

## 半導体を利用した微生物人工光合成 によるCO<sub>2</sub>還元

電気電子工学系 西中浩之

Werner Carl Frederik

野田実

京都先端科学大学 井口博之



京都工芸繊維大学  
KYOTO INSTITUTE OF TECHNOLOGY



# 人工光合成とは？

光合成



光

微生物



炭化水素

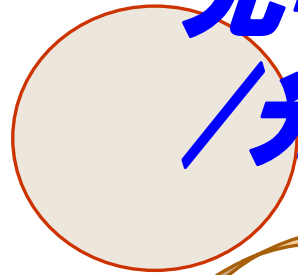
CO<sub>2</sub>

人工光合成



光

光半導体  
/ 光触媒



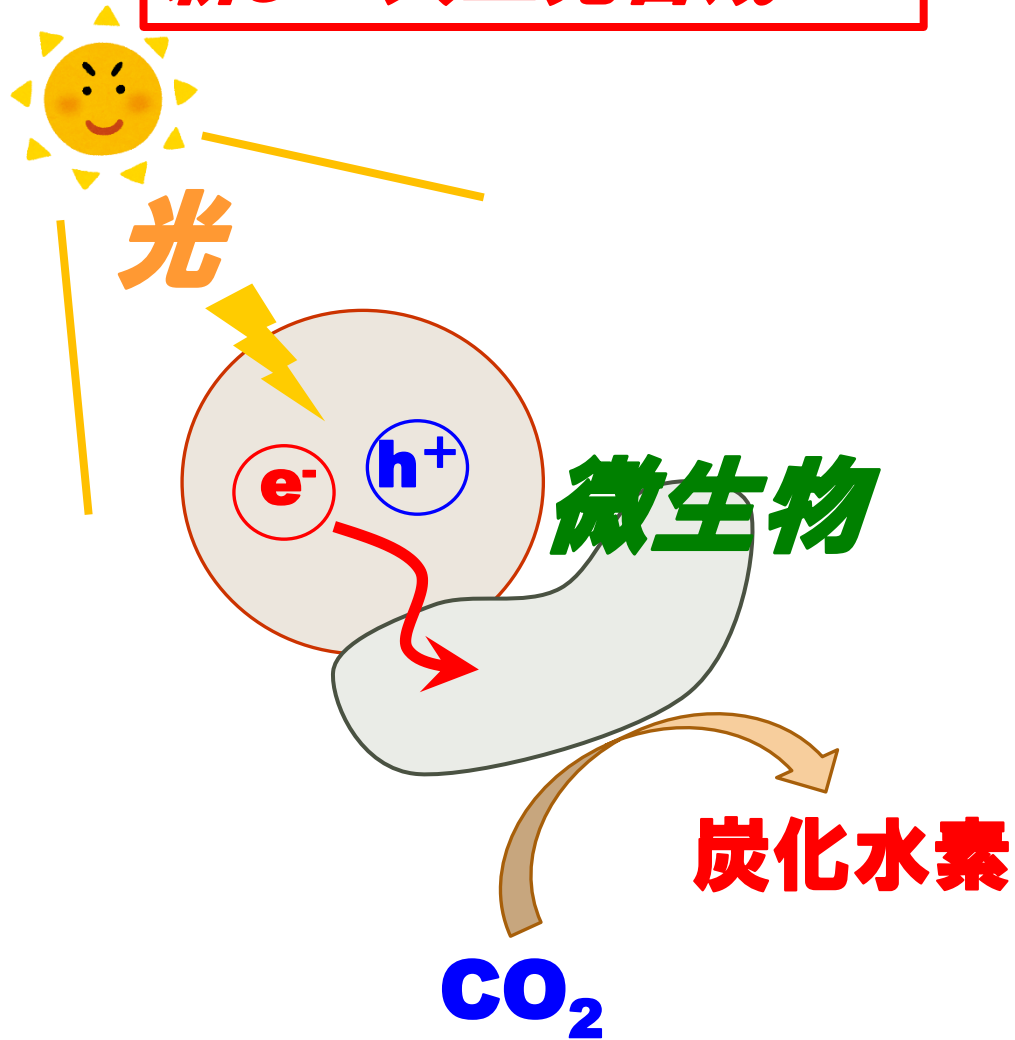
炭化水素

CO<sub>2</sub>

人工光合成とは太陽光のエネルギーと光半導体を用いて物質変換を行う

