

焼結鉱単味使用による鑄物銑吹製成績*

金 丸 陟 章**

THE RESULTS OF BLAST FURNACE OPERATION FOR FOUNDRY PIG IRON ON ALL-SINTER BURDEN

Takanori Kanamaru

Synopsis:

The object for the foundation of Amagasaki Iron & Steel Mfg., Co. consists in the characteristics of high percentage use of home ores.

These iron materials, pyrite cinder and Kanehira ore, were sintered after treatment of extracting copper.

Such sintered ore is used for materials of superior quality with least impurities, such as phosphorus, sulphur and alumina.

The effect of sinter, improved by a demand for No. 1 blast furnace operation, indicated good reducibility by incorporation of sinter in the blast furnace burden.

In addition to sinter in burden, results of operation were profitable to reduce coke ratio and to increase pig iron production.

With regard to allowable limit of copper contents in iron, sinter addition rates were limited as follows:

- 1) For lower copper pig iron, utilizing less than 45% of sinter in burden
- 2) For basic pig, 50~70% of sinter
- 3) For foundry pig iron, 80~100% of sinter

Therefore, all-sinter burden was performed only for foundry pig-iron blowing.

With the application of W. Oelsen curve on the studies of operating results for various addition rate of sinter in burden, the author proved that the higher sinter addition rate, the better reacting behaviors in furnace were achieved.

As sinter addition rate is increased in burden, the effect of desulphurization showed better efficiency.

In case of an all-sinter blowing for foundry pig iron, the author could not find any difficulties in desired control of the furnace.

So that sinter, made from pyrite cinder, from the point of the merit of iron ore, was able to utilize the economically excellent iron source.

I. 緒 言

尼崎製鉄所においては、昭和28年4月No.1高炉再度の吹入れが実施され再開に際し国内未利用資源活用を主旨とし特に硫酸焼鉱を主体とする製鉄原料に関する適性使用について研究をかさね、従来、高炉操業上より種々困難視されていた化学組成、焼結性および高炉々内挙動などについて検討ならびに改良を加え焼結鉱として高炉の要求を満足する成品を製造するにいたつた。しかし焼結鉱使用により漸次高炉原料中その配合装入率を増加する場合炉内還元性の向上、コークス比の低下、かつ高炉能力の増進など、操業実績を改善しつつに焼結鉱単味使用により鑄物銑吹製を可能とし優れた実績を記録しえた。加之No.1高炉々壁の甚大なる侵蝕にもかから

ず能率を低下することなく併せて炉命延長に寄与し、なお鑄物銑吹製時においても優に公称能力を越える銑鉄を生産した。コークス比については0.72を割る成績を継続して初期の目的を充分達成することをえた。ここにNo.1高炉における焼結鉱使用経過と操業実績について報告することにした。

II. 焼結原料並に成品について

使用国内鉄鉱石としては前述のごとく主として硫化鉄鉱であり同和鉱業の協力をえて、漸次増加する需要に対

* 昭和33年4月2日第55回講演大会における特別講演

** 尼崎製鉄取締役生産部長、第43回通常総会における香村賞受領者

Table 1. Chemical compositions of pyrite cinder, treated for decuprization

Sample			Chemical analyses (%)					
			T.Fe	FeO	SiO ₂	S	Cu	CaO
Jan.	1958	Amagasaki Okayama	58.92	4.92	7.50	1.35	0.17	0.96
			55.27	2.02	9.20	1.74	0.16	1.47
Feb.	"	Amagasaki Okayama	59.17	4.21	7.56	1.40	0.17	0.85
			56.74	2.62	8.04	1.70	0.14	1.98
Mar.	"	Amagasaki Okayama	58.87	4.37	6.90	1.26	0.17	0.60
			56.08	2.18	7.55	1.67	0.15	0.88

し硫酸焼鉱を安定した製鉄原料として供給されている。近接地域の硫酸工場において主として黄鉄鉱をヘレスシヨフ炉にて酸化焙焼された硫酸焼鉱は尼崎選鉱所にて弱酸にて銅浸出され尼崎焼鉱としてまた柵原鉱業所から産出される磁硫鉄鉱を岡山製錬所にて 20 メツシユ以下に粉碎されフリユー、ソリッド炉にて酸化焙焼に較べて脱銅効果が優れているといわれる硫酸化焙焼処理を行い直ちに弱酸にて脱銅処理され岡山焼鉱として当社焼結工場に搬送されている。

両焼鉱とも処理原料の粒度および S 組成などに起因する脱銅効果に差異は存するが約 60% 以上の脱銅率は期待可能であり併せて銅分抽出作業とともに Zn, Al および S などの溶出減量により Fe 成分は約 1% 上昇し不純物の少い化学組成においてはすぐれた鉄源として供給されている。Table 1 に最近 3 カ月の脱銅焼鉱化学組成を月平均値を以て例示する。

