

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04634

研究課題名(和文)放射性核種移行挙動に対する微生物影響因子の分子科学的研究

研究課題名(英文) Molecular-level understanding of the effects of microorganisms on migration of radionuclides

研究代表者

宇都宮 聡 (Utsunomiya, Satoshi)

九州大学・理学研究院・准教授

研究者番号：40452792

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、核種ナノ粒子-微生物間相互作用を分子レベルで解明することを目的とした。アクチノイド代替元素としてランタノイド(Ln)を用いて、微生物(酵母)による細胞外放出物(EPS)によるLnリン酸ナノ結晶化を明らかにした。また、Ln酸化物ナノ粒子に対するEPSの吸着特性、コロイド安定化の評価に成功した。酵母に対するLn酸化物ナノ粒子曝露実験を行い、EPS中の高分子の割合が変化するとともに、解糖系に関わるタンパク質、ENO2が発現し、ナノ粒子が微生物の代謝にも影響を与えることが分かった。これらの結果は地圏微生物がナノ粒子を媒介とした核種の移行に対して重要な影響を与えることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、放射性核種-微生物間相互作用で核種移行に対する影響が大きい核種ナノ結晶生成に注目し、その精密な特性評価と核種ナノ結晶-微生物間相互作用の理解を分子レベルで確立した。特に、ナノ粒子が微生物に与える影響を発現タンパク質の解析による代謝経路への影響評価まで深め、逆に微生物がナノ粒子に与える影響という双方向の作用に対して系統的にEPSの影響を網羅して、放射化学・地球化学・生物化学の分野融合によって柔軟に新しい成果を出すことに成功している。また、本研究はバックエンド分野において、核種移行に対する微生物影響因子に重要な知見を与え、世界レベルの研究・教育拠点として若い原子力人材の育成に貢献した。

研究成果の概要(英文)：This project aimed to understand interaction between actinides nanoparticles - microorganisms for a possible implication to actinides migration surrounding deep underground repository. We have elucidated the nanocrystallization processes of lanthanides (surrogate of actinides) phosphate in the P-free initial solution, which was released with extracellular polymeric substances (EPS) from microorganisms (*S. Cerevisiae*). Colloidal stability of Ln oxides nanoparticles was enhanced by EPS adsorbed to the nanoparticles. In addition, Ln oxides nanoparticles were experimentally exposed to *S. Cerevisiae*. The proportion of extra-cellular polymeric substances changes by the presence of nanoparticles and a protein involved in glycolysis system. The results indicate that migration of actinides mediated by biogenic and natural nanoparticles is constrained by the complex interaction between microorganisms and nanoparticles.

研究分野：環境ナノ物質科学

キーワード：アクチノイド 微生物 ナノ粒子 ランタノイド 細胞外放出物

1. 研究開始当初の背景

地下深部への放射性廃棄物地層処分を考慮する上で、地下環境における放射性核種の移行研究は重要視されるべき現象である。それらの移行挙動は周囲の人工物、そして天然岩石との相互作用によって主に支配されると考えられている。近年、これらの周辺物質に対する物理的、化学的反応以外に個体数の多い (10^4 - 10^5 cells/ml) 微生物とナノ粒子の影響が無視できないものであることが指摘されてきた (Kersting et al., 1999)。放射性核種—微生物間相互作用には微生物表面上への核種の吸着、多価イオンの酸化還元反応を利用したエネルギー享受、酸素消費、脱窒などの様々なプロセスがあるが、微生物によるナノ結晶化反応がマクロスケールにおける核種の挙動を支配する普遍的な現象であることも認められてきた (Nealson and Stahl, 1997)。ナノ結晶化反応で析出する結晶はナノサイズであるが、その普遍的な存在のために地下環境中で放射性核種の遅延効果が大いと考えられる。一方、地下水帯に存在するナノ粒子 (コロイド) は放射性核種、特に低溶解性アクチノイドの移行を促進することが分かってきた (Novikov et al. 2006)。コロイドとして振る舞う溶液中のナノ結晶は一般に熱力学的特性の変化 (Navrotsky 2004)、格子歪み (Waychunas and Zhang 2008)、吸着反応の pH 依存性変化 (Madden et al. 2006) などのバルクとは異なる特性があることが知られているが、微生物が生成するナノ粒子の生成機構、結晶学的特性、反応特性核種含有ナノ粒子—微生物間の相互作用は分子レベルで十分に理解されていない。そのため、本研究では放射性核種—ナノ粒子—微生物間相互作用を微視的な分析手法を用いて詳細に解明し、地下深部における核種移行挙動の理解につなげることを目標とした。