# 光半導体と微生物を組み合わせた人工光合成

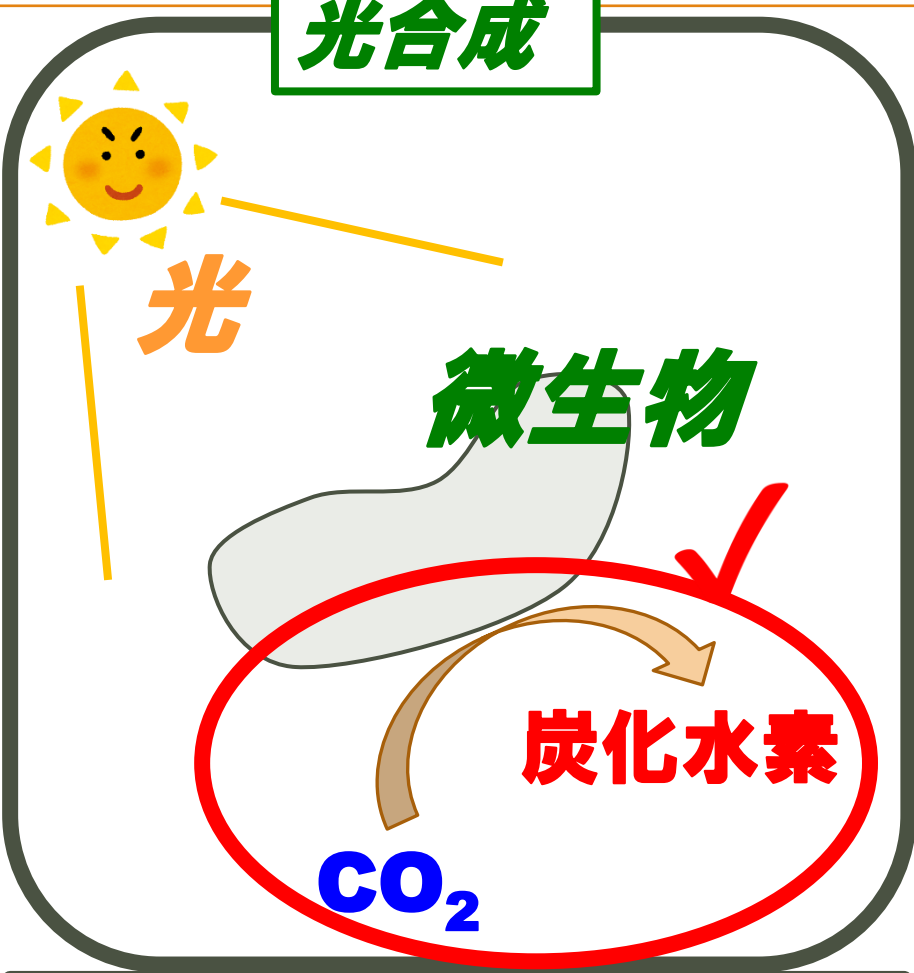
## 新しい人工光合成



微生物と光半導体の良いところを組み合わせた人工光合成

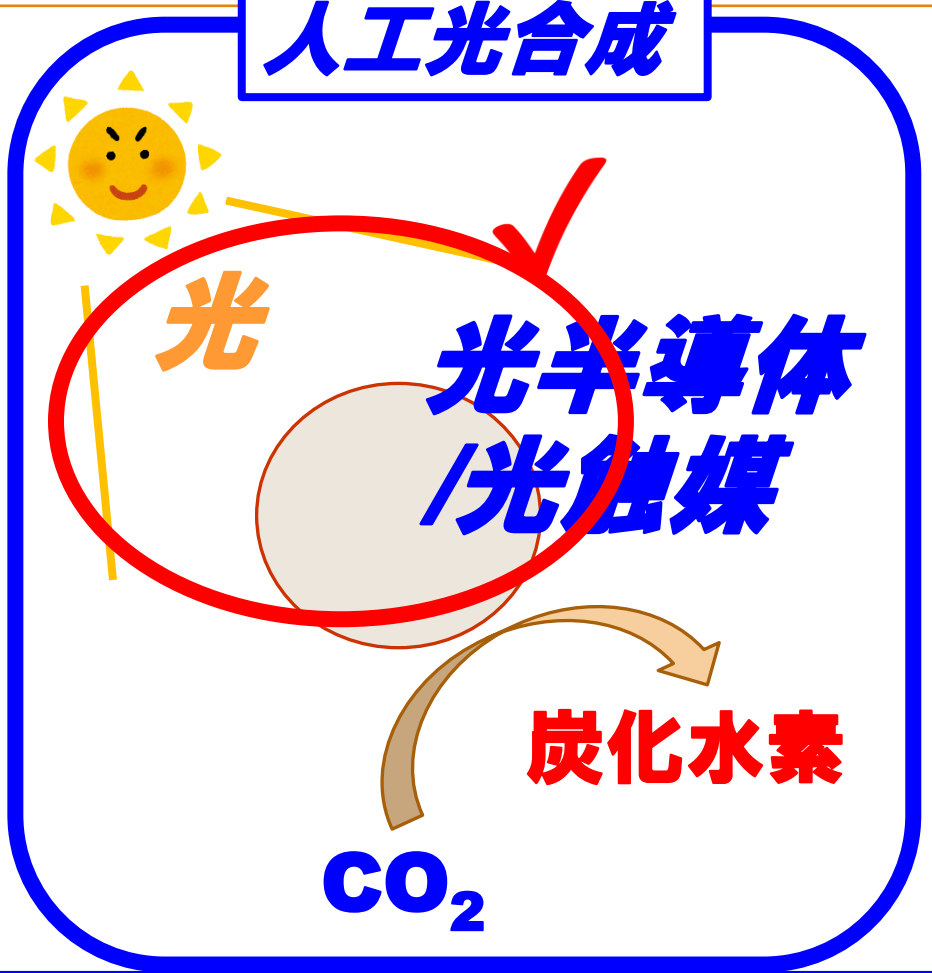
# 微生物 / 光半導体それぞれのメリット

## 光合成



微生物はCO<sub>2</sub>を還元して炭化水素にするのが得意

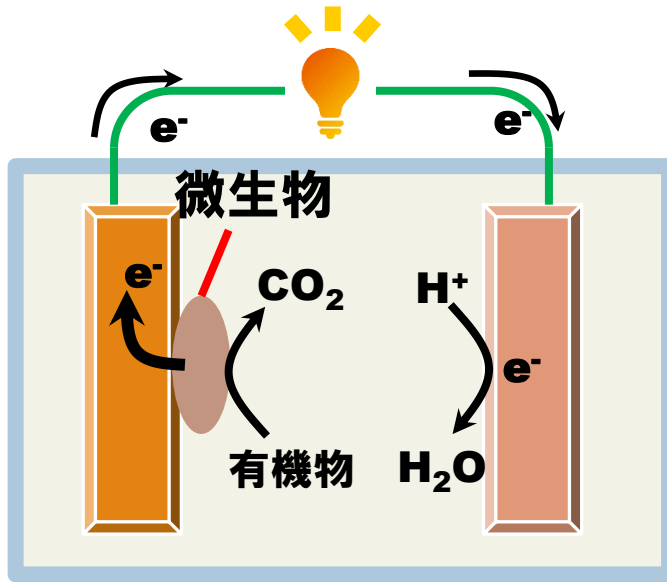
## 人工光合成



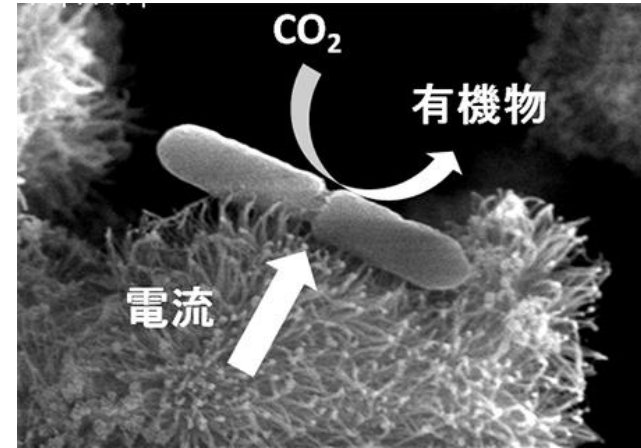
光半導体は太陽光エネルギーを変換(電気)するのが得意

# なぜ、半導体と微生物を融合することができるのか？

微生物燃料電池  
(電気の生成)



