

669.162.263: 622.341.1-188

(討2) ペレット性状と高炉操業について

神戸製鋼所 加古川製鉄所 田口正和、上仲俊行、小泉秀雄、高見満矩
中央研究所 西田礼次郎、○北村雅司

1. 緒 言

高炉操業におよぼす装入物の影響は大きく、ペレットについてその性状と高炉操業との関係は十分明らかにされていない。

当社ではペレット性状として特に荷重還元試験結果を重視していることはすでに報告したとおりである。¹⁾

実際の管理としてはペレットの常温性状として圧潰強度や回転強度あるいは気孔率などの測定と、熱間性状として自社製荷重還元試験(改良法)に合せ、JIS還元試験、ふくれ試験などを実施している。

装入物が高炉で還元～軟化～溶融の複雑な過程を経ることを考慮すると、装入物の諸性状と高炉との関係を一義的に関連づけることはきわめて困難である。しかし本報告ではペレット性状(荷重還元後の最終還元率と収縮率および気孔率)と高炉操業結果(炉内圧損、補正燃料比)との関係を加古川第1高炉(自溶性ペレット多量配合)の操業データーにもとづき2～3検討した。

さらにペレット炉内性状の把握に必要な今後の研究課題についても触れてみたい。

2. ペレット性状について

当社加古川ペレット工場における品質管理状況を表1に示す。

ペレットの荷重還元試験と高炉操業とは密接な関係があり、表1に示すように測定頻度は1回/dayとし、最終還元率88%以上、収縮率45%以下を管理目標としている。しかし荷重還元試験は実験が複雑で、品質管理用としては不十分であるため、簡便法として簡単に精度の良い気孔率の測定(6回/day)を実施し、気孔率24～28%を管理目標としている。

そこでまず荷重還元試験結果と気孔率との関係を検討した。

図1, 2にペレットの気孔率と荷重還元後の最終還元率との関係および気孔率と収縮率との関係を示す。

これらの結果からペレットの気孔率が高くなるにしたがい、最終還元率の増加傾向および収縮率の上昇傾向が認められ、荷重還元試験の結果とペレットの気孔率との間に密接な関係のあることがわかる。

その他、品質管理として平均粒度は $11 \pm 0.5 \text{ mm}$ と小径で、粒度範囲を狭く、圧潰強度は280kg以上とし、200kg以下のペレットが出ないようにしている。JIS還元率は高炉の燃料比低減を目的として80%以上、ふくれは炉内通気性保持のため11%以下をそれぞれ管理目標としている。

表 1 ペレットの品質管理状況

	管理項目	測定頻度	管理目標	実績値
				平均値(72.8月)
常温性状	圧潰強度(kg)	6回/day	280以上	340
	気孔率(%)	6 "	24~28	26.2
	平均粒径(mm)	3 "	11.5±0.5	11.5
高温性状	JIS還元試験(%)	1回/day	80以上	89.0
	荷重還元試験(%)	1 "	最終還元率88以上 収縮率45以下	90.6 84.7
	ふくれ試験(%)	1 "	11.0以下	10.2

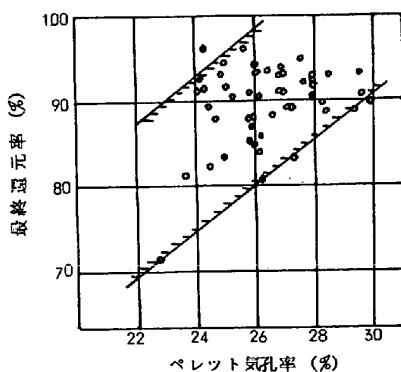


図 1 ペレット気孔率と最終還元率との関係

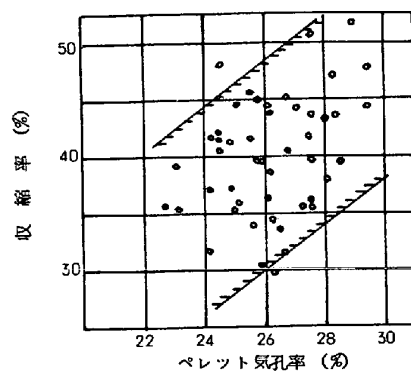


図 2 ペレット気孔率と収縮率との関係

3. ペレット性状と高炉操業との関係

つぎにペレット性状として、荷重還元試験、平均粒径および気孔率と高炉操業との関係について検討した。高炉操業データは加古川第1高炉の炉況安定時のものを対象とした。

3.1 荷重還元試験結果と炉内圧損および燃料比との関係

こゝでは熱間性状として荷重還元試験によつて得られる収縮率および最終還元率との関係について述べる。なお荷重還元試験法は還元条件を簡便化し、800~1100℃まで180mmで昇温還元し、還元ガスにはCO:N₂=30:70の混合ガスを使用する方法である。

