

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 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：25289171

研究課題名(和文) 高効率熱回収と環境負荷低減を目指した新ごみ焼却排ガス処理システムの開発

研究課題名(英文) A new flue gas treatment system with high heat recovery and low environmental load in municipal solid waste incinerator

研究代表者

高岡 昌輝 (Takaoka, Masaki)

京都大学・地球環境学堂・教授

研究者番号：80252485

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、従来からの排ガス処理システムを見直し、エネルギー回収を最大限にするとともに有害物質・ダストを制御する処理システムを開発することとした。ダイオキシン類の制御に関する研究としては尿素を含む窒素化合物系薬剤の再合成抑制効果・メカニズムを解明した。また、重金属・ダスト制御については実施調査に基づき評価するとともに、水銀については活性炭吸着塔を想定した新規材料の開発を行った。エネルギー回収面としては、低温熱回収技術を調査し、熱電素子の導入ケースの熱回収量および発電量を試算し、エネルギー回収側面からの定量的評価を実施した。

研究成果の概要(英文)：To improve heat recovery and electrical power generation at municipal solid waste incinerators, a new flue gas treatment system, which includes a ceramic filter for dust removal at 300 °C and a selective catalytic reduction process for nitrogen oxide decomposition, has been proposed. In this study, some inhibitors of organohalogen compounds formation as well as an NO<sub>x</sub> reducing agent were examined. The inhibition mechanism was deeply discussed. To control the emission of dust and heavy metal, the field investigation and mercury adsorption test were conducted. Application of thermoelectric element to municipal solid waste incinerator was investigated as a new technology for power generation. As a result, it was confirmed that this newly proposed system was feasible.

研究分野：環境工学

キーワード：ごみ焼却 有害物質制御 エネルギー回収 排ガス処理 ダイオキシン類 窒素酸化物 水銀

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災や地球温暖化問題を契機に我が国のエネルギー政策は転換点を迎えており、固定価格買取制度や電力自由化など様々な政策がとられている。再生可能エネルギー等の未活用なエネルギー源の大幅な導入が期待されている中で「ごみ発電」は一つのエネルギー源として認識され、さらなる高効率発電と熱利用の促進が求められている。ごみは都市部での地産地消のエネルギー源であり、24時間運転可能で送電ロスも少ない。したがって、ごみ発電はエネルギー変換施設として、地球温暖化防止（化石燃料代替としての発電）とエネルギー安全保障上重要な役割を担っている。研究当初は一般廃棄物発電量は7,000GWh/年程度であったものが、近年の技術の進展及び制度の充実、売電価格の上昇を受け、10%以上の伸びを見せている。しかしながら、発電設備付きの焼却施設数は全体のうち約30%程度でその発電効率は平均で13%程度に留まっており、早急の改善及び普及が望まれている。

一方で、ごみ焼却施設は今なお国内ではダイオキシン類の最大の排出源であるが、大気への排出は焼却炉の燃焼改善と排ガス処理部の強化により激減させてきた。都市部のごみ焼却施設では、ダイオキシン類だけでなく、窒素酸化物(NOx)など有害物質の制御のためにそれぞれ設備が加えられており、全スペースの内2/3が排ガス処理設備に占められている。図1の1)に示すように、従来型排ガス処理システムでは排ガス温度の上下動が激しく、エネルギーを効率的に回収するような仕組みにはなっていない。

高効率に熱回収を行うには、排ガス処理フローで高温から低温まで徹底的に熱回収できるシステムが望ましい。低温での熱回収を考える場合、排ガス中の酸性ガスおよびダストを上流側で除去しないと低温腐食の問題を引き起こす。また、同時にダイオキシン類や水銀、NOxなどの有害物質を従来システムと同様に高効率に除去する必要がある。2013年10月には水銀に関する水俣条約が採択され、大気汚染防止法が改正され、ごみ焼却施設にとってはダイオキシン類以来の新たな排ガス規制が導入されることになった。このような要求を満たす新しいシステムの構築が求められている。

