

● 討論会 ● まとめ ●

第 120 回 (平成 2 年秋季) 講演大会

焼結プロセスの物理的・化学的制御による焼結鉱の歩留り向上技術

座長 川崎製鉄(株)千葉製鉄所

小 幡 昊 志

近年設備集約化のもとで、高炉の出鉄増が要請され、装入原料面での手当が重要になってきている。その一つとして高炉の主原料である焼結鉱の増産方法をとってみると焼結プロセスの弱点である低歩留りの改善も増産のための有力な手段となると言える。この観点に立ち表記の議題のもとに討論を行った。

まず座長より高炉メーカーの銑鉄および焼結鉱生産量関係の推移から高炉の生産性向上への焼結鉱の寄与が重要であり、更に近年の原料購入条件からは、焼結鉱が塊鉱よりもコスト高になるとは限らず、粉、塊のコストしだいではむしろ逆に焼結鉱の方が安価になる可能性すらあり、今後ますます焼結増産のニーズが高まっていくものと思われるという紹介があり、これを基調として、7 件の発表討議を行った (内 2 件は学会からの依頼講演)。(討 1) 焼結鉱の強度と破碎性 (依頼講演)

(東北大学名誉教授 八島三郎ほか)

焼結鉱の破碎性を比破碎エネルギー (E/W) で評価し、弾性理論を用いると完全な脆性材料とはいえないものの、ほぼそれに近い関係が得られる。

$$E/W = -8.13 - 8.21 \ln \phi a$$

 ϕa : みかけ気孔率

従って開気孔を減少させることにより、強度と比破碎エネルギー (すなわち破壊抵抗) を増大させることができハンドリング時の破壊による細粉発生を抑制できる。更に衝撃荷重と常速荷重との比較では、衝撃荷重の方が細粉の割合が増えており、すなわち衝撃荷重下では、試験片に与えられた仕事が効率よく弾性歪みエネルギーとして蓄えられるため、破壊により生成する表面が増大し、破碎産物がより微細になる。従って焼結の破碎工程で細粒を減少させるためには常速荷重による破碎が望ましい。

(討 2) プロセス特性を考慮した焼結鉱の歩留り向上対策

(NKK 福山製鉄所 小松 修ほか)

焼結鉱の歩留り向上に関しては、1) 焼成状態の改善 (均一焼成)、2) 成品処理ラインでの粉化防止、3) 成品粒度の見直しの 3 項目があり、焼結プロセス内での改善である 1) 2) を中心に検討を行った。

均一焼成に関してはイ) ばらつきを低減させるため成

分、粒度、及び銘柄特性を考慮した配合設計の実施、ロ) 多様化 (たとえば褐鉄鉱系原料) かつ微粉化する原料を焼成に適した粒度になるように造粒を行う事前処理工程の強化、ハ) 焼結ベッドの装入嵩密度低減を目的とした装入方法の改善、ニ) センサー情報に基づく焼成管理システムの開発及び導入などの対策をとってきた。

また成品処理ラインの改善による歩留り向上対策としては次の改善を実施した。イ) 焼結ケーキ破碎時の過粉破碎防止、ロ) 搬送時の粉化防止

なお京浜と福山の両所における焼結機では、均一焼成に関しそれぞれのプロセス特性及び生産条件に対応して福山ではイ) ロ) ハ) を、京浜ではニ) を主体として歩留り向上を達成している。

この発表に対して住友金属から「給鉱部のロールフィーダーの位置の変化と偏析」「パレット上装入密度の管理方法」「焼結層内幅方向ヒートパターン制御システム」について質問討論がなされた。

(討 3) 焼結工場内における歩留り向上対策

(川崎製鉄(株)千葉製鉄所 高橋博保ほか)

川崎製鉄(株)千葉製鉄所は 1987 年 7 月設備集約の一環として、第 3 焼結工場を休止して以来、第 4 焼結工場の単機操業となり、高生産率のもとで焼結工程全般の歩留り向上対策に取り組んでいる。

