

カーボンリサイクル実証研究拠点技術交流セミナー

@グリーンスカイホテル竹原



TOHOKU  
UNIVERSITY

# CO<sub>2</sub>を炭素源とした産廃由来 炭化ケイ素合成の研究開発

東北大学工学研究科 福島潤

# 社会課題



カーボンリサイクルや循環経済構築・・・  
社会課題は山積

# 社会課題：カーボンリサイクルとマテリアルリサイクル



TOHOKU  
UNIVERSITY



- CO<sub>2</sub>は化学的に安定：  
資源としての利用が**困難**



- シリコンスラッジ（産業廃棄物）  
のリサイクルコストが大きい
- 社会実装された資源利用**技術なし**

カーボンリサイクルとマテリアルリサイクルの**同時達成**が望ましい

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20220114/k10013430051000.html>



# カーボンリサイクル技術開発に関する留意点

- 気候変動対策・資源確保の必要性に着目して、カーボンリサイクル技術開発を効果的に進めるための留意点は以下のとおり。

- **多くの技術において、安価なCO<sub>2</sub>フリー水素が重要。**

- ✓ 水素基本戦略において、2050年で水素のプラント引き渡し価格20円/Nm<sup>3</sup>がターゲット
- ✓ 水素供給に課題が残る状況においても、①バイオマス、その他の水素が必要ない技術開発を進めるとともに、②水素供給の確立を待つことなく研究開発や天然ガスを利用した橋渡しの取り組みを進める。

- **カーボンリサイクル技術には、ゼロ・エミッション電源の活用が必要。**

- ✓ 安定物質であるCO<sub>2</sub>を有用物質に転換するためには、多大なエネルギー投入が必要。

CO<sub>2</sub>が化学的に安定：  
これが最大の課題！

- **カーボンリサイクル技術の評価には、LCAの視点が重要であり、分析・検証を行う。**

また、規格化・標準化についても取り組むことが必要。

- **その他、CO<sub>2</sub>の分離回収コスト（DAC含む）についても低減を図る。**

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/carbon\\_recycle\\_rm/20230623\\_report.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_recycle_rm/20230623_report.html)

# 「CO<sub>2</sub>が安定=資源化にエネルギーが大量に必要」を覆すには？

## カーボンリサイクル技術

### ➤ 基幹物質

- ・ CO、H<sub>2</sub>の合成ガス
- ・ メタノールなど

### ➤ 化成品・燃料

### ➤ 鉱物化

### ★ 鉱物化

アルカリ土類金属の炭酸塩化

**発熱**反応だからエネルギー消費少ない



コンクリート、セメントへの応用

◎炭化物合成：付加価値は高いものの、  
CO<sub>2</sub>を炭素源にした研究例は**皆無**

**エネルギー消費の少ないCO<sub>2</sub>資源化手法  
かつシリコンリサイクルを同時達成できる技術を  
開発したい**

# 一気にリサイクルできる 世界初の技術を発明



2022年5月11日 14:00 | プレスリリース

<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2022/05/press20220511-01-recycle.html>

