

チタン系複合酸化物のリサイクルや 有価金属の回収を可能にする水溶液

物質・材料研究機構

電子・光機能材料研究センター
高機能光学セラミックスグループ

主任研究員 中根 茂行

2026年 7月14日

従来技術とその問題点

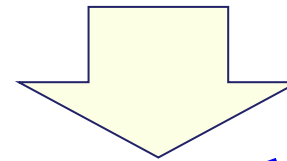
- チタン系複合酸化物は様々な分野で利用されている

チタン酸バリウム(チタバリ, BaTiO_3) → セラミックスコンデンサ(MLCC)、サーミスタ、光電融合…

チタン酸ストロンチウム(STO, SrTiO_3) → 単結晶基板、電子デバイス

チタン酸ジルコン酸鉛(PZT, $\text{Pb}(\text{Ti}, \text{Zr})\text{O}_3$) → 圧電素子

酸化チタン → 光触媒、化粧品、防汚建材、白色顔料、ペロブスカイト太陽電池



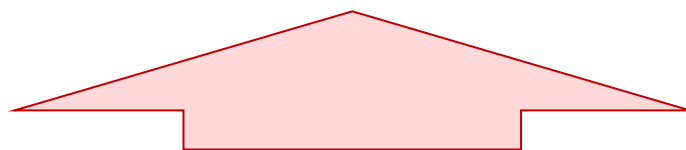
- 不要なチタン系複合酸化物は、産業廃棄物として処理

汎用的な廃棄技術は確立されていない

従来技術とその問題点

なぜ、チタン系複合酸化物の廃棄が難しいのか？

- ✓ 基本的に融点が高く、有害元素を含む場合も多い → 焼き飛ばすのは難しい
- ✓ 化学的に安定 → 薬品に溶かすのは難しい
- ✓ 金属材料等を含む複合材料として使われている ← 貴金属や有価金属を含有している

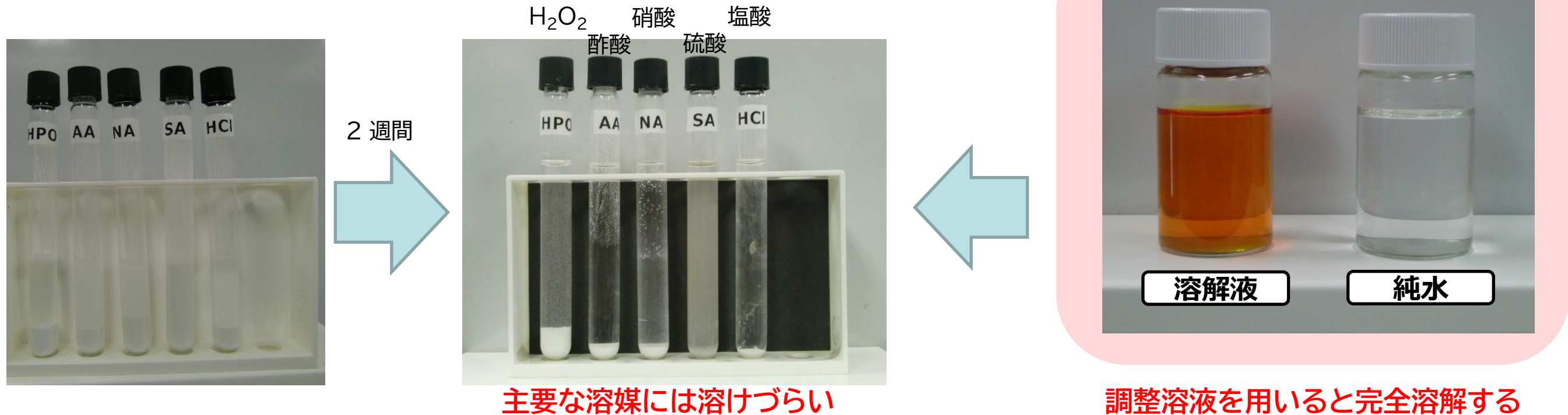


チタン系複合酸化物を溶解させる溶液を提案

- ✓ 複合材料から酸化物だけを溶かして金属を回収！
- ✓ 溶かした溶液からチタン系複合酸化物を再合成し、リサイクル原料による資源循環！
- ✓ 安全リスクや環境負荷の低い低コストなエッチング技術を用いたデバイス製造！

