

# 審査の結果の要旨

氏名 孫 国棟

鉄鋼製造プロセスの一つである電気炉製鋼プロセスでは大量の電気炉製鋼ダストが発生する。その主成分は酸化鉄、酸化亜鉛及びその化合物であり、酸化鉛も含まれている。亜鉛は枯渇資源であり、製鋼ダストから亜鉛、鉛などの金属を資源としてリサイクルすることが行われているが、高効率の回収プロセスが望まれている。亜鉛、鉛は塩化物として低温で揮発するため、選択的な塩化揮発による製鋼ダストからの分離が可能である。

本研究では、製鋼ダストからの亜鉛、鉛の効率的な分離回収プロセス開発の基礎として、選択塩化揮発法に着目し、塩素源として、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{CaCl}_2$  を用いて、塩化揮発反応速度を測定し、亜鉛、鉛の選択的塩化揮発反応プロセスを解析して、亜鉛、鉛を塩化物としてリサイクルするための促進条件を検討した。本論文は7章からなる。

第1章は緒言であり、本研究の背景である電気炉製鋼プロセスでの製鋼ダストの発生状況、製鋼ダストの現行の処理プロセスの概要、塩化反応による製鋼ダストの処理の熱力学について検討し、本研究を行う背景、位置づけ、目的について述べている。

第2章では、本研究で行った塩化揮発反応の測定原理、実験方法、試料の分析方法について説明している。

第3章では、実際の電気炉製鋼プロセスで発生した製鋼ダストを  $\text{Cl}_2$  ガスで塩化したときの反応挙動について述べている。酸化鉄、酸化亜鉛、酸化鉛を含む製鋼ダストを、 $10\%\text{Cl}_2$ - $90\%\text{O}_2$  ガス流中、 $923\sim 1073\text{ K}$  で 60 分間まで反応させ、ダストの重量、組成の時間変化を測定した。高温ほどダストからの亜鉛、鉛の塩化揮発・除去率は大きくなり、 $1023\sim 1073\text{ K}$  での除去率は約 100% であり、一方、鉄は酸化物として残留していた。 $\text{Cl}_2$  ガスによる塩化反応により亜鉛、鉛の選択的分離の可能性を明らかにした。

第4章では、塩化剤として  $\text{MgCl}_2$  を添加して、製鋼ダストの塩化反応を測定した結果について述べている。製鋼ダストに  $\text{MgCl}_2$  を所定量添加し、 $873\text{ K}\sim 1273\text{ K}$  で、 $0\sim 25\%\text{O}_2$ -Ar 混合流中で反応させ、ダストの重量、組成の時間変化への温度、雰囲気、 $\text{MgCl}_2$  添加量の影響を測定した。塩化剤として  $\text{MgCl}_2$  を用いた場合でも、 $\text{Cl}_2$  の場合と同様に亜鉛と鉛は塩化揮発除去され、 $1023\text{ K}$  以上では亜鉛及び鉛の除去率は約 100% であった。雰囲気の酸素分圧が増加すると、亜鉛の除去率はわずかに減少し

たが、同時に塩化揮発する酸化鉄量は著しく減少した。これらのことから、適切な雰囲気の下で  $\text{MgCl}_2$  が選択塩化反応の塩素源として用いることができることを明らかにした。

第5章では、塩化剤として  $\text{CaCl}_2$  を用いた場合の製鋼ダストの塩化反応を測定した結果について述べている。製鋼ダストに  $\text{CaCl}_2$  を添加して 973K~1273K で  $\text{Ar}-\text{O}_2$  気流中で応させ、塩化反応によるダストの重量、組成の時間変化への温度の影響を測定した。塩化剤として  $\text{CaCl}_2$  を用いた場合でも、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$  の場合と同様に亜鉛と鉛は塩化揮発除去された。しかし、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$  を塩化剤として用いた場合に比べ、反応が終了するまでに長い時間を要することがわかった。

また、雰囲気の酸素分圧は、亜鉛の除去率に影響しなかった。これらの結果から、反応に長時間を要するが、 $\text{CaCl}_2$  が塩化反応の塩素源として用いることができることを明らかにした。

第6章では、第3章から第5章までの研究で得た製鋼ダストからの亜鉛、鉛の塩化揮発反応についての結果をまとめて比較検討して考察した結果について述べている。 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{CaCl}_2$  の3種の塩化剤による亜鉛と鉛の塩化揮発反応の総括反応速度定数、活性化エネルギーなどの速度論パラメーターを求めた。また、塩化揮発反応速度の測定結果に基づいて、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{CaCl}_2$  の3種の塩化剤を用いた製鋼ダストの塩化反応機構について考察した結果をまとめている。これらの考察に基づき、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{CaCl}_2$  を用いた塩化反応の塩化剤の利用効率について検討した結果を報告している。

第7章では、本論文を総括し、今後の研究指針を述べている。

以上のように、本論文では製鋼ダスト中に含まれる亜鉛、鉛の選択的揮発塩化反応の反応挙動を明らかにし、速度論的な解析を行った。それに基づき、亜鉛、鉛の製鋼ダストからのリサイクルプロセスについて重要な新しい知見を得ており、本研究の成果はマテリアルプロセス工学への寄与が大きい。

なお、本論文第3章、第4章、第5章、第6章は松浦宏行、月橋文孝との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1963 字