

討 1

焼結原料事前処理に関する最近の研究および技術の進歩

東北大学選鉱製錬研究所 ○工博 大森康男 葛西栄輝

1. 緒言

焼結鉱の高炉炉内性状は、その鉱物学的組織および組成より決定され、原料の選択や焼結機の操業条件の変更によりある程度のコントロールが可能である。しかしながら多くの鉄鉱石の購買が長期契約方式をとっていることや、将来の供給事情が必ずしも現在のような良質鉄鉱石の輸入の維持を許していないことによる原料側の制約、また一定の生産率を確保する必要性や焼結機の操業手段の限界等によって、事実上、焼結鉱の品質のコントロールは、原料の事前処理技術によって行なわざるを得ない。

事前処理には大きく分けて、(1)原料のブレンディング技術、(2)ミキサー等での混合造粒技術、(3)焼結機への装入技術、という3つの技術項目が考えられる。(1)においては、原料供給状態、焼結以降の工程よりの要求事項(化学組成など)、原料ヤードの効率的運用等を考慮した原料配合の決定、化学成分変動の少ないベッディング、払出あるいは配合技術、(2)においては、相当量の微粉を使用しながら焼結層内の適正な通気性を確保するための擬似粒化技術、 NO_x の減少や燃料原単位低減のためのコークス賦存状態の制御、さらに将来的展望として、品質の作り込みのための焼結mixのデザイン等、また(3)においては焼結ベッド幅方向の均一装入、装入密度制御および高層厚操業に関連して上下層におけるヒートパターン(すなわち品質)の均一化のための偏析装入等が要求される。

本講演では上記3項目に重点をおき最近の研究成果、技術の進歩について整理し、さらに将来的課題について提言を行ない、討論の資料としたい。

2. 最近の研究および技術の動向(昭和55年から60年の講演大会講演概要集を中心として)

(1) 原料のブレンディング技術

焼結mixの化学成分(特に SiO_2)の変動を減少するための対策として、(i)ベッディングに際し、珪石、蛇紋岩等副原料および特殊銘柄鉄鉱石の一層あたりの積付量の減少¹⁾、(ii)スタッカーのシュート角の制御²⁾、(iii)ダブルホイール型リクレーマーによる払出の際のベッド幅方向の成分変動を考慮した積付位置の選択³⁾等が行なわれている。特に(iii)に対しては払出の数学的シミュレーションモデルの適用¹⁾も行なわれている。同時に、後述する混合・造粒に関して重要な因子である原料中の水分自動測定³⁾が行なわれている。また、原料およびヤードの効率的運用や危険防止、省力化の目的でコンピュータ支援による鉄鉱石ヤードの運用立案やスタッカー、リクレーマーの運転自動化が進んでいる⁴⁾。

(2) 混合・造粒技術

焼結過程においてはコークス燃焼に必要な酸素を送り込むことと、ガス・固体間の熱伝達を行ない焼結ベッドにヒートパターンを与えるために適正かつベッド幅方向に均一な通気性確保が必要である。このため、古くは昭和30年付近より原料層の通気性の重要性が指摘されている。しかし、原料の造粒性や擬似粒子の概念の認識は比較的新しく、研究報告として見られるのは昭和40年代の後半に至ってからである。それ以後、焼結原料のミキサーは混合装置としてだけでなく、造粒装置としてその重要性を増してきた。造粒に対する研究の進歩は、GI⁵⁾やPI⁶⁾等、擬似粒化度の定量化を行なう一方、これらの指数が原料中の水分量⁷⁾⁸⁾、ミキサー内の占積率・滞留時間⁹⁾はもちろん粒子の濡れ性や表面形状に大きく影響を受けることを解明して来た¹⁰⁾。擬似粒化を促進するための主要技術としては、下記の2項目が挙げられる。

(i) バインダー添加 バインダーとしては、生石灰、消石灰、ペントナイト、セメントを始め種々検討されたが、現在は生石灰が一般的に定着し、これに活性度を高めることを目的として、温水添加¹¹⁾が併用される場合がある。生石灰は通常、約1.5-2wt %添加され、通気性改善、生産性向上の効果が確認されているが、湿潤帯における水分凝縮抑制、粉コークスの燃焼性が改善されることによるコークス原単位の低減や排出ガス中のNO_x低減等の達成¹²⁾、さらには、製品強度の向上、還元粉化指数の低下等品質改善の効果¹³⁾も報告されている。しかし、これらの効果の理由は原料の完全乾燥粒径の増大すなわち擬似粒子強度の増加に起因するという説明がなされているが、擬似粒化過程での造粒性は生石灰配合により低下するという報告¹⁴⁾もあり、未だ明確ではない。

