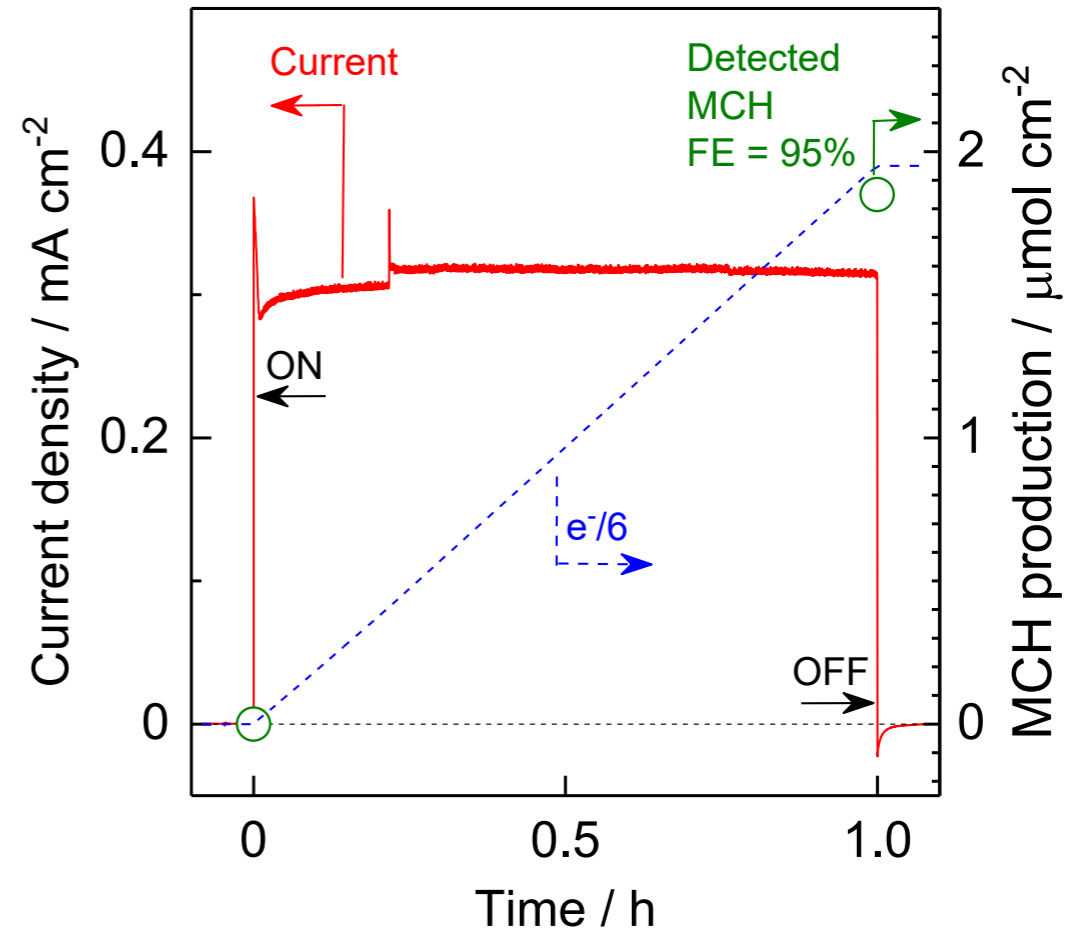
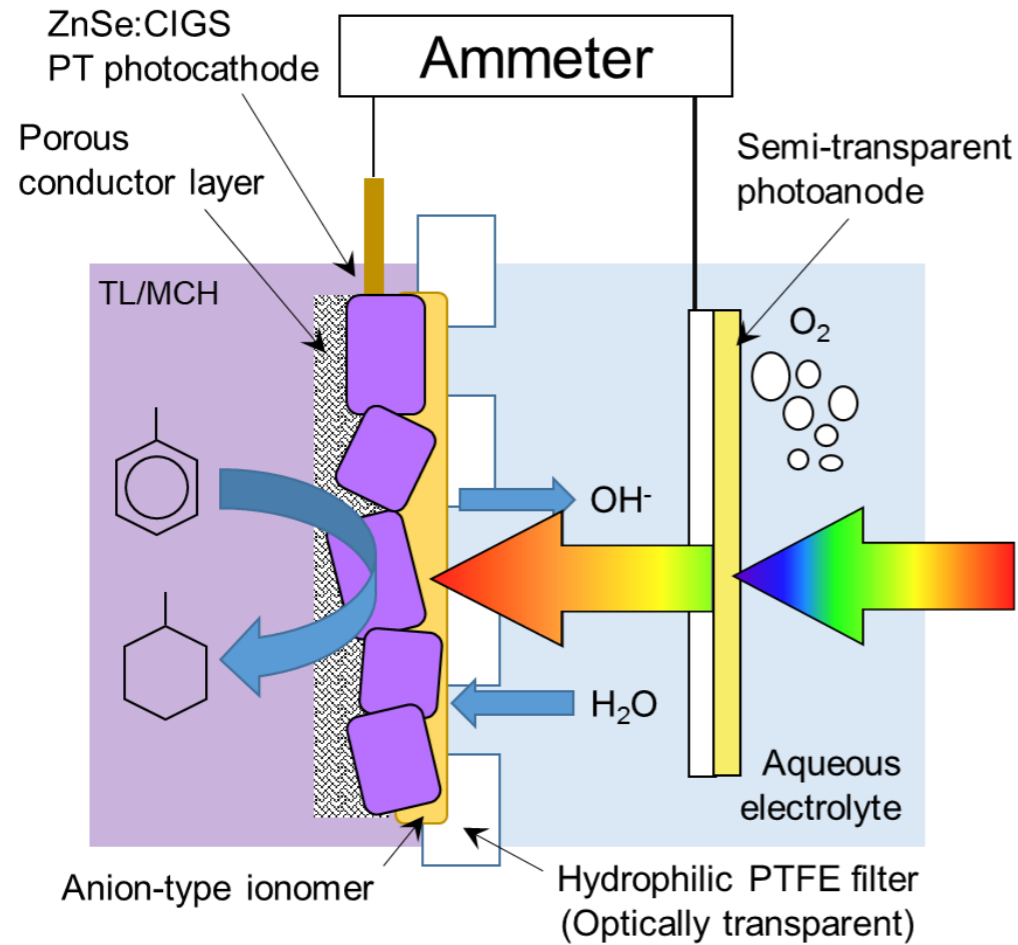
Direct MCH®プラント(商用化イメージ、2030年頃)

