



NEDO人材育成講座／カーボンリサイクルに係る特別講座

カーボンリサイクルの概要と カーボンリサイクル技術開発の動向

広島大学

A-ESG科学技術研究センター
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

NEDO CR人材育成 第1回講座：講義 2025年5月13日（火）

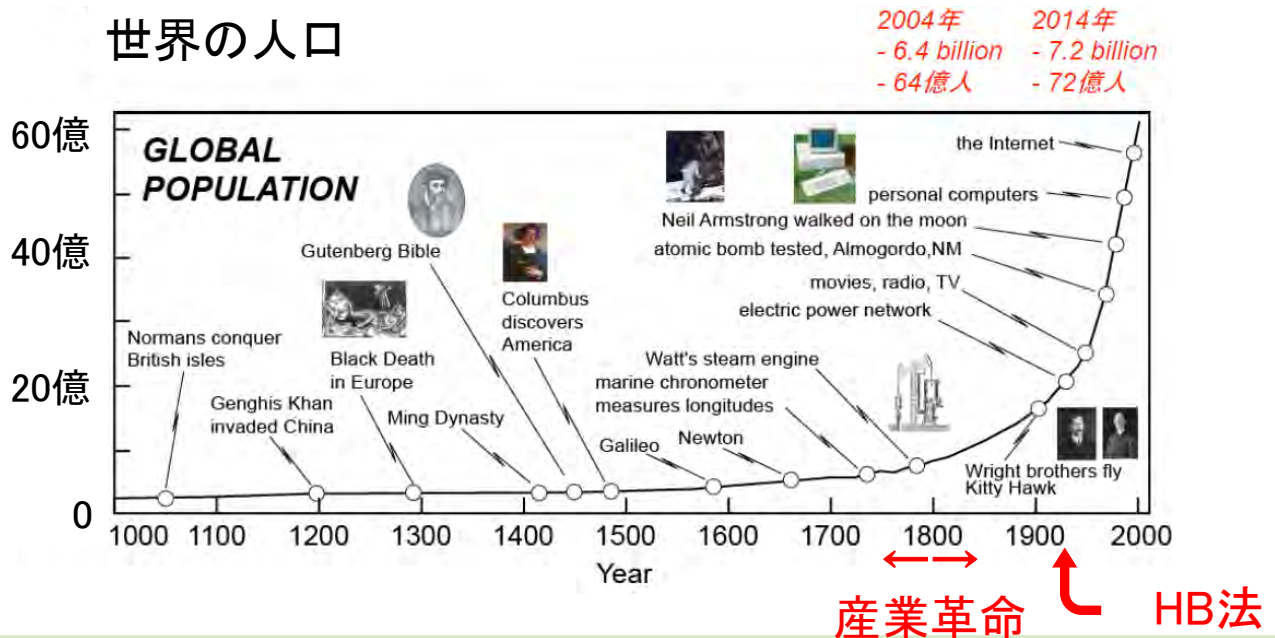


1. カーボンニュートラルと水素エネルギー
2. カーボンリサイクル技術とは
3. 広島地区のカーボンリサイクル
4. 広島大学におけるアクティビティ
5. まとめ

産業革命

18世紀半ばから19世紀にかけて起こった一連の**産業の变革**と**石炭利用**による**エネルギー革命**、それにもなう社会構造の变革のことである。

世界の人口



- 産業革命以降(1700年代後半)
化石燃料を使って**大きなものを動かせるようになった**
→**二酸化炭素排出量増加のはじまり**
- ハーバーボッシュ法(水素+窒素→アンモニア)の発明以降(1900年代前半), 化石燃料を使って**食料を作れるようになった**
→**人口の増加, 生産性の向上, 二酸化炭素排出のさらなる増加**

1. カーボンニュートラルと水素エネルギー



HIROSHIMA UNIVERSITY

COP21:世界共通の長期目標として2℃目標のみならず1.5℃目標への言及

2015年



2018年

2℃目標:
2100年までに世界のGHG排出ゼロ

第5次エネルギー基本計画

2013年度比

2030年26%減, 2050年80%減

2020年

1.5℃目標:
2050年までに世界のGHG排出ゼロ

2021年

2013年度比

第6次エネルギー基本計画

2030年46%減, 2050年100%減

2013年度比

2025年

2040年73%減, 2050年100%減

第7次エネルギー基本計画

①計画全体の比較

比較項目	第7次（2025年2月）	第6次（2021年10月）
策定背景	ロシア・ウクライナ戦争や中東の軍事的緊張により、 <u>エネルギー安全保障の強化</u> を最優先に位置づけ。	東日本大震災から10年、福島復興と安全性確保が最優先。
政策の基本方針	S+3E（安全性・安定供給・経済効率性・環境適合性）の中でも、安全性と <u>エネルギー安定供給の強化</u> をより強調。	S+3Eのバランスを重視。
エネルギー需給	<u>2040年度（見通し）</u> 最終エネ消費：2.6～2.7億kL程度 エネルギー自給率：30～40%程度 電源構成 - 再エネ：40～50%程度 内訳：太陽光：23～29%程度 風力：4～8%程度 水力：8～10%程度 地熱：1～2%程度 バイオマス：5～6%程度 - 原子力：20%程度 - 火力：30～40%程度 温室効果ガス削減割合（2013年度比）： <u>73%</u>	2030年度（見通し） 最終エネ消費：2.88億kL（省エネ後） エネルギー自給率：30%程度 電源構成 - 再エネ：36～38% 内訳：太陽光：14～16% 風力：5% 水力：11% 地熱：1% バイオマス：5% - 原子力：20～22% - 火力：41% 温室効果ガス削減割合（2013年度比）： 46%（更に50%の高みを目指す）



比較項目	第7次（2025年2月）	第6次（2021年10月）
再エネ推進	再エネ拡大をさらに加速し、電力会社の投資環境整備、 <u>カーボンプライシング導入</u> を明確化。	「主力電源化」を推進し、FIT（固定価格買取制度）からの自立を促す。
原子力発電	<u>次世代革新炉の開発</u> を推進し、運転期間の延長や地域との信頼構築を明確化。	「ベースロード電源」として維持。
火力発電	エネルギー安全保障の観点から一定の役割を維持しつつ、 <u>脱炭素型火力発電の推進</u> を強調。	依存度を減らしつつ、CCUS（炭素回収・貯留）技術の活用を推進。
エネルギー安全保障	天然ガス・重要鉱物資源の安定確保のための政策強化を明記。	化石燃料の多様な調達先確保を重視。
産業・技術政策	GX投資促進、 <u>電力市場改革</u> 、クリーンエネルギー技術の開発・導入を加速。	カーボンニュートラル実現に向けた技術開発を推進。

