

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現在地と 広島大学等での取り組み

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3回講座：講義 2026年6月11日(木)

1. カーボンリサイクルの現在地
2. 広島大学等での取り組み

## NEDO 未来展望

— イノベーションを社会へ —

【48】CO<sub>2</sub>回収コスト減に挑戦 (2025年11月5日紙面掲載分)

トン2千円台に  
前回、脱炭素向け二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)分離回収技術がカギになることを紹介したが、今回はこの技術が「現実解」となる可能性について論じたい。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、グリーンイノベーション(GI)基金を通じ、CCS(CO<sub>2</sub>回収・貯留)を現実解ならしめるため、分離回収技術のコストを今より大幅に低下させる技術開発に取り組んでいる。2030年までに回収コストを1トン当たり2000円台とすることを目標にしているが、現在のコストが9000~1万2000円程度あることを考えると、極めて野心的な挑戦だ。また、この技術は、CO<sub>2</sub>を循環させるカーボンリサイクル社会における、起点となる技術でもある。

### 分離回収コストを削減

9000~1万2000円程度/  
トン-CO<sub>2</sub>(実績ベース) ※1 ※2



トラック輸送  
10トン？

## CO<sub>2</sub>回収コスト

現在：  
10,000円/トン

目標@2030年：  
2,000円/トン

※1 Global CCS Institute(Technology Readiness and Costs of CCS\_2021)のデータを参考に作成  
※2 排ガスの圧力が大気圧、CO<sub>2</sub>濃度が10%以下でのCO<sub>2</sub>分離回収コスト

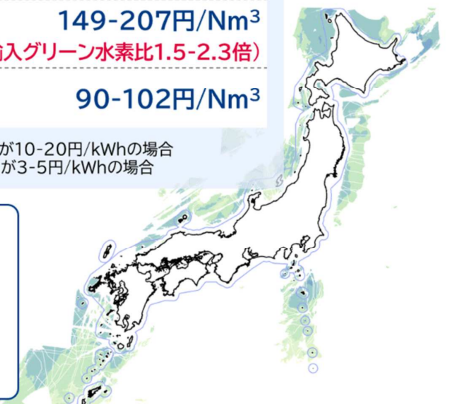
## グリーン水素供給コスト分析結果

① 国産グリーン水素(陸上P2G) <sup>※1</sup> (洋上風力→海底ケーブル→陸上P2G)	94-150円/Nm <sup>3</sup> (輸入グリーン水素比0.9-1.7倍)
② 国産グリーン水素(洋上P2G) <sup>※1</sup> (洋上風力→洋上P2G→液化水素運搬船)	149-207円/Nm <sup>3</sup> (輸入グリーン水素比1.5-2.3倍)
③ 輸入グリーン水素(陸上P2G) <sup>※2</sup> (再エネ全般→陸上P2G→液化水素運搬船)	90-102円/Nm <sup>3</sup>

※1 送变电設備コスト・減価償却費を除く発電所端の電力費用が10-20円/kWhの場合  
※2 送变电設備コスト・減価償却費を除く発電所端の電力費用が3-5円/kWhの場合

## 将来的なコスト低減要素例

- 水素変換効率の向上
- 積荷・荷揚設備のプロジェクト間共有
- 余剰電力の売電
- 各構成設備の技術進展等によるコスト低減
- P2Gの副産物活用(廃熱利用、副生酸素利用)



AIによる概要

国産の太陽光発電を用いたグリーン水素の製造コストは、現在**100円～160円/Nm<sup>3</sup> (約1,100円～1,800円/kg)**が目安です。製造コストが高い主な理由は、国内の太陽光発電の発電コストが海外より高く、水電解装置稼働率も限られるためです。 AIST：産業技術総合研究所 +2

