



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

高炉操業の安定化のために

Developments for Stabilization of Blast Furnace Operations

田川智史

Toshifumi Tagawa

(株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門
技術総括部 課長

1 はじめに

筆者は2000年に(株)神戸製鋼所に入社以来、加古川製鉄所において高炉の操業管理、技術開発、設備投資など、高炉に関する業務を担当してきました。加古川製鉄所の鉄源のほぼ全量を高炉で製造しているため、操業管理担当時代には特に操業の安定化に尽力してきました。本稿では高炉操業の安定化のための取り組みをご紹介します、今後、更なる安定化に向けた想いについて述べさせていただきます。

2 取り組みの背景

2.1 神戸製鋼の高炉が克服すべき通気性への課題

高炉操業管理上、最も重要なことは炉熱の管理です。焼結鉱の被還元性など原料性状の変動でも炉熱の変動は起こりますが、原料、還元材の品質管理基準を順守することで重大な影響を引き起こすことはほとんどありません。むしろ種々の要因で発生する高炉炉内通気性の悪化が、原料の降下不良、還元ガスの吹き抜け(チャネリング)を誘発し大きな炉熱低下を引き起こします。炉熱の大きな低下は溶銑やスラグの排出不良を引き起こし、通気・通液性の悪化が更に助長されます。その結果、羽口やステーブなどの破損を誘発すると炉内浸水により炉熱低下が更に加速します。このため、高炉の通気性を安定維持することは極めて重要な課題と言えます。

加古川製鉄所は国内で唯一のペレット工場を有し、焼結工場では使用が難しい微粉鉱石から高炉用原料であるペレット鉱を製造できるという大きな利点があります。一方でペレット鉱は粒径が小さいなど、焼結鉱との性状の違いにより、高炉炉内通気性への影響は焼結鉱よりも大きいと言えます。加えて、弊社はコークス工場を有していないため、コークス比を低減することは溶銑コストの低減のための最重要課題であります。コークスは炉内の通気性を維持する重要な役割を有

しているためコークス比の低減は炉内通気抵抗の上昇を伴います。ペレットの多配合に加えて低コークス比操業を指向することは通気面で非常に困難な操業となりますが、これを達成することを神戸製鋼の高炉では常に要求されてきました。

2.2 神戸製鋼の高炉操業の中心ガス流思想

弊社高炉における上述の課題を克服する重要な技術としてコークス中心装入が開発されました^{1,2)}。高炉中心部の数%の断面積の領域にコークスカラムを形成させることで、低安息角のペレットを多配合しても中心部への鉱石の流れ込みを抑制することができ、中心部の通気性を良好に維持することができます。この中心部の低通気抵抗領域を形成する、即ち中心ガス流を安定維持することで低コークス比による炉内通気抵抗の高い状況においてもチャネリングやガス流変動の発生を抑制することができました。この安定した中心ガス流の確保は神戸製鋼の高炉安定操業にとって欠くことのできないものであることを私自身が実感しています。この操業技術を改善、最適化するために取り組んできたことについて紹介します。尚、紹介事例はもちろん私自身が取り組んできたことですが、研究開発部隊や関係各署と課題を共有し、思いを同じにして取り組んできた成果であることを付け加えさせていただきます。

3 高炉操業安定化のために取り組んできたこと

3.1 高炉低温度域でのコークスガス化反応制御

中心ガス流の安定化のために、コークス中心装入技術の活用による高炉中心部の通気性改善は必要不可欠ですが、ペレット多配合下での低コークス比操業ではムーバブルアーマーによる原料落下位置の調整と合わせた装入物分布の調整が重要です。このような操業条件下で中心ガス流を安定化するために、相対的に周辺部では鉱石層厚が大きく、コークス層

厚が小さい装入物分布を指向してきましたが、周辺部の鉱石の還元がネックとなり、羽口が破損するという課題がありました。このため安定してコークス比を低減するためには中心ガス流の安定維持と高炉周辺部の還元率の改善の両立が不可欠と考えました。