1. カーボンニュートラルと水素エネルギー



2050年にCO₂:**100%減**を達成するためには

1. 原子力発電

カーボンリサイクル技術

2. 化石燃料＋CCUS

2. 1 褐炭→水素（エネルギーキャリア）＋CCUS
2. 2 火力発電＋CCUS

調整力を持たない

短周期変動対策

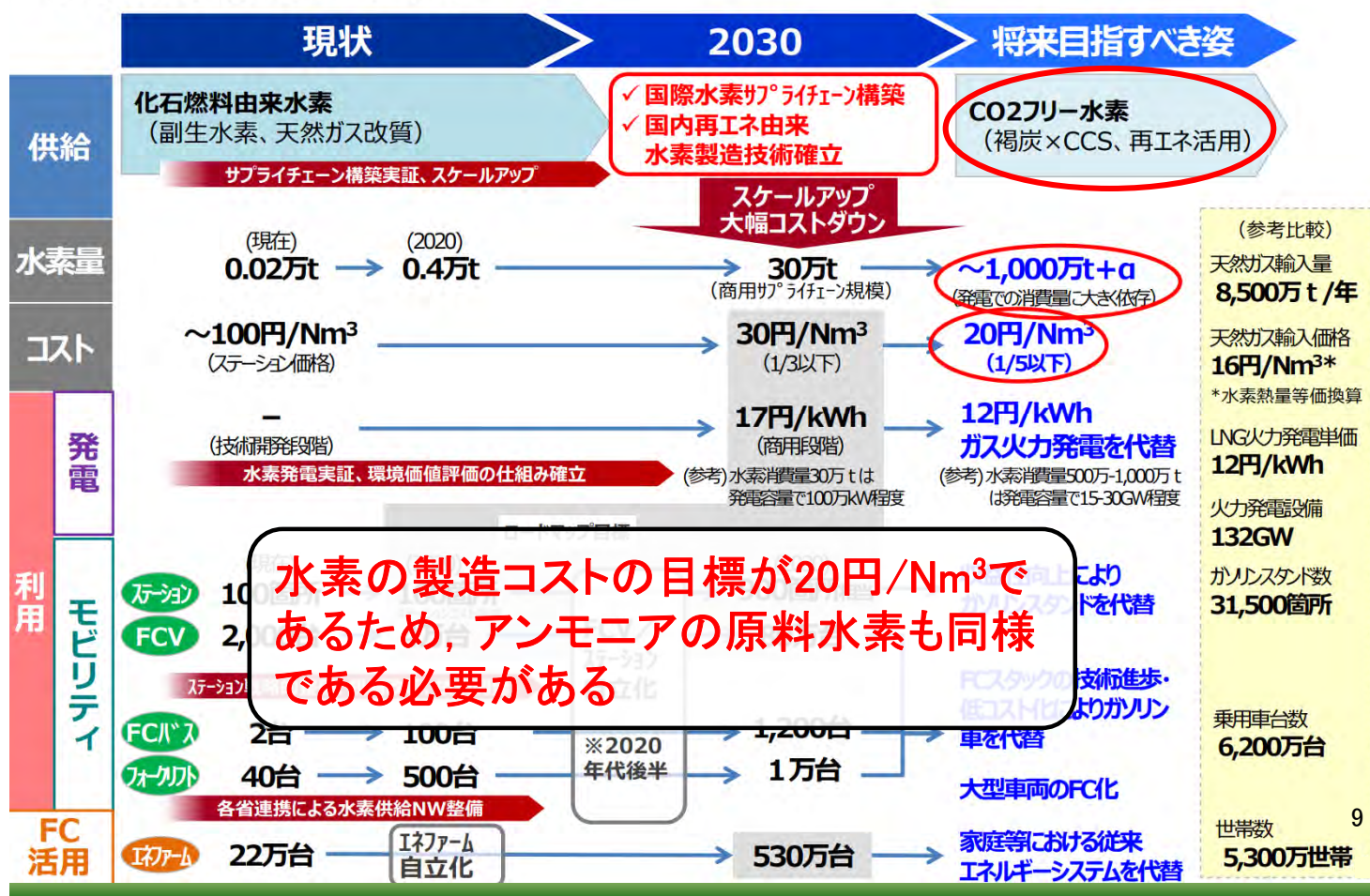
長周期変動対策

3. **再生可能エネルギー**

3. 1 直接利用
3. 2 二次電池を使った平準化
3. 3 水素を利用した平準化
3. 4 エネルギーキャリアを利用した大陸間輸送

再エネ大量導入

1. カーボンニュートラルと水素エネルギー 水素基本戦略のシナリオ（水素基本戦略）



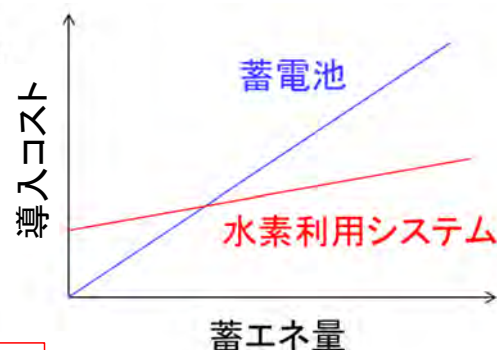
1. カーボンニュートラルと水素エネルギー 水素を利用した平準化



蓄エネ効率

水素: 35~65% (熱源としても利用)

電池: 85~90%



夏と冬の再エネ発電量の違いを
うめたり、長距離のエネルギー
輸送に水素を利用

電子2個貯めるのに、
水分子が1個で良い

エネルギー貯蔵の本命は蓄電池か水素か？

貯めたエネルギーの電力供給コストで比較

蓄電池: 5万円/kWh → 50円/回@千回, 10円/回@五千回
年間100～500回の利用
→ ほぼ毎日利用する事で成立する？

水素: 2023年3月のLNG価格を水素供給コストに換算
→ 24円/Nm³
20円/Nm³@2050年, 30円/Nm³@2030年
→ 概ね目標通りの供給コストであれば、常識的な電力供給コストとなる

グレー水素	: CO ₂ 排出を伴う水素
ブルー水素	: 化石燃料+CCSによる水素
グリーン水素	: 再エネ由来の水素
ターコイズ水素	: メタンの熱分解による水素
ホワイト水素	: 天然資源として存在する水素

これらに加えて核熱(高温ガス炉など)を用いた熱化学水素が想定されている

その他, ピンク水素, イエロー水素などが命名されつつある

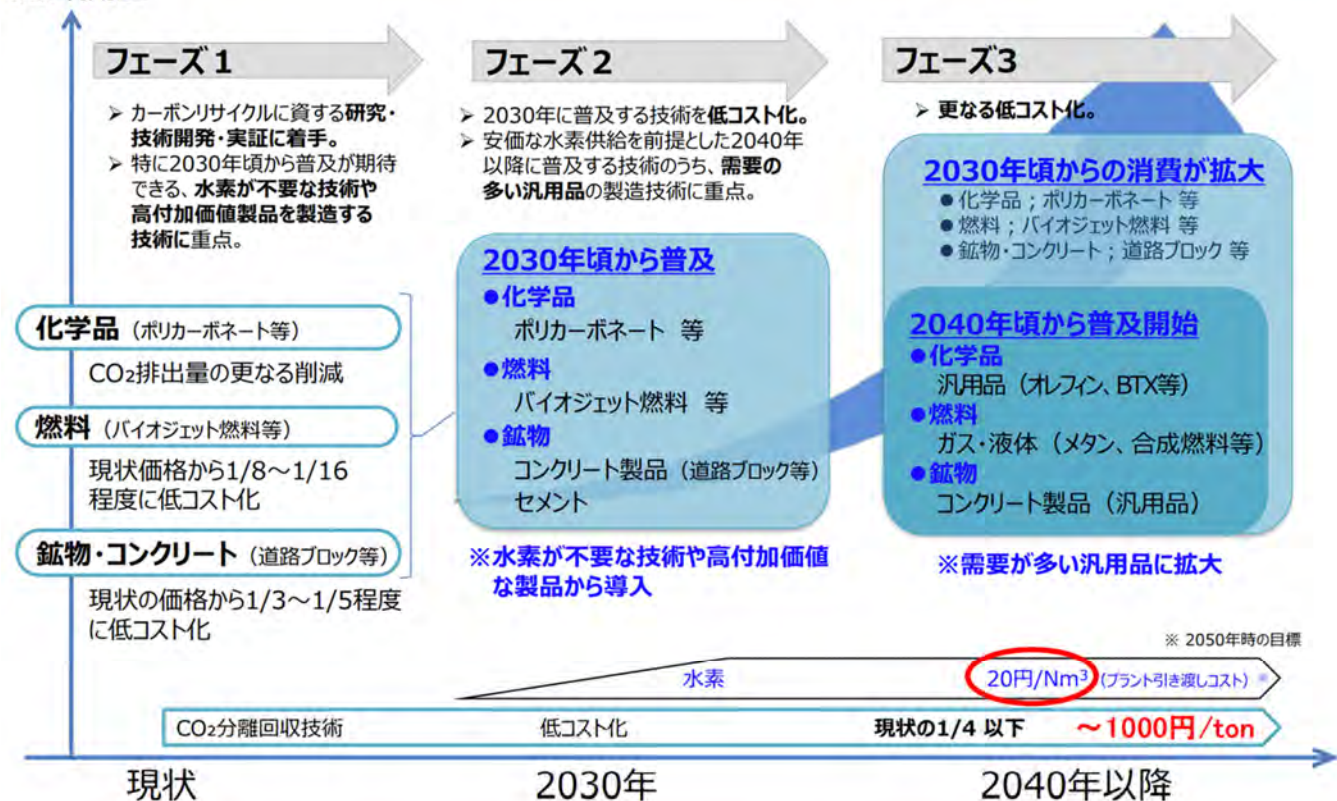


- 産業革命以降の様々な効率化に基づき、人口増に基づく食物供給を支えるアンモニア製造のため、**化石燃料から水素**は作られてきた
- CN実現のためには、**再エネ主力電源化**は避けて通れない
- 再エネ電源は調整力を持っていないため、蓄エネ技術が必要
- 短周期変動の平準化は二次電池、長周期変動の平準化は水素
- 現状技術との接続性を考えると**水素製造コストは20円以下**
- 水素には原料によって様々な『**色付け**』がなされている