図3には収縮率と炉内圧損との関係を、図4には最終還元率と燃料比との関係をそれぞれ示した。

収縮率が増加すると、結果として炉内圧損を増大する傾向が認められ、最終還元率の高い方が燃料比は低下する傾向にある。

したがって高温で収縮率が低く、被還元性の良いことが要求されることになる。

3.2 ペレット粒径と燃料比との関係

ペレットの平均粒径を小さくすることは単位重量当たり比表面積増加による還元量を増大し、還元ガスは有効に利用されることが予想される。

図5はペレット平均粒径と燃料比との関係を示したものである。

その結果によれば、ペレット粒径が小さくなると燃料比が低下する傾向を示している。これは後述のようにペレット粒径が大きいと、炉内高温域でペレット中心部に残存する未反応部分が増大することによるもので、Metallic Shell層のSinteringが進めばさらに以後のガス還元を著しく停滞させることになる。

他方ペレット粒径と炉内圧損との関係は、送风量、ore/cokeなど実操業の変動要因のため明確ではないが、小粒化によつて装入分布が変化しなければ当然炉内圧損は上昇すると考えられる。

3.3 ペレットの気孔率と炉内圧損および燃料比との関係

図6, 7にペレットの気孔率と炉内圧損および燃料比との関係を示した。

ペレット気孔率の上昇によつて炉内圧損は増大し、燃料比は低下する傾向が認められる。これらの関係は図1, 2のペレット気孔率と荷重還元試験結果との関係および図3, 4の収縮率と炉内圧損、最終還元率と燃料比との関係などの対比から容易に推定されよう。

すなわちペレットの気孔率と炉内圧損、燃料比との関係は、荷重還元試験の場合のそれらと良く対応している。

このように実験の複雑な荷重還元試験のかわりに、測定の簡便な気孔率を選び高炉操業との関係を検討した結果、気孔率と炉内圧損、燃料比との間に密接な関係のあることが判明したので、現場管理的には気孔率の測定が荷重還元試験の簡便法として十分適用することができると解釈できよう。

しかし以下に述べるように、この気孔率と高炉操業との関係は、炉況の安定時、特にガス分布がフラットで通気性が良好な場合に認められることで、炉況不安定時はこれらの関係は明確でない。

その他ペレットの気孔率とCOガス利用率およびソリユーションロスとの関係も検討した。

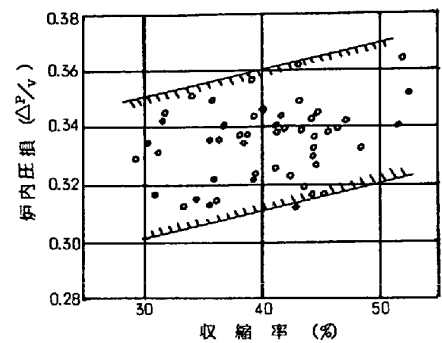


図3 収縮率と炉内圧損との関係

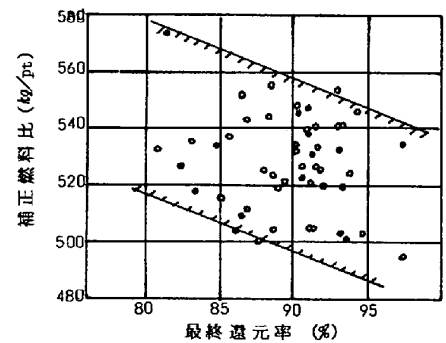


図4 最終還元率と燃料比との関係

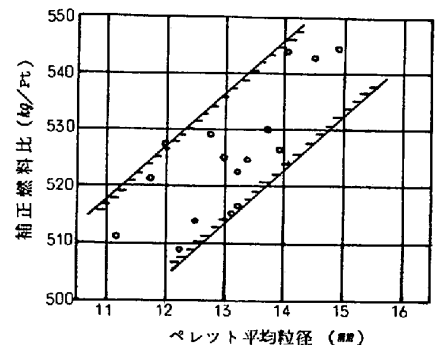


図5 ペレット平均粒径と燃料比との関係

4. 考 察

以上ペレット性状と高炉操業との関係について述べたが、実際にはこれらはきわめて複雑な関係を有する。

前述のようにペレットの気孔率と高炉操業との関係では、炉況安定時でかつ炉内ガス流が均一な場合には明確であるが、炉況不安定時、特にガス利用率が悪い場合には上記の関係は認められない。

