

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04365

研究課題名(和文) マグネタイト形成反応を利用した放射性セシウム汚染土壌の磁選分級技術

研究課題名(英文) Magnetic classification of radioactive Cs-polluted soil using formation of magnetite

研究代表者

三苦 好治 (Mitoma, Yoshiharu)

県立広島大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：20301674

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：放射性セシウムは土壌中の粘土内部に強く捕捉されていることから、汚染土壌中の粘土画分の分級技術などの開発が急がれている。このような状況下、我々は、二価鉄/アルカリ溶液を汚染土壌に加え、250℃程度で磁性体生成と熱減容を同時に行い、磁力選別によって概ね粒径75 μm未満土壌を分級する技術を開発した。磁性体材料としてFeSO<sub>4</sub>・7H<sub>2</sub>O、アルカリ薬剤としてNaOHを用いて黒ボク土に対して上述の技術を適用すると、最大で11.8%の土粒子を磁着分離可能であった。さらに未燃炭素をバインダーとした二次粒子の形成抑制条件を明らかにし、特異な土壌成分上で磁性物質が優先的に生成及び吸着することを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先行する湿式除染法においても、有機物含有土の除染は不得手で、加熱分離法に期待が集まるものの廃棄物量の削減などに課題が残る。そこで本研究では、機能性マグネタイトが湿式合成されることに注目し、鉄系イオン種を土壌粒子表面に付着させ、次いでアルカリ処理し、続いて加熱しマグネタイトを生成させた。これにより、熱減容プロセスにより有機物を減容し、同一反応場でマグネタイトを生成させ、連続的に磁選により分級するシステムとした。本手法は、加熱温度の最小化、前処理工程の簡略化、選択性向上の可能性(2:1型粘土鉱物を標的)、総廃棄物量の削減により処理コストも同等に抑えられる見込みである。

研究成果の概要(英文)：Since radioactive cesium is strongly trapped inside clay in soil, the development of techniques for classifying the clay fraction in contaminated soil is an urgent matter. Under these circumstances, we developed our new method by mixing a divalent iron/alkali agent with the contaminated soil heating to simultaneously generate a magnetic substance and thermally reduce the volume at 250 °C. Using FeSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O as a magnetic material and NaOH as an alkaline agent and applying the above-mentioned developed technology to black soil (containing 23% organic matter), it was found that a maximum of 11.8% of the treated soil could be magnetically separated under moderate heating conditions. Moreover, we clarified the conditions for suppressing the formation of secondary particles with unburned carbon, which is abundant in residual soil, as a binder between fine soil particles, and found that magnetic substances are preferentially generated and adsorbed on specific soil components.

研究分野：環境化学

キーワード：磁力選別 分級 放射性セシウム 減容化 マグネタイト 除染

## 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災に端を発する福島第一原発事故により、原発周辺地域への放射性物質（特に放射性セシウム、以降、放射性 Cs）の飛散が深刻な環境問題を引き起こした。原発から放出した放射性 Cs は降雨により土壤に沈着し、それらは I.フミン物質や土壤粒子表面にイオン吸着、あるいは、II.2:1 型粘土内部に捕捉された形態をとった。住宅近郊の汚染土壤は、形態 I の吸着状態にあった放射性 Cs も、その多くは形態 II として安定化された。これらを除染した仮置き場の汚染土壤（概算 2,200 万トン、うち 2/3 が農地土壤）を中間貯蔵施設に全て持ち込むことは非現実的であり、今後、形態 II の汚染土壤に対する小型化可能な減容化技術の開発が急務となっている。このような事故後の除染技術の開発動向は、「抽出/吸着」系技術（区分 1）、土壤分級技術（区分 2）、及び加熱分離/減容技術（区分 3）の 3 つに大別される。ただし、上述の理由で、近年、汚染土からの放射性 Cs のみの抽出が極めて困難であるため、土壤粒子に吸着した放射性 Cs を土壤微粒子ごと取り除く技術が最も実装に近い（単位重量当たり表面積が広く、土壤微粒子には放射性 Cs が高濃度となる）。なかでも「マイクロバブル浮選/分級法」（第 2 区分）がその代表例である。しかしながら、大掛かりな廃水処理施設がプロセス下流に必須であり小型化が困難であることや根毛等の高含有土壤の処理に制限がある。そこで、第 3 区分の技術群に期待が寄せられるものの、汚染土に対して大量の分離助剤量の投入が必要であり、最終的な廃棄物量が凡そ 2 倍に増すなど解決すべき技術課題がある。このような状況下、我々は機能性マグネタイトによる無廃水かつ常温処理で乾式土壤分級技術を開発し、90%以上の除染率を得た（先行湿式技術と同程度の除染効率）。しかしながら、機能性マグネタイトは乾式故に粉じんを生じやすく（現在、アスベスト対策技術で対応）、その抑制のために土壤含水率を高くすると（30%以上）、土壤への機能性マグネタイトの吸着が大きく阻害された。

