

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：82110

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19886

研究課題名（和文）核壊変に伴う特性X線の精密測定による放射性核種の簡易分析

研究課題名（英文）Simple analysis of radioactive nuclides by the measurements of characteristic X-rays accompanied by the nuclear decay

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・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究嘱託

研究者番号：90360403

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,200,000円

研究成果の概要（和文）：放射性核種が自発的にX線を放出していることに着目し、X線測定による汚染土壤中の放射性核種の検出に関する検討を行った。まず、Cs-137及びSr-90標準線源から放出されるX線スペクトルを測定し、X線の放出率、検出効率などの基礎データを得た。これらのデータに基づき、福島県内で採取した汚染土壤についてX線測定を行ったところ、Ba K X線の測定により、Cs-137の定量が可能であることを明らかにした。また、高濃度の汚染土壤（2.5 MBq/kg）からは、Sr-90の改変に伴い放出されるZr K X線が観測され、ガンマ線を放出しない核種でもX線測定による検出が可能であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、Sr-90などガンマ線を全く放出しない核種を含め、放射性核種から自発的に放出される特性X線のエネルギー、強度などを精密に測定したことは、従来から核データが十分ではなかったX線の放出に関して基礎データを提供した点において、学術的意義がある。一方、X線測定によりCs-137の定量、Sr-90の検出ができたことは、放射線汚染土壤などの簡便な放射能分析に道を拓くものであり、社会的意義が大きいと考える。

研究成果の概要（英文）：Since many radioactive nuclides spontaneously emit X-rays, we investigated whether radioactive nuclides in contaminated soil can be detected by the X-ray measurements. First, X-ray spectra were measured for Cs-137 and Sr-90 standard reference sources. Based on the obtained basic data, X-ray spectra were measured for contaminated soil collected in Fukushima Prefecture. As a result, it was clarified that Cs-137 can be quantitatively analyzed by measuring Ba K X-rays. For highly contaminated soil, Zr K X-rays emitted from Sr-90 were also detected, which indicated that radioactive nuclides that do not emit any gamma-ray can also be detected by measuring X-rays.

研究分野：化学

キーワード：X線 放射性核種 セシウム ストロンチウム 汚染土壤 放射能分析

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。汚染分布の把握や今後の除染対策のためには、環境中の放射性核種の迅速、簡便な測定法の開発が急務であった。環境中の放射性核種のうち、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs などは、ガンマ線測定により簡便に測定できるので、モニタリングポストや自動車・航空機モニタリングなどにより、多くのデータが蓄積されていた。ただし帰還困難区域や原子力発電所内などのバックグラウンドの高い地域では、狭い領域のどこに ^{137}Cs が多く存在するかという局所的な分布を明らかにすることが難しかった。一方、環境中の放射性核種の中には ^{90}Sr のように、ガンマ線をほとんど放出しない核種もある。Srは体内に取り込まれると骨に蓄積しやすいため、 ^{90}Sr から放出されるベータ線の人体に対する影響は大きい。その測定には試料の分解、化学分離などの煩雑な操作が必要であった。そのため、環境中の ^{90}Sr の分布や挙動に関するデータは ^{137}Cs に比べて極端に乏しく、より簡便な ^{90}Sr 分析法の開発が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では、多くの放射性核種が、アルファ線、ベータ線、ガンマ線などとともに、X線も自発的に放出していることに着目し、X線スペクトルを精密に測定することにより、簡便な放射性核種のモニタリングができないかと考えた。X線測定による核種分析は、上記のガンマ線によるモニタリングの欠点を補足できる可能性がある。すなわち、X線は空気中で遮蔽されるので、バックグラウンドの高い領域における局所分布の測定に有効と考えられる。また、ガンマ線をほとんど放出しない核種が、もし核壊変に伴ってX線を放出しているならば、X線を測定することにより、試料の分解・化学分離などの前処理を必要としない簡便な分析法となりうると考えられる。そこで本研究では、まず ^{137}Cs 及び ^{90}Sr のベータ線標準線源から放出されるX線を、高分解能のシリコン半導体検出器で精密測定した。次に、その基礎データに基づき、福島県内で採取した種々の汚染土壌から放出されるX線スペクトルを測定した。以上の結果に基づき、X線の精密測定による環境中の放射能モニタリングについて、その可能性や検出限界などを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) X線測定法

