

論 文

溶鋳炉の燃焼帯に関する研究*

児玉惟孝**・重見彰利***・緒方年満***・堀尾竹弘***

Study on Combustion Zone in a Blast Furnace.

Koretaka KODAMA, Akitoshi SHIGEMI, Toshimitsu OGATA and Takehiro HORIO

Synopsis:

By using an experimental blast furnace of which the inner volume is 0.4m^3 and the diameter of hearth is 440mm, the effects of some factors on the combustion zone in front of the tuyeres were investigated. The results obtained were as follows:

- (1) On increasing the temperature of blast, the temperature in front of tuyeres was raised uniformly, while the CO_2 content was decreased.
- (2) On enriching oxygen into blast, the temperature in front of tuyeres was raised, and its rate was more than that of the temperature of blast. The extent to which CO_2 existed was very small.
- (3) On adding moisture into blast, the temperature in front of tuyeres dropped considerably.
- (4) In combination with enrichment of oxygen and addition of moisture, the state of the combustion zone in front of the tuyeres could be approached to that of normal operation.
- (5) When the size of coke was too small, the temperature at the lower part of the bosh was little changed. But the temperature of the upper part of the bosh was raised.
- (6) When the diameter of tuyeres was small and the velocity of blast in tuyeres were increased, the temperature at the center of hearth and the lower part of the bosh was raised.
- (7) On increasing the blast volume, the temperature in front of tuyeres was raised slightly.

I. 緒 言

最近の溶鋳炉操業では送風中に水蒸気、酸素、および各種燃料添加などの新技術が生れ、操業能率向上に役立っている。このような方法を実施すると溶鋳炉の燃焼帯に種々の影響をおよぼし、ひいては操業自体に大きな影響をおよぼす。しかしながら燃焼帯の状況を実際の大型高炉で測定することは至難の業である。したがってまだほとんど明らかにされていない。

燃焼帯の形状、性質は主として通風状態、燃料の性質などに関係する。通風状態は送風量、送風圧力、送風温度、羽口形状、酸素などの添加の有無など種々の条件によつて変化し、またコークスの粒度性質により種々の形の燃焼帯を生じていると考えられる。

従来の燃焼帯に関する研究^{1)~3)}は主として実際の溶鋳炉の羽口より鉄棒を挿入して炉芯の大きさを測定したり、あるいはガスサンプラーをいれてガスを採取したりして燃焼帯の内部を推定するものが多かった。この方法では燃焼帯の羽口水準における奥行きに関してはある程

度まで考察されるであろうが、垂直方向に関して調査することは不可能である。またこの方法による測定では羽口内部の通風状態が平常作業時と異なるため精度が悪く、この資料によつて種々の考察を加えることはできない。