そこで本研究では、機能性マグネタイトのノウハウ、即ち、土壤質量×磁性物質の磁力強度（付着量）×磁石強度のバランスで土壤微粒子を分離（＝機能性マグネタイト法、JST 採択技術）する技術を活用しつつ、本技術の弱点の克服を目指す。即ち、機能性マグネタイトの原材料である弱酸性液の二価鉄イオンを汚染土に噴霧（＝鉄イオンの溶解性を維持し、土壤への拡散性を維持するため）し、汚染土全体をマグネタイト生成条件（150℃以上、アルカリ剤により中和）に制御し、同一プロセス内で磁性物質を生成かつ有機物を減容化した後に、放射性 Cs を濃く含有している土壤微粒子のみを乾式磁力選別する（＝熱減容/磁選法）。本提案技術は、我々が従来技術で特徴とした「常温処理」を放棄するものの、実装段階では低温熱処理によって前処理の圧倒的な簡略化（水分調整不要、可燃物減容、磁選材の調製）が可能であり、従来技術の課題解決（廃水、ガス化抑制、ダイオキシン抑制、廃棄物抑制等）にも資する有益な新技術となる可能性がある。

## 2. 研究の目的

究極の汚染物質ともいえる環境中の放射性物質（この場合、土壤中放射性 Cs）の浄化を、省資源及び省エネルギーで迅速に達成できる技術は今のところない。本研究における上述の課題解決のための戦略は、汚染物を固定する有機・無機マトリックス全体を処理対象として認識するだけでなく、それらマトリックス表面を「磁化」のための反応場とすることに醍醐味がある。そこには、次のような学術的「問い」がある。まず、固相反応でマグネタイト系磁性物質が十分に生成するかどうか、さらに、磁性剤の原料である鉄イオンを可能な限り選択性を高めて 2:1 型粘土鉱物上に吸着・生成促成できるかどうか、また、生成促進するトリガーは何か、また、放射性 Cs を含む有機・無機マトリックスの低温熱処理により、有機マトリックス中に存在した放射性 Cs は、どのような土壤構造や表面組成をもつ無機系土壤種に強い吸着特性を示すのか、その際、吸着形態はどのような状態かである。

先行する湿式浮遊選別法では懸濁水中での土粒子の比重差を利用する土壤分級で廃水処理が必須であるのに対し、本研究のプロトタイプの機能性マグネタイト法（JST 採択技術）では、静電気を帯びやすい機能性マグネタイト粉体を土壤に添加混合し、加えるマグネタイト量、土壤粒子の質量、及び分離に用いる磁石強度のバランスを調整し、放射性 Cs を高濃度に含有する土壤微粒子のみを高選択的に分離する無廃水式分級法である。一方、今回の提案手法（熱減容/磁選法）は、機能性マグネタイト（粉体）を汚染土壤共存下で調製するという大胆な技術思想の転換を伴う。即ち、機能性マグネタイトの調製条件である原料である 2 価及び 3 価の鉄イオン水溶液/アルカリ水溶液（中和用）/加熱条件が整えば生成することを、最大限に汚染土処理条件に適合させた結果から生まれた。さらに、スプレー方式での可能性も見出しており、これを最適化すれば、より省資源で土壤分級が成立する可能性が十分に見込める。このとき、想定処理温度は、比較的低温で行い（キュリー点 <858K>、生成温度 <150℃以上>、及びダイオキシン発生温度を考慮）、150℃～350℃における熱減容プロセスでのマグネタイト系磁性物質の生成条件と汚染物挙動を明らかにする。提案法では、2:1 型粘土鉱物と 1:1 型粘土鉱物の陽イオン交換容量(CEC)