X線スペクトルの測定には、シリコン半導体検出器(シリコンドリフト検出器: AMPTEK社製 X-123)を用いた。シリコン素子の大きさは 25 mm^2 、厚みは $500\text{ }\mu\text{m}$ 、エネルギー分解能は 5.9 keV において 139 eV である。この検出器は手のひらサイズの小型であり、液体窒素による冷却も必要ないため、 100 V 電源さえあれば屋外などの現場でも測定することができる。

(2) 試料

^{137}Cs 及び ^{90}Sr 標準線源としては、(公益社団法人)日本アイソトープ協会製のベータ線標準線源を用いた。これらの線源は、放射線障害防止法規制対象外の低レベル密封線源であり、ステンレス基板上にそれぞれの核種が電着してある。 ^{137}Cs 及び ^{90}Sr の放射能強度は、それぞれ 10 kBq、2.5 kBq である。

汚染土壌の測定は、福島県内において、屋外及び実験室内で行った。測定した試料は以下のとおりである。

- ・ 試料 1：2016 年 7 月に福島県富岡町帰還困難区域で採取。平均放射能濃度：8.2 kBq/kg
- ・ 試料 2：2012 年 8 月に福島県田村郡三春町で採取。平均放射能濃度：785 kBq/kg
- ・ 試料 3：2019 年 8 月に福島県相馬郡飯舘村長泥で採取。平均放射能濃度：166 kBq/kg
- ・ 試料 4：2019 年 12 月に福島県相馬郡飯舘村佐須で採取。平均放射能濃度：2.5 MBq/kg

なお、試料 2~4 の採取及び測定に関しては、高橋正二博士(高橋科学)及び NPO 法人ふくしま再生の会の協力を得た。

4. 研究成果

(1) 標準線源の X 線スペクトル

図 1 に ^{137}Cs 標準線源から放出される X 線スペクトルを示す。30 keV 以上に $\text{Ba } K\alpha_{1,2}$ 、 $\text{Ba } K\beta$ 、5 keV 付近に $\text{Ba } L\alpha$ X 線などの特性 X 線が明瞭に認められる(その他、5 keV~10 keV にあるピークは、線源のステンレス基板から出る蛍光 X 線)。これら Ba の特性 X 線は、 ^{137}Cs の β 崩壊により ^{137}Ba が生成したことによって発生したものである。 $\text{Ba } K\alpha_{1,2}$ の強度は 7.5×10^{-5} cps/Bq であった。 ^{137}Cs から放出される特性 X 線についてはすでに報告されており、 $\text{Ba } K\alpha_{1,2}$ の放出率は 1 壊変あたり 5.8% である。したがって検出器の検出効率は 1.3×10^{-3} と見積もられた。検出効率が小さいのは、シリコン素子に比べて試料が大きいこと、30 keV 付近の検出効率が Ge 半導体検出器に比べて悪いことなどによる。