2. 研究の目的

本研究は、放射性核種含有ナノ粒子—微生物間相互作用を双方向から理解することを目指した。つまり核種ナノ粒子に対する微生物の応答性と、逆に微生物が応答して放出した物質が核種ナノ粒子の物理・化学的挙動 (つまり核種コロイドとしての特性) に与える影響の二方向から、系統的な室内実験と分子レベル解析によって解明することを目的としている。さらにこの相互作用を含めた核種—微生物間相互作用が核種移行に与える効果を定量的に評価し、地層処分後の核種移行挙動予測研究に資する知識基盤を提供することを目標とした。

3. 研究の方法

本研究は以下の方法で行った。

タスク 1 : 微生物上で形成される核種含有ナノ結晶の構造・形態・組成、生成メカニズムの解明。安定同位体 Cs やアクチノイド代替元素 (ランタノイド元素 Ln) と微生物との相互作用で形成される核種含有ナノ結晶の生成機構を室内実験で調べた。特に初期溶液中に含まれない成分が細胞内部から放出されてランタノイドと結合して形成する Ln リン酸塩ナノ粒子の結晶構造を決定した。その後、微生物細胞外放出物 (EPS) の同定と定量を行った後に、その結晶形態、構造制御機構を時間分解で原子分解能電子顕微鏡分析によって明らかにした。また、吸着・粒子形成の速度論、溶液組成の影響を定量的に評価するとともに、微生物表面の特性を解析し、核種吸着とナノ結晶化機構を明らかにした。

タスク 2 核種ナノ粒子—微生物間相互作用の双方向プロセスの解明

- ① 核種ナノ粒子が微生物に与える影響:微生物に対して Ln 酸化物ナノ粒子の暴露実験を行い、生存率、代謝生成物・EPS の解析から微生物代謝活動への影響を調べた。また、変化した溶存有機物化学種と結合する元素を特定し、EPS を媒介した核種の移行挙動に対する効果を評価した。核種ナノ粒子の生成が微生物の活動に与える影響を総合的に評価した。
- ② EPS が核種ナノ粒子の移行挙動に与える影響:微生物由来核種ナノ粒子のコロイドとしての移行挙動は凝集、沈殿、基盤岩石との親和力に依存する。核種ナノ粒子表面への EPS の吸着・脱着反応を室内実験で模擬し、優先吸着分子を調べた。EPS のモデル有機分子を核種ナノ粒子に吸着させて凝集実験を行い、表面電荷特性や動的光散乱法による凝集半径の変化を把握し、EPS がコロイド挙動に与える影響を明らかにした。

4. 研究成果

・含水希土類リン酸塩ナノ粒子の結晶化学

均質核形成実験は $0.1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ RE}^{3+}$ (La-Lu 単独または全 RE)溶液と 0.1 mol dm^{-3} リン酸溶液を混合し、室温、pH 3 で 3 日間振盪、反応させて生成物を濾取した。また、 LaPO_4 , TbPO_4 , DyPO_4 , HoPO_4 , YbPO_4 と、全 REPO_4 は 30 日間反応させて反応時間の影響を調べた。一方、ヒドロキシアパタイト (HAP, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) をリン酸源とする不均質核形成実験も行った。 $2 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ RE}^{3+}$ (La, Tb, Yb, 全 RE)溶液に表面積/溶液比が $1.3 \times 10^2 \text{ cm}^{-1}$ になるよう HAP を加え、室温、pH 5 で 1 時間 h-10 日間攪拌して反応させた。