その対策として鉱石混合コークスの小粒径化について取り組みました^{3,4)}。従来、鉱石よりも大きい20mm以上のコークスを混合し、篩下コークスを活用してきましたが、粒径を小さくすることで次のメリットがあると考えました。①コークスの反応面積の増大、②鉱石と同等の粒径にすることによる鉱石との混合性の改善（偏析抑制）、③分散性の改善、①～③により鉱石混合コークスのガス化反応が促進されることで鉱石の還元率が上昇するとともに、鉱石混合コークスの優先的な反応により、④塊コークスの反応劣化の抑制、も期待しました。この実機適用結果を図1および表1に示します。図1

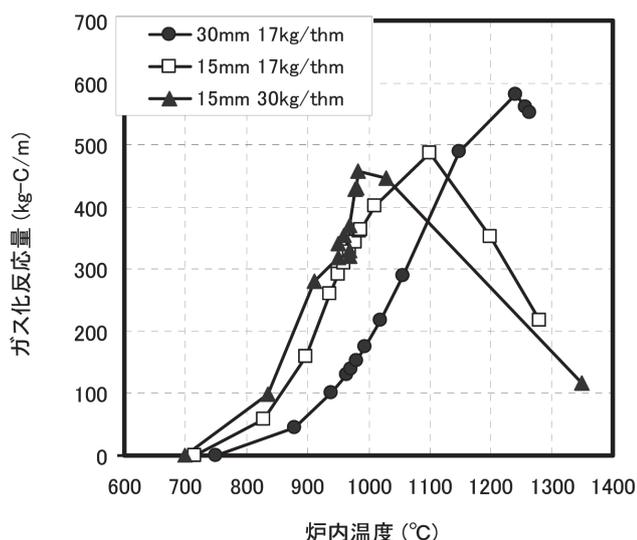


図1 周辺部における炭素ガス化速度と温度との関係

は、炉上部からプローブを原料とともに降下させ、径方向の温度分布を測定する垂直水平ゾンデに改良を加えガスサンプリングも同時に行い、解析した結果を示しています。鉱石混合コークスの低粒径化および増量により、従来より低温域のコークスガス化反応量の上昇を確認しました。その結果として、表1に示すように炉内通気性を低減しつつ、還元材比およびコークス比の低減を実現することができました。

3.2 シミュレーションモデルの刷新による装入物分布制御の高度化

加古川2高炉3次を2007年5月24日に火入れしましたが、この時期は鋼材需要が旺盛であり、計画出鉄量を確実に達成することに加え、高価な輸入コークスを削減するために低コークス比操業も早期に実現することが求められました。しかしながら加古川2高炉3次は炉内容積が5400m³と神戸製鋼で初めて5000m³を超える高炉であり、装入物分布の作りこみが一層難しくなると考えました。

火入れ後の装入物分布の指針を作成するために研究開発部隊と議論を重ね、装入物分布シミュレーションの刷新に取り組みました。このシミュレーションでは、過去の実機操業における装入物分布データの整理に加え、実炉で確認できない炉口径影響やコークス削り取り影響などは模型実験結果を採用しました。この装入物分布シミュレーションを活用した装入物分布計画により円滑に定常操業に移行することができました⁵⁾。

また、2高炉3次では装入能力増強など既設高炉より中心装入コークスの機能の強化を施しています。この機能を最大限活用した装入物分布の調整などにより中心ガス流を安定して維持することができ、火入れ後6か月で300kg/tレベルの低コークス比操業を安定生産のもとで実現することができました(図2)。

表1 鉱石混合鉱石の小粒径化および増配の結果

	期間	A	B	C	D
混合コークス平均粒径	mm	30	15	15	15
還元材比	kg/thm	488	485	482	480
コークス比	kg/thm	328	322	330	312
塊コークス比	kg/thm	311	305	300	282
混合コークス比	kg/thm	17	17	30	30
微粉炭比	kg/thm	160	163	152	168
ガス利用率 η_{CO}	%	48.8	49.8	49.9	49.6
ソリューションロスカーボン量	kg/thm	88	81	87	91
熱損失	Mcal/thm	277	261	235	239
炉内圧損	kg/cm ²	2.001	1.866	1.773	1.852

