

論 文

UDC 669.162.263 : 669.162.214.4 : 662.749.2

羽口前コークスの性質から検討した高炉出銑比と
レースウェイ形状との関係*西 徹**・原口 博**・美浦 義明***
桜井 哲**・斧 勝也***・彼島 秀雄****Relation between Shape of Race-way and Production Rate of
Blast Furnace Taking Account of Properties of Coke Sampled
at Tuyere LevelTetsu NISHI, Hiroshi HARAGUCHI, Yoshiaki MIURA,
Satoshi SAKURAI, Katsuya ONO, and Hideo KANOSHIMA

Synopsis :

When the productivity of No. 2 blast furnace at Sakai Works, Nippon Steel Corporation, was cut down from 2.08 t/d.m³ to 1.34 t/d.m³ because of the economic deterioration in Japan in the latter half of 1970's, coke was sampled at tuyere level seven times in the course of the cutdown.

On the basis of the test result of the properties of the sampled coke, the followings were concluded :

(1) As the production rate decreases, the point of the maximum temperature in the race-way moves toward the tuyere and the temperature of the dead-man decreases.

(2) Coke becomes fragile because of the long time exposure to high temperatures at the lower part of the furnace. Therefore, the amount of coke fines in the race-way increases with increasing the kinetic energy of blast, and in consequence, gas flows upward rather along the wall side than in the center.

On the other hand, the decrease of the amount of coke fine, which is brought about by the decrease of the kinetic energy of blast, results in a smooth operation which is attributed to the uniform gas distribution. However, in the case of the lower kinetic energy of blast, the temperature of the dead-man decreases and, consequently, softened and half-melted materials form in the region.

1. 結 言

石油危機以来の長期化した大幅な粗鋼減産に対応して、新日本製鉄堺製鉄所では高炉の減産操業を要請され、過去に経験のない低出銑レベル〔最低出銑比（月間平均）第1高炉（内容積 2 501 m³）：1.39 t/d・m³（昭和53年12月）、第2高炉（内容積 2 797 m³）：1.23 t/d・m³（昭和53年8月）〕での操業が行われた。過去における低出銑比の例としては、昭和37年後半から昭和38年にかけての不況時に最低出銑比が、1 000 m³ 高炉で 1.0 t/d・m³、1 500 m³ 高炉で 1.2 t/d・m³、2 000 m³ 高炉で 1.4 t/d・m³ の実績¹⁾があり、それに対する処置としては通常時の羽口流速を維持するために羽口径を絞る方策がとられた。その結果、上記レベルの低出銑比操業は

可能であつたが、燃料比の増大を余儀なくされている。そこで今回の堺製鉄所における低出銑比操業では、これらの実績をふまえ、燃料比を現状レベルに維持することが試みられた。すなわち、ガス流および装入物の分布改善、窒素富化、重油吹き込み量の削減および装入物の品質改善を主体とした通気性の改善、還元効率の向上などの対策がとられた結果、燃料比は、昭和53年5月工場平均 448 kg/t-pig、昭和54年2月 446 kg/t-pig となり、減産下での低燃料比操業が達成された。

高炉の操業解析においては、羽口レースウェイ部の挙動に関する知見が重要であり、GOTLIB²⁾、本協会討論会³⁾、中村ら⁴⁾、羽田野ら⁵⁾、館ら⁶⁾⁷⁾、の報告がある。また、レースウェイ近傍におけるコークスの挙動は、高炉用コークスの品質評価との関係からも実用上重要であ

* 昭和55年4月本会講演大会にて発表 昭和55年5月29日受付 (Received May 29, 1980)

** 新日本製鉄(株)生産技術研究所 (Process Technology R & D Laboratories, Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yawatahigashi-ku Kitakyushu 805)

*** 新日本製鉄(株)生産技術研究所 工博 (Process Technology R & D Laboratories, Nippon Steel Corp.)

**** 新日本製鉄(株)堺製鉄所 (Sakai Works, Nippon Steel Corp.)

Table 1. Operation results of Sakai No. 2 BF.

Date of sampling		1975.12.29	1977.6.15	1977.9.16	1978.2.17	1978.3.31	1978.6.21	1978.9.11
		A	B	C	D	E	F	G
Productivity	t/d·m ²	2.08	1.82	1.70	1.58	1.49	1.41	1.34
Fuel rate	kg/t	481(58)	466(46)	486(36)	464(30)	449(23)	449(28)	450(28)
Blast volume	Nm ³ /min	4 116	3 957	3 884	3 299	2 891	2 674	2 501
O ₂ volume	Nm ³ /h	6 000	0	0	0	0	0	0
N ₂ volume	〃	0	0	0	11 928	12 016	19 384	23 569
Oil volume	l/h	15 762	10 854	7 826	6 156	4 442	4 902	4 902
Humidity	g/Nm ²	6.7	19.0	12.2	5.2	3.7	6.5	7.5
Blast temp.	°C	1 208	1 268	1 225	1 250	1 211	1 286	1 277
Kinetic energy of blast	kg·m/min	170.7	202.6	192.4	140.9	118.6	120.6	97.4
Blast velocity	m/S	257	288	284	257	251	257	235
Area of section of each tuyere	m ²	0.4246	0.3968	3 963	0.3905	0.3905	0.3905	3 905
Flame temp.	°C	2 380	2 312	2 375	2 387	2 378	2 354	2 294
Charged coke	DI ₁₅ ¹⁵⁰	83.3	83.8	84.4	84.6	84.1	85.6	83.4
	Size mm	44.1	47.3	47.3	48.8	47.2	48.5	52.1

り、高炉の解体調査によつて詳細に調べられている⁸⁾⁹⁾。しかし、高炉解体調査は、いわば屍体解剖であり、これによつて得られる知見には限界がある。そこで、高炉休風時に羽口サンプラーを使用して炉内コークスを採取し、その性質を調査して装入前コークスの性質と比較しながらレースウェイの挙動を中心に高炉の操業解析を行うことが、最近、新日本製鉄において行われている^{10)~14)}。本報告は、前述の堺製鉄所における低出鉄比、低燃料比操業時における羽口レースウェイ部の挙動解析を目的として、昭和 50 年 12 月から昭和 53 年 9 月まで、7 回にわたつて第 2 高炉 5 番羽口に取り付けられた羽口サンプラーにより炉内試料を採取して、その性質を調査し、解析を行つた結果をまとめたものである。