- ✓ 2030年に水素発電100万kW相当(200万世帯分、原発1基相当)のグリーン水素を製造するプラント建設開始を目指し、研究開発と実証を進めている。
- ✓ 1プラントあたり、217万トン/年*1のCO₂削減を見込んでいる。
- ✓ 材料メーカー、電解槽メーカー、エンジニアリング会社など、**すそ野の広い産業構築**が期待できる。

*1 経済産業省資源エネルギー庁資料
(大規模水素サプライチェーンの構築)から、当社で試算



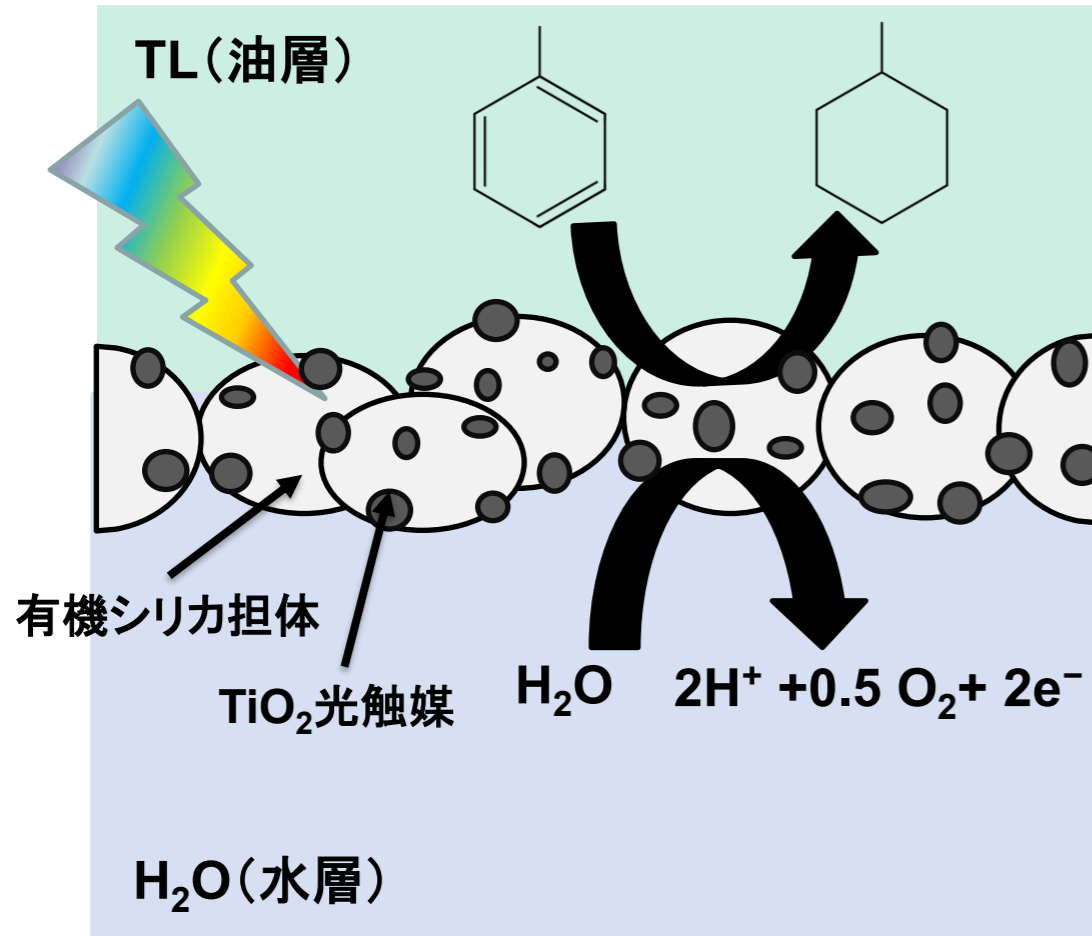
従来技術③: 光電気化学的なMCH生成



- 水を水素源としてトルエン(TL)を光電気化学的に水素化することで、水素キャリアである**MCHの直接生成**
- **生成物の分離が容易** (油相のMCHと気相の酸素)
- 貯蔵・輸送に有利な形態のエネルギーキャリアを直接生成可能な有望な人工光合成系