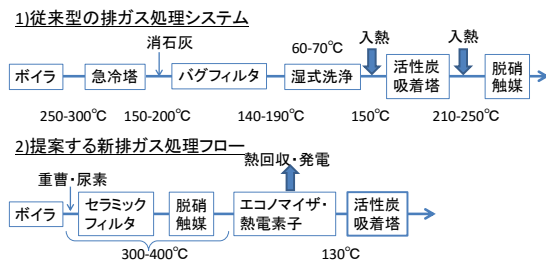


図1 新旧排ガス処理システム

2. 研究の目的

本研究では、エネルギー回収を最大にすることを想定し、すべての有害物質・ダストを制御する新たな排ガス処理システム（セラミックフィルタ+脱硝触媒+エコノマイザ+活性炭吸着塔）を図1の2)のように提案する。また、新たな低温熱回収方法として熱電素子による廃熱発電の適用可能性を明らかにすることを目的とした。具体的には、新フローにおけるダイオキシン類及びNOx、重金属の制御、熱電素子により発電可能性のポテンシャルの計算になる。なお、当初、重金属の制御についてはセラミックフィルタでの重金属の捕集やその灰の分析を想定していたが、現場調査（焼却施設におけるセラミックフィルタの性能等）で重金属捕集能について評価し、これよりも水銀の制御技術の方が早急に開発されるべきテーマとして、活性炭での水銀吸着技術の開発に注力した。

3. 研究の方法

(1) ダイオキシン類及びNOxの同時制御

ビーカースケールの基礎実験とベンチスケール実験の2つ実験を行った。基礎実験は、提案フローを想定したダイオキシン類の生成特性（尿素による芳香族有機塩素化合物の抑制効果と酸素濃度、水分濃度の影響）を確認するための試験と、尿素も含めた窒素化合物によるダイオキシン類の生成抑制機構の解明のための試験に分かれる。両者ともに実験室規模の管状型電気炉による試験により行った。芳香族有機塩素化合物としては、ダイオキシン類、PCBs、クロロベンゼン類等を指標とした。また、メカニズム解明においては触媒となりうる金属（Cu）や化合物構造に入る塩素の化学形態を放射光施設にてX線吸収微細構造分析を行い、考察した。

ベンチスケール実験としては図2のフローにより行った。集じん装置としてセラミックフィルターを用い、そこに尿素を混合した模擬飛灰を投入して模擬飛灰上あるいは排ガス中におけるダイオキシン類およびPCBsの再合成抑制効果や、脱硝反応器におけるNOxおよびダイオキシン類の除去性能を評価した。

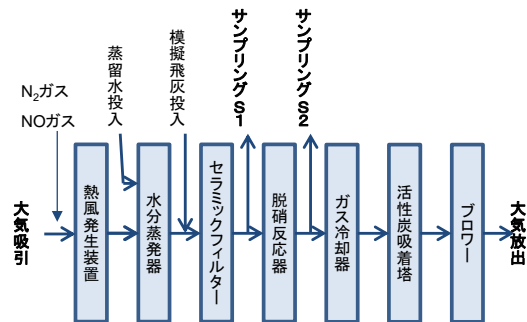


図2 ベンチスケール実験フロー

## (2) 重金属の制御

排ガス中重金属の制御としてはセラミックフィルタにおける重金属捕集とそれを通過する揮発性金属である水銀の処理である。

現場での実測調査として排ガス中のダストを粒径別に採取する調査を行い、それを元に評価を行った。また、比較検討という意味合いもあり、他の排ガス処理システム（バグフィルタや電気集じん機）の調査も行い、重金属の除去能を調べた。

活性炭による水銀の吸着実験は、ビーカースケールで大学の実験室内で装置を組み立て実施した。この際、単なる活性炭ではなく、塩化物と硫化物を含浸させた活性炭を作成し、金属水銀の吸着性能を確認した。生じている反応機構については固相側の水銀、硫黄、塩素の化学形態変化を X 線吸収端微細構造分析により明らかにした。

## (3) 熱電素子の適用可能性調査

新フローを導入した場合の物質収支及び熱収支を過去に開発したプログラムにより概算し、旧フローにおける発電効率と比較を行った。さらに、新フローにおける余熱としての利用可能量と最近の熱電素子の適用事例及び開発動向を文献等により調査を行い、発電可能量を算出した。

## 4. 研究成果

### (1) ダイオキシン類及び NO<sub>x</sub> の同時制御

基礎実験ではまず、尿素添加及び酸素濃度の影響を調べた結果、尿素添加に加え、酸素濃度の減少にともなう PCBs の抑制効果が確認され、また、これらを組み合わせることで 87% の PCBs の抑制が可能であることが分かった。