焼結作業は 350, および 300(t/d) ドワイトロイド式ならびに 100(t/d) グリナワルド式焼結機により運転率 95% 以上の操業を継続して高炉原料需要に応じている。

成品粒度の改善のため以前は焼結鉱冷却において注水処理を実施していたが昭和 30 年 9 月より空冷設備および破碎篩分け設備を完備し設置前に比較していちぢるしく高炉能力を向上することができた。Table 2 に最近の焼結原料使用状況を Table 1 と同様に月平均例で示す。

周知のごとく硫酸焼鉱は焼結性の低劣なためあまり顧慮されなかつた原料であるが焼結原料として Table 2 より特に 3 月度のごとく外地鉱破碎整粒による粒鉱発生量の多い場合また低銅焼結鉱製造多き場合の外、脱銅焼鉱はほとんど 70% 以上使用され国内資源活用に何程かの実績をあげることができた。Table 3 に焼結鉱成品の化学および物理的性状を示す。

概して焼結鉱はその原料鉱石および製造行程いかにより還元性は大きな変動を示すものであるが当所焼結鉱還元試験結果を他の入荷鉄鉱石還元性と比較して Fig. 1 に示す。還元試験方法としては 10~25 mm の塊状鉱石を試料とし 800°C 雰囲気温度において水素気流中にて減量法により決定されたものである。H₂ 気流は 6l/mn の場合の結果である。試料は各銘柄につき 300 g とりま

Table 2. Practice of material mixes for sinter.

Period	Feed rate (%)								Sum.
	Amagasaki cinder	Okayama cinder	Scale	Flue dust	Home ore fines	L. stone fines	Imported ore fines	Mix. fines	
Jan. 1958	71.2	—	5.1	2.9	4.2	0.6	15.3	0.7	100.0
Feb. "	70.7	0.7	6.1	3.6	3.5	0.7	14.2	0.5	100.0
Mar. "	64.9	—	4.5	4.9	2.8	0.5	21.9	0.5	100.0

Table 3. Physical and chemical quality of sinter.

Period	Chemical analyses (%)						Mean size grade (mm)
	T.Fe	FeO	SiO ₂	S	Cu	CaO	
Jan. 1958	60.32	16.47	8.90	0.082	0.16	1.30	27.8
Feb. "	60.66	16.92	8.37	0.058	0.16	1.03	30.3
Mar. "	60.29	18.01	7.95	0.078	0.16	1.20	30.7

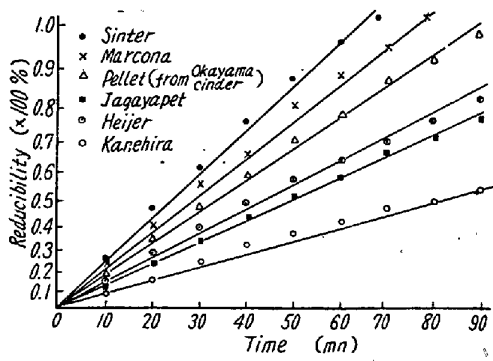


Fig. 1. Comparative results on the reducibility of iron ore lumps.

た還元率は次式に依つた。

$$\text{還元率}(\%) = (\text{試料の減量}) / (\text{試料中の酸素量}) \times 100$$

還元率は鉱石の脈石および還元過程におけるガス滲透性および固有の気孔率また型態等²³⁾により影響されるが実験結果によれば大約、時間に対して還元機構より一次指数関数関係があると考えられ、したがつて図において縦軸に $(1 - e^{-a})$ をとり横軸に還元時間を目盛つた。実験範囲の鉱石については半指数グラフにより試験結果は直線関係に現われ、また当所成品の拡散型焼結鉱は酸化度の低い割合に還元性は極度に良好であり、また他の鉱石と同様に直線関係となつた。

硫酸焼結の配合度の高い焼結鉱は物理的性質が良好とはいいがたいが冷却方法の改良ならびに粒度の要求に応じて篩別処理を強化することにより高炉に悪影響をおよぼさないことを確認している。焼結鉱は経済的に有利な製鉄原料であり化学的不純物 P, S および Al_2O_3 等の少いまた Fe 品位の高い鉱石である。Cu 成分は脱銅により低下するが製鋼用鉄の場合は 50~70% 配合で抑制され全焼結鉱操業は鑄物鉄吹鉱において可能である。以上は焼結 70% 配合焼結鉱の場合であるが焼結鉱原料費の問題をこれ以上考慮しない場合、外地粉鉱の添加率増加により焼結鉱中 Cu 分稀釈により製鋼用鉄においても単味使用は可能である。

