

10:30~12:30, 2013/6/19@農林水産省7階第3特別会議室(714)

# 物質生産のパラダイムシフトを目指した in vivo ナノファクトリー

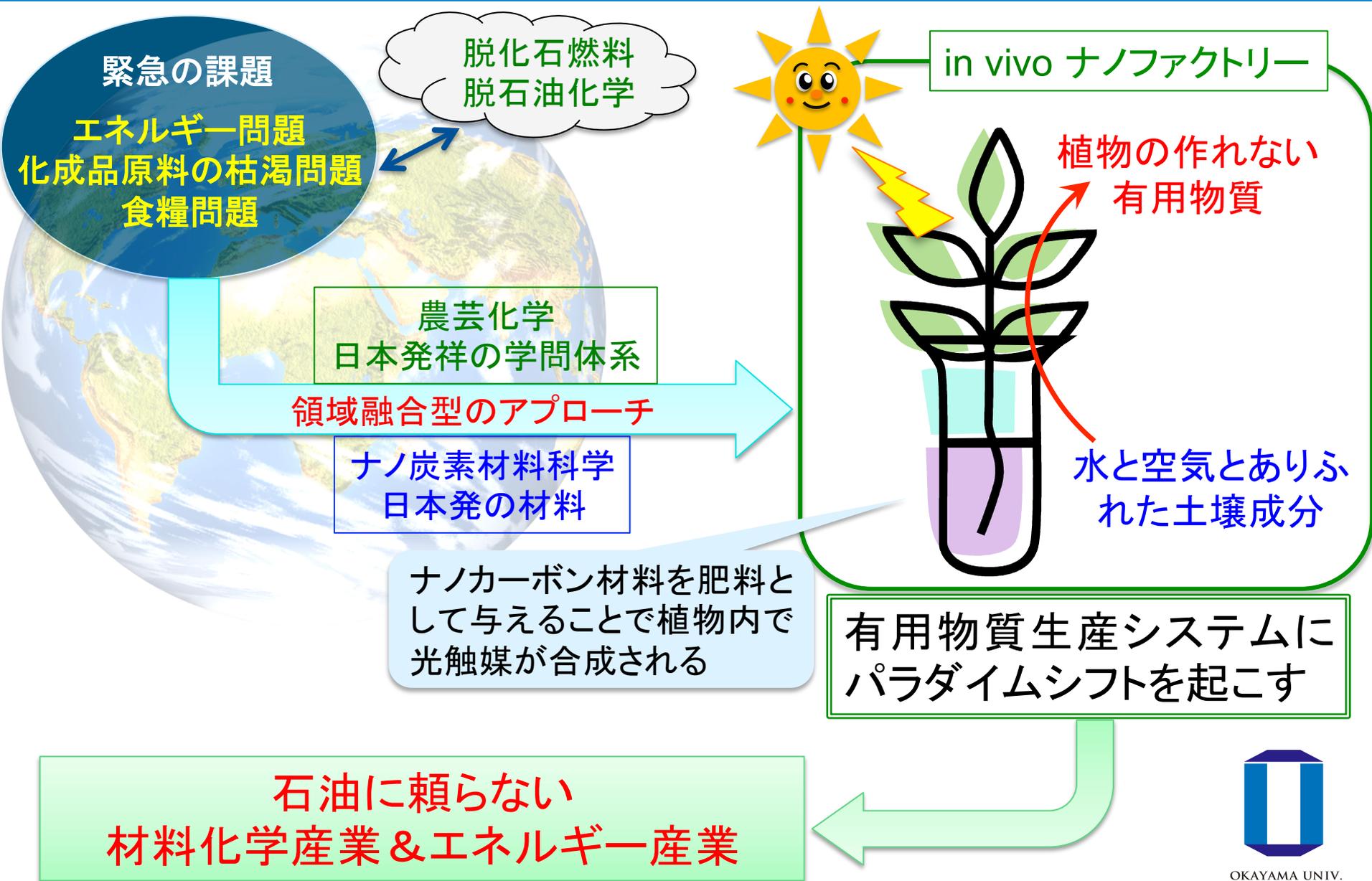
世界最高性能の材料と農芸化学の融合による高効率物質生産システムの開発

岡山大学大学院環境生命科学研究科  
准教授 高口 豊  
[yutaka@cc.okayama-u.ac.jp](mailto:yutaka@cc.okayama-u.ac.jp)



OKAYAMA UNIV.