ガス分布が中心もしくは周辺流気味の操業では、ペレットは急激に高温で還元されるので、ペレットの気孔率の大小に関係なく外周にMetallic Shellが形成され、内部にFeOを主体とする未反応部が残るにもかかわらず、Metallic Shellによつて以後のガス還元を著しく停滞させる傾向を示す。²⁾

その結果、未反応部の増大が固体炭素による直接還元量の増大をまねくものと考えられる。

この現象はペレット粒径の大小にかかわらず起るものであるが、ペレット粒径の大小によつて未反応部の残留量が著しく異なり未反応部の増大とともに、固体炭素による直接還元量を増大する結果となる。

以上のことから炉況が安定し、かつ通気性が良好な条件にて、ペレットの気孔率をある程度高くすることは燃料比の低減に効果があると解釈できよう。

なお上述のペレット性状と高炉操業との関係は、結果として得られた単相関関係を示すもので、今後これらについて重相関などによる検討も当然必要であろう。

ところでペレット熱間性状として荷重還元試験やJIS還元試験の重要性は言うまでもないが、炉況不安定なガス吹抜け時にあらわれるMetallic Shellの形成、還元の停滞は特に1100℃以上の高温域で顕著となることを考慮するとペレットの高温還元挙動を把握する試験方法が必要である。

図8は実験室でペレットおよび焼結鉱をいつたんFeOまで還元した試料を使つて、同一還元条件下1100、1200、1250℃で還元した結果を示す。³⁾

ペレットおよび焼結鉱とも高温になるほど還元進行状況は停滞する。特に1250℃において焼結鉱はなお徐々に還元は進行しているが、ペレットはその停滞が著しい。この理由はペレット外周に主成するMetallic Shellによる粒子内ガス拡散抵抗が増大したためである。

つぎに両者の還元曲線をもとに、還元反応過程の境膜内ガス拡散、生成物層内ガス拡散、化学反応の各抵抗比を還元時間との関係^{4),5)}でプロットした結果を図9に示した。この際焼結鉱は複雑な形状を有するが相当直径を用いる手段を適用した。⁶⁾

同図からペレットの1250℃の場合、生成物層内ガス拡散抵抗の割合が著しく大きいことがわかる。

したがつて、1250℃前後で還元停滞する現象を考慮すると、この温度域ですでに理想的な間接還元率に到達していること、換言すると未反応部が多量残留しないことが必要で、ガス流の片よりによる急速還元を避けねばならないことが理解できよう。

