

## 論 文

## 高炉流銑現象に関する一考察\*

森永孝三\*\*・城本義光\*\*\*・恵藤文二\*\*\*\*・奥野嘉雄\*\*\*\*

Study on the Phenomenon of Iron Escaping  
from Cinder Notch of Blast Furnace.

Kozō MORINAGA, Yoshimitsu JŌMOTO, Bunji ETŌ and Yoshio OKUNO

## Synopsis:

Customarily the phenomenon of iron escaping is explained as the result of build-up of viscous slag bearing reduced titanium compound and Salamander in the hearth.

However, it seems that the quantity of iron escaping from cinder notch in case of a certain blast furnace is rather related to the low permeability of furnace column rather than to titanium content in burden. Thereupon, we examined the cause of the phenomenon by measuring slag viscosity and analyzing permeability of column.

As the result, the phenomenon is found to result not from the elevation of slag viscosity by titanium compound, but from the reduction of raceway by low permeability of column.

This is thought due to the irregularity of slag temperature around the core and a narrowing of space between the inner wall and the core by reduction of raceway.

(Received 5 Feb. 1964)

## I. 緒 言

炉内容積 1700m<sup>3</sup> を有する室蘭第4高炉は、従来の中型高炉に比べて最近出滓口からの流銑を多く起す傾向を示した。出滓口からの流銑現象は、それが顕著になるとしばしば滓口破損の事故を起し、出銑量を減少させる因となるのでその原因を究明して万全の対策を講ずる必要がある。滓口流銑を起す原因については一般に装入原料中の TiO<sub>2</sub> が炉内で還元されて、低級酸化物となり、これが鉍滓中に入つて溶銑との分離を困難にする高粘度な鉍滓をつくり、さらにはこれらの鉍滓が炉床で Ti ベアを形成して、炉床を隆起させるためであるといわれている<sup>1)2)</sup>。

しかし、室蘭第4高炉では昭和37年3、4月当時装入 TiO<sub>2</sub> 量を下げても流銑は止まらず、むしろ送風圧が高くなるとともに多くなる傾向を示した。したがって、4高炉でのこの当時の流銑が実際に Ti 化合物による高炉滓粘度の異常な増大によつて起きているものかどうかを、流銑時における高炉滓粘度を測定することにより調べるとともに、流銑に伴つて示す過大な送風圧がこれらの現象といかなる関係にあるかを検討した。また、これ

らの検討結果にもとづいて流銑の防止対策についても考察してみた。

## II. 流銑現象に対する高炉滓粘度の影響

室蘭第4高炉について昭和37年3月から10月までの流銑量(比)の推移を操業データとあわせて図示すれば、Fig. 1 のようになる。(ここで示す流銑比とは出滓量 t 当りの流銑 kg である。)

これからみると、第4高炉における流銑現象は、3、4月および7月下旬に多発し、5、10月に減少している。各操業データと比較してみると、鉍滓中の Ti 含量とはほとんど関係がみられないが、風圧/風量とはかなりの相関関係を有しているようである。

しかし、鉍滓中に含まれる Ti 化合物が還元されて Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> または TiO、特に TiN、TiC に変化した場合には、鉍滓粘度を著しく高くして流動性を悪くし流銑を

\* 昭和38年10月本会講演大会にて発表  
昭和39年2月5日受付

\*\* 富士製鉄株式会社本社技術開発部

\*\*\* 富士製鉄株式会社室蘭製鉄所 工博

\*\*\*\* 富士製鉄株式会社室蘭製鉄所

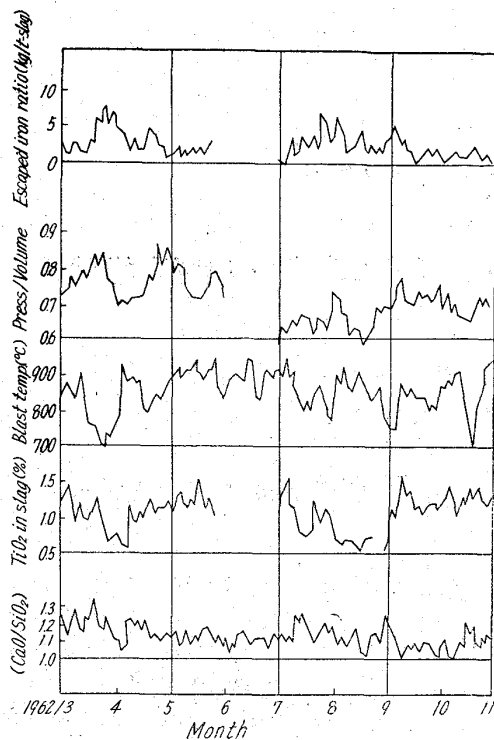


Fig. 1. Operation data of Muroran No. 4 B.F.

起すものと筆者らは考えている<sup>3)</sup>。

したがって、4 高炉のように鉍滓中に含まれるチタンの量が少なくても、炉床では強力に還元される可能性が充分ありうるといえる。そこで、流銑を伴った場合と、平常の場合の高炉滓を採取し、その粘度を測定することによって流銑現象への影響を検討してみた。

(1) 高炉滓の採取および粘度測定方法

高炉滓を採取して粘度を測定する場合、強還元雰囲気にある高炉内の溶滓を全く酸化させないで、そのまま採取することが望ましいが、高温、高熱の出滓口では非常に困難である。

したがって、試料が酸化を受ける恐れはあるが、滓口から出たあと樋を通る途中で溶滓の採取を行ない、砂型で 10 cm 4 角の大きさのものに冷却した。なお、この試料の採取は 8, 9, 10 月の 3 か月間にわたって行なった。

採取した各高炉滓の粘度は、Fig. 2 に示すような回転式粘度計 (ロタビスコメーター) を用いて測定した。すなわちタンマン炉中黒鉛坩堝内で、試料を 1500°C 前後までに昇げて溶解し、充分温度が均一化したのちに測定用の黒鉛ローターを挿入して 1400, 1450, 1500°C の各温度で測定した。

