

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289169

研究課題名(和文)ペルフルオロ化合物類生成ポテンシャルの測定・評価手法の確立と効率的削減手法の検討

研究課題名(英文)Development of Analytical and Evaluating Procedures of Perfluorinated

研究代表者

田中 周平(Tanaka, Shuhei)

京都大学・地球環境学堂・准教授

研究者番号：00378811

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)：PFCsおよびその100種類以上の前駆物質を対象に、前駆物質からのPFCs生成ポテンシャルを測定・評価する包括的手法の確立を行った。本手法の確立により、100種類以上の前駆物質を分析することなく、PFCs汚染の潜在的な現況を評価することが可能となった。確立した測定方法を使用して、都市水循環系(下水処理、上水処理工程)における採水を行い、ポテンシャルの測定を行った。吸着・紫外線照射におけるPFCs生成ポテンシャルの削減効果を検証した。特に現場での汎用性、安全性、経済性を視点に入れ、実際の水処理現場で適用可能な技術の開発を進め、これらの成果をまとめ、論文20編、学会発表14編として発表した。

研究成果の概要(英文)：Perfluorinated compounds (PFCs) and more than 100 kinds of their precursors discharged from fluorinated compounds industries were examined in this study. Firstly, an analytical procedure of PFCs formation potential from precursors was developed by an oxidation decomposition method. As the result, potential occurrence of PFCs contamination was able to be evaluated. Secondly, PFCs formation potential in wastewater treatment processes and water purification processes were investigated by this developed procedure. Finally, effective reduction procedure by biological treatment method and adsorption and UV irradiation method were examined. As the results, effective conditions in the ion-exchange polymer adsorption and UV irradiation were shown in this study. These results were written in 20 papers (16 in English, 4 in Japanese) and introduced in 14 oral presentations (4 in English, 10 in Japanese).

研究分野：環境工学

キーワード：ペルフルオロ化合物 PFOS PFOA FTOH 生成ポテンシャル

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 毒性に関する研究

人工的に作り出された有機化合物が地球上のさまざまな生物から高濃度で検出されている。テフロン<sup>®</sup>の製造に使われ、製品にも含まれるペルフルオロオクタン酸（以下 PFOA）が、テフロン樹脂の加熱で外部に出る恐れがあり、アメリカ環境保護局は、「人間にとっておそらく発ガン性物質である」との毒性に関するリスク評価案をまとめた。研究者らはペルオキシソーム増殖、肝臓肥大、ステロイドホルモン生産量変化、体重減少、発生毒性、生殖毒性（Toxicol. Appl., 2005）、さらに抗体生産の抑制、胸腺やひ臓の機能低下等（Biochem. Pharmacol., 2001）の影響を報告している。国内では、農林水産省が 2010 年に優先的にリスク管理すべき有害化学物質として調査を始めている。また、ペルフルオロオクタンスルホン酸（以下 PFOS）は難分解性、生物濃縮性、哺乳類への毒性があり、ラットに対する肝細胞腺腫と甲状腺細胞の濾胞性膿瘍および血清蛋白質への結合と内分泌かく乱作用（Env. Tox. & Chem., 2003）が報告された。

### (2) 規制の動向

2009 年に POPs 条約の附属書 B で規制され、国内では 2010 年に第一種特定化学物質に指定され、さらに PRTR 法により 2011 年には排出・移動量の届出が始まるなどの規制が進んでいる。ところが PFCs の製造メーカーは、PFOA の炭素鎖を 8 から 6 に変更した PFHxA を代用し始めた。また、日本では特に PFNA（炭素鎖 9）が高濃度で検出されるなど、種々の化合物が放流されている。

### (3) 従来の化学物質とは異なる挙動

ある下水処理場では前駆物質濃度が小さく、生物反応前後での濃度変化も小さい。一方、前駆物質濃度の高い下水処理場では、生物反応前後で PFOS、PFOA 濃度が上昇した。前駆物質の生物分解により PFOS、PFOA が生成されたと考えられる。従来の個々の化学物質を分析する手法では、廃水の持つ化合物生成能の評価が不十分であること、かつ、個別化合物を対象にした規制では、実際のリスク低減に繋がらないこと等から、包括的測定評価手法の必要性を着想した。