均質核形成実験において、単一 REPO_4 はランタニド収縮によるイオン半径の連続的減少に伴って構造が変化し、La-Gd: LREPO_4 , Tb-Ho: MREPO_4 , Er-Lu: HREPO_4 の三グループに分類することができた。 LREPO_4 は rhabdophane 構造をとるが、 MREPO_4 はブロードな 6-line 相、 HREPO_4 は 4-line 相に非晶質部分が 30-60 % 混在したものであった。全 REPO_4 の構造は rhabdophane 構造 35 % と TbPO_4 構造 65 % の線形結合に一致し、30 日後には 100 % rhabdophane 構造へと変化した。

HAP 上の不均質核形成実験では、Ca 溶脱速度 ($3.8 \times 10^{-8} \text{ mol m}^{-2} \text{ min}^{-1}$) が HAP の溶解速度とほぼ等しくなり、 REPO_4 形成による RE 収着速度は HAP の溶解によって律速されることが示された。また全 RE を含む系の溶存イオン濃度の経時変化から LRE 元素が優先的に収着することが分かった(図 1)、全 RE 元素の収着は HAP 表面における繊維状ナノ結晶の析出によって進行した(図 2)。

本研究の結果より、表層環境条件下でのアパタイト近傍における RE 元素の収着は、LRE 元素を優先的に取り込んだ rhabdophane+ TbPO_4 構造のナノ結晶化から始まり、rhabdophane 構造へと変化するプロセスであることが示唆された。

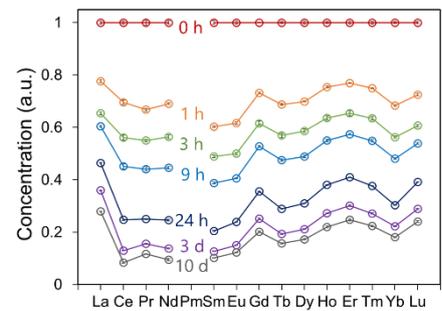


図 1 不均質核形成時の溶液組成の時間変化

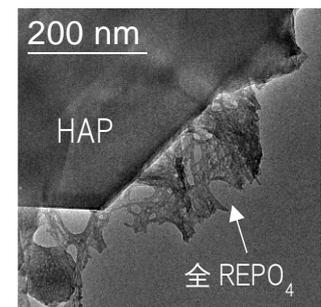


図 2 10 日反応後の HAP-全 REPO_4 の TEM 像

・微生物細胞外放出物 (EPS) がコロイドの安定性に与える影響

YPD 培地にて培養した *S.cerevisiae* を分離回収し、pH 3 に調整した 1 mM NaCl 水溶液中に添加した。72 時間後 *S. cerevisiae* を除去して ES 溶液を得た。これを 1 kDa 透析膜で 72 h、4°C の超純水で透析し、膜内の PS 溶液を得た。また透析 24 時間後の膜外の溶液を SS 溶液とした。これ

らの溶液を pH 6、イオン強度 1 mM NaCl に調整し、CeNPs と反応させ CeNPs の凝集過程について動的光散乱(DLS)装置及び紫外可視分光光度計を用いて測定し、 ζ 電位も測定した。比較として 1 mM NaCl (control)、0.16 mM H₃PO₄(phosphate)においても同様の測定を行った。EPS を 24 時間吸着させた CeNPs に対して、全反射測定法によるフーリエ変換赤外分光分析(ATR-FTIR)を用いることで吸着化学種を特定した。

S. cerevisiae 由来 ES にはタンパク質や多糖類、リン酸、有機リン酸等様々な物質を含有しており、CeNPs にはアミド結合やリン酸基を持つ物質が優先的に吸着していることが確認された。分子サイズで分離した PS と SS は分子量に関わらず含有している官能基は ES とほぼ同じで、CeNPs へ吸着した物質も同様であった。ES、PS、SS 水溶液中における CeNPs の ζ 電位 pH 依存性は PS

