

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：82110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12623

研究課題名(和文)表面電離によるアルカリ金属の選択的脱離と捕集

研究課題名(英文) Selective desorption and collection of alkali metals by surface ionization

研究代表者

馬場 祐治 (Baba, Yuji)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 福島研究開発拠点 福島事業管理部・嘱託

研究者番号：90360403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：汚染土壌から放射性Csを効率的に除染する方法として、電界中で土壌を加熱する手法について検討した。塩化セシウム(CsCl)を電界強度670 V/m以上で加熱すると、融点より200 低い温度でCs+イオンが脱離することを見出した。また粘土鉱物にCsを吸着させた試料について電界中で加熱すると、Csだけが選択的にCs+として脱離することがわかった。460 で2時間加熱した後の残渣を定量分析した結果、加熱前に比べて、Csの含有量は約13%減少した。以上の結果から、電界中で加熱することによって、粘土鉱物からCsの一部を低温でCs+イオンとして選択的に脱離させることができることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to decontaminate radioactive Cs from soil, a method for heating under electric field has been investigated. For cesium chloride (CsCl), it was found that Cs+ ions desorb under electric field of 670 V/m or higher. The desorption temperature of Cs+ ions was lower by 200 or more than the melting point of CsCl (645). For Cs-adsorbed clay, it was observed that the Cs ions selectively desorb under electric field. The desorption yield was determined by analyzing the amount of desorbed Cs, when the clay was heated at 460 for 2 hours. As a result, it was found that content of Cs in clay decreased by 13% compared with that before heating. Based on the results, we conclude that a part of Cs in clay minerals can be desorbed by heating at low temperature under electric field.

研究分野：表面化学

キーワード：セシウム 表面電離 脱離 除染 イオン化電位 質量スペクトル

1. 研究開始当初の背景

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所の事故により、種々の放射性核種が環境中に放出された。これらの放射性核種の中で、特に放射性セシウム (^{137}Cs および ^{134}Cs) による土壤汚染が問題となっており、その除染方法に関して種々の研究開発が行われていた。その中で、汚染土壤を酸などの水溶液で除染する方法は、新たに大量の放射性廃液が発生するため、廃棄物の減容化には限界があった。これに対して、土壤などの汚染試料を加熱してセシウムを蒸発させる方法(ここでは「乾式法」と呼ぶ)は廃棄物の発生が少ないという利点があり、有力なセシウム除染法である。しかし、土壤を加熱してセシウムを蒸発させるためには 1000°C 以上の高温が必要であることが報告されており、大量の汚染土壤を除染するためには膨大なエネルギーコストがかかるという難点があった。このような背景のもと、できるだけ添加物を使わずに低温でセシウムを蒸発させる乾式法の開発が必要となっていた。

2. 研究の目的

本研究はセシウムのイオン化ポテンシャル(イオン化エネルギー)が 3.9 eV と全元素中最小であり、極めて Cs^+ イオンになりやすいという特異性に着目した。すなわち、セシウムを含んだ土壤などを加熱することにより、セシウムだけを Cs^+ イオンとして選択的に脱離させることができるのではないかと考えた。また、加熱する際に、試料を入れるルツボにプラスの電位を印加すれば、反発力により Cs^+ イオンの脱離量が増大するのではないかと予想した。

そこで本研究は、ルツボに電位を印加可能な加熱機構と質量分析計を組み合わせた装置を作成し、これにより以下の2点を研究目的とした。

セシウム化合物からのイオン脱離

セシウムおよび他のアルカリ金属を含む化合物 (CsCl など) を加熱した時の Cs^+ の脱離挙動およびそのルツボ電位の影響を調べ、イオン脱離のメカニズムを明らかにする。

セシウム吸着粘土からのイオン脱離

セシウムを吸着させた粘土鉱物を加熱した時の Cs^+ の脱離挙動およびそのルツボ電位の影響を調べ、セシウムを Cs^+ イオンとして脱離させるための最適条件を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 実験装置