# 「有機」光触媒と農芸化学の融合による新しい有用物質生産法

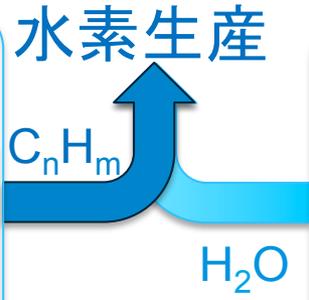


# 化石燃料に頼らない水素生産は「水素社会」実現の肝

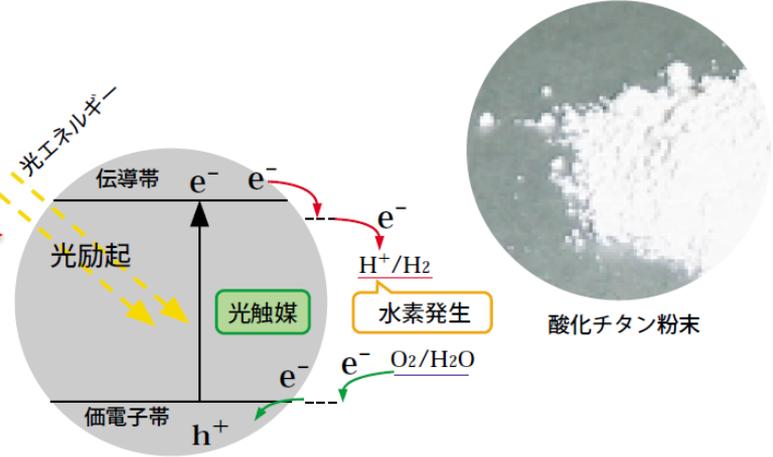


## 現行技術 スチームリフォーミング

天然ガスを金属触媒で水と混ぜながら燃やすと二酸化炭素と水素が発生する。したがって、いくらここで得られた水素を使っても化石燃料を使っているのと同じという問題点がある。



## 次世代技術 太陽光と光触媒を用いた水の分解



問題点

現行技術に比べ生産性が低い

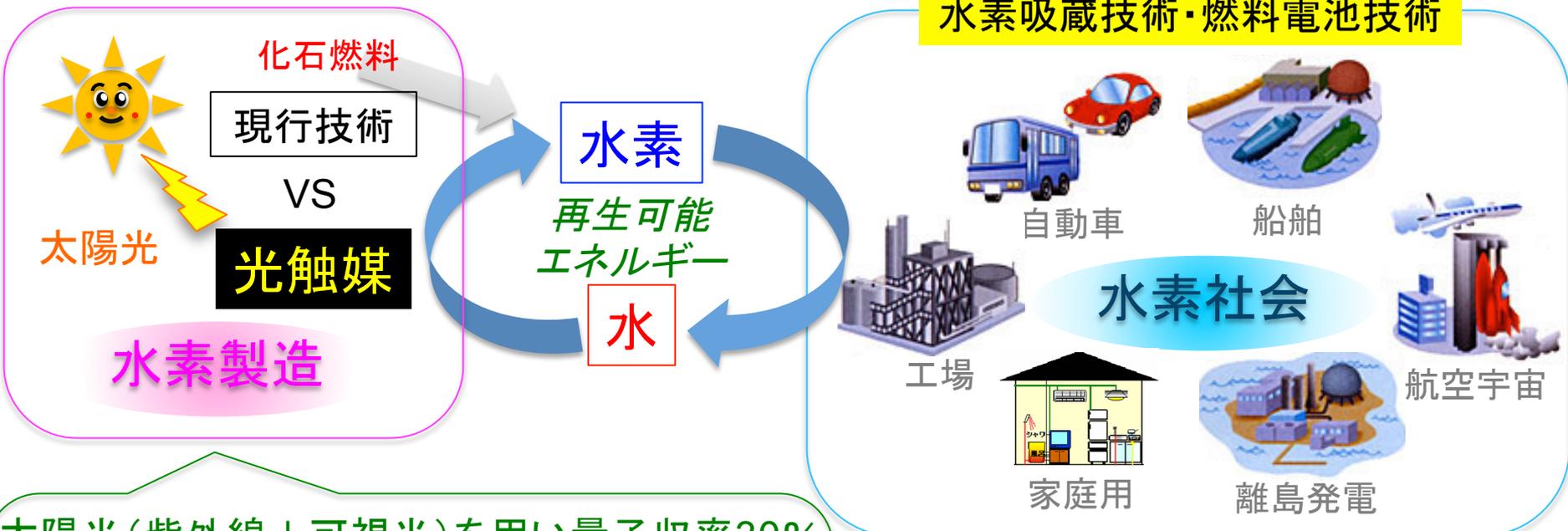
可視光エネルギーの利用効率(量子収率)を改善する必要がある。

岡山大学のナノカーボン光触媒技術



OKAYAMA UNIV.

# 可視光量子収率30%を越えることが光触媒実用化の最低条件



太陽光(紫外線+可視光)を用い量子収率30%で水を分解できる光触媒が実現すると、わが国の標準的な日照条件下1km<sup>2</sup>当たり1時間に約15,000m<sup>3</sup>(標準状態)の水素を発生させることができ、現行の工業的なスチームリフォーミングの水素生産能力とほぼ同等になる。

可視光量子収率30%が光触媒による水素製造技術の基礎研究段階から実用化へ向けた開発研究段階へステップアップする上での目標値

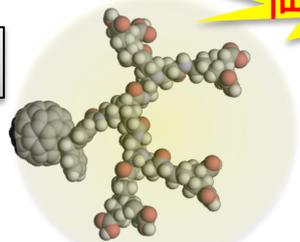
**世界初!** 岡山大学のナノカーボン光触媒は目標値を超える量子収率43%を達成した。



OKAYAMA UNIV.

