

討 2

焼結鉱に要求される性状とその製造技術

日本鋼管(株) 京浜製鉄所 谷中秀臣 黒沢信一
 福山製鉄所 大関彰一郎 古川和博
 福山研究所 ○山岡洋次郎 長野誠規

1. 緒言

代表的な高炉装入物である焼結鉱の性状については、従来より厳しい管理がなされ、高炉燃料比の低減に大きく貢献してきた。しかしながら、高炉装入物として最適な焼結鉱とはどのようなものかと言う点についてはまだ不明な点が多く、今後の重要課題として残されている。このような観点から、本稿では、焼結鉱に要求される性状およびそれを実現するための製造技術について、当社の考え方と実績を述べ、討論の資料としたい。

2. 焼結鉱に要求される性状

2.1 常温強度

常温強度(TI, SI)については、当社では、 $TI > 65$, $SI > 90$ で管理しているが、庫下篩による整粒強化(5~50mm)の効果とあいまって、高炉操業上の問題はほとんどない。

2.2 被還元性

図1に福山第3高炉の操業線図を示すが、この例に見られる様に、TR(熱保存帯温度)=1000℃基準のシャフト効率(R)は、当社の全高炉について、95~97%に達している。したがって、JIS還元率(RI:シャフト部における被還元性を示す)を現在の管理値($RI > 65$)よりも更に高くしたとしてもTRが1000℃付近にある限り、高炉燃料比の低減に対してはそれほど多くは望めない($R = 100\%$ で10~15kg/T-Pの低減)。一方、TR=700℃付近(点P, W, Mが一直線上に並ぶ時の熱保存帯温度で、理論限界燃料比を与える。ただし、点Pの位置により変化する)基準で考えると、 $R = 80 \sim 85\%$ となり、RIの改善の余地はまだ相当残されていると言える。しかし、TRを1000℃付近から700℃付近にまで低下させるためにはRIの改善だけでは極めて困難であり、同時に、反応後強度を維持した上でのコークスの反応性の改善が必要となる。

被還元性については、このようなシャフト効率と関係するRIの他に、後述する軟化熔融特性と関係する高温被還元性も考慮する必要がある。すなわち、図2に示すように、1000~1200℃における到達還元率の上昇により、軟化熔融特性を相当改善することができ、この事は、試料固有の高温被還元性の改善が、高炉操業条件のそ

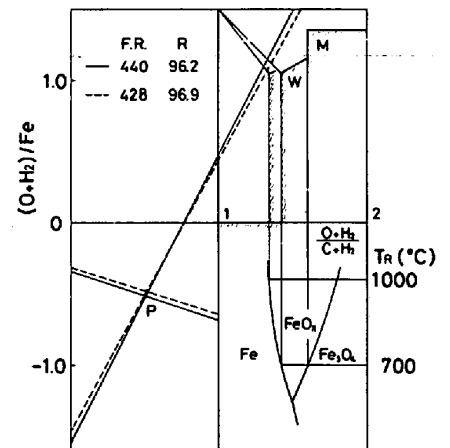


図1 福山第3高炉の操業線図(ただし、Fe-FeOx-Fe₂O₃平衡曲線はH₂の影響も考慮してCO-CO₂系を模式的に表示 FR:燃料比(kg/t-p), R:シャフト効率%)