測定する溶滓と接する雰囲気ガスは、滓中に含まれている Ti 化合物の酸化を防ぐために予熱したアルゴンガスを循環させた。なお、黒鉛坩堝や黒鉛ローターを使用しているため滓中チタンがその壁面で還元されて溶滓粘

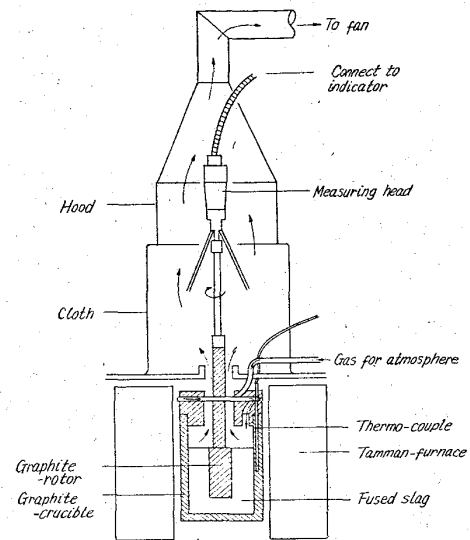


Fig. 2. Rotavisco meter.

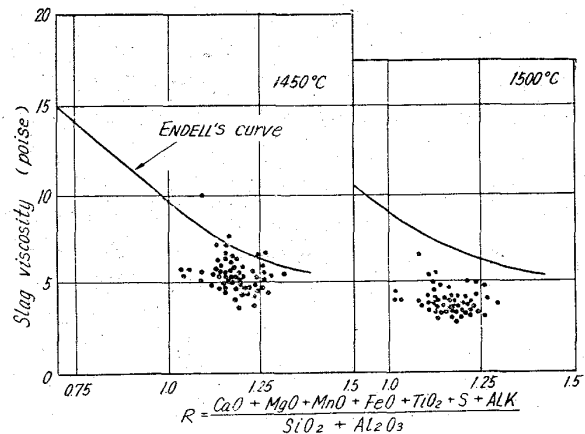


Fig. 3. Relation between slag basicity and viscosity. (measured in Argon gas)

度を高くする恐れもあるが、測定する試料の全体量 (約 1.2 kg) からみてほぼ無視できるものと考えた。

(2) 高炉滓組成と粘度

採取した各高炉滓試料について粘度を測定した結果、1400°C の低い温度ではすでに溶滓の凝固が起きて来たためか、かなり異常な粘度を示すものもあつたが、出滓温度範囲における 1450°C, 1500°C の各温度の場合にはいずれの測定値もばらつきが少なく、8 ポアズ以下の低い粘度を示した。

各高炉滓について図示すると Fig. 3 のようになるが、いずれの試料とも常に 1.0~1.3 の塩基度の範囲にあつて高炉滓組成の変化による粘度への影響はあまりみられなかつた。

高炉滓組成と粘度との関係については、従来から数多くの研究がなされてきたが、K. ENDELL<sup>4)</sup>, BEHRENDT & Kooztz<sup>5)</sup>らによれば、高炉滓組成範囲における粘度は

いずれも 1450~1500°C の出滓温度でほぼ 5~8 ポアズ位となっており、これ位の低い粘度であれば安定した高炉操業を行なうのに充分であるとしている。図中に示す曲線 ( $\eta=4.9/R-0.45$ ) は 1400°C の場合の高炉滓について ENDELL が求めたものであるが、BEHRENDT らによれば、この曲線はむしろ 1450°C の場合の粘度によく適合するとしている。いずれにしても、室蘭の高炉滓の場合には、ほとんどの粘度がこの曲線より下にあることから、高炉採業を行なうためにはほぼ妥当な値であると考えられる。

### (3) 高炉滓粘度と流銑量

高炉滓組成による粘度が高ければ、当然、流銑を起りやすくすることはいうまでもないが、採取した高炉滓粘度の測定結果では、他のデータと比べても充分低く、このために流銑が起きて来たとは考えられない。

しかし、高炉原料中にチタンが含まれる場合、炉内で長時間強還元雰囲気さらされて下降するので、滓中に入る Ti 化合物は少量であつても、強力に還元されて局部的に高炉滓粘度を非常に高くすることも予想される。

この点を明らかにするために、流銑を伴つた場合の高炉滓の粘度について測定し、そのときに流出した流銑量との間の関係を求めてみた。

その結果、Fig. 4 に示すように流銑量の増加にもかかわらず、予想に反して高炉滓粘度はほとんど高くならなかつた。この結果からみると、現在起きている流銑現象は高炉滓粘度とほとんど無関係であると考えられる。

しかし、粘度測定に使用した高炉滓試料は、一度炉外に出ているので、滓中還元状態にあるチタンが大気中の酸素と接して再び  $TiO_2$  にまで酸化してしまつたとも考えられるので、測定した値が実際に高炉内溶滓の粘度をそのまま示しているかどうかは疑問である。

現在、Ti 化合物の形態別分析が非常に困難であるため、鉍滓粘度に対する Ti 化合物の影響を定量的に求めることができないが、チタンを含む鉍滓粘度に対する雰囲気の影響を合成した含 Ti 鉍滓について調べてみた結果では、Fig. 5 に示すようになり、CO ガスを直接溶滓中に吹込んで行なつた強還元雰囲気での鉍滓粘度は、やはりアルゴンおよび酸化雰囲気の場合に比べてかなり高い値を示し、雰囲気による影響がかなり大きくていえる。

今、この Fig. 5 に測定した各高炉滓粘度をプロットしたが、これらの粘度は強還元雰囲気中で測定した合成鉍滓の粘度より低く、アルゴン雰囲気中で測定した粘度に近い値を示した。