国産グリーン水素のコスト・現状まとめ

項目	現在の目安	政府の長期目標	課題と背景
コスト水準	1,100～1,800円/kg (100～160円/Nm <sup>3</sup> )	2030年に約30円/Nm <sup>3</sup> 2050年に約20円/Nm <sup>3</sup>	国産の太陽光は日照条件の制約があり、装置稼働率が上がらないことが最大のボトルネックです。
産業用途	需要家にとって既存の化石燃料(約15円/Nm <sup>3</sup> ～)と比較して、価格差が非常に大きい状況です。	製造コストの低減だけでなく、安価な海外産水素の輸入や、国内での大規模な再エネ導入が不可欠です。	

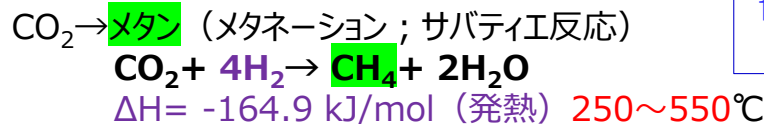
中国新聞

マイニュース 中国地方 社会 経済 政治・行政 人事 スポーツ くらし 文化・芸能

ひろしま企業図鑑：ES技研 環境、コスト低減に寄与す グリーン水素に積極投資

2025/12/1 (第...)  
新事業の「グリーン水素」は、太陽光発電でつくった電気で水を電気分解し、水素を生成する。同水素は製造時も使用時もCO<sub>2</sub>を出さない次世代エネルギーとして注目されるが、大量の電力が必要で、コスト低減が普及を占う鍵となる。同社は大容量の蓄電池や気候などを考慮して水素製造量などを自動で最適化するシステムを組み合わせることで、ガソリンなど既存燃料よりも安価なグリーン水素製造システムの実現を掲げる。「グリーン」... 同分野への投資を加速。研究開発拠点として24年秋、山口県岩国市に2100平方メートルの土地と倉庫を取得。25年内をめ... 水素自動車4台をフル充電で... 市川貴之教授の協力の下、温風高純度化を目指す。水素は水素移動式水素ステーションも購入。ゆくゆくは水素プラントの設計・施工事業を計画する。

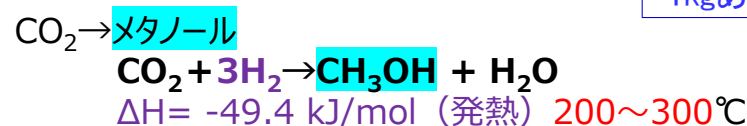
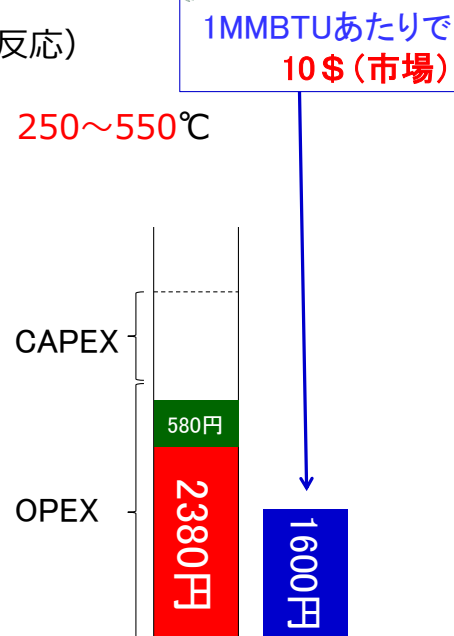
**年間2.7トン製造時に20円/Nm<sup>3</sup>を視野**



CO<sub>2</sub> : 44kg  
 →水素 : 90Nm<sup>3</sup>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、119Nm<sup>3</sup>の水素を必要とし、58kgのCO<sub>2</sub>を処理できる。

