

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360417

研究課題名(和文)地層処分粘土緩衝材中の物質移行挙動とそれに律速され得る鉄腐食反応に関する研究

研究課題名(英文) Migration behavior of materials in clay buffer materials in geological disposal of high-level radioactive waste and migration-controlled corrosion of iron

研究代表者

小崎 完 (KOZAKI, Tamotsu)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60234746

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円、(間接経費) 4,170,000円

研究成果の概要(和文)：高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全評価のため、人工バリアである粘土緩衝材中の鉄材料の腐食挙動およびそれに影響を及ぼす粘土緩衝材の諸性能を明らかにする必要がある。ここでは、電位勾配下の鉄材料の粘土緩衝材中の腐食挙動およびイオンの移行挙動を調べた。また、堆積岩の透水性に及ぼす高アルカリ水の影響を透水試験およびX線マイクロCT観察から検討した。さらに、ベントナイト緩衝材の変質がバリア性能に及ぼす影響を検討するため、Fe(II)型ベントナイトに対する透水試験を実施した。

研究成果の概要(英文)：For the safety assessment of the geological disposal, it is necessary to understand the corrosion behavior of iron in bentonite buffer material and identify important parameters to affect the corrosion. In this study, corrosion of iron and migration of ions in compacted bentonite under electrical gradient were studied. In addition, hydraulic property of sedimentary rock sample was studied by conducting hydraulic conductivity measurement and X-ray micro CT observation of the rock sample. Hydraulic conductivity measurements were also made for Fe(II)-montmorillonite to understand the effect of the alteration of bentonite on the performance as the buffer material.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：放射性廃棄物処分 ベントナイト オーバーパック 腐食 物質移行 透水係数 拡散係数

### 1. 研究開始当初の背景

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、ガラス固化体が炭素鋼製容器（オーバーパック）に納められて地下深部に埋設される。その際、炭素鋼製容器と母岩の間に、緩衝材として圧縮した粘土（ベントナイト）を詰め、緩衝材と炭素鋼製容器とを人工のバリアとして、また母岩を天然のバリアとしてそれぞれ機能させる。このため、各バリア材の性能（例えば、緩衝材では低透水性、高収着性、低拡散性など）を評価することが処分の安全評価を行う上で重要となる。

しかし、実際の処分場では、個々のバリアで単独の現象が進行すると同時に、多数のプロセスが相互に影響しあう複雑な反応場となることが予想される。特に、緩衝材中の炭素鋼容器の腐食では、腐食によって放出される鉄イオンが緩衝材の変質をもたらし、これによって緩衝材のバリア性能が変化すること、また、この緩衝材のバリア性能の変化が反応物と反応生成物の移行に影響を及ぼすこと、さらに反応物および反応生成物の移行の変化が炭素鋼の腐食速度に影響を及ぼし得ることが考えられる。

そこで、変質を受けつつある粘土試料中の物質移行挙動を明らかにするとともに、鉄の腐食を含む諸反応ならびにそれらの相互作用を理解した上で、バリア材の長期健全性に関する基礎的な検討を進めることが求められていた。なお、地層処分では腐食速度や物質移行速度が極めて遅いことなどから、これらの実験研究には加速試験等を取り入れることが必要であった。

### 2. 研究の目的

本研究では、高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全評価のための基礎研究として、人工バリアである粘土緩衝材中の鉄材料の腐食挙動を電気化学的手法で検討するとともに、その腐食挙動に影響を及ぼす粘土緩衝材の透水性ならびに放射性核種の拡散・収着能を明らかにすることとした。

ここでは、まず、処分環境下の炭素鋼の腐食が極めて遅いことから、粘土試料中の炭素鋼試料に電流を印加することで、腐食速度を加速させる手法を試みた。先行試験により、直流電流を印加した場合にはその電位勾配によって粘土試料中でイオンの偏在が生じ、pH などの化学的雰囲気電極からの距離によって大きく変化し、処分環境下を模擬出来ないことが懸念されたため、ここでは交番電流を印加することにより、こうした問題を排除した鉄の腐食の加速試験の可能性を調査することを目的とした。次に、粘土試料に電位勾配を与えた際の陽イオンおよび陰イオンの移行挙動を把握するための試験を実施した。一方、地質媒体の変質がそこでの物質移行へ及ぼす影響を把握することを目的として、粘土試料に比べて変質が顕著に進むと考えられる高アルカリ水に接触した堆積岩

