

論 文

自溶性焼結鉱の製造について*

辻畑敬治**・宮川奨蔵**・大坪 茂**・大野重治**・花木 功**

On the Making of Self-Fluxing Sinter.

Keiji Tsujihata, Shozo Miyakawa, Shigeru Ōtsubo,

Shigeharu Ono and Isao Hanaki.

Synopsis:

In line with the starting of experiments on the use of self-fluxing sinter in blast furnaces, the experimental production of lime sinter using 5~10% of lime stone was conducted at Kukioka D. L. Sintering Plant since May, 1958, and from the operation data the following items were inferred:-

1) Although in lime sinter the mean grain size was getting smaller, the amount of the fine fraction (minus five millimeter fraction) became rather decreased than in normal sinter, from which it was inferred that lime sinter was more improved in point of grain distribution.

2) Lime sinter had almost the same degree of strength as normal sinter.

3) By adding 5~10% of lime stone, the output of sinter was increased by 4~6.5%.

When calculated in terms of iron, the output, however, was almost constant.

4) In case of using the burden of 100% lime sinter, operation was carried out with special attention paid to the control of basicity, and for that purpose such measures as the use of foreign fine ores divided into the three classes according to SiO_2 content, etc. were enforced, and, as the result, the sinter that could almost satisfy the requirements of blast furnaces was able to be produced.

5) Cost of sinter production was decreased by 2% and 5.5% by the addition of 5% and 10% of lime stone, respectively, but the cost in terms of iron was almost unchanged.

For these reasons it was concluded that lime sinter was superior to normal sinter.

I. 緒 言

高炉における焼結鉱の高配合使用，高炉装入物の整粒，さらに操業法の進歩によつて，銑鉄の生産は大巾に増加したが，“もつと安い鉄”をの欲求は，かつてころみられたが当時の原料事情，そのたの情勢から取り上げられなかつた石灰焼結，特に自溶性焼結鉱の製造へと焼結の方向を決定した。

八幡製鉄においても昭和 33 年 5 月から洞岡第 2 高炉において石灰焼結鉱使用試験が計画され，洞岡高炉へその全量を送つている D. L. 焼結工場において石灰焼結鉱製造についての種々の試験を計画実施し，いまだ未解決の問題をのこしてはいるが，一応その目的を達成し現在ひき続き 10% 石灰焼結鉱を製造し銑鉄増産の一翼をになつてゐる。

II. 概 要

石灰焼結鉱使用試験の計画にともなつて昭和 33 年 5 月から洞岡 D. L. 工場 (1000 t/d×2) でも石灰石 5~10% 添加による石灰焼結鉱の製造を行なつた。その間いろいろと問題が生起したが一応の目的を達し，現在ひき続いて 10% 石灰焼結鉱を製造している。

高炉における焼結鉱の配合比の上昇につれて焼結鉱の所要強度の確保，塩基度の調整などの問題が起つて操業上に種々の困難を与えたが，それぞれ対策をたててほぼ高炉で要求する石灰焼結鉱を製造できた。しかしその対策は根本的な解決をもたらすものとはいいいにくいので，

* 昭和 34 年 4 月本会講演大会にて発表

** 八幡製鉄株式会社，八幡製鉄所製鉄部

Table 1. Schedule of blast furnace operation (No.2. B.F. 700 t/d)

Time	1958 June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	1959 Jan.	Feb.	Mar.
Sinter burden %	40	40	60	80	80	100	100	100	100	100
Lime stone %	5	10	10	10	10	10	10	5	5	0

これら諸問題は将来の研究課題として採り上げてゆきたいと思う。

本報告では現在までの石灰焼結鉍製造の際の操業成績を普通焼結鉍製造時のそれと比較検討したのでその結果について報告する。なお高炉の石灰焼結鉍使用試験の計画は Table 1 の通りで、対象溶鉍炉は第2製鉄課第2高炉である。

III. 操 業 指 針

(1) 原料

原料の配合割合は普通焼結鉍の場合と同じものを使用し、これに石灰石を 5~10% (塩基度 0.7~1.3) 配合する。しかし高炉の予定および石灰焼結鉍の性状から特につぎの3点につき規定した。