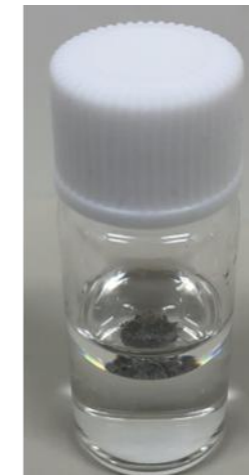
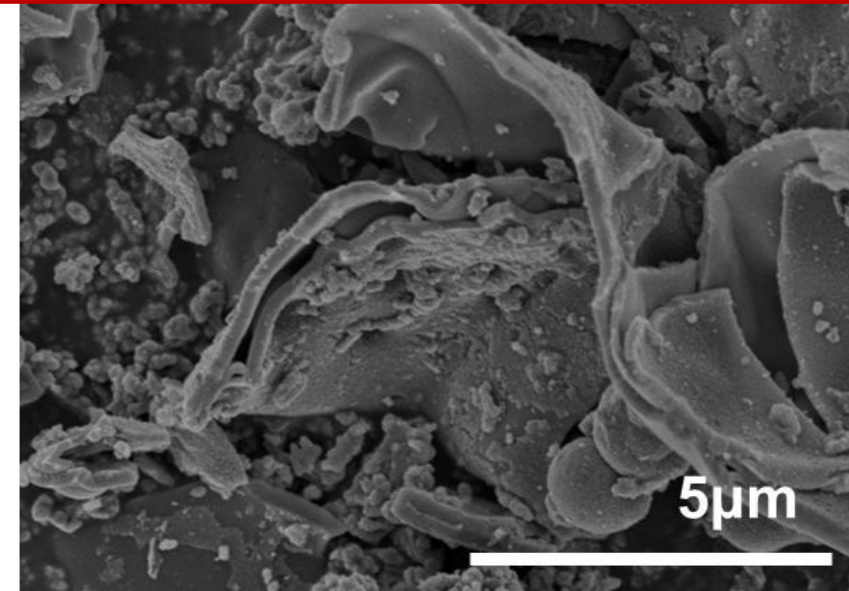
従来技術④: 水-TL界面に浮遊する光触媒

水・TL・活性点の三相界面の構築



- 水-TL界面に光触媒が浮遊
- 配線不要なシンプルな系

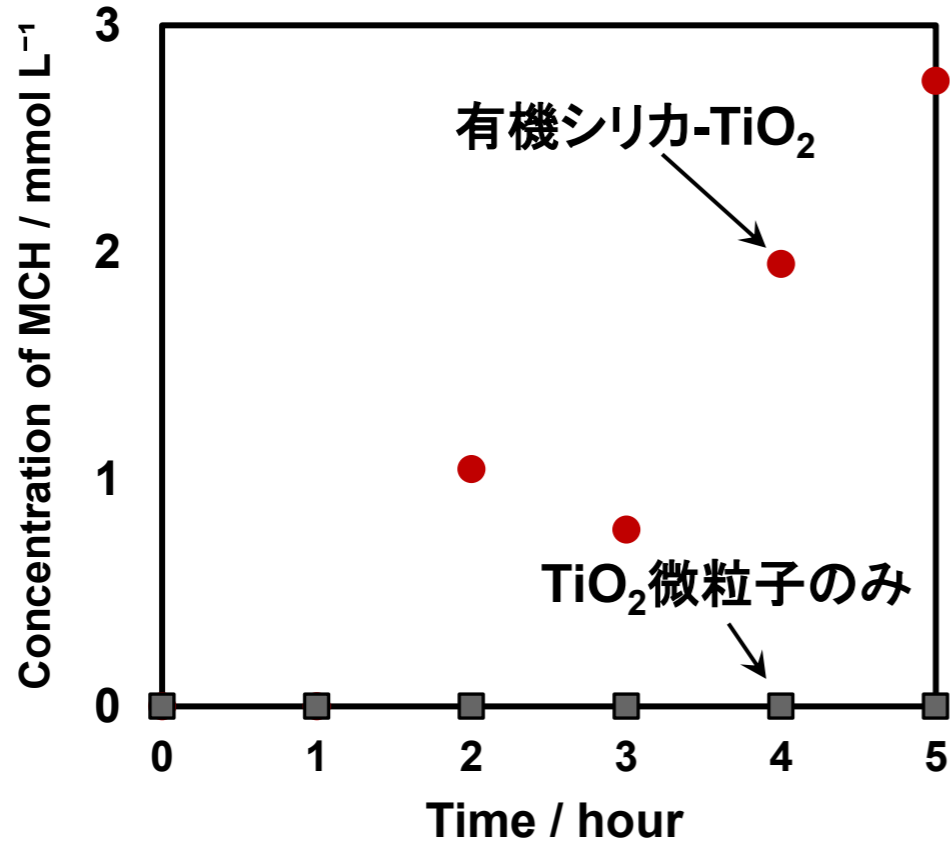
有機シリカ-TiO₂複合粒子



➔ 光触媒的なMCH生成 (配線不要)