これは多分高炉溶滓が 1500°C 前後の高温状態で炉外

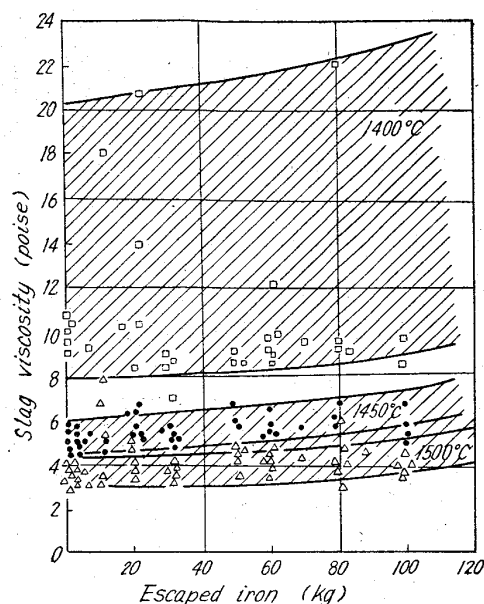


Fig. 4. Relation between slag viscosity and escaping iron from C. N. (measured in Argon gas)

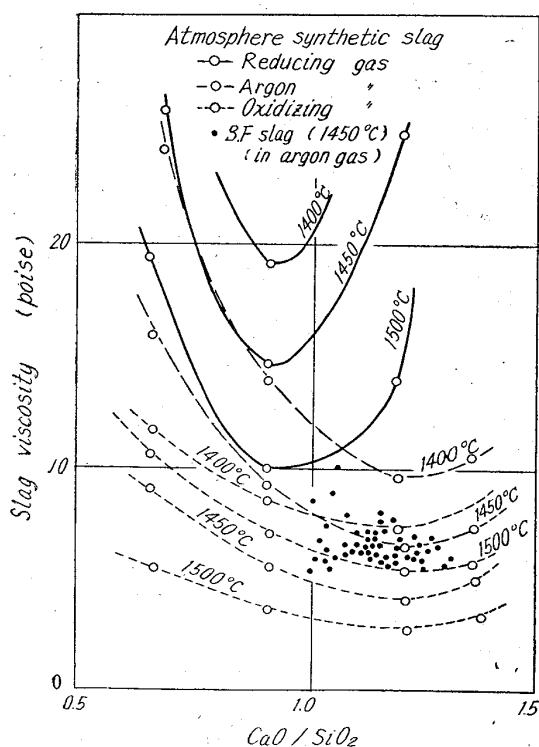


Fig. 5. Relation between slag basicity and viscosity under different atmospheres.

に出て空気中の酸素にふれたため、滓中の Ti 化合物が  $TiO_2$  に変化したのではないかと考えられる。あるいはまた、合成含 Ti 鉍滓が 5 成分 ( $CaO-SiO_2-MgO-Al_2O_3-TiO_2$ ) のみからなつているのに比べ、高炉滓が  $FeO$ ,  $MnO$ , アルカリなどの粘度を低くする成分を含んでいるためとも考えられる。いずれにしても合成鉍滓の場合に

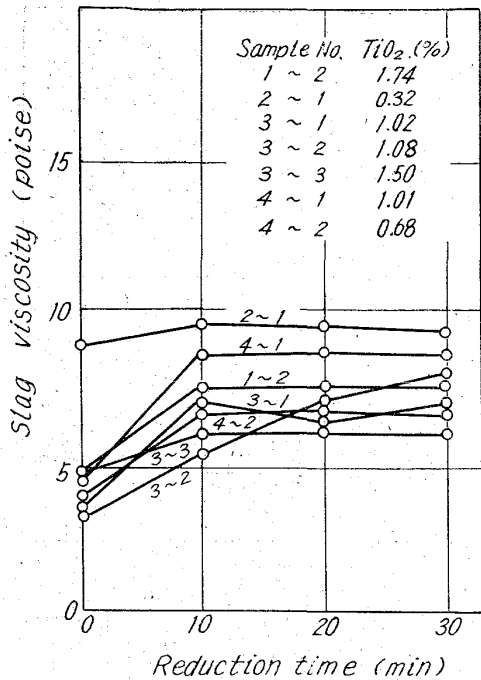


Fig. 6. Relation between blast furnace slag viscosity and reduction time.

は、少いチタン含有量にもかかわらず、高粘度になりうるのもう一度、採取した高炉滓について、合成鉍滓と同じように CO ガス吹込みによる強還元雰囲気中で、粘度を測定した。その結果、Fig. 6 に示すようになり、やはり、いずれの高炉滓粘度ともある程度高くなつたが、しかし、予想したほど流銑時の高炉滓が特に高くなるということもなく、一様な変化を示した。

したがって昭和37年3、4月当時の4高炉で示した流銑現象は、特に従来からいわれているようなチタンを含む高炉滓粘度の異常な上昇によるものではないと考えられる。

### III. 流銑現象と過大送風圧との関係

高炉滓の粘度を測定した結果からでは、昭和37年3、4月当時の室蘭第4高炉の流銑現象は、チタンを含む高炉滓粘度の異常な上昇によるためではないことが明かになつた。しかし、Fig. 1 の採業データに示すように、送風圧が高くなるとともに多くなる傾向を示しているののでこれについて検討した。

一般に送風圧を過大にする要因としては、高炉装入物の粒径、粒度分布および半熔融領域の軟化機構が主に考えられるが、現在のところ、これらの要因と流銑現象との間に、どのような関係があるかについては明かでない。したがって、炉内通気性の難易を表わす通気抵抗指数を求め、これと流銑現象との関係を調べてみた。

