

小型試験高炉による酸素高炉法の検討

論文

山岡 秀行*・亀井 康夫*²Experimental Study on an Oxygen Blast Furnace Process Using
a Blast Furnace Test Plant

Hideyuki YAMAOKA and Yasuo KAMEI

Synopsis:

Experimental and theoretical studies were made to confirm the usefulness of the oxygen blast furnace presented in the preceding report¹⁾ which is characterized by the combined injection of pulverized coal in a large amount to prevent the excessive increase of the flame temperature and following results were obtained.

1) In the operation of the blast furnace test plant with the production capacity of 15 t/d, such a large amount of pulverized coal as 1.2 kg per 1 m³ of blast oxygen was injected without any problem and the coal rate of 407 kg/t, the coke rate of 258 kg/t and the productivity of 7.35 t/d/m³ was achieved as an operation result.

2) By one dimensional blast furnace mathematical simulation model, it was predicted that the coal rate of 375 kg/t, the coke rate of 180 kg/t and the productivity of 3.3 t/d/m³ can be achieved in a commercial scale blast furnace.

Key words: oxygen; pulverized coal; blast furnace; flame temperature; mathematical model.

1. 緒 言

酸素を活用して高炉の能率向上を図ろうとする着想は 20 世紀の初頭、O. SIMMERSBACH¹⁾ によって提唱され、F. LÜRMANN²⁾ や G. TRASENSTER³⁾ により実行された。G. TRASENSTER は酸素を 23% に富化した送風により生産性が 12% 近く向上したと報告している。また、酸素富化に止まらず、H. HELLBRÜGGE⁴⁾ は 80% の酸素濃度で銑鉄が困難なく製造でき、フェロクロムやシリコクロムの製造も可能であることを示した。R. DÜRRER⁵⁾ はこのような試みを熱烈に支持し、酸素低シャフト炉を提唱した。彼の説によれば、空気中の窒素は高炉にとっては有害なだけであり、燃焼ガス温度を低下させ、かつ、CO 濃度も薄くするため、原料の加熱と鉬石のガス還元が阻害される。したがって、空気に替えて酸素を使用するならば、原料の加熱、還元は低シャフトで十分であり、原料制約を解除することができるとした。しかし、酸素富化送風はその後、複合送風技術の基礎となり、高炉法の発展に貢献はしたが、熱風高炉を凌駕して製銑法の主流となるには至っていない。これは、送風中の酸素濃度を増加さ

せすぎるといわれるシャフト部熱不足問題⁶⁾ が顕在化し、燃料比の著しい増加を引き起こすためであり、対策としてシャフトの上部や下部さらには羽口から加熱ガスや還元ガスを吹込む方法が提案されている^{7)~10)}。

このような経緯を踏まえ、前報¹⁾ では高炉 1 次元数学モデルを使用して高炉における酸素送風とその有効活用方法に関して理論的な検討を行い、単に送風中の酸素濃度を増加させるのみでは出銑比は増加するが、フレーム温度が過度に上昇して炉下部での熱交換が急速に進む一方、炉上部ではガス顕熱不足となりガス還元が進行しなくなるいわゆるシャフト部熱不足現象が生起するため燃料比が上昇すること、高酸素濃度の送風でフレーム温度の過上昇を抑制する方法として水蒸気吹込み、鉬石吹込み、微粉炭などの燃料吹込みの併用が考えられるが、水蒸気および鉬石吹込みを併用する場合、羽口先におけるコークス消費量の増加による原料の炉内滞留時間の減少を併発するため、燃料比の増加を回避できないこと、微粉炭吹込みを併用してフレーム温度の過上昇を抑制する場合には羽口先におけるコークスの消費量が減少して原料の炉内滞留時間が増加するため、ガス還元が促進さ

平成元年 10 月本会講演大会にて発表 平成 3 年 1 月 28 日受付 (Received Jan. 28, 1991)

* 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 工博 (Iron & Steel Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 16-1 Oaza-Sunayama Hasakimachi Kashima-gun Ibaraki pref. 314-02)

*² (社)日本鉄鋼連盟溶融還元研究開発委員会実施委員会 (R & D Task Force, JISF DIOS Process, Committee for Research & Development on the Direct Iron-Ore Smelting Reduction Process, The Iron & Steel Federation of Japan)

れて燃料比の上昇を抑制できる可能性があることを示した。引き続きここでは、上記の微粉炭多量吹込みを併用する酸素送風法が製鉄プロセスとして実際に機能し得るかを確かめるべく小型試験高炉（以下小型試験炉とする）操業を実施したので報告する。

2. 試 験 設 備

ここで使用した小型試験炉はシャフト式の還元炉とキューボラ式の溶解炉を組み合わせた製鉄法の機能実証試験に使用された溶解炉パイロットプラント¹²⁾¹³⁾である。今回の試験における炉体の構成を Fig. 1 に示した。羽口レベルでの炉内径は 0.9 m であり、Fig. 2 に示す 3 個の送風ノズルを設置している。

3. 微粉炭燃焼試験

前報¹¹⁾ に示したように、ここにあげた酸素高炉における第 1 の課題は酸素送風により微粉炭を多量に燃焼し得るか否か、とりわけ完全燃焼 ($\text{Coal} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) の化学当量以上に微粉炭を燃焼し得るか否かであ