(a) 硫酸滓の配合は石灰焼結鉍の物理的性質を低下させる傾向になるだろうとの一般的な考えから、その配合には充分の注意をはらい、必要に応じて減量する。

(b) 砂鉄の配合比は高炉への焼結鉍使用割合と $\text{TiO}_2/\text{pig.t}$ のバランスから考えてその都度決定する。

(c) 10%石灰焼結鉍を 100% 高炉に使用する時は、焼結鉍の塩基度の変動を極力小さくするための処置としてまず輸入鉍石粉の CaO/SiO_2 の値から鉍石粉を 4~5 rank に層別して使用し、輸入鉍石粉の塩基度への影響を出来るだけ小さくするようにした。

(2) 操業条件

(a) コークス配合量: 理論的には石灰石の分解熱に

相当するコークスの増量をしなければならないが、当所における G.W., A.I.B. 工場の実績から見て普通焼結鉍の場合とさほどの変化がないので、コークスはそのままとし必要に応じて増量する。

(b) ベッドの高さ: 石灰焼結の場合普通焼結の場合よりも焼結速度が速くなることを見込んで、普通焼結時の 270mm を 290~330mm に高めた。

(c) パレット速度: 排鉍側における赤熱層の降下状態によつて調整し、通常は排気温度を 250°C 以下に保つた。

IV. 操 業 成 績

(1) 原料配合比

Table 2 に見られるごとく純原料の配合比は 5% 石灰石配合焼結では普通焼結と同配合とし石灰石 10% 配合の場合、最初は 5% 石灰焼結と同配合比のものを使用した。焼結鉍の物理、化学的性質の低下がみとめられ、高炉操業にも焼結鉍の粒度低下による風圧上昇、ガス圧の上昇があり、また TiO_2 も高目となつて羽口の破損などの悪結果をもたらしたので硫酸滓を 10%, 砂鉄を 4~7% 減じて作業を行なつた。

(2) 原料品質

(a) 石灰石: 石灰石の粒度は過去の実績ならびに文献から -3mm に破碎して使用した。その粒度・成分は Table 3 の通りである。

(b) 配合原料: 石灰焼結鉍製造時の配合原料の粒度および水分ならびに化学分析の結果を Table 4, 5 に

Table 2. Proportions of raw materials.

Period	Lime stone	Pyrite cinder	Foreign ore		Iron sand	O. H. slag	Other's ore	Mill scales	Return fines	Coke breezes
			General	Hong kong						
1958	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2~3	0	27	39	4	12	5	6	7	42	3.4
5~6	5	31	33	0	15	5	4	7	38	3.5
8~10	10	21	33	6	11	5	9	5	34	3.5
11~12	10	23	46	0	8	5	2	6	40	3.3

Table 3. Size grading, CaO content of lime stone.

CaO	+10mm	10~5	5~3	3~1	mesh 1~65	65~100	100~200	mesh -200	Mean size
54.3%	0%	0%	4%	33%	29%	9%	15%	10%	1.1 mm

Table 4. Size and moisture of sinter mix.

Lime stone	Moisture	mm +10	10~5	5~3	3~1	mesh 1~65	65~100	100~200	-200	Mean
0	8.3	4	16	12	24	23	7	8	6	2.9
5	8.2	4	15	12	22	23	6	10	8	2.7
10A	7.2	6	14	15	24	21	5	8	7	3.1
10B	6.6	4	17	17	22	21	5	7	7	3.1

Remark Suffix A: 10% Limestone 11.1~11.30
B: " 12.1~12.31

Table 5. Chemical analysis of sinter mix.

Lime stone	T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	TiO ₂	S	C
0	55.2	19.8	56.8	2.0	7.0	1.2	0.75	3.1
5	53.0	17.8	55.9	4.8	6.6	1.4	0.54	2.8
10A	50.1	18.0	51.6	8.8	6.6	—	0.69	2.8
10B	51.8	18.3	57.6	—	—	—	0.66	3.0

Table 6. Size grading, shatter strength of sinter.

Lime stone	Size grading							Strength
	+100	100~75	75~50	50~25	25~10	-10	Mean	S.I. 10 mm
0	41	20	12	11	9	7	92	80
5	16	11	12	20	23	18	55	76
10A	16	12	12	22	22	16	55	78
10B	16	11	12	21	23	14	54	78

示す。

(c) 焼結鉱品質: 各期間, 以上のような原料を使用して製造した焼結鉱の品質について述べればつぎの通りである。まず粒度および強度については Table 6 のごとく普通焼結鉱と比較してさほどの低下は認められない。とはいっても普通焼結鉱の場合の sampling は hand sampling によるもので物理的性質についてはかたよりのあることは明白である。石灰焼結の時の sampling はダンパー式の sampler によつたので, それぞれの結果をそのまま比較することはできない。しかし肉眼観察によつても明らかに石灰焼結鉱の粒度は小さくなっている。

つぎに返鉱の粒度について比較して見ると Table 7 のごとく石灰焼結の場合 +5mm fraction はかなり増

Table 7. Return size.