#### (1) 炉内の通気性

送風圧が高くなるのは炉内空隙率の悪化による通気抵抗の増大によるものであるが、これらの関係について Sabri ERGUN<sup>6)</sup> は高炉を1種の充填塔と考へて、充填層における圧損失の式を変形して実際の高炉に適用できる式を提出している。

$$P_i^2 - P_e^2 = F(T_e/T_o) \cdot (L^3/V^2) \cdot Q_o^2 \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $P_i$  は送風圧 (kg/m<sup>2</sup>)、 $P_e$  は炉頂圧 (kg/m<sup>2</sup>)、 $L$  は実効高さ (m)、 $V$  は実効内容積 (m<sup>3</sup>)、 $Q_o$  は送風量 (Nm<sup>3</sup>/min)、 $F$  は通気抵抗指数を示す。

この式を用いて各採業データから通気抵抗指数を求めれば、炉内単位容積当りの通気性を明らかにすることができる。この通気抵抗指数は一種の比例定数であつて、通気性の悪い場合に高い値を示すものである。

この式を用いて室蘭第4高炉で流銑の多くあつた3、4月および、流銑の少なくなつた10月の採業データについて通気抵抗指数を求め、風量/断面積との関係を見てみると Fig. 7 のようになり、流銑の多かつた3、4月には通気抵抗指数が増大していることがわかる。したがって、この通気抵抗指数と流銑比との関係をプロットしてみると Fig. 8 のようになり、やはり通気抵抗指数の増大とともに出滓口からの流銑が多くなる傾向にあることが明らかである。

#### (2) 炉内通気性と流銑現象

炉内通気性の悪化により流銑が起りやすくなる現象については、実験室的にそのメカニズムを解明することは

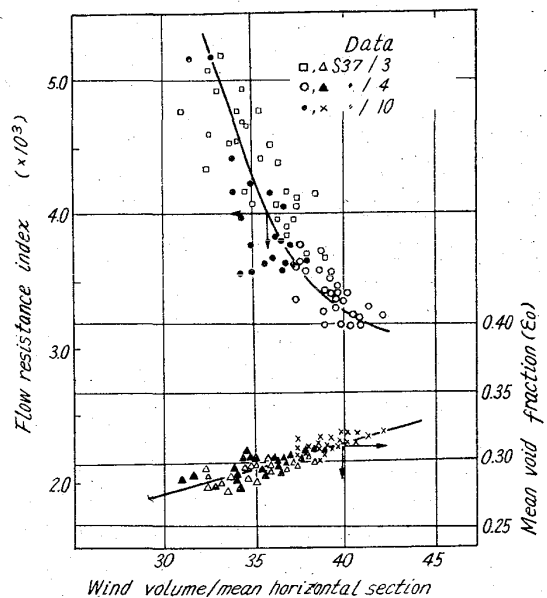


Fig. 7. Flow resistance index of Muroran No. 4 blast furnace.

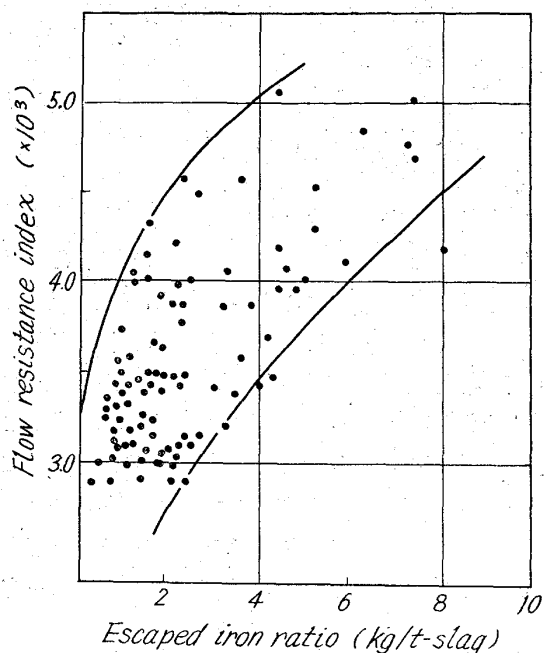


Fig. 8. Relation between escaping iron ratio and flow resistance index.

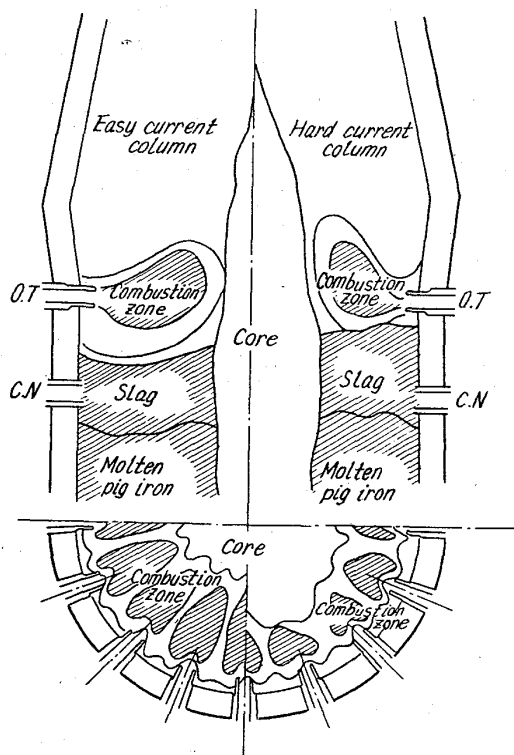


Fig. 9. Explanation of relation between combustion zone and core.

