

討23

ペレットと焼結鉱の高温性状について

神戸製鋼所 中央研究所 工博 成田貴一 ○前川昌大
北村雅司 金山宏志

1. 緒言

ペレットと焼結鉱が高炉に装入されてから鉄鉄とスラグが生成するまでに、炉内の雰囲気、温度および滞留時間などの種々の条件下において、その性状は物理的ならびに化学的に変化して行く。また同一条件下におかれたとしても装入物の原料および製造の条件の相違からくる性質の特異性によって、その性状はいろいろと変化し、高炉炉況、コークス比および出鉄比などに影響をおよぼしていると考えられる。

ペレットと焼結鉱の炉内性状については、従来、JIS還元性、荷重還元性、還元後強度、還元粉化およびふくれ指数などの比較的の低い温度（約1200℃以下）での挙動が数多く報告されている。しかしながら1200℃以上の高い温度におけるガス還元性、金属鉄殻の生成、軟化融着性および溶融滴下性などについては実験資料もじゅうぶんとはいえず、現在各所で調査中と思われる。

いっぽう近時、高炉の解体調査により高炉炉内における装入物の化学成分組成、粒度、還元率および軟化融着状態などが広範囲にわたり調べられ、炉内軟化融着帯の形体をはじめ温度分布も明らかにされて来ており、装入物の挙動、とくに1200℃以上の高温における挙動が重視されるに至った。

本稿では高炉操業を円滑にし、成績を向上させるためには、(1) いかなる性質をもった装入物を用いるのがよいか。(2) 優れた装入物の品質判定にはいかなる特性に目をつければよいか。(3) その特性値を検出するためにはいかなる方法を採用すればよいか。などを知るために現在までに行なわれて来た種々の実験結果から高温性状に関する代表的な結果をとりあげてペレットと焼結鉱の特徴を示す。

2. 装入物の特性値と高炉炉内現象

高炉装入物の高温性状評価法と高炉炉内現象との対応については、高炉における溶鉄・滓生成過程が連続的であることから実験室での特定の条件と高炉炉内のある位置における現象とを明確に対比することはむずかしいが、概略的には、炉内温度分布、ガス組成および装入物の挙動を考慮して各種特性値と高炉炉内の各種機能帯とを図1のように対応させることができる。

図1に示した装入物の特性値が高炉炉内において高炉操業上いかなる重要性を示し、また高炉を全体的にみれば、いずれの特性値が支配的な影響をおよぼしているかを知ることが装入物性状を研究する上での一つの重要な点である。そのためには、さらに装入物の性状の変化に伴う炉内のガス流れ、熱の供給およびコークス床の役割など化学工学的な諸問題も含めて検討する必要がある。

3. 比較的低い温度でのガス還元性

ペレットのSwelling現象、焼結鉱の還元粉化および両装入物の還元後強度については非常に広範囲の研究があり、これらの特性値の改善が進められるに伴って、高炉操業に大きい影響をおよぼす要因として高温還元、軟化、融着、

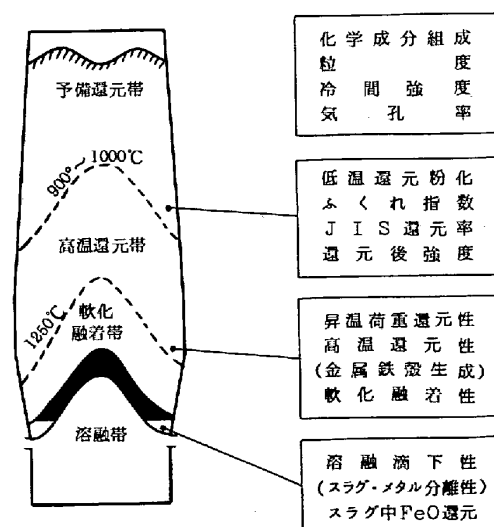


図1 高炉炉内状況と装入物の特性値

溶融などが重視されるようになってきたが、900~1100℃でのガス還元性は装入物の基本的な特性である。そこでまずJIS還元法ならびに1100℃までの昇温荷重還元法によってペレットと焼結鉄を比較することにする。