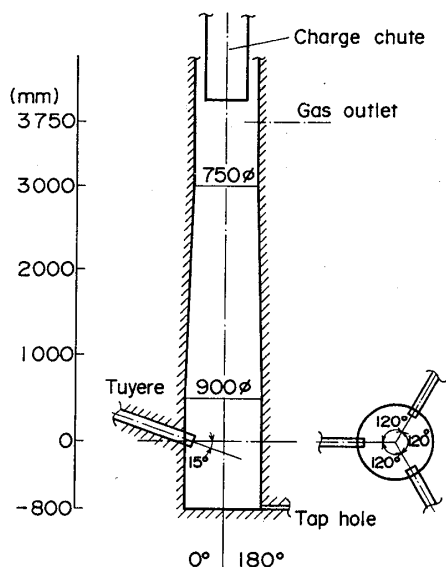


Fig. 1. Profile of the test plant used in the oxygen blast furnace operation test.

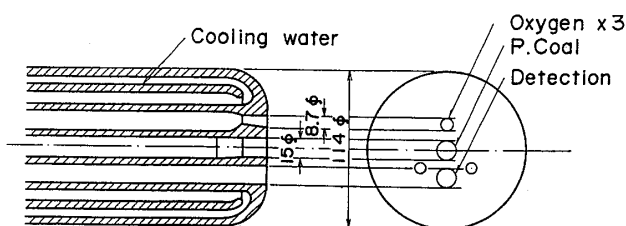


Fig. 2. Blowing nozzle used at the test plant.

る。宮崎らはその可能性について報告している¹²⁾¹³⁾が、再確認の意味で製鉄操業に先立ち、微粉炭燃焼試験を実施した。

3.1 実験方法

コークス充填層内における微粉炭の燃焼性によぼす微粉炭/酸素比率、酸素濃度、燃焼生成ガス温度および圧力の影響を調査した。ここで、酸素、窒素、微粉炭および水蒸気の流量は、燃焼生成ガス量が約 900 Nm³/h になるように調整した。

微粉炭としては Table 1 に示す揮発分を約 30% 含む 3 銘柄の石炭を 200 メッシュ以下に粉碎して使用した。これらの微粉炭の場合、完全燃焼の化学当量に相当する微粉炭/酸素比率は約 0.6 kg/Nm³ である。そこで、微粉炭の吹込み量は微粉炭/酸素比率で 0.8 kg/Nm³ 以上に設定した。コークスとしては 20~50 mm に整粒した灰分の無いピッチコークス（固定炭素~98%）を使用し、羽口レベル+2.0 m の層高の充填層を形成させた。

Fig. 3 に示すように、微粉炭を吹き込むと炉頂から採取されるダスト中 200 メッシュ以下の部分が増加する。そこで、200 メッシュ以下のダストを分析し、次式に示す灰分の収支式を使用して微粉炭の燃焼率を算定した。

$$\text{燃焼率} = \frac{C_f/C_a - S_f/S_a}{C_f/C_a} \times 100 \quad \text{..... (1)}$$

ここに、 C_f と C_a は微粉炭の可燃性成分と灰分であ

Table 1. Coal used in the combustion test of pulverized coal by oxygen enriched cold blast.

	F. C (%)	VM (%)	Ash (%)	H ₂ O (%)
Coal-A	52.74	34.61	8.50	4.15
Coal-B	52.20	34.01	11.25	2.54
Coal-C	57.62	33.57	6.97	1.84

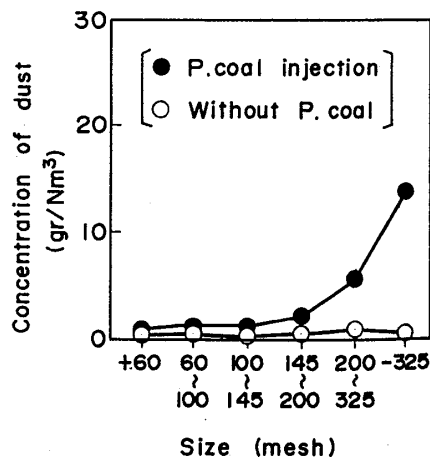


Fig. 3. Distributions of the size of soot collected at the top of the test plant.

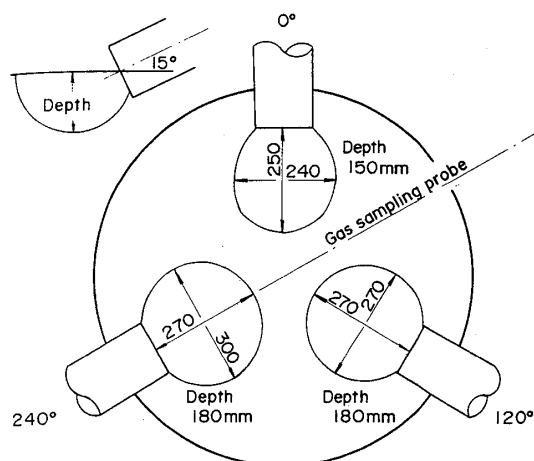


Fig. 4. Shapes of raceway observed through the investigation of the quenched plant after the combustion test of pulverized coal.

