

Table 2. Effect of variation of temperature, H₂O, O₂ and C. O. G. on theoretical combustion temperature.

Blast temp. = 800°C Humidity = 30 g / Nm ³	O ₂ in blast = 21%		O ₂ in blast = 25%		Dimension
	C. O. G = 0%	C. O. G = 10%	C. O. G = 0%	C. O. G = 10%	
T _t	0.83	0.75	0.80	0.72	°C/°ct
T _w	-5.9	-4.6	-5.8	-4.5	°C/gw
T _x	59	58	56	55	°C/%x
T _v	-32	-31	-32	-30	°C/%v

$$T = 2089 + [8.12 + 0.052W + 10^{-3}Dt] \times 10^{-2}Dt - [65.7 - 0.1W] \times 10^{-1}W + [58.7 - 0.33\Delta x + 0.34 \times 10^{-1}W] \Delta x - 0.77 \times 10^{-2} \Delta x \cdot \Delta t - [34.92 - 0.075v + 0.097 \Delta x - 0.133W + 0.83 \Delta t] v \quad [^\circ\text{C}] \dots\dots\dots (2)$$

ただし $\Delta t = t - 700^\circ\text{C}$, $\Delta x = x - 2\%$ である。例えば送風温度 (t) を 700°C で酸素を添加しないで送風した場合には, $\Delta t = \Delta x = 0$ となり次式を得る。

$$T = 2089 - [65.7 - 0.1W] - [34.92 - 0.075v - 0.133W] v$$

また C. O. G を添加しないで送風した場合には, 式 (2) で $v = 0$ として, 水蒸気および酸素のみの添加送風時の理論燃焼温度の式が得られる。Fig. 1 は後者を図表化したものである。

さらに式 (2) より T の偏導関数を導びくと次のごとくなる。

$$T_t = 0.812 + 0.052 \times 10^{-3}W + 0.2 \times 10^{-4} \Delta t - 0.77 \times 10^{-2} \Delta x - 0.83 \times 10^{-2}v \quad ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}t$$

$$T_w = -6.57 + 0.02W + 0.52 \times 10^{-3} \Delta t + 0.034 \Delta x + 0.133v \quad ^\circ\text{C}/gW$$

$$T_x = 58.7 - 0.664 \Delta x + 0.034 \Delta x - 0.77 \times 10^{-2} \Delta t - 0.097v \quad ^\circ\text{C}/\%x$$

$$T_v = -34.92 + 0.15v - 0.097 \Delta x + 0.133W - 0.83 \times 10^{-2} \Delta t \quad ^\circ\text{C}/\%v$$

Table 1 には C. O. G 添加なしの場合の理論燃焼温度の主な値を, また Table 2 には, T_t , T_w , T_x , および T_v の主な値を示した。これらの結果から燃焼温度 (T) は送風温度および酸素濃度を上昇すれば上昇し, 送風湿度および C. O. G の添加量を増加すれば降下することがわかる。また, 理論燃焼温度 (T) を算出するにはコークス中の C が燃焼温度の 75% ($0.75T$) まで予熱されていると仮定して式 (2) を導びいたのであるが, この予熱温度が変化した場合についても計算を行なった結果予熱割合が 1% 変化するにしたがって $4 \sim 5^\circ\text{C}$ の燃焼温度変化があることがわかった。

III. 結 果

いくつかの仮定のもとに羽口前理論燃焼温度を計算した結果, 次のような結果が得られた。

(1) 燃焼温度は送風温度 1°C , 送風酸素濃度 1% の増加によりそれぞれ約 0.8°C および $55 \sim 60^\circ\text{C}$ 上昇する。さらに送風湿度 $1\text{g}/\text{Nm}^3$ dry air, 送風中 C-gas 濃度 $1\%/ \text{Nm}^3$ dry air の添加によりそれぞれ約 6°C および約 35°C 降下する。

(2) 送風条件 (送風温度, 送風湿度, 送風中酸素濃度, 送風中 C. O. G 濃度等) が一定でも炉内還元反応の結果コークス中 C の予熱温度が変化した場合には, 1% の変化に対し $4 \sim 5^\circ\text{C}$ の燃焼温度の変化を受ける。

