

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 4 月 14 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2016

課題番号：26701012

研究課題名(和文) 熱プロセスに係る不均一固相における有機ハロゲン化合物の生成機構解明

研究課題名(英文) Thermochemical Formation Mechanisms of Organohalogen Compounds in Heterogeneous Solid Phase

研究代表者

藤森 崇 (Fujimori, Takashi)

京都大学・地球環境学堂・助教

研究者番号：20583248

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、熱プロセスに係る不均一固相を対象とし、そこでの有機ハロゲン(塩素および臭素)化合物の生成機構解明を目的とした。改良した反応セルを利用した化学形態のその場観察により、炭素のハロゲン化機構を包括的に研究し得る系を構築した。他方、都市ごみ焼却飛灰や廃電気・電子製品野焼き土壌といった環境試料に対して、多岐に渡る有機ハロゲン化合物の定量分析を行い、未同定物質の割合、新規汚染質、生成経路などを明らかにした。加えて、熱プロセスでの生成・抑制に関与する材料の影響評価実験も行い、先行的な知見を得た。

研究成果の概要(英文)：In the present study, objective is to reveal the formation mechanisms of the organohalogen (including chlorine and bromine) compounds in heterogeneous solid phase during thermal process. We developed comprehensive system to study halogenation mechanism of carbon by in situ observation of chemical form using modified reaction cell. On the other hand, various organohalogen compounds in environmental samples such as municipal solid waste incinerator ash and electronic-waste open burning soil were quantified. Ratio of unidentified materials, novel pollutants, and formation path were found. In addition, experiments to assess influence of the materials related to generate/inhibit organohalogen compounds during thermal process were performed.

研究分野：環境化学、廃棄物工学、分析化学

キーワード：有機塩素化合物 有機臭素化合物 生成機構 焼却飛灰 野焼き 化学形態 その場観察

## 1. 研究開始当初の背景

芳香環を有し、かつ、ハロゲンと結合している有機化合物（以下、有機ハロゲン化合物と略）は、共通してダイオキシン類様の毒性を発現することが明らかになってきた。実効的な対策を行うために、有機ハロゲン化合物の生成機構の解明が求められている。

有機ハロゲン化合物の内、生成機構研究が推進されてきた主たる対象は、ダイオキシン類をはじめとする塩素 (Cl) の結合した有機塩素化合物である。特に、ごみ処理を焼却処理に依存する日本では、ダイオキシン類対策特別措置法が施行されることで、大気中への排出量が環境基準以下に低減された。しかし、生成がゼロになったのではなく、現実にはフィルター等で捕集された焼却飛灰中に濃縮・移行している。

焼却飛灰という「場」は、ごみを連想すれば分かるように、無数の元素が混然一体となった不均一固相である。多くの研究者は、限らないパラメータの内、有機塩素化合物の生成に寄与する因子を探索・同定するアプローチを長年採用してきた。

歴代の研究の上に、近年、不均一固相から単一の元素のみを選択的に分析する X 線吸収微細構造 (XAFS: X-ray Absorption Fine Structure) 法が本分野に応用されはじめ、有機塩素化合物の生成機構研究が大きく進展した。しかしながら、対象元素・試料ともに適用事例が極わずかであり、一般の有機ハロゲン化合物まで議論し得る研究成果が揃っている段階には達していない。

一方、焼却飛灰以外にも、熱プロセスに係る不均一固相は有機ハロゲン化合物の主要な発生源のひとつであると考えられる。例えば、有機塩素化合物は、途上国における廃電気・電子製品 (E-waste) の野焼き土壌でも高濃度で検出されている。

また、臭素 (Br) の結合した有機臭素化合物が、焼却飛灰および野焼き土壌のどちらの固相においても発生・濃縮することが知られている。製品中における臭素化難燃剤の使用増大の社会的背景があるにも関わらず、有機臭素化合物の熱化学的な生成機構に関する知見は、有機塩素化合物に比べて、圧倒的に乏しいのが現状である。