# 独自開発の表面修飾剤でナノカーボン光触媒の大量生産に成功

カーボンナノチューブ



水と表面修飾剤  
(球状カーボン粒子)を加える。

特許取得

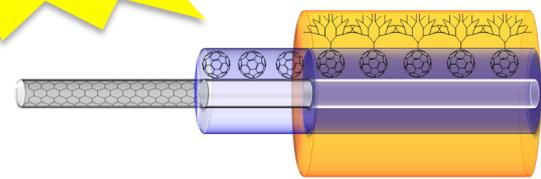
岡山大学発

超音波照射  
(眼鏡洗浄タイプ)

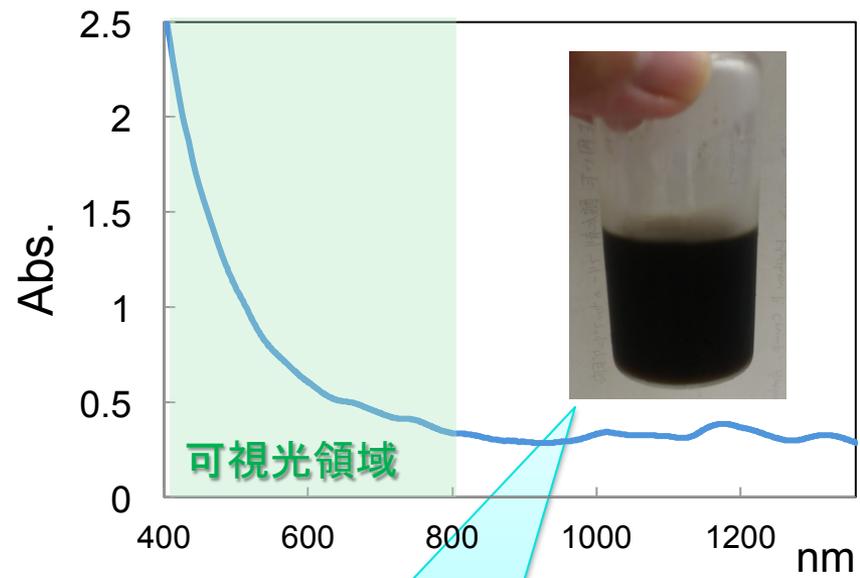


世界最細の3層構造同軸ケーブル

岡山大学発



ナノカーボンを有機物で包み込んだ水溶性「有機」光触媒を世界ではじめて合成した。

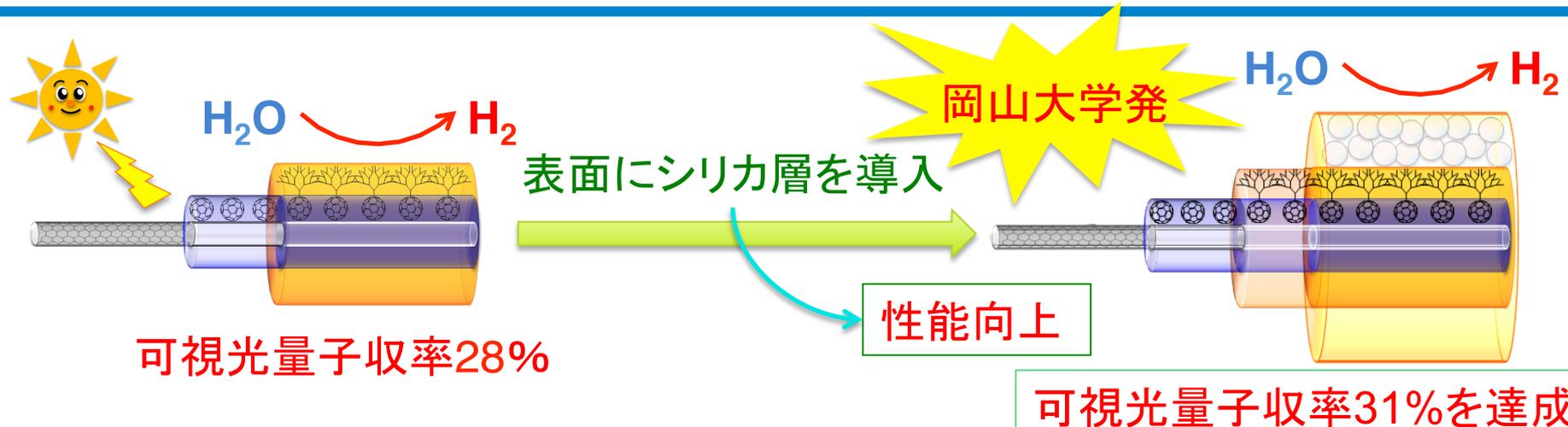


可視光吸収性の高い  
黒色の光触媒



OKAYAMA UNIV.

# 表面をシリカコーティングすることで光触媒能が向上することを発見

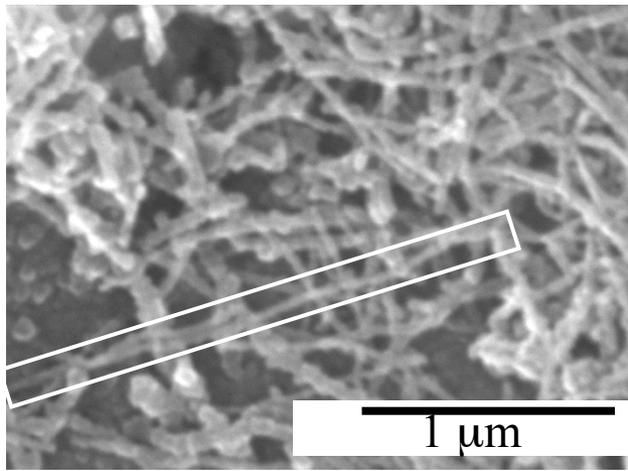
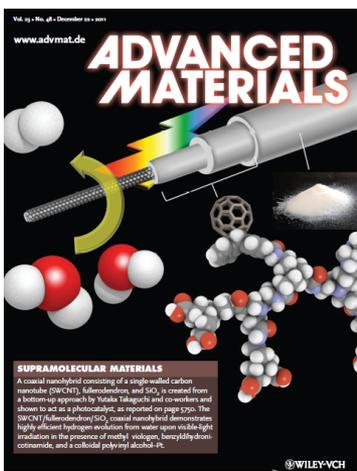