III. 焼結鉱の高炉操業におよぼす影響

まず焼結鉱の使用状況推移を実績により示すと Fig. 2 のごとく概して焼結鉱使用割合は吹製鉄種により規制される。これは単に焼結鉱中銅成分に因るものである、したがつて焼結鉱と他の鉄鉱石の配合は Cu 量に関する Blending Problem として計算されうる。すなわち $c_0, c_1, c_2, c_3 \dots$ 焼結鉱および他の鉄鉱石中銅成分(%) $r_0, r_1, r_2, r_3 \dots$ 焼結鉱および他の鉄鉱石中铁成分(%) $m_0, m_1, m_2, m_3 \dots$ 焼結鉱および他の鉄鉱石使用量 (kg)

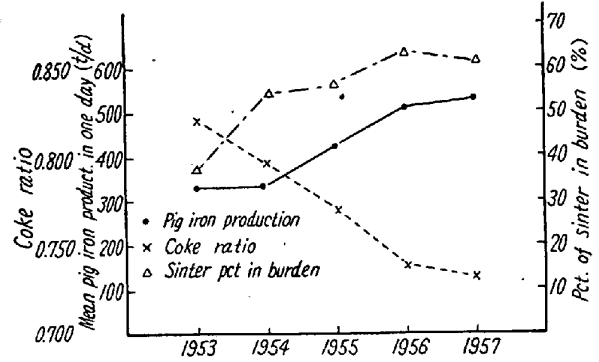


Fig. 2. Performance of No. 1 blast furnace at Amagasaki.

とすれば次式を満足するごとく $m_0, m_1, m_2 \dots$ を決定しうる。

$$m_0 r_0 + m_1 r_1 + m_2 r_2 + m_3 r_3 + \dots = Fe \text{ (kg / ton pig)} \dots (1)$$

また $\alpha_F, \alpha_B, \alpha_L$ を鑄物鉄、製鋼用鉄および低銅鉄中銅分許容規格(%)とす。鉄鉱石中銅成分は全量還元され鉄鉄中に固溶すると仮定すると

$$\left. \begin{aligned} \text{鑄物鉄の場合: } m_0 c_0 + \sum_{i=1}^n m_i c_i < 10 \cdot \alpha_F \\ \text{製鋼鉄の場合: } m_0 c_0 + \sum_{i=1}^n m_i c_i < 10 \cdot \alpha_B \\ \text{低銅鉄の場合: } m_0 c_0 + \sum_{i=1}^n m_i c_i < 10 \cdot \alpha_L \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

$$\text{また焼結鉱使用率: } \eta = m_0 / \sum m \dots (3)$$

当所における原料使用方針は (2) 式を満足する範囲において (3) 式を最大ならしめるごとく焼結鉱が使用されている。

実際操業において鑄物鉄の場合、焼結鉱使用率は80%以上、製鋼用鉄においては 50~70% また低銅鉄においては 45% 以下である。Fig. 2 に示すごとく、吹入れ後逐年的に焼結鉱使用率は増大しそれにしたがつて出鉄量は増加しコークス比は低下してきた。1957 年において前年より焼結鉱使用率が低下したのは No. 2 高炉操業開始により一時的に焼結鉱が不足したためであり各期間を通じ月間 No. 1 高炉は鉄鉄販売関係上、3 種の鉄鉄につき吹製変更され、したがつて60%焼結鉱使用率に月平均において平衡状態となつたが将来、鑄物鉄専用炉となつた場合、使用量および使用率は特に上昇するものと期待されている。概して焼結鉱はその原料鉱石の銘柄および性状によりいちぢるしく高炉の影響度をこととするものである。たとえば完全に処理された磁鉄鉱質を多量に配合される場合、焼結作業は容易であり、また炉内において十分に強くまた良好な還元性の状況を提供する。また原料により物理的性状と化学的要求とが相反的な成品が一般の場合、多いようにも考えられ、いかなる範囲の性

質を要求するかは各所種々雑多であると考えている。当所においては勿論、強度、粒度の要求が強いが化学的性質すなわち還元性につき炉体の現状からもつとも強く要望されている。つぎに焼結鉄使用状況による高炉々内反応について検討する。Ⅱ節でのべたごとく焼結鉄は他の鉄鉱石と物理ならびに化学性状を異にし炉況におよぼす影響も顕著である。質量作用の法則より導引された W. Oelsen⁴⁾⁵⁾が採用した反応係数：

