

NKK福山5焼結における低SiO<sub>2</sub>操業Low SiO<sub>2</sub> Operation in Fukuyama No.5 Sintering Plant

NKK福山製鉄所 佐藤秀明\*・岸本純幸・小松 修  
野田英俊・高井 力

## 1. 緒言

焼結操業には、将来的に、地球環境維持を考慮した高炉での燃料比、スラグ比低減を達成するための低SiO<sub>2</sub>、高RI操業技術の開発及び原料需給動向、コスト低減の観点から高結晶水鉱石の使用拡大技術が望まれている。福山5焼結では、HPSプロセス\*を導入(1988年11月)し、造粒強化による微粉鉱石の多量使用と共に塊成鉱成分中SiO<sub>2</sub>の低減、ゲーサイト鉱石の使用拡大を実現した。

今回、高生産率下でのHPS操業においても成品強度等品質を損なうことなく、SiO<sub>2</sub>=4.5%の低SiO<sub>2</sub>操業が可能であることが明らかとなったので、以下に報告する。

## 2. 目的

Fig. 1に、福山5焼結、HPSプロセスのフローを、また、Fig. 2に、その操業推移を示す。

生産率は、操業開始時の1.45t/m<sup>2</sup>・hから、1990年11月以降の高炉出銑増に伴い1.65t/m<sup>2</sup>・hまで上昇させ、現在では、1.60~1.65t/m<sup>2</sup>・hにて、順調に操業を行っている。

この間、SiO<sub>2</sub>含有量は原料需給の制約もあったが、4.7~4.9%でほぼ安定配合を継続して来た。

そこで、今後のHPSプロセス操業の目標は、

- ① 低SiO<sub>2</sub>・高RI塊成鉱の製造による塊成鉱中Fe分の上昇と高炉での燃料比、スラグ比低減。
- ② 安価な高結晶水鉱石の使用拡大による原料コストのさらなる低減。

が挙げられる。

今回の低SiO<sub>2</sub>操業は、HPSプロセス操業で従来以上の低SiO<sub>2</sub>塊成鉱を製造した場合の操業上の

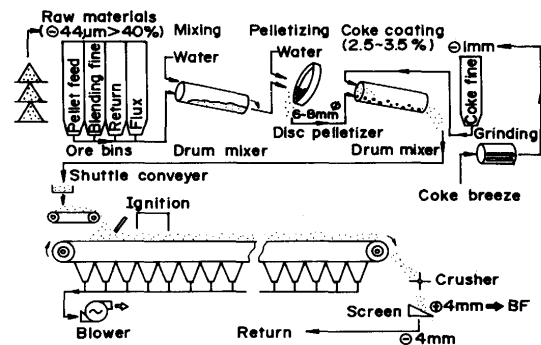


Fig. 1 Production flow of HPS process.

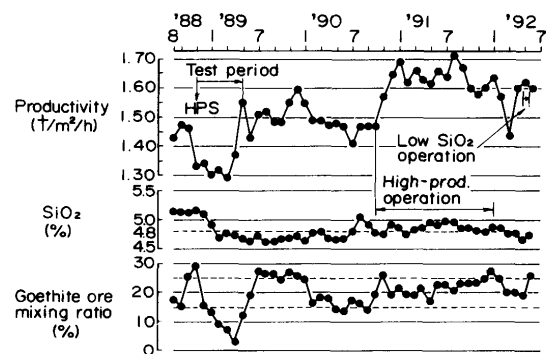


Fig. 2 Trend of HPS operational results.

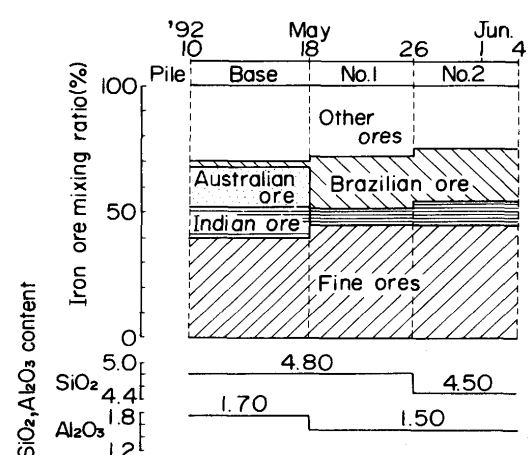


Fig. 3 The schedule of test operation and iron ore mixing ratio.

