

「テルミット反応の廃棄物処理および再資源化への応用」論文要旨

京都大学大学院工学研究科環境工学専攻博士後期課程

原田浩希

本研究は、廃棄物中に含まれる金属資源をテルミット反応によって回収し、さらにその反応熱を溶融処理に応用することを主眼とした研究である。すなわち、回収の対象となる金属酸化物を含む廃棄物と、還元剤となりうる金属を含む廃棄物を組み合わせることによって、化学反応の利点を応用した金属資源の回収と、反応熱の利用を図る灰溶融処理について検討するものである。廃棄物中からの金属資源を濃縮・分離する技術の検討は、一種の製錬方法を検討することであり、またテルミット反応を用いた溶融処理の検討は新しい溶融方法、あるいは既存の溶融方法の改良を提案するものである。金属資源の回収技術、焼却灰の溶融技術、そしてテルミット反応による環境安全性向上の可否をそれぞれ実験的に確かめ、テルミット反応の廃棄物処理および再資源化への適用可能性と要素技術としての利点と課題を抽出し評価した。

本論文は5つの章から構成され、第1章では研究背景、研究調査、対象物の選択の経緯について説明し、研究の目的を決定した。第2章では、研究対象のキャラクターゼーション、前処理条件の確立、廃棄物間に起こるテルミット反応に関する基礎的な実験について述べた。第3章では、試料の調製条件がテルミット反応に及ぼす影響について調べ、第4章では反応熱を灰溶融処理に応用することを検討した。第5章は得られた知見の総括である。

第1章では、テルミット反応の原理や特徴、歴史、廃棄物処理に応用した報告例などについて調査し、その酸化還元特性と反応熱という二大特徴を廃棄物処理に応用することを決定した。またテルミット反応の特徴と金属回収の観点から回収対象物をめっきスラッジ、また還元剤としては安価で処理困難な廃棄物であるアルミニウムドロスを選択した。

第2章では、研究対象物のキャラクターゼーションと前処理条件の確立を行った。めっきスラッジ中の金属水酸化物を焼成によって酸化物に変化させ、アルミニウムドロスとのテルミット反応を起こすことができる化学形態にした。各キャラクターゼーションの結果からドロスとの混合比を決定した。混合粉末の示差熱分析から、テルミット反応が917°Cで開始することが認められた。示差熱分析に

比較して多少のスケールアップを図った実験として、坩堝と電気炉を用いて昇温時の雰囲気温度によってテルミット反応を開始させる実験系を構築した。その結果、焼成スラッジとドロスは炉内で反応を起こし、生成したメタル分とスラグ分が分離して凝集しており、金属の分離回収の可能性が示された。しかしながら、得られた回収メタルはアルミニウムを多量に含む金属間化合物の複合相になっており、資源あるいは材料としての再利用には、回収メタルの材料的な評価およびその確実な用途先を模索することが必要である。一方でスラグを最終残渣として位置付けて行った溶出試験の結果、鉛については環境安全性が向上したが、クロムについては十分な安定化が行われなかった。一方、昇温型の実験に対して、テルミット反応の連続性を検討する着火型の実験を行った。その際、蒸留水をバインダーとして用いた成型体の作成方法を確立し、反応を連続的に伝播させることに成功した。また、反応後には坩堝で行った実験と同様にメタル分とスラグ分が分離して凝集しており、連続処理の可能性が示された。回収メタルは粉末の昇温実験の結果と組成の違いが見られ、またスラグについては全ての溶出基準を満足する環境安全性の高いものであることが分かった。しかしながら、反応によって生成するメタルとスラグが融解相を維持できる時間が短いために、粉末の昇温実験に比べてスラグ中に残留したメタル分の比率が増加し、結果として回収率が低下した。第2章の最後では、テルミット反応の開始機構に関する基礎的な検証実験を行い、固相焼結による機構と液相アルミニウムの関与する機構の二つを示した。また第2章では、いずれも化学形態別に試料を分画する方法として、示差熱分析を用いたドロス中アルミニウム含有量の決定方法、ならびにテルミット反応後に生成したスラグとメタルを分離するための最適な酸種と処理時間を確立した。以上、昇温と着火のそれぞれの方法によるテルミット反応の違いを明らかにし、金属資源の回収あるいは無害化の可能性を明らかにした。

第3章では、焼成スラッジとドロス間のテルミット反応に重要な影響を及ぼし得ると考えられる混合比、添加物、焼成工程の必要の有無について検討した。複数の混合比で調製した試料を対象として、示差熱分析、電気炉による昇温型、マグネシウムによる着火型の三つの実験系を設けて、各々の反応開始温度、反応率、回収率、伝播特性、回収物の物性評価、ならびに生成スラグの環境安全性を評価し、それぞれの特徴と傾向を明らかにした。金属回収という観点からは坩堝を用いた昇温型の実験系が望ましく、逆に無害化による環境安全性の向上という点においては着火型で連続的に処理することが得策であることが示された。また各薬

剤の添加効果についても明らかにし、中でも氷晶石が金属回収の観点から優れていることを示した。

第4章では、テルミット反応の反応熱を都市ごみ焼却主灰の熔融処理に応用するための基礎実験を行った。焼成スラッジとドロスの混合試料を様々な大きさのボール型に成型し、造粒による成型を想定した熔融実験系を設けた。成型したボールはテルミット反応を起こす際に周辺の焼却主灰を熔融してスラグ化し、テルミット反応の焼却主灰への発熱剤としての利用可能性が示された。生成したスラグは凝集したメタル分を含んでおり、容易に分離された。スラグは環境安全性の高いものであることが分かり、焼却灰の熔融固化による無害化が可能であることが示された。またそのボールのサイズまたは重量は、ボール自身が起こすテルミット反応の特性から、その最大値と最小値の間に成型する必要がある。第4章からは、テルミット反応を用いた熔融処理とは、発熱剤として熔融対象物に混合させることにより、熔融効率の向上を図るものとしての一利用方法を示した。

以上の研究成果によって、本研究の本来の目的であったテルミット反応の廃棄物処理および再資源化への応用については、実験室内で得られる知見の範囲において、金属回収技術および無害化技術としての可能性が示された。また一方で、様々な角度からの実験によって、要素技術としてのテルミット反応に関する知見は十分に蓄積された。しかしながら各章で述べたように、メタル分の用途調査と開発、メタルとスラグの分離技術の検討、成型体を作る際のバインダーの選択と開発などといった個々の実験の中で課題は残っており、今後それらを解決し、さらにその上で実用化に向けての実現可能性の評価が必要である。