以上の経緯を踏まえ、

- 焼却飛灰に対する有機塩素化合物の生成機構解明研究をより一層高度化する、と共に
- 新たな不均一固相として E-waste 野焼き土壌への適用可能性を検討し、
- Cl のみならず Br も視野に入れた有機ハロゲン化合物の包括的な研究

が今後の展開として求められる。これらの課題解決には、従来の定量方法と複合的な定性分析を組み合わせた包括的実験手法を展開・応用することが必要となってくると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究は、焼却飛灰で培った研究を礎とし、より広範な熱プロセスに係る不均一固相に適用することで、包括的な有機ハロゲン化合物の生成機構解明を目的とする。加えて、Cl のみならず Br の結合した有機臭素化合物へと分析項目を拡張する。

以下では、(1) 生成機構研究の高度化、(2) 包括的な有機ハロゲン化合物の定量、(3) 新たな適用: E-waste 野焼き土壌、の 3 項目に分けて研究の方法と研究成果について記す。

## 3. 研究の方法

### (1) 生成機構研究の高度化

XAFS 測定用に、熱プロセスにおける反応場を再現するセル (反応セル) を開発した。測定試料は焼却飛灰および組成を単純化した模擬試料を、測定方法によりディスク化あるいは粉体状のまま用いた。測定対象とした元素は、有機ハロゲン化合物の構成元素である Cl、Br、および炭素 (C)、触媒作用を有する銅 (Cu)、作用機序に影響する硫黄 (S)、窒素 (N) を測定した。それぞれの元素のエネルギー吸収端に応じて、外部放射光施設として SPring-8 (兵庫県佐用郡) およびフォトン・ファクトリー (以下 PF、茨城県つくば市) の両施設を利用した。

また、焼却飛灰中の炭素の形態をマイクロスケールでマッピングする方法 (STXM) を試行した。ALS (Berkeley, USA) にて実施した。

### (2) 包括的な有機ハロゲン化合物の定量

本研究では、多岐に渡る有機ハロゲン化合物を定量分析の対象とした。塩素化合物として、ポリ塩素化ジベンゾパラジオキシン類 (PCDDs)、ポリ塩素化ジベンゾフラン類 (PCDFs)、ポリ塩素化ビフェニル類 (PCBs)、クロロベンゼン類 (CBzs)、塩素化多環芳香族炭化水素類 (Cl-PAHs) を測定した。臭素化合物として、ポリ臭素化ジベンゾパラジオキシン類 (PBDDs)、ポリ臭素化ジベンゾフラン類 (PBDFs)、臭素化 PAHs (Br-PAHs) を測定した。また、塩素と臭素が共存したモノ臭素化 PCDD/Fs (MoB-PCDD/Fs) を測定した。

個別の化合物の定量に加えて、有機ハロゲンの総濃度 (以下、本稿では TOX と記す) の定量分析についても検討した。

### (3) 新たな適用: E-waste 野焼き土壌

有機ハロゲン化合物の発生源として、焼却飛灰以外に E-waste 野焼き土壌を候補試料として選定した。ベトナム (2011 年 1 月)、フィリピン (2010 年 8 月)、ガーナ (2010 年 8 月および 2013 年 8 月) のフィールドで採取・保管してある E-waste 野焼き土壌を対象とした。ベトナムは、主にワイヤー・ケーブル類からの銅回収を目的とした野焼きである。他方、ガーナは多種多様な E-waste やそれ以外の廃棄物の減容化および有価物回収を目的とした野焼きである。フィリピンは、小規模かつ

E-waste の対象物が不明な野焼き土壌である。以上の試料に含まれている有機ハロゲン化合物および重金属類などの元素群の定量分析を実施した。処理形態の違い、XAFS による化学形態分析、および統計分析等を統合し、E-waste 野焼きによる有機ハロゲン化合物の生成機構を考察した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 生成機構研究の高度化