2. 羽口試料採取時における高炉操業状況

この期間における高炉操業の特徴は、衝風エネルギー低下に伴うレースウェイの縮少を少しでも緩和させるために ①羽口径の縮少、②10° 下向き羽口の取り付け、③窒素吹き込み操業の開始、④炉内ガス流の極端な周辺流化を抑制するための装入方法の変更。

などを実施していることである。羽口サンプラーによる 7 回にわたる試料採取時の主要な高炉操業の指標を

Table 1 に示す。堺製鉄所においては、高炉の減産のため減風を主要な手段として採用しており、4 116 Nm³/min (出鉄比 2.08 t/d·m³) から 2 501 Nm³/min (出鉄比 1.34 t/d·m³) となつている。この場合、減風による羽口風速の低下によつてレースウェイが浅くなることを防ぐため、羽口径を 140 mm より 130 mm に絞つて羽口風速を 257 m/s から 288 m/s に増す処置がとられた。しかしながら、それ以上の出鉄比低下のための減風に対しては、その場合の羽口風速の確保を羽口径を絞ることによらず窒素の吹き込み量を増すことによつて対処している。その結果、羽口風速は 2.08 t/d·m³ の高出鉄比の場合とほぼ同じレベルになつている。燃料比の動きについては、出鉄比 2.08 t/d·m³ の場合、481 kg/t·pig に対して、出鉄比の低下とともに低下し、出鉄比 1.34 t/d·m³ で 478 kg/t·pig となつている。装入前コークスの性質については、潰裂強度 (DI₁₅¹⁵⁰) は 83.8~84.6 であり、ほぼ一定であるが、平均粒度が低出鉄比操業で多少大きくなつている。

3. 実験方法

3.1 羽口試料の採取法

5 番羽口のブローパイプおよび羽口を取りはずし、羽

Table 2. Specification of sampling apparatus.

Diameter of sampling tube		800A (JIS)
Driving apparatus	Pushing machine	Self-propelled pneumatic hammer
	Driving force	Pushing force : 80 t hammer Tapping force : 90 kg-m (800 times/min)
	Sampling time	15 mm
Depth into BF		5.8m (to the center of BF)

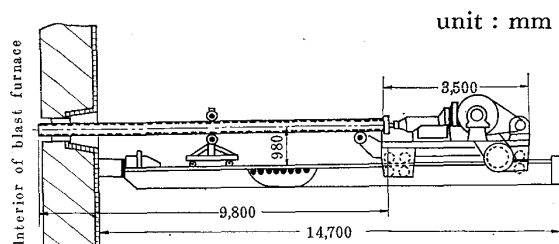


Fig. 1. Apparatus for sampling from tuyere.

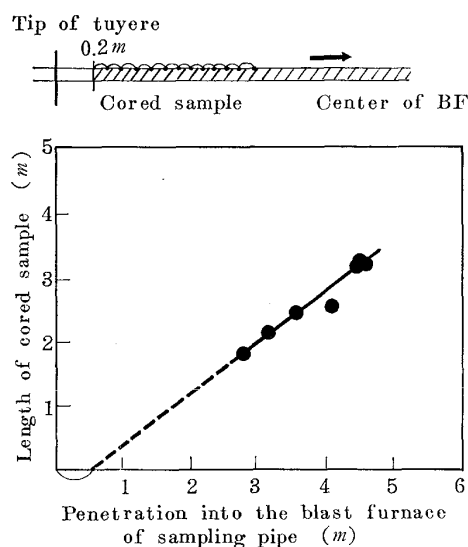


Fig. 2. Amount of sample in the sampling pipe.

ロサンプラーを取り付けてサンプリングを行つたのち、試料パイプを炉外へ引きぬき、パイプの両端をボタ詰めして、パイプの外部より散水冷却した。冷却後、パイプの上半分を切り開いて内部を観察し写真撮影後、単位長さ (200 mm) に分割採取して各種試験用のサンプルとした。使用した羽ロサンプラーの概略図および仕様をFig. 1, Table 2に示す¹⁵⁾。このようにして採取した試料の量は、Fig. 2に示すような採取率を示しており、平均的には

$$\frac{\text{パイプ内コークス充填長さ (m)}}{\text{パイプの炉内挿入深さ (m)}} \times 100 = 75\%$$

であり、

羽口側に空隙が認められる。高炉稼動中におけるレース

ウェイ内は、コークスが施回している状態であり、羽ロサンプラーで採取された羽口側の試料すべてが稼動中におけるレースウェイ内コークスとはいいがたく、休風時上部より降下してきたものも含まれているが、現時点では両者の区別ができないため、今回のデータ解析では、羽ロサンプラーで採取された試料をレースウェイ内のものとして処理した。羽ロサンプラーで採取した試料中には、つぎにのべるようにメタル、スラグが混在しているため、これを選別してコークスのみを取りだし性質調査を行つた。以下この選別したコークス試料を羽口コークスと呼ぶことにする。

3.2 試料調製および性質調査

3.2.1 試料調製

上述のように 200 mm ごとに分割された各試料について、Fig. 3に示す手順に従い、スラグ、メタル、コークスに選別し、コークスはさらに粒度別にわけた。各試料の位置は、羽ロサンプラー内で羽口にもつとも近い位置にある試料端を起点として試料長さに対応させ“羽口先端からの距離”として示すことにした。

3.2.2 性質調査

測定した性質項目は、工業分析¹⁶⁾、元素分析¹⁷⁾、灰の組成¹⁸⁾、反応性¹⁹⁾、気孔率¹⁹⁾、マイクロ強度²⁰⁾、および、I型ドラムを用いる回転強度²¹⁾である。

3.3 炉内温度およびレースウェイの推定

3.3.1 炉内温度

炉内温度は羽口コークスの黒鉛化度より推定した。まず、装入前コークスを各温度で熱処理し、熱処理温度と処理コークスの粉末X線回折法による黒鉛の(002)面の半価幅*との関係を求め、Fig. 4に示すような検量線を作成した。この図に示すように黒鉛化度は熱処理条件によつて大きく異なるが、洞岡4高炉解体調査の際、コー

