

# NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025 プログラムNo.4

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>排出削減・  
有効利用実用化技術開発/コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、  
炭化物などへのCO<sub>2</sub>利用技術開発/

## 二酸化炭素の化学的分解による炭素材料製造 技術開発

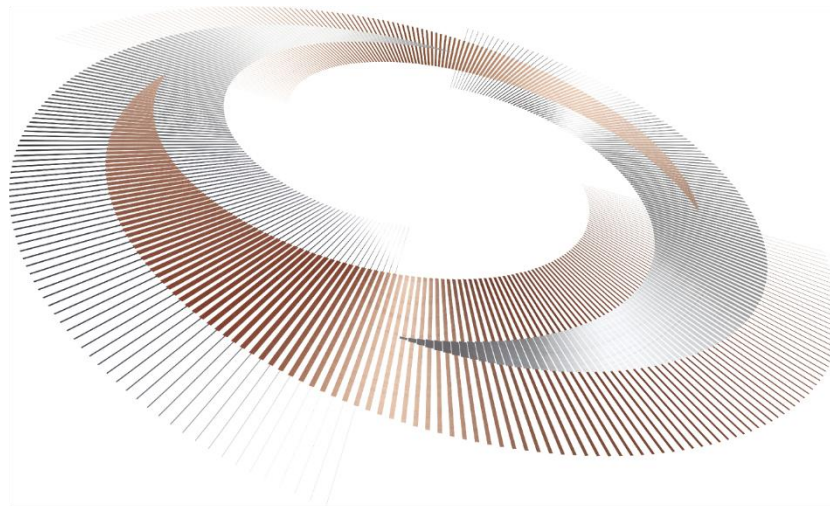
**発表：2025年7月15日**

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 戴 文斌

団体名 三菱マテリアル(株)、(国)群馬大学、(国)岡山大学、(国)東京科学大学

問い合わせ先 三菱マテリアル(株) E-mail: dai@mmc.co.jp TEL: 080-7731-9185



## 人と社会と地球のために、循環をデザインし、持続可能な社会を実現する

限りある資源を大切に使うために、使用済みの製品を資源として再生させる。

そこに新たな価値を付加し、再び社会に送り出す。

その循環のプラットフォームを構築し、自らプレイヤーとして価値を創出する。

そして未来に向けて、持続可能な社会の実現に力強く貢献し、循環の輪を広げていく。

# 取り巻く環境

## 「台風が日本襲う確率、気候変動で高まっている」英研究チームが台風10号分析

0テレ

2024年8月30日 18:55

台風10号について分析したイギリスの研究チームが、「こうした台風が日本を襲う確率は、気候変動により2割以上高まっている」とする分析結果を公表しました。

この研究は、イギリスのインペリアル・カレッジ・ロンドンの研究チームが、コンピューターのシミュレーションを用いて分析したものです。

(2024/8/30 日テレ)

## 9月の能登大雨災害、温暖化の影響で雨量15%増えていた...気象研究所など分析

2024/12/09 22:59 台風・豪雨

スクラップに追加



石川県能登地方で発生した今年9月の大雨災害について、気象庁気象研究所などのチームは9日、地球温暖化に伴い気温や海水温が上昇した影響で、雨量が約15%増えていたとする分析結果をまとめた。温暖化で大気中の水蒸気量が増えたことが、雨量に影響すると考えられている。

(2024/12/9 読売新聞)

## ことし秋の平均気温 過去126年で最高 地球温暖化の影響などで

(2024/12/2 NHK)

2024年12月2日 19時22分

ことし秋の全国の平均気温は、過去126年で最も高くなったことが気象庁のまとめで分かりました。

気象庁は2日、ことし9月から11月までの全国の平均気温を発表しました。

それによりまずと、ことしは平年と比べて1.97度高く、統計を取り始めた1898年以降最も高かった去年の平年差を0.58度上回り大幅に記録を更新しました。

## “今世紀末には猛暑日や極端な大雨の頻度増加” 国の報告書

(2025/3/26 NHK)

地球温暖化の影響で、日本の平均気温は100年に1.4度の割合で上昇していて、追加の対策をとらなければ今世紀末にはさらに気温や海面水温が上がり、猛暑日や極端な大雨の頻度が増えるなどとする国の報告書が公表されました。

文部科学省と気象庁は、地球温暖化が日本の気候に与える影響を予測し効果的な対策につなげようと、5年前に続いて2回目となる報告書を公表しました。

- ・ **気候変動（地球温暖化）は世界の重要な課題であり、さまざまな対策が検討されている。**
- ・ カーボンブラック(CB)などの炭素材料は身近に広く使われているが、**化石燃料を原料としている。**
- ・ 原料となる化石燃料や製造時の燃料の使用によって国内だけで年間220万トンのCO<sub>2</sub>を排出しており、根本的な**脱化石燃料化が必要。**