$$Ks.Si = (S) / [Si] \cdot \sqrt{[Si]}$$

また炉内ガス還元性⁶⁾につき焼結鉄使用率との関係を決めると Fig. 3 の結果をえた。図は最近4カ月間の安定した炉況につき日平均値をもつて検討したものである。

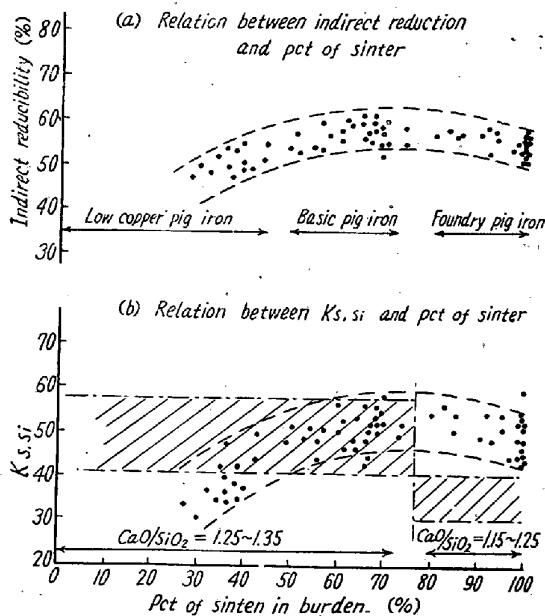


Fig. 3. Reduction and Ks.Si for various sinter % in burden.

前述のごとく焼結鉄使用率はおのずから鉄種により限定され、したがって配合率により塩基度が規定されるものである。通常、鋳物鉄においては $CaO/SiO_2 = 1.15 - 1.25$ 、低銅、製鋼鉄においては $CaO/SiO_2 = 1.25 \sim 1.35$ である。W. Oelsen curve より塩基度による Ks.Si 値の理想的操業限界を求めれば図中、斜線の範囲となる。すなわち焼結鉄 50~70% 使用率の製鋼鉄の場合、もつとも良好な成績を示し、低銅鉄の場合はこの範囲より低い部分を占め、また鋳物鉄においては上部にプロットされている W. Oelsen curve に一致するほど、高炉還元状況は良好であるが下位に存在するものに比較して上位に存在するものは良好といえる。以上の結果より低銅鉄すなわち焼結鉄低使用率の場合にはもつとも不調であり焼結鉄使用率増加にしたがつて 70% 使用率まで還元性はよくなり 80~100% 使用率において低下の傾向があるが、

この範囲においては理想反応範囲より上位に存在している。低銅鉄の場合においても焼結鉄使用率の高い側に理想的操業限界に接近する性質がある。しかして熔滓—熔鉄間平衡論より雰囲気温度および時間に関する炉内装入物降下速度などの影響により Ks.Si はつぎのような指数函数として表わされる。すなわち

$$Ks.Si = A \cdot e^{a_1(CaO/SiO_2) + a_2(T) - a_3(kg\ coke/m^2h)}$$

A, a_1 , a_2 および a_3 …反応恒数

T…………… 雰囲気温度(°C)

kg coke/m²h ……コークスより算出した高炉操業度

上式の各恒数は実際操業資料より統計数学的に決定されるが鋳物鉄吹製時は熔解温度高く他の鉄種に比較して Ks.Si 曲線は上位にずれる傾向があり、したがって理想的操業範囲は上部に移動し操業実績と一致するように考えられる。

Fig. 3. (a) (b)をあわせ考察する場合、いずれも焼結鉄使用率 60% 附近において最大値を示し低使用率側に特に低下している2次曲線的な特性を有している。これは炉内の複雑な要因のため直接焼結鉄の還元試験結果と一致しがたいが、その使用は冶金学的に大いに有益であると考えられる。炉内ガス還元性と Ks.Si 値は明白な正相関性があり当然シャフト部ガス還元層において還元的良好なときは Ks.Si に影響すると考えられる。かように焼結鉄の使用により炉内還元状況を向上せしめることができる。つぎに焼結鉄使用率により分割された鉄種について熱風温度と炉内還元状況を表わす炉頂ガス成分より算出された羽口前燃焼炭素量とソリューションシロス反応を行うと計算される炭素量の比、 $R^{7)}$ との関係、また熔鉄温度との関係等につき調査した結果を Fig. 4 および Fig. 5 に示す。鉄種による出鉄量ならびにコークス比について検討した結果はほとんど相関性なくこれは焼結鉄使用率によつてコークス比および出鉄量はほとんど関係のないことを証しているものである。これは鋳物鉄についても出鉄量、コークス比が増減しないことを示すものでありコークス比にも関係する R の値の変化についても各鉄種にかかわらず熱風温度は Fig. 4 より大同一直線関係にある。併し熔鉄温度は R に関して鉄種別に判然と高低を異にし焼結鉄高使用率側すなわち低銅鉄、製鋼鉄より鋳物鉄へと温度が高くなつていく。以上の結果より焼結鉄はすぐれた還元性を賦与する結果、熔解層雰囲気温度を高めること以外にかつ熔解温度を高める特性を有していると解して差支えない。したがって焼結鉄高使用率の操業は炉熱がききやすく操業が容易となり鋳物鉄においても減荷の必要性がなくコークス比に変化が