* 黒鉛化度測定：

○X線回折装置 (島津製 XD-5) により回折し、(002)面の半価幅を測定した。

○測定条件

Target : Co, Filter : Fe, Voltage : 35 kV, Current : 20 mA
Time Constant : 1 s, Divergence slit : 0.5°, Receiving slit : 0.3 mm

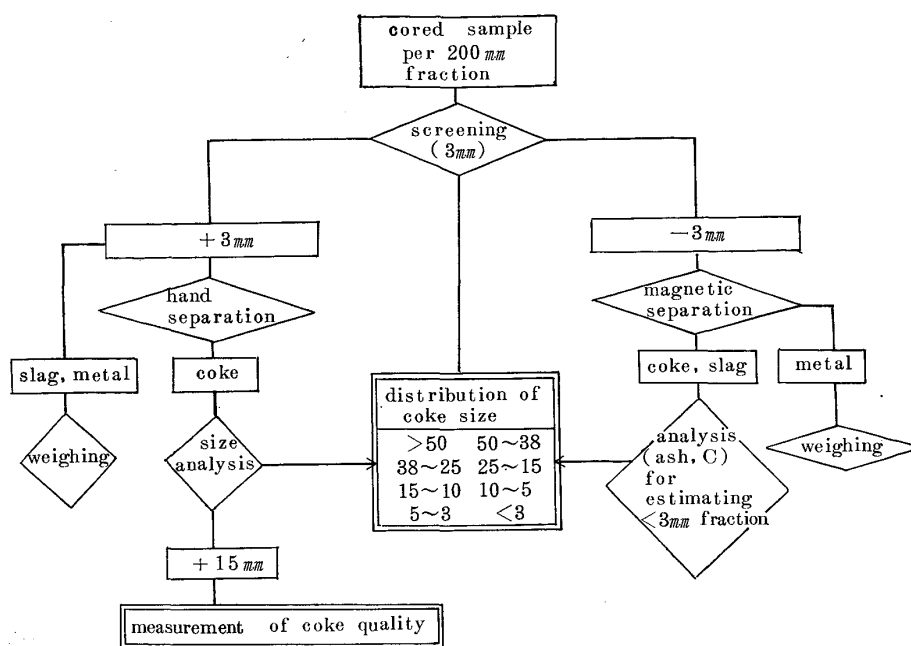


Fig. 3. Procedure for the preparation of cored sample and the size analysis.

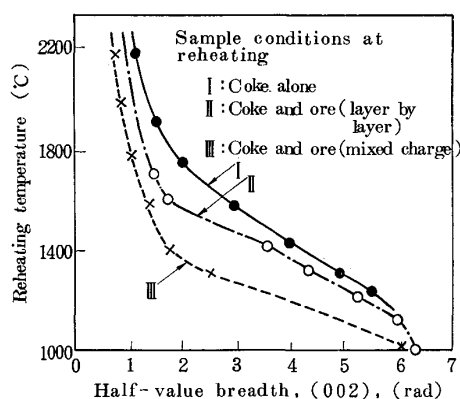


Fig. 4. Relation between the half-value breadth of (002) line spectrum and the reheating temperature of coke sample.

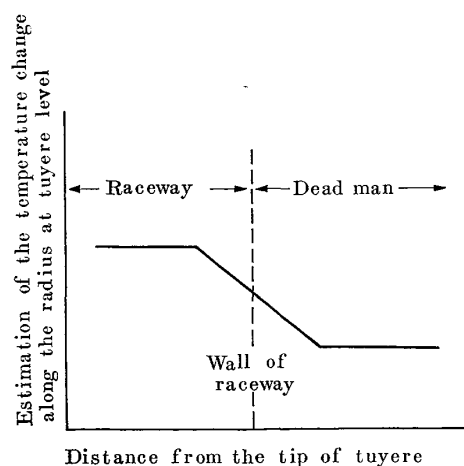


Fig. 5. Definition of the depth of the raceway.

クスと鉱石が混合装入された状態で熱処理されたものが最も炉内温度との対応がよいと推測されたので、今回も Fig. 4, III の検量線より求めた。なお、試料はあらかじめ HCl+HF 処理に行つて灰分中の SiO_2 を除去し、黒鉛の (002) 面の回折像に対する SiO_2 の影響を除いて X 線回折を行った。

3.3.2 レースウェイ

レースウェイの推定については、物理的レースウェイ (充填構造より推定するもの) と化学的レースウェイ (温度、ガス組成より推定するもの)²⁾ とが考えられるが、今回は、化学的レースウェイを推定する事とした。すなわち、レースウェイ内温度が、Fig. 5 に示すように急激に低下する中間点をレースウェイの壁と定義し、レースウェイ深さは羽口先端からこの壁までの距離で表すことにした。また、羽口からレースウェイ壁までをレースウェイ内、レースウェイ壁より奥側を炉芯と定義した。

4. 実験結果

4.1 羽口採取試料の特徴

4.1.1 外観および採取状況

Fig. 6 に羽口コークスの外観スケッチ、コークス、メタル、スラグの採取割合、コークスの粒度分布および炉内推定温度の例を示した。これらの結果からわかるように、羽口コークスは、羽口側では粗充填でこげ茶色のコークス、その奥にメタル、スラグの付着した中粒コークス、丸味を帯びた中細粒コークス、さらにその奥は黒色粉コークスと大、中粒コークスであり、操業条件の違い

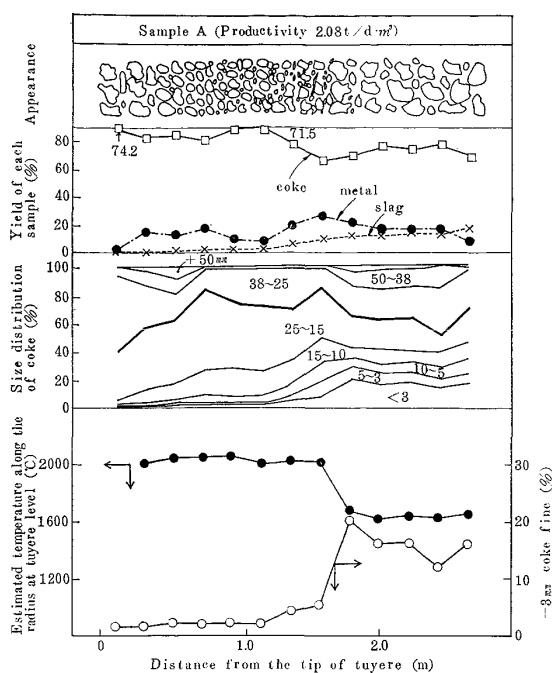


Fig. 6-1. Example of the size distribution and amount of coke in the sampling pipe at a high productivity.