2. カーボンリサイクル技術とは

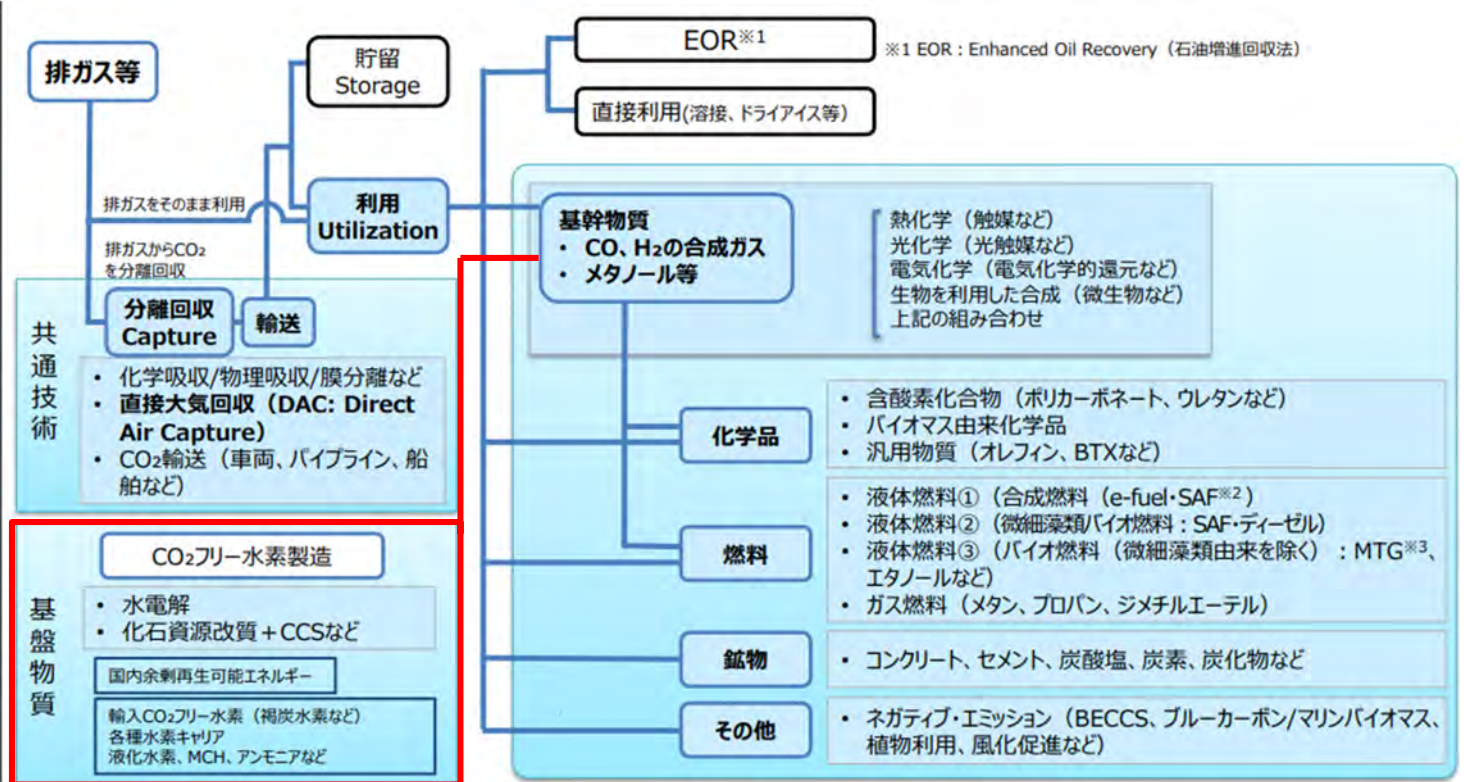


CO₂利用量

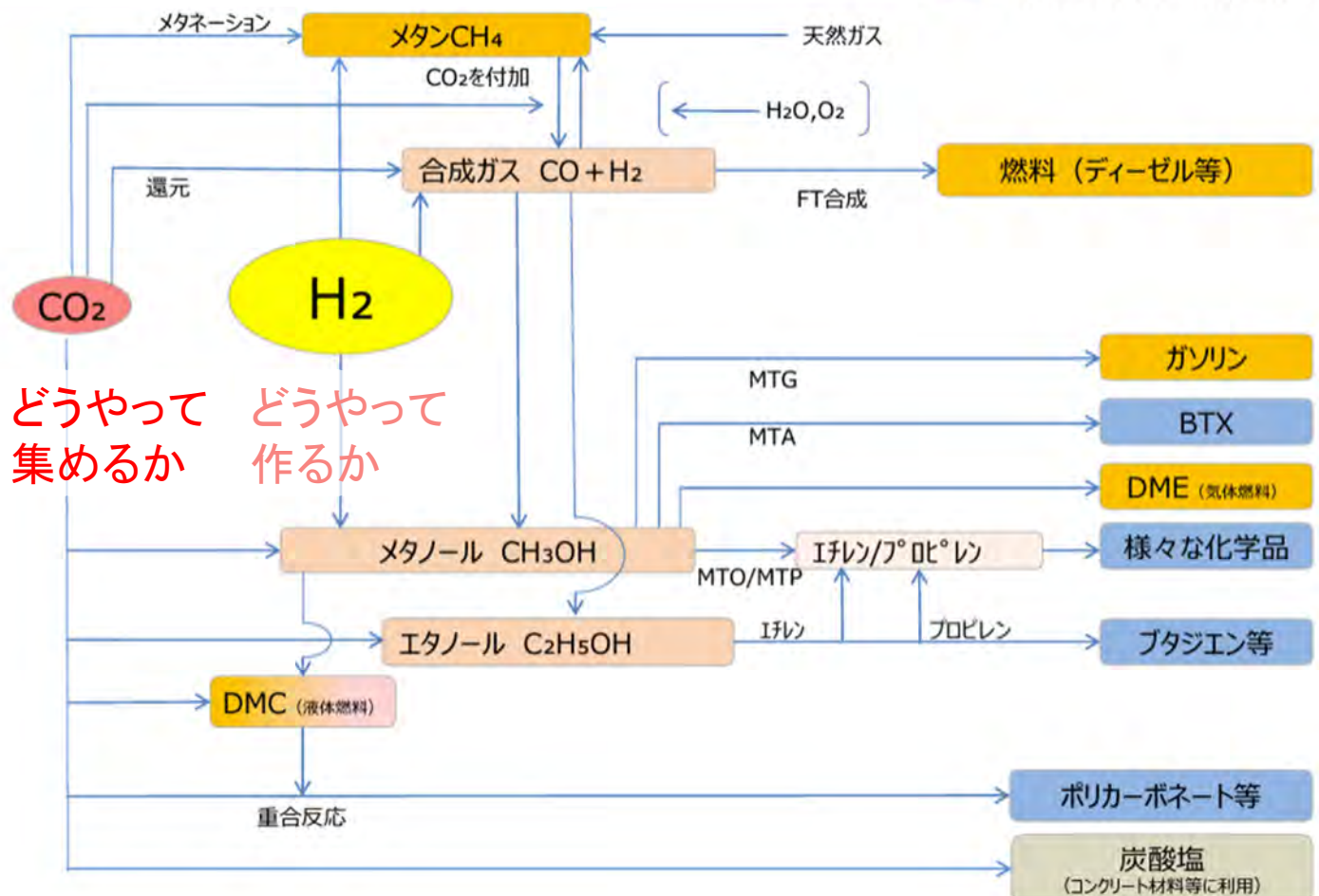


CR技術の全体像

CR製品の製造コストは水素の供給コストに強く依存



2. カーボンリサイクル技術とは



2. カーボンリサイクル技術とは 水素1[Nm³]のコスト



HIROSHIMA UNIVERSITY

$$\underbrace{AB(1+r)/(8760yN)}_{\text{設備+維持}} + \underbrace{zB}_{\text{電気代}} + \underbrace{1142M/(xy)}_{\text{人件費}} + \underbrace{\alpha}_{\text{その他}}$$

