

パルス放電噴流床 ～コークスを使わない新規乾式製錬法～

法政大学 生命科学部 環境応用化学科
教授 明石 孝也

令和6年7月4日

研究の背景

● コークスを用いる製錬プロセス※で多量のCO₂を排出



※ 焼結炉・高炉など

コークスを用いない新規製錬プロセスの開発が急務

● LED素子からの資源リサイクルに関する研究で噴流床の使用エネルギーを削減する必要性

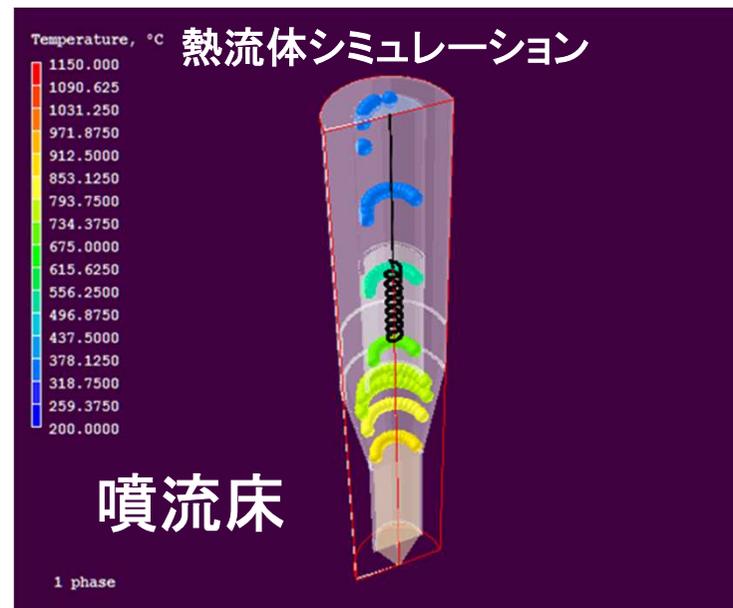


放電によって加熱することを発案

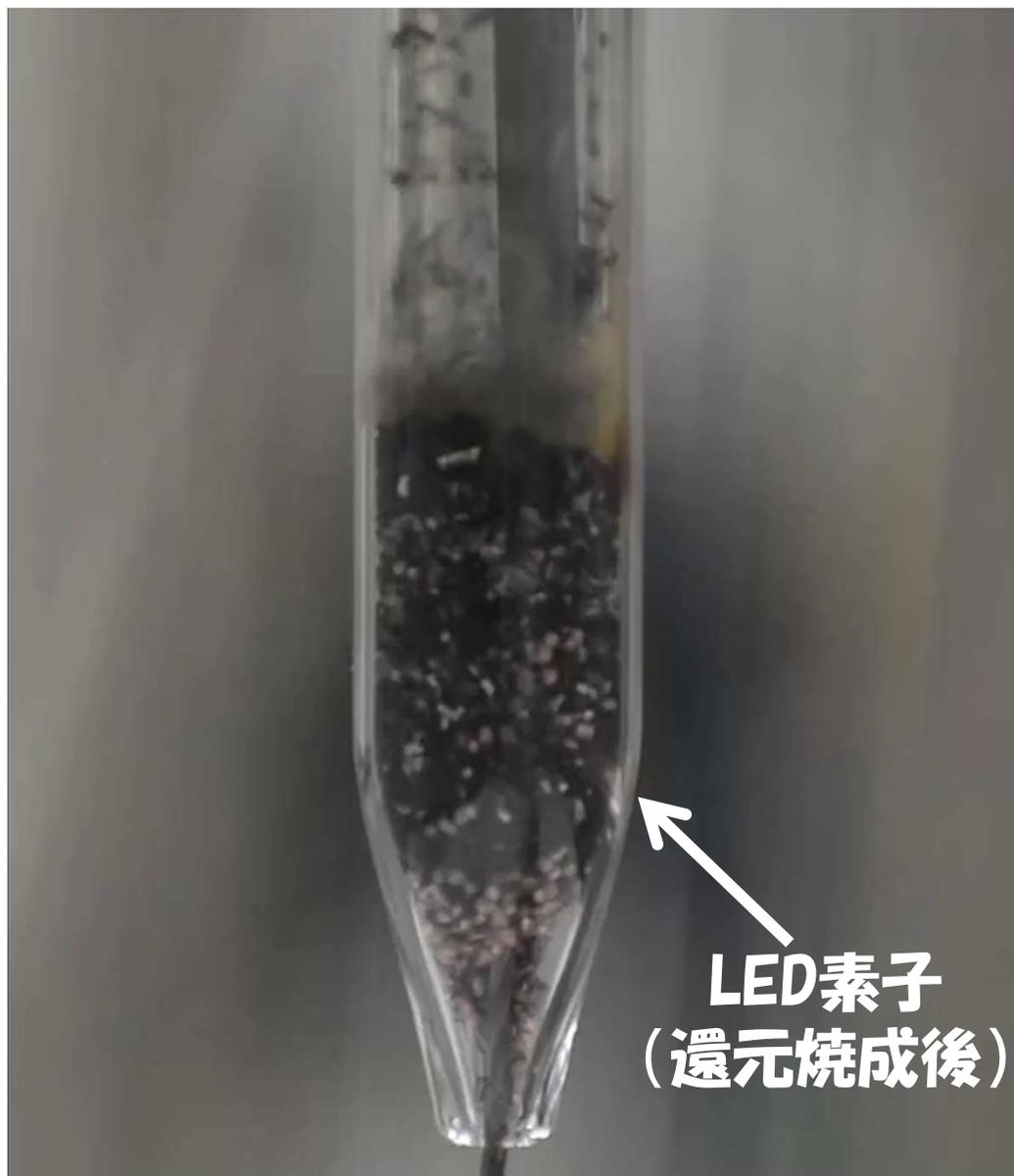


2 mm × 5 mm

GaNとAu含有



パルス放電噴流床の試運転



● 試料: LED素子(還元焼成後)