このような測定を行なうには炉内測定が比較的容易であり、操業条件を所望に応じて容易に変更出来る小型試験溶鋳炉を使用することが最良と考えられる。

それで今回内容積 0.4m^3 の試験溶鋳炉によつて、羽口燃焼帯におよぼす諸因子の影響を調査して操業上の参考に資せんとした。

II. 試 験 装 置

使用した試験溶鋳炉は Fig. 1 に示した。内容積は 0.4m^3 である。この炉の側壁には図に示したように多数の測定孔が設けてある。

* 昭和36年10月本会講演大会にて発表

** 八幡製鉄株式会社、八幡製鉄所技術研究所、工博

*** 八幡製鉄株式会社、八幡製鉄所技術研究所

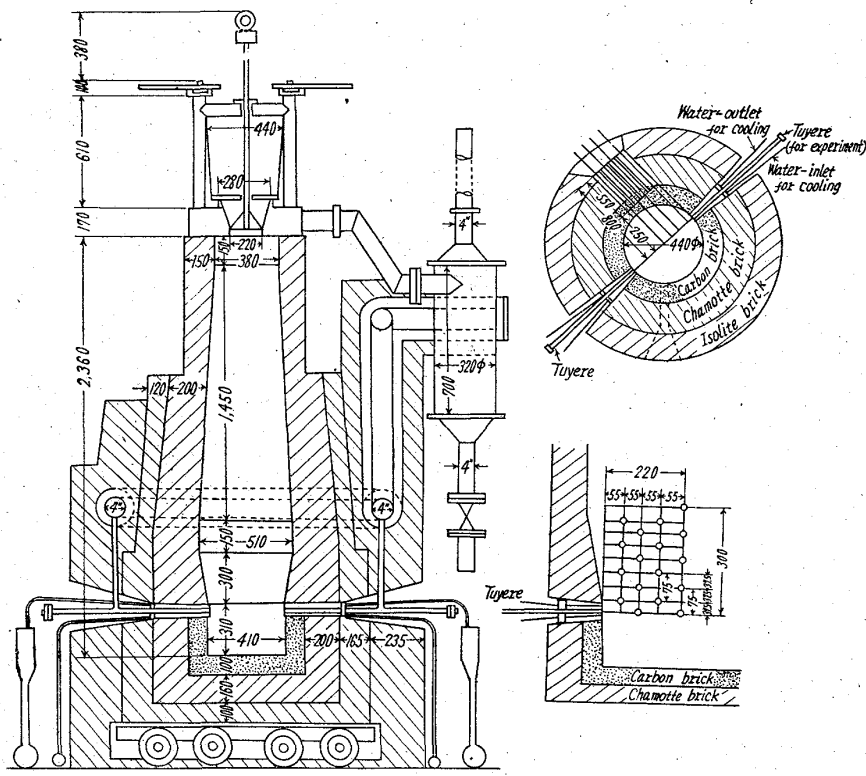


Fig. 1. Elevation of the experimental blast furnace (left) and an arrangement for measurement of the temperature of combustion zone and sampling of gas (right).

この試験溶鉄炉の一本の羽口を利用して羽口前の燃焼帯の奥行方向、および垂直方向の温度ならびにガス成分の分布を調べた。そのため測定羽口の送風方向と直角な方向の炉壁に設けられた多数の測定口を通して、温度測定およびガス試料採取管を炉内の所要の位置に置いて測定した。

本試験溶鉄炉は通常羽口4本で操業するが、今回は羽

口先端のコークス燃焼状態測定が主眼であるため、相対する2本の羽口を使用した。また燃焼状態を調査する羽口は炉内の通気分布ならびに装入物分布が出鉄時に乱されないよう考慮して、出鉄口の反対側の羽口を選んだ。

炉内温度の測定はカーボンパイプを炉壁の測定用孔を通して炉内の所望の位置に挿入した後に、アルゴンガスでパイプ内のガスを除去して速かに光高温計でカーボンパイプ先端内壁の温度を測定した。炉内試料を採取する際には水冷の炉内ガス試料採取装置を炉壁の測定孔を通して炉内の測定点に挿入すると、炉内ガスが入り口より入り、出口より出る。このガスを試料瓶に採取した。

III. 試験結果

試験高炉にコークスと石灰石を装入して炉を稼動し、操業上の諸要素を色々変更してその羽口前の燃焼帯におよぼす影響を試験した。コークスと石

灰石のみを使用し鉄石を装入しない理由は、炉況を一定に保ち炉内の状況を均一、かつ一定に保持せんと狙ったためである。

(1) 原料

使用した原料の化学成分は Table 1 に示した。コークス粒度は 2~10mm とし、石灰石の粒度は 3~5mm とした。

Table 1. Property of raw materials.

Name	Size mm	Chemical composition (%)						
		T.Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	S	Mn	CO ₂
Lime stone	5~1.5	0.22	1.36	0.11	52.80	0.036	0.10	43.85

Name	Size mm	Ash %	Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)	Total sulfur (%)
Coke	20~10 and 10~5	11.50	1.13	89.37	0.536

Chemical composition of ash (%)

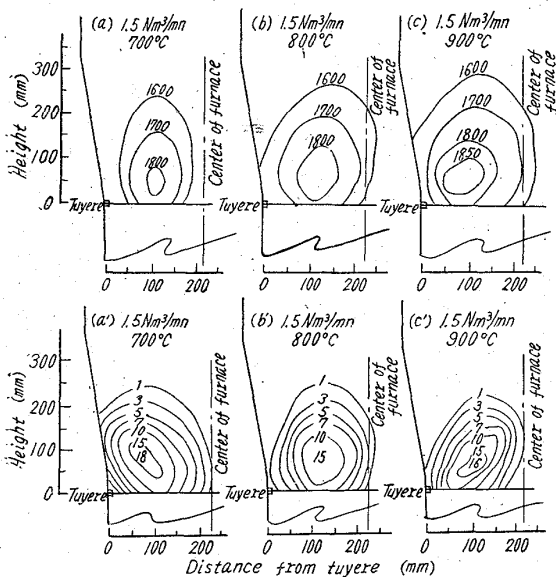
Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO
10.48	48.35	26.55	6.10	1.66	3.25	0.31	0.94	1.01

