



広島大学でのCRに関する研究開発と その体制について

広島大学

カーボンリサイクル実装プロジェクト研究センター
大学院先進理工系科学研究科
エネルギー変換材料工学研究室



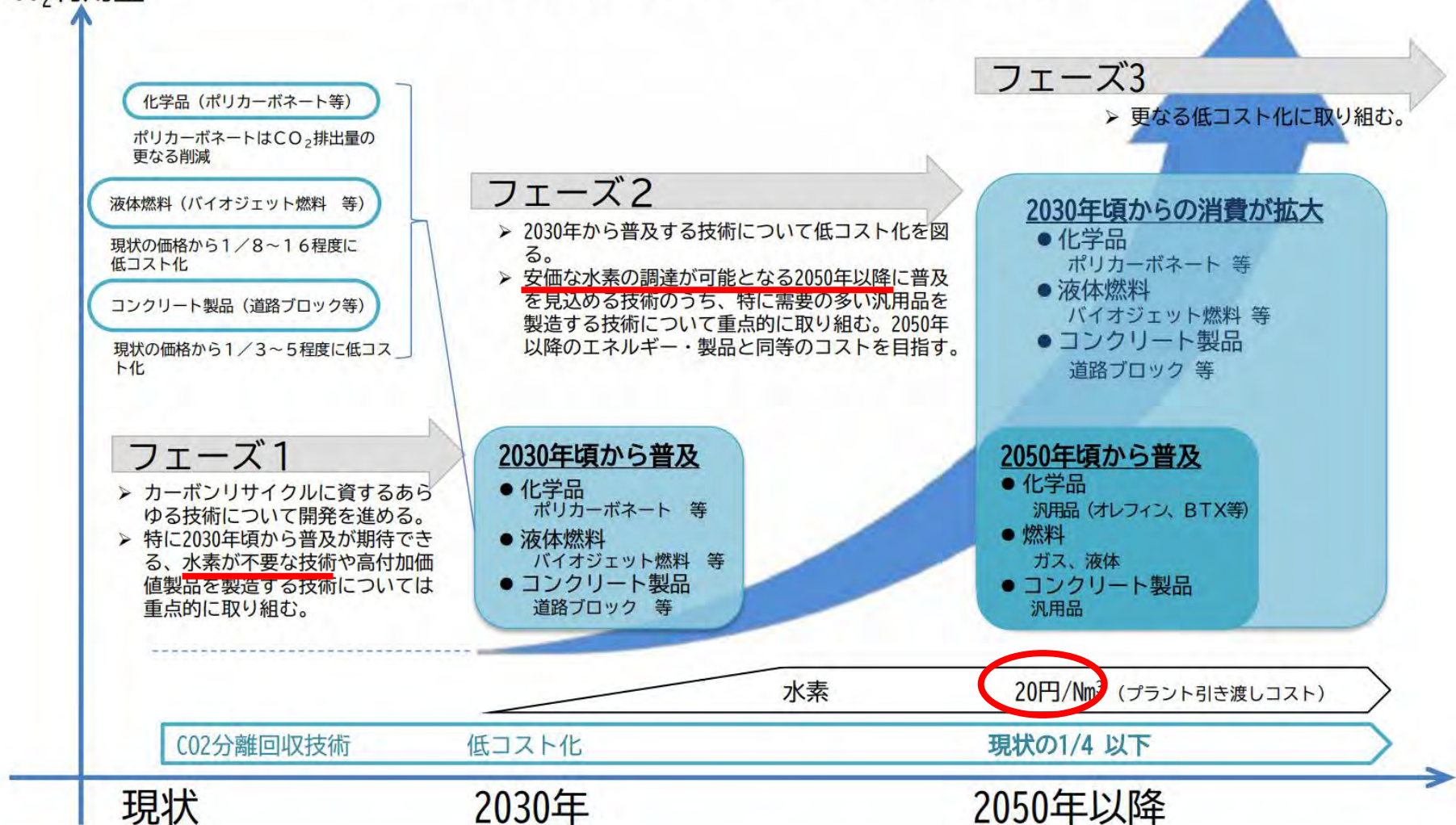
市川 貴之

広島県カーボン・サーキュラー・エコノミー推進協議会
設立フォーラム2021年8月18日(水)