作成した実験装置の概略を図1に示す。タンタル製ルツボに試料を入れ、電子衝撃により加熱する。ルツボはアースとは絶縁されており、電源により電圧を印加できるようになっている。脱離するイオンおよび中性粒子は、

ルツボ上部に置いた四重極質量分析計により測定した。ルツボ上部に抜き差しできる金属板(アルミニウム製)を設置し、その表面に蒸着したセシウムの量を X 線光電子分光法(XPS)および蛍光 X 線分析法(XRF)で測定することにより、セシウムの脱離量を見積もった。

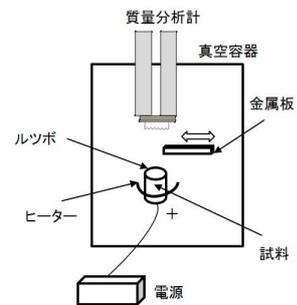


図1 実験装置の概略図

(2) 試料

化合物試料としては、粉末状の塩化セシウム (CsCl) を用いた。比較のため、他のアルカリ金属塩化物 (NaCl など) も測定した。

セシウム吸着粘土鉱物試料としては、福島県小野町で産出したバーミキュライトを用いた。これを 1 mM の非放射性 CsCl 水溶液中に浸漬しセシウムを飽和吸着させたのち、遠心分離、エタノール洗浄繰り返し余剰のセシウムを除去した。

4. 研究成果

(1) セシウム化合物からのイオン脱離

CsCl を 460°C に加熱した時に脱離するイオンの質量スペクトルを図2に示す。ルツボがアースと同電位の時は何も脱離しないが、正の電圧を印加すると Cs^+ および Cs^{2+} の脱離量が増大し、 $+300\text{ V}$ (表面電場は約 2000 V/m) でほぼ一定となった。このことから、ルツボに正電位を印加することにより Cs^+ の脱離が促進されることがわかった。

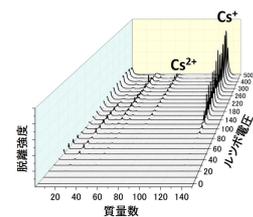


図2 CsCl を 460°C に加熱した時の脱離イオンのルツボ電圧依存性

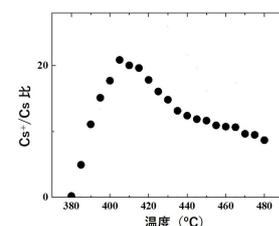


図3 CsCl から脱離する Cs^+ イオンと中性 Cs の比の温度依存性。ルツボ電位は $+150\text{ V}$ 。

図3に脱離する Cs^+ イオンと中性 (Cs) の比の温度依存性を示す。 Cs^+/Cs 比は 415°C までは増大し、それ以上の温度では逆に減少した。

CsCl の融点は 645°C なので、 Cs^+ の脱離が最大となる温度は融点より 200°C 以上低い。図3の温度依存性を理論的に解析した結果、 415°C における Cs^+ 脱離強度の極大は、表面の

仕事関数（電子を取り出すのに必要なエネルギー）変化によることがわかった。

次にルツボ上部に置いた金属板表面に蒸着した Cs 量を分析した結果、Cs⁺イオンの脱離収率は中性 Cs の約 10 倍であることがわかった。以上の結果から、CsCl を正電位を印加したルツボに正電位をかけて加熱すると、Cs のほとんどは 415 という低温で Cs⁺として脱離することがわかった。

(2) セシウム吸着粘土からのイオン脱離

セシウム吸着粘土を 460 に加熱した時に脱離するイオンの質量スペクトルを図 4 に示す。ルツボがアースと同電位の時は不純物の水、有機物

などのイオンが脱離するが Cs⁺はほとんど認められない。一方、ルツボに正の電圧を印加すると Cs⁺の脱離強度が増大し、+150 V でほぼ一定とな

った。このことからルツボに正の電位をかけることにより、セシウムだけを選択的に Cs⁺として脱離させることができることがわかった。

次に実際の脱離量を明らかにするため、試料をルツボ電位+200 V、460°C で 2 時間加熱した後の残渣を XPS で測定した。その結果、加熱前に比べて、セシウムの含有量は約 13% 減少した。通常の加熱では、この温度ではセシウムは全く脱離しない。したがって、ルツボに正電位を印加したことによる電場によって、セシウムが Cs⁺イオンとして選択的に脱離させることができることを明らかにした。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 23 件)