(2) 送風温度の影響

送風量, コークス粒度などの条件を一定にして, 送風温度を 700°C, 800°C, 900°C と変化した場合の燃焼帯の状況を測定した. この結果は Fig. 2 に示した. 送風温度の上昇につれて各部の温度は上昇する. そして各部の温度は比較的均一に上昇しており好ましい. この状況では鉱石量/コークス量も高めうると考えられる. つぎに送風温度を上昇した場合の理論燃焼温度を計算して Fig. 3 (a) に示した.

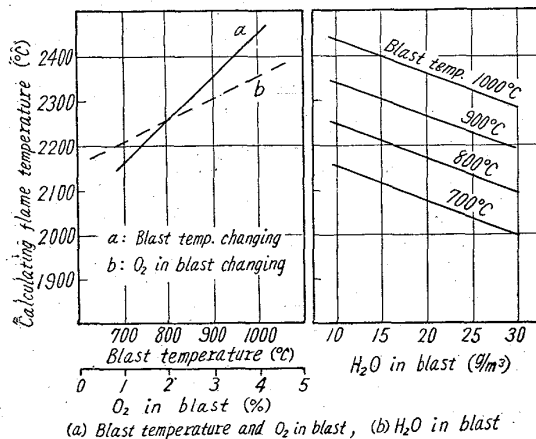
理論燃焼温度は送風温度を 100°C 上昇するとおよそ 100°C 上昇する. しかるに Fig. 2 を検討してみると送風温度 100°C の上昇に対し, 羽口前温度はおよそ 70°C 上昇してをり理論燃焼温度の計算値より若干小さい.

一方 CO₂ 分布は送風温度が高くなるにつれて, CO₂

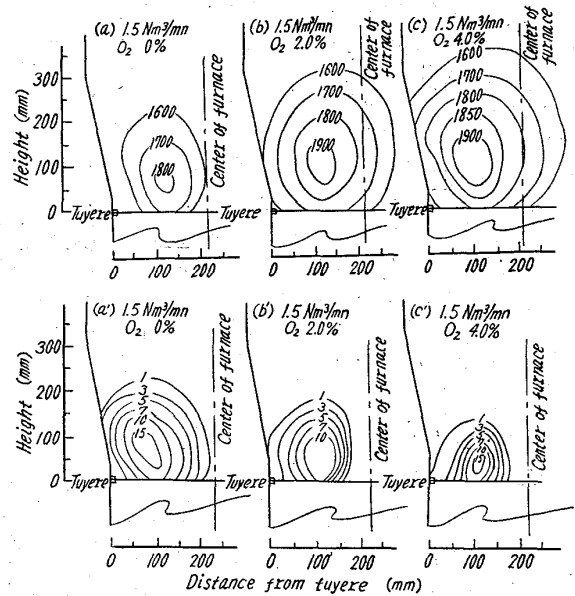


(a)(b)(c): Lines of equal temperatures
(a')(b')(c'): Lines of equal CO₂ contents

Fig. 2. Effect of the blast temperature on the state of combustion zone (I).



(a) Blast temperature and O₂ in blast, (b) H₂O in blast
Fig. 3. Change of calculating flame temperature.



(a)(b)(c): Lines of equal temperatures
(a')(b')(c'): Lines of equal CO₂ contents

Fig. 4. Effect of oxygen enrichment or state of combustion zone (I).
(Blast temperature 700°C).

含有量の等しい領域は概ね小さくなる. これは燃焼帯の温度上昇により CO₂ の CO への還元速度が上昇したためであろう.

(3) 送風中の酸素濃度

送風温度を 700°C に保ち, 送風中の酸素濃度を 23%, 25% と上昇した場合の燃焼帯の状態を調べた. その結果は Fig. 4 に示した. 空気送風 操業時には最高温度は 1800°C であつたが, 酸素濃度を 2% 高めて 23% にすると最高温度は 1900°C にたかまる. さらに酸素濃度を 4% 高めて 25% にした場合には, 最高温度は 1900°C で酸素濃度 23% の場合と大差ない. しかし 25% の場合には広い範囲にわたつて温度が上昇している. このように酸素濃度を上昇すると羽口前各部の温度が上昇する. この傾向は送風温度を上昇した場合と同じであるが上昇度合はずつと大きい.

