

再生可能エネルギーの 高温熱貯蔵容器材料の探索

新潟大学 工学部工学科
化学システム工学プログラム
准教授 郷右近 展之

2024年9月24日

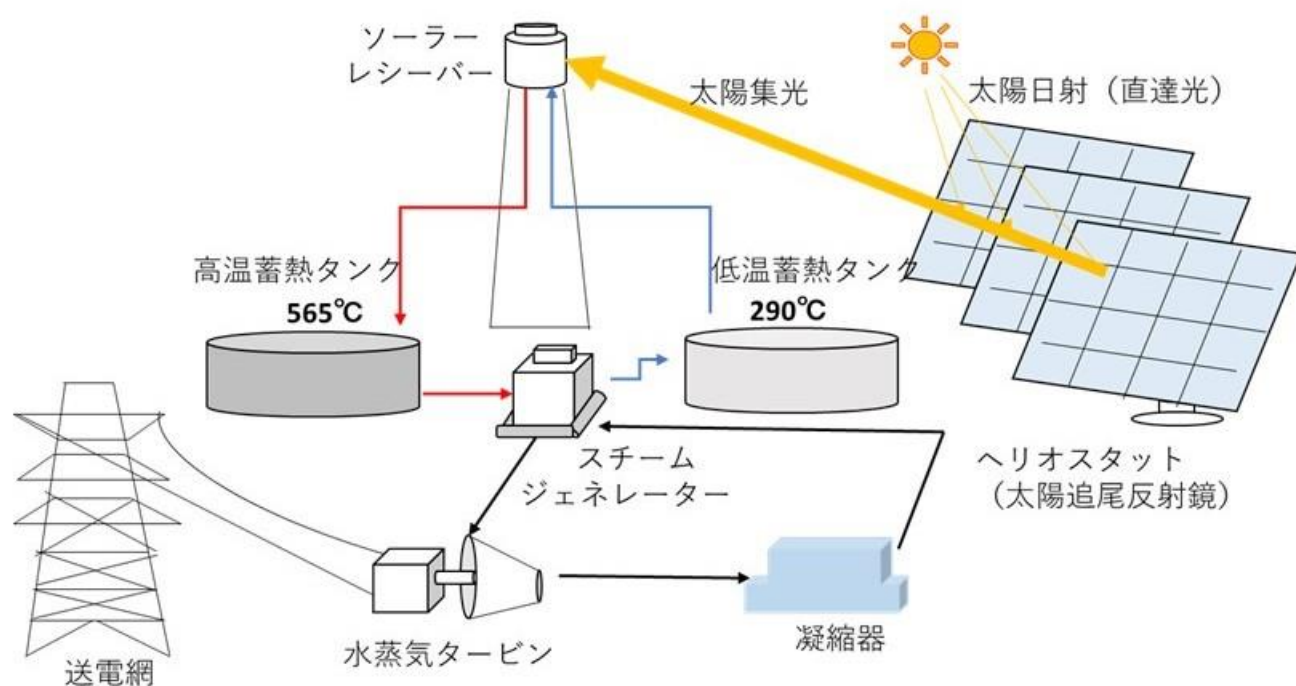
集光型太陽熱発電 (Concentrating solar power, CSP)

太陽日射をヘリオスタットで反射・集光して、ソーラーレシーバーで高温太陽熱を得る。

太陽集熱の硝酸塩系溶融塩蓄熱
による24時間発電が実用化

硝酸塩が熱分解するため蓄熱温
度は約600°C以下

発電効率は高温ほど高くなる



次世代太陽熱発電プラント

600°C以上の新しい蓄熱システムの開発が必要

蓄熱技術の種類

➤ **顕熱蓄熱**: 固体や液体の比熱と温度差を利用した蓄熱 ($\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$)

太陽熱発電では硝酸系溶融塩による液体顕熱で商用化、蓄熱発電では碎石やコンクリート等の固体顕熱を開発中。

➤ **潜熱蓄熱**: 主に固体／液体の相変化を利用した蓄熱。蓄熱量は顕熱蓄熱より潜熱蓄熱が多い。

太陽熱発電では溶融塩による潜熱利用 (500°C以下で一部実用化)。高温域は開発中。

➤ **化学蓄熱**: 可逆反応や不可逆反応を利用した蓄熱。これらの中で最も蓄熱密度は高いが、高温における反応表面積減少に伴う繰り返し反応性の低下や反応速度の低下等の問題があり、現在は研究中。