Lime stone	mm +10	10~5	5~3	3~1	-1	Mean
0	2	23	21	26	28	3.6
5	3	38	21	23	15	4.8
10A	3	33	28	24	12	4.7
10A	4	35	29	23	9	5.0

加している。このことから考えて篩別前の細粒部分はむしろ普通焼結より減少しているのではないかと考えられる。つまり石灰焼結鉱は普通焼結鉱に比してよりよく整粒されていることが推察される。すなわち粒度は小さくなつても高炉内での熱化学的反應に関しては有効な働をしているのではないだろうか。

また石灰焼結鉱の強度は, 粒度が小さくなつていないあまり低下していない。これは現行の強度測定法の不備によるもので, 石灰焼結の場合の返鉱の粒度の向上から考えて, 石灰焼結鉱の本質の強度は普通焼結鉱に比してこの範囲ではあまり低くないのではないかと考えられる。

つぎに化学的性質については Table 8 のごとく, 塩基度, 酸化度ともに予想通りに増加している。

今回は測定しなかつたが石灰焼結鉱そのものの還元性はもちろん高炉内での実際的な還元性すなわち, 粒度構成, macroporosity などの効果をも含めた還元性もかなり向上しているものと考えられる。

なお溶鉱炉への 100%焼結鉱使用の場合, 塩基度の管理については外地粉鉱石の層別使用ならびに管理図に 6 点法を採用して Table 9 に示すごとく高炉側の要望を

Table 8. Chemical analysis of sinter.

Lime stone	T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	TiO ₂	S	C	CaO/SiO ₂	Degree of oxidation
0	58.7	16.6	65.5	2.4	7.4	1.3	0.02	0.04	0.3	92.0
5	56.8	15.4	64.0	5.0	7.0	1.5	0.03	0.05	0.7	93.1
10A	54.6	14.3	62.2	9.1	7.3	1.1	0.09	0.06	1.3	93.2
10B	55.5	13.0	69.0	8.6	6.3	0.9	0.04	0.06	1.4	94.0

Table 9. Deviations of sinter basicity.

Period	Deviation between day	Deviation within day	Total deviation	Remark
Before action	0.11	0.05	0.12	
After action	0.07	0.07	0.08	

大体満足できる程度のバラツキにおさめることができた。

(d) 硫酸滓増量試験 10% 石灰焼結操業当初において焼結鉱の物理的性質の低下が見られた。たとえば -10mm が 25→35% に、S.I. が 65→75% に低下したので硫酸滓の配合比を 30% から 20% に減量して 5% 石灰焼結鉱と大体同程度の品質を保持し得た。しかしその後の操業成績を解析した結果、焼結におよぼす硫酸滓の影響はごく僅かであることが判明した。すなわちつぎに掲げる Table 10 のごとく焼結歩留 (生産量/純原

+コークス+返鉱) に対して、硫酸滓の配合比が 20~30% の間で変動しても、その影響度は 10% 足らずであり、その配合効果も Fig.

1 に示すように硫酸滓の配合比が増加するとともに sinter yield は上昇する

傾向があつたので再確認のため硫酸滓の増量を行なつてその効果を調査した。

その結果は Table 11 に見られるように硫酸滓を 20% から 25% に増加することによつて生産量 (58→59t/h) 品質 (-10mm 14→10) コークス原単位 (66.5→65kg/t) などいずれも向上している。この結果の一因として考えられることは、硫酸滓を増量した時送鉱量が減量してい

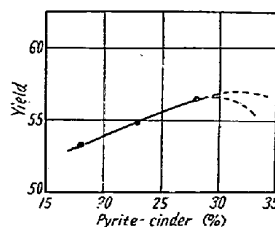


Fig. 1. Curve between yield and pyrite cinder.

Table 10. Factor analysis on sinter yield.

