

討 2

高炉内容物調査にもとづく焼結鉱品質の評価

神戸製鋼所 鉄鋼技術センター ○杉山 健 稲葉晋一

神戸製鉄所 門口維人 木口淳平 明田 莞
生産技術部 星野剛一

1. 緒 言

高炉を安定に操業するためには、高炉内の鉄鉱石類の実態を正確に把握してその品質と使用法を改善することが重要であり、近年、各種の方法で高炉内の調査が行なわれている。¹⁾

神戸製鉄所においても休風時にシャフト中部²⁾とベリー部から内容物を採取し、鉄鉱石類の還元反応と粒径変化を主体に調査している。さらに、炉内サンプリングでは軟化融着部の鉄鉱石類の実態とその品質変化による影響が明確にならないため、荷重還元試験も平行して行なっている。

ここでは、高炉内の焼結鉱粒径と高炉操業におよぼす低温還元粉化指数(RDI)および軟化溶解性状の影響について検討した。

2. 高炉内容物の調査方法

神戸3高炉には、休風時に高炉内容物を採取するためのサンプラーが高さ方向3ヶ所に設置されている(Fig. 1)。シャフト中部の上段(H)と下段(M)のサンプラーは油圧駆動式であり、炉の中心部まで内容物を自動採取できる。ベリー部(L)のサンプラーは2重管をエアーハンマーで打ち込み、外管をスライドして50cm間隔のポケットへ試料を落下させて採取する方式である。

採取試料のうち+3mm粒は目視観察により装入物の種類別に選別して、粒度分布と化学組成を調査した。−3mm粒は採取試料全体の化学組成と装入時の鉄鉱石類の配合率より物質バランスによって、各装入物の存在割合を推定した。

3. 採取調査結果

焼結鉱(RDI=37.4%)、輸入ペレット、塊鉱石をそれぞれ89, 4, 7%配合した時の−3mm粒子割合(以後粉率)をFig. 2に示す。Hレベルにおける粉率は炉壁部で55%と高く、中心に向かって約20~30%まで低下する。Mレベルでは採取物中にコークスが50wt%以上存在した採取位置を除くと、43~60%の粉率になる。さらにLレベルに降下すると、炉壁から1mの領域の粉率は低いがこれより内部ではMレベルとほぼ同様の粉率である。

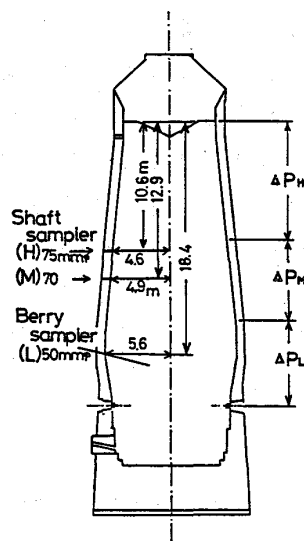


Fig. 1 Location to sample the contents and measure the pressure difference

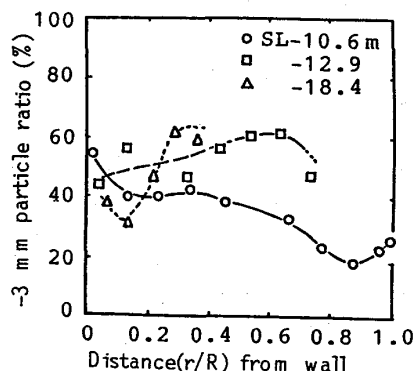


Fig. 2 Distribution of -3mm particle ratio at radius direction

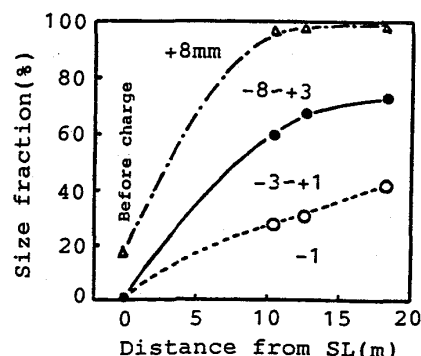


Fig. 3 Size fraction of the sinter at each height of 1.2 m apart from the wall

炉壁から 1.2m 内部の位置で測定した焼結鉱の粒度分布を Fig. 3 に示す。焼結鉱の大粒子は装入部から H レベルまで降下する過程でほとんど細粒化して $+8\text{ mm}$ 粒は数%まで減少しているが、 -3 mm 粒はまだ粉化途中であり、降下とともに粉率を増大し L レベルでは約 70% になる。