チタン系複合酸化物の溶解

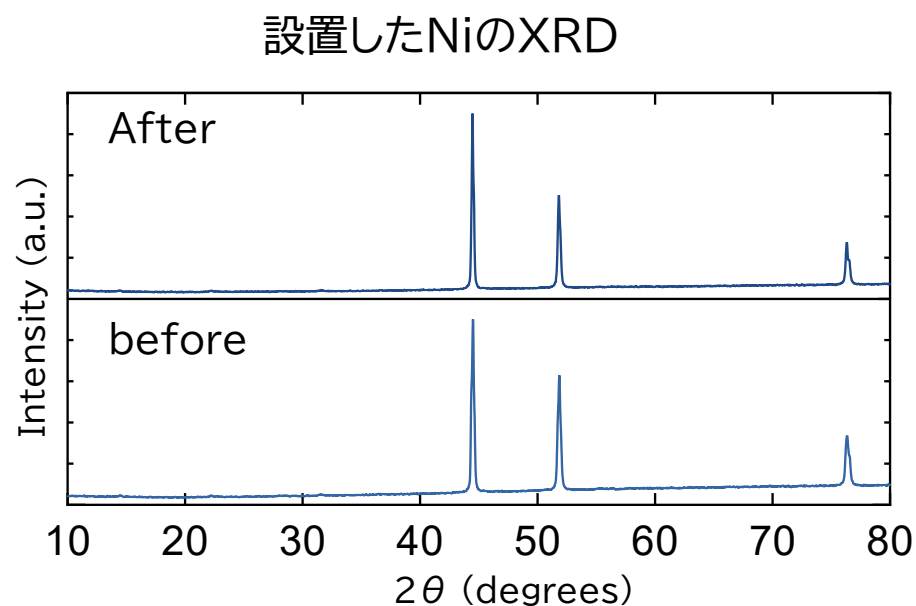
チタン酸バリウム(BaTiO_3)の溶解実験



- ✓ BaTiO_3 や SrTiO_3 を完全に溶かすことができる。(Pb TiO_3 や TiO_2 でも溶解反応を確認)
- ✓ 溶解液は、自然界にも存在する成分と水であり、安全リスクや環境リスクは低い。低コストも見込める。
- ✓ 強酸や強塩基、フッ酸などとは違い、チタン系複合酸化物以外の物質に対する反応性は低い。

チタン酸バリウム(BaTiO_3)の溶解

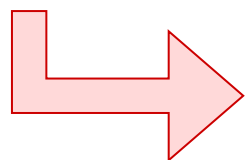
溶解液に BaTiO_3 と金属板を浸した場合



XRDや重量の変化は確認できなかった

金属等	安定性
Ni	○
Pt	○
Au	○
Ag	×
Cu	×
Al	○
Ti	△ (反応あり)
PET	○

✓ 溶解液は BaTiO_3 を完全溶解させるが、いくつかの金属やPETなどのプラスチックとは反応しない



応用製品からの貴金属や有価金属の回収に有利

チタン酸バリウム(BaTiO_3)の再合成

焼成法 (ゾル-ゲル法に準拠)