水分の影響は、金属触媒により芳香族塩素化合物生成について抑制・促進効果の両側面が認められた。塩化銅の場合は、水蒸気による抑制効果が最も高かったが、金属触媒の化学形態や、塩素における化学形態（脂肪族塩素化合物と芳香族塩化物の割合）は水蒸気の添加により大きく変わらなかった。水蒸気による影響機構は、まだはっきりとはしないが、水蒸気の飛灰表面への吸着に関与して、前駆体経路の合成を抑制するのに対し、*de novo* 合成経路はあまり抑制しないのではないかと推定された。

窒素化合物に関連した抑制機構について尿素、チオ尿素、エチレンジアミン四酢酸 (EDTA)、ニトリロ三酢酸 (NTA) に着目した。

1% 添加における抑制率は、それぞれ 99%、99.7%、99.98%、99.97% であり、4 種類の抑制剤でチオ尿素による抑制効果が最も高かった。また、各有機塩素化合物の同族体分布や同族体ごとの抑制率の変化から、尿素、チ

オ尿素、および EDTA、NTA では抑制機構が異なると考えられた。実飛灰への添加実験の結果は、総じて模擬飛灰に比べ抑制率が低くなる傾向が見られ、EDTA、NTA を抑制剤として用いた場合には生成量は増加した。これは、実飛灰に存在し模擬飛灰に存在しない多岐にわたる組成元素に要因があると考えられる。

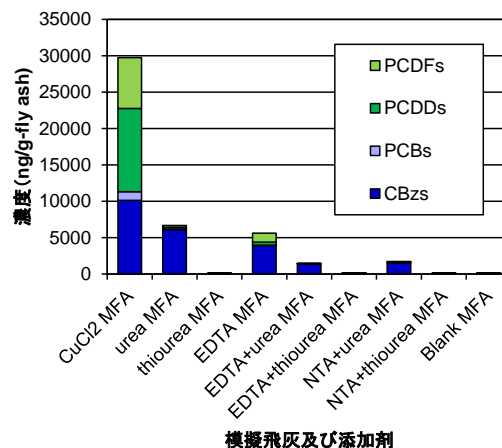


図 3 基礎実験における各種抑制剤の効果

抑制剤ごとの抑制機構については、尿素は、分解生成物であるアンモニア等と塩素の反応による抑制機構が示唆された。チオ尿素は、分解生成物である二酸化硫黄や二硫化炭素等が銅と反応し硫化銅や硫酸銅を生成すること、解離した塩素が NH<sub>2</sub> 基あるいは分解生成物のアンモニアと反応することにより抑制効果を発揮すると考えられた。EDTA および NTA では、大部分の銅が還元されることにより抑制効果が生じることが考えられた。

図 2 を用いたベンチスケール実験では尿素的添加効果を確認したが、抑制率は PCBs で 11~23%、ダイオキシン類は 22% と、基礎実験と比較して低いものの、抑制効果が確認された。最終的にダイオキシン類は触媒分解の効果により基準値をはるかに下回る濃度まで低減された。また、尿素 1% 添加により、NO<sub>x</sub> 除去は脱硝総括反応式にしたがい、53% が除去され、芳香族有機塩素化合物の生成抑制と NO<sub>x</sub> 除去が同時に可能であることが分かった。しかし、ベンチ実験での抑制率が低いため、従来型の排ガス処理システムと比較すると、灰中のダイオキシン類濃度が高い結果となった。抑制率が低かった理由としては、尿素が灰の投入と同時に熱分解しアンモニアとなり、フィルターに捕集された灰中での滞留時間が短くなること、尿素が消費し尽くされた状態で灰の加熱が続いていることなどが考えられた。

### (2) 重金属の制御

実態調査の解析において、セラミックフィ

ルタを備え付けた施設のダスト除去能は99.86%で、バグフィルタを備え付けた施設よりはやや低かった。多くの重金属が99.9%以上の除去率であったが、Seについてはやや低かった(99.85%)。一連の成果は他の集じん機とともにまとめ、PM2.5やCsの挙動の観点からも関心を集めた。また、新フローでは活性炭吸着塔前に触媒が設置される。このことから触媒前後での水銀の酸化挙動についても実態調査を行い、触媒後で2価水銀が増加する挙動を確認した。