のみの場合と一致し、高分子物質の表面電荷が系全体のゼータ電位を決定していた。また実験系の CeNPs 凝集体の粒子径は ζ 電位の絶対値が大きいほど小さく、ゼロに近いほど大きいという結果から、CeNPs の凝集挙動は凝集体の ζ 電位が制御していることが分かった。以上のことから ES、PS、SS に含まれる高分子物質の吸着は CeNPs の表面特性を変えて多様な pH 条件下での凝集体の分散性を高めることが分

かった。しかし、SS は PS と比べ分子サイズが小さいため立体障壁の効果が小さく凝集体の ζ 電位がほぼゼロの条件下では PS ほどの凝集抑制効果は見られなかった。PS と SS を含む ES 溶液では、等電点の異なる小さい分子が存在することから、PS + SS を含む ES の吸着は PS のみの場合よりも広い pH 領域にわたって CeNP の凝集を抑制することができると思われる。

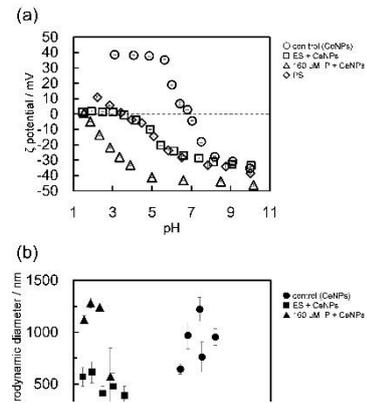


図 3 EPS、リン酸の吸着による CeO₂ ナノ粒子のコロイド特性変化 (a)ゼータ電位の pH 依存性、(b) Z 平均粒径の pH 依存性

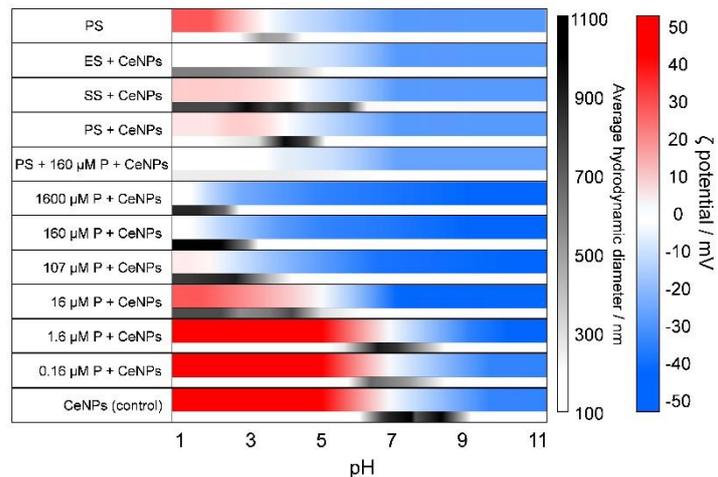


図 4 P 濃度、PS、ES、SS 各因子による CeO₂ コロイド分散性と表面特性の pH 依存性変化

・ ナノ粒子が微生物代謝活動に与える影響

YPD 培地または YPD 培地に CeNPs を 250 ppm 添加した培地を用いて培養した *S. cerevisiae* を分離回収し、pH=2, 3, 5, 7 に調整した 1 mM NaCl 水溶液中に入れた。放出された細胞外放出物は誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)、イオンクロマトグラフィー(IC)、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)、全有機炭素計(TOC)を用いて分析した。CeNPs による *S. cerevisiae* に対する毒性 (viability) はメチレンブルー染色法によって定量し、CeNPs による細胞表面の変化については透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて分析した。CeNPs による *S. cerevisiae* のタンパク質変異については二次元電気泳動を行った後に Peptide Mass Fingerprinting (PMF)分析によって同定した。また、細胞外放出物とリンの濃度を同じにしたリン酸水溶液のそれぞれに対して CeNPs を 10 ppm、100 ppm を添加してリンの吸着量を測定した。