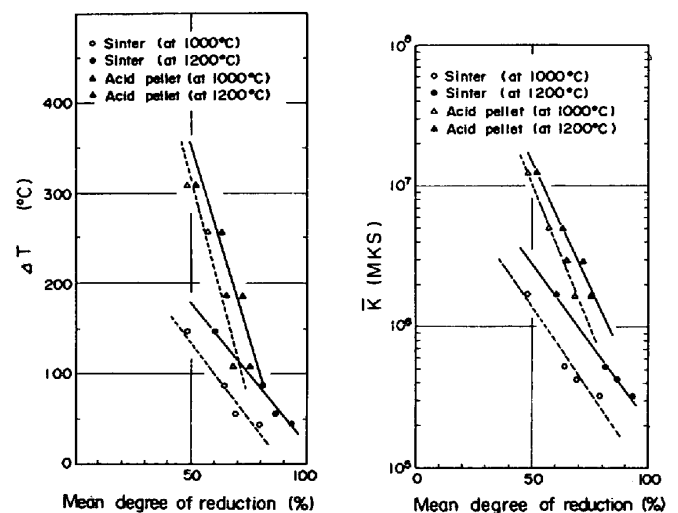


図2 1000~1200℃における到達還元率と軟化熔融特性との関係

れと同様に重要であることを示唆している。

2.3 耐還元粉化性

還元粉化指数 (RDI) とスリップ頻度から考えて、安定炉況化では、RDI < 42程度で十分と思われるが、この管理限界値は、炉況に応じてある程度弾力的に考えるべきものであろう。また、RDI は、通常の焼結条件下では、RI と正相関を示すことが多く、特に、焼結鉱中 Fe²⁺ の増加による RDI の改善は、RI の悪化だけでなく、軟化溶融特性の悪化 (軟化開始温度の低下および軟化開始から溶融滴下までの温度巾の拡大) を招く。したがって、RDI については、RI との同時改善が最も望ましいが、当面は、RDI を炉況に応じた管理限界値に抑えておいて、RI を最大限に高める方法がより現実的と考えられる。

2.4 高温性状

既に若干触れたが、各社の高炉解体調査結果から判断すると、装人物に要求される高温性状としては、
 i) 軟化開始温度が高く、かつ、軟化開始から溶融滴下までの温度巾が小さいこと、
 ii) 上記の温度域における通気性が良好なこと、
 iii) 1000~1200℃での到達還元率が高い (高温被還元性が良い) こと、
 などが考えられる。表 1 に代表的な焼結鉱、酸性および塩基性ペレットの荷重還元試験結果を示すが、上述の基準に照らしたこれらの結果の評価と高炉での使用実績は良く一致している。

表 1 荷重還元試験結果

Sample	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	ΣK	\bar{R}	\bar{R} (%) at 1000°C or 1200°C	
Acid pellet	1217	1491	274	3.2 × 10 ⁸	6.5 × 10 ⁵	69	78
Self-fluxing pellet	1348	1462	114	0.67 × 10 ⁸	1.5 × 10 ⁵	75	86
Sinter	1306	1491	185	2.2 × 10 ⁸	4.6 × 10 ⁵	84	94

T₁ : temp. at pressure drop of 100 mmHzO

T₂ : temp. at beginning of melt-down

\bar{R} : mean degree of reduction

$\Delta T = T_2 - T_1$, $\Sigma K = \int_{1000}^{T_2} K dT$, $\bar{R} = \Sigma K / \Delta T$

焼結鉱について、これらの項目を満足させるためには、i) SiO₂ 量を低くして、塩基度を高くする (SiO₂ 量にも依存するが、上限 CaO/SiO₂ = 18~20 前後)、ii) SiO₂ 量および塩基度に見合った適正 MgO 量の添加、などが有効と考えられる。

3. 焼結操業技術上の対応策

上述の如く、焼結鉱の性状としては、被還元性、耐還元粉化性および高温性状が重要であり、かつ、それらは相互に密接な関係を持っている。しかし、現在のところ、要求される各性状の目標値が必ずしも明瞭でないため、それらの最適総合管理の実施に困難が伴っているのが実状である。このような理由から、まだ十分な体系化はなされていないが、当社が行ってきた調査およびこれに基づく具体策について以下に説明する。

3.1. 基本操業方針

図 3 に実焼結機の層高方向の RI, RDI 等の分布を示すが、これらの変化は、層高方向の組成 (主に CaO, すなわち塩基度)、温度および (擬似) 粒度の各分布に起因している。これらの結果は、鍋試験による要因分析および焼結反応機構の調査結果とよく一致し、これらを総合して、前述の必要性状を得るための基本方針として、現在、図 4 に示す方式を設定している。

3.2. 適正造粒

造粒の程度により、擬似粒子の粒度、強度、コークスの賦存状態、更には層高方向の成分および粒度偏析が異なり、焼結鉱性状を左右することになるため、当然、その適正管理が必要となる。図 5 に造粒時間による焼結特性の変化 (鍋試験) を示すが、これより、焼結特性が総合的に良好となる適正造粒時間が存在する

