

産業廃棄物処理に伴う化学物質の流れ

～焼却処理による重金属等の行方～

研究推進室 渡辺洋一

1 はじめに

産業廃棄物は年間約 4 億トン発生し、再利用、減量化、無害化を目的として中間処理されています。産業廃棄物の処理・処分については「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）」により規制されており、廃棄物の処理による環境汚染防止が図られています。一方、化学物質の適切な管理のために「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」に基づく「化学物質排出移動量届出制度（PRTR 制度）」が運用されています。この制度は、該当する事業者が対象化学物質の環境中への排出量、廃棄物に含まれての移動量を届け出るものです。ただし、廃棄物処理施設からの排出量の多くは PRTR 制度の届出対象外であり、国が行う届出外推計の対象範囲に含まれます。産業廃棄物焼却施設については、廃棄物の性状、物質含有状況、処理フロー等が多様、複雑であるために限られた施設の実測データのみに基づく推計は困難であり、排出量推計はその手法確立も含めて重要な課題です。この課題に取り組む研究として、環境研究総合推進費補助金循環型社会形成推進研究事業「廃棄物の焼却処理に伴う化学物質のフローと環境排出量推計に関する研究」（研究代表 国立研究開発法人国立環境研究所 小口正弘）が行われており、筆者も参画しています。この研究事業は、産業廃棄物の焼却処理に伴う化学物質の物質フローと大気排出量の推計を行うとともに、その推計手法と基礎データを提示することを目的としています。本発表では、この研究事業の取り組みを中心に焼却処理における化学物質の流れについて紹介します。

2 廃棄物の流れと廃棄物処理法における規制

廃棄物の処理工程は排出、保管、収集運搬、中間処理、最終処分に分類され、多くの場合、産業廃棄物の処理は許可を受けた専門の会社に委託されます。図 1 に排出された産業廃棄物の再生利用、処理・処分の状況を示します。実際には、排出前に排出者自らが処理を行う自己処理もあります。

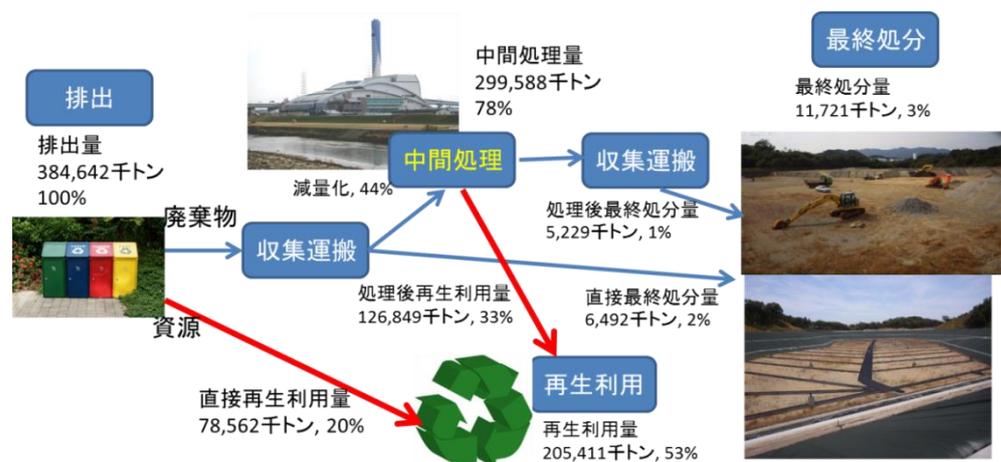


図 1 産業廃棄物の排出・処理状況

出典：環境省「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書（平成 25 年度実績）」のデータから作成

産業廃棄物の排出者はマニフェストにより、自分の排出した廃棄物が適正に処理されていることを確認します。マニフェストは複写式のシートで、運搬が完了すると収集運搬業者から、中間処理が完了すると中間処理事業者から、最終処分が終了すると最終処分業者からそれぞれ完了した日付、処理施設・方法などの情報が記載されて排出者に返送されます。マニフェストには排出者、産業廃棄物（特別管理産業廃棄物）の種類、量、処理した施設、年月日などの情報が記載されますが、化学物質の含有等詳細情報は記載されません。排出者が持つ廃棄物の質に関する情報を収集運搬・処理・処分する事業者と共有することが適正処理のために重要であり、これを補完するために、廃棄物データシート（WDS）などの情報シートの提供が推奨されています。