$+3\text{ mm}$ 焼結鉱の還元率分布を Fig. 4 に示す。H と M レベルの還元率はほぼ同じで、炉壁部では 7%，中間部で 20～25%，中心部で 40% になっている。L レベルの還元率は炉壁部から中間部にかけて 25% から 38% へと増大し、M レベルの還元率より約 20% 高くなっている。

この様に還元率が高炉下部まで低いままである理由は次のように推察される。垂直水平ゾンデによる炉内温度分布の測定より、H から M レベルの温度は $600\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，L レベルで $900\sim 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ と推定される。また、ガスサンプラーによる測定結果⁴⁾ (Fig. 5) より、これらの温度域ではウスタイトまでの還元に着めるおよび金属鉄の生成速度を遅くする還元ポテンシャルのガス組成になっているためである。

4. 焼結鉱の還元粉化挙動

これらサンプリング結果から炉壁近傍の粉率が大きく変化することが判明したため、炉壁 (1 P) と 50cm 内部 (2 P) の粉率の経時変化を調査した (Fig. 6)。M レベルの粉率と焼結鉱の RDI とは良好な相関がある (Fig. 7) が、H レベルの粉率とは明瞭な関係はない。H と M レベルの粉率差が大きな時と小さな時の炉内温度分布は Fig. 8 のように、A と B の 2 タイプに分けられる。A タイプでは $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ の等温線的位置が B タイプより高く、低温リザーブゾーンの短いことに特徴がある。

そこで、回転還元炉 ($130\phi \times 200\text{ l}$ ，バレル 2 枚) を用いて昇温パターンによる焼結鉱の還元粉化挙動の差異を調査した結果、 $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ に至る還元時間が長いほど粉率が高くなることを確認した。⁵⁾ したがって、A タイプの炉内温度分布期間では H と M レベルでの粉化は進行中であるが、B タイプの期間は H レベルまでの降下中に既に相当粉化が進んでいるためこれ以上に粉化しないと推定される (Fig. 9)。

さらに、L レベルではこれ以上の粉化はなく、粉率は同じもしくは炉壁部での低下が認められる (Fig. 2)。この粉率の低下原因は、炉壁部から採取した焼結鉱は H レベルの焼結鉱に比べて内部クラ