熱風流体の異常な運動の再現という点から考えて非常に困難であるため、具体的に証明できないがおよそ次のような現象により流鉄を起すものと想像される。

すなわち、この流鉄現象は高い風圧を有する熱風そのものによつて溶鉄が出口から押し出されて起るのではなく、Fig. 9に示すように風量、風圧の変化にともなう

燃焼帯の大きさ、逆にいえば炉芯の大きさが強く影響しているものと考えられる。

通気抵抗が小さく風が通りやすい場合には、羽口先の燃焼帯がよく発達して炉芯は収縮するが、通気抵抗が大きく風が通り難い場合には逆に燃焼帯が縮少し、炉芯は成長してくる。したがつて、ほぼ次のような理由にもとづいて流鉄を起すものと考えられる。

i) 燃焼帯の縮少により燃焼熱が充分行きわたらなくなる。このため炉芯をとりまく溶滓層温度は不均一となり局部的に低温部が出て来て粘度の高い溶滓層をつくる。

ii) 炉芯と壁との距離が狭められて溶鉄、溶滓の流れ込むスペースは小さくなる。このため湯面が上昇して来て滓口から溶鉄が溢流する確率を高くする。などである。

これらのことについては、具体的に直接証明するデータは現在のところ無いが、燃焼帯の長さについてJ. TAYLOR<sup>7)</sup>、R. EBERT<sup>8)</sup>などが次のような実験式を出している。

すなわち

$$P = B \frac{V^{0.7}}{\rho^{0.7} D^{0.4} d^{0.5}} \dots\dots\dots (2)$$

ここでPは燃焼帯の長さ (cm), Vは送風量 (Nm<sup>3</sup>/min), ρは熱風相対密度 (空気密度に対する), Dは羽口径 (cm), dはコークス羽口先粒径 (cm), Bは定数である。羽口先でのコークス粒径は直接求めることができないので、装入コークスの平均粒径がこれに比例しているものとして計算した。

この式を用いて燃焼帯の長さとして流鉄比との関係を3月から10月までの操業データについて求めてみた結果Fig. 10のようになり、燃焼帯の長さが短くなるにつれて流鉄の起る確率が高くなっていることがわかる。なお、同時に炉芯距離を実測した昭和38年2月のデータもプロットしたが、やはり炉芯距離と流鉄比との関係は同じような傾向にあるといえる。

したがつて、装入物の粒度分布を改善し、通気性もよくなれば風量の増加が可能となり、炉芯を縮少して大いに流鉄を減らすことができるものと考えられる。

最近、大型高炉 (1500m<sup>3</sup>以上) で起る流鉄現象が、従来の中型高炉に比べて多くなる傾向にあるが、これは羽口から炉内に送り込まれる熱風エネルギー<sup>9)</sup> (熱および運動エネルギー) の不足によつて不安定な炉芯の占める割合が増加したために出て来た問題点の一つであると考えられる。

(3) 高炉々内における通気性の改善

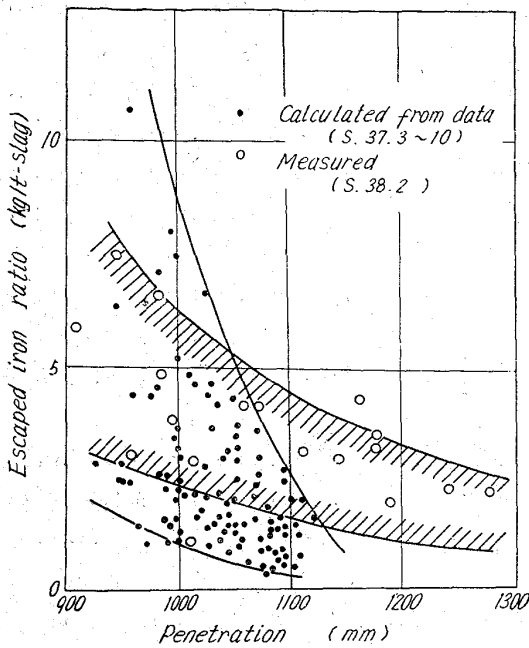


Fig. 10. Relation between escaping iron ratio and penetration.

昭和37年3, 4月当時の室蘭第4高炉では, 使用鉄原料の70%近くが細粒部分を多く含んでいる焼結鉱によって占められていたので, 炉内通気性の悪化には特にこの焼結鉱の粒度構成が大きく影響していたものと考えられる. したがって, ここでは装入物中焼結鉱の粒度分布がシャフト部における装入物の空隙率および炉内全体の空隙率にどれほどの影響を与えているかを実験によって求め, これより流銑を減らすために必要な改善すべき焼結鉱の粒度分布を求めてみた.

i) 焼結鉱粒度分布とシャフト部空隙率との関係

この関係を得るためには, 実際に数多くの装入物を炉内シャフト部から採取し, その空隙率を測定するのが望ましいが非常に困難である. したがって, ここでは日常の炉前焼結鉱粒度のうち, 代表的な焼結鉱粒度分布を4種類選んで, それに鉄鉱石, コークスを混合して高炉装入物をつくり, その空隙率を60cm4角の木箱を用いて測定し, 焼結鉱粒度との関係を求めてみた.

炉内シャフト部における装入物は最初層状に充填され下降するにつれてしだいに混合されるものと考えられるので, ここでは空隙率の測定を層状の場合, 完全混合の場合の両者について行ない, その平均値をとってシャフト部空隙率とした.

焼結鉱粒度分布の表示方法については, 従来から数多く検討されてきたが, まだ充分表示できる式もないのでここでは特に炉内空隙率に大きく悪影響を与える焼結鉱細粒部分を問題とし, この粒度によく適合できるRosin-

RAMMLERの式を利用して, 焼結鉱粒度分布とシャフト部空隙率との関係を求めた.

Rosin-RAMMLERの式<sup>10)</sup>:  $100 - y = 100 \cdot \exp(-bx^a)$

ここでyは焼結鉱累積粒度分布(%), xは焼結鉱の任意粒径, a, bは定数を示す.

この粒度分布式の定数a, bと, 焼結鉱の平均粒度との関係を求めておけば, ある任意の平均粒度を有する焼結鉱の粒度分布を表わすことができる. したがって, 実験で求めたシャフト部における装入物の空隙率と装入物中焼結鉱粒度分布との関係を, Rosin-RAMMLERの式を用いて図示すれば, Fig. 11のようになる. これよりある任意の焼結鉱粒度分布における全装入物の空隙率を予測することができる. (鉄石, コークス粒度についても同じように検討したが, 空隙率の変化にそれほど影響を与えていないので, これらの粒度については一定とした.)