GaNとAu含有

2 mm × 5 mm

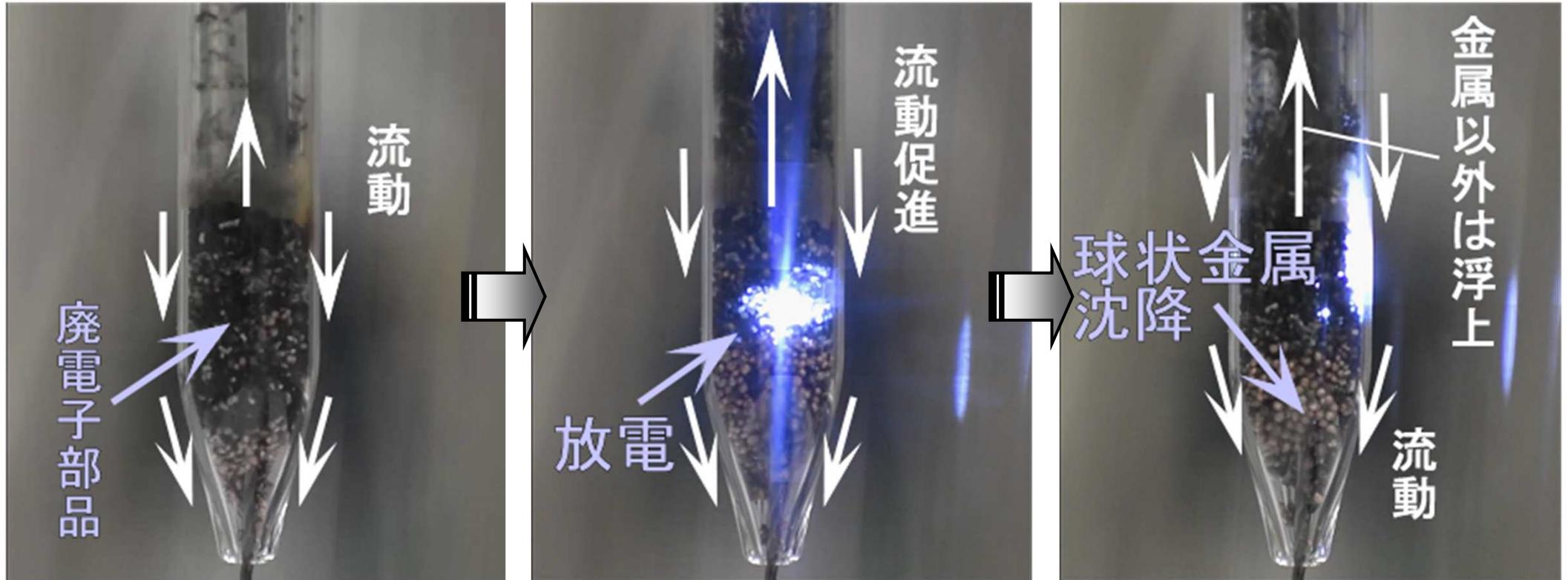
- 放電現象を確認
- 600～700°C※にまで昇温
※ 放射温度計で計測(放射率 $\varepsilon = 0.90$)

流動の促進

金属の球状化

比重選別

パルス放電噴流床の試運転



放電前

(原料:焼成後LED素子)



放電中

流動の促進

放電中

金属の球状化

比重選別

金属製錬に転用

自由を生き抜く実践知

本研究の目的

- パルス放電噴流床を用いて粉末状鉱石を還元できることを実証する。

PDSB: パルス放電噴流床
Pulsed-Discharged Spouted Bed

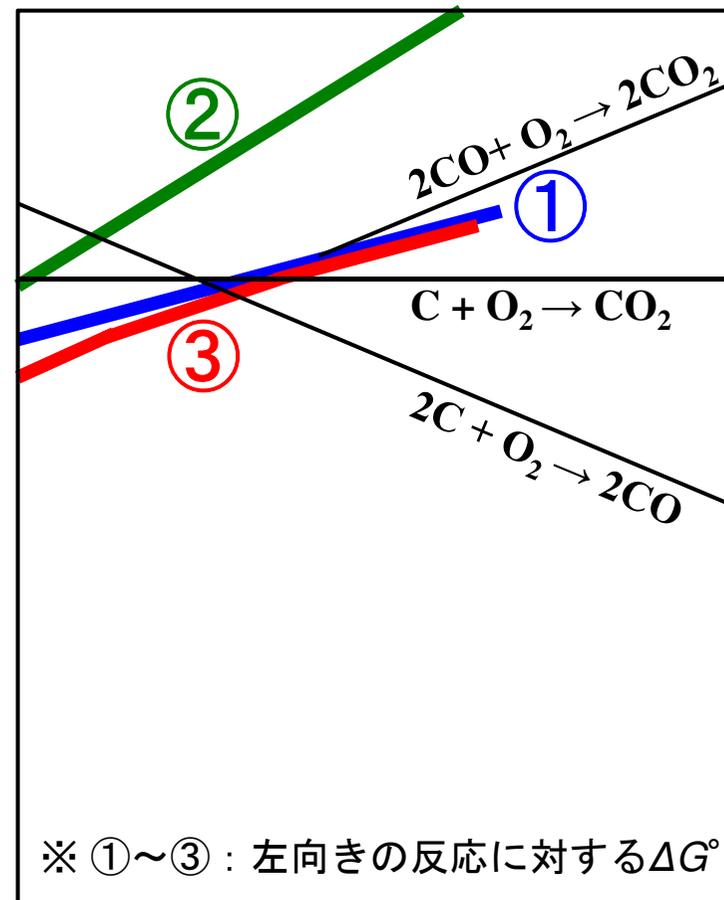
- 錫石の還元 (スズ: 融点232°C)



- 粉鉱石の還元 (鉄: 融点1540°C)