イ) 原料特性を考慮した配合調整—石灰石配合比の確保、結晶水含有鉱石の減配

ロ) 均一焼成

• 層高方向の強度の均一化

原料偏析強化—ドラムシュートの位置調整

高層厚化—漏風防止、原料偏析強化の寄与

• 均一焼成システム

長手方向—焼成エネルギー制御システムによるコークス配合比制御

幅方向—ドラムフィーダーサブゲート制御による幅方向の均一化

ハ) 粉化防止と細粒焼結鉱の回収—焼結工場最終スクリーンの網目縮小と返鉱粉用スクリーンによる効率的細粒焼結鉱の回収

以上、これらの対策により、1985 年と 1989 年を比較すると $+0.5 \text{ t/hm}^2$ の生産率の上昇にもかかわらず、16%の歩留り向上を得ることができた。

この発表に対して NKK から「幅方向均一焼成」「漏風防止対策」「層高方向の偏析制御」について質問討論がなされた。

(討 4) 焼結プロセスにおける鉱石床敷使用による歩留り改善

(住友金属工業(株)研究開発本部 川口尊三ほか)

焼結鉱製造にあたっては、床敷は設備要素の一部と考

え、生産要素とみなさない整理法が主流であり、大部分の焼結機が成品焼結鉱の一部を床敷として用い、量的には粉化し歩留り低下の一因となっている。本報告は焼結鉱以外の鉱石を床敷に用い、床敷に付加される物理的機能を活用することによって、歩留りを改善する技術について検討した。

各種鉱石の加熱、衝撃処理による性状変化、各種鉱石床敷の焼結操業に及ぼす影響について調査し、(イ)小塊鉄鉱石床敷法、(ロ)塊褐鉄鉱石床敷法、(ハ)小塊石灰石床敷法について実用プロセスの検討を行った。その結果特定の鉱石を焼結鉱に変えて床敷に用いる方法は、改善メカニズムは異なるものの歩留り改善の有効な手段となる可能性を持つことがわかった。

この発表に対して川崎製鉄から「床敷として最適と考えている鉱石について」「鉱石(石灰石)床敷法の場合の高炉への品質保証の考え方」「焼結床敷と鉱石床敷との歩留りの問題」について質問、討論がなされた。

(討5) 焼結鉱の高生産下における歩留り向上

((株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所 杉山 健ほか)

生産率を向上させるためには、ベッドの通気性を良くして焼成速度をあげる方法とベッド内の原料を均一かつ十分に熔融して歩留りを向上する方法があり、これらを同時に満足する製造技術の開発が重要である。このような考え方をもとにして、加古川製鉄所では以下のような対策をとり、高生産(2.43 t/hm²)、高歩留りを得た。

焼成速度の上昇	生石灰使用量増加による擬似粒子化の強化
	ペレット原料中の粗粒鉱石を回収し焼結原料に添加
成品歩留り向上	粉コークスの小粒化、細粒焼結鉱の回収、パレット側壁部の圧密装入
	スローピングシュートの角度制御鉱石層厚の上昇及びCaO量の増加

今後開発すべき重要な課題として次の3項目があり、技術開発が必要である。(イ)原料コスト(難焼結性及び結晶水含有鉱石の多量使用、石炭無煙炭の使用)を低減するための歩留り向上技術 (ロ) 鉱石層を均一に焼成する技術 (ハ) 焼結ケーキの1次破碎方法

発表に対して新日鉄から「歩留り向上アクションの定量的効果」「高結晶水鉱石多配合時の融液形成指数と歩留りの関係」「高 Al₂O₃ 緻密鉱石の配合増に伴っての微粉部、JPU の変化」「今後の歩留り向上の考え方」について質問討論がなされた。

(討6) 焼結高歩留りを左右するシンターケーキ構造因子の解析とその歩留り向上技術への応用

(新日本製鉄(株)製鉄研究センター 稲角忠弘ほか)

焼結歩留りを反応構造的にとらえるため、CT 解析技術を開発してシンターケーキの構造解析を進め、歩留りの変動要因とその向上策について検討した。

粉体から焼結していく過程の構造変化を CT で観察

した結果、粉体が結合し塊性化していくにつれ気孔構造が変化し固体の緻密化が進む。これらの焼結反応の進行過程と歩留り強度の関係を把握するためコークス配合率の異なるシンターケーキについて解析した。その結果、鉄鉱石焼結では内蔵粉コークスが自己燃焼するために焼結層に風を通す気孔の存在が焼結反応の推進に不可欠で強度的に見れば構造欠陥の一種である気孔が適当に確保されないといわゆるムラ焼けを起こす。一方強度向上のためには全気孔率の低いシンターケーキを製造する必要がある。+5 m/m の粗大気孔を少なくし、-5 m/m 気孔の生成割合を増す必要があることを示している。総合すると、歩留り向上には通気を維持しながら、粗大気孔をいかに最小限化するにかかっている。