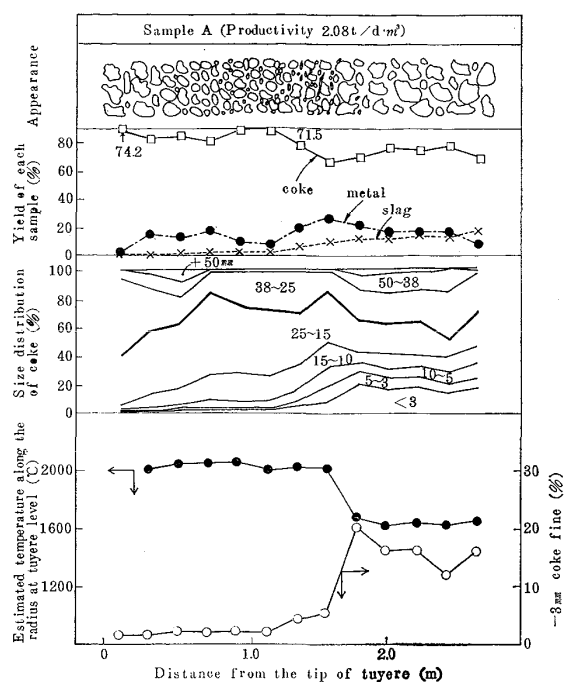


Fig. 6-2. Example of the size distribution and amount of coke in the sampling pipe at a low productivity.

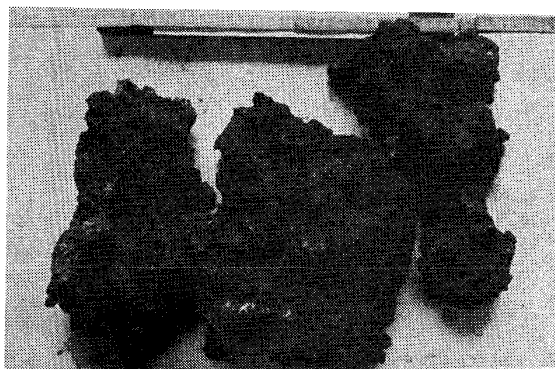


Photo. 1. Softened and melted materials in cored sample. (1978.9.11 productivity: 1.34 t/d·m³)

によつて若干の違いはあるが、その傾向は、ほぼ同じである。しかし、今回の羽口サンプルの特徴としては、Photo. 1 に示すような融着物が昭和 53 年 3 月 31 日 (採取, 出鉄比 1.49 t/d·m³) 以降のサンプル (符号 E, F, G) 中に存在していることである。これは出鉄比の低下に伴つて、炉芯温度が低下したこと起因するものと考えられる。また、コークスの粒度は、出鉄比が 1.8 ~ 2.2 t/d·m³ の範囲では -25 mm の小塊コークスが約 60% であるが、低出鉄比へ移行すると少なくなつて約 50% になり、炉内コークスの平均粒度は大きくなっている。さらに、コークス、メタル、スラグの採取割合は出鉄比 1.8 ~ 2.2 t/d·m³ では、コークスが 60 ~ 80%, メタル 20 ~ 30%, スラグ 10% 以下であるが、出鉄比

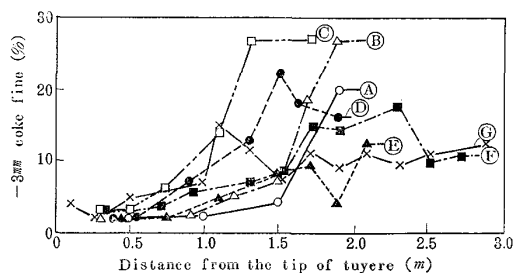


Fig. 7. Change of -3mm coke fines with the distance from the tip of tuyere. (A, B : Date of sampling)

1.50 t/d·m³ 以下では羽口先端からの距離 1.4 m より融着物があるためコークスの採取割合が 20% 台に低下している。

4.1.2 コークスの粉化状況

Fig. 7 に、-3 mm コークス粉の発生状況を全サンプルについてまとめて示した。-3 mm コークス粉率は A → B → C と出鉄比が 2.08 t/d·m³ から 1.70 t/d·m³ へ低下するにつれて増加し、またその最高値が羽口近傍へ移行する傾向がみられる。しかし、さらに出鉄比が低下すると (D → E → F → G, 1.58 t/d·m³ → 1.34 t/d·m³) その傾向が逆転し、-3 mm コークス粉率の低下、最高値のレースウェイ奥への移行現象がみられる。

4.2 羽口コークスの性質

羽口サンプラーによつて採取したコークスの性質調査結果を出鉄比との関係で整理して示した。

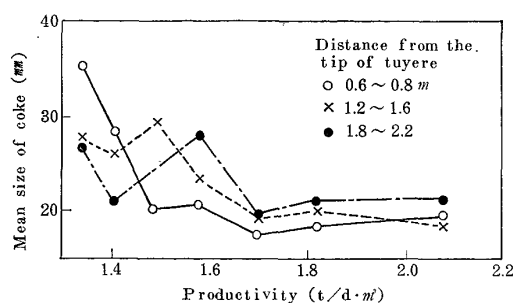


Fig. 8. Relation between the productivity of the furnace and the mean size of coke sampled at tuyere level.

