

討 2

高炉低燃料比達成のための原料性状と原料処理技術について

川崎製鉄㈱ 水島製鉄所

山 田 孝 雄

1. 緒 言

近年、高炉燃料比は、設備の改善、原料処理技術および高炉操業技術の進歩により著しく低下して来た。この間の事情を原料面から見れば、処理鉱比の増加とその被還元性、高温性状の改善により、ガス利用率が向上したことおよび安定した低炉熱レベルでの操業が可能となったことに起因していたと言えよう。一方、今後の原燃料事情を考えた場合、原料面では微粉化、低 SiO_2 化が今後の大きな課題となってくる。また、燃料面では、重油価格の高騰に伴うオイルレス化、あるいは重油代替燃料の使用技術の開発が必須となろう。

本稿では、低燃料比操業のための原料特性とその製造技術上のアプローチについて、これまでの研究や操業例をもとに考察するとともに、今後の原料事情を踏えた製造技術上の対応について述べてみたい。

2. 低燃料比操業時に要求される原料特性

高炉の燃料比低下は、基本的には図1のRist操業線図に示すように、ガス利用率の向上とP点を図中の矢印の方向に変化させることによつて達成される。以下、それぞれの基本的な手段に対して要求される原料特性について述べる。

2.1 ガス利用率の向上

ガス利用率の向上のための原料特性は、直接的には被還元性が良好なことである。しかし高炉の間接還元機能の強化という観点からは塊状帯領域を拡大し、且つガス-原料間の接触効率の向上を計る必要があり、そのためには、軟化開始温度が高いことおよび装入前粉率、還元粉化率が小さく、冷間・熱間強度が十分に高いことが望まれる。原料の被還元性は、JIS還元率に代表される中温域(900~1000℃)のみならず、高温域(1000~1250℃)においても良好でなければならない。

2.2 P点の変更

P点を図1中の矢印方向に変更する手段として、送風温度の上昇、炉体損失熱の低下、溶銑滓顕熱・潜熱の低下等が挙げられる。この場合に要求される原料特性は、直接的にはスラグ比低下のための原料の品位向上であり、焼結 SiO_2 量の低下もこれに含まれる。しかし、銑中〔Si〕や溶銑温度の低下による炉熱レベルの低下に対しては、これを安定に維持する上で、特に炉下部での通気・熱・還元状態を安定に維持する必要がある。そのため高温における原料特性として、軟化開始-熔融滴下温度幅が小さいことおよび軟化開始・熔融滴下温度が安定していることが望まれる。前者は融着帯部における通気抵抗の低減と塊状帯へのガス分配機能上重要であり、後者は高炉内での融着層の位置と滴下帯以下の熱・還元状態を安定に維持する上で重要である。

3. 原料の一般的性状とその改善の方向

以上の原料に要求される各種特性に対して、現状での一般的な性状とその改善の方向について述べる。

3.1 被還元性

原料の被還元性に対して影響を与える要因として、気孔構造、粒度などの物理的性質と化学組成、組織などの化学的性質が挙げられる。

気孔率の増加は図2に示すように被還元性を向上させる。¹⁾ 事実、気孔率の高

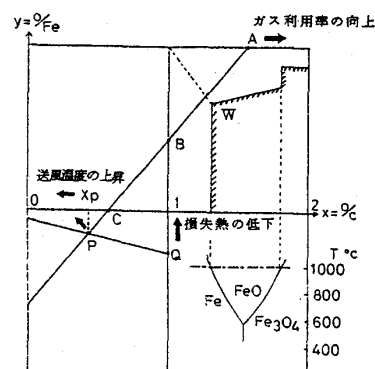


図1 Ristの操業線図による燃料比の低下方法

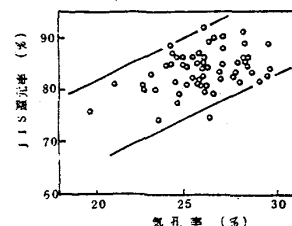


図2 ペレットの還元率に及ぼす気孔率の効果¹⁾

い軽量ペレットを使用することにより燃料比が大幅に低下したと報告されている。²⁾しかしペレットおよび焼結鉱の単なる気孔率の増加は強度の低下を生じ高炉通気性を阻害するため、この場合強度を改善する手段も同時に講じられる必要がある。