逆に1250℃の温度域で、多量の未反応部が残存する場合、還元停滞現象を極力防止する対策が必要で徐々にでもガス還元を促進せねばならない。

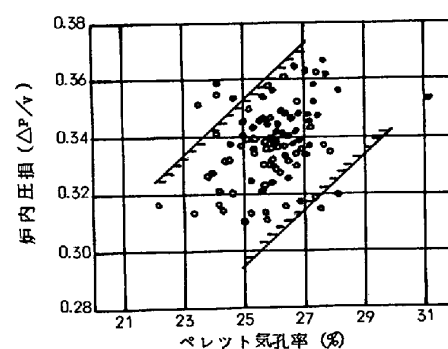


図 6 ペレット気孔率と炉内圧損との関係

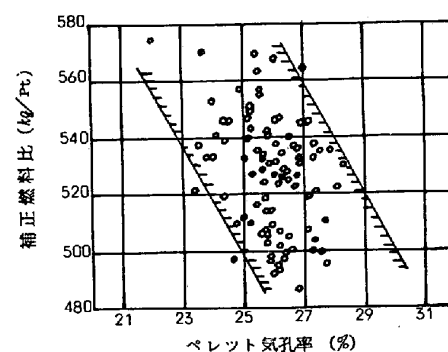


図 7 ペレット気孔率と燃料比との関係

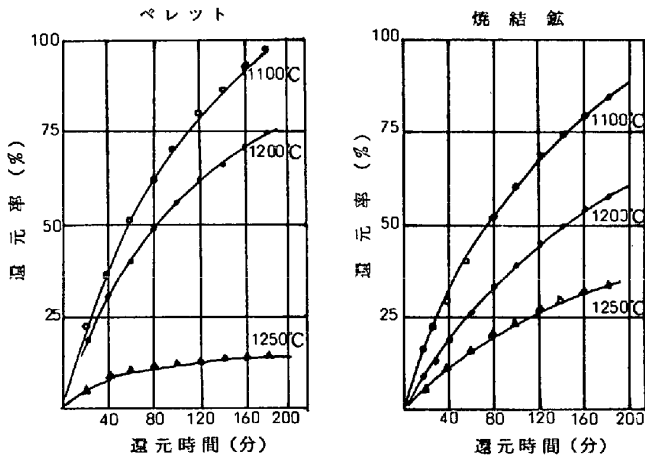


図 8 ペレットおよび焼結鉄の還元曲線

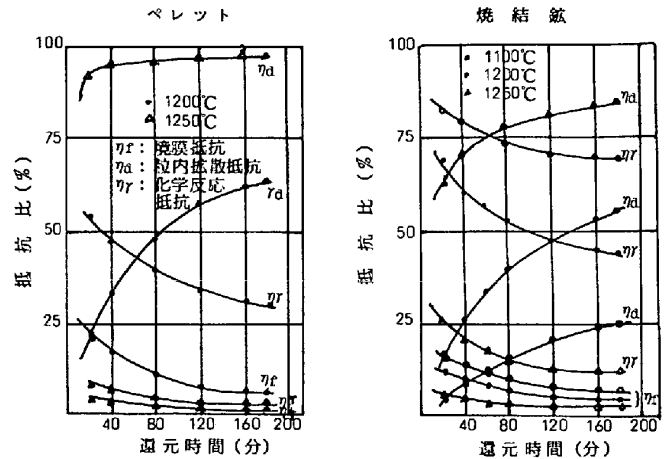


図 9 ペレットおよび焼結鉄の抵抗比曲線

これにはMetallic ShellのSintering防止対策、ペレット脈石量、組成の改善などが考えられるが、いずれにせよ本質的な意味でペレット高温性状の向上をはかることが今後の課題であろう。

またこゝでは論じなかつたが、ペレットのSwellingの問題、7)、8)高温溶解域のペレット性状、9)、10)なども高炉操業にきわめて重要であることをつけ加えたい。

5. 結 言

以上加古川第1高炉の操業データをもとにペレット性状と高炉操業との関係について検討した。

- 1) 熱間性状として荷重還元試験との対応では、ペレットの最終還元率の高いほど燃料比の低下を、収縮率の大きいほど炉内圧損の上昇を示す傾向がある。
- 2) ペレット平均粒径の小粒化、気孔率の上昇によつて、燃料比は低下する傾向にあるが、炉内圧損は増加する。
- 3) 従来ペレット性状と高炉操業との関係を荷重還元試験で判定していたが、実験が複雑なため種々の検討をした結果、現場管理的には簡便な気孔率の測定で代用でき、実験数も増せるので管理し易いことが判明した。
- 4) ペレット多配合の高炉操業では高温還元性状が特に重要で、ペレット外周に生成するM.Feによる生成物層内ガス拡散抵抗の増大、これに関連するM.FeのSintering挙動、M.Fe層中のスラグ挙動などを十分考慮し、ペレットの本質的な品質の向上をはからねばならない。
- 5) もちろん高炉操業としてはガス流を均一化させ、急速還元にならぬよう留意すべきである。

参 考 文 献

- 1) 藤井、田村、田口、困井、西田：鉄と鋼、54(1968), 1241
- 2) 前川、葛谷、金山、田村、上仲：鉄と鋼、第82回(1971)講演概要集S344
- 3) 西田、北村、金山、前川：鉄鋼協会第85回講演大会に発表予定
- 4) T.Yagi and Y.Ono：Trans. Iron Steel, Ins. Japan. 8(1968), 377
- 5) 高橋、八木、大森：鉄と鋼、57(1971), 1957
- 6) 嶋村、大森、照井、三本木：鉄と鋼、第80回(1970)講演概要集S335
- 7) 渡辺、吉永：鉄と鋼、52(1966), 1355
- 8) H. Ende：Stahl und Eisen 92(1972), 303
- 9) S.Kondq M.Sugata and T.Sugiyama：Internal Conference. Sci. Technol. Iron Steel.(1970) preprint.17.
- 10) K. D.Haverkamp：Arch. Eisenh. Littenw. 39(1968), 319