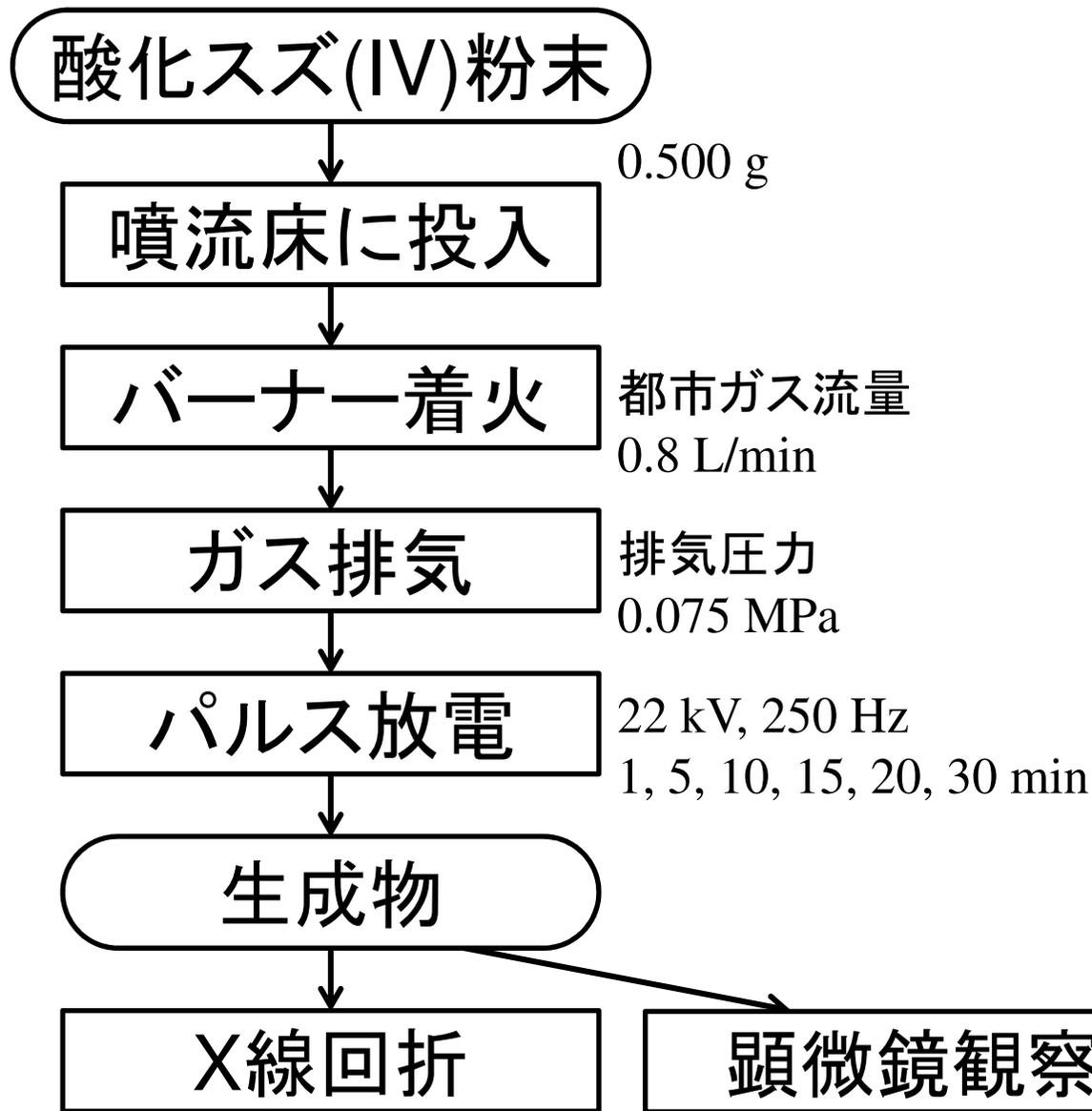


標準ギブズエネルギー変化, ΔG°



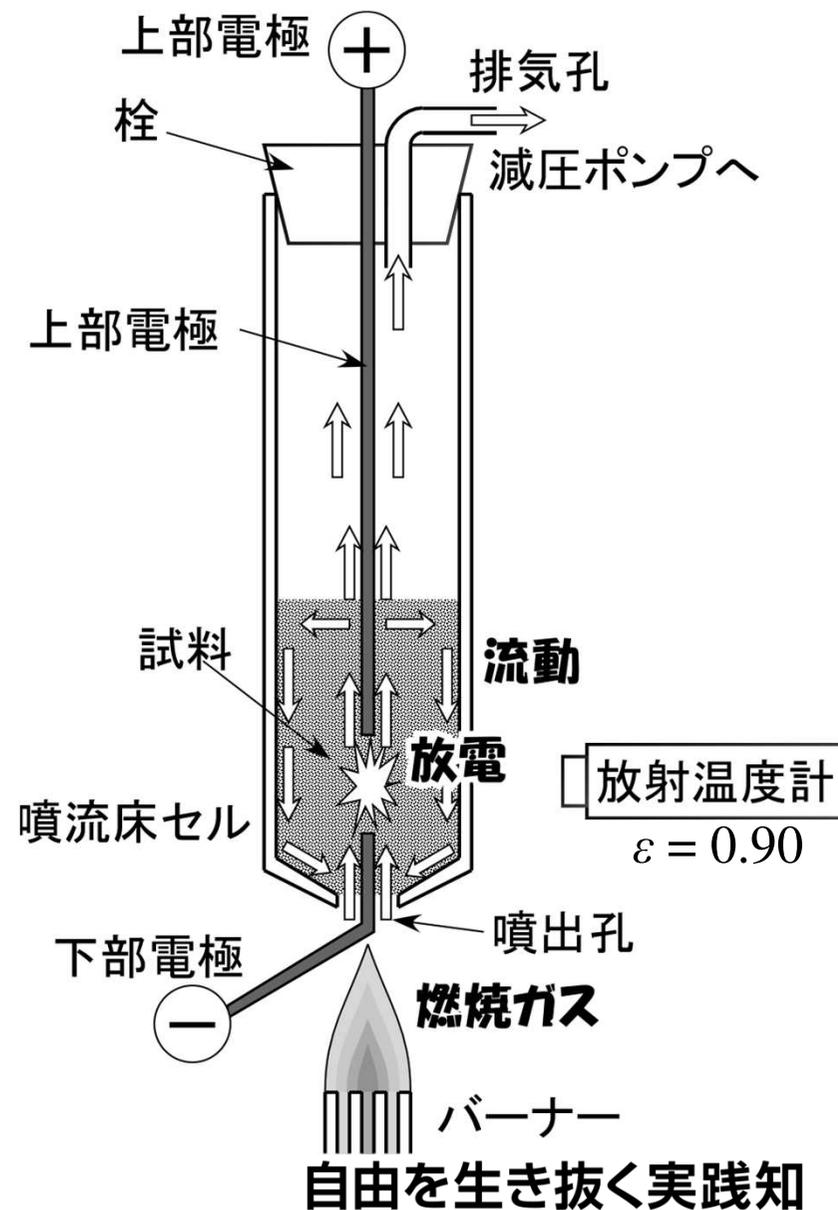
温度
エリンガム図

実験手順 (PDSBによる酸化スズの還元)

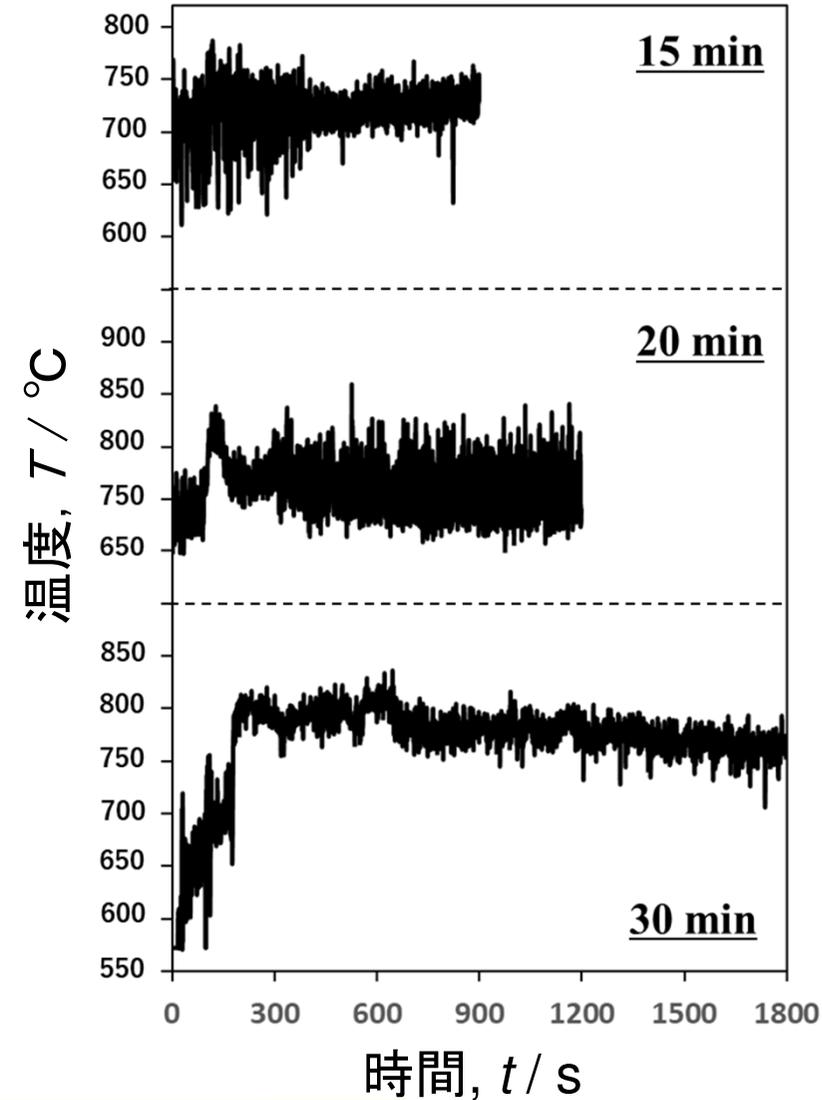
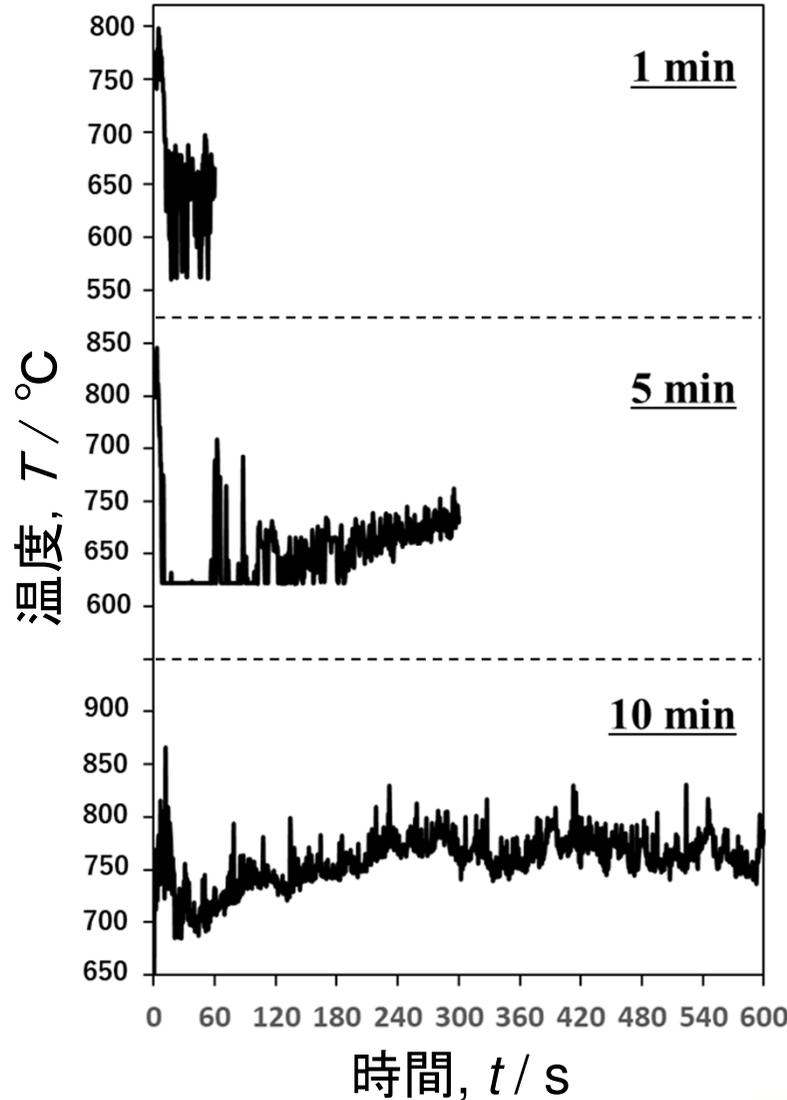