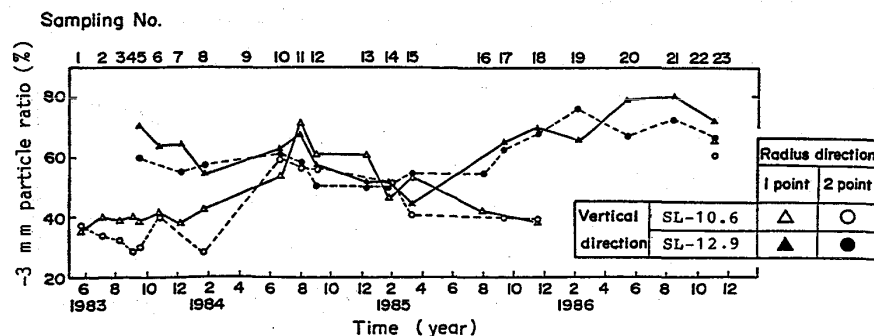


Fig. 6 Transition of -3 mm particle ratio in furnace

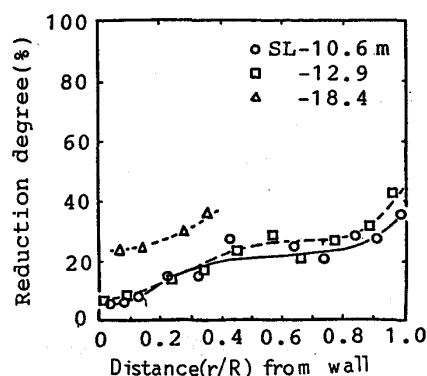


Fig. 4 Distribution of the reduction degree of sinter at radius direction

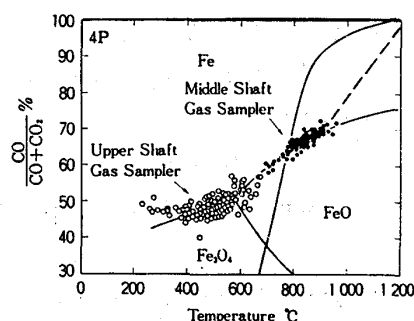


Fig. 5 Measurement results of upper and middle shaft gas sampler

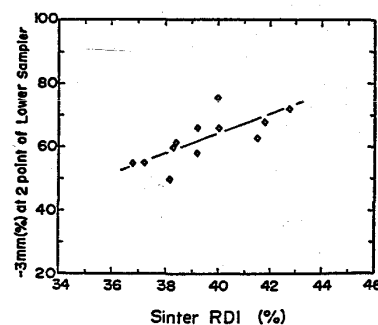


Fig. 7 Relation between sinter RDI and -3 mm particle ratio at 2 point of shaft sampler (M)

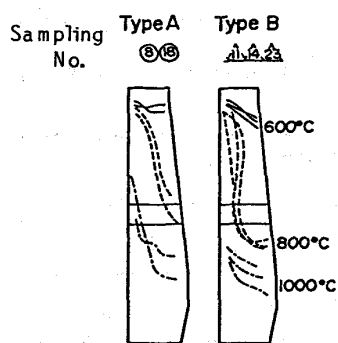


Fig. 8 Classification of furnace temperature profile

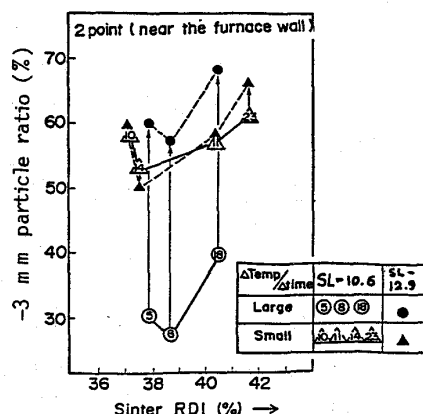


Fig. 9 Effect of sinter RDI on -3 mm particle ratio near the furnace wall

ックが減少していると組織観察 (Photo. 1) から判断され、約1000℃以上で焼結反応が始まったためと推察される。

5. 高温度域の焼結鉱の還元反応

高炉内高温部 (>1100℃) の焼結鉱の挙動を荷重還元試験によって推定した。高炉内の状態を想定して、次の様な前処理をした鉱石類を試料とした。⁶⁾

予備還元条件：昇温 3 hr (650 と 950℃で 1 hr リザーブ)、ガス組成 ($\text{CO}/\text{CO}_2/\text{H}_2/\text{N}_2=28.5/11.5/2.0/58.0$)、還元後にタンブリングして 3 mm で篩分した。+3 mm 粒の平均粒径は焼結鉱が 4.8 mm、塊鉱石が 5.1 mm でありそれぞれの -3 mm 粒を 25 wt% 混合した。

荷重還元条件：荷重 1 kg/cm²、試料 650 g、一定圧損制御、ガス組成は Fig. 5 の温度に対応した CO/CO_2 比とし H_2 と N_2 はそれぞれ 4%、51% 一定である。昇温速度は 950℃で 1 hr 保持した後、6℃/min とした。

試験の結果は Fig. 10 のように、焼結鉱は塊鉱石に比べて小さな収縮率と高い還元率を示し、圧損上昇開始温度も高い。この差は、還元途中の試料層断面の観察 (Photo. 2) から焼結鉱は粉が共存しても金属鉄殻の形成がなく、充填層の中心部へガスが流入し易いためと推察される。したがって、焼結鉱は粉が共存しても比較的通気抵抗への悪影響が小さいと判断される。