## 2. 研究の目的

本研究では、遺伝子損傷性や神経毒性が強く疑われている PFCs の 100 種類以上の前駆物質を対象に、PFCs 生成ポテンシャルを測定・評価するための包括的な手法を開発し、下水処理工程、産業廃水処理工程、廃棄物処分工程、上水処理工程等における PFCs 生成ポテンシャルを明らかにする。特にテロメリゼーション等の PFCs 合成法がフッ素化学会社により異なることに着目し、各種合成プロセスや廃棄処理時の環境放出も含めて、製造、

製品、発生源、最終分解成分、曝露経路などの調査を水環境、土壌環境、大気環境を対象に行い、必要な対策を提案する。最後に、各種排出源対策である凝集、吸着、分解、膜処理等の組み合わせプロセスにおける処理効果を PFCs 生成ポテンシャルを指標として分析し、実用的な対策法を示す。特に、海外での規制の動向、発ガン性などの報告事例、大都市の水環境が特に高濃度で汚染されている実情を鑑み、調査対象を大阪、沖縄、ダナン、バンコクとする。具体的には、研究期間内に ~ の目的を達成する。

前駆物質からの PFCs 生成ポテンシャルを測定・評価する包括的手法を確立する。

タイプの異なる複数の都市水循環系における PFCs 生成ポテンシャルを明らかにする。

各種排出源対策プロセスにおける PFCs 生成ポテンシャルの低減効果を明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究ではフッ素化学工場等から放出された PFCs およびその 100 種類以上の前駆物質を対象に、簡易処理を行い、前駆物質からの PFCs 生成ポテンシャルを測定・評価する包括的手法の確立を行った。本手法の確立により、100 種類以上の前駆物質を分析することなく、PFCs 汚染の潜在的な現況を評価することが可能となった。確立した測定方法を使用して、都市水循環系における PFCs 生成ポテンシャル調査を行った。下水処理、上水処理工程における採水を行い、懸濁態、溶解態別にポテンシャルの測定を行った。生物処理、吸着・紫外線照射における PFCs 生成ポテンシャルの削減効果を検証した。特に、現場での汎用性、安全性、経済性を視点に入れ、実際の水処理現場で適用可能な技術の開発を進めた。

## 4. 研究成果

### (1) PFCs 生成ポテンシャル測定方法の確立

冷暗所で 20 日保存して濃度を定期分析する手法と、塩基性条件下で  $K_2S_2O_8$  を用いて酸化分解させる手法を検討した結果、酸化分解法の方が同等あるいは大きな PFCs 生成ポテンシャル濃度を検出した。これらから試料に  $K_2S_2O_8$  (60 mM) と NaOH (150 mM) を加え、95℃、24 時間加温する酸化分解法を PFCs 生成ポテンシャル測定方法とした。

既知の前駆体 8:2FTOH、8:2FTCA および 8:2FTUCA の PFCs 生成ポテンシャルを測定した結果、添加したモル濃度に対し各々 11.0%、43.3%、67.8% の PFCs の生成が確認された。また、生成された PFCs および中間生成体、さらに、残留した前駆体の情報から、8:2FTOH についてその分解経路を推定した。

### (2) 下水処理過程における PFCs 生成ポテンシャルの挙動の把握

下水処理過程中的 PFCs の存在量収支を検

討したところ、生物処理および最終沈殿処理では各々の収支が合わなかったのに対し、酸化処理法によって得られた PFCs 生成ポテンシャルを考慮して収支を計算すると、収支がほぼ一致する傾向にあった。また、返送汚泥中には C6-C11 の Σ6 種 PFCAs とその生成ポテンシャルが終沈流出水の約 6.2 倍残留しており、前駆体の生物処理過程における循環が PFCAs 負荷量増加に影響している可能性が示唆された。

5 か所の下水処理場において分析対象とした 9 種の PFCs は、45 データ中 35 (約 78%) の存在量が生物処理過程で増加しており、生物反応槽において PFCs が生成していたことが示唆された。