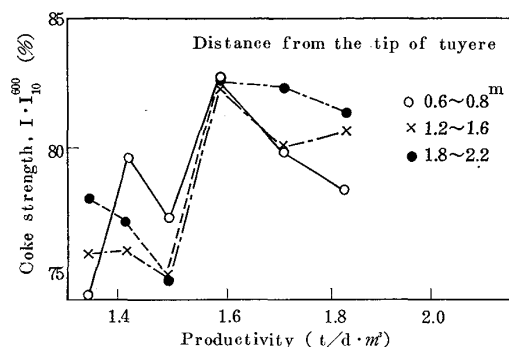


Fig. 9. Relation between the productivity of the furnace and the strength of coke sampled at tuyere level.

4.2.1 粒度

Fig. 8 に出鉄比と平均粒度の関係を示した。この結果によると、出鉄比が低下するにつれて炉内コークスの平均粒度が大きくなっていることがわかる。とくに、羽口先端より 0.6~0.8m のレースウェイ内と思われる部分での +25mm の大塊コークスの割合が、出鉄比のあるレベル (1.6 t/d·m³) 以下で増加しているのが特徴的である。これは、高炉の操業条件との間に密接な関係があるものと思われるが、これに関しては後述する。

4.2.2 強度

Fig. 9 に出鉄比とコークス強度 (I 型強度) の関係を示した。出鉄比 1.5 t/d·m³ 以下で、コークス強度が平均的にみて 5% 程度低くなっている。

4.2.3 その他のコークス性質

Fig. 10 に出鉄比と羽口コークスのその他の性質との関係を示した。出鉄比が約 1.6 t/d·m³ 以下で反応性の増加比が高く、MSI の増加比が低くなっており、コークスが脆弱化していることがうかがわれる。一方、コークス中のアルカリ量は、羽口上部でコークスに蒸着したアルカリが、低出鉄比移行に伴う羽口先温度の低下によってコークスから揮発する量が低下するため、増加している。

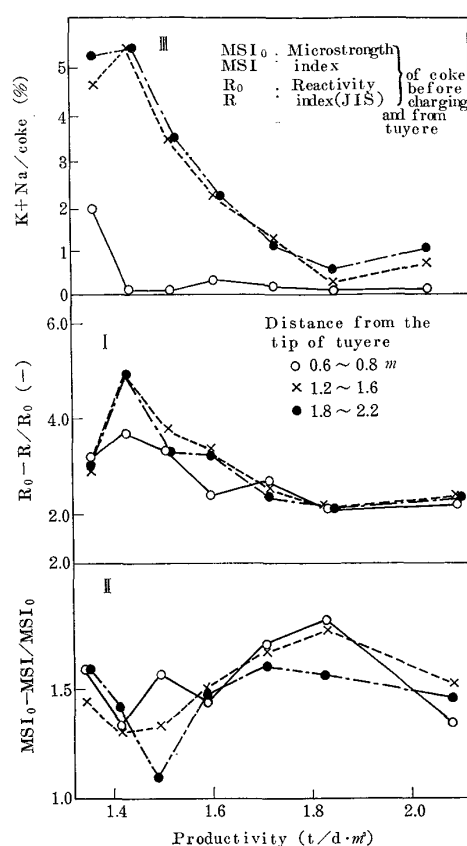


Fig. 10. Relation between the productivity of the furnace and the properties of coke sampled at the tuyere level.

以上、羽口サンプラーによつて採取したコークスについて、その性質を調査した結果、高炉の出鉄比低下に伴い炉内コークス粒度は大きくなるが、-3mm コークス粉発生状況は出鉄比とは明確な関係が認められなかった。また、コークスの強度などのコークス性質の点からみると出鉄比低下に伴い、炉内でのコークスの滞留時間*が長くなるためコークスの劣化が大きくなっていることが推定される。出鉄比と炉内滞留時間の関係を Table. 1 の操業データを基にして求め Fig. 11 に示した。

4.3 レースウェイの挙動

炉内推定温度を全サンプルについてまとめて Fig. 12 に示した。炉内推定温度は、A→B→C→と出鉄比が低下するにつれて炉内最高温度、最低温度とも低下する傾向にあり、かつ温度の低下開始位置が羽口近傍へ移行する結果、Fig. 13 に示すようにレースウェイ深さが 1.7 m から 0.6m 程度に浅くなっていることがわかる。ま

*

$$\text{滞留時間 (h)} = \frac{\left[\frac{\text{出鉄比 (t/d)} \times \text{鉄石のかさ密度 (t/m}^3\text{)}}{\text{鉄石のかさ密度 (t/m}^3\text{)}} + \frac{\text{出鉄比 (t/d)} \times \text{コークス比 (t/t)}}{\text{コークスのかさ密度 (t/m}^3\text{)}} \right]}{\text{BF 内容積 (m}^3\text{)}} \times 24$$

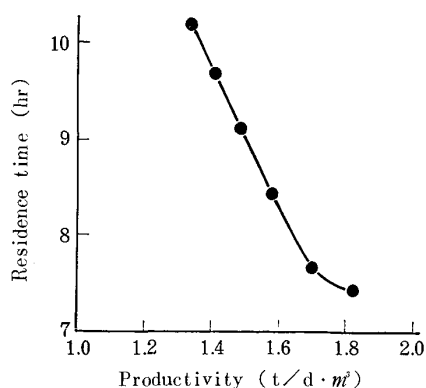


Fig. 11. Relation between the productivity of the furnace and the residence time of coke in the furnace.

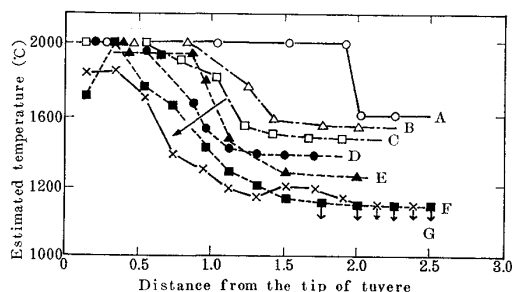


Fig. 12. Distribution of the temperature along the radius at tuyere level.

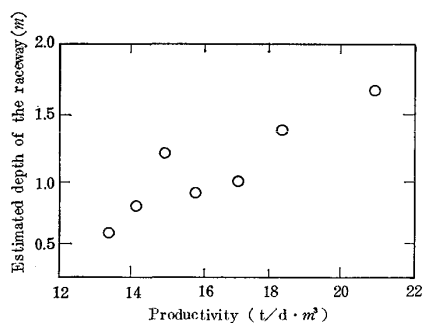


Fig. 13. Relation between the productivity of the furnace and the depth of raceway.