# 背景と目的

---

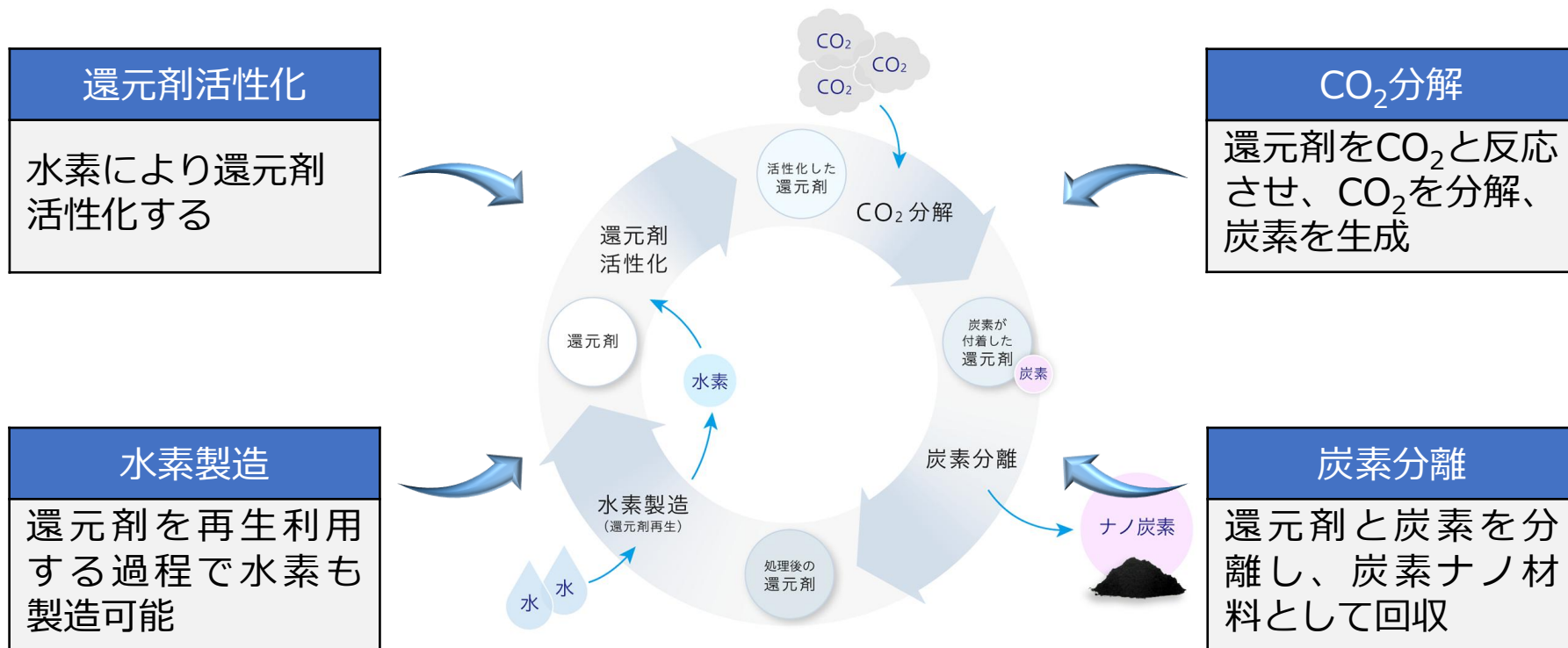
- 工場等から排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を資源として捉え、回収し、有効に利用するカーボンリサイクル技術の開発は、気候変動対策の一環として重要であると考えられている。
- 経済産業省が策定した「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」において、カーボンリサイクル技術は、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーに位置づけられている。
- 一方、既存の炭素材料は化石燃料を燃焼させて製造されており、製造過程で原料中の炭素の一部が燃焼反応によりCO<sub>2</sub>として大気中に排出されている。環境保全、脱炭素、脱化石燃料の観点から、CO<sub>2</sub>排出の少ない炭素材料製造法の開発が求められている。