に着目し、高アルカリ水を通水した際の透水係数を測定することで、変質の透水挙動への影響を評価した。さらに、粘土試料の透水性への鉄腐食生成物の影響を評価するために、室内実験で調製した Fe(II)型に変質させた粘土試料に対して透水試験を行い、粘土試料の交換性陽イオン種の透水挙動への影響を検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 交番電流による粘土中の鉄の腐食加速試験

Na 型に精製したベントナイト試料(クニミネ工業製クニピア F) をアクリル製セル中に乾燥密度 0.8Mg/m<sup>3</sup>、直径 20mm、厚さ 10mm に圧縮成型し、イオン交換水に 14 日以上浸して膨潤させた。膨潤完了後、粘土試料の両端を 2 枚の鉄電極(純度 99.99%) で挟み込み、両極をポテンショスタットに接続して、大気雰囲気下において 600mV で通電した。通電方向は一定時間ごと(10 秒、300 秒、600 秒) に切り替えた。総通電時間は 6、24 および 192 時間とした。また、Ar 雰囲気下の試験を、切り替え時間 10 秒、総通電時間 24 時間で行った。所定時間通電後、粘土試料を厚さ 0.5mm ずつスライスし、各スライス片をその場で 2 分割して、一方を含水率測定用、もう一方を pH および陽イオン濃度測定用とした。陽イオン濃度の定量には誘導結合プラズマ発光分光装置(ICP-AES)を用いた。

実験条件下のベントナイト中の Fe の移行挙動を、移流分散の方程式を差分法で解くことで計算した。数値計算では、試料内の電位勾配を電流方向切り替え時間に応じて逆転させた。また、試料内での腐食生成物の生成は無視し、電圧印加時の試料内の電位勾配は一様であると仮定した。

#### (2) 電位勾配下での粘土試料中のイオンの移行試験

Na 型または Ca 型に精製したベントナイト試料(クニピア F) を所定の乾燥密度となるように直径 20 mm、長さ 20 mm の円柱状に圧縮成型し、膨潤溶液で 30 日以上膨潤させた。膨潤後、所定の面に <sup>45</sup>Ca<sup>2+</sup>イオンまたは H<sup>14</sup>CO<sub>3</sub><sup>-</sup>イオンを含む放射性トレーサ溶液を塗布し、4 個のベントナイト試料を直列に円柱状に繋ぎ合わせて、一定電流を所定時間通電することで放射性トレーサを移動させ、通電終了後の粘土試料中の放射性トレーサの濃度分布から見かけの移動速度を得た。なお、放射能分布は通電後に粘土試料をスライスし、液体シンチレーションカウンタにより定量することで得た。また、<sup>45</sup>Ca<sup>2+</sup>イオンまたは H<sup>14</sup>CO<sub>3</sub><sup>-</sup>イオンを用いた非正常拡散実験から粘土試料中のそれぞれのイオンの見かけの拡散係数を求めた。一方、NaHCO<sub>3</sub>溶液(0.7 M)で膨潤させた長さ 20 mm の粘土試料の Anode 側に <sup>45</sup>Ca<sup>2+</sup>イオンを含む CaCl<sub>2</sub>溶液(1.0 M)を、Cathode 側に NaHCO<sub>3</sub>溶液(0.7 M)を配置

し、定電流下 (5 mA) で  $\text{Ca}^{2+}$  および  $\text{HCO}_3^-$  イオンをベントナイト試料中で向流させる試験を行い、通電終了後にモンモリロナイトをスライスし、スライス片から飽和  $\text{CaCO}_3$  溶液により  $^{45}\text{Ca}^{2+}$  を抽出することで、モンモリロナイト中の液相 (粒子間空隙) 放射能を、また  $\text{HCl}$  溶液により抽出することで固相 (層間とカルサイト) 放射能をそれぞれ決定し、放射能分布を求めた。