岡山大学のナノカーボン光触媒の特長

- 有機光触媒で現在世界最高の性能(改良後、量子収率43%)を達成している。
- 細胞毒性なし。



現行のスチームリフォーミングによる水素製造の代替技術となりうる性能を実証した。

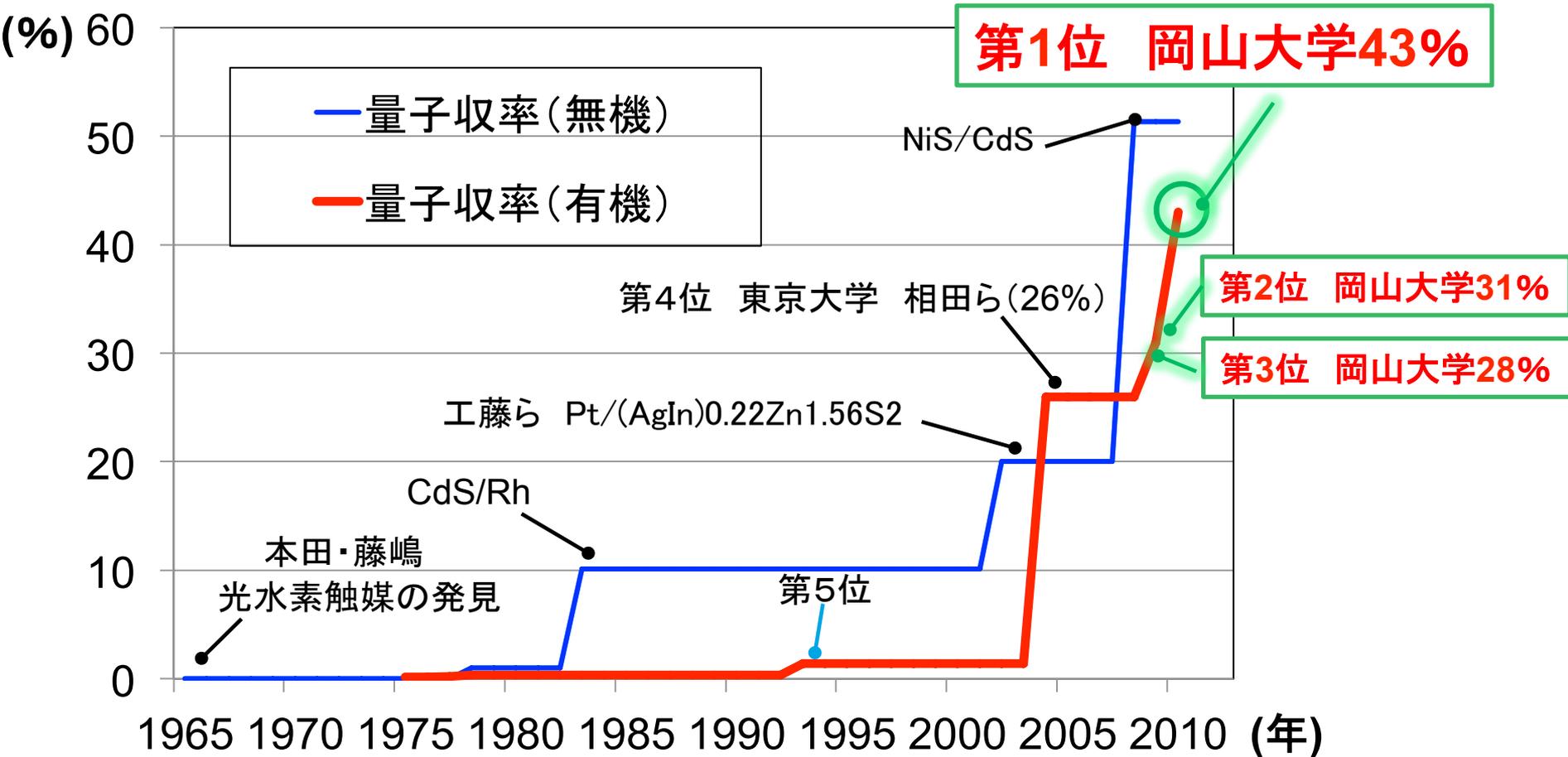


学術誌の表紙に採用



OKAYAMA UNIV.

