

特集号「製鉄技術の拡大と高度化」によせて

大 森 康 男*

本誌で前回の製鉄特集号が掲載されたのは約5年前であり、その時期は、私が部会長を務めさせていただいた鉄鋼基礎共同研究会、高炉内反応部会の活動を終了した直後でした。同部会は、その前半において、1960年代末から70年代にかけて、わが国で活発に行われた高炉解体調査結果を総合的に解析して、高炉内で起こる物理的および化学的現象を正しく把握して、その結果を基に、2次元トータル数学的モデルを構築する手掛かりを得るものでありました。後半の活動では、数学的モデルの要素となる次の5項目、すなわち 1)融着帯の位置と形状の定量化、2)高炉内ガス2次元流れの解析、3)鉄鉱石類、コークスなど装入物の運動、4)これら装入物の製造時の品質と炉内状況の関連、5)レースウェイと炉床におけるガス、液体、コークスなどの運動特性を取り上げ、それぞれ分科会的活動を行いました。2次元数学的モデルとは直接関係は致しませんが、6)未来高炉のイメージについても分科会的活動を行いました。この6)については、本稿の終わりに触れたいと思います。その後、5年を経た今日、上記6項目のみを取り上げても、その間の高炉技術、研究開発の進歩は著しいものがあります。1)と2)については、実寸大コールドモデルや擬ホットの縮尺モデル等によるガス流れの解析や可視化、また融着帯形状のパターン分類が行われ、同時に実炉内に挿入または固定する検出端やプローブが数多く開発され、その挿入位置もより高炉下部へと進み、融着帯位置や形状のみならず、融着帯を構成する鉄鉱石融着層やコークススリット層の構造や強度についても測定及び直接観察が可能となり、融着帯位置の経時的変化も把握できるようになりました。これらの計測あるいは観察結果さらには採取された試料の分析結果等は、2次元数学モデルとの組合せにより各種変数の2次元分布として解かれ、高炉炉頂における装入物分布制御の重要性が一段と認識されるに至っております。3)についても2)と同様、実験室的モデル及び実炉検出端によつて装入物降下速度分布の定量化及びその速度分布に及ぼす炉壁損傷や付壁物の影響、装入物の降下時の力学的解析も試みられ、また融着帯の炉内降下挙動や滴下帯のコークスの流動化現象の解析も一段と精査なものになりました。

これらの1)~3)によつて得られた知見は、4)に反映され、従来、塊状帯における還元粉化と被還元性、融着帯における軟化・溶落特性など各帯に分割された位置または温度における鉄鉱石類の冶金及び物理特性及びコークスのCO₂による炉内酸化反応速度も高炉内現象を考慮したシミュレーターあるいは実炉に被検試料を塔載したゾンデ等により評価するように進歩しております。オールコークス操業初期に問題提起された炉壁部不活性帯や低温熱保存帯の成因とその対策、焼結鉱の低温還元粉化現象の高炉操業に及ぼす影響、小塊コークスを混合した鉱石層の耐軟化性状の向上、炉内水素源による高温被還元性したがつて耐軟化性状の向上効果、さらにコークスの強度劣化と粉発生機構など数多くの新知見が得られております。私は鉄鉱石類やコークスの高炉内品質の評価とその品質向上のための装入物とくに焼結鉱の製造技術の基礎的研究を自身の研究の大きな柱と致して参りましたので、上記1)~4)に關しての過去5年間の技術、研究両面の展開とその成果に感銘を覚えます。今後のわが国の高炉操業の目標として、より安価な原料を使用し、かつ操業自由度の大きな条件の下での限界コストへの挑戦が掲げられています。鉄鉱石装入物の主要割合を占める自溶性焼結鉱を例にとれば、原料銘柄の特性を生かした配合設計と造粒設計を中心とする事前処理技術と合わせて焼結層内への焼結原料の最適偏析装入技術の組合せにより、目標とする焼結鉱組織を造り込むことが肝要となります。焼結鉱の高炉内使用下限粒度は粒度別装入など分布制御技術の進歩によつて拡大しており、その相乗効果は大いに期待できましよう。コークスの製造技術についても同様のことがいえませんが、この場合は、西独にみられるような炭化室の大型化に必要な設備投資が必要となります。非粘結炭、弱粘結炭多量配合可能の連続成型コークス炉も実証炉として成功しており、石炭ソースの選択自由度を拡大する点において高く評価されます。次に5)スラグ