# プロダクト

廃シリコンとCO<sub>2</sub>から  
SiCを合成することに成功  
基本特許出願

乾燥Siスラッジ

CO<sub>2</sub>流通下で加熱  
★マイクロ波 or  
ハロゲンランプ

SiO<sub>2</sub>含有SiC

アルカリ洗浄

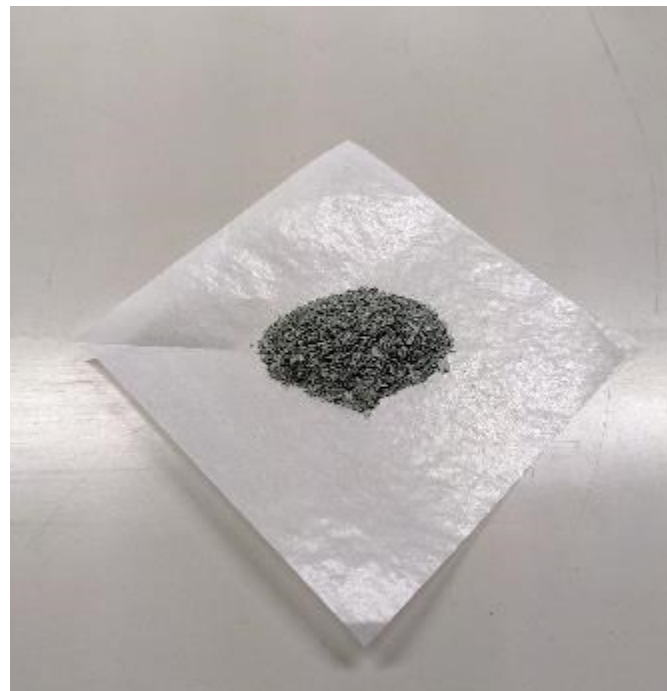
濾過

SiC

濾液

水ガラス  
前駆体

SiC



試薬  
焼結応用  
半導体材料  
メカニカルシール

水ガラス  
前駆体



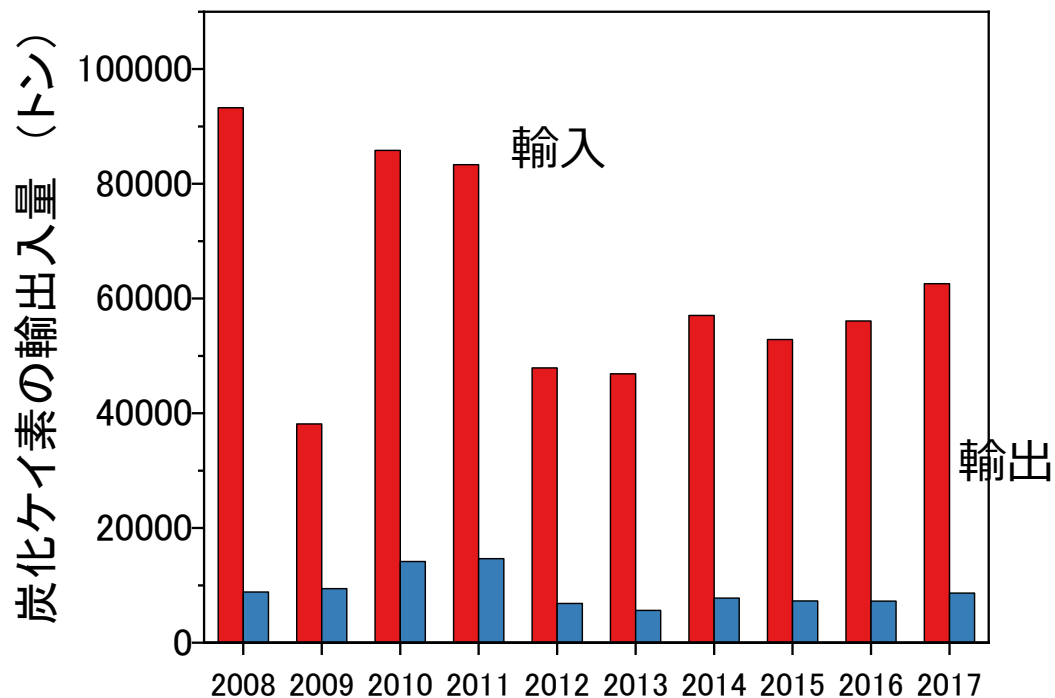
鋳型用粘結剤  
薬液注入用薬剤  
土壌硬化剤  
合成洗剤  
石鹼添加剤



# 炭化ケイ素 (SiC) 市場と、従来製造法の課題



TOHOKU UNIVERSITY



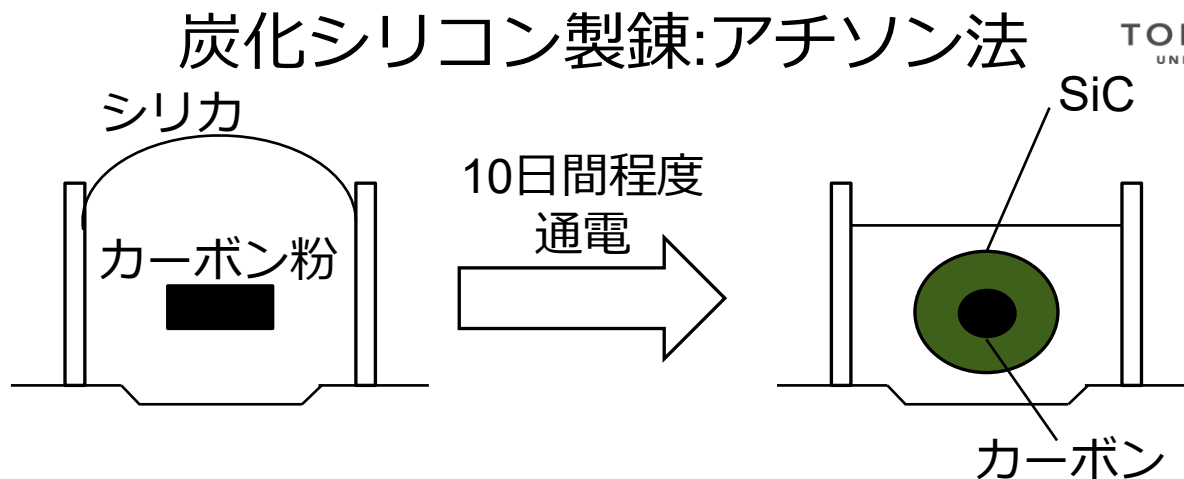
2017年 日本：62,588 tの輸入量  
(研磨剤、ごみ焼却炉用断熱材など)

輸出入金額：1357億円

世界 33.6億米ドル (2021年)

今後、年間平均16%成長

(電気自動車の需要の高まりなど：SDKI Inc.調べ)



SiC 1tonあたり14 MWh以上の電力を使用し、  
SiCの4倍重量のCOを排出

2021年、中国の電力供給不足

→炭化シリコン価格の高騰

将来的に環境コストの顕在化も懸念

**カーボンリサイクル型SiC合成は  
既存手法の課題を解決可能**



# 「マイクロ波燃焼合成」によるCO<sub>2</sub>資源化エネルギー最小化



- ・小容量実験（家庭用電子レンジ並）

★発熱後、マイクロ波OFF  
→発熱部分が伝播する

つまり、最初の反応さえ起こせば、あとは自発的に反応が進むため、反応エネルギー供給が少なくて済む

# カーボンリサイクル実証研究拠点での技術実証

## 技術の特徴

- カーボンリサイクル型 **高純度炭化ケイ素粉末** (99%以上) の合成が可能
- 省エネルギー・クリーンかつ産業廃棄物の化学ポテンシャルを活かした「マイクロ波燃焼合成」により、**合成時のエネルギー消費を大きく低減**
- CO<sub>2</sub>の**半永久的な固定化**が可能
- カーボンリサイクルとマテリアルリサイクルを同時達成し、**高度循環型社会構築**に貢献