た、出鉄比低下によつて炉芯部温度が低下しており、この結果が、前述した融着物の形成に結びついているものと考えられる。

4.4 炉芯融着層

低出鉄比となり、炉芯温度が低下すると (E, F, G), さきにのべたように Photo. 1 に示すような未溶解の融着層のようなものが炉芯部に出現するのが認められた。この時の炉芯部の温度は、1200°C 以下であると推定されるため、高炉内の装入物が溶解滴下するには不十分な温度であり、そのまま炉芯に降下してきたものとも考えられる。

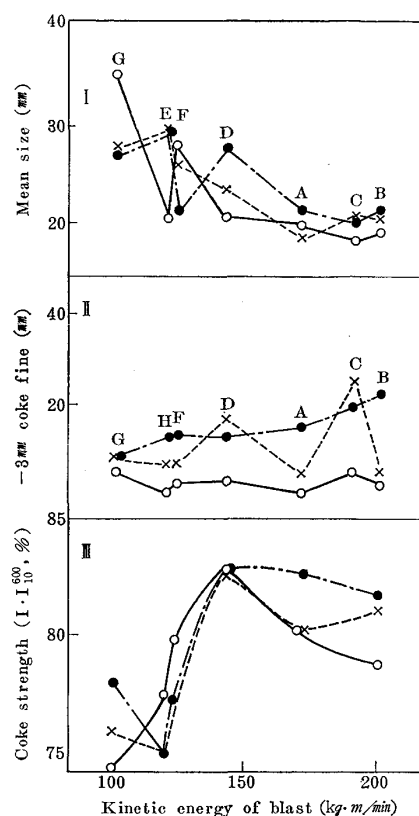


Fig. 14. Relation between the kinetic energy of blast and the properties of coke sampled at tuyere level.

5. 考 察

以上の結果をもとに、高炉操業処置との対比において以下に若干の考察を試みた。

5.1 低出鉄比移行過程における 高炉操業処置と 羽口コークス性質およびレースウェイ挙動との関係

出鉄比の 2.08 t/d · m³ から 1.72 t/d · m³ への低下のさいには、羽口径を従来の 140 mm から 130 mm に減少することによつて羽口風速を 257 m/s から 286 m/s へと増加し、レースウェイ深さの維持がはかられた。しかしながら、Fig. 6, 7 に示すように羽口風速を増すことにより -3 mm コークス粉率が増加し、レースウェイが意図に反して浅くなる状況がみられた。そこで以降の出鉄比低下操業に対しては、羽口風量の低下にもかかわらず羽口径は 130 mm 一定に保ち、羽口風速を低下させ、レースウェイ深さをある程度犠牲にするような形での操業が行われた。これら一連の結果より、羽口でのコークスの性質変化およびレースウェイ状況は、羽口風速すなわち羽口送風エネルギーによつて大きな影響を受けるのではないかと考え、コークスの性質およびレースウェイ状況を羽口送風エネルギーを変数として整理し考察を試みた。その結果を Fig. 14 に示す。ここで使用した羽口

Table 3. Relation between the productivity of the furnace and the ratio of race-way depth.

Sample	A	B	C	D	E	F	G
Item							
Productivity (t/d·m ³)	2.08	1.82	1.70	1.58	1.49	1.41	1.34
Ratio of raceway depth (-)	1	1.04	1.01	0.83	0.80	0.83	0.68

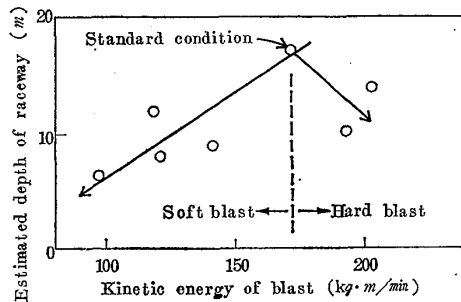
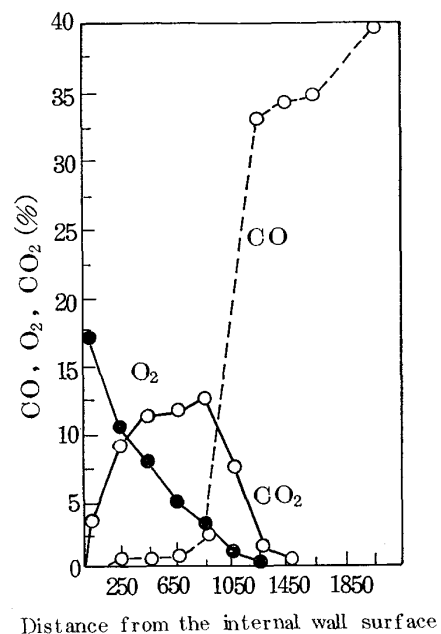


Fig. 15. Estimated depth of the raceway.

送風エネルギーの算出式は、岡部らの式²²⁾を使用した。これらの結果からわかるように、出鉄比低下に伴いレースウェイ深さを確保するために羽口送風エネルギーを大きく (Hard Blast*) して操業すると、羽口コークスは細粒化しコークス粉の発生が増す。そこで、コークス粉の発生増を避けるために羽口送風エネルギーを小さく (Soft Blast*) すると羽口コークスの細粒化の程度が小さくなり、コークス粉の発生が減少し平均粒度も大きくなるが、コークスの強度は弱くなる。これらの一連の現象は、出鉄比低下によつてコークスの高炉々内での滞留時間が長くなるため、コークスの劣化が著しくなつて脆弱化してはいるが、羽口送風エネルギーが小さいため、羽口レースウェイでは破碎されることなく大きな粒度で炉内に残つているためと解釈できよう。この点についてさらに検討するため、レースウェイ深さ計算値を高出鉄比 (2.08 t/d·m³) の場合を基準とした相対比で表し、これと羽口風速の関係を Table 3 に示す。羽口風速が増すとレースウェイ深さは Table 3 にみられるように増すはずであるが、レースウェイ部温度分布から推定したレースウェイ深さは、Fig. 15 に示すように出鉄比低下に伴いある状態を基準にしてそれよりも Hard Blast, Soft Blast いずれの側においても減少している。しかしながら、羽口から採取したコークスの状況は Fig. 14 に示したように両者の間でかなり異なつていいる。すなわち、羽口送風エネルギーを大きくしたにもかかわらずレースウェイ

* 説明の便宜上送風エネルギーの大きい場合を Hard Blast, 小さい場合を Soft Blast と呼ぶことにする。

Fig. 16. Change of gas composition in the raceway²⁾.