(ii) 微粉の積極的造粒 焼結原料中にペレットフィード等微粉を多量に配合する場合あるいは擬似粒化が困難であるいわゆる中間粒度(0.25-1mm)の鉱石が多い場合等は、その全量をミキサーのみで造粒することは難しい¹⁵⁾。したがって、核および微粉の造粒特性を把握した上で、粗粒のみを混合した後、微粉を造粒する方法(分割造粒)¹⁶⁾、微粉に造粒の核となる粗粒を加え他の原料と分離造粒する方法¹⁷⁾、また、ディスク型ペレタイザーを使用する方法¹⁸⁾等で微粉を積極的に造粒する試みが実機規模でもなされている。

(焼結mixの設計) 造粒に関する研究は、現在まで主に生産性や焼結ベッド水平方向の均一焼成を目的としてきたが、焼結過程の融液生成が主として焼結mixの微粉部分より始まることが中断試験等より見いだされてから¹⁹⁾、製品焼結鉱の品質のコントロールを目的とした擬似粒子の設計を積極的に行なうための研究も行なわれて来た。微粉は反応性が良いという利点を持ち、特に低温焼結が指向されている現在、成品焼結鉱の熔融部の組織制御(すなわち品質の作り込み)は鉄鉱石微粉と副原料の賦存状態の調整によって可能となると考えられる。また、原料供給事情の変動等により微粉鉱石の配合量が増加する場合は、これが原料の擬似粒化性を低下させるだけでなく、焼結mixの微粉部分の平均融点を上昇させるために、上記技術が不可欠となる。これは後述するマクロ的な偏析技術に対してミクロ的な偏析技術と呼ぶことができる。

このような考えの基礎となる研究としてコークス原単位の低下や成品の被還元性の向上を目的としたコークス分割添加⁵⁾、熔融性・被還元性の悪い鉱石の処理を目的とした選択破砕²⁰⁾、低FeO、低SiO₂焼結鉱の製造を目的とした珪石細粒化¹⁹⁾、生産性向上とカルシウムフェライト(CF)組織の増加を目的とした石灰石粗粒化²¹⁾等が報告されている。さらに最近では微粉中のAl₂O₃あるいはA/S(Al₂O₃/SiO₂)をコントロールをすることによってCFや未熔融鉱石の増加を図り高被還元性焼結鉱を製造することも提案されている²²⁾。(Fig. 1)

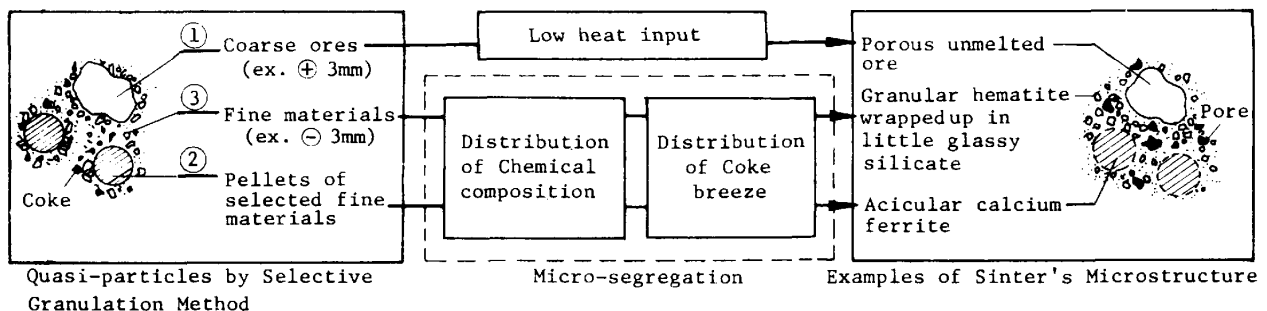


Fig.1. Philosophy of Selective Granulation Method as a means of Assortment Design.²²⁾

(3) 偏析装入技術

焼結層の上下方向における品質を均一化するためには、まず第一にヒートパターンを均一化する必要がある。通常、上層から下層へ蓄熱が進行するため層下部における熱過剰が問題になることが多い。特に高