り, S_f と S_a はダストの可燃性成分と灰分である。

また, コークス充填層内における微粉炭の燃焼ではレースウェイの大きさが問題となるため, 実験後, 冷却, 解体してレースウェイの状況を調査した。

3.2 実験結果

まず, 実験後, 冷却, 解体して調査したレースウェイの寸法を Fig. 4 に示す。羽口前で比較的粒度の小さいコークスが存在している領域をレースウェイと見なしたが, 約 250 mm のレースウェイが確認された。この寸法は羽田野らの燃焼実験¹²⁾ とおおむね一致するものであった。

次に, フレーム温度 (理論燃焼温度) = 2100°C, 酸素濃度 = 55%, 炉頂圧 = 1.5 kg/cm² (G) の条件における微粉炭/酸素比率と微粉炭燃焼率および炉頂ガスダスト濃度の関係を Fig. 5 に示す。微粉炭/酸素比率の増加とともにダスト濃度は増加するが, 宮崎らの実験結果¹²⁾¹³⁾ と同様, 微粉炭/酸素比率が完全燃焼の化学当量である 0.6 を上回り, 1.0 程度まで微粉炭燃焼率 ~ 90% が維持されていた。

Fig. 6 には微粉炭の燃焼性におよぼす酸素濃度, 燃焼生成ガス温度および圧力の影響を示す。それぞれの実験において他の操作因子は一定に保持されている。ここで, 酸素濃度が増加するほど, また, フレーム温度が増加するほど微粉炭の燃焼率が向上する傾向が示された。さらに, 炉頂圧の上昇は微粉炭の燃焼性を向上させる傾向も認められた。フレーム温度の上昇が微粉炭の燃焼性を向上させる理由の一つとしてフレーム温度が上昇すれば微粉炭の予熱が促進され, 燃焼に有利に作用する点が挙げられる。また, 酸素濃度および炉頂圧が微粉炭の燃

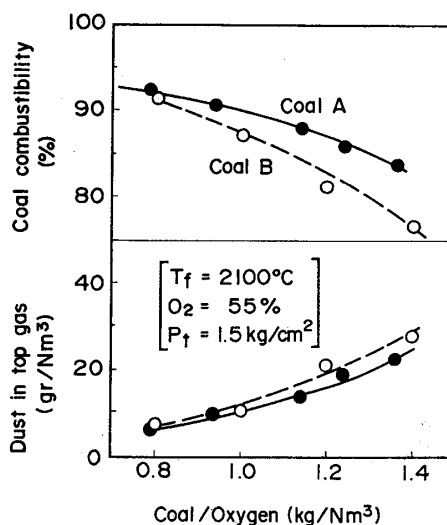


Fig. 5. The dust concentration of top gas and the combustibility of pulverized coal to the injection rate of pulverized coal per unit volume rate of oxygen.

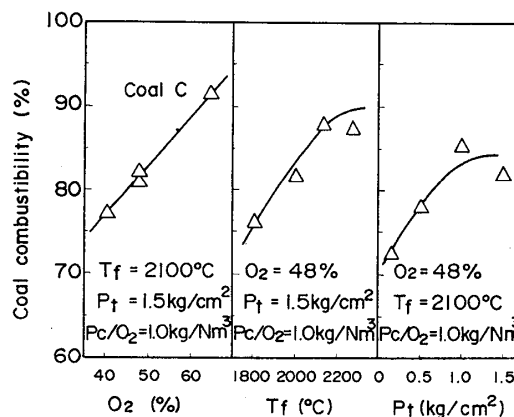


Fig. 6. The combustibility of pulverized coal related to the oxygen concentration of blast, the flame temperature and the top gas pressure.

焼性に好影響を及ぼす理由の一つとして送風の酸素分圧の向上¹²⁾ を挙げることができる。

以上, 酸素流量で 250 Nm³/h 程度の小規模な燃焼ではあるが, 高酸素濃度の送風により微粉炭を完全燃焼の化学当量以上に燃焼し得ることを再確認した。

4. 製鉄操業試験

微粉炭の燃焼試験に引き続き, 本酸素高炉が製鉄プロセスとして機能し得るか否かを確認すべく, 製鉄操業を実施した。

4.1 操業条件

主要条件を Table 2 に示す。炉頂圧を 1.5 kg/cm² (G) に設定した。酸素流量を 250 Nm³/h, 窒素流量を 170

Table 2. Raw materials and operation condition used in the oxygen blast furnace operation in the test plant.

Ore								
	T. Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	H ₂ O	Diameter
Pellet	66.4%	0.6%	1.6%	0.4%	2.5%	0.4%	2.0%	10~25 mm
Sinter	56.4%	6.8%	5.3%	0.9%	9.8%	1.4%	0.4%	10~25 mm
Fuel								
	C	H	O	N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Diameter
Coke	87.2%	0.5%	—	1.4%	6.5%	3.6%	0.3%	20~50 mm
Coal	72.7%	4.0%	7.6%	2.8%	7.2%	2.6%	0.1%	—200 #
Operation indices								
Oxygen rate	~250 Nm ³ /h							
Nitrogen rate	~170 Nm ³ /h							
Steam rate	27~0 kg/h							
Coal rate	200~300 kg/h							
Bosh gas rate	~900 Nm ³ /h							
Flame temperature	~2300°C							
Top gas pressure	1.5 kgf/cm ² (G)							