電気で生きる微生物  
(電気の消費)



理研ホームページより  
(2015年)

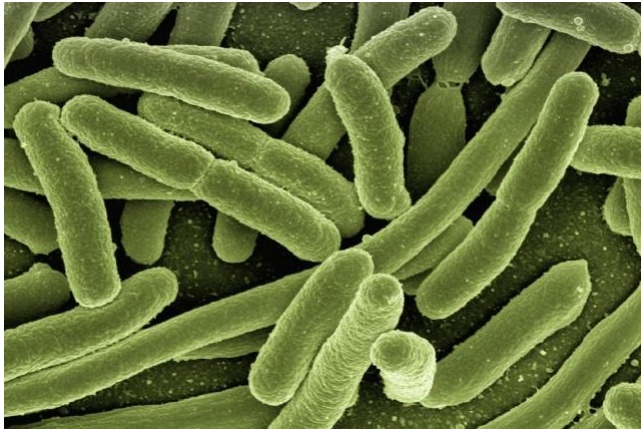
微生物は電気を生成することや、  
電気をエネルギーとして利用する(代謝)すること  
が分かってきている。

電気を操る半導体と微生物は密接に融合すること  
ができるのではないか？

# 微生物の棲み処

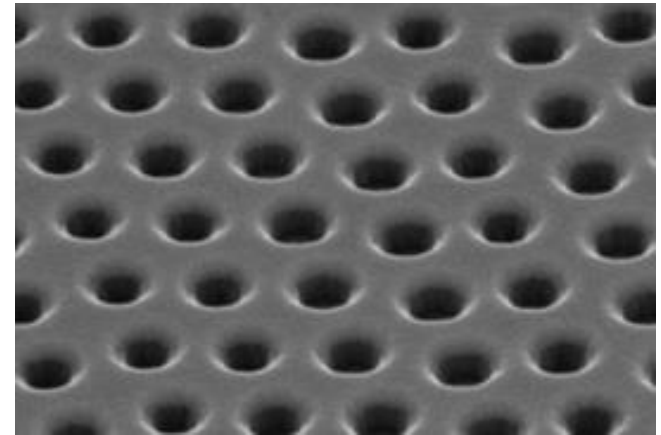
✓微生物は多孔質が好き？

微生物



×

半導体



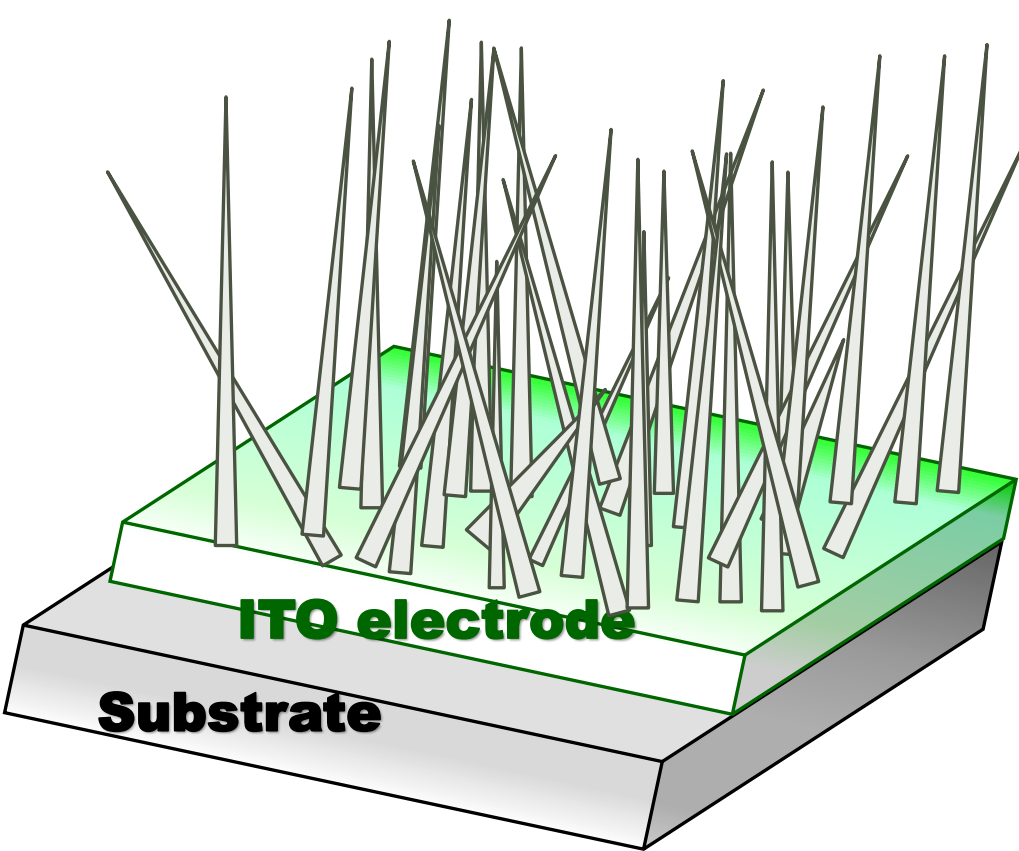
半導体の微細加工技術は微生物との相性は抜群？

半導体と微生物による融合を  