## NEDOプロジェクト 技術実証・社会実装へ

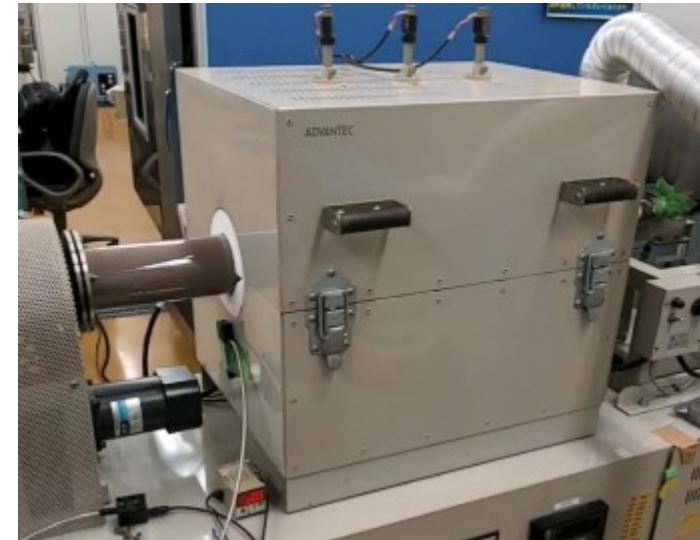
NEDO, カーボンリサイクル実証研究拠点、基礎研究エリアで研究開発に着手  
—火力発電所から排出されたCO<sub>2</sub>を活用し、カーボンリサイクル技術の早期実用化を図る—

# 製造量の増大とエネルギー効率向上へ向けて

2021年  
10 g/day

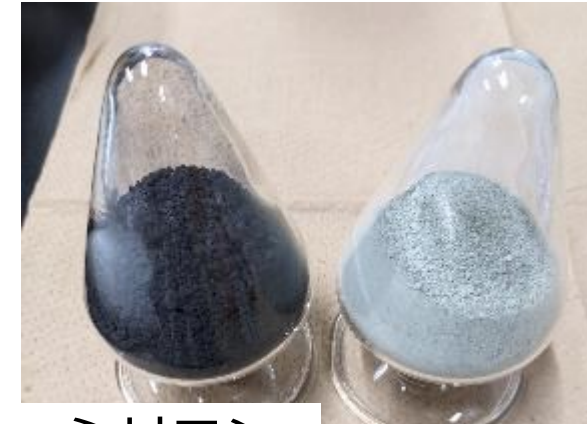


2022年(NEDO開始)  
~1 kg/day達成



2022年ロータリーキルン検証  
× 炉心管との反応が不可避  
× サンプルの送りが不安定  
→ ハース炉を選定

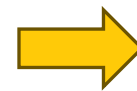
# 製造量の増大とエネルギー効率向上へ向けて



シリコン  
スラッジ

CR-SiC

昇温に必要なエネルギーと被加熱物質の熱力学的データなどから容積などを算定  
処理条件のさらなる検討・最適化など



特願2022-194181

2023年～連続炉導入  
製造量のさらなる増大と、  
エネルギー効率の向上により、  
実質的なCO<sub>2</sub>リサイクル率を上げる



# 洗浄工程大型化

アルカリ洗浄プロセス改善と  
処理条件の検討・最適化(2022年)

特願2023-019345

乾燥Siスラッジ

CO<sub>2</sub>流通下で加熱  
★マイクロ波 or  
ハロゲンランプ

SiO<sub>2</sub>含有SiC

アルカリ洗浄  
(2021年ラボレベル)

濾過

SiC

濾液

水ガラス  
前駆体



2024年～洗浄工程大型化検証

# 合成後SiCの純度と事業化検証

原料に2Nスラッジ(純度98.5 %程度)を使用した場合のSiC純度

化学式	濃度 (wt%)
SiC	99.16 %
不純物A	0.58 %
不純物B	0.21 %
不純物C	0.04 %
不純物D	0.01 %

耐火レンガなどの焼結体用途に加え、発熱体などの**高純度炭化ケイ素製品**へ適用可能性あり

- さらなる洗浄工程の改善と用途検証
- 企業とのタイアップ・起業検討
- 連続炉による製造プロセス課題出しと改造、装置コスト検証
- ベンチスケール試験を踏まえたプロセスの経済性およびCO<sub>2</sub>削減量算出

# ご清聴ありがとうございました

## CO<sub>2</sub> を炭素源とした産廃由来炭化ケイ素合成の研究開発

問い合わせ先

東北大学工学研究科応用化学専攻

福島潤

[jun.fukushima.d5@tohoku.ac.jp](mailto:jun.fukushima.d5@tohoku.ac.jp)