Nm³/h に設定した。結果として酸素濃度は 60% になる。微粉炭の吹込み量は 200~300 kg/h の範囲で変化させ、フレーム温度が 2300°C になるように水蒸気量を調整した。以上の条件で燃焼生成ガス量は約 900 Nm³/h になる。ここで、前報で示した燃焼比最小となる適正フレーム温度は 2100°C であった。しかし、小型試験炉では炉体熱放散の影響が大きいのでフレーム温度も影響を受けると考えられる。本試験炉では羽口水冷による抜熱量が約 48000 kcal/h (冷却水量=24 t/h, 給排水温度差=約 2°C) であり、フレーム温度に換算すれば約 150°C に相当する。このような事情を勘案し、ここではフレーム温度を 2300°C とした。

コークスとしては高炉用のコークスを 20~50 mm に整粒して使用した。コークスの粒度はレースウェイの寸法に影響を及ぼすが、ここでは、炉頂圧力、燃焼生成ガス量ともどもコークスの粒度も前記の燃焼実験とおおむね同じとした。微粉炭は 200 メッシュ以下に粉碎した高揮発分炭を使用した。原料としては 10~25 mm に整粒した焼結鉱およびペレットを使用した。造滓材としては石灰石と蛇紋岩を使用し、塩基度が約 1.4, MgO が約 7% になるように装入量を調整した。

操業では鉄鉄 800 kg に相当する鉱石を装入した時点で減風減圧して出鉄を行い、出鉄ごとに操業実績を集計して単位データとした。

Fig. 7 に前報で示した高炉 1 次元数学モデルを使用して作成した小型試験炉操業線図を示す。ここで、本小型試験炉では炉床径が小さい (0.9 m) ため、ガスと原料の流れはピストンフローに近いと考え、Table 3 に示すように、反応、伝熱および通気抵抗に関するモデル修

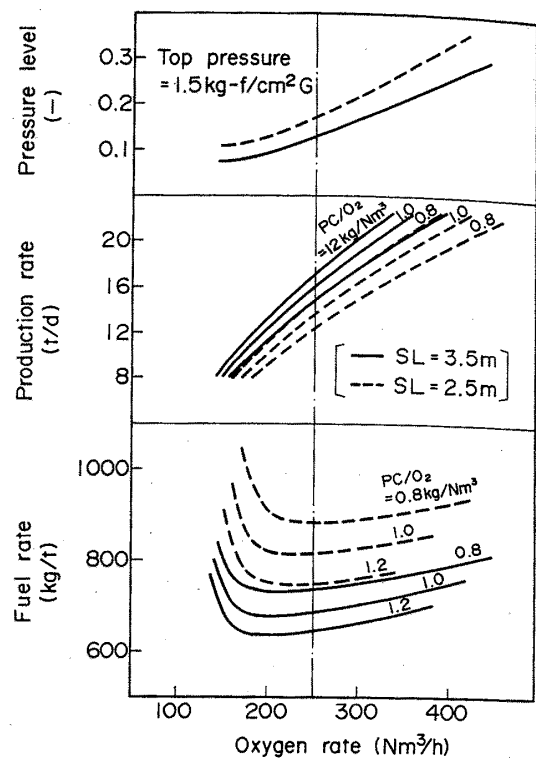


Fig. 7. The operation diagram of the test plant with the oxygen blast combined with the injection of pulverized coal.

Table 3. Model parameters adjusted for the test plant in comparison with those adjusted for 3680 m³ blast furnace.

Parameter reference	α (-) Heat exchange	β (-) Permeability	γ (-) Reduction	$\frac{h_w}{h_{w0}}$ (kcal/m ² /min/°C) Heat loss
Test plant	1.00	1.00	1.00	0.028
3680 m ³ BF	0.63	0.66	0.16	0.200

正係数は 1 とし、炉体熱損失係数は耐火物の物性をもとに算定される値とした。また、微粉炭は全量羽口前で燃焼ガス化されるものと仮定している。

本操業線図に従えば、酸素流量を 200 Nm³/h 以下に低下させると燃料比は著しく増加する。これは、炉体熱損失が相対的に増加するためである。このような点を考慮すれば、酸素流量=250 Nm³/h は妥当な値と見なすことができる。

計算では、フレーム温度を一定にすべく水蒸気量を調整 (低下) して微粉炭酸素比率を増加させると燃料比は低下し、出鉄量は増加する。また、層高を高くしても燃料比は低下し、出鉄量は増加する。これは、シャフトが原料とガスの熱交換および鉱石のガス還元にも有効に作用することを示唆している。

このような予備検討を踏まえ、操業試験では微粉炭流量の影響とともに層高の影響についても調査した。

4.2 操業実績

Fig. 8 および Table 4 に操業実績を示す。各ケース共、微粉炭吹込み量、酸素流量、層高などの操作条件を所定の値に設定し、溶銑温度を $1400 \sim 1450^\circ\text{C}$ の範囲に収めるべくコークス比を調整しつつ約 1 日間操業を継続し、溶銑温度が目標の範囲内で安定した期間における 3~5 個のデータの平均値を採用している。Table 4 に、炉頂ガス分析データ、鉍石装入量、酸素、窒素、水蒸気および微粉炭の流量を正と見なし、鉄、酸素、窒素、水素に関する物質収支を基に計算したコークス比、ガス利用率および直接還元率、さらに、計算コークス比を正と見なした熱収支計算を基に算定した入熱と出熱の差を示している。計算コークス比と実績コークス比（装入コークス量/出銑量）の差は $17 \sim 18 \text{ kg/t}$ であり、全熱料の $2 \sim 1\%$ であった。入熱と出熱との差は $148 \sim 47 \text{ cal/h}$ であり、燃焼発熱量の $20 \sim 6\%$ と算定された。