* 東北大学選鉱製錬研究所 教授 工博

-メタル-ガス反応については、溶銑への Si 移行の主要経路がコークス灰分及びスラグに由来する SiO を介しての移行に基づくことでは一致した見解となつていますが、最近の操業成績をみると、平均 Si 値は 0.3% 台で推移しており、また、 σ_{Si} は、高炉の安定化操業技術によつて着実に低下しています。その結果として焼結鉱塩基度の上昇が可能となり、低 Si 操業に寄与しています。一方、操業技術面では、炉外脱珪と並行して、羽口よりの鉱石粉吹込みが試みられていますが、その脱珪機構の解釈には不一致の点もあり、炉内、炉外併用の脱珪技術の成果の可否は今後の課題でしょう。5)のうち、レースウェイの運動特性については、滴下帯以下のコークスの運動と関係するので説明が遅れています。ただし PCI の経済的メリット及び、先登高炉のメリット実証から、他高炉への普及化が進み、その吹込み量も増加傾向にあります。灰分 SiO_2 のトータルインプットの低下に比べ、期待される溶銑 Si の低下は認められておらず、その理由の解明は、興味ある課題ですが、経済的観点を除いても、その吹込み限界値を知ることには強い関心を持っています。一方、炉床におけるコークス芯の置換機構、炉床コークス充填層中の液流れについては、高炉の長寿命化を支配する要因ですが、実証の困難さから、過去 5 年間の進展は、それほど顕著ではありません。しかし、各高炉とも、休風時の炉芯コークスの採取による性状の経時的変化の探査は熱心に行われており、炉頂における装入物分布制御、羽口燃焼帯の制御の複合技術によつて今後急速な高炉技術の進展が期待されます。

以上、高炉の制御技術をバックアップするトータル数学的モデルの展開に必要な要因と過去 5 年間の進歩を概説しましたが、過去 5 年間に於ける数学的モデルの研究は、高炉の操業条件を主な入力データとし、流動、伝熱、反応を含む物質移動を軸対象の 2 次元的に解こうとする理論モデルから、高炉の検出端情報を用いて修正し、その結果を実炉で検証する形に変化してきています。この方向は、複雑な高炉現象を正しく理解する上に正当な進展ですが、実際操業上重要な円周バランスを確保するという操業技術者の期待に応えるには、計算時間、収束性の面からいつその改良もしくは新しい数値解析法の開発が望まれます。このため、全く別な立場から、操業者の経験内容もと入れた総合的アルゴリズムに基づくエキスパートシステムが試みられています。検出端情報から各種情報処理を経て判断決定、取るべきアクションまでをオンラインで実行する総合的な操業管理システムは、製鉄分野の技術者が情熱を傾けて取り組んできた輝かしい成果であり、この成果が更に進展して、先に述べた理論数学モデルとの有機的結合がなされる日もそう遠くない将来であることを信じて疑いません。

さて、前述の未来高炉のイメージに触れてみたいと思います。昨今の鉄鋼不況、海外生産への傾斜による空洞化現象、経済大国としてのわが国の国際化、情報科学産業や 3 次産業の進展など鉄鋼業を取り巻く環境はとりわけ厳しい状況下にあります。課題の製鉄技術の拡大と高度化は、それらの環境を考慮すれば皮肉なテーマともいえます。鉄鋼各社は、こぞつて大合理化計画を立案し、その実行に着手しています。生産する鉄鋼製品も軽量化、多機能化、複合化、低コスト化などニーズの多様化に対応して、少量多品種製造技術の確立を目指しております。高炉溶銑はそれ自体が製品ではないので、製鉄技術者、研究者の貢献が顕示されない面がありますが、世界の原料事情、エネルギー事情の変化に即応して、製鉄所のエネルギーバランス、溶銑の質と量に対する要求に応じてきました。人によつては、'どんがら' と称される炉体の中で、熱交換、還元、溶解という異なつた機能を見事にこなす高炉には、次世代までも引き出せる潜在能力があり、それに挑戦できる技術者、研究者はもつて銘すべきとの意見がありますし、過去の製鉄技術の発展の歴史からも、それは首肯できます。一方、次世代技術とした昨今注目を集めている溶融還元法は鉄浴型とシャフト型の相異はあつても、機能分離タイプといえましょう。このいずれが次世代の主流になるかは不明ですが、高炉においては融着帯のガス分配機能が還元、溶解の機能を分けているのは事実でありましょう。シャフト型溶融還元では、酸素のみを使用すれば、高炉の通気、通液障害による生産性の変動は取り除かれるという魅力もあります。しかし、高炉においても酸素高炉の操業の可能性が示唆されており、要は、安価な酸素製造装置の開発いかんによります。私見ですが、将来、世界的には溶融還元法が高炉と並んで重要な素鉄製造装置の位置を占めるようになると思います。この間、高炉は手をこまねているわけではなく、その長所を巧みに取り入れて発展していくと思います。

世界の動きをみますと、米ソの軍拡競争の終焉の兆しがみえ、わが国でも次世代に向けての社会資本の充実が真剣に叫ばれるようになってきたことは喜ばしいことです。おわりに、高炉の高度化についての私の夢を列記します。

1. 高炉難作業のインテリジェントロボットによる運転
2. 製鉄総合操業管理システムの高度化による夜間無人運転
3. 貯銑滓量の精確な定量
4. 高炉と溶融還元の併列操業
5. 高炉と製鋼以降の技術者、研究者の相互乗り入れ
6. 大学における工業教育の根本的改造