従来技術とその問題点

太陽熱発電において既に実用化・商用運転で使用されているものには、Solar saltやHitectと呼ばれる硝酸系溶融塩混合物による液体顕熱蓄熱等があるが、

- 蓄熱密度が小さく蓄熱タンクの大型化によるコスト高
- 熱分解温度に起因する使用温度の上限が発生
- 低い熱伝導率のため、溶融塩－水蒸気の熱交換器の性能向上が必要

等の問題があり、溶融塩による潜熱蓄熱に広く利用されるまでには至っていない。

次世代太陽熱発電に関する研究プロジェクトが米国・欧州・豪州を中心に進行中

■ 米国についての概略

➤ 2030年までに米・DOEのCSPコスト目標\$ 50 / MWh

→ 温度700°Cを超える熱伝達流体によりCSPプラントの効率を高め、CSPシステムのコストを削減。

➤ 費用効果が高く信頼性の高い統合システム構築を目指す。

■ 欧州

➤ 粒子状固体や潜熱蓄熱による新規CSP技術の開発や、雰囲気制御技術による溶融塩の高温化

→ 温度600～700°C程度の熱伝達流体の技術開発

■ 豪州

➤ 液体Naの高温熱媒体開発や、潜熱蓄熱、粒子状固体による新規CSP技術の開発

→ CSP運転温度の高温化

新技術の特徴・従来技術との比較

- 潜熱蓄熱体を使用する場合、酸化や腐食、液体の漏れを防ぐために容器に収容する必要がある。
- 容器材料としてアルミナやSiC、ステンレス鋼などが注目されている。
- 従来技術の問題点であった、潜熱蓄熱材料と蓄熱容器材料との耐高温腐食性の材料を発見した。
- 従来は電気伝導性の点でヒーター加熱の使用に限られていたが、電気伝導性を有するため、通電加熱することが可能となった。
- 本技術の適用により、金属合金を潜熱蓄熱体として、熔融塩を熱輸送媒体として活用できるため、蓄熱温度の高温化により発電効率の向上と低コスト化が期待される。

新技術の特徴・従来技術との比較

新規蓄熱容器材料

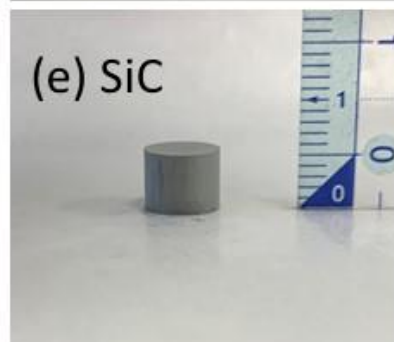
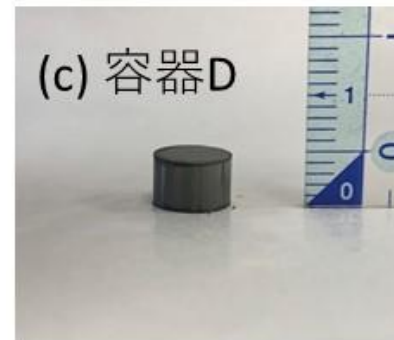
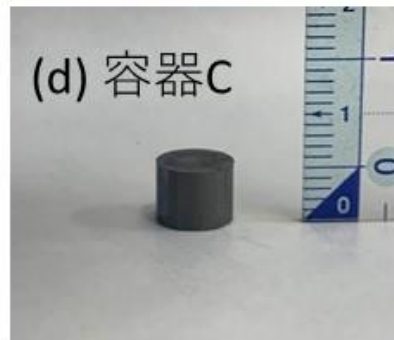
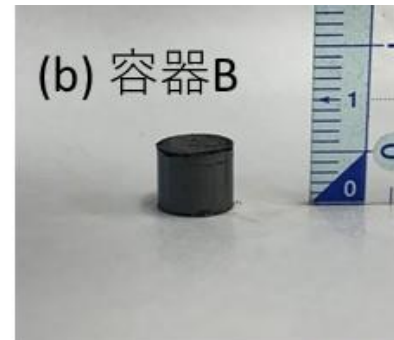
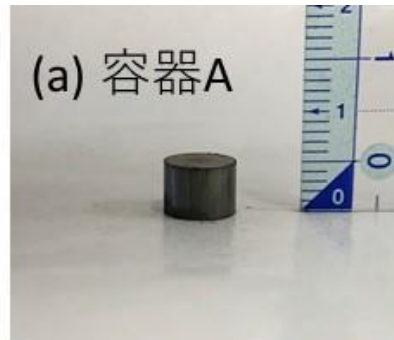
- 遷移金属元素とA族元素から構成される炭化物・窒化物。
- 金属の特性（電気・熱の伝導性など）とセラミックの特性（耐酸化性、耐食性、高温安定性など）を併せ持つ。