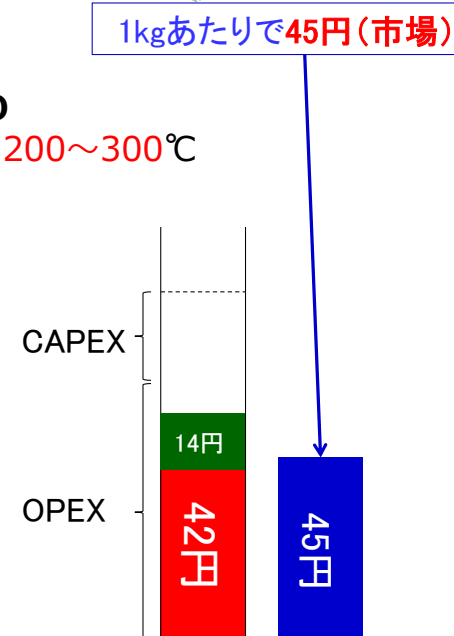
**水素 : 20円/Nm<sup>3</sup>**  
**二酸化炭素 : 10,000円/トン**  
 (目標の10倍)



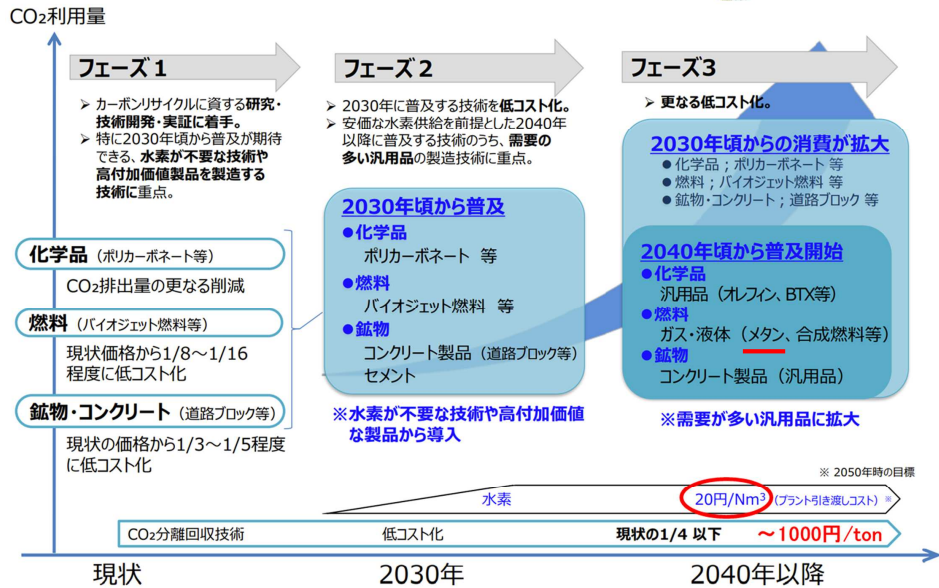
CO<sub>2</sub> : 44kg  
 →水素 : 67Nm<sup>3</sup>必要  
 →32kgのメタノールが生成。