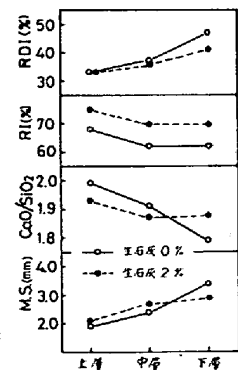


図 3 層高方向における性状変化

ことがわかる。これらの結果は、擬似粒子の調和平均粒度，着粉率および強度によって、かなり定量的に説明することができる。³⁾

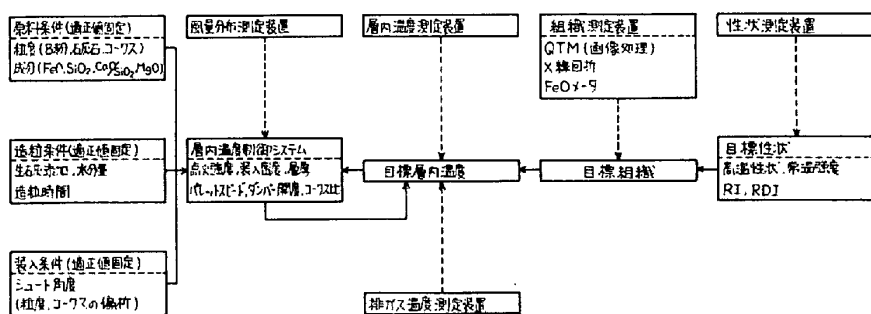


図4 焼結操業基本方針

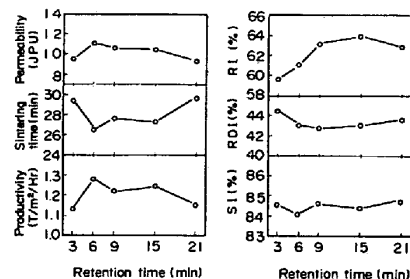


図5 造粒時間と焼結特性の関係

3.3 生石灰の添加

原料粒子間の焼結は、まず、酸化鉄とCaOの反応によりCa-ferrite系融液が生成し、次に、この融液とSiO₂、残存酸化鉄とが反応することによって進行すると考えられているが、筆者らの調査によってもこの点を確認された。したがって、CaOの細粒化および均一分散化は焼結反応を促進させるための基本条件と考えられ、生石灰の添加とそれに伴う造粒条件と層厚の適正化はこの条件を満足させる具体的手段となる。

図6に生石灰添加の有無による焼結層内温度の変化(実機)を示すがこれと図3の結果とを併せれば、生石灰の添加により、層高方向の組成、温度および性状の変化巾が小さくなっていることがわかる。

また、この効果は、原料粒度が細かい場合により顕著になることも確認している。なお、生石灰の効果は、その活性度および添加水の温度によっても左右され、現在、それらの管理も行なっている。

3.4 SiO₂量の低減

図7に示すSiO₂量の異なる焼結鉱の荷重還元試験結果から、SiO₂量の低減により高温性状が改善されることがわかる。従来の焼結操業では、SiO₂量の低下は、一般に、RIの上昇と、RDI、強度および生産率の悪化を招くが、後者の問題については、前述の生石灰添加、適正造粒および後述の焼結層内温度パターンの制御により、5% SiO₂程度までは十分対処し得ると考えられる。更に、塩基度およびMgO量との適正組合せをはかれば、低SiO₂、低RDI、高RIおよび良高温性状を有する焼結鉱の製造が可能であり、これに伴う高炉の低スラグ比操業は燃料比および鉄中Siの低減につながるようになる。

3.5 焼結層内温度パターンの制御

図8にその一例を示すように、原料条件が一定の場合、焼結鉱性状は焼結層内温度パターンによって決定されるため、目標性状およびこれを与える目標組織に応じて温度パターンを制御する必要がある。この一助として、当社では現在、機長方向の排ガス温度パターンの管理を実施しており、焼結層内温度

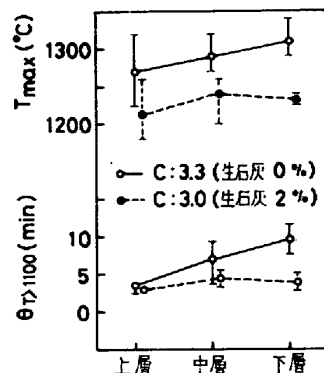


図6 焼結層内温度の変化

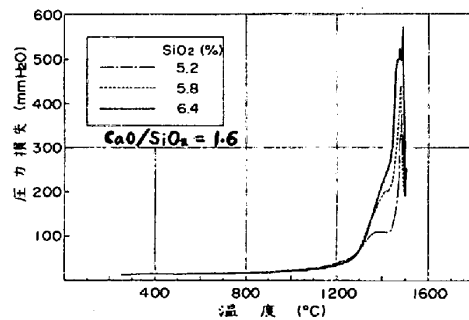


図7 SiO₂量の異なる焼結鉱の荷重還元試験結果

の連続オンライン測定については検討段階にある。図9は前者とRDIとの関係を示したものであり、かなりの精度でRDIを制御できる。なお、目標パターンからのずれは、装入条件、点火強度、ダンパー開度などの変更により修正している。

