

## 電気泳動法を用いた放射性物質の除去に関する基礎的研究

香川大学 正会員 ○松本 直通

香川大学 フェロー 吉田 秀典

松山市役所 徳永 知津

## 1. はじめに

2011年3月11日に起きた福島第一原発事故により、大量の放射性物質が広範囲に渡って拡散された。現在行われている汚染土壌の主な除染方法は、表土の剥ぎ取りであるが、対象となる年間5 mSv以上の区域を除染した場合、最大で東京ドーム23杯分(2879万 m<sup>3</sup>)にも相当する汚染土壌が排出される。また、最終処分場の土地確保に難航しているため、現在の除染方法は適当とは言いがたい。そこで、本研究では、除染対象であるセシウム(Cs)とストロンチウム(Sr)が水溶性に富む陽イオンであることを利用し、汚染土壌よりも体積の小さい吸着材に電気泳動法を用いて吸着させることで、除染と減容化を試みた。また、吸着材の粒径の大小、吸着材量の変化によって吸着特性も変化することに着目し、最も効果的な除染技術の開発を行うことを目的とした。

## 2. 実験概要

本研究では豊浦標準砂にCsまたはSr添加し、汚染土壌に見立てて実験を行った。吸着材として粒径の異なるスメクタイト、ゼオライト、ハイドロキシアパタイト(HAp)を使用した。実験容器に豊浦標準砂を入れ、底部に電極の陽極側となる炭素棒を埋め込み、標準砂の上に各吸着材50g(表1)を設置し、電解液の酢酸アンモニウム溶液を投入した。吸着材上に陰極側となるアルミ板を置いて、0.05 Aの定電流で通電した(写真1)。理論的には、電気泳動により自身が持つ性質とは反対の極に向かって移動するため、豊浦標準砂に吸着していたCs<sup>+</sup>とSr<sup>2+</sup>は陰極側へ移動し、吸着材の持つ陽イオン交換特性により吸着材へ取り込まれる(図1)。通電終了後、豊浦標準砂に蒸留水を加え、攪拌(10分間×4回)を行った。洗い出し溶液に対し、原子吸光分析装置、またはICP発光分析装置を用いて、それぞれCsとSrを測定した。測定されたCs、Sr量は砂中に残存していた量で

あるので、初期投入量と比較し、その差分が吸着材に吸着された量とした。

表1. 吸着材一覧

| 吸着材名             | 実験項目     | 粒径         |
|------------------|----------|------------|
| スメクタイト           | 粉末スメクタイト | 約63 μm     |
|                  | スメクタイト   | 20 mm 以下   |
| ゼオライト            | 粉末ゼオライト  | 0.4 mm 以下  |
|                  | ゼオライト    | 4.0~6.0 mm |
| ハイドロキシアパタイト(HAp) | 粉末 HAp   | 57 μm 以下   |
|                  | 細粒 HAp   | 5.0 mm 以下  |
|                  | 中粒 HAp   | 10 mm 以下   |
|                  | 粗粒 HAp   | 20 mm 以下   |

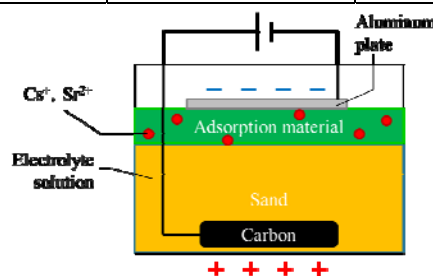


図1. 電気泳動実験概要図



写真1. 電気泳動実験の様子

## 3. 実験結果及び考察

ここでは、吸着材ならびに吸着材の粒径を変化させて実施したCsあるいはSrの吸着試験について、下記に記す。図2、3、4より3種の吸着材では、通電時間が長いほど、より高い吸着効果があり、48時間通電の場合、3種の吸着材の平均残存率が、約9%(砂中残留Csは約4.0 mg)となった。つまり除去率は約90%であり、非常に高い吸着効果が出ていることがわかる。また、粒径比較試験では、24時間以前の通電結果では、ゼオライト、スメクタイトについては、粒径の細かい方が砂中に残存するCs量が少なくなり、HApについては、差がほとんどなかった。

減容化、電気泳動法、セシウム、ストロンチウム、粒径

また、48 時間以前では、吸着材によって吸着量は大きく異なった。特に、粉末ゼオライトについては 24 時間通電の時点で Cs 5.34 mg, 除去率 86 % と高い吸着能を示した。小さい粒径ほど吸着能が高い理由として表面積の影響が考えられる。Cs<sup>+</sup>と吸着材のイオンとで陽イオン交換が行われやすい上に Cs<sup>+</sup>が粒子内部まで入り込み易いため、粒径が大きいものと比べて短時間で吸着が進むと考えられる。また、吸着材によって 24 時間通電時点の結果が大きな差になる理由として、吸着材の持つ陽イオン交換優先順位が挙げられる。ゼオライトの陽イオン交換優先順位は、Cs > Rb > K > NH<sub>4</sub> > Ba > Sr > Na > Ca > Fe > Al > Mg > Li, また、スメクタイトの主成分であるモンモリロナイトの陽イオン交換優先順位は、H > Fe > Al > Ba > Ca > Mg > K > Na > Li となっている。モンモリロナイトの場合、水素イオンを除けば価数の大きな金属イオンから順にイオン交換が生じているため、Cs<sup>+</sup>は Mg<sup>2+</sup>と K<sup>+</sup>の間に位置すると類推される。HAp については、汚染水の改善等に用いられているという実績より、Pd, Cd, Cu, Zn, Mg 等の金属イオン交換に優れていると考えられる。以上のことより、スメクタイト、HAp における Cs<sup>+</sup>交換優先順位は低い、ゼオライトでは優先順位が 1 番であるため、短時間でも効果的に Cs を吸着したものと考えられる。