充填層におけるガス還元試験では、一般に粒径の低下と共に還元率が増加する。図3に粒径と還元率の関係を示す。焼結鉱粒径1mmの低下はJIS還元率1.5~2.0%程度の向上に相当する。還元性向上のために原料の平均粒径を低下させることは塊状帯での通気性を阻害するが、粒度範囲を狭くすることは還元性、通気性の両者を同時に改善し、ガス利用率の向上に有効な手段となる。この場合、原料の塊歩止りと整粒による燃料比低減効果の両者の兼合いで適当な粒度範囲が決定されよう。

図4に焼結鉱中のFeO量とJIS還元率の関係を示す。^{3), 4), 5)}一般に、FeO量の低下と共に被還元性は向上し、その効果はFeO量1%の低下に対してJIS還元率1.4~3.0%の向上に相当する。また、図5に示すように、FeO量1%の低下によりガス利用率は0.7~1.6%向上する。^{6), 7)}しかしFeO量の低下は還元粉化率の増大を招き高炉通気性を阻害するため、これを防止する対策が講じられる必要がある。

以上、基礎的な観点から考えると、原料の被還元性を向上させる手段は粒度範囲を狭くすること、気孔率を増加すること、FeO量を低下させることであるが、それぞれ塊歩止りの低下、強度の低下、還元粉化率の増加が問題となる。

3.2 高温性状

図6に高温荷重還元試験結果の一例を示す。⁸⁾焼結鉱は塊鉱石、ペレットに比較して融着開始温度が高く、同一温度では収縮率が小さい。図7に熔融滴下温度に及ぼす予備還元率の影響を示す。⁹⁾焼結鉱、ペレット、塊鉱石いずれも予備還元率の増加と共に熔融滴下温度が上昇するが、その効果はペレット、塊鉱石において特に顕著である。また、焼結鉱はメタルとスラグの熔融滴下温度がほぼ等しいのに対し、ペレットではメタルとスラグの熔融滴下温度の差が大きく、特に予備還元率が低い程その傾向にある。図8に焼結鉱の脈石融点と軟化開始温度の関係を示す。¹⁰⁾一般に、軟化開始温度、熔融滴下温度は脈石融点の上昇と共に上昇するが、この他に脈石量および還元過程でのFeOを考慮した融点とも密接な関係にある。通常のペレットは、低融点スラグの形成による微細気孔の閉塞やメタルシエルのために高温で還元停滞現象を示す。以上、2.2で述べた高温性状への要求に対

しては、焼結鉱の方がペレット、塊鉱石に比較して優れていると言える。したがって、ペレットについてはMgOの添加等により還元過程で形成されるスラグの融点を上昇させること、気孔径を拡大することにより気孔の閉塞を防止す

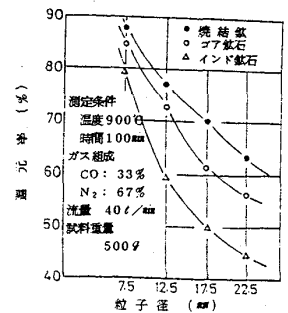


図3 還元率に及ぼす鉄石粒子径の影響

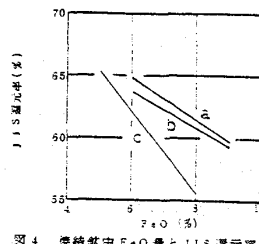


図4 焼結鉄中のFeO量とJIS還元率の関係(a:京浜DL³⁾, b:八幡DL⁴⁾, c:福山DL⁵⁾)