3 PRTR 制度と化学物質の排出量推計

PRTR 制度は対象化学物質（462 物質）の環境中への排出量、廃棄物に含まれての移動量を届け出る制度です。排出量は大気への排出、公共用水域への排出、事業所における土壌への排出（タンクやパイプから土壌へ漏洩した量など）、事業所における埋立処分（対象化学物質を含む廃棄物を事業所内の埋立地に埋め立てる場合）であり、移動量は、下水道への移動、事業所の外への移動（産業廃棄物処理業者に廃棄物の処理を委託した量）です。

しかし、対象事業所の業種や規模が限定されており、家庭や自動車、船舶、航空機など届出対象からはずれる排出源もあります。これらについては、国が推計することになりますが、科学的知見が十分でなく、推計が困難なものもあります。産業廃棄物の処理施設は対象事業所なので規模が大きければ届出対象ですが、届け出るのは水質汚濁防止法の規制項目の公共用水域への排出とダイオキシン類だけで、その他については推計もされていません。

我が国の廃棄物の処理方法として、焼却処理は重要であり、投入される廃棄物に含まれる化学物質と処理に伴う排出の推計は、化学物質管理上重要です。また、有用・有害金属を含む焼却残さは、循環型社会に相応しいリサイクル・処理処分方法に最適化する必要があります。

4 産業廃棄物処理に伴う化学物質の流れ（焼却処理に伴う金属の挙動）

「廃棄物の焼却処理に伴う化学物質のフローと環境排出量推計に関する研究」（平成 27 年度～平成 29 年度）の取り組みの一部を、私が取り組んでいる研究（4.2）以外も含めて紹介します。

この研究では、産業廃棄物焼却処理に伴う化学物質の流れを明らかにするために、焼却施設に搬入されている廃棄物の種類と量を推計し、排出元の廃棄物の PRTR 届出データと照合（マッチング）して焼却施設に搬入される化学物質量を推計しています。焼却施設からは燃えがら、集じん灰、排ガス、ばいじんを採取し、それぞれ分析しています。また、実測に加え実験炉による焼却実験や熱力学平衡計算を用いた排出基礎特性解析にも基づく排出係数の多面的な検証と作成を行っています。

4.1 産業廃棄物焼却量の推計

環境省調査データから整理した業区別の産業廃棄物焼却処理量と施設数から、全国の産業廃棄物の焼却量は 2,140 万トンで、そのうちセメント業が 45%と多くを占めており、残りは廃棄物処理業 28%、その他業区分 14%、製紙業 13%を占めていました。焼却施設の種類等も調査しました。

焼却施設に投入されている産業廃棄物の種類と量を調査しました。産業廃棄物の処理量について公表されているデータとしては、環境省の産業廃棄物排出・処理状況報告書、多量排出事業者実施状況報告書などがあります。平成 25 年度における全国の産業廃棄物全体の排出量 3.85 億トンのうち多量排出事業者は 68%、家畜糞尿を除けば 85%を占めます。また、PRTR 制度における個別事業所の

届出移動量データとのマッチングを行い、多量排出事業者報告と PRTR 届出移動量データにおける届出事業所、廃棄物の種類等の整合を分析しました。これにより、産業廃棄物に含まれて焼却施設に搬入された PRTR 制度の対象の化学物質質量のある程度の推計が可能となりました。引き続き多量排出事業所以外について調査中です。