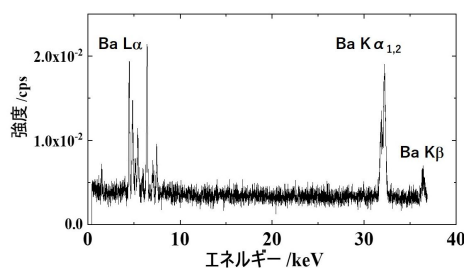


図 1 ^{137}Cs 標準線源から放出される X 線スペクトル

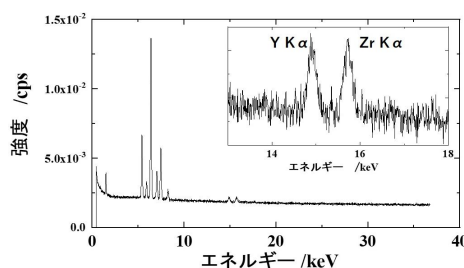


図 2 ^{90}Sr 標準線源から放出される X 線スペクトル

図 2 に ^{90}Sr 標準線源から放出される X 線スペクトルを示す。14 keV から 16 keV 付近に $\text{Y } K\alpha$ 線と $\text{Zr } K\alpha$ 線が約 1:1 の強度で明瞭に観測された。 ^{90}Sr は 2 段階の β 崩壊により $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y} \rightarrow ^{90}\text{Zr}$ と壊変するので、これらの特性 X 線は、娘核種の Y 及び孫核種の Zr から発生したものである。 $\text{Y } K\alpha$ 線及び $\text{Zr } K\alpha$ 線の強度は、それぞれ 2.7×10^{-6} cps/Bq、 3.2×10^{-6} cps/Bq であった。 ^{90}Sr から放出される特性 X 線に関する信頼できる核データはないので、 ^{137}Cs で求めた検出効率から X 線の放出率を見積もった。その結果、 $\text{Y } K\alpha$ 線と $\text{Zr } K\alpha$ 線の放出率は ^{90}Sr 1 壊変あたり、0.35% 及び 0.41% であった。以上の結果は、 ^{90}Sr から自発的に放出される特性 X 線の強度は、 ^{137}Cs に比べて 10 分の 1 以下と小さいが、 ^{90}Sr の濃度が高い場合は $\text{Y } K\alpha$ 線及び $\text{Zr } K\alpha$ 線を測定することにより、 ^{90}Sr の検出が可能であることを示唆する。

(2) 汚染土壌の X 線スペクトル

次に福島県内で採取した汚染土壌の X 線スペクトル測定を行った。代表的な例を以下に示す。図 3 は福島県富岡町で採取した試料 1 の X 線スペクトルである。汚染された ^{137}Cs から発生する $\text{Ba } K\alpha_{1,2}$ 、 $\text{Ba } K\beta$ 線が明瞭に認められる。 $\text{Ba } K\alpha_{1,2}$ の強度は、 1.7×10^{-3} cps/sample であった。したがって、1 kB/kg の土壌に対する計数率は 2.1×10^{-4} cps となる。この試料の平均放射能濃度とバックグラウンド変動の 3σ から、この測定条件における ^{137}Cs の検出限界を見積もると、約 1.7 kBq/kg であった。一方、 $\text{Y } K\alpha$ 線及び $\text{Zr } K\alpha$ 線の領域に明瞭なピークは認められなかった。上記の標準線源の測定により、 ^{137}Cs からの $\text{Ba } K\alpha_{1,2}$ 線と ^{90}Sr からの $\text{Zr } K\alpha$ 線の強度比は約 23:1 なので、 $\text{Zr } K\alpha$ 線測定による ^{90}Sr の検出限界は、約 40 kBq/kg と見積もられる。したがって、この試料の ^{90}Sr 濃度はそれ以下と考えられる。なお、図 3 のスペクトルには 7.5 keV 付近に $\text{Ni } K\alpha$ 線も観測された。これは ^{60}Co の β 壊変によるものと考えられ、本手法が ^{60}Co の測定にも使えることが分かった。

図 4 に福島県田村郡三春町で採取した試料 2 の X 線スペクトルを示す。同様に、 ^{137}Cs から発生する $\text{Ba } K\alpha_{1,2}$ 、 $\text{Ba } K\beta$ 線、 ^{60}Co

から発生する $\text{Ni } K\alpha$ 線が認められた。 $\text{Ba } K\alpha_{1,2}$ の強度は、 5.7×10^{-2} cps/sample であり 1 kBq/kg の土壌に対する計数率は 7.2×10^{-5} cps となる。一方、11 keV 付近に $\text{Bi } L\alpha$ 線が 2.6×10^{-4} cps の強度で認められた。これは核データを参考にする、 ^{210}Pb の β 壊変によって発生する X 線と考えられる。この ^{210}Pb は土壌中に含まれる天然ウランの壊変生成物と考えられる。核データによると、 ^{210}Pb は 1 壊変当たり 9.6% の割合で $\text{Bi } L\alpha$ 線を放出するので、この土壌中の ^{210}Pb の濃度を見積もると、約 38.7 kBq/kg となる。 ^{210}Pb は生物学的半減期が長い、国際放射線防護委員の勧告により飲料水中の許容量が厳しく制限されている核種であるが、ほとんどガンマ線を放出しないので、その分析には煩雑な化学分離が必要である。X 線測定による検出下限や定量性は標準線源と比較しなければわからないが、本結果は X 線測定が ^{210}Pb の簡便な分析法になり得ることを示唆している。