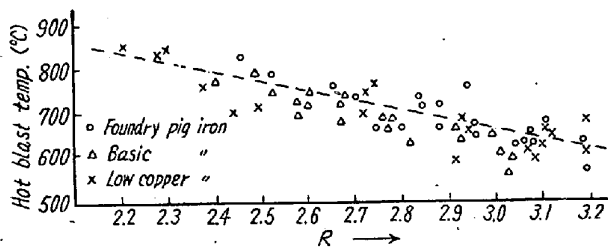


Fig. 4. Relation between reacting behaviors of carbon in furnace and hot blast temp. for various kinds of pig iron.

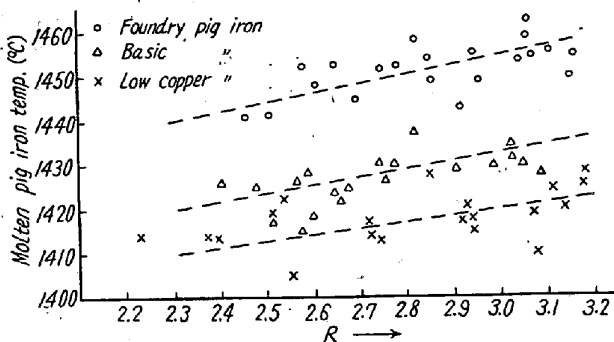


Fig. 5. Relation between reacting behaviors of carbon and molten pig iron temp. for kinds of pig iron.

生じないものである。それゆえ熔解層の温度に顕著に影響される脱硫反応についても Fig. 6 のごとく焼結鉍使用率により脱硫反応が活発となることがわかる。

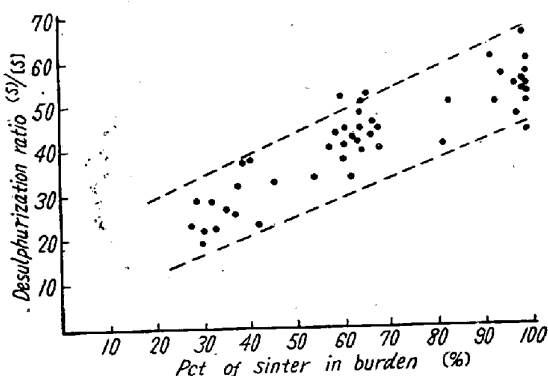


Fig. 6. Relation between desulphurization ratio and % of sinter in burden.

尼鉄 No. 1 高炉々壁の推移³⁾について昭和 28 年 4 月シャフト部炉壁はプロフィールに比較し約 40m³ 侵蝕された状態にて再度使用して吹入れされ同 29 年度の減風操業後、スタック部炉壁煉瓦積の膨脹甚だしくサンドシールボツクス部を突上げ切断補修を行った。このたびの炉壁膨脹は温度膨脹より寧ろ炭素析出によるものと考

えている。周知の如く硫酸焼鉍中には Zn 含有率高く通常 0.5~1.0% Zn が存在している。しかし脱銅処理により 90% 以上の Zn が抽出されるが、尚ほ焼結鉍中に僅少量含有され、この Zn が炉内にて還元また揮散して装入物中焼結鉍組成のフェライトと ZnO が FeO と 2·ZnO·SiO₂ に分解すると報告⁹⁾されているが、分解 FeO が 500°C 附近の煉瓦積内にて活発に炭素析出を行つたものと考えている。この他、焼結鉍は炉壁損耗を加速するといわれているが再開時既に炉壁内部煉瓦積は耐火度に於て極度に低下し SK 20 程度であつたため昭和 31 年 5 月の炉壁調査においてはシャフト下部附近で約 1,000mm の炉壁侵蝕があり殆んで炉壁煉瓦は摩耗し尽していた。当調査において解つたことは老化煉瓦積の内面に Zn を主成分とする 2~3mm 厚の膜にて被われたコークスの 300~400mm 巾の不動コークス層があり、更にその内側に同様に 40~50% Zn 成分の 40~50mm 厚さの擬壁が存在していた。これらの結果より Zn は寧ろ炉壁を保護したとも考えられる。この種の Zn 析出は炉頂部金物全内面にも認められた。装入された Zn はその大部分がガスと共に揮散し除塵器その他から除去されるが特にタイゼンワッシャーより除去されるスラッグ中に含有率高く、単味焼結使用の場合はタイゼン廃水沈澱槽中の沈澱物に約 65% Zn のものが採取され市販されていた。そのようにシャフト容積は拡大の傾向強く上記 31 年 5 月の調査においては容積拡大率約 1.6 倍となりこのため通風面積は増大した。あらたにシャフト部に冷却函を挿入し鉄皮を保護し操業を続行されたがこのように高炉においてはクローズタイプのシャフト充填が必要であり、また還元率の高い原料が要望される。高炉操業上通風性は重要なファクターであり当高炉においてはむしろ適当な通風抵抗を与える原料が操業実績より要求されている、当所拡散型焼結鉍はすぐれた還元性を有し、かつつぎのごとき通風性におよぼす性質がある。焼結鉍使用率と風量/風圧の比との相関性は密接な関係にあり使用率の増加に対し通風性低下の負関係にある回帰直線を決定すると次式のごとし。