4.2 産業廃棄物焼却残さ試料の収集・分析と焼却廃棄物の金属類含有量の特徴解析

焼却処理は 800℃以上の高温で行われるため、投入された廃棄物に含まれる有機物はほとんど分解されると考えられます。しかし、金属等の元素は化合物の形は変化しても変わらず、燃えながら、集じん灰、あるいは大気に移動します。金属と呼ばれる元素でも水銀のように常温で液体のものから、タングステンのように融点が 3000℃を超えるものまで様々です。また、焼却処理の際に酸化物や塩化物などの化合物になると揮発しやすさも変わります。たとえば、アンチモン (Sb) の沸点は金属で 1587℃、酸化物 (Sb₂O₃) で 1425℃、塩化物 (SbCl₃) では 230℃です。また、ばいじんとして粒子に含まれて炉内の上昇気流によって集じん器に移動する場合がありますし、廃棄物の形態によっては塊に閉じ込められて燃えがらに残留する場合も考えられます。このように、焼却後の燃えがらに残りやすい金属と燃焼ガスとともに上昇し、集じん灰として回収されやすい金属がありますが、焼却炉内の金属の動きは複雑ですし、投入された廃棄物の組成による影響や焼却方法の影響も受けます。そこで、燃えがら中の濃度と集塵灰中の濃度を分析することによって、その金属が実際の焼却の結果、どこに移動したかを把握し、投入する廃棄物の種類や焼却施設の違いによる影響を調べています。

金属等の分析は、蛍光 X 線分析 (XRF) と誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) による分析を併用しました。XRF は燃えがらや集じん灰のような粉末試料を粉砕して加圧成形することにより、固体のまま構成元素の一斉分析ができますが、微量元素の分析が難しいので、ICP-MS による分析を分担して行いました。

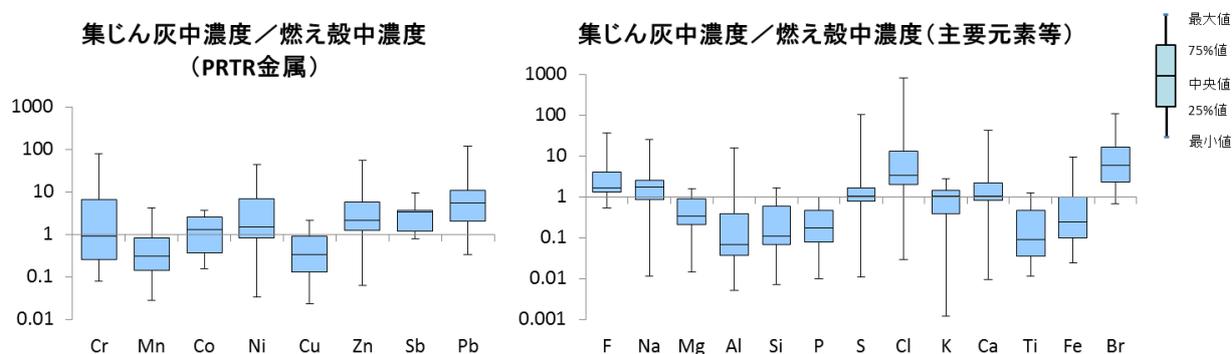


図 2 XRF 分析結果に基づく集じん灰と燃えがらの元素含有量の比

焼却処理における金属類の移動の考察として、XRF 分析結果をもとに集塵灰と燃えがらの含有量の比を求めた結果を図 2 に示します。この図の縦軸は対数目盛になっており、集塵灰の濃度と燃えがらの濃度が同じであった 1 に横線を入れてあります。この線より上のは集塵灰の濃度が高いことを表します。PRTR 対象の金属類については、アンチモン (Sb)、鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn) などが集塵灰の含有量が高く、銅 (Cu)、マンガン (Mn) などは燃えがらの含有量が高い傾向が見られました。

ICP-MS による分析結果からは、集塵灰と燃えがらの金属元素含有量の分布については、Cd、Pb、Se、Zn の含有量はばいじんの方が高く、Be、Co、Cr、Cu、Mn、V の含有量は燃えがらの方が高いという傾向でした。前者は塩化物等の沸点が比較的低く揮発しやすい、後者は金属材料や合金元素として焼却へ混入するために燃えがらに残りやすいことが要因と考えられます。この傾向は前述の XRF 分析結果と一致しています。この分析結果に基づいて、燃えがら、集塵灰中の各金属の含有量と

