

第 108 回講演大会討論会報告

I. 製鉄プロセス研究のためのモデル 実験とその考え方

座長 新日本製鉄(株)第三技術研究所

下村 泰人

製鉄の各プロセスにおいて、制御性のいつそうの向上や、限界操業追求のための研究開発が活発に行われている。しかし製鉄に関係する諸反応は一般に複雑で、研究のためのモデル化には思い切った現象の簡略化が必要となることが多い。したがって研究結果の成立条件には、ある程度の制約が加わることになり、単一の研究がプロセス全体をシミュレートすることはほとんど不可能である。このような状況下では、現象をいかに上手にモデル化するかが研究の成否を決定する。

モデル化には大きく分けて二つの目的がある。第一はプロセス開発に際して行うスケールアップに関するモデル化であり、第二には現在のプロセスをより論理的に理解するためのモデル化である。またモデル化の方法として全体を縮尺する場合と、プロセスの一部分を言わば切り取ってモデル化する場合がある。

今回の討論会では、投稿された 7 編の論文を三つのカテゴリーに分類し、発表及び討議はそれぞれの区分別にまとめて行うことにより、論点の拡散を防ぐと共に議事進行の円滑化を図った。

第 1 分類：高炉内現象のうち比較的物理的な側面を取り扱ったもの

討 3† 高炉内の原料の運動に関する模型実験の有効性と限界

(株)神戸製鋼所 中央研究所 稲葉晋一 他

装入原料の高炉内移動現象を検討するための模型実験装置の備えるべき条件として、粉粒体層の応力の釣合いを考慮した無次元数の一致、応力分布の相似性を満足するプロファイルの選択が必要であり、このため縮小比、分割時の壁板の影響、分割の方法などの重要性が指摘された。

更に熱間模型において、軟化・溶融現象に無次元数の概念を導入し、軟化融着層の形成状況を解体調査における実高炉の状態に一致させた。この時の模型内の空隙率分布を測定し、高炉内のガス流分布が計算された。

討 4 二次元模型による高炉下部充填降下挙動の研究
新日本製鉄(株)第三技術研究所 田村健二 他

高炉下部の物理現象について、力学法則及びエネルギー法則にもとづく相似則を求め、それを二次元模型に適用し、高炉下部充填降下特性に及ぼす送風条件、装入条件及び炉壁条件の影響が実験された。

その結果、羽口風速の過大が炉芯表層部での粉コークスの堆積を招き、これによつて惹起される炉芯の肥大、炉壁温度の低下、未溶解装入物のレースウェーへの降下、朝顔部以下での圧損の増大などの原因となることが明らかにされた。実高炉の羽口採集コークスの粉率分布が、模型実験による知見とよく一致し、数基の高炉で羽口風速の低減を実施した結果炉況の安定が確認された。

討 6 高炉内コークス挙動のモデル化

住友金属工業(株)中央技術研究所 栗田興一 他

高炉内での反応と機械的衝撃による塊コークスの劣化過程と劣化によつて生じたコークス粉の運動特性について基礎実験を行い、その結果を高炉総合モデルに組み込んで実炉操業結果と対比検討された。

反応後の粒度を推定するためのソリューションロス反応速度式に、粒径、反応性、ガス流速などの補正項を加えたこと、また機械的作用による粒径低下の推定にドラムインデックスの結果を反映させるなど、理論と現実の工程管理指標を巧みに調和させたところに特色がある。また、高炉内ガス流れをコークスの劣化によつて生じた粉を含む固気二相流と考えモデル化した。

これらの結果を実炉におけるコークス品質変更試験操業や減産操業時の炉況にあてはめ、よい一致を示すとした。

討論 ここでは発表者相互間で、各モデルの前提条件の成立する範囲及び妥当性について活発な意見交換が行われた。また、細粒化したコークスの挙動につき、実炉における採取試料との比較などに関心が集まった。

第 2 分類：プロセス開発の基礎実験から商業化までのスケールアップを取り扱ったもの

討 2 コールドペレットの連続急速養生プロセスの開発

日本鋼管(株)中央研究所 吉越英之 他

炭材内装コールドペレットを炭酸化結合剤で製造するプロセスにつき、基礎実験から 100 t/日プラント建設までのスケールアップの考え方が述べられた。すなわち、養生条件として、水蒸気処理に先立つ予備乾燥及び強度向上のための炭酸化乾燥の必要性などを基礎実験から求め、これをもとに工場排熱利用などの立地条件を加味した多段十字流シャフト炉のパイロットプラントが設計・建設された。パイロットプラントの操業結果は、ペレットの強度に関して実験で得られた結果と一致し、技術的・経済的優位性が証明されたので、日産 100 t の実用プラントが建設され順調に稼働している。

討論 炉内のガス流れ特に偏流の有無、温度制御などについて質問がなされた。これに対して、実験研究の結果により基本条件を決定すると共に、ガスの吹込方式に関しては、ガス流れの FEM によるシミュレーションモデルを用いて設備の設計が行われたとした。