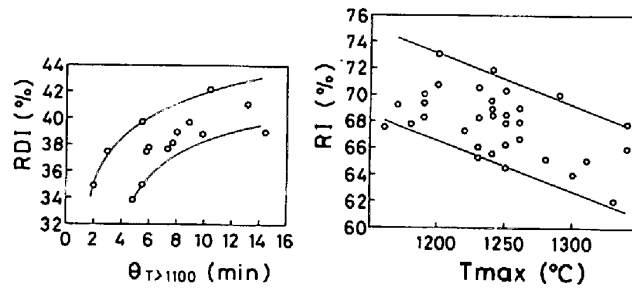


図8 焼結層内温度パターンと性状との関係

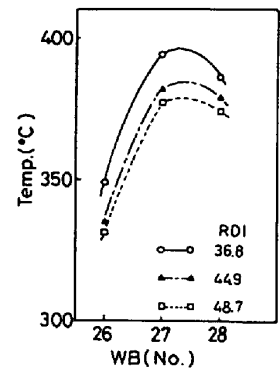


図9 排ガス温度パターンとRDIとの関係

3.6 焼結鉱組織の迅速定量

前述の目標と、それに必要な焼結層内温度パターンとをより正確に関係づけるためには、図4に示したように、両者の間に目標焼結鉱組織を組み込む必要があるが、この点については、まだ不明な部分が多い。このため焼結反応機構およびその反応速度について解析を行なっているが、同時に、実機適用化をはかるため、焼結鉱組織の迅速定量法についても検討している。図10に、一例として、RDIの実測値と、X線回折による組織定量（内部標準法、ステップスキニングによるガウス関数近似により処理、試料採取から測定結果表示までの所要時間は約1.5時間）から推定した値との関係を示す。RIについても、これに更に気孔率を組み込むことにより、かなりの精度で推定できる。

また、同様の関係は、画像処理による組織定量からも得られておりその実用度は極めて高い。

$$RDI(+5mm\%) = 33.618 \left(\frac{I_{Fe_3O_4}}{I_{NaF}} \right) + 116.22 \left(\frac{I_{Ca-F}}{I_{NaF}} \right) - 21.24512$$

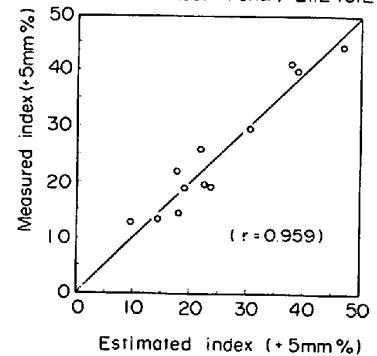


図10 組織定量（X線回折）によるRDIの推定

4 結言

高炉装入物として焼結鉱に要求される性状およびその製造技術について、当社の考え方と実績の一端を示し、常温強度、被還元性、耐還元粉化性および高温性状の優れた低SiO₂焼結鉱の製造を当面の目標にすることを述べたが、これを実現するためにも、今後、以下の調査、研究が是非とも必要となる。

- 1) 要求される性状の明確化およびその重みづけ。すなわち、それらの管理値の明確化。
- 2) 焼結反応の定量化およびこれに伴う性状—組織—焼結層内温度パターンの定量化。
- 3) 焼結層内温度パターンを制御し、目標値にあわせる手段の体系化。すなわち、焼結層内温度制御モデルの確立と、制御に必要な各種センサーの設置。

参考文献

- 1) R. NICOLLE et al. : Blast Furnace Conference, Arles, France(1980)
- 2) 山岡, 堀田, 梶川: 鉄と鋼, 66(1980), P1350
- 3) 山岡, 長野, 大関, 古川: 鉄と鋼, 66(1980), S674
- 4) 松野: 鉄と鋼, 64(1978), P1499