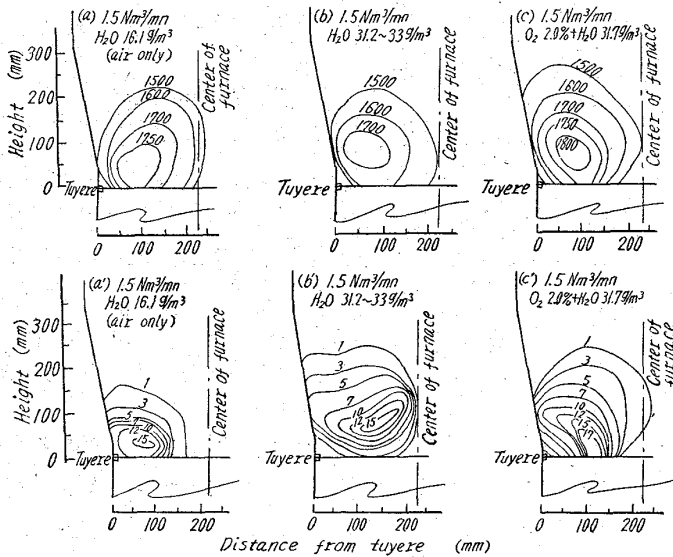
理論燃焼温度を計算して Fig. 3 (a) に図示した. Fig. 3 (a) より酸素 1% 添加による温度上昇を求めるとおよそ 55~60°C である. Fig. 4 より実際の温度上昇を求めると酸素 1% 上昇によつておよそ 50°C 上昇しており, この場合には理論燃焼温度の計算値に相当近い. すなわち酸素を添加した場合は送風温度を上昇するより効率よく燃焼帯の温度は上昇する. しかしながら酸素を添加した場合には温度上昇はあまりにも急激である. したがつてそのため色々の問題も生ずるものと考えられるので注意する必要がある.

CO₂ の分布は逆に酸素をますにつれて非常に小さく

なる。そしてこの小さくなる度合があまりにも大きいので、コークスの燃焼面積を考えると問題になる。送風中の湿度調整などの方法により燃焼帯の温度分布、CO₂分布を調整する必要も生ずると考えられる。

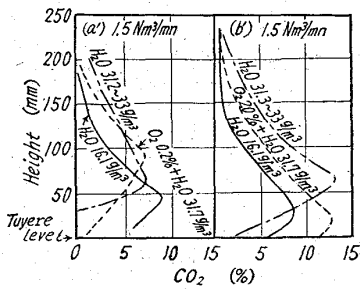
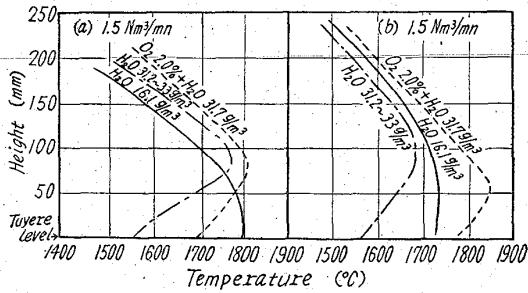
(4) 送風中の水分

送風中に水蒸気を添加した場合の燃焼帯の温度分布ならびにガス分布を調らべて Fig. 5 に示し、また状況をさらに明確にするために羽口先端から 55mm と 110mm



(a)(b)(c): Lines of equal temperatures
(a')(b')(c'): Lines of equal CO₂ contents

Fig. 5. Effect of humidity and oxygen in blast on state of combustion zone (I). (Blast temperature : 800°C)



(a)(a'): 55mm from tuyere
(b)(b'): 110mm from tuyere

Fig. 6. Effect of humidity and oxygen in blast on state of combustion zone (I). (Blast temperature : 800°C)