溶解液

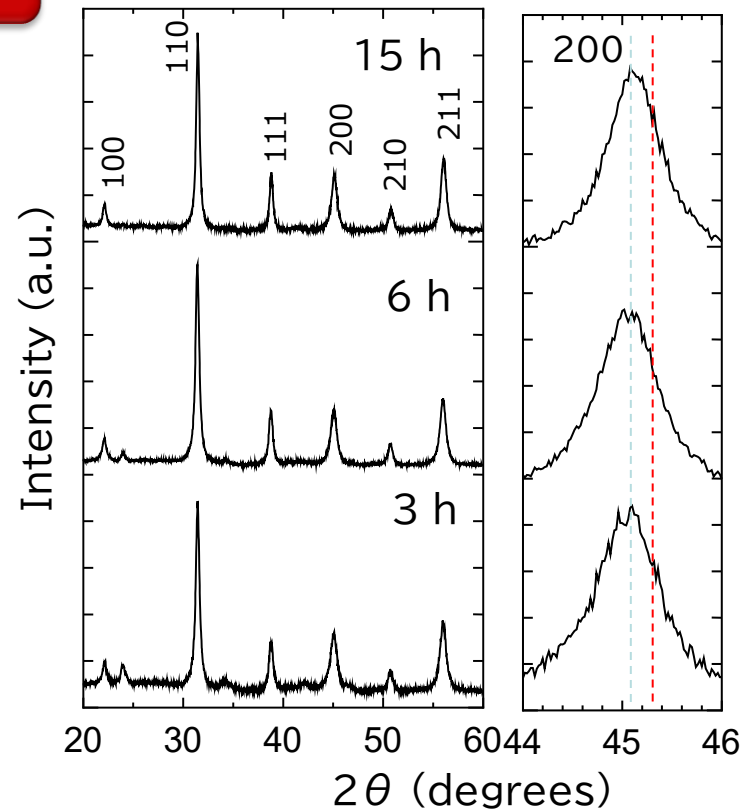
脱水 80 °C, 一晚

仮焼 450 °C, 12h

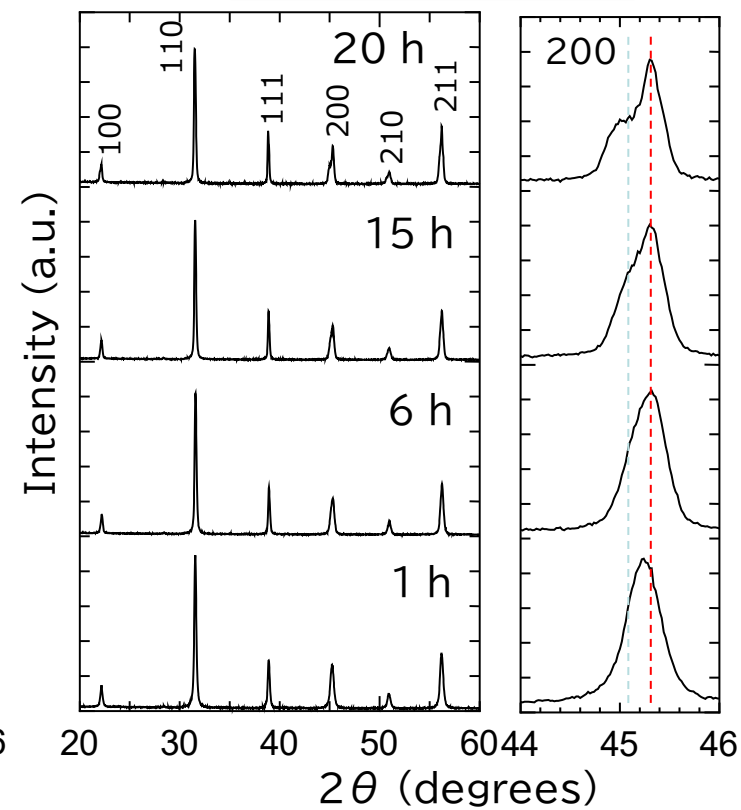
本焼成

BaTiO_3 は、600 °C以上で生成

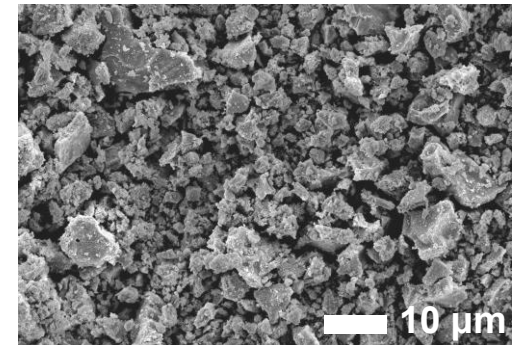
600 °C 焼成



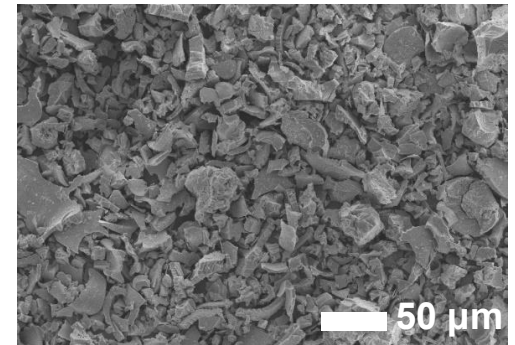
900 °C 焼成



600 °C, 15 h



1000 °C, 0.5 h



- ✓ ゼルゲル法に準じた焼成処理を行うと、 BaTiO_3 粉を再合成することができる。
- ✓ 再合成した BaTiO_3 粉は、焼成条件によって結晶相の制御も可能。(従来技術のノウハウを転用可能)