2014 年 10 月 15 ~ 17 日に 5 つの下水処理場から琵琶湖に放流された PFCs 日負荷量を計算した結果、Σ6 種 PFCAs は 34.8 g/day、Σ3 種 PFASs は 11.2 g/day であった。一方、生成ポテンシャル負荷量は Σ6 種 PFCAs で 64.6 g/day、Σ3 種 PFASs で 13.1 g/day であり、PFCs 負荷量よりも、前駆物質としての負荷量の方が大きい結果となった。

### (3) 浄水処理過程における PFCs 生成ポテンシャルの挙動の把握

オゾン槽、生物活性炭槽のある浄水場において、各浄水処理工程中の PFCs 濃度および前駆物質濃度を分析した結果、オゾン、生物活性炭を組み合わせた処理でも PFCs 濃度の低減は難しく、特に、活性炭の交換後 1.6 年程度で PFCs に対して活性炭が破過する傾向が読み取れた。活性炭交換直後の試料では処理後の PFCs 濃度が定量下限値未満まで低下し、ほぼ 100% 除去できていることが示された。一方で、交換後時間が経つにつれて、処理効果が小さくなり、2 年を超える試料では、原水よりも濃度が上昇する傾向が見取れた。これは吸着した前駆物質などが分解し、少量の PFCs が生成したと示唆された。浄水場からは 6:2FTS が検出され、着水井において高濃度で検出された。

### (4) 最終処分場排水中の PFCs を効率的に回収・無害化する技術の検討

PFHxA の紫外線分解に及ぼす影響要因の検討について、以下の主な知見を得た。VUV16W、VUV6W、UV8W の紫外線照射による PFHxA の半減期はそれぞれ、2.3 分、15.8 分、315 分であり、短波長かつ出力の高い紫外線ランプで大幅に分解速度が向上した。反応温度 50、65、80 の照射時間 20 分後の脱フッ素化率は 60.0%、53.7%、43.7% であり、温度低くなると、脱フッ素化率が高くなる傾向であった。反応温度 50、50 分間の紫外線照射では、PFHxA 分解率は 100% になり、脱フッ素化率は 30 分で 66.6% となり、30 分以降はほとんど脱フッ素化が進行しなかった。PFHxA 分解時の中間生成体として、短鎖の PFCs、フッ化物イオンに加え、炭素数 2 ~

6 の PFCs からカルボキシル基が脱離した化合物や PFCs の C-F 結合の内の 1 つが H に置換された化合物がみられた。

産業廃水を対象に、吸着剤はマクロポーラス型・スチレン系の弱塩基性アニオン交換樹脂 B-A103/1622 を使用し、脱着後の溶液を対象に紫外線照射実験を行い以下の知見を得た。照射時間 10 分、反応温度 50、65、80 において PFHxA 分解率は 31.2%、27.4%、16.5% であり、50 において PFHxA 分解率が高くなった。産業廃水に対する紫外線分解時の PFHxA の半減期は 13.0 分であったが、吸着処理後の濃縮液に対する紫外線分解時の半減期は 7.6 分と短縮され、吸着処理により分解効率が向上することが明らかとなった。フッ素の回収では、80、10 分撪拌の条件において吸着処理なしの廃水試料では、26.2%、吸着処理後の濃縮液では 65.8% のフッ素が回収された。

以上より、イオン交換ポリマーに吸着させた対象化合物を溶出させ、紫外線を照射する「イオン交換ポリマー吸着 - 紫外線照射連続処理」の検討を行い、最終処分場排水中の PFCs を効率的に回収・無害化する技術を提案した。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 20 件)

1. Suzuki Y, Tanaka S, Fujii S, Suzuki R, Saito N, Transfer of Perfluorinated Compounds and their Formation Potentials from Treated Wastewater and Sewage Sludge to Crop Plants, Organohalogen Compounds, 査読有, vol.77, 2016, 663-667