の点における垂直方向の温度および CO₂ の変化を Fig. 6 に掲げた。

送風量 1.5 Nm³/mn, 送風温度 800°C, 送風中の水分 16.1g/m³ (大気水分) として操業した際の温度分布 CO₂ 分布をまず求めた。(Fig. 5, 6 a, a') について送風中に水蒸気を添加し、水分を 31.2~33.0g/m³ とし、他の条件は前と同じに保つて操業し、温度分布 CO₂ 分布を測定した。(b, b')

水蒸気を添加した場合には朝顔下部の羽口水準、特に羽口に近いところの温度を下げる。朝顔上部に対しては大きな変化をおよぼさない。すなわち場所によつて効果が異つている。この点送風温度や酸素濃度の場合と効果が異つている。水蒸気を添加した場合の羽口前理論燃焼温度は Fig. 3(b) に示した。水蒸気 1g/m³ の添加で理論燃焼温度はおよそ 8~9°C 低下する。Fig. 5 の結果では羽口水準では理論燃焼温度以上低下し、朝顔上部では温度変化は小さい。

(5) 酸素と水蒸気の併用

酸素の効果と水蒸気の効果は上述のように反対である。そして酸素を使用した場合の温度上昇はあまりにも大きく、これを抑制する必要がある。それで両者を併用した場合の効果調べた。

酸素濃度は空気より 2% 高めて 23% とし、水蒸気は酸素添加による理論燃焼温度の上昇を防止するよう計算して 15g/m³ 添加し、送風中の水分含有量を 31.7g/m³ とした。この結果は Fig. 5 (c, c') 6 に併記した。c c' の水分含有量 31.7g/m³ は空気に水蒸気のみを添加した同図 b, b' の水分含有量 31.2~33.0g/m³ に近似しており比較に便である。

酸素と水蒸気を併用した場合 (c) には羽口水準面の羽口近辺の温度が普通操業 (a) より低く、上部の温度は若干高めで大差はない。そして酸素、水蒸気併用の場合 (c) は酸素のみを添加した場合 (Fig. 4) に比較して全面的に低く、すなわち酸素と水蒸気を併用すると、酸素添加による温度の急上昇を防止して普通操業に近づけることが可能である。

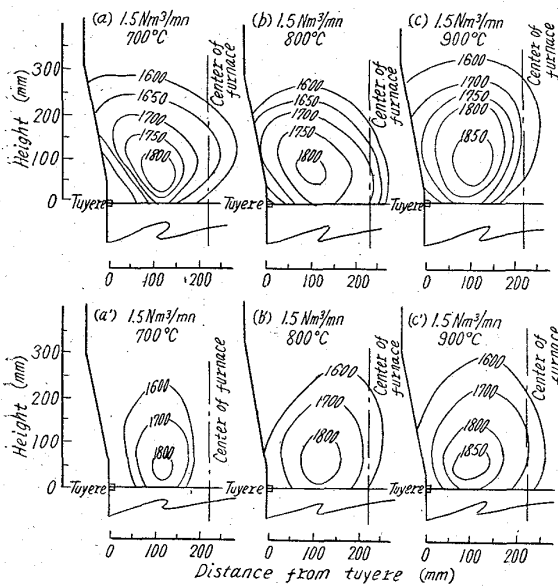
CO₂ 分布に関しては特別の傾向は見られない。

周知のごとく溶鋳炉に酸素を使用すると生産量を比例的に増加し得る。しかしながら酸素を用いると羽口前の温度が非常に上昇するのでいくたの問題を生ずる。酸素と水蒸気を併用すれば上述のように温度分布を普通操業に近づけることが出来るので、多量の酸素を容易に使用することが出来、生産量の上昇を可能とするであろう。そして酸素と水蒸気の添加割合は、理論燃焼温度で計算

