

討4

焼結鉄の高温性状と諸成分の影響

新日本製鉄 八幡製鉄所 技術研究所

○古井健夫 菅原欣一

1. いきさつ

焼結鉄の高温性状には、被還元性、還元粉化性、還元後強度（粒度変化）、荷重軟化性などがある。このうち後の3つの特性は還元粉化性と密接な関連があるために、通常被還元性と還元粉化性の2つを主要な高温性状として検討する機会が多い。ここでは焼結鉄の還元粉化性と被還元性をとりあげこれらの特性におよぼす焼結鉄中諸成分の影響を明らかにし、更に焼結性との関連について検討した。

2. 焼結鉄の還元粉化性

2.1 焼結鉄の耐還元粉化性の低下が高炉におよぼす影響

戸畑高炉では昭和39年12月に各炉ともに装入物降下の異常、風圧上昇、棚・スリップの増加、炉頂温度の上昇などの炉況不調を招いた。この時の焼結鉄は、 SiO_2 の低下（約0.5%）、コークス配合量の低下（約0.2%）成品中FeOの低下（12~13% → 10~11%）などがあつたが、シャッター強度には差異は認められなかつた。

このことから常温強度に現はれぬ高温性状の差が影響したものと予測し、炉況安定時の焼結鉄（No.1）と不調時のもの（No.2）を400, 500, 600℃の各温度で1および3時間還元後の粒度を比較した。

その結果は図1に示すように400℃3時間、500℃1時間の還元で両者の粒度に著しい差があらはれている。

すなはち僅かな還元条件の差で検出されるような還元粉化性状が高炉炉況に大きな影響を与えることが明らかになり、以後還元粉化性状が高炉装入物の評価の上で重要なものとして取り上げられるようになった。

広畑高炉においても数年前棚・スリップが多発したので、還元粉化性の向上をはかり且指数<30%に管理したところ炉況は安定し出鉄量の増加をみている。

2.2 焼結鉄中のFeOと還元粉化性

一般に焼結鉄中のFeOが高いと還元粉化が抑制されると云はれている。しかし図2の試験焼結の結果に示すように、AではFeOの高いほど還元粉化性は小さいが、Bでは全く逆の関係が得られている。

また表1は八幡洞岡DL工場における昭和42年12月の操業結果を分析したもので、この場合もFeOが高いと還元粉化し易い傾向が示されている。

これらの例に見られるように、焼結鉄中のFeOは単独に還元粉化性と結びつくことはなく、他の条件如何によつては正負いづれの関係をもとり得ることが判つた。

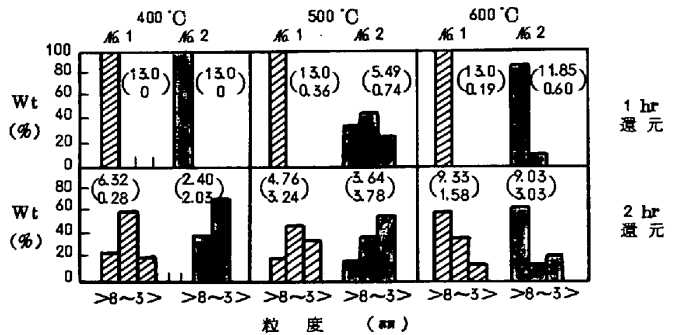


図1 還元粉化におよぼす還元時間・温度の影響
()内の上部数値は平均粒径 μm 、下部数値は沈積カーボン量(g/20g試料)を示す。

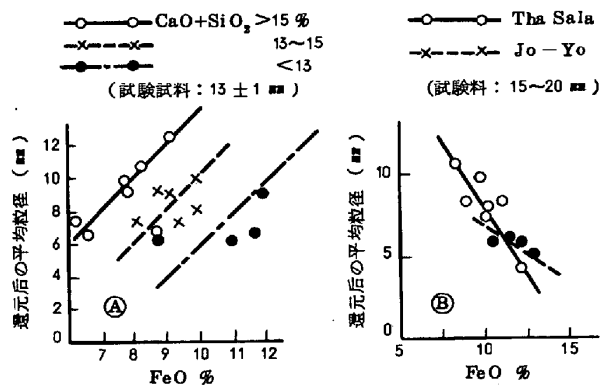


図2 還元粉化におよぼすFeOの影響

表 還元粉化への各種要因の影響

特性値	重相 関係数	要因 相関係数	Coke	SiO ₂	FeOH	FeOs	FeOH- FeOs	SCFA	Const.
D-G	*** 0.814	単	-0.040	0.382	0.430**	-0.307	-0.470**	-0.007	
		偏	0.322	0.598***	0.482**	-0.458*	-0.478**	-0.494**	
		重	0.838	2.735	15.57	-14.68	-15.39	-0.830	1.477