$$y = -0.0029x + 1.3430$$

ただし x ≡ 焼結鉍使用率 (%)

$$y \equiv \text{風量/風圧 (m}^3\text{cm}^2\text{/g. mn)}$$

上式の風圧増加は装入物粒度に起因するものと熔解層拡大によるものとが考えられるが風圧増加にたいして実際操業上スリップおよび柵懸を惹起することなくガス灰発生量も比較的少量であつた。斯様に炉壁損耗状況と装入原料の相調和により順調な操業実績をえたわけである。

IV. 鋳物鉄吹製に関する焼結鉄使用率
60% と 100% の操業実績比較

焼結鉄の高炉操業におよぼす影響についてその概要を記述したが、原料事情により鋳物鉄吹製時 60% 焼結鉄使用を行った昭和 32 年 9 月 2 日～12 日までの 11 日間を A 期間とした 100% 焼結鉄使用率の昭和 33 年 1 月 1 日～19 日までの 19 日間を B 期間とし両期間について操業実績より比較検討した焼結鉄の特性をのべる。両期間に使用された鉄鉱石の化学組成を Table 4、また Table 5 は両期間の原料銘柄別使用率を示す。Table 6 は両期間の操業結果を比較したものであるが一般に鉄鉱石はその還元性については高酸化度のものほど、還元性はよく正相関にあると考えて差支えないが充分、処理された焼結鉄は表示するごとく酸化度は比較的低いにもかかわらず還元試験結果は他の鉄鉱石にくらべてすぐれ、したがって炉内反応については Fig. 3 のごとき特性を有している。しかし単位鉄鉄生産に必要な被還元酸素量は炉内還元率と風量との積に等しいため高焼結鉄使用率においては還元性はほとんど低下することなく、むしろ低酸化度装入物のため風量の必要量は減少し表示するごとく風量は過減するものである。また炭素平衡より考えて前述の R の値を引用すれば次式⁷⁾が成立する。

$$CR' = 0.225Q (1 + 1/R)$$

ただし Q: 鉄鉄 t 当風量 (m³/t. pig)

CR': 鉄鉄 t 当ガス炭素量 (kg/t. pig)

上式の R に特に大きな変化のないかぎり CR' は風量に比例して変化するものであり、したがって 100% 焼結鉄使用率の場合はコークス比が低下したものである。併し焼結鉄使用率の増加のため B 期間においては幾分、風圧が上昇した傾向があり間接還元の少量の低下およびコークス比の大巾の減少により送風温度は上昇した。これは熱風頭熱利用上、高送風熱利用が可能であるといえる。鉄鉄成分については Si 成分はあまり変化しなかつたが S, および P は減少しており、また鉄滓中 Al₂O₃ は極度に低下する結果となつた。以上 100% 焼結鉄操業は良好な資料を提供するが操業上からも炉況は安定し順調な装入物降下を継続し最も吹製容易な操業であつた。

V. 焼結鉄使用の経済的価値性について

前節まで焼結鉄の高炉操業におよぼす影響について種々記述したが本節においては焼結鉄の経済的価値性について検討する。No. 1 高炉操業開始とともに進化し改善された焼結鉄は主要成分は国内資源である硫酸焼鉄の活用を充分達成した。また焼結鉄は統計的に使用率によりコークス比および生産量にあまり影響しない特殊な製鉄原料でありうる。鉄鉄製造に関する経済的影響度の高い要素として焼結鉄使用率、鉄鉄生産量およびコークス比

Table 4. Chemical analyses of iron ore and its oxidation degrees.

Ore	T.Fe	FeO	SiO ₂	Mn	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	Cu	TiO ₂	Oxid. deg.
Sinter A	60.36	12.79	9.23	0.15	2.13	1.32	0.93	0.077	0.036	0.19	0.11	94.50
" B	60.08	16.60	9.13	0.16	2.26	1.30	0.95	0.093	0.035	0.17	—	92.84
Dungun	62.86	2.50	3.83	0.08	3.49	0.16	0.24	0.069	0.024	0.02	0.05	98.99
Sri Medan	61.74	1.63	6.56	0.07	2.59	0.40	0.52	0.053	0.175	tr	0.30	99.36
Goa	63.15	1.50	3.58	1.20	3.12	0.06	0.36	0.019	0.036	tr	0.09	99.42
Larap	57.14	18.56	9.43	1.11	3.61	1.51	1.43	0.960	0.079	0.06	0.28	91.59
Jagayapet	64.35	1.44	4.38	0.06	2.13	0.45	0.29	0.018	0.018	tr	0.11	99.40

Table 5. Ore mixes in burden for comparative periods.