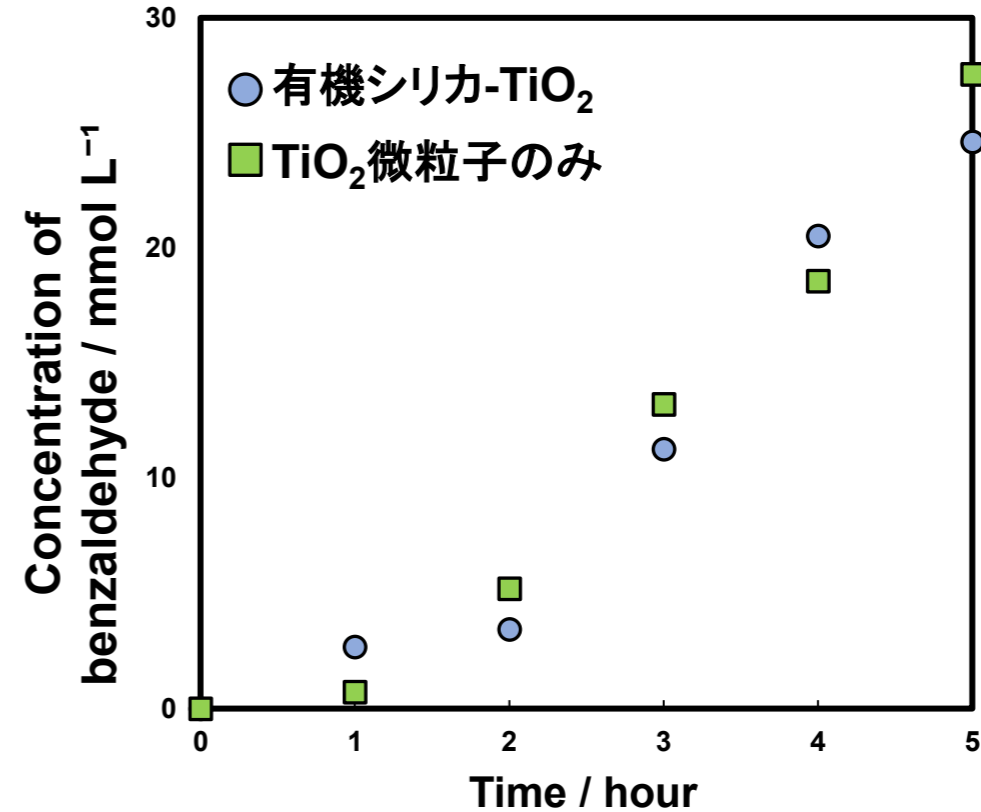
従来技術④: 水-TL界面に浮遊する光触媒

MCH生成の経時変化



- ・MCH濃度が経時で徐々に増加
- ・光照射5時間後、2.75 mmol L⁻¹のMCHが生成

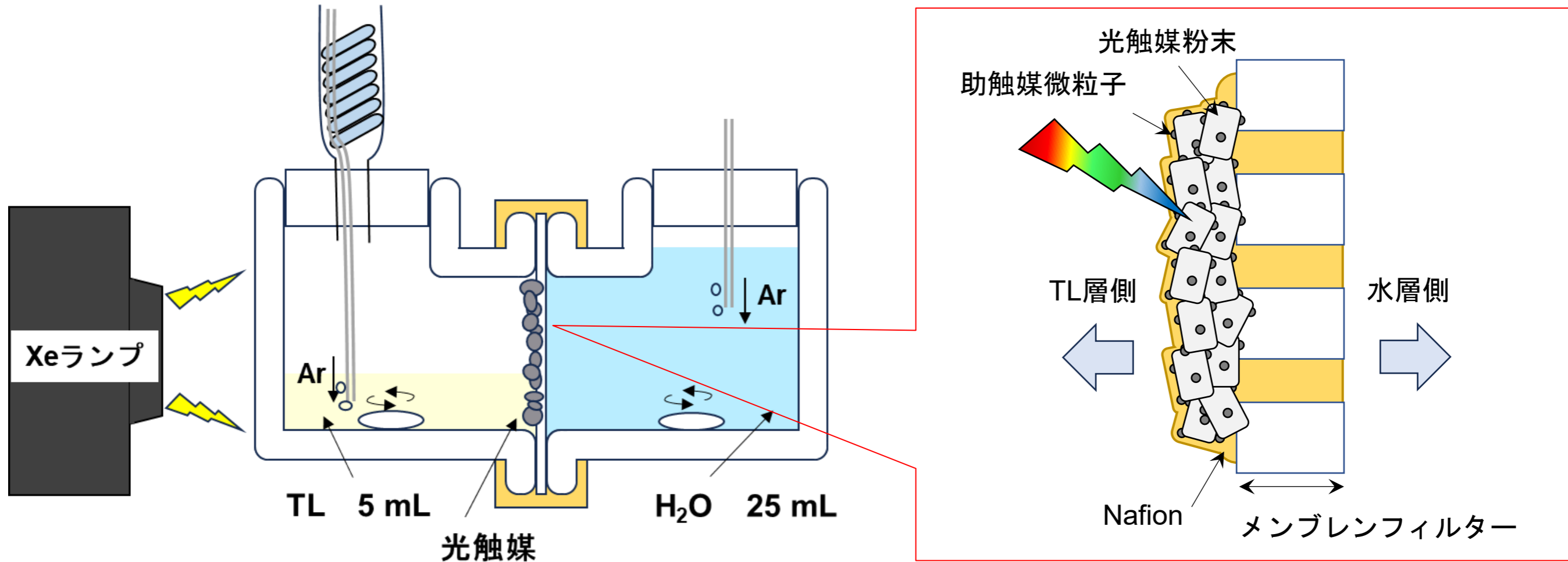
ベンズアルデヒド生成の経時変化



- ・TLの酸化物である、ベンズアルデヒドが生成

- 光触媒的にMCHが生成するが、活性が低い
