

## 廃棄豚骨が有害金属吸着剤に、廃材を利用した安価で高性能な金属吸着技術

日本原子力研究開発機構物質科学研究センターの関根由莉奈研究員ら、先端基礎研究センターの南川卓也研究員ら、国立大学法人東京大学大学院理学系研究科の山田鉄兵教授、国立研究開発法人物質・材料研究機構の根本善弘 NIMS エンジニア、竹口雅樹グループリーダーの研究グループは、ストロンチウムやカドミウムなどの金属に対して高い吸着性能を有する骨の特徴を活かすことで、廃棄豚骨を原料とした安価かつ高効率な吸着剤を開発しました。

東日本大震災に伴う東京電力福島第一原発（以下、1F）事故以降、放射性物質を含む汚染水の処理や、放射性物質の流出及び広域拡散を防止する技術の重要性が改めて認識されています。なかでも、骨に取り込まれやすく、人体への影響が懸念される放射性ストロンチウムの広域拡散の防止が重要であり、高性能かつ安価で大量に生産可能な吸着剤の確立が必要とされています。

食品業界においては、世界では1年間で75億トンの廃棄骨が発生しています。そこで本研究グループは、食品廃棄骨の“豚骨”を重曹（炭酸水素ナトリウム）に浸け込むだけで、低コストで容易に作ることができる吸着剤を実現した本研究成果は、食品廃棄物の有効活用に繋がるだけでなく、汚染水の浄化、土壌に埋めることで汚染物質の地下水や海水への流入を防ぐ技術、また、有用金属回収技術への活用が期待されます。

研究グループは、豚骨を加圧加温した後、重曹を含む水溶液に浸漬させたところ、骨の形を保った白い構造体の形成を確認しました（図1）。この構造体の組成と微細構造を調べたところ、ナノメートルサイズの炭酸アパタイト結晶から構成されていることが分かりました。この炭酸アパタイトには、通常の骨よりも多くの炭酸が含まれており、浸漬させる重曹水溶液の濃度を増加させると、その炭酸量も増加しました。したがって、重曹に浸漬させることによって、多くの炭酸を含む高炭酸含有アパタイトが形成することが分かりました。