が最大で約 80 倍以上異なることを利用し、磁性材をイオン溶液として土粒子に吸着させる際に予め存在する土壌中の 1 価のイオン種と、添加する  $\text{Fe}^{2+}$  とのイオン交換を行う条件を探索し、次いで、固相表面で強磁性材への化学反応を促す。これにより高濃度 Cs 含有 2:1 型粘土（一般的に放射性 Cs が高濃度）に相対的に多くの磁性物質を優位な差で吸着させ選択分級を可能とする。以上により、中間貯蔵土の減容化だけでなく、未だに手つかずの森林汚染土の除染（リター⇄表層土⇄植物間を循環し、前述の形態 II に留まっていない）も可能な技術へ飛躍できる可能性がある。加えて、土木工学分野においても薬剤添加量（湿式凝集沈殿に比較）は少なく土粒子形状も維持しているため、処理土のリサイクルも容易であり、現場への埋め戻しに耐えうる強度も期待できる。目標値として、有機物質を 60%程度含む汚染土処理の場合で減容率 50%以上、炭化分を考慮かつ除染率 90%以上（先行する湿式分級と同程度、90%以上の粘土分離効率）を目指した。

### 3. 研究の方法

初めに、土壌分析、熱減容、及び固相マグネタイト調製法について述べる。土壌サンプリングでは、根毛等含む有機含有土を対象とし、風乾細土（2mm 以下乾燥土壌）を調製した。次いで、土壌の基礎物性評価について、(1) pH、電気伝導度、酸化還元電位、(2) 既設 TOC 等による全炭素及び全窒素、(3) 熱分離温度に影響を与える土壌リン酸保持容量の定量、(4) BREMNER 分光法によるアンモニウム態窒素、(5) 既設 HPLC による硝酸態窒素の定量、(6) 可給態ケイ酸量等の 2:1 型層状ケイ酸塩粘土鉱物の置換量及び帯電量を概算、(7) 既設 ICP 発光分析装置による微量元素の定量、(8) 粒度分布、(9) 陽イオン交換容量及び陰イオン交換容量 (CEC, AEC) 及びその化学種の定量、(10) 表面観察：処理前後の土壌の表面観察を計画した。

次に、塩化 Cs 水溶液を採取土壌に添加しモデル土壌を調製した。さらに、Cs 含有量を ICP-MS 分析により求めた。得られたモデル土壌を用いて、熱減容の影響検討を行った。この度の温度域における有機物共存下での Cs 挙動に関する報告例はほとんどない。そこで、マトリックス間の Cs 移行に関する検討、さらに有機性ガス組成も定量した。このとき、環境要因、処理時間、燃焼効果の影響把握などを行った。また、Fe 系イオン/アルカリ材のスプレー噴霧による固相マグネタイト調製法の開発も試みた。薬剤量削減効果の高いスプレー方式を採用した。その場合、アルカリ剤を土壌に市販スプレー（霧の液滴径変更可）で噴霧後に、鉄イオン溶液を別途スプレーで噴霧し、生成条件に誘導した汚染土壌の表面で磁性物質の生成を計画した。この理由は、実機化を見据えた場合、事前混合（溶液反応）では微小磁性物質が凝集し流路内で沈殿するなどのトラブルの可能性を排除するためである。基準となるスプレー方法（ノズル選定）と噴霧量を規定した。また、反応場と成る固相に対し、鉄イオンの噴霧時、水分の有無がマグネタイト生成に与える影響を検討した。マグネタイト生成量や磁気特性与える諸因子検討した。その詳細は次の通りである。カウンターアニオンや各種カチオンの種類、共存アルカリ材及びその pH（アルカリ種類や量で磁性物質の生成量調整可）、水分量、鉄イオンとアルカリ材の養生時間や順序、その処理温度、加熱時間、及びマトリックス種、噴霧方法（各種条件決定後に帰納的検討）等について検討した。続いて、各種処理条件でのマグネタイト生成量や粒子径を分析し、さらにその吸着土壌種（磁選後に XRD, EPMA 等で検討）を特定した。さらに、高温度域でのマグネタイト生成とその物性評価の検討や生成や吸着の促進・抑制薬剤のスクリーニングなどを実施した。