還元試験結果の一例を示すと図2のとおりである。この図で通常高炉に使用されている焼結鉄AとペレットCの還元率を比較すれば、JIS法ではペレットCのほうが焼結鉄Aよりも還元率が高く、昇温荷重還元法では逆の結果が得られている。これは昇温荷重還元法では焼結鉄は昇温過程で還元粉化により粒径がより小さくなり還元速度が大きくなるためである。これに対してペレットはほとんど還元粉化が起こらないことおよびペレットの軟化融着により還元速度が小さくなることによると考えられる。なおペレットDは硫酸萍を原料として製造した特殊なペレットであり、いづれの還元率も小さいが、これは気孔率が著しく小さい(約16%)ことならびに1100℃での軟化融着がはげしいことによると考えられる。

4. 昇温荷重還元性

昇温荷重還元性試験によって高炉の炉況の良好な場合の自溶性焼結鉄E、自溶性ペレットF、高炉で棚吊りを生じたときの自溶性ペレットGおよび硫酸萍ペレットDの4種類の装入物を用い、ガス圧力損失値および収縮率を測定した結果によれば、正常な装入物EおよびFではガス圧力損失値も小さく13~35mmAqであるが、装入物GおよびDはそれぞれ約350mmAqおよび約1000mmAqであり、また収縮率も著しく大きい。

ペレットの荷重軟化性におよぼす種々の因子のうち、焼成条件(温度および時間)が適切である場合は、ペレットのスラグ組成が重要な因子と考えられる。したがってペレットの製造にあたってはスラグ組成を一つの管理項目とすべきである。

ペレットおよび焼結鉄の多くの試料について荷重還元試験を行なった結果によれば、焼結鉄に比較してペレットのほうが高温での軟化感受性が大きい。

5. 高温でのガス還元

高炉炉内の900~1000℃のchemical reserve zoneにおいてwüstite段階まで還元されたペレットおよび焼結鉄は、さらに高い温度において還元ガスによりFeO→M.Feの還元が進行する。このときの還元温度は1000~1250℃と高く、またsolution loss反応により還元ガス組成はCOに富んでいると考えられる。そこで上記の還元域の条件を想定して、CO:30%、N₂:70%の還元ガスにより種々の試料の還元試験を行なった。供試試料はいずれもwüstiteまで予め還元したものである。