Y. Baba and I. Shimoyama, Ion desorption from bulk cesium chloride at moderate temperature (< 500°C) under electric field, e-J. Surf. Sci. Nanotech. 査読有, **16** (2018) 53-59.

DOI: 10.1380/ejsnt.2018.53

S. Entani, M. Honda, I. Shimoyama, S. Li, H. Naramoto, T. Yaita and S. Sakai, Effective adsorption and collection of cesium from aqueous solution using graphene oxide grown on porous alumina, J. J. Appl. Phys. 査読有, **57**, 4S (2018)

04FP04, 1-4.

DOI: 10.7567/JJAP.57.04FP04

A. Yoshigoe, H. Shiwaku, T. Kobayashi, I. Shimoyama, D. Matsumura, T. Tsuji, Y. Nishihata, T. Kogure, T. Ohkochi, A. Yasui, and T. Yaita, Nanoscale spatial analysis of clay minerals containing cesium by synchrotron radiation photoemission electron microscopy, Appl. Phys. Lett. 査読有, **112** (2018) 021603, 1-5.

DOI: 10.1063/1.5005799

下山 巖, 平尾法恵, 馬場祐治, シリコンポリマー薄膜のイオンビームによる配向制御効果, DV-Xα研究協会会報, 査読無 **29** (2017) 70-79.

M. Honda, I. Shimoyama, T. Kogure, Y. Baba, S. Suzuki, T. Yaita, Proposed cesium-free mineralization method for soil decontamination: Demonstration of cesium removal from weathered biotite, ACS Omega 査読有 **2** (2017) 8678-8681.

DOI: 10.1021/acsomega.7b01304

矢板 毅, 本田充紀, 下山 巖, 伊藤健一, 万福裕造, 辻 卓也, 松村大樹, 福島環境回復に向けた取り組み 第 4 回 汚染土壌の除染、減容化および再生利用を目指した物理処理及び新しい熱処理法開発への試み, 日本原子力学会誌 査読無 **59** (2017) 57-61.

Y. Baba and I. Shimoyama, Chemical states of trace-level strontium adsorbed on layered oxide by XPS and XANES under total reflection condition, Photon Factory Activity Reports 2016 査読無, Vol. **34** (2017) 47-47.

A. Narita, M. Honda, K. Fujii, A. Yokoya, Y. Baba and I. Shimoyama, Fluorescence XAFS measurements of DNA film immobilized on organic SAM, Photon Factory Activity Reports 2016 査読無, Vol. **34** (2017) 173-173.

下山 巖, 本田充紀, 小暮敏博, 馬場祐治, 平尾法恵, 岡本芳浩, 矢板毅, 鈴木伸一, 福島汚染土壌の除染と再利用のためのセシウムフリー 鉍化法の開発, Photon Factory News 査読無, Vol. **35** (2017) 17-22.

M. Honda, Y. Okamoto, I. Shimoyama, H. Shiwaku, S. Suzuki and Tsuyoshi Yaita, Mechanism of Cs removal from Fukushima weathered biotite by heat treatment with a NaCl-CaCl₂ mixed salt, ACS Omega 査読有, **2** (2017) 721-727.

DOI: 10.1021/acsomega.6b00372

I. Shimoyama, Y. Baba and N. Hirao, Micro-orientation control of silicon polymer thin films on graphite surfaces modified by heteroatom doping, Appl. Surf. Sci. 査読有, **405** (2017) 255-266.

DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.01.297

- 下山 巖, 低エネルギーイオンドーピングによるカーボンアロイ形成とその吸着脱硫への応用, 放射線と産業 査読有, **141** (2016) 7-11.
K. R. Koswattage, I. Shimoyama, Y. Baba, T. Sekiguchi and K. Nakagawa, A theoretical interpretation of NEXAFS of a deuterated hexagonal boron nitride thin film, Int. J. Mater. Sci. Eng. 査読有, **4** (2016) 179-184.
DOI: 10.17706/ijmse.2016.4.4.179-184
- 下山 巖, 馬場祐治, グラファイトにドーピングされたPの電子構造; DVX α 法による P K 端 NEXAFS スペクトル解析、DV-X α 研究協会会報 査読無, **28** (2016) 62- 69.
M. Honda, I. Shimoyama, Y. Okamoto, Y. Baba, S. Suzuki and T. Yaita, X-ray absorption fine structure at the cesium L₃ absorption edge for cesium sorbed in clay minerals, Photon Factory Activity Reports 2015 査読無, **Vol. 33** (2016).
A. Narita, K. Fujii, A. Yokoya, Y. Baba and I. Shimoyama, Irradiation effect of soft X-ray to SAM-DNA double-layer immobilized on inorganic surface, Photon Factory Activity Reports 2015 査読無, **Vol. 33** (2016).
Y. Baba, I. Shimoyama and N. Hirao, Chemical state analysis of trace-level alkali metals sorbed in micaceous oxide by total reflection X-ray photoelectron spectroscopy, Photon Factory Activity Reports 2015 査読無, **Vol. 33** (2016).
Y. Baba, I. Shimoyama, N. Hirao, Chemical state analysis of trace-level alkali metals sorbed in micaceous oxide by total reflection X-ray photoelectron spectroscopy Appl. Surf. Sci. 査読有, **384** (2016) 511-516.
DOI:10.1016/j.apsusc.2016.05.067
A. Narita, K. Fujii, Y. Baba and I. Shimoyama, Use of a DNA film on a self-assembled monolayer for investigating the physical process of DNA damage induced by core electron ionization, Int. J. Radiat. Biol. 査読有, **92** (2016) 733-738.
DOI: 10.1080/09553002.2016.1179812.
- 平尾法恵, 下山 巖, 馬場祐治, 和泉寿範, 岡本芳浩, 矢板 毅, 鈴木伸一, 真空加熱による粘土鉱物からのセシウム脱離挙動: 放射光を用いた X 線光電子分光法及び昇温脱離法による分析, 分析化学, 査読有, **65** (2016) 259-266.
DOI: 10.2116/bunsekikagaku.65.259/
- 21 M. Honda, I. Shimoyama, Y. Okamoto, Y. Baba, S. Suzuki and T. Yaita, X-Ray absorption fine structure at the cesium L₃ absorption edge for cesium sorbed in clay minerals, J. Phys. Chem. C, 査読有, **120** (2016) 5534-5538.
DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b12378
- 22 I. Shimoyama and Y. Baba, Thiophene adsorption on phosphorus- and nitrogen-doped graphites: Control of desulfurization properties of carbon materials by heteroatom doping, Carbon, 査読有, **98** (2016) 115-125.
DOI:10.1016/j.carbon.2015.10.094
- 23 M. Honda, I. Shimoyama, Y. Baba, S. Suzuki, Y. Okamoto and T. Yaita, Development of a fluorescence XAFS system in the soft X-ray region toward operando conditions using a polycapillary X-ray lens, e-J. Surf. Sci. Nanotech., 査読有, **14** (2016) 35-38.
DOI: 10.1380/ejssnt.2016.35

〔学会発表〕(計 38 件)

垣谷健太, 八巻徹也, 木全哲也, 山本春也, 松村大樹, 下山 巖, 田口富嗣, 寺井隆幸, イオンビーム照射した炭素担体上の白金ナノ粒子 (2)X 線吸収微細構造測定による局所構造分析、日本原子力学会 2018 春の年会、2018 年 3 月 27 日、大阪大学吹田キャンパス (大阪府吹田市)