操業は全ケースとも吹抜けや棚吊りの問題無く実施された。溶銑の S は初期を除いて 0.03% 程度、Si は 0.5% 以下であり、通常の高炉銑と変わらなかった。

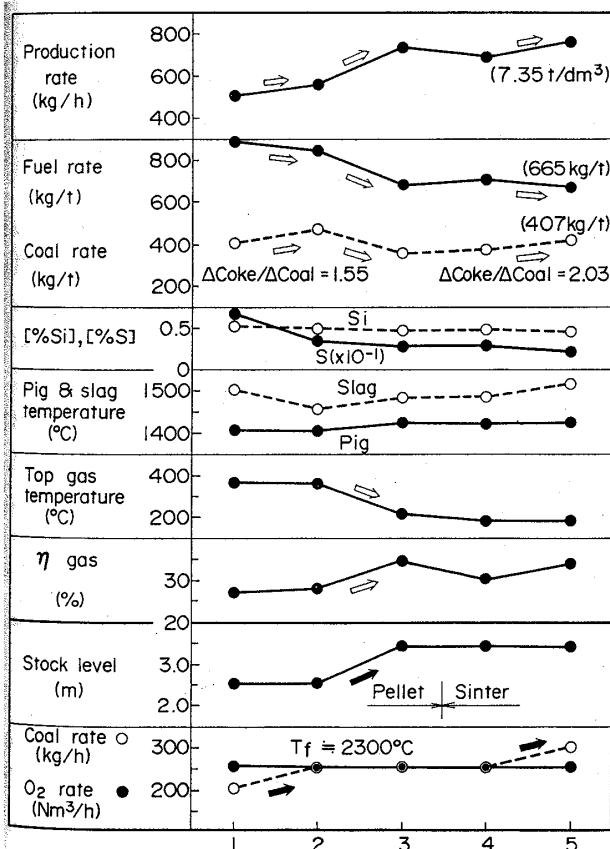


Fig. 8. Results of the oxygen blast furnace operation at the test plant.

まず微粉炭吹込み量の影響に着目すると、 200 kg/h から 250 kg/h 、 250 kg/h から 300 kg/h へと吹込み量を増大させた場合、燃料比が低下し、生産速度は増加している。それぞれの見かけの置換率は 1.55 および 2.03 と算定された。これらの値はやや大きい、これはフレーム温度を 2300°C に保つべく水蒸気量を低下させた影響による。最終状態では微粉炭比 $= 407 \text{ kg/t}$ 、燃料比 $= 665 \text{ kg/t}$ 、出銑比 $= 7.35 \text{ t/dm}^3$ が記録された。全燃料の 60% 以上が微粉炭に置換されている。

ここで、最終状態での微粉炭/酸素比率は 1.2 kg/Nm^3 に相当する。燃焼実験では Fig. 5 に示したように、このような条件では燃焼率の低下が認められ、ダストの生成量も増加する傾向が認められた。しかし本製錬操業の場合、Table 4 に示すように、炉頂ダストの増加はほとんど認められていない。原因の一つとしてフレーム温度を 2300°C と高位に維持しているため、燃焼性が向上

Table 4. Results of the test plant operation.

Case No.		1	2	3	4	5
Ore		Pellet	Pellet	Pellet	Sinter	Sinter
Coal/O ₂	kg/m ³	0.79	0.99	0.99	0.99	1.20
Steam	kg/h	26.8	18.2	18.0	18.0	0.0
Bosh gas	Nm ³ /h	908	910	909	907	910
Flame temp.	°C	2342	2316	2319	2329	2340
Stock level	m	2.5	2.5	3.4	3.4	3.4
Gas temp.	°C	354	349	213	237	180
CO	%	48.2	47.9	43.2	45.9	44.5
CO ₂	%	19.1	19.9	25.2	21.2	23.1
H ₂	%	11.3	11.8	11.2	12.2	11.2
Dust	g/Nm ³	6.3	7.7	4.8	2.6	2.1
Tpig	°C	1404	1404	1423	1418	1425
[C]	%	4.4	4.6	4.5	4.5	4.6
[Si]	%	0.52	0.47	0.45	0.44	0.43
[S]	%	0.066	0.032	0.027	0.031	0.024
CaO/SiO ₂	—	1.43	1.44	1.43	1.44	1.47
Al ₂ O ₃	%	13.7	12.4	12.7	14.4	14.9
MgO	%	7.4	7.6	7.4	6.7	6.0
Coke rate ^{*1}	kg/t	480	377	328	350	258
Coal rate	kg/t	396	463	349	376	407
Fuel rate	kg/t	876	840	677	726	665
Productivity	kg/h	507	548	724	664	754
	t/dm ³	6.03	6.51	7.06	6.47	7.35
Gas flow	l/m	1270	1345	1659	1460	2070
Coke rate ^{*2}	kg/t	497	389	336	365	264
ΔCoke ^{*3}	kg/t	17	12	8	15	6
ΔCoke	%	1.9	1.4	1.2	2.1	0.9
Fuel rate	%	26.8	28.0	34.3	29.5	33.4
η _{CO+H₂}	%	25.4	25.0	28.1	30.7	30.4
D. R. ratio	%	148	133	56	57	47
ΔHeat ^{*4}	Mcal/h	19.5	17.7	7.4	7.6	6.2
ΔHeat						
H _{combust} ^{*5}						