###### ① セルの開発・適用

放射光を固体試料ディスクに照射し、かつ、透過光および蛍光 X 線をどちらも捕捉できるように T 字型の反応セルを開発した。蛍光 X 線の出口はコーン状の形に設計し、最大限蛍光 X 線を検出できるように工夫した。また、反応セルと検出器との光路長が最小となるように設置することで、十分な強度のスペクトルを測定できることを確認できた。

特筆すべき項目として、本セルを用いて Cl の XAFS スペクトル測定が可能であることが明らかになった。これまで真空下での測定が必要な系だったが、酸素ガス存在下で温度制御をしながら Cl のその場観察が可能となった。この成果は、研究計画の最終年度に得られたことであり、今後の本格的な応用展開が期待される。

###### ② 反応ガスとの相互作用

有機塩素化合物の生成に寄与する因子として、反応ガス成分中の二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ ) が挙げられる。これまで、抑制作用と生成促進作用の矛盾する結果が報告されてきており、その支配機構については不明であった。そこで、焼却飛灰中の銅 (Cu) に着目し、加熱プロセスにおける  $\text{SO}_2$  ガスとの相互作用を、その場観察 XAFS により明らかにした。その結果、Cu は灰中での化学形態に応じて、無機塩素源が存在する条件下で  $\text{SO}_2$  ガスと反応し動的に変化し、有機塩素化合物の生成を制御していることが明らかになった。灰中で酸化銅 (II) として存在していた場合、 $\text{SO}_2$  ガス等との熱化学的反応により塩化銅 (II) や硫酸銅 (II) 等に変化し、これらの銅化合物によって有機塩素化合物 (ここでは PCDD/Fs、PCBs、CBzs) の生成量が増加していた (図 1)。逆に、灰中に塩化銅 (II) として存在していた場合は、詳細は省くが、 $\text{SO}_2$  ガスによって有機塩素化合物の生成量が減少していた。

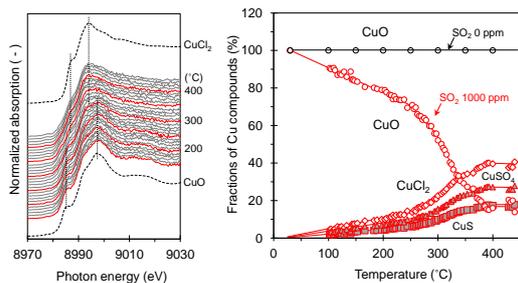


図 1 二酸化硫黄ガスと銅の化学形態変化との関係 (発表論文⑤より)

###### ③ 抑制機構研究への展開

銅の化学形態変化が有機塩素化合物に与える影響が明らかになったことから、特に影響の大きい塩化銅 (II) の熱化学的反応を抑制する研究を実施した。抑制剤として多くの化合物を検討した結果、チオ尿素  $[(\text{NH}_2)_2\text{CS}]$  の顕著な抑制効果が確認された。そこで、チオ尿素と塩化銅 (II) の反応を理解するために 5 元素 (C、Cu、S、Cl、N) の XAFS を測定し、詳細に解析した。その結果、チオ尿素に含まれる S と N が塩化銅 (II) や発生ガス、更には炭素骨格に作用し、複合的に有機塩素化合物の生成を抑制していることが明らかとなった (図 2)。具体的には、硫化銅や硫酸銅による塩化銅 (II) の失活、銅の形態変化の際に発生する塩素系ガスの塩化アンモニウムへの変化などが生じていた。本研究により、構造中に S と N が共存している化合物であれば同様の抑制機序を示す可能性があることが示唆された。

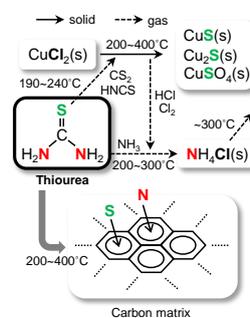


図 2 チオ尿素の抑制機構 (発表論文③より)