層厚操業ではその現象が顕著に現われるため、熱源となるコークス量の上下方向の分布を最適化することが必要となる。

偏析の観察や定量化は実機ベッドの切り出しや給鉱部モデル実験によって詳細に行なわれている。この結果、偏析は主として粒度の差異によって起こり、現在採用されている装置においては、大きな粒子ほど下方へ偏析することがわかっている²³⁾。従って、擬似粒化されにくいために、焼結mix中では結果的に粒径が小さいものとなる中間粒子(0.25-2mm)、この範囲の粒度が多いコークスや石灰石粒子が上方へ偏析する。粒度偏析の程度は主として原料供給量、シュートの長さ・傾斜角等で決定されるシュート先端部での原料粒子の水平・垂直方向の速度成分に影響される²⁴⁾。このため、シュート長さ・傾斜角の変更²⁵⁾、曲板シュート²⁶⁾やベルト式シュート²⁷⁾の採用によってコントロールする試みがなされている。また、さらに積極的に偏析を行なう方法として、2段装入法、エア偏析装入法²⁸⁾、2段シュート法¹⁸⁾等が提案、採用されている。一方、偏析に対する適正値を求めるため、層上下方向へ粒度分布、コークス配合率等を種々変化させた鍋試験も多く行なわれている²⁹⁾。

また、偏析技術とは異なるが、高層厚操業時の焼結層通気性の向上による生産性の増加を狙いとして、層の嵩密度を減少させる装入方法の検討もなされている²⁹⁾。

3. 焼結mixの設計技術における将来の課題

これまでの研究の進歩に伴い、焼結原料の事前処理は製品の品質や生産性等の要求に対して原料面からの制約を補い、操業の自由度を広げることに重点が置かれるようになってきた。幸い、日本における輸入鉄鉱石は現在、高品位で安定しているが、将来的には Al_2O_3 の増加、微粉の増加は必至とみられており、製鉄所内で発生するダスト、スラグ類の焼結原料への完全利用と併せてその重要性は益々高まるものと考えられる。ここでは、前述した技術項目の中で焼結鉱の高炉内性状のコントロールに対し、極めて重要であると考えられる焼結mixの設計に関して、将来的な問題点を挙げることにする。

要求される化学組成および品質を持つ焼結鉱組織を作り込むための焼結mixの設計を的確に行なうためには、種々の賦存状態におけるコークスの燃焼、層内の伝熱、鉱石の熔融・凝固、酸化鉄の還元・酸化等の定量化が必要であり、また、このように複雑な現象を記述し得る数学的モデルの開発が不可欠となると考えられる。コークスの燃焼を例にとれば、S', S, P型というような賦存状態の違いによって、燃焼速度が大きく異なることが指摘されている³⁰⁾³¹⁾。Fig. 2は焼結シミュレータシステム³²⁾を用いて測定したそれぞれの燃焼速度を示しているが、このような相違は、燃焼熱発生速度の相違を通して鉱石の熔融・凝固へ大きな影響をもたらすと考えられ、従来用いられて来た速度式では不充分であることを示唆している。また、熔融・凝固に関しても生成した融液の組成、量あるいは凝固組織等を推定するための速度論的なデータは極めて少ない。さらに、焼結過程で生成する融液の基本である $Fe_2O_3-CaO-SiO_2-Al_2O_3$ 系に FeO, MgO 等が入った系での平衡データも不充分

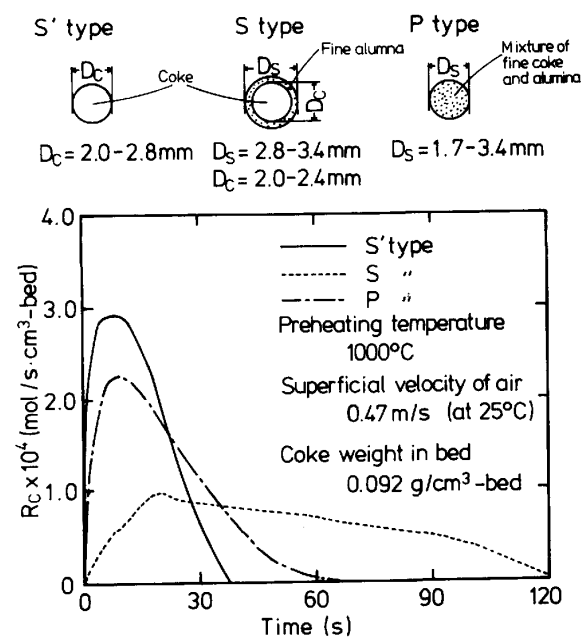


Fig. 2 Combustion rate curves at various existing conditions of coke in bed packed with alumina spheres.