排ガス中水銀の吸着実験においては、塩化カルシウム、硫化カリウムをそれぞれ含浸担持した活性炭では、含浸担持しない元の活性炭に比べ、それぞれ80倍以上、50倍以上の水銀吸着能を示し、両物質とも水銀除去に有効な物質であった。塩化カルシウム、硫化カリウムの両方を含浸担持した活性炭では、含浸担持しない元の活性炭にくらべ、200倍以上の高い水銀吸着能を示し、これら物質の共存が水銀除去に極めて有効であることを発見した。

実験前後のサンプルに対してX線吸収端微細構造分析を適用した。例として塩素の結果を図4に示す。両方を含浸担持させた活性炭では、塩化カルシウムや塩化カリウムが共存した状態であり、塩化水銀によるピークも確認された。また、硫黄においては、硫化物と硫酸塩が共存した状態であった。水銀については主に硫化水銀、硫酸水銀、塩化第一水銀の形態で固定されていることがわかった。本新規吸着材での水銀除去メカニズムを明らかにすることができた。

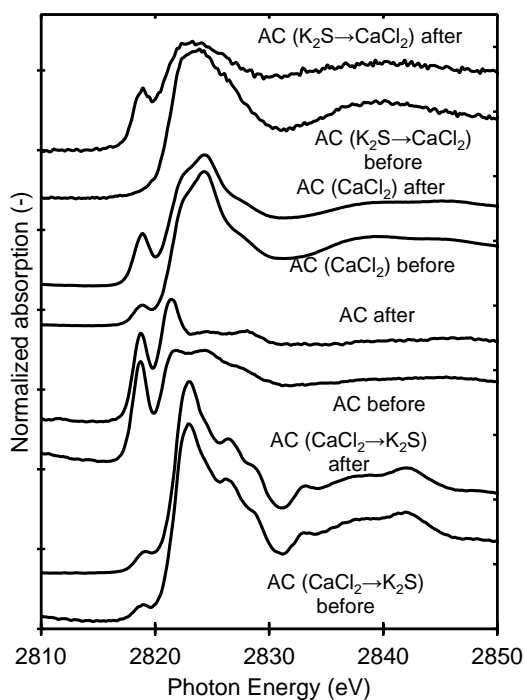


図4 水銀吸着実験前後の活性炭中の塩素のXANESスペクトル

### (3) 熱電素子の適用可能性

前提条件として、300t/day規模の焼却炉でごみの低位発熱量を8,800kJ/kg、高温高压ボイラ(4MPa、400°Cの蒸気条件)を導入したケースでは、図1の1)に示す旧型のフローでは発電効率は14.2%と計算された。新型のフロー(図1の2))に変化させることにより21.9%まで発電効率が上昇すると試算された。また、熱電素子を導入した場合、回収熱量のポテンシャルとして最終的な排ガスと脱気器における熱量を考え、140°C付近での熱電素子の変換効率3%とした場合、全体の発電効率を0.8%押し上げると試算された。

以上より、本研究で提案した排ガス処理システムフローの適用性について多方面から検討した結果、熱回収を最大にしつつ、環境負荷をシステム内で下げることは可能であった。ただし、ダイオキシン類の再合成についてはある一定の抑制効果は認められたが、灰中濃度が高くなるケースが認められ、他の化学的抑制剤の探索がなされた。チオ尿素などが効果的な抑制剤として新たに見出されたが、これに対する効果はベンチスケールでの検証までは至っておらず、今後の課題として残されている。また、重金属の制御については、水銀に対する活性炭吸着を行うことで排ガスとしての排出はかなり制御できることが示された。しかしながら、重金属はダイオキシン類のように分解できるわけではなく、その負荷を固体(飛灰や活性炭)に移しているだけであり、この処理についても今後の検討課題といえる。熱回収については熱電素子の適用可能性のみの検討であったが、それによる発電は1%にも満たず、他の手法及び用途の開発が当面必要であるとともに、熱電素子自体の発電効率の向上や適応場についての再考が必要と考えられる。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 15 件)

- 1) 高岡昌輝、下水汚泥焼却熱によるバイナリー発電、EICA、査読無し、20、2016、35-38
- 2) 高岡昌輝、廃棄物の熱処理とエネルギー回収を取り巻く最新動向・展望について、都市清掃、査読無し、69、2016、112-118
- 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, *J. Hazard. Mater.*, 査読有, 311, 2016, 43-50  
DOI : 10.1016/j.jhazmat.2016.02.054
- 4) Takaoka M.; Shiota K.; Imai G.; Oshita K., Emission of particulate matter 2.5 (PM2.5)