### (3) 堆積岩試料のアルカリ透水試験

堆積岩試料として軽石凝灰岩を用いた。堆積岩試料は、直径 10mm、高さ 20mm の円筒形に加工成型し、アクリル樹脂製の試験セルに接着剤で埋め込んで固定し、透水試験及び X 線 CT 観察に供した。透水試験は定水位法によって、動水勾配 21.2、室温で実施した。透水液は 0.1M 及び 0.5M の  $\text{NaOH}$  溶液、イオン交換水、人工地下水の 4 種とした。堆積岩試料透過後の透水液の元素組成は ICP-AES を用いて分析した。また、透水試験前、透水試験開始直後、長時間透水後の堆積岩試料の内部微細構造を X 線マイクロ CT 装置により非破壊で観察した。X 線マイクロ CT の観察条件は、管電圧: 130kV、管電流: 62  $\mu\text{A}$ 、投影数: 2500、画像積算枚数: 20 枚とし、空間分解能は 5  $\mu\text{m}$  であった。なお、透水試験中の試料の X 線 CT 観察は、透水試験装置から試料を一時的に取り外し、溶液が漏れないように密閉した状態で CT 装置にセットして実施した。

### (4) Fe(II)型ベントナイト試料の透水試験

イオン交換水にニトリロ三酢酸 (NTA) 及び金属鉄を溶解させて得た Fe(II)-NTA 溶液を用いた陽イオン交換により、Fe(II)型ベントナイト試料を調製した。イオン交換は固液比 1:50 で 3 回 (各 2 時間) 行い、その後イオン交換水と接触させて過剰な Fe(II)-NTA 錯体を除去した上で、真空乾燥し、雰囲気制御型グローブボックス内 ( $\text{O}_2$  濃度 1ppm 以下) で粉碎した。

調製した Fe(II)型ベントナイト試料中の陽イオン量は、0.1 M  $\text{KCl}$  溶液あるいは 1 M  $\text{HCl}$  溶液を用いて抽出し、ICP-AES によって定量することで確認した。また、 $\text{KCl}$  溶液によって抽出した Fe イオンの Fe(II) 存在比 (Fe(II)/Fe(total)) は、フェナントロリン吸光光度法によって決定した。一方、Fe(II)型ベントナイト試料に対する膨潤力試験では、100 mL メスシリンダーに脱気した 0.1 M、0.5 M  $\text{FeCl}_2$  溶液 100 mL を入れ、そこに粒径 75 ~ 150  $\mu\text{m}$  の Fe(II)型ベントナイト試料 2 g を少しずつ入れて自然沈降させ、24 時間後に膨潤した試料の見かけの容積から膨潤力を決定した。比較のために Fe(III)型ベントナイト試料に対して、脱イオン水を用いた膨潤試験も行った。

透水試験は、調製した粉末状 Fe(II)型ベントナイト試料に対して、加圧定水位法により雰囲気制御型グローブボックス内 ( $\text{O}_2$  濃度

1ppm 以下) で実施した。試料サイズは 50 mm  $\times$  5 mm、乾燥密度は 0.83、1.0、1.1  $\text{Mg m}^{-3}$  とした。ベントナイトの含水飽和には、脱気した  $\text{FeCl}_2$  溶液あるいはイオン交換水を使用し、動水勾配は約 100 ~ 4000 とした。透水量の安定を確認後、ダルシー則から透水係数を算出した。

透水試験後の試料に対しては、含水率を求めるとともに、脱イオン水、0.1 M  $\text{KCl}$  溶液、1.0 M  $\text{HCl}$  溶液を順に用いて陽イオンの選択的逐次抽出を行い、抽出陽イオン量を ICP-AES によって定量した。また、 $\text{KCl}$  溶液で抽出した Fe イオンに対してフェナントロリン吸光光度法によって Fe(II) 存在比を決定した。

## 4. 研究成果

### (1) 交番電流によるベントナイト試料中の鉄の腐食試験

鉄の腐食実験の一例として電流方向切り替え時間を 300 秒とし、192 時間通電した後のベントナイト試料中の Fe と Na 濃度分布を、数値計算で求めた Fe 濃度分布の計算値と共に図 1 に示す。ベントナイト試料中の Na 濃度は電極からの距離に関わらず約 1000 [ $10^{-3}\text{meq/g-clay}$ ] であった。また同時に測定した粘土試料の含水率も電極からの距離に関わらずほぼ一定であった。このことより、直流を印加した際に生じる  $\text{Na}^+$  イオンおよび水の偏在は、交番電流の印加では認められないことが確認された。一方、Fe 濃度については両電極近傍 0.5mm まで高い値が認められた。これは鉄電極から腐食によって溶出した Fe が移行したことによる。なお、数値計算では Fe は 1.5mm 程度まで浸入すると予測されたが、これは数値計算では鉄腐食生成物の生成およびそれによる物質移動の障害が考慮されていないことに起因するものと考えられる。