設備+維持

電気代

人件費

その他

その他: 土地代, 金利, 税金, 保険

再生水素

水電解システムコスト
5万円/kW@将来

2030年

- 水電解装置のコスト (20万円/kW→5万円/kW)
- 水電解効率 (5kWh/Nm³→4.3kWh/Nm³)

製造能力: x [Nm³/h]
設備稼働率: $100y$ [%]
耐用年数: N [年]
電力単価: z [円/kWh]
人件費: 1000万
× M [円/年]
維持費率: $100r$ [%]
電解効率: B [kWh/Nm³]
電解装置コスト
: A [円/kW]
トータル水素
: $8760xyN$ [Nm³]

電気代は1～2円/kWhでも
4～10円/Nm³の寄与

2. カーボンリサイクル技術とは 水素1[Nm³]のコスト



HIROSHIMA UNIVERSITY

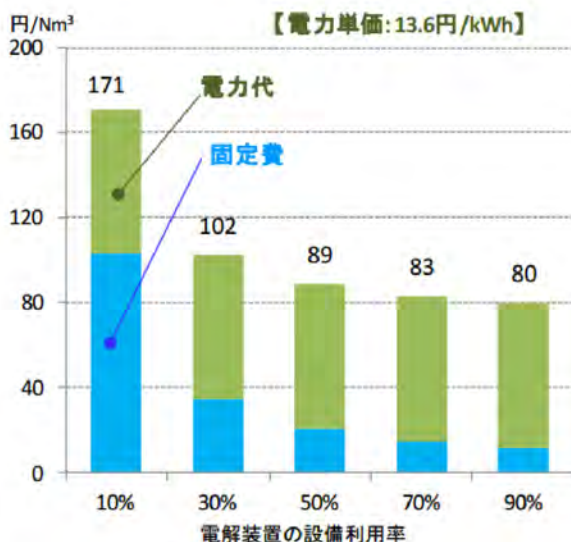
$$\underbrace{AB(1+r)/(8760yN)}_{\text{設備+維持}} + \underbrace{zB}_{\text{電気代}} + \underbrace{1142M/(xy)}_{\text{人件費}} + \underbrace{\alpha}_{\text{その他}}$$

設備+維持

電気代

人件費

その他



設備利用率は
50%以上を堅持
する必要がある

製造能力: x [Nm³/h]
設備稼働率: $100y$ [%]
耐用年数: N [年]
電力単価: z [円/kWh]
人件費: 1000万
× M [円/年]
維持費率: $100r$ [%]
電解効率: B [kWh/Nm³]
電解装置コスト
: A [円/kW]
トータル水素
: $8760xyN$ [Nm³]

再生可能エネルギーからの水素製造の経済性に関する分析

日本エネルギー経済研究所 柴田 善朗氏

水素製造(電解)コスト低減のために必要なこと

1. 電力単価の低減→1~2円以下
 2. 設備利用率の向上→60%以上
- 同時に成立させる！

太陽光

	1kWhあたり調達価格等/基準価格 ※1			
	入札制度適用区分	50kW以上 (入札制度対象外)	10kW以上50kW未満 ※3	10kW未満
2021年度 (参考)	入札制度により決定 (第8回11円/第9回10.75円/ 第10回10.5円/第11回10.25円)	11円	12円	19円
2022年度	入札制度により決定 ※4 (第12回10円/第13回9.88円/ 第14回9.75円/第15回9.63円)	10円	11円	17円
2023年度	入札制度により決定	9.5円	10円	16円
調達期間/ 交付期間 ※2	20年間			10年間

資エネ庁HPより

2. カーボンリサイクル技術とは

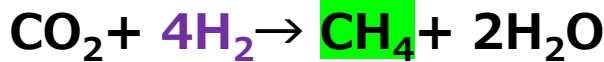
	CO ₂ 変換後の物質	カーボンリサイクル技術現状※1	課題	既存の同等製品の価格※1	2030年	2040年以降
基幹物質	合成ガス メタノール等	一部実用化、革新的プロセス (光、電気等利用) は研究開発段階	変換効率・反応速度の向上、 触媒の耐久性向上 など	—	プロセスの低コスト化	プロセスの 更なる低コスト化
化学品	含酸素化合物	一部実用化(ポリカーボネート等)、 その他は研究開発段階 【価格例】 既存の同等製品程度(ポリカーボネート)	ポリカーボネートはCO ₂ 排出量の 更なる削減 ポリカーボネート等以外の実用化 (転換率・選択率の向上)	300-500円程度/kg (ポリカーボネート (国内販売価格))	既存のエネルギー・ 製品と同等のコスト	更なる低コスト化
	バイオマス 由来化学品	技術開発段階(非可食性バイオマス)	低コスト・効率的な前処理技術、 変換技術 など	—	既存のエネルギー・ 製品と同等のコスト	更なる低コスト化
	汎用品 (オレフィン、BTX等)	一部実用化(石炭等から製造した合成 ガス等を利用)	転換率・選択率の向上 など	100円/kg (エチレン(国内販売価 格))	—	既存のエネルギー・ 製品と同等のコスト
燃料	液体燃料 (微細藻類燃料)	実証段階 【価格例】 バイオジェット燃料 1600円/L	生産率向上、低コスト・効率的な 前処理技術 など	100円台/L (バイオジェット燃料 (国内販売価格))	既存のエネルギー・ 製品と同等のコスト (100-200円/L)	更なる低コスト化
	液体燃料 (CO ₂ 由来燃料または バイオ燃料(微細藻類 由来を除く))	技術開発段階(合成燃料(e-fuel-SAF))、 バイオエタノールのうち、可食性バイオマス 由来については一部実用化 【価格例】 合成燃料 約300~700円/L	現行プロセスの改善、 システム最適化 など	50-80円 (原料用アルコール (輸入価格)) 約130円 (工業用アルコール (国内販売価格))	—	合成燃料：ガソリン価 格以下のコスト 既存のエネルギー・ 製品と同等のコスト
	ガス燃料 (メタン、プロパン、エタン)	技術開発/実証段階	システム最適化、スケールアップ、 高効率化 など	40-50円/Nm ³ (天然ガス(輸入価格))	CO ₂ 由来CH ₄ の コストダウン	既存のエネルギー・ 製品と同等のコスト
鉱物	コンクリート、セメント、炭酸 塩、炭素、炭化物	一部実用化、低コスト化に向けた様々な 技術の研究開発が実施中 【価格例】数百円/kg(道路ブロック)	CO ₂ と反応させる有効成分の分 離、微粉化 など	30円/kg (道路ブロック (国内販売価格))	道路ブロック： 既存のエネルギー・ 製品と同等のコスト	道路ブロック以外：既 存のエネルギー・製品 と同等のコスト
共通 技術	CO ₂ 分離回収 (DAC含む)	一部実用化(化学吸収法)、 その他手法は研究・実証段階 【価格例】 4000円程度/t-CO ₂ (化学吸収法)	所要エネルギーの削減 など	—	1000-2000円台/t- CO ₂ (化学吸収、固体吸収、 物理吸収、膜分離)	1000円以下/t-CO ₂ 2000円以下/t-CO ₂ (DAC)
基盤 物質	水素	概ね技術確立済み(水電解等)、他の 手法を含め低コスト化に向けた研究開発が 実施中	低コスト化 など	—	30円/Nm ³	20円/Nm ³ (プラント引き渡しコスト)

2. カーボンリサイクル技術とは



HIROSHIMA UNIVERSITY

CO₂ → **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℃

CO₂ : 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あたりで **2438円 (22 \$)**

CO₂ : 58円 (0.5 \$)

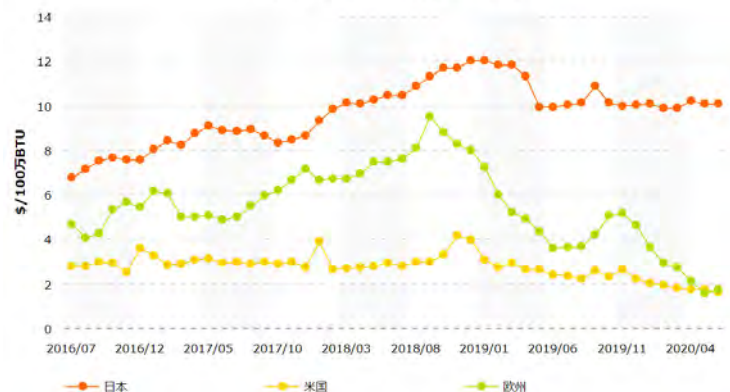
H₂ : 2380円 (21.6 \$)