カーボンリサイクル技術ロードマップ

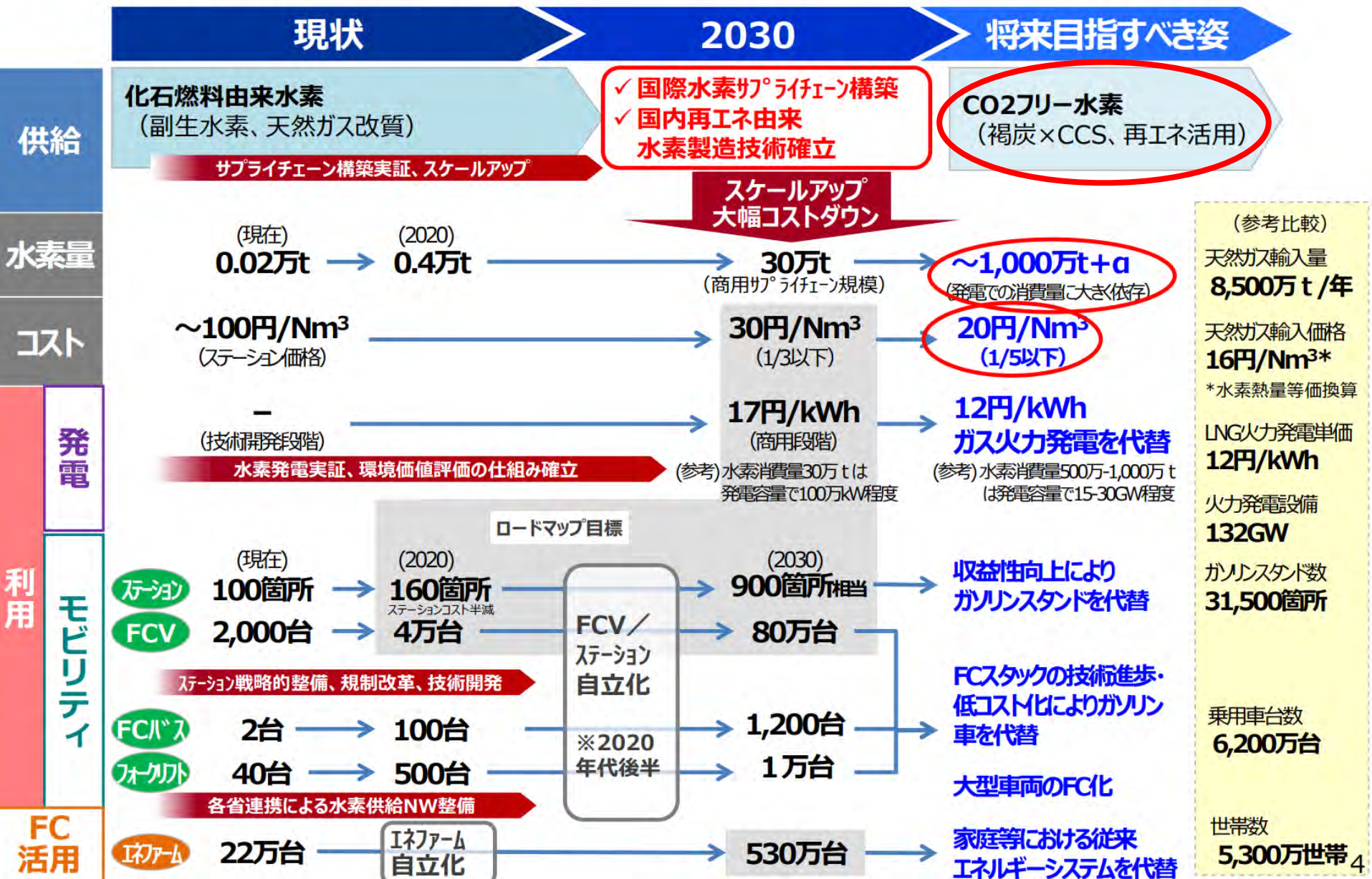
CO₂利用量



<見直し>カーボンリサイクル産学官国際会議などを通じて得られた国際的な技術の状況や新しい提案を踏まえて柔軟に技術の追加をおこなうとともに、5年を目安として、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(仮称)(案)」の改訂等の動きを見つつ、必要に応じて見直す。



水素基本戦略のシナリオ (水素基本戦略)

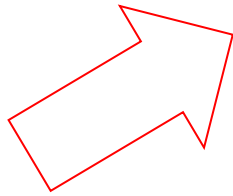




化石燃料(CH_xO_y)

燃

焼



熱

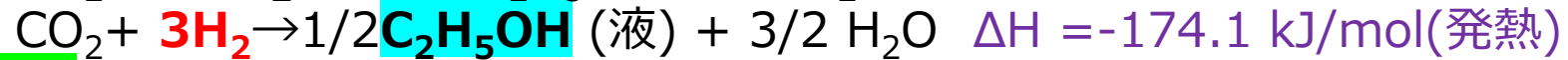
二酸化炭素(CO_2), 水(H_2O)

二酸化炭素を有用な物質として
利用するために

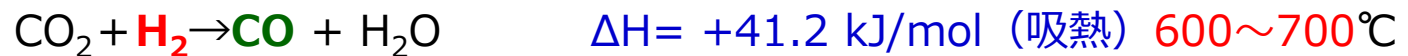
- **光合成(生物反応)**
→植物などが行う光エネルギーを化学エネルギーに変換する生化学反応
- **人工光合成**
→人為的に光合成を行う技術
✓ 光触媒で水素を製造
✓ 水素と二酸化炭素から様々な物質を合成
- **水素との反応**

【CO₂→メタノール】

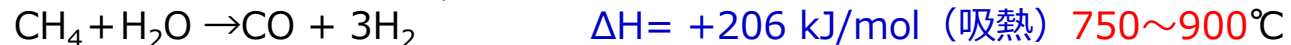
【合成ガス→メタノール】

【CO₂→エタノール】【CO₂→メタン (メタネーション; サバティエ反応)】

【FT合成】

【CO₂→CO (逆シフト反応)】【メタン + CO₂→合成ガス (ドライリフォーミング, 天然ガスありき)】

【メタン→合成ガス (スチームリフォーミング, 天然ガスありき)】



【メタン→合成ガス (部分酸化, 天然ガスありき)】

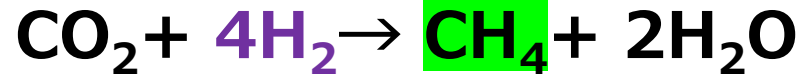


【メタンの熱分解 (天然ガスありき)】





$\text{CO}_2 \rightarrow$ **メタン** (メタネーション; サバティエ反応)



