

### 討 3 高 品 質 焼 結 鉱 の 製 造

日本鋼管(株) 福山製鉄所 梶川脩二○塩原勝明 堤一夫  
福山研究所 山岡洋次郎

#### 1. 緒言

高炉主原料の大半を占める焼結鉱は、従来からの厳しい性状管理により、高炉炉況の安定化、及び燃料比の低減に大きく貢献してきた。なかでも、冷間強度、粒度の管理強化は、RDI値の抑制と相まって高炉内の通気性を確保する上で、不可欠の要素である。

然しながら近年、各社の高炉解体調査を契機として、炉内における装入物の挙動が注目され、さらにその後の高炉内をシミュレートした荷重軟化試験の導入、焼結反応過程の解析および鉱物組織の研究等から、最近では被還元性および高温性状の優れた焼結鉱の製造が求められるに至ってきた。

これらの背景をふまえ、当社では「高炉装入物として具備すべき焼結鉱の性状」及び「その最適管理値」について、基礎的研究、鋸試験等に加え、実機ベースでの総合調査を進めているが、本稿ではこの調査から得られた2, 3の知見を報告し、討論の資料としたい。

#### 2. 焼結鉱性状と高炉炉況

##### 2. 1. 高炉通気性への影響

図1に、福山第5焼結と第5高炉間の過去2年間にわたるデータの解析より求めた焼結鉱の冷間性状(焼結鉱の調和平均粒径, 強度), RDIと高炉通気性(V/ΔP)との関係を示す。この結果と各性状の変動幅を考え合わせるならば、高炉塊状帯の通気性に対し、RDI値の影響が比較的大きいものと推察される。

一方 当社京浜製鉄所においては、工程管理を目的として実機焼結鉱の荷重軟化性状の測定を行なっている<sup>1)</sup>。その結果の一例を図2に示すが、焼結鉱の滴下開始温度の上昇に伴い高炉通気性が改善される事がわかる。これは、図3に示す