チタン酸バリウム(BaTiO_3)の再合成

水熱合成法

溶解液

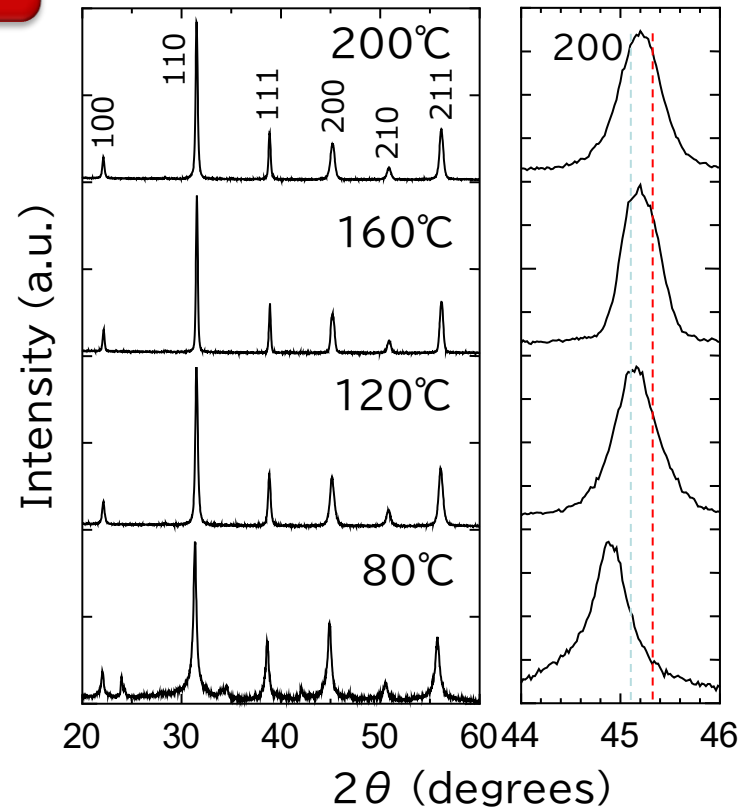
水酸化ナトリウム

沈殿物ごと圧力容器に封入

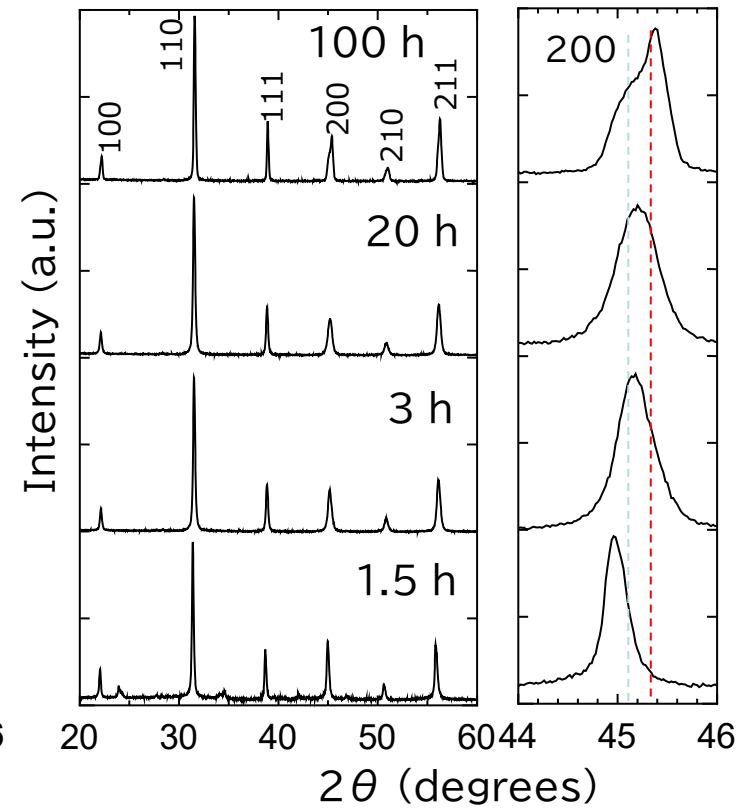
水熱合成 10 MPa

分離・回収

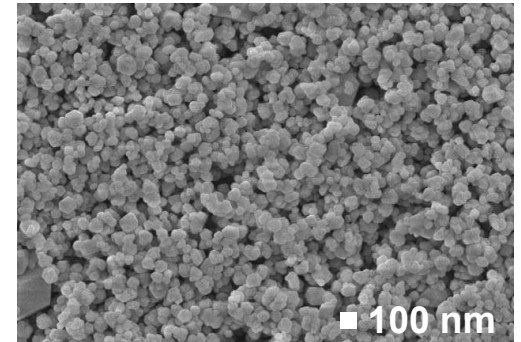
NaOH 5M, 20 h