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 : 1000円/トン

天然ガス価格の推移 (\$/mmbtu)



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

2. カーボンリサイクル技術とは



HIROSHIMA UNIVERSITY

CO₂ → **メタノール**



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

CO₂ : 44kg

→ 水素 : 67Nm³ 必要

→ 32kgのメタノールが生成。

1kgあたりで **43円**

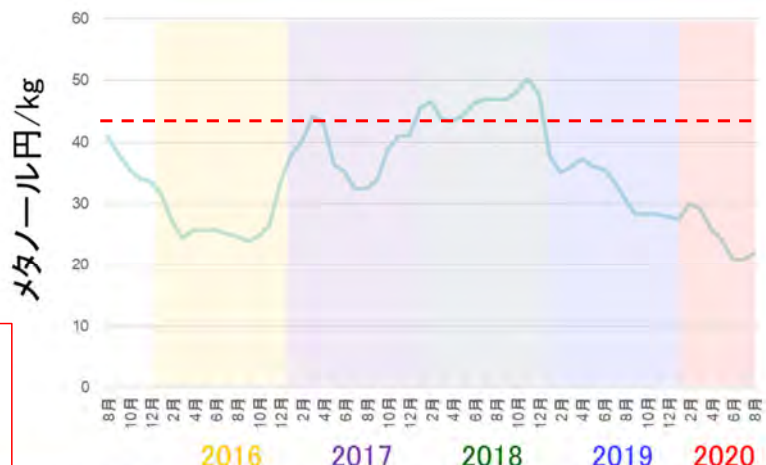
CO₂ : 1.4円

H₂ : 42円

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 : 1000円/トン



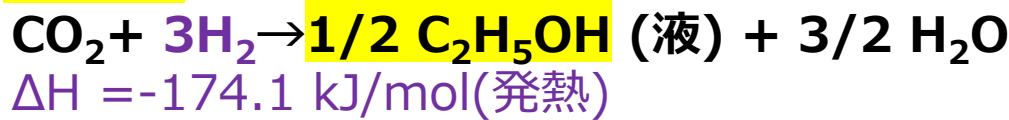
<https://www.dan-cc.co.jp/metanohruyunyuukakaku.htm>

2. カーボンリサイクル技術とは



HIROSHIMA UNIVERSITY

$\text{CH}_4 \rightarrow$ **エタノール**



CO_2 : 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あたりで**48円**

CO_2 : 1.5円

H_2 : 46円

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 CO_2 を処理できる

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

水素 : 20円/Nm³

二酸化炭素 : 1000円/トン

2. カーボンリサイクル技術とは



HIROSHIMA UNIVERSITY

$\text{CO}_2 \rightarrow$ メタン

全てLHVで試算

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

$\text{CO}_2 \rightarrow$ 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)

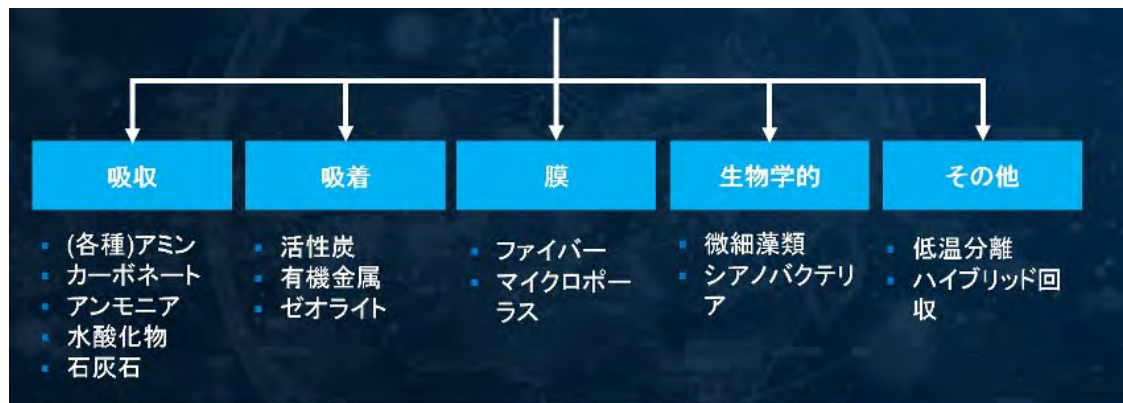
$\text{CO}_2 \rightarrow$ エタノール

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

CO₂回収技術



- ・ 圧力制御で吸収脱着 (PSA; 吸着)
- ・ 温度制御で吸収脱着 (TSA; 吸収)
- ・ どのようなCO₂か? (温度, 圧力, 純度, 不純物の種類)

3. 広島地区のカーボンリサイクル

2019/1月: ダボス会議にて安倍元首相が「CO₂は資源」に言及

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」→**NEDO実証拠点**

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

2022/4月: 広島大学A-ESG科学技術研究センター設立

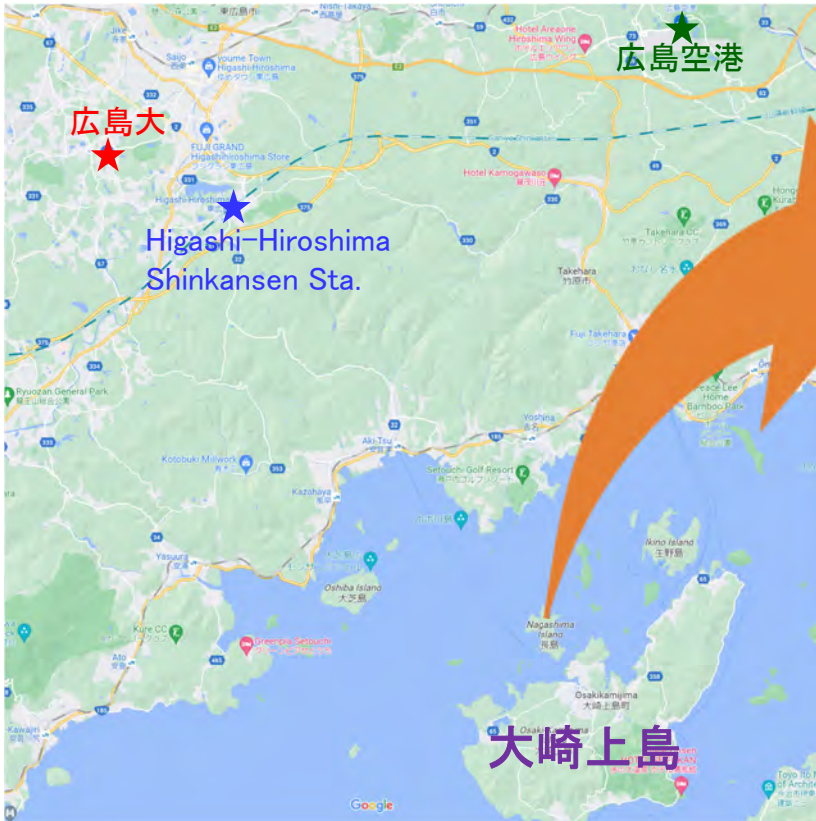
2024/8月: 「NEDO人材育成講座／カーボンリサイクルに係る特別講座」採択

3. 広島地区のカーボンリサイクル



HIROSHIMA UNIVERSITY

まとまった量のCO₂をどうやって得るか？



Osaki CoolGen(OGC)



IGCC(Integrated Coal Gasification Combined Cycle) → IGFC(Fuel Cell)

GT: 170MW

CO₂ 放出: 120ton/h

CO₂ 回収: 400ton/d

ガス化: H₂+CO

シフト反応: H₂+CO₂

3. 広島地区のカーボンリサイクル



HIROSHIMA UNIVERSITY



CARBON
RECYCLING
FUND INSTITUTE

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F S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用いた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産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