3Dマイクروسコープ
走査型電子顕微鏡

PDSB: パルス放電噴流床



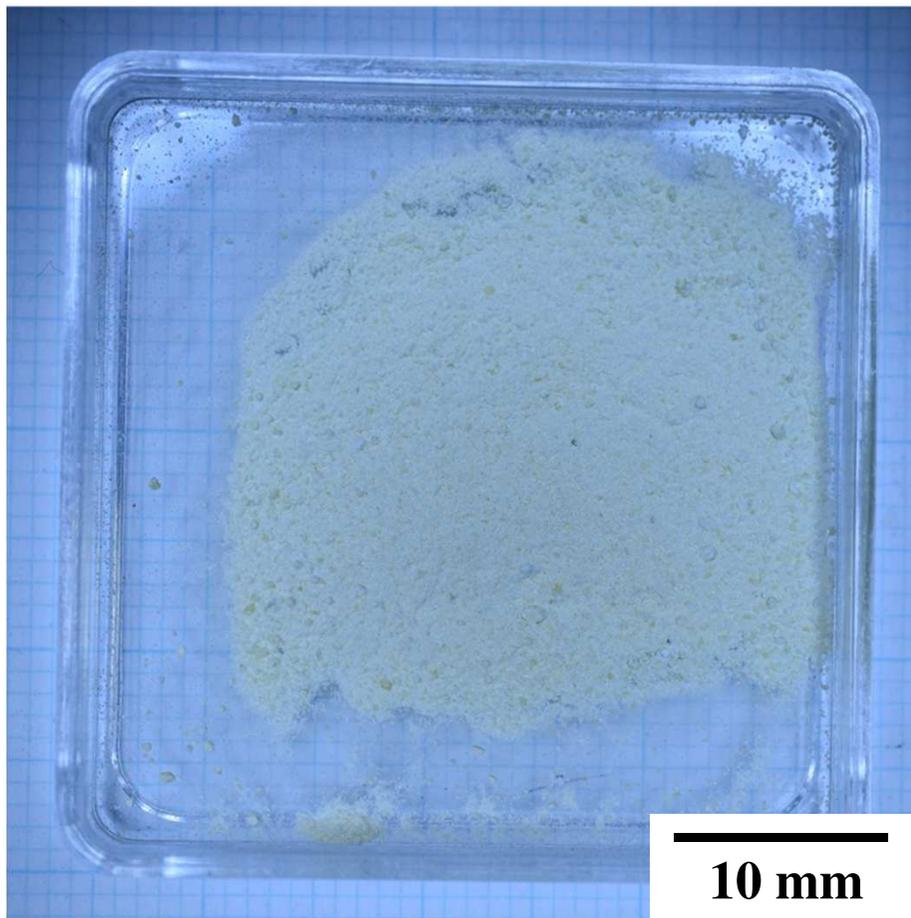
PDSB: パルス放電噴流床



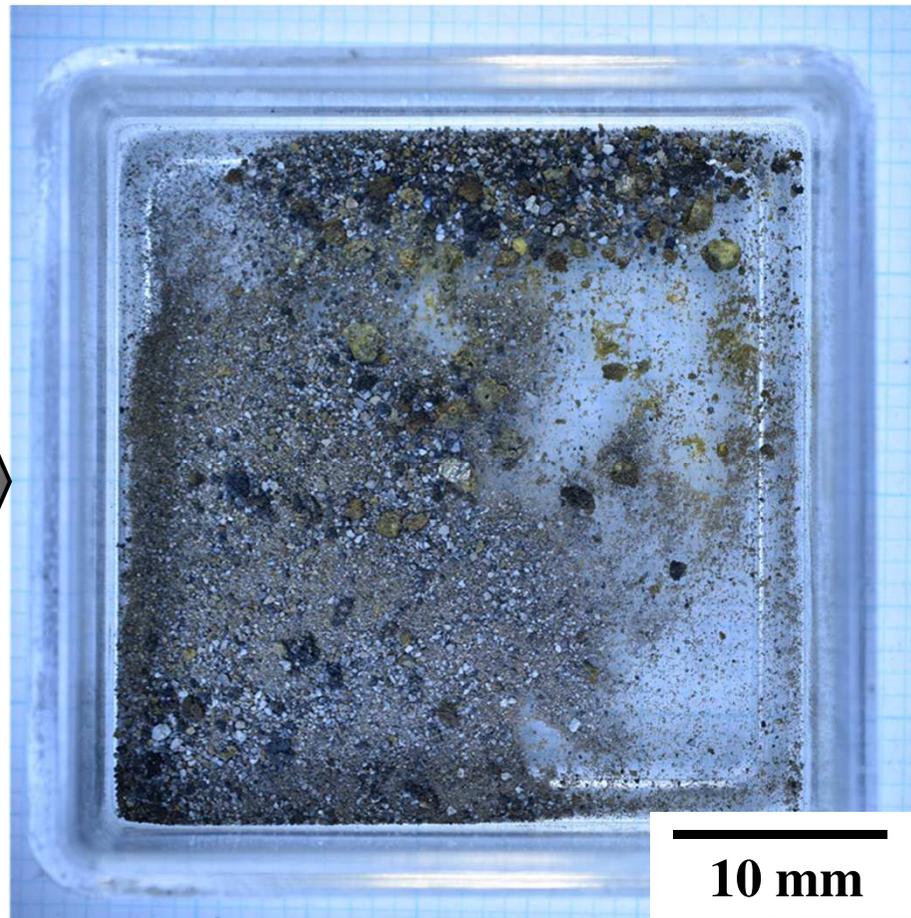
試料の外観 (PDSB処理前後の酸化スズ粉末)