- from municipal solid waste incinerators, *J. Mater Cycles Waste Management*, 査読有, 18, 1, 2016, 72-80  
DOI : 10.1007/s10163-014-0314-2
- 5) Shiota K.; Takaoka M.; Yamaguchi S.; Oshita K., Emission of Particulate Matter 2.5 (PM2.5) from Sewage Sludge Incinerators in Japan, *Drying Technology*, 査読有, 33, 2015, 1286-1294  
DOI : 10.1080/07373937.2015.1026977
  - 6) 塩田憲司、大下和徹、藤森崇、高岡昌輝、廃棄物焼却炉等、都市静脈系施設からの微小粒子状物質排出傾向、*EICA*、査読無し、19, 4, 2015、49-52
  - 7) 高岡昌輝、エネルギー供給源としてのごみ焼却施設の現状と課題、*生活と環境*、査読無し、59、2014、8-13
  - 8) 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*, 査読有, 76, 2014, 1038-1042
  - 9) 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*, 査読有, 48, 23, 13644-13651  
DOI : 10.1021/es503678c
  - 10) Jeong J.H.; Takaoka M.; Fujimori T.; Shiota K.; Oshita K., Changes in the chemical form of heavy metals during acid extraction of melting furnace fly ash, *EICA*, 査読有, 19,2-3,2014,61-70
  - 11) Fujimori T.; Nishimura K.; Oshita K., Takeda N.; Takaoka M., Influence of the properties of macromolecular carbon on de novo synthesis of PCDDs, PCDFs, PCBs, and chlorobenzenes, *Aerosol and Air Quality Research*, 査読有, 14, 4, 2014, 1131-1141  
DOI : 10.4209/aaqr.2013.03.0100
  - 12) Fujimori T.; Tanino Y.; Takaoka M., Coexistence of Cu, Fe, Pb, and Zn oxides and chlorides as a determinant of chlorinated aromatics generation in municipal solid waste incinerator fly ash, *Environmental Science & Technology*, 査読有, 48, 1, 2014, 85-92  
DOI : 10.1021/es403585h
  - 13) Shiota K.; Imai G.; Oshita K.; Takaoka M., Characterization of lead, chromium, and cadmium in dust emitted from municipal solid waste incineration plants, *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, 430, 2013  
DOI : 10.1088/1742-6596/430/1/012095
  - 14) Fujimori T.; Tanino Y.; Takaoka M., Thermochemical behavior of lead adjusting formation of chlorinated aromatics in MSW fly ash, *Environmental Science & Technology*, 査読有, 47, 5, 2013, 2169-2176  
DOI : 10.1021/es303663r
  - 15) Takeda N.; Takaoka M., An assessment of dioxin contamination from the intermittent operation of a municipal waste incinerator in Japan and associated remediation, *Environmental Science & Pollution Research*, 査読有, 20,4,2013, 2070-2080  
DOI : 10.1007/s 11356-012-1412-0
- [学会発表] (計 20 件)
- 1) Takaoka M. and Yokoyama T., Energy recovery from municipal solid waste incineration in Japan, *Pacificchem 2015*, 2015.12.15-20, Honolulu, Hawaii, USA(招待講演)
  - 2) Takaoka M.; Sano A.; Shiota K.; Hamaguchi D., Mercury species in activated carbon with added potassium sulfide or calcium chloride, *Pacificchem 2015*, 2015.12.15-20, Honolulu, Hawaii, USA
  - 3) Takaoka M., Current Trend of Waste to Energy in Japan, *China-Japan Joint Seminar on Wastewater Resource Reclamation and Reuse in the Course of Urbanization*, 2015.12.6, Shenzhen, China
  - 4) 高岡昌輝、都市静脈系施設からの PN2.5 の排出挙動、第 59 回生活と環境全国大会、2015.10.20-22、京都テルサ、京都府京都市 (招待講演)
  - 5) 植浦大樹、高岡昌輝、大下和徹、藤森崇、塩田憲司、前田洋、國松俊佑、促進エージングによる都市ごみ焼却主灰中鉛の不溶化機構の解明、第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2015.9.2-4、九州大学伊都キャンパス、福岡県福岡市
  - 6) 戸田朝子、藤森崇、高岡昌輝、西村智椰、林星辰、都市ごみ焼却飛灰中の炭素分子構造が芳香族塩素化合物の生成に与える影響、第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2015.9.2-4、九州大学伊都キャンパス、福岡県福岡市
  - 7) 林星辰、藤森崇、高岡昌輝、都市ごみ焼却飛灰中の金属触媒によるダイオキシン類等の生成に対する水蒸気の影響、第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2015.9.2-4、九州大学伊都キャンパス、福岡県福岡市
  - 8) 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*, 2015.8.23-28, Sao Paulo, Brazil
  - 9) Takaoka M.; Hamaguchi D.; Shinmura R.;