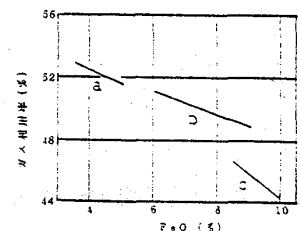


図5 高炉ガス利用率に及ぼす焼結鉄中のFeO量の効果(a:水島2BF, b:名古屋3BF, c:大分1BF⁷⁾)

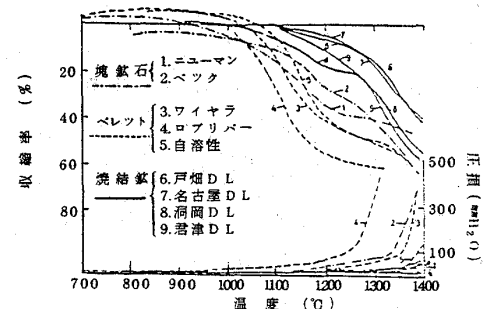


図6 軟化荷重還元試験による塊鉄石、ペレット、焼結鉄の収縮率の比較⁸⁾

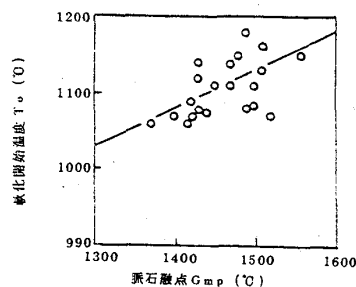


図8 焼結鉄の脈石融点と軟化開始温度の関係¹⁰⁾

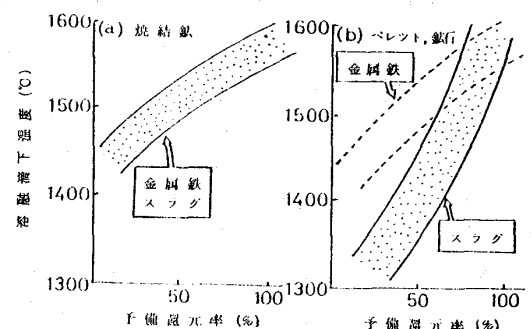


図7 (a)焼結鉄、(b)ペレットおよび鉄石の熔融滴下特性とそれに及ぼす予備還元の影響⁹⁾

ることおよびペレット原料の粗大化とかペレットの破碎により気孔率を増加し被還元性を向上させてスラグ融点を上昇させることなどで高温性状を改善する必要がある。

4. 焼結鉱製造技術上の対応策

4.1 被還元性の向上

3.1で述べたごとく、焼結鉱の被還元性は気孔率の増加、FeO量の低減によつて向上するが、前者は強度の低下を、後者は還元粉化率の増加を招く。被還元性が良好で、且つ強度が高く還元粉化の少ない焼結鉱を製造する上での基本的な考え方は、焼結原料中のヘマタイトを成品中にできるだけ多く残留させ、且つ還元粉化の原因となる晶出2次ヘマタイトの生成を防止することである。このために、①マグネタイト系鉱石の使用を避け、②低温で焼成することにより多成分系マグネタイトの生成を防止する。しかし低温焼成では強度が低下するので、これを防止するために、③保熱時間が長くなるようにヒートパターンを設定することで対処する。

水島2高炉では1980年2月に100%処理鉱使用による低燃料比操業を実施したが、その際、上記の考えに基づき低FeOで被還元性の良好な焼結鉱の製造を試みた。実操業の上では、②に対しては燃焼帯での Solution loss 反応を促進させるために、反応性の良い炭材としての無煙炭の使用比

率を増加し、且つ炭材の粒度を低下させた。③に対しては低速度操業とした。一方、これによる生産量の低下に対しては高層厚化で対処したが、それによる通気抵抗の増加に対しては消石灰スラリーの使用により改善を図つた。これらの対策の結果、低FeOで且つ目標の品質を