1kgのメタノールを作るには、2.1Nm<sup>3</sup>の水素を必要とし、1.4kgのCO<sub>2</sub>を処理できる。

**水素 : 20円/Nm<sup>3</sup>**  
**二酸化炭素 : 10,000円/トン**  
 (目標の10倍)



# 1. カーボンリサイクルの現在地

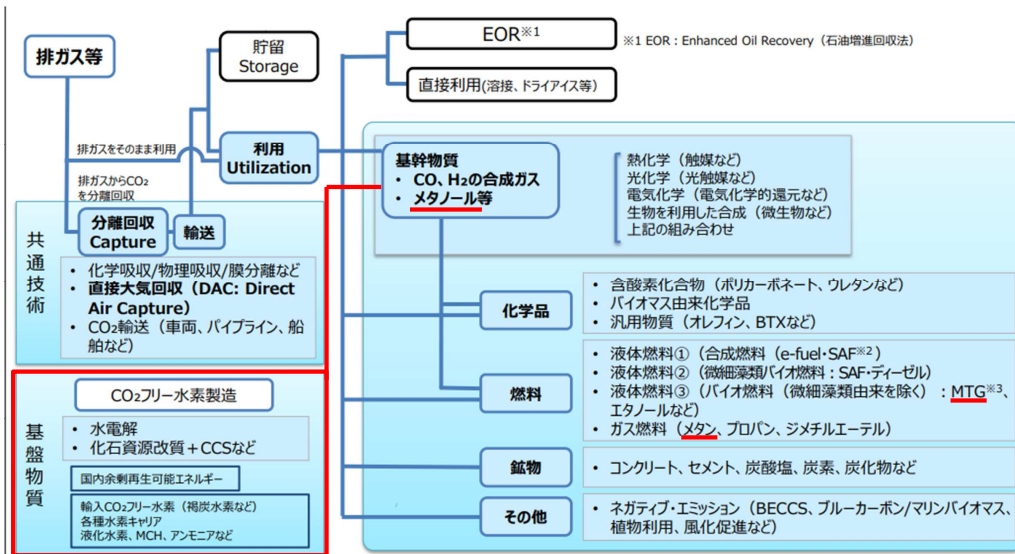


<https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002.html>

# 2. カーボンリサイクル技術とは

## 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



- グリーン水素製造コストの低減とカーボンリサイクルの事業化は足並みがそろっているのか？
- カーボンリサイクルの出口戦略として、メタンはエネルギー用途、メタノールは基幹物質か、エネルギー用途としてはMTG(ガソリンの原料)のみ？
- 二酸化炭素の回収コスト低減とグリーン水素製造コストの低減は、異なるコスト構造により重みが異なる

## 広島大学カーボンニュートラルの実現に向けて

～Road to 2030～  
＜アクションプラン (2022～2027)＞



2022年8月  
(2023年4月一部修正)  
広島大学

**広大、脱炭素30年実現**  
住商・東広島市と連携協定

広島大学は26日、学内の温暖化ガス排出量を実質ゼロにする「カーボンニュートラル」を2030年に実現すると宣言した。同時に、高速通信規格「ローカル5G」のネットワークを基盤とした「スマートキャンパス」構築も同年までに完成形にする。また、3者の知見や技術を融合させながら、エネルギーの脱炭素とデジタル化推進を並行して進める。

国内の大学でカーボンニュートラルを宣言するのは初めてという。

広島大学

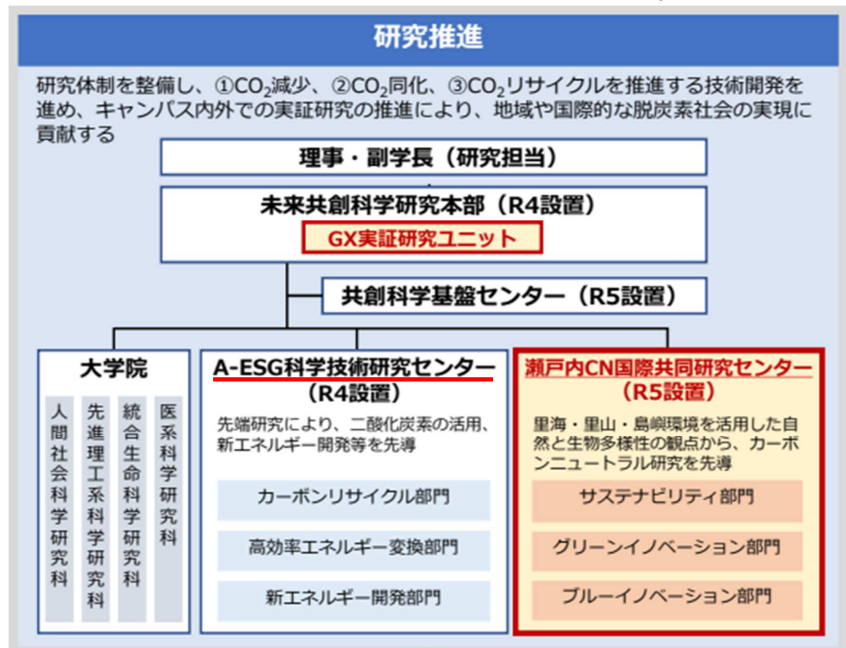
「カーボンニュートラル×スマートキャンパス5.0宣言」

宣言

- 広島大学は2030年までに、通勤・通学を含めたキャンパスで使うエネルギーのカーボンニュートラルを実現します。
- 広島大学は2030年までに、高規格5Gネットワーク網を基盤としたSociety5.0を実装したスマートキャンパス5.0を実現します。

