

Fig. 1. Effect of basicity on the sintering test.

この原因を解明するために試験 I の試料について潰裂強度試料と同じ size の 3~4 mesh 粒について鏡下で鉱物組織の観察を行なった結果、Ca-ferrite の増大と緻密化につれて潰裂強度も増加しており、slag 中に晶出した silicate 等や magnetite の形態は大きな影響を与えていないようである。これらの影響は量的にみても石灰石添加による Ca-ferrite の増大に比較すれば大きくないからと思われる。したがって潰裂強度については組織からかなりの程度説明できるが、落下強度は組織とさらに macro porosity などの影響をうけるものと考えられるので今後検討してゆきたい。

3. 還元率

試験 I と II では多少還元条件が異なるので厳密な比較はできないが両者共塩基度が増すに連れて還元性は向上する傾向を示した。これは検鏡結果より Ca-ferrite の生成量の差によるものと思われる。

コークス配合割合の還元性におよぼす影響は塩基度 0.9~1.9 の間ではかなりの差がみられるが、1.6~2.0 の間ではその影響度は小さくなる。塩基度 0.9 付近のコークス 6% の還元率が特に低いのは iron-gehlinite や wüstite などの難還元性物質を多く含んでいるためである。

4. 成品歩留

成品歩留面は落下強度と同様の傾向を示すが、試験 II

では I に比較して高目になっている。

5. 生産率

焼結時間、成品歩留の関係から、試験 I では塩基度、1.1~1.5、試験 II では 0.9~1.5 のところに最小点があり、以後塩基度が増すにつれて上昇する。また SiO₂ の少ないものがコークス配合がいずれの場合も全般的に高い値を示した。

IV. 総括

2 種類の配合原料について焼結塩基度を 0.9~2.0、コークス配合を 4~6% に変化させて生産性、品質におよぼす影響を試験鍋を使用して調査した結果を要約すると次のごとくである。

1. 塩基度の増加とともに焼結時間は減少する。生産率は塩基度 0.9~1.5 のところに最小点があり、それ以上に塩基度が増すにつれて上昇する。また高塩基度焼結鉱を製造する場合には SiO₂ の少ない原料が生産性の面から有利なようである。
2. 塩基度の増加に伴う落下強度特性は、多少の問題は残るが塩基度によつて左右されるものごとくである。落下強度と潰裂強度は一致した傾向を示さない。潰裂強度については検鏡結果よりかなりの程度説明できるが、落下強度についてはさらに検討を要する。
3. 還元性は塩基度の増加とともに向上する。

622.795:622.341.1-185:669.162.26 No.64167

(5) 高塩基度焼結鉱の製造ならびに高炉操業成績への影響

山崎製鉄、千葉製鉄所

岩村英郎・菊地敏治・長井保・神徳 頭
山越亮一・梅垣邦一・栗原淳作

On the Production of High Basicity Sinter and It's Effect on Blast Furnace Operation.

Eirō IWAMURA, Toshiharu KIKUCHI,
Tamotsu NAGAI, Ken KŌTOKU,
Ryoichi YAMAKOSHI, Kuniichi UMEGAKI
and Junsaku KURIHARA.

I. 緒言

最近、高塩基度焼結鉱の製造に関して広範にわたる研究が行なわれている。しかしながら高塩基度焼結鉱の高炉操業成績に与える効果については、まだ十分な報告がなされていない。当所では昭和 37 年 5 月、2000 t/day、DL 式焼結設備が稼働し、以来高塩基度焼結鉱の製造にしたいに移行してきたことについてはすでに一部報告したところであるが、今回高塩基度焼結鉱の製造ならびに高炉操業成績に与える効果について若干検討を加えたので報告する。

II. 高塩基度焼結鉱の製造

高炉操業上、必要な石灰石の全量をあらかじめ焼結工程で添加した場合、高炉装入物中における焼結鉱配合率と焼結鉱塩基度との関係について、若干の仮定を設けて近似的に求めるため、計算に必要な諸元をそれぞれ次のごとく定義した。

鉄鉄 t 当り原鉱石所要量(粉塊を含む); m kg / t
 " " 石灰石 " ; l "
 原鉱石の焼結処理される割合 ; η (≤ 1)
 原鉱石の焼結歩留 ; ϵ (≤ 1)
 石灰石の焼結歩留 ; δ (≤ 1)
 原鉱石の平均 (SiO_2) 含有率 ; $(\text{SiO}_2)_0\%$
 高炉装入物中における焼結鉱配合率 ; $y\%$
 焼結鉱塩基度 ; B
 焼結鉱生成量 = 高炉使用量 ; S kg / t