半導体微細加工技術でアプローチする

# 半導体微細加工技術による微生物の棲み処

微生物の棲み処にミストCVD法によるナノ構造形成技術を利用する

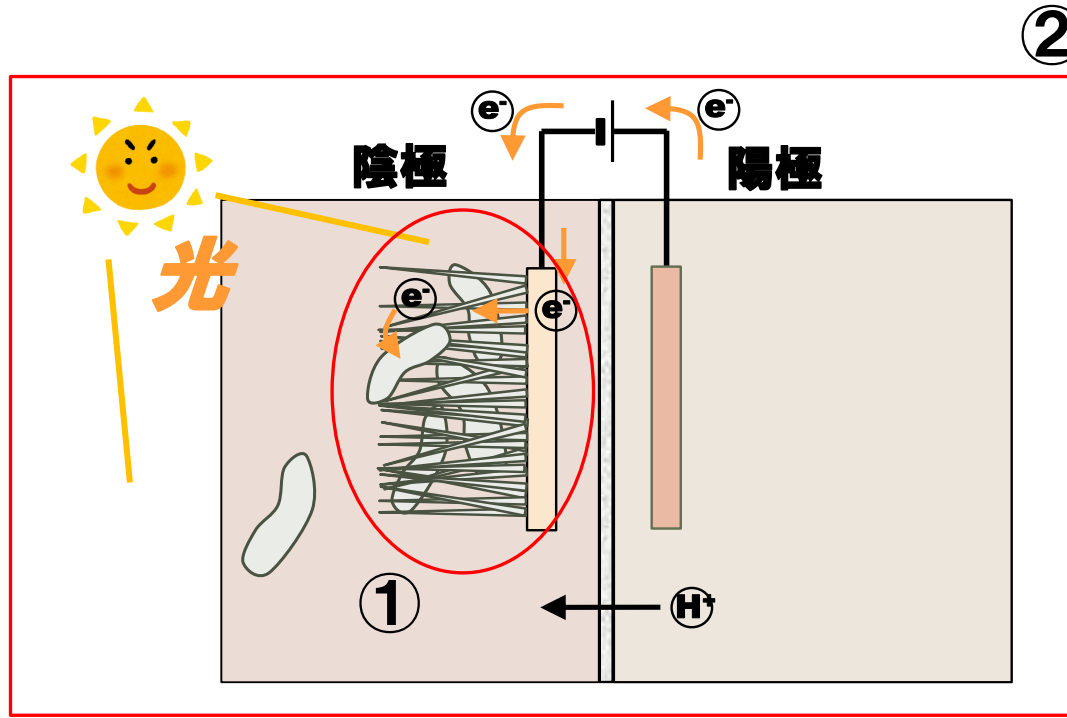
## nanowire forest



微生物の棲み処となる  
半導体ナノワイヤー電極

電気を取り出すための電極

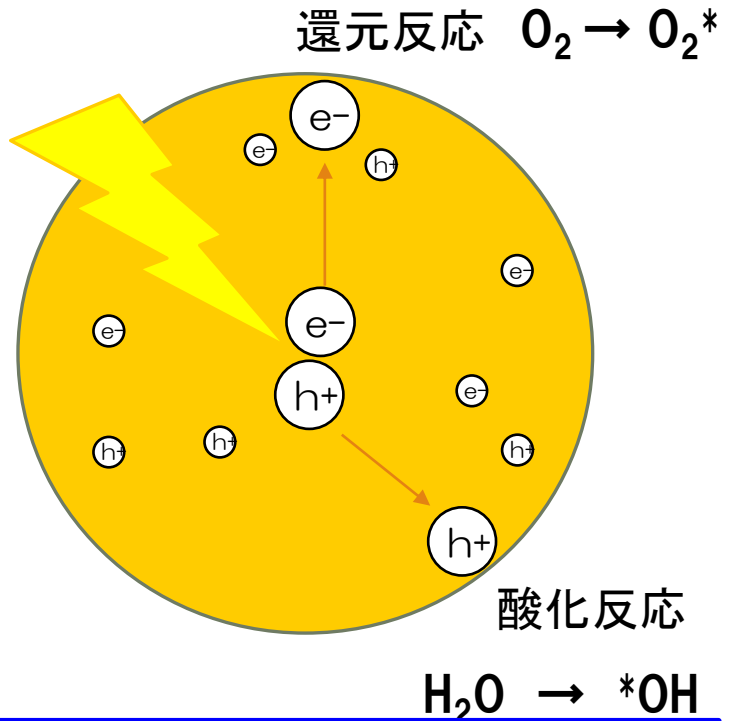
# 研究方針



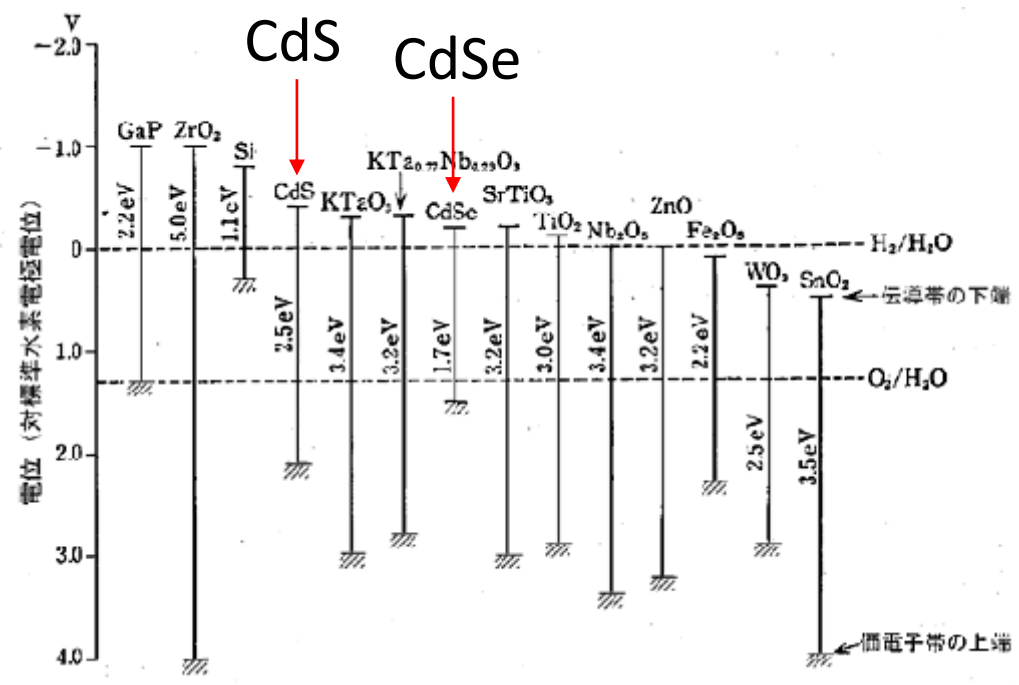
- ① 可視光に反応する光半導体ナノロッドの形成技術の研究開発
- ② 細胞外電子伝達菌を利用した電気化学セルによるメタン生成