Al₂O₃系酸化物、SiC、SUS316、Inconel625を比較対象として、容器4種（容器A～D）を容器材料の候補とし、2種の金属合金（PCM-A、PCM-B）と高温適合性試験。

新技術の特徴・従来技術との比較

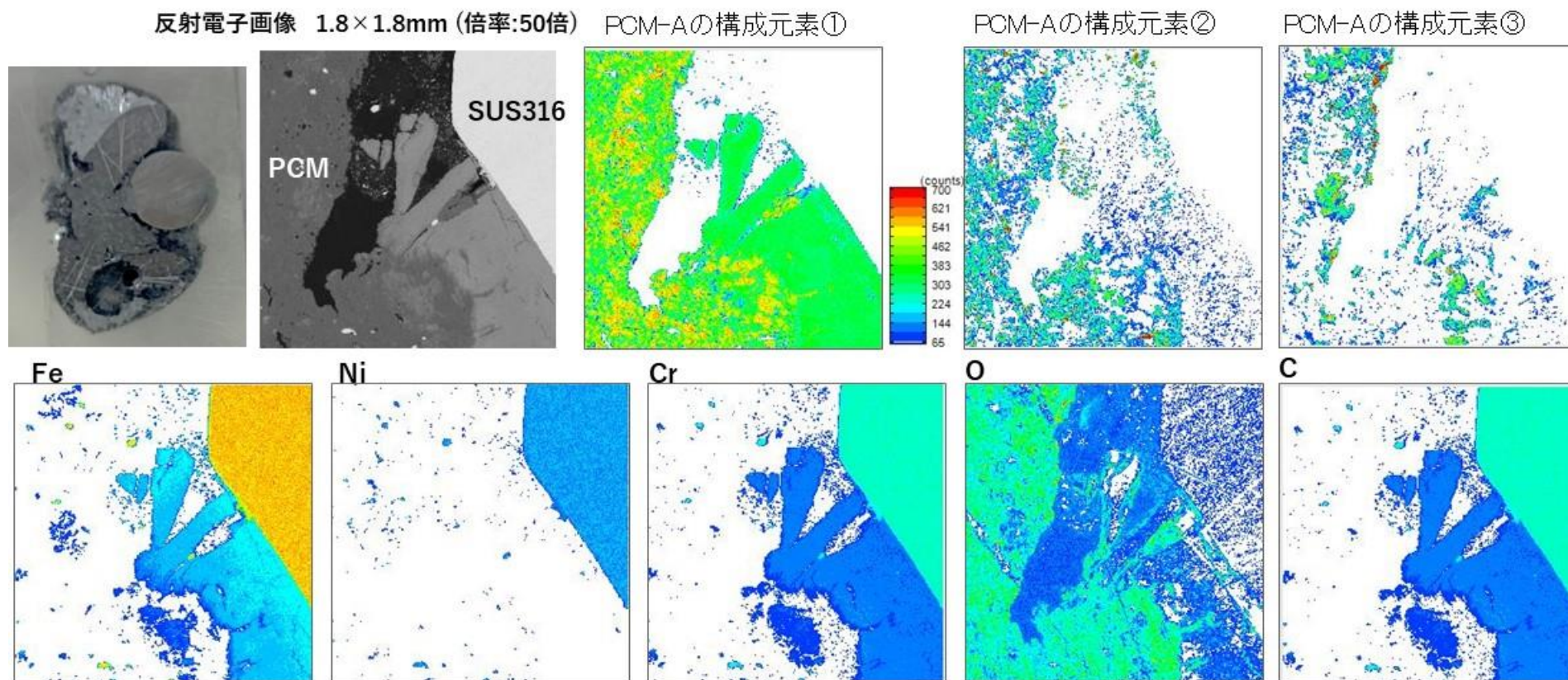
■ 容器材料粉末（新技術）とSiC粉末（比較対象）のペレット作成