満足する焼結鉱を製造することができた。表1にその時の焼結鉱の品質を、図9にその時の焼結層内ヒートパターンを示す。

表1 低FeO焼結鉱製造の品質目標と実績値

管理項目	品質目標	実績値
塊密度	1.45	1.443
S.I	91%以上	91.3%
FeO	4.5%以下	4.1%
RDI	40%以下	34.2%

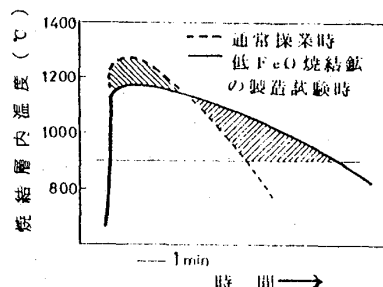


図9 低FeO焼結鉱製造試験時における焼結層内のヒートパターン

4.2 低SiO₂ 焼結鉱の製造

焼結原料中のSiO₂はCaOと並び重要な結合融体源である。したがつて、SiO₂量の低下は焼結鉱品質および生産性に敏感に影響する。

当社千葉におけるSiO₂量の低下実験では、高SiO₂鉱石の配合減によるSiO₂量の低下により、融体量が減少して強度が低下し、また石灰石配合比低下による通気性の悪化のため生産量も低下する結果となつた。

これに対し、高温保熱時間を長くしたヒートパターンを目指して低速度・高層厚操業で対処した場合、高強度の焼結鉱を製造することができた。しかし、この場合も生産率は低下した。このように、高強度の低SiO₂焼結鉱の製造は可能であるが、現状では生産率を高水準に維持することが困難であり、今後さらに検討すべき課題である。当面は、SiO₂量5.5%の焼結鉱の製造を目標としている。

5. 処理鉱比の増加による低燃料比試験操業

当社では、1980年3月に千葉6高炉において、処理鉱比、特に焼結鉱比を増加させて低燃料比試験操業を行つた。表2に、その時の原料条件と操業結果を示す。焼結鉱比の増加は、その良好な被還元性と高温性状のために、ガス利用率の向上と安定な低炉熱レベル操業の維持において有効であり、今回の燃料比の大幅な低下に対して大きく寄与していたものと考えられる。このように、原料配合上の条件が整えられれば、焼結鉱比を増加することにより、現状では、特にベルレス高炉においては、420 kg/THM前後での低燃料比操業が可能である。したがつて、高炉燃料比の低下に対して、個々の原料銘柄の性状を改善するための焼結鉱あるいはペレット製造技術上の改善、開発も必要ではあるが、処理鉱比あるいは高温性状の優れた焼結鉱の比率を高レベルに維持することも重要であろう。この意味で、コスト上の詳細な検討が必要であろうが、塊鉱石、ペレットフィード原料の焼結鉱化についても今後検討していく必要があろう。

6. 将来の原料事情と焼結鉱製造技術の対応

6.1 将来の原料事情

1980年代の鉄鉱石の供給は、ブラジルの Soft Hematite の増加、豪州の Marramamba 鉱床の使用、インドやブラジルの Blue Dust の使用・開発によつて粉鉱の比率が増え、しかも微粉化の傾向が強まると予想される。また、鉄鉱石品位については、 SiO_2 、 Al_2O_3 がともに低下し、鉄品位は上昇する傾向にあり、しかも $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ はやや高くなると予想される。

6.2 焼結鉱製造技術上の対応

焼結鉱製造面では、焼結原料の微粉化、低 SiO_2 化が大きな課題となる。焼結原料中への微粉鉄石の使用は通気抵抗の増大により生産率の低下を招く。微粉鉄石を多量に使用する場合には、原料の擬似粒化の促進および擬似粒子の崩壊や圧密装入を防止する必要がある。当社水島では、微粉鉄石を多量に配合し、その生産率低下に対して、消石灰を添加することによる擬似粒化の促進とその強度向上を図ることで対処した。図 10 に、その操業結果を示す。このように、ペレットフィードの微粉鉄石を多量に配合しても消石灰を添加することによりシンターフィード使用時と同水準の生産率を維持することができたが、消石灰の添加効果は微粉鉄石の銘柄、性状によつても異なるため、擬似粒子の形成面からの粉鉱の評価体系及び配合技術上の確立が必要である。一方、焼結原料の低 SiO_2 化に対しては、4.2 で述べたごとく生産率の低下の問題があり、生産率、強度、被還元性の兼合いで焼結鉱中の SiO_2 量が決定されよう。当面は成品中の SiO_2 量 5.5 % で FeO 量 4.0 % の焼結鉱の製造が一つの目標となろう。