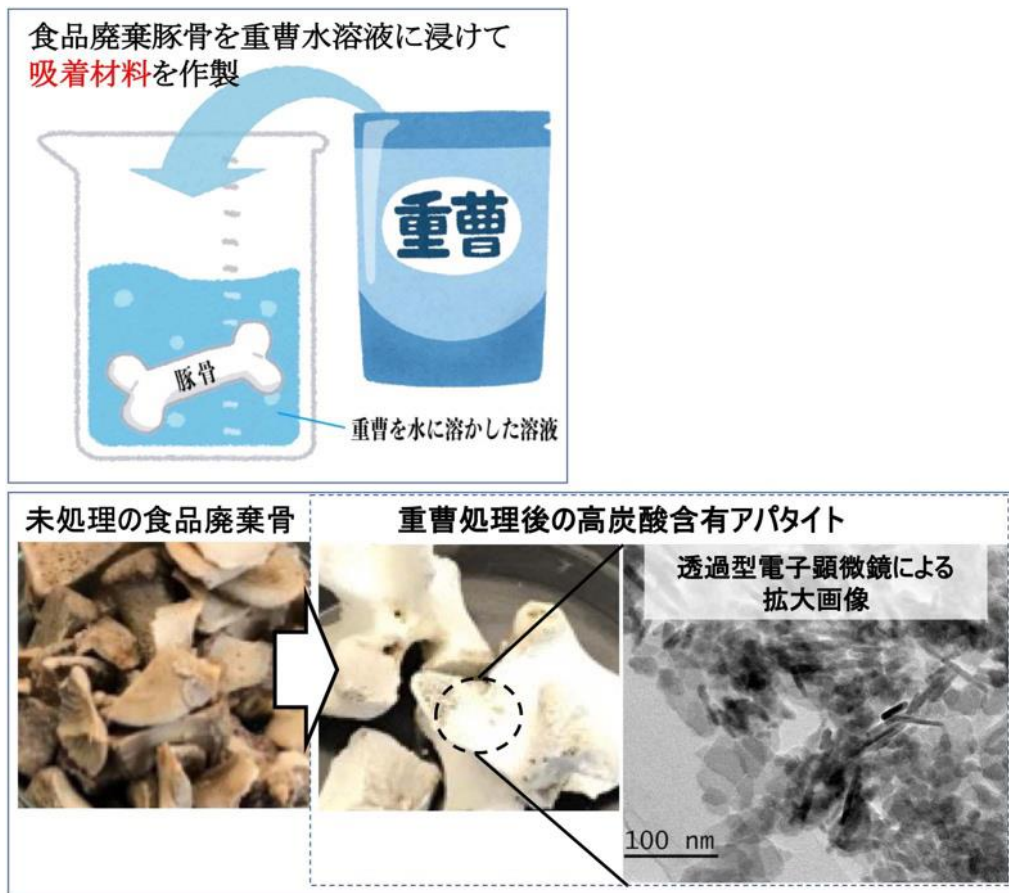


図1 廃棄骨から作製した炭酸アパタイトとその顕微鏡画像

作製した炭酸アパタイトをストロンチウム (0.1mol/L の濃度) を含む水溶液中で攪拌した後に、溶液中に残存したストロンチウムを測定して、ストロンチウム吸着性能を調べました。その結果、炭酸アパタイトは、3分以内に溶液中の%以上のストロンチウムを吸着しました。その吸着性能をより詳細に調べたところ、炭酸アパタイトの分配係数  $K_d$  値は 274780 mL/g であり、未処理の骨に比べて約 250 倍高い値を示しました (図 2 左)。さらに、ストロンチウム吸着剤として知られている天然ゼオライトの一種であるクリノプチロライトと比較したところ、炭酸アパタイトの  $K_d$  値はクリノプチロライトの約 20 倍という高い値を示しました。

次に、吸着剤の性能として重要な最大吸着量を調べたところ、作製した炭酸アパタイトは、1g あたり最大 125mg のストロンチウムを吸着することが分かりました (図 2 右)。これは、未処理の骨およびクリノプチロライトと比べて約 5 倍の高い値でした。また、実際の環境を模擬するため、地下水と同じ組成の

ストロンチウム水溶液を利用して吸着性能を評価したところ、炭酸アパタイトの吸着性能は維持されたままであることが分かりました。

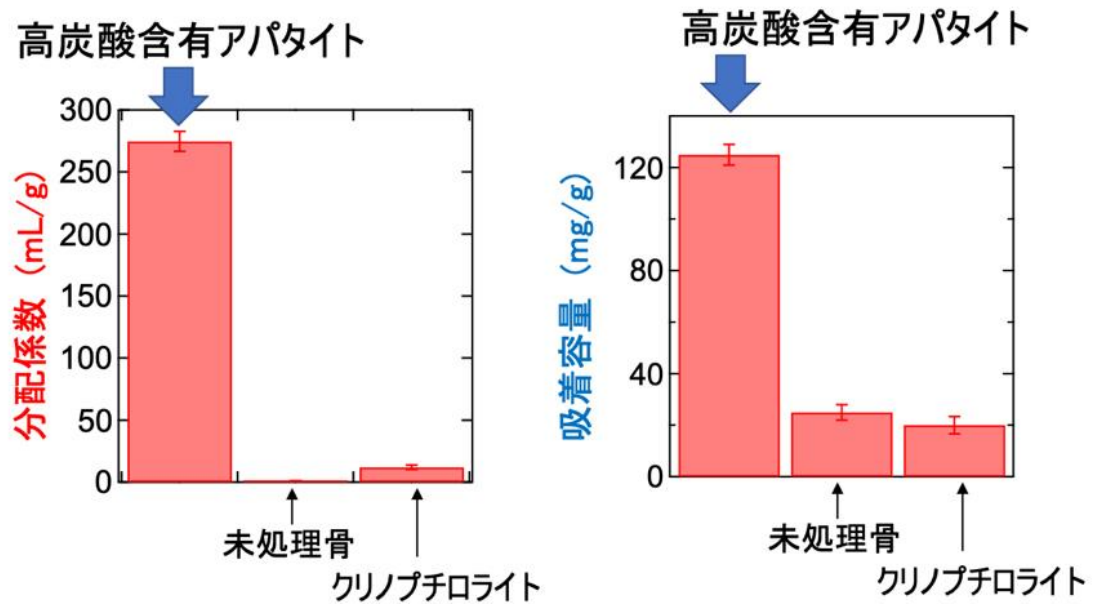


図2 炭酸アパタイトのストロンチウム除去性能

炭酸アパタイトが高いストロンチウム吸着性能を示す要因を明らかにするために、異なる量の炭酸を含む炭酸アパタイトを作製して、ストロンチウムに対する吸着性能を調べました。その結果、炭酸アパタイトに含まれる炭酸の量が多くなると、ストロンチウムに対する吸着性能が向上することが分かりました (図3)。