(3) 以上の結果から酸素添加および C. O. G (一般には気, 液体燃料) 添加操作を行なう場合にはもし燃焼温度を一定に保つとしたら送風温度, 湿度等を適当に操作し, さらに炉内反応にも十分注意すべきであることがわかる。

文 献

- 1) 沢村宏: 理論鉄冶金学より。
- 2) " " "
- 3) ラムの仮定。

(10) 高炉羽口前コークス燃焼に関する研究

八幡製鉄所技術研究所

○児玉 惟孝・重見 彰利
緒方 年満・堀尾 竹弘

Study on the Combustion of Coke on the Tuyere Level in Blast Furnaces.

Koretaka KODAMA, Akitoshi SHIGEMI,
Toshimitsu OGATA and Takehiro HORIO

I. 試 験 結 果

(1) 送風温度
送风量, 送風成分, コークス粒度等の条件を一定とし

て送風温度を変化した場合の燃焼帯の状態を調査した。その結果は Fig. 1 および Fig. 2 に示した。送風温度が 700°C, 800°C, 900°C と高くなるにしたがって明らかに高温帯の容積は大きくなっている。そして各部の温度は比較的均一に上昇しており、最高温度を示す位置も変化していない。これは非常に好ましい状態で燃焼帯を変化することなく鉱石量/コークス量を増加できると推定される。燃焼帯の CO₂ 含有量の分布は送風温度が高くなるにつれて、同じ CO₂ 含有量を有する範囲は小さくなる。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。

(2) 送風中の酸素含有量

送風温度を 700°C に保ち送風中の酸素を 23%, 25% に富化した場合の燃焼帯の状態をしらべた結果は Fig.

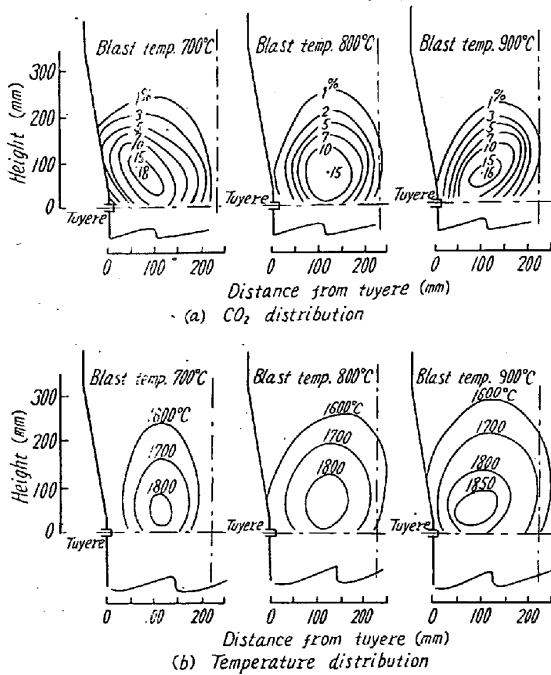


Fig. 1. Effects of blast temperature on combustion zone (Date: June 11, blast volume: 1.5 Nm³/mn).

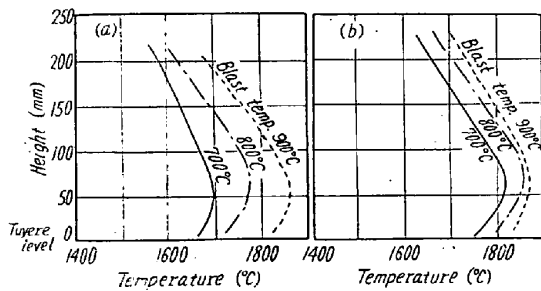


Fig. 2. Temperature distribution in normal operation. (a) 55mm inward, (b) 110mm inward

3 に示した。空気送風の場合と比較すると酸素濃度を増すにつれて高温層の容積は非常に大きくなる。このことは操業上好ましい。しかし最高温度の位置は若干上に上る。最高温度の位置が高くなることは高炉の溶解帯に変化を生ずることになり、ここに問題が残る。また酸素濃度を増すにつれて同じ CO₂ 含有量を有する範囲は小さ