ロードマップ

- カーボンニュートラル
  - 2021年度 PV設置開始(屋上、駐車場) **15MW**
  - 2022年度 すべての屋上、駐車場にPV設置完了
  - 2025年度 すべての建物に地中熱利用システム導入
  - 2030年度 カーボンリサイクルシステム構築  
カーボンニュートラル達成
- スマートキャンパス5.0
  - 2020年度 電動キックボード、New Mobility 実証導入開始
  - 2021年度 Local5Gラボ導入(国際交流拠点)、  
基地局シェアリング方式での高規格商用5G導入開始
  - 2025年度 高規格5G環境整備完了
  - 2030年度 Society5.0の実装  
(人、モノ、金の流れについて仮想空間と実空間を同期)



### ① 再生可能エネルギーの導入拡大

- PPA（Power Purchase Agreement）事業により、設備設置が可能なキャンパスの全ての建物（約70棟）と一部の駐車場に太陽光発電設備を設置し、5 MW相当の発電容量（キャンパスの電力量の17%程度）を確保する。
- 再生可能エネルギーにより、理学部研究棟A、教育学部研究棟A、生物生産学部実験研究棟Aの建物のZEB化とともに、電気自動車（EV）の充電設備の電力を確保する。

#### 【スケジュール】

- 2022年7月：PPA事業公募開始
- 2023年1月：事業開始
- 2024年度：供給開始
- 2025年度まで：設備の設置完了



キャンパスPPA事業（イメージ）

CO<sub>2</sub>削減量：約2,500t-CO<sub>2</sub>

### ② 省エネルギー対策

CO<sub>2</sub>削減量：約3,300t-CO<sub>2</sub>

### 3 具体的取組 (2) 研究推進

気候変動に関する科学的知見の蓄積に努め、カーボンニュートラルの実現に向けた研究体制を整備し、①CO<sub>2</sub>減少、②CO<sub>2</sub>同化、③CO<sub>2</sub>リサイクルを推進する技術開発を進め、キャンパス内外での実証研究の積極的推進により、脱炭素社会の実現に貢献する。

<https://www.hiroshima-u.ac.jp/about/initiatives/cn>

## 決定 「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発」の実施体制の決定について

### 3. 採択テーマ及び委託予定先、補助予定先

#### 1. 研究拠点におけるCO<sub>2</sub>有効利用技術開発（委託事業）

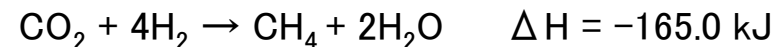
- 「省エネ・省資源カーボンリサイクルアクリル酸製造技術開発」（公立大学法人大阪 大阪公立大学、学校法人東京理科大学、株式会社MiChS、国立大学法人東京科学大学）
- 「二酸化炭素のアンモニアメタネーションの社会実装にむけた研究開発」（国立大学法人広島大学、広島ガス株式会社）

#### 2. 研究拠点におけるCO<sub>2</sub>有効利用技術実証（補助事業）

- 「海水を用いたカーボンリサイクル技術の商用化に向けた研究開発」（株式会社サクラ、住友大阪セメント株式会社、株式会社TBM）

### アンモニアメタネーション

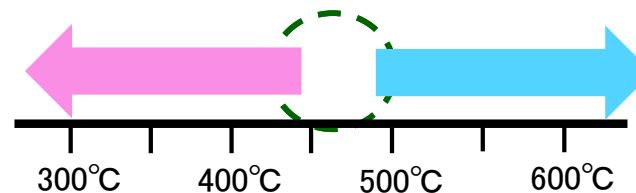
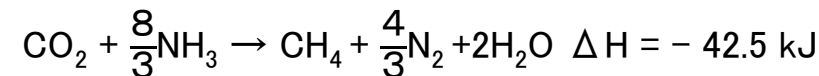
#### ➤ サバティエ反応