Factor	Degree of effect	Fluctuations of factors
In-put t/h/strand	46%	100~125 t
Returns %	18%	30~45 %
Pyrite cinder %	7%	20~30 %
Moisture %	2%	6.5~8.5 %
Coke breeze %	1%	3.2~3.7 %
-200mesh %	1%	5~10 %
Others —	25%	—
Total —	100%	—

ることも考えられる。すなわち硫酸滓を増加した場合、原料層の通気度の低下を見込んで pallet speed を落

し、したがって送鉱量を減量している。しかし現在の操業としては Fig. 2 に示すように送鉱量を減すると歩留 (yield) = 生産量/送

鉱量は増加する傾向にある。これから考えて生産量品質の両面から見た最適の焼結速度のあることが判る。われわれも今後この点を解

明して硫酸滓の有効利用をはかりたいと思う。

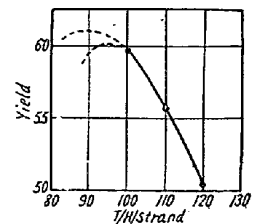


Fig. 2. Relation between yield and in-put.

V. 操 業 状 態

ベッドの高さ, pallet speed, sintering speed など を Table 12 に示す。

(1) ベッドの高さ

No.1 D. L. で石灰石配合の時にベッドの高さを変化させていないのはシーラー不良によつて leakage が増加したので普通焼結の場合と同じにした。したがってこの leakage が生産にもかなり影響をあたえた。

Table 11. Increased use of pyrite cinder.

Time	Lime stone	Pyrite cinder	In-put t/h/strand	Out-put t/h	Returns t/h	Yield	-10mm	Coke breeze kg/t
1958 11.1~11.30	9	20	116	58	50	50	14	66.5
12.1~12.31	10.5	25	107	59	40	55	10	65

Table 12. Operation data.

Lime stone	Bed height mm		Pallet speed m/mn		Sintering speed mm/mn	
	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
0	290	280	1.80	2.20	18	16
5	295	300	1.86	2.13	19	16
10A	295	310	1.75	2.00	17	18
10B	300	320	1.73	1.77	18	19

Remark : sintering speed

$$= \left(\frac{\text{Effective length of strand}}{\text{Pallet speed}} \right)^{-1} (\text{Bed height})$$

(2) Pallet speed

石灰焼結の場合粉率の低下を防止するため極力 pallet speed を抑えて操業した。このことは焼結速度に影響をあたえた。

(3) Sintering speed

sintering speed は石灰石の配合によつて見掛上ではいくらか上昇したように思われるが、しかし実際には普通焼結の場合には discharge end で赤熱層をのこしたまま排鉱していたのに反し、石灰焼結になつて十分焼成したのちに排鉱しているので結果的に見てかなりの speed up がなされていると見てよい。

VI. 生産状況と原単位

生産状況および原単位について Table 13 にその結

Table 13. Production and yield.

Lime stone	Output t/h		Converted Fe output t/h		Total input t/h	Produced return fines	Sinter yield	Raw mixes/sinter t	Coke breeze/sinter t
	No.1 D.L.	No.2 D.L.	No.1 D.L.	No.2 D.L.					
0	57.8 t/h	64.1 t/h	33.9 t/h	37.6 t/h	224 t/h	89 t/h	0.55	1.03 t	63 kg
5	61.2	66.8	34.8	37.9	224	82	0.57	1.06	62
10A	56.1	68.3	30.6	37.3	224	83	0.54	1.08	66
10B	54.3	62.8	30.2	34.8	223	90	0.52	1.08	66

果を示す。

(1) 生産量

No.1 D.L. の生産量はシールバーが不良であつたので比較の対象から除外して No.2 D.L. で比較すると、10B の期間は篩の目を 6mm→10mm に広げた結果返鉱の発生量が増加しているのでも除いて検討してみると、生産量は石灰石 5% で 4%、石灰石 10% で 6.5% とそれぞれ上昇している。しかし鉄分換算生産量としては変っていない。

(2) 返鉱発生量

石灰石配合によつて返鉱の発生量は低下している。このことから見ても石灰焼結鉱の篩別前の粒度は普通焼結鉱に比して、よりよく整粒されていることを示している。

(3) 焼結歩留

石灰焼結の場合の原料比は当然のことであるが大きくなっている。歩留は見掛上あまり変っていない。これは原料比の増加による歩留の低下が返鉱の発生量低下によつて補われた結果によるものである。

(4) 原単位

自溶性焼結鉱のコストは Table 14 の原単位から計算すると焼結鉱 t 当りのコストは普通焼結鉱より 5%、石灰焼結鉱で 2%、10% 石灰焼結鉱で 5.5% と低下しているが生産量の場合と同様鉄分換算による原価は変らなかった。

VII. 総 括

高炉における自溶性焼結鉱使用試験にともない昭和33年5月から洞岡 D.L. 工場で行なつた 5~10% 石灰焼結鉱製造試験の操業成績からつぎのことが考えられる。

(1) 石灰焼結鉱の平均粒度は小さくなるが、しかし細粒部分すなわち -5mm fraction はむしろ、普通焼結鉱より減少している。このことから石灰焼結鉱の方がよりよく整粒されているものと考えられる。