瀬戸内エリアの石油化学コンビナート

瀬戸内エリアには太平洋ベルトを代表する石油化学コンビナートが立地

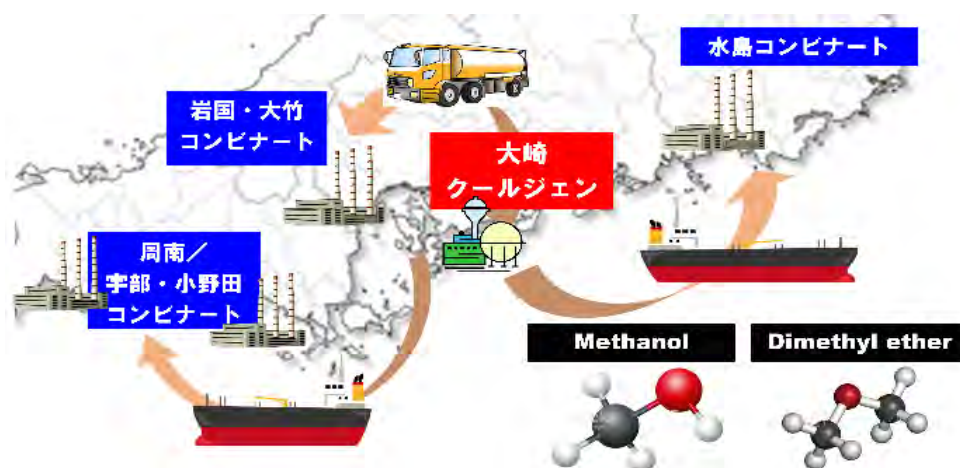
- ◆ 石油精製と石油化学の強い結び付きが特徴の水島
- ◆ ソーダなど化学メーカーが集積する周南
- ◆ 石灰石を原材料とするセメント製造工場が立地する宇部・小野田など
- ◆ コロナ禍でも、高い技術力と環境・安全対策などを強みとしてプラントの高操業が続いている

懸念事項

- ◆ アジア等で新設されている大規模最新鋭のコンビナートとの厳しい競争に直面、今後は製造プロセスの海外流出で稼働率低下や休眠設備の増加が懸念事項
- ◆ 海洋プラスチックをはじめとする環境問題
- ◆ 2050年カーボンニュートラルに向けた脱炭素化への動き

3. 広島地区のカーボンリサイクル

- ◆ 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



3. 広島地区のカーボンリサイクル



HIROSHIMA UNIVERSITY

「広島県カーボン・サーキュラー・エコノミー推進協議会」

会員募集

世界のカーボンニュートラルに貢献する
協議会の会員を募集します！

広島県は、世界的な脱炭素社会への動きを見据え、CO₂削減やカーボンリサイクルの先駆的な研究開発拠点となり、技術の社会実装を推進することで、県内の地域振興やカーボン・サーキュラー・エコノミーを実現し、2050年に向けた世界的なカーボンニュートラル達成に貢献するため、令和3年5月に協議会を設立しました。

【趣向】
●カーボンニュートラル（CN）
何れも生産するなどの一連の人的活動を行った際に排出される温室効果ガスの量と、吸収される量を同じにする（カーボン・サーキュラー・エコノミー）を目指すことで実現される仕組み。
●カーボンリサイクル（CR）
CO₂を産業資源と捉えて回収し、化学品や燃料、鉱物といった炭素化合物として再利用すること（カーボン・サーキュラー・エコノミーの取組の一部）

活動内容

研究開発・実証試験の検討及び実施
プロジェクト創出、マッチング支援など

関連する技術・取組の紹介
フォーラム、ワークショップ等の開催による情報提供

規制緩和などを要望を取りまとめた政策提言
国や県内外自治体との連携

協議会会長および広島県知事からのメッセージ

広島県カーボン・サーキュラー・エコノミー推進協議会
会長 市川 貴之
(広島大学大学院先進理工学科学研究科 教授 / 広島大学カーボンリサイクル実証プロジェクト研究センター センター長)

広島県を中心とする瀬戸内海沿岸地域には、カーボンリサイクルの高いポテンシャルがあります。例えば、日照時間が長く温暖な気候を利用した太陽光発電でCO₂フリー電力を製造し、工業地域から排出されるCO₂を回収することで様々な化学品を製造することも可能です。広島大学でも、本年度より、カーボンリサイクル実証プロジェクト研究センターを設立し、再生可能エネルギー・最先端技術の研究や、CO₂の捕集・貯蔵技術等の研究を行っています。本協議会を通じて産学官の協働な連携の下、世界のカーボンニュートラルに貢献できると強く期待しています。

広島県知事 湯崎 英彦
大気中に放出されるCO₂の削減を図るカーボンリサイクルは、カーボン・サーキュラー・エコノミー社会の実現に向けた重要な技術ですが、その多くが研究段階にあります。大気中から回収されるCO₂リッチガスを活用した、カーボンリサイクル実証研究拠点の整備が進められており、県ではこうした動きを支援しながら、今後、様々な視点で研究や実証を促進していきたいと考えています。広島県は、カーボンリサイクルやカーボンニュートラル関連技術の開発と社会実装に積極する意気込みを表明します。共に、未来にチャレンジしましょう！

入会対象・条件

対象 1. カーボンリサイクルやカーボンニュートラル、脱炭素等に関心のある企業、産業支援機関、行政機関など企業・機関単位
2. 大学・試験研究機関に所属する研究者
※入会対象・条件についてご不明点等あれば、お問い合わせ願います

入会金 無 料

お問い合わせ先
広島県商工労働局 イノベーション推進チーム
カーボンリサイクル推進グループ
〒730-8511 広島市中区基町10-52 TEL 082-513-3368
公益財団法人中国地域創造研究センター
〒730-0041 広島市中区小町4-33 中電ビル3号館5F TEL 082-245-7900

入会方法
下記サイトにアクセスし、必要事項を入力ください
<https://hcce.jp/member/>

【個人情報等の取扱いについて】
ご登録いただいた個人情報、協議会で適切に管理し、協議会の運営管理のほか、最新情報の提供及び協議会など、各種の案内等に利用させていただきますのであらかじめご了承ください。

3. 広島地区のカーボンリサイクル



HIROSHIMA UNIVERSITY



カーボン・サーキュラー・エコノミー推進構想

CARBON—
CIRCULAR
ECONOMY

カーボンリサイクルに挑む

MESSAGE メッセージ

カーボンリサイクルやカーボンニュートラル関連技術の開発と社会実装に挑戦する情熱を応援します。共に、未来にチャレンジしましょう！

広島県知事 湯崎 英彦

広島県を中心とする瀬戸内海沿岸地域には、カーボンリサイクルの高いポテンシャルがあります。産学官の強固な連携の下、世界のカーボンニュートラルに貢献できると強く期待しています。

広島県カーボン・サーキュラー・エコノミー推進協議会 会長 市川 貴之
(広島大学大学院 教授)

カーボンリサイクルを共に進めていきたいと思います。下記までご相談ください。
広島県商工労働局 環境・エネルギー推進課
TEL 082-513-3368

推進構想本編は、こちらからダウンロードできます。

企業間のマッチングの場を創出

産学官連携を徹底サポート

CHANCE 広島県
カーボン・サーキュラー・エコノミー
推進協議会
Council of Hiroshima for a carbon Circular Economy

広島から始まる

カーボンリサイクル技術の社会実装への取組を推進し、地域振興さらに「カーボン・サーキュラー・エコノミー」実現を目指して活動しています。

交流 マッチング支援
会員間の交流を促すイベントの実施やメルマガを通じて最新情報の提供を行っています。

創出 ワーキンググループ
カーボンリサイクルに資する実証プロジェクトの立ち上げに向けて、テーマ毎の具体的な議論を行っています。

育成 次世代教育
会員と高校生・大学生等がカーボンリサイクルを楽しく学ぶ特別授業やイベントを実施しています。

<https://hcce.jp/concept/img/pamphlet.pdf>

3. 広島地区のカーボンリサイクル



HIROSHIMA UNIVERSITY

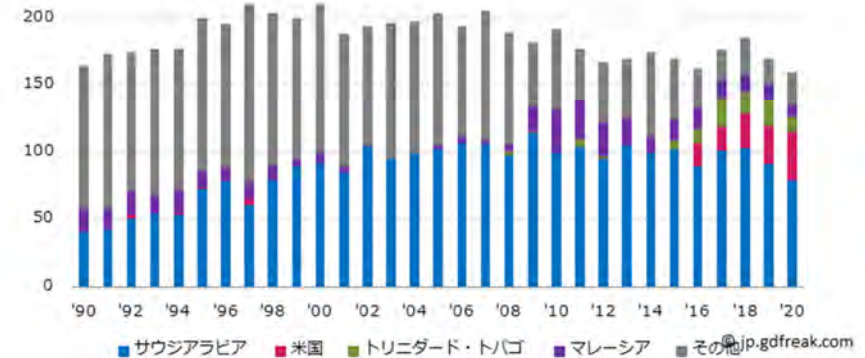
メタノール(の可能性)