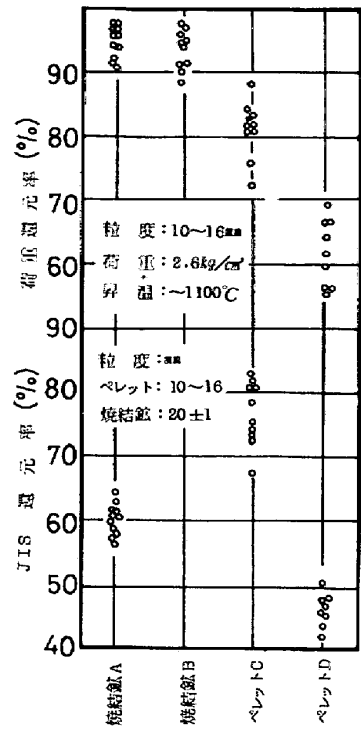


図2 還元率の比較

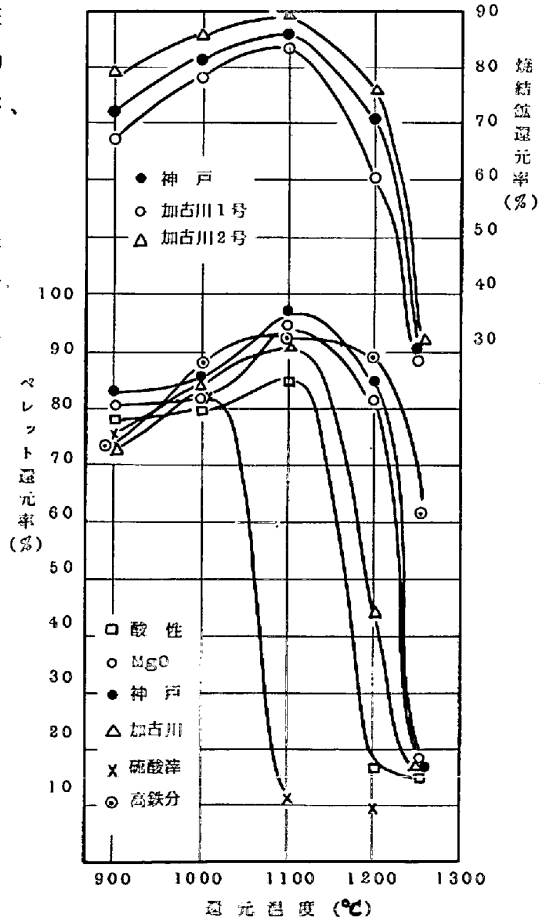


図3 ペレットおよび焼結鉄の高温還元性の比較

還元試験結果を図3に示す。図3によれば

- (1) 硫酸萍ペレットは1100℃において還元停滞が著しく、また1250℃で浴融がはじまるという特徴をもっている。
- (2) 酸性ペレットは1200℃で還元停滞が著しくなるが、これは融点の低い難還元性のFayalite ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$)によるものと考えられる。
- (3) 加古川ペレットは1200℃でかなりの停滞が認められる。
- (4) 神戸ペレット、MgO添加ペレットおよび高铁分ペレットは1200℃での還元停滞はほとんど認められないが、いずれのペレットも1250℃では還元停滞が著しくなる。
- (5) 焼結鉱の還元停滞現象は1200℃で起りはじめ、1250℃で顕著になるが、ペレットに比較して1250℃での還元率は若干高くなっており、高温での還元は進みやすいといえる。

上述のごとく、ペレットと焼結鉱はともに高温において還元が停滞するが、この現象は装入物のスラグ構成成分 ($\text{SiO}_2, \text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}/\text{SiO}_2$) とスラグ量ならびに還元過程で試料粒子外周部に生成する金属鉄殻の性質に依存する。図4はペレットの1250℃における高温還元性に及ぼすスラグ量および CaO/SiO_2 の影響を示す。

以上の結果からペレットでは CaO/SiO_2 および鉄分を高めることならびにMgOを添加することが品質改善のための一手段と考えられる。

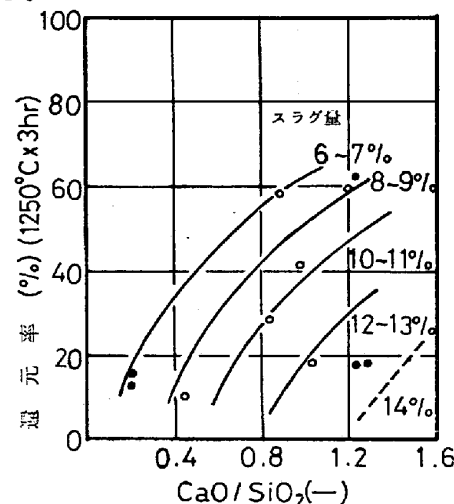


図4 高温還元におよぼすスラグ量塩基度の影響

6. 高温還元時における金属鉄殻の生成および融着

高炉の羽口破損時に羽口レベルから採取した塊状のペレット試料は写真1(a)に示したようにその内部に未還元の核芯があり、そのまわりに金属鉄殻が生成しており、おのおののペレットの金属鉄殻が互いに融着していることがわかる。写真1(a)におけるW部およびM部の光学顕微鏡的組織を示すと写真1(b)および(c)のとおりであり、ペレットの外殻はほとんど金属鉄にまで還元されているが、内部はWüstiteにまで還元されているにすぎない。

ペレットが写真1(a)に示したような状態に融着する条件を推定するために、つぎのような実験を行なった。すなわちペレットを900℃でWüstite段階まで還元したのち、さらに1200℃で30min CO-N₂ガス (CO:30%, N₂:70%) により還元して厚さ約1.5mmの金属鉄殻を生成させ、つぎにこの還元ペレットを1.5kg/cm²の荷重下でN₂雰囲気中で1350℃に加熱した。その結果、この試料のマクロ組織は写真2(a)に示すように高炉内から採取した塊状ペレットと同じようなマクロ組織を呈しているこ