したがって焼結鉱生成量
 $S = m \cdot \epsilon \cdot \eta + l \cdot \delta \dots\dots\dots (1)$

焼結鉱配合率
 $y = \frac{m \cdot \epsilon \cdot \eta + l \cdot \delta}{m \cdot \epsilon \cdot \eta + l \cdot \delta + m(1 - \eta)} \times 100 \dots\dots\dots (2)$

原鉱中に含まれる CaO および焼結工程における燃料
 コークスから持込まれる SiO_2 をともに無視した場合焼
 結鉱塩基度

$B = \frac{l \cdot \delta}{m \cdot \eta} \cdot (\text{SiO}_2)_0 \times 100 \dots\dots\dots (3)$

ここで (2) 式および (3) 式から η を消去し、かつ原
 鉱石の焼結歩留 $\epsilon=1$ とすれば、

$y = \left\{ \frac{100}{B(\text{SiO}_2)_0} + 1 \right\} \times \frac{l \cdot \delta}{m + l \cdot \delta} \times 100 \dots\dots\dots (4)$

(4) 式に、高炉操業条件および原料事情を考慮し、
 $m=1580$ kg / t, $(\text{SiO}_2)_0=5.0\%$, $l=180$ kg / t, $\delta=0.55$,
 の各近似値を代入して図示すると Fig. 1 のごとく
 なる。

図中斜線の部分は当所焼結および高炉の操業実績の範
 囲を示し、黒点の部分は各製鉄所で一般に操業されてい
 る範囲を概念的に示したものであるが、前者が高塩基度
 焼結鉱の低配合率であるのに対し、後者が低塩基度焼結
 鉱の高配合率操業を行なっている点に、対照的な差が見
 られる。

一方、各目標塩基度設定後、休転修理日を除く実働 31
 日間の焼結操業結果をそれぞれ層別し各平均値で示すと
 Table 1 のごとくなる。ここで、

- i) 返鉱配合比 (γ) ; 燃料を含む全配合原料に対する返鉱比。
- ii) 配合原料中固定炭素 (F. C)_m ; 全配合原料中の全炭素 (T. C)_m および石灰 (CaO)_m の各含有率、返鉱中の石灰 (CaO)_R および返鉱比 (γ) から、近似的に求め

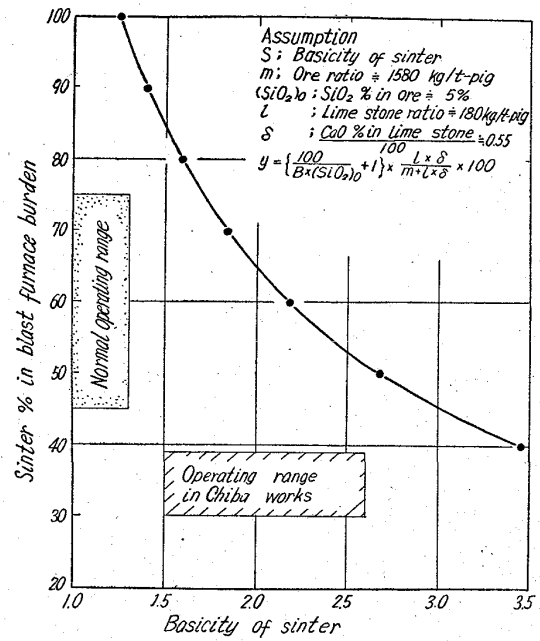


Fig. 1. Relation between sinter % in blast furnace burden and basicity of sinter, when total lime stone, necessary for blast furnace operation, is added in sinter mix.

た推定値である。すなわち、

$(F. C)_m = (T. C)_m - 0.214 \times \{(\text{CaO})_m - (\text{CaO})_R \times \gamma\}$

なお (F. C)_m から石灰石を除いた全配合原料に対する
 固定炭素含有率は各原料使用実績から換算した。

- iii) 修正生産率 (1) ; (生産率) × (+10mm 成品)
- iv) " (2) ; (生産率) × (+10mm 成品) × (シャッター強度)
- v) " (3) ; (生産率) × (+10mm 成品) × (成品中 CaO を除く)
- vi) " (4) ; (生産率) × (+10mm 成品) × (成品鉄分)

以上のごとく各原料に対する固定炭素配合率および修
 正生産率を求め、塩基度との関係を示すと Fig. 2 のご
 とくなる。

Table 1. Operating data in sinter plant.