以上の成果以外にも、STXM による飛灰中の有機炭素のマッピングから、芳香族がマイクロスケールで分布している状態を理解することができた。

さらに、Br のその場観察 XAFS の萌芽的なデータ測定を行い、十分な質のスペクトルを得られることが分かった。これにより、有機臭素化合物に関しても、反応ガスおよび温度に依存した生成機構研究を進展させることが可能となった。

###### (2) 包括的な有機ハロゲン化合物の定量

本研究により、従来から測定対象としてきた PCDD/Fs、PCBs、CBzs に加えて、方法で示した多数の有機ハロゲン化合物の定量データを取得した。

中でもハロゲン化 PAHs (Cl-/Br-PAHs) に関しては、標準試料を外部機関の提供により入手し、測定メソッドの確立から精度管理、実試料への適用までを推進し、本課題後に自主的な測定が可能なる環境を構築することができた。実試料としては以下で述べる E-waste 野焼き土壌に、また、ごみ焼却の一次燃焼を模擬した加熱実験へ適用した。

TOX の測定系構築に関しても検討を進め、無機ハロゲンを除去した残渣中のハロゲン濃度を燃焼イオンクロマトグラフィーで測

定する方法を確立した。しかしながら、媒体によっては除去しきれない無機ハロゲンの存在が示唆されたため、有機溶媒による抽出画分の検討などを今後展開していく。

### (3) 新たな適用：E-waste 野焼き土壤

#### ① 発生状況

E-waste 野焼き土壤中の有機ハロゲン化合物および重金属類等の元素の濃度を網羅的に測定した。その結果、重篤な汚染状況が明らかとなった（例えば発表論文④）。特徴的な点として、フラン類の濃度が極めて高値を示しており、焼却飛灰とは異なる傾向を示した。PCDFs で 510 - 400,000 pg/g dw、PBDFs で 2,600 - 3,800,000 pg/g dw であった ( $n = 10$ )。また、先行研究との比較により Cl-PAHs および Br-PAHs の濃度は都市ごみ焼却飛灰に匹敵するレベルであることや、高い毒性を有している可能性があり、今後注意を要する汚染質であることが示された。1 塩素化ピレンおよび 3 塩素化フルオランテンで規格化した指標を用いて主成分分析を行った結果、E-waste 野焼きは他の Cl-PAHs 発生源とは異なる固有の発生源であることが示唆された（図 3）。

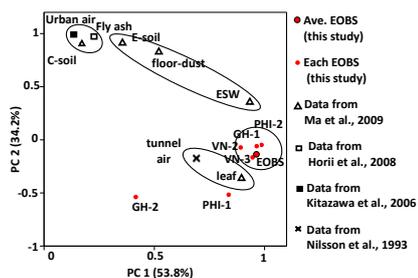


図 3 E-waste 野焼き土壤中 Cl-PAHs の発生特性（発表論文①）

E-waste 野焼き土壤中の総有機塩素濃度 (TOC1) の測定結果を用いて、未同定物質を推算した。その結果、PCDD/Fs、PCBs、CBzs 以外に 99.3%以上が人為的な野焼き由来の未同定物質である可能性が示された（発表論文⑥）。しかしながら、TOC1 は測定前処理の無機ハロゲン除去に課題があり、未同定物質の割合については、別法による再評価が必要であると考えられる。

#### ② 生成機構

重金属類等の元素濃度と有機ハロゲン化合物の総濃度との相関分析を行った結果、特に Cu との強い関連が見られた。PCDDs、PCDFs、PBDFs、および MoB-PCDFs と強い正の相関関係が示された ( $p < 0.001$ ,  $n = 10$ )。同一の試料に対して Cu の XAFS スペクトルを測定・解析した結果、大部分の Cu が塩化物として存在していることが明らかとなった（図 4）。焼却飛灰において、Cu の塩化物は有機塩素化合物の生成を触媒することが知られており、E-waste 野焼きにおいても類似の生成機構が働いている可能性が示された。