滴下開始温度の上昇に伴う高炉周辺部の溶融帯レベル(TDR法にて測定)の低下による、コークス・スリット数の増加、あるいは溶融帯幅の減少等に基づくと考えられる。

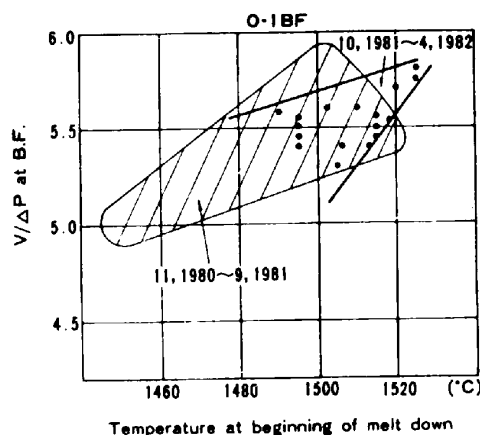


図2. 高炉通気性と焼結鉱滴下開始温度の関係

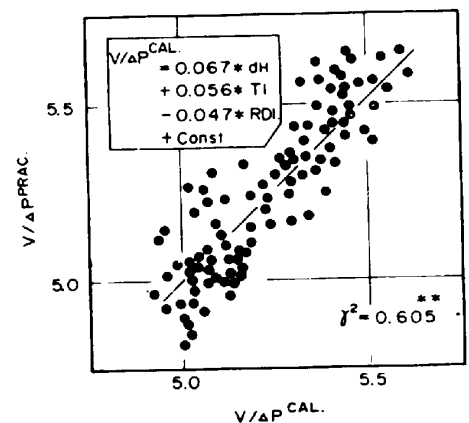


図1. 高炉通気性に及ぼす焼結鉱性状の影響

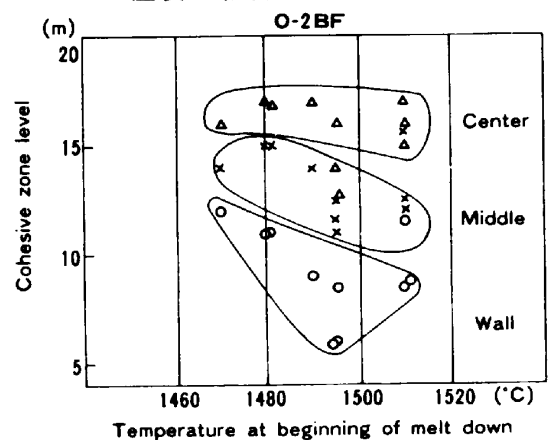


図3. 滴下開始温度と溶融帯レベル

2. 2. 高炉燃料比への影響

焼結鉱の被還元性については、高炉シャフト効率と関係する J I S - R I の他に、軟化熔融特性と関係する高温 ( 1 0 0 0 ~ 1 2 0 0 ° C ) での被還元性をも考慮する必要がある。特に 1 0 0 0 ~ 1 2 0 0 ° C までの到達還元率の上昇は軟化熔融特性を相当改善する事が知られており、また一般に J I S - R I と正相関を示す。( 図 4 )

図 5 に 実機焼結鉱 J I S - R I と高炉燃料比との関係を示すが、この R I 向上による燃料比の低減は、軟化熔融特性の改善による炉況安定化の効果も併せて考慮する必要がある。

2. 3. 溶銑中 S i への影響

荷重軟化試験より測定した実機焼結鉱滴下開始温度と溶銑中 S i ( % ) の関係を図 6 に示す。多少のバラツキはあるものの、滴下開始温度の上昇と共に 溶銑中 S i は低下傾向を示している。これは S i の溶銑への移行が、熔融帯から炉床までの領域にて進むとすれば、図 3 に示したように、滴下開始温度の上昇が熔融帯レベルを低下させた結果と考えられる。

3. 高品質焼結鉱の製造

以上の知見より、焼結鉱に要求される性状は、冷間強度、粒度、R D I をある一定レベルに維持した上で

- 1) 高温域を含む広義の被還元性が良好なこと
  - 2) 軟化熔融特性が優れていること
- の 2 点にまとめられる。

これら各性状は相互に密接な関係にあり、実操業にてすべての性状を同時に改善する事は困難であるが鍋試験による要因分析および、実機試験の解析等より、性状改善の基本的方向として「低スラグ化」、「低熱量化」がある事が明らかとなった。

以下に、低スラグ化、低熱量化、各々の実機適用例を示す。

3. 1. 低スラグ焼結鉱

近年の荷重軟化試験等の研究成果として、焼結鉱中 S i O<sub>2</sub> 量の低減は高温性状の改善に対し、大きな効果をもたらし、さらに気孔率, Ca-Ferrite の増加による被還元性の向上が期待できる事が明らかとなった。この知見をもとに、福山第 3, 4 焼結機において、S i O<sub>2</sub> レベルを約 5.0 % まで低下させた、いわゆる低スラグ焼結鉱を製造した結果、被還元性の向上、高温性状の改善がなされ、本焼結鉱を使用した、福山第 3 高炉では、極めて安定した炉況下で、昭和 56 年 11 月の月間平均燃料比 3 9 6.1 Kg / T を達成した。表 1 に、この間の主な焼結鉱性状を、図 7, 8 に 高温性状測定結果を示すが S i O<sub>2</sub> 量の低