Operating period	1	2	3	4	5	6	7
Basicity	1.49	1.59	1.79	2.01	2.21	2.43	2.61
Production rate t/hr·m ²	1.39	1.28	1.30	1.34	1.42	1.50	1.60
Shatter strength %	83.4	84.8	85.3	86.4	84.5	83.5	84.5
Pallet speed m/min	2.32	2.51	2.42	2.36	2.26	2.43	2.54
Pallet yield %	59.5	55.7	56.0	60.7	64.7	65.2	65.6
Bed depth mm	311	304	310	297	307	301	303
Return in total mix %	32.6	38.8	37.5	29.4	26.8	26.1	25.7
CaO %	8.89	8.98	9.05	9.29	10.04	10.97	12.59
Total carbon %	4.85	4.63	4.31	4.64	4.42	4.81	4.96
Fixed carbon %	3.57	3.45	3.10	3.24	2.85	3.08	2.96
-10 mm size in sinter %	37.8	32.6	29.1	29.5	31.1	31.7	31.0
CaO %	8.46	8.66	9.54	9.65	10.20	11.86	12.49
T. Fe %	57.36	57.41	57.12	57.36	56.64	55.46	55.39
Coke consumption kg/t	53.7	59.5	51.3	49.4	42.9	39.6	43.8

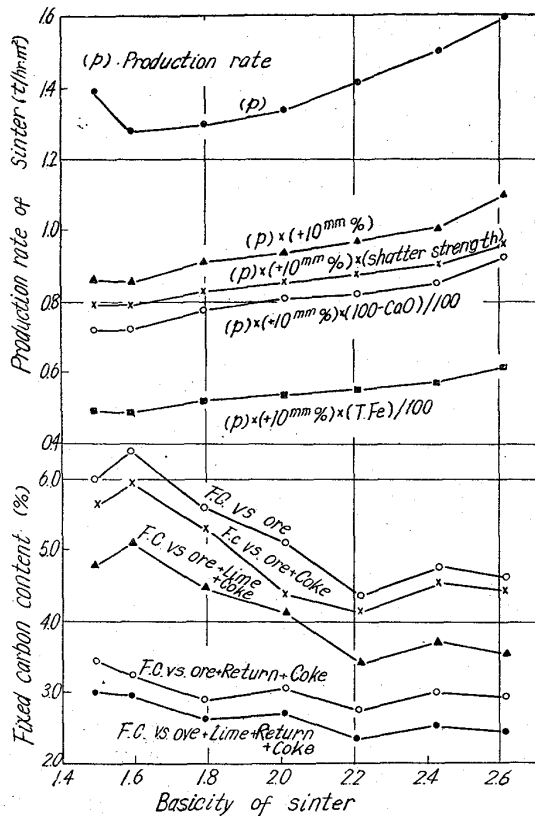


Fig. 2. Relation between some operation data and basicity of sinter.

高塩基度焼結鉄の生産率におよぶ効果については、従来概念的に、マクロ気孔の発達による通気度の改善が考えられていた。またウインドボックス排気温度の上昇などからも、ほぼその傾向が推定されていたが、短期間の操業範囲では、原料の種類、粒度などの影響が強く、明りょうな傾向を把握することは困難であったが、Fig. 2では各種生産率ともいづれも塩基度の増加に伴って上昇していることが明らかである。

さらにシャッタ強度と塩基度との関係については、配

合原料の種類によつてことなるという報告が行なわれているが、当所の操業結果からも塩基度2.0までは漸増傾向が見られたが、2.0以上ではやや低下の傾向が見られ、全操業期間を通じて一様な傾向を見出すことは困難である。しかし Table 1 の -10mm 含有率、あるいはシャッタ強度などからも明らかなごとく、成品粒度分布に変化を招くほどの強度低下は見られなかった。

塩基度と燃料原単位との関係については明らかに塩基度 1.5~2.6 までの範囲で燃料原単位は 60 kg/t ~ 43 kg/t 程度に低下しているが、当所では高炉ダストの使用量が 5~7% 新原料中に配合されている。したがって高炉ダストの中に含まれる燃料を無視できない。斯る観点から配合原料中に含まれる固定炭素含有率並びに、配合原料から石灰石を除外した原料中に含まれる固定炭素をそれぞれ計算により求め塩基度との関係を示したが、石灰石を外数とした配合原料中の固定炭素は塩基度に関係なく約 3.5% になっている。