注：
 * 90%、** 95%、*** 99% 信頼度
 D-G: 還元後の平均粒径 (mm)
 FeOH: FeO% - 配合原料中
 FeOs: FeO% - 焼結鉱中
 SCFA: (FeO+SiO₂+CaO+Al₂O₃)%
 焼結鉱中

2.3 SiO₂による還元粉化の抑制効果とその条件

図 3 に示すように SiO₂ はコークス配合率の低い場合には耐還元粉化性には殆んど影響はなく、むしろ低下気味であるが、コークス配合率の高い場合には明らかに向上する。

前者の場合に耐還元粉化性に影響があらわれないのは、熱量不足で SiO₂ の slag 化が十分に起つていないためと考えられる。すなわち SiO₂ は slag 化することによつて還元粉化の阻止力を持つものと見做すことが出来る。

2.4 CaOによる還元粉化阻止効果

焼結鉱の CaO と還元粉化性の関係を見ると、殆んど例外なく耐還元粉化性は向上する。これは CaO 添加によつて Ca-Ferrite 生成量が増し、還元粉化の元凶である Hematite の生成が押えられることによるものである。

図 4 からも明らかなように CaO 添加による効果は極めて大きく、上述の SiO₂ のような熱量の制約もない。

これは Ca-Ferrite が焼結過程で容易に

生成するためと考えられる。

2.5 塩基度 (SiO₂/CaO) および

CaO+SiO₂ の影響

図 5 に示すように CaO/SiO₂、CaO + SiO₂ のいずれも一般的には耐還元粉化性を向上させる。これは前述の CaO および SiO₂ の効果、特に CaO の効果が大きく寄与するものと考へられる。

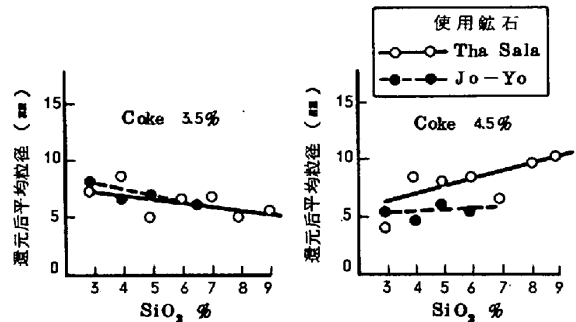


図 3 還元粉化におよぼす SiO₂ の影響 (供試粒度: 15~20 mm)

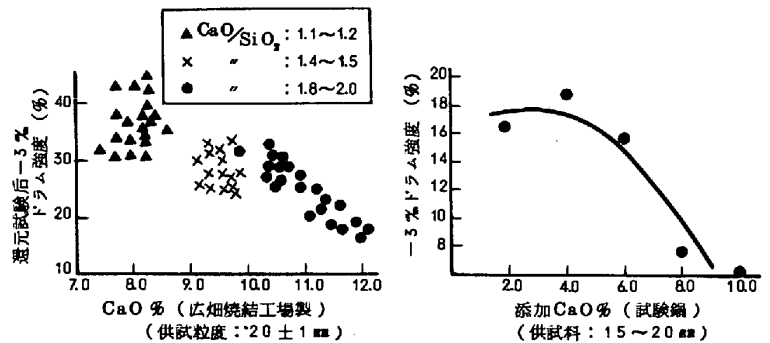


図 4 還元粉化におよぼす CaO の影響

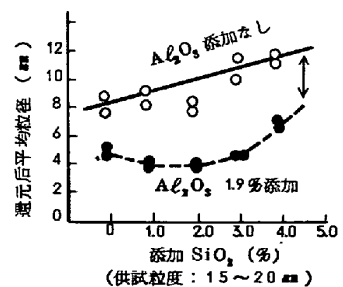
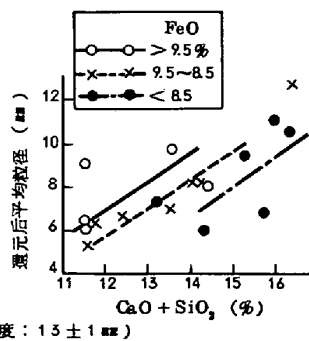
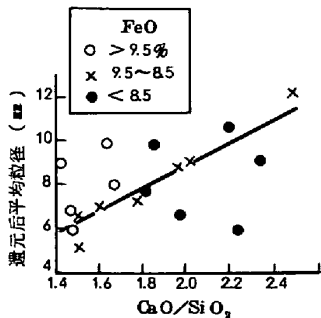