変化, 品質への影響を調査し、今後の操業改善並びに原料需給への反映などを目的として行った。

### 3. 試験概要と結果

Fig. 3 に、試験操業の原料鉱石配合計画および、製品中の $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ の推定含有量を示す。実施にあたっては、低 $\text{SiO}_2$ 鉱石である南米系鉱石の配合を増やし、 $\text{SiO}_2$ 含有量の高い豪州系鉱石の配合を減らすことにより、HPS中の $\text{SiO}_2$ 含有量を4.8%から4.5%まで低下させた。なお、これに伴い、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含有量は、1.7%から1.5%まで低下している。

そこで、実際の試験では、 $\text{SiO}_2$ と $\text{Al}_2\text{O}_3$ 各々の影響を明らかにするため、基準に対し試験No. 1では、 $\text{SiO}_2$ 含有量4.8%一定のもと、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含有量を1.5%(-0.2%)まで低下させ、試験No. 2で、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含有量1.5%一定のもと、 $\text{SiO}_2$ 含有量を4.5%(-0.3%)まで低下させた。この間の生産率は、 $1.60\text{t}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 一定とした。

Fig. 4 に、試験期間の操業推移を示す。

試験No. 1の結果、タンブラー強度〔以下：TI(+10mm)〕は1%の向上，RDIは4%の大幅な改善，更にコークス原単位についても、 $4\text{kg}/\text{t}$ 低減できた。

試験No. 2においては、TI(+10mm)は、 $\text{SiO}_2$ 含有量の低下，コークス原単位の低減により基準値まで下がったが、RDIは試験No. 1と同値を維持した。また、RIは最高75%まで上昇し、平均としては3%向上した。

### 4. 考察

今回の操業試験で得られた結果について、従来のHPSプロセス操業結果との比較を行った。

#### < $\text{SiO}_2$ と品質について>

Fig. 5 に、HPSプロセス操業でのTI(+10mm)と $\text{SiO}_2$ 含有量の関係および今回の結果を示す。両者間に、生産率の差による相関の違いはなく、 $\text{SiO}_2$ 含有量 $\pm 0.1\%$ でTI(+10mm) $\pm 0.5\%$ と、従来焼結鉱(福山4焼結)の $\text{SiO}_2$ 含有量 $\pm 0.1\%$ 当りTI(+10mm) $\pm 0.9\%$ に比較し、 $\text{SiO}_2$ 低減によるTI(+10mm)

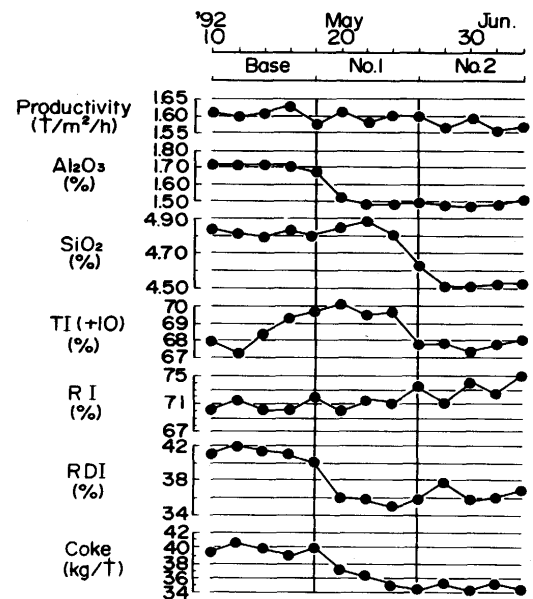


Fig. 4 Operational data.

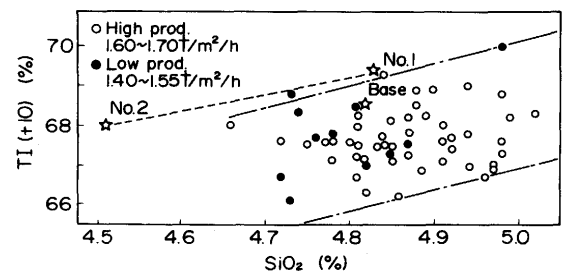


Fig. 5 Relation between  $\text{SiO}_2$  content and TI(+10) at HPS.

