

マイクロ波を用いた分散型リサイクル拠点 A distributed recycling system by microwave processes

光斎 翔貴[†] 柏倉 俊介[‡] 山末 英嗣[‡]

Shoki KOSAI[†] Shunsuke KASHIWAKURA[‡] and Eiji YAMASUE[‡]

[†]立命館大学グローバル・イノベーション研究機構 [‡]立命館大学理工学部

概要

金属リサイクル技術は人類の発展と経済の基盤にとって重要であり、マイクロ波加熱が効率的な方法として注目されている。本講ではマイクロ波を用いた乾式製錬や湿式製錬の現状について概説し、その後、マイクロ波の特性を活かすためにはリサイクル、特に分散型のリサイクルが有効であることを説明する。分散型リサイクルシステムでは、小規模なリサイクルプロセスを実現し、地域ごとの廃棄物処理が可能になる。これらの技術は、さまざまな廃棄物のリサイクルに適用され、環境負荷を軽減し、リソースを効率よく利用できることが期待される。

Abstract

Metal recycling technology is crucial for human well-being and economic foundations, with microwave heating emerging as an efficient method. This paper provides an overview of current microwave-assisted pyrometallurgical and hydrometallurgical processes, emphasizing the effectiveness of recycling, particularly distributed recycling. Distributed recycling systems enable small-scale recycling processes and facilitate regional waste management. These techniques are applicable to various waste materials, reducing environmental impact and promoting efficient resource utilization.

1. はじめに

金属は人類の発展と経済の基盤であり、金属使用量の増加と枯渇リスクの増大に伴い、効率的なリサイクル技術が求められている。マイクロ波加熱は、環境負荷が小さく効率的なリサイクル技術として注目されている。本稿では、マイクロ波を用いた金属リサイクルに関して近年の研究動向を報告する。

2. マイクロ波を用いた金属リサイクル（乾式製錬）

乾式法は、熱エネルギーを物理的・化学的に利用し廃棄物から金属を抽出するアプローチである[1]。マイクロ波を用いた乾式製錬プロセスは、高炉スラッジ、電炉ダスト、クロム転炉廃棄物など種々のリサイクルに応用されている。

高炉スラッジは、鉄鋼の製造工程で高炉から発生するスラッジであり、鉄や亜鉛などの金属成分に加えてCaO、Al₂O₃、MgO、K₂Oなどの成分が含まれている。BFSには炭素も含まれているため、マイクロ波によるリサイクル手法では発熱体および還元剤として作用する可能性がある。Omranらは高炉スラッジに対し最大出力0.90 kW (2.45 GHz)のマイクロ波を15分間印加し、純鉄への還元を確認している[2]。同研究グループはさらなる調査において[3]、スラッジを63 μm以下に粉碎し、最高温度800℃で20分間加熱した結果、95%の回収率で亜鉛も回収している。

本システムにより、高炉スラッジから亜鉛と鉄を同時にリサイクルすることが可能になる。

電気炉ダストは、主に電気炉を用いた亜鉛めっき鋼板のリサイクル工程で発生し[4]、そこには亜鉛や鉄などの重要な金属が含まれている。電気炉ダストのリサイクルにおける従来の主なアプローチは、Waelz Kiln法である[5]。これは電気炉ダストの連続リサイクルシステムを可能にするが、処理時間が長く、鉄と亜鉛の回収率が比較的低い。そこで、処理時間を短縮し、鉄と亜鉛の回収率を向上させるための新しい方法として、マイクロ波が利用されはじめています。Sunらは、2.45 GHzで最大出力1.1 kWのマイクロ波による乾式リサイクル法を開発している[6]。またBelardiらは電気炉ダストを炭素と混合してから加熱することで、還元揮発により亜鉛を回収している[7]。この方法により鉄と亜鉛の回収率はそれぞれ70%と99%であった。加熱時間は15分程度であり、これは従来のWaelz Kilnプロセスに比べ16分の1の処理時間であり、大幅な加熱時間の短縮が実現されている。

水野らは、2.45GHzで最大7.5kWのマイクロ波による電気炉ダストの低炭素化リサイクルプロセスを報告している[8]。ここでは発熱体・還元剤として炭素の代わりにシリコン粉末を利用している点が新しい。亜鉛の最高除去率は約80%を達成しており、従