- 酸化側の副生成物としてベンズアルデヒドがかなり出る

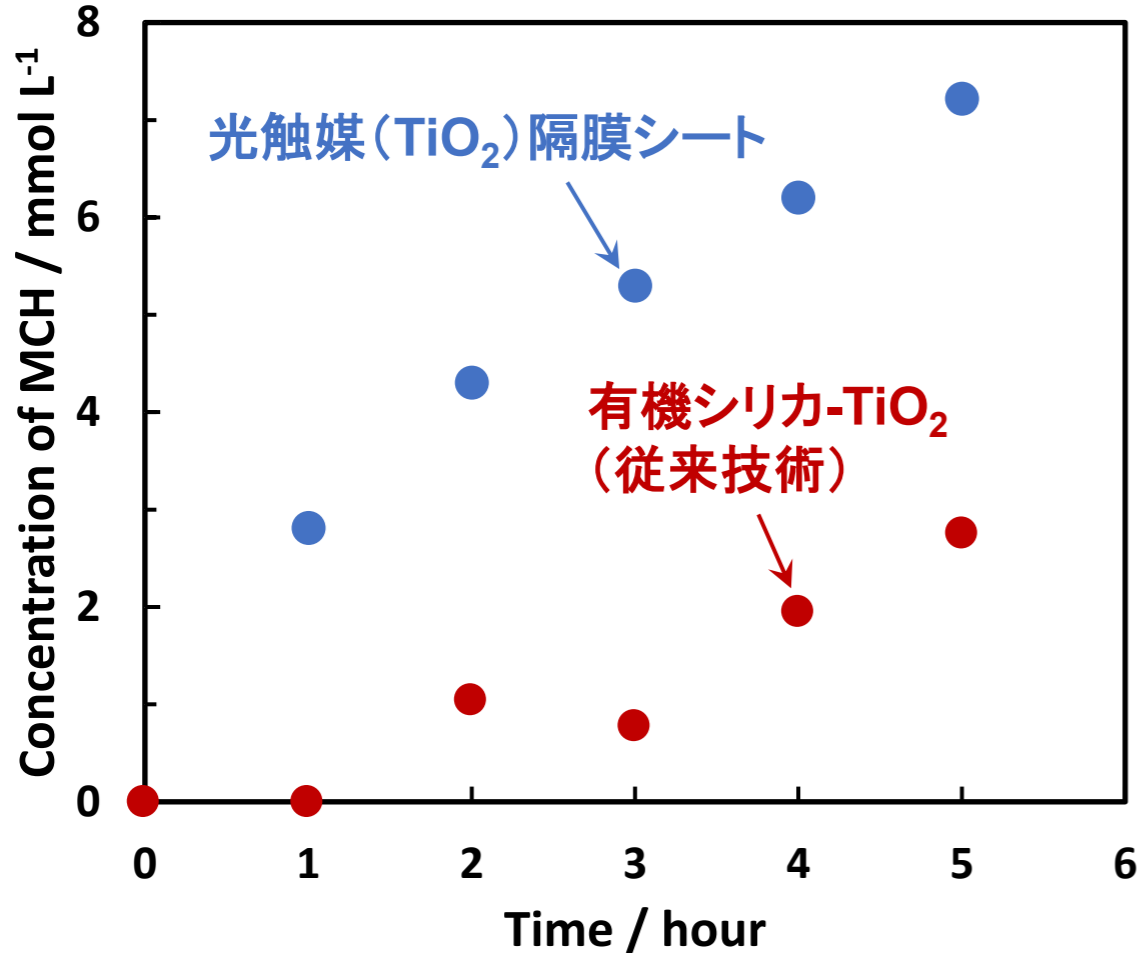
新技術：光触媒隔膜シート



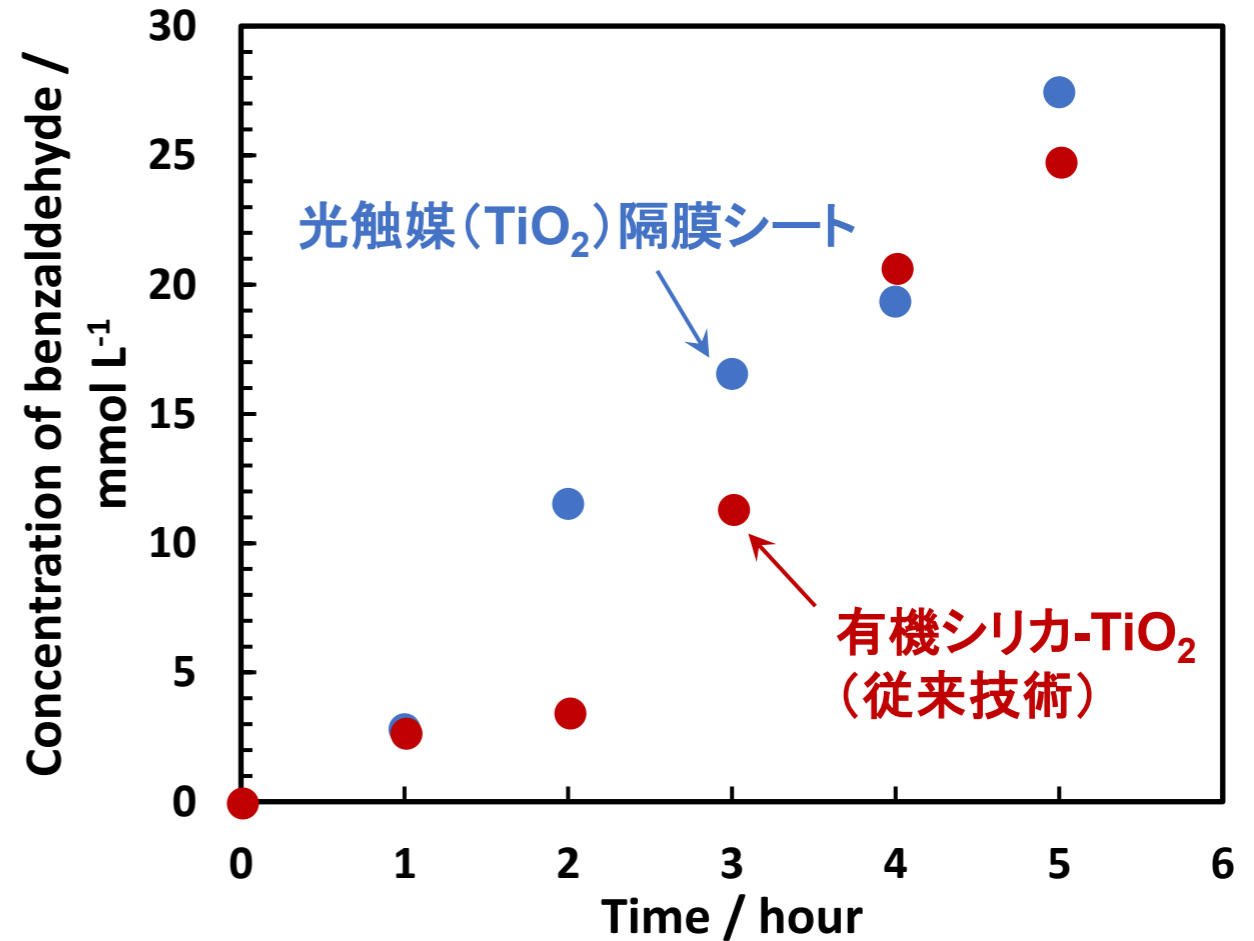
- 隔膜に光触媒微粒子＋助触媒を一体化して油層と水層を仕切ることで、水・TL・触媒の接触界面を実現
- 多孔質フィルムにアイオノマー(Nafion)を充填し、光触媒粉末を接合することで、水層から供給される水とプロトンを通す経路を膜内に構築