粉末を $\Phi 7\text{mm} \times 5\sim 8\text{mm}$ に加圧成形（140～200MPa、2分）



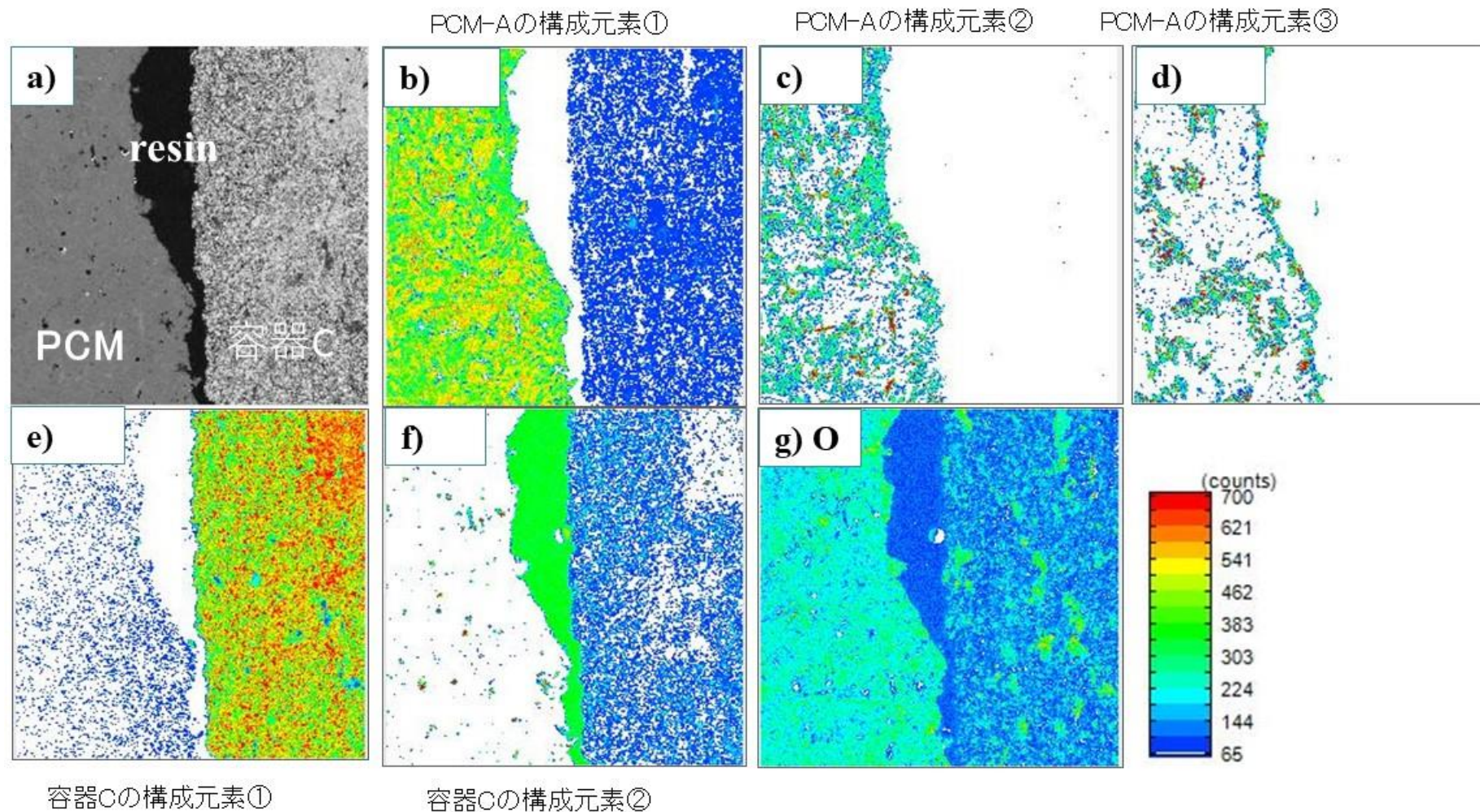
新技術の特徴・従来技術との比較

金属合金(PCM-A)との高温適合性試験(比較対象)