このような状況の中で、本技術開発を進め、実用化を目指している。

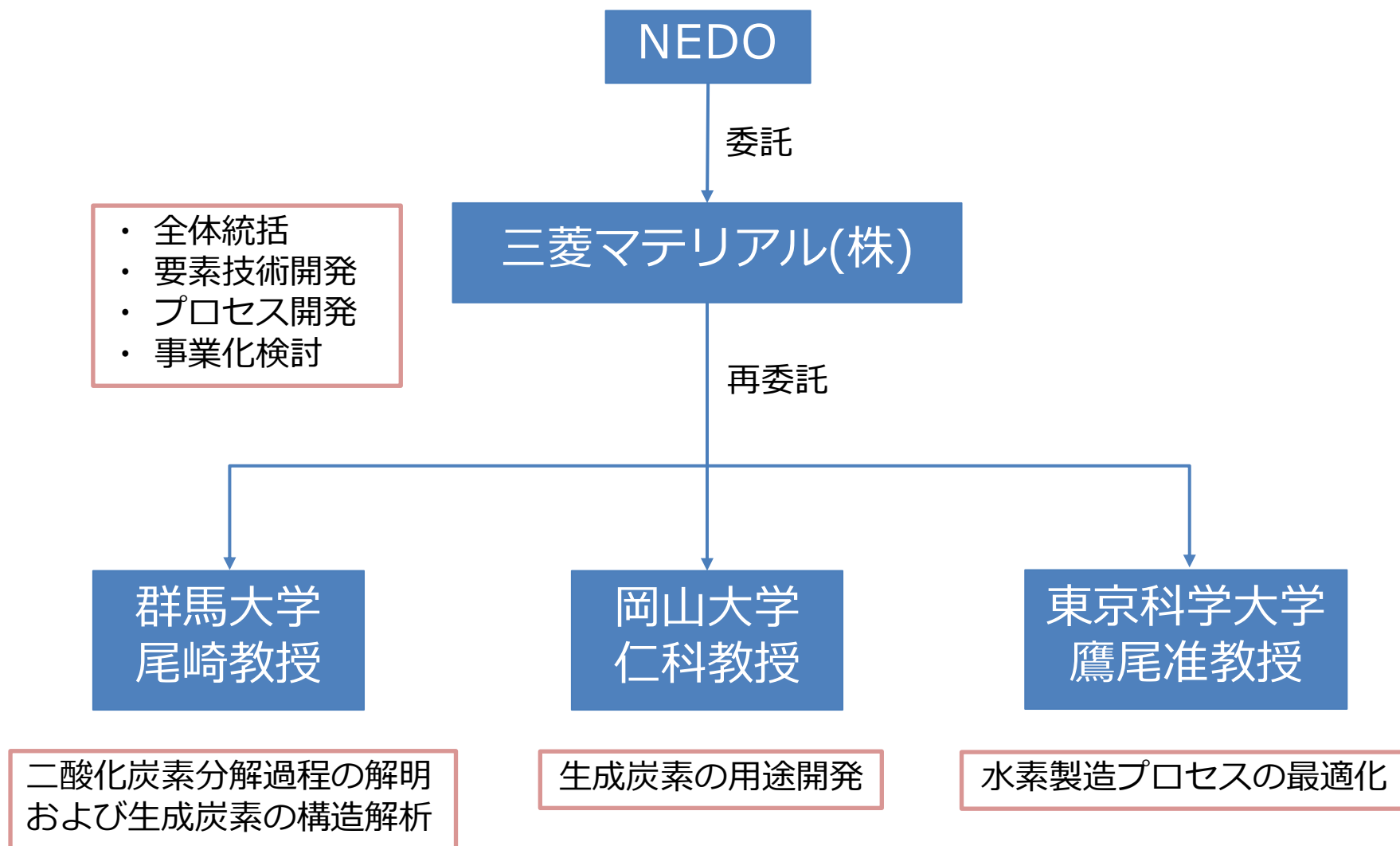
# 技術概要

## 開発目標

安価で資源的にも豊富な還元剤を用いて、比較的低温で二酸化炭素を分解し、高付加価値のナノ炭素材料を製造すると同時に水素も製造できる技術の実用化を目指している。本委託事業(2021～2025年度)では、プロセスを構成する各要素技術の確立と、ラボスケールからベンチスケールへのスケールアップ技術の検証を行う。



# 研究体制



# 実用化までのスケジュール

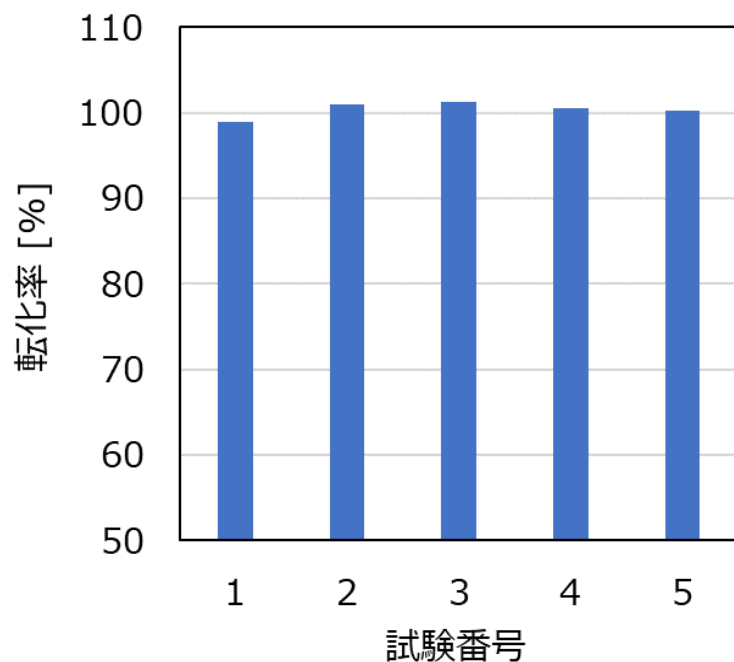
| 基礎研究                                            | 実用化研究                                       | 技術実証                                               |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 2018年度～2022年度                                   | 2023年度～2027年度                               | 2028年度～2032年度                                      |
| <div>ビーカー・ラボスケール試験</div> <div>原理確認・要素技術開発</div> | <div>ベンチスケール試験</div> <div>スケールアップ特性確認</div> | <div>パイロットプラントによる実証</div> <div>連続運転性能・最適条件確認</div> |

- ✓ 引き続きベンチプラントでのスケールアップ検証を進め、次のパイロットプラントの検討につなげる。
- ✓ 2050年CNに合わせ需要が顕在化するタイミングを見込んで、2030年代後半からの事業化を目指す。