# 岡山大学の「有機」光触媒は世界トップレベルの光水素発生効率を持つ



**第1位 岡山大学43%**

**第2位 岡山大学31%**

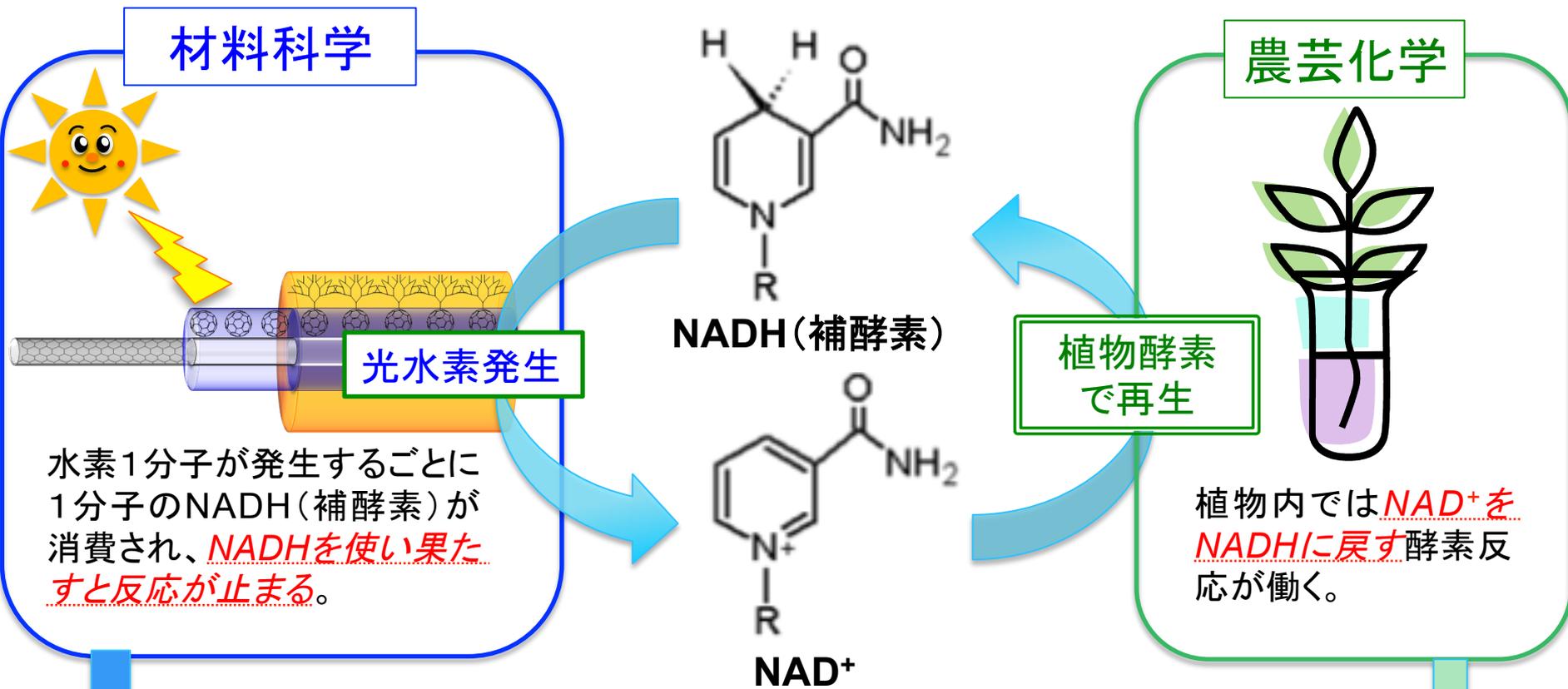
**第3位 岡山大学28%**

「有機」光触媒

- 長所**
  - 無機光触媒に遜色ない太陽エネルギーの利用効率を達成
  - 材料アセスメントや元素戦略の観点から優位性がある
- 短所**
  - 酸化力が弱く添加剤が必要