CeNPs を添加していない系 (pH=3~7) での溶液分析から *S.cerevisiae* は細胞外にリン酸、有機リン化合物、種々の有機物、 K^+ 、 Mg^{2+} を放出することが確認され、その放出量と死細胞量に相関があった。CeNPs を添加した系と比較するとナノ粒子による毒性はすべての pH において見られなかったが、放出される有機物の種類と放出量に変化が見られた (図 5)。PMF 分析の結果から代謝過程に関わる Eno2p の発現量の増加が見られた (図 6) ことから、 CeO_2 ナノ粒子は微生物の解糖系を含む代謝に影響を与える可能性が示唆された。また、細胞外放出物中のリンの CeNPs に対する吸着はリン酸のみの系に比べて促進される結果となった。

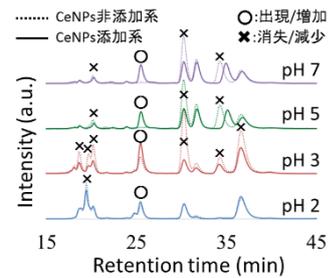


図 5 各 pH に調整した模擬地下水溶液中における微生物放出物の化学種分画。○・×を記した部分がナノ粒子によって変化した化学種。

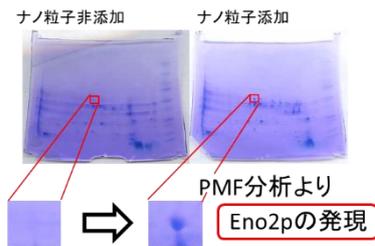


図 6 酵母に CeO_2 ナノ粒子を暴露させた実験で得られる EPS の二次元電気泳動の結果。ナノ粒子添加でのみ ENO2p の発現がみられた。

本研究では核種含有ナノ粒子—微生物間相互作用を双方向から調べ、核種—微生物の界面で起こる反応機構を総合的かつ定量的に明らかにすることに成功した。「第二次取りまとめ」で挙げられている核種移行モデルで不確実性の高い因子、「微生物」「ナノ粒子」に対して、微生物由来核種ナノ粒子形成の精密特性評価、微生物—ナノ粒子間相互作用による細胞内発現タンパク質解析、コロイド表面による代謝経路への影響評価も行い、放射化学—地球化学—生物化学間の分野融合をさせながら柔軟に新しい成果をだすことができた。本研究はバックエンド分野で知識基盤の確立が必要とされる微生物影響因子に対して、重要な貢献になったと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nakano Yuriko, Ochiai Asumi, Kawamoto Keisuke, Takeda Ayaka, Ichiyoshi Kenta, Ohnuki Toshihiko, Hochella Michael F., Utsunomiya Satoshi	4. 巻 8
2. 論文標題 The competing effects of microbially derived polymeric and low molecular-weight substances on the dispersibility of CeO ₂ nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3648
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-21976-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Masaki Shota, Nakano Yuriko, Ichiyoshi Kenta, Kawamoto Keisuke, Takeda Ayaka, Ohnuki Toshihiko, Hochella, Jr. Michael, Utsunomiya Satoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Adsorption of Extracellular Polymeric Substances Derived from <i>S. cerevisiae</i> to Ceria Nanoparticles and the Effects on Their Colloidal Stability	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Environments	6. 最初と最後の頁 48～48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/environments4030048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Asumi Ochiai, Satoshi Utsunomiya	4. 巻 7
2. 論文標題 Crystal Chemistry and Stability of Hydrated Rare-Earth Phosphates Formed at Room Temperature	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 84～84
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/min7050084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Horiike T, Dotsuta Y, Nakano Y, Ochiai A, Utsunomiya S, Ohnuki T, Yamashita M	4. 巻 83
2. 論文標題 Removal of soluble strontium via incorporation into biogenic carbonate minerals by halophilic bacterium <i>Bacillus</i> sp. strain TK2d in a highly saline solution.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Environmental Microbiology	6. 最初と最後の頁 e00855-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1128/AEM.00855-17	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jiang Mingyu, Ohnuki Toshihiko, Utsunomiya Satoshi	4. 巻 35
2. 論文標題 Biom mineralization of Middle Rare Earth Element Samarium in Yeast and Bacteria Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geomicrobiology Journal	6. 最初と最後の頁 375 ~ 384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01490451.2017.1377320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohnuki Toshihiko, Kozai Naofumi, Sakamoto Fuminori, Utsunomiya Satoshi, Kato Kenji	4. 巻 46
2. 論文標題 Sorption Behavior of Np(V) on Microbe Pure Culture and Consortia	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 771 ~ 774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.170068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamasaki Shinya, Kurita Saori, Ochiai Asumi, Sueki Keisuke, Utsunomiya Satoshi	4. 巻 48