# 研究成果（要素技術の確立）

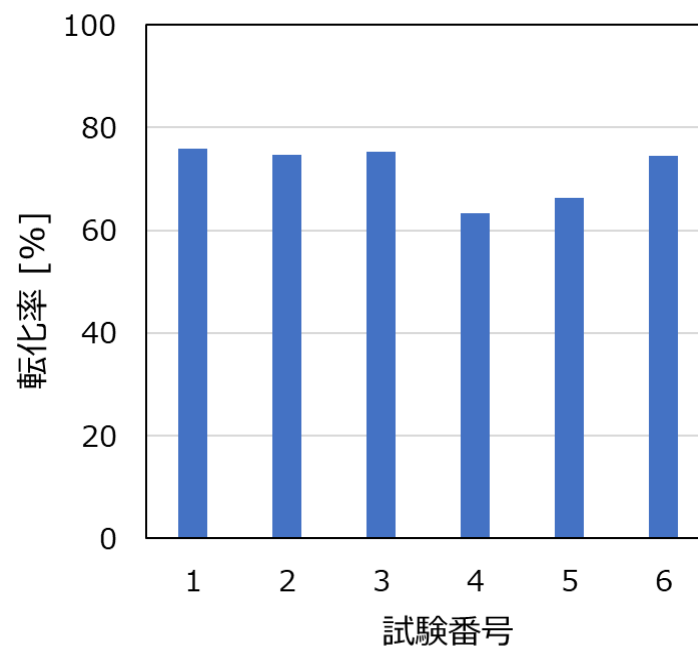
## 各工程において、高い反応転化率を達成

- ✓ 還元剤活性化反応では、ほぼ100%の転化率を達成。



還元剤活性化反応

- ✓ CO<sub>2</sub>分解反応では、ほぼ80%の転化率を達成。

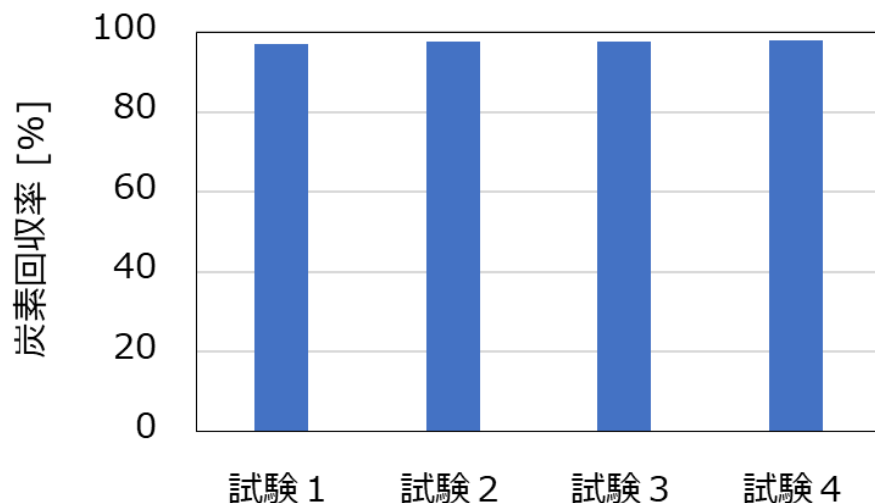


CO<sub>2</sub>分解反応

# 研究成果（要素技術の確立）

## 各工程において、高い反応転化率を達成

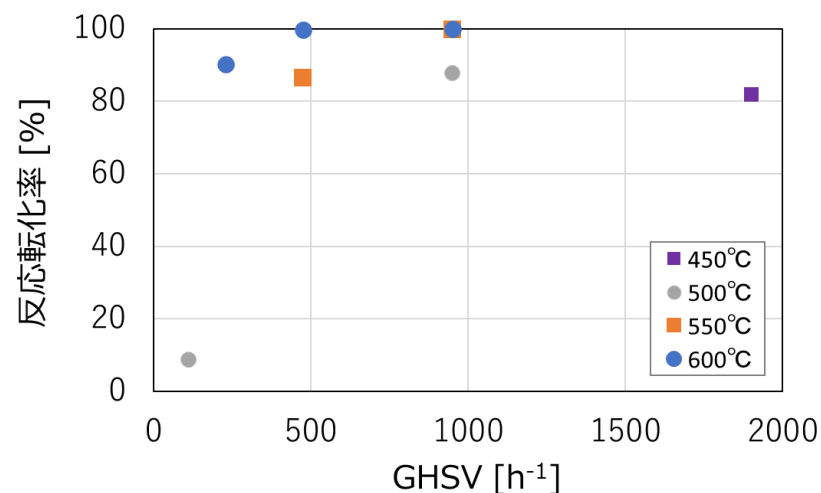
- ✓ CO<sub>2</sub>分解工程で生成した炭素を炭素分離工程で、97～98%程度の高い回収率で回収。
- ✓ 回収した炭素の純度は95～98%。
- ✓ さらに、炭素の高度精製法を開発し、20ppmまでの高純度化が可能。



炭素分離工程

- ✓ 550℃でGHSV※ = 1000h<sup>-1</sup>、600℃でGHSV = 500h<sup>-1</sup>程度の場合、反応転化率がほぼ100%を達成。