*1 Actual coke rate (= Charged coke/Productivity)

*2 Calculated coke rate through material balance

*3 Calculated coke rate-Actual coke rate

*4 Input heat-Output heat, calculated through heat balance

*5 Sensitive heat of the gas produced through the combustion

している可能性があげられるが、製錬操作の場合、岩永¹⁴⁾が指摘しているように、未燃焼の微粉炭は炉内で補足され、有効に活用されている可能性もある。

層高を増加させるとガス利用率が向上し、燃料比が低下するとともに生産速度も増加している。すなわち、本操作でシャフトは低燃料比と高出鉄比に有効に活用されていることも確認できた。

4.3 解体調査

ケース 5 の操作終了後、送風ノズルと炉体壁の計測用開口部から窒素ガスを吹き込んで冷却し、解体調査を実施した。解体調査では炉内内容物を層頂から順次掘り出し、所定のレベルにおいて炉断面の状況を観察するとともに、円周方向 6 か所と中心でコークスと焼結鉱を採取した。ただし、上方から掘り起こす作業手順では粉

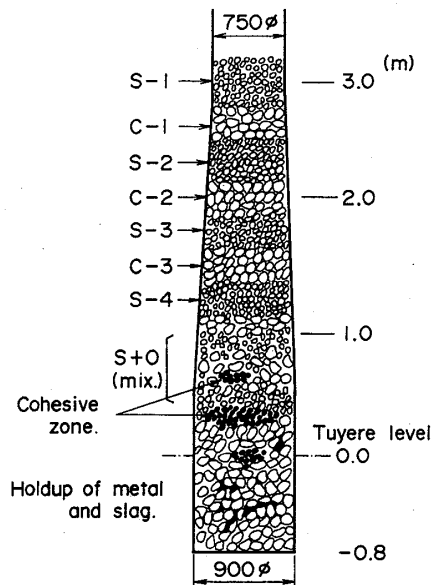


Fig. 9. Dissection of the oxygen blast furnace operation at the test plant investigated after quenched.

の採取位置を同定することが実質上不可能であったため、コークスについては 5 mm 以下、焼結鉱については 1 mm 以下の粒子は採取試料から除外した。

Fig. 9 にスケッチを示す。炉内に微粉炭が蓄積していたと思われる部位は認められなかった。羽口レベルの上方に鉱石の融着が認められた。しかし、軟化収縮はほとんど認められず、通気性は良好と見受けられた。3 本の羽口の前方からその下部にはレースウェイ跡と思われる比較的細かなコークスの存在する領域が羽口前方約 250 mm の範囲で認められた。

Fig. 10 には温度、焼結鉱の還元率および粒度の高さ方向の分布を示す。温度分布は炉壁内表面に熱電対を設置して操作中に計測した炉壁温度と解体調査で採取したコークスの黒鉛化度から推定した温度をもとに推定した。焼結鉱の還元率と粒度の採取位置による系統的な偏差は認められなかったため、ここでは断面平均値を示している。Fig. 11 にはコークスの粒度変化、強度変化およびガス化率を示す。ここで、コークスのガス化率は使用前コークスと採取コークスの灰分の収支計算をもとに算定したものであり、コークスの強度を示すドラム指数は、使用前および炉内から採取したコークスの粒度 20 ~ 30 mm のもの 2 kg をドラム試験機にかけて求めた値である。コークスの粒度、強度およびガス化率の採取部位による系統的な偏差は認められなかったのでここでも断面平均値を採用している。

両図で温度分布に着目すれば、原料は層頂近傍で速やかに加熱され、シャフト部には炉壁温度で 500 ~ 1 000°C 熱保存帯が形成されていることから、シャフト部熱不足現象は生起していないことが確認された。

焼結鉱の還元は上部から順次進行し、融着帯の上端で 82% に到達している。一方、コークスのガス化率は融着帯の上端で 11% であるが、この値を直接還元率に換算すれば 8.6% (すなわち、計算コークス比 264 kg/t×

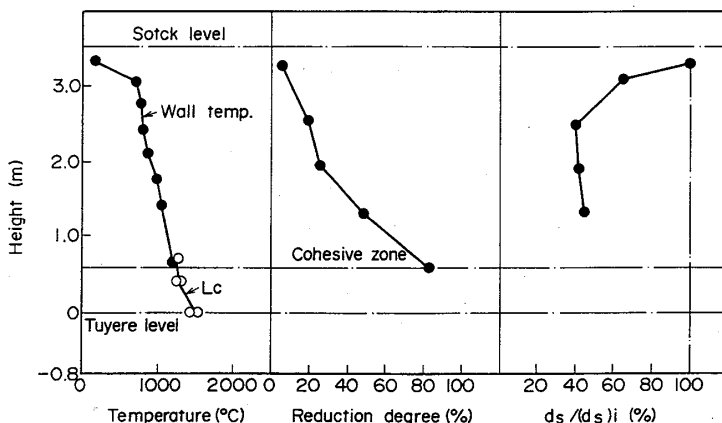


Fig. 10. Change in sinter property of the oxygen blast furnace operation at the test plant after quenched.