した値で妥当である。

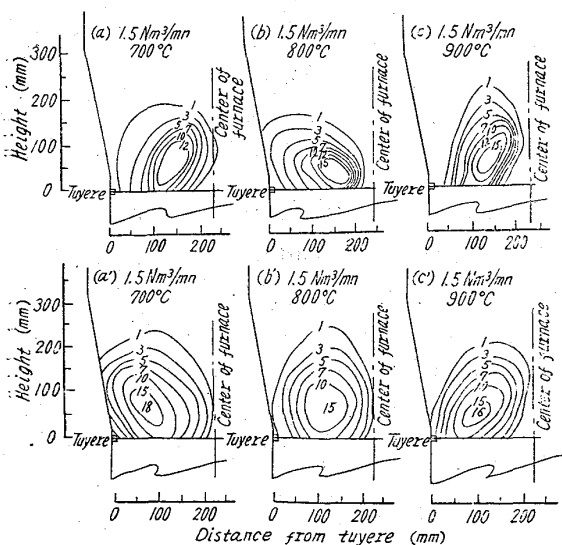
(6) コークス粒度の影響

コークスの粒度は燃焼帯の状況に大きな影響をおよぼすと考えられる。試験溶鉱炉で使用しているコークス粒度の標準は 10~20mm である。今回は 5~10mm のコークスを使用して実験し、10~20mm のコークス使用時と比較してコークス粒度の影響を求めた。その結果は Fig. 7, 8 に掲げた。コークス粒度が小さくなると、羽口水準面など下部の温度はあまり変わらないが、上部の温



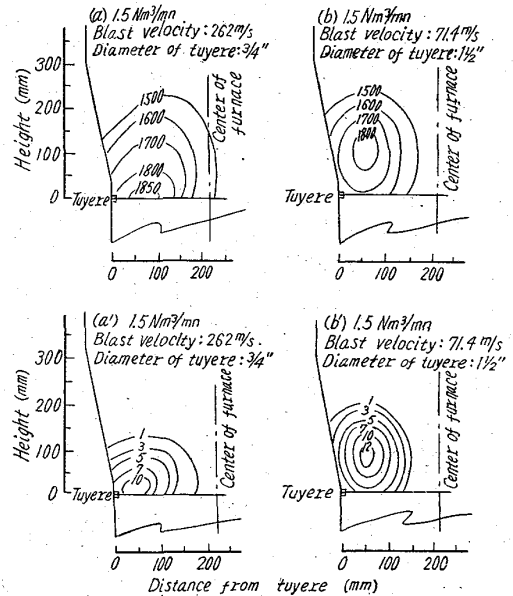
(a)(b)(c): Coke size 5~10mm
(a')(b')(c'): Coke size 10~20mm

Fig. 7. Lines of equal temperatures at coke size 5~10mm and 10~20mm.



(a)(b)(c): Coke size 5~10mm
(a')(b')(c'): Coke size 10~20mm

Fig. 8. Lines of equal CO₂ contents at coke size 5~10mm and 10~20mm.



(a)(b): Lines of equal temperatures
(a')(b'): Lines of equal CO₂ contents

Fig. 9. Effect of diameter of tuyere on state of combustion zone (I).
(Blast temperature : 800°C)

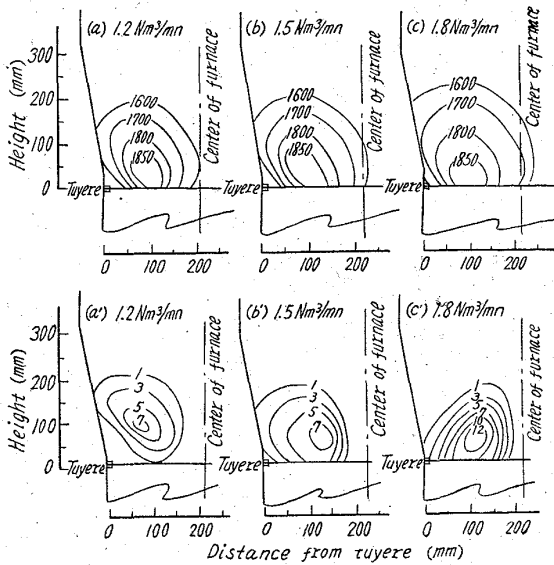
度は高くなる。これはコークスが装入されて下降する間に、炉内ガスと接触して熱交換を行なうが、この熱交換の効率が粒度の小さい場合には良好であるためと考えられる。また Fig. 7 に示したように粒度が小さいと炉壁に沿った温度が高い。したがって粒度を小さくすると、上昇ガスは炉壁に沿って上昇し易いと考えられる。CO₂ の分布は温度分布と逆の傾向を示している。

(7) 羽口径

羽口径を変えると羽口を通る熱風の速度が変わり、炉内に於けるレースウェイの大きさやコークスの燃焼状態に大きな影響をおよぼし、炉況と密接な関係があると思われる。それで羽口径を 1 1/2", 3" (標準は 1") と変えて、羽口前の燃焼帯がどのように変化するかについて測定した。その結果は Fig. 9 に示した。