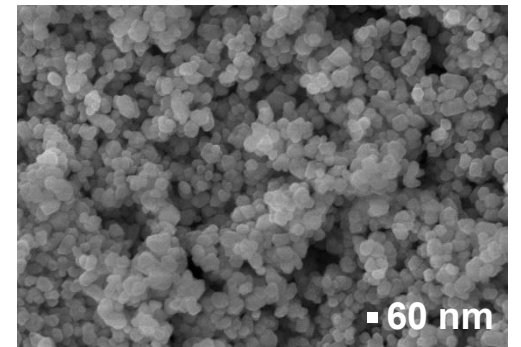
NaOH 5M, 200 °C



200 °C, 20 h



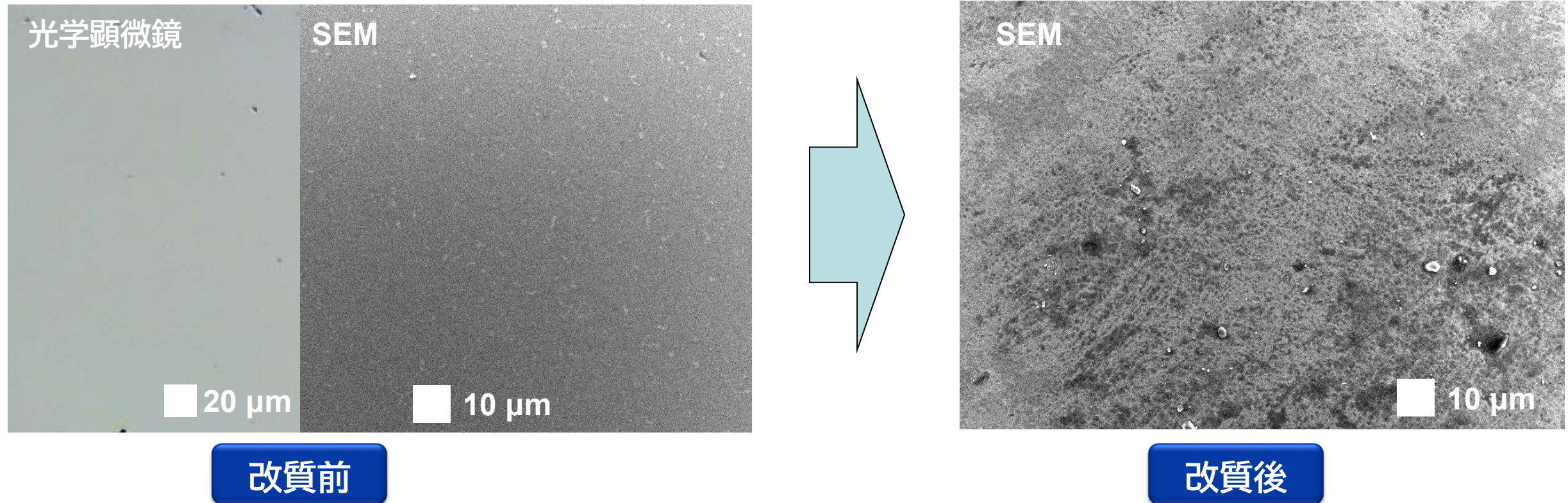
120 °C, 100 h



- ✓ 水熱合成法でも BaTiO_3 粉を再合成することができる。合成条件によって結晶相の制御も可能。
- ✓ 水熱合成で得られる粉体は、粒度も均質。(従来技術のノウハウを転用すれば、実用的な原料粉合成が可能)