ここで配合原料への石灰石添加量の増加は当然、鉄層内において吸熱反応に必要な燃料消費量の増加を招くことが予想されるが、当所操業結果から考察すると、添加された石灰石のための、所要熱が鉄層内を貫流する吸引ガスの予熱または排熱の効果的な回収で賄われたものか、あるいは焼結鉄の溶融点が低下したのか、の原因については明らかではないが、今後鉄層内における熱の伝播、温度履歴の調査などに関して興味ある問題を提起しているものと思われる。

III. 高炉操業成績におよぼす高塩基度焼結鉄の効果

高塩基度焼結鉄の製造上の利点についてはすでに明らかにしたが、さらに根本的かつ重要な関心は、これら焼結鉄の高炉操業成績に対する効果の究明である。

そこで焼結工場における目標塩基度の設定変更後、休風、事故減圧を除く実働 31 日間の第 3, 4 高炉操業成績を、前項と同様各期間ごとの平均値で求め Table 2 に示した。

高炉操業上必要な石灰石の全量を焼結鉄に添加するものと仮定した場合、高炉装入物中の焼結鉄配合率 (y)

Table 2. Operating data in blast furnaces.

Period		1	2	3	4	5	6	7	
No. 3 BF	Corrected production	t/day	2205	2249	2295	2276	2379	2449	2440
	Corrected coke rate	kg/t	559	523	534	509	499	493	501
	Sinter in burden	%	34.2	34.4	36.4	36.4	37.1	37.4	36.3
	Oxygen enrichment	m ³ /t	0	37.2	19.4	0	0	*1.7	*3.4
	Oil injection	l/t	0	40.7	29.4	41.3	34.8	37.1	37.1
	Hanging	times	20	68	15	3	4	0	0
	Slag rate [St]	kg/t %	347 35.8	324 38.4	325 46.3	281 51.9	271 58.5	303 64.8	296 67.2
No. 4 BF	Corrected production	t/day	2288	2285	2326	2297	2344	2383	2395
	Corrected coke rate	kg/t	493	499	504	504	497	498	505
	Sinter in burden	%	30.9	31.8	28.2	31.4	30.6	32.5	34.9
	Oxygen enrichment	m ³ /t	37.2	0	0	0	0	*17.2	0
	Oil injection	l/t	53.4	46.1	37.8	43.0	36.2	41.1	40.1
	Hanging	times	0	1	1	0	1	0	0
	Slag rate [St]	kg/t %	355 31.5	334 34.9	329 33.8	306 43.5	296 46.3	317 54.7	279 64.2

*) Intermittently enrichment.

と塩基度 (B) との関係については近似的に (4) 式で示したが、前述のごとく操業条件および原料条件によつて定まる、原鉱石所要量、石灰石所要量、石灰石の焼結歩留、原鉱石平均 SiO₂ 含有量などを与えると (4) 式から配合率 (y) と塩基度 (B) との関係を次のごとく示すことができる。すなわち、

$$(y-5.9) \times B = 118 \dots\dots\dots (5)$$

ここで、(5) 式は高炉操業上必要な石灰石の全量を、焼結鉱の中に添加した場合、焼結鉱の配合率を修正した、いわゆる修正配合率と塩基度との積が定数 118 となることを示している。

しかしながら現実には、所要石灰石の全量を焼結工程で添加することなく、若干の石灰石は高炉で装入している。したがつて上述の積は一般に定数 118 より小さく、かつその値は焼結鉱によつて、高炉操業上必要な石灰石の、どの程度を高炉に装入しているかを示す指数と考えられる。

そこで、所要石灰石の全量を、焼結鉱によつて装入される場合を飽和状態としこの状態を基準にして、飽和度 (S_i) として次のごとく定義した。すなわち、

$$S_i = (y_i - 5.9) \times B_i \times 100 / 118 \dots\dots\dots (6)$$

ただし y_i および B_i は各期間ごとの焼結鉱配合率および塩基度、一方出鉄量におよぼす酸素富化の効果については、当所操業解析の結果を参考とし、酸素富化率 1 m³/t 当り 5.37 t/day の出鉄増とし、酸素富化 0 の状態を基準として補正した。