図 5 は福島県相馬郡飯館村で採取した試料 4 の X 線スペクトルである。 $\text{Ba } K\alpha_{1,2}$ の強度は、0.12 cps/sample であり 1 kBq/kg の土壌に対する計数率は 4.8×10^{-5} cps となる。スペクトル中には、今まで述べてきたピークのほか

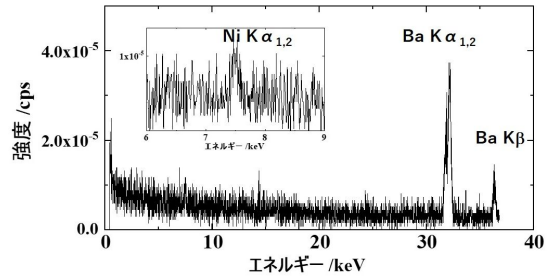


図 3 福島県富岡町で採取した土壌(試料 1)の X 線スペクトル

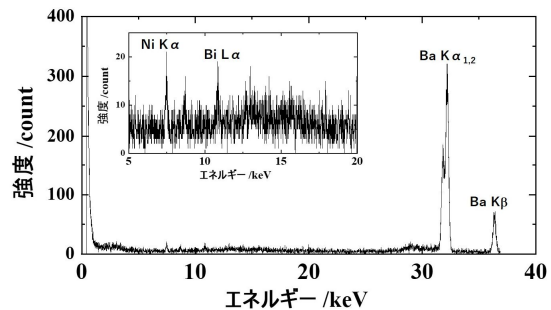


図 4 福島県田村郡三春町で採取した土壌(試料 2)の X 線スペクトル

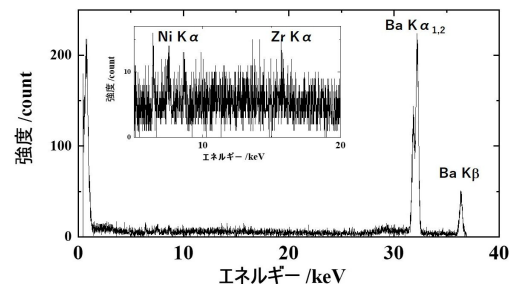


図 5 福島県相馬郡飯館村で採取した土壌(試料 4)の X 線スペクトル

に、15.7 keV に Zr $K\alpha$ 線が 7.1×10^{-4} cps の強度で認められた。標準線源の測定により、 ^{137}Cs からの Ba $K\alpha_{1,2}$ 線と ^{90}Sr からの Zr $K\alpha$ 線の強度比は約 23:1 なので、 ^{90}Sr の濃度はおよそ 100 kBq/kg と推定された。

以上のように、Zr $K\alpha$ 線測定による ^{90}Sr の検出感度は ^{137}Cs に比べると良くないが、 ^{90}Sr の濃度が高い場合は、試料の分解・化学分離などの前処理を経なくても、X線測定により ^{90}Sr の分析が可能であることが分かった。

以上、放射性核種から放出される X線測定による簡易放射能分析に関する検討を行い、以下の結果を得た。

- 1) ^{137}Cs 及び ^{90}Sr 標準線源から放出される娘核種、孫核種の特徴 X線 (Ba $K\alpha$ 、Y $K\alpha$ 、Zr $K\alpha$ など) を測定し、その放出率、検出効率、 ^{137}Cs と ^{90}Sr から放出される X線強度比などの基礎データを取得した。
- 2) 福島県内で採取した土壌から放出される X線スペクトルを測定し、Ba $K\alpha$ 線の測定から ^{137}Cs が定量できることを明らかにした。また、試料によっては、 ^{60}Co からの Ni $K\alpha$ 線、 ^{210}Pb からの Bi $L\alpha$ 線が検出され、X線測定からこれらの各種の検出が可能であることが分かった。
- 3) 放射能濃度が高い土壌からは Zr $K\alpha$ 線が観測され、X線測定により ^{90}Sr の測定が可能であることが分かった。