- メタノールはオクタン価が高く, 高効率燃料になりうる
- 大崎上島 MGCターミナル(株): 23,500kL × 4基, 115kL

輸入量の推移

単位:万トン

2020年: 160万トン



- 化学用途: 酢酸, ホルマリンなどの化学原料, 溶媒として
- 燃料用途: DMFCの燃料
- 脱水反応によりDMEを合成可能, LPGとDMEは混合して利用可能
- DMEはセタン価が高く(55~60, 軽油: 40~55)軽油代替の可能性

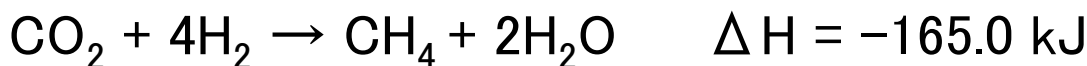
4. 広島大学におけるアクティビティ



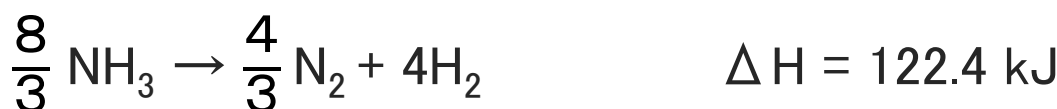
HIROSHIMA UNIVERSITY

アンモニアメタネーション

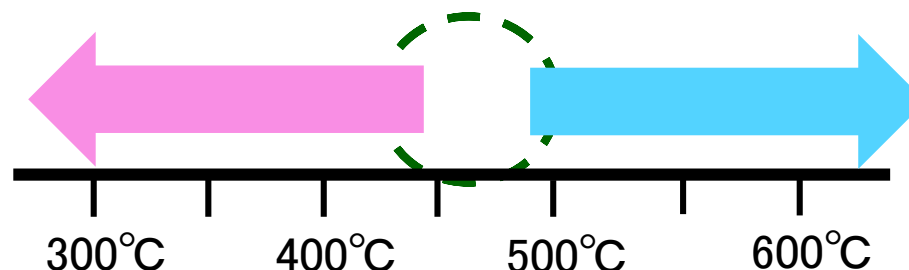
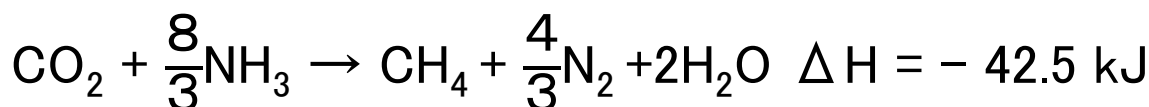
➤ サバティエ反応



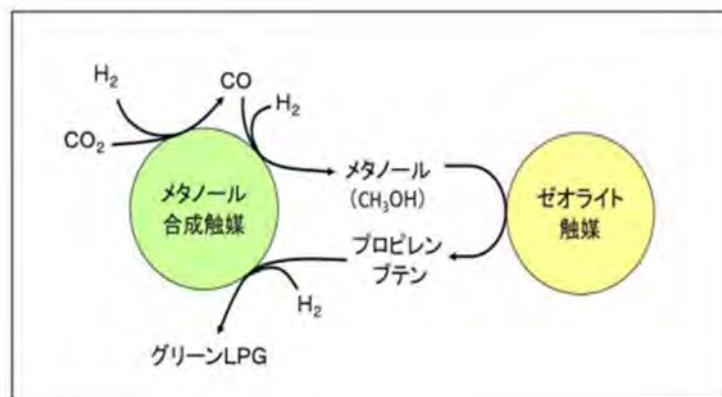
➤ アンモニア熱分解



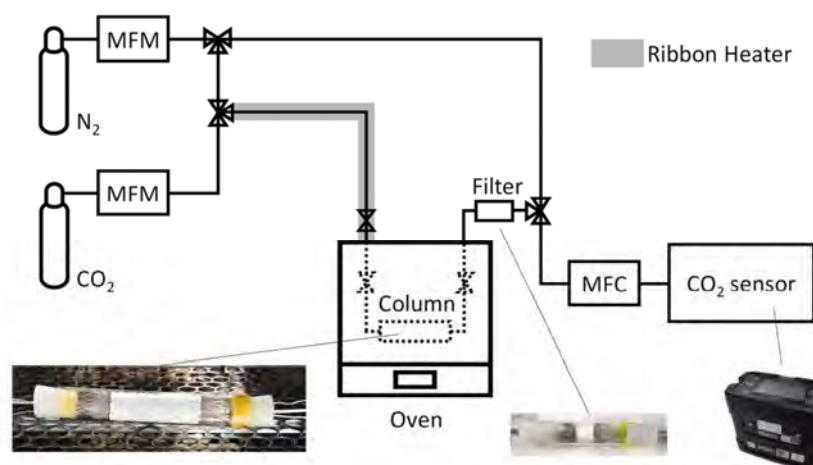
➤ アンモニアメタネーション反応



グリーンLPG合成



水素と CO_2 からメタノールを経てグリーンLPGを合成

アミン修飾されたゼオライトによる CO_2 回収

設定温度

- 吸着: 80 °C
- 脱着: 120 °C

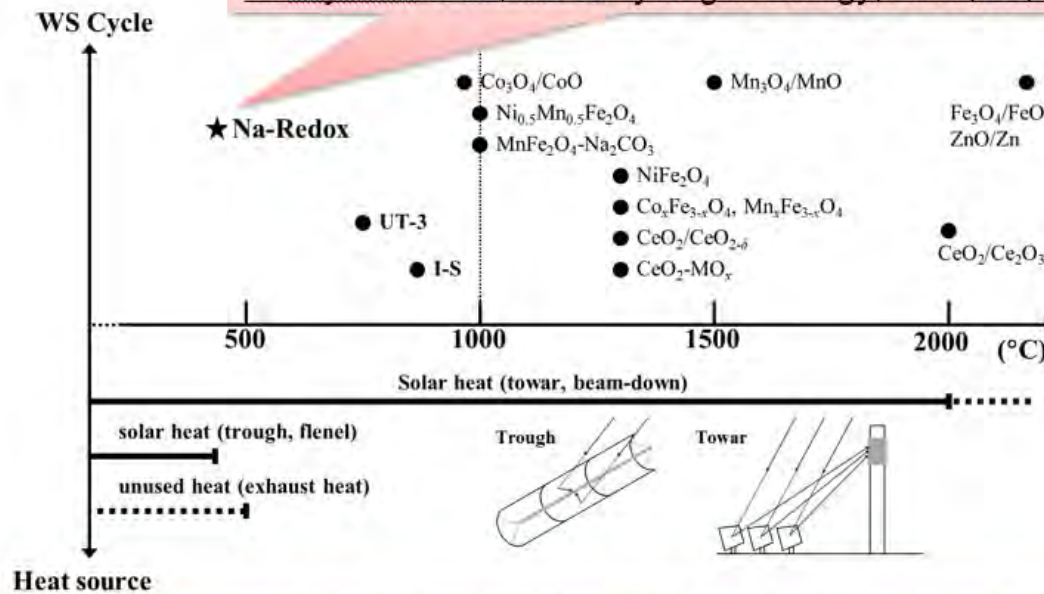
 CO_2 濃度

- 10 vol%, 20 vol%, 30 vol%.