Period	Burden (%)					
	Sinter	Dungun	Sri Medun	Goa	Larap	Jagayapet
A	60.6	14.4	9.5	9.6	4.8	1.1
B	100.0	—	—	—	—	—

Table 6. Comparative data for 60, 100% sinter blowing performance.

Period	Pig iron prod (t/d)	Coke ratio	Ore ratio	Blast volume (m ³ /t pig)	V/P	Blast temp. (°C)	[Si]	[S]	[P]	Ind. red.	Basicity	Oxi. deg. of burden
A	470	0.753	1.521	2,226	1.03	658	1.96	0.032	0.124	0.56	1.22	95.99
B	474	0.718	1.503	2,085	0.91	709	1.99	0.028	0.117	0.55	1.19	92.84

等があげられる。これらの要素についてつぎに検討する。

Ⅲ節でも述べたごとく

$\sum_0^n m_i r_i / A = 1$ ただし A : 銑鉄中 Fe 成分率であり
また、コークス単価 a (yen/t), 焼結鉍およびその他鉄
鉍石単価 a_0 および $a_1, a_2 \dots$ (yen/kg), 銑鉄生産に要
する固定費 δ (yen) およびその他副原料および雑費 β
(yen/t. pig) とする。

銑鉄単位生産量に要する製造費を y (yen/t. pig) とす
ると $y = CR \cdot a + m_0 a_0 + \sum_1^n m_i a_i + \delta/p + \beta$

ただし CR : コークス比 p : 鉄生産量 (t)

かつ CR および p は焼結鉍使用率により変化しないと
考えられるため次式は一定であるとおく。

$$\text{すなわち } CR \cdot a + \delta p + \beta = k$$

したがって y はつぎのごとく導かれる。

$$y = m_0 a_0 + (\sum m - m_0) \frac{\sum a_i}{n} + k$$

$$\sum_1^n a_i / n = \bar{a} \text{ とすると}$$

$$y = (a_0 - \bar{a}) m_0 + \sum_0^n m_i \cdot \bar{a} + k$$

また $y = (a_0 - \bar{a}) m_0 + K$ と考えられる。

しかるに $a_0 < \bar{a}$ であるため y 式は m_0 に関して負の
方向係数を示す。 $m_0 / \sum m \equiv$ 焼結使用率とし m_0 の変化
により $\sum m$ が大略変化しないと仮定すると

$$y = \sum m (a_0 - \bar{a}) m_0 / \sum m + K$$

上式は焼結鉍使用率により一次式として決定される。

つぎに低銅、製鋼および鑄物銑販売価格を Y_L, Y_B お
よび Y_F (yen/t. pig) とすると

$$\epsilon_F = Y_F - y_F$$

$$\epsilon_B = Y_B - y^B \dots \dots \dots (a)$$

$$\epsilon_L = Y_L - y_L \quad \epsilon \text{ は利潤を示す。}$$

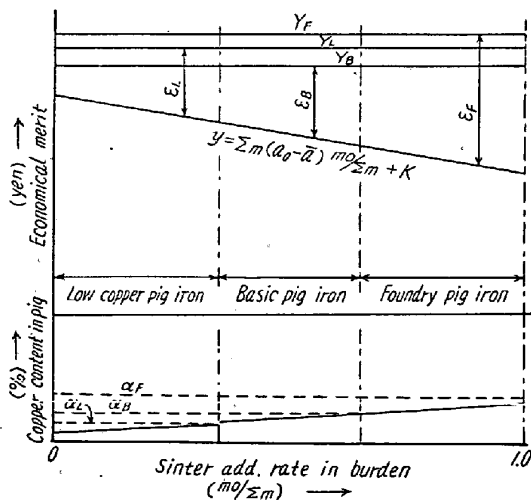


Fig. 7. Economical merit for various mixes of sinter.