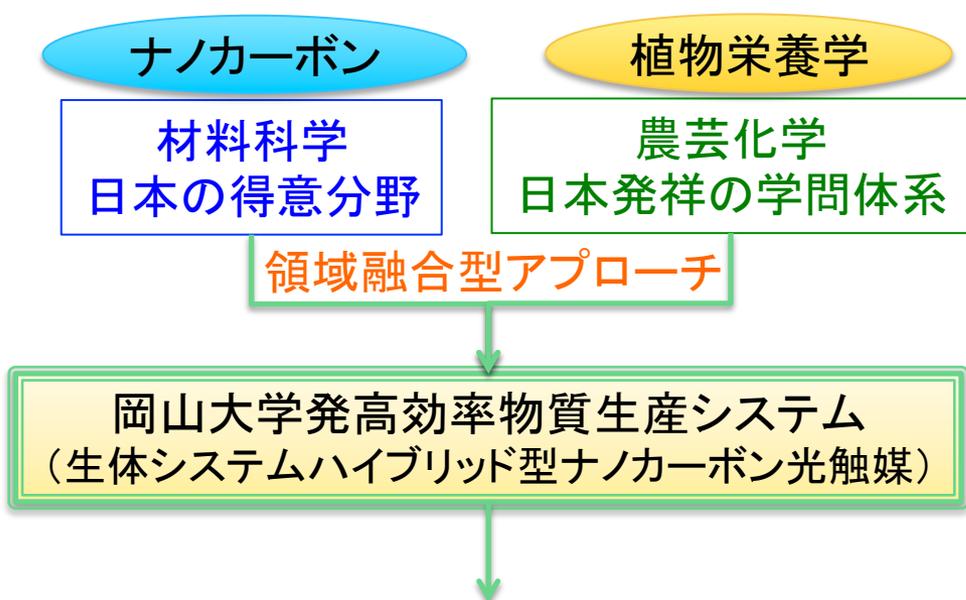
# 光触媒と植物の物質変換システムを組み合わせた夢のシステム



材料科学と農芸化学の融合で有機光触媒の弱点をカバー

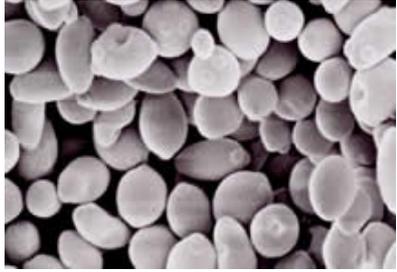


# 材料科学と農芸化学の融合で『生きた有用物質生産工場』を開発する



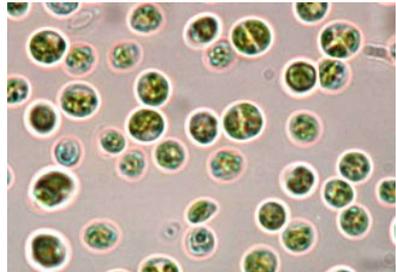
細胞 (in vivo) + ナノ + 物質生産 = in vivo ナノファクトリー

モデル研究に適した酵母



例) 清酒酵母 (発酵学は日本の得意分野)

高生産性が期待される藻類



例) クロレラ (藻類はバイオエネルギー生産の本命として期待)

最も挑戦的な課題の植物



例) イネ科植物 (シリカ成分を土壌から吸収し利用)



OKAYAMA UNIV.