第 3 分類：製鉄に関係する現象のうち、反応が強く関

† 討論番号は討論会プログラム番号

係する対象を扱ったもの

討 5 高炉下部におけるガスと液体の流れ及び反応に関する小型モデル実験の有用性

川崎製鉄(株)技術研究所 田口整司 他

モデル化の考え方として、1) 単純化及びスケールダウンの論理が明確で、模型実験により実機に対し有用な定量的知見が得られると思われるもの、2) 高温における反応を伴う現象のように相似比を保持したモデル化が困難で、同一の系での縮小実験に頼らざるをえないもの、の二つに分類し、前者の例として炉床における液体の流れの問題と滴下帯における気液向流流れの問題、及び後者の例としてコークスを熱風で燃焼できる小型炉を用いた Si, Mn, Ti などのメタロイド成分の移行経路のうち気液反応の寄与率を把握するための研究について報告された。

その結果、溶銑レベルが出銑速度の変化に依存すること、メタロイド反応は鉱石の予備還元率や送風温度に影響されることが明らかにされ、いずれも実高炉操業に有用な知見が得られたとされた。

討 1 シミュレーターによる焼結過程の溶融・凝固現象の解析

東北大学選鉱製錬研究所 大森康男 他

焼結研究における従来の鍋試験の問題点を論じ、焼結層内に起こる種々の化学反応を含めた高温域でのガスと装入物の挙動を解析するためのシミュレーターが開発された。この装置を用い、排ガス分析値よりコークスの燃焼状況、またこれに伴う空間占有率の変化を求め、また試料の溶融に伴う空間率変化を試料断面の画像解析から求め、これらの知見を考慮した焼結中の圧力損失の計算値は、シミュレーターの実測値と良く一致した。

本研究を背景に今後の研究課題が整理されると共に、第 2 ステップのシミュレーターの製作が紹介された。

討 7 CO-CO₂-N₂ 混合ガスによる焼結鉱単一粒子の段階ごとの等温反応速度の解析

大阪大学工学部 碓井建夫 他

ペレットに関しては多数の解析が存在するガス還元反応の速度論的検討が、焼結鉱について行われた。解析は一界面モデルで実施され、その中で使用されるガス境界内物質移動係数については、焼結鉱をナフタリンで被膜したモデル実験から推定式が作成された。各温度での還元実験の実測値とモデル式による計算値とが一致するように、化学反応速度定数と有効拡散係数を決め、これらの値の温度依存性を示す式が得られた。

討論 比較的簡単な物理法則に支配される第 1, 第 2 分類と異なり、反応を伴うこの分野では共通な論点が少なく、それぞれが独立した議論となった。反応を含む系ではスケールダウンが多くの場合不可能で、対象とする反応にいかにか似た部分モデルを作成するかがポイントで、模型がその要件を満たしているかどうかについて議

論された。焼結鉱の還元モデルについては、現象を単一粒子からの積み上げで構成することの是非、あるいは限界についての議論がなされた。

最後に模型実験研究では経験の豊かな名古屋大学工学部鞭教授に総合的なコメントをお願いした。

コメント：名古屋大学工学部 鞭 巖

数学モデルによる解析が発達し、簡単な系については数値計算により十分に現象が記述できるようになった。しかし高炉のような複雑な系では、まだ必ずしも満足できる状態ではなく、理論計算の結果の妥当性は、ひとえに「モデルの仮定がどこまで正しいか」にかかっている。

また、鞭研究室で行われた高炉のレースウェーの研究のためのモデル実験の進め方、及び移動層シャフト炉等の装置実験の考え方が実例として紹介された。

次に模型実験の成果を利用する立場の現場からの意見として、新日鉄八幡製鉄所の稲垣憲利氏より、現場では炉内の状況を把握し推定モデルとの整合性を検討するため検出端の開発が進行中であるが、どのような情報をどこで測定すべきか明示してほしいとの意見が述べられた。

以上で討論会を終了したが、本討論はこの席で結論を出すという性格のものではなく、考え方や実験の進め方を幅広く討論することが目的であつた。これらについては、それぞれの発表や討論及び鞭先生のコメント等の中で十分述べられたことと思われる。ただ製銑プロセスの研究開発や現場の操業改善には、今後とも模型実験や数学モデルは不可欠なものと考えられ、その際には現プロセスの十分な測定、現プロセスのメカニズムの深い考察が並行して行われねばならない。また、研究の成果をあげるには良い模型であることが必須だといえる。

最後に貴重なコメントをいただいた名古屋大学鞭教授、討論に参加いただいた各位及び準備から司会まで御協力いただいた新日鉄中村正和氏に厚くお礼申し上げます。

II. 融体精錬の基礎と応用

座 長 大阪大学工学部

森 田 善一郎

副座長 住友金属工業(株)鹿島製鉄所

丸 川 雄 浄

近年、溶銑予備処理、転炉の複合吹錬、取鍋精錬などの精錬技術の著しい進歩により、製鋼プロセスは急速に変貌を遂げつつある。ところで製鋼プロセスには溶銑、溶鋼、溶融スラグ等のいわゆる融体が関与しており、従って今後の製鋼技術のいつそうの発展と飛躍を期するためには、我々製鋼にかかわる技術者および研究者が、これら融体の性状や反応に関する基礎的な情報を正しく把