2. Wilaingam K, Tanaka S, Chularueangaksorn P, Suzuki Y, Fujii S, Continuous Adsorption of Perfluorohexanoic Acid in Columns Packed with Anion Exchange Polymers in Industrial Wastewater, Organohalogen Compounds, 査読有, vol.77, 2016, 55-59

3. 雪岡聖, 田中周平, 鈴木裕識, 藤井滋穂, 産業廃水中のフッ素系界面活性剤からのペルフルオロ化合物類生成ポテンシャル調査, 環境技術学会年次大会予稿集, 査読無, vol.15, 2015, 12-13

4. 鈴木裕識, 田中周平, 藤井滋穂, 中田典秀, 齋藤憲光, 生物処理におけるフッ素テロマーアルコール類の分解とペルフルオロカルボン酸類の生成, 環境衛生工学研究, 査読無, vol.29, 2015, 134-137

5. Shuhei TANAKA, Liu Tsz KIT, Kazuma ISHIKAWA, Yuji SUZUKI, Masuhiro HAYASHI,

- Shigeo FUJII, Study on Occurrence of Perfluorohexanoic Acid in a Water Purification Plant and Examination of its Removal Efficiencies by NF/RO Membrane Systems, Journal of Science and Technology, 査読有, vol.53, No.3A, 2015, 1-6
6. Shuhei TANAKA, Liu Tsz KIT, Kazuma ISHIKAWA, Yuji SUZUKI, Shigeo FUJII, Occurrence of Perfluorohexanoic Acid in a Water Purification Plant and Examination of Its Removal Efficiencies by NF/RO Membrane Systems, Proceedings of the 24<sup>th</sup> Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering (Digital), 査読無, vol.24, 2015, 216-222
7. Wilaingam K, Tanaka S, Chularueangaksorn P, Suzuki Y, Ono R, Fujii S, Adsorption Properties of Perfluorohexanoic Acid onto Anion Exchange Polymers in Industrial Wastewater, Organohalogen Compounds, 査読有, vol.76, 2014, 414-417
8. 鈴木裕識, 田中周平, 藤井滋穂, 中田典秀, 石川一真, Jira Kongpran, 齋藤憲光, 下水処理過程における前駆体からの生成を考慮したペルフルオロカルボン酸類の挙動の検討, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, vol.70, No.7, 2014, III55-64 DOI: 10.2208/jscej.70.III\_55
9. Karnwadee WILAINGAM, Shuhei TANAKA, Pattarawan CHULARUEANGAKSORN, Yuji SUZUKI, Ryosuke ONO, Shigeo FUJII, Effects of Anions on Perfluorohexanoic Acid Adsorption onto Anion Exchange Polymers, Non-ion Exchange Polymers and Granular Activated Carbon, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, vol.70, No. 7, 2014, III65-72 DOI: 10.2208/jscej.70.III65
10. 鈴木裕識, 田中周平, 藤井滋穂, 中田典秀, Kongpran Jira, 石川一真, 齋藤憲光, 酸化分解法による前駆体からの PFCs 生成能の検討と中間生成物の探索, 環境衛生工学研究, 査読無, vol.28, No.3, 2014, 89-92
11. Karnwadee Wilaingam, Shuhei Tanaka, Pattarawan Chularueangaksorn, Yuji Suzuki, Ryosuke Ono, Shigeo Fujii, Effects of Chloride and Sulfate on Adsorption of Perfluorohexanoic Acid (PFHxA) onto Anion Exchange Resin, Non-ion Exchange Resin and Granular Activated Carbon (GAC), Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering (Digital), 査読無, vol.23, 2014, 216-225
12. Jira Kongpran, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, Yuji Suzuki, Norihiro Sakui, Norimitsu Saito, Hidenori Harada, Study on Photo-Degradation of 8:2 Fluorotelomer Alcohol by Using an Ultraviolet (UV) Reactor (254 nm), Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering (Digital), 査読無, vol.23, 2014, 186-196
13. Jira KONGPRAN, Shuhei TANAKA, Shigeo FUJII, Yuji SUZUKI, Norihiro SAKUI, Norimitsu SAITO, Wet Deposition and Photo-degradation of Perfluoroalkyl Carboxylates and Fluorotelomer Alcohols: Distribution Pathways from Air to Water Environment, Journal of Water and Environment Technology, 査読有, vol.12, No.6, 2014, 481-499 DOI: 10.2965/jwet.2014.481
14. Suzuki Y, Tanaka S, Fujii S, Ando H, Ishikawa K, Kunacheva C, Boontanon S, Saito N, Study on Accumulation of Perfluorinated Compounds on Vegetation and Sediment in the Ai River Basin, JAPAN and in the Chao Phraya River Basin, THAILAND, Organohalogen Compounds, 査読有, vol.75, 2014, 1053-1056
15. Jira Kongpran, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, Chinagarn Kunacheva, Norihiro Sakui, Suwanna Boontanon, Yuji Suzuki, Determination of Fluorotelomer Alcohols and Perfluoroalkyl Carboxylates in Air Environment in Thailand, Organohalogen Compounds, 査読有, vol.75, 2014, 968-972
16. Jira Kongpran, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, Yuji Suzuki, Norihiro Sakui, Norimitsu Saito, Hidenori Harada, Study on Photo-Degradation of 8:2 Fluorotelomer Alcohol by Using an Ultraviolet (UV) Reactor (254 nm), Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering (Digital), 査読無, vol.23, 2014, 186-196
17. Yuji SUZUKI, Shuhei TANAKA, Shigeo FUJII, Haruka ANDO, Kazuma ISHIKAWA, Chinagarn KUNACHEVA, Suwanna KITPATI BOONTANON, Norimitsu SAITO, Study on Accumulation of Perfluorinated Compounds on Vegetation in the Ai River Basin, Japan and in the Chao Phraya River Basin, Thailand, Proceedings of 22<sup>nd</sup> KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering(Digital), 査読無, vol.22, 2013, 4-2
18. Pattarawan Chularueangaksorn, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, Chinagarn Kunacheva, Batch and Column Adsorption of Perfluorooctane Sulfonate on Anion Exchange Resins and Granular Activated Carbon, Journal of Applied Polymer Science, 査読有, vol.131, No.3, 2013, 884-890