※GHSVは単位時間あたりに供給したガス量が固体試料体積の何倍に相当するかを表す。

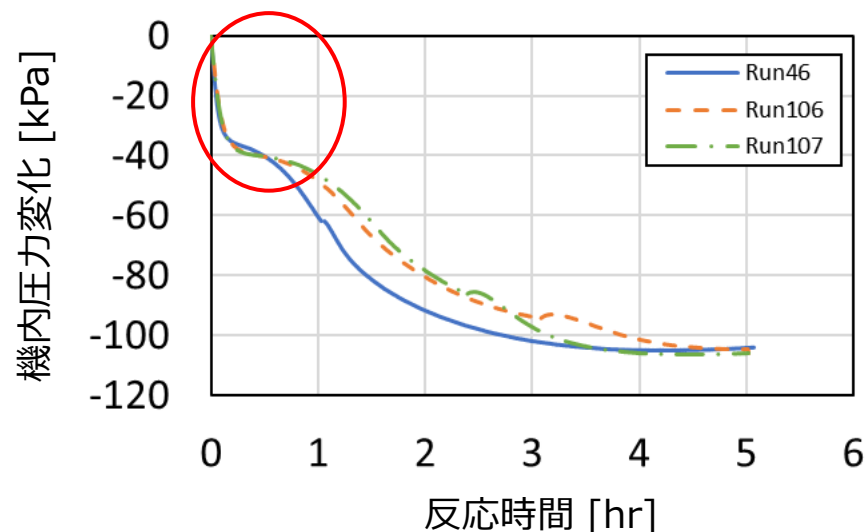


水素製造反応

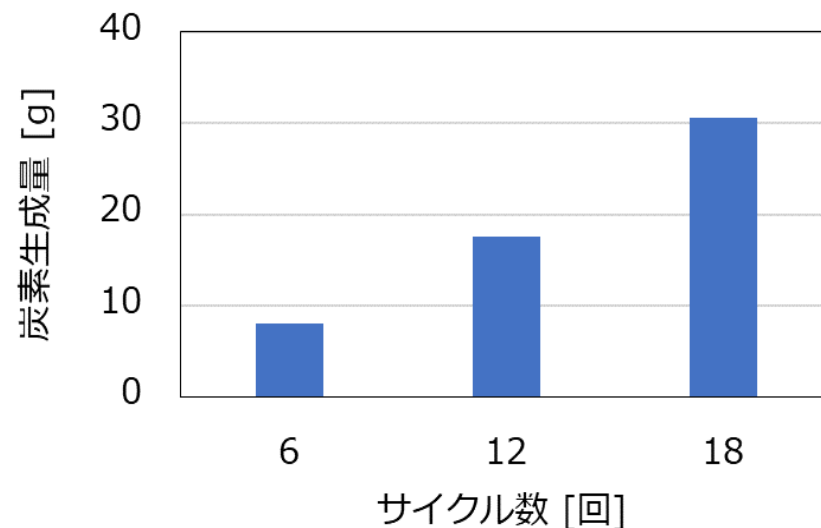
# 研究成果（要素技術の確立）

## 運転条件の適正化による生産効率向上

- ✓ 反応速度が速い時間に着目すること、各反応の処理温度を揃えることで運転時間を短縮し、従来よりも短時間で運転でき、炭素の生産効率の向上と水素使用量の低減を実現。

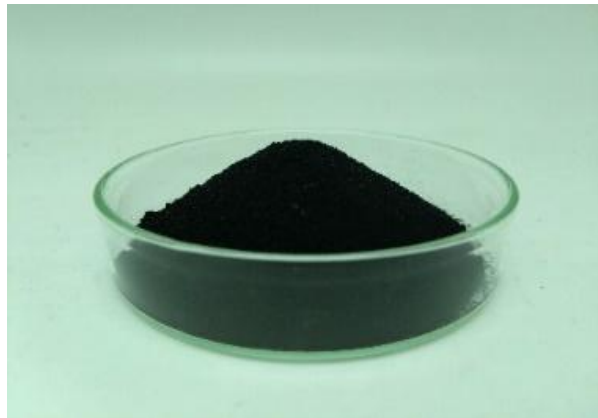


- ✓ 長時間運転時の炭素生成量は、サイクル数が増加するにつれて、ほぼ線形的に増加することを確認。

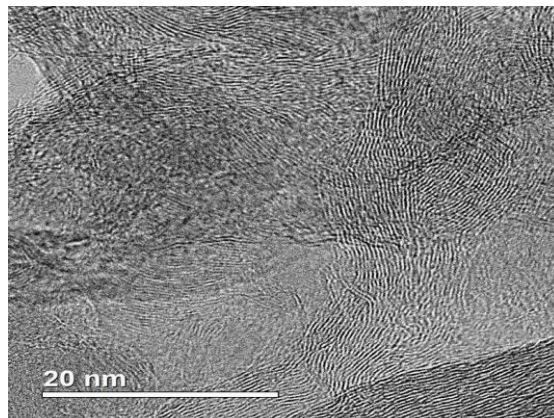


# 研究成果（生成炭素の性状）

回収した炭素



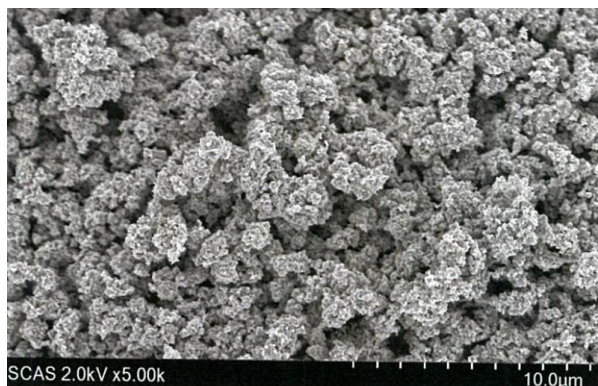
TEM像（400万倍）



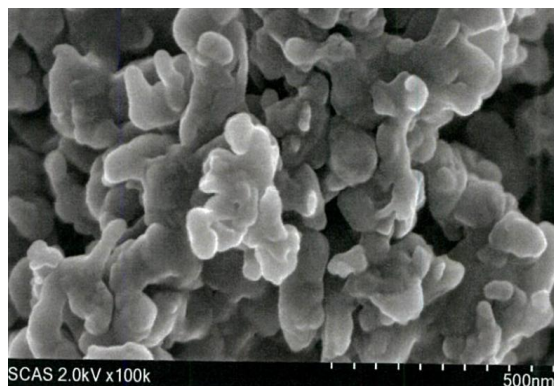
規則化度の比較的高い層状構造が観察され、一般的なアモルファス炭素より結晶化度が高いと推測。