燃焼排気ガスを想定し、廃熱を利用した吸脱着システム

熱化学水素製造

H. Miyaoka et al., Int. J. Hydrogen Energy, 2012, 37, 17709.



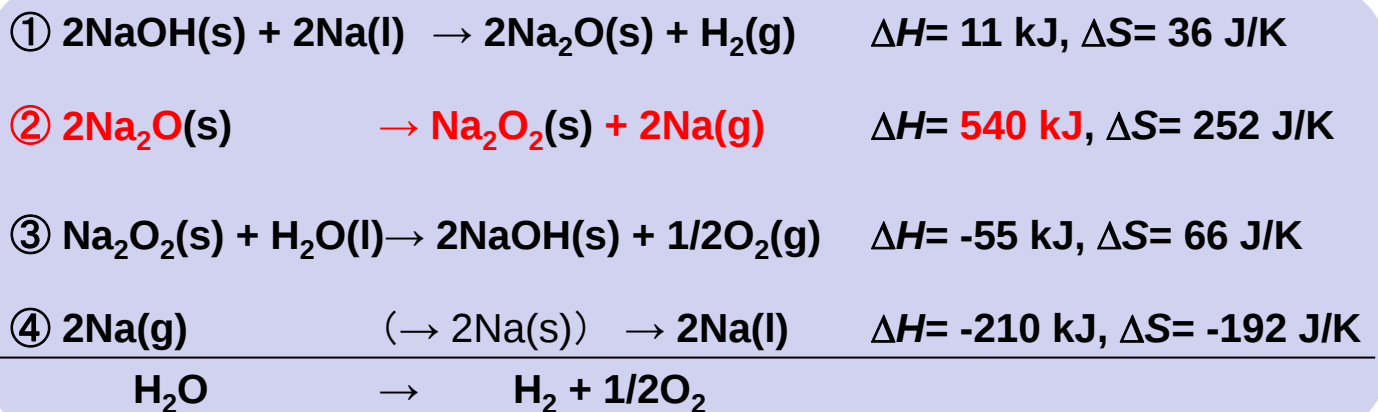
現状, 500 °C以下で熱化学的な水分解で水素を製造可能な唯一の反応系

- ✓ I-S(ヨウ素-硫黄)プロセス: 800 °C以上, 気液反応系, 連続的な反応が必要(核熱利用)
- ✓ 2-stepサイクル: 1000~2000 °C, 酸化物中金属の酸化還元を利用

4. 広島大学におけるアクティビティ



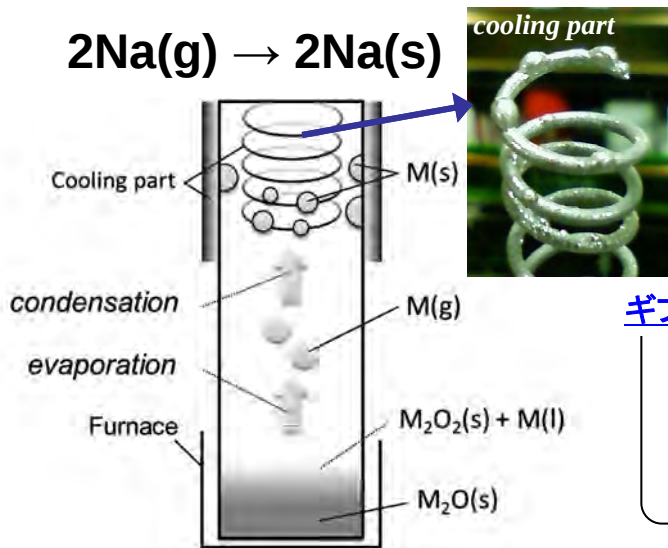
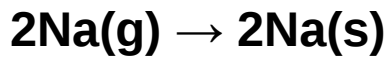
ナトリウムレドックスサイクル



[H. Miyaoka et al., Int. J. Hydrogen Energy, 2012, 37, 17709.]

- ① 水素発生反応 ⇒ 先行研究では, 350 °Cで反応率80%
- ② Na金属分離反応 ⇒ 熱力学的に反応が困難 ($T_{\text{eq}} = 2000 \text{ °C}$, $P_{\text{pro}} = 0.1 \text{ MPa}$)
⇒ 先行研究では, 非平衡反応を用いて500 °C以下でNaを分離
- ③ 加水分解による酸素発生反応 ⇒ 発熱反応
- ④ Naの状態変化

Naの高い反応性, 低融点(98 °C)を利用することで,
500 °C以下で水から水素できる可能性



✓ 金属蒸気を反応場から分離/回収

$$\Delta H = 540 \text{ kJ}, \Delta S = 252 \text{ J/K}$$

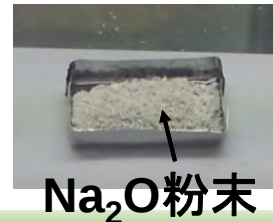
ギブス自由エネルギー変化

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

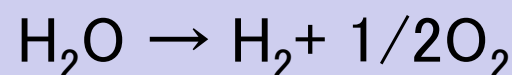
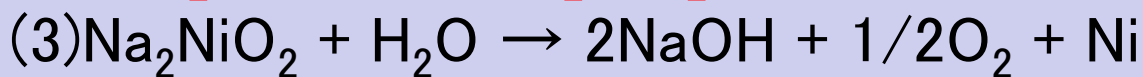
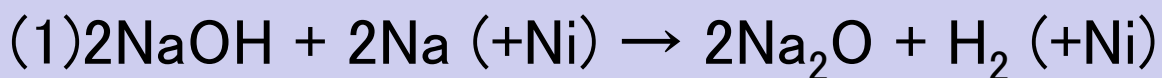
$$\Delta S = \Delta S^0 + R \ln \left(\frac{p_0}{p_M} \right)$$

✓ ΔH : エンタルピー変化✓ ΔS^0 : エントロピー変化✓ R : 気体定数✓ P_0 : 標準圧力✓ P_M : 金属蒸気の分圧

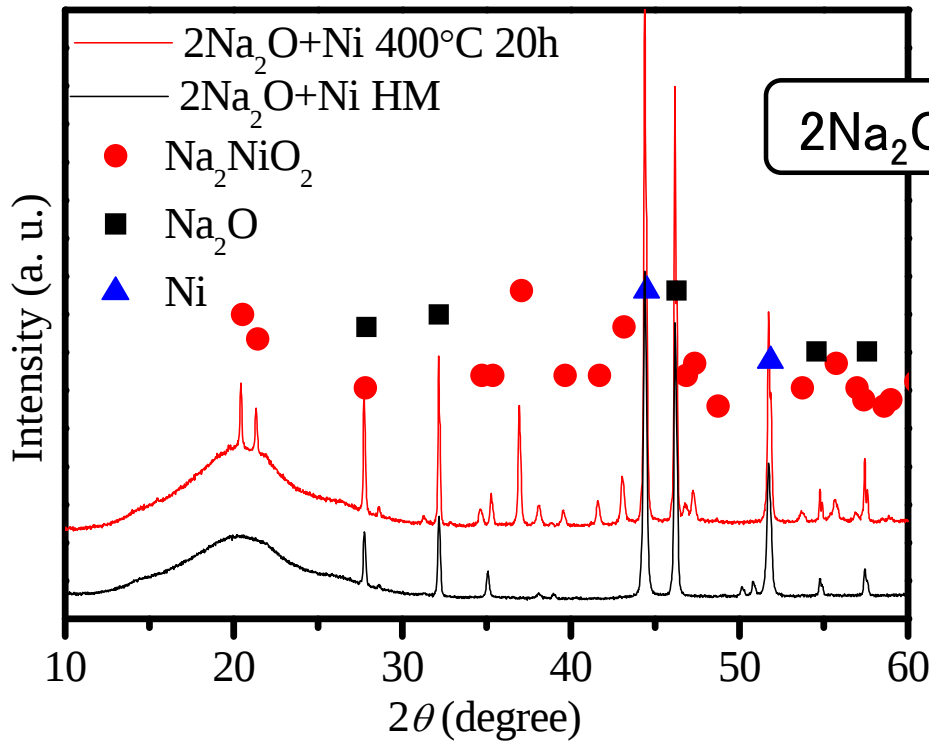
金属分離反応装置概略図

金属蒸気の分圧 p_M を低下させ、
反応温度を低温化✓ Na_2O , Na_2O_2
の腐食性が問題

500 °C

Na₂O粉末□ Ni添加Na-Redoxサイクル

Na分離反応におけるNiの影響を検討



腐食無

- Na_2NiO_2 に帰属されるピーク → Na生成にNiが寄与
- Na_2O とNi粉末が反応し、容器は腐食無

41

5. まとめ

- カーボンニュートラル実現に向け、再エネの主力電源化と蓄電池・水素利用はセットで考えるべき
- カーボンリサイクル技術は少量高価値から大量汎用化学品へ(グリーン水素製造の低コスト化がカギ)
- メタノール製造が瀬戸内カーボンリサイクルコンビナート構想のカギを握る?
- カーボンリサイクル人材育成事業が明日からスタート
- 広島大学では、水素製造、カーボンリサイクル反応、アンモニアを水素源としたメタネーション、二酸化炭素回収等、幅広く研究開発を進めている
- 低コストグリーン水素製造が重要であり、地域でのグリーン水素製造に注力し、地域発のカーボンサーキュラーエコノミーを実現したい