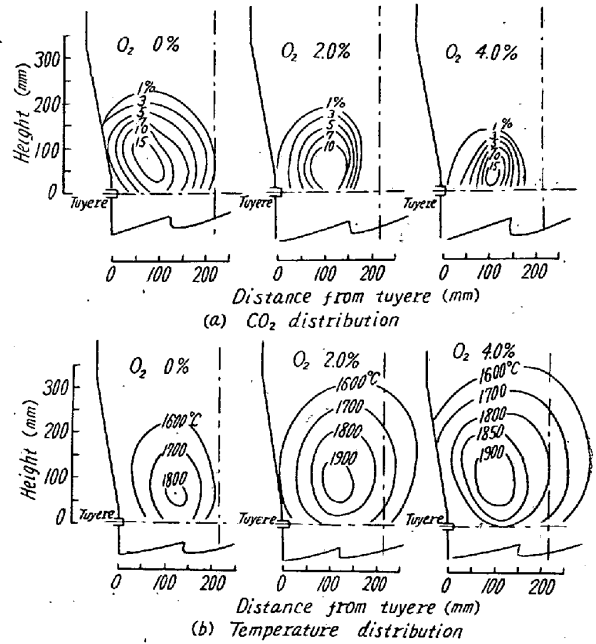


Fig. 3. Effects of oxygen-enriched blast on combustion zone. (Date: June 15, blast volume 1.5Nm³/mn, blast temperature 700°C)

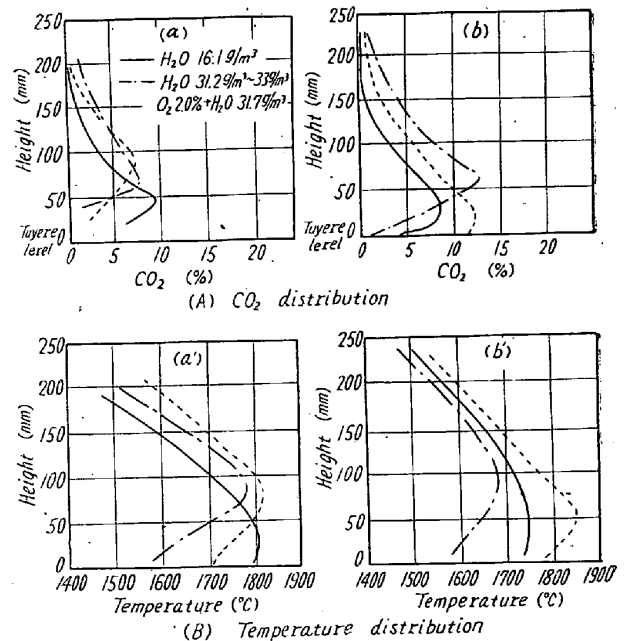


Fig. 4. Effects of humidified blast on combustion zone. a, a': 55mm inward, b, b': 110mm inward

くなる。

(3) 送風中の水分含有量

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べて Fig. 4 にまとめた。普通送風の場合は送風量 $1.5 \text{ m}^3/\text{mn}$, 送風温度 800°C , 送風中の水分 $16.1 \text{ g}/\text{m}^3$ としたときの温度分布, CO_2 分布である。つぎにこの状態に水蒸気を添加して送風中の水分 $31.2 \sim 33.0 \text{ g}/\text{m}^3$ とした。水蒸気を添加することによって下部の温度ははなはだしく降下する。しかし上部の温度は下部程大きく変化しない。そして最高温度を示す位置はいちじるしく上の方に移動する。すなわち水蒸気添加は羽口水準の温度を顕著に降するのである。同じ CO_2 含有量を持つ範囲は水蒸気添加によつて拡大する。上述の酸素添加と比較すると水蒸気添加は燃焼帯の温度分布, CO_2 分布にほぼ反対の影響をおよぼすのである。