図 5 還元粉化への CaO/SiO₂ と (CaO+SiO₂) の影響

図 6 還元粉化への SiO₂ と Al₂O₃ の影響

2.6 Al₂O₃による耐還元粉化性の低下

図 6 には各 SiO₂ レベルで Al₂O₃ を 1.9% 添加することによつて還元后粒度は約 2 mm 低下し、耐還元粉化性が劣化したことが示されている。

すなわち Al₂O₃ は焼結鉄の還元粉化を助長する成分である。たゞし実操業では Al₂O₃ の変動巾の小さいこともあって、他の操業要因の影響が大きく現われ Al₂O₃ の影響としては検出し難い場合が多い。

また Al₂O₃ を添加した焼結鉄は無添加と比較して特に変わった組織は示さないが、EPMA で Al₂O₃ の分布を測定したところ、Al₂O₃ はスラグのみならず、Hematite, Ca-Ferrite にも含有されていることが明らかにされた。(photo 省略)

さらに Al₂O₃ を固溶した Hematite と固溶しないものについて、還元条件下でのクラックの発生時期並びに発生数を比較すると Table 2 のようになり、明らかに前者の方が早期にかつ多数のクラックを発生し還元粉化しやすいものになっていることが認められる。

したがって Al₂O₃ の影響はこのような Hematite の性質を還元粉化しやすいものに変えることにあるとあると云うことが出来る。

2.7 MgO 添加の影響

MgO 原料を添加すると焼結鉄の成品歩留および強度が低下するので、操業上の対策としては通常コークスを増配している。その間の推移の 1 例を Table 3 示した。

すなわち当初 MgO 1.8% 添加 (Ni 水滓使用) したところ、シャッター値を維持するようにコークス配合量を制御したにも拘らず、タンブラー強度と耐還元粉化性が低下した。このために MgO 配合量を若干下げると共に、更にコークスの増配を行なうことにより、元の水準に戻すことが出来た。このことから添加した MgO 原料は焼結鉄中の弱点となり Ca-Ferrite や Slag のもつ還元粉化の阻止のはたらきを減殺するかたちで、還元粉化性に影響をもつと云うことが出来る。

しかし MgO そのものは、十分な熱が与えられ周囲の物質と反応同化した場合には還元粉化性には本質的な影響は与えず、むしろ Magnetite 生成量を増す傾向がある。したがって若干ながら耐還元粉化性を向上させる場合も起り得る。たゞし実際上はこのような本質的な影響よりも、前述の焼結鉄のポンドの影響の方が大きくあらわれるようであり、MgO そのものは本質的には還元粉化に影響しないものと考えられる。

3. 焼結鉄の被還元性

3.1 Slag 量増加による被還元性の低下

焼結鉄の Slag 量が増加すると、組織的には Slag Matrix 中に Magnetite, Hematite, Ca-Ferrite 等の鉄酸化物が埋込まれた状態のものになり、明らかに被還元性の低下が予測される。事実多くの試験結果もこの予測を裏付け、図 7 に示すように Slag 量が増加するにつれて被還元性は低下する。

表 2 焼結鉄の還元によるクラック発生状況に及ぼす Al₂O₃ の影響

Al ₂ O ₃ 添加率	クラック発生状態		発生クラック数*
	クラック発生温度	発生開始時間	
1.9%	380℃	40 sec	Sample 1 86 " 2 71
0.0%	400℃	4 min	Sample 1 49 " 2 32

* 試料 (1mm×1mm×0.2mm) は高温顕微鏡下で CO 30% 雰囲気の下で昇温還元 (415℃まで 10℃/min)

表 3 焼結鉄の常温強度と還元粉化に及ぼす MgO 添加の影響 (洞岡 DL 焼結鉄)

MgO 添加率	焼結鉄の常温強度		還元粉化指数
	シャッター指数	タンブラー指数	
標準配合原料	84.5%	53.8%	60.9%
1.8%	85.1	52.9	77.3
1.02%	84.4	56.9	60.9

$$\text{還元粉化指数} = \left(1 - \frac{S_A}{S_B}\right) \times 100\%$$

S_A: 還元后 平均粒径 (mm)

S_B: 還元前 平均粒径 (mm)

またFeOの増加も図8のように同じ傾向を示す。その理由はFeOの高いものはコークス配合量が多いか又は、原料中FeOが高いかのいずれかであり、いずれも焼結過程での融体の生成量が多くなり、Slag量増加と同様の組織を呈し、還元時に酸化鉄とガスとの接触を妨げるためである。