それぞれの発生量から炉に投入された元の廃棄物の含有量を推定しました。図3の1つの折れ線が1施設のデータを示しています。施設によって含有量レベルは異なるものの、一部の施設を除けば元素間の含有量の高低はパターンが類似していました。元素間の相対的な傾向としてはCu、Mn、Znの含有量が最も高いレベルにあり、次いでCr、Ni、Pb、Sbなどの元素の含有量が高く、Be、In、Seの含有量レベルは低いと推定されました。引き続き、試料数を大幅に追加して検証中です。

4.3 実験炉と熱力学平衡計算による化学物質の排出特性把握

室内燃焼実験は、実際の焼却施設の条件に近づけるため、実験条件を変更しつつ実験を重ねています。国立環境研究所で開発したマルチゾーン熱力学平衡計算モデルを実際の産業廃棄物焼却施設へ適用し、一部の金属類を除けばPRTR対象金属元素の分配挙動と化合物形態を推定できることがわかってきました。

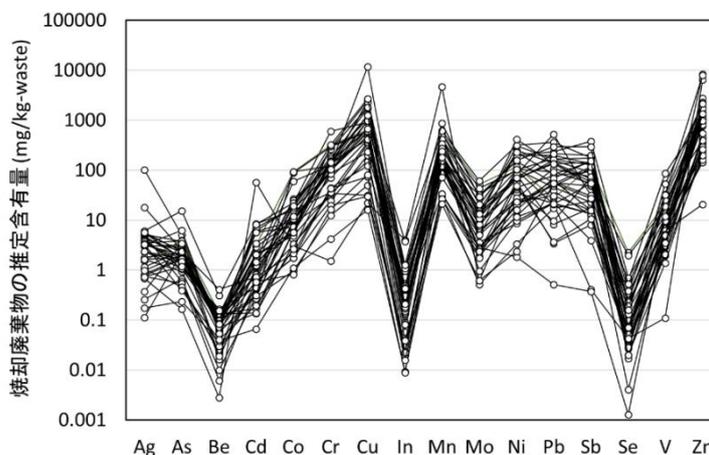


図3 焼却廃棄物の金属元素含有量のパターン（推定）

4.4 実焼却施設排ガスの採取分析

実廃棄物焼却施設において金属類等の排出実態を調査するとともに、金属類の粒子態比を調べたところ粒子態の排出が多いことが判明しました。そこで30施設におけるばいじん採取ろ紙72試料の分析結果を追加したところ、亜鉛、鉛などは平均値、検出率ともに高い傾向がありました。

調査・研究はいずれも継続中であり、これらの結果を総合的に検討してとりまとめる予定です。

5 適正処理と資源循環の推進のために

焼却残さは焼却前の廃棄物の不燃物が濃縮されたものであり、揮発性のない金属等は濃縮されます。本研究により、各焼却残さ中の金属含有量や化学形態の詳細な基礎情報を獲得できます。その情報を基に、今後の化学物質管理、焼却残渣中金属の回収などに活用できます。

しかし、正確な排出量推計が可能になり、PRTR制度で情報が公表されるようになっても、私たちが関心を持ってそれを見なければ制度を活かすことができません。今回は産業廃棄物が対象ですが、企業のご担当者や多くの県民がPRTRデータに目を通し、身の回りの化学物質に興味を持つことが、化学物質による環境リスクを減らしていく取組につながります。

用語解説

注1) 焼却残さ: 産業廃棄物を焼却処理した後、炉に残留する燃え残り分を「燃えがら」、焼却炉からの排ガス中の粒子分を「ばいじん」、ばいじんを回収する施設を集じん器、集じん器で回収したばいじんを「集じん灰」、燃えがらと集じん灰を併せて「焼却残さ」と呼びます。

文献

1) 小口正弘, 谷川昇, 渡辺洋一 (2016) 産業廃棄物焼却残さの分析による焼却投入廃棄物の金属元素含有実態の推定. 第27回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, 333-334.