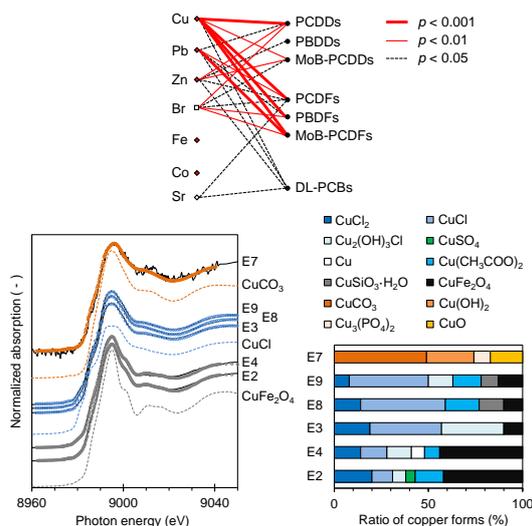


図 4 相関分析（上）および銅の化学形態（下）（発表論文④）

E-waste の作業内容を考慮した場合、ワイヤー・ケーブル類の野焼きを主に行っているベトナムの試料において有機ハロゲン化合物が高濃度を示す傾向が見られた。ワイヤー・ケーブル類は Cu を主成分として含んでおり、上で考察した触媒作用が影響している可能性がある。

また、鉛 (Pb) や亜鉛 (Zn) にも一部の有機ハロゲン化合物との正の相関関係が示された。XAFS 測定・解析の結果、いずれの重金属も Cu と同様塩化物が支配的であることが分かり、有機ハロゲン化合物の生成に関与している可能性が示唆された。Pb は 600 - 11,000 mg/kg と高濃度であり、かつ、E-waste 野焼き後に塩化物化しているため、経口曝露した際に体内に吸収されやすい形態になっていると考えられる。

#### (4) その他の派生的課題

上記以外に、未同定物質の探索を目的とした熱分解生成物の定量・評価、有機塩素化合物の熱化学的生成に対する炭素ナノ材料（フラーレン、カーボンナノチューブ、グラフェン等）の影響評価、水蒸気による制御効果の検討、E-waste 野焼きサイトにおける空間的な分布状態の把握など、多岐に渡る個別テーマを推進した。

熱分解生成物の定量・評価から、高分子の鎖状構造を持った骨格がハロゲン化された化合物の存在が示唆される結果が得られ、野焼きの対象となる製品中の特定の化合物が寄与している可能性が示された。

炭素ナノ材料がごみ質として焼却処理されることを想定した実験からは、炭素の結合様式によって同素体であっても有機塩素化合物の生成に違いが生じることが明らかになった。

個別テーマは、本研究を推進する過程で派生的に得られたものであり、当初の予定よりも進展した結果を与えた。これらの成果に関

しては、今後の追加実験や解析を通じて内容をとりまとめ、外部発表につなげていく予定である。

#### (5) 総括

本研究は、熱プロセスに係る不均一固相における有機ハロゲン化合物の生成機構解明を目的として研究を実施した。その場観察 XAFS 法による生成機構研究の高度化、Cl-/Br-PAHs を含む包括的な有機ハロゲン化合物の定量、E-waste 野焼き土壌への適用、のそれぞれに関して当初の目標を十分に達成することができた。加えて、派生的な課題についても研究を進展させることができ、当初の予定以上の知見を得ることができた。

本研究課題の全体を通じて興味深い点として、E-waste 野焼き土壌における有機ハロゲン化合物の生成機構が、都市ごみ焼却飛灰と類似の反応（銅化合物とハロゲンとの熱化学的な反応）に起因している可能性が示唆されたことが挙げられる。試料媒体・組成や反応温度・ガス等が変化しても共通して有機ハロゲン化合物を生成する普遍的な反応経路であると考えられる。有機ハロゲン化合物の熱化学的生成に関する共通性を見出すことは、生成条件の根本原則を明らかにするだけでなく、新たな燃焼発生源における予見にも役立つと考えられる。