(4) 酸素と水蒸気の併用

酸素と水蒸気を併用した場合の燃焼帯の温度分布ならびにガス分布は Fig. 4 に併せ示した。酸素と水蒸気とを併用することによつて水蒸気添加に比較すれば一般に各部の温度は高くなり、酸素添加に比較すると温度は低い。すなわち普通の操業状況に近づく傾向がある。 CO_2 分布に関しても同じ CO_2 含有量の範囲は酸素添加より広く水蒸気添加より狭く普通の操業状況に近い。周知のごとく高炉で生産量増大のために酸素を添加して操業するさいには必ず水蒸気を添加しなければならないと言われているが羽口の燃焼帯に関しても上述のように水蒸気と酸素を併用することによつて普通の操業状況に近づくことが認められる。また採取した炉内ガス試料をガスクロマトグラフィーで分析してみたところ送風中の水分の分解は燃焼帯の中で遊離酸素が消失するところから活発になることがわかった。

(5) コークス粒度

上述の実験は $10 \sim 20 \text{ mm}$ の粒度のコークスを使用して実施した。それで $5 \sim 10 \text{ mm}$ のコークスを使用して実験し、両者を比較して粒度の影響を求めた。その結果粒度を小さくすると羽口水準の温度は変わらないが上部の温度は高くなる。 CO_2 分布も同じ CO_2 含有量の範囲は羽口水準では変わらないが上部ではせまくなることがわかった。また粒度を小さくすると炉壁面に沿つた部分の温度がとくに高くなり、燃焼ガスは炉壁面に沿つて多く上昇する傾向になる。

(6) 羽 口 径

羽口径の大きさの変化は炉内におけるレースウェイの大きさやコークスの燃焼状態におよぼす影響が大き

く、炉況と密接な関係があると思われる。それで羽口径を $1\frac{1}{2}''$, $1''$, $3/4''$ 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方の温度がいちじるしく上昇することがわかった。逆に考えると風量一定で羽口径をあまり大きくすると高温層は炉壁の方に近づき、炉の奥の温度は上昇しにくく、かつ高温層は次第に上部に移動する傾向がある、すなわちガスは炉の周辺部を上昇する傾向になる。したがつて炉床部の高温層を拡くするには風量を同一とせば羽口径はある程度小さい方が望ましいことがわかった。 CO_2 分布を測定した結果では同一 CO_2 含有量の範囲は羽口径が小さいと下部に下ることを認めた。

(7) 送 風 量

送風量を増加した場合の燃焼帯の変化を測定した。送風量を増加すると羽口前各部の温度は比較的均一に上昇する。そして最高温度を示す位置はあまり変らない。この状態は好ましく高炉操業で鉍石の還元が順調に進むとせば鉍石量/コークス量の増加も期待できるであろう。一方 CO_2 分布について調べてみると同じ CO_2 含有量の範囲は上部ではあまり大きな変化がない。しかし下部ことに羽口水準では CO_2 の濃度がいちじるしく大となっている。したがつて送風量を増加すると燃焼帯が拡大しそうな傾向を生ずる。ここに問題が残る。燃焼帯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がよいと考えられる。

II. 結 言

高炉の羽口前の燃焼帯におよぼす諸要素の影響を炉床径 440 mm (内容積 0.40 m^3) の試験高炉にコークスのみを装入して試験し次の結論を得た。燃焼帯におよぼす諸要素の影響は次の通りである。

(1) 送風温度を 700°C , 800°C , 900°C と上昇すると羽口前各部の温度は比較的均一に上昇し、最高温度を示す位置は変化しない。同じ CO_2 含有量を有する範囲は小さくなる。

(2) 送風中の酸素含有量を 23%, 25% と上昇すると高温層の容積は非常に大きくなる。しかし最高温度を示す位置は若干高くなる傾向があり、ここに問題が残る。同じ CO_2 含有量の範囲は小さくなる。

(3) 送風中に水蒸気を添加し送風中の水分含有量を $31.2 \sim 33.0 \text{ g}/\text{m}^3$ とした場合には普通操業の水分 $16.1 \text{ g}/\text{m}^3$ の場合に比較して、下部ことに羽口水準の温度ははなはだしく降下する。しかし上部の温度は下部ほど大きく変化しない。そして最高温度を示す位置はいちじる

しく上部に移動する。同じ CO_2 含有量の範囲は拡大する。

(4) 酸素と水蒸気とを併用した場合には温度分布、ガス分布ともに普通の操業状況にちかづく傾向にある。高炉操業で酸素を添加して操業する際には必ず水蒸気を添加しなければならないといわれているが羽口の燃焼帯に関してもこの考えは妥当である。