また、企業の支援による大型スケールの実験などを進めており、適宜、ノウハウなどを共有し、実汚染土壌の処理とその効果検証を行った。

### 4. 研究成果

特許化等の制約から、基礎となる現象を紹介し、次いで、得られた成果の一部を示す。マグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) の湿式生成法は、アルカリ添加条件下、 $\text{Fe}^{2+}$  と  $\text{Fe}^{3+}$  を 1:2 のモル比とした混合溶液を 50~100°C で加熱する手法や、 $\text{Fe}^{2+}$  含有水溶液と強アルカリとの反応により得られる  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  またはグリーンラストに空気を吹き込む酸化法が知られている。先ず本研究では、Fig. 1 に示すように  $\text{Fe}^{2+}$  及び  $\text{Fe}^{3+}$  の混合溶液を用いた  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の生成を試みた。磁力選別効率を評価するために、初期土壌の磁着量 ( $W_0$ )、薬剤添加なしの加熱処理後の磁着量 ( $W_h$ )、薬剤添加後に加熱処理をした際の磁着量 ( $W_{hr}$ ) を求め、 $W_0$  を基準にした磁着量の増加率を磁着増加率とした。磁着増加率に与える  $\text{Fe}^{2+}$  添加量と  $\text{Fe}^{3+}$  添加量の影響を検討したところ、 $\text{Fe}^{2+}$  のみを添加し、加熱処理をした条件が最も増加率が高く、17.4 倍に達した。興味深いことに、 $\text{Fe}^{3+}$  を加えると、徐々に磁着増加率は減少した。これは、土壌表面への吸着力は、 $\text{Fe}^{3+} \gg \text{Fe}^{2+}$  であるため、過剰の  $\text{Fe}^{3+}$  の添加は土壌表面での磁性物質の生成を阻害し、バルク中での生成が優先したものと考えた。環境中での土壌は、

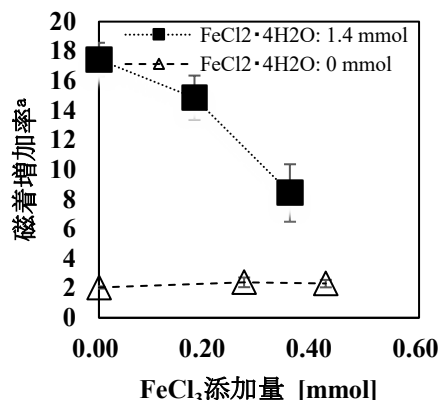


Fig.1  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  の添加量の影響。磁着増加率は加熱前後の磁着比。n=5。

本来、 $\text{Fe}^{3+}$ 源も存在することから、本分級法には、 $\text{Fe}^{2+}$ 溶液のみの添加が最適であることを明らかにした。その他に、アルカリ剤の種類と添加濃度、加熱温度の影響、及び加熱時間の影響などについても磁着効率を向上させる新たな知見を得た。

次に、モデル土壌としての黒ボク土及び真砂土に対する磁力選別効果を評価するために、薬剤無添加の加熱処理土壌の磁着量を基準として、薬剤添加による磁着量の増加率を磁着増加率とし、評価を行った。薬剤無添加の加熱処理土壌の粘土量に相当する磁着量を得るために、磁着増加率の目標値を2.5倍とした。 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 添加量とNaOH添加量が黒ボク土の磁着増加率に与える影響を検討したところ、 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ を4.5 mmol、NaOHを9.0 mmol添加・加熱処理時の磁着増加率が最も高く、2.4倍に達し、目標値の約97%を達成した(Fig. 2)。一方、真砂土においては $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ を0.9 mmol、NaOHを1.5 mmol添加・加熱処理時に最も磁着増加率が高く、黒ボク土の最適薬剤添加量は真砂土の5~6倍程度であることが明らかとなった。これは黒ボク土に含まれる有機物の影響によるものと思われる。黒ボク土に4.5 mmolの $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ と9.0 mmolのNaOH添加時の磁着率は15.2%であったのに対し、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ とNaOH添加時では同量で磁着率最大の11.8%となった。 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 添加時において、薬剤未添加加熱土壌中の75  $\mu\text{m}$ 未満土壌全量の磁着分離を磁着率の目標とした場合、回収率は最大で67.3%であった。しかしながら、有機物がバインダーとなり、大粒径との二次粒子を形成した可能性も考えられた。そのため、焼成温度の二次粒子径への影響把握を次に行った。

