

論 文 要 旨

2025 年 2 月 24 日

※報告番号	乙第 102 号	氏 名	飯田 正和
主論文題名			
高炉出銑現象の定量的評価モデルの研究による出銑孔および炉床構造の解明			
内容の要旨			
本研究は鉄鉱石を還元して熔融銑鉄と熔融スラグを生成する設備である高炉の炉内現象，特に最下部の炉床現象に着目，熔融物排出に関する操業指標を評価する数値モデルの構築と，それを用いた炉床構造の解明に取り組んだ。 第 1 章「緒論」では鉄鋼製品の製造プロセスや高炉操業等の背景を記述し，本研究の目的を示した。高炉は鉄鉱石をコークスで還元して 1500～1550 ℃の溶銑を得る反応容器である。高炉内には拳大の鉄鉱石とコークスが充填されており，炉下部に設けられた羽口と呼ばれる吹込み孔から 1000 ℃程度の熱風が吹き込まれてコークスが燃焼，高温下でコークスの炭素化合物が鉄鉱石を還元し溶銑とスラグと呼ばれる酸化物熔融塩が生成，炉床のコークス粒子間に溜まる。炉床側壁には出銑孔と呼ばれる排出孔が複数設けられており，そのうちの一つから溶銑と熔融スラグが同時に排出され，この排出を出銑と呼ぶ。出銑孔にはマッド材とよばれる耐火物が充填されており，これをドリルで掘削し炉内と貫通させる開孔で出銑が開始，出銑終了時にはマッド材が充填される。出銑初期の排出速度は生成速度より低く徐々に増大，排出速度が生成速度を上回り，熔融物レベルが十分低下すると炉内ガスが噴き出すためマッド材を充填，それと同時に別の出銑孔を開孔し次の出銑を開始する。 経験的に，高炉の操業状態は炉底温度と関係がある。炉底温度が低い時期は，開孔時に深い部分で掘削困難になる，出銑時間が短くなる，銑鉄とスラグの排出速度に出銑孔間偏差が生じる，等の好ましくない傾向が観察される。しかし，このような現象の原因となる炉内構造は不明であった。 そこで，本研究は，<u>出銑指標の変化を定量的に評価するモデルを構築し，高炉の出銑孔および炉床構造を解明することを目的にした</u>。取り扱う指標は，開孔時間，出銑時間，排出物中の銑鉄比率の変動，である。炉床構造のモデル化にあたり低透過層の概念を取り入れた。低透過層は炉床のコークス充填層中で粉化したコークスが空隙を埋めた流体透過性の低い領域で，これが生成すると液流れが阻害され熱伝達係数が低下，炉底温度を低下させる。それに伴い炉底銑鉄凝固層が厚くなり，炉床が浅くなる。			

※印欄記入不要

論 文 要 旨

2025 年 2 月 24 日

※ 報告番号	第 号	氏 名	飯田 正和
第 2 章「出銑孔開孔数値モデルの研究によるマッド材が充填された出銑孔構造の解明」では、出銑孔を開孔する際の掘削速度を計算するモデルを確立し、出銑孔構造を解明することを目的とした。実データの精査と実験より出銑孔のヤング率で掘削速度を計算するモデルを構築した。出銑孔のヤング率を変えた試算の結果、掘削不能になる部分はヤング率を 5 倍以上にする必要があることがわかり、固体で存在しているとされる Ca に富むスラグ層がドリルの進路にある構造が推定された。この層はコークス充填層下部で形成されるため低透過層が生成して炉床が浅くなると出銑孔レベルに到達しやすくなると考えられた。 第 3 章「溶融物排出速度モデルの研究による出銑孔および炉床構造の解明」では排出速度に影響する因子を明らかにし、出銑時間の変動を誘発する炉床構造の解明を目的とした。出銑中の排出速度増大が大きいと出銑時間が短くなる。排出速度の増大は出銑孔径の変化では説明できず、出銑孔前面でのコークス消費による空隙率の増大を考慮した圧力損失モデルを構築した。その際、炉底温度が低い時期は銑鉄の C 濃度が低くなる点に着目した。炉底温度の低い時期は低透過層生成と銑鉄凝固レベルの上昇で溶銑流動域が浅くなっていると想定され、生成した溶銑が出銑孔に到達する時間が短くなる。その結果、出銑孔到達時点での溶銑の C 不飽和度が大きくなり出銑孔前面コークスの溶解が促進され出銑孔前面の空隙率が増大、排出速度が高くなる。このモデルによる計算は実際の排出速度と出銑時間の変動を高い精度で再現し、出銑孔-出銑孔前面のコークス消滅領域-低透過層の生成と消滅が生じる炉床全域、が一体となった炉床構造が明らかとなった。 第 4 章「銑鉄比率の変動を再現する計算モデルの研究による変動を誘発する炉床構造の解明」では、排出物中の銑鉄比率の出銑孔間偏差と出銑中の銑鉄比率変化パターンの変動を引き起こす要因の解明を目的にした。これらは、垂直な低透過層の生成を仮定、低透過層に銑鉄は自由に通過できるがスラグは全く通過できない性質を与えて炉床におけるスラグ流動を分断させる構造を想定したモデルによる計算で再現できた。これより、銑鉄比率の変動が垂直な低透過層によって生じる炉床構造が明らかとなった。 第 5 章「高炉の炉床と出銑」では、第 2 章から第 4 章での検討を統合した炉床全体の構造を示し、低透過層の生成と操業指標の関係について総合的に考察した。さらに将来のカーボンニュートラルに向けた革新的高炉プロセスでの出銑における本研究の有効性について検討した結果を述べた。 第 6 章「結論」では、本研究の内容をまとめ、得られた結論を述べた。			

※印欄記入不要