また、酸素富化が間欠的に行なわれた場合は 1 m³/t 当り 2.68 t/day の出鉄増とし、さらに酸素富化期間中棚吊を頻発した時期については、棚落減圧による減産と酸素富化による増産とが相殺されるものとした。

また鉄滓量による出鉄量の補正は、鉄滓量 300 kg/t を基準とし鉄滓量 1 kg/t 当り 1.32 t/day の出鉄減とした。

コークス比に対する重油の効果についても、重油 1 l/t 当りコークス比 0.58 kg/t の低下とし、基準状態における重油の添加量を 40 l/t として修正し、さらに鉄滓量 1 kg/t 当り 0.2 kg/t のコークス比増加として補正した。

以上のごとき補正を行なつた出鉄量およびコークス比と前述の飽和度との関係を図示すると Fig. 3 のごとくなる。図中に示した回帰方程式は、第 3, 4 高炉の各データをプールして求めたもので、高度の正相関を示し、飽和度 1% 当り出鉄量の増加は 4.84 t/day となつている。

一方コークス比については、全期間を通じてほとんど変化せず、500 kg/t 程度で横這いとなつている。これらの点に関しては一定コークス比による出鉄量の増加という高炉操業上の基本的方針がある程度影響していると思われる。

自溶性焼結鉱の大量装入は、高炉操業成績向上に対して欠くことのできない要件の一つであることはいうまでもないところであるが、現在または将来原料鉄石粉および塊のバランス上の問題、あるいは輸入ペレットなどの問題から考えて、焼結鉱の高塩基度化による飽和度の向上が、高炉操業成績に有利な影響を与えることは興味深

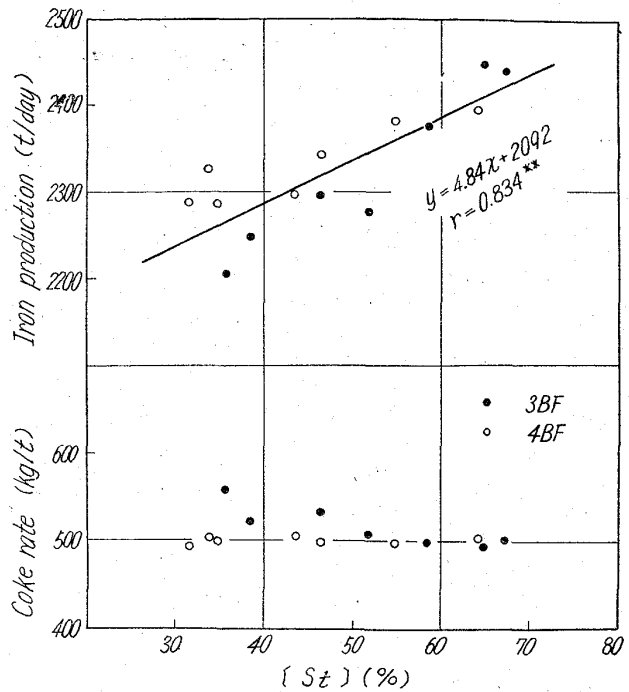


Fig. 3. Effect of [Si] % on iron production and coke ratio [Si] %; Rate of equivalent lime stone from sinter to the total lime stone, necessary for blast furnace operation.

いところである。勿論飽和度算出のための基本的想定条件または酸素、鉄滓量などの補正係数のとり方に若干の問題があり、上述の解析結果が飽和度のみの効果と看做し得るか否かについてはさらに今後の検討を必要とするものと思われる。

IV. 総 括

以上の結果を要約すると、

- i) 塩基度 1.5~2.6 までの範囲で焼結鉱の塩基度上昇に伴つて生産性は 1.30~1.60 t/hr・m² に向上し、この間シャッタ強度については、一様な傾向は見られなかつたが、少なくとも高炉操業上支障を招くほどの強度低下はなかつた。
- ii) 石灰石を外数とした配合原料中の固定炭素は塩基度に関係なく、ほぼ 3.5% で操業できた。
- iii) 高炉操業上、所要石灰石の全量を焼結鉱の形で高炉に装入した場合を飽和状態と考え、修正配合率と、塩基度との積から求めた飽和度は出鉄量に対し強い相関を示し、飽和度 1% 当り 4.84 t/day の出鉄増加となつた。