高炉の通気性を改善するには、焼結鉱の軟化熔融性状の改善が重要と推測されるので、これらの性状に対する化学組成の影響を荷重還元試験 (上記と異なる条件) で調べた (Table. 1)。

高温還元時に生成する熔融スラグ量に大きく影響する ($\text{CaO}+\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$) 量を 16.4 ± 0.2 wt% とし、複

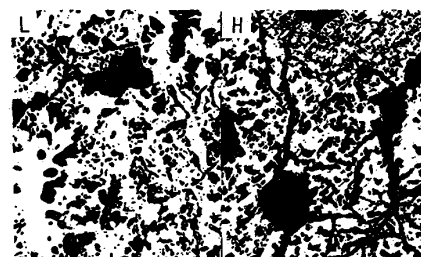


Photo. 1 Micro structures of the sinter sampled at H and L level

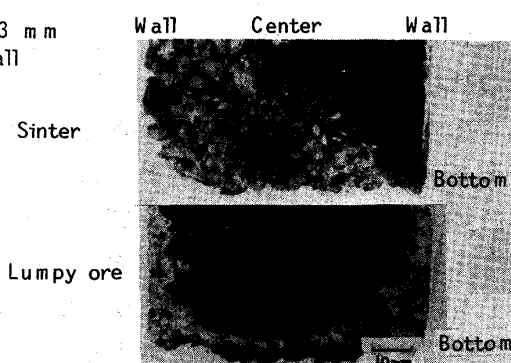


Photo. 2 Macro structures of sinter and lumpy ore bed reduced at 1150℃ by RUL

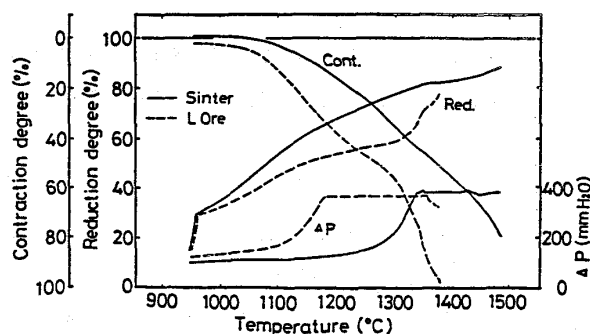


Fig. 10 Test results of the sinter and the lumpy ore by reduction test under load

Table 1 High temperature properties of sinter (Pot Sinter)

	Base	Step1	Step 2	Step 3	
SiO ₂ (%)	5.60	5.31	5.13	4.90	
(CaO+MgO)/(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) (-)	1.26	1.38	1.48	1.68	
CaO+SiO ₂ +Al ₂ O ₃ (%)	16.50	16.20	16.56	16.45	
Temperature at pressure drop of 100mmAq. (°C)	1230	1250	1257	1265	
Pressure drop at 1300°C (mmAq.)	500	270	220	160	
Degree of contraction at 1300°C (%)	52.9	50.4	48.0	49.0	
Temperature at beginning of softening (°C)	1135	1145	1160	1155	
Other Properties	SI (%)	86.0	87.4	86.9	86.9
	RDI (%)	33.1	42.1	50.0	46.2
	JIS-R1 (%)	67.8	69.1	72.0	67.9

合塩基度〔 $(\text{CaO}+\text{MgO}/\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$ 〕を高めると、100mmAq 圧損温度が高温側に移行するが、滴下温度の変化が小さいため、融着帯温度幅が小さくなって高炉の圧損低下に寄与すると考えられる。塩基度の上昇に伴ってRDIも上昇するが、荷重還元試験結果よりこの影響は小さいと推定して高炉に使用する焼結鉱の塩基度を上昇した。

6. 高RDI焼結鉱の高炉使用

焼結鉱性状と高炉操業結果をFig.11に示す。焼結鉱の脈石成分量の低下によってRDIが上昇しているが、風圧変動(σ_{BF})は低いレベルで推移しており、又、塩基度の上昇でさらにRDIが上昇しているが、高炉下部の通気抵抗指数(K_L)はむしろ低下している。