19. Pattarawan Chularueangakorn, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, Chinagam Kunacheva, Adsorption of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) onto Anion Exchange Resin, Non-ion Exchange Resin and Granular Activated Carbon by Batch and Column, Desalination and Water Treatment, 査読有, 2013, 2013(1-7) DOI: 10.1080/19443994.2013.815589

20. Pattarawan Chularueangakorn, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, Chinagam Kunacheva, Regeneration and Reusability of Anion Exchange Resin Used in Perfluorooctane Sulfonate Removal by Batch Experiments, Journal of Applied Polymer Science, 査読有, vol.130, No.2, 2013, 39782(1-7) DOI: 10.1002/app.39169

〔学会発表〕(計 14 件)

1. 鈴木裕識, 田中周平, 藤井滋穂, 他 4 名, ペルフルオロ化合物類およびその生成ポテンシャルの食品を介したヒト 1 日摂取量調査, 第 50 回日本水環境学会年会, 2016 年 3 月 17 日, アスティとくしま(徳島県徳島市)

2. 雪岡聖, 田中周平, 鈴木裕識, 藤井滋穂, 齋藤憲光, パーソナルケア製品中のペルフルオロ化合物類とその生成ポテンシャルの存在実態の把握, 第 50 回日本水環境学会年会, 2016 年 3 月 16 日, アスティとくしま(徳島県徳島市)

3. 北尾亮太, 田中周平, 鈴木裕識, 他 3 名, 紫外線照射および太陽光照射実験によるフッ素テロマーアルコール類(FTOHs)の分解経路とその生成物の検討, 第 50 回日本水環境学会年会, 2016 年 3 月 16 日, アスティとくしま(徳島県徳島市)

4. 鈴木裕識, 田中周平, 齋藤憲光, 藤井滋穂, 下水処理過程におけるペルフルオロカルボン酸類およびその生成ポテンシャルの挙動, 第 18 回日本水環境学会シンポジウム, 2015 年 9 月 16 日, 信州大学 工学部キャンパス(長野県長野市)