22 kV, 250 Hz, 10 min PDSB: パルス放電噴流床

● PDSB処理前



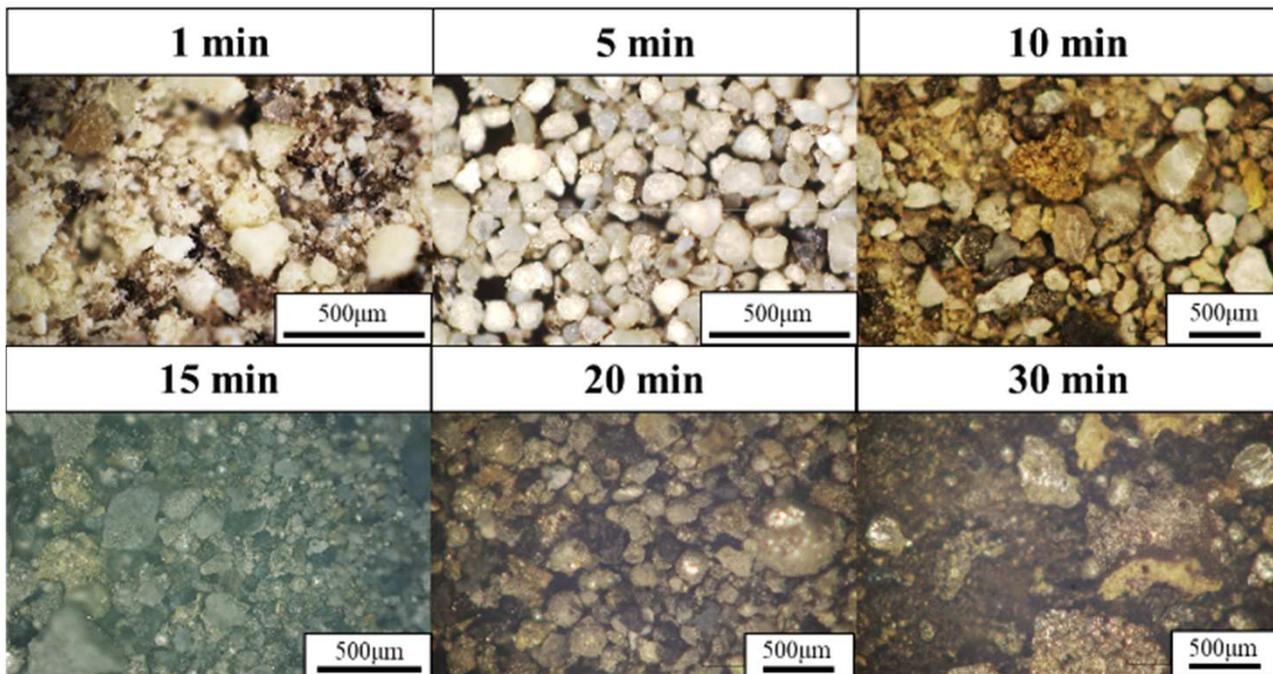
● PDSB処理後



金属光沢のある粒が生成

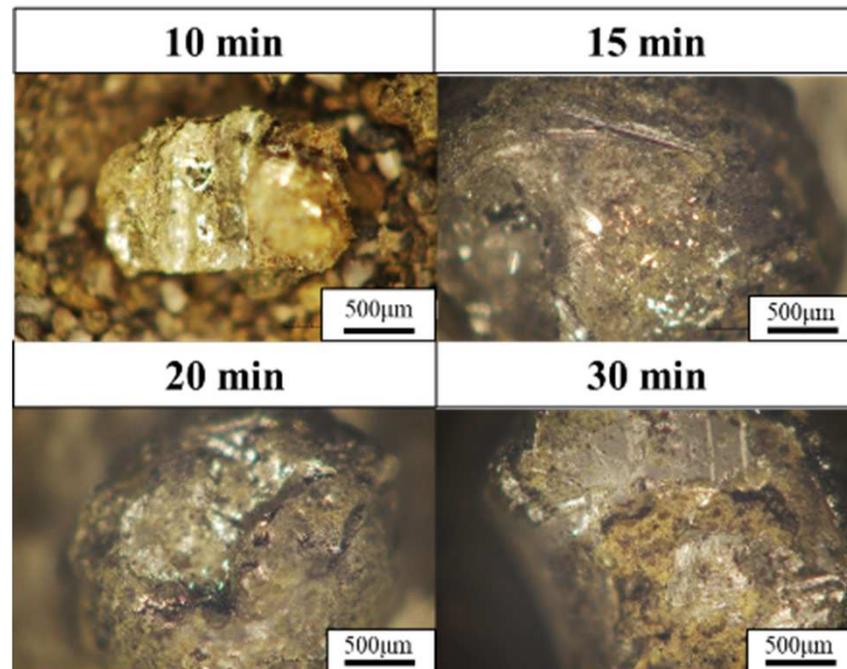
22 kV, 250 Hz PDSB: パルス放電噴流床

● 粉末



金属光沢のある粒子が増加

● 粒状生成物