今後は本課題を通じて高度化した研究系に基づき、新たな「共通機構」という視点から有機ハロゲン化合物の生成機構研究を継続・展開していく計画である。

(2017-2020、科学研究費補助金・若手研究A、環境中不均一固相における熱化学的な有機ハロゲン化合物生成の共通機構、17H04718)

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計8件)

- ① Nishimura, C.; Horii, Y.; Tanaka, S.; Asante, K. A.; Ballesteros Jr., F. C.; Viet, P. H.; Itai, T.; Takigami, H.; Tanabe, S.; Fujimori, T. Occurrence, Profiles, and Toxic Equivalents of Chlorinated and Brominated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in E-waste Open Burning Soils. *Environmental Pollution* in press, 2017. (査読有)  
DOI: 10.1016/j.envpol.2016.10.088
- ② Toda, A.; Fujimori, T.; Shiota, K.; Takaoka, M. Chlorine and Copper Analyses to the Effect of the Molecular Structure of Carbon on the Mechanism of Chlorination. *Organohalogen Compounds* 78, pp. 664-667, 2016. (査読有)  
<http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2016/3.1001.pdf>
- ③ Fujimori, T.; Nakamura, M.; Takaoka, M.; Shiota, K.; Kitajima, Y.

Synergetic Inhibition of Thermochemical Formation of Chlorinated Aromatics by Sulfur and Nitrogen Derived from Thiourea: Multielement Characterizations. *Journal of Hazardous Materials* 311, pp. 43-50, 2016. (査読有)

DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.02.054

- ④ Fujimori, T.; Itai, T.; Goto, A.; Asante, K. A.; Otsuka, M.; Takahashi, S.; Tanabe, S. Interplay of Metals and Bromine with Dioxin-Related Compounds Concentrated in E-Waste Open Burning Soil from Agbogbloshie in Accra, Ghana. *Environmental Pollution* 209, pp. 155-163, 2016. (査読有)  
DOI: 10.1016/j.envpol.2015.11.031
- ⑤ Fujimori, T.; Nishimoto, Y.; Shiota, K.; Takaoka, M. Contrasting Effects of Sulfur Dioxide on Cupric Oxide and Chloride during Thermochemical Formation of Chlorinated Aromatics. *Environmental Science & Technology* 48 (23), pp. 13644-13651, 2014. (査読有)  
DOI: 10.1021/es503679c
- ⑥ Nishimura, C.; Fujimori, T.; Suzuki, G.; Agusa, T.; Takaoka, M.; Takahashi, S.; Tue, N. M.; Viet, P. H.; Tanabe, S.; Takigami, H. Percentage Contributions of Chlorinated Aromatic Compounds in Electronic Waste Open Burning Soils. *Organohalogen Compounds* 76, pp. 1038-1042, 2014. (査読有)  
<http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2014/1020.pdf>

[学会発表] (計30件)

- ① 戸田朝子, 藤森崇, 佐藤健太, 高岡昌輝. 炭素ナノ材料のごみ質としての熱分解挙動. 第27回廃棄物資源循環学会研究発表会, 和歌山大学(和歌山県和歌山市), 9月27日 - 9月29日, 2016
- ② Fujimori, T.; Itai, T.; Goto, A.; Asante, K. A.; Otsuka, M.; Takahashi, S.; Tanabe, S. Influence of Heavy Metals on Formation of Dioxin-Related Compounds in E-Waste Open Burning Soil. *Dioxin 2016 - 36th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants*, Firenze, Italy, 28 Aug - 2 Sep. 2016.
- ③ Toda, A.; Fujimori, T.; Shiota, K.; Takaoka, M. Chlorine and Copper Analyses to the Effect of the Molecular Structure of Carbon on the Mechanism of Chlorination. *Dioxin 2016 - 36th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants*, Firenze, Italy, 28 Aug -