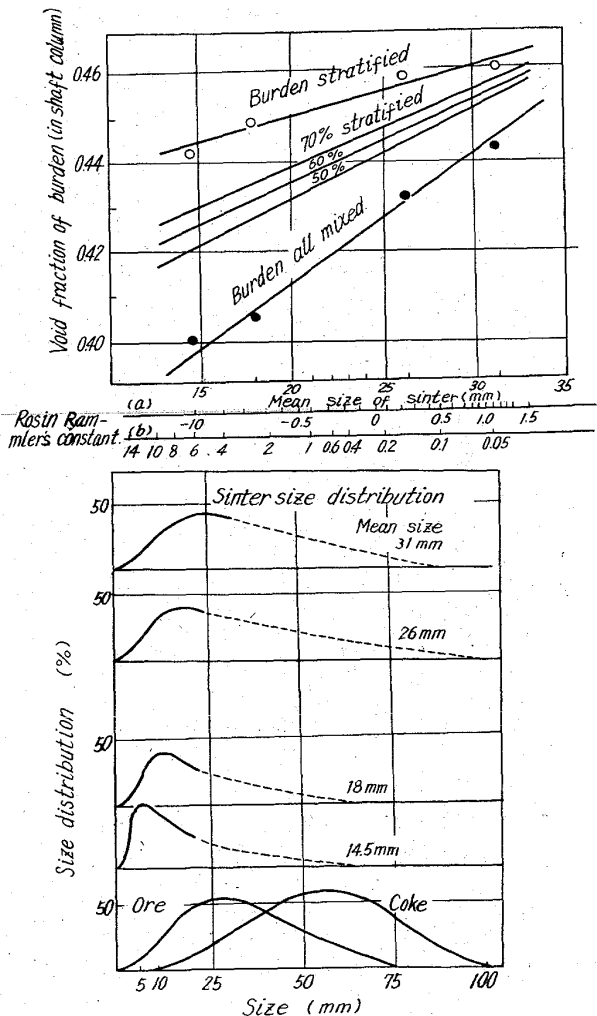


Fig. 11. Relation between mean size of sinter and void fraction of burden at shaft column.

Table 1. Void fraction of Muroran No. 4 blast furnace.

	Void fraction in shaft column	Mean void fraction in blast furnace	Void fraction* in melting section
1962/3	0.419	0.289	0.204
4	0.425	0.299	0.212
5	0.435	0.295	0.208
6	0.435	0.300	0.210
7	0.440	0.317	0.220
8	0.442	0.313	0.218
9	0.430	0.300	0.212
10	0.444	0.313	0.218

\* Calculated void fraction in melting section assuming the zone above 1200°C.

ii) 炉内平均空隙率

次にある一定の空隙率をもつて炉内に入った装入物が炉全体でどのような空隙率を与えるかを調べるために炉内空隙率を通気抵抗指数より求めた。

通気抵抗指数 ( $F$ ) と炉内平均空隙率 ( $\epsilon_0$ ) との間には次のような関係がある。

$$F = 3.78 \times 10^{-6} (1 - \epsilon_0 / \epsilon_0^3) \cdot (P_0 / D_p) \cdot \rho_0 \dots (3)$$

ここで  $D_p$  は装入物平均粒径 (m),  $P_0$  は大気圧 (kg/m<sup>2</sup>),  $\rho_0$  は空気密度 (kg/m<sup>3</sup>) を示す。

昭和37年3, 4月当時の室蘭第4高炉の全装入物の平均粒径は、ほぼ36~38mm前後であるから、この式を利用して炉内平均空隙を求めると、0.28~0.32の値となる。木箱で測定したシャフト部の空隙率が0.42~0.44の値であることから比べてかなり低いことがわかる。

今、昭和37年3月から10月までの操業データについてFig. 11の焼結鉍粒度分布と、シャフト部空隙率との関係および第3式の通気抵抗指数と炉内平均空隙率との関係から、シャフト部空隙率および炉内平均空隙率を求めてみると、Table 1のようになる。これを見ると、流銑の多くあつた3, 4月の空隙率はいずれも低く、流銑の少なかった10月はやはり高くなっている。

炉内平均空隙率とシャフト部空隙率とはかなり異なつた値を示しているが、実際にはこれらの値の間に

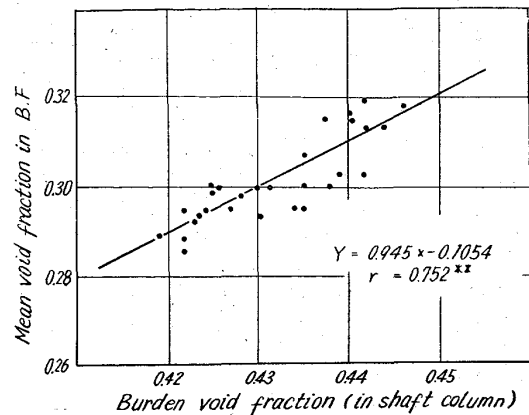


Fig. 12. Relation between burden void fraction and mean void fraction in blast furnace.

かなり緊密な関係があるものと考えられる。したがつて、これらの関係についてプロットした結果、Fig. 12のようになり、シャフト部空隙率 ( $X$ ) と炉内平均空隙率 ( $Y$ ) との間には、高度に有意な相関関係のあることがわかつた。

すなわち、 $Y = 0.945X - 0.106$  ( $r = 0.752^{**}$ )