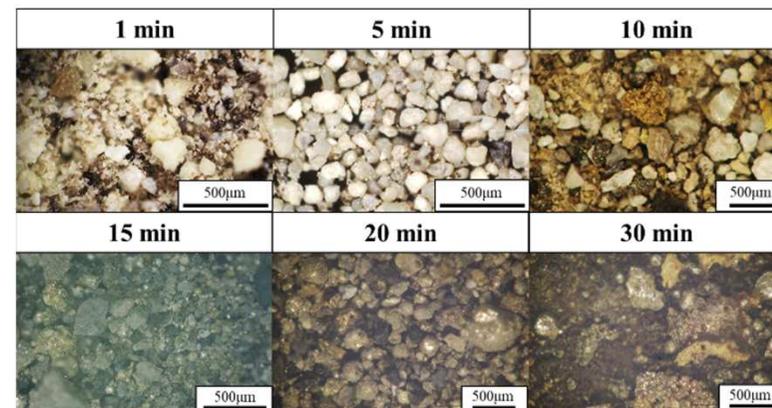
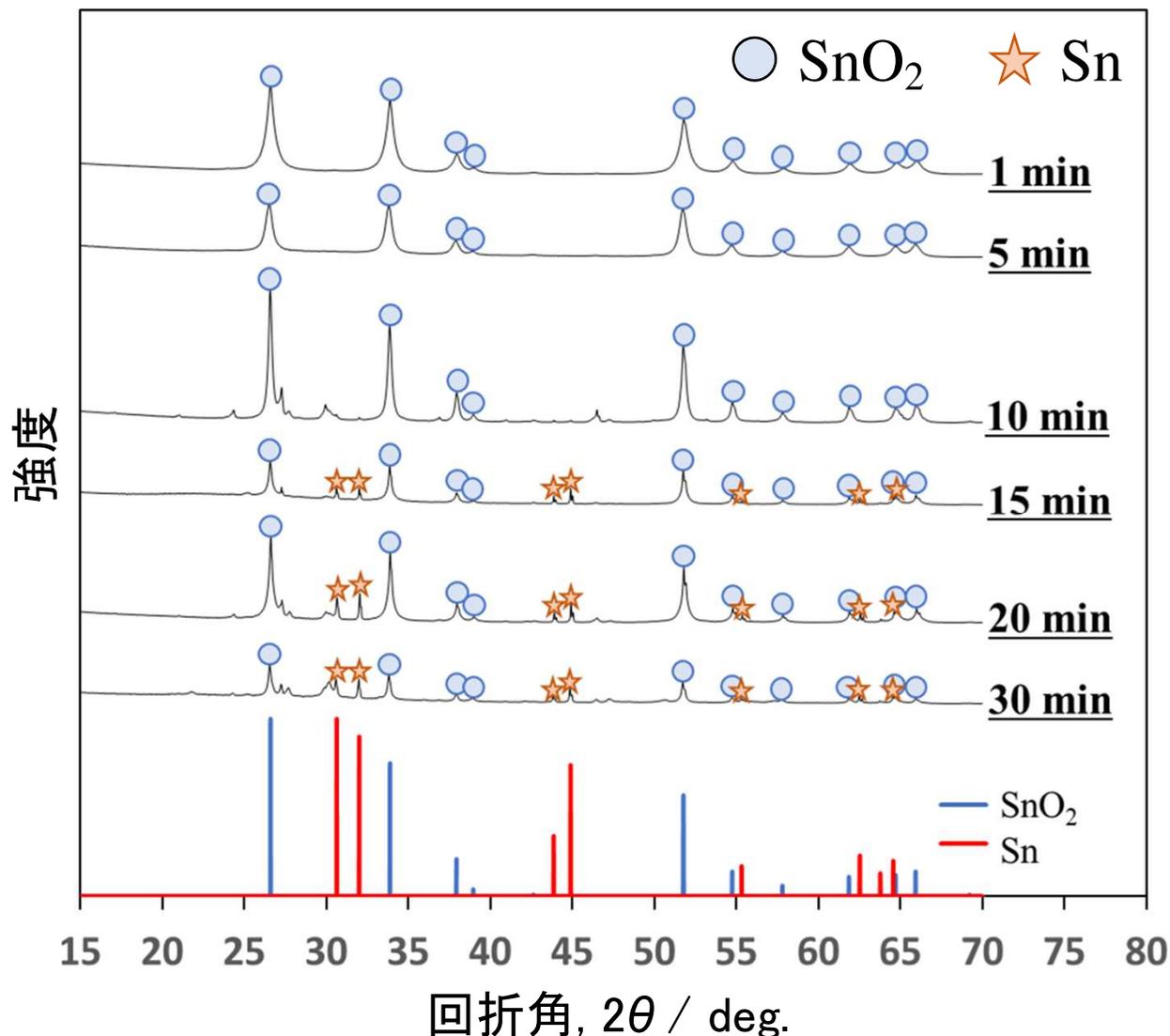


金属光沢あり

10 minから粒状生成物を確認

22 kV, 250 Hz PDSB: パルス放電噴流床

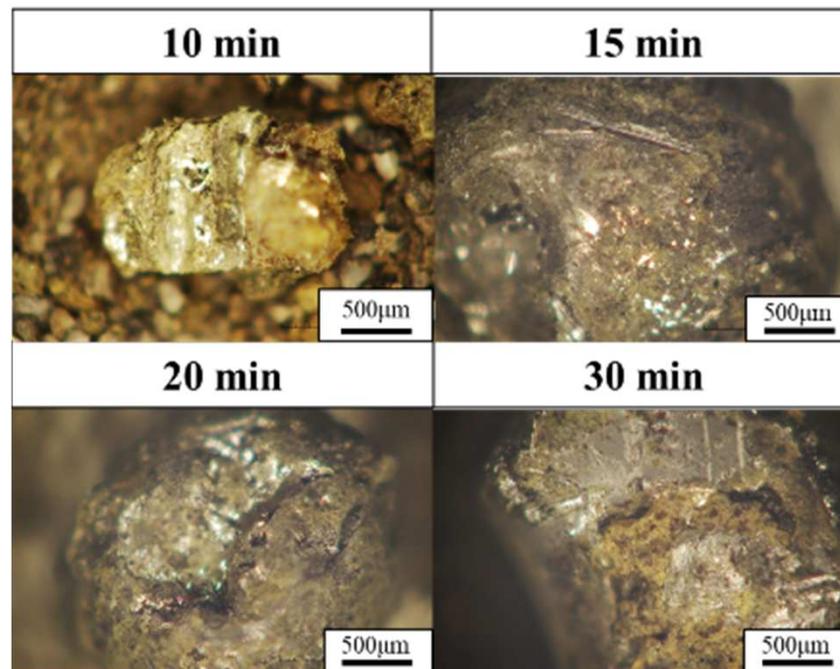
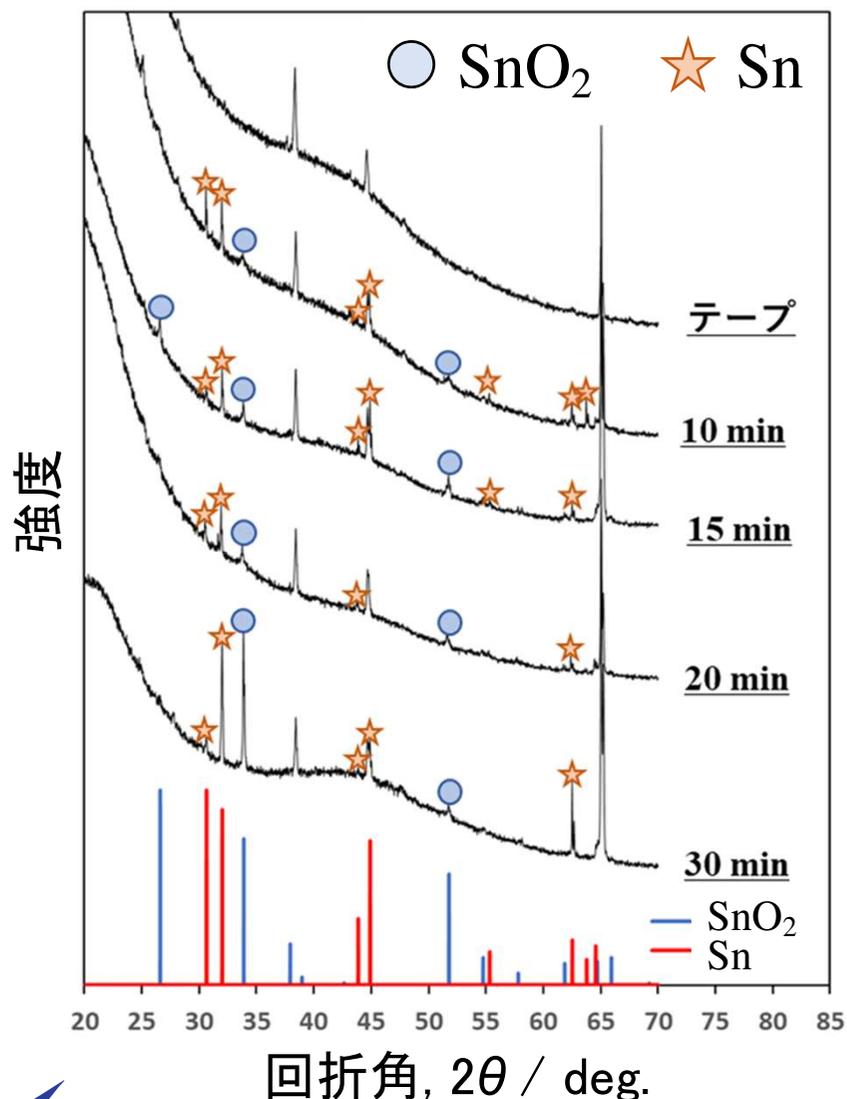
粉末