$\Delta H = -164.9 \text{ kJ/mol}$ (発熱) 250~550°C

CO_2 : 44kg

→水素 : 90Nm³必要

メタンの燃焼熱は50kJ/g(LHV)

→0.76MMBTUのメタンが生成

1MMBTUのメタンを作るには,
119Nm³の水素を必要とし,
58kgのCO₂を処理できる。

水素 : 20円/Nm³

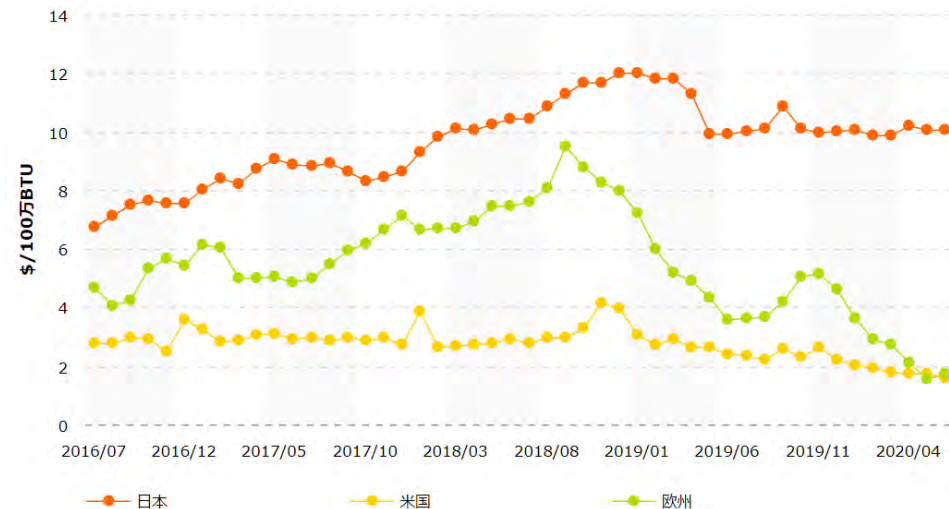
二酸化炭素 : 5000円/トン

1MMBTUあたりで**2850円 (26 \$)**

CO₂ : 464円 (4.2 \$)

H₂ : 2380円 (22 \$)

天然ガス価格の推移 (\$/mmbtu)



<https://pps-net.org/statistics/gas>



CO₂ → **メタノール**



$\Delta H = -49.4 \text{ kJ/mol}$ (発熱) 200~300°C

CO₂ : 44kg

→ 水素 : 67Nm³ 必要

→ 32kg のメタノールが生成。

1kg のメタノールを作るには、
2.1Nm³ の水素を必要とし、
1.4kg のCO₂を処理できる。

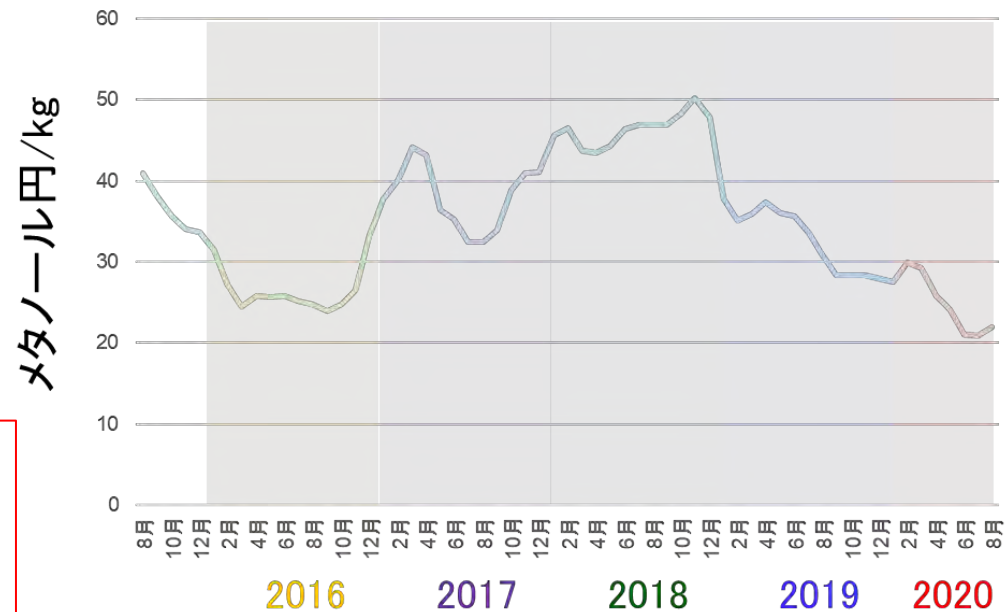
水素 : 20円/Nm³

二酸化炭素 : 5000円/トン

1kgあたりで**49円**

CO₂ : 7円

H₂ : 42円





CO₂ → エタノール



$\Delta H = -174.1 \text{ kJ/mol}$ (発熱)