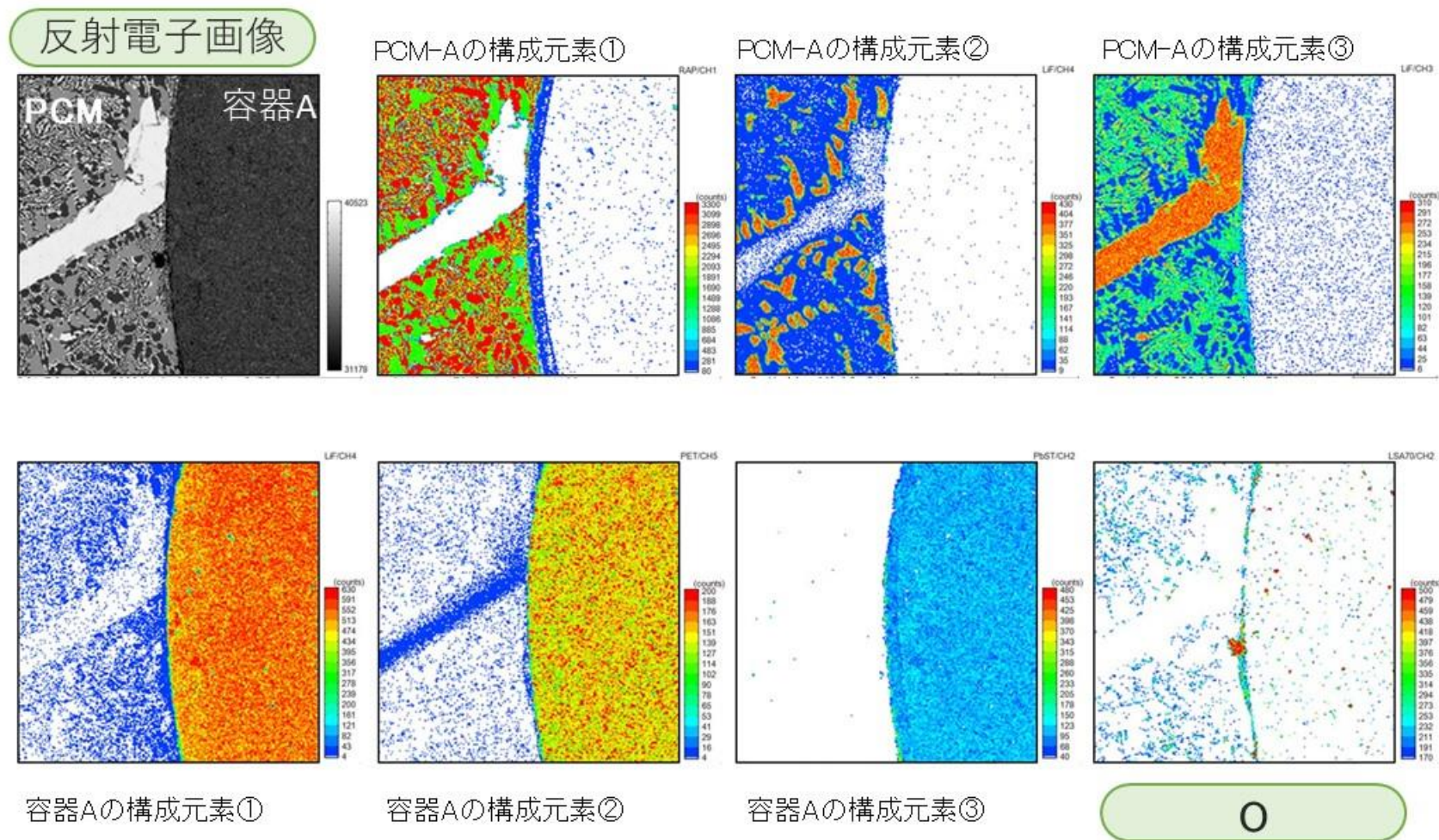
新技術の特徴・従来技術との比較

金属合金(PCM-A)との高温適合性試験(新技術)