**15 min以上で
金属スズを確認**

粒状生成物

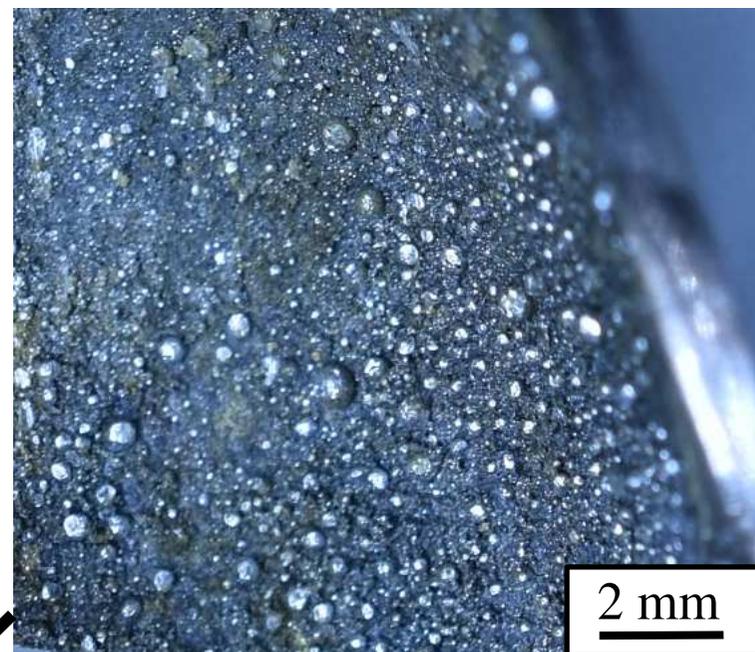
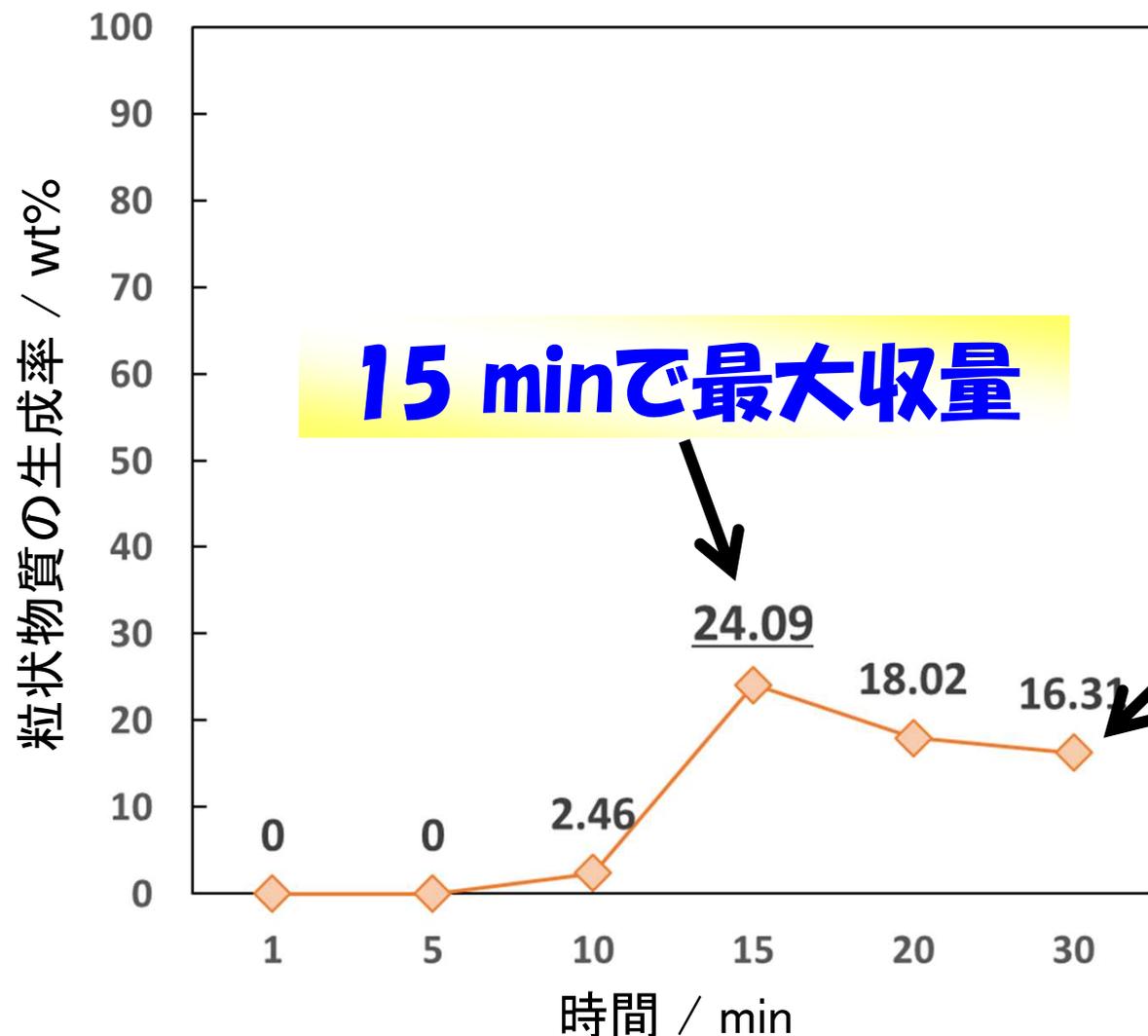
22 kV, 250 Hz PDSB: パルス放電噴流床



金属スズと酸化スズを確認

22 kV, 250 Hz PDSB: パルス放電噴流床

粒状生成物



噴流床内壁に付着した粒子
(30 min処理後)