# 光半導体の課題



×高エネルギーのため菌などを分解

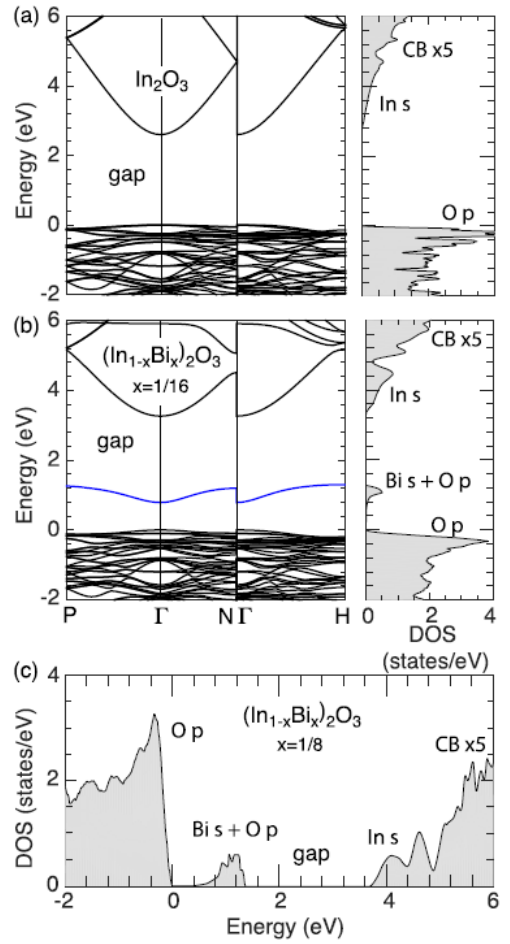
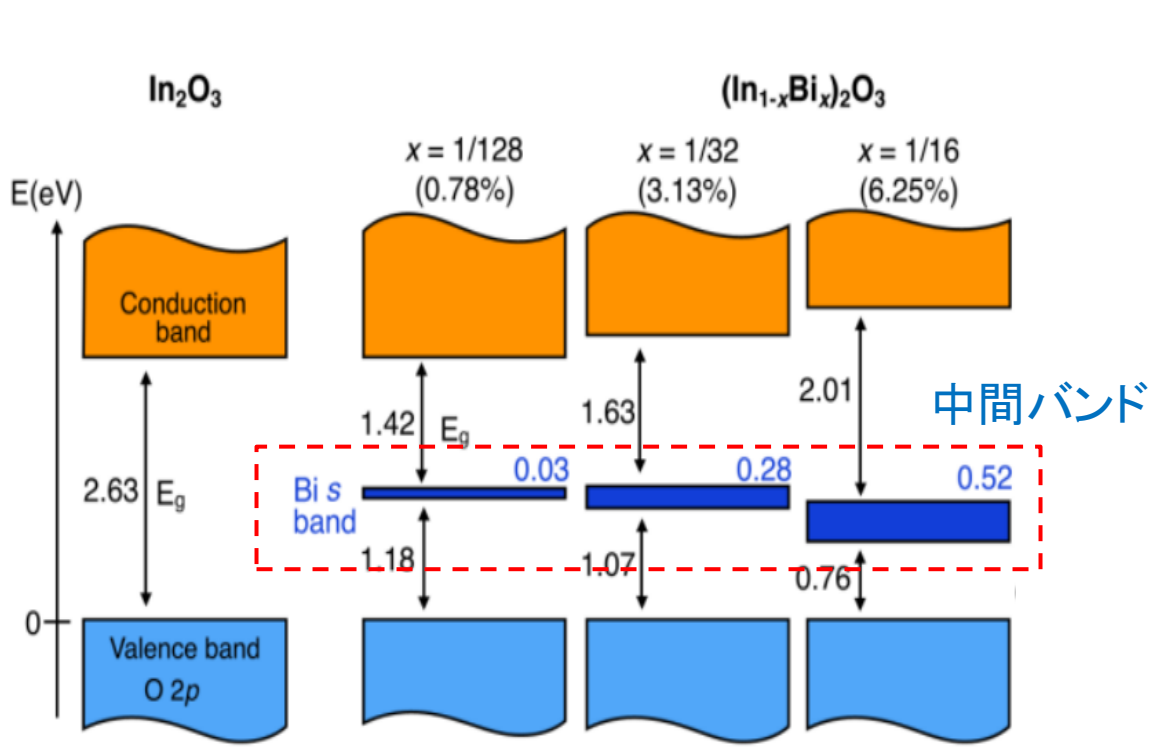