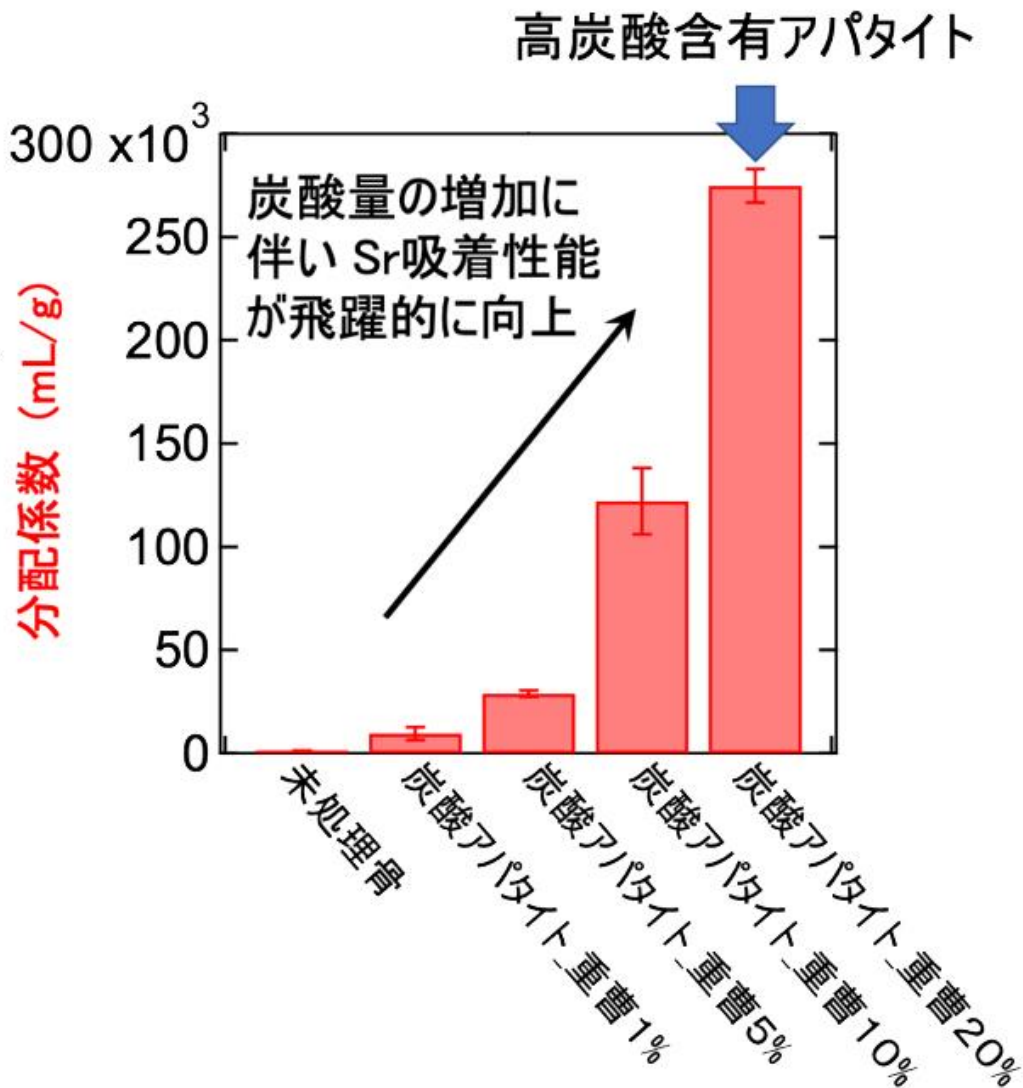


図3 炭酸量の増加に伴うストロンチウム吸着性能の向上

また、炭酸アパタイトの表面の性質を調べたところ、炭酸が導入されることにより、表面が負の電荷に帯電し、正電荷のストロンチウムが吸着されやすい状態になっていることを確認しました。さらに、X線吸収微細構造評価法を利用して、炭酸アパタイトに吸着したストロンチウムの周囲の化学構造を調べたところ、炭酸アパタイトではストロンチウム吸着に適した新しい吸着サイトが形成されていることが分かりました（図4）。