光触媒隔膜シートによるMCH生成

MCH生成の経時変化



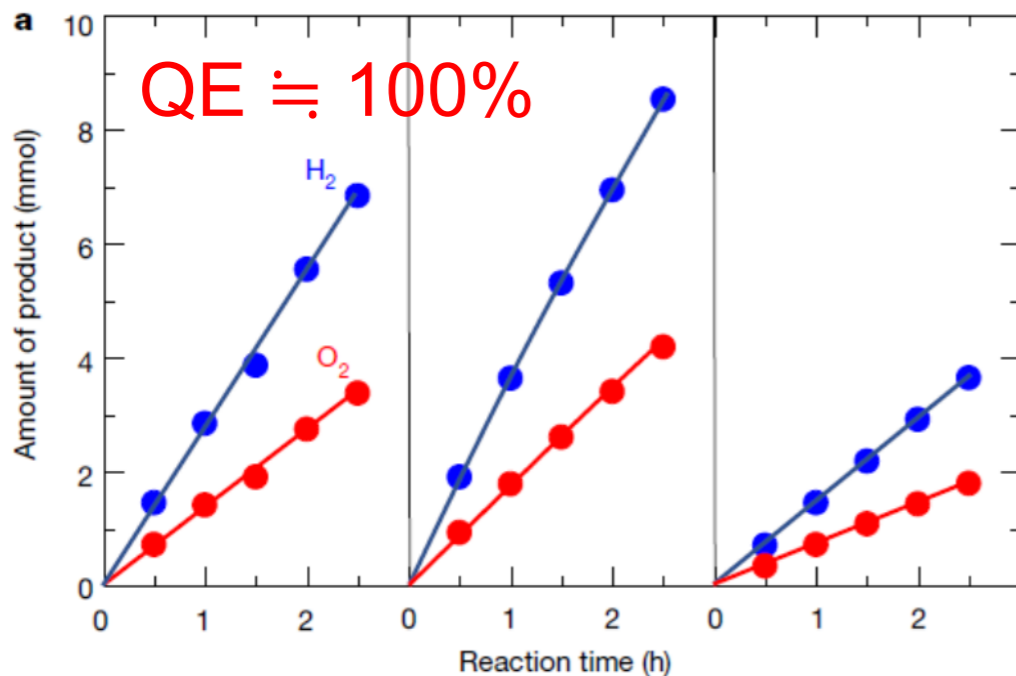
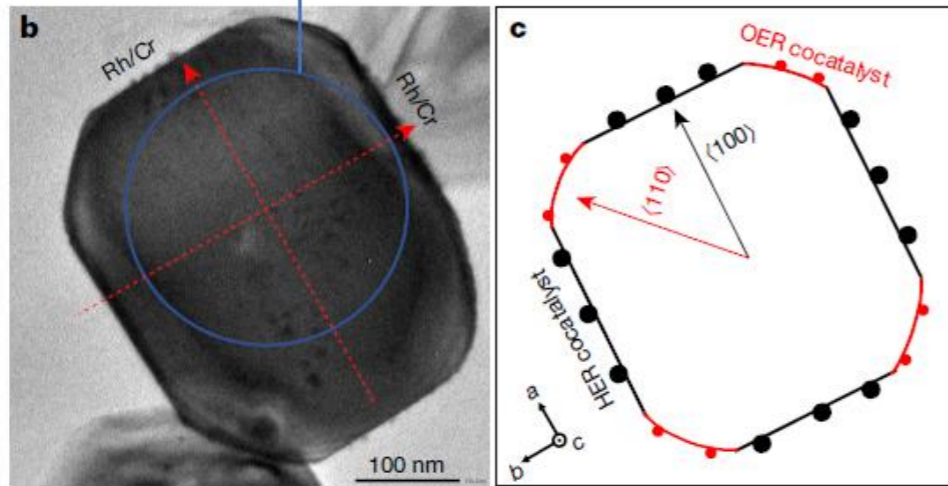
ベンズアルデヒド生成の経時変化



