

2025年度 各務記念材料技術研究所共同研究報告書

研究課題名	地熱スケールを原材料とした高機能性材料の合成と物性評価
重点課題	I－A（長寿命化とプロセス）、II－A（4Rとプロセス）
新規・継続	新規
研究代表者 氏名	ホンゴウ テルヒサ 本郷 照久
所属機関・ 部局・職名	埼玉工業大学 工学部生命環境化学科 教授
研究分担者 （氏名・所属機 関・部局・職名）	研究代表者 本郷 照久 研究分担者 LIU, Xueke・埼玉工業大学大学院工学研究科生命環境化学専攻 博士前期課程2年 潘 銘輝・埼玉工業大学大学院工学研究科生命環境化学専攻 博士前期課程1年
研究所側 受入教員名	山崎 淳司

研究目的

地熱発電設備の通水系内に沈殿・付着するスケールは、伝熱・流動を阻害して発電効率を低下させるとともに、除去・処分に過大なコストを要する。本研究では、この地熱スケールを未利用資源として有効活用し、多孔質発泡ケイカル材、Ca-Al系層状複水酸化物（LDH）、多孔質シリカなどの高機能性材料へ転換するプロセスを開発することを目的とした。あわせて、得られた材料の構造・物性・機能を評価し、地熱発電設備の長寿命化、周辺環境の浄化、ならびに4Rに資する循環型資源化の可能性を明らかにすることを目指した。

実験内容と研究成果

今年度は、飛騨高山温泉郷の試験井から回収した地熱スケールを対象として、資源化プロセスの基礎検討を行った。まず、XRF、XRD、SEM-EDS 等により原料スケールの化学組成、結晶相および微細構造を評価した結果、本スケールは Ca および Si を主成分とし、炭酸カルシウム系鉱物やケイ酸塩鉱物等を含むことを確認した。これにより、地熱スケールを Ca 源・Si 源として高機能材料へ転換するという研究方針の妥当性を裏付ける基礎データを得た。また、原料スケールの性状把握により、その後の酸抽出条件や材料合成条件を検討するための出発点を明確化することができた。

次に、申請時に計画した酸処理による Ca 成分と Si 成分の分離を検討した。スケールに対し硝酸水溶液を用いて酸処理を行い、抽出液および残渣を分析した結果、Ca を選択的に抽出し、Si を主成分とする残渣を得るための条件を見いだした。この結果は、Ca 抽出液および Si 含有残渣をそれぞれ別の高機能材料合成に利用するという当初計画の中核部分を達成したものと位置付けられる。さらに、得られた Ca 抽出液からは Ca-Al 系層状複水酸化物 (LDH) を合成し、結晶性が良好でほぼ単相の試料を得ることに成功した (図 1)。加えて、ヒ素を対象とした吸着能評価を行い、水質浄化材料として有望であることを確認した。以上より、Ca 成分の分離とその有効利用については、材料合成および基礎的な機能評価まで進展させることができた。

また、Ca 抽出後の残渣をシリカ源として利用するため、NaOH 水溶液によるアルカリ処理を行い、Si 成分の溶出挙動を検討した。当初は、残渣中のシリカの大部分が溶解して多孔質シリカ合成に利用可能と想定していたが、実際にはアルカリ処理で溶解するのは一部であり、相当量が不溶性残渣として残存することが明らかとなった。一方、アルカリ処理液中に溶出した Si 成分を用いて多孔質シリカの合成を試みた結果、合成自体は成功し、細孔を有するシリカ材料が得られることを確認した (図 2)。したがって、多孔質シリカ合成の可能性は示されたが、細孔構造の設計や高比表面積化に向けた条件最適化は今後の課題である。また、アルカリ処理後に残る不溶性残渣についても、新たな用途を検討する必要性が生じた。これらの結果は、2026 年度継続研究において、不溶性残渣の有効利用や多孔質シリカの細孔構造制御を進める必要性として整理されている。

一方、申請時に掲げた多孔質発泡ケイカル材の合成については、今年度は文献調査にとどまり、実験には至らなかった。また、LDH のアルカリ骨材反応劣化抑制材としての評価、多孔質シリカの VOC 吸着材・触媒担体等への応用評価も未実施である。さらに、原料スケール中の微量成分については、主成分分析は実施したものの、ヒ素やセレン等の微量有害元素を十分に把握するには至らず、今後は ICP 等による高感度分析が必要である。以上より、今年度は地熱スケールの基礎特性評価、酸処理による Ca/Si 分離条件の検討、Ca-Al 系 LDH の合成と吸着機能評価、多孔質シリカ合成の初期的検討については達成した一方、多孔質発泡ケイカル材の実験的検討や一部用途評価は次年度以降の課題として残された。今年度の成果により、地熱スケールを未利用資源として段階的に高機能材料へ転換するための基礎的知見と、今後の研究展開に向けた課題が明確となった。

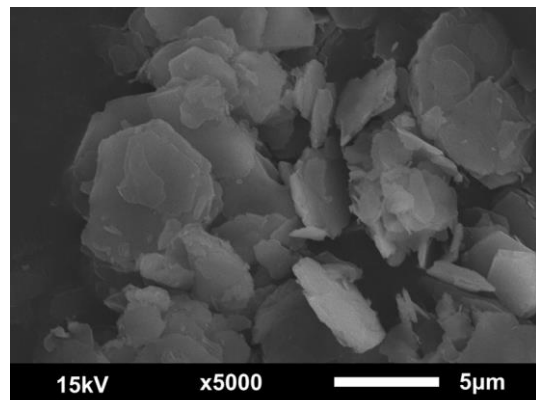


図 1 合成した Ca-Al LDH の SEM 画像

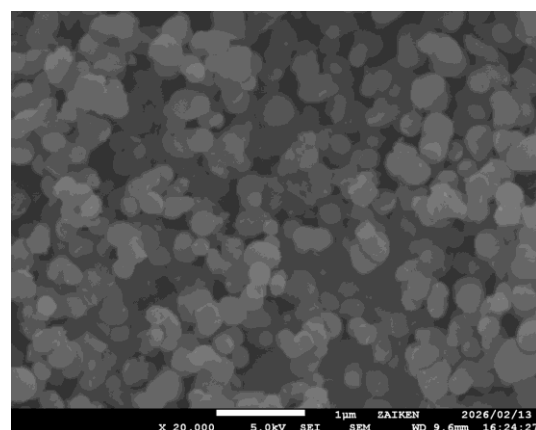


図 2 合成した多孔質シリカの SEM 画像

研究成果の公表状況 (論文、国際・国内会議、学会発表、特許等の知財)

1. Minghui Pan, Xueke Liu, 安井万奈, 山崎淳司, 本郷照久, 地熱スケールからの有用元素の選択的抽出と機能性材料の合成, 令和 7 年度廃棄物資源循環学会関東支部講演会・研究発表会

(論文の場合、別刷りの添付をお願いいたします。)

(注) 様式Bは、A4サイズ2頁になるようにしてください。