7. 結 言

重油価格の高騰に伴うオイルレス製鉄所への志向は、一時的に高炉燃料比を上昇させる結果になった。しかし、製鉄所全体のトータルエネルギーの低減は製鉄技術の永遠のテーマであり、今後、重油代替燃料の使用技術の開発と相まって、それぞれの周辺条件下で再び低燃料比操業への挑戦が必須となろう。その場合、個々の原料処理技術上の改善、開発はもとより、将来の原料事情を踏えた原料政策上の判断が燃料比の低減および鉄製造コストを大きく左右することになろう。

参考文献

- 1) 神戸製鋼 加古川：第 44 回製鉄部会資料，鉄 44-22-共1 (1974)
- 2) 神戸製鋼 ：第 55 回製鉄部会資料，鉄 55-11-共 (1979)
- 3) 日本鋼管 京浜：第 53 回製鉄部会資料，鉄 53-6-共 (1978)
- 4) 新日鉄 八幡：第 53 回製鉄部会資料，鉄 53-1 (1978)
- 5) 日本鋼管 福山：第 53 回製鉄部会資料，鉄 53-19 (1978)
- 6) 新日鉄 名古屋：第 48 回製鉄部会資料，鉄 48-17-共 (1976)
- 7) 新日鉄 大分：第 44 回製鉄部会資料，鉄 44-24-共1 (1974)
- 8) 西田ら ：学振 54 委資料，1453 (1978)
- 9) 斧ら ：鉄と鋼，61 (1975) 6, P.777
- 10) 西田ら ：学振 54 委資料，1349 (1975)

表 2 千葉 6 高炉の低燃料比試験
操業結果 (1980.3)

項 目	基準期間 (2月)	試験操業 (3月)
燃 料 比 kg/THM	436.9	418.4
コークス比 kg/THM	403.4	381.0
重 油 比 kg/THM	33.5	37.4
送 風 温 度 $^{\circ}\text{C}$	1270	1312
ガス利用率 %	53.8	54.3
結 晶 度 g/Nm^3	0.270	0.273
溶 洗 温 度 $^{\circ}\text{C}$	0.30	0.23
溶 洗 温 度 $^{\circ}\text{C}$	1509	1492
ス ラ グ 比 kg/THM	322	330
処 理 鉄 比 %	88.5	96.7
ペレット比 %	3.9	3.2
焼 結 鉄 比 %	84.6	93.5
還元ペレット比 kg/THM	10.9	35.8
品 名		
T. Fe %	56.5	57.3
B ₂ %	1.56	1.51
RD1 ₃ %	2.91	3.24
Si + 10 %	91.3	91.5
FeO %	5.3	5.0
粒 度 分 布		
平均粒径 μm	23.7	24.7
+50 %	2.9	3.2
50~10 %	63.6	67.4
10~5 %	31.5	28.2
-5 %	2.0	1.3

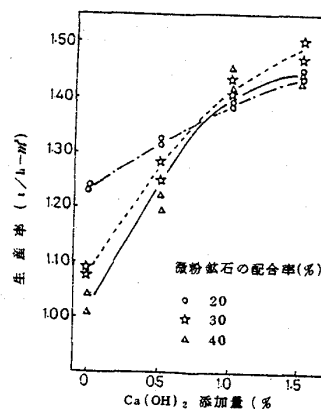


図 10 微粉鉄石の使用と消石灰の添加による焼結操業結果