焼成温度を250°C、350°C、450°Cとした処理土壌の内訳をFig. 3に示す。処理土壌における磁着土壌の割合は250°Cで11.8%、350°Cで26.3%、450°Cで31.9%となり、焼成温度が高いほど増加した。その中に含まれる20  $\mu\text{m}$ 未満土壌は250°Cで0.9%、350°Cで1.8%、450°Cで2.1%となり、焼成温度に伴い増加した。あわせて、残渣土壌に含まれる20  $\mu\text{m}$ 未満土壌は250°Cで5.9%、350°Cで2.8%、450°Cで2.0%となり、減少した。このとき、処理土壌の重量は250°Cと比較して、350°Cで9.8%、450°Cで14.9%減少したため、想定した通り、焼成温度を高めるほど二次粒子のバインダーとなる土壌中有機物質が熱減量し、二次粒子の形成を抑制したと考えられた。SEM-EDSによる土壌の形状及び元素分布の観察結果やFT-IRによる有機物質の組成を考慮し、XRDによる鉱物の分布についても合わせて検討した結果、極めて特異的な鉱物組成上で、磁性物質が生じている可能性が示された。なお、実汚染土壌の処理は、別途、企業の支援等もありプロトタイプ試験機の成果が得られており、成果一覧の中に紹介した。

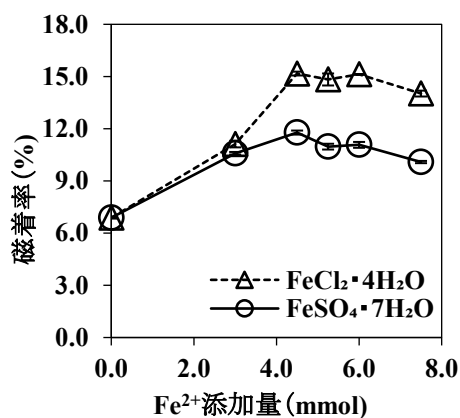


Fig. 2 カウンターアニオンが磁着率に与える影響.

0~7.5 mmolの $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ あるいは $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ と9.0 mmolのNaOHを添加、250°Cで2時間加熱後磁選。磁着率=100×磁着土壌量/(磁着土壌量+残渣土壌量)。

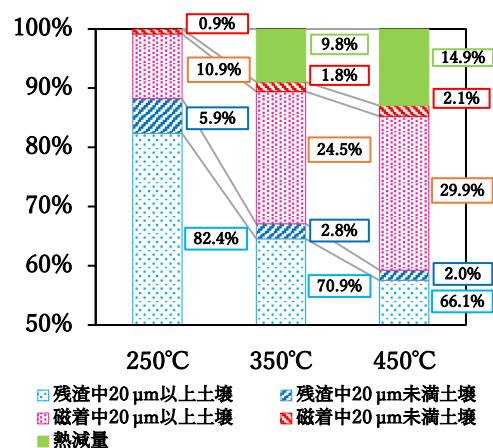


Fig. 3 各焼成温度における処理土壌の粒度の内訳.

10 gの黒ボク土に対して4.5 mmolの $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ と9.0 mmolのNaOHを添加、250~450°Cで2時間加熱し磁選後、懸濁液として浮遊選別。