CO₂ : 44kg

→ 水素 : 67Nm³ 必要

→ 23kgのエタノールが生成

エタノールの密度は0.79kg/Lなので、
23kgのエタノールは29Lとなる

1Lのエタノールを作るには
2.3Nm³の水素を必要とし、
1.5kgのCO₂を処理できる

水素 : 20円/Nm³

二酸化炭素 : 5000円/トン

1Lあたりで**54円**

CO₂ : 7.5円

H₂ : 46円

図表 20 エタノールの国内販売価格と原油価格の推移



https://www.meti.go.jp/policy/alcohol/pdf/h30fychousahoukokusho_technology.pdf



全てLHVで試算

CO₂→メタン

水素が20円/Nm³→26 \$ /MBTU→2700円/GJ
(7~12 \$ /MBTUで推移→730~1250円/GJ)

CO₂→メタノール

水素が20円/Nm³→49円/kg→2500円/GJ
(25~50円/kgで推移→1280~2500円/GJ)

CO₂→エタノール

水素が20円/Nm³→54円/L→2600円/GJ
(126~128円/Lで推移→6100円/GJ)

水素20円/Nm³は1851円/GJ

エネルギー的にはほぼ等価で、原料としての側面で価格が決まる



2017:水素基本戦略策定

2019/6月:カーボンリサイクル技術ロードマップ策定

2019/9月:カーボンリサイクル3Cイニシアティブ

「～～既にCO₂が得られる**広島県大崎上島**を企業や大学等による研究も行える実証研究の拠点として整備」

2020/7月:カーボンリサイクルファンド採択

「瀬戸内カーボンリサイクルコンビナート実現に向けた研究」

2020/10月:菅首相, 2050年カーボンニュートラル宣言

2020/11月:広島大学カーボンリサイクルに関する学内情報交換会を開催(一部YouTube配信)

2021/1月:広島大学カーボンニュートラル宣言(2030年)

2021/2月:広島大学カーボンリサイクル実装プロジェクト研究センター設立

2021/5月:広島県カーボンサーキュラーエコノミー推進協議会設立

瀬戸内「カーボンリサイクルコンビナート」の 実現に向けた研究

研究代表者（所属機関）：市川 貴之（広島大学大学院 先進理工系科学研究科）
参加機関：公益財団法人 中国地域創造研究センター

概要：広島県内で分離・回収するCO₂と再生可能エネルギー水素を用いてメタノールとDME（ジメチルエーテル）を製造し、それを基幹物質として近隣コンビナートで化学品を生産するFS調査を実施することにより、瀬戸内の「石油化学コンビナート」を「カーボンリサイクルコンビナート」に進化・発展させる将来展望を描く。

1. 研究の背景及び課題

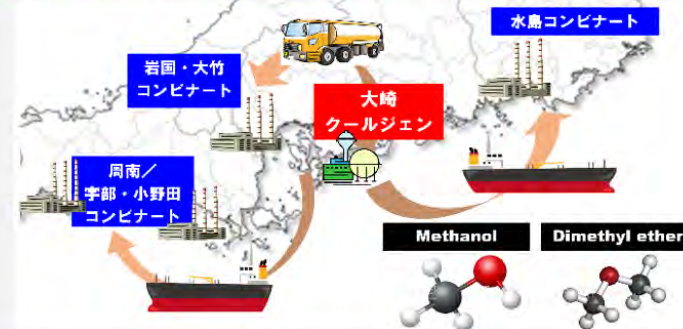
- ◆ 瀬戸内のコンビナートは、近年の国際競争力低下による製造プロセスの海外流出で**プラント稼働率が低下、休眠設備も増加**
- ◆ それらの設備を用いて、再生水素とリサイクルカーボンを原料とする化学品を生産できれば、技術力・安全性の高さを基に、**環境負荷の限りなく小さな化学品生産拠点としてコンビナートが競争力を再構築**

2. 課題に対する解決策

- ◆ CO₂分離・回収の実証事業が行われている広島県大崎上島町を想定し、**回収カーボンと再生水素を反応させてメタノールとDMEを合成**
- ◆ メタノールとDMEは石油化学産業で産出される殆どの化学品の出発原料で、なおかつ液体物質であることから、タンカーやタンクローリー等で大竹（広島県西部）や水島（岡山県東部）、周南・宇部・小野田（山口県）など**近隣コンビナートに運搬可能、そこで化学品生産に展開**
- ◆ 有望な化学品として、今後需給逼迫が予想される化学品や、災害等による海外からのサプライチェーン断絶可能性も視野に入れて「**戦略化学品**」を選定、**それらのコスト競争力も検討**