である。

一方、設計された焼結mixは、数学的モデル、鍋試験等によりその製品焼結鉱の鉱物組織が推定され品質と結びつくことになるが、鉱物組織と品質の関係も完全に定量化するに至っていない。焼結鉱の組織は大別して熔融部、未熔融部、気孔よりなり、特に低温型焼結においては未熔融鉱石の存在割合も多い³³⁾。従来、熔融部に関しては種々の鉱物組織別（CF、シリケート、晶出型ヘマタイト等）の還元性状が調査され³⁴⁾³⁵⁾、未熔融鉱石に関しては、鉱石銘柄別の特徴が報告されている³³⁾。また、気孔に関しても、その割合や大きさ等と還元率や強度との関係が明らかにされている。しかし、言うまでもなく焼結鉱はこれらの組織の集合体でありその存在割合・位置等を考慮しての総合的な解析が必要である。これに必要な画像解析は近年、ハード、ソフト面共に飛躍的な進歩が認められるため、統計的な手法による実用的な、組織と品質の関係の定量化の実現は近い将来ではないと考えられる。

以上のような問題点を克服した上で、与えられた条件において最適な焼結mixの設計が可能となると考えられるが、ここで、原料を設定された賦存状態に制御し得る造粒機の選択、開発が残された問題となる。焼結プロセスは多量の原料を低コストで処理しなければならない宿命があるため、賦存状態の制御に有利なディスク型ペレタイザーを主体とした造粒は困難である。したがって、ドラム型およびディスク型両者の利点を合わせ持つような造粒機の開発あるいは、それぞれの特徴や機能を考慮して原料を分割し、造粒する等プロセス自体の変更も必要になって来ると考えられる。

文献

- | | |
|--|--|
| 1) 原田、早瀬、佐藤、中村、高橋、内山：鉄と鋼、67(1981)、S654. | 17) 松岡、相馬、和島、三国、中川：鉄と鋼、68(1982)、S717. |
| 2) 佐藤、竹原、春、佐藤、田口、早瀬、佐々木：鉄と鋼、69(1981)、S830. | 18) 福田、堀田、前沢、吉田、佐々木、佐藤、那須野、阿蘇、芳賀：鉄と鋼、70(1984)、S30. |
| 3) 瀬戸、森谷、矢野、野崎、古市：鉄と鋼、71(1985)、S23. | 19) 田代、須沢、相馬、中川、細谷、和島：鉄と鋼、67(1981)、A1. |
| 4) 篠崎、島田、佐藤、山下：鉄と鋼、66(1980)、S709. 68(1982)、S815. | 20) 阿部、田中、山口、望月、下沢、肥田：鉄と鋼、67(1983)、S715. |
| 5) 古井、香川、川頭、沢村、菅原、宇野、藤原：製鉄研究、288(1976)、p.9. | 21) 稲角、木原、富井、古宅：鉄と鋼、67(1981)、S662. など |
| 6) 山岡、長野、大関、古川：鉄と鋼、66(1980)、S674. | 22) 芳賀、大塩、福田、吉本、香川：鉄と鋼、70(1984)、S17. |
| 7) P. W. Roller, B. A. Firth：鉄と鋼、67(1981)、S759. | 23) 磯崎、菅原、野坂：鉄と鋼、66(1980)、S87. |
| 8) 樽本、下茂、石井、福田：鉄と鋼、70(1984)、S759. | 24) 栗原、田中、安木、西村、深水：鉄と鋼、70(1984)、S20. |
| 9) 佐藤、鈴木、藤本、下村：鉄と鋼、71(1985)、S21. | 25) 梶川、堤、小松、高木：鉄と鋼、69(1983)、S822. |
| 10) 荒谷、児玉、田中：鉄と鋼、67(1981)、S659. | 26) 井路、前花、阿野、水上：鉄と鋼、69(1983)、S112. |
| 11) 渋谷、丹羽、中尾、谷中、黒沢、竹元：鉄と鋼、67(1981)、S656. | 27) 本多、村井、中邑、山形、奥田：鉄と鋼、67(1981)、S88. |
| 12) 肥田、伊藤、佐々木：鉄と鋼、67(1981)、S82. など | 28) 佐々木、上川、須賀、福田：鉄と鋼、66(1980)、S86. |
| 13) 吉永、一伊達、佐藤、塩谷、川口：鉄と鋼、68(1982)、S56. など | 29) 梶川、塩原、堤、大関、古川、山岡、長野：鉄と鋼、67(1981)、S664. など |
| 14) 安元、甲斐、川沢、山本：鉄と鋼、68(1982)、S721. | 30) 肥田、佐々木、榎戸、梅津、飯田、宇野：鉄と鋼、68(1982)、p.400. |
| 15) 塩原、堤、大関、古川、小松、山岡、長野：鉄と鋼、67(1981)、S91. | 31) 糠、堀尾、桑原：昭和58年度科学研究費研究成果報告書（昭和59年3月）. |
| 16) 出口、木村、末光、土屋、小泉、西田：鉄と鋼、70(1984)、S23. | 32) 葛西、八木、大森：鉄と鋼、70(1984)、A129. |
| | 33) 肥田、岡崎、佐々木：鉄と鋼、67(1981)、S95. |
| | 34) 坂本、福与、岩田、宮下：鉄と鋼、70(1984)、p.32、p.40. |