(2) 強度については普通焼結鉱の場合とほとんど同程度であつた。

(3) 生産量は石灰石 5~10% の配合によつて 4~6.5% の増加となつている。しかし鉄分換算生産量では変化はない。

Table 14. Comparison of typical practices (per ton of sinter ore)

Factor	Kinds of sinter		
	Ordinary sinter	5% Lime stone sinter	10% Lime stone sinter
Raw mix	1040 kg	1010 kg	970 kg
Lime stone	0 "	50 "	110 "
Coke breeze	57 "	62 "	66 "
C-gas	8m ³	7m ³	6m ³
Power	22kWh	19kWh	20kWh
Labor	0.4 h	0.3 h	0.3 h
Maintenance	0.05 h	0.04 h	0.03 h

(4) 高炉における石灰焼結鉱 100% 使用の場合、焼結鉱の塩基度管理に重点をおき操業した。そのため外地

粉鉍の層別使用、6点法による塩基度の管理を実施して高炉の要求を大体満足させる程度の焼結鉍を生産した。

(5) 石灰焼結鉍のコストは、5% 石灰焼結で 2%、10% 石灰焼結で 5.5% とそれぞれ低下したが鉄分換算からの生産コストは変らなかつた。

以上のことがらから判断して石灰焼結は普通焼結よりもすぐれていたと考えられる。したがって今後はこの操業試験から未解決のままのこされた諸問題を究明するとともに、よりよい石灰焼結鉍の製造に一層の努力をあらわねばならないと思う。(昭和 34 年 11 月寄稿)

含チタン砂鉄鉍の還元条件が銑鉄成分におよぼす影響*

(砂鉄の電気炉製錬法に関する研究—I)

村上 明**・高井 清***・佐藤祐一郎**

Influence of the Reducing Conditions on the Chemical Composition of Pig Iron.

(Studies on the electric pig iron smelting of iron sand—I)

Akira Murakami, Kiyoshi Takai and Yuichiro Sato.

Synopsis:

The fundamental studies on the reducing smelting of iron ore and iron sand were researched by many authors. However in these researches, ores of solid state were reduced with reducing agent of gaseous state, it seemed to be not yet reported in details on the reducing smelting in molten state of these.

The authors reduced ore and flux in molten state and studied on influence of the reducing conditions on the chemical composition of pig iron. When iron ore and iron sand were reduced in various reducing conditions, the results were summarized as follows:

1) With increase of reducing temperature, Si, Mn and Ti content of pig iron were increased, S content decreased and P and V content did not change.

2) With increase of slag basicity ($\% \Sigma \text{CaO} / \% \Sigma \text{SiO}_2$), Si and S content of pig iron were decreased, Mn content was increased, Ti content was increased gradually and V content did not change.

3) With increase of ΣTiO_2 content in slag, Si, Mn and S content of pig iron was decreased gradually and Ti content was increased to the constant value on the same conditions but did not increase more than its value.

4) When the reduction of iron sand in comparison with iron ore at the same conditions, in general, the one obtains high C and low Si content of pig iron and the other obtains low C and high Si content of pig iron.

5) Constituent range indicates the lowest melting temperature ($1260^\circ \sim 1310^\circ \text{C}$) of TiO_2 containing slag exists between ΣTiO_2 content in slag—20~25% and slag basicity $\% \Sigma \text{CaO} / \% \Sigma \text{SiO}_2 = 0.7 \sim 0.8$.

I. 緒 言

鉄鉍石あるいは砂鉄の還元製錬に関して従来行なわれている研究は、主として鉍石は固体であり、還元剤は気体である場合が多い^{1)~5)}。しかしかかる状態における還元の諸研究は熔鉍炉とか海綿鉄製造における還元反応に関する考察には有益と考えられるが電気炉製錬におけるごとく、熔融相と赤熱せる還元剤および造滓材とが反応して、短時間に還元が進行する場合にも妥当であるか否

かは検討を要するものと考えられる。

著者らは研究の一手段として熔融状態の鉍石、造滓剤が還元剤と共存する場合に含チタン鉍滓との間における諸反応を明らかにし、還元条件が銑鉄成分におよぼす影響について調べた。

* 昭和 33 年 10 月本会講演大会にて講演

** 日曹製鋼株式会社技術部

*** 同 上 工博