- 新技術(光触媒隔膜シート)により、MCH生成活性向上
- ベンズアルデヒド生成も進行してしまう

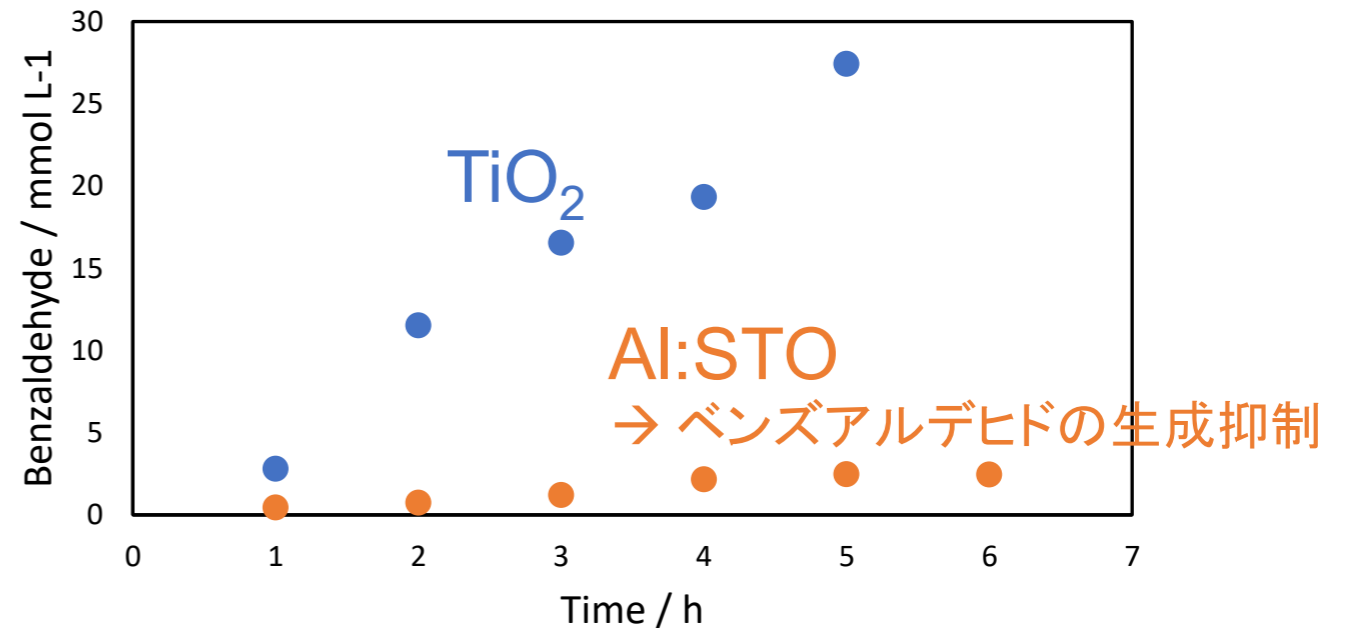
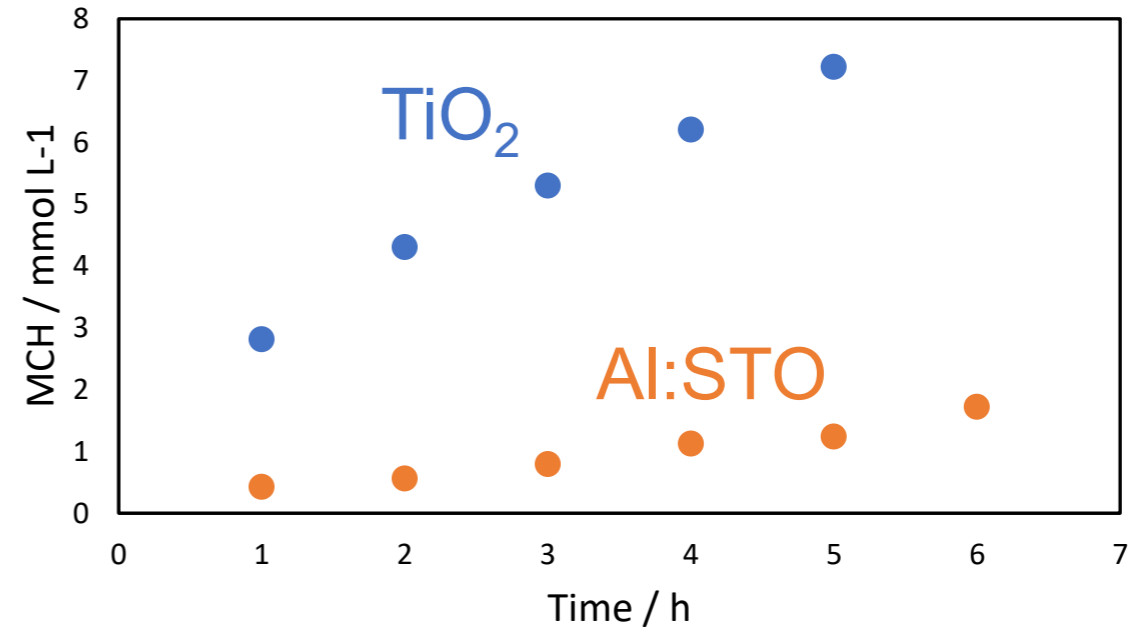
他の光触媒材料への適用(反応性の制御)