#### ➤ アンモニア熱分解



#### ➤ アンモニアメタネーション反応

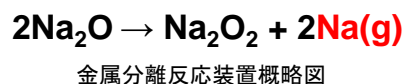
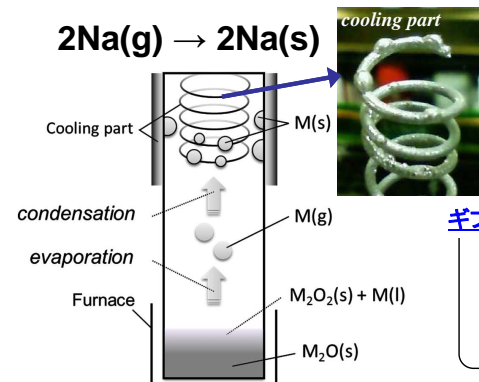


**決定** 2026年度「NEDO先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム」の実施体制の決定について

2026年度公募NEDO先導研究プログラム/  
エネルギー・環境新技術先導研究プログラム採択テーマ及び実施体制一覧

課題番号	研究開発課題	テーマ名	実施体制
I-A1	リユース・リサイクルを考慮したリチウムイオン電池設計等に関する新規要素技術開発	リユース・リサイクル容易性を高める液系LIBの技術開発	国立研究開発法人産業技術総合研究所 技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター 公立大学法人大阪 株式会社三栄興業
I-B1	小型エアモビリティのホットセクション向け革新的材料開発	小型エアモビリティ用パワーユニットの高性能耐熱材料の開発	株式会社本田技術研究所 国立大学法人京都大学 株式会社共和プリサイスマニファクチャリング 【再委託先】国立大学法人東北大学
I-C1	特定フッ素化合物等の代替素材開発および素材創出に資する設計技術開発	特定フッ素化合物等代替素材開発および設計基盤構築	国立研究開発法人産業技術総合研究所 東レ株式会社 学校法人早稲田大学
I-D1	大規模量子計算に向けた低エラー率量子メモリの研究開発	大規模量子計算向けスケラブル量子メモリ技術の研究開発	株式会社東芝 国立研究開発法人産業技術総合研究所 学校法人沖縄科学技術大学院大学学園
I-E1	排熱等を活用した水の熱化学分解による低炭素水素製造技術開発	ナトリウムレドックス反応による低温熱化学水素製造技術開発	国立大学法人広島大学 新菱冷熱工業株式会社 太平洋セメント株式会社 中国電力株式会社

4. 広島大学におけるアクティビティ



✓ 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

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

$$\Delta S = \Delta S^0 + R \ln \left( \frac{P_0}{P_M} \right)$$

- ✓  $\Delta H$ : エンタルピー変化
- ✓  $\Delta S^0$ : 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

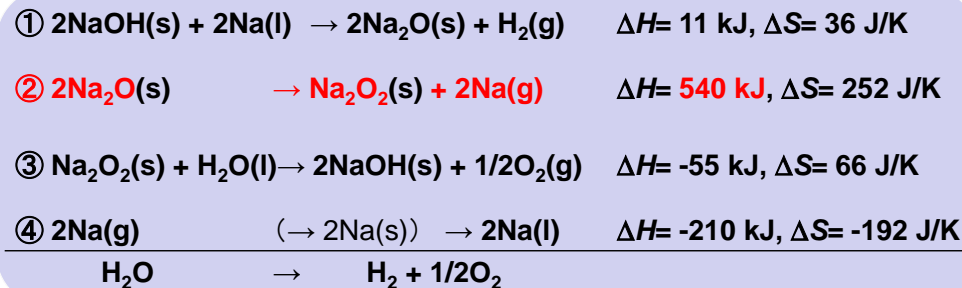
金属蒸気の分圧  $p_M$  を低下させ、  
反応温度を低温化

✓  $\text{Na}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}_2$   
の腐食性が問題