SEM像（5千倍）



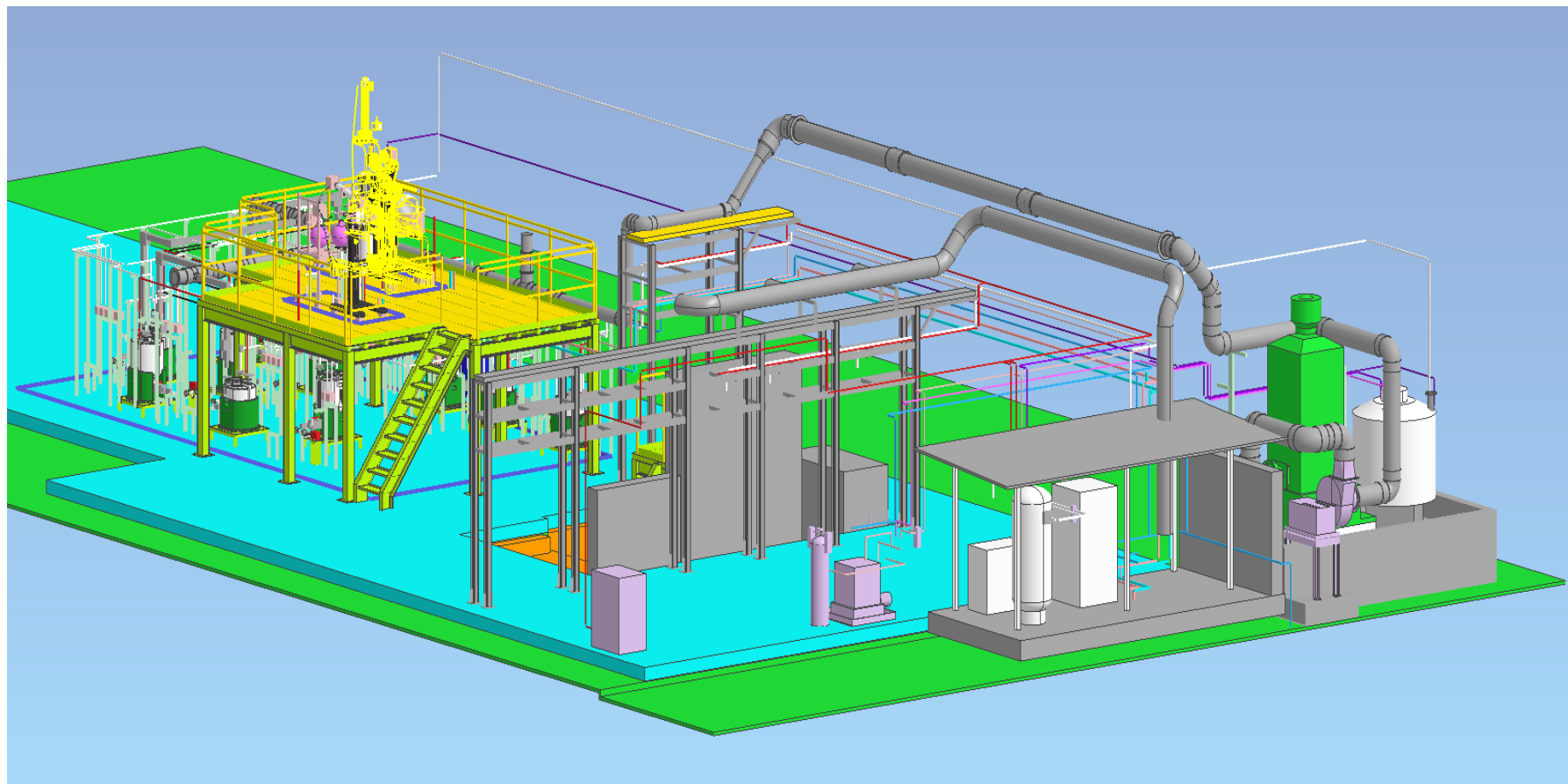
SEM像（10万倍）



1次粒子の粒子径は、数十nm～数百nm程度と推測。

# 研究成果（ベンチプラント製作の進捗）

## ベンチプラント既完成部分 3D鳥瞰図



炭素分離・水素製造エリア

還元剤活性化・CO<sub>2</sub>分解エリア

ユーティリティ設備エリア

# 研究成果（ベンチプラント製作・試験の進捗）

## ベンチプラント既完成部分外観写真



炭素分離・水素製造エリア



還元剤活性化・CO<sub>2</sub>分解エリア

- ✓ ベンチスケール試験装置（ベンチプラント）の設計、製作および設置を完了。
- ✓ 導入したベンチプラントを用い、スケールアップした際のプラント生産技術の確立、プロセスノウハウの蓄積、および最適な反応条件の探索試験を実施中。