Sr に対する吸着試験の吸着材としては、ゼオライト、HAp を用いた。スメクタイトは水を吸収して膨潤する性質を持ち、減容化を目的としている本実験では適当でないと判断した。粒径が小さいほど砂中の Sr 残存量は少なく、粉末ゼオライトが最も吸着能が高くなった(表 2, 3)。これは、Cs の場合と同様、粒径が小さいほど表面積が大きく陽イオン交換が頻繁に起こるほか、陽イオン交換優先順位の違いによるものと考えられる。

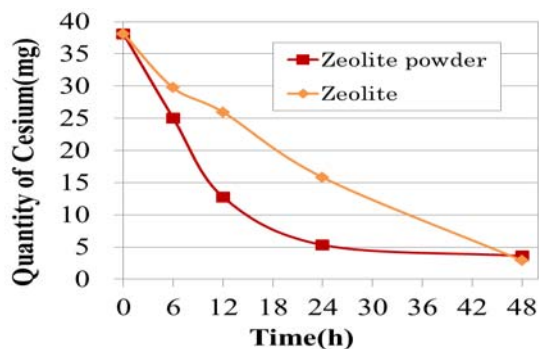


図 2. ゼオライト粒径比較 (Cs 残留量の変化)

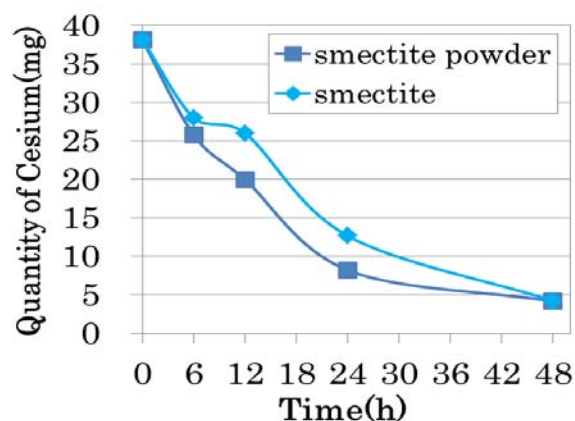


図 3. スメクタイト粒径比較 (Cs 残存量の変化)

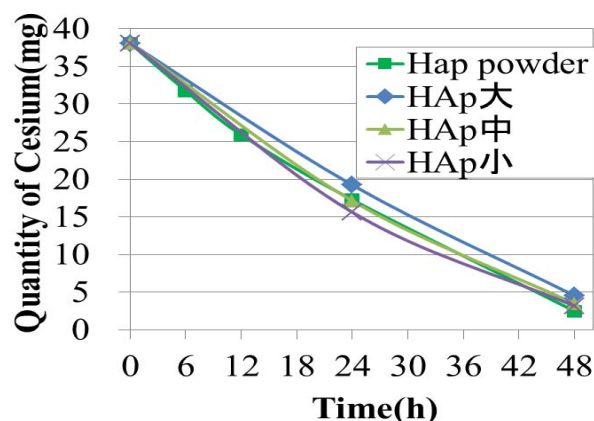


図 4. HAp 粒径比較 (Cs 残存量の変化)

表 2. ゼオライト粒径比較 (Sr, 48 時間通電)

| 試行回数 | 砂中ストロンチウム残存量 (mg) |       |
|------|-------------------|-------|
|      | 粉末ゼオライト           | ゼオライト |
| 1st  | 2.70              | 3.82  |
| 2nd  | 4.16              | 15.67 |
| 3rd  | 3.31              | —     |
| 平均   | 3.39              | 9.74  |

表 3. HAp 粒径比較 (Sr, 48 時間通電)

| 試行回数 | 砂中ストロンチウム残存量 (mg) |       |
|------|-------------------|-------|
|      | 粉末 HAp            | HAp   |
| 1st  | 10.83             | 18.44 |
| 2nd  | 6.50              | 13.82 |
| 3rd  | 2.23              | 13.12 |
| 平均   | 6.52              | 15.13 |

#### 4. まとめ

吸着材の種類と粒径の違いにより、電気泳動法による Cs, Sr の吸着量が異なることが判明した。しかしながら、電流値/電圧値の違いや、電解質である酢酸アンモニウム水溶液の濃度の違いなどによる吸着効果については調べていない。また、Sr などは実験回数が不十分のため、今後実験を重ね、さらなる検証を行う必要がある。