馬場祐治, 下山 巖, 電界下における塩化セシウムからの熱イオン脱離、日本化学会第 98 春季年会、2018 年 3 月 21 日、日本大学理工学部 (千葉県船橋市) 本田充紀, 後藤琢也, 坂中佳秀, 下山 巖, 岡本芳浩, 鈴木伸一, 矢板 毅, 溶融塩電気化学法を用いた汚染土壌からのセシウム除去とその構造解析、2018 年 3 月 19 日、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、早稲田大学 (東京都新宿区)

本田充紀, 後藤琢也, 坂中佳秀, 下山 巖, 岡本芳浩, 鈴木伸一, 矢板毅、溶融塩電気化学法を用いた汚染土壌からのセシウム除去とその構造解析、量子ビームサイエンスフェスタ、2018 年 3 月 4 日、茨城県立県民文化センター (茨城県水戸市)

馬場祐治, 下山 巖, Cs 化合物および Cs 吸着土壌からのイオン脱離, 第 31 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2018 年 1 月 9 日, つくば国際会議場 (茨城県つくば市)

第 31 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム 下山 巖, 小暮敏博, 奥村大河, 馬場祐治, 本田充紀, 岡本芳浩, アルカリ塩化物を用いたセシウムフリー鉱化法による福島汚染土壌の除染試験, 第 49 回溶融塩化学討論会, 2017 年 11 月 30 日, 関西大学千里山キャンパス (大阪府吹田市)

本田充紀, 後藤琢也, 坂中佳秀, 下山

巖、岡本芳浩、鈴木伸一、矢板毅、溶融塩を用いた福島風化黒雲母からのセシウム除去と電気化学的分離・回収、第49回溶融塩化学討論会、2017年11月30日、関西大学千里山キャンパス(大阪府吹田市)

M. Honda, I. Shimoyama, Y. Okamoto, R. Soma, K. Fukuda, M. Ochi and A. Iwase, Micro fluorescence X-ray characterization of structure and metamorphic in iron-rhodium alloys, The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8), 2017年10月22日、つくば国際会議場(茨城県つくば市)

Y. Baba and I. Shimoyama, Ion desorption from cesium compounds and cesium-adsorbed soil by surface ionization, The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8), 2017年10月22日、つくば国際会議場(茨城県つくば市)

下山巖、本田充紀、小暮敏博、馬場祐治、矢板毅、岡本芳浩、セシウムフリー鉍化法を用いた実土壤除染における塩物の添加効果、第61回粘土科学討論会、2017年9月25日、富山大学五福キャンパス(富山県富山市)

S. Entani, M. Honda, I. Shimoyama, S. Li, H. Naramoto, T. Yaita and S. Sakai, Adsorption of cesium from aqueous solution using graphene oxide grown on a porous substrate, 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2017年9月21日、仙台国際センター(宮城県仙台市)

下山巖、本田充紀、小暮敏博、馬場祐治、矢板毅、岡本芳浩、セシウムフリー鉍化法を用いた土壤除染におけるCaCl₂及びKCl添加物の効果、日本原子力学会「2017年秋の大会」、2017年9月14日、北海道大学(北海道札幌市)
本田充紀、後藤琢也、坂中佳秀、下山巖、岡本芳浩、鈴木伸一、矢板毅、溶融塩電気化学法を用いた福島風化黒雲母からのセシウム除去と分離、日本原子力学会「2017年秋の大会」、2017年9月14日、北海道大学(北海道札幌市)
小暮敏博、下山巖、本田充紀、馬場祐治、岡本芳浩、矢板毅、セシウムフリー鉍化法による汚染土壤からの放射能除去、日本地球化学会第64回年会、2017年9月13日、東京工業大学大岡山キャンパス(東京都目黒区)