192 時間通電後の試料中の Fe 濃度から算出した溶出鉄量と、総通電量から算出した溶出鉄量は一致せず、粘土中へ溶出した鉄量が、総通電量から算出される溶出鉄量の 5% ~ 25% 程度であった。この差は通電方向切り替え時間が短いほど、また総通電時間が長くなるほど増加した。これはカソード電極表面に

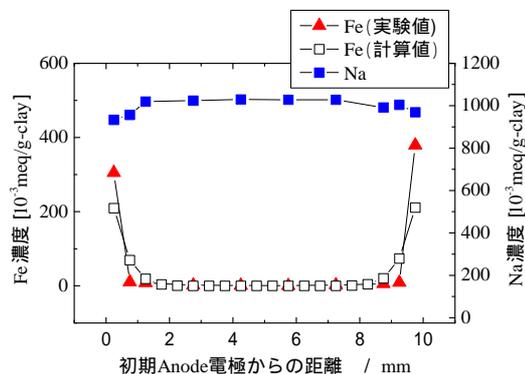


図 1 通電試験後のベントナイト試料中の Fe および Na の濃度分布

おける鉄イオンの金属鉄への還元によるものと考えられた。

192 時間通電した試験において、試料中へ溶出した鉄量から算出した平均腐食速度は約 0.03mm/年となった。平均腐食速度は通電時間とともに減少する傾向があったが、電流方向切り替え時間の影響は認められなかった。平均腐食速度が通電時間とともに減少した原因は、腐食生成物の生成に伴いキャリアとなるイオンの移行が阻害され、電流値が減少したこと、さらには上述した Fe イオンの還元反応が支配的になったことが考えられた。なお、本研究で得られた平均腐食速度は、人工海水を浸潤させた乾燥密度 1.8 Mg m<sup>-3</sup> のベントナイト中に 10 年間置かれた炭素鋼の平均腐食速度より 1 桁以上大きな値であった。

### (2) 電位勾配下でのベントナイト試料中のイオンの移行試験

電位勾配により各イオンをベントナイト試料中で移動させ、イオン種  $i$  の見かけの移動速度  $V_a^i$  を得た。ここで  $V_a^i$  は見かけの移動度  $u_a^i$  と電位勾配  $E$  の積である。なお、電位勾配下のベントナイト試料中では電気浸透流が生じるが、これは HTO の移動度  $u_a^{HTO}$  として測定出来ることから、イオンの移動度  $u_{em}^i$  は次式(1)で求めることができる。

$$u_{em}^i = u_a^i - u_a^{HTO} \quad (1)$$

一方、見かけの拡散係数  $D_a^i$  は、イオンの移動度から、次式のアインシュタインの関係式を用いて求めることができる。

$$D_a^i = u_{em}^i \frac{RT}{zF} \quad (2)$$

異なる乾燥密度のベントナイト試料中の H<sup>14</sup>CO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンの移動度から得られた見かけの拡散係数を、非常拡散実験で決定した見かけの拡散係数とともに図 2 に示す。

H<sup>14</sup>CO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンは電気浸透の影響を補正した値が非常拡散実験で求めた値に近くなること、高乾燥密度では補正の有無にかかわらず移動度から求めた見かけの拡散係数は非常拡散実験で求めた値とほぼ一致することが見いだされた。これに対して、<sup>45</sup>Ca<sup>2+</sup>

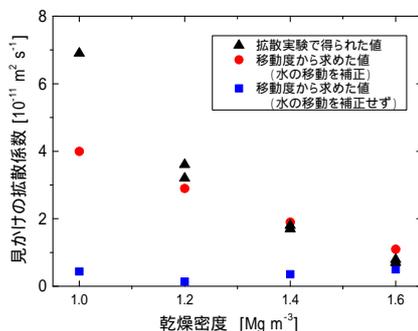


図 2 移動度および非常拡散実験から求めたベントナイト試料中の H<sup>14</sup>CO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンの見かけの拡散係数