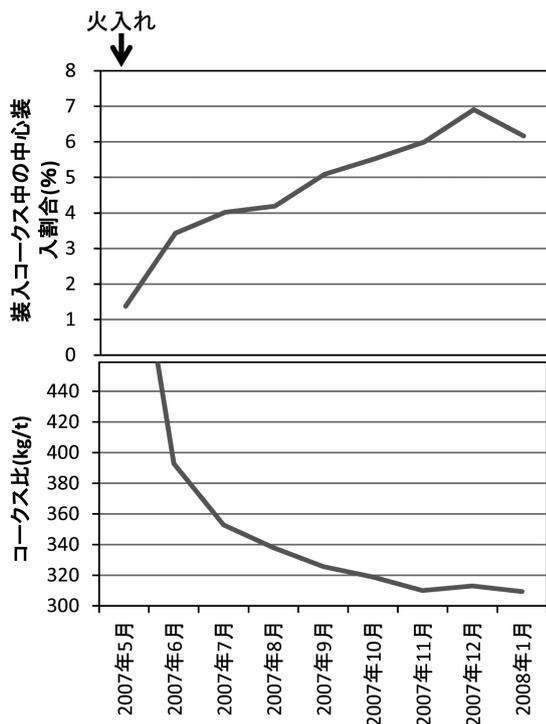


図2 加古川2高炉3次火入れからの操業実績(月間値)

4 高炉操業管理技術向上のための今後の取り組み

上述のような取り組みにより安定操業のための技術レベルの向上を実現してきましたが、2010年に2高炉において出鉄設備のトラブルに起因した炉況異常により冷え込みトラブルを発生させました。安定操業のための技術レベルがまだまだ不足していることに他なりません。特に、炉内状況を把握するためのセンサー技術が不足していると感じています。

例えば、炉内の溶銑滓の液面レベルセンサーや融着帯レベルセンサーが開発されれば冷え込み等の重大トラブル回避に大いに寄与すると考えます。また、良質鉄鉱石の枯渇による原料品位の低下により高炉や焼結工場などへの装入原料の管理技術の向上も望まれます。

このようなセンサーは以前から望まれています。実現の目途を得ていません。神鋼単独での開発のみならず、鉄鋼各

社と共同による産学連携、他分野との技術交流なども含めて開発していくことも必要であると考えます。

5 おわりに

入社以来、加古川製鉄所の高炉のみを担当してきたため、高炉の立場でしか物事を考えてきませんでした。2014年4月より現在の技術総括部に異動し、製鉄分野全体を考える立場になったことに加えて、日本鉄鋼協会での活動を中心に鉄鋼他社の技術者や大学先生と議論する機会が大いに増えました。今まで井の中の蛙であったことを改めて思い知りましたが、一方で高炉の現場で培ってきた技術と経験を発信する機会を得たと感じています。

本稿で述べさせていただいた今後必要と考える取り組みのみならず、産学間の情報交換を積極的に行い製鉄分野が抱える課題の一つでも多く解消し、日本の製鉄分野の技術レベルの向上に寄与できるよう努めていきたいと考えています。私自身は大変微力ではありますが、大学の先生方、鉄鋼他社の技術者、研究者の皆様のお力添えを頂きたくよろしくお願い申し上げます。

参考文献

- 1) T.Uenaka, H.Miyatani, R.Hori, F.Noma, M.Shimizu, Y.Kimura and S.Inaba : Iron & Steelmaker, November, (1988), 34.
- 2) 松井良行, 柴田耕一朗, 吉田康夫, 小野玲児 : R&D 神戸製鋼技報, 55 (Sep.2005) 2.
- 3) 澤山宗義, 宮川一也, 松井良行, 田川智史, 北野新治 : 材料とプロセス, 20 (2007), 77.
- 4) M.Sawayama, K.Miyagawa, K.Noizawa, Y.Matsui and K.Shibata : Proc. of the 5th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking (ICSTI'09), October, (2009), 659.
- 5) 澤山宗義, 田川智史, 平井真, 大塚喜久, 八十格 : 材料とプロセス, 21 (2008), 892.