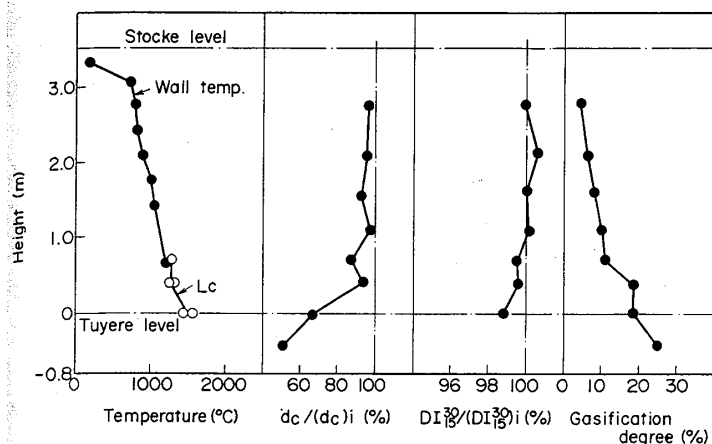


Fig. 11. Change in coke property of the oxygen blast furnace operation at the test plant investigated after quenched.

コークス中炭素 $0.0727 \text{ kmol/kg} \times \text{コークスガス化率 } 11\% / (\text{鉱石比 } 1680 \text{ kg/t} \times \text{鉱石中酸素 } 0.01463 \text{ kmol/kg}) = 0.086$ となる。したがって、焼結鉱還元率の残り 18% が融着帯以下で直接還元されるとすれば、融着帯より上部でのソリューションロス反応に伴う見かけの直接還元率 8.6% を加えた合計の直接還元率は 26.6% となり、Table 4 に示した物質収支計算による直接還元率 (= 30.4%) におおむね近い値となる。

焼結鉱の粒度は層頂近傍で急速に劣化している。このレベルでの温度が炉壁内面における値で約 500°C 、還元率が約 10% であり、還元粉化の生じしやすい条件であることを勘案すれば、この粒度劣化は還元粉化によるものと考えられる。

コークスのガス化は炉壁温度で 1000°C 以下の領域 (羽口レベルより 1 m 以上上方) でも進行しているが、 1000°C 以上になると急激に増加し、これに伴ってコークス強度も若干低下傾向を示している。しかし、羽口レベルの近傍に至るまでコークス粒度に大きな変化は認められない。これは、試験炉が小型であり原料に加わる機械的な衝撃が小さいことに加えて出銑比が高く原料の炉内滞留時間が短かったため、粒度の劣化が十分には進行し得なかったことによると推定される。

羽口レベルおよびその下方でコークス粒度は急激に低下しているが、これはレースウェイ跡と見なされる部位から採取したコークスを含むためである。

以上、小型試験炉操業と解体調査を実施し、炉床径が 0.9 m、生産規模が 500~750 kg/h 程度と小規模ではあるが、微粉炭の多量吹込みを併用してフレイム温度の過渡の上昇を抑制する酸素高炉が製鉄プロセスとして機能し得ることを確認することができた。

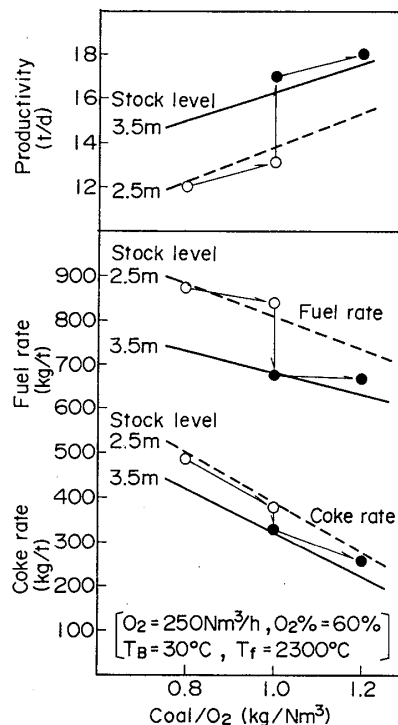


Fig. 12. Results of the test plant operation on a operation diagram calculated by one dimensional blast furnace mathematical simulation model.

5. 大型炉諸元の予測

小型試験炉操業実績を踏まえ、前報⁷⁾に示した高炉 1 次元数学モデルを使用して大型炉における操業諸元を予測した。

5.1 高炉 1 次元数学モデルの妥当性

高炉 1 次元数学モデルを使用して微粉炭/酸素比率の関数として出銑量、燃料比およびコークス比を計算し、操業試験実績と対比した結果を Fig. 12 に示す。ここで、モデル修正係数は Table 3 に示す標準値を使用した。

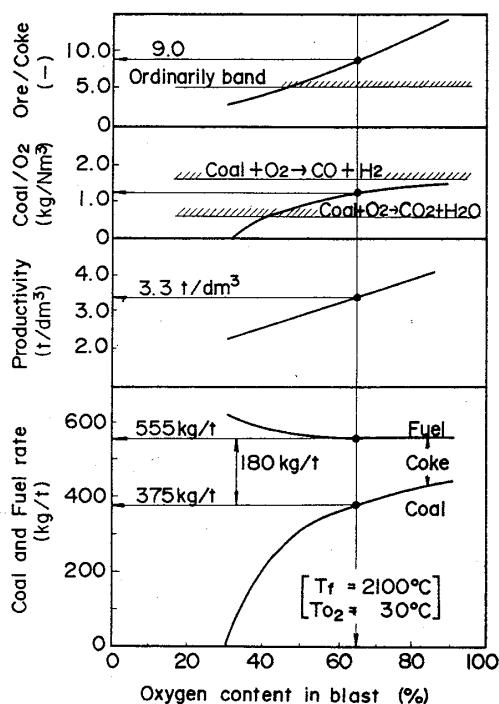


Fig. 13. An oxygen blast furnace operation at a commercial blast furnace predicted by one dimensional blast furnace mathematical model.