羽口径が小さくなると最高温度を示す位置は羽口水準に接近し、かつ炉の中心に近い所の温度がいちぢるしく上昇することが分つた。逆に送風量一定で羽口径があまり大きいと、高温層は炉壁の方に近ずき炉の奥の温度は上昇しにくい。かつ高温層は上部に移動する傾向がある。すなわち炉内ガスは周辺部を上升し易い傾向になる。炉の奥まで高温にするためには羽口径はある程度小さい方が望ましい。CO₂ 分布を測定した結果では、羽口径を小さくすると CO₂ 含有量のひとしい範囲は朝顔の下部に下り、かつ範囲もせまい。これは朝顔下部の温度が上昇するためと考えられる。

(8) 送風量



(a)(b)(c): Lines of equal temperatures
 (a')(b')(c'): Lines of equal CO₂ contents

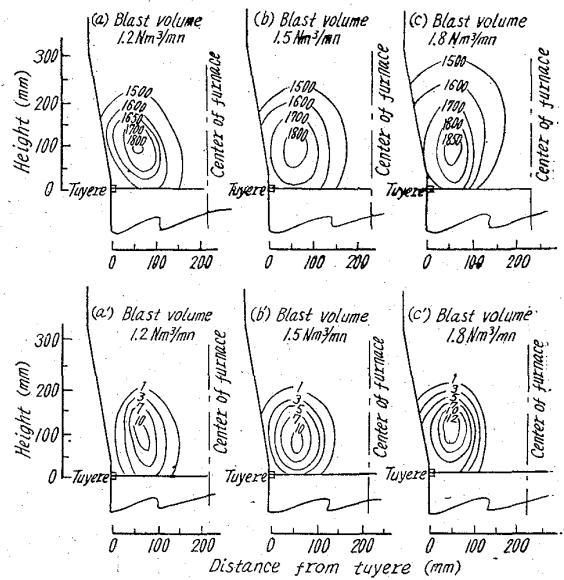
Fig. 10. Effect of blast volume on state of combustion zone (I).

(Blast temperature: 800°C, diameter of tuyere: 1")

送風量が変れば当然レースウエーが変る。したがって燃焼帯も変化するものと考えられる。1"の羽口径を使用し、送風温度を800°Cに保つて、送風量を1.2Nm³/mn, 1.5 Nm³/mn, 1.8 Nm³/mn に変えた場合の燃焼帯の状態を Fig. 10 に掲げた。

送風量を増加すると各部の温度は比較的均一に上昇する。そして炉の中心の方の温度が高くなり、また最高温度を示す位置はやや下方に下がる。この傾向は同一風量で羽口径を小さくし羽口風速を増した時の傾向と似ている。CO₂の存在する範囲は変らないがCO₂含有量は非常に多くなり、この点やや異常となる。燃焼帯のCO₂分布を通常の操業状態に維持するには、送風温度の上昇、酸素添加などを考慮することも一方法であろう。

つぎに羽口径を1½"に拡大して送風量との関係を探ってみた。その結果は Fig. 11 に示した。送風量を増すことによつて内部の温度を上昇する傾向は上述の羽口径1"の場合と同じである。しかしながら羽口径を大きくすると羽口を通る熱風の流速がおそくなる。1例を示すと径1"の羽口に1.5 Nm³/mnの送風量を通すとその流速は192m/sであるのに対し、1½"の羽口に同じ風量を通すと流速は71.4m/sとなる。径1½"の羽口で測定した結果 (Fig. 11) と前記1"の羽口で測定した結果 (Fig. 10) を比較すると、羽口水準ごとに中心部に近い方の温度は1½"羽口の場合がずっと低い。このことは前記羽口径の影響を試験した結果と一致する。1½"径の羽口を使用した場合にCO₂分布におよぼす



(a)(b)(c): Lines of equal temperature
 (a')(b')(c'): Lines of equal CO₂ contents

Fig. 11. Effect of blast volume on state of combustion zone (III).