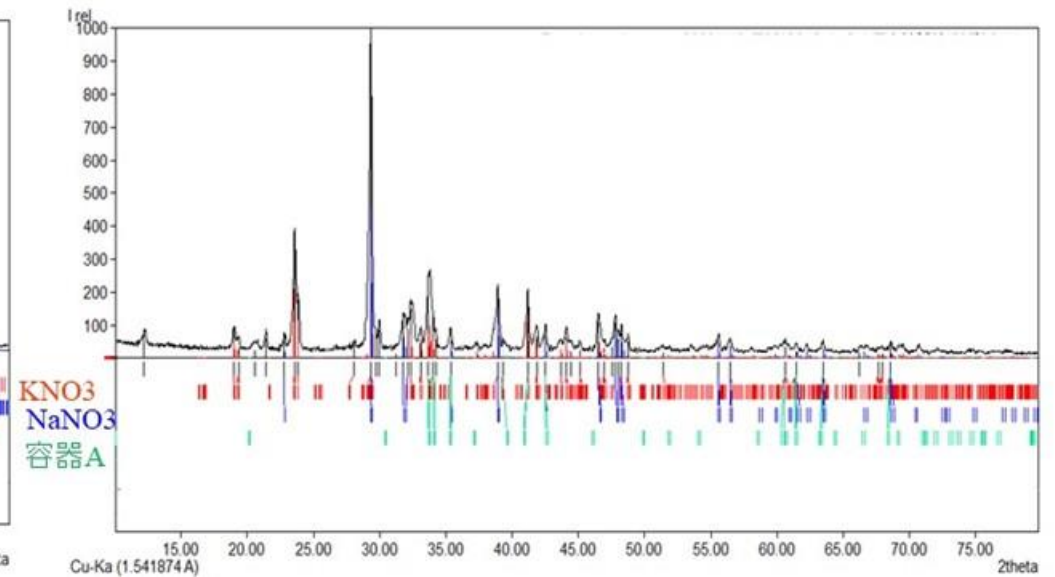
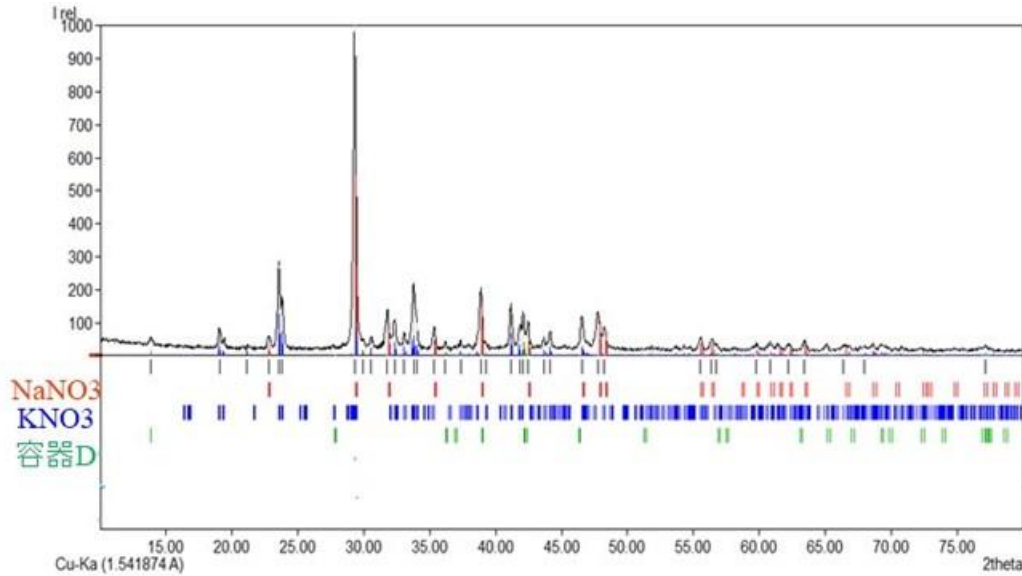
新技術の特徴・従来技術との比較