溶解液を用いた表面処理

チタン酸ストロンチウム(SrTiO_3)単結晶(100)の表面



- ✓ 表面形状や導電性？が変化する。→ エッチング効果あり
- ✓ 溶解条件を制御することで、新たな機能応用を期待できる。

新技術の特徴・従来技術との比較

- ・ **チタン系複合酸化物を化学反応で溶かす技術**

有効な廃棄技術がなかったチタン酸化物が化学的に処分できる！

- ・ **安全リスクが低い水溶液**

食物など自然界に生成する成分で調整できる！ 強酸やフッ酸等の安全リスクが高い薬品は不要！

- ・ **低コスト化を期待できる**

水や汎用性の高い成分のみで調整できる！

- ・ **溶解液は、貴金属や多くの有価金属に不活性**

チタン酸化物の応用製品からの金属回収に有利！

- ・ **溶液から、チタン系複合酸化物のナノ粉体を再合成できる**

リサイクル原料としてチタン酸化物を再利用！

想定される用途

- **応用製品からの分離・回収**

チタン系複合酸化物の選択的な除去

基貴金属やニッケル等の有価金属の再利用

- **再利用や資源循環**

チタン鉱石に頼らないサプライチェーンの構築 ← 放射性廃棄物の処理問題に有効

地政学リスクを考慮したサプライチェーンの構築 ← 途上国との友好関係の構築にも有利

チタン系複合酸化物やその関連物質の原料としての再利用 ← 製造工程での端材利用にも有効

- **デバイスの微細加工**

安全リスクや環境負荷の低い水系溶媒を用いて低コストなエッチング技術などへの応用

実用化に向けた課題

- **チタン系複合酸化物の構造や組成を考慮した溶解条件の検証**

最適な溶解条件は結晶構造や組成によって大きく異なる。BaTiO₃やSrTiO₃には、かなり効果的に機能するが、目的物質に応じて溶解条件は新たに研究する必要がある。

- **部材の形状・サイズに適した溶解条件の検証**

現在は、粉体に対する最適条件しか検証していない。

大型部材や複雑形状の部材に適用する場合、その部材に適した溶解条件を新たに研究する必要がある。

- **実用製品から、本技術を適用したい部材を分別する方法**

部材が製品の内部に組み込まれている場合、部材のみを回収する工程を検討する必要がある。

製品によっては、本技術の利用を想定して設計を見直す方が効果的なケースもあると思う。

- **再利用等を想定した場合は、収率の検証**

企業への期待

- ・ **収益性より資源循環やサプライチェーンの構築を重視する企業にこそ、本技術の導入をご検討いただきたい**

資源循環は、環境問題を議論する上で最も有効なアプローチです。

資源循環は、地政学リスクがコスト以上に重要となるこれからのビジネスにとって重要なキーワードです。

資源循環は、世界的なグローバルビジネスを友好的かつ有意義に展開できる新しい市場です。

- ・ **製品開発も視野に入れた技術応用をご検討ください**

現行製品の廃棄・分離・回収に直接利用しようとするのではなく、本技術の導入を想定した新たな設計思想で製品を開発するアプローチの方が、効果的な技術利用ができる考えています。

- ・ **マンパワーを提供してくれる企業との共同研究を希望**

研究者または人件費のご提供を希望。

企業への貢献、PRポイント

- **資源循環はこれからのビジネスにとって重要なキーワードです**
廃棄物は、地政学リスクを低減させる未開拓の資源領域です。
チタン資源の場合、鉱山開発による環境破壊や放射性廃棄物の処理問題を回避できます。
鉱山国や製品の最終廃棄国と、処理技術を介して環境保全・美化を目指した友好関係を構築できます。
- **基礎的な実証実験の場を提供/共同研究を通じたノウハウの提供**

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	・基本原理の実証	
現在	・想定する用途の選定	
1 年後	・実用部材を想定した有効性の検証 ・想定した実用部材に対する課題の抽出	原理的なデモンストレーションの実施 JST事業やNEDO等に応募し研究資金獲得
3 年後	・実用部材に対する溶解条件や再生条件の最適化	実用部材へのデモンストレーションの実施
5 年後	・製品からの実証試験（コストや収率などの改善・向上）	試験サービスの開始

産学連携の経歴

- 2020年-2022年 大手電機メーカー1と共同研究
- 2020年 産業用機器製造メーカーへの技術相談
- 2007年-2009年 大手電機メーカー2と共同研究

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 金属回収方法及びチタン酸化物のリサイクル方法
- 出願番号 : 特願2025-167044
- 出願人 : 国立研究開発法人物質・材料研究機構
- 発明者 : 中根 茂行

お問い合わせ先

国立研究開発法人物質・材料研究機構
外部連携部門 企業連携室

企業様向けお問い合わせフォーム
(スマホ対応)



<https://www.nims.go.jp/contact/collaboration.html>