5. 石川一真, 田中周平, 藤井滋穂, 鈴木裕識, 他 4 名, 琵琶湖・淀川流域における環境水および下水処理水中のペルフルオロ化合物類生成ポテンシャルに関する挙動調査, 第 49 回日本水環境学会年会, 2015 年 3 月 17 日, 金沢大学 角間キャンパス(石川県金沢市)

6. 鈴木裕識, 田中周平, 藤井滋穂, 石川一真, 中田典秀, LIU Tsz Kit, 齋藤憲光, 下水処理場におけるペルフルオロ化合物類とその生成ポテンシャルの形態別存在実態調査, 第 49 回日本水環境学会年会, 2015 年 3 月 17 日, 金

沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)

7. 鈴木裕識, 田中周平, 藤井滋穂, 中田典秀, Jira Kongpran, 石川一真, 齋藤 憲光, 前駆体からのペルフルオロ化合物類生成ポテンシャル評価における酸化分解条件の検討, 第 17 回日本水環境学会シンポジウム, 2014 年 9 月 8 日, 滋賀県立大学(滋賀県彦根市)

8. Wilaingam K, Tanaka S, Chularueangakorn P, Suzuki Y, Ono R, Fujii S, Adsorption Properties of Perfluorohexanoic Acid onto Anion Exchange Polymers in Industrial Wastewater, Dioxin2014-the 34<sup>th</sup> International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, 2014 年 8 月 31 日 ~ 9 月 5 日, Madrid (Spain)

9. 鈴木裕識, 田中周平, 藤井滋穂, 中田典秀, Jira KONGPRAN, 石川一真, 齋藤憲光, 保存処理および酸化処理を用いた下水試料中におけるペルフルオロ化合物類の生成能試験手法の検討, 第 23 回環境化学討論会, 2014 年 5 月 14 日, 京都大学 時計台国際交流ホール(京都府京都市)

10. 鈴木裕識, 田中周平, 藤井滋穂, 中田典秀, 下水試料中における前駆物質からのペルフルオロ化合物類の生成挙動の検討, 第 48 回日本水環境学会年会, 2014 年 3 月 19 日, 東北大学川内北キャンパス(宮城県仙台市)

11. Yuji SUZUKI, Shuhei TANAKA, Shigeo FUJII, Kentaro HAMASHIMA, 他 5 名, Occurrence of Perfluorinated Compounds in Water Environment of Da Nang, Vietnam from 2011 to 2013, CREST International Symposium on Development and Evaluation of Water Reuse Technologies for the Establishment of 21<sup>st</sup> Century Type Water Cycle System in Danang, Vietnam, 2014 年 3 月 10 日, Danang, (Vietnam)

12. 鈴木裕識, 田中周平, 藤井滋穂, Chinagam Kunacheva, 安藤悠, 石川一真, 鈴木遼, 齋藤憲光, 前駆物質を含む有機フッ素化合物類の濃度分析における固体試料の凍結乾燥処理の適用可能性の検討, 第 16 回日本水環境学会シンポジウム, 2013 年 11 月 9 日, 琉球大学 千原キャンパス(沖縄県中頭郡)

13. Jira Kongpran, Shuhei Tanaka, Shigeo Fujii, 他 4 名, Determination of Fluorotelomer Alcohols and Carboxylates in Air Environment in Thailand, Dioxin 2013- the 33<sup>rd</sup> International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, 2013 年 8 月 26 日, Daegu (Korea)

14. Suzuki Y, Tanaka S, Fujii S, Ando H, Ishikawa K, Kunacheva C, Boontanon S, Saito N, Study on Accumulation of Perfluorinated Compounds on Vegetation and Sediment in the

Ai River Basin, Japan and in the Chao Phraya River Basin, Thailand, Dioxin 2013- the 33<sup>rd</sup> International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, 2013年8月27日, Daegu (Korea)

〔その他〕

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

田中 周平 (TANAKA, Shuhei)

京都大学・地球環境学堂・准教授

研究者番号：00378811