この相関々係を利用すれば、ある任意の空隙率を有する装入物が炉内でいかなる空隙率を示すかを知ることができる。

(3) 改善すべき焼結鉍粒度

上記で求めた焼結鉍粒度分布—シャフト部空隙率、シャフト部空隙率—炉内平均空隙率、炉内平均空隙率—通

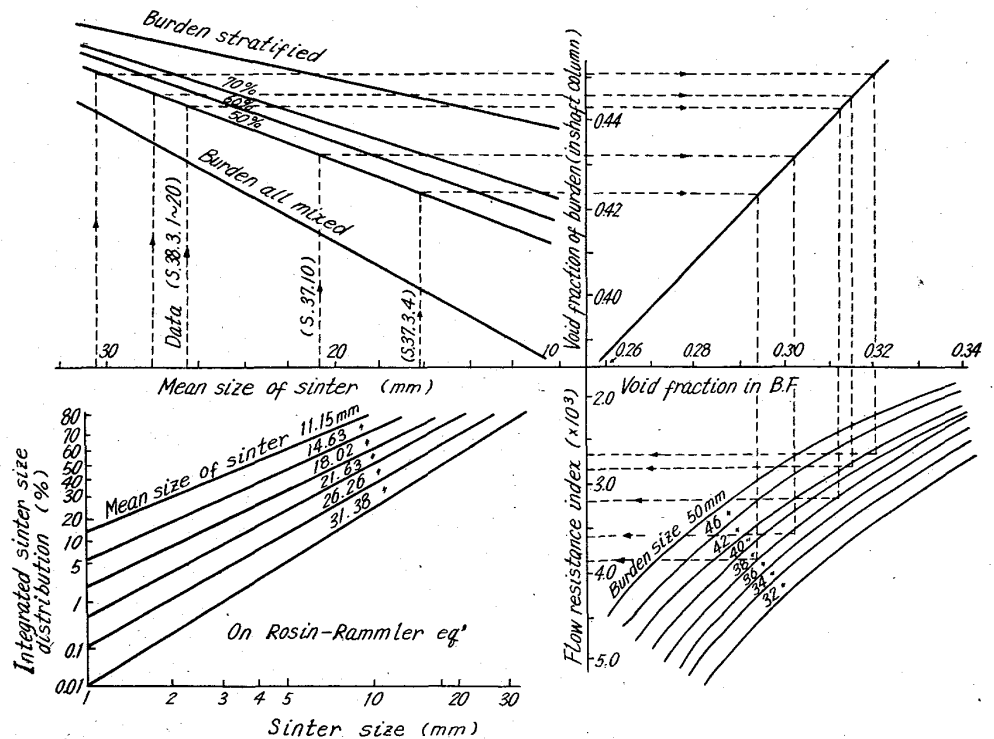


Fig. 13. Nomogram of flow resistance index, void fraction and sinter size distribution.

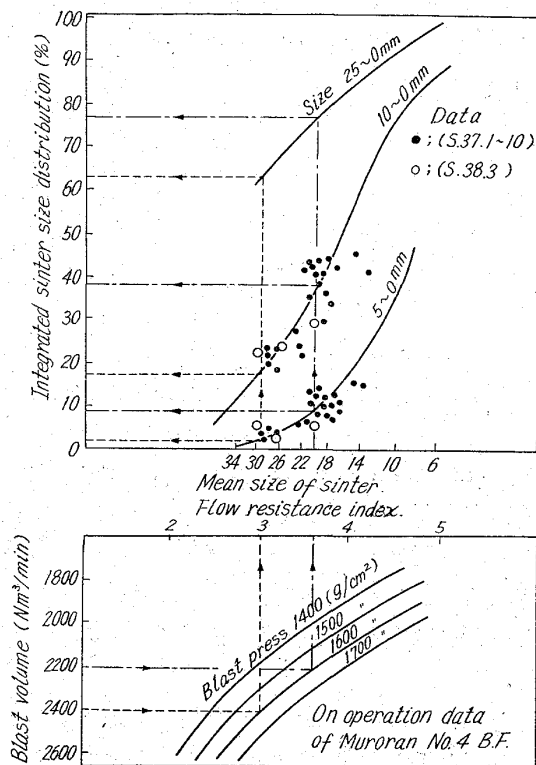


Fig. 14. Relation between flow resistance index and sinter size distribution.

気抵抗指数, などの関係をノモグラフにまとめれば, Fig. 13 のようになる. 今, この図を利用して室蘭第4高炉における風量一風圧一通気抵抗指数一焼結鉄粒度分布を求めてみると, Fig. 14 のようになる. この図を利用すればある任意の通気抵抗指数におさえるために必要な装入物中の焼結鉄粒度分布を求めることができる.

ゆえに, Fig. 8 の流鉄比と通気抵抗指数との関係から, 2.0 以下の流鉄比におさえるためには通気抵抗指数 3.0 以下であることが必要であり, このためには焼結鉄粒度 0~5mm 2%, 5~10mm 15%, 10~25% mm 47% 程度にしなければならないことがわかる.

### V. 流鉄をなくするための対策

昭和37年3, 4月当時の室蘭第4高炉で起きた流鉄現象は, 主に炉内通気性の悪化に伴う燃焼帯の形状によって大きく影響を受けているものと考えられる.

ゆえに, こういう場合の流鉄をなくするためには次のような対策を講ずる必要があると考える.

(1) 強度が高く, しかも品質が均一で8~10mm以下ができるだけ少ないような優良の焼結鉄(あるいは粉化の少ないペレット)を製造する.

(2) 炉前焼結鉄の篩分け装置を新設し, 篩分けを厳密に行なうて8~10mm以下をできるだけ少なくする.

(3) コークスを細粒化して焼結鉄粒度に近づけ炉内空隙率の改善を図る.

(4) 燃焼帯の拡大を図るような方法, たとえば送風羽口形状の改善, あるいは熱風のジェット噴射などを考える.

(5) 出滓口から溶鉄が溢流するのを防ぐため出鉄回数を増す.

などが有効であると考えられる.

ただし, 含チタン鉄石を多量に装入した場合には, やはり鉄滓粘度が異常に高くなるので, この場合に起きる流鉄については鉄滓中チタンの還元を防ぐような方法を講じなければならない.

## VI. 結 論

昭和37年3, 4月当時の室蘭第4高炉で示した流鉄現象の原因が, 従来からいわれているように, Ti化合物による高炉鉄滓粘度の増大によるものかどうかを, 流鉄時の高炉鉄滓粘度を測定することによって調べた.