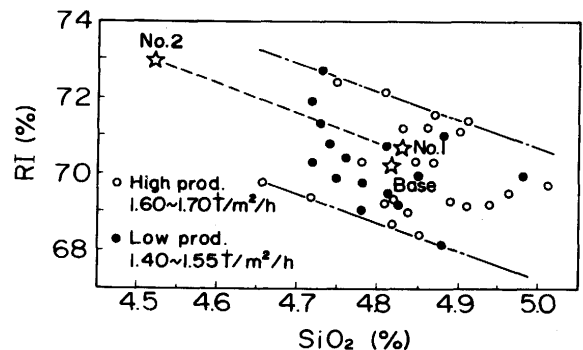


Fig. 6 Relation between  $\text{SiO}_2$  content and RI at HPS.

値低下の幅が小さいことが明らかになった。この較差は、H P Sプロセスでは、焼成前の造粒強化とコークス外装添加による低熱量焼成により、拡散結合が主体となり強度が発現したためと考えられる<sup>1)</sup>。

Fig. 6に、H P Sプロセス操作でのRIとSiO<sub>2</sub>含有量の関係を示す。これより、生産率にかかわらずSiO<sub>2</sub>含有量の低減によりRIは向上する傾向にあり、その相関はSiO<sub>2</sub>  $\pm 0.1\%$ でRI  $\mp 0.9\%$ であった。

#### <Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と品質について>

H P Sプロセス操作でのRDIとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有量の関係をFig. 7に示す。低生産率下(1.40~1.55 t/m<sup>2</sup>・h)では、相関はあまり明確ではないが、高生産率下(1.60~1.70 t/m<sup>2</sup>・h)ではAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有量の上昇により、RDIは悪化傾向にあり、その相関は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  $\pm 0.1\%$ でRDI  $\pm 2.8\%$ となっている。同様に、焼結鉱(福山4焼結)での相関は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  $\pm 0.1\%$ 当たりRDI  $\pm 4.0\%$ となっており、H P Sに比較し約1.4倍である。

#### <組織から見た品質への影響>

H P S鉱と焼結鉱(福山4焼結)との組織観察結果をPhoto. 1に示す。

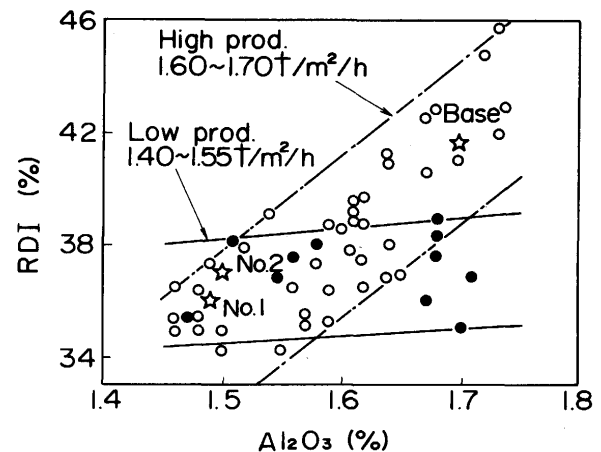
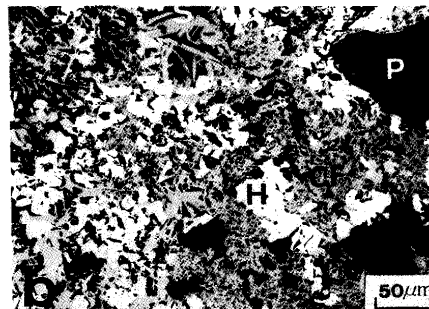
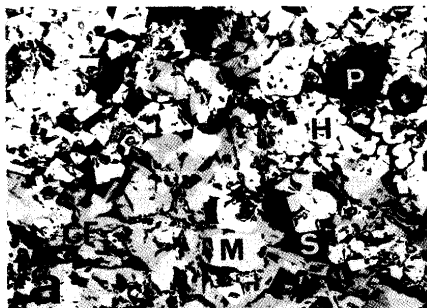


Fig. 7 Relation between Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content and RDI at HPS.