(a) マクロ組織 (b) ミクロ組織(内部) (c) ミクロ組織(外部)
写真1 高炉内採取ペレットの断面のマクロおよびミクロ組織



(a) ペレット (b) 焼結鉱
写真2 実験室で作成した塊状試料

とを認めた。

表1 高炉装入物の溶融滴下性試験結果

いっぽう焼結鉱についても同様の実験を行ない、塊状化の状態を調べた結果は写真2 (b) に示したとおりであり、焼結鉱はペレットと異なり、ひじょうに不規則なマクロ組織となっている。

7. 溶融滴下性

CaO/SiO₂、スラグ量などの異なるペレット

試料名	還元前			予備還元 1100℃×90min			予備還元 1200℃×90min			
	TFe (%)	CaO/SiO ₂	スラグ量 (%)	還元率 (%)	滴下開始温度 (℃)	滴下温度* T ₁₁₀₀ (℃)	還元率 (%)	滴下開始温度 (℃)	滴下温度* T ₁₂₀₀ (℃)	
ペレット	酸性	63.18	0.20	7.48	66.40	1390	1440	10.87	1240	1410
	MgO 添加	63.04	0.19	6.22	70.79	1360	1390	16.99	1430	1450
	神戸	60.15	1.27	11.22	86.29	1350	1360	20.00	1340	1380
	加古川	60.20	1.23	12.10	74.52	1300	1330	10.47	1230	1280
	硫酸滓	60.17	0.69	10.92	24.56	1290	1390	8.77	1210	1290
	高鉄分	63.50	1.21	7.60	61.01	1350	1370	39.42	1330	1380
焼結鉱	神戸	55.15	1.56	18.94	76.38	1340	1350	19.36	1370	1380
	加古川1号	56.49	1.33	16.99	63.00	1300	1320	23.63	1260	1290
	加古川2号	53.7	1.67	19.61	72.39	1400	1420	33.79	1340	1390

* 全滴下物の約1/2量が滴下したときの温度

および焼結鉱を予備還元 (Wüstite ペレットを CO-N₂ ガス (CO:30%、N₂:70%) で還元) したのち、N₂ 雰囲気中で昇温させて溶融滴下性を調べた結果を表1に示す。表1によれば、予備還元条件が1100°×90 min の場合は、ペレットおよび焼結鉱の還元率は、硫酸滓ペレットを除いて、あまり差はなく、いずれも高い還元率であるために、滴下開始温度におよぼすスラグ量、スラグ中 FeO 量などの影響が小さく、CaO/SiO₂ の影響が比較的大きく現われている。

いっぽう1200℃の予備還元の場合は、試料によって予備還元率が大小さまざまになり、還元率すなわち FeO 量の影響が大きくなるために、溶融滴下性と CaO/SiO₂ との間に明確な相関関係が現われていない。

滴下温度を比較すれば、1200℃で高い還元率が得られる装入物 (神戸、MgO 添加、高鉄分各ペレットおよび自溶性焼結鉱) は T₁₂₀₀ と T₁₁₀₀ とがほぼ同じか、T₁₂₀₀ が若干高くなっているが、1200℃における予備還元で低い還元率となる装入物 (酸性、加古川、硫酸滓各ペレット) では、T₁₂₀₀ は T₁₁₀₀ よりも低くなっている。

8. 結 言

高炉装入物の品質を評価するためには、JIS 還元性、ふくれ指数、還元粉化性、還元後強度などのほかに、荷重軟化性、高温還元性、溶融滴下性を重視する必要がある。これらの特性値は相互に関連するが、本質的には装入物の熱履歴、スラグの化学成分組成、融点およびスラグ量と密接な関係があり、基本的にはこれらの3因子を調整することによって高炉装入物の高温性状を改善することができる。

さらに高炉内における高温性状をより良くするための手段として粒径、気孔率および強度の最適値を選ぶ必要がある。

以上の諸試験の結果などから、高炉装入物の望ましい高温性状としてつぎの事項があげられる。

- (1) JIS 還元率は高いほうがよいが、この値が高いことのみで良い装入物とはいえない。
- (2) 昇温荷重還元法では、充填層の収縮率、ガス圧力損失値が小さく、還元率が高いこと。
- (3) 1200°~1250 °C の高温でのガス還元において高還元率が得られること。
- (4) 還元率が低い場合でも、溶融滴下温度が高く、急速に溶け落ち、スラグ・メタルの分離が速いこと。

以 上