イが縮少するのは、高炉々内を降下中に脆弱化したコークスが羽口での送風エネルギーによる物理力で破碎されて粉化し、粉が多くなり、衝風がレースウェイ深部へ入りにくくなるためと考えられる。一方、羽口送風エネルギーが小さくなるとレースウェイが縮少するのは、送風エネルギー不足という物理的原理によるものと推定され同じレースウェイの縮少でもその原因は大きく異なつていいることがわかる。

5.2 コークス粉発生機構からみたレースウェイ部におけるガスの流れ

前述のように出鉄比低下時においては、羽口コークスの性質とくに -3 mm コークス粉の発生量およびレースウェイの状態が、従来と異なつた状態になつていた。そこで、コークス粉 (-3 mm 粉コークス) の発生機構およびレースウェイ挙動について若干の考察を行つた。一般に、レースウェイ内のガス組成は、Fig. 16 に示すように CO₂ 値が高い状態で移行し、レースウェイ壁で CO₂ がほとんどなくなる状態になつていいるとされている²⁾。このことから、コークスの燃焼で生じた CO₂ がレースウェイ壁付近でコークスと反応して CO になり、その結果コークスが劣化し、レースウェイ内を巡回する際の衝撃で粉が発生するものと考えられている³⁾⁴⁾。したがつて、ソリューション・ロスが大きくなれば、この反応が吸熱反応であるため、レースウェイ深部での温度低下が大きくなり、かつ、レースウェイ壁でのコークス粉の発生も多くなるものと考えられる。しかしながら、今回の低出鉄比移行過程では、Fig. 17 に示したよ

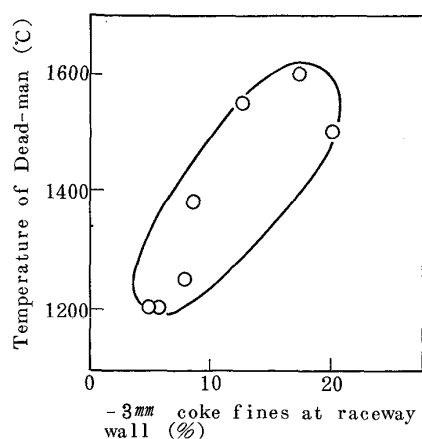


Fig. 17. Relation between -3 mm coke fines and the temperature of Dead-man at tuyere zone.

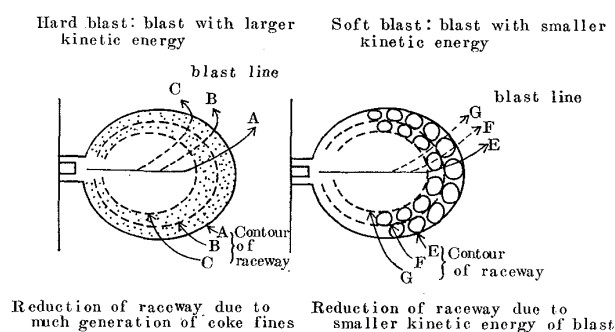


Fig. 18. Schematic drawings of the piling state of coke and the gas flow at the tuyere part.

うにコークス粉の発生とレースウェイ深部（炉芯部）での温度との間には、上述した関係は認められず、むしろコークス粉の発生量が多い方がレースウェイ深部（炉芯部）での温度が低くなっている。この状態を説明するため、前項の解釈を取り入れた模式図を Fig. 18 に示す。すなわち、低出鉄比移行過程では、炉内での滞留時間が長いこと、および、羽口レベルでの炉内温度が低いためにアルカリのトラップ量が多いことのため、コークスは滴下帯、融着帯付近でのソリューション・ロス反応をより多く受け、脆弱化した状態で羽口部へ降下してくる。この場合、レースウェイ深さを確保するため、風量減に応じて羽口径を絞り羽口送風エネルギーを大きくすると、コークスの破碎に伴う粉発生によりレースウェイが縮小する。その結果、ガス流れが偏流化し周辺流の傾向が強まる。一方、このような現象を防ぐために、風量減にもかかわらず羽口径はそのままにして羽口送風エネルギーを小さくすると、レースウェイの運動エネルギーが小さくなつてレースウェイが縮小する。しかし、コークス粉の発生によってレースウェイが縮小した場合とは異なり、レースウェイ壁および炉芯部でのコークスの粒度が

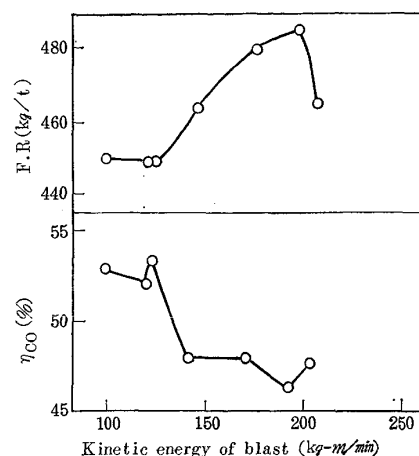


Fig. 19. Relation between the kinetic energy of blast and the fuel rate and the utilization rate of top gas, η_{co} .

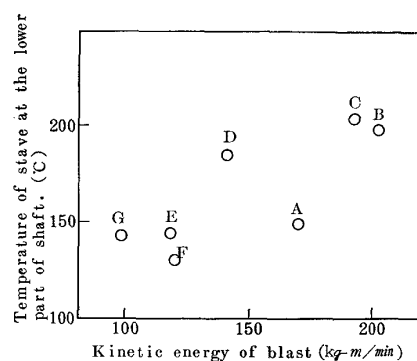


Fig. 20. Relation between kinetic energy of blast and the temperature of stove-cooler at the lower part of the shaft.