以上のように放射性核種から発生する X線スペクトルの測定は、従来のガンマ線によるモニタリングを補完する手法となり得る。特に、Ba $K\alpha$ 線測定による ^{137}Cs の検出は感度が良く定量性も良い。もちろん ^{137}Cs の測定はガンマ線測定で可能であるが、高レベルの汚染地域や原発の建屋内など、放射線のバックグラウンドが高い場所でのガンマ線測定では、 ^{137}Cs がどこに多く存在しているかという局所分布の測定は困難である。その点、X線は空気で容易に吸収されるので、こういった高レベルの汚染場所での ^{137}Cs 分布の測定には有効な手法と言える。

一方、Zr $K\alpha$ 線測定による ^{90}Sr の定量は現段階では感度が十分ではなく、精度も十分とは言えず、現状では実用化までは至っていない。その要因のひとつは、シリコン素子の大きさが 25 mm^2 と小さいため、検出効率が低かったことにある。この点に関しては、より大面積のシリコン半導体検出器が現在メーカーにより開発されているので、それを用いることにより、実用化への道が拓かれると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Y. Baba, I. Shimoyama	4. 巻 987
2. 論文標題 Multi-atom resonant X-ray emission in simple binary compounds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 164845 ~ 164845
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.164845	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 本田充紀, 後藤琢也, 坂中佳秀, 鈴木伸一, 矢板毅	4. 巻 37
2. 論文標題 Cesium removal and reductive effect from Fukushima weathered biotite using molten NaCl-CaCl ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Factory Activity Reports	6. 最初と最後の頁 196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Y. Baba, I. Shimoyama	4. 巻 37
2. 論文標題 Multi-atom Resonance in Simple Binary Molecules -Comparison between Solid and Aqueous Solution-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Factory Activity Reports	6. 最初と最後の頁 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Y. Baba, I. Shimoyama	4. 巻 37
2. 論文標題 Multi-atom resonant photoemission in silicon compounds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Factory Activity Reports	6. 最初と最後の頁 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 M. Honda, T. Goto, Y. Sakanaka, T. Yaita, S. Suzuki	4. 巻 3
2. 論文標題 Electrochemical Cs removal and crystal formation from Fukushima weathered biotite in molten NaCl-CaCl ₂	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIMS Electronics and Electrical Engineering	6. 最初と最後の頁 102-110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/ElectrEng.2019.2.102.	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 Y. Baba, I. Shimoyama	4. 巻 16
2. 論文標題 Ion desorption from bulk cesium chloride at moderate temperature (< 500C) under electric field	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 e-J. Surf. Sci. Nanotech.	6. 最初と最後の頁 53-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejssnt.2018.53	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 S. Entani, M. Honda, I. Shimoyama, S. Li, H. Naramoto, T. Yaita, S. Sakai	4. 巻 57
2. 論文標題 Effective adsorption and collection of cesium from aqueous solution using graphene oxide grown on porous alumina	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 04FP04, 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.04FP04	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 A. Yoshigoe, H. Shiwaku, T. Kobayashi, I. Shimoyama, D. Matsumura, T. Tsuji, Y. Nishihata, T. Kogure, T. Ohkochi, A. Yasui, T. Yaita	4. 巻 112
2. 論文標題 Nanoscale spatial analysis of clay minerals containing cesium by synchrotron radiation photoemission electron microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 021603, 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5005799	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 Y. Baba, I. Shimoyama	4. 巻 2017
2. 論文標題 Ion desorption from cesium chloride and cesium-adsorbed soil	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Reports 2017	6. 最初と最後の頁 47-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