また銑鉄中 Cu 許容成分のため

$$\sum_0^n m_i c_i < 10 \cdot \alpha_F, 10 \cdot \alpha_B \text{ あるいは } 10 \cdot \alpha_L \dots (b)$$

でなければならぬ。したがって (b) 式の条件を満足す
る範囲において (a) 式の ϵ 値を最大ならしめる値を求
めると Fig. 7 に示す限界値となる。以上の結果より焼
結鉍使用率は Cu 許容成分限界において最高使用率の場
合がもつとも経済的に有利であることを証明するととも
に操業方針の根拠を示すものである。

VI. 焼結鉍高使用率による銑鉄組織について

鑄物銑について黒鉛化組織に関する要求がしばしば問
題とされる銑鉄組織に関して最も影響度の高い要因とし
ては使用原料の化学的組成成分であると考えられる。焼結
鉍中黒鉛化に影響する元素の中で特に白銑化傾向の強い
ものに Ti, Zn, Co および S その他、瓦斯成分等がある
が従来、焼結原料として使用されていた砂鉄の全面的使
用中止により Ti 成分は極度に低下し銑鉄組織は大いに
改善された。また前述の Zn については炉内還元性およ
び雰囲気温度のため炉底部に降下すること少く銑鉄組成
に影響することはほとんどないことがわかった。S は高
焼結鉍使用の場合、Ⅲ節で述べたごとく脱硫反応は活発
で低硫銑吹製可能であり、したがって S 成分は低い。また
No. 1 高炉は以前、焼結鉍中 FeO の比較的高い低還元
性の成品を使用していたところは炉内還元性の低下および
それによる溶解温度の低下によつて銑鉄中 O₂ 成分の



Photo. 1. Graphite structure of pig iron made from 100% sinter. $\times 190$ (2/3)

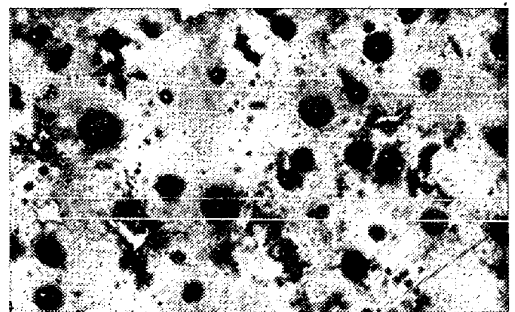


Photo. 2. Structure of identical pig iron treated 0.5% Mg addition. $\times 190$ (2/3)

高¹⁰いものが吹製されたことがあり鑄鉄伝導性について種々検討したこともあるが現在、拡散型の還元容易な焼結鉍を使用している関係からこの種の懸念は少なくなった。しかして良好な黒鉛組織のものがえられておりこの黒鉛化能を表わす実験として Mg 添加実験を行い 100% 焼結鉍使用のものについて Photo. 1 および 2 に示す。Mg 添加量は 0.5% Mg 添加により球状黒鉛組織のものがえられた。以上の結果より 100% 焼結鉍使用銑鉄組織はダクタイル銑につぐ優良な品質のものであると考えている。

VII. 結 言

国内未利用資源活用主旨において主として硫酸焼鉍を主原料として製造された焼結鉍はつぎに示すごとき有益な高炉原料であり得る。

1. 焼結鉍は還元試験において他の鉄鉍石に比較してすぐれた成績を示す。
2. 銑鉄中 Cu 許容成分により銑種について焼結鉍使用率は限定されるが、その使用率を増加する場合、炉内還元特性によりガス還元性は向上し、また W. Oelsen 氏の還元理想範囲に接近し操炉が容易となる。
3. 焼結鉍は溶解温度を上昇する特性があり、これにより脱硫反応はその使用率に従って向上する傾向を有す。
4. 焼結鉍は還元性とは別に酸化度低く物質精算的に

コークス比および風量を減ずる。

以上の利点を有する焼結鉍は鑄物銑吹製において 100% 使用が実施され順調な炉況を実現し炉壁損耗甚だしき No. 1 高炉において能率を低下することなく炉命延長に寄与した。また生産された銑鉄は不純物少く組織のすぐれた銑鉄でありその製造費を軽減することができた。(昭和 33 年 6 月寄稿)

文 献

- 1) 尼崎製鉄: 学振 54 委 (昭和 30 年) No. 361
- 2) A. E. El-Mehairy: J.I.S.I. Vol. 179 (1955) p. 219~226
- 3) J. L. Joseph: Trans amer. Min Met. Eng. Vol 120 (1936) p. 1154~1162
- 4) Willy Oelsen: Stahl und Eisen, March, 3, 1949, Aug. 30, 1951, Mai 19, 1955
- 5) 金丸, 他: 鉄鋼協会 52 回大会にて講演 (昭和 31 年)
- 6) 尼崎製鉄: 学振 54 委 (昭和 31 年) No. 422
- 7) 金丸, 他: 鉄鋼協会 50 回大会にて講演 (昭和 30 年)
- 8) 尼崎製鉄: 学振 54 委 (昭和 32 年) No. 470
- 9) 林, 洪野: 品川技報 (1957) No. 5 p. 2~16
- 10) 金丸, 他: 鉄鋼協会 52 回大会にて講演 (昭和 31 年)