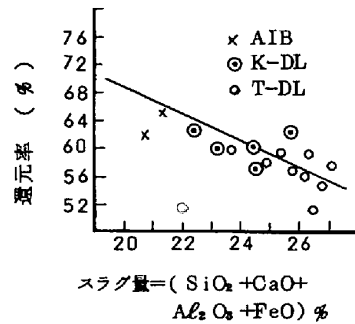


図7 スラグ量と還元率の関係

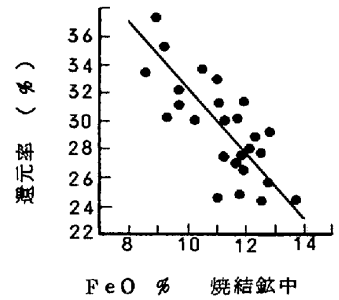


図8 焼結鉱中FeOと還元率の関係

3.2 塩基度の影響

石灰石の配合量を増してCaO/SiO₂を上げて行なった場合の被還元性への影響については、熔融Slag量の増加により低下するという主張と、難還元性のFayaliteが還元性の良好なCa-Ferriteに移行して行くために向上すると云うものと2通りの相異なる報告がある。しかしいずれもCaO/SiO₂を酸性から高塩基性まで巾広く変化させた場合であり、Slag量の影響等の検討も充分とはいえない。

最近鉄鋼各社で行なった共同実験結果によると、図9に示すようにCaO/SiO₂=1.0~2.0の範囲では被還元性には特に顕著な差はあらわれていない。しかしこの場合もSiO₂量は一定としているので高塩基度ほどSlag量は増加している。従って厳密にはSlag量の影響を加味して論ずる必要があり、今後の検討課題として残されている。

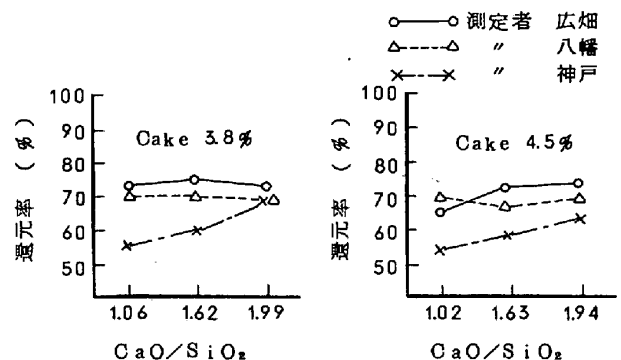


図9 塩基度(CaO/SiO₂)と還元率の関係

4. Slag量・成分と焼結性

4.1 SiO₂と配合原料中FeOの関連

CaO/SiO₂一定の場合の焼結性とSiO₂の関係を総括してFig10に示した。この結果から配合原料中の最適SiO₂量には上限および下限のあること、およびSiO₂の最適範囲は配合原料中のFeO量によって相異し、一般にFeO量の多い場合にはその範囲は低SiO₂側に移ることがわかる。すなわち焼結性を良好にする適正Slag量があり、これには原料中のFeO量が強く関係していることが示された。

4.2 SiO₂とCaOの関連

良好な焼結性(成品歩留と生産性)を得るためのSiO₂とCaOの関係は次のように考えられる。まず成品歩留については、高SiO₂側では低CaO、すなわち低塩基度が、又低SiO₂側では高CaOすなわち高塩基度が望ましい。つまりこの場合も適当なslag量が必要である。又生産性についてはSiO₂の可成りの範囲で一定値のCaOが必要である。成品歩留と同じ傾向ではあるが、石灰石の生産性への寄与率は可成り大きい。

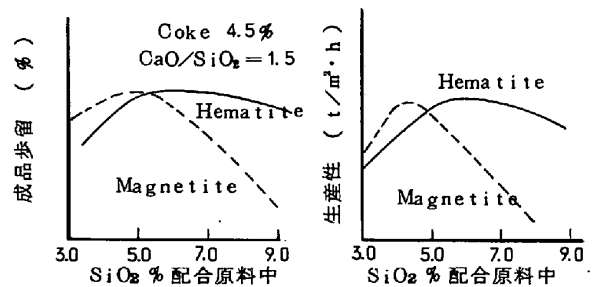


図10 配合原料中SiO₂%と焼結性の関係

5. むすび

焼結鉱のslag量および成分の面から高温性状との関連、並びに焼結性への影響について検討した。いつれにとつても適正slag量に保持することが重要で、その量の範疇でCaO添加が最も効果的であることが示された。なお更に原料粒度の影響を加味して焼結性とそれ由来する高温性状の検討を進める必要があらう。