2. 論文標題 Nano-scaled Calcium Molybdate Particle Formation on Egg Phosphatidylcholine Liposome Surface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1480 ~ 1483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190651	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawamoto Keisuke, Yokoo Hiroki, Ochiai Asumi, Nakano Yuriko, Takeda Ayaka, Oki Takumi, Takehara Masato, Uehara Motoki, Fukuyama Kenjin, Ohara Yoshiyuki, Ohnuki Toshihiko, Hocheilla Michael F., Utsunomiya Satoshi	4. 巻 298
2. 論文標題 The role of nanoscale aggregation of ferrihydrite and amorphous silica in the natural attenuation of contaminant metals at mill tailings sites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 207 ~ 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.02.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamasaki Shinya, Kurita Saori, Ochiai Asumi, Hashimoto Miya, Sueki Keisuke, Utsunomiya Satoshi	4. 巻 530
2. 論文標題 Calcium molybdate nanoparticles formation in egg phosphatidyl choline based liposome caused by liposome fusion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 473 ~ 480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2018.07.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Utsunomiya Satoshi, Ohnuki Toshihiko, Kato Kenji, Kalmykov Stepan N.	4. 巻 1
2. 論文標題 Commentary on the Role of Microorganisms and Nanoparticles in Radionuclides Migration through Groundwater	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Behavior of Radionuclides in the Environment	6. 最初と最後の頁 221 ~ 225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-0679-6_9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ohnuki Toshihiko, Ozaki Takuo, Kozai Naofumi, Utsunomiya Satoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Function of Microbes on Chemical Species Transformation of Radionuclides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Behavior of Radionuclides in the Environment	6. 最初と最後の頁 67 ~ 92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-0679-6_3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Utsunomiya Satoshi, Yokoo Hiroki, Oki Takumi, Kawamoto Keisuke, Takeda Ayaka, Wang Honggui, Ewing Rodney C.	4. 巻 1
2. 論文標題 Application of Electron Microscopy to Understanding Colloid-Facilitated Transport of Radionuclides at the Mayak Production Association Facility, Near Lake Karachai, Russia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Behavior of Radionuclides in the Environment	6. 最初と最後の頁 177 ~ 200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-0679-6_7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計5件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Yuriko Nakano, Satoshi Utsunomiya
2. 発表標題 Effects of extracellular polymeric substances on the aggregation of CeO ₂ nanoparticles
3. 学会等名 Goldschmidt conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuriko Nakano, Shota Masaki, and Satoshi Utsunomiya
2. 発表標題 Effects of organic molecules on the aggregation of CeO ₂ nanoparticles
3. 学会等名 Goldschmidt conference
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kenta Ichiyoshi, Asumi Ochiai, Satoshi Utsunomiya
2. 発表標題 Nanocrystallization of rare earth phosphate using extracellular substances derived from <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
3. 学会等名 Goldschmidt conference
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中野友里子 宇都宮聡
2. 発表標題 放射性核種移行挙動に対する微生物影響因子の分子科学的研究 (2) 有機分子の吸着によるナノ粒子の凝集機構への影響評価
3. 学会等名 原子力学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 市吉健太 落合朝須美 宇都宮聡
2. 発表標題 放射性核種移行挙動に対する微生物影響因子の分子科学的研究 (3) Saccharomyces cerevisiae由来の細胞外放出物と希土類元素間の相互作用
3. 学会等名 原子力学会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大貫 敏彦 (Ohnuki Toshihiko) (20354904)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------