3. 研究の特徴

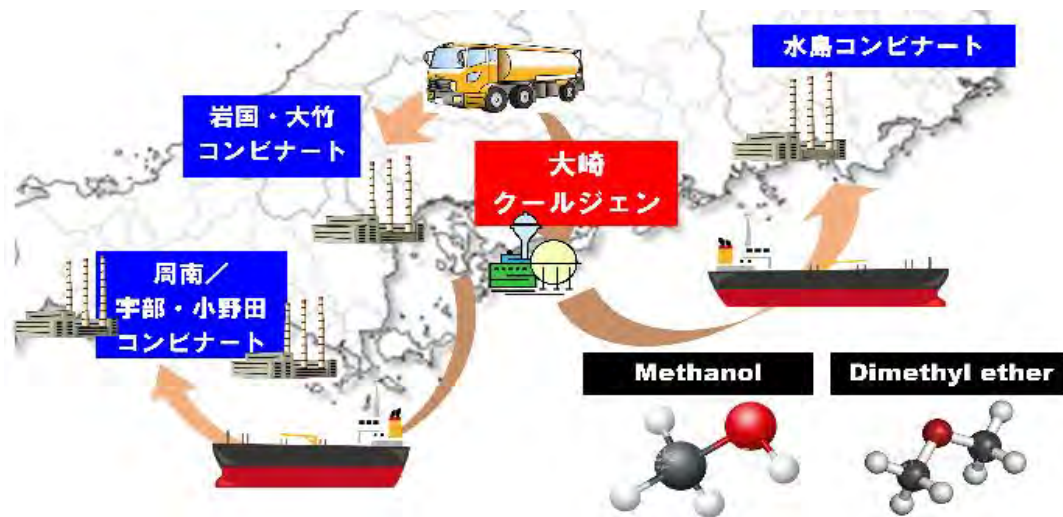
- ◆ 石炭火力発電からのカーボンリサイクルと、再生水素 + 回収カーボンで従来型の石油化学プロセスを代替することの両面からCO₂削減に直結、**化石燃料を原料としない化学品の生産は国富流出緩和にも大きく寄与**
- ◆ 瀬戸内コンビナートにおけるプラントの現状を踏まえた研究とするため、**関係企業で構成する委員会を設置、本研究の成果をコンビナートで具現化するための検討も実施**



4. 波及効果

- ◆ 海外の大規模・最新鋭設備との競争で優位性を失っている国内コンビナートが、カーボンリサイクル技術で再活性化
- ◆ 国内コンビナートの復活、さらには「**石油化学コンビナート**」から「**カーボンリサイクルコンビナート**」へと**進化・発展**

- ◆ 石炭火力発電からのカーボンリサイクルと、再エネ水素 + 回収カーボンで従来型の石油化学プロセスを代替することの両面からCO₂削減に直結、化石燃料を原料としない化学品の生産は国富流出緩和にも大きく寄与
- ◆ 瀬戸内コンビナートにおけるプラントの現状を踏まえた研究とするため、関係企業で構成する委員会を設置、本研究の成果をコンビナートで具現化するための検討を実施





研究事例

- ・ 二酸化炭素の捕捉技術の研究
- ・ 再生可能エネルギー産出技術の研究
- ・ エネルギー蓄積技術の研究
- ・ 二酸化炭素再利用技術の研究
- ・ 二酸化炭素の固定化技術の研究
- ・ 効率的なエネルギー利用技術の研究
- ・ エネルギー転換技術の研究

水素製造



市川 貴之 教授
(プロジェクトリーダー)



古山 通久 客員教授



宮岡 裕樹 准教授



新里 恵多 助教

CO₂分離・回収



大下 浄治 教授



犬丸 啓 教授



金指 正言 准教授



津野地 直 助教

電力



除利野 直人 教授

経済性評価



角谷 快彦 教授



江種 浩文 客員准教授



広島大学

広島大学 カーボンリサイクル実験プロジェクト研究センター

CO₂直接利用



松村 孝彦 教授



中島田 豊 教授



秋 庸裕 教授



河合 研至 教授

化学燃料



安倍 学 教授



斉間 等 教授



中島 伸夫 准教授



久米 晶子 准教授

化学製品



塩野 毅 教授



吉田 拓人 教授



灰野 岳晴 教授



井上 修平 准教授

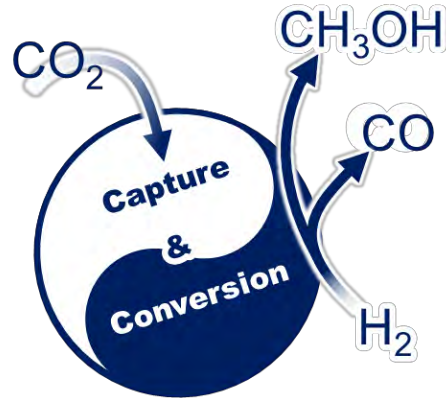


目 次

「広島大学環境物質研究総覧」の発刊に寄せて	i
まえがき	ii
環境ガバナンス部門	1
環境物質循環解析部門	15
環境物質計測開発部門	25
環境物質回収・リサイクル部門	32
<u>カーボンリサイクル部門</u>	<u>37</u>
環境負荷物質制御部門	46
環境適合物質開発部門	56
索引 (50音順)	75
索引 (部門別)	79