イオンの移動度は、電気浸透の影響を補正しない値の方が非常拡散実験で求めた値に近くなること、高乾燥密度においてもそれぞれの方法で求めた見かけの拡散係数は一致しないことが見いだされた。

水で飽和したベントナイト試料は、主たる構成鉱物であるモンモリロナイトの粒子間の空隙内と、モンモリロナイト層間内にそれぞれ水を有しているが、電気浸透による水の移動では前者の移動が支配的とされる。H<sup>14</sup>CO<sub>3</sub><sup>-</sup> は陰イオン排斥効果により主に粒子間空隙を拡散することから、電気浸透の補正によって非常拡散実験で求めた値に近づいたものと解釈できる。また、低乾燥密度に比べ、高乾燥密度では水の移動の補正を行った値の方が非常拡散実験の値に近づくことから、乾燥密度の増加と共に粒子間空隙が狭まることで空隙が層間に似た空間に近づいていると考えられる。これに対して、<sup>45</sup>Ca<sup>2+</sup> は空隙内ではなく、層間の Na<sup>+</sup> とのイオン交換によって主に層間を拡散していると考えられる。

一方、定電流下で Ca<sup>2+</sup> および HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンをベントナイト試料中で対向・移動させる試験では、固相の Ca<sup>2+</sup> 量が局所的に交換性陽イオン容量 (CEC) 相当量よりも大きくなり、この領域において Ca<sup>2+</sup> イオンがカルサイトとして析出していることが示唆された。

### (3) 堆積岩試料のアルカリ透水試験

堆積岩試料に、人工地下水、イオン交換水、NaOH 溶液を通水した際の累積透水量の経時変化を図 3 に示す。人工地下水やイオン交換水、0.5M の NaOH 溶液では透水量が多く、0.1M の NaOH 溶液では透水量は低い値となった。また、0.5M の NaOH 溶液を除くいずれの試験においても試験開始直後から単位時間あたりの透水量は減少する傾向にあった。一方、0.5M の NaOH 溶液では試験開始直後から試験終了時まで累積透水量はほぼ線形的に増加した。

透水路の ICP-AES 分析では、いずれの試験においても岩試料透過後の透水路で K が検出された。この他、0.1M 及び 0.5M の NaOH 溶液の透水路では Al、Si の溶出が確認された。

透水試験中の堆積岩試料の内部微細構造

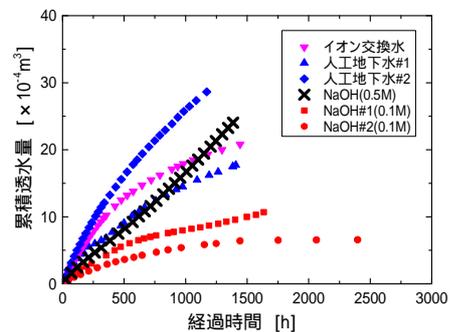


図 3 異なる溶液組成条件下における堆積岩試料の透水挙動の経時変化

を X 線マイクロ CT 装置で観察した結果、0.1M の NaOH 溶液を透水した試料では、NaOH 溶液による溶解と思われる空隙の拡大が上流側で確認された。一方、下流側では一部空隙の閉塞および空隙内での析出反応に起因すると考えられる微小な固相の出現が認められた。これに対して 0.5M の NaOH 溶液を透水した試料では、上流側と下流側の両方において空隙の拡大のみがみられた。また、人工地下水あるいはイオン交換水を透水した試料では透水試験前後で内部構造に変化はみられなかった。これらの結果から、0.1M の NaOH 溶液での透水性が他と比べて低くなった理由として、上流側で溶出した Si や Ca が下流側で析出したことによる空隙の閉塞、あるいは、CT 観察では検出出来ない CSH ゲルの形成が考えられる。一方、0.5M の NaOH 溶液での高い透水性は、0.1M の NaOH 溶液を用いた場合よりも鉱物の溶解や変質が顕著であったためであると考えられ、このことは CT 観察結果で下流での空隙の閉塞がみられなかったことから支持される。以上に述べた NaOH 溶液の透水に対して、人工地下水あるいはイオン交換水を透水した場合はどちらも岩石の溶解反応と二次鉱物の析出が少ないことから、時間経過に伴う透水性の減少は、スメクタイトの膨潤による空隙の閉塞に起因するものと考えられた。