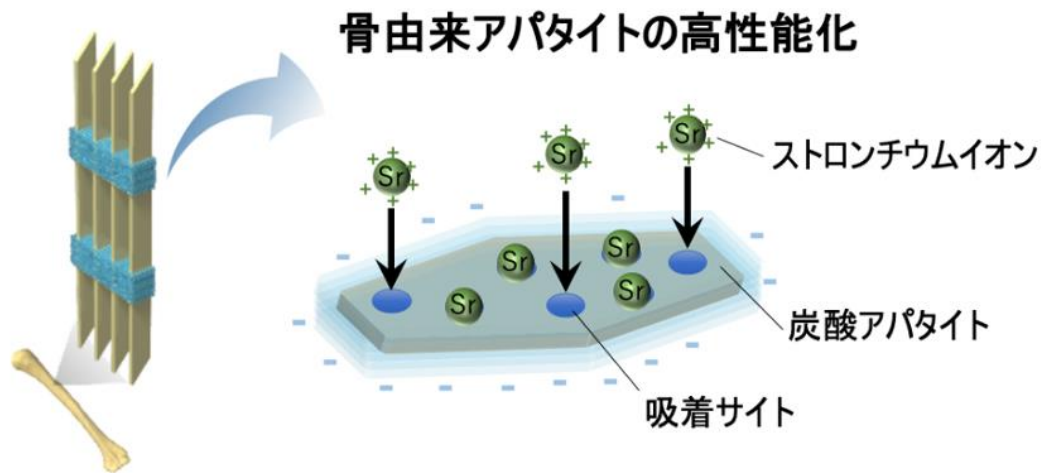


図4 炭酸アパタイトの吸着サイトにストロンチウムが吸着される様子

研究グループはさらに、炭酸アパタイトのカドミウムや鉛に対する吸着性能を調べました。結果、炭酸化アパタイトは、カドミウムや鉛に対しても高効率に吸着することが分かりました。特に、カドミウムに対しては、有害金属吸着剤としても利用されるクリノプチロライトに比べて約370倍、同じく吸着剤のモルデナイトに比べて約3200倍高い吸着性能を示しました（図5）。以上のことから、炭酸アパタイトは環境を浄化する吸着剤としても有用である可能性が高いことが分かりました。

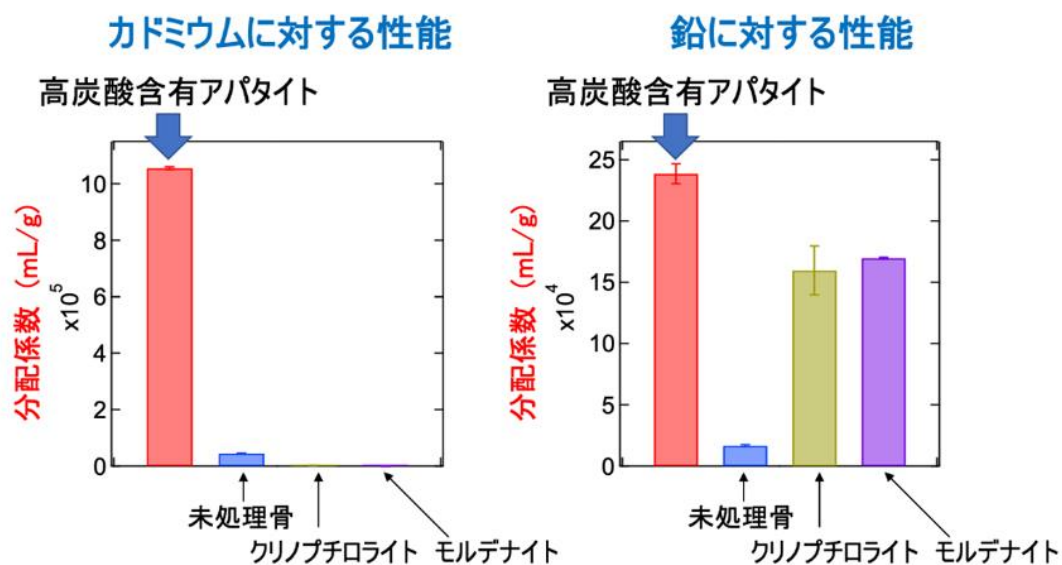


図5 高炭酸含有アパタイトのカドミウム、鉛に対する除去性能

**【論文情報】**

タイトル : Carbonated nanohydroxyapatite from bone waste and its potential as a super adsorbent for removal of toxic ions

雑誌 : Journal of Environmental Chemical Engineering

DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105114>

日本語発表資料

<https://www.jaea.go.jp/02/press2020/p21020401/>