(2015年1月23日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

前九州大学 教授

清水 正賢

「充填層型反応器の効率は原料の充填状態でほぼ決まります。したがって、原料の装入装置や装入方法に最も力を注いでください」。これは、約45年前、私が化学工学を専攻する学生時代に化学機械の集中講義で来られた八田四郎次先生（東北大学名誉教授で日本の化学工学の祖）が力説された言葉で、今でも強く印象に残っています。まだ学生で、その真意は理解できませんでしたが、後に製鉄会社に入り、高炉研究に携わっていく中で、その重要性を肌を通して認識できるようになりました。以後30年に渡って粉粒体と対峙し続けることになったのですが、まさにこれは八田先生の言葉そのままの道筋であったと言えます。「鉄と鋼」68（1982）の製鉄特集号（p.2320）にも、「高炉の90%は装入物分布で決まる」という言葉が出てきます。事実、過去長きに渡る高炉研究を見ましても、その多くが装入物分布や粉粒体制御に関するもので、今も変わっていません。高炉操業にとって装入物分布制御は切っても切れない最も重要なテーマと言えます。

田川さんの高炉技術者としての取り組みを見ましても、その中心は装入物分布の最適化と高度化にあったように思えます。特に、還元材比低減に向けた高炉低温域でのコークスガ

ス化の促進策として、小粒コークスを鉍石層に混合する考えは、熱保存帯温度の低減や塊コークスの劣化抑制、また浸炭反応の促進など、高炉製錬の理論に適ったものであり、高炉の本質的な機能強化につながるものです。本技術の一層の進展を期待します。

今後は高炉計測技術の開発にも注力したいとのこと。装入物分布制御のみならず高炉管理の高精度化には各種高炉情報の迅速かつ正しい計測が不可欠です。指摘されているように、製鉄工程は殆どが粉粒体制御であるにも関わらず、そのセンシング技術は十分ではありません。異分野との交流を強化し、新しい管理技術の確立に努めてください。

最後に田川さんへの要望ですが、神鋼は高炉に加え天然ガスによる還元鉄製造、FASTMET法、ITmk3法など種々の製鉄プロセスを扱う唯一の会社です。その総合力から、次世代の鉄造りの在り方を技術的に確度の高い視点で考究できるはずです。資源の劣質化、スクラップの増大、天然ガスの利用、CO₂削減など鉄鋼分野の環境変化に対応できる新しい製鉄モデルを築いてほしいと思います。グローバルな視点に立ち、世界の牽引役として次代を切り開いてください。

新日鐵住金(株) 製鉄技術部 上席主幹

宇治澤 優

の度、製鉄分野の若手技術者としてご活躍されている田川氏の躍動記事について、一言コメントさせていただきます。田川氏はこれまで、神戸製鋼所の「高炉操業の安定化」について精力的に取り組み、高炉操業管理向上に多大な貢献をされてきました。一貫製鉄所において、すべての鉄鋼製品の鉄源と熱源を供給している高炉の使命は、銑鉄と副生ガスの安定生産であり、氏が取り組んだ「高炉操業の安定化」はまさに高炉技術者が取り組むべき最重要課題と言える。「安定化」という言葉は、定量的な言葉ではないが、高炉関係者がいつも口にする言葉である。ここでいう「安定化」とは、高炉内の物質、熱、および力学的バランスをいかに保つかを意味しており、高炉技術者は日々、これらのバランスを保つように操業操作、操業管理を行っている。即ち、高炉内のバランス問題を解くことが高炉技術者の役割である。特に、ガスと固体の向流移動層である高炉反応容器の力学的バランスを保つことは、物質、熱バランスを保って銑鉄を製造する上での要であり、氏が取り組んだ高炉内ガス通気性改善のため

の「コークス中心装入技術を軸とした鉍石・小塊コークス混合装入技術」、それを支える基盤技術である「装入物分布制御技術の高度化」は、「高炉操業の安定化」の技術レベル向上に大きく寄与している。しかしながら、氏が記事の中で指摘しているように、「安定化」技術は完全ではなく、「不安定化」が起こる事態が発生する事があり、更なる技術向上が必要である。そのためには、氏が述べているように「高炉内を知る」センサー技術の進展が不可欠であると同時に、どのようなセンサーが有効かを議論するためには、高炉内のバランスを数学的に記述したシミュレーション技術を活用した「高炉内の定量的な理解」が重要と思う。若手技術者である田川氏には、これまで培ってきた知識と経験、ならびに製鉄技術者同士の技術交流のみならず、異分野の技術者たちとの交流も通じて、「安定化」のための不断の技術改善・開発に大いに期待したい。私自身もその開発の一助となるように非力ながら支援を行わせて頂きたいと思う。