浦邊祐、岩澤和明、下山巖、野本真司、吉田弘幸、奥平幸司、ジアミン系分子接合剤(a-TES)層導入による酸化銅上のDNIT膜の分子配向制御、第78回応用物理学会秋季学術講演会、2017年9月7日、福岡国際会議場(福岡県福岡市)

木全哲也、垣谷健太、山本春也、田口富嗣、松村大樹、下山巖、岩瀬彰宏、小林知洋、八巻徹也、寺井隆幸、炭素担体へのイオン照射によるPtナノ微粒子触媒の活性向上：界面構造にXAFS測定で迫る、第78回応用物理学会秋季学術講演会、2017年9月5日、福岡国際会議場(福岡県福岡市)

M. Honda, Y. Okamoto, I. Shimoyama, H. Shiwaku, S. Suzuki, T. Yaita, In situ XAFS analysis for Cs removal process from Fukushima weathered biotite by heat treatment with NaCl-CaCl₂ mixed salt, Euroanalysis2017, 2017年8月30日、Stockholm (Sweden)

馬場祐治、下山巖、表面電離によるCsClおよびCs吸着土壌からのイオン脱離、第37回表面科学学術講演大会、2017年8月18日、横浜市立大学金沢八景キャンパス(神奈川県横浜市)

下山巖、馬場祐治、平尾法恵、ヘテロ原子ドーピングしたグラファイト上のシリコンポリマー薄膜の微細配向制御、第37回表面科学学術講演大会、2017年8月19日、横浜市立大学金沢八景キャンパス(神奈川県横浜市)

K.R. Koswattage, I. Shimoyama, Y. Baba, T. Sekiguchi and K. Nakagawa, Adsorption behavior of hydrogen on h-BN thin film, The 3rd International Symposium on Advanced Inorganic Materials, 2017年8月3日、物質・材料研究機構(茨城県つくば市)

21 下山巖、本田充紀、小暮敏博、馬場祐治、矢板毅、岡本芳浩、セシウムフリー鉍化法を用いた汚染土壌の除染における塩化物の添加効果、第6回環境放射能除染研究発表会、2017年7月19日、とうほう・みんなの文化センター(福島県福島市)

22 M. Honda, Y. Okamoto, I. Shimoyama, H. Shiwaku, S. Suzuki, T. Yaita, Mechanism of Cs removal from Fukushima weathered biotite by heat treatment with a NaCl-CaCl₂ mixed salt, 9th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2017), 2017年6月21日、Singapore (Singapore)

23 Y. Baba and I. Shimoyama, Application of total-reflection X-ray photoelectron spectroscopy and X-ray absorption spectroscopy to chemical-state analysis of trace-level cesium and strontium, 5th Annual Conference of AnalytiX-2017, 2017年3月24日、ヒルトン福岡シーホーク(福岡県福岡市)