塩基度の上昇が高炉の通気にどの様に影響しているか、高炉の高さレベル別の通気抵抗指数によって調べた(Fig.12)。塩基度が上昇すると、シャフト上部の通気抵抗指数(K_H)は一定のままであるが、シャフト下部の指数(K_L)はわずかに上昇する。一方、高炉下部の通気が著しく改善されているため、全体の通気抵抗指数(K)も大きく低下している。

この結果、焼結鉱のRDIが上昇しても高炉の通気を大きく阻害せず、軟化熔融性状の改善効果の大きいことがわかった。

以上の知見より、最初から小粒焼結鉱を使用しても問題はないと判断して、焼結鉱の篩目を4.5mmから順次縮小し、'86年11月に3.5mmとした。

7. 結 言

高炉内の-3mm粒子量は焼結鉱のRDIよりむしろ炉内の温度分布パターンに大きく依存している。

焼結鉱のRDIを45%まで高くしても、軟化熔融性状を改善することによって高炉の通気性を良好に維持でき、安定操業も可能である。

今後は劣性鉱石類の性状改善法と使用限界を明瞭にして、安価な鉱石類の多量使用技術を開発することが重要である。

参考文献

- 1) 例ば, 九島, 内藤, 有野, 佐藤, 金森: 鉄と鋼, 69 (1983) A1
- 2) 山口, 森, 金山, 前川, 吉田, 上原: 鉄と鋼, 70 (1984) S96
- 3) 菅原, 稲垣, 野宮, 持田: 鉄と鋼, 67 (1981) S52
- 4) 笹原, 杉山, 堀, 八谷: 鉄と鋼, 70 (1984) S53
- 5) 岡本, 内藤, 斧, 林, 井上: 鉄と鋼, 72 (1986) 1529
- 6) 金森, 森下, 内田, 西尾, 土井, 宮辺, 藤原: 鉄と鋼, 68 (1982) S784

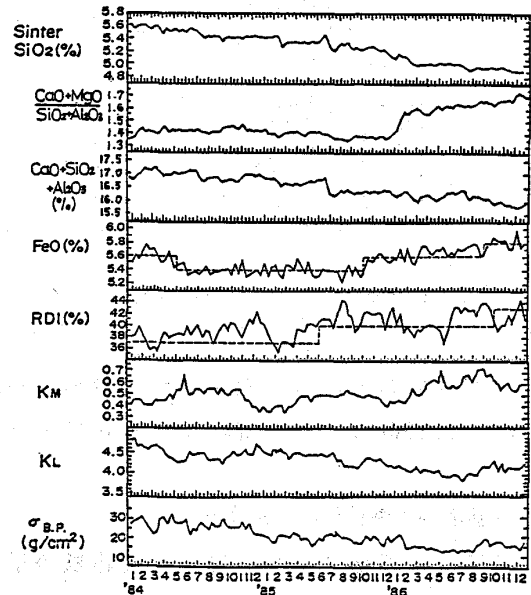


Fig. 11 Change of the sinter properties and the BF operation results

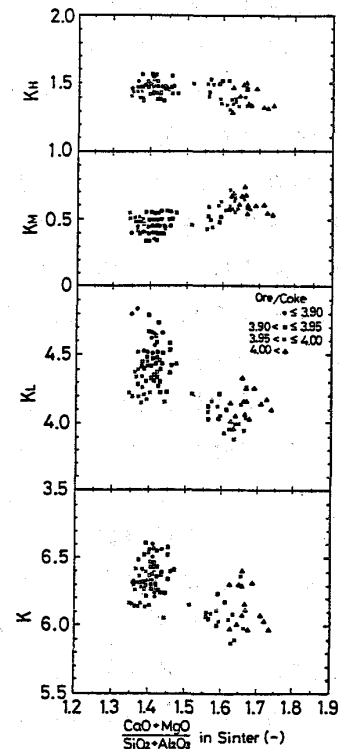


Fig. 12 Relation between the basicity of sinter and the pressure resistance of the BF