(Blast temperature: 800°C, diameter of tuyere 1½")

送風量の影響は、1"径羽口の場合と同じ傾向でCO₂の存在する範囲はあまり変らないがCO₂含有量は増加する。

以上の結果より羽口前の燃焼帯は羽口内における送風の流速によつて相当影響をうける。流速があまり遅いと羽口水準の中心部に近い方の温度が低下する。したがって燃焼帯の状況より考えて、送風量に適正な羽口、すなわち羽口内の適正流速は存在すると考えられる。

IV. 結 言

溶鋳炉の羽口前の燃焼帯におよぼす諸因子の影響を、炉床径440mmの試験溶鋳炉にコークスのみを装入して試験し、次の結論を得た。

- (1) 送風温度を上昇すると羽口前温度は各部とも比較的均一に上昇する。CO₂分布はほぼ逆の傾向にある。
- (2) 酸素濃度を上昇した場合の温度分布におよぼす影響は、送風温度を上昇した場合と同傾向は同じである。しかし温度の上昇度ははなはだしく大きい。CO₂の存在する範囲は酸素濃度上昇によって非常に小さくなる。
- (3) 水蒸気を添加した場合には朝顔下部の羽口水準面、とくに羽口近辺の温度が甚しく低下する。朝顔上部の温度は下部ほど大きく変らない。
- (4) 酸素と水蒸気を併用すれば、燃焼帯を普通操業に近い状態におくことができる。そして酸素と水蒸気添加の割合は理論燃焼温度で計算した値でよい。

(5) コークスの粒度をあまり小さくすると朝顔下部の羽口水準面の温度は変わらず、朝顔上部の温度は高くなる。かつ炉の周辺部をガスは通過し易くなる。

(6) 羽口径を適度に小さくし、羽口内の風速を大きくすると炉の中心に近い方の温度が上昇し、また朝顔下部の温度が高くなる。逆に羽口径をあまり大きくすると炉の奥の方の温度は上昇しにくくなり、かつガスは周辺部を多く上昇する。

(7) 送風量を増加すると各部の温度に大きな変化は

ないが若干上昇する。そして温度分布の傾向は羽口の風速を増した場合に似ている。CO₂の存在する範囲に変化は少くないが、CO₂含有量は多くなる。

(昭和37年1月寄稿)

文 献

- 1) 和田亀吉: 実際製鉄法. p. 117 丸善 (昭和24年)
- 2) 斧 勝也: 製鉄研究.
- 3) N. I. KRASAUTJER: 製鉄理論, ソ連国立科学技術出版所発行 1952 年

煉瓦炉床の築造と操業経過*

甲斐 幹**・朝隈重利**・安永運嘉**

Construction and Operation of the Open Hearth Furnace with a Brick Hearth.

Tsuyoshi KAI, Shigetoshi ASAKUMA and Kazuyoshi YASUNAGA

Synopsis:

Steel makers have hoped since earlier years for operating the furnace always with a stabilized hearth. It has been dominantly considered that the magnesite stamp method is the best for the hearth construction of a basic open hearth furnace, but even the hearth which is made by this method is necessary to be repaired periodically in the later half period of one furnace campaign owing to the damage of a hearth. Now the author tried to construct them with bricks instead of stamped magnesite for the improvement in these failure and the results obtained were as follows;

- (1) The following points which had been anxious problems in the past were improved:
 - a) Penetration of molten steel through the clearance between bricks.
 - b) Floating up of hearth bricks.
 - c) The spalling of hearth bricks.
- (2) With this method, it was possible to continue the operation twice as long as magnesite stamped hearth.
- (3) By this method, it was possible to operate with lower cost than the magnesite stamp method.
- (4) The production was increased during one campaign because the hearth repairing hours had been shortened.

I. 緒 言

我々製鋼作業に従事している者にとつて、炉体の維持ということはきわめて重要な事項であるが、就中、安定した炉床での操業ということは長い間の強い希望でもあった。塩基性平炉においても、これまでいろいろな試みが行なわれ、かなり以前から炉床の築造方法として、マグネシア・スタンプ法が採用され、現在でもなお支配的

であると思われる。しかしこの方法では、マグネシアの粒度、スタンプの不均一性といったことのため、炉床は常に完全であるとは云えない状況であつて、炉一代操業の中期以降においては炉床が損耗低下したり、あるいは局部的な床掘れが起つたりして、熱間での炉床直しを周

* 昭和36年10月本会講演大会にて発表

** 八幡製鉄株式会社, 八幡製鉄所製鋼部第一製鋼課