

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小川雄司

鉄鋼精錬プロセスにおいては、熔融還元のように凝縮酸化物相中の酸化鉄を炭素により還元する場合には一酸化炭素ガスが発生し、逆に凝縮融鉄相中の炭素を気体の酸素により酸化して脱炭する場合にも一酸化炭素ガスが発生する。すなわち、気液混合状態が必ず存在し、熔融酸化物相（スラグ）は発生した気相種により泡立つ。激しい泡立ちにより熔融スラグが炉外に溢出すると、歩留りや作業性の著しい悪化を引き起こす。

本論文は、スラグの泡立ち現象を制御する技術を開発した成果を述べたものである。泡立ち現象を直接観察し、得られた知見を基に、物理的な側面からの現象のモデル化と機構解明を行い、実操業におけるスラグの泡立ち制御技術を確立したもので、全6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景、スラグの泡立ち現象に関する従来知見および本研究の目的を述べている。スラグの物性と泡立ち性の関連については、従来から研究されているが、泡立ちの発生過程や泡沫中の構造といった物理的な側面からの研究は極めて少ない。本論文においては、特に泡を構成する気泡のサイズの影響に着目し種々の支配因子を明確にすることに主眼を置いている。

第2章では、まず、溶鉄と熔融スラグを用いたX線透視観察実験により、スラグの泡立ち過程を明らかにした。ゼラチン水溶液を用いた泡立ちの水モデル実験と併せて、スラグの泡立ちを支配する要因として、発生する気泡のサイズが極めて重要であることを示した。硫黄や酸素といったスラグ/メタル間の界面物性に影響を及ぼす元素により、発生する気泡の寸法が大きく変化し、気泡サイズが小さくなると急速にスラグの泡立ちが起こることを実験的に明らかにした。

第3章では、前章で得られた知見を基に、スラグの泡立ち現象を物理的に記述するモデルを構築した。現象を、スラグ/メタル界面での気泡発生、スラグ内の気泡分布、泡沫最上部での気泡の破裂の3つの素過程に分け、各々の物理モデルを作成した。このモデルを用いて、スラグやメタルの物性が、発生する気泡寸法や泡沫内部の気体分率、気泡の破裂速度に及ぼす影響を検討した。その結果、発生気泡径、スラグやメタルの物性と泡沫の安定性との関連が明らかになった。従来考慮されていたスラグ内部の物性の影響の他に、スラグやメタルの表面張力、スラグ/メタル間の界面張力といったスラグ/メタル間の界面物性は、そのバランスによりスラグとメタルの濡れ性を変化させ、濡れ性が良くなると界面から発生する気泡の寸法が小さくなって、スラグの泡立ちを増大させる作用があることが物理的に明確になった。

第3章までの研究により、発生気泡径を増大させ泡立ちを抑制するためスラグやメタルの成分設計に対する指針を示すことが可能となった。しかしながら、精錬目的や生産性の

確保という観点から、発生気泡径の制御には限界が生じる。そこで、発生した微細気泡の合体を強制的に促進して泡立ちを抑制する手段について第4章で検討した。

第4章では、X線透視観察と1 t規模の熔融還元実験から、これまで経験的に行われてきた炭材による泡立ち抑制が、炭材がスラグに濡れにくいことによる炭材表面での泡沫中の微細な気泡の合体促進によることを明らかにした。すなわち、スラグに濡れにくい固体物質の添加が、気泡の粗大化による泡立ち抑制に有効であることを明確にした。また、炭材の粒度が小さいほど泡立ちの抑制効果が大きく、炭材と泡との相対運動が合体に必要であったことから、スラグに濡れにくい固体物質と微細気泡との接触頻度の増加が泡立ち抑制に効果があると推定している。更に、炭材使用量の適正化により100 t規模の大型炉においても安定操業が可能であることを実証し、多量のスラグを用いるプロセスにおいても、泡立ち現象を安定に制御する技術を確立した。

第5章では、炭材によるスラグの泡立ち制御技術を適用することで、多量スラグを使用するプロセスの特性を逆に利用した新しい精錬法の可能性について検討した。具体的には、スラグの泡立ち制御技術を化石燃料によるスクラップ溶解プロセスに応用し、多量スラグを共存させることで初めて成立する錫の蒸発除去方法について、基礎実験を踏まえて8 t規模のスクラップ溶解実験による研究を行った。上吹き酸素による高温の火点と炭材から持ち込まれる硫黄分を利用することで、スクラップ中のSnをSnSの形で短時間に蒸発除去可能であることが明らかとなった。ダスト中のSn濃縮比を高め、鉄歩留りを維持しつつ効率的に脱錫を行うためには、多量スラグにより上吹き酸素ジェットと鉄浴を遮断してSnが濃縮される蒸発起因のダストの比率を高めることが極めて重要である。多量スラグ下での安定操業のためには第4章で確立した泡立ち制御技術の適用が不可欠であると結論している。

第6章は、本論文の総括である。

以上を要するに、本論文は、鉄鋼精錬プロセスの安定操業を阻害するスラグの泡立ち現象を物理的な側面から検討することで、その発生機構を解明し、安定的に制御する技術を確立したもので、金属製錬工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)学位請求論文として合格と認められる。