24 木全哲也、垣谷健太、山本春也、田口富嗣、松村大樹、下山巖、岩瀬彰宏、小林知洋、八巻徹也、寺井隆幸、Arイオン

- 照射グラッシーカーボンを担体とした Pt ナノ微粒子の XAFS 解析, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017 年 3 月 15 日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)
- 25 馬場祐治、下山 巖、放射性核種の原子数に匹敵する超微量 Cs および Sr の吸着状態、量子ビームサイエンスフェスタ、2017 年 3 月 14 日、つくば国際会議場 (茨城県つくば市)
- 26 本田充紀、岡本芳浩、下山 巖、塩飽秀啓、鈴木伸一、矢板毅、その場観察 XAFS 測定による反応促進剤を用いた熱処理による福島風化黒雲母からの Cs 除去過程の解明、第 30 回日本放射光学会年会、2017 年 1 月 8 日、神戸芸術センター (兵庫県神戸市)
- 27 下山 巖、本田充紀、小暮敏博、馬場祐治、岡本芳浩、千葉慎哲、矢板毅、鈴木伸一、セシウムフリー鉍化法による福島風化黒雲母からの Cs 除去と低圧環境の影響、第 30 回日本放射光学会年会、2017 年 1 月 8 日、神戸芸術センター (兵庫県神戸市)
- 28 馬場祐治、下山 巖、全反射 XPS および全反射 XAFS による放射性核種の原子数に相当する極微量 Cs, Sr の化学結合状態分析、第 30 回日本放射光学会年会、2017 年 1 月 8 日、神戸芸術センター (兵庫県神戸市)
- 29 下山 巖、Cs フリー鉍化法におけるアルカリ塩試薬依存性：昇温脱離法で見た Cs 脱離挙動の違い、平成 28 年度 QST 研究交流会、2016 年 12 月 8 日、高崎量子応用研究所 (群馬県高崎市)
- 30 下山 巖、Cs フリー鉍化法による汚染土壌減容化と再利用、PF 研究会「福島環境回復を目指した放射光研究の現状と今後の課題」、2016 年 10 月 14 日、高エネルギー加速器研究機構 (茨城県つくば市)
- 31 下山 巖、本田充紀、小暮敏博、馬場祐治、平尾法恵、岡本芳浩、千葉慎哲、矢板毅、鈴木伸一、汚染土壌の減容化と再利用を目指したセシウムフリー鉍化法の開発、第 60 回粘土科学討論会、2016 年 9 月 16 日、九州大学病院キャンパス (福岡県福岡市)
- 32 下山 巖、本田充紀、小暮敏博、平尾法恵、馬場祐治、岡本芳浩、矢板毅、鈴木伸一、福島における汚染土壌の除染と再利用を目指したセシウムフリー鉍化法 (1)非放射性 Cs を飽和吸着した福島風化黒雲母のセシウムフリー鉍化反応、日本原子力学会 2016 年秋の大会、2016 年 9 月 8 日、久留米シティプラザ (福岡県久留米市)
- 33 本田充紀、岡本芳浩、下山 巖、塩飽秀啓、鈴木伸一、矢板毅、福島における汚染土壌の除染と再利用を目指したセシウムフリー鉍化法 (2)その場観察 EXAFS 分析を用いた混合塩 (NaCl-CaCl₂) 添加および加熱処理による Cs 吸着風化黒雲母からの Cs 除去過程の解明、日本原子力学会 2016 年秋の大会、2016 年 9 月 8 日、久留米シティプラザ (福岡県久留米市)
- 34 岩田景子、高見澤悠、河 侑成、下山 巖、岡本 芳浩、小島 啓、眞弓 蓮、岩瀬 彰宏、永井 康介、西山 裕孝、X 線吸収を用いたステンレスオーバーレイクラッド熱時効材の微細組織分析、日本原子力学会 2016 年秋の大会、2016 年 9 月 8 日、久留米シティプラザ (福岡県久留米市)
- 35 Y. Baba, I. Shimoyama and N. Hirao, Chemical-state analysis of trace-level alkali metals and alkaline-earth metals sorbed in layered oxides by total-reflection X-ray photoelectron spectroscopy, 32nd European Conference on Surface Science (ECOSS-32), 2016 年 8 月 29 日, Grenoble (France)
- 36 下山 巖、グラファイト基板上のポリジメチルシラン薄膜の窒素ドーピングによる配向制御、第 29 回 DV-X 研究会、2016 年 8 月 8 日、東京工科大学 (東京都八王子市)
- 37 下山 巖、本田充紀、小暮敏博、汚染土壌の減容化と再利用を目指した Cs フリー鉍化法の提案、第 5 回環境放射能除染研究発表会、2016 年 7 月 6 日、福島県文化センター (福島県福島市)
- 38 I. Shimoyama, Heteroatom doping of graphite and its applications as energy materials, Energy Materials Nanotechnology, 2016 年 6 月 23 日, Prague (Czech)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

馬場 祐治 (BABA, Yuji)
 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 福島研究開発拠点 福島事業管理部・嘱託
 研究者番号：90360403

(2) 研究分担者

下山 巖 (SHIMOYAMA, Iwao)
 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 物質科学研究センター・研究主幹
 研究者番号：10425572