焼結構造の初期条件である原料の充填構造と焼結反応過程の融液のできが大きな影響力をもっている。それゆえ、均一焼成のためには原料粒度の焼結層内の分布を考慮すべきである。従って粒度偏析は原料充填層内の焼結反応推進に必要な気孔構造形成と溶融量分布を左右し焼成の均一性にかかわる重要因子であり、これを最適に制御することは歩留り、通気向上に効果がある。

この発表に対して、神戸製鋼所から「+5 m/m の気孔量を最適にするための具体的手段(コークス粒度、石灰石粒度、石灰石量、鉱石粒度の影響)」「粒度偏析促進が +5 m/m の気孔量の最適の方向の理由」「粗粒鉱石多配合の際の鍋試験結果での差異」「鉱石粒度別にみたコークス配合比と焼結速度の関係」について質問、討論がなされた。

(討7) 焼結鉱成品歩留り向上技術に関する一考察
(依頼講演)

(東北大学選鉱製錬研究所 大森康男ほか)

焼結プロセスで発生する粉をその原因別に以下の四つに分類した。(イ)焼結ベッドの焼けむら(未焼成部) (ロ) 破碎、整粒操作 (ハ) 床敷鉱使用 (ニ) 搬送操作。

現在これらの中で(イ)焼結ベッドの焼けむらがその割合として多いと考えられ、大学の研究対象としても、空隙の制御方法などは興味のある課題である。また視点は異なるが、細粒焼結鉱の回収使用は高炉機能の追求という面からも重要である。空隙制御効果の一例として、耐火セメントにより作製したモデル脆性体の衝撃破碎試験を行い、空隙径と破成物粒度の関係を示した。また擬似粒子間の結合強度を支配する要因について基礎的に検討した結果を示した。最後に焼結層内における空隙生成のイメージを紹介した。

以上7件の発表を終わり、最後に座長のまとめを行った。今回発表の歩留り向上対策は図に示すように大きく分けて2テーマに分類できる。「成品強度の増加」にはCT スキャン像解析、東北大学の八嶋名誉教授のレポートに整理されている。その方法は「高層厚化による脆弱部の割合減少」と「脆弱部の強度増加」があり、各社とも種々の取組を行っている。