#### (4) Fe(II) 型ベントナイトの透水試験

湿式化学分析の結果、調製した Fe(II) 型モンモリロナイトから KCl 溶液で抽出された Fe は Fe(II) のみであり、その量はモンモリロナイトの陽イオン交換容量とほぼ同量であることが確認された。これは、試料調製時にイオン交換が完全になされ、その後の Fe(II) イオンの酸化が無視出来るほど少ないことを示す。調製した Fe(II) 型モンモリロナイト試料の膨潤力は 10.5 mL/2g であり、他の交換性陽イオンを有するモンモリロナイト試料と比較すると、Fe(III)、Fe(II)、Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup> の順に小さいこと、また、この値は溶液の塩濃度の増加に伴い減少することが明らかになった。

異なる条件下で Fe(II) 型モンモリロナイトの透水係数を測定した結果、乾燥密度 0.83 Mg m<sup>-3</sup> の Fe(II) 型モンモリロナイトの 0.1 M FeCl<sub>2</sub> 溶液に対する透水係数は 2.0 × 10<sup>-9</sup> m s<sup>-1</sup> となった。一方、乾燥密度 1.0 Mg m<sup>-3</sup> の Fe(II) 型試料に対して、0.5 M FeCl<sub>2</sub> 溶液、0.1 M FeCl<sub>2</sub> 溶液、脱イオン水、0.5 M FeCl<sub>2</sub> 溶液の順に透水させたところ、透水係数は、それぞれ 4.3 × 10<sup>-11</sup> m s<sup>-1</sup>、3.0 × 10<sup>-11</sup> m s<sup>-1</sup>、2.6 × 10<sup>-11</sup> m s<sup>-1</sup>、4.0 × 10<sup>-11</sup> m s<sup>-1</sup> となった。また、乾燥密度 1.1 Mg m<sup>-3</sup> の Fe(II) 型試料に対しては、脱イオン水、0.5 M FeCl<sub>2</sub> 溶液の順に透水させ、透水係数は、それぞれ 2.6 × 10<sup>-12</sup> m s<sup>-1</sup>、3.1 × 10<sup>-12</sup> m s<sup>-1</sup> となった。

図 4 に各溶液に対する各種モンモリロナイトの透水係数の有効モンモリロナイト密度

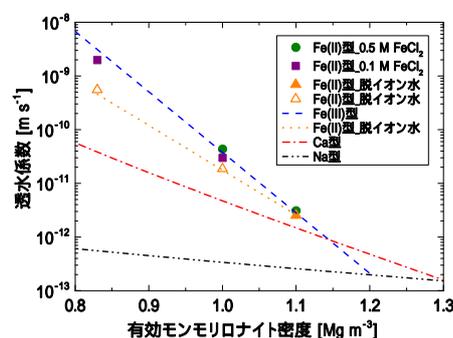


図 4 異なる溶液組成条件下におけるベントナイト試料の透水係数のモンモリロナイト部分密度依存性

依存性を示す。Na 型、Ca 型、Fe(III) 型と同様、Fe(II) 型モンモリロナイトでも有効モンモリロナイト密度に対して透水係数が指数関数的に減少していること、またその透水係数は低乾燥密度において価数の同じ陽イオンを層間に有している Ca 型とも異なることが判る。さらに、乾燥密度 1.0 Mg m<sup>-3</sup> では Fe(II) 型モンモリロナイトの 0.5 M FeCl<sub>2</sub> 溶液に対する透水係数は Fe(III) 型モンモリロナイトの脱イオン水に対する値とほぼ一致していることが明らかとなった。モンモリロナイト結晶は負に帯電しており、その負電荷を補償するために層間に陽イオンを有している。この交換性陽イオンが層間に浸入した水と水和すると、層間が大きく膨れるのが膨潤である。Fe(II) 型と Ca 型とを比較すると、膨潤力の大きい Ca 型の方がやや大きい透水係数を示した。一方、Fe(III) 型モンモリロナイトでは層間の Fe(III) イオンがモンモリロナイトの層を強く引き付けることから、膨潤力は Fe(II) 型より劣る。このため、透水係数は Fe(II) 型よりも大きい。しかし、間隙水の塩濃度が高い場合、Fe(II) 型の膨潤力もまた低下し、Fe(III) 型モンモリロナイト試料が脱イオン水で膨潤した場合とほぼ等しい値となったと考えられる。