Fig. 12 によれば、試験実績はおおむね計算線と一致している。したがって、本数学モデルは小型試験炉操作の予測には有効と見なすことができる。一方、前報に示したように、大型炉の操業実績を精度良く説明し得ることも確認されている。そこで、本数学モデルを大型炉における酸素高炉操業予測に活用しても大きな間違いはないと見なし、本数学モデルにより実在する大型高炉における酸素高炉諸元の予測結果を引用し、大型炉の諸元について以下に考察した。

5.2 大型炉諸元の推定

前報に示した炉容積 3680 m^3 の実在高炉における酸素高炉諸元の予測結果を Fig. 13 に引用して示す。ここで、小型試験炉操業では微粉炭/酸素比率 $= 1.2 \text{ kg/Nm}^3$ の微粉炭多量吹込みが達成されたことから、大型炉でも同様の微粉炭吹込みが可能であると仮定すれば、操業成績として微粉炭比 $= 375 \text{ kg/t}$ 、コークス比 $= 180 \text{ kg/t}$ 、燃料比 $= 555 \text{ kg/t}$ 、出鉄比 $= 3.3 \text{ t/dm}^3$ が得られることになる。

大型炉の出鉄比は、前報で説明したように、原料の荷重に対するガスの圧力損失の比で示される吹抜け指数 < 0.60 で制約されている。小型試験炉と比較して大型炉の出鉄比が低いのは、Table 3 で通気に関する充填層

の空隙率補正係数 $\beta = 0.66$ が示すように、大型炉では原料に加わる荷重が大きいなどの理由により通気性が悪く、吹抜けやすいと推定されることによる。しかし、大型炉で予測された出鉄比 $= 3.3 \text{ t/dm}^3$ は 3000 m^3 級の高炉としては高出鉄比とみなしてよい。また、燃料比は通常の高炉と比較してやや高いが、コークス使用量を全燃料の 32% にまで削減できる利点を有している。

ただし、微粉炭/酸素比率 $= 1.2 \text{ kg/Nm}^3$ の微粉炭燃焼が大型炉でも可能か否かについて小型試験炉における燃焼試験結果のみを基に判定することはできない。また、この場合、O/C は 9.0 となり、高 O/C にともなう融着帯の肥大等の問題が懸念される。本酸素高炉の実用化に向けては今後、以上のような諸点について更に検討を加えてゆく必要がある。

6. 結 言

微粉炭の多量吹込みを併用する酸素高炉に関する実験的な検討を実施し、以下の結果を得た。

1) 小型試験炉では微粉炭/酸素比率で 1.2 kg/Nm^3 の微粉炭が問題無く使用でき、微粉炭比 $= 407 \text{ kg/t}$ 、コークス比 $= 258 \text{ kg/t}$ 、出鉄比 $= 7.35 \text{ t/dm}^3$ が達成された。

2) 微粉炭/酸素比率 1.2 kg/Nm^3 の微粉炭使用が可能であるとすれば、大型炉では微粉炭比 $= 375 \text{ kg/t}$ 、燃料比 $= 555 \text{ kg/t}$ 、出鉄比 $= 3.30 \text{ t/dm}^3$ が達成可能と推定された。

今後、大型化に向けては微粉炭燃焼性の問題、高 O/C 下における安定操業の問題等に関し、更に検討を加えてゆく必要がある。

文 献

- 1) O. SIMMERSBACH: Stahl und Eisen, **29** (1909), p. 283
- 2) F. LÜRMANN: Stahl und Eisen, **32** (1912), p. 609
- 3) G. TRASENSTER: J. Iron Steel Inst., **83** (1913), p. 226
- 4) H. HELLBRUGGE: Stahl und Eisen, **69** (1949), p. 256
- 5) 浅井一彦, 金丸九郎共訳: デュラー鉄の製錬—製鉄法の将来—(1955), p. 142
- 6) 宮下恒雄, 大槻 満: 鉄と鋼, **57** (1971), p. 2184
- 7) 岡本 孝, 多田嘉之助, 杉浦 卓: 鉄と鋼, **58** (1972), p. 637
- 8) W. K. LU and R. V. KUMAR: ISS Transactions, **5** (1984), p. 25
- 9) M. QIN and N. YANG: Scand. J. Metall., **15** (1986), p. 138
- 10) 大野陽太郎, 堀田裕久, 松浦正博, 光藤浩之, 斎藤 汎: 鉄と鋼, **75** (1989), p. 1278
- 11) 山岡秀行, 亀井康夫: 鉄と鋼, **77** (1991), p. 1601
- 12) M. HATANO, T. MIYAZAKI, T. SHIMODA, H. YAMAOKA and Y. KAMEI: The Sumitomo Search (1985) 31, p. 3
- 13) 宮崎富夫, 山岡秀行, 亀井康夫, 中村文夫: 鉄と鋼, **73** (1987), p. 2122
- 14) 岩永祐治: 鉄と鋼, **77** (1991), p. 71