先進理工系科学研究科
応用化学プログラム
助教, 津野地 直 先生
「二酸化炭素回収と資源化
の複合化技術開発」

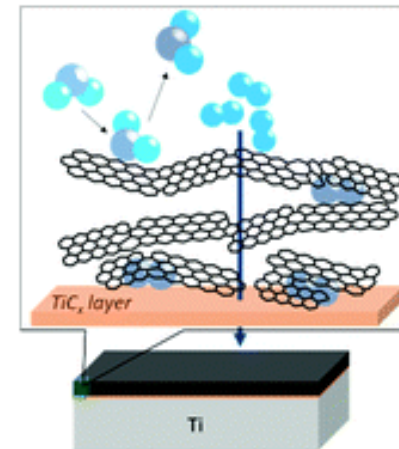


回収・資源化機能の
複合化でエネルギー
効率を改善

ゼオライトを用いた回収と
触媒を用いた資源化反応促進



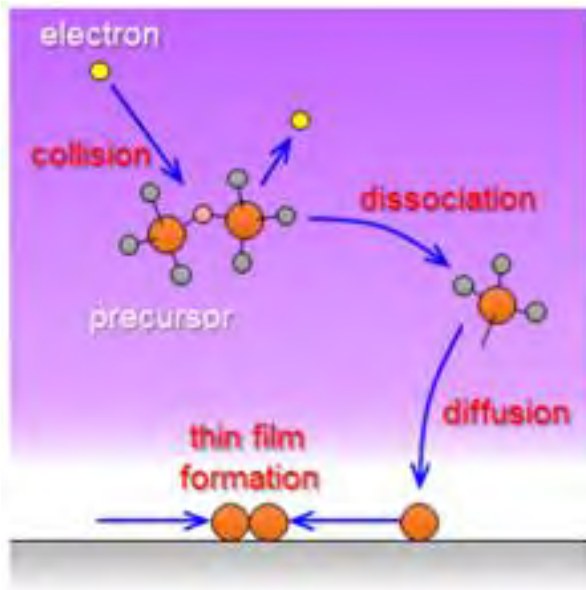
自然科学研究支援開発
センター
助教, 新里 恵多 先生
「高性能蓄エネ材料の開発」



蓄熱による再生可能エネ
ルギーの平準化



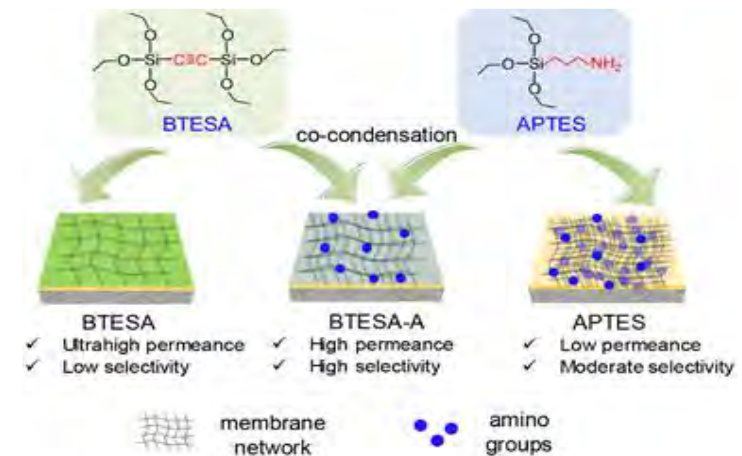
先進理工系科学研究科
 化学工学プログラム
 助教, 長澤 寛規 先生
 「大気圧プラズマを用いた水
 素分離膜の開発」



校正の薄磯分離膜による
 水素製造反応の促進



先進理工系科学研究科
 化学工学プログラム
 准教授, 金指 正言 先生
 「高選択透過性を有するCO₂
 分離膜の開発」



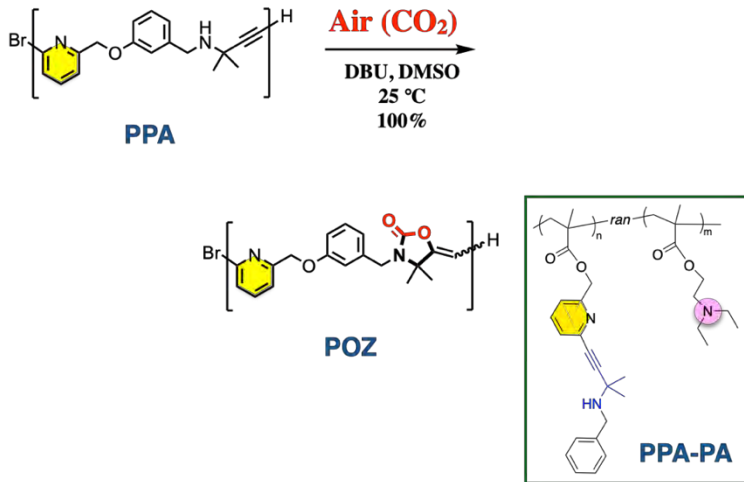
火力発電所等からの高性能
 CO₂分離



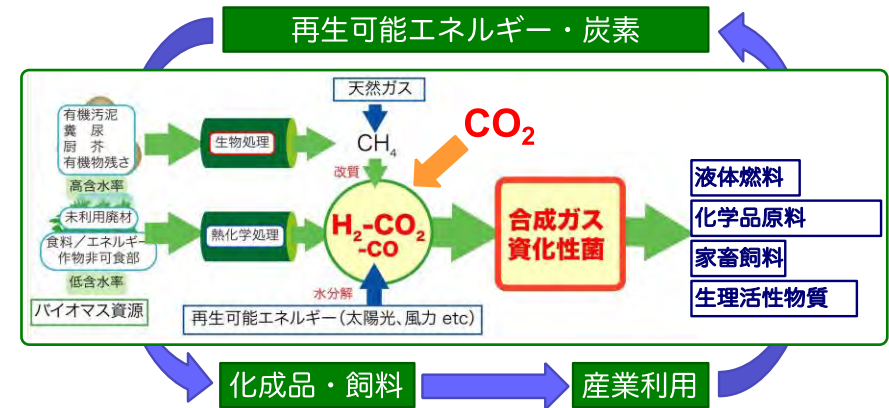
先進理工系科学研究科
研究科長
教授, 高田 十志和 先生
「低濃度二酸化炭素の高分子への固定化」



