HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	集約型還元溶融を用いた一般廃棄物中有用金属回収システム提案に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	山口, 直久
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14244号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/79444
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yamaguchi_Naohisa_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　山口　直久

学　位　論　文　題　名

集約型還元溶融を用いた一般廃棄物中有用金属回収システム提案に関する研究
(Study on the proposal for the recovery system of useful metals in municipal waste by using centralized reductive melting)

わが国の一般廃棄物の最終処分量は一貫して減少傾向にあるものの、2009 年度以降はその減少傾向は鈍化している。最終処分量に占める焼却残渣の割合は依然と多く、最終処分量の削減および再生利用率の増加のためには焼却残渣の再資源化が期待される。一方で、焼却残渣には銅・鉛等のベースメタルに加え、金・銀等の貴金属類も含まれていることから、これら金属系有用資源の集積場所としての側面も有する。従来の焼却残渣の再資源化手法である灰溶融やセメント原料化では、一部を除いてこれら金属系有用金属については回収されることはない。

このような中、近年、民間溶融施設による焼却残渣の再資源化事業 (集約型還元溶融事業) が実用化され、複数自治体の焼却残渣を集約して溶融処理を行うとともに金属資源が濃縮された溶融メタルや溶融飛灰を非鉄製錬施設において山元還元することにより金属資源の回収が行われている。集約型還元溶融は電気炉を用いた製鋼技術の応用であり、強還元雰囲気で重金属類をスラグから還元分離する。集約型還元溶融は従来の焼却残渣の再資源化手法とは異なり、ベースメタルや貴金属類等の金属資源回収が可能な技術であり、焼却残渣の最終処分量の削減に加え、わが国における枯渇性資源の確保と循環型社会の構築の観点からの付加価値が高いと考えられる。

こうした潮流を背景に、焼却残渣の再資源化技術として集約型還元溶融に着目し、集約型還元溶融の金属資源回収ポテンシャルを評価するとともに、環境負荷の観点から集約型還元溶融の有用性を示し、さらに、集約型還元溶融を活用した地域特性に応じた新たな焼却残渣資源化システムの提案を行うことを目的として本研究を実施した。

本研究では、まず第 2 章で、集約型還元溶融事業と、焼却残渣の埋立処分および従来の焼却残渣再資源化手法 (セメント原料代替、エージング) と比較したマテリアルフロー解析により、焼却残渣の資源代替性を明らかにするとともに、$LCCO_2$ 手法による環境負荷の評価を行った。その結果、集約型還元溶融事業における再生資源 (溶融メタル、粗酸化亜鉛) については、銅・鉛・亜鉛の品位は金属精鉱の 1/10～1/3 程度、金・銀の品位は、金は金属鉱石の 40 倍、銀は 53 倍であり、焼却残渣 1ton は銅・鉛・亜鉛精鉱を数 kg～十数 kg 程度、金・銀鉱石を 1ton 程度それぞれ代替すると推計された。全国で最終処分される焼却残渣が有する金属資源の潜在的回収量は、国内の金属生産量の 0.6～5% と推定され、この金属資源価値は約 350 億円に相当すると試算された。また、集約型還元溶融施設は、現状の設定における $LCCO_2$ 算定では GHG 排出量が増加するものの、将来的に電力の GHG 排出係数の低減や輸送距離の短い立地場所を想定することにより、埋立処分よりも GHG 排出量が削減される可能性があることが示された。

次に第 3 章において、一般廃棄物の溶融処理で生成される溶融メタルに着目し、炉形式や溶融条件等による溶融メタルの金属濃度の相違やその要因を考察するとともに、溶融メタルの金属資源性を評価した。溶融メタル中の金属濃度は既存研究における濃度と同程度であり、鉱石の金属品位と