$H_2/H_2O$ 、 $O_2/H_2O$ の準位から離れているほど光触媒効果は高く、菌自体を分解してしまう  
 → ほどほどのエネルギー位置の材料がよい

CdSやCdSeなどが理想であるが、これらの材料は自己酸化によって劣化

バンドエンジニアリング技術による中間バンドを利用する

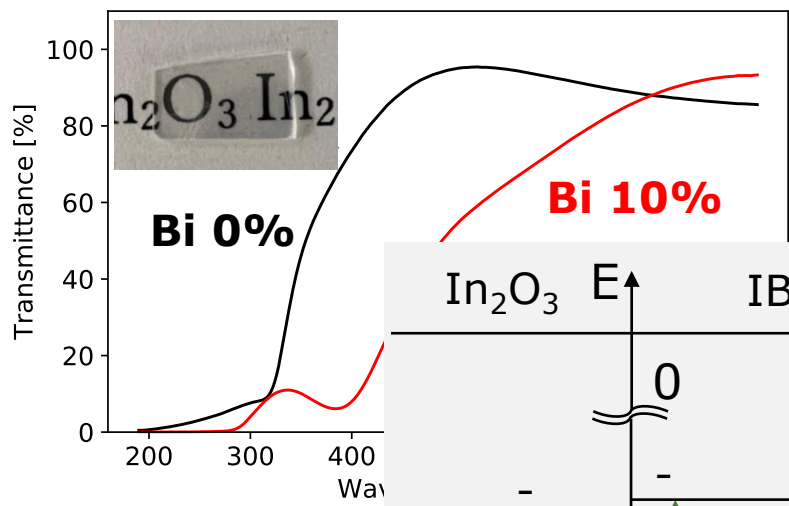
# 酸化物半導体へのBi添加によるバンドエンジニアリング



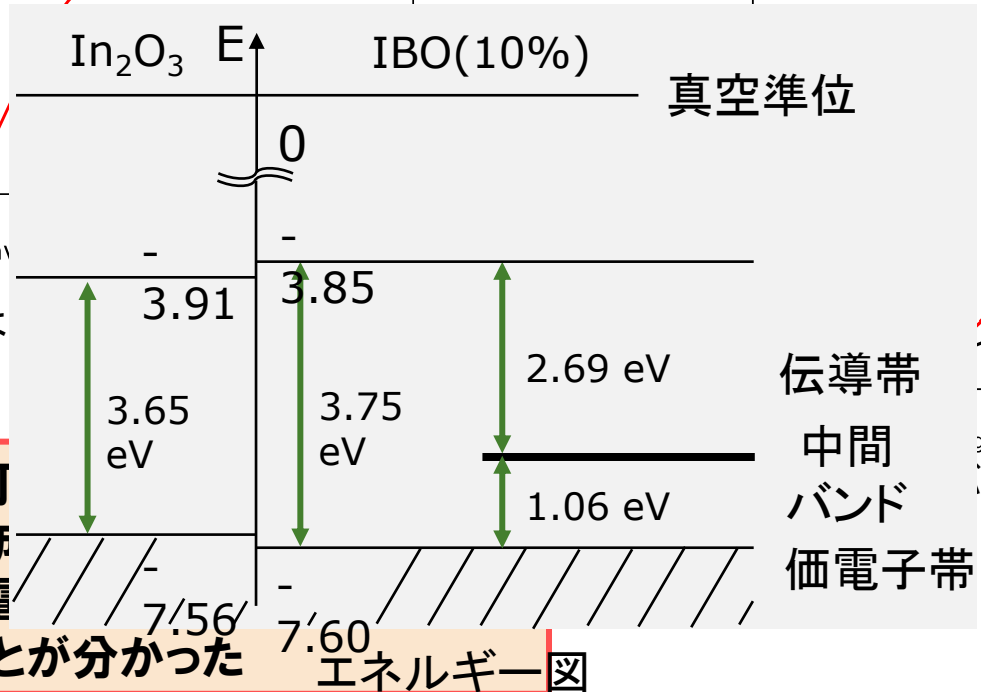
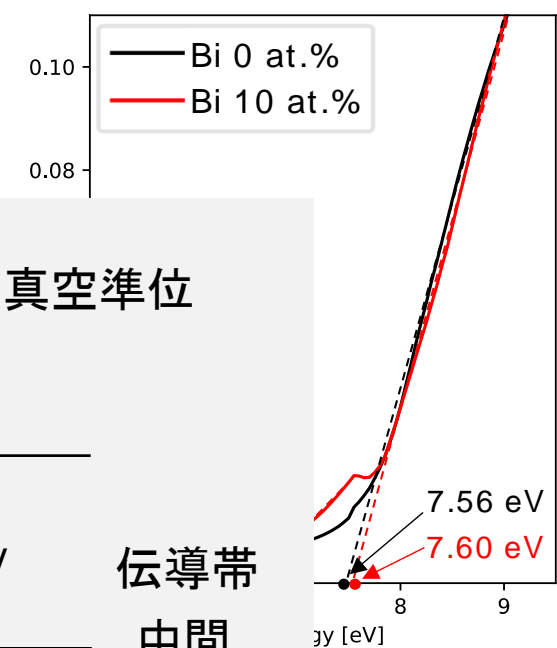
ワイドバンドギャップ材料の光触媒 $\text{In}_2\text{O}_3$ にBiを添加すると、Bi 6sとO 2pの反結合軌道が中間バンドを形成  
 → 価電子帯の位置が低エネルギー側に移動  
 可視光の吸収も増加

# 中間バンドの評価

<分光透過率測定>



<光電子収量分光法(PYS)測定>



中間バンドの準位評価

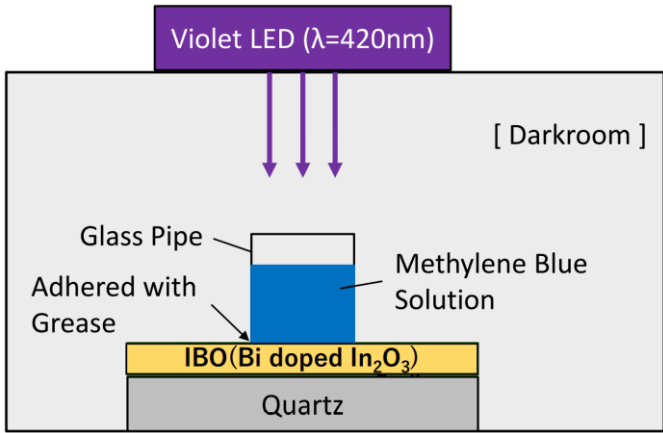
・Bi添加によって可  
In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Bi薄膜の形成  
・中間バンドは価電  
形成されていることが分かった