- 2 Sep. 2016.
- ④ Kojima, Y.; Fujimori, T.; Shiota, K.; Takaoka, M.; Oshita, K. Thermochemical Formation of Brominated Aromatic Compounds by Using in situ X-ray Absorption Fine Structure. *Dioxin 2016 - 36th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants*, Firenze, Italy, 28 Aug - 2 Sep. 2016.
- ⑤ Fujimori, T. Local Pollution of Metals and Organic Compounds by Primitive Electronic Waste Recycling. *The 1st International Conference on Disaster Management "From the Polar Regions to the Local Community"*, Bangkok, Thailand, 30 Mar. 2016 (招待講演)
- ⑥ 藤森崇. ダイオキシン類等の熱化学的な生成: X線吸収微細構造法によるアプローチ. X線スペクトロスコーピー利用研究会第3回会合, 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市), 3月25日, 2016. (招待講演)
- ⑦ 藤森崇. 都市ごみ焼却灰に対する STXM の適用: POPs の生成・抑制の理解を目指して. PF 研究会 X線顕微分析の新展開: STXM から硬 X線複合分析まで, 高エネルギー加速器研究機構(茨城県つくば市), 10月2日, 2015. (招待講演)
- ⑧ 藤森崇, 板井啓明, 後藤哲智, Asante Kwado A., 大塚将成, 高橋真, 田辺信介. 廃電気・電子製品野焼き土壌におけるダイオキシン類縁化合物と重金属類の相互作用. 2015年度日本地球化学会年会, 横浜国立大学(神奈川県横浜市), 9月16日 - 9月18日, 2015.
- ⑨ Fujimori, T.; Toda, A.; Takaoka, M.; Nishimura, C.; Lin, X. Effect of Carbon Nanomaterials on the Formation of Chlorinated Aromatics in MSWI Fly Ash. *Dioxin 2015 - 35th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants*, Sao Paulo, Brazil, 23 - 28 Aug. 2015.
- ⑩ Nishimura, C.; Horii, Y.; Tanaka, S.; Asante, K. A.; Ballesteros Jr. F. C.; Viet, P. H.; Itai, T.; Takigami, H.; Tanabe, S.; Fujimori, T. Chlorinated and Brominated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in E-waste Open-Burning Soils in Vietnam, the Philippines, and Ghana. *Dioxin 2015 - 35th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants*, Sao Paulo, Brazil, 23 - 28 Aug. 2015.
- ⑪ 藤森崇, 藪田ひかる. 走査型透過X線顕微鏡(STXM)による都市ごみ焼却灰中微小粒子の炭素種マッピング. 第24回環境化学討論会, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市), 6月24日 - 6月26日, 2015.
- ⑫ 藤森崇, 中村まどか, 塩田憲司, 高岡昌輝. 都市ごみ焼却飛灰中の有機塩素化合物のチオ尿素による抑制. 第25回廃棄物資源循環学会研究発表会, 広島工業大学(広島県広島市), 9月15日 - 9月17日, 2014
- ⑬ Fujimori, T.; Nakamura, M.; Shiota, K.; Oshita, K.; Takaoka, M. Inhibition Mechanism of Thiourea during Thermochemical Formation of Chlorinated Aromatic Compounds in MSWI Fly Ash. *Dioxin 2014 - 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants*, Madrid, Spain, 31 Aug. - 5 Sep. 2014.
- ⑭ Nishimura, C.; Fujimori, T.; Suzuki, G.; Agusa, T.; Takaoka, M.; Takahashi, S.; Tue, N. M.; Viet, P. H.; Tanabe, S.; Takigami, H. Percentage Contributions of Chlorinated Aromatic Compounds in Electronic Waste Open Burning Soils. *Dioxin 2014 - 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants*, Madrid, Spain, 31 Aug. - 5 Sep. 2014.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤森 崇 (FUJIMORI, Takashi)  
 京都大学・大学院地球環境学堂・助教  
 研究者番号: 20583248