壁への付着により収量低減



● パルス放電噴流床を用いて、**10 min**で酸化スズ粉末を還元できることを実証した。

● PDSB処理によって得られた**金属スズは粒状**となり、酸化スズからの**分離が可能**となった。

15 minの処理で最も多くの粒状生成物が回収された。

● パルス放電噴流床を用いた**粉鉱石(酸化鉄粉末)の還元**を実証中※である。

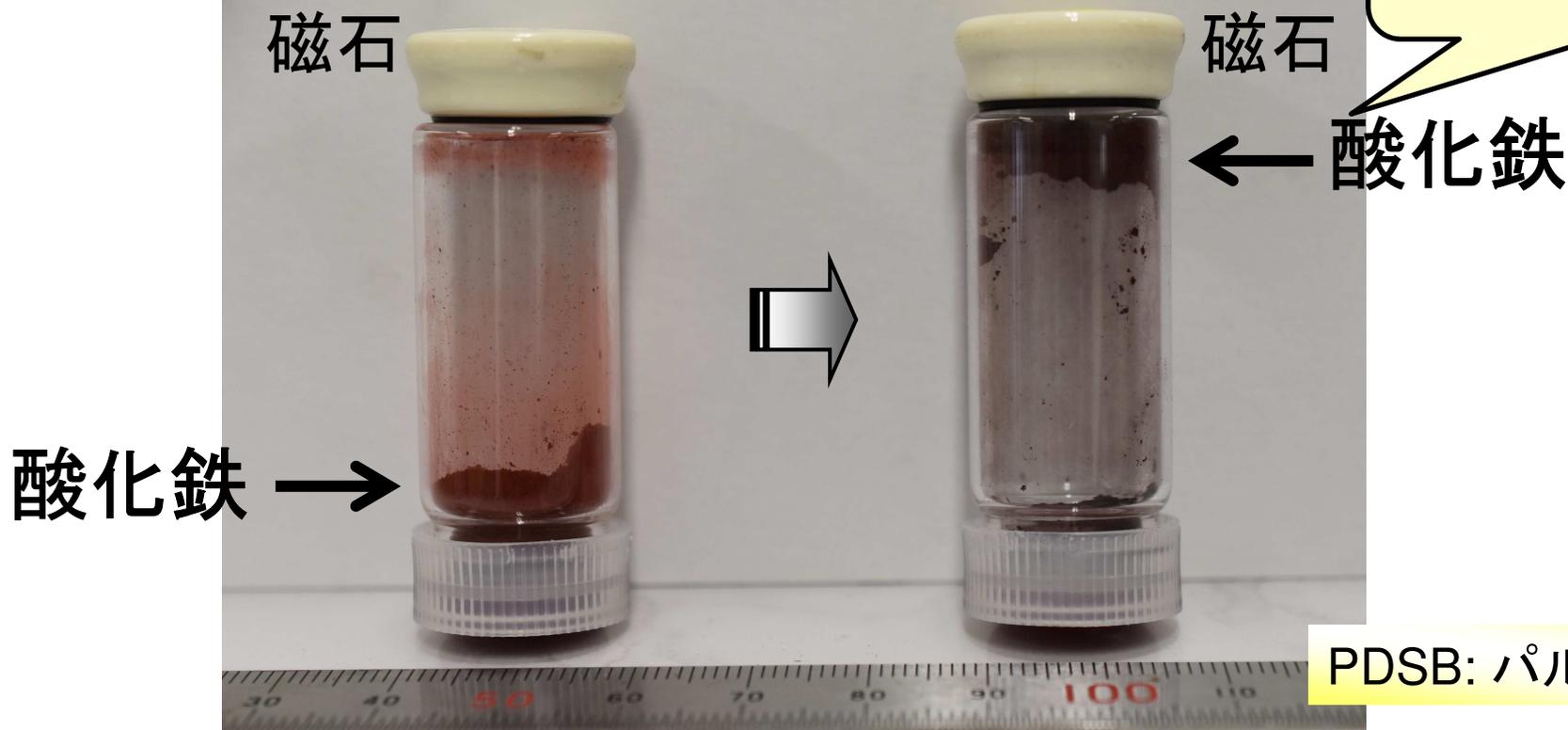
※ 第3回(2024年度助成開始)日本鉄鋼協会 鉄鋼カーボンニュートラル研究助成にて

パルス放電噴流床処理前後の酸化鉄粉末

● 処理前

● 処理後

実証開始



PDSB: パルス放電噴流床

PDSB処理後の酸化鉄は磁石に付いた。

金属鉄までの還元は未確認

日本鉄鋼協会 鉄鋼カーボンニュートラル研究助成にて実証中

法政大学 パルス電源の改造とバーナーの更新を予定

自由を生き抜く実践知

従来技術とその問題点

- コークスを用いた製錬プロセスでは、**多量のCO₂を排出**している。
- 当研究室で開発した従来の噴流床では、**多量のエネルギー**を使用していた。

新技術の特徴・従来技術との比較

- パルス放電の活用により、従来技術の課題である**エネルギー使用量の大幅削減**に成功した。
- 従来技術と異なり、**原料の破碎と金属の球状化(や溶着)**がなされる。これにより、**金属の分離**が可能となる。
- コークスを用いた製錬プロセスを一部置き換えることで、**CO₂排出量の削減**が可能である。

想定される用途

- 省エネルギーの熱処理技術※として、様々な鉱石の製錬に適用可能である。

※ 200 Wで瞬間的に600～750 °Cにまで加熱可能

- 各種都市鉱石からの有価金属の回収にも適用可能である。
- 粘土鉱物の熱処理にも活用できる可能性がある。

実用化に向けた課題

- 現在、酸化スズ粉末の還元は実証済み。粉
鉍石(酸化鉄粉末)の還元については実証中
である。
- 今年度中に、パルス電源の改造※とバーナー
の更新を予定している。 ※ 200 Wから400 Wに
- 様々な鉍石の還元に適用するために、パルス
電源の更なる出力向上が必要であろう。

企業への期待

省エネルギーの熱還元処理技術であり、発展の可能性大

- 日本発の技術として、本技術を活用して、国内で知的財産権を保護して欲しい。
- PCT国際出願を進められるように※、企業との連携を希望している。

※ 本技術に興味を持って下さる企業がいなければ、PCT国際出願を進める正当性がない。詳細は本学リエゾンオフィスを含めて相談させて頂きたい。

- 将来的に小型パイロットプラントへのスケールアップも視野に置いた検討をして欲しい。



自由を生き抜く実践知

企業への貢献、PRポイント

- 省エネルギーの熱還元処理技術※として、各種鉍石の熱処理プロセスに貢献可能である。
※ 200 Wで瞬間的に600～750 °Cにまで加熱可能
- 本技術では、噴流床内での原料の破碎と金属の球状化(や溶着)に伴って、比重選別も行われるため、適用範囲は広い。
- 鉍石を提供して頂ければ、卓上装置にて熱還元処理を試すことは可能。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称:】金属資源の乾式精錬方法
及び乾式精錬装置
- 出願番号:特願2023-203324
- 出願人:学校法人法政大学
- 発明者:明石 孝也

産学連携の経歴

- 1993-1996年 日本鋼管(株)(現JFEスチール(株))に勤務

ガリウムのリサイクルに関する産学連携の経歴

- 2011年 JST A-STEP FSステージ探索タイプに採択
- 2013年 JST知財活用促進ハイウェイに採択
- 2015年-2016年 環境省 環境研究総合推進費補助金に採択
- 産学連携によるLED照明リサイクルスキームの事業化
- 2019年 ハリタ金属(株)と共同研究実施(環境省 省CO2型リサイクル等設備技術実証事業、研究分担)
- 2023年 (株)野村総合研究所からの再委託(環境省 令和5年度ポストコロナ社会における地域循環共生圏に対する環境衛生技術の活用方策の検討に関する委託業務)

共同実験者

法政大学 生命科学部 環境応用化学科
教務助手 クライソングラム パヌワット

法政大学 生命科学部 環境応用化学科
2023年度 4年生 近藤 悠斗
2024年度 4年生 土井 史鷹

お問い合わせ先

**法政大学 研究開発センター
リエゾンオフィス**

TEL 042-387-6501

FAX 042-387-6335

e-mail: liaison@ml.hosei.ac.jp