以上。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Imasaka Yusaku, Katayama Yumi, Harada Hiroyuki, Simion Cristian, Simion Alina M., Mitoma Yoshiharu	4. 巻 311
2. 論文標題 Dry dechlorination of polychlorinated biphenyls in contaminated soil by using nano-sized composite of metallic Ca/CaO and its mechanism	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 137197 ~ 137197
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.chemosphere.2022.137197	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 Hidayat Endar, Yoshino Tomoyuki, Yonemura Seiichiro, Mitoma Yoshiharu, Harada Hiroyuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Synthesis, Adsorption Isotherm and Kinetic Study of Alkaline-Treated Zeolite/Chitosan/Fe <sup>3+</sup> Composites for Nitrate Removal from Aqueous Solution - Anion and Dye Effects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Gels	6. 最初と最後の頁 782 ~ 782
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/gels8120782	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 Hidayat Endar, Mohamad Sarbani Nur Maisarah Binti, Yonemura Seiichiro, Mitoma Yoshiharu, Harada Hiroyuki	4. 巻 24
2. 論文標題 Application of Box - Behnken Design to Optimize Phosphate Adsorption Conditions from Water onto Novel Adsorbent CS-ZL/ZrO <sub>2</sub> /Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> : Characterization, Equilibrium, Isotherm, Kinetic, and Desorption Studies	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 9754 ~ 9754
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijms24119754	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11件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoshiharu Mitoma, Cristian Simion
2. 発表標題 Direct preparation of magnetite-like particulate matter in polluted soil and its application for partition of radioactive Cs-containing fine particles of soil
3. 学会等名 The Global Summit on Civil, Architectural, and Environmental Engineering（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 獅子田和樹, 今坂祐作, 三苫好治, 片山裕美
2. 発表標題 ナノカルシウムによる土壌中カドミウム、鉛、及びヒ素の迅速不溶化
3. 学会等名 化学系学協会東北大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤友祐, 岩田光司, 地井直行, 阿部孝行, 三苫好治
2. 発表標題 乾式磁性分級法における模擬汚染土壌の分級効率に与える焼成温度の影響
3. 学会等名 一般社団法人 環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒川和香, 三苫好治, 奥田哲士, 水原詞治, 片山裕美, 澤田剛
2. 発表標題 乾式磁性分級法における模擬汚染土壌の分級効率に与える焼成温度の影響
3. 学会等名 一般社団法人 環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今坂祐作, 高橋美里, IMRAN A Halem Hadi, 片山裕美, 石渡寛之, 三苫好治
2. 発表標題 ナノカルシウムをトリガーとするアパタイト迅速被膜形成反応を利用した高効率な重金属等含有汚染土壌の不溶化処理
3. 学会等名 第 29 回環境化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusaku Imasaka, Yumi Katayama, A Halem Hadi Imran, Yoshiharu Mitoma
2. 発表標題 Dechlorination for Dioxin-like Compounds Using Nano-size Calcium Particles Under Dry Conditions
3. 学会等名 The Thirty-Sixth International Conference on Solid Waste Technology and Management (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒川和香, 三苫好治, 地井直行, 阿部孝行, 佐藤友祐, 岩田光司
2. 発表標題 乾式磁性分級法の分級効率に与える二価鉄化合物のカウンターアニオン及び土壌サイズの影響
3. 学会等名 一般社団法人 環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒川和香, 三苫好治, 石渡寛之, 山崎将義, 佐藤友祐, 岩田光司
2. 発表標題 マグネタイト形成反応を利用した有機性土壌の熱減容・磁力選別技術に関する研究
3. 学会等名 一般社団法人 環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三苫好治, 村田寛和, 荒川和香, 石渡寛之, 山崎将義
2. 発表標題 湿式磁性体形成反応を利用した土壌分級技術の開発
3. 学会等名 一般社団法人 環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 佐藤友祐, 佐藤理夫, 三苫好治
2. 発表標題 常温乾式磁力選別システムによる分級特性
3. 学会等名 一般社団法人 環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤友祐, 佐藤理夫, 三苫好治
2. 発表標題 実除染土に対する常温乾式磁力選別システムの実証評価
3. 学会等名 一般社団法人 環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Y. Mitoma, C. Simion(Ed. Dr. Sudipti Arora et al.)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 1025
3. 書名 Biotechnological Innovations for Environmental Bioremediation: Modern Waste Management.	

1. 著者名 A. M. Simion, Y. Mitoma, C. Simion(Ed. M. P. Shah et al.)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 596
3. 書名 Wastewater Treatment Cutting Edge Molecular Tools, Techniques and Applied Aspects	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 汚染土壌処理装置	発明者 佐藤友祐, 地井直行, 三苫好治ら	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-35231	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

三苦研究室の紹介  
<https://www.youtube.com/channel/UCF9xe04rMh5yc8YxthNbaIA>

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	片山 裕美  (Katayama Yumi)  (30823661)	八戸工業大学・工学部・講師   (31103)	
研究 分 担 者	奥田 哲士  (Okuda Tetsuji)  (60343290)	龍谷大学・先端理工学部・教授   (34316)	
研究 分 担 者	水原 詞治  (Mizuhara Shinji)  (70638999)	龍谷大学・先端理工学部・講師   (34316)	
研究 分 担 者	澤田 剛  (Sawada Tsuyoshi)  (90240902)	鹿児島大学・総合科学域共同学系・准教授   (17701)	

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			
ルーマニア	ルーマニア工科大学			