比較して Au、Pt、Pd は 10 倍以上であった。また、Au と Pt、Pd、Cu の濃度には正の相関が見られ、これらの金属が溶融処理を経て同じような割合で溶融メタルへ移行すると考えられた。搬出物全体中の溶融メタル割合は、Si、Ca、Al 等の主要元素の溶融メタルへの移行割合によって変化するが、コークスベッド式ガス化溶融はこの割合が高いため、溶融メタル中 Au、Pt、Pd 濃度が低くなる。なお、搬出物全体中の金属量は処理される廃棄物の性状を反映していると考えられたが、小型家電リサイクルの実施状況との関連は見られなかった。溶融メタルの TMR(関与物質総量:Total Material Requirement) からは、燃料式灰溶融と電気式灰溶融が金属資源としての品位は高いが、金属資源の総量としては、溶融メタルは炉形式によらずほぼ同等の金属回収ポテンシャルを有すると考えられた。

第 4 章では、破砕残渣の有する金属資源ポテンシャルの評価を行った。溶融施設には不燃・粗大ごみの破砕残渣も投入されるため、一般廃棄物焼却施設から生じる焼却残渣及び不燃粗大ごみ破砕施設から発生する破砕残渣を対象として金属資源含有量の実測調査を行った。その結果、希少金属濃度はおおよその傾向として、基板≧溶融メタル > 焼却灰 > 小粒径破砕残渣 > スラグとなっていた。一方、破砕残渣に占める基板の組成割合は小さいことから、1 人 1 日あたりの金属量で比較すると、破砕残渣の希少金属量は搬出物と比べて桁違いに小さい。そのため、破砕残渣に希少金属は含まれるものの、破砕残渣は焼却残渣中の主要な金属供給源ではないと考えられた。

そのため、第 5 章では、一般廃棄物に含まれる金属資源のメインソースは小型家電と考え、溶融処理による金属資源回収と比較することで、小型家電リサイクルによる金属資源回収の効率を評価した。具体的には、溶融メタルへの移行金属量と小型家電の製品中金属量 (潜在的回収量) を 1 人 1 日あたりの量に換算して比較したところ、Au、Pd の溶融メタル移行金属量は小型家電の製品中金属量と同等もしくはそれ以上であった。そのため、一般廃棄物における Au、Pt の主要供給源は小型家電である可能性が考えられた。また、Pt と Cu の溶融メタル移行金属量は小型家電リサイクルによる潜在的回収量より多く、小型家電以外にも金属供給源が存在すると考えられた。一方、小型家電リサイクルによる金属回収実績は、Au、Pd では小型家電の製品中金属量の数 % 程度にすぎなかった。なお、一般廃棄物中の金属資源の由来を金属資源の国内需要から整理を試みたところ、金属資源の国内需要全体に対する小型家電の製品中金属量は、Au で約 1 割、Pd で約 3%、Pt と Cu はごくわずかであった。

最後に、第 6 章において、一般廃棄物に含まれる金属資源を効率的に回収するための、集約型還元溶融を活用した資源循環システムを検討、提案した。具体的には、一般廃棄物に含まれる金属資源の効率的な回収方法の 1 つとして集約型還元溶融に着目し、小型家電回収効率の低い人口 100 万人以上の都市の一部 (3〜5 市:人口 640 万人相当) に集約型還元溶融を導入することで、小型家電リサイクルの目標と同等の金属資源回収を達成できることが示された。また、小型家電リサイクルを促進するシステムと比較すると、集約型還元溶融システムは GHG 排出量が増加するものの、全体としての費用は低減する可能性が示された。

小型家電リサイクル法が施行され、小型家電からの金属資源の回収が行われているが、小型家電リサイクルの回収促進を行うことは容易ではなく、効率的な回収や費用負担、市民への負担、選別・保管場所の確保、分別区分の変更やその周知など様々な課題が指摘されている。これら課題を考慮すると、小型家電リサイクルを促進することと同等の金属資源回収効果が得られる集約型還元溶融システムは、GHG 排出量は増加するものの金属資源回収面からは効率の良いシステムと言える。