HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	還元溶融法を用いた廃TVブラウン管ガラスからの鉛除去とプリント基板からの金属回収［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	稲野, 浩行
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14003号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/77977
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hiroyuki_Inano_review.pdf, 審査の要旨



Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　稲野　浩行

審査担当者　主　査　教　授　廣吉 直樹
副　査　教　授　石井 一英
副　査　教　授　五十嵐 敏文
副　査　准教授　伊藤 真由美

学位論文題名

還元溶融法を用いた廃 TV ブラウン管ガラスからの鉛除去とプリント基板からの金属回収
(Reduction melting for lead removal from used TV cathode ray tube and metal recovery from printed circuit board)

日本では家電リサイクル法によりブラウン管テレビの回収が義務付けられているが、ブラウン管の生産は激減し、水平リサイクルができなくなった。ブラウン管後部のファンネルガラスには人体に有害な酸化鉛が高い濃度で含まれており、そのリサイクルの方法を確立することが課題となっている。還元溶融法を用いると、ファンネルガラス中の鉛を元素状の鉛として分離・除去できるので、ガラス部分を他の用途にリサイクルできる可能性があるが、詳細なメカニズムや適切な操業条件等については不明な点が多い。本論文では、電気・電子製品の廃棄物中のプリント基板を還元剤として用いて、ファンネルガラスを還元溶融し、元素状の溶融鉛を分離するとともに、プリント基板中に含まれる金、銀、銅などの有価金属を溶融鉛中に回収するプロセスを開発することを目指して、模擬ガラスや金属試薬を使ったモデル実験と、ブラウン管ファンネルガラスとプリント基板の実試料を使った検証実験を行っている。

本研究は 6 章で構成されており、各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章は序論であり、研究の背景、目的を示し、既往の研究についてまとめている。

第 2 章では、鉛ガラスの還元溶融過程における元素状鉛の生成と沈降分離に関する基礎的知見を得るため、模擬鉛ガラスを用いた実験を行っている。模擬鉛ガラス、減粘剤、還元剤を混合した試料を所定の温度まで加熱後急冷し、X 線 CT、X 線回折、蛍光 X 線分析で評価し、元素状鉛は 973 K で生成するが、鉛と残ったガラスの分離には 1373 K 以上の温度が必要であることを見出している。この理由について検討し、低温の場合には酸化鉛の還元・除去に伴うガラス粘性の増加によって元素状鉛の沈降が妨げられるが、高温になるとガラス粘性が急激に低下し、さらに減粘剤として加えた炭酸ナトリウムとガラスの反応で発生した二酸化炭素ガスが融液を撹拌して、分散していた元素状鉛の衝突・合一を促進し、鉛の沈降速度が速くなることを示している。

第 3 章では、模擬鉛ガラスと金属試薬を用いたモデル実験により、鉛ガラスの溶融還元の過程で生じる溶融鉛をコレクターメタルとして廃電子機器に含まれる金属種を回収できるか確かめている。なお、回収対象の金属としては、プリント基板に含まれる金、銀、銅、ニッケル、液晶パネルに含まれるインジウムを想定している。これらの金属試薬と模擬鉛ガラス、減粘剤、還元剤を混合した試料を 1473 K で溶融・急冷し、得られたガラス相、金属相への金属種の分配を各種分析法で評価し、熱力学的に酸化されやすいインジウムは酸化物としてガラス相に約 6 割が残留するが、

金、銀、銅、ニッケルは酸化されずに 9 割以上が金属相へ分配されることを見出している。

第 4 章では、模擬鉛ガラスと実際のプリント基板を用いた実験を行い、プリント基板中の還元剤としての性能を評価するとともに、有価金属を鉛ガラスから生成した溶融鉛に回収できるか検討している。プリント基板粉砕物、模擬鉛ガラス、減粘剤を混合・溶融して得られた試料を各種方法で評価して、各金属のガラス相、金属相への分配を調べている。プリント基板には、樹脂の他に、電子部品中にケイ素、アルミニウムが含まれており、これらが還元剤として働くので、外部から還元剤を加えなくても、鉛ガラスを還元して元素状鉛を生成できた。また、プリント基板中の銅、ニッケル、錫は溶融鉛中に回収されることを明らかにしている。

第 5 章では、以上のモデル実験の結果を踏まえて、実プリント基板と実ブラウン管ファンネルガラスを用いた還元溶融実験を行っている。プリント基板、ファンネルガラス、減粘剤を混合して、るつぼに入れ、1473K で溶融した。溶融後にるつぼの底面に沈降した金属を回収し、プリント基板に含まれる金、銀、銅、ニッケルの回収率を求め、金、銀の 7 割以上および銅、ニッケルのほぼ全量が溶融鉛と共に回収できることを確認している。この結果は、鉛を含む廃ファンネルガラスと廃プリント基板を混合・溶融することで、ファンネルガラスからの鉛の除去とプリント基板からの有価金属の回収を同時に行えることを確かめるものである。

第 6 章は、本研究全体の結論であり、それぞれの章で得られた結果を総括し、本研究の工学的、社会的重要性について述べている。

以上を要するに、本論文は、廃棄物処理・資源リサイクリングにおいて重要な廃 TV ブラウン管ガラスからの鉛除去とプリント基板からの金属回収を同時に達成するプロセスを新たに考案し、その有効性を実験によって確かめており、資源リサイクリング工学の発展への寄与が大きい。よって、著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。