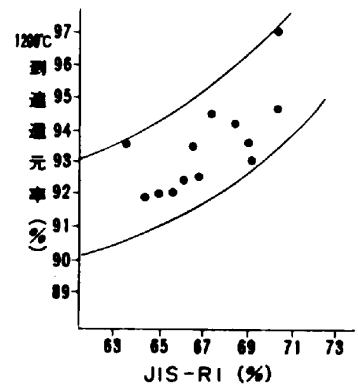


図 4. J I S - R I と到達還元率

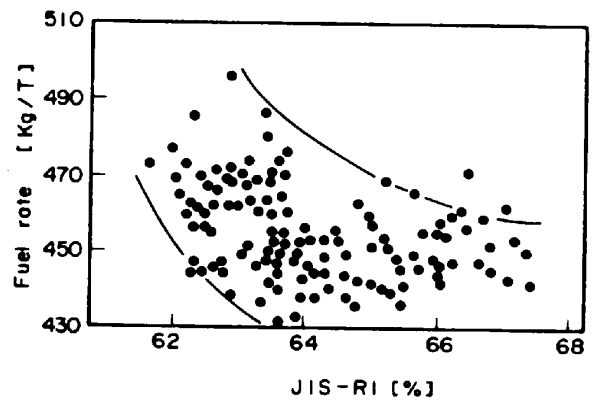


図 5. 高炉燃料比に及ぼす焼結鉱 R I の影響

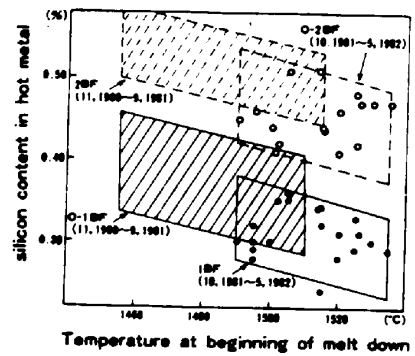


図 6. 溶銑中 S i と滴下開始温度

表 1. 焼結鉱の化学成分，鉱物組成および主な品質の比較

Sample	Chemical component (%)							Mineral component (%)				RI (%)	RDI (%)	Porosity (%)	
	T-Fe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	CaO/SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	C.F.**	Slag**			Open	Total
Nor.SiO <sub>2</sub>	55.6	5.9	5.9	2.1	9.9	1.7	1.67	31.9	18.0	34.0	16.1	62.4	43.6	10.6	17.8
LowSiO <sub>2</sub>	58.5	4.6	5.0	1.8	7.0	1.4	1.40	42.6	14.7	30.2	12.5	69.1	37.8	11.5	26.6

\* C.F. : calcium ferrite (calculated from Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> % and chemical composition, assumed to be totally CaO · 2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)  
 \*\* Slag : 100 - ( Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + C.F. % )

下に伴い、軟化開始温度の上昇、到達還元率の向上が明らかである。

### 3. 2. 低熱量焼結鉱

焼結プロセスにおける熱レベルの低下は溶融率の低下に基づく気孔率の増加、およびFe<sup>2+</sup>の減少による被還元性の向上が期待できる。しかしながら、単純な熱レベルの低下は冷間強度、歩留等の大幅な悪化を招く恐れがあるため、実操業においては何らかの対応策が不可欠となる。これまで当社が実施した鍋試験等の検討をもとに、その対応策として

- 1) 生石灰添加による造粒条件の適正化およびCaO源の細粒化，均一分散化に伴う焼結主反応の促進<sup>3)</sup>
- 2) 機長方向風速分布およびそのレベルの適正化<sup>4)</sup>

が有効であることを確認した。

これをふまえ、福山第5焼結機において昭和57年4月より生石灰添加操業を開始し、さらに7月には、焼結ベッド通過風速の低減を目的とした主排風機1/2基操業を開始した。図9にこの期間の推移を示すが、これら対策の結果焼成エネルギーの約20%の削減が可能となった。さらに、JIS-R1は63%（昭和57年3月平均）から68%（7月平均）と大幅に向上し、一方、冷間強度、歩留の悪化はまったく見られなかった。