「成品収率の向上」策としては「粉化防止」と「細粒の回収」という従来の取組に加えて、今回住友金属より床敷鉱を鉱石で代替するというプロセスが提案された。

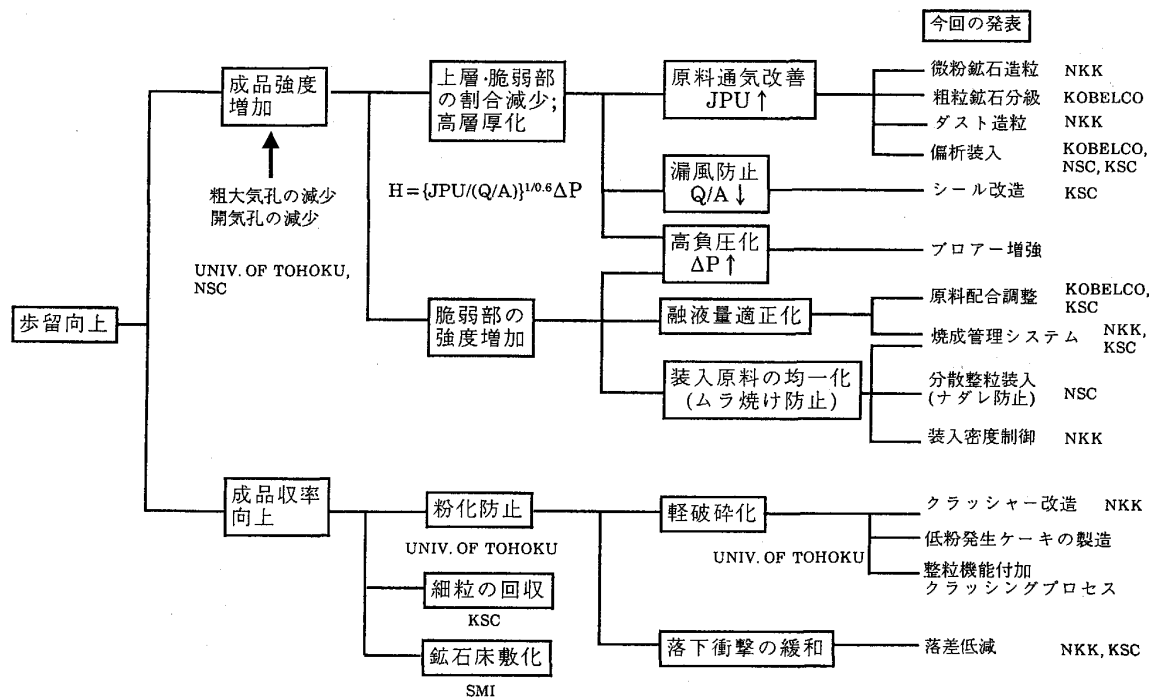


図 歩留り向上対策

高炉での使用に問題がなければ効果の大きなテーマである。「粉化防止」については東北大学大森教授より大きな空隙の配置を積極的に破碎制御手段として利用すべきであるという指摘がなされた。

今後の方向として、今回各方面から重要性を指摘された気孔制御技術の追求と共に、従来技術ながら歩留り改善効果が確実な「高層厚化」「高負圧化」についても基本的な操業設計と設備検討を進めるべきであろうという提案があった。また 2000 年の焼結歩留りとして 90% を目標としているという提示があった。

最後に今回の討論会を成果の多い、有意義なものにいただいた発表者、質問者の方々に心から感謝いたします。

連铸鑄型内の溶鋼流動とその制御技術

座長 新日本製鉄(株)製鋼研究センター

溝口 庄三

副座長 NKK 鉄鋼研究所 宮原 忍

鉄鋼成品はますます高品質化、ファインスチール化の傾向にある。その製鋼技術としては、精錬工程での高純度化、高 cleanliness と、凝固工程での均質化の徹底が重要である。

今回の討論会では、連铸プロセスの新しいキーテクノロジーである流動制御について最近の進歩をとりあげた。応募論文は 7 篇あり基礎から応用まで広範囲にわたるので、以下のように三つのセッションに分けた。

(1) 流動制御技術 (討 8, 9)

討論 8 で沢田は、 $k-\epsilon$ モデルや LES モデル等の解析手法の比較を行った。水モデル実験結果との対応は、LES が最も良かった。これに対して高谷は、市販のプログラムと自作のプログラムについての使い分け方や、乱流の効果について質問し討論した。

討論 9 で高谷は、自作のモデルによる流動、パウダーあるいは介在物の挙動を紹介した。現状の数学モデルでも十分実用的なレベルにあることを述べた。これに対して沢田は、マスバランス式の妥当性を質問し、引き続いてソフトプログラムの開発戦略について討論した。プログラムの開発に対して、人材の育成が重要であることが広く認識された。

(2) 流動制御技術 (討 10, 11)

討論 10 で久保田は、高速スラブ連铸における溶鋼の吐出流に対して、電磁力を印加して加速、減速する制御技術を紹介した。これに関して糸山は、鑄型短辺近傍の湯面変動量と溶鋼表面流速との関係式の物理的意味を質問した。電磁力を単に制動だけでなく、加速にも用いることができる点が注目を浴びた。

討論 11 で石黒は、湾曲型スラブ連铸機において、リニアモータータイプの電磁攪拌装置を使用し、下何縦攪拌により、上面の介在物集積帯を除去できることを示した。これに対して木村は、他の方式と比較して優れる理由について討論した。

(3) 流動と品質 (討 12, 13, 14)

討論 12 で木村は、メニスカス部の溶鋼流速と浸漬ノズル吐出流の浸透深さの簡易式を提示し、鋼板の表面および内部欠陥が整理できることを紹介した。これに対して鈴木は、それぞれの欠陥の発生機構と、その防止対策としてのノズル吐出角度について質疑を行った。