# 研究成果（ベンチプラント製作・試験の進捗）



CO<sub>2</sub>分解キルン式反応装置



炭素回収及び塩化鉄回収装置（全景）



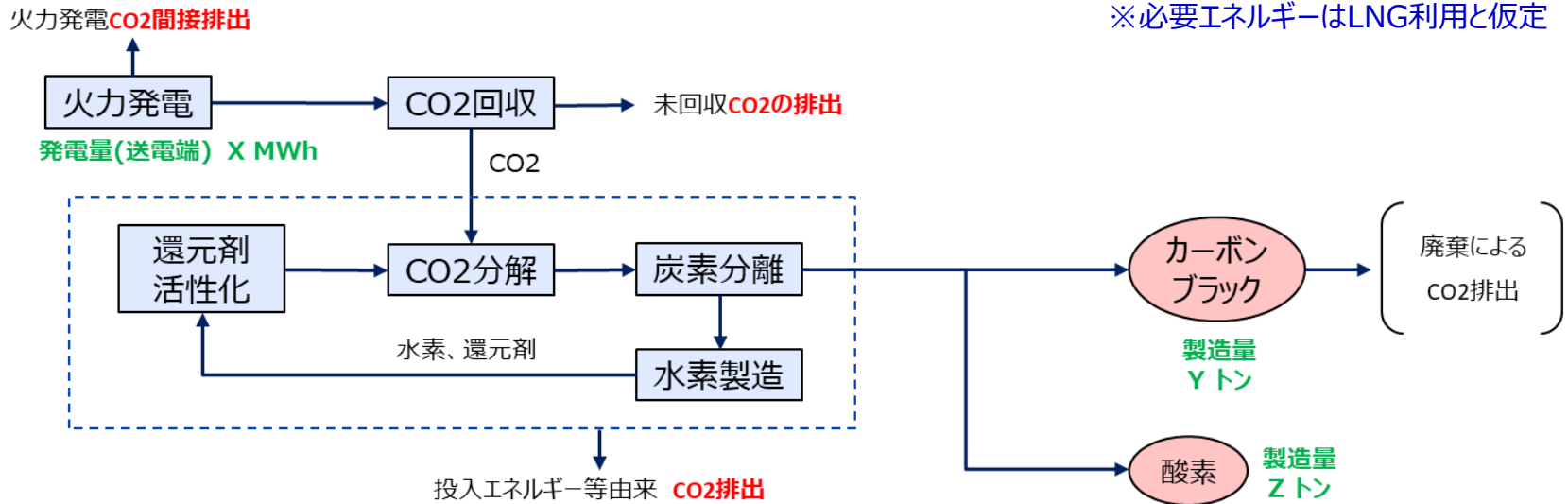
CO<sub>2</sub>分解流動層式反応装置



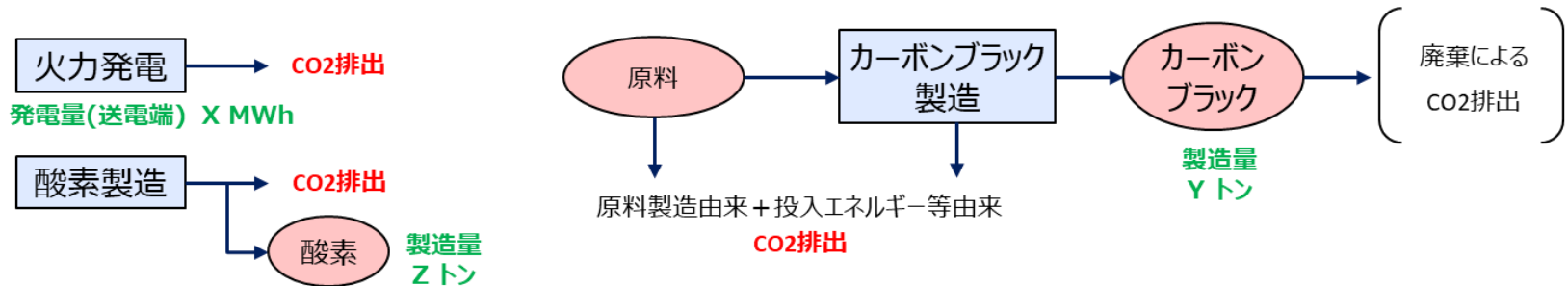
炭素回収及び塩化鉄回収装置（2F）

# LCA評価によるCO<sub>2</sub>排出量の見積

## 本技術プロセス

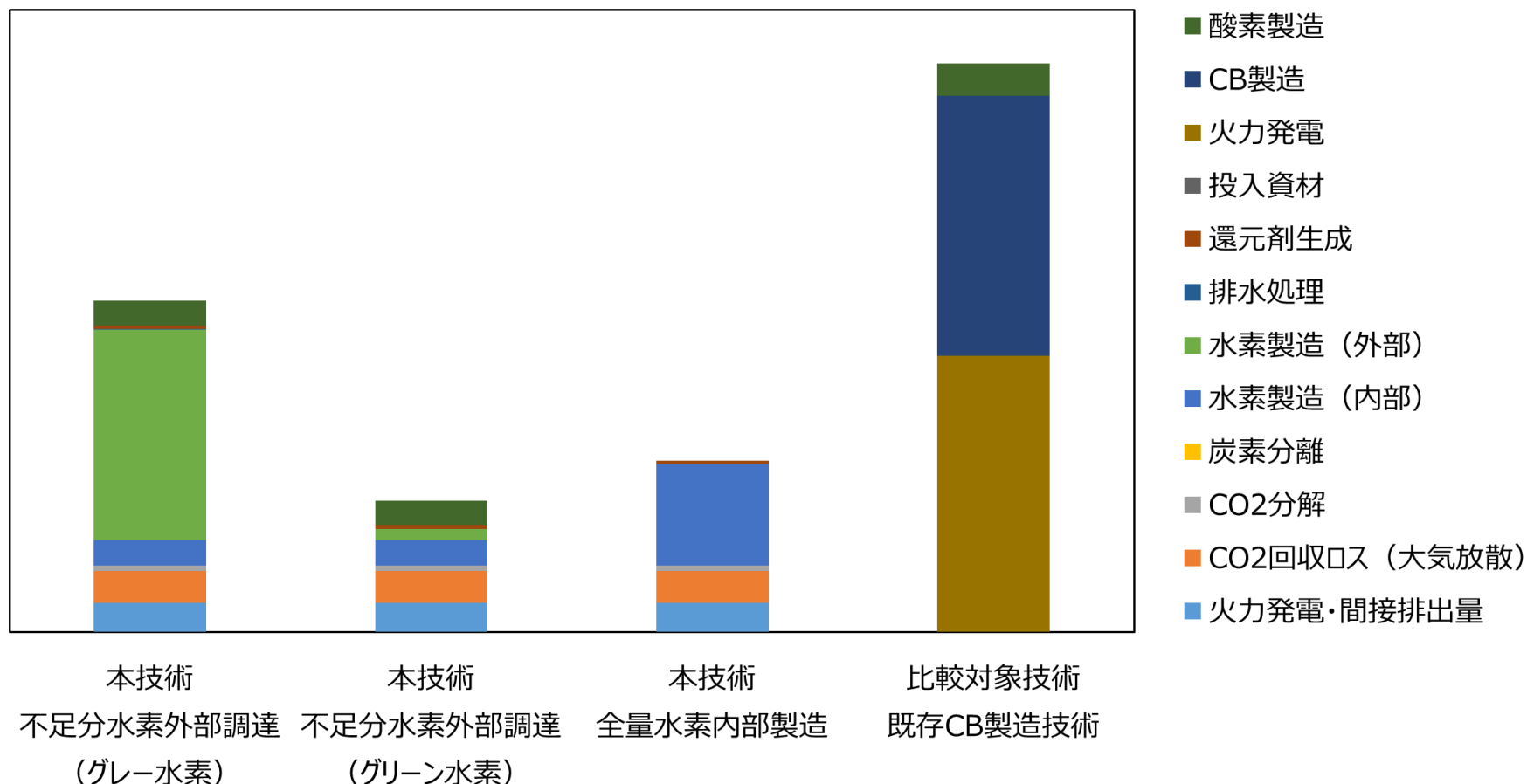


## 比較対象プロセス



# LCA評価によるCO<sub>2</sub>排出量の見積

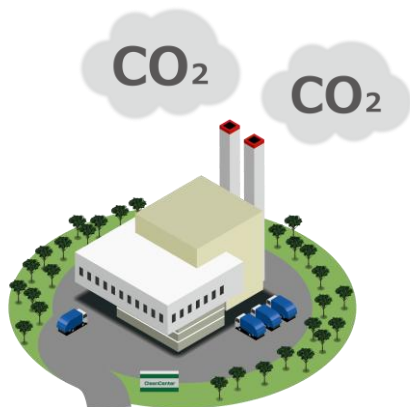
CO<sub>2</sub>排出量[t-CO<sub>2</sub>/t-CB製造]



✓ 既存の化石燃料を原料とするカーボンブラックの製造プロセスと比較した結果、ケースによって異なるが、**CO<sub>2</sub>排出量が約1/4から1/2**となることが確認できた。

# 事業化シナリオの一例

## CO<sub>2</sub>排出事業者



- ・火力発電所
- ・製鉄プラント
- ・セメント工場
- ・都市ごみ焼却炉
- ・バイオガス製造施設
- ・運輸業（自動車、海運）
- … etc



原料調達

## CO<sub>2</sub>分解/炭素製造業者



CO<sub>2</sub>分解プラント

- ・三菱マテリアル
- ・既存炭素製造業者



販売

## 炭素材料ユーザー



機能炭素

- ・タイヤ
- ・電池(材料)
- ・活性炭
- ・塗料、顔料
- ・インク
- … etc

# 炭素材料ユーザーへの提供価値仮説

※1 当社試算。グリーン水素かつ再生可能エネルギーを最大限活用した場合を想定。

- ・ 従来CB製造に比べ**最大ケースで80%のCO<sub>2</sub>排出量を削減可能**(※1)