(a) Sinter (b) HPS  
H: Hematite  
M: Magnetite  
CF: Calcium ferrite  
S: Slag P: Pore

Photo. 1 Comparison of microstructures between HPS and sinter.

焼結鉱と比較すると、H P S鉱はミクロ及びマクロ気孔が多いことが観察された。特に試験No. 2においては、SiO<sub>2</sub>含有量の低下によりスラグ量が低減し、拡散結合主体の組織となったため、ミクロ気孔が増大したものと考えられる。低SiO<sub>2</sub>操業時においてRIが向上したのは、これら拡散組織及びミクロ気孔の増大が寄与したためと考えられる。

また、Fig. 8にEPMAによるH P S鉱と焼結鉱のヘマタイト中のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>固容量を分析した結果を示す。今回の試験での基準期間に得られたサンプルのヘマタイト中のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>固容量は、焼結鉱のそれと近い値となっているが、試験No. 2では、大きく減少しており、これがRDIの改善に

大きく寄与したものと推察される。

同様に、Fig. 9 に EPMA による HPS 鉱と焼結鉱のカルシウムフェライト中の組織分析結果を、 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  系状態図にまとめたものを示す。この図から、基準期間中の値に対して、試験 No. 2 ではカルシウムフェライト中への  $\text{SiO}_2$  固容量も減少していることが明らかである。

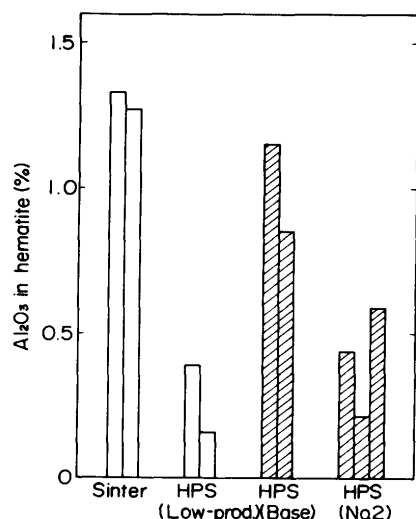


Fig. 8 Comparison of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content in hematite phase between sinter and HPS by EPMA analysis.

以上のことから、低 $\text{SiO}_2$ 、低 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含有量の試験 No. 2 ではスラグ量の低下およびコークス比の低減とがあいまって拡散結合主体の組織形成がなされ、ヘマタイトおよびカルシウムフェライト中の不純物である  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  固容量が減少し、RDI が改善できたものと考えられる。

## 5. 結言

今回の試験結果と従来焼結鉱(福山4焼結)との比較を Table. 1 に示す。造粒強化を特長とする HPS プロセスでは、高生産率下においても、焼結鉱に比べ  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含有量の品質に与える影響は、 $1/3 \sim 1/2$  と小さく、 $\text{SiO}_2$  含有量を 4.5% 程度に下げても強度等への影響がほとんどなく操業可能であることが確認された。

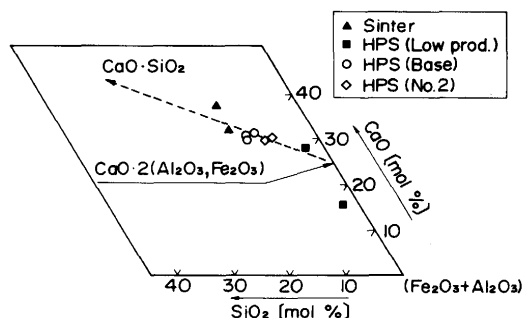


Fig. 9 Phase diagram of  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  system.

Table. 1 Effect of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  content on the agglomerate's quality.

(HPS)

	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 0.1% \	$\text{SiO}_2$ 0.1% \
TI(+IO) (%)	0.6 /	0.5 \
RDI (%)	2.8 \	0.5 /
RI (%)	0.2 /	0.9 /

(Sinter)

	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 0.1% \	$\text{SiO}_2$ 0.1% \
TI(+IO) (%)	1.3 /	0.9 \
RDI (%)	4.0 \	1.4 /
RI (%)	0.6 /	1.2 /

\*) 新塊成鉱: HPS=Hybrid Pelletized Sinter

文献 1) 若井ら: 材料とプロセス. Vol4. (1991)P. 1135