# ホップ・ステップ・ジャンプで『in vivo ナノファクトリー』基盤技術を開発

5～7年のプロジェクトで基盤技術の確立を目指す。

**ホップ**

**【酵素レベルの課題解決】**

- \* 光触媒素反応開発により様々な有用物質生産を可能とする
- \* 酵素との協同システム構築

**ステップ**

**【細胞レベルの課題解決】**

- \* 光触媒導入により細胞内での有用物質生産を可能とする
- \* 細胞内光触媒活性試験とモニタリング

**ジャンプ**

**【生体レベルの課題解決】**

- \* in vivo ナノファクトリー実証

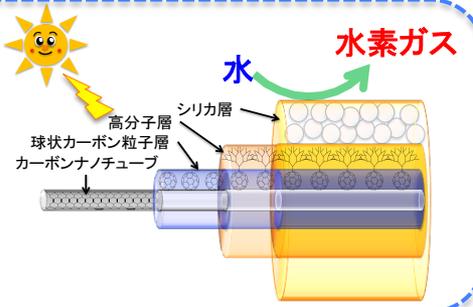
植物の作れない有用物質

水と空気とありふれた土壌成分

in vivo ナノファクトリーによる有用物質生産

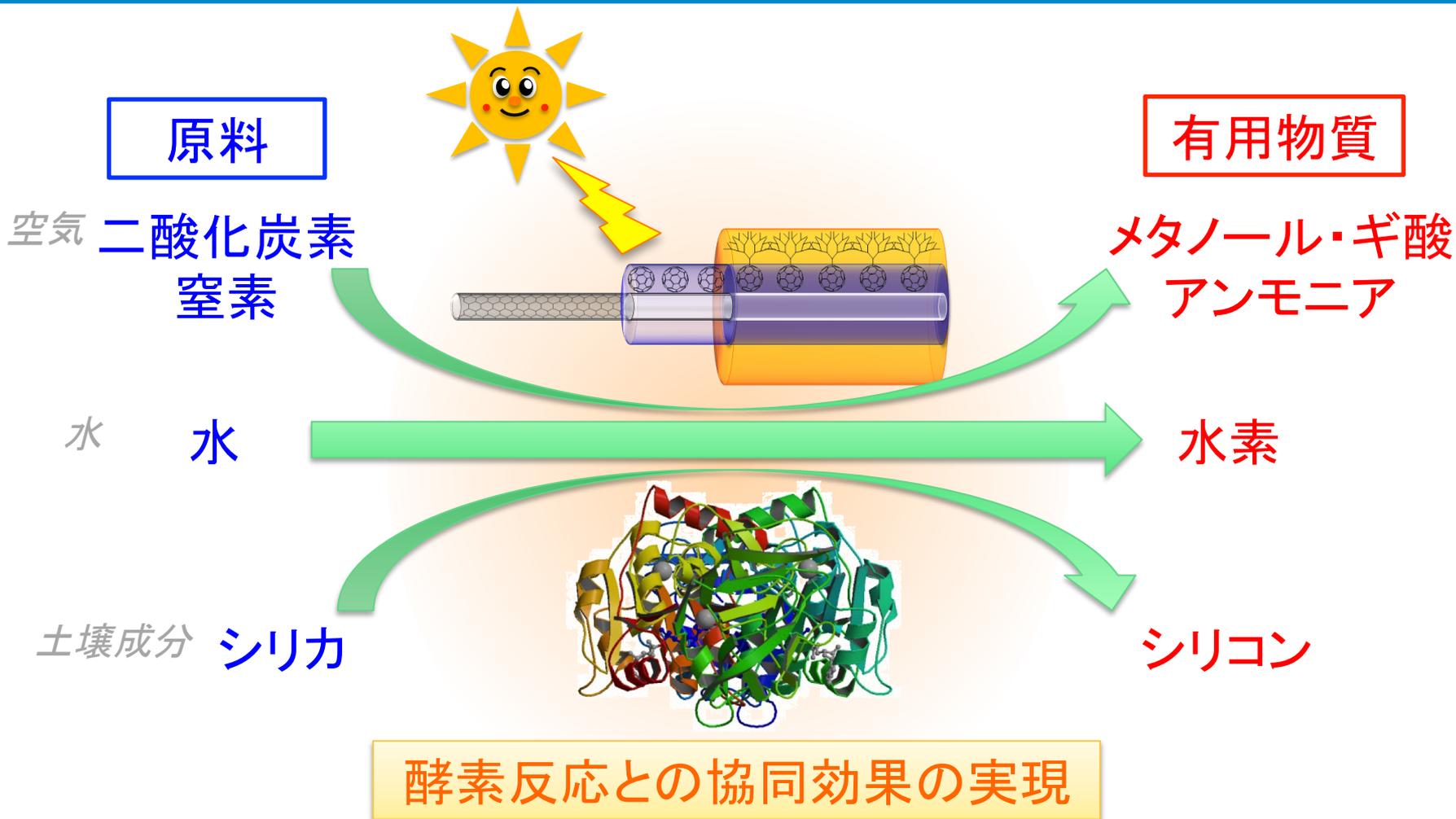
**【岡山大学の特色ある技術】**

- \* 太陽光をエネルギー源とした「有機」光触媒によるクリーン水素製造
- \* 植物細胞のデバイス化とモニタリング



OKAYAMA UNIV.

# <ホップ>有用物質生産のための素反応を効率よく進行させる



OKAYAMA UNIV.

# 〈ステップ〉ナノカーボンを経細胞内に導入し反応を追跡する

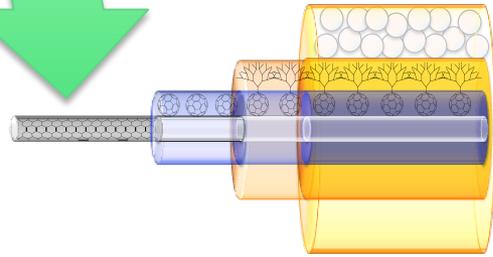
岡山大学発

ナノカーボン  
+  
シリカ

肥料のように根から  
吸収される



イネ科植物の珪酸(シリカ)  
代謝プロセス



シリカ修飾したナノカーボン光触媒  
を植物の力を借りて合成・利用

細胞内で光触媒がどのように働くかを  
モニタリング技術を駆使して追跡する。

細胞内での光触媒反応の実現  
と細胞活動の詳細な解析



OKAYAMA UNIV.

# <ジャンプ> in vivo ナノファクトリー実用化の基盤技術を確立する

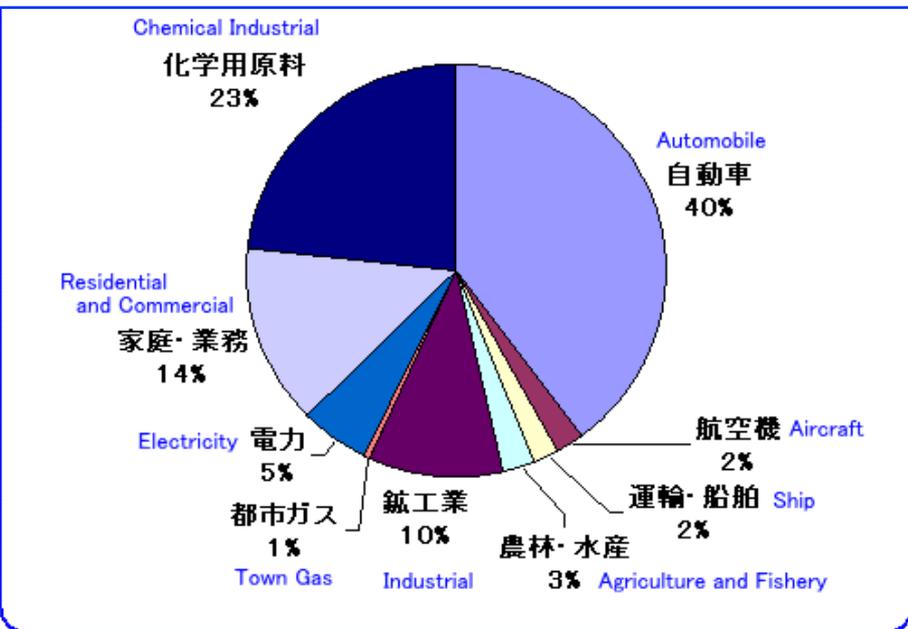


- \* 有用物質生産モニタリング
- \* 生育条件最適化法
- \* 有用物質の回収法

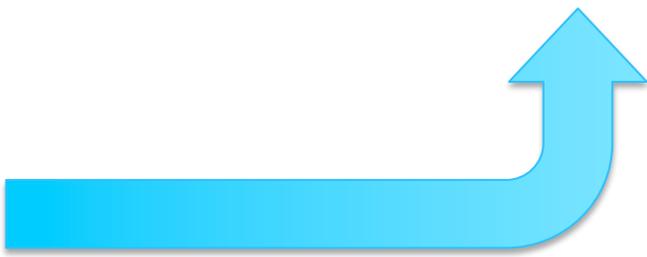
**岡山大学発**

有用物質生産の担い手を  
化学工業から植物体工場へ

石油の23%は化成品原料、残りはエネルギーに利用されている。(出典:石油連盟データ集2011)



パラダイムシフト=石油に頼らない材料  
化学産業&エネルギー産業

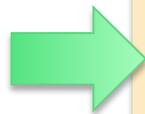


OKAYAMA UNIV.