金属合金(PCM-B)との高温適合性試験(新技術)



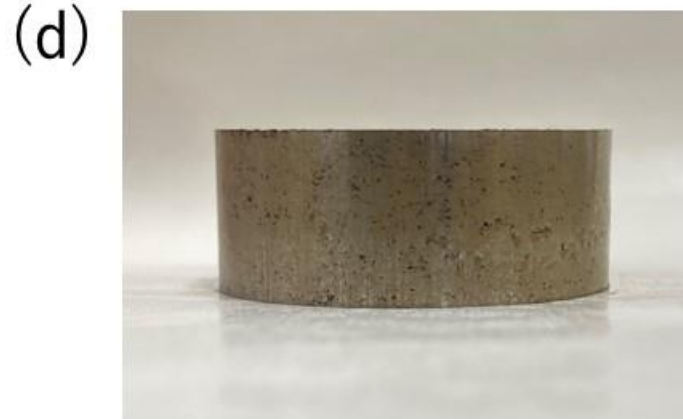
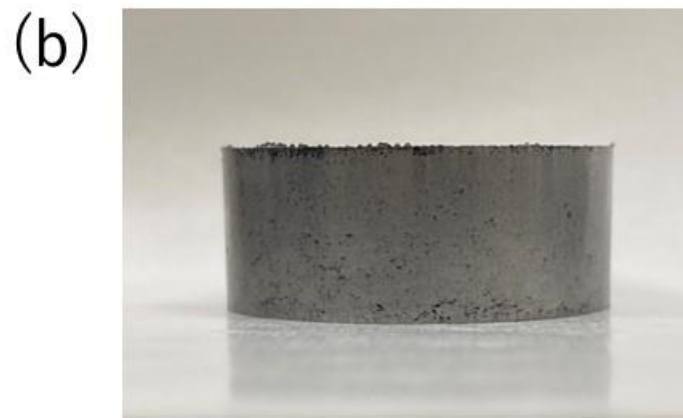
新技術の特徴・従来技術との比較

容器材料(D、A)と熔融塩の高温適合性試験(新技術)



新技術の特徴・従来技術との比較

容器材料(A~D)のスケールアップも可能(現在はφ25まで実証)



加圧成形した容器材料ペレット ((a) : 容器A、(b) : 容器B、(c) : 容器C、(d) : 容器D)

想定される用途

- 本技術の特徴として、粉末状の潜熱蓄熱材料を生かすためには、加圧成形を適用することでスケールアップや大量生産が可能となるのメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、電気伝導性の効果が得られることも期待される。
- また、達成された高熱伝導性に着目すると、排熱回収や発電以外の熱利用といった分野や用途に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、ペレット形状について蓄熱が可能なところまで開発済み。しかし、システム化の点が未解決である。
- 今後、ラボスケール蓄熱システムを試作し、大型化に適用していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、蓄熱ペレットの量産化できるように技術を確立する必要もあり。

企業への貢献、期待

- 本技術は排熱回収が可能なため、大型化することにより企業に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり、ペレット以外の形状について必要な追加実験が必要であり、形状に左右されない科学的な裏付けを行うことも可能。
- 本格導入にあたって、システム化に知見のある企業様のご協力をお願いしたい。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 容器材料、蓄熱容器および蓄熱カプセル
- 出願番号 : 特願2024-135125
- 出願人 : 新潟大学
- 発明者 : 郷右近 展之

お問い合わせ先

新潟大学 社会連携推進機構

T E L 025-262-7554

F A X 025-262-7513

e-mail onestop@adm.niigata-u.ac.jp