大きいので、炉中心部へも均一に風が流れる。このようにレースウェイ状況からみると、同じレースウェイが縮小する現象でも、その機構によつては高炉内のガス流れに対して大きく異なる影響を与える。

5.3 レースウェイ挙動と高炉操業指標との関係

羽口送風エネルギーと高炉操業指標〔燃料比 (F.R.) およびガス利用率 (η_{co})〕の関係について検討した結果を Fig. 19 に示す。羽口送風エネルギーを大きくすると前述のようにガス流れが周辺にかたよる。この現象は Fig. 20 に示すように羽口送風エネルギーを大きくするとステープ内面温度が上昇していることから推測される。このため、F.R. が増大し、 η_{co} も低下する傾向にあり、高炉の操業成績としてはあまり良好でない。一方、送風エネルギーを逆に小さくしていくとガス流れが均一化するため、F.R. は減少し、また、 η_{co} も増加するので、高炉の操業成績は良好な状態になつている。

しかしながら、前述したように出鉄比低下に伴い、レースウェイ内および炉芯温度が低下するので融着物を生

成しやすい。このような融着物は、それ以下の位置で溶融滴下することは困難で、溶銑またはスラグと接触しなければ溶解しないものと考えられる。大型高炉（大分1BF）では低出銑比操業を行うと炉底が隆起する現象が大分第1高炉改修時の解体調査で認められた。この炉底隆起物の発生要因の一つに、この炉芯融着物が考えられる。炉底隆起物が発生するとこれを溶解するのに長期間を要するため、低出銑比で安定して操業しているとき、急激に出銑比を増加させようとして炉熱をつけようとするれば、炉芯融着物が溶解する前に炉床壁の温度が上昇し、炉体管理上問題が起こる。したがって、低出銑比から高出銑比への急激な操業変化は難しい。このように、低出銑比時に炉の中心に融着物を発生させることは高炉操業上好ましくないと考えられる。

6. 結 言

新日本製鉄堺製鉄所第2高炉における低出銑比操業への移行時に、羽口サンプラーで羽口コークスを採取し、その性状を調査した。その結果を用いて羽口送風エネルギーとレースウェイ状況およびコークス性質との間の関係について検討を行い、つぎの結果を得た。

1) 出銑比が低下するとコークスの高炉内での滞留時間が長くなり、高出銑比操業にくらべコークスが脆弱化してくる。その際、レースウェイ深さを確保する目的で羽口送風エネルギーを増加してコークスに大きな運動エネルギーを与えると、コークス粉の発生が増えてレースウェイ奥に粉が蓄積し、周辺流となり、その結果、高炉操業に悪影響をおよぼす。

2) また、この際、羽口送風エネルギーを減少すると、運動エネルギー不足となりレースウェイは小さくなる。しかし、粉発生が抑制される結果、レースウェイ奥のコークス粒度は大きいので、ガス流れが変化せず均一化するため高炉操業に好影響をおよぼす。

3) 低出銑比操業時に、羽口送風エネルギーを減じて操業することは、レースウェイの状態およびガス流れの面からは望ましいが、一方において炉芯温度が低下し、その結果、融着物を形成して炉底隆起の原因となると考えられる。

文 献

- 1) 第27回製鉄部会資料(1963)
- 2) A. D. GOTLIB: 高炉製銑法の理論(V章高炉湯溜内の諸過程) 館 充訳(1966) 日本鉄鋼協会
- 3) 下村泰人: 鉄と鋼, 60(1974), A1
- 4) 中村正和, 杉山 喬, 鶴野建夫, 原 行明: 鉄と鋼, 62(1976), S36
- 5) 羽田野道春, 平岡文章, 福田充一郎, 増地 保: 鉄と鋼, 62(1976), p. 505
- 6) 館 充, 鈴木吉哉, 李 海洙, 桑野芳一, 張東植, 呉 平男, 松崎幹康, 中村成子: 鉄と鋼, 62(1976), p. 483
- 7) 館 充, 桑野芳一, 鈴木吉哉, 張 東植, 呉平男, 松崎幹康: 鉄と鋼, 62(1976), p. 495
- 8) 神原健二郎, 萩原友郎, 重見彰利, 近藤真一, 金山有治, 若林敬一, 平本信義: 鉄と鋼, 62(1976), p. 535
- 9) 重見彰利, 斧 勝也, 仲摩博至, 鈴木 明, 中村隆: 鉄と鋼, 61(1975), S396
- 10) 原口 博, 西 徹, 美浦義明, 桜井 哲, 松井正昭: 鉄と鋼, 65(1979), S79
- 11) 西 徹, 原口 博, 美浦義明, 桜井 哲: 鉄と鋼, 65(1979), S80
- 12) 研野雄二, 須賀田正泰, 中村 展, 石田哲男, 中込倫路, 安倍 勲, 小宮良平: 鉄と鋼, 64(1978), S53
- 13) 石川 泰, 稲垣憲利, 山田寛之, 木村 淳, 矢動丸成行: 鉄と鋼, 65(1979), S529
- 14) 西 徹, 原口 博, 美浦義明, 桜井 哲, 斧勝也, 彼島秀雄: 鉄と鋼, 66(1980), S74
- 15) 加瀬正司, 林 洋一, 田村健二, 松井正昭, 小嶋鴻次郎, 中村正和, 西 徹: 学振第54委員会(1978. 2. 8)
- 16) JIS M-8812-1976 石炭類およびコークス類の工業分析法
- 17) JIS M-8813-1976 石炭類およびコークス類の元素分析法
- 18) JIS M-8815-1976 石炭灰およびコークス灰の分析方法
- 19) JIS M-2151-1977 コークス類の試験方法
- 20) H. E. DRYDEN: JISI, 11(1937), p. 47
- 21) 村上昭三, 原 義明, 石川 功: コークスサーキュラー, 23(1974), p. 82
- 22) 岡部依児: 第39回製鉄部会資料(1971, 川崎製鉄)
- 23) 中村正和, 杉山 喬, 鶴野建夫, 原 行明, 近藤真一: 鉄と鋼, 63(1977), p. 28