その結果, 高炉鉄滓粘度はいずれも出滓温度範囲において流鉄量の多少にもかわからず, ほとんど8ポアズ以下の低い粘度を示し, 高炉鉄滓粘度の異常な増大はみられなかった.

ゆえに, 昭和37年3, 4月当時4高炉で示した流鉄が特に Ti化合物による高炉鉄滓粘度の上昇によつて起きたものであるとは考えられない.

一方, この場合の流鉄は送風圧が高くなるとともに, 多くなる傾向にあつたため, 流鉄現象とこの送風圧の過大といかなる関係にあるかを炉内通気性から検討した. その結果, 主に通気性の悪化にともなう羽口先燃焼帯の形状によつて大きく影響を受けていることが明らかになった. すなわち, これは送風圧が高くなり風量が少なくなると, 燃焼帯が充分発達しなくなるので, 炉芯が生長してきて炉芯と壁との間隙を狭くするため湯面があがつて, 溶鉄の溢流する確率が高くなるとともに, 炉芯をとりまく溶滓層の温度分布が不均一となり, 部分的に高粘度な鉄滓をつくつて溶鉄をまき込み易くなるためであると考えられる. 実際に燃焼帯が充分発達して, 炉芯と壁との間隙が大きくなれば, 流鉄量は大巾に減少している.

したがつて, 炉内通気性を改善して風量を増加すれば燃焼帯が充分発達して, 流鉄を少なくすることができると考え, 炉内通気性に大きな影響を与えている焼結鉄について風圧を下げ, 風量も増加させるために必要な改善すべき粒度分布を求めてみた. その結果, 流鉄を低くおさえるためには焼結鉄粒度 8-10mm 以下を 15% 程度



にとどめなければならないことが明らかになった。

なお、これらの検討結果から昭和37年3、4月当時4高炉で起きた流銑が特にTi化合物による銑滓粘度の上昇によるものではないことを明らかにしたが、装入原料中に砂鉄などの含Ti銑石を多量に使用した場合には、やはり炉内で強く還元されたTi化合物が銑滓粘度を著しく高くして、滓口流銑を起すものと考えられる。したがってこの場合には、滓中チタンの還元を防ぎ、銑滓の流動性をよくするような方法を考えねばならない。

終りに本研究に御指導、御鞭達を賜りました室蘭製鉄所研究所長久田清明氏、製銑部長楠野桂三氏、同副長小田部精一氏、本社生産課長山田竜男氏、室蘭製鉄原料工場長加瀬恣氏、同工場原料掛長金山有治氏に深謝致します。

## 文 献

- 1) J. A. HESKETT: J. Iron & Steel Inst.(U.K.) 132 (1920), 1, p. 201
- 2) 長谷川熊彦: 砂鉄, (1963), p. 230~235
- 3) 恵藤文二: 鉄と鋼, 43 (1957), 3, p. 211
- 4) K. ENDELL & G. BRINKMANN: S.U.E. 59 (1953), p. 1319
- 5) BEHRENDT & KOOTZ: S.U.E., 69 (1949) p. 399
- 6) S. ERGUN: I.E.C. 45 (1953), p. 473
- 7) J. TAYLER: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 187 (1957), p. 330
- 8) R. EBERT: J. Iron & Steel Inst. (U.K.) 190 (1960), p. 46
- 9) M. Ya. OSLROUKHOV: Stal in English, 7 (1962), p. 512~515
- 10) 森 芳郎: 新化学工学講座 W-1, p. 15

## 1t 高炉による粉炭吹込試験\*

館 充\*\*・中根千富\*\*\*・金 鉄祐\*\*\*・鈴木吉哉\*\*\*

### Experiments on the Powder-coal Injection into 1-ton Blast Furnace.

Mitsuru TATE, Chihu NAKANE, Cheoul Woo KIM and Kichiya SUZUKI

#### Synopsis:

In August, 1962, powder-coal injection tests were executed at the experimental blast furnace (about 0.5m<sup>3</sup> inner volume 0.5m hearth diameter about 2m effective height) of the Institute of Industrial Science, Tokyo University. The furnace, ordinarily, was operated with 100% self-fluxing sinter (3~10mm size, CaO/SiO<sub>2</sub> = 1.2) and consumed about 1.8t coke per day of 10~20mm size containing 88.1% fixed carbon and 10.9% ash. About 470kg coal per day of -1mm size, which contained 45.8% fixed carbon, 39.5% volatile matter and 11.9% ash was injected through the 4 tuyeres by cold compressed air (about 0.45Nm<sup>3</sup>/min). For heat compensation, blast temperature was raised from 575°C (at normal operation period) to 670°C and oxygen was enriched so as to make its concentration in the blast about 25%, keeping total oxygen volume blown into the furnace per unit time the same as that at normal operation period.

Coke rate decreased from 1.478 t/t (at normal operation) to 1.091 t/t (by 26%), and pig output increased by 15%. Gasification ratio of coal was calculated to be only about 75%; nevertheless, apparent replacement ratio of unit coal was 1.13 unit of coke. This result is explained mainly by the remarkable decrease of solution loss caused by the reducing action of H<sub>2</sub> contained in the coal: this enabled an increase of burden ratio, and therefore, that of pig output, which diminished relative heat losses due to top gas and radiation of furnace.

Coke equivalent of this heat economy, as well as that of carbon contained in the coal, was calculated, the sum of which was found to have nearly the same value as the obtained replacement ratio. (Received 22 Jan. 1964)

## I. 緒 言

東京大学生産技術研究所の試験高炉では、昭和37年3~4月の第12次操業で粉コークス吹込試験と粉炭吹込の

\* 昭和38年10月本会講演大会にて発表

昭和39年1月22日受付

\*\* 東京大学生産技術研究所 工博

\*\*\* 東京大学生産技術研究所