[学会発表] 計32件(うち招待講演 2件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 馬場祐治, 下山巖
2. 発表標題 内殻共鳴励起の隣接元素への影響について
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場祐治, 下山巖
2. 発表標題 化合物のXPSにおける多原子共鳴
3. 学会等名 2020年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本田充紀, 金田結依, 矢板毅
2. 発表標題 溶融塩法を用いた土壌粘土鉱物によるストロンチウム吸着法の開発
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 圓谷志郎, 本田充紀, 下山巖, 滝沢優, 李松田, 馬場祐治, 榎本洋, 境誠司
2. 発表標題 酸化グラフェンに吸着したアルカリ金属のXAFS による研究
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田充紀, 後藤琢也, 坂中佳秀, 矢板毅, 鈴木伸一
2. 発表標題 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放射光XAFS分析による電解還元効果の解明
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬場祐治, 下山巖
2. 発表標題 核壊変に伴うX線測定による放射能分析の試み
3. 学会等名 環境放射能除染学会第8回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下山巖, 杉田剛
2. 発表標題 セシウムフリー鉍化法によるCs汚染鉍物の光触媒材料への変換と環境浄化への再生利用
3. 学会等名 環境放射能除染学会第8回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下山巖
2. 発表標題 セシウムフリー鉱化法を用いた土壌除染における硝酸塩添加剤の効果
3. 学会等名 環境放射能除染学会第8回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Shimoyama
2. 発表標題 Soil decontamination by cesium-free mineralization with CaCl ₂ : effect of chlorine on phase transformation of a clay mineral
3. 学会等名 The 7th International Conference on DV-X method (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Shimoyama, Y. Baba
2. 発表標題 Importance of halogen for soil decontamination using cesium-free mineralization: A role of chlorine on phase transformation of weathered biotite
3. 学会等名 17th International Conference on the Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬場祐治, 下山巖
2. 発表標題 Multi-atom resonanceの再検証
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下山巖, 馬場祐治
2. 発表標題 粘土鉱物の相変態誘起を介したCs除去に関するアルカリ塩化物の反応促進効果
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 圓谷志郎, 本田充紀, 下山巖, 滝沢優, 李松田, 馬場祐治, 檜本洋, 境誠司
2. 発表標題 酸化グラフェンに吸着したアルカリ金属のXAFS による研究
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下山巖, 馬場祐治
2. 発表標題 アルカリ塩と粘土鉱物との反応における塩素の役割
3. 学会等名 第50回溶融塩化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下山巖, 小暮敏博, 奥村大河, 馬場祐治
2. 発表標題 低圧環境下での塩化物添加熱処理による土壌除染
3. 学会等名 日本地球化学会第65回年会,
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下山巖, 小暮敏博, 奥村大河, 馬場祐治
2. 発表標題 アルカリ塩化物を用いたセシウムフリー鉱化法による土壌除染: 反応剤のカチオン価数に依存したCs除去過程
3. 学会等名 日本原子力学会2018年秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 馬場祐治
2. 発表標題 放射光X線による選択的な電子励起 - その物質・材料科学への応用
3. 学会等名 第66回放射線科学研究会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下山巖, 小暮敏博, 奥村大河, 馬場祐治
2. 発表標題 セシウムフリー鉱化法を用いた土壌除染における塩化物反応剤と低圧環境の相乗効果
3. 学会等名 第7回環境放射能除染研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 馬場祐治	4. 発行年 2018年
2. 出版社 本の泉社	5. 総ページ数 176
3. 書名 エックス線物語 レントゲンから放射光、X線レーザーへ	

1. 著者名 馬場祐治	4. 発行年 2020年
2. 出版社 総合科学出版	5. 総ページ数 184
3. 書名 核エネルギーの時代を拓いた10人の科学者たち	

〔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	下山 巖 (Shimoyama Iwao) (10425572)	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 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主幹 (82110)	
研究分担者	本田 充紀 (Honda Mitsunori) (10435597)	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 原子力科学研究所 物質科学研究センター・研究副主幹 (82110)	

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
---------	---------