(5) 10~20mm のコークスと 5~10mm のコークスを使用しコークス粒度の影響を調べた結果粒度を小さくすると羽口水準の温度は変わらないが上部の温度は高くなる。また粒度を小さくすると炉壁面に沿った部分の温度がとくに高くなり、燃焼ガスは炉壁面に沿って上昇する傾向にあることがわかった。

(6) 羽口径の大きさを 1 1/2", 1", 3/4" と変えて羽口径の影響を調べた。羽口径を小さくす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方の温度がいちじるしく上昇する。また同じ CO_2 含有量の範囲は下部に下がる。

(7) 送風量を増加した場合の燃焼帯の変化を調べた。送風量を増加すると羽口前各部の温度は比較的均一に上昇する。温度の面では好ましい状況となる。しかし羽口水準の CO_2 濃度はいちじるしく大となる。すなわち送風量を増加すると燃焼帯が拡大しそうな傾向を生ずる。ここに問題がある。通常の操業の状況に維持するには送風温度の上昇、酸素添加等を考慮するがよいと考えられる。

(11) 溶鉄炉溶解における出鉄温度について

室蘭工業大学 ○金 森 祥 一
北海道大学工学部 工博 萩 原 巖

On the Tap-Temperature in Cupola Melting Operation.

Yosikazu KANAMORI and Dr. Iwao HAGIHARA

I. 緒 言

従来は例えば JUNGBLUTH¹⁾ の実験によつて代表されるように、溶鉄炉溶解における出鉄温度におよぼす因子としては、追込コークス比・送風量の影響が2元的に解釈されてきた。また熱伝達の機構としては、主として溶解帯の高さに重点をおいて説明されてきた。われわれはこれについて実験し、その結果に考察を加え、出鉄温度

の影響因子を1元的に理解することができたので報告する。

II. 実験の方法

i) 溶解炉および材料 溶解炉は実験用小型冷風式の5段積重ね型のコシキ炉で、主要な諸元は、羽口面内径300mm、有効高さ1520mm、1段2コ羽口、羽口比10・6、溶解能力300kg/hで、また送風機は汎用型で5HPのモーターからベルト駆動によつた。

使用材料は溶解地金・コークスとも一定品質・一定大きさに規定し(基準地金・基準コークスとよぶ)。これらの相違からくる影響がないようにした。また別に良質コークス・軽量地金を使用した溶解を行なつて、その結果を比較した。基準コークスの品質は、F. C. 75% (良質は83%)、Ash 19% (良質は10%)、落下強度(50mm)60 (良質は87・8)で、品質はかなり粗悪であり、また基準地金は70×80×90mmの大きさに炉径に対しやや大型にすぎた。

ii) 実験要領および内容 実験は基準材料を使用し、追込コークス比(K)および送風量(W)をかえて行なつたわけであるが、前者は10~25%・後者は34~108 $\text{m}^3/\text{mn-m}^2$ の範囲で、毎回90mn前後の送風時間である。実験回数は23回でこれに良質コークス・軽量地金の溶解を加え、計32溶解である。

溶解ごとに行なつた測定項目は、Table 1に示したごとく出鉄温度(T)や W の外、炉体各部の炉内温度やガス分析値も測定した。とくに W は本実験の基礎となるので慎重に行なつた。すなわち送風機と炉体を結ぶ送風管の中央直線部分にオリフィスを装備して、5分毎の有効燃焼送風量を測定した。これは炉内に導入され実際燃焼にあたえる風量で、見掛けの全量から漏洩風量を控除した値である。測定の方法などについては別に報告した²⁾。

III. 実験結果とその検討

結果のうち基準地金・コークスを使用した $K15\%$ の溶解についてのみ示すと、Table 1のようになる。

出鉄温度(T)におよぼす K および W の影響を試験したもののうちでよく知られているのは、JUNGBLUTHの結果¹⁾である。いま S (溶解速度)を考えず T と W との関係を K について比較するとFig. 1のようになる。これによると T には最高温度があり W が増すと低下する。これはJUNGBLUTHの結果には見られなかつたことである。図に示した羽口温度や最高温度のあることについては別に報告するが、燃焼帯の上昇による不平衡現象によるものと解釈している。