- Sekiguchi T.; Tokuchi H., Removal of mercury in sulfuric acid production process of ISP zinc smelting, *The 12<sup>th</sup> International Conference on Mercury as a Global Pollutant*, 2015.6.14-19, Jeju, Korea
- 10) Takaoka M., Current trend of waste to power generation in Japan, *Proceedings of 8th International Conference on Combustion, Incineration/Pyrolysis, Emission and Climate Change (i-CIPEC 2014)*, 2014.10.15-18, Hangzhou, China, (招待講演)
- 11) 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, 2014.9.15-17、広島工業大学、広島県広島市
- 12) 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*, 2014.8.31-9.5, Madrid, Spain
- 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*, 2014.8.31-9.5, Madrid, Spain
- 14) Takaoka M.; Shiota K.; Yamaguchi S.; Oshita K., Emission of particulate matter 2.5 (PM<sub>2.5</sub>) from sewage sludge incinerators, *ECSM 2014 - 4th European Conference on Sludge Management*, 2014.5.26-27, Izmir, Turkey
- 15) 西村智椰, 藤森崇, 鈴木剛, 阿草哲郎, 大下和徹, 高岡昌輝, 高橋真, Nguyen Minh Tue, Pham Hung Viet, 田辺信介, 滝上英孝, 廃電気・電子製品の野焼き土壌における有機塩素化合物の存在割合, 第23回環境化学討論会, 2014.5.14-16、京都大学吉田キャンパス、京都府京都市
- 16) Takaoka M., Current trend of waste to power generation in Japan, *the 2014 Spring Conference of the Korean Society of Waste Management*, 2014.5.15-17, Busan, Korea, (招待講演)
- 17) 藤森崇, 前田洋, 高岡昌輝, ガスエンジン排ガスによる焼却主灰促進エージング時のダイオキシン類処理特性, 第24回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2013.11.2-4、北海道大学、北海道札幌市
- 18) 辻本悠真, 塩田憲司, 大下和徹, 高岡昌輝, 都市ごみガス化溶融施設から排出される PM<sub>2.5</sub> 等微小粒子の挙動, 第24回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2013.11.2-4、北海道大学、北海道札幌市
- 19) 藤森崇, 西本芳洋, 塩田憲司, 高岡昌輝, 芳香族有機塩素化合物の生成を左右する SO<sub>2</sub> ガスと銅化合物の熱化学反応, 第73回分析化学討論会, 2013.5.18-19、北海道大学函館キャンパス、北海道函館市
- 20) 中村まどか, 藤森崇, 塩田憲司, 西本芳洋, 高岡昌輝, X線吸収微細構造を用いた窒素化合物による芳香族有機塩素化合物の生成抑制メカニズム, 第73回分析化学討論会, 2013.5.18-19、北海道大学函館キャンパス、北海道函館市
- [図書] (計 2 件)
- 1) Takeda N. Wang W., Takaoka M., Kyoto University Press, *Solid waste management*, 2014, 380
- 2) 高岡昌輝(共著)、日本環境衛生センター、*強靱でしなやかな廃棄物処理を目指して*, 2014、13-18
6. 研究組織
- (1)研究代表者  
高岡 昌輝 (TAKAOKA, Masaki)  
京都大学・大学院地球環境学堂・教授  
研究者番号： 8 0 2 5 2 4 8 5
- (2)研究分担者  
大下 和徹 (OSHITA, Kazuuyuki)  
京都大学・大学院地球環境学堂・准教授  
研究者番号： 9 0 3 4 6 0 8 1
- 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： 2 0 5 8 3 2 4 8