- 原料調達にかかるScope3削減
- 環境意識の高い消費者への訴求



- ・ 原料由来の芳香族化合物、硫黄/窒素化合物、灰分等の**環境に悪影響な物質を含有しない**

- 安全性向上、機能向上した製品

- ・ 原料枯渇の問題がない

- CN到来後も調達可能な炭素材料

# 今後の課題

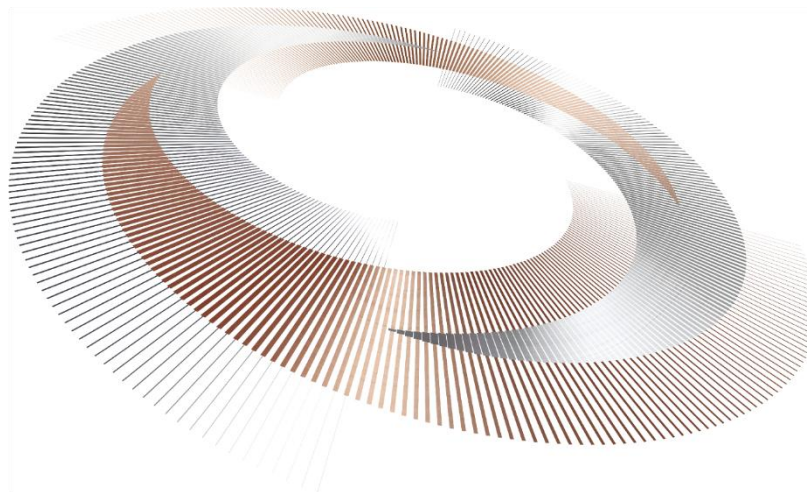
---

- 次のフェーズであるパイロットプラントで連続操作を実現するためには、不活性ガス雰囲気下での反応装置間の粉体輸送技術を確立する必要がある。
- 水素製造および還元剤再生反応は高温で行われ、かつ腐食性の高い反応場であるため、高温耐食材料に関する問題を解決する必要がある。
- 用途（タイヤ、インキ、塗料、電池材料など）に応じた生成炭素の性状や特性を制御する技術の開発が必要である。
- 事業化検討および顧客ヒアリングの結果から、用途によっては生成炭素のさらなる低コスト化が必要である。
- 炭素製造における低コスト化の検討とともに、経済性や事業性を高めるために、製品側で生成炭素のさらなる高付加価値化が必要である。

# まとめ

---

- 環境保全、脱炭素、脱化石燃料の観点から、CO<sub>2</sub>の有効利用とCO<sub>2</sub>排出の少ない炭素材料製造法の技術開発を進めている。
- ラボスケール試験装置を用いて、プロセスの成立性確認と要素技術の開発を完了し、次のステップに進むために必要な基礎的な工学データを得た。
- ベンチスケール試験装置（ベンチプラント）の設計、製作、設置を完了し、現在はスケールアップ性能試験を実施中。試験結果に基づき、次のステップに向けた課題を整理している。
- 将来の事業化を見据え、CO<sub>2</sub>排出側（上流側）および炭素材料の利用側（下流側）のニーズや市場調査を行い、ビジネスモデルや事業化シナリオを検討した。



人と社会と地球のために、循環をデザインし、持続可能な社会を実現する