統合生命科学研究科
生物工学プログラム
教授, 中島田 豊 先生
「CO₂固定型生物発酵プロセスの開発」



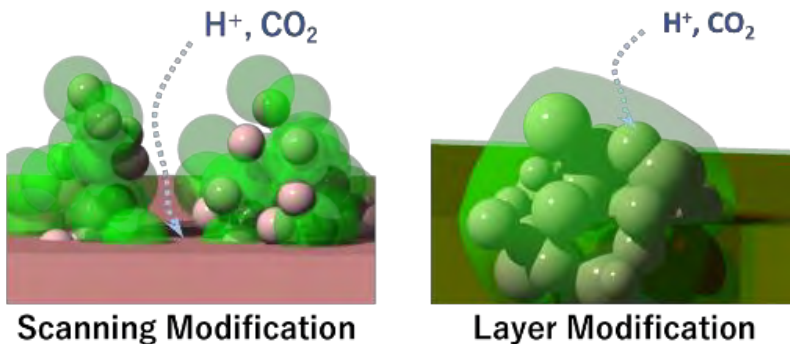
空気中のCO₂と反応しながら
有用な高分子材料へと変換



微生物の機能を利用して,
合成ガスから化成品原料を
生産



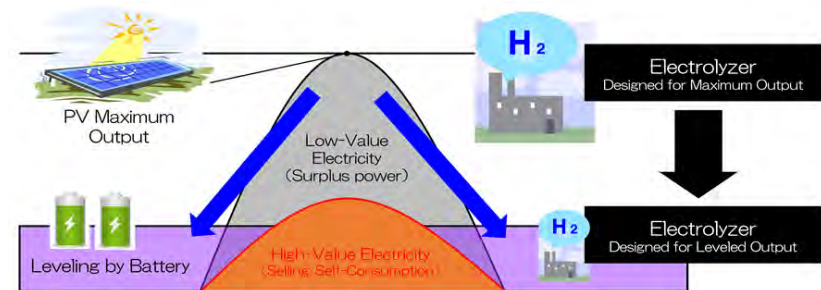
先進理工系科学研究科
基礎化学プログラム
准教授, 久米 晶子 先生
「有機物と協働するCO₂還元触媒の開発」



有用な触媒上で, CO₂を電気化学的に還元し, 炭化水素やアルコールを選択的に製造



先進理工系科学研究科
機械工学プログラム
教授, 市川 貴之
「水素製造における経済性評価」



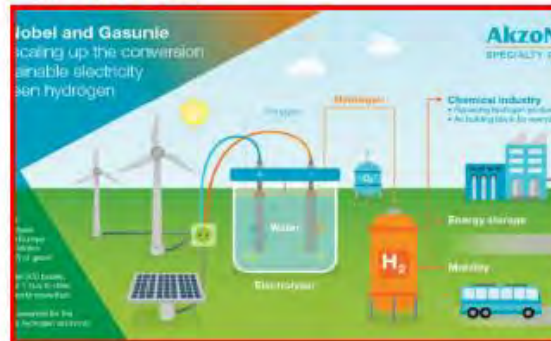
太陽電池の最適な運用により
電力としての利用と余剰電力
による経済的な水素製造の実現