# 材料・エネルギー産業の変革を可能にする《物質生産の『農業』力》

## in vivo ナノファクトリー

- 太陽光エネルギー利用
- 石油に頼らない化学工業
- 水素エネルギー生産
- オンサイト・オンデマンド生産



パラダイムシフト

過去200年: 工業化 (大量生産・大量消費)



問題解決

持続可能な社会へ

これからの100年: 農業化

脱化石燃料  
脱石油化学

スモールプラント  
オンデマンド生産

### 化石資源に頼った物質・エネルギー生産

- ・化石資源の枯渇問題
- ・原料価格変動のリスク
- ・二酸化炭素の排出
- ・原発事故

(エネルギーベストミックス)

### 化学工業プラントの老朽化

- ・新しい大規模工場を建てにくい
- ・1つのプラントで1つの製品
- ・維持コストの問題
- ・輸送の危険性
- ・大量生産大量消費型から脱却



OKAYAMA UNIV.

# 材料化学と農芸化学の融合による新しい学問領域を日本から発信

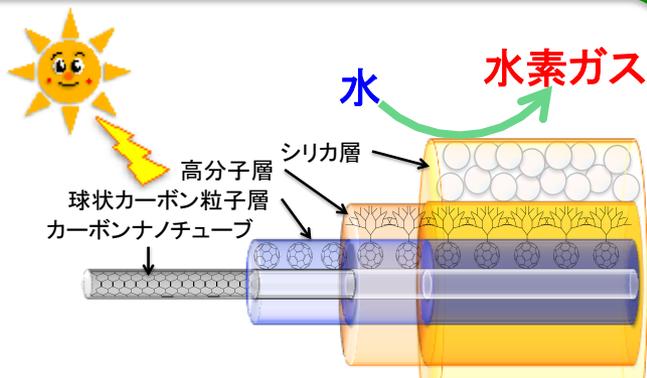
研究領域	ゴール	天然or人工
in vivoナノファクトリー	人工と天然の両システムを組み合わせ天然のシステムでは生産できない高付加価値物質を太陽光で生産する。食料生産を主たる目的としてきた農業を化学産業やエネルギー産業へと変革可能にすることが目的。 <u>国内外に類似のプロジェクトは存在しない</u>	天然・人工 ハイブリッド
光合成研究	植物の行う光合成の仕組みを理解する。 代表的なプロジェクト: 沈プロジェクト(特別推進研究: 岡山大学)	天然
太陽電池研究	太陽光で電気エネルギーを得ることが目的。 代表的なプロジェクト: 瀬川プロジェクト(FIRST: 東京大学)	人工
人工光合成研究	人工のシステムで植物の物質生産を真似る。太陽光で水素や酸素を得ることが目的。 代表的なプロジェクト: 堂免・工藤プロジェクト(経済産業省: 東京大学), 井上プロジェクト(CREST・新学術領域: 首都大学東京)	人工



OKAYAMA UNIV.

# 植物体工場 (in vivo ナノファクトリー) で化石資源に頼らない化学・エネルギー産業を実現

岡大発技術



太陽光をエネルギー源としたナノカーボン光触媒によるクリーン水素製造



in vivo ナノファクトリーによる有用物質生産

## 【新技術と波及効果】

- ◇ 新研究領域の深化と発展
- ◇ 国際共同研究拠点形成
- ◇ 実用化による産業活性化
- ◇ 農業を化学産業・エネルギー産業へと変革可能に！

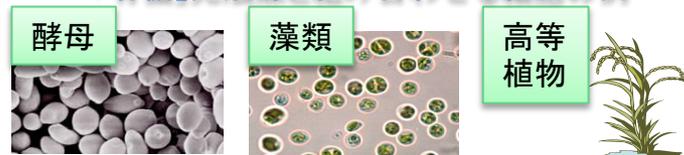
## パラダイムシフト

有用物質生産の担い手を  
化学工業から植物体工場へ  
(スモールプラントオンデマンド生産)

### 【学内でのプロジェクト熟成】

- ・ 改組による新研究科発足 (環境生命科学研究所)
- ・ 学内経費支援、研究スペース確保

### 「有機」光触媒と組み合わせる細胞の例

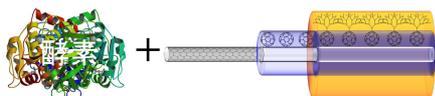


- 知財化・権利化
- 県内企業共同開発
- 国際共同研究
- 教育・研究サポート

## ホップ

### 【酵素レベルの課題解決】

- \* 光触媒素反応開発により様々な有用物質生産を可能とする
- \* 酵素との協同システム構築



## ステップ

### 【細胞レベルの課題解決】

- \* 光触媒導入により細胞内での有用物質生産を可能とする
- \* 細胞内光触媒活性試験とモニタリング



## ジャンプ

### 【生体レベルの課題解決】

- \* in vivo ナノファクトリー実証



世界最高性能の「有機」光触媒  
(可視光量子収率43%)

実用化レベルの性能を実現

世界最高性能の材料と農芸化学の融合による高効率物質生産システムの開発