図10に、この間のヒートパターン実測例を示すが、低熱量低風速焼成時（7月）の特徴として、

- 1) 層内最高温度の低下
- 2) 高温保持時間の増加
- 3) 燃焼帯降下速度の低下

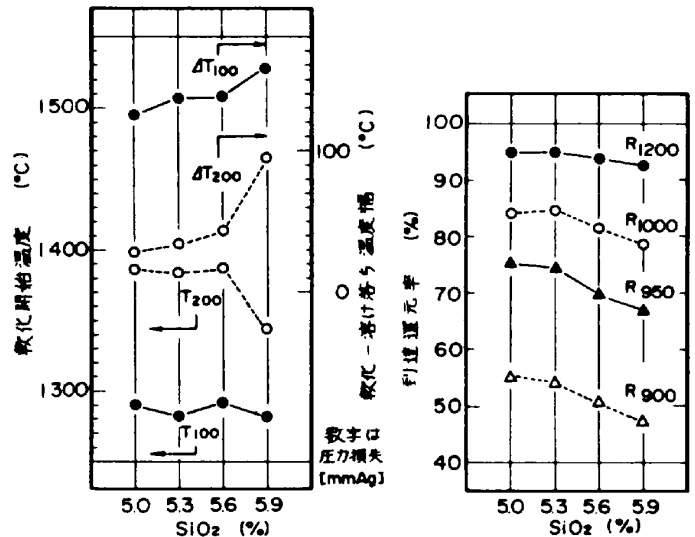


図 7. 軟化開始温度，軟化一とけ落ち温度幅とSiO<sub>2</sub>の関係  
 図 8. 到達還元率とSiO<sub>2</sub>との関係

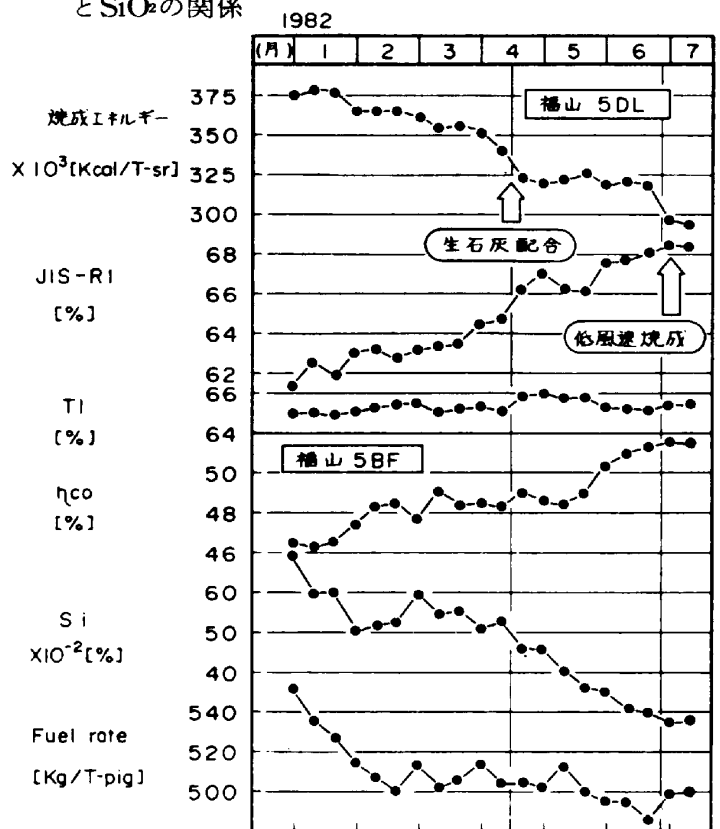


図 9. 福山第5焼結，第5高炉の主な諸元推移

が顕著である。

また、本焼結鉱を使用した福山第5高炉の炉況は極めて順調に推移し、図9に示すごとく、ガス利用率，燃料比，および溶鉄中Siは、共に改善され、高被還元性焼結鉱の効果を確認した。

4. 結言

高炉装入物として、焼結鉱の高温性状、被還元性の改善は大いに有効である。今後、その改善手段としての「低スラグ化」，「低熱量化」を積極的に推進すると共に、以下の調査、研究が必要となる。

- 1) 高炉内焼結鉱挙動の明確化
- 2) 焼結反応の定量化およびこれに伴う層内温度パターン-組織-性状の定量化
- 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、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) 齋藤汎，中尾亜男，谷中秀臣，黒沢信一，野沢光男：鉄と鋼 68 (1982) S 9 0
- 2) 山岡洋次郎，堀田裕久，梶川脩二，古川和博：鉄と鋼 67 (1981) S 4 4
- 3) 山岡洋次郎，長野誠規，梶川脩二，塩原勝明ら：鉄と鋼 67 (1981) S 6 6 3
- 4) 梶川脩二，塩原勝明，大関彰一郎，古川和博ら：鉄と鋼 68 (1982) S 7 2 6

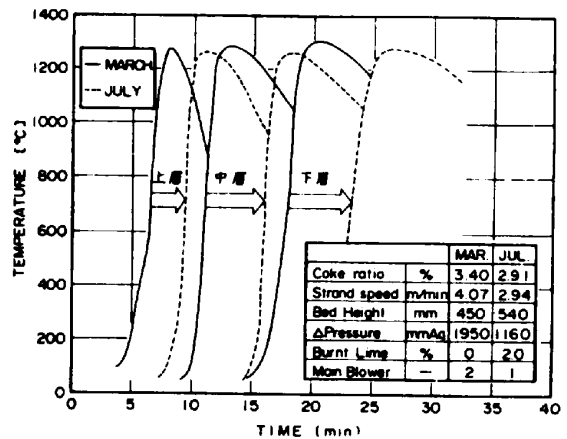


図10. 福山第5焼結における層内ヒートパターンの変化