AlドープSrTiO₃ (Al:STO) による水分解



T. Takata, et al., *Nature* 2020, 581, 411.

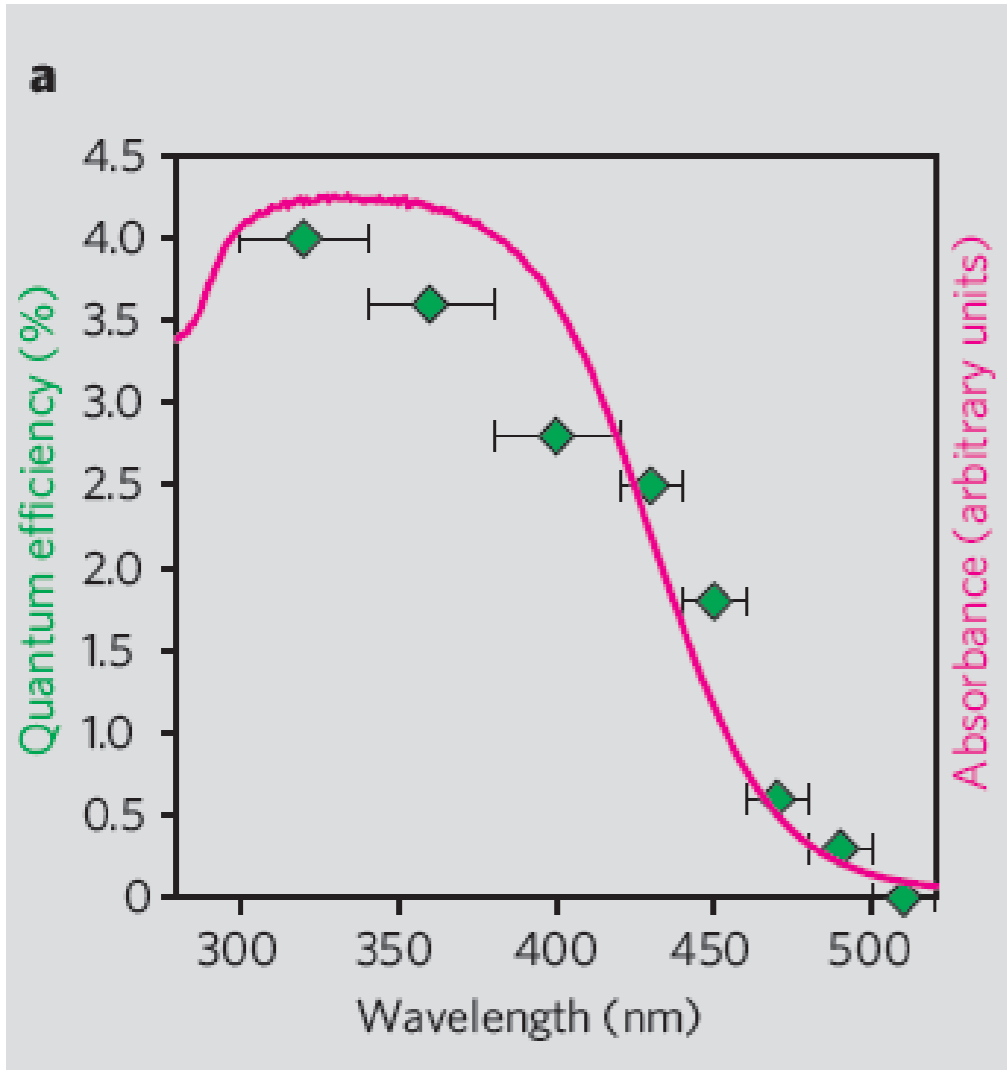
Al:STOから成る光触媒隔膜シート



可視光応答材料の利用

窒化ガリウム酸化亜鉛 (GaN:ZnO)
による可視光水分解

GaN:ZnOから成る光触媒隔膜シートを
用いたMCH生成



光照射時間総 (時間)	MCH濃度 (mmol/L)	ベンズアルデヒド 濃度 (mmol/L)
1	0	0.23
6	0.26	0.47

※ 300 W キセノンランプ (420~800 nm)を照射

➤ 可視光を利用したMCH生成が可能に

従来技術とその問題点

【触媒的なトルエン水素化】

水素のエネルギーが一部熱として散逸してしまう。

【太陽電池もしくは光電極を用いたトルエン光水素化反応設備】

電極や配線等の複雑な補機システムを要する。

【有機シリカを担体として光触媒反応系】

MCH生成速度が低く、ベンズアルデヒドが多く生成してしまう。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 新技術は、水を水素源とすることでトルエンを直接MCHに変換可能。（水素ガスの形態を経ない。）
- 光触媒粉末を隔膜と一体化させることで、補機システムを省略したシンプルな構成での有機ハイドライド製造を可能とした。
- 水・トルエン・光触媒の反応界面の設計自由度が向上したことで、反応活性や選択性が向上した。
- 本技術の適用により、エネルギー使用量の削減や装置・工程数の簡素化ができるため、水素キャリアコストの低減が期待できる。

想定される用途

- 人工光合成の実用展開（水素価格の低減）
- 光をエネルギー源とした化成品合成への応用
- 有機物の改質への応用

実用化に向けた課題

- 現在、紫外～可視光を利用してMCHを生成可能なところまで開発済み。しかし、酸化反応の反応選択性の制御（酸素生成の促進、ベンズアルデヒドの生成抑制）と反応速度向上が未解決である。
- 今後、光触媒材料そのものや反応活性点の設計、アイオノマー修飾条件を改良予定。
- 実用化に向けて、反応物の供給、生成物の回収、反応条件の制御技術などを確立する必要もあり。

企業への期待

- 粉末材料（半導体・セラミック）に強い企業と協働したい。
- 半導体（粉末）材料や隔膜材料の分析技術を持つ企業との共同研究を希望。
- アイオノマーの技術を持つ企業との共同研究を希望。
- 反応系、デバイス設計（温度制御、フローリアクターなど）の技術を持つ企業との共同研究を希望。
- 太陽光エネルギー利用分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は配線不要で反応駆動が可能のため、オフグリッド環境での光エネルギー変換・物質生産システムを構築することでより企業に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで、さらなる高活性化・長波長光利用が可能。
- 水素キャリア製造以外の様々な反応への応用を志向した技術指導等

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 隔膜シート、有機ハイドライド製造装置
及び有機ハイドライドの生成方法
- 出願番号 : 特願2025-171894
- 出願人 : 信州大学
- 発明者 : 影島洋介、錦織広昌

産学連携の経歴

- 2025年度-2029年度 科研費 基盤研究B
- 2025年度 花王芸術・科学財団 花王科学奨励賞 (助成)
- 2024年度 村田学術振興・教育財団 研究助成
- 2024年度 TAKEUCHI育英奨学会 助成金
- 2021年度-2023年度 科研費 基盤研究B
- 2020年度 公益信託ENEOS水素基金
- 2019年度-2020年度 科研費 若手研究
- 2018年度 科研費 研究活動スタート支援

※上記ほか、企業（製造業）との複数の共同研究を実施中

お問い合わせ先

株式会社信州TLO The logo for Shinshu TLO features the Japanese characters '信州' (Shinshu) in a stylized font above the letters 'TLO'. To the right of the text is a red graphic element consisting of a stylized 'S' or '6' shape with a grey dot at the top.

T E L 0268 – 25 – 5181

F A X 0268 – 25 – 5188

e-mail info@shinshu-tlo.co.jp