エネルギー図

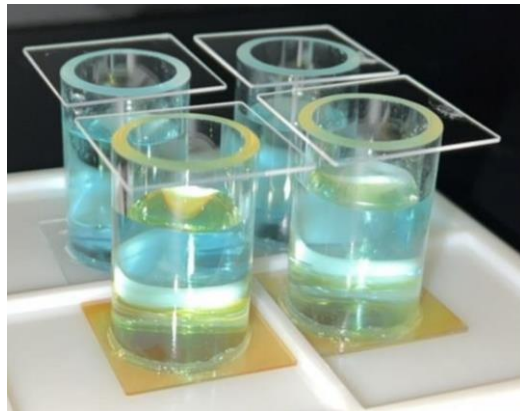
# 可視光応答の光触媒反応

<メチレンブルー溶液分解実験>

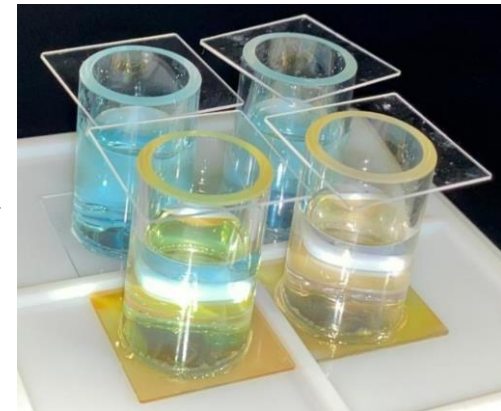
可視光領域(420 nm)での光触媒応答を評価



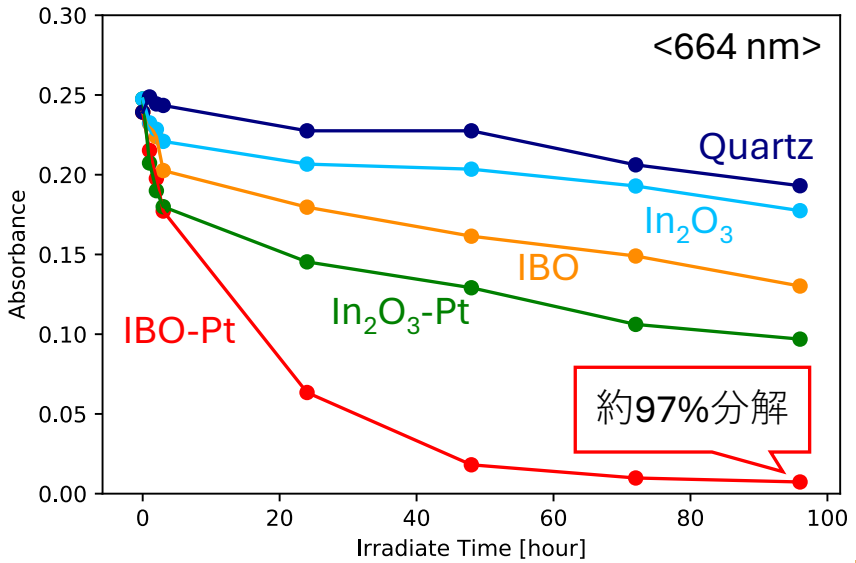
実験系イメージ図



0時間後



96時間後



・IBO薄膜は可視光に反応して光触媒反応することが分かった  
 ・価電子帯位置が上部にあることである程度ソフトな光触媒として細胞外電子伝達菌への応用が期待できる

# VLS成長を用いたナノロッド形成

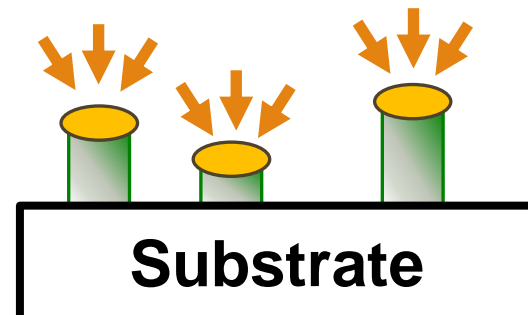
1. Au微粒子を触媒とする

Au particles  
(catalyst)

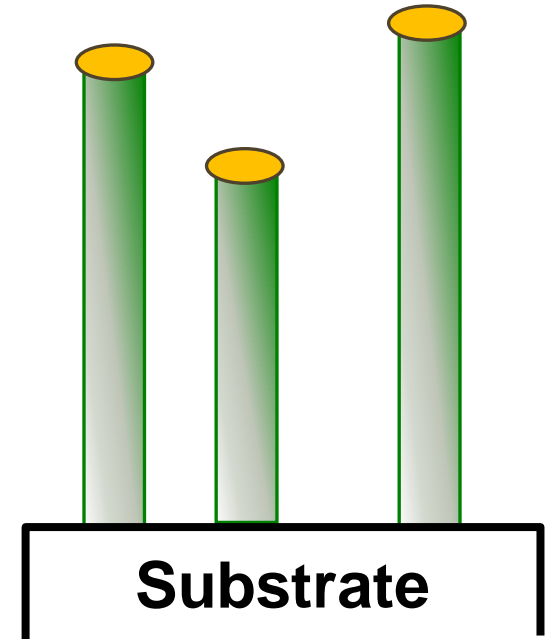


2. 触媒に原料が優先的に吸着される

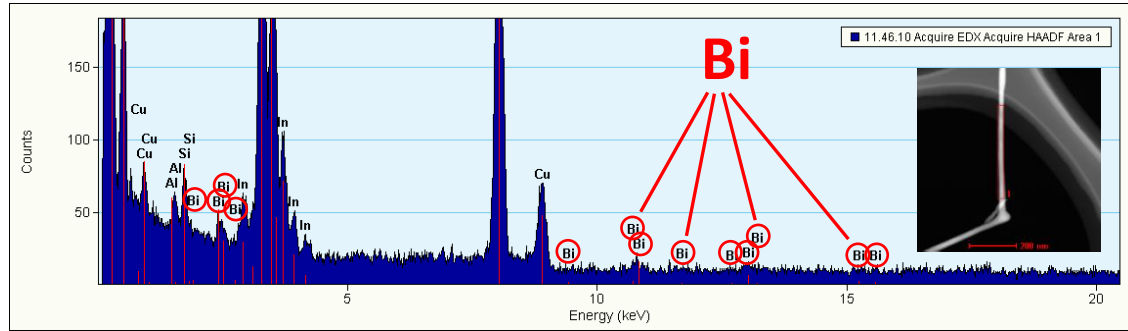
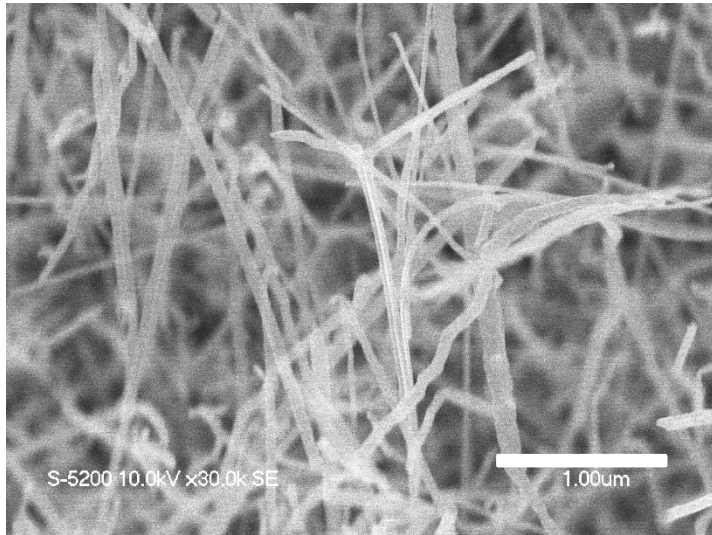
precursors