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



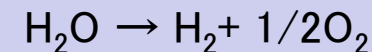
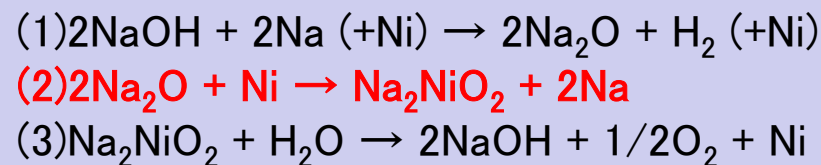
[H. Miyaoka et al., Int. J. Hydrogen Energy, 2012, 37, 17709.]

- 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 ( $T_{\text{eq}} = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{pro}} = 0.1 \text{ MPa}$ )  
⇒ 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

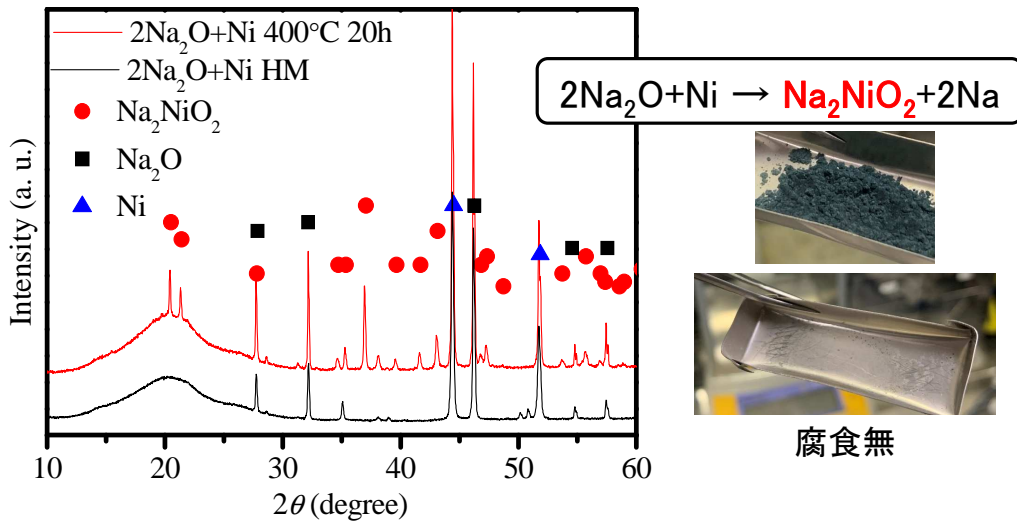
Naの高い反応性、低融点(98 °C)を利用することで、  
500 °C以下で水から水素できる可能性

4. 広島大学におけるアクティビティ

□ 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



- Na<sub>2</sub>NiO<sub>2</sub>に帰属されるピーク → Na生成にNiが寄与
- Na<sub>2</sub>OとNi粉末が反応し, 容器は腐食無

21

- 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)
- 現状技術として, グリーン水素の大量受け入れ先の候補は,
  - ① H<sub>2</sub>としての利用 (やや限定的)
  - ② CH<sub>4</sub>としての利用 (LNG工業炉, 都市ガス導管注入?)
  - ③ NH<sub>3</sub>としての利用 (アンモニア工業炉, アンモニアメタネーション, アンモニア発電)
  - ④ CH<sub>3</sub>OHとしての利用 (化学品原料, ガソリン原料, エネルギー媒体として?)
  - ⑤ その他, 様々な化学品, 燃料用途のカーボンリサイクル品
- 広島大学では, 低コストグリーン水素製造, 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