図 5 に透水実験中に透水液の塩濃度を変化させた際の乾燥密度 1.0 Mg m<sup>-3</sup> の Fe(II) 型モンモリロナイトの透水係数の変化を示す。この図から乾燥密度 1.0 Mg m<sup>-3</sup> の Fe(II) 型モンモリロナイトの透水性は塩濃度の変化に対

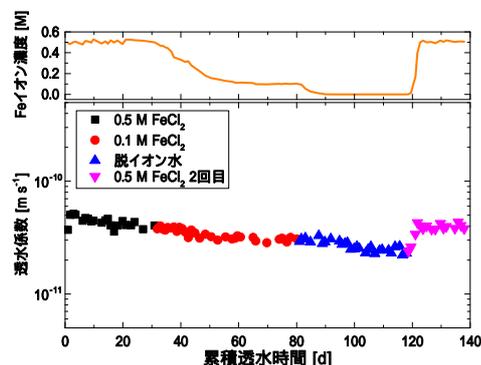


図 5 Fe(II) 型ベントナイト試料の透水係数の通液組成依存性 (乾燥密度: 1.0 Mg m<sup>-3</sup>)

して即座に反応することが分かる。モンモリロナイト粒子表面に形成している電気二重層の厚さは一般に、間隙水中の塩濃度が増加すると減少し、塩濃度が減少すると増加する。電気二重層の厚さの減少に伴い、モンモリロナイト粒子同士の負電荷による反発力が減少するため、モンモリロナイト粒子は塩濃度が高い場合に凝集状態となる。逆に、電気二重層の厚さが増加した場合、反発力は増加するため、分散状態となる。透水係数が塩濃度の変化に対して可逆的であったことから、塩濃度の変化に伴う凝集・分散などの間隙構造の変化もまた可逆的であることが示唆された。

以上、本研究では、高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全評価のための基礎研究として、人工バリアである粘土緩衝材中の鉄材料の腐食挙動および電位勾配下の物質輸送を電気化学的手法で検討するとともに、諸反応によって変質した粘土緩衝材および堆積岩試料の透水性能を明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 6件)

D. Yamasaki, K. Yoshi, T. Kozaki, S. Sato, N. Watanabe, Hydraulic properties of compacted Fe(II)-montmorillonite, 5th International meeting "Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement", Oct. 22-25, 2012, Montpellier (France)

山崎大貴、吉一仁、小崎完、佐藤正知、渡辺直子、Fe(II)型モンモリロナイトの透水性に与える塩濃度の影響、日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012 年 09 月 20 日、広島大

水戸雅也、佐藤正知、小崎完、圧縮 Ca モンモリロナイト中のイオン移行に関する電気化学的研究、日本原子力学会 2012 年春の年会、2012 年 3 月 21 日、福井大  
木村剛基、渡辺直子、小崎完、佐藤正知、交番電流を用いて促進させたベントナイト中の鉄の腐食挙動、日本原子力学会 2012 年春の年会、2012 年 3 月 20 日、福井大

横地琢哉、小崎完、佐藤正知、中澤俊之、加藤博康、宮内善浩、堆積岩のアルカリ変質に伴う内部微細構造と透水性の変化、日本原子力学会 2012 年春の年会、2012 年 3 月 19 日、福井大

小崎完、圧縮ベントナイト中の放射性核種の拡散挙動、2011 年度 日本地球化学会年会 第 58 回年会、2011 年 9 月 16 日、北大

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小崎 完 (KOZAKI TAMOTSU)  
北海道大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号：60234746

### (2) 研究分担者

渡辺 直子 (WATANABE NAOKO)  
北海道大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号：20624711

### (3) 連携研究者

富岡 智 (TOMIOKA SATOSHI)  
北海道大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号：40237110

### (4) 連携研究者

香西 直文 (KOZAI NAOFUMI)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター・研究主幹  
研究者番号：80354877