3. 触媒を核にナノロッドが成長する



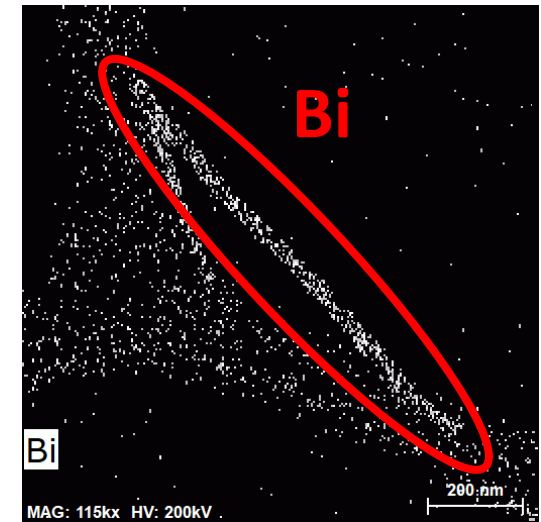
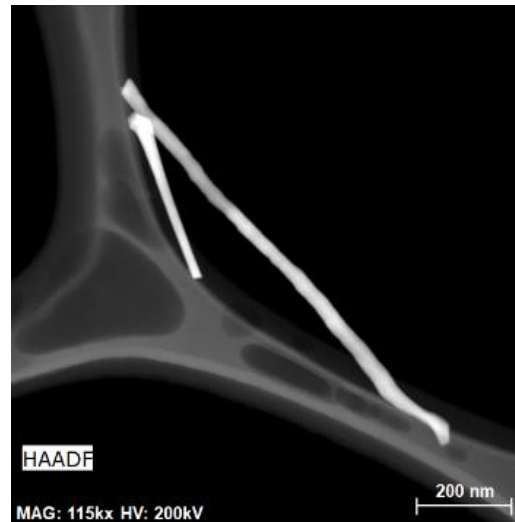
# IBOナノロッドの形成



IBOナノロッドの表面SEM像

針状のIBOナノロッドが  
形成された

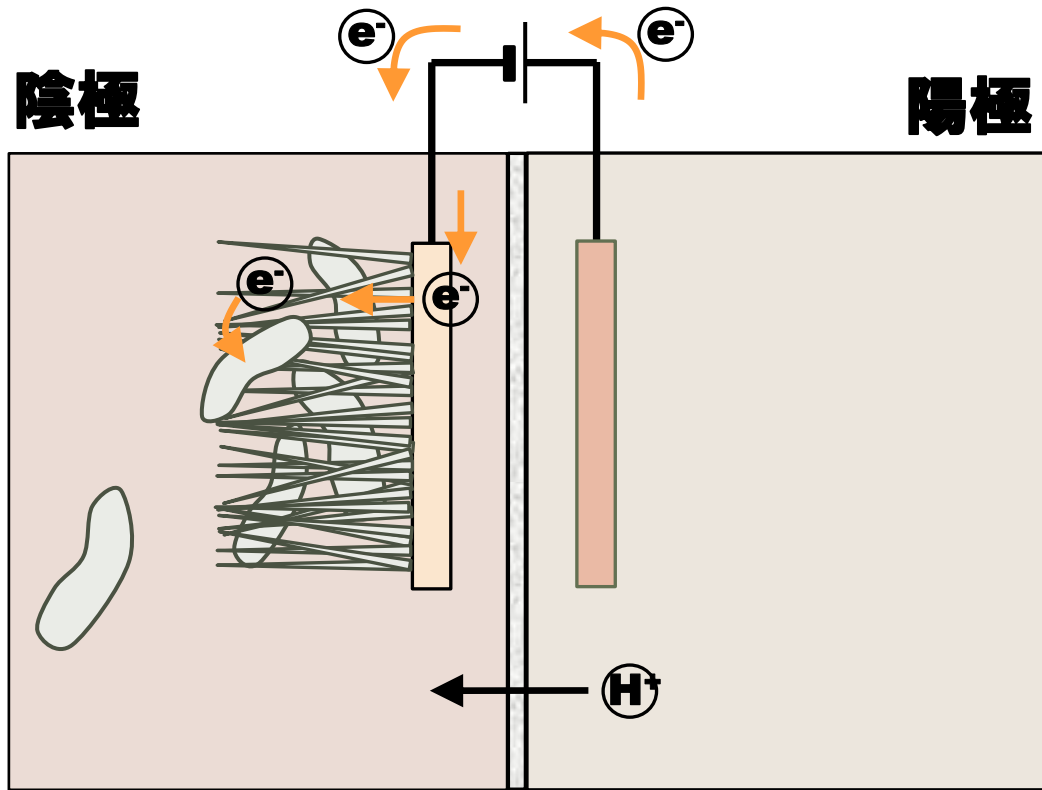
- ・直径 : 20-100 nm
- ・長さ : 2-10 μm



IBOナノロッドのSTEM-EDX測定結果

VLS成長を利用することでIBOナノロッドの形成に成功

# 微生物と自作した電極による電気化学



細胞外電子伝達菌を利用したメタン生成に向けて電気化学セルの立ち上げを行った  
電圧印加によってメタン生成することは確認できているが、再現性に乏しいため、  
現在再現確認を行っている