広島大学が各研究分野をリード

CO2分離・回収



水素製造



化学製品への応用

化学薬品

新素材



CO2直接利用



化学燃料への応用





カーボンリサイクル実装プロジェクト 研究センター (HiCRiC) の活動

1. カーボンリサイクル関連情報共有・情報発信

月に1回程度オンラインもしくはハイブリッドで、
メンバーからの情報提供

2. 関連分野のつながり強化

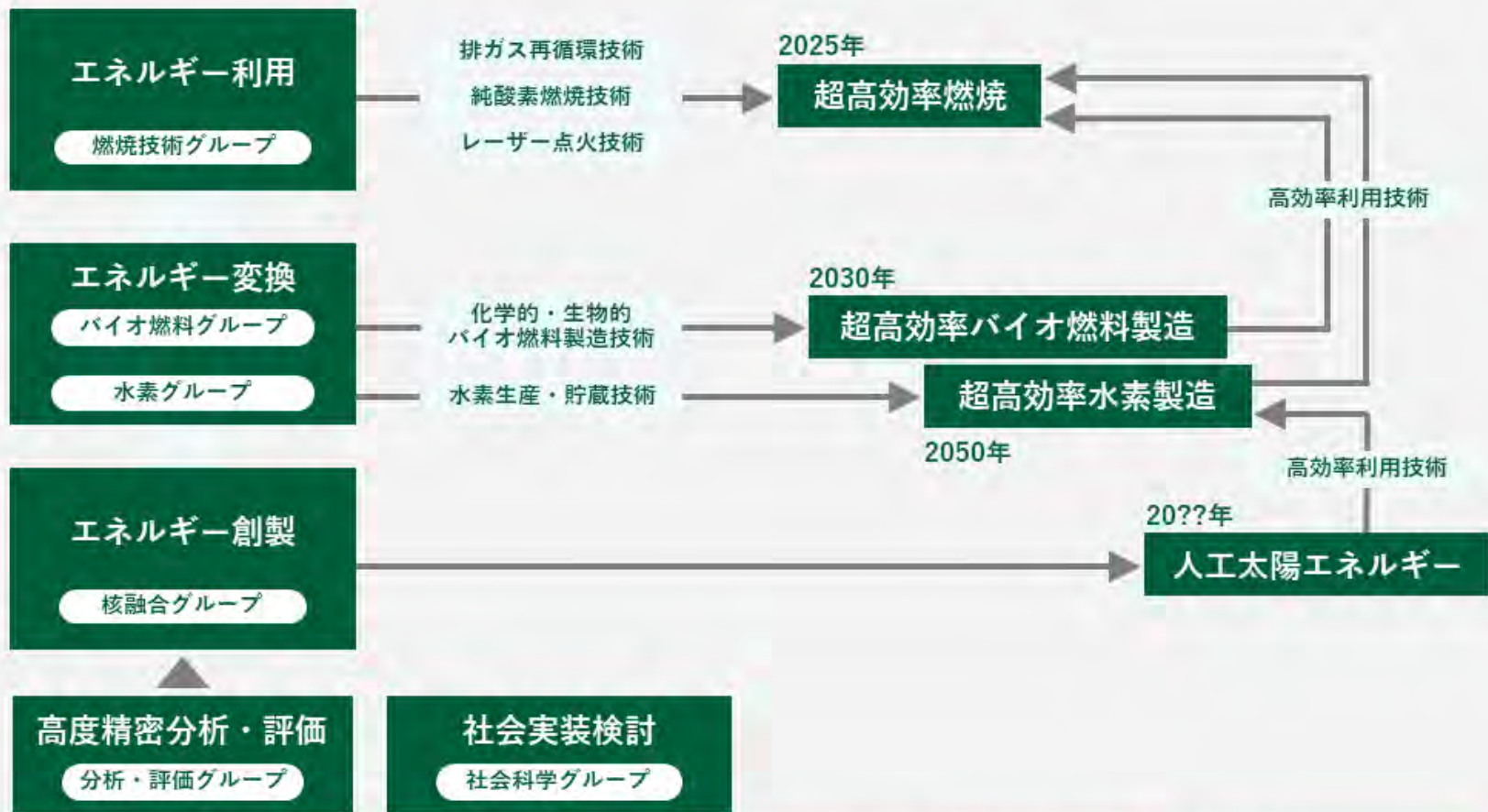
- ・バイオチーム(松村, 中島田, 秋)
- ・化学品合成チーム(塩野, 吉田, 灰野, 井上)
- ・燃料合成チーム(安倍, 中島, 齊間)
- ・水素製造チーム(市川, 古山, 宮岡) → **低コスト水素製造技術の確立**
- ・CO₂分離回収チーム(大下, 犬丸, 金指, 久米, 津野地)
- ・電力制御(餘利野, 江種, 市川) → **再エネ電力の安定利用**
- ・経済性評価・LCA(金子, 布施)

3. カーボンリサイクル予算獲得

適宜「事業」にあったチーム編成(基礎～応用～企業との共同研究)を
して, 広大オープンイノベーション事業本部, 社会連携と協力しつつ学内外の
ネットワークを有効に活用(科研費, JST, NEDO, 環境省関連, その他)

広島シナリオ の構築

一次エネルギー供給から輸送・貯蔵、そして最終エネルギー消費までの各段階のエネルギー利用効率を飛躍的に改善する超高度技術の開発し、その実現に向けた学際的・横断的研究教育を通じて、温室効果ガスの大幅削減に貢献する研究成果の発信、および人材育成を行う



超高効率・再生可能・クリーンなエネルギーシステム (広島シナリオ)

アンモニア分解・高純度水素供給システム開発

【学術面】

【社会面】

融合領域の創出

人材育成・輩出

アンモニア
貯蔵・分解

材料科学

膜分離

安全性

化学工学

環境工学

アンモニアを用いた水素エネルギーキャリア

アンモニア合成グループ

化学工学のアプローチより、太陽熱を利用し、水からアンモニア原料であるCO₂フリーの水素を合成する膜分離研究を行います。

アンモニア貯蔵材料グループ

材料化学のアプローチより、アンモニア分解、除去技術等に関する研究開発を行います。

安全性評価グループ

環境工学のアプローチより、学水素エネルギーキャリアの製造、貯蔵、輸送、利用時の安全性評価を行います。



まとめ

- カーボンリサイクル技術として、
水素を必要としないもの、化学品、燃料
(比較的低コスト) (高付加価値) (低価格)
- 広島県および自治体と地域、広島大学で連携する
準備が整いつつある→協議会の設立
- 広島大学においては、
 - ・カーボンニュートラル宣言(2030年でのCN)
 - ・HiCRiCの設立、窒素エネ拠点、エネルギー拠点の活動
 - ・環境物質研究総覧の発行

瀬戸内カーボンリサイクルコンビナート実現に向けて



窒素循環エネルギーキャリア研究拠点(自立ステージ)
Research Center for Nitrogen Recycling Energy Carrier

広島大学
カーボンニュートラル×
スマートキャンパス5.0宣言



広島